



วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม- สิงหาคม 2568



J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

J-REC BY TRECA





วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน สู่ชุมชน



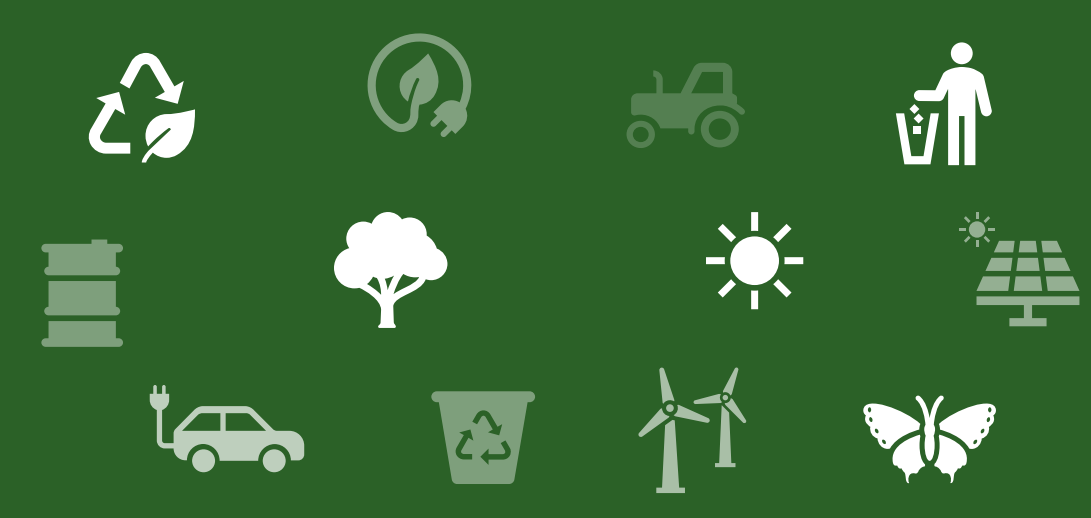
J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY



วัตถุประสงค์

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



เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

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

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

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

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมาย

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน
JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY
คณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

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

เลขานุการ

นางสาวกิ่งกานต์ พันธวานิชย์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวกชมาศ แม่นยำ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิ์ชาติ อากกล้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิกราน หอมดวง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร
ว่าที่ร้อยโท ดร.ศักดิ์ชัย เพชรสุวรรณ
ดร.ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เจาะจง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา พันธุ์เหล็ก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐฐ์ สีข่านาญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่กู๋

รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑาริ ธนารักษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดา สมกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดา สมกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหัสยา ทองสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาลินี แก้วปัญหา

วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต สกลนคร

คณะสถาปัตยกรรมศิลปะและการออกแบบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทบรรณาธิการ

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

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

พลังงานเพื่อชุมชน

ผลการทวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่.....	8
การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากกระจุต การเพิ่มค่าความร้อนและความเร็วในการติดไฟด้วยถ่าน.....	18
การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง.....	27
การออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้.....	35
การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง.....	51
การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส.....	58
การศึกษาชีวมวลทางเลือกต่อการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโอเลีย จากเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ด้วยสาหร่าย Chlorella sp. AARL G049.....	69

การบริหารจัดการพลังงานชุมชน

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่.....	79
แนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียก สู่การแก้ปัญหาชุมชน.....	91
การประเมินค่าใช้จ่ายทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานระดับครัวเรือน กรณีศึกษาเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่.....	106

ผลการกวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่

The Effect of Stirring on Biogas Production Using a Simple Fixed-Dome Biogas System

อีลีหัยะ สนิโซ^{1*}, ลุตฟี สื่อนิ¹, มูฮัมมัดคอยรี หะยิบากา¹, ฮูเซ็ง ชายดานา², มารียัม เจ๊ะไว๊ะ³ และวาริชา วาแม¹
Eleeyah Saniso^{1*}, Lutfee Seni¹, Muhammadkhoiri Hayibaka¹, Huseng Chaydana²,
Mareeyam Chewoh³, and Warisa Wamae¹

¹ สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ² สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

³ นักวิชาการสุขาภิบาลชำนาญการ เทศบาลตำบลมะรือโบตก อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส 96130

¹ Renewable Energy Technology Program, ² Physics Industrial Program, Faculty of Science Technology
and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province, 95000

³ Sanitation Technical Officer (Senior Professional Level), Maruebo-tok Subdistrict Municipality,
Ra-ngae District, Narathiwat Province, 96130

¹Corresponding author: Tel.: 086-2960787. E-mail address: eleeyah.s@yru.ac.th

Abstract

Biogas production from household organic waste has gained increasing attention as a method to reduce waste and generate sustainable renewable energy. This study investigates biogas production from household organic waste using both stirred and non-stirred methods in a fixed-dome biogas system with a diameter of 120 cm and a depth of 180 cm. The fermentation process involves the use of fresh cow manure as the initial feedstock. An initial batch of approximately 190 kg of cow manure was added at the beginning of the experiment. Following a 5-day initial period, 3 kg of food waste was subsequently added every 3 days. The results indicate that biogas production in the stirring process contained CH₄ (68-75%), CO₂ (25-30%), and H₂S (22-1 ppm), while the non-stirring process resulted in CH₄ (60-65%), CO₂ (22-35%), and H₂S (20-25 ppm). Notably, the implementation of stirring resulted in a 14% increase in methane content, along with reductions of 7% in carbon dioxide and 58% in hydrogen sulfide concentrations.

Keywords: Biogas digester, Organic waste, Household, Green energy

บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณของเสียและสร้างพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแบบไม่กวนและกวนตลอดช่วงการผลิตด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm ความลึก 180 cm ซึ่งหมักเศษอาหารที่ได้จากครัวเรือนโดยใช้มูลวัวสดเป็นอาหารตั้งต้นด้วยการเติมครั้งเดียวในตอนแรกประมาณ 190 kg หลังจากนั้น 5 วัน จึงเติมเศษอาหารจำนวน 3 kg ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งพบว่า สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กรณีที่มีการกวนเฉลี่ยเท่ากับ 68-75%, 25-30% และ 22-1 ppm ตามลำดับ และกรณีที่ไม่มีการกวนเฉลี่ยเท่ากับ 60-65%, 22-35% และ 20-25 ppm ตามลำดับ ที่น่าสนใจคือ การกวนในระบบหมักส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 14% ขณะเดียวกันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง 7% และ 58% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบผลิตไบโอแก๊ส, ขยะอินทรีย์, ครัวเรือน, พลังงานชีว

บทนำ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยอาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการนี้ทำให้สารอินทรีย์ในระบบถูกย่อยสลายและผลิตก๊าซชีวภาพออกมา องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจน (H_2) ไอน้ำ (H_2O) และสารประกอบอื่น ๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxanes) จากองค์ประกอบดังกล่าว ก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักที่กำหนดคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำ คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความร้อน 21 MJ/m³ ความเร็วเปลวไฟ 25 cm/s อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 6.19 m³ (air)/m³ (gas) อุณหภูมิการเผาไหม้ในอากาศ 650 °C อุณหภูมิจุดติดไฟของมีเทน 600 °C ค่าความจุความร้อน 16 kJ/m³°C และความหนาแน่น 1.15 kg/m³ [1] ก๊าซชีวภาพสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้แทนก๊าซหุงต้มในการปรุงอาหาร ใช้ให้แสงสว่างและให้ความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ ใช้ในกระบวนการอบแห้งหรือให้ความอบอุ่นแก่สัตว์เลี้ยง เช่น ไก่ แพะและวัว ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในภาคอุตสาหกรรมและใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ กากตะกอนและน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรม [2] เช่น เป็นปุ๋ยอินทรีย์หรืออาหารสัตว์ โดยก๊าซชีวภาพ 1 m³ มีค่าความร้อนเทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 kg น้ำมันดีเซล 0.60 l น้ำมันเตา 0.55 l ไฟฟ้า 1.2 kWh หรือไม้ฟืน 1.5 kg [3]

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และคณะ [4] ได้ผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ โปรตีน (เนื้อสัตว์) วิตามิน (ผักผลไม้) และคาร์โบไฮเดรต (ข้าว) ด้วยถังหมักขนาด 2 l ดังนี้ ถังหมักโปรตีน ถังหมักวิตามินและถังหมักคาร์โบไฮเดรต โดยการหมักแบบไร้ออกซิเจนเป็นเวลา 40 วัน ที่อุณหภูมิแวดล้อม โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถูกเก็บไว้ในถังเก็บก๊าซ วัดปริมาตรก๊าซด้วยการแทนที่น้ำแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography: GC) ผลการทดลองพบว่า ถังหมักโปรตีน (เนื้อสัตว์ : มูลสุกร : กากน้ำตาล : น้ำ) ที่อัตราส่วน 3 :

1 : 1 : 12 by volume ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด คือ $8.8277 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ และมีองค์ประกอบก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 13.70% แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารสามารถเป็นทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซมีเทน (CH_4) ได้นอกจากนี้ ววชิรา ดาวสุด และญาณิศา ละอองอุทัย [5] ได้สร้างถังหมักแบบยูเอเอสบีปริมาตร 4.65 l ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของถังเท่ากับ 35 และ 14.50 cm ตามลำดับ ร่วมกับการตรึงจุลินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์และตะกอนเลนบ่อกุ้งเป็นหัวเชื้อเริ่มต้น เพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน เมื่อหมักจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) จะเกิดก๊าซชีวภาพสะสมทั้งสิ้น 163.88 ml โดยเป็นก๊าซมีเทน 24.74% ในขณะเดียวกัน นพดล โพชกำเหนิด และคณะ [6] ได้ผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักของเสียอินทรีย์จากแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมแบบกะ พบว่า ของเสียจากอุตสาหกรรมสามารถผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในระดับปานกลาง โดยให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 21.06-34.64 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย โดยโรงงานแปรรูปปลาหมึกมีค่าผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 34.64 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 0.99 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทนเท่ากับ 48.20%) ในขณะที่ของเสียจากการเลี้ยงสุกรมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าของเสียจากอุตสาหกรรม โดยให้ผลผลิตมีเทนเท่ากับ 48.09 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.37 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน และมีปริมาณมีเทน 62.41%) เมื่อหมักร่วมระหว่างของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม พบว่า มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยการหมักร่วมระหว่างของเสียจากโรงงานปลาหมึกและของเสียจากการเลี้ยงสุกรให้ผลผลิตมีเทนสูงสุดเท่ากับ 57.38 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่าย (ให้อัตราการผลิตมีเทน 1.91 ml/g ของแข็งที่ระเหยง่ายต่อวัน โดยการหมักร่วมนี้จะให้ปริมาณมีเทนสูงขึ้นอยู่ในช่วง 57.23-67.45%

การกวน (Stirring) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากช่วยให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้ทั่วถึง ลดการเกิดชั้นตะกอนและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย แต่ในทางกลับกันหากกวนมากเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงได้ ซึ่ง ศศิธร ไสป่า และคณะ [7] ได้ศึกษาและวิเคราะห์ผลของการกวนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดหวานในระบบหมักแบบแห้งขนาด 1,000 l ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยเปรียบเทียบกับกรกวนทุก 6 h และ 12 h รอบละ 10 min พบว่า การกวนทุก 6 h ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพและมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกว่าการกวนทุก 12 h โดยสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 15.15% ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในภาคอุตสาหกรรมได้ ในขณะที่ Perman et al. [8] ได้วิเคราะห์ผลของการกวนต่อกระบวนการหมักแบบของแข็งสูง (High-solid digestion: HSD) สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะในครัวเรือน ขยะจากสวนและเศษเหลือทางการเกษตร ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 27-28% โดยเปรียบเทียบกับถังหมักแบบไหลตามแนวแกน (Comparing plug-flow: PFRs) ที่มีอัตราการกวนต่ำเท่ากับ 1 rpm กับถังหมักแบบกวนสมบูรณ์ (Completely stirred-tank reactors: CSTRs) ที่มีอัตราการกวนสูงเท่ากับ 70-150 rpm ซึ่งพบว่า การหมักแบบไหลตามแนวแกนให้ผลผลิตก๊าซมีเทนและแร่ธาตุไนโตรเจนสูงกว่าเล็กน้อย ขณะที่การลดปริมาณของแข็งระเหยได้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้งสองระบบซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของอัตราการกวน ทั้งนี้แม้ว่าจุลินทรีย์จะแตกต่างกันแต่ทั้งสองระบบสามารถรักษาเสถียรภาพของกระบวนการหมักได้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในการออกแบบกระบวนการหมักแบบของแข็งสูง นอกจากนี้ Sihlangu et al. [9] ได้วิเคราะห์ผลของความเร็วยกการกวนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค ของเสียจากมันฝรั่ง กากแป้งมันฝรั่ง ของเสียจากผลไม้และอาหารสุนัขทั้งหมดอายุ ด้วยถังหมักแบบกวนขนาด 30 l ที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 25.5, 35.5 และ 45.5 rpm พบว่า ที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 45.5 rpm ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ

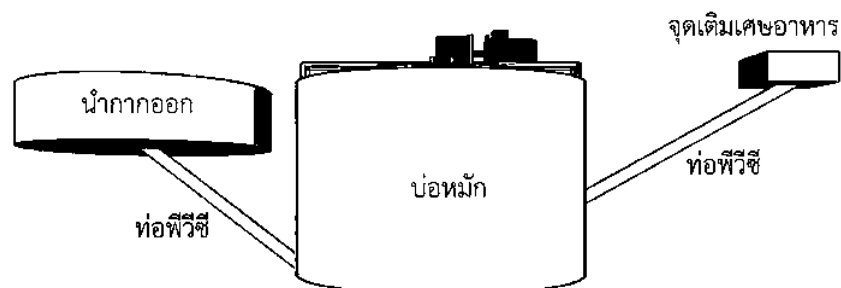
สูงสุดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 50-55 °C) โดยการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการผลิตที่สภาวะอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 35-37 °C) [10]

ทั้งนี้ การศึกษาผลของการกวนในระบบหมักพบได้ในระบบขนาดใหญ่หรือระบบอุตสาหกรรม [11] แต่ยังคงงานวิจัยที่ศึกษาอย่างเฉพาะเจาะจงในระบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่ใช้งานจริงในระดับครัวเรือนหรือชุมชน โดยเฉพาะการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซภายใต้เงื่อนไขการกวนและไม่กวนอย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อการเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ และส่งเสริมแนวทางการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาในระดับครัวเรือน [12-16] จึงได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแบบไม่กวนและกวนตลอดช่วงการผลิต โดยใช้เศษอาหารที่ได้จากครัวเรือนหมักร่วมกับมูลวัวสดแล้ววัดส่วนประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมุ่งเน้นพัฒนาแนวทางการออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับบริบทชุมชนในเชิงนวัตกรรม ทั้งด้านประสิทธิภาพการผลิตและความสะดวกในการใช้งานให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของครัวเรือน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการจัดการขยะอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยส่งเสริมความยั่งยืนด้านพลังงานของชุมชนในอนาคต โดยกำหนดสมมติฐานการวิจัยว่า การกวนในระบบหมักขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่มีผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิธีการวิจัย

1. ระบบหมักก๊าซชีวภาพ

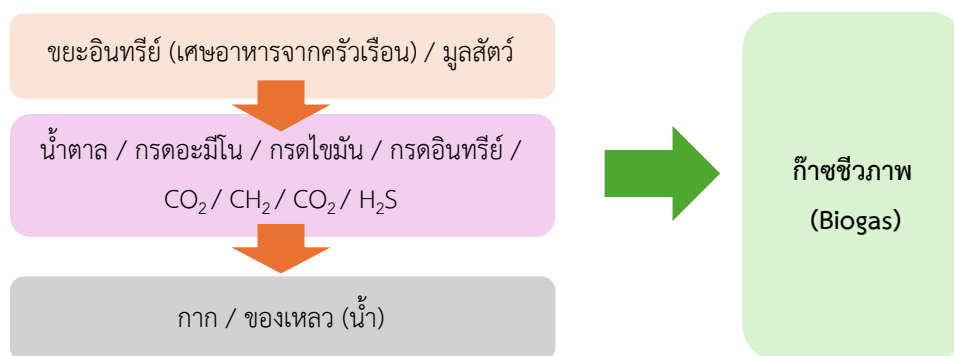
ระบบหมักก๊าซชีวภาพประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนสำหรับนำเศษอาหารจากครัวเข้าถังหมักซึ่งเป็นส่วนที่เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ส่วนของถังหมักที่ใช้เก็บก๊าซชีวภาพ และส่วนของทางออกสำหรับปล่อยกากหรือของเหลวที่เกิดจากการหมักออกมา ดังภาพที่ 1 โดยถังหมักได้วางไว้ได้ดินด้วยการขุดหลุมและบุด้วยปูนซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm ความลึก 180 cm พร้อมกันนี้ได้ฉาบปูนหนา 5 cm ที่ก้นหลุมและโดยรอบถังหมักเพื่อป้องกันการซึมเข้าของอากาศและน้ำรอบ ๆ ระบบหมัก โดยเจาะรูสองรูที่ระดับความลึกจากก้นหลุมเท่ากับ 25 cm และ 45 cm ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งตรงข้ามกัน มีท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.2 cm (4 นิ้ว) ติดตั้งทำมุมประมาณ 60 องศาับแนวดิ่ง ที่ด้านหนึ่งใช้สำหรับนำของเสียอินทรีย์เข้าไปในถังหมักและอีกด้านหนึ่งใช้สำหรับนำกากที่ได้จากการหมักแล้วออกจากถังหมัก



ภาพที่ 1 ระบบหมักก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ (Fixed dome digester)

2. การทดลองและบันทึกผล

การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในครัวเป็นไปตามกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ 2 โดยใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุดชะงัก ในขั้นแรกได้ใช้มูลวัวสดเป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับเพาะเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเริ่มต้นด้วยการเติมมูลวัวประมาณ 190 kg (อ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบของกลุ่มชุมชนที่ใช้ระบบหมักขนาดใกล้เคียงกัน)

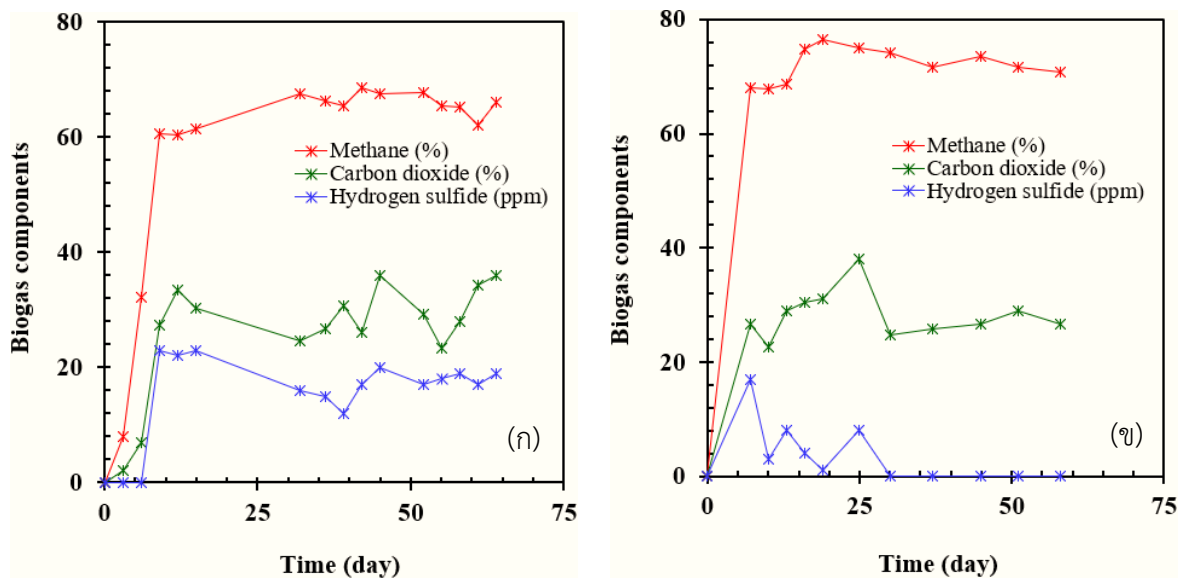


ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ [17]

หลังจากนั้นทำการเติมเศษอาหารประมาณ 3 kg ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งมีการกวนระบบในตอนเที่ยงวันด้วยความเร็วเท่ากับ 75 rpm (ความเร็วรอบการกวนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพส่วนมากจะอยู่ในช่วง 60-115 rpm ซึ่งให้ผลการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดโดยเปลืองพลังงานไม่มาก [12, 18, 19] โดย Mohammadrezaei et al. [20] ระบุว่า ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของมูลวัวที่ความเร็วการกวนเท่ากับ 80 rpm ให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและค่าพลังงานสุทธิสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วการกวนที่ 40 rpm และ 120 rpm) ทุก ๆ วัน ๆ ละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 5 min โดยทำการเก็บปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุก 2-3 วัน ตลอดระยะเวลา 70 วัน แล้วนำไปวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบพกพา (ETG MCA100 BIO-P, ประเทศอิตาลี) การทดลองนี้ดำเนินการที่เทศบาลตำบลมะรือโบตก อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส พิกัด 6.3417° N และ 101.6566° E

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

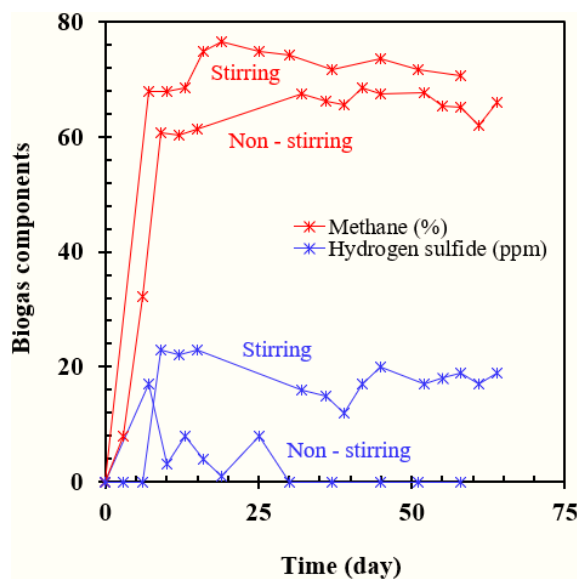
การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ โดยการหมักเศษอาหารที่ได้จากโรงครัวผลิตอาหารของเทศบาลตำบลมะรือโบตก อ.ระแงะ จ.นราธิวาส ซึ่งใช้มูลวัวสดเป็นอาหารตั้งต้นของจุลินทรีย์ ด้วยการเติมครั้งเดียวในตอนแรกประมาณ 190 kg (อ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบของกลุ่มชุมชนที่ใช้บ่อหมักขนาดเดียวกัน) หลังจากนั้น 5 วัน จึงเติมเศษอาหารเข้าไป จำนวน 3 kg ทุก ๆ 3 วัน โดยแยกการทดสอบเป็น 2 ลักษณะ คือ การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่มีการกวนและไม่มีการกวนตลอดช่วงการผลิต จากการทดลองพบว่า ก๊าซชีวภาพที่ได้มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสัดส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ (ก) ไม่มีการกวน และ (ข) มีการกวน ทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง (ตอนเที่ยง) นาน 5 min

กรณีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่ไม่มีการกวน ดังภาพที่ 3 (ก) พบว่า ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก โดยก๊าซมีเทนมีปริมาณเท่ากับ 60% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 32% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณ 22 ppm และเมื่อหมักต่อไปอีกจนถึงวันที่ 35 พบว่า ก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 68% ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณเปลี่ยนแปลงโดยการลดลงเล็กน้อย กล่าวคือ มีปริมาณเท่ากับ 25-30% และ 15-22 ppm ตามลำดับ และเมื่อการหมักดำเนินต่อไปถึงวันที่ 45 ก๊าซมีเทนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยปริมาณเท่ากับ 68% และมีค่าโดยรวมคงที่ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณขึ้นลงในช่วงประมาณ 23-35% เช่นเดียวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ที่ประมาณ 20 ppm ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ทั้งนี้ ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไนโตรเจนและไอน้ำ [21] กรณีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในชุมชนที่มีการกวน ดังภาพที่ 3 (ข) พบว่า ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 10 วันแรก โดยก๊าซมีเทนมีปริมาณเท่ากับ 68% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเท่ากับ 25% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณ 3 ppm และเมื่อหมักต่อไปอีกจนถึงสิ้นสุดการทดสอบวันที่ 58 พบว่า ก๊าซมีเทนมีปริมาณคงที่อยู่ในช่วง 72-76% ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอยู่ในช่วงเท่ากับ 28-38% ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณลดลงอย่างมากเหลือประมาณ 1 ppm ดังภาพที่ 3 (ข) ทั้งนี้ พบข้อสังเกตว่าในช่วงวันที่ 5 ของการหมักนั้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็น 1 ppm ในวันที่ 10 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเมื่อเริ่มกวนในวันที่ 7 ของการทดสอบหมัก จะส่งผลให้เศษอาหารและจุลินทรีย์บางส่วนเกิดการตายหรือเน่าเสียจากการทับถมในบ่อหมักก่อนที่จะมีการกวนเกิดขึ้น ทำนอง

เดียวกันกับช่วงวันที่ 10-30 ไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วง ๆ แต่แนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแสดงถึงการเร่งการสลายของสารประกอบซัลเฟอร์ในขยะอินทรีย์เนื่องจากการกวนในระบบหมัก



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์แบบโดมคงที่ ที่ไม่มีการกวนและมีการกวนทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง (ตอนเที่ยง) นาน 5 min

เมื่อพิจารณาการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการกวนในระบบหมัก พบว่า ความเร็วการกวนที่ 60 rpm ให้ค่าการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ $0.423 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{day}$ ค่าการผลิตพลังงานที่ $9.379 \text{ MJ}/\text{m}^3/\text{day}$ โดยใช้พลังงานในกระบวนการกวนเท่ากับ $3.430 \text{ MJ}/\text{m}^3/\text{day}$ และพลังงานสุทธิที่ได้รับเท่ากับ $8.448 \text{ MJ}/\text{m}^3/\text{day}$ [11] โดย นพดล ยุบลชู และคณะ [22] ได้ระบุว่า การกวนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากกากมันสำปะหลังและน้ำเสีย โดยที่ความเร็วรอบการกวนเท่ากับ 110 rpm ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของจุลินทรีย์และสารอาหารในถังหมัก ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเข้าถึงสารอาหารได้อย่างทั่วถึงและลดการสะสมของสารยับยั้ง เช่น กรดไขมันที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักได้ ทำนองเดียวกันการกวนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีส่วนสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง กล่าวคือการกวนช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลและการกระจายออกซิเจนในระบบหมัก ซึ่งส่งผลให้เสริมการทำงานของแบคทีเรียที่ออกซิโดซัลเฟตทำให้ง่ายต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น [12, 23] ทั้งนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากการกวนในระบบหมักแล้วยังมีการใช้เทคนิคการหมุนเวียนของของเหลวในระบบหมักร่วมกับการกวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหมักแบบแห้ง (Dry anaerobic digestion: DAD) ในขณะที่ Zhang et al. [12] ได้ใช้ซังข้าวฟ่างเป็นวัสดุหมัก พบว่า ความเร็วการหมุนเวียนของของเหลวที่ 88 cm/s ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและมีปริมาณมีเทนสูงสุด โดยการวิเคราะห์ CFD ระบุว่าแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นช่วยให้จุลินทรีย์สัมผัสกับวัสดุหมักได้ดีขึ้น ซึ่งการผสมผสานการกวนและการหมุนเวียนของของเหลวช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลในระบบหมักส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น 28% เมื่อเทียบกับระบบไม่กวน การผสมผสานการกวนและการหมุนเวียนของของเหลวจึงช่วยแก้ปัญหาผลผลิตมีเทนต่ำและอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าเนื่องจากข้อจำกัดด้านการถ่ายเทมวลและความร้อนในระบบหมัก

สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่แบบมีการกวนและไม่มี การกวนให้ผลการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนี้ กรณีที่มีการกวนได้ปริมาณก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ $71.2 \pm 2.0\%$, $27.0 \pm 1.8\%$ และ 9.2 ± 7.5 ppm ตามลำดับ และกรณีที่ไม่มีการกวนเท่ากับ $62.5 \pm 2.5\%$, $29.0 \pm 3.5\%$ และ 22.0 ± 2.0 ppm ตามลำดับ โดยการกวนมีผลเชิงบวกต่อการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน ลด ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 14%, 7% และ 58% ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการกวน ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่า การกวนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเล็กที่ใช้ในระดับ ครัวเรือนหรือชุมชนสามารถยกระดับคุณภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ โดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทนและลด องค์ประกอบที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยและการใช้งานจริง จึงสามารถ ประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในระดับครัวเรือนได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Fundamental Fund: FF) ประจำปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอขอบคุณ ดร.รอมสัน หมาดมานัง และ ดร.จุฑามาศ แก้วมณี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบการ ทดลองและการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในชุมชน และการวิจัยนี้ได้รับการอำนวยความสะดวกให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์การ ก่อสร้างจากเทศบาลตำบลมะรือโบตก อ.แงะ จ.นราธิวาส

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pesta G. Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry. New York: Springer; 2007.
- [2] ปพน ไชยถาวร, อรรถกร อาสนคำ, ธณิศวรร ดีทายาท, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. การประเมินศักยภาพและความ เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลลาน กระบือ. วารสารวิชาการพลังงานสู่ชุมชน 2567; 7(3): 99-113.
- [3] นิชา บุนนสิงห์. ก๊าซชีวภาพผลิตจากมูลสัตว์สู่พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานบริการวิชาการ สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร; 2563.
- [4] วัฒนณรงค์ มากพันธ์, อุดม ทิพย์รักษ์, ทศพล แสนศรี, ศักดินันท์ แก้วดำ, วรรณศักดิ์ สุขสง. ก๊าซชีวภาพจากเศษ อาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2563; 22(2): 116-122.
- [5] วชิรา ดาวสุด, ญาณิศา ละอองอุทัย. การผลิตก๊าซชีวภาพและพัฒนาแบบจำลองโดยระบบยูเอเอสพีจากของเสีย อินทรีย์ร่วมกับการตรึงจุลินทรีย์ [รายงานการวิจัย. ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา; 2561.

- [6] นพดล โพชกำเหนิด, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, ณิชยา ประสงค์จันทร์, สมเกียรติ อินทร์รักษ์, สมพงษ์ โอทอง. ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากแหล่งเทศบาลเมืองเขารูปช้าง โดยใช้การหมักแบบกะ. วารสารวิจัยราชชมงคลกรุงเทพ 2563; 14(2): 116-127.
- [7] ศศิธร ไสปลา, ฐปน ชื่นบาล, นิกราน หอมดวง, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, รจพรรณ นิธิฐศิลป์. การศึกษาระยะเวลาการกวนผสมและหมุนเวียนตะกอนที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการหมักแบบแห้ง. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 2563; 18(1): 87-105.
- [8] Perman E, Karlsson A, Westerholm M, Isaksson S, Schnürer A. High-solid digestion - A comparison of completely stirred and plug-flow reactor systems. Waste Management 2024; 189: 265-275.
- [9] Sihlangu E, Magama P, Chiyanzu I, Regnier T, Luseba D, Nephawe KA. Investigating the Influence of organic loading rate, temperature and stirring speed on biogas production using agricultural waste in South Africa. Agriculture 2024; 14: 2091.
- [10] นรารัตน์พร นวลสุวรรณค์, วันสพรวิทย์ สวัสดิ์. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 2561; 14(1): 74-85.
- [11] El-Bakhshwan MK, Abd El-Ghafar SMA, Zayed MF, El-Shazly AE. Effect of mechanical stirring on biogas production efficiency in large scale digesters. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering 2015; 6(1): 47-63.
- [12] Zhang Z, Chang S, Zhao S, Liu P, Qian Y, Li W. Impact of mechanical stirring and percolate recirculation on the performances of dry anaerobic digestion. Fermentation 2023; 9: 848.
- [13] Chol MMY, Muchuka NM, Nyaanga DM. Effect of stirring intervals on biogas production from cow dung and maize silage mix ratio. International Journal of Power and Energy Research 2021; 5(1): 1-11.
- [14] Makamure F, Mukumba P, Makaka G. Biogas production from a solar-heated temperature-controlled biogas digester. Sustainability 2024; 16(22): 9894.
- [15] Kaparaju P, Angelidaki I. Effect of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies. Bioresource Technology 2008; 99(11): 4919-4928.
- [16] Karim K, Klasson KT, Hoffmann R, Drescher SR, DePaoli DW, Al-Dahhan M.H. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. Bioresource Technology 2005; 96: 1607-1612.
- [17] Almalowi SJ, Jobran FA. Experimental study of design and implementation of small-scale biogas digest system. Energy and Power Engineering 2022; 14: 156-165.

- [18] Srivichai P, Thongtip S. Optimization of mixing speed and retention time affecting biogas production from starchy sediment using response surface methodology. Songklanakarin Journal of Science and Technology 2021; 43(3): 767-773.
- [19] Octiva CS, Indriyani, Santoso AB. Effect of stirring co-digestion of palm oil and fruit for biogas production to increase economy benefit. Budapest International Research and Critics Institute-Journal 2021; 4(4): 14152-14160.
- [20] Mohammadrezaei R, Zareei S, Khazaei NB. Optimum mixing rate in biogas reactors: Energy balance calculations and computational fluid dynamics simulation. Energy 2018; 159: 54-60.
- [21] อรณิข เพือกคง. ไบโอดีแก๊ส (Biogas). [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2567]; เข้าถึงได้จาก: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7101-biogas>.
- [22] นพดล ยุบลชู, ภากร งามแสง, ไทยทัศน์ สุดสวนสี. ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนจากกากมันสำปะหลังและน้ำเสีย. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 2567; 2(6): 50-65.
- [23] Andreides M, Pokorna-Krayzelov L, Bartackova J, Bartacek J. Stirring-based control strategy for microaerobic H₂S removal in sequencing batch anaerobic digesters. Fuel 2021; 306: 121696.

การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุต:การเพิ่มค่าความร้อนและความเร็วในการติดไฟด้วยกาว
Development of Biomass Pellets from *Lepironia articulata*: Enhancing Heat Energy
and Ignition Speed with Adhesive

ซุลกีฟลี กะดอง ฮามีเดห์ แยนา มุฮัมหมัดซัมรี โต๊ะแหวะยี่ ลุตฟี สือนิ ส่วนสุไรดา ส่วนปุเตะและ อาบีดีน ดะแซสาเมา*

Sulkiflee Kadong, Hameedah Yaena, Mohammadsamree Tohwahayee, Lutfee Seuni, Tuansuraida

Tuanputeh and Abedeen Dasaesamoh*

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District,

Yala Province 95000

¹Corresponding author: Tel.: 0896569681. E-mail address: abedeen.d@yru.ac.th

Abstract

In this study, the pellet fuel from *Lepironia articulata* was prepared using natural rubber latex and cassava starch as binders. The pellet fuel was prepared with *Lepironia articulata* and binder ratios of 50:50, 60:40, and 70:30. The results showed that the briquettes using natural rubber latex had lower density compared to those using cassava starch. Regarding moisture content, the briquettes using natural rubber latex exhibited higher moisture than those using cassava starch, both of which exceeded the standard limit of 8%. The ignition time for the briquettes using natural rubber latex was significantly shorter compared to those using cassava starch, indicating a faster ignition capability with natural rubber latex. However, cassava starch demonstrated an advantage in prolonging the combustion duration. The heat energy value of the briquettes using natural rubber latex ranged from 23.169 to 23.186 MJ/kg, which is higher than that of the briquettes using cassava starch and also exceeds the standard requirement of not less than 16.5 MJ/kg. From the research results, it can be concluded that the appropriate proportion of *Lepironia articulata* and rubber glue for producing compressed biomass fuel is 30:70. The use of natural rubber latex as a binder shows potential in producing pellet fuel with high heat energy, though improvements in density and moisture content are necessary to meet the standard requirements and ensure practical usability.

Keywords: *Lepironia articulata*, Fuel Pellets, Natural rubber

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยเตรียมเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วนของกระจุและตัวประสานเท่ากับ 50:50 60:40, และ 70:30 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้กาวยางพารามีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทั้งสองค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าความชื้น เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้กาวยางพารามีค่าความชื้นสูงกว่าเทียบกับแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ระยะเวลาติดไฟของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้กาวยางพาราเร็วกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งแสดงถึงความสามารถในการติดไฟที่รวดเร็วของกาวยางพารา แต่ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังก็มีข้อได้เปรียบในด้านการยืดระยะเวลาการเผาไหม้ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพาราอยู่ในช่วง 23.169 -23.186 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง (17.743 - 17.777 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) และสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 16.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า สัดส่วนของกระจุ : กาวยางพารา ที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 30 : 70 การใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีค่าพลังงานความร้อนสูง แต่ยังคงต้องปรับปรุงความหนาแน่นและความชื้นเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีคุณสมบัติตามมาตรฐานและเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง

คำสำคัญ: กระจุ เชื้อเพลิงอัดเม็ด ยางพารา

บทนำ

เชื้อเพลิงอัดเม็ด (Biomass Pellets) คือ วัสดุเชื้อเพลิงที่ถูกผลิตขึ้นโดยการอัดวัสดุชีวมวล (biomass) เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย หรือสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น ให้มีลักษณะเป็นแท่งหรือก้อนด้วยกระบวนการที่ใช้ความดันสูง

กระจุ เป็นพันธุ์ไม้จำพวกกก เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่เติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ มีลักษณะลำต้นสีเขียวอ่อน สูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นกลม ตั้งตรง แหล่งกระจุที่สำคัญในภาคใต้อยู่แถบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และริมฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย ได้แก่ บริเวณทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง บริเวณพรุควนเคร็ง จังหวัดนครศรีธรรมราช บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานี สงขลา ยะลา และนราธิวาส เป็นต้น กระจุเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากกระจุเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตรอบใหม่สูง โดยหลังเก็บเกี่ยวครั้งแรกไปแล้ว 6 เดือน ต้นกระจุมีความอยู่รอด และการเจริญเติบโตรอบใหม่มากที่สุด คือเท่ากับ 429 ต้นต่อตารางเมตร [1] แม้ว่าจะมีการใช้งานกระจุในหลากหลายรูปแบบเช่น งานหัตถกรรม งานจักสาน การทำกระดาษเส้นใย [2] แต่ยังมีโอกาสในการใช้กระจุในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดประกอบด้วยกระบวนการสำคัญคือ การเตรียมวัตถุดิบ การอบลดความชื้นการบดละเอียด การอัดเม็ด การทำให้เย็น การร่อนและการคัดแยก และการจัดเก็บและการบรรจุผลิตภัณฑ์ [3] ขั้นตอนการอัดเม็ดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เพิ่มความหนาแน่นด้วยการอัดโดยใช้ตัวประสาน (Binder) ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้นิยมนำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง [4] ทำให้ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดสูง การลดหรือเปลี่ยนตัวประสานเป็นวัสดุธรรมชาติอื่นที่มีสมบัติเชื่อมประสานเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตโดยใช้ยางพาราเป็นตัวประสาน และหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างกระจุตและกาวยางพารา รวมถึงการทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตได้

วิธีการวิจัย

วัสดุ

กระจุตได้จากตำบล โคกเคียน อำเภอมืองนราธิวาส นราธิวาส น้ำยางพารามีร้อยละของเนื้อยางแห้งเท่ากับ 60 จากบริษัท เคมีคอล แอนด์ แมททีเรียลส์ จำกัด กาวยางพาราเป็นกาวเตรียมระหว่างกาวสำหรับงานไม้ที่มีขายตามท้องตลาดกับน้ำยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 50 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก แป้งมันสำปะหลัง เป็นชนิดที่มีขายตามท้องตลาด

การเตรียมเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การวิจัยนี้เตรียมเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตโดยใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสาน ซึ่งมีอัตราส่วนร้อยละการผสมระหว่างกระจุตและกาวยางพาราเท่ากับ 50:50 60:40 และ 70:30 โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปเป็นแท่งในท่อ PVC

การเตรียมตัวประสานจากกาวยาง โดยผสมน้ำยางธรรมชาติกับกาวในอัตราส่วนร้อยละ 50:50 โดยน้ำหนัก กวนด้วยความเร็วต่ำและสม่ำเสมอเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดฟองอากาศจนเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยการอัดเย็น ผ่านท่อกลวงขนาด 5×1.5 เซนติเมตร ด้วยมือ

การเตรียมตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง นำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำประปา กวนให้เข้ากันในอัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก ก่อนอุ่นด้วยความร้อนประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จนมีความเหนียวเพื่อนำไปใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

การเตรียมเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุต ตัดกระจุตให้มีขนาดเล็ก จากนั้นนำไปปั่นให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ และร่อนผ่านตะแกรงแบ่ง ผสมกับตัวประสานกาวยางหรือแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนร้อยละกระจุตต่อตัวประสาน (กาวยางและกระจุตต่อแป้งมันสำปะหลัง) 50:50 60:40 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ กวนจนเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเหนียวก่อนนำไปขึ้นรูป โดยใช้ท่อ PVC ในการขึ้นรูป ดังภาพที่ 1



ผงกระจุต



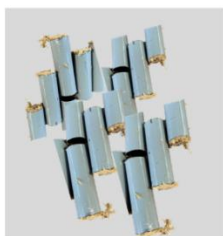
ตัวประสานยางพารา



ตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง



ผสม



อัดแท่ง



เชื้อเพลิงอัดแท่ง

ภาพที่ 1 ถ่านอัดแท่ง

การทดสอบ

ความชื้น การทดสอบความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นด้วยการเตรียมตัวอย่างทดลองที่ต้องการทดสอบ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนที่จะทำการอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการบันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) เพื่อให้ความชื้นทั้งหมดในตัวอย่างระเหยออก หลังจากการอบครบเวลาแล้ว จะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างบันทึกเป็นน้ำหนักหลังการอบ คำนวณค่าความชื้นดังสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

โดยที่ m_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ และ m_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

ความหนาแน่น การทดสอบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{V}$$

โดยที่ ρ หมายถึง ความหนาแน่น, m คือ มวลของเชื้อเพลิงชีวมวล, และ v คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวมวล

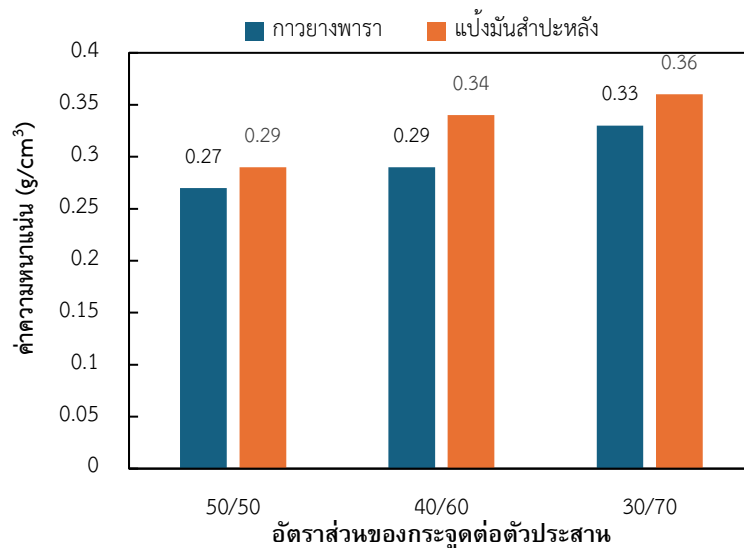
ระยะเวลาติดไฟ ให้เริ่มโดยการวางเชื้อเพลิงอัดเม็ดบนที่รองไฟในตำแหน่งที่มั่นคง จากนั้นจุดไฟที่เชื้อเพลิงโดยใช้แหล่งความร้อนจากเปลวไฟจากปลายเทียน เริ่มจับเวลาเมื่อเชื้อเพลิงสัมผัสกับเปลวไฟ และบันทึกเวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มติดไฟจนถึงเวลาที่เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง การทดสอบนี้จะช่วยให้ทราบระยะเวลาที่เชื้อเพลิงต้องใช้ในการเริ่มต้นการเผาไหม้และประเมินความสามารถในการติดไฟของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ค่าพลังงาน การทดสอบค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยเครื่องหาค่าพลังงานความร้อน CALORIMETER IKA รุ่น C1 เป็นวิธีการที่ใช้ในการวัดพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในสภาวะที่ควบคุมอย่างเคร่งครัด ขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยการตัดเป็นขนาดที่เหมาะสมผลจากการทดลองจะแสดงเป็นค่าพลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักของตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ความหนาแน่น

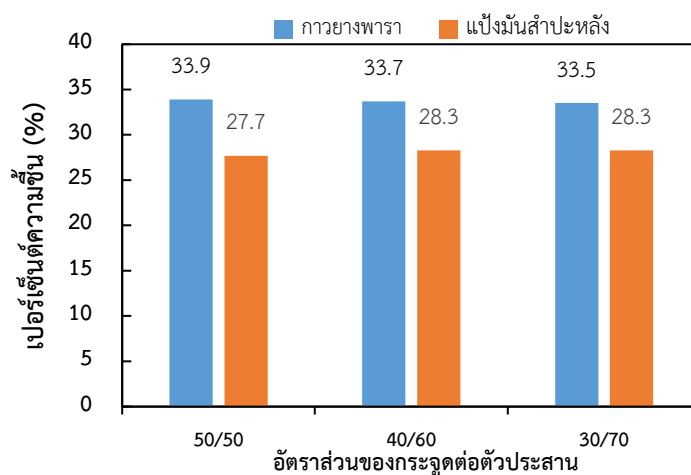
จากผลการทดลองค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระดูกที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน (ภาพที่ 2) พบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทย ซึ่งไม่เกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพารามีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.27-0.33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.29-0.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แม้ว่าแป้งมันสำปะหลังจะให้ค่าความหนาแน่นที่สูงกว่า แต่ทั้งสองชนิดยังไม่ถึงระดับมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้และการจัดเก็บของเชื้อเพลิงซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยปรับกระบวนการอัด โดยการกระบวนการอัดร้อน [5] ซึ่งจะเป็น การเพิ่มความดันในการอัดจะช่วยให้อัดชีวมวลอัดแน่นขึ้น และเพิ่มความหนาแน่น



ภาพที่ 2 ความหนาแน่นของกระจุตที่มีกาวยางพาราเป็นตัวประสานและกระจุตที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

ความชื้น

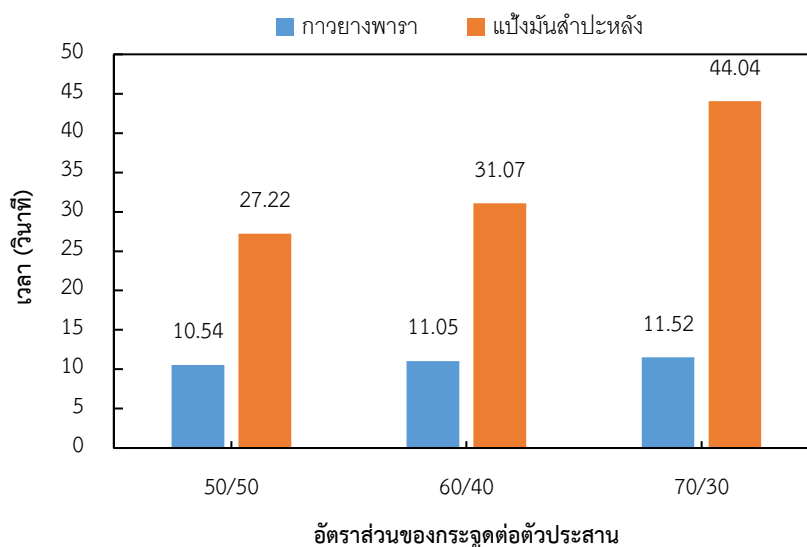
จากผลการทดลองค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานดังภาพที่ 3 พบว่าค่าความชื้นของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 33.5-33.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานมีค่าความชื้นต่ำกว่า อยู่ในช่วง 27.7-28.3 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของประเทศไทย (มอก. 2720-2559) ได้กำหนดว่าค่าความชื้นต้องไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตที่ใช้ทั้งกาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานยังคงสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจส่งผลให้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ลดลง รวมถึงอาจทำให้เกิดการเกิดควันที่มากขึ้นระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้น เพื่อให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความชื้นที่อยู่ในระดับมาตรฐานอาจปรับปรุงกระบวนการลดความชื้น เช่น การอบแห้งเชื้อเพลิงก่อนการอัดแท่ง [6]



ภาพที่ 3 ความชื้นของกระจุตที่มีกาวยางพาราเป็นตัวประสานและกระจุตที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

ระยะเวลาติดไฟ

จากผลการทดลองระยะติดไฟ (ภาพที่ 4) พบว่า การใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานในเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีข้อดีเด่นชัดในด้านการติดไฟที่รวดเร็ว โดยระยะเวลาการติดไฟของเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพาราอยู่ในช่วง 10.54-11.52 วินาที ซึ่งเร็วกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่มีระยะเวลาการติดไฟนานถึง 27.22-44.04 วินาที ข้อดีนี้ทำให้กาวยางพาราเหมาะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงที่ต้องการความรวดเร็วในการจุดไฟและให้พลังงานสูง อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการติดไฟนี้อาจไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความยาวนานในการเผาไหม้ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นข้อดีของแป้งมันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติในการยืดระยะเวลาการเผาไหม้ได้ดีกว่า ดังนั้น การเลือกใช้ตัวประสานจึงควรคำนึงถึงลักษณะการใช้งานที่ต้องการ ทั้งในแง่ของความรวดเร็วในการจุดไฟและความยาวนานในการเผาไหม้



ภาพที่ 4 ระยะติดไฟ

ความร้อน

จากผลการทดลองค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระดูกที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ดังตารางที่ 1 พบว่าการใช้กาวยางพาราในอัตราส่วนต่างๆ ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งมันสำปะหลัง โดยเชื้อเพลิงจากกระดูกที่มีกาวยางพาราเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 23.169-23.186 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในขณะที่เชื้อเพลิงจากกระดูกที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 17.743-17.777 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรภรณ์ และดาวิรรณ [7] ที่ได้เปรียบเทียบค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขยะเศษใบไม้ที่ใช้ตัวประสานแตกต่างกันคือ น้ำยางพาราและแป้งมันสำปะหลัง ที่พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขยะเศษใบไม้ที่ใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานมีค่าพลังงานที่สูงกว่าการใช้ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานความร้อน

ตัวอย่าง	พลังงานความร้อน (MJ/Kg)
กระจุต	16.8
กาวยางพารา	35.148
แป้งมันสำปะหลัง	14.737
50/50 กระจุตกาวยางพารา	23.169
40/60 กระจุตกาวยางพารา	23.182
30/70 กระจุตกาวยางพารา	23.186
50/50 กระจุตแป้งมันสำปะหลัง	17.743
40/60 กระจุตแป้งมันสำปะหลัง	17.764
30/70 กระจุตแป้งมันสำปะหลัง	17.777

ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานอยู่ในระดับที่สูงกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนของกาวยางพาราที่สูงถึง 35.148 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีค่าความร้อนเพียง 14.737 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าพลังงานความร้อนที่สูงสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของโพลีเมอร์ ซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้และกระบวนการย่อยสลายทางความร้อน [8] เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด (มอก. 2720-2559) ที่กำหนดให้ค่าพลังงานความร้อนไม่น้อยกว่า 16.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม พบว่าทั้งสองตัวประสานสามารถให้ค่าพลังงานความร้อนสูงกว่ามาตรฐานอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม การใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือสามารถเพิ่มค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้สูงกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทำให้กาวยางพาราเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ต้องการประสิทธิภาพการให้พลังงานสูง

แนวทางการปรับปรุงความหนาแน่นและลดความชื้น

จากผลการวิจัยข้างต้นพบว่าค่าความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อาจปรับปรุงกระบวนการในการผลิตโดยเพิ่มวัตถุดิบที่มีเส้นใยแน่น เช่น ชี้อย่อยไม้เนื้อแข็ง หรือเศษไม้ที่มีลิกนินสูง [9-11] จะได้ความหนาแน่นหลังอัดที่สูงหรืออาจปรับปรุงในขั้นตอนของการขึ้นรูป โดยการควบคุมแรงอัดและอุณหภูมิในกระบวนการขึ้นรูปซึ่งการเลือกใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีการอัดที่เหมาะสม รวมถึงการควบคุมสถานะในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง จะช่วยให้ได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีคุณภาพสูง แข็งแรง และให้ค่าความร้อนที่เหมาะสมต่อการใช้งาน [12]

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกระจุตที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน พบว่า กาวยางพารามีข้อได้เปรียบที่เด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง โดยเฉพาะในด้านการติดไฟ ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าอย่างมาก นอกจากนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพารายังมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่า ขณะที่แป้งมันสำปะหลังให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ทั้งสองชนิดยังมีค่าความหนาแน่นและค่าความชื้นที่สูงกว่ามาตรฐาน (มอก. 2720-2559) จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า สัดส่วนของกระจุต : กาวยางพารา ที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 30 : 70 โดยค่าความชื้นและความหนาแน่นที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสามารถปรับปรุง

กระบวนการผลิต เช่น การเพิ่มแรงอัด การลดความชื้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นและค่าความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามมาตรฐาน และยังคงรักษาคุณสมบัติการให้พลังงานสูงและการติดไฟได้รวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร. วิธีการเก็บเกี่ยวและอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของกระเจต [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร; 2563 [เข้าถึงเมื่อ 21 เม.ย. 2568]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.doa.go.th/plan/wp-content/uploads/2023/08/2352.5-%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B9%87%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%B8%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B9%87%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%B9%E0%B8%94.pdf>
- [2] อภิสิทธิ์ หลั่ง โส๊ะ นพตล โพชกำเนต สุปรานี วุ่นศรี และนันทิพย์ หาสิน. (2566). การพัฒนากระดากกระเจตจากเศษวัสดุเหลือใช้ในงานจักสาน. *วารสารคหเศรษฐศาสตร์*. 66(2), 48-59.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). *เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด*. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.
- [4] นิพนธ์ ต้นโพธิ์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559). ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University*. 3(6), 86-100.
- [5] ปฐมพงษ์ เทียงเพชร ราตรี บุมิ และขวัญดาว แจ่มแจ้ง. (2566). ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผลกระบก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่*. 2(1), 59-71.
- [6] พิรพัฒน์ คงภูผา อุดมศักดิ์ ตาเปี้ย และภูมิใจ สะอาดโณม. (2559). ผลของระดับอุณหภูมิในการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 10(1), 77-93.
- [7] วัชรภรณ์ ยุบลเขต และ ดาริวรรณ เศรษฐธรรม. (2560). เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากขยะเศษใบไม้ที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดและอัดด้วยมือ. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*. 17(4), 85-96.

- [8] Erika, Nakashima., Tomonaga, Ueno., Masao, Yukumoto., Kunihiro, Takeda. (2009). Scission Products and Molecular Weight Effects on the Combustion of Polyethylene. **Journal of The Society of Materials Science, Japan**. 58(1), 35-40.
- [9] ยืนนิตรา คำปิงผล ธเนศ ไชยชนะ ญัฐธนิชา สุขเกษม และชรัตน์ ธารารักษ์. (2563). การประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ปลูกกรณีศึกษาภาคเหนือของประเทศไทย. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 3(1), 32-36.
- [10] บุญยาพร แสนพรม นิกราน หอมดวง นัฐพร ไชยญาติ ธเนศ ไชยชนะ กิตติกร สาสุจิตต์ และเสมอขวัญ ตันติกุล. (2562). อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 2(2), 10-15.
- [11] จิราภรณ์ แก้วเดียว จุฑารัตน์ นวนทัด และศิรินุช จินดารักษ์. (2562). การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวา ร่วมกับขุยมะพร้าว. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 2(2), 21-27.
- [12] ภาสินี ลาตลา ญัฐภูมิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ชรัตน์ ธารารักษ์ นัฐพร ไชยญาติ และเสมอขวัญ ตันติกุล. (2562). ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 2(3), 20-25.

การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง

Experiment on the production of pyrolysis oil from plastic waste using a fixed-bed pyrolysis process

พนธกร เหลี่ยมเคลือบ¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ เสมอขวัญ ตันติกุล¹ พัชร อินธนู² และ นิกราน หอมดวง^{1*}
Phontakorn Liam-kloub¹, Kittikorn Sasujit¹, Samerkwan Tantikul¹, Patcharee Intanoo²
and Nigran Homdoun^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

² Industrial Chemistry Innovation, Faculty of Science, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

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

Abstract

The current economic growth has led to an increased consumption of resources, with plastic being one of the most widely used materials, contributing significantly to the growing problem of plastic waste accumulation in urban areas. Improper management of this waste also indirectly results in the release of greenhouse gases. This study aims to determine the process of converting polyethylene plastic waste into pyrolysis oil using a laboratory-scale fixed-bed reactor, heated by an electric coil, at reaction temperatures ranging from 500°C-700°C. The nitrogen gas flow rate was maintained at 100 l/h. The results show that the maximum yield of pyrolysis oil reached 16.54%wt at a reaction temperature of 500°C, with a solid residue of 2.85%wt, and a pyrolysis gas yield of 80.61%wt. The pyrolysis oil show that a density range of 0.65-0.75 g/cm³, pH value show in the range of 5.0-6.0, and a heating value between 52-55 MJ/kg. The findings suggest that plastic waste can be effectively converted into energy in the form of pyrolysis oil. However, further research is needed to assess the impact of using pyrolysis oil for an internal combustion engine.

Keywords: Pyrolysis oil, polyethylene, fixed bed pyrolyzer

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจส่งผลทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้น พลาสติกถือว่าเป็นวัสดุอย่างหนึ่งที่มีการใช้งานจำนวนมาก และทำให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกล้นเมือง นอกจากนั้นเมื่อนำไปจัดการอย่างไม่ถูกต้องก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการนำขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตน้ำมันไพโรไลซิส โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในห้องปฏิบัติการโดยใช้แหล่งความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาในช่วง 500-700°C อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน 100 L/h ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่ให้น้ำมันสูงสุด 16.54%wt. ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 500°C ให้ปริมาณของแข็งเท่ากับร้อยละ 2.85 โดยน้ำหนัก และได้แก๊สเชื้อเพลิงเท่ากับร้อยละ 80.61 โดยน้ำหนัก เมื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสพบว่าให้ความหนาแน่นในช่วง 0.65-0.75 g/cm³ ค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 5.0-6.0 และให้ค่าความร้อนน้ำมันในช่วง 52-55 MJ/kg จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบของน้ำมันไพโรไลซิสได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของการนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อไป

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส โพลีเอทิลีน เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

บทนำ

พลาสติกถือว่าเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีสมบัติทนทานแข็งแรง ยืดหยุ่นสูง และน้ำหนักเบา จึงนิยมนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน รวมถึงการนำไปสร้างสรรค์บรรจุภัณฑ์อื่น ๆ เช่นภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ รวมไปถึงชุดสื่อการสอนต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์ในงานก่อสร้าง เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณ 12% ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 Mt โดยมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณ 0.5 Mt/y (25%) และยังคงส่วนที่เหลืออีกประมาณ 1.5 Mt (75%) [1] ซึ่งเป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) เช่น ถ้วยร้อน ถ้วยเย็น ถ้วยหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร เป็นต้น ซึ่งถือว่ายังไม่มีมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยส่วนใหญ่จะถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2563 ได้มีการศึกษาปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่ามีขยะพลาสติกประมาณ 6,300 t/d หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 15% ของปริมาณขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับในช่วงเวลาเดียวกันในสถานการณ์ปกติ เมื่อปี 2562 ซึ่งพบว่ามีปริมาณขยะพลาสติกเฉลี่ย 2 Mt หรือประมาณ 5,500 t/d [2] ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปจัดการโดยการฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ซึ่งพบปัญหาในเรื่องของพื้นที่ฝังกลบ และการแพร่ระบาดของเชื้อโรคเนื่องจากน้ำขยะ ในส่วนของการเผาไหม้นั้นยังคงพบว่ามีปริมาณการนำไปเผาไหม้ต่ำเนื่องจากสถานีหรือโรงกำจัดขยะมีจำนวนน้อย ประกอบกับปัญหาในเรื่องการขนส่งขยะจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดเผาไหม้ อีกทั้งการเผาไหม้ยังพบปัญหาในเรื่องของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ตามมีการนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ำมันและแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงาน ซึ่งเทคโนโลยีเรียกรวมว่า กระบวนการพีจีแอล (PGL process) ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) โดยเป็นการสลายตัวทางความร้อนเพื่อให้เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะการทำปฏิกิริยาที่จำกัดปริมาณออกซิเจนและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบของแก๊สเชื้อเพลิง ของแข็ง และของเหลว [3] อย่างไรก็ตามกระบวนการที่เหมาะสมหนึ่งที่สามารถกำจัดขยะพลาสติกในแหล่งกำเนิดได้ทันที และนิยมนำ

มากได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เนื่องจากมีขั้นตอนไม่ซับซ้อน และได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบของเหลวที่สามารถนำไปจุดติดไฟได้ รวมไปถึงการสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์และมีสมบัติเติมทดแทนน้ำมันในเครื่องยนต์ขนาดเล็กได้เช่นเดียวกัน โดยให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันประมาณ 38-55%wt และก๊าซเชื้อเพลิงประมาณ 10-30%wt และส่วนเหลือเป็นของแข็ง [8]

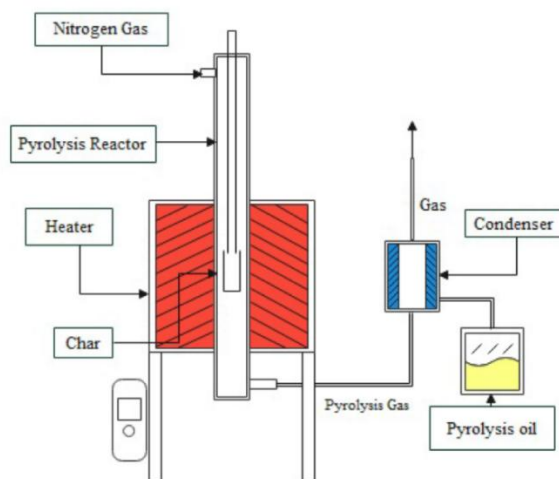
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นในการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก และการพัฒนาระดับคุณภาพของน้ำมันให้สามารถนำไปใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้พลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) โดยนำมาตัดให้มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่น $0.91-0.96 \text{ g/cm}^3$ ดังภาพที่ 1 โดยทำการทดลองในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าภายในเตาเผา โดยห้องเผาไหม้เป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ที่ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าที่ช่วงอุณหภูมิปฏิกิริยาในช่วง $500-700^\circ\text{C}$ และใช้ตัวอย่างขยะพลาสติกจำนวน 40 g พร้อมป้อนก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 100 L/h ดังภาพที่ 2 จากนั้นทำการทดลองในช่วงระยะเวลาจนเกิดการสลายตัวจนหมด ก๊าซไพโรไลซิสที่ได้จะออกผ่านไปยังชุดควบแน่นด้วยน้ำและจะได้ของเหลว ส่วนก๊าซไพโรไลซิสก็จะถูกจุดติดไฟ ภายหลังจากการทดลองแล้วก็จะทำเก็บตัวอย่างของแข็งไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อทำการสมมูลมวลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ในขณะเดียวกันน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากชุดควบแน่นนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาสมบัติได้แก่ ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง และค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์สมบัติดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน



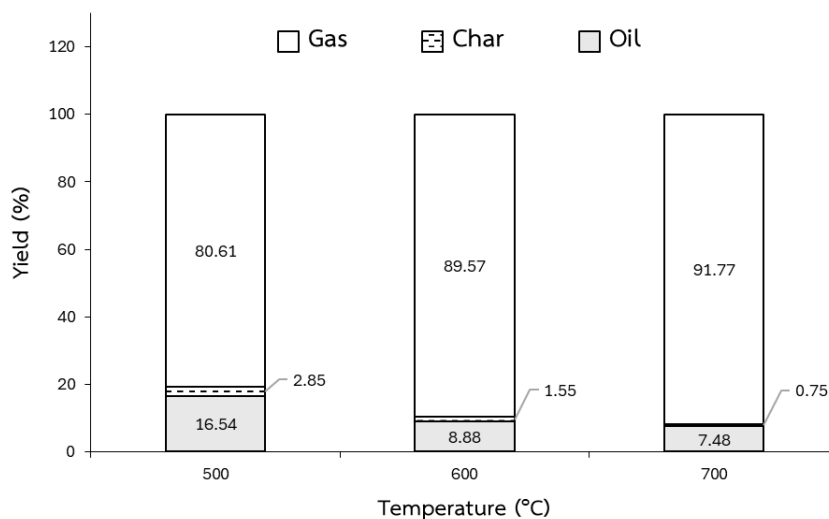
ภาพที่ 2 แผนภาพเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

อุปกรณ์	รายละเอียด
- บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter), LECO Model AC500	ใช้วิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันผ่านการจุดระเบิด (combustion vessel) ใช้ได้ทั้งเส้นลวด หรือ เส้นด้าย โดยตรวจวัดอุณหภูมิที่ความละเอียด 0.0001 °C ทุก ๆ 6 s
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical Balance), Model: ENTRIS224i-1S	ใช้ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง โดยมีค่าความละเอียด 0.1 mg ซึ่งน้ำหนักสูงสุด 220 g
- เครื่องวัดกรด-ด่าง ยี่ห้อ Horiba, Model: LAQUAtwin PH 33	ช่วงการวัด pH 0.0 ถึง 14.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

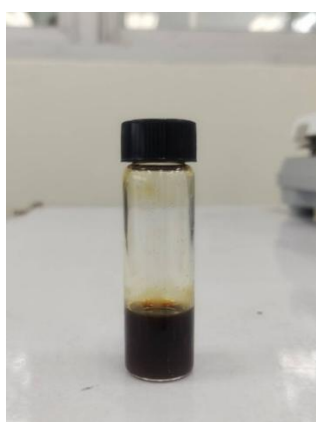
จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C 600°C และ 700°C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนและทำให้มีปริมาณก๊าซไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสลดลง โดยอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C มีปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 16.54% มีปริมาณถ่านชาร์ 2.85% และมีปริมาณแก๊ส 80.61% รองลงมาได้แก่อุณหภูมิ 600°C มีปริมาณ 8.88%, 1.55% และ 89.57% ตามลำดับ ได้ปริมาณต่ำที่สุดได้แก่อุณหภูมิ 700°C มีปริมาณ 7.48%, 0.75% และ 91.77% ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



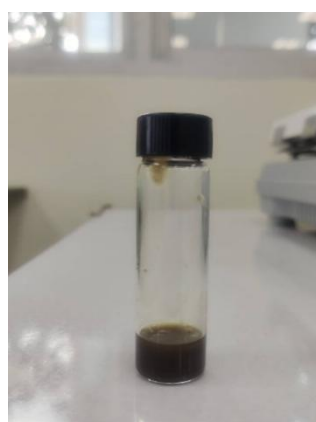
ภาพที่ 3 ร้อยละผลผลิตของของน้ำมัน ถ่านชาร์ และแก๊ส

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิส

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิสที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C เป็นสีน้ำตาลอ่อน ที่อุณหภูมิ 600°C มีสีน้ำตาลอ่อนอมเขียว และที่อุณหภูมิ 700°C เป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลต่อลักษณะของสีน้ำมันไพโรไลซิส



(ก)



(ข)



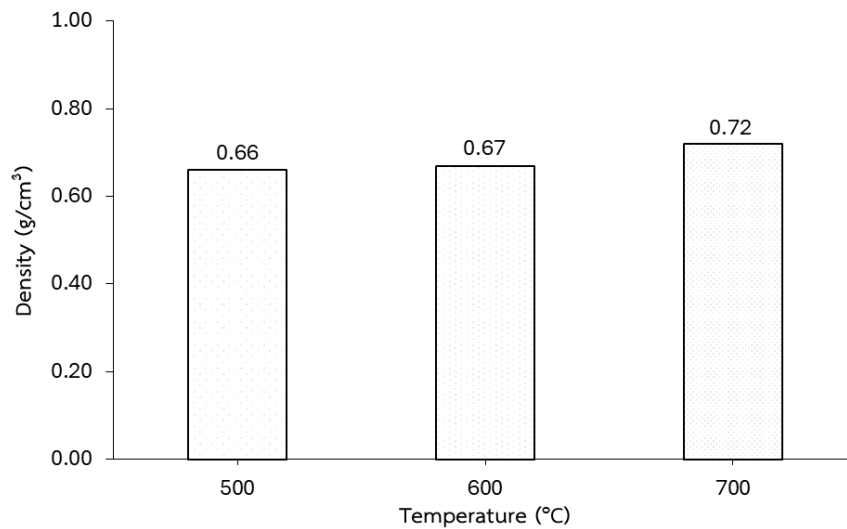
(ค)

ภาพที่ 4 สีของน้ำมันพลาสติกจากทั้ง 3 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา

(ก) อุณหภูมิ 500°C (ข) อุณหภูมิ 600°C (ค) อุณหภูมิ 700°C

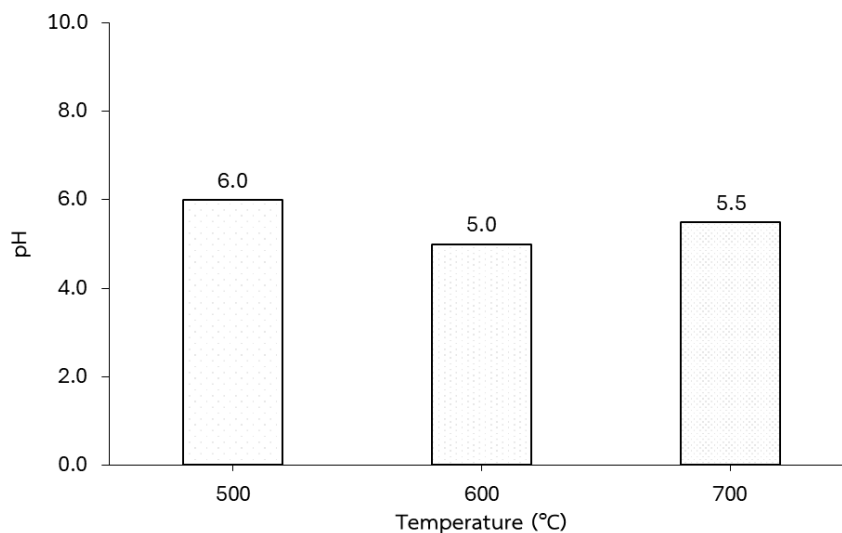
ภาพที่ 5 แสดงค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ 500°C จะให้ความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ 0.66 g/cm^3 รองลงมาที่อุณหภูมิ 600°C ให้ความหนาแน่นเท่ากับ 0.67 g/cm^3 และที่อุณหภูมิ 700°C จะให้ความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 0.72 g/cm^3 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิส

จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.87-0.95 g/cm³ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล (Bio-oil) จากกระบวนการไพโรไลซิส พบว่ามีค่าใกล้เคียงในช่วงความหนาแน่นในช่วง 0.94-1.09 g/cm³ [6]



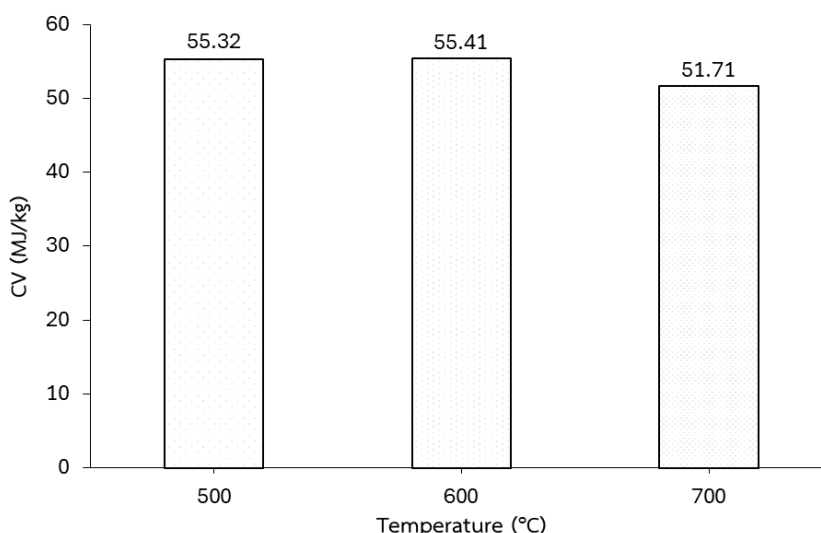
ภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

ภาพที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติความเป็นกรดต่างของน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในกรณีนี้หากมีการนำไปใช้งานก็สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดค่าความเป็นกรดก่อนนำไปใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงผสม (Blend oil) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้เช่นกัน [9] จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันไพโรไลซิสที่ทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 5.0 - 6.0 ซึ่งถือว่ามีความเป็นกรดอ่อน



ภาพที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

ภาพที่ 7 แสดงผลอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีผลต่อค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิส ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าอยู่ในช่วง 51.71 - 55.41 MJ/kg โดยมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีค่าความร้อนในช่วง 45 - 46 MJ/kg พบว่ามีค่าสูงกว่าเนื่องจากน้ำมันดีเซลที่ใช้ในประเทศไทยปัจจุบันจะมีการผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล (B10) จึงทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (Diesel Fuel)



ภาพที่ 7 ค่าความร้อนน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง สามารถผลิตน้ำมันได้โดยได้สัดส่วนน้ำมันสูงสุด 16.54% ที่อุณหภูมิ 500°C และการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันมาแวนโน้มลดลง เมื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสแล้วพบว่ามีความหนาแน่นในช่วง 0.66-0.72 g/cm³ ค่าความร้อนของน้ำมันอยู่ในช่วง 51-55 MJ/kg ซึ่งผลจากการทดลองจะนำไปใช้ในการออกแบบขยายชุดปฏิกรณ์ที่มีกำลังการผลิตสูงขึ้น ในส่วนของน้ำมันไพโรไลซินั้นก็จะทำการศึกษาและวิธีการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันเพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิต และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนให้อำนวยความสะดวกและงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2564). ข้อมูลขยะมูลฝอยชุมชน เอกสารประกอบการจัดทำรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2564. (เอกสารอัดสำเนา).
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2562. กรุงเทพมหานคร.
- [3] ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2019). การผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซลจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก และชีวมวล. UNISEARCH (Unisearch Journal), 6(3), 10-16.
- [4] นำพร ปัญญาใหญ่, ทิพาพร คำแดง, & ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2017). การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก และการประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, 1(1), 85-97.
- [5] ฉันทบูรณ์ ถาวรธรรม (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 2563(2) กรกฎาคม – ธันวาคม, 15-32
- [6] ศรยุทธ ชาญเสน, นุชิตา สุวแพทย์, & อติศักดิ์ ปัตติยะ. (2013). ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอยล์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วโดยใช้กากสับดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 32(4), 526-530.
- [7] เดช เหมือนขาว, ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มิ่งม. (2556). การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก. การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3 “ชุมชนท้องถิ่นฐานรากการพัฒนาประชาคมอาเซียน” 9-10 พฤษภาคม 2556 (502-508).
- [8] Panda, A. K., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2009). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>
- [9] G. Evans, C. Smith. (2012). 5.11 - Biomass to Liquids Technology. *Comprehensive Renewable Energy*. Elsevier Volume 5, Pages 155-204
- [10] Oasmaa A, Peacocke C. **Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide**: VTT Technical Research Centre of Finland; 2010. 134 p. <https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/publications/2010/P731.pdf>

การออกแบบและแปรรูปวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้

Design and transformation of biomass materials into biodegradable mulch products

ลักขณา พันธุ์แสนศรี¹, ทิพารัตน์ สหตรงจิตร¹ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี^{1,2*}Lukkhana Punsasensri¹, Tiparad Sahatrongjit¹ and Tammasak Punsasensri^{1,2*}¹ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่¹Maejo University Phrae Campus, Phrae² Excellence center of energy environment and smog disaster problem, Maejo University, Chiang Mai

Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Abstract

This research aims to 1. design and transform biomass materials into biodegradable mulch sheets and 2. analyze the efficiency and economic value of biodegradable mulch sheets. The research will study the design of molds and mulch sheets, material mixing ratio, physical properties, mechanical properties and economic value.

Testing of the mulch sheets revealed that the physical properties of mulch sheets with a 7:5:1 ratio (biomass: cassava starch: rubber) had a slower deterioration rate compared to those with a 7:5 ratio (biomass: cassava starch). This difference is evident in the swelling observed relative to the thickness of the mulch sheet. Furthermore, mulch sheets at the 7:5 ratio was found to be brittle and prone to breakage. Regarding mechanical properties, the 7:5:1 ratio mulch sheet demonstrated greater pressure resistance and flexibility than the 7:5 ratio sheets. In terms of deterioration, the 7:5 ratio sheets could be utilized for a maximum of 35 days before degradation, whereas the 7:5:1 ratio sheet remained functional for over 40 days. Mulch sheets with the 7:5:1 ratio is suitable for mulching applications, with a unit cost of 9.53 baht per square meter. Although this cost remains higher than that of standard plastic mulch sheets available on the market, the agricultural application of biomass-derived mulch sheets offers significant environmental benefits, including a reduction of PM2.5 emissions by 28.2 kg/year and carbon dioxide emissions by 2.69 tons/year.

Key words: Biomass, mulching, Extrusion machine

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1.ออกแบบและแปรรูปวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ และ 2.วิเคราะห์ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบแผ่นคลุมดิน อัตราส่วนผสมของวัสดุ คุณสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการทดสอบแผ่นคลุมดิน พบว่า คุณสมบัติเชิงกายภาพของแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 (วัสดุชีวมวล:แป้งมัน:น้ำยางพารา) จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 (วัสดุชีวมวล:แป้งมัน) พิจารณาได้จากการพองตัวตามความหนาของแผ่นคลุมดิน แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 มีความเปราะแตกหักได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติเชิงกลพบว่า แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 สามารถรับแรงกดและความยืดหยุ่นมากกว่าแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 และการเสื่อมสภาพของแผ่นคลุมดิน พบว่า แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 สามารถใช้งานได้ไม่เกิน 35 วัน ก็เสื่อมสภาพ แต่แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 สามารถใช้งานได้เกิน 40 วัน แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 เหมาะสำหรับการนำไปใช้คลุมดิน โดยมีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 9.53 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งยังมีราคาต่ำกว่าพลาสติกคลุมดินที่มีจำหน่ายทั่วไปในตลาด แต่หากนำแผ่นคลุมดินที่ผลิตจากวัสดุชีวมวลมาใช้ในการเกษตร จะสามารถลดการปล่อย PM2.5 ได้ 28.2 กิโลกรัมต่อปี และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2.69 ตันต่อปี

คำสำคัญ : ชีวมวล แผ่นคลุมดิน เครื่องอัดขึ้นรูป

บทนำ

ปัจจุบันได้มีขยะพลาสติกจำนวนมากตกค้างในระบบนิเวศและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยไม่มีวิธีการกำจัดที่เหมาะสม ซึ่งมีขยะพลาสติกประมาณ 79% ของขยะพลาสติกทั้งหมดถูกฝังกลบในหลุมฝังกลบ [1] ขยะพลาสติกมีความทนทานและความต้านทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพที่สูงทำให้พลาสติกคงอยู่ในสิ่งแวดล้อม [2] เนื่องจากการย่อยสลายด้วยแสง การเสียดสีเชิงกล และกระบวนการทางชีวภาพ การใช้พลาสติกในหลายรูปแบบจนกระทั่งมันเสื่อมสลายกลายเป็น “ไมโครพลาสติก” (Microplastic) ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงอนุภาคพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มม. [3] กระจายสู่ระบบนิเวศต่างๆ รวมถึงดินเพาะปลูกทำการเกษตร โดยมีข้อมูลรายงานจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ [4] พบหลักฐานว่า ปริมาณไมโครพลาสติกในดินสูงกว่าปริมาณในมหาสมุทร โดยการตกค้างของมลภาวะดังกล่าว เกิดจากปริมาณพลาสติกมหาศาลที่ไม่ได้รับการจัดการถูกต้องในระบบเกษตรกรรมและอาหาร โดยผู้เชี่ยวชาญประมาณการว่า มีการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมากถึง 12.5 ล้านตัน ในการทำการเกษตรและปศุสัตว์ทั่วโลก อย่างไรก็ตาม มีการใช้พลาสติกคลุมดินอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่ถูกใช้เพียงครั้งเดียว และมีการกำจัดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งการฝัง การไถกลบ และการเผาทำให้เกิดปัญหามลภาวะจากไมโครพลาสติกในดินรุนแรงยิ่งขึ้น โดยมีการคาดการณ์ว่า ภูมิภาคเอเชียมีการใช้พลาสติกในระบบอาหารและการเกษตรสูงที่สุด คิดเป็นสัดส่วนประมาณครึ่งหนึ่งของพลาสติกทั้งหมด และความต้องการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทหลัก ๆ เช่น เพื่อใช้ทำเรือนกระจกหรือใช้คลุมดิน และฟิล์มกันหญ้า จะเพิ่มขึ้น 50% ภายในปี 2030 ทั่วโลก

และปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นควันในประเทศไทยที่มีต้นตอปัญหาจากหลายสาเหตุ โดยได้ส่งผลกระทบต่อในวงกว้างมากขึ้นเรื่อย ๆ ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ ของทุกปี โดยเฉพาะช่วงที่อากาศอุ่นขึ้น หลังจากที่มีมวลอากาศเย็นเคลื่อนออกจากประเทศไทยแล้ว และในเดือนกุมภาพันธ์ที่เป็นรอยต่อระหว่างฤดูหนาวกับฤดูร้อน ซึ่งอากาศค่อนข้างนิ่ง ตรงกับช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกร และหลังจากนั้นมักจะมีการเผาในพื้นที่เกษตร การเผาส่วนใหญ่จะเกิดในพื้นที่ข้าวนาปรังร้อยละ 57 รองลงมาเป็นการเผาในไร่อ้อยโรงงานร้อยละ 47 เผาในพื้นที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร้อยละ 35 และเผาในพื้นที่ข้าวนาปีร้อยละ 29 [5] การเผาในพื้นที่เกษตรเหล่านั้นเป็นแหล่งที่มาของฝุ่นควันที่เห็นได้ชัด โดยเฉพาะในช่วงหลังเก็บเกี่ยวและช่วงการเตรียมพื้นที่เพาะปลูก มักเห็นเปลวไฟลามในทุ่งกว้าง เกิดฝุ่นควันเขม่ากระจายทั่วบริเวณ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ [6] ระบุว่า การเผาในพื้นที่เกษตรก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM2.5 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 ของปริมาณ PM2.5 ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

อย่างไรก็ตาม แผ่นคลุมดินที่นิยมใช้กันคือพลาสติก PE โดยจะช่วยกันแสง ลดการเติบโตของวัชพืช และเก็บความชื้นในดิน แต่พลาสติก PE ก็มีข้อเสียคือย่อยสลายยากและอาจเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนดินและสิ่งแวดล้อม หากลดการใช้พลาสติกคลุมดิน จะช่วยลดมลภาวะพลาสติกตกค้างในดิน และหากนำวัสดุชีวามวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เกิดคุณค่า และเพิ่มมูลค่า จะช่วยสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนในพื้นที่ด้านการจัดการทรัพยากร ซึ่งจะเป็นการหลีกเลี่ยงและลดการเผา แนวทางที่น่าจะนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ คือ การพัฒนาแผ่นคลุมดินจากพลาสติกให้เป็นแผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ โดยการนำวัสดุชีวามวลที่ไร้ค่าให้กลายเป็นส่วนหนึ่งในแผ่นคลุมดินย่อยสลายได้ ซึ่งจะช่วยให้วัสดุชีวามวลมีมูลค่ากลายเป็นสินค้ามีราคา จะทำให้ชาวบ้านเก็บไปขาย ซึ่งจะสามารถตอบโจทย์ได้ทั้งในเรื่องลดการใช้พลาสติก ลดจำนวนเชื้อเพลิงไฟฟ้าและในพื้นที่การเกษตรลงไปได้ พร้อม ๆ กับทำให้ชุมชนมีอาชีพใหม่ และมีรายได้เพิ่มขึ้น โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ได้รวบรวมเกี่ยวกับแหล่งกำเนิด แหล่งกักเก็บ และผลกระทบทางชีวภาพของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางทะเล [7] เมื่อไม่นานมานี้มีความน่าเป็นห่วงเกี่ยวกับมลพิษจากไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางบกเพิ่มขึ้น มีรายงานว่าปริมาณไมโครพลาสติกทั้งหมดในสิ่งแวดล้อมทางบกอาจสูงกว่าในมหาสมุทรถึง 4-23 เท่า [8] ระบบนิเวศทางการเกษตรในฐานะแหล่งอาหารเป็นรากฐานของการดำรงชีวิตของมนุษย์ มีแนวโน้มที่จะถูกปนเปื้อนด้วยไมโครพลาสติก เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เข้มข้น ดังนั้น มลพิษจากไมโครพลาสติกในดินเกษตร จึงไม่ควรมองข้าม ไมโครพลาสติกในดินเกษตรอาจก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่ทราบแน่ชัดต่อระบบนิเวศทางการเกษตรและความมั่นคงทางอาหาร [9] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อทดแทนการใช้พลาสติก เช่น การศึกษาการใช้เปลือกไข่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติเทียบกับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากการค้า [10] ต่อมาได้มีการศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 60% เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [11] ในปีถัดมา มีการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวามวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน [12] การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากวัสดุชีวามวล [13] และ การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวามวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [14] ต้นปี 2567 มีการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นขึ้นไม้อัดจากวัสดุชีวามวล [15] และการศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นขึ้นไม้อัดจากวัสดุชีวามวล [16] เป็นต้น

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงคิดว่าการจะลดพลาสติกและลดวัสดุชีวมวลได้ ต้องหาแนวทางในการใช้วัสดุอื่นทดแทนพลาสติกคลุมดินและต้องสามารถย่อยสลายได้ โดยมีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อออกแบบและพัฒนาการแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ และ 2. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของต้นแบบแผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยตอบโจทย์ได้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัสดุชีวมวล ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการผลิตด้านการเกษตรที่ขึ้นอยู่กับวิถีทางธรรมชาติในการบริหารจัดการวัสดุชีวมวล แต่ไม่มีการปฏิเสธการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อเข้าสู่การทำเกษตรที่เรียกว่า “เกษตรสีเขียว (Green Agriculture)” โดยการสร้างต้นแบบแผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้จากวัสดุชีวมวล และจากข้อมูลข้างต้น มีความเป็นไปได้ในการนำวัสดุชีวมวลมาเป็นส่วนผสมในการสร้างต้นแบบแผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตพริก และยังเปิดโอกาสให้กับชุมชนนำวัสดุชีวมวลที่มีอยู่จำนวนมาก นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า ด้วยเหตุผลนี้น่าจะเป็นทางเลือกที่สามารถจัดปัญหาและข้อจำกัดดังกล่าว เนื่องจากแผ่นคลุมดินย่อยสลายได้จะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และที่สำคัญจะสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงหรือวัสดุชีวมวลในการเผาไหม้ทั้งในพื้นที่ป่าและพื้นที่การเกษตรได้ ทำให้ชุมชนมีรายได้ และสามารถนำมาใช้ทดแทนโฟมหรือพลาสติกได้อย่างถาวร ทำให้ประเทศประหยัดเงินในการกำจัดโฟมหรือพลาสติกลงได้อีกมาก เหมาะสมกับบริบทของชุมชนและการใช้งานต่อไป

วิธีการวิจัย

- ในการออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้
1. ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์ และวางแผนการทดลอง
 2. เตรียมวัสดุชีวมวล โดยใช้วัสดุชีวมวลในพื้นที่ป่าและการเกษตรที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ใบไม้แห้ง ใบและต้นข้าวโพด และตอซังฟางข้าว นำวัสดุดังกล่าวมาสับย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องสับย่อย
 3. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมดิน โดยทำการผลิตจะใช้อัตราส่วนผสมจำนวน 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 ใช้วัสดุชีวมวลสับย่อย: กาวแปงเปียก ในอัตราส่วน 7:5 โดยน้ำหนัก และสูตรที่ 2 ใช้วัสดุชีวมวลสับย่อย: กาวแปงเปียก: น้ำยางพารา ในอัตราส่วน 7:5:1 โดยน้ำหนัก สาเหตุที่เลือก 2 สูตรนี้ เนื่องจากกาวแปงเปียกสามารถช่วยให้วัสดุยึดติดกันแน่น แต่เมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงและเปราะ ส่วนน้ำยางพารามีสมบัติเชิงกลดี มีความยืดหยุ่นสูง มีความเหนียว จากนั้นผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วนดังกล่าว คลุกเคล้าให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์ ทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบเย็น ใช้ระยะเวลาในการอัดแช่เป็น 60 s แล้วแกะแม่พิมพ์ นำแผ่นคลุมดินไปตากแดด



ภาพที่ 1 เครื่องอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมดินแบบเย็น

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

4.1 การทดสอบความชื้น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อวัดความชื้นขนาด 50x50 mm. ทำการชั่งขึ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. กำหนดให้เป็นมวลของขึ้นทดสอบก่อนอบ อบขึ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ จนได้มวลคงที่ คือ มวลของขึ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งทีละห่างกัน 6 hr. ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลขึ้นทดสอบ จากนั้นปล่อยให้เย็น ชั่งขึ้นทดสอบเป็นมวลของขึ้นทดสอบหลังอบแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากมวลก่อนและหลังการอบของขึ้นทดสอบจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ m_1 = น้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนอบ (g) และ m_2 = น้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ (g)

4.2 การทดสอบความหนาแน่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบความหนาแน่นขนาด 50x50 mm. ทำการชั่งขึ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดหรือเครื่องมือที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 mm. ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. ถึง 20 mm. วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นขึ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 mm. จากนั้นใช้เวอร์เนียแคลิเปอร์หรือเครื่องมือวัดอื่นหรือเทียบเท่าอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 mm. วัดความกว้างและยาวของขึ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของขึ้นทดสอบ ประมาณ 45 องศา คำนวณหาความหนาแน่น จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3) , m = มวลของขึ้นทดสอบ (kg) และ V = ปริมาตรของขึ้นทดสอบ (m^3)

4.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ขนาด 50x50 mm. ชิ้นทดสอบที่ใช้ตรวจสอบโดยไม่ต้องปรับสภาวะแล้วนำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. น้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแล้วแช่ลงในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องโดยต้องให้ชิ้นทดสอบได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนของชิ้นทดสอบอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 mm. เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ 2 hr. และ 24 hr. เมื่อครบ 2 hr. แล้ว รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักทันที น้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 2 hr. จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ ต่ออีก 22 hr. เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำชิ้นมาชั่งน้ำหนักตามวิธีเดิม น้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักแช่น้ำ 24 hr. นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ที่ 2 hr. และ 24 hr. คำนวณได้จากสูตร

$$MA (\%) = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ MA = ค่าการดูดซึมน้ำ (%), w_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g) และ w_2 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)

4.4 การทดสอบการพองตัวตามความหนา

การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบการพองตัวตามความหนา ขนาด 50x50 mm. ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 mm. วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 mm. แล้วทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดไว้ ซึ่งเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 mm. แต่ละชิ้นต้องห่างกัน และต้องห่างจากผนังและกันภายในที่ใสไม่น้อยกว่า 10 mm. เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 hr. แล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ ปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้อีก 1 hr. แล้ว นำชิ้นทดสอบขึ้นมา วัดตามความหนาตามตำแหน่งเดิม คำนวณเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาของแผ่นทดสอบ จากสมการ

$$\text{Thickness swelling (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ t_1 = ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (mm) และ t_2 = ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (mm)

4.5 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่ 50x200 mm. วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาระบุชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม ของ 10 mm.) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 mm. ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณ 25 mm. ให้แรงกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เครื่องกดที่ใช้สามารถวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 N หรือ 5 % ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เวลาที่ใช้ตั้งแต่

เริ่มกด จนกระทั่งขึ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 s แต่ไม่มากกว่า 90 s ความเร็วในการกดประมาณ 10 mm./min. คำนวณความต้านทานแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่น จากสมการ

$$\text{ค่าความต้านทานแรงดัด (MOR) คือ } f_m = \frac{3F_{\max}l_1}{2bt^2} \quad (5)$$

เมื่อ f_m = ความต้านทานแรงดัด (MPa), $F_{\max}$ = แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ (N), l_1 = ระยะห่างของแท่นรองรับ (mm), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของขึ้นทดสอบ (mm) และ t = ความหนที่จุดกึ่งกลางขึ้นทดสอบ (mm)

$$\text{ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) คือ } E_m = \frac{l_1^3(F_2-F_1)}{4bt^3(a_1-a_2)} \quad (6)$$

เมื่อ E_m = มอดุลัสยืดหยุ่น (MPa), l_1 = ระยะห่างของแท่นรองรับ (mm), F_2-F_1 = แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงกราฟเป็นเส้นตรง (N), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของขึ้นทดสอบ (mm), t = ความหนที่จุดกึ่งกลางขึ้นทดสอบ (mm) และ a_1-a_2 = ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (mm)

5. ทดสอบการเสื่อมสภาพของแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวล โดยนำแผ่นคลุมดินที่ผลิตได้ไปทดสอบคลุมดินในแปลงปลูกพริก เพื่อทำการบันทึกลักษณะทางกายภาพ ระยะเวลาการย่อยสลาย

6. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนการผลิต

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุนโครงการ หรือหมายถึง จำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับเงินลงทุน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}} \quad (7)$$

ต้นทุนการผลิต (Cost of Production) คือค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้ง ที่เป็นตัวเงินและไม่เป็นตัวเงิน ที่ผู้ผลิตจ่ายออกไปเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้า หรือบริการที่ต้องการ

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายต่างๆ}}{\text{จำนวนการผลิตทั้งหมด}} \quad (8)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเตรียมวัสดุชีวมวล

ใบไม้แห้ง เช่น ใบยางเหียง ใบสัก ใบยางพลวง ฯลฯ ซึ่งเป็นใบเดี่ยว ใบรูปไข่ รูปหัวใจ ฐานใบรูปหัวใจ ปลายใบแหลมหรือโคนมน เส้นแขนงใบตรงและขนานกัน ขนาดของใบ 10-15 x 20-25 cm. กว้าง 20-30 cm. ฐานใบ และปลายใบกลม เนื้อใบหนา เนื้อใบสาก และมีขนสีน้ำตาลปกคลุมหนาแน่น พื้นใบจืดเป็นร่องแบบรางน้ำบริเวณเส้นแขนงใบ ใบแก่หลังใบค่อนข้างเกลี้ยง หรือมีขนกระจายอยู่ห่างๆ



ภาพที่ 2 การเตรียมใบไม้แห้ง

ใบและต้นข้าวโพด ใบของข้าวโพดเป็นใบเดี่ยวประกอบด้วย กาบใบและแผ่นใบ กาบใบจะหุ้มลำต้น ส่วนแผ่นใบแผ่กางออก มักมีลักษณะใบตั้ง แผ่นใบด้านบนมีขนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง ส่วนแผ่นใบด้านล่างจะเรียบ และมีปากใบจำนวนมาก ส่วนลำต้นข้าวโพด มีลักษณะตั้งตรง และค่อนข้างกลม ประกอบด้วยข้อและปล้อง โดยลำต้นมีความสูงตั้งแต่ 30 cm. ขึ้นไป ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 2.5-5.0 cm.



ภาพที่ 3 เตรียมใบและต้นข้าวโพด

ตอซังฟางข้าว เป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99:1 มีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชโดยเฉลี่ยประกอบด้วยไนโตรเจน 0.59% ฟอสฟอรัส 0.08% โพแทสเซียม 1.56% แคลเซียม 0.38% แมกนีเซียม 0.23% และกำมะถัน 0.08% [7] ซึ่งนับว่าเป็นค่าตัวเลขที่ค่อนข้างสูง



ภาพที่ 4 เตรียมตอซังฟางข้าว

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ จะหาความชื้น ความหนาแน่น และการพองตัวตามความหนาของแผ่นคลุมดิน เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ โดยทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

แผ่นวัสดุคลุมดิน	ความชื้น (% wb)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	การพองตัวตามความหนา (%)
สูตรที่ 1	3%	460.15	56.67%	17.39%
สูตรที่ 2	2.6%	473.21	53.33%	12.42%

หมายเหตุ : สูตรที่ 1 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน ในอัตราส่วน 7:5 โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 2 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน:ยางพารา ในอัตราส่วน 7:5:1 โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 พิจารณาได้จากการพองตัวตามความหนาของแผ่นคลุมดิน แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 มีความเปราะแตกหักได้ง่าย ดังภาพที่ 7



ก. สูตรที่ 1

ข. สูตรที่ 2

ภาพที่ 5 แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลที่ถูกตัดเป็นชิ้นทดสอบคุณสมบัติ

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล จะทำการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น โดยทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

แผ่นวัสดุคลุมดิน	ความต้านทานแรงดัด (MPa)	มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
สูตรที่ 1	10.11	4.61
สูตรที่ 2	22.58	17.08

หมายเหตุ : สูตรที่ 1 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน ในอัตราส่วน 7:5 โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 2 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน:ยางพารา ในอัตราส่วน 7:5:1 โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 มีความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงกดได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Prachoom Khamput [17] ที่พบว่าสามารถนำน้ำยางพารามาใช้เป็นสารผสมเพิ่ม เพื่อช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Premmanat Chumprom

et al. [18] ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราในแผ่นไม้อัดจากเส้นใยทางปาล์มน้ำมันเป็นการเสริมสร้างคุณสมบัติที่โดดเด่นให้กับแผ่นไม้อัดด้านการดัดโค้งงอได้ดียิ่งขึ้น



ก. เครื่อง Universal Testing Machine



ข. สูตร 1



ค. สูตร 2

ภาพที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลแผ่นคลุมดินสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

การทดสอบการเสื่อมสภาพของแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวล โดยได้นำแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลที่ผลิตนำมาคลุมดินให้กับต้นพริกในแปลงทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบการเสื่อมสภาพของแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวล

วันที่	แผ่นคลุมดิน			
	สูตรที่ 1 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน		สูตรที่ 2 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน:ยางพารา	
1				
5				
10				
15				

วันที่	แผ่นคลุมดิน			
	สูตรที่ 1 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน		สูตรที่ 2 วัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน:ยางพารา	
20				
25				
30				
35				
40				

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 เมื่อใช้คลุมดิน 10 วัน แผ่นคลุมดินจะเริ่มมีลักษณะแตกร้าวเล็กน้อย พอวันที่ 35 จะเห็นว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 แตกร้าวหมดแผ่นเป็นชิ้นเล็ก ดังนั้นแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 สามารถใช้งานได้ไม่เกิน 35 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 จะเห็นว่าในวันที่ 25 แผ่นคลุมดินจะเริ่มมีลักษณะแตกร้าวเล็กน้อย พอวันที่ 40 จะเห็นว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 การแตกร้าวขยายขึ้น แต่ยังคงเป็นแผ่นคลุมดินอยู่ และยังสามารถใช้งานได้ ดังนั้นแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 สามารถใช้งานได้เกิน 40 วัน

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวล

ในการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 เหมาะสำหรับการนำไปใช้คลุมดินมากที่สุด เมื่อคิดต้นทุนต่อหน่วยได้เท่ากับ 9.53 บาทต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4) ซึ่งยังมีราคาแพงกว่าพลาสติกคลุมดินที่มีจำหน่ายทั่วไปในตลาด โดยพลาสติกคลุมดิน มีต้นทุนต่อหน่วยประมาณ 3.45 บาทต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวล

รายการ	แผ่นคลุมดิน (7:5)	แผ่นคลุมดิน (7:5:1)
แรงงานในการผลิต (คน)	1	1
จำนวนแผ่นคลุมดินที่ได้ (ตร.ม.ต่อวัน)	60	57
ต้นทุนคงที่ (บาท)		
- เครื่องอัดขึ้นรูปพร้อมพิมพ์	45,000	45,000
ต้นทุนแปรผัน (บาท/ปี)		
- ใบไม้แห้งสับละเอียด	21,000	21,000
- แป้งมันสำปะหลัง	27,000	27,000
- แก๊สหุงต้ม	3,000	3,000
- น้ำยาล้างจาน	-	19,500
- แก๊สหุงต้ม	1,000	1,000
- แรงงาน	90,000	90,000
- ค่าซ่อมบำรุง	4,500	4,500
รวมต้นทุนแปรผัน (บาท/ปี)	143,500	163,000
ต้นทุนการผลิต (บาท/ตร.ม.)	7.97	9.53
รายได้ (บาท/ปี)	270,000	256,500
กำไรสุทธิ (บาท/ปี)	126,500	93,500
จุดคุ้มทุน (ปี)	0.36	0.48

หมายเหตุ: ผลิตแผ่นคลุมดิน 300 วัน

แผ่นคลุมดินขายตารางเมตรละ 15 บาท

วิเคราะห์การลดการปล่อยฝุ่นละออง PM 2.5

แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลสามารถช่วยลดการปล่อยฝุ่นละออง PM 2.5 ได้ 28.2 กิโลกรัมต่อปี หากได้จากการเผาวัสดุชีวมวล 1 ตัน จะปลดปล่อย PM 2.5 เท่ากับ 12.72 กิโลกรัม [3] เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{วัสดุชีวมวลที่ใช้ (kg/year)} = (\text{จำนวนวันทำงาน}) \times (\text{กำลังการผลิต (m}^2/\text{day)}) \times (\text{น้ำหนักแผ่นคลุมดิน (kg/m}^2\text{)})$$

$$\text{การปลดปล่อยฝุ่นละออง PM 2.5} = (\text{ปริมาณวัสดุชีวมวลที่ใช้ (kg/year)}) \times 12.72 \text{ kg/ton}$$

ตัวอย่าง วัสดุชีวมวลที่ใช้ (kg/year) = 300 day X 57 m²/day X 1.3 kg/m² = 2.22 ตัน.

$$\text{การปลดปล่อยฝุ่นละออง} = 2.22 \text{ ton/year} \times 12.72 \text{ kg/ton} = 28.2 \text{ kg/year}$$

วิเคราะห์การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2.52 ตันต่อปี โดยนำข้อมูลจากงานวิจัยของ สุภาพร พงศ์ธรพุกษ์ และ เสวียน เปรมประสิทธิ์ [13] มาประยุกต์เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์บอน (ton)} = \text{วัสดุชีวมวลที่ใช้ (ton)} \times \text{ปริมาณคาร์บอน (ton/rai)} / \text{ปริมาณของวัสดุชีวมวล (ton/rai)}$$

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = ปริมาณคาร์บอน (ton) X CO₂จากการเผาไหม้(ton/rai) /ปริมาณคาร์บอน (ton/rai)

ตัวอย่าง ปริมาณคาร์บอน = $2.22 \times 0.64 / 1.95 = 0.73$ ตัน

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = $0.73 \times 2.36 / 0.64 = 2.69$ ตัน

อภิปรายผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลที่อัตราส่วนวัสดุชีวมวลสับย่อย:แยมัน:ยางพารา (7:5:1) โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นคลุมดิน เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมกับการนำมาผลิตแผ่นคลุมดิน โดยมีความยืดหยุ่นและสามารถรับแรงกดได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Prachoom Khamput [17] และ Premmanat Chumprom et al. [18] ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามาใช้เป็นสารผสมเพิ่ม สามารถช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงขึ้น และเสริมสร้างคุณสมบัติที่โดดเด่นให้กับแผ่นไม้อัดด้านการตัดโค้งงอได้ดียิ่งขึ้น วัสดุชีวมวลที่ใช้ในการผลิตแผ่นคลุมดินจะต้องสับย่อยจนมีขนาดเล็กเพื่อให้สามารถผสมเข้ากันได้ดี ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ใช้เวลาเฉลี่ยในการอัดขึ้นรูปประมาณ 1.5 นาที และจำนวนแผ่นคลุมดินที่ได้มีคุณภาพ ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra et al. [19] ที่กล่าวว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการอัดขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลที่ย่อยสลายได้เมื่อนำไปใช้ในการคลุมดินในแปลงปลูกพริกของชุมชน สามารถช่วยลดการใช้พลาสติกได้

สรุปผลการวิจัย

1. การทดสอบเบื้องต้นด้านคุณสมบัติเชิงกายภาพ แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 พิจารณาได้จากการพองตัวตามความหนาของแผ่นคลุมดิน แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 มีความเปราะแตกหักได้ง่าย
2. การทดสอบด้านคุณสมบัติเชิงกล แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 สามารถรับแรงกดและมีความยืดหยุ่นมากกว่าแผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1
3. การทดสอบด้านการเสื่อมสภาพของแผ่นคลุมดิน แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 1 สามารถใช้งานได้ไม่เกิน 35 วัน ก็เสื่อมสภาพ แต่แผ่นคลุมดินในสูตรที่ 2 สามารถใช้งานได้เกิน 40 วัน
4. แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลมีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 9.53 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งยังมีราคาแพงกว่าพลาสติกคลุมดินที่มีจำหน่ายทั่วไปในตลาด
5. แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลเมื่อนำไปใช้ในการคลุมดินในแปลงปลูกพริกของชุมชน สามารถช่วยลดการใช้พลาสติกคลุมดินได้
6. แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลสามารถช่วยลดการปล่อยฝุ่นละออง (PM 2.5) ได้ 28.2 กิโลกรัมต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2.69 ตันต่อปี

7. สร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนในพื้นที่ด้านการจัดการทรัพยากร
8. สามารถพัฒนาแผนชุมชนให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานความยืดหยุ่นมากขึ้นด้วยการปรับปรุงสูตรในการผสมวัตถุดิบ และต่อ ยอดเชิงพาณิชย์ได้

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและพัฒนาการแปรรูปวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.A. Horton et al. (2017). *Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities.* Journal of Science of the Total Environment.
- [2] M. Liu et al. (2018). *Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China.* Journal of Environmental Pollution.
- [3] Y. Chen et al. (2020). *Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China.* Journal of Environmental Pollution.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action.*
- [5] Attavanich, W. and P. Pengthamkeerati. (2018). *Support to the Development and Implementation of the Thai Climate Change Policy: Experts on GHG mitigation options in the Thai Agriculture sector.* Funded by Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH under supervision of ONEP & OAE.
- [6] Pollution Control Department. (2018). *Report on the study project on the source and management guidelines for particulate matter not exceeding 2.5 microns in the Bangkok and surrounding areas.*
- [7] M. Braun et al. (2021). *Plastic in compost: prevalence and potential input into agricultural and horticultural soils.* Journal of Science of the Total Environment.

- [8] J. Yang et al. (2021). *Abundance and morphology of microplastics in an agricultural soil following long-term repeated application of pig manure*. Journal of Environmental Pollution.
- [9] N. Weithmann et al. (2018). *Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment*. Journal of Science Advances.
- [10] Rapeeporn Nongnuch, Sirilak Pruethong, and Saisamorn Lamlong. (2015). *A study of the use of eggshell as a filler in natural rubber compared to the use of calcium carbonate*. The 21st Northeastern Science and Technology Conference, February 21, 2015, at the Research Building, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University.
- [11] Sompong Phiriyayon, Kittisak Buasri, and Prayoon Surin. (2019). *A study of composite products from dried banana leaf fibers and scrap tires*. The 33rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, July 2-5, 2019, Udon Thani Province.
- [12] Paphontee Phadungkun and Tammasak Punsasensri. (2023). *Study of the optimum conditions for extruding pots from biomass materials by using hot compression method*. 16th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-16), 2 - 4 November 2023 at Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet Province.
- [13] Arnon Aotthanu and Tammasak Punsasensri. (2023). *Study of appropriate adhesive for the production of particle board from biomass*. 16th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-16), 2 - 4 November 2023 at Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet Province.
- [14] Tammasak Punsasensri, Tiparad Sahatrongjit and Lukkhana Punsasensri. (2023). *The design, construction and testing of biomass packaging compression molding machine by using solar energy*. 16th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-16), 2 - 4 November 2023 at Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet Province.
- [15] Thaksini Raksayod and Tammasak Punsasensri. (2024). *Study of physical properties and mechanical properties of particle board from biomass*. The 10th National Conference on Technology and Innovation Management NCTIM 2024, Technology and Innovation Professional Association for Local Development, 8 March 2024.
- [16] Natsay Phuakpong and Tammasak Punsasensri. (2024). *Study of testing thermal and insulating properties of particle board from biomass*. The 10th National Conference on Technology

and Innovation Management NCTIM 2024, Technology and Innovation Professional Association for Local Development, 8 March 2024.

- [17] Prachoom Khamput. (2007). *Study of Using Natural Rubber Mixed in Concrete Block*. Research and Development Journal Volume 18 No.1.
- [18] Premmanat Chumprom et al. (2023). *Plywood Sheet from Oil Palm Fibers Mixed with Natural Rubber Latex*. The 28th National Convention on Civil Engineering, May24-26, 2023, Phuket, Thailand.
- [19] Supaporn Phongthonpruk and Suwan Premprasit. (2017). *CO₂ emissions from biomass burning in the Chiangmai-Lamphun Basin Area*. KKU Science Journal, Volume 45 Number 4.
- [20] Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. and Tharanathan, R. (2005). *Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber*. 281-286.

การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

Study on the Performance of a Vertical Solar Power Generation System

ภุชณชัย ยอดอรรถัย* และ ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
Grisanachai Yotooratai* and Tanit Ruangrungruchaikul

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120

*Corresponding author: Tel.: 09-59206678. E-mail address: grisanachai.yoto@dome.tu.ac.th

Abstract

Vertical solar power generation systems are designed to maximize the efficiency of utilizing the side space of buildings, especially high-rise structures. Previous studies have shown varied results when conducted at different latitudes. This research aims to study the performance of a vertical solar power generation system at a latitude of 14 degrees north, from 22 March 2024 to 28 May 2024. The findings indicate that the seasonal north-south orbit of the sun significantly impacts the power output of vertical solar systems, particularly on the south and north sides, which produce less power when the sun is on the opposite side of the installed panels. The performance ratio study reveals that vertical solar systems oriented east and west demonstrate similarly high performance at 28.82% and 28.46%, outperforming those oriented north and south, which are 17.46% and 16.43%.

Keywords: Vertical solar cell, internet of thing, grid connected system

บทคัดย่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งคือหนึ่งในรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ด้านข้างอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยเฉพาะอาคารสูง ที่ผ่านมามีการศึกษาและได้รับผลที่ต่างกันเมื่อศึกษาที่ละจุดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยการศึกษา ณ ที่ตั้งละติจูด 14 องศาเหนือ ในช่วงวันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรด้านฝั่งตรงกันข้ามกับแผงที่ติดตั้ง ในส่วนของการศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งพบว่าระบบด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกันที่ 28.82% และ 28.46% สูงกว่าระบบด้านทิศเหนือและทิศใต้ที่มีสมรรถนะ 17.46% และ 16.43%

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย

บทนำ

กระทรวงพลังงานประเทศไทยมีนโยบายขับเคลื่อนการใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี พ.ศ.2593 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ภายในปี พ.ศ.2608 [1] เนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรได้รับรังสีดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี ซึ่งความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า [2] โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย เป็นระบบที่ใช้สำหรับพื้นที่ที่ระบบสายส่งการไฟฟ้าเข้าถึงแล้วและใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันเป็นหลัก [3] โดยเฉพาะกับอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่ามาตรฐาน ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งที่ละจุด 1 องศา จากการศึกษาพบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 25%-34% โดยทิศที่ให้สมรรถนะสูงสุดคือทิศตะวันตก แต่เมื่อละจุดพื้นที่ศึกษาเพิ่มขึ้นถึง 32 องศา ทิศได้จะให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น [4] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง [5-6]

เพื่อการประยุกต์ใช้พื้นที่ผนังด้านข้างอาคารในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ และการใช้พื้นที่ว่างให้เกิดประโยชน์ จากการศึกษาของ ศศิเทพ ศรีไชยกิจ (2557) อ้างถึงใน [7] พบว่าการเพิ่มสมรรถนะกรอบอาคารสำนักงาน ด้วยการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์บังแดดติดตั้งทำมุม 90 องศา กับพื้นราบ ผนังหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารได้ 15.65% ของการใช้งานระบบปรับอากาศเดิม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังสามารถศึกษาต่อยอดได้อีก กล่าวคือ การศึกษาดังกล่าวศึกษาเพียงทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งยังขาดการศึกษาประสิทธิภาพสำหรับทิศอื่น ๆ นอกจากนี้ตามงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ศึกษาละจุดที่แตกต่างกันและได้ผลที่แตกต่างกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก โดยติดตั้งทดสอบ ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ละจุด 14 องศาเหนือ

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

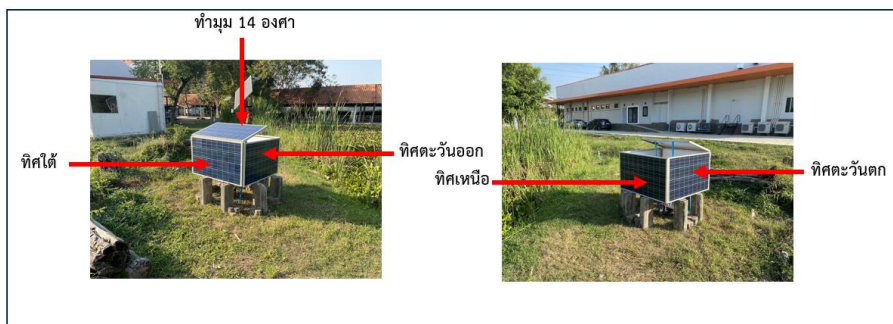
1. การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารวิจัย บทความวิชาการ ข้อมูลอินเทอร์เน็ต เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ได้

2. การออกแบบการทดลองและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

การออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง (ภาพที่ 1) มีหลักการโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งฉากกับแนวราบบนฐานรองเป็นรูปสี่เหลี่ยม ผนังหน้าแผงเซลล์ไปทาง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ทิศละ 1 ชุด พร้อมทั้งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 14 องศา กับแนวราบผนังหน้าเซลล์ไปทาง ทิศใต้ 1 ชุด โดยที่แต่ละชุดมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 100 วัตต์ เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและเครื่องแปลง

กระแสไฟฟ้า (Grid Tie Invertor) จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง (อาคารเรียน) และวัดค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์จากเครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ที่ติดตั้งใกล้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



ภาพที่ 1 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

3. การทดลองและเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทำการเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (แอมป์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง) ด้วยเซนเซอร์วัดพลังงานไฟฟ้า แบบ real-time ทุก ๆ 10 นาที โดยใช้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) พร้อมทั้งเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (วัตต์/ตารางเมตร) ทุก ๆ 1 วินาที ที่บันทึกไว้ใน Secure Digital Card ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ละติจูด 14 องศาเหนือ ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าและสมรรถภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า: โดยนำข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดวงอาทิตย์โคจรอ้อมได้ โคจรตั้งฉากพื้นที่ศึกษา และโคจรอ้อมเหนือ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$P = VI \quad (1)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

A คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

2) การวิเคราะห์สมรรถภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio): โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน International Electrotechnical

$$Y_f = E_{PVAC} / P_o \quad (2)$$

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (3)$$

$$PR = Y_f / Y_r \quad (4)$$

Commission หรือ IEC 61724 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2-4 [8]

โดยที่ PR คือ สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบต่อการกำลังการติดตั้งสูงสุด (kWh/kW_p)

Y_r คือ คี้อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (H , kWh/m²-day) ต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาตรฐาน (G , 1 kW/m²-day) [9]

E_{PVAC} คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)

P_o คือ ขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (kW_p)

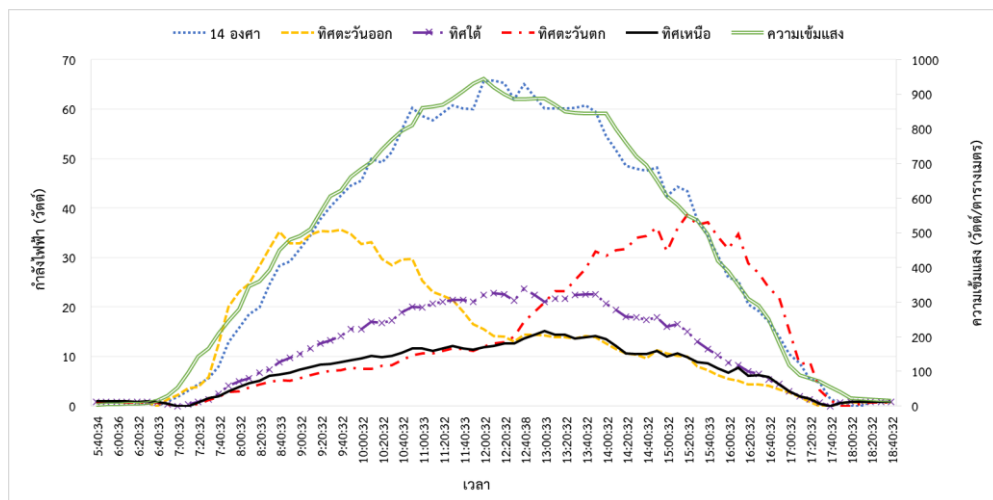
H_i คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (kWh/m²-day)

G_{STC} คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m²-day)

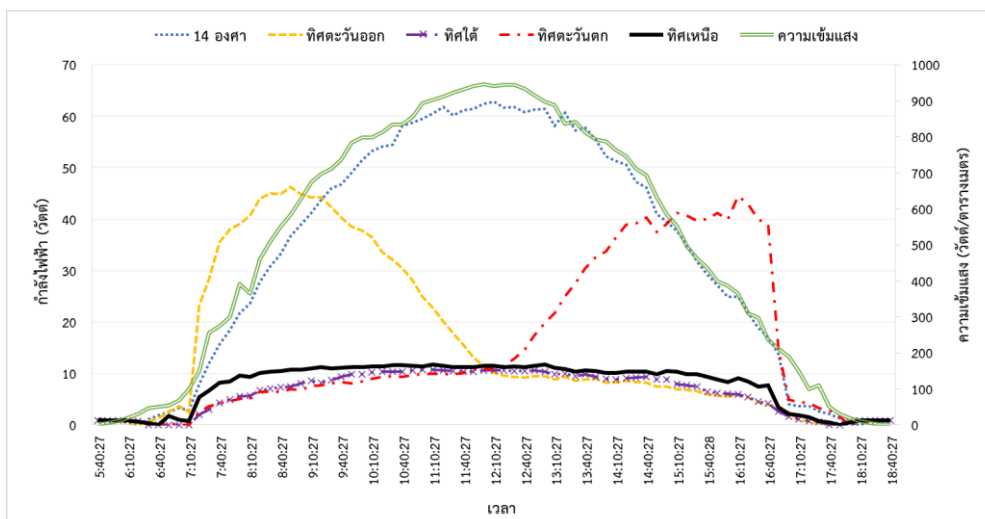
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การผลิตกำลังไฟฟ้า

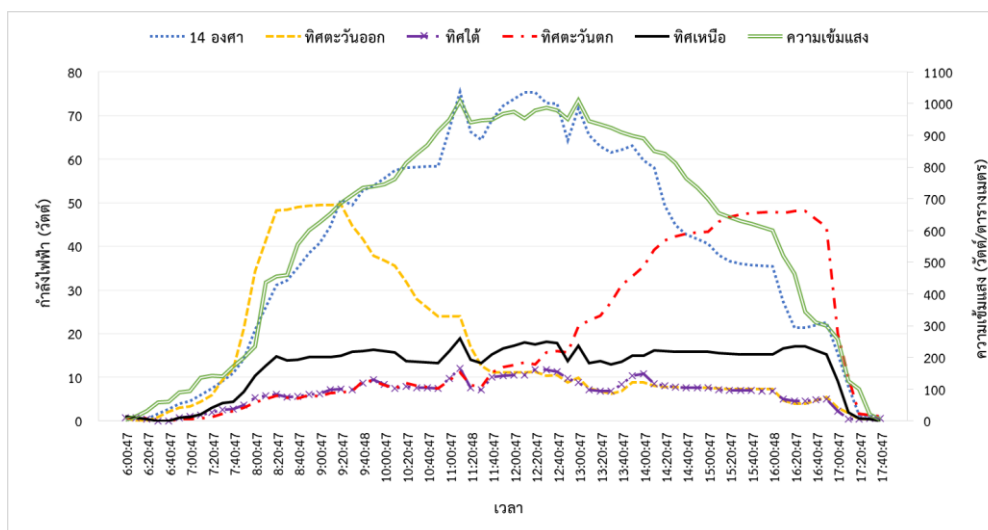
การศึกษารังนี้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมได้อยู่เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อย จึงส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ได้รับแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงดังกล่าวจึงไม่สูง ซึ่งต่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกที่รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงเช้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงบ่าย จึงผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าในช่วงดังกล่าว โดยจากผลวิเคราะห์การผลิตกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลอย่างมากต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเฉพาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งทิศเหนือและทิศใต้ มีผลแสดงดังภาพที่ 2-4 แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการศึกษานี้สามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทิศเหนือมากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อดวงอาทิตย์กลับมาโคจรอ้อมทิศใต้มากขึ้นกว่าช่วงที่ทำการทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศใต้มีแนวโน้มจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น เนื่องจากมุมที่รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบจะเข้าหามุมที่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น หรือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น ณ ช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมใต้เล็กน้อย (วันที่ 22 มีนาคม 2567)



ภาพที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์ตั้งฉากพื้นที่ศึกษา (วันที่ 30 เมษายน 2567)

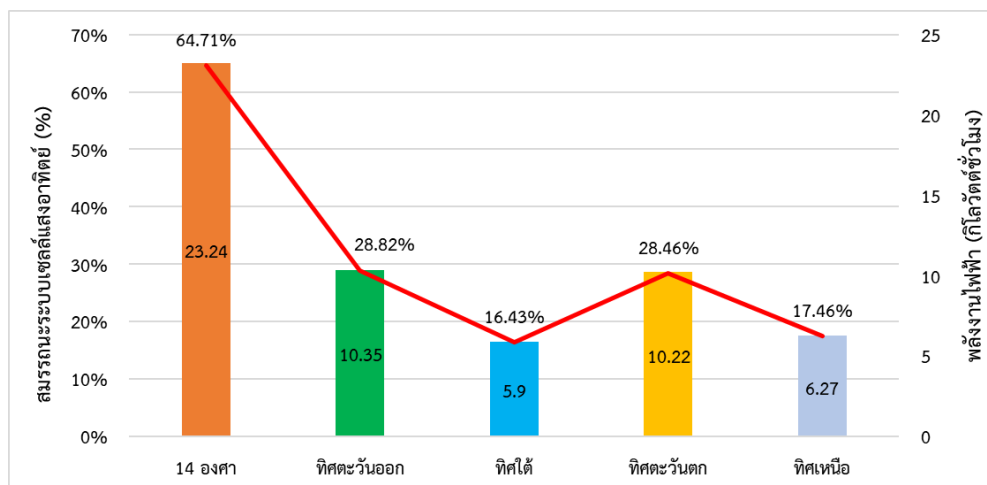


ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ช่วงดวงอาทิตย์อ้อมเหนือ (วันที่ 28 พฤษภาคม 2567)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งที่ได้จากการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตก มีสัดส่วนของสมรรถนะสูงเกือบครึ่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ติดตั้งทำมุม 14 องศาแบบแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ ดังแสดงในภาพที่ 5 สอดคล้องกับการศึกษาของ [10] แต่มีความแตกต่างในส่วนสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อยเท่านั้น ไม่ครอบคลุมระยะเวลาตลอดทั้งปีที่ดวงอาทิตย์สามารถโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ได้มากขึ้นไปอีก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสูงเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครบทั้งปี สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้มีแนวโน้มจะสูงขึ้น ส่วนในด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะไม่แตกต่างจากผลการศึกษารั้งนี้มากนัก ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทำมุม 14 องศา จะมีสมรรถนะที่ลดลง เนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะโคจรรอบจากจุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับรังสี

แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลง มีผลทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีแนวโน้มเข้าใกล้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งโดยทั่วไปมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ เท่ากับ 10.35 10.22 6.27 และ 5.9 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีสมรรถนะระบบ 28.82 % 28.46% 17.46% และ 16.43% ตามลำดับ ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทำมุม 14 องศา กับแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 23.24 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีสมรรถนะระบบ 64.71% แสดงให้เห็นว่าช่วงการโคจร อ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือ ที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้และมีสมรรถนะลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรไป ผังตรงกันข้ามแผงที่ติดตั้ง ส่วนระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีสมรรถนะสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากต้องการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านข้างอาคารในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งแบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีความเหมาะสมมากกว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันในทุก ๆ วัน ในขณะที่แผงด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในฝั่งที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถศึกษาต่อยอดได้ด้วยการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งและเก็บข้อมูลให้ครบตลอดทั้งปี ซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งครบถ้วนมากยิ่งขึ้น และควรมีการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง ก่อนที่จะนำไปติดตั้งใช้งานกับอาคารจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ สิ้นสุขประเสริฐ. (2566). นโยบายและแผนพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก <https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Renewable%20Energy%20Policy.pdf>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560) สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://oldwww.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 (พลังงานแสงอาทิตย์) สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://oldwww.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf
- [4] Pantić, L. S., Pavlović, T. M., & Milosavljević, D. D. (2015). A practical field study of performances of solar modules at various positions in Serbia. Thermal Science.
- [5] Ghazali, A., Haw, L. C., Mat, S., & Sopian, K. (2017). Performance and financial evaluation of various photovoltaic vertical facades on high-rise building in Malaysia. Energy and Buildings.
- [6] Reker, S., Schneider, J., & Gerhards, C. (2022). Integration of vertical solar power plants into a future German energy system. Smart Energy.
- [7] ศศิเทพ ศรีไชยกิจ. (2557). การเพิ่มสมรรถนะของกรอบอาคารด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [8] เอกพันธ์ ผัดศรี คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2561). “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW”, ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 3 ประจำปี 2561, วันที่ 30 สิงหาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
- [9] อีระศักดิ์ วาทยโยธา. (2020). การประเมินผลระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แบบวอเตอร์เฟสภายหลังการติดตั้งสำหรับการรักษาเสถียรภาพและลดค่าไฟฟ้า: กรณีศึกษาโรงพยาบาลทั่วไป. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] Shen, L. T., & Fan, J. (2015). Study on the performance of vertical solar PV systems in tropical region. Energy Engineering.

การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Plastic Waste Conversion into Fuel Oil through the Pyrolysis Process

ฐิติพงษ์ แสงจันทร์¹ พิสิษฐ์ มณีโชติ² ไพฑูรย์ เหล่าดี^{3,4}
สหทัย ทอสงสาร² พชรินทร์ เยาวรัตน์² และ ปรีชา ศรีประภาคาร^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

²วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่
กรุงเทพมหานคร 10600

¹Faculty of Science Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

²School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

³Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300

⁴Faculty of Engineering and Technology, SIAM Technology College, 46 Wat Tha Phra Subdistrict,
Bangkok Yai District, Bangkok 10600

*Corresponding author: Tel.: +66 82 629 8916. E-mail address: sriprapachan@gmail.com

Abstract

This research aims to investigate the effect of plastic waste cleanliness on the quantity and properties of oil produced through the pyrolysis process. The goal is to identify an improved process model that can serve as an alternative technology for managing plastic waste accumulated in landfill sites, which represents a significant environmental pollution issue and convert the resulting product, oil, into a beneficial resource. The research utilizes plastic waste from landfills as the primary material, including plastic carry bags, hot and cold bags, food wraps, snack bags, and drinking straws, which are prevalent in landfills and categorized as single-use plastics. After separating the plastic types, the research team determined the moisture content, finding it to be 5.057%. The plastic waste was then classified into three types based on cleanliness criteria as follows: Type 1 consists of uncleaned plastic waste after sorting, with a moisture content of 6.25%. Type 2 consists of plastic waste that has been shaken to remove dust and dirt before analysis, with a moisture content of 5.17%. Type 3 consists of plastic waste that has been shaken to remove dust and dirt and thoroughly wiped with a cloth, resulting in a moisture content of 4.92%.

In the pyrolysis process, combustion was maintained at 500 °C using 3 kg of plastic waste per cycle. During the process, the temperature inside the reactor and the hot gas temperature were recorded to conduct a comparative analysis of oil yield from each type of processed waste. The research results revealed that Type 1, Type 2, and Type 3 plastic waste produced oil yields of 520 ml, 1,010 ml and

1,300 ml respectively. The remaining residue weights within the reactor were 0.88 kg, 0.66 kg and 0.58 kg with combustion durations of 110 minutes, 135 minutes, and 135 minutes, respectively. The comparative analysis indicates that Type 3 plastic waste produces the highest oil yield. Further property analysis showed that the oil obtained from Type 3 plastic waste had a density of 0.776 g/cm³ a viscosity of 1.740 cSt and elemental composition of 83.57% carbon, 13.93% hydrogen, and 0.27% nitrogen. The calorific value was measured at 40.65 MJ/kg, which is 11.89% lower than that of diesel fuel. The initial properties of this oil can be used in diesel internal combustion engines. The initial production price per liter is approximately 20-25 baht per liter.

Keywords: Plastic waste, Fuel oil, Pyrolysis process, Combustion

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสะดวกของขยะพลาสติกต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมัน ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อหารูปแบบการยกระดับกระบวนการพร้อมเป็นเทคโนโลยีทางเลือกด้านการจัดการขยะ พลาสติกที่มีอยู่ตามบ่อขยะ ซึ่งเป็นปัญหาด้านมลพิษมากต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำเทคโนโลยีกระบวนการไพโรไลซิสมารประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถนำไปสู่การกำจัดขยะโดยเกิดมลพิษน้อย และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคือน้ำมันมาใช้ประโยชน์ใช้ขยะพลาสติกจากบ่อขยะเป็นวัสดุตั้งต้นในการวิจัย เช่น ถังหุงต้ม ถังร้อน ถังเย็น แร่อาหาร ถังขนม หลอดดูด เป็นต้น ซึ่งพบว่าปริมาณมากในบ่อขยะ ขยะพลาสติกเหล่านี้เป็นประเภทที่ใช้แล้วทิ้ง ซึ่งกระบวนการหลังจากการคัดแยก ประเภทของพลาสติกออกแล้ว ผู้วิจัยได้นำพลาสติกไปทำการตรวจหาค่าความชื้น ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่ามีความชื้น อยู่ที่ 5.057% ผู้วิจัยได้มีทำการจำแนกขยะออกเป็น 3 ชนิดโดยใช้เกณฑ์ตามความสะดวกดังนี้ แบบที่ 1 คือขยะพลาสติก ไม่ได้มีการทำความสะอาดหลังจากคัดแยก วัดค่าความชื้นได้ 6.25% แบบที่ 2 คือขยะพลาสติกที่นำมาสับแต่เอาเศษฝุ่นดิน ต่างๆ ออกก่อน วัดค่าความชื้นได้ 5.17% และแบบที่ 3 คือขยะพลาสติกที่นำมาสับแต่เอาเศษฝุ่นดินต่างๆ ออกและใช้ผ้า เช็ดให้สะอาด วัดค่าความชื้นได้ 4.92% งานวิจัยนี้กระบวนการไพโรไลซิสมีการควบคุมอุณหภูมิเผาไหม้ที่ 500 °C และการ ทดลองจะใช้ขยะพลาสติกปริมาณ 3 กิโลกรัม/รอบ และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในถังและอุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกจาก กระบวนการ เพื่อนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบหาปริมาณน้ำมันต่อรูปแบบขยะที่จัดการจากกระบวนการไพโรไลซิส

ผลการวิจัยพบว่า ขยะพลาสติกแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 สามารถผลิตน้ำมันได้ปริมาณ 520 ml, 1,010 ml และ 1,300 ml ตามลำดับ ปริมาณกากตะกอนที่เหลือภายในเตามีน้ำหนัก 0.88 kg, 0.66 kg และ 0.58 kg ใช้เวลาใน กระบวนการไพโรไลซิสอยู่ที่ 110 นาที 135 นาที และ 135 นาที ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ขยะ พลาสติกแบบที่ 3 ได้ผลน้ำมันมากที่สุดและผลการตรวจหาคุณสมบัติ พบว่า ขยะพลาสติกแบบที่ 3 มีค่าความหนาแน่น 0.776 g/cm³ ค่าความหนืด 1.740 cSt องค์ประกอบของธาตุ Carbon%, Hydrogen%, Nitrogen% ประกอบด้วย 83.57%, 13.93%, 0.27% ตามลำดับ และให้ค่าความร้อน 40.65 MJ/kg ให้ค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89% ทั้งนี้คุณสมบัติน้ำมันเบื้องต้นสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องยนต์ดีเซลได้ สำหรับราคาคำนวณการผลิต ต่อลิตรประมาณ 20-25 บาทต่อลิตร

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก, น้ำมันเชื้อเพลิง, กระบวนการไพโรไลซิส, การเผาไหม้

บทนำ

ในปัจจุบันมีในประเทศไทย มีรูปแบบการจัดการขยะพลาสติกหลายอย่างเช่น การรีไซเคิล การฝังกลบ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Upcycling) และ การแปรรูปเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) แต่ปริมาณขยะส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะใช้รูปแบบการจัดการแบบฝังกลบซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายสำหรับการจัดการ แต่ก็มีข้อเสียมาก โดยหลักการการจัดการแบบฝังกลบคือ ขยะจะถูกนำมาทิ้ง โกล่เกลี่ยบดให้เรียบ และกลบทับด้วยดินทำเป็นชั้นๆ เพื่อลดการแพร่กระจายของกลิ่นและพิษอื่นๆ หลุมฝังกลบขยะต้องมีการวางระบบควบคุมการรั่วไหลของน้ำเสียเพื่อป้องกันการปนเปื้อนลงสู่ดินและสายกระแสน้ำใต้ดิน ตลอดจนต้องมีระบบควบคุมการระบายก๊าซ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane, CH₄) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์เมื่อมีระยะเวลาการหมักการย่อยสลายขยะอินทรีย์เพียงพอ ปัญหาอื่นๆ จากหลุมฝังกลบขยะคือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้มีผลต่อสิ่งแวดล้อม ใช้พื้นที่มากซึ่งเมื่อปริมาณขยะมากก็จะมีแนวโน้มที่จะเต็มในระยะเวลาอันใกล้ และสุดท้ายคือมลพิษทางอากาศนอกจากกลิ่นก็จะมีฝุ่นละอองเกิดขึ้น [1]

ขยะพลาสติกปัจจุบันมีอัตราการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกร้อยละ 12 จากช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นประมาณ 2,000,000 ตันต่อปี ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียว โดยที่ขยะพลาสติกหมายถึง วัสดุพลาสติกที่ถูกทิ้งหลังจากใช้งานหรือหมดอายุการใช้งานแล้ว วัสดุเหล่านี้มักไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหามลพิษ [2] เช่น ฝุ่นร้อน ฝุ่นเย็น ฝุ่นหิว เป็นต้น พบว่า มีอัตราเท่ากับการใช้พลาสติก 0.124 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกมีให้ใช้ง่าย สะดวกสบายในการใช้งาน ใช้เสร็จสามารถทิ้งได้เลย กอปรกับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่กำลังฟื้นฟูกลับมาจาก โควิด-19 ทำให้นักท่องเที่ยวมากขึ้น มีการใช้ง่ายที่มากขึ้น ในการจัดการขยะพลาสติกนั้นกระบวนการไพโรไลซิส จะสามารถจัดการขยะได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นระบบปิด ปลอดภัยมลพิษน้อย และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันจากกระบวนการผลิตไปใช้งานต่อได้อีก [3] อีกทั้งจากรายงานการวิเคราะห์สำนักงบประมาณของรัฐสภา [4] การบริหารจัดการขยะมูลฝอยภายใต้งบประมาณแผนงานบูรณาการ ฉบับที่ 14/2560 มีการใช้งบประมาณไปกับการจัดการขยะปี พ.ศ. 2559-2561 เฉพาะด้านจัดการขยะอยู่ที่ 4,161 ล้านบาท ซึ่งถือว่าสูงมาก [5] [6]

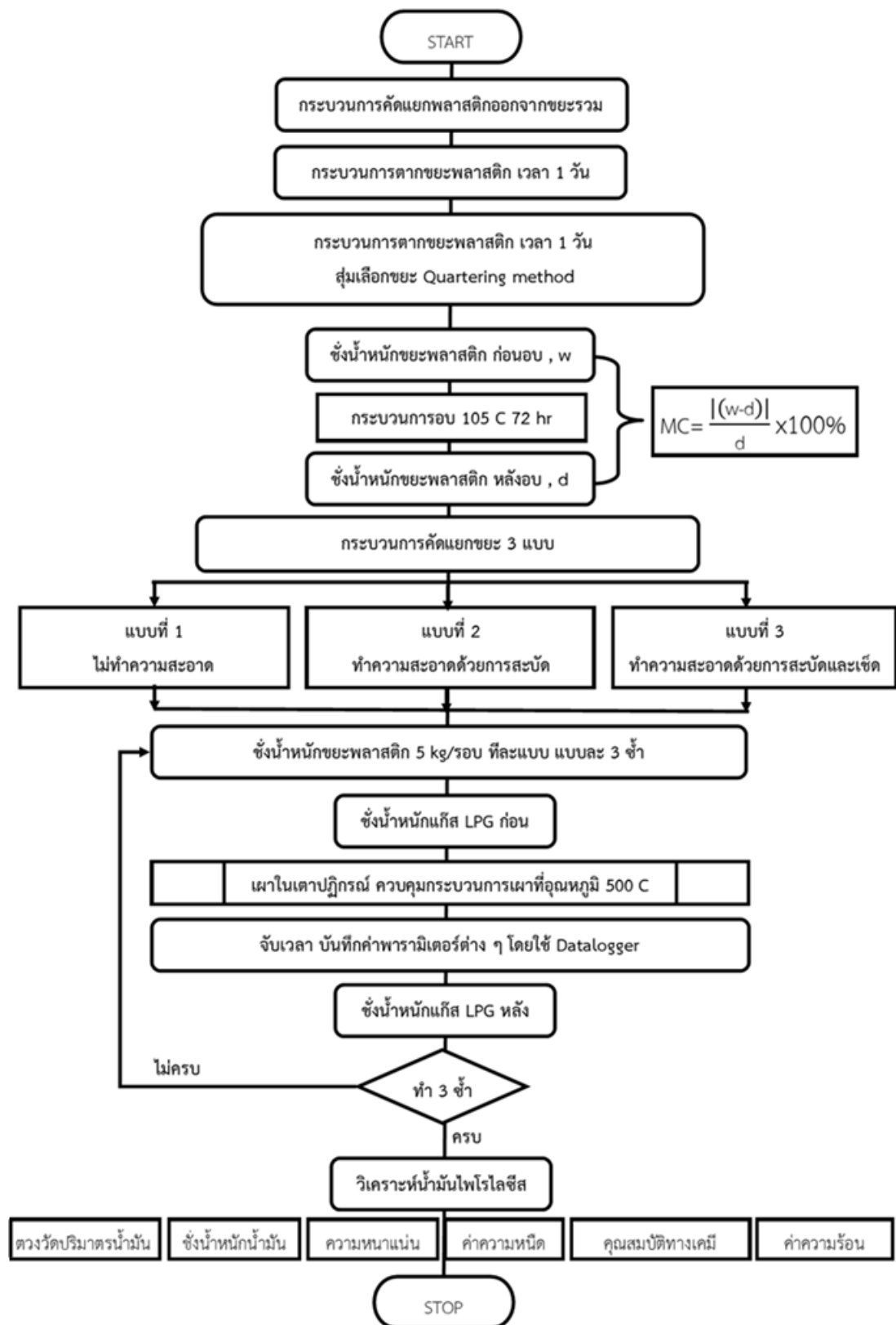
กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) เป็นกระบวนการแตกตัวของสารประกอบด้วยความร้อนปานกลางที่อุณหภูมิ 400 - 800 °C [7] ในสภาวะปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนน้อย [8] ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ของแข็ง (Char) ของเหลว (Oil) และแก๊ส (Gas) โดยสัดส่วนผลผลิตแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความเร็วในการให้ระบบ [9] โดยในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ของเหลว (น้ำมัน) มากที่สุดเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อและมุ่งเน้นเรื่องของการจัดการขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุดและไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [10] [11] อีกทั้งระบบไพโรไลซิส เป็นระบบที่มีขนาดเล็กและสามารถขยายได้ตามที่ต้องการ จึงมีความยืดหยุ่นเป็นตัวเลือกสำหรับการจัดการขยะพลาสติก ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะของทางรัฐและลดมลพิษทางอากาศได้เป็นอย่างดีโดยมีผลงานวิจัย ความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งได้ทำการวิจัยทดสอบโดยใช้ขยะจากหลุมฝังกลบน้ำหนัก 30 kg ผ่านกระบวนการคัดแยกทางกลจากศูนย์กำจัดขยะแบ่งเป็นรอบละ 5 kg ใช้หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม LPG สำหรับให้ความร้อนแก่ระบบใช้เวลาทดลอง 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในระบบประมาณ 400-500 °C พบว่า ระบบสามารถได้น้ำมัน 1.65 liter ต่อขยะ 5 kg และให้ค่าความร้อนของน้ำมันที่ 30-35 MJ/kg เมื่อคิดเป็นร้อยละเปรียบเทียบระหว่างขยะที่ใส่ในกระบวนการและน้ำมันที่ออกมาคิดเป็นร้อยละ 33 [12] ความร้อนที่ให้แก่กระบวนการไพโรไลซิส เป็นความร้อนทางอ้อมที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแล้ว ถ่ายเทไปให้กับวัตถุที่อยู่ข้างใน โดยทั่วไปอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสจะอยู่ที่ประมาณ 400 - 800 °C [6] ซึ่งภายในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ช่วงขั้นแรกเป็นการสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) และขั้นที่สอง เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถแตก ตัวได้ที่ สภาวะที่ใช้ก็

จะแตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อย ๆ [13] ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาและอุณหภูมิที่ให้ระบบทำงาน จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตถุดิบ ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถตอบความเป็นไปได้ของปัญหา แต่ในกระบวนการไม่ได้มีการล้างทำความสะอาด ทำให้ไม่สามารถรู้ถึงคุณลักษณะทางกายภาพของขยะต่อการผลิตน้ำมัน จึงเป็นที่มาของปัญหานี้ ด้งนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสะอาดของขยะพลาสติกต่อปริมาณ น้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

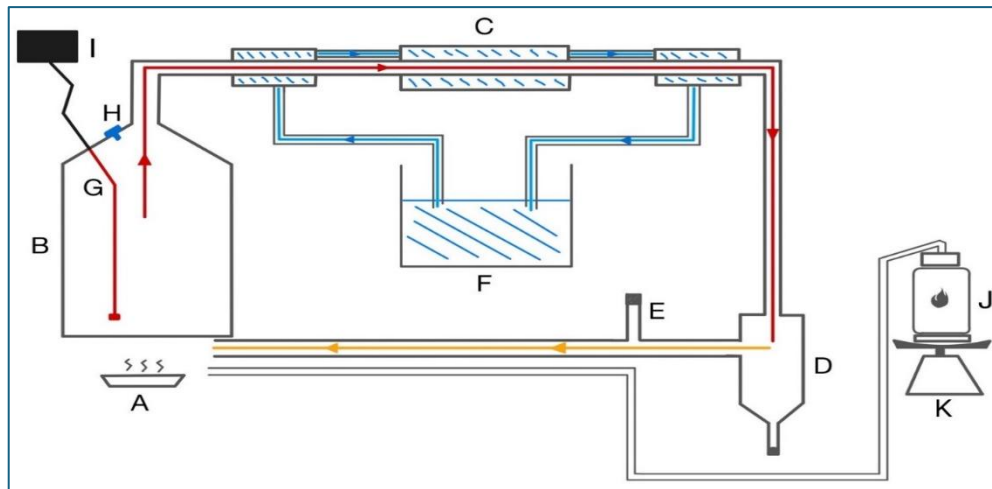
วิธีการวิจัย

สำหรับวิธีการวิจัยจำแนกออกเป็นลำดับขั้นตอนสามารถอธิบายได้เป็นตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ทำการแยกขยะพลาสติกออกจากขยะประเภทขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหารหรือสิ่งปฏิกูลจากบ่อขยะ
2. นำขยะพลาสติกผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน แล้วสุมพลาสติกเพื่อคำนวณหาค่าความชื้นขยะพลาสติก
3. ทำการแยกขยะพลาสติกที่ได้ออกเป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 คือขยะพลาสติกที่ไม่ได้ทำความสะอาดแต่อย่างใด นั่นก็คือขยะพลาสติกที่ถูกคัดแยกจากบ่อแล้วแยกออกซึ่งน้ำหนักเตรียมสำหรับทดสอบ แบบที่ 2 คือขยะพลาสติกถูกทำความสะอาดโดยวิธีการสับเพื่อกำจัดเศษดิน ผุ่น ออกจากขยะพลาสติก จำนวน 5 ครั้ง โดยแน่ใจว่าสะอาด และแบบที่ 3 คือ ขยะพลาสติกถูกทำความสะอาดโดยวิธีการสับจำนวน 5 ครั้งด้วยมือให้เศษต่างๆ ออก และใช้ผ้าชุบน้ำลูบเช็ดสิ่งสกปรกออกจำนวน 5 ครั้ง
4. นำขยะพลาสติกที่เตรียมไว้จำนวน 3 kg ต่อบรรจุการผลิต ไปเผาในเตาไพโรไลซิส ชนิด Fixed-Bed Reactors ที่มีขนาดปริมาตร 50 liters [14] และควบคุมอุณหภูมิภายในเตาที่ 500 °C
5. เก็บข้อมูลน้ำหนักของแก๊สสูงต้ม LPG ก่อนเผา และหลังเผา ด้วยตาชั่งดิจิทัล ชนิด Digital Scale 300 kg Floor Scale with Ramp
6. เก็บข้อมูล และบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ โดยใช้ Datalogger ยี่ห้อ Graphtec data logger รุ่น GL840 ทุกๆ 5 นาที
7. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเผา จะทำการชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งดิจิทัล และตวงวัดปริมาตรของน้ำมันที่ได้ โดยใช้ถ้วยตวงแก้ว ขนาดปริมาตร 1,000 cc และทำการบันทึกผล
8. ทำการทดสอบซ้ำขยะพลาสติกแต่ละแบบจำนวน 3 รอบ โดยการเปลี่ยนขยะเป็นแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
9. เตรียมตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไปตรวจวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้ ค่าความหนาแน่นใช้เครื่องมือวัดค่าความหนาแน่น Density Meter รุ่น DMA 4500 มีคุณสมบัติ Pressure 0 bar to 10 bar (0 psi to 145 psi) 0 bar to 5 bar (0 psi to 72.5 psi) ค่าความแม่นยำ (Accuracy) Density 0.00005 g/cm³ (full range), 0.00001 g/cm³ (0 g/cm³ to 1 g/cm³, 15 °C to 20 °C) ASTM standards: D4052, D5002 ค่าความหนืดใช้เครื่องมือวัดค่าความหนืด Viscometer mini รุ่น AV Series คุณสมบัติ ท่อสโตล์ Ubbelohde มีความหนืด 100 เท่า ย่านการวัดระหว่าง 0.5 mm²/s (cSt) และ 10,000 mm²/s (cSt) จาก 15 °C ถึง 100 °C ตรงตามมาตรฐาน ASTM D446/ISO 3105 การวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมส่วนประกอบทางเคมี ใช้เครื่องมือ CHN628 Leco คุณสมบัติ ช่วงความแม่นยำ (Precision Range) Carbon: 0.01 mg or 0.5%, whichever is greater RSD Hydrogen: 0.05 mg or 1.0%, whichever is greater RSD, Nitrogen, Helium Model: 0.01 mg or 0.3% RSD, whichever is greater, Nitrogen, Argon Model: 0.03 mg or 0.6%, whic RSD hever is greater ณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และตรวจวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดย ใช้เครื่องมือวัด Bomb -Calorimeter รุ่น LECO AC500 Isoperibol Stainless Steel Bomb Calorimeter ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการดำเนินงานวิจัย ดังแผนภาพ (Flow chart) ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการทดลอง



ภาพที่ 2 แสดงเส้นทางการไหลของแก๊สและจุดวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3 แสดงระบบเตาไฟโรไลซิส

จากรูปภาพที่ 2 ได้แสดงจุดของระบบเตาไฟโรไลซิสดังนี้ จุด A คือจุดที่ให้ความร้อนกับเตาปฏิกรณ์โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน จุด B คือส่วนเตาปฏิกรณ์ระบบที่ใส่ขี้เถ้าพลาสติก ที่จุด C เป็นส่วนของการลดอุณหภูมิเพื่อให้แก๊สร้อนที่ได้จากเตาปฏิกรณ์เกิดการควบแน่น และไหลลงไปที่ส่วนของจุด D ซึ่งเป็นจุดสำหรับรองรับน้ำมันที่ผลิตได้หลังจากการผ่านกระบวนการควบแน่น ส่วนในจุด E เป็นวาล์วกั้นแรงดันไหลย้อนกลับเข้าระบบเตาปฏิกรณ์ ในจุด F จะเป็นถังน้ำเย็นที่ได้มาจากน้ำประปาเพื่อใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกจากเตาปฏิกรณ์สำหรับการควบแน่น ที่จุด G เป็นจุดสำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ ส่วนจุด H จะทำการติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิแก๊สร้อน และในจุด I จะทำการต่อการบันทึกค่าอุณหภูมิด้วย Datalogger ส่วนสุดท้ายเป็นการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงแก๊ส

ต้มโดยที่จุด J จุดแสดงการตั้งถังแก๊สหุงต้ม LPG ซึ่งวางอยู่บนจุด K ที่เป็นตาชั่งน้ำหนักถังแก๊สหุงต้มขณะก่อนและหลังดำเนินการให้ความร้อนเตาปฏิกิริยา

สำหรับการคำนวณหาค่าความชื้นของขยะพลาสติกทั้ง 3 แบบที่ใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยใช้การเลือกประชากรขยะโดยการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยพลาสติก โดยการนำขยะมูลฝอยทั้งหมดมาเทกองรวมกันบนอุปกรณ์ปูพื้นที่เตรียมไว้และทำการคลุกเคล้าให้องค์ประกอบต่างๆกระจายกันอย่างทั่วถึง จากนั้นทำการกองขยะมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย แบ่งกองขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) ทำการเลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงกันข้ามกันมาเป็นตัวแทน ส่วนที่เหลือจะแยกทิ้งไป และทำแบบนี้ไปจนได้ปริมาณขยะที่ต้องการ จากนั้นนำขยะที่ได้จากกองขึ้นมาจำนวนหนึ่ง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ (w) และนำเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากจบกระบวนการก็ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ (d) อีกครั้ง และนำไปคำนวณในสมการที่ 1 เพื่อหาค่าความชื้น

$$MC = \frac{(w-d)}{d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%) w คือ น้ำหนักเริ่มต้น (kg) และ d คือ น้ำหนักสุดท้าย (kg)

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ต้นทุน (Cost) คือ มูลค่าของทรัพยากรที่องค์กรใช้ประโยชน์เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนวัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งนี้ต้นทุนก็คือ ค่าใช้จ่าย ต้นทุนการผลิต (Production costs, PC) ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Direct Materials Cost, DMC) ค่าแรงงาน (Labor costs, LC) ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Manufacturing Costs, MC) จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ (Number of Products that can be Produced, NP) สามารถคำนวณต้นทุนการผลิตได้ตามความสัมพันธ์สมการที่ (3) [15]

$$PC = \frac{DMC + LC + MC}{NP} \quad (2)$$

เมื่อ PC คือ ต้นทุนการผลิต (Baht) DMC คือ ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Baht) LC คือ ค่าแรงงาน (Baht) MC คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Baht) และ NP คือ จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ (Numbers)

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

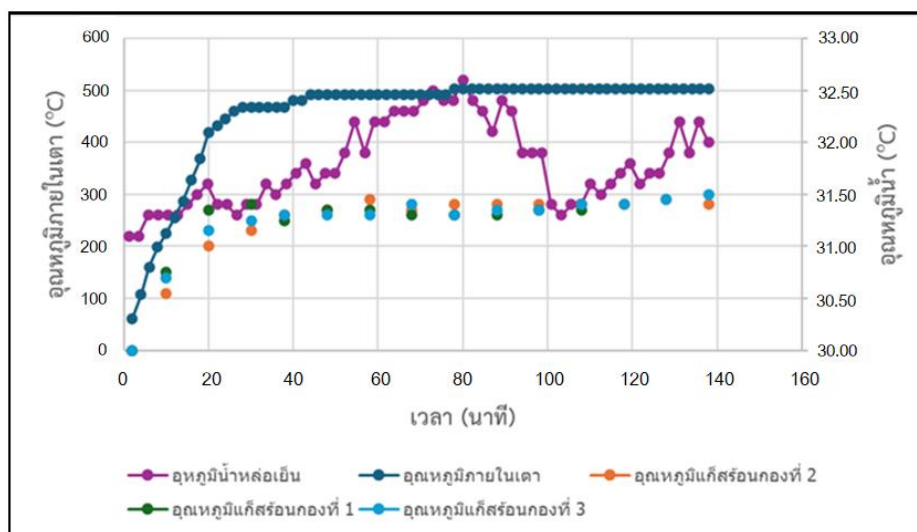
การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเป็นการวิเคราะห์ถึงระยะเวลาที่ดำเนินโครงการสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลากี่ปี เมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าต้นทุนที่จ่ายออกไป โดยที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ต้นทุนของโครงการ (Cost of project, CP) กระแสเงินสดของโครงการ (Project cash flow, PCF) สามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์สมการที่ (3) [15]

$$PP = \frac{CP}{PCF} \quad (3)$$

เมื่อ *PP* คือ ระยะเวลาคืนทุน (Year) *CP* คือ ต้นทุนของโครงการ (Baht) และ *PCF* คือ กระแสเงินสดของโครงการ (Baht)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลผลการวิจัย

ขั้นตอนการหาความชื้นของขยะ ซึ่งได้มีการจำแนกออกเป็น 3 แบบ พบว่า แบบที่ 1 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_1) มีน้ำหนัก 0.51 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_1) มีน้ำหนัก 0.48 g ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_1 เท่ากับ 6.25 % และแบบที่ 2 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_2) มีน้ำหนัก 0.61 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_2) 0.58 ได้ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_2 เท่ากับ 5.17 % และแบบที่ 3 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_3) มีน้ำหนัก 0.64 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_3) 0.61 ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_3 เท่ากับ 4.92 % พบว่า ค่าความชื้นของขยะพลาสติกแบบที่ 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาไพโรไลซิสและอุณหภูมิแก๊สร้อนจากกระบวนการ

จากภาพที่ 4 ผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาไพโรไลซิสและอุณหภูมิแก๊สร้อนจากกระบวนการพบว่า ที่ระยะเวลาการเผาในเตาปฏิกรณ์ 140 นาที เมื่อกระบวนการผ่านไป 20 นาที เตาปฏิกรณ์ เริ่มต้นเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส โดยดูจากเส้นกราฟอุณหภูมิภายในเตา เริ่มเข้าสู่อุณหภูมิ 400 °C ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมของแก๊สร้อนขยะพลาสติกทั้ง 3 แบบ ที่อุณหภูมิ 200 °C ขยะพลาสติกได้รับความร้อนจนถึงจุดสลายตัว โมเลกุลจะเริ่มแตกตัวและปล่อยแก๊สหรือสารระเหยต่าง ๆ ออกมา และเมื่อผ่านไปจนถึงเวลา 40 นาที แก๊สร้อนเริ่มมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นทำให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และกระบวนการแตกตัวและปล่อยแก๊สร้อนก็ได้รับการหล่อเย็นเพื่อควบแน่นเอาน้ำมันไปจนถึงนาทีที่ 140 ระบบเริ่มคงที่และหยุดการผลิตน้ำมันออกมา

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลปริมาตรน้ำมัน น้ำหนักของน้ำมันและกากตะกอนที่เหลืออยู่ภายในเตา

ประเภทการวัด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	เปอร์เซ็นต์ +เพิ่มขึ้น /-ลดลง*	แบบที่ 3	เปอร์เซ็นต์ +เพิ่มขึ้น /-ลดลง*
ปริมาตรน้ำมัน (ml)	520	1,010	+94.23	1,300	+150

น้ำหนักน้ำมัน (kg)	0.3	0.70	+133.33	0.96	+220
น้ำหนักกากตะกอน (kg)	0.88	0.66	-25	0.58	-34.09
สีน้ำมัน					

* เมื่อเทียบกับแบบที่ 1

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลของขยะต่อปริมาณของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น 94.23 % และ 150 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ผลของขยะต่อน้ำหนักน้ำมันไพโรไลซิส ที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น 133.33 % และ 220 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ผลของขยะต่อน้ำหนักกากตะกอนน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่า ลดลง 25 % และ 34.09 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลโดยตรงที่เกิดจากการล้างทำความสะอาด และ ผลของขยะต่อลักษณะทางกายภาพด้านสีของน้ำมัน พบว่าทั้งสามแบบนี้ มีลักษณะทางกายภาพด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เห็นได้ชัดคือเป็นสีดำเป็นฐานสี และมีตะกอนอยู่ด้านล่างขวดเป็นสีดำขุ่นๆ

ตารางที่ 3 นำน้ำมันที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกไปทำการตรวจสอบคุณภาพคุณสมบัติน้ำมัน โดยหาค่าความหนืด ความหนาแน่น คุณสมบัติทางเคมี และค่าความร้อนที่ได้จากน้ำมัน

คุณสมบัติ	น้ำมันจากการทดลอง	น้ำมันดีเซล มาตรฐาน	อ้างอิง
ความหนืด (centistoke หรือ cSt)	1.74000	2.0 - 4.5	[16] [18]
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.77632	0.8200	[17] [18]
ค่าความร้อน (MJ/kg)	40.6542	45.50	[18] [20]
องค์ประกอบของธาตุ (%)			
คาร์บอน (Carbon)	83.5720	84 - 87	[17] [19]
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	13.9270	14	[16] [20]
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.27459	0.1	[18] [19]

หมายเหตุ: ค่าความหนืดและความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนใช้ LECO AC500 Bomb Calorimeter ในการทดสอบ ค่าความหนืดใช้ cannon mini AV ในการวัด ค่าความหนืดใช้ เครื่อง DMA 4500 Density Meter ในการวัด ค่าองค์ประกอบของธาตุ ใช้ CHN 628 Leco ในการวัด

จากตารางที่ 3 น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 3 พบว่า ค่าความหนืด และ ค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 2.4 % และ 6.1 % ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) และ ไนโตรเจน (Nitrogen) พบว่า 83.57 % 13.93 % และ 0.27 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับกลุ่มน้ำมันดีเซล และเมื่อวัดค่าความร้อน 40.6542 MJ/kg ให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 5.5 MJ/kg ให้ค่าความร้อนได้น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89 %

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลงานวิจัยตามจุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาความสะอาดของขยะพลาสติกต่อปริมาณน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยการแบ่งจำแนกขยะเป็น 3 แบบนั้น พบว่าสาระสำคัญของการทำความสะอาดมีผลโดยตรงต่อกระบวนการจัดการด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จะเห็นได้ว่าน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งมีการทำความสะอาดแบบที่ 3 เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด โดยให้ปริมาตรของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น 150 % น้ำหนักของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น 220 % หนักกากตะกอนน้ำมันไพโรไลซิส ลดลง 34.09 % มีลักษณะทางกายภาพด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมันดีเซล เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน มีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89 % ส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่เมื่อมองในแง่ของการจัดการสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าการใช้กระบวนการไพโรไลซิสสามารถนำมาเป็นทางเลือกในแก้ไขปัญหาการจัดการขยะพลาสติกได้ เพียงแต่ต้องมีระบบการทำความสะอาดเพิ่มขึ้น เพื่อยกระดับคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสให้เทียบเคียงน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจจะต้องวิเคราะห์ด้านการลงทุนในแต่ละกระบวนการต่อไป ประเด็นสำหรับของกระบวนการไพโรไลซิสจำเป็นต้องใช้แหล่งความร้อนทั้งนี้สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลและออกแบบเตาที่ใช้กับน้ำมันเครื่องเก่าที่ไม่ใช้แล้วก็จะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงทางเลือกที่ช่วยให้ประหยัดและลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อำนวยความสะดวก อนุเคราะห์เครื่องมือวัดและสถานที่ทดสอบ ลำดับถัดมาขอบคุณสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี สุดท้ายขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] วพรรรัตน์ เพชรภักดี, ฤชญา จันทระเสนา. (2551). การรีไซเคิลขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน. สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- [2] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- [3] ทศนธร ภูมิยุทธ์. (2565). ขยะพลาสติก.สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [4] การบริหารจัดการขยะมูลฝอย ภายใต้งบประมาณแผนงานบูรณาการ.สำนักงานงบประมาณรัฐสภา. ฉบับ 14/2560
- [5] แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ. (2564). กรุงเทพฯ.กรมควบคุมมลพิษ
- [6] เดช เหมือนขาว, ยงยุทธ ดุลยกุล, ชัยยุทธ มีงาม. (2556). การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก.การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน, 2556(3), pp502-508
- [7] โชคชัย เหมือนมาศ, รวมพร นิคม. (2561). การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (รายงานการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [8] วิจิตรตัน พิชพัฒนวงศ์สกุล. (2558). อุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันจากขยะพลาสติกขูดน้ำมันเครื่องประเภทพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(รายงานผลวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [9] ยัวร์ตัน เงินเย็น. เครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก: เทคโนโลยี มข. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- [10] ฉันทบูรณ์ ถาวรรัตน์. (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. อดิเรก:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
- [11] นภาพร ปัญญาใหญ่, ทิพาพร คำแดง, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2560). การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก
และการประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก.วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม,1, pp85-97.
- [12] มหิดล สุริยพรรณ, ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ชร, สิริชัย จิรวงศ์สุวรรณ, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ, ความ
เป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน.
นครปฐม:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
- [13] จุฑามาศ ไชยวงศ์, สุธาสนี แดงประดิษฐ์, สมมาส แก้วล้วน, และ สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว. การไพโรไลซิสของ
พลาสติกไร้เคลือบระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทร
วิโรฒ, 2, pp21-31
- [14] วิรุณ โมนะตระกูล, รัชพล สันติวรการ, พงษ์ศิริพันธ์ ลิ้มปิ่นนันทน์. (2562). โครงการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงโดย
กระบวนการไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกชุมชน (รายงานการวิจัย). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏ
มหาสารคาม.
- [15] อินทิรา สุวรรณดี, ภัทรวดี พิมพ์โกทา, พรทิพา หมดา, สุพรรณษา อามาศย์สมบัติ, อัจฉราภรณ์ บุตรภักดี และหทัย
การญจน์ เวียงหลวง. (2563). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตปลาร้าแปรรูป: กรณีศึกษา กลุ่ม
แจ่วบอง OTOP 3 ดาว บ้านหนองแก อำเภอสว่างแดนดิน อำเภอนบพิตำ จังหวัดอุดรธานี. (มหาวิทยาลัย
ราชภัฏอุดรธานี).
- [16] Wongkhorsub, C., & Chindaprasert, N. (2013). A comparison of the use of pyrolysis oils in
diesel engine. Energy and Power Engineering, 5(4), 350-355.
- [17] Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Combustion, performance and emission analysis of a
DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. Fuel Processing Technology, 157, 108-115.
- [18] Pakiya Pradeep, A., & Gowthaman, S. (2022). Combustion and emission characteristics of
diesel engine fuelled with waste plastic oil-a review. International Journal of Ambient
Energy, 43(1), 1269-1287.
- [19] Kumar, M., & Mallikarjuna, J. M. (2019, November). Experimental investigation on a
compression ignition engine with blends of plastic oil and diesel as fuel. In *National
Conference on IC Engines and Combustion* (pp. 85-97). Singapore: Springer Singapore.
- [20] Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Experimental evaluation of a diesel engine fuelled by
pyrolysis oils produced from low-density polyethylene and ethylene-vinyl acetate
plastics. Fuel Processing Technology, 161, 125-131.

การศึกษาชีวมวลทางเลือกต่อการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย

จากเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049

Investigation of Alternative Biomass for Carbon Dioxide Capture and Storage from Low-Speed Diesel Engine Exhaust Gas Using *Chlorella* sp. AARL G049

วาสนา คำโสภาส^{1*} วิชุดา พุ่มพวง¹ ปัญจพร หนาดคำ¹ สุรินทร์ คั่นใจ¹ ธรณิศวรรค์ ดีทยาหา² อรรถกร อาสนคำ²
และทณงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์²

¹สถาบันวิจัยพหุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Abstract

This research studied the capture and storage of carbon dioxide (CO₂) through the cultivation of *Chlorella* sp. AARL G049 microalgae at the laboratory scale. The study examined the effects of CO₂ concentration in the cultivation system at 3 levels: 0% (100% air), 3% (CO₂ from a gas tank), and 3% (CO₂ from diesel engine exhaust gas), as well as gas flow rates of 0.25, 0.50, and 0.75 vvm on the growth rate of the algae. Experiments were conducted between 08:00 and 16:00 for a period of 4 days. The results showed that the number of algal cells increased over the cultivation period, and higher CO₂ concentrations and flow rates led to greater algal cell growth. The average dry weight of algae cultivated at CO₂ concentrations of 0% (100% air), 3% (from the gas tank), and 3% (from diesel exhaust gas) ranged from 0.27–0.35, 0.47–0.65, and 0.31–0.49 grams per liter, respectively. The biomass productivity and CO₂ capture rates for cultivation at 3% CO₂ (from the gas tank) and 3% CO₂ (from diesel exhaust gas) were 0.0875–0.1325 and 0.0625–0.1075 grams per liter per day, and 0.0839–0.1270 and 0.0599–0.1031 grams of CO₂ per liter per day, respectively.

Additionally, the algae produced from cultivation showed potential for lipid extraction, yielding 0.0025–0.0636 grams per liter, which can be further processed into biodiesel. Therefore, promoting large-scale algal cultivation could not only help reduce atmospheric CO₂ but also serve as a source for renewable fuel production.

Keywords: Carbon capture and storage, Carbon dioxide, Exhaust gas, Low-Speed Diesel Engine, Algae

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดักจับและกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ด้วยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาความเข้มข้นของแก๊ส CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงที่ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ จากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล) และอัตราการไหลแก๊สที่ 0.25, 0.50 และ 0.75 vvm ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทดสอบในช่วงเวลา 08.00-16.00 น. เป็นระยะเวลา 4 วัน ผลการศึกษา พบว่า จำนวนเซลล์สาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นและอัตราการไหลของแก๊ส CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงมีค่าสูงขึ้น โดยน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้จาก

การเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น CO₂ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.27-0.35, 0.47-0.65 และ 0.31-0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับอัตราการผลิตสาหร่าย และ อัตราการดักจับ CO₂ กรณีการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะให้ค่าอยู่ในช่วง 0.0875-0.1325, 0.0625-0.1075 กรัมต่อลิตรต่อวัน และ 0.0839-0.1270, 0.0599-0.1031 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับสาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีศักยภาพในการสกัดลิพิดได้ 0.0025-0.0636 กรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ต่อไป ดังนั้น หากมีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรม นอกจากจะเป็นวิธีการที่ลด CO₂ สู่สิ่งแวดล้อม ยังสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: การดักจับและกักเก็บ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ไอเสีย, เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ, สาหร่าย

บทนำ

สาหร่ายเป็นชีวมวลทางเลือกในอีกรูปแบบหนึ่ง ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับอนาคตได้ เนื่องจากสาหร่ายสามารถแบ่งตัวได้เร็ว และมีสัดส่วนที่เป็นน้ำมันในปริมาณมากเมื่อเทียบกับชีวมวลรูปแบบอื่น ๆ [1] สาหร่ายจะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และพลังงานแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างสารทางชีวภาพสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่หลากหลายลักษณะและใช้น้ำเพียงเล็กน้อย ภายในของเซลล์สาหร่าย จะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์จำพวกไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน นอกจากนี้ สาหร่ายไม่มีเซลล์ulos หรือลิกนิน เหมือนกับวัตถุดิบที่ได้จากพืชชนิดอื่น ๆ ดังนั้นจึงลดความยุ่งยากในกระบวนการแตกตัวของผนังเซลล์สาหร่าย เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลว [2, 3] องค์ประกอบของชีวมวลสาหร่าย สามารถแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของชีวมวลสาหร่ายชนิดต่างๆ (% Dry Matter Basis) [1]

Biomass	Carbohydrates	Proteins	Lipids
<i>Chlorella vulgaris</i>	21.0	15.67	41.51
<i>Chlorella sorokiniana</i>	35.7	9.9	18.81
<i>Nannochloropsis oceanica</i>	22.7	24.8	19.1
<i>Scenedesmus obliquus</i>	13.4	4.66	30.38
<i>Dunaliella salina</i>	32.0	57	9
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	21.0-52.0	8.0-18.0	16.0-40.0
<i>Chlorococum humicola</i>	32.5	-	-
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	22.6	64.7	12.6
<i>Spirogyra</i> sp.	33.0-64.0	6.0-20.0	11.0-21.0
<i>Porphyridium cruentum</i>	40.0-57.0	28.0-39.0	9.0-14.0
<i>Dunaliella salina</i>	85.6	8.46	11.47

จากตารางที่ 1 สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบของ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีนที่แตกต่างกันออกไป และจะเห็นว่า สาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* มีองค์ประกอบที่เป็นไขมัน มากกว่า 40 % โดยน้ำหนัก มีรายงานการวิจัยระบุว่า สาหร่ายขนาดเล็กสามารถจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีการป้อน CO₂ ความเข้มข้นสูง และสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. AARL G011 จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด [4] นอกจากนี้ ยังมีรายงานการวิจัยอื่น ๆ ที่สนับสนุนว่า

Chlorella vulgaris และสาหร่ายสายพันธุ์ใกล้เคียงสามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ CO₂ ความเข้มข้นสูงถึง 10–15% โดยไม่แสดงความเป็นพิษ และยังสามารถเพิ่มผลผลิตชีวมวลได้อย่างมีนัยสำคัญ [5-7] อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่รายงานว่า สาหร่ายกลุ่มนี้มีศักยภาพในการดักจับ CO₂ จากแหล่งที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไอเสียจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน หรือจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ซึ่งไอเสียเหล่านี้สามารถมีความเข้มข้นของ CO₂ อยู่ในช่วง 5–15% โดยปริมาตร [8-11] จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่า การนำไอเสียจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ถือเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปล่อย CO₂ หรือก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งสาหร่ายที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านโภชนาการหรือเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานทางเลือก อย่างไรก็ตาม แหล่งไอเสียที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายส่วนใหญ่มักมาจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม เครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นก๊าซผสมที่จำลองสัดส่วนของไอเสีย ขณะที่การใช้ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำยังไม่มีรายงานการศึกษาอย่างชัดเจน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กภายใต้สภาวะที่มี CO₂ ความเข้มข้นสูง โดยใช้แหล่งก๊าซจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ โดยจะพิจารณาผลของอัตราการป้อน และความเข้มข้นของ CO₂ ที่ได้จากไอเสีย ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย ความสามารถในการดักจับ CO₂ และกักเก็บ CO₂ ในรูปของสาหร่าย และประเมินศักยภาพในการสกัดลิพิดจากสาหร่ายเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานต่อไป

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายในขวดแก้ว ปริมาณ 10 ลิตร จำนวน 6 ขวด ในการเพาะเลี้ยงจะใช้น้ำเลี้ยงสาหร่ายสูตรอาหารของ Jaworski's medium [12] มีการควบคุมอัตราการป้อน CO₂ ให้แก่ระบบชุดเพาะเลี้ยงผ่านหัวจ่ายแก๊ส

ในการศึกษาจะใช้ CO₂ ความเข้มข้น 99.95% ที่บรรจุในถัง ถูกป้อนมาผสมกับอากาศ และควบคุมความเข้มข้นของ CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงให้มีค่าเท่ากับ 0 (อากาศ 100%) และ 3% เพื่อนำไปเทียบผลกับการใช้ CO₂ ที่ได้จากแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm ภาระโหลด 30 % ซึ่งควบคุมความเข้มข้นที่ 3 % เช่นกัน (ไอเสียจากเครื่องยนต์ จะถูกนำมาผ่านชุดลดอุณหภูมิไอเสีย จากอุณหภูมิ 70 °C บริเวณทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ณ จุด A ตามภาพที่ 3 (ก) ลดลงเหลือ 35 °C บริเวณทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ณ จุด B จากนั้นก๊าซไอเสียจะถูกป้อนเข้าสู่ชุดกรองเขม่า ก่อนจ่ายเข้าสู่ชุดควบคุมเงื่อนไข (ที่มีเครื่องวัดอัตราการไหลและความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ตำแหน่ง C) และชุดเพาะเลี้ยงต่อไป) ในการทดสอบได้ทำการควบคุมอัตราการไหลแก๊สที่ 0.25 ,0.50 และ 0.75 vvm (ปริมาตรแก๊สต่อปริมาตรน้ำต่อนาที) ทำการทดสอบในช่วงเวลา 08.00-16.00 น. เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 4 วัน ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีค่าค่อนข้างคงที่ จากนั้น ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าการเจริญเติบโตโดยการนับเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ร่วมกับ Haemocytometer, ค่าความหนาแน่นชีวมวล, ค่าการดูดกลืนแสง (Optical density, OD), และวิเคราะห์หาอัตราการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยพิจารณาได้จากสมการต่อไปนี้ [13]

$$p = \frac{X_t - X_0}{t - t_0} \quad (1)$$

เมื่อ p = อัตราการผลิตสาหร่าย (g/L·d)
 X_t = ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย (g/L) ที่เวลาการเพาะเลี้ยง t

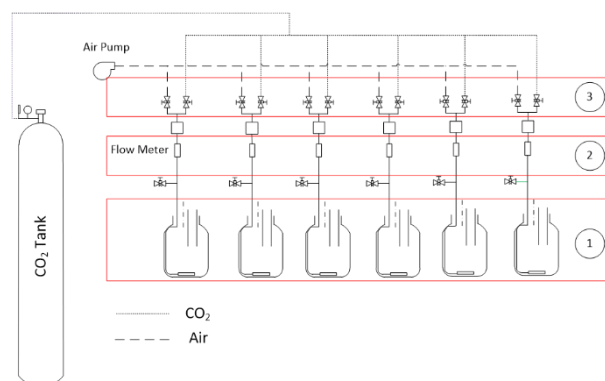
X_0 = ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย (g/l) ที่เวลาการเพาะเลี้ยงเริ่มต้น หรือ t_0
อัตราการผลิต CO_2 สามารถคำนวณได้จากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในสาหร่ายและอัตราการผลิตสาหร่ายดังแสดง
ในสมการ (2)

$$F_{\text{CO}_2} = C_C \cdot p \left(\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_C} \right) \quad (2)$$

เมื่อ F_{CO_2} = อัตราการผลิต CO_2 (g CO_2 /l·d)
 M_{CO_2} = มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ (g/mol)
 M_C = มวลอะตอมของคาร์บอน (g/mol)
 C_C = ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย (g carbon/g dry weight)

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 1 (ก) การทดลองเพาะเลี้ยงจะทำการเตรียมน้ำเลี้ยงสาหร่ายสูตรอาหารของ Jaworski's medium บรรจุไว้ในขวดแก้ว 6 ขวด (หมายเลข 1) โดยแบ่งขวดออกเป็น 3 ชุด แต่ละชุดมี 2 ขวด ทำการทดสอบพร้อมกัน ภายใต้เงื่อนไขการทำงาน 3 ค่า โดยทำการควบคุมอัตราการไหลแก๊สที่ 0.25 ,0.50 และ 0.75 vvm (ปริมาตรแก๊สต่อปริมาตรน้ำต่อนาที) (หมายเลข 2) จ่ายให้แก่ชุดเพาะเลี้ยง ในการทดสอบจะใช้อัตราการป้อน CO_2 ที่ความเข้มข้น 0 (อากาศ 100%) และ 3% (หมายเลข 3) ผลการทดสอบที่ได้จากชุดเพาะเลี้ยง 2 ชุด ในแต่ละชุดจะนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อแสดงผล และเปรียบเทียบ ทั้งนี้ภาพตัวอย่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแสดงดังภาพที่ 1 (ข)

สำหรับการทดสอบโดยใช้แก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ จะมีการเดินเครื่องยนต์ ตามภาพที่ 2 ไอเสียจากเครื่องยนต์ จะถูกนำมาผ่านชุดลดอุณหภูมิไอเสีย ตามภาพที่ 3 ก่อนควบคุมเงื่อนไขและป้อนเข้าสู่ชุดเพาะเลี้ยงต่อไป



(ก) แผนภาพการทำงาน

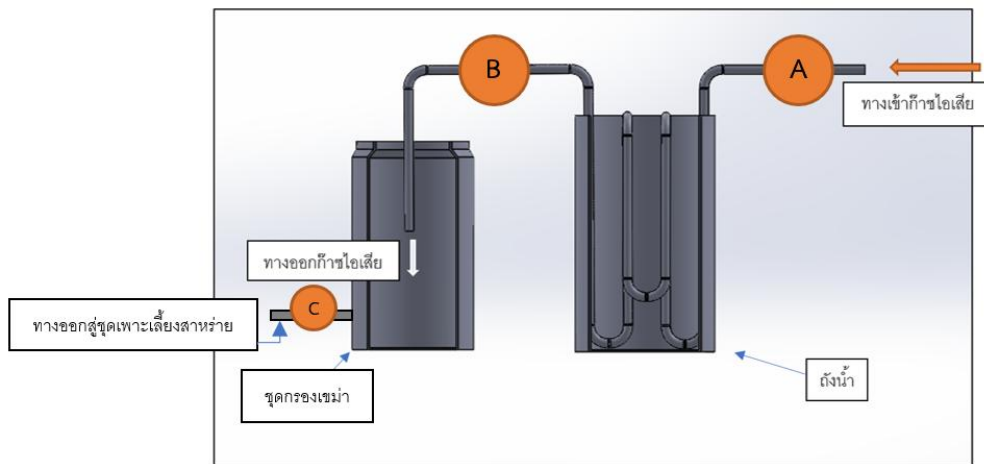


(ข) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049

ภาพที่ 1 ระบบชุดเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049



ภาพที่ 2 เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ



(ก)



(ข)



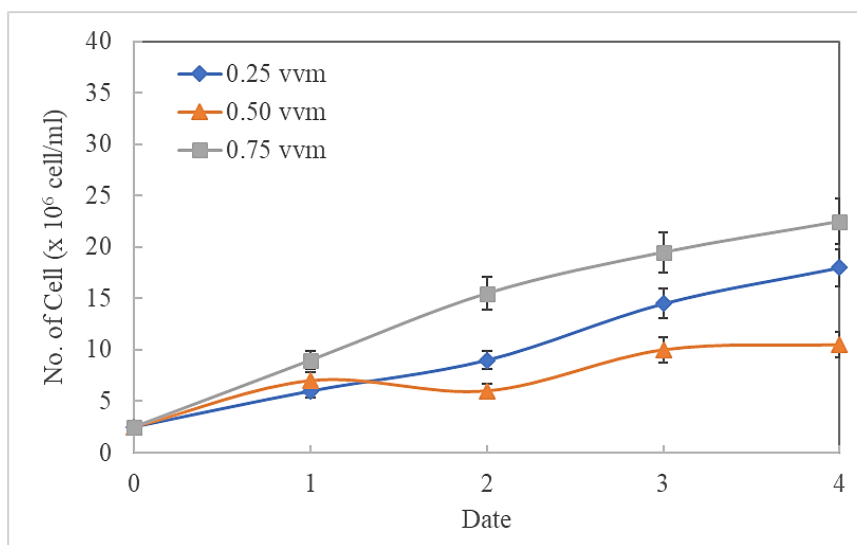
(ค)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ก) ไดอะแกรมแสดงชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (ข) ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (ค) ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

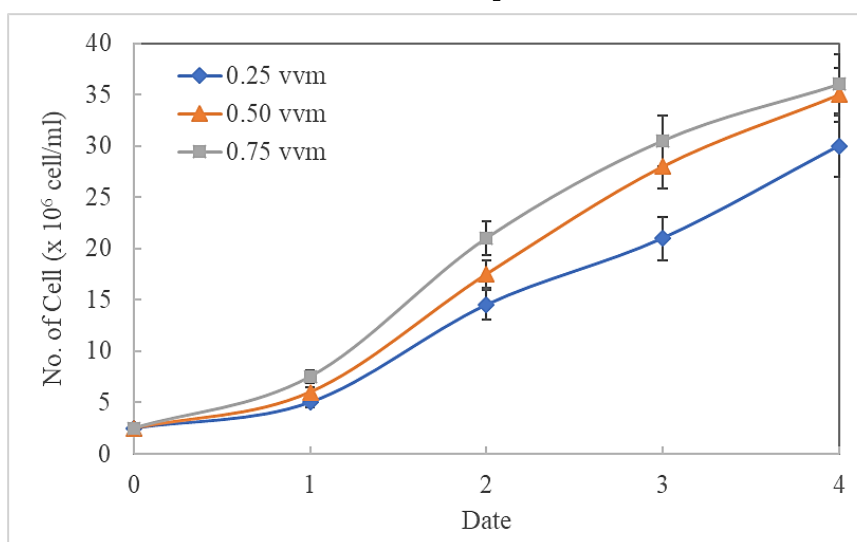
ทั้งนี้ หลังจากทำการทดลองและคำนวณอัตราการผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับ CO_2 แล้ว ค่าที่ได้ได้ถูกนำไปใช้ในการประเมินศักยภาพการสกัดลิพิดจากสาหร่าย ซึ่งจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล โดยอ้างอิงข้อมูลงานวิจัยของ Mata, et al. 2010 [14]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

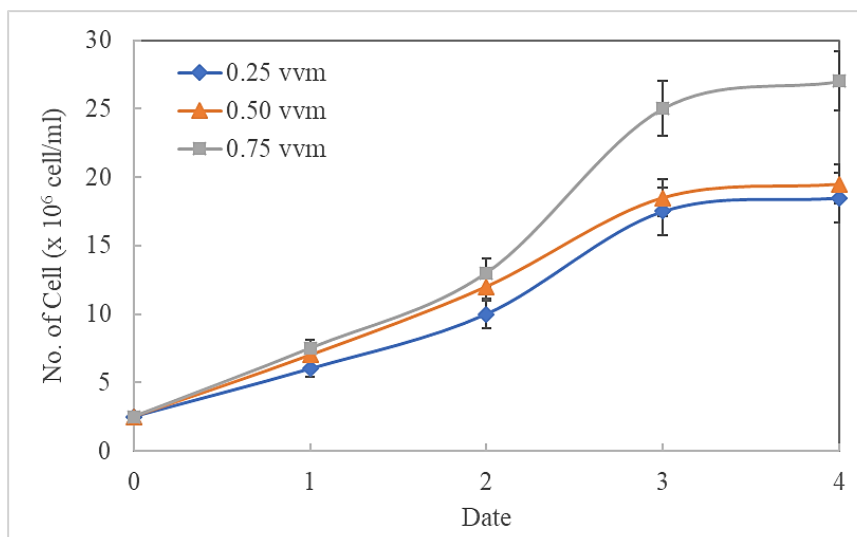
การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเลี้ยงสาหร่ายสูตรอาหาร Jaworski's medium ควบคุมความเข้มข้นของ CO_2 ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงให้มีค่าเท่ากับ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO_2 จากถังบรรจุ) และ 3% (CO_2 ในไอเสียจากเครื่องยนต์) ควบคุมอัตราการไหลแก๊สที่ 0.25, 0.50 และ 0.75 vvm ทดสอบในช่วง 08.00-16.00 น. เป็นระยะเวลา 4-5 วัน สามารถแสดงผลอัตราการเติบโตของสาหร่ายในรูปจำนวนเซลล์สาหร่ายตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยงได้ดังภาพที่ 4



(ก) 0% CO_2



(ข) 3% CO_2 (CO_2 from tank)

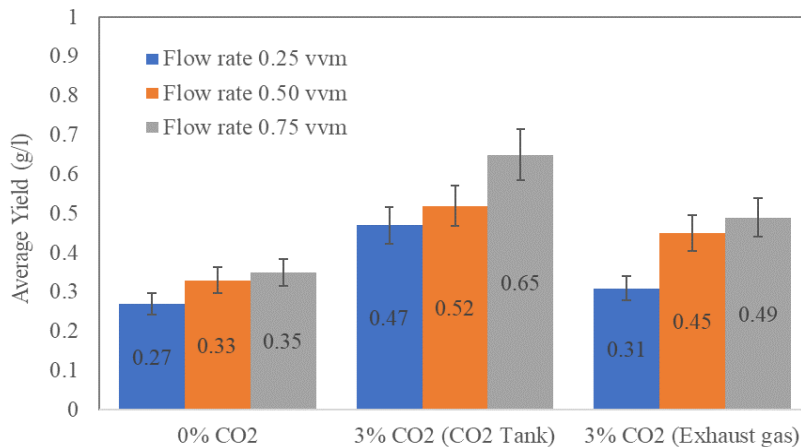


(ค) 3% CO₂ (CO₂ from exhaust gas)

ภาพที่ 4 จำนวนเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง โดยควบคุมอัตราการไหลของ CO₂ ในช่วง 0.25-0.75 vvm

จากภาพที่ 4 จะได้ว่า จำนวนเซลล์สาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของแก๊สที่ป้อนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง จะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้น CO₂ 3% จะมีผลทำให้จำนวนเซลล์สาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้น สูงกว่าการป้อนที่ความเข้มข้น 0% เนื่องจากเซลล์สาหร่ายได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเซลล์สาหร่ายจากการป้อน CO₂ ที่ความเข้มข้น 3% จากถังบรรจุ เทียบกับ CO₂ จากไอเสียจากการเดินเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำพบว่า จำนวนเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยการป้อน CO₂ จากไอเสียเครื่องยนต์ จะมีค่าน้อยกว่าการป้อน CO₂ จากถังบรรจุ ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบการกรองไอเสียจากเครื่องยนต์อาจยังคงมีเขม่า หรือมีแก๊สพิษหลงเหลืออยู่ และเมื่อไอเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง ทำให้การเจริญเติบโตไม่เท่าที่ควร และอาจส่งผลให้เซลล์สาหร่ายเกิดการตายขึ้น ทำให้จำนวนเซลล์ลดน้อยลงกว่า การใช้ CO₂ จากถังบรรจุ

จากข้อมูลข้างต้น สามารถแสดงค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ตามภาพที่ 5 จากภาพจะเห็นว่า น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้ตามเงื่อนไขการเพาะเลี้ยง ให้ผลสอดคล้องกับจำนวนเซลล์สาหร่ายในภาพที่ 4 โดยน้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้ง ที่เพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น CO₂ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.27-0.35, 0.47-0.65 และ 0.31-0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง โดยควบคุมความเข้มข้น CO₂ ที่ 0% จะมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ เหนือพล (2555) [15] ที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในแนวตั้ง และมีการควบคุมระยะเวลาการให้แสงสว่าง ซึ่งพบว่า สาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยง จะมีปริมาณ 0.2933-0.3933 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ การควบคุมความเข้มข้น CO₂ ที่ 3% ทั้งจากถังบรรจุ และจากไอเสียเครื่องยนต์ ที่ป้อนเข้าสู่ชุดเพาะเลี้ยง ยังส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้สูงกว่าผลงานวิจัยของเหนือพล เหนือพล (2555) [15] อีกด้วย



ภาพที่ 5 น้ำหนักเฉลี่ยของสาหร่ายแห้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ที่ความเข้มข้น CO₂ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) และควบคุมอัตราการไหล CO₂ ในช่วง 0.25-0.75 vvm

อัตราการผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) โดยพิจารณาปริมาณธาตุคาร์บอนในสาหร่าย (C_p) ที่ 26.15 % โดยน้ำหนัก [2] สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

CO ₂ Concentration	อัตราการผลิตสาหร่าย (g/L/day)			อัตราการดักจับ CO ₂ (g _{CO2} /L/day)			ปริมาณลิพิด (g/L/day)		
	FR 0.25 vvm	FR 0.50 vvm	FR 0.75 vvm	FR 0.25 vvm	FR 0.50 vvm	FR 0.75 vvm	FR 0.25 vvm	FR 0.50 vvm	FR 0.75 vvm
0%	0.0250	0.0400	0.0450	0.0240	0.0384	0.0431	0.0025-0.0120	0.0040-0.0192	0.0045-0.0216
3% (CO ₂ From Tank)	0.0875	0.1000	0.1325	0.0839	0.0959	0.1270	0.0088-0.0420	0.0100-0.0480	0.0133-0.0636
3% (CO ₂ From Exhaust gas)	0.0625	0.0975	0.1075	0.0599	0.0935	0.1031	0.0063-0.0300	0.0098-0.0468	0.0108-0.0516

หมายเหตุ FR คือ อัตราการไหลของ CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า อัตราการผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับ CO₂ จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นและอัตราการไหลของแก๊ส CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงมีค่าสูงขึ้น โดยอัตราการผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับ CO₂ กรณีการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะให้ค่าอยู่ในช่วง 0.0875-0.1325, 0.0625-0.1075 กรัมต่อลิตรต่อวัน และ 0.0839-0.1270, 0.0599-0.1031 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ

จากข้อมูลการผลิตสาหร่ายข้างต้น หากนำสาหร่ายแห้งที่ได้ไปทำการสกัดลิพิด โดยพิจารณาศักยภาพการสกัดลิพิดจากสาหร่ายที่ 10-48% [14] จะได้ว่า สาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในงานวิจัยนี้ จะสามารถสกัดลิพิดได้ 0.0025-0.0636 กรัมต่อลิตรต่อวัน ซึ่งหากนำลิพิดไปใช้ประโยชน์ในเชิงพลังงาน ลิพิดจากสาหร่ายจะมีศักยภาพในการผลิตเป็นไบโอดีเซลสูงถึง 94 % โดยน้ำหนัก [14] ดังนั้น การส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับขยายขนาดจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ ตัวอย่างเช่น การส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมที่มีไอเสียเกิดขึ้นในระบบ ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ปริมาตร 100 ลูกบาศก์

เมตร จะสามารถดักจับ CO₂ จากไอเสียได้น้อยกว่า 2,186.35 กิโลกรัมต่อปี สามารถผลิตสาหร่ายได้ไม่ต่ำกว่า 2,281.25 กิโลกรัมต่อปี (คิดที่เงื่อนไขการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยป้อนก๊าซ CO₂ ที่ได้จากไอเสีย ที่ความเข้มข้น 3% ควบคุมอัตราการไหลก๊าซ 0.25vvm) และสามารถสกัดลิพิดได้ไม่ต่ำกว่า 227.125 กิโลกรัมต่อปี (คิดที่ 10%โดยน้ำหนัก) จากการประเมิน จะเห็นได้ว่า สาหร่ายเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพเชิงพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง และนอกเหนือจากศักยภาพในเชิงพลังงานแล้ว สาหร่ายยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอาหาร การแพทย์ หรือเวชภัณฑ์ได้ และยิ่งไปกว่านั้น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังช่วยลดและลดปริมาณก๊าซ CO₂ จากกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพ ในการขับเคลื่อนการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม พลังงาน และเศรษฐกิจชีวภาพ

สรุปผลการศึกษา

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. AARL G049 ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยควบคุมความเข้มข้นของแก๊ส CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงให้มีค่าเท่ากับ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ จากไอเสีย ของเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ ที่ถูกนำมาผ่านชุดลดอุณหภูมิ และควบคุมเงื่อนไขก่อนป้อนเข้าสู่ชุดเพาะเลี้ยง สาหร่าย) ควบคุมอัตราการไหลแก๊สที่ 0.25, 0.50 และ 0.75 vvm และทดสอบในช่วง 08.00-16.00 น. โดยใช้ใช้น้ำเลี้ยง สาหร่ายสูตรอาหารของ Jaworski's medium พบว่า จำนวนเซลล์สาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นและอัตราการไหลของแก๊ส CO₂ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงมีค่าสูงขึ้น โดยน้ำหนักเฉลี่ย ของสาหร่ายแห้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น CO₂ 0% (อากาศ 100%), 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 0.27-0.35, 0.47-0.65 และ 0.31-0.49 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราการ ผลิตสาหร่าย และอัตราการดักจับ CO₂ กรณีการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น 3% (CO₂ จากถังบรรจุ) และ 3% (CO₂ ในไอเสียจากเครื่องยนต์) จะให้ค่าอยู่ในช่วง 0.0875-0.1325, 0.0625-0.1075 กรัมต่อลิตรต่อวัน และ 0.0839-0.1270, 0.0599-0.1031 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ สาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในงานวิจัยนี้ มีศักยภาพ ในการสกัดลิพิดได้ 0.0025-0.0636 กรัมต่อลิตรต่อวัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง จากไอเสียใน เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และโครงการ การพัฒนาการเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพ และเชื้อเพลิงชีวภาพ ภายใต้การจัดการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ปีที่ 2) ภายใต้โครงการการพัฒนาต้นแบบพลังงานทดแทน เพื่อใช้ในชุมชนสีเขียว, โครงการทำทนายไทย, สำนักงานคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Priyadarshani, I. and Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae – A review. *Journal of Algal Biomass Utilization*. 3(4), 89-100.
- [2] เหนือพล ดวงเบื้อ. (2556). ผลกระทบของวัฏจักรมีดและสว่างต่อผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็กในปฏิกรณ์แบบ แนวตั้ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] ยุวดี พิรพรพิศาล. (2546). สาหร่ายวิทยา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.
- [4] จิรนนท์ ศรีพุทธา. (2556). การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในสภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นสูง เพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- [5] Wang, B., Li, Y., Wu, N., & Lan, C. Q. (2008). CO₂ bio-mitigation using microalgae. **Applied Microbiology and Biotechnology**. 79(5), 707–718.
- [6] Sydney, E. B., Sturm, W., de Carvalho, J. C. M., Thomaz-Soccol, V., Larroche, C., Pandey, A. and Soccol, C. R. (2010). Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae. **Bioresource Technology**, 101(15), 5892–5896.
- [7] Kao, C-Y., Chen, T-Y., Chang, Y-B., Chiu, T-W., Lin, H-Y., Chen, C-D., Chang, J-S. and Lin, C-S. (2014). Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga *Chlorella* sp. **Bioresource Technology**. 166, 485-493.
- [8] Mortensen, L.M and Gislerød, H.R. (2016).The growth of *Chlorella sorokiniana* as influenced by CO₂, light, and flue gases. **Journal of Applied Phycology**. 28, 813–820.
- [9] Matsumoto, M., Mayumi, T., and Yoshino, T. (1997). CO₂ fixation and oil production by microalgae grown on flue gas from gas engine. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 83(2), 263–265.
- [10] Zhao, B., Su, Y., Zhang, Y. and Cui, G. (2015).Carbon dioxide fixation and biomass production from combustion flue gas using energy microalgae. **Energy**. 89, 347-357.
- [11] Hende, S.V.D., Vervaeren, H. and Boon, N. (2012). Flue gas compounds and microalgae: (bio-) chemical interactions leading to biotechnological opportunities. **Biotechnology Advances**. 30(6), 1405-24.
- [12] Sostarie, M., Golob, J., Bricelj, M., Klinar, D. and Pivec, A. (2009). Studies on the Growth of *Chlorella vulgaris* in Culture Media with Different Carbon Sources. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**. 23 (4), 471–477.
- [13] เหนือพล ดวงเบี่ยง ญัฐนี วรยศ และทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2556). “การวิเคราะห์ต้นทุนและการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของชีวมวลจากสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเปิดแนวตั้ง”, ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 12), วันที่ 14-15 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมแอมฟิเรียลโกลด์เดนไทรแองเกิ้ล รีสอร์ท อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ.
- [14] Mata, T.M., Martins, A.A. and Caetano, N.S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 14, 217–232.
- [15] เหนือพล ดวงเบี่ยง ญัฐนี วรยศ ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และกันยาพร ไชยวงศ์. (2555). “ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงในปฏิกรณ์ชีวภาพระบบเปิดแบบแนวตั้ง”, ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 11), วันที่ 8-9 มีนาคม 2555 ณ โรงแรมนิว แทรวิล บีช รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี.

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้
ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่
Greenhouse Gas Emissions Reduction from No-Turn Leaf Composting
in Community Forests of Wiang Haeng District, Chiang Mai Province

แสนวสันต์ ยอดคำ^{1*} ชนวัฒน์ นิตัตน์วิจิตร² นเรศ ใหญ่วงศ์³ นนท์ นาคะเสถียร⁴ พงษ์พนัส คะชนะนา⁴
และ ศิริลักษณ์ บ่อสร้าง⁴

Sanwasan Yodkhum^{1*} Chanawat Nitatwichit² Narat Yaiwong³ Non Nakasathian⁴ Pongpanat Kachana⁴
and Sirilak Borsang⁴

¹ หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² หลักสูตรวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³ สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100

⁴ ฝ่ายพัฒนาความยั่งยืนภาครัฐและกิจการสัมพันธ์ เครือเจริญโภคภัณฑ์ กรุงเทพฯ 10310

¹ Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai, 50290

² Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai, 50290

³ Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100

⁴ Development and Corporate Relations and Coordination Public Sector,
Charoen Pokphand Group, 10310

¹Corresponding author: Tel.: 089-7599112. E-mail address: sanwasan@mju.ac.th

Abstract

This study conducted a project to collect leaf litter from community forests in Wiang Haeng District, Chiang Mai Province from April to May 2024. The three communities, consisting of six villages, were managed. The total number of leaves from the community forests that were collected was approximately 74,925 kilograms. All leaf scraps were transported as raw materials for compost production by No-Turn leaf composting method to reduce the amount of biomass in the community forests and to reduce the chances of forest fires in the area.

The greenhouse gas emissions reduction of this project was assessed by using the calculation method based on the Thailand Voluntary Emission Reduction Method (T-VER) to produce compost or soil conditioners from organic waste according to the Thailand Greenhouse Gas Management

Organization (Public Organization); TGO. The results of this study found that Greenhouse gas emissions reduction of this project when compared with landfill and open burning in the community forests were approximately 62.71 tCO₂e and 102.97 tCO₂e, respectively. In addition, it was found that greenhouse gas emissions reduction per weight of leaves litter when compared with landfilling and open burning were 0.84 and 1.37 tCO₂e/ton of leaves, respectively.

Keywords: Greenhouse gas emissions, No-Turn Composting, Leaf, Community Forest

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ดำเนินโครงการจัดเก็บเศษใบไม้จากป่าชุมชนในพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 3 ตำบล รวม 6 หมู่บ้าน สามารถจัดเก็บเศษใบไม้ได้รวม 74,925 กิโลกรัม โดยเศษใบไม้ทั้งหมดจะถูกขนไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้วิธีการหมักแบบไม่พลิกกลับกอง เพื่อลดปริมาณชีวมวลในป่าและลดโอกาสในการเกิดไฟป่าพื้นที่ โครงการได้ดำเนินการประเมินความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการ โดยใช้วิธีการคำนวณตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ได้กำหนดแนวทางไว้

โดยผลการประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการพบว่า โครงการสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการฝังกลบ และสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 102.97 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการเผาเศษใบไม้ นอกจากนี้ยังพบว่า ก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดเมื่อเทียบกับน้ำหนักของเศษใบไม้ที่นำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกรณีฐานการฝังกลบและการเผาเศษใบไม้ เท่ากับ 0.84 และ 1.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก ปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง เศษใบไม้ ป่าชุมชน

บทนำ

ในทุกปีช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมพื้นที่ภาคเหนือจะประสบกับปัญหาไฟป่า ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งของพื้นที่เศษใบไม้ในป่าแห้งร่วงหล่นกลายเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่พร้อมจะติดไฟ ทำให้เมื่อมีการเกิดไฟในป่า ทั้งจากฝีมือมนุษย์และเกิดจากความร้อนธรรมชาติ ทำให้เศษใบไม้เหล่านี้เกิดการลุกไหม้และลามติดไฟขยายเป็นพื้นที่กว้าง ส่งความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติทั้งพืชและสัตว์ รวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบทางสุขภาพต่อประชาชนในพื้นที่

จากข้อมูลสถิติการเกิดไฟป่าในพื้นที่ภาคเหนือ พบว่าในปี 2567 พื้นที่ป่าของภาคเหนือมีการเกิดไฟป่ากว่า 127,580 ไร่ โดยจังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด จำนวน 66,387 ไร่ รองลงมาเป็นพื้นที่จังหวัดลำปาง จำนวน 17,547 ไร่ และจังหวัดตาก จำนวน 14,213 ไร่ [1] โดยในช่วงวันที่ 1 มกราคม - 31 พฤษภาคม 2567 ที่เป็นช่วงฤดูกาลที่เกิดปัญหาหมอกควัน ไฟป่า และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบจุดความร้อน (Hotspot) สะสมรวมทั้งสิ้น 8,629 จุด [2] หากมีการจัดการเศษใบไม้ในพื้นที่ป่าที่เป็นชีวมวลที่สามารถเกิดการลุกไหม้ไฟในพื้นที่ป่าได้ ก็จะสามารถช่วยลดการเกิดไฟป่าและพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายจากไฟป่าได้ ซึ่งจะช่วยให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาเศษชีวมวลและผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากไฟป่าลดลงได้

ดังนั้นในโครงการนี้จึงจะได้ทำการประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการจัดเก็บและรับซื้อเศษใบไม้จากพื้นที่ป่าชุมชนในพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เปรียบเทียบกับการจัดการ

เผาไหม้โดยการเผา (Open burning) และการนำไปฝังกลบ (Landfill) โดยใช้วิธีการประเมินตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program; T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากขยะอินทรีย์ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ได้กำหนดแนวทางไว้ ซึ่งเป็นกลไกที่มีเป้าหมายในการส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการดำเนินการของชุมชนที่มีส่วนร่วม มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality)

วิธีการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดเก็บเศษใบไม้จากป่าชุมชนในพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 3 ตำบล รวม 6 หมู่บ้าน ได้แก่ บ้านสามปู บ้านมหาธาตุ บ้านปางป๋อ บ้านแม่หาด บ้านป่าไผ่ และบ้านห้วยหก จากนั้นทำการขนส่งเศษใบไม้ไปยังจุดรวบรวมรับซื้อ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง [3] ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินโครงการ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) การประชุมชี้แจงโครงการกับชุมชน 2) การเก็บรวบรวมและขนส่งเศษใบไม้ และ 3) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ โดยขั้นตอนการดำเนินโครงการแสดงดังภาพที่ 1 – 2

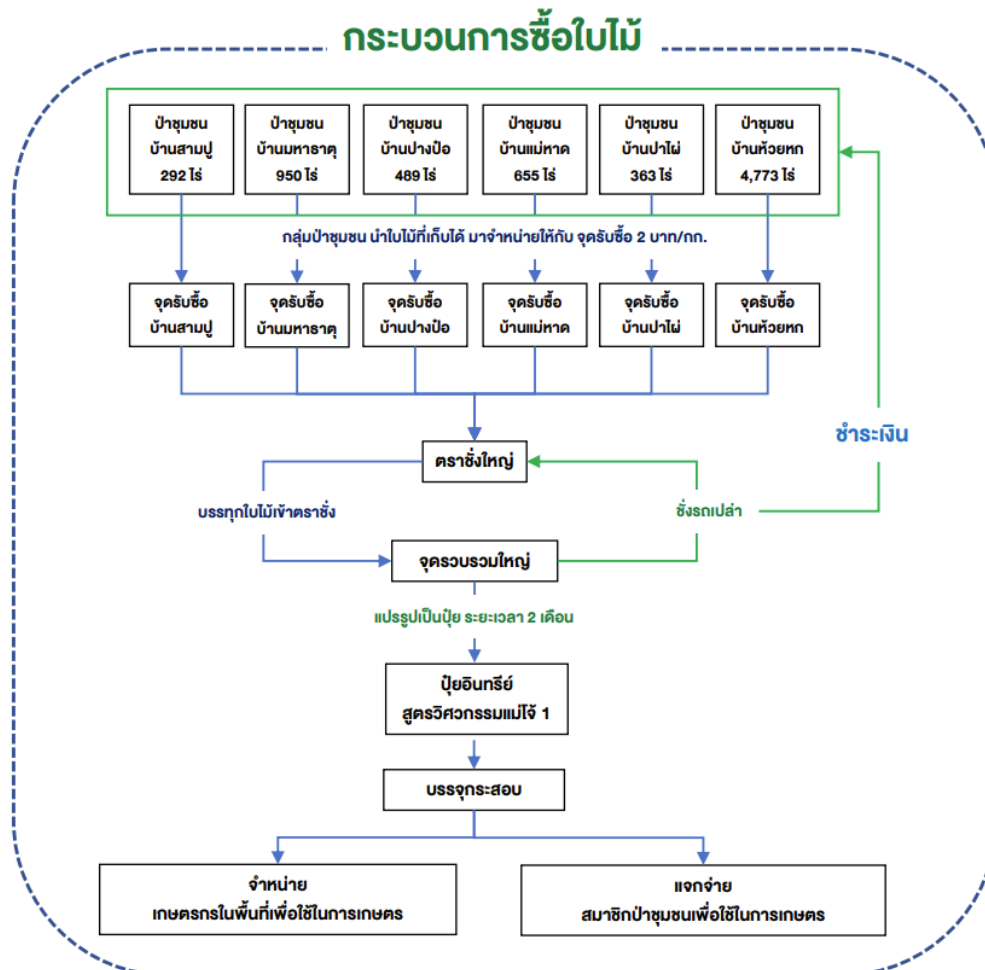
จากนั้นได้ดำเนินการวิเคราะห์ความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการ โดยใช้วิธีการคำนวณตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ (ฉบับที่ 07 มีผลบังคับใช้วันที่ 4 ธันวาคม 2564 เป็นต้นไป) ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ได้กำหนดแนวทางไว้ โดยมีเงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ (Project Conditions) คือ มีการคัดแยกและรวบรวมขยะอินทรีย์ มีระบบหมักทำปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดิน และหากระยะทางการขนส่งขยะอินทรีย์อยู่นอกรัศมีมากกว่า 200 กิโลเมตร ต้องทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายนอกขอบเขตโครงการจากการขนส่งขยะอินทรีย์ร่วมด้วย

จากนั้นทำการเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการกับกรณีฐาน (Baseline emission) จำนวน 2 กรณี ได้แก่ การนำเศษใบไม้ไปกำจัดโดยการฝังกลบ (ตามข้อกำหนดของ T-VER) และการกำจัดโดยการเผา (Open burning)



ภาพที่ 1 การประชุมชี้แจงโครงการกับชุมชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่

การเก็บรวบรวมเศษใบไม้จะให้ชาวบ้านดำเนินการเก็บเศษใบไม้บรรจุลงในกระสอบ จากนั้นนำไปใส่รถกระบะ เพื่อขนส่งไปยังจุดรวบรวม โดยในโครงการนี้ได้รวบรวมเศษใบไม้จากป่าชุมชนได้จำนวน 74,925 กิโลกรัม ในส่วนของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จะใช้วิธีการหมักแบบไม่พลิกกลับกอง โดยจะใช้รถแบคโฮตักผสมวัตถุดิบ (เศษใบไม้และมูลโค) คลุกเคล้าให้เข้ากัน พร้อมทั้งทำการรดน้ำวัตถุดิบเพื่อให้ความชื้น โดยใช้สัดส่วนผสมวัตถุดิบ ได้แก่ เศษใบไม้ และมูลโค ในสัดส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร จากนั้นจะใช้รถตักจัดกองปุ๋ยให้เป็นแถวยาว โดยมีความสูงประมาณ 1.5 เมตร และมีระยะเวลาในการหมัก 60 วัน โดยขั้นตอนในการดำเนินโครงการแสดงในภาพที่ 2 – 5



ภาพที่ 2 แผนผังการเก็บรวบรวมเศษใบไม้และผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของโครงการ



ภาพที่ 3 การเก็บรวบรวมเศษใบไม้จากป่าชุมชน



ภาพที่ 4 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้ด้วยวิธีการหมักแบบไม่พลิกกลับกอง



ภาพที่ 5 สภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้หลังจากการหมักครบ 60 วัน

การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการจะใช้ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ตามที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ได้กำหนดเป็นแนวทางไว้ [4] ซึ่งได้แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Emission) ประกอบด้วย

1.1) การปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) จากการฝังกลบ

ในกรณีนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานนั้น จะคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ (เศษใบไม้) ในหลุมฝังกลบเท่านั้น โดยไม่คิดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในกระบวนการ ทั้งนี้เนื่องจากขยะอินทรีย์เป็นคาร์บอนชีวภาพ (Biogenic Carbon) ที่มีความเป็นกลางทางคาร์บอน [5] ซึ่งหากในกรณีที่มีการนำขยะอินทรีย์ไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบ เช่น การนำไปเผาเพื่อผลิตพลังงาน การทำปุ๋ยหมัก การหมักแบบไร้อากาศ เพื่อนำก๊าซมีเทนที่ได้มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน ซึ่งไม่ทำให้สารอินทรีย์ในขยะอินทรีย์เกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศและเกิดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศอีกดังเช่นที่เกิดในหลุมฝังกลบ ให้คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบโดยใช้สมการที่ 1 โดยในโครงการนี้ได้สมมติกรณีฐานให้มีการกำจัดเศษใบไม้โดยการฝังกลบแบบไม่มีระบบจัดการ (ลึกมากกว่า 5 เมตร)

$$BE_{CH_4,SWDS} = W \times 1.68 \times CF \times 0.1 \quad (1)$$

เมื่อ $BE_{CH_4,SWDS}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (tCO₂e)

W คือ ปริมาณเศษใบไม้ที่นำไปกำจัด (t น้ำหนักเปียก)

CF คือ ค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีค่าต่างกันตามค่า Methane Correction Factor

(MCF) ดังแสดงในตารางที่ 1

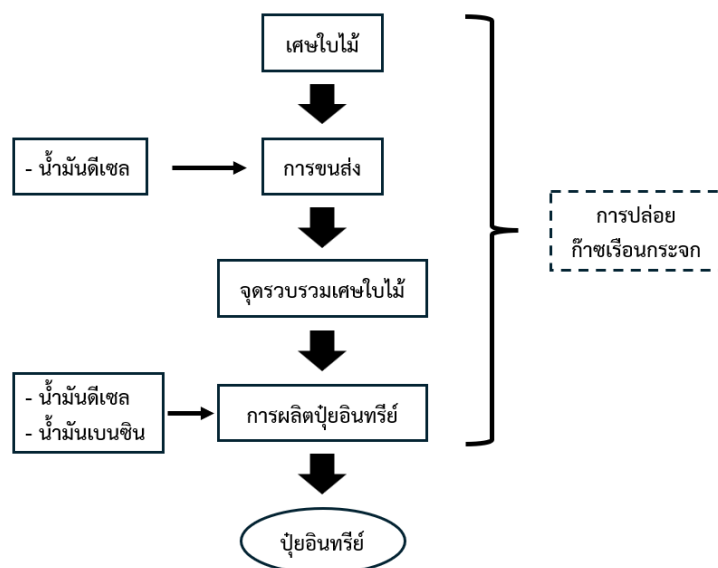
ตารางที่ 1 แสดงค่า Methane Correction Factor (MCF) และค่า CF ของการปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄)

ประเภทของหลุมฝังกลบ	ค่า MCF	ค่า CF
มีระบบจัดการ การกลบทับ และระบบกันซึม	1	7.14
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกมากกว่า 5 เมตร)	0.8	5.71
แบบกึ่งใช้ออกซิเจน (semi-aerobic)	0.5	3.57
ไม่มีระบบจัดการ (ลึกน้อยกว่า 5 เมตร)	0.4	2.86

1.2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดเศษใบไม้โดยการเผา (Open burning)

การเผาเศษใบไม้ในที่โล่งจะส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) และไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse emissions factor) ของการเผาเศษใบไม้เท่ากับ 1,496.61 gCO₂e/kg [6]

2) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Emission) การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้ ซึ่งได้แสดงขอบเขตการดำเนินโครงการตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ ดังแสดงในภาพที่ 6 และสามารถคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการได้ดังสมการที่ (2)



ภาพที่ 6 แสดงขอบเขตการดำเนินโครงการตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER)

$$PE_P = PE_{FE} + PE_{EL} + PE_{COMP} + PE_{ww,tr} \quad (2)$$

- เมื่อ PE_P คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ (tCO₂e)
 PE_{FE} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (tCO₂e)
 PE_{EL} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (tCO₂e)
 PE_{COMP} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการหมักขยะอินทรีย์ (tCO₂e)
 $PE_{ww,tr}$ คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (tCO₂e)

ในโครงการนี้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่เกิดน้ำเสีย ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจึงไม่นำมาพิจารณา

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$PE_{FE} = \sum (FC_{PJ,i} \times (NCV_i \times 10^{-6}) \times EF_{CO_2,i}) \times 10^{-3} \quad (3)$$

- เมื่อ PE_{FE} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการดำเนินโครงการ (tCO_2e)
 $FC_{PJ,i}$ คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภท i สำหรับการดำเนินโครงการ (L)
 NCV_i คือ ค่าความร้อนสุทธิ (Net Calorific Value) ของเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภท i (MJ/L)
 $EF_{CO_2,i}$ คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลประเภท i ($kgCO_2 / TJ$)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$PE_{EL} = (EC_{PJ} \times 10^{-3}) \times EF_{EC} \quad (4)$$

- เมื่อ PE_{EL} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (tCO_2e)
 EC_{PJ} คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการ (kWh)
 EF_{EC} คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบสายส่งสำหรับผู้ไฟฟ้า (tCO_2 / MWh)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการหมักขยะอินทรีย์ (เศษใบไม้) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$PE_{COMP} = W \times (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O}) \quad (5)$$

- เมื่อ PE_{COMP} คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการหมักขยะอินทรีย์ (tCO_2e)
 W คือ ปริมาณขยะอินทรีย์ (t น้ำหนักเปียก)
 EF_{CH_4} คือ ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการหมักขยะอินทรีย์ (tCH_4 / t น้ำหนักเปียก)
 GWP_{CH_4} คือ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน
 EF_{N_2O} คือ ค่าการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการหมักขยะอินทรีย์ (tN_2O / t น้ำหนักเปียก)
 GWP_{N_2O} คือ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการหมักขยะอินทรีย์ (เศษใบไม้) ของโครงการนี้จะใช้ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เท่ากับ $0.002 tCH_4 / t$ น้ำหนักเปียก และ $0.0002 tN_2O / t$ น้ำหนักเปียก ตามลำดับ [7]

สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (Leakage Emission) จะคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการขนส่งขยะอินทรีย์เฉพาะกรณีระยะทางการขนส่งขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิดมายังโครงการอยู่นอกรัศมีมากกว่า 200 กิโลเมตร โดยให้คิดระยะทางรวมทั้งหมดในการขนส่งซึ่งในโครงการนี้ระยะทางขนส่งเศษใบไม้จากป่าชุมชนมายังจุดผลิตปุ๋ยอินทรีย์มีระยะทางรวมไม่เกิน 200 กิโลเมตร ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (การขนส่ง) จึงไม่นำมาพิจารณา

โดยค่าความร้อนสุทธิ (Net Calorific Value) ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน มีค่าเท่ากับ 36.42 และ 31.48 MJ/L ตามลำดับ [8] และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน เท่ากับ 81,803.5 และ 69,549 $kgCO_2 / TJ$ ตามลำดับ [9]

3) การคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction) จากการดำเนินโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$ER = BE - PE_p - LE \quad (6)$$

เมื่อ ER คือ ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO₂e)
 BE คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (tCO₂e)
 PE_p คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (tCO₂e)
 LE คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (tCO₂e)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

โครงการสามารถจัดเก็บและรับซื้อเศษใบไม้จากพื้นที่ป่าชุมชนที่เข้าร่วมโครงการในพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 3 ตำบล รวมพื้นที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 6 ชุมชน โดยสามารถรวบรวมปริมาณเศษใบไม้ได้รวม 74,925 กิโลกรัม โดยชุมชนที่เข้าร่วมโครงการมีรายได้จากการขายเศษใบไม้รวม 224,755 บาท ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 2 โดยเศษใบไม้ที่จัดเก็บได้ทั้งหมดจะถูกขนส่งเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธีการหมักแบบไม่พลิกกลับกอง เพื่อลดปริมาณชีวมวลในป่าชุมชน และลดความเสี่ยงของการเกิดไฟป่าในพื้นที่

ตารางที่ 2 ปริมาณการรวบรวมเศษใบไม้จากป่าชุมชน

จุดรับซื้อ	ป่าชุมชน	พื้นที่ป่า (ไร่)	ปริมาณใบไม้ (กก.)	รายได้จากการขายใบไม้ (บาท)
1	บ้านสามปู	573	8,650	25,950
2	บ้านมหาธาตุ	88	11,470	34,410
3	บ้านแม่หาด	657	19,660	58,890
4	บ้านปางป๋อ	161	8,465	25,395
5	บ้านป่าไผ่	468	22,700	68,100
6	บ้านห้วยหก	4,978	3,980	11,940
รวม		6,925	74,925	224,755

การประเมินก๊าซเรือนกระจกของโครงการ พบว่าการดำเนินโครงการ (การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 9.17 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและจากการหมักขยะอินทรีย์ (เศษใบไม้) ในการดำเนินโครงการมีการใช้น้ำมันดีเซลของรถแบคโฮในกระบวนการผสมวัตถุดิบและจัดกองปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 300 ลิตร นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันเบนซินเติมเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้รดกองปุ๋ยอินทรีย์รักษาความชื้น ตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วัน จำนวน 85 ลิตร

ในส่วนของการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้มีค่าเท่ากับ 0.063 gCO₂e/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่

ประมาณ 1.7 เท่า [10] แสดงให้เห็นว่าหากมีการนำปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้ไปใช้แทนปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่หรือทดแทนปุ๋ยเคมี จะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคการเกษตรลงได้ [11]

กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากส่วนนี้เกิดขึ้น นอกจากนี้กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา

การดำเนินโครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้จากป่าชุมชนสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Reduction) ได้ประมาณ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการฝังกลบ (Landfill) คิดเป็น 0.84 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 102.97 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการเผาเศษใบไม้ (Open burning) คิดเป็น 1.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3 นอกจากนี้การดำเนินโครงการยังสามารถช่วยลดการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ (PM2.5) ที่เกิดจากการเผาเศษใบไม้ได้ประมาณ 9.1 กิโลกรัมต่อเศษใบไม้ 1 ตัน [12]

ตารางที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project) และจากกรณีฐาน (Baseline)

Emission Sources	Project Emissions (tCO ₂ e)	Baseline Emissions (tCO ₂ e)	
		Landfill	Open burning
การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	1.00		
การใช้พลังงานไฟฟ้า	0		
การหมักขยะอินทรีย์	8.17		
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	0		
รวม	9.17	71.88	112.14

ในส่วนการประเมินเศรษฐศาสตร์ของโครงการเบื้องต้น พบว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จะมีต้นทุนจากการรับซื้อเศษใบไม้ (กิโลกรัมละ 3 บาท) มูลโคที่ใช้ผสมในการหมักปุ๋ย และน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักร โดยมีต้นทุนรวมของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เท่ากับ 2.14 บาทต่อกิโลกรัมปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับราคาของปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป ที่มีราคาเฉลี่ยประมาณ 8 บาทต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษใบไม้มีผลตอบแทนประมาณ 3.7 เท่า ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการจัดการเศษชีวมวลในพื้นที่ป่า เพื่อสร้างรายได้ และลดโอกาสในการเกิดไฟป่าในพื้นที่ป่าได้

สรุปผลการวิจัย

โครงการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถรวบรวมเศษใบไม้ได้จำนวน 74,925 กิโลกรัม ในการดำเนินโครงการสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการฝังกลบ คิดเป็น 0.84 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน และสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 102.97 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเมื่อเทียบกับการเผาเศษใบไม้ คิดเป็น 1.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเก็บรวบรวมเศษใบไม้ในป่าเพื่อนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์สามารถช่วยลดปริมาณชีวมวลในป่า และลดโอกาสการเกิดไฟป่าที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ทั้งนี้หากชุมชนหรือหน่วยงานที่สนใจสามารถนำวิธีการจัดการใบไม้ในป่าชุมชนโดยการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้เป็นโครงการเพื่อบรรจุในแผนการจัดการป่าชุมชนแต่ละชุมชนได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการจัดทำคาร์บอนเครดิตจากโครงการเพื่อจำหน่ายร่วมกับการจัดทำคาร์บอนเครดิตภาคป่าไม้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชนและองค์กรอิสระ โครงการความร่วมมือภาคีเครือข่าย “ป่าปลอดเผา” (Zero Forest Burning) โดยเครือข่ายเจริญโภคภัณฑ์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและข้อมูลในการดำเนินโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ส่วนควบคุมไฟป่า สำนักป้องกันปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. สถิติไฟป่า ปี 2567. สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2567, จาก <https://portal.dnp.go.th>
- [2] สำนักงานประชาสัมพันธ์จังหวัดเชียงใหม่. ถอดบทเรียนการป้องกันและแก้ปัญหาหมอกควัน ไฟป่า และฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ประจำปี 2567. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2568, จาก <https://chiangmai.prd.go.th>
- [3] ชีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (2558). คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พลิกกลับกอง วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1. เชียงใหม่ : วนิดาการพิมพ์.
- [4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.). 2564. ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ ฉบับที่ 07. สืบค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2567, จาก <https://tver.tgo.or.th>
- [5] Leticia, S.M., and Akihiro, T. (2020). Greenhouse gas emission analysis of upgrading from an open dump to a semi-aerobic landfill in Mozambique – the case of Hulene dumpsite. *Scientific African*. (10) e00638, 1-10.
- [6] Rutjaya, P.T., Warangluck, N., Sucheela, P., and Sanya, S. (2024). Alternative crop residue management practices to mitigate the environmental and economic impacts of open burning of agricultural residues. *Scientific Reports*. (14), 1-12.
- [7] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2022). *Clean development mechanism Methodology Booklet*. สืบค้นเมื่อ 14 กรกฎาคม 2567, จาก <https://cdm.unfccc.int>

- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2567 สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2567, จาก <https://www.eppo.go.th>
- [9] Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (2006). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.
- [10] ฐิฎาพร สุภาชี พานิช อินต๊ะ และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2559). การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและฝุ่นละอองขนาดเล็กจากกิจกรรมการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่** 23 (3), 94-105.
- [11] จิราภรณ์ บุญมาก และมณฑิรา ยุติธรรม. (2558). “ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลูกสับปะรด : กรณีศึกษาอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี” , ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, วันที่ 27 มีนาคม 2558 ณ อาคารเรียนรวม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [12] Thanonphat, B., Savitri, G., Sebastien, B., and Agapol, J. (2014). An Inventory of Air Pollutant Emissions from Biomass Open Burning in Thailand Using MODIS Burned Area Product (MCD45A1). **Journal of Sustainable Energy & Environment**. (5), 85-94.

แนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียก สู่การแก้ปัญหาชุมชน Wet Forest Innovation Concept toward Solving Communities Issues

พยุ่ง ชีตาร์¹, พิสิษฐ์ มณีโชติ², ฟาร์ุง มีอุดร³, พัชรินทร์ เยวรัตน์^{4*}, ชาติ ไชยสิทธิ์⁵, อำพล อภาธนากร⁶
Payung Cedar¹, Pisit Maneechot², Farung Mee-Udon³, Phatcharin Yaowarat^{4*}, Chart Chaiyasit⁵
and Amphol Aphathanakorn⁶

¹ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

^{2,4} วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

⁵ สมาคมพัฒนาชุมชน พิจิตร 66000

⁶ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร 10400

¹ Faculty of Humanities, Naresuan University, Phitsanulok 65000

^{2,4} School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

³ Faculty of Social Sciences, Naresuan University, Phitsanulok 65000

⁵ Community Development Association, Phichit 66000

⁶ National Innovation Agency (Public Organization), Bangkok 10400

Abstract

This study explores the use of the “Wet Forest Innovation System” as a foundation for learning, with the goal of strengthening communities, addressing local issues, and reducing inequality toward the development of participatory Smart Communities. The objectives are to manage knowledge and promote community resilience through the Wet Forest Innovation System and to develop a model responsive to community challenges and environmental changes. The target group consists of 45 members from the Huai Ton Noon Integrated Agriculture Community Enterprise and development networks in Mae Hong Son Province. Research tools included brainstorming session records, with data collected through Participatory Action Research (PAR), document analysis, theoretical review, and expert evaluation. Ten experts reviewed the model drafts, and nine evaluated the final model. The findings are as follows: (1) The Wet Forest Innovation System functions not as a technological innovation but as a management innovation, enabling communities to apply simple technologies to solve economic, social, and environmental problems through local participation and resource-sharing networks. (2) The developed model comprises six core components: 2.1) wet firebreaks, 2.2) income-generating forests, 2.3) smart farming systems, 2.4) sustainable self-reliance prototypes, 2.5) integrated knowledge management through network collaboration (System Integrator), and 2.6) community enterprise models. Three success factors were identified: (1) partnership-based operations, (2) systematic resource mobilization, and (3) the application of the Smart Community concept. (3) Key

strengths of the system include 3.1) the use of solar-powered water pumps in highland agriculture, 3.2) moisture retention for crops, 3.3) development of a new eco-economic system, 3.4) use of renewable energy for product processing, 3.5) enhancement of farmland productivity, 3.6) forest expansion with income generation, and 3.7) non-burning agricultural practices that reduce PM2.5 pollution. However, the implementation requires a minimum of three years to yield concrete outcomes: Year 1 for water system planning, Year 2 for crop implementation, and Year 3 for initial harvest and processing. Therefore, strong commitment and patience are essential for success.

Keywords: wet forest innovation, community problem solving, self-sufficient economy, smart community

บทคัดย่อ

การใช้ระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” เป็นฐานสร้างการเรียนรู้ ส่งเสริมความเข้มแข็งของชุมชน สู่การแก้ปัญหาชุมชน เป็นฐานสร้างการเรียนรู้ ส่งเสริมความเข้มแข็งของชุมชนเพื่อลดความ เหลื่อมล้ำสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง มีวัตถุประสงค์ เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก และเพื่อพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานห้วยต้นนุ่น และเครือข่ายนักพัฒนาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 45 คน เครื่องมือการวิจัยคือแบบบันทึกการประชุมระดมความคิด โดยใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้การประชุมแบบระดมความคิด (Brain-storming) จำนวน 45 คน และการศึกษาเอกสารของรูปแบบใช้การวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์ร่างรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่ 1) การจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก พบว่า กระบวนการสร้างระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” ไม่ได้มีความหมายที่มุ่งเน้นในด้านเทคโนโลยี แต่เป็นนวัตกรรมในด้านการจัดการที่ส่งให้ชุมชนสามารถใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนมาแก้ปัญหาของชุมชนในด้าน เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยคนในชุมชนเอง และสร้างเป็นเครือข่ายการขับเคลื่อน เพื่อเป็นกลไกในการจัดการทรัพยากรร่วมกัน 2) การพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง พบว่า รูปแบบการนำระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง มี 6 องค์ประกอบหลัก คือ 2.1การสร้างแนวป้องกันไฟเปียก (wet fire break) 2.2) การสร้างป่าสร้างรายได้ 2.3) ระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm หรือ Intelligent Farm) 2.4) การพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) 2.5) การจัดการความรู้ร่วมของภาคีเครือข่าย ในลักษณะการทำงานเชิงบูรณาการโครงการ(System Integrator) 2.6) วิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) โดยมีปัจจัยความสำเร็จ 3 ประการ ได้แก่ (1)หลักการทำงานร่วมกันในลักษณะเพื่อนร่วมทาง (Partnership) (2)หลักการสมทบทรัพยากรในการดำเนินงานอย่างมีระบบแบบแผน (3)หลักการแนวคิดชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) 3) ข้อค้นพบ/ข้อเสนอแนะพบว่า “นวัตกรรมป่าเปียก” มีจุดเด่น ได้แก่ 3.1) เป็นการจัดการพื้นที่เกษตรที่สูงโดยใช้ระบบสูบน้ำโซลาร์เซลล์สูบน้ำขึ้นที่สูง 3.2) เป็นการใช้น้ำเพื่อทำให้พื้นที่เกษตรมีความชื้น 3.3) เป็นการสร้างระบบนิเวศเศรษฐกิจใหม่สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน 3.4) มีการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์พืชที่ปลูกในพื้นที่ 3.5) เป็นการพัฒนาพื้นที่เกษตรเดิมเพื่อเพิ่มผลผลิตและรายได้ที่ต่อเนื่อง 3.6) เป็นการเกษตรที่สร้างพื้นที่เพิ่มขึ้นของป่าและมีรายได้ 3.7) กิจกรรมเกษตรที่ไม่เผาป่าเตรียมดินและการรูกพื้นที่ป่า เพื่อลดผลกระทบด้าน PM2.5 และมีจุดอ่อนของการติดตั้งระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” ด้วย

การดำเนินงานต้องใช้เวลานานอย่างน้อย 3 ปี ถึงจะมีผลงานเป็นรูปธรรม โดยปีที่ 1 เป็นการออกแบบวางระบบน้ำ ปีที่ 2 ถึงเริ่มปฏิบัติการปลูกพืชตามแผนงานที่วางไว้ และปีที่ 3 ผลผลิตพืชระยะสั้นคงเริ่มออกให้เก็บเกี่ยวและแปรรูป ดังนั้นการดำเนินงานจึงต้องอาศัยความมุ่งมั่นและความอดทนสูง

คำสำคัญ: นวัตกรรมป่าเปียก การแก้ปัญหาชุมชน เศรษฐกิจพอเพียง ชุมชนอัจฉริยะ



ภาพที่ 1 ปังจ้ยออกของโครงการฯ
(ที่มา ทฤษฎีบันได 9 ขั้น สู่ความสำเร็จ[11])

บทนำ

พื้นที่ อำเภอนายูง จังหวัดหนองคาย เป็น 1 ใน 10 พื้นที่เป้าหมายบริเวณชายแดนบนระเบียงเศรษฐกิจภายใต้งานวิจัยโครงการส่งเสริมและจัดการความรู้เพื่อพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ตามแนวตะเข็บชายแดน และระเบียงเศรษฐกิจเพื่อลดความเหลื่อมล้ำ ซึ่งกรอบแนวคิดของงานวิจัยเน้นวิธีการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม เพื่อให้เกิดความสอดคล้องและเหมาะสมกับบริบทของชุมชน สามารถแก้ไขปัญหาของชุมชนได้ตรงกับปัญหาและความต้องการของชุมชน จากข้อมูลรายงานผลการดำเนินงานที่ผ่านมาได้ พบว่า ด้วยสภาพทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของครัวเรือน ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงทางกระแสนทางวัฒนธรรมที่มุ่งเน้นสนองตอบการท่องเที่ยวมากกว่าการจัดการทางสังคม พฤติกรรมของสังคมในหุบเขาที่อิงกับธรรมชาติ การอยู่ร่วมกับป่าและวัฒนธรรมทางสังคมในการอยู่ร่วมกันหลากหลายกลุ่มชาติพันธุ์ ได้ปรับเปลี่ยนเพื่อความอยู่รอดในสภาวะการณ์ใหม่ ชุมชนส่วนใหญ่จึงมีการปรับตัวในการพัฒนาโดยเฉพาะด้านการพัฒนาอาชีพ มีการสร้างอาชีพตามกระแส เช่น การไปทำงานใช้แรงงานนอกชุมชนของคนกลุ่มวัยทำงาน ส่วนกลุ่มคนที่เหลืออยู่อาศัยในชุมชนเป็นผู้สูงวัยกับกลุ่มเยาวชนที่กำลังเรียน แต่ในการดำเนินงานช่วงหลัง ประกอบกับสถานการณ์ การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-2019) กลุ่มที่ใช้แรงงานจึงได้กลับมาที่ชุมชน และได้พบภาวะค่าใช้จ่ยติดตามตัวมาด้วย เมื่อกิจกรรมหารายได้ภายนอกชุมชนไม่มี ประกอบกับทรัพยากรของชุมชนที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้มีการขยายพื้นที่ ทางเกษตรให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณของผลผลิตให้พอกรับรายจ่ยในชีวิตประจำวันอย่างเร่งด่วน จากเดิมที่มีการทำเกษตรแบบวงจรไร่หมุนเวียน ก็จำเป็นต้องทำเกษตรแบบพื้นที่เดิมมากขึ้น ด้วยชุมชนเป็นเขตป่าไม้อนุรักษ์ การขยายเขตพื้นที่ทำกินจึงกระทำไม่ได้ และยิ่งจะสร้างปัญหาทางกฎหมายและระบบนิเวศมากขึ้น และหากไม่มีการจัดการระบบการผลิตทางการเกษตรที่ดี จะยิ่งสร้างผลกระทบซ้ำเติมต่อความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ทำกิน และกระทบต่อการอยู่ร่วมกับป่า[5]

กรณีพื้นที่สาธิตนำร่องในการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) พื้นที่หมู่ที่ 4 บ้านห้วยต้นนุ่น ตำบลแม่เงา อำเภอบางแก้ว จังหวัดแม่ฮ่องสอน พื้นที่ส่วนใหญ่มีสภาพพื้นที่เป็นพื้นที่ป่าเขา มีพื้นที่ราบระหว่างภูเขาเป็นภูเขาสูง มีป่าไม้ และแหล่งต้นน้ำลำธารที่ยังสมบูรณ์ ลักษณะสภาพพื้นที่การเกษตรของชุมชนส่วนใหญ่อาศัยพื้นที่ราบตามแนวลำธารและที่ราบเชิงเขาทำการเกษตรกรรม เช่น ทำนา ทำไร่ เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น อุณหภูมิเย็นสบายตลอดทั้งปี โดยเฉลี่ยประมาณ 30 - 35 องศาเซลเซียส มีน้ำไหลผ่านกลางหมู่บ้านตลอดปี จึงมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชเกษตรหลากหลายชนิด โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจของจังหวัดแม่ฮ่องสอน และเป็นต้นทุนทางทรัพยากรที่สำคัญของชุมชน เช่น บุกเนื้อทราย ขมิ้นชัน กระชายขาว เห็ดป่า เป็นต้น

จากการประชุมพิจารณาชาวบ้านห้วยต้นนุ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสะท้อนข้อมูลการทำงานที่ผ่านมา นำเสนอต่อตัวแทนชุมชนและภาคีเครือข่ายที่ทำงานร่วมกันให้รับทราบ และเพื่อรับฟังความคิดเห็นโดยเปิดโอกาสให้ตัวแทนชุมชนและภาคีเครือข่ายที่ทำงานร่วมกันได้แสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการทำงานโครงการปีที่ 2 ในที่ประชุมมีข้อสรุปร่วมกันให้มีการส่งเสริมและจัดการความรู้เพื่อพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ตามแนวตะเข็บชายแดนและระเบียงเศรษฐกิจเพื่อลดความเหลื่อมล้ำ

ทางคณะทำงานโครงการจึงได้นำแนวคิดระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ซึ่งเป็นการพัฒนารูปแบบการจัดการพื้นที่เชิงระบบนิเวศที่อิงกับการอยู่ร่วมกับธรรมชาติอย่างเป็นมิตร เป็นการเกษตรแบบผสมผสานที่อาศัยพึ่งพากันในรูปแบบป่าหลายระดับ และการสร้างอาชีพที่อาศัยการอยู่ร่วมกับป่า โดยการบูรณาการองค์ความรู้ของระบบป่าเปียก การสร้างแนวป้องกันไฟเปียก (Wet Fire Break) ตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 เป็นทฤษฎีการพัฒนาป่าไม้โดยใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการสร้างแนวป้องกันไฟเปียก โดยความชุ่มชื้นที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดไฟป่าเกิดยาก ส่งผลให้การพัฒนาและอนุรักษ์พื้นที่ป่าและได้ผลมากขึ้น การใช้แนวทางการสร้างป่าสร้างรายได้ตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อการจัดการป่าและการอยู่ร่วมกันของประชาชนในพื้นที่ ให้เป็นผู้รักษาป่าและอยู่กับป่าอย่างกลมกลืนแบบมีส่วนร่วม โดยใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเสริมประสิทธิภาพการเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำในระบบป่าเปียก เพื่อเป็นแหล่งให้น้ำกับไม้ป่า พืชเกษตรของประชาชนในพื้นที่ และเป็นการสร้างเสริมระบบแนวป้องกันไฟเปียก โดยมุ่งเน้นหลักการพัฒนา 5 ประการคือ

1. มุ่งเน้นการนำหลักตามปรัชญาแนวคิด “เศรษฐกิจพอเพียง” ในลักษณะการมีส่วนร่วมของภาคีความร่วมมือทุกภาคส่วน ในการร่วมสร้างมิติการบริหาร การจัดการ พื้นที่ทำกินของประชาชนที่อาศัยในเขตป่าไม้ธรรมชาติ ด้วยการใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรม และการบริหาร การจัดการ ทรัพยากรร่วมกัน ของภาคีที่เกี่ยวข้อง เช่น หน่วยงาน ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ในลักษณะเพื่อนร่วมทาง (Partnership)

2. มุ่งเน้นให้เป็น ตัวแบบของการพัฒนาอาชีพที่พึ่งพาตัวเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) ในด้านการพัฒนาอาชีพที่พึ่งพาตัวเอง และแก้ปัญหาการบุกรุกป่าและ PM 2.5 ที่สามารถสื่อสารในลักษณะแนวราบ รูปธรรมที่จับต้องได้ ในการส่งต่อความรู้ที่ง่ายต่อความเข้าใจ มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับบริบทด้านทรัพยากรและการเรียนรู้ ผ่านการจัดการความรู้ร่วมของภาคีเครือข่าย ในลักษณะการทำงานเชิงบูรณาการโครงการ (System Integrator) และวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) เพื่อนำไปสู่การสร้างเครือข่ายชุมชนสีเขียวอัจฉริยะ

3. มุ่งเน้นการบูรณาการร่วมกับภาคีเครือข่ายในจังหวัดแม่ฮ่องสอนทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อการแบ่งปัน และขยายผล สร้างการถ่ายทอดองค์ความรู้ (Knowledge Transfer) การแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ซึ่งกันและกัน ในด้านการสร้างอาชีพ (Re-Skilling) และการยกระดับคุณภาพชีวิต (Up-Skilling) ได้อย่างเหมาะสมเพื่อพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ตามแนวตะเข็บชายแดนและระเบียงเศรษฐกิจเพื่อลดความเหลื่อมล้ำ

4. มุ่งเน้นการสร้างภาคีเครือข่ายในการจัดการแบบมีส่วนร่วม การสนับสนุนการปฏิบัติและงบประมาณ ผ่านแผนงานพัฒนาระดับตำบล เพื่อการผลักดันขยายผลจากฐานชุมชนสู่แผนงานยุทธศาสตร์ระดับจังหวัด

5. มุ่งเน้นการผลิตที่ครบวงจรจากพืชผลิตในแปลงนวัตกรรมสู่การแปรรูปเป็นสินค้าผ่านกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) ที่เป็นสินค้ามาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ซึ่งเป็นการพัฒนาภายใต้หลังเศรษฐกิจพอเพียงตามทฤษฎีบันได 9 ขั้น สู่การตลาดและการขายในรูปแบบใหม่ที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง

วิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่อง แนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียก สู่การแก้ปัญหาชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก และเพื่อพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ในพื้นที่อำเภอยางชุมน้อย ครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research : PAR) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิต การกระจายความรู้ รวมทั้งเป้าหมายของการปรับปรุงขีดความสามารถและการปฏิบัติ ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ในทางปฏิบัติและการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงทางสังคม ผ่านทางนักวิจัย กลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ได้รับผลกระทบ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดหลักการ/ทฤษฎีที่นำมาใช้ ได้กำหนดขั้นตอนในการวิจัย ออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ชุมชนมีแนวทางในการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียกแนวคิดหลักการ/ทฤษฎีที่นำมาใช้เช่น [3] พระราชดำริ ป่าเปียก ทฤษฎีการพัฒนาป่าไม้โดยการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการสร้างแนวป้องกันไฟป่าเปียก (Wet Fire Break) และ[4] คู่มือการปฏิบัติงานโครงการสร้างป่าสร้างรายได้ ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี [12] เอื้อมพร ลอยประดิษฐ์, อาบอำไพ รัตนภาณุ(2559) กลไกกรมธรรมชาติ การแปลงปรัชญาเศรษฐกิจ พอเพียงสู่การปฏิบัติ (แบบคนจน). มูลนิธิกลไกธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาและร่างตัวแบบของการประกอบอาชีพในรูปของวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) ที่เกิดจากความร่วมมือและสนับสนุนในรูปของ 5P (Public-Private-People-Partnership-Profit) แนวคิดหลักการ/ทฤษฎีที่นำมาใช้ เช่น [6] การประเมินวัฏจักรชีวิตเครื่องมือสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อม และ[7]การวิเคราะห์ความเข้มแข็งของ วิสาหกิจชุมชนตามแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาและร่างตัวแบบการใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมภายใต้ปรัชญาของหลักเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อการพัฒนาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ด้วยระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm หรือ Intelligent Farm)แนวคิดหลักการ/ทฤษฎีที่นำมาใช้ เช่น [1] การพัฒนารูปแบบที่มีประสิทธิภาพของการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ [2] การพัฒนารูปแบบการสร้างเครือข่ายปฏิบัติการชุมชนและมวลชนสัมพันธ์เพื่อการป้องกันอาชญากรรม [10]เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการพลังงานชุมชน [11] เกษตรอัจฉริยะความหวังใหม่ของภาคเกษตรกรไทย

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการพัฒนาระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก”เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แนวคิดหลักการ/ทฤษฎีที่นำมาใช้ เช่น [8] รูปแบบการพัฒนาชุมชนเพื่อพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาบ้านดอนแดง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม [9] รูปแบบการดำเนินงานของเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนภายใต้กรอบแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน จังหวัดเชียงใหม่

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยคือ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานห้วยต้นนุ่น และเครือข่ายนักพัฒนาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 45 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัยคือแบบบันทึกการประชุมระดมความคิด โดยใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) โดยการวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อการวิเคราะห์เนื้อหาสร้างรูปแบบ สร้างรูปแบบ และประชุมระดมความคิด โดยการสรุปเนื้อหาความคิดเห็น และการประเมินรูปแบบ 4 ด้าน ความสอดคล้อง ความเหมาะสม ความเป็นไปได้ และความเป็นประโยชน์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การประชุมแบบระดมความคิด (Brain-storming) จำนวน 45 คน และการศึกษาเอกสารของรูปแบบการใช้การวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์รูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน มีกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1) เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การประชุมแบบระดมความคิด (Brain storming) ทีมวิจัย (PAR) เพื่อออกแบบการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูล การศึกษาเอกสารของรูปแบบการใช้การวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และใช้การวิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์รูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน

2) ทีมวิจัย (PAR) ใช้การประชุมวางแผน การสนทนากลุ่มกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย การระดมความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย และถอดบทเรียนจากกลุ่มตัวอย่างงานวิจัยและ โดยข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย ข้อมูลสภาพกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานห้วยต้นนุ่น ปัญหาเกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ชุมชนมีแนวทางในการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ชุมชนมีแนวทางในการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก

3) การร่างตัวแบบการใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมภายใต้หลักการเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก และเพื่อพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ใช้การระดมความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย และภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หน่วยงานวิชาการ หน่วยงานรัฐในพื้นที่เป้าหมาย และองค์กรเอกชนการพัฒนา

4) การประเมินการพัฒนา แนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียก สู่การแก้ปัญหาชุมชน ระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” เป็นการสะท้อนข้อมูลจากการถอดบทเรียนให้กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยได้ตรวจสอบข้อมูล พัฒนาข้อมูลและรับรองข้อมูล ใช้การถอดบทเรียน โดยกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย และภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หน่วยงานวิชาการ หน่วยงานรัฐในพื้นที่เป้าหมาย และองค์กรเอกชน และการสะท้อนข้อมูลจากการถอดบทเรียนให้กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยได้ตรวจสอบข้อมูล พัฒนาข้อมูลและรับรองข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้การ วิเคราะห์เชิงเนื้อหาเป็นหลัก โดยเป็นการวิเคราะห์ไปพร้อม ๆ กับการรวบรวมข้อมูล และทำงานเป็นขั้นตอนตามวัตถุประสงค์จากการวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์เนื้อหา ทฤษฎีบันได 9 ขั้น สู่ความสำเร็จ[11] สภาพ ปัญหา และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จนถึงการร่างแนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชน วิเคราะห์ร่างรูปแบบจาก ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน ในการพัฒนาและร่างตัวแบบของการประกอบอาชีพในรูปของวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) ที่เกิดจากความร่วมมือและสนับสนุนในรูปของ 5P (Public-Private-People-Partnership-Profit) และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน



ภาพที่ 2 นวัตกรรมและเทคโนโลยีพลังงานชุมชน

ผลการวิจัย

ผลการศึกษสามารถอธิบายตามกรอบแนวคิด ในการใช้นวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชน โดยคณะวิจัย เชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) และภาคีเครือข่ายพัฒนาแม่ฮ่องสอน ได้ร่วมกัน ดำเนินงานที่มุ่งเน้นกระบวนการมีส่วนร่วมและการแบ่งปันความรู้ เพื่อนำไปสู่การจัดการกับผลกระทบที่เกิดขึ้นให้กับ ท้องถิ่น ด้วยคนท้องถิ่น ที่สำคัญการพัฒนากระบวนทัศน์ความรู้เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัย พลังการเรียนรู้เชิงเครือข่ายความร่วมมือ มีวัตถุประสงค์ เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชน อัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก และเพื่อพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การ แก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research : PAR) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1 การจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ชุมชนมีแนวทางในการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก 2 การพัฒนาและร่างตัวแบบของการประกอบ อาชีพในรูปของวิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) ที่เกิดจากความร่วมมือและสนับสนุนในรูปของ 5P (Public-Private-People-Partnership-Profit) 3 การพัฒนาและร่างตัวแบบการใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ภายใต้ปรัชญาของหลักเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อการพัฒนาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ด้วยระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm หรือ Intelligent Farm) และ 4 การประเมินการพัฒนาระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” เพื่อการจัดการความรู้และ

ส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานห้วยต้นนุ่น และเครือข่ายนักพัฒนาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 45 คน เครื่องมือการวิจัยคือแบบบันทึกการประชุมระดมความคิด โดยใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) โดยการวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อการวิเคราะห์เนื้อหาสร้างร่างรูปแบบ สร้างรูปแบบ และประชุมระดมความคิด โดยการสรุปเนื้อหาความคิดเห็น และการประเมินรูปแบบ 4 ด้าน ความสอดคล้อง ความเหมาะสม ความเป็นไปได้ และความเป็นประโยชน์ การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้การประชุมแบบระดมความคิด (Brain-storming) จำนวน 45 คน และการศึกษาเอกสารของรูปแบบใช้การวิเคราะห์ แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์ร่างรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน มีกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้ 1) เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการประชุมแบบระดมความคิด (Brain storming) และใช้การวิเคราะห์เนื้อหา วิเคราะห์ร่างรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน 2) การประชุมวางแผนกลุ่มตัวอย่างงานวิจัยโดยใช้การสนทนากลุ่ม การระดมความคิดเห็น และถอดบทเรียน 3) การร่างตัวแบบการใช้องค์ความรู้ โดยใช้การระดมความคิดเห็นกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย และภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หน่วยงานวิชาการ หน่วยงานรัฐในพื้นที่เป้าหมาย และองค์กรเอกชนการพัฒนา 4) การประเมินการพัฒนา ใช้การถอดบทเรียน โดยกลุ่มตัวอย่างงานวิจัย และภาคีเครือข่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หน่วยงานวิชาการ หน่วยงานรัฐในพื้นที่เป้าหมาย และองค์กรเอกชน การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้การ วิเคราะห์เชิงเนื้อหาเป็นหลัก โดยเป็นการวิเคราะห์ไปพร้อม ๆ กับการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ร่างรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 10 คน และการประเมินรูปแบบ ใช้แบบประเมินรูปแบบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 9 คน มีผลการวิจัยดังนี้

1) การจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ด้วยระบบนวัตกรรมป่าเปียก พบว่า กระบวนการสร้างระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” ไม่ได้มีความหมายที่มุ่งเน้นในด้านเทคโนโลยี แต่เป็นนวัตกรรมในด้านการจัดการที่ส่งผลให้ชุมชนสามารถใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนมาแก้ปัญหาของชุมชนในด้าน เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยคนในชุมชนเอง และสร้างเป็นเครือข่ายการขับเคลื่อน เพื่อเป็นกลไกในการจัดการทรัพยากรร่วมกัน และขยายผลต่อในรูปแบบวิสาหกิจประชาชน เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) แบบมีส่วนร่วมของเครือข่ายหุ้นส่วนการจัดการเชิงพหุภาคี มีการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งเพื่อให้บรรลุผล สู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ดังนี้ 1.1) ส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรบุคคล (Human Resource Development) ในลักษณะของการเรียนรู้ร่วมกัน (Participation learning) โดยเฉพาะ คือ ผู้นำ กลุ่มอาชีพหรือกลุ่มประชาชนที่มีการดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นกลไกสำคัญของการทำงาน ในลักษณะการผสมผสานและการมีส่วนร่วมนั้น จะต้องผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งผลต่อการปรับวิถีคิดและการลงมือปฏิบัติ ในขณะเดียวกันการได้ลงมือปฏิบัติจริงก็จะเกิดการเรียนรู้ร่วมกันอย่างจริงจัง ซึ่งจะส่งผลไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การอยู่ร่วมกันในชุมชน และสร้างพลังของการขับเคลื่อนเชิงระบบ 1.2) เน้นการมีส่วนร่วม (Participation) และเป็นกระบวนการเชิงระบบ (System Approach) คือ เริ่มตั้งแต่ขั้นของการคิดวิเคราะห์ปัญหา การวางแผน การลงมือทำการติดตามผล และการรับผลประโยชน์ร่วมกัน ทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม เพื่อความต่อเนื่องในการดำเนินงาน หลังจากขั้นสิ้นสุด โครงการทั้งในเรื่องของแนวคิด กระบวนการทำงาน ทรัพยากรบุคคลและงบประมาณในการสนับสนุนการดำเนินงาน 1.3) ผสมผสานการดำเนินกิจกรรม (Integration) การสร้างระบบการบริหารจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม เข้าไปในกระบวนการทำงานของโรงเรียนและวิถีชีวิตของชุมชน ตั้งแต่ระดับนโยบายจนถึงระดับปฏิบัติในแผนงานทุกหมวด และเป็นการดำเนินงานในลักษณะองค์รวม (Holism) 1.4) การติดตามประเมินผลแบบมีส่วนร่วม (Self-Monitoring & Evaluation) เพื่อให้เกิดการปรับปรุง/พัฒนาตนเอง และนำไปสู่การบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยการสรุปบทเรียน (Lesson Learned) เป็นระยะ ๆ และการนิเทศติดตาม ประเมินผลร่วมกัน

2) การพัฒนารูปแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง พบว่า รูปแบบการนำระบบนวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชนที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลง มี 6 องค์ประกอบหลัก คือ 2.1) การสร้างแนวป้องกันไฟเปียก (wet fire break) พระราชดำริ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 (wet fire break) 2.2) การสร้างป่าสร้างรายได้ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี 2.3) ระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm หรือ Intelligent Farm) 2.4) การพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน (Sustainable Self-Reliance Prototype) 2.5) การจัดการความรู้ร่วมของภาคีเครือข่าย ในลักษณะการทำงานเชิงบูรณาการโครงการ(System Integrator) 2.6) วิสาหกิจชุมชน (Community Enterprise Model) โดยมีปัจจัยความสำเร็จ 3 ประการเพื่อหลอมรวมกันเป็นยุทธศาสตร์การบริหารและการพัฒนาภายใต้การเปลี่ยนแปลงและสอดคล้องระบบเศรษฐกิจใหม่ ด้วยการถักทอทุนที่มีอยู่ในชุมชนมาสมทบอย่างเป็นระบบ ได้แก่ (1)หลักการดำเนินงานร่วมกันในลักษณะเพื่อนร่วมทาง (Partnership) (2)หลักการสมทบทรัพยากรในการดำเนินงานอย่างมีระบบแบบแผน (3)หลักการแนวคิดชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community)

3) ข้อค้นพบ/ข้อเสนอแนะ ผลการศึกษาสามารถอธิบายตามกรอบแนวคิด ในการใช้นวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชน โดยคณะวิจัย พบว่า “นวัตกรรมป่าเปียก” มีจุดเด่น ได้แก่ 3.1) เป็นการจัดการพื้นที่เกษตรที่สูงโดยใช้ระบบสูบน้ำโซลาร์เซลล์สูบน้ำขึ้นที่สูงที่มีสระน้ำรองรับแล้วปล่อยน้ำไหลลงมาตามร่องหรือคลองใส่ไถ้ให้ไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นการให้น้ำพืชเกษตรที่มีการออกแบบระบบปลูกแบบผสมและเอื้อต่อกันในความสูงของพืชหลายระดับ 3.2) เป็นการใช้น้ำเพื่อทำให้พื้นที่เกษตรมีความชื้นเหมาะสมกับทำการเกษตรตลอดปีในรูปแบบเกษตรผสมผสานแบบพึ่งพากัน 3.3) เป็นการสร้างระบบนิเวศเศรษฐกิจใหม่สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน 3.4) มีการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์พืชที่ปลูกในพื้นที่ 3.5) เป็นการพัฒนาพื้นที่เกษตรเดิมเพื่อเพิ่มผลผลิตและรายได้ที่ต่อเนื่อง 3.6) เป็นการเกษตรที่สร้างพื้นที่เพิ่มขึ้นของป่าและมีรายได้ 3.7) กิจกรรมเกษตรที่ไม่เผาป่าเตรียมดินและการรูกพื้นที่ป่า เพื่อลดผลกระทบด้าน PM2.5 และมีจุดอ่อนของการติดตั้งระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” ด้วยการดำเนินงานต้องใช้เวลาอย่างน้อย 3 ปี ถึงจะมีผลงานเป็นรูปธรรม โดยปีที่ 1 เป็นการออกแบบวางระบบน้ำ แบ่งพื้นที่ปลูกพืชหลายระดับเช่น ไม้ผลปลูกที่ไร้ตรงไหน ไม้พุ่มเตี้ยตรงไหน อาคารกิจกรรม ในพื้นที่ให้ชัดเจนติดตั้งระบบสูบน้ำขึ้นไว้ที่สูงสูงถึงแก่นน้ำ หรือถ้าสูงมากอาจแบ่งการสูบน้ำลงถังเก็บน้ำเป็น 2 ชุด เพื่อให้ง่ายต่อการบริหารจัดการน้ำ ปีที่ 2 ถึงเริ่มปฏิบัติการปลูกพืชตามแผนงานที่วางไว้ ถ้ามีงบประมาณสนับสนุนงานก็จะไว แต่ถ้าเป็นงบประมาณสมทบคงต้องรอความพร้อมแล้วค่อยๆทำไป ปีที่ 3 ผลผลิตพืชระยะสั้นคงเริ่มออกให้เก็บเกี่ยวและแปรรูป ดังนั้นการดำเนินงานจึงต้องอาศัยความมุ่งมั่นและความอดทนสูง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแนวคิดในการใช้นวัตกรรมป่าเปียกสู่การแก้ปัญหาชุมชน โดยใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) ของทีมนักวิจัย และภาคีเครือข่ายพัฒนาแม่ฮ่องสอน ได้นำแนวคิดระบบ “นวัตกรรมป่าเปียก” เพื่อการจัดการความรู้และส่งเสริมความเข้มแข็งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะ (Smart Community) ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่

แนวคิดและหลักการพัฒนามี 5 ประการ ดังนี้

1) การนำหลักตามปรัชญาแนวคิด “เศรษฐกิจพอเพียง” เป็นการทำนาคชีวิตและการพัฒนาพื้นที่การเกษตรหรือการประกอบอาชีพที่เน้นความสมดุลและความยั่งยืนผ่านหลัก 3 ห่วง 2 เงื่อนไข ได้แก่

1.1) ความพอประมาณ: การดำเนินชีวิตหรือการประกอบอาชีพโดยมีความพอดี ไม่มากหรือน้อยเกินไป ไม่เบียดเบียนตนเองและผู้อื่น เป็นการประกอบอาชีพอย่างชาญฉลาด การออกแบบการประกอบอาชีพที่เหมาะสม สอดคล้อง กับสภาพของพื้นที่หรือต้นทุนที่ตนเองมี ทั้งทางทุนทางทรัพยากร ทุนทางเงินทุน ทุนทางปัญญา

หรือทุนเดิม เป็นต้น เป็นการออกแบบนวัตกรรมป่าเปียกภายใต้เงื่อนไขของการนำ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรม และเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต อย่างเหมาะสม สอดคล้อง กับต้นทุนของตนเองที่มีอยู่

1.2) ความมีเหตุผล: การตัดสินใจและการกระทำใด ๆ ต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของเหตุผลและความถูกต้อง โดยพิจารณาจากข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวข้อง เป็นการนำต้นทุนภายในมาประกอบการออกแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกที่ผสมผสานปัจจัยภายนอก และแสวงหาความรู้ นำมาประกอบเป็นข้อมูลในการออกแบบ โดยใช้ปัจจัยภายนอกเป็นเงื่อนไข และใช้ปัจจัยภายในเป็นคำตอบในการออกแบบระบบที่สามารถตอบโจทย์ด้านมิติของสังคม สิ่งแวดล้อม การเมือง เศรษฐศาสตร์ และสุขภาพ

1.3) การสร้างภูมิคุ้มกันที่ดีในตัว: การเตรียมพร้อมรับมือกับการเปลี่ยนแปลงและความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เป็นการออกแบบระบบนวัตกรรมป่าเปียกที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงใหม่ของภูมิสังคมศาสตร์ โครงสร้าง ระบบ และกระบวนการทางสังคมมีปฏิสัมพันธ์กับพื้นที่ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและพื้นที่ สภาพภูมิโนเวที่จะช่วยในการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างเป็นระบบเพื่อการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การปรับเปลี่ยนทางภูมิเศรษฐศาสตร์ (Goeconomics) เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันด้านการใช้เครื่องมือทางเศรษฐกิจเพื่อเป็นเครื่องมือในการประกอบการพัฒนาอาชีพ

2 เงื่อนไข:

ด้านเงื่อนไขความรู้: ภายใต้ของการพัฒนาการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องให้เกิดการปรับตัวรองรับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง ใช้ความรู้ในการวางแผนและตัดสินใจในการนำหลักวิทยาศาสตร์ นวัตกรรม และเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิต อย่างเหมาะสม สอดคล้อง กับการเปลี่ยนแปลงใหม่ตลอดเวลา

ด้านเงื่อนไขคุณธรรม: ความซื่อสัตย์สุจริต ความอดทน ความเพียร และความรับผิดชอบเป็นสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้ในการสร้างระบบนวัตกรรมป่าเปียก โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ การให้บริการ และการพัฒนาด้านต่างๆ ของชุมชน ทั้งเป็นการรับรอง มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ การยึดมั่นหลักเศรษฐกิจพอเพียง เพื่อช่วยให้เกิดความสมดุล สามารถพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง ในทุกๆ ด้าน ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรม

2) การสร้างตัวแบบในการพัฒนาอาชีพรักษาสีสิ่งแวดล้อม และแก้ปัญหาการบุกรุกป่า และ PM 2.5 ด้วยนวัตกรรมป่าเปียกกับการพึ่งตนเองอย่างยั่งยืน ตัวแบบที่แปลงนวัตกรรมป่าเปียกห้วยต้นนุ่น ตำบลแม่เงา อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน พื้นที่ 8 ไร่ ดำเนินงานมา 2 ปี ได้ปลูกกล้วยน้ำว้า จำนวน 400 ต้น จากการเก็บข้อมูลในรอบ 1 ปี พบว่า สามารถให้ผลผลิตได้ 3 รุ่นต่อปี โดยในรอบที่ 1 ระยะเก็บเกี่ยวครั้งแรกหลังปลูก 16 เดือน พื้นที่ 1 ไร่ ได้ผลผลิต 400 เครือ น้ำหนักเฉลี่ย 7,200 กิโลกรัม ขายกิโลกรัมละ 4 บาท ได้เงินจำนวน 28,800 บาท รอบที่ 2 หลังเก็บเกี่ยวครั้งแรก 4 เดือน ผลผลิตเฉลี่ย 5,700 กิโลกรัม ขายกิโลกรัมละ 5 บาท ได้เงินจำนวน 28,500 บาท รอบที่ 3 หลังเก็บเกี่ยวครั้งแรก 9 เดือน ผลผลิตเฉลี่ย 6,800 กิโลกรัม ขายกิโลกรัมละ 4 บาท ได้เงินจำนวน 27,200 บาท สรุปรอบ 1 ปีแรกเก็บเกี่ยวจำนวน 3 ครั้ง มีรายได้ 84,500 บาทต่อปีได้ลงทุนเป็นค่าแรงงานดูแล การเก็บเกี่ยวและนำไปขายที่ตลาดอำเภอแม่สะเรียง เป็นเงิน 21,000 บาท คงเหลือ 63,500 บาทหรือมีรายได้เฉลี่ย 5,291 บาท ต่อเดือน ปัจจุบันกำลังพัฒนาการแปรรูปให้เป็นผงแป้งกล้วยเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ของกลุ่มต่อไป ซึ่งสามารถสร้างรายได้หลักให้กับกลุ่มวิสาหกิจได้ ในส่วนแก้ปัญหาการบุกรุกป่า และ ลด PM 2.5 เนื่องจากระบบนวัตกรรมป่าเปียกได้สูบน้ำขึ้นไปในที่สูงและปล่อยน้ำผ่านร่องน้ำให้ไหลลงแปลงเกษตรทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำ ประกอบกับมีการปลูกกล้วยที่สามารถกักเก็บความชื้นให้กับดินซึ่งเป็นผลต่อการป้องกันการฝุ่นละอองหรือฝุ่นในระดับ PM 2.5 และการปลูกพืชเกษตรในรูปแบบของสร้างป่าสร้างรายได้ เป็นเหตุผลส่วนหนึ่งของการแก้ปัญหาการบุกรุกป่า



ภาพที่ 3 นายปัญญา กลองสติปัญญา ประธานกลุ่มวิสาหกิจเกษตรผสมผสานบ้านห้วยต้นนุ่น
นำกล้วยไปขายที่อำเภอแม่สะเรียง



ภาพที่ 4 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบ Greenhouse ขนาด 2.0 x 2.0 เมตร

3) การบูรณาการร่วมกับภาคีเครือข่ายในจังหวัดแม่ฮ่องสอนทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากการดำเนินงานตัวแบบที่แปลงนวัตกรรมป่าเปียกห้วยต้นนุ่น ตำบลแม่เงา อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีหน่วยงานที่เข้าร่วมกิจกรรมได้แก่

- 3.1) สำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน
- 3.2) สำนักงานเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน
- 3.3) สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดแม่ฮ่องสอน
- 3.4) องค์การบริหารส่วนตำบลปางหมู อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน

4) การสร้างภาคีเครือข่ายในการจัดการแบบมีส่วนร่วม เกิดเครือข่ายความร่วมมือในการพัฒนารูปแบบนวัตกรรมป่าเปียก 3 เครือข่าย เช่น โรงเรียนพุทธเกษตรขุนยวมกำลังนำแนวคิดการใช้นวัตกรรมป่าเปียกทำเป็นแปลงสาธิต

เพื่อเป็นตัวแทนในการเผยแพร่ให้กับชุมชนที่สนใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาชุมชน ขาดแต่ระบบน้ำ มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากแปลงสาธิตด้วยตูบแห้ง เป็นต้น กลุ่มเกษตรอินทรีย์ผสมผสานขุนยวมนำโดยนายปารมี สุวรรณอาภา ได้นำแนวคิดนวัตกรรมป่าเปียกทำเป็นแปลงสาธิตมีระบบน้ำโซลาร์เซลล์สูบน้ำขึ้นไประถน้ำในพื้นที่ 3 ไร่ เป็นต้น และกลุ่มเกษตรผสมผสานปลูกโกโก้เป็นรายได้หลักพื้นที่ 2 ไร่ บ้านพะโหล่ ตำบลปางหมู อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีพืชไม้ผลอื่นผสมในแปลง ได้ให้ทางผู้เชี่ยวชาญออกแบบระบบน้ำและของปี 69 จากทางสำนักงานพลังงานจังหวัดแม่ฮ่องสอนเพื่อติดตั้งระบบน้ำ เป็นต้น

5) การผลิตที่ครบวงจรจากพืชผลิตในแปลงนวัตกรรมสู่การแปรรูปเป็นสินค้าผ่านกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในรอบ 1 ปีของการส่งเสริมกลุ่มวิสาหกิจเกษตรผสมผสานบ้านห้วยต้นนุ่น ได้นำกล้วยน้ำว้าวาตดองผลิตเป็นแปงกล้วยและทำกล้วยอบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบ Greenhouse ขนาด 2.0 x 2.0 เมตร แต่ยังคงอยู่ในช่วงการพัฒนาผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 5 นายปัญญา กลองสติปัญญา ประธานกลุ่มวิสาหกิจเกษตรผสมผสานบ้านห้วยต้นนุ่น
แปรรูปแปงกล้วยน้ำว้าวาตดองเครื่องบดละเอียดของโรงเรียนพุทธเกษตรที่เป็นเครือข่ายในพื้นที่อำเภอขุนยวม



ภาพที่ 6 รูปแบบนวัตกรรมป่าเปียก



ภาพที่ 7 สูดน้ำชั้นที่สูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รหัสทุนวิจัย N71B650415 ปีงบประมาณ 2564-2565 และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) โครงการหมู่บ้านนวัตกรรมเพื่อสังคม : ไอเดียแฮค (Social Innovation Village: IDEA HACKS) ปีงบประมาณ 2566

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ (พิเศษ) ดร.กาญจนา เจริญศิริ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำแนะนำ แก่ไข และสนับสนุนบุคลากร จนทำให้การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ กลุ่ม องค์กรภาคีเครือข่ายพัฒนาในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน และหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องที่กรุณาให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีวรรณ อินดา. (2552). การพัฒนารูปแบบที่มีประสิทธิภาพของการนำกลยุทธ์ไปปฏิบัติในสถาบันอุดมศึกษา **ของรัฐ**. มหาวิทยาลัยศิลปากร/นครปฐม.
- [2] เทอดเกียรติ วงศาโรจน์. (2558). การพัฒนารูปแบบการสร้างเครือข่ายปฏิบัติการชุมชนและมวลชนสัมพันธ์เพื่อ **การป้องกันอาชญากรรม**. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาพัฒนศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. พระราชดำริ ป่าเปียก ทฤษฎี **การพัฒนาป่าไม้**โดยการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการสร้างแนวป้องกันไฟเปียก (Wet Fire Break) สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2566, จาก <https://www.chaipat.or.th/concept-and-theory-development/theory-developed-forest-restoration.html>
- [4] สำนักพระราชวัง, (2561). คู่มือการปฏิบัติงานโครงการสร้างป่าสร้างรายได้ ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์อสาธิตการพิมพ์ กรมการปกครอง.
- [5] สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 – 2564, โครงการส่งเสริมและจัดการความรู้เพื่อพัฒนา **ทรัพยากรมนุษย์ตามแนวตะเข็บชายแดนและระเบียงเศรษฐกิจเพื่อลดความเหลื่อมล้ำพื้นที่ อำเภอยางชุมน้อย**

จังหวัดแม่ฮ่องสอน,มหาวิทยาลัยนเรศวร และ เครือข่ายมหาวิทยาลัยภาคเหนือตอนล่าง

- [6] ปัญจพัชรกร บุณพร้อม และเพชรวัลย์ ถิรวณัฐพงศ์. (2556). การประเมินวัฏจักรชีวิตเครื่องมือสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 23 (1), 232-240.
- [7] ญาณิ พายัพสาย, สุมาลี สันติพลวุฒิ และปิยะพรรณ ช่างวันชัย. (2558). “การวิเคราะห์ความเข้มแข็งของ วิสาหกิจชุมชนตามแนวคิดการพัฒนายั่งยืน”, ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่12. วันที่ 8 - 9 ธันวาคม 2558 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม 2. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [8] รังสรรค์ สิงห์เลิศ และนิภาภรณ์ จงวุฒิเวศย์. (2561). รูปแบบการพัฒนาชุมชนเพื่อพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาบ้านดอนแดง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 5 (1), 133-144.
- [9] ณัฐพนธ์ สกกุลพงษ์, จักรพงษ์ พวงงานชื่น, นครเศร รังควัต และพุดิสสรค์ เครือคำ. (2565), รูปแบบการดำเนินงานของเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนภายใต้กรอบแนวคิดการพัฒนายั่งยืน จังหวัดเชียงใหม่. วารสารผลิทธิกรรมการเกษตร. 4 (2), 104-115.
- [10] พิสิษฐ์ มณีโชติ. (2560). เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการพลังงานชุมชน. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [11] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). เกษตรอัจฉริยะความหวังใหม่ของภาคเกษตรกรไทย สืบค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2564 จาก <https://www.arda.or.th/detail/6195>
- [12] เอี่ยมพร ลอยประดิษฐ์, อาบอำไพ รัตนภาณุ(2559) กลไกกรรมธรรมชาติ การแปลงปรัชญาเศรษฐกิจ พอเพียงสู่การปฏิบัติ (แบบคนจน). มูลนิธิกลไกกรรมธรรมชาติ

การประเมินค่าใช้จ่ายทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานระดับครัวเรือน
กรณีศึกษาเทศบาลเมืองเมืองแกพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

Assessment of energy costs and environmental impacts from household energy use:
a case study of Muang Kaen Phatthana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai
Province

ธนาวัฒน์ ไชยโย¹ รจพรรณ นิรันดศิลป์¹ ภคมน ปินตานา¹ ประกิตต์ โกะสูงเนิน² และ ธเนศ ไชยชนะ^{1*}
Tanawat Chaiyo¹ Rotjapun Nirunsin¹ Pakamon Pintana¹ Prakit Kohsungnoen² and Tanate Chaichana^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

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

²Plant production technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

¹Corresponding author: Tel.: 094-728-1606. E-mail address: Tanawat10022540@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to assess household energy expenditures in the community area of Muang Kaen Pattana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai Province. The research analyzes the greenhouse gas (GHG) emissions resulting from energy use. Data are collected using questionnaires from a 360 sample of households in the study area. The analysis focuses on energy consumption in three categories: electricity, fuel for transportation, and fuel for cooking. Households are classified into six income groups, labeled I1 to I6, from the lowest to the highest income levels. The study finds the proportion of energy expenditure to household income in each group to be 28.02%, 25.45%, 19.04%, 20.64%, 20.44%, and 20.33% for groups I1 through I6, respectively. Households spend 22.65% of their income on energy, with 72% for transportation fuel, 22% for electricity, and 6% for cooking fuel. The average household consumes 3,883.9 MJ/month. The average monthly energy consumption for household groups I1-I6 is 1,916.5 MJ, 2,493.0 MJ, 2,902.1 MJ, 4,153.6 MJ, 5,156.2 MJ, and 6,682.1 MJ, respectively. Electricity, transportation fuel, and cooking fuel account for 19%, 63%, and 18% of the total energy consumption, respectively. Households in group I6 consume, on average, 3.48 times more energy than those in group I1. This reflects a direct link between energy consumption behavior and environmental impact. The more energy is consumed, the greater the GHG emissions. In terms of energy expenditure, lower-income households (group I1) consume less energy. They bear a higher energy cost burden relative to their income. This highlights economic vulnerability. Lower -

income households spend a greater proportion of their income on energy compared to higher-income households.

Keywords: Community energy, greenhouse gas emissions, electrical energy

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้มีเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานภาคครัวเรือนในพื้นที่ชุมชนของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่ และทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานโดยใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลจากครัวเรือนกลุ่มตัวอย่าง 360 ครัวเรือน ในพื้นที่เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยพิจารณาจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานจากเชื้อเพลิงยานพาหนะ และพลังงานจากเชื้อเพลิงการหุงต้ม และแบ่งกลุ่มครัวเรือนจากรายได้หลักเป็น 6 กลุ่มคือ I1-I6 โดยเรียงจากรายได้น้อยจนถึงรายได้มากที่สุดตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายได้แบ่งตามประเภทคือเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6 การใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 3,883.9 MJ/เดือน/ครัวเรือน โดยการใช้พลังงานเฉลี่ยครัวเรือนแต่ละกลุ่มคือ 1,916.5 2,493.0 2,902.1 4,153.6 5,156.2 และ 6,682.1 MJ/เดือน/ครัวเรือน เรียงจากกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานรวมในส่วนของพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 19 พลังงานในกลุ่มเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 63 และพลังงานในกลุ่มของเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 18 และพบว่าครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 เฉลี่ยเท่ากับ 3.48 เท่า ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 333.96 kgCO₂eq/เดือน/ครัวเรือน และพบว่าครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 เท่ากับ 3.53 เท่า ซึ่งแสดงถึงความเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างพฤติกรรมการใช้พลังงานกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมยิ่งใช้มากยิ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) มาก ในด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแม้กลุ่มครัวเรือนรายได้น้อย (I1) จะใช้พลังงานน้อยกว่าแต่กลับมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงเมื่อคิดเป็นสัดส่วน สะท้อนให้เห็นถึงความเปราะบางด้านเศรษฐกิจ ครัวเรือนที่มีรายได้น้อยกลับต้องเสียสัดส่วนรายได้กับพลังงานมากกว่าครัวเรือนที่มีรายได้มาก

คำสำคัญ: พลังงานชุมชน, การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, พลังงานไฟฟ้า

บทนำ

จากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้แหล่งพลังงานภายในประเทศไม่เพียงพอ ประเทศไทยจึงต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศ [1] ส่งผลให้ได้รับผลกระทบอย่างหนักจากวิกฤตราคาพลังงาน นอกจากนี้การใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกการลดลงของชั้นโอโซน และภาวะโลกร้อนในระยะยาว [2] เพื่อรับมือกับวิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลัก ระหว่างปี พ.ศ. 2558 – 2579 ภายใต้แผนบูรณาการพลังงานระยะยาว (Thailand Integrated Energy Blueprint: TIEB) [3] แม้มีการปรับแผนเพื่อลดต้นทุนและผลกระทบ แต่ก็ยังไม่เพียงพอภาครัฐจึงต้องขอความร่วมมือจากประชาชนในการประหยัดพลังงาน การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในระดับพื้นที่

การศึกษาการใช้พลังงานภาคครัวเรือนได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องจากงานวิจัยของ ประภากร เลาเรือง และคณะ (2562) ศึกษาแบบการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่บ้านวังบึง หมู่ที่ 6 ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บข้อมูลจาก 127 ครัวเรือน ซึ่งรวมถึงข้อมูลประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า จำนวน และระยะเวลาการใช้งาน ตลอดจนชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะและการหุงต้มในครัวเรือน ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปคำนวณเป็นพลังงานเทียบเท่า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจำแนกออกเป็น 5 กลุ่มตัวอย่าง (C1–C5) ตามลักษณะการใช้พลังงานและระดับรายได้ของครัวเรือน ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละกลุ่มอยู่ที่ 7.20, 38.44, 127.46, 131.88 และ 220.89 KOE ตามลำดับ ขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 41.21, 173.05, 434.65, 470.57 และ 732.16 kgCO₂eq ตามลำดับของกลุ่ม C1 ถึง C5 [4] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานในครัวเรือนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับรายได้และพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างชัดเจน

จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการทำความเข้าใจบริบทของแต่ละชุมชนเพื่อวางแผนทางในการจัดการพลังงาน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งยังขาดข้อมูลที่เพียงพอในหลายพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายด้านพลังงานภาคครัวเรือน และวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชุมชนเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งจะพื้นฐานข้อมูลสำคัญในการกำหนดนโยบายพลังงานที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบสอบถามสำหรับการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มพลังงานไฟฟ้า (แสงสว่าง, ความร้อน, มอเตอร์หมุน, ความเย็น, อิเล็กทรอนิกส์)

กลุ่มพลังงานเชื้อเพลิงยานพาหนะ (น้ำมันเบนซิน, น้ำมันดีเซล)

กลุ่มพลังงานเชื้อเพลิงหุงต้ม (แก๊ส LPG, ฟืน, ถ่าน)

2.2 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อลดพื้นที่ทำการเก็บข้อมูล โดยใช้วิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีการของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.05 [5] ซึ่งพบว่าในพื้นที่เขตที่ 1 เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่มี 9 ชุมชนซึ่งมีจำนวนครัวเรือน 1,803 ครัวเรือน [6]

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง 0.05

2.3 เก็บข้อมูลในพื้นที่เขตที่ 1 ของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 9 ชุมชน จากกลุ่มตัวอย่าง 360 ครัวเรือน โดยแบ่งตามสัดส่วนจำนวนครัวเรือนของแต่ละชุมชนดังตารางที่ 1 และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารายได้มีผลต่อการใช้พลังงานจึงได้จำแนกระดับการใช้พลังงานตามรายได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

I1 รายได้น้อย (ต่ำกว่า 5,000 บาทต่อเดือน)

I2 รายได้ค่อนข้างน้อย (5,001-10,000 บาทต่อเดือน)

I3 รายได้ปานกลาง (10,001-15,000 บาทต่อเดือน)

I4 รายได้ค่อนข้างมาก (15,001-20,000 บาทต่อเดือน)

I5 รายได้มาก (20,001-25,000 บาทต่อเดือน)

I6 รายได้มากที่สุด (มากกว่า 25,000 บาทต่อเดือน)

ตารางที่ 1 จำนวนครัวเรือนและจำนวนกลุ่มตัวอย่างในเขตที่ 1 ของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา

ลำดับ	ชื่อชุมชน	จำนวนครัวเรือน (ครัวเรือน)	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (ครัวเรือน)
1	บ้านหนองรวมใจ	234	50
2	สันป่าตองอินทิล	199	40
3	ทางดง 1	107	20
4	ทางดง 2	128	25
5	บ้านปง 1	314	60
6	บ้านปง 2	289	60
7	บ้านปง 3	227	45
8	บ้านเด่น 1	124	25
9	บ้านเด่น 2	181	35
รวม		1,803	360

2.4 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า (MJ/Unit) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Factor) โดยค่า Emission Factor รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิ สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (CFO) จากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ใช้คำนวณพลังงานโดยแปลงเป็นพลังงานเทียบเท่าค่า Emission Factor และราคาพลังงาน

ชนิดพลังงาน	หน่วย (Unit)	Energy Equivalent (MJ/Unit) [7]	Emission Factor (kgCO ₂ eq/Unit) [8]	ราคาพลังงาน (บาท/หน่วย)
ไฟฟ้า	kWh	3.60	0.4999	4
Benzene	Liter	31.48	2.3116	42
Diesel	Liter	36.42	2.9793	32
LPG	kg	50.22	3.1134	33
ฟืน	kg	15.99	1.7909	1
ถ่าน	kg	28.88	-	12

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของชุมชน

จากการเก็บข้อมูลเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ จากกลุ่มตัวอย่าง 360 ครัวเรือนการประกอบอาชีพหลักของครัวเรือนพบว่าร้อยละ 38 เป็นอาชีพรับจ้างทั่วไปร้อยละ 26 เป็นอาชีพเกษตรกรร้อยละ 20 เป็นอาชีพค้าขายร้อยละ 3 เป็นอาชีพข้าราชการ และร้อยละ 11 เป็นอาชีพอื่น ๆ ส่วนของรายได้หลักของครัวเรือนต่อเดือนพบว่าร้อยละ 42.78 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I1 ร้อยละ 24.44 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I2 ร้อยละ 11.11 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I3 ร้อยละ 10.28 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I4 ร้อยละ 6.94 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I5 และร้อยละ 4.44 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I6

3.2 ข้อมูลอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน

การสำรวจจำนวนอุปกรณ์ทางด้านพลังงานที่จำแนกตามรายได้หลักของครัวเรือนทั้ง 6 กลุ่มรายได้สามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละกลุ่มพลังงานได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อุปกรณ์ทางด้านพลังงาน

รายการ		I1	I2	I3	I4	I5	I6	รวม	หน่วย
จำนวนตัวอย่าง		154	88	39	38	25	16	360	ครัวเรือน
ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง	หลอดไส้	111	39	10	67	35	37	299	หลอด
	หลอดฟลูออเรสเซนต์	431	185	91	81	61	46	895	หลอด
	หลอดตะเกียบ	98	80	50	55	48	11	342	หลอด
	หลอด LED	287	266	163	91	33	139	979	หลอด
ไฟฟ้าเพื่อความร้อน	กระติกน้ำร้อน	73	46	24	26	13	11	193	เครื่อง
	กระทะไฟฟ้า	9	7	4	4	3	4	31	เครื่อง
	เครื่องปิ้งขนมปัง	6	2	2	3	0	7	20	เครื่อง
	เตาไฟฟ้า	6	3	4	10	9	5	37	เครื่อง
	เตาไมโครเวฟ	30	15	16	12	7	9	89	เครื่อง
	เตาอบไฟฟ้า	13	9	6	16	12	4	60	เครื่อง
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	121	66	34	22	11	12	266	เครื่อง
	เครื่องทำน้ำอุ่น	2	0	2	12	9	3	28	เครื่อง
	เครื่องเป่าผม	74	40	23	18	8	12	175	เครื่อง
	เตารีด	13	16	9	24	13	12	87	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่อมอเตอร์หมุน	ยานยนต์ไฟฟ้า	12	2	6	4	2	4	30	คัน
	เครื่องปั่น	35	14	11	10	2	8	80	เครื่อง
	จักรเย็บผ้าไฟฟ้า	8	8	0	2	4	1	23	เครื่อง
	เครื่องดูดฝุ่น	7	9	4	10	4	9	43	เครื่อง
	พัดลมเพดาน	28	16	9	20	21	1	95	เครื่อง
	พัดลมฝาผนัง	52	29	18	18	7	9	133	เครื่อง
	พัดลมตั้งโต๊ะ	179	103	45	40	22	24	413	เครื่อง
	เครื่องซักผ้า	127	78	38	27	11	15	296	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่อความเย็น	ตู้เย็น	166	98	46	37	18	22	387	เครื่อง
	เครื่องปรับอากาศ	33	31	14	20	12	23	133	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่ออิเล็กทรอนิกส์	โทรทัศน์	139	86	41	26	12	16	320	เครื่อง
	วิทยุ	17	5	2	1	0	0	25	เครื่อง
	คอมพิวเตอร์	4	3	0	2	0	0	9	เครื่อง
	เครื่องปริ้น	0	3	5	6	1	6	21	เครื่อง
ยานพาหนะ	จักรยานยนต์	183	122	65	35	18	25	448	คัน
	รถยนต์ เก๋ง	6	1	1	5	2	2	17	คัน
	รถยนต์ กระบะ	17	18	11	16	14	10	86	คัน
	อีแต่น	29	18	16	18	10	10	101	คัน
	รถไถนา	0	1	0	1	0	0	2	คัน

รายการ		I1	I2	I3	I4	I5	I6	รวม	หน่วย
จำนวนตัวอย่าง		154	88	39	38	25	16	360	ครัวเรือน
	เครื่องสูบน้ำ	0	0	0	1	0	0	1	เครื่อง
	เครื่องตัดหญ้า	2	5	1	4	2	1	15	เครื่อง
เตาหุงต้ม	เตาแก๊ส	154	88	40	37	25	16	154	เตา
	เตาฟืน	154	88	40	37	25	16	154	เตา

3.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลที่ดำเนินการเก็บในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ที่ประกอบด้วย ชนิดของอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน กำลังหรือขนาดของอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน เวลาในการใช้งาน ปริมาณพลังงานที่ใช้ นำมาทำการวิเคราะห์รายครัวเรือน (รายแบบสอบถาม) พบว่าครัวเรือนที่ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I1 มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 112.39 kWh/เดือน/ครัวเรือน และครัวเรือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 415 kWh/เดือน/ครัวเรือน ในส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงยานพาหนะ ครัวเรือนกลุ่ม I1 เป็นครัวเรือนที่มีการใช้น้อยเช่นเดียวกันแต่ในทางกลับกันพบว่าครัวเรือนที่ใช้น้ำมันดีเซลมากที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I5 ที่ 75.89 Liter/เดือน/ครัวเรือน และกลุ่มเชื้อเพลิงหุงต้มพบว่าครัวเรือนที่ใช้ฟืนมากที่สุด 17.14 kg/เดือน/ครัวเรือน เป็นกลุ่มครัวเรือน I1 และครัวเรือนที่ใช้แก๊ส LPG มากที่สุด 9.06 kg/เดือน/ครัวเรือน เป็นครัวเรือนกลุ่ม I4 รายละเอียดรวมดังแสดงข้อมูลการใช้ปัจจัยทางด้านพลังงานเฉลี่ยในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ปัจจัยทางด้านพลังงานเฉลี่ย

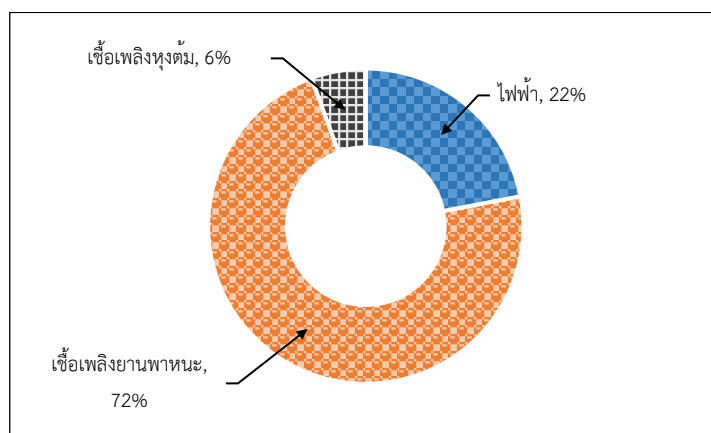
ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย
ไฟฟ้า (kWh/เดือน/ครัวเรือน)	แสงสว่าง	14.75	17.01	17.59	20.26	26.90	38.60	22.52
	ความร้อน	21.31	26.73	34.61	39.47	32.46	60.31	35.82
	มอเตอร์หมุน	20.13	24.13	28.64	21.93	34.07	29.51	26.40
	ความเย็น	47.32	67.62	72.87	115.73	108.34	273.65	114.26
	อิเล็กทรอนิกส์	8.85	9.69	9.24	9.54	8.75	12.92	9.83
	รวมไฟฟ้า	112.36	145.18	162.96	206.93	210.52	415.00	208.83
เชื้อเพลิงยานพาหนะ (Liter/เดือน/ครัวเรือน)	Benzene	12.27	22.42	22.67	43.56	37.13	75.03	35.51
	Diesel	9.86	13.03	26.49	36.27	75.89	57.02	36.42
เชื้อเพลิงหุงต้ม (kg/เดือน/ ครัวเรือน)	LPG	6.56	6.91	7.95	9.06	7.79	8.98	7.87
	ฟืน	17.14	14.52	7.44	5.92	1.20	2.19	8.07
	ถ่าน	5.65	7.31	4.12	5.78	1.92	9.13	5.65

*พิจารณา load factor 0.5 ของการเดินเครื่องใช้ไฟฟ้าความเย็น [9]

จากปริมาณการใช้ปัจจัยด้านพลังงานตารางที่ 4 สามารถหาค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานโดยนำปริมาณที่ใช้ไปคูณกับราคาพลังงานแต่ละประเภท ดังแสดงตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายแบ่งได้ตามประเภทจากมากไปน้อยคือเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6 ดังแสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยต่อรายได้

ประเภท	I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย
ไฟฟ้า	393.26	508.13	570.36	724.26	736.82	1,452.50	730.91
เชื้อเพลิงยานพาหนะ	830.86	1,201.66	1,641.13	2,685.24	3,728.03	4,450.69	2,408.29
เชื้อเพลิงหุงต้ม	176.78	198.98	168.18	202.12	133.30	237.47	186.05
รวม	1,400.90	1,908.77	2,379.67	3,611.62	4,598.15	6,140.66	3,325.25
รายรับเฉลี่ย (บาท/เดือน)	5,000	7,500	12,500	17,500	22,500	27,500	-
ค่าใช้จ่ายพลังงานต่อรายได้ (ร้อยละ)	28.02	25.45	19.04	20.64	20.44	22.33	22.65

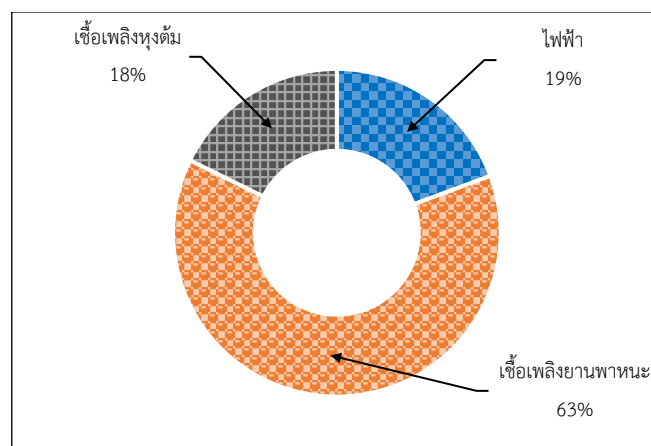


ภาพที่ 1 สัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยต่อรายได้

เมื่อพิจารณาเป็นปริมาณการใช้พลังงานเทียบเท่าพบว่า มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 3,883.9 MJ/เดือน/ครัวเรือน โดยครัวเรือนกลุ่ม I1 มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 1,916.40 MJ/เดือน/ครัวเรือน และครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 6,682.10 MJ/เดือน/ครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 5 ทั้งนี้เมื่อจำแนกตามกลุ่มพลังงานพบว่ากลุ่มพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 19 พลังงานกลุ่มเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 63 และพลังงานในกลุ่มของเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 18 ดังแสดงในภาพที่ 2 การใช้พลังงานระหว่างกลุ่ม I1 กับกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานที่ต่างกัน 3.48 เท่า

ตารางที่ 7 ปริมาณพลังงาน (MJ/เดือน/ครัวเรือน)

ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย	ร้อยละ
ไฟฟ้า	แสงสว่าง	53.1	61.2	63.3	73	96.9	139	81.1	10.79
	ความร้อน	76.7	96.2	124.6	142.1	116.9	217.1	128.9	17.15
	มอเตอร์หมุน	72.5	86.9	103.1	78.9	122.6	106.2	95	12.64
	ความเย็น	170.3	243.4	262.3	416.6	390	985.2	411.3	54.72
	อิเล็กทรอนิกส์	31.8	34.9	33.3	34.4	31.5	46.5	35.4	4.71
	รวม	404.4	522.6	586.6	745	757.9	1494	751.7	100.00
เชื้อเพลิง ยานพาหนะ	Benzene	386.2	705.8	713.5	1,371.10	1,168.80	2,361.90	1,117.90	45.73
	Diesel	359.10	474.4	964.7	1,320.80	2,763.80	2,076.50	1,326.50	54.27
	รวม	745.3	1180.2	1678.2	2691.9	3932.6	4438.4	2444.4	100.00
เชื้อเพลิง หุงต้ม	LPG	329.5	346.8	399.4	455	391	451.2	395.5	57.51
	ฟืน	274.1	232.2	118.9	94.7	19.2	35	129	18.76
	ถ่าน	163.1	211.1	119	167.1	55.5	263.5	163.2	23.73
	รวม	766.7	790.1	637.3	716.8	465.7	749.7	687.7	100.00
รวม		1,916.40	2,492.90	2,902.10	4,153.70	5,156.20	6,682.10	3,883.80	



ภาพที่ 2 สัดส่วนของการใช้พลังงานในกลุ่มของพลังงานต่าง ๆ

3.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน ได้ดำเนินการโดยการนำข้อมูลการใช้พลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 4 มาคำนวณร่วมกับค่าการประมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ที่แสดงใน

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่าแต่ละครัวเรือนมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเฉลี่ย 333.96 kgCO₂eq/เดือน/ครัวเรือน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานระหว่างรายได้น้อยสุดกับรายได้มากที่สุดมีความต่างกันว่า 3.53 เท่า ดังแสดงรายละเอียดแยกตามกลุ่มรายได้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (kgCO₂eq/เดือน/ครัวเรือน)

ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย	ร้อยละ
ไฟฟ้า	แสงสว่าง	7.38	8.5	8.8	10.13	13.45	19.3	11.26	10.79
	ความร้อน	10.65	13.36	17.3	19.73	16.23	30.15	17.9	17.15
	มอเตอร์หมุน	10.06	12.06	14.32	10.96	17.03	14.75	13.2	12.64
	ความเย็น	23.65	33.8	36.43	57.85	54.16	136.8	57.12	54.71
	อิเล็กทรอนิกส์	4.42	4.84	4.62	4.77	4.38	6.46	4.92	4.71
	รวม	56.16	72.56	81.47	103.44	105.25	207.46	104.4	100.00
เชื้อเพลิงยานพาหนะ	Benzene	28.36	51.82	52.39	100.68	85.83	173.43	82.09	43.07
	Diesel	29.37	38.81	78.91	108.05	226.09	169.87	108.52	56.93
	รวม	57.73	90.63	131.3	208.73	311.92	343.3	190.61	100.00
เชื้อเพลิงหุงต้ม	LPG	20.43	21.5	24.76	28.2	24.24	27.97	24.52	62.92
	ฟืน	30.7	26.01	13.32	10.6	2.15	3.92	14.45	37.08
	ถ่าน	-	-	-	-	-	-	-	-
	รวม	51.13	47.51	38.08	38.8	26.39	31.89	38.97	100.00
รวม		165.02	210.7	250.85	350.97	443.56	582.65	333.98	

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในส่วนของครัวเรือนในพื้นที่ชุมชนของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอมะเณง จังหวัดเชียงใหม่ และทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยแบ่งกลุ่มรายได้ 6 กลุ่มสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายแบ่งได้ตามประเภทจากมากไปน้อยคือน้ำมัน เชื้อเพลิงร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6

- คริวเรือนมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 3,883.9 MJ/เดือน/คริวเรือน โดยแบ่งเป็นรายกลุ่มคือ 1,916.5 2,493.0 2,902.1 4,153.6 5,156.2 และ 6,682.1 MJ/เดือน/คริวเรือน ตั้งแต่กลุ่ม I1-I6 ตามลำดับ

- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 333.96 kgCO₂eq/เดือน/คริวเรือน โดยแบ่งเป็นรายกลุ่มคือ 165.03 210.72 250.84 350.98 443.55 และ 582.65 kgCO₂eq/เดือน/คริวเรือน ตั้งแต่กลุ่ม I1-I6 ตามลำดับ

คริวเรือนที่มีรายได้สูงกลุ่ม (I6) มีการใช้พลังงานมากกว่ากลุ่มรายได้น้อยถึง 3.48 เท่า ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) สูงกว่าถึง 3.53 เท่า ซึ่งแสดงถึงความเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างพฤติกรรมการใช้พลังงานกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมยิ่งใช้มากยิ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) มาก ในด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแม้กลุ่มคริวเรือนรายได้น้อย (I1) จะใช้พลังงานน้อยกว่าแต่กลับมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงเมื่อคิดเป็นสัดส่วน สะท้อนให้เห็นถึงความเปราะบางด้านเศรษฐกิจ คริวเรือนที่มีรายได้น้อยกลับต้องเสียสัดส่วนรายได้กับพลังงานมากกว่าคริวเรือนที่มีรายได้มาก

จากข้อสรุปข้างต้นสามารถเสนอแนะด้านนโยบายได้ดังนี้

- การส่งเสริมการพลังงานด้านไฟฟ้า กลุ่ม I1-I3 ซึ่งมีรายได้ต่ำแต่สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูง (สูงถึงร้อยละ 28.02)สามารถสนับสนุนการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) โดยจัดตั้งกองทุนพลังงานชุมชน เพื่อให้การช่วยเหลือทางการเงินสำหรับการเปลี่ยนมาใช้พลังงานสะอาดในระดับคริวเรือน

- การส่งเสริมการพลังงานด้านเชื้อเพลิงยานพาหนะ จากข้อมูลพบว่าเชื้อเพลิงยานพาหนะมีสัดส่วนการใช้สูงถึง 63% จึงควรส่งเสริมให้มีการใช้ จักรยานยนต์ไฟฟ้า รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV) โดยเฉพาะในกลุ่มรายได้สูง (I5-I6) ที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานสูง

- การส่งเสริมการพลังงานด้านเชื้อเพลิงหุงต้ม ใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูงแทนเตาถ่านหรือเตาฟืนทั่วไป เพื่อให้การใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ช่วยลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และลดการปล่อยควันหรือมลพิษ

- ด้านภาษี พิจารณาลดหย่อนภาษี หรือเงินช่วยเหลือค่าไฟฟ้า/ค่าน้ำมัน สำหรับคริวเรือนรายได้น้อย (I1-I2) ที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นสัดส่วนสูงของรายได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการวิจัยเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT), (2565). ทำไมประหยัดพลังงานช่วยชาติได้. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 2566 จาก <https://www.egat.co.th/home/20220409-art01>
- [2] กระทรวงพลังงาน, (2566). แผนบูรณาการพลังงานระยะยาวของประเทศไทย พ.ศ. 2566–2580. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ธ.ค. 2566 จาก https://old.energy.go.th/wp-content/uploads/2022/09/01-KM-MoEn_NEP.pdf

- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, (2565). การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานปี 2564. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 มี.ค. 2565 จาก <https://www.irdp.org/content/5318>
- [4] ประภากร เลาเรือง, (2562). การประเมินอัตราส่วนพลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ระดับชุมชนกรณีศึกษา บ้านวังป๋อง อำเภอแมริมจังหวัด เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(พลังงานทดแทน). มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [5] Yamane, Taro, (1967). *Statistics, An Introductory Analysis*. 2nd Ed., New York : Harper and Row
- [6] เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา, (2564). แผนพัฒนาท้องถิ่น 2566-2570. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ธ.ค. 2566 จาก https://muangkaen.go.th/page/get_file/fd_ul/1710835978_3341.pdf/files
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลัง, (2565). รายงานพลังงานของประเทศไทย. p. 32
- [8] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, (2565). ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor).
- [9] ศิริลักษณ์ ช่วยเวช, (2567). การประเมินการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถานประกอบการท่องเที่ยวขนาดเล็กในพื้นที่ ม่อนแจ่ม อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่. ประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 23). pp. 367-370, 14-15 มีนาคม 2567.



วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**
J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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