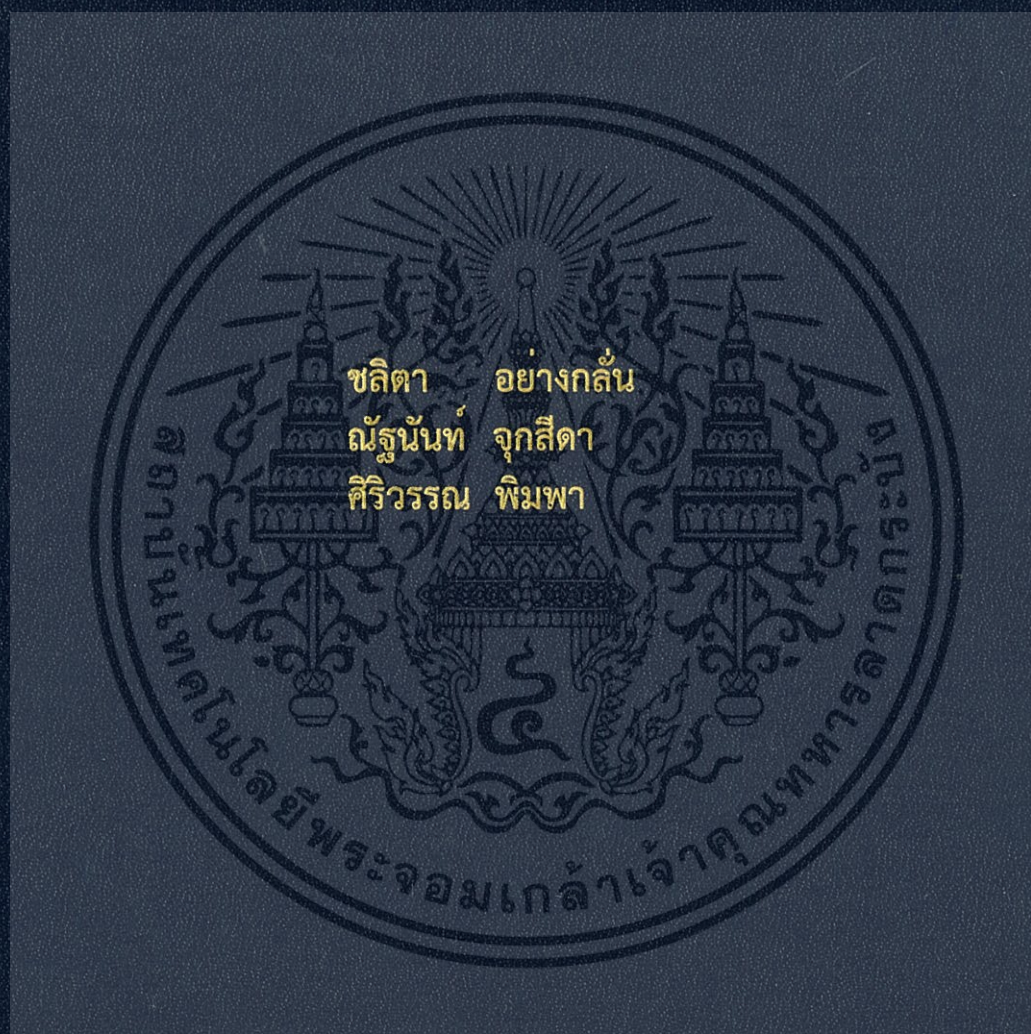


ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร
BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL
FROM PIGGERY FARM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร
BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL
FROM PIGGERY FARM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL
FROM PIGGERY FARM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร Biogas Production Potential from Piggery Farm |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวชลิตา อย่างกลิ่น รหัสนักศึกษา 57050584 นางสาวณัฐนันท์ จุกสีดา รหัสนักศึกษา 57050594 นางสาวศิริวรรณ พิมพา รหัสนักศึกษา 57050644 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| ปีการศึกษา | 2560 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|--|
| ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการ |  |
| ดร.กมลสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ |  |
| ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวชลิตา อย่างกลิ่น รหัสนักศึกษา 57050584 นางสาวณัฐนันท์ จุกสีดา รหัสนักศึกษา 57050594 นางสาวศิริวรรณ พิมพา รหัสนักศึกษา 57050644 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2560 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของฟาร์มสุกรที่เริ่มเดินระบบตั้งแต่เดือนกรกฎาคม และทำการเก็บตัวอย่างช่วงเดือนสิงหาคม - ธันวาคม เป็นระยะเวลา 136 วัน ระบบที่ใช้คือบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบซ้ำ (Modified Covered Lagoon) ความจุ 10,000 ลูกบาศก์เมตร น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะถูกส่งไปยังบ่อรับน้ำเข้า แล้วสูบเข้าบ่อหมักวันละ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะถูกสะสมไว้ในผ้าใบจนมีปริมาณก๊าซอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จะเปิดวาล์วให้ก๊าซไหลเข้าสู่ระบบการกำจัดซัลไฟด์ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง เพื่อลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ให้เกิดการจุดระเบิดต้นลูกสูบที่เชื่อมกับเพลาค้อเหวี่ยงให้หมุนและส่งต่อไปเพื่อขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรับน้ำเข้าพบว่า อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 32-33 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.13-7.54 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 9,935 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร ขณะที่ในน้ำออกจากบ่อหมักมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 563 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 92 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในบ่อหมักเท่ากับ 819 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อนำเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 982 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

คำสำคัญ : บ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน, ก๊าซชีวภาพ, น้ำเสียจากฟาร์มสุกร, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

| | |
|---------------|--|
| Title | Biogas Production Potential from Piggery Farm |
| Students | Miss Chalita Yangklan Student ID 57050584 Miss Nattanan Jookseeda Student ID 57050594 Miss Siriwan Phimpha Student ID 57050644 |
| Degree | Bachelor of Science (Environmental Chemistry) |
| Department | Chemistry |
| Faculty | Science |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) |
| Academic Year | 2017 |
| Advisor | Asst.Prof. Pitsamai Chairat-utai |

Abstract

This special project is the study of biogas production potential from piggery farm. The production started in July and sampling was conducted from August to December, for a total of 136 days. The production system in used is as low rate anaerobic digester (Modified Covered Lagoon) with a capacity of 10,000 m³. Wastewater from pig farms is transported to the receiving pond, then pumped into the fermentation pond at the rate of 250 m³/d. Biogas will be accumulated in the canvas, until it reach the suitable range, the valve will be open to release the gas into the wet and dry sulfide removal system, to reduce the hydrogen sulfide. The produced biogas will be pumped into the combustion engine, to push the plunger connected to the crankshaft and rotate it forward to drive the generator. Sample wastewater in the receiving pond has its temperature in the range of 32-33 °C, pH value in the range of 7.13-7.54 and average COD 9,935 mg O₂/L, The average COD removal is equal to 563 mg O₂/L and the average COD removal efficiency was at 92 %. The biogas production rate in the fermentation pond was 819 m³/d, and can generate electricity 982 kWh.

Keywords: anaerobic reactor, biogas, piggery farm, hydrogen sulfide

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่านขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัยที่คอยให้คำปรึกษาโครงการพิเศษ นอกจากนี้ยังให้กำลังใจและการดูแลเป็นอย่างดีทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูนและ ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัท ทีวีที กรีน เอ็นเนอร์ยี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ดำเนินโครงการและให้การสนับสนุนในงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุน ทำให้กลุ่มของผู้วิจัยสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งเพื่อนร่วมสาขาที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดการทำโครงการพิเศษ คุณค่าและประโยชน์อันบังเกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้กลุ่มผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชลิตา อย่างกลิ่น
ณัฐนันท์ จุกสีดา
ศิริวรรณ พิมพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ช |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร..... | 3 |
| 2.1.1 น้ำเสีย..... | 3 |
| 2.1.2 ของเสีย..... | 4 |
| 2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน..... | 4 |
| 2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน..... | 4 |
| 2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน..... | 7 |
| 2.3 รูปแบบบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน..... | 8 |
| 2.4 การออกแบบท่อก๊าซของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า..... | 11 |
| 2.5 การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S Adsorption) | 13 |
| 2.5.1 กระบวนการแบบแห้ง (Dry process) | 13 |
| 2.5.1.1 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S Adsorption) | 13 |
| 2.5.2 กระบวนการแบบเปียก (Wet Process)..... | 15 |
| 2.5.2.1 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สารละลายต่าง..... | 15 |
| 2.6 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงาน..... | 18 |
| 2.6.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้า..... | 18 |
| 2.6.2 การผลิตพลังงานร่วม..... | 22 |
| 2.6.3 เชื้อเพลิงในการขนส่ง..... | 23 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 23 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 25 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี..... | 25 |
| 3.3.1 อุปกรณ์..... | 25 |
| 3.1.2 สารเคมี..... | 25 |
| 3.2 ขั้นตอนการวิจัย..... | 26 |
| 3.2.1 รูปแบบการก่อสร้างบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบข้า..... | 26 |
| 3.2.2 การเริ่มเดินระบบ..... | 28 |
| 3.2.3 การรับก๊าซชีวภาพเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า..... | 29 |
| 3.2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำ..... | 30 |
| 3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 31 |
| 3.2.5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี..... | 31 |
| 3.2.5.2 อัตราการผลิตก๊าซเทนและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 31 |
| 3.2.5.3 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้..... | 31 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล..... | 33 |
| 4.1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย..... | 33 |
| 4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี..... | 35 |
| 4.3 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น..... | 36 |
| 4.4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 37 |
| 4.5 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังการกำจัด..... | 38 |
| 4.6 ผลการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้..... | 39 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 40 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 40 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 40 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 41 |
| ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์..... | 43 |
| ภาคผนวก ข ผลการทดลอง..... | 49 |
| ภาคผนวก ค การคำนวณ..... | 56 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 อัตราการใช้ น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสียและและค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง..... | 4 |
| 2.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน..... | 8 |
| 2.3 ขนาดท่อ HDPE ที่นิยมใช้ในระบบก๊าซชีวภาพ..... | 12 |
| 2.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ..... | 13 |
| 2.5 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่างๆ..... | 17 |
| 2.6 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... | 18 |
| 4.1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย..... | 33 |
| ข-1 ผลการทดลองการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย..... | 50 |
| ข-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี..... | 52 |
| ข-3 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น..... | 53 |
| ข-4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 54 |
| ข-5 ผลการศึกษาไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อน-หลังการกำจัดและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้..... | 55 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน..... | 6 |
| 2.2 บ่อหมักแบบโดมคงที่..... | 9 |
| 2.3 แบบฝาครอบลอย..... | 9 |
| 2.4 แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน..... | 10 |
| 2.5 แบบพลาสติกคลุมราง..... | 10 |
| 2.6 ระบบแบบ UASB และ H-UASB..... | 11 |
| 2.7 ลักษณะของถังกำจัดก๊าซซัลไฟด์แบบแห้ง..... | 14 |
| 2.8 แผนผังการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้สารละลายต่างทั้งแบบมีการฟื้นฟูสภาพการดูดซึมและไม่มีกการฟื้นฟูสภาพการดูดซึม..... | 16 |
| 2.9 ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas train) ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ..... | 19 |
| 2.10 ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas train) สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ..... | 19 |
| 2.11 เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ..... | 20 |
| 2.12 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง..... | 21 |
| 2.13 เครื่องยนต์แบบสเตอร์ลิง..... | 21 |
| 3.1 แผนผังแสดงระบบการเกิดก๊าซชีวภาพ..... | 27 |
| 3.2 แผนผังการวางท่อป้อนน้ำเข้า น้ำออก และท่อสูบตะกอน..... | 27 |
| 3.3 การคลุมผ้าแบบบัลลูน..... | 28 |
| 3.4 กระบวนการกำจัดซัลไฟด์..... | 29 |
| 3.5 การทำงานของเครื่องยนต์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้า..... | 29 |
| 3.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า..... | 30 |
| 3.7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... | 30 |
| 4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เวลาต่างกัน..... | 35 |
| 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เวลาต่างกัน..... | 36 |
| 4.3 เปอร์เซนต์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ..... | 37 |
| 4.4 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังการกำจัด..... | 38 |
| 4.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้..... | 39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|------------------------------|--|
| °C | องศาเซลเซียส |
| CO ₂ | คาร์บอนไดออกไซด์ |
| mg/d | มิลลิกรัมต่อวัน |
| mg/L | มิลลิกรัมต่อลิตร |
| % | เปอร์เซ็นต์ |
| pH | พีเอช ค่าความเป็นกรด-ด่าง |
| H ₂ S | ไฮโดรเจนซัลไฟด์ |
| mg/L as CaCO ₃ | มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต |
| mg/L as CH ₃ COOH | มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก |
| ppm | ส่วนในล้านส่วน |
| " | นิ้ว |
| K | เคลวิน เป็นหน่วยของหน่วยวัดอุณหภูมิ |
| atm | บรรยากาศมาตรฐาน |
| KW | กิโลวัตต์ |
| Hz | เมกะเฮิรตซ์ |
| m | เมตร |
| m ³ | ลูกบาศก์เมตร |
| m ³ /d | ลูกบาศก์เมตรต่อวัน |
| A | แอมแปร์ |
| kV | กิโลโวลต์ |
| m ³ /hr | ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง |
| kWh | กิโลวัตต์ชั่วโมง |
| mgO ₂ /L | มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร |
| m ³ /kg | ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม |
| hr | ชั่วโมง |
| g S/kg | กรัม วินาทีต่อกิโลกรัม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกภาคปศุสัตว์ เป็นกิจกรรมหนึ่งที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน 25 GWP₁₀₀ (Global Warming Potential ในระยะเวลา 100ปี) (IPCC Forth Assessment Report – Climate Change, 2007) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวหนึ่งที่มีค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน 21-28 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งข้อตกลงของพิธีสารเกียวโต เรื่องการซื้อขายคาร์บอนเครดิตที่เป็นแรงผลักดัน ทำให้ประเทศไทยต้องมีการจัดการปัญหาของเสียจากภาคปศุสัตว์ โดยการนำของเสีย ได้แก่ มูลสุกร น้ำล้างพื้นฟาร์ม มาผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งจะช่วยลดภาระการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศสามารถจัดการกับของเสียให้เกิดประโยชน์และเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic reactor) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยมาตรฐานน้ำทิ้งประเภท ก (ฟาร์มขนาดใหญ่) มีค่า 300 mg/L (คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค, 2556) และปัจจุบันเทคโนโลยี การผลิตก๊าซชีวภาพสามารถลดขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่าย และพื้นที่ลงได้ โดยรูปแบบที่นำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ ได้แก่ บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าและบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว เป็นต้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในการจัดการของเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่อยู่ในชุมชน เป็นการส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้ในด้านพลังงานทางเลือกในรูปแบบของพลังงานทดแทนสำหรับอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic reactor)
2. เพื่อประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียฟาร์มสุกร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า ตั้งอยู่ที่ ณ แขวงตะคุ อำเภอบึงอ้อย จังหวัดนครราชสีมา
2. จุดเก็บน้ำตัวอย่าง เก็บน้ำก่อนเข้าบ่อหมัก (Influent) และน้ำออก (Effluent) จากบ่อหมักไร้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีแนวทางในการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในการเลี้ยงสุกรต้องคัดเลือกพันธุ์สุกร เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่ดี และป้องกันการติดเชื้อโรค อาหารสำหรับเลี้ยงสุกรควรให้อาหารที่มีคุณภาพแก่สุกร จะช่วยให้สุกรเจริญเติบโตเร็ว ทำให้ลดปริมาณอาหารที่จะให้สุกร และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการให้อาหารบางชนิด นอกจากจะช่วยให้สุกรเจริญเติบโตได้ดีแล้ว ยังเป็นการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากสุกรอีกด้วย อาหารที่มีคุณภาพคือ สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสุกรครบทุกชนิดและมีปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการของสุกรในระยะต่างๆ การทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกร จะต้องมีการวางผังคอกให้ถูกกับพฤติกรรมการขับถ่ายและการกินอาหารของสุกร โดยบริเวณขับถ่ายหรือสร้างส้วมน้ำควรอยู่ท้ายคอก เนื่องจากเป็นที่สว่างและมีการระบายอากาศที่ดี การเก็บกวาดและรวบรวมมูลสุกรและเศษอาหารที่หกหล่นออกจากคอกอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เพื่อป้องกันการสะสมของมูลสุกรในคอก ก่อนฉีดล้างคอกควรฉีดพรมหรือสเปรย์น้ำให้ทั่วพื้นคอก ซึ่งจะทำให้การฉีดล้างทำได้ ง่ายขึ้นและใช้น้ำน้อยลง ล้างคอกและโรงเรือนสุกรอย่างน้อยทุก 2 วัน และหลีกเลี่ยงการล้างคอกในช่วงเช้ามืด เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ทำให้กลิ่นเหม็นกระจายได้ ในกรณีมีส้วมน้ำต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันหรือทุกสองวัน พร้อมกับทำความสะอาดส้วมน้ำด้วยทุกครั้ง และเติมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของความลึกของส้วมน้ำ เนื่องจากหากเติมน้ำมากเกินไปเมื่อสุกรเข้าไปนอนแช่ จะทำให้น้ำล้นออกมาทำให้พื้นคอกแฉะและเป็นการสิ้นเปลือง ควรทำความสะอาดรางระบายน้ำรอบโรงเรือนโดยการเก็บกวาดมูลสุกรที่ตกค้างในรางระบายน้ำอย่างน้อยวันละครั้งหลังจากล้างคอกสุกรแล้ว ซึ่งการจัดการล้างคอกจะมีทั้งน้ำเสียและของเสียที่ปนกัน โดยจำแนกได้ดังนี้

2.1.1 น้ำเสีย

น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ส่วนใหญ่จะเกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและ โรงเรือนสุกร ซึ่งผู้เลี้ยงมักจะทำการฉีดล้างทุกวัน ส่วนปัสสาวะของสุกรจัดว่ามีปริมาณน้อยมากปริมาณ และลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ วิธีการทำความสะอาดพื้นคอก และประเภทของสุกรที่เลี้ยง เช่น ถ้ามีการเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อนใช้น้ำฉีดล้าง ความสกปรกของน้ำเสียจะต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำฉีดล้างพื้นคอกเลยโดยไม่มีการเก็บกวาดมูลและผู้เลี้ยงมักจะเน้นความสะดวกของสุกรพ่อ-แม่พันธุ์มากกว่าสุกรขุน ดังนั้นในขณะที่มีการทำความสะอาดโรงเรือนของพ่อ-แม่พันธุ์ ผู้เลี้ยงมักจะฉีดล้างตัวสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ด้วย ทำให้มีการใช้น้ำในปริมาณมากกว่า สุกรขุน นอกจากนี้ ปริมาณน้ำที่ใช้ทำความสะอาดยังขึ้นกับลักษณะการใช้น้ำของผู้ทำความสะอาดและ อุปกรณ์ที่ใช้ฉีดล้างพื้นคอกด้วย เช่น หากเปิดน้ำทิ้งไว้พร้อมกับเก็บกวาดมูลจะมีการใช้น้ำมาก และเมื่อใช้สายยางขนาดใหญ่ต่อกับก๊อกน้ำธรรมดาจะทำให้ปริมาณน้ำใช้ในการล้างพื้นมากกว่าการใช้สายยาง ขนาดเล็กหรือใช้หัวฉีดสเปรย์ที่มีแรงดันสูง เป็นต้น

2.1.2 ของเสีย

ประกอบด้วยมูลสุกรและของเสียที่เป็นของแข็งอื่น มูลสุกร ประกอบด้วยกากอาหารที่ย่อยไม่ได้ เช่น ส่วนที่เป็นของแข็ง พวกเยื่อใยหรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึมและสิ่งที่ปล่อยออกมาจากร่างกายสัตว์ โดยเฉพาะจากกระบวนการทางเดินอาหาร เช่น เยื่อบุผนังลำไส้ เยื่อเมือก น้ำย่อย แร่ธาตุ เป็นต้น ในมูลสุกรจะประกอบด้วยน้ำ 65-85% อินทรีย์วัตถุ 10-204 และอนินทรีย์วัตถุ 10% โดยอายุและน้ำหนักของสุกรมีผลต่อปริมาณของสิ่งที่ขับถ่ายด้วย ซึ่งน้ำเสียและของเสียโดยรวมที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงอัตราการใช้น้ำ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการใช้น้ำ อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่าความสกปรกของน้ำเสียจำแนกตามประเภทสุกรที่เลี้ยง

| ประเภทสุกร | อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/ตัว/ วัน) | อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/ วัน) | ค่าความสกปรกของน้ำเสีย (มิลลิกรัม/ลิตร) | | | |
|-------------------|--------------------------------------|---|---|--------|----------------|----------|
| | | | บีโอดี | ซีโอดี | ของแข็งแขวนลอย | ทีเคเอ็น |
| สุกรพ่อ-แม่พันธุ์ | 92 | 64 | 800 | 1,700 | 900 | 350 |
| สุกรขุน | 48 | 24 | 3,500 | 7,400 | 4,700 | 700 |
| สุกรอนุบาล | 32 | 20 | 2,500 | 5,400 | 3,000 | 350 |

ที่มา: คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร (2553)

จากข้อมูลการสำรวจอัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร พบว่าสุกรพ่อ-แม่พันธุ์มีการใช้และอัตราการเกิดน้ำเสียโดยเฉลี่ยต่อตัวสุกรในรอบวันมากที่สุด รองลงมาคือสุกรขุน และสุกรอนุบาล ตามลำดับ สำหรับค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดี พบว่า สุกรขุนก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปบีโอดีมากที่สุด รองลงมาคือ สุกรอนุบาล และสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ตามลำดับ (คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค, 2556)

2.2 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน ในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนนี้

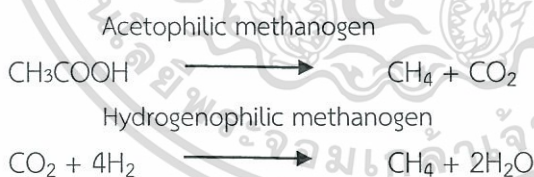
ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ที่ซึ่งละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือแบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

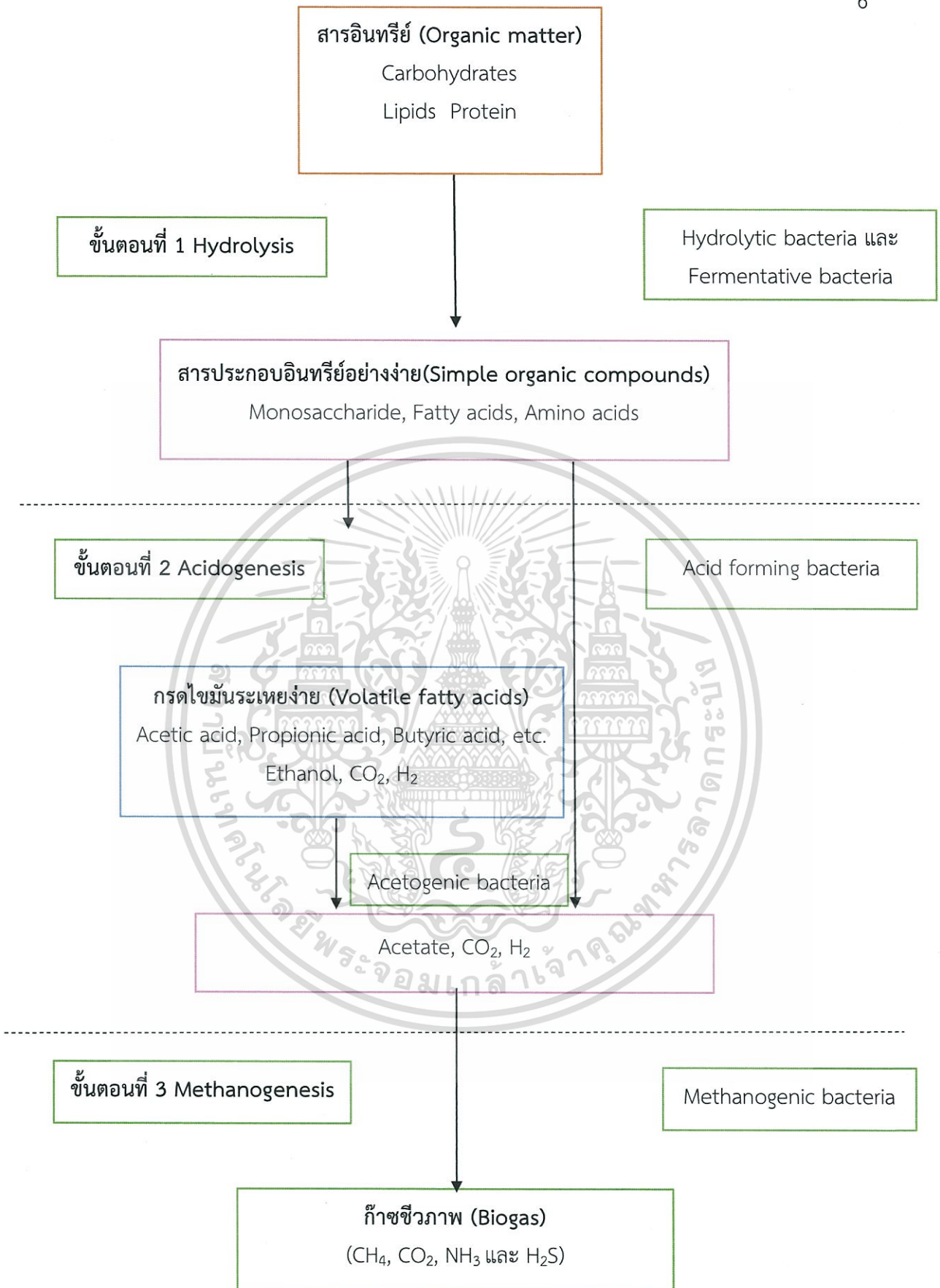
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative bacteria) ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานโดยในช่วงแรกของการย่อยสลายขั้นตอนนี้ ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid) ซึ่งที่โมเลกุลมีอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดไพรูวอิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) กรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้น และสารอื่นๆ เช่น เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียจะถูกเรียกแตกต่างกันไปตามชนิดของสารอินทรีย์นั้นๆ ขั้นตอนต่อมากรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นจะถูกแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจเนติก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นอะซิเตตฟอร์เมต ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาสำคัญในการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายและก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen forming bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ด้วย แต่ตัวที่ผลิตกรดอาจไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดด้วย แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดอาจรวมเรียกว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะแบบไร้ออกซิเจน ผลผลิตสุดท้ายคือก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการผลิตกรด โดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมากที่สุดคือกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปฏิกิริยาดังสมการ



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูง คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic producing bacteria) ได้แก่ Acetoclastic methanogenic bacteria (Acetophilic methanogen) และ Hydrogenophilic methanogen ในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน

ที่มา: Breure, A.M. and Andel, J.G. (1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นจึงต้องเข้าใจถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสภาวะแวดล้อมและปัจจัยดังกล่าวมีดังนี้

1) อุณหภูมิ มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นและอุณหภูมิต่ำกว่าที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เป็นอุณหภูมิต่ำกว่าค่าของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ อุณหภูมิถูกแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

ก) ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

ข) ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส

ค) ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ ช่วง 30 – 38 องศาเซลเซียส และช่วง 48 – 57 องศาเซลเซียส

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน เป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6–7.4 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ระบบจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดี เพื่อรับมือกับกรดไขมันระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ที่มากพอ ก็จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบได้

3) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: Alk) ค่าความเป็นด่างเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบกล่าวคือถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่างได้ง่าย เมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 mg as CaCO₃/L ค่าความเป็นด่างที่มีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนไม่ควรจะต่ำกว่า 1,000 mg as CaCO₃/L

4) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน กรดไขมันระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริกและกรดโพรพอนิก เป็นต้น สัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ในระบบที่มีการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณมาก (> 2,000 mg as CH₃COOH/L) ช่วงแรกจะทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลง และถ้ายังไม่มีการกำจัดปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายให้น้อยลง ต่อมาค่าความเป็นด่างของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน หากยังไม่ได้ทำการแก้ไขปล่อยให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำถึง 4.5 – 5.0 ก็จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 mg as CH₃COOH/L และวิธีการควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3 – 0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีหน่วยเป็นน้ำหนักของซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน ($\text{kg COD}/\text{m}^3 \text{ day}$) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Feeding rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่

6) สารพิษ (Toxic substances) โดยทั่วไปในน้ำเสียมักมีสารพิษหลายชนิดปะปนเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้นๆ หากมีการสะสมของสารบางอย่างภายในถังปฏิกรณ์ในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ โดยอาจมีผลต่อการยับยั้ง (Inhibition) การเจริญเติบโต จนถึงทำให้แบคทีเรียตายได้ และจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพหรือเสถียรภาพของระบบลดลงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนได้แบ่งสารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรีย เช่น พิษของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งมีผลต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตภัณฑ์มีเทน พิษของสารโลหะหนักชนิดต่างๆ พิษของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เป็นต้น ซึ่งได้แสดงสภาวะที่เหมาะสมในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ดังตารางที่ 2.2 (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ตารางที่ 2.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

| สภาวะแวดล้อม | ช่วงค่าที่เหมาะสม | ช่วงค่าที่ยอมรับได้ |
|---|-------------------|---------------------|
| อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) | 30-35 | 25-40 |
| พีเอช | 6.8-7.2 | 6.6-7.4 |
| ค่าความเป็นด่าง ($\text{mg as CaCO}_3/\text{L}$) | 2,000-3,000 | 1,000-4,000 |
| ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย($\text{mg as CH}_3\text{COOH}/\text{L}$) | 50-5,000 | 2,000 |
| ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี (mg/L) | >85% | 75-85% |
| อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง(VFA/Alk ratio) | <0.3 | 0.03-0.3 |
| อัตราการเกิดมีเทน | 60-65 | 55-60 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) | <30 | <200 |
| อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) | 40-50 | <100 |

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.3 รูปแบบบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน

ซึ่งปัจจุบันได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายการผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะแยกตามแหล่งที่มาของน้ำเสีย ได้แก่ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ของเสียจากอุตสาหกรรม ขยะมูลฝอย และครัวเรือน ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจะใช้กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน ภายในบ่อหมักโดยแบ่งตามอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ได้ 2 ระดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ต่ำ (Low rate) และสูง (High rate) สำหรับมูลสัตว์ ดังนี้
 1.บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic reactor) มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ แบบโดมคงที่ แบบฝาครอบลอย และแบบรางขนานแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน และแบบพลาสติกคลุมราง บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าจะต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์มาก เพราะต้องใช้เวลาในการกักเก็บน้ำสูง

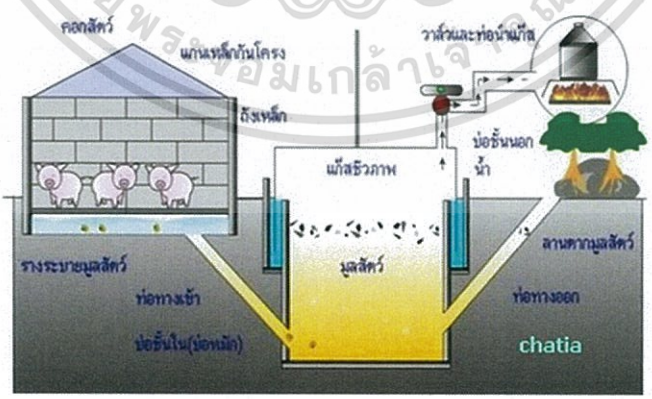
1.1 แบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) จะสร้างด้วยคอนกรีตฝังอยู่ในดิน มีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์ และท่อให้มูลสัตว์ไหลออก ส่วนเก็บก๊าซสร้างด้วยคอนกรีตติดกับบ่อหมักซึ่งแรงดันของก๊าซไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาตรของก๊าซภายในบ่อ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 บ่อหมักแบบโดมคงที่

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

1.2 แบบฝาครอบลอย (Floating drum digester) ใช้ในการจัดมูลของสัตว์เลี้ยงที่กองอยู่ใต้ถุนบ้านและแก้ปัญหาด้านสุขอนามัยกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นเพียงผลพลอยได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แบบฝาครอบลอย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แบบรางขนาน (Plug flow digester) ประกอบด้วยแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Cover lagoon) มีการนำถุงยางเก็บก๊าซมาสร้างครอบไปบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินขุดก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินขุด อาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับ เพื่อมิให้เกิดการรั่วซึมของของเสียลงใต้ดิน ดังรูปที่ 2.4



แผ่นพลาสติก HDPE

รูปที่ 2.4 แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน

ที่มา: SCV Plastic พลาสติกปูบ่อ (2560)

แบบพลาสติกคลุมราง (Channel digester) เป็นบ่อคอนกรีตที่มีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำ บนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูล และท่อเติมมูลและท่อน้ำมูลออกอยู่ทางหัวและท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซ ดังนั้นจึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบพลาสติกคลุมราง

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

2.บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High rate anaerobic reactor) มีอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นรวดเร็ว เพราะในระบบมีการกวนผสม การกักเก็บและรักษาตะกอนแบคทีเรียที่มีคุณภาพให้อยู่ในระบบเป็นเวลานาน โดยออกแบบให้ตะกอนถูกยึดตรึงไว้กับตัวกลาง หรือการทำให้ตะกอนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมตัวกันเป็นก้อน และยังมีการนำตะกอนที่หลุดไปกับน้ำล้นกลับมาในระบบบ่อหมักมีขนาดเล็ก สามารถรับปริมาณของเสียได้มากซึ่งบ่อหมักแบบนี้เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์สูงและก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้ลดค่าใช้จ่ายการบำบัดให้ต่ำลง ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง และน้ำเสียที่บำบัดแล้วจะเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง บ่อหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบเร็ว จะแบ่งออกเป็น Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) น้ำเสียจะถูกสูบเข้ากันถึงที่แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge bed) เป็นตะกอนเม็ดขนาด 2 – 5 มม. เป็นแบคทีเรียใยขาว เกาะกันมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นบนเรียกว่า Sludge blanket ทางด้านบนของบ่อหมัก UASB จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator ทำหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันมิให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสีย และแบบ High suspension solid Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (H-UASB) พัฒนาจากระบบ UASB เพื่อแก้ไขปัญหาการอุดตันของระบบหัวจ่ายน้ำเนื่องจากตะกอนของมูลสัตว์ มี buffer tank ทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ให้มีปริมาณน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบแบบ UASB และ H-UASB

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2561)

2.4 การออกแบบท่อก๊าซของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า

ในส่วนของระบบท่อก๊าซจะเป็นท่อพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน High Density Polyethylene (HDPE) วางรอบบ่อหมักเจาะรูตลอดท่อเป็นระยะๆ วัสดุที่ใช้ทำท่อก๊าซชีวภาพเป็นพลาสติก HDPE ที่มีความเหนียวทนทานแต่เมื่อโดนแดดเป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพจึงนิยมนำฝังใต้ดิน วัสดุที่ใช้สำหรับท่อนั้น ต้องเลือกให้เหมาะสมกับความดันและอุณหภูมิของก๊าซในการขนถ่าย สามารถใช้งานกับท่อก๊าซได้ดี จึงเป็นที่นิยมใช้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ตารางที่ 2.3 ขนาดท่อ HDPE ที่นิยมใช้ในระบบก๊าซชีวภาพ

| ท่อ HDPE งานรับแรงดัน ผลิตตามมาตรฐาน DIN 8075/75-1999 PE100 | | | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| HDPE pipes manufactured according to DIN 8074/75-1999 PE100 | | | | | | | | |
| ขนาด O.D (Size) | PN 10 (SDR 17) | | PN 16 (SDR 11) | | PN 20 (SDR 9) | | PN 25 (SDR 7.4) | |
| | นิ้ว (inch) | หนา (ม.ม.) | น้ำหนัก (กก./ม.) | หนา (ม.ม.) | น้ำหนัก (กก./ม.) | หนา (ม.ม.) | น้ำหนัก (กก./ม.) | หนา (ม.ม.) |
| 3" | 5.4 | 1.460 | 8.2 | 2.120 | 101 | 2.540 | 12.3 | 3.000 |
| 4" | 6.6 | 2.170 | 10.0 | 3.140 | 12.3 | 3.780 | 15.1 | 4.490 |
| 5" | 8.3 | 3.460 | 12.7 | 5.080 | 15.7 | 6.110 | 19.2 | 7.250 |

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

โดยในส่วนของบ่อหมักไร้ออกซิเจนใช้ท่อขนาด 3" ใช้เป็นท่อที่ต่อจากถังกำจัดซัลไฟด์ เพื่อที่นำก๊าซที่ผ่านการกำจัดไปที่วาล์ว เพื่อรวมก๊าซชีวภาพและปรับสัดส่วนของอากาศให้เหมาะสม ต่อเครื่องยนต์ต้องมีการรวมก๊าซ เนื่องจากป้องกันเครื่องดับและเครื่องเสียหายจากก๊าซชีวภาพไม่พอ หรือไฟดับจะได้มีการดับเครื่องได้ทันก่อนที่เครื่องจะดับเอง ส่วนท่อ 4" ใช้เป็นท่อสำหรับดึงน้ำ จากหัวบ่อที่มีความใสและอยู่ด้านบนสุดลงไปท้ายบ่อที่มีท่ออยู่ด้านล่างของบ่อหมักเพื่อให้แรงดันน้ำ จากหัวบ่อดันให้ตะกอนท้ายบ่อ เกิดการปั่นกววนไม่อยู่กับที่แต่จะเปิดเป็นบางครั้ง และยังทำหน้าที่ เป็นท่อดูดตะกอนเมื่อเวลาตะกอนในบ่อมีมากเกินไป และท่อ 5" ใช้เป็นท่อรับก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นมา โดยมีการเจาะรูและวางแนวรอบบ่อ เพื่อเก็บก๊าซได้อย่างทั่วถึงมีการนำท่อมาเป็นท่อรับน้ำเข้าบ่อหมัก มีทั้งหมด 11 ท่อแต่จะเปิดสลับกันวันละ 3 ท่อ เพื่อเป็นทำให้ตะกอนหมุนวน และเป็นท่อนำน้ำออก จากบ่อหมักที่ฝังอยู่ใต้น้ำลึก 1.5 เมตร เพื่อกักก๊าซและตะกอนไหลออกจากบ่อ เมื่อเกิดก๊าซ ในบ่อหมักก๊าซจะถูกสะสมอยู่ในบ่อหมักที่คลุมด้วยผ้าใบ เมื่อเปิดวาล์วก๊าซชีวภาพจะไหลมาตามท่อ ขนาด 5" ที่ได้มีการวางท่อรอบบ่อหมักและต่อปั๊ม (Pump) เพื่อดึงก๊าซเข้าถังดักความชื้นและกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อก๊าซที่ได้รับการกำจัดซัลไฟด์แล้ว จะถูกส่งเข้าไปในชุดอุปกรณ์ก๊าซ เพื่อให้ก๊าซชีวภาพเผาไหม้เกิดการจุดระเบิดพร้อมกับดันลูกสูบที่เชื่อมต่อกับเพลาลูกสูบทำให้เกิด การหมุนพลังงานแล้วถูกส่งไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 20-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) และไอน้ำ (H_2O) นอกจากนี้ยังมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxane) โฟม คราบ (Scum) เมือกและตะกอน เป็นต้น บางครั้งอาจพบปริมาณก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึง 1% (10,000 part per million (ppm)) ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เปรียบเทียบเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงต้องมีการกำจัดก่อนเข้าสู่การผลิตไฟฟ้า ในกรณีที่น้ำเสียนั้นมีองค์ประกอบของสารซัลเฟต (SO_2) สูง ดังตารางที่ 2.4 (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

| องค์ประกอบความเข้มข้น | |
|--------------------------|-----------------|
| CH ₄ | 50 – 70 %(v/v) |
| CO ₂ | 20 – 50 %(v/v) |
| H ₂ O (vapor) | 0 -10 %(v/v) |
| N ₂ | 0 – 5 %(v/v) |
| O ₂ | 0 – 2 %(v/v) |
| NH ₃ | 0 - 1 %(v/v) |
| H ₂ S | 50 - 10,000 ppm |

ที่มา: PROFITING FROM THE USE OF BIOGAS THE PANVITA CASE, Roland Tusar (2560)

หมายเหตุ: ในตารางนี้ยังไม่ได้รวมถึงสิ่งปนเปื้อนอื่นๆที่มีในก๊าซชีวภาพ เช่น ไฮโดรเจน โฟม คราบตะกอนต่างๆ เป็นต้น ความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5 การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S Adsorption)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดเป็นกรดซัลฟิวริก ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับก๊าซชีวภาพ เมื่อมีการย่อยสลาย โดยแบคทีเรียจะเกิดเมือก เป็นต้น แบ่งออกเป็นกระบวนการแบบแห้งและกระบวนการแบบเปียก

2.5.1 กระบวนการแบบแห้ง (Dry process)

เป็นกระบวนการที่อาศัยการดูดซับ (Adsorption) โดยสารดูดซับ (Adsorbent) ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกจับในรูพรุน (Pore) ของสารดูดซับหรือหลังจากถูกจับแล้วอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีก็ได้

2.5.1.1 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เทคโนโลยีที่ใช้ในการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดูดซับในรูปของแข็งนั้น จะประกอบไปด้วยถังปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นคอลัมน์ภายในบรรจุไว้ด้วยสารดูดซับ (Packed Bed) การไหลของก๊าซอาจจะมีทั้งไหลขึ้น (Up flow) หรือไหลลง (Down flow) ก็ได้ ดังรูปที่แสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลผ่านสารดูดซับก็จะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารดูดซับที่ใช้กันได้แก่ Iron Oxide (Fe₂O₃) ซึ่งในต่างประเทศนิยมใช้ในรูปผงหรือเม็ด ในประเทศไทยนิยมใช้ฝอยเหล็กที่เป็นสนิมและ Hydrate Lime จะดูดซับและเกิดปฏิกิริยาแต่ถ้าเป็นสารดูดซับพวกซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์จะเป็นการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไว้ในรูพรุนเท่านั้น

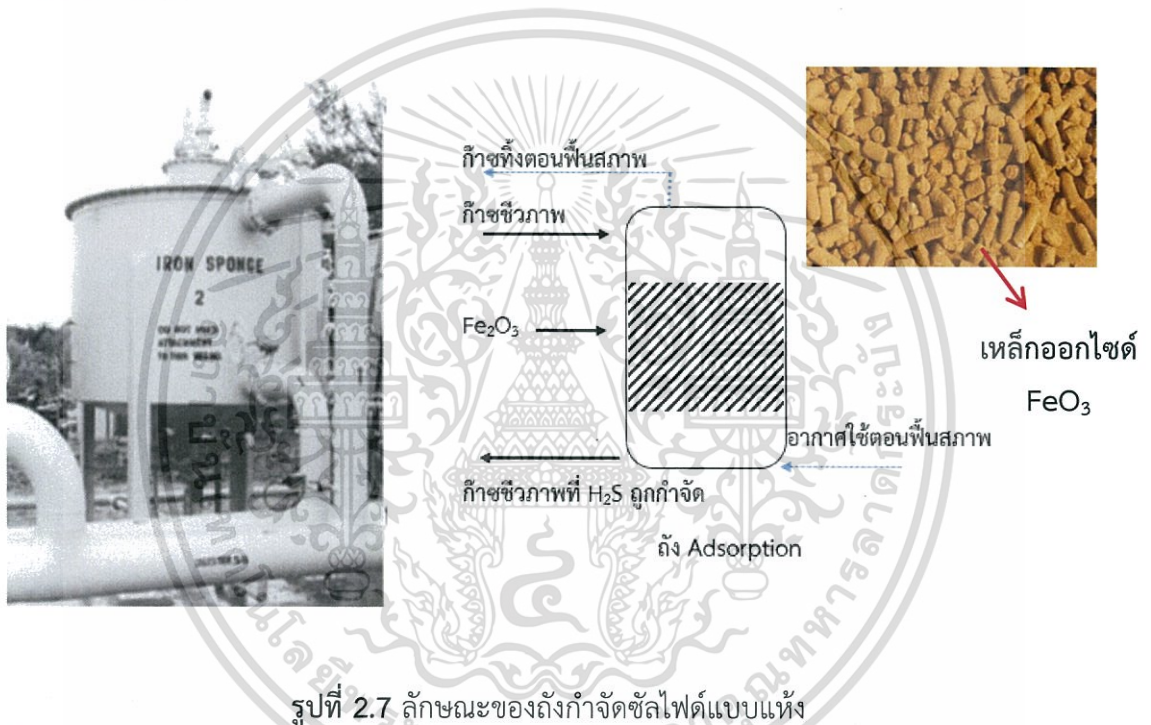
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จนอิ่มตัวแล้ว จะต้องมีการเปลี่ยนสารดูดซับใหม่ แล้วนำสารดูดซับที่อิ่มตัวแล้วไปฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ด้วยอากาศแล้วกลับมาใช้ใหม่ ปฏิกริยาจะเกิดได้ดี ถ้าสารดูดซับชื้นและมี $\text{pH} > 7$

การจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น คือ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

เมื่อมีการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น คือ $2\text{Fe}_2\text{S}_3 + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{S}$

ปฏิกริยาทั้งสองที่เกิดขึ้นข้างต้น เป็นปฏิกริยาคายความร้อน โดยช่วงการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีการคายความร้อน 0.65 กิโลจูล/กรัมของ H_2S ดังนั้นในช่วงของการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถึงปฏิกรณ์จับ H_2S จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นบ้างและในช่วงการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศก็จะมี การคายความร้อน 5.8 กิโลจูล/กรัมของ H_2S (1 กิโลจูล ทำให้อากาศ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นประมาณ 1.1 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในช่วงฟื้นฟูสภาพ สารดูดซับจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากและมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย



รูปที่ 2.7 ลักษณะของถังกำจัดซัลไฟด์แบบแห้ง

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

ในการฟื้นฟูสภาพของฝอยสนิมเหล็ก อาจจะทำได้ง่าย คือ การนำมาตากแดด 2-3 วัน เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศไปทำปฏิกริยากับไพไรต์ (Fe_2S_3) เป็นคราบสีดำ กรณีที่ต้องฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศในถังปฏิกรณ์โดยไม่นำสารดูดซับออกมา ต้องทำการแยกถังปฏิกรณ์ออกจากระบบก๊าซชีวภาพก่อนแล้ว จึงทำการเติมอากาศเข้าไปในถังที่ต้องการฟื้นฟูสภาพ (โดยส่วนใหญ่จะใช้กับสารดูดซับที่เป็นเม็ด Iron Oxide) โดยทั่วไปการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยวิธีการดูดซับจะต้องมีถังปฏิกรณ์หลายใบที่ทำงาน และสำรองไว้ระหว่างการฟื้นฟูสภาพ และถังควรเป็นถังสแตนเลสเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงมาก และต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดการติดไฟและในกรณีที่ใช้ Activated carbon (ถ่านกัมมันต์) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกจับในรูพรุน (Pore) ของถ่านกัมมันต์ ถ้าต้องการฟื้นฟูสภาพต้องนำถ่านกัมมันต์ไปไล่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากรูพรุน ซึ่งส่วนใหญ่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องนำกลับไปยังโรงงานที่ผลิตถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่เป็นที่นิยมในระดับโรงงานอุตสาหกรรม

2.5.2 กระบวนการแบบเปียก (Wet Process)

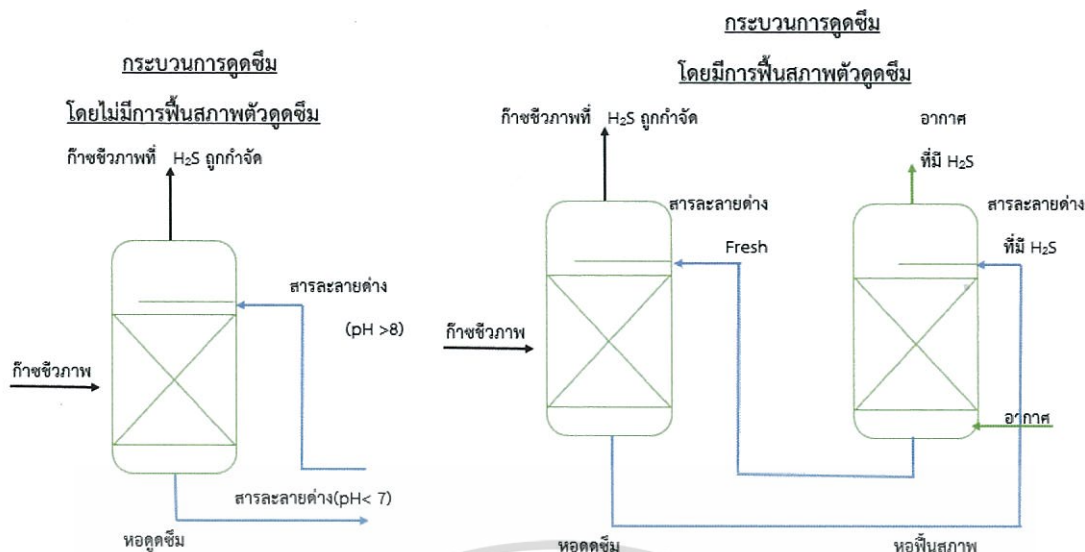
เป็นกระบวนการดูดซึม (Absorption) อาศัยหลักการของการละลายซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะละลายลงในสารละลายที่ทำหน้าที่เป็นสารดูดซึม (Absorbent) ที่ไหลผ่านกัน และเมื่อมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงในสารดูดซึมแล้วอาจจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นกำมะถันหรือไม่เกิดปฏิกิริยาก็ได้ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นทั้งปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) หรือเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Biological reaction) จากแบคทีเรียที่มีในระบบ

2.5.2.1 กระบวนการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายต่าง

เทคโนโลยีที่ใช้ในการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยสารละลายต่าง อาศัยหลักการเรื่องความสามารถในการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง ($8 < \text{pH} < 10$) เทคโนโลยีนี้ประกอบไปด้วย หอดูดซึมซึ่งมีลักษณะเป็นคอลัมน์ที่มีชั้นของตัวกลาง (Pack column) ภายในหอดูดซึมการไหลของก๊าซส่วนใหม่จะเป็นการไหลขึ้น (Up flow) หรืออาจเป็นลักษณะที่ก๊าซถูกฉีดพ่นทางด้านล่างผ่านชั้นของสารละลาย (Bubble column) โดยเมื่อก๊าซชีวภาพที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลสวนทางกับสารละลายจะเกิดการถ่ายมวลสารโดยสารละลายที่ใช้ได้แก่ น้ำที่มีพีเอชสูงหรือน้ำปูนใสหรือสารละลายโซดาไฟ เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ



สารละลายที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายลงไปแล้ว ทำให้พีเอชของสารละลายลดลง และทำให้การละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำลงไปด้วย จึงต้องมีการเปลี่ยนสารละลายใหม่อยู่เสมอ โดยส่วนใหญ่จะใช้ควบคุมพีเอชของสารละลายขาเข้าหอดูดซึมให้มี $\text{pH} > 8$ ในการใช้สารละลายที่เป็นด่างนี้ บางครั้งโรงงานในประเทศไทยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในบ่อเปิดบ่อต่างๆ ซึ่งมีค่าพีเอชสูงมาใช้ก็สามารถทำได้แต่ต้องใช้ปริมาณน้ำมาก และต้องควบคุมพีเอชให้สูงกว่า 8 อยู่เสมอ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้สารละลายต่างทั้งแบบมีการฟื้นฟูสภาพการดูดซึมและไม่มีการฟื้นฟูสภาพการดูดซึม ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนผังการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้สารละลายต่าง
ทั้งแบบมีการฟื้นฟูสภาพการดูดซึมและไม่มีการฟื้นฟูสภาพการดูดซึม

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

ถ้ามีการใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการละลาย เช่น สารละลายเอมีน ซึ่งมีราคาสูง ได้แก่ Monoethanolamine (MEA, R-NH₂) เป็นต้น ในระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจจะมีหอสำหรับฟื้นฟูสภาพสารละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยการเพิ่มอุณหภูมิสารละลายหรือใช้อากาศเพื่อไล่ H₂S ออกจากสารละลาย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ

การดูดซึม: $2(R-NH_2) + H_2S \longrightarrow (RNH_3)_2S$ เมื่อสารละลายอุณหภูมิต่ำกว่า

การฟื้นฟูสภาพ: $(RNH_3)_2S \longrightarrow 2(R-NH_2) + H_2S$ เมื่อสารละลายอุณหภูมิสูงกว่า

ได้แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบกำจัดซัลไฟด์ไฮโดรเจนไฟด์ (H₂S) แบบต่างๆไว้ในตารางที่ 2.5 และแสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ไว้ใน ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของระบบกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบต่างๆ

| ลำดับ | ชนิดระบบ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|-------|---|--|--|
| 1. | กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ด้วยของแข็ง (ฝอยเหล็กสนิม) | <ul style="list-style-type: none"> -สร้างและติดตั้งง่าย เงินลงทุนไม่สูงมาก -ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ -ไม่ต้องมีการเติมอากาศในท่อก๊าซชีวภาพ ไม่เสี่ยงต่อการมีก๊าซออกซิเจนเกินในท่อก๊าซชีวภาพ | <ul style="list-style-type: none"> -ต้องการพื้นที่มาก -มีการต่อแบบอนุกรม จำกัดความสูง -ต้องใช้ฝอยเหล็กสนิมมาก และต้องเปลี่ยนถ่ายตามอายุที่ออกแบบไว้ -ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลไฟด์ต่ำ -โดยประสิทธิภาพความชื้นอยู่กับพื้นที่ผิวของสารดูดซับ และความบริสุทธิ์ของ Fe_2O_3 -ต้องควบคุมความชื้นและปรับค่าพีเอชของตัวฝอยเหล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ -เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย -ถ้ามีการพื้นสภาพที่ไม่เหมาะสม |
| 2. | กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ด้วยสารละลายต่าง | <ul style="list-style-type: none"> -ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง -ต้องการพื้นที่น้อย -ขนาดของหอดูดซับไม่ใหญ่ -เงินลงทุนต่ำ -การควบคุมการทำงานของหอดูดซับด้วยสารเคมีง่าย ทำได้โดยตรวจวัดและปรับค่า pH | <ul style="list-style-type: none"> -สิ้นเปลืองสารเคมี -ต้องการการดูแลอย่างดี -ต้องมีเครื่องมือวัดติดตั้งในระบบเพื่อทำการควบคุมพีเอชอย่างต่อเนื่อง |

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

| ถึงปฏิกรณ์ | ปริมาณของระบบ | ความต้องการ | | |
|---------------------------------|--|------------------------------------|---|---|
| | | พื้นที่ของระบบ | ทักษะของผู้เดินระบบ | การบำรุงรักษา |
| กระบวนการดูดซับด้วยของแข็ง | >2.5 ลบ.ม. ระบบ/100 ลบ.ม.ก๊าซ ป้อน/ชม. | >2 ตร.ม./100 ลบ.ม. ก๊าซ ป้อน/ชม. | อย่างน้อยสามารถในการเริ่มต้นและหยุดระบบได้ | ต้องการการดูแล อุปกรณ์/เครื่องจักร ไม่บ่อย/ไม่มาก |
| กระบวนการดูดซับด้วยสารละลายต่าง | >0.4 ลบ.ม. ระบบ/100 ลบ.ม.ก๊าซ ป้อน/ชม. | <0.5 ตร.ม./100 ลบ.ม. ก๊าซ ป้อน/ชม. | อย่างน้อยสามารถในการเริ่มต้นและหยุดระบบได้และเข้าใจหลักการการกำจัดซัลไฟด์ | ต้องการการดูแล อุปกรณ์/เครื่องจักร สม่ำเสมอ แต่ไม่ซับซ้อน |

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.6 การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงาน

ในการผลิตพลังงานจากก๊าซชีวภาพ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าในหลายๆเทคโนโลยี เป็นต้น

2.6.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้า

สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้กับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ริง เป็นต้น

1. เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสันดาปภายใน (Internal combustion engine) ใช้หลักการทำงาน คือ นำก๊าซชีวภาพจะถูกป้อนเข้าสู่กระบอกสูบในเครื่องยนต์ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น เพื่ออัดความดันในกระบอก เกิดการจุดระเบิดพร้อมดันลูกสูบและคายไอเสีย ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงเชื่อมต่อกับเพลาลูกข้อเหวี่ยง พลังงานที่ได้จากการขับเพลาลูกข้อเหวี่ยงจะส่งต่อไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป เครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพนี้ เดิมทีเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้กับก๊าซธรรมชาติแต่ดัดแปลงมาเพื่อให้ใช้กับงานกับก๊าซชีวภาพได้ เป็นเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Ignition spark plug) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วงไม่เกิน 34-40% ขนาดของเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1 kW ถึง 2 MW เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

เอกละเอียดการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดเผาไหม้ในกระบอกสูบ ได้แก่

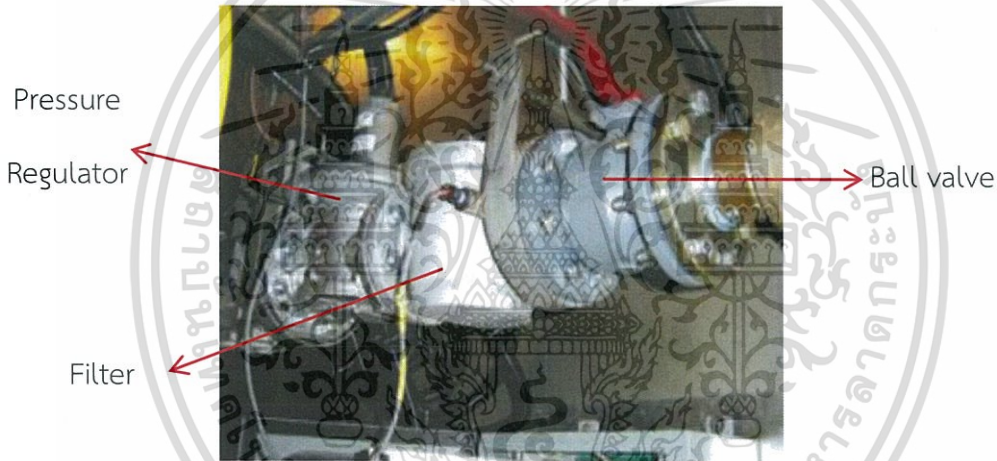
-เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบเป็นเสมือนห้องเผาไหม้ รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

-ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas train) ก่อนเข้าเครื่องยนต์รูปที่ 2.10

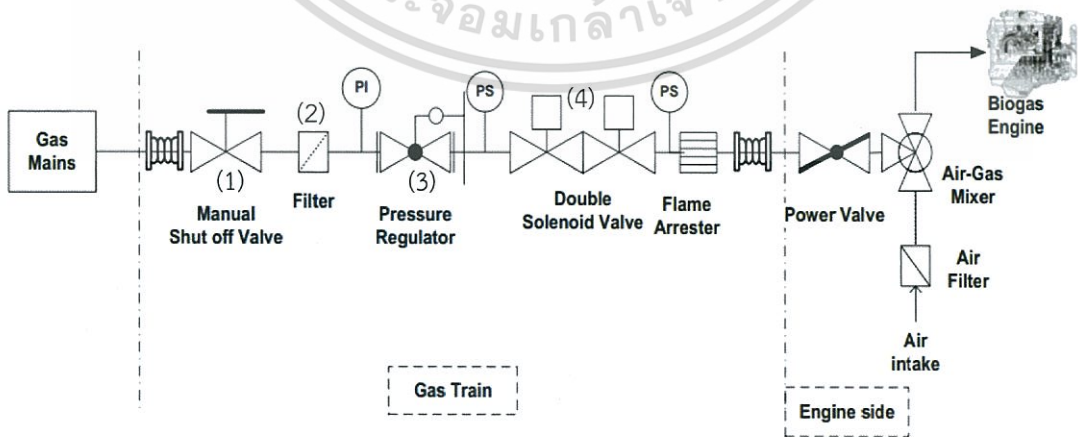
-ชุดควบคุมความดันเชื้อเพลิงก๊าซ (Pressure Regulator) เพื่อรักษาความดันของเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ให้สม่ำเสมอ

-คาร์บูเรเตอร์ชุดผสมเชื้อเพลิงกับอากาศทำหน้าที่ผสมอากาศกับเชื้อเพลิงให้ทั่วถึงก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ในกระบอกสูบ

-ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เพื่อทำการวัดปริมาณเชื้อเพลิงและคุมอัตราการป้อนอากาศเข้าผสมกับเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่กำหนดโดยวาล์วควบคุมเชื้อเพลิงทำหน้าที่เร่งหรือลดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่จะเข้าไปผสมกับอากาศที่คาร์บูเรเตอร์หรือที่หัวผสม (Mixer) โดยตัวควบคุมการทำงานของวาล์ว (Actuator) จะรับสัญญาณจากระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งได้รับสัญญาณจาก Sensor ตรวจจับความเร็วรอบมาอีกรอบหนึ่ง



รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (Gas train) ของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ
ที่มา: GTIBI BI-FULLFUEL (2014)

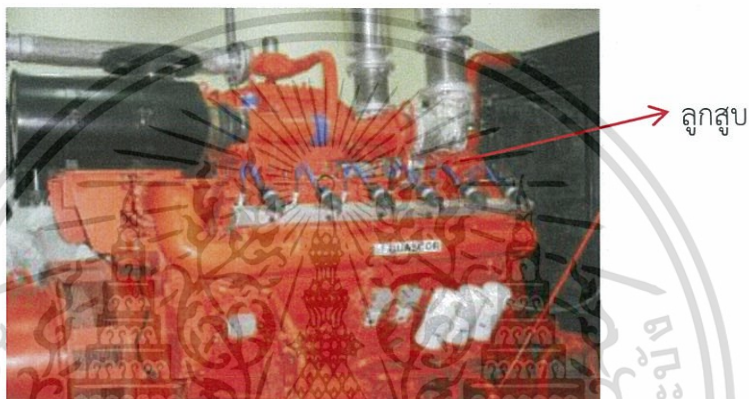


รูปที่ 2.10 ชุดอุปกรณ์ก๊าซ (gas train) สำหรับเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อก๊าซมีปริมาณที่มากพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าที่ไม่ทำให้เครื่องยนต์ดับจะทำการเปิดวาล์วปิด-เปิดก๊าซแบบธรรมดา (Manual shut off valve) ด้วยมือหรือด้ามจับ (1) จะจ่ายก๊าซให้กับชุดอุปกรณ์ก๊าซเมื่อก๊าซไหลเข้ามาจะเจอกับหม้อกรอง (Filter) จะทำการดักจับผงฝุ่นหรืออนุภาคของแข็งต่างๆ ไม่ให้ผ่านไป ในชุดอุปกรณ์ก๊าซ (2) เมื่อกำลังจัดผงหรืออนุภาคของแข็งเสร็จ ก๊าซชีวภาพจะผ่านไปที่วาล์ว ปรับความดันก๊าซ (Pressure regulator) วาล์วทำหน้าที่ลดความดันของก๊าซจากต้นทางไป ถึงปลายทางให้มีความสม่ำเสมอ ต้องเลือกใช้วาล์วให้เหมาะสมด้วยในกรณีที่ใช้กับเครื่องยนต์ (3) ก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศจะถูกผสมกันก่อนที่หัวผสม (Mixer) ซึ่งความดันเท่ากับศูนย์ (เท่ากับความดันบรรยากาศ) เมื่อปรับความดันแล้วก๊าซไหลมาผ่านโซลินอยด์วาล์วคู่ (Double solenoid valves หรือ Double safety shut off valves) จะตรวจสอบการรั่วของก๊าซจะติดห่างกันไม่เกิน 1 เมตร (4) สำหรับระบบที่มีกำลังผลิตตั้งแต่ 3,000 kW ขึ้นไป



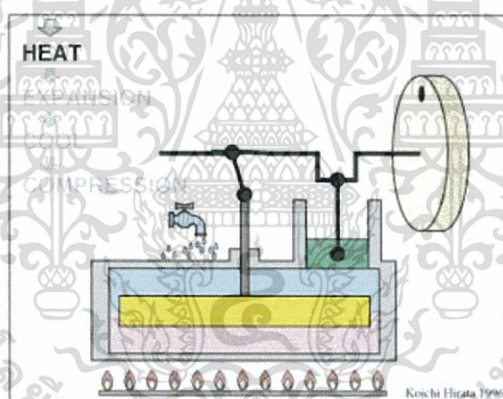
รูปที่ 2.11 เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

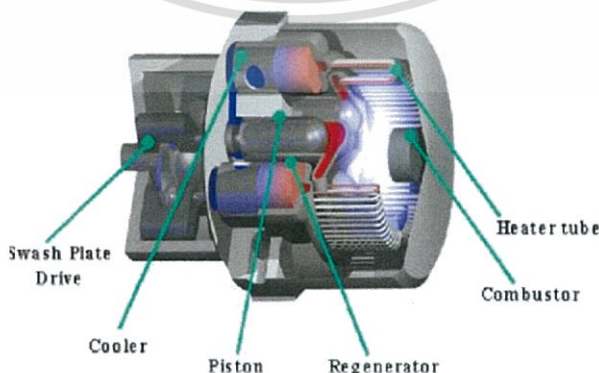
เครื่องยนต์ 4 จังหวะที่ใช้กับก๊าซชีวภาพขนาดปานกลางขึ้นไป (>500 กิโลวัตต์) จะมีระบบอัดส่วนผสมของก๊าซกับอากาศก่อน (Pre-compression) โดยใช้ Turbocharger แล้วจึงลดอุณหภูมิส่วนผสมลงก่อนเข้ากระบอกสูบซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้นโดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น แต่เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติการป้องกันน็อก (Anti-knock) ของก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพจึงสามารถเพิ่มอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ได้สูงขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้กับก๊าซโพรเพน จากอัตราส่วนการอัด 11 เป็น 12.5 ทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น 1-2% (เทียบกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 11) บ่อยครั้งที่เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมักจะเผาไหม้ในกระบอกสูบในช่วงการเผาไหม้เฉื่อยซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ประกอบด้วย Turbocharger แล้ว มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่ำลงมาเล็กน้อย คือ มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 33-39% เครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะเกิดการน็อกได้ ถ้าก๊าซชีวภาพมีความแปรปรวนความเข้มข้นของก๊าซมีเทน เพื่อให้เกิดความแน่นอนของการทำงานของเครื่องยนต์ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนจึงไม่ควรต่ำกว่า 45% การใช้ก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์ดีเซลมีระบบการควบคุมการฉีดน้ำมันแบบ Injection เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูง จึงทำให้ห้องผสมก่อน (Prechamber engine) มีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมการจุดระเบิดได้ เครื่องยนต์ดีเซลเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับก๊าซชีวภาพจะใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมด้วย

2. เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ลิง (Stirling engine) เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าชนิดสเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความแตกต่างจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งใช้อยู่ในรถยนต์ต่างๆ ไป เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการทำงานเป็นลักษณะที่ครบวงจรเรียกว่า วัฏจักรสเตอร์ลิง ความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในคือภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีก๊าซที่บรรจุและผนึกอยู่ภายใน ไม่สามารถรั่วไหลออกมาได้ จึงไม่ต้องมีวาล์วไอเสียเหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซล และไม่มีการจุดระเบิดหัวเทียนหรือน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานที่ได้มาจากความร้อนภายนอกกระบอกสูบ จึงไม่มีการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ หลักสำคัญของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซที่อยู่ภายในกระบอกสูบดันลูกสูบให้เคลื่อนไปหมุนเพลลาของเครื่องยนต์ จะเกิดงานขึ้น ก๊าซที่อยู่ในกระบอกสูบเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิก๊าซจะต่ำลง ทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลง การขยายตัวและการหดตัวของก๊าซในกระบอกสูบทำให้เกิดงานในการขับเคลื่อนลูกสูบได้ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถแสดงดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
ที่มา: American Stirling Company (2018)



รูปที่ 2.13 เครื่องยนต์แบบสเตอร์ลิง
ที่มา: Jeff VanVoorhis (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของเครื่องยนต์แบบนี้คือ มีเสียงเงียบ เพราะลูกสูบเคลื่อนที่จากการขยาย/หดของก๊าซ ในกระบอกสูบที่ได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้อยู่ภายนอก และดึงความร้อนออกโดยใช้แหล่ง ทำความเย็นภายนอกเช่นกัน จึงไม่มีการจุดระเบิด และการสันดาปภายในการปลดปล่อยที่มวลสารต่ำกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน ความร้อนที่สะสมอยู่ก็จะต่ำกว่าเช่นกัน ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์จอยู่ระหว่าง 24-38 % โหลดมีอุณหภูมิ 250-300 C ขนาดของเครื่องยนต์ไม่เกิน 150 kW_e (kW_e หมายถึง กำลังการผลิตไฟฟ้า) เกิดการสึกหรอน้อย ดังนั้นค่าบำรุงรักษาจึงต่ำด้วยแต่เนื่องจากมีขนาดใหญ่ และราคาต่อ kW แพง ซึ่งมีราคาสูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในจึงไม่เป็นที่นิยม (Dieter Deublein and Angelika Steinhauser, 2008)

2.6.2 การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration) หมายถึง การผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้าและความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิง ให้มีค่าสูงชันมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยปกติมักจะเห็นภาพการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ใช้ในการหุงต้ม หม้อต้มไอน้ำ เพียงอย่างเดียวหนึ่ง ซึ่งหากมองถึงปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้จากก๊าซชีวภาพ การใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ดังนั้น เป็นแนวความคิดเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ดังนี้

1. การนำความร้อนทิ้ง จากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาใช้อุ่นบ่อหมักในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักย่อยสสารอินทรีย์ โดยปกติแล้วเครื่องยนต์สันดาปภายใน จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 20-30 % เท่านั้น ความร้อนส่วนที่เหลือทิ้งไปที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ คือ ความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียประมาณ 15 % และความร้อนจากน้ำหล่อเย็นในเครื่องยนต์ประมาณ 35 % ซึ่งสามารถทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน รวมสูงได้ถึง 70 %

2. การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของลานตากตะกอน คือจะใช้ความร้อนจากสองส่วนคือ ความร้อนทิ้งจากไอเสีย และจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ โดยความร้อนทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปยังลานตากตะกอนที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรับความร้อนจากแสงแดดและความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์นี้ได้ เพื่อลดระยะเวลาการตาก/เพิ่มปริมาณการตากตะกอนให้มากขึ้นได้

3. การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า มาผลิตน้ำร้อนไปยัง ระบบกก ลูกสุกรแบบสัมผัสโดยตรง โดยปกติแล้วการกกลูกสุกรที่พบส่วนใหญ่ จะเป็นใช้ไฟฟ้า ที่มีทั้งหลอดไฟ (หลอดแบบไส้) และเป็นระบบ Infrared หรือเป็นหัวกกแบบใช้ก๊าซ LPG ซึ่งจะใช้หลักการแผ่รังสีความร้อนให้ความอบอุ่นแก่ลูกสุกร แต่ระบบกกลูกสุกรแบบสัมผัสโดยใช้น้ำร้อนนั้น จะเป็นการออกแบบพื้นสำหรับให้ลูกสุกรนอน ที่มีท่อน้ำร้อนวิ่งอยู่ภายในพื้นเพื่อส่งความร้อนให้กับพื้น เพื่อให้ความอบอุ่นแก่ลูกสุกร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

2.6.3 เชื้อเพลิงในการขนส่ง

มีการนำก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วย มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมถึงไอน้ำซึ่งต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อน นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่งในรถยนต์ และมีการปรับปรุงถึงการลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการนำก๊าซไปผ่านน้ำ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดีกว่ามีเทน เมื่อมีปริมาณมีเทนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติ (NGV), ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) โดยต้องทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกให้เท่ากับสัดส่วนของ NGV และนำไปอัดใส่ถังทำเป็น CNG ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะที่เก็บไว้ที่ความดันสูงประมาณ 200 บาร์ ในรูปของก๊าซชีวภาพหรืออาจในรูป biomethane ซึ่งปัจจุบันเทียบกับ NGV, CNG ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขนส่ง ในหลายประเทศทั่วโลก เช่น สวีเดนและออสเตรเลีย ถือเป็นเชื้อเพลิงการขนส่งมาตรฐาน (Natthawud Dussadee et al, 2014)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุเจน (2552) ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากมูลสุกรของ บริษัท หนองบัวฟาร์ม แอนด์ คันทรีโฮม วิลเลจ จำกัด ที่ อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี โดยฟาร์มแห่งนี้มีสุกร 57,700 ตัว ปริมาณน้ำเสียต่อวัน 3,000 ลูกบาศก์เมตร จึงได้ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่มีความจุรวม 33,000 ลูกบาศก์เมตร ใช้พลาสติก PE สีดำคลุมบ่อไว้ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 5,000 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยก๊าซชีวภาพที่ได้ต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยเครื่อง Bioscrubber

กฤษฎา และคณะ (2557) ศึกษาปริมาณก๊าซและคุณภาพจากการหมักน้ำเสียจากฟาร์มร่วมกับเปลือกกล้วยแบบไร้ออกซิเจนโดยในการศึกษานี้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองพิษณุโลกกับเปลือกกล้วยเมืองพิษณุโลก การทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้คือ ชุดทดลองที่ 1 กำหนดให้เป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรร่วมกับเปลือกกล้วย (WB) ชุดที่ 2 กำหนดให้เป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เติมหัวเชื้อแบคทีเรียร่วมกับเปลือกกล้วย (WBS) ชุดที่ 3 กำหนดให้ เป็นการหมักน้ำเสียอย่างเดียว (W) ชุดที่ 4 กำหนดให้เป็นชุดควบคุมโดยเป็นเปลือกกล้วยอย่างเดียว (C) คุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีค่าบีโอดี อยู่ในช่วง 2,040 – 2,250 mg/l ค่าซีโอดี อยู่ในช่วง 4,800 – 5,600 mg/l ค่าทีเคเอ็น อยู่ในช่วง 52.92 - 57.96 mg/l ค่าพีเอช 7.56 - 7.6 ค่าทีดีเอสอยู่ในช่วง 1.3 - 1.6 g/L ค่าดีไอ อยู่ในช่วง 0.15 - 0.18 mg/l และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30.33 - 30.36 ° C สำหรับเปลือกกล้วยที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 39.12% – 59.68% ผลจากการศึกษาปริมาณก๊าซที่เกิดจากการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและเปลือกกล้วยพบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในชุดการทดลอง (WB) มีปริมาณก๊าซสูงสุดที่เกิดขึ้นใน 1 ที่ 83 ml/d - 89 ml/d ชุดการทดลอง WBS มีปริมาณก๊าซสูงสุดที่เกิดขึ้นใน 1 วัน ที่ 95 ml/d ชุดการทดลอง W มีปริมาณก๊าซสูงสุดที่เกิดขึ้นใน 1 วันที่ 49 ml/d - 55 ml/d ชุดการทดลอง C มีปริมาณก๊าซสูงสุดที่เกิดขึ้นใน 1 ที่ 60 ml/d - 64 ml/d สำหรับผลการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการหมักพบว่าค่าบีโอดี ในชุดการทดลอง WB จากเริ่มต้นมีค่าอยู่ที่ 2,730 mg/l ได้ลดลงเหลือ 1,340 mg/l ชุดการทดลอง WBS จากเริ่มต้น 2,610 mg/l ได้ลดลงเหลือ 451 mg/l และในชุดการทดลอง W มีค่าบีโอดี เริ่มต้น 2,160 mg/l และได้ลดลงเหลือ 74 mg/l ซึ่งในทั้ง 3 ชุดการทดลองจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าบีโอดี ในช่วง 2 สัปดาห์แรกและหลังจากนั้น จะเริ่มลดต่ำลง สำหรับค่าซีโอดี พบว่าในชุดการทดลอง WB จากเริ่มต้นมีค่าอยู่ที่ 5,334 mg/l ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงเหลือ 2,400 mg/l ชุดการทดลอง WBS จากเริ่มต้น 6,133 mg/l ได้ลดลงเหลือ 1,440 mg/l และในชุดการทดลอง W มีค่าซีโอดี เริ่มต้น 5,067mg/l และได้ลดลงเหลือ 267mg/l ซึ่งในทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดี ในช่วง 2 สัปดาห์แรกและหลังจากนั้นจะเริ่มลดต่ำลงส่วนค่าที่เคเอ็น พบว่าในชุดการทดลอง WB จากเริ่มต้นมีค่าอยู่ที่ 61.88 mg/l ได้ลดลงเหลือ 19.13 mg/l ชุดการทดลอง WBS จากเริ่มต้น 71.59 mg/l ได้ลดลงเหลือ 9.43 mg/l และในชุดการทดลอง W มีค่าซีโอดีเริ่มต้น 55.72 mg/l และได้ลดลงเหลือ 1.21 mg/l ซึ่งในทั้ง 2 ชุดการทดลอง คือชุดการทดลอง WB และ WBS จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าที่เคเอ็น ในช่วง 2 สัปดาห์แรกและหลังจากนั้น จะเริ่มลดต่ำลงส่วนชุดการทดลอง W มีแนวโน้มของค่าที่เคเอ็น ลดลงตั้งแต่เริ่มต้นนอกจากนี้ยังพบว่าพีเอชในชุดการทดลอง WB จากเริ่มต้นมีค่าอยู่ที่ 7.63 ได้ลดลงเหลือ 4.57 ชุดการทดลอง WBS จากเริ่มต้น 7.47 ได้ลดลงเหลือ 4.54 และในชุดการทดลอง W มีค่าพีเอชเริ่มต้น 7.58 และได้ลดลงเหลือ 7.57 โดยแนวโน้มของค่าพีเอช จะลดลงจากเริ่มต้น และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงหลังสัปดาห์ที่ 6

รูปนและคณะ (2556) ได้ทำการออกแบบและพัฒนาถังหมักไร้ออกซิเจนแบบกวนผสมสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กและศึกษาผลของการกวนต่อการหมัก ในการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้ถังหมักขนาด 1,000 ลิตร แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดคือ กวนวันละ 2, 4 และ 8 ครั้ง (ครั้งละ 30 นาที)และ(ชุดควบคุม) ไม่มีการกวน 100 ลิตรทุกถังตลอดการทดลอง จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ ซีโอดี พีเอช ของแข็งแขวนลอย ของแข็งระเหยง่าย และสัดส่วนก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ผลการทดลองพบว่าถึงปฏิกรณ์ที่1มีการกวนวันละ 8 ครั้ง มีประสิทธิภาพในลดค่าซีโอดีสูงสุดร้อยละ 79.3 และผลิตก๊าซชีวภาพได้ 202 ลิตรต่อวัน โดยมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 80.6 จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการกวนผสมมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

Natthawud et al (2014) ศึกษาการประเมินการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้การย่อยสลายมูลสัตว์และหมักหญ้าแฝกแบบไร้ออกซิเจนในปริมาณมากเพื่อส่งมอบให้กับรถยนต์โดยตรง การศึกษาใช้ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบถังหมักผสมมีการไหลต่อเนื่อง (Continuously Stirred Tank Reactor ;CSTR) ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 14,400 ลบ.ม/วัน มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน 60-70% หรือมีปริมาณเท่ากับ 9,600 ลบ.ม/วัน โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต้องถูกนำไปกำจัดความชื้น ก๊าซ CO₂, H₂S โดยใช้ตะแกรงที่ทำจากผงถ่านคาร์บอนละเมมเบรน เพื่อดูดซับ CO₂,H₂S

A.G.Skermana S. et al (2016) ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยใช้ตัวดูดซับ 6 ชนิด โดย ประกอบด้วยตัวดูดซับ ที่มีองค์ประกอบของ เหล็กออกไซด์ และเถ้าจากเตาถลุงเหล็กที่อัดให้อยู่ในรูปแผ่น (GSFA) ดินสีแดง ปุ๋ยหมัก มูลวัวที่ผ่านการหมักมาแล้วผ่านถ่านกัมมันต์ (GAC) และ ถ่านชีวภาพ (biochar) ผลการทดลองพบว่าตัวดูดซับที่มีองค์ประกอบของเหล็กออกไซด์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเท่ากับ 143 g S/kg ขณะที่ดินสีแดงกำจัดได้ 2-12 g S/kg ซึ่งดินสีแดงเป็นวัสดุธรรมชาติมีราคาถูกแต่จะอุดตันค่อนข้างเร็ว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องกลั่นแอมโมเนีย (distillation apparatus) Distillation Unit K-350, BUCHI, ประเทศเยอรมัน
2. เครื่องย่อย (digestion apparatus) พร้อมหลอดเจลดาลท์ K-425 Speed Digester, BUCHI, ประเทศเยอรมัน
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 nm (UV/VIS) รุ่น UH5300 บริษัท HITACHI ประเทศญี่ปุ่น
4. เตาให้ความร้อน (hot plate) Cole-Parmer - Stuart UC152, Wolflab, ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เตาให้ความร้อน (heating Block) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $150 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI839800 ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องชั่งละเอียด 4-5 ตำแหน่ง ML204, Meteor Toledo, สวิตซ์เซอร์แลนด์
7. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น C860 version 1.2 บริษัท Hanna Instruments ประเทศเบลเยียม
8. หลอดทดลอง (tube) ฝาเกลียว TFE ขนาด 15×100 mm หรือ 16×150 mm
9. เครื่องแก้วต่างๆ ยี่ห้อ witeg, ประเทศเยอรมัน

3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4 เข้มข้น 94%) เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. ฟีนอล์ฟทาลีน Phenolphthalein, $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange indicator, $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. น้ำยาย่อย (Digestion solution) เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. มิกซ์อินดิเคเตอร์ (Mixed indicator solution) เกรดวิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. กรดบอริก Boric acid, (เกรดวิเคราะห้) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส (POTASSIUM DIHYDROGEN ORTHOPHOSPHATE ANHYDROUS, KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

10. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต Antimony Potassium Tartrate เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

11. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate solution) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

12. กรดแอสคอร์บิก Ascorbic acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

13. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

14. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator solution) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

15. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

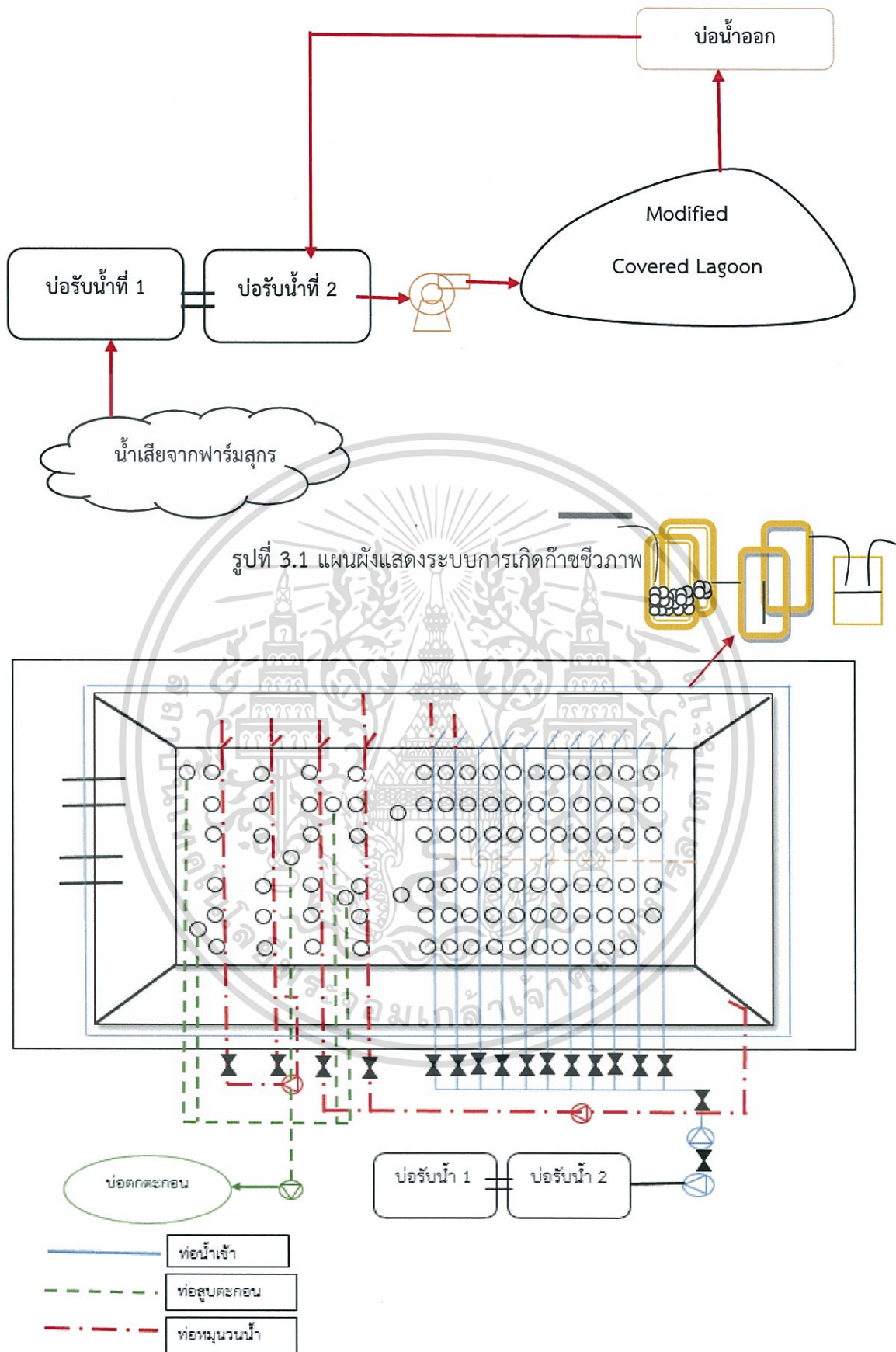
16. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

17. น้ำกลั่น Distilled water

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

3.2.1 รูปแบบการก่อสร้างบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบซ้ำ

ในงานวิจัยนี้ได้ไปศึกษาบ่อหมักที่ชุมชนแขวงตะคุ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งบ่อหมักมีการออกแบบและก่อสร้างเสร็จในเดือน กรกฎาคม 60 โดยแผนผังบ่อหมักไร้ออกซิเจน ดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย บ่อรับน้ำเสียบ่อที่ 1 โดยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและน้ำล้างพื้นจะถูกส่งมาตามท่อ บางส่วนจะรับมาจากฟาร์มสุกรที่ไหลออกไปซึ่งจะขนส่งมาโดยรถบรรทุก เมื่อน้ำเสียเข้า บ่อรับน้ำ จะไหลตามทางเชื่อมเข้าสู่บ่อรับน้ำที่ 2 จากนั้นจะทำการกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา ประมาณ 30 นาที จากบ่อรับน้ำที่ 2 จะมีปั๊มที่สูบน้ำเข้าบ่อหมัก วันละ 2 ครั้ง คือเช้าและบ่าย 125 m^3 หรือ $250 \text{ m}^3/\text{d}$ สำหรับบ่อหมักจะออกแบบโดยเป็นบ่อดินมีผ้าใบคลุม ซึ่งเรียกว่าแบบ Modified Covered Lagoon บ่อหมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีขนาดกว้าง ยาว สูง โดยเฉลี่ย $(35\text{m}\times 90\text{m}\times 9\text{m})$ และมีความจุ $10,000 \text{ m}^3$ และด้านล่างของบ่อจะออกแบบให้มีความลาดเอียง (Slope) เพื่อให้ตะกอนไหลมารวมกันและดูดตะกอนออกจากบ่อหมักได้ง่ายดังรูปที่ 3.1



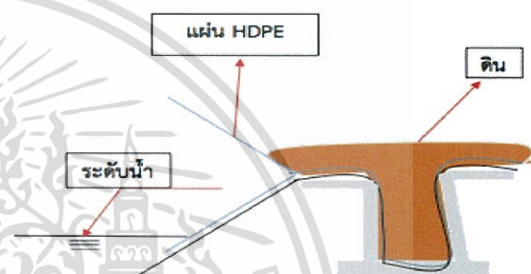
รูปที่ 3.2 แผนผังการวางท่อบ่อน้ำเข้า น้ำออก และท่อสูบลตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระบบท่อน้ำเสียและท่อรับก๊าซจะเป็นท่อพลาสติค HDPE วางรอบบ่อหมัก ขนาดท่อ 5 นิ้ว ท่อน้ำเข้า (สีฟ้า) จะใช้เป็นท่อส่งน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเข้าสู่บ่อหมักมีทั้งหมด 11 ท่อ แต่จะมีการเปิดใช้งานจริงเพียงวันละ 3 ท่อ โดยท่อ HDPE วางรอบที่กั้นบ่อและใช้ยางรถยนต์เก่า มาวางทับ เพื่อให้แบคทีเรียเกาะติดที่ช่องว่างของล้อรถยนต์ แรงดันของน้ำจะทำให้แบคทีเรีย ฟุ้งกระจายและสัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง และท่อน้ำออกมีลักษณะเฉียงขึ้น 85 องศา เพื่อกัน ตะกอนออกจากบ่อ ส่วนท่อก๊าซจะวางรอบบ่อ เพื่อส่งก๊าซสู่การกำจัดซัลไฟด์ ส่วนท่อหมุนวนน้ำ (สีแดง) เป็นท่อขนาด 4 นิ้ว น้ำจากหัวบ่อไปท้ายบ่อด้านล่าง เพื่อหมุนวนน้ำให้ตะกอนฟุ้งกระจาย และท่อสูบน้ำ (สีเขียว) จะมีปั๊มดึงตะกอนออกเมื่อมีการสะสมตะกอนอยู่มาก แสดงดังรูปที่ 3.2 ส่วนขนาดท่อ 3 นิ้ว เป็นท่อที่ต่อจากการกำจัดซัลไฟด์แล้ว นำก๊าซเข้าสู่วาล์วเครื่องยนต์ เพื่อนำก๊าซชีวภาพป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้นคลุมบ่อด้วยแผ่น HDPE ขนาดใหญ่ เพื่อเก็บก๊าซและกลบดินทับโดยรอบของบ่อ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3



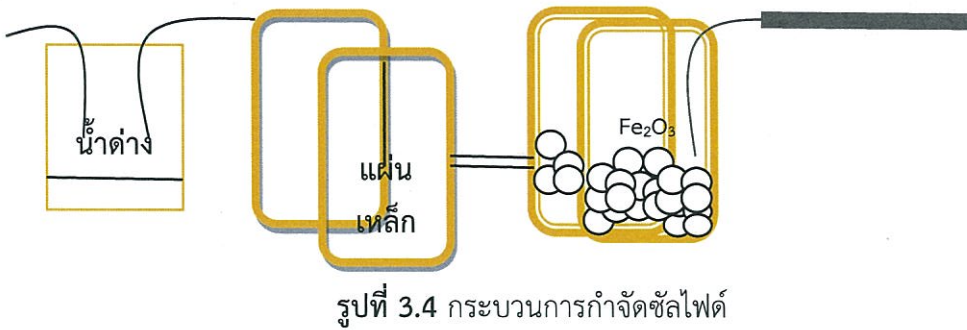
แผ่น HDPE



รูปที่ 3.3 การคลุมผ้าแบบบัลลูน

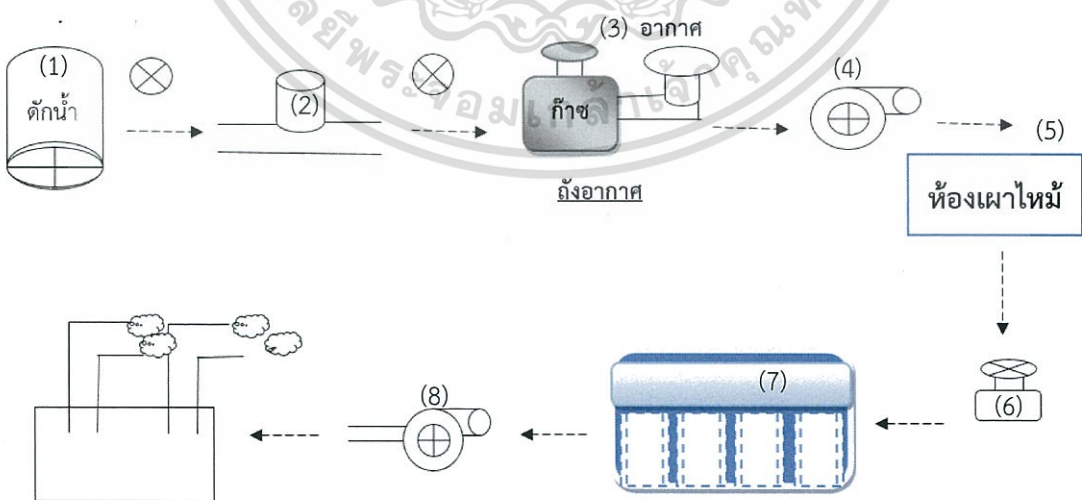
3.2.2 การเริ่มเดินระบบ

ในการสูบน้ำเข้าบ่อหมักครั้งแรกจะใช้น้ำเสียจากบ่อหมักเก่า (ที่ผ่านการใช้งานมาประมาณ 4-5 ปี) ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อย โดยสูบน้ำเข้าบ่อหมักประมาณ 60 % ของความจุของบ่อหมัก จากนั้นจะรับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและสูบน้ำเข้าบ่อหมักทุกวันวันละ 250 m³/d พบว่า ในสัปดาห์ที่ 3 ผ้าใบ ที่คลุมจะค่อยๆโป่งขึ้นจากด้านที่มีความลึกลึกน้อยก่อน (ด้านหัวบ่อ) ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูก กักเก็บไว้ในบ่อภายใต้ผ้าใบที่คลุมนี้ จนกระทั่งปริมาณก๊าซโป่งขึ้นทั่วทั้งบ่อ จะเปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซ ไหลเข้าสู่ถังกำจัดซัลไฟด์ ส่วนน้ำที่ออกจากบ่อหมัก (Effluent) ในการวางท่อออกจะวางท่อไหลออก ทางด้านท้ายบ่อ โดยไหลออกเองตามปริมาณส่วนเกินของบ่อ (Overflow) และจะตั้งท่อน้ำออกให้สูง กว่าขอบบ่อหมัก เพื่อป้องกันตะกอนไหลออก น้ำจากบ่อหมักบางส่วนจะถูกนำกลับมาเข้าบ่อหมักใหม่ บางส่วนจะไหลลงสู่บ่อรับน้ำออก เมื่อได้ก๊าซชีวภาพจะทำการวัดด้วยเครื่อง Optima 7 biogas เครื่องนี้จะมีสเกลระบุปริมาณ CO₂, O₂, CH₄ และ H₂S ในหน่วย ppm จากนั้นก๊าซจะถูกส่งเข้าสู่ถัง กำจัดซัลไฟด์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เมื่อก๊าซ มีปริมาณที่มากพอต่อการผลิตไฟฟ้าจะเก็บก๊าซที่ความดัน 0.05-5,000 มิลลิบาร์เกจ ปริมาตรการเก็บ ก๊าซทั่วไป 10-5,000 m³ จะทำการเปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซไหลไปตามท่อ จากนั้นก๊าซจะไปสู่ถังดับ ความชื้นแบบเปียก ผ่านน้ำค้างเพื่อทำให้เป็นกลางสู่ถังกำจัดแบบแห้งโดยผ่านแผ่นเหล็ก ก๊าซจะออก ทางด้านบน แสดงดังรูปที่ 3.4



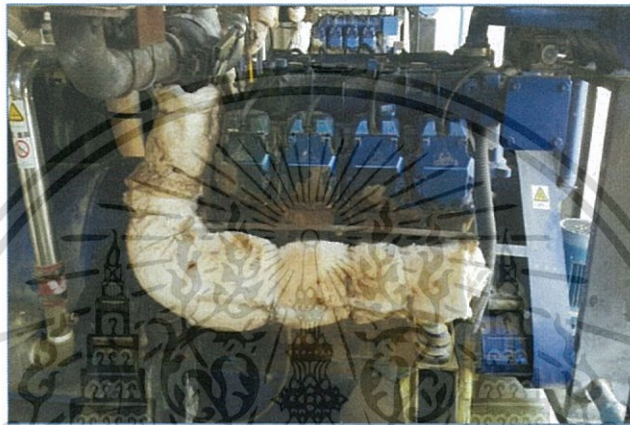
3.2.3 การรับก๊าซชีวภาพเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า

เมื่อผ่านการกำจัดซัลไฟด์แล้วจะเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ก่อนเข้าเครื่องยนต์จะผ่านอุปกรณ์ที่ดักน้ำออกก่อน(1) เพื่อกำจัดฝุ่นและอนุภาคขนาดเล็กไม่ให้ผ่านเข้าไปในเครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน เมื่อกำจัดแล้วก๊าซผ่านไปที่วาล์วปรับแรงดัน(2) เพื่อลดแรงดันและปรับแรงดันก๊าซให้สม่ำเสมอกับตลอดการทำงานของเครื่องยนต์ จากนั้นก๊าซจะผสมอากาศที่ถูกดึงเข้ามาในถังอากาศ(3) เมื่ออากาศถูกผสมกันทั่วแล้วจะถูกดูดเข้าไปในเทอร์โบ(4) จะอัดอากาศเข้าไปยังห้องเผาไหม้(5) ให้มากกว่าเดิมในขณะเดียวกันจะเกิดการจุดระเบิดและเมื่อไอดีมากขึ้นจะถูกส่งต่อผ่านวาล์ว(6) ไปที่อินเตอร์คูลเลอร์(7) ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนของไอดีที่ถูกอัดมาจากการทำงานของเทอร์โบ อากาศที่มีความร้อนสูงจะมีมวลอากาศน้อยความหนาแน่นต่ำอากาศเย็นจะมีมวลอากาศมากความหนาแน่นสูง เมื่อไอดีเย็นตัวลง จะถูกเทอร์โบที่ต่อกับลูกสูบเครื่องยนต์นำไอดีไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงมีเชื่อมต่อเข้ากับเพลาคอเหยียง พลังงานที่ได้จากการขับเพลาคอเหยียงจะส่งต่อไปขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าไอดีที่ผ่านเครื่องยนต์แล้ว(8) จะเรียกว่าไอเสียและปล่อยสู่บรรยากาศส่วนชุดกำเนิดไฟฟ้าจะสะสมพลังงาน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา และกระแสไฟฟ้าจะถูกสะสมที่หม้อแปลงเพื่อรอสะสมและแปลงกระแสไฟฟ้าให้ได้ 22 KW ถึงจะปล่อยกระแสไฟฟ้าขายให้กับการไฟฟ้าและผลิตไฟฟ้าได้ 150 KWh แสดงดังรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

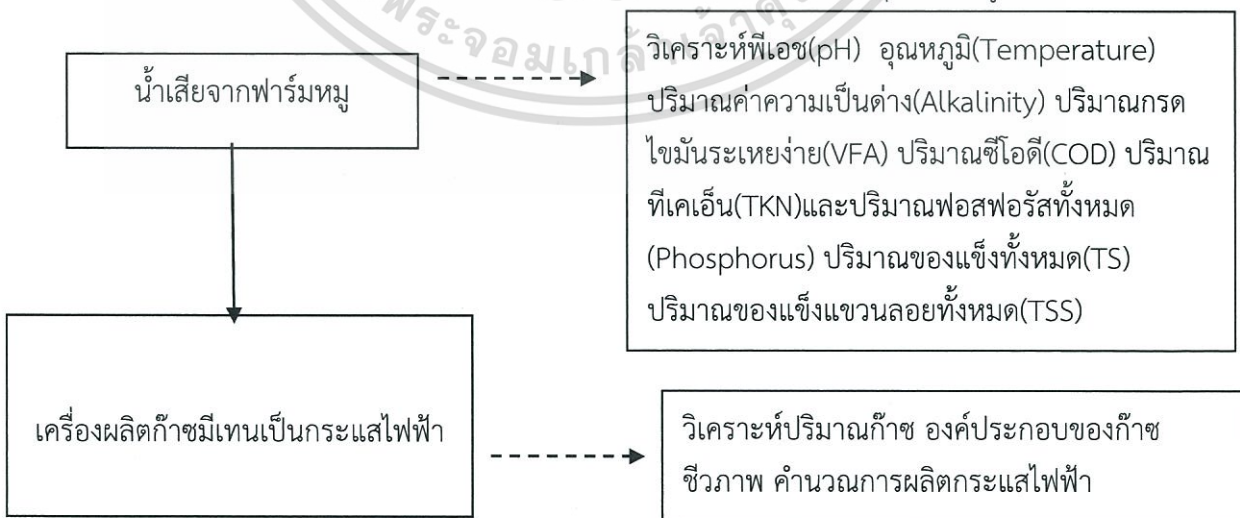
เครื่องยนต์ที่ผลิตจากก๊าซชีวภาพจะมีประสิทธิภาพทำงานประมาณ 70% ต่อเครื่อง และในการติดเครื่องยนต์ด้วยกระแสไฟฟ้าที่ถูกผสมในแบตเตอรี่ ที่มีการผสมไว้เมื่อการผลิตไฟฟ้า ครั้งก่อนหน้า เครื่องยนต์ที่ใช้คือรุ่น ND159D28TL มีกำลังผลิตไฟฟ้า 250 kW กระแสไฟฟ้า 450 A รอบเครื่อง 1,500 รอบ มีความถี่ 50 Hz ลูกสูบ 8 ลูก แสดงดังรูปที่ 3.6 ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง อัตราการใช้เชื้อเพลิง 129 ต่อชั่วโมง เมื่อได้กระแสไฟฟ้าจะถูกนำไปที่หม้อแปลงเพื่อแปลงกระแสไฟ ให้มีความสม่ำเสมอ ในหม้อแปลงแบบเดลต้า (Delta) เพื่อเพิ่มแรงดันในการส่งไฟฟ้าเข้าสู่กระแส 22 kV สายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้การไฟฟ้าจะได้ค่าไฟหน่วยละ 4.50 บาท เมื่ออยู่ในช่วงพีก (Peak load) ตั้งแต่เวลา 9.00-22.00 น. หรือขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ต้องการใช้ไฟ มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

3.2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำ

หลังจากป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ทำการตรวจปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวันโดยอ่านค่าจาก เครื่อง opitma7 biogas พร้อมบันทึกอุณหภูมิ และพีเอชที่เปลี่ยนแปลง และนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไป คำนวณหาปริมาณที่ทำการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสรุปได้ ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.5.1 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี

ทำให้ทราบถึงความสามารถของเชื้อแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย หากพบว่าในระบบการบำบัดมีประสิทธิผลการกำจัดค่าซีโอดีลดลงเรื่อยๆ และน้อยกว่าร้อยละ 70 แสดงว่าระบบเริ่มมีปัญหาเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมในระบบการบำบัดไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นต่ำ ทั้งนี้ในระบบบำบัดที่ดีควรมีประสิทธิผลการกำจัดค่าซีโอดีมากกว่าร้อยละ 85

ในการคำนวณประสิทธิผลการกำจัดซีโอดีที่ได้จากการวิจัยและทฤษฎี โดยเปรียบเทียบได้ดังนี้

$$\%cod = \frac{COD_{in} - COD_{out}}{COD_{in}} \times 100$$

เมื่อ COD in = วัดค่าซีโอดีจากน้ำเข้า

COD out = วัดค่าซีโอดีจากน้ำออก

3.2.5.2 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัด การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถบอกได้ว่าเกิดความปกติกับแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน หากพบว่า อัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดลงอาจถูกยับยั้งการทำงาน และในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพควรมีก๊าซมีเทนในช่วง 60-65% ซึ่งจากทฤษฎีแล้วในการผลิตก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ 0°C

คำนวณจาก $BGG = \frac{Q \times COD_{in}}{1,000} \times \%การกำจัด COD \times 0.35$

โดย

BGG (Biogas Generate) = อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (m³/d)

Q= อัตราการไหลของน้ำเสีย (m³/d)

COD= ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ COD (mg/d)

Efficiency COD removed= ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในรูปของ COD (%)

1000 = (1,000 mg) ค่าการแปลงหน่วยจาก mg ให้เป็น kg

Gas yield = อัตราการเปลี่ยนของเสียในรูปของ COD เป็นก๊าซมีเทน (0.35 ลบ.ม/กก. COD ที่ถูกกำจัดโดยระบบก๊าซชีวภาพ/วัน)

ใช้คำนวณ

$$\frac{250 \times 4,160}{1000} \times 0.869 \times 0.35 = 316.31 \text{ m}^3/\text{day}$$

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 316.31 m³/day

สำหรับการวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพใช้เครื่อง Optima 7 biogas รุ่น MRU-AIR วัดองค์ประกอบก๊าซตำแหน่งที่ก๊าซจะไหลเข้าเครื่องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.2.5.3 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้

การคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตขายต่อวัน มีช่วงเวลการผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าในการขายไฟฟ้า โดยจะทำการผลิตไฟฟ้าขายทั้งหมด 9 hr เพื่อถนอมเครื่องยนต์ โดยช่วงเวลการผลิตอยู่ในช่วง 9.00-18.00 น. ซึ่งจะมีค่าไฟ 4.5 บาท/kWh ซึ่งจะมีช่วงที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเวลา Peak load (9.00-22.00 น.) นอกช่วงเวลานี้ค่าไฟจะอยู่ที่ 2.5 บาท/kWh แต่จะวันจะผลิต 9 hr/d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ทำงานที่ 70 เปอร์เซ็นต์ เครื่องยนต์ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ $130 \text{ m}^3/\text{hr}$ ดังนั้นต้องมีก๊าซชีวภาพเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า โดยคำนวณ ดังนี้

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เครื่องใช้ \times ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ \times เวลาการผลิต

$$\text{หรือ เท่ากับ } 130 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 9 \text{ hr} = 819 \text{ m}^3$$

ทำการแปลงหน่วยเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณก๊าซชีวภาพโดย

คำนวณจาก ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อการผลิตไฟฟ้า $\times 1.2 \text{ kWh}^*$

$$\text{หรือ เท่ากับ } 819 \text{ m}^3 \times 1.2 \text{ kWh} = 982.8 \text{ kWh}$$

*โดยก๊าซชีวภาพ 1 m^3 เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 1.2 kWh

ในการคำนวณรายได้ที่ได้จากการขายไฟฟ้า

คำนวณจาก หน่วยไฟฟ้า \times ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย (อยู่ในช่วง Peak load)

$$982.8 \text{ kWh} \times 4.5 \text{ บาท} = 4,422.6 \text{ บาท}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยบ่อไร้ออกซิเจนแบบช้า ผู้วิจัยได้นำน้ำเสียจากประจักษ์ฟาร์มวันละ 250 m³/d โดยเติมน้ำเสียเข้า ในเวลาเช้าและบ่ายลงในบ่อน้ำเข้าที่มีการกวนผสมให้เข้ากันก่อนส่งเข้าบ่อหมักซึ่งมีความจุ 10,000 m³ โดยมีการส่งน้ำเสียฟาร์มสุกรไปตามท่อที่มี 11 ท่อแต่มีการทำงานวันละ 3 ท่อ โดยหมุนเวียนกันใช้ครั้งละ 3 ท่อ เพื่อรักษาสภาพบ่ิม โดยน้ำจะถูกสูบเข้าด้านล่างของบ่อหมัก เพื่อให้ตะกอนได้สัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง ในส่วนของการวิเคราะห์จะเก็บน้ำจากบ่อน้ำเข้าบ่อหมัก (Influent) และน้ำออกจากบ่อหมัก (Effluent) มาวิเคราะห์ เริ่มการทดลองตั้งแต่วันที่ 10/08/60 - 3/12/60 ระยะเวลา 136 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย

| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเข้า | | น้ำออก | |
|-----------------------|------------------------------|-----------|--------------|-----------|-------------|
| | | ค่าเฉลี่ย | ช่วง | ค่าเฉลี่ย | ช่วง |
| พีเอช | - | 7.32 | 7.13-7.54 | 7.37 | 7.17-7.59 |
| อุณหภูมิ | °C | 33 | 32-34 | 32 | 31-33 |
| ค่าความเป็นด่าง | mg as CaCO ₃ /L | 2,391 | 2,000-3,500 | 3,775 | 3,000-3,500 |
| ปริมาณกรดไขมันระเหย | mg as CH ₃ COOH/L | 1,375 | 1,200-1,500 | 192 | 100-300 |
| ซีโอดี | mg O ₂ /L | 9,935 | 4,000-16,000 | 584 | 150-800 |
| ไนโตรเจนเจตาท์ทั้งหมด | mg-N/L | 972 | 200-1,700 | 715 | 300-1,200 |
| ฟอสฟอรัสทั้งหมด | mg/L | 173 | 50-400 | 84 | 30-150 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย (ต่อ)

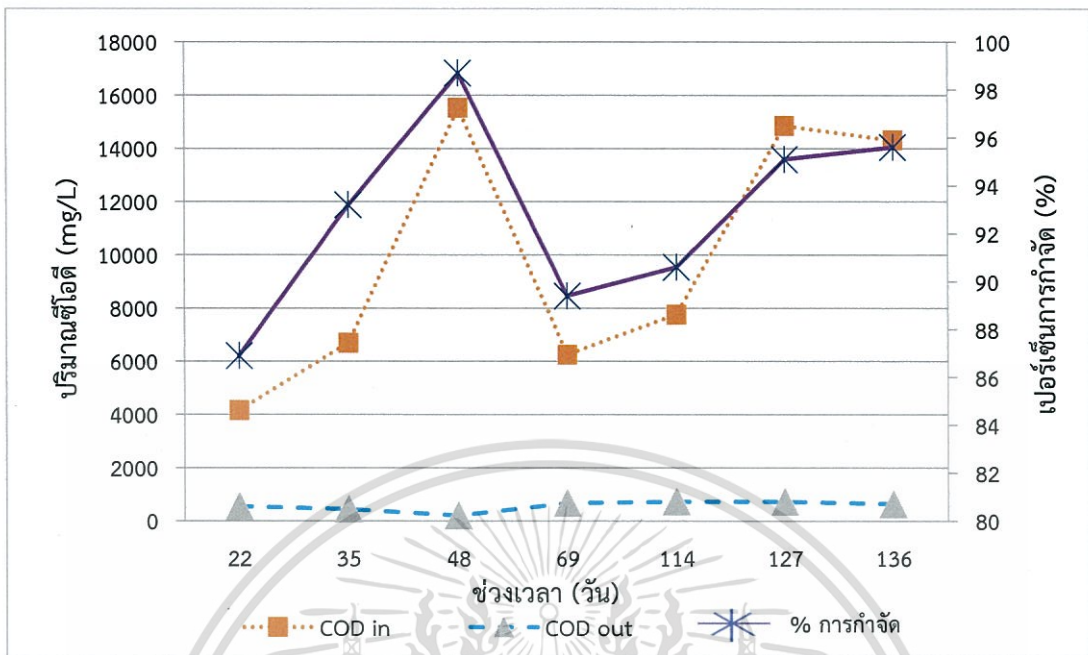
| พารามิเตอร์ | หน่วย | น้ำเข้า | | น้ำออก | |
|-----------------------|-------|-----------|-------------|-----------|------|
| | | ค่าเฉลี่ย | ช่วง | ค่าเฉลี่ย | ช่วง |
| ของแข็งทั้งหมด | mg/L | 6,195 | 2,000-8,000 | - | - |
| ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด | mg/L | 5,444 | 1,000-3,000 | - | - |

หมายเหตุ – คือ ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากเก็บตัวอย่างไม่ได้

จากการศึกษาลักษณะน้ำเสียพบว่า พีเอชน้ำเข้าระบบเฉลี่ยที่ 7.32 และน้ำออกระบบเฉลี่ยที่ 7.37 โดยระบบการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมของบ่อหมักช่วงในช่วง 6.5-7.5 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 5 จะอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนแต่แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดอินทรีย์ทนสภาพการความเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 แต่ต้องคำนึงถึงพีเอชที่อาจลดลงในบ่อหมัก เนื่องจากปริมาณก๊าซ CO₂ ขณะอุณหภูมิในบ่อน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 33 °C และค่าน้ำออกจากระบบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 32 °C ซึ่งมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันและมีค่าอยู่ในช่วง 32-33 °C ในการออกแบบบ่อหมักจะควบคุมให้แบคทีเรียทำงานในช่วงมีโซฟิลิก 30-38 °C สำหรับค่าความเป็นต่างของน้ำเข้าเฉลี่ยที่ 2,391 mg/L as CaCO₃ และน้ำออกเฉลี่ยที่ 3,775 mg/L as CaCO₃ แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของสภาพต่างของน้ำออกระบบ ซึ่งอาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ในโมเลกุลใหญ่ๆ ถูกย่อยสลายให้ได้สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) มากขึ้น อย่างไรก็ตามค่า VFA ในบ่อหมัก ต้องอยู่ในช่วง 1,000-3,000 mg/L as CaCO₃ จึงจะไม่มีผลต่อกลุ่มเมทาโนเจน สำหรับกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำเข้าเฉลี่ยที่ 1,375 mg/L และน้ำออกเฉลี่ยที่ 192 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (วิเคราะห์น้ำเข้าและน้ำออก) ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายใช้บางส่วนตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ ตามมาตรฐานไม่ควรเกิน 2,000 mg/L ปริมาณสารอาหาร COD:N:P โดยเฉลี่ยของบ่อน้ำเข้าเท่ากับ 9,935 : 972 : 172 เทียบค่า COD:N:P ตามค่ามาตรฐานเท่ากับ 100:2.2:0.4 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553) ซึ่งมีค่าสารอาหารตามสัดส่วน COD:N:P เท่ากับ 100:4.7:4.6 และน้ำออกเท่ากับ 583:715:83 มีค่าสารอาหารตามสัดส่วนเท่ากับ 100:55.7:35.6 (ดูการคำนวณที่ ค-1) โดยปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียที่มากขึ้นเกิดจากการให้อาหารสุกรด้วยโปรตีนเสริมและส่วนผสมของอาหารมีส่วนของเปลือกหอยบดและปลาป่นที่สุกรกินและหล่นลงพื้นเมื่อทำความสะอาดต่างๆเหล่านี้ จะไหลมาตามท่อน้ำเข้าสู่บ่อรับน้ำ ในส่วนของแข็งบ่อน้ำเข้าเฉลี่ยที่ 6,195 mg/L ของแข็งแขวนลอยน้ำเข้าเฉลี่ยที่ 5,444 mg/L เนื่องจากยังไม่มีมีการย่อยของสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลงจึงทำให้มีค่าสูงแต่มีแนวโน้มลดลง โดยดูจากค่าการกำจัดซีโอดีที่สูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

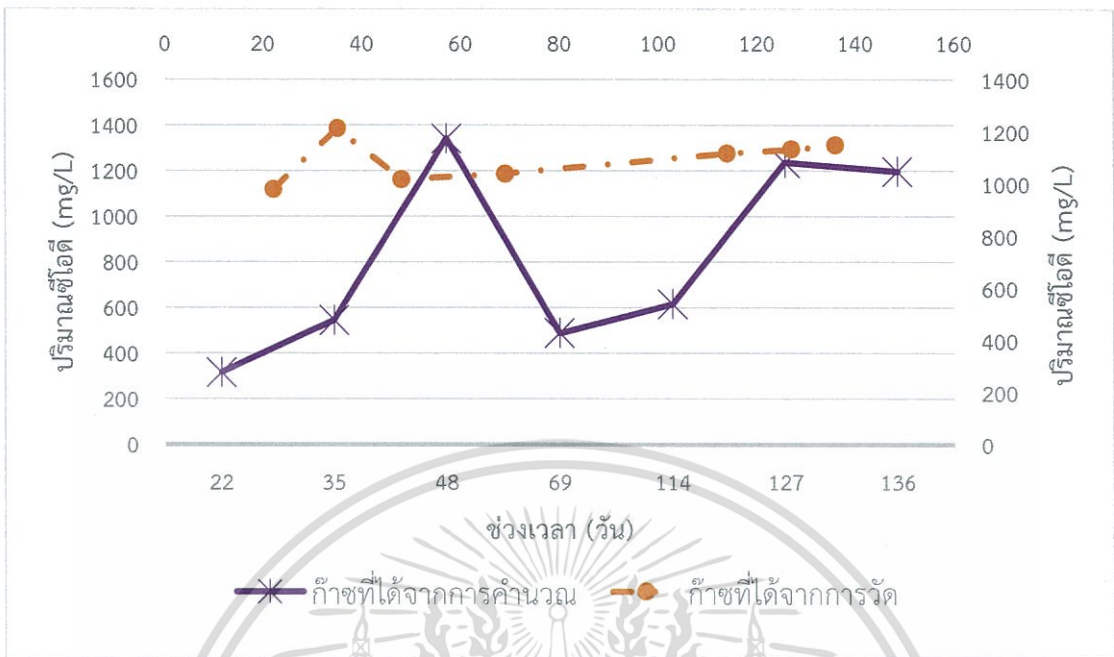
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เวลาต่างกัน

จากการศึกษาซีโอดีในระบบน้ำเข้าเฉลี่ยที่ 9,935 mg O₂/L และบ่อน้ำออกเฉลี่ยที่ 564 mg O₂/L หลังจากเริ่มเดินระบบในเดือนกรกฎาคม 2560 จากการวิเคราะห์น้ำเมื่อเวลาผ่าน 22 วัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอยู่ที่ 86.9 % ต่อมาช่วงเวลาที่ 48 วัน มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่สูงถึง 98.7 % เนื่องจากมีค่าซีโอดีเข้าระบบสูงและซีโอดีที่ออกจากระบบต่ำ แสดงถึงประสิทธิภาพในการกำจัด รวมถึงระยะเวลาในการกักเก็บที่เหมาะสม จากรูปช่วงเวลาที่ 69 วัน จะอยู่ในช่วงเดือนตุลาคม 2560 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดที่ลดลง เกิดจากเป็นช่วงฤดูฝนน้ำจากฟาร์มสุกรจะมีปริมาณที่เจือจาง เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงเดือนพฤศจิกายน จะมีสารอาหารที่สูงขึ้นตามลำดับ เป็นเพราะเข้าสู่สภาวะปกติ โดยตามมาตรฐานจะกำหนดอยู่ในช่วง 75-85% เป็นค่าที่ยอมรับได้ (คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ซึ่งระบบแบบไร้ออกซิเจนแบบช้าของบ่อนี้ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

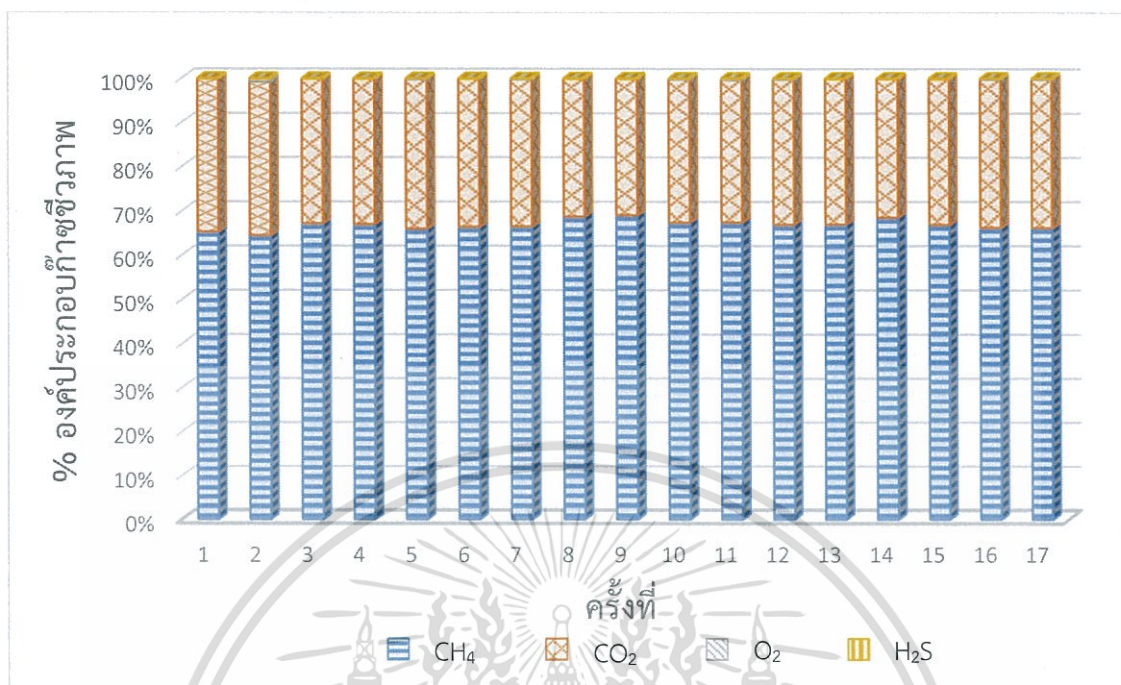
4.3 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่เวลาต่างกัน

จากการศึกษาก๊าซชีวภาพที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดก๊าซชีวภาพของบ่อหมักเป็นค่าที่ได้จากฟาร์ม ปริมาณก๊าซชีวภาพจะอยู่ในช่วง 900-1,200 m³/d (เส้นที่บ) และก๊าซที่ได้จากการคำนวณ (เส้นที่ป) โดยคำนวณจากสูตร BGG (ดูการคำนวณที่ ภาคผนวก ค-4) เป็นการคำนวณจากค่าทฤษฎี (กระทรวงพลังงาน) ปริมาณก๊าซมีเทนคงที่ 0.35 m³/kg จากค่าทฤษฎีเป็นการคำนวณโมเลกุลของออกซิเจน (O₂) ต่อมีเทน (CH₄) ซึ่งจะพิจารณาก๊าซที่อุณหภูมิที่ 0 °C หรือ 25 °C ความดันบรรยากาศที่ 0.98 atm ตามทฤษฎีก๊าซในอุดมคติความสัมพันธ์ระหว่าง ออกซิเจนกับมีเทน 64:22.4 (O₂ = 32×2=64, CH₄=22.4) หรือเป็นสัดส่วน 1g:0.35m³ (ประวิทย์ สุแก้ว, 2548) จากรูปที่ 4.2 พบว่า ก๊าซที่ผลิตได้ในบ่อหมักซึ่งวัดจากเครื่อง สูงกว่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากอุณหภูมิในบ่อหมักอยู่ในช่วง 32-34 °C ซึ่งมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ รวมทั้งก๊าซชีวภาพที่ใช้เครื่องวัดในบ่อหมักจะวัดก็ต่อเมื่อต้องการนำก๊าซเข้าเครื่องกำจัดซัลไฟด์ เพื่อส่งต่อเข้าเครื่องยนต์ไปผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณก๊าซที่วัดได้จึงเป็นปริมาณก๊าซสะสมที่อยู่ในบ่อหมักจึงอาจมีผลทำให้ปริมาณก๊าซที่ได้จากการวัดสูงกว่าก๊าซที่ได้จากการคำนวณ มีสถานะอุณหภูมิในบ่อหมักสูงกว่า 25 °C จึงอาจส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่ได้จากการวัดเพิ่มสูงขึ้น

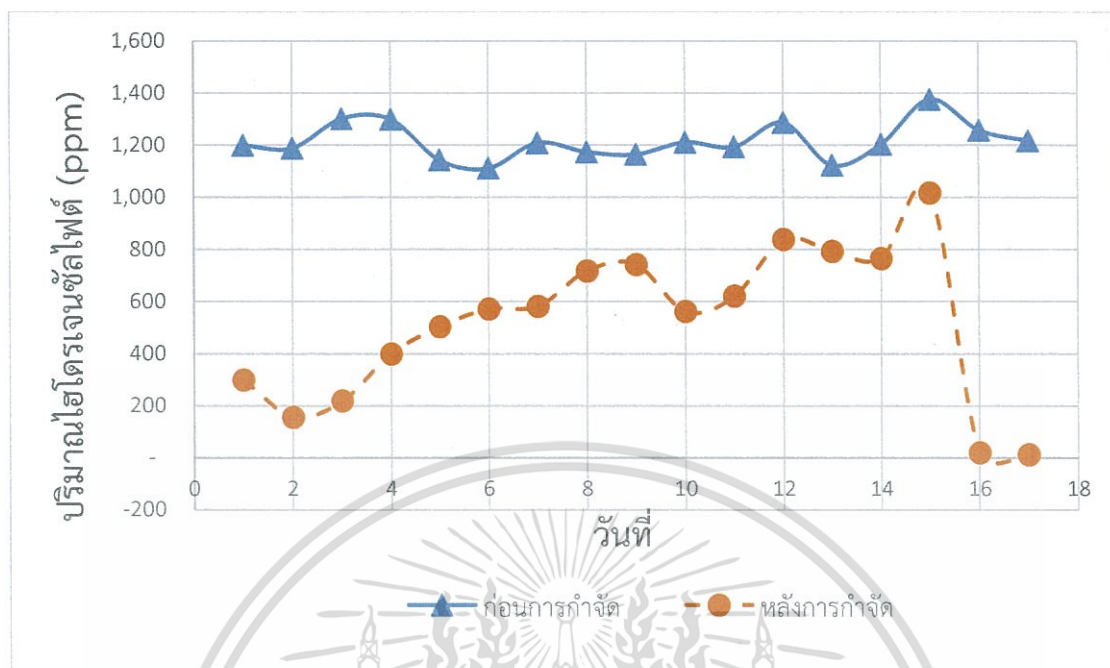
4.4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ



รูปที่ .43 เปอร์เซนต์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาที่ทำการวัดด้วยเครื่อง Optima 7 biogas รุ่น MRU-AIR ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซสามารถวัดมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 60-65 % คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 28-33 % ออกซิเจนอยู่ในช่วง 0-0.1 % และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 12-1,000 ppm ซึ่งโดยปกติเครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซจะวัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในหน่วย ppm แต่มีการคำนวณเปลี่ยน ppm ให้เป็นเปอร์เซนต์องค์ประกอบก๊าซ (ดูการคำนวณที่ ภาคผนวก ค-5) เพื่อสร้างกราฟ ควรมีค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แนะนำสำหรับใช้งานในเครื่องยนต์สันดาบภายใน < 100 ppm หรือ 0.1% (กรมโรงงานอุตสาหกรรม) ซึ่งปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ภาคผนวก ข-5 หน่วย ppm) ที่สูงมากในบ่อหมัก เกิดจากการประเภทอาหารของสุกร และการให้ยาปฏิชีวนะที่มีส่วนผสมของซัลไฟด์ซึ่งเป็นจำพวดยาแก้ท้องเสียและยาฆ่าเชื้อ (เกษตรมีชัย, 2018) ที่กินเข้าไปอาจมีบางส่วนที่สุกรไม่สามารถย่อยได้ปนมากับบ่อจุจาระปัสสาวะและไหลมาลงบ่อหมักเมื่อล้างทำความสะอาดคอก

4.5 ผลการศึกษาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังการกำจัด

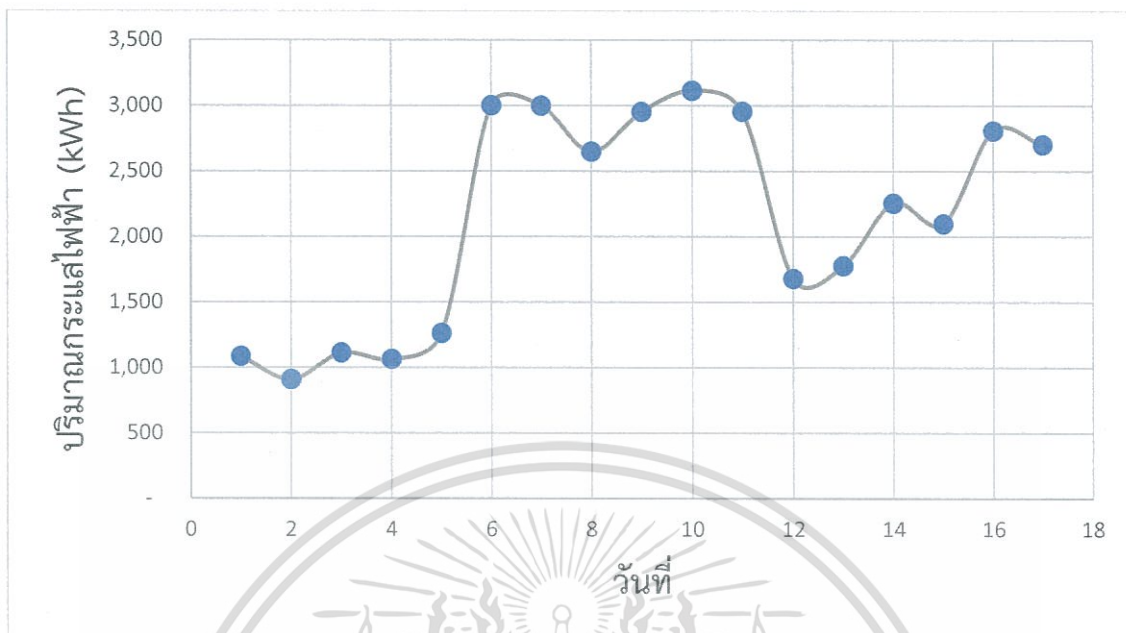


รูปที่ 4.4 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนและหลังการกำจัด

จากการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซด้วยเครื่อง Optima 7 biogas รุ่น MRU-AIR พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูง อยู่ในช่วง 1,000-1,300 ppm โดยจะผ่านการกำจัดทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง ในถังแบบเปียกจะบรรจุสารละลาย NaOH ที่มี pH 14 ก๊าซชีวภาพจะไหลผ่านน้ำต่าง (NaOH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงโดยดูจากค่า pH ของน้ำต่าง ถ้าค่า 8 จะมีการเปลี่ยนน้ำต่าง สำหรับแบบแห้งก๊าซผ่านเข้ามาในถังดูดซับที่มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จะดูดซับ H_2S เข้าไปในโพรงของเหล็กออกไซด์ เมื่อตัวดูดซับ(เหล็กออกไซด์)เปลี่ยนสีจากสีเมทัลลิกเป็นสีส้มแดงอิฐ แสดงถึงการอิ่มตัวของการดูดซับต้องมีการเปลี่ยนเหล็กออกไซด์ใหม่ หลังจากผ่านการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วพบว่ามีความ H_2S ลดลงอยู่ในช่วง 12-1,000 ppm (ภาคผนวก ข-5) โดยค่า H_2S ที่วัดได้ 12 ppm จะพบได้เฉพาะช่วงที่มีการเปลี่ยนตัวดูดซับเท่านั้น ในกรณีกำจัด H_2S ได้น้อยจะส่งผลกระทบต่อเส้นท่อและเครื่องยนต์จะเกิดการกัดกร่อน จึงต้องกำหนดมาตรฐานของเครื่องยนต์สันดาปภายในไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องน้อยกว่า 100 ppm (Steven McKinsey Zicari, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้



รูปที่ 4.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้

จากการศึกษาพบว่าก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 819 m^3 จากรูปแสดงถึงการผลิตไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับการทำงานของเครื่องยนต์ กราฟที่อยู่ในช่วง 1,000 kWh จะเปิดการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 1 เครื่อง กราฟที่สูงขึ้นเกิดจากการทำงาน 2 เครื่อง จึงทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากปริมาณกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 800-3,200 kWh คิดเป็นรายได้อยู่ที่ 3,600-14,400 ต่อวัน โดยจะทำการผลิตในช่วง Peak load คือทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะกำหนดที่ 9.00-22.00 น. แต่ทางฟาร์มจะทำการผลิตที่ 9 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. เป็นเวลาที่มีค่าไฟราคา 4.50 บาท/kWh ถ้าไม่ใช่ช่วง Peak load ราคาอยู่ที่ 2.50 บาท/kWh ซึ่งฟาร์มจะไม่ทำการผลิต ดังนั้นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จะไม่สัมพันธ์กับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกสะสมไว้ภายในบ่อ เมื่อถึงเวลาที่ต้องการผลิตจึงจะใช้เครื่องวัดองค์ประกอบของก๊าซและใช้ปั๊มดูดก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักเข้าเครื่องกำจัดซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยใช้วิธีบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Modified Covered Lagoon) ลักษณะบ่อประกอบด้วย บ่อน้ำเข้า มีความจุ 250 m³ และบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนมีความจุ 10,000 m³ โดยมีการเติมน้ำในบ่อหมักให้เกือบเต็ม เพื่อไล่อากาศออกจากบ่อและเพื่อกางผ้าใบชนิด HDPE คลุมบ่อ เติมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเข้าทุกวัน วันละ 250 m³/d แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 10.00-11.00 น. และ 13.00-14.00 น. ซึ่งหัวเชื้อในการหมักได้จากกากตะกอนและน้ำไหลล้นจากบ่อหมักเก่าของฟาร์มสุกรก่อนจะหน้าน้ำจะเข้าบ่อหมักมีการปั่นกววนผสมที่บ่อน้ำเข้าเป็นเวลา 30 นาที จากการศึกษาศึกษาสภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรในบ่อน้ำเข้าโดยเฉลี่ยพบว่ามีพีเอชเท่ากับ 7.32 อุณหภูมิ 32 °C ปริมาณสารอาหาร COD:N:P เท่ากับ 100:4.4:4.3 ปริมาณกรดไขมันระเหยเท่ากับ 1,375 mg/L ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 6,195 mg/L ปริมาณของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 5,444 mg/L มีปริมาณก๊าซมีเทน 60-65 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 23-33 % ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนเข้าการกำจัดอยู่ในช่วง 1,000-1,300 ppm ได้ทำการกำจัดก๊าซก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 12-1,000 ppm ก๊าซชีวภาพมีปริมาณการผลิตเท่ากับ 819 m³/d แปลงเป็นค่าไฟจะได้ 982.8 kWh และรายได้จากการขายไฟฟ้าเท่ากับ 4,422 บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการจำลองระบบเพื่อตรวจหาปริมาณสารอินทรีย์ให้อยู่ในช่วงที่ผลิตก๊าซได้มากขึ้น
2. ควรมีการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่แหล่งกำเนิด กำจัดตั้งแต่ในรูปซัลเฟตในน้ำก่อนจะทำให้ซัลไฟด์ในระบบลดน้อยลง โดยวิธีการลดใช้ยาปฏิชีวนะและมีบ่อหมักเพื่อเติมสารส้มให้ซัลเฟตตกตะกอนบางส่วนก่อนนำน้ำเข้าบ่อหมัก

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร
สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2556. คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค.
สำนักการจัดการคุณภาพน้ำ.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์.[Online]
Available: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/188>. สืบค้นเมื่อวันที่ 20
มกราคม 2561.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. หลักสูตรความรู้พื้นฐานการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์
ให้เป็นก๊าซชีวภาพ. [Online] Available: http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson1.pdf. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุม
คุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักเทคโนโลยี
ความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำ ห้องปฏิบัติการ
สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี).
- ภิญญา ภาณุมนต์วาที และคณะ. 2557. ศึกษาปริมาณแก๊สและคุณภาพจากการหมักน้ำเสียจาก
ฟาร์มร่วมกับเปลือกกล้วยแบบไร้อากาศ. โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- เกษตรมีชัย. เจนด้ามันซิน 5 %. [Online] Available: <https://www.royalnourish.com/14549453/เจนด้ามันซิน-5>. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561.
- ฐปน ชื่นบาลและคณะ. 2556. การออกแบบและพัฒนาถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ
สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก. สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและ
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ประวิทย์ สุแก้ว. 2548. ความสัมพันธ์ของค่า COD ในน้ำเสียกับปริมาณก๊าซมีเทน CH₄. [Online]
Available:<http://www.greenthai biogas.com/DetailPackage.aspx?id=600070&showpackid=300035&contype=ListLerning> สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561.
- ศิริประภา ชัยเนตร และคณะ. 2555. การใช้ประโยชน์จากของเสียอินทรีย์ร่วมในการผลิตก๊าซ
ชีวภาพจากมูลม้า. ทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ
เชียงใหม่.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุเจน กรรพทธุ์. 2552. ไฟฟ้าจากขี้สุกร เปลี่ยนมลภาวะให้เป็นไฟฟ้า. [Online] Available: <http://www.sarakadee.com /2009/07/27/pig-poo>. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2560.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2550. IPCC Forth Assessment Report – Climate Change2007. [Online] Available: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2561.
- เอกสารการบรรยาย. 2017. เรื่อง“PROFITING FROM THE USE OF BIOGAS THE PANVITA CASE”.
- A.G.Skermana, S.Heubeckb and D.J.Batstone. 2016. Low-cost Filter Media for Removal of Hydrogen Sulphide from Piggery Biogas. Process Safety and Environmental Protection .105(2017) 117–126.
- American Stirling Company. 2018. Stirling Store. [Online] Available: <https://www.stirlingengine.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561.
- Breure, A.M. and Andel, J.G. 1987. Bioenvironmental Systems.CRC Press, Cambridge Scientific, Floride, p. 97.
- Dieter Deublein and Angelika Steinhauser. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KaA.
- GTI BI-FUEL. 2014. Project Overview, GTI-Altronic, Inc., Ohio, USA. [Online] Available: www.gti-altronicinc.com. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561.
- Natthawud Dussadee, Kamoldara Reansuwan and Rameshprabu Ramaraj. 2014. Potential Development of Compressed Bio-methane gas Production from Pig Farms and Elephant grass silage for transportation in Thailand. Bioresource Technology 155, 438–441.
- SCV Plastic. พลาสติกปุ๋ยมูล. [Online] Available: www.scv-plastic.com/slan.html สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2561.
- Siam safety. 2012. แปลง ppm เป็น %. [Online] Available: http://www.siamsafety.com/index.php?page=forums/view&type_forum=1&ps_session=420de64434e4ef&message_id=64100. สืบค้นเมื่อวันที่ วันที่ 8 มกราคม 2561.
- Steven Mckinsey Zicari. 2003. REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE FROM BIOGAS USING COWMANURE COMPOST, A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University.



ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวเทียบสีในการไทเทรต ตัวอย่างน้ำด้วยวิธีอินดิเคเตอร์ (ทำblank) โดยใช้ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ตวงน้ำกลั่นใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ 2 หยด ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนเป็นสีส้มจดปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดความเข้มข้น 0.02 นอร์มัลที่ใช้

2. ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 2 หยด ถ้ามีสีชมพูไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัลจนสีชมพูหายไป จดปริมาตรสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล ที่ใช้ ถ้าไม่มีสีชมพูให้ข้ามไปทำข้อ 3

3. ในกรณีที่ไม่มีเกิดสี หยดสารละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ 2 หยด ใช้ตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม จดปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.02 นอร์มัลที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Alkalinity as mg/l CaCO}_3 = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (มล.)}}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรด ที่ใช้ในการไทเทรต (มีหน่วยเป็น mL)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดที่ใช้การไทเทรต (มีหน่วยเป็น N)

หมายเหตุ ตัวเลข 50,000 คือ น้ำหนักสมมูลของแคลเซียมคาร์บอเนตในหน่วย (mg/eq)

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

ก-2 วิธีวิเคราะห์อินทรีย์ไนโตรเจน (TKN)

วิธีวิเคราะห์

การ Standardize 0.02 N H₂SO₄ ด้วย 0.02 N Na₂CO₃

1. ปิเปต Standard Na₂CO₃ ปริมาตร 20 mL ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 mL
2. หยด Methyl orange indicator จำนวน 2-3 หยด
3. ไทเทรตกับสารละลาย 0.02 N H₂SO₄ เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มอมชมพู
4. บันทึกค่าที่ได้แล้วคำนวณ หาความเข้มข้นของ Sulfuric acid

จากสูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

โดย N1 = ความเข้มข้นของ Sulfuric acid

V1 = ปริมาตรของ Sulfuric acid ที่ใช้ในการไทเทรต

N2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Na₂CO₃

V2 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Na₂CO₃ ที่ใช้ในการไทเทรต

การทดสอบตัวอย่าง

1. ตวงตัวอย่างน้ำปริมาตร 50 mL ใส่ลงในหลอดเจลาตาร์ท ขนาด 400 mL
2. เติมน้ำกลั่นละลาย Digestion solution ปริมาตร 50 mL

3. ใส่หินป้องกันการเดือด (Pumic stone) ประมาณ 5 ชิ้น เพื่อป้องกันการเดือดรุนแรง

4. นำเข้าเครื่องย่อย ตั้งอุณหภูมิที่ 250 °C นาน 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 380 °C นาน 1-1½ ชั่วโมง รอจนควันขาวจางลง ทิ้งให้เย็น
5. เติมน้ำกลั่น DI ปริมาตร 50 mL
6. หยด Phenolphthalene indicator จำนวน 3 – 5 หยด (ไม่ต้องเขย่า)
7. นำเข้า เครื่องกลั่นแอมโมเนีย
8. เติม 6N NaOH ประมาณ 30 mL จะสังเกตเห็นสารละลายมีสีชมพู
9. ทำการกลั่น แล้วเก็บส่วนที่กลั่นออกมาให้ได้ปริมาตร 200 mL ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 mL ซึ่งใส่สารละลาย Indicating boric acid ปริมาตร 50 mL เป็นตัวจับแอมโมเนีย
10. นำส่วนที่กลั่นได้มาไทเทรตกับ 0.02 N H₂SO₄ เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอ่อน
11. ทำ blank ทุกครั้ง โดยใช้ น้ำกลั่น DI ที่ปราศจากแอมโมเนียแทนตัวอย่างน้ำและทำการวิเคราะห์เหมือนตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอมโมเนีย} = \frac{(A-B) \times 1000 \times N \times 14}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)}}$$

A = mL ของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรต sample

B = mL ของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรต blank

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้

การควบคุมคุณภาพ

1. การทดสอบ method blank นำน้ำกลั่น DI มาทดสอบเช่นเดียวกับการทำตัวอย่าง
2. การวิเคราะห์ spiked sample หรือ การหา % recovery โดยใช้สารมาตรฐาน NH₄Cl ความเข้มข้น 10 mg/L spike ลงในตัวอย่าง
3. เตรียมสารมาตรฐาน NH₄Cl ความเข้มข้น 1,000 mg/L ซึ่ง NH₄Cl 3.819 g (อบแห้งที่ 100 °C นาน 2 ชั่วโมง ละลายในน้ำกลั่น (DI และปรับปริมาตรเป็น 1,000 mL ด้วยน้ำกลั่น DI ในขวดปรับปริมาตร
4. ปิเปตสารมาตรฐาน NH₄Cl เข้มข้น 1,000 mg/L ปริมาตร 0.5 mL spike ลงในตัวอย่าง น้ำปริมาตร 50 mL (NH₄Cl ความเข้มข้น 10 mg/L) และหาค่า %recovery ที่ได้

$$\% \text{ recovery} = \frac{(\text{ความเข้มข้นของ Spiked sample} - \text{ความเข้มข้นของตัวอย่างเริ่มต้น})}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกัน วิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกัน จำนวน 2 ครั้ง เพื่อทดสอบความแม่นยำของผู้ที่ทำ หลังจากนั้นนำผลการทดสอบมาคำนวณหา %ความแตกต่างสัมพัทธ์ (Relative Percent Difference : RPD) (duplicate analysis pair) เกณฑ์การยอมรับ :10 %

$$\% \text{ ความแตกต่างสัมพัทธ์} = \frac{\text{ผลการทดสอบครั้งที่ 1} - \text{ผลการทดสอบครั้งที่ 2}}{\text{ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้งสองครั้ง}} \times 100$$

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 การหาอโรฟอสเฟตโดยวิธีแอสคอร์บิก

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 0, 2.5, 10, 15 และ 25 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีด แต่ละขวดจะมีความเข้มข้น 5, 12.5, 25, 37.5 และ 62.5 ไมโครกรัมตามลำดับ

- เติมน้ำยารวม 8 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที

- นำไปวัดค่าแอมบอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

- พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมกับค่าแอมบอร์แบนซ์ที่ได้ แต่ละความเข้มข้น

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำ

- ปิเปตน้ำตัวอย่าง 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL นำไปย้อยโดยย้อยด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 mL และกรดไนตริกเข้มข้น 5 mL ย้อยจนเหลือน้ำปริมาณ 5 mL จากนั้นหยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 5 หยด แล้วปรับด้วยด่างให้มี pH ประมาณ 8.3 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นดึงน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ ที่ปริมาตร 5 mL เติมน้ำยารวม 8 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวด 50 mL เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าแอมบอร์แบนซ์ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร โดยใช้ Reagent Blank เทียบ

การคำนวณ

$$\text{ฟอสเฟต (mg/L)} = \frac{\text{ไมโครกรัมฟอสเฟตที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (mL)}}$$

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

ก-4 วิธีการวัดพีเอช (pH)

การวัดตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

เปิดเครื่องวัด pH เพื่ออุ่นเครื่องก่อนวัดประมาณ 5-10 นาที calibrate ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ที่มีค่า pH อยู่ในช่วงที่คาดว่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่จะวัด แต่เครื่องวัด pH บางยี่ห้อ เช่น WTW จะกำหนดสารละลายบัฟเฟอร์ไว้ตายตัว คือ pH 7.0 และ 4.0 ตามลำดับ ในขณะที่เครื่องวัด pH บางยี่ห้อ เช่น DENVER นั้น สามารถเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ ที่ต้องการ calibrate ได้ตามต้องการ การ calibrate ทำได้โดยเทสารละลายบัฟเฟอร์ลงในบีกเกอร์ แล้วจุ่มหัววัดลงไปแล้วทำตามขั้นตอนที่ได้แนะนำไว้สำหรับเครื่องวัด pH แต่ละยี่ห้อ/รุ่น ขณะ calibrate ควรแกว่งหัววัดเบาๆ ล้างหัววัดด้วยน้ำกลั่น และซับให้แห้งก่อนวัด pH ทุกๆ ครั้ง หรือทุกๆ ตัวอย่างของน้ำที่วัด เหน้ตัวอย่างที่ต้องการวัดลงในบีกเกอร์ แล้วทำการวัด pH โดยแกว่งหัววัดเบาๆ เมื่อค่า pH หยุดนิ่งประมาณ 10 วินาที จดบันทึกค่าที่วัดได้ (การจดบันทึกค่าที่วัดได้ควรปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่อง) ทำความสะอาดหัววัด แล้วเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

การวัดตัวอย่างภาคสนาม

ควรเตรียมเครื่องวัดให้พร้อมด้วยการ calibrate เครื่องวัดจากห้องปฏิบัติการ ให้เรียบร้อย ก่อนนำออกภาคสนาม การวัดภาคสนาม อาจจุ่มหัววัดลงในขวด หรือวัดในแหล่งน้ำโดยตรงก็ได้ แต่หากมวลน้ำในแหล่งน้ำที่ต้องการวัดมีการเคลื่อนไหว การวัดจากแหล่งน้ำโดยตรง ค่าที่วัดได้ จะไม่นิ่ง วิธีการแก้คือ ตักน้ำใส่ขวดใส่ตัวอย่าง การจดบันทึกค่าจะต้องปฏิบัติตามคู่มืออย่างเคร่งครัด การวัดในแหล่งน้ำโดยตรง ควรวัดก่อนเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ เช่นเดียวกับ การวัดออกซิเจน ละลาย อุณหภูมิของน้ำ และค่าความนำไฟฟ้า ในการวัดค่า pH ของน้ำ ที่มีความเค็มต่างกันมาก ควรจุ่มหัววัดให้อยู่ในน้ำ นาน 5-10 นาที ก่อนทำการอ่านค่า ล้าง ทำความสะอาดหัววัด แล้วเก็บเข้าที่

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

ก-5 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอินทรีย์ในน้ำ (COD)

วิธีวิเคราะห์

ใส่ตัวอย่างน้ำในหลอดทดลอง เติม $K_2Cr_2O_7$ digestion solution และ Sulfuric acid reagent ปิดฝาแล้วเขย่าสารละลายให้เข้ากัน นำหลอดทดลองใส่ลงใน heating block ตั้งอุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ อยู่นาน 2 ชั่วโมง และตั้งทิ้งให้เย็น หยด Ferroin indicator จำนวน 1- 2 หยด ไตเตรต โดยใช้ 0.10 M FAS เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

$$\text{COD as mg O}_2/\text{L} = \frac{A-B}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)}} \times M \times 8,000$$

A = mL ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบบลันค์ (blank)

B = mL ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (sample)

M = Molality ของ FAS

8,000 = mill equivalent weight ของออกซิเจน $\times 1000\text{ mL/L}$

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

ก-6 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA)

วิธีวิเคราะห์

1. แยกตะกอน
2. นำของเหลวส่วนที่ใสปริมาตร 100 mL เติมลงไปใน boiling flask
3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 mL ลงไปผสมกัน
4. ใส่ Glass bead ลงไป 3-4 เม็ด
5. ใช้ปิเปตดูดกรด H_2SO_4 (1:1) เติมลงไป 5.0 mL
6. เขย่าให้เข้ากันแล้วต่อเข้ากับชุดกลั่น
7. เปิดสวิตซ์เตาหลุม
8. หลังจากกลั่น ครบ 30 นาที หยด Phenolphthalein 5 หยดแล้วนำไปไทเทรตกับ 0.1 M NaOH
9. จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีชมพูอ่อน
10. บันทึกปริมาตรของ 0.1 M NaOH ที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{VFA (mg/L)} = \frac{(\text{ปริมาตร } 0.1 \text{ M NaOH ที่ใช้}) (6000)}{(\text{ปริมาตรของของเหลวที่ใช้ไทเทรต}) (0.77)}$$

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)

ก-7 ค่าของแข็งทั้งหมด(TS)

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมถ้วยระเหยแห้ง (evaporating dish)

1.1 นำถ้วยระเหยแห้งไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อทิ้งไว้ให้เย็น

1.2 ถ้วยระเหยแห้งไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่ได้

1.3 ทำตามข้อ 1.1 ถึง ข้อ 1.2 จนได้น้ำหนักคงที่หรือความแตกต่างของการชั่งขึ้นอยู่กับว่าค่าใดจะน้อยกว่ากัน จากนั้นจึงเก็บถ้วยไว้ในตู้ดูดความชื้น จนกระทั่งใช้งาน

2. การทดสอบตัวอย่าง

2.1 ผสมตัวอย่างน้ำ (ที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง) ให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องกวนสารละลายแม่เหล็ก

2.2 เชน้ำตัวอย่างน้ำแล้วตวงตัวอย่างน้ำปริมาตร 10-100 mL (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำตัวอย่าง) ลงสู่ถ้วยระเหยแห้งที่ทราบน้ำหนักแล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภายในรอบ ๆ ครอบดวง 2 ครั้ง ๆ ละประมาณ 5 mL แล้วเทลงสู่ถ้วยระเหยแห้ง

2.3 ถ้วยระเหยแห้งที่มีตัวอย่างน้ำไประเหยบนเครื่องอังไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 80 °C จนตัวอย่างแห้ง

2.4 นำถ้วยระเหยแห้งไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เพื่อทิ้งไว้ให้เย็น

2.5 นำถ้วยระเหยแห้ง ไปชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่ได้

2.6 ทำตามข้อ 2.4 ถึง ข้อ 2.5 จนได้น้ำหนักคงที่หรือความแตกต่างของการชั่งครั้งล่าสุดกับการชั่งครั้งที่ผ่านมามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.0005 g หรือ 4% ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดจะน้อยกว่ากัน

คำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 106}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (mL)}}$$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยแห้งและของแข็งที่ค้างอยู่บนถ้วยระเหยแห้ง (g)

B = น้ำหนักถ้วยระเหยแห้ง (g)

ที่มา: คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี) (2554)



ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย

| พารามิเตอร์ | วันที่ | | | | | | | \bar{X} |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------|
| | 10/8/17 | 23/8/17 | 5/9/17 | 26/9/17 | 11/11/17 | 24/11/17 | 3/12/17 | |
| พีเอชน้ำเข้า | 7.13 | 7.34 | 7.22 | 7.31 | 7.54 | 7.35 | - | 7.32 |
| พีเอชน้ำออก | 7.17 | 7.36 | 7.28 | 7.35 | 7.59 | 7.45 | - | 7.37 |
| อุณหภูมิน้ำเข้า | 34 | 33 | 32 | 34 | 33 | 32 | - | 33 |
| อุณหภูมิน้ำออก | 33 | 32 | 33 | 32 | 31 | 33 | - | 32 |
| ค่าความเป็นด่างน้ำเข้า | - | - | 2,430 | 2,352 | 2,760 | 2,898 | - | 2,391 |
| ค่าความเป็นด่างน้ำออก | - | - | 3,272.5 | 3,477.6 | - | - | - | 3,375 |
| ค่ากรดไขมันระเหยง่ายน้ำเข้า | - | - | 1,277 | - | 1,473 | 2,734 | - | 1,375 |
| ค่ากรดไขมันระเหยง่ายน้ำออก | - | - | 111 | - | 273 | - | - | 192 |
| ซีโอดีน้ำเข้า | 4,160 | 6,693 | 15,527 | 6,248 | 7,760 | 14,851 | 14,308 | 9,935 |
| ซีโอดีน้ำออก | 546 | 452 | 199 | 665 | 728 | 724 | 633 | 63.86 |
| ทีเคเอ็นน้ำเข้า | 222 | 1,143 | 998 | 817.6 | 1680 | - | - | 972 |
| ทีเคเอ็นน้ำออก | 295.60 | 706.10 | 955.6 | 772.8 | 847 | - | - | 715.42 |

ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย (ต่อ)

| พารามิเตอร์ | วันที่ | | | | | | | \bar{X} |
|--|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------|
| | 10/8/17 | 23/8/17 | 5/9/17 | 26/9/17 | 11/11/17 | 24/11/17 | 3/12/17 | |
| ฟอสฟอรัส น้ำเข้า | 61.43 | 135.19 | 208.948 | 348.18 | 145.39 | - | - | 172.55 |
| ฟอสฟอรัส น้ำออก | 31.00 | 101.98 | 157.63 | 61.82 | 140.32 | - | - | 83.78 |
| ค่าของแข็งทั้งหมด น้ำเข้า | - | 8,104 | 2,140 | 8,340 | 10,130 | 4,540 | - | 6,195 |
| ปริมาณของแข็ง แขวนลอยทั้งหมด น้ำเข้า | - | 5,392 | 5,370 | 5,570 | 6,860 | 2,720 | - | 5,444 |

หมายเหตุ - คือ ไม่ได้ทำการทดลอง เนื่องจากเก็บตัวอย่างไม่ได้

ตาราง ข-2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

| วันที่ | พารามิเตอร์ | ประสิทธิภาพในการกำจัด(%) |
|----------|-------------|---|
| 10/8/17 | ซีโอดี | $\frac{4,160-546}{4,160} \times 100 = 86.9$ |
| 23/8/17 | | $\frac{6,693-452}{6,693} \times 100 = 93.2$ |
| 5/9/17 | | $\frac{15,527-199}{15,527} \times 100 = 98.7$ |
| 26/9/17 | | $\frac{6,248-665}{6,248} \times 100 = 89.4$ |
| 11/11/17 | | $\frac{7,760-728}{7,760} \times 100 = 90.6$ |
| 24/11/17 | | $\frac{14,851-724}{14,851} \times 100 = 95.1$ |
| 3/12/17 | | $\frac{14,308-633}{14,308} \times 100 = 95.6$ |
| | | |

การหา % การกำจัดซีโอดี

$$\%cod = \frac{CODin - COD out}{COD in} \times 100$$

COD in = วัดค่า COD จากน้ำเข้า

COD out = วัดค่า COD จากน้ำออก

เช่น $\%COD = \frac{4,160-546}{4,160} \times 100$
 $= 86.9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

| พารามิเตอร์ | วันที่ | | | | | | |
|--|---------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|
| | 10/8/17 | 23/8/17 | 5/9/17 | 26/9/17 | 11/11/17 | 24/11/17 | 3/12/17 |
| ก๊าซที่วัดได้ (m ³) | 979.05 | 1,213 | 1,016.31 | 1,038 | 1,116 | 1,132 | 1,148 |
| ก๊าซที่ได้จากการคำนวณ (m ³) | 316.31 | 545.81 | 1,340.95 | 488.74 | 615.18 | 1,235.78 | 1,196.86 |

การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันกับค่าซีโอดี

$$BGG = \frac{Q \times \text{COD}_{in}}{1,000} \times \% \text{การกำจัด COD} \times 0.35$$

อธิบายสมการ

BGG (Biogas Generate) = อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (m³/d)

Q= อัตราการไหลของน้ำเสีย (m³/d)

COD= ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ COD (mg/d)

Efficiency COD removed= ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในรูปของ COD (%)

1000 = (1,000 mg) ค่าการแปลงหน่วยจาก mg ให้เป็น kg

Gas yield = อัตราการเปลี่ยนของเสียในรูปของ COD เป็นก๊าซมีเทน (0.35 ลบ.ม/กก. COD ที่ถูกกำจัดโดยระบบก๊าซชีวภาพ/วัน)

แสดงวิธีทำ

$$\frac{250 \times 4,160}{1000} \times 0.869 \times 0.35 = 316.31 \text{ m}^3/\text{day}$$

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 316.31 m³/day

ตาราง ข-4 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

| วันที่ | CH ₄ (%) | H ₂ S (ppm) | H ₂ S (%) | CO ₂ (%) | O ₂ (%) |
|----------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 1/11/17 | 62.00 | 1,200 | 0.120 | - | - |
| 2/11/17 | 60.00 | 1,189 | 0.119 | 32.2 | 0.6 |
| 3/11/17 | 65.00 | 1,302 | 0.130 | - | - |
| 17/11/17 | 64.00 | 1,300 | 0.130 | - | - |
| 18/11/17 | 61.45 | 1,144 | 0.114 | 31.39 | 0.1 |
| 20/11/17 | 62.77 | 1,112 | 0.111 | 31.58 | 0 |
| 22/11/17 | 62.65 | 1,209 | 0.121 | 31.24 | 0.1 |
| 23/11/17 | 64.59 | 1,174 | 0.117 | 29.20 | 0 |
| 24/11/17 | 65.60 | 1,165 | 0.117 | 20.19 | 0 |
| 25/11/17 | 64.51 | 1,211 | 0.121 | 30.19 | 0.1 |
| 27/11/17 | 63.86 | 1,194 | 0.119 | 30.43 | 0.2 |
| 28/11/17 | 62.65 | 1,287 | 0.129 | 30.63 | 0.1 |
| 29/11/17 | 63.00 | 1,124 | 0.112 | 30.87 | 0 |
| 30/11/17 | 64.83 | 1,204 | 0.120 | 29.55 | 0 |
| 1/12/17 | 63.32 | 1,376 | 0.138 | 31.14 | 0 |
| 4/12/17 | 62.95 | 1,258 | 0.126 | 31.79 | 0.1 |
| 5/12/17 | 63.05 | 1,217 | 0.122 | 31.89 | 0.1 |

หมายเหตุ - คือ ไม่มีข้อมูล

คำนวณ ppm เป็น %

$$1\% = 1/100$$

$$1 \text{ ppm} = 1/1,000,000$$

เช่น H₂S มีค่า 1200 ppm

$$1200/1,000,000 = 0.0012\%$$

*V/V เทียบได้เลย เนื่องจาก H₂S เป็นก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-5 ผลการศึกษาไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อน-หลังการกำจัดและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้

| วันที่ | ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) ppm | | ปริมาณกระแสไฟฟ้า | |
|----------|--|-----------|------------------|------------|
| | ก่อนกำจัด | หลังกำจัด | กระแสไฟฟ้า(KWh) | ราคา (บาท) |
| 1/11/17 | 1,200 | 300 | 1,087 | 4,892 |
| 2/11/17 | 1,189 | 157 | 911 | 4,100 |
| 3/11/17 | 1,302 | 219 | 1,113 | 5,009 |
| 17/11/17 | 1,300 | 400 | 1,064 | 4,788 |
| 18/11/17 | 1,144 | 404 | 1,263 | 5,684 |
| 20/11/17 | 1,112 | 572 | 3,001 | 13,505 |
| 22/11/17 | 1,209 | 582 | 3,000 | 13,500 |
| 23/11/17 | 1,174 | 718 | 2,649 | 11,921 |
| 24/11/17 | 1,165 | 742 | 2,953 | 13,289 |
| 25/11/17 | 1,211 | 562 | 3,114 | 14,013 |
| 27/11/17 | 1,194 | 621 | 2,954 | 13,293 |
| 28/11/17 | 1,287 | 838 | 1,680 | 7,560 |
| 29/11/17 | 1,124 | 793 | 1,779 | 8,006 |
| 30/11/17 | 1,204 | 766 | 2,257 | 10,156 |
| 1/12/17 | 1,376 | 1,017 | 2,100 | 9,450 |
| 4/12/17 | 1,258 | 19 | 2,809 | 12,640 |
| 5/12/17 | 1,217 | 12 | 2,702 | 12,159 |

การคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้

แสดงวิธีทำ

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ × ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย*

$$1,087 \text{ kWh} \times 4.5 \text{ บาท} = 4,892 \text{ บาท}$$

*ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยจะไม่เท่ากันตลอดเวลา ช่วง Peak load 9.00-18.00 น. มีราคา 4.5 บาทต่อหน่วย นอกจากช่วงเวลานี้ ได้หน่วยละ 2.5 บาทต่อหน่วย จึงมีการผลิตในช่วงที่ราคาสูงเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1 การคำนวณสัดส่วนเท่าของ COD:N:P

เทียบสัดส่วน COD:N:P ต้องมีสัดส่วนเท่ากับ 100:2.2:0.4

$$\text{COD: N} = (\text{COD} \times 2.2) / 100$$

$$\text{COD: P} = (\text{COD} \times 0.4) / 100$$

จะได้สัดส่วนเท่าที่พอดีกับค่า COD

แสดงวิธีทำ

$$\text{COD: N: P ของน้ำเข้าเท่ากับ } 9,935:972:172$$

$$\text{COD: N} = (9,953 \times 2.2) / 100 = 218.57 \text{ mg/L} \text{ เมื่อนำมาเทียบค่า N } 972 / 218.57 = 4.4$$

ค่า N เกินมา 4.4 เท่า

$$\text{COD: P} = (9,953 \times 0.4) / 100 = 39.74 \text{ mg/L} \text{ เมื่อเทียบค่า P } 172 / 39.74 = 4.3$$

ค่า P เกินมา 4.3 เท่า

ค-2 การคำนวณระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ

คำนวณระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ

$$\text{จาก HRT} = \frac{V(\text{m}^3)}{Q(\text{m}^3/\text{day})}$$

V=ปริมาตรของบ่อหมัก 10,000 m³

Q=อัตราการเติมสารอินทรีย์เข้าบ่อหมักวันละ 250m³

$$\text{HRT} = \frac{10,000 \text{ m}^3}{250 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$\text{HRT} = 40 \text{ day}$$

ค-3 การหา % การกำจัดซีโอดี

$$\% \text{cod} = \frac{\text{COD}_{\text{in}} - \text{COD}_{\text{out}}}{\text{COD}_{\text{in}}} \times 100$$

COD_{in} = วัดค่า COD จากน้ำเข้า

COD_{out} = วัดค่า COD จากน้ำออก

$$\begin{aligned} \text{เช่น } \% \text{COD} &= \frac{4,160 - 546}{4,160} \times 100 \\ &= 86.9 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-4 การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันกับค่าซีไอดี

$$BGG = \frac{Q \times COD_{in}}{1,000} \times \% \text{การกำจัด COD} \times 0.35$$

อธิบายสมการ

BGG (Biogas Generate) = อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (m³/d)

Q= อัตราการไหลของน้ำเสีย (m³/d)

COD= ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ COD (mg/d)

Efficiency COD removed= ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในรูปของ COD (%)

1000 = (1,000 mg) ค่าการแปลงหน่วยจาก mg ให้เป็น kg

Gas yield = อัตราการเปลี่ยนของเสียในรูปของ COD เป็นก๊าซมีเทน (0.35 ลบ.ม/กก. COD ที่ถูกกำจัดโดยระบบก๊าซชีวภาพ/วัน)

แสดงวิธีทำ

$$\frac{250 \times 4,160}{1000} \times 0.869 \times 0.35 = 316.31 \text{ m}^3/\text{day}$$

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 316.31 m³/day

ค-5 จำนวน ppm เป็น %

1% = 1/100

1ppm = 1/1,000,000

แสดงวิธีทำ

H₂S มีค่า 1200 ppm

1200/1,000,000 = 0.0012% *V/V เทียบได้เลย เนื่องจาก H₂S เป็นก๊าซ

ค-6 ประสิทธิภาพของเครื่องจักรใช้ก๊าซผลิตไฟฟ้า

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เครื่องใช้ × ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง × เวลาในการทำงาน
ของเครื่องจักร 130 m³ × 0.70 × 9 hr = 819 m³/hr

ค-7 การคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้

แสดงวิธีทำ

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ × ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย*

1,087 kWh × 4.5 บาท = 4,892 บาท

*ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยจะไม่เท่ากันตลอดเวลา ช่วง Peak load 9.00-18.00 น. มีราคา 4.5 บาทต่อหน่วย นอกจากช่วงเวลานี้ ได้หน่วยละ 2.5 บาทต่อหน่วย จึงมีการผลิตในช่วงที่ราคาสูงเท่านั้น