ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 (2025) : กรกฎาคม - ธันวาคม 2568
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

การเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ: กรณีศึกษา ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

Enhancing Biogas Production Potential from Elephant Dung Using Anaerobic Digesters: A Case Study at Tha Dee Mee Village, Chiang Khan District, Loei Province

กานดา ปุ่มสิน[1] ศิริรัตน์ แจ้งกรณ์[1] สว่าง กุลวงษ์[2] สุธาสินี ครุฑธกะ[2] ธีรภัทร์ อนุชาติ[3] และ ศรุติวงศ์ บุญคง[2*]
Kanda Pumsin[1] Sirirat Jangkorn[1] Sawang Kullawong[2] Suthasinee Kruttaga[2]
Teerapat Anuchat[3] and Saruttiwong Boonkong[2*]
[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[2]สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[1]Program of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province, 42000
[2]Program of Animal Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province, 42000
[3]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province, 42000
[*]Corresponding author E-mail: Saruttiwong.boo@lru.ac.th
Received 16 June 2025, Accepted 25 July 2025, Published 3 August 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ กรณีศึกษา ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย โดยออกแบบการทดลองด้วยการผสมมูลช้างกับน้ำในอัตราส่วน 2:1 และแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ T1 (กลุ่มควบคุมไม่เติมกากน้ำตาล) T2 (เติมกากน้ำตาล 10%) T3 (เติมกากน้ำตาล 15%) และ T4 (เติมกากน้ำตาล 20%) ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลองพบว่า การเติมกากน้ำตาลมีผลต่อการผลิต CH_4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยกลุ่ม T3 ให้ปริมาณ CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 21–30 แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการเร่งการผลิตก๊าซชีวภาพ ขณะที่กลุ่ม T4 ให้ค่า CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 3–18 แต่มีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดโดยรวม กลุ่ม T3 แสดงผลดีกว่ากลุ่ม T4 ส่วนกลุ่มควบคุม (T1) ให้ปริมาณ CH_4 ต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง ด้าน H_2S พบแนวโน้มลดลงในทุกกลุ่มตามระยะเวลา โดยกลุ่ม T3 และ T4 ให้ค่าต่ำกว่า T1 และ T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะกลุ่ม T3 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในช่วงปลายการทดลอง อย่างไรก็ตาม ระดับ H_2S ที่ตรวจวัดได้ยังคงอยู่ในระดับสูง ซึ่งอาจส่งผลต่อความปลอดภัยและความทนทานของระบบในระยะยาว สรุปได้ว่า การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในการเพิ่มปริมาณ CH_4 และลดการปล่อย H_2S อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของมูลช้างในการเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานชีวภาพที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเลี้ยงช้างเพื่อการท่องเที่ยว

คำสำคัญ: มูลช้าง ก๊าซชีวภาพ ถังหมักไร้อากาศ กากน้ำตาล พลังงานทดแทน

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ABSTRACT

This study aimed to enhance the biogas production potential from elephant dung using an anaerobic digestion system. The case study was conducted at Ban Tha Dee Mee, Chiang Khan District, Loei Province, Thailand. The experimental design involved mixing elephant dung with water at a ratio of 2:1 and dividing the samples into four treatment groups: T1 (control, no molasses added), T2 (10% molasses), T3 (15% molasses), and T4 (20% molasses). Data on methane (CH_4) and hydrogen sulfide (H_2S) production were collected every three days over a 30-day period. The results revealed that molasses supplementation had a statistically significant effect on CH_4 production ($p<0.05$). Group T3 produced the highest CH_4 levels during days 21–30, indicating optimal performance in enhancing biogas yield. Although T4 produced the highest CH_4 levels between days 3–18, its performance declined in the final stage of a process. Based on peak CH_4 values, T3 exhibited superior performance compared to T4. The control group (T1) consistently yielded the lowest CH_4 production. Regarding H_2S, a general downward trend was observed across all groups over time. Groups T3 and T4 exhibited significantly lower H_2S concentrations than T1 and T2 ($p < 0.05$), with T3 showing the lowest levels toward the end of the experiment. Nevertheless, H_2S concentrations remained relatively high across all treatments, which could impact on the long-term safety and durability of the system. In conclusion, supplementing with 15% molasses demonstrated the highest efficiency in maximizing methane production and significantly reducing hydrogen sulfide emissions. The results highlight elephant dung as a promising substrate for sustainable energy production, with relevance to community-scale applications in regions engaged in elephant tourism.

Keywords: Elephant dung, Biogas, Anaerobic digester, Molasses, Renewable energy

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการเลี้ยงสัตว์หลากหลายชนิด ซึ่งรวมถึง “ช้าง” ถือเป็นสัตว์ประจำชาติที่มีบทบาทสำคัญทั้งในเชิงวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว โดยเฉพาะในบางพื้นที่ เช่น บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ซึ่งชุมชนได้มีการพัฒนาการเลี้ยงช้างร่วมกับกิจกรรมท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เพื่อสร้างรายได้และอนุรักษ์วิถีชีวิตของช้างไทยให้ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเลี้ยงช้างจะก่อให้เกิดผลดีในหลายด้าน แต่ในอีกมุมหนึ่งกลับเป็นต้นกำเนิดของของเสียอินทรีย์ในปริมาณมาก โดยเฉพาะ “มูลช้าง” ซึ่งหากขาดการจัดการอย่างเหมาะสม อาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมได้

ช้างเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ที่บริโภคอาหารปริมาณมากต่อวัน โดยเฉลี่ยคิดเป็น 5–10% ของน้ำหนักตัว ซึ่งหมายความว่าช้างน้ำหนัก 3,000 กิโลกรัม อาจกินอาหารมากถึง 300 กิโลกรัมต่อวัน และขับถ่ายมูลประมาณ 100–150 กิโลกรัมต่อวันต่อเชือก (Manokhoon et al., 2023) หากคำนวณในระดับชุมชน เช่น บ้านท่าดีหมี ซึ่งมีการเลี้ยงช้างอยู่จำนวน 4 เชือก พบว่ามีปริมาณมูลช้างเกิดขึ้นเฉลี่ยมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อวัน ปัจจุบัน ชาวบ้านส่วนหนึ่งจะรวบรวมมูลช้างไปใช้ในเชิงเกษตร เช่น การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ หรือหมักทิ้งไว้ในบ่อเก็บ แต่กระบวนการเหล่านี้ยังขาดประสิทธิภาพและมาตรฐานด้านสุขอนามัย อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมกลิ่นหรือผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบ

สถานการณ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการแสวงหาวิธีการจัดการของเสียจากมูลช้างที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย คือการ นำมูลช้างไปผลิต “ก๊าซชีวภาพ” (Biogas) ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนในรูปของ CH_4 ผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยอินทรียวัตถุในของเสียและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานสะอาด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในครัวเรือน เช่น การหุงต้ม หรือการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชน (Sawatdeenarunat et al., 2023)

อย่างไรก็ตาม การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างยังพบปัญหาข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากองค์ประกอบของมูลช้างมีลักษณะเฉพาะที่ต่างจากมูลสัตว์ชนิดอื่น กล่าวคือมีเส้นใยสูง เนื่องจากช้างเป็นสัตว์กินพืช (Hindgut fermenters) ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ช้า อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบหมัก หากไม่มีการเตรียมวัตถุดิบหรือควบคุมสัดส่วนของส่วนผสมอย่างเหมาะสม (Sukasem and Prayoonkham, 2017) ดังนั้นเพื่อให้การผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาวิธีการปรับปรุงสูตร เช่น การเติมวัสดุพลังงานเสริม เช่น กากน้ำตาล (Molasses) หรือการควบคุมอัตราส่วนของมูลสัตว์ต่อน้ำให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพของกระบวนการย่อยสลาย

จากการศึกษาของ Kasantikul (2022) ชี้ให้เห็นว่าการเติมกากน้ำตาลในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น 50% ต่อขยะอินทรีย์ 1 กิโลกรัม จะสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าระดับอื่น ๆ โดยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.17–1.46 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการเติมที่ต่ำกว่า ซึ่งกากน้ำตาลซึ่งมีราคาถูกและอุดมด้วยน้ำตาลธรรมชาติ ถือเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักในการผลิต CH_4 (Romaniuk et al., 2022) นอกจากนี้ การศึกษาของ Manokhoon et al. (2023) ยังพบว่าอัตราส่วนของมูลช้างต่อน้ำในสัดส่วน 2:1 จะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการหมักให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซสูงขึ้นอย่างชัดเจน ในบริบทของบ้านท่าดีหมี ซึ่งมีความพร้อมด้านทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุดิบ (มูลช้าง) และแรงงานในชุมชน การนำระบบผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ ถือเป็นโอกาสสำคัญในการแก้ปัญหาของเสียให้เป็นพลังงานสะอาด พร้อมลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและยกระดับคุณภาพชีวิตของชาวบ้าน โดยเฉพาะในช่วงที่ต้นทุนพลังงานจากภายนอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นการเสริมสร้างภาพลักษณ์ด้านความยั่งยืนให้กับแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย

คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างในระดับชุมชน โดยใช้ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digester) พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของสูตรการหมักที่มีการเติมกากน้ำตาลในสัดส่วนต่าง ๆ และควบคุมอัตราส่วนของมูลช้างต่อน้ำ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพและลดปริมาณของเสียในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถใช้ได้จริงในระดับชุมชนและนำไปต่อยอดในพื้นที่เลี้ยงช้างอื่น ๆ ทั่วประเทศ เพื่อส่งเสริมการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนและสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดในอนาคต

วิธีการวิจัย

การวางแผนการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองภาคสนาม โดยใช้ รูปแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมกากน้ำตาลในระดับต่าง ๆ ต่อปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักมูลช้างในระดับชุมชน

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

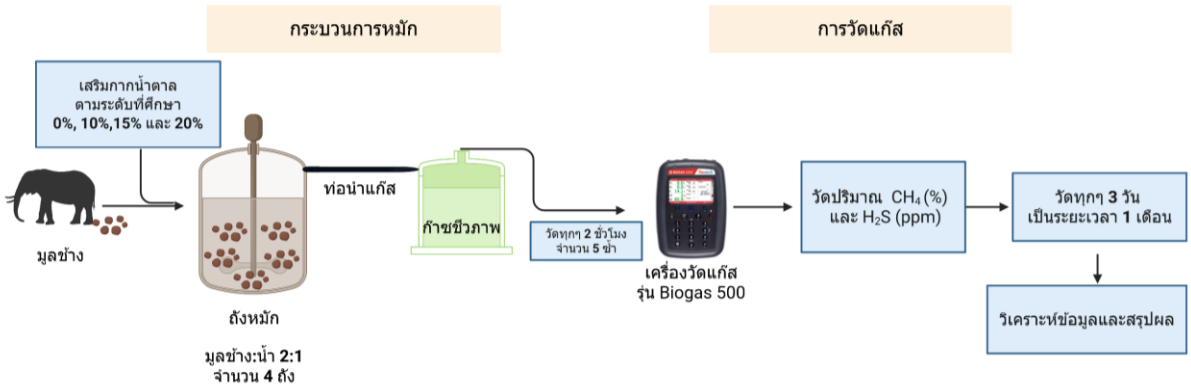
วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย มูลช้างสด ซึ่งเก็บจากพื้นที่บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย และกากน้ำตาล (Molasses) ที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลในพื้นที่ โดยมูลช้างและน้ำจะถูกผสมในอัตราส่วน 2:1 ตามที่วิธีการของ Manokhoon et al. (2023) แสดงดังภาพที่ 1

ถังหมักที่ใช้เป็น ถังพลาสติกชนิดปิด ขนาด 200 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยที่บริเวณหัวถังติดตั้งท่อพีวีซี (PVC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สำหรับใช้เติมวัสดุเข้าไปในถัง และติดตั้งท่อขนาด 6 หุน (¾ นิ้ว) เป็นท่อนำก๊าซชีวภาพออกจากถัง โดยเชื่อมต่อกับท่อส่งก๊าซเพื่อการวัดปริมาณก๊าซ

การออกแบบการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง โดยระดับของกากน้ำตาลที่เลือกใช้พิจารณาจากข้อมูลของ Kasantikul (2022) และความคุ้มทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชน ในแต่ละกลุ่มมีจำนวนการวัดปริมาณก๊าซทุก ๆ 2 ชั่วโมง จำนวน 5 ซ้ำต่อกลุ่มทดลอง ได้แก่

T1: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 ไม่เติมกากน้ำตาล (กลุ่มควบคุม)
T2: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 10% โดยปริมาตร
T3: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 15% โดยปริมาตร
T4: มูลช้าง : น้ำ อัตราส่วน 2:1 เติมกากน้ำตาล 20% โดยปริมาตร



ภาพที่ 1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาการหมักรวม 30 วัน โดยเก็บข้อมูลทุก 3 วัน และในแต่ละวันเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทุก 2 ชั่วโมง โดยวัดสัดส่วน (%) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หน่วย ppm โดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพแบบดิจิทัลรุ่น BIOGAS 5000 (Geotech, UK) แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 การเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างมูลช้าง ณ บ้านท่าดีหมี อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลยเพื่อทำการเปรียบเทียบระดับของกากน้ำตาลที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SAS (Freund and Littell, 2000)

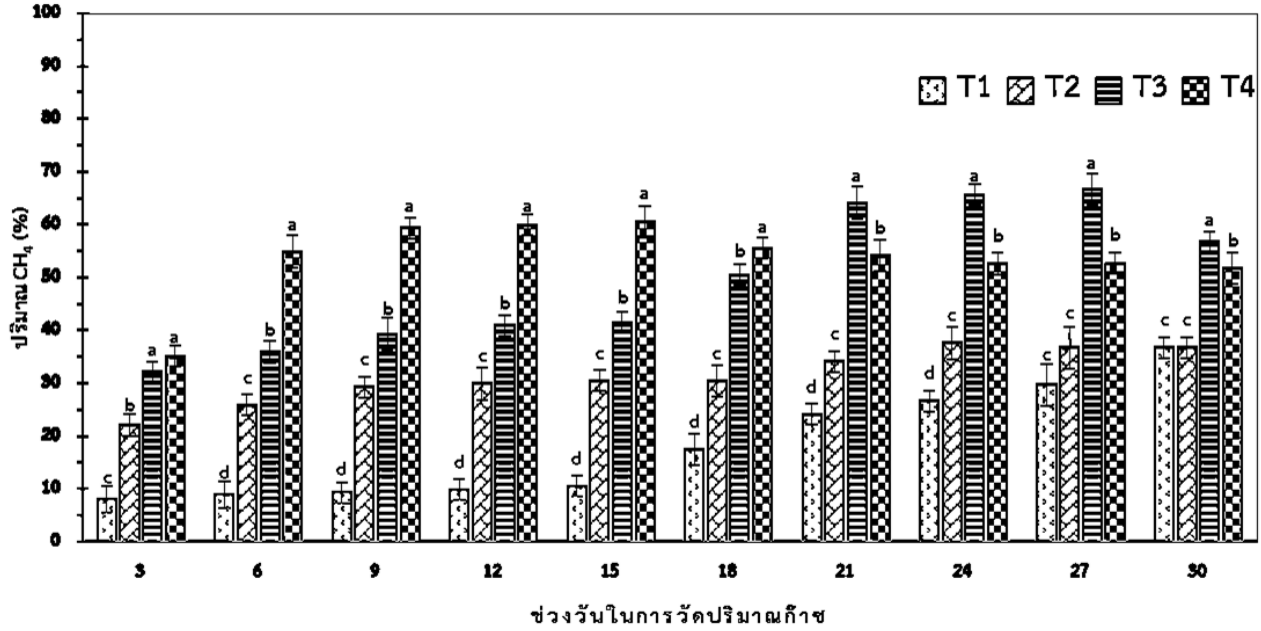
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการศึกษาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) จากมูลช้าง

จากผลการศึกษาปริมาณ CH_4 ตามช่วงวัน ในการเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยการเติมกากน้ำตาลในระดับต่าง ๆ พบว่า การเติมกากน้ำตาลส่งผลต่อปริมาณ CH_4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังภาพที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณ CH_4 แบบรายวัน ให้เห็นรูปแบบการทำงานของระบบหมักที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 6–15 ซึ่งถือเป็นช่วงเวลาที่จุลินทรีย์เมทาโนเจนเข้าสู่ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว การเติมกากน้ำตาลในระดับ 10–15% ส่งผลให้จุลินทรีย์มีแหล่งพลังงานเพียงพอ ทำให้สามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็น CH_4 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลุ่ม T2 แม้จะมีการเติมกากน้ำตาลเพียง 10% แต่ก็สามารถเร่งกระบวนการหมักได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (T1) อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าแม้การเติมสารเสริมพลังงานเพียงเล็กน้อยก็สามารถช่วยกระตุ้นระบบให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกได้ โดยในกลุ่มทดลองที่เติมกากน้ำตาลพบว่า ปริมาณ CH_4 สูงกว่ากลุ่มควบคุม (T1) อย่างชัดเจนตลอดระยะเวลา 30 วันของการทดลอง ทั้งนี้กลุ่มที่เติมกากน้ำตาลในอัตราร้อยละ15 (T3) ให้ปริมาณ CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 21–30 แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการเร่งการผลิตก๊าซชีวภาพ ขณะที่กลุ่ม T4 ให้ค่า CH_4 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 3–18 แต่มีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายการทดลอง

ในช่วงวันที่ 3–12 ปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกกลุ่ม โดยเฉพาะในกลุ่ม T4 ที่สามารถผลิต CH_4 ได้เกิน 60% ตั้งแต่วันที่ 9 ซึ่งเร็วกว่ากลุ่มอื่น ขณะที่ T3 สามารถผลิต CH_4 ใกล้เคียงกับ T4 แสดงถึงการตอบสนองที่ดีของจุลินทรีย์เมทาโนเจนิกต่อการเติมกากน้ำตาลในระดับที่เหมาะสม (Sawatdeenarunat et al., 2023) กลุ่ม T2 ที่เติมกากน้ำตาล 10% แม้จะมีปริมาณ CH_4 สูงกว่ากลุ่มควบคุม แต่ยังต่ำกว่ากลุ่ม T3 และ T4 อย่างมีนัยสำคัญ ช่วงกลางถึงปลายการทดลอง (วันที่ 15–30) กลุ่ม T3 ยังคงรักษาระดับ CH_4 ได้สูงสุด โดยเฉพาะในวันที่ 21–27 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีการเติมกากน้ำตาลในระดับปานกลาง ส่งผลให้จุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจนสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ถูกยับยั้งจากภาวะกรดหรือสารพิษสะสม (Romaniuk et al., 2022) ในขณะที่กลุ่ม T4 ซึ่งเติมกากน้ำตาล 20% แม้จะมีค่า CH_4 สูงในช่วงต้น (วันที่ 6–15) แต่กลับมีแนวโน้มลดลงช่วงปลาย โดยเฉพาะวันที่ 27–30 แสดงถึงภาวะ “Overloading” ซึ่งอาจรบกวนสมดุลของระบบและทำให้จุลินทรีย์เมทาโนเจนทำงานลดลง (Kasantikul, 2022) อย่างไรก็ตาม กลุ่ม T3 ไม่พบปัญหาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนกากน้ำตาลร้อยละ 15 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมประสิทธิภาพและความเสถียรของกระบวนการหมัก กลุ่มควบคุม T1 มีปริมาณ CH_4 ต่ำที่สุดตลอดการทดลอง (เฉลี่ยต่ำกว่า 50%) แสดงให้เห็นว่ามูลช้างเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีสารเสริมพลังงาน อาจไม่สามารถสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากองค์ประกอบของมูลช้างมีลักษณะเป็นเส้นใยสูง (High lignocellulose) ทำให้จุลินทรีย์เข้าถึงแหล่งคาร์บอนได้ช้า (Manokhoon et al., 2023) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณ CH_4 จากมูลช้าง ทั้งในแง่ของอัตราเร็วและความเสถียรของระบบ เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับรายงานของ De Vrieze (2014) ซึ่งศึกษาการใช้วัสดุชีวมวลร่วมกับสารให้พลังงานสูง เช่น น้ำตาลทรายแดง และกากน้ำตาล พบว่า การเติมสารที่มีคาร์บอนสูงในอัตราที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่มเมทาโนเจน โดยเฉพาะกลุ่ม Methanosaeta และ Methanosarcina ซึ่งมีบทบาทในการผลิต CH_4 จากสารอินทรีย์ระยะสุดท้าย อย่างไรก็ตาม หากเติมมากเกินไปจะส่งผลให้กรดไขมันระเหย (VFA) สะสม และลดค่า pH จนถึงระดับที่ยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลในกลุ่ม T4 ที่พบปัญหาการผลิต CH_4 ลดลงในช่วงปลายการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของปริมาณ CH_4 รายสัปดาห์ในแต่ละกลุ่มพบว่า กลุ่ม T3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 22–28) โดยมีค่ามากกว่า 65% แสดงถึงประสิทธิภาพในการรักษาเสถียรภาพของระบบอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่กลุ่ม T4 แม้จะเริ่มต้นดีแต่กลับลดลงเหลือเพียงประมาณ 55% ในสัปดาห์สุดท้าย ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าการเติมกากน้ำตาลในระดับ 20% อาจเกินความสามารถในการย่อยของระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่งผลให้เกิดภาวะ Over-acidification ซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม ในเชิงเศรษฐศาสตร์การผลิต การเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% ยังถือว่าเป็นอัตราที่คุ้มค่ามากที่สุด เมื่อพิจารณาต้นทุนของกากน้ำตาลกับผลผลิตก๊าซที่ได้ โดยสามารถให้ผลผลิต CH_4 สูงอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเติมสารปรับสมดุลเพิ่มเติมเหมือนในกลุ่ม T4 ที่อาจต้องใช้สารกันกรด เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อรักษาค่า pH ซึ่งจะเพิ่มต้นทุนการผลิตในระยะยาว โดยเฉพาะเมื่อระบบถูกนำไปใช้งานในระดับครัวเรือนหรือชุมชนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เฉลี่ย (%) ตามช่วงวันเก็บข้อมูล

จากผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง พบว่ายังมีข้อจำกัดสำคัญด้านองค์ประกอบของมูลช้าง โดยเฉพาะปริมาณเส้นใยหยาบที่สูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากระบบย่อยอาหารของช้างที่จัดอยู่ในกลุ่มสัตว์กินพืชที่มีระบบย่อยอาหารแบบกระเพาะเดี่ยวขนาดใหญ่ (Hindgut fermenter) โดยมีลำไส้ใหญ่และ Cecum ขนาดใหญ่ที่ทำหน้าที่ย่อยเส้นใยจากพืชด้วยจุลินทรีย์ ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยเซลลูโลสต่ำกว่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัวหรือควาย ส่งผลให้มูลช้างมีลักษณะที่ย่อยสลายยาก ต้องอาศัยการปรับสภาพเบื้องต้น เช่น การเตรียมเชื้อ การเติมสารร่วม หรือการควบคุมสัดส่วนความชื้น เพื่อช่วยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sukasem and Prayoonkham, 2017) เมื่อเปรียบเทียบกับมูลวัวหรือมูลควาย ซึ่งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องที่มีระบบย่อยอาหารที่สามารถสลายเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่าการผลิต CH_4 จากมูลของสัตว์เคี้ยวเอื้องนั้นมีแนวโน้มสูงและเสถียรกว่าอย่างชัดเจน งานวิจัยของ Sawatdeenarunat et al. (2025) รายงานว่ามูลวัวสามารถผลิต CH_4 ได้สูงถึง 70–80% ภายในช่วงเวลา 15–20 วัน ซึ่งแสดงถึงศักยภาพที่สูงกว่ามูลช้าง นอกจากนี้ มูลสุกรมีองค์ประกอบของคาร์บอนและไนโตรเจนที่สมดุล เนื่องจากอาหารสุกรได้มีการให้คุณค่าของโภชนะตรงตามระยะและความต้องการของสัตว์ ส่งผลให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มูลสุกรสามารถเริ่มผลิต CH_4 ได้ตั้งแต่ช่วงแรกของการหมัก และให้ค่าความเข้มข้นของก๊าซใกล้เคียงกับมูลวัว (Cruz et al., 2022) ตรงกันข้ามกับมูลช้างที่แม้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้เมื่อผ่านการจัดการที่เหมาะสม เช่น T4 ในการทดลอง แต่ผลผลิต CH_4 ก็ยังแสดงแนวโน้มคงที่หรือลดลงในระยะยาว ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของเส้นใยที่ย่อยยาก ทำให้จุลินทรีย์หมักทำงานได้ลดลง ในส่วนของมูลไก่แม้จะมีสารอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีน แต่กลับมีข้อจำกัดในด้านความเป็นพิษของแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผลิต CH_4ได้ หากไม่มีการควบคุมอย่างเหมาะสม การหมักมูลไก่จึงมักให้ผลผลิต CH_4 ต่ำและระบบไม่เสถียร (Song et al., 2023) โดยภาพรวมแม้มูลช้างจะสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่ต้องผ่านกระบวนการจัดการและปรับสภาพที่มากกว่ามูลจากสัตว์เคี้ยวเอื้องหรือสุกร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดเชิงเทคนิคและต้นทุนในการดำเนินงาน หากนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชนหรือสถานประกอบการจริง จำเป็นต้องมีการวางระบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีมูลช้างจำนวนมาก เพื่อให้การผลิตก๊าซชีวภาพเกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าทั้งในด้านพลังงานและการจัดการสิ่งแวดล้อม

การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างเป็นหนึ่งในแนวทางการจัดการของเสียที่มีศักยภาพ ทั้งในด้านการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการผลิตพลังงานทดแทน อย่างไรก็ตาม มูลช้างมีลักษณะเฉพาะที่ย่อยสลายได้ยาก ส่งผลให้ต้องมีการปรับระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต CH_4 หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ อัตราส่วนของมูลสัตว์ต่อน้ำ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพ หากมีปริมาณของแข็งสูงเกินไป อาจนำไปสู่การสะสมของกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้ค่า pH ลดลงจนเกิดภาวะเป็นกรดในระบบ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิต CH_4 ในทางกลับกัน หากระบบมีความเจือจางมากเกินไป จะทำให้สารตั้งต้นมีความเข้มข้นต่ำ ส่งผลให้ผลผลิตก๊าซลดลงเช่นกัน (Katuwal and Bohara, 2009) อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคือการเสริมแหล่งพลังงานเพิ่มเติม เนื่องจากมูลช้างมีคาร์บอนต่ำและเส้นใยสูง จึงจำเป็นต้องปรับสมดุลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) การเติมกากน้ำตาลหรือวัสดุที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง สามารถเพิ่มค่า C/N ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 20:1 ถึง 30:1 ซึ่งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเพิ่มอัตราการผลิต CH_4 (Gunaseelan, 2004) ในส่วนของอุณหภูมิและค่า pH ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่มเมทาโนเจน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการผลิต CH_4 การควบคุมให้อยู่ในช่วง Mesophilic (35–40°C) หรือ Thermophilic (50–60°C) เป็นสิ่งจำเป็น โดยค่า pH ควรอยู่ระหว่าง 6.5–7.5 เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในช่วง Thermophilic จะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วง Mesophilic ซึ่งทำให้การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอมีความสำคัญมากขึ้น (Angelidaki and Ahring, 1994) การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้อย่างรอบคอบ เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้สูงสุด นอกจากนี้การพัฒนาระบบให้มีความมั่นคงและสามารถรักษาอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสมจะช่วยสนับสนุนการผลิตพลังงานสะอาดในระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

ผลการศึกษาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซันไฟด์ (H_2S) จากมูลช้าง

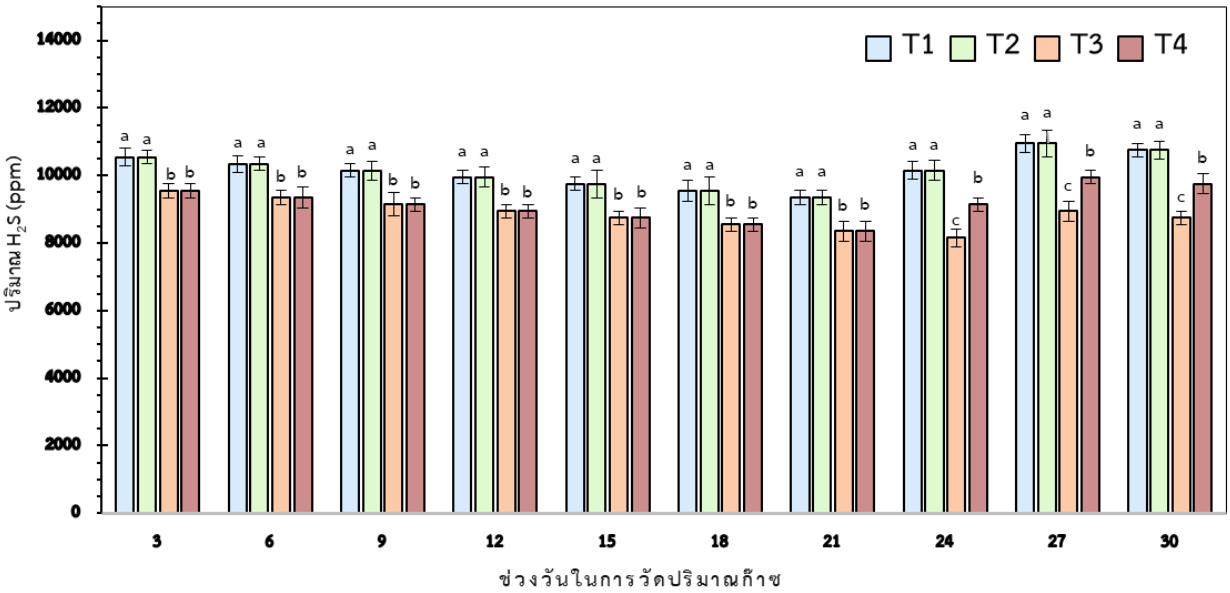
ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยจุลินทรีย์จำพวก Sulfate-Reducing Bacteria (SRB) ทำหน้าที่เปลี่ยนซัลเฟตให้เป็น H_2S ซึ่งก๊าซชนิดนี้มีผลเสียต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ เนื่องจากมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงและเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์หากสะสมในปริมาณมาก (Sreekrishnan et al., 2004)

จากภาพที่ 4 แสดงปริมาณ H_2S ในหน่วย ppm ที่เกิดขึ้นระหว่างวัน (3 ถึง 30) ภายใต้ 4 สภาวะการทดลอง ปริมาณ H_2S มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกกลุ่มทดลองเมื่อเวลาผ่านไปจากวันที่ 3 ถึงวันที่ 21 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักหรือย่อยสลายสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อย H_2S ตามเวลา กลุ่ม T1 และ T2 ให้ค่าการผลิต H_2S สูงที่สุดในทุกช่วงเวลา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ กลุ่ม T3 และ T4 ให้ค่าการผลิต H_2S ต่ำกว่า T1 และ T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะช่วงวันที่ 24–30 ซึ่ง T3 เริ่มมีค่าต่ำกว่า T4 อย่างชัดเจน และ กลุ่ม T3 มีค่าต่ำที่สุดในหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะปลายการทดลอง แสดงถึงศักยภาพในการลดการปล่อย H_2S ได้ดีที่สุด จากผลที่ได้ T3 จึงอาจมีสภาวะที่มีผลในการยับยั้งการเกิด H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ H_2S ในระบบยังคงมีอยู่สูงมาก ซึ่งเมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมไอน้ำจะเป็นกรดซัลฟูริกหรือกรดกำมะถัน มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ ทำให้เตาหรือเครื่องยนต์เป็นสนิมและผุกร่อนได้ นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพหากสูดคมเป็นเวลานานๆ การกำจัด H_2S ออกจากก๊าซชีวภาพจึงมีความจำเป็น

จากผลการทดลองที่แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าในทุกช่วงเวลาของการวัดค่าปริมาณ H_2S (ppm) กลุ่ม T1 ให้ค่าการผลิต H_2S สูงที่สุด รองลงมาเป็น T2, T3 และ T4 ตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 24–30 กลุ่ม T1 ยังคงรักษาระดับความเข้มข้นของ H_2S ได้สูงกว่า 10,000 ppm ขณะที่ T4 อยู่ในช่วงต่ำสุดที่ประมาณ 8,000–8,500 ppm ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดการในกลุ่ม T3 และ T4 มีผลต่อการลดปริมาณ H_2S ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ชนิดอื่น พบว่า ค่า H_2S มักอยู่ในช่วง 2,000–6,000 ppm (Boonyuang and Nirunsin, 2023) ในกรณีของมูลช้าง ซึ่งมีลักษณะเด่นคือมีเส้นใยสูงแต่ปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสัตว์ปีกหรือสุกร จึงไม่น่าจะก่อให้เกิดปริมาณ H_2S สูง อย่างไรก็ตาม ค่าที่แสดงในกราฟโดยเฉพาะกลุ่ม T1 ที่ให้ H_2S สูงกว่า 10,000 ppm อาจชี้ให้เห็นว่ามีองค์ประกอบอื่นที่เอื้อต่อการเกิดซัลเฟอร์ เช่น วัตถุดิบร่วมในการหมัก หรือสภาพแวดล้อมต่างๆ แม้ว่ากลุ่ม T3 จะให้ค่าการปล่อย H_2S ต่ำที่สุด แต่ค่าดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับที่ถือว่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับการใช้งานเชื้อเพลิงชีวภาพในอุปกรณ์เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ โดยทั่วไป

JSET LRU
วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
Journal of Science, Engineering and Technology
LOEI RAJABHAT UNIVERSITY

ค่าปลอดภัยควรอยู่ไม่เกิน 100 ppm สำหรับการใช้งานในระบบเผาไหม้ เนื่องจาก H_2S สามารถจับตัวกับไอน้ำกลายเป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะอย่างรุนแรง ทำให้เกิดความเสียหายต่อท่อก๊าซ เตาเผา และอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้าต่าง ๆ (Pudi et al., 2022)



ภาพที่ 4 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซันไฟด์ (H_2S) เฉลี่ย (ppm) ตามช่วงวันเก็บข้อมูล

จากการศึกษาวิธีการลดปริมาณ H_2S ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าการใช้วัสดุดูดซับหรือการเติมสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการดักจับหรือเปลี่ยนแปลงซัลเฟอร์ให้ไม่อยู่ในรูปที่ก่อให้เกิด H_2S เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ (Ahmad et al., 2021) ซึ่งได้มีรายงานของ วงศ์วิวรรธ และสุนันทา (2555) มีการเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูก หาง่าย และใช้งานได้ในระดับชุมชน ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวัสดุดูดซับชนิดต่าง ๆ ในการกำจัด H_2S จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Covered Lagoon โดยได้เปรียบเทียบวัสดุดูดซับ 4 ประเภท ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon: AC), ขี้กลึงเหล็กไม่ผ่านการปรับสภาพ (Fresh Iron Shaving: FA), ขี้กลึงเหล็กที่ปรับสภาพด้วยกรด (FH) และวัสดุผสมระหว่าง AC กับ FA (AF) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ H_2S ที่พบในก๊าซชีวภาพ ก่อนเข้าสู่ระบบดูดซับ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ CH_4 อยู่ในช่วง 42.60–44.70%, และ H_2S มีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 1,080–1,403 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ H_2S แยกรายวัสดุจะพบว่า ก่อนการดูดซับ AC มีความเข้มข้นของ H_2S ที่ 1,334 มิลลิกรัมต่อลิตร FH ที่ 1,403 มิลลิกรัมต่อลิตร FA ที่ 1,205 มิลลิกรัมต่อลิตร และ AF ที่ 1,082 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังผ่านกระบวนการดูดซับ พบว่าวัสดุ FA หรือขี้กลึงเหล็กไม่ปรับสภาพมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด H_2S โดยลดเหลือเพียง 358.8 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นอัตราการกำจัดสูงถึง 70.22% รองลงมาคือวัสดุผสม AF (ถ่านกัมมันต์ร่วมกับขี้กลึงเหล็กไม่ปรับสภาพ) ซึ่งสามารถลด H_2S ลงเหลือ 610.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (43.61%) ส่วนการใช้ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว (AC) ลดลงเหลือ 937.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (29.72%) และขี้กลึงเหล็กปรับสภาพด้วยกรด (FH) มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยลดได้เพียง 15.37% ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วัสดุดูดซับประเภทเหล็ก โดยเฉพาะขี้กลึงเหล็กไม่ผ่านการปรับสภาพ มีศักยภาพในการลด H_2S ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุประเภทอื่น การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการจัดการก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการผลิตก๊าซจากมูลสัตว์ที่มีแนวโน้มปล่อย H_2S ในระดับสูง จากการศึกษาดังกล่าววิธีการลดปริมาณ H_2S ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่ามีแนวทางที่หลากหลายและครอบคลุมทั้งเชิงกายภาพ เคมี และชีวภาพ ยังมีข้อสังเกตบางประการที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อการประยุกต์ใช้ในระดับพื้นที่และการต่อยอด

งานวิจัยในอนาคต แม้ว่าการใช้ขี้กลึงเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) จะแสดงประสิทธิภาพในการดูดซับ H_2S ได้สูงที่สุด แต่ข้อจำกัดในด้านการจัดหาและความปลอดภัยของวัสดุโลหะในระดับชุมชนยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ เช่น ความเสี่ยงในการเกิดสนิม ความยุ่งยากในการจัดการหลังการใช้งาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการสะสมของโลหะหนักในระบบ นอกจากนี้การทดลองยังจำกัดอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุม จึงควรมีการประเมินความเหมาะสมในสถานการณ์จริงที่อาจมีปัจจัยแปรผันมากกว่า อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่พบในระบบหมักก๊าซชีวภาพ คือ H_2S ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่มีกลิ่นเหม็นรุนแรง มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง และส่งผลเสียต่ออุปกรณ์ภายในระบบ เช่น ท่อส่งก๊าซ ถังหมัก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมถึงลดคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ได้ ดังนั้น การควบคุมและลดการผลิต H_2S ตั้งแต่ต้นทางของกระบวนการหมักจึงเป็นแนวทางที่มีความสำคัญ ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพระบบและต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว แนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดการผลิต H_2S คือการปรับค่า pH ของระบบหมักให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยจุลินทรีย์กลุ่มซัลเฟต Sulfate-Reducing Bacteria (SRB) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักที่ผลิต H_2S มักเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อน หากค่าพีเอชของระบบอยู่ในระดับต่ำกว่าที่เหมาะสม จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วและผลิต H_2S ในปริมาณมาก การควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะในช่วง pH 6.8–7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ผลิต CH_4 จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของ SRB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้สารปรับสภาพ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือหินปูนบดละเอียด ($CaCO_3$) จึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยรักษาค่าพีเอชให้มีความเสถียรและป้องกันการเพิ่มขึ้นของ H_2S ในระบบ (Larsen et al., 2010) นอกจากค่า pHแล้ว อุณหภูมิยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมัก โดยทั่วไปกระบวนการหมักจะดำเนินการในช่วงอุณหภูมิ Mesophilic (35–40°C) หรือ Thermophilic (50–55°C) ซึ่งเอื้อต่อการทำงานของกลุ่ม เมทาโนเจน อย่างไรก็ตาม SRB บางชนิดสามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่า หากอุณหภูมิของระบบไม่สม่ำเสมอหรือแปรปรวน จุลินทรีย์กลุ่ม SRB อาจได้รับความได้เปรียบในการแข่งขัน ทำให้การผลิต H_2S เพิ่มขึ้น การรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในช่วงที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยลดกิจกรรมของ SRB และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต CH_4 ในระบบ (Chen et al., 2008) ในส่วนองค์ประกอบของวัตถุดิบที่นำเข้าสู่ระบบหมักก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยเฉพาะอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 20–30:1 ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้อย่างสมดุล หากวัตถุดิบที่ใช้มีปริมาณไนโตรเจนหรือซัลเฟตสูงเกินไป จะทำให้ SRB มีโอกาสในการเจริญเติบโตมากขึ้นและเพิ่มการผลิต H_2S วัตถุดิบที่มีคาร์บอนสูงและไนโตรเจนต่ำ เช่น กากน้ำตาล เศษผัก หรือฟางข้าว จึงเหมาะสมต่อการใช้งานในระบบหมัก เนื่องจากจะช่วยลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ SRB ต้องการและส่งเสริมการทำงานของกลุ่มเมทาโนเจน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ H_2S ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Lee et al., 2014) จะเห็นได้ว่าการควบคุมการผลิต H_2S ในระบบหมักก๊าซชีวภาพสามารถดำเนินการได้ผ่านการจัดการสภาพแวดล้อมในระบบอย่างรอบด้าน ทั้งในเชิงเคมี ได้แก่ การควบคุมค่าพีเอช เชิงกายภาพ ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ และเชิงชีวภาพ ได้แก่ การจัดสรรองค์ประกอบของวัตถุดิบอย่างเหมาะสม การดำเนินการควบคุมในทุกมิติอย่างสอดคล้องกันจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิด H_2S เพิ่มคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ลดต้นทุนในการบำบัดสารพิษ และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระบบหมักได้อย่างยั่งยืน ซึ่งหากมีการต่อยอดองค์ความรู้ด้านการควบคุม H_2S ร่วมกับการออกแบบระบบการหมักที่เหมาะสม ก็จะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในบริบทของพื้นที่เลี้ยงช้างของประเทศไทยต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ โดยการเติมกากน้ำตาลในระดับ 15% เป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เมทาโนเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ปริมาณ CH_4 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การเติมกากน้ำตาลที่ระดับร้อยละ 15 ยังช่วยลดปริมาณ H_2S ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์และความเป็นพิษในระบบหมัก การศึกษาครั้งนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้กากน้ำตาลในระดับร้อยละ 15 จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างในระดับชุมชนและสถานประกอบการต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทดสอบการเติมวัสดุเสริมอื่น ๆ เช่น วัสดุดูดซับ H_2S เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดปัญหากลิ่น ในระดับชุมชนหรือสถานประกอบการส่งเสริมให้ชุมชนในพื้นที่มีการจัดตั้งระบบถังหมักชีวภาพอย่างเป็นระบบและมีการจัดการมูลช้างอย่างยั่งยืน เพื่อสนับสนุนการวิจัยต่อยอดเพื่อพัฒนาโมเดลพลังงานชีวภาพในพื้นที่เลี้ยงช้างของประเทศต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย โครงการการพัฒนาแหล่งเรียนรู้ชุมชนด้านการจัดการขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรและต่อยอดการผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนวัตกรรมในพื้นที่บ้านท่าดีหมี ตำบลปากตม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย หมายเลขโครงการ 650205109 และขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาฟิสิกส์ และสาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

วงศ์วิวรรธ ธนูศิลป์ และ สุนันทา เลาวัณย์ศิริ. (2555) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก. ใน: **รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9**. (หน้า 419 - 427). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

Ahmad, W., Sethupathi, S., Kanadasan, G., Lau, L. C., and Kanthasamy, R. (2021). A review on the removal of hydrogen sulfide from biogas by adsorption using sorbents derived from waste. **Chemical Engineering**, 37(3), 407-431.

Angelidaki, I., and Ahring, B. (1994). Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. **Water research**, 28(3), 727-731.

Boonyuang, Y., and Nirunsin, R. (2023). **Development of biogas production from elephant dung by using anaerobical digestate as inoculum**. (Master's thesis). Maejo University, Thailand.

Chen, Y., Cheng, J. J., and Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, 99(10), 4044-4064.

Cruz, I. A., Chuenchart, W., Long, F., Surendra, K., Andrade, L. R. S., Bilal, M., . . . Ferreira, L. F. R. (2022). Application of machine learning in anaerobic digestion: Perspectives and challenges. **Bioresource Technology**, 345, 126433.

De Vrieze, J. (2014). **Methanosaeta vs. Methanosarcina in anaerobic digestion: the quest for enhanced biogas production**. (Doctoral dissertation). Ghent University, Belgium.

Freund, R., and Littell, R. (2000). **SAS system for regression** : John Wiley & Sons.

Gunaseelan, V. N. (2004). Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. **Biomass and bioenergy**, 26(4), 389-399.

Kasantikul, B. (2022). Improvement Biogas Generating by the Fermenting Barrel for Biogas Production from Organic Waste for Household Use. **Engineering Access**, 8(1), 37-44.

Katuwal, H., and Bohara, A. K. (2009). Biogas: A promising renewable technology and its impact on rural households in Nepal. **Renewable and sustainable energy reviews**, 13(9), 2668-2674.

Larsen, T. A., Maurer, M., Eggen, R. I., Pronk, W., and Lienert, J. (2010). Decision support in urban water management based on generic scenarios: The example of NoMix technology. **Journal of environmental management**, 91(12), 2676-2687.

Lee, J. K., Responte, D. J., Cissell, D. D., Hu, J. C., Nolta, J. A., and Athanasiou, K. A. (2014). Clinical translation of stem cells: insight for cartilage therapies. **Critical reviews in biotechnology**, 34(1), 89-100.

Manokhoon, P., Boonyungyuen, W., and Rangseesuriyachai, T. (2023). Anaerobic Compost Production from Elephant Dung in Combination with Elephant Food Wastes and Fermented Slurry by Biogas recirculation. **Journal of Engineering and Innovation**, 16(2), 38-48.

Pudi, A., Rezaei, M., Signorini, V., Andersson, M. P., Baschetti, M. G., and Mansouri, S. S. (2022). Hydrogen sulfide capture and removal technologies: A comprehensive review of recent developments and emerging trends. **Separation and Purification Technology**, 298, 121448.

Romaniuk, W., Rogovskii, I., Polishchuk, V., Titova, L., Borek, K., Shvorov, S., . . . Didur, V. (2022). Study of technological process of fermentation of molasses vinasse in biogas plants. **Processes**, 10(10), 2011.

Sawatdeenarunat, C., Charnnok, B., Nirunsin, R., Chaiprapat, S., and Chu, C.-Y. (2025). Simultaneous biomethane and hydrochar recovery from washed elephant dung: The effects of inoculum source, substrate to inoculum ratio, and hydrothermal temperature. **Carbon Resources Conversion**, 8(1), 100297.

Sawatdeenarunat, C., Saipa, S., and Suaisom, P. (2023). Anaerobic digestion of elephant camp–derived wastes: methane potential, kinetic study, and biorefinery platform. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 13(7), 6175-6184.

Song, Y., Qiao, W., Zhang, J., and Dong, R. (2023). Process performance and functional microbial community in the anaerobic digestion of chicken manure: a review. **Energies**, 16(12), 4675.

Sreekrishnan, T., Kohli, S., and Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques––a review. **Bioresource Technology**, 95(1), 1-10.

Sukasem, N., and Prayoonkham, S. (2017). Biomethane recovery from fresh and dry water hyacinth anaerobic co-digestion with pig dung, elephant dung and bat dung with different alkali pretreatments. **Energy Procedia**, 138, 294-300.