

อกิั่นทนากการ



การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ระบบ
Anaerobic digesterแบบ low rate
Biogas production from synthetic organic waste by
Low - rate anaerobic digester

17196647

นายพิศณุชัย พันธุ์ภู รหัศ 54361787
นางสาววราภรณ์ แก้วแจ้ง รหัศ 54361800
นางสาววิชราภรณ์ อ่อนอยู่ รหัศ 54365495

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน..... 12 ต.ค. 2560.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....

ฟร
พ.๖๕๓
๒๕๖๓

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาโท

| | | | |
|-------------------|---|----------|--------------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ระบบ Anaerobic digester แบบ Low rate | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายพิศณชัย | พันธ์ภู | รหัส54361787 |
| | นางสาววารภรณ์ | แก้วแจ่ม | รหัส54361800 |
| | นางสาววัชรภรณ์ | อ่อนอยู่ | รหัส54365495 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา | | |
| ปีการศึกษา | 2557 | | |

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ปาจริย ทองสนิท)

| | | | |
|-------------------|---|----------|---------------|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ระบบ Anaerobic digester แบบ Low rate | | |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นายพิศณชัย | พันธ์ภู | รหัส 54361787 |
| | นางสาววราภรณ์ | แก้วแจ่ม | รหัส 54361800 |
| | นางสาววัชรภรณ์ | อ่อนอยู่ | รหัส 54365495 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา | | |
| ปีการศึกษา | 2557 | | |

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการหมักขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ระบบ Anaerobic digester แบบ Low rate ซึ่งมีต้นแบบถังผลิตก๊าซชีวภาพและสัดส่วนของขยะอินทรีย์สังเคราะห์มาจากตลาดชุมชนวัดตระพังทองดำเนินการทดลองโดยใช้ถังผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ถังน้ำัดแปลงปริมาตร 20 ลิตรเป็นระยะเวลา 130 วันโดยใช้เวลากักเก็บ 33 วันทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน, ค่าซีไอดี, ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าเจดัลไนโตรเจน จากนั้นทำการสังเกตปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

ผลการทดลองพบว่าระบบเข้าสู่ steady state ในระยะเวลา 30 วันโดยมีค่าปริมาณก๊าซเฉลี่ย 8642 มิลลิลิตรต่อวันและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ 9,300 มิลลิลิตรต่อวัน ยังพบว่ามิก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นร้อยละ 32.80 และ 33.21 ตามลำดับโดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้คิดเป็น 0.0287 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมขยะเศษอาหาร

จากการศึกษานี้สามารถกล่าวได้ว่า ระบบ Anaerobic digester มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากสามารถปรับสภาพให้เข้ากับภาระบรรทุกที่เข้ามาในระบบภายในช่วงระยะเวลาอันสั้นและสามารถกลับมาทำงานเป็นปกติได้อย่างรวดเร็ว

| | | |
|-----------------|--|--------------|
| Project title | Biogas production from synthetic organic waste by Low – rate anaerobic digester | |
| Name | Mr. Pissanucha iPanpoo | ID.54361787 |
| | Miss.Waraborn Keawjang | ID. 54361800 |
| | Miss.Watcharaporn Onyoo | ID.54365495 |
| Project advisor | Dr. Dondaj Tungtakanpoung | |
| Major | Environmental Engineering | |
| Department | Civil Engineering | |
| Academic year | 2007 | |

Abstract

The purpose of this research is to study the biogas production from synthetic organic wastes by using a Low rate anaerobic digester process. All ingredients which include biogas and the synthetic organic wastes in various ratio received from Wattrapungtong neighborhood market were fermented in the bioreactor model. The bioreactor model was adapted to the volume tube of 20 liters within 130 days. The fermentation was held in 33 days. Then, recording amount data of biogas produced regarding Chemical Oxygen Demand, suspended solids and Kjeldahl nitrogen per day; together with observing the amount of biogas occurred per day.

The result of the study shown that approaching into the steady-state was produced the average of biogas 8,642 milliliters per day. The optimum ratio of biogas production was 9,300 milliliters per day. In addition the study found that Biogas production at 20 L tank can produce methane and carbon dioxide occurred at the percent of 32.80 and 33.21 by an order as well as can produce Biogas at 0.0287 cubic kilometers per a kilograms of food wastes.

The study found that the Anaerobic digester system is high flexible because it enables to improve carrying capacities of the organic wastes in short-term period per day.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้สำเร็จลงด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ตลเดช ตั้งตระการพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้ให้ความกรุณาในการให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา นอกจากนี้ยังได้ตรวจแก้โครงการเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เรียน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้อำนวยความสะดวกในการทำโครงการครั้งนี้ตลอดมา

ขอขอบคุณ วิรัชฟาร์มที่ให้ความอนุเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการดำเนินการทดลองโครงการ

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 7 ที่ได้ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้มีพระคุณสูงสุดที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ



| | |
|-----------------------------|----------|
| คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม | |
| นายพิศนุชัย | พันธ์ภู |
| นางสาววราภรณ์ | แก้วแจ้ง |
| นางสาววิชราภรณ์ | อ่อนอยู่ |

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ง |
| สารบัญ..... | จ |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ซ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 1 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 1 |
| 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ..... | 1 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 2 |
| 1.6 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี..... | 4 |
| 2.1 ประเภทของขยะ..... | 4 |
| 2.2 เทคโนโลยีในการจัดการและกำจัดขยะ..... | 5 |
| 2.3 การผลิตพลังงานจากขยะ..... | 6 |
| 2.4 ทฤษฎีในการผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 8 |
| 2.5 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน..... | 9 |
| 2.6 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 11 |
| 2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 18 |
| 2.8 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ..... | 27 |
| 2.9 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้..... | 28 |
| 2.10 วิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์..... | 28 |
| 2.11 การสำรวจข้อมูลขยะวัดระพีภัฏทอง..... | 30 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ..... | 31 |
| 3.1 การเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์..... | 31 |
| 3.2 การทำงานของถังหมักก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic digester..... | 35 |
| 3.3 การหาค่าของแข็งแขวนลอย..... | 36 |
| 3.4 การหาค่าซีโอดีโดยวิธี Close Reflux..... | 37 |
| 3.5 การหาค่า Total Kjeldahl Nitrogen(TKN)..... | 38 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... | 40 |
| 4.1 ปริมาณก๊าซที่ได้จากการใส่ขยะอินทรีย์สังเคราะห์..... | 40 |
| 4.2 ค่าของแข็งแขวนลอย(Suspended Solids)..... | 42 |
| 4.3 ค่าซีโอดี(Cheical Oxygen Demand)..... | 43 |
| 4.4 เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี..... | 44 |
| 4.5 ค่าที่เคเอ็น(Kjeldahl nitrogen)..... | 45 |
| 4.6 อุณหภูมิ..... | 46 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 47 |
| 5.1 สรุปผล..... | 47 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 47 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 48 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 2 |
| 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ..... | 7 |
| 2.2 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอีออนบวก..... | 21 |
| 2.3 (ก) การเพิ่มความเข้มข้นของอีออนแต่ละชนิด..... | 21 |
| 2.3 (ข) การลดความเข้มข้นของอีออนแต่ละชนิด..... | 22 |
| 2.4 โลหะหนักที่พบได้ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ..... | 23 |
| 2.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถยับยั้งการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ..... | 23 |
| 2.6 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียอีออน..... | 24 |
| 2.7 ค่า ΔG° ในการรีดิวซ์ซัลเฟตและสร้างมีเทน..... | 25 |
| 2.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสัตว์หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ..... | 27 |
| 2.9 ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรในสภาพความดันอากาศปกติ..... | 29 |
| 2.10 ก๊าซชีวภาพ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าความร้อนเทียบกับ..... | 30 |
| 3.1 สัดส่วนขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมในถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 31 |
| 3.2 การเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ตามระยะเวลา..... | 33 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 2 |
| 2.1 องค์ประกอบของระบบ Anaerobic Covered Lagoon..... | 12 |
| 2.2 ตัวอย่างระบบ Anaerobic Covered Lagoon..... | 12 |
| 2.3 รูปแบบบ่อหมัก UASB..... | 13 |
| 2.4 บ่อหมักข้าแบบถั่งลอย Floating drum digester..... | 14 |
| 2.5 บ่อหมักบ่อหมักแบบโตมคงที่ Fixed drum digester..... | 15 |
| 2.6 บ่อหมักแบบ Anaerobic Fixed Film or Anaerobic Filter..... | 16 |
| 2.7 รูปแบบบ่อหมัก CSTR..... | 17 |
| 2.8 บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบแผ่นกั้น..... | 17 |
| 2.9 บ่อหมักแบบ Anaerobic Fluidized Bed..... | 19 |
| 2.10 องค์ประกอบขยะวัตตระพังทองเฉลี่ยต่อวัน..... | 30 |
| 3.1 การประกอบถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 32 |
| 3.2 การเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 32 |
| 3.3 การผสมขยะอินทรีย์สังเคราะห์..... | 33 |
| 3.4 ขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมในระบบต่อวัน..... | 34 |
| 3.5 ก๊าซที่เกิดในถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 34 |
| 3.6 ถังผลิตก๊าซชีวภาพ ท่อเติมอาหาร ท่อน้ำล้น ถังวัดปริมาตรก๊าซ..... | 35 |
| 4.1 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน..... | 40 |
| 4.2 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันในช่วงวันที่ 1-78..... | 41 |
| 4.3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันในช่วงวันที่ 78-130..... | 41 |
| 4.4 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ..... | 42 |
| 4.5 ค่าซีไอดีในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 43 |
| 4.6 เปอร์เซ็นการกำจัดซีไอดี..... | 44 |
| 4.7 ค่าที่เคเอ็นในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ..... | 45 |
| 4.8 อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิภายในถัง..... | 46 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันมีการใช้พลังงานในปริมาณมากตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลังงานนั้นมีอย่างจำกัด ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานทางเลือกหรือพลังงานมาทดแทน เช่น ก๊าซชีวภาพ ขยะชุมชน พลังงานลม และแสงอาทิตย์ เป็นต้น เป็นทางเลือกหนึ่งที่ดีการใช้พลังงานฟอสซิลซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาโลกร้อน และประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรม การปศุสัตว์และการค้าขายกันอย่างแพร่หลายส่งผลให้มีของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตร การปศุสัตว์และของเสียจากตลาดที่เหลือจากการนำไปแปรรูปอาหาร ในปริมาณที่มากในรูปของขยะอินทรีย์ บางครั้งมีการจัดการไม่ถูกวิธีส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างไรก็ตามของเสียดังกล่าวเป็นวัตถุดิบสำคัญในการแปรรูปเป็นก๊าซชีวภาพ

ตลาดของวัดตระพังทอง ตั้งอยู่ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมืองสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย เป็นชุมชนรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และเป็นสถานที่ท่องเที่ยว เป็นอีกสถานที่หนึ่งที่มีความสำคัญสร้างความประทับใจให้กับนักท่องเที่ยวให้ระลึกและกลับมาท่องเที่ยวอีกครั้ง ภาพลักษณ์อย่างหนึ่งของแหล่งท่องเที่ยวก็คือพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวที่เป็นบริเวณที่ปลอดภัย อีกทั้งในปัจจุบันในพื้นที่มีปริมาณขยะที่มีเพิ่มขึ้นและพื้นที่ในการฝังกลบมีอย่างจำกัด ส่งผลให้มีปริมาณของขยะอินทรีย์มากขึ้น ดังนั้นการจัดการขยะอินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อแก้ปัญหาขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังได้พลังงานทางเลือกที่เกิดจากก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์อีกด้วย

การวิจัยนี้จึงได้ทำศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารสังเคราะห์โดยใช้ระบบ Anaerobic digester แบบ low rate ซึ่งก๊าซชีวภาพจากระบบดังกล่าว คือ ก๊าซที่เกิดจากแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะแบบ Anaerobic (ไม่ใช้ออกซิเจน) โดยมีจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens (กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ(ก๊าซมีเทน)

โดยทำการทดลองถึงความเป็นไปได้ของการเกิดก๊าซชีวภาพในแบบจำลอง เพื่อนำไปใช้ในระบบจริงที่ตลาดวัดตระพังทอง ในการทดลองนี้จึงได้ใช้ขยะสังเคราะห์ซึ่งจำลองมาจากขยะอินทรีย์จากตลาดวัดตระพังทองมาใช้ อีกทั้งการนำขยะอินทรีย์มาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการลดปัญหาจากขยะที่เหลือจากตลาดและสามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกในกิจกรรมต่างๆของตลาดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อใช้เป็นแบบจำลองถึงผลิตก๊าซชีวภาพที่จะนำใช้กับตลาดวัดตระพังทอง

1.2.2 เพื่อศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้ขยะอินทรีย์สังเคราะห์จากตลาดชุมชนวัดตระพังทอง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

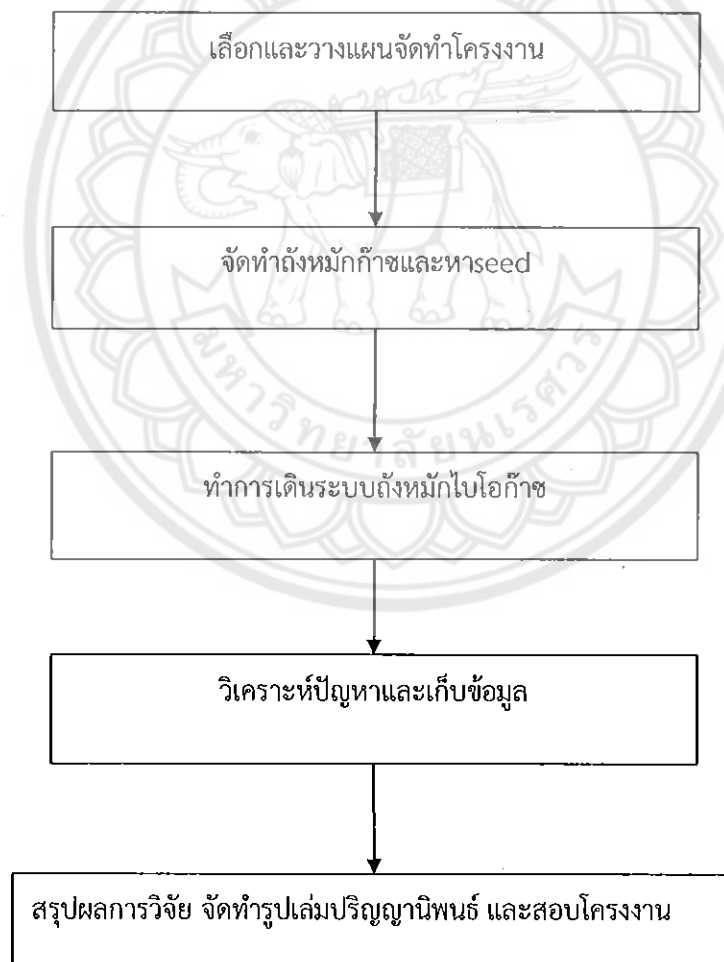
ได้รับความรู้เกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกและลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยใช้ระบบAnaerobic digester แบบ low rate มีการศึกษาดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพในขยะอินทรีย์สังเคราะห์
- 1.4.2 ศึกษาปริมาณค่า ซีไอดี ทีเคเอ็น ค่าของแข็งแขวนลอยจากระบบ
- 1.4.3 ศึกษาการเริ่มต้นระบบ Anaerobic digestion

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนดำเนินงาน

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาประเทศในหลายๆด้านทำให้มีการขยายตัวของประชากรและอุตสาหกรรมที่มากขึ้น เป็นเหตุให้มีขยะหรือของเสียที่ไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดและการลดปริมาณขยะ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงวิธีการจัดการและกำจัดขยะมากขึ้น เช่น การทำปุ๋ยหมัก การเผาในเตาเผาและการฝังกลบอย่างถูกวิธี เป็นต้น เพื่อลดปัญหาขยะที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1 ประเภทของขยะ

ขยะสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ 10 ประเภทดังนี้คือ

2.1.1 เศษอาหาร (Garbage) หมายถึง ขยะที่ได้จากห้องครัว การประกอบอาหาร รวมถึงพวกเศษใบตอง เศษผลไม้ และอาหารเหลือทิ้ง เป็นต้น ขยะประเภทนี้มีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการย่อยสลายบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็น มีความชื้นสูง เป็นปัญหาในการเก็บรวบรวม การขนถ่ายและก่อให้เกิดเหตุรำคาญในเรื่องกลิ่น การค้ำยของสัตว์และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค

2.1.2 ขยะที่ไม่เน่าเหม็น (Rubbish) หมายถึง ขยะจำพวกที่ไม่บูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นเหมือนอย่างประเภทแรกและมีความชื้นต่ำอาจจะเผาได้ เช่น เศษกระดาษ หรือเผาไหม้ไม่ได้ เช่น เศษแก้ว มูลฝอยประเภทนี้อาจจะเรียกว่ามูลฝอยแห้งก็ได้

2.1.3 เถ้า (Ashes) หมายถึง เศษที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จำพวกไม้ ถ่านหิน ซึ่งในประเทศที่มีอากาศร้อนจะมีปริมาณน้อยมาก ไม่ก่อให้เกิดปัญหามากเท่ากับประเทศในแถบที่มีอากาศหนาวที่ต้องใช้ความร้อนช่วยในการให้ความอบอุ่น ซึ่งใช้เชื้อเพลิงมากทำให้เกิดเถ้าขึ้น

2.1.4 ขยะจากถนน (Street Sweepings) หมายถึง เศษสิ่งของต่างๆ ที่ได้จากการกวาดถนน ขยะประเภทนี้ส่วนมากจะเป็นพวกเศษกระดาษ เศษสินค้า เศษดิน เศษหิน อาจรวมถึงพวกซากสัตว์ด้วยเป็นบางครั้ง

2.1.5 ซากสัตว์ (Dead Animals) หมายถึง สัตว์ที่ตายตามธรรมชาติ ตายด้วยอุบัติเหตุหรือตายด้วยโรคต่างๆ แต่ไม่รวมถึงสัตว์หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของสัตว์ที่ทิ้งจากโรงงานฆ่าสัตว์เนื่องจากเป็นโรคหนองพยาธิ ซากสัตว์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.1.6 ซากรถยนต์ (Abandoned Cars) หมายถึง รถยนต์หรือส่วนใดส่วนหนึ่งของรถยนต์ที่ไม่ใช้แล้ว ถ้าปล่อยทิ้งไว้ทำให้ไม่น่าดูต้องนำไปดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง

2.1.7 ขยะจากโรงงาน (Industrial Refuse) หมายถึง ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งโรงฆ่าสัตว์ด้วย มูลฝอยประเภทนี้ขึ้นอยู่กับโรงงาน ถ้าโรงงานผลิตสินค้าอาหาร มูลฝอยก็เป็นพวกอาหาร

2.1.8 เศษวัสดุก่อสร้าง (Construction Refuse) หมายถึง เศษวัสดุต่างๆ ที่ได้จากการก่อสร้างหรือรื้อถอนอาคารบ้านเรือน รวมถึงสิ่งที่เหลือจากการตกแต่งอาคารบ้านเรือนด้วย

2.1.9 ตะกอนจากน้ำโสโครก (Sewage Solid) หมายถึง ของแข็งหรือตะกอนที่ได้จากการแยกตะกอนออกจากกระบวนการปรับปรุงสภาพน้ำทิ้ง รวมถึงตะกอนจากการลอกท่อระบายน้ำ สาธารณะต่างๆ ซึ่งส่วนมากจะเป็นพวกเศษหิน ดิน ทราย ไม้ สามารถนำไปถมที่ลุ่มได้ ยกเว้นตะกอนที่ได้จากถังเกรอะ เพราะตะกอนพวกนี้มีแบคทีเรียปะปนอยู่มาก

2.1.10. ขยะที่เป็นอันตราย (Hazardous or Special Refuse) หมายถึง ขยะที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาในการเก็บขน การกำจัด ตลอดจนการจับต้อง เช่น กระจกที่มีการอัดลม ขยะที่ได้จากโรงพยาบาลต่างๆ สารกัมมันตรังสี เป็นต้น ขยะประเภทนี้ต้องได้รับการดูแลระมัดระวังเป็นพิเศษในการเก็บขนและการกำจัด

2.2 เทคโนโลยีในการจัดการและกำจัดขยะ

ขยะมูลฝอยตกค้างก่อปัญหาสิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน ประเทศไทยจึงได้มีความสนใจเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์จากของเสียและของเหลือใช้มากยิ่งขึ้น เห็นได้จากการซื้อขายแลกเปลี่ยนของเสียหรือของเหลือใช้ประเภท กระดาษ เศษแก้ว เศษโลหะ พลาสติก เพื่อนำไปหลอมและผลิตขึ้นมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นผลดีกับทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

การนำของเหลือใช้น่ากลับมาใช้ใหม่นั้นต้องใช้เทคโนโลยีหลายวิธี การเลือกใช้วิธีต่างๆจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสิ่งต่างๆ หลายประการด้วยกัน กล่าวคือ

- สถานะของวัสดุที่เป็นของเหลือใช้ว่าเป็นของแข็ง ของเหลว หรือกึ่งของเหลว
- ความเข้มงวดของกฎหมายควบคุมสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ
- ตลาดรองรับผลิตภัณฑ์หรือผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้เช่น ปุ๋ยหมัก อาหารสัตว์ ฯลฯ
- การจัดการที่ดินที่สามารถนำมาใช้ในงานนี้ได้
- สภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ สภาพดิน สภาพน้ำที่ต้องการใช้และแหล่งน้ำที่ใช้
- ความรู้และความเข้าใจเทคโนโลยีนั้นของผู้ใช้

ปัญหาจากการเก็บขยะและการกำจัดที่ไม่ทั่วถึง ไม่สามารถกำจัดได้หมด ทำให้เกิดปริมาณตกค้างของขยะเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นปัญหาสังคม ระบบการกำจัดขยะที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ 7วิธี ได้แก่

2.2.1 การย่อยสลายตามธรรมชาติ (Composting) เป็นการนำขยะประเภทอินทรีย์วัตถุไปรวมกันไว้ แล้วปล่อยให้ถูกสลายเองตามธรรมชาติ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลา การกำจัดด้วยวิธีนี้มีปัญหาคือการแยกขยะอินทรีย์วัตถุออกจากขยะประเภทอื่นที่ไม่สามารถย่อยสลายเองได้อีก ทั้งต้องการใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะที่กว้างมาก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการขยายพื้นที่และพื้นที่ที่ดินหายากราคาแพง

2.2.2 การนำขยะไปทิ้งตามธรรมชาติ (Open dumping) เป็นการนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติบนพื้นที่ว่างไม่เป็นที่รบกวนผู้ที่อยู่ใกล้เคียง ไม่เป็นการแพร่กระจายของเชื้อโรค การกำจัดขยะด้วยวิธีนี้เป็นที่แพร่หลายมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันที่ดินราคาแพงและพื้นที่สาธารณะว่างเปล่าก็ไม่เหลืออีกต่อไป ในระยะยาววิธีการนี้ค่อยๆหมดไป ไม่สามารถกระทำได้อีก เพราะข้อจำกัดเรื่องที่ดินและความไม่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม

2.2.3 การนำไปทิ้งทะเล การนำขยะไปทิ้งทะเลนิยมกระทำกันในประเทศต่างๆ เนื่องจากทะเลเป็นแหล่งที่ทับถมของสิ่งปฏิกูลตามธรรมชาติอยู่แล้ว ในสหรัฐอเมริกา นำขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม สารพิษต่างๆ กากสารกัมมันตรังสีไปทิ้งทะเล ซึ่งการปรากฏว่าได้ทำให้เกิดการแพร่กระจายสู่ระบบนิเวศทางทะเลทำให้สถาบันป้องกันสารพิษต้องออกกฎหมายห้ามนำสารพิษบางประเภทไปทิ้งทะเล

2.2.4 การนำไปเป็นอาหารสัตว์ เป็นการแยกขยะส่วนที่เป็นพวกเศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ไปแปรรูปเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ แต่ข้อเสียในการนำขยะพวกเศษอาหารไปเลี้ยงสัตว์นั้นอาจทำให้

เกิดอันตรายแก่สัตว์และผู้บริโภคเนื้อสัตว์นั้นได้ หากในเศษอาหารมีเชื้อโรคปะปนอยู่ ดังนั้นจึงควรนำไปผ่านกระบวนการความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนการทำอาหารสัตว์

2.2.5 การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle and Reuse) ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันจากอาคาร บ้านเรือนและสถานที่ทำงานต่างๆ เป็นจำนวนมากนั้น ความจริงยังมีสิ่งของบางอย่างที่อาจไม่มีประโยชน์กับบุคคลหนึ่งแต่อาจเป็นสิ่งที่มีความต้องการของผู้อื่นได้ เช่น กระจาดทุกชนิดสามารถนำกลับมาทำเป็นกระจาดใหม่ได้เท่ากับเป็นการลดต้นทุนการผลิตกระจาดได้ส่วนหนึ่ง การนำวัตถุที่ทิ้งแล้วกลับมาใช้ใหม่นั้นเป็นผลดีทั้งในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่วิธีการคัดแยกสิ่งที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ก่อให้เกิดความล่าช้าในการขนถ่ายขยะ เกิดความสกปรกในบริเวณที่คัดแยกและผู้คัดแยกเองมักจะได้รับเชื้อโรคจากกองขยะด้วย

2.2.6 การฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เป็นการนำขยะไปทิ้งรวมกันแล้วใช้ดินกลบทับกองขยะอีกทีหรือบางแห่งอาจใช้วิธีอัดขยะให้เป็นก้อนเล็กกลบแล้วจึงนำไปทิ้งและกลบด้วยดินในภายหลัง การใช้วิธีนี้ต้องระวังในเรื่องน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน จะเกิดการเน่าเสียถ้าบริเวณที่ฝังกลบเป็นที่ลุ่มต่ำ จึงต้องปรับปรุงให้วิธีการกลบฝังไม่ให้น้ำซึมผ่านสู่บริเวณที่ทิ้งขยะลงได้

2.2.7 การสร้างโรงงานเผาขยะ (Incineration) การนำขยะที่เก็บมาได้ไปเผาในโรงงานที่จัดการสร้างขึ้นโดยใช้ความร้อนสูงประมาณ 1,700-1,800 องศาฟาเรนไฮต์จะทำให้ขยะถูกทำลายเหลือเพียงขี้เถ้าเป็นการลดปริมาตรขยะได้ถึงร้อยละ 75-95 นับเป็นวิธีที่สามารถกำจัดขยะได้มากเพียงแต่ต้องนำขี้เถ้าที่เหลือไปทิ้งในบริเวณที่จัดเตรียมไว้ต่อไป

2.3 การผลิตพลังงานจากขยะ

การผลิตพลังงานจากขยะเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดขยะ โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ การกำจัดโดยวิธีการเผา ซึ่งให้พลังงานความร้อนและการกำจัดขยะโดยวิธีการฝังกลบ ซึ่งหากจัดการอย่างเหมาะสมจะสามารถนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ด้วยพลังงานได้เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานจากขยะในปัจจุบันสามารถจำแนกเป็น 3 วิธี คือ

2.3.1 การเผาขยะในเตาเผา (Incineration) การเผาขยะในเตาเผาอาศัยลักษณะและคุณสมบัติของขยะที่สามารถติดไฟได้ในเตาเผา โดยใช้อากาศและ/หรือเชื้อเพลิงเสริมภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม ขึ้นกับรูปแบบและขนาดของเตาเผาแต่ละประเภท ผลที่ได้จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ ความร้อน ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการผลิตน้ำร้อนและไอน้ำ

2.3.2 การฝังกลบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพจากขยะ (Landfill gas, LFG) เกิดจากการฝังกลบขยะอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) อินทรีย์สารจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียหลายชนิดในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยทำให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น โดยทั่วไปจะได้ก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60 และที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของขยะว่ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สารใดมาก ค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซก่อนข้างต่ำ คือประมาณ 400-600 BTU/ลูกบาศก์ฟุต หรือประมาณ 3,500-5,200 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร จากค่าความร้อนของก๊าซ LFG จึงสามารถนำก๊าซ LFG มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น

- เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Engine)
- เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง เช่น ใช้หุงต้ม เผาอิฐหรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ใกล้เคียงและหากปริมาณมากอาจนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้

2.4.3 การผลิตเชื้อเพลิงแห่งจากขยะ (Refuse Derive Fuel, RDF) การผลิตเชื้อเพลิงแห่งขยะ (RDF) ใช้หลักการของการอัดก้อนโดยนำขยะมาแยกวัสดุที่ไม่เผาไหม้ออก ส่วนขยะที่เผาไหม้ได้จะถูกส่งเข้าเครื่องบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วส่งเข้าเครื่องอัดให้เป็นเชื้อเพลิงแห่ง ซึ่งจะสามารถนำเชื้อเพลิงแห่งขยะไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหรือหม้อผลิตไอน้ำได้ ปัจจุบันประเทศสวีเดนมีการใช้ RDF เป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อน (Co-generation system)

นอกจากการผลิตพลังงานจากขยะด้วยเทคโนโลยีต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การคัดแยกขยะที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูงมาย่อยสลายโดยตรงในสภาวะไร้ออกซิเจนก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ เช่น กระบวนการย่อยสลายมูลฝอยโดยไม่ใช้ออกซิเจนของสำนักงานโครงการแปรรูปมูลฝอยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งจะใช้มูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกจากกระบวนการคัดแยกมาย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วนำเข้าสู่ถั่วเตรียมมูลฝอยอินทรีย์ (Feed Preparation) เพื่อผสมกับน้ำอุ่นให้มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) ประมาณร้อยละ 15 และปรับอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 35 องศาเซลเซียส โดยมูลฝอยอื่นที่ปะปนเข้ามาด้วยจะถูกกำจัดออกไปก่อนที่จะบ่มของผสมเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Bio reactor) กระบวนการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องในถังหมักก็คือการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายประมาณ 15-20 วัน ผลที่ได้จากกระบวนการคือ ตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายและก๊าซชีวภาพ ตะกอนที่เกิดขึ้นจะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Hygienization) การรีดน้ำ การปรับปรุงคุณภาพและการบรรจุหีบห่อส่วนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการจะส่งเข้าไปรวบรวมนำในถังเก็บเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Gas Engine Generation) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

ก๊าซชีวภาพคือ ก๊าซที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะแบบ Anaerobic (ไม่ใช้ออกซิเจน) โดยมีจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens (กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่งโดยมีส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 2.1

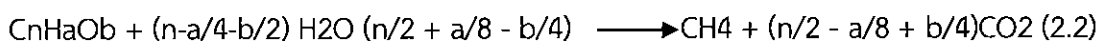
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

| ชนิด | ปริมาณ (%) |
|--|------------|
| มีเทน | 50 - 70 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 30 - 50 |
| อื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไอน้ำ | เล็กน้อย |

ที่มา eiamburapa.com/data.php?name=news&file=readnews&id=

2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่แสดงในสมการ (Buswell และ Mueller, 1952)



ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ

2.4.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนแรกซึ่งสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Organic Compound) ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะถูกย่อยสลายทำให้เป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่าย ๆ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งจะถูกลดสลายโดยเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากแบคทีเรียพวก hydrolytic Organisms ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ช้าโดยเฉพาะถ้ามีไขมันหรือสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่อยู่มาก และในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดปริมาณของค่าซีไอดีของน้ำเสียลง

2.4.2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

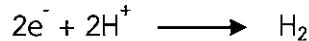
เป็นขั้นตอนเปลี่ยน Hydrolysis product ให้เป็นกรดไขมันและแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ในขั้นตอนนี้ สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ถูกสร้างขึ้นมาในตอนแรก จะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของแบคทีเรียพวก Facultative และ Obligate anaerobic โดยกระบวนการหมัก (Fermentation) ผลของปฏิกิริยาของกระบวนการหมัก มีทั้งอยู่ในรูปออกซิไดซ์ และรีดิวซ์ ในรูปออกซิไดซ์ ส่วนใหญ่จะเป็นกรดที่ระเหยง่าย (Volatile acid) เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) แบคทีเรียกลุ่มนี้เติบโตได้รวดเร็วมี Minimum Doubling Time ประมาณ 30 นาที ส่วนผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์มีอยู่หลายอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและตัวรับอิเล็กตรอน เช่น เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanol) บิวทานอล (Butanol) หรือกรดแลคติก (Lactic acid) เป็นต้น และนอกจากนี้แบคทีเรียจำพวก Acetogenic bacteria ยังสามารถสร้างกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนได้จากกรดระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่กว่ากรดอะซิติก หรือผลปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์ตัวอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาตอนแรก การย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถเกิดได้ 2 ที่คือ

2.4.2.1 การย่อยสลายภายนอกเซลล์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์นี้จะเกี่ยวข้องกับแบคทีเรียพวก Fermentative Bacteria ซึ่งจะปล่อยเอนไซม์ออกจากเซลล์ เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และลิวติฟิเคชัน กับสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้อยู่ในรูปที่เซลล์ของแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ ตัวอย่างเช่น โปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน, กลูโคส และกรดไขมันตามลำดับ

2.4.2.2 การย่อยสลายภายนอกเซลล์

สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ผ่านการย่อยภายนอกเซลล์มาแล้ว จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียเพื่อทำการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งผลสุดท้ายจะได้กรดระเหยง่ายโมเลกุลต่ำ เช่น พวกกรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก เป็นต้น ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดกรดเรียกว่าแอซิโดเจนิซิส (Acidogenesis) การย่อยสลายในขั้นตอนที่ทำให้เกิดกรดนี้ จะไม่มีการลดภาวะสารอินทรีย์ของน้ำเสีย นอกจากมีการสร้างไฮโดรเจน เนื่องจากอิเล็กตรอนในสารอินทรีย์จะถูกส่งให้กับสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่ในน้ำเสีย แต่เมื่อมีการสร้างไฮโดรเจน อิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับไฮโดรเจนไอออนเปลี่ยนเป็นก๊าซออกจากระบบ ทำให้สภาวะออกซิเดชันลดลง ซึ่งเป็นการลดภาวะสารอินทรีย์ ดังสมการต่อไปนี้



2.4.3 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนนี้แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane Producing Bacteria) จะทำหน้าที่ย่อยสลายผลผลิตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดภาวะสารอินทรีย์และได้ก๊าซมีเทนขึ้นมีกลไกการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่จะมาจากปฏิกริยาชีวเคมีของการย่อยสลายกรดอะซิติกดังสมการ



นอกจากนี้ยังมีก๊าซมีเทนเกิดมาจากปฏิกริยาชีวเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ พลังงานที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ประมาณ 90% จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทน หรือประมาณได้ว่า 1 กิโลกรัมของชีโอดีที่ถูกกำจัดจะให้ก๊าซมีเทน 0.31 – 0.44 ลูกบาศก์เมตร โดยมีสัดส่วนมีเทนในรูปก๊าซชีวภาพประมาณ 60–75%

2.5 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายแต่ละขั้นตอนอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แต่ละพวกซึ่งแตกต่างกันไป โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 4 กลุ่ม ดังนี้

2.5.1 Hydrolytic Bacteria

แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนกลุ่มนี้ ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน เซลลูโลส ลิกนิน และไขมัน ไปเป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กลูโคส และกลีเซอรอล การย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ถูก catalyzed โดย extracellular enzyme เช่น ไลเปส โปรตีเอส และเซลลูเลส การย่อยสลายขั้นตอนนี้เป็นไปได้ช้าและมีข้อจำกัดในการย่อยสลายของเสียบางประเภท เช่น ของเสียจากพวกเซลลูโลส (cellulolytic waste) ที่มีลิกนินเป็นองค์ประกอบ

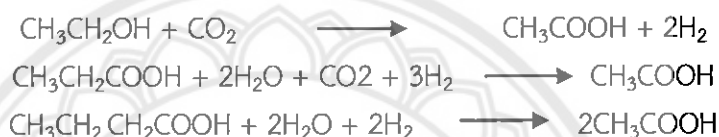
2.5.2 Fermentative Acidogenic Bacteria

Acidogenic หรือ acid forming bacteria ย่อยสลายน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันไปเป็นกรดอินทรีย์ อะซิเตท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน อะซิเตทเป็นผลิตภัณฑ์หลักของการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต รูปแบบของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงตามชนิดของแบคทีเรียและสภาวะที่เชื้อเจริญ เช่น อุณหภูมิ พีเอช และ redox potential

2.5.3 Acetogenic Bacteria หรือ acetate-H₂ producing bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้ย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอะซิเตท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจน (H₂ partial pressure) ต่ำในการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แต่ที่ภายใต้สภาวะที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนสูงทำให้การเกิดอะซิเตทลดลง และสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรโออิก บิวทีริก และเอทานอลมากกว่ามีเทน ทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์มากขึ้น ค่าพีเอชของระบบลดลง เกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ Methanogens แต่ในทางกลับกัน Acetogenic Bacteria และ Methanogens มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis relationship) Methanogens ทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ ทำให้มีค่าความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำเหมาะสมต่อการทำงานของ Acetogenic Bacteria

การย่อยสลาย เอทานอล ไพโรไพโออิก และบิวทีริก ได้เป็นกรดอะซิติกโดย Acetogenic Bacteria เป็นดังสมการ



2.5.4 Methanogenic Bacteria

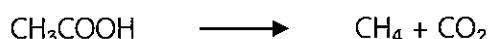
การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ทำให้เกิดมีเทนเกิดขึ้น 500-800 ล้านตันต่อปี ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ Methanogenic Bacteria ที่เกิดในธรรมชาติพบในชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลอง หรือในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ cell envelop ของแบคทีเรีย ในแบคทีเรียชนิดแกรมบวกมี pseudomurein, methanochondroitin และ heteropolysaccharide ส่วนเซลล์แบคทีเรียชนิดแกรมลบมีชั้นผิวเป็นไกลโคโปรตีน มีรูปร่างหลายรูปแบบเช่น spherical, lobed, spiral, plate หรือ rod เจริญเติบโตได้ช้า ระยะเวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า อยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 วัน (ที่ 35 องศาเซลเซียส) ถึง 50 วัน (ที่ 10 องศาเซลเซียส) Methanogenic Bacteria แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ

2.5.4.1 Hydrogenotrophic Methanogens หรือ hydrogen utilizing chemolithotrophs เปลี่ยนไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นมีเทน



Methanogens กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญ โดยช่วยคงสภาวะของระบบให้มีระดับความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ ซึ่งจำเป็นสำหรับการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ไปเป็นอะซิเตท

2.5.4.2 Acetotrophic Methanogens หรือ acetate splitting bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



Methanogens กลุ่มนี้แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ Methanosarcina sp. และ Methanothrix sp. การย่อยสลาย lignocellulosic waste ในช่วง thermophilic (58 องศาเซลเซียส) พบว่าใน 4 เดือนแรก Methanosarcina sp. เป็น acetotrophic bacteria หลักที่พบมากในถังปฏิกรณ์ต่อมา Methanosarcina sp. (μ_{max} 0.3 ต่อวัน; K_s = 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถูกแทนที่โดย Methanothrix sp. (μ_{max} 0.1 ต่อวัน; K_s = 30 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งสมมติฐานได้ว่าเป็นผลเนื่องจาก Methanothrix sp. มีค่า K_s ของอะซิเตทต่ำ กว่า ประมาณ 2 ใน 3 ของมีเทนที่เกิดขึ้นในถัง

ปฏิกรณ์ เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตทโดย Acetotrophic Methanogens และ 1 ใน 3 เป็นผลของ ปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดย Hydrogenotrophic Methanogens (Mackie and Bryant, 1981) ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของมีเทนได้มาจากกรดอะซิติกที่แปรรูปโดย Acetotrophic Methanogens ส่วนที่เหลือเป็นผลมาจากการรีดักชันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดย ไฮโดรเจน (Mackie and Bryant, 1981) ซึ่งสอดคล้องกับที่ McCarty (1984a) ได้เคยศึกษาและ พบว่ามีเทนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 72 ได้มาจากกรดอะซิติก และอีก ร้อยละ 28 ได้มาจากกรดโพสไฟฟอนิกและกรดระเหยง่ายอื่นๆ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายในขั้นตอนการสร้างกรด จะไม่ค่อย แพร่กระจายออกนอกระบบ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีลักษณะสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้ ง่าย ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ในระบบที่เกิดจากปฏิกิริยาของแอมโมเนีย จาก การย่อยสลายโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ไฮดรอกไซด์ไอออนจากการย่อยสลายโปรตีนเมื่อทำ ปฏิกิริยากับน้ำจะได้ไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการ



การทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮดรอกไซด์ไอออนในระบบจะเกิดไบคาร์บอเนต ซึ่งจะทาปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ไฮโดรเจน (hydrogen utilizing methane bacteria) เกิดเป็นก๊าซมีเทน ดังแสดงในสมการ



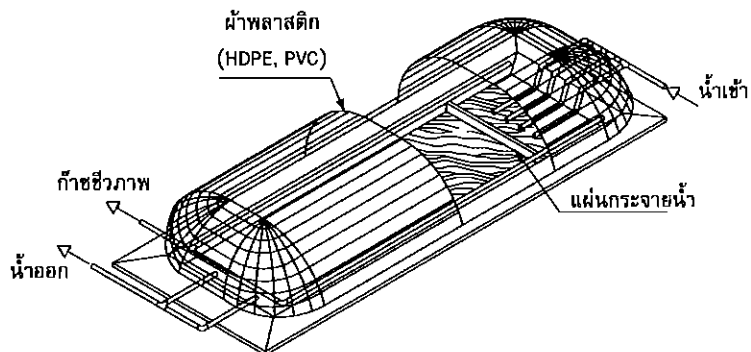
ในกระบวนการสร้างมีเทนนี้ เป็นขั้นตอนที่ไวต่อการถูกยับยั้ง เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจน แต่มีอัตราการเติบโตค่อนข้างช้าและมีความสามารถในการทน ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น พีเอชและอุณหภูมิ ต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดมาก แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนเติบโตได้ดีที่สภาพค่า Redox Potential ประมาณ -300 มิลลิโวลต์ ค่าพี เอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการเกิดก๊าซมีเทนของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน คือ 6.8 – 7.2 และจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชได้ในช่วง 6.5-7.5 (Diaz et al., 1993) ในขณะที่แบคทีเรีย กลุ่มสร้างกรดมีช่วงค่าพีเอชเหมาะสมที่กว้างกว่า คือ มีค่าพีเอชประมาณ 5.3-6.3

2.6 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

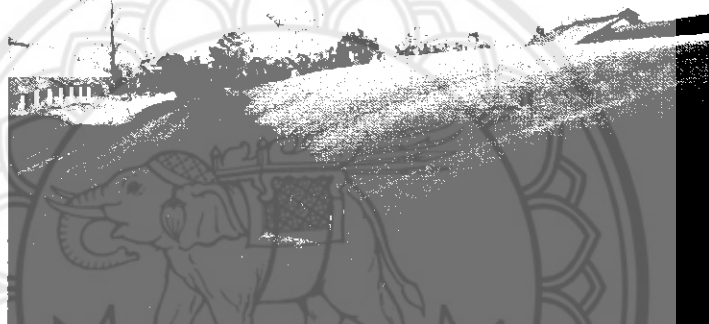
ในธรรมชาตินั้นการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นเกิดในบ่อที่มีการหมัก ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ไร่นาข้าว ที่มีน้ำท่วมขัง ในเปลือกไม้ที่อับชื้น ใต้ท้องทะเลลึก เป็นต้น ในสภาวะที่กล่าวมาในขั้นต้นนั้นเป็น กระบวนการที่เกิดในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับที่กำหนดโดยธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ว วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสม ให้ แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็ว ตามที่ต้องการ ประเภทของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้ ได้แก่

2.6.1 ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic Ponds) ซึ่งเป็นบ่อที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากค่าใช้จ่ายถูกสุด แต่มีข้อเสียคือเกิดกลิ่นเหม็นรบกวน และใช้พื้นที่มาก

2.6.2 ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoons) เป็นระบบที่ ดัดแปลงมาจากระบบบ่อไร้อากาศ โดยมีการคลุมคลุมบ่อเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและ นำไปใช้ ประโยชน์ ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวนและสามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบ Anaerobic Covered Lagoon



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างระบบ Anaerobic Covered Lagoon

2.6.3 ระบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) โดยทั่วไปมักเป็นถังเหล็กหรือถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในถังมีการกวนผสมอย่างทั่วถึงเพื่อให้สารอาหารสัมผัสกับแบคทีเรียอย่างเต็มที่ แต่ข้อเสีย คือ things that leak out from the tank will have bacteria that leak out with it, making the system less effective.

2.6.4 ระบบแอนแอโรบิกคอนแทค (Anaerobic Contact) ระบบนี้เป็นระบบที่พัฒนาจากระบบกวนสมบูรณ์ คือมีการนำน้ำที่ไหลออกจากระบบกวนสมบูรณ์ไปแยกตะกอนออกโดยใช้ถังตกตะกอน แล้วสูบน้ำกลับเข้าสู่ถังกวนสมบูรณ์เพื่อทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

2.6.5 ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ระบบนี้จะมีการใส่ตัวกลางซึ่งมักเป็นพลาสติก เพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะติด ไม่ไหลออกไปจากถังผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อน้ำไหลออก นอกจากนี้ระบบนี้จะทำให้ปริมาณของแบคทีเรียในระบบมีมาก สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี

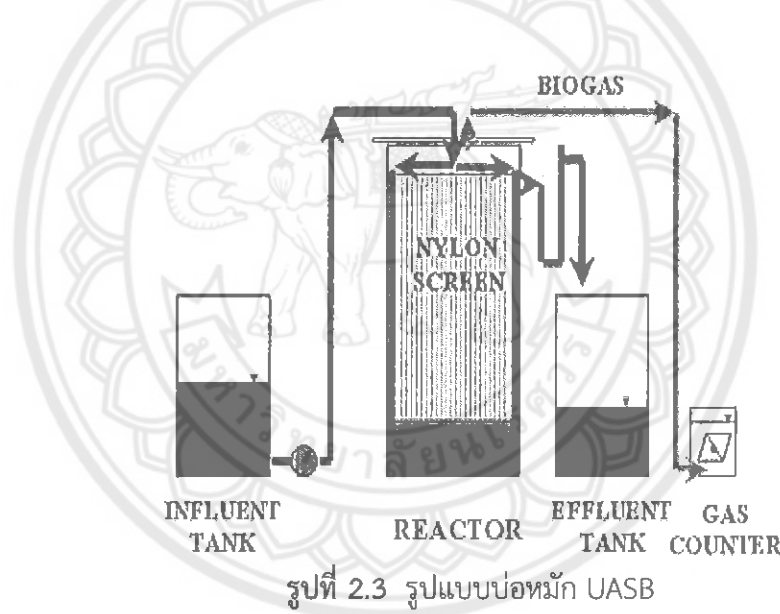
2.6.6 ระบบยูเอเอสบี (UASB) ระบบนี้เป็นที่นิยมอย่างมากทั่วโลก แบคทีเรียในระบบจะรวมตัวจับกันเป็นเม็ดคล้ายกับเม็ดแมงลัก ขนาด ๐.๔ - ๒ มิลลิเมตร การรวมตัวของแบคทีเรียปริมาณมาก (ซึ่งแต่ละเซลล์มีขนาดเพียงประมาณ ๐.๐๐๑ มม.) ทำให้ตะกอนเม็ดจมน้ำและสะสมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้มาก ทำให้ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี

ข้อดี

- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง
- ไม่มีปัญหาการอุดตัน (Clogging) ของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากแบคทีเรียจะรวมตัวกันเป็นเม็ดที่แน่นและตกตะกอนได้ดี
- สามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการ และพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิม ในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ข้อเสีย

- น้ำเสียป้อนเข้าระบบมีสารแขวนลอยต่ำ
- การสร้างเม็ดตะกอนทำได้ยาก เนื่องจากต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะด้อยประสิทธิภาพ
- ต้องการระบบป้อนน้ำเสีย และ GSS ที่มีประสิทธิภาพสูง
- ควบคุมดูแลยาก เนื่องจากต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียให้เหมาะสม (ต้องใช้เวลาในการเดินระบบ Start Up) นาน
- ต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการกวน



2.6.7 ระบบอีจีเอสบี (EGSB) ระบบนี้พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบยูเอเอสบี เพื่อให้สามารถทำงาน ได้ดีขึ้น โดยเน้นที่การสัมผัสและการถ่ายเทมวลสารระหว่างแบคทีเรียและสารอาหารที่ดีขึ้น แต่ระบบนี้ก็ต้องการการออกแบบและดูแลที่ดีขึ้นเช่นกัน

2.6.8 ระบบย่อยสลดัดจ์แบบราง (Plug Flow Digester) มักนิยมใช้ในฟาร์มหมู ซึ่งมีสารแขวนลอยสูง

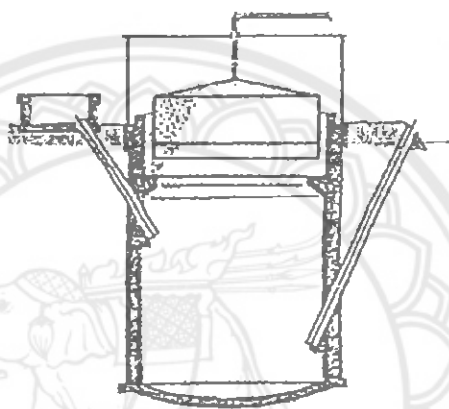
2.6.9 ป้อหมักข้าแบบถังลอย (Floating drum digester)

ป้อหมักชนิดนี้เป็นรูปแบบที่นำมาจากประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นแบบแรกๆ ที่มีการนำมาก่อสร้างในประเทศไทย เป็นป้อขนาดเล็ก เป็นป้อแบบสองชั้น และป้อแบบชั้นเดียว ป้อหมักมีถังโลหะหรือไฟเบอร์กลาสครอบอยู่ด้านบน ถังโลหะหรือไฟเบอร์กลาสนี้เป็นตัวเก็บก๊าซและสามารถเพิ่มแรงดันก๊าซได้ โดยการเพิ่มน้ำหนักด้านบนถังโลหะหรือไฟเบอร์กลาส เนื่องถังครอบเป็นโลหะหรือไฟเบอร์กลาส การก่อสร้างป้อขนาดใหญ่จึงทำได้ยาก มีการคิดประยุกต์ป้อหมักหลายๆ ป้อ ควบคู่กันหรือ

ใช้ถังซีเมนต์แล้วปิดฝาตายตัว จากนั้นต่อท่อนำก๊าซมายังถังโลหะซึ่งคว่ำอยู่ในบ่อที่ใส่น้ำอีกบ่อหนึ่ง ให้ถังโลหะหรือไฟเบอร์กลาสทำหน้าที่เป็นถังเก็บก๊าซ อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถังเก็บก๊าซ และการบำรุงรักษา บ่อหมักข้าวแบบถังลอยนี้เป็นแบบแรกที่มีการนำเข้ามาใช้ โดยเริ่มสนับสนุนอย่างจริงจังตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2503 ผ่านหน่วยงานต่างๆ ของรัฐ เช่น กรมอนามัย กรมประชาสงเคราะห์ กรมส่งเสริมการเกษตร เป็นต้น เพื่อแก้ไขปัญหาสาธารณสุขและพลังงานชุมชนเป็นหลัก แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากระบบที่สร้างส่วนใหญ่ใช้งานไม่ได้ บ่อหมักนี้เหมาะสมสำหรับหมักมูลสัตว์จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ หรือเศษอาหารจากโรงอาหาร ตลาดเล็กๆ เป็นต้น

ข้อดี บ่อชนิดนี้เป็นบ่อก๊าซที่ไม่สลับซับซ้อน เกษตรกรที่มีความสามารถทางงานปูนสามารถก่อสร้างเองได้ การดูแลรักษาง่าย ใช้พื้นที่น้อย และการลงทุนไม่สูงนัก

ข้อเสีย พื้นที่เก็บกักก๊าซชีวภาพน้อย และได้แรงดันก๊าซชีวภาพที่ต่ำมาก



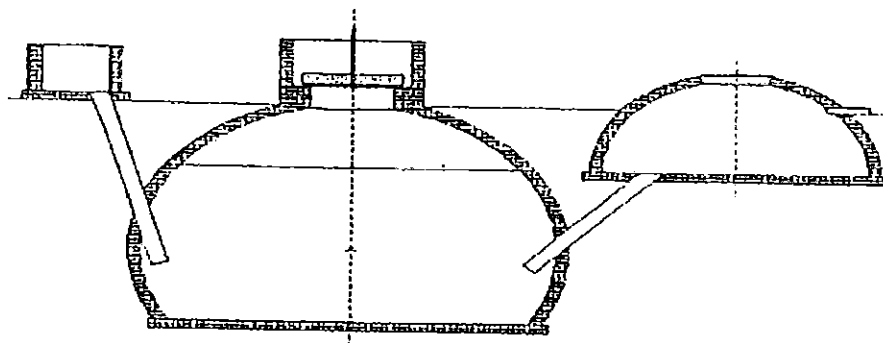
รูปที่ 2.4 บ่อหมักข้าวแบบถังลอย (Floating drum digester)

2.6.10 บ่อหมักแบบโดมคงที่ (Fixed drum digester)

บ่อหมักแบบนี้รูปแบบและการทำงานมาจากประเทศจีน เป็นบ่อหมักที่มีลักษณะเป็นโดมฝังอยู่ใต้ดิน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ บ่อเติม บ่อหมัก และบ่อล้น หลักการทำงานคือ น้ำเสียจากโรงเรือนจะถูกส่งมายังบ่อเติมผ่านรางคอนกรีตโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงและการไหลลงสู่บ่อหมัก น้ำเสียดังกล่าวจะถูกย่อยสลายเกิดก๊าซชีวภาพ และลอยตัวไปยังส่วนเก็บก๊าซซึ่งอยู่ส่วนบน และจะต่อกับท่อเพื่อนำก๊าซที่เกิดขึ้นไปใช้งาน ของเสียหลักจากการหมักจะตกตะกอนลงสู่ก้นถังหมัก และส่วนที่ลอยตัวอยู่ในน้ำมูลสัตว์หลักผ่านการหมักแล้วจะไหลล้นออกไปยังบ่อล้น และไหลไปยังระบบชั้นหลังต่อไป

ข้อดี ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์ม เนื่องจากถังหมักถูกฝังอยู่ใต้ผิวดิน ง่ายต่อการระบายน้ำมูลสัตว์ไปยังโรงเรือนจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักที่ฝังอยู่ใต้ดิน ง่ายต่อการระบายน้ำมูลสัตว์จากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง และเนื่องจากตัวบ่อหมักจะฝังอยู่ใต้ดิน ดังนั้น ดินที่อยู่รอบๆ บ่อหมักจะช่วยป้องกันการแตกร้าวของบ่ออันเนื่องจากแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้น และอุณหภูมิภายในบ่อหมักคงที่ ทำให้การหมักของมูลสัตว์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

ข้อเสีย ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูง การทำงานและการสร้างบ่อค่อนข้างยากลำบาก และในสวนบริเวณส่วนโค้งของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูง



รูปที่ 2.5 ป่อหมักบ่อหมักแบบโดมคงที่ (Fixed drum digester)

2.6.11 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film or Anaerobic Filter)

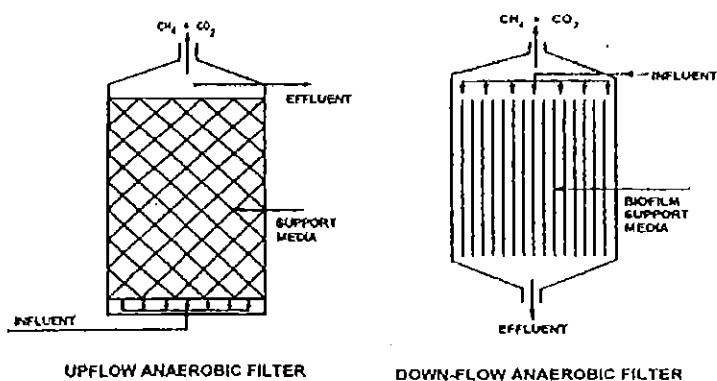
ถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มมีลักษณะเด่นที่มีการบรรจุวัสดุตัวกลางอย่างเป็นระเบียบมีระยะห่าง (Orderly Pack) มีการไหลของน้ำเสียสม่ำเสมอ โดยวัสดุตัวกลางที่ใช้ เช่น เชือกไนลอน ตาข่าย เป็นต้น โดยการบรรจุวัสดุตัวอย่างลักษณะนี้ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตแบบเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศมีทั้งที่เจริญเติบโตแบบเกาะบนผิววัสดุตัวกลางแต่ส่วนใหญ่เจริญเติบโตแบบแขวนลอยอยู่ในสารละลายระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง ดังนั้น เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นจุลินทรีย์คล้ายการกรองจึงเรียกถังแบบนี้ว่า ถังกรองไร้อากาศ นอกจากนี้การจัดเรียงวัสดุที่แตกต่างกันยังส่งผลถึงการทำงานและเสถียรภาพของระบบในระยะยาวด้วย ระบบนี้อาจมีการป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (Up Flow Anaerobic Fixed Film) หรือ (Down Flow Anaerobic Fixed Film) โดยระบบที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือระบบที่ป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากลดปัญหาการอุดตันลงได้มาก

ข้อดี

- รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง
- มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง
- Solid Retention Time (SRT) ของระบบสูง
- ต้นทุนเดินระบบต่ำ เนื่องจากไม่ต้องมีการกวนผสม ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงต่ำ
- มีระยะเวลาการสะสมของตะกอนแบคทีเรียสูง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงตามไปด้วย และไม่ต้องมีการหมุนเวียนตะกอนกลับ
- ระบบสามารถทำงานได้ดีหลังจากหยุดทำงานโดยไม่ต้องเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียใหม่

ข้อเสีย

- ต้นทุนระบบเพิ่มขึ้นจากวัสดุตัวกลาง
- กรณีถังกรองไร้อากาศแบบเรียงตัวกลางไม่เป็นระบบ มักอุดตันได้ง่าย
- โดยทั่วไปมักใช้เวลาในการเริ่มต้นเลี้ยงแบคทีเรียนาน เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้า



รูปที่ 2.6 บ่อหมักแบบ Anaerobic Fixed Film or Anaerobic Filter

2.6.12 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนผสม (CSTR)

เป็นระบบถังกวนผสมแบบไม่ใช้อากาศ (Continuous Stirred Tank Reactor) ถูกพัฒนาขึ้นมาจากถังย่อยสลัดจ์ ซึ่งเป็น Conventional Anaerobic Digester ที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการกวนผสมไม่ได้ ทำให้ระยะเวลาย่อยสลายยาวนาน จึงได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลัดจ์ (Septic Tank) โดยมีการติดตั้งใบกวนทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น

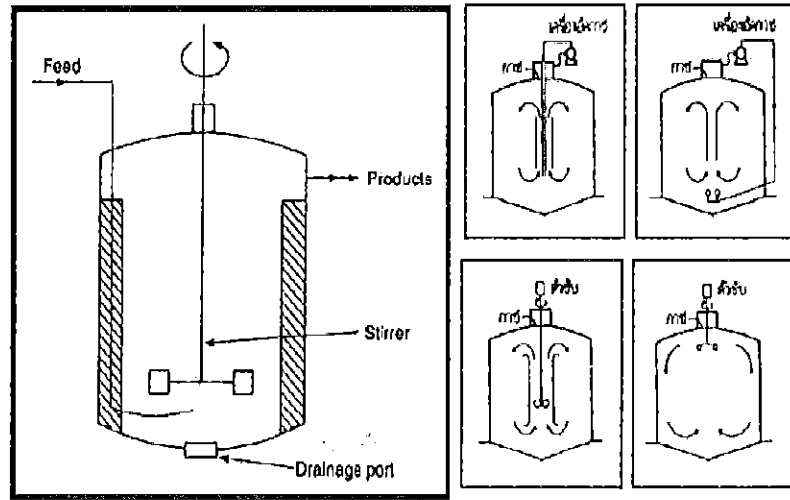
ถังปฏิกรณ์แบบนี้ระยะเวลากักเก็บของแข็ง (Solid Retention Time) เท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time) ทำให้ถังปฏิกรณ์จะมีขนาดใหญ่หากของเสียหรือน้ำเสียที่เป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยาก ใช้เวลานาน ถัง CSTR นี้จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High Concentration) มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษเจือปนอยู่ (Toxic Wastewater) ทั้งนี้เนื่องมาจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น

ข้อดี

- รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี
- มีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี

ข้อเสีย

- ต้องการพลังงานในการกวนผสมและมีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง
- ยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียขาออกอยู่ในเกณฑ์สูง



รูปที่ 2.7 รูปแบบปอหมัก CSTR

2.6.13 ระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor (ABR))

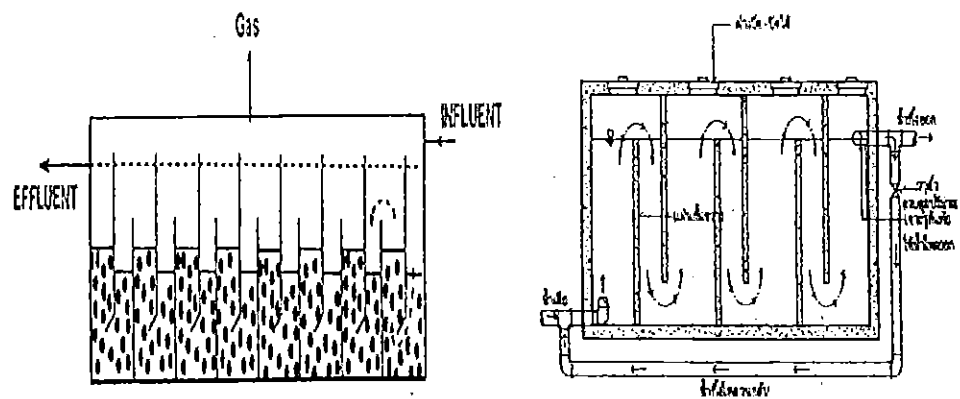
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ในถังยาว การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นไหลลง (หรือซ้าย ขวา) สลับกันไปหลายครั้ง เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องทางที่ออกแบบไว้ภายในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ระหว่างการเดินทางภายในบ่อ จนความสกปรกลดลงตามลำดับก่อนจะออกจากระบบ

ข้อดี

- การแยกตะกอน/ก๊าซชีวภาพ/น้ำเสีย ออกจากกันทำได้ง่าย จากลักษณะของบ่อหมักที่คล้ายบ่อตกตะกอน
- ประสิทธิภาพสูง และใช้กับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยมากๆ ได้เป็นอย่างดี
- ไม่ต้องการอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรในระบบ
- ประหยัดเนื้อที่ในการก่อสร้างบ่อ

ข้อเสีย

- ต้องการผู้รับเหมาที่มีความเชี่ยวชาญสูง
- ต้องมีควบคุมตะกอนที่ดีพอในการรักษา และระบายตะกอน



รูปที่ 2.8 บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบแผ่นกั้น

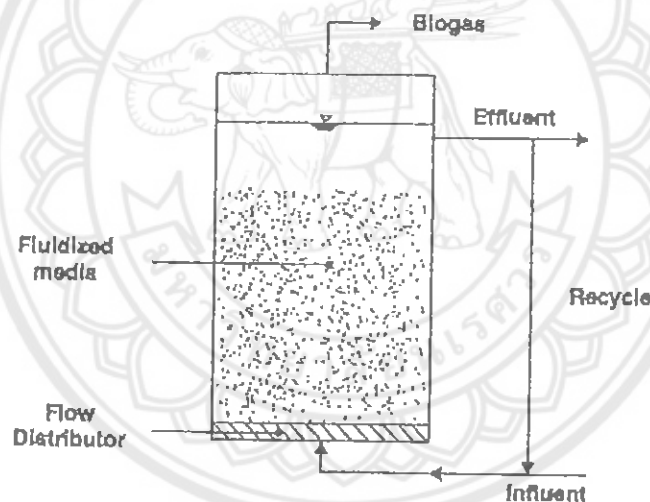
2.6.14 ระบบหมักแบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน (AFB, Anaerobic Fluidized Bed)

ระบบนี้เป็นระบบที่ได้พัฒนามาจากระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) มีการดัดแปลงระบบ โดยเปลี่ยนตัวกลางที่เป็นชนิดที่อยู่กับที่ มาใช้ตัวกลางที่สามารถเคลื่อนไหวได้ และมีพื้นที่ผิวมากๆ ซึ่งตัวกลางดังกล่าวจะเป็นทราย, Anthracite, Activated Carbon หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงเม็ดทราย การทำงานของระบบจะให้ตัวกลางมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงไม่เกิดการอุดตัน และระบบยังมีพื้นที่ผิวของฟิล์มจุลชีวะต่อหน่วยปริมาตรมากกว่าถังกรองแบบไร้ออกซิเจนอีกด้วย ซึ่งทำให้ระบบสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่า

ข้อดี มีประสิทธิภาพสูงมาก

ข้อเสีย

- มีความยุ่งยากในการออกแบบ
- สิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากในการที่จะทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตัวกลาง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการก่อสร้างระบบหมัก และการควบคุมดูแล



รูปที่ 2.9 บ่อหมักแบบ Anaerobic Fluidized Bed

2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.7.1 อุณหภูมิ (Temperature) เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมาก โดยแบ่งช่วงอุณหภูมิที่แบคทีเรียที่ทำงานได้เป็น

2.7.1.1 ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ในช่วงนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 – 65 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Thermophilic Bacteria ถึงแม้ว่าจะเป็น เมโซฟิลิก

2.7.1.2 ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 20 – 45 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงนี้ว่า Mesophilic Bacteria

2.7.1.3 ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 5 – 15 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงนี้ว่า Psychrophilic Bacteria

สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ช่วงการทำงานของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก โดยในช่วงเทอร์โมฟิลิกการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิก ทั้งในแง่ของการสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิกประมาณ 20 – 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสำหรับในต่างประเทศที่อยู่ในเขตนานาจึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำทิ้ง แต่สำหรับประเทศไทยนั้นระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกได้เองโดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย แม้ว่าประสิทธิภาพของระบบในช่วงมีโซฟิลิกจะด้อยกว่าแต่เมื่อเปรียบเทียบกับในเรื่องของค่าใช้จ่ายจะพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนจะแพงมาก ทำให้ไม่นิยมที่จะออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิก

เนื่องจากแบคทีเรียจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2 – 3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก ดังนั้นการรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าจะให้มีความร้อนที่มีอัตราการย่อยสลายสูงสุด ในการออกแบบระบบจึงควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมาก

2.7.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถึงหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลงซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH_4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

2.7.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8– 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมากก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวน Methanogen ลดลง นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาก็ได้แก่พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

2.7.4 อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียต้องมีอยู่อย่างพอเหมาะ กับปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงเวลาหนึ่ง จึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ

มากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตามค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย

2.7.5 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไป ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า TSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไรโดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่แบคทีเรียย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

2.7.6 ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC) Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20% Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15% ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ high solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบ high solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้นกระนั้นก็ดี การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

2.7.7 การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

2.7.8 สารอาหาร (nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบรินัม สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม ทังสเตน และนิกเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

2.7.9 สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์,

แอมโมเนียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะ เป็นพิษ

2.7.9.1 พิษของอออนบวก

อออนบวกที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปจนความจจะเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ ระดับความเข้มข้นของอออนบวกต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอออนบวก

| ชนิดของอออนบวก | ความเข้มข้น (มก./ล.) | | |
|------------------|----------------------|----------------|------------|
| | กระตุ้น | ยับยั้งปานกลาง | ยับยั้งมาก |
| Na^+ | 100 - 200 | 3,500 - 5,500 | >8,000 |
| K^+ | 200 - 400 | 2,500 - 4,500 | >12,000 |
| Ca^{2+} | 100 - 200 | 2,500 - 4,500 | >8,000 |
| Mg^{2+} | 75 - 150 | 1,000 - 1,500 | >3,000 |

ที่มา (McCarty, 1964)

พิษของอออนสามารถลดความเป็นพิษลงได้ (Antagonism) เมื่ออยู่ร่วมกับธาตุอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสม เช่น พิษของ Na^+ มีความเข้มข้น 3,500 มก./ล. สามารถทำให้ลดลงได้ ถ้ามี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ที่มีความเข้มข้นเหมาะสมอยู่ระหว่าง 50 - 1,000 มก./ล. แต่ในทางตรงกันข้าม อออนบางชนิดจะไปเพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้นเมื่ออยู่ร่วมกัน (Synergism) โดยการลดหรือเพิ่มความเข้มข้นของอออนแต่ละชนิดแสดงได้ตามตารางที่ 2.3 (ก)(ข)

ตารางที่ 2.3 (ก) การเพิ่มความเข้มข้นของอออนแต่ละชนิด

| อออนที่เป็นพิษ | อออนเสริมความเป็นพิษ |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Ammonium (NH_4^+) | Calcium, Magnesium, Potassium |
| Calcium (Ca^{2+}) | Ammonium, Magnesium |
| Magnesium (Mg^{2+}) | Ammonium, Calcium |
| Potassium (K^+) | None |
| Sodium (Na^+) | Ammonium, Calcium, Magnesium |

ที่มา (Kugelman and Chin, 1971)

ตารางที่ 2.3 (ข) การลดความเป็นพิษของไอออนแต่ละชนิด

| ไอออนที่เป็นพิษ | ไอออนเสริมความเป็นพิษ |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Ammonium (NH_4^+) | Sodium |
| Calcium (Ca^{2+}) | Sodium, Potassium |
| Magnesium (Mg^{2+}) | Sodium, Potassium |
| Potassium (K^+) | Ammonium, Calcium, Magnesium Sodium |
| Sodium (Na^+) | Potassium |

ที่มา (Kugelman and Chin, 1971)

2.7.9.2 พิษของโลหะหนัก

โลหะหนักที่เป็นพิษได้แก่ แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn), แคดเมียม (Cd), นิกเกิล (Ni), โคบอลต์ (Co), ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) ซึ่งจะอยู่ในน้ำทั้งในรูปของไอออน ทั้งนี้โลหะหนักที่มักพบแสดงได้ดังตารางที่ 2.4 โดยทองแดง (Cu^{2+}) จะมีผลต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด ทั้งนี้ค่าความเป็นพิษของสารประกอบโลหะหรือไอออนโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับระดับพลังศักย์ทางไฟฟ้า ค่าพีเอชและ Ionic Strength ของระบบ เนื่องจากโลหะหนักแต่ละชนิดสามารถที่จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมโมเนีย คาร์บอเนต ซัลไฟด์ และฟอสเฟตได้ ดังนั้นจึงเป็นการยากในการประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด ดังนั้นความเป็นพิษของโลหะหนักบางตัวซึ่งได้มาจากการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 และเมื่อวิเคราะห์ถึงตำแหน่งต่างๆ ที่โลหะหนักสะสมอยู่สามารถแสดงไว้ดังตารางที่ 2.5 อย่างไรก็ตามแม้ว่าโลหะหนักจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่โลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับแบคทีเรีย แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม ยกตัวอย่างเช่นนิกเกิล

ความเป็นพิษของโลหะหนักสามารถลดลงได้ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณของซัลไฟด์ (S_2) ที่พอเหมาะ เนื่องจากซัลไฟด์สามารถรวมกับโลหะหนักเป็นเกลือของโลหะหนักซึ่งไม่ละลายน้ำได้ ยกเว้นในกรณีของโครเมียม เนื่องจากโครเมียมที่มีประจุบวกหก (Cr^{6+}) จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียมที่มีประจุบวกสาม (Cr^{3+}) ซึ่งปกติโครเมียมจะไม่ละลายน้ำในช่วง pH ของระบบถังหมักแบบไว้อากาศ จึงไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในการใช้ซัลไฟด์เอง ซึ่งความเป็นพิษของซัลไฟด์จะอธิบายในหัวข้อต่อไป สำหรับการควบคุมไม่ให้เกิดพิษเนื่องจากการเติมซัลไฟด์ลงมากเกินไป ทำได้สองวิธี

โดยวิธีแรกให้ทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่องและทำการหยุดเติมซัลไฟด์ทันทีเมื่อตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ใช้อิเล็กทรอนิกส์แบบ Silver-Sulfide วัดปริมาณของซัลไฟด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยวัดออกมาในรูปของ pS ($-\log[\text{S}^{-2}]$)

ตารางที่ 2.4 โลหะหนักที่สามารถพบได้ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

| พบมาก | พบบ่อย | ไม่ค่อยพบ |
|----------|-----------|------------|
| Cadmium | Arsenic | Aluminum |
| Chromium | Iron | Cobalt |
| Copper | Manganese | Molybdenum |
| Lead | Mercury | Selenium |
| Nickel | Silver | Tin |
| Zinc | | |

ที่มา (USEPA, 1981)

ตารางที่ 2.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถยับยั้งการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

| โลหะหนัก | ความเข้มข้น(mg/l) |
|----------|-------------------|
| Arsenic | 0.05 - 1.0 |
| Cadmium | 0.01 - 0.02 |
| Chromium | 1.0 - 1.5 |
| Copper | 0.5 - 1.0 |
| Nickel | 1.0 - 2.0 |
| Zinc | 0.5 - 1.0 |

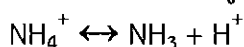
ที่มา (Mignone, 2005)

2.7.9.3 พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมากเกินไป เช่น ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ หรืออาหารเข้ามา มากแบคทีเรียที่ผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอจะทำให้ค่าพีเอช ของระบบลดลงส่งผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดผลิตมีเทนได้ แต่ถ้าระบบมีบัฟเฟอร์ที่ดีที่ สามารถรักษาพีเอชให้เป็นกลางได้จะพบว่าแม้กรดไขมันระเหยง่ายมีปริมาณมากก็ไม่เกิดความเป็น พิษต่อแบคทีเรีย

Kotze et al. (1969) พบว่า โมเลกุลของกรดอ่อน (Weak Acid) และด่างอ่อน (Weak Base) ที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนนั้น สามารถผ่านเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียได้เร็วมาก เช่น กรดอ่อนที่พีเอชต่ำ จะไม่แตกตัวเป็นไอออน จะผ่านเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียได้ง่าย ทำให้พีเอชภายในเซลล์แบคทีเรียลดลง แบคทีเรียจึงตาย และด่างอ่อนที่พีเอชสูงก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

2.7.9.4 แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดจากการย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนรวมอยู่เช่น โปรตีน หรือปุ๋ยยูเรีย เป็นต้น ได้ผลผลิตในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของระบบดังสมการ



ปริมาณของแอมโมเนียมไอออนจะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช เมื่อพีเอชมีค่าประมาณ 7.0 ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมีประมาณ 1% ของแอมโมเนียทั้งหมด โดยจะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมากขึ้นเมื่อพีเอชสูงขึ้น สำหรับความเป็นพิษของแอมโมเนียนั้นพบว่าแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่าแอมโมเนียมไอออน โดยพบว่าแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนได้สูงถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการรักษาพีเอชให้มีค่าประมาณ 7.0 หรือต่ำกว่า ทำให้แอมโมเนียทั้งหมดอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออนซึ่งเป็นพิษต่อระบบน้อยกว่า ตารางที่ 2.6 แสดงระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ

สำหรับการลดพิษของแอมโมเนียไนโตรเจนทำได้โดยการเจือจางน้ำทิ้งหรือทำการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด เช่นใช้กระบวนการ Ammonia Stripping เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียมไอออน

| แอมโมเนียมไนโตรเจน, NH_4^+N (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ผลต่อระบบ |
|--|--|
| 50-200 | ปริมาณพอเหมาะ |
| 200-1,000 | ยังไม่เกิดผลชัด |
| 1,500-3,000 | เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูงกว่า 7.0 |
| >3,000 | เป็นพิษโดยตรง |

ที่มา (McCarty, 1964)

2.7.9.5 ซัลเฟต (SO_4^{2-}) พิษของซัลไฟด์ต่อแบคทีเรีย เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณซัลไฟด์สูง การย่อยสลายซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือโปรตีนในน้ำทิ้งโดยซัลเฟตในน้ำเสียทั้งที่อยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ ขึ้นอยู่กับอิออนประจุบวกที่ซัลเฟตรวมอยู่ โดยส่วนที่มีการรวมกับโลหะหนักจะตกตะกอน ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และเมื่อละลายน้ำสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายน้ำที่แบคทีเรียสามารถทนได้อยู่ระหว่าง 50-160 mg/l และจะเกิดความเป็นพิษขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/l วิธีซึ่งสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ลงได้ โดยการทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอน การเจือจางน้ำทิ้งหรือการแยกซัลไฟด์ออกจากน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณของซัลเฟตมาก เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางชั้น ปริมาณของซัลเฟตที่มากเกินไปจะทำให้แบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ (Sulfate Reducing Bacteria, SRB) เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* เจริญเติบโตได้ดี แบคทีเรียในกลุ่ม SRB จะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็น



ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ การที่น้ำเสียมีซัลเฟตมากส่งผลให้แบคทีเรีย
มีเทนทำงานได้น้อยลง ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดน้อยลง แต่ได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่นเหม็น
แทนที่ ซึ่งการอธิบายจะอาศัยการเปรียบเทียบกลไกการเกิดปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตและการสร้างมีเทน
ในรูปของอุณหภูมิจลศาสตร์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

สำนักหอสมุด
ร. 2 ๒๗.ค. 2560

ตารางที่ 2.7 ค่า ΔG° ในการรีดิวซ์ซัลเฟตและสร้างมีเทน

| ปฏิกิริยา | ΔG° (KJ) |
|---|-----------------------|
| 1. $4H_2 + SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow HS^- + 4H_2O$ | -152.2 |
| 2. $4H_2 + HCO_3^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + 3H_2$ | -135.6 |
| 3. $CH_3COO^- + SO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow 2HCO_3^- + H_2S$ | -47.6 |
| 4. $CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow HCO_3^- + CH_4$ | -31.0 |
| 5. $4CH_3CH_2COO^- + SO_4^{2-} \longrightarrow 4CH_3COO^- + 4HCO_3^- + 3HS^- + H^+$ | -150.6 |
| 6. $CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \longrightarrow CH_3COO^- + 4HCO_3^- + H^- + H_2$ | -76.1 |
| 7. $4CH_3CH_2COO^- + 12H_2O \longrightarrow 4CH_3COO^- + HCO_3^- + H^- + 3CH$ | -102.4 |

ที่มาเอกสารประกอบโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ
(2549)

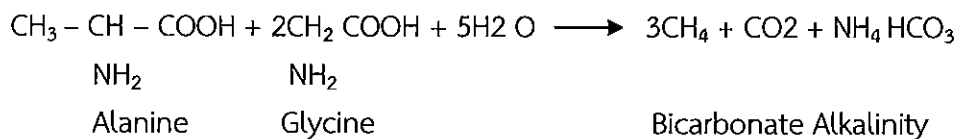
จากตารางจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตและการสร้าง
มีเทน โดยใช้สารตั้งต้นชนิดเดียวกันคือไฮโดรเจนและกรดอะซิติก ในปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตเป็น
ซัลไฟด์ (ปฏิกิริยาที่ 1 และ 3) โดยใช้ไฮโดรเจนและกรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้นตามลำดับจะมีค่า G° ที่
ต่ำกว่าในปฏิกิริยาที่สร้างมีเทน (ปฏิกิริยาที่ 2 และ 4) แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยารีดิวซ์ซัลเฟตเป็น
ปฏิกิริยาที่ให้พลังงานมากกว่า ดังนั้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ง่ายกว่าปฏิกิริยาการสร้างมีเทน
การที่น้ำเสียมีซัลเฟตในปริมาณสูงจึงทำให้ได้ผลผลิตที่เป็นก๊าซมีเทนลดน้อยลง เนื่องจากสารตั้งต้นถูก
ใช้ไปในการรีดิวซ์ซัลเฟตมากกว่าการสร้างมีเทน ผลผลิตที่ได้จึงเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีกลิ่น
เหม็น และที่ pH ต่ำอาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้

แต่หากพิจารณาในแง่ของการย่อยสลายกรดโพธิออนิกเป็นกรดอะซิติกแล้ว (ปฏิกิริยาที่ 5
ถึง 7) พบว่าการรีดิวซ์ซัลเฟตที่เกิดขึ้น สามารถลดการสะสมของกรดโพธิออนิกในระบบได้ ดังนั้น
การที่มีซัลเฟตในน้ำเสียจึงมิได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ความเป็นพิษของซัลเฟตที่มี
ต่อระบบมีความสัมพันธ์กับค่า pH โดยที่ pH 6.4-7.2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถยับยั้งการทำงานของ
ของระบบได้ 50% เมื่อมีความเข้มข้น 250 mg/l ในขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียง 90 mg/l
สามารถส่งผลในการยับยั้งการทำงานของระบบได้เท่ากัน เมื่อ pH มีค่า 7.8-8.0

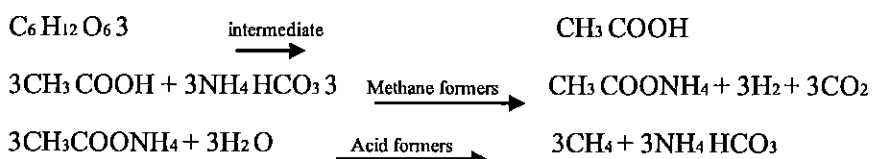
2.7.10 อัลคาลินิตี (Alkalinity) สภาพความเป็นต่างในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ทาหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ โดยจะมีหน้าที่ในการสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์และกรดไขมันระเหยง่ายในระบบเพื่อให้พีเอชเป็นกลาง ดังนั้นสภาพความเป็นต่างน้อยที่สุดที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชจะเท่ากับปริมาณต่างไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิครวมกับปริมาณต่างไบคาร์บอเนตเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหยง่าย

สำหรับปริมาณต่างที่ต้องการเพื่อใช้ในการสะเทินกรดคาร์บอนิคจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายจะสอดคล้องกับความดันแยกส่วน (Partial Pressure) ของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งหากถึงปฏิกิริยาที่มีการระบายก๊าซที่ดี การสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไม่มาก ย่อมทำให้ความต้องการต่างเพื่อสะเทินกรดคาร์บอนิคมีค่าไม่สูงนักหรือค่าไม่เปลี่ยนแปลงมาก ส่วนปริมาณต่างเพื่อใช้ในการสะเทินกรดไขมันระเหยง่ายจะมีค่าเท่ากับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเนื่องจากจำนวนโมลที่เข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันระเหยง่ายและต่างไบคาร์บอเนตเป็นแบบ 1 ต่อ 1

ในบางครั้งการหาปริมาณต่างที่ต้องการจากปริมาณกรดระเหยง่ายและกรดคาร์บอนิคในน้ำอาจทำให้การควบคุมระบบทำได้ล่าช้า แก้ไขปัญหาได้ไม่ทันท่วงที ดังนั้นอาจประเมินปริมาณต่างที่ต้องเติมจากสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและปริมาณต่างที่มีอยู่ในระบบ โดยถ้าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นต่างในรูปของไบคาร์บอเนต (VFA/Alk) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีค่าบัฟเฟอร์สูง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้จะเปรียบเทียบ ในรูปของกรดไขมันระเหยง่ายกับความเป็นต่าง การควบคุมปริมาณบัฟเฟอร์ในระบบอาจจะวัดในรูปความเป็นต่างกับซีไอดี โดยสัดส่วนระหว่างความเป็นต่างกับซีไอดีน้ำเข้า (Alk/COD) ไม่ควรต่ำกว่า 0.4 (Diaz et al., 1993) แต่การวัดในรูปของสัดส่วนดังกล่าวไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่ากับในรูปแบบแรก สภาพความเป็นต่างภายในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้มาจากหลายแหล่ง ตัวอย่างของสภาพความเป็นต่างที่ได้อาจจะมาจากเกลือของแอมโมเนีย เช่นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH₄HCO₃) และแอมโมเนียอะซิเตท (CH₃COONH₄) ดังสมการ ซึ่งกลไกดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เอง เนื่องจาก Alanine และ Glycine จะมีอยู่ในน้ำเสียที่มีโปรตีนผสมอยู่



ถ้ากระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ แอมโมเนียไบคาร์บอเนตจะเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอชโดยจะทาหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ซึ่งจะลดสภาพความเป็นกรดลงเนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายดังสมการต่อไปนี้



จากสมการถ้าน้ำที่มีปริมาณของไนโตรเจนอย่างเพียงพอและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่อย่างสมบูรณ์แล้วจะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะเป็นบัฟเฟอร์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกรด และจะได้แอมโมเนียมอะซิเตท($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งแอมโมเนียมอะซิเตทนี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน ให้กลายเป็นมีเทนต่อไป โดยจะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับคืนมา

หากปริมาณของไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ระเหยง่ายแล้ว จะทำให้ได้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้พีเอชต่ำลงจนกระทั่งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนไม่สามารถย่อยสลายแอมโมเนียมอะซิเตทได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพีเอชยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย โดย McCarty (1964) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและปริมาณไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม พบว่าความเป็นด่างไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ในรูปของ CaCO_3 เพื่อป้องกันไม่ใช้พีเอชต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบ

2.8 ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ

สารอินทรีย์ชนิดต่างๆเมื่อย่อยสลายหมดแล้วให้ก๊าซชีวภาพไม่เท่ากัน มูลสัตว์ มักจะย่อยสลายได้ง่ายและให้ปริมาณก๊าซมาก แต่ในการพิจารณาความเหมาะสมของสารเหล่านี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆประกอบด้วย เช่น ความหนาแน่น ความชื้น การอุดตัน กากที่ย่อยไม่ได้ ราคาและวิธีการเก็บ ตัวอย่างเช่น ผักตบชวามีความหนาแน่นต่ำ จึงมีปริมาณมากต่อน้ำหนักกิโลกรัมของของแข็ง ทำให้ต้องใช้บ่อหมักที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบใหญ่ จึงต้องมีวิธีการทำให้น้ำระเหยออกบ้าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวามีค่าใช้จ่ายสูง ถึงแม้ผักตบชวาจะผลิตก๊าซชีวภาพได้มากต่อกิโลกรัมของของแข็งก็ตาม

ตารางที่ 2.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสัตว์หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ

| ชนิดมูลสัตว์หรือสารอินทรีย์ | ปริมาตร (ลิตร ต่อกิโลกรัมของของแข็ง) |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| สุกร | 340 – 550 |
| วัว | 90 – 310 |
| ไก่ | 310 – 620 |
| ม้า | 200 – 300 |
| แกะ | 90 – 310 |
| ฟางข้าว | 105 |
| หญ้า | 280 – 550 |
| เปลือกถั่ว | 365 |

2.9 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้

2.9.1 การดักน้ำในท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมี ความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัว เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่าน ท่อส่งก๊าซที่ฝังอยู่ในดินที่มีอุณหภูมิต่ำ มักจะทำให้ความชื้น (ไอน้ำ) กลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซไปตามท่อได้ จึงต้องมีการติดตั้งชุดดักน้ำก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

2.9.2 ปรับลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพที่ได้ มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH₄) 9 ต่ำมาก หรือน้อยกว่าร้อยละ 45 ก๊าซชีวภาพจะอยู่ในระดับที่จุดไฟติดยาก จำเป็นต้องมีการปรับลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยการนำก๊าซชีวภาพไปผ่านสารละลายที่เป็นด่าง ซึ่งปกติใช้น้ำปูนขาว หรือนำก๊าซไปผ่านผงเหล็ก

2.9.3 การปรับลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ที่เป็นเอินในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษ และเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอรอดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ การลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้ประโยชน์จะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป และจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซด้วย การปรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ Biofilterการเติมออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสม และการนำก๊าซชีวภาพไปผ่านสารละลายต่าง

2.10 วิธีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันการใช้เทคโนโลยีในการบำบัดของเสียหรือน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ นอกจากจะเป็นการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปล่อยของเสียจากฟาร์มสัตว์เลี้ยง หรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ก๊าซชีวภาพที่ได้นั้นยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้อีกด้วย ดังนี้

2.10.1 ใช้ในการผลิตพลังงานความร้อน โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับ

- ทดแทนน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ
- เครื่องอบแห้งพืชผลทางการเกษตร
- หัวกกลูกสุกรในฟาร์มเลี้ยงสุกร
- เตาแก๊สทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน เป็นต้น

2.10.2 ใช้ในการผลิตพลังงานกล

การนำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล เช่น ให้กับเครื่องยนต์ปั้มน้ำ เครื่องยนต์สำหรับหมุดพัดลม EVAP ในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์แบบปิด เครื่องจักรกลทางการเกษตรต่างๆ เป็นต้น

2.10.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้า

ปัจจุบันมีการนำก๊าซชีวภาพเพื่อไปใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น โดยอาศัยเครื่องยนต์ในการนำก๊าซไปใช้หลักๆ มีด้วยกัน 3 วิธี คือ

2.10.3.1 ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้แก่

- ใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องยนต์เบนซินดัดแปลง (ใช้ก๊าซชีวภาพ 100%) ขนาดของเครื่องยนต์เบนซิน 15-20 kW ต่อร่วมกับ Synchronous / Induction Generator
- ใช้ก๊าซชีวภาพ 100% ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงเครื่องยนต์ขนาด 128 kW ต่อร่วมกับ Synchronous / Induction Generator
- ใช้ก๊าซชีวภาพ 100% ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ(นำเข้าจากต่างประเทศ) เป็นเครื่องจักรขนาด 500-1,000 kW โดยต่อร่วมกับ Synchronous / Induction Generator

2.10.3.2 ใช้หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ วิธีนี้สามารถนำความร้อนจากไอน้ำมาใช้งานได้ เรียกว่าระบบผลิตพลังงานแบบรวม

2.10.3.3 ใช้ไมโครเทอร์ไบน์ (Micro Turbine)

อนึ่ง ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติคล้ายกับก๊าซธรรมชาติ แต่มีค่าความร้อนต่ำกว่า สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลหรือเบนซินในรถยนต์ได้ แต่มีข้อจำกัดในการบรรจุก๊าซชีวภาพลงในถังซึ่งบรรจุได้ในปริมาณน้อยมาก จึงไม่สะดวกในการเดินทางไกล

ตารางที่ 2.9 ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรในสภาพความดันอากาศปกติ

| | |
|-------------------------|---------------|
| ก๊าซหุงต้ม (LPG) | 0.46 กิโลกรัม |
| น้ำมันเบนซิน (Gassolin) | 0.67 ลิตร |
| น้ำมันก๊าด (Kerosens) | 0.68 ลิตร |
| น้ำมันดีเซล (Desel) | 0.60 ลิตร |
| น้ำมันเตา (Fueloil) | 0.56 ลิตร |
| ถ่านไม้ (Charcoal) | 0.81 กิโลกรัม |
| แกลบ (Paddy Husk) | 1.68 กิโลกรัม |
| ขี้เลื่อย (Saw Dust) | 2.15 กิโลกรัม |
| ฟืนไม้ | 1.50 กิโลกรัม |

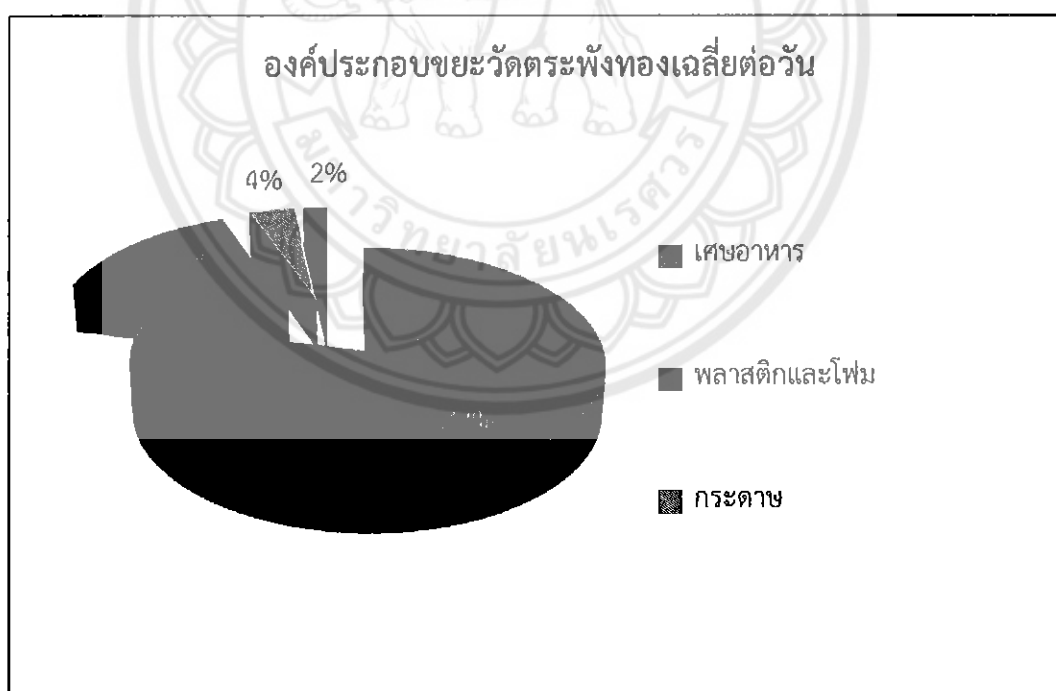
ตารางที่ 2.10 ก๊าซชีวภาพ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าความร้อนเทียบกับ

| | |
|--------------|--------------|
| ก๊าซหุงต้ม | 141 กิโลกรัม |
| น้ำมันเบนซิน | 201 ลิตร |
| น้ำมันดีเซล | 180 ลิตร |
| ฟืนไม้ | 450 กิโลกรัม |

ที่มา Mitxaff, kiaus von : ENGINES FOR BIOGAS : Theory, Modification, economic operation ; a publ. Of dt.ZentrumfuerThehn.Zusammenarbeit (GTZ) Viweg, 1988. ISBN

2.11 การสำรวจข้อมูลขยะวัดตระพังทอง

ตลาดวัดตระพังทอง ตั้งอยู่ที่ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมืองสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย เป็นชุมชนรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และเป็นสถานที่ท่องเที่ยว แหล่งจำหน่ายอาหารที่มีทั้งคนในชุมชนและนักท่องเที่ยว ได้เข้าไปใช้บริการเป็นจำนวนมาก จากการศึกษารายชื่อขยะของตลาดวัดตระพังทอง ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2557 และวันที่ 10 กรกฎาคม 2557 เฉลี่ยต่อวันและมีขยะอินทรีย์หรือเศษอาหารในตลาดมีปริมาณเฉลี่ย 140 กิโลกรัมต่อวัน หรือร้อยละ 79 ดังนี้



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบขยะวัดตระพังทองเฉลี่ยต่อวัน
ที่มา โครงการลดปริมาณขยะของตลาด ในชุมชนบริเวณโดยรอบอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

3.1 การเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สังเคราะห์

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ Anaerobic digester แบบ low rate

3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ถังน้ำัดแปลงขนาด 20 ลิตร

3.1.1.2 ถังวัดก๊าซขนาด 5 ลิตร

3.1.1.3 มุลสุกร

3.1.1.4 ท่อ PVC

3.1.1.5 สายยาง

3.1.1.6 ก๊อมน้ำ

3.1.1.7 บอลวาล์ว

3.1.1.8 ขยะอินทรีย์สังเคราะห์โดยมีสัดส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมในถังหมักก๊าซชีวภาพ

| ขยะอินทรีย์ สังเคราะห์ | น้ำหนัก (%) | ปริมาณสัดส่วนขยะอินทรีย์ สังเคราะห์ | ย่อยยาก | ย่อยง่าย |
|---------------------------|----------------|--|---------|----------|
| เศษอาหาร | 50.48 | 4.54 | | ✓ |
| เศษผัก | 23.5 | 2.12 | | ✓ |
| ชีปลา | 5.49 | 0.49 | | ✓ |
| กระเพาะไก่ | 0.82 | 0.07 | | ✓ |
| น้ำพริก | 0.69 | 0.06 | | ✓ |
| เปลือกแตงโม | 1.1 | 0.10 | ✓ | |
| เปลือกเงาะ | 11.26 | 1.01 | ✓ | |
| เปลือกข้าวโพด | 2.75 | 0.25 | ✓ | |
| เกล็ดปลา | 2.47 | 0.22 | ✓ | |
| ผักดอง | 1.92 | 0.17 | ✓ | |
| รวม | 100 | 9kg | | |

หมายเหตุ เศษอาหารนำมาจากโรงอาหารอาคารเรียนรวมวิศวกรรมศาสตร์และผักสดผลไม้จากตลาด
วัดจตุร

3.1.2 วิธีการทดลอง

3.1.2.1 ทำการประกอบถังหมักก๊าซชีวภาพถังพลาสติกขนาด 20 ลิตรและถังวัดก๊าซขนาด 5 ลิตร



รูปที่ 3.1 การประกอบถังหมักก๊าซชีวภาพ

3.1.2.2 นำน้ำกลั่นปริมาณ 5 ลิตรและหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลสุกร 5 ลิตรใส่ลงในถัง



รูปที่ 3.2 การเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังหมักก๊าซชีวภาพ

3.1.2.3 นำขยะอินทรีย์ที่มีสัดส่วนตามตารางที่ 3.1 มาสับและปั่นเพื่อลดขนาดขยะอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยขยะได้ง่าย



รูปที่ 3.3 การผสมขยะอินทรีย์สังเคราะห์

3.1.2.4 ทำการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่ได้จากขั้นตอนข้างต้นลงไปในถังหมักก๊าซชีวภาพ แล้วทิ้งให้ทำปฏิกิริยาในถัง โดยเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ตามปริมาณดังตารางที่ 3.2 และทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยในช่วงเริ่มต้นเดินระบบถังหมักก๊าซชีวภาพมีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ในปริมาณ 50 100 200 มิลลิลิตรเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับขยะที่เติมเข้าไป และมีการออกแบบถังที่ระยะเวลาการกักเก็บ 33.34 วันส่งผลให้ในช่วงการเดินระบบจะมีการเติมอาหารปริมาณ 300 มิลลิลิตรต่อวัน

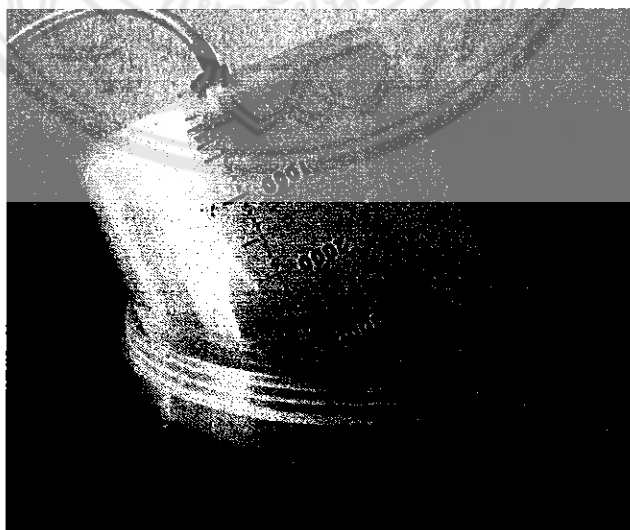
ตารางที่ 3.2 การเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ตามระยะเวลา

| ปริมาณ (ml)ต่อวัน | วันที่ใส่อาหาร (วัน) |
|-------------------|----------------------|
| 50 | 1-7 |
| 100 | 7-14 |
| 200 | 15-21 |
| 300 | 22-130 |



รูปที่ 3.4 ขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมในระบบต่อวัน

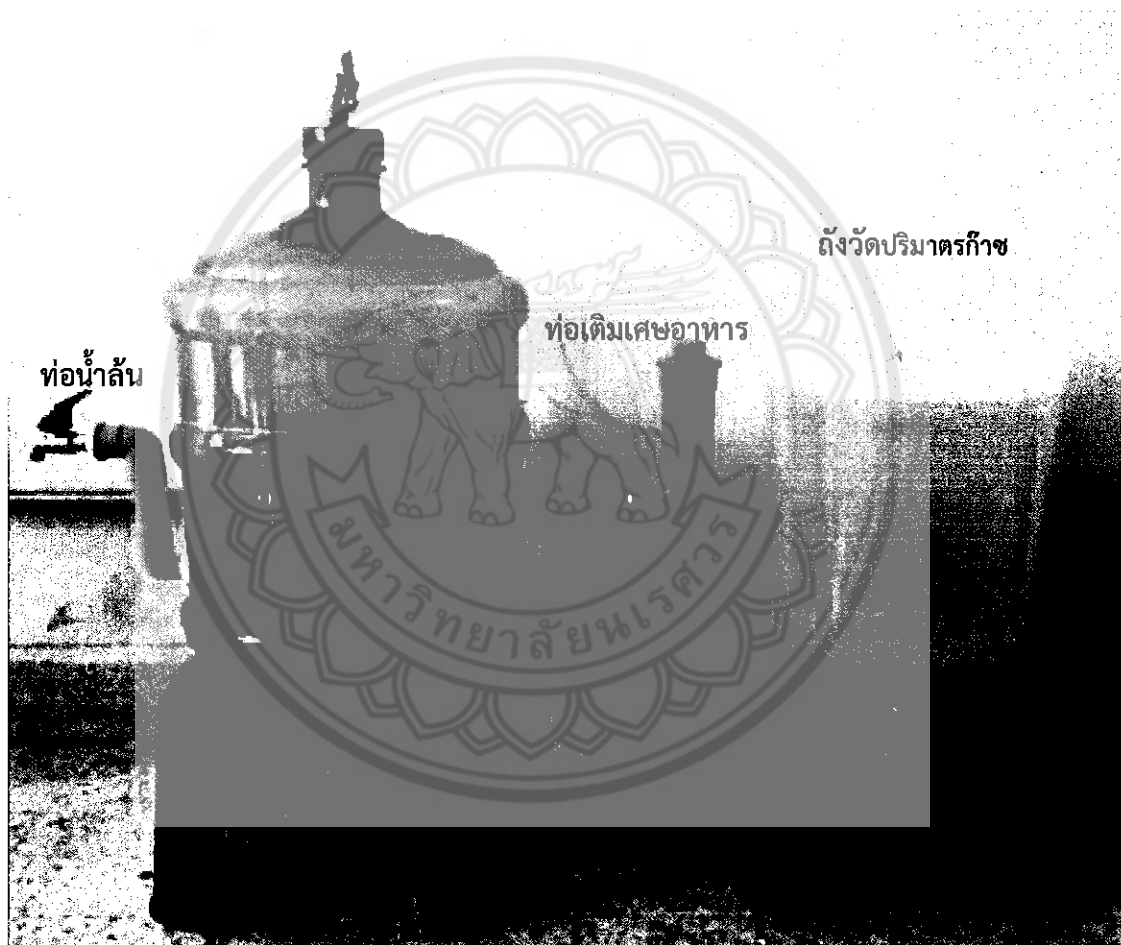
3.1.2.5 หลังจากที่มีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ในถังหมักก๊าซชีวภาพแล้ว จุลินทรีย์จะทำการย่อยขยะอินทรีย์สังเคราะห์ภายในถังแล้วได้ก๊าซเป็นผลิตภัณฑ์ ก๊าซที่ได้ถูกส่งผ่านสายไปยังถังวัดปริมาตรก๊าซ และก๊าซจะแทนที่น้ำดันถังให้ลอยตัวขึ้น ทำการจดบันทึกค่าก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละวันจากสเกลวัดปริมาตรก๊าซข้างถังดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ก๊าซที่เกิดในถังหมักก๊าซชีวภาพ

3.2 การทำงานของถังหมักก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic digester

เริ่มต้นมีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ตามตารางที่ 3.2 ผ่านท่อเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ ภายในถังหมักก๊าซชีวภาพเป็นระบบแบบไร้อากาศ จุลินทรีย์จะทำการย่อยขยะที่เติมเข้ามาในถัง มีผลิตภัณฑ์ที่เกิดเป็นก๊าซถูกส่งผ่านไปยังถังวัดปริมาตรก๊าซ ก๊าซเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ในถังวัด ปริมาตรลอยขึ้นและวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆวัน เมื่อวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นแล้วจะปิดวาล์ว บริเวณด้านบนถังหมักเพื่อป้องกันก๊าซออกจากถัง และดันถังวัดปริมาตรก๊าซลงด้านล่างอีกครั้ง จากนั้นเปิดวาล์วเพื่อปล่อยให้ก๊าซออกมายังถังวัดปริมาตรก๊าซอีกครั้ง และเปิดท่อน้ำล้นออกจากถัง เพื่อนำน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์โดยมีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีไอโอดี ค่า ทีเคเอ็น



รูปที่ 3.6 ถังผลิตก๊าซชีวภาพ

3.3 การหาค่าของแข็งแขวนลอย

จุดประสงค์ในการหาค่าของแข็งแขวนลอยเพื่อศึกษาค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากถังไปโอ
ก้าชโดยทำการตรวจวัดค่าสัปดาห์ละ 2 ครั้ง

3.2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1.1 กระจกทรง GF/C ขนาด 4 มิลลิเมตร
- 3.2.1.2 ชุดกรองน้ำ
- 3.2.1.3 water bath สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 100 องศาเซลเซียส
- 3.2.1.4 ตู้อบสำหรับใช้อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส
- 3.2.1.5 เดซิเคเตอร์
- 3.2.1.6 เครื่องชั่งละเอียด

3.2.2 วิธีการทดลอง

- 3.2.2.1 นำน้ำกลั่นหยดลงบนกระดาษกรองให้ชุ่ม จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 3.2.2.2 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เย็นแล้ว (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 3.2.2.3 นำกระดาษกรองไปวางบนที่กรอง แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอนแล้ว มากรอง
- 3.2.2.4 นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 3.2.2.5 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองที่เย็นแล้ว
- 3.2.2.6 นำค่าที่ได้ไปคำนวณจากสูตร

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)} = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักกระดาษกรองหลังกรอง , มิลลิกรัม

B = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนกรอง , มิลลิกรัม

C = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง , มิลลิกรัม

3.4 การหาค่าซีโอดีโดยวิธี Close Reflux

จุดประสงค์ในการหาค่าซีโอดีเพื่อศึกษาค่าซีโอดีในน้ำออกจากถังหมักไบโอแก๊สโดยทำการตรวจวัดค่าสัปดาห์ละ 2 ครั้ง

3.3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1.1 หลอดทดลองขนาด 25 X 10 มม.จำนวน 6 หลอด
- 3.3.1.2 บีเปตขนาด 10 มล.
- 3.3.1.3 ตะแกรง
- 3.3.1.4 ไซลิงค์บอล
- 3.3.1.5 ปีกเกอร์
- 3.3.1.6 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
- 3.3.1.7 กรดซัลฟูริก
- 3.3.1.8 สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต (FAS)

3.3.2 วิธีการทดลอง

- 3.3.2.1 บีเปตน้ำตัวอย่างจากระบบและน้ำกลั่นใส่หลอดทดลองหลอดละ 10 มิลลิลิตร
- 3.3.2.2 เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 6 มิลลิลิตร.ลงในหลอดทดลอง
- 3.3.2.3 เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีเงินซัลเฟต 14 มิลลิลิตร
- 3.3.2.4 นำหลอดซีโอดีใส่ตะแกรงแล้วเอาไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
- 3.3.2.5 นำตะแกรงที่มีหลอดทดลองออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 3.3.2.6 หยดเฟอร์โรอิน 2-3 หยด เขย่าให้ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในขวดรูปชมพู่
- 3.3.2.7 ไตรเตรทด้วย FAS จนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง
- 3.3.2.8 จดปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตรเตรทเพื่อนำไปคำนวณค่า cod

$$\text{ซีโอดี (มก./ล.)} = \frac{(B-A) \times N \times 8 \times 1000}{C}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการไตรเตรทน้ำตัวอย่าง , มิลลิลิตร
 - B = ปริมาณของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการไตรเตรทน้ำกลั่น , มิลลิลิตร
 - N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต , นอร์มัล
 - C = ปริมาตรน้ำตัวอย่าง , มิลลิลิตร

3.5 การหาค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

จุดประสงค์ในการหาค่าเจดัลไนโตรเจนเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำออกจากถังหมักไปไอก๊าซ โดยทำการตรวจวัดค่าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

3.4.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.4.1.1. ขวดเจดัลขนาด 800 ml 3 ขวด
- 3.4.1.2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 300 ml 3 ขวด
- 3.4.1.3. บีกเกอร์ขนาด 500 ml
- 3.4.1.4. ปีเปต
- 3.4.1.5. บิวเรต
- 3.4.1.6. กระจกบอทวง
- 3.4.1.7. ขวดวัดปริมาตร
- 3.4.1.8. ชุดเครื่องย่อย
- 3.4.1.9. ชุดเครื่องกลั่นหาแอมโมเนีย
- 3.4.1.10. น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย
- 3.4.1.11. สารละลายผสมอินดิเคเตอร์
- 3.4.1.12. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- 3.4.1.13. สารละลาย CuSO_4
- 3.4.1.14. สารละลาย NaOH 35%
- 3.4.1.15. กรดบอริก 2%
- 3.4.1.16. สารละลาย H_2SO_4 0.02 N

3.4.2 วิธีการทดลอง

- 3.4.2.1. นำน้ำที่ออกจากระบบใส่ลงในขวดเจดัลปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 3.4.2.2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร ทำในตู้ดูดควัน
- 3.4.2.3. เติม CuSO_4 ลงไป 1 กรัม เขย่าให้ละลายในตู้ดูดควัน ใส่ลูกแก้วหรือกระเบื้องในขวดเจดัล
- 3.4.2.4. นำไปย่อยจนกระทั่งเกิดควันขาวแล้วต้มต่อจนได้สารละลายสีใส ปิดเตาทิ้งไว้ให้เย็น
- 3.4.2.5. ค่อยๆเติมน้ำกลั่นลงไป 300 มิลลิลิตร ห้ามเขย่าขวด ค่อยๆเติม NaOH 35% ลงไป 150 มิลลิลิตร ห้ามเขย่า
- 3.4.2.6. นำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่นแล้วจึงเขย่าขวดให้สารผสมกัน
- 3.4.2.7. นำขวดรูปชมพู่เติมกรดบอริก 2% 50 มิลลิลิตร เพื่อรับน้ำกลั่นจากเครื่องกลั่น
- 3.4.2.8. กลั่นจนอ่านปริมาตรน้ำในขวดรูปชมพู่ได้ 300 มิลลิลิตร
- 3.4.2.9. นำมาปรับให้มีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 3.4.2.10. หยดอินดิเคเตอร์ผสม 3 หยด สารละลายที่ได้จะมีสีเขียว นำไตเตรทกับสารละลาย H_2SO_4 0.02 N จนได้สารละลายที่มีสีม่วง จดปริมาตรที่ได้ไปคำนวณ

$$\text{Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), mg/l} = \frac{(A - B) * 14,000 * N}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง, ml}}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (ml)
 - B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้สำหรับ Blank (ml)
 - N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4

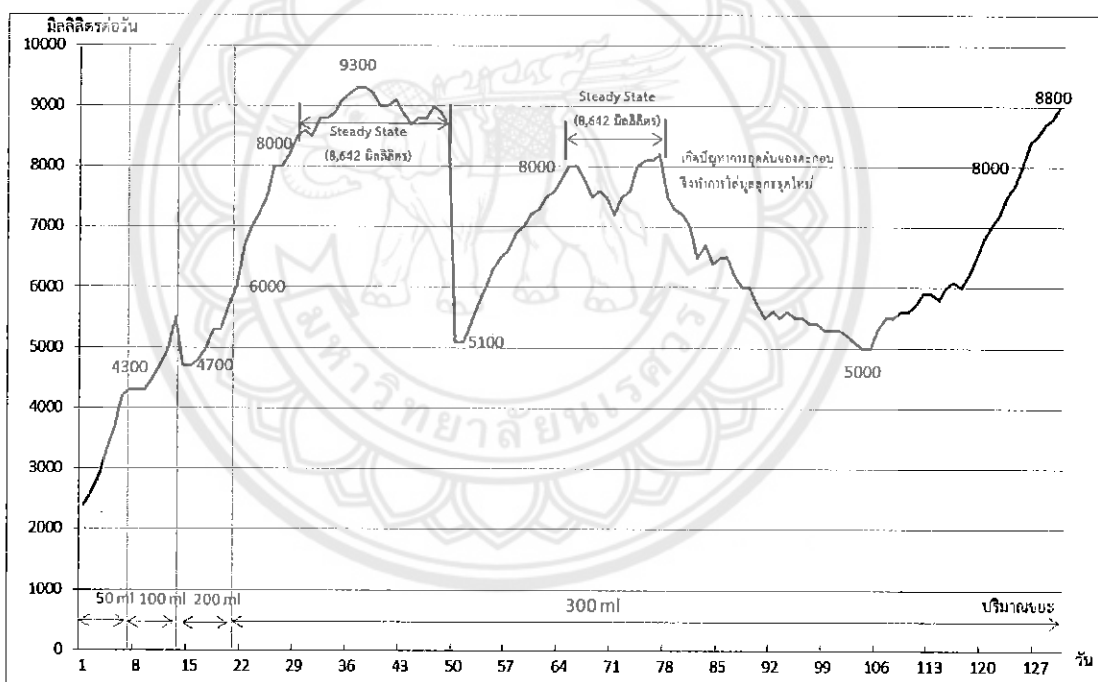


บทที่ 4

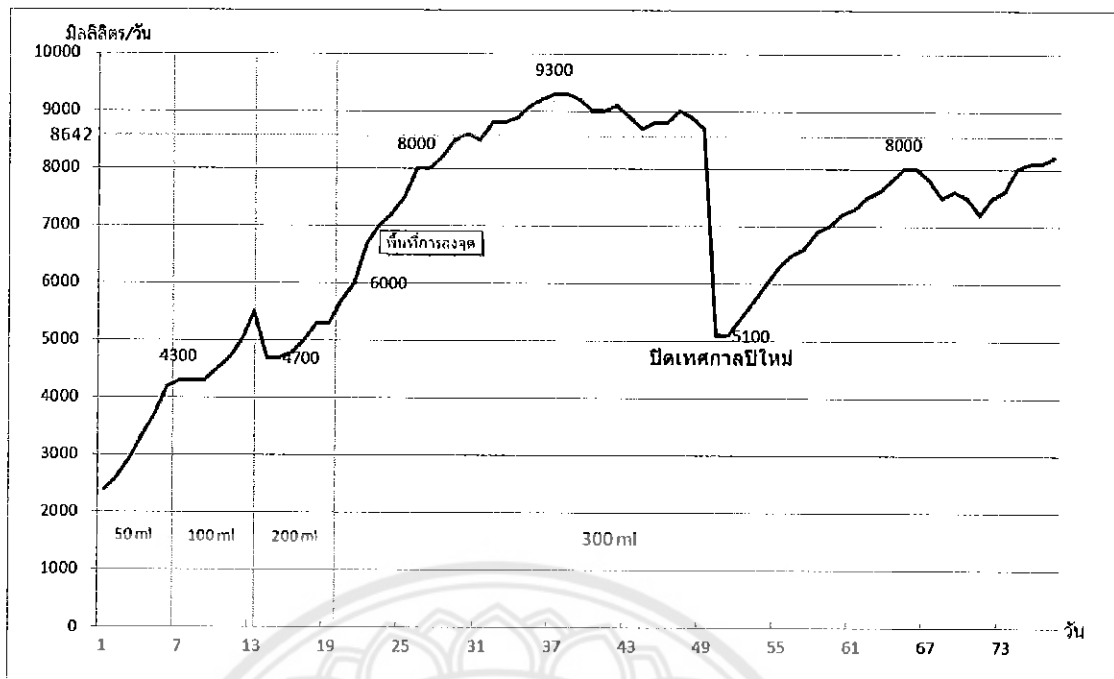
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ปริมาณก๊าซที่ได้จากการใส่ขยะอินทรีย์สังเคราะห์

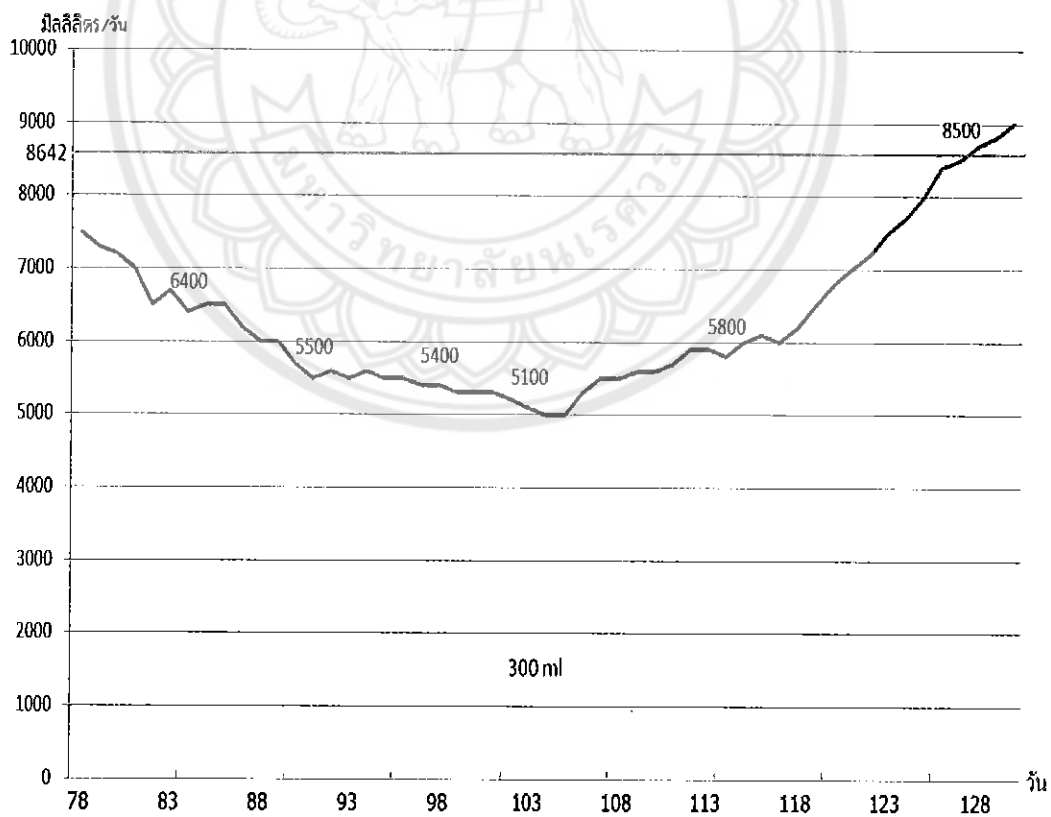
รูปที่ 4.1 แสดงถึงปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นตามปริมาณขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่ใส่เข้าไปในถังหมักก๊าซชีวภาพ จะเห็นได้ว่าก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าสูงที่สุดถึง 9300 มิลลิลิตรต่อวัน เมื่อหยุดช่วงเทศกาลปีใหม่ทำให้ไม่มีการเติมขยะเข้าในถังจุลินทรีย์ในระบบไม่มีอาหาร ส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง ต่อมามีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ ทำให้ปริมาณก๊าซเกิด 5100 มิลลิลิตรหลังจากนั้นปริมาณก๊าซค่อยๆเพิ่มจนเกิดปัญหาการอุดตันมีการเดินระบบใหม่ แต่มีการเติมปริมาณขยะเท่าเดิมส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถปรับตัวได้ปริมาณก๊าซจึงลดลงถึง 5000 มิลลิลิตรต่อวัน แต่เมื่อปรับตัวได้ปริมาณก๊าซมีค่าถึง 8800 มิลลิลิตร และมีค่าก๊าซเฉลี่ย 8642 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.1 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน



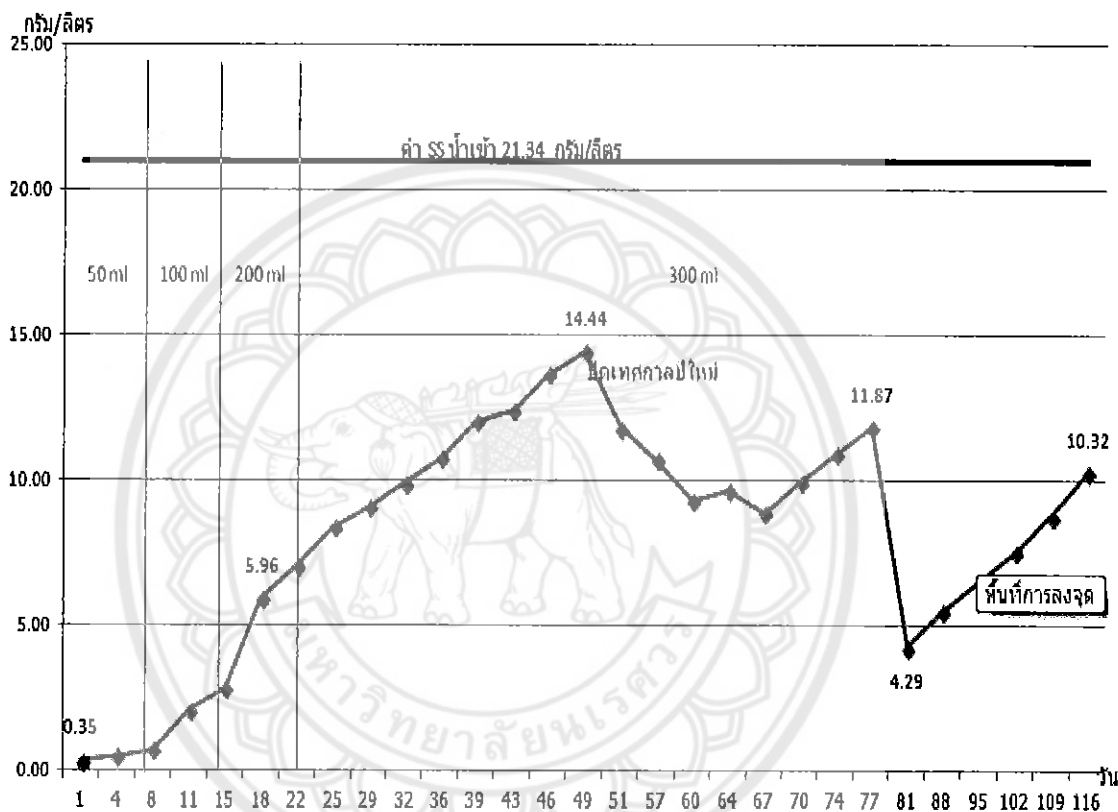
รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันในช่วงวันที่ 1-78



รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันในช่วงวันที่ 78-130

4.2 ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

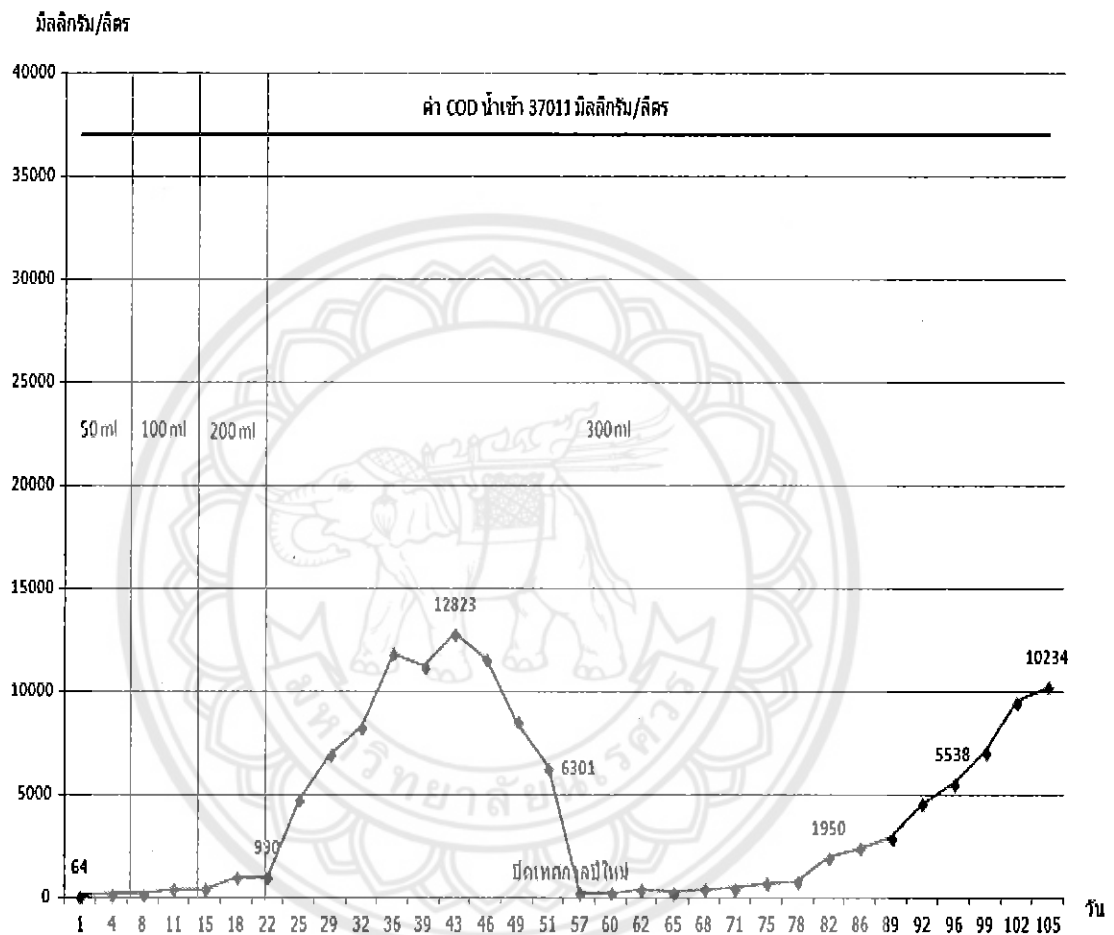
รูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าของแข็งแขวนลอยที่เกิดขึ้นตามปริมาณขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่ต่างกัน โดยจะมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุดในระบบถึง 14.44 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำที่ออกจากระบบซึ่งอยู่ในช่วงการใส่อาหาร 300 มิลลิกรัม จะเห็นได้ว่า ค่าของแข็งแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะที่เติมลงในถัง เมื่อเพิ่มปริมาณขยะที่ใส่มากขึ้นส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น และมีการอุดตันของท่อน้ำล้นปริมาตรของค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกน้อยลง



รูปที่ 4.4 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ออกจากระบบ

4.3 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

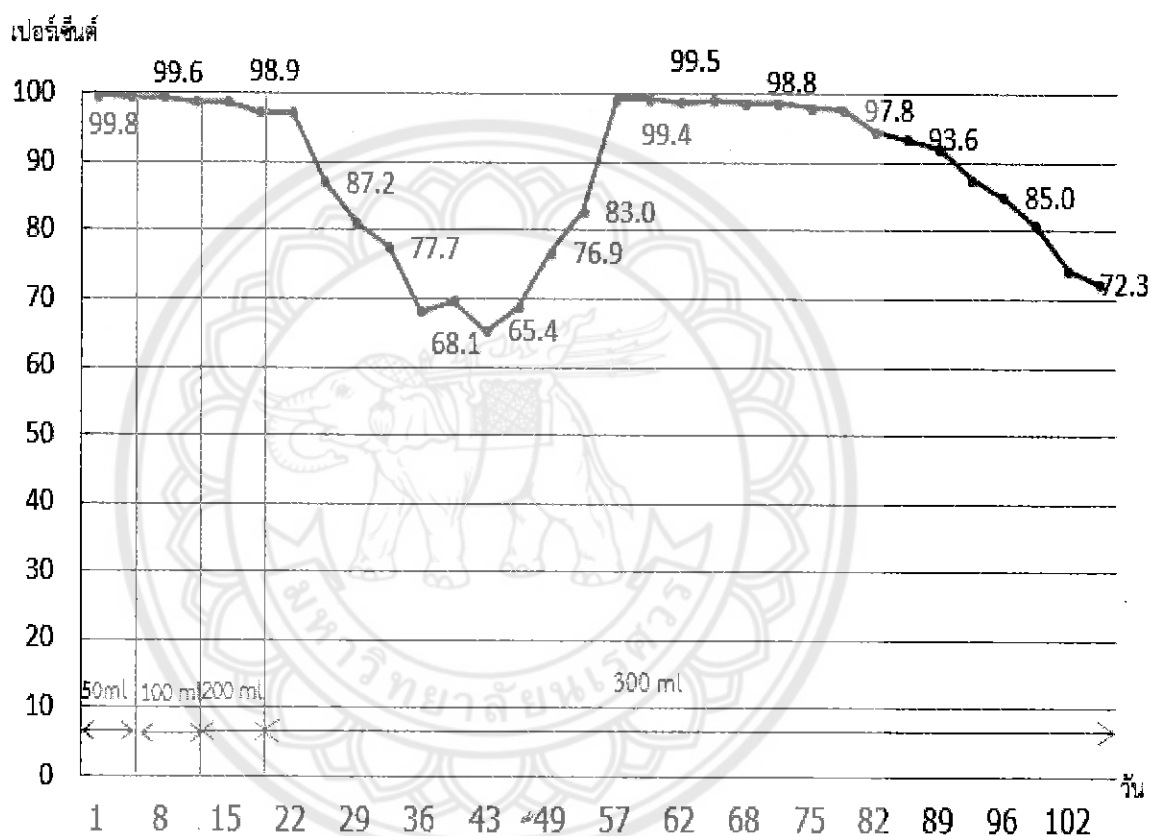
รูปที่ 4.5 แสดงถึงค่าซีโอดีในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ โดยมีค่าซีโอดีสูงสุด 12823 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำออกจากระบบซึ่งอยู่ในช่วงวันที่ 44 เนื่องจากมีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ใน ปริมาณมากและมี ปริมาตรก๊าซลดต่ำลง เนื่องจากไม่ได้มีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์เข้าในถัง ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยขยะ อินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมก่อนหน้าได้หมดค่าซีโอดีจึงลดลง จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีมีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะที่ เติม เมื่อเพิ่มปริมาณขยะมากขึ้นค่าซีโอดีก็เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 ค่าซีโอดีในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ

4.4 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี

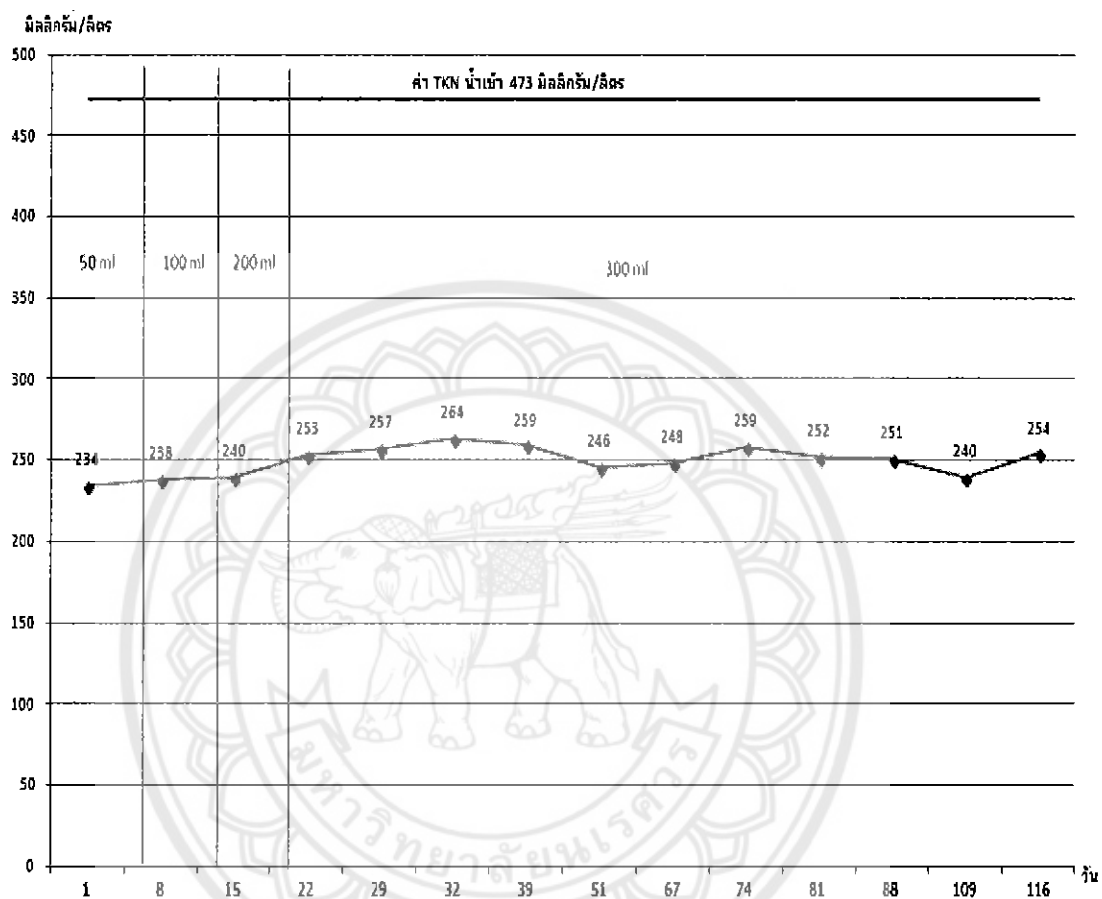
รูปที่ 4.6 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีซึ่งสามารถกำจัดได้ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในช่วงตอนต้นมีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ในปริมาณที่ต่ำโดยเริ่มต้นที่ 50 100 200 มิลลิตรต่อวันทำให้มีเปอร์เซ็นต์การบำบัดได้ดีแต่หลังจากที่มีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ 300 มิลลิตรต่อวันทุกๆวันส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำลง เมื่อมีการปิดเทศกาลปีใหม่ไม่มีการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์เข้าในถังทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงขึ้น แต่เมื่อมีการเติมขยะอินทรีย์ เปอร์เซ็นต์ การกำจัดจึงต่ำลง



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี

4.5 ค่าที่เคเอ็น (Kjeldahl nitrogen)

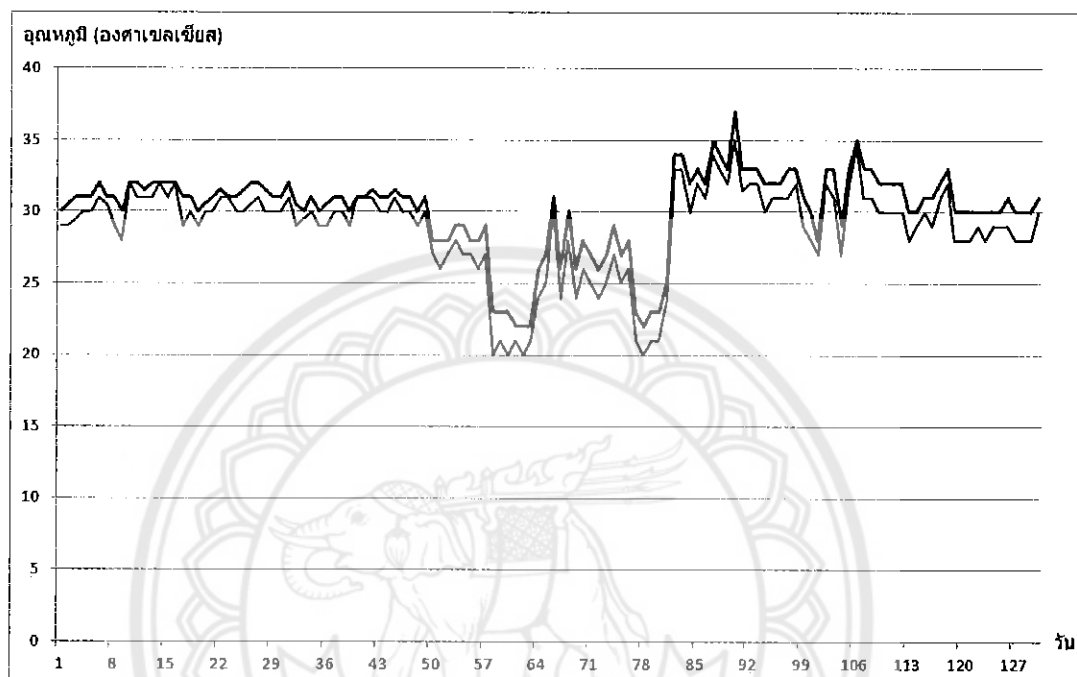
รูปที่ 4.7 แสดงถึงค่าที่เคเอ็นในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ โดยมีค่าที่เคเอ็นสูงสุด 264 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำออกจากระบบซึ่งอยู่ในวันที่ 32 จะเห็นได้ว่าค่าที่เคเอ็นที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 234-264 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมเข้าไปในถังหมักก๊าซไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดของค่าเจตาลไนโตรเจน



รูปที่ 4.7 ค่าที่เคเอ็นในน้ำที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ

4.6 อุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงอุณหภูมิโดยเส้นสีแดงคืออุณหภูมิภายในถังหมักก๊าซชีวภาพและเส้นสีน้ำเงินเป็นอุณหภูมิห้อง โดยที่อุณหภูมิภายในถังมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องเนื่องจากภายในถังหมักก๊าซชีวภาพมีกระบวนการหมักส่งผลให้เกิดพลังงานความร้อน ซึ่งในถังอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1-2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิภายในถัง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การเดินระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารสังเคราะห์โดยใช้ระบบ Anaerobic digester แบบ low rate สามารถทำให้สรุปผลว่า ในช่วงวันที่ 1-78 เกิดก๊าซจากการเดินระบบถังหมักก๊าซชีวภาพสูงถึง 9300 มิลลิลิตรต่อวัน แต่เมื่อมีการหยุดช่วงเทศกาลปีใหม่เป็นระยะเวลา 6 วัน ทำให้ไม่มีการใส่ขยะอินทรีย์สังเคราะห์เข้าไปในถังหมักทำให้จุลินทรีย์ในระบบไม่มีอาหารขยะอินทรีย์ที่จะย่อยส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน เมื่อกลับมาใส่ขยะอินทรีย์สังเคราะห์ปริมาณแก๊สก็ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามปกติ

ในช่วงวันที่ 79-130 เกิดปัญหาการอุดตันในถังหมักทำให้มีการเริ่มเดินระบบใหม่ แต่ใส่ปริมาณขยะอินทรีย์สังเคราะห์ 300 มิลลิลิตรเท่าเดิม ส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในถังหมักลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ในถังไม่สามารถปรับตัวเข้ากับภาระบรรทุก (shock load) แต่เมื่อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้แล้วทำให้ปริมาณก๊าซค่อยๆเพิ่มขึ้น และพบว่าในช่วงที่เกิดก๊าซในถังหมักคงที่มีปริมาตรก๊าซเฉลี่ย 8642 มิลลิลิตรต่อวัน

จากการเติมขยะอินทรีย์สังเคราะห์เข้าไปในถังผลิตก๊าซชีวภาพปริมาตร 300 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นปริมาณ 303.5 กรัม ทำให้เกิดก๊าซ 0.0287 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่เติมในถังหมักก๊าซชีวภาพ โดยคิดเป็นปริมาตรของก๊าซมีเทน 0.009 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซได้ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 2 ตัวอย่างจากเครื่อง GC ได้แก่ ก๊าซมีเทนให้ค่าทดสอบร้อยละ 32.80 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ค่าทดสอบร้อยละ 33.21 ซึ่งมีก๊าซชนิดอื่นเกิดขึ้นในระบบอีกได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจนรวมกันเป็นร้อยละ 33.39

ระบบ Anaerobic digester นั้นมีความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากสามารถปรับสภาพให้เข้ากับภาระบรรทุกที่เข้ามาในระบบภายในช่วงระยะเวลาอันสั้นและกลับมาทำงานเป็นปกติได้อย่างรวดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเดินระบบถังหมักไบโอแก๊สที่มีปริมาณขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบว่าปริมาณขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่แตกต่างกันจะเกิดปริมาณก๊าซไม่เท่ากัน

5.2.2 ควรมีการออกแบบช่องทางเข้าและออกให้มีขนาดใหญ่มากขึ้นเพื่อป้องกันการอุดตันของขยะอินทรีย์สังเคราะห์ที่ใส่ลงไปถังหมัก

5.2.3 ควรทำการตรวจวัดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อัลคาลินิตี เป็นต้น เพื่อควบคุมให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่มากในระบบ

เอกสารอ้างอิง

กองกำจัดขยะกรุงเทพมหานคร.(2539).เอกสารเผยแพร่ความรู้เรื่องการกำจัดขยะของ

กรุงเทพมหานคร(หน้า 8-14).กรุงเทพมหานคร

คณะกรรมการธิการการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน วุฒิสภา.(24 กันยายน 2541)การผลิต

พลังงานจากขยะชุมชน, (หน้าที่ 20)เอกสารประกอบการเสวนา เรื่อง การนำขยะมาใช้ใน
ด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าและด้านการเกษตร (ครั้งที่ 2)

นพพร เจตน์ชัย.(2529),การศึกษาของกลุ่มจุลินทรีย์อันดามันก๊ำชชีวะภาพอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิปาน

กลาง, (หน้า 173) วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา

เทคโนโลยีชีวภาพคณะพลังงานและวัสดุ กรุงเทพมหานคร:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี

ก๊ำชชีวะภาพ.สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม2557,

จาก <http://eiamburapa.com/data.php?name=news&file=readnews&id=5>

กรมการพลังงานทหาร.(พฤษภาคม 2556).พลังงานก๊ำชชีวะภาพ.สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม

2558,จาก <http://ddcs.mod.go.th/CMSPages/GetFile.aspx?nodeguid=4aae9ca8-c085-4b5e-bed7-1363c5bb28f1&lang=th-TH>

โครงการการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษอาหาร เพื่อใช้ในครัวเรือน.สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม2558

<http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20111261832311.p>

เอกสารประกอบโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊ำชชีวะภาพ.

2549. คู่มือปฏิบัติงานที่ดีของระบบผลิตก๊ำชชีวะภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม. โครงการพัฒนา
หลักสูตรและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊ำชชีวะภาพสำนักวิจัยค้นคว้างานพัฒนา กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

เอกสารประกอบโครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊ำชชีวะภาพ.

2549. คู่มือปฏิบัติงานที่ดีของระบบผลิตก๊ำชชีวะภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรม. โครงการพัฒนา
หลักสูตรและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊ำชชีวะภาพสำนักวิจัยค้นคว้างานพัฒนา กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

Kugelmann,I.J. and Chin, K.K. 1971. Toxicity synergism, and antagonism in anaerobic
waste treatment processes, F.G. Pohland (ed.). Washington, D.C.

USEPA. Data Base For Influent Heavy Metals In Publicly Owned Treatment Works,
MERL,Cincinnati OH.45268

- Mignone, A.N. 2005 .Biological Inhibition / Toxicity Control In Municipal Anaerobic Digestion Facilities, [http://www.awpca.net/Biological Inhibition.pdf](http://www.awpca.net/Biological%20Inhibition.pdf), July, 2005.
- Metcalf and Eddy. 1964. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse. 4th ed. McGraw Hill, New York.
- Mc Carty P.L. The Methane Fermentation; Application of Aquatic Microbiology. Edited by H.Heukelkian and N. C. Dandero, New York: John Willey and Sons Inc., 1964
- Mitxaff, kiaus von : ENGINES FOR BIOGAS : Theory, Modification, economic operation ; a puapl. Of dt. Zentrum fuer Thehn. Zusammenarbeit (GTZ) Viweg, 1988. ISBN



ประวัติผู้จัดทำ



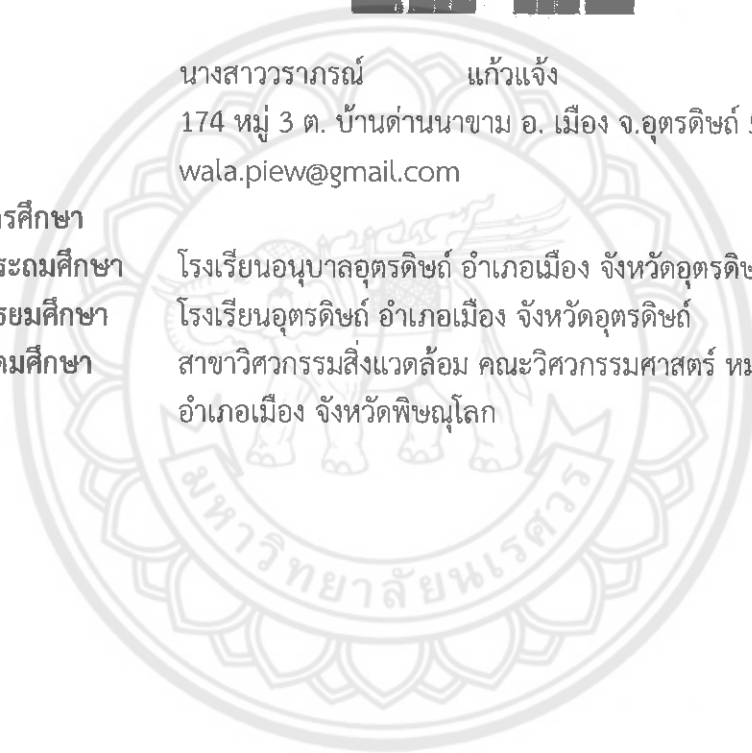
ชื่อ นายพิศนุชัย พันธุ์
ภูมิลำเนา 60/57 หมู่ 3 ต. ท่าทอง อ. เมือง จ. พิชณุโลก 65000
E-mail tong.pisnuchai@gmail.com
ประวัติการศึกษา
- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลโรจนวิทย์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก



ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นางสาวราภรณ์ แก้วแจ้ง
ภูมิลำเนา 174 หมู่ 3 ต. บ้านด่านนาขาม อ. เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000
E-mail wala.piew@gmail.com
ประวัติการศึกษา
- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์
- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก



ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นางสาววิชราภรณ์ อ่อนอยู่
ที่อยู่ 103/6 หมู่ที่ 3 ตำบลทรงธรรม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร
E-mail Watcharaporn.Onyoo@gmail.com
ประวัติการศึกษา
-ระดับประถม โรงเรียนสหวิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร
-ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร
-ระดับอุดมศึกษา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

