

การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตกะทิ
โดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน

BIOGAS PRODUCTION FROM WASTEWATER OF
COCONUT MILK FACTORY USING TWO-PHASE
ANAEROBIC DIGESTION PROCESS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BIOGAS PRODUCTION FROM WASTEWATER OF
COCONUT MILK FACTORY USING TWO-PHASE
ANAEROBIC DIGESTION PROCESS**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT 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 2018**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตกะทิโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน

Biogas Production from Wastewater of Coconut Milk Factory using Two-Phase Anaerobic Digestion Process

ชื่อนักศึกษา นางสาวจุฑามาศ เป็นพิมาย รหัสนักศึกษา 58050595
นางสาวชมพูนุช สีลาเลอเกียรติ รหัสนักศึกษา 58050601
นางสาวธิดิสุตา กลิ่นมณฑา รหัสนักศึกษา 58050626



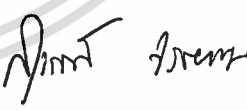
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ประธานกรรมการ	
รศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรสิทธิ์ กรรมการ	
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตกะทิโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑามาศ	เป็นพินาย	รหัสนักศึกษา 58050595
	นางสาวชมพูนุช	ลีลาเลอเกียรติ	รหัสนักศึกษา 58050601
	นางสาวธิดิสสุดา	กลีนมณฑา	รหัสนักศึกษา 58050626
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยใช้ถังหมักแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ตอน คือ 1) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวในสัดส่วนกากมะพร้าวต่อน้ำ 1:4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์ และ 2) ศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิโดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่องโดยใช้ถังหมักกรดความจุ 1.8 ลิตร และถังหมักก๊าซมีเทนความจุ 5 ลิตร ภายใต้สภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยแปรค่าอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50, 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน และอัตราการเติมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิที่ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน วิเคราะห์สภาวะในการหมักของสารละลายในขวดหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ค่าสภาพความเป็นต่าง ค่าของแข็งระเหยง่าย ค่ากรดไขมันระเหย ค่า ซีไอ ตีละลายน้ำ ค่าน้ำมันและไขมัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในการทดลองแบบแบทช์พบว่า การหมักแบบไม่ใช้อากาศของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2,011 และ 212 มิลลิลิตรต่อมิลลิลิตรของน้ำเสีย ตามลำดับ โดยน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิมีค่าสภาพความเป็นต่าง 1,140-1,200 และ 1,215-1,230 มิลลิลิตรต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ของแข็งระเหยง่าย 13,143-14,690 และ 306-346 มิลลิลิตรต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหย 298-320 และ 62-83 มิลลิลิตรต่อลิตรของกรดแอสติค ค่าซีไอตีละลายน้ำ 6,034-8,356 และ 411-528 มิลลิลิตรต่อลิตร ค่าน้ำมันและไขมัน 105,960-116,680 และ 49,664-64,480 ตามลำดับ สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่

เหมาะสมคือ 50 มิลลิลิตรต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.97 ลิตร โดยมีองค์ประกอบก๊าซมีเทน 60.04-65.40 เปอร์เซ็นต์ สภาวะในถังหมักก๊าซมีเทนมีค่าสภาพความเป็นด่าง 1,033-1,283 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าของแข็งระเหยง่าย 11,697-24,166 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหย 666-833 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดไขมันแอสติค ค่าซีไอดีละลายน้ำ 1,568-2,090 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าน้ำมันและไขมัน 170,073-184,253 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนอัตราการเติมน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิที่เหมาะสม คือ 300 มิลลิลิตรต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.14 ลิตร โดยมีองค์ประกอบก๊าซมีเทน 53.10-57.20 เปอร์เซ็นต์ สภาวะในถังหมักก๊าซมีเทนมีค่าสภาพความเป็นด่าง 2,000-2,166 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าของแข็งระเหยง่าย 5,433-7,514 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหย 666-916 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอสติค ค่าซีไอดีละลายน้ำ 211-265 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าน้ำมันและไขมัน 44,517-56,577 โดยพบว่า ระบบนี้ไม่สามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันทั้งในน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน, น้ำคั้นจากกากมะพร้าว, น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Biogas Production from Wastewater of Coconut Milk Factory using Two-Phase Anaerobic Digestion Process			
Students	Miss Jutamat	Penpimai	Student ID	58050595
	Miss Chompunutch	Leelalerkiat	Student ID	58050601
	Miss Thitisuda	Klinmontha	Student ID	58050626
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)			
Department	Chemistry			
Faculty	Science			
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
Academic Year	2018			
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon			

Abstract

This special project studied biogas production from wastewater of coconut milk factory using two-phase anaerobic digestion process. The experiment was divided into 2 steps: 1) examine the feasibility study of biogas production from extracted water of coconut residue (coconut residue:water 1:4 w/v) and wastewater from coconut milk factory in a batch experiment and 2) study biogas production of extracted water of coconut residue and wastewater from coconut milk factory with semi-continuous fermentation using two-phase anaerobic digester containing acid bottle with working volume of 1.8 liters and methane bottle with working volume 5 liters. Feed rate of extracted water of coconut residue was varied at 50, 200 and 400 ml/d whereas feed rate of wastewater from coconut milk factory was varied at 200, 300 and 500 ml/d. Fermentation conditions of the solution in methane bottle were measured including volatile solids, volatile fatty acids, sCOD, fats and oils, biogas production rate, biogas compositions. The feasibility results of biogas production in a batch experiment showed that anaerobic fermentation of extracted water of coconut residue and wastewater from coconut milk factory could produce biogas 2,011 and 212 ml/ml of wastewater, respectively. Extracted water of coconut residue and wastewater from

coconut milk factory contained 1,140-1,200 and 1,215-1,230 mg/L as CaCO₃ of alkalinity, 13,143-14,690 and 306-346 mg/L of volatile solids, 298-320 and 62-83 mg/L

as CH_3COOH of volatile fatty acids, 6,034-8,356 and 411-528 mg/L of sCOD, 105,960-116,680 and 49,664-64,480 mg/L of fats and oils, respectively. The results of biogas production with semi-continuous fermentation showed that the optimum feed rate of extracted water of coconut residue was 50 ml/d. Under this feed rate, 1.97 liters of biogas was produced with 60.04-65.40% of methane. Fermentation conditions of the methane bottle were 1,033-1,283 mg/L as CaCO_3 of alkalinity, 11,697-24,166 mg/L of volatile solids, 666-833 mg/L as CH_3COOH of volatile fatty acids, 1,568-2,090 mg/L of sCOD, 170,073-184,253 mg/L of fats and oils. While, the optimum feed rate of wastewater from coconut milk factory was 300 ml/d. Under this feed rate, 1.14 liters of biogas was produced with 53.10-57.20% of methane. Fermentation conditions of the methane bottle were 2,000-2,166 mg/L as CaCO_3 of alkalinity, 5,433-7,514 mg/L of volatile solids, 666-916 mg/L as CH_3COOH of volatile fatty acids, 211-265 mg/L of sCOD, 44,517-56,577 mg/L of fats and oils. The anaerobic digestion process could not reduce fats and oils from both extracted water of coconut residue and wastewater from coconut milk factory.

Keywords: biogas, two-phase anaerobic process, extracted water from coconut residue, wastewater from coconut milk factory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือ อนุเคราะห์เครื่องมือต่างๆ เสนอแนะ แก้ไขปรับปรุง และให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และรศ.ดร. อูสารัตน์ ถาวรสิทธิ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อเสนอแนะ

ขอขอบคุณ ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ เพื่อให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท เพอร์ซิเดนท เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เอเซียติก อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ เพื่อใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาคเคมีที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณบิดา มารดา อาจารย์เคมีทุกท่าน เพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือ และให้กำลังใจจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือซึ่งมิได้กล่าวถึง ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

จุฑามาศ เป็นพิมาย

ชมพูนุช สีลาเลอเกียรติ

ฉิติสุดา กลิ่นมณฑา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ... ..	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ก๊าซชีวภาพ.....	3
2.1.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ.....	3
2.1.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.3 ตัวอย่างปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ.....	8
2.1.4 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกาศ.....	9
2.1.5 ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ.....	13
2.1.6 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ.....	15
2.2 น้ำเสียจากโรงงานกะทิ.....	15
2.2.1 กระบวนการผลิตกะทิ.....	15
2.2.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกะทิ.....	18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	22
3.1.1 อุปกรณ์.....	22
3.1.2 สารเคมี.....	22
3.2 วัตถุประสงค์ที่ป้อนเข้าระบบ.....	23
3.3 เชื้อจุลินทรีย์.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
 3.3 เชื้อจุลินทรีย์..... 23
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ระบบถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน.....	24
3.4.1 การออกแบบระบบ.....	24
3.4.2 การเริ่มต้นเดินระบบ.....	25
3.5 วิธีการดำเนินการ.....	25
3.5.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์.....	25
3.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ สองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	28
4.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์.....	28
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	31
4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	31
4.2.1.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการเติม น้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	31
4.2.1.2 ผลการศึกษาสภาวะของเหลวภายในถังหมักก๊าซมีเทน จากน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 , 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	32
4.2.1.3 ผลการศึกษาสภาวะของเหลวภายในถังหมักกรดของน้ำคั้นกาก มะพร้าว.....	39
4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	39
4.2.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้ง โรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่ 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	39
4.2.2.2 ผลการศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงาน ผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่ 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	40
4.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตัวอย่าง.....	55
ก-1 พีเอช.....	55
ก-2 ของแข็งทั้งหมด.....	55
ก-3 ของแข็งระเหยง่าย.....	56
ก-4 การวิเคราะห์หาความต้องการออกซิเจนทางเคมี แบบ Close reflux.....	56
ก-5 สภาพความเป็นต่าง.....	58
ก-6 Total Kjeldahl Nitrogen.....	59
ก-7 ปริมาณไขมันและน้ำมัน.....	61
ก-8 กรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย.....	62
ก-9 การตรวจเชื้อจุลินทรีย์.....	62
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	63
ภาคผนวก ค.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียใน กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศสารพิษ.....	13
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์.....	27
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้ง โรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ.....	29
ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	35
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของเหลวภายในถังหมักกรด.....	39
ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	44
ตารางที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ.....	63
ตารางที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ.....	63
ตารางที่ ข-3 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์.....	64
ตารางที่ ข-4 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์.....	72
ตารางที่ ข-5 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	75
ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	79
ตารางที่ ข-7 ค่าของแข็งทั้งหมดในถังก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	79
ตารางที่ ข-8 ค่าของแข็งระเหยง่ายในถังหมักมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	80
ตารางที่ ข-9 ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	80
ตารางที่ ข-10 ค่าสภาพต่างในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	81
ตารางที่ ข-11 ค่าTOTAL KJELDAHL NITROGEN ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	82
ตารางที่ ข-12 ค่าปริมาณไขมันและน้ำมันในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	82
ตารางที่ ข-13 ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	83
ตารางที่ ข-14 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	83
ตารางที่ ข-15 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำคั้นกาก มะพร้าว.....	83
ตารางที่ ข-16 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำขวดกรด.....	84
ตารางที่ ข-17 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอัตราการเติม 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	85
ตารางที่ ข-18 ค่าพีเอชในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	89
ตารางที่ ข-19 ค่าของแข็งทั้งหมดในถังก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ข-20 ค่าของแข็งระเหยง่ายในถังหมักมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	90
ตารางที่ ข-21 ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ...	90
ตารางที่ ข-22 ค่าสภาพต่างในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	91
ตารางที่ ข-23 ค่าTOTAL KJELDAHL NITROGEN ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	91
ตารางที่ ข-24 ค่าปริมาณไขมันและน้ำมันในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	92
ตารางที่ ข-25 ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ....	92
ตารางที่ ข-26 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลาย ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	93
ตารางที่ ข-27 ปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลาย ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	93
ตารางที่ ข-28 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จากถังหมัก ก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	94
ตารางที่ ข-29 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จากถังหมัก ก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงาน.....	94
ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้น กากมะพร้าว และ น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์.....	95
ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการ การเติมน้ำคั้นกาก มะพร้าว 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	96
ตารางที่ ค-3 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	97
ตารางที่ ค-4 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำคั้นกากมะพร้าว ที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	98
ตารางที่ ค-5 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าว ที่อัตราการเติม 50, 200, 400 ต่อวัน.....	99
ตารางที่ ค-6 ผลการเปรียบเทียบค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำคั้น กากมะพร้าวที่อัตรา การเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	100
ตารางที่ ค-7 ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพต่างของน้ำคั้นกากมะพร้าว ที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	101
ตารางที่ ค-9 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำคั้นกากมะพร้าว ที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ค-10 ผลการเปรียบเทียบค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำคั้น กากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน.....	104
ตารางที่ ค-11 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่าย ที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	105
ตารางที่ ค-12 ผลการเปรียบเทียบปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	106
ตารางที่ ค-13 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้ง โรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	107
ตารางที่ ค-14 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	108
ตารางที่ ค-15 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	109
ตารางที่ ค-16 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	110
ตารางที่ ค-17 ผลการเปรียบเทียบค่าต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	111
ตารางที่ ค-18 ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	112
ตารางที่ ค-19 ผลการเปรียบเทียบค่า Total Kjeldahl Nitrogen ของน้ำทิ้งโรงงาน ผลิตกะทิที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	113
ตารางที่ ค-20 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	114
ตารางที่ ค-21 ผลการเปรียบเทียบค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงาน ผลิตกะทิที่อัตราการเติม 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน.....	115
ตารางที่ ค-22 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่าย ที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	116
ตารางที่ ค-23 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว.....	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	6
รูปที่ 2.2	10
รูปที่ 2.3	14
รูปที่ 2.4	14
รูปที่ 2.5	16
รูปที่ 2.6	16
รูปที่ 2.7	17
รูปที่ 2.8	17
รูปที่ 2.9	18
รูปที่ 2.10	19
รูปที่ 3.1	23
รูปที่ 3.2	25
รูปที่ 3.3	26
รูปที่ 4.1	30
รูปที่ 4.2	31
รูปที่ 4.3	32
รูปที่ 4.4	33
รูปที่ 4.5	33
รูปที่ 4.6	34
รูปที่ 4.7	36
รูปที่ 4.8	36
รูปที่ 4.9	37
รูปที่ 4.10	38
รูปที่ 4.11	39
รูปที่ 4.12	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	41
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	41
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	42
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีภายในถังหมัก ก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	43
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	43
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	45
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทน ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	46
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของแข็งระเหยง่าย ในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	46
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ.....	47
รูปที่ 4.22 ผลการศึกษาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระบบ ของ (ก) ก๊าซมีเทน (ข) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ค) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
pH	ค่าความเป็นกรดต่าง
Alk	สภาพความเป็นต่าง
TS	ค่าของแข็งทั้งหมด
VS	ค่าของแข็งระเหยง่าย
VFAs	ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย
sCOD	ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี
TKN	ค่าเจลดาทาร์ลไนโตรเจน
FOG	ค่าน้ำมันและไขมัน
C/N	ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน
v/v	ปริมาตรโดยปริมาตร
w/v	น้ำหนักโดยปริมาตร
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/L as CaCO ₃	มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต
mg/L as CH ₃ COOH	มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอสिटิก
ppm	ส่วนในล้านส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันดิบ เกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์เป็นระยะเวลาหลายล้านปีจัดเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการคมนาคมขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้า และภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรและการขยายตัวของเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นจำนวนมาก จากการที่พลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาการขาดแคลนพลังงาน นอกจากนี้ พลังงานดังกล่าวยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมาทดแทนพลังงานฟอสซิลได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล เป็นต้นพลังงานทางเลือกเหล่านี้จัดเป็นพลังงานงานหมุนเวียน (renewable energy) ที่สามารถทำขึ้นมาใหม่ได้อีกทั้งยังหาได้ง่ายจากธรรมชาติรวมถึงช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่แปรรูปวัตถุดิบทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ของเสียเหล่านี้เป็นขยะอินทรีย์ที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนโรงงานกะทิเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีของเสียที่เป็นขยะอินทรีย์เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยทั่วไปน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตกะทิจะมีสารอินทรีย์และไขมันสูง จึงจำเป็นต้องผ่านการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียต้องใช้เทคโนโลยีและงบประมาณค่อนข้างสูง จากการที่น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบจึงสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ โดยการทดลองแบบแบทช์ จากนั้นศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศแบบ 2 ขั้นตอนโดยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทดแทนและช่วยลดปริมาณของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการหมักในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิโดยไม่ผ่านการหมักในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัย

- 1) วิเคราะห์ลักษณะทางเคมีเริ่มต้นของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ ตามวิธีมาตรฐาน Standard Method for Examination of Water and Wastewater ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH),ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS),ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS),ค่าซีโอดีละลายน้ำ (Soluble chemical oxygen demand, sCOD),สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity, Alk),ค่าเจลดาทัลไนโตรเจน (Total kjeldahl nitrogen, TKN), ค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease, FOG) และค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFAs)
- 2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว (สัดส่วนกากมะพร้าวต่อน้ำร้อน 1:4) และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ ด้วยการหมักในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ โดยการทดลองแบบแบทช์
- 3) ศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว (สัดส่วนกากมะพร้าวต่อน้ำร้อน 1:4) และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ ด้วยกระบวนการหมักในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศแบบ 2 ขั้นตอนโดยใช้ถังหมักกรดความจุ 1.8 ลิตร และถังหมักก๊าซมีเทนความจุ 5 ลิตร ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง โดยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง แปรค่าอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50, 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิที่ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน
- 4) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของ effluent ตามวิธีมาตรฐาน Standard Method for Examination of Water and Wastewater และ ASTM ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH),สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity, Alk), ค่าของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids, VS), ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFAs), ค่าซีโอดีละลายน้ำ (Soluble chemical oxygen demand, sCOD), ค่าเจลดาทัลไนโตรเจน (Total kjeldahl nitrogen, TKN), ค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, oil and grease, FOG)
- 5) วัดปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยวิธีแทนที่ใน 2% NaCl และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่อง Gas data meter

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาด
- 2) ช่วยลดปริมาณของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
- 3) ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) (บริษัทเอ็นเนอร์ยี่วิชั่นจำกัด, 2013)

ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียได้สภาวะไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobic condition) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยก๊าซต่างๆ ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2010)

- ก๊าซมีเทน (CH_4)	50-70%	(v/v)
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	20-50%	(v/v)
- ไอน้ำ	0-10%	(v/v)
- ก๊าซไนโตรเจน (N_2)	0-5%	(v/v)
- ก๊าซออกซิเจน (O_2)	0-2%	(v/v)
- แอมโมเนีย (NH_3)	0-1%	(v/v)
- ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	50-10,000 ppm	

ลักษณะของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่

- เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย
- มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง
- มีปริมาณความชื้นสูง
- มีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

- ขยะชุมชน ได้แก่ ขยะชุมชนในส่วนของขยะอินทรีย์
- ของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงงานน้ำตาล เป็นต้น และของเสียที่เป็นกากตะกอนที่เป็นส่วนของสารอินทรีย์
- ของเสียจากการเกษตร ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู วัว ไก่

2.1.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2012)

กระบวนการผลิตและปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในการย่อยสลายแบบสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic decomposition) จะค่อนข้างซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายขั้นตอน ใช้แบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 Liquefaction stage เป็นขั้นตอนซึ่งผลผลิตสุดท้ายได้ของเหลวซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนที่สอง สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ จะถูกย่อยสลายแล้วอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ โดยแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า Acid formers โดยขั้นตอนที่หนึ่งยังแบ่งออกได้เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis stage) เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยกลุ่มของแบคทีเรียให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล เป็นต้น (ปฏิกิริยาที่ 2.1–2.3) โดยแบคทีเรียจะดูดซึมน้ำจากสารละลายผ่าน Membrane ของเซลล์ ส่วนอนุภาคของสารอาหารจะถูกย่อยด้วย Extracellular enzyme ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะเป็นพวก Simple soluble compounds แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไป ในขณะที่เดียวกันผลจากปฏิกิริยาการย่อยสลายนี้จะได้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล์ ปฏิกิริยานี้จะทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด (ค่า pH ต่ำ) และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์



แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

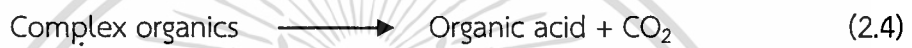
1.2 ขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenic stage)

สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative bacteria) ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานโดยในช่วงแรกของการย่อยสลายขั้นตอนนี้ ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids) ที่โมเลกุลมีอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพิโอนิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) กรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้น และสารอื่นๆ เช่น เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้

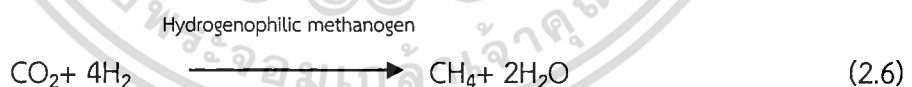
เรียกว่า แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic stage)

การสร้างกรดอะซิติกจากกรดอินทรีย์ต่างๆ โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic bacteria) โดยนำเอากรดอินทรีย์ระเหยง่ายหรือวัตถุดิบโดยตรงมาสลายต่อไปได้ ในขณะที่เดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน (ปฏิกิริยาที่ 2.4) ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาสำคัญในการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen forming bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ด้วย แต่ตัวที่ผลิตกรดได้อาจไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดด้วย แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดอาจรวมเรียกว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

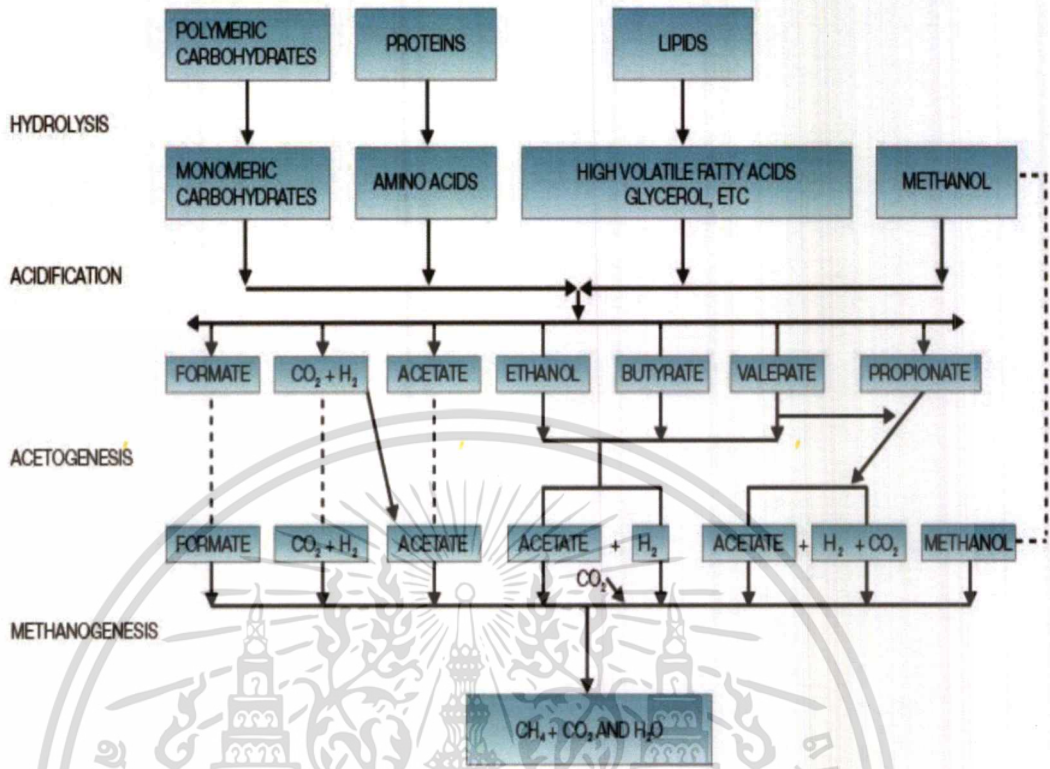


ขั้นตอนที่ 2 Gasification stage หรือ การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic stage) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะแบบไม่ใช้ออกาศ ผลผลิตสุดท้ายคือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตกรดโดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมากที่สุดคือกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์การผลิตก๊าซมีเทนดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.5-2.6



แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูง คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic producing bacteria) ได้แก่ กลุ่ม Acetoclastic methanogenic bacteria (Acetophilic methanogen) และ Hydrogenophilic methanogen ในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศนี้ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ ดังนั้นการเจริญเติบโตและปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ(Wahreninkatu, 2019)

2.1.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2010)

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกภาค ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกภาค แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

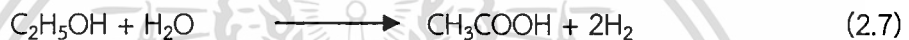
1. แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria)แบคทีเรียส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้คือ Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0-6.5 และทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1.1 อะซิโตเจนนิคแบคทีเรียแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกภาค เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิดและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้

ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก กรดฟอร์มิก นอกจากนี้ยังได้สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ คีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบอากาศและแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria)

1.2 อะซิโตเจนิกแบคทีเรียแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการไฮโดรไลซิสและอะซิโตเจนิซิส แล้วเปลี่ยนเป็นให้กรดอะซิติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1.2.1 Hydrogen producing acetogenic bacteriaแบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัว ได้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลผลิต ดังปฏิกิริยาที่ 2.7-2.9

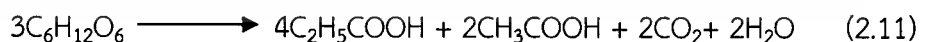


1.2.2. Homoacetogenic bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1). Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอมเช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ในการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นอะซิเตต (หรือกรดอะซิติก)ดังปฏิกิริยาที่ 2.10



2). Heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีทั้งอะซิเตตและโพรพิอเนตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังปฏิกิริยาที่ 2.11



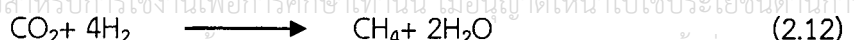
2. แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้สารอาหารได้ไม่กี่ชนิด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดการใช้สารอาหารตั้งต้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs

ทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังปฏิกิริยาที่ 2.12

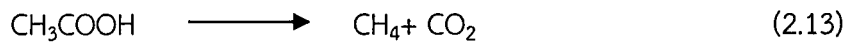
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทที่สำคัญคือจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศขั้นตอนที่ 2 โดยช่วยคงสภาวะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดอะซิเตตอย่างต่อเนื่อง

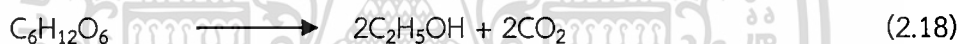
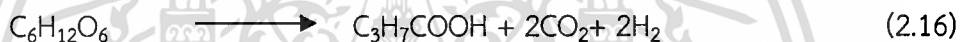
2.2 Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria ทำหน้าที่เปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังปฏิกิริยาที่ 2.13



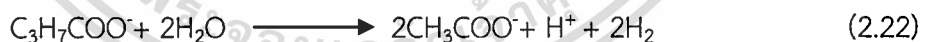
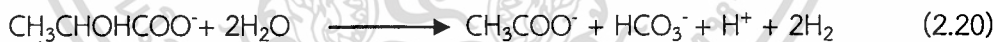
ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens

2.1.3 ตัวอย่างปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2010)

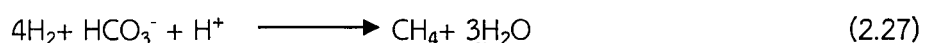
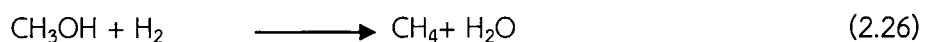
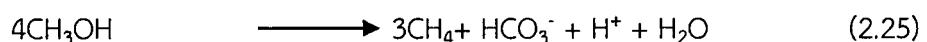
1). ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคส (Fermentative reactions) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.14-2.18



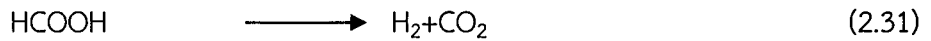
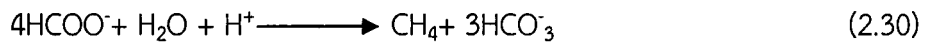
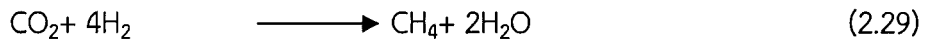
2). ปฏิกิริยาการเกิดกรดอะซิติก (Syntrophic acetogenic reactions) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.19-2.24



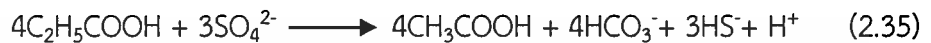
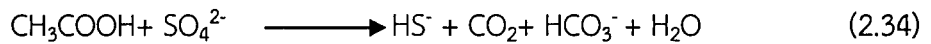
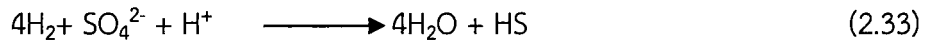
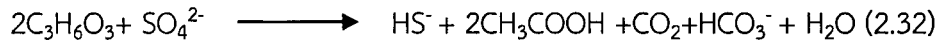
3). ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน (Methanogenic reactions) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.25-2.31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4). ปฏิกริยาการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Sulfidogenic reactions) ดังแสดงในปฏิกริยาที่ 2.32–2.35



2.1.4 สภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2010)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นในการเริ่มต้นเดินระบบจึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยในระบบที่เหมาะสม หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่เจริญเติบโต ก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจนอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นจึงต้องเข้าใจถึงสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย

1. ปัจจัยช่วงเริ่มต้นเดินระบบ

1.1) คุณภาพและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นในการเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน คุณภาพและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในระบบบำบัดมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้จะต้องมีลักษณะและองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำเสียที่บำบัด เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียได้อย่างรวดเร็วและทนต่อการเป็นพิษที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเติมเชื้อจุลินทรีย์เมื่อเริ่มต้นเดินระบบให้มีปริมาณมากเพียงพอ เพื่อเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดและสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบได้

1.2) ลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียน้ำเสียที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ดี จะทำให้อัตราการเกิดของก๊าซชีวภาพสูง แต่ถ้าน้ำเสียน้ำเสียที่มีองค์ประกอบย่อยสลายได้ยากหรือมีความเป็นพิษสูง จะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดของก๊าซชีวภาพต่ำ

1.3) การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำเสีย และสารอินทรีย์ จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเกิดของก๊าซชีวภาพสูงและใช้ระยะเวลาในการเกิดน้อยลง นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

1.4) สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการเพื่อการเจริญเติบโต ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และแคลเซียม

นอกจากนี้ยังมีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อย เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม ทังสเตน และนิเกิล เป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง ดังนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

1.5) ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับจุลินทรีย์ที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลงไป ทำให้จุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่ทัน ทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง

2. ปัจจัยช่วงเดินระบบ

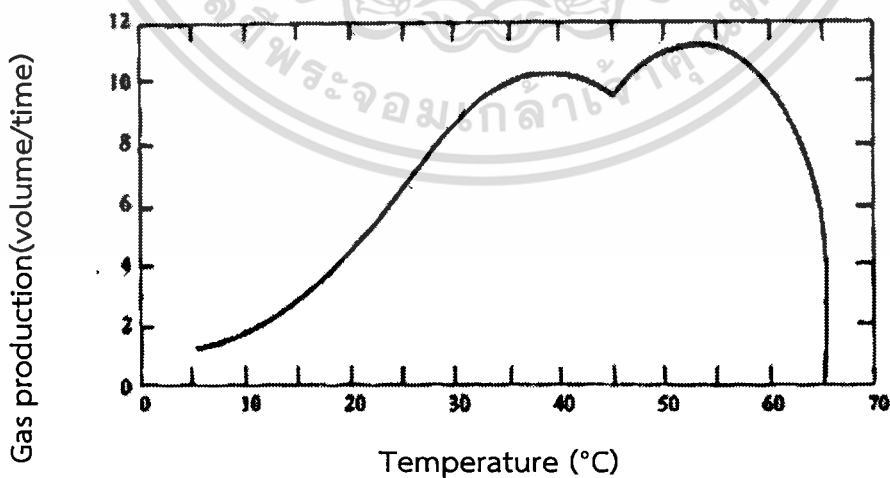
2.1) อุณหภูมิมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาชีวเคมีจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์ อุณหภูมิถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

ก) ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

ข) ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45 องศาเซลเซียส

ค) ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วงที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นในระบบได้ดี คือ ช่วง 30-38 องศาเซลเซียส และช่วง 48-57 องศาเซลเซียส(รูปที่ 2.2) อย่างไรก็ตามการเดินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูง มีข้อเสียที่ Thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ Mesophilic bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูง และการเดินระบบที่อุณหภูมิสูงยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์อีกด้วย



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการเกิดก๊าซ(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เป็นตัวที่วัดค่าความเป็นกรดหรือด่างในระบบ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.6–7.4 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งพบว่าในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำ สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในถังปฏิกรณ์คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าไปในปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมากจนแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบลดลง ดังนั้นระบบจะต้องมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ดี เพื่อจัดการกับกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ หากระบบมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) มากพอ ก็จะสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบได้

2.3) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, Alk) เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ กล่าวคือถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง สามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้ง่ายเมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเพิ่มขึ้นในระบบ โดยพบว่าค่าความเป็นด่างภายในระบบควรมีอยู่ในช่วง 1,000–3,000 มิลลิกรัมของ CaCO_3 /ลิตร ค่าความเป็นด่างที่มีในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศไม่ควรจะต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมของ CaCO_3 /ลิตร ซึ่งจะช่วยต้านทานกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานเป็นปกติ จำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป เพื่อรักษาระดับค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบบำบัด

2.4) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids, VFA) มีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริกและกรดโพรพิอิก เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด หากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีมากขึ้น มักเป็นสัญญาณเตือนถึงความล้มเหลวของระบบ ในระบบที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณมาก (>2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติกต่อลิตร) ช่วงแรกจะทำให้ค่าความเป็นด่างของระบบลดลง และถ้ายังไม่มีการกำจัดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้น้อยลง ต่อมาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบก็จะลดต่ำลง และถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน หากยังไม่ได้ทำการแก้ไขปล่อยให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเอกสาลต่ำลงถึง 4.5–5.0 ก็จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้ระบบล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติกต่อลิตร และวิธีการ

ควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3–0.4

วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุล อาจทำได้ดังนี้

- ตรวจสอบที่มาของการปนสารอินทรีย์ที่มากเกินไป
- การแก้ไขอาจเป็นการลดการปนสารอินทรีย์เข้าระบบ และควรมีบ่อเก็บน้ำเสียสำรอง
- กรณีฉุกเฉินถ้าต้องการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมกับระบบ อาจจะใช้วิธีการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น ไม่ควรใช้ปูนขาว (Ca(OH)_2) เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้

2.5) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic loading rate: OLR) มีหน่วยเป็นน้ำหนักของซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดต่อปริมาตรของบ่อบำบัดต่อวัน ($\text{kgCOD/m}^3\cdot\text{day}$) อัตราภาระการรับสารอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด (Feeding rate) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการรักษาเสถียรภาพของระบบให้คงที่การเปลี่ยนอัตราภาระการรับสารอินทรีย์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

ก. การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งวิธีนี้จะมีผลต่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time: HRT) ภายในระบบบำบัดด้วย

ข. การเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสีย ซึ่งวิธีนี้ค่อนข้างทำได้ยาก เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานแต่ละประเภทมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันดังนั้นในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดทำได้ง่ายกว่า โดยต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดให้สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสกันระหว่างแบคทีเรียกับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เพื่อให้ระบบบำบัดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.6) สารพิษ (Toxic substances) โดยทั่วไปในน้ำเสียมักมีสารพิษหลายชนิดปะปนเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้นๆ หากมีการสะสมของสารบางอย่างภายในถังปฏิกรณ์ในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ โดยอาจมีผลต่อการยับยั้ง (Inhibition) การเจริญเติบโต จนถึงทำให้แบคทีเรียตายได้ และจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพหรือเสถียรภาพของระบบลดลงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้แบ่งสารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรีย เช่น พิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งมีผลต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน พิษของสารโลหะหนักชนิดต่างๆ พิษของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เป็นต้น สำหรับโลหะหนักบางชนิดเช่น นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นั้นจัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น (trace-element) ต่อแบคทีเรีย ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน โดย

เอกสารแบคทีเรียมีความต้องการในปริมาณที่ต่ำมาก การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเข้มข้นของสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Cu	1
Zn	5
Cr ⁶⁺	5
Cr ³⁺	2,000
Total chromium (Cr)	5
Ni	2
Cd	0.02
S	100
SO ₄ ²⁻	500
Ammonia	1,500
Na ⁺	3,500
K ⁺	2,50
Ca ²⁺	2,500
Mg ²⁺	1,000
Acrylonitrile	5
Benzene	50
CCl ₄	10
Chloroform	0.1
Pentachlorophenol	0.4
Cyanide	1

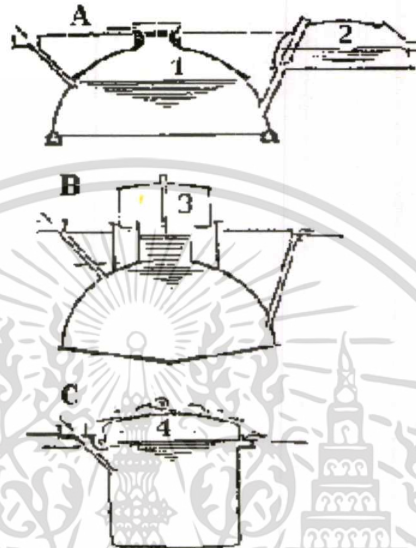
ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2012)

2.1.5 ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ (Biogas Plant) (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2019)

บ่อแก๊สชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ 1) บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง โดยทั่วไป มี 3 แบบหลัก (รูปที่ 2.3) คือ รังที่มีการนำไปใช้

- (A) แบบยอดโดม (Fixed dome digester) ที่เก็บก๊าซอยู่บนส่วนของบ่อหมัก (1) แรงดันก๊าซที่สะสมจะขับของเหลวเข้าบ่อน้ำล้น (2)
- (B) แบบฝาครอบลอย (Floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester) ที่เก็บก๊าซเป็นฝาครอบทำด้วยเหล็ก (3) ลอยขึ้นลงตามปริมาณก๊าซที่สะสม
- (C) แบบพลาสติกคลุมรางคลุมราง (Plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug flow digester)



รูปที่ 2.3 ลักษณะบ่อหมักก๊าซหรือบ่อหมักของแข็ง (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2019)

2). บ่อหมักเร็ว หรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบ(รูปที่ 2.4)

- แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter, AF) ตัวกลางที่ใช้ทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวดพลาสติกเส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่
- แบบยูเอเอสบี (UASBหรือUpflow Anaerobic Sludge Blanket) บ่อหมักเร็วแบบนี้ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อเกิดขึ้นโดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 ลักษณะบ่อหมักแบบ AF และแบบ UASB (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2019)

2.1.6 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ (Siamchemi, 2019)

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยปกติการกำจัดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) 1 กิโลกรัม จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.3-0.5 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท โดยก๊าซมีเทนจะมีค่าความร้อนประมาณ 39.4 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตร ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 กิโลวัตต์.ชั่วโมง

ประโยชน์ก๊าซชีวภาพได้แก่ ใช้เป็นก๊าซใช้สำหรับการหุงต้มแทนเตาแก๊สใช้สำหรับเป็นแสงสว่าง และให้ความร้อนใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์คูดน้ำ เครื่องยนต์รถยนต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ หรือให้ความอบอุ่นแก่ลูกสัตว์ตามฟาร์มต่างๆ เช่น ไก่ สุกร เป็นต้นใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรม เช่น หม้อไอน้ำใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานผลิตไฟฟ้าอย่างไรก็ตามการผลิตก๊าซชีวภาพมีข้อเสียคือ ราคาก่อสร้างค่อนข้างสูงและจะต้องใช้เนื้อที่ในการกักเก็บก๊าซมากเพราะเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซ ไม่ใช่แก๊สที่มีสถานะเป็นของแข็ง เช่น แก๊สก้อนหรือแคลเซียมคาร์ไบด์ ถ้าจะให้ดีไฟต้องใส่น้ำเพื่อให้แก๊สก้อนระเหยกลายเป็นไอซึ่งจะติดไฟ ไอที่ได้คือก๊าซนั่นเองอีกสถานที่หนึ่งจะอยู่ในรูปของของเหลวที่เรียกว่าแก๊ส LPG ที่บรรจุในถังแก๊สเวลาจะให้ติดไฟจะต้องให้ระเหยกลายเป็นก๊าซก่อนจึงจะติดไฟได้เช่นเดียวกับแก๊สก้อน จะเห็นว่าแก๊สอื่นๆจะใช้พื้นที่บรรจุน้อยกว่าก๊าซชีวภาพ 1 กิโลกรัม ถ้าเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซจะมีปริมาตรถึง 2.6 ลูกบาศก์เมตร ถ้าเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซจะขยายตัวออกเป็นปริมาตรถึง 2,600 เท่า ดังนั้นก๊าซชีวภาพปลอดภัยกว่าแก๊สอื่นๆแต่เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีสถานะเป็นก๊าซ ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้กับก๊าซชีวภาพจึงจะต้องปรับรูที่ส่งแก๊สให้ใหญ่กว่าการใช้แก๊สเป็น 3 เท่าจึงจะสามารถนำอุปกรณ์เหล่านั้นมาใช้กับก๊าซชีวภาพได้ นอกจากนี้ ยังต้องมีการเติมวัตถุติดอย่างสม่ำเสมอจึงจะใช้งานได้ตลอดไป

2.2 น้ำเสียจากโรงงานกะทิ

กะทิเป็นส่วนประกอบในการทำอาหาร มีลักษณะเป็นน้ำสีขาวขุ่นคล้ายนม ได้มาจากการคั้นน้ำจากเนื้อมะพร้าวแก่ สีและรสชาติที่เข้มข้นของกะทิมาจากน้ำมันมะพร้าวและน้ำตาลมะพร้าวที่อยู่ในเนื้อมะพร้าว โดยมีรสชาติมันและหวาน

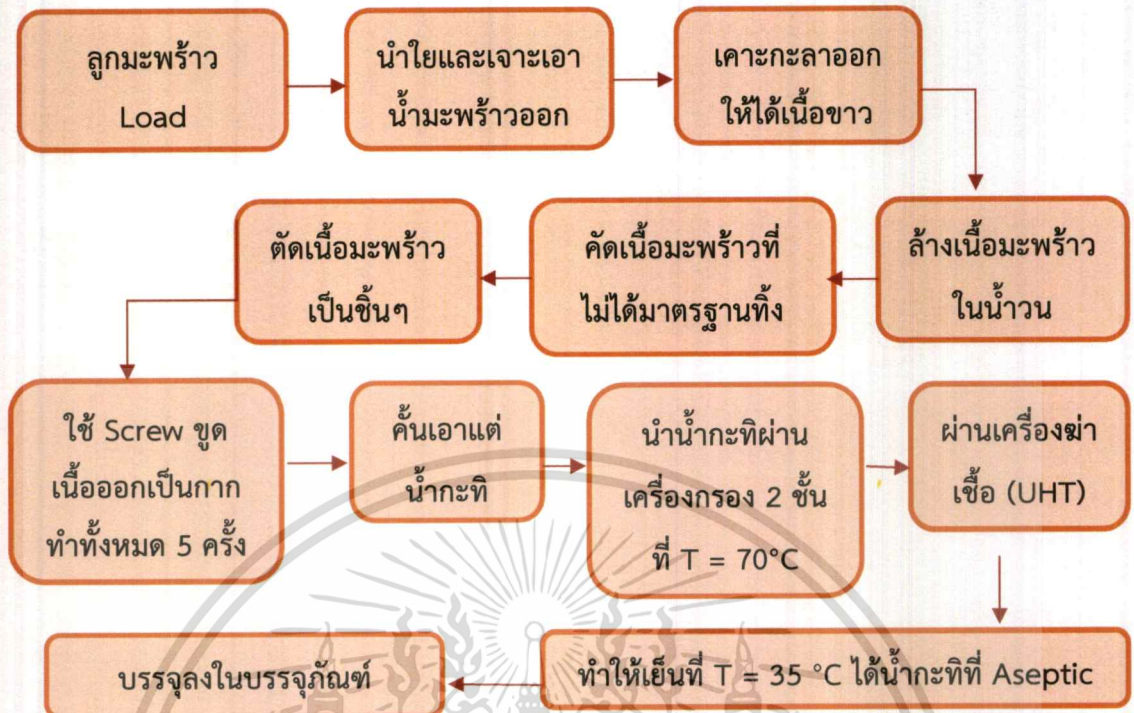
กะทิได้มาจากการนำเนื้อมะพร้าวที่ขูดแล้ว มาใส่น้ำอุ่นเล็กน้อยให้พอชุ่ม เคล้าให้ทั่ว และคั้นส่วนผสมผ่านกระชอนหรือผ้าขาวบางน้ำกะทิที่ได้ในครั้งแรกนี้เรียกว่าหัวกะทิน้ำกะทิที่ได้จากการคั้นครั้งที่สองหรือสามเรียกว่าหางกะทิส่วนของแข็งที่เหลือจากการคั้นกะทิ ในที่นี้จะเรียกว่ากากมะพร้าว ในปัจจุบันมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์กะทิต่อจากจำหน่ายแบบสำเร็จรูป ทั้งในรูปกะทิผงและผลิตภัณฑ์ยูเอชทีเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน

2.2.1 กระบวนการผลิตกะทิตั้งแสดงในรูปที่ 2.5

ผลิตผลที่ได้มาจาก 2 แหล่งหลักคือ ลูกมะพร้าว และเนื้อมะพร้าวขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1). ผลผลิตที่มาจากลูกมะพร้าว



รูปที่ 2.5 ผลผลิตที่มาจากลูกมะพร้าว (บริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด, 2014)

2). ผลผลิตที่มาจากเนื้อมะพร้าวขาว



รูปที่ 2.6 ผลผลิตที่มาจากเนื้อมะพร้าว (บริษัทอำพลฟู้ดส์โพรเซสซิงจำกัด, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเรียนรู้กรรมวิธีในการผลิตกะทิตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการบรรจุได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

มะพร้าวลูก

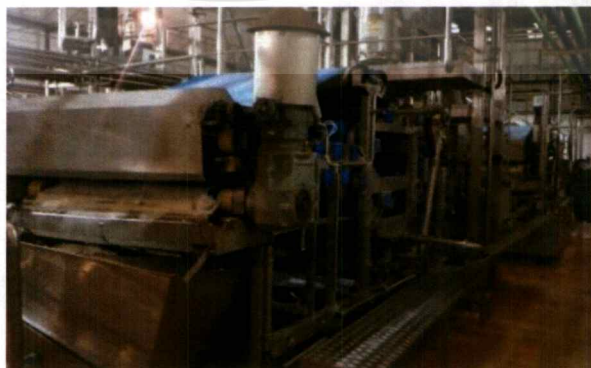
มะพร้าวลูกที่นำมาส่งยังโรงงานจะถูกสุ่มคัดคุณภาพ (คัดมะพร้าวเสีย, ชั่งน้ำหนัก) โดยเจ้าหน้าที่ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพจากนั้นจะถูกจัดเก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการนำเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป



รูปที่ 2.7 การรับมะพร้าวลูกและการจัดเก็บมะพร้าวลูกในไซโล (บริษัท อำพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด)

มะพร้าวลูกที่จัดเก็บไว้ในไซโลจะถูกลำเลียงมายังแผนกกะเทาะทิว เพื่อทำการถอนใบมะพร้าว กะเทาะกะลา เจาะน้ำและทิวผิวเพื่อให้ได้มะพร้าวขาว โดยทุกขั้นตอนจะต้องมีการคัดลูกมะพร้าวเสียออก เพื่อไม่ให้มะพร้าวเสียเข้าสู่กระบวนการต่อไปของการผลิต จากนั้นนำมะพร้าวขาวมาล้างด้วยน้ำผสมคลอรีน ก่อนจะเก็บไว้ในห้องเย็นที่ อุณหภูมิ ≤ 15 องศาเซลเซียส กระบวนการคั้นกะทิ

ก่อนจะนำมะพร้าวจากห้องเย็นมาเข้าสู่กระบวนการคั้นกะทิ จะมีการตรวจสอบคุณภาพจึงจะนำมาล้างด้วยน้ำผสมคลอรีนและน้ำซอพท์ จากนั้นจึงลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดหยาบและบดละเอียดโดยเครื่อง Urschel แล้วจึงนำมะพร้าวที่ได้ไปคั้นเอาน้ำกะทิ ซึ่งน้ำกะทิที่ได้ทั้งหมดจะถูกส่งมารองกักด้วยตะแกรงขนาด 80/100 mesh ก่อนเก็บไว้ในอ่างรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.8 เครื่องคั้นกะทิ (บริษัทอำพลฟู้ดส์โพรเซสซิงจำกัด)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization)

น้ำกะทิที่ได้จากกระบวนการคั้นจะถูกส่งมายังเครื่องพาสเจอร์ไรส์แบบ Plate heat exchanger เพื่อฆ่าเชื้อเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที จากนั้นจึง Cooling ให้กะทิมีอุณหภูมิ ≤ 15 องศาเซลเซียส ก่อนเก็บไว้ใน Mixing tank



รูปที่ 2.9 เครื่องพาสเจอร์ไรส์แบบ plate (บริษัทอำพลฟูดส์โพรเซสซิงจำกัด)

กระบวนการฆ่าเชื้อ UHT (Ultra High Temperature)

กะทิที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ จะถูกส่งมายัง Mix และปรับไขมันให้กะทิให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ จากนั้นกะทิจะถูกกรองด้วย Slot strainer เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอม จากนั้นกะทิจะถูกส่งเข้าสู่เครื่อง Homogenization 1 เพื่อลดอนุภาคสารต่างๆ ทำให้กะทิตรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจะเข้าสู่เครื่อง UHT เพื่อฆ่าเชื้อต่างๆที่ทำให้เกิดโรค โดยใช้อุณหภูมิ ≥ 139 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที หลังจากนั้นกะทิจะถูกส่งเข้าเครื่อง Homogenization 2 ก่อนส่งไปลดอุณหภูมิลง (Cooling) ให้มีอุณหภูมิ ≤ 35 องศาเซลเซียส และส่งไปเก็บไว้ใน Aseptic tank โดยอุณหภูมิหน้าวาล์วต้อง ≥ 110 องศาเซลเซียส

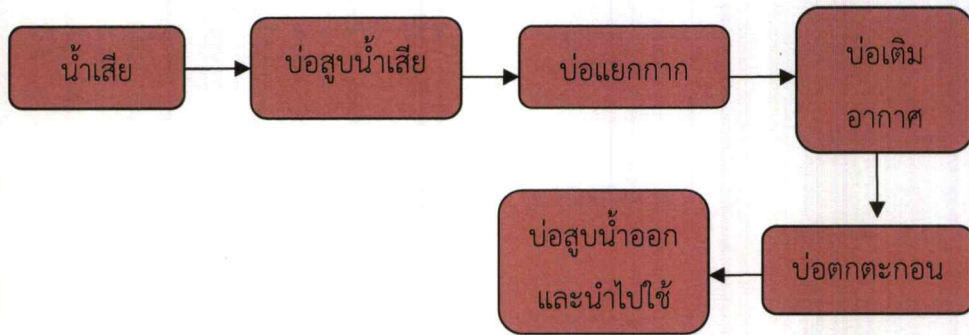
กระบวนการบรรจุ

กะทิที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจะถูกส่งจาก Aseptic tank มายังเครื่องบรรจุเพื่อทำการบรรจุลงกล่อง ภายใต้สภาวะที่ปลอดเชื้อ การฆ่าเชื้อกล่องบรรจุต้องสมบูรณ์ รอยเชื่อมกล่องต้องสนิท เพื่อป้องกันการติดเชื้อของผลิตภัณฑ์

2.2.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตกะทิ

น้ำเสียภายในโรงงานมาจาก 5 แหล่งหลักคือ น้ำเสียที่ใช้ภายในโรงงาน น้ำจากการชำระล้างร่างกาย น้ำจากสุขา และน้ำจากโรงอาหาร โดยกิจกรรมน้ำที่ใช้แล้วจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การบำบัดน้ำเสีย (บริษัทอำพลฟอสโฟเรสเซส จำกัด, 2014)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีไขมันจากมะพร้าวเป็นส่วนประกอบจะถูกทิ้งไว้ในบ่อพัก เพื่อแยกไขมันที่ลอยขึ้นมาสู่ผิวน้ำออกมาก่อน ซึ่งไขมันนี้ปัจจุบันมีผู้เข้ามาขอรับซื้อเพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล หลังจากนั้นนำน้ำเสียที่แยกไขมันออกไปแล้วจะถูกผันเข้าบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อน้ำหมดคุณภาพที่จะนำไปผลิตก๊าซชีวภาพแล้วก็จะกลายเป็นน้ำทิ้งที่ถูกนำไปไว้ในบ่อพัก เพื่อสูบไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้ และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปปรับสภาพเพื่อผลิตเป็นน้ำปะปาใช้ในการล้างพื้นในสวนของกระบวนการผลิต

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญรัตน์ และคณะ (2010) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารจากโรงอาหารโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 37°C และใช้เชื้อผสมจากน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหาร โดยการเติมอาหารกึ่งต่อเนื่องจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณอาหารที่เหมาะสมในการเติม คือ 10% ของปริมาณน้ำหมัก และระยะเวลาในการเติมอาหารที่เหมาะสมคือ 24 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารมีค่าเท่ากับ 47.18 mM/gCOD และ 5.32 mL/gCOD ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง GC-TCD พบว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมากกว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากเศษอาหาร

จินตนา และคณะ (2015) เศษเหลือทิ้งขนมหวานเป็นวัตถุดิบที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารอินทรีย์ของเศษเหลือทิ้งขนมหวานต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้อากาศครั้งเดียว การทดลองนี้ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่อัตราการเจือจางเท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3 มีปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับ 208,200, 144,000, 128,000 และ 80,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทุกชุดการทดลองหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ค่าพีเอชเริ่มต้น 7.0 เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ที่อัตราเจือจาง 1:0 ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด เท่ากับ 11,700 มิลลิตรต่อลิตร สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ 75.87 เปอร์เซ็นต์

ขวัญจิรา และคณะ (2017) สกักน้ำมันปาล์มทำให้เกิดของเสียทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ปกติน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะนำไปผลิตก๊าซชีวภาพน้ำเสียโดยเฉลี่ยประกอบด้วยกากตะกอน

ประมาณ 14 % กากตะกอนจากการสกัดน้ำมันปาล์มจะถูกหมักให้เป็นก๊าซชีวภาพน้อยมาก เนื่องจากประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลสซึ่งถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ยาก ดังนั้นควรมีการปรับสภาพกากตะกอนเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ได้ง่ายขึ้นก่อนนำไปหมักก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพกากตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (14 % กากตะกอน) คือ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน และสัดส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์ซัลเฟตในการเร่งปฏิกิริยา 10 : 1 การปรับสภาพดำเนินการที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะได้น้ำตาลรีดิวซ์ปริมาณ 974.5 ± 1.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ถูกปล่อยออกมาในสารละลาย และค่าซีไอดีของสารละลายลดลงจาก 28,000 เหลือ 27,600 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างน้ำเสียกากตะกอนที่ไม่ปรับและปรับสภาพก่อนหมักพบว่า ก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำเสียที่ปรับสภาพมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงถึง 0.406 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัมซีไอดี เทียบกับที่ไม่ปรับสภาพ ได้มีเทนเพียง 0.0228 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัมซีไอดี ซึ่งเพิ่มขึ้น 14.5 เท่า

ฐานวุฑ (2012) ศึกษาแนวทางการกำจัดไขมันและน้ำมันร่วมกับเศษอาหารแบบแบทช์ด้วยระบบไร้อากาศเพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) โดยใช้ขวดแก้วปริมาตร 0.5 ลิตร บรรจุน้ำ 0.3 ลิตร ใช้สลัดจ์จากบริษัททุมธานีบิวเวอรี่ จำกัด ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมันปาล์มความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเศษข้าว และกากถั่วเหลืองแทนแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน ตามลำดับ โดยใส่เศษข้าวและกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นรวม 0, 1,000 2,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากน้ำมันอย่างเดียว น้ำมันร่วมกับข้าว และน้ำมันร่วมกับถั่วเหลืองเท่ากับ 0.23 0.43 และ 0.72 m^3/kgVS ตามลำดับ การใส่ถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นสูงขึ้นช่วยทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น และพบว่าปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งโดยค่าคงที่การเกิดก๊าซชีวภาพ (k_1) ของการใส่เศษข้าวและกากถั่วเหลืองใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.364 และ 0.390 ต่อวันตามลำดับ แต่การใส่กากถั่วเหลืองมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าเศษข้าว โดยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการเติมกากถั่วเหลืองและเศษข้าวเท่ากับ 0.280 และ 0.157 $\text{m}^3/\text{kgVS.d}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่าการเติมสารลดแรงตึงผิว (Sodium Dodecyl Sulfate หรือ SDS) ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อช่วยให้ไขมันละลายน้ำได้สมบูรณ์กลับทำให้ระยะเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพนานขึ้นมากโดยเพิ่มระยะเวลาในการปรับตัวจาก 2-3 วัน เพิ่มเป็น 30-50 วันโดยที่ได้ปริมาณก๊าซใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากน้ำมันละลายได้มากเกินไปจนยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวภาพการทิ้งตะกอนและน้ำเสียที่ 10%, 20%, 50% และ 90% ของปริมาตรน้ำตัวอย่าง คิดเป็นค่าอายุตะกอนเท่ากับ 150, 75, 30 และ 16.7 วัน ตามลำดับ พบว่าที่อายุตะกอน 16.7 วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกับค่าอายุตะกอนอื่น (0.35 m^3/kgVS) แต่มีค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_1) สูงที่สุด (0.56 ต่อวัน) แต่ใช้

ระยะเวลาในการปรับตัว 5 วัน ซึ่งมากกว่าค่าอายุตะกอนอื่นที่ใช้ระยะเวลาในการปรับตัว 2 วัน

กัญฐิกา และคณะ (2018) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสียให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยขั้นแรกเป็นการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนดีแคเนเตอร์และกลีเซอรอลดิบจากนั้นเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพในขั้นที่ 2 การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ 1) กระบวนการหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่องในถังหมักขนาด 20 ลิตรพบว่าที่ความเข้มข้นกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร ระยะเวลาที่เก็บ (Hydraulic Retention Time, HRT) 2 วันได้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 43.33 ลิตรไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมดอัตราการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.89 ลิตรไฮโดรเจนต่อปริมาตรถังหมักต่อวันและปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.1 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด 2) การปรับสภาพเบื้องต้นน้ำหมักจากขั้นที่ 1 ด้วยวิธีโอโซนเนชันและการใช้ไอน้ำร้อนต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนพบว่าน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำร้อนให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการปลดปล่อยน้ำตาลผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นรวมถึงการกำจัดของเสียในรูปของแข็งทั้งหมดและซีโอดีทั้งหมด พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำการปรับสภาพโดยใช้ไอน้ำร้อนไปใช้งานจริงในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่มีไอน้ำร้อนเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการสกัดซึ่งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในการหมักขั้นที่ 2 ต่อไป

Sage(2008) ศึกษาขั้นตอนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของไขมันนมเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายไขมันเปรียบเทียบกับส่วนประกอบอื่น ๆ (แลคโตส, โปรตีน) เกี่ยวกับภาวะที่ก่อให้เกิดผลต่อไขมันและโครงสร้างของนม งานวิจัยนี้ยืนยันว่าไขมันนมจะสลายตัวหลังจากระยะเวลาหลายวันโดยอัตราการย่อยสลายสูงสุด 2 ถึง 5 เท่า น้อยกว่าอัตราการย่อยสลายของส่วนประกอบอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า (1) โครงสร้างของไขมันไม่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (2) ระยะเวลาล่าช้าก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เกิดจากกรดไขมันอิสระที่ไม่อิ่มตัว (FFA) และ (3) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดก๊าซชีวภาพในอัตราที่ต่ำกว่าไขมันอิ่มตัวดังนั้นฟรีไฮโดรไลซิสของไขมันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้ระยะเวลาความล่าช้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด เพื่อลดความล่าช้าในการผลิตก๊าซชีวภาพมีความจำเป็นต้องลดความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

Dominguesและคณะ (2015) ศึกษาไขมันที่มีอยู่ในของเสียจากนมเป็นการสูญเสียทางอุตสาหกรรมที่สำคัญแล้วยังส่งผลเสียต่อระบบน้ำเสียอย่างไรก็ตามหากพิจารณาอย่างเหมาะสมและสารนี้อาจเป็นสารตั้งต้นที่น่าสนใจสำหรับการผลิตก๊าซมีเทนการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของไขมันนมในธรรมชาติและเมื่อแยกไฮโดรไลซ์ด้วยไลเปส 2 ชนิดที่ผลิตโดย *Geotrichumcandidum* (GCL) และอื่น ๆ ที่ผลิตโดย *Candida rugosa* (CRL) วัตถุประสงค์หลักคือเพื่อประเมินว่ากลไกการออกฤทธิ์ของเอนไซม์จะรบกวนการย่อยสลายไขมันแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือไม่อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสองระบุว่า CRL เป็นประโยชน์มากที่สุดนอกจากประโยชน์แล้วการเตรียมไฮโดรไลซิสล่วงหน้าด้วย GCL ยังแสดงให้เห็นถึงการยับยั้งจุลินทรีย์ในระดับ

เอกลา...
ไม่ว่างที่...
ไม่ว่าที่สูงขึ้น ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น 2482 บริษัท Sartorius ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวัดกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 827 pH Lab บริษัท Mectrom ประเทศสวีตเซอร์แลนด์
3. เครื่องวัดก๊าซชีวภาพ (Gas data meter) รุ่น GFM 416 บริษัท Coventry ประเทศอังกฤษ
4. ชุดเครื่องกลั่นเจลดดาห์ล(Kjeldahl digestion apparatus) รุ่น KI Cerhardt บริษัท Scientific Promotion Co., Ltd. ประเทศไทย
5. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN 55 บริษัท Atmosfe ประเทศเยอรมนี
6. เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น Centroller P320 บริษัท Naberthem ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องกวนแบบแม่เหล็กพร้อมแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer and magnetic bar) รุ่น Fisher Hot Plate บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ปั๊ม Peristaltic pump รุ่น 77201-60, Cole-Parmer Instrument Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. ถ้วยระเหย (Evaporating dish)
10. โถดูดความชื้น (Desiccator)
11. เครื่องแก้วอื่น ๆ

3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. โซเดียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. พรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
10. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
11. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (C_2H_5OH) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
12. เฮกเซน (C_6H_{14}) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
13. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรตดิเคราะห้ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
14. 1,10-ฟีนานโทรีน โมโนไฮเดรต บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
15. ฟีนอล์ฟทาลีน บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
16. เมธิลีนบลู บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
17. เมธิลออเรนจ์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
18. เมธิลเรด บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

3.2 วัตถุประสงค์ที่ป้อนเข้าระบบ (Feed)

1. น้ำคั้นกากมะพร้าว เป็นน้ำเสียสังเคราะห์น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ เตรียมโดยนำกากมะพร้าวที่ผ่านการคั้นน้ำกะทิ ได้จากตลาดหัวตะเข้ เขตตลาดกระบี่ กรุงเทพมหานคร มาต้มกับน้ำประปา อัตราส่วน 1 กิโลกรัม: 4 ลิตร (โดยน้ำหนักเปียก) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
2. น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ บริษัท เอเซียติก อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นน้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการผลิตกะทิที่ยังไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย (บ่อแรก) ซึ่งใช้ระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง (Oxidation ponds) (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 บ่อน้ำเสียของบริษัท เอเซียติก อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

3.3 เชื้อจุลินทรีย์

1. หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์ในขวดหมักกรดได้จากน้ำเสียบ่อดักไขมัน โรงอาหาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ EGSB (Extended Granular Sludge Bed) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรม เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.4 ระบบถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอน

3.4.1 การออกแบบระบบ

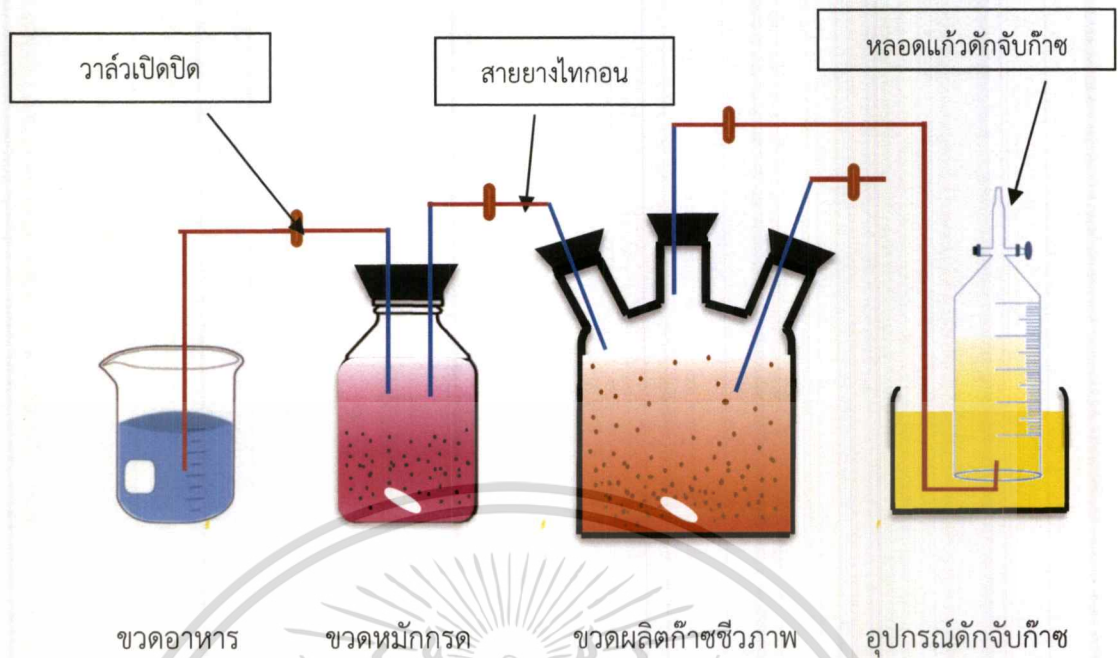
ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ 2 ขั้นตอนประกอบด้วย 4 ส่วนดังแสดงรูปที่ 3.2

ส่วนที่ 1 ขวดอาหาร (Feed) ใช้ปั๊มเกอร์ขนาด 1 ลิตรบรรจุน้ำเสียเพื่อป้อนอาหารเข้าสู่ระบบ

ส่วนที่ 2 ขวดหมักกรดใช้ขวดดูแรนความจุ 2 ลิตร บรรจุน้ำเสีย 1.8 ลิตรและเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำเสียบ่อดักไขมัน 20% (v/v) หรือประมาณ 0.36 ลิตร (วิธีตวงเชื้อจุลินทรีย์ดูในภาคผนวก ก-9) ด้านบนปิดด้วยจุกยางซึ่งเจาะรู 2 รู ด้านหนึ่งต่อเข้ากับขวดอาหาร และอีกด้านต่อเข้ากับขวดผลิตก๊าซชีวภาพภายในขวดมีแท่งแม่เหล็กขนาด 5 เซนติเมตร เพื่อความสะดวกให้เข้ากันและให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอาหารที่ได้จากน้ำเสีย โดยปั่น 15 นาที หยุด 15 นาที ใช้ความเร็วรอบในการปั่นกวน 300 รอบต่อนาที

ส่วนที่ 3 ขวดผลิตก๊าซชีวภาพใช้ขวดดูแรนขนาด 6 ลิตร มีปากขวด 3 ทาง บรรจุน้ำเชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทนจากระบบการหมักก๊าซชีวภาพของโรงงาน เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) 20%(v/v) หรือ 1 ลิตร (วิธีตวงเชื้อจุลินทรีย์ดูในภาคผนวก ก-9) และเติมน้ำเสียให้ได้ 5 ลิตร ทางแรกใช้จุกยางเจาะรู 1 รู ใส่สายไทกอนต่อเข้ากับขวดกรด ส่วนทางที่สองใช้จุกยางเจาะรู 1 รู ใส่สายไทกอนต่อเข้ากับเครื่องแกว้ดักจับก๊าซทางที่สามใช้จุกยางเจาะรู 1 รู ใส่สายไทกอนใช้สำหรับนำของเหลวออกจากระบบ (effluent) เพื่อนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ภายในขวดมีแท่งแม่เหล็กขนาด 5 เซนติเมตรโดยมีความเร็วรอบในการปั่นกวน 600 ต่อนาที

ส่วนที่ 4 กระจกตวงดักจับก๊าซชีวภาพใช้กระจกตวงขนาด 5 ลิตร ที่บรรจุสารละลาย 2% NaCl คว่ำอยู่ในถังพลาสติกที่บรรจุสารละลาย 2% NaCl และมีสายไทกอนจากขวดผลิตก๊าซชีวภาพต่อเข้ากับกระจกตวงดักจับก๊าซชีวภาพ เพื่อวัดอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.2 ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ 2 ขั้นตอน

3.4.2. การเริ่มต้นเดินระบบ

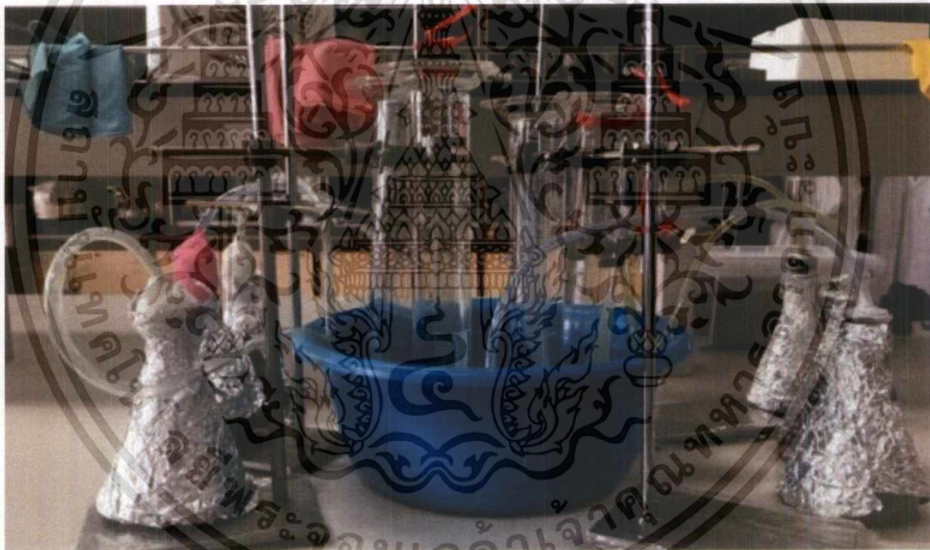
1. เตรียมขวดกรด ปริมาตร 1.8 ลิตร ในขวดดูแรนขนาดความจุ 2 ลิตร เติมเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อดักไขมัน 20% (v/v) หรือ 0.36 ลิตร และเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวจนมีปริมาตรสุทธิ 1.8 ลิตร ปิดฝาจุกยางและปิดทับด้วยพาราฟิล์มเพื่อกันอากาศเข้า
2. เตรียมขวดผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาตร 5 ลิตร ในขวดดูแรนขนาดความจุ 6 ลิตร มีปาก 3 ทาง เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบการหมักก๊าซชีวภาพ 20% (v/v) หรือ 1 ลิตร และเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวจนได้ปริมาตรสุทธิ 5 ลิตร ปิดฝาจุกยางและปิดทับด้วยพาราฟิล์มเพื่อกันอากาศเข้า
3. ต่อท่อนำก๊าซจากขวดผลิตก๊าซชีวภาพเข้ากับกระบอกตวงดักจับก๊าซที่บรรจุด้วย 2% NaCl ดังแสดงในรูปที่ 3.3
4. เสียบปลั๊ก Hot plate and stirrer เข้ากับเครื่อง Timer ปั่นกวนด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที โดยปั่นกวนทุก 15 นาที และหยุด 15 นาที
5. บันทึกปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น รอจนปริมาตรก๊าซมีค่าคงที่

3.5 วิธีการดำเนินการ

3.5.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

1. ศึกษาองค์ประกอบของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิเริ่มต้น พารามิเตอร์ที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 3.1
2. เติมน้ำคั้นกากมะพร้าว ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. ใส่หัวเชื้อผลิตกรดอินทรีย์จากบ่อดักไขมัน 25 มิลลิลิตร และใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน 25 มิลลิลิตร
4. ปิดจุกยางดำ โดยมีท่อนำก๊าซไปต่อเข้ากับกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตรที่บรรจุ 2% NaCl ที่คว่ำอยู่ในอ่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.2
5. บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 2-5 อีก 2 ซ้ำ
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2-6 แต่เปลี่ยนน้ำคั้นกากมะพร้าว เป็นน้ำเสียจากโรงงานกะทิ
8. ตัวควบคุมทำการทดลองของเชื้อที่ใช้ในระบบเช่นเดียวกันกับข้อ 2-6 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสีย
9. ตัวควบคุมทำการทดลองของน้ำเสียที่ใช้ในระบบเช่นเดียวกันกับข้อ 2-6 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนเชื้อทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 3.3 การต่ออุปกรณ์ในการทดลองแบบแบทช์

3.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่อง

1. หลังจากเริ่มต้นเดินระบบทำการดูด Effluent ออกจากขวดผลิตก๊าซมีเทนตามปริมาณน้ำเสียที่ป้อนอาหารเข้าระบบ
2. เติมน้ำเสียจากกากมะพร้าวเข้าระบบที่อัตราการเติม 50 มิลลิลิตรต่อวัน หลังจากดูด Effluent โดยการใช้ขวดอาหาร (Feed) ไปยังถังหมักกรดและใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารให้ผสมกัน จากนั้นของเหลวจากขวดหมักกรดจะเข้าสู่ขวดหมักชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 3. บันทึกค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุก 15 นาที จนปริมาตรก๊าซคงที่
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อหมักครบ 24 ชั่วโมง ทำการดูด Effluent ขวดผลิตก๊าซมีเทนนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ (ดังแสดงตารางที่ 3.1) และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้ Gas Data Meter

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6-8 แต่เปลี่ยนอัตราการเติมอาหารเป็น 200 มิลลิลิตรต่อวัน และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ

6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 6-9 แต่ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิแทนน้ำคั้นกากมะพร้าว โดยอัตราการเติมน้ำเสียเป็น 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ	จำนวนครั้งที่วิเคราะห์
พีเอช	pH meter	ทุกวัน
ค่าของแข็งทั้งหมด	ระเหยน้ำออกและอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศา ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
ค่าของแข็งระเหยง่าย	เผาที่อุณหภูมิ 550 องศา ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
ค่าซีโอดีละลายน้ำ	Close Reflux, Titrimetric Method ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
สภาพต่างทั้งหมด	Titration ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
ค่า Total Kjeldahl Nitrogen	Kjeldahl method ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
ค่าไขมันและน้ำมัน	Partition - gravimetric method ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย	Titration ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017)	ทุกวัน
องค์ประกอบของก๊าซ	Gas data meter	ทุกสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพไร้อากาศแบบสองขั้นตอน ประกอบไปด้วยถังหมักกรดความจุ 1.8 ลิตร ถังหมักก๊าซชีวภาพความจุ 5 ลิตร และกระบอกแก้วดักก๊าซชีวภาพโดยใช้วิธีการแทนที่ 2% NaCl การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยการทดลองแบบแบทช์ ขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยแปรค่าอัตราการเติมน้ำเสียต่อวัน ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed) แสดงดังตาราง 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 และ ข-2 ภาคผนวก ข) จากการศึกษาพบว่าน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลางของแข็งระเหยง่าย (VS) และค่าสภาพความเป็นด่าง (Alk) มีค่าใกล้เคียงกันส่วนค่าซีโอดีละลายน้ำ (sCOD) ค่าน้ำมันและไขมัน (FOG) ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในน้ำคั้นกากมะพร้าวมีค่าสูงกว่าในน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตกะทิ อาจมีน้ำเสียจากกระบวนการล้างต่างๆ เข้ามาเจือปน นอกจากนี้ ไขมันบางส่วนที่ลอยอยู่บนผิวน้ำยังถูกกำจัดโดยการตักออกจากบ่อผึ่ง อย่างไรก็ตาม จากค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีค่า 33.77 และ 18.78 ตามลำดับ จึงเหมาะกับการใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมักก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

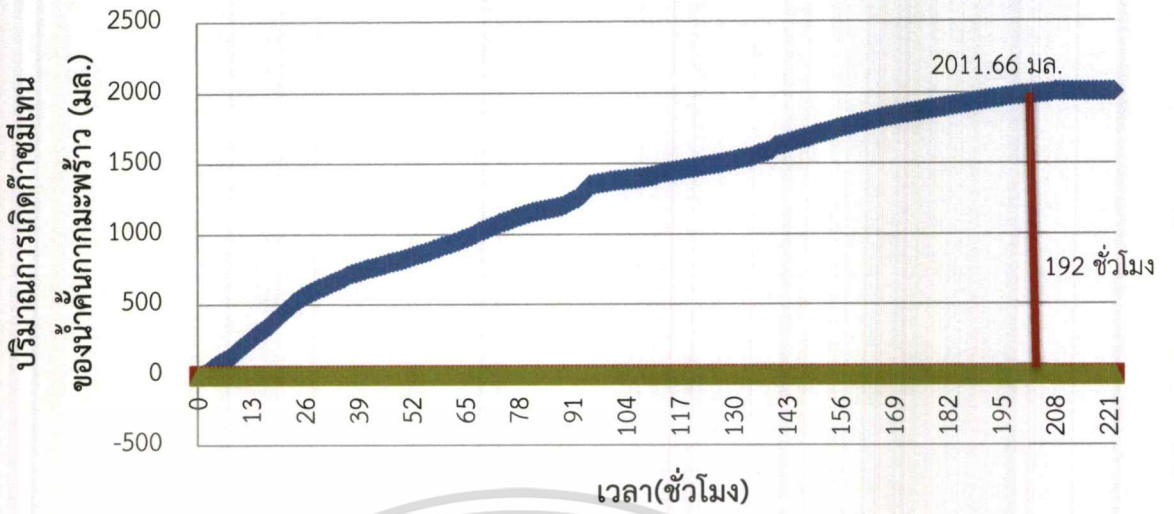
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed)

พารามิเตอร์	น้ำคั้นกากมะพร้าว	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	6.56-7.11	7.30-7.73
ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) (mg/L)	14,446-16,080	2,090-2,430
ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) (mg/L)	13,143-14,690	306-346
ค่าซีโอดีละลายน้ำ(sCOD) (mg/L)	6,034-8,356	411-528
ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) (mg/L)	1,140-1,200	1,215-1,230
ค่าTotal Kjeldahl nitrogen(TKN) (mg/L)	196-224	85-85
ค่าน้ำมันและไขมัน (FOG) (mg/L)	105,960-116,680	49,664-64,480
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA as CH ₃ COOH) (mg/L as CH ₃ COOH)	298-320	62-83
อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน (sCOD : TKN)	33.77	18.78

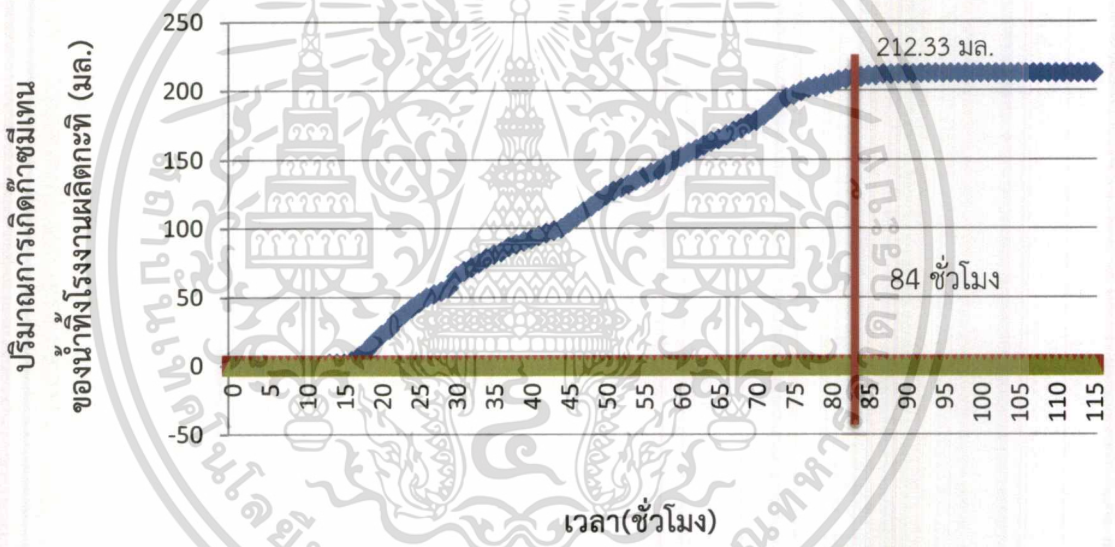
จากผลการทดลองอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในการทดลองแบบแบทช์ พบว่าการหมักน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพผสมกับน้ำเสียบดักไขมันสัดส่วน (1:1) สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในอัตรา 10.82 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยจะหยุดผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเวลาผ่านไป 189 ชั่วโมง มีปริมาตรก๊าซสะสม 2,011 มิลลิลิตร หรือมีอัตราการผลิตชีวภาพ 10,055 มิลลิลิตรต่อลิตรของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.1ก (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข) ส่วนการหมักน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพผสมกับน้ำเสียบดักไขมันสัดส่วน (1:1) สามารถผลิตก๊าซชีวภาพในอัตรา 2.53 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยจะหยุดผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเวลาผ่านไป 84 ชั่วโมง มีปริมาตรก๊าซสะสม 212 มิลลิลิตรหรือมีอัตราการผลิตชีวภาพ 1,060 มิลลิลิตรต่อลิตรของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4 ภาคผนวก ข)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและโรงงานผลิตกะทิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1 ภาคผนวก ค) โดยการหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าการหมักก๊าซชีวภาพจากโรงงานผลิตกะทิ เนื่องจากค่าซีโอดีละลายน้ำ (sCOD) ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) และค่ากรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ในน้ำคั้นกากมะพร้าวมีค่าสูงกว่าในน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ทำให้จุลินทรีย์สามารถนำธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า สำหรับน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์จะไม่เกิดก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



◆ น้ำคั่นกากมะพร้าว + เชื้อจุลินทรีย์ ■ น้ำกลั่น+เชื้อจุลินทรีย์ ▲ น้ำเสียกากมะพร้าว+น้ำกลั่น



◆ น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ + เชื้อจุลินทรีย์ ■ น้ำกลั่น+เชื้อจุลินทรีย์
▲ น้ำเสียโรงงานกะทิ+น้ำกลั่น

รูปที่ 4.1 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในการทดลองแบบแบทช์ของน้ำคั่นกากมะพร้าว (ก) และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ (ข)

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั่นกากมะพร้าวมีค่าสูงกว่าจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ทั้งนี้เนื่องจากในคั่นกากมะพร้าวมีสารอาหารสูงกว่าในน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

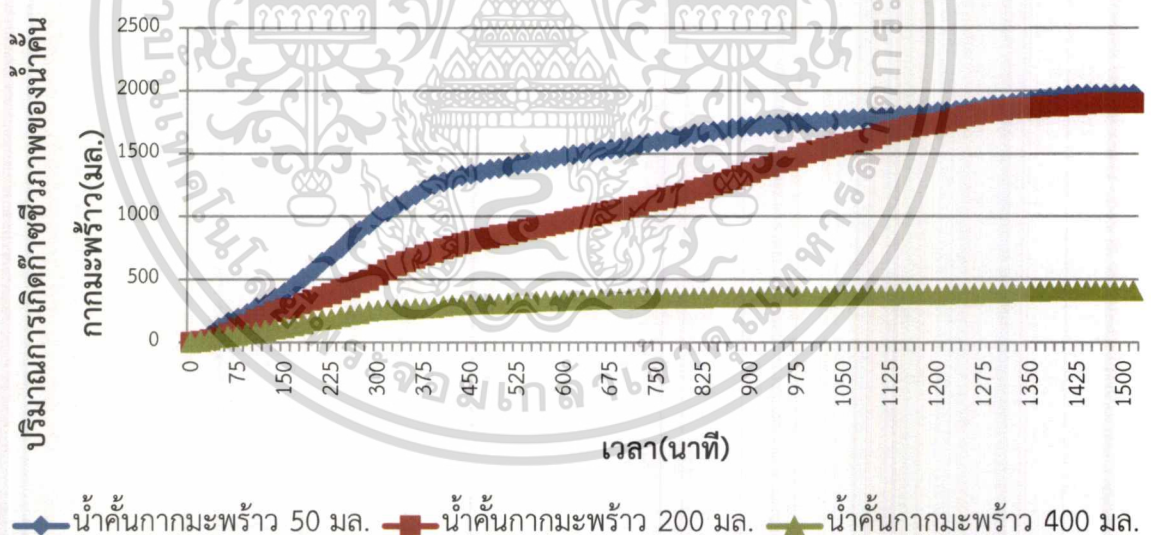
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่อง

4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

4.2.1.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

จากผลการทดลองพบว่า อัตราในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่องที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,971 , 1,902 และ 409 มิลลิลิตรต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 %พบว่า อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเพิ่มอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 และ 200 มิลลิลิตรต่อวัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-2 ภาคผนวก ค) ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำมันและไขมันในน้ำคั้นกากมะพร้าวย่อยสลายยาก จึงจำเป็นต้องมีการปรับสภาพให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง เพื่อให้ง่ายต่อการหมักให้เกิดก๊าซชีวภาพ (ขวัญจิรา และคณะ, 2017)

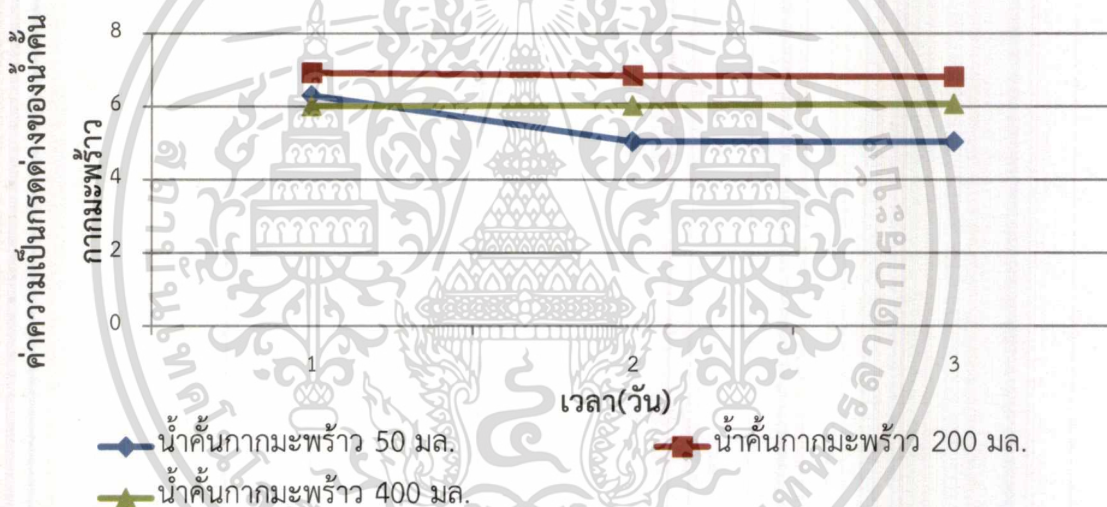


รูปที่ 4.2 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200, 400 มล./วัน

4.2.1.2 ผลการศึกษาสภาวะของเหลวภายในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 , 400 มิลลิลิตรต่อวันได้ผลดังนี้

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างในระบบ

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน ได้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.04-6.30 , 6.81-6.92 และ 6.02-6.07 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่า อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50 มิลลิลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-3 ภาคผนวก ค) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)

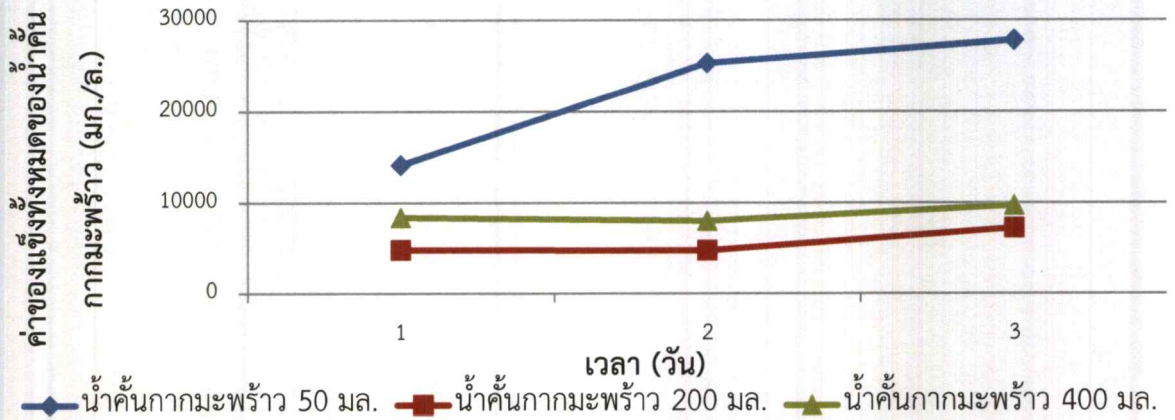


รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดในระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งทั้งหมดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50 มิลลิลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-4 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 14,142-27,280 , 4,727-7,217 และ 8,017-9,757 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

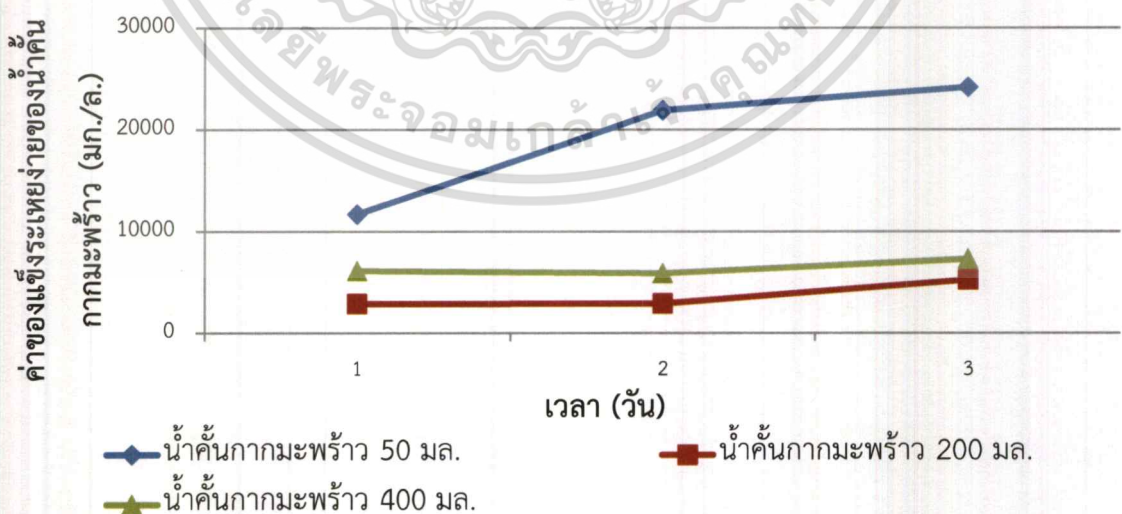
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่ายในระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-8 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50 มิลลิลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-5 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าของแข็งระเหยง่ายอยู่ในช่วง 11,697-24,166 , 2,910-5,294 และ 5,946-7,342 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งค่าของแข็งระเหยง่ายมีค่าที่สอดคล้องกับผลการทดลองของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง จากผลการทดลอง พบว่าค่าของแข็งระเหยง่ายหลังออกจากระบบมีค่าต่ำกว่าค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนเข้าระบบ เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

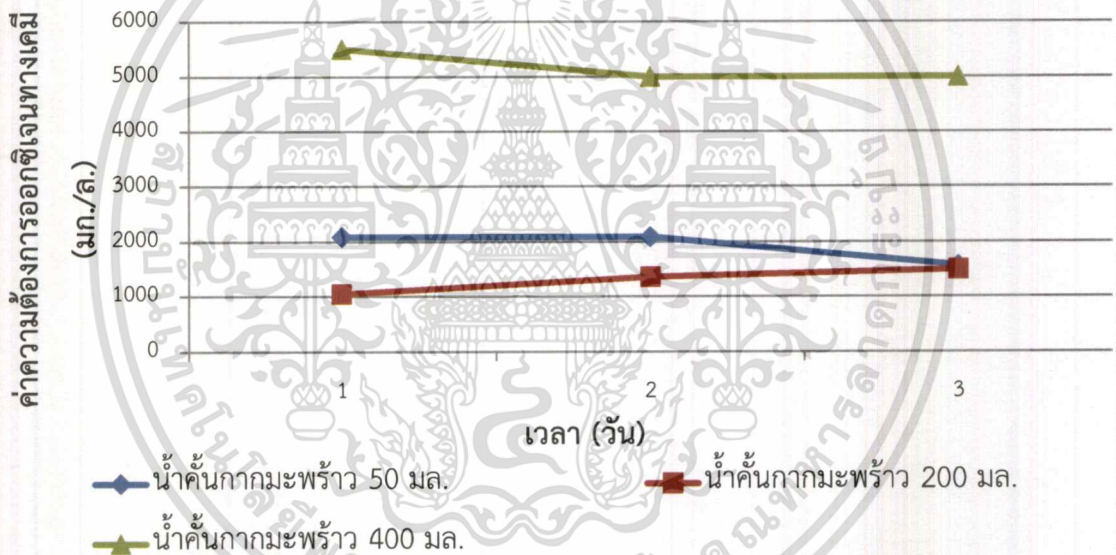


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCOD) ภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-9 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 400 มิลลิลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 50 และ 200 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-6 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีอยู่ในช่วง 1,568–2,090 , 1,044-1,493 และ 5,000-5,500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า sCOD หลังออกจากระบบมีค่าลดลงจากค่า sCOD ก่อนเข้าระบบ เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักก๊าซมีเทนมีค่าเกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานแต่น้ำทิ้งเหล่านี้สามารถนำไปเป็นปุ๋ยน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกได้

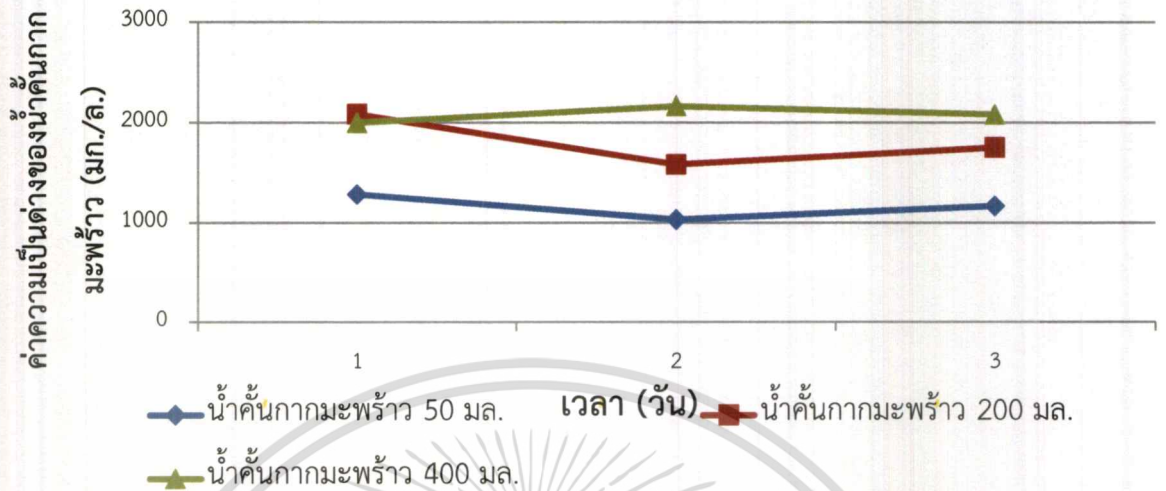


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCODs) ภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างในระบบ

วิเคราะห์สภาพความเป็นด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-10 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-7 ภาคผนวก ค) พบว่าที่ปริมาตร 50 , 200 , และ 400 มิลลิลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 1,033-1,283 , 1,583-2,083 และ 2,000-2,166 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต เอกสาร ตีพิมพ์ลำดับ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลอง และค่าอยู่ในช่วงเหมาะสมกับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้อากาศประมาณ 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นต่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว-ผลการศึกษาอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนในระบบ

จากการทดลองพบว่าค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-11 ภาคผนวก ข) ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200 และ 400 มิลลิตรต่อวันมีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง $4.71 \pm 16.17, 4.31 \pm 2.8$ และ 8.80 ± 3.23 ตามลำดับ ค่า COD : N ที่เหมาะสมควรมีค่า ค่า COD : N ประมาณ 100 : 2.2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2010) แต่ค่า COD : N ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากมีสารอินทรีย์คาร์บอนน้อยเนื่องจากไขมันถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ยาก จึงควรมีการปรับสภาพน้ำคั้นกากมะพร้าวก่อนนำไปใช้ในการหมัก หรือมีการหมักแบบผสมโดยเพิ่มปริมาณคาร์บอนจากวัตถุดิบตั้งต้นอื่นๆ เข้าไป

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

ปริมาตรการป้อนเข้าระบบ (mL)	COD (mg/L)	ไนโตรเจนทั้งหมด(mg/L)	ค่า COD:N	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
50	2,090	289	7.23	16.17
	2,090	522	3.99	16.17
	1,568	541	2.90	16.17
200	1,044	189	5.51	1.62
	1,357	367	3.69	1.62
	1,493	400	3.73	2.8

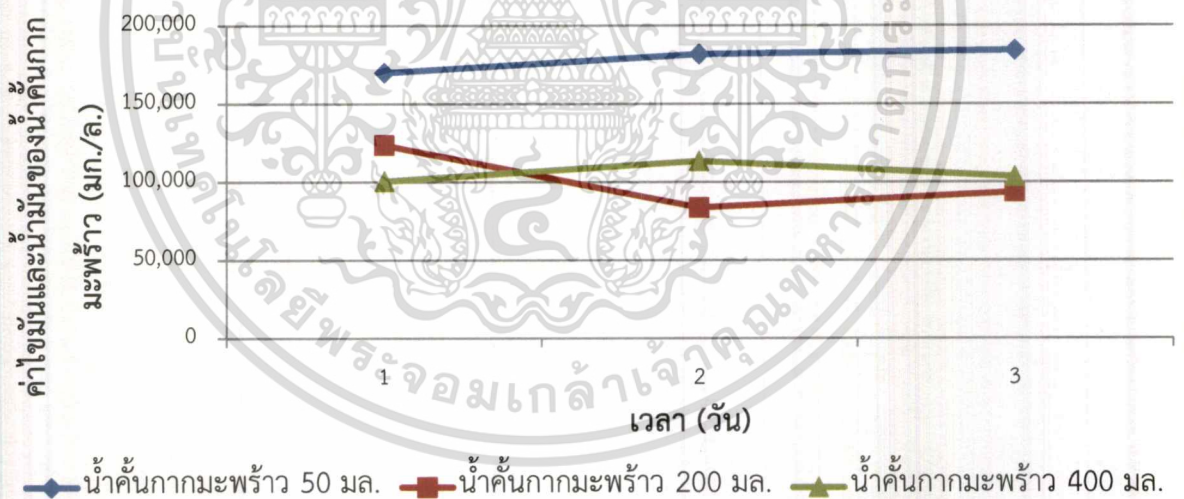
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนซีไอต่อไนโตรเจนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

ปริมาตรการป้อนเข้า ระบบ (mL)	COD (mg/L)	ไนโตรเจน ทั้งหมด(mg/L)	ค่า COD:N	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
400	5,500	460	11.95	1.62
	5,000	665	7.51	3.23
	5,000	721	6.93	1.62

-ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันและน้ำมันในระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าไขมันและน้ำมันในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-12 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50 มิลลิลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-9 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าไขมันและน้ำมันอยู่ในช่วง 170,073–184,253, 83,697–123,420 และ 100,677–113,460 มิลลิลิตรต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าไขมันและน้ำมันในระบบสามารถย่อยสลายได้เล็กน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบไม่เหมาะสมสำหรับการย่อยไขมัน ทำให้ระบบมีการสะสมไขมันจำนวนมาก

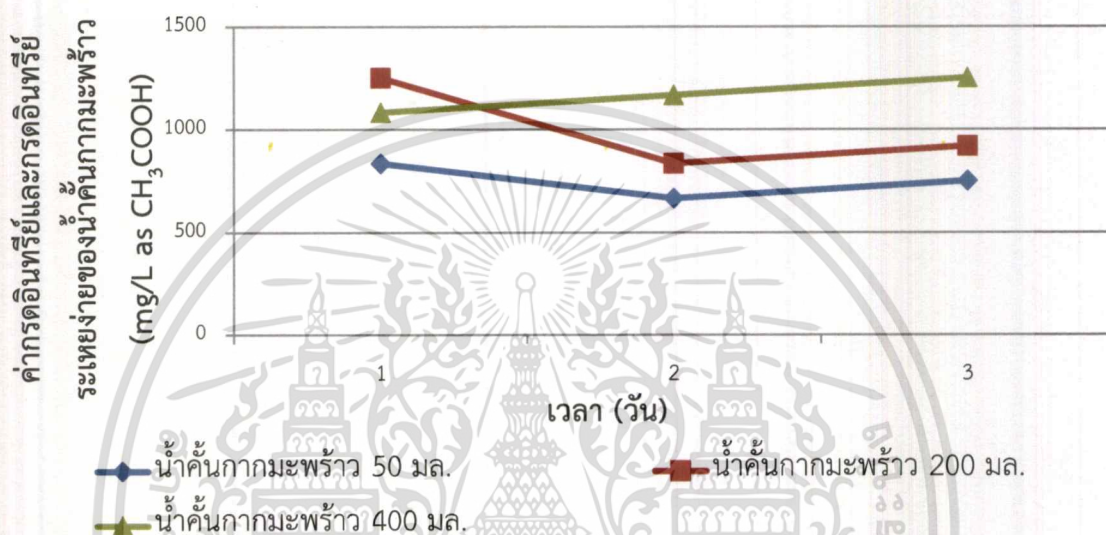


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าไขมันและน้ำมันภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการศึกษการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-13 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 50 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-10 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อ

วัน มีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 666-833, 833-1,250 และ 1,083-1,250 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอซติก ตามลำดับ โดยค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ป้อนเข้าไปในระบบ ค่ากรดไขมันระเหยง่ายหลังจากจากระบบมีค่าลดลงจากค่ากรดไขมันระเหยง่ายก่อนเข้าระบบเนื่องจากสารอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดแอซติก, กรดโพรพิอิก, กรดบิวทีริก และกรดฟอร์มิกจากนั้น กรดอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

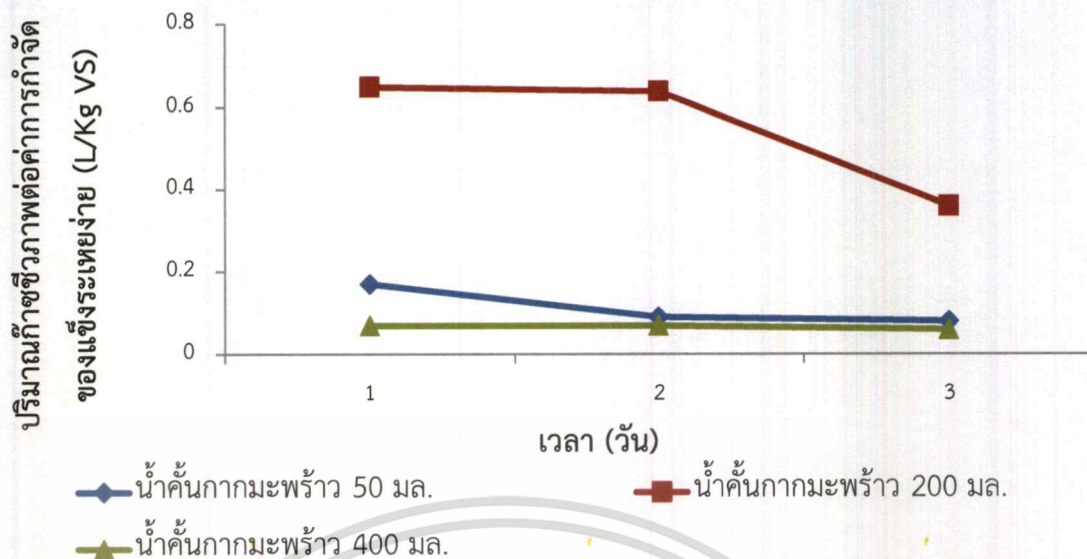


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

จากการคำนวณโดยนำปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของน้ำคั้นกากมะพร้าว มาเปรียบเทียบกับค่าของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-14 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ 200 มิลลิตรต่อวัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมที่ 50 และ 200 มิลลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-11 ภาคผนวก ค) พบว่าที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200 และ 400 มิลลิตรต่อวันมีค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดอยู่ในช่วง 0.08-0.17, 0.36-0.65 และ 0.06-0.07 L/kg VS ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่อัตราการเติมที่ 200 มิลลิตร มีค่าสูงกว่าอัตราการเติมที่ 50 และ 400 มิลลิตร ทั้งนี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการสุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

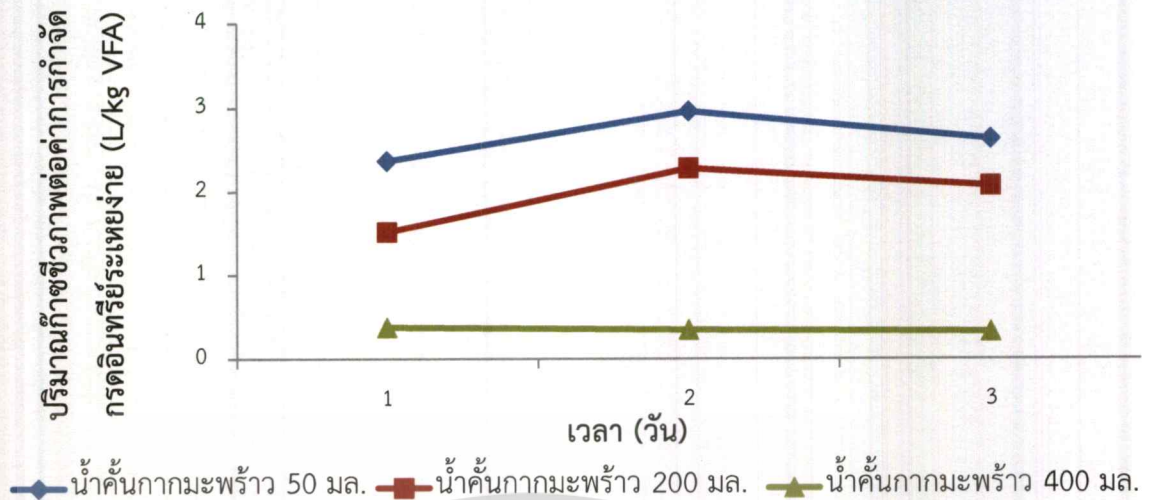


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

-ผลการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ

จากรูปที่ 4.11 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-15 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-12 ภาคผนวก ค) แสดงค่าการคำนวณโดยนำปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของน้ำคั้นกากมะพร้าว มาเปรียบเทียบกับค่ากรดไขมันระเหยง่าย พบว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ป้อนเข้าระบบที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 , 200 และ 400 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าอยู่ในช่วง 2.37-2.96 L/kg VFA , 1.52-2.28 L/kg VFA และ 0.33-0.38 L/kg VFA ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ 50 มิลลิลิตรมีค่าสูงกว่าที่ 200 และ 400 มิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่พบมากที่สุดถังหมักก๊าซมีเทน ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

4.2.1.3 ผลการศึกษาสถานะของเหลวภายในถังหมักกรดของน้ำคั้นกากมะพร้าว

ตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-16 ภาคผนวก ข) แสดงค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ของเหลวภายในถังหมักกรดของน้ำคั้นกากมะพร้าว

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของเหลวภายในถังหมักกรด แสดงได้ดังนี้

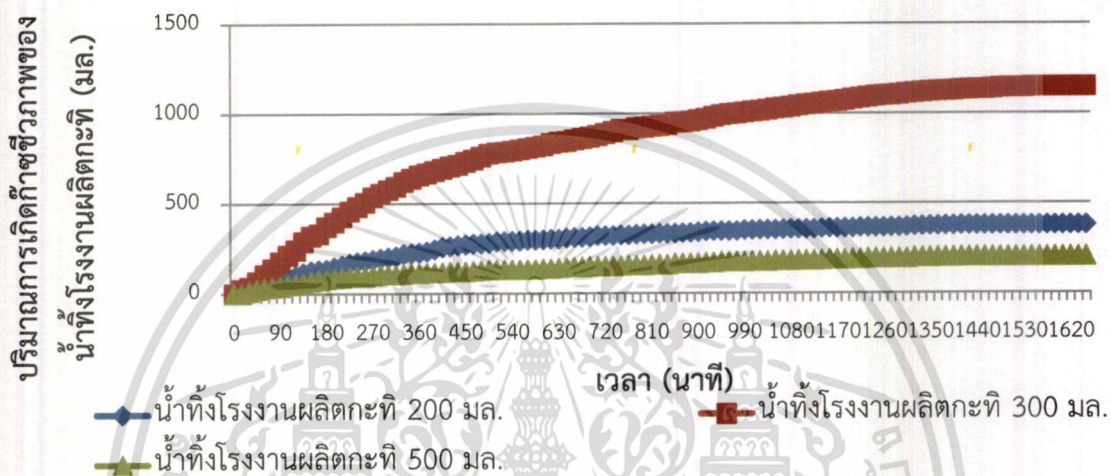
พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.53-4
ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)	4,273.32-4,570.67
ค่าของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	3,596.67-3,893.33
ค่าซีโอดีละลายน้ำ (mg/L)	4,000-4,800
ค่าสภาพความเป็นด่าง (mg/L)	250-500
ค่า Total Kjeldahl nitrogen (mg/L)	84-112
ค่าน้ำมันและไขมัน (mg/L)	115,660-156,730
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (mg/L as CH ₃ COOH)	1,250-1,500
อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน	43.75

4.2.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

4.2.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตราการเติมที่ 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

จากผลการทดลองพบว่า อัตราในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักสองขั้นตอนแบบกึ่งต่อเนื่องที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีอัตราการผลิต

ก๊าซชีวภาพได้ 378 , 1,142 และ 212 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-17 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 300 มิลลิลิตรต่อวัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-13 ภาคผนวก ค)



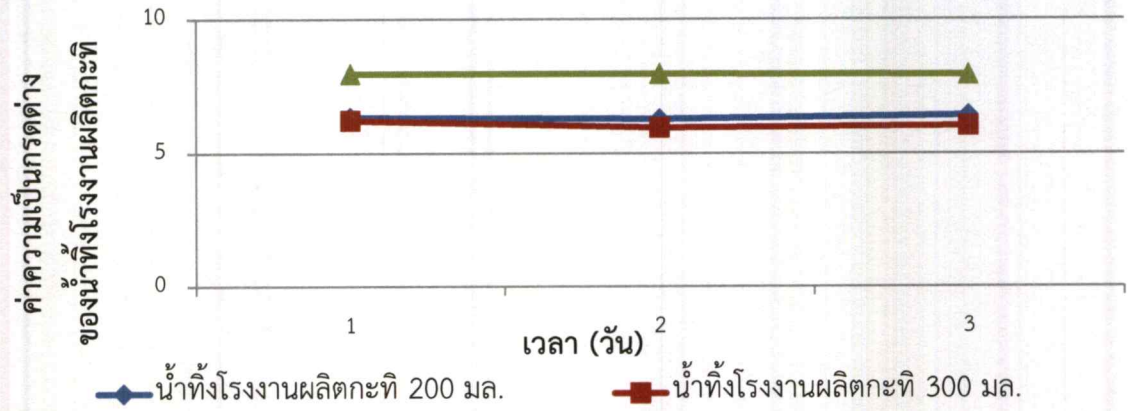
รูปที่ 4.12 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200, 300, 500 มล./วัน

4.2.2.2 ผลการศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยแปรค่าอัตราการเติมน้ำทิ้งที่ 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน ได้ผลดังนี้

-ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างในระบบ

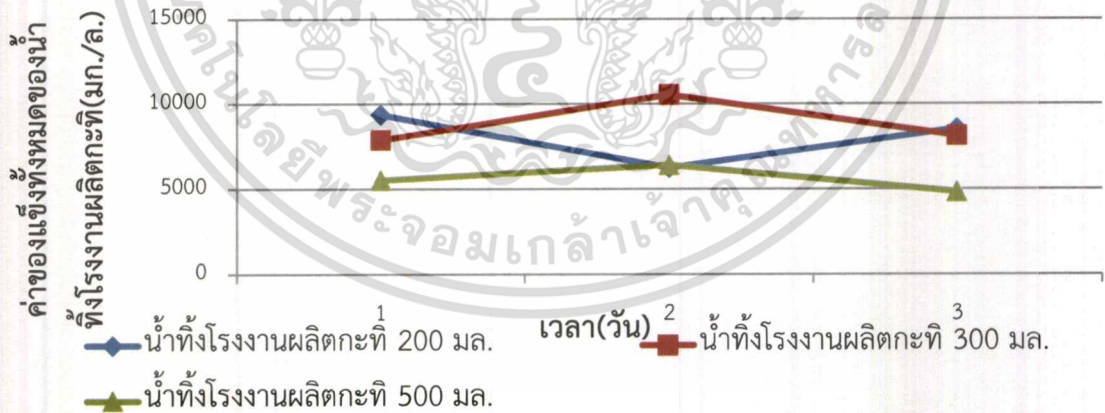
จากการทดลองวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ พบว่า อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.28-6.42 , 5.95-6.23 และ 7.96-7.98 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-18 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-14 ภาคผนวก ค) ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดในระบบ

จากผลการทดลองค่าของแข็งทั้งหมดภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิพบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 6,251-9,371 , 7,899-10,537 และ 4,842-6,407 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-19 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 200 และ 300 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-15 ภาคผนวก ค)

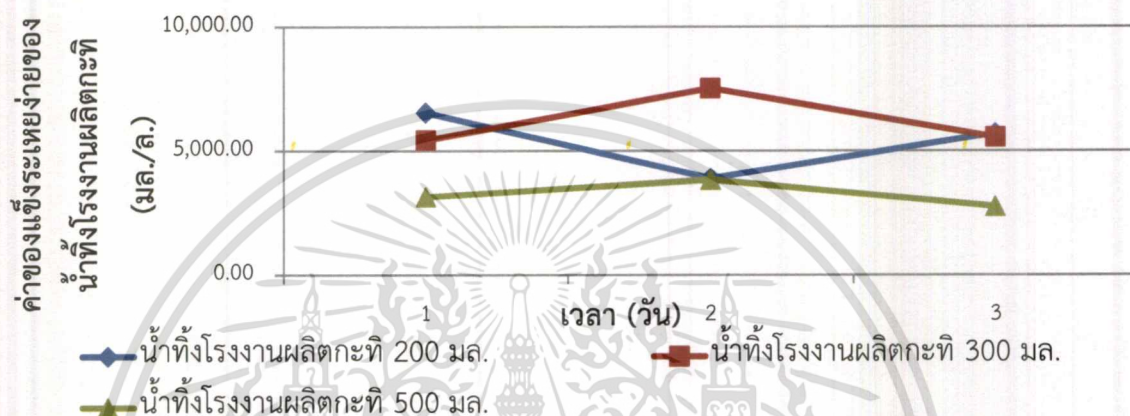


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งทั้งหมดภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่ายในระบบ

ผลการทดลองค่าของแข็งระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-20 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตรา 200 และ

300 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-16 ภาคผนวก ค) พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าของแข็งระเหยง่ายอยู่ในช่วง 3,884-6,548, 5,433-7,514 และ 2,745-3,828 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าของแข็งระเหยง่ายหลังออกกระบบมีค่าต่ำกว่าค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนเข้าระบบ เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งค่าของแข็งระเหยง่ายมีค่าที่สอดคล้องกับผลการทดลองของแข็งทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง

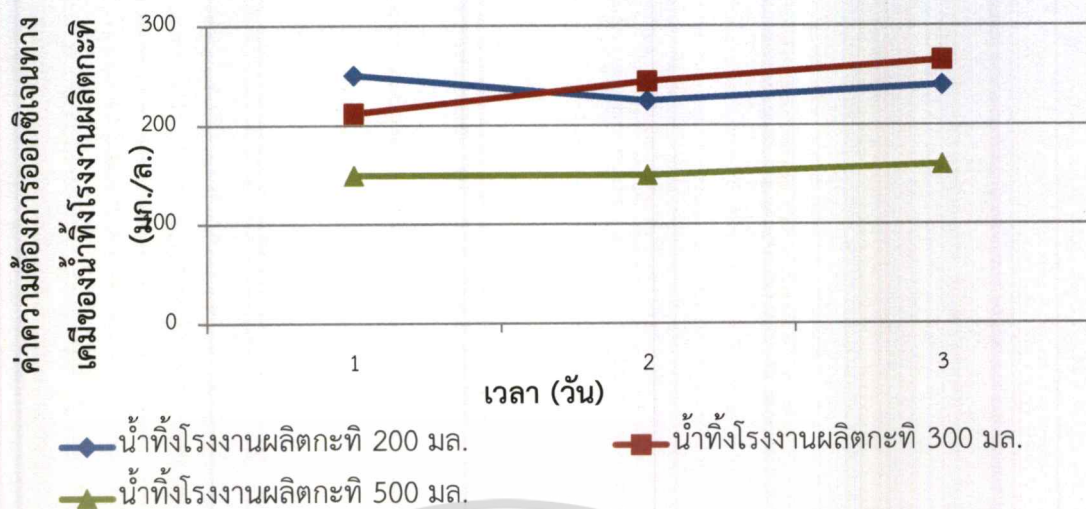


รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในระบบ

ผลการทดลองค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCOD) ภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-21 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตรา 200 และ 300 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-17 ภาคผนวก ค) พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200, 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่า sCOD อยู่ในช่วง 224-250, 211-265 และ 149-160 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า sCOD หลังออกกระบบ มีค่าต่ำกว่าค่า sCOD ก่อนเข้าระบบ เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ น้ำทิ้งที่ออกจากถังหมักก๊าซมีเทนมีค่าเกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานอยู่เล็กน้อย แต่น้ำทิ้งเหล่านี้สามารถนำไปเป็นปุ๋ยน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกได้

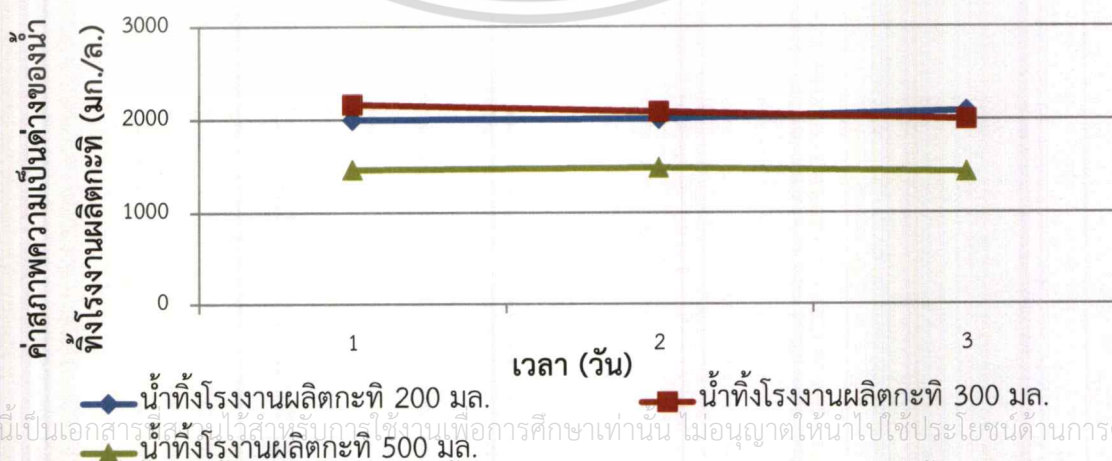
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างในระบบ

ผลการทดลองค่าสภาพความเป็นด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-22 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตรา 200 และ 300 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-18 ภาคผนวก ค) พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าสภาพความเป็นด่างอยู่ในช่วง 2,001-2,091, 2,000-2,166 และ 1,445-1,490 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากการทดลอง และค่าอยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ใช้อากาศประมาณ 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

-ผลการศึกษาอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนในระบบ

ผลการทดลองค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.8259 ± 1.62 , 1.3503 ± 3.23 และ 1.0581 ± 8.4 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-23 ภาคผนวก ข) ค่า COD : N ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยเนื่องจากมีสารคาร์บอนอินทรีย์น้อย อาจเนื่องมาจากไขมันถูกย่อยสลายยาก จึงควรที่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนโดยการหมักแบบผสมของวัตถุดิบตั้งต้นอื่นๆเข้าไปหรือมีการปรับสภาพไขมันในน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทีก่อนนำไปใช้ในการหมัก

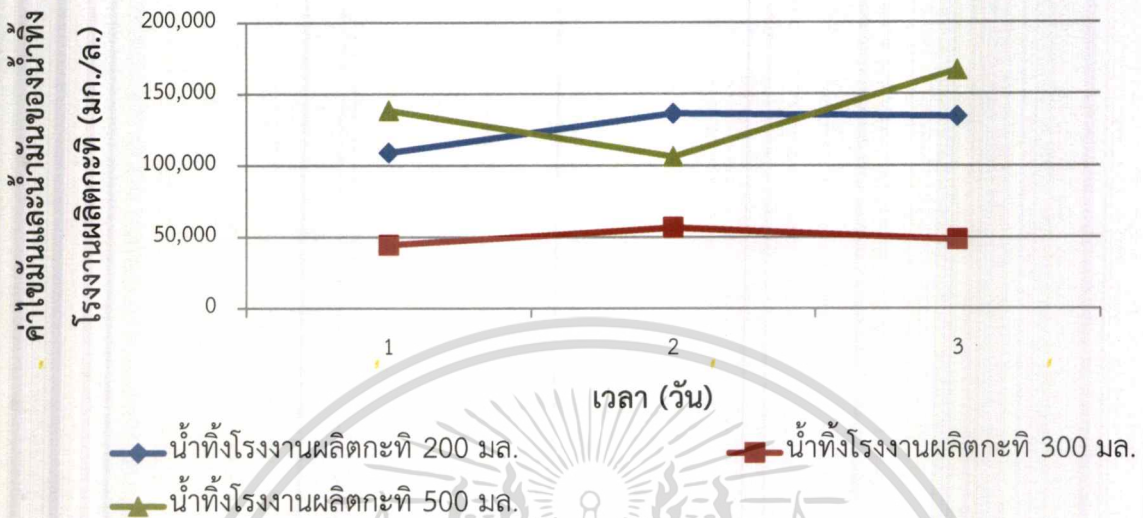
ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

ปริมาตรการ ป้อนเข้าระบบ (mL)	COD (mg/L)	ไนโตรเจน ทั้งหมด (mg/L)	ค่า COD:N	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
200	250	163	1.53	1.62
	225	121	1.86	1.62
	241	115	2.09	1.62
300	243	306	0.79	1.62
	265	194	1.37	3.23
	361	191	1.89	3.23
500	150	185	0.81	1.62
	160	151	1.06	8.4
	137	105	1.30	1.62

-ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าไขมันและน้ำมันในระบบ

ผลการทดลองค่าไขมันและน้ำมันภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่าไขมันและน้ำมันอยู่ในช่วง 109,360–136,610 , 44,517–56,577 และ 106,390–166,573 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-24 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 300 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตรา 200 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-20 ภาคผนวก ค) จะเห็นได้ว่าค่าไขมันและน้ำมันในค่าไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

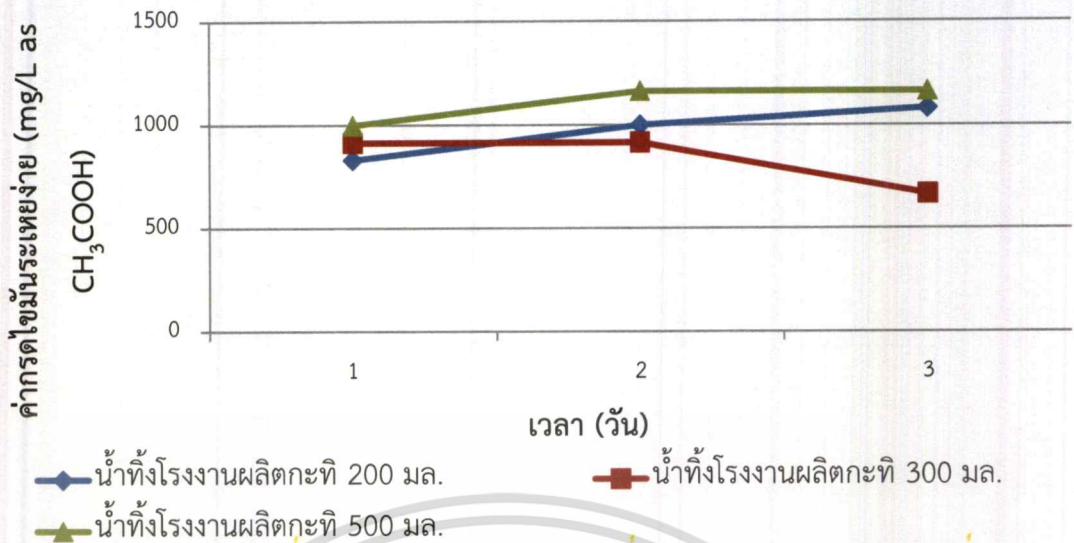
น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิถูกย่อยสลายได้น้อย เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบไม่เหมาะสมสำหรับการย่อยไขมัน ทำให้ระบบมีการสะสมไขมันจำนวนมาก



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ - ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ

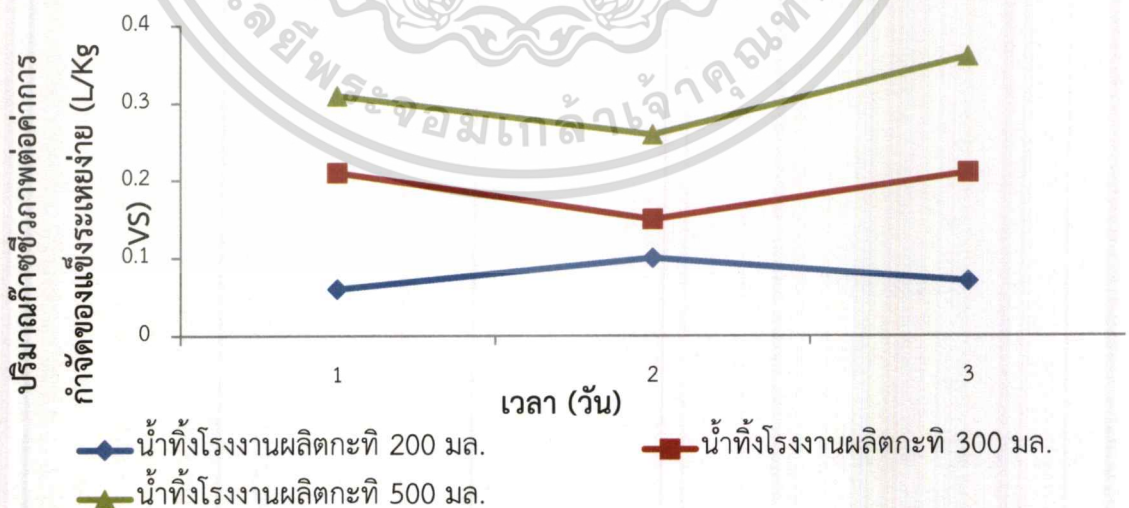
ผลการทดลองค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำเสียโรงงานผลิตกะทิลิตรดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-25 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 300 มิลลิลิตรต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ 500 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-21 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่ากรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 833-1,083 , 666-916 และ 1,000-1,166 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอสติก ซึ่งกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูก Methanogen bacteria เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ - ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานกะทิ

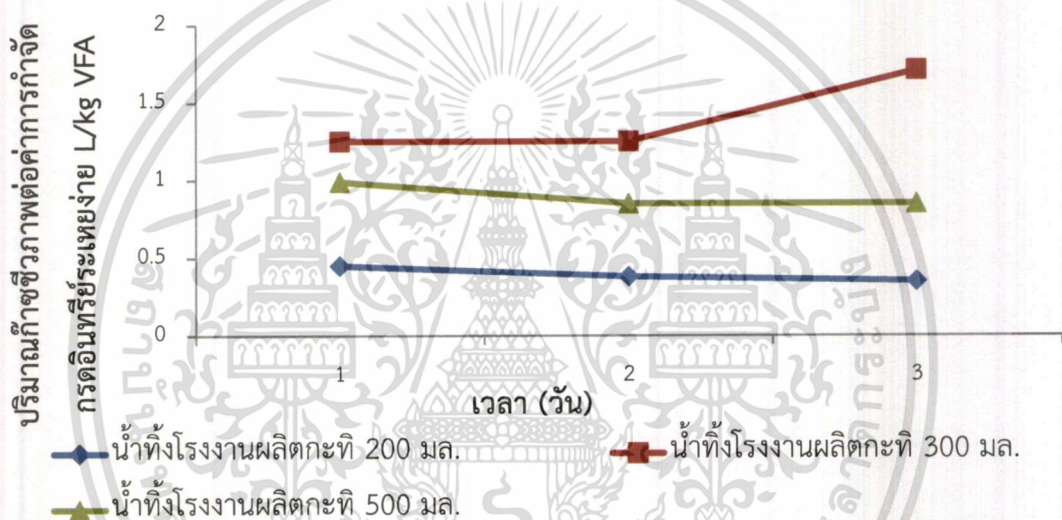
จากการคำนวณค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดของน้ำทิ้งโรงงานกะทิได้ผลดังรูปที่ 4.20 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-26 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-22 ภาคผนวก ค) พบว่า ที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.1 , 0.15-0.21 และ 0.26-0.36 L/kg VS ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่อัตราการเติมที่ 500 มิลลิลิตร มีค่าสูงกว่า อัตราการเติมที่ 200 และ 300 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อค่าของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานกะทิ

จากรูปที่ 4.21 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-27 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ที่ความเชื่อมั่น 95 % พบว่าอัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-23 ภาคผนวก ค) แสดงค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกกำจัดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ พบว่าที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 200 , 300 และ 500 มิลลิลิตรต่อวันมีค่าอยู่ในช่วง 0.35-0.45 , 1.25-1.75 และ 0.85-0.99 L/kg VFA ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่พบมากที่สุดถังหมักก๊าซมีเทน ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพในที่สุด



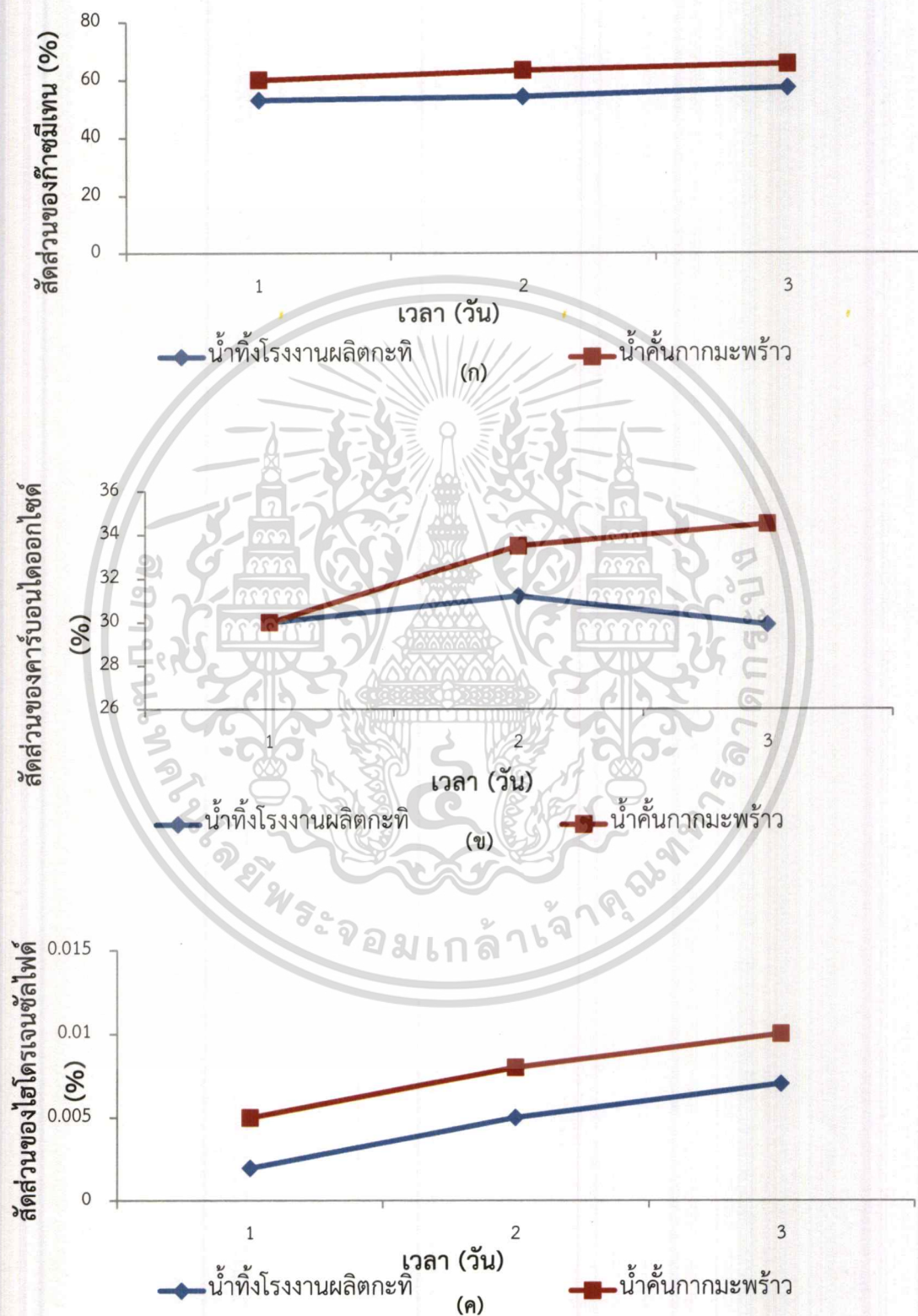
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

4.3 ผลการศึกษาขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 4.22 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-28 และตารางที่ ข-29 ภาคผนวก ข) แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงผลิตกะทิด้วยเครื่อง Gas Data Meter พบว่าที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่ามีเทน (CH_4) อยู่ในช่วง 60.04-65.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ในช่วง 30.00-34.50 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อยู่ในช่วง 0.005-0.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ 300 มิลลิลิตรต่อวัน มีค่ามีเทน (CH_4) อยู่ในช่วง 53.10-57.20 เปอร์เซ็นต์ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ในช่วง 29.9-31.2 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อยู่ในช่วง 0.002-0.007 เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบก๊าซมีเทนของทั้งน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น 0.005-1 เปอร์เซ็นต์ซึ่งในผลการทดลองค่าองค์ประกอบ ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ อยู่ในช่วงที่เหมาะสม



รูปที่ 4.22 ผลการศึกษาขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพในระบบ ของ (ก) ก๊าซมีเทน (ข) ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และ (ค) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยศึกษาอัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพไร้อากาศแบบสองชั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบไปด้วยถังหมักกรดปริมาตรความจุ 1.8 ลิตร ถังหมักก๊าซชีวภาพปริมาตรความจุ 5 ลิตร จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าวปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าความเป็นกรดต่างในถังหมักมีเทนอยู่ในช่วง 5.04-6.30 ค่าสภาพความเป็นต่างในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 1,033-1,283 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าของแข็งทั้งหมดในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 14,142-27,280 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งระเหยง่ายในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 11,697-24,166 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 1,568-2,090 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไขมันและน้ำมันในระบบมีค่าอยู่ในช่วง 170,073-184,253 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 666-833 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอสติค อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนในระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.71 ± 16.17 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 1.97 ลิตรต่อวัน ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.17 L/kg VS และค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกกำจัดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 2.37-2.96 L/kg VFA ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) 60.04-65.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ในช่วง 30.00-34.50 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อยู่ในช่วง 0.005-0.01 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการเติมน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิปริมาตร 300 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าความเป็นกรดต่างในถังหมักมีเทนได้ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.95-6.23 ค่าสภาพความเป็นต่างในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 2,000-2,166 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าของแข็งทั้งหมดในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 7,899-10,537 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งระเหยง่ายในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 5,433-7,514 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 211-265 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไขมันและน้ำมันในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 44,517-56,577 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ มีค่าอยู่ในช่วง 666-916 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดแอสติค อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนในระบบ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.3503 ± 3.23 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยได้ 1.142 ลิตรต่อวัน ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.1 L/kg VS และค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกกำจัดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.35-0.45 L/kg VFA ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ในช่วง 53.10-57.20 เปอร์เซ็นต์ ค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ด้วยข้อความในวงเล็บเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในช่วง 13.30-30.00 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อยู่ในช่วง 0.002-0.007 เปอร์เซ็นต์

สรุปได้ว่า น้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่ยังมีประสิทธิภาพไม่ดี ควรมีการปรับสภาพน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทิ เพื่อย่อยสลายไขมันและน้ำมัน ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับสภาพน้ำคั้นกากมะพร้าวและน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกะทีก่อนป้อนเข้าระบบ เพื่อให้ไขมันถูกย่อยสลายเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถนำไปการผลิตก๊าซชีวภาพได้
2. ควรคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยไขมันได้ดีมาใช้ในการย่อยสลายไขมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). 2010 [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562 เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson2.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). 2012. คู่มือการปฏิบัติงานการผลิตและการใช้ ก๊าซชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2010. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุม คุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.

กระบวนการผลิตกะทิ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562 เข้าถึงได้จาก http://www.researchsystem.siam.edu/images/coop/Improvement_of_process_verification_for_production_/06_ch4.pdf

ฐานวาท สำนวนศิลป์. 2012. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารแบบ ไร้อากาศ.

ณัฐวดี ต่วนเทศ , จันจิรา แผลดชัยภูมิ ณัฐชยา ป้อมเสน. 2017. การศึกษาอัตราการเติมกาก มันสำปะหลังที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธีการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอน.

บริษัท อำพลฟูดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด. 2014. สรุปการเยี่ยมชมโรงงาน"การจัดการสิ่งแวดล้อมและ ปัจจัยสู่ความสำเร็จของการเป็นโรงงานสีเขียวและการจัดการสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม".

บริษัท เอ็นเนอร์ยี วิชั่น จำกัด. 2013. พลังงานทดแทน. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562 เข้าถึงได้จาก <http://www.energyvision.co.th/14432517/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E>

บุญญฤทธิ เฒ่าเพ็ง, พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์ จินตนา ทองเอี้ยว. 2558. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเหลือ ที่ชุมชนหวาน. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2019. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562 เข้าถึงได้จาก https://www.ku.ac.th/e-magazine/september43/bio_gass/
มันสิน. 2005. โครงการอบรมเรื่องการดูแลระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล. เอกสารการอบรม. กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ศิริลักษณ์ สารี, อินจิรา นิยมธูร, เจียรระไน ปฐมโรจน์สกุล, สิทธิพันธุ์ ไชยนันท์, สายพิน ไชยนันท์
 ขวัญจิรา แซ่เตียว. 2017. การปรับสภาพกากตะกอนปาล์มน้ำมันด้วยไฮโดรเจนเปอร์
 ออกไซด์ เพื่อผลิตก๊าซมีเทน. Journal of Energy and Enviroment Technology.
- สุวิมล กาญจนสุธา, สุภาวดี ผลประเสริฐ กัญฐิกา กิตติพงษ์พัฒนา. 2018. การเพิ่มประสิทธิภาพการ
 ใช้ประโยชน์กากตะกอนดีแคเตอร์ และกลีเซอรอลดิบ ในกระบวนการหมักร่วมก๊าซชีวภาพ.
 วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- เสาวลักษณ์ แสงพิทักษ์, บุญรัตน์ พงษ์อนุวัฒน์ ศิริลักษณ์ ตั้งจิตพิทักษ์กุล. 2010. การผลิตก๊าซ
 ชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน
- A.D. Eaton, E.W. Rice R.B. Baird. 2017. Standard Methods for Examinaion of Water and
 Wastewater.
- G.Daouf, G.Gesan-Guiziu M.Sage. 2008. Effect of Prehydrolysis of Milk Fat on its
 Conversion to Biogas.
- Isao Karube. 2008. Biotechnology เทคโนโลยีมหัศจรรย์เพื่อชีวิต. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริม
 เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- Siamchemi. 2019. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562 เข้าถึงได้จาก
<https://www.siamchemi.com/%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E/>
- T.Sanches G.S. Silva, B.E.Bueno, R.Ribeiro, E.S.Kamimura, R.Franzolin Neto,
 G.Tommaso R.F.Domingues. 2015. Effect of enzymatic pretreatment on the
 anaerobic digestion of milk fat for biogas production.Food Research
 International, 26-30.
- Watrec Ltd Wahreninkatu. 2019. biogas plants. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 24 พฤษภาคม 2562
 เข้าถึงได้จาก <http://www.watrec.com/solutions/waste-energy/biogas-plants/processes/digestion-process/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของตัวอย่าง

ก-1 พีเอช

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส
2. ปีกเกอร์

1.2 วิธีการวัด

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดและคาโลเมลอิเล็กโทรดให้สะอาดโดยใช้กระดาษทิชชูชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องนั้นๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าน้ำเสียตัวอย่างที่ต้องการวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้งซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง

ก-2 ของแข็งทั้งหมด (Total solids, TS)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (Evaporating dish)
2. เครื่องอังน้ำ (water bath หรือ steam bath)
3. เตาเผา (Muffle furnace) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 ± 50 °C
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $103 - 105$ °C
5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

2.2 วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ $103 - 105$ °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก (A) และนำไปเก็บที่โถทำแห้งจนกว่าจะนำมาใช้
2. เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำที่เหมาะสมโดยปกติใช้ 50 – 100 mL เขย่าน้ำให้เข้ากัน
3. ค่อยๆ ตวงปริมาตรน้ำด้วยกระบอกตวงใส่ในถ้วยระเหย
4. นำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำจนแห้งแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ $103 - 105$ °C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ควรทำซ้ำโดยนำไปอบแห้งที่ 103 -105 °C ปล่อยให้เย็นและชั่งน้ำหนัก (B) ทำจนกระทั่งน้ำหนักคงที่หรือลดลงน้อยกว่า 4% ของการชั่งครั้งแรก

2.3 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง}}$$

A = น้ำหนักของของแข็งและถ้วยระเหย (mg)

B = น้ำหนักของถ้วยระเหย (mg)

ก-3 ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (Evaporating dish)
2. เครื่องอ่างน้ำ (water bath หรือ steam bath)
3. เตาเผา (Muffle furnace) ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 ± 50 °C
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 °C
5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

3.2 วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยระเหยไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °C เป็นเวลา 1 ชม. และปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำข้อ 1 จนกระทั่งถ้วยระเหยได้ค่าน้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4
3. นำถ้วยระเหยที่ชั่งแล้วไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมด
4. นำถ้วยระเหยที่ชั่งแล้วไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (B) นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)
5. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งและชั่งน้ำหนักที่เหลืออยู่ (C)
6. ทำซ้ำข้อ 4,5 จนกระทั่งน้ำหนักจางระเหยได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4

3.3 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งระเหยได้ง่าย (mg/mL)} = \frac{(B - C) \times 10^6}{\text{ปริมาณน้ำตัวอย่าง}}$$

ก-4 การวิเคราะห์หาความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand : COD)

แบบ Close reflux

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หลอดทดลองชนิด borosilicate ขนาด 16 x 100 ,20 x 150 หรือ 25 x 150 มิลลิเมตรพร้อมฝาจาก TFE
2. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
3. เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบที่อุณหภูมิ 150 ± 2 องศาเซลเซียส
4. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
5. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
7. ขวดรูปชมพูนขนาด 25 มิลลิลิตร
8. กระดาษกรอง

4.2 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_7) 0.01667 M
 - ชั่งสารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต 4.903 กรัม (นำไปอบที่ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์) เติมน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตรเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตรและเติมเมอร์คิวรีซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องและเจือจางให้เป็นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร
2. กรดซัลฟูริกรีเอเจนต์
 - ละลาย Ag_2SO_4 22 กรัมในกรดซัลฟูริกเข้มข้นใน 2.5 ลิตร ทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อละลายก่อนนำไปใช้
3. สารละลายมาตรฐานFerrous ammonium sulfate (FAS) 0.10 M
 - ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39.2 กรัมในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้องและเจือจางให้เป็นปริมาตร 1000 มิลลิลิตรสารละลายนี้จะต้องเทียบกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม-ไดโครเมตทุกวันโดยนำน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตรและสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 5มิลลิลิตร ปิเปตกรดซัลฟูริกรีเอเจนต์14 มิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็นนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานFerrous ammonium sulfate โดยใช้เฟอร์ริน 0.10 ถึง 0.15 มิลลิลิตรหรือประมาณ 2-3 หยด
4. สารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (KHP)
 - อบ KHP ให้มีน้ำหนักคงที่ที่ 110 องศาเซลเซียสนำมาละลายในน้ำกลั่น 425 มิลลิกรัมและเจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
5. สารละลายเฟอร์รินอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ละลาย 1-10 phenantrolinne monohydrate 1.485 กรัมและ $FeSO_4$ คำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น $7H_2O$ 695 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตรนำไปใช้

4.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ล้างหลอดทดลองและฝาจาก TFE ด้วย H_2SO_4 20% ก่อนการใช้งานเพื่อป้องกันการปนเปื้อน
2. นำตัวอย่างมากรองก่อน
3. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองมาแล้วมา 2.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง 1 หลอดต่อ 1 ตัวอย่างสำหรับแบลนค์ใช้น้ำกลั่นหลอดละ 2.5 มิลลิลิตร
4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.01667 M ทุกหลอดทดลองเขย่าให้เข้ากัน
5. เติมกรดซัลฟูริกเอเจนต์ 3.5 มิลลิลิตรลงในทุกหลอดโดยเทไหลให้ไหลลงข้างหลอด
6. ปิดฝาจาก TFE ให้สนิทแล้วเขย่าให้สารละลายผสมเข้ากัน
7. 150 ± 2 องศาเซลเซียสต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
8. นำหลอดทดลองออกทิ้งไว้ให้เย็นจนอุณหภูมิห้อง
9. เทสารละลายจากหลอดทดลองขวดรูปชมพู่ใช้น้ำกลั่นล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด
10. เติมสารละลายเฟอร์โรรินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยดนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานทุตยภูมิ FAS
11. เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีเขียวแกมน้ำเงินและจุดยุติคือสีน้ำตาลปนแดง
12. บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทุตยภูมิ FAS ที่ใช้ในไทเทรต

4.4 คำนวณค่า COD

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A - B) \times 8000 \times M}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลนค์ (mL)

B = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (mL)

M = ความเข้มข้นของ FAS (M)

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (mL)

ก-5 สภาพต่าง (Alkalinity)

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก
3. ปีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก 0.05 นอร์มัล

5.3 วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิห้องมา 50 mL
2. นำไปปั่นกวานพร้อมไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟูริก 0.05 นอร์มัล จนได้ค่า pH เท่ากับ 4
3. ไทเทรตต่อจนสารละลายตัวอย่างน้ำมีค่า pH 3.3-3.5
4. จดปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้คำนวณผลการทดลอง

5.4 การคำนวณ

$$\text{Alkalinity, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{mL sample}}$$

ALK = ค่าอัลคาไลน์ตี (mg/L (as CaCO₃)) เป็น P_{alk} หรือ T_{alk} ตามที่ไทเทรต

A = ปริมาตรกรดที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

N = ความเข้มข้นกรด (N)

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (mL)

ก-6 Total Kjeldahl Nitrogen

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องย่อย : ขวดเจตาห์ลขนาด 800 มิลลิลิตรและเตาให้ความร้อนที่ให้ความร้อนประมาณ 375 ถึง 385 องศาเซลเซียส
2. เครื่องกลั่นไนโตรเจน
3. เครื่องแก้ว

6.2 สารเคมี

1. Digestion Reagent : ชั่งสารโพแทสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄) 134 กรัมและสารคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) 7.3 กรัมในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตรจนให้ละลายได้ กรดซัลฟูริกเข้มข้นอย่างระมัดระวัง 134 มิลลิลิตรรอจนถึงอุณหภูมิห้องปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นเก็บในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันการตกผลึก
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไฮโอซัลเฟต
- ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัมและโซเดียมไฮโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃·5H₂O) 25 กรัมในน้ำกลั่นและเจือจางให้ได้ 1 ลิตร
3. น้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม
 - ชั่งเมธิลเรด 200 มิลลิกรัมและเมธิลีนบลู 100 มิลลิกรัมละลายในเอซิด แอลกอฮอล์ 95%
5. สารละลายกรดบอริก
 - ชั่งกรดบอริก 20 กรัมละลายในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัลนำกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมา 28 มิลลิลิตรเจือจางให้ได้ 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
7. สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.02N ใช้ทุกครั้งควรไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ
 - สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตโดยจะเตรียมจากสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 นอร์มัลมา 2 มิลลิลิตรเจือจางให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

6.3 วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำและแบลงค์จะใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง
2. เติมสารละลายย่อยสลาย 50 มิลลิลิตรเขย่าขวดเจลาตินัลเบาๆนำไปวางบนเตาย่อยสลายถ้าใช้น้ำตัวอย่าง 25-50 มิลลิลิตรให้ใช้สารละลายย่อยสลาย 20 มิลลิลิตร รอจนขึ้นควันสีขาวและสารละลายได้สีเขียวอมฟ้าใส่ทำการย่อยสลายต่ออีก 30 นาทีแล้วทิ้งให้เย็น
3. เติมน้ำกลั่น 100-200 มิลลิลิตรเขย่าให้สารละลายเข้ากัน
4. เอียงขวดแล้วค่อยๆเติมสารละลายโซเดียมเตียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไทโอซัลเฟต เท่ากับการเติมสารละลายย่อยสลาย เขย่าขวดให้สารละลายเข้ากันแล้วนำไปต่อกับเครื่องกลั่น
5. นำสารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตรหยดอินดิเคเตอร์ผสม 1-2 หยดลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรแล้วนำไปรองปลายแท่งแก้วที่ไอแก๊สออกมา รอจนมีปริมาตรอย่างน้อย 100-200 มิลลิลิตร
6. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.02 N จุดยุติสีจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

6.4 การคำนวณ

$$\text{TKN (mg N/L)} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ}}$$

A = ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (mL)

B = ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้กับแบลงค์ (mL)

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมัน (Fat oil and Grease, FOG) วิธี Partition – gravimetric method

7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กรวยแยก ขนาด 125 ml
2. ปีกเกอร์ ขนาด 25 ml
3. กระบอกตวง ขนาด 50 ml
4. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 cm
5. กระดาษลิตมัส
6. เครื่องชั่งชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
7. เครื่องอังน้ำ (Waterbath)
8. เตาความร้อน (Hot plate)
9. กรวยกรองแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 cm
10. ชามระเหย
11. ตู้อบ (Oven)
12. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

7.3 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
2. เฮกเซน (C_6H_{14})
3. โซเดียมซัลเฟต

7.4 วิธีวิเคราะห์

1. นำชามระเหยไปอบที่อุณหภูมิ $103 - 105^{\circ}C$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล (A)
2. เขย่าน้ำตัวอย่างให้เข้ากันและนำน้ำตัวอย่างเทใส่ปีกเกอร์ หยดซัลฟิวริกให้มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 บันทึกปริมาตรน้ำที่ใช้
3. เหน้ตัวอย่างใส่กรวยแยกขนาด 125 ml นำมาเติมเฮกเซน 10-15 ml ลงในกรวยแยก และเขย่ากรวยแยกแรงๆจนน้ำผสมกัน ทำการเปิดก๊อกเพื่อลดแรงดัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้รอแยกชั้น
4. พับกระดาษกรองวางลงบนกรวยกรอง เทโซเดียมซัลเฟตในปริมาณที่มากเกินไปใส่บนกระดาษกรอง
5. เมื่อสารละลายแยกชั้นให้ไซ้ชั้นน้ำลงในปีกเกอร์และไซ้ชั้นเฮกเซนผ่านลงบนกระดาษกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตลงในชามระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 6.8 ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 3-5 อีก 2 ครั้ง ทำนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำขามระเหยที่มีชั้นเฮกเซนไปอังให้แห้งที่เครื่องอังไอน้ำ จากนั้นนำเข้าตูบที่อุณหภูมิ 103 – 105° C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น
8. นำขามระเหยไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล (B)

7.5 คำนวณ

$$\text{ค่าไขมันและน้ำมัน, mg/l} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (ml)}}$$

โดยที่ A = น้ำหนักขามระเหยเปล่า (กรัม)

B = น้ำหนักขามระเหย + ไขมันและน้ำมันในตัวอย่าง (กรัม)

ก-8 กรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย(VFAs)

8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั่นกวน
2. ชุดไทเทรต

8.2 สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มัล

8.3 วิธีวิเคราะห์

1. ตัวอย่างจากการวิเคราะห์สภาพความเป็นต่าง นำไปต้มจนเดือดแล้วจับเวลาต่ออีก 3 นาที
2. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำมาปั่นกวนพร้อมกับไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มัล
4. ไทเทรตจนสารละลายตัวอย่างมีค่า pH 7
5. จดปริมาตรและคำนวณผลการทดลอง

8.4 การคำนวณ

$$\text{mg volatile acids as acetic acid/L} = \frac{\text{mL NaOH} \times N \times 60,000}{\text{mL sample} \times f}$$

N = ความเข้มข้นเบส (N)

ก-9 การตรวจเชื้อจุลินทรีย์

1. เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยขวดหมักกรด ตรวจเชื้อผลิตกรดอินทรีย์ จำนวน 360 มิลลิลิตร ใส่กระบอกตรวจขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร - 400 มิลลิลิตรและรองจนตกตะกอน จากนั้นรินน้ำกลั่นออก (มันลิน, 2548)
2. ทำซ้ำข้อ 1. เปลี่ยนเชื้อผลิตกรดอินทรีย์เป็นเชื้อจุลินทรีย์ผลิตมีเทนโดยปริมาตรที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1,000 มิลลิลิตร (คิดเป็น 20%) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ข-1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.57	6.60	6.56	6.58	0.02
ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)	14,446.	15,410	16,080	15,312	473.76
ค่าของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	13,143	14,090	14,690	13,974	779.78
ค่าซีโอดีละลายน้ำ (mg/L)	6,400	6,400	8,000	6,933	923.76
ค่าสภาพความเป็นด่าง (mg/L)	290	295	285	290	5.00
ค่าTotal Kjeldahl nitrogen (mg/L)	196	224	196	205	16.17
ค่าน้ำมันและไขมัน (mg/L)	105,960	115,930	116,680	112,857	5984.50
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (mg/L as CH ₃ COOH)	320	302.5	310	310	8.78
ค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน	33.76				

ตารางที่ข-2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.30	7.66	7.73	7.56	0.23
ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)	2,090	2,430	2,416	2,312	192.57
ค่าของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	346.67	340	306	331	21.43
ค่าซีโอดีละลายน้ำ (mg/L)	0	1,600	3,200	1,600	1,600
ค่าสภาพความเป็นด่าง (mg/L)	1,230	1,215	1,215	1,220	8.66
ค่าTotal Kjeldahl nitrogen (mg/L)	85	85	85	85	0.61
ค่าน้ำมันและไขมัน (mg/L)	50,984	49,664	64,480	55,043	8,199.576

ตารางที่ ข-2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่ใช้ในการป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (mg/L as CH ₃ COOH)	62	82	45	63	18.76
ค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจน	18.77				

ตารางที่ ข-3 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาท)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำกลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำกลั่น
0	0	0	0
1	8	0	0
2	28	0	0
3	53	0	0
4	72	0	0
5	90	0	0
6	105	0	0
7	123	0	0
8	145	0	0
9	170	0	0
10	195	0	0
11	218	0	0
12	243	0	0
13	267	0	0
14	292	0	0
15	313	0	0
16	333	0	0
17	355	0	0
18	387	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 387 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาท)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
19	412	0	0
20	442	0	0
21	467	0	0
22	492	0	0
23	520	0	0
24	537	0	0
25	557	0	0
26	575	0	0
27	588	0	0
28	602	0	0
29	618	0	0
30	628	0	0
31	642	0	0
32	655	0	0
33	667	0	0
34	678	0	0
35	692	0	0
36	710	0	0
37	722	0	0
38	730	0	0
39	738	0	0
40	748	0	0
41	758	0	0
42	765	0	0
43	773	0	0
44	780	0	0
45	787	0	0
46	798	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกาก มะพร้าว+ น้ำกลั่น
47	805	0	0
48	813	0	0
49	820	0	0
50	828	0	0
51	838	0	0
52	850	0	0
53	858	0	0
54	865	0	0
55	875	0	0
56	885	0	0
57	897	0	0
58	905	0	0
59	918	0	0
60	928	0	0
61	935	0	0
62	947	0	0
63	957	0	0
64	968	0	0
65	978	0	0
66	990	0	0
67	1005	0	0
68	1023	0	0
69	1032	0	0
70	1043	0	0
71	1057	0	0
72	1067	0	0
73	1082	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ แพร่กระจายเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
74	1092	0	0
75	1100	0	0
76	1112	0	0
77	1123	0	0
78	1132	0	0
79	1143	0	0
80	1152	0	0
81	1160	0	0
82	1167	0	0
83	1173	0	0
84	1178	0	0
85	1183	0	0
86	1189	0	0
87	1195	0	0
88	1203	0	0
89	1213	0	0
90	1232	0	0
91	1247	0	0
92	1258	0	0
93	1282	0	0
94	1323	0	0
95	1353	0	0
96	1358	0	0
97	1363	0	0
98	1370	0	0
99	1373	0	0
100	1380	0	0
101	1383	0	0

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบเบทซ์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
102	1387	0	0
103	1388	0	0
104	1393	0	0
105	1395	0	0
106	1398	0	0
112	1435	0	0
113	1440	0	0
114	1445	0	0
115	1450	0	0
116	1455	0	0
117	1460	0	0
118	1465	0	0
119	1470	0	0
120	1473	0	0
121	1478	0	0
122	1483	0	0
123	1488	0	0
124	1493	0	0
125	1498	0	0
126	1503	0	0
127	1508	0	0
128	1513	0	0
129	1520	0	0
130	1527	0	0
131	1535	0	0
132	1540	0	0
133	1545	0	0
134	1550	0	0

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาท)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
135	1560	0	0
136	1575	0	0
137	1580	0	0
138	1588	0	0
139	1600	0	0
140	1627	0	0
141	1633	0	0
142	1640	0	0
143	1650	0	0
144	1658	0	0
145	1667	0	0
146	1675	0	0
147	1683	0	0
148	1690	0	0
149	1702	0	0
150	1710	0	0
151	1717	0	0
152	1725	0	0
153	1733	0	0
154	1742	0	0
155	1752	0	0
156	1760	0	0
157	1767	0	0
158	1773	0	0
159	1780	0	0
160	1788	0	0
161	1793	0	0
162	1798	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการตีพิมพ์ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาท)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
163	1807	0	0
164	1813	0	0
165	1818	0	0
166	1828	0	0
167	1833	0	0
168	1838	0	0
169	1843	0	0
170	1848	0	0
171	1853	0	0
172	1858	0	0
173	1863	0	0
174	1868	0	0
175	1873	0	0
176	1878	0	0
177	1883	0	0
178	1888	0	0
179	1893	0	0
180	1898	0	0
181	1903	0	0
182	1908	0	0
183	1913	0	0
184	1918	0	0
185	1923	0	0
186	1928	0	0
187	1933	0	0
188	1938	0	0
189	1943	0	0
190	1948	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ภายนอก
 ไม่ว่าโดยทางใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่บริการผู้ใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
191	1953	0	0
192	1957	0	0
193	1962	0	0
194	1965	0	0
195	1968	0	0
196	1972	0	0
197	1975	0	0
198	1980	0	0
199	1983	0	0
200	1987	0	0
201	1988	0	0
202	1992	0	0
203	1993	0	0
204	1995	0	0
205	1998	0	0
206	1998	0	0
207	2002	0	0
208	2010	0	0
209	2010	0	0
210	2012	0	0
211	2012	0	0
212	2012	0	0
213	2012	0	0
214	2012	0	0
215	2012	0	0
216	2012	0	0
217	2012	0	0
218	2012	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำคั้นกากมะพร้าว+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำคั้นกากมะพร้าว+น้ำ กลั่น
219	2012	0	0
220	2012	0	0
221	2012	0	0
222	2012	0	0

ตารางที่ ข-4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+น้ำ กลั่น
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	2	0	0
14	2	0	0
15	2	0	0
16	3	0	0
17	7	0	0
18	12	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำทิ้งโรงงานผลิต กะทิ+น้ำกลั่น
19	17	0	0
20	23	0	0
21	27	0	0
22	33	0	0
23	38	0	0
24	42	0	0
25	46	0	0
26	50	0	0
27	52	0	0
28	54	0	0
29	57	0	0
30	65	0	0
31	69	0	0
32	72	0	0
33	75	0	0
34	78	0	0
35	81	0	0
36	83	0	0
37	87	0	0
38	89	0	0
39	91	0	0
40	92	0	0
41	95	0	0
42	97	0	0
43	98	0	0
44	100	0	0
45	104	0	0
46	108	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+น้ำ กลั่น
47	112	0	0
48	116	0	0
49	120	0	0
50	124	0	0
51	127	0	0
52	130	0	0
53	132	0	0
54	135	0	0
55	137	0	0
56	140	0	0
57	143	0	0
58	146	0	0
59	149	0	0
60	152	0	0
61	155	0	0
62	157	0	0
63	160	0	0
64	163	0	0
65	165	0	0
66	168	0	0
67	170	0	0
68	172	0	0
69	176	0	0
70	178	0	0
71	182	0	0
72	186	0	0
73	191	0	0
74	195	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบทช์

เวลา (นาที)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)		
	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+ เชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์+น้ำ กลั่น	น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ+น้ำ กลั่น
75	197	0	0
76	199	0	0
77	202	0	0
78	203	0	0
79	204	0	0
80	205	0	0
81	207	0	0
82	208	0	0
83	209	0	0
84	210	0	0
85	211	0	0
86	211	0	0

ตารางที่ข-5 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวอัดการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	50 ml	200 ml	400 ml
0	0	0	0
15	20	7	9
30	57	19	22
45	117	39	39
60	162	69	45
75	193	111	57
90	230	140	68
105	277	183	78
120	303	207	92
135	350	244	107
150	397	266	117
165	453	271	134

ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวอัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตร ต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	50 ml	200 ml	400 ml
180	510	309	150
195	567	337	174
210	637	362	182
225	687	388	187
240	750	419	204
255	827	437	219
270	887	474	229
285	933	493	249
300	1000	536	255
315	1040	574	258
330	1087	608	265
345	1127	638	265
360	1170	666	273
375	1213	693	275
390	1257	716	278
405	1277	741	290
420	1297	759	298
435	1323	783	300
450	1337	802	305
465	1350	818	308
480	1377	828	308
495	1383	848	308
510	1400	858	315
525	1413	878	318
540	1427	895	320
555	1443	908	328
570	1453	923	330
585	1467	940	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลืกทั้งหม้ให้ตัดเบ้ลงเนื้อหาและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวอัดการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตร
ต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	50 ml	200 ml	400 ml
600	1483	957	335
615	1493	977	338
630	1505	993	340
645	1517	1007	343
660	1527	1023	345
675	1537	1043	348
690	1547	1053	348
705	1557	1073	348
720	1570	1087	348
735	1583	1118	350
750	1597	1128	350
765	1607	1148	353
780	1623	1163	353
795	1633	1180	355
810	1657	1207	355
825	1670	1227	358
840	1677	1250	363
855	1687	1267	363
870	1700	1293	363
885	1713	1323	365
900	1717	1350	365
915	1720	1380	365
930	1730	1397	365
945	1733	1427	368
960	1740	1443	368
975	1743	1472	368
990	1747	1503	368
1005	1753	1523	368

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดเบ็ดเตล็ดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวอัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตร ต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	50 ml	200 ml	400 ml
1260	1867	1810	390
1020	1762	1540	368
1035	1763	1557	373
1050	1770	1573	375
1065	1777	1590	375
1080	1780	1603	375
1095	1783	1620	375
1110	1792	1653	375
1125	1793	1677	375
1140	1803	1690	383
1155	1808	1713	383
1170	1813	1723	383
1185	1820	1733	383
1200	1830	1740	383
1215	1833	1757	385
1230	1843	1780	390
1245	1857	1797	390
1260	1867	1810	390
1275	1873	1823	395
1290	1887	1838	395
1305	1893	1845	395
1320	1903	1858	404
1335	1917	1862	404
1350	1927	1865	404
1365	1937	1872	404
1380	1943	1877	409
1395	1952	1877	409
1410	1965	1887	409

ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าวอัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตร ต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	50 ml	200 ml	400 ml
1425	1972	1887	409
1440	1972	1897	409
1455	1972	1902	409
1470	1972	1902	409
1485	1972	1902	409
1500	1972	1902	409

ตารางที่ ข-6 ค่าพีเอชในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	6.30	5.16	5.08	6.30	5.16
	5.05	5.08	5.04	5.05	5.08
	5.04	5.12	5.06	5.04	5.12
200	6.92	6.00	6.03	6.92	6.00
	6.84	5.53	6.12	6.84	5.53
	6.81	5.87	6.10	6.81	5.87
400	6.02	6.00	5.89	6.02	6.00
	6.03	5.82	5.90	6.03	5.82
	6.07	5.89	6.00	6.07	5.89

ตารางที่ ข-7 ค่าของแข็งทั้งหมดในถังก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	14,360	13,880	14,186	14,142	243.07
	25,906	25,866	24,280	25,351	927.83
	2,7760	27,880	27,820	2,7820	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 (ต่อ) ค่าของแข็งทั้งหมดในถังก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	4,563	4,880	4,863	4,768	178.21
	4,673	4,723	4,786	4,727	56.8
	7,373	6,970	7,310	7,217	216.90
400	8,553	8,020	8,533	8,368	302.31
	7,706	8,013	8,333	8,017	313.35
	9,360	9,813	10,100	9,757	373.11

ตารางที่ ข-8 ค่าของแข็งระเหยง่ายในถังหมักมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าของแข็งระเหยง่าย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	11,920	11,513	11,660	11,697	205.95
	22,426	22,326	21,008	21,920	791.78
	24,060	24,220	24,220	24,166	92.376
200	2,723	2,963	3,043	2,910	166.53
	2,850	2,953	3,043	2,948	96.74
	5,386	5,143	5,353	5,294	131.92
400	6,393	5,840	6,293	6,175	294.87
	5,713	5,953	6,173	5,946	230.07
	7,033	7,300	7,693	7,342	332.02

ตารางที่ ข-9 ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCOD) ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมออกซิเจน/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	1,568	3,136	1,568	2,090	905.29
	1,568	1,568	3,136	2,090	905.29
	1,568	0	3,136	1,568	1.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 (ต่อ) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCOD) ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี(มิลลิกรัม/ออกซิเจน/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	1,485	835	1,148	1,044	180.68
	1,148	1,148	1,774	1,357	361.38
	1280	1600	1600	1,493	184.75
400	4,500	6,000	6,000	5,500	866.03
	6,500	4,500	4,500	5,000	866.03
	4,500	6,000	4,500	5,000	866.03

ตารางที่ ข-10 ค่าสภาพต่างในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าสภาพต่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	1,500	1,250	1,100	1,283	202.07
	1,250	1,000	850	1,033	202.07
	1,000	1,250	1,250	1,166	144.34
200	2,500	1,500	2,250	2,083	520.42
	1,500	1,250	2,000	1,583	381.88
	2,000	1,000	2,250	1,750	661.44
400	2,250	1,750	2,000	2,000	250.00
	2,250	2,000	2,250	2,166	144.34
	2,250	1,750	2,250	2,083	288.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ค่าTotal Kjeldahl nitrogen ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าTotal Kjeldahl nitrogen (มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	308	280	280	289	16.17
	532	532	504	522	16.17
	560	532	532	541	16.17
200	190	187	190	189	1.62
	366	366	369	367	1.62
	403	397	400	400	2.8
400	462	459	459	460	1.62
	663	663	669	665	3.23
	722	722	719	721	1.62

ตารางที่ ข-12 ค่าปริมาณไขมันและน้ำมันในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	180,280	171,120	158,820	170,073	10,768.22
	195,800	169,540	180,080	181,807	13,214.88
	185,880	190,340	176,540	184,253	7,042.339
200	105,930	117,910	146,420	123,420	20,799.76
	85,410	73,820	91,860	83,697	9,141.227
	99,340	77,630	103,470	93,480	13,880.96
400	98,330	111,220	92,480	100,670	9,587.857
	101,940	113,890	124,550	113,460	11,311.13
	100,325	94,720	115,240	103,428	10,606.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย(VFAs)ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
50	1,000	750	750	833.33	144.34
	750	750	500	666.67	144.34
	750	750	750	750.00	0.00
200	1,500	1,000	1,250	1,250.00	250.00
	1,000	500	1,000	833.33	288.68
	750	750	1,250	916.67	288.68
400	1,000	1,250	1,000	1,083.33	144.34
	1,000	1,250	1,250	1,166.67	144.34
	1,000	1,500	1,250	1,250.00	250.00

ตารางที่ ข-14 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำคั้นกากมะพร้าว

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (L/Kg VS)		
	ปริมาตร 50 ml	ปริมาตร 200 ml	ปริมาตร 400 ml
1	0.17	0.65	0.07
2	0.09	0.64	0.07
3	0.08	0.36	0.06
ค่าเฉลี่ย	0.11	0.55	0.06
S.D.	0.05	0.27	0.01

ตารางที่ ข-15 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำคั้นกากมะพร้าว

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (L/Kg VFA)		
	ปริมาตร 50 ml	ปริมาตร 200 ml	ปริมาตร 400 ml
1	2.37	1.52	0.38
2	2.96	2.28	0.35
3	2.63	2.07	0.33
ค่าเฉลี่ย	2.65	1.96	0.35
S.D.	0.3	0.39	0.03

ตารางที่ ข-16 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำขวดกรด

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4	3.53	4.6	4.04	0.54
ค่าของแข็งทั้งหมด (mg/L)	4,380	4,273	4,576	4,410	153.8762
ค่าของแข็งระเหยง่าย (mg/L)	3,670	3,596	3,893	3,720	154.524
ค่าซีโอดีละลายน้ำ (mg/L)	3,828	3,828	4,593	4,083	422.019
ค่าสภาพความเป็นด่าง (mg/L)	500	250	250	333	144.34
ค่าTotal Kjeldahl nitrogen (mg/L)	112	84	84	93	16.17
ค่าน้ำมันและไขมัน (mg/L)	115,660	156,730	128,340	133,577	21,029.8
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย (mg/L as CH ₃ COOH)	1500	1250	1250	1,333	144.34
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	43.77				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอัตราการผลิต 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	200 ml	300 ml	500 ml
0	0	0	0
15	8	23	0
30	22	37	0
45	35	67	0
60	52	107	0
75	62	140	0
90	80	177	0
105	93	213	0
120	102	242	0
135	117	287	0
150	128	318	0
165	133	330	0
180	137	370	0
195	150	397	2
210	158	425	2
225	170	457	2
240	177	483	3
255	183	507	315
270	190	537	332
285	197	557	346
300	203	577	360
315	208	595	373
330	220	622	391
345	225	640	403
360	228	658	416
375	235	668	426
390	247	682	439
405	258	693	452

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ภายนอกด้านการค้า
ไม่ว่าการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งขอหมิ่นแหว่งเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกฉบับที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 (ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอัตราการเติม 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน

เวลา	ปริมาณก๊าซชีวภาพ		
	200 ml	300 ml	500 ml
420	262	707	463
435	268	717	473
450	272	732	484
465	277	745	496
480	277	762	506
495	280	777	517
510	287	785	527
525	288	788	534
540	292	793	542
555	293	802	550
570	297	808	558
585	297	815	566
600	298	823	574
615	302	835	584
630	302	843	591
645	307	846	599
660	312	854	609
675	312	862	616
690	315	870	625
705	320	878	634
720	320	890	643
735	320	900	652
750	323	912	662
765	323	912	667
780	327	920	675
795	328	925	683
810	328	929	689
825	333	933	697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอัตราการเติม 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	200 ml	300 ml	500 ml
840	333	938	704
855	333	950	713
870	335	953	719
885	337	957	726
900	340	963	734
915	343	970	743
930	345	982	752
945	345	990	760
960	346	996	767
975	346	999	773
990	350	1005	782
1005	350	1010	788
1020	352	1015	796
1035	352	1019	802
1050	353	1026	810
1065	355	1031	817
1080	357	1037	824
1095	357	1043	832
1110	357	1048	838
1125	357	1053	845
1140	360	1058	853
1155	362	1063	860
1170	362	1067	866
1185	362	1072	873
1200	362	1079	880
1215	365	1084	888
1230	365	1090	895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 (ต่อ) ปริมาตรก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิอัตราการเติม 200, 300, 500 มิลลิลิตรต่อวัน

เวลา	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ		
	200 ml	300 ml	500 ml
1245	365	1095	902
1260	365	1099	908
1275	367	1102	914
1290	367	1105	921
1305	368	1109	928
1320	372	1113	935
1335	372	1117	941
1350	375	1121	949
1365	375	1122	954
1380	377	1124	960
1395	377	1126	966
1410	378	1130	973
1425	378	1132	978
1440	378	1133	984
1455	378	1133	989
1470	378	1137	989
1485	378	1140	989
1500	378	1142	989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-18 ค่าพีเอชในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าพีเอช				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	6.26	5.97	6.78	6.34	0.41
	6.05	6.04	6.76	6.28	0.41
	6.53	6.10	6.64	6.42	0.29
300	6.35	6.06	6.29	6.23	0.15
	5.63	6.21	6.02	5.95	0.30
	6.03	6.04	6.02	6.03	0.01
500	8.02	7.97	7.94	7.98	0.04
	8.01	7.98	7.96	7.98	0.03
	8.05	7.95	7.89	7.96	0.08

ตารางที่ ข-19 ค่าของแข็งทั้งหมดในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	9,093	9,713	9,306	9,371	314.98
	5,726	6,543	6,483	6,251	455.17
	8,116	8,770	8,776	8,554	379.14
300	7,954	7,860	7,882	7,899	49.43
	10,454	10,646	10,512	10,537	98.56
	8,604	7,798	7,910	8,140	436.24
500	5,446	5,540	5,606	5,531	80.37
	6,326	6,470	6,426	6,407	73.51
	4,826	4,826	4,873	4,842	26.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-20 ค่าของแข็งระเหยง่ายในถังหมักมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าของแข็งระเหยง่าย (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	6,360	6,786	6,500	6,548	217.49
	3,513.	4,116	4,023	3,884	324.76
	5,443	5,823	5,843	5,703	225.39
300	5,494	5,409	5,396	5,433	53.53
	7,461	7,610	7,472	7,514	83.31
	5,490	5,357	5,793	5,547	223.41
500	3,000	3,183	3,236	3,140	124.14
	3,756	3,896	3,833	3,828	70.11
	2,720	2,830	2,686	2,745	75.01

ตารางที่ ข-21 ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (sCOD) ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (มิลลิกรัมออกซิเจน/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	281	219	250	250	30.94
	250	204	219	224	23.63
	250	235	235	240	8.93
300	201	233	201	212	18.48
	233	233	265	244	18.48
	265	265	265	265	0
500	160	160	128	149	18.48
	160	128	160	149	18.48
	160	160	160	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-22 ค่าสภาพต่างในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าสภาพต่าง (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	1,995	2,000	2,010	2,001	7.64
	2,000	2,005	2,025	2,010	13.23
	2,250	2,025	2,000	2,091	137.69
300	2,000	2,250	2,250	2,166	144.34
	2,000	2,250	2,000	2,083	144.34
	2,000	2,000	2,000	2,000	0.00
500	1,495	1,535	1,390	1,473	74.89
	1,490	1,500	1,480	1,490	10.00
	1,410	1,475	1,450	1,445	32.79

ตารางที่ ข-23 ค่าTotal Kjeldahl nitrogen ในถังหมักก๊าซมีเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าTotal Kjeldahl nitrogen (มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	165	162	162	163	1.62
	120	120	123	121	1.62
	114	114	117	115	1.62
300	305	308	305	306	1.62
	190	196	196	194	3.23
	193	187	193	191	3.23
500	184	184	187	185	1.62
	142	151	159	151	8.4
	103	106	106	105	1.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-24 ค่าปริมาณไขมันและน้ำมันในถั่มัก้าขมิเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน(มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	122,860	102,440	101,820	109,027	11,949.4
	137,610	135,970	136,250	136,610	877.26
	100,980	153,130	149,350	134,487	29,079.1
300	39,530	45,630	48,390	44,517	4,533.71
	50,910	57,710	61,110	56,577	5,193.58
	50,840	44,460	49,760	48,353	3,414.69
500	161,460	135,420	119,120	138,667	21,355.9
	94,960	105,950	118,260	106,390	11,656.2
	172,910	160,020	166,790	166,573	6,447.73

ตารางที่ ข-25 ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย(VFAs)ในถั่มัก้าขมิเทนจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่าย(มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
200	500	1,000	1,000	833	288.68
	750	1,250	1,000	1,000	250.00
	750	1,250	1,250	1,083	288.68
300	1,250	750	750	916	288.68
	1,250	750	750	916	288.68
	750	500	750	666	144.34
500	1,000	1,250	750	1,000	250.00
	1,500	1,000	1,000	1,166	288.68
	1,250	1,000	1,250	1,166	144.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-26 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าการกำจัดของแข็งระเหยง่าย (L/Kg VS)		
	ปริมาตร 50 ml	ปริมาตร 200 ml	ปริมาตร 400 ml
1	0.06	0.21	0.31
2	0.1	0.15	0.26
3	0.07	0.21	0.36
ค่าเฉลี่ย	0.07	0.19	0.3
S.D.	0.02	0.03	0.05

ตารางที่ ข-27 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ถูกย่อยสลายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (L/Kg VFA)		
	ปริมาตร 200 ml	ปริมาตร 300 ml	ปริมาตร 500 ml
1	0.45	1.25	0.99
2	0.38	1.25	0.85
3	0.35	1.71	0.85
ค่าเฉลี่ย	0.39	1.4	0.89
S.D.	0.05	0.27	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-28 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จากถังหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ปริมาณร้อยละ		
	CH ₄	CO ₂	H ₂ S
50	60.04	30	0.005
	63.3	33.5	0.008
	65.4	34.5	0.100
200	57.7	42.2	0.087
	69	37.5	0.058
	58.9	41.3	0.089
400	56.5	37.3	0.004
	60.3	39.6	0.003
	58.7	41.2	0.004

ตารางที่ ข-29 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์จากถังหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงาน

อัตราการเติมอาหาร (มิลลิลิตร)	ปริมาณร้อยละ		
	CH ₄	CO ₂	H ₂ S
200	22.4	14	0
	-	-	-
	-	-	-
300	53.1	30	0.002
	54.3	31.2	0.005
	57.2	29.9	0.007
500	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบบทซ์

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	2	น้ำคั้นกากมะพร้าว, น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	143151444	143151444	862.17	0.000
Error	434	72059901	166037		
Total	435	215211345			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำคั้นกากมะพร้าว และน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิโดยการทดลองแบบแบบทซ์ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
น้ำคั้นกากมะพร้าว	218	1312.7	A
น้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ	218	166.69	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	feed50ml, feed200ml, feed400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	195116566	97558283	361.95	0.000
Error	906	244197021	269533		
Total	908	439313587			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการเติมน้ำคั้นกากมะพร้าว 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
feed50ml	303	1402.8	A
feed200ml	303	1116.3	B
feed400ml	303	308.57	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	pH-50ml, pH-200ml, pH-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	5.104	2.5522	18.46	0.000
Error	24	3.319	0.1383		
Total	26	8.423			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีเอชของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
pH-200ml	9	6.247	A
pH-400ml	9	5.9578	A
pH-50ml	9	5.214	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	TS-50ml, TS-200ml, TS-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	1448044581	724022290	51.29	0.000
Error	24	338762633	14115110		
Total	26	1786807214			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของของแข็งทั้งหมดของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TS-50ml	9	22438	A
TS-400ml	9	8714	B
TS-200ml	9	5571	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	VS-50ml, VS-200ml, VS-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	1237365060	618682530	52.74	0.000
Error	24	281531649	11730485		
Total	26	1518896709			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของของแข็งระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
VS50ml	9	19261	A
VS400ml	9	6488	B
VS200ml	9	3717	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 ผลการเปรียบเทียบค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่
อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	COD-50ml, CO-D200ml, COD-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	79121286	39560643	61.21	0.000
Error	24	15510932	646289		
Total	26	94632218			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการ
เติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
COD-400ml	9	5222	A
COD-50ml	9	1916	B
COD-200ml	9	1335.3	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพต่างของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	Alk-50ml, alk-200ml, alk-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	3845741	1922870	15.78	0.000
Error	24	2924444	121852		
Total	26	6770185			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสภาพต่างของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Alk-400	9	2083.3	A
Alk-200	9	1678	B
Alk-50	9	1161.1	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 ผลการเปรียบเทียบค่า Total Kjeldahl Nitrogen ของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	TKN-50ml, TKN-200ml, TKN4-00ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	397565	198782	15.36	0.000
Error	24	310507	12938		
Total	26	708072			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า Total Kjeldahl Nitrogen ของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TKN-400ml	9	615.3	A
TKN-50ml	9	451.1	B
TKN-200ml	9	318.7	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-9 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	FOG-50ml, FOG2-00ml, FOG-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	34512520672	17256260336	69.61	0.000
Error	24	5949238878	247884953		
Total	26	40461759550			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
FOG-50ml	9	178711	A
FOG-400ml	9	105855	B
FOG-200ml	9	100199	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-10 ผลการเปรียบเทียบค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่
อัตราการเติม 50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	VFA-50ml, VFA-200ml, VFA-400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	791667	395833	8.44	0.002
Error	24	1125000	46875		
Total	26	1916667			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำคั้นกากมะพร้าวที่อัตราการเติม
50, 200, 400 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
VFA-400ml	9	1166.7	A
VFA-200ml	9	1000	A
VFA-50ml	9	750.0	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	50ml, 200ml, 400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0.42647	0.213233	21.64	0.002
Error	6	0.05913	0.009856		
Total	8	0.48560			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
200ml	3	0.5500	A
50ml	3	0.1133	B
400ml	3	0.06667	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-12 ผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย
ในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	50ml, 200ml, 400ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	8.3460	4.17301	51.71	0.000
Error	6	0.4842	0.08070		
Total	8	8.8302			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมัก
ก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
50ml	3	2.653	A
200ml	3	1.957	B
400ml	3	0.3533	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-13 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิต
กะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	feed200ml., feed300ml, feed500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	74640720	37320360	695.27	0.000
Error	906	48632099	53678		
Total	908	123272819			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการ
เติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
feed300ml	303	810.4	A
feed200ml.	303	283.97	B
feed500ml	303	145.07	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-14 ผลการเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	pH-200ml, pH-300ml, pH-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	19.092	9.54596	185.50	0.000
Error	24	1.235	0.05146		
Total	26	20.327			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าพีเอชของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
pH-500ml	9	7.9778	A
pH-200ml	9	6.348	B
pH-300ml	9	6.0722	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-15 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	TS-200ml, TS-300ml, TS-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	51942244	25971122	18.56	0.000
Error	24	33585784	1399408		
Total	26	85528028			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TS-300ml	9	8850	A
TS-200ml	9	8058	A
TS-500ml	9	5593	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-16 ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	VS-200ml, VS-300ml, VS-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	41302736	20651368	22.82	0.000
Error	24	21721416	905059		
Total	26	63024152			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าของแข็งระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
VS-300ml	9	6165	A
VS-200ml	9	5379	A
VS-500ml	9	3238	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-17 ผลการเปรียบเทียบค่าต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	COD-200ml, COD-300ml, COD-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	51017	25508.3	76.09	0.000
Error	24	8045	335.2		
Total	26	59062			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าต้องการออกซิเจนทางเคมีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
COD-300ml	9	250.78	A
COD-200ml	9	238.11	A
COD-500ml	9	152.89	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-18 ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	Alk-200ml, Alk-300ml, Alk-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	2095424	1047712	129.02	0.000
Error	24	194894	8121		
Total	26	2290319			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสภาพต่างของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Alk-300ml	9	2083.3	A
Alk-200ml	9	2034.4	A
Alk-500ml	9	1469.4	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-19 ผลการเปรียบเทียบค่า Total Kjeldahl Nitrogen ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่
อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	TKN-200ml, TKN-300ml, TKN-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	49889	24944	15.05	0.000
Error	24	39775	1657		
Total	26	89664			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Total Kjeldahl Nitrogen ของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่
อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
TKN-300ml	9	230.3	A
TKN-500ml	9	146.9	B
TKN-200ml	9	133.00	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-20 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	FOG-200ml, FOG-300ml, FOG-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	40983268807	20491634404	47.07	0.000
Error	24	10447348178	435306174		
Total	26	51430616985			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
FOG-500ml	9	137210	A
FOG-200ml	9	126712	A
FOG-300ml	9	49816	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-21 ผลการเปรียบเทียบค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่
อัตราการเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	VFA-200ml, VFA-300ml, VFA-500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	282407	141204	2.32	0.120
Error	24	1458333	60764		
Total	26	1740741			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่ากรดอินทรีย์และกรดระเหยง่ายของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิที่อัตรา
การเติมที่อัตรา 200 , 300 , 500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons
Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping	
VFA-500ml	9	1111.1	A	
VFA-200ml	9	972.2	A	B
VFA-300ml	9	861.1	B	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-22 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	200ml., 300ml, 500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	0.081689	0.040844	29.65	0.001
Error	6	0.008267	0.001378		
Total	8	0.089956			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหยง่ายที่ถูกกำจัดในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำทิ้งโรงงานผลิตกะทิ โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
500ml	3	0.3100	A
300ml	3	0.1900	B
200ml.	3	0.0767	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-23 ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว

One-way ANOVA :

Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	3	200ml., 300ml, 500ml

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	1.5302	0.76508	28.80	0.001
Error	6	0.1594	0.02657		
Total	8	1.6896			

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาตรก๊าซชีวภาพต่อค่าปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักก๊าซมีเทนของน้ำคั้นกากมะพร้าว โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
300	3	1.403	A
500	3	0.8967	B
200.	3	0.3933	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้