

# ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีเซล ที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว

นิสา พักตร์วิไล<sup>1</sup> มณฑิพย์ จันทร์แก้ว<sup>2</sup> วนัสพรรัตน์ สวัสดิ์<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์,  
ปทุมธานี, ประเทศไทย

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์,  
ปทุมธานี, ประเทศไทย

\*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล: s.vanapornratt@gmail.com, vanapornratt@vru.ac.th

รับต้นฉบับ: 30 พฤษภาคม 2564; รับประทานฉบับแก้ไข: 20 กรกฎาคม 2564; ตอรับบทความ: 31 สิงหาคม 2564

เผยแพร่ออนไลน์: 13 ธันวาคม 2564

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว โดยมีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพกระทั่งได้สภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้อัตราส่วนของไบโอดีเซลต่อมูลวัว 1:1 มีการปรับสภาพทางกายภาพเพื่อให้ไบโอดีเซลมีขนาดเล็กลง และมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) 16 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ภายในระบบ โดยสามารถรักษาสภาพต่างให้อยู่ในช่วง 1,480 ถึง 4,640  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  และค่าพีเอช มีค่าอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดีเซล พบว่ามีค่าเซลลูโลส  $39.096 \pm 0.559\%$  เฮมิเซลลูโลส  $25.291 \pm 0.937\%$  และลิกนิน  $18.556 \pm 1.399\%$  ตามลำดับ จากการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีเซล และมูลวัว พบว่า เปอร์เซ็นต์มีเทนสูงสุด มีค่า  $65.11\% \pm 0.30\%$  ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมสะสมทั้งหมดสูงสุด คือ  $1,978 \pm 3.54$  มิลลิลิตร และปริมาณมิลลิลิตรมีเทนสะสมทั้งหมด  $1,148 \pm 5.00$  มิลลิลิตร ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการนำไบโอดีเซลหมักร่วมกับมูลวัว สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี ดังนั้นไบโอดีเซลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถเป็นวัสดุสำหรับการผลิตพลังงานทางเลือกในชุมชน

**คำสำคัญ** : ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ การปรับสภาพทางกายภาพ วัสดุลิกโนเซลลูโลส

# Potential of Biogas Production by Co-Digestion between Physical Pretreatment Sugar Cane Leaf and Cow Dung

Nisa Pakvilai<sup>1</sup> Monthip Jankaew<sup>2</sup> Vanatpornratt Sawasdee<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup>Program in Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani, Thailand

<sup>3\*</sup>Program in Innovation of Environmental Management, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail address: s.vanatpornratt@gmail.com, vanatpornratt@vru.ac.th

Received: 30 May 2021; Revised: 20 July 2021; Accepted: 31 August 2021

Published online: 13 December 2021

## Abstract

This research studied the potential of biogas production by co-digestion between physically pretreated sugarcane leaf and cow dung. The biogas production system was operated until optimum for operation. The optimum ratio of sugarcane leaf and cow dung was 1:1. Sugarcane leaf was physically pretreated to small sizes and  $16 \text{ g L}^{-1} \text{ CaCO}_3$  maintained the optimum pH and alkalinity in system. The alkalinity can be maintained between  $1,480\text{--}4,640 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ ; pH was 6.95–7.15. This is optimum pH for microbial mechanisms in the system. However, before biogas production sugarcane leaf component analysis, cellulose  $39.096 \pm 0.559\%$ , hemicellulose  $25.291 \pm 0.937\%$ , and lignin  $18.556 \pm 1.399\%$ . The potential of the biogas production test by co-digestion between sugarcane leaf and cow dung was found to have the highest percentage of methane production  $65.11 \pm 0.30\%$ , highest cumulative total gas  $1,978 \pm 3.54 \text{ mL}$ , and highest total cumulative methane  $1,148 \pm 5.00 \text{ mL}$ . Therefore, this research presented that sugarcane leaf and cow dung can be used for biogas production and that sugarcane leaf that is agricultural waste can be material for producing alternative energy in the community.

**Keywords:** Potential of biogas production, Physical pretreatment, Lignocellulose

## 1) บทนำ

ในปีการผลิต 2562/2563 มีการผลิตอ้อยสดได้ปริมาณ 75 ล้านตัน โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่การผลิตอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย และมีการเผาอ้อยกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอ้อยที่ถูกเผาใบเหล่านี้จะเสียน้ำหนัก ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ อีกทั้งยังส่งผลให้ประชากรมีอายุสั้นลง [1] สภาพดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ มีวัชพืชขึ้นเนื่องจากไม่มีเศษซากปกคลุมดิน เกิดการระบาดของแมลงศัตรูอ้อยได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายในการปลูกดูแลอ้อยรุ่นต่อไปเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังไม่ใช่ที่ต้องการของโรงงานน้ำตาล เนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของแบคทีเรียทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อการแก้ปัญหา ส่งผลให้การหีบอ้อยทำได้ช้าลง ทางโรงงานน้ำตาลจึงตัดราคาสำหรับอ้อยเผาใบลงตันละ 20 บาท [2] อีกทั้งการเผาอ้อยในพื้นที่เปิดโล่งยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particular Matter) เกิดความเสียหายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยยังมีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากมลพิษทางอากาศ 31,173 คน และ 48,819 คน ในปี 2533 และ 2556 ตามลำดับ อีกทั้งมลพิษทางอากาศก่อให้เกิดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สูงถึง 210,603 และ 871,300 ล้านบาทในปี 2533 และ 2556 ตามลำดับ [3] การแก้ไขปัญหามลพิษจากอ้อยจึงถือเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน นำไปสู่การจัดการอ้อยถือเป็นของเหลือทิ้งในภาคการเกษตร ใบอ้อยนั้นเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเซลลูโลสนั้นประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อกัน นอกจากนี้เฮมิเซลลูโลสก็ยังเป็น น้ำตาลเฮกซอส และเพนโตส เชื่อมต่อกัน โดยมีลิกนินห่อหุ้มเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสอยู่ ทำให้ต้องมีการปรับสภาพวัสดุลิกโนเซลลูโลส เพื่อให้จุลินทรีย์ภายในระบบสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น [4], [5] โดยการปรับสภาพนั้นสามารถแบ่งได้เป็น การปรับสภาพทางกายภาพ เป็นการบด หรือสับให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายอีกด้วย การปรับสภาพทางเคมี เป็นการใส่สารเคมีทำให้โครงสร้างที่เกาะกันของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินนั้นคลายตัว และทำให้ย่อยสลายได้ง่าย และการปรับสภาพทางชีวภาพ เป็นการปรับสภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายโครงสร้างของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามทั้งสามวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด [4] แต่ในงานวิจัยนี้จะทำวิธีการปรับสภาพทางกายภาพมาใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุดิบ เพื่อลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย รวมถึงไม่ยุ่งยากต่อเกษตรกรที่จะนำไปประยุกต์ใช้

การเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เหมาะสม คือ การผลิตพลังงานทดแทนซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงชุมชน ถือเป็น การลดต้นทุนทางด้านพลังงานให้แก่ชุมชน อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงกับ BCG model เนื่องจากการนำวัสดุชีวภาพมาเพิ่มมูลค่า และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [6] เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใบอ้อยถือเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาผ่านเทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ Hydrolysis เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กลง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอน Acidogenesis เป็นการสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจากขั้นตอนที่ 1 ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูโวนิก กรดบิวทีริก และ กรดวาเลอริก และเข้าสู่ขั้นตอน Acetogenesis เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในขั้นตอนที่ 2 ให้กลายเป็นกรดอะซิติก และขั้นตอนสุดท้ายคือ Methanogenesis ขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นก๊าซมีเทน โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methane Producing Bacteria) [7] โดยมูลวัวสามารถหาได้ภายในพื้นที่ชุมชน มีประโยชน์อย่างมากต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ มูลวัวนั้นมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สำคัญในการผลิตมีเทนที่เป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ กลุ่มเมทาโนจิกรแบคทีเรียซึ่งจำเป็นสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพอีกด้วย [8] ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อนำไปทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผลพลอยได้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ปุ๋ยหมักที่ดีและมีคุณภาพ ทำให้เกษตรกรสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ในไร้อ้อยต่อไป

## 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ของใบอ้อย
2. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างใบอ้อย และมูลวัว

## 3) วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบของใบอ้อย

ใบอ้อยเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยก่อนการนำใบอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบ

สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนนั้น จะมีการวิเคราะห์หาองค์ประกอบชีวมวล [9], [10] ของวัสดุก่อนการนำไปใช้งาน ดังนี้

### 3.1.1) การสกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย Neutral Detergent

ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ใส่บีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลาย Neutral Detergent 100 มิลลิลิตร Sodium Sulphate 0.5 กรัม และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไป Reflux 1 ชั่วโมง (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วย Acetone 2 ครั้ง จากนั้นดูดสารละลายออกด้วย Vacuum Pump จนแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก จากนั้นไปคำนวณค่า Neutral Detergent Fiber (NDF) โดยใช้สมการที่ (1)

$$\% \text{ NDF} = \frac{[(WC+WADF)-WC] \times 100}{WS} \quad (1)$$

โดยที่ NDF คือ Neutral Detergent Fiber

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก NDF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

### 3.1.2) การสกัดด้วยสารละลาย Acid Detergent

นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral Detergent Reflux ด้วย Acid Detergent โดยการเติม Acid Detergent 10 มิลลิลิตร และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร 1 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) จากนั้นกรองตัวอย่างใน crucible และล้างด้วยน้ำ 100 องศาเซลเซียส 3-4 ครั้ง จากนั้นล้างด้วย 80% Ethanol 2 ครั้ง และนำตัวอย่างไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่ได้คือ Acid Detergent Fiber (ADF) จากนั้นนำไปคำนวณค่า % NDF ซึ่งน้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง NDF และ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\% \text{ ADF} = \frac{[(WC+WADF)-WC] \times 100}{WS} \quad (2)$$

$$\text{เฮมิเซลลูโลส (\%)} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF} \quad (3)$$

โดยที่ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก ADF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

### 3.1.3) การวิเคราะห์ Lignin

เติมสารละลาย Combined Permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน crucible ที่อยู่ในภาชนะที่มีน้ำเย็น คนด้วยแท่งแก้วเพื่อไม่ให้ตัวอย่างจับเป็นก้อน ทิ้งไว้ 45 นาที จากนั้นดูดสารละลายออกด้วย Vacuum pump โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง เติมสารละลาย Demineralizing ลงใน Crucible ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นดูดสารละลายออกจนหมดโดย Vacuum Pump ทำซ้ำจนตัวอย่างมีสีขาว ภายในเวลา 20 นาที จากนั้นล้างด้วย 80% Ethanol และ Acetone ดูดสารละลายออกด้วย Vacuum Pump อบตัวอย่างที่ 100 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง ADF และ WRL คือ น้ำหนักของลิกนิน ดังสมการที่ 4

$$\% \text{ Lignin} = \frac{[(WC+WADF)-(WC+WRL)] \times 100}{WS} \quad (4)$$

โดยที่ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส

WC คือ น้ำหนัก crucible

WADF คือ น้ำหนัก ADF

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

WRL คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

### 3.1.4) นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก แล้วไปเผา 550

องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นและนำไปชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่แตกต่างระหว่างน้ำหนักตัวอย่างที่สกัดลิกนินออกและน้ำหนักหลังเผา คือ น้ำหนักเซลลูโลส ดังสมการที่ 5

$$\% \text{ Cellulose} = \frac{[(WC+WRL)-(WC+WF)] \times 100}{WS} \quad (5)$$

โดยที่ WC คือ น้ำหนัก crucible

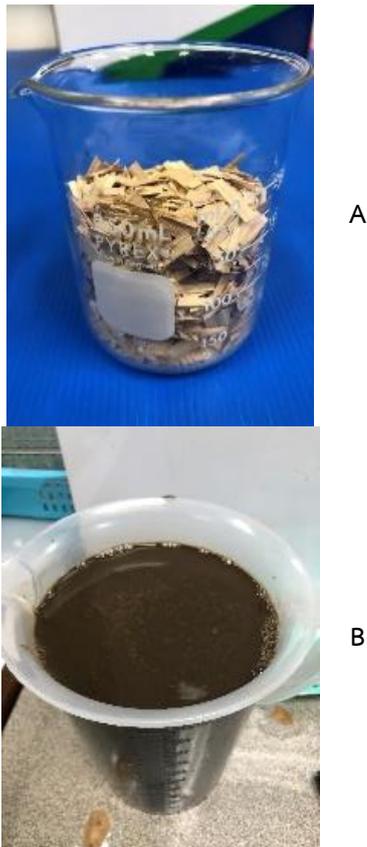
WRL คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

WS คือ น้ำหนักตัวอย่าง

WF คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

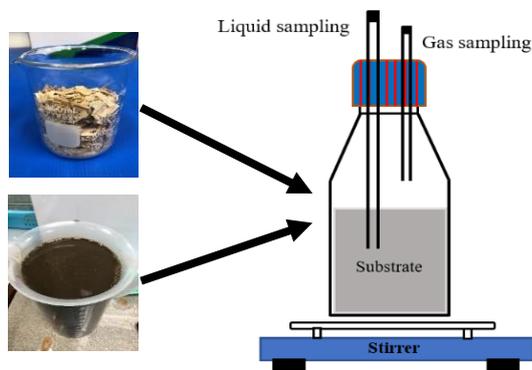
### 3.2) ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดี และมูลวัว

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีและมูลวัว กำหนดอัตราส่วนในการหมักร่วมคือ 1:1 [5] มีการปรับสภาพทางกายภาพ (Physical Pretreatment) โดยการทำให้ไบโอดีมีขนาดเล็กลง 2-3 เซนติเมตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 : (A) ใบบ่อยที่ปรับสภาพทางกายภาพ และ  
(B) มูลวัวที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 710  $\mu\text{m}$

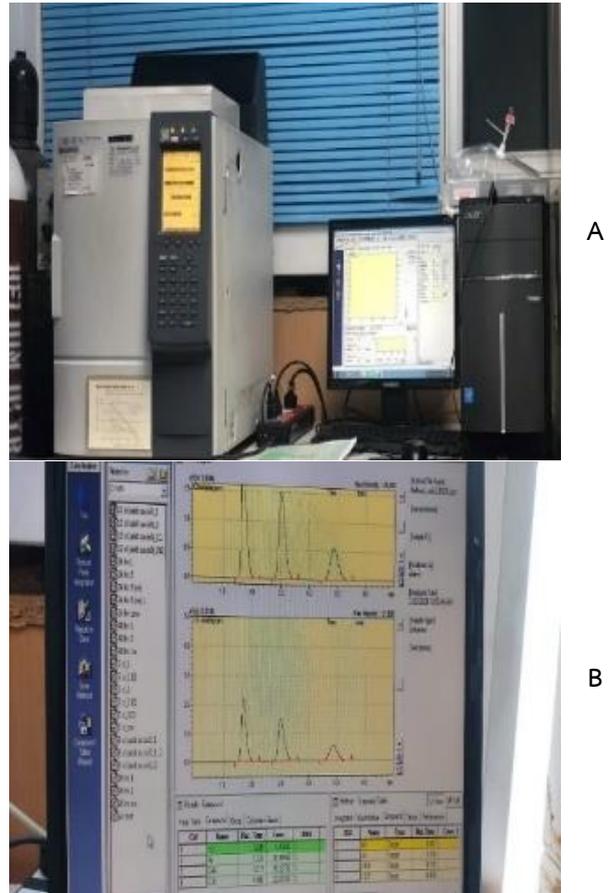
มีการควบคุมค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.0 และมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  16 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาสภาพต่างในระบบ ควบคุมค่าพีเอชไม่ให้ลดลงจนส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียในระบบ โดยระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น ใช้ถังขนาด 1 ลิตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 : แสดงถึงปฏิกรณ์สำหรับการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ

### 3.3) การวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซชีวภาพ และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ห้องค้ประกอบก๊าซชีวภาพใช้เครื่องโครมาโตกราฟี Shimadzu GC-2014 แพคคอลลัมน์ (Shincarbon ST 50/80 mesh 2.0 m  $\times$  3.0 mm I.D., stainless steel) [11] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : (A) เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี Shimadzu GC-2014 และ  
(B) จอแสดงผลจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

### 3.4) การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างใบบ่อย และมูลวัวนั้น นอกจากพารามิเตอร์ก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพนั้น ยังต้องมีการติดตามพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ค่าพีเอช (pH) ค่าสภาพต่าง (Alkalinity) ในระบบอุณหภูมิ (Temperature) ที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการติดตามข้อมูล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่
ค่าพีเอช (pH)	pH meter	ทุก ๆ 4 วัน
ค่าสภาพต่าง (Alkalinity)	Titration	ทุก ๆ 2 วัน
อุณหภูมิ (Temperature)	Temperature sensor	ทุก ๆ 4 วัน

#### 4) ผลการวิจัย

##### 4.1) องค์ประกอบของไบโอดี

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีและมูลวัวนั้น มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไบโอดี เป็นการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าเซลลูโลส  $39.096 \pm 0.559\%$  เฮมิเซลลูโลส  $25.291 \pm 0.937\%$  และลิกนิน  $18.556 \pm 1.399\%$  ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสของไบโอดี

Lignocellulose component	
Cellulose	$39.096 \pm 0.559$
Hemicellulose	$25.291 \pm 0.937$
Lignin	$18.556 \pm 1.399$

องค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสนั้น เป็นองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และสามารถแปลงเป็นก๊าซชีวภาพ ผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ โดยเนื้อเยื่อของพืชแต่ละชนิดนั้นจะมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่แตกต่างกัน ซึ่งเซลลูโลสจะเป็นองค์ประกอบที่มีการเรียงตัวกันของ D-glucose 2,000-4,000 หน่วย ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการย่อยสลาย และผลิตเป็นพลังงานต่อไปได้ในส่วนเฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาล คือ ไซแลน (Xylan) กาแลกแตน (Galactan) และกลูโคแมนแนน (Glucomanan) ลิกนินจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะรวมอยู่กับเซลลูโลส โดยลิกนินจะเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ยืดหยุ่น ซึ่งลิกนินนั้นจะเกาะยึดกับเซลลูโลส เป็นโครงสร้างที่แข็งแรง [12]

ดังนั้นก่อนการนำวัสดุลิกโนเซลลูโลสไปแปลงเป็นก๊าซชีวภาพนั้น จึงต้องมีการปรับสภาพทางกายภาพก่อน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ที่ใส่ลงในระบบสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น และเมื่อนำองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสจากไบโอดีมาเปรียบเทียบกับวัสดุลิกโนเซลลูโลสอื่นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เปลือกถั่ว ฟางข้าว ดังตารางที่ 3 จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณของเซลลูโลสอยู่ในช่วงเดียวกันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว แต่ในส่วนของเปลือกถั่วนั้นมีองค์ประกอบของเซลลูโลสน้อยกว่า และมีปริมาณลิกนินมากกว่า เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ชี้วัดว่าเปลือกถั่วมีความเหมาะสมน้อยที่สุด ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่นนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงไบโอดีด้วย เนื่องจากการมีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในปริมาณมากนั้น แสดงว่ามีองค์ประกอบของน้ำตาลในปริมาณมากเช่นเดียวกัน ทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในระบบสามารถย่อยสลายวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

ตารางที่ 3 : แสดงการเปรียบเทียบขององค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่น และงานวิจัยนี้

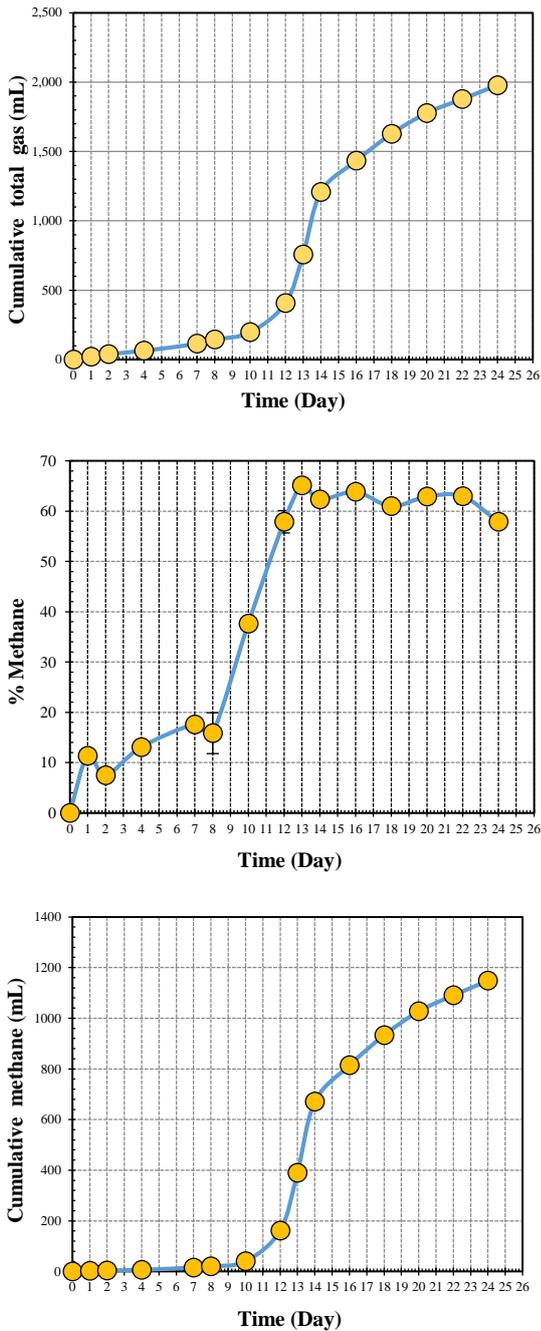
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ชังข้าวโพด	45.00%	35.00%	15.00%
เปลือกถั่ว	25.00-30.00%	25.00-30.00%	30.00-40.00%
ฟางข้าว	30.00%	50.00%	15.00%
ไบโอดี*	39.10%	25.29%	18.56%

หมายเหตุ \* คือ งานวิจัยนี้

แหล่งที่มา : ดัดแปลงจาก รัชพล พะวงศรีรัตน์ [13]

##### 4.2) ก๊าซชีวภาพและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

เมื่อนำไบโอดีไปเข้าสู่ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ โดยการหมักร่วมระหว่างมูลวัวและไบโอดีนั้น พบว่าต้องมีการปรับค่าพีเอชในระบบให้เป็นกลาง และมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณที่เหมาะสม คือ  $16 \text{ g L}^{-1} \text{ CaCO}_3$  เพื่อให้  $\text{CaCO}_3$  เป็นสารควบคุมสภาพต่าง (Alkalinity) ในระบบ ให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ



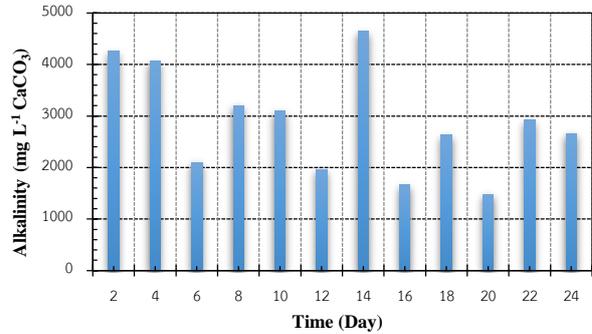
รูปที่ 4 : (A) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร); (B) เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน (%); (C) ปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)

จากการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างไบโอดีและมูลวัว พบว่า เปอร์เซนต์มีเทนสูงสุดที่ผลิตได้จากการหมักไบโอดีและมูลวัว มีค่า  $65.11\% \pm 0.3$  (รูปที่ 4B) ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมสะสมทั้งหมดสูงสุด คือ  $1,978 \pm 3.54$  มิลลิลิตร (รูปที่ 4A) และปริมาณมีเทนสะสมทั้งหมด  $1,148 \pm 5.00$  มิลลิลิตร (รูปที่ 4C) ตามลำดับ และเมื่อนำผลการวิจัยที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่า มีค่าเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนสูงกว่างานวิจัยอื่น ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : การเปรียบเทียบก๊าซมีเทนจากวัสดุคอกโนเซลลูโลส

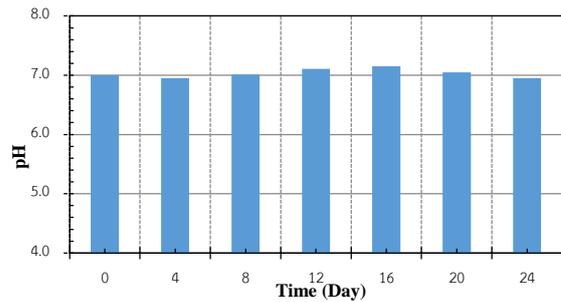
วัตถุดิบ	เปอร์เซนต์มีเทน	อ้างอิง
ขุยมะพร้าวและมูลวัว	46.10%	[14]
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและมูลวัว	45.00%	[15]
เศษมันฝรั่ง	51.50%	[16]
ไบโอดีและมูลวัว	65.11%	งานวิจัยนี้

A



B

รูปที่ 5 : ค่าสภาพต่างในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



C

รูปที่ 6 : ค่าพีเอชในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

อย่างไรก็ตามในขั้นแรกที่มีการทดสอบเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการโดยไม่มีการเติม  $\text{CaCO}_3$  นั้นจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่ดี อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบได้ และเมื่อมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  พบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 4 A-C แสดงให้เห็นว่าการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณที่เหมาะสมนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยในการเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะเดินระบบในอุณหภูมิช่วงมีโซฟิลิก คือ อุณหภูมิช่วง 35-37 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสภาวะอากาศของประเทศไทย ค่าสภาพต่าง (Alkalinity) นั้นจะตรวจวัดทุก ๆ 2 วัน ซึ่งพบว่าระบบสามารถรักษาสภาพต่างให้อยู่ในช่วง 1,480 ถึง 4,640  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  (รูปที่ 5) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [6]

เมื่อพิจารณาถึงค่าพีเอชในระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นพบว่ามีความอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 (รูปที่ 6) ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งถือเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (Methane Forming Bacteria)

#### 5) สรุปและอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว พบว่าในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องมีการควบคุมค่าพีเอช และสภาพต่างในระบบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือค่าพีเอชไม่ควรต่ำกว่า 6.2 [6] โดยเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามค่าพีเอชนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพต่างในระบบ ดังนั้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพในงานวิจัยนี้จึงมีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ในปริมาณที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติม  $\text{CaCO}_3$  นั้น พบว่าระบบไม่สามารถรักษาค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ เนื่องจากภายในระบบมีทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด และกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน ซึ่งกลุ่มที่ผลิตมีเทนมีการดำเนินกิจกรรมและเจริญเติบโตช้ากว่ากลุ่มผลิตกรด ทำให้เมื่อจุลินทรีย์ผลิตกรดทำงานอาจส่งผลให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ภายในระบบ และทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ทำให้ระบบล้มได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสภาพต่างในระบบนั้นพบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเช่นกัน คือ 1,480 ถึง 4,640  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  โดยค่าทางทฤษฎีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 5,000  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่าการเติม  $\text{CaCO}_3$  นั้นถือได้ว่าเป็นการช่วยให้ระบบสามารถรักษาค่าพีเอช และสภาพต่างได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อสภาวะในระบบมีความเหมาะสมแล้ว จะทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่ามีเทนที่สามารถผลิตได้เทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้เป็นอย่างดี

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณแหล่งสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.): งบประมาณด้าน ววน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลย-

อลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี เลขที่สัญญา ววน.01/2564 และเครื่องมือเฉพาะทางจากศูนย์ Biosensor and Bioelectronics Technology สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

#### REFERENCES

- [1] W. Kaewpradit, "Sugarcane straw management to mitigate particulate matter and encourage sustainable sugarcane production," (in Thai), *Khon Kaen Agr. J.*, vol. 49, no. 1, pp.76–86, Feb. 2021.
- [2] T. Kaisinburasak, W. Opanukul, A. Opanukul, W. Sukpraserk, M. Kantamarat, and M. Tunhaw, "The Design and Mechanism Developing of Sugarcane Leaf Pruning Machine for sugarcane planting," (in Thai), *Thai Agr. Res. J.*, vol. 34, no. 1, pp.76–94, 2016.
- [3] World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. "The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action." [WORLD BANK.org. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013](https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013) (accessed Feb. 25, 2021).
- [4] S. Polprasert, "Pretreatment of lignocellulosic materials for ethanol production," (in Thai), *Thai Sci. Technol. J.*, vol. 22, no. 5, pp. 641–649, 2014.
- [5] N. Pisutpaisal, V. Sawasdee, P. Prommanee, and S. Haosagul, "Potential biogas generation from organic wastes in the EGAT," unpublished.
- [6] National Science and Technology Development Agency, "BCG in Action Bio- Circular - Green Economy," Bangkok, Thailand. Accessed: Feb 25, 2021. [Online]. Available: [http://stiic.sti.or.th/wp-content/uploads/2018/10/BCG\\_Final1.pdf](http://stiic.sti.or.th/wp-content/uploads/2018/10/BCG_Final1.pdf)
- [7] S. Sirianuntapiboon, *Wastewater Treatment System*, Bangkok, Thailand: Top Publishing (in Thai), 2014.
- [8] F. Tufaner and Y. Avsar, "Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, pp. 2303–2312, Jul. 2016.
- [9] N. Paraksa and S. Paraksa, *Animal Nutrition*, Nakhonpathom, Thailand: Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus (in Thai), 2010.
- [10] A. M. Mansor, J. S. Lim, F. N. Ani, H. Hashim and W. S. Ho, "Characteristics of cellulose, hemicellulose and lignin of MD2 pineapple biomass," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 72, pp.79–84, Jan. 2019.



- [11] V. Sawasdee, S. Haosagul, and N. Pisutpaisal, "Co-digestion of waste glycerol and glucose to enhance biogas production," *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 44, no. 56, pp. 29575–29582, Nov. 2019.
- [12] S. Fatma, A. Hameed, M. Noman, T. Ahmed, M. Shahid, M. Tariq, I. Sohail, and R. Tabassum, "Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Bioenergy Source for the Future," *Protein Pept. Lett.*, vol. 25, no. 2, pp. 1–16, Jan. 2018.
- [13] R. Pawongrat, "Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes," (in Thai), *Veridian E-Journal, Sci. Technol. Silpakorn Univ.*, vol. 2, no. 1, pp. 143–157, Jun. 2015.
- [14] W. Soontornchaiboon, T. Plyngam, and R. Pawongrat, "Pretreatment of coconut husk for biogas production by anaerobic fermentation with cow dung," (in Thai), *RMUTP Res. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 19–30, Sep. 2015.
- [15] M. Sontikunaporn, S. Echaroj, and W. Rimpikul, "Evaluation of Agricultural Wastes for Biogas Production," *Thammasat Int. J. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2014.
- [16] E. Tamburini, M. Gaglio, G. Castaldelli, and E. A. Fano, "Biogas from Agri-Food and Agricultural Waste Can Appreciate Agro-Ecosystem Services: The Case Study of Emilia Romagna Region," *Sustainability*, vol. 12, no. 20, pp. 1–15, Oct. 2020.