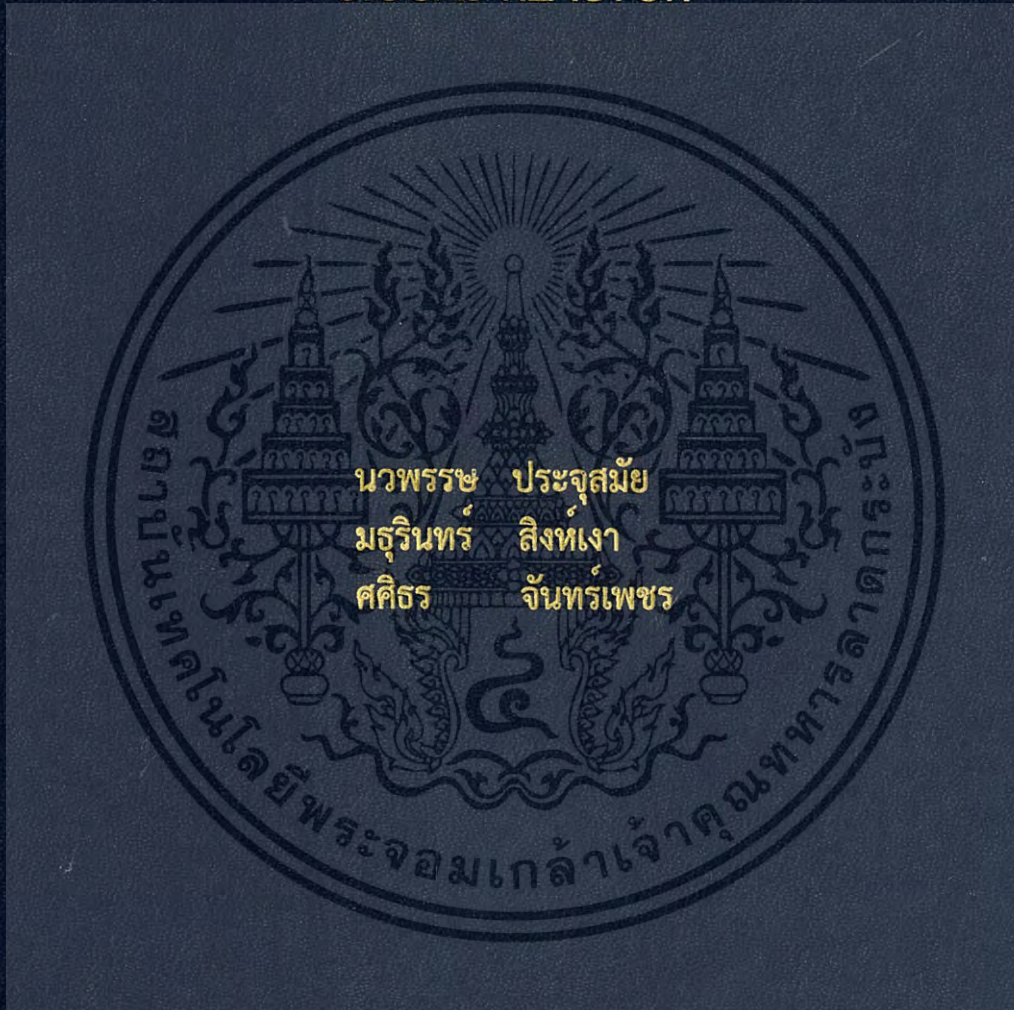


การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและ
กากไขมันโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

PRODUCTION OF BIOGAS FROM CO-DIGESTION OF
FOOD WASTE AND GREASE USING COMPOST AND
BIOGAS REACTOR



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและ
กากไขมันโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

PRODUCTION OF BIOGAS FROM CO-DIGESTION OF
FOOD WASTE AND GREASE USING COMPOST AND
BIOGAS REACTOR



T149232

นางพรช ประจุมัย
มธุรินทร์ ลิงห์เงา
ศศิธร จันท์เพชร

ร.พ.

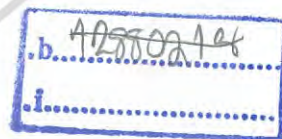
๒๖๒๙๗๗

๒๕๕๘

เลขหมู่.....149232

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี.....๒๙ ธ.ค. ๒๕๖๑



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF BIOGAS FROM CO-DIGESTION OF
FOOD WASTE AND GREASE USING COMPOST AND
BIOGAS REACTOR



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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและ
กากไขมันโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
Production of Biogas from Co-digestion of Food Waste
and Grease using Compost and Biogas Reactor

ชื่อนักศึกษา

นางสาวนพพรช ประจุมัย รหัสนักศึกษา 55050938
นางสาวมธุรินทร์ สิงห์เงา รหัสนักศึกษา 55050972
นางสาวศศิธร จันทร์เพชร รหัสนักศึกษา 55051004
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.ธิปชัย วัฒนวิจารณ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและกากไขมันโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนพพรช ประจุมัย รหัสนักศึกษา 55050938 นางสาวมธุรินทร์ สิงห์เงา รหัสนักศึกษา 55050972 นางสาวศศิธร จันทร์เพชร รหัสนักศึกษา 55051004
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสภาวะและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและกากไขมันภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพขนาด 3,100 ลิตร โดยช่วงแรก เติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม และกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม ต่อน้ำประปา 20 ลิตร ทุกวันจันทร์, พุธ และศุกร์ เป็นเวลา 69 วัน เพื่อปรับสภาพเชื้อจุลินทรีย์ และช่วงที่สอง เติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม และกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม ต่อน้ำประปา 80 ลิตร ทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ จากนั้นทำการศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าสภาพความเป็นด่าง, ค่าของแข็งทั้งหมด, ค่าของแข็งระเหยง่าย, ค่ากรดไขมันระเหย, เปอร์เซนต์การกำจัดไขมันและไขมัน, อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่าระยะเวลาที่เก็บ (HRT) เท่ากับ 31 วัน จากผลการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า ของผสมในระบบมีค่าพีเอช เท่ากับ 7.61-7.84, สภาพความเป็นด่างเท่ากับ 3,604.04-4,188.67 mg/L as CaCO₃, ค่าของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 18,463-21,893 mg/L, ค่าของแข็งระเหยง่าย เท่ากับ 10,175-11,833 mg/L, ค่ากรดไขมันระเหย เท่ากับ 827.43-1,063.89 mg/L as CH₃COOH, ประสิทธิภาพการกำจัดไขมัน เท่ากับ 98.60% และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 1.70-1.80 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งระเหยง่ายและกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัดไป คิดเป็น 19.19-22.12 L CH₄/g VS และ 1.14-2.70 L CH₄/g VFA โดยก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน 50.2-56.1%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 32.4-39.0% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 15-45 ppm

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, การหมักร่วม, เศษอาหารและกากไขมัน, เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

Title	Production of Biogas from Co-digestion of Food Waste and Grease using Compost and Biogas Reactor
Students	Miss Nawapas Prajusamai Student ID 55050938 Miss Mathurin Singngao Student ID 55050972 Miss Sasitorn Chanpet Student ID 55051004
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This special project studied digestion conditions and biogas production from co-digestion of food waste and grease under anaerobic digestion using a 3,100 L compost and biogas reactor. The experiment was divided into 2 periods. The first period, food waste 19.5 kg : grease 0.5 kg : tap water 20 kg were added into the reactor every Monday, Wednesday and Friday for 69 days for microorganisms' adjustment. The second period, food waste 19.5 kg : grease 0.5 kg : tap water 80 kg were added into the reactor every working day (Monday-Friday). The conditions of biogas production in the reactor was investigated including pH, alkalinity, TS, VS, VFA, %remved of oil&grease, biogas production rate and compositions of biogas. It was found that hydraulic retention time (HRT) was 31 day. The results showed that pH ranges of slurry in the reactor were 7.61-7.84. Alkalinity varied from 3,604.04 to 4,188.67 mg/L as CaCO₃. Amount of total solids were between 18,463 and 21,893 mg/L. Volatile solids ranged from 10,175 to 11,833 mg/L. Volatile fatty acids varied form 827.43 to 1,063.89 mg/L as CH₃COOH. The removal efficiency of oil&grease was 98.60%. Biogas production rates ranged form 1.70 to 1.80 m³/d. The methane yields were 19.19-22.12 L CH₄/g VS and 1.14-2.70 CH₄/g VFA. Biogas was composed of CH₄ 50.2-56.1%, CO₂ 32.4-39.0% and H₂S 15-45 ppm

Keywords : biogas, co-digestion, food waste and grease, biogas reactor

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณ ดังนี้
ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือ เสนอแนะ และแก้ไขปรับปรุง ให้ความอนุเคราะห์ และเอาใจใส่ในรายละเอียดของการทำโครงการพิเศษอย่างใกล้ชิด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการสอโบโครงการพิเศษ และ ดร.ธิปชัย วัฒนวิจารณ์ กรรมการสอโบโครงการพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือ เสนอแนะ และแก้ไขปรับปรุงรูปแบบโครงการพิเศษให้ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะและน้ำเสียชุมชน โดยความร่วมมือระหว่าง สำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร และคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณพี่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการศึกษา และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเอื้ออำนวยในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณพี่นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาชีววิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์การวิเคราะห์ทางชีววิทยา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ อีกทั้งช่วยสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบคุณร้านค้า และแม่บ้านประจำโรงอาหารใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้กับการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณพ่อแม่ และเพื่อน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอดจนการศึกษาโครงการพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกๆท่าน และขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้กำลังใจและคำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

นวพรรษ ประจuszมัย
มธุรินทร์ สิงห์เงา
ศศิธร จันทรเพชร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ก๊าซชีวภาพ	3
2.1.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน	3
2.1.2 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	6
2.1.3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้	9
2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้งาน.....	12
2.1.5 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ.....	12
2.2 ขยะอินทรีย์.....	13
2.2.1 สถานการณ์ขยะในประเทศไทย	13
2.2.2 แนวทางการนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์.....	16
2.2.3 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสภาวะแวดล้อม.....	18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	21
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	21
3.1.1 สารเคมี.....	21
3.1.2 อุปกรณ์.....	21
3.1.3 วัสดุดิบที่ป้อนเข้าระบบ.....	22
3.1.4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.1.5 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ.....	22
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง.....	23
3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุป้อน	23
3.2.2 ศึกษาสภาวะของระบบในระหว่างการหมัก.....	24
3.2.2.1 ระยะเวลาปรับสภาพ.....	26
3.2.2.2 ระยะเวลาทดลอง.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 วิเคราะห์ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	27
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน.....	27
4.2 ผลการศึกษาสภาวะในการหมักก๊าซชีวภาพ.....	28
4.2.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระบบ.....	28
4.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างทั้งหมดในระบบ.....	29
4.2.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ.....	30
4.2.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดในระบบ.....	31
4.2.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ.....	31
4.2.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันในระบบ.....	32
4.3 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	33
4.3.1 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น.....	33
4.3.2 ผลการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักของแข็งระเหยและ กรดไขมันระเหย	34
4.3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบรรยากาศกับอัตราการผลิต ก๊าซชีวภาพ.....	36
4.3.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ.....	36
4.3.5 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุบ่อน (Feed) และของผสม (Slurry).....	38
4.4 ผลการวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์	45
ก-1 วิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาวะในระหว่างการหมัก.....	45
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	51
ข-1 คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน.....	51
ข-2 ผลการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักก๊าซชีวภาพ.....	52
ภาคผนวก ค การคำนวณ.....	86
ค-1 การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน.....	86
ค-2 การคำนวณระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ.....	87
ค-3 การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักของแข็งระเหยและ กรดไขมันระเหย.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

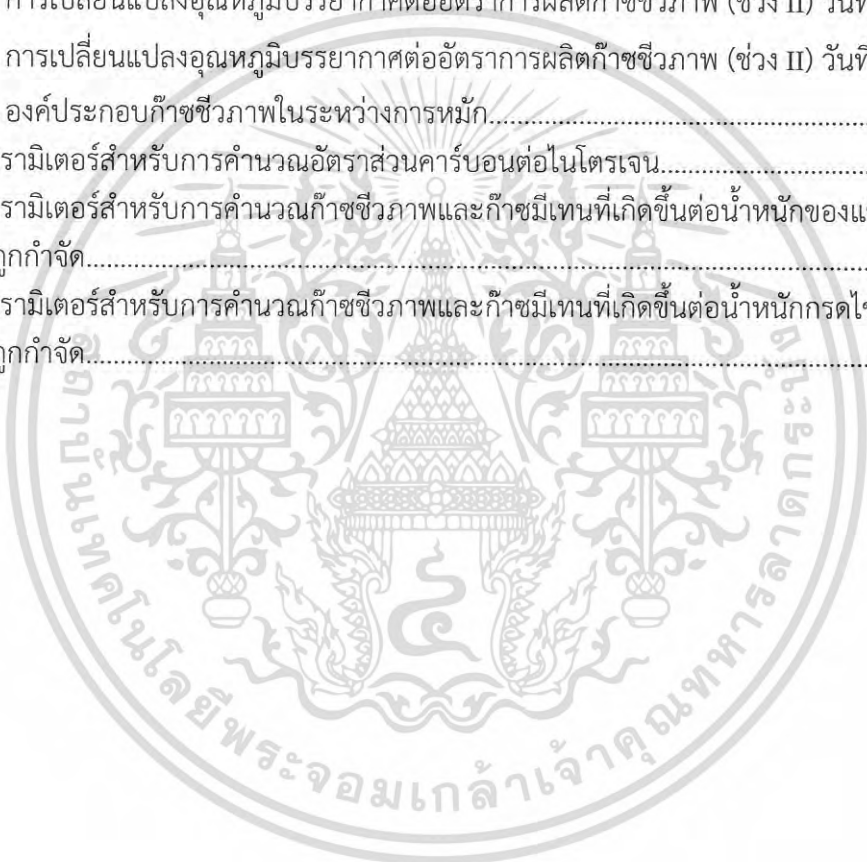
สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	3
2.2 ระดับความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่เหมาะสมและระดับความเข้มข้นที่เกิดการยับยั้ง.....	8
2.3 องค์ประกอบของน้ำมันและไขมันจากบ้านเรือน.....	16
3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์.....	24
4.1 คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน.....	27
4.2 คุณลักษณะของของวัสดุป้อน (Feed) และของผสม (slurry)	38
ข-1.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหาร.....	51
ข-1.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกากไขมัน.....	51
ข-2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของวัสดุป้อน.....	52
ข-2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผสม.....	53
ข-2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของวัสดุป้อน.....	54
ข-2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของของผสม.....	55
ข-2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อน.....	56
ข-2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของของผสม.....	57
ข-2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของวัสดุป้อน.....	58
ข-2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของของผสม.....	59
ข-2.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของวัสดุป้อน.....	60
ข-2.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของของผสม.....	61
ข-2.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อน.....	62
ข-2.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของของผสม.....	63
ข-2.13 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในเวลา 24 ชั่วโมง ช่วงที่ I	64
ข-2.14 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในเวลา 24 ชั่วโมง ช่วงที่ II	65
ข-2.15 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงปรับสภาพของจุลินทรีย์เริ่มต้น.....	66
ข-2.16 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงระยะทดลอง.....	67
ข-2.17 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 1.....	68
ข-2.18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 3.....	69
ข-2.19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 5.....	70
ข-2.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 7.....	71
ข-2.21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 9.....	72
ข-2.22 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 11.....	73
ข-2.23 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 1.....	74
ข-2.24 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 2.....	75
ข-2.25 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 3.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-2.26 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 4.....	77
ข-2.27 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 5.....	78
ข-2.28 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 6.....	79
ข-2.29 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 7.....	80
ข-2.30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 8.....	81
ข-2.31 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 9.....	82
ข-2.32 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 10.....	83
ข-2.33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 11.....	84
ข-2.34 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระหว่างการผลิต.....	85
ค-1 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน.....	86
ค-2 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหย ที่ถูกกำจัด.....	87
ค-3 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหย ที่ถูกกำจัด.....	89



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ.....	4
2.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	6
2.3 Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR.....	10
2.4 Anaerobic Contact, AC.....	10
2.5 การจำลองภายในถัง Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB.....	11
2.6 การจำลองระบบย่อยสลดัดจ์แบบราง (Plug Flow Digester).....	11
2.7 ปริมาณขยะในประเทศไทย เปรียบเทียบจากปี พ.ศ. 2551-2557.....	14
2.8 ข้อมูลองค์ประกอบขยะของกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ.2554.....	14
3.1 วัตถุประสงค์ที่ป้อนเข้าระบบ.....	22
3.2 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ.....	23
3.3 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	25
4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ.....	28
4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ.....	29
4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ.....	30
4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ..	31
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ.....	32
4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อนและของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ.....	33
4.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	34
4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทน.....	35
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	36
4.10 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระหว่างการหมักก๊าซชีวภาพ.....	37
4.11 ลักษณะเชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยการย้อมสีแกรมแล้ว ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000X	39
ข-2.1 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น.....	66
ข-2.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงระยะทดลอง.....	67
ข-2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 1.....	68
ข-2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 3.....	69
ข-2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 5.....	70
ข-2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 7.....	71
ข-2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 9.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง I) วันที่ 11.....	73
ข-2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 1.....	74
ข-2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 2.....	75
ข-2-11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 3.....	76
ข-2-12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 4.....	77
ข-2-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 5.....	78
ข-2-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 6.....	79
ข-2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 7.....	80
ข-2-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 8.....	81
ข-2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 9.....	82
ข-2-18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 10.....	83
ข-2-19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วง II) วันที่ 11.....	84

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
TS	ของแข็งทั้งหมด
VS	ของแข็งระเหยง่าย
VFA	กรดไขมันระเหย
TN	ไนโตรเจนทั้งหมด
TOC	อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด
HRT	ระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ
g	กรัม
Kg	กิโลกรัม
m ³	ลูกบาศก์เมตร
m ³ /d	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
L	ลิตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/L as CaCO ₃	มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต
mg/L as CH ₃ COOH	มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก
ppm	ส่วนในล้านส่วน
L CH ₄ /g VS	ลิตรมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหย
L CH ₄ /g VFA	ลิตรมีเทนต่อกรัมกรดไขมันระเหย
°C	องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขยะมูลฝอยเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ปัจจุบันขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในทุกๆปีเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ปัญหาขยะมูลฝอยนับเป็นปัญหาที่สำคัญของชุมชนซึ่งต้องจัดการและแก้ไขอย่างเร่งด่วน จากสถานการณ์ขยะมูลฝอยในปี 2557 พบว่ามีปริมาณขยะสูงถึง 26.17 ล้านตัน แต่มีขยะเพียง 7.88 ล้านตันที่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้อง ที่เหลือเป็นการจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียง 4.82 ล้านตัน โดยอัตราการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์นี้ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) จากข้อมูลการสำรวจโดยสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดมีปริมาณขยะสดที่เป็นเศษอาหารผักและผลไม้อยู่ประมาณร้อยละ 12.15 ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย หากไม่มีการจัดการที่ดีจะเกิดการเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค รวมถึงการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน ขยะสดเหล่านี้มีความชื้นสูง จึงไม่เหมาะที่จะกำจัดโดยการเผาและไม่สามารถนำมาผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (สำนักสิ่งแวดล้อม, 2554)

การจัดการขยะอินทรีย์โดยการหมักก๊าซชีวภาพเป็นวิธีจัดการขยะที่นิยมอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากมากกว่าร้อยละ 50 ของขยะมูลฝอยทั้งหมดเป็นขยะอินทรีย์ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน รวมทั้งลดปริมาณขยะมูลฝอยและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอย และลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน

สถาบันการศึกษาเป็นอีกสถานที่หนึ่งที่มีขยะเศษอาหารเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีกากไขมันที่เกิดจากการประกอบอาหาร และถูกดักจับไว้ที่บ่อดักไขมัน เนื่องจากขยะเศษอาหารและกากไขมันเป็นขยะอินทรีย์ที่ต้องมีการจัดการและบำบัดอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษอาหารร่วมกับกากไขมันภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำขยะอินทรีย์มาใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูง โดยศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าของแข็งทั้งหมด, ค่าของแข็งระเหยง่าย, ค่าสภาพความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหย, ปริมาณน้ำมันและไขมัน และ C/N ratio

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสภาวะและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษอาหารร่วมกับกากไขมันโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ
- 2) เพื่อศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและกากไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ปรับสภาพจุลินทรีย์ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัมร่วมกับกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ต่อน้ำประปา 20 ลิตร ระยะเวลา 69 วัน

2) ศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

3) ศึกษาคุณลักษณะของส่วนผสมของเศษอาหารและกากไขมันก่อนเข้าระบบ (Feed) และของผสมที่ถ่ายออกจากระบบ (Slurry) โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH), ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS), ปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA) และปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 ครั้ง

4) เติมหาอาหาร (Feed) 100 กิโลกรัมต่อวัน เข้าระบบ และถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากระบบ มีระยะเวลาพักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ (HRT) 31 วัน

5) วัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง พร้อมบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศและความดันบรรยากาศ

6) ศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas data meter

7) คำนวณผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อการกำจัดของแข็งระเหยง่ายและกรดไขมันระเหย, เปอร์เซ็นต์การกำจัดของแข็งทั้งหมด, ของแข็งระเหยง่าย และน้ำมันและไขมัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด
- 2) เป็นการใช้ประโยชน์จากขยะอินทรีย์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้ง
- 3) ช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะอินทรีย์
- 4) ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะอินทรีย์ เช่น กลิ่น มลพิษทางน้ำและอากาศ และแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3), ก๊าซไฮโดรเจน (H_2), ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

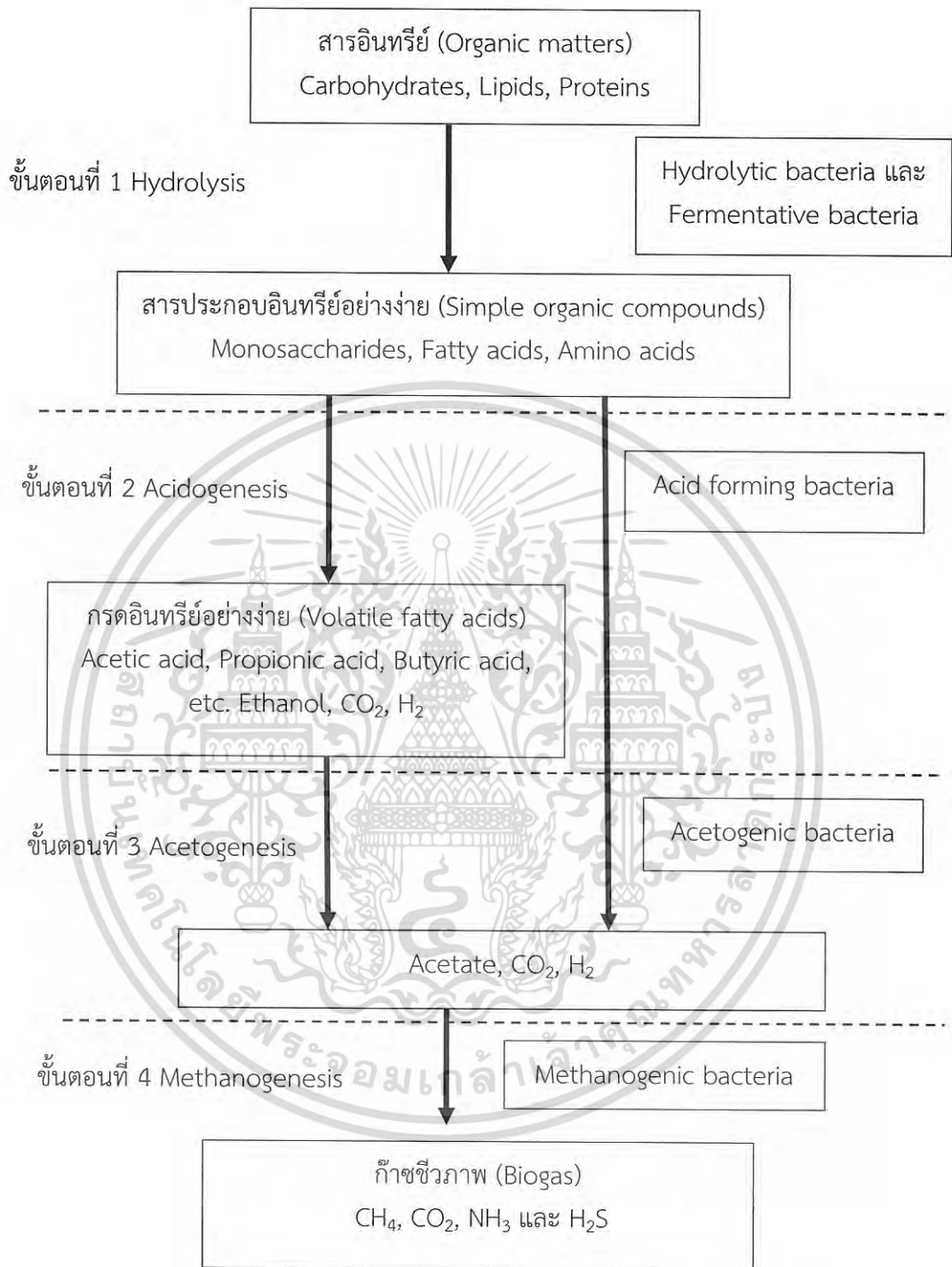
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (Biogas)

องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	
ชนิด	ปริมาณ (%)
ก๊าซมีเทน (CH_4)	50-70
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30-50
ก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3), ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ	เล็กน้อย

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554

2.1.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) (Breure and Van Andel, 1987)

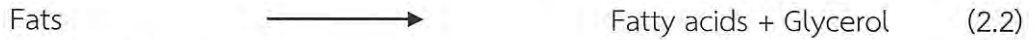
ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่มีใช้ออกซิเจน 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid producing bacteria) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria) หรือเมทาโนเจนซึ่งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน (รูปที่ 2.1) ดังนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศ (Breure and Van Andel, 1987)

1) ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) สารอินทรีย์ (เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แบคทีเรียที่เรีย hydrolytic bacteria จะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตรา-เซลล์ลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยย่อยโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน ให้แตกลงเป็น เอกสารินเป็นเอกสารที่สวงเวสทาหรับการเพนเพื่อการหกรอกเอาหนน ไม่นุอยู่ เตเินไปใช้ประโยชน์การค่า ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomers) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน ดังสมการที่ 2.1-2.3



2) แอซิติฟิเคชัน หรือ แอซิโตเจเนซิส (Acidification/Acidogenesis) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomers) ไปเป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acids) แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน โดย acidogenic bacteria หรือ acid forming bacteria ดังสมการที่ 2.4



3) อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เป็นการเปลี่ยนกรดระเหยง่าย และแอลกอฮอล์เป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน โดย acetogenic bacteria ดังสมการที่ 2.5-2.7



4) เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis) กรดอะซิติกและกรดอื่นๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทน โดยเมทาโนเจน (methanogen) ดังสมการที่ 2.8-2.10

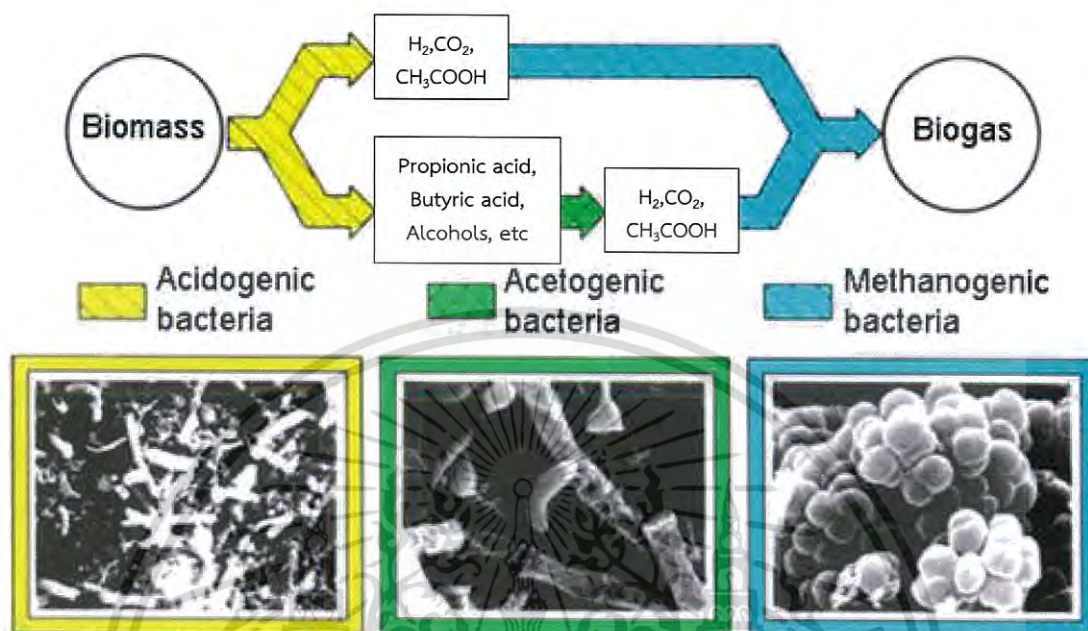


แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการสภาพที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจน (H_2 partial pressure) ที่สูง มีผลทำให้ปริมาณการเกิดกรดอะซิติกลดลง โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวอิก บิวทิริก และเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้ระบบมีค่าพีเอชลดลง ไม่เหมาะสำหรับ Acetogenic bacteria แต่แบคทีเรีย Methanogens สามารถดึงไฮโดรเจนไปใช้งานได้ ทำให้มีค่าความดันย่อยของไฮโดรเจนลดลง Acetotrophic methanogens หรือ acetate bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นมีเทน ดังสมการที่ 2.8 เรียกกระบวนการนี้ว่า Decarboxylation

Methanogenic bacteria เป็นกลุ่มที่พบได้ที่ชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลอง มีทั้งชนิดแกรมบวก และแกรมลบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs และ Acetotrophic methanogens หรือ Acetate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่นับอยู่ใต้เงื่อนไขลิขสิทธิ์ใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

splitting bacteria สามารถเปลี่ยนไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 2.10 ถือเป็นกลุ่มที่ทำหน้าที่ลดความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนในระบบเพื่อให้เอื้อต่อการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ จุลินทรีย์ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Verma, 2002)

2.1.2 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ มีดังต่อไปนี้

1) พีเอช (pH)

ค่า pH เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน โดยมีรายงานว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนนี้ สามารถทำงานได้ดีในช่วง pH ระหว่าง 6.5-7.6 (Strik *et al.*, 2006) หากค่า pH สูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลง ในบางกรณีอาจมีการควบคุมด้วยการเติมสารเคมี เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อปรับค่า pH เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย

2) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ สามารถแบ่งออกได้ 3 ช่วง ได้แก่ ไชโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส มีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิระหว่าง 45-60 องศาเซลเซียส (El-Mashad *et al.*, 2004) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มี 2 ช่วง คือ มีโซฟิลิก และเทอร์โมฟิลิก (Athanasoulia *et al.*, 2012) แต่ช่วง Thermophilic มีข้อเสียคือ อุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงหรือไม่คงที่ หากมีการจัดการระบบไม่ดี รวมทั้งการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงๆยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุม

3) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ ถ้าระบบมีค่าสภาพความเป็นด่างที่สูง แสดงว่าระบบบำบัดมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ได้ดี สามารถกำจัดกรดที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ไม่ทำให้ pH ของน้ำตกต่ำลงต่ำกว่า 6.5-7.0 อย่างไรก็ตาม ค่าสภาพความเป็นด่างที่สูงเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาค่าความเป็นกรด-ด่าง คงตัวได้นาน แต่ในทางตรงกันข้าม หากระบบมีสภาพความเป็นต่างต่ำ แสดงว่าการสะสมของกรดอินทรีย์ค่อนข้างสูง เป็นสัญญาณเตือนว่าระบบอาจเกิดการล้นเหลว

4) กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA)

กรดไขมันระเหย เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโนอิก และกรดวาเลอริก เป็นต้น หากพบว่ามี การสะสมของกรดไขมันระเหยในระบบปริมาณมาก มักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้นเหลวของระบบ เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลาง (intermediates) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ระบบที่มีกรดไขมันระเหยสะสมในปริมาณมาก ในช่วงแรกกรดไขมันระเหยจะมีผลทำให้ค่าสภาพความเป็นต่างของระบบลดลง ต่อมาหากยังไม่มีการใช้ หรือกำจัดกรดไขมันระเหยให้มีปริมาณลดลง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของระบบก็จะต่ำลง ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยอาจพบในตัวอย่างที่ป้อนเข้าระบบก่อนแล้ว โดยจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดวัสดุที่ป้อน

5) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Carbon/Nitrogen ratio, C/N ratio)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากคาร์บอนและไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียนำไปสร้างเซลล์ใหม่ โดยช่วง C/N ratio ที่เหมาะสม คือ ช่วงระหว่าง 20-30 (Romano and Zhang, 2007; Kondusamy and Kamamdhad, 2014) ถ้า C/N ratio สูงเกินไป ปริมาณไนโตรเจนจะถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ก๊าซชีวภาพมีปริมาณน้อยลง แต่ถ้าระบบมี C/N ratio ต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนในระบบมีปริมาณมาก ซึ่งจะสะสมอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ส่งผลให้ค่า pH สูงขึ้น อาจมากกว่า pH 8 ส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ทำให้ระบบเกิดการล้นเหลว

6) การยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)

สารบางชนิดหากมีสารปนเปื้อนในระดับความเข้มข้นสูง จะส่งผลให้ระบบการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนล้นเหลวได้ ความเข้มข้นที่เหมาะสมและระดับความเข้มข้นที่เกิดการยับยั้งและเป็นพิษ แสดงดังตารางที่ 2.2

7) ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ (Hydraulic retention time, HRT)

ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ หมายถึง ระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการในการย่อยอาหารให้หมดไป ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไป ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน รวมถึงรูปแบบของระบบถึงหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะมีเพียงพอสู่แบคทีเรียในการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไป ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง อย่างไรก็ตาม ถ้าระยะเวลาการกักเก็บนานเกินไป จะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า TSC, อุณหภูมิ, ขนาดและปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไรโดยไม่มีการเติมอาหาร

ตารางที่ 2.2 ระดับความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่เหมาะสมและระดับความเข้มข้นที่เกิดการยับยั้งและเป็นสารพิษ

สารตั้งต้น	ปริมาณที่ต้องการ (mg/L)	สารยับยั้ง (mg/L)		ความเป็นพิษ (mg/L)
		Free ion	As carbonate	
Cr	0.005-50	28-300	530	500
Fe	1-10	-	1750	-
Ni	0.005-0.5	10-300	-	30-1,000
Cu	-	5-300	170	170-300
Zn	-	3-400	160	250-600
Cd	-	70-600	180	20-600
Pb	0.02-200	8-340	-	340
Na	-	5,000-30,000	-	60,000
K	-	2,500-5,000	-	-
Ca	-	2,500-7,000	-	-
Mo	0.05	-	-	-
Co	0.06	-	-	-
Se	0.008	-	-	-
Mn	0.005-50	1,500	-	-
HCN	0.0	5-30	-	-

ที่มา : Deublein and Steinhauser, 2008

8) ปริมาณของแข็ง (Total solid content, TSC)

ปริมาณของแข็งของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ปริมาณของแข็งสูง (High-solid, TSC) สูงกว่า 20% และปริมาณของแข็งต่ำ (Low-solid, TSC) ต่ำกว่า 15% ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ High solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (Slurry) แต่เนื่องจากในระบบ high solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้น และการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าตะกอนน้ำและสารอินทรีย์เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

10) รูปแบบการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

10.1) แบบเติมครั้งเดียว (Batch Operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์ครั้งเดียวแล้วปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมดแล้วจึงถ่ายออกจากระบบ และเติมสารอินทรีย์ลงใหม่ ระบบนี้เหมาะสำหรับวัตถุดิบปริมาณมากๆ แต่หลายๆจะมีครั้ง การป้อนสารอินทรีย์แบบเติมครั้งเดียวมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีนัก ระบบไม่ค่อยคงที่ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ

10.2) แบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous Operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เป็นประจำ วันเว้นวัน หรือวันเว้นสองวัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์และขนาดของถังหมัก ผลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแรก ปริมาณก๊าซที่ได้ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากแบคทีเรียช่วยให้เกิดสภาวะคงตัว (Steady-State) ของระบบ ช่วยลดปัญหาที่เป็นสาเหตุจากการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างกะทันหัน

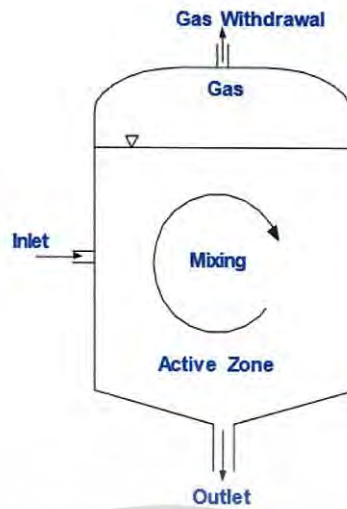
10.3) แบบต่อเนื่อง (Continuous Operation) เป็นการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ และดึงสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วออกจากระบบอยู่ตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าและออกคงที่ ระบบนี้มีประสิทธิภาพสูง เหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรม และชุมชนขนาดใหญ่ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นค่อนข้างคงที่ตลอดเวลา

2.1.3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ได้แก่

1) ระบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic Ponds) เป็นบ่อที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายถูก แต่มีข้อเสียคือเกิดกลิ่นเหม็นรบกวน และใช้พื้นที่มาก

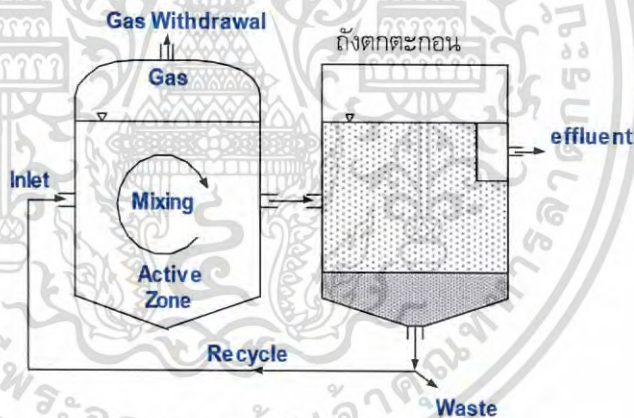
2) ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoons) เป็นระบบที่ดัดแปลงมาจากระบบบ่อไร้อากาศ โดยมีการคลุมบ่อเพื่อเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ ข้อดีของระบบนี้คือ ไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวนและสามารถใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพได้

3) ระบบกวนผสม (Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR) โดยทั่วไปมักเป็นถังเหล็กหรือถังคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายในถังมีการกวนผสมน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้สารอาหารสัมผัสกับแบคทีเรียอย่างเต็มที่ แต่ข้อเสียคือ น้ำทิ้งที่ไหลออกจากถังจะมีแบคทีเรียปนออกไปด้วย ทำให้ความสามารถของระบบต่ำลง (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

4) ระบบแอนแอโรบิคคอนแทค (Anaerobic Contact, AC) เป็นระบบที่พัฒนาจากระบบกวนสมบูรณ์ คือมีการนำน้ำที่ไหลออกจากระบบกวนสมบูรณ์ไปแยกตะกอนออกโดยใช้ถังตกตะกอน แล้วสูบน้ำกลับเข้าสู่ถังกวนสมบูรณ์เพื่อทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป (รูปที่ 2.4)

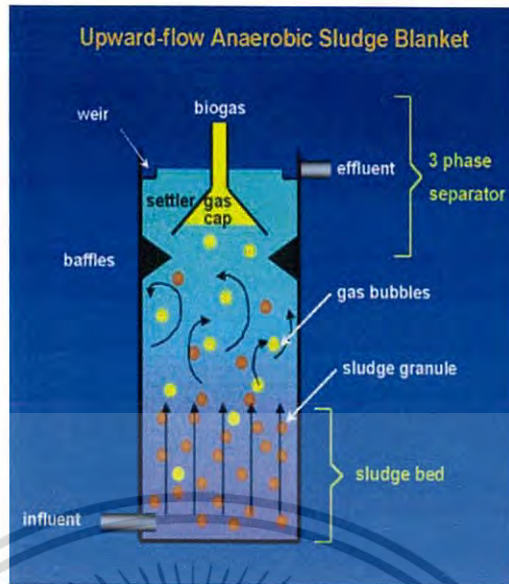


รูปที่ 2.4 Anaerobic Contact, AC (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

5) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) จะมีการใส่ตัวกลางซึ่งมักเป็นพลาสติก เพื่อให้แบคทีเรียยึดเกาะติด ไม่ไหลออกไปจากถังผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อน้ำไหลออกนอกถัง ระบบนี้จะทำให้ปริมาณของแบคทีเรียในระบบมีมาก สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี

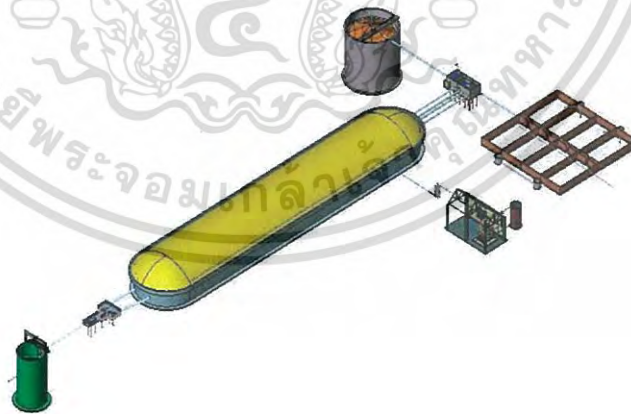
6) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ระบบนี้เป็นที่นิยมอย่างมากทั่วโลก แบคทีเรียในระบบจะรวมตัวจับกันเป็นเม็ดคล้ายกับเม็ดแมงลัก ขนาด 0.4 – 2.0 มิลลิเมตร การรวมตัวของแบคทีเรียปริมาณมาก (ซึ่งแต่ละเซลล์ มีขนาดประมาณ 0.001 มิลลิเมตร) ทำให้ตะกอนเม็ดจมตัวและสะสมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้มาก ทำให้ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี (รูปที่ 2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การจำลองภายในถัง Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

- 7) ระบบอีจีเอสบี (EGSB) ระบบนี้พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบยูเอเอสบี เพื่อให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น โดยเน้นที่การสัมผัสและการถ่ายเทมวลสารระหว่างแบคทีเรียและสารอาหารให้ดีขึ้น แต่ระบบนี้ก็ต้องการการการออกแบบและดูแลที่ดีขึ้น
- 8) ระบบย่อยสลดจ์แบบราง (Plug Flow Digester) มักนิยมใช้ในฟาร์มหมู ซึ่งมีสารแขวนลอยสูง (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การจำลองระบบย่อยสลดจ์แบบราง (Plug Flow Digester) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้งาน มีข้อที่ควรพิจารณาดังนี้ (พิชญ, 2554)

1) การดักน้ำในท่อส่งก๊าซชีวภาพ ปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมีกลิ่นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัว เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านท่อส่งก๊าซที่ฝังอยู่ในดินที่มีอุณหภูมิต่ำ มักจะทำให้ความชื้น (ไอน้ำ) ในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซไปตามท่อได้ ดังนั้น ต้องมีการติดตั้งชุดดักน้ำก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

2) การปรับลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากก๊าซชีวภาพนี้ จะทำก็ต่อเมื่อมีความจำเป็น เช่น ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพที่ได้มีส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) ต่ำมากจนอยู่ในระดับที่จุดไฟติดยาก คือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ CH_4 น้อยกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ หรือในกรณีที่ต้องการทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ

3) การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษและเมื่อสัมผัสกับน้ำ หรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอกรดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ดังนั้น การลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป และจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

2.1.5 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552)

1) นำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหุงต้มในครัวเรือน เชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง และใช้กับเครื่องกลอุตสาหกรรม

2) นำก๊าซชีวภาพไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานกลไฟฟ้า ได้แก่ ใช้กับชุดเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หรือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) โดยผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ภายในฟาร์ม หรือสามารถนำไปขับเครื่องสูบน้ำโดยตรง หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องการต้นกำลัง การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเครื่องยนต์นั้น สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน 4 รูปแบบ ได้แก่

- เครื่องยนต์เบนซิน หรือ ดีเซลขนาดเล็ก ได้แก่ เครื่องตัดหญ้า เครื่องยนต์ต้นกำลังที่มีขนาด 5-12 แรงม้า นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพร่วมกับน้ำมันเบนซินหรือดีเซล โดยการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ประมาณ 80-90 %

- เครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลาง นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพ ร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซลโดยการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้ประมาณ 80%

- เครื่องยนต์เบนซิน หรือ ดีเซล ขนาดกลางและใหญ่ นำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ 100 % มีประสิทธิภาพประมาณ 20-25%

- เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพโดยเฉพาะ (เครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ) มีประสิทธิภาพประมาณ 40%

3) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) จะเป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกัน ซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ซึ่งรูปแบบ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าร่วมกับความร้อนนี้อาศัยหลักการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากระบบการผลิตแอกสตรานเป็นแอกสตรานที่ส่งวนไวน้ำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดไหนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานกลและไฟฟ้ากลับมาผลิตเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับผลิตพลังงานกล / ไฟฟ้า จะเกิดความร้อนในน้ำหล่อเย็นและส่วนของไอเสียเครื่องยนต์ การนำเอาความร้อนทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้นสูงถึง 70-80% โดยการนำความร้อนทิ้งดังกล่าวมาใช้ในการอบแห้ง หรือระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

4) การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในการจัดการน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ดังนี้

- ลดปัญหามลพิษทางน้ำ โดยสามารถบำบัดและลดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ตามที่กฎหมายกำหนด

- ลดปัญหากลิ่นเหม็นและแมลง

- ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ เป็นการช่วยลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น

5) การเกษตร การใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในการจัดการน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการเกษตร ดังนี้

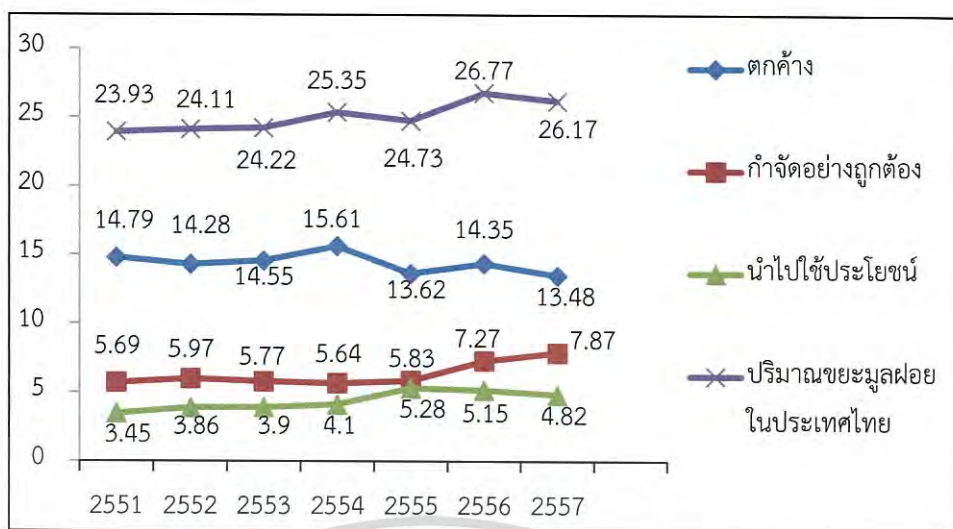
- ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในรูปของปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำ

- การย่อยสลายอินทรีย์สารแบบไร้อากาศ ทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลงและมีส่วนทำลายการงอกของเมล็ดพืชอีกด้วย

2.2 ขยะอินทรีย์

2.2.1 สถานการณ์ขยะในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศ มีปริมาณขยะสะสมประมาณ 14.80 ล้านตัน ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นประมาณ 26.17 ล้านตัน ถูกนำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 4.82 ล้านตัน โดยร้อยละ 15.06 หรือเฉลี่ย 3.94 ล้านตัน เป็นขยะที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดอย่างถูกวิธีตามหลักวิชาการมีเพียง 7.877 ล้านตัน (ร้อยละ 30.10) ส่วนขยะที่เหลือจะกำจัดโดยการเผาทิ้ง กองทิ้งในบ่อดินเก่าหรือพื้นที่รกร้าง ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยรวม 2,490 แห่ง แต่เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบถูกต้องเพียง 466 แห่งหรือคิดเป็นร้อยละ 19 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 81 นั้นเป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบไม่ถูกหลักวิชาการ ประเทศไทยจึงมีขยะมูลฝอยสะสมในปริมาณสูง

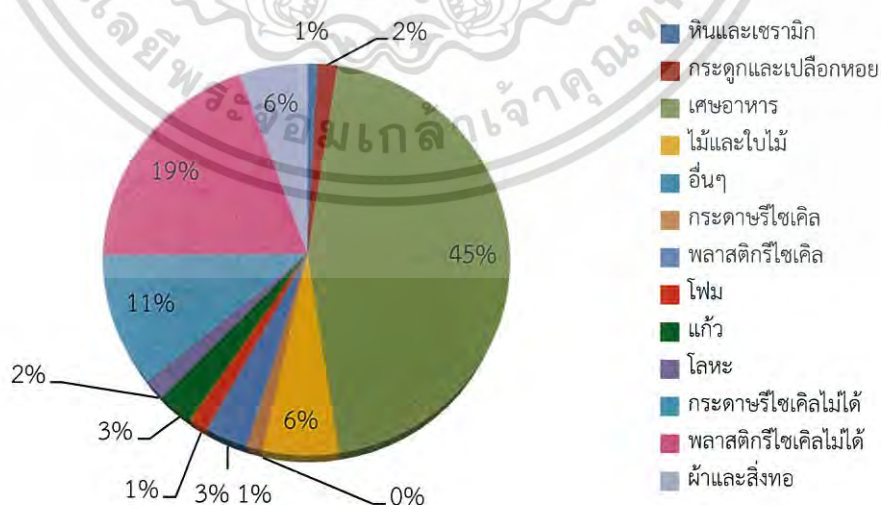


รูปที่ 2.7 ปริมาณขยะในประเทศไทย เปรียบเทียบจากปี พ.ศ. 2551-2557 (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

จากข้อมูลปริมาณขยะในประเทศไทย เปรียบเทียบจากปี พ.ศ. 2551-2557 พบว่าระหว่างปี พ.ศ.2551 และ พ.ศ. 2554 ปริมาณขยะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับในปี พ.ศ. 2557 พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยมีจำนวนน้อยกว่าปี พ.ศ. 2556 เนื่องจากการส่งเสริมให้ประชาชนคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอย และขยะมูลฝอยส่วนหนึ่งได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ใหม่มากขึ้น

1) ขยะมูลฝอย

จากข้อมูลของสำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร (2554) พบว่าองค์ประกอบขยะมูลฝอยที่กรุงเทพมหานครเก็บรวบรวมได้ ประกอบด้วยเศษอาหาร ใบไม้ กิ่งไม้ ประมาณร้อยละ 50 ที่เหลือเป็นวัสดุรีไซเคิลร้อยละ 10 ขยะทั่วไปและขยะอันตรายร้อยละ 40 (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 ข้อมูลองค์ประกอบขยะของกรุงเทพมหานครปี พ.ศ. 2554 (สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกทิ้งร่วมกับขยะชุมชนทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ถ้ามีการคัดแยกอย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะสามารถนำขยะอินทรีย์และขยะรีไซเคิลกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากถึงร้อยละ 80 หรือประมาณ 7,000 ตันต่อวัน ทั้งยังเป็น การช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่จะไปฝังกลบและลดปัญหาโลกร้อนจากการฝังกลบขยะมูลฝอย

2) เศษอาหาร

ขยะเศษอาหารคือขยะที่เกิดจากการเหลือทิ้งภายในครัวเรือน สถานประกอบการหรือชุมชนในที่ต่างๆ โดยส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เนื้อสัตว์ ข้าว ผลไม้ และผัก ซึ่งเป็นอินทรีย์วัตถุที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ง่าย มีความชื้นสูง หากทิ้งไว้นานจะส่งกลิ่นเหม็นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเศษอาหารเหล่านี้เป็นขยะอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน โดยสามารถย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กได้ เมื่อเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะเกิดก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ปัจจุบันมีการคิดค้นและพัฒนากำหนดนำเศษอาหารมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพอย่างกว้างขวาง เนื่องจากองค์ประกอบของเศษอาหารสามารถย่อยสลายได้จึงมีความเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากบริโภคของประชากรในแต่ละวันได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด จากงานวิจัยของ Gustavsson *et al.* (2011) รายงานว่า วัตถุประสงค์หนึ่งในสามของการผลิตอาหารทั่วโลกกลายเป็นขยะทุกปี ซึ่งแหล่งอาหารเหล่านี้ได้กลายเป็นองค์ประกอบหลักของขยะมูลฝอยเทศบาล เมื่อเศษอาหารเกิดการเน่าเสียจะทำให้สภาพแวดล้อมของเมืองเสียไป แต่เศษอาหารเป็นขยะประเภทชีวมวล สามารถนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล

3) กากไขมัน

น้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อนส่วนใหญ่มาจากการประกอบอาหาร ซึ่งกากไขมัน น้ำมันและไขมันจะถูกแยกออกจากน้ำเสียโดยบ่อดักไขมัน ลักษณะทั่วไปของน้ำมันและไขมันจะมีน้ำหนักเบาและลอยน้ำ เป็นอินทรีย์สารที่มีเสถียรภาพและย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก โดยทั่วไปน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบในน้ำเสียชุมชนประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) องค์ประกอบของน้ำมันและไขมันจากบ้านเรือนแสดงในตารางที่ 2.3

ปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากบ้านเรือนและการประกอบอาหารของบ้านเรือนมีประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการคาดการณ์โดยการคำนวณประสิทธิภาพของบ่อดักไขมันที่ร้อยละ 60 พบว่าปริมาณไขมันจากบ่อดักไขมันของบ้านเรือนเท่ากับ 0.8 และ 0.2 กิโลกรัม/วัน-ครัวเรือน ขึ้นอยู่กับการติดตั้งและไม่ติดตั้งตะแกรงดักอาหาร ตามลำดับ

ปัจจุบันกากไขมันที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาหารมีปริมาณมากขึ้น และเป็นปัญหาในการกำจัด โดยปริมาณกากไขมันจะเพิ่มตามขนาดของพื้นที่ร้านอาหาร จากผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ร้านอาหารขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่มีอัตราการเกิดกากไขมันเท่ากับ 1.5, 4.2 และ 19.2 กิโลกรัมต่อวัน (โดยน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ กากไขมันนี้หากนำไปกำจัดไม่ถูกวิธีหรือเอาไปฝังกลบจะส่งกลิ่นเหม็น ขณะที่น้ำชะกากไขมันที่เกิดขึ้นอาจปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินได้หรือถ้านำไปเผาอาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำมันและไขมันจากบ้านเรือน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น
ความเป็นกรดต่าง (pH)	-	5-7
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	$\mu\text{S/cm}$	300-2,500
สี (Color)	ADMI	60-700
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	mg/L	9-106
กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)	%	0.02-85
น้ำมันและไขมัน* (Oil and Grease)	g/Kg wet	140-850
น้ำมันและไขมัน** (Oil and Grease)	mg/L	14-38,000
ฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus)	mg/L	0.13-100

หมายเหตุ * กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นตะกอน (Sludge)

** กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นของเหลว (Liquid)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2551

2.2.2 แนวทางการนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

กากไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันของแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ เช่น เทียนหอม สบู่เหลวเพื่อการซักล้าง ไบโอดีเซล ปุ๋ยหมักและเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1) การทำเทียนหอมหรือเทียนแพนซีเพื่อการประดับตกแต่ง

นำกากไขมันสกปรกไปทำความสะอาด โดยการต้ม ตกตะกอนและกรองเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกให้หมด หลังจากนั้นนำไปผสมกับพาราฟิน สี และกลิ่นตามความต้องการ ทำการหล่อขึ้นรูปในแม่พิมพ์และตกแต่งเพื่อความสวยงาม

2) สบู่เหลวเพื่อการซักล้าง

นำกากไขมันสกปรกที่ตัดได้จากบ่อดักไขมันไปทำความสะอาดเช่นเดียวกับการทำเทียนหอมและเทียนแพนซี แล้วจึงนำกากไขมันไปผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ น้ำสี และกลิ่น แล้วนำไปบรรจุลงขวด การแปรรูปสบู่เหลวเพื่อการซักล้าง

3) การผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวิธีการทำปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดต่างๆ ได้แก่ การทำปฏิกิริยาแบบเอสเทอร์ฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาแบบทราน-เอสเทอร์ฟิเคชัน และแบบผสมโดยการทำปฏิกิริยาทั้งสองแบบต่อเนื่องกัน กรณีของการนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันมาทำไบโอดีเซลพบว่า วิธีการที่เหมาะสมคือ การนำไปทำปฏิกิริยาแบบเอสเทอร์ฟิเคชัน

4) การทำปุ๋ยหมัก

การนำกากไขมันไปหมักทำปุ๋ยโดยการผสมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีในท้องถิ่น เช่น เศษหญ้า กากมะพร้าว และมูลโคแห้ง เป็นต้น จากงานวิจัยของ รัชกรและคณะ (2558) ในการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผักและกากไขมัน พบว่าลักษณะทางกายภาพและ

เคมีของวัสดุก่อนการหมักนั้น กากไขมันมีความหนาแน่นมากที่สุด มีค่าพีเอชเป็นกรดจัด
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าอินทรีย์คาร์บอนสูง และเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอนมากซึ่งมีแนวโน้มการย่อยสลายยาก แต่ก็สามารถนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยหมักได้ การทำปุ๋ยหมักจากกากไขมันด้วยวัสดุผสมเพียงชนิดเดียว มักมีปัญหาเรื่องกลิ่น และไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานปุ๋ยตามที่กำหนด กระบวนการหมักร่วมกากไขมัน วัสดุเหลือใช้ในครัวเรือน ปูนขาว กากตะกอนต่างๆ กระดุก ปลาป่น และหมักที่อุดมภูมิสูงประมาณ 55 องศาเซลเซียส ช่วยลดกลิ่นและปัญหาจุลินทรีย์ได้ ทำให้มีระดับธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นและครบตามเกณฑ์

5) การแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน

สารในกลุ่มไขมันหรือกากไขมันเป็นกลุ่มที่มีพลังงานสูง ดังนั้น จึงมีนักวิจัยศึกษาการนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์ในด้านนี้ได้หลายรูปแบบ เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังหมดไปอย่างรวดเร็ว การนำกากไขมันไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนแบ่งเป็น 3 แนวทาง ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

- การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่ง คือเชื้อเพลิงผสมที่ได้จากกระบวนการผสมของกากไขมันและวัสดุ เผาขึ้นรูปให้เป็นของแข็งให้ความร้อนได้ จากการศึกษาของ อาณัฐและรณบรรจบ (2553) พบว่า สัดส่วนของ เศษอาหาร : ผัก : หญ้า : กากไขมัน : แ่งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 4:3:1:1:1 ตามลำดับ ให้ความร้อน 7,070 cal/g

- การแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์

การแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับรถยนต์และเครื่องยนต์พบว่า กากไขมันสามารถแปรรูปได้ทั้งเป็นน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันชีวภาพที่ใช้ทดแทนน้ำมันเบนซิน จากการศึกษาศักยภาพในการนำกากไขมันเหลือทิ้งมาผลิตเป็นไบโอดีเซลของสหรัฐอเมริกา พบว่าเป็นไปได้สูงทั้งในแง่นโยบาย กฎหมายท้องถิ่น เศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีราคาวัตถุดิบที่ถูก ขนส่งได้ง่าย และมีกากของเสียเหล่านี้น้อยมาก

Bailey (2007) นำกากไขมันมาผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพ โดยใช้กากไขมัน 150 กรัม เติมในปฏิกรณ์ เวลาหน่วยที่ 30 นาที โดยทดลองอยู่ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิสูง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการทดลองคือ ที่ 380 องศาเซลเซียส ความดันสุดท้ายในปฏิกรณ์ 195.81 บาร์ ได้ผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพ 123.56 กรัมของกากไขมันที่เติมไฮโดรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน และมีค่าความร้อน 32,551.33 กิโลจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซิน

สำหรับการนำกากไขมันมาผลิตเป็นพลังงานเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลหรือการผลิตเป็นไบโอดีเซลนั้น กระบวนการที่ใช้ผลิตเป็นกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน จำนวนขั้นตอนหรือกระบวนการที่ใช้จะเพิ่มขึ้นตอนทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยหรือไม่และควรใช้ตัวเร่งชนิดใดกรดหรือด่างนั้น ควรพิจารณาจากลักษณะของกากไขมันเหลือใช้ตั้งต้น หากกากไขมันเหลือใช้มีกรดไขมันอิสระสูง ควรใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพิ่มเติมเข้าไปอีกขั้นเป็นแบบสองขั้นตอน เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐานมากขึ้น

- การแปรรูปเป็นก๊าซชีวภาพ

ด้วยคุณสมบัติของกากไขมันที่มีโมเลกุลประกอบด้วยสารอินทรีย์โซยาว มีปริมาณคาร์บอนสูง ดังนั้นนักวิจัยจึงสนใจนำมาย่อยสลายด้วยกระบวนการไร้อากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงได้ จากการศึกษาศักยภาพผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมกันของ

ของเสียจากภัตตาคารและความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สมิเทนที่ได้จากการทดลอง พบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มกากไขมันในระบบทำให้อัตราการผลิตแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้นมากกว่า 100% สามารถลดขยะชีวภาพได้มากกว่า 1,000 ตันต่อเดือน ผลิตไฟฟ้าได้ 15 เมกะวัตต์ต่อวัน (Bailey, 2007)

การผลิตแก๊สชีวภาพจากกากไขมันเหลือใช้เหมาะสำหรับการนำไปหมักร่วมกับขยะชีวภาพอื่นๆ โดยเฉพาะโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เนื่องจากไขมันช่วยเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนได้ในระดับที่สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพหรือปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้มากขึ้น นอกจากนี้การหมักร่วม โปรตีนจะช่วยให้พีเอชของระบบหรือความเป็นกรดต่างสมดุล ให้สัดส่วนธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ทำให้อัตราการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น สำหรับการพัฒนากระบวนการหมักร่วมกากไขมันเหลือใช้กับเศษอาหารจากครัวเรือนนั้น ควรพัฒนาด้านสายพันธุ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารชีวโมเลกุลแบบสายยาว เพื่อลดระยะเวลาและลดปริมาณกากตะกอน

2.2.3 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสภาวะแวดล้อม (เทศบาลทุ่งสง, 2554) มีดังนี้

1) เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลง และพาหะของโรค

ขยะเศษวัสดุ ของเสีย มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น หากใช้วิธีการจัดที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ย่อมก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับขยะมูลฝอยจะขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น เพราะขยะมูลฝอยมีทั้งความชื้นและสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร ขยะอินทรีย์ที่ทิ้งค้างไว้จะเกิดการเน่าเปื่อยกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวัน นอกจากนี้ขยะที่ปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ จะเป็นที่อยู่อาศัยของหนู ดังนั้น ขยะที่ขาดการเก็บรวบรวม และการกำจัด จึงทำให้เกิดเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ที่สำคัญของเชื้อโรค แมลงวัน หนู แมลงสาบ ซึ่งเป็นพาหะนำโรคมมาสู่คน

2) เป็นบ่อเกิดของโรค

เนื่องจากการเก็บรวบรวมและการกำจัดขยะมูลฝอยไม่ดีหรือปล่อยปละละเลย ทำให้มีขยะมูลฝอยเหลือทิ้งค้างไว้ในชุมชน เป็นบ่อเกิดของเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น ตับอักเสบบี เชื้อไทฟอยด์ เชื้อโรคเอดส์ ฯลฯ

3) ก่อให้เกิดความรำคาญ

ขยะมูลฝอยเก็บรวบรวมได้ไม่หมดก็จะเกิดเป็นกลิ่นรบกวนกระจายอยู่ทั่วไป นอกจากนี้ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเก็บรวบรวม การขนถ่าย และการกำจัดขยะยังก่อให้เกิดเหตุรำคาญ

4) ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ขยะมูลฝอยเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษของน้ำ มลพิษของดินและมลพิษของอากาศ เนื่องจากขยะส่วนที่ขาดการเก็บรวบรวมหรือไม่ถูกกำจัดอย่างถูกวิธี ถูกกองทิ้งไว้เมื่อมีฝนตกลงมาจะชะความสกปรก เชื้อโรค สารพิษจากขยะไหลลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดเน่าเสียได้ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของขยะมูลฝอย ถ้าขยะมีซากถ่านไฟฉาย ซากแบตเตอรี่ ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์มาก ก็จะส่งผลกระทบต่อปริมาณโลหะหนักพวกปรอท แคดเมียม และตะกั่วในดินมาก ส่งผลเสียต่อระบบนิเวศในดิน สารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยเมื่อมีการย่อยสลายจะทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดในดิน และเมื่อฝนตกมาชะกองขยะมูลฝอยจะทำให้ น้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยไหลปนเปื้อนดินบริเวณรอบๆทำให้เกิดมลพิษของดิน รวมถึงการนำมูลฝอยไปฝังกลบหรือการนำไปทิ้งทำให้ของเสียอันตรายปนเปื้อนในดิน ถ้ามีการเผาขยะมูลฝอยกลางแจ้งทำให้เกิดควันที่มีสารพิษปนเปื้อนทำให้คุณภาพของอากาศเสีย นอกจากนี้ยังเกิดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการเน่าเปื่อยและสลายตัวของสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ

ขยะมูลฝอยปริมาณมาก ๆ ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกจากนี้ ผลกระทบจากขยะมูลฝอยไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย อากาศเสีย ดินปนเปื้อนเหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ

6) ทำให้ทัศนียภาพไม่ชวนมอง

หากเก็บขยะไม่ดี หรือไม่หมดจะก่อให้เกิดความไม่น่าดู ขาดความสวยงาม บ้านเมืองสกปรก และความเป็นระเบียบ ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยว

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Boe และ Angelidaki (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและศึกษาประสิทธิภาพถังปฏิกรณ์แบบ Serial CSTR เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 55, 37 และ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวอย่างมูลโคและมูลสุกรร่วมกัน ระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ (Hydraulic retention time, HRT) 15 วัน ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 55, 37 และ 15 องศาเซลเซียส มีผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 11.7, 8.4 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ช่วง 55 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าหลังการย่อยสลายมีปริมาณ VFA อยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่า VFA ถูกนำไปใช้เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพ ส่วนที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากมีอัตราการผลิตมีเทนต่ำ

Brownc และ Li (2013) ทำการทดลองย่อยน้ำเสียขยะร่วมกับเศษอาหารเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยของเหลวที่ปล่อยออกถูกนำมาหมუნเหวียงเพื่อเพิ่ม TS จาก 7.7% เป็น 14.9% และเพิ่ม VS จาก 4.1% เป็น 7.3% ตามลำดับ อัตราส่วน C/N เป็น 3.0-5.0 และค่า pH เปลี่ยนจาก 7.8 - 8.2 และมีอัตราส่วนของ VFA/Alk ลดลงเป็น 1.00-0.66 ซึ่งการหมუნเหวียงที่ถูกต้องจะให้ค่า TS ของวัสดุทั้งหมดในเครื่องปฏิกรณ์ได้ประมาณ 20% หรือสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารขยะมี TS 15.2, C/N ratio 11.4 และมีค่า pH 4.1 ตามลำดับ ส่วนในขยะแห้งมี TS 94.3%, C/N ratio 55.3

Chen *et al.* (2016) ทำการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของขยะเศษอาหารในประเทศจีน (CFW) ต่อดันหญ้า Tall fescue (Tf) และอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อระบบ (OLR) เนื่องจากเศษอาหารและ Tall fescue ในประเทศจีนเป็นสิ่งที่สามารถหาได้ง่ายในราคาต่ำ โดยหาอัตราผลตอบแทนการผลิตก๊าซชีวภาพและอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีชุดการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องที่อัตราส่วน CFW/Tf เป็น 8.89, 2.75, 1.52, 0.99 และ 0.7 ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่าของแข็ง (VS) สำหรับอัตราส่วน CFW/Tf 1.52 มีค่าเพิ่มขึ้นในระบบ ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบในเชิงบวกของการทำงานร่วมกับการย่อยอาหารเกิดขึ้นในอัตราส่วน CFW/Tf 1.52 และ 0.99 ตามลำดับ ในระบบการทดลองแบบกึ่งหมักโดยไม่ใช้ออกซิเจนอย่างต่อเนื่อง ได้ผลผลิตก๊าซมีเทนและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ 15.8 gVS/(L-D) แสดงให้เห็นว่าการย่อย CFW และ Tf มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ และเกิดการย่อยสลายดีขึ้น

Yang *et al.* (2015) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารเมื่อมีการปรับพีเอชพบว่า การย่อยแบบแอนแอโรบิกสามารถผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาใบใช้ประโยชน์ดำเนินการ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม กรดอินทรีย์ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการย่อยอาหารที่มีของแข็งสูง (HS-AD) จะทำให้เกิดกรดรุนแรงและยับยั้งการปล่อยก๊าซมีเทน ผลการวิจัยพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม ก๊าซมีเทนสะสม และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนในกลุ่มที่มีค่า pH 8 สูงถึง 322.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งทั้งหมด, 171.0 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งทั้งหมด และ 53.1% ซึ่งเป็น 1.49, 7.57 และ 5.06 เท่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการควบคุมค่า pH ตามลำดับ

Komemoto *et al.* (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการนำกรดอินทรีย์ระเหยไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในตัวอย่างเศษอาหาร ภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 15, 25, 35, 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ช่วงเริ่มต้นจะมีปริมาณกรดอะซิติกและกรดแลคติกมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการหมัก 4-6 วัน กรดทั้งสองจะค่อยๆมีปริมาณลดลงเนื่องจากกรดอะซิติกและกรดแลคติก ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซชีวภาพ ส่วนอุณหภูมิอื่นๆที่ระยะเวลาในการย่อยสลายเท่ากันไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีเท่ากับอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แทบจะไม่มีเกิดก๊าซชีวภาพเลย

ชลธิชา และคณะ (2556) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยทำการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมัก ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ Total solids (TS), Volatile solids (VS), C/N ratio เป็นต้น วิเคราะห์ทั้งในส่วน of เศษอาหาร (Feed) และของเหลวที่ปล่อยออก (Effluent) พบว่า TS และ VS ของ Feed มีค่ามากกว่า TS และ VS ของ Effluent เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบใช้เศษอาหาร (Feed) ที่มีปริมาณของสารอินทรีย์สูงเป็นแหล่งอาหาร จึงเป็นผลให้ Effluent มีปริมาณของแข็งลดลง สำหรับ C/N ratio ของ Feed มีค่าอยู่ในช่วง 41.14-101.28 และ Effluent มีค่าอยู่ในช่วง 1.62-2.40 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 7.52 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

นฤมล (2558) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษผลไม้และเศษอาหารภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้ถังหมักขนาด 4,700 ลิตร โดยเติมเศษอาหาร 2 กิโลกรัม เศษแฉะโม 38 กิโลกรัม และน้ำประปา 40 ลิตรต่อวัน ผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น เท่ากับ 21.96 ± 1.16 พีเอชและค่าสภาพความเป็นด่างในระบบมีค่าคงที่ในช่วง 7.61-8.01 และ 4,183-6933 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย และของแข็งทั้งหมด อยู่ในช่วง 61.04-84.32 และ 34.03-66.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อยู่ในช่วงระหว่าง 4.05-6.45 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นก๊าซมีเทน 52.8-61.3 เปอร์เซ็นต์ และ 1.00-1.50 ลิตรของก๊าซมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด ที่ระยะเวลาการกักเก็บ 54 วัน

อภิพล และอรกานต์ (2556) ศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ปริมาณเศษอาหารต่างๆ โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยมีอัตราส่วนเศษอาหารต่อน้ำ ดังนี้ 20:20 40:40 และ 50:50 ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนเศษอาหารต่อน้ำ 40:40 มีการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ 5.12-7.23 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมี HRT เท่ากับ 54 วัน ตลอดการทดลองมีค่าพีเอชและสภาพความเป็นด่างภายหลังการหมักอยู่ในช่วงระหว่าง 6.87-7.33 และ 1,185-6,633 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4 anhydrous) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. กรดซัลฟิวริก (conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
10. เฮกเซน (Hexane) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
11. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SDFCL ประเทศอินเดีย
12. ฟีนานโทลีน ($C_{12}H_8N_2$) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
13. เมธิลเรด (Methyl red) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific UK Limited ประเทศอังกฤษ
14. เอทานอล 95% (ethanol) องค์การสุรา กรมสรรพสามิต
15. โบรมอคลีซอลกรีน (Bromoclesol green) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ACROS ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2 อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องกลั่นเจลดาล (Kjeldahl digestion apparatus) รุ่น KI Cerhardt บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd. ประเทศไทย
2. เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น Centroller P320 บริษัท Naberthem ประเทศเยอรมนี
3. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN55 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องกวนแบบแม่เหล็กพร้อมแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer and magnetic bar) รุ่น Fisher stirring hotplate บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น ML 204/01 บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. เครื่องวัดกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น C860 version 1.2 ประเทศเบลเยียม
7. เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (Gas data meter) รุ่น GFM 416 ประเทศอังกฤษ
8. เครื่องปั่นอนุกรมประสงค์ รุ่น HR21000 บริษัท ฟิลิปส์อิเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย จำกัด
9. โถดูดความชื้น (Desiccator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์ (ต่อ)

10. ชามระเหย (Evarporating dishes) รุ่น Porcelain บริษัท HCT ประเทศเยอรมนี
11. กระดาษกรอง (Filter papers 41) บริษัท WhatmanTM ประเทศอังกฤษ
12. กระดาษวัดพีเอช (pH-indicator strips) บริษัท Universal indicator ประเทศเยอรมนี

3.1.3 วัสดุบดที่ป้อนเข้าระบบ

เศษอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารที่เหลือจากการบริโภคของนักศึกษาและบุคลากรภายในคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ส่วนกากไขมันได้มาจากบอดักไขมันภายในโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (รูปที่ 3.1)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.1 วัสดุบดที่ป้อนเข้าระบบ

(ก) เศษอาหาร (ข) กากไขมัน

3.1.4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

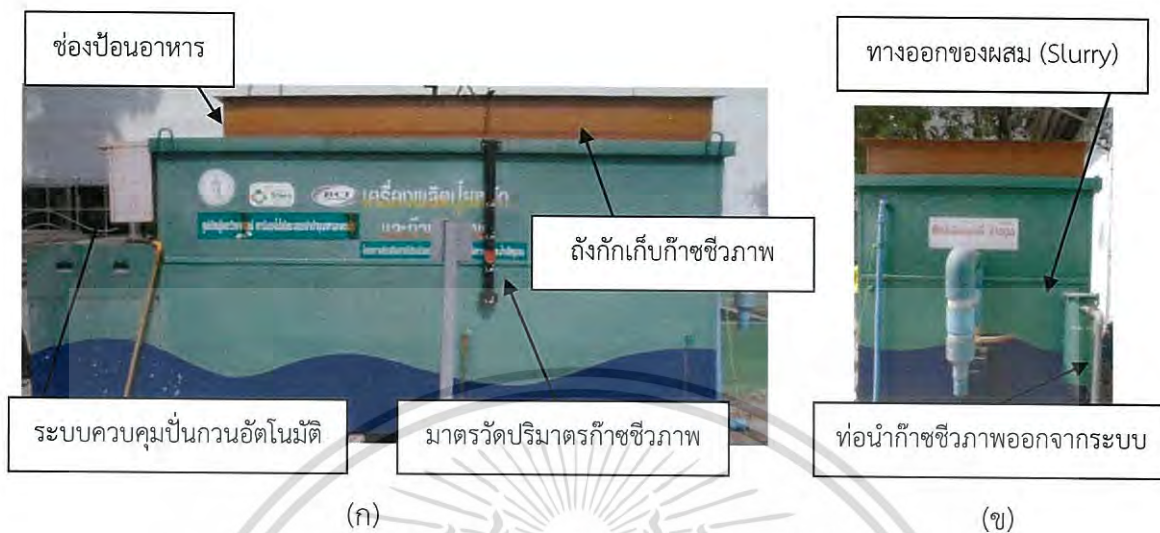
เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไมโครไบโอเทค จำกัด ซึ่งมีการเดินระบบโดยการหมักด้วยเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นระยะเวลา 2-3 ปี

3.1.5 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย ยี่ห้อ Cowtec รุ่น CT-100 ประเทศไทย ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์การเรียนรู้การจัดการขยะและน้ำเสียชุมชน โดยความร่วมมือระหว่างสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร กับคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 1.47 เมตร ยาว 2.99 เมตร และสูง 0.71 เมตร มีปริมาตรความจุถังหมัก 3,100 ลิตร ปริมาตรความจุถังเก็บกักก๊าซ 3,500 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการรับวัตถุดิบและผลิตปุ๋ยหมัก 80-100 กิโลกรัมต่อวัน ติดตั้งใบพัดที่ใช้ระบบปั่นกวาดด้วยระบบไฟฟ้าหรือมือหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุป้อน

1. สุ่มตัวอย่างเศษอาหารและกากไขมัน จากโรงอาหารของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกวันจันทร์ พุธ ศุกร์ ปริมาณเศษอาหาร 390 กรัม และกากไขมันปริมาณ 10 กรัม ผสมในน้ำประปา 400 กรัม (อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักเปียก) และนำไปปั่นรวมกัน จะได้ปริมาณสุทธิเท่ากับ 800 กรัม

2. วิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมันโดยวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าความชื้น (Moisture content), ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS), ปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA), น้ำมันและไขมัน (Oils&Greases), อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

3. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

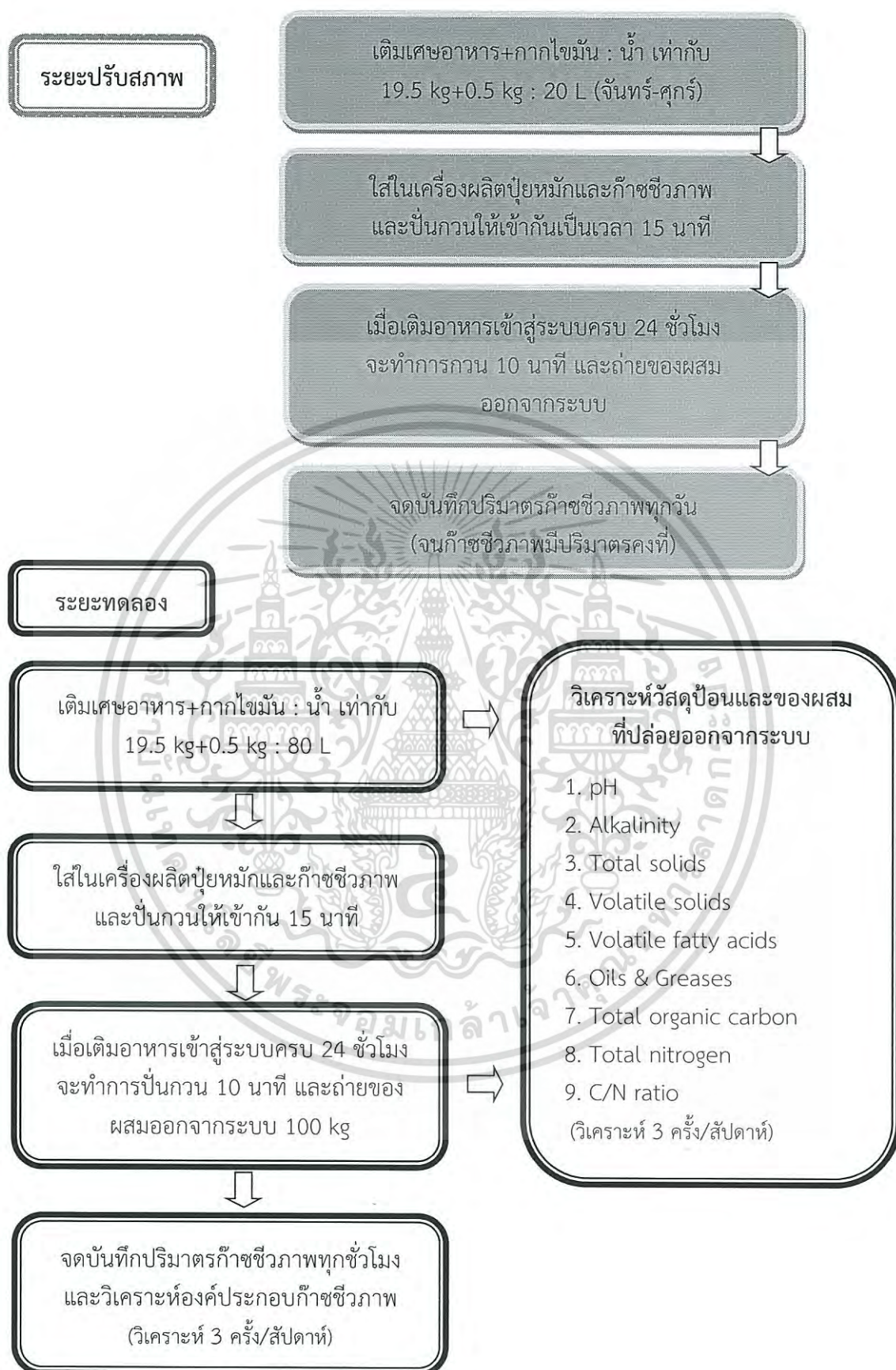
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
ความชื้น (Moisture content)	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)	Titration โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS)	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS)	เผาที่อุณหภูมิ 550 °C โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acids, VFA)	Titration โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
น้ำมันและไขมัน (Oils&Greases)	Partition gravimetric method โดยวิธีมาตรฐาน APHA (2012)
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC)	Walkley-Black โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2553)
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN)	Total Kjeldahl Nitrogen โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2553)

3.2.2 ศึกษาสถานะของระบบในระหว่างการหมัก

การศึกษาสถานะของระบบในระหว่างการหมักแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ระยะเวลาปรับสภาพ เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับวัสดุป้อนที่มีกากไขมัน และระยะทดลอง ดังสรุปในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 ระเบียบปรับสภาพ (Adjustment phase)

เป็นการปรับสภาพถังหมักก๊าซชีวภาพที่เติมเศษอาหารเป็นวัสดุป้อนให้จุลินทรีย์ มีความคุ้นเคยกับวัสดุป้อนที่เป็นเศษอาหารและกากไขมัน โดยการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม และน้ำประปา 20 ลิตร ทุกวันจันทร์, พุธ, ศุกร์ เป็นเวลา 69 วัน (5 มกราคม 2559 ถึง 14 มีนาคม 2559) โดยทำการผสมให้เข้ากันโดยใช้ใบพัดมอเตอร์ปั่นกวน เป็นเวลา 15 นาที เมื่อทำการหมักครบ 24 ชั่วโมง จะปั่นกวน 10 นาที และถ่ายของผสมออกจากระบบ 40 กิโลกรัม จนก๊าซชีวภาพมีปริมาตรคงที่ โดยระหว่างวันที่ 2 มีนาคม 2559 ถึง 14 มีนาคม 2559 (ช่วงที่ I) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุป้อน (Feed) และของผสมที่ปล่อยออกจากระบบ (Slurry) โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.2.2.2 ระยะทดลอง (Experimental phase)

1. เติมวัสดุป้อนของผสมเศษอาหารและกากไขมันต่อน้ำประปา ในอัตราส่วนเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม และน้ำประปา 80 ลิตร (16 มีนาคม 2559 ถึง 30 มีนาคม 2559) (ช่วงที่ II) ทำการผสมให้เข้ากันโดยใช้ใบพัดปั่นกวน เป็นเวลา 15 นาทีทุกครั้ง และก่อนเติมวัสดุป้อนในแต่ละครั้งจะต้องทำการถ่ายของผสมออกจากระบบ (Slurry) เท่ากับปริมาณที่เติมวัสดุป้อน (Feed) ทุกครั้ง ตามวันทำการ (จันทร์-ศุกร์)

2. ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุป้อน (Feed) และของผสมที่ปล่อยออกจากระบบ (Slurry) โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity), ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS), ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acids, VFA), น้ำมันและไขมัน (Oils & Greases), อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC) และไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 วิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ทำการวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

3. ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยอ่านค่าจากสเกลบอกปริมาตรก๊าซของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพทุกชั่วโมง พร้อมบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

4. ศึกษาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่อง Gas data meter ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

5. คำนวณระยะเวลาเก็บกักสารอินทรีย์ในระบบ (HRT)

3.2.3 วิเคราะห์ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1. เก็บตัวอย่างของผสมที่ปล่อยออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 100 มิลลิลิตร

2. นำมาตรวจสอบลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้วิธี Gram stain ของ Austrian (1960)

3. ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 1,000 เท่า และบันทึกภาพ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและกากไขมัน โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารอย่างเดียวมาก่อน ทำการปรับสภาพของหัวเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้เศษอาหารและกากไขมันจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (5 มกราคม 2559 ถึง 14 มีนาคม 2559) (ช่วง I) จะทำการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม (โดยน้ำหนักเปียก) และน้ำประปา 20 ลิตร สัปดาห์ละ 3 ครั้ง (จันทร์, พุธ, ศุกร์) รวม 69 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ได้ปรับตัวเข้ากับสภาวะที่มีการเติมกากไขมัน จากนั้นระยะทดลอง (16 มีนาคม 2559 ถึง 30 มีนาคม 2559) (ช่วง II) ทำการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม (โดยน้ำหนักเปียก) และน้ำประปา 80 ลิตร ทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ (ยกเว้นเสาร์-อาทิตย์) ในช่วงเวลา 13.00-14.00 น. หลังป้อนอาหารเข้าสู่ระบบจะทำการเปิดเครื่องปั่นกวนเศษอาหารเป็นเวลา 15 นาที หลังจากทำการเติมอาหารเข้าสู่ระบบครบ 24 ชั่วโมง จะทำการถ่ายของผสมออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพในอัตราส่วนเท่ากับการเติมเข้าระบบ อาหารที่ป้อนเข้าระบบและของผสมที่ถูกถ่ายออกจากระบบดังกล่าวจะถูกนำไปตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมันแสดงในตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1.1 และ ข-1.2 ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน

พารามิเตอร์	เศษอาหาร	กากไขมัน
ความชื้น (Moisture content)	74.68± 0.62 %	64.46 ± 1.47 %
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC)	41.50 ± 1.49 %	32.00 ± 0.42 %
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN)	0.98 ± 0.02 %	1.01 ± 0.01 %
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	42.35 ± 1.84	31.55 ± 0.53

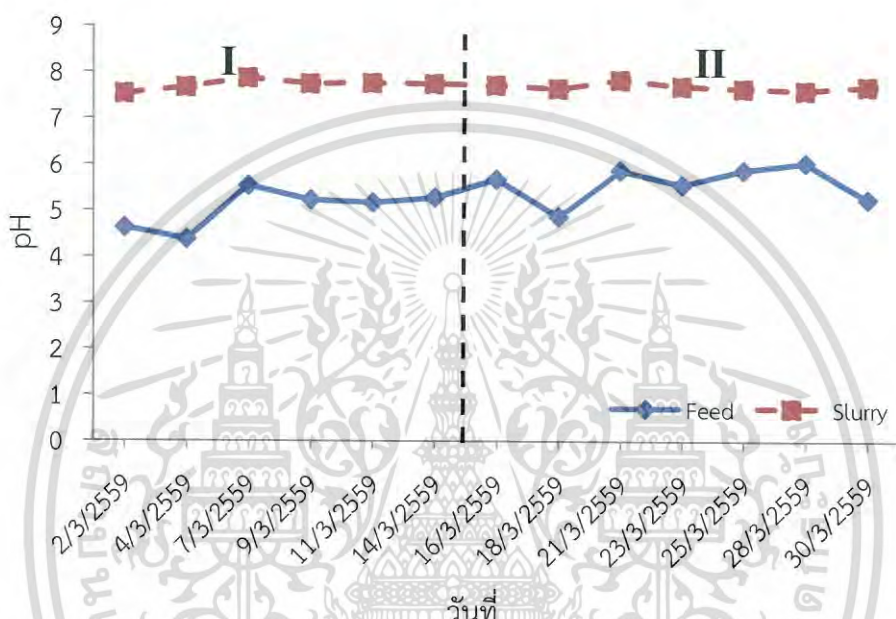
จากผลการทดลองพบว่า เศษอาหารและกากไขมันมีอัตราส่วนค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ จากการที่กากไขมันถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ค่อนข้างยาก เนื่องจากคุณสมบัติของไขมันและน้ำมันมีมวลโมเลกุลสูง มีสภาพเป็นไข เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเอกสารได้ใช้ข้อมูลนี้แล้ว กรุณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากนัก การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากไขมันเหลือใช้ จึงควรนำไปหมักร่วมกับขยะชีวภาพอื่นๆ โดยเฉพาะโปรตีน คาร์โบไฮเดรต เนื่องจากไขมันช่วยเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนได้ในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพหรือปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้มากขึ้น (นันทพงศ์, 2557) งานวิจัยนี้จึงได้ทำการหมักร่วมกันระหว่างเศษอาหารและกากไขมัน

4.2 ผลการศึกษาสถานะในการหมักก๊าซชีวภาพ

4.2.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระบบ



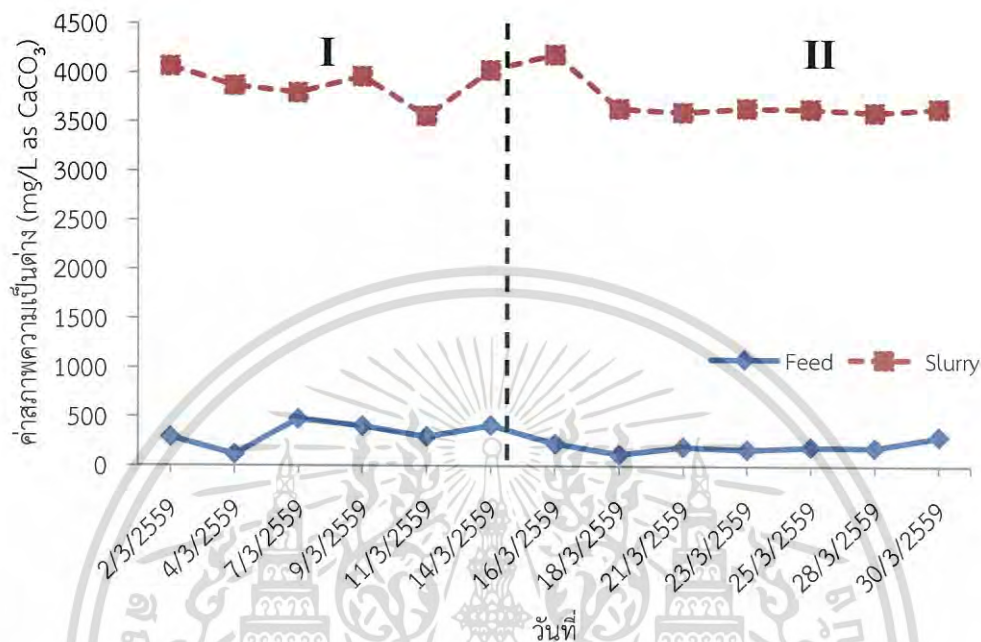
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุป้อนและของผสมที่ถูกถ่ายออกจากระบบในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.1 และ ข-2.2 ภาคผนวก ข) พบว่าพีเอชของวัสดุป้อน (Feed) ในช่วงปรับสภาพ (2 มีนาคม ถึง 14 มีนาคม 2559) (ช่วง I) ที่ทำการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ต่อน้ำประปา 20 ลิตร คำนวนระยะเวลาพักเก็บของระบบ (HRT) ได้ 81 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 4.38-5.54 ส่วนพีเอชของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 7.53-7.87 ส่วนในช่วงทดลอง (16 มีนาคม ถึง 30 มีนาคม 2559) (ช่วง II) ที่ทำการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม กากไขมัน 0.5 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ต่อน้ำประปา 80 ลิตร คำนวนระยะเวลาพักเก็บของระบบ (HRT) ได้ 31 วัน ค่าพีเอชของวัสดุป้อนอยู่ในช่วง 4.87-6.04 ค่าพีเอชของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 7.61-7.84 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของวัสดุป้อนจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชของผสมที่ออกจากระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบจะย่อยเศษอาหารและกากไขมันให้เป็นกรดอินทรีย์โดย Hydrolytic bacteria จากนั้นกลุ่ม Methanogen bacteria จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้พีเอชของผสม (Slurry) ที่ได้หลังจากผ่านการย่อยสลายมีพีเอชสูงขึ้น ซึ่งค่าพีเอชดังกล่าวอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชลธิชาและคณะ (2556) จากผลการทดลองพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่ I และช่วงที่ II มีค่าพีเอชของผสม (Slurry) อยู่ในช่วง 6.5-7.6 ซึ่งเป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน (Strik *et al.*, 2006)

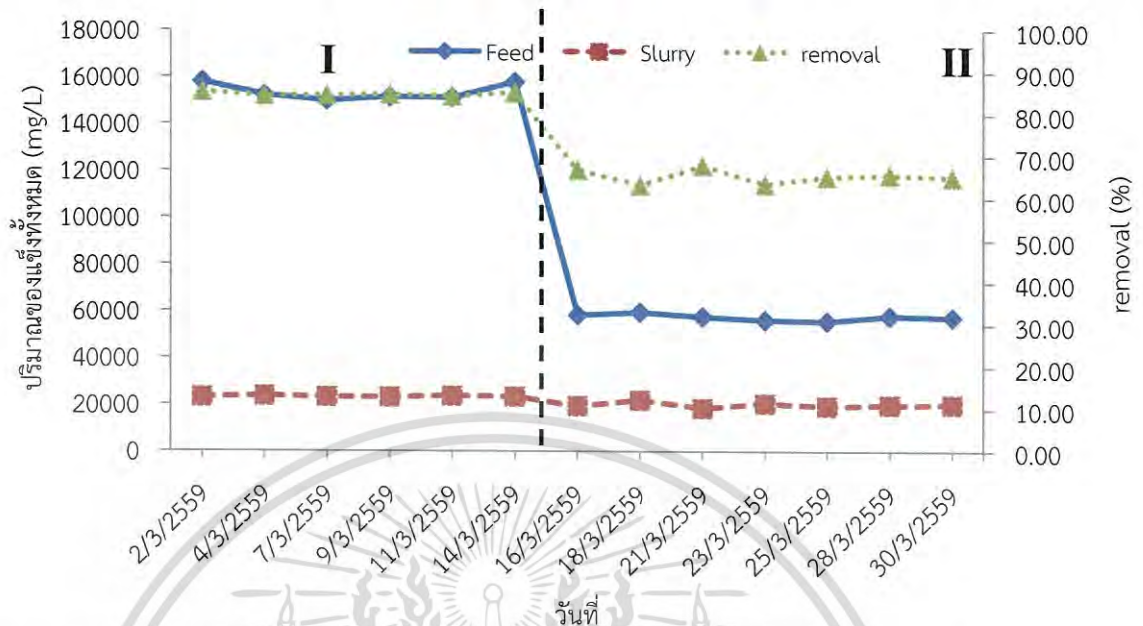
4.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นต่างทั้งหมดในระบบ



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นต่างของวัสดุป้อนและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.3 และ ข-2.4 ภาคผนวก ข) แสดงค่าสภาพความเป็นต่างของวัสดุป้อน (Feed) ในช่วงแรกและช่วงที่สองพบว่า มีค่าสภาพความเป็นต่างอยู่ในช่วง 119.98-477.12 mg/L as CaCO₃ และ 120.77-305.1 mg/L as CaCO₃ ตามลำดับ และของผสม (Slurry) ในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่าสภาพความเป็นต่างอยู่ในช่วง 3,560.07-4,063.21 mg/L as CaCO₃ และ 3,604.04-4,188.67 mg/L as CaCO₃ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดของของผสม (Slurry) มีค่ามากกว่าวัสดุป้อน ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของของผสม (Slurry) ที่มีค่าสูงกว่าของวัสดุป้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอภิพล และอรกานต์ (2556) โดยค่าสภาพความเป็นต่างเป็นค่าการรักษาสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง จะเห็นได้ว่าค่าสภาพความเป็นต่างของผสมจะมีค่าอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนจะเติบโตได้ คือ 1,000-5,000 mg/L as CaCO₃ (Osman and Delia, 2005)

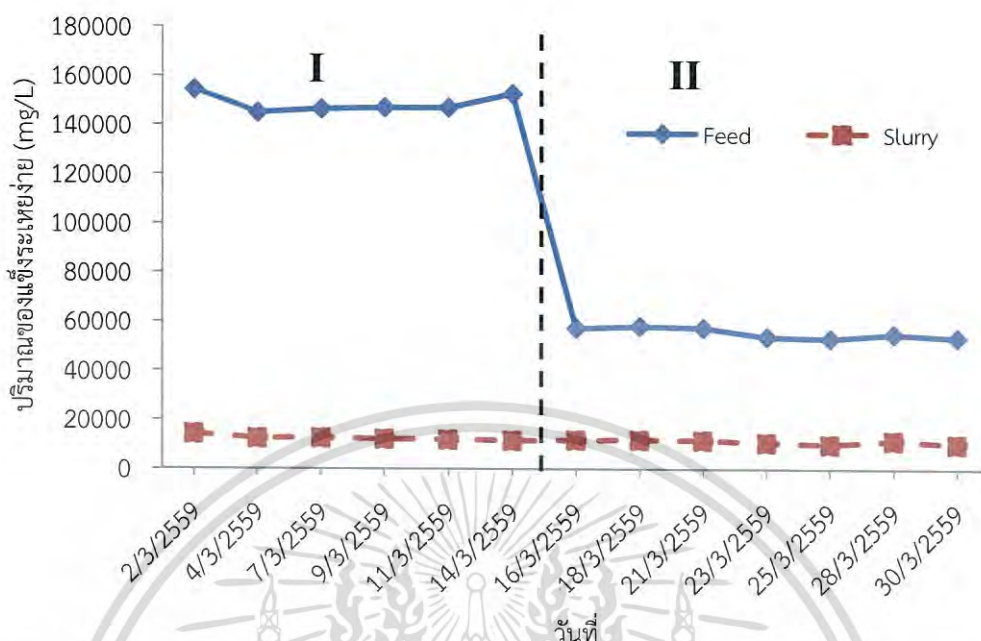
4.2.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อนและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.5 และ ข-2.6 ภาคผนวก ข) พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS) ของวัสดุป้อน (Feed) ในช่วงแรกและช่วงที่สอง มีค่าเป็น 149,937-158,022 mg/L และ 55,665-59,523 mg/L ตามลำดับ และของผสม (Slurry) ช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สองมีค่าของแข็งทั้งหมดอยู่ที่ 23,076-23,689 mg/L และ 18,463-21,893 mg/L ตามลำดับ ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อนในช่วงที่สองลดลง เนื่องจากการเจือจางโดยการเติมน้ำ โดยระบบสามารถกำจัดของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 84.78% และ 65.35% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อนในช่วงที่หนึ่งถูกกำจัดได้มากกว่าในช่วงที่สอง เนื่องจากการทดลองในช่วงแรกนั้นมีระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ (HRT) 81 วัน ซึ่งมีระยะเวลานานกว่าในช่วงที่สองที่มีระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ (HRT) 31 วัน และพบว่าค่าของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อนมีค่าสูงกว่าของแข็งทั้งหมดของของผสม (Slurry) เนื่องจากอินทรีย์สารในระบบเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายในสภาวะปราศจากออกซิเจนซึ่งผ่านกระบวนการต่างๆ ทำให้ของผสม (Slurry) ที่ปล่อยออกมาจากระบบมีโครงสร้างและโมเลกุลที่เล็กลงและถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอื่นๆ ทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดของของผสมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวัสดุป้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชลธิชา และคณะ (2556) จากผลการทดลอง พบว่าค่าของแข็งทั้งหมดของของผสมใกล้เคียงกันในช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สอง แสดงว่าระบบหมักก๊าซชีวภาพนี้ยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading) ได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณเศษอาหารมีน้อย จึงเสนอแนะให้หาวัสดุป้อนอื่นที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในอนาคต

4.2.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดในระบบ

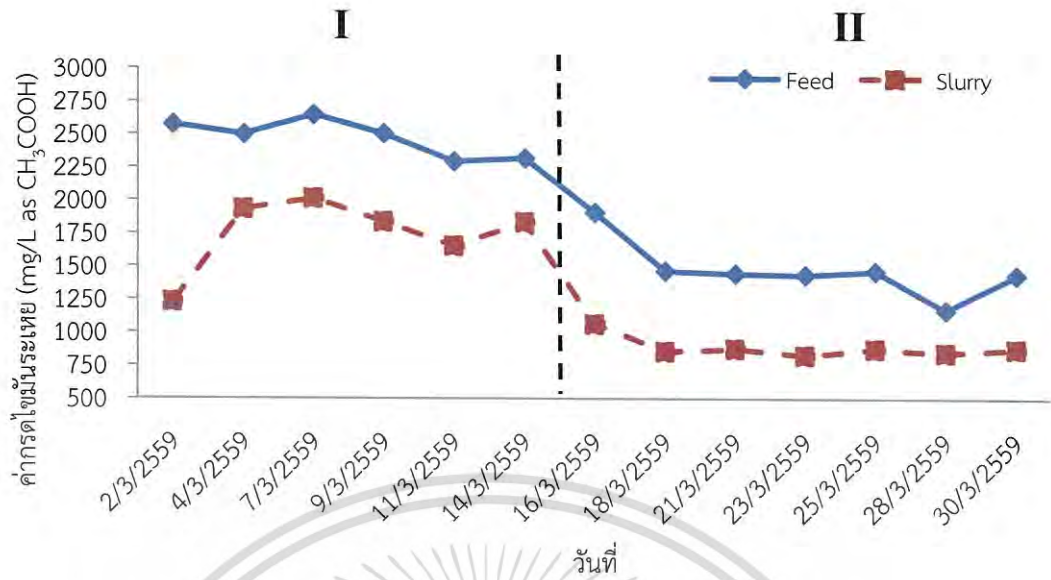


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายของวัสดุป้อนและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.7 และ ข-2.8 ภาคผนวก ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS) ของวัสดุป้อน (Feed) และของผสม (Slurry) ในช่วงแรกและช่วงที่สองค่าของแข็งระเหยง่ายของวัสดุป้อน (Feed) มีค่าเป็น 145,067-154,433 mg/L และ 53,290-58,120 mg/L ตามลำดับ และของผสม (Slurry) ในช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สองมีค่าของแข็งระเหยง่ายอยู่ที่ 11,582-14,233 mg/L และ 10,175-11,833 mg/L ตามลำดับซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายในระบบสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

4.2.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ

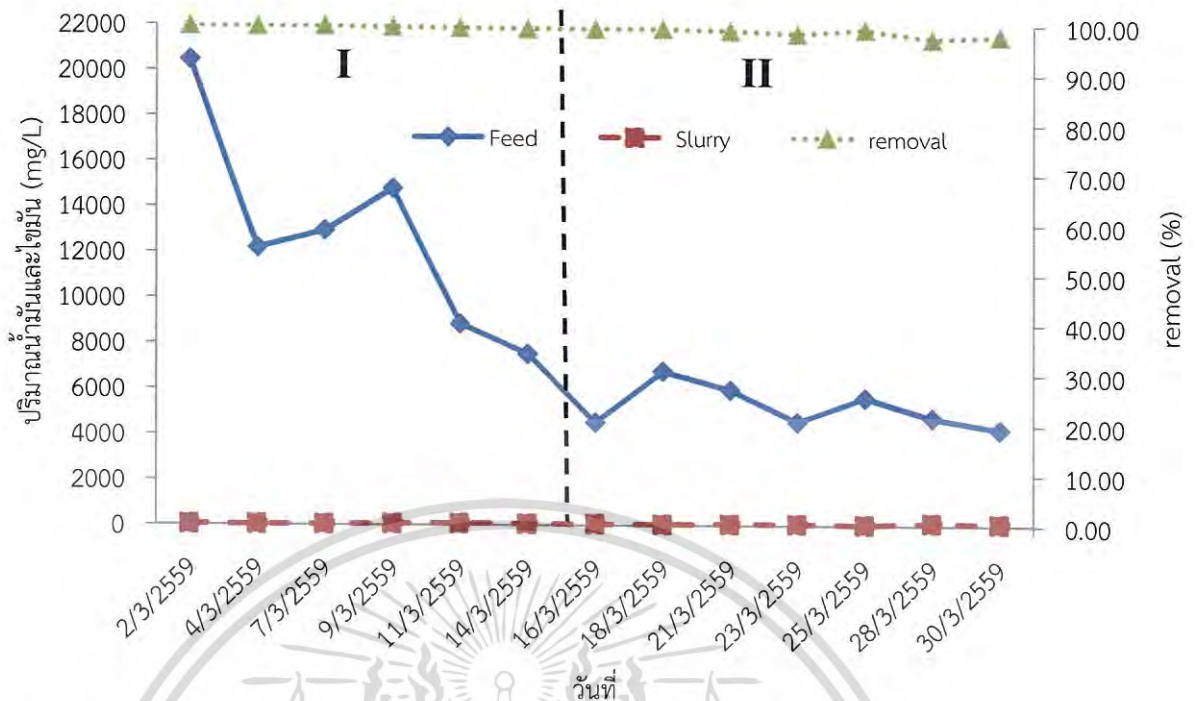
จากรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.9 และ ข-2.10 ภาคผนวก ข) พบว่าค่ากรดไขมันระเหยของวัสดุป้อน (Feed) ในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่ากรดไขมันระเหยอยู่ในช่วง 2,292.56–2,647.36 mg/L as CH_3COOH และ 1,169.82–1,906.58 mg/L as CH_3COOH ตามลำดับ และของผสม (Slurry) ในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่ากรดไขมันระเหยอยู่ในช่วง 1,230.97–2,012.79 mg/L as CH_3COOH และ 827.43–1,063.89 mg/L as CH_3COOH ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่ากรดไขมันระเหยของผสม (Slurry) มีค่าน้อยกว่าวัสดุป้อน (Feed) เนื่องจากสารอินทรีย์ของวัสดุป้อนจะถูกย่อยสลายเพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย จากนั้นกรดไขมันระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบจะมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของวัสดุป้อนและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมัก และก๊าซชีวภาพ

4.2.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันในระบบ

จากรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.11 และ ข-2.12 ภาคผนวก ข) พบว่า ค่าปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อน (Feed) ในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่าปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 7,535.00–20,458.33 mg/L และ 4,238.33–6,780.00 mg/L ตามลำดับ และของผสม (Slurry) ในช่วงแรกและช่วงที่สองมีค่าปริมาณน้ำมันและไขมันอยู่ในช่วง 30.00–83.33 mg/L และ 45.00–126.67 mg/L ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อน (Feed) มีค่ามากกว่าของผสม (Slurry) เนื่องจากวัสดุป้อนมีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันจากเศษอาหาร โดยเฉพาะในน้ำมันพืช น้ำมันหมู ที่ใช้ในการประกอบอาหาร และมีการเติมไขมันจากบ่อดักไขมัน ในขณะที่น้ำมันและไขมันในของผสม (Slurry) จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จึงทำให้ของผสม (Slurry) นั้นมีปริมาณน้ำมันและไขมันที่น้อยกว่าวัสดุป้อน จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันในช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สองเฉลี่ย 99.58% และ 98.60% ตามลำดับ นั่นคือระบบสามารถกำจัดไขมันได้ดี จึงสามารถเพิ่มปริมาณไขมันในระบบได้อีกในการศึกษาในอนาคต



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อนและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

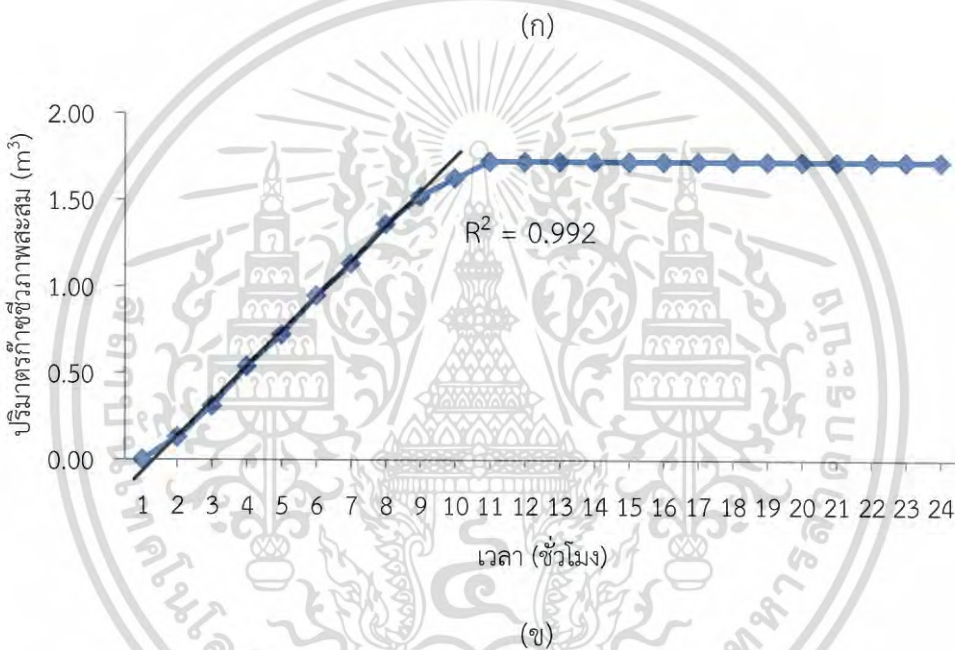
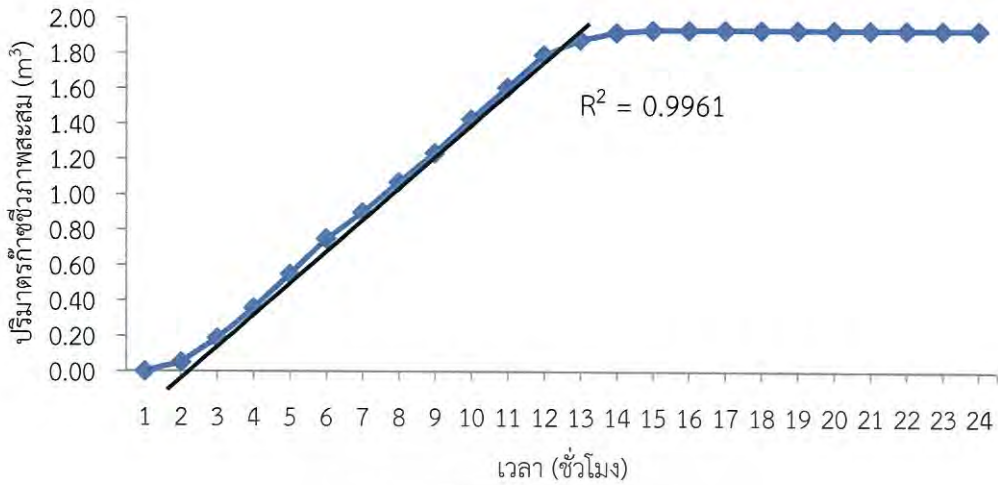
4.3 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.3.1 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

จากการวัดอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในทุกๆ ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในแต่ละสัปดาห์ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.13 และ ข-2.14 ภาคผนวก ข)

จากรูปที่ 4.7 ระยะปรับสภาพ (ช่วงที่ I) มีการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม และกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม ต่อน้ำประปา 20 ลิตร ระบบเกิดการผลิตก๊าซที่ชั่วโมงที่ 1 และหยุดการผลิตชั่วโมงที่ 13 โดยมีอัตราการผลิตอยู่ที่ $0.17 \text{ m}^3/\text{hr}$ ส่วนในระยะทดลอง (ช่วงที่ II) มีการเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม และกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม ต่อน้ำประปา 80 ลิตร ระบบเกิดการผลิตก๊าซที่ชั่วโมงที่ 1 และหยุดการผลิตชั่วโมงที่ 11 โดยมีอัตราการผลิตอยู่ที่ $0.18 \text{ m}^3/\text{hr}$ จากผลการทดลองพบว่า ควรมีการเติมวัสดุป้อนวันละ 2 ครั้ง ประมาณ 12 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

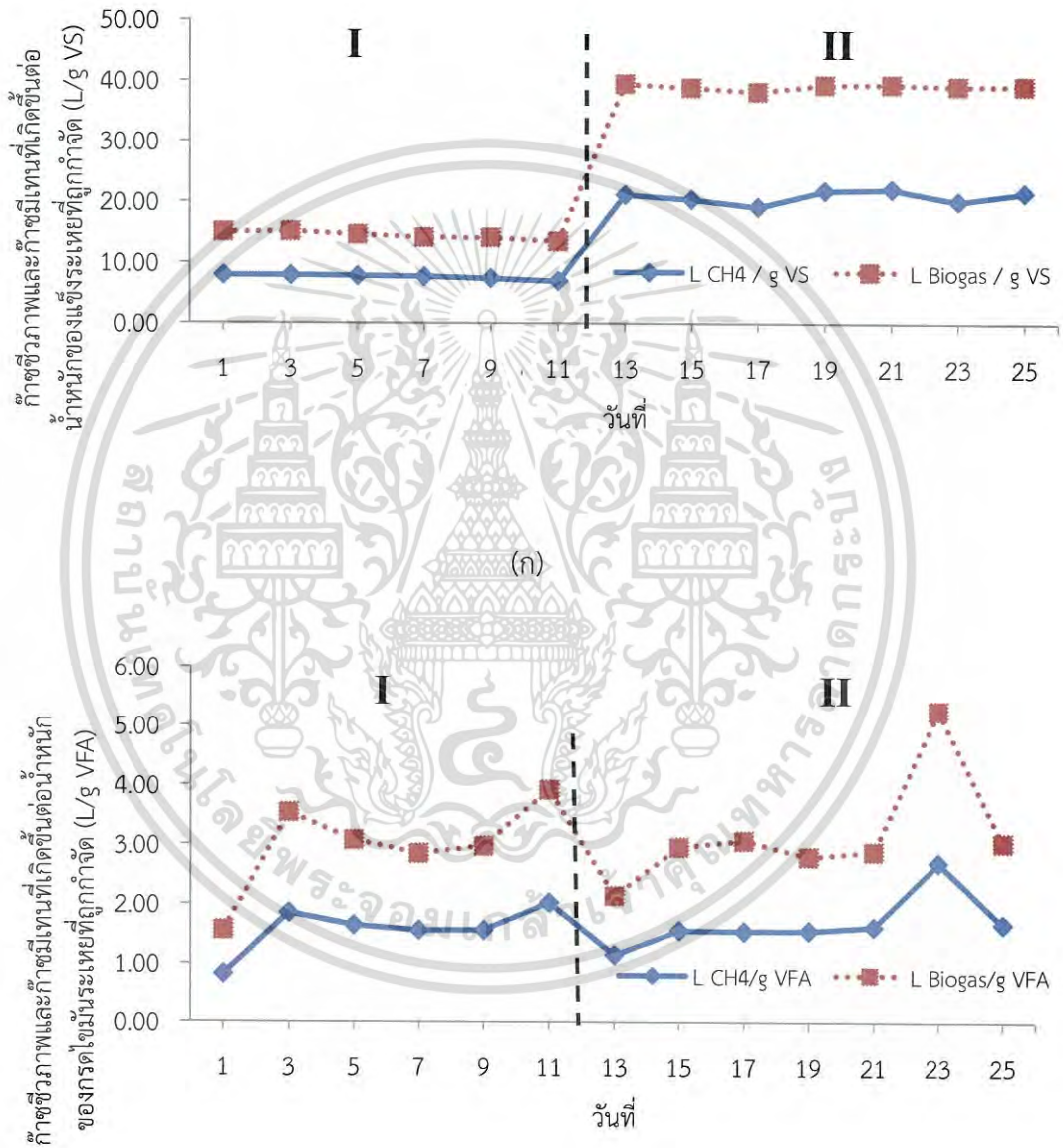
(ก) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพช่วงที่ I (ข) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพช่วงที่ II

4.3.2 ผลการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักของแข็งระเหยและกรดไขมันระเหย

จากรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.15 และ ข-2.16 ภาคผนวก ข และ ตารางที่ ค-2 และ ค-3 ภาคผนวก ค) พบว่าก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด ช่วงที่ I มีค่าอยู่ในช่วง 13.46–15.09 L Biogas/g VS removed และ 6.95–7.91 L CH₄/g VS removed ตามลำดับ ช่วงที่ II มีค่าอยู่ในช่วง 38.23–39.52 L Biogas/g VS removed และ 19.19–22.12 L CH₄/g VS removed แสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด ช่วงที่ I มีค่าอยู่ในช่วง 1.56–3.92 L Biogas/g VFA removed และ 0.83–2.02 L CH₄/g VFA removed ช่วงที่ II มีค่าอยู่ในช่วง 2.14–5.26 L Biogas/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g VFA removed และ 1.14–2.70 L CH₄/g VFA removed ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข) จากการเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและกากไขมัน กับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้เศษอาหารเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยของ อภินันท์ และอรกานต์ (2556) พบว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกรักษา (ก) ที่ถูกกำจัดในการหมักจากเศษอาหารเพียงอย่างเดียว มีค่าประมาณ 0.54 L CH₄/g VS removed ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการหมักเศษอาหารและกากไขมัน 14-40 เท่า นั่นคือ ไขมันสามารถถูกย่อยสลายเกิดเป็นก๊าซมีเทนในปริมาณที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน

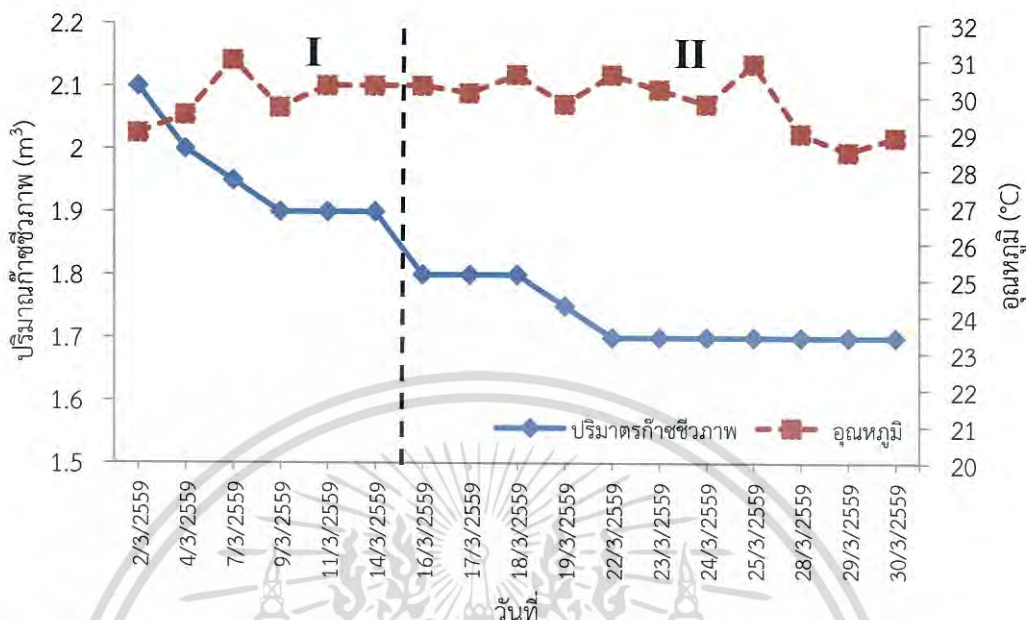


(ข)

รูปที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทน
ต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกรักษา (ก) และกรดไขมันระเหยที่ถูกรักษา (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบรรยากาศกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ



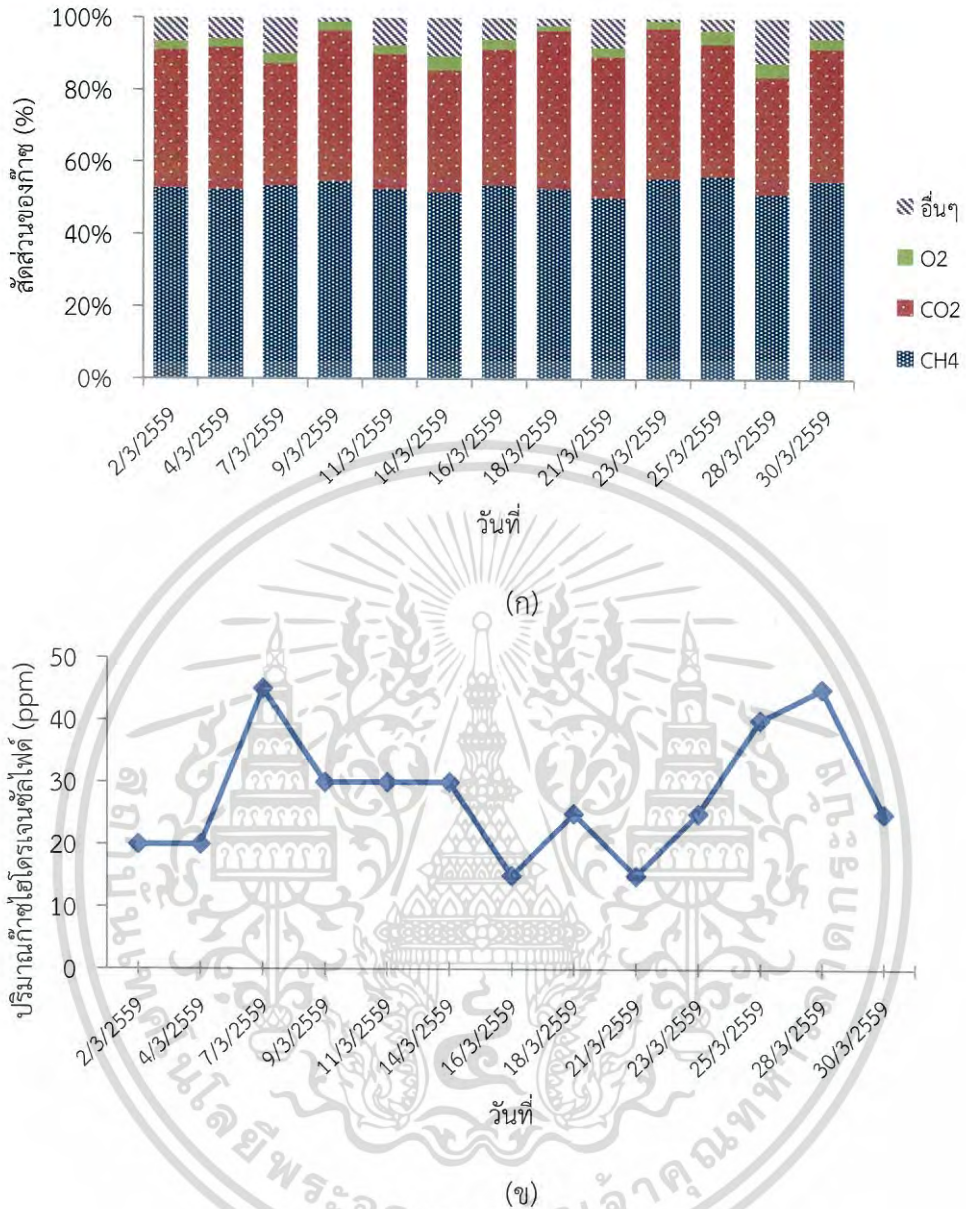
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.9 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.17 ถึง ข-2.33 ภาคผนวก ข) แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวันกับอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าระหว่าง 1.7–2.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เนื่องจากอุณหภูมิในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จึงไม่ส่งผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 25-40 °C (El-Mashad *et al.*, 2004)

4.3.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.10 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.34 ภาคผนวก ข) ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas Data Meter พบว่าในช่วงที่ I ก๊าซมีเทน (CH₄), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซออกซิเจน (O₂) มีค่าอยู่ระหว่าง 51.6-54.5%, 33.8-41.9% และ 2.4-2.9% ตามลำดับ ส่วนในช่วงที่ II พบว่าก๊าซมีเทน (CH₄), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซออกซิเจน (O₂) มีค่าอยู่ระหว่าง 50.2-56.1%, 32.4-39.0% และ 1.4-4.0% ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 (ก) จะเห็นได้ว่าระบบมีก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก สอดคล้องตามทฤษฎีและงานวิจัยของนฤมล (2556) ที่พบว่าก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 50-70 % ส่วนก๊าซออกซิเจนอาจเกิดจากขั้นตอนการเปิดถังหมักเพื่อป้อนวัสดุเข้าสู่ระบบ ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ช่วงที่ I และช่วงที่ II มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 20-45 ppm และ 15-45 ppm ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่จะไม่ก่อให้เกิดการผุกร่อนในเครื่องยนต์ที่กำหนดให้มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1,500 ppm (กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระหว่างการหมักก๊าซชีวภาพ

(ก) ก๊าซมีเทน (CH₄) , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซออกซิเจน (O₂)

(ข) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุป้อน (Feed) และของผสม (Slurry)

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุป้อน (Feed) และของผสม (Slurry) แสดงในตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.6, ข-2.8 และ ข-2.12 ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของของวัสดุป้อน (Feed) และของผสม (Slurry)

พารามิเตอร์	Feed		Slurry		% removal	
	ช่วง I	ช่วง II	ช่วง I	ช่วง II	ช่วง I	ช่วง II
ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	153,500.67	57,495.57	23,355.17	19,922.57	84.78	65.35
ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	148,808.50	55,555.52	12,512.67	11,176.86	91.59	79.90
น้ำมันและไขมัน (mg/L)	12,797.50	5,207.14	52.22	72.62	99.58	98.60

จากผลการทดลองพบว่าของผสม (Slurry) มีปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณน้ำมันและไขมันน้อยกว่าวัสดุป้อน (Feed) เนื่องจากอินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบจะเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายในสภาวะปราศจากออกซิเจนและถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอื่นๆ โดยจุลินทรีย์ในระบบ จึงทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณน้ำมันและไขมันของผสมมีค่าน้อยกว่าวัสดุป้อน โดยระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยในช่วง I และช่วง II คิดเป็น 84.78% และ 65.35% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งระเหยง่ายเฉลี่ยในช่วง I และช่วง II คิดเป็น 91.59% และ 79.90% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันเฉลี่ยในช่วง I และช่วง II คิดเป็น 99.58% และ 98.60% ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วงที่ I ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และน้ำมันและไขมันดีกว่าช่วงที่ II เนื่องจากการทดลองในช่วงแรกนั้นมีระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ (HRT) 81 วัน ซึ่งมีระยะเวลานานกว่าในช่วงที่สองที่มีระยะเวลาที่เก็บสารอินทรีย์ในระบบ (HRT) 31 วัน

4.4 ผลการวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.11 ลักษณะเชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยการย้อมสีแกรมแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000X

ผลการศึกษาเชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยการย้อมสีแกรมแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000X (รูปที่ 4.11) พบเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นท่อนยาวคาดว่าน่าจะเป็นแบคทีเรียแกรมบวกกลุ่ม methanogen ซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียที่พบมีลักษณะคล้ายงานวิจัยของชลธิชา และคณะ (2556) อย่างไรก็ตาม ควรทำการวิเคราะห์ชนิดของจุลินทรีย์ต่อไปในอนาคต

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษอาหารและกากไขมันแบบไร้อากาศด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ปริมาตร 3,100 ลิตร มีการปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ผ่านการหมักจากเศษอาหารเพียงอย่างเดียวมาก่อน ด้วยเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัมและกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ต่อน้ำประปา 20 ลิตร พร้อมทั้งมีการปั่นกวนภายในถังหมัก หลังการเติมอาหารเป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงจะทำการถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากระบบ 40 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 13.00–14.00 น. ทุกวันจันทร์, พุธ, ศุกร์ เป็นเวลาทั้งสิ้น 69 วัน จากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลากักเก็บ (HRT) 81 วัน จากการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.53-7.87, สภาพความเป็นด่าง มีค่า 3,560.07-4,063.21 mg/L as CaCO₃, ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด มีค่า 6.95–7.91 L CH₄/g VS removed, ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด มีค่า 0.83-2.02 L CH₄/g VFA removed และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 1.80-2.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนในระยะทดลองเติมเศษอาหาร 19.5 กิโลกรัม และกากไขมัน 0.5 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ต่อน้ำประปา 80 ลิตร ในช่วงเวลา 13.00–14.00 น. พร้อมทั้งมีการปั่นกวนภายในถังหมักหลังการเติมอาหารเป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมง จะทำการถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากระบบ 100 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 13.00–14.00 น. ทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ (ยกเว้นเสาร์-อาทิตย์) เป็นเวลาทั้งสิ้น 11 วัน จากการคำนวณพบว่า ระบบมีระยะเวลากักเก็บ (HRT) 31 วัน จากการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.61-7.84, สภาพความเป็นด่าง มีค่า 3,604.04-4,188.67 mg/L as CaCO₃ นั่นคือระบบอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัดมีค่า 19.19–22.12 L CH₄/g VS removed, ปริมาณก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัดมีค่า 1.14–2.70 L CH₄/g VFA removed และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 1.70-1.80 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบขึ้นอยู่กับ การเติมอาหาร ในส่วนของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมช่วงกลางวันและกลางคืนมีค่าไม่ต่างกันมาก ซึ่งไม่ส่งผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของจุลินทรีย์ในระบบนี้ โดยก๊าซชีวภาพที่ได้มีปริมาณมีเทน (CH₄) 50.2-56.%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 32.4-39.0%, และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 15-45 ppm สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าและเป็นเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรแปรค่าอัตราการเติมวัสดุป้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ควรเพิ่มสัดส่วนไขมันกับวัสดุป้อน
3. ควรตรวจสัญญาณวิทยาของเชื้อจุลินทรีย์และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในระบบ
4. ควรทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับบ้านเรือน. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2558. สรุปสถานการณ์ขยะในประเทศไทยปี 2557. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พืช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. ศึกษาการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานในเครื่องผลิตปุ๋ยชีวภาพอัดเม็ด. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. ก๊าซชีวภาพ. กระทรวงพลังงาน.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ชลธิชา มะลิซ้อน, ชัยวัฒน์ เพชรโสม และชุลีพร จิตคงสง. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ. โครงการพิเศษ วิทยาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เทศบาลเมืองทุ่งสง. 2559. ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสถานะแวดล้อม. 2554. [ออนไลน์] สืบค้นจาก : www.tungsong.com12 เมษายน 2559.
- นฤมล บุญสง. 2558. การผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยชีวภาพจากการหมักร่วมกันของเศษผลไม้และเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นฤมล เชาวะระโทก. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากตะกอนดีแคเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นันทพงศ์ จันทมาศ. 2557. กากไขมันเหลือใช้ไม่ไร้ประโยชน์ : การใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย 8(1), 49-54.
- พิชญ รัชฎาวงศ์. 2554. การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชกร นามกร, สุเทพ ศิลปานันท์กุล และพิศิษฐ์ วัฒนสมบุญ. 2558. การผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากกากตะกอนน้ำทิ้ง เศษผัก และกากไขมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. 2552. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. 2554. คู่มือแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งแฉะโดยชุมชน. กรุงเทพมหานคร. มาตการพิมพ์.

อานัฐ ตะปินตา และรณบรรจบ อภิตกุล. 2553. การจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาอย่างครบวงจรและเหมาะสม. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

อภิพล โรจนวิภาต และอรกานต์ ขอดแก้ว. 2556. การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

APHA, AWWA and WEF. 2012. *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater* (22th ed.). Washington DC, USA: American Public Health Association.

Athanasoulia, E., Melidis, P. and Aivasidis, A. 2012. Optimization of Biogas Production from Waste Activated Sludge through Serial Degestion. *Renewable Energy*, 47, 147-151.

Austrian, R. 1960. The Gram Stain and The Etiology of Lobar Pneumonia, an Historical Note. *Bacteriological Reviews*, 24, 261-265.

Bailey, R.S. 2007. *Coal Merchant in Knaresborough*. North Yorkshire.

Boe, K. and Angelidaki, I. 2009. Digestion Configuration for Improving Biogas Production from Manure. *Water Research*, 43, 116-172.

Breure, A.M. and van Andel, J.G. 1987. Microbiological Impact on Anaerobic Digestion. *Bioenvironment systems* (D. L. Wise, Ed.) 2, 95-113. CRC Press, Florida, U.S.A.

Brownc, D. and Li, Y. 2013. Solid State Anaerobic Co-digestion of Yard Waste and Food Waste for Biogas Production. *Bioresource Technology*, 127, 275-280.

Chen, G., Liu, G., Yan, B., Shan, R., Wang, J., Li, T. and Xu, W. 2016. Experimental Study of Co-digestion of Food Waste and Tall Fescue for Bio-gas Production. *Renewable Energy*, 88, 273-279.

Deublein, D. and Steinhauser, A. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resource*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Germany.

El-Mashad, H.M., Zeeman, G., Van Loon, W.K.P., Bot, G.P.A. and Lettinga, G. 2004. Effect of Temperature and Temperature Fluctuation on Thermophilic Anaerobic Digestion of Cattle Manure. *Bioresource Technology*, 95, 191-201.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, R., van Otterdijk, R. and Meybeck, A. 2011. **Global Food Losses and Food Wastes: Extent, Cause and Prevention.** Interpack 2011. Dusseldorf, Germany: FAO.
- Jin, Y., Chen, T., Chen, X. and Yu, Z. 2015. **Life-cycle Assessment of Energy Consumption and Environmental Impact of an Integrated Food Waste-based Biogas Plant.** *Applied Energy*, 151, 227–236.
- Woon, K.S. and Lo, I.M.C. 2016. **A Proposed Framework of food Waste Collection and Recycling for Renewable Biogas Fuel Production in Hong Kong.** *Waste Management*, 47, 3-10.
- Komemoto, K., Lim, Y.G., Nagao, N., Onoue, Y., Niwa, C. and Toda, T. 2009. **Effect of Temperature on VFA's and Biogas Production in Anaerobic Solubilization of Food Waste.** *Waste Management*, 19, 2950–2955.
- Kondusamy, D. and Kamamdhad, A.J. 2014. **Pre-treatment and Anaerobic Digestion of Food Waste for High Rate Methane Production – A Review.** *Environment Chemical Engineering*, 2, 1821-1830.
- Osman, N.A. and Delia, T.S. 2005. **Effect of Alkalinity on The Performance of a Simulated Landfill Bioreactor Digesting Organic Solid Wastes.** *Chemosphere*, 59, 871-879.
- Romano, R.T. and Zhang, R. 2007. **Co-digestion of Onion Juice and Wastewater Sludge using an Anaerobic Mixed Biofilm Reactor.** *Bioresource Technology*, 99, 631-637.
- Strik, D.P.B.T.B., Domnanovich, A.M. and Holubar, P. 2006. **A pH-based Control of Ammonia in Biogas during Anaerobic Digestion of Artificial Pig Manure and Maize Silage.** *Process Biochemistry*, 41, 1235-1238.
- Verma, S. 2002. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes.** Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University.
- Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Huang, Z., Miao, H., Xu, Z. and Ruan, W. 2015. **Enhancing Biogas Generation Performance from Food Wastes by High Solids Thermophilic Anaerobic Digestion: Effect of pH Adjustment.** *International Biodeterioration & Biodegradation*, 105, 153-159.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์

ก-1 วิธีวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาวะในระหว่างการหมัก

ก-1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. บีกเกอร์
3. เครื่องกวนแม่เหล็กและแท่งเหล็ก

วิธีการทดลอง

1. ทำความสะอาดอิเล็กโทรดก่อนวัดค่าพีเอช โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์ฉีดล้างให้ทั่ว เช็ดด้วยกระดาษทิชชู
2. เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สัญญาณเสถียร
3. การปรับเทียบค่าพีเอช โดยใช้บัฟเฟอร์ 7 เป็นจุดที่ 1 และใช้บัฟเฟอร์ 4 เป็นจุดที่ 2
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่าง โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในบีกเกอร์ตัวอย่างแล้วคนเบาๆ รอจนกว่าค่าพีเอช ไม่เปลี่ยนแปลงจึงอ่านค่า
5. ทำความสะอาดอิเล็กโทรดทุกครั้งหลังจากวัดค่าพีเอช โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์ฉีดล้างให้ทั่ว ซับด้วยกระดาษทิชชู และเมื่อเสร็จปฏิบัติการต้องจุ่มอิเล็กโทรดในสารละลายสำหรับแช่อิเล็กโทรด

ก-1.2 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS)

หลักการ

ของแข็งทั้งหมด หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Dessicator) แล้วชั่งน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของแข็งทั้งหมด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหยกระเบื้อง
2. เตาอบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 103-105 องศาเซลเซียส
3. Water Bath
4. เติลิกเคเตอร์
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย จานที่ใช้จะต้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน สมมติ = A กรัม
2. เลือกใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อยๆรินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในจานระเหย นำไประเหยน้ำออกให้หมดบน Water Bath หรือ Hot Plate นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น
4. ชั่งน้ำหนักจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง สมมติ B กรัม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นก็คือ น้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของมิลลิกรัมต่อลิตร

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A - B) \text{ กรัม} \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง, มล}}$$

ก-1.3 ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS)

หลักการ

ของแข็งระเหยทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของสารที่ระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม่สลายไป เรียกว่า ปริมาณของแข็งคงตัว (Fixed Solids)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหยกระเบื้อง
2. เตาอบ ควบคุมอุณหภูมิที่ 103-105 องศาเซลเซียส
3. Water Bath
4. เติลิกเคเตอร์
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
6. เตาเผาควบคุมอุณหภูมิที่ 550 ±50 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. นำจานระเหยที่ได้จากการหาของแข็งทั้งหมด (A กรัม) แล้วนำไปเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที)
2. ปล่อยให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (Fixed Solids) (B กรัม)

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งระเหยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \text{ กรัม} \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง, มล}}$$

ก-1.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acids, VFA) และสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องเซนติพีวีจ
3. Hot plate และเครื่องกวนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.05 N
2. สารละลายมาตรฐาน NaOH 0.05 N

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตร
2. วัดค่าพีเอช
3. หาความเป็นต่างโดยการไทเทรตตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.05 N จนพีเอชมีค่าเป็น 4.0 จดปริมาตรกรดที่ใช้ไป คำนวณความเป็นต่างทั้งหมด แล้วไทเทรตต่อไปจนพีเอชเป็น 3.5 (ทำการทวนสารตลอดเวลา)
4. ต้มไล่ CO_2 เป็นระยะเวลาประมาณ 3 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.05 N จนพีเอชเป็น 4 แล้วไทเทรตต่อไปจนพีเอชเป็น 7 (จดปริมาตรสารละลายมาตรฐานต่างที่ใช้ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7)

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นต่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร as } CaCO_3) = \frac{NaOH, \text{ มล} \times N \text{ NaOH} \times 50 \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง, มล}}$$

การคำนวณค่ากรดอินทรีย์ระเหย

- กรณีที่ 1 ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมด >180 (มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$)
 กรดอินทรีย์ระเหย (มิลลิกรัม/ลิตร as CH_3COOH) = ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมด $\times 1.5$
- กรณีที่ 2 ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมด >180 (มิลลิกรัม/ลิตร as $CaCO_3$)
 กรดอินทรีย์ระเหย (มิลลิกรัม/ลิตร as CH_3COOH) = ค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมด $\times 1.0$

ก-1.5 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil&Grease)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กรวยแยก ขนาด 250 มิลลิลิตร มีฝาปิดเทฟลอน
2. ขวดรูปชมพู่
3. อ่างน้ำร้อน
4. กระดาษกรอง (whatman no.40)
5. กระดาษวัดพีเอช
6. บีกเกอร์

สารเคมี

1. กรด H_2SO_4
2. เฮกเซน
3. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างทำให้เป็นกรดที่พีเอช 2 หรือต่ำกว่าด้วยกรด H_2SO_4
2. นำตัวอย่างมา 20 มิลลิลิตร เติลงในกรวยแยก ล้างภาชนะใส่ตัวอย่างด้วยเฮกเซน 20 มิลลิลิตร แล้วเทลงในกรวยแยก ปิดฝาและเขย่าแรงๆ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น
3. ปล่อยชั้นน้ำลงในบีกเกอร์ที่สะอาด แล้วจึงปล่อยชั้นเฮกเซนลงในขวดรูปชมพู่ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (Bกรัม) โดยปล่อยให้ไหลผ่านกระดาษกรองที่อยู่บนกรวยที่มีโซเดียมซัลเฟต 1 กรัม หรือมากกว่า
4. นำตัวอย่างเดิมสกัดแยกตามวิธีข้างต้นอีก 2 ครั้ง ด้วยเฮกเซน 20 มิลลิลิตร ต่อ 1 ครั้ง แล้วเทรวมกันในขวดรูปชมพู่ที่ชั่งน้ำหนักแล้ว (ขวดเดิม) และล้างกระดาษกรองด้วยเฮกเซน 10-20 มิลลิลิตร
5. ระเหยเฮกเซนจากขวดรูปชมพู่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วนำขวดรูปชมพู่เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ 30 นาที และชั่งน้ำหนัก (Aกรัม)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมันและไขมัน} = \frac{(A - B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง, มล}}$$

ก-1.6 ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen, TN)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดเจลาตาลี
2. ขวดรูปชมพู่
3. เตาย่อย
4. เครื่องกลั่น
5. ชุดการไทเทรต

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5-0.9 กรัม ลงในขวดเจลาตาลีและใส่ conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร
2. เติม $CuSO_4$ 10 มิลลิลิตร และ K_2SO_4 6.7 กรัม เขย่าให้ผงละลาย
3. ใส่เตาย่อย ย่อยจนปริมาตรเหลือครึ่งนี้
4. เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร และ NaOH 1:1 50 มิลลิลิตร รอจนเย็นแล้วนำไปใส่เครื่องกลั่น
5. เติมกรดบอริก 3% 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ หยด mixed indicator 6-7 หยด นำไปรองรับการกลั่นให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ในสารละลาย
6. รองรับการกลั่นจนปริมาตรในขวดรูปชมพู่ได้ 150 มิลลิลิตร
7. นำไปไทเทรตด้วย H_2SO_4 0.02 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
8. จดปริมาณ H_2SO_4 ที่ใช้

การคำนวณ

$$\% N = \frac{(a - b) c \times 1.401}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง, มล}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- a = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง
 b = มิลลิลิตรที่ใช้ไทเทรต blank
 c = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (molar)
 g = น้ำหนักของตัวอย่างที่วิเคราะห์ (g)

ก-1.7 อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon, TOC)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่
2. ชุดการไทเทรต

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.05-0.1 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติม K_2CrO_7 1 N 10 มิลลิลิตร
3. เติม conc. H_2SO_4 10 มิลลิลิตร
4. เขย่าและตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
5. นำไปไทเทรตด้วย FAS 0.5 N
6. จดปริมาณ FAS ที่ใช้

การคำนวณ

$$\% \text{ organic carbon} = \frac{(B - T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{1000} \times \frac{10}{W}$$

N = ความเข้มข้นของ K_2CrO_7 (N)

B = ปริมาตร FAS กับ blank (mL)

T = ปริมาตร FAS กับตัวอย่าง (mL)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

ก-1.8 ความชื้น (Moisture content)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. ตู้อบ
3. เดสิกเคเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 5.0000 กรัม ใส่ลงในชามระเหย บันทึกน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
2. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่เดสิกเคเตอร์ ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

การคำนวณ

$$\text{ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1.9 การตรวจเชื้อที่ใช้ในถังผลิตก๊าซชีวภาพ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์
2. สไลด์
3. ลวดเขี่ยเชื้อ
4. ตะเกียงแอลกอฮอล์
5. กระดาษเช็ดเลนส์

สารเคมี

1. สีย้อม Safranin
2. สีย้อม Crystal violet
3. น้ำยาแกรมไอโอดีน
4. แอลกอฮอล์

วิธีการทดลอง

1. หยดสีย้อม Crystal violet ลงบนสไลด์ให้ท่วมรอยที่สเมียร์ทิ้งไว้ 1 นาที
2. ล้างออกด้วยน้ำยาแกรมไอโอดีน แล้วหยดน้ำยาแกรมไอโอดีนให้ท่วมรอยสเมียร์ทิ้งไว้ 1 นาที
3. ล้างน้ำยาแกรมไอโอดีนด้วยน้ำกลั่นแล้วล้างออกอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 95% จนน้ำที่ล้างไม่มีสีติดออกมา
4. ย้อมทับ (Counterstain) ด้วยสีย้อม Safranin ทิ้งไว้ 1 นาที
5. ล้างออกด้วยน้ำกลั่น แล้วปล่อยให้สไลด์แห้ง
6. ตรวจสอบผลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า และบันทึกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข-1 คุณลักษณะของเศษอาหารและกากไขมัน

ตารางที่ ข-1.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหาร

พารามิเตอร์	เศษอาหาร			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ความชื้น (Moisture content) (%)	74.74	74.04	75.28	74.68	0.62
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon) (%)	40.29	43.16	41.04	41.50	1.49
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) (%)	1.00	0.98	0.96	0.98	0.02
C/N ratio	40.34	43.95	42.75	42.35	1.84

ตารางที่ ข-1.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกากไขมัน

พารามิเตอร์	กากไขมัน			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ความชื้น (Moisture content) (%)	62.76	65.30	65.30	64.46	1.47
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total organic carbon) (%)	31.54	32.10	32.36	32.00	0.42
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) (%)	1.02	1.02	1.01	1.01	0.01
C/N ratio	31.07	31.46	32.12	31.55	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 ผลการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักก๊าซชีวภาพ

1) การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช

ตารางที่ ข-2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับสภาพ	2/3/2559	4.70	4.50	4.70	4.63	0.12
	4/3/2559	4.40	4.35	4.39	4.38	0.03
	7/3/2559	5.57	5.5	5.55	5.54	0.04
	9/3/2559	5.28	5.17	5.25	5.23	0.06
	11/3/2559	5.19	5.14	5.18	5.17	0.03
	14/3/2559	5.28	5.27	5.28	5.28	0.01
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	5.68	5.67	5.68	5.68	0.01
	18/3/2559	4.88	4.86	4.86	4.87	0.01
	21/3/2559	5.85	5.88	5.88	5.87	0.02
	23/3/2559	5.55	5.58	5.55	5.56	0.02
	25/3/2559	5.87	5.88	5.88	5.88	0.01
	28/3/2559	6.04	6.04	6.04	6.04	0.00
	30/3/2559	5.25	5.26	5.25	5.25	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผสม

ระยะ	วันที่	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	7.53	7.54	7.53	7.53	0.01
	4/3/2559	7.66	7.68	7.68	7.67	0.01
	7/3/2559	7.9	7.83	7.89	7.87	0.04
	9/3/2559	7.75	7.74	7.75	7.75	0.01
	11/3/2559	7.79	7.73	7.77	7.76	0.03
	14/3/2559	7.75	7.74	7.75	7.75	0.01
ระยะทดลอง	16/3/2559	7.69	7.74	7.73	7.72	0.03
	18/3/2559	7.63	7.66	7.65	7.65	0.02
	21/3/2559	7.89	7.79	7.85	7.84	0.05
	23/3/2559	7.70	7.70	7.70	7.70	0.00
	25/3/2559	7.64	7.66	7.66	7.65	0.01
	28/3/2559	7.60	7.62	7.60	7.61	0.01
	30/3/2559	7.70	7.70	7.70	7.70	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมด

ตารางที่ ข-2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	292.97	292.97	292.97	292.97	0.00
	4/3/2559	123.27	118.34	118.34	119.98	2.85
	7/3/2559	477.12	477.12	477.12	477.12	0.00
	9/3/2559	410.36	400.10	410.36	406.94	5.92
	11/3/2559	289.96	309.29	299.63	299.63	9.67
	14/3/2559	417.13	406.70	417.13	413.65	6.02
ระยะทดลอง	16/3/2559	229.42	229.42	229.42	229.42	0.00
	18/3/2559	114.41	123.95	123.95	120.77	5.50
	21/3/2559	190.69	200.22	200.22	197.05	5.50
	23/3/2559	171.62	171.62	171.62	171.62	0.00
	25/3/2559	190.69	200.22	200.22	197.05	5.50
	28/3/2559	190.69	190.69	190.69	190.69	0.00
	30/3/2559	305.10	305.10	305.10	305.10	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นต่างทั้งหมดของของผสม

ระยะ	วันที่	สภาพความเป็นต่าง (mg/L as CaCO ₃)			ค่าเฉลี่ย (mg/L as CaCO ₃)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	4028.33	4080.65	4080.65	4063.21	30.20
	4/3/2559	3895.31	3860.79	3846.00	3867.37	25.30
	7/3/2559	3807.02	3787.14	3797.08	3797.08	9.94
	9/3/2559	3970.19	3959.93	3959.93	3963.35	5.92
	11/3/2559	3527.85	3576.17	3576.17	3560.07	27.90
	14/3/2559	4035.72	4025.30	4025.30	4028.77	6.02
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	4181.72	4192.15	4192.15	4188.67	6.02
	18/3/2559	3670.79	3623.11	3623.11	3639.00	27.52
	21/3/2559	3575.44	3623.11	3613.58	3604.04	25.23
	23/3/2559	3651.72	3642.18	3642.18	3645.36	5.50
	25/3/2559	3670.79	3623.11	3623.11	3639.00	27.52
	28/3/2559	3604.04	3604.04	3604.04	3604.04	0.00
	30/3/2559	3642.18	3651.72	3642.18	3645.36	5.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมด

ตารางที่ ข-2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	ของแข็งทั้งหมด (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	156,125	159,300	158,640	158,022	1,675
	4/3/2559	153,415	151,900	151,590	152,302	977
	7/3/2559	150,300	148,900	150,610	149,937	911
	9/3/2559	152,290	152,120	150,020	151,477	1,264
	11/3/2559	151,355	150,495	152,105	151,318	806
	14/3/2559	156,075	157,760	160,010	157,948	1,974
ระยะทดลอง	16/3/2559	58,455	56,245	60,150	58,283	1,958
	18/3/2559	59,925	59,560	59,085	59,523	421
	21/3/2559	57,805	56,755	58,135	57,565	721
	23/3/2559	55,870	56,020	56,615	56,168	394
	25/3/2559	56,145	55,600	55,250	55,665	451
	28/3/2559	58,885	57,995	56,925	57,935	981
	30/3/2559	56,785	56,155	59,050	57,330	1,523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของของผสม

ระยะ	วันที่	ของแข็งทั้งหมด (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	22,372	23,472	23,384	23,076	611	85.40
	4/3/2559	23,350	22,468	25,248	23,689	1,421	84.45
	7/3/2559	23,668	23,378	22,484	23,177	617	84.54
	9/3/2559	23,572	23,570	22,172	23,105	808	84.75
	11/3/2559	23,802	23,642	23,604	23,683	105	84.35
	14/3/2559	23,334	23,738	23,130	23,401	309	85.18
ระยะทดลอง	16/3/2559	19,255	18,248	20,483	19,328	1,119	66.84
	18/3/2559	21,688	20,660	23,330	21,893	1,347	63.22
	21/3/2559	19,075	18,212	18,102	18,463	533	67.93
	23/3/2559	19,150	20,328	22,100	20,526	1,485	63.46
	25/3/2559	19,318	19,143	19,557	19,339	208	65.26
	28/3/2559	19,595	20,302	19,825	19,907	361	65.64
	30/3/2559	19,878	19,705	20,425	20,002	376	65.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด

ตารางที่ ข-2.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	156,525	153,310	153,465	154,433	1,813
	4/3/2559	146,010	145,295	143,895	145,067	1,076
	7/3/2559	146,520	147,425	145,590	146,512	918
	9/3/2559	146,830	148,165	146,135	147,043	1,032
	11/3/2559	146,510	146,170	148,495	147,058	1,256
	14/3/2559	152,655	153,915	151,645	152,738	1,137
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	57,380	55,425	59,175	57,327	1,876
	18/3/2559	57,575	57,080	59,705	58,120	1,395
	21/3/2559	56,750	56,215	59,505	57,490	1,765
	23/3/2559	53,490	53,865	54,495	53,950	508
	25/3/2559	54,355	53,750	51,765	53,290	1,355
	28/3/2559	55,490	56,010	53,730	55,076	1,195
	30/3/2559	54,485	52,525	53,895	53,635	1,006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของของผสม

ระยะ	วันที่	ของแข็งระเหยง่าย (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	% removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	14,068	14,400	14,232	14,233	166	90.78
	4/3/2559	12,186	11,472	13,848	12,502	1,219	91.38
	7/3/2559	13,106	12,504	12,196	12,602	463	91.40
	9/3/2559	12,920	12,152	11,530	12,201	696	91.70
	11/3/2559	10,102	12,734	13,032	11,956	1,613	91.87
	14/3/2559	11,558	12,010	11,178	11,582	417	92.42
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	11,680	11,793	11,865	11,779	93	79.45
	18/3/2559	11,483	10,428	13,590	11,833	1,610	79.64
	21/3/2559	12,398	11,633	11,125	11,718	641	79.62
	23/3/2559	9,990	11,178	11,178	10,782	686	80.01
	25/3/2559	11,155	11,368	8,002	10,175	1,884	80.91
	28/3/2559	11,025	12,158	11,750	11,644	574	78.86
	30/3/2559	10,168	9,890	10,863	10,307	501	80.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหย

ตารางที่ ข-2.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	กรดไขมันระเหย (mg/L as CH ₃ COOH)			ค่าเฉลี่ย (mg/L as CH ₃ COOH)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	2554.25	2585.03	2585.03	2574.77	17.77
	4/3/2559	2508.42	2478.91	2508.42	2498.59	17.04
	7/3/2559	2677.11	2647.36	2617.62	2647.36	29.75
	9/3/2559	2492.91	2523.69	2492.91	2503.17	17.77
	11/3/2559	2282.80	2282.80	2312.07	2292.56	16.9
	14/3/2559	2370.05	2306.85	2275.25	2317.38	48.27
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	1896.04	1896.04	1927.64	1906.58	18.24
	18/3/2559	1512.21	1455.14	1426.61	1464.65	43.58
	21/3/2559	1426.61	1483.67	1426.61	1445.63	32.95
	23/3/2559	1455.14	1426.61	1426.61	1436.12	16.47
	25/3/2559	1512.21	1455.14	1426.61	1464.65	43.58
	28/3/2559	1141.29	1169.82	1198.35	1169.82	28.53
	30/3/2559	1455.14	1426.61	1426.61	1436.12	16.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของของผสม

ระยะ	วันที่	กรดไขมันระเหย (mg/L as CH ₃ COOH)			ค่าเฉลี่ย (mg/L as CH ₃ COOH)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	1230.97	1230.97	1230.97	1230.97	0.00
	4/3/2559	1918.21	1947.72	1932.96	1932.96	14.76
	7/3/2559	1992.96	2022.70	2022.70	2012.79	17.17
	9/3/2559	1846.60	1815.83	1846.60	1836.34	17.77
	11/3/2559	1609.67	1668.20	1682.84	1653.57	38.72
	14/3/2559	1832.84	1864.44	1801.24	1832.84	31.6
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	1042.82	1074.42	1074.42	1063.89	18.24
	18/3/2559	827.43	855.97	884.50	855.97	28.53
	21/3/2559	855.97	855.97	913.03	874.99	32.95
	23/3/2559	798.90	855.97	827.43	827.43	28.53
	25/3/2559	855.97	855.97	913.03	874.99	32.95
	28/3/2559	827.43	855.97	855.97	846.46	16.47
	30/3/2559	855.97	884.50	884.50	874.99	16.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมัน

ตารางที่ ข-2.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของวัสดุป้อน

ระยะ	วันที่	ไขมันและน้ำมัน (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	20425.00	20785.00	20165.00	20458.33	311.34
	4/3/2559	12665.00	11435.00	12465.00	12188.33	660.025
	7/3/2559	13925.00	12100.00	12815.00	12946.67	919.60
	9/3/2559	13655.00	16015.00	14725.00	14798.33	1181.71
	11/3/2559	8775.00	9935.00	7865.00	8858.33	1037.51
	14/3/2559	7710.00	8055.00	6840.00	7535.00	626.12
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	5145.00	4375.00	4060.00	4526.67	558.17
	18/3/2559	6600.00	6810.00	6930.00	6780.00	167.03
	21/3/2559	6655.00	5000.00	6245.00	5966.67	861.90
	23/3/2559	5060.00	4350.00	4270.00	4560.00	434.86
	25/3/2559	5115.00	5820.00	5955.00	5630.00	451.08
	28/3/2559	5075.00	4435.00	4735.00	4748.33	320.21
	30/3/2559	4355.00	4315.00	4045.00	4238.33	168.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและไขมันของของผสม

ระยะ	วันที่	ไขมันและน้ำมัน (mg/L)			ค่าเฉลี่ย (mg/L)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% removal
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	45.00	30.00	35.00	36.67	7.64	99.82
	4/3/2559	35.00	40.00	20.00	31.67	10.41	99.74
	7/3/2559	30.00	25.00	35.00	30.00	5.00	99.77
	9/3/2559	50.00	60.00	80.00	63.33	15.28	99.51
	11/3/2559	60.00	85.00	105.00	83.33	22.55	99.44
	14/3/2559	105.00	50.00	50.00	68.33	31.75	99.23
ระยะทดลอง	16/3/2559	45.00	60.00	65.00	56.67	10.41	99.25
	18/3/2559	65.00	50.00	35.00	50.00	15.00	99.26
	21/3/2559	50.00	100.00	45.00	60.00	30.41	98.91
	23/3/2559	70.00	65.00	90.00	75.00	13.23	98.36
	25/3/2559	55.00	35.00	45.00	45.00	10.00	99.20
	28/3/2559	125.00	130.00	125.00	126.67	2.89	97.33
	30/3/2559	90.00	85.00	95.00	90.00	5.00	97.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ ข-2.13 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในเวลา 24 ชั่วโมง ช่วงที่ I

ชั่วโมงที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /hr)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (m ³)
1	0	0.00
2	0.05	0.05
3	0.14	0.19
4	0.17	0.36
5	0.19	0.55
6	0.20	0.75
7	0.15	0.90
8	0.17	1.07
9	0.16	1.24
10	0.19	1.43
11	0.18	1.61
12	0.19	1.79
13	0.09	1.88
14	0.04	1.92
15	0.01	1.94
16	0.00	1.94
17	0.00	1.94
18	0.00	1.94
19	0.00	1.94
20	0.00	1.94
21	0.00	1.94
22	0.00	1.94
23	0.00	1.94
24	0.00	1.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

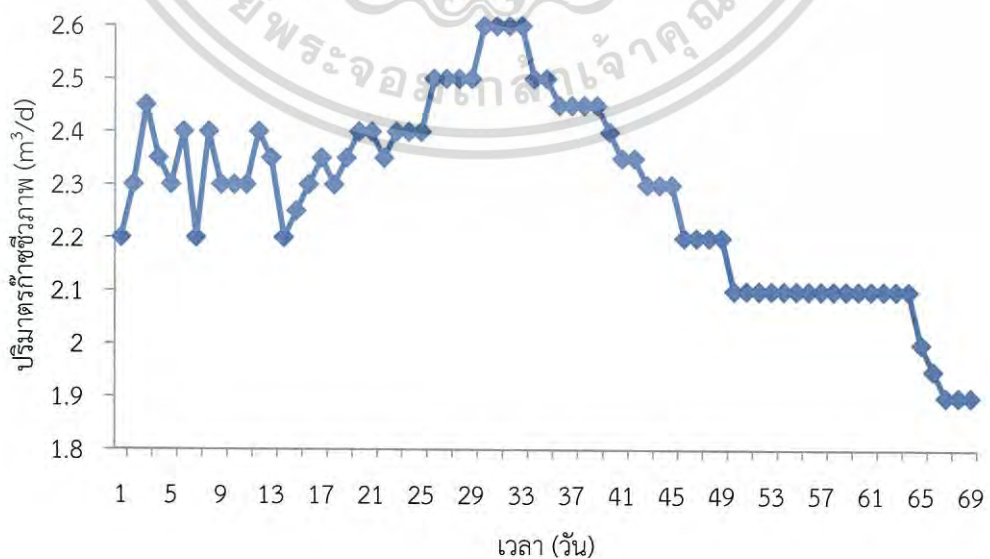
ตารางที่ ข-2.14 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในเวลา 24 ชั่วโมง ช่วงที่ II

ชั่วโมงที่	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /hr)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพสะสม (m ³)
1	0	0.00
2	0.13	0.13
3	0.18	0.31
4	0.23	0.54
5	0.18	0.72
6	0.23	0.95
7	0.19	1.14
8	0.23	1.37
9	0.16	1.53
10	0.11	1.63
11	0.10	1.73
12	0.00	1.73
13	0.00	1.73
14	0.00	1.73
15	0.00	1.73
16	0.00	1.73
17	0.00	1.73
18	0.00	1.73
19	0.00	1.73
20	0.00	1.73
21	0.00	1.73
22	0.00	1.73
23	0.00	1.73
24	0.00	1.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.15 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงปรับสภาพของจุลินทรีย์เริ่มต้น

วัน	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /d)	วัน	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /d)	วัน	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /d)	วัน	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m ³ /d)
1	2.20	19	2.35	37	2.45	55	2.10
2	2.30	20	2.40	38	2.45	56	2.10
3	2.45	21	2.40	39	2.45	57	2.10
4	2.35	22	2.35	40	2.40	58	2.10
5	2.30	23	2.40	41	2.35	59	2.10
6	2.40	24	2.40	42	2.35	60	2.10
7	2.20	25	2.40	43	2.30	61	2.10
8	2.40	26	2.50	44	2.30	62	2.10
9	2.30	27	2.50	45	2.30	63	2.10
10	2.30	28	2.50	46	2.20	64	2.10
11	2.30	29	2.50	47	2.20	65	2.00
12	2.40	30	2.60	48	2.20	66	1.95
13	2.35	31	2.60	49	2.20	67	1.90
14	2.20	32	2.60	50	2.10	68	1.90
15	2.25	33	2.60	51	2.10	69	1.90
16	2.30	34	2.50	52	2.10		
17	2.35	35	2.50	53	2.10		
18	2.30	36	2.45	54	2.10		

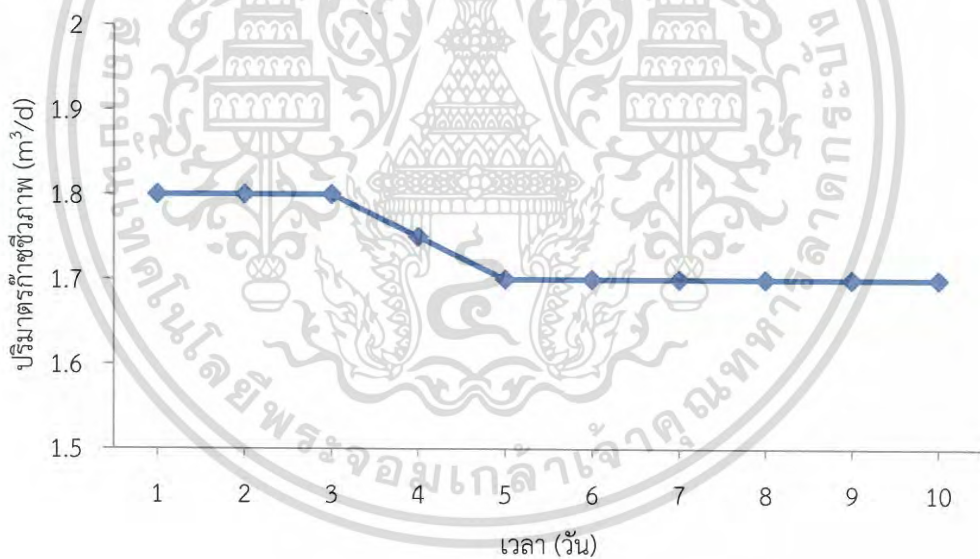


รูปที่ ข-2.1 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.16 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงระยะทดลอง

วัน	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (m^3/d)
1	1.80
2	1.80
3	1.80
4	1.75
5	1.70
6	1.70
7	1.70
8	1.70
9	1.70
10	1.70
11	1.70

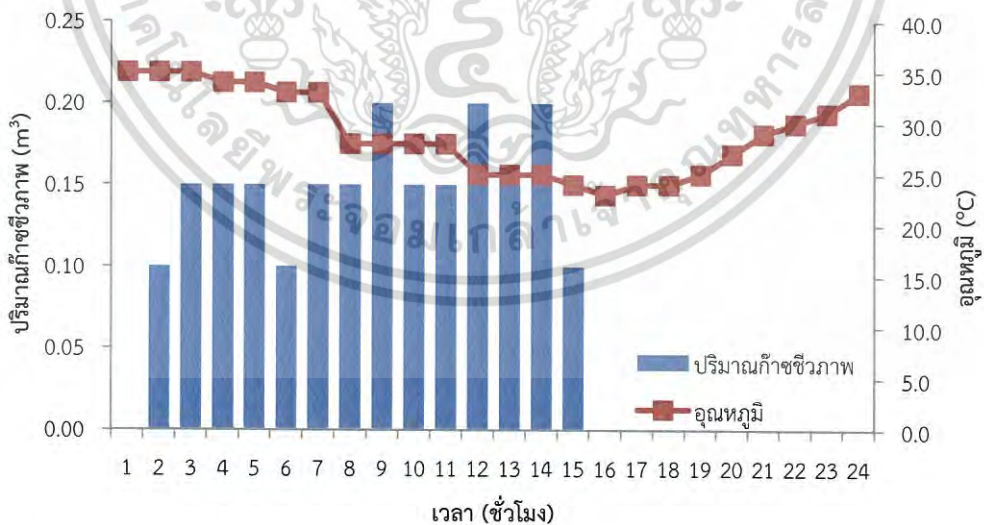


รูปที่ ข-2.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันช่วงระยะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.17 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 1

ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	
1	14.00	0.00	35.0	13	2.00	0.15	25.0	
2	15.00	0.10	35.0	14	3.00	0.20	25.0	
3	16.00	0.15	35.0	15	4.00	0.10	24.0	
4	17.00	0.15	34.0	16	5.00	0.00	23.0	
5	18.00	0.15	34.0	17	6.00	0.00	24.0	
6	19.00	0.10	33.0	18	7.00	0.00	24.0	
7	20.00	0.15	33.0	19	8.00	0.00	25.0	
8	21.00	0.15	28.0	20	9.00	0.00	27.0	
9	22.00	0.20	28.0	21	10.00	0.00	29.0	
10	23.00	0.15	28.0	22	11.00	0.00	30.0	
11	24.00	0.15	28.0	23	12.00	0.00	31.0	
12	1.00	0.20	25.0	24	13.00	0.00	33.0	
						ผลรวม	2.10	
						ค่าเฉลี่ย	0.18±0.08	29±4.14

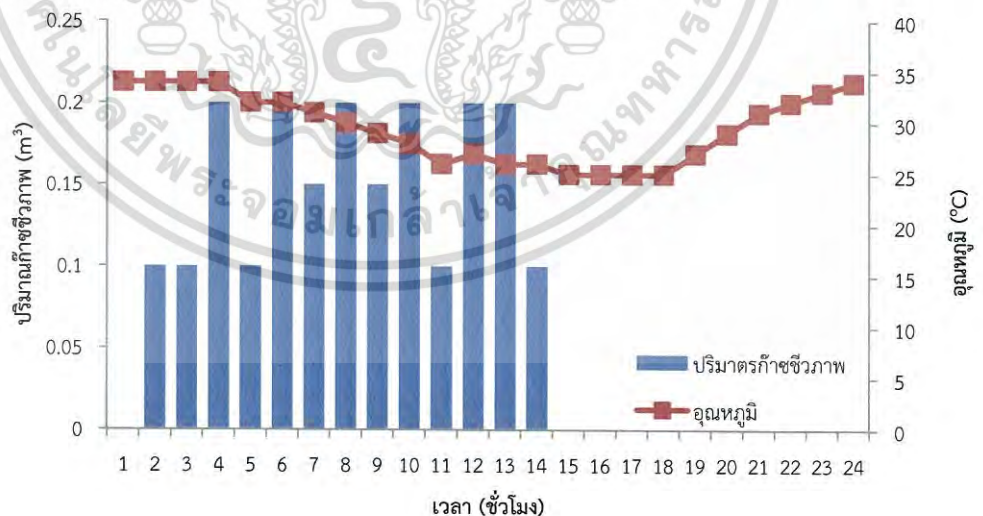


รูปที่ ข-2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.18 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ 1) วันที่ 3

ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	34.0	13	2.00	0.20	26.0
2	15.00	0.10	34.0	14	3.00	0.10	26.0
3	16.00	0.10	34.0	15	4.00	0.00	25.0
4	17.00	0.20	34.0	16	5.00	0.00	25.0
5	18.00	0.10	32.0	17	6.00	0.00	25.0
6	19.00	0.20	32.0	18	7.00	0.00	25.0
7	20.00	0.15	31.0	19	8.00	0.00	27.0
8	21.00	0.20	30.0	20	9.00	0.00	29.0
9	22.00	0.15	29.0	21	10.00	0.00	31.0
10	23.00	0.20	28.0	22	11.00	0.00	32.0
11	24.00	0.10	26.0	23	12.00	0.00	33.0
12	1.00	0.20	27.0	24	13.00	0.00	34.0
ผลรวม						2.00	
ค่าเฉลี่ย						0.08±0.09	29.5±3.43

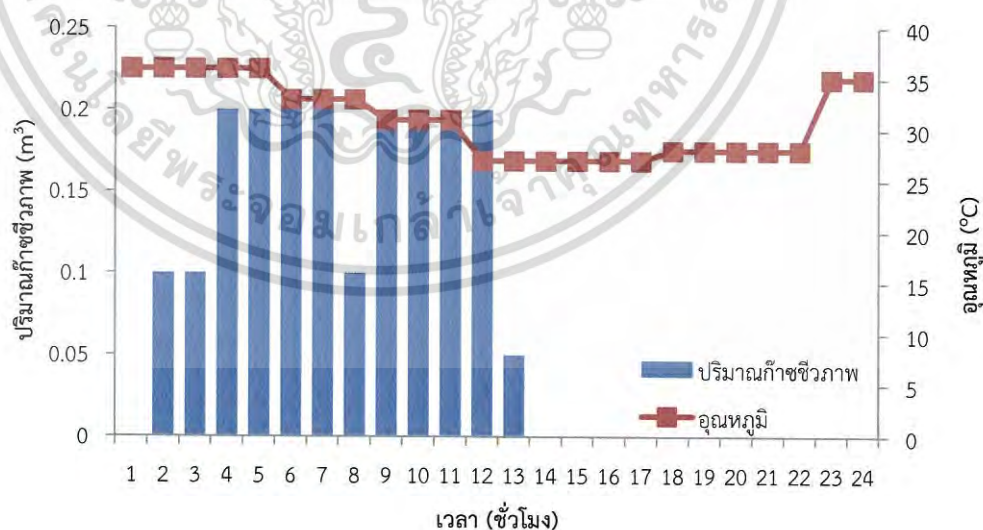


รูปที่ ข-2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ 1) วันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 5

ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	
1	14.00	0.00	36.0	13	2.00	0.05	27.0	
2	15.00	0.10	36.0	14	3.00	0.00	27.0	
3	16.00	0.10	36.0	15	4.00	0.00	27.0	
4	17.00	0.20	36.0	16	5.00	0.00	27.0	
5	18.00	0.20	36.0	17	6.00	0.00	27.0	
6	19.00	0.20	33.0	18	7.00	0.00	28.0	
7	20.00	0.20	33.0	19	8.00	0.00	28.0	
8	21.00	0.10	33.0	20	9.00	0.00	28.0	
9	22.00	0.20	31.0	21	10.00	0.00	28.0	
10	23.00	0.20	31.0	22	11.00	0.00	28.0	
11	24.00	0.20	31.0	23	12.00	0.00	35.0	
12	1.00	0.20	27.0	24	13.00	0.00	35.0	
						ผลรวม	1.95	
						ค่าเฉลี่ย	0.08 ±0.09	31.0±3.67

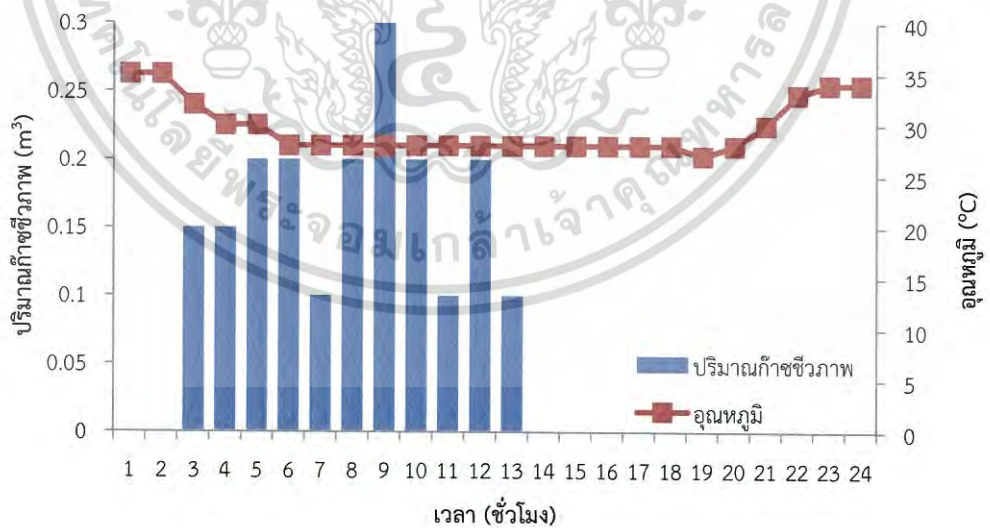


รูปที่ ข-2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 7

ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมง ที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	
1	14.00	0.00	35.0	13	2.00	0.10	28.0	
2	15.00	0.00	35.0	14	3.00	0.00	28.0	
3	16.00	0.15	32.0	15	4.00	0.00	28.0	
4	17.00	0.15	30.0	16	5.00	0.00	28.0	
5	18.00	0.20	30.0	17	6.00	0.00	28.0	
6	19.00	0.20	28.0	18	7.00	0.00	28.0	
7	20.00	0.10	28.0	19	8.00	0.00	27.0	
8	21.00	0.20	28.0	20	9.00	0.00	28.0	
9	22.00	0.30	28.0	21	10.00	0.00	30.0	
10	23.00	0.20	28.0	22	11.00	0.00	33.0	
11	24.00	0.10	28.0	23	12.00	0.00	34.0	
12	1.00	0.20	28.0	24	13.00	0.00	34.0	
						ผลรวม	1.90	
						ค่าเฉลี่ย	0.08±0.10	29.7±2.62

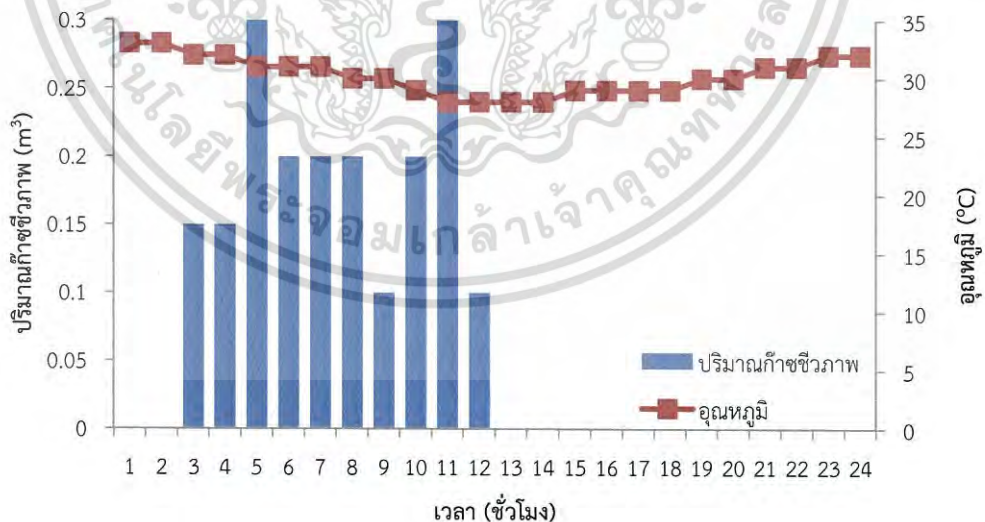


รูปที่ ข-2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 9

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	33.0	13	2.00	0.00	28.0
2	15.00	0.00	33.0	14	3.00	0.00	28.0
3	16.00	0.15	32.0	15	4.00	0.00	29.0
4	17.00	0.15	32.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.30	31.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.20	31.0	18	7.00	0.00	29.0
7	20.00	0.20	31.0	19	8.00	0.00	30.0
8	21.00	0.20	30.0	20	9.00	0.00	30.0
9	22.00	0.10	30.0	21	10.00	0.00	31.0
10	23.00	0.20	29.0	22	11.00	0.00	31.0
11	24.00	0.30	28.0	23	12.00	0.00	32.0
12	1.00	0.10	28.0	24	13.00	0.00	32.0
						ผลรวม	1.90
						ค่าเฉลี่ย	0.08±0.11 30.3±1.59

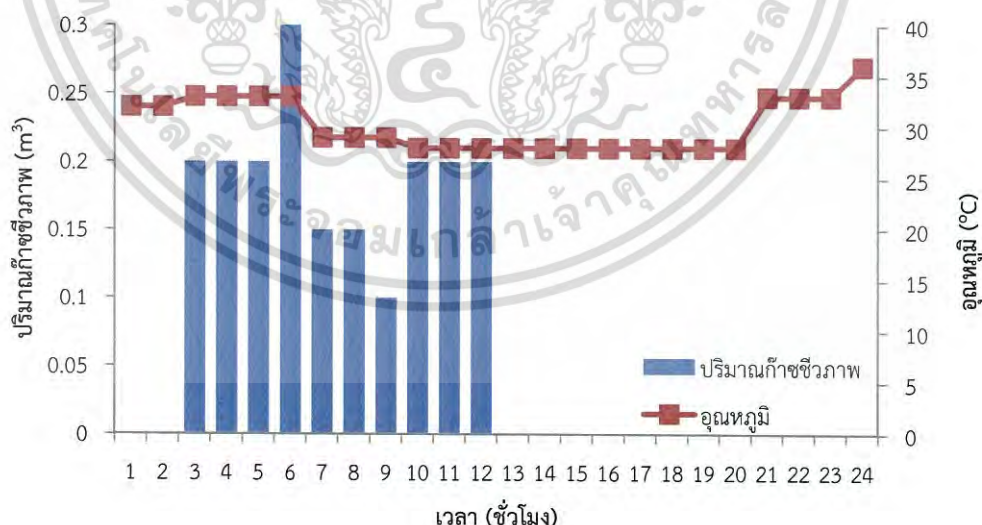


รูปที่ ข-2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.22 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 11

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	32.0	13	2.00	0.00	28.0
2	15.00	0.00	32.0	14	3.00	0.00	28.0
3	16.00	0.20	33.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.20	33.0	16	5.00	0.00	28.0
5	18.00	0.20	33.0	17	6.00	0.00	28.0
6	19.00	0.30	33.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.15	29.0	19	8.00	0.00	28.0
8	21.00	0.15	29.0	20	9.00	0.00	28.0
9	22.00	0.10	29.0	21	10.00	0.00	33.0
10	23.00	0.20	28.0	22	11.00	0.00	33.0
11	24.00	0.20	28.0	23	12.00	0.00	33.0
12	1.00	0.20	28.0	24	13.00	0.00	36.0
ผลรวม						1.90	
ค่าเฉลี่ย						0.08±0.10	30.3±2.57

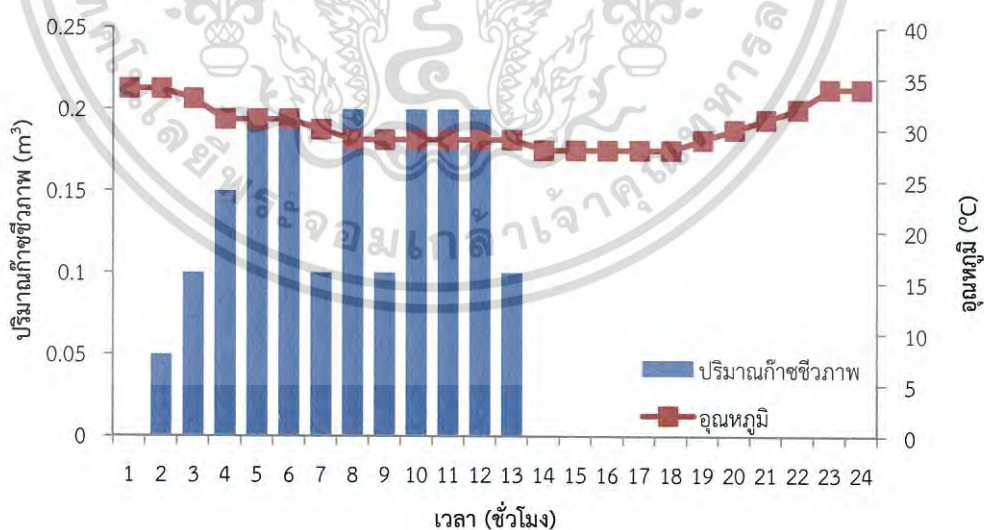


รูปที่ ข-2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ I) วันที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.23 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 1

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	34.0	13	2.00	0.10	29.0
2	15.00	0.05	34.0	14	3.00	0.00	28.0
3	16.00	0.10	33.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.15	31.0	16	5.00	0.00	28.0
5	18.00	0.20	31.0	17	6.00	0.00	28.0
6	19.00	0.20	31.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.10	30.0	19	8.00	0.00	29.0
8	21.00	0.20	29.0	20	9.00	0.00	30.0
9	22.00	0.10	29.0	21	10.00	0.00	31.0
10	23.00	0.20	29.0	22	11.00	0.00	32.0
11	24.00	0.20	29.0	23	12.00	0.00	34.0
12	1.00	0.20	29.0	24	13.00	0.00	34.0
						ผลรวม	1.80
						ค่าเฉลี่ย	0.08±0.09 30.3±2.14

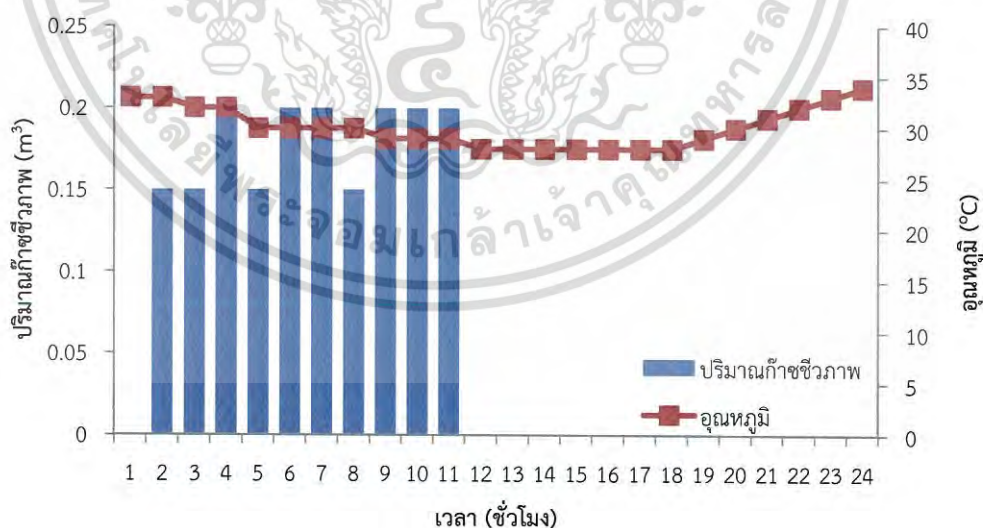


รูปที่ ข-2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.24 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 2

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	
1	14.00	0.00	33.0	13	2.00	0.00	28.0	
2	15.00	0.15	33.0	14	3.00	0.00	28.0	
3	16.00	0.15	32.0	15	4.00	0.00	28.0	
4	17.00	0.20	32.0	16	5.00	0.00	28.0	
5	18.00	0.15	30.0	17	6.00	0.00	28.0	
6	19.00	0.20	30.0	18	7.00	0.00	28.0	
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	29.0	
8	21.00	0.15	30.0	20	9.00	0.00	30.0	
9	22.00	0.20	29.0	21	10.00	0.00	31.0	
10	23.00	0.20	29.0	22	11.00	0.00	32.0	
11	24.00	0.20	29.0	23	12.00	0.00	33.0	
12	1.00	0.00	28.0	24	13.00	0.00	34.0	
						ผลรวม	1.80	
						ค่าเฉลี่ย	0.08±0.09	30.1±1.95

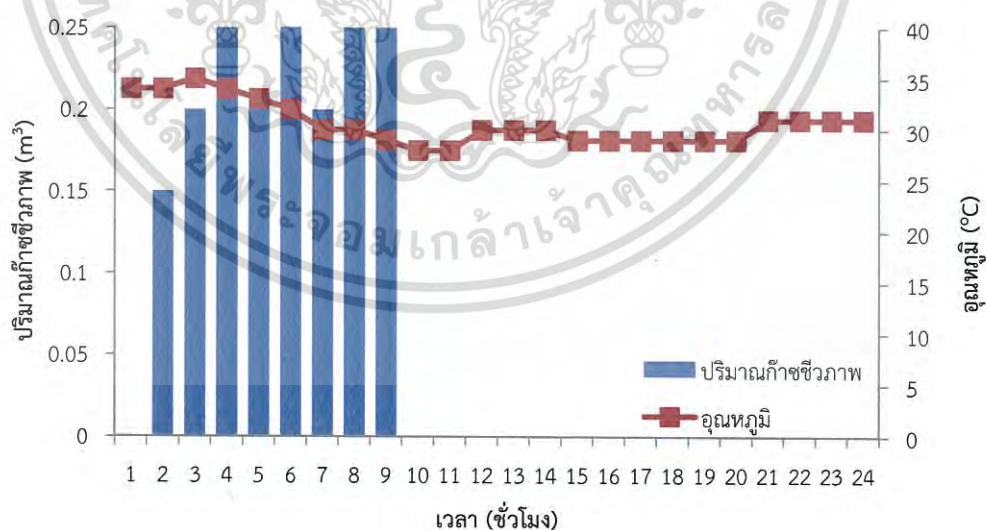


รูปที่ ข-2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.25 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 3

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	34.0	13	2.00	0.00	30.0
2	15.00	0.15	34.0	14	3.00	0.00	30.0
3	16.00	0.20	35.0	15	4.00	0.00	29.0
4	17.00	0.25	34.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.20	33.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.30	32.0	18	7.00	0.00	29.0
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	29.0
8	21.00	0.25	30.0	20	9.00	0.00	29.0
9	22.00	0.25	29.0	21	10.00	0.00	31.0
10	23.00	0.00	28.0	22	11.00	0.00	31.0
11	24.00	0.00	28.0	23	12.00	0.00	31.0
12	1.00	0.00	30.0	24	13.00	0.00	31.0
ผลรวม						1.80	
ค่าเฉลี่ย						0.08±0.11	30.6±2.04

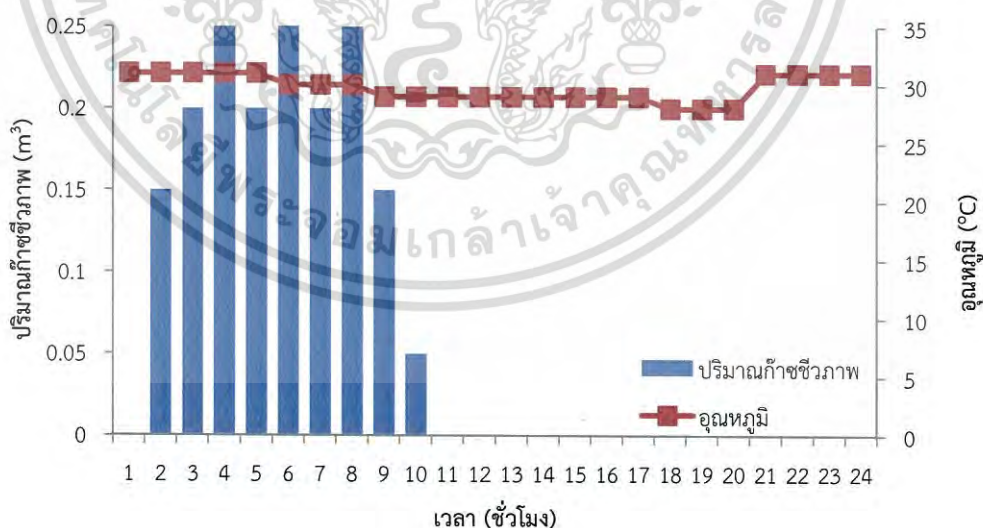


รูปที่ ข-2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.26 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 4

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	31.0	13	2.00	0.00	29.0
2	15.00	0.15	31.0	14	3.00	0.00	29.0
3	16.00	0.20	31.0	15	4.00	0.00	29.0
4	17.00	0.25	31.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.20	31.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.30	30.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	28.0
8	21.00	0.25	30.0	20	9.00	0.00	28.0
9	22.00	0.15	29.0	21	10.00	0.00	31.0
10	23.00	0.05	29.0	22	11.00	0.00	31.0
11	24.00	0.00	29.0	23	12.00	0.00	31.0
12	1.00	0.00	29.0	24	13.00	0.00	31.0
ผลรวม						1.75	
ค่าเฉลี่ย						0.07±0.11	29.8±1.11

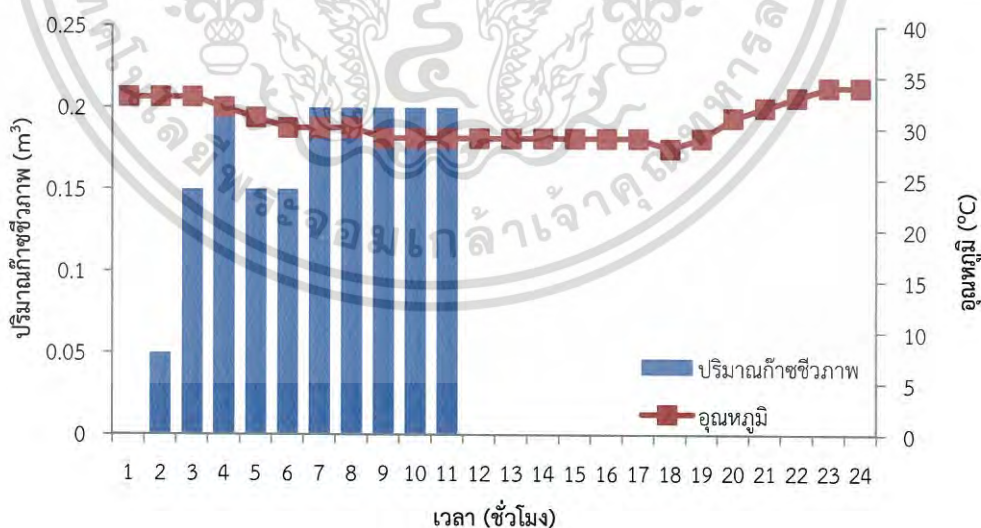


รูปที่ ข-2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.27 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 5

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	33.0	13	2.00	0.00	29.0
2	15.00	0.05	33.0	14	3.00	0.00	29.0
3	16.00	0.15	33.0	15	4.00	0.00	29.0
4	17.00	0.20	32.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.15	31.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.15	30.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	29.0
8	21.00	0.20	30.0	20	9.00	0.00	31.0
9	22.00	0.20	29.0	21	10.00	0.00	32.0
10	23.00	0.20	29.0	22	11.00	0.00	33.0
11	24.00	0.20	29.0	23	12.00	0.00	34.0
12	1.00	0.00	29.0	24	13.00	0.00	34.0
						ผลรวม	1.70
						ค่าเฉลี่ย	0.07±0.09 30.6±1.91

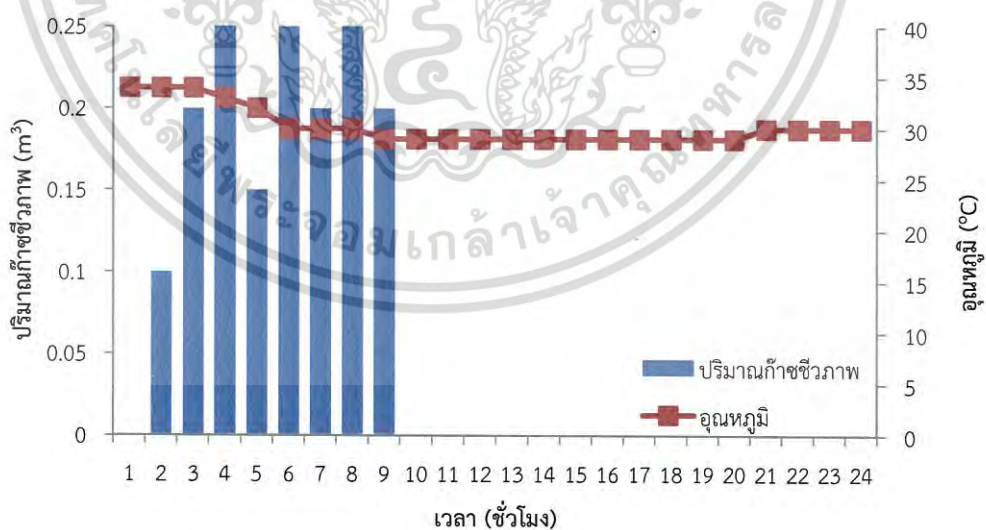


รูปที่ ข-2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.28 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 6

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	34.0	13	2.00	0.00	29.0
2	15.00	0.10	34.0	14	3.00	0.00	29.0
3	16.00	0.20	34.0	15	4.00	0.00	29.0
4	17.00	0.30	33.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.15	32.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.25	30.0	18	7.00	0.00	29.0
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	29.0
8	21.00	0.30	30.0	20	9.00	0.00	29.0
9	22.00	0.20	29.0	21	10.00	0.00	30.0
10	23.00	0.00	29.0	22	11.00	0.00	30.0
11	24.00	0.00	29.0	23	12.00	0.00	30.0
12	1.00	0.00	29.0	24	13.00	0.00	30.0
						ผลรวม	1.70
						ค่าเฉลี่ย	0.07±0.11
							30.2±1.77

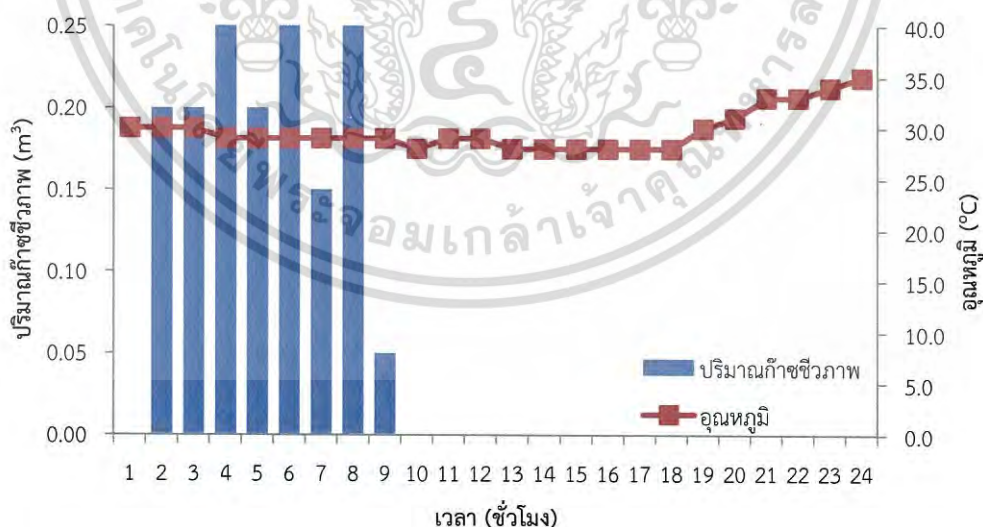


รูปที่ ข-2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.29 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 7

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	30.0	13	2.00	0.00	28.0
2	15.00	0.20	30.0	14	3.00	0.00	28.0
3	16.00	0.20	30.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.30	29.0	16	5.00	0.00	28.0
5	18.00	0.20	29.0	17	6.00	0.00	28.0
6	19.00	0.30	29.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.15	29.0	19	8.00	0.00	30.0
8	21.00	0.30	29.0	20	9.00	0.00	31.0
9	22.00	0.05	29.0	21	10.00	0.00	33.0
10	23.00	0.00	28.0	22	11.00	0.00	33.0
11	24.00	0.00	29.0	23	12.00	0.00	34.0
12	1.00	0.00	29.0	24	13.00	0.00	35.0
ผลรวม						1.70	
ค่าเฉลี่ย						0.07±0.11	29.8±2.03

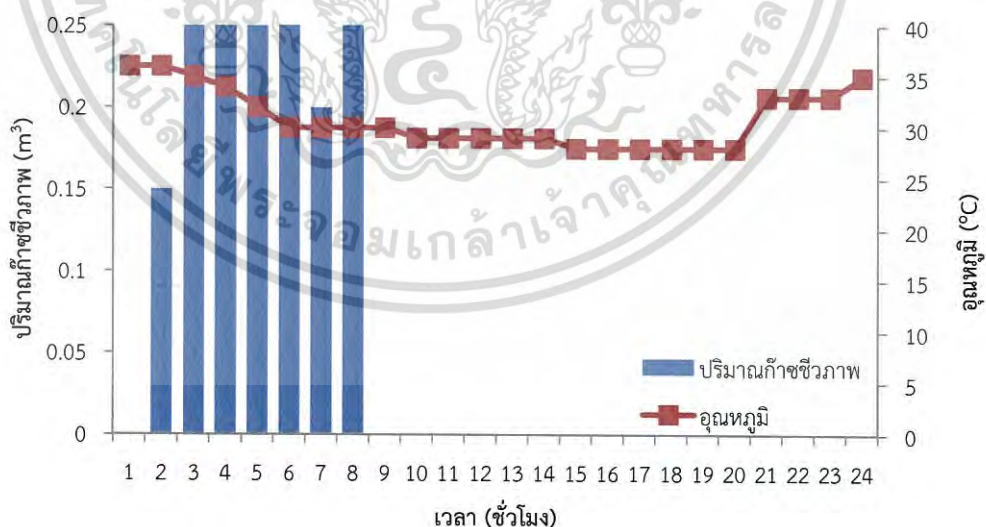


รูปที่ ข-2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 8

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	36.0	13	2.00	0.00	29.0
2	15.00	0.15	36.0	14	3.00	0.00	29.0
3	16.00	0.25	35.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.25	34.0	16	5.00	0.00	28.0
5	18.00	0.25	32.0	17	6.00	0.00	28.0
6	19.00	0.30	30.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.20	30.0	19	8.00	0.00	28.0
8	21.00	0.30	30.0	20	9.00	0.00	28.0
9	22.00	0.00	30.0	21	10.00	0.00	33.0
10	23.00	0.00	29.0	22	11.00	0.00	33.0
11	24.00	0.00	29.0	23	12.00	0.00	33.0
12	1.00	0.00		24	13.00	0.00	35.0
ผลรวม						1.70	
ค่าเฉลี่ย						0.07±0.12	30.9±2.84

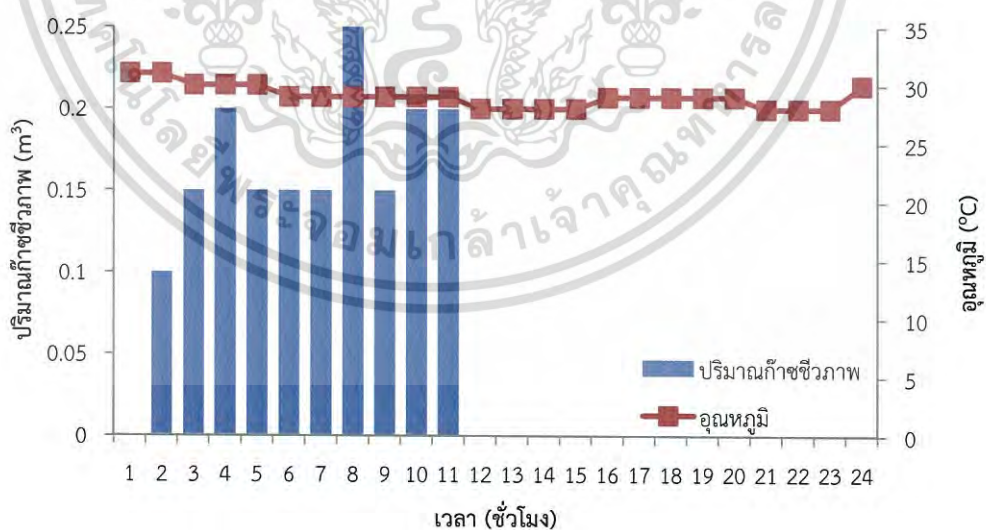


รูปที่ ข-2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.31 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 9

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	31.0	13	2.00	0.00	28.0
2	15.00	0.10	31.0	14	3.00	0.00	28.0
3	16.00	0.15	30.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.20	30.0	16	5.00	0.00	29.0
5	18.00	0.15	30.0	17	6.00	0.00	29.0
6	19.00	0.15	29.0	18	7.00	0.00	29.0
7	20.00	0.15	29.0	19	8.00	0.00	29.0
8	21.00	0.25	29.0	20	9.00	0.00	29.0
9	22.00	0.15	29.0	21	10.00	0.00	28.0
10	23.00	0.20	29.0	22	11.00	0.00	28.0
11	24.00	0.20	29.0	23	12.00	0.00	28.0
12	1.00	0.00	28.0	24	13.00	0.00	30.0
						ผลรวม	1.70
						ค่าเฉลี่ย	0.07±0.09 29.0±0.91

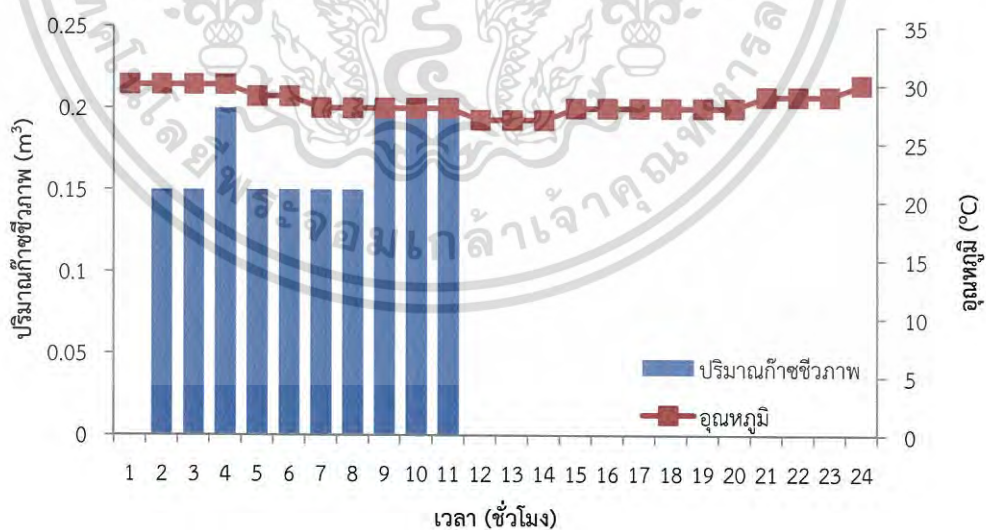


รูปที่ ข-2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.32 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่II) วันที่10

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา (น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)
1	14.00	0.00	30.0	13	2.00	0.00	27.0
2	15.00	0.15	30.0	14	3.00	0.00	27.0
3	16.00	0.15	30.0	15	4.00	0.00	28.0
4	17.00	0.20	30.0	16	5.00	0.00	28.0
5	18.00	0.15	29.0	17	6.00	0.00	28.0
6	19.00	0.15	29.0	18	7.00	0.00	28.0
7	20.00	0.15	28.0	19	8.00	0.00	28.0
8	21.00	0.15	28.0	20	9.00	0.00	28.0
9	22.00	0.20	28.0	21	10.00	0.00	29.0
10	23.00	0.20	28.0	22	11.00	0.00	29.0
11	24.00	0.20	28.0	23	12.00	0.00	29.0
12	1.00	0.00	27.0	24	13.00	0.00	30.0
ผลรวม						1.70	
ค่าเฉลี่ย						0.07±0.09	28.5±0.98

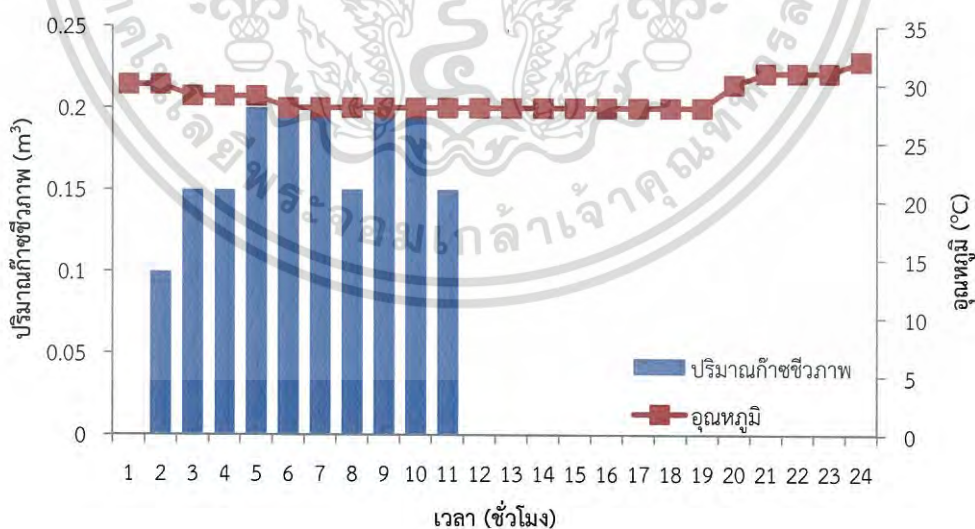


รูปที่ ข-2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2.33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่II) วันที่11

ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	ชั่วโมงที่	เวลา(น.)	ก๊าซ (m ³)	T (°C)	
1	14.00	0.00	30.0	13	2.00	0.00	28.0	
2	15.00	0.10	30.0	14	3.00	0.00	28.0	
3	16.00	0.15	29.0	15	4.00	0.00	28.0	
4	17.00	0.15	29.0	16	5.00	0.00	28.0	
5	18.00	0.20	29.0	17	6.00	0.00	28.0	
6	19.00	0.20	28.0	18	7.00	0.00	28.0	
7	20.00	0.20	28.0	19	8.00	0.00	28.0	
8	21.00	0.15	28.0	20	9.00	0.00	30.0	
9	22.00	0.20	28.0	21	10.00	0.00	31.0	
10	23.00	0.20	28.0	22	11.00	0.00	31.0	
11	24.00	0.15	28.0	23	12.00	0.00	31.0	
12	1.00	0.00	28.0	24	13.00	0.00	32.0	
						ผลรวม	1.70	
						ค่าเฉลี่ย	0.07±0.09	28.9±1.28



รูปที่ ข-2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ช่วงที่ II) วันที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ ข-2.34 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระหว่างการหมัก

ระยะ	วันที่	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S (ppm)
ระยะ ปรับสภาพ	2/3/2559	52.8	38.3	2.4	20
	4/3/2559	52.3	39.4	2.5	20
	7/3/2559	53.4	33.8	2.9	45
	9/3/2559	54.5	41.9	2.4	30
	11/3/2559	52.4	37.5	2.5	30
	14/3/2559	51.6	33.8	4.0	30
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	53.6	37.7	2.8	15
	18/3/2559	52.6	43.9	1.4	25
	21/3/2559	50.2	39.0	2.7	15
	23/3/2559	55.5	41.7	2.0	25
	25/3/2559	56.1	36.7	3.9	40
	28/3/2559	51.3	32.4	4.0	45
	30/3/2559	54.9	36.7	3.0	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค-1 การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ตารางที่ ค-1 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

วิธีการคำนวณ

พารามิเตอร์	เศษอาหาร	กากไขมัน
คาร์บอน	41.50	32.00
ไนโตรเจน	0.98	1.01
ความชื้น	74.68	64.45

$$C/N \text{ ratio} = \frac{C_A (TS)_A (W)_A + C_B (TS)_B (W)_B}{N_A (TS)_A (W)_A + N_B (TS)_B (W)_B}$$

$$C_A = \% \text{ คาร์บอนของเศษอาหาร}$$

$$C_B = \% \text{ คาร์บอนของกากไขมัน}$$

$$TS_A = \text{ปริมาณของแข็งรวมของเศษอาหาร (\%)}$$

$$TS_B = \text{ปริมาณของแข็งรวมของกากไขมัน (\%)}$$

$$W_A = \text{น้ำหนักของเศษอาหาร (kg)}$$

$$W_B = \text{น้ำหนักของกากไขมัน (kg)}$$

$$N_A = \% \text{ ไนโตรเจนของเศษอาหาร}$$

$$N_B = \% \text{ ไนโตรเจนของกากไขมัน}$$

$$C/N \text{ ratio} = \frac{41.50(25.32)(19.50) + 32.00(35.55)(0.5)}{0.98(25.32)(19.50) + 1.01(35.55)(0.5)}$$

$$C/N \text{ ratio} = \frac{20,490.21 + 568.80}{483.87 + 17.95}$$

$$C/N \text{ ratio} = 41.96$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 การคำนวณระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ

1) คำนวณระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในระบบ

$$\text{จาก HRT} = \frac{V \text{ (ลูกบาศก์เมตร)}}{Q \text{ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)}}$$

$V = \text{ปริมาตรถัง (กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง)}$

แทนค่า $V = 1.47 \times 2.99 \times 0.715 = 3.14$ ลูกบาศก์เมตร

$Q = \text{อัตราการเติมสารอินทรีย์เข้าระบบ}$

ช่วงระยะปรับสภาพ (ช่วงที่ I) เฉลี่ย 39 ลิตรต่อวัน (0.039 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$$\text{แทนค่า HRT} = \frac{3.14 \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{0.039 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}}$$

$$\text{HRT} = 81 \text{ วัน}$$

ช่วงระยะทดลอง (ช่วงที่ II) เฉลี่ย 99 ลิตรต่อวัน (0.099 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

$$\text{แทนค่า HRT} = \frac{3.14 \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{0.099 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}}$$

$$\text{HRT} = 31 \text{ วัน}$$

ค-3 การคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อน้ำหนักของแข็งระเหยและกรดไขมันระเหย

ตารางที่ ค-2 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

ระยะ	วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)	% CH ₄	VS removed (g)	L Biogas / g VS removed	L CH ₄ / g VS removed
ระยะปรับสภาพ	2/3/2559	2100	52.8	140.20	14.98	7.91
	4/3/2559	2000	52.3	132.56	15.09	7.89
	7/3/2559	1950	53.4	133.91	14.56	7.78
	9/3/2559	1900	54.5	134.84	14.09	7.68
	11/3/2559	1900	52.4	135.10	14.06	7.37
	14/3/2559	1900	51.6	141.15	13.46	6.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

ระยะ	วันที่	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)	% CH ₄	VS removed (g)	L Biogas / g VS removed	L CH ₄ / g VS removed
ระยะทดลอง	16/3/2559	1800	53.6	45.54	39.52	21.18
	18/3/2559	1800	52.6	46.28	38.89	20.45
	21/3/2559	1750	50.2	45.77	38.23	19.19
	23/3/2559	1700	55.5	43.16	39.38	21.86
	25/3/2559	1700	56.1	43.11	39.43	22.12
	28/3/2559	1700	51.3	43.43	39.14	20.08
	30/3/2559	1700	54.9	43.32	39.24	21.54

1) จำนวนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned}
 \text{ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด} &= \frac{\text{ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)}}{\text{น้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด (g)}} \\
 &= \frac{2100 \text{ L}}{140.20 \text{ g VS removed}} \\
 &= 14.98 \text{ L Biogas / g VS removed}
 \end{aligned}$$

2) จำนวนก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned}
 \text{ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด} &= \frac{\text{ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)} \times \% \text{ CH}_4}{\text{น้ำหนักของแข็งระเหยที่ถูกกำจัด (g)}} \\
 &= \frac{2100 \text{ L} \times 52.8}{140.20 \text{ g VS removed} \times 100} \\
 &= 7.91 \text{ L Biogas / g VS removed}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมัน
ระเหยที่ถูกกำจัด

ระยะ	วันที่	ปริมาตร ก๊าซชีวภาพ (L)	% CH ₄	VFA removed (g)	L Biogas / g VFA removed	L CH ₄ / g VFA removed
ระยะ ปรับ สภาพ	2/3/2559	2100	52.8	1343.80	1.56	0.83
	4/3/2559	2000	52.3	565.63	3.54	1.85
	7/3/2559	1950	53.4	634.57	3.07	1.64
	9/3/2559	1900	54.5	666.83	2.85	1.55
	11/3/2559	1900	52.4	638.99	2.97	1.56
	14/3/2559	1900	51.6	484.54	3.92	2.02
ระยะ ทดลอง	16/3/2559	1800	53.6	842.69	2.14	1.14
	18/3/2559	1800	52.6	608.68	2.96	1.56
	21/3/2559	1750	50.2	570.64	3.07	1.54
	23/3/2559	1700	55.5	608.69	2.79	1.55
	25/3/2559	1700	56.1	589.66	2.88	1.62
	28/3/2559	1700	51.3	323.36	5.26	2.70
	30/3/2559	1700	54.9	561.13	3.03	1.66

3) ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned}
 \text{ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด} &= \frac{\text{ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)}}{\text{น้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด (g)}} \\
 &= \frac{2100 \text{ L}}{1343.80 \text{ g VS removed}} \\
 &= 1.56 \text{ L Biogas / g VFA removed}
 \end{aligned}$$

4) ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned}
 \text{ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด} &= \frac{\text{ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (L)} \times \% \text{ CH}_4}{\text{น้ำหนักกรดไขมันระเหยที่ถูกกำจัด (g)}} \\
 &= \frac{2100 \text{ L} \times 52.8}{1343.80 \text{ g VS removed} \times 100}
 \end{aligned}$$

$$= 0.83 \text{ L Biogas / g VFA removed}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้