บทความวิจัย

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร

ณัฐวรรณ สืบนันตา และ รจพรรณ นิรัญศิลป์*
วิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1805 6559 อีเมล: Rotjapun@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.009
รับเมื่อ 30 สิงหาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2564 ตอบรับเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 29 กันยายน 2566
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นปัญหาที่ควรได้รับการกำจัดให้ถูกวิธี เนื่องจากการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม โดยเทคโนโลยีพลังงานทดแทนด้านก๊าซชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นพลังงาน ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Biomethane Potential; BMP Test) ในชุดทดสอบขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตรการทำงาน 400 มิลลิลิตร โดยการหมักแยก 3 ประเภทได้แก่ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง จากนั้นนำวัตถุดิบตั้งต้นหมักร่วมกับกากตะกอนมูลสุกรในอัตราส่วน 70 : 30 กรัมของแข็งระเหยต่อลิตร และเปรียบเทียบการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบ Pre-acidification ระยะเวลาที่ต่างกันได้แก่ 48 (Pre-A48), 72 (Pre-A72) และ 96 (Pre-A96) ชั่วโมง การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 35 ± 2 องศาเซลเซียส (สภาวะเมโซฟิลิก) ระยะเวลาการหมัก 50 วัน และนำศักยภาพก๊าซชีวภาพที่ได้มาประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้า (จากการคิดค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต่ำสุด 0.71 และสูงสุดที่ 1.40 กิโลวัตต์ชั่วโมง) จากการศึกษาพบว่า การใช้วัตถุดิบประเภทเปลือกหมักรวมกับซัง เป็นวัตถุดิบที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพและสัดส่วนก๊าซมีเทนสูงสุด โดยมีระยะเวลาการปรับสภาพที่ 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 129, 159 และ 130 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ และปริมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 56.52 57.04 และ 56.09 ตามลำดับ เมื่อนำไปประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพบว่า เปลือกหมักรวมกับซังที่ Pre-A72 ปริมาณ 1 ตันผลิตก๊าซชีวภาพได้ 454.54 ลูกบาศก์เมตร โดยจะสามารถผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อยู่ที่ 322.72 –451.81 กิโลวัตต์ชั่วโมงส่งผลให้การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาผลิตก๊าซชีวภาพสามารถเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างถูกวิธี และสามารถเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นพลังงานได้

คำสำคัญ: ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ วัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กากตะกอนมูลสุกร ระบบหมักไร้อากาศ

การอ้างอิงบทความ: ณัฐวรรณ สืบนันตา และ รจพรรณ นิรัญศิลป์, "ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 4, หน้า 1–14, เลขที่บทความ 234-155364, ต.ค.–ธ.ค. 2566.

Research Article

Biogas Production Potential from Maize Residues with Sludge in the Wastewater Treatment System of Pig Farm

Nuttawan Suebnanta and Rotjapun Nirunsin*
Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1805 6559, E–mail: Rotjapun@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.09.009
Received 30 August 2021; Revised 9 November 2021; Accepted 30 November 2021; Published online: 29 September 2023
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Currently, agricultural waste disposal is a problem that must be addressed properly. This is due to the fact that agricultural waste disposal has a direct impact on the environment. Biogas renewable energy technology is a method of converting waste into energy. The primary goals of this research were to investigate the potential of biogas production from maize residues combined with pig manure sludge of a piggery wastewater treatment system. The biomethane potential (BMP Test) was performed using serum bottles (1,000 milliliter bottles) with a working volume of 400 milliliters in the reactors. The experiments were carried out with three different maize residues, namely husks, cobs, and total fermentation of husk with cob, as substrates with pig manure sludge. Furthermore, the substrate-to-inoculum (S/I) ratio was 70:30 grams volatile solid per liters, and the pretreatment of maize residues by the pre-acidification process was compared at 48 (Pre-A48), 72 (Pre-A72), and 96 (Pre-A96) hours to investigate the optimal substrates for biogas production. The fermentation period was 50 days. The experiments were carried out in bath mode at a controlled temperature of 35 ± 2 degrees Celsius (mesophilic condition). The acquired potential was used to calculate the amount of electricity generated from a biogas charge of 1 cubic meter per electricity at a minimum of 0.71 and a maximum of 1.4 kilowatt hour. The study discovered that maize residues mixed with husks and cobs were ideal raw materials to provide the most biogas and the highest proportion of methane gas at Pre-A48, Pre-A72, and Pre-A96 hours, respectively. The average daily biogas volume was 129, 159, and 130 milliliters per day, and the methane gas content percentages were 56.52, 57.04, and 56.09, respectively. When the acquired potential was used to calculate the amount of electricity generated, it was discovered that 1 ton of total fermentation husk with cob produced 454.54 cubic meter of biogas, which could generate 322.72–451.81 kilowatt hour of electricity. This research can be used as a guideline to properly manage the problem of agricultural waste, thus enabling the conversion agricultural waste into energy.

Keywords: Biogas Potential, Maize Residue, Pig Manure Sludge, Anaerobic Digestion

Please cite this article as: N. Suebnanta and R. Nirunsin, "Biogas production potential from maize residues with sludge in the wastewater treatment system of pig farm," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 4, pp. 1–14, ID. 234-155364, Oct.–Dec. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

จากสถานการณ์การใช้พลังงานและความต้องการใช้พลังงานในรูปแบบของพลังงานฟอสซิลที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตแหล่งพลังงานฟอสซิลอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้มีพลังงานไว้ใช้เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดมาใช้เป็นพลังงานทดแทน [1] พลังงานก๊าซชีวภาพเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ แบคทีเรียจะเจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสม และย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ โดยให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 50–70 [2] ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติในการติดไฟได้ดีเหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารภาคครัวเรือน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม โดยการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นต้องศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (Bio Methane Potential; BMP) ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมัก เพื่อพิจารณาถึงความคุ้มทุนในการลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะพิจารณาในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดี หรือกรัมของของแข็งระเหย (Volatile Solids; VS) ของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไป [3], [4]

การเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากจะส่งผลถึงปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพได้ [5] วัตถุดิบที่นิยมเลือกใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารผักผลไม้ มูลสัตว์ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นต้น โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นหนึ่งในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และมีการเพาะปลูกทั่วประเทศ ซึ่งมีเศษวัสดุเหลือทิ้ง (ลำต้น เปลือก และซัง) จำนวนมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมเผาทำลายเพื่อความสะดวกและง่ายในการกำจัดทิ้ง [6], [7] โครงสร้างของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นสารประกอบจำพวกลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ก่อนนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องทำการปรับสภาพเบื้องต้นก่อน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกและเพิ่มประสิทธิภาพให้จุลินทรีย์สามารถเข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ดีขึ้น [8], [9] โดยกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับสภาพด้วยวิธีทางกายภาพ การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี และการปรับสภาพวิธีทางชีวภาพพบว่า วิธีที่นิยม และมีประสิทธิภาพมาก คือวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ แต่เนื่องจากการปรับสภาพทางเคมีเป็นการใช้กรดหรือด่างซึ่งมีหลายปัจจัยในการปรับสภาพ เช่น อุณหภูมิและความเข้มข้น [10], [11] ส่งผลให้กระบวนการปรับสภาพทางเคมีมีต้นทุนสูง ทั้งนี้วิธีการปรับสภาพทางชีวภาพเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องการเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อย ไม่ใช้สารเคมี ทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการดังกล่างเรียกว่า พืชหมัก (Silage) ซึ่งมักถูกนิยามว่า Pre-acidification [12]–[14] โดยในกระบวนการดังกล่าวจะมีการผลิตกรดแลคติคภายใต้สภาพไร้ออกซิเจนทำให้ค่า pH ในพืชหมักลดลง ส่งผลทำให้สามารถเร่งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพได้เร็วขึ้น เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่ต้องการมีจำนวนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chihe [11] ที่ได้ทำการศึกษาผลของการปรับสภาพข้าวและสาหร่ายด้วยจุลินทรีย์ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยกระบวนการ Pre-acidification อยู่ในช่วง 12, 24, 48, 72 และ 144 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ที่ระยะเวลา 72 และ 144 ชั่วโมง ให้ผลผลิตก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกัน เฉลี่ยเท่ากับ 183.7 ± 1.4 และ 223.1 ± 8.8 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหย และงานวิจัยของ Saipa [14] ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในอุตสาหกรรมแปรรูปข้าวโพดหวาน และศึกษาระยะเวลาการกวนผสมและหมุนเวียนตะกอนที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดหวานด้วยกระบวนการหมักแบบแห้ง จากการศึกษาพบว่า ที่อัตรากวนผสมและหมุนเวียนตะกอนทุกๆ 6 และ 12 ชั่วโมง มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันเฉลี่ยเท่ากับ 283.34 และ 240.63 ลิตรต่อวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของระบบเท่ากับ 9,060.86 และ 7,688.11 ลิตร สัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 58.40 และ 59.60 และ

ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 0.688 ลิตรของมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย และ 0.564 ลิตรของมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย ผลงานวิจัยนี้สามารถกำจัดที่มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปริมาณมากได้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และปัญหาข้างต้น ทั้งสถานการณ์พลังงาน ปริมาณและการจัดการกับเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นจากก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรได้นำไปใช้ต่อไป และได้เลือกใช้กระบวนการปรับสภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรใช้กระบวนการปรับสภาพด้วยทางชีวภาพ (Biological Pre-treatment) แบบ Pre-acidification

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและหัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย คือ เศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize Residues) จากแปลงเกษตรในพื้นที่อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งทำการหมักแยกแต่ละประเภท ได้แก่ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง โดยนำวัตถุดิบทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวมาทำการปรับสภาพเชิงกลด้วยเครื่องสับ บดย่อยเพื่อลดขนาดให้ได้ขนาดน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ให้มีพื้นที่สำหรับกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดีขึ้น จากนั้นก่อนการนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเชิงกลไปผลิตก๊าซชีวภาพ ได้ทำการศึกษาระยะเวลาการปรับสภาพทางชีวภาพ (Pre-acidification หรือ Hydrolysis ระยะเวลาที่ศึกษาคือ 48 (Pre-A48), 72 (Pre-A72) และ 96 (Pre-A96) ชั่วโมง โดยวิธีของกระบวนการปรับสภาพแบบ Pre-acidification คือ การนำวัตถุดิบไปหมักในสภาวะเมโซฟิลิกเพื่อให้วัตถุดิบเกิดกระบวนการหมักกรดก่อน เพื่อเปลี่ยนสารอาหารตั้งต้นจำพวก น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงและมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีจากนั้นนำวัตถุดิบที่ผ่านการปรับสภาพเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้งาน

หัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัย คือ กากตะกอนมูลสุกรจากระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร จากคณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยทำการเตรียมด้วยการนำกากตะกอนมูลสุกรมากำจัดเศษหินดิน และทราย โดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 เมช และทำการเตรียมหัวเชื้อจากกากตะกอนมูลสุกรให้พร้อมใช้งาน (Activated Sludge) โดยการหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน [12], [13] เพื่อให้หัวเชื้อจุลินทรีย์เกิดกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้สิ้นสุดกระบวนการ เพื่อให้หัวเชื้อเข้าสู่สภาวะคงที่ไม่ส่งผลต่อก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบ และเพื่อให้หัวเชื้อพร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน และทำการตรวจวัดพารามิเตอร์เบื้องต้นของวัตถุดิบและหัวเชื้อกากตะกอนมูลสุกร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของวัตถุดิบ [15]

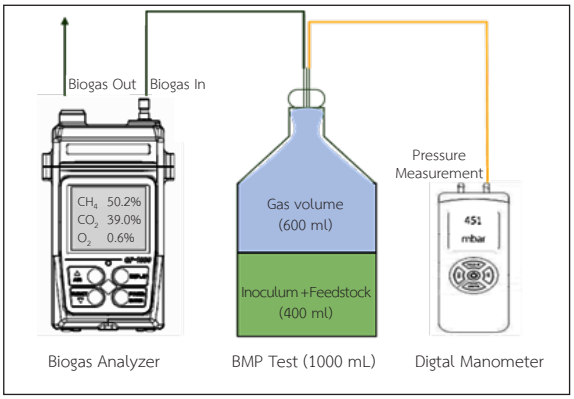
พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณความชื้น (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D7582
สารระเหย (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D7582
คาร์บอนคงตัว (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D7582
ขี้เถ้า (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D7582
ค่าความร้อน (kcal/kg)	วัตถุดิบ	Calculate
คาร์บอน (C) (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D5373
โฮโดรเจน (H) (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D5373
ไนโตรเจน (N) (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D5373
ซัลเฟอร์ (S) (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D5373
ออกซิเจน (O) (%wt.)	วัตถุดิบ	ASTM D5373
ปริมาณของแข็งรวม (Total Solid; TS) (mg/L)	หัวเชื้อและวัตถุดิบ	APHA 2012 (2540 B.)
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid; VS) (mg/L)	หัวเชื้อและวัตถุดิบ	APHA 2012 (2540 B.)
VS/TS Ratio	หัวเชื้อและวัตถุดิบ	Calculate

จากตารางที่ 1 เป็นวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงปริมาณของเศษวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหลือทิ้ง ได้แก่ ความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matters) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) เถ้า (Ash) องค์ประกอบธาตุของแต่ละชนิด (Carbon; C), (Hydrogen; H), (Nitrogen; N), (Sulfur; S), (Oxygen; O) และค่าความร้อน (Net Heating Value) ตามวิธีมาตรฐานของ Standard Method APHA และ ASTM 2017 [15]

2.2 การผลิตก๊าซชีวภาพของเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วิธี Biomethane Potential; BMP Test เป็นการหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของสารอินทรีย์ด้วยระบบแบบไร้อากาศในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ ทำได้โดยนำวัตถุดิบอินทรีย์ผสมกับหัวเชื้อลงในชุดทดสอบแล้วไล่ก๊าซออกซิเจนออกจนหมด จากนั้นปิดขวดให้สนิท และทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนกว่าระบบจะไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น [16] โดยงานวิจัยนี้กำหนดสัดส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อหัวเชื้อกากตะกอนให้มีค่าเท่ากับ 70 : 30 กรัมของแข็งระเหยต่อลิตร และตั้งชุดการทดลองไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของหัวเชื้อ [4] จากนั้นทำการวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วยความดันในระบบด้วยเครื่อง Digital Manometer และวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ Gas Analyzer Portable ยี่ห้อ GEOTECH รุ่น BIOGAS 5000 ดังรูปที่ 1

สำหรับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand; COD) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid; VFA) สภาพด่าง (Alkalinity; ALK) ของแข็งรวม (Total Solid; TS) และของแข็งระเหย (Volatile Solid; VS) เป็นต้น ตามวิธีมาตรฐานของ Standard Method APHA โดยนำตัวอย่างหลังสิ้นสุดกระบวนการไปทำการวิเคราะห์หาค่า



รูปที่ 1 ชุดทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ BMP

พารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่กล่าวไปข้างต้น

2.3 การประเมินอัตราการทดแทนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การประเมินความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากนั้นประเมินอัตราการทดแทนการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นโดยคำนวณจากค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต่ำสุด 0.71 และสูงสุดที่ 1.40 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งใช้ค่าไฟฟ้าจากกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2564 ในการพิจารณา หลักการกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพโดยการเผาไหม้โดยตรง เป็นการนำวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้มาหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแล้วนำความร้อนนั้นไปผลิตไอน้ำเพื่อปั่นไฟแล้วได้ไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้งานต่อไป นำปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ไปคำนวณอัตราการทดแทนพลังงานไฟฟ้า [17] ดังสมการที่ (1)

$$\textit{อัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้า (kw-h/ton)} = \frac{\textit{Biomethane potential } (m^3/\textit{ton } VS_{added}) \times \textit{กระแสไฟฟ้า (kw-h)}}{\textit{อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ } (m^3)} \quad (1)$$

โดยที่ อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพที่ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต่ำสุด 0.71 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ

ตารางที่ 2 ผลของคุณลักษณะเบื้องต้นของวัตถุดิบและหัวเชื้อ

วัตถุดิบ /พารามิเตอร์	หัวเชื้อ	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์		
		เปลือก	ซัง	เปลือก + ซัง
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพเบื้องต้น				
ปริมาณความชื้น (%wt.)	N/A	11.02 ± 0.02	9.24 ± 0.01	10.13 ± 0.02
สารระเหย (%wt)	N/A	73.72 ± 0.23	73.16 ± 0.46	73.44 ± 0.11
คาร์บอนคงตัว (%wt.)	N/A	13.90 ± 0.30	16.04 ± 0.42	15.77 ± 0.17
ขี้เถ้า (%wt.)	N/A	1.36 ± 0.06	1.57 ± 0.06	1.48 ± 0.06
ค่าความร้อน (kcal/kg)	N/A	3,244 ± 22.934	3,356 ± 17.643	3,366 ± 12.303
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี				
คาร์บอน (%wt.)	N/A	41.850 ± 0.184	43.163 ± 0.194	42.827 ± 0.016
ไฮโดรเจน (%wt.)	N/A	6.053 ± 0.081	6.033 ± 0.037	6.044 ± 0.040
ไนโตรเจน (%wt.)	N/A	0.218 ± 0.007	0.523 ± 0.018	0.340 ± 0.007
ซัลเฟอร์ (%wt.)	N/A	<0.01	<0.01	<0.01
ออกซิเจน (%wt.)	N/A	45.566 ± 0.204	44.620 ± 0.354	43.654 ± 0.085
อื่นๆ				
ปริมาณของแข็งรวม (Total Solid; TS) (mg/L)	132113 ± 0.5	84,922 ± 0.5	104,427 ± 0.5	93,399 ± 0.5
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid; VS) (mg/L)	108,934 ± 0.5	75,002 ± 0.5	97,006 ± 0.5	83,469 ± 0.5
VS/TS Ratio	0.83	0.88	0.93	0.89

สูงสุดที่ 1.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง Biomethane Potential คือ ค่าศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย BMP Test หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตันของแข็งระเหย

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบ

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของวัตถุดิบและหัวเชื้อกากตะกอนที่ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากตารางที่ 2 พบว่า ซังมีปริมาณ TS และปริมาณ VS สูงที่สุดเท่ากับ 104,427 ± 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 97,006 ± 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของซังมีลักษณะแห้งและยุ่ยง่ายกว่าเปลือกจึงทำให้ซังมีปริมาณของแข็งที่ระเหยได้สูงกว่าเปลือก ทั้งนี้ปริมาณ TS และ VS ยังบ่งบอกถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ง่าย โดยที่ซังมีปริมาณ VS สูงที่สุดนั้นสามารถยืนยันได้ว่าวัตถุประเภทซังสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าเปลือก [10] ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนของซังที่สูงกว่าเปลือก มีค่าเท่ากับร้อยละ 43.163 ± 0.194 โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณคาร์บอนเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เมื่อมีปริมาณสูงก็สามารถย่อยสลายให้เป็นก๊าซชีวภาพได้ [18] จากผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของวัตถุดิบ จะเห็นได้ว่า เปลือก และซังของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ค่าความร้อนที่แตกต่าง โดยซังให้ค่าความร้อนซังสูงกว่าเปลือก เนื่องจากซังมีองค์ประกอบที่เผาไหม้มากกว่าเปลือก และค่าความร้อนที่วิเคราะห์ได้เป็นการคำนวณจากองค์ประกอบภายในของวัตถุดิบ ได้แก่ สารที่ระเหย และคาร์บอนคงตัว (ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน) เป็นต้น โดยองค์ประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วให้พลังงานความร้อน [19] จึงส่งผลให้ค่าความร้อนที่วิเคราะห์ได้ของตัววัตถุดิบนั้นสูง เมื่อพิจารณาค่าความชื้นของวัตถุดิบ พบว่า เปลือก และซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือมี

ค่าเท่ากับร้อยละ 9.24 ± 0.01 และ 11.02 ± 0.02 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งค่าความชื้นของวัตถุดิบที่ได้มีปริมาณต่ำเนื่องจากตัววัตถุดิบที่นำมาเป็นชีวมวลที่เกิดขึ้นจากของเสียทางการเกษตร ส่งผลให้มีค่าความชื้นที่อยู่ภายในวัตถุดิบเมื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องมีการผสมหัวเชื้อ และสารอาหารเข้าไปด้วยเพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดีขึ้น [20]

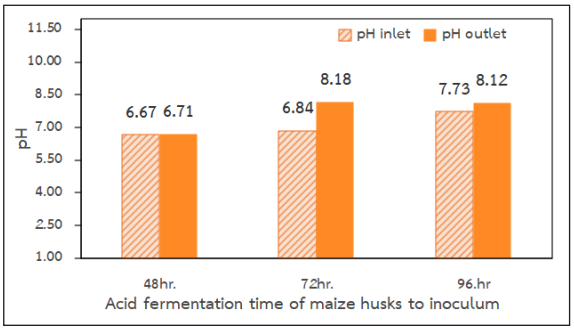
3.2 ผลของการศึกษาระยะเวลาการปรับสภาพวัตถุดิบที่ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 ชั่วโมง ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลของการศึกษาระยะเวลาการปรับสภาพของวัตถุดิบทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง ของเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ร่วมกับกากตะกอนมูลสุกรโดยทำการหมักที่ระยะเวลา Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 ชั่วโมงจากนั้นนำวัตถุดิบที่ได้ ไปทำการผลิตก๊าซชีวภาพแบบ BMP Test โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

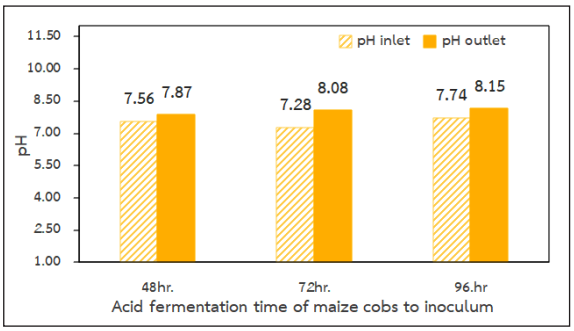
3.2.1 ค่าความเป็นกรดด่าง

ผลการปรับสภาพวัตถุดิบที่ระยะเวลาแตกต่างกันสำหรับค่า pH แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ทั้ง 9 เงื่อนไขการทดลองที่ได้ทำการกำหนดระยะเวลาการปรับสภาพที่ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมซัง โดยค่า pH ก่อนเข้าระบบของทุกๆ เงื่อนไขมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.50–7.50 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้และเหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ [21], [22]

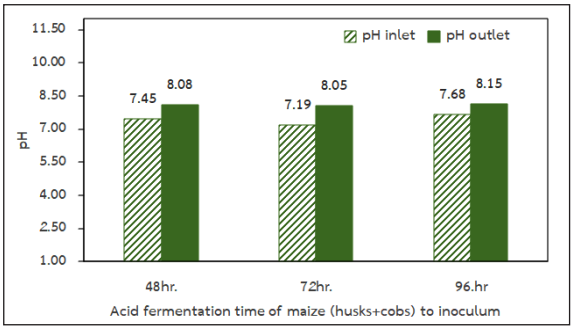
โดยในช่วงแรกของการทดลองของทั้ง 9 เงื่อนไขมีค่า pH ที่ต่ำกว่าค่า pH หลังสิ้นสุดกระบวนการ เนื่องมาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแบบ Pre-acidification ได้เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขนาดเล็กทั้งนี้จึงเป็นผลให้ค่า pH ลดลง สำหรับกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ [23] และผลของค่า pH ของระบบหมักหลังผ่านกระบวนการย่อยสลาย ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง ที่ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.71–8.18, 7.87–8.15 และ 8.05–8.15 ตามลำดับ อยู่ในช่วงที่เป็นผลดีต่อจุลินทรีย์ในระบบ โดยค่า pH ของทุกๆ เงื่อนไขในงานวิจัยนี้มีการแปรผกผันค่อนข้างน้อยโดยพิจารณาจากค่า pH ก่อนเข้าระบบและหลังสิ้นสุดกระบวนการหมัก ช่วงระยะเวลาของการหมักมีค่า pH ลดลงเนื่องจากเกิดการย่อยสลาย



(ก)

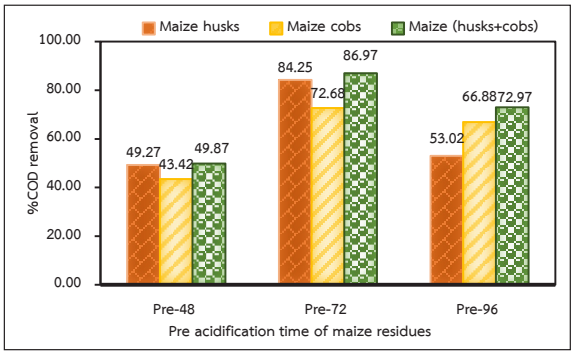


(ข)

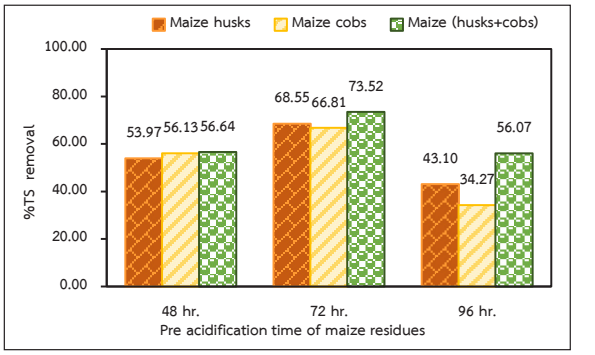


(ค)

รูปที่ 2 ค่า pH ภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ก) ค่า pH ของเปลือกข้าวโพด (ข) ค่า pH ของซังข้าวโพด และ (ค) ค่า pH ของเปลือกหมักรวมกับซัง



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

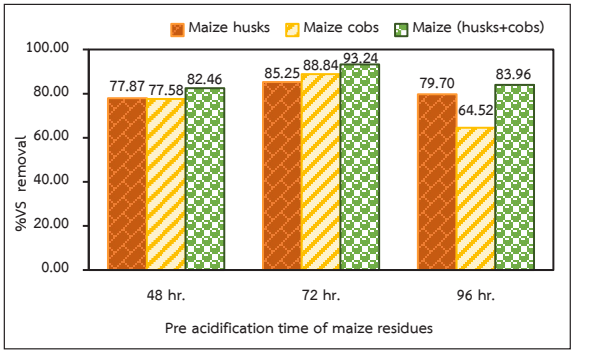


รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวม

สารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายโดยช่วงการหมักอยู่ขั้นตอนของการไฮโดรไลซิส [24] ทั้งนี้ในส่วนผลของระยะเวลาการปรับสภาพของวัตถุดิบที่ระยะเวลานานส่งผลทำให้ค่าความเป็นด่างในตัววัตถุดิบลดลง และเป็นกรดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลิตก๊าซมีเทน และก๊าซชีวภาพได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratchapol [25] พบว่า ระยะการหมักที่นานเกินไปทำให้ค่า pH เป็นกรดเพิ่มมากขึ้นทำให้ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียจำพวก Methanogenic ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซมีเทนในสภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งถ้าค่า pH ที่เป็นกรดมาก ทำให้แบคทีเรียผลิตมีเทนจำพวก Methanogenic ทนต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมได้ต่ำทำให้อัตราการเจริญเติบโตช้าก็จะส่งผลให้ผลิตก๊าซมีเทนได้น้อย และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงได้ ทั้งนี้ค่า pH ที่เกิดขึ้นในระบบต้องมีค่าที่เหมาะสมตามที่กล่าวไปข้างต้น

3.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS และ VS ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ BMP Test

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%COD Removal) เป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์เพื่อบ่งบอกถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ [26] ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวม (%TS Removal) และ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย (%VS Removal) เป็นปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ง่ายภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของวัตถุดิบทั้ง 3 ประเภท แสดงดังรูปที่ 3–5



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย

จากรูปที่ 3 พบว่า ผลของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ระยะเวลาการปรับสภาพวัตถุดิบที่ Pre-A72 ของวัตถุดิบเปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง มีผลของค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการปรับสภาพวัตถุดิบที่ Pre-A48 และ Pre-A96 โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของเปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.25, 72.68 และ 86.97 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวมของการผลิตก๊าซชีวภาพ ในระยะเวลาการปรับสภาพวัตถุดิบที่ต่างกัน โดย Pre-A72 ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Pre-A48 และ Pre-A96 โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวมมีค่าเท่ากับร้อยละ 68.55, 66.81 และ 73.52 ตามลำดับ

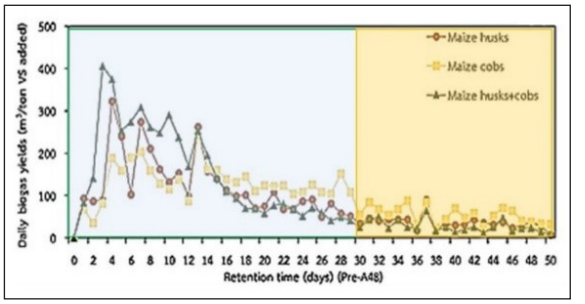
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยของการผลิตก๊าซ

ชีวภาพ ในระยะเวลาการปรับสภาพวัตถุดิบที่ต่างกัน โดย Pre-A72 ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยมากที่สุดเมื่อเทียบกับ Pre-A48 และ Pre-A96 โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยมีค่าเท่ากับร้อยละ 82.25 88.84 และ 93.24 ตามลำดับ

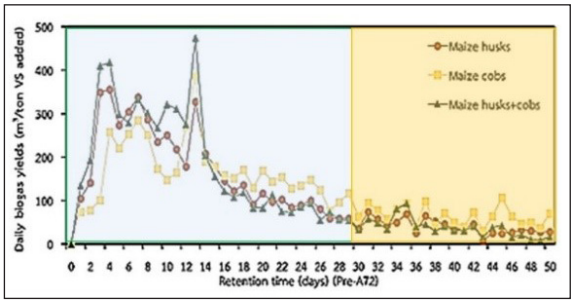
จากการประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS และ VS ของ ระยะเวลาการปรับสภาพที่ Pre-A72 ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ BMP test โดยใช้วัตถุดิบ เปลือก ซัง เปลือกหมักรวมกับซัง พบว่า เปลือกหมักรวมกับซัง เป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเนื่องจากในการปรับสภาพเปลือกหมักรวมกับซังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการปรับสภาพของซัง และเปลือกเพียงชนิดเดียว ซึ่งค่าที่บ่งบอกได้คือประสิทธิภาพการกำจัดสารระเหยง่าย โดยค่าสารระเหยง่ายบ่งบอกถึงลักษณะในการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ และปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบรวมถึงประสิทธิภาพในการย่อยสลายหรือการลดปริมาณของเสียในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ [27] โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารในวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหลือทิ้ง และกากตะกอนมูลสุกรที่ป้อนเข้าสู่ระบบหมักย่อยต้องมีปริมาณที่เหมาะสมเพื่อเป็นแหล่งอาหารในการสร้างเซลล์ใหม่ [18] ทำให้สามารถเกิดเป็นปฏิกิริยาอะซิโดเจนีซีส (Acidogenesis) การสร้างกรดโดยเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยวในวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหลือทิ้ง ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย [19] โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Fermentative Bacteria หรือ Acid Forming Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างกรดทำหน้าที่ในการดูดซึมสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กทำให้กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เซลลูโลสในเศษวัสดุข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหลือทิ้งจะถูกไฮโดรไลซ์ได้กลูโคส เพื่อเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นมีเทน และเกิดการรีดิวซ์ CO_2 และ H_2 ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในระบบได้ [28] สรุปได้ว่ากระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบของเปลือกหมักรวมซัง ที่ Pre-A72 ดีที่สุด และทั้งนี้ยังพบว่า ระยะเวลาการปรับสภาพ Pre-A72 มีความเหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ เพิ่มขึ้นร้อยละ 71.38 เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการปรับสภาพที่ Pre-A48 แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับสภาพเป็น Pre-A96 พบว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงร้อยละ 20.92 เนื่องจากกระบวนการปรับสภาพด้วย Pre-acidification เป็นกระบวนการสร้างกรดในวัตถุดิบซึ่งอยู่ในขั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis ของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดก่อนนำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เมื่อภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถกำจัดค่า COD, TS และ VS ที่สูงแสดงให้เห็นถึงปริมาณของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogen ที่มีอยู่ภายในระบบ ซึ่งเพียงพอที่นำกรดไขมันระเหยง่ายไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12] สอดคล้องกับงานวิจัย Michel [21] ได้ศึกษาถึงการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยวิธี Pre-acidification พบว่า วิธี Pre-acidification ส่งผลให้ค่า pH ก่อนเข้าระบบที่เป็นด่างมีความเป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการ Pre-acidification เป็นการเปลี่ยนสารชีวโมเลกุลของวัตถุดิบให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็กด้วยวิธีธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการลดขั้นตอนของการสร้างกรดอินทรีย์ภายในขวดปฏิกรณ์ให้ระยะเวลาสั้นลง ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยกระบวนการปรับสภาพดังกล่าวไม่มีการใช้สารเคมีหรือสารเร่งปฏิกิริยาใดๆ ทั้งสิ้น และยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

3.2.3 ปริมาณของก๊าซชีวภาพ ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

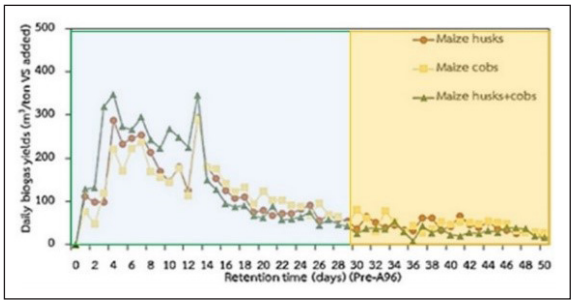
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของกระบวนการศึกษาผลของระยะเวลาการปรับสภาพของวัตถุดิบทั้ง 9 เงื่อนไขการทดลองคือ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 แสดงดังรูปที่ 6 พบว่า ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันของเปลือก มีค่าเท่ากับ 110, 149 และ 120 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ โดยปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันของซัง มีค่าเท่ากับ 125, 158 และ 120 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ และปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันของเปลือกหมักรวมซัง มีค่าเท่ากับ 129, 159 และ 130 มิลลิลิตรต่อวัน โดยปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันพบว่า เปลือกหมักรวมซัง จะให้ปริมาณของ



(ก)

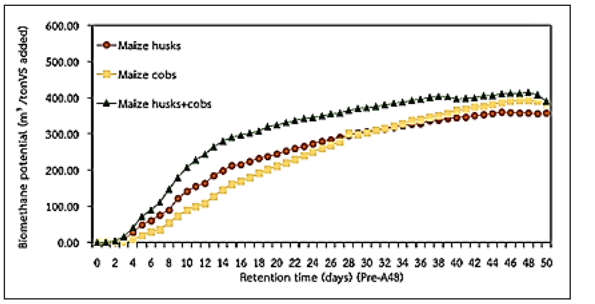


(ข)

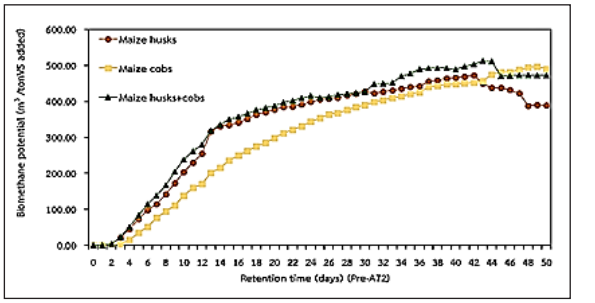


(ค)

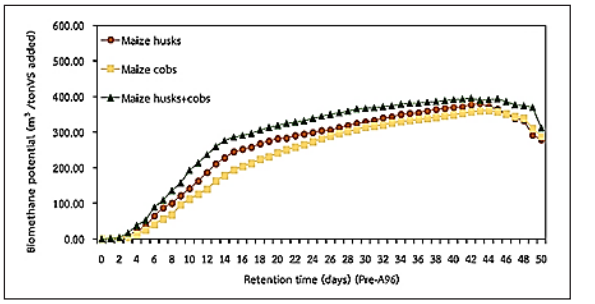
รูปที่ 6 ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน (ก) Pre-A48 (ข) Pre-A72 และ (ค) Pre-A96



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (ก) Pre-A48 (ข) Pre-A72 และ (ค) Pre-A96

ก๊าซชีวภาพมากกว่าซัง และเปลือกมากถึงร้อยละ 1.03 ซึ่งปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้รับผลโดยตรงมาจากค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบข้างต้น [20] โดยปริมาณของก๊าซชีวภาพทั้ง 9 เงื่อนไขการทดลองจะลดลงในวันที่ 20 และจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในช่วงหลังวันที่ 30 ซึ่งกระบวนการหมักเป็นแบบกะ สารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไปจนหมดจะส่งผลโดยตรงทำให้ปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันลดลงตามไปด้วย

ผลการทดลองศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัตถุดิบทั้ง 9 เงื่อนไขการทดลองโดยระยะเวลาการปรับสภาพ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 ของวัตถุดิบเปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมซัง แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า เปลือกมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 54.86, 55.50 และ 54.12 ตามลำดับ และซังข้าวโพด มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน ร้อยละ 53.20, 51.51 และ 52.07 ตามลำดับ ต่อมาเมื่อพิจารณาวัตถุดิบเปลือกหมักรวมกับซัง ที่ระยะเวลาการปรับสภาพ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงโดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 56.52, 57.04 และ 56.09 ตามลำดับ ตลอด

ระยะเวลา 50 วัน สัดส่วนก๊าซมีเทนของวัตถุดิบทั้ง 3 ส่วน มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่วัตถุดิบที่มีสัดส่วนก๊าซมีเทนที่สูงที่สุด คือ เปลือกหมักรวมซังที่ Pre-A72 มีค่าเท่ากับร้อยละ 57.04 เมื่อพิจารณาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมซัง มีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 422.96, 385.85 และ 454.54 ลูกบาศก์เมตรต้นของแข็งระเหย ตามลำดับ พบว่า วัตถุดิบเปลือกหมักรวมซังมีความสามารถและมีศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด เนื่องจาก การนำวัตถุดิบทั้งเปลือกและซังมาผสมกันทำให้มีปริมาณของแข็งรวมและปริมาณสารระเหยง่ายโดยสัดส่วน VS/TS อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในระบบสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนได้ง่ายกว่า [26]

3.3 ผลการประเมินอัตราการทดแทนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากการพิจารณาเบื้องต้นเกษตรกรได้จัดการกับเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผิดวิธี ประกอบไปด้วย การเผาทิ้ง การไถกลบ การทิ้งในพื้นที่แปลงเกษตร ซึ่งการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งที่ผิดวิธีเหล่านี้เป็นการจัดการที่ก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นควัน ปริมาณ CO_2 Emission ทั้งที่เกิด จากการเผาหรือการไถ กลบในที่โล่ง ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบก๊าซชีวภาพจึงเป็นแนวทางในการลด CO_2 Emission ได้ [29] ทั้งนี้จึงมีการพิจารณาแนวทางการนำศักยภาพก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วัตถุดิบ	ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ (m^3/ton VS)	ก๊าซชีวภาพ 1 m^3 : การผลิตกระแสไฟฟ้า (kWh)	
	(Pre-A72)	0.71 kWh	1.40 kWh
เปลือก	422.96	300.30	420.42
ซัง	385.85	273.95	383.53
เปลือก+ซัง	454.54	322.72	451.81

จากตารางที่ 3 การประเมินความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นโดยใช้ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยนำปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากนั้นประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้น ซึ่งจากทฤษฎีการแปลงค่าก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาทดแทนพลังงานไฟฟ้านั้นจะพบว่า ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ในช่วงระหว่าง 0.71–1.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง [3], [6] จะได้อัตราการทดแทนการผลิต เป็นกระแสฟ้าไฟฟ้าดังนี้ เปลือก 1 ตัน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 422.96 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 300.30–420.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในส่วนของซัง 1 ตัน มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 385.85 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 273.95–383.53 กิโลวัตต์ชั่วโมง และในส่วนของเปลือกหมักกับซัง 1 ตันมีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 454.54 ลูกบาศก์เมตรมีอัตราการผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 322.72–451.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพได้ในข้างต้นจะพบว่า เปลือกหมักรวมกับซังของเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด คือ 454.54 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และมีอัตราการทดแทนการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 451.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Sawangphon [6] ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าโดยก๊าซชีวภาพจากเซลลูโลสพบว่า อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่างๆ ของก๊าซชีวภาพโดยวัตถุดิบประเภท ฟางข้าว และ ใบอ้อย มีศักยภาพสูง โดย ฟางข้าวและใบอ้อย 1 ตัน ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 231 ลูกบาศก์เมตร และ 150 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 408 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 264 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้การนำวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรมาเปลี่ยนเป็นพลังงานก๊าซชีวภาพสามารถทำได้ และปริมาณไฟฟ้าที่ประเมินได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัตถุดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพได้

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของวัสดุ

เหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเปลือก ซัง เปลือกรวมซัง โดยผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเศษวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่า ซังมีปริมาณ TS และปริมาณ VS สูงที่สุด เท่ากับ 104,427 และ 97,006 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ต่อมาเมื่อได้ทำการกำหนดระยะเวลาการปรับสภาพที่ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 ชั่วโมง ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมซัง ก่อนเข้าระบบหมักก๊าซชีวภาพ โดยค่า pH ก่อนเข้าระบบของทุกๆ เงื่อนไขมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.50–7.50 และผลของค่า pH ของระบบหมักหลังผ่านกระบวนการย่อยสลาย ของวัตถุดิบ เปลือก ซัง และเปลือกหมักรวมกับซัง ที่ Pre-A48, Pre-A72 และ Pre-A96 มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.71–8.18, 7.87–8.15 และ 8.05–8.15 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ผลของระยะเวลาการปรับสภาพที่ Pre-A72 ของวัตถุดิบ เปลือกหมักรวมกับซัง มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวมและประสิทธิภาพการกำจัดสารระเหยง่าย สูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 86.97, 73.52 และ 93.27 ตามลำดับ และวัตถุดิบเปลือกรวมซัง ให้ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด คือ 454.54 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของแข็งระเหย สามารถเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อย่างถูกวิธี รวมถึงเป็นแนวทางในการเลือกนำวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มาผลิตเป็นพลังงานทดแทน และเพื่อใช้ลดต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้การประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นจากทฤษฎีการแปลงค่าก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 451.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากกงานวิจัยเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการออกแบบโรงฟ้าจากก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชนได้

4.1 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาศักยภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตพลังงานทดแทนและประเมินศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นไม่ได้มีการประเมินต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าที่ใช้วัสดุชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง สำหรับผู้ประกอบการหรือผู้ที่สนใจในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นเชื้อเพลิง ต้องศึกษาข้อมูลด้านการลงทุนอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิง ต้นทุนโรงไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิต ต้นทุนการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุนด้านการรับซื้อไฟฟ้า เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้โอกาสสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย วิจัย รวมถึงบุคลากรทุกคนในแผนกการวิเคราะห์และทดสอบผล ที่ให้คำแนะนำการสนับสนุน รวมทั้งความรู้ในด้านระบบผลิตก๊าซชีวภาพตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งยังต้องขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการศึกษา “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้” ประจำปี 2561 และทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานประสานงานโครงการวิจัยพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานความหลากหลายทางชีวภาพ ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, *Bioenergy*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy, Bangkok Thailand, 2020 (in Thai).

[2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, *Energy Overview Jan.-Apr*. Technology Transfer and Dissemination Office Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Bangkok, 2021 (in Thai).

[3] Department of Industrial Works, *Operation Manual on Design, Production, Quality Control of Biogas for Industrial Plants*. Bangkok, 2020 (in Thai).

[4] *Fermentation of Organic Materials Characterization*

of the Substrate, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests, VDI-4630, 2006.

[5] Mittraphap. "Investment guide for biogas power plants from energy plants," *Education Project Information Center: Researching a Green Energy Community Enterprise Model from Energy Plants (Biogas from Energy Plants)*, 1st ed. Bangkok: Mittraphap Printing 1995, 2013 (in Thai).

[6] K. Sawangphon, "Feasibility study of electricity generation using biogas from cellulose," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 36, no. 4, 2013 (in Thai).

[7] Agriculture and Environment Foundation, "Corn for animals Situation/burning and management practices of agricultural waste," in *Agriculture and Environment Foundation*, Thailand, 2019 (in Thai).

[8] C. Siriwong, "The use and toxicity of the filler reinforcement in rubber industry," *KKU Science Journal*, vol. 43, no.4, pp. 579–594, 2015 (in Thai).

[9] T. Chaichana, "Reducing the amount of greenhouse gas emissions from the disposal of maize waste material. by converting it to renewable energy," Economic Development Based on Biodiversity Foundation, School of Renewable Energy Maejo University, 2019 (in Thai).

[10] C. Chuangthong, "The system of electricity generation from biogas sewage for community," *Journal of the Asian Graduate College*, vol. 9, special issue, 2019 (in Thai).

[11] C. Sun, A. Xia, Q. Fu, Y. Huang, R. Lin, and J. D. Murphy "Effects of pre-treatment and biological acidification on fermentative hydrogen and methane co-production," *Energy Conversion and Management*, vol. 185, pp. 431–441, 2019.

[12] N. Chaithanu, "Efficiency and economic analysis of anaerobic fermentation system with continuous stirring tank under thermophilic conditions. To treat waste from pig farms," M.S. Thesis, Graduate School, Chiang Mai University, 2019 (in Thai).

[13] S. Nontha, "Lactic acid production from fruit waste fermentation process. lactic acid production from fruit waste fermentation," *Journal of KKU Academic*, no. 39, 2016 (in Thai).

[14] S. Saipa, "Prototype of biogas production system from sweet corn waste material by dry fermentation process" M.S. Thesis, Graduate School, Renewable Energy Engineering, Maejo University, 2019 (In Thai).

[15] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, DC, APHA, AWWA, WEF*, 2017.

[16] J. Filer, H. H. Ding, and S. Chang, "Biochemical Methane Potential (BMP) Assay Method for Anaerobic Digestion Research," *Water*, vol. 11, no. 5, pp. 921, 2019.

[17] N. Menikpura and J. Sang-Arun, "User manual estimation tool for Greenhouse Gas (GHG) emissions from Municipal Solid Waste(MSW) management in a life cycle perspective," This tool is developed under the project of Measurement, Reporting and Verification (MRV) for low carbon development in Asia, Ministry of Environment, Japan, 2013.

[18] S. Chaiprapat, "Project Assessment of Potential to Increase Biogas Production Rate by Co-fermentation and Firewood Replacement Rate of Smoked Sheet Rubber Cooperatives (Phase 2)," Office of the National Research Council of Thailand (NRCT) and the Office of Research Fund (TRF), Bangkok, Thailand, 2015 (in Thai).

[19] S. Chaiprapat, "Biogas production from banana leftovers by high-concentration fermentation system for roasted banana production," Complete Research Project Report, Prince of Songkla University Hat Yai Campus, 2017 (in Thai).

[20] A. Sripai, "Effect of retention time on volatile fatty acid production. from fermented corn by microorganisms from the rumen of dairy cows," presented at the Academic conference Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 2011 (in Thai).

[21] M. Schroyen, S. V. Van Hulle, S. Holemans, H. Vervaeren, and K. Raes, "Laccase enzyme detoxifies hydrolysates and improves biogas production from hemp straw and miscanthus," *Bioresource Technology*, vol. 244, no. 1, pp. 597–604, 2017.

[22] C. Chen, D. Zheng, G.–Jin Liu, L.–Wei Deng, Y. Long, and Z.–Hui Fan, "Continuous dry fermentation of swine manure for biogas production," *Waste Management*, vol. 38, pp. 436–442, 2015.

[23] A. Okewale, K. Babayemi and O Adesina, "Biogas production from anaerobic co–digestion of corn cobs, pig and poultry droppings," *ABUAD Journal of Engineering Research and Development*, vol. 1, no. 2, pp. 273–282, 2018.

[24] C. Phuttaro, C. Sawatdeenarunat, K. C. Surendra, P. Boonsawang, S. Chaiprapat, and S. K. Khanal "Anaerobic digestion of hydrothermally pretreated lignocellulosic biomass: Influence of pretreatment temperatures, inhibitors and soluble organics on methane yield," *Bioresource Technology*, vol. 284, pp. 128–138, 2019.

[25] K. Pomngern, P. Soh-salam and R. Pawongrat, "Biogas production from Steam-Pretreated water hyacinth with cow dung by batch fermentation," *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 129–139, 2016.

[26] C. Sawatdeenarunat, S. Sung, and S. K. Khanal, "Enhanced volatile fatty acids production during anaerobic digestion of lignocellulosic biomass via micro-oxygenation," *Bioresource Technology*, vol. 237, pp.139–145, 2017.

[27] A. R. Jimmy, "Effect of co-digestion of milk whey and potato stem on heat and power generation using biogas as an energy vector: Techno-economic assessment," *Applied Energy*, vol. 241, pp. 504–518, 2019.

[28] M. Zhang, G. Zhang, P. Zhang, S. Fan, S. Jin, D. Wu, and W. Fang, "Anaerobic digestion of corn stovers for methane production in a novel bionic reactor," *Bioresource Technology*, vol. 166, pp. 606–609, 2014.

[29] M. Pöschl, S. Ward, and P. Owende, "Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways,"*Applied Energy*, vol. 87, no. 11, pp. 3305–3321, 2010.