

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบกะ และการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 2) กรดแอซิติก (CH_3COOH)
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 4) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)
- 5) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- 6) เฟอโรอิน อินดิเคเตอร์
- 7) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

3.1.2 อุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์ (Beaker)
- 2) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
- 4) ขวดปริมาตร (Volumetric flask)
- 5) บิวเรต (Burette)
- 6) ปิเปตต์ (Pipette)
- 7) หลอดทดลอง (Test tube)
- 8) กระบอกตวง (Cylinder)
- 9) กระดาษกรองใยแก้ว (Glass microfiber filter)
- 10) ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- 11) คีมคีบสแตนเลส (Forceps)

- 12) ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack for test tube)
- 13) ถังพลาสติกสีฟ้า ขนาด 50 ลิตร
- 14) เกลียวนอก 4 หุน
- 15) เส้นพลาสติกเชื่อม
- 16) โหลน้ำตาล ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 17) โหลน้ำตาล ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 18) เทอร์โมมิเตอร์แอร์บ้าน
- 19) เคเบิลไทน์
- 20) สีสทางกากบาท
- 21) เกลียวนอก ½ นิ้ว
- 22) เกลียวนอก 1 นิ้ว
- 23) ข้อลัด 3 นิ้ว ลด 1½ นิ้ว
- 24) ข้อลัด 1½ นิ้ว ลด 1 นิ้ว
- 25) วาล์ว PVC ½ นิ้ว
- 26) เกลียวนอก ¾ นิ้ว
- 27) โค้งเหลืออง ¾ นิ้ว
- 28) ท่อเหลืออง ¾ นิ้ว
- 29) ท่อฟ้า ¾ นิ้ว
- 30) สามทางเหลืออง ¾ นิ้ว
- 31) เทปพันเกลียว
- 32) กาวทาท่อ
- 33) ปืนเป่าลมร้อน

3.2 วิธีดำเนินการศึกษา

3.2.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง

3.2.2 ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยศึกษาจากการการประเมินศักยภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน (Biochemical Methane Potential, BMP) ที่สภาวะมาตรฐาน โดยใช้มูลช้างและน้ำชะมูลช้าง มีขั้นตอนการเตรียมการดังต่อไปนี้

1) การเตรียมตัวอย่างมูลช้างและน้ำชะมูลช้าง

มูลช้างที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เก็บมาจากกลุ่มช้างที่บริเวณคันทับช้างโพธิ์เป็นส่วนใหญ่ โดยไม่ได้จำกัดเพศ และอายุของช้าง ซึ่งตัวอย่างมูลช้างสด เตรียมได้จากมูลช้างสดที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน จากนั้นนำมาแยกออกให้เป็นเส้นใยแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

สำหรับน้ำชะมูลช้าง เตรียมได้จากการนำมูลช้างสดมาผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำที่อัตราส่วนของมูลช้างสดต่อน้ำ ดังนี้ 1:0, 1:1, 1:2, และ 1:3 โดยที่อัตราส่วน 1:0 คือ การคั้นน้ำจากมูลช้างสดที่ไม่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2) การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ มูลวัวที่นำมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1:2 ของมูลวัวต่อน้ำ

3.2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างมูลช้างและน้ำชะมูลช้าง

1) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสามารถบอกคุณภาพของน้ำ ทำให้สามารถประมาณค่าของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ซึ่งน้ำคุณภาพดีนั้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาตะกอนหนักมีความสำคัญในการออกแบบและควบคุมระบบถังตกตะกอน และค่าของแข็งระเหยสามารถบอกได้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ ดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมถ้วยกระเบื้อง

เผาถ้วยกระเบื้องที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ก่อนนำไปใช้งาน
ให้นำไปอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถ่ดูดความชื้นอีก 1
ชั่วโมง นำไปซั่งที่เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก (g)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย

กวนตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปิเปตหรือตวงตัวอย่างใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง
10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน
โถ่ดูดความชื้น 1 ชั่วโมง แล้วนำไปซั่งที่เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก (g)

สำหรับการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหย จะนำถ้วยกระเบื้องและตัวอย่างที่อบแล้ว
จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมดไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 20 นาที แล้วทิ้งให้
เย็นในโถ่ดูดความชื้น 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปซั่งที่เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก (g)

การคำนวณ

$$TS \text{ (mg/L)} = (B-A) \times 10^6 / V$$

$$VS \text{ (mg/L)} = (B-C) \times 10^6 / V$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยเปล่า (g)

B = น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังอบ (g)

C = น้ำหนักถ้วย + ตัวอย่างหลังเผา (g)

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)



ภาพที่ 3.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย

2) การวิเคราะห์ความเป็นต่างและกรดระเหยง่าย

กรดไขมันระเหยนั้นต้องทำการควบคุมให้มีปริมาณกรดไขมันที่ระเหยในถังหมักไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อระบบผลิตที่มีคุณภาพโดยสามารถวิเคราะห์ได้ ดังนี้

ขั้นตอนการทดสอบ

ตั้งตัวอย่างไว้ให้ตกตะกอนเพื่อนำของเหลวใสเทลงในบีกเกอร์ 25 mL เทใส่ในบีกเกอร์แล้วไตเตรทด้วย H_2SO_4 ให้ pH ประมาณ 4.5 บันทึกปริมาตรและความเข้มข้นของ H_2SO_4 และไตเตรทต่อด้วย H_2SO_4 จน pH 3.3-3.5 จากนั้นนำไปต้มให้เดือดเบา ๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส นับจากเดือด 3 นาที แห่บีกเกอร์ในน้ำเย็น จนอุณหภูมิประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส ปรับ pH ให้ได้ 4.0 ด้วย NaOH แล้วไตเตรทต่อจน pH ถึง 7.0 จดปริมาตร NaOH ที่ใช้ (จาก pH 4.0-7.0) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 บันทึกปริมาตรและความเข้มข้นของ NaOH

การคำนวณ

$$\text{ALK (mg/L as CaCO}_3) = (A \times B \times 50,000) / V$$

$$\text{VFA (mg/L as CH}_3\text{COOH)} = (C \times D \times 60,000 \times 1.5) / V$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของ H_2SO_4 (N)

B = ปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้ (mL)

C = ความเข้มข้นของ NaOH (N)

D = ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)

V = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)



ภาพที่ 3.2 ทดสอบความเป็นต่างและกรดระเหยง่าย

3) การวิเคราะห์ปริมาณ COD แบบปิด (COD close reflux)

การวิเคราะห์หาค่า COD เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีประสิทธิภาพในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทดสอบ

กวนตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วปิเปตตัวอย่าง 3 mL หรือน้อยกว่า ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 2 mL เติมโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 0.1 นอร์มอล 3 mL เติม Sulfuric acid reagent 7 mL จากนั้นปิดฝา แล้วเขย่าเบา ๆ นำไปอบที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วหยดเฟอร์รอน อินดิเคเตอร์ ลงไป 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) จนเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง ดังแสดงในภาพที่ 3.3 บันทึกปริมาตร FAS ที่ใช้

การคำนวณ

$$COD \text{ as } mg \text{ O}_2/L = (B-A) \times N \times 8,000 / V$$

เมื่อ B = ปริมาตรเฉลี่ย FAS ที่ใช้ไตเตรท blank (mL)

A = ปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (mL)

N = ความเข้มข้นของ FAS

V = ปริมาตรตัวอย่าง (mL)

หมายเหตุ: ความเข้มข้นของ FAS คำนวณดังนี้

$$N_2 = N_1 \times V_1 / V_2$$

N_1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (N)

N_2 = ความเข้มข้น FAS (N)

V_1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ (mL)

V_2 = ปริมาตรเฉลี่ยของ FAS ที่ใช้ไตเตรท (หลอดที่ทำเป็น FAS)



ภาพที่ 3.3 ทดสอบหาปริมาณ COD แบบปิด

3.2.4 ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างโดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบกะ ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้าง ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบกะ ด้วยวิธีการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (BMP: Biochemical Methane Potential) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อประเมินการย่อยสลายสารอินทรีย์เคมีที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ โดยเป็นการตรวจวัดแรงดันที่เพิ่มขึ้นในระบบทดสอบ อ้างอิงวิธีทดสอบจากมาตรฐาน VDI 4630 (Fermentation of organic materials characterization of the substrate sampling collection of material data fermentation tests)

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) เตรียมขวดแก้วขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยในการทดลองนี้จะใช้ปริมาตรรวมในการหมักทั้งหมด 400 มิลลิลิตร
- 2) ทดสอบปริมาณของแข็งระเหยของเชื้อจุลินทรีย์และมูลช้างตัวอย่าง จากนั้นคำนวณปริมาตรที่ต้องใช้ โดยกำหนดอัตราส่วนของแข็งระเหยระหว่างมูลช้างตัวอย่างต่อเชื้อจุลินทรีย์เท่ากับ 0.5
- 3) บรรจุเชื้อจุลินทรีย์และมูลช้าง (ปริมาตรตัวอย่าง) โดยใช้ปริมาตรดังแสดงใน **ตารางที่ 3.1** ลงในขวดแก้ว ปรับ pH ให้เท่ากับ 6.9-7.2 จากนั้นไล่อากาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนประมาณ 2-3 นาที แล้วปิดฝา
- 4) นำขวดแก้วทั้งหมดลงไปไว้ในอ่างที่ควบคุมน้ำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และบันทึกแรงดันก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และวัดองค์ประกอบก๊าซด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซแบบพกพาี่ห้อ GA2000, Geotechnical Instruments

ตารางที่ 3.1 ปริมาตรของตัวอย่างที่เติมลงในขวดหมักขนาด 1,000 มิลลิลิตร

ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรเชื้อจุลินทรีย์ (mL)	ปริมาตรสารอาหาร (mL)
มูลช้างสด	16.74	75.12	308.13
น้ำชะมูลช้าง 1:0	125.04	75.12	199.84
น้ำชะมูลช้าง 1:1	126.74	75.12	198.13
น้ำชะมูลช้าง 1:2	186.31	75.12	138.57
น้ำชะมูลช้าง 1:3	273.60	75.12	51.28



ภาพที่ 3.4 วิธีการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน

3.2.5 ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเงื่อนไขที่เหมาะสมในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง การทดสอบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ โดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของมูลช้างมาทำการทดสอบในระบบต้นแบบที่มีขนาด 50 ลิตร เป็นระยะเวลา 120 วัน โดยคำนวณวิธีการเดินระบบจากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ เริ่มต้นที่ $0.5\text{--}2.0 \text{ kg VS/m}^3\cdot\text{d}$

ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) เตรียมเชื้อจุลินทรีย์และตัวอย่างในเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของมูลช้าง
- 2) เตรียมถังทดสอบการหมักก๊าซชีวภาพขนาด 50 ลิตร วางไว้ในกะบะ และใส่ฮีทเตอร์และปั้มน้ำเพื่อควบคุมให้มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ภาพที่ 3.4
- 3) บรรจุเชื้อจุลินทรีย์และตัวอย่างในเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของมูลช้างลงในถังปริมาตร 40 ลิตร
- 4) โดยมีเงื่อนไขการเดินระบบ ดังต่อไปนี้
- 5) จากนั้นทำการบันทึกปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นและวัดองค์ประกอบของก๊าซทุกวัน และเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.5 การทดสอบระบบแบบกึ่งต่อเนื่องขนาด 50 ลิตร

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ความสม่ำเสมอ
<u>น้ำที่ออกจากระบบ</u>	
1. pH	ทุกวัน
2. COD	ทุก 5 วัน
<u>ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้</u>	
1. ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน
2. องค์ประกอบก๊าซ	ทุกวัน

3.2.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

3.2.7 เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์