

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2566



J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

ISSN 2773-8639 (Online)



J-REC BY TRECA



วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**

J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนในเครือข่ายพลังงานของประเทศไทย
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และงานวิชาการใหม่ๆ ด้านพลังงานทดแทนระหว่างนักวิจัยและผู้ใช้งานในทั้งภาครัฐและเอกชน
3. เพื่อส่งเสริมสนับสนุนให้คณาจารย์ บุคลากรทางการศึกษา นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทำผลงานทางด้านพลังงานทดแทนที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ
4. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานวิจัยและบทความทางวิชาการที่มีคุณภาพและมีคุณค่าทางด้านพลังงานทดแทนสู่การใช้งานจริงเพื่อความยั่งยืนทางด้านพลังงานของประเทศไทย



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 สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

1. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือ ทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน ในด้านพลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
2. เพื่อจัดหาทุนเพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับ ภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน จากแหล่งทุนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
3. ไม่ดำเนินการส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
4. ไม่ดำเนินการให้มีการจัดตั้งโต๊ะบิลเลียดหรือกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีต ประเพณีที่ดีของสังคมไทย
5. เพื่อส่งเสริมให้สมาคมมีรายได้จากโควต้าสลากกินแบ่งรัฐบาล หรือสลากการกุศลของรัฐบาลที่พิมพ์ ออกจำหน่าย เพื่อนำรายได้มาใช้ในการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของสมาคม
6. เพื่อส่งเสริมกิจกรรมทางสังคมด้านสาธารณะประโยชน์ด้านต่างๆ รวมถึงกิจกรรมเพื่อการจัดสวัสดิการให้กับสมาชิก

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสาร

วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ	นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ดร.อำพล อาภาธนากร)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ	กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (รศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร)
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร

เลขานุการ

นางสาววรรณिता ทองพัด

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาววรรณิภา พงษ์ไทยสงค์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.พิระพงศ์ ทิมสกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุกกร บุญยืน	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาร์ ธนารักษ์
 รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย จ้อยเจริญ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพนธ์ เวศพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมมนพรัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ แยมแพง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานวิทย์ แนมใส
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประกาศ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ วงษ์ขี้ม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนโชติ เทียนมงคล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระยศ แข็งขัน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ณัฐ จันทร์ศรี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สีนุธยา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร นิคม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ จันทร์แก้ว
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชาติ อาจกล้า
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่ภู่
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรณนิภา ดอกไม้งาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร คชาพงศ์กุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ อุส่าห์เพียร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล เรืองงาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติกร สาสุจิตต์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ
 ดร.อำพล อาภาธนากร
 ดร.ประภาพร ประเสริฐพงศ์
 ดร.วินัย จันทร์เพ็ง
 ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ
 ดร.เชาวน์ นกอยู่
 ดร.ธนวรรณ วัชรดำรงศักดิ์
 ดร.นเรศ ฉิมเรศ
 ดร.วีระวุฒิ แนนเพชร
 ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์สินธุนาท
 ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์
 ดร.นวงศ์ ชลคุป
 ดร.กัมปนาท ชิลวา
 ดร.กฤษมาพร พึ่งโพธิ์
 ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ เข็มขาว
 ดร.ปรารักษ์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ
 ดร.ศักรัยชัย เพชรสุวรรณ
 ดร.สุระพล รียะนา
 ดร.บงกช ประสิทธิ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยทักษิณ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
 มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 กรมควบคุมมลพิษ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 มหาวิทยาลัยทักษิณ
 มหาวิทยาลัยทักษิณ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ
 ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 6 และนับเป็นปีสามที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านการวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการและแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคมโดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งานผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทย โดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th/jrec เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

พลังงานเพื่อชุมชน

การจัดการขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะพื้นที่จังหวัดนนทบุรี	8
การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล	18
การประมาณศักยภาพการผลิตเอทานอลที่เกิดจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง	25
จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย	
ผลของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศที่มีต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	32
ของเตาฟลูอิดไบด์แก๊สซิไฟเออร์	
การศึกษากการผลิตถ่านไบโอชาร์แบบถังแนวตั้งขนาด 200 ลิตร	42
การผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำชะ	50
ผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว	

นวัตกรรมด้านพลังงาน

ถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนระบบเติมอากาศ	56
สมบัติของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวัน	63
โดยกระบวนการคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน	
การศึกษากำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้สารสกัดจากเคี่ยม	80
(<i>Cotylelobium melanoxylon</i> syn. <i>C. lanceolatum</i>)	

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

การคำนวณและวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	88
ของพื้นที่ที่สนใจใน SGtech	

การจัดการขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะพื้นที่จังหวัดนนทบุรี Municipal Solid Waste Management from Landfill for Refuse-Derived Fuel Production in Nonthaburi Province

อุดร ระโหฐาน และ ปรานต์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ชรกร*
Udom Rahothon and Prangtip Rittichote Kaewpengkrow*

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, NakhonPathom, 73170

*Corresponding author: Tel 094 5569854. Email: prangtip.kae@rmutr.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 11 April 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

The objectives of this work are to study the guidelines for management of landfill waste and the appropriate RDF production according to the context of the Nonthaburi Province. The waste composition and the properties of waste passed through the landfill were considered. The potential of the physicochemical of landfill waste that passed through a multi-stage sorting system was analyzed to improve quality before producing refuse-derived fuel (RDF). The landfill waste is sorted mechanically by pre-shredders. Then, the waste entered the metal sorting step through the magnetic sorting belt. The magnetically separated waste enters the disc screen belt to separate the soil particles. The waste smaller than 80 mm was passed through the air classifier sorting to remove the heavy material. It is then screened by hand-sorting to remove the incombustible material. The waste from the multi-sorting step is compacted into RDF bales. Samples of the landfill waste were taken before and after sorting using the quartering method for physical composition analysis. The results suggested that the waste that had been landfilled for 15 years had a plastic content that increased from 47.32% to 67.93%. In the proximate analysis, the moisture content was 35.80% and high ash content was 60.01 %, and the calorific value was 1,459 kcal/kg, which is lower than the RDF standard. However, after the multi-sorting process that removed the incombustible materials, the RDF indicated that the ash content was lower than 8.80%. Moreover, the calorific value increased to 5,139 kcal/kg, meeting the standard value of RDF. Therefore, the multi-sorting process of landfill waste proves to be an effective way to increase fuel quality and reduce the amount of waste in landfills. It also serves as an appropriate guideline for RDF production to generate electricity for the country in the future.

Keywords: Municipal solid waste, Refuse-derived fuel (RDF), Landfill waste, Solid waste management

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยเก่าจากหลุมฝังกลบและแนวทางการผลิตเชื้อเพลิงขยะที่เหมาะสมตามบริบทของจังหวัดนนทบุรี โดยทำการศึกษาองค์ประกอบของขยะและวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ผ่านการฝังกลบ พิจารณาศักยภาพสมบัติทางเคมีกายภาพของขยะมูลฝอยที่ผ่านระบบคัดแยกหลายขั้นตอนเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ขยะจากหลุมฝังกลบจะผ่านการคัดแยกเชิงกลโดยเครื่องฉีกย่อยขยะเบื้องต้น จากนั้นเข้าสู่การคัดแยกโลหะโดยเครื่องคัดแยกด้วยแม่เหล็ก ขยะที่ผ่านการแยกด้วยแม่เหล็กจะเข้าสู่เครื่องร่อนเพื่อแยกเศษดินขนาดเล็กลง ขยะที่มีขนาดเล็กกว่า 80 มิลลิเมตร จะผ่านการคัดแยกด้วยลมเพื่อคัดแยกวัตถุที่มีน้ำหนักออก แล้วจึงคัดแยกด้วยมือเพื่อเอาวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ออก ขยะที่ผ่านการคัดแยกนำมาอัดก้อน RDF เป็นขั้นตอนสุดท้าย ทำการสุมขยะเก่าในบ่อฝังกลบเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ทั้งก่อนและหลังการคัดแยกโดยวิธี Quartering จากการศึกษาพบว่าขยะมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการฝังกลบเป็นเวลา 15 ปี ที่ผ่านการคัดแยกมีองค์ประกอบที่เป็นพลาสติกเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 47.32 เป็นร้อยละ 67.93 เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณพบว่ามีความชื้นประมาณร้อยละ 35.80 และปริมาณเถ้ามากถึงร้อยละ 60.01 ค่าความร้อนประมาณ 1,459 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงขยะ เมื่อผ่านกระบวนการคัดแยกหลายขั้นตอนเพื่อคัดวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ออกก่อน พบว่าปริมาณเถ้าต่ำกว่าร้อยละ 8.80 ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 5,139 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงขยะ ดังนั้นกระบวนการคัดแยกขยะจากหลุมฝังกลบจึงเป็นแนวทางเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิงและลดปริมาณขยะจากหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นแนวทางทางการผลิตเชื้อเพลิงขยะเพื่อผลิตไฟฟ้าของประเทศในอนาคต

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอย เชื้อเพลิงขยะ (RDF) ขยะหลุมฝังกลบ การจัดการขยะมูลฝอย

บทนำ

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในประเทศไทยโดยทั่วไปประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ อาหาร, กระดาษ, ผ้าและสิ่งทอ ประมาณร้อยละ 50 10 และ 5 ตามลำดับ และสมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอย ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความชื้นสูง, องค์ประกอบอินทรีย์สูง และค่าความร้อนต่ำ ทำให้ขยะมูลฝอยในประเทศไทย เหมาะกับกระบวนการหมักทำปุ๋ย และการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน [1] จากนโยบายภาครัฐที่มุ่งเน้นการรีไซเคิลขยะ ทำให้มีแนวโน้มปริมาณขยะที่รีไซเคิลได้สูงขึ้น [2] เทคโนโลยีแปลงขยะเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตพลังงานและมีการใช้เทคโนโลยีนี้กันอย่างแพร่หลาย ในประเทศที่พัฒนาแล้วรวมถึงประเทศที่กำลังพัฒนา สมบัติทางเคมีของขยะมูลฝอย ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความชื้นสูง, องค์ประกอบอินทรีย์สูง และค่าความร้อนต่ำ ทำให้ขยะมูลฝอยในประเทศไทยเหมาะกับการหมักทำปุ๋ย และการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน การนำขยะมูลฝอยมาผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse-Derived Fuel, RDF) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีแปลงขยะเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตพลังงานและมีการใช้เทคโนโลยีนี้ กันอย่างแพร่หลายในประเทศที่พัฒนาแล้วรวมถึงประเทศที่กำลังพัฒนาด้วย

การศึกษาคูณสมบัติของ RDF ที่ทำการศึกษาโดย Intharathirat และคณะ [3] แสดงให้เห็นว่าค่าความร้อนของขยะ RDF ควรจะสูงกว่า 15 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม และควรมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 25 ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเลือกเชื้อเพลิงทางเลือกอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีความชื้น (ประมาณร้อยละ 10-15) และค่าความร้อน (ควรมากกว่า 16.7 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) และพบว่าขยะที่ขุดได้จากหลุมฝังกลบมีศักยภาพในการผลิต RDF เนื่องจากค่าความร้อนสูง ค่าความร้อนของขยะที่ขุดแล้วจากบริเวณทั้งขยะ (29.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม) สูงกว่า RDF จากขยะสด (19.4 เมกกะจูลต่อ

กิโกรัม) อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นและการปนเปื้อนของโลหะหนักในขยะที่ขุดพบเกินมาตรฐานของ RDF เป็นผลให้มีการเลือกใช้ trommel screen ที่มีประสิทธิภาพเพื่อแยกเศษดิน (ร้อยละ 55) ออกจากส่วนประกอบของของเสีย (การเผาและการแปรสภาพเป็นแก๊ส) ปัจจุบันมีโรงบำบัดด้วยความร้อน 4 แห่ง อยู่ในประเทศไทย มีสามแห่งที่ใช้ RDF เป็นเชื้อเพลิง ในทำนองเดียวกันในอิตาลีมีโรงงาน WTE 17 โรงงาน จากทั้งหมด 53 โรงงาน ใช้ RDF เป็นวัตถุดิบ RDF มีศักยภาพสูงในการเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก สำหรับการผลิต RDF ในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 2.46 เมกกะตันต่อปี ประกอบด้วยพลาสติก ร้อยละ 40 ขยะร้อยละ 30 อาหารร้อยละ 10 ขยะกระดาษน้อยกว่าร้อยละ 10 และวัสดุไม้ติดไฟร้อยละ 10 ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำ LHV และปริมาณความชื้นประมาณ 19.6 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมและ ร้อยละ 12 ตามลำดับ [3]

สำหรับประเทศไทยมี บริษัท ปูนซิเมนต์สามแห่งที่ลงทุนในโรงงานคัดแยกเพื่อการผลิต RDF ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ค่าความร้อนที่เหมาะสมสำหรับเตาเผาปูนซิเมนต์คืออย่างน้อย 18.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 30 คลอไรด์และกำมะถันมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 [4] แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี RDF มีความสำคัญและมีบทบาทในการบำบัดและลดปริมาณขยะจำนวนมาก อย่างไรก็ตามความท้าทายที่สำคัญของการใช้ RDF ในเตาเผาซีเมนต์ คือความแปรปรวนของคุณลักษณะของขยะ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ความต้องการเทคโนโลยีการคัดแยกที่ซับซ้อนและการเก็บรักษามีขนาดใหญ่ นอกจากนี้การกำหนดนโยบาย เช่น การกำหนดค่ามาตรฐาน RDF การปล่อยมลพิษทางอากาศและแนวทางการจัดการขยะแบบบูรณาการ ส่วนกลางต้องระบุถึงระดับศักยภาพการใช้ประโยชน์ของ RDF [3,5]

งานวิจัยนี้จึงสนใจแนวทางการจัดการขยะจากหลุมฝังกลบเพื่อผลิตพลังงานอย่างยั่งยืน โดยการนำขยะจากหลุมฝังกลบเพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะของจังหวัดนนทบุรีสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบขยะและคุณสมบัติทางเคมีความร้อนที่ผ่านการฝังกลบ ประสิทธิภาพของกระบวนการคัดแยกขยะเพื่อผลิตขยะ RDF ของประเทศไทย

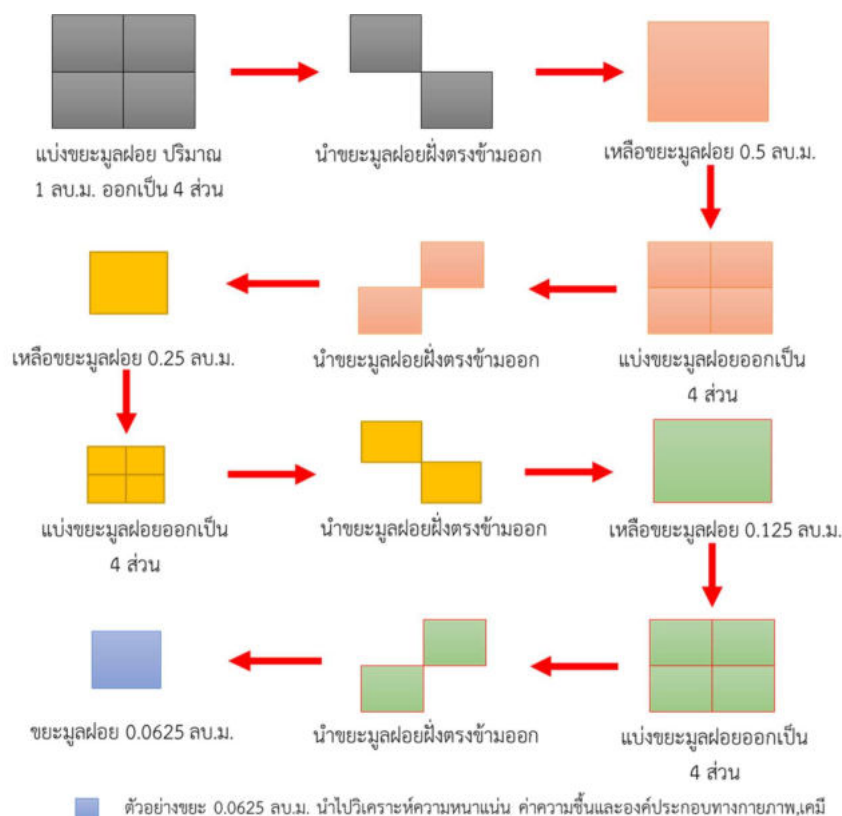
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาแนวทางการจัดการขยะจากหลุมฝังกลบโดยกระบวนการคัดแยกหลายขั้นตอน เพื่อคัดแยกวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ออกก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าขยะและผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งของขยะมาจากศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี โดยขยะที่ผ่านการฝังกลบมีลักษณะดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขยะจากหลุมฝังกลบ (a) กองขยะหลุมฝังกลบอายุ 10 ปี (b) การสุ่มตัวอย่างขยะจากหลุมฝังกลบ

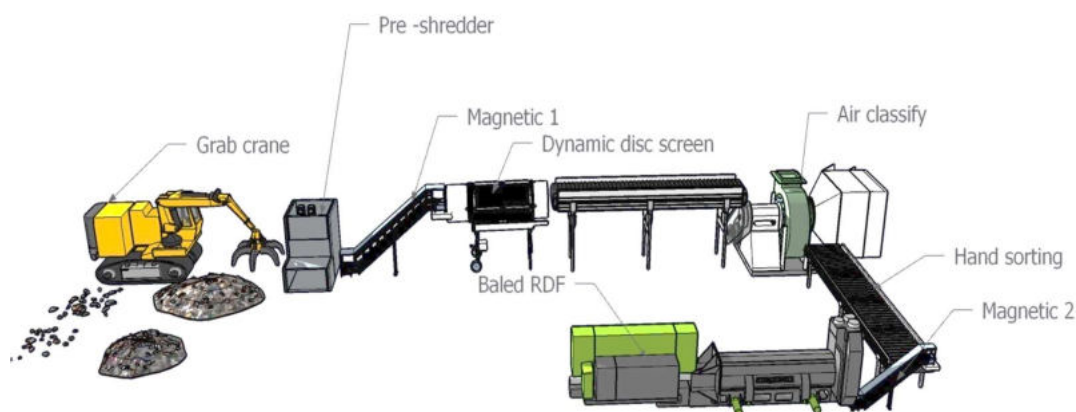
ผู้วิจัยทำการศึกษาขยะจากบ่อฝังกลบ ณ ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี โดยทำการสุ่มขยะเก่าในบ่อฝังกลบที่มีอายุขยะ 15 ปี ทำการสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของขยะเก่าทั้งก่อนเข้าระบบคัดแยก และหลังจากเข้าระบบคัดแยกแล้ว เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบขยะจากบ่อฝังกลบต่างๆ และนำขยะบางส่วนเข้าห้องปฏิบัติการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะฝังกลบในพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลนนทบุรี โดยมีบริษัทเอกชนเป็นผู้ลงทุน โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง RDF ให้กับโรงไฟฟ้าแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาด 9.5 เมกกะวัตต์



ภาพที่ 2 การสุ่มตัวอย่างโดยวิธี Quatering

การเก็บตัวอย่างดำเนินการโดยสุ่มจากขยะ โดยแต่ละตัวอย่างที่ทำการสุ่มจะทำตามขั้นตอน คือ ปริมาณที่ทำการสุ่ม คือ 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงทำการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยโดยวิธี Quatering โดยแบ่งขยะออกเป็นสี่ส่วน นำขยะออกครึ่งหนึ่งและคลุกเคล้าขยะให้เข้ากัน แล้วจึงแบ่งขยะออกเป็นสี่ส่วน ทำซ้ำจำนวนสี่ครั้ง จนเหลือขยะ 0.0625 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม โดยมีขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างดังแผนภาพที่ 2 แล้วจึงนำไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของขยะตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture Content) , ปริมาณเถ้า (Ash Content) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ASTM D 5373-16 และปริมาณสารระเหย (Volatile Mater) ASTM D 7582-15 รวมถึงการวิเคราะห์แบบแยกธาตุและค่าความร้อน กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากหลุมฝังกลบมีแผนผังกระบวนการดังภาพที่ 3

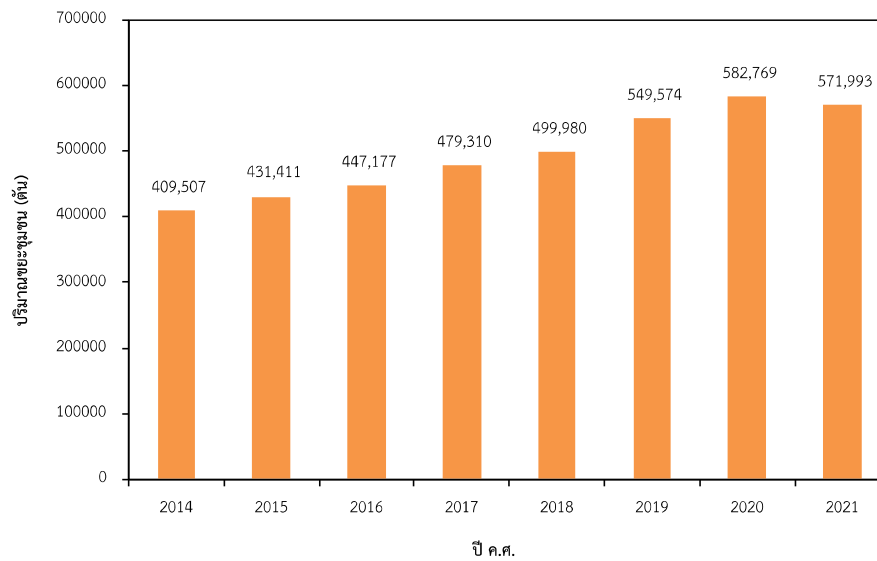
ขยะจากหลุมฝังกลบเข้าสู่กระบวนการสับหยาบ (Pre – shredder) ทำให้ขยะจากหลุมฝังกลบ (LFW) ที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อจะได้สัลดินที่อยู่ภายในของถุงออกแล้วเข้าเครื่องร่อนดินต่อไป จากนั้นจะถูกนำไปสู่การคัดแยกโลหะ โดยเครื่องคัดแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic separator) ที่ทำหน้าที่คัดแยกโลหะออกหรือเหล็กที่ปะปนมากับ LW ออกเพราะเป็นสิ่งที่ไม่ใหม่ไม่ได้และเป็นสิ่งที่โรงไฟฟ้าไม่ต้องการ [7] ขยะที่ผ่านการแยกด้วยแม่เหล็กจะเข้าสู่เครื่องร่อน (Disc screen) ซึ่งทำหน้าที่คัดแยกก้อนหินเศษดินหรือวัตถุที่มีน้ำหนักออกจากถุงพลาสติกขนาดของรูเพลาที่ร่อน 80 มิลลิเมตร ไม่ว่าจะเป็นแก้วหรือพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 80 มิลลิเมตร จะตกลงไปที่สายพาน ขยะที่มีขนาดเล็กกว่า 80 มิลลิเมตร จะผ่านการคัดแยกด้วยลม (Air separator) ทำหน้าที่ คัดแยกวัตถุที่มีน้ำหนักออก โดยจะมีลมพัดเศษพลาสติกหรือวัตถุที่มีน้ำหนักเบาไปยังชั้นตอนถัดไปเมื่อแยกวัสดุที่มีน้ำหนักเบาแล้ว จึงคัดแยกด้วยมือ (hand sorting) ซึ่งใช้เจ้าหน้าที่คอยคัดแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น ยาง ท่อ pvc หรือเศษโลหะที่หลุดรอดจากกระบวนการก่อนหน้านี้ เพื่อไม่ให้ติดไปกับขยะที่จะนำไปอัดก้อน ขยะที่ผ่านการแยกด้วยมือขั้นสุดท้ายจะถูกนำมาอัดก้อน RDF (RDF – Baler) ที่มีอัตราการผลิต 30 ก้อนต่อชั่วโมง ขนาด 1 x 1.2 เมตร เชื้อเพลิงขยะอัดก้อนเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและขนย้าย ก่อนนำไปกระจายเป็นชั้นเพื่อเข้าโรงไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 3 แผนผังเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต RDF

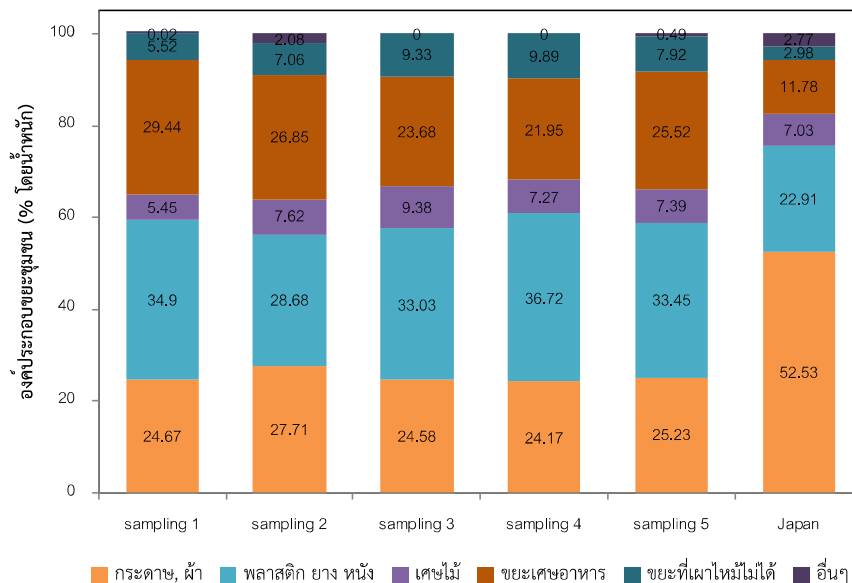
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

สถานรับกำจัดขยะมูลฝอยนันทบุรีตั้งอยู่บนพื้นที่ ตำบลคลองขวาง อำเภอนันทบุรี จังหวัดนันทบุรี รับขยะมูลฝอยปริมาณ 1,000 ตันต่อวัน จากการศึกษาพบว่าปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี และมีปริมาณลดลงเล็กน้อยในปี 2021 ทั้งนี้เนื่องมาจากสถานการณ์โรคระบาด covid-19 ดังภาพที่ 4 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในประเทศไทย โดยทั่วไปประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เศษอาหาร , กระดาษ, ผ้าและสิ่งทอ



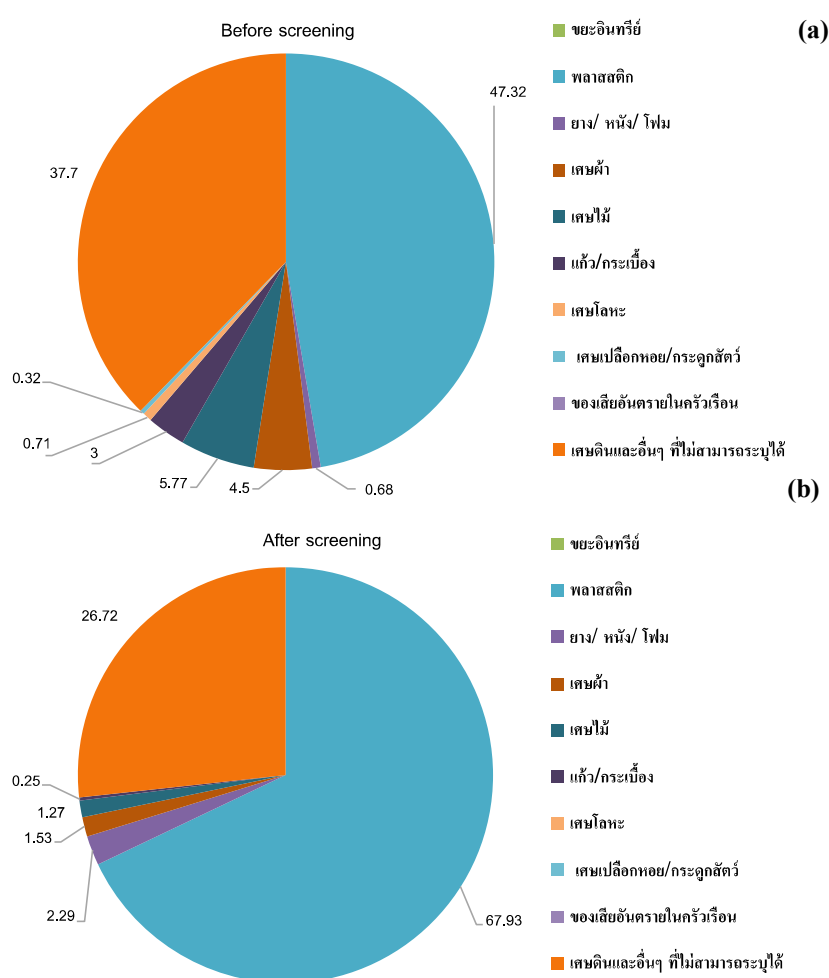
ภาพที่ 4 ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนของจังหวัดนนทบุรี

จากการศึกษาองค์ประกอบขยะชุมชนของจังหวัดนนทบุรีในช่วงฤดูฝนปี พ.ศ. 2562 ดังภาพที่ 5 จากการศึกษาองค์ประกอบขยะชุมชนของจังหวัดนนทบุรีพบว่า องค์ประกอบหลักคือขยะพลาสติก ยาง และหนัง ร้อยละ 28.68-36.42 (ฐานแห้ง) รองลงมาคือ ขยะจากครัวเรือนร้อยละ 21.95-29.44 กระดาษและสิ่งทอร้อยละ 24.17-27.71 วัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ร้อยละ 7.06-9.89 อย่างไรก็ตามองค์ประกอบขยะของประเทศไทยมีปริมาณขยะอินทรีย์น้อยกว่าประเทศในกลุ่มอาเซียนเช่น ประเทศเวียดนาม [6] เมื่อเปรียบเทียบกับขยะของประเทศญี่ปุ่นจะเห็นว่า มีขยะกลุ่มสารอินทรีย์จากครัวเรือนของไทยสูงกว่าประเทศญี่ปุ่นมากกว่า 2 เท่า เช่นเดียวกับขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีกระบวนการคัดแยกขยะจากครัวเรือนอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 5 องค์ประกอบขยะชุมชนของจังหวัดนนทบุรี จำนวนตัวอย่าง 5 แห่ง

ผลงานวิจัยองค์ประกอบขยะชุมชนของจังหวัดนนทบุรี มีความสอดคล้องกับองค์ประกอบขยะของจังหวัด เชียงราย ที่พบว่าประมาณร้อยละ 40 ของขยะมูลฝอยประกอบด้วยขยะอินทรีย์ [11] อย่างไรก็ตามพบปริมาณถุงพลาสติก สูงถึงร้อยละ 60 ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้ขยะเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงขยะ RDF ก่อนการคัดแยกและที่ผ่านการคัด แยก แบ่งองค์ประกอบออกเป็น 10 ประเภท ประกอบด้วย ขยะอินทรีย์ พลาสติก ยาง/ หนัง/ โฟม เศษผ้า เศษไม้ แก้ว/ กระเบื้อง เศษโลหะ เศษเปลือกหอย/กระดูกสัตว์ ของเสียอันตรายในครัวเรือน เศษดินและอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ หลัง การคัดแยกพบว่าสัดส่วนของวัสดุที่ไหม้ไฟได้เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณสูงขึ้น โดยเฉพาะขยะพลาสติกที่มีปริมาณสูงขึ้นจากร้อย ละ 47.32 เป็น 67.93 ซึ่งผลให้ มีค่าความร้อนที่สูงขึ้น นอกจากนี้ขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น เศษเหล็ก ตะปู ขยะกลุ่ม PVC ที่ ก่อให้เกิดสารไดออกซิน ถูกคัดแยกออกก่อนนำไปใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งทำให้การเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานมีประสิทธิภาพดี ยิ่งขึ้น องค์ประกอบขยะ RDF ที่ผ่านการคัดแยกเชิงกลหลายขั้นตอนดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 องค์ประกอบขยะ RDF ที่ผ่านการคัดแยกเชิงกล (a) ก่อนการคัดแยก (b) หลังการคัดแยก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณและแบบแยกธาตุขยะจากหลุมฝังกลบทางเคมีของขยะ RDF จากหลุมฝังกลบ จังหวัด นนทบุรีตามมาตรฐาน ASTM โดยวิเคราะห์ขยะ RDF จากหลุมฝังกลบ และส่วนที่ผ่านเครื่องคัดแยกจากกระบวนการผลิต ขยะ RDF ที่ฝังกลบผ่านกระบวนการผลิตในกระบวนการคัดแยก การวิเคราะห์แบบประมาณ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความชื้นสูง, องค์ประกอบอินทรีย์สูง และค่าความร้อนต่ำ ดังตารางที่ 1 พบว่าขยะที่ผ่านกระบวนการคัดแยกมีความชื้นลดลงอย่างมาก ปริมาณซีเมนต์ลดลงจากร้อยละ 60.01 เหลือ 8.80 และมีค่าความร้อนสูงขึ้นจากเดิมถึงร้อยละ 71 ซึ่งค่าความร้อนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของคุณสมบัติเชื้อเพลิงจากขยะ ดังนั้นกระบวนการคัดแยกหลายขั้นตอนจึงเป็นส่วนที่สำคัญในการเพิ่มค่าความร้อนให้กับเชื้อเพลิงขยะ RDF [7,8] จากการศึกษางานวิจัยของ Infiesta, L.R และคณะ [7] ที่ทำการศึกษาการคัดแยกขยะชุมชนของจากเทศบาลเมือง Boa Esperança, Minas Gerais, ประเทศบราซิลเพื่อผลิตเชื้อเพลิง RDF ที่มีการออกแบบสายการผลิตขยะ RDF ในระดับอุตสาหกรรม (SWPL) สามารถแปลงขยะประมาณ 55 ตันวัน เป็นเชื้อเพลิง RDF 30 ตันต่อวัน พบว่า RDF ที่ผ่านกระบวนการคัดแยกมีความชื้นลดลงจากร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เหลือเพียงร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนสูงขึ้นเท่ากับ 16.3 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม [6] ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพงานวิจัยดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขยะ RDF จากหลุมฝังกลบ

รายละเอียด	ขยะจากหลุมฝังกลบ (% wt.)	S.D.	ขยะ RDF (% wt.)	S.D.
<u>องค์ประกอบแบบประมาณ</u>				
ค่าความชื้น (% as received)	35.80	± 4.9	1.08	± 1.6
ปริมาณซีเมนต์ (% at dry basis)	60.01	± 7.2	8.80	± 5.4
ประมาณสารระเหย (% at dry basis)	39.16	± 2.9	98.61	± 6.0
ประมาณคาร์บอนคงที่ (% at dry basis)	0.65	± 4.4	1.59	± 11.7
<u>องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (% wt. at dry basis)</u>				
คาร์บอน	23.05	± 9.4	40.49	± 9.4
ไฮโดรเจน	4.18	± 5.7	7.71	± 0.3
ไนโตรเจน	10.74	± 2.6	29.84	± 10.4
ออกซิเจน	1.28	± 0.4	12.38	± 1.7
ซิลเฟอร์	0.37	± 0.1	0.18	± 0.1
คลอรีน	0.37	0.0	0.60	± 0.1
ค่าความร้อนสูง (kcal/kg at as received)	1,459.8	± 1.9	5,139.9	± 9.4

นอกจากนี้หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด พบว่าการนำ SRF หรือขยะที่ผ่านการคัดแยกก็สามารถรับประกันการผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอ (ตอบสนองตลาดความต้องการ) ของโรงไฟฟ้าได้ [13] จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากระบวนการคัดแยกส่งผลให้ขยะที่ผ่านการคัดแยกมีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีที่เพิ่มขึ้น

เหมาะสมไปผลิตเชื้อเพลิงแข็งในโรงไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14,15] ซึ่งเป็นข้อดีของงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามยังต้องคำนึงถึงต้นทุนของการผลิตเชื้อเพลิง RDF ซึ่งเป็นส่วนที่ควรศึกษาในงานวิจัยต่อไป

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุจะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนของขยะ RDF มีค่าสูงขึ้น ปริมาณซัลเฟอร์และคลอรีนค่อนข้างต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด [9-12] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าขยะ RDF ซึ่งช่วยลดการก่อให้เกิดแก๊สพิษ เช่น SO_x และ ไดออกซินได้ อย่างไรก็ตามยังพบปริมาณไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูงที่อาจเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ได้เมื่อนำไปเผาไหม้ จึงต้องมีกระบวนการบำบัดแก๊สพิษ เมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าจากขยะที่ผ่านการฝังกลบ พบว่าผลการวิเคราะห์หีมน้ำมันใกล้เคียงกับกับงานวิจัยของ Rotheut และคณะ ที่ทำการศึกษากาเผาไหม้ขยะจากหลุมฝังกลบร่วมกับขยะชุมชน พบว่าปริมาณของเถ้าจากขยะที่ผ่านการฝังกลบสูงในช่วงร้อยละ 26.7 – 49.6 ซึ่งมาจากองค์ประกอบอนุภาคนาขนาดเล็กของเศษดินที่ปิดฝังขยะ [13]

สรุปผลการวิจัย

การผลิตพลังงานจากขยะเกิดขึ้นได้นั้น ต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ทั้งการสนับสนุนการลงทุนจากภาครัฐและการคัดแยกขยะชุมชนจากภาครัฐเรือน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเชื้อเพลิงขยะ จากข้อมูลปริมาณขยะของจังหวัดนนทบุรีที่มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ทำให้มีปริมาณขยะที่ต้องกำจัดเพิ่มสูงขึ้นและต้องการพื้นที่ฝังกลบมากขึ้น งานวิจัยนี้ทำการศึกษารูปแบบของขยะและวิเคราะห์คุณสมบัติของขยะมูลฝอยที่ผ่านการฝังกลบเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าขยะชุมชนของจังหวัดนนทบุรีมีองค์ประกอบของวัสดุที่เผาไหม้ได้ค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ขยะชุมชนที่ผ่านการฝังกลบมีองค์ประกอบทางเคมีกายภาพที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงขยะ RDF โดยขยะจากหลุมฝังกลบที่ผ่านกระบวนการคัดแยกหลายขั้นตอนเพื่อคัดเลือกว่าวัสดุที่เผาไหม้ไม่ได้ถูกพบว่าปริมาณเถ้าลดลงจากร้อยละ 60 เหลือเพียงร้อยละ 8.80 ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 5,139 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงขยะซึ่งจัดอยู่ในประเภท RDF 2 ดังนั้นกระบวนการคัดแยกขยะจากหลุมฝังกลบจึงเป็นแนวทางเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิง และลดปริมาณขยะจากหลุมฝังกลบได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางการผลิตเชื้อเพลิงขยะเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับโรงเผาปูนซีเมนต์ เชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ หรือเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้าของประเทศในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท สยาม พาวเวอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ทำวิจัย รวมถึงองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรีให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ลีละเศรษฐกุล, อ., และ ปทุมสวัสดิ์, ส. (2016). การวิเคราะห์คุณสมบัติขยะมูลฝอยเพื่อแนวทางการผลิตเชื้อเพลิงขยะของโรงกำจัดขยะมูลฝอยเชิงกลชีวภาพอ่อนนุช. *Journal of Energy and Environment Technology*. 3(2), 50-59.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). สถานการณ์ขยะมูลฝอยและของเสียอันตรายและการบริหารจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย. *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2561*. 36-39.

- [3] Intharathirat, R. and Abdul Salam, P. (2016). Valorization of MSW-to-Energy in Thailand: Status, Challenges and Prospects. **Waste and Biomass Valorization**. 7 (1), 31-57.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554). พลังงานขยะ. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน**. 51-60.
- [5] Thanopoulos, S., Karellas, S., Kavrakos, M., Konstantellos, G., Tzempelikos, D. and Kourkoumpas, D. (2020). Analysis of Alternative MSW Treatment Technologies with the Aim of Energy Recovery in the Municipality of Vari-Voula-Vouliagmeni. **Waste and Biomass Valorization**. 11 (4), 1585-1601.
- [6] Thanh, H.T., Yabar, H. and Higano, Y. (2015). Analysis of the Environmental Benefits of Introducing Municipal Organic Waste Recovery in Hanoi City, Vietnam. **Procedia Environmental Sciences**. 28, 185-194.
- [7] Infiesta, L.R., Ferreira, C.R.N., Trovó, A.G., Borges, V.L. and Carvalho, S.R. (2019). Design of an industrial solid waste processing line to produce refuse-derived fuel. **Journal of Environmental Management**. 236, 715-719.
- [8] Zhao, L., Giannis, A., Lam, W.-Y., Lin, S.-X., Yin, K., Yuan, G.-A. and Wang, J.-Y. (2016). Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value. **Sustainable Environment Research**. 26 (1), 51-54.
- [9] Kaewpengkrow, P., Atong, D. and Sricharoenchaikul, V. (2012). Pyrolysis and gasification of landfilled plastic wastes with Ni– Mg– La/Al₂O₃ catalyst. **Environmental Technology**. 33 (22), 1-7.
- [10] Srisaeng, N., Tippayawong, N. and Tippayawong, K.Y. (2017). Energetic and Economic Feasibility of RDF to Energy Plant for a Local Thai Municipality. **Energy Procedia**. 110, 115-120.
- [11] Duangjaiboon, K., Kitiwan, M. and Kaewpengkrow, P.R. (2021). Co-pelletization of Industrial Sewage Sludge and Rice Straw: Characteristics and Economic Analysis. **Int. Journal of Renewable Energy Development**. 10 (3), 653-662.
- [12] Yanasinee, S., Pasukphun, N., Hongtong, A., Keawdunglek, Laor, P., and Apidechkul, T. (2019). Waste Composition Evaluation for Solid Waste Management Guideline in Highland Rural Tourist Area in Thailand. **Applied Environmental Research**. 41 (2), 13-26.
- [13] Rotheut, M. and Quicker, P. (2017). Energetic utilisation of refuse derived fuels from landfill mining. **Waste Management**. 62, 101-117.
- [14] Gisi, S.D., Chiarelli, A., Tagliente, L. and Notarnicola, M. (2017). Energy, environmental and operation aspects of a SRF-fired fluidized bed waste-to-energy plant. **Waste Management**. 73, 271-286.
- [15] Kaniowski, W., Taler, J., Wang, X., Kalembe-Rec, I., Gajek, M., Mlonka-Mędrala, A., and Magdziarz, A. (2022). Investigation of biomass, RDF and coal ash-related problems: Impact on metallic heat exchanger surfaces of boilers. **Fuel**. 326, 125122.

การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

A Study of the Potential of Samrong (*Sterculia foetida*) Fruit as Biomass Fuel

ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล^{1*} สุภกร บุญยืน² ภัทราวดี โชติจำลอง¹ และ ปวีณสุดา ยงเพชร¹
Tanit Ruangrungchaikul^{1*} Supakorn Boonyuen² Phatthrawadi Chotjamlong¹ and
Paweensuda Yongphet¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

¹Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,

Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120

²Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Campus,

Pathum Thani 12120

*Corresponding author: Tel.: 084 7528947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

Received: 15 September 2022, Revised: 20 April 2023, Accepted: 30 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

This research aimed to investigate the potential of Samrong fruit as a biomass fuel, both for direct use as cooking fuel and for producing charcoal. The results showed that after sun-drying for 7 days, the Samrong fruit had a calorific value of 3.86 kcal/g, which was higher than that of rice husk, rice straw, and corncob. To use Samrong fruit directly as cooking fuel, further drying is needed to reduce moisture content, which can increase its calorific value even more compared to using fresh fruit. In addition, the study explored the process of producing charcoal from Samrong fruit by burning it at different temperatures (500, 700, and 900 °C) for 2 hours. The research found that a burning temperature of 500 °C was the most suitable for producing Samrong fruit charcoal. Since it was the lowest temperature, the charcoal yield did not have a significant difference ($p < 0.05$) compared to other temperatures. Moreover, the Samrong fruit charcoal obtained at 500 °C had the highest calorific value of 4.72 kilocalories per gram. This indicates that Samrong fruit has great potential as a biomass fuel and as a raw material for charcoal production, offering higher energy content compared to other common biomass sources.

Keywords: Samsong fruit, charcoal, biomass

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทั้งการใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มโดยตรงและการนำไปผลิตเป็นถ่านผลสำโรง ผลการศึกษาพบว่า ผลสำโรงที่ตากแดด 7 วัน มีค่าความร้อนเท่ากับ 3.86 กิโลแคลอรีต่อกรัม มีค่าความร้อนสูงกว่าแกลบ ฟางข้าว และซังข้าวโพด การนำผลสำโรงไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจำเป็นต้องนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อน ซึ่งจะทำให้มีค่าความร้อนมากขึ้นกว่าผลสด และเมื่อนำผลสำโรงไปผลิตเป็นถ่านผลสำโรง โดยเผา ณ อุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ถ่านผลสำโรงที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการผลิตถ่านมากที่สุด เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่ให้ผลผลิตถ่านไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเผาที่อุณหภูมิอื่น โดยถ่านผลสำโรงที่ได้มีค่าความร้อนสูงสุดที่ 4.72 กิโลแคลอรีต่อกรัม

คำสำคัญ: ผลสำโรง ถ่าน เชื้อเพลิงชีวมวล

บทนำ

สำโรงเป็นไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดใหญ่ สามารถนำส่วนต่าง ๆ ของสำโรงไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำเนื้อไม้อ่อนไปตากแห้ง การใช้ฝักสำโรงช่วยสมานแผลในกระเพาะอาหาร การผลิตยาระบายจากเมล็ดสำโรง การนำน้ำมันในเมล็ดมาใช้ปรุงอาหารและจุดไฟ การใช้ผลสำโรง (ภาพที่ 1) มาช่วยละลายเสมหะ เป็นต้น [1] แต่การนำผลสำโรงมาใช้ประโยชน์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ทำให้มีเศษเหลือทิ้งและถูกทำลายเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภูมิอากาศ และสุขภาพเป็นอย่างมาก

ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาดังกล่าว จึงมีความสนใจในการนำผลสำโรงมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลสำโรงมาทำเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มโดยตรง หรือ ผลิตเป็นถ่านผลสำโรง เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการใช้พลังงานในครัวเรือน และเป็นการผลิตเชื้อเพลิงจากเศษเหลือทิ้งจากพืชมาช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงถ่านไม้จากท้องตลาด

การผลิตถ่านจากชีวมวล (เศษเหลือทิ้งจากพืช) แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นแรกคือ การไล่ความชื้น (Dehydration) เป็นกระบวนการที่ชีวมวลดูดความร้อนมาสะสมไว้ให้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน มีอุณหภูมิในช่วง 20-270 องศาเซลเซียส ขั้นที่สองคือ การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (Carbonization) เป็นช่วงที่เซลลูโลสและลิกนินสลายตัวและสามารถเก็บน้ำส้มควันไม้ได้ ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 270-400 องศาเซลเซียส ขั้นที่สามคือ การทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement) โดยการเพิ่มอากาศในการเผาไหม้ เป็นช่วงที่ไอน้ำมันดิน หรือสารระเหยต่าง ๆ ถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 425 องศาเซลเซียสไปเป็นเชื้อเพลิงในการปิ้ง-ย่าง จะเกิดเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ 3.4-Benzopyrene และ 1.2.5.6-Dibenzanthracene จึงต้องมีการทำถ่านให้บริสุทธิ์โดยใช้อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และขั้นสุดท้ายคือ การทำให้เย็น (Cooling) เป็นช่วงที่ไม่ให้อากาศสัมผัสกับถ่าน เพื่อทำให้อุณหภูมิถ่านลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส (ถ้าถ่านมีอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ถ่านจะลุกติดไฟเองได้) ซึ่งการผลิตถ่านโดยทั่วไปจะให้อัตราผลผลิตประมาณร้อยละ 20-22 [2]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรงและถ่านจากผลสำโรง ซึ่งเป็นการนำเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานทางเลือกที่มีความยั่งยืน



(ก) ผลสด



(ข) ผลแห้ง

ภาพที่ 1 ผลสำโรง

วิธีการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการทำเชื้อเพลิง แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

1) การเตรียมเศษเหลือทิ้งจากพืช

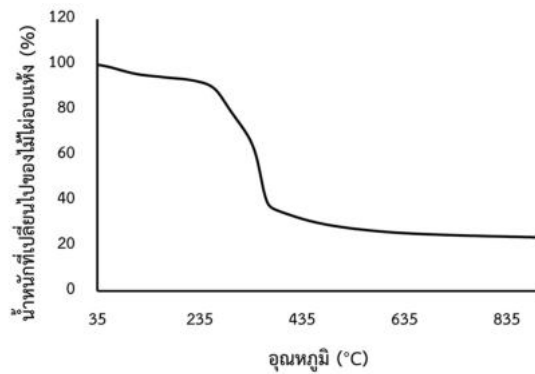
การเตรียมเศษเหลือทิ้งจากพืชสำหรับการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การเตรียมผลสำโรง ผู้วิจัยเตรียมผลสำโรง 2 ลักษณะคือ ผลสำโรงที่ไม่ตากแห้ง และ ผลสำโรงที่ตากแห้ง 7 วัน เพื่อลดความชื้น จากนั้นทำการย่อยผลสำโรงทั้งสองแบบให้มีขนาดเล็ก เพื่อนำไปเผาเป็นถ่านผลสำโรงที่อุณหภูมิแตกต่างกันและหาค่าพลังงานความร้อน

ส่วนที่ 2 การเตรียมวัสดุเหลือทิ้งอื่น ๆ ในการผลิตถ่าน ได้แก่ เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่ เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนกับถ่านจากผลสำโรง

2) การเผาถ่านในอุณหภูมิที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านจากรายงานสภาวะการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไม้ไผ่อบแห้งที่เหมาะสมเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในระบบปิด เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Thermogravimetric Analysis (TGA) [3] พบว่า ในช่วงอุณหภูมิน้อยกว่า 235 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียสารอินทรีย์และน้ำร้อยละ 15 และสูญเสียสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิ 235-435 องศาเซลเซียส เนื่องจากการไถ่สารระเหยยังไม่สมบูรณ์ ทำให้ถ่านไม่บริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 500 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นและสารระเหยออกจนหมด ทำให้สารที่พบอยู่ในกลุ่มออกไซด์ของอินทรีย์ (พบในรูปของซีเถ้า) อีกทั้งการเผาถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศา จะยังคงมีสารก่อกัมเร่งตกค้างอยู่ในถ่าน [2] ผู้วิจัยจึงนำเศษเหลือทิ้งจากพืชตัวอย่างละ 20 กรัม มาผลิตถ่านในระบบปิด โดยใช้เตาเผาแบบอุณหภูมิสูง (Electric furnace) ที่ช่วงอุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนมาก สามารถเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงได้



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิของไม้ไผ่อบแห้ง [3]

3) การหาค่าความร้อน (Heating value)

การหาค่าความร้อนของเศษเหลือทิ้งจากพืช และถ่านจากเศษเหลือทิ้งจากพืชนั้น นำตัวอย่างที่ไม่มีความชื้น มาบดให้ได้ปริมาณ 1 กรัม จากนั้นอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด (Pellet press) แล้วนำไปใส่ในกระบอกบรรจุตัวอย่าง (Bomb Cylinder) และอัดออกซิเจนในกระบอกบรรจุตัวอย่างให้มีความดัน 28-30 บรรยากาศ ต่อมาใส่น้ำ 2,000 มิลลิลิตร ในเสื้อฉนวน (Jacket) และนำกระบอกบรรจุตัวอย่างใส่ในเครื่อง Oxygen bomb calorimeter (ภาพที่ 3) เพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ และคำนวณค่าความร้อนในหน่วยกิโลแคลอรีต่อกรัม (kcal/g)



ภาพที่ 3 เครื่อง Oxygen bomb calorimeter

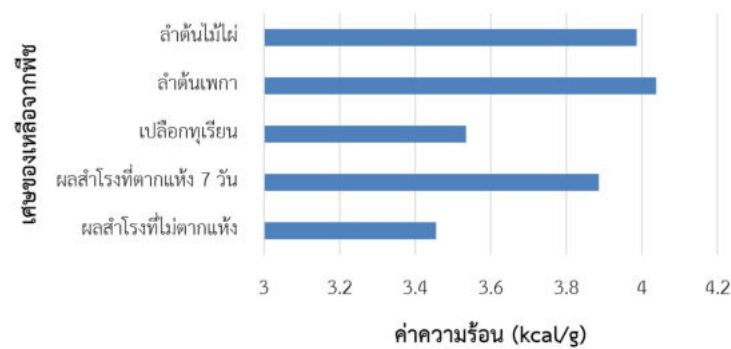
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการทดสอบค่าความร้อนของผลสำโรง และ 2) ผลการทดสอบค่าความร้อนของถ่านผลสำโรง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลการทดสอบค่าความร้อนของผลสำโรง

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรง (แบบไม่ตากแห้ง และ แบบตากแห้ง 7 วัน) กับเศษของเหลือจากพืชอื่น ๆ (เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่) (ภาพที่ 4) พบว่า ค่าความร้อนของผลสำโรงที่ตากแห้ง 7 วัน มีค่า 3.89 kcal/g ซึ่งมากกว่า ผลสำโรงแบบไม่ตากแห้ง 0.43 kcal/g แสดงให้เห็นว่าความชื้นในผลสำโรง (และความชื้นของเศษของเหลือจากพืชชนิดอื่น ๆ) มีผลต่อค่าความร้อนค่อนข้างมาก และค่าความร้อนของผลสำโรงที่ตากแห้งมีค่าใกล้เคียงกับ

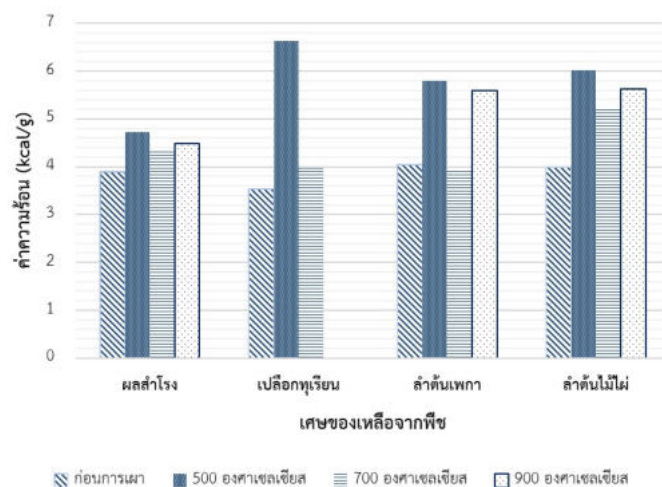
ลำต้นเพกาและลำต้นไม้ไผ่ แสดงให้เห็นว่าผลลำโรมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับเศษของเหลือจากพืชทั้งสอง เนื่องจากผลลำโรมีความแข็งและหนาทำให้ต้องใช้ความร้อนสูงในการให้ความร้อน อีกทั้งค่าความร้อนของผลลำโรมีค่าความร้อนสูงกว่าชีวมวลที่พบได้มากในประเทศไทย เช่น แกลบ (3.23 kcal/g), ฟางข้าว (2.95 kcal/g) และ ชังข้าวโพด (2.30 kcal/g) อีกด้วย [4]



ภาพที่ 4 ค่าความร้อนของเศษของเหลือจากพืชแต่ละชนิด

2) ผลการทดสอบค่าความร้อนของถ่านผลลำโรม

ในภาพที่ 5 แสดงค่าความร้อนของถ่านจากเศษของเหลือจากพืช ได้แก่ ผลลำโรม เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา และลำต้นไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถ่านผลลำโรมให้ค่าความร้อน 4.72 kcal/g ซึ่งต่ำกว่า ถ่านเปลือกทุเรียน (6.64 kcal/g) ถ่านลำต้นเพกา (5.80 kcal/g) และถ่านลำต้นไม้ไผ่ (6.02 kcal/g) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาเป็น 700 องศาเซลเซียส ถ่านผลลำโรมมีค่าความร้อนลดลง (4.33 kcal/g) แต่มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านเปลือกทุเรียน (3.40 kcal/g) และถ่านลำต้นเพกา (3.92 kcal/g) ส่วนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ถ่านผลลำโรมให้ค่าความร้อนต่ำสุดคือ 4.49 kcal/g แต่เมื่อมองในภาพรวมเกี่ยวกับอุณหภูมิในการเผาถ่านช่วง 500-900 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านจากผลลำโรมให้ค่าความร้อนที่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกับกับถ่านลำต้นไม้ไผ่ แสดงให้เห็นว่าถ่านผลลำโรมมีค่าความร้อนคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของเศษของเหลือจากพืชก่อนการเผาและเมื่อเผาโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

นอกจากนั้น เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตถ่านผลสำโรง ในแต่ละอุณหภูมิ (ตารางที่ 1) พบว่า ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตถ่านสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 24.58 ± 1.28 แต่มีผลผลิตที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 22.67 ± 0.08) และ 900 องศาเซลเซียส (ร้อยละ 14.62 ± 0.04) แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผามากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตของถ่านผลสำโรงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากคาร์บอนในผลสำโรงเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว [5-6] ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาผลสำโรงเพื่อเปลี่ยนเป็นถ่าน คือ 500 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 อัตราผลผลิตถ่านจากผลสำโรงเมื่อเผาโดยใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิในการเผาถ่านผลสำโรง (องศาเซลเซียส)	อัตราผลผลิตของถ่าน (ร้อยละ)				ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
500	14	30	24	22.67	8.08
700	23.5	24.25	26	24.58	1.28
900	9	21	13.86	14.62	6.04

ตารางที่ 2 ข้อมูลการจัดกลุ่มทางสถิติอัตราผลผลิตถ่านจากผลสำโรงที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ($p < 0.05$)

อุณหภูมิในการเผาถ่านผลสำโรง (องศาเซลเซียส)	จำนวนซ้ำ (N)	ค่าเฉลี่ย	การจัดกลุ่ม
700	3	24.58	A
500	3	22.67	A
900	3	14.62	A

จากผลการวิจัยนี้จะเห็นว่า ผลสำโรงมีศักยภาพที่สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวล (ของเหลือทิ้ง) อื่น ๆ ดังนั้นในชุมชนที่มีต้นสำโรงหรือชาวบ้านที่ปลูกต้นสำโรงมีความเป็นไปได้ที่จะเก็บผลสำโรงมาขายเป็นใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยนำมาผลิตเป็นถ่านผลสำโรงขายสร้างรายได้ให้กับครัวเรือนได้ หรือ นำไปเป็นส่วนผสมของการผลิตถ่านอัดแท่งจากของเหลือทิ้ง เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของผลสำโรงสำหรับการทำเชื้อเพลิง ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของผลสำโรง (ไม่ตากแห้ง และ ตากแห้ง 7 วัน) เศษของเหลือจากพืช (เปลือกทุเรียน ลำต้นเพกา ลำต้นไม้ไผ่) ซึ่งพบว่าผลสำโรงตากแห้ง 7 วัน มีค่าความร้อน ประมาณ 3.89 kcal/g ซึ่งสูงกว่าผลสำโรงไม่ตากแห้ง และสูงกว่าค่าความร้อนของกลบ (3.23 kcal/g) ฟางข้าว (2.95 kcal/g) และ ชังข้าวโพด (2.30 kcal/g) และเมื่อผลิตเป็นถ่านผลสำโรงและถ่านจากเศษของเหลือจากพืช โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่า ถ่านผลสำโรงที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการนำไปผลิตถ่านมากที่สุด เนื่องจาก เป็นอุณหภูมิที่น้อยที่สุดที่สามารถผลิตถ่านได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยถ่านผลสำโรงมีค่าความร้อน ประมาณ 4.72 kcal/g ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลสำโรงมีศักยภาพในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงทั้งในรูปของการเผาไหม้ให้ความร้อนโดยตรงหรือการผลิตเป็นถ่านผลสำโรง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร และห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และ สถานที่ในการทำวิจัย ให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] เมตไทย (Medthai). (2562). สำโรง สรรพคุณและประโยชน์ของต้นสำโรง 20 ข้อ ! สืบค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2565, จาก <https://medthai.com/สำโรง/>.
- [2] ธนิตน์ เรืองรุ่งชัยกุล. (2552). การศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของถ่านไม้และสารก่อมะเร็งในถ่านไม้จากเตาเผา ถ่าน 200 ลิตรและเตาเผาถ่านดั้งเดิม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [3] สิริณ บุนนาค และธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2561). คุณภาพด้านพลังงานของไม้ไผ่กิมชุง (*Bambusa Beecheyana*) ที่อายุการเติบโตต่างกัน สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2565, จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/186044/130737>.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). ชีวมวล สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2565, จาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html.
- [5] นูวัติ พิมพะบุตร, อนุสรณ์ ชัยยะ และ สายไหม ขาวกล้า. (2563). ผลของชนิดเนื้อไม้ต่อลักษณะเฉพาะอุณหภูมิเผาไหม้ และคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอุณหภูมิสูง. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. 12 (16), 50-60.
- [6] พนิดา สุมานะตระกูล, จตุพร แก้วอ่อน, ปาริชาติ เทพทอง และพลากร บุญใส. (2555). การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาเพื่อผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ยางลิ้มแล้ง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

การประมาณศักยภาพการผลิตเอทานอลที่เกิดจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง
จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย
The Estimated Potential of Ethanol Production from Maize Residue
in Northern Thailand

รุ่งนภา ตูรงค์เรือง¹ ณัฐธินิชา สุขเกษม¹ พัชรีย์ อินธนู² และธนศ ไชยชนะ^{1*}
Runghnapha Turongruang¹ Natthanicha Sukasem¹ Patcharee Intanoo² and Tanate Chaichana^{1*}

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² สาขาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

²Program in Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science,
Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 081 5406768. E-mail address: tanatecha@gmail.com

Received: 15 September 2022, Revised: 29 March 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

The objective of this research is to study the amount of maize residue and estimate the potential for ethanol production from maize residue in northern Thailand during the 2019/2020 period. The maize residue consists of six parts: stem and leaf, husk and cob, stem, leaf, cob, and husk. The study found that maize residue is generated after the harvest process and two main parts, namely stem and leaf, and husk and cob, account for 80.2% and 19.8% of the total amount of maize residue generated annually. To utilize maize residue for ethanol production, a two-stage chemical pretreatment process was used, followed by fermentation with 5.77 percent by mass of *S. cerevisiae* YSC2 yeast under controlled conditions in a batch reactor, with an initial temperature and pH at 48 hours. The experimental results showed that the cob had the highest ethanol concentration at 23.27 grams per liter and an ethanol yield of 0.23 grams per gram of dry matter. Based on the findings, the potential ethanol production from maize residue in the 2019/2020 period was estimated to be 345.54 million liters per year, with an energy potential equal to 7,078.8 terajoules per year. These results indicate that maize residue can be a significant source of ethanol production and energy in the region.

Keyword: Maize residue, Bioethanol, The two-stage chemical pretreatment

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณวัสดุชีวมวลและการผลิตเอทานอลจากการวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย แบ่งวัสดุเป็น 6 ประเภท คือ ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ ซัง และเปลือก ในการวิเคราะห์พบว่าวัสดุที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80.2 และ 19.8 ของปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดต่อการเพาะปลูก ในศึกษาการผลิตเอทานอลจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 6 ประเภท จะใช้กระบวนการปรับสภาพทางเคมีแบบ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน และเชื้อยีสต์ *S.cerevisiae* YSC2 ที่ร้อยละ 5.77 โดยมวล ภายใต้สภาวะการควบคุมอุณหภูมิและความเป็นกรดต่าง ในระยะเวลาการหมักที่ 48 ชั่วโมง ในถังปฏิกรณ์แบบกะ พบว่าวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งประเภท ซังข้าวโพด ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุดที่ 23.27 กรัมต่อลิตร คิดเป็นผลได้ของเอทานอลเท่ากับ 0.23 กรัมต่อกรัม(ชีวมวล) ดังนั้นปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เกิดขึ้นในปี 2562/63 เท่ากับ 345.54 ล้านลิตรต่อปี และคิดเป็นศักยภาพทางด้านพลังงานเท่ากับ 7,528.49 เทระจูลต่อปี

คำสำคัญ: วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ไบโอเอทานอล กระบวนการปรับสภาพทางเคมี 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน

บทนำ

ในหลายประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญต่อประเด็นเรื่องสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศให้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งประเทศไทยก็เล็งเห็นถึงความสำคัญจึงได้กำหนดนโยบายโดยมีเป้าหมายในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Carbon Neutrality) ภายในปีคริสต์ศักราช 2065-2070 [1] ด้วยนโยบายการส่งเสริมการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E20) เป็นน้ำมันเบนซินเกรดพื้นฐานภายในปี 2566 [2] น้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ของเอทานอลกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (น้ำมันเบนซิน) ที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล 80 เปอร์เซ็นต์ [3] และจากสถานการณ์ดังกล่าว ปริมาณความต้องการเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีกในอนาคต จึงเกิดปัจจัยเสี่ยงที่จะขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังมีวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลซึ่งก็คือ วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร อาทิเช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ฟางข้าว เหม้ามันสำปะหลัง ใบและต้นอ้อย เป็นต้น

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีปริมาณการเพาะปลูกสูงในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และจากการศึกษาของงานวิจัยของ ยืนนิตร และคณะ (2563) ที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่เพาะปลูกและวิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเกิดวัสดุเหลือทิ้งประเภทลำต้นและใบ เฉลี่ย 729.03 กิโลกรัมต่อไร่ต่อการเพาะปลูก และเกษตรกรมีวิธีการจัดการวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งแบบผิดวิธีซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น การโยนทิ้ง การเผาในที่โล่ง และการทิ้งไว้ในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 80 จากปริมาณวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งหมด [4]

ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ที่มีองค์ประกอบของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จะประกอบไปด้วย ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนการปรับสภาพวัตถุดิบเพื่อกำจัดองค์ประกอบของลิกนินและสลายพันธะภายในโครงสร้างพืช (2) ขั้นตอนการย่อย เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (3) ขั้นตอนการหมักเอทานอลเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่อาศัยเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายน้ำตาลเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เอทานอล

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการผลิตเอทานอลโดยใช้วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยจำแนกวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ออกเป็น 6 ประเภท ซึ่งได้แก่ ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ ซัง และเปลือก

วิธีการวิจัย

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัย วารสารวิชาการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้ คือ ปริมาณการเพาะปลูก ปริมาณผลผลิต ปริมาณวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง และการนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานของวัสดุชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์

2. ศึกษาการผลิตเอทานอลจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2.1 การเตรียมวัสดุชีวมวลและการปรับสภาพ

การเตรียมวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ และเปลือก) ทำการลดขนาดและบดละเอียดด้วยเครื่องป่น จากนั้นทำการปรับสภาพด้วยสารเคมี 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน ในอัตราส่วน 1 กรัมของวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง ต่อ 10 มิลลิลิตรของสารละลาย โดยการแช่ในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และต่อด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.26 โดยมวลต่อปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นล้างจนวัสดุมีสภาพเป็นกลางก่อนอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้

2.2 ขั้นตอนการย่อยและการหมัก

นำวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ผ่านการปรับสภาพมาย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 โดยมวล ปรับค่าความเป็นกรดและด่างอยู่ที่ประมาณ 5.5-6.0 ใช้อุณหภูมิที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง ในขั้นตอนการย่อยวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากนั้นเติมเชื้อยีสต์ *S.cerevisiae* YSC2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.77 โดยมวล ลงในถังปฏิกรณ์แบบกะ การหมักภายใต้สภาวะการควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

3. การประเมินศักยภาพจากการผลิตเอทานอลด้วยวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ในการประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานด้วยการนำวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเอทานอล โดยการใช้สมการ (1) - (3)

$$VOR = (RTP_{ratio} \times RNU_{ratio} \times VOP_{year}) \times 10^{-4} \quad (1)$$

VOR_i คือ ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Volume of maize residue; ton)

RP_{ratio} คือ สัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือทิ้งต่อผลิต (Residue to product ratio; %)

RNU_{ratio} คือ สัดส่วนวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ (Residur not used ratio; %)

VOP_{year} คือ ปริมาณผลผลิตในรอบปีการเพาะปลูกของรายจังหวัด (Volume of maize production per year; ton)

$$VOE = (VOR \times EY)/\rho_E \quad (2)$$

VOE คือ ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ (ล้านลิตรต่อปี)

EY คือ ผลได้ของเอทานอล (Ethanol yield; $g_E/g_{biomass}$)

ρ_E คือ ค่าความหนาแน่นของเอทานอล (Density of ethanol; 789 kg/m^3)

$$POE = (VOE \times HHV) \times 10^{-3} \quad (3)$$

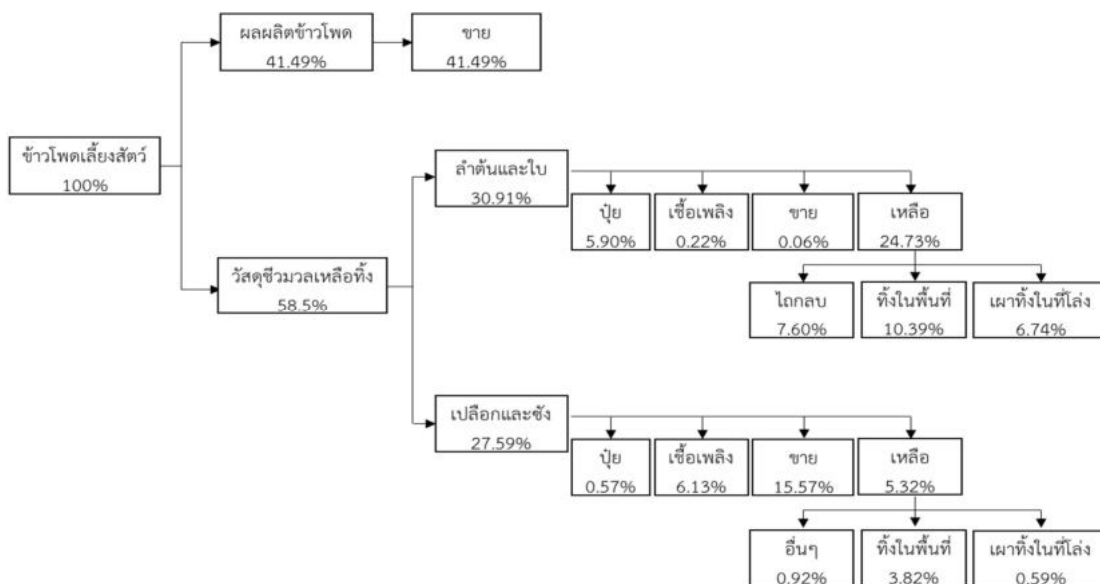
POE คือ ศักยภาพพลังงานของเอทานอล (Potential of energy; TJ/year)

HHV คือ ค่าความร้อนจำเพาะของเอทานอล (High heating value of ethanol; kJ/L)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการศึกษาปริมาณการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือทั้ง 12 จังหวัด ซึ่งประกอบด้วย เชียงราย พะเยา ลำปาง ลำพูน เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ตาก สุโขทัย แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ และพิษณุโลก ในปีพุทธศักราช 2562/63 พบว่า ปริมาณการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดอยู่ที่ 3,197,404 ไร่ ให้ปริมาณผลผลิต 2,088,554 ตัน ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยเท่ากับ 651.3 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการศึกษาองค์ประกอบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในสัดส่วนมวลต่อมวล พบว่า ปริมาณร้อยละ 41.49 เป็นปริมาณผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เกษตรกรจะนำไปขายให้กับโรงสี แต่ที่ปริมาณร้อยละ 58.5 เป็นปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต (ดังแสดงในภาพที่ 1) คิดเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งทั้งหมด 2,249,181.9 ตัน และเมื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งที่เกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือนำมาใช้ พบว่า เกษตรกรมีวิธีการจัดการวัสดุชีวมวลแบบผิดวิธี กล่าวคือ เป็นวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการเพิ่มมูลค่าและอาจจะ เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคของการเกษตรอีกด้วย โดยคิดเป็นสัดส่วนมวลต่อมวลของวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อวิธีการจัดการแบบผิดวิธี ในวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประเภทลำต้นและใบ และประเภทเปลือก และซังที่ร้อยละ 24.73 และ 5.32 ตามลำดับ (ภาพที่1) ซึ่งปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ใช้ประโยชน์เท่ากับ 1,564,847.5 ตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ เท่ากับ 0.58 ล้านตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

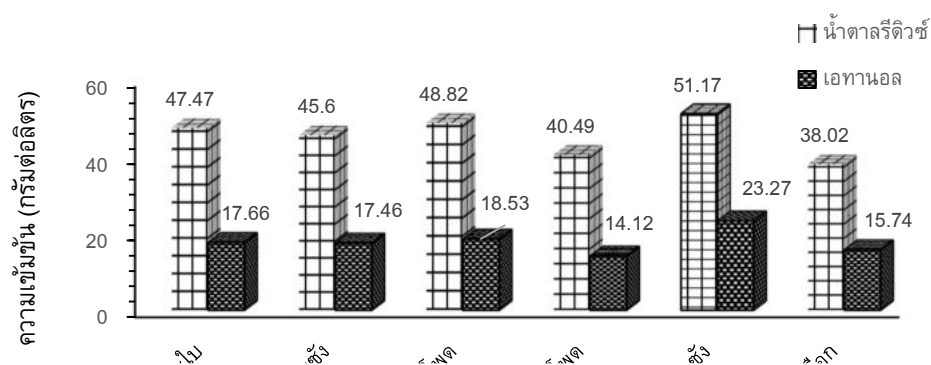


ภาพที่ 1 วัสดุองค์ประกอบและการใช้ประโยชน์จากส่วนต่างๆของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

2. การผลิตเอทานอลจากวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

กระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในงานวิจัยนี้ ใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ เอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพทางเคมีแบบ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น 47.47 45.60 48.82 40.49 51.17 และ 38.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2) และจากการย่อยวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยการใช้เอนไซม์เซลลูเลสส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง ซึ่งเกิดเนื่องจากการปรับสภาพทางเคมีของวัสดุชีวมวลแบบ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน ที่ทำให้โครงสร้างที่มีความซับซ้อน (ความเป็นผลึกสูง) เกิด

การคลายตัวของแรงยึดเหนี่ยวภายในและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เช่น แรงอันเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน และพันธะไกลโคซิดิกที่ตำแหน่งเบต้า (1,4) อ่อนกำลังลง เอนไซม์เซลลูเลสซึ่งเป็นทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรไลซิสที่ทำให้เกิดการสลายของเซลลูโลสที่พันธะบีตา-1, 4-ไกลโคซิดิก โดยจะตัดพันธะภายในสายเซลลูโลสส่งผลให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าน้ำตาลกลูโคสโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุลขึ้น จากนั้นเมื่อเติมเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* YSC2 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.77 โดยมวล ทำการหมักภายใต้สภาวะการควบคุมอุณหภูมิที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณเอทานอลที่เกิดจากใช้วัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประเภทลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ ซัง และเปลือก มีความเข้มข้นอยู่ที่ 17.66 17.46 18.53 14.12 23.27 และ 15.74 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2) และเมื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงผลได้ของเอทานอลในวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งประเภทเดียวกัน พบว่าขั้นตอนและวิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการหมักเอทานอลที่ดีขึ้น (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 2 ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์และเอทานอลในวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ตารางที่ 1 แสดงผลได้ของเอทานอลในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ [5-7]

วัสดุ	จุลินทรีย์	พีเอช	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำตาลเริ่มต้น (g/L)	เอทานอล (g/L)	ผลได้ของเอทานอล (gE/gbiomass)	แหล่งอ้างอิง
ซังข้าวโพด	S.cerevisiae NBRC2114	5	30	48		48.6	0.12	[5]
ซังข้าวโพด	S.cerevisiae ATCC_20006 2 (D5A) และ E. coli ATCC_55124	5.0-7.0	37	120		22.3	0.28	[6]
ซังข้าวโพด	S. cerevisiae 3013	6	30		46.6	24	0.13	[7]
ลำต้นและใบ	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	47.47	17.66	0.18	งานวิจัยนี้
เปลือกและซัง	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	45.6	17.46	0.17	งานวิจัยนี้
ลำต้นข้าวโพด	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	48.82	18.53	0.19	งานวิจัยนี้
ใบข้าวโพด	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	40.49	14.12	0.14	งานวิจัยนี้
ซัง	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	51.17	23.27	0.23	งานวิจัยนี้
เปลือก	S. cerevisiae YSC2	5.5-6.0	37	48	38.02	15.74	0.11	งานวิจัยนี้

3. ประเมินศักยภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปริมาณการเพาะปลูกและผลผลิตในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าปริมาณวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ที่จำแนกออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ ซัง และเปลือก ในเขตพื้นที่ภาคเหนือ ทั้ง 12 จังหวัด ในรอบฤดูการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีพุทธศักราช 2562/63 ซึ่งสามารถปริมาณผลิตเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 เปอร์เซนต์ เท่ากับ 345.54 ล้านลิตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นศักยภาพการผลิตพลังงานจากเอทานอลอยู่ที่ 7,528.49 เทระจูลต่อปี ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการผลิตเอทานอลโดยใช้วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในเขตพื้นที่ 12 จังหวัด ภาคเหนือของประเทศไทย ในปีพุทธศักราช 2562/63 ซึ่งจำแนกวัสดุออกเป็นทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่ ลำต้นและใบ เปลือกและซัง ลำต้น ใบ ซัง และเปลือก พบปริมาณการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวมทั้งสิ้น 3,197,404 ไร่ เกิดวัสดุเหลือทิ้งที่ยังไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ที่ปริมาณ 1,564,847.5 ตันต่อปี คิดเป็นศักยภาพการผลิตเอทานอลที่ผลิตได้เฉลี่ยเท่ากับ 345.54 ล้านลิตรต่อปี และคิดเป็นศักยภาพทางด้านพลังงานจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยเท่ากับ 7,528.49 เทระจูลต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2562 และ Sustainable Energy Technology Research Laboratory, SRE, MJU (SETR-Lab)

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2564). **แผนพลังงานชาติ (National Energy Plan 2022)**
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Plan)**. การประชุมรับฟังความคิดเห็น แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง.
- [3] กรมธุรกิจพลังงาน. (2556). **สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง**
- [4] ยืนนิตรา คำนิ้งผล และคณะ. (2563). การประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ปลูกกรณีศึกษาภาคเหนือของประเทศไทย. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 3 (1), 32-36.
- [5] Prihardi, K., Kazuo, T., and Shuzo, T. (2010). Enzymatic digestion of corncobs pretreated with low strength of sulfuric acid for bioethanol production. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 110 (4), 453-458.
- [6] Xuan, L., Tae, H., and Nhuan, P.N. (2010). Bioethanol production from corn stover using aqueous ammonia pretreatment and two-phase simultaneous saccharification and fermentation (TPSSF). **Bioresource Technology**. 101 (15), 5910-5916.
- [7] Ping, L., Di, C., Zhangfeng, L., Peiyong, Q., Changjing, C., Yong, W., Chang, Z., Zheng, W. and Tianwei, T. (2016). Effect of acid pretreatment on different parts of corn stalk for second generation ethanol production. **Bioresource Technology**. 206, 86-92.

ผลของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศที่มีต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเตาฟลูอิดไต์เบดแก๊สซิไฟเออร์
The Effects of Air Inlet Configurations on Syngas Productions
in a Fluidized Bed Gasifier

จตุพร อินสุวรรณโน โณ วสุ สุขสุวรรณ และ มัฏฐา วะเหยี*

Jatuporn Insuwanno, Wasu Suksuwan and Makatar Wae-Hayee*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Songkhla 90110

*Corresponding author: Tel.: 080 7151346. E-mail address: wmakatar@eng.psu.ac.th

Received: 20 September 2022, Revised: 20 April 2023, Accepted: 4 May 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

In this work, the effect of air configuration inlet of a fluidized bed gasifier was studied. The reactor has a diameter of 0.2 meter and a height of 1.5 meters. There are three air inlet configurations: (1) the updraft air inlet pipe, (2) the double tangential inlet pipe, and (3) the single tangential inlet pipe. The latter two types can create a swirling flow inside the reactor. The air flow rate was fixed at an equivalent ratio of 0.3, while the mixed palm cake was constantly fed at 3 kg/hour. The production gas (Syngas) obtained from the gasification process were measured using a syngas analyzer. The results showed that the temperature profile inside the fluidized bed gasifier with the double air inlet is higher than the other cases. This is because the combustion zone size is the largest in this case. In addition, the double tangential inlet pipe produced the most syngas quality which can produced the syngas concentration of 20.40%, 8.66% and 2.70% for carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂) and methane (CH₄), respectively. In addition, the low calorific value (LHV) of the syngas of the double tangential air inlet was the highest at 4,786 kJ/m³, followed by the single tangential air inlet at 3,437 kJ/m³ and the updraft air inlet 2,721 kJ/m³. In conclusion, the double tangential inlet pipe is more favorite for designing fluidized bed gasification system at assigned equivalence ratio.

Keywords: Gasifier, Fluidized gasifier, fuel, Syngas

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ศึกษาผลของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศของเตาฟลูอิดไbezดแก๊สซิไฟเออร์ เตามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เมตร และมีความสูง 1.5 เมตร โดยได้กำหนดรูปแบบท่อทางเข้าอากาศ 3 รูปแบบ คือ (1) ท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้น (แบบทั่วไป Updraft), (2) ท่อทางเข้าแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง และ (3) ท่อทางเข้าแบบไหลเข้าด้านข้างทางเดียว โดยสองแบบหลังสามารถสร้างกระแสไหลหมุนวน (Swirling) ภายในเตา ทุกรูปแบบการทดลองกำหนดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจากกากปาล์มน้ำมันให้คงที่ที่ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกำหนดการป้อนอัตราอากาศที่อัตราส่วนสมมูล (Equivalent Ratio) เท่ากับ 0.3 สำหรับแก๊สเชื้อเพลิง (Syngas) ที่ได้จากการกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้วิเคราะห์คุณสมบัติโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Syngas analyzer) ผลการศึกษาพบว่า โปรไฟล์อุณหภูมิภายในเตาฟลูอิดไbezดแก๊สซิไฟเออร์ของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง มีโปรไฟล์อุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งเป็นผลที่แสดงให้เห็นว่ามีขนาดของโซนเผาไหม้ใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบท่อทางเข้าอื่นๆ สอดคล้องกับปริมาณของแก๊สเชื้อเพลิงของรูปแบบท่อทางเข้าสองทางที่มีความเข้มข้นของแก๊สเชื้อเพลิงมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีความเข้มข้นเฉลี่ยที่ 20.40 % ตามมาด้วย แก๊สไฮโดรเจน (H_2) มีความเข้มข้นเฉลี่ย 8.66 % และแก๊สมีเทน (CH_4) ที่มีความเข้มข้นเฉลี่ย 2.70 % และเมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนต่ำเฉลี่ย (Average Low Heating Value) พบว่า รูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบสองทางมีค่าความร้อนเฉลี่ยที่สูงที่สุด คือ $4,786 \text{ kJ/m}^3$ ตามมาด้วยรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบทางเดียวที่มีค่าความร้อนเฉลี่ยที่ $3,437 \text{ kJ/m}^3$ และกรณีรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้นที่มีค่าความร้อนเฉลี่ยต่ำสุดคือ $2,721 \text{ kJ/m}^3$ จากการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ารูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับสร้างระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนสมมูลดังกล่าว

คำสำคัญ: แก๊สซิไฟเออร์ ฟลูอิดไbezดแก๊สซิไฟเออร์ เชื้อเพลิง แก๊สเชื้อเพลิง

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้เชื้อเพลิงมาจากหลากหลายแหล่งพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ หรือ ถ่านหิน ซึ่งพลังเหล่านี้ล้วนเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และยังมีแนวโน้มที่แหล่งพลังงานจะมีปริมาณลดลงแต่ยังมีความต้องการที่สูงมากขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงดังกล่าวมีราคาที่สูงขึ้นในทุกๆ ปี ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้ทั่วโลกหันมาให้ความสำคัญกับการหาแหล่งพลังงานทางเลือกเพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป สำหรับการเลือกใช้พลังงานทางเลือกส่วนใหญ่ ก็จะต้องคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่ใช้งาน โดยพลังงานทางเลือกส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ หรือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ แต่สำหรับประเทศไทย พลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพมากที่สุดคือ พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งจะอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงแข็ง ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงประเภทนี้จะถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมที่หลากหลาย อย่างเช่น การนำไปใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล หรือ การนำไปใช้ในโรงงานที่ใช้ไอน้ำจากการหมักต้มไอน้ำ ซึ่งจากข้อมูลของสำนักงานสิ่งแวดล้อม [1] ได้ให้ข้อมูลว่า การนำชีวมวลใช้เป็นพลังงาน สามารถแบ่งการนำไปใช้ได้ 2 ลักษณะ [2] คือ (1) การนำไปใช้โดยตรง คือ การนำเอาชีวมวลไปใช้ได้โดยการนำไปเผา ซึ่งให้ได้ทั้งความร้อนและแสงสว่าง แต่จะได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ และ (2) การนำไปใช้โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถนำชีวมวลไปใช้งานได้หลายรูปแบบและสะดวกต่อการนำไปใช้งานได้หลากหลาย [3-5] อย่างเช่น เอทานอล น้ำมันชีวภาพ หรือ ก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี

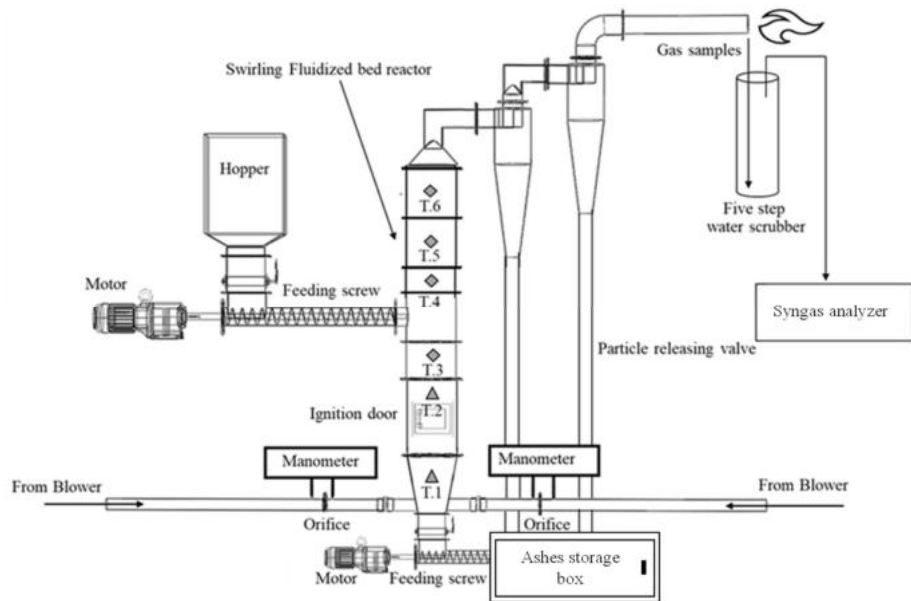
จากการศึกษากระบวนการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส คือกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) [6-8] ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปของแก๊ส โดยทำให้เกิดการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยควบคุมปริมาณอากาศเข้าให้มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการสันดาปที่สมบูรณ์ แต่จะเกิดความร้อนเพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันให้ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า Syngas ที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจน (H_2)

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ แก๊สมีเทน (CH₄) เตาเผาระบบแก๊สซิฟิเคชันสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Syngas) เพื่อใช้ในกระบวนการทางความร้อนแบ่งได้ 3 ประเภท [9, 10] คือ เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed gasifier), เตาฟลูอิดไซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ (Fluidized bed gasifier), และเอนเทรนส์เบดแก๊สซิไฟเออร์ (Entrained bed gasifier) โดยสำหรับงานวิจัยฉบับนี้สนใจเตาเผาในรูปแบบฟลูอิดไซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ เนื่องจากความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงแข็งขนาดเล็กที่มีความหนาแน่นต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก-กลาง ใช้พื้นที่น้อย เหมาะกับชีวมวลที่มีลักษณะเป็นผงหรือมีขนาดเล็ก เช่น กากปาล์ม ชี้เลื้อย แกลบ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับเชื้อเพลิงชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศไทย พบว่า ชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่จะถูกส่งไปยังโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ เช่น เศษไม้ยางพารา กะลาปาล์ม ทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นต้น แต่ยังมีชีวมวลเหลือใช้ที่ยังไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก ก็คือกากปาล์มน้ำมันแบบหีบรวมเมล็ดในปาล์ม (Mixed palm cake) ซึ่งกากปาล์มน้ำมัน จะมีลักษณะเป็นผงและมีปริมาณความชื้นที่สูงกว่าเชื้อเพลิงแข็งโดยทั่วไป [11] มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

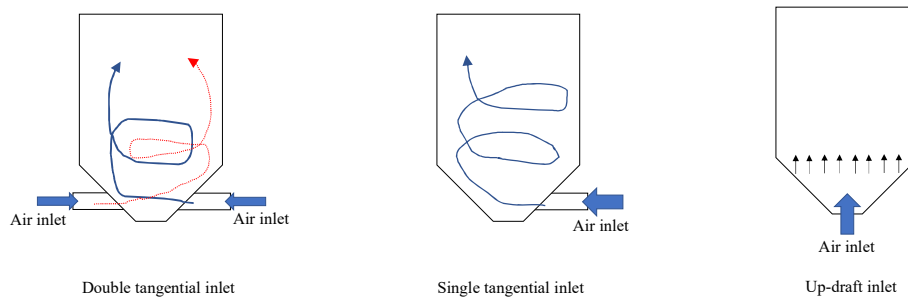
ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการนำกากปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาฟลูอิดไซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ โดยกำหนดรูปแบบท่อทางเข้าของอากาศเป็น 3 รูปแบบ คือ ท่อทางเข้าด้านข้างสองทาง ท่อทางเข้าด้านข้างทางเดียว และท่อทางเข้าแบบไหลขึ้น โดยจะควบคุมปริมาณอากาศและปริมาณของเชื้อเพลิงเท่ากันทุกกรณี เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์ของแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

วิธีการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงไดอะแกรมของเตาฟลูอิดไซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ เตามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เมตร และมีความสูง 1.5 เมตร โดยชุดเตาฟลูอิดไซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์ ประกอบด้วยโบลเวอร์ใช้สำหรับดูดอากาศแล้วส่งไปยังออริฟิซเพื่อวัดอัตราการไหล จากนั้นอากาศจะไหลเข้าเตาทางด้านข้างที่ที่กำหนดไว้ 3 รูปแบบตามที่ได้แสดงในภาพที่ 2 คือ ท่อทางเข้าด้านข้างสองทาง (Double tangential inlet) ท่อทางเข้าของอากาศไหลเข้าทางเดียว (Single tangential inlet) และท่อทางเข้าแบบไหลขึ้น (Updraft inlet) เพื่อทำให้เกิดรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจะป้อนเข้าทาง ฮอปเปอร์ที่อยู่ด้านบนของสกรูลำเลียง จากนั้นจะถูกส่งเข้าเตาปฏิกรณ์โดยผ่านสกรูลำเลียงที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของชีวมวลโดยใช้อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เชื้อเพลิงชีวมวลจะตกลงสู่ด้านล่างของเตาปฏิกรณ์ จากนั้นจะถูกเผาไหม้ในสภาวะที่อากาศถูกควบคุมตามอัตราส่วนสมมูลต่างๆ ให้เกิดการเผาไหม้ ในส่วนของชี้ไถ่จะหล่นกองอยู่ด้านล่างของเตาและถูกลำเลียงโดยใช้สกรูลำเลียงเก็บในกล่องใส่ชี้ไถ่ โดยชี้ไถ่จะถูกนำไปทิ้งเมื่อทดลองเสร็จ สำหรับแก๊สที่เกิดขึ้นจะไหลขึ้นด้านบนของเตาแล้วไหลเข้าไซโคลนเพื่อกรองฝุ่นและชี้ไถ่ลอยที่อยู่ในแก๊สเชื้อเพลิงออก จากนั้นแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกวิเคราะห์คุณภาพของแก๊สโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Infrared Syngas Analyzer Gasboard-3100, China)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเตาฟลูอิดไคส์เบดแก๊สซิฟิเคชัน



(ก) ท่อทางเข้าด้านข้างสองทาง (ข) ท่อทางเข้าของอากาศไหลเข้าทางเดียว (ค) ท่อทางเข้าแบบไล่ขึ้น

ภาพที่ 2 รูปแบบทางเข้าอากาศของของเตาฟลูอิดไคส์เบดแก๊สซิฟิเคชัน

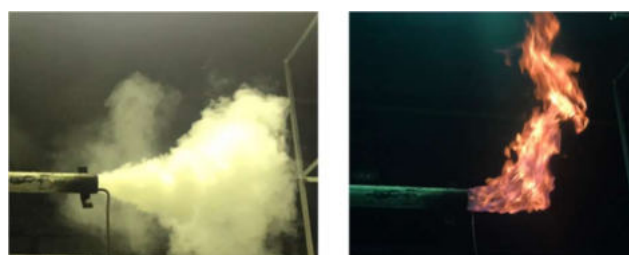
วิธีการทดลองเริ่มจากการป้อนเชื้อเพลิงกากปาล์มที่ได้จากโรงสกัดน้ำมันปาล์มแบบที่บวมเมล็ดในปาล์ม ในปริมาณ 250 กรัม เข้าไปในเตาฟลูอิดไคส์เบดแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อทำการจุดไฟเริ่มต้นกระบวนการทดลอง จากนั้นจะเริ่มป้อนอากาศที่อัตราส่วนสมมูลคงที่ (Equivalent ratio) ที่ 0.3 ในทุกการทดลอง และรอจนกว่าไฟด้านในเตาจะติด จากนั้นจะเริ่มป้อนเชื้อเพลิงกากปาล์มลงอย่างต่อเนื่องโดยมีอัตราการป้อนอยู่ที่ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยในขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 60 นาที

ในระหว่างการทดลอง ได้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในเตาทุกๆ 1 นาที โดยใช้เครื่อง Data logger (Hioki LR8400-20, Japan) ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ตามที่ได้ระบุจุดวัดตำแหน่งต่างๆดังที่แสดงในภาพที่ 1 โดยที่ตำแหน่ง T.1 จะเลือกใช้โมเทอร์คัปเปิล ชนิดเอส (Type-S) ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้วัดในที่อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะโซนที่มีการเผาไหม้ ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 1,600 องศาเซลเซียส สำหรับตำแหน่งที่เหลือใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (Type-K) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส และในส่วนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จะถูกส่งเข้าไปในระบบล้างแก๊ส (Wet scrubber) เพื่อกำจัดอนุภาคฝุ่นและทาร์ ก่อนที่จะนำแก๊สไปวิเคราะห์องค์ประกอบของ

แก๊ส [12, 13] ซึ่งประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) แก๊สมีเทน (CH₄) และความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สตามที่ได้กล่าวข้างต้น

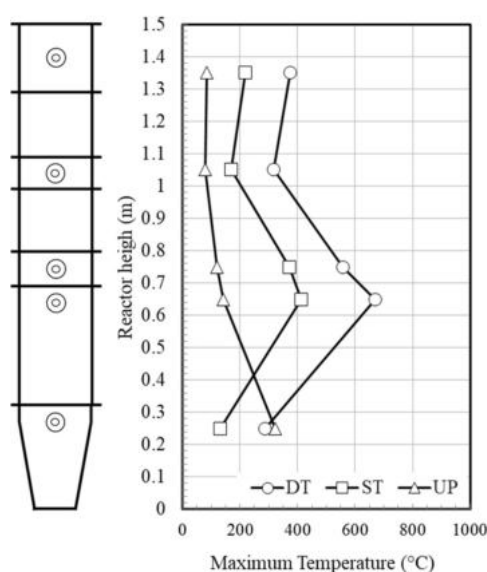
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ของเตาฟลูอิดไธด์เบดแก๊สซิฟิเออร์ โดยภาพที่ 3 (a) เป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีลักษณะสีขาว-เทา ซึ่งเป็นลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถนำมาเผาไหม้ได้ซ้ำ เนื่องจากควบคุมอยู่ในช่วงอัตราส่วนสมมูลสูง (ER=1) และในภาพที่ 3 (b) แสดงเปลวไฟที่มาจากเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ เนื่องจากควบคุมอยู่ในช่วงอัตราส่วนสมมูลต่ำ (ER=0.3) ซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สามารถจุดติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง



(a) แก๊สที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (จุดแล้วไม่ติดไฟ) (b) แก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้

ภาพที่ 3 ลักษณะของแก๊สเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้และเปลวไฟที่เผาแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้

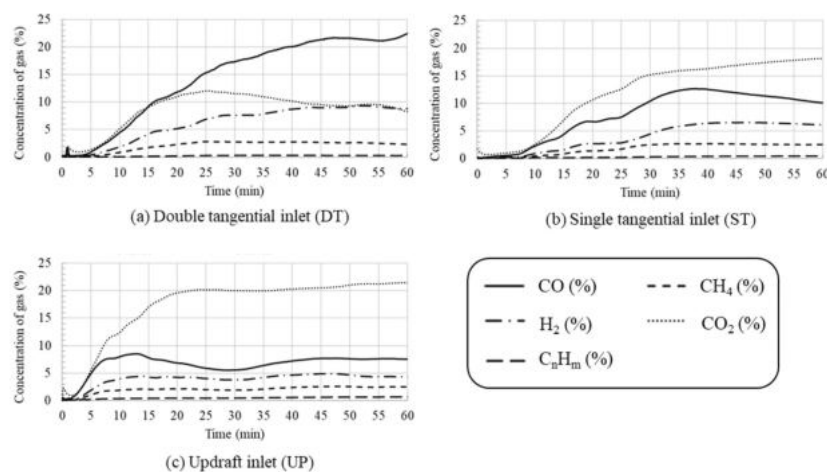


ภาพที่ 4 โปรไฟล์ของอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาฟลูอิดไธด์เบดแก๊สซิฟิเออร์

ภาพที่ 4 แสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิภายในเตาฟลูอิดไธด์เบดแก๊สซิฟิเออร์ กรณีท่อทางเข้าอากาศ 3 แบบ คือ ท่อทางเข้าด้านข้างสองทาง (DT) ท่อทางเข้าด้านข้างทางเดียว (ST) และท่อทางเข้าแบบอากาศไหลขึ้น (UP) โดยแสดงในช่วงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงสุดในช่วงระหว่างกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน พบว่า รูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบเข้าด้านข้างสองทาง

(DT) สามารถสร้างโซนการเผาไหม้ภายในเตาได้กว้างที่สุด โดยอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 0.65 เมตร จากระดับล่างสุดของเตา ทำให้เห็นว่าโซนที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกากปาล์มมีโซนการเผาไหม้ที่กว้างกว่ารูปแบบท่อทางเข้าแบบอื่น สำหรับรูปแบบท่อทางเข้าแบบอากาศไหลเข้าทางเดียว (ST) จะเห็นได้ว่ารูปแบบท่อทางเข้าอากาศที่ตำแหน่งล่างสุด 0.25 เมตร มีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่น้อยที่สุด เนื่องจากการเผาไหม้เกิดขึ้นเฉพาะตำแหน่งท่อทางเข้าอากาศที่ด้านข้างของเตา แค่เพียงตำแหน่งเดียว แต่เมื่อระดับสูงขึ้นจะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื่องจากอากาศที่ไหลเข้าทางด้านข้างมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของเตา ทำให้ระดับที่สูงขึ้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น และสำหรับรูปแบบท่อทางเข้าแบบอากาศไหลขึ้น (UP) อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 0.25 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าสองทาง แต่เมื่อระดับความสูงของเตาสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิตกลงมาต่ำสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบท่อทางเข้าอากาศทั้งหมด เนื่องจากเชื้อเพลิงกากปาล์มมีลักษณะเป็นผง และมีการเติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องทำให้ อากาศที่ไหลขึ้นมาจะไหลผ่านขึ้นมาค่อนข้างยากกว่ากรณีอื่นๆ เพราะอากาศมีความเร็วไม่เพียงพอต่อการแทรกให้เกิดการไหลภายในชั้นเชื้อเพลิง

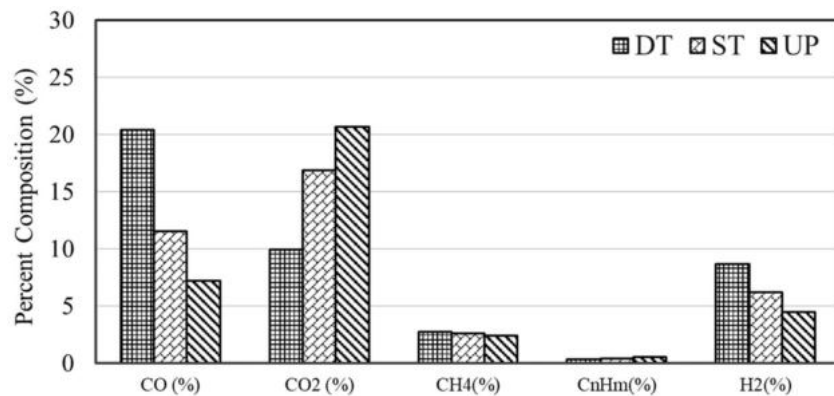
ภาพที่ 5 แสดงองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศทั้ง 3 แบบ โดยองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย แก๊สที่มีคุณสมบัติติดไฟได้อีกครั้งคือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH₄) แก๊สไฮโดรคาร์บอน (C_nH_m) และแก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สที่ไม่สามารถติดไฟได้คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สำหรับองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้โดยใช้ท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าสองทางแสดงไว้ในภาพที่ 5(a) ผลของแก๊สเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นว่าปริมาณของแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ตามด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน และไฮโดรคาร์บอนตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีองค์ประกอบแก๊สที่ติดไฟได้มีปริมาณมากกว่ากรณีอื่นๆ สำหรับองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้รูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าทางเดียว (ภาพที่ 5(b)) และรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบอากาศไหลขึ้น (ภาพที่ 5(c)) มีลำดับการผลิตแก๊สที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน คือมีปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด (ซึ่งเป็นแก๊สที่เผาไหม้ซ้ำไม่ได้) และตามมาด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สมีเทน และไฮโดรคาร์บอน ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ผลขององค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงตลอดระยะเวลาการเผาไหม้

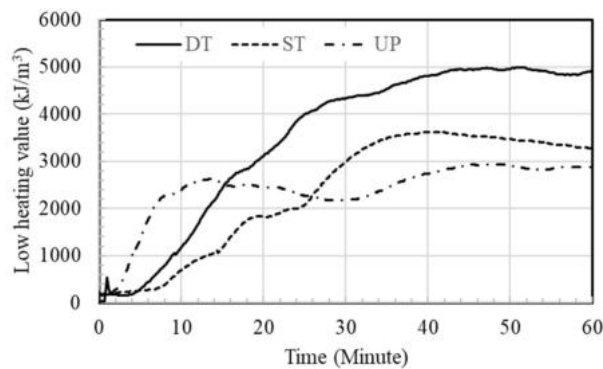
จากผลการทดลองทั้ง 3 รูปแบบท่อทางเข้าอากาศในภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลา 0 – 30 นาที เป็นช่วงที่เริ่มต้นกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันทำให้แก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่หลังจากนาทีที่ 30 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแก๊สเชื้อเพลิงมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดในช่วงนาทีที่ 30 – 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะทำงานของเตาฟลูอิดเบดแก๊สซิฟิเออร์อยู่ในช่วงคงตัว (Steady state) ทำให้เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการนำวิเคราะห์คุณภาพของ

แก๊สเชื้อเพลิงของแต่ละรูปแบบท่อทางเข้าอากาศ โดยได้แสดงผลของการเปรียบเทียบขององค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละชนิดในช่วงเวลา 30 - 60 นาที ไว้ในภาพที่ 6 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน ของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าสองทาง (DT) มีค่าสูงที่สุด ตามมาด้วยกรณิรูปแบบท่อทางเข้าอากาศไหลเข้าทางเดียว (ST) และท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้น (Up) ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบของแก๊สที่กล่าวมาเบื้องต้นล้วนเป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติในการเผาไหม้ซ้ำได้ จึงทำให้เห็นว่ารูปแบบท่อทางเข้าอากาศเข้าสองทาง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน



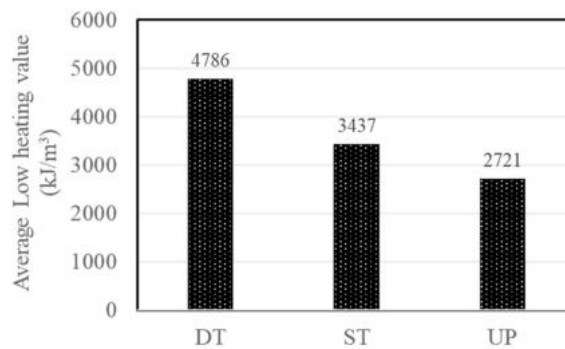
ภาพที่ 6 องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา 30 – 60 นาที

สำหรับภาพที่ 7 แสดงค่าความร้อนต่ำ (Low heating value) ของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มาจากการเผาไหม้โดยใช้รูปแบบท่อทางเข้าอากาศ 3 รูปแบบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลา 0 – 30 ของทุกเงื่อนไขการทดลองเป็นช่วงของการเริ่มต้นกระบวนการ ค่าความร้อนของแก๊สค่อยๆ เพิ่มขึ้น และเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady) หลังจากนาฬิกาที่ 30 เป็นต้นไป จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปแบบท่อทางเข้าอากาศส่งผลต่อค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงโดยตรง โดยรูปแบบท่อทางเข้าที่ให้ค่าความร้อนมีค่าสูงสุดคือรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าสองทาง (DT) ตามมาด้วยรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าทางเดียว และรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบอากาศไหลขึ้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (ในช่วงระยะเวลา 0-30 นาที) มีความน่าสนใจเนื่องจากการรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้นสามารถสร้างแก๊สเชื้อเพลิงได้สูงเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปแก๊สเชื้อเพลิงมีปริมาณลดลงในส่วนนี้เป็นผลมาจากในช่วงเริ่มต้น ปริมาณของเชื้อเพลิงกากปาล์มมีปริมาณน้อย และเมื่อป้อนอากาศจากด้านล่างให้ไหลขึ้น ทำให้พื้นที่ที่อากาศกับเชื้อเพลิงสัมผัสกันแล้วทำให้เกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้มากกว่ารูปแบบท่อทางเข้าอื่นๆ จนทำให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนมากในช่วงแรก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป การเติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องทำให้อากาศแบบไหลขึ้นไหลผ่านชีวมวลได้ยากขึ้น ทำให้ไม่สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนในช่วงเริ่มต้นของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างทั้งแบบสองทางและแบบทางเดียว พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน และจะเริ่มมีอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที



ภาพที่ 7 ค่าความร้อนต่ำของแก๊สเชื้อเพลิง

ภาพที่ 8 แสดงค่าความต่ำเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงในช่วงระยะเวลา 30 - 60 นาที โดยค่าความร้อนต่ำเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษามีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆที่ได้ทำการศึกษางานทางด้านค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงโดยใช้รูปแบบเตาฟลูอิดไคเซดแก๊สซิไฟเออร์และใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง (Campoy และคณะ [14] Kim และคณะ [15] และของ Khezri และคณะ [16]) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความร้อนเฉลี่ยของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบสองทาง (DT) มีค่ามากที่สุดถึง 4,786 kJ/m³ ตามมาด้วยรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบทางเดียวที่มีค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 3,437 kJ/m³ และกรณีรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้นมีค่าความร้อนที่ต่ำสุด คือ 2,721 kJ/m³ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้ เป็นส่วนช่วยสำคัญที่ทำให้ยืนยันได้ว่ารูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง (Double tangential inlet) มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเตาฟลูอิดไคเซดแก๊สซิไฟเออร์



ภาพที่ 8 ค่าความร้อนต่ำเฉลี่ย (Average Low Heating Value) ของแก๊สเชื้อเพลิงในช่วง 30 - 60 นาที

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำแก๊สซิฟิเคชันเชื้อเพลิงจากกากปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาฟลูอิดไคเซดแก๊สซิไฟเออร์ที่มีรูปแบบท่อทางเข้าอากาศ 3 รูปแบบ คือท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง ท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างทางเดียว และท่อทางเข้าอากาศแบบอากาศไหลขึ้น โดยทุกรูปแบบได้ควบคุมอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.3 ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. รูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทาง สามารถสร้างโปรไฟล์อุณหภูมิให้อยู่ในช่วงกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันได้สูง เมื่อเทียบกับรูปแบบทางเข้าอากาศทั้งหมด และยังทำให้โซนการเผาไหม้ภายในเตามีโซนการเผาไหม้ที่กว้าง

2. รูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลเข้าด้านข้างสองทางผลิตแก๊สที่มีค่าความร้อนสูงกว่ากรณีอื่นๆ โดยเฉพาะปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่มีค่าสูงแตกต่างจากรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

3. ค่าความร้อนเฉลี่ยของรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบสองทางมีค่ามากที่สุดถึง $4,786 \text{ kJ/m}^3$ ตามมาด้วยรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบทางเดียวที่มีค่าความร้อนเฉลี่ยที่ $3,437 \text{ kJ/m}^3$ และกรณีรูปแบบท่อทางเข้าอากาศแบบไหลขึ้นมีค่าความร้อนที่ต่ำสุด คือ $2,721 \text{ kJ/m}^3$

4. รูปแบบท่อทางเข้าอากาศไหลเข้าด้านข้างสองทางเหมาะสำหรับออกแบบระบบฟลูอิดซ์เบดแก๊สซิฟิเคชัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG 6402068S และได้รับการสนับสนุนเงินอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13. **สิ่งแวดล้อมน่ารู้ : พลังงานชีวมวล** สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2565, จาก <http://www.mnre.go.th/>.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). **ชุดที่ 4 คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานชีวมวล)**. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). **ชุดที่ 7 คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (เชื้อเพลิงเอทานอล)**. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.
- [4] ศุณัฐชา สลัดทุกข์ สกฤทธรา รัตนวิไล กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์ และผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์. (2564). การผลิตน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสเปลือกเมล็ดกาแฟโดย $Co/HZSM-5$ และ $Ni/HZSM-5$ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบด-นิ่งและไมโครเวฟ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 10 (2), 19-39.
- [5] I. Ahmed, and A.K. Gupta (2009). Syngas yield during pyrolysis and steam gasification of paper. **Applied Energy**. 86, 1813-1821.
- [6] Prabir Basu. (2006). **Combustion and gasification in fluidized beds**. Taloy & Francis Group,
- [7] P. Makwana, Asim Kumar Joshi, Gaurav Athawale, Dharminder Singhm, and Pravaker Mohanty. (2015). Air Gasification of rice husk in bubbling fluidized bed reactor with bed heating by conventional charcoal. **Bioresource Technology**. 178, 45-52.
- [8] Rachadaporn Kaewklum, Vladimir I. Kuprianov, and Peter L. Douglas. (2009). Hydrodynamics of air-sand flow in a conical swirling fluidized bed: A comparative study between tangential and axial air entries. **Energy Conversion and Management**. 50, 2999-3006.
- [9] Poramet Arromdee, and Vladimir I. Kuprianov. (2021). Experimental study and empirical modeling of CO and NO behaviors in a fluidized-bed combustor firing pelletized biomass fuels. **Biomass conversion and biorefinery**. 11, 1507-1520.

- [10] Samarjeet Singh Siwal, Qibo Zhang, Changbin Sun, Sourbh Thakur, Vijai Kumar Gupta, and Vijay Kumar Thakur. (2020). Energy production from steam gasification processes and parameters that contemplate in biomass gasifier – A review. **Bioresource Technology**. 297, 1-11.
- [11] Wasu Sukswan, Mohd Faizal Mohideen Batcha, Arkom Palamanit, Makatar Wae-hayee. (2021). The Effect of Biomass Shapes on Combustion Characteristic in Updraft Chamber. **International Journal of Integrated Engineering**. 13 (4), 163-171.
- [12] A. Dufoura, P. Girods, E. Masson, Y. Rogaume, and A. Zoulalian. (2009). Synthesis gas production by biomass pyrolysis: Effect of reactor temperature on product distribution. **International journal of hydrogen energy**. 34, 1726-1734.
- [13] Younes Chhiti and Mohammed Kemih. (2013). Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. **The International Journal of Engineering and Science**. 2(3), 75-85.
- [14] Manuel Campoy, Alberto Gómez-Barea, Pedro Ollero and Susanna Nilsson. (2014). Gasification of wastes in a pilot fluidized bed gasifier. **Fuel Processing Technology**. (121), 63-69.
- [15] Young Doo Kim, Chang Won Yang, Beom Jong Kim, Kwang Su Kim, Jeung Woo Lee, Ji Hong Moon, Won Yang, Tae U Yu and Uen Do Lee. (2013). Air-blown gasification of woody biomass in a bubbling fluidized bed gasifier. **Applied Energy**. (112), 414-420.
- [16] Ramin Khezri, Wan Azlina Wan Ab Karim Ghani, Dayang Radiah Awang Biak Robiah Yunus, and Kiman Silas. (2019). Experimental Evaluation of Napier Grass Gasification in an Autothermal Bubbling Fluidized Bed Reactor. **Energies**. (12), 1-18.

การศึกษาการผลิตถ่านไบโอชาร์แบบถังแนวตั้งขนาด 200 ลิตร

A Study of Biochar Production by a Vertical Tank of 200 Liters

วรเชษฐ์ แสงสีดา ณัฐวุฒิ ทองหล่อ พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์ สุพัตรา บุตรเสรีชัย วิจารณ์ นิสากัย
และ สุกัญญา หงส์ทอง*

Worachate Sangsida, Nattawut Tonglor, Pongputhai Udomariyasap, Supattra Budsareechai,
Wiparat Nisapai and Sukanya Hongthong*

โครงการจัดตั้งวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000
Establishment project of the Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum Province 36000

*Corresponding author: Tel 044 815111. E-mail address: w.sangsida@hotmail.com

Received: 16 September 2022, Revised: 11 July 2023, Accepted: 15 July 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

The study aimed to design and construct a 200-liter vertical tank biochar generator for biochar production. The research involved testing the generator, conducting heat and material stability tests, and analyzing the properties of the biochar produced. The biochar oven's temperature measurement and the volume of wood vinegar were also investigated. The biochar generator's structure was made of a 200-liter steel tank.

In the experimental results of biochar production, acacia wood pieces of approximately 10-15 centimeters in length, with an average weight of 50 kilograms, were used. Each burning session took 4 hours, with 30 kilograms of firewood used per session. The experiment yielded 13 kilograms of charcoal and 15 liters of wood vinegar. The average Heating Value of the produced charcoal was 27.00 MJ/kg. The material's stability was assessed using Thermogravimetric Analysis (TGA), with a mean value of 3.07 mg. The temperature measurement test, conducted using Type K thermocouples and Graphtec midi logger GL820, recorded an average temperature of 560 °C.

The study obtained high-quality charcoal rich in carbon, which is naturally porous and beneficial for improving soil quality. The biochar also demonstrated excellent absorption of odors. Furthermore, if used as fuel, it can produce high heat, burn easily, and possess a lightweight characteristic.

Keyword : Biochar, Wood vinegar

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตถ่านไบโอชาร์แบบถังแนวตั้งขนาด 200 ลิตร มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์ และเพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านไบโอชาร์ โดยทำการทดสอบเครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์แบบแนวตั้ง ทดสอบค่าความร้อน ทดสอบค่าความเสถียรของวัสดุ เพื่อหาคุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์ ทดสอบการวัดอุณหภูมิในห้องอบถ่านไบโอชาร์ และหาปริมาณของน้ำส้มควันไม้ เครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์ มีโครงสร้างเป็นถังเหล็กขนาด 200 ลิตร

ผลการทดลองผลิตถ่านไบโอชาร์ ใช้ไม้กระถินในการผลิตถ่าน ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร น้ำหนักไม้เฉลี่ย 50 กิโลกรัม ใส่ลงไปในเครื่องผลิตถ่านใช้เวลาในการเผา 4 ชั่วโมงต่อครั้ง ในการทดลองใช้เชื้อเพลิงไม้พิน จำนวน 30 กิโลกรัมต่อครั้ง พบว่า ได้ปริมาณถ่าน 13 กิโลกรัม และได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 15 ลิตร ค่าHeating Value เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 27.00 MJ/kg ค่าความเสถียรของวัสดุด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.07 mg ทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K บันทึกค่าด้วยเครื่อง Graphtec midi logger GL820 เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 560 °Cจะได้ถ่านที่มีคุณภาพอุดมไปด้วยคาร์บอนมีรูพรุนตามธรรมชาติ ช่วยในการปรับปรุงดิน ดัดซึบกลิ่นได้ดี ถ้าใช้เป็นเชื้อเพลิงจะให้ความร้อนสูง ติดไฟง่าย มีน้ำหนักเบา

คำสำคัญ : ถ่านไบโอชาร์ น้ำส้มควันไม้

บทนำ

ไม่เป็นแหล่งพลังงานที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของคนไทยมาตั้งแต่อดีตกาล ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีการพัฒนาแหล่งกำเนิดพลังงานด้านต่างๆ ตลอดจนการนำเอาเชื้อเพลิงอื่นๆ มาทดแทนไม้พิน เช่นพลังงานจากแสงอาทิตย์ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม พลังงานน้ำและความร้อนจากใต้พิภพ แต่พลังงานจากไม้ก็มีความสำคัญด้อยลงไปเลย โดยในประเทศที่มีการพัฒนาและประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมมาก เนื่องจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง ชัง และต้นข้าวโพด มูลสัตว์ กากตะกอนของเสีย เป็นต้น แม้กระทั่งมูลสัตว์นำมาผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่มีการควบคุม อุณหภูมิและอากาศหรือจำกัดอากาศให้เข้าไปเผาไหม้น้อยที่สุดซึ่งกระบวนการเผาไหม้นี้ ซึ่งมีสองวิธีหลัก ๆ คือ การแยกสลายด้วยความร้อนอย่างช้า (Slow Pyrolysis) อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 300 - 600 องศาเซลเซียส แต่จะใช้เวลาเป็นชั่วโมง หากใช้อุณหภูมิเฉลี่ยในการเผาไหม้ประมาณ 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตของถ่านชีวภาพมากกว่า 20 - 50 % ที่เหลือเป็นแก๊สที่จุดติดไฟได้และมีของเหลวบางส่วนที่ควบแน่นได้การแยกสลายด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 700 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเป็นวินาที ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) ส่วนใหญ่ และที่เหลือได้แก๊สสังเคราะห์ (Syngas) และถ่านชีวภาพ (Biochar) [1,2]

ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ (Biochar) คือ วัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจาก ชีวมวล (Biomass, วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว ชังข้าวโพด กิ่งไม้ เป็นต้น) ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนโดยไม่ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก (Pyrolysis) ซึ่งมีสองวิธีหลัก คือการแยกสลายอย่างเร็วและอย่างช้า ซึ่งต่างจากวิธีการแยกสลายอย่างเร็วที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาเป็นวินาทีผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์(syngas) 20% และถ่านชีวภาพ 20% [3,4]

ถ่านชีวภาพ (ภาพที่ 1) มีความหมายต่างจากถ่านทั่วไป (charcoal) ตรงจุดมุ่งหมายการใช้ประโยชน์ คือถ่านทั่วไปจะหมายถึง ถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ไบโอชาร์ คือ ถ่านที่ใช้ประโยชน์เพื่อกักเก็บคาร์บอน ลงในดินและปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ คือมีรูพรุนตามธรรมชาติ เมื่อใส่ลงในดินจะช่วยการระบายอากาศ การซึมน้ำ การอุ้มน้ำ ดูดซับธาตุอาหาร เป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ลดความเป็นกรดของดิน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยให้สูงขึ้น ทำให้

ประหยัดการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุน เพิ่มรายได้เพิ่มผลผลิต เป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาได้ตั้งแต่ระดับเกษตรกร ครุว์เรือน ชุมชนและองค์กรท้องถิ่น [4-6]



ภาพที่ 1 ลักษณะของถ่าน

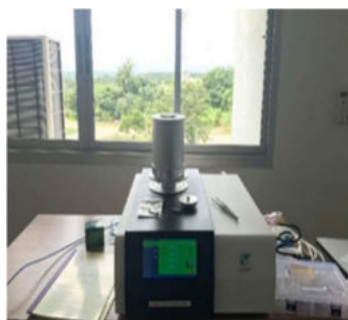
วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือ และอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 2) ได้แก่ (1) เครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์แบบแนวตั้ง (2) เครื่องทดสอบค่าความร้อน Bomb Calorimeter (3) เครื่องทดสอบค่าความเสถียรของวัสดุ Thermogravimetric Analysis (TGA) (4) เครื่องทดสอบการวัดอุณหภูมิ Graphtec midi logger GL820 (5) เทอร์โมคัปเปิล (6) ไม้กระถิน (7) ไม้พิน และ (8) ถังแก๊ส



(1) เครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์



(2) เครื่อง Bomb Calorimeter



(3) เครื่อง Thermogravimetric



(4) เครื่อง midi logger GL820



(5) เทอร์โมคัปเปิล



(6) ไม้กระถิน



(7) ไม้พิน



(8) เชื้อเพลิงแก๊ส

ภาพที่ 2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2. วิธีการทดสอบ

วิธีการออกแบบและผลิตเครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์แบบแนวตั้งขนาด 200 ลิตร ใช้โปรแกรม Solid work ในการออกแบบ มีโครงสร้างเป็นถังเหล็กขนาด 200 ลิตร และห้องเผาไหม้ใช้ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร ตัดส่วนก้นถังสูง 30 เซนติเมตร ใช้เหล็กกล่องเพื่อทำเป็นปล่องไฟขนาด 4 นิ้ว โดยเจาะและเชื่อมให้อยู่ตรงกลางถังสูง 97 เซนติเมตร ฝาถังเจาะต่อกับตัวที่อยู่ในถังสูง 20 เซนติเมตร

วิธีการผลิตถ่านไบโอชาร์ โดยใช้เชื้อเพลิง เช่น ไม้พิน แก๊ส ใช้ไม้กระถินในการผลิตถ่าน ตัดยาว 10-15 เซนติเมตร ใส่ลงไปในเครื่องผลิตถ่านให้เต็ม ใช้เวลาในการเผา 3-4 ชั่วโมง หลังจากเผาถ่านไปได้ประมาณ 2 ชั่วโมง จะเริ่มมีน้ำสัมนควันไม้ออกมา และรออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส สามารถเปิดเตาถ่าน ไบโอชาร์ออกมาใช้งานได้

วิธีการทดสอบ Bomb โดยติดตั้ง Temperature ใส่ น้ำ 2000 ml ในถังทดลอง Calorimeter bucket บดถ่านให้ละเอียดแล้วใส่ในถ้วยเหล็ก นำลวดมัดกับ Head of the Mahler bomb ให้ลวดสัมผัสกับถ่าน และ ใช้ Head of the Mahler bomb ชนให้แน่น เติม Oxygen ในลูก Bomb ประมาณ 2.8Kg/cm นำ Bomb ติดกับขั้วไฟฟ้า ใส่ลงไปในถังน้ำ เปิดการทำงาน โดยติดกับ Computer แล้วกดปุ่ม Stirer Switch ใช้เวลาจุดระเบิด 5 นาที รอเครื่องประมวลผลประมาณ 20 – 30 นาที

วิธีการทดสอบ TGA โดยเปิดซอฟต์แวร์ STA-200 กด Clear TG เปิดฝาใส่ถ้วย AL เพื่อชั่งน้ำหนัก ที่แสดงจากเครื่อง TGA เลือกถ้วย AL มาวิเคราะห์ กด Connect แล้วกด SET เตรียมถ่านลงถ้วย แล้วกด Start นาที รอเครื่องประมวลผลประมาณ 20 – 30 นาที

วิธีการทดสอบ midi logger GL820 ทำการต่อเทอร์โมคัปเปิล เข้ากับ midi logger GL820 เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิภายในเครื่องผลิตถ่าน ทั้ง 9 จุดเก็บผลทุก 5 นาที จนกว่าอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

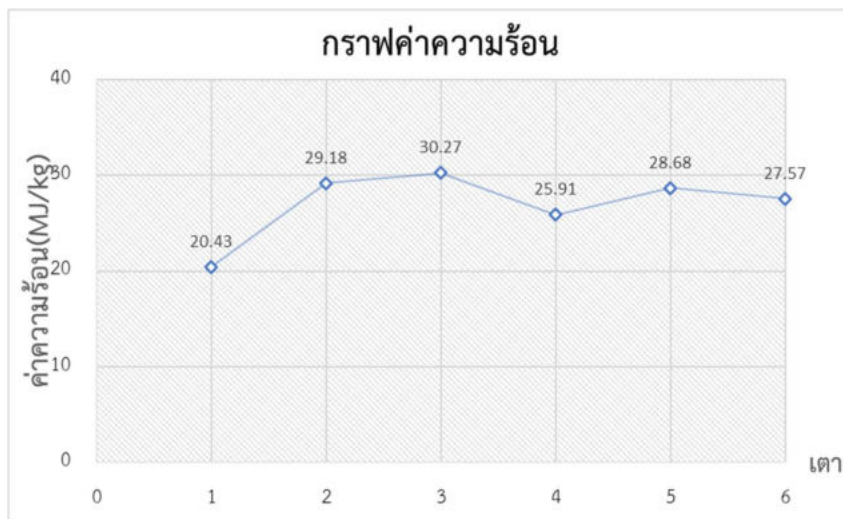
ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองผลิตถ่านไบโอชาร์

เผาถ่าน ครั้งที่	ปริมาณน้ำส้ม ควันไม้ (l)	จำนวนไม้ฟืน (kg)	จำนวนแก๊ส (kg)	จำนวนไม้กระถิน (kg)	จำนวนถ่าน (kg)
1	18	30	-	52	14
2	15	30	-	49	13
3	13	30	-	47	12
4	18	-	6.4	52	14
5	15	-	7.2	49	13
6	13	-	6.0	47	12

การทดลองผลิตถ่านไบโอชาร์ ใช้ไม้กระถินในการผลิตถ่าน ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร น้ำหนักไม้เฉลี่ย 50 กิโลกรัม ใส่ลงในเครื่องผลิตถ่านใช้เวลาในการเผา 4 ชั่วโมงต่อครั้ง ในการทดลอง ใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน จำนวน 30 กิโลกรัมต่อครั้ง พบว่า ได้ปริมาณถ่าน 13 กิโลกรัม และได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 15 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 1

การทดสอบค่าความร้อนด้วย Bomb Calorimeter ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า Heating Value 20.43, 29.18, 30.27, 25.91, 28.68 และ 27.57 MJ/kg ตามลำดับ ทดสอบค่าความเสถียรของวัสดุด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA) ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่า คุณภาพตัวอย่าง 1.78, 2.29, 3.42, 3.48, 3.81, และ 3.65 mg ตามลำดับ และทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K บันทึกค่าด้วยเครื่อง Graphtec midi logger GL820 ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า อุณหภูมิสูงสุด 546.6, 586.3, 552.0, 546.6, 545.2, และ 579.3 °C ตามลำดับ

ในการผลิตถ่านไบโอชาร์ จะใช้ไม้กระถินมาทำให้เป็นถ่านไบโอชาร์ ด้วยวิธีการตัดสดแล้วตากแดดทิ้งไว้ โดยน้ำหนักเริ่ม 60 kg แต่ละครั้งจะเก็บตัวอย่างมาทดลองห่างกัน 1 สัปดาห์ น้ำหนักที่ได้จะไม่เท่ากัน เชื้อเพลิงจะเป็นฟืนทั่วไปโดยใช้ 30 kg เท่ากัน และเชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้หมดไปแต่ละครั้ง ดังในตารางที่ 1 แล้วนำมาทำการเผาแต่ละครั้ง จะเห็นได้ว่าผลิตที่ได้คือน้ำส้มควันไม้เท่ากัน ได้ปริมาณถ่านเท่ากัน จากการใช้เชื้อทั้งสองชนิด



ภาพที่ 3 แสดงค่าความร้อน

จะเห็นว่าค่าความร้อนแต่ละครั้งต่างกัน เนื่องจากคุณภาพของถ่านที่ได้ไม่เท่ากัน เพราะการเผาแต่ละครั้งอุณหภูมิจะไม่เท่ากัน อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของเครื่อง Bomb แต่ละครั้งไม่เท่ากัน เพื่อที่จะได้รู้ว่าคุณภาพที่ได้ให้ค่าความร้อนแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และคุณภาพครั้งไหนดีที่สุด



ภาพที่ 4 แสดงค่าความเสถียรของวัสดุ

จะเห็นว่าค่าความเสถียรของวัสดุต่างกัน เนื่องจากเนื่องจากคุณภาพของถ่านที่ได้ไม่เท่ากัน เพื่อที่จะได้รู้ว่าในการเผาแต่ละครั้งคุณภาพของถ่าน ได้ค่าความเสถียรของวัสดุมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และคุณภาพในการเผาของครั้งไหนดีที่สุด



ภาพที่ 5 แสดงอุณหภูมิภายในเตา

จะเห็นว่าอุณหภูมิของทั้ง 6 ครั้ง มีความแตกต่างกัน เพราะอุณหภูมิเริ่มต้นแต่ละครั้งที่เผาไม่เท่ากัน สภาพอากาศแต่ละวันไม่เท่ากัน และตอนเลี้ยงไฟอาจจะไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้อุณหภูมิสูงสุดแต่ละครั้งในการเผาไม่เท่ากัน

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองผลิตถ่านไบโอชาร์ ใช้ไม้กระถินในการผลิตถ่าน ยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร น้ำหนักไม้เฉลี่ย 50 กิโลกรัม ใส่ลงในเครื่องผลิตถ่านใช้เวลาในการเผา 4 ชั่วโมงต่อครั้ง ในการทดลอง ใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน จำนวน 30 กิโลกรัมต่อครั้ง พบว่า ได้ปริมาณถ่าน 13 กิโลกรัม และได้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 15 ลิตร ค่าHeating Value เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 27.00 MJ/kg ค่าความเสถียรของวัสดุด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA) เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3.07 mg ทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K บันทึกค่าด้วยเครื่อง Graphtec midi logger GL820 เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 560 °C

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีงบประมาณ 2565

ขอขอบคุณคณาจารย์ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่อนุเคราะห์สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์ และนวลจันทร์ ภาสตา. (2560). การศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินและผลผลิตพืชสมุนไพรขึ้นในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด. กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.
- [2] พินิจภณ ปิตุยะ. (2557). เอกสารองค์ความรู้เรื่อง ถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. นราธิวาส.
- [3] รัตถชล อ่างมณี กัญจน์รี ชวงฉ่า อรรณพ หอมจันทร์. (2017). สมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพดและศักราบในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 12 (1), 53-63.
- [4] เสาวคนธ์ เหมวงษ์ และศศิธร เชื้อกฤษณะ. (2554). การใช้ถ่านปรับปรุงดินเพื่อปลูกข้าวโพดข้าวเหนียว หวาน. วารสารเกษตร. 27 (3), 259-266.
- [5] สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. (2551). คู่มือการผลิตถ่านคุณภาพสูงและน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในครัวเรือน. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพมหานคร.
- [6] อรสา สุกสว่าง. (2552). “เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ : วิธีแก้ปัญหาโลกร้อน ดิน และความยากจนในภาค เกษตรกรรม”, ใน การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ ประโยชน์อย่างยั่งยืน, วันที่ 5-6 พฤศจิกายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

การผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนของน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว
Biogas Production from Anaerobic Digestion of Elephant
and Cow Manure mixed Leachate

อัญชลี มาสะอาด¹ วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์¹ พันธลพ สินธูยา² ชยานนท์ สวัสดิ์ตินธนาท¹ และ หทัยทิพย์ สินธูยา^{1*}
Anchalee Masa-ad¹ Worajit Setthapun¹ Panlop Sintuya² Chayanon Sawatdeenarunat¹
and Hathaithip Sintuya^{1*}

¹ สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180
² สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรอินทรีย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

¹Community Energy and Environment Program, Asian Development College for Community Economy
and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

²Organic Agriculture Innovation Program, Faculty of Agricultural Technology,
Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

*Corresponding author: Tel.: 093 1872968. E-mail address: hathaithip_nin@cmru.ac.th

Received: 16 September 2022, Revised: 19 April 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

The objective of this research was to investigate the biogas production from a mixture of elephant and cow manure through anaerobic digestion. The study used Biochemical Methane Potential (BMP) testing under standard conditions, with elephant manure as the primary substrate and cow manure as the microbial inoculum in a 2:1 ratio (substrate: inoculum). The experiment was conducted in a 1,000 mL fermentation bottle with a working volume of 400 mL. The batch fermentation took place under anaerobic conditions for 45 days, with a controlled temperature of $35\pm3^{\circ}\text{C}$. The results demonstrated that the mixture of elephant and cow manure leachate yielded a cumulative biogas volume of 497.72 mL/g VS_{added}, with a methane concentration of 35.6%. This research highlights the potential of using elephant and cow manure mixed leachate as a renewable energy source for local communities.

Keywords: elephant dung, biogas, anaerobic digestion

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวผ่านกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยได้ทำการทดลองหมักก๊าซชีวภาพโดยประเมินศักยภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) ที่สภาวะมาตรฐานโดยใช้มูลช้างเป็นสารตั้งต้นและใช้มูลวัวเป็นเชื้อจุลินทรีย์ กำหนดอัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2:1 ของปริมาตรการหมัก 400 มิลลิลิตร ในขวดหมักปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร หมักแบบกะด้วยระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเวลา 45 วัน ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 3 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมจากน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวได้เท่ากับ 497.72 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ ($\text{mL/g VS}_{\text{added}}$) และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 35.6 แสดงให้เห็นว่าน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับใช้ในชุมชนได้

คำสำคัญ: มูลช้าง ก๊าซชีวภาพ การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดไป และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จึงส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในภาคอุตสาหกรรมและชุมชน โดยการกำจัดของเสียที่มีอยู่จำนวนมาก เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ขยะจากเศษผัก ผลไม้ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ [1] ก๊าซชีวภาพ เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้สารตั้งต้นจากของเสียดังกล่าว เมื่อเกิดการย่อยสลายแล้วจะได้ก๊าซชีวภาพที่ประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 ร้อยละ 15-60) ก๊าซมีเทน (CH_4 ร้อยละ 40-75) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2 ร้อยละ 5-10) และก๊าซไนโตรเจน (N_2 ร้อยละ 2) ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติสามารถติดไฟได้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เกิดก๊าซชีวภาพนั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นนั้น ๆ ด้วย เช่น การย่อยสลายพืชสดจะเกิดก๊าซชีวภาพน้อยกว่าการย่อยสลายมูลสัตว์ เนื่องจากในมูลสัตว์มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น [2] จากการศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจปัญหาทางสิ่งแวดล้อมของจังหวัดเชียงใหม่ที่มีธุรกิจสถานประกอบการปangช้างจำนวนมาก [3] ทำให้เกิดของเสียจากมูลช้างเฉลี่ย 100–150 กิโลกรัมต่อวัน [4] โดยหากมีการกำจัดของเสียมูลช้างในชุมชนอย่างไม่ถูกวิธีจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชุมชน เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรค [5]

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าวของชุมชนในสถานประกอบการปangช้างที่จะแก้ไขปัญหการกำจัดของเสียจากมูลช้าง จึงได้มีแนวคิดที่จะนำมูลช้างมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพผ่านกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยใช้น้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว ทั้งนี้เพื่อให้ชุมชนได้มีแนวทางในการกำจัดของเสียในชุมชนให้เป็นพลังงานทดแทน โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถลดปัญหาสุขภาวะในชุมชนได้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว โดยประเมินศักยภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) ที่สภาวะมาตรฐาน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวที่ใช้ในการวิจัย โดยมีวิธีการวิจัย ดังนี้

1. การเตรียมสารตั้งต้นและเชื้อจุลินทรีย์

สารตั้งต้นที่ใช้ คือ มูลช้างสด จากปางช้างในจังหวัดเชียงใหม่ โดยนำมูลช้างสดมาทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นและกรองด้วยตะแกรงขนาด 20 เมช สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ คือ มูลวัว โดยทำการล้างด้วยน้ำสะอาดที่อัตราส่วน 1:2 ของมูลวัวต่อน้ำ และนำไปหมักไว้ที่อุณหภูมิ 35±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน

2. วิธีการทดสอบการหมักก๊าซชีวภาพแบบแบคทีเรีย [6]

การทดลองหมักก๊าซชีวภาพผ่านกระบวนการแบบแบคทีเรียด้วยวิธีการทดสอบ BMP อ้างอิงวิธีทดสอบจากมาตรฐาน VDI 4630 โดยทำการหมักในขวดแก้วปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร กำหนดอัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2:1 ของปริมาตรการหมัก 400 มิลลิลิตร จากนั้นปรับค่ากรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วง 7.0-7.3 แล้วปิดฝาด้วยจุกยางนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 35±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน ระหว่างการหมักจะทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันด้วยกระบอกฉีดยาแบบแก้ว และวัดองค์ประกอบก๊าซด้วยเครื่องมือแบบพกพา รุ่น GFM406 นอกจากนี้ได้วิเคราะห์การกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด และการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดด้วยวิธี Gravimetric Method และวิเคราะห์ซีไอดีตามมาตรฐาน APHA AWWA และ WPCF โดยทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการหมักย่อย

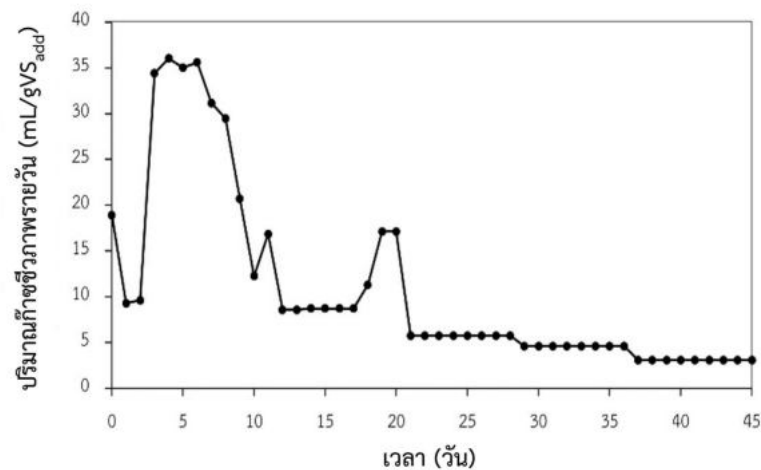
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัสดุหมักน้ำขี้ผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว ก่อนและหลังการหมักแบบไร้ออกซิเจนดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.0-7.30 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถผลิตมีเทนได้ดี ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำขี้ผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 64.19 เนื่องจากค่าการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด และการกำจัดปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าในระบบเกิดการย่อยสลายสารตั้งต้นในกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนการย่อยสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง แต่เนื่องจากมูลช้างและมูลวัวเป็นวัสดุที่มีลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีโครงสร้างโมเลกุลค่อนข้างซับซ้อนทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 35.60 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารตั้งต้นด้วย [7]

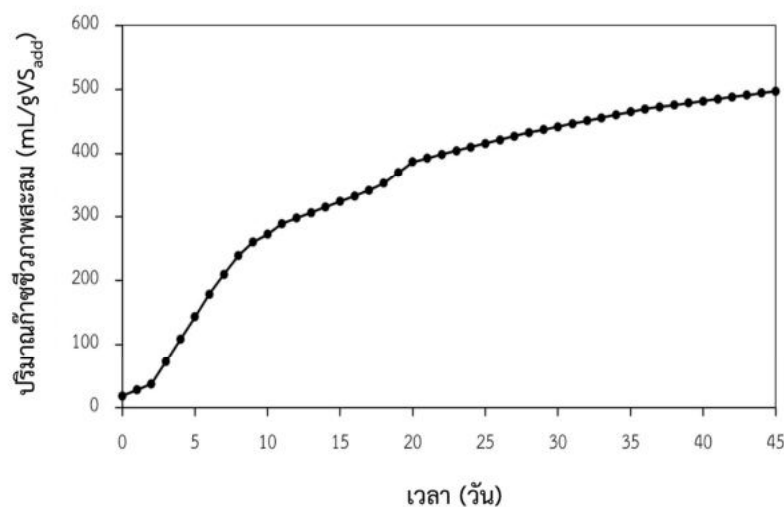
ตารางที่ 1 ผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของวัสดุหมักน้ำขี้ผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว ก่อนและหลังการหมักแบบไร้ออกซิเจน

พารามิเตอร์	ก่อนการหมัก	หลังการหมัก
กรด-ด่าง	7.01	7.05
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	19,385.00	16,760.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	13,710.00	10,810.00
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	24,976.53	8,944.10
ปริมาณร้อยละการกำจัดซีไอดี	64.19	
ปริมาณร้อยละของมีเทน	35.60	

การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวผ่านกระบวนการหมักแบบแบคทีเรียในการทดลองนี้เป็น การเติมสารตั้งต้นไปเพียงครั้งเดียวและให้ระบบดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 45 วัน จากภาพที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ ว่าแนวโน้มช่วงวันที่ 1-5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง ในช่วงวันที่ 6-13 และเพิ่มขึ้นอีกในช่วงวันที่ 16-20 ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่มาจากสภาพแวดล้อม เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงทำให้แรงดันภายในระบบการหมักสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงทำให้เกิดการดันโมเลกุลของก๊าซ มีเทนขึ้น [8] จากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ต่ำกว่า 5 มิลลิตร การที่ก๊าซ ชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-5 เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายในระบบการหมัก ย่อย เพื่อสร้างมวลเซลล์ใหม่ของจุลินทรีย์ให้กลับมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในระบบได้อีก ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพ สะสมได้เท่ากับ 497.72 มิลลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ และเมื่อเวลาผ่านไปสารอินทรีย์ในระบบลดลง ส่งผลให้ จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือเรียกว่าเกิดการขาดธาตุอาหาร ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจึงลดลงและเข้าสู่ สภาวะคงที่ [9]



ภาพที่ 1 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพรายวันจากการย่อยแบบไร้ออกซิเจนของน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว



ภาพที่ 2 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมจากการย่อยแบบไร้ออกซิเจนของน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว

จากการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยแบบไร้ออกซิเจนของน้ำชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัว ผ่านกระบวนการหมักแบบแบดซ์ พบว่าชะผสมระหว่างมูลช้างและมูลวัวสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่จากการศึกษา งานวิจัยของ Muhammad, Abdulsalam & Yusuf [10] ทำให้ทราบว่า การนำมูลช้างมาหมักย่อยแบบแบดซ์ร่วมกับมูล วัว จะสามารถทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าการที่นำมูลช้างมาผลิตก๊าซชีวภาพเพียงอย่างเดียวดังนั้นในอนาคต ผู้วิจัยจะศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างร่วมกับของเสียประเภทอื่น ๆ หรือศึกษาวิธีการปรับสภาพมูลช้างด้วยวิธีทาง กายภาพ ทางชีวภาพ ทางเคมีหรือทางกายภาพร่วมกับเคมี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพให้มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพผ่านกระบวนการหมักแบบแบดซ์ โดยใช้มูลช้างเป็นสารตั้งต้นและใช้มูลวัว เป็นเชื้อจุลินทรีย์ กำหนดอัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 2:1 ของปริมาตรการหมัก 400 มิลลิลิตร ในขวดหมักปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 35 ± 3 องศาเซลเซียส พบว่า ในระบบการหมักแบบแบดซ์มีค่า pH เท่ากับ 7.05 มูลช้างมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 64.19 ผลิตก๊าซชีวภาพ สะสมได้ 497.72 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยได้ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 35.6 จะเห็นได้ว่ามูลช้างสามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับใช้ในชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ภายใต้โครงการ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน สัญญาเลขที่ มรชม. 66/63 และขอขอบคุณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ วิทยาเขตสะเลง ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Damrongsak, D. and Chaichana, C. (2020). Biogas initiative from municipal solid waste in northern Thailand. **Energy Reports**. 6, 428-433.
- [2] Andriani, D., Rajani, A., Santosa, A., Saepudin, A., Wresta, A., and Atmaja, T. D. (2020). A review on biogas purification through hydrogen sulphide removal. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 23-24 October 2019 at Indonesia.
- [3] Bansiddhi, P., Nganvongpanit, K., Brown, J. L., Punyapornwithaya, V., Pongsopawijit, P., and Thitaram, C. (2019). Management factors affecting physical health and welfare of tourist camp elephants in Thailand. **PeerJ**. 7, 1-22.
- [4] Stepien, P., Swiechowski, K., Hnat, M., Kugler, S., Stegenta-Dabrowska, S., Koziel, J. A., Manczarski, P., and Białowiec, A. (2019). Waste to carbon: Biocoal from elephant dung as new cooking fuel. **Energies**, 12 (22), 4344.
- [5] Burg, V., Bowman, G., Haubensak, M., Baier, U., and Thees, O. (2018). Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion. **Resources, Conservation & Recycling**. 136, 53-62.

- [6] VDI 4630. (2016). VDI 4630 - Fermentation of organic materials – Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. VDI- Handbuch Energietechnik. **Verein Deutscher Ingenieure**. 132.
- [7] Bajpai, P. (2022). Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry. **Springer Briefs in Applied Sciences and Technology**. 99.
- [8] Bozorgian, A. (2020). Investigation of the History of Formation of Gas Hydrates. **Original Research Journal of Engineering in Industrial Research**. 1 (1), 1-18.
- [9] Kelly Orhorhoro, E., Sadjere, G., Okechukwu Ebunilo, P., and Ejuvwedia Sadjere, G. (2017). Experimental Determination of Effect of Total Solid (TS) and Volatile Solid (VS) on Biogas Yield. **American Journal of Modern Energy**. 3 (6), 131-135.
- [10] Muhammad, J., Abdulsalam, S., and Yusuf, M. (2015). A Kinetic Study of Biogas Produced from Cow and Elephant Dungs Using the Residual Substrate Concentration Approach. **Chemical Engineering and Science**. 3, 7-11.

ถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนระบบเติมอากาศ

Organic Fertilizer Composting Bin from Household Food Waste with Aeration System

แสนวลันต์ ยอดคำ^{1*} ธนวัฒน์ งอนจัตรัส¹ ธันวา สระสม¹ สุรัตน์ แม้นพวง¹

ชนวัฒน์ นิตวิชิต² และ ปฐิภาณ สุทธิกุลบุตร³

Sanwasan Yodkhum^{1*} Thanawat Ngonjaturat¹ Thunwa Srasom¹ Surat maenpuang¹

Chanawat Nitatwichit² and Pathipan Sutigoolabud³

¹หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²หลักสูตรวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Division of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry,

Maejo University, Chiang Mai 50290

²Division of Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry,

Maejo University, Chiang Mai 50290

³Program in Soil Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 089 7599112. E-mail address: sanwasan@hotmail.com

Received: 30 August 2022, Revised: 27 March 2023, Accepted: 16 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

The objective of this study was to design a compost bin for household use, specifically for food waste, with an aeration system. The fermentation tank was designed to have a rectangular shape with a size of 180 liters, made from stainless steel. The organic fertilizer compost bin included an air pump that supplied air to the microorganisms in the tank through a pipe at the bottom of the bin, ensuring adequate oxygen supply. The bottom of the fermenter was equipped with a valve to drain excess water from the tank.

In the study of the efficiency of fermentation tanks, the experiment was conducted to ferment the food stove with the mixed material. The proportion of mixed material for fermentation, i.e., food scraps, leaf scraps, and cow dung in a ratio of 1 : 3 : 1 by volume. The fermentation period of the study was 15 days. The aerator was pumped oxygen into the fermentation tank with 4 times a day, 10 minutes each, every 6 hours with a flow rate of 70 liters per minute. The data of this study were recorded every day such as atmospheric temperature and material temperature in the fermentation tank. After 15 days of fermentation, the organic fertilizer in the fermentation tank will be analyzed for properties and nutrient content. To evaluate the efficiency of the fermentation tank, an experiment was conducted using a mix of food scraps, leaf scraps, and cow dung in a ratio of 1:3:1 by volume for fermentation. The study period

was 15 days, during which the aerator pumped oxygen into the fermentation tank four times a day, for 10 minutes each, with a flow rate of 70 liters per minute. Data such as atmospheric temperature and material temperature in the fermentation tank were recorded daily. The study results indicated that during the first 10 days, the temperature in the fermenter gradually increased, reaching an average material temperature of about 42 °C. Subsequently, the temperature in the fermentation tank gradually decreased. After 15 days of fermentation, the organic fertilizer in the tank was analyzed for its properties and nutrient content. The analysis revealed that the organic fertilizer had a macronutrient content (nitrogen, phosphorus, and potassium) of 2.35%, organic matter content of 34.80%, electrical conductivity of 3.41 ds/m, pH value of 7.05, C/N ratio of 14.34, and a germination index of 95.04%. All these values complied with the national organic fertilizer standard. Regarding the physical characteristics, the organic fertilizers in the fermentation tanks were dark brown, odorless, and devoid of any food waste or mixed materials left in the tank.

Keywords: Composting bin, Food waste, Organic fertilizer

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารด้วยระบบการเติมอากาศสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยถังหมักที่ออกแบบมีขนาด 180 ลิตร รูปทรงสี่เหลี่ยม โครงสร้างของตัวถังหมักทำจากสแตนเลส การทำงานของถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จะมีปั๊มลมส่งอากาศเข้าสู่ถังหมักตามท่อที่อยู่ด้านล่างของถัง เพื่อเติมออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ภายในถัง บริเวณด้านล่างของถังหมักออกแบบให้มีวาล์วระบายน้ำส่วนเกินออกจากถัง ในส่วนของการศึกษาประสิทธิภาพของถังหมัก ได้ทำการทดลองหมักเศษอาหารร่วมกับวัสดุผสม โดยมีสัดส่วนผสมวัสดุในการหมัก ได้แก่ เศษอาหารต่อเศษใบไม้ต่อมูลโค ในสัดส่วน 1:3:1 โดยปริมาตร โดยมีระยะเวลาการหมัก 15 วัน ในแต่ละวันจะเติมอากาศด้วยปั๊มลมเข้าภายในถังหมักวันละ 4 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ทุก 6 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหล 70 ลิตรต่อนาที ทำการบันทึกข้อมูลทุกวัน ได้แก่ อุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิวัสดุในถังหมัก เมื่อหมักครบ 15 วัน จะนำปุ๋ยอินทรีย์ในถังหมักไปตรวจวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหาร

จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในถังหมักในช่วง 10 วันแรกจะค่อยๆ สูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 42 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิในถังหมักจะค่อยๆ ลดลง ผลการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติและธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักครบ 15 วัน พบว่าค่าผลรวมของปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) มีค่าเท่ากับ 2.35% ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับ 34.80% ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3.41 ds/m ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเท่ากับ 7.05 ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าเท่ากับ 14.34 และค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 95.04% ซึ่งค่าคุณสมบัติและธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการหมักในถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนระบบเติมอากาศทุกค่ามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักได้ พบว่าลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์ภายในถังหมักจะมีสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีกลิ่น ไม่พบเศษอาหารและเศษวัสดุผสมเหลืออยู่ในถัง

คำสำคัญ: ถังหมัก เศษอาหาร ปุ๋ยอินทรีย์

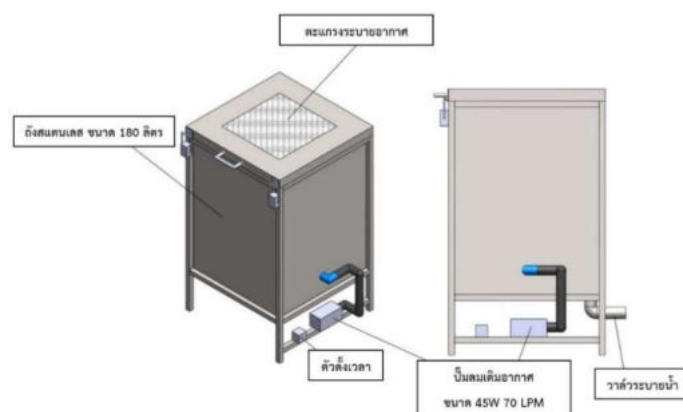
บทนำ

ในปัจจุบันประชากรในประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยตามมา นอกจากนี้การเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ การขยายตัวของภาคเกษตรกรรมและครัวเรือน ยังทำให้เกิดปริมาณของเสียจากการทิ้งขยะมูลฝอยต่างๆ ซึ่งนับวันยิ่งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตามมา เช่น ผลกระทบทางน้ำทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย ผลกระทบทางอากาศที่ส่งกลิ่นเหม็น การเป็นแหล่งเชื้อโรคและพาหะนำโรค รวมทั้งปัญหาด้านทัศนียภาพ เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดจากปริมาณขยะมูลฝอยที่มนุษย์สร้างขึ้นมานั้นไม่สามารถทำลายได้หมดหรือไม่สามารถทำลายได้ทันต่อเวลา โดยทั่วไปปัญหาการจัดการของเสียหรือขยะในครัวเรือนและหอพัก คือการไม่มีการแยกประเภทขยะเพื่อกำจัดให้ถูกวิธี ส่วนใหญ่เศษอาหารเหลือทิ้งจะถูกทิ้งรวมกับขยะอื่นๆ จึงทำให้เกิดการเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งถือว่าระบบการจัดการขยะในครัวเรือนยังไม่ดีพอ ขยะบางชนิดเป็นวัสดุอินทรีย์ เช่น ขยะเปียกหรือเศษอาหาร ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ [1] ถ้ามีการจัดการที่ดีหรือมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมให้กับครัวเรือนก็จะช่วยลดปัญหาขยะอินทรีย์หรือเศษอาหารในครัวเรือนได้ เช่น การทำปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยหมัก [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนระบบเติมอากาศ เพื่อเปลี่ยนเศษอาหารให้กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ สามารถนำไปปรับปรุงและเพิ่มแร่ธาตุให้แกดิน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาการจัดการขยะอินทรีย์จำพวกเศษอาหารในครัวเรือน

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารด้วยระบบการเติมอากาศสำหรับใช้ในครัวเรือน ซึ่งถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารที่ได้ออกแบบและสร้างมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ถังหมักสแตนเลส ขนาดความจุ 180 ลิตร ตัวถังมีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และมีความสูง 65 เซนติเมตร ด้านบนของถังมีฝาปิดและมีตะแกรงเพื่อระบายอากาศภายในถัง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูตะแกรงเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ในส่วนของด้านล่างของถังจะมีวาล์วระบายน้ำส่วนเกินออกจากถัง
- 2) ฐานรองรับเศษวัสดุ ทำจากตะแกรงสแตนเลสเพื่อรองรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้หมัก ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 1.5 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร สามารถถอดเข้าออกเพื่อเอาปุ๋ยออกและเพื่อทำความสะอาดได้
- 3) ปั๊มลมเติมอากาศ ขนาดกำลังไฟฟ้า 45 วัตต์ อัตราการเติมอากาศ 70 ลิตรต่อนาที เพื่อเติมอากาศหรือออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ภายในถังหมัก ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายวัสดุและเศษอาหารภายในถัง [3]



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารระบบเติมอากาศ



(ก)



(ข)



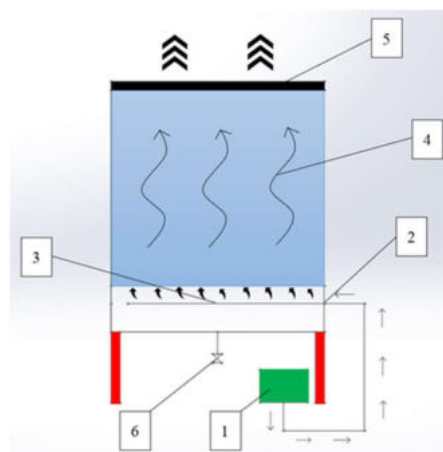
(ค)



(ง)

ภาพที่ 2 (ก) ฝาของถังหมัก (ข) ฐานรองรับเศษวัสดุ (ค) รูระบายน้ำ (ง) ปั๊มลมเติมอากาศ

หลักการทำงานของถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารระบบเติมอากาศ [4] แสดงดังภาพที่ 3 โดยอากาศหรือออกซิเจนจะถูกส่งจากปั๊มลม (1) ตามแนวท่อเข้าภายในถังหมักและออกตามรูท่อที่เจาะไว้บริเวณด้านล่างของถัง (2) อากาศที่ออกตามแนวท่อบริเวณใต้ฐานรองรับวัสดุ (3) โดยอากาศที่เข้าภายในถังหมักจะลอยตัวจากด้านล่างสู่ด้านบน แทรกซึมผ่านวัสดุภายในถัง (4) เมื่ออากาศลอยตัวผ่านวัสดุจนถึงด้านบน อากาศเหล่านี้จะลอยตัวออกทางรูเจาะของฝาถัง (5) หากปริมาณน้ำในถังหมักมีมากเกินไปจะระบายผ่านรูระบายน้ำส่วนเกินที่บริเวณด้านล่างของถัง (6)



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารระบบเติมอากาศ

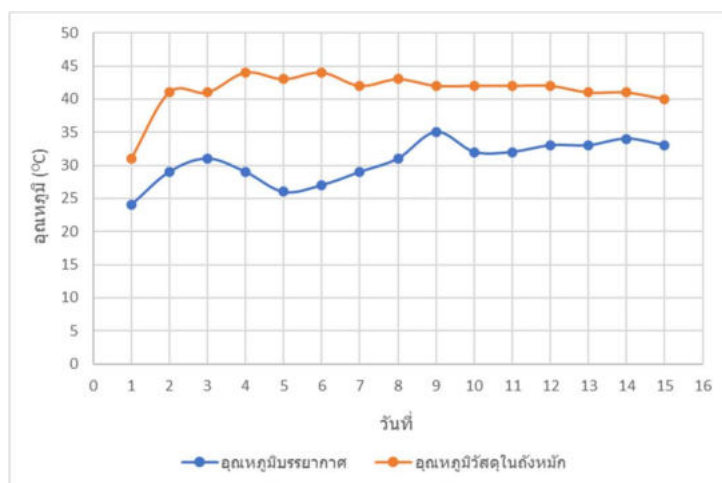
การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายของวัสดุในกระบวนการหมัก โดยจะทำการทดลองหมักวัสดุ โดยมีสัดส่วนผสมวัสดุในการหมัก ได้แก่ เศษอาหารต่อเศษใบไม้ต่อมูลโค ในสัดส่วน 1:3:1 โดยปริมาตร [5] จากนั้นเติมวัสดุลงในถังหมักให้เต็ม แล้วเติมอากาศเข้าภายในถังวันละ 4 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ทุก 6 ชั่วโมง ด้วยอัตราการไหล 70 ลิตรต่อ นาที โดยจะควบคุมความชื้นโดยการเติมน้ำให้แก่วัสดุภายในถังหมักให้มีความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 50 - 70% การเติมน้ำให้ความชื้นแก่วัสดุจะทำการเติมทุกๆ 7 วัน ใช้ระยะเวลาในการหมักวัสดุ 15 วัน ในแต่ละวันจะทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิวัสดุในถังหมัก เมื่อหมักครบ 15 วัน จะนำวัสดุ (ปุ๋ยอินทรีย์) ในถังหมักออกมาเกลี่ยตาก แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารหลัก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการหมักวัสดุในถังหมักเป็นเวลา 15 วัน จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิวัสดุภายในถังหมัก และอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก พบว่าอุณหภูมิวัสดุในถังหมักปุ๋ยในช่วง 10 วันแรกจะค่อยๆ สูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 42 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในถังหมักมาจากการคายความร้อนของจุลินทรีย์ที่อยู่ในมูลโคจากกระบวนการย่อยสลายวัสดุที่ใช้หมัก [6]

จากผลการวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารที่หมักได้ พบว่าค่าผลรวมของปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) มีค่า 2.38% ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 17.5% ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุมีเท่ากับ 34.80% ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 16%

ในส่วนของการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3.41 ds/m ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเท่ากับ 7.05 ค่าปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าเท่ากับ 14.34 และค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 95.04% ซึ่งอยู่ในช่วงของเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ แสดงดังตารางที่ 1

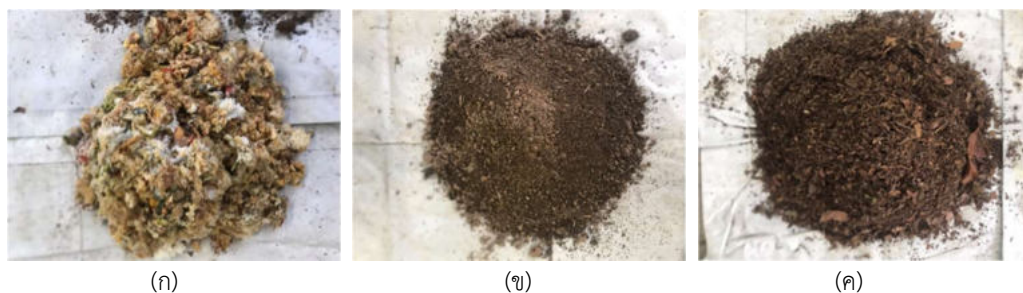


ภาพที่ 4 อุณหภูมิของวัสดุในถังหมักและอุณหภูมิบรรยากาศ

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารที่หมักในถังหมักแบบเติมอากาศเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ [7]

ค่าคุณสมบัติและธาตุอาหาร	ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ	การทดลอง
อินทรีย์วัตถุ (OM)	$\geq 30 \%$	34.80
ค่าปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	≤ 20	14.34
การย่อยสลายสมบูรณ์ (GI)	$\geq 80 \%$	95.04
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	≤ 10	3.41
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	5.5 – 8.5	7.05
ไนโตรเจน (N)	$\geq 1.0 \%$	1.46
ฟอสฟอรัส (P)	$\geq 0.5 \%$	0.59
โพแทสเซียม (K)	$\geq 0.5 \%$	0.33
หรือปริมาณธาตุอาหารหลักรวม (N+P+K)	$\geq 2.0 \%$	2.36

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่หมักได้เปรียบเทียบกับสภาพของวัสดุก่อนการหมัก (ภาพที่ 5) พบว่าระยะเวลาการหมัก 15 วัน ลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์ภายในถังหมักจะมีสีน้ำตาลเข้ม ไม่มีกลิ่น และไม่พบเศษอาหาร เศษใบไม้ และมูลโค เศษวัสดุที่ใส่ลงไปในวันแรกได้ย่อยสลายสมบูรณ์กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 วัสดุที่ใช้หมัก (ก) เศษอาหาร (ข) มูลโค (ค) เศษใบไม้



ภาพที่ 6 สภาพปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการหมัก 15 วัน (ก) ก่อนตากแห้ง (ข) หลังตากแห้ง

สรุปผลการวิจัย

ถังหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารในครัวเรือนระบบเติมอากาศสามารถหมักเศษอาหารให้กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ใช้ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน โดยใช้อัตราการเติมอากาศหรือออกซิเจนเข้าสู่ถังหมักด้วยอัตราการไหลของอากาศ 70 ลิตรต่อนาที วันละ 4 ครั้งๆ ละ 10 นาที (เติมอากาศทุกๆ 6 ชั่วโมง) ซึ่งปริมาณออกซิเจนถือว่าเพียงพอที่ทำให้จุลินทรีย์ภายในถังหมักเกิดกระบวนการย่อยสลายเศษอาหารและวัสดุผสมให้กลายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีค่าคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร คณะผลิตกรรมการเกษตร และฐานเรียนรู้การผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกอง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณกุล บำรุงสาลี. (2554). “ถังหมักขยะเศษอาหารจากครัวเรือน”. ใน การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. วันที่ 10 – 11 พฤศจิกายน 2554 ณ หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- [2] กุลยา สาริขวิน และฐนียา รังสีสุริยะชัย. (2559). การทำปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์โดยใช้ถังเติมอากาศ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี. 14(1), 25-33.
- [3] อิระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (2552). รายงานผลงานวิจัยเรื่องการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารด้วยระบบถังปิดเติมอากาศแบบถังหมุน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- [4] แสนวสันต์ ยอดคำ ขนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร ฐปน ชื่นบาล นนทนนท์ ต๊ะนางอย และ ศรีรัตน์ ดวงคำ. (2564). “การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารด้วยถังหมักแบบเติมอากาศ”, ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ครั้งที่ 1, วันที่ 24 – 25 มิถุนายน 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, จังหวัดเชียงราย.
- [5] ศรีรัตน์ ดวงคำ และนนทนนท์ ต๊ะนางอย. (2563). ผลของการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายเพื่อหมักปุ๋ยอินทรีย์จากเศษอาหารด้วยระบบเติมอากาศ. รายงานตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, จังหวัดเชียงใหม่.
- [6] Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issues*, McGraw – Hill Inc.
- [7] อาณัฐ ตันโช. (2560). คู่มือการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน IFOAM ระดับอุตสาหกรรม. ศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

สมบัติของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวัน โดยกระบวนการคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน

Properties of Building Composite Wall Panels from Sunflower Stalks by Compression Molding

วรารัณ นิมจารณ¹ ฉันทิพิท สกุลเขมฤทัย² และ มณีรัตน์ เข้มขาว^{3*}

Warangkana Nimcharoen¹ Chuntip Sakulphaemaruehai² and Maneerat Khemkhao^{3*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ สาขาสถาปัตยกรรมผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

³วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Urban architecture, Faculty of Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

²Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

³Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

*Corresponding author: E-mail address: maneerat.khe@rmutr.ac.th

Received: 6 September 2022, Revised: 4 April 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

This research aimed to compare the properties of composite wall panels made from sunflower stalks and sunflower bark, which were stabilized using a hot-pressing method. The composite wall panels were created using 60% rubber latex as a binder, with three different ratios of sunflower stalk to rubber latex (1:4, 1:5, and 1:6). The properties and thermal conductivity of the composite wall panels were analyzed. The results showed that the hot-pressing method resulted in good adhesion between the sunflower stalk and rubber latex for all three ratios, both in sunflower stalks and sunflower bark composites. The density of all composites ranged between 590 and 863 kg/m³, while the moisture content ranged from 9.12% to 14.22%. The swelling of the composites ranged from 5.66% to 12.43%, all within the range of the TIS 876-2547 and TIS 178-2549 standards. The flame-retardant rate fell within the range of 21.03-30.69 mm/min. The flexural strength ranged from 5.29 to 6.44 kg/cm², and the thermal conductivity ranged from 0.12 to 0.16 W/mK. Based on the results of the physical properties, flexural strength, and thermal conductivity, all ratios of sunflower stalk to rubber latex met the standards of TIS 876-2547 and TIS 178-2549. Thus, these composites have the potential to replace plywood and plywood chipboard for indoor wall applications.

Keywords: Composite panels, Sunflower stalks, Rubber latex, Hot-pressing

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้านและกลุ่มเปลือกก้าน มีกระบวนการคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน โดยใช้ น้ำยางพาราเข้มข้นร้อยละ 60 ทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 3 อัตราส่วน คือ 1:4, 1:5 และ 1:6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคาร ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการเกาะยึดของเส้นใยเศษก้านดอกทานตะวันกับน้ำยางพาราด้วยวิธีการอัดร้อน น้ำยางสามารถจับยึดกับเศษก้านดอกทานตะวันได้ดีทั้ง 3 อัตราส่วน ของทุกกลุ่มก้านดอกทานตะวัน แผ่นคอมโพสิตที่ได้มีความหนาแน่นระหว่าง 590 – 863 กก./ม³ ค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 9.12 – 14.22 ค่าการพองตัวตามความหนาแน่นในช่วงร้อยละ 5.66 – 12.43 ซึ่งสามารถเทียบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมอก.876-2547 และ มอก.178-2549 ในทุกอัตราส่วนของทุกกลุ่มก้านดอกทานตะวัน การทดสอบการลามไฟตามเกณฑ์มาตรฐาน UL94 HB Test พบว่า มีอัตราการลามไฟอยู่ในช่วง 21.03-30.69 มม./นาที่ โดยไม่เติมสารหน่วงไฟ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน ค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนในช่วง 5.29-6.44 กก./ซม.² และ 0.12 – 0.16 W/mK ตามลำดับ ซึ่งจากผลทดสอบสมบัติทางกายภาพค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 มีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 และมาตรฐาน มอก.178-2549 สามารถใช้ทดแทนไม้อัดและไม้อัดซีบอร์ด มีความเหมาะสมต่อการใช้งานประเภทงานผนังภายในอาคาร

คำสำคัญ: แผ่นคอมโพสิต ก้านดอกทานตะวัน น้ำยางพารา การอัดร้อน

บทนำ

“ผนังอาคาร” เป็นส่วนสำคัญของอาคาร ใช้เพื่อแบ่งกั้นขอบเขตของอาคารหรือส่วนพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งเป็นผนังที่ใช้กั้นระหว่างอาคารเรียกว่า ผนังภายนอก และผนังที่ใช้แบ่งกั้นพื้นที่ภายในของอาคารเรียกว่า ผนังภายใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร 2522 ให้คำจำกัดความของ “ผนัง” หมายความว่า ส่วนก่อสร้างในด้านตั้ง ซึ่งกั้นด้านนอกหรือระหว่างหน่วยของอาคารให้เป็นหลังหรือเป็นหน่วยแยกจากกัน [1] ดังนั้นในการใช้งานเพื่อประโยชน์ด้านการแบ่งเขตพื้นที่แล้ววัสดุผนังที่ดีควรมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร มีความคงทนไม่เปื่อยยุ่ยง่าย สามารถกันเสียงรบกวน กันความร้อน ทนไฟได้ในระดับหนึ่ง และมีความแข็งแรงในการยึดติดสิ่งต่างๆให้เกิดความงามได้

โดยแนวคิด “Circular economy” หรือเศรษฐกิจหมุนเวียน มีหลักการที่คำนึงถึงการออกแบบสินค้าและบริการที่เน้นการรักษาต้นทุนด้านทรัพยากรธรรมชาติ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ด้วยการหมุนเวียนวัตถุดิบ เพื่อลดการเกิดของเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด [2] จากแนวคิดดังกล่าวเห็นได้ว่าลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศของประเทศไทยมีความเหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรม ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรและของเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียจากการทำการเกษตรและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรนั้นสามารถนำมาสร้างสรรค์ให้เกิดประโยชน์ใหม่หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก และจากสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบันการหันมาพึ่งพาตนเองในด้านกระบวนการผลิต หรือการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีการใช้วัตถุดิบ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการให้ความสำคัญในการลดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุดนั้น จะสามารถส่งผลประโยชน์ต่อชุมชนและประเทศอย่างยั่งยืนได้

จึงนำไปสู่การพัฒนาการผลิตแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานผนังอาคาร จากเอกสารรายงานทางวิชาการได้มีการศึกษาแผ่นคอมโพสิตที่ได้จากต้นมันสำปะหลัง มีความหนาแน่น 800 กก./ลบ.ม มีความหนา 10 มม. มาเป็นแผ่นผนังภายในอาคารแทนการใช้ไม้อัด พบว่าสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าไม้อัด 3.03 องศาเซลเซียส [3] และการศึกษาการใช้เส้นใยจากไม้ไผ่ผสมกับกาวเรซินอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน ค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 ถึง 0.34 W/mK. ตามค่าความหนาแน่นซึ่งสามารถใช้เป็นแผ่นผนังอาคารได้ [4] เป็นการเพิ่มคุณค่าแก่วัสดุเหลือใช้

สามารถลดปริมาณขยะ ลดมลพิษที่เกิดจากการเผาทำลาย สร้างรายได้ให้กับชุมชนและยังสะท้อนอัตลักษณ์ทางสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นได้อีกด้วย

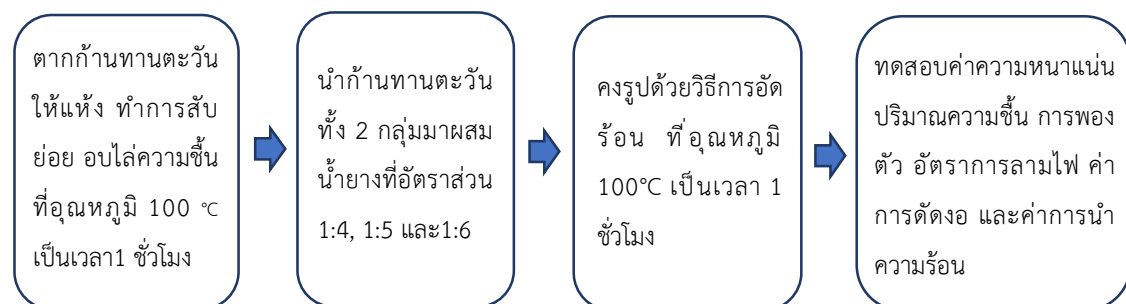
ดอกทานตะวันในประเทศไทย มีการเพาะปลูกมากในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะทำการเพาะปลูกเป็นพืชที่ 2 หลังจากการปลูกข้าวโพดและพืชตระกูลถั่ว สามารถปลูกได้ดีในทุกสภาพดิน หลังจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดทานตะวันแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งคือส่วนของลำต้น เกษตรกรจะใช้วิธีการกำจัดโดยการไถกลบหรือการเผาทำลาย ทำให้ไม่เกิดมูลค่าและส่งผลทำให้เกิดฝุ่น คิววัน เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อม และจากเอกสารงานวิจัย พบว่า วัสดุอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ควรเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยและมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ [5] ซึ่งกลุ่มพืชที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ มีลักษณะของเส้นใยพืชเป็นโพรงอากาศทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำและมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ อีกทั้งยังหาได้ง่ายและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [6] ก้านดอกทานตะวันมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นวัสดุอาคารเนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง [7] ค่าความหนาแน่นจัดอยู่ในกลุ่มความหนาแน่นปานกลางและมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโพลียูรีเทน [8] และก้านดอกทานตะวันจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุธรรมชาติที่อยู่ในระยะทดลอง มีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาและเพิ่มมูลค่า [3]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันของเศษก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้านและเปลือกก้าน ที่มีน้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์เป็นสารยึดเกาะ ด้วยกระบวนการคงรูปแผ่นคอมโพสิตโดยวิธีการอัดร้อน ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 1:4 1:5 และ 1:6 ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นคอมโพสิต การดัดงอ และการนำความร้อน

วิธีการวิจัย

1.วัสดุ อุปกรณ์และการขึ้นรูปชิ้นงาน นำก้านดอกทานตะวันซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่ได้มาจากการเก็บเกี่ยวดอกทานตะวันและเมล็ดทานตะวันจากไร่ทานตะวันจำปี อำเภอนัสสันตม จังหวัดลพบุรี มาทำการตากแดดให้แห้ง (ภาพที่ 1-3) แบ่งกลุ่มก้านดอกทานตะวันออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทั้งก้าน และกลุ่มเปลือกก้าน นำก้านดอกทานตะวันทั้ง 2 กลุ่มไปบดย่อยด้วยเครื่องสับย่อยให้ได้ขนาดเฉลี่ย 0.3 – 1.00 เซนติเมตร (ภาพที่ 4) โดยใช้เครื่องสับไฟฟ้ารุ่น 182U (BOSCO ประเทศไทย) ความจุ 100-180 กก. / ชั่วโมง (ภาพที่ 5) อบไล่ความชื้นที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [6] นำเศษก้านดอกทานตะวันที่บดย่อยและอบไล่ความชื้นแล้วทั้ง 2 กลุ่มมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ HM (บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์กรุ๊ป จำกัด มหาชน) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 3 อัตราส่วน คือ 1:4 1:5 และ 1:6 ที่น้ำหนักเศษก้านทานตะวัน 110 กรัม เทใส่แม่พิมพ์ขนาด 20 x 20 x 1.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 6-7) ทำการคงรูปแผ่นคอมโพสิตด้วยวิธีการอัดร้อน (LP-S-20, LAB TECH Engineering ประเทศไทย) (ภาพที่ 8) แรงอัดที่ 1500 psi หรือ 100 กก./ซม.² ขนาดแท่น 20 x 20 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแผนภูมิที่ 1

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและการคงรูปแผ่นคอมโพสิตด้วยวิธีการอัดร้อน





ภาพที่ 1 ก้านดอกทานตะวันผ่านการเก็บเกี่ยวและนำมาทำการตากแห้ง



ก).



ข).

ภาพที่ 2 (ก) ก้านดอกทานตะวันทำการตากแห้งแล้ว (ข) ก้านดอกทานตะวันที่มีเปลือกก้านหุ้มแก่นรูปทรงแท่งภายในก้าน

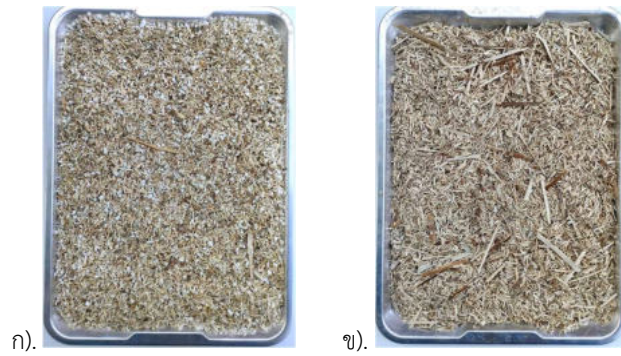


ก)



ข).

ภาพที่ 3 ลักษณะส่วนประกอบของก้านดอกทานตะวันประกอบด้วย (ก).แก่นรูปทรงแท่งภายในก้าน และ(ข).เปลือกก้าน



ภาพที่ 4 ก้านดอกทานตะวันที่ผ่านกระบวนการสับย่อย (ก).ทั้งก้าน (ข).เปลือกก้าน



ภาพที่ 5 เครื่องสับย่อยไฟฟ้า



ภาพที่ 6 การชั่งตวงส่วนผสมอัตราส่วนของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา



ภาพที่ 7 การผสมอัตราส่วนของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยาง และการเทใส่แม่พิมพ์



ภาพที่ 8 เครื่องอัดร้อน Compression molding

2. การทดสอบสมบัติของแผ่นคอมโพสิต นำชิ้นงานตัวอย่างของ 2 กลุ่มก้านดอกทานตะวันไปทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัว อัตราการลามไฟ ค่าการดัดงอ และค่าการนำความร้อน ดังนี้

2.1 ความหนาแน่น [9] ใช้ชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด วัดความกว้างของชิ้นทดสอบขนานกับขอบ โดยใช้เวอร์เนียเป็นเครื่องมือวัด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นจากสมการที่ 1 [10-11] ตามมาตรฐาน มอก.178-2547 [12]

$$\text{สมการ} \quad \rho = \frac{M}{v} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น ของวัสดุมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (กก./ม.³)

M คือ มวลรวมของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (ม.³)

2.2 ปริมาณความชื้น [13] โดยการเทียบน้ำหนักก่อนอบแห้งกับน้ำหนักหลังอบแห้งของชิ้นฉนวนทดสอบ ชั่งน้ำหนักของชิ้นฉนวนทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 ก่อนอบแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง นำมาคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นตามสมการที่ 2 ตามมาตรฐาน มอก.178-2549 [14]

$$\text{สมการ} \quad \text{ค่าปริมาณความชื้น (\%)} = \left(\frac{M1-M}{M0} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ $M0$ = น้ำหนักหลังอบ มีหน่วยเป็น กรัม (ก.)

$M1$ = น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็น กรัม (ก.)

2.3 การพองตัว [15] นำชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 วัดความหนาขึ้นทดสอบทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยความหนาก่อนแช่น้ำ นำชิ้นงานทดสอบแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ วัดความหนาขึ้นงานตามตำแหน่งเดิม หาค่าเฉลี่ยความหนาหลังแช่น้ำตามมาตรฐานมอก. 876-2547 [12] ดังสมการที่ 3

$$\text{สมการ} \quad \text{ค่าเฉลี่ยความหนา(การพองตัว)} \quad t = \left(\frac{t2-t1}{t1} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ $t1$ = ความหนาก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

$t2$ = ความหนาหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)



ภาพที่ 9 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวและค่าการนำความร้อน

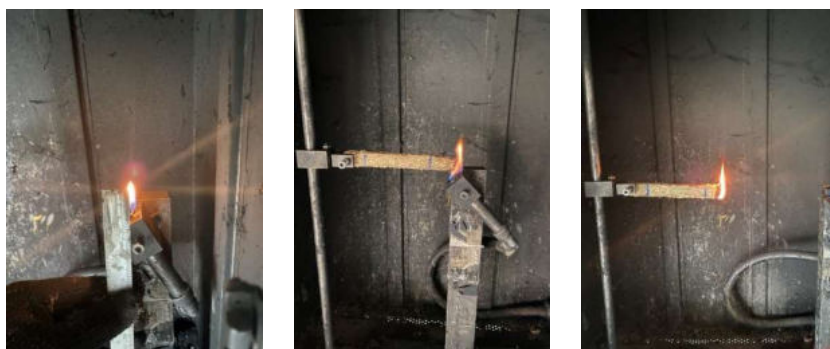
2.4 อัตราการลามไฟ [16] การเตรียมชิ้นงานและการทดสอบแบบ UL94 HB-TEST [17] กำหนดระยะเวลาการไหม้ของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานขนาด $127 \times 15 \times 10$ มิลลิเมตร วัดจากหัวท้ายเข้ามาด้านละ 25 มิลลิเมตร จากนั้นยึดชิ้นงานกับ clamp ตามแนวนอน ตั้งความสูงของเปลวไฟที่ 25 มิลลิเมตร ความเอียงของตะเกียงที่ 45 องศา จ่อเปลวไฟที่ชิ้นงานนาน 30 วินาที แสดงในภาพที่ 10 จับเวลาการเผาไหม้จากระยะแรกถึงระยะสุดท้าย หาค่าอัตราการลามไฟตามสมการที่ 4

$$\text{สมการ} \quad \text{อัตราการเผาไหม้ (Rate of burning)} = \left(\frac{S}{t-t0} \right) \quad (4)$$

เมื่อ S = ความยาวของชิ้นงานในช่วงที่กำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

$t0$ = เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดแรก มีหน่วยเป็นนาทีก่อน (นาทีก่อน)

t = เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดที่สอง มีหน่วยเป็นนาทีก่อน (นาทีก่อน)

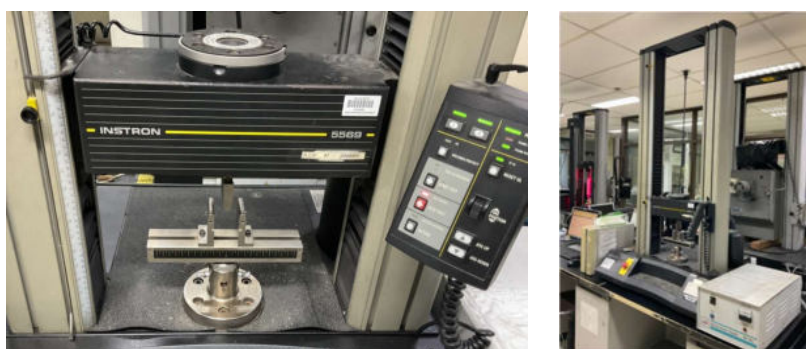


ภาพที่ 10 การทดสอบการลามไฟแนวนอน ตามมาตรฐาน UL-94

2.5 การดัดงอ [18] นำชิ้นงานขนาด 13 x 70 x 3.5 มิลลิเมตร ไปทดสอบหาค่าการดัดงอแบบ 3 จุด ด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron 5569) Load cell 1 กิโลนิวตัน ภายใต้อัตราเร็วในการกด 1.28 มิลลิเมตร ต่อ นาที และระยะระหว่างแท่นค้ำยัน 48 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 11-12 นำมาคำนวณหาค่าการดัดงอตามสมการที่ 5 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790 [19] และ มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ [20]

$$\text{สมการ แรงดัดงอ} = \frac{3FL}{2WH^2} \quad (5)$$

- เมื่อ F = แรงที่ทำให้เกิดการแตกของวัสดุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.)
 L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)
 W = ความกว้างของตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)
 H = ความสูงของตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)



ภาพที่ 11 เครื่องทดสอบ Universal testing machine (INSTRON 5569)



ภาพที่ 12 ลักษณะการวางชิ้นทดสอบ และการกดทดสอบการติดตั้ง

2.6 ค่าการนำความร้อน [21] ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk) แสดงในภาพที่ 13 ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิห้องที่ประเภท Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius=2.001 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 โดยทำการวางชิ้นงานตัวอย่าง 2 ชิ้นแบบประกบคู่ และวางสายเซนเซอร์ไว้ตรงกลางระหว่างชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น ทำการปล่อยกระแสไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 13 หาค่าการนำความร้อนตามสมการที่ 6

$$\text{สมการ} \quad K = \frac{Q L}{A \Delta T} \quad (6)$$

- เมื่อ K = สภาพนำความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตรเคลวิน (W/mK)
 Q = ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิวตัวอย่าง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
 A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)
 L = ความหนาของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นเมตร (ม.)
 ΔT = อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)



ภาพที่ 13 เครื่องทดสอบ Hot Disk Thermal Constant Analyser และลักษณะการวางแผ่นชิ้นงานทดสอบ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ <https://www.mtec.or.th/technical-service-2/thermal-analysis/>

ผลการวิจัยและอภิปรายผลงานวิจัย

การทดสอบการคงรูปแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวัน ในส่วนทั้งก้านดอกทานตะวันและส่วนเปลือกก้านดอกทานตะวัน โดยการบดย่อยก้านดอกทานตะวันให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.3-1.00 เซนติเมตร เมื่อก้านดอกทานตะวันมีขนาดเล็กลงช่วยให้น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ ที่ใช้เป็นสารยึดเกาะสามารถจับยึดเกาะกับเศษก้านทานตะวันได้ดี และการทดลองการคงรูปด้วยการอัดร้อนในอุณหภูมิที่ทำให้ยางคงรูป 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแรงอัด 1500 psi แผ่นคอมโพสิตที่ได้จากกระบวนการทำให้น้ำยางคงรูปด้วยเครื่องอัดร้อน ใช้ปริมาณอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบมีช่องอากาศน้อย เส้นใยแต่ละเส้นชิดกันได้ดี มีความยืดหยุ่นและสามารถคืนรูปได้เมื่อทำการบิดงอขึ้นงาน น้ำหนักของแผ่นคอมโพสิตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำยางพาราเมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น น้ำหนักของแผ่นคอมโพสิตก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในการศึกษาทดลองได้ทำการทดลองขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ ที่อัตราส่วน 1:2 1:3 พบว่า แผ่นคอมโพสิตที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นโปร่งมีช่องว่างรูพรุนมาก จึงพิจารณาเลือกการทดสอบการคงรูปและทดสอบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันด้วยวิธีอัดร้อน

ลักษณะแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่ใช้น้ำยางธรรมชาติเป็นสารยึดเกาะ ทั้ง 2 กลุ่ม ที่อัตราส่วนต่างๆ			
ส่วนของก้านดอก ทานตะวันที่ใช้	อัตราส่วน	ลักษณะชิ้นงานด้านหน้า	ลักษณะชิ้นงานด้านข้าง
ทั้งก้าน	1:4		
ทั้งก้าน	1:5		
ทั้งก้าน	1:6		

ตารางที่ 1 แผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันด้วยวิธีอัดร้อน (ต่อ)

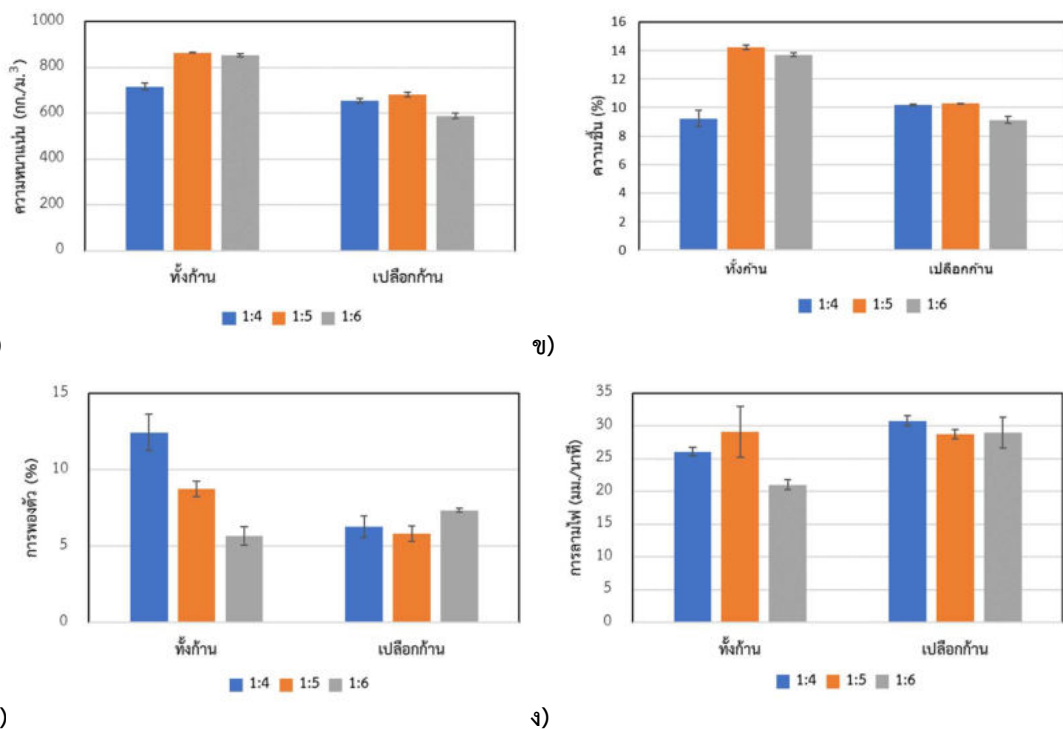
ลักษณะแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่ใช้ใยธรรมชาติเป็นสารยึดเกาะ ทั้ง 2 กลุ่ม ที่อัตราส่วนต่างๆ			
ส่วนของก้านดอกทานตะวันที่ใช้	อัตราส่วน	ลักษณะชิ้นงานด้านหน้า	ลักษณะชิ้นงานด้านข้าง
เปลือกก้าน	1:4		
เปลือกก้าน	1:5		
เปลือกก้าน	1:6		

แผ่นคอมโพสิตทุกอัตราส่วนมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 588.61- 864.24 กก./ม.³ แสดงในแผนภูมิที่ 14(ก) ซึ่งอยู่ในช่วงตามมาตรฐานมอก.876-2547 ประเภทไม้อัดชนิดอัดราบที่ความหนาแน่น 400-900 กก./ม.³ [12] และประเภทไม้อัดฮาร์ดบอร์ด ความหนาแน่นปานกลางที่ 640 กก./ม.³ ไม้อัดชิพบอร์ดที่ความหนาแน่น 800 กก./ม.³ ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2539 และประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2564 [10-11] ซึ่งความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านทุกอัตราส่วน ซึ่งความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา ขณะที่ความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีแนวโน้มลดลง โดยค่าความหนาแน่นจะส่งผลต่อความทนทาน อายุการใช้งานและการนำไปใช้ประโยชน์ของแผ่นวัสดุชนิดนั้นๆ

เช่นเดียวกับค่าความชื้นที่แสดงในแผนภูมิที่ 14(ข) พบว่า แผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความชื้นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะแปรผกผัน โดยมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านและจากกลุ่มเปลือกก้านทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 8.97-14.20 ซึ่งทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.178-2549 ที่มีค่าความชื้นมาตรฐานที่ร้อยละ 7 - 15 [14] โดยมีชิ้นงานทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 ที่มีช่วงค่าความชื้นมาตรฐานที่ร้อยละ 4 - 13 [12] ได้แก่ แผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านที่อัตราส่วน 1:4 มีค่าความชื้นที่ร้อยละ 9.226 และจากกลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 มีค่าความชื้นร้อยละ 10.183, 10.270 และ 9.123 ตามลำดับ โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านมีค่าความชื้นที่สูงกว่ากลุ่มเปลือกก้าน เนื่องจากแกนสีขาวภายในก้านเป็นรูพรุนมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางทำให้เส้นใยในกลุ่มทั้งก้านดูดซึมน้ำยางไว้ได้มากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นที่สูงตามไปด้วย

การพองตัวของแผ่นคอมโพสิตเมื่อนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าการพองตัวของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา ขณะที่การพองตัวของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วน 1:5 ดังแสดงในภาพที่ 14(ค) โดยค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มก้านในทุกอัตราส่วนมีค่าการพองตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 5.666 -12.434 ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานมอก.876-2547 ที่มีค่ามาตรฐานการพองตัวไม่เกินร้อยละ 12 [12] โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีค่าการพองตัวที่ต่ำกว่าแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้าน เนื่องจากความสามารถในการพองตัวของเปลือกก้านดอกทานตะวันที่มีลักษณะเป็นเปลือกแข็งส่งผลให้มีการพองตัวได้น้อย

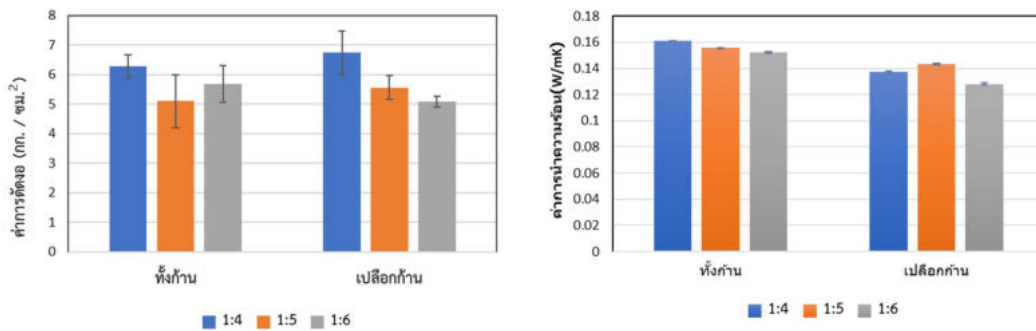
การทดสอบการลามไฟ แสดงในภาพที่ 14(ง) พบว่า ในทุกอัตราส่วนมีระยะอัตราการลามไฟอยู่ที่ 20.971 - 30.730 มม./นาที่ ซึ่งไม่เกิน 40 มม./นาที่ ตามเกณฑ์มาตรฐานUL94 HB-TEST [17] โดยระยะเวลาการลามไฟในอัตราส่วน 1:6 ของกลุ่มทั้งก้านเป็นระยะเวลาการลามไฟที่ช้าที่สุดที่ระยะ 20.90 มม./นาที่ การลามไฟจะช้าลงในแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านและกลุ่มเปลือกก้านเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา และค่าการลามไฟของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะเกิดขึ้นช้ากว่าส่วนของกลุ่มเปลือกก้าน เนื่องจากแผ่นคอมโพสิตกลุ่มทั้งก้านมีค่าความชื้นที่สูงกว่ากลุ่มเปลือกก้านจากปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางพารา จึงมีผลทำให้อัตราการลามไฟในกลุ่มทั้งก้านเกิดขึ้นช้ากว่ากลุ่มเปลือกก้าน จากค่าความชื้นที่มีมากกว่า และเมื่อแผ่นคอมโพสิตมีความหนาแน่นมากส่งผลให้อัตราการลามไฟเกิดขึ้นช้าลง เนื่องจากการอัดแน่นชิดกันของเส้นใยและน้ำยางพารา จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่าแผ่นคอมโพสิตที่มีความหนาแน่นน้อย



ภาพที่ 14 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ก) ความหนาแน่น (ข) ความชื้น (ค) การพองตัว (ง) การลามไฟ

การดัดงอของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านและกลุ่มเปลือกก้าน มีค่าอยู่ในช่วง 5.29 - 6.44 กก./ชม.² ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยาพาราไม่มีผลต่อค่าการดัดงอของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้าน ขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำยาพารา จะทำให้ค่าการดัดงอของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านมีแนวโน้มลดลง แสดงในภาพที่ 15 (ก)

ค่าการนำความร้อน ที่การทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk ดังแสดงในภาพที่ 15(ข) พบว่า แผ่นคอมโพสิตทุกอัตราส่วนมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.128 - 0.161 W/mK ซึ่งเป็นไปตามประกาศประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2564 ประเภทไม้อัดฮาร์ดบอร์ดความหนาแน่นปานกลาง ที่ค่าการนำความร้อน 0.123 W/mK และไม้อัดชิพบอร์ดที่ 0.144 W/mK [10-11] โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านมีค่าการนำความร้อนสูงกว่ากลุ่มเปลือกก้านในทุกอัตราส่วน และปริมาณน้ำยาพาราที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าการนำความร้อนที่ลดลง และค่าการนำความร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น โดยพบว่า ในอัตราส่วน 1:6 จากกลุ่มเปลือกก้าน มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดที่ 0.128 W/mK และมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดด้วย ซึ่งหมายความว่า ค่าความหนาแน่นที่ได้มีผลต่อค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตด้วย แผ่นคอมโพสิตที่มีความหนาแน่นที่ต่ำ เกิดจากการมีช่องว่างภายในแผ่นคอมโพสิตที่ทำให้อากาศเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในได้มากกว่า เมื่อมีค่าความหนาแน่นต่ำหรือความหนาแน่นน้อย จึงส่งผลให้มีค่าการนำความร้อนต่ำด้วย



ก)

ข

ภาพที่ 15 ผลการทดสอบสมบัติทางกล (ก) การดัดงอ และสมบัติทางความร้อน (ข) การนำความร้อน

สรุปผลการวิจัย

แผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้อน และกลุ่มเปลือกก้าน ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่ 1:4, 1:5 และ 1:6 เป็นอัตราส่วนที่น้ำยางพาราสามารถจับยึดเศษก้านทานตะวันได้ดี แผ่นคอมโพสิตที่ได้จากกระบวนการทำให้น้ำยางคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน ให้ค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 และ อยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2564 ปริมาณความชื้นของกลุ่มทั้งก้อนที่อัตราส่วน 1:5 และ 1:6 มีค่าความชื้นสูงกว่ากลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วนเดียวกัน โดยมีค่าความชื้นในทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 9.123 – 14.225 และทุกอัตราส่วนมีค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วงร้อยละ 5.666 – 12.434 มีอัตราการลามไฟที่ระยะการเผาไหม้ในช่วง 20.971-30.730 มม./นาที่ โดยไม่เติมสารหน่วงไฟ และมีค่าการดัดงออยู่ในช่วง 5.093-6.743 กก./ซม.² ซึ่งผลทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 มาตรฐาน มอก.178-2549 และมาตรฐาน UL94 HB-TEST ทุกอัตราส่วนของทั้ง 2 กลุ่มก้าน มีความเหมาะสมสำหรับงานผนังภายในอาคาร ค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันที่ได้จากกลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วน 1:6 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำสุดที่ 0.1281 W/mK เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2539 และประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2564 และมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดที่ 590.385 กก./ม.³ ด้วยเช่นกัน เห็นได้ว่าเมื่อแผ่นคอมโพสิต มีค่าความหนาแน่นน้อยมีผลสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนที่ดี ทำให้แผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนให้กับผนังอาคารได้อีกด้วย และยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรองพื้นในการกันความร้อนก่อนการปูวัสดุปิดผิวพื้น ในการศึกษาขั้นต่อไปควรทำการศึกษาถึงแนวโน้มการใช้งานในลักษณะคุณสมบัติที่ช่วยให้ความยืดหยุ่นในส่วนของการใช้เป็นแผ่นพื้นอาคาร ในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุและเด็กเล็ก

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฎกระทรวง ฉบับที่ 55(พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. ข้อ 1 (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2565, จาก <https://asa.or.th>
- [2] ธนันธร มหาพรประจักษ์. **Circular economy** ทางออกของปัญหาสิ่งแวดล้อม. ธนาครแห่งประเทศไทย.(ออนไลน์) 2562. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2565, จาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/articles/Pages/Article_30Jul2019.aspx
- [3] Bozsaky, David., (2019). "Nature-Based Thermal Insulation Materials from Renewable Resources – A State-Of-The-Art Review" **Slovak Journal of Civil Engineering**. 27(1), 52-59.
- [4] Eschenhagen, Arne; Raj, Magdalena; Rodrigo, Natalia; Zamora, Alejandro; Labonne, Laurent; Evon, Philippe; Welemane, Hélène., (2019). Investigation of Miscanthus and Sunflower Stalk Fiber-Reinforced Composites for Insulation Applications. **Advances in Civil Engineering**, 1–7.
- [5] ธนัญชัย ปทุมวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุ๋นจิตติชัย, พรรณจิรา ทิศาวิภาต., (2006) “ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” **Journal of Architectural/Planning Research and Studies**. 4. Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University
- [6] อนุภา สกุลพาณิชย์., (2559). การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากขี้ข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. **Veridian E-Journal, Silpakorn University**. 9 (1), 1688-1702.
- [7] Stefan de Carvalho, Patricia; Nora, Macklini Dalla; Cantorski da Rosa, Leandro., (2020). Development of an acoustic absorbing material based on sunflower residue following the cleaner production techniques. **Journal of Cleaner Production**. 270 (10), 122478.
- [8] Wang, Hao; Chiang, Pen-Chi; Cai, Yanpeng; Li, Chunhui; Wang, Xuan; Chen, Tse-Lun; Wei, Shiming; Huang, Qian., (2018). Application of Wall and Insulation Materials on Green Building: A Review. **Sustainability**. 10 (9), 3331.
- [9] โรสลีนา จาราแว., (2559). การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตท้องถิ่น. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- [10] ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง คำสัมประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุ ค่าความต้านทานความร้อน ของฟิล์มอากาศ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสัมประสิทธิภาพการบังแดดของหน้าต่าง และค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ เล่ม 113 ตอนพิเศษ 21ง ราชกิจจานุเบกษา 17 กรกฎาคม 2539
- [11] ประกาศกระทรวงพลังงาน. เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2564.เล่ม 138 ตอนพิเศษ 315 ง ราชกิจจานุเบกษา 24 ธันวาคม 2564
- [12] มาตรฐานอุตสาหกรรม. มอก.876–2547. **แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ**. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา ฉบับทั่วไปเล่ม 121 ตอนที่ 63ง วันที่ 5 สิงหาคม 2547
- [13] สุภิญญา ธาราดล.,(2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขี้ข้าวโพดอัดขึ้นรูปเพื่องานประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [14] มาตรฐานอุตสาหกรรม. มอก.178–2549. **แผ่นไม้อัด**. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไปเล่ม 124 ตอนพิเศษ 28ง วันที่ 12 มีนาคม 2550

- [15] Phairat Usubharatana, Harnpon Phunggrassami., (2019). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIO-BASED THERMAL INSULATION MATERIALS FORMED BY DIFFERENT METHODS. **Environmental Engineering and Management Journal**. 18(7), 1471-1486
- [16] จินดาพร สืบข้าเพชร และ ชีระวิทย์ พลโคกก่อง., (2022). แผ่นขึ้นไม้อัดต้านทานการลามไฟจากเปลือกข้าวโพดเคลือบเจลาตินปลา. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**. 6 (1), 17-27.
- [17] มาตรฐาน UL94 HB-TES. (2001) **Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances**. ISBN 0-7629-0082-2.,1-52 (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <http://file.yzimgs.com/174750/20078119548234314385.pdf>
- [18] ปรีย นิลแสงรัตน์., (2560). การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าคาและยางพารา. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [19] มาตรฐาน ASTM D790 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials” January 18, 2018
- [20] **มาตรฐานการทดสอบไม้**. มยพ.1224-51: มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้.สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ.2551
- [21] พัชร อ่อนพรม, ปรียาภรณ์ รัตนติสร้อย, ศตวรรษ ทองชาติ, ศิริวรรณ ประดิษฐ์ด้วง, เมลณี นิลทะวัช., (2565). การศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของฉนวนกันความร้อนจากขี้เลื่อย. **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**. 6 (1), 43-51.

การศึกษาการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้สารสกัดจากเคี่ยม
(*Cotylelobium melanoxylo* syn. *C. lanceolatum*)
Degumming Process of crude palm oil with Kiam Extract
(*Cotylelobium melanoxylo* syn. *C. lanceolatum*)

วิชชุดา เอื้ออารี* และ อุทัยวรรณ ศรีวิชัย
Witchuda Uea-aree* and Uthaiwan Sriwichai

หมวดวิชาศึกษาทั่วไป คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร 86170
General Education Program, Faculty of Maejo University Chumphon Campus,
Maejo University Chumphon Campus 86170

*Corresponding author: Tel.: 086 6651664. E-mail address: witchuda10@gmail.com

Received: 8 September 2022, Revised: 29 March 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

To remove the gum from crude palm oil, the appropriate amount of Kiam extract must be used in combination with Effective Microorganisms (EM). Different quantities of Kiam extract (50, 100, or 150 g) extracted with acetone were used with EM at a ratio of 100 ml of crude palm oil to 10 ml of EM for 30 days. The mixture was shaken every morning and evening. The results showed that Treatment 3, which involved adding 100 g of Kiam extract with EM at a volume of 10 ml, achieved the lowest Free Fatty Acids (FFA) value of 4.13%. Treatment 4, with 150 g of Kiam extract and EM at a volume of 10 ml, came in second with a value of 4.14%. The highest FFA value of 5.38% was found in Treatment 1, where no EM extract was added, using 150 g of Kiam. Regarding impurities, Treatment 3 (adding 100 g of Kiam extract with EM at 10 ml) had the lowest value of 0.0059%, followed by Treatment 2 (adding 50 g of Kiam extract with EM at 10 ml) with 0.0062%. Treatment 4 (adding 150 g of Kiam extract with EM at 10 ml) had a slightly higher value of 0.0093%. For the phosphorus content, Treatment 3 (adding 100 g of Kiam extract with EM at 10 ml) had the lowest value at 14.23%, followed by Treatment 4 (adding 150 g of Kiam extract with EM at 10 ml) with 17.08%. Treatment 2 (adding 50 g of Kiam extract with EM at 10 ml) had a phosphorus content of 19.93%, while Treatment 1 (without adding Kiam extract with EM) had the highest value of 24% which cannot effectively decrease impurity value in crude palm oil by utilizing enzymes to remove the gum and improve the value of Free Fatty Acids.

Keyword: Degumming process, crude palm oil, Kiam (*Cotylelobium melanoxylo* syn. *C. lanceolatum*), Phosphorus content, Impurity, Free fatty acid

บทคัดย่อ

ปริมาณสารสกัดเคี่ยมที่เหมาะสมร่วมกับ Effective Microorganisms (EM) ที่ต้องการกำจัดยางเหนียวของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันปาล์มดิบ ที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบ 100 ml เติมสารสกัดเคี่ยม 50, 100, 150 กรัม ที่สกัดด้วย Acetone ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ 100 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลา 30 วัน และทำการเขย่าทุกเช้า – เย็น สำหรับค่าปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ค่าที่ต่ำที่สุด Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 4.13 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา Treatment 4 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 5.19 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Treatment 1 (ไม่เติมสารสกัดเคี่ยมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM)) มีค่ามากที่สุดคือ 5.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ใน Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) ให้ค่าที่ต่ำที่สุด คือ 0.0059 รองลงมาคือ Treatment 2 (เติมสารสกัดเคี่ยม 50 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 0.0062 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ Treatment 4 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 0.0093 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) ใน Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 14.23 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าที่ต่ำที่สุด รองลงมา Treatment 4 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 17.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ Treatment 2 (เติมสารสกัดเคี่ยม 50 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) มีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 19.93 เปอร์เซ็นต์ และ Treatment 1 (ไม่มีการเติมสารสกัดเคี่ยมร่วมกับอีเอ็ม) คือ 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่สามารถกำจัดยางเหนียวโดยใช้เอนไซม์ได้ในน้ำมันปาล์มดิบ และทำให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสามารถลดปริมาณความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ในน้ำมันปาล์มดิบได้ดี

คำสำคัญ: การกำจัดยางเหนียว, น้ำมันปาล์มดิบ, ต้นเคี่ยม, ฟอสฟอรัส, ความไม่บริสุทธิ์, กรดไขมันอิสระ

บทนำ

ยางเหนียว หรือ Gum เป็นสารที่มาจากธรรมชาติโดยได้มาจากเมล็ดพืช สารสกัดจากพืช และสาหร่ายทะเลบางชนิดถูกจัดให้เป็นสารประเภท Hydrocolloid ทำให้สามารถละลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติที่สำคัญของ Gum ในปัจจุบัน Gum และ Hydrocolloid [1,2] ได้ถูกนำมาผลิตเป็นอาหารเพื่อการบริโภคได้อีกด้วย การกำจัดยางเหนียวเป็นการทำให้ไขมันจากเมล็ดพืชเกิดความบริสุทธิ์จากสารปนเปื้อนต่างๆหรือสารที่สามารถละลายได้และเป็นกระบวนการที่กำจัดยางที่ไม่ต้องการออกไปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปนเปื้อนของไขมันในระยะเวลาการผลิตขั้นสุดท้าย รวมทั้งกรดไขมันหรือน้ำมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจำพวกฟอสฟอรัส เช่นพวกฟอสโฟไลปิดหรือฟอสโฟไทด์ ซึ่งควรทำการกำจัดสารประกอบพวกนี้ เพราะสารประกอบพวกนี้จะไปเป็นตัวอิมัลชันต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ [3] น้ำมันจะมีสีที่เข้มขึ้นและจะเกิดกลิ่นที่อุนหุมสูง [4] กระบวนการกำจัดฟอสโฟไลปิดหรือกระบวนการกำจัดยางเหนียวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยวิธีใช้น้ำ ใช้เอนไซม์ รวมถึงการใช้กรดประเภทอโรฟอสฟอริกและกรดที่มาจากสารอินทรีย์ [5,6] ต่อจากนั้นทำการเหยียงเพื่อให้ยางเหนียวเกิดการตกตะกอน แล้วทำการฟอกสี ฟอกกลิ่น กลั่นแยกกรดไขมันอิสระต่อไป [7,8] ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งจุดเด่น จุดด้อยและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการแตกต่างกันออกไปด้วย

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากผลปาล์มดิบให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซลในท้องตลาดนั้น ต้องมีการทำให้น้ำมันปาล์มดิบบริสุทธิ์ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ ได้แก่ การฟอกสี การกำจัดกรดไขมันอิสระ การกำจัดยางเหนียว [1,9,10] เป็นต้น จนกระทั่งหลงเหลือสิ่งปนเปื้อนหรือตะกอนอยู่เพียงเล็กน้อย เพื่อเป็นการลดของเสียที่ออกจาก

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลไปในตัว และลดอัตราการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบหัวฉีดในเครื่องยนต์ที่มาจากการใช้้ำมันไบโอดีเซลได้อีกด้วย [10] เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกับมาตรฐานสากล (กรมธุรกิจพลังงาน) ซึ่งยางเหนียว(Gum) ในน้ำมันปาล์มดิบเป็นสิ่งปนเปื้อนที่เราควรกำจัดออกไปก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล [1,11]

เคี่ยม (*Cotylelobium melanoxylon* syn. *C. lanceolatum*) เป็นพันธุ์ไม้มงคลพระราชทาน มีทั้งเคี่ยมขาว เคี่ยมดำ เคี่ยมแดง เป็นพืชวงศ์ยางค์ตะเคียนอยู่ใน Family Dipterocarpaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มากในป่าดิบพบว่ามี ความสูง ถึง 20-40 เมตร เปลือกเคี่ยมใช้เป็นยากลางบ้าน ซึ่งเปลือกลำต้นมีน้ำยาง ช่วยสมานแผล แก้ฟกช้ำ ใช้เป็นสารกันบูดในน้ำตาลสดเนื่องจาก สามารถลดจางวนแบคทีเรียที่จะทำให้ปริมาณกรดในน้ำตาลมากขึ้น เพราะในเปลือกของเคี่ยมมีสารแทนนินในปริมาณมากและแทนนินมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ องค์ประกอบทางเคมีที่พบในสารสกัดชั้นเมทานอลจากเปลือกและเนื้อไม้เคี่ยม [12] ได้แก่ stilbene dimer, stilbene trimer และ lignan โดยพบว่าสาร stilbene trimer 3 ชนิด ได้Vaticanol A,E และ G มีฤทธิ์ยับยั้งระดับน้ำตาลกลูโคสในพลาสมา เคี่ยมไม้ยืนต้น เจริญเติบโตช้า ไม่มีในท้องถิ่นภาคใต้ และมีการลักลอบตัดมาขาย ซึ่งในเคี่ยมจะพบสารกลุ่มแทนนิน (Tannin) เป็น ที่มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน [13] พบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เปลือก ใบ ผล แก่นไม้ และ ส่วนที่ปูดออกมาจากส่วนนั้น แทนนินมีคุณสมบัติตกตะกอนโปรตีน แทนนินยังนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การย้อมผ้า การบำบัดน้ำเสีย กาว ปู่ย ฐกรกิจปลาสวยงาม ผลผลิตเครื่องสำอาง น้ำหมัก สีย้อมผ้าต่าง ๆ

ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษากิจการเกี่ยวกับการกำจัดยางเหนียว (Gum) โดยใช้สารสกัดจากเคี่ยม (*Cotylelobium melanoxylon* syn. *C. lanceolatum*) เนื่องจากต้นเคี่ยมทางผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่ศึกษาการกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบ ด้วยสารสกัดจากเคี่ยม (*Cotylelobium melanoxylon* syn. *C. lanceolatum*)ร่วมด้วย จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms:EM) [14] เพื่อศึกษาความเป็นได้ในการเลือกกระบวนการกำจัดยางเหนียว ด้วยวิธีการทางชีวภาพที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำมันต่อไป

วิธีการวิจัย

1. นำน้ำมันปาล์มดิบไปต้มในอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) แบ่งการทดลองเป็น 4 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ รวมเป็น 12 สิ่งทดลอง โดยการสารสกัดเคี่ยมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 ไม่เติมสารสกัดเคี่ยมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM)

สิ่งทดลองที่ 2 เติมสารสกัดเคี่ยม 50 กรัม ที่สกัดด้วย Acetone ร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms:EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ 100 มิลลิลิตร

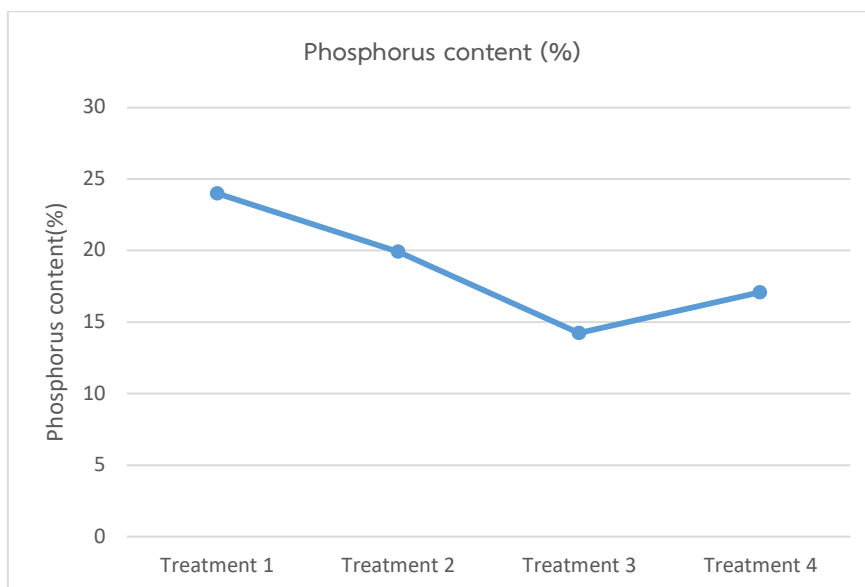
สิ่งทดลองที่ 3 เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัม ที่สกัดด้วย Acetone ร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms:EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ 100 มิลลิลิตร

สิ่งทดลองที่ 4 เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัม ที่สกัดด้วย Acetone ร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms:EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ 100 มิลลิลิตร

จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 4 สัปดาห์ รอกการแยกชั้นตะกอนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและยางเหนียว แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ในการวัดกรดไขมันอิสระ(Free Fatty Acid) ความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) และฟอสฟอรัส (Phosphorus) ของน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 1 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus content)

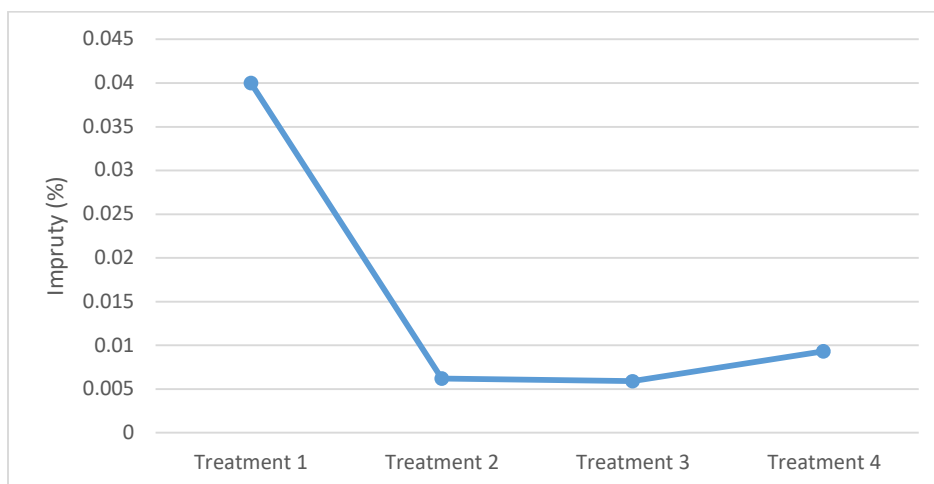
Parameter	Phosphorus content (%)
Treatment 1	24
Treatment 2	19.93
Treatment 3	14.23
Treatment 4	17.08



ภาพที่ 1 ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus content)

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความไม่บริสุทธิ์ (Impurity)

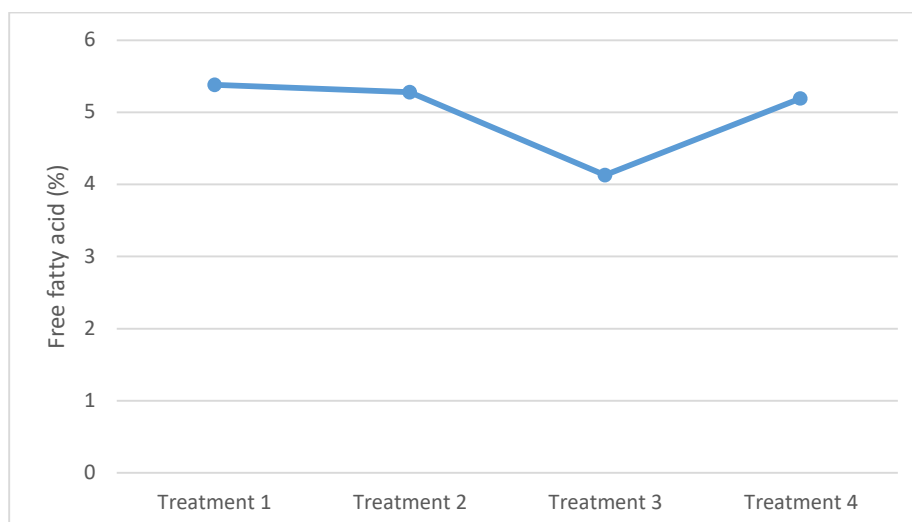
Parameter	Impurity (%)
Treatment 1	0.04
Treatment 2	0.0062
Treatment 3	0.0059
Treatment 4	0.0093



ภาพที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความไม่บริสุทธิ์ (Impurity)

ตารางที่ 3 ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

Parameter	Free Fatty Acid (%)
Treatment 1	5.38
Treatment 2	5.28
Treatment 3	4.13
Treatment 4	5.19



ภาพที่ 3 ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การกำจัดยางเหนียวโดยใช้สารสกัดเชื่อมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ในน้ำมันปาล์มดิบ เป็นเวลา 30 วันของสิ่งทดลอง 4 สิ่งทดลอง คือ Treatment 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณของความไม่บริสุทธิ์ คือ 0.04, 0.0062, 0.0059 และ 0.0093 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า Treatment 3 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ในน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุด 0.0059 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) จากการทดลองการหาปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) ที่ผ่านการเติมสารสกัดเชื่อมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ในน้ำมันปาล์มดิบ เป็นเวลา 30 วันของสิ่งทดลอง 7 สิ่งทดลอง คือ Treatment 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณของฟอสฟอรัส (Phosphorus) คือ 24, 19.93, 14.23 และ 17.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า Treatment 3 มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัส (Phosphorus) ในน้ำมันปาล์มดิบ น้อยที่สุด 14.23 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ในน้ำมันปาล์มดิบที่เติมสารสกัดเชื่อมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ในน้ำมันปาล์มดิบ เป็นเวลา 30 วัน ของสิ่งทดลอง 4 สิ่งทดลอง คือ Treatment 1, 2, 3 และ 4 มีปริมาณของกรดไขมันอิสระ คือ 5.38, 5.28, 4.13 และ 5.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ พบว่า Treatment 3 มีปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) น้อยที่สุด 4.13 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารสกัดเชื่อมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms: EM) ที่ใช้ในการกำจัดยางเหนียวของน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำการสกัดสารเค็มโดยใช้ Acetone และ Methanol ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์จำนวน 3 วิธี คือ การหาปริมาณความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) การหาปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) และจากการทดลองการหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) กรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการจัดการคุณภาพของน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นตัวที่ทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นของ H_2O_2 โดยตรง ถ้าในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระมากแสดงว่า น้ำมันนั้นมีคุณภาพต่ำ ถ้าในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระน้อย น้ำมันปาล์มนั้นก็จะมีคุณภาพสูง [2,16] ปริมาณของสารสกัดเชื่อมที่เหมาะสมกับการกำจัดยางเหนียว คือ Treatment ที่ 3 ที่มีการเติมสารสกัดเชื่อม 100 กรัมร่วมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ซึ่งกรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งในการจัดการคุณภาพของน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นตัวที่ทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นของ H_2O_2 โดยตรง [17] ถ้าในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระมากแสดงว่า น้ำมันนั้นมีคุณภาพต่ำ ถ้าในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระน้อย น้ำมันปาล์มนั้นก็จะมีคุณภาพสูง ซึ่งใน Treatment ที่ 3 มีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) น้อยที่สุดคือ 4.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้สอดคล้องกับวิธีการศึกษาวิธีการกำจัดยางเหนียวและลดไขมันอิสระ [15] โดยปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล คือ คุณภาพน้ำมันโดยเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระ 4-6 เปอร์เซ็นต์ (FFA as palmitic acid) โดยค่ากรดไขมันอิสระควรจะมีค่าต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ การเกิดกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ในน้ำมันปาล์มนั้นเกิดจาก Enzyme ที่ชื่อ Lipase ที่มีอยู่ในผลปาล์ม [4] ปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมัน สิ่งสกปรกอื่นๆ และการเกิดราบนผลปาล์ม [2,15,17] สำหรับปริมาณของความไม่บริสุทธิ์ในน้ำมันปาล์มดิบ (Impurity) คือ การทำให้น้ำมันปาล์มดิบบริสุทธิ์ โดยขจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกไปจนน้ำมันมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด คือ สิ่งเจือปนไม่เกินร้อยละ 0.05 [10] ซึ่งใน Treatment ที่ 3 ปริมาณของความไม่บริสุทธิ์ในน้ำมันปาล์มดิบ (Impurity) น้อยที่สุดคือ 0.0059 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับปริมาณของฟอสฟอรัสสารสกัดเชื่อมสามารถกำจัดยางเหนียวได้ [4] ซึ่งใน Treatment ที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่น้อยที่สุดคือ 14.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในเปลือกลำต้นจะมีน้ำยาง ซึ่งสามารถลดจำนวนแบคทีเรียที่จะทำให้ปริมาณกรดในน้ำตาลมากขึ้น เพราะในเปลือกของเคี่ยมมีสารแทนนินในปริมาณมาก [5] และแทนนินมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และ Effective Microorganisms (EM) สามารถช่วยขจัดสิ่งสกปรกในน้ำมันปาล์มดิบได้ [8,16,19] ซึ่งคุณสมบัติที่ใช้ทางการค้าของน้ำมันปาล์มในประเทศที่ควรมี คือ กรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 5 ความชื้นไม่เกินร้อยละ 0.5 และสิ่งเจือปนไม่เกินร้อยละ 0.05 ซึ่งส่วนประกอบ

สำคัญของยางเหนียวคือสารจำพวกฟอสโฟไลปิด (PLs) [18] ซึ่งสาร PLs จะเป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา เมทาโนไลซิส นอกจากนี้ยังพบ PLs ในกระบวนการแยกออกจากด้วย chloroform/methanol น้ำมันปาล์มจะประกอบด้วยกรดไขมันทั้งชนิดที่เรียกว่า Saturated และ Unsaturated Fatty Acid นอกจากนี้ในน้ำมันปาล์มจะมีพวก (Baturated) Palmitic และ Oleic Acid [2]

สรุปผลการวิจัย

การทดลองการศึกษาปริมาณสารสกัดเคี่ยมที่เหมาะสมร่วมกับ Effective Microorganisms (EM) ที่ใช้ในการกำจัดยางเหนียวของน้ำมันปาล์มดิบ ลงในน้ำมันปาล์มดิบ 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุในขวดพลาสติกโดย จากการศึกษาหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ค่าที่ต่ำที่สุด Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 4.13 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา Treatment 4 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 5.19 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Treatment 2 (เติมสารสกัดเคี่ยม 500 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) มีค่ามากที่สุดคือ 5.28 เปอร์เซ็นต์

การหาปริมาณความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ใน Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัมร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 0.0059 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าที่ต่ำที่สุด รองลงมา คือ Treatment 2 (เติมสารสกัดเคี่ยม 50 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 0.0062 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Treatment 4 (เติมสารสกัดเคี่ยม 150 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 0.093 เปอร์เซ็นต์ มีค่ามากที่สุด

การหาปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus content) ใน Treatment 3 (เติมสารสกัดเคี่ยม 100 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 14.23 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าที่ต่ำที่สุด รองลงมา Treatment 2 (เติมสารสกัดเคี่ยม 50 กรัม ร่วมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ที่ปริมาณ 10 มิลลิลิตร) คือ 17.08 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Treatment 2 มีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 19.93 และ Treatment 1 (ไม่มีการเติมสารสกัดเคี่ยมร่วมกับอีเอ็ม) คือ 24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่สามารถกำจัดยางเหนียวโดยใช้เอนไซม์ ได้ในน้ำมันปาล์มดิบ และทำให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสามารถลดปริมาณความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ในน้ำมันปาล์มดิบได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมทั้งมหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร ซึ่งได้กรุณาทุนโครงการนี้ในปีงบประมาณ 2562 ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณ ดร.จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระ เอกสมทราเมษฐ์ และ คณะ. (2544). **พฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน**. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน ฉบับรวมเล่ม 5 ปี. สำนักประสานงานวิจัยและพัฒนาปาล์มน้ำมันสนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

- [2] Yami Watanabe. (2000). **Conversion of degummed soybean oil to biodiesel fuel with immobilized *Candida antractica* lipase.**Japan: Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. 17 (3-5), 151-155.
- [3] Norazlan, Morad and Abd. Aziz , Mustafa Kamal and Mohd. Zin, Rohani (2006). **Process Design in Degumming and Bleaching of Palm oil.** University Teknologi Malaysia. 45-56.
- [4] Andras koris. (2002). Dry degumming of vegetable oils by membrane filtration. **Hungry: Desalination.** 148 (1), 149-153.
- [5] อาภาบุล เพชรบุลและศุภชัย ล้าเลิศกิตติกุล. (2523). **การลดกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์ม.** [Project] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] M.C.Tom s. (2000). A kinetic study of phospholipid Extraction by Degumming Process in flower Seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 77(12), 1273-1277
- [7] Dr.Lng.Ernst W.Munch. (2007). **Degumming of plant oils for different applications.** 20th ed. France: Cairo.
- [8] ฤกษ์ สักทอง. (2542). **ปาล์มน้ำมัน.** สงขลา: เซาเทิร์นเพลสแอนด์พับลิเคชั่น.
- [9] **เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. (2548). การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่สงขลา.
- [10] สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. (2552). **ไบโอดีเซล.** สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2562, จาก <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th>.
- [11] มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2551). **การปลูกปาล์มน้ำมัน.** สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.trang.ru.ac.th/LO/lo1.html>
- [12] **แทนนิน(tannin).** สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2563, จาก <http://www.siamchemi.com/แทนนิน>.
- [13] ธิภาณุ ธีตรสกลวิไล. (ม.ป.ป.). **ลิกนิน – แทนนิน.** สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2564, จาก <http://www2.diw.go.th/research>.
- [14] ชีววิถีเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. 2551. **อีเอ็ม คืออะไร.** สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.chivavithe.net>
- [15] วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน วัชร ศรีรักษา และคณะ. (2549). **การศึกษาวิธีการกำจัดยางเหนียวและลดกรดไขมันอิสระ.** ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขต 7.
- [16] อรรถนัน วงศ์ศรีและศิริชัย มามีวัฒนะ. (2550). **พันธุ์ปาล์มน้ำมันและการปรับปรุงพันธุ์.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [17] ชานซาลาแห่งการเรียนรู้. (2552). **จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์.** สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.share.psu.ac.th/blog/em2551/6872>.
- [18] Berhad, K. (2005). **Use of the Deterioration Of Bleachability Index (DOBI) to Characterise the Quality of Crude Palm Oil.** Malaysia.
- [19] กานต์สิริ อิมบุตร ธีร ศรีสวัสดิ์ และ นิตยา อัมรัตน์. (2559). **ประสิทธิภาพของสารสกัดจากกิ่งเคี่ยม (*Cotylelobium lanceolatum* Craib.) ในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลเงาะ.** สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2564, จาก <http://www.natres.psu.ac.th>.

การคำนวณและวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ที่สนใจใน SGtech Calculation and Analysis of Carbon Dioxide Absorption of Areas of Interest in SGtech

อานีสา มูเซ¹ ธีรภัทร์ จินาสา² กัญญารัตน์ วรรณพัฒน์³
อีลีหียะ สนิโซ¹ ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล³ อัญชิษฐา ปราสาททรัพย์⁴ และ พิสิษฐ์ มณีโชติ^{4*}

Aneesa Museh¹ Terapat Jinasa² Kanyarat Wannaphat³ Eleeyah Saniso¹ Tanit Ruangrunghaikul³
Unchittha Prasatsap⁴ and Pisit Maneechot^{4*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 95000

²ภาควิชาภาษาอังกฤษ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

³สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

⁴วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Major of Physics, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala 95000

²Department of English, Faculty of Humanities, Naresuan University, Phitsanulok 65000

³Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120

⁴School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

*Corresponding author: Tel 099 6156228 Email: Renewaboy999@gmail.com

Received: 19 August 2022, Revised: 12 April 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

This research aims to analyze the amount of carbon dioxide absorption by trees in a specific area of interest at SGtech. The total area is 55,786 square meters, divided into 3 zones, and Zone B was chosen as the study area due to its denser tree population and vegetation compared to other zones. Within an area of approximately 398 square meters, the research team collected data on tree height, circumference, and carbon dioxide absorption. This data was then used to calculate biomass and carbon dioxide storage. The results of the research showed that Zone B contained 191 plants, comprising 30 different species and representing 39 percent of the total floor area at SGtech. The total carbon dioxide absorption in Zone B was measured at 82,638.27 kg/year, which is equivalent to 226.4 kg/day when converted. When compared to the amount of carbon dioxide emitted by all 37 SGtech personnel, it was found that Zone B was capable of absorbing the emitted carbon dioxide. The total and remaining carbon dioxide absorption in Zone B were calculated to be 102.08 kg/day, and it was concluded that Zone B could accommodate an additional 30 people on top of the SGtech personnel.

Keywords: Global Warming, Carbon Dioxide Absorption, Carbon Dioxide, Allometric Biomass Formula, School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University (SGtech)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้พื้นที่ที่สนใจศึกษาใน SGtech ซึ่ง SGtech มีพื้นที่ทั้งหมด 55,786 ตารางเมตร แบ่งออกเป็น 3 โซน โดยทีมผู้วิจัยเลือกพื้นที่โซน B เป็นพื้นที่ศึกษา โดยพื้นที่โซน B นั้นอยู่บริเวณจุดกลางของพื้นที่ทั้งหมดและมีจำนวนประชากรต้นไม้หนาแน่นรวมถึงมีพันธุ์ไม้มากกว่าบริเวณโซนอื่น โดยมีพื้นที่ประมาณ 398 ตารางเมตร มีการเก็บข้อมูลจากการวัดความสูง เส้นรอบวง หลังจากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณหาผลผลิตมวลชีวภาพ ปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผลการวิจัยพบว่า มีพันธุ์ไม้ทั้งหมดในพื้นที่โซน B 191 ต้น 30 สายพันธุ์ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนจากพื้นที่ทั้งหมดใน SGtech เท่ากับร้อยละ 39 มีปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 82,638.27 กก./ปี หรือ 226.4 กก./วัน และได้นำมาคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากบุคลากรทั้ง 37 คน ใน SGtech ซึ่งได้ผลสรุปว่า โซน B นั้นสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากบุคลากรทั้งหมดใน SGtech ได้ทั้งหมด และเหลือปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 102.08 กก./วัน ซึ่งยังสามารถรองรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมนุษย์นอกเหนือจากบุคลากรใน SGtech ได้อีก 30 คน

คำสำคัญ: ภาวะโลกร้อน, การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, สูตรคำนวณมวลชีวภาพ แอลโลเมตริก, วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร (SGtech)

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อน (Global warming) ยังคงมีผลกระทบต่อมนุษย์ โดยสาเหตุมาจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases: GHGs) ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) รวมอยู่ด้วยและถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อถูกปล่อยออกมาเรื่อยๆก็ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้นและก่อให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติต่างๆ [1] จากการคาดการณ์การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ก๊าซชนิดนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 440-660 ppm ในปี พ.ศ. 2593 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงวัฏจักรคาร์บอน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม้และส่งผลต่อระบบนิเวศ [2]

อย่างไรก็ตาม ป่าไม้ก็ยังเป็นระบบนิเวศและแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญที่ช่วยลดการเพิ่มขึ้นของก๊าซชนิดนี้ได้ เพราะป่าไม้สามารถกักเก็บก๊าซชนิดนี้จากชั้นบรรยากาศ (Carbon sequestration) ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) โดยที่พืชสีเขียวจะนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานชีวเคมีเพื่อสร้างเนื้อเยื่อและนำมาเก็บไว้รูปของมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนของดินและเหนือพื้นดิน นอกจากนี้ ป่าไม้ที่มีต้นไม้อายุมากจะยิ่งช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากและช่วยทำให้ภาวะโลกร้อนลดลง [3] ยิ่งไปกว่านั้น การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และมวลชีวภาพนั้นมีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถใช้สูตรคำนวณหาผลผลิตมวลชีวภาพแอลโลเมตริก (Allometric) ในการประมาณหาชีวภาพส่วนต่างๆของต้นไม้เพื่อหาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละพันธุ์ไม้ [4]

ดังนั้น ทีมผู้วิจัยจึงได้นำพื้นที่ของวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร (School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University : SGtech) มาทำการทดลองในครั้งนี้ เพราะที่แห่งนี้มีพื้นที่ปลูกต้นไม้ทั้งหมด 460 ต้น 45 สายพันธุ์และมีหลายโซน โดยแบ่งออกเป็นสามโซน ดังนี้ โซน A โซน B และ โซน C โดยทีมผู้วิจัยจึงเลือกนำพื้นที่โซน B มาเป็นพื้นที่ในการทดลองหาปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ใน SGtech เปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ทั้งหมด

วิธีการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงปฏิบัติการแบบมีการสำรวจพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ต่อในเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในพื้นที่ SGtech บริเวณพื้นที่โซน B โดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบุคลากรใน SGtech

1. ขอบเขตพื้นที่การศึกษาของข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ SGtech บริเวณโซน B ซึ่งมีเนื้อที่อยู่ประมาณ 398 ตารางเมตร โดยจะเก็บข้อมูลต้นไม้ที่เป็นพันธุ์ไม้ยืนต้นที่มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไป และ 0.05 เมตรขึ้นไป ตามลำดับ
2. วิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรภายใน SGtech ทั้งหมด 37 คน ในระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน

2. วิธีเก็บข้อมูล

1. วัดความสูงของต้นไม้และเก็บข้อมูล
 - 1.1. การวัดระยะห่างจากจุดที่ผู้มองมูมยื่นถึงโคนต้นไม้ วัดระยะห่างได้โดยใช้เทปวัดระยะ และจำเป็นต้องวัดระยะห่างทุกครั้งในการมอมมต้นไม้และทุกต้นในการมอมมต้นไม้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ออกไปแทนค่าในสมการเพื่อหาความสูงของต้นไม้
 - 1.2. สำหรับการวัดมุมเพื่อหาความสูงของต้นไม้จะต้องใช้แอปพลิเคชันคลินอมิเตอร์ (Clinometer application) มอมมยอดของต้นไม้ผ่านขอบโทรศัพท์และอยู่ในระดับสายตาของผู้วัดพอดี แอปพลิเคชันจะปรากฏมุมที่ได้จากการมอมมยอดต้นไม้บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ ถ้าทราบมุมและระยะทางที่ห่างจากโคนต้นไม้จะสามารถคำนวณความสูงของวัตถุด้วยสมการได้
2. การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (The diameter at breast height: DBH) เป็นการวัดเส้นรอบวงของต้นไม้จุดที่มีความสูง 1.30 เมตรจากโคนต้นไม้ ซึ่งวิธีการวัดต้นไม้ตั้งแต่โคนต้นไม้ที่มีลักษณะแตกต่างกันมีหลักเกณฑ์ในการวัดดังนี้
 - 2.1 ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในที่ราบให้วัดเส้นรอบวงที่ระดับความสูงจากพื้น 1.30 เมตร
 - 2.2 ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่บนที่ลาดเทให้วัดเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากทางด้านบนพื้นที่ลาดเท
 - 2.3 ต้นไม้เอียงหรือเอนให้วัดเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตรตามมุมเอียงของต้นไม้
 - 2.4 ต้นไม้ที่มีปุ่มที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดินวัดเส้นรอบวงที่เหนือจุดที่มีปุ่มและพูนขึ้นไป 5 เซนติเมตร
 - 2.5 ต้นไม้ที่มีการเจริญเติบโตแตกเป็นสองกิ่ง โดยแตกกิ่งที่ระดับต่ำกว่า 1.30 เมตร ให้วัดเส้นรอบวงที่ระดับสูงสุดที่แตกกิ่งไปอีก 1 เมตร
 - 2.6 ถ้าต้นไม้มีโคนโทหรือลากสูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตรให้วัดเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเหนือจุดรากพอนขึ้นไปอีก 0.5 เมตร

3. การวิเคราะห์ข้อมูลของต้นไม้

ต้นไม้แต่ละพันธุ์นั้นมีปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสูง และเส้นรอบวง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ทีมผู้วิจัยจึงใช้รูปแบบสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องวิเคราะห์มวลชีวภาพของต้นไม้ โดยนำข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ในพื้นที่โซน B ทั้งหมด มาหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ผ่านการใช้สมการแอลโลเมตริกและนำมาประเมินผลมวลชีวภาพ โดยจำแนกตามกลุ่มชนิดพันธุ์ไม้ในพื้นที่ SGtech โดยผลสรุปจัดให้เป็นกลุ่มพันธุ์ไม้ชนิดทั่วไป สมการแอลโลเมตริกประเมินมวลชีวภาพของไม้กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป [5]

$$W_S = 0.0396 (D2H)^{0.933} \quad (1)$$

$$W_B = 0.00349 (D2H)^{1.030} \quad (2)$$

$$W_L = (28 / (W_S + W_B + 0.025))^{-1} \quad (3)$$

$$W_T = W_S + W_B + W_L \quad (4)$$

โดยที่ W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้นเฉพาะเหนือดิน (กก.), W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กก.), W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กก.) และ W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.)

1. วิเคราะห์มวลชีวภาพรวมของต้นไม้ วิเคราะห์จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ดังนี้

$$W = W_T + (W_T B) \quad (5)$$

โดยที่ W = มวลชีวภาพรวม (กก./ต้น), W_T = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.), B = อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดิน และมวลชีวภาพเหนือพื้นดินซึ่ง [6] ได้กำหนด อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดิน และมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (root/ shoot ratio) ของพรรณไม้ที่ปลูกในเขตเมือง เท่ากับ 0.28 และพันธุ์ไม้ วงศ์ปาล์ม เท่ากับ 0.41

2. การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เหนือพื้นดิน ประเมินการกักเก็บก๊าซคาร์บอนเหนือพื้นดิน และใต้ดินของต้นไม้ทั้งหมดในโซน B โดยใช้ค่า สัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ในมวลชีวภาพตาม [7] เท่ากับ 0.47 ดังนี้

$$\text{การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (กก.)} = \text{มวลชีวภาพของต้นไม้ (กก.)} \times \text{สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเฉลี่ย (0.47)} \quad (6)$$

3. การวิเคราะห์การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ วิเคราะห์การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละชนิด ข้อมูลความเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ [6] ดังนี้

$$\text{การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (กก./ต้น/ปี)} = 3.67 \times \text{การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (กก.)} \quad (7)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในโซน B มีต้นไม้ทั้งหมด มี 191 ต้น 30 สายพันธุ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเท่ากับ 82,638.27 กก./ปี จากนั้นนำปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดมาคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ได้อีกด้วย

1. วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิเคราะห์โดยนำข้อมูลต้นไม้บริเวณโซน B จำแนกตามชื่อกลุ่มพันธุ์ และจำนวนต้น ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลต้นไม้ในโซน B ทั้งหมด ในบริเวณ SGtech

ชื่อ/กลุ่มพันธุ์ไม้ทั่วไป	จำนวนต้น	ปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (กก.)
ต้นร่มจีน	1	469.81
ต้นนนทรี	3	7,359.85
ต้นตีนเป็ด	28	9,280.93

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อ/กลุ่มพันธุ์ไม้ทั่วไป	จำนวนต้น	ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (กก.)
ต้นเสลา	19	5,693.19
ต้นแคนา	17	3,515.59
ต้นไช้เนา	6	13,839.08
ต้นจิก	26	4,003.68
ต้นเม่า	4	6,776.92
ต้นตะแบก	13	232.88
ต้นขี้เหล็ก	2	1,107.88
ต้นกระโดน	1	3,508.75
ต้นสะเดา	3	598.32
ต้นมะฮอกกานี	9	2,077.25
ต้นโพธิ์เลียบ	2	3,804.48
ต้นประดู่	7	197.09
ต้นหมัน	1	3,829.02
ต้นหว้า	5	3,245.87
ต้นมะค่าโมง	2	1,057.97
ต้นทุกระจง	7	5,634.48
ต้นมะเดื่อ	1	1,049.76
ต้นกระพี้	5	1,541.72
ต้นพะยูง	3	565.06
ต้นระฆังเงินระฆังทอง	1	89.4
ต้นทองกวาว	1	281.24
ต้นพะยอม	1	1,283.7
ต้นปีบ	1	191.9
ต้นหมากเล็ก	16	167.09
ต้นปาล์ม	3	45.97
ต้นสัก	1	737.17
ต้นลีลาวดี	2	452.27
รวม	191	82,638.27

2. การคำนวณปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่โซน B และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech

การคำนวณปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่โซน B และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech โดยพื้นที่โซน B มีปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเท่ากับ 82,638.27 กก./ปี แต่ทีมผู้วิจัยยังต้องการทราบว่าเมื่อพื้นที่โซน B ดูดซับปริมาณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบุคลากร SGtech ทั้งหมด แล้วจะเหลือการปริมาณการดูดซับเท่าไร จึงนำมาสู่สมการที่ว่า ถ้าบุคลากรใน SGtech มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา พื้นที่โซน B จะดูดซับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพียงพอหรือไม่

1. การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รายวัน ของต้นไม้ในพื้นที่บริเวณโซน B โดยนำค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในพื้นที่ทั้งหมดนำมาหารกับ 365 วัน

$$\text{การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์} = \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา (กก.) / ปี}}{365 \text{ วัน / ปี}} \quad (8)$$

$$\text{การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์} = \frac{82,638.27 \text{ (กก.) / ปี}}{365 \text{ วัน / ปี}}$$

$$\text{การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์} = 226.4 \text{ กก./วัน} \quad (9)$$

2. การวิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมนุษย์ 1 คน โดยเฉลี่ยแล้วมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 3.69 ตันต่อปี [8] เมื่อต้องการทราบถึงมนุษย์ 1 คน ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ 1 ชั่วโมง แสดงวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

$$\text{มนุษย์ 1 คนปล่อยก๊าซ CO}_2 \text{ / ชม.} = \frac{\text{การปล่อยก๊าซคาร์บอนเฉลี่ยของมนุษย์ (กก.) / ปี}}{365 \text{ วัน / ปี} \times 24 \text{ ชม. / วัน}} \quad (10)$$

$$\text{มนุษย์ 1 คนปล่อยก๊าซ CO}_2 \text{ / ชม.} = \frac{3,690 \text{ (กก.) / ปี}}{365 \text{ วัน / ปี} \times 24 \text{ ชม. / วัน}}$$

$$\text{มนุษย์ 1 คนปล่อยก๊าซ CO}_2 \text{ / ชม.} = 0.42 \text{ กก./ชม.} \quad (11)$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ในเวลาการทำงาน บุคลากรใน SGtech ทำงานโดยเฉลี่ยวันละ 8 ชั่วโมง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละบุคลากรคนนั้นสามารถแสดงวิธีการวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech} = \text{จำนวนชั่วโมงการทำงาน} \times \text{สมการที่ 11} \quad (12)$$

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech} = 8 \text{ (ชม./วัน)} \times 0.42 \text{ (กก./ชม.)}$$

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech} = 3.36 \text{ กก./คน/วัน} \quad (13)$$

4. การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรทั้งหมดใน SGtech ในระยะเวลา 1 วัน มีบุคลากรที่ทำงานใน SGtech ทั้งหมด 37 คน โดยสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ทั้งหมด} = \text{สมการที่ 13} \times 37 \text{ (คน)} \quad (14)$$

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ทั้งหมด} = 3.36 \text{ (กก./คน/วัน)} \times 37 \text{ (คน)}$$

$$\text{การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของบุคลากรใน SGtech ทั้งหมด} = 124.32 \text{ กก./วัน} \quad (15)$$

ดังนั้น พื้นที่โซน B ทั้งหมดจะเหลือปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบุคลากรใน SGtech สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือ} = \text{สมการที่ 9} - \text{สมการที่ 15}$$

$$\text{ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือ} = 226.4 - 124.32$$

ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือ = 102.08 กก./วัน

จากผลการศึกษาพื้นที่โซน B ทั้งหมดนั้น พบว่าสามารถรองรับบุคลากรในพื้นที่ SGtech ได้เพียงพอและยังสามารถรองรับมนุษย์จากภายนอกได้อีกจำนวน 30 คน เนื่องจากบุคลากรในพื้นที่ SGtech นั้นปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเพียง 124.32 กก. ซึ่งต้นไม้ในพื้นที่โซน B สามารถรองรับการปล่อยก๊าซชนิดนี้ได้ถึง 226.4 กก. หมายความว่า พื้นที่โซน B นั้นสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาได้หมดและเหลือปริมาณการดูดซับอีก 102.08 กก. ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากความหนาแน่นของจำนวนต้นไม้ในพื้นที่โซน B จะพบว่ามีความหนาแน่นค่อนข้างมาก ดังนั้น พื้นที่ดังกล่าวเหมาะสำหรับจะใช้เป็นพื้นที่ทำกิจกรรมและบริการต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจพื้นที่ SGtech พบว่ามีต้นไม้ทั้งหมด 460 ต้น 45 สายพันธุ์แบ่งออกเป็นสามโซน โดยพื้นที่ในการทำวิจัยครั้งนี้คือพื้นที่โซน B โดยมีต้นไม้ทั้งหมด 191 ต้น 30 สายพันธุ์ ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด 82,638.27 กก. ต่อปี เฉลี่ยแล้วในเวลา 1 วัน ต้นไม้ในพื้นที่โซน B สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วันละ 226.4 กก. ต่อวัน จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าพื้นที่โซน B สามารถรองรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบุคลากรใน SGtech 37 คนได้ทั้งหมดและยังสามารถรองรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของมนุษย์นอกระบบบุคลากรใน SGtech ได้วันละ 30 คน ซึ่งแสดงว่าใน 1 วันพื้นที่บริเวณโซน B ของ SGtech สามารถรองรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 67 คน ดังนั้นจึงถือว่า SGtech แห่งนี้เป็นพื้นที่ของสีเขียวและเป็นต้นแบบของ Smart environment ได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะได้รับการอนุเคราะห์จากวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร (SGtech) ที่ช่วยสนับสนุนและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอขอบคุณคุณสุนาห์ แซ่ย่าง ที่ช่วยให้คำแนะนำในงานวิจัย รวมถึง ดร.ปวีณา ดุลยเสรี และ ดร.ดาริกา จาเอาะ ในการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] นเรศ เชื้อสุวรรณ, จรียา ยิ้มรัตนยว, สิริภรณ์ โพธิวิชานนท์, ธัญชัย วรรณสุข. (2557). **สภาวะที่เหมาะสมในการลด ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัส ออกไซด์) ควบคู่กับการพัฒนาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน**. วิทยานิพนธ์แพทยศาสตรบัณฑิต นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [2] วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร, สาทิศ ดิลกสัมพันธ์. (2553). การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น. **วารสารวนศาสตร์**. 29 (3), 36-44.
- [3] มุลนิธิสืบนาคะเสถียร. (2557). **“ระบบนิเวศป่าไม้” ความหลากหลายทางชีวภาพ สู่แนวทางการจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติในประเทศไทย**. นนทบุรี
- [4] ชมพูนุช แสนภพ. (2554). **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ต้นในสวนสนประดิพัทธ์ กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และ สิ่งแวดล้อม ภาควิชาโครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- [5] Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. (1965). **Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand**. II. Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* 4: 49-80.
- [6] Faculty of Forestry. (2010). **Study of the Characteristics of Plants Greenhouse Gas Adsorption and Suitable Area Size for CDM. Final Report**. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Bangkok. (In Thai)
- [7] IPCC. (2006). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. International Panel on Climate Change. IGES, Hayama, Japan.
- [8] สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. **การปล่อยก๊าซ CO₂ ต่อหัวประชากร**. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2565, จาก <http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1&fbclid=IwAR39e3EZmjp3FHLu6NrdwRMvzunUFLZOEh4KL3FvgFqBELniMnKmei7ZLq0>

วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**



J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ด.ดลองหก อ.ดลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : treca.2012@gmail.com โทร : 02 549 3497