วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนและมูลวัว

ประภัสรา ธรรมวัชรางกูร สุนทรี จีนธรรม และ วนัสพรรัศม์ สวัสดี *

สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: vanatpornratt@vru.ac.th

วันที่รับบทความ: 10 พฤษภาคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 2 มิถุนายน 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 11 มิถุนายน 2564
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 4 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนและมูลวัว ในชุมชนตำบลช่างเหล็ก อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการนั้นมีการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมคือ เศษใบไม้ และมูลวัวหมักร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 ในถังปฏิกรณ์ 5 ลิตร ของแข็งทั้งหมดในระบบ 2.5 %TS อุณหภูมิ 35-37 ºC จากผลการวิจัยพบว่า ค่าพีเอชภายในระบบมีค่า 6.60-7.20 สภาพด่างมีค่า 1,100-3,200 มิลลิกรัมต่อลิตร $CaCO_3$ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) คือ กรดอะซิติกที่เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตก๊าซมีเทนโดยกลุ่มแบคทีเรียผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) ตั้งแต่การเดินระบบชั่วโมงที่ 48 เริ่มมีกรดอะซิติกเกิดขึ้นมีค่า 18.945 mM และมีการใช้กรดอะซิติกอย่างต่อเนื่องจนหมด ปริมาณมีเทนสะสมสูงสุด 4,183 ml และค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงสุดนั้นมีค่า 64.61 % ตามลำดับ จากค่าจลนศาสตร์การผลิตมีเทนพบว่า อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด (H_{max}) มีค่า 5,295.65 ml และอัตราเร็วในการผลิตมีเทนต่อชั่วโมง (R_{max}) มีค่า 13.77 ml hr^{-1} ดังนั้น จากการวิจัยสามารถสรุปว่าใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ; ใบไม้เหลือทิ้ง; การปรับสภาพทางกายภาพ; การหมักร่วม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

บทความวิจัย

Efficiency of Biogas Production by Co-Digestion between Leaf Waste in Community and Cow Dung

Prapatsara Thamwatchalangkoon, Soontharee Chintham and Vanatpornratt Sawasdee*

Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management,
Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage
* Corresponding author, E-mail: vanatpornratt@vru.ac.th

Received: 10 May 2021; Revised 2 June 2021; Accepted: 11 June 2021
Online Published: 4 August 2021

Abstract: This research studied on the efficiency of biogas production by co-digestion between leaf waste in the community and cow dung in Chang Lex community, Bangsai, Pranakorn Sri Ayutthaya province. The efficiency of biogas production in lab-scale was studied with optimum condition setting that co-digestion ratio between leaf waste in community and cow dung 1:1 in reactor 5 liters with 2.5% total solid and temperature 35-37 °C. The research results were found pH in the system was around 6.60-7.20 and the alkalinity was 1,100-3,200 mg L^{-1} $CaCO_3$. The major volatile fatty acid is acetic acid that material for methane gas production by methane-producing bacteria. Until the start-up system in 48 hours, the acetic acid was produced at 18.945 mM and continuously used until it was depleted. The highest cumulative methane was 4,183 ml and the percentage of methane production was 64.61%, respectively. From the kinetic of methane production, the maximum methane production (H_{max}) was 5,295.65 ml and the rate of methane production per hour (R_{max}) was 13.77 ml hr^{-1}. Therefore, the conclusion from this research was leaf waste in the community can be used to material for biogas production.

Keywords: Efficiency of biogas production; Leaf waste; Physical pretreatment; Co-digestion

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์มลพิษทางอากาศในประเทศไทยมีความรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเผาในพื้นที่เปิดโล่ง (Open Burning) นั้นส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศ โดยกระบวนการเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) องค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) [1] โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก ทั้งในส่วนของฝุ่น PM 10 และ PM 2.5

มลพิษทางอากาศก่อให้เกิดปัญหาทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ไม่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกล นอกจากนี้ยังทำให้ระคายเคืองตา ระคายคอ แน่นหน้าอก ก่อให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคมะเร็งปอด และโรคหอบหืดอีกด้วย [2] ปัญหาเหล่านี้ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตามการเผาในพื้นที่เปิดโล่งนั้นยังถือเป็นวิธีที่สะดวกในการจัดการเศษใบไม้สำหรับชุมชน โดยชุมชนตำบลช่างเหล็ก อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ รับผิดชอบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณใบไม้แห้งในพื้นที่สาธารณะต่างๆ ถนน วัด และโรงเรียนเป็นจำนวนมาก โดยการจัดการใบไม้ของชุมชนในปัจจุบันคือการเผาในพื้นที่เปิดโล่ง (รูปที่ 1) ซึ่งถือเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในชุมชน

ดังนั้น การแก้ปัญหาการเผาใบไม้เหลือทิ้งในพื้นที่เปิดโล่งจึงเป็นสิ่งจำเป็น ใบไม้นั้นถือเป็นหนึ่งในวัสดุลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) โดยสารอินทรีย์ในระบบจะถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ ก๊าซที่ได้ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) 55-65% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30% ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 2% และก๊าซอื่น ๆ 3%

รูปที่ 1 (A) การจัดการใบไม้ของชุมชนโดยการเผาในพื้นที่เปิดโล่ง และ (B) ใบไม้รวมที่ร่วงหล่นในชุมชน

สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ หรือมูลสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งของเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศในระบบ และได้ผลผลิต คือ ก๊าซชีวภาพ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศย่อยสลายสารอินทรีย์จากสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ขนาดเล็ก จากนั้นจะถูกย่อยสลายต่อโดยแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติกจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ขนาดเล็กให้กลายเป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน ในขั้นตอนสุดท้ายแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทนจะทำการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้กลายเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซอื่น ๆ [3] และนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในชุมชนและครัวเรือนอย่างปลอดภัยและยั่งยืน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการแก้ปัญหาการเผาเศษใบไม้ในชุมชนพื้นที่ตำบลช่างเหล็ก อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยการใช้ประโยชน์จากเศษใบไม้ที่มีจำนวนมาก นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นต้นแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและการผลิตพลังงานทดแทนสำหรับชุมชนอื่น รวมถึงลดการเผาใบไม้ที่จะเป็นแหล่งก่อให้เกิดมลพิษอากาศในชุมชนต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนและมูลวัวนั้น จะดำเนินการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนมาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยสภาวะที่เหมาะสมนั้นประกอบด้วย ขนาดของวัตถุดิบ ปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดที่เติมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ การควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ อัตราส่วนระหว่างใบไม้เหลือทิ้งและมูลวัว โดยสามารถดำเนินการดังนี้

2.1 การจัดเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 ใบไม้เหลือทิ้ง (Leaf Waste) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นใบไม้รวมที่ร่วงหล่นในพื้นที่ชุมชน (รูปที่ 2) โดยจะมีการปรับสภาพทางกายภาพ คือ การนำใบไม้มาลดขนาดให้เป็นชิ้นเท่ากัน และทำการวิเคราะห์หาค่าของแข็งทั้งหมดที่แท้จริงโดยการหาค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) สามารถวิเคราะห์โดยชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้อง และน้ำหนักตัวอย่างจากนั้นนำไปอบในเตาอบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) และชั่งน้ำหนักที่หายไป จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าของแข็งที่แท้จริง [4]

รูปที่ 2 ลักษณะใบไม้เหลือทิ้งในชุมชน

2.1.2 มูลวัว (Cow Dung) ที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากในชุมชนในพื้นที่ตำบลช่างเหล็ก โดยนำมาผ่านตะแกรงร่อน (Mesh) ขนาดรูตะแกรง 710 µm เพื่อกำจัดเศษสิ่งสกปรกที่เจือปนมาก่อนนำเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 3

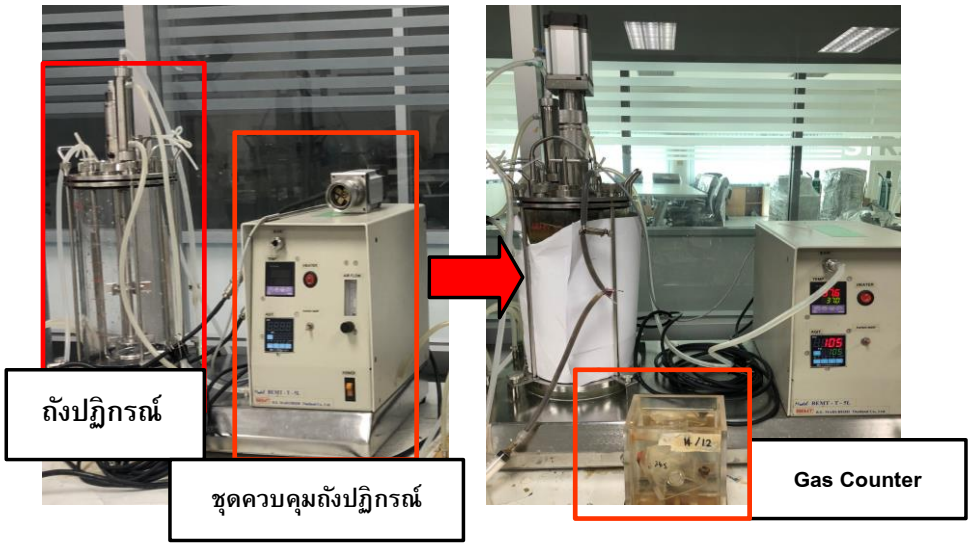
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

รูปที่ 3 มูลวัว (Cow Dung)

2.1.3 ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร (Working Volume 4 liter) มีระบบการกวนสมบูรณ์ (Completely Mixed) โดยใบกวนมีความยาว 3.5 ส่วน ใน 4 ส่วนของความสูงถัง ทำให้ระบบเกิดการกวนอย่างต่อเนื่อง และทำให้วัตถุดิบสามารถสัมผัสกันได้อย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 4

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

การออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการเติมใบไม้ และมูลวัวในถังปฏิกรณ์โดยหมักร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 w/v [5] โดยมีการนำอัตราส่วนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาปรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ 2.5%TS ซึ่งได้จากการ Pretest ก่อนการทำการทดลองพบว่า ค่าของแข็งในระบบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้ คือ 2.5%TS มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 35-37 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชเริ่มต้น 7.2 เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 8 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาสภาพด่างในระบบ [6] และควบคุมอัตราการกวน 100 รอบต่อนาที จากนั้นวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1 โดยความถี่ในการวิเคราะห์คือ ทุกๆ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4 ถังปฏิกรณ์ขนาด 5 ลิตร

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ดำเนินการติดตามสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
ค่าพีเอช (pH)	pH Meter
ค่าสภาพด่าง (Alkalinity)	Titration
ปริมาณก๊าซชีวภาพแต่ละวัน	Gas counter
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	Gas chromatography (Shimadzu GC-2014)
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)	Gas chromatography (Shimadzu GC-2010)

2.3 การคำนวณค่าทางจลศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การคำนวณค่าทางจลนศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ดังสมการที่ (1) โดยการนำข้อมูลมิลลิลิตรมีเทนสะสม และเวลาที่ได้จากการหมัก เข้าสมการ Modify Gompertz แสดงดังสมการ ของโปรแกรม Sigma Plot Version 11.0 [7]

$$H = H_{max} \times exp\left\{-exp\left[\frac{R_{max}\, e}{H_{max}}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \qquad (1)$$

โดยที่ H คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (ml)
T คือ ระยะเวลาในการหมัก (hr)
R_{max} คือ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (ml hr^{-1})
H_{max} คือ ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด (ml)
λ คือ ระยะเวลาแลกเฟส (hr)
E คือ ค่าคงที่ 2.7182818

3. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบไม้เหลือทิ้งในชุมชนและมูลวัวนั้น พบว่าเมื่อมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ จะทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ไปปรับใช้ในชุมชนได้เป็นอย่างดี นำไปสู่การใช้ประโยชน์ของเหลือทิ้งอย่างยั่งยืน

3.1 ค่าพีเอช (pH) และสภาพด่าง (Alkalinity)

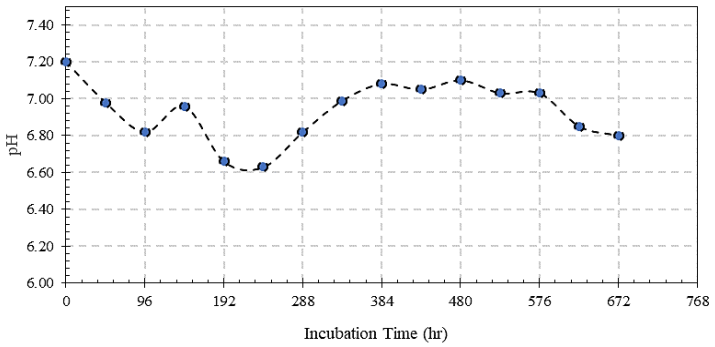
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นการย่อยสลายแบบไร้อากาศซึ่งค่าพีเอช และค่าสภาพด่างถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับระบบ เนื่องจากกลุ่มแบคทีเรียที่เจริญเติบโตและดำเนินกิจกรรมนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกลาง และค่าสภาพด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร $CaCO_3$ [8] ดังนั้นจึงปรับค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 7.20 และเติม $CaCO_3$ เพื่อรักษาสภาพด่างในระบบ การติดตามค่าพีเอชแสดงดังรูปที่ 5

ค่าพีเอชตั้งแต่เริ่มเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจนถึงชั่วโมงสุดท้ายของการเดินระบบพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 6.60-7.20 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุลิกโนเซลลูโลสเป็นอย่างดี ค่าพีเอชเริ่มต้นนั้นสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบไม้มีการปรับค่าพีเอชให้สูงกว่า 7.00 คือ 7.20 เนื่องจากเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าพีเอชลงลงมากเกินไป อีกทั้งวัสดุลิกโนเซลลูโลสใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าวัสดุชนิดอื่น จึงอาจส่งผลให้เกิดการสะสมกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ และทำให้ค่าพีเอชลดลง

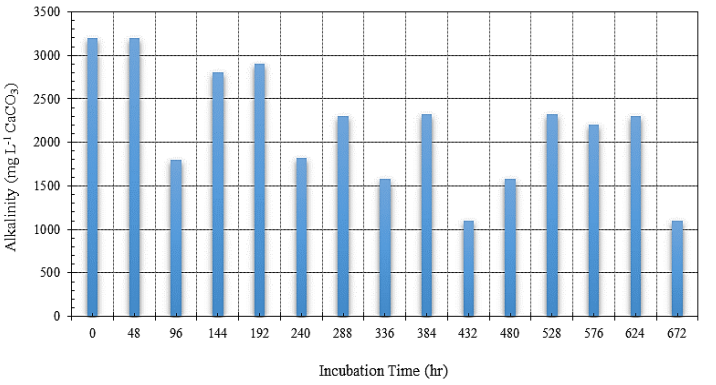
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

มากเกินไป ทำให้ส่งผลกระทบต่อกลุ่มแบคทีเรียที่ทำงานในระบบทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาถึงค่าสภาพด่างในระบบพบว่าระบบสามารถรักษาสภาพด่างไว้ได้เป็นอย่างดี โดยสภาพด่างตั้งแต่เริ่มต้นเดินระบบถึงชั่วโมงสุดท้ายในการเดินระบบมีค่าระหว่าง 1,100-3,200 มิลลิกรัมต่อลิตร $CaCO_3$ (รูปที่ 6) ซึ่งเป็นค่าสภาพด่างที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรียภายในระบบ อย่างไรก็ตามการรักษาค่าสภาพด่างในงานวิจัยนั้นมีการเติม $CaCO_3$ เพื่อให้สภาพด่างอยู่ในช่วงที่กำหนดได้ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากใบไม้นั้นจำเป็นต้องมีการเติม $CaCO_3$ เนื่องจากใบไม้เป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ย่อยสลายยาก ทำให้แบคทีเรียในระบบย่อยได้ช้า ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอาหารบางส่วนที่ปะปนมากับมูลวัวอย่างรวดเร็วโดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) แต่แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) นั้นเจริญเติบโตช้า ส่งผลให้เกิดการสะสมกรดในระบบและค่าพีเอชลดลงได้ จึงต้องมีการเติม $CaCO_3$ เพื่อรักษาสภาพด่างในระบบ เพื่อให้การทำงานของกลุ่มแบคทีเรียผลิตกรด และผลิตมีเทนสามารถทำกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 ค่าพีเอชในช่วงการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



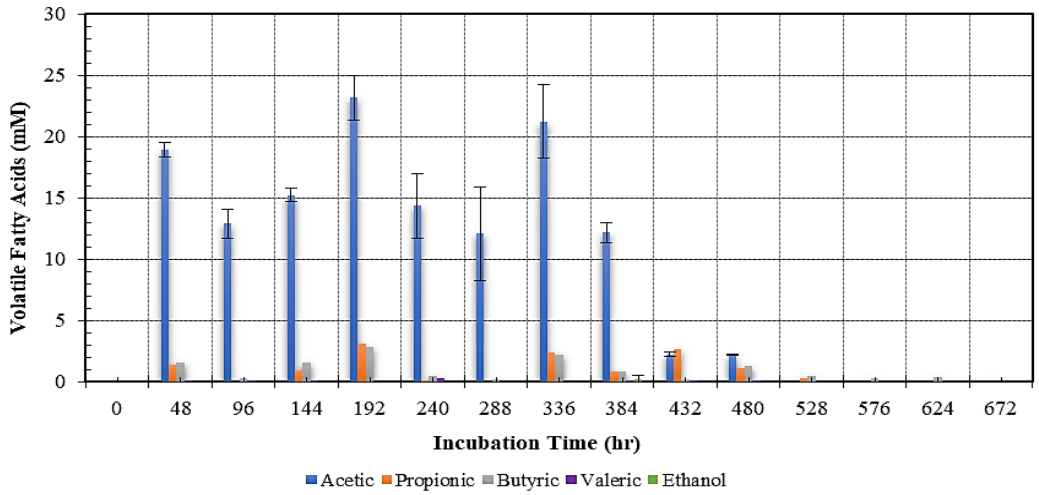
รูปที่ 6 ค่าสภาพด่างในช่วงการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

3.2 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากกรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นสำคัญของแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) [8] ซึ่งกรดอินทรีย์ถูกผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) ถ้ามีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบมากเกินไป แสดงว่าระบบมีแบคทีเรียผลิตมีเทนน้อยเกินไป หรือแสดงว่าแบคทีเรียผลิตกรดผลิตกรดไขมันระเหยได้เร็วเกินไป กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุล เพราะทำให้ค่าพีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียผลิตมีเทนหรือแบคทีเรียผลิตกรด แม้ว่าแบคทีเรียผลิตกรดจะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าแบคทีเรียผลิตมีเทน สังเกตได้จากแบคทีเรียผลิตกรดสามารถอยู่ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า [9]

ในชั่วโมงเริ่มต้นของการเดินระบบยังไม่มีการผลิตและสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากเป็นช่วงที่แบคทีเรียในระบบกำลังปรับตัวสำหรับสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อถึงชั่วโมงที่ 48 พบว่าแบคทีเรียผลิตกรดเริ่มทำงาน แสดงจากค่ากรดอะซิติกที่เกิดขึ้น มีค่า 18.945 mM และในชั่วโมงต่อมามีการผลิตกรดและใช้อย่างต่อเนื่องโดยแบคทีเรียผลิตมีเทน สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนที่เกิดขึ้นพบว่าการผลิตมีเทนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสูงสุดที่ชั่วโมงที่ 384 สอดคล้องกับค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ลดลง ดังนั้นจากค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย ค่าเปอร์เซ็นต์มีเทน และปริมาณมีเทนสะสมที่เกิดขึ้นพบว่าแบคทีเรียผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) และแบคทีเรียผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) มีการทำกิจกรรมที่สอดคล้องกัน อีกทั้งยังไม่มีการสะสมกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบซึ่งนำไปสู่การลดลงของค่าพีเอชในระบบ



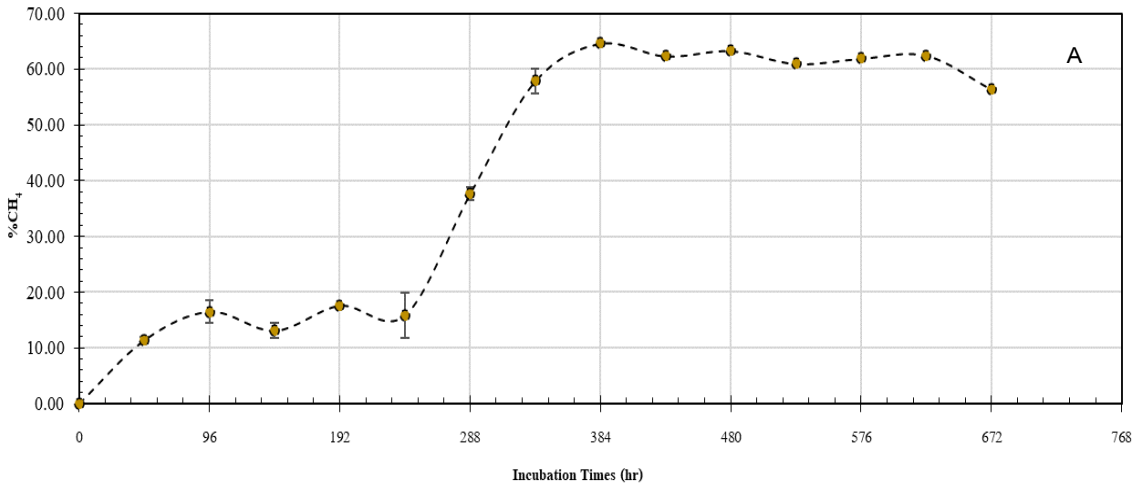
รูปที่ 7 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระหว่างการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

3.3 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

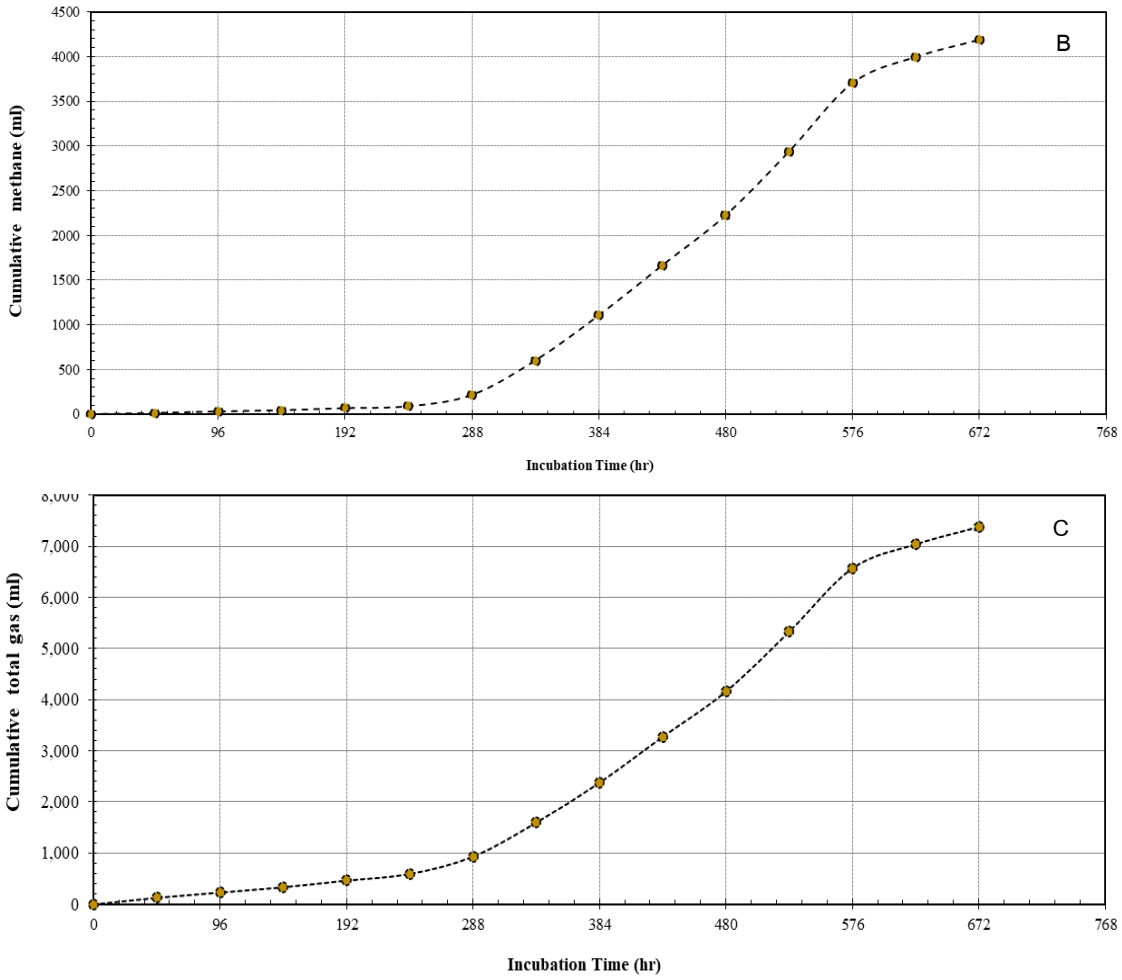
จากการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบไม้แห้งและมูลวัวที่เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งจากชุมชน พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงสุดนั้นมีค่า 64.61 % ปริมาณมีเทนสะสมสูงสุด 4,183 ml และ ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 7,371 ml ตามลำดับ (รูปที่ 8 A, B, C)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการศึกษาการย่อยสลายของเศษก้านและใบลำไย โดยหมักร่วมกับมูลสุกร พบว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงสุดที่ได้คือ 34 % [10] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการใช้วัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ดังตารางที่ 2 จากตารางการเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า สามารถนำพืชน้ำ หญ้า วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และวัสดุเหลือทิ้งอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบของวัสดุลิกโนเซลลูโลส มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี และจากการเป็นวัสดุเหลือทิ้งทำให้มีปริมาณมาก จึงเป็นการลดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ และเป็นการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งได้อย่างถูกวิธี ไม่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศ ในส่วนจลนศาสตร์การผลิตมีเทน พบว่า อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด (H_{max}) มีค่า 5,295.65 ml และ อัตราเร็วในการผลิตมีเทนต่อชั่วโมง (R_{max}) มีค่า 13.77 ml hr^{-1} เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสพบว่าอัตราการผลิตมีเทนสูงสุด และอัตราเร็วในการผลิตมีเทนต่อชั่วโมงของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์มีค่า H_{max} 354 ml และR_{max} มีค่า 4.8 ml hr^{-1} ตามลำดับ [10] แสดงให้เห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบ คือ ใบไม้ และมูลวัวหมักร่วม อีกทั้งควบคุมค่าพีเอช และสภาพด่างในระบบให้เหมาะสม จะทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 8 (A) ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (B) ปริมาณมีเทนสะสม และ (C) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001



รูปที่ 8 (ต่อ) (A) ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (B) ปริมาณมีเทนสะสม และ (C) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่ผ่านมาและงานวิจัยปัจจุบัน

วัตถุดิบ	การปรับสภาพ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	% CH_4	อ้างอิง
หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1: 2	ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการนำหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 บดละเอียด	26.25 ลิตร		[5]
ใบลำไยทั้งใบเขียว (สด) และใบน้ำตาล (แห้ง) ในอัตราส่วน 3: 1 ระยะเวลา 14 วัน	-	544 ลิตร	34 %	[10]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

ตารางที่ 2 (ต่อ) การเปรียบเทียบงานวิจัยที่ผ่านมาและงานวิจัยปัจจุบัน

วัตถุดิบ	การปรับสภาพ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	% CH_4	อ้างอิง
การหมักร่วมระหว่างมูลสุกรและสาหร่ายหางกระรอกในอัตราส่วน 3.75 : 1.25%TS	ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการนำสาหร่ายหางกระรอกหั่นชิ้นเล็กและบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น	1.36 ลิตร	49.97%	[12]
เศษผักกวางตุ้งร่วมกับมูลโคในอัตราส่วน 170 มิลลิลิตร : มูลโค 10 กรัม	ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการนำเศษผักกวางตุ้งมาหั่นชิ้นเล็กและบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น	0.347 ลิตร		[13]
ผักตบชวาที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการนึ่งเป็นเวลา 60 นาทีร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วน 1:4	ปรับสภาพด้วยการนำผักตบชวาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพทางกายภาพด้วยการบดด้วยเครื่องปั่นปรับสภาพโดยการนึ่งโดยให้ไอน้ำร้อน เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง	0.176 ลิตร		[14]
ใบไม้ และมูลวัว อัตราส่วน 1:1 ค่าของแข็งทั้งหมด 2.5%TS	ปรับสภาพทางกายภาพด้วยการนำใบไม้มาตัดให้เป็นชิ้นเท่ากัน	7.37 ลิตร	64.61 %	งานวิจัยนี้

4. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดพบว่า การนำใบไม้เหลือทิ้งจากชุมชนมาใช้เป็นหนึ่งในวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ถึง 64.61 % ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบไม้หมักร่วมกับมูลวัวคือ อัตราส่วนการหมักร่วม 1:1 w/v ค่าของแข็งทั้งหมดที่ใส่ในระบบ 2.5 % TS ปริมาณ $CaCO_3$ 8 g L^{-1} ที่ใส่ในระบบเพื่อให้สามารถควบคุมสภาพด่างได้ ความเร็วรอบในการหมุน 100 รอบต่อนาที เพื่อให้วัตถุดิบและแบคทีเรียในระบบสามารถสัมผัสกันได้อย่างสมบูรณ์ เป็นข้อมูลเพื่อส่งต่อให้กับชุมชน และถือได้ว่าเป็นพลังงานทางเลือก รวมถึงการจัดการใบไม้ ลดการเผาในพื้นที่เปิดโล่งได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการนำสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากห้องปฏิบัติการไปใช้ในชุมชนนั้นควรมีการปรับสภาวะให้เหมาะสมกับชุมชนนั้นๆ และง่ายต่อการใช้งานต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Rongmuang, W. Arjhan, P. Liplap and T. Hinsui, Assessment of pollutant emission from open field burning of rice straw, Farm Engineering from Open Field Burning of Rice Straw, 2017, 3(1), 53-61. (in Thai)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

[2] B. Jolanun, A. Phutharukchat and C. Khamtui, Community-based renewable energy from *Mimosa Pigra L.*charcoal briquettes, KKU Research Journal, 2011, 16(1), 20-31. (in Thai)

[3] W. Markphan, U. Tipruk, T. Sansee, S. Kaewdam and W. Suksong, Biogas production from food waste by anaerobic digestion, Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, 2020, 22(2), 116-122. (in Thai)

[4] E.W. Rice, R.B. Baird and A.D. Eaton, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23nd Ed., American Public Health Association, Washington DC, USA, 2017.

[5] F. Promma, D. Thanaboripat and P. Sirirote, Biogas production from 3 strains of napier grass (*Pennisetum purpureum*), Journal of Science Ladkrabang, 2014, 23(2), 30-50. (in Thai)

[6] S.S.Salek, O.D.Bozkurt, A.G.V. Turnhout, R.Kleerebezem and M.C.M.V. Loosdrechta, Kinetics of $CaCO_3$ precipitation in an anaerobic digestion process integrated with silicate minerals, Ecological Engineering, 2016, 86, 105-112.

[7] K. Tjorve, and Tjorve, The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards family, PLOS ONE, 2017, 12(6), 1-17.

[8] S. Sirianuntapiboon, Wastewater Treatment System, Top Publishing, Bangkok, 2014. (in Thai)

[9] K. Triantafyllou, C. Chang and M. Pimentel, Methanogens, Methane and gastrointestinal motility, Journal of Neurogastroenterology and Motility, 2014, 20(1), 31-40.

[10] K. Panyaping, W. Kan-In, S. Saenphrom and A. Khampanyo, Biochemical methane potential of several kinds of petioles and leaves waste, Journal of Community Development Research, 2012, 5(1), 64-73. (in Thai)

[11] S. Vanatpornratt and N. Pisutpaisal, Economic feasible evaluation of biogas production from napier grass, Research Journal of Biotechnology, 2015, 10(3), 94-98.

[12] J. Chompoo, S. Chaiyasit and W. Suebsaiprom, Utilization of aquatic weeds as co-digestion with swine manure for biogas production, King Mongkut's Agricultural Journal, 2017, 35(3), 9-18. (in Thai)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.08.001

[13] S. Jijai, F. lardisong S. Muleng, The potential of biogas production from the vegetable waste in municipal market, Yala, International Academic & Research Conference of Rajabhat University, Proceeding, 2017, 395-402. (in Thai)

[14] K. Pomngern, P. Soh-salam and R. Pawongrat, Biogas production from steam-pretreated water hyacinth with cow dung by batch fermentation, Princess Narathiwas University Journal, 2016, 8(3), 129-139. (in Thai)