



## ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลช้างโดยใช้หัวเชื้อกากตะกอนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ญาณิกา บุญยวง กิตติกร สาสุจิตต์ ภาคมณ ปินตานา และ รจพรธณ นิรัญศิลป์\*

วิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชยานนท์ สวัสดิ์สินธุนาท

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1805 6559 อีเมล: rotjapun@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.10.011

รับเมื่อ 4 เมษายน 2566 แก้ไขเมื่อ 6 มิถุนายน 2566 ตอรับเมื่อ 24 สิงหาคม 2566 เผยแพร่ออนไลน์ 7 ตุลาคม 2567

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลช้างโดยใช้หัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค (ADCM) กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร (ADPM) และกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร (ADFW) ซึ่งอัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อ (SIR) เท่ากับ 1 : 1, 1 : 2 และ 2 : 1 กรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า ควบคุมอุณหภูมิ  $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยงานวิจัยครั้งนี้พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศที่ SIR เท่ากับ 2 : 1 มีความเหมาะสมที่สุด โดยวัตถุดิบมูลช้างร่วมกับหัวเชื้อ ADPM มีการผลิตก๊าซมีเทนสะสมที่มีค่าสูงเท่ากับ 775.91 นอร์มอลลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า และมีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงถึง 57% ตามด้วย ADCM และ ADFW ที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้ 430.32 นอร์มอลลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า และ 790.02 นอร์มอลลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้าตามลำดับ มีค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุดถึง 48% และ 48.50% ตามลำดับ ในระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ซึ่งผลของงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นลิกโนเซลลูโลสและเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบของก๊าซชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยังเป็นพลังงานที่ยั่งยืน

**คำสำคัญ:** การหมักย่อยแบบไร้อากาศ มูลช้าง ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน หัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การอ้างอิงบทความ: ญาณิกา บุญยวง, กิตติกร สาสุจิตต์, ภาคมณ ปินตานา, รจพรธณ นิรัญศิลป์ และ ชยานนท์ สวัสดิ์สินธุนาท, “ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากมูลช้างโดยใช้หัวเชื้อกากตะกอนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 35, ฉบับที่ 2, หน้า 1-12, เลขที่บทความ 252-076853, เม.ย.-มิ.ย. 2568.



## Biochemical Methane Potential from Elephant Dung Using Sludge Inocula of a Biogas Production System

Yanika Boonyuang, Kittikorn Sasujit, Pakamon Pintana and Rotjapun Nirunsin\*

Affiliation Department of Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand  
Chayanon Sawatdeenarunat

Affiliation Asian Development College for Community Economy and Technology, Chiang Mai Rajabhat University Chiang Mai, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 08 1805 6559, E-mail: rotjapun@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.10.011

Received 4 April 2023 ; Revised 6 June 2023 ; Accepted 24 August 2023; Published online: 7 October 2024

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research aims to study the biochemical methane potential of elephant dung by using 3 inocula including anaerobically digested cattle manure (ADCW), anaerobically digested pig manure (ADPM), and anaerobically digested food waste (ADFW), with different substrates to inoculum ratios (SIR) of 1 : 1, 1 : 2, and 2 : 1 gVS<sub>added</sub>, controlled at a temperature of 35 ± 2 °C. The results showed that the SIR of 2 : 1 was the most appropriate ratio for biogas production via anaerobic digestion. Using ADPM as inoculum indicated a high cumulative methane yield of 775.91 NmL/gVS<sub>added</sub> with a methane content of 57%. Furthermore, ADCW and ADFW indicated the cumulative methane yields of 430.32 NmL/gVS<sub>added</sub> and 790.02 NmL/gVS<sub>added</sub>, respectively, the highest methane content of 48% and 48.50% were observed. During the 60 days of the experiment, the results of this research can serve as a guideline for biogas production from raw materials predominantly composed of lignocellulosic components, enhancing the potential for efficient decomposition of the substrate into environmentally friendly biogas and sustainable energy.

**Keywords:** Anaerobic Digestion, Elephant Dung, Biochemical Methane Potential, Sludge Inocula

Please cite this article as: Y.Boonyuang, K. Sasujit, P. Pintana, R. Nirunsin, and C. Sawatdeenarunat, "Biochemical methane potential from elephant dung using sludge inocula of a biogas production system," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 2, pp. 1–12, ID. 252-076853, Apr.–Jun. 2025 (in Thai).

## 1. บทนำ

ช้างเป็นสัตว์ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญกับอุตสาหกรรมด้านการท่องเที่ยวของประเทศไทย ซึ่งสามารถเพิ่มรายได้ให้กับประเทศอย่างมาก แต่ในปัจจุบันปางช้างยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งภายในปางที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1], [2] ซึ่งจากการสำรวจพบว่า จำนวนช้างเลี้ยงในประเทศไทยมีปริมาณมากกว่า 2,700 เชือก โดยมากกว่าสามในสี่พบว่า อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ที่มีปางช้างจำนวน 9 ปาง เช่น ปางช้างแม่แตง ปางช้างกั๊ดช้าง ปางช้างแม่แตง เป็นต้น [2]-[4] โดยในแต่ละวันปางช้างจะมีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยมูลช้าง (Elephant Dung; ED) เป็นหลัก โดยส่วนใหญ่ช้างจะถ่ายมูลมากถึง 9,160 กิโลกรัมต่อวัน โดยคำนวณจากปางช้าง 5 แห่ง คือ ปางช้างแม่แตง ปางช้างแม่แตง ปางช้างโชคชัย ปางช้างแอลลี ปางช้างบ้านช้างไทย [4] ซึ่งองค์ประกอบหลักของมูลช้างมีประเภทลิกโนเซลลูโลส และสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง ดังนั้นมูลช้างที่ขับถ่ายออกมาเฉพาะเขตพื้นที่ภาคเหนือสามารถผลิตได้มากกว่า 61 ตันต่อวัน [5] ด้วยปริมาณมูลช้างที่สะสมมากขึ้นในแต่ละวันทำให้ทางปางช้างในหลายแห่งเลือกวิธีการกำจัดมูลช้างด้วยการเผา ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศจากฝุ่นควัน PM 2.5 รวมถึงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผา และส่งผลกระทบต่อกลไกป้องกันระบบทางเดินหายใจ ซึ่ง 20% ของผู้เสียชีวิตประมาณ 6.7 ล้านคน จากมลพิษทางอากาศใน พ.ศ. 2562 เกิดจากโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคที่เกิดร่วมในผู้ติดเชื้อ COVID-19 มีสาเหตุมาจากมลพิษทางอากาศ [5]-[7] ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถแปรรูปมูลช้างให้อยู่ในรูปของพลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด [8], [9] เนื่องจากพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดที่สามารถผลิตได้จากแหล่งวัตถุดิบที่หลากหลายและก๊าซชีวภาพที่บริสุทธิ์สามารถนำมาใช้งาน เช่น ผลิตไฟฟ้า ผลิตความร้อนและ

ไอน้ำในครัวเรือนและอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ [10] นอกจากประโยชน์เชิงเศรษฐกิจจากการผลิตพลังงานและเชื้อเพลิงแล้ว ยังให้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เช่น ลดมลพิษทางน้ำ ดิน และอากาศ ลดลง เป็นต้น ภาคตะกอนที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้เป็นปุ๋ยในการทำการเกษตรโดยตรง [11], [12] และยังสามารถตอบสนองความต้องการด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างยั่งยืน [8]

โดยกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่มีความซับซ้อนในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสถานะเป็นก๊าซ โดยงานวิจัยหลาย ๆ งานที่ได้ทำการศึกษาอย่าง Abdulsalam [2] ที่นำเสนอการผลิตก๊าซชีวภาพจากอัตราส่วนผสมระหว่างมูลโคและมูลช้าง โดยใช้กระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ 3 อัตราส่วนจากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างมูลโคและมูลช้างที่ 50 : 50 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้มากที่สุด จากการเปรียบเทียบผลการทดลองยังสรุปได้ว่า มูลช้างเป็นวัตถุดิบที่ดีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma และคณะ [13] พบว่า อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อในกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระยะเวลาในการหมักย่อยของระบบผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ตามด้วยงานวิจัยของ Mercado และคณะ [14] พบว่า หัวเชื้อเป็นปัจจัยสำคัญในการเริ่มระบบการผลิตก๊าซชีวภาพและลักษณะของหัวเชื้อยังมีผลต่อการย่อยสลายหรือกำจัดสารอินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารตั้งต้น และ Rangseesuriyachai [15] ที่นำเสนอว่ามูลช้างและหญ้าเนเปียร์ใช้เป็นของเสียเป็นพลังงานที่ช่วยในการจัดการขยะและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยทำการศึกษาร่วมแบบไม่ใช้ออกซิเจนระหว่างมูลช้างและการปรับสภาพทางชีวภาพของเนเปียร์ โดยใช้เอนไซม์ Microbial Activator Super LDD1 (Mixed Culture Microbial Sludge) ก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ทำการย่อยสลายได้ยาก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้



พบว่า การปรับสภาพพื้นผิวของวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของแข็งมีผลกระทบมากที่สุดต่อผลผลิตมีเทน แต่เนื่องจากมูลช้างมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน จึงยากต่อการไฮโดรไลซ์ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพที่ต่ำ ทำให้ต้องอาศัยหัวเชื้อในการย่อยสลายพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากหัวเชื้อที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น [2], [16] โดยวิธีการทดสอบศักยภาพก๊าซมีเทนทางชีวเคมี (Biochemical Methane Potential; BMP) เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการหาชนิดหัวเชื้อและอัตราส่วนสารตั้งต้นต่อหัวเชื้อในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง

จากการพิจารณาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบมูลช้าง โดยใช้อัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อหัวเชื้อที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารตั้งต้นต่อหัวเชื้อจากตะกอนจากระบบการหมักย่อยแบบไร้อากาศที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นลิกโนเซลลูโลสและเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายวัตถุดิบให้อยู่ในรูปแบบของก๊าซชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยังเป็นพลังงานที่ยั่งยืน

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบตั้งต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ ทำการเก็บรวบรวมวัตถุดิบตั้งต้นมูลช้าง (Elephant Dung; ED) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากปางช้างแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ของประเทศไทย หลังจากนั้นนำมูลช้างมาตากให้แห้ง และก่อนนำไปใช้งานทำการปรับขนาดมูลช้างให้มีขนาด 0.5–1.0 มิลลิเมตร ด้วยการบดย่อยโดยใช้เครื่องปั่น (SC-1589; Silver Crest, China) และทำการกรองด้วยตะแกรงขนาด 25 เมช ก่อนทำการทดลองในงานวิจัยนี้

### 2.2 การเตรียมหัวเชื้อ

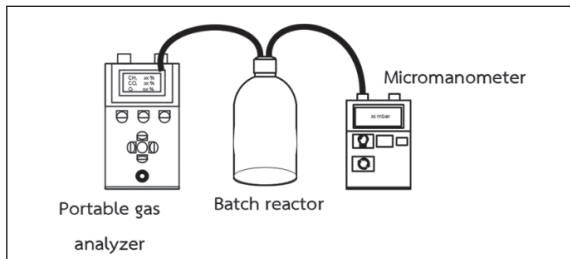
สำหรับหัวเชื้อที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหัวเชื้อที่ผ่าน

กระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ 3 ชนิด ประกอบด้วย กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค (Anaerobically Digested Cow Manure; ADCM) จากคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ วิทยาเขตแมริม กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร จากคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วิทยาเขตเชียงใหม่ (Anaerobically Digested Pig Manure; ADPM) และ กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร (Anaerobically Digested Food Waste; ADFW) จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วิทยาเขตเชียงใหม่ ซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมหัวเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 2$  องศาเซลเซียส พร้อมทำการวิเคราะห์ลักษณะค่าพารามิเตอร์ของหัวเชื้อ ADCM, ADPM และ ADFW ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity; Alk) ค่าของแข็งระเหย (Volatile Solid; VS) และค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid; TS) เป็นต้น ก่อนนำไปใช้งานเป็นหัวเชื้อในการทดลองร่วมกับสารตั้งต้นมูลช้าง ที่ทำการศึกษาในขวดเซรัม พร้อมทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง  $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนนำหัวเชื้อจุลินทรีย์มาใช้งาน

### 2.3 วิธีการทดลอง

ศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนด้วยการทดสอบ BMP ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน VDI4630 [17] ในขวดเซรัมขนาด 1,000 มิลลิลิตร ภายใต้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศแบบกะ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารตั้งต้นต่อหัวเชื้อที่ 1 : 1, 1 : 2 และ 2 : 1  $gV_{S_{added}}$  โดยใช้ปริมาตรใช้งานจริง เท่ากับ 400 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7.00 ด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไฮโดรเจนซัลเฟต ( $H_2SO_4$ ) ตามขั้นตอนมาตรฐาน [17]

สำหรับการทดลองจะทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งอากาศในขวดการทดลองช่วงเริ่มต้นจะถูกแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อสร้างสภาวะไร้อากาศ และทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะ Mesophilic ที่  $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา



รูปที่ 1 ชุดการทดลองขนาด 1,000 มิลลิลิตร

60 วัน หลังจากวันแรกของการทดลองทำการเขย่าวันละ 1 ครั้ง เพื่อเพิ่มโอกาสให้จุลินทรีย์สะสมฝัสดสารตั้งต้นได้มากขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ pH, VFA, Alk, VS และ TS เป็นต้น ของทุกขวดที่ทำการทดสอบทั้งก่อนเข้าระบบและหลังออกระบบ และทำการวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบพกพา (GFM416; Gas Data Limited, United Kingdom) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยนำปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้มาคำนวณให้เป็นหน่วย นอร์มอลมิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 1 บรรยากาศ เพื่อแสดงให้เห็นทราบถึงศักยภาพมีเทน

## 2.4 วิธีการวิเคราะห์

สำหรับการวัดค่า pH จะใช้เครื่อง (Mettler Toledo [S220], Columbus, Ohio, USA) ในการตรวจวัดค่า ในส่วนของ การวิเคราะห์ค่า TS และค่า VS จะใช้วิธีการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน American Public Health Association (APHA) [18] และในการวิเคราะห์ค่า VFA และค่า Alk ได้ทำการตรวจวัดตามวิธีการไทเทรตตามมาตรฐาน American Public Health Association (APHA 2310) [19] และทำการวัดก๊าซชีวภาพรายวันที่ระบบสามารถผลิตได้ทำการวัดด้วยไมโครมาโนมิเตอร์ (MP 112; KIMO Instrument, France) ส่วนองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบพกพา (GFM416; Gas Data Limited, United Kingdom) โดยทำการวิเคราะห์ศักยภาพของมีเทนด้วยการคำนวณให้อยู่ในหน่วย นอร์มอลมิลลิลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย

ที่ป้อนเข้า (ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 1 บรรยากาศ) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดจะทำการวิเคราะห์ซ้ำกัน 3 ครั้ง

## 2.5 คำสมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์

แบบจำลองกอมเพิทซ์ (Gompertz Equation) เป็นแบบจำลองที่ทำการดัดแปลงและปรับปรุงเพื่อใช้จำลองข้อมูลผลผลิตมีเทนสะสมจากการทดลองการหมักแบบไร้อากาศในการงานวิจัยนี้ [20], [21] ดังแสดงในสมการที่ 1

$$y = M \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{R_m}{M} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} ax^2 + bx + c \quad (1)$$

โดยกำหนดตัวแปร

$y$  คือ ปริมาตรของก๊าซมีเทนสะสม (มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า)

$t$  คือ ระยะเวลาในการทดลอง (วัน)

$M$  คือ ศักยภาพในการผลิตมีเทน (มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า)

$R_m$  คือ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้าต่อวัน)

$e$  คือ เลขของออยเลอร์ หรือ  $\exp$  มีค่าเท่ากับ 2.7183

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ลักษณะของมูลช้างก่อนดำเนินการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของมูลช้างพบว่า มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.30 ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นกลางของวัตถุดิบ เนื่องจากมูลช้างมีการเปลี่ยนแปลงด้วยการย่อยของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการตกจากแบคทีเรียที่สร้างกรดแล็กติกได้ยาก จึงทำให้มูลช้างมีค่าเป็นกลาง [8] ที่มีความสอดคล้องกับ Sawatdeenarunat [5] พบว่า ค่า pH มูลช้างมีค่าเป็นกลางอยู่ในช่วง 6.80–7.30 [3] ส่วนค่า TS ของมูลช้างพบว่า มีค่าเท่ากับ 96.26% และค่า VS เท่ากับ 74.40% ส่วนค่า VS/TS เท่ากับ 0.81 เนื่องจากมูลช้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยหญ้าเนเปียร์ที่เป็นกลุ่มลิกโนเซลลูโลส มีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด คือ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ



ลิกนิน [22] ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งส่งผลให้จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายวัตถุดิบได้ยากขึ้น ดังนั้นในการทดลองเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ จึงต้องทำการปรับสภาพให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง [23]–[26] ก่อนทำการหมักด้วยหัวเชื้อและอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 1** ลักษณะของมูลขี้และหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน ก่อนดำเนินการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์	หน่วย	มูลขี้	กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ		
			มูลโค	มูลสุกร	เศษอาหาร
pH	-	7.30	8.13	7.13	7.02
TS	%	96.26	4.10	7.09	15.07
VS	%	74.40	1.74	4.33	6.05
VS/TS ratio	-	0.81	0.43	0.61	0.40
VFA/Alk ratio	-	NA	0.26	0.22	0.22

### 3.2 ลักษณะของหัวเชื้อกากตะกอนจากระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ

กากตะกอนจากระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศที่นำมาศึกษา ได้แก่ กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค (ADCM) กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร (ADPM) และกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร (ADFW) มีลักษณะทางกายภาพของ ADCM เป็นสารแขวนลอยเนื้อเดียวกัน ส่วน ADPM มีลักษณะทางกายภาพเป็นสารแขวนลอยเม็ดกลมเล็กสีดำ มีการตกตะกอน มีกลิ่นเล็กน้อยและ ADFW มีลักษณะทางกายภาพเป็นสารแขวนลอยเม็ด มีการตกตะกอน มีกลิ่นเล็กน้อย [27] ซึ่งลักษณะทางเคมีหัวเชื้อก่อนการทดลองแสดงในตารางที่ 1 กากตะกอนข้างต้นที่ได้กล่าวมามีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง [5] คือ 8.13, 7.13 และ 7.02 ตามลำดับ และมีค่า VFA/Alk เท่ากับ 0.26, 0.22 และ 0.22 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ น้อยกว่า 0.40 [24] เนื่องจากค่า VFA/Alk ที่เหมาะสมในการหมักย่อยแบบไร้อากาศที่จะมีค่าน้อยกว่า 0.40 และกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการหมักย่อยสลายในกระบวนการ

หมักแบบไร้อากาศจะมีความคงตัวทางชีวภาพในกรณีที่ไม่ใช้อากาศมากกว่าการใช้วัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้เป็นหัวเชื้อโดยตรง อย่างเช่นมูลสัตว์ต่าง ๆ เนื่องจากจุลินทรีย์จากหัวเชื้อกากตะกอนอาศัยอยู่ในระบบที่มีสภาวะแวดล้อมเหมือนกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้เป็นหัวเชื้อมากกว่ามูลสัตว์ที่ไม่ได้ผ่านการหมักแบบไร้อากาศมาก่อน [16], [28] นอกจากนี้ยังแสดงค่า TS/VS ของ ADCM, ADPM และ ADFW ที่มีค่าเท่ากับ 0.43, 0.61 และ 0.40 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 1 ลักษณะของมูลขี้และหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน ก่อนดำเนินการทดลอง ซึ่งเป็นลักษณะของค่า TS/VS ของกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดในกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ

### 3.3 ลักษณะของวัตถุดิบในการทดลองหลังจากผ่านกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ

สำหรับผลวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศหลังเสร็จสิ้นการทดลอง ให้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยค่าพารามิเตอร์หลักของการผลิตก๊าซชีวภาพที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยเป็นการย่อยของมูลขี้และหัวเชื้อที่แตกต่างกัน ได้แก่ มูลขี้ต่อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค (ED : ADCM) มูลขี้ต่อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร (ED : ADPM) และมูลขี้ต่อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร (ED : ADFW) ที่อัตราส่วน 1 : 1, 1 : 2 และ 2 : 1 กรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้าพบว่า ค่า pH สุดท้ายหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นทั้งหมดมีค่าที่ค่อนข้างเป็นกลางโดยอัตราส่วน ED : ADCM มีค่าเท่ากับ  $7.42 \pm 0.13$  ถึง  $7.43 \pm 0.10$  ED : ADPM มีค่าเท่ากับ  $7.14 \pm 0.08$  ถึง  $7.18 \pm 0.23$  และ ED : ADFW มีค่าเท่ากับ  $6.75 \pm 0.03$  ถึง  $7.18 \pm 0.02$  ซึ่งอยู่ระหว่าง 6.75–7.42 ที่มีความสอดคล้องกับ Dhamodharan [16] ที่แนะนำช่วง pH สำหรับกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ คือ 6.80–7.40 นอกจากนี้ค่า VFA/Alk หลังการทดลองของวัตถุดิบมูลขี้ต่อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกันโดย ED : ADCM มีค่าเท่ากับ

**ตารางที่ 2** ลักษณะของปริมาณที่บรรจุในขวดหลังสิ้นสุดการทดลอง

ตัวอย่างหลังสิ้นสุดการทดลอง		ลักษณะของค่าพารามิเตอร์					
		ค่าพีเอช	ค่ากรดไขมันระเหยง่าย	ค่าความเป็นด่าง	ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)	ค่าของแข็งระเหย (mg/L)	ค่าการกำจัดของแข็งระเหย (%)
ED:ADCM	1:1	7.42 ±0.13	528 ±41.57	1,895 ±177	17,500 ±21	13,000 ±10	4.70 ±2.42
	1:2	7.40 ±0.01	548 ±360.60	1,948 ±361	10,525 ±15	6,625 ±13	69.95 ±2.67
	2:1	7.43 ±0.10	452 ±54.99	1,972 ±120	64,745 ±32	9.28 ±4.98	9.28 ±4.98
ED:ADPM	1:1	7.14 ±0.08	454 ±20.78	1,276 ±116	30,500 ±35	19,200 ±14	43.63 ±51.04
	1:2	7.14 ±0.08	404 ±95.25	928 ±158	7,551 ±43	4,380 ±42	91.35 ±0.71
	2:1	7.18 ±0.23	615 ±83.14	1,331 ±266	43,665 ±12	33,555 ±94	1.18 ±1.67
ED:ADFW	1:1	7.18 ±0.02	860 ±36.24	2,695 ±125	6,150 ±21	2,130 ±20	69.42 ±27.34
	1:2	6.75 ±0.03	732 ±220	1,592 ±116	8,250 ±35	3,000 ±32	25.48 ±6.26
	2:1	7.03 ±0.04	924 ±200	3,557 ±134	27,005 ±84	19,500 ±49	54.78 ±11.27

0.22 ส่วน ED : ADPM มีค่าเท่ากับ 0.39 และ ED : ADFW มีค่าเท่ากับ 0.30 โดยการทดลองทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้กระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศโดยไม่ได้รับผลจากการสะสมของค่า VFA ที่อาจส่งผลให้ระบบเกิดความล้มเหลวในการผลิตก๊าซชีวภาพ [29] และหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ยังแสดงให้เห็นถึงบทบาทที่สำคัญในการย่อยสลายวัตถุดิบตั้งต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนที่ดีขึ้นของกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ และค่าการกำจัดของแข็งระเหยดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความสำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน โดยค่าการกำจัดของแข็งระเหยของอัตราส่วน ED : ADCM, ED : ADPM และ ED : ADFW ในอัตราส่วนที่ 1 : 1 คือ 4.70 ±2.42, 43.63 ±51.04 และ 69.42 ±27.34 ตามลำดับ ส่วนในอัตราส่วนที่ 1 : 2 คือ 69.95 ±2.67, 91.35 ±0.71 และ 25.48 ±6.26 ตามลำดับ และในอัตราส่วนที่ 2 : 1 คือ 9.28 ±4.98, 1.18 ±1.67 และ 54.78 ±1,127 ตามลำดับ ซึ่งค่าการกำจัดของแข็งระเหยของ ED : ADCM และ ED : ADPM ในอัตราส่วนที่ 1 : 2 แสดงประสิทธิภาพที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทางโปรแกรม Statistical Package for the

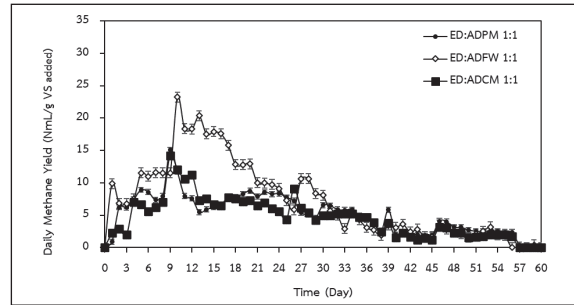
Social Science จากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต่ออัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อในอัตราส่วนที่ 1 : 1 และ 2 : 1 [16] เนื่องจากมีปริมาณของหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในย่อยสลายวัตถุดิบในระบบมีมากกว่า ซึ่งมีผลสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันที่ผลิตได้ ที่ช่วงแรกมีการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงดังแสดงในรูปที่ 2 แต่ในขณะที่เดียวกันการที่ระบบมีปริมาณของอัตราส่วนของหัวเชื้อเยอะกว่าวัตถุดิบเมื่อระยะเวลาทดลองนานขึ้นจะส่งผลให้ระบบมีการผลิตปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยลง

### 3.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

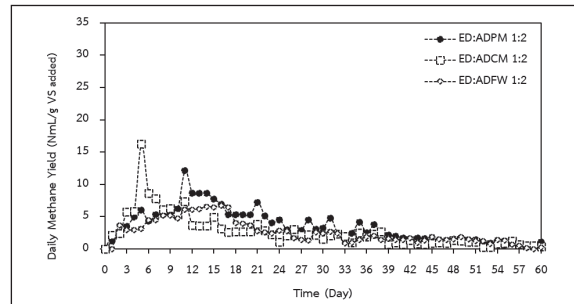
สำหรับปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของวัตถุดิบมูลช้างต่อหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกันจากการทดสอบด้วยอัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อในอัตราส่วนที่ 1 : 1, 1 : 2 และ 2 : 1 ที่แปรผันตรงกับปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนรายวันดังแสดงในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่มีการผลิตก๊าซมีเทนสะสมที่มากที่สุด คือ 2 : 1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงที่สุด เนื่องด้วยมีปริมาณสารอินทรีย์ในระบบมากกว่า และมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด และชนิดสร้างมีเทนในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนมากที่สุด [16] โดยผลการผลิตก๊าซมีเทนสะสมของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อในอัตราส่วนที่ 2 : 1 ที่มี

ปริมาณมากกว่าอัตราส่วนอื่นมีค่าเท่ากับ 430.32, 775.91 และ 790.02 นอร์มอลมิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า ตามลำดับ สำหรับ ED : ADCM, ED : ADPM และ ED : ADFW ตามด้วยผลการผลิตก๊าซมีเทนสะสมในอัตราส่วนที่ 1 : 1 เท่ากับ 278.08, 312.05 และ 499.69 นอร์มอลมิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า ตามลำดับ และในอัตราส่วนที่ 1 : 2 เท่ากับ 211.37, 162.74 และ 156.75 นอร์มอลมิลลิกรัมต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า ตามลำดับ โดยจากกราฟในรูปที่ 3 จะแสดงให้เห็นปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนสะสมของ ED : ADPM และ ED : ADFW ในช่วงวันที่ 51-60 ว่ามีนัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ) ที่อาจเกิดจากศักยภาพของ ADFW ที่นำมาจากระบบที่ทำการหมักย่อยวัตถุดิบที่มีความหลากหลายทางอินทรีย์ [30] และศักยภาพของ ADPM ที่มีความเข้มข้นจากฟาร์มที่มีรูปแบบการให้อาหารแบบเดิมเหมือนกัน ส่วนวัตถุดิบมูลช้างต่อหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพมูลโคที่มีผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมน้อยกว่าหัวเชื้อ ADPM และ ADFW ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaparaju และ Rintala [31] ที่พบว่า การผลิตก๊าซมีเทนในหัวเชื้อ ADCM มีความช้าและต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเชื้อ ADPM ที่อาจเป็นผลมาจากการยับยั้งการย่อยสลายอาหารที่มีไฟเบอร์ปริมาณมากในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของ ADCM และจากการศึกษาศักยภาพด้วยวิธีการทดสอบ BMP ดัดแปลงจากมาตรฐาน VDI4630 [16] และในรูปที่ 3 ยังแสดงให้เห็นเส้นกราฟในช่วงวันที่ 0-48 ของ ED : ADPM ในอัตราส่วนที่ 2 : 1 แล้วพบว่า มีความชันมากที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นกราฟอื่น ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพของเชื้อจุลินทรีย์ภายในระบบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัตถุดิบให้เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด

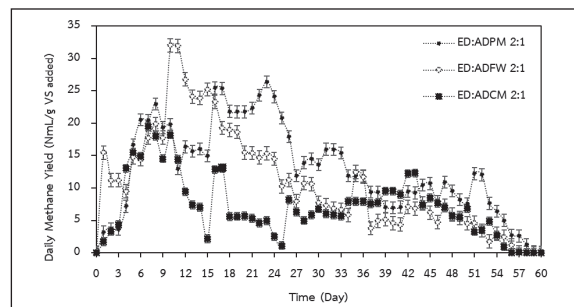
จากการวัดค่าสัดส่วนมีเทนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซแบบพกพาพบว่า กระบวนการหมักแบบไร้อากาศของ ED : ADPM, ED : ADCM และ ED : ADFW ที่มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ 57.00, 48.00 และ 48.50% ตามลำดับ โดยค่าสัดส่วนมีเทนบ่งบอกถึงค่าความร้อนที่นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่ง ED : ADPM มีผลของศักยภาพในการทดลอง BMP มีค่าสัดส่วนมีเทนสูงที่สุดที่ 57.00%



(ก)



(ข)

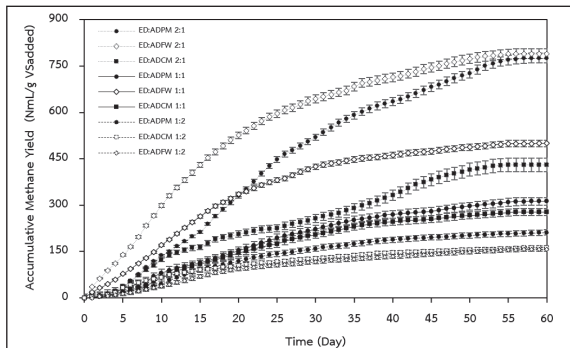


(ค)

**รูปที่ 2** ผลการผลิตก๊าซมีเทนรายวันของวัตถุดิบต่อหัวเชื้อที่แตกต่างกัน (ก) SIR เท่ากับ 1 : 1 (ข) SIR เท่ากับ 1 : 2 และ (ค) SIR เท่ากับ 2 : 1

มากกว่า ED : ADCM และ ED : ADFW ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อที่ 2 : 1 นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลของหัวเชื้อกากตะกอนที่แตกต่างกันในการผลิตชีวภาพพบว่า ED : ADCM มีกราฟการผลิตก๊าซมีเทนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟการผลิตก๊าซมีเทนของ ED : ADPM ในการผลิตก๊าซมีเทน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 และ 3 จากการเปรียบเทียบหัวเชื้อกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ





รูปที่ 3 ผลการผลิตก๊าซมีเทนสะสมของมูลช้างต่อหัวเชื้อที่แตกต่างกัน

ที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด กับวัตถุดิบมูลช้าง ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อที่ 2 : 1 ของ ED : ADPM มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhamodharan [16] ที่ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากหัวเชื้อมูลสัตว์ที่แตกต่างกันหมักร่วมกับวัตถุดิบเศษอาหาร และใช้ผลค่าความเข้มข้นของการผลิตก๊าซมีเทนและผลของการผลิตก๊าซมีเทนรายวันเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัวเชื้อหมักสัตว์ในการเลือกหัวเชื้อที่ดีที่สุด

สำหรับหรับการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองมาทำนายการสะสมของก๊าซมีเทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ คือ Modified Gompertz Model ของ ED : ADCM, ED : ADPM และ ED : ADFW ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกนำอัตราส่วน SIR เท่ากับ 2 : 1 กรัมของแข็งระยะเหยที่ป้อนเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีการผลิตก๊าซมีเทนได้มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3 โดย Modified Gompertz Model เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์และอธิบายกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศได้ [20] ซึ่งแบบจำลอง Gompertz แสดงระยะการปรับสภาพระหว่างวัตถุดิบมูลช้างต่อหัวเชื้อทำให้สามารถอธิบายลักษณะของกระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5]

จากการทำแบบจำลอง Gompertz พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้ออยู่ระหว่างช่วง 0.9775 ถึง 0.9977 โดยที่อัตราส่วน 2 : 1 ของ ED : ADCM

ED : ADPM และ ED : ADFW มีระยะพัก (Lag Phase) หรือระยะแรกที่แบคทีเรียจะปรับตัวให้เข้ากับอาหารและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดการสร้างเอนไซม์ที่เหมาะสมที่จะใช้กับสารตั้งต้น [5], [20] เท่ากับ 3.73, 4.82 และ 3.92 ตามลำดับ จากในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า อัตราส่วน ED : ADPM มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุดถึง 808.38 นอร์มอลมิลลิเมตรต่อกรัมของแข็งระยะเหยที่ป้อนเข้า ตามด้วย ED : ADFW และ ED : ADCM มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 776.37 และ 501.33 นอร์มอลมิลลิเมตรต่อกรัมของแข็งระยะเหยที่ป้อนเข้า ตามลำดับ โดยศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเป็นตัวชี้วัดอย่างหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเลือกหัวเชื้อในการหมักด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศสำหรับวัตถุดิบมูลช้าง เนื่องจากมูลช้างที่เป็นสารตั้งต้นมีองค์ประกอบหลักเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายที่ช้า [5], [9] และยากต่อการสร้างเอนไซม์ในการผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ [16]

ตารางที่ 3 การทำนายการสะสมของก๊าซมีเทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์คือ Modified Gompertz Model

อัตราส่วนวัตถุดิบต่อหัวเชื้อ (2 : 1)	ศักยภาพการผลิตมีเทน (NmL/gVS <sub>added</sub> )	อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (NmL/gVS <sub>added</sub> )	ระยะเวลา (day)	ค่าสัมประสิทธิ์
ED : ADPM	808.38	21.57	4.82	0.9977
ED : ADCM	501.33	9.26	3.73	0.9775
ED : ADFW	776.37	27.489	3.92	0.9931

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

สำหรับการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศในอัตราส่วนมูลช้างต่อหัวเชื้อจากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโค (ADCM) กากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร (ADPM) และกากตะกอนจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



จากเศษอาหาร (ADFW) ทั้งหมด 3 อัตราส่วน คือ 1 : 1, 1 : 2 และ 2 : 1 กรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า พบว่า ED : ADFW มีผลการผลิตก๊าซมีเทนสะสมและความเข้มข้นมีเทนที่สูงเท่ากับ 790.02 นอร์มอลมิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า และ 48.50% แต่เนื่องจากหัวเชื้อ ADFW ที่นำมาจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีลักษณะหัวเชื้อเดิมไม่มีความคงที่ งานวิจัยนี้จึงพบว่า ED : ADPM ในอัตราส่วน 2 : 1 มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผลการผลิตก๊าซมีเทนสะสมและความเข้มข้นมีเทนเท่ากับ 775.91 นอร์มอลมิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อนเข้า และ 57% ตามลำดับ ในระยะเวลาการทดลอง 60 วัน และจากโมเดล Gompertz ที่ถูกปรับแต่งสามารถใช้ในการทำนายพารามิเตอร์ของกระบวนการหมักย่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ทราบว่าหัวเชื้อ ADPM มีประสิทธิภาพในการเป็นหัวเชื้อในก๊าซผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง และอาจนำไปใช้เป็นหัวเชื้อเพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับวัตถุดิบที่มีลักษณะสารอินทรีย์ประเภทเดียวกันกับมูลช้างต่อในอนาคต และเป็นแนวทางในการจัดการมูลช้างในปางช้างเพื่อลดปัญหาในการเผาที่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศในปัจจุบัน

##### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาลัยพลังงานทดแทน ทุนศิษย์ก้นกุฏิ บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เลขที่สัญญา 07 และขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่งบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมประเภททุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 เลขที่สัญญา 39/66

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Laohachai boon, “Conservation for whom? Elephant conservation and elephant conservationists in Thailand,” *Southeast Asian Studies*, 2010, pp. 74-95.
- [2] S. Abdulsalam and M. Yusuf, “A kinetic study of biogas produced from cow and elephant dungs using the residual substrate concentration approach,” *Chemical Engineering and Science*, vol. 3, no. 1, pp. 7–11, 2015.
- [3] A. Godfrey and C. Kongmuang. “Distribution, demography and basic husbandry of the Asian elephant in the tourism industry in northern Thailand,” *Gajah*, vol. 30, pp. 13–18, 2009.
- [4] N. Kontogeorgopoulos, “The role of tourism in elephant welfare in northern Thailand,” *Journal of Tourism*, vol. 10, no. 2, pp. 1–19, 2009.
- [5] C. Sawatdeenarunat, S. Saipa, and P. Suaisom, “Anaerobic digestion of elephant camp-derived wastes: methane potential, kinetic study, and biorefinery platform,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 13, pp. 6175–6184, 2023.
- [6] M. Brauera, B. Casadei, R. A. Harrington, R. Kovacs, and K. Sliwa, “Taking a stand against air pollution-The impact on cardiovascular disease: A joint opinion from the world heart federation, American College of Cardiology, American Heart Association, and the European Society of Cardiology,” *Journal of the American College of Cardiology*, vol. 77, pp. 1684–1688, 2021.
- [7] R. D. Brook, S. Rajagopalan, C. A. Pope, J. R. Brook, A. Bhatnagar, A. V. Diez-Roux, and J. D. Kaufman, “Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American heart association,” *Circulation*, vol. 121, pp. 2331–



- 2378, 2010.
- [8] A. K. Malini and D. K. Narayanan, "Evaluation of biogas production potential from elephant dung," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 1780–1784, 2015.
- [9] C. Sawatdeenarunat, K. C. Surendra, D. Takara, H. Oechsner, and S. K. Khanal, "Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities," *Bioresource Technology*, vol. 178, pp. 178–186, 2015.
- [10] Q. Wang, L. Wang, and R. Li, "Renewable energy and economic growth revisited: The dual roles of resource dependence and anticorruption regulation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 337, Article no. 130514, 2020.
- [11] N. Scarlat, J. F. Dallemand, and F. Fahl, "Biogas: Developments and perspectives in Europe," *Renewable Energy*, vol. 129, pp. 457–472, 2018.
- [12] C. Sawatdeenarunat, H. Nam, S. Adhikari, S. Sung, and S. K. Khanal, "Decentralized biorefinery for lignocellulosic biomass: integrating anaerobic digestion with thermochemical conversion," *Bioresource Technology*, vol. 250, pp. 140–147, 2018.
- [13] X. Ma, T. Jiang, J. Chang, Q. Tang, T. Luo, and Z. Cui, "Effect of substrate to inoculum ratio on biogas production and microbial community during hemi-solid-state batch anaerobic co-digestion of rape straw and dairy manure," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol. 189, pp. 884–902, 2019.
- [14] J. V. Mercado, K. Mitsuhiro, and K. Nakasaki, "Complexity of acclimatization substrate affects anaerobic digester microbial community response to organic load shocks," *Environmental Research*, vol. 216, pp. 3, 2023.
- [15] T. Rangseesuriyachai, J. Boonnorat, N. Glanpracha, W. Khetkorn, P. Thiamngoen, and K. Pinpatthanapong, "Anaerobic co-digestion of elephant dung and biological pretreated napier grass: Synergistic effect and kinetics of methane production," *SSRN*, vol. 175, no. 4, Article no. 106849, 2023.
- [16] K. Dhamodharan, V. Kumar, and A. S. Kalamdhad, "Effect of different livestock dungs as inoculum on food waste anaerobic digestion and its kinetics," *Bioresource Technology*, vol. 180, pp. 237–241, 2015.
- [17] VDI 4630, Fermentation of organic materials - characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests, 2004.
- [18] APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, twenty-first. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, 2005.
- [19] L. E. Ripley, W. C. Boyle, and J. C. Converse, "Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes," *Water Environment Research*, vol. 58, pp. 406–411, 1992.
- [20] J. J. Lay, Y. Y. Li, and T. Noike, "Effect of moisture content and of chemical fermentation nature on methane characteristics solid wastes," *environmental systems and engineering management*, vol. 1, no. 552, pp. 101–108, 1996.
- [21] S. Dechruga, D. Kantachote, and S. Chairapat,



- “Effects of inoculum to substrate ratio, substrate mix ratio and inoculum source on batch co-digestion of grass and pig manure,” *Bioresource Technology*, vol. 146, pp. 101–108, 2013.
- [22] A. Thaemngoen, K. Saritpongteeraka, S. Y. Leu, C. Phuttaro, C. Sawatdeenarunat, and S. Chaiprapat, “Anaerobic digestion of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) in two-phase dry digestion system versus wet digestion system,” *Bioenergy Research*, vol. 13, pp. 853–865, 2020.
- [23] A. Abreu, J. Alves, M. Pereira, D. Sousa, and M. Alves, “Strategies to suppress hydrogen-consuming microorganisms affect macro and micro scale structure and microbiology of granular sludge,” *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 108, no. 8, pp. 1766–1775, 2011.
- [24] Y. C. Chen, “Effects of urbanization on municipal solid waste composition,” *Waste Management*, vol. 79, pp. 828–836, 2018.
- [25] R. Chandra, H. Takeuchi, and T. Hasegawa, “Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 1462–1476, 2012.
- [26] S. Abdulsalam and M. Yusuf, “A kinetic study of biogas produced from cow and elephant dungs using the residual substrate concentration approach,” *Chemical Engineering Science*, vol. 3, pp. 7–11, 2015.
- [27] P. Stepień, K. Swiechowski, M. Hnat, S. Kugler, S. S. Dabrowska, J. A. Koziel, P. Manczarski, and A. Białowiec, “Waste to carbon: biocoal from elephant dung as new cooking fuel,” *Energies*, vol. 12, no. 22, 2019.
- [28] C. Sun, L. Guo, Y. Zheng, D. Yu, C. Jin, Y. Zhao, Z. Yao, M. Gao, and Z. She, “Effect of mixed primary and secondary sludge for two-stage anaerobic digestion (AD),” *Bioresource Technology*, vol. 343, Article no. 126160, 2022.
- [29] S. Achinas, and G. J. W. Euverink, “Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste,” *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, no. 3, pp. 143–147, 2016.
- [30] G. Lui, R. Zhang, H. El-Mashad, and R. Dong, “Effect of feed to inoculum ratios on biogas yields of food and green wastes,” *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 5103–5108, 2009.
- [31] P. Kaparaju and J. Rintala, “Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland,” *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 31–41, 2011.