

การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร
โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

STUDY ON BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE
USING COMPOSTING AND BIOGAS DIGESTER

นายอภิพล โรจนวิภาต
นางสาวอรุณรัตน์ ขอดแก้ว

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของจรรยาศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร
โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
STUDY ON BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE
USING COMPOSTING AND BIOGAS DIGESTER

นายอภิพล

โรจนวิภาต

นางสาวอรกานต์

ขอดแก้ว

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556




**STUDY ON BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE
USING COMPOSTING AND BIOGAS DIGESTER**

**MISTER APHIPHON ROJANAVIPHAT
MISS ORAKAN KODKAEW**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

โครงการพิเศษ	การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	
นักศึกษา	นายอภิพล	โรจนวิภาต
	นางสาวอรกานต์	ชอดแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	
ชื่อนักศึกษา	นายอภิพล	โรจนวิภาต
	นางสาวอรกานต์	ชอดแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักเศษอาหารที่ปริมาณต่างๆภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพขนาด 3,500 ลิตร โดยช่วงที่ I เติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัมต่อน้ำประปา 20 กิโลกรัม ช่วงที่ II เติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัมต่อของผสม 20 กิโลกรัม ช่วงที่ III เติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัมต่อน้ำประปา 40 กิโลกรัม ช่วงที่ IV เติมเศษอาหาร 50 กิโลกรัมต่อน้ำประปา 50 กิโลกรัม ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเศษอาหารจากโรงอาหารและของผสม ตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ พีเอช, ความชื้น, สภาพความเป็นด่าง, ของแข็งทั้งหมด, ของแข็งระเหย, กรดไขมันระเหย และน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักที่ผ่านทรายกรองตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ พีเอช, ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี และวัดอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทุกๆชั่วโมงจากการคำนวณพบวาระยะเวลากักเก็บ (HRT) ในช่วงที่ I, II, III, IV เท่ากับ 88, 88, 44, 35 วัน ตามลำดับ และมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR) 0.36-5.49, 0.04-0.82, 0.85-2.97, 0.3-3.09 กรัมต่อลิตรต่อวันตามลำดับ จากการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่าของผสมในระบบ มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.87-7.25, 7.13-7.19, 7.22-7.31, 7.19-7.33 ตามลำดับ และสภาพความเป็นด่าง มีค่าเท่ากับ 1,252-5,947, 1,185-2,885, 2,244-3,318, 3,285-6,633 มิลลิกรัมต่อลิตร as CaCO_3 ตามลำดับ อัตราการผลิตปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.23, 2.65, 7.23, 7.15 ลบ.ม.ต่อวัน ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมอาหาร จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองด้วยทรายตามวิธีมาตรฐาน APHA (2012) พบว่าน้ำทิ้งมีค่า pH เท่ากับ 7.3-8.14 ซึ่งอยู่ในช่วงของค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ในส่วนของค่า SS, COD มีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน

คำสำคัญ : เศษอาหาร, ของผสม, ก๊าซชีวภาพ, น้ำทิ้ง, เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ, การหมักแบบไร้อากาศ

Title	Study on Biogas Production from Food Waste using Composting and Biogas Digester	
Student	Aphiphon	Rojanaviphat
	Orakan	Kodkeaw
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Environmental Chemistry	
Academic Year	2013	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee	Junyapoon

Abstract

This special project studied digestion conditions and biogas production from food waste using 3,500 liter compost and biogas reactor. The experiment was divided into 4 periods depending on the amount of feedstock : I (foodwaste 20 kg : tap water 20 kg) , II (foodwaste 20 kg : slurry 20 kg), III (foodwaste 40 kg : tap water 40 kg), IV (foodwaste 50 kg : tap water 50 kg). Foodwaste and slurry of the reactor were also investigated physical and chemical properties (including pH, moisture, Alkalinity, TS, VS, VFA) using APHA standard method. The effluent from the reactor after filtering through the sand filter was also analyzed using APHA standard method (including pH, SS, COD). Biogas production rate was measured hourly. As calculation, hydraulic retention time (HRT) of period I, II, III and IV was 88, 88, 44, 35 day, respectively. Organic loading rate (OLR) was 0.36-5.49, 0.04-0.82, 0.85-2.97, 0.3-3.09 g/L/day, respectively. The results showed that pH of slurry in the reactor was 6.87-7.25, 7.13-7.19, 7.22-7.31, 7.19-7.33, respectively and alkalinity was 1,252-5,947, 1,185-2,885, 2,244-3,318, 3,285-6,633 mg/L as CaCO₃, respectively. Biogas production was 2.23, 2.65, 7.23, 7.15 m³/d, respectively. The biogas production rate depended on feed rate of substrate. It was found that pH value of the effluent was 7.3-8.14, which is within the effluent standard of municipal wastewater. However SS, COD of the effluent exceeded the standard value.

Keywords : feedstock, slurry, biogas, effluent, compost and biogas reactor, anaerobic digestion

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือ เสนอแนะ แก้ไขปรับปรุง และให้ความอนุเคราะห์ดูแล เอาใจใส่ในรายละเอียดของการทำโครงการพิเศษอย่างใกล้ชิด

ขอขอบคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ข้อมูล และ เสนอแนะในความคิดเห็นในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ รศ.วิไลลักษณ์ กิจชนะพานิช อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการให้ข้อมูลของก๊าซชีวภาพ

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการทำการศึกษา และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเคมี ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ สาขาจุลชีววิทยา ที่ช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์การวิเคราะห์ทางจุลชีว

ขอขอบคุณสำนักงานสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร ที่มอบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและรื้อหมักในการ ดำเนินงานในโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อนๆคณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ มาโดยตลอด จนการศึกษาโครงการพิเศษชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกๆท่าน และขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณ ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้กำลังใจให้คำปรึกษากับ โครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

อภิพล โรจนวิภาต

อรกานต์ ขอดแก้ว

คำย่อและสัญลักษณ์

°C	=	องศาเซลเซียส
m ³	=	ลูกบาศก์เมตร
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/L as CaCO ₃	=	มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต
g/L.d	=	กรัมต่อลิตรต่อวัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
คำย่อและสัญลักษณ์	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ก๊าซชีวภาพ	3
2.2 เศษอาหาร	5
2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไม่ใช้ออกาศ	6
2.4 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ	11
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	21
3.2 วิธีทดลอง	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะเศษอาหาร	28
4.2 ผลการศึกษาสภาวะในการหมักก๊าซชีวภาพ	29
4.3 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำทิ้ง	41
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	48
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	60

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	4
ตารางที่ 2.2 ประสิทธิภาพการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนเทียบกับพลังงานอื่นๆ	4
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของเศษอาหาร	5
ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งต่างๆ	6
ตารางที่ 2.5 สมบัติของก๊าซมีเทนและก๊าซชีวภาพ	11
ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของอ็อกซิเจนบวกที่กระตุ้นและยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน	16
ตารางที่ 2.7 โลหะหนักที่พบการปนเปื้อนในของเสียอินทรีย์และพืช	16
ต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศ	
ตารางที่ 2.8 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนีย	17
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์	25
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์	26
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของเศษอาหาร	29
ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาเก็บเก็บสารอินทรีย์ที่อัตราการเติมอาหารต่างๆ	30

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก-1 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่าง ๆ	56
ตารางที่ ข-1 ค่าพีเอช pH ของเศษอาหาร (Feed)	61
ตารางที่ ข-2 ค่าพีเอช pH ของผสม (Slurry)	62
ตารางที่ ข-3 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหาร	63
ตารางที่ ข-4 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของของผสม	64
ตารางที่ ข-5 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ของเศษอาหาร (Feed)	65
ตารางที่ ข-6 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ของของผสม (Slurry)	66
ตารางที่ ข-7 ค่าของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหาร	67
ตารางที่ ข-8 ค่าของแข็งระเหยง่ายของของผสม	68
ตารางที่ ข-9 ค่ากรดไขมันระเหยของเศษอาหาร	69
ตารางที่ ข-10 ค่ากรดไขมันระเหยของของผสม	70
ตารางที่ ข-11 ค่าความชื้นของเศษอาหาร	71
ตารางที่ ข-12 ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ	72
ตารางที่ ข-13 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	82
ตารางที่ ข-14 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง	83
ตารางที่ ข-15 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง	84
ตารางที่ ข-16 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง	85

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ	9
รูปที่ 2.2 Facultative anaerobic bacteria	12
รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	24
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของเศษอาหารและของผสม ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	29
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างของเศษอาหารและของผสม ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	31
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของเศษอาหารและของผสม ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	32
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารและของผสม ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	33
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของเศษอาหารและของผสม ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	34
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิ ของอากาศในการเติมอาหาร 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 20 กิโลกรัม	35
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิ ในการเติมอาหาร 40 กิโลกรัม	36
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิในการเติมอาหาร 80 กิโลกรัม	38
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิ ในการเติมอาหาร 100 กิโลกรัม	39
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบสีของเปลวไฟจากก๊าซชีวภาพ	40
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen	41
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง	42
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง	42
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบัน โลกกำลังเผชิญกับวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานฟอสซิล เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็ว และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน พลังงานทดแทนมีหลายรูปแบบเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ หรือพลังงานก๊าซชีวภาพ ซึ่งจัดเป็นพลังงานสะอาด และมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของประเทศไทย พลังงานจากก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยม เนื่องจากประเทศไทยมีขยะอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ก๊าซชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ประกอบด้วย CH_4 , CO_2 , H_2S และก๊าซชนิดอื่นๆ เศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานในแต่ละมื้อจะเกิดขยะอินทรีย์ปริมาณมาก โดยทั่วไปคนส่วนใหญ่มักจะบริโภคอาหารเหลือทิ้งประมาณ 0.1 กิโลกรัมต่อคน การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารสามารถนำก๊าซที่เกิดขึ้นมาใช้ในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าและก๊าซหุงต้ม และได้ปุ๋ยหมักเป็นผลพลอยได้ นอกจากนี้ยังเป็นการลดปริมาณขยะอินทรีย์และก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน

จากการที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีปริมาณเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคเป็นจำนวนมาก เศษอาหารประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งสามารถถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศเกิดก๊าซชีวภาพ โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพและทำการศึกษาสภาวะในการหมัก อัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ อัตราการเกิดก๊าซรวมทั้งวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาอัตราการย่อยสลายและสภาวะในการหมักในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในสภาวะไร้อากาศ

1.2.2 ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักเศษอาหารปริมาณต่างๆในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสถานะในการหมักก๊าซชีวภาพในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเศษอาหาร (Feed) ที่ใส่เข้าระบบและของผสม (slurry) ที่ได้จากกระบวนการหมักในสถานะไร้อากาศตามวิธีมาตรฐาน โดยศึกษาค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid, VS) ค่ากรดไขมันระเหย (Volatile fatty acids, VFA) อุณหภูมิของบรรยากาศ

1.3.2 ศึกษาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักเศษอาหารปริมาณต่างๆภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในทุกๆชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพและทดสอบสีของเปลวไฟที่ได้

1.3.3 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบสถานะไร้อากาศของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพหลังจากผ่านการกรองด้วยทรายด้วยวิธีมาตรฐาน โดยศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าของแข็งแขวนลอย (SS), ค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายทางเคมี (COD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษอาหารในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าและก๊าซหุงต้ม

1.4.2 ได้ปุ๋ยหมักจากการหมักเศษอาหารในสภาวะการหมักแบบไร้อากาศเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร

1.4.3 ลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้น

1.4.4 ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของก๊าซชีวภาพ

ในศตวรรษที่ 17 Robert Boyle และ Stephen Hale ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ครั้งแรกจากการกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบแล้วเกิดก๊าซที่สามารถติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี ค.ศ. 1859 Sir Humphrey Davy ได้พบก๊าซมีเทนจากขี้วัวในอินเดีย ในปี ค.ศ. 1859 ได้มีการสร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศขึ้นเป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 1907 ได้มีการออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพในเยอรมนี ในปี ค.ศ. 1985 ในอังกฤษได้มีการค้นคิดนวัตกรรมใหม่ขึ้นมาโดยใช้ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซแล้วนำก๊าซไปจุดไฟส่องสว่างตามถนน ในทศวรรษที่ 1930 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศเริ่มเป็นที่รู้จักในวงการนักวิชาการมากขึ้น ได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาและได้มีการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (<http://th.wikipedia.org/>)

ในชนบทของประเทศกำลังพัฒนา การใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจากครัวเรือน สามารถเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะใช้เป็นพลังงานหรือผลิตก๊าซสำหรับใช้ในการทำอาหาร ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทั้งรัฐบาลของอินเดียและจีนได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน ซึ่งนอกจากจะลดค่ายังชีพแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติและลดการปล่อยมลภาวะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญมากขึ้น เพราะเป็นการช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆประเทศรวมถึงประเทศไทยได้ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ (<http://th.wikipedia.org/>)

2.1.2 ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ Biogas เป็นสารที่อยู่ในรูปของก๊าซ เกิดจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิตซากพืช ซากสัตว์ ของเสียจากสัตว์และขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพนั้นสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดขึ้นในระบบที่มีการสร้างขึ้น

2.1.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียซึ่งแบคทีเรียจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพประมาณ 80 – 90 % ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
ค่าความร้อนประมาณ (ที่ CH_4 60%)	21	MJ/m^3
	5.96	kWh/m^3
ความเร็วเปลวไฟ	25	cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19	m_a^3/m_g
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4	600	$^{\circ}\text{C}$
ค่าความจุความร้อน (C_p)	1.6	$\text{kJ/m}^3\ ^{\circ}\text{C}$
ความหนาแน่น	1.15	kg/m^3

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานแหล่งอื่นได้ โดยที่ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนเมื่อเทียบกับพลังงานอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประสิทธิภาพการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนเทียบกับพลังงานอื่นๆ

ชนิดของพลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	kg
น้ำมันเบนซิน	0.67	Liter
น้ำมันดีเซล	0.60	Liter
ฟืน ไม้	1.50	kg
น้ำมันเตา	0.55	Liter

ที่มา : โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ (2549)

2.2 เศษอาหาร

ของเสียเศษอาหาร (food waste) หมายถึงของเสียเหลือทิ้งที่ได้จากการรับประทานอาหาร และการประกอบอาหาร ซึ่งมาจากครัวเรือน ร้านอาหาร ตลาด และโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วยข้าว เนื้อสัตว์ น้ำมัน พืชผัก ผลไม้ เป็นต้น ของเสียเศษอาหารเหล่านี้จะเกิดการย่อยสลายได้ง่าย มีการบูดเน่า และก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีของแข็งระเหย (volatile solids) ที่มีปริมาณสูงประมาณ 85-95 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณความชื้น (moisture) ประมาณ 75-85 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของเศษอาหาร

พารามิเตอร์	เศษอาหาร	หน่วย	เศษอาหาร(ชัยวัฒน์)	หน่วย
Total Solid	15.9	%	170,168-454,788	mg/l
Volatile Solid	15.2	%	364.6-1,947.12	mg/l
Total COD	158.4	g/l	141,200	mg/l
Total carbohydrate	84.9	g COD/l	-	
Total protein	37.7	g COD/l	-	
Total Kjeldalh nitrogen	4.4	g N/l	-	
pH	4.6	-	1.2-5.9	
Alkalinity	0.4	g CaCO ₃ /l	132-1,507	g CaCO ₃ /l

ที่มา : Kim *et al.* (2004)

วิธีการกำจัดของเสียเศษอาหารส่วนใหญ่มักจะนำไปฝังกลบรวมกับของเสียอื่น เช่น เศษกระดาษ เศษแก้ว พลาสติก ไม้โลหะ เป็นต้น โดยจะทิ้งและเก็บรวมกันไม่ได้มีการคัดแยกออกมา ก่อน ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ มากมาย เช่น เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนมนุษย์ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลง และเชื้อโรค ปลดปล่อยก๊าซต่างๆ สู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก (Shin *et al.*, 2001)

วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งต่างๆ

วัตถุดิบ	ก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./ตัน)
ไขมันตักในครัว	1,038
อ้อย	550
เศษผัก	450
น้ำทิ้ง	169.5
ขยะชุมชน	420
มูลวัว	307
มูลแกะ	200
มูลนก	350
ต้นข้าวโพด	430
ต้นข้าวบาเลย์	460
หญ้า	480
ฝางข้าว	400
เปลือกกล้วย	950
เปลือกมันฝรั่ง	900

ที่มา : Maghanaki *et al.* (2013)

2.3 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane producing bacteria) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กลง จากนั้นแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็กเป็นสารอาหารและย่อยสลายให้ผลผลิตหลักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยมีก๊าซอื่นๆ เกิดขึ้นในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า และก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นต้น กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพต้องระวังไม่ให้อากาศเข้าไปสัมผัสกับแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนลดลง ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ในสภาวะที่ไม่มีอากาศ เช่น ก้นบ่อ ก้นแม่น้ำ ก้นทะเลสาบ หนองน้ำ บึง และนาข้าว ที่มีน้ำท่วมขัง เป็นต้น

2.3.1 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion)

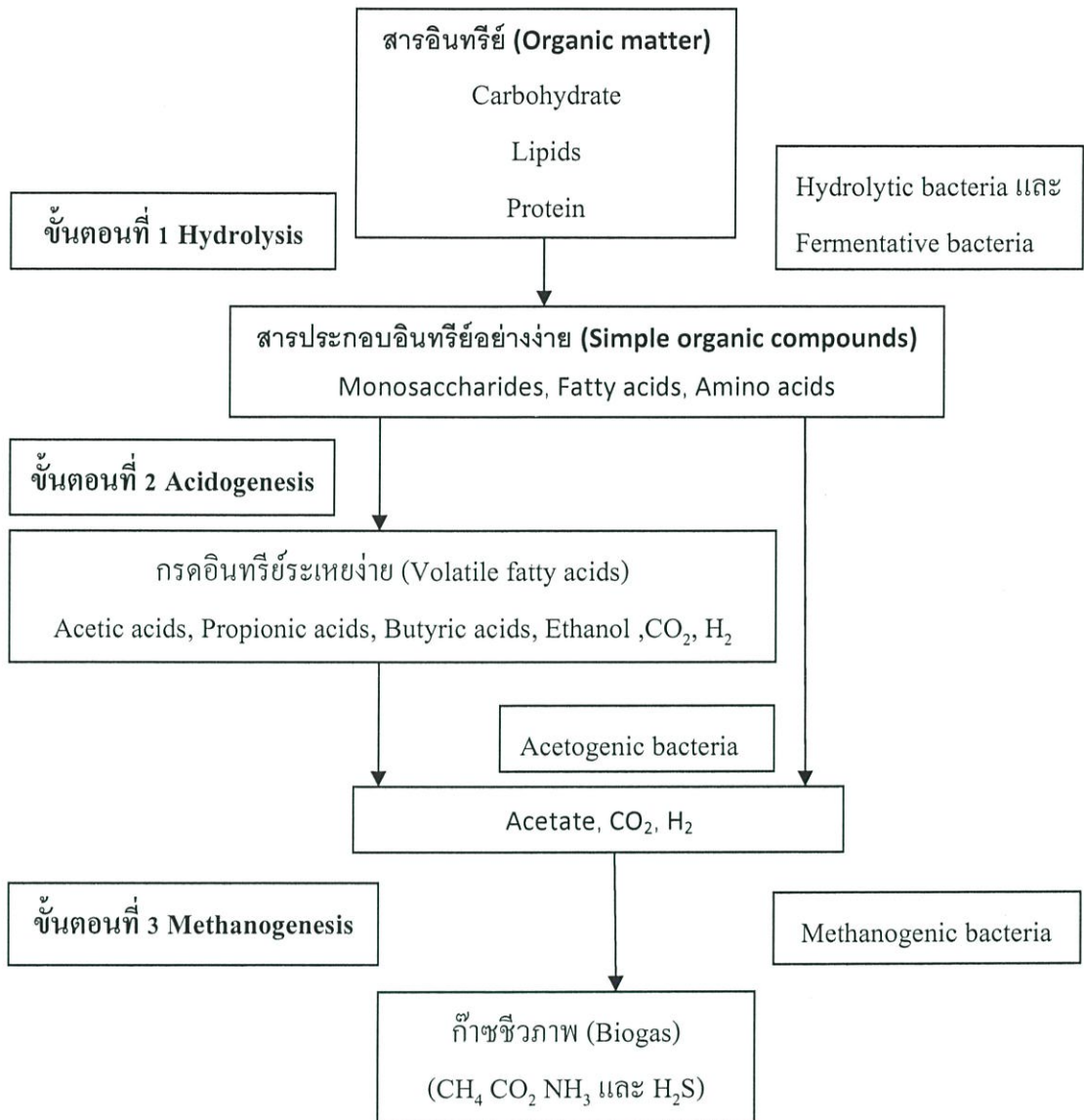
การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ ประกอบด้วย การย่อยสลายหลายขั้นตอนที่มีความซับซ้อน โดยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มก็จะทำหน้าที่ต่างกันในแต่ละขั้นตอนของการย่อยสลาย เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์กลายเป็นก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนของการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน เป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ แบคทีเรียกลุ่มที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือ แบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic bacteria) และกลุ่มเฟอร์เมนเตทีฟ (Fermentative bacteria)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

สารประกอบอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำซึ่งถูกสร้างโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส จะถูกแบคทีเรียที่ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative bacteria) ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน โดยในช่วงแรกของการย่อยสลายขั้นตอนนี้ ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids) ซึ่งโมเลกุลมีอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพิอิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) กรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้น และสารอื่นๆ เช่น เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) ซึ่งชนิดของแบคทีเรียจะถูกเรียกแตกต่างกันไปตามชนิดของสารอินทรีย์นั้นๆ ขั้นตอนที่ตามมากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียกลุ่มอะซิโดเจเนติก (Acetogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นอะซิเตต ฟอ์เมต ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ปฏิกิริยานี้ถือเป็นปฏิกิริยาสำคัญในการหลีกเลี่ยงไม่ให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มนี้อาจเรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen forming bacteria) เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มผลิตไฮโดรเจนมักสร้างกรดอินทรีย์ด้วย แต่ตัวที่ผลิตกรดได้อาจไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ จึงถือว่าแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นชนิดของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดด้วย แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดอาจรวมเรียกว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน (Non-methanogenic bacteria)

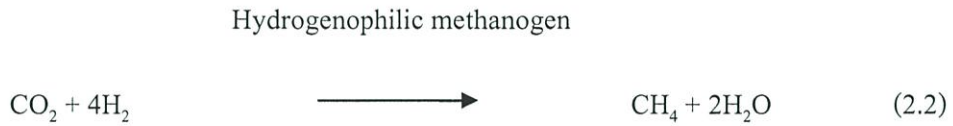
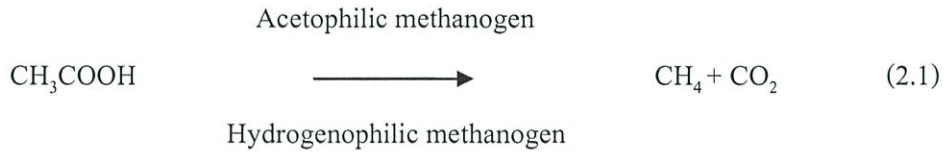


รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ

ที่มา: คู่มือการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการผลิตก๊าซมีเทน เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะแบบไม่ใช้อากาศ ผลผลิตสุดท้ายคือ ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย (NH₃) สารตั้งต้นของขั้นตอนนี้เป็นผลผลิตที่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตกรดโดยสารตั้งต้นที่มีความสำคัญมากที่สุดคือกรดอะซิติก และก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ 2.1-2.2



2.3.2 ข้อดีของก๊าซชีวภาพ

1. การอนุรักษ์พลังงาน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร พลังงานไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

ก๊าซหุงต้มโดยทั่วไปแล้วเวลาจุดติดไฟจะสังเกตเห็นว่าไฟมี 2 สีคือ สีแดงและสีน้ำเงิน โดยไฟที่มีสีน้ำเงินอยู่ด้านล่าง ส่วนไฟสีแดงนั้นจะอยู่ทางด้านบน ไฟสีน้ำเงินที่อยู่ด้านล่างนั้นจะมีความร้อนสูงกว่าไฟสีแดง โดยค่าความร้อนของพลังงานนั้นจะแปรผันกับค่าความถี่ของคลื่นแสง ไฟสีน้ำเงินนั้นจะมีความยาวคลื่นที่สั้นแต่มีค่าความถี่สูงจึงทำให้ค่าพลังงานสูงตามไปด้วย หากถ่ายด้วยกล้องอินฟราเรดจะสามารถบ่งชี้ได้ว่าบริเวณใดมีค่าความร้อนเท่าใดโดยแสงสีน้ำเงินนั้นจะมีความร้อนประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส แต่ไฟสีแดงนั้นจะมีความร้อนประมาณ 35 องศาเซลเซียส

2. การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่เหลือทิ้งก่อให้เกิดประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมดังนี้

2.1 ลดปริมาณของเสีย

2.2 ลดปัญหากลิ่นเหม็นและแมลง

2.3 ลดการปล่อยทิ้งก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ เป็นการช่วยลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นต้นเหตุให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น

3. การเกษตร

3.1 ผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในรูปปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำได้เป็นอย่างดี

3.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลงและมีส่วนทำลายการงอกของเมล็ดพืชอีกด้วย

4. การจ้างงาน เป็นการส่งเสริมให้มีงานทำทั้งในระยะสั้น (ระยะก่อสร้างระบบ) ระยะยาว (ระยะการใช้งานของระบบ) โดยในระยะการใช้งานของระบบจะมีการจ้างงานที่สม่ำเสมอตลอดอายุการใช้งานของระบบ

5. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร การจัดการของเสียอย่างครบวงจรภายในฟาร์ม และมีการใช้ ประโยชน์จากผลพลอยได้อย่างคุ้มค่าหรือมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยสุด (Waste Minimize) ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

6. ผลตอบแทนจากการลงทุน ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 3-5 ปี ขึ้นอยู่กับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ เช่น กรณีทดแทนเชื้อเพลิงที่ต้องซื้อมาในราคาสูง เช่น ก๊าซหุงต้ม น้ำมัน เชื้อเพลิงจะคืนทุนได้เร็วกว่ากรณีนำไปใช้ทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีราคาต่ำ

2.3.3 คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักอินทรีย์สาร

1. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 44.01 และความหนาแน่นเท่ากับ 1.9768 กรัมต่อลิตร (ที่ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) มีจุดเดือดที่ -78.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายในน้ำได้ 88 มิลลิลิตรในน้ำ 100 มิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

2. ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และ ไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นก๊าซที่ปราศจากสีและกลิ่น มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 16.04 และความหนาแน่นเท่ากับ 0.7167 กรัมต่อลิตร สามารถจุดไฟติดและสามารถจุดระเบิดได้ในที่มีออกซิเจน เปลวไฟมีสีน้ำเงินและให้ค่าความร้อน 7,800 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร มีจุดเดือดที่ -161.61 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ

3. ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนง่ายต่อการทำให้เป็นของเหลวโดยการใช้ความดัน น้ำหนักโมเลกุล 17.03 ความหนาแน่น 0.7708 กรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ มีจุดเยือกแข็ง 77.7 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ -33.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์ และอีเทอร์ สามารถที่จะติดไฟที่อุณหภูมิ 1,204 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.5 สมบัติของก๊าซมีเทนและก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติ	ก๊าซมีเทน	ก๊าซชีวภาพ
องค์ประกอบต่อปริมาตร	CH ₄ – 100%	CH ₄ – 60%
		CO ₂ – 35%
		H ₂ S – 1.67%
		NH ₃ – 1.67%
		H ₂ O (g) – 1.67%
น้ำหนักโมเลกุล (lbm/lb-mole)	16.04	26.18
ความจำเพาะ (air = 1)	0.554	0.904
ความหนาแน่น@STP (lbm/ft ³)	0.0447	0.073
ค่าความร้อน (BTU/ft ³)	23,850	8,937
ค่าพลังงาน @ STP (BTU/ft ³)	1,066	8,937
ค่าคงที่ของแก๊ส (ft-lbf/lbm-°R)	96.3	59.0
อุณหภูมิที่จุดวิกฤติ (°R)	343.6	-
ความดันที่จุดวิกฤติ (lbf/in ²)	673	-
ปริมาณวิกฤติจำเพาะ (ft ³ /lbm)	0.099	-
ค่าออกเทน	130	-
อุณหภูมิจุดระเบิด (°F)	1,250	-
อัตราส่วนของมีเทนที่ต้องการอากาศในการเผาไหม้ต่อปริมาณ	10:1	-
ขีดจำกัดการจุดระเบิดในอากาศต่อปริมาณ	5 – 15%	-

ที่มา : คู่มือการปฏิบัติงาน เกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.4 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ

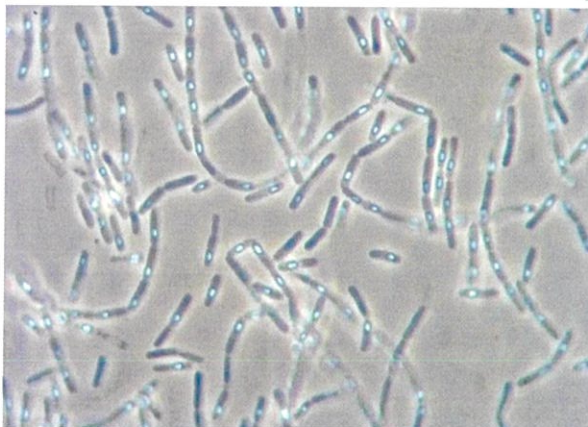
กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

2.4 1 แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria)

แบคทีเรียส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้คือ Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0-6.5 และทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

2.4.1.1 อะซิโดเจนนิกแบคทีเรีย

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสามารถใช้อาหารได้หลายชนิดและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้ ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดฟอร์มิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้สารประกอบพวกแอลกอฮอล์ คีโตน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ชอบอากาศและแบคทีเรียกลุ่มที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Facultative anaerobic bacteria

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>

2.4.1.2 อะซิโดเจนนิกแบคทีเรีย

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายในกระบวนการไฮโดรไลซิสและอะซิโดเจนิซิส แล้วเปลี่ยนเป็นให้กรดอะซิติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

ก) Hydrogen producing acetogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน

ขั้นตอนไฮโดรไลซิส ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัว แล้วได้เป็นกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นผลผลิต ดังสมการที่ 2.3-2.5

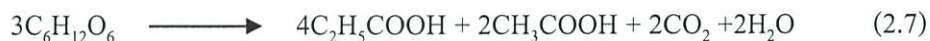


ข) Homoacetogenic bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ในการเจริญเติบโต และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็น อะซิเตด (หรือกรดอะซิติก) ดังสมการที่ 2.6



2) Heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มีทั้งอะซิเตดและโพรพิอเนตซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 2.7



2.4.2 แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถใช้สารอาหารได้ไม่กี่ยชนิด แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถแบ่งตามชนิดการใช้สารอาหารตั้งต้นเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญคือจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนขั้นตอนที่ 2 โดยช่วยคงสภาวะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่ำลงซึ่งมีผลต่อการเกิดอะซิเตดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 2.8



2) Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens ซึ่งจะเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.9



2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ

การผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายในของระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ สภาพแวดล้อมภายนอกของระบบและวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปในระบบปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพมีดังนี้

2.5.1 อุณหภูมิ

ในการผลิตก๊าซชีวภาพใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นภายใต้การหมักในสภาวะไร้อากาศนั้นต้องมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยแบ่งจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพตามความเหมาะสมของอุณหภูมิในการเจริญออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. มีโซฟิลิกแบคทีเรีย (Mesophilic bacteria) เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 – 45 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับในประเทศไทยเขตนานจึงต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อให้เหมาะสมกับระบบ

2. เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย (Thermophilic bacteria) เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง 50 - 65 องศาเซลเซียส ในช่วงของเทอร์โมฟิลิกนั้นจำเป็นต้องอาศัยอุณหภูมิที่สูงมากจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ มีความเสี่ยงและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบแบบเมโซฟิลิก

2.5.2 พีเอช

ในการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความพีเอชที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนคือ 6.6 – 7.4 สาเหตุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์ปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้แบคทีเรียผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากจนทำให้แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทันจะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในระบบ ทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณของสารอินทรีย์ที่จะเข้าสู่ระบบ เพื่อควบคุมการเกิดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ

2.5.3 ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการควบคุมการเปลี่ยนของความเป็นกรด-ด่าง และเป็นตัวที่แสดงถึงเสถียรภาพของระบบ โดยค่าความเป็นด่างนั้นจะอยู่ในช่วง 1,000 – 5,000 มิลลิกรัมของ CaCO_3 ต่อลิตร ถ้าค่าความเป็นด่างของระบบต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัม CaCO_3 ต่อลิตร จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างขึ้นในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA)

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก โพรพ็อนิก ใช้ตรวจสอบสถานะความสมดุลของระบบการเกิดก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ โดยกรดเหล่านี้เป็นตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด หากมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่มากเกินไปจะทำให้เกิดความล้มเหลวของการผลิตก๊าซชีวภาพ หากมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติกต่อลิตร จะทำให้ค่าพีเอชลดลงในช่วงแรกและหากค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายกับแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน และถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 4.5-5.0 จะทำให้เกิดการเสียสมดุลทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ในสภาวะปกติค่าของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในช่วง 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติกต่อลิตร การควบคุมระบบที่ดีที่สุดควรให้มีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างไม่ควรเกิน 0.3 – 0.4

วิธีการแก้ไขให้ระบบกลับสู่สภาพสมดุล อาจทำได้ดังนี้

1. ลดการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบ
2. ใช้วิธีการเติมสารเคมี เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น ไม่ควรใช้ปูนขาว Ca(OH)_2 เนื่องจากอาจจะทำให้เกิดการอุดตันในระบบได้

2.5.5 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา

ของเสียที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพไม่ควรมีสารที่เป็นพิษต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย สารที่เป็นพิษอาจอยู่ทั้งในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ทั้งนี้ผลของสารพิษอาจจะมีตั้งแต่พิษโดยตรง (toxic) หรือเพียงแค่อับยั้ง (inhibited) การทำงานของแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของสารพิษที่มีต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจะมีความไวต่อสิ่งรบกวน ความรุนแรงของพิษหรือการยับยั้งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นๆ อย่างไรก็ตามในบางกรณีสารเหล่านั้นก็อาจกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้หากมีความเข้มข้นที่พอเหมาะ สารที่เป็นพิษหรือยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งออกได้เป็นกลุ่มๆดังต่อไปนี้

พิษของอออนบวก

อออนบวกที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) ซึ่งธาตุเหล่านี้โดยปกติในระดับความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นธาตุที่มีประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีมากเกินไปจนความจำเป็นจะเกิดเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ปกติอออนบวกที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่า อออนบวกที่มีวาเลนซ์ต่ำ ระดับความเป็นพิษของอออนบวกต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของอออนบวกที่กระตุ้นและยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน

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

ที่มา : โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ (2549)

พิษของโลหะหนัก โลหะหนักมักพบว่าปนเปื้อนในของเสียอินทรีย์ได้บ่อย และเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และโครมเมียม โดยทองแดง (Cu^{2+}) จะมีผลต่อระบบมากที่สุด แม้ว่าโลหะหนักจะเป็นพิษแต่โลหะหนักบางประเภทยังมีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย แต่ต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 2.7 โลหะหนักที่พบการปนเปื้อนในของเสียอินทรีย์และพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศ

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

ที่มา : โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ (2549)

พิษของกรดไขมันระเหย

กรดไขมันระเหยถ้าถูกสร้างขึ้นมามากเกินไป เช่น ในสถานะที่มีสารอินทรีย์ หรือ อาหาร เข้ามามาก แบคทีเรียที่ผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก หากว่าระบบมีความสามารถในการ ด้านอาหารการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่เพียงพอ จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง ส่งผลต่อการทำงานของ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ แต่ถ้าระบบมีความสามารถในการอาหารการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ สามารถรักษาค่าพีเอชให้เป็นกลางได้ จะพบว่าแม้กรดไขมันระเหยมีปริมาณมากก็จะไม่เกิดความ เป็นพิษต่อแบคทีเรีย การแก้พิษของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ทำได้โดยการลดปริมาณของกรดไขมัน ระเหยง่ายโดยการเติมสารต่าง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และการเพิ่มระยะเวลาการ หมัก

แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้แก่ โปรตีน และยูเรีย เป็นพิษต่อแบคทีเรีย โดยพิษของแอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับพีเอชของระบบ โดย ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียในโตรเจน (mg/L)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1,000	ยังไม่เกิดผลชัด
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชสูง
>3,000	เป็นพิษโดยตรง

ที่มา : โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและ ประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ (2549)

ซัลไฟด์

ซัลไฟด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนซัลเฟตเป็นพิษต่อแบคทีเรีย โดยซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีทั้งที่อยู่ใน รูปของสารที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่รวมอยู่ โดยส่วนที่มี การรวมกับโลหะหนักก็จะตกตะกอน ส่วนที่เหลือจะละลายน้ำ หรืออยู่ในรูปของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสามารถเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกได้ ความเข้มข้นของซัลไฟด์ ละลายน้ำที่แบคทีเรียสามารถทนได้อยู่ระหว่าง 50-160 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะเกิดความเป็นพิษขึ้น เมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นพิษของซัลไฟด์สามารถทำให้ลดลงได้ โดยการทำให้ซัลไฟด์ตกตะกอน หรือการเจือจางหรือทำการแยกซัลไฟด์ออกก่อนเข้าสู่ระบบ

2.5.6 สารอาหาร

สารอาหารมีความเกี่ยวข้องกับชนิดของแบคทีเรียในระบบและประสิทธิภาพในการย่อยสลาย การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สารอาหารที่ต่างชนิดกันมีอัตราการย่อยสลายที่ช้าเร็วแตกต่างกัน โดยสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตจะให้อัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าโปรตีน และไขมัน ในขณะที่ไขมันมักจะย่อยสลายได้ช้า แม้ไขมันที่อยู่ในรูปสารละลายจะสามารถย่อยสลายได้เร็ว แต่ไขมันมักอยู่ในรูปที่ไม่ละลาย และแบคทีเรียที่ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แบคทีเรียทุกชนิดจะประกอบไปด้วยธาตุที่สำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน ซัลเฟอร์ โดย Speece and McCarty (1962) พบว่าแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ต้องการธาตุไนโตรเจนเมื่อเทียบกับน้ำหนักเซลล์เท่ากับ 9.4 ในขณะที่ Sanders and Bloodgood (1965) พบว่า แบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระจะสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากได้ เมื่อมีอัตราส่วนของธาตุไนโตรเจนต่อคาร์บอนในสารอาหารประมาณ 0.0620 และต้องการธาตุฟอสฟอรัสเท่ากับ 1 ใน 7 ของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ประกอบในเซลล์ ดังนั้นของเสียอินทรีย์จึงควรมีอาหารเสริมสร้างพอเพียงแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทั่วไปแบคทีเรียต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน 11 ต่อ 2 ดังนั้น ถ้าปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นมีประมาณ 0.1 กก. ต่อ 1 กก. BOD ที่ถูกย่อยสลาย อัตราส่วน BOD: N: P จะเท่ากับ 100:1.1:0.2 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วนที่ใช้ในการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนอิสระซึ่งมีค่าเท่ากับ 100:5:1

2.5.7 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิดสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (methanol) และกรดไขมัน (long chain fatty acid) ความเป็นพิษของสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถแก้ไขโดยการทำให้แบคทีเรียมีความคุ้นเคยและปรับตัวได้ ด้วยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียที่มีความคุ้นเคยและปรับตัวได้ จะสามารถทำงานได้แม้ว่ามีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษสูงถึง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็ตาม (McCarty, 1964) หรืออาจแก้ไขโดยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ

2.5.8 การกวน

การกวนเป็นการผสมส่วนผสมที่อยู่ในระบบให้มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง จะช่วยให้ของเสียที่เข้ามาใหม่เข้าไปแทนที่ของเสียที่ถูกใช้แล้ว ซึ่งจะช่วยให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันมิให้มีการแยกชั้นของของเสีย ซึ่งการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบ โดยสลัดจ์ลอยด้านบนสุดซึ่งมีการสะสมตัวของของเสียที่มีความหนาแน่นต่ำ การสะสมตัวของชั้นสลัดจ์ลอยจะลดประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในระบบ ในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดขึ้นสลัดจ์ลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบ หากระบบมีสภาพความเข้มข้นของแข็งต่ำ และมีสัดส่วนของสารที่มีเส้นใยอยู่ไม่มาก

ก็สามารถใช้การหมุนเวียนของเหลว หรือแก๊สในถังหมักมาควนส่วนผสมในระบบได้ ทั้งนี้หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของสลัดจ์ลอยค่อนข้างสูง ก็จำเป็นต้องใช้การควนโดยใช้เครื่องมือทางกล เช่น ใบพัด หรือการหมุนถังหมักรอบแกนหมุน เป็นต้น

2.5.9 อัตราการอินทรีย์

อัตราการอินทรีย์ เป็นปัจจัยในการดำเนินการอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทนนั้น ความเข้มข้นของแบคทีเรียต้องมียู้อย่างพอเหมาะกะกับปริมาณสารอินทรีย์ในช่วงเวลาหนึ่ง จึงจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตาม ค่าของอัตราการอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของอาหารเข้าสู่ระบบ จึงจำเป็นต้องปรับค่าอัตราการอินทรีย์ในการเดินระบบให้เหมาะสมกับอาหาร ที่ใช้ด้วย สำหรับตัวเลขของอัตราการอินทรีย์อาจได้มาจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ หรือจากระบบจริงก็ได้ แต่หากไม่มีตัวเลขแน่นอนอาจจะอาศัยการประมาณจากสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ รวมถึงความยากง่ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น

2.5.10 เวลาพัก

เวลาพักในระบบของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน หมายถึง เวลาพักของแข็ง (solid retention time, SRT) หรือเวลาพัก (hydraulic retention time, HRT) อยู่ในถังหมักจนกระทั่งออกมาจากระบบ ซึ่งการควบคุมระบบมักใช้ค่าเวลาการพักมากกว่า เนื่องจากคำนวณได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับเวลาพักของแข็ง การควบคุมค่าเวลาพักในการเดินระบบมีความสำคัญคือถ้าเวลาพักยาวนานเกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองเนื่องจากต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่เกินความจำเป็น นอกจากนี้หากเวลาพักยาวนานเกินช่วงการทำงานของแบคทีเรียก็จะได้แบคทีเรียที่ไม่มีประสิทธิภาพเต็มที่ในระบบ ในทางตรงกันข้ามหากใช้เวลาพักสั้นเกินไป แบคทีเรียก็จะเจริญเติบโตไม่ทัน เกิดการชะแบคทีเรียออก ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมเวลาพักที่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีปริมาณคงที่ ระยะเวลาพักเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในระบบและลักษณะของของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ รวมไปถึงชนิดของแบคทีเรียในระบบเป็นสำคัญ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาริยา (2546) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ ระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 27.73 ลิตร และถังหมักก๊าซมีปริมาตร 52.38 ลิตร ซึ่งถังปฏิกริยาทั้งสองนี้มีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์ เติมน้ำด้วยสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลาเก็บกัก เท่ากับ 35, 30, 25 และ 20 วันคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 5.77, 6.39, 8.30 และ 10.27 กรัม ซีโอดี/ลิตร.วัน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 82.11-90.13 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 75.29-84.34 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 83.15-89.29 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 61.75-83.93 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 35 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.77 กรัม ซีโอดี/ลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงที่สุด เท่ากับ 90.13 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น 31.19 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเป็น 57.32 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 10.27 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 82.11 เปอร์เซ็นต์ แต่มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 54.35 ลิตรต่อวัน และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน เท่ากับ 61.26 เปอร์เซ็นต์

ชลิตาและคณะ (2548) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเปลือกสับปะรด โดยใช้ถังหมักขนาด 1.25 ลิตร เพื่อหาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อ 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบ และเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นกับปริมาณก๊าซที่ได้จากการหมักมูลโค โดยทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำการหมักทั้งหมด 4 ชุด ถังหมักมูลโคและถังหมักมูลโคผสมเปลือกสับปะรดในอัตราส่วนมูลโคต่อเปลือกสับปะรด 1:0, 1:1, 1:2 และ 1:3 หาปริมาณมีเทนโดยใช้เครื่อง GC จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักมูลโคมากที่สุดประมาณ 622.718 มิลลิลิตร รองลงมาคือปริมาณก๊าซที่ได้จากการหมักมูลโคผสมเปลือกสับปะรดที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ประมาณ 563.298, 494.371 และ 449.213 มิลลิลิตร ตามลำดับ อัตราการเกิดก๊าซต่อ 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบประมาณ 778.40 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม อัตราการเกิดก๊าซต่อ 1 กิโลกรัมของวัตถุดิบที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ประมาณ 704.12, 617.96 และ 516.52 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ก๊าซที่ได้จากการหมักมูลโคมีปริมาณมีเทนประมาณ 69.23 % ส่วนก๊าซที่ได้จากการหมักมูลโคผสมกับเปลือกสับปะรดที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 มีปริมาณมีเทนประมาณ 67.86 %, 66.53 % และ 66.5 % ตามลำดับ

กฤตภาส และคณะ (2554) ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย ระบบ CSTR แบบแห้ง ระบบ CSTR แบบ 1 ขั้นตอน และระบบ CSTR แบบ AMR ซึ่งทั้ง 3 ระบบมีขนาดการรองรับเศษอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน โดยศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้

ทางด้านการเงินและการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน มีเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ อัตราผลตอบแทน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่าเสียโอกาสที่ดิน โดยผลประโยชน์ประกอบด้วย ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ย ลดกลิ่น อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมพร้อมยังเป็นการช่วยบรรเทาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน เติบโตระบบ 365 วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้ก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัมต่อปี เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือ เทคโนโลยี CSTR 1-Stage อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 47.10% และระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 2.12 ปี

สมจินตนาและคณะ (2554) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการเติมกลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังหมักขนาด 200 ลิตร แบบกึ่งกะ ในตอนเริ่มต้นเติบโตระบบใช้เศษอาหารอย่างเดียวป้อนที่อัตราการระเหยอินทรีย์เฉลี่ยในช่วง 0.306-1.245 กรัมต่อลิตร-วัน (56.6-230.2 กรัมต่อวัน) ให้ผลผลิตของมีเทนเฉลี่ย 0.465 ลูกบาศก์เมตร CH_4 ต่อกิโลกรัมCOD ที่อุณหภูมิห้อง และให้ค่าผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 ลูกบาศก์เมตรbiogasต่อกิโลกรัม COD ในการป้อนกลีเซอรินดิบร่วมกับเศษอาหารที่อัตราป้อนเศษอาหาร 1.245 กรัมต่อลิตร-วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.8 ลิตรต่อวัน เป็น 72.2 ลิตรต่อวัน และ 90.4 ลิตรต่อวัน หลังจากเพิ่มกลีเซอรินเป็น 30.8 และ 46.3 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น B – 3100S บริษัท Sartorius, ประเทศไทย
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น 2842 บริษัท Sartorius, ประเทศไทย
3. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific, สหรัฐอเมริกา
4. Hotplate ยี่ห้อ Fisher Scientific, สหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) รุ่น 827 pH Lab บริษัท Mectrom, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
6. เครื่อง Gas Data GFM416 series, บริษัท Gas Data Limited, สหราชอาณาจักร
7. เต้าเผา Furan
8. เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (conc.H₂SO₄) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan Analytical Science, ประเทศไทย
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan Analytical Science, ประเทศไทย
3. โพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
4. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag₂SO₄) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
5. ไอร์ออน(II)แอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
6. เมอร์คิวรี (II)ซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
7. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย

8. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
9. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
10. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์, บริษัท Carlo Erbra, ประเทศอิตาลี
11. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์, บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี
12. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
13. โซเดียมเตตระบอเรต ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
14. ไอร์รอน(II)ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
15. 1,10-ฟีนิลอัลฟาไทน์ โมโนไฮเดรต ($C_{12}H_{18}N_2 \cdot H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
16. เมทิลเรด เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
17. เมธีลีนบลู เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศไทย
18. น้ำกลั่น

3.1.3 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ที่ใช้ในการวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความจุ 3,500 ลิตร มี กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.6 เมตรและสูง 0.90 เมตร สามารถเก็บก๊าซได้ปริมาณ 3 ลูกบาศก์เมตร ควบคุมอุณหภูมิรอบตัวเครื่อง 35 ± 2 องศาเซลเซียส ติดตั้งใบพัดที่ใช้ระบบปั่นกววนด้วยระบบไฟฟ้าหรือมือหมุน ดังแสดงในรูป 3.1



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

(ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหลัง

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 ศึกษาสภาวะในการหมักก๊าซชีวภาพ

ศึกษาคูณลักษณะของตัวอย่างเศษอาหารที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ โดยสุ่มตัวอย่างอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในอัตราส่วนอาหาร 1 ส่วนต่อน้ำ 1 ส่วน โดยใช้เศษอาหารปริมาณ 400 กรัม และน้ำประปาจำนวน 400 มิลลิลิตร และทำการปั่นผสมรวมกัน จะได้ปริมาณสุทธิเท่ากับ 800 กรัม นำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. วัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH), ความชื้น, สภาพความเป็นด่าง, ค่าของแข็งทั้งหมด (TS), ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS), ค่ากรดไขมันระเหย (VFA) (ตามวิธี APHA 2012) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

2. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ (Temperature)	เทอร์โมมิเตอร์
ความชื้น	ระเหยแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
พีเอช (pH)	pH meter
ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)	Titration ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)	ระเหยแห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids, VS)	เผาที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่ากรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA)	Titration โดยวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)

3.2.2 ศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ปริมาณเศษอาหารต่างๆ

เริ่มการทำงานของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยการเติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัม และน้ำประปา 20 ลิตร อาทิตย์ละครั้ง โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 จนถึงวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2556 เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์จนปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเติมเศษอาหารใส่เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจะดำเนินการทุกวันจันทร์ – ศุกร์ เวลาที่ป้อนใส่อาหารคือ 12.00 น.ของแต่ละวัน โดยในสัปดาห์แรก วันที่ 7 มกราคม พ.ศ.2557 ถึง วันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2557 ทำการเติมเศษอาหารแก่เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพปริมาณ 20 กิโลกรัมและน้ำประปาจำนวน 20 ลิตร ในสัปดาห์ที่สอง วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2557 ถึง วันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2557 ทำการเติมเศษอาหารแก่ระบบปริมาณ 20 กิโลกรัมและของผสม (Slurry) ที่ออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจำนวน 20 ลิตร ในสัปดาห์ที่สาม วันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ถึงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ทำการเติมเศษอาหารแก่ระบบปริมาณ 40 กิโลกรัม และน้ำประปาจำนวน 40 ลิตร ในสัปดาห์ที่สี่ ตั้งแต่วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2557 ถึง วันที่ 10 มีนาคม พ.ศ.2557 ทำการเติมเศษอาหารแก่ระบบปริมาณ 50 กิโลกรัม และน้ำประปาจำนวน 50 ลิตร

1. ทำการจดบันทึกก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังจากเติมเศษอาหารเป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยอ่านสเกลบอกปริมาตรก๊าซชีวภาพพร้อมบันทึกอุณหภูมิบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

2. วัดปริมาณความเข้มข้นขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas Data GFM416
3. วิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียทั้งหมดโดยวิธีย้อมสีแกรมบวก
4. คำนวณอัตราการป้อนอาหาร (Organic loading rate, OLR) และระยะเวลาในการกักเก็บอาหาร (Hydraulic retention time, HRT)

3.2.3 วิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง

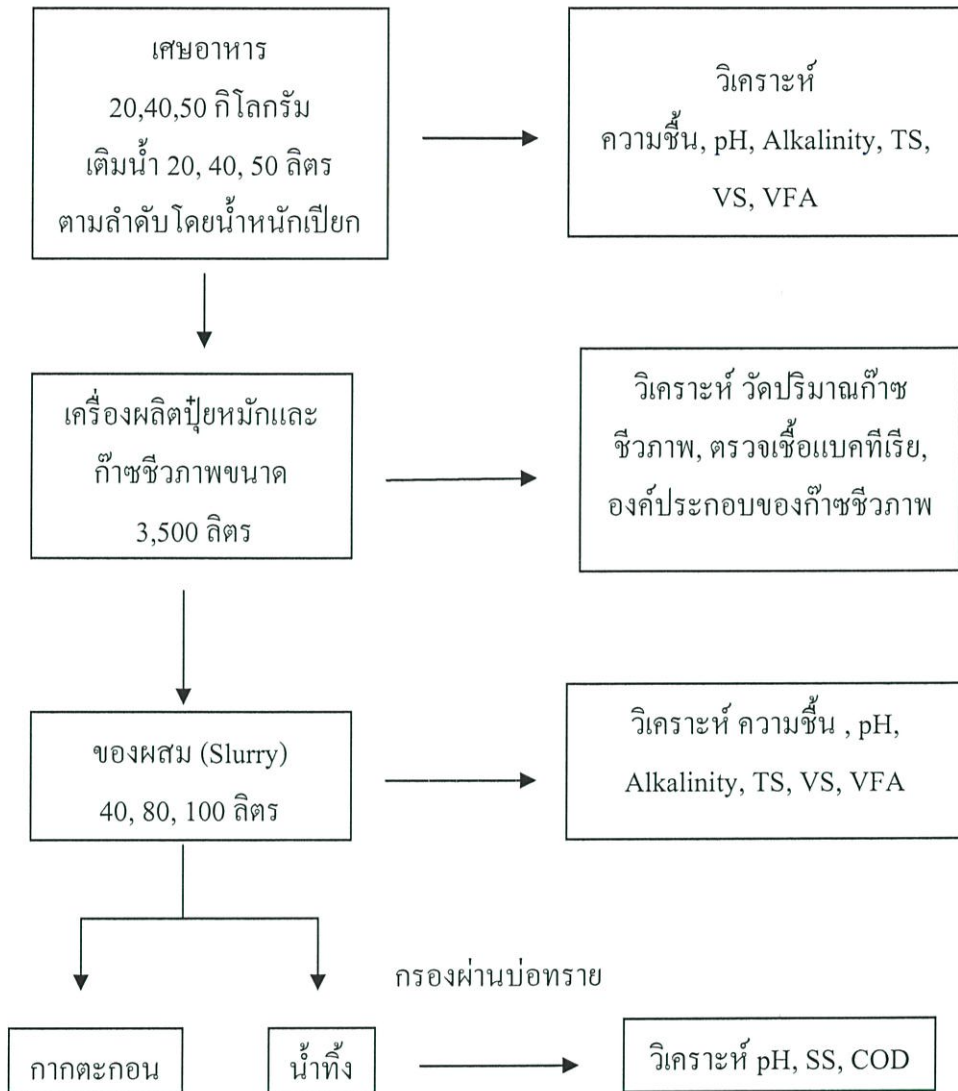
น้ำของผสม (Slurry) ที่ออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพไปกรองผ่านบ่อทรายเพื่อกรองสลัดจ์ แล้วนำน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองมาทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างน้ำทิ้งปริมาณ 500 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH), ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids, SS) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี (COD) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2
2. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช (pH)	pH meter
ค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)	วิธี Closed Reflux, Titrimetric method โดยวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Disc) ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)

ขั้นตอนการทดลองสรุปได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษ้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองโดยใช้เศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสัปดาห์แรกทำการใส่อาหารปริมาณ 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกและน้ำประปา 20 กิโลกรัม (ช่วง I) สัปดาห์ที่สองทำการใส่อาหารปริมาณ 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกและของผสม (Slurry) 20 กิโลกรัม (ช่วง II) สัปดาห์ที่สามทำการใส่อาหารปริมาณ 40 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกและน้ำประปา 40 กิโลกรัม (ช่วง III) สัปดาห์สุดท้ายทำการใส่อาหารปริมาณ 50 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกและน้ำประปา 50 กิโลกรัม (ช่วง IV) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอาหารต่อของเหลว 1:1 เติมเศษอาหารทุกวันจันทร์ถึงศุกร์ เวลา 13.00 – 15.00 น. ในขณะที่ใส่เศษอาหารจะเปิดเครื่องเพื่อทำการปั่นกวนเศษอาหารเป็นเวลา 15 นาที หลังจากทำการเติมเศษอาหารครบ 24 ชั่วโมง จะทำการถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพในอัตราส่วนเท่ากับการเติมเข้าระบบ ของผสม (Slurry) จะถูกกรองน้ำออกโดยผ่านถังกรองทรายที่มีความสูง 46 เซนติเมตร กากตะกอนจะถูกนำไปทดสอบคุณลักษณะของปุ๋ยหมัก และน้ำทิ้งจะถูกนำมาไปตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำทิ้งต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหาร

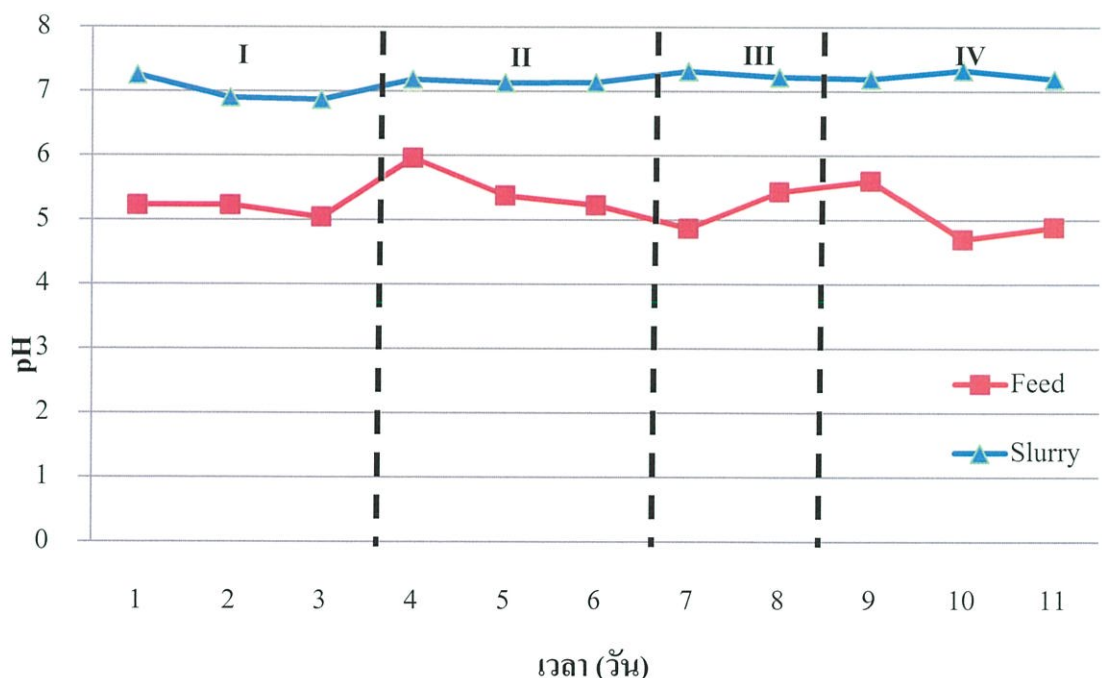
จากตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข 1-ข 11 ภาคผนวก ข) แสดงคุณลักษณะของเศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ การที่คุณลักษณะของเศษอาหารในแต่ละวันมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบของเศษอาหารแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของชลธิชาและคณะ (2556)

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของเศษอาหาร

คุณลักษณะ	คุณลักษณะเศษอาหาร	คุณลักษณะเศษอาหารของชลธิชา และคณะ (2556)
ความชื้น	50.08-84.81 %	59.05 % - 83.25 %
pH	4.70-5.96	4.20 - 5.90
Alkalinity	214.67-2,705 mg/L as CaCO ₃	2,299 mg/L as CaCO ₃
TS	151,867 - 419,900 mg/L	170,168.33 - 454,680 mg/L
VS	132,933-342,133.33 mg/L	165,766.33 - 424,788 mg/L
VFA	133.33-2,833.33 mg/L	364.60 - 1,947.12 mg/L as CaCO ₃

4.2 ผลการศึกษาสภาวะในการหมักก๊าซชีวภาพ

4.2.1 ผลการศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

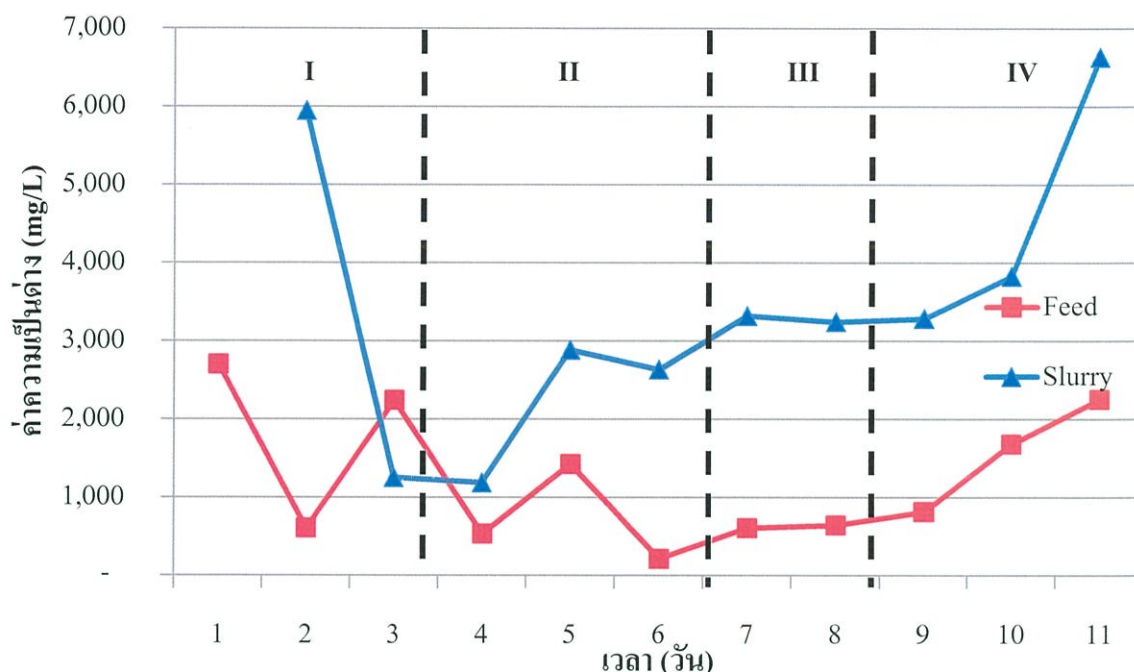
จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข - 1 และข - 2 ภาคผนวก ข) พบว่าพีเอชของเศษอาหาร ในสัปดาห์ที่ 1 วันที่ 1-3 เติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 20

กิโลกรัมมีค่าในช่วง 5.04-5.23 ส่วนค่าพีเอชของของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 6.87-7.25 ในสัปดาห์ที่ 2 วันที่ 4-6 เติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกต่อของผสม 20 กิโลกรัม ค่าพีเอชของเศษอาหารอยู่ในช่วง 5.23-5.96 ค่าพีเอชของของผสมอยู่ในช่วง 7.13-7.19 ในสัปดาห์ที่ 3 วันที่ 7-8 เติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 40 กิโลกรัม ค่าพีเอชของเศษอาหารอยู่ในช่วง 4.87-5.43 ค่าพีเอชของของผสมอยู่ในช่วง 7.22-7.31 ในสัปดาห์ที่ 4 วันที่ 9-11 เติมเศษอาหาร 50 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 50 กิโลกรัม มีค่าพีเอชของเศษอาหารอยู่ในช่วง 4.70-5.60 ค่าพีเอชของของผสมอยู่ในช่วง 7.19-7.33 จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของเศษอาหารจะมีค่าต่ำกว่าค่าพีเอชของของผสมที่ออกจากระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบจะย่อยสลายเศษอาหารให้เป็นกรดอินทรีย์ โดย Hydrolytic bacteria จากนั้นกลุ่ม methanogen bacteria จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้พีเอชของผสม (Slurry) ที่ได้หลังจากผ่านการย่อยสลายมีพีเอชสูงขึ้น ซึ่งค่าพีเอชดังกล่าวอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ดี ($6.5 < \text{pH} < 7.5$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชลธิชาและคณะ (2556) จากการคำนวณค่า HRT และ OLR ในการเติมปริมาณเศษอาหารที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาเก็บเก็บสารอินทรีย์ที่อัตราการเติมอาหารต่างๆ

ช่วง	ปริมาณอาหาร (กิโลกรัม)	HRT (วัน)	OLR (กรัม/ลิตร/วัน)
I	40	88	0.36-5.49
II	40	88	0.04-0.82
III	80	44	0.85-2.97
IV	100	35	0.3-3.09

4.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่าง

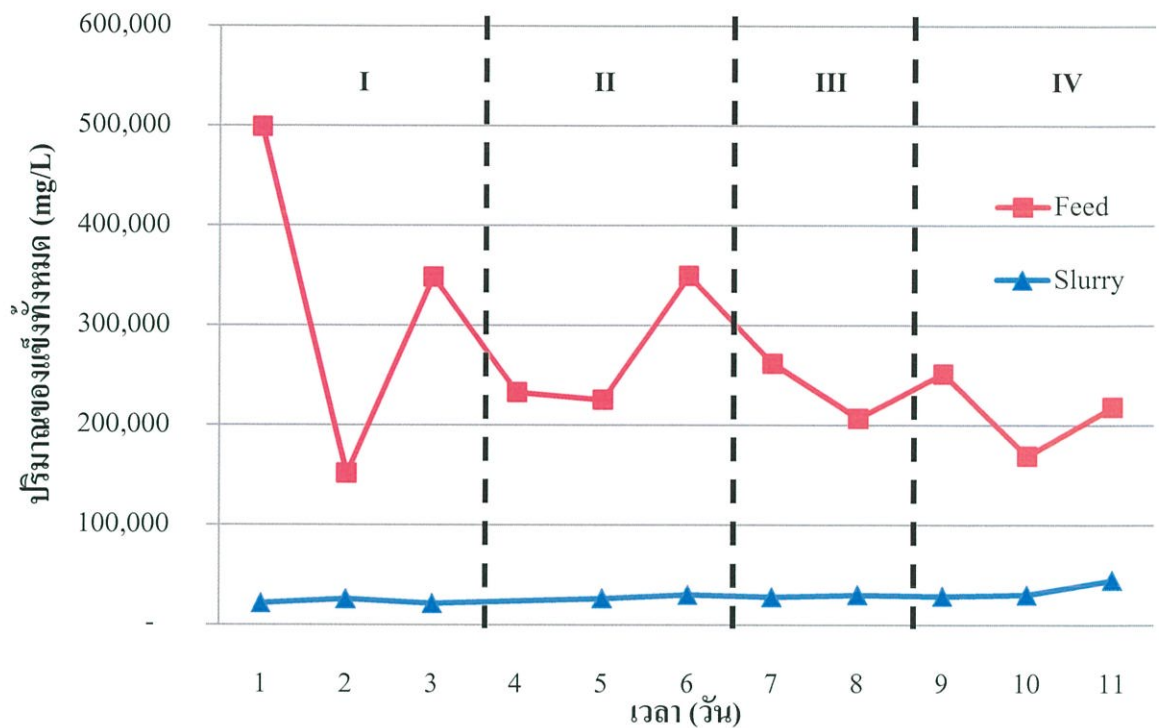


รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-3 และ ข-4 ภาคผนวก ข) แสดงค่าสภาพความเป็นด่างของเศษอาหาร (Feed) พบว่าในช่วง I, II, III, IV มีค่าอยู่ระหว่าง 604-2,705, 214-1,423, 608-645, 813-2,256 mg/L as CaCO_3 ตามลำดับ และของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ระหว่าง 1,252-5,947, 1,185-2,885, 2,244-3,318, 3,285-6,633 mg/L as CaCO_3 ตามลำดับ จากการผลการทดลองพบว่า ปริมาณของสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของผสม (Slurry) มีค่ามากกว่าเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของของผสม (Slurry) ที่มากกว่าของเศษอาหาร โดยค่าสภาพความเป็นด่างเป็นค่าการรักษาสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง จะเห็นว่าค่าสภาพความเป็นด่างของของผสมในช่วง I, II และ III มีค่าไม่เกินค่าสภาพความเป็นด่างที่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนจะเติบโตได้ (5,000 mg/L as CaCO_3) ส่วนในช่วง IV มีค่าสภาพความเป็นด่างเกิน 5,000 mg/L as CaCO_3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีอัตราการเติมอาหารที่มากเกินไป

http://www.ku.ac.th/emagazine/september43/bio_gass/

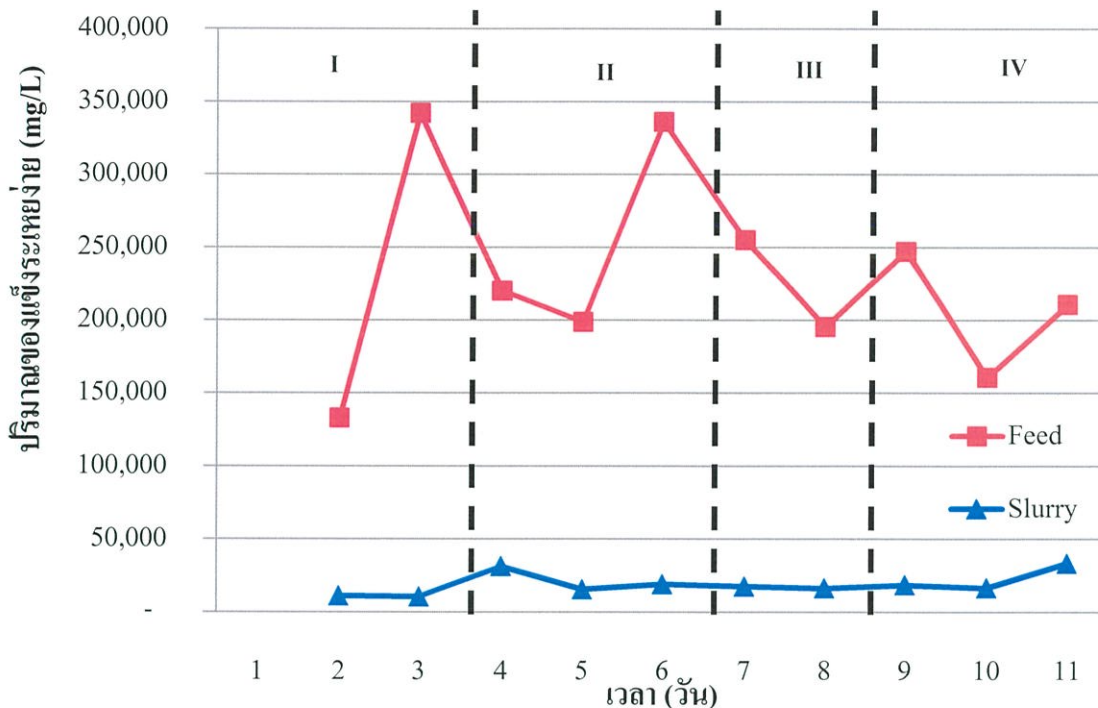
4.2.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมด



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-5 และ ข-6 ภาคผนวก ข) พบว่าเศษอาหาร (Feed) มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดไม่คงที่เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบในเศษอาหารที่เหลือจากโรงอาหารในแต่ละวันมีค่าไม่เหมือนกัน จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งของเศษอาหาร (Feed) ก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีค่า 169,200 – 419,900 mg/L ซึ่งมากกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของของผสม (Slurry) มีค่า 21,533 – 44,800 mg/L ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบใช้เศษอาหาร (Feed) ที่มีปริมาณของสารอินทรีย์สูงและย่อยสลายง่ายเป็นแหล่งอาหารโดยเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพ จึงเป็นผลให้ของผสม (Slurry) มีปริมาณของแข็งลดลง จากผลการทดลองพบว่าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด 89.03 %

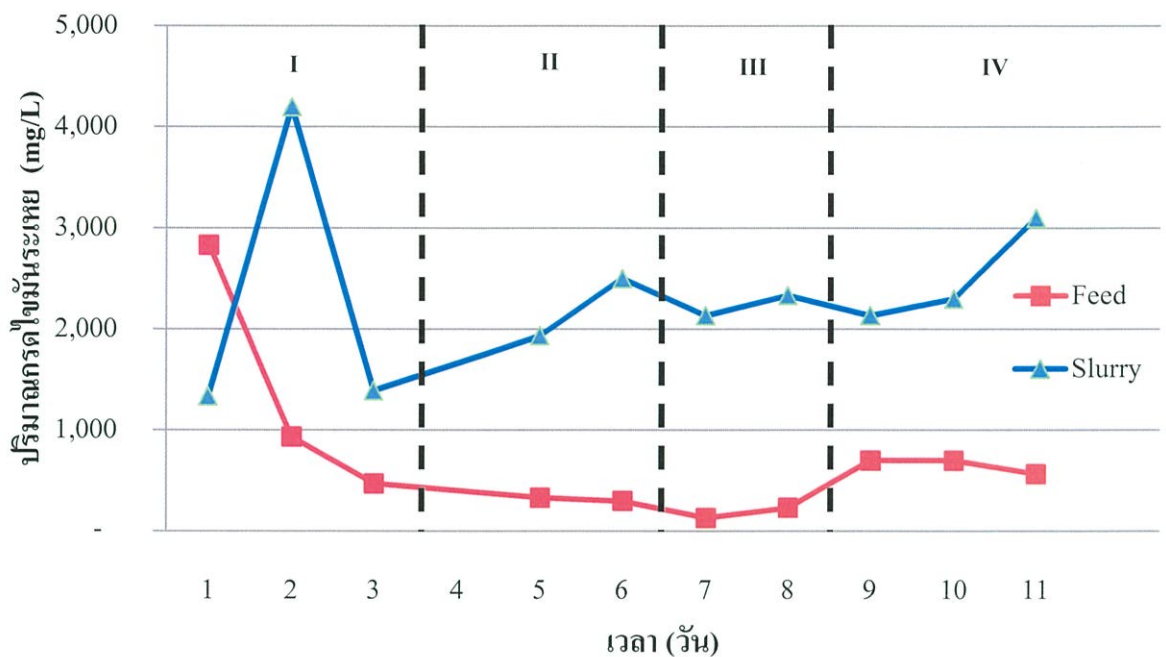
4.2.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-7 และ ข-8 ภาคผนวก ข) แสดงปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ในช่วง I, II, III และ IV พบว่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) มีค่าอยู่ในช่วง 132,933-342,133 mg/L และของของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 10,400-33,267 mg/L ซึ่งค่าปริมาณของแข็งระเหยง่าย ของเศษอาหารสูงกว่าของผสมซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่าเศษอาหารสามารถถูกย่อยสลายเป็นก๊าซชีวภาพได้ง่ายและเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพในการขจัดของแข็งระเหยง่าย 96.96 %

4.2.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหย



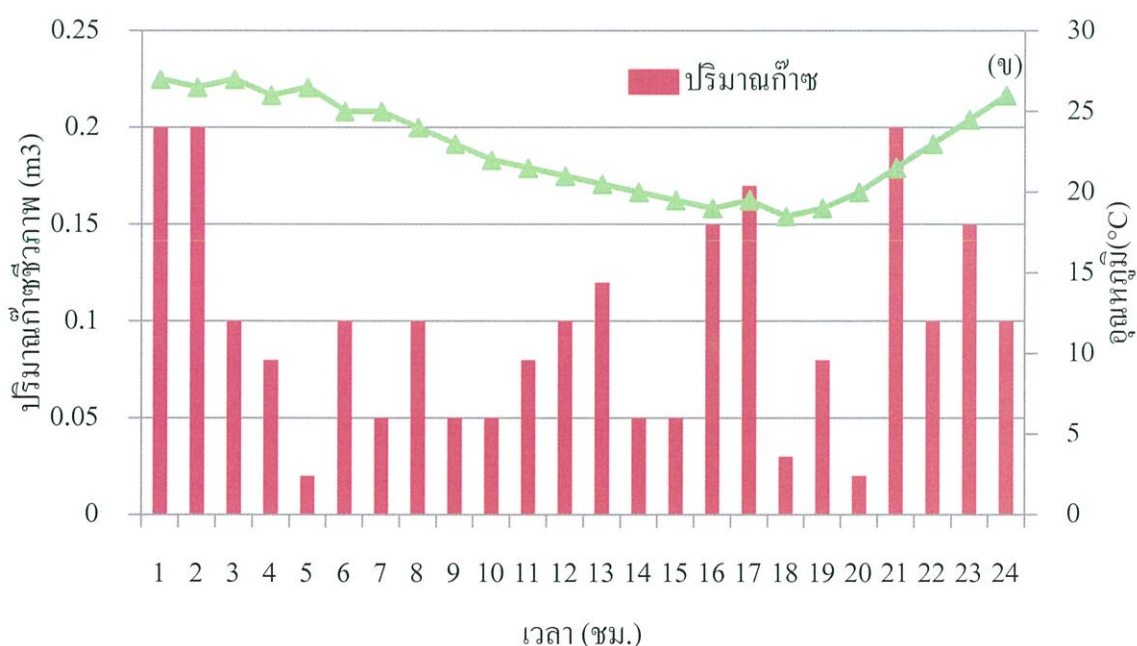
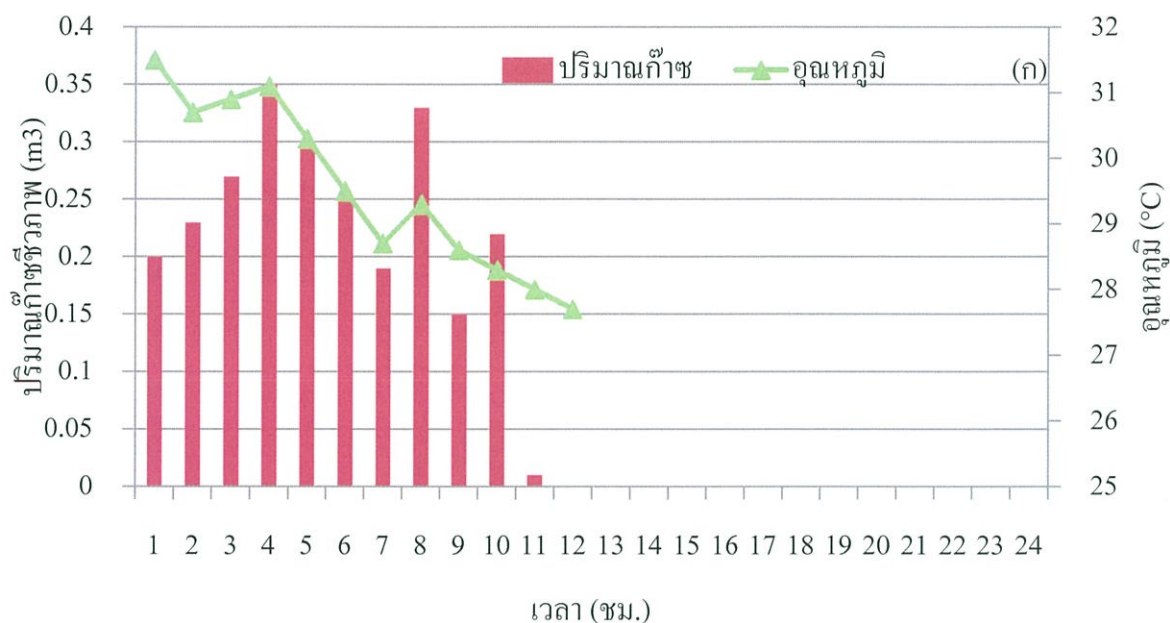
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดที่ตารางที่ข-9 และ ข-10 ภาคผนวก ข) พบว่าของผสม (Slurry) ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพในช่วง I, II, III และ IV มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 1,333-4,200, 1,933-2,500, 2,133-2,333, 2,133-3,100 mg/L ตามลำดับ และเศษอาหาร (Feed) ที่มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย อยู่ในช่วง 472-2,833, 300-333, 133-700, 566-700 mg/L ตามลำดับ จะเห็นว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) ก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีค่าน้อยกว่าของผสม (Slurry) เนื่องจากสารอินทรีย์ของเศษอาหารจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยจากนั้นกรดไขมันระเหยจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งจะถูกใช้เป็นส่วนตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน (CH_4) จึงทำให้ของผสม (Slurry) มีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่สูง ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

4.3 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.3.1 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

จากการวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิในทุกๆ ชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของในแต่ละสัปดาห์ที่เปลี่ยนปริมาณเศษอาหาร(Feed) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.9 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-12 ภาคผนวก ข)

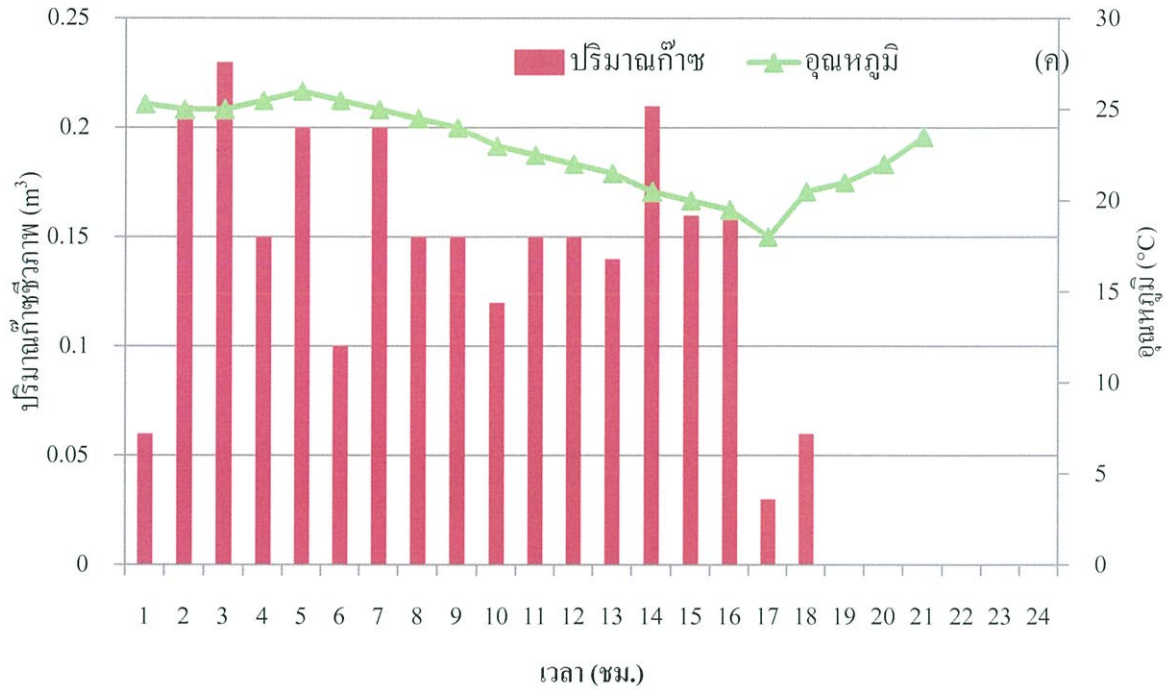


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิของอากาศในการเติมอาหาร 20 กิโลกรัมโดยน้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 20 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 7 มกราคม 2557

(ข) วันที่ 14 มกราคม 2557

(ค) วันที่ 15 มกราคม 2557

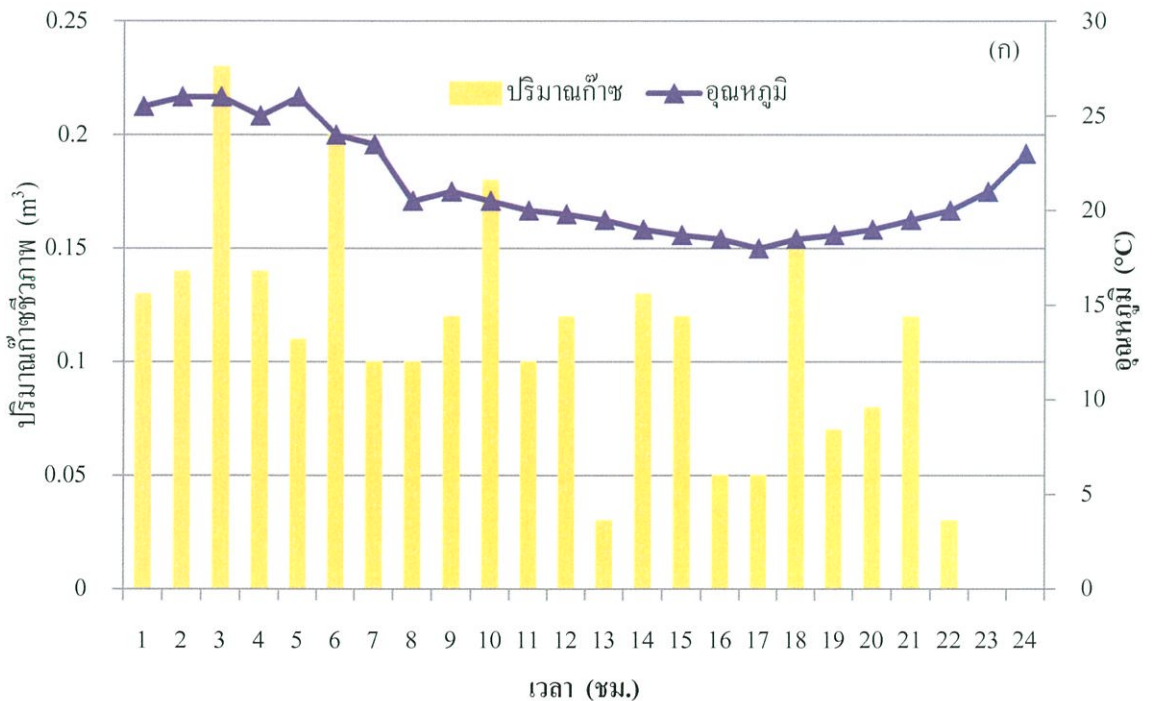


รูปที่ 4.6(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิของอากาศในการเติมอาหาร 20 กิโลกรัม โดยใช้น้ำหนักเปียกต่อน้ำประปา 20 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 7 มกราคม 2557

(ข) วันที่ 14 มกราคม 2557

(ค) วันที่ 15 มกราคม 2557

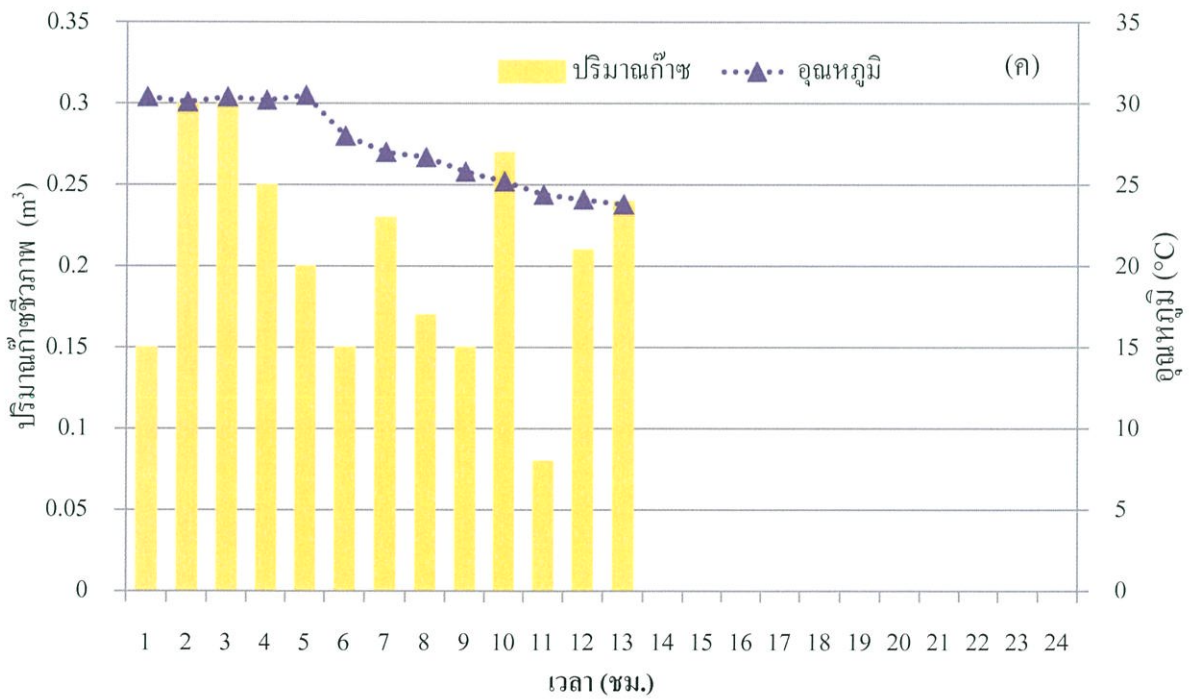
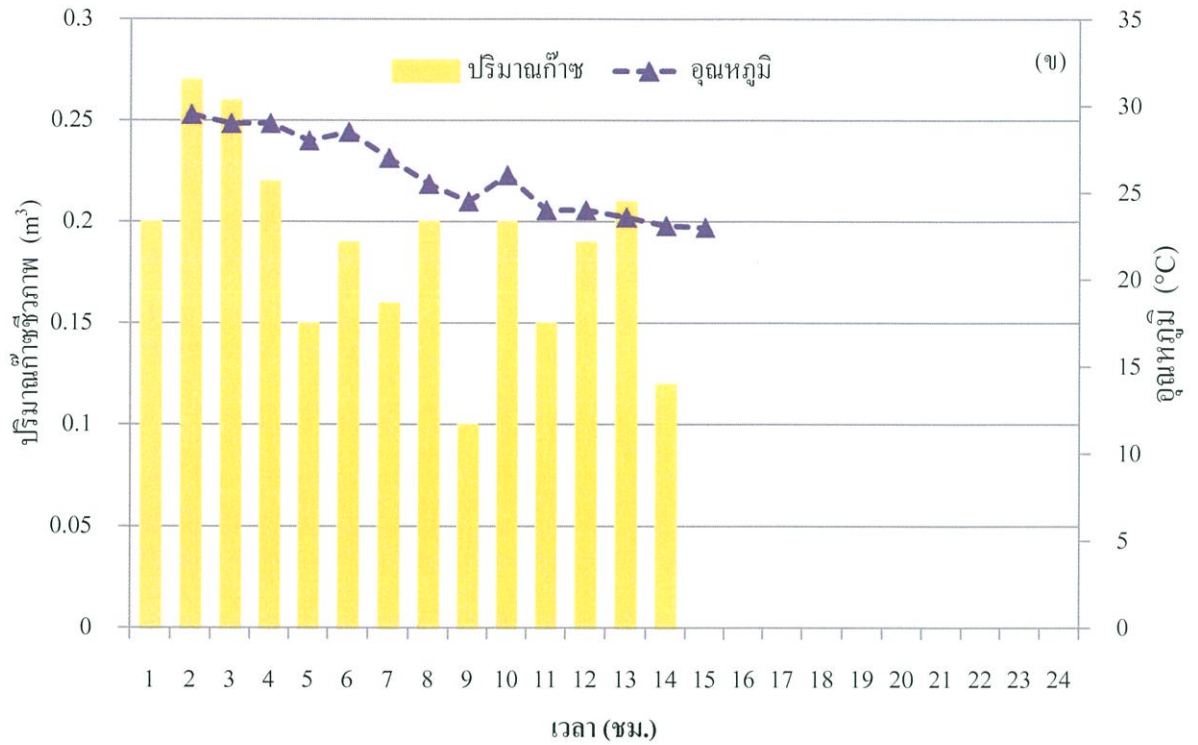


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิบรรยากาศในการเติมอาหาร 40 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 21 มกราคม 2557

(ข) วันที่ 28 มกราคม 2557

(ค) วันที่ 29 มกราคม 2557

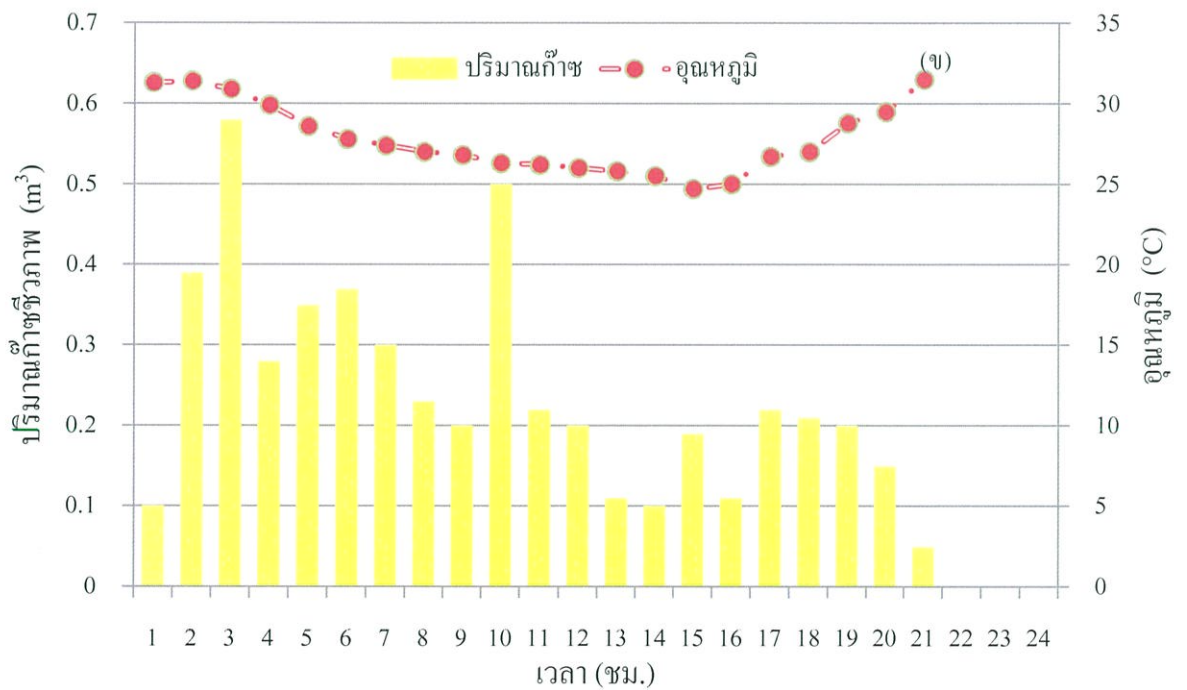
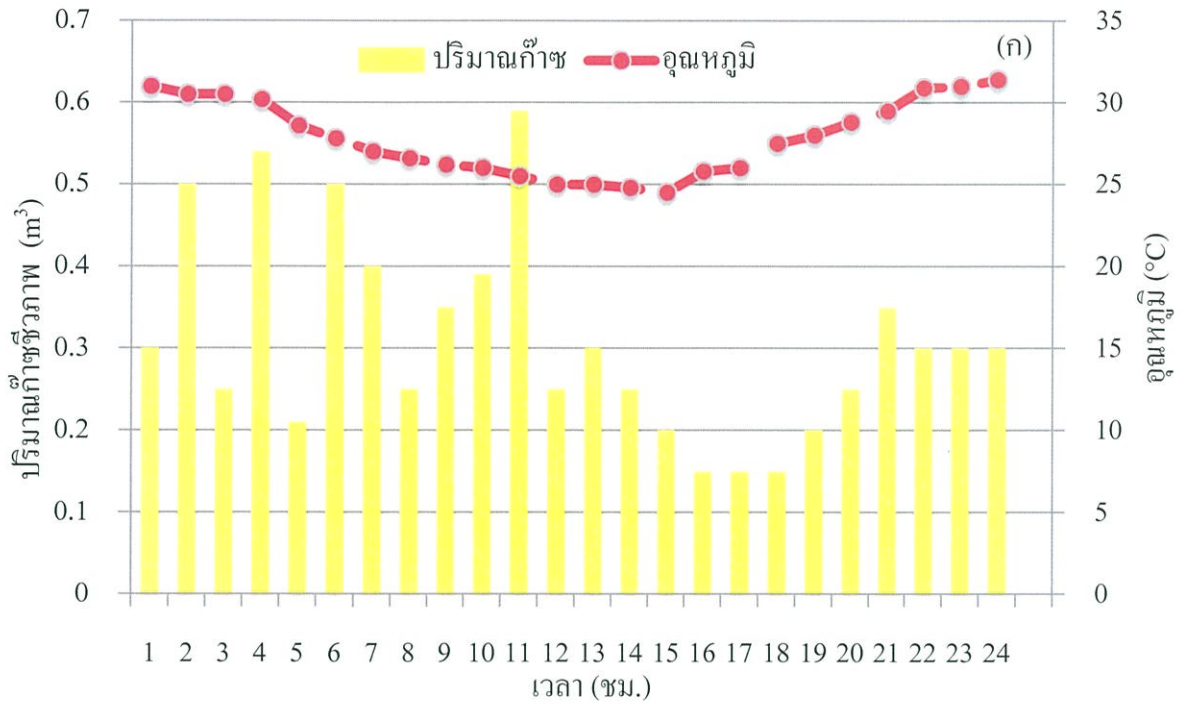


รูปที่ 4.7(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิบรรยากาศในการเติมอาหาร 40 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 21 มกราคม 2557

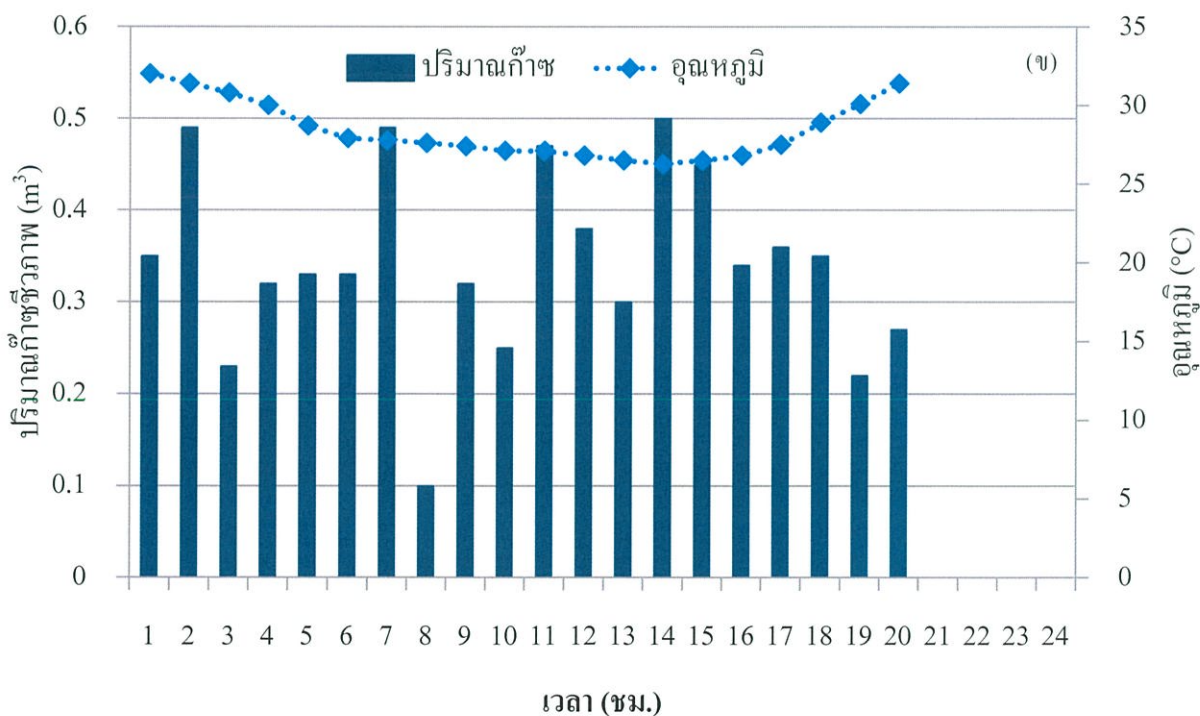
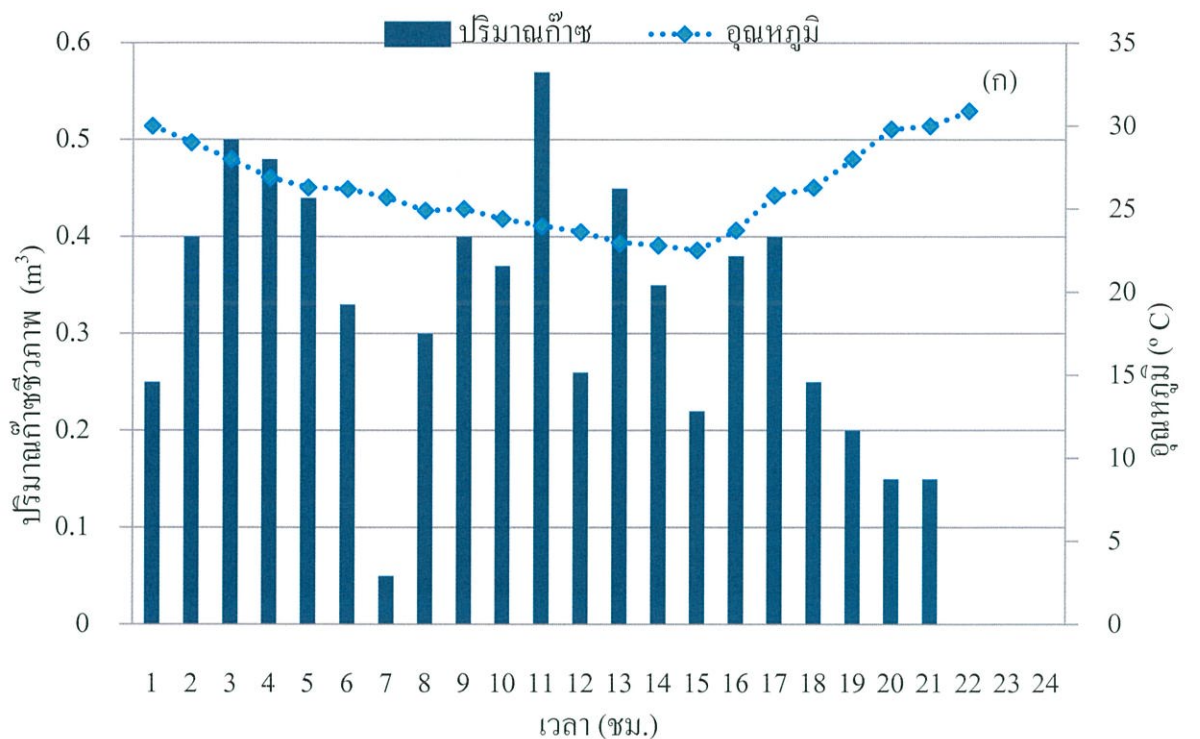
(ข) วันที่ 28 มกราคม 2557

(ค) วันที่ 29 มกราคม 2557



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิบรรยากาศในการเติมอาหาร 80 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557 (ข) วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2557



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซที่เกิดกับอุณหภูมิบรรยากาศในการเติมอาหาร 100 กิโลกรัม

(ก) วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2557

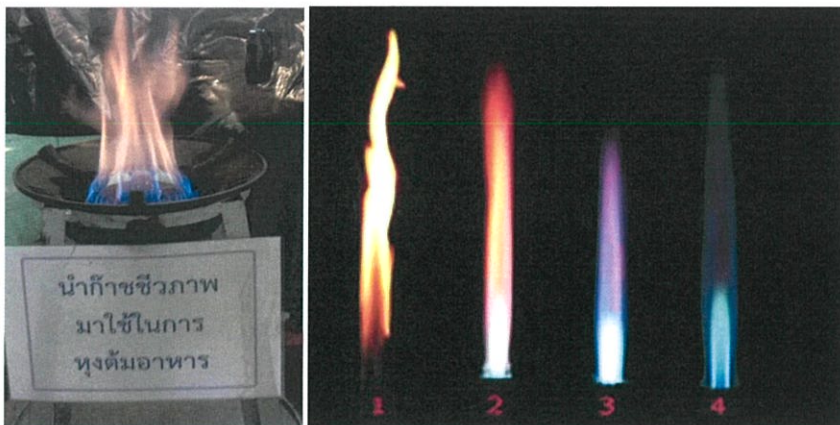
(ข) วันที่ 10 มีนาคม 2557

จากภาพแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซชีวภาพแต่ละชั่วโมงกับอุณหภูมิบรรยากาศ พบว่าอุณหภูมิของบรรยากาศนั้นไม่ส่งผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น เนื่องจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพออกแบบให้สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 35 ± 2 °C และอุณหภูมิในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก การเพิ่มปริมาณเศษอาหารที่เติมเข้าสู่ระบบนั้นมีผลต่อปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยจะสังเกตได้จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในชั่วโมงเริ่มต้นหลังจากการเติมอาหารเข้าสู่ระบบจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพมากเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้สารอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพนั่นเอง จากการทดลองพบว่า ช่วงที่ I ที่มีการเติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัม จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.63 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงที่ II ที่มีการเติมอาหาร 20 กิโลกรัมต่อของผสม 20 กิโลกรัมจะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงที่ III ที่มีการเติมอาหาร 40 กิโลกรัม จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 7.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ช่วงที่ IV ที่มีการเติมอาหาร 50 กิโลกรัม จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 6.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

จากการนำก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซพบว่าก๊าซชีวภาพประกอบด้วย ก๊าซมีเทน CH_4 52.8 %, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 43.8 %, ก๊าซออกซิเจน O_2 0.1 %, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S 100 ppm (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-13 ภาคผนวก ข)

จากการเปรียบเทียบสีเปลวไฟ พบว่าเปลวไฟที่เกิดจากก๊าซชีวภาพนั้นอยู่ในระดับที่ 2 จาก 4 ระดับ (ดูรูปที่ 4.10)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการเติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัมและน้ำประปา 40 กิโลกรัม เป็นอัตราการเติมเศษอาหารที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด และสถานะในการหมักก๊าซมีค่าอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพเจริญได้ดี



(ก) สีของเปลวไฟจากก๊าซชีวภาพ

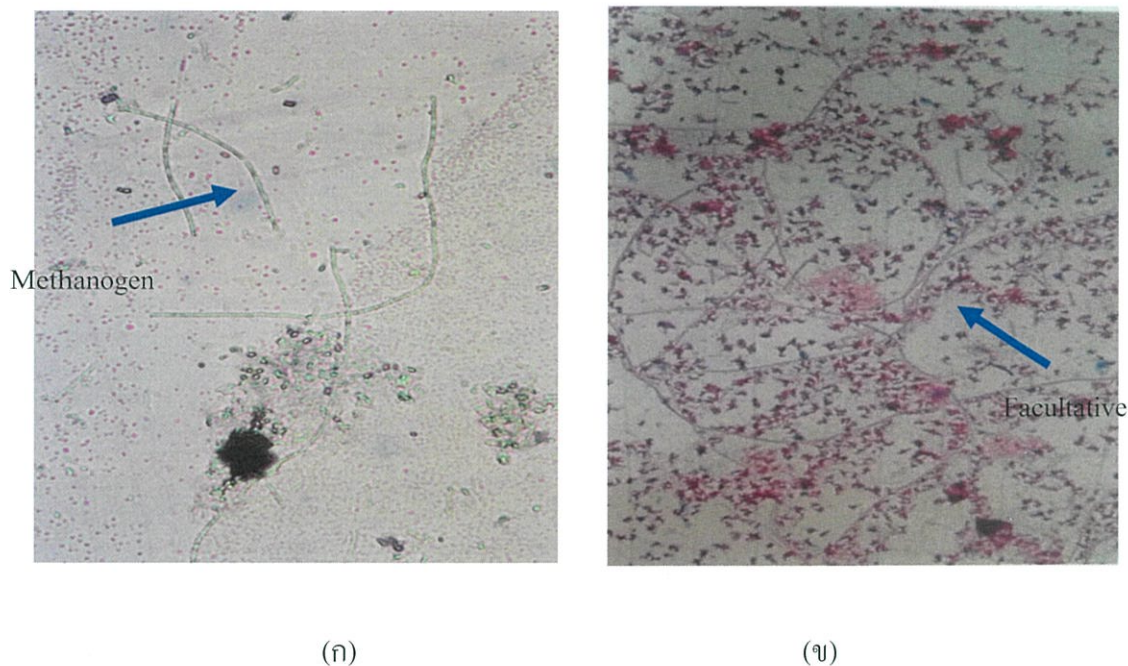
(ข) ลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟ

(ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Flame>)

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบสีของเปลวไฟจากก๊าซชีวภาพ

4.3.2 ผลการวิเคราะห์เชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาเชื้อแบคทีเรียในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยการย้อมสีแกรมแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายภาพ 400X (รูปที่ 4.11) พบเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว คาดว่าน่าจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม methanogen ซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทน CH_4 และจุดขนาดเล็ก คาดว่าเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Facultative bacteria ทำหน้าที่สร้างกรดอินทรีย์ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียที่พบมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของกลุ่มชลธิชาและคณะ (2556) อย่างไรก็ตามควรมีการตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียดทางจุลินทรีย์ต่อไป



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen

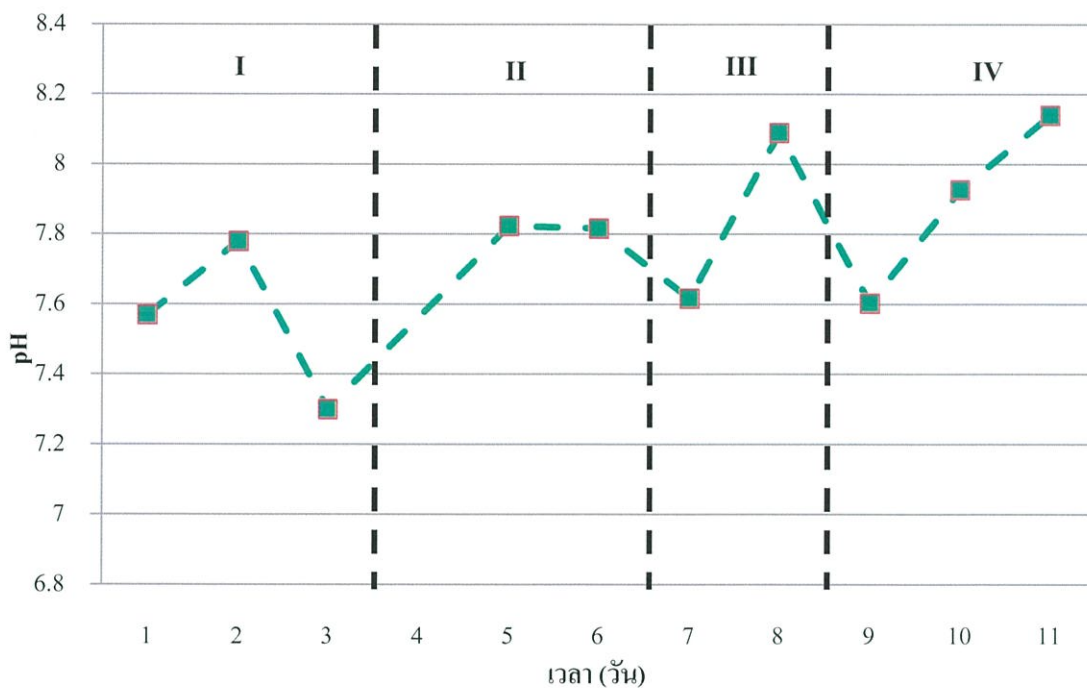
(ก) แบคทีเรียที่พบในของผสม (Slurry)

(ข) แบคทีเรียกลุ่ม Methanogen จากงานวิจัย (ชลธิชาและคณะ, 2557)

4.4 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำทิ้ง

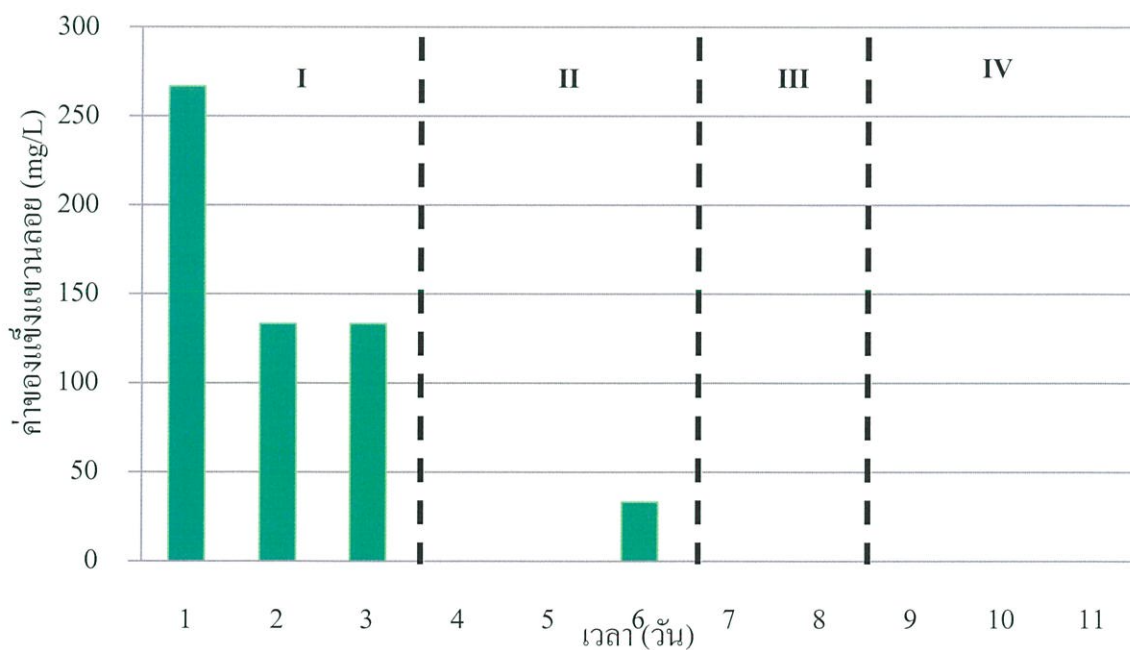
4.4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้งได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 4.12 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-16 ภาคผนวก ข) พบว่าค่า pH เฉลี่ยมีค่า 7.3 -8.14 จะเห็นได้ว่าในวันที่ช่วงที่ IV มีค่า pH สูงซึ่งผลการทดลองที่ได้ผลที่สอดคล้องกับค่า pH ในระบบ อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ทั้งหมดนั้นมีค่า pH ไม่เกินมาตรฐาน เนื่องจากค่ามาตรฐานความเป็นกรด – ด่าง ของน้ำทิ้งชุมชนถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 5.5 – 9.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง

4.4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอย (Suspended, SS) ในน้ำทิ้ง

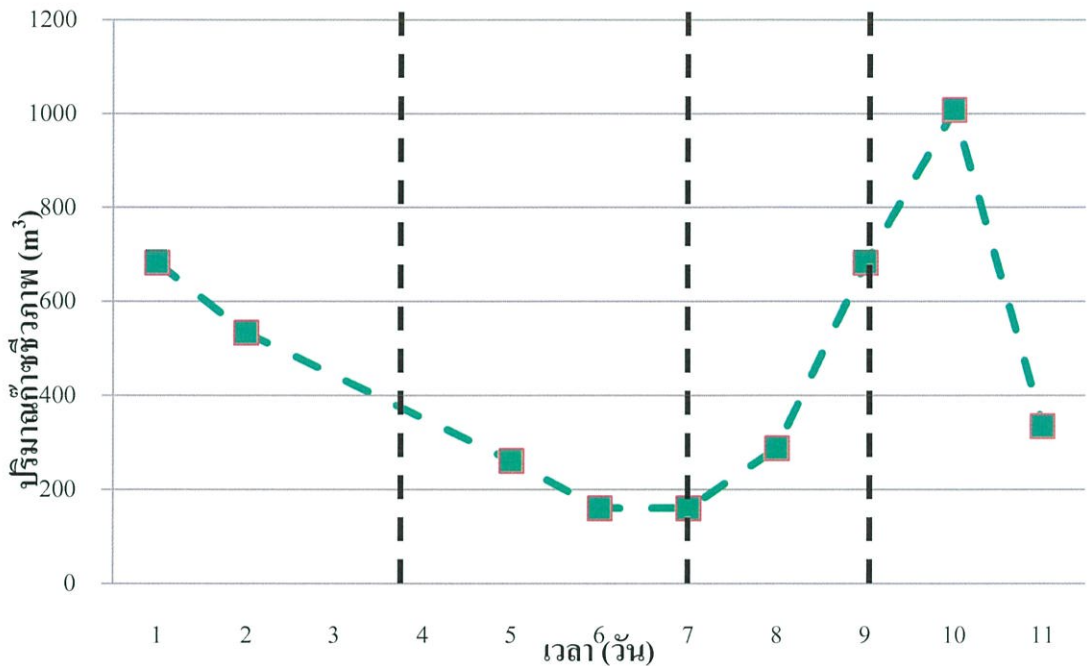


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ดูรายละเอียดในตารางที่ข-14 ภาคผนวกข) มีค่าอยู่ในช่วง 33.3 -266.6 mg/L ในช่วงแรก

เป็นค่าที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน อยู่ในช่วงไม่เกิน 30 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) เนื่องจากทรายกรองเกิดการตันทำให้มีตะกอนมาก หลังจากทำการเปลี่ยนทรายใหม่ไม่พบว่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง

4.4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-16 ภาคผนวก ข) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ ช่วง 160 – 1,008 mg/L จากผลการทดลองพบว่า ในช่วง I จะพบปัญหาถังกรองทรายตันทำให้กรองของแข็งแขวนลอยได้ไม่ดี ส่งผลให้มีค่าซีโอดีสูง ส่วนช่วงที่ II และ III มีการเปลี่ยนทรายกรองในถังทรายใหม่ทำให้กรองของแข็งแขวนลอยได้ดี จึงทำให้ค่าซีโอดีลดลง อย่างไรก็ตามในช่วง IV ค่าซีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นอาจเนื่องจากการใส่อาหารปริมาณมากทำให้ซีโอดีที่ออกจากระบบมีมาก ในการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า COD มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง โดยค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งไม่ควรเกิน 120 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) บ่งชี้ว่าในน้ำทิ้งมีค่าสารอินทรีย์อยู่สูงเกินมาตรฐาน ควรมีการบำบัดก่อนทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษอาหารด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพขนาด ปริมาตร 3,500 ลิตร ในสัปดาห์แรกเติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัม โดยน้ำหมักเปียกต่อน้ำประปา 20 กิโลกรัม โดยมีการปั่นกวนในถังหมัก 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงทำการถ่ายของผสม (slurry) ออกจากระบบ 40 กิโลกรัม จากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 88 วัน มีค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 0.36-5.49 กรัม/ลิตร/วัน จากการศึกษาสภาพ ความเป็นกรดต่าง มีค่าพีเอช 6.87-7.25 และสภาพความเป็นด่าง มีค่า 1,252-5,947 mg/L as CaCO₃ ปริมาณก๊าซชีวภาพ 2.63 ลูกบาศก์เมตร/วัน สัปดาห์ที่สองเติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัมโดยน้ำหมัก เปียกต่อของผสม 20 กิโลกรัม โดยมีการปั่นกวนในถังหมัก 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงทำการ ถ่ายของผสม (slurry) ออกจากระบบ 40 กิโลกรัม จากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 88 วัน มีค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 0.04-0.82 กรัม/ลิตร/ วัน จากการศึกษาสภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าพีเอช 7.13-7.19 และสภาพความ เป็นด่างมีค่า 1,185-2,885 mg/L as CaCO₃ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น 2.65 ลูกบาศก์เมตร/วัน สัปดาห์ที่ สาม ทำการเติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัม โดยน้ำหมักเปียกและน้ำประปา 40 กิโลกรัม โดยมีการปั่น กวนในถังหมัก 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงทำการ ถ่ายของผสม (slurry) ออกจากระบบ 80 กิโลกรัม จากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 44 วัน มีค่าอัตราการป้อน สารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 0.85-2.97 กรัม/ลิตร/วัน จากการศึกษาสภาพการผลิต ก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าพีเอช 7.22-7.31 และสภาพความเป็นด่าง มีค่า 3,244-3,318 mg/L as CaCO₃ ปริมาณก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 5.12-7.23 ลูกบาศก์เมตร/วัน และสัปดาห์สุดท้ายทำการเติม เศษอาหาร 50 กิโลกรัม โดยน้ำหมักเปียกต่อน้ำประปา 50 กิโลกรัม โดยมีการปั่นกวนในถัง หมัก 15 นาที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงทำการถ่ายของผสม (slurry) ออกจากระบบ 100 กิโลกรัม จาก การคำนวณพบว่าระบบพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 35 วัน และมีค่าอัตราการป้อน สารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 0.3-3.09 กรัม/ลิตร/วัน จากการศึกษาสภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าพีเอช 7.19-7.33 และสภาพความเป็นด่าง มีค่า 3,285-6,633 mg/L as CaCO₃ ปริมาณก๊าซชีวภาพ 7.00-7.15 ลูกบาศก์เมตร/วัน สรุปได้ว่า อัตราการเติมอาหารที่ เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์คือ การเติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัมโดยน้ำหมักเปียกต่อ น้ำประปา 40 กิโลกรัม และน้ำทิ้งควรมีการนำไปใช้ประโยชน์หรือทำการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่ แหล่งน้ำสาธารณะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบอื่น
2. ควรศึกษาคูณลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.[online].
- คาวเทค. 2556. “ผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากเศษพืช ขยะอินทรีย์ และของเสีย”
- อารียา วิวัชรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ชลิตา แก้วบุตรดี, วลัยพร เหมโสและสมรภัท โพธิ์ศรี. 2548. การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเปลือกกล้วย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กฤตภาส สิงคิบุตร, วิชชากร จารุศิริและปฐมทัศน์ จิระเดชะ. 2554. การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย. วารสารวิจัยพลังงาน. ปีที่ 8, ฉบับที่ 2554/3. หน้า 26-33.
- สมจิตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรมและอนรรักษ์ ปิติรักษ์สกุล. 2554. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรินดิบที่ได้จากระบวนการผลิตไบโอดีเซล. วิศวกรรมสาร. ปีที่ 38, ฉบับที่ 2(101-110) เมษายน-มิถุนายน 2554.
- ชลธิชา มะลิซ้อน, ชัยวัฒน์ เพชรโสมและชุตีพร จิตคงสง. 2556. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ.สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ.[online] Available : www.diw.go.th
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน.[online] Available : www.dede.go.th
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2549.โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ก๊าซชีวภาพ. สำนักวิจัยคิดค้นพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2549.
- K. Komemoto, Y.G. Lim, N. Nagao, Y. Onoue, C. Niwa, T. Toda.(2009). **Effect of temperature on VFA's and biogas production in anaerobic solubilization of food waste.** Waste Management, 29, 2950–2955

- L. Martn-González, X. Font, T. Vicent. (2013). **Alkalinity ratios to identify process imbalances in anaerobic digesters treating source-sorted organic fraction of municipal wastes.** Biochemical Engineering Journal ,76, 1– 5
- Dan Brown, Yebo Li. 2013. **Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production.** Bioresource Technology, 127, 275–280
- American Public Health Association. 2012. **Standard Method for the Examination of water and Waste water.** 22th ed. Washington DC. USA:APHA.
- Kim, J.K., oh, B. R., Chun, Y. N. and Kim, S. W., (2006). **Effects of Temperature and Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digest ion of food Waste.** Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 102, No.4, p.328-332
- Gopi Krishna Kafle, Sang Hun Kim. 2013. **Effects of chemical compositions and ensiling on the biogas productivity and degradation rates of agricultural and food processing by-products.** Bioresource Technology, 142, 553–561
- http://www.ku.ac.th/e-magazine/september43/bio_gass/
- <http://www.erdj.or.th/index>.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ของตัวอย่าง

ก-1. พีเอช

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความเป็นกรด – เบส (654 pH meter บริษัท Metrohm)
2. บีกเกอร์

1.2 วิธีการวัด

1. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดและคาโทดอิเล็กโทรดให้สะอาด โดยใช้กระดาษทิชชูชนิดเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง

2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องนั้น ๆ ด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอช ใกล้เคียงกับค่าของน้ำเสียตัวอย่างที่จะวัด

3. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง

4. วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง (โดยตัวอย่างที่นำมาวัดต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานใน ข้อ 2)

หมายเหตุ รายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวนี้ ศึกษาได้จากคู่มือประจำเครื่อง

ก-2. สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บิวเรต 50 มล.
2. ปิเปต , กระบอกตวง
3. ขวดรูปกรวยขนาด 250 มล.

2.2 สารเคมี

1. น้ำปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
3. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมทิลเรด
4. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.0200 นอร์มัล

2.3 วิธีวิเคราะห์

1. การเลือกปริมาตรตัวอย่าง

ถ้าเป็นน้ำธรรมชาติทั่วไปมักใช้ตัวอย่าง 50 มล. หรือ น้อยกว่า (อาจสังเกตได้จากลักษณะน้ำและแหล่งที่มาของน้ำตัวอย่าง)

2. ปิเปตตัวอย่างใส่ขวดรูปกรวย
3. สภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีน (P)

หยดฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ โทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน กรดซัลฟูริก จนกระทั่งสีชมพูของน้ำตัวอย่างหายไป ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลินลงในตัวอย่างแล้วไม่เกิดสีชมพูแสดงว่าไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลิน จดปริมาตรกรดที่ใช้โดยปกติถ้าพีเอชของน้ำตัวอย่าง น้อยกว่า 8.3 จะไม่มีสภาพด่าง P

4. สภาพด่างทั้งหมด (T)

หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมทิลเรด 3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ ซึ่ง ได้ทำการหาสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลินแล้ว หรือใช้ตัวอย่างใหม่เลยแล้ว โทเทรตด้วยสารละลาย มาตรฐานกรดซัลฟูริกจากสีฟ้าจนเป็นสีชมพูอมส้ม จดปริมาตรที่ใช้ คำนวณสภาพด่างทั้งหมดจาก ปริมาตรกรดรวมที่ได้จากข้อ 3 และข้อ 4

2.4 การคำนวณ

สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)

$$= \frac{\text{มล. ของกรดที่ใช้} \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก} \times 50 \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

ก-3. ของแข็งทั้งหมด หรือ ทีเอส (Total solids, TS)

ทีเอส หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในภาชนะภายหลังจากระเหยน้ำออกจากตัวอย่าง จนหมด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหา น้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้นจะได้ปริมาณของของแข็งหรือสารทั้งหมด มีหน่วยเป็น มก./ลบ.ดม.

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหย (Evaporating dish)
2. เครื่องอังน้ำ (water bath หรือ steam bath)
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตอบแห้ง
5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

3.2 วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย : จานที่ใช้จะต้องสะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 103-105°C. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก สมมุติเป็น A มิลลิกรัม
2. เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำให้เหมาะสม โดยปกติใช้ 50 หรือ 100 ลบ.ซม.
3. ค่อยๆรินตัวอย่างน้ำที่เขย่าให้เข้ากันดีแล้วลงในถ้วยระเหยที่ตั้งบนเครื่องอังน้ำ เมื่อไอน้ำระเหยออกหมดแล้ว
4. ให้นำจานระเหยไปอบที่เตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง
5. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง
6. ทำซ้ำในข้อ 4,5 จนชั่งน้ำหนักจานระเหยได้คงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมุติเป็น B มิลลิกรัม (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาตรสารทั้งหมดหรือทีเอส)

3.3 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด หรือ ทีเอส , มก./ลบ.คม.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B - A) x 1000}}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$$

หมายเหตุ อาจคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดได้จาก

ปริมาณของแข็งทั้งหมด หรือ ทีเอส , มก./ลบ.คม.

= ปริมาณของแข็งละลาย (มก./ลบ.คม.)+ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มก./ลบ.คม.)

= ทีดีเอส+เอสเอส

ก-4. ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids)

ของแข็งระเหยง่ายหรือวีเอส หมายถึง ปริมาณของของแข็งที่สลายกลายเป็นไอไปได้ที่อุณหภูมิในช่วง 500 ± 50 °ซ. ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลืออยู่และไม่สลายไปเรียกว่าของแข็งคงตัว หรือ เอฟเอส ส่วนใหญ่จะเป็นสารอนินทรีย์

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหย (Evaporating dish)
2. เครื่องอังน้ำ(water bath หรือ steam bath)
3. เตาอบแห้ง
4. โถทำแห้ง (Desiccator)

5. เครื่องชั่งอย่างละเอียด
6. เตาเผาใช้ที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °ซ.

4.2 วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมงานระเหย โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งชั่งหาน้ำหนัก
2. ทำซ้ำข้อ 1 จนกระทั่งชั่งงานระเหยได้ค่าน้ำหนักคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4
3. นำงานระเหยที่ชั่งแล้วไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย
4. นำงานระเหยที่ชั่งหาปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือที่หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (สมมติ = C) แล้วไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °ซ. จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)
5. ปล่อยให้เย็นลงในโถทำแห้ง ชั่งหาน้ำหนักสารที่เหลืออยู่ (สมมติ = D)
6. ทำซ้ำข้อ 4,5 จนน้ำหนักงานระเหยได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4

4.3 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งคงตัว หรือ เอฟเอส, มก./ลบ.ดม.} = \frac{(C - D) \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำที่ใช้, ลบ.ซม.}}$$

ก-5. กรดอินทรีย์ระเหยง่ายโดยวิธีการไทเทรต (Volatile Fatty Acid)

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าพีเอช
2. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก

5.2 รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.5 โมลาร์
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์

5.3 วิธีวิเคราะห์

1. หาสภาพต่างทั้งหมด

ตวงตัวอย่างน้ำมา 50 – 200 มล. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มล. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำไทเทรตตัวอย่างน้ำจนค่าพีเอชถึง 4 ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาณกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมุติ = A มล.

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนค่าพีเอชถึง 3.3 -3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาณกรดที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2 – 3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกละลายออกไป

3. ไทเทรตกลับ

ปรับค่าพีเอชให้เป็น 4 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ จดปริมาณสารละลายที่ใช้ไทเทรตกลับ ตั้งแต่ค่าพีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพต่าง เนื่องจากกรดระเหยง่าย (Volatile Acid Alkalinity) สมมุติปริมาณสารมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = B มล.

5.4 การคำนวณ

สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. ในรูป CaCO_3)

$$= \frac{A \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก} \times 50 \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

สภาพต่างวีเอฟเอ (มล./ล. ในรูป CaCO_3)

$$= \frac{B \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก} \times 50 \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

ก-6. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids,SS)

ของแข็งแขวนลอยหรือเอสเอส หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (“Whatman”GF/C) เอสเอสมีหน่วยเป็น มก./ลบ.คม

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
2. กรวยบุคเนอร์ ความจุ 100 ลบ.ซม.
3. เครื่องดูดอากาศ
4. เตาอบแห้ง

5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องชั่งอย่างละเอียด

6.2 วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรอง
2. ทำซ้ำในข้อ 1 จนชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น A มิลลิกรัม
3. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะให้ค่าของแข็งชั่งได้โดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มก (เพิ่มจากน้ำหนักของกระดาษกรอง)
4. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
5. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกและให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
6. กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย
7. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้ง
8. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (Petri dish) ถ้วยอะลูมิเนียม หรือกระจกนาฬิกา
9. นำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ.จนกว่าจะแห้งใช้เวลา 1 ชั่วโมง
10. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองใหม่
11. ทำซ้ำในข้อ 9,10 จนชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม

6.3 การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย หรือ เอสเอส , มก./ลบ.ดม.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B - A) x 1000}}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$$

ก-7. ซีไอดีที่ละลายในน้ำ (โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด)

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (digestion vessel) ควรใช้หลอดทดลองที่เป็นบอโรซิลิเกตซึ่งมี ขนาด 16 x 100 หรือ 20 x 150 หรือ 25 x 150 พร้อมทั้งฝาจุกที่บุด้วย TFE

2. ฮีตติงบล็อก (heating block) เป็นอลูมิเนียมหล่อ (cast aluminum) มีช่องหลาย ๆ ช่อง ซึ่งมีความลึก 45 ถึง 50 เป็นช่องที่จะให้หลอดตั้งอยู่ได้พอดี

3. เครื่องให้ความร้อนหรือเตาอบ (block heater or oven) ให้ความร้อนอยู่ในช่วง 150 ± 2 องศาเซลเซียส

7.2 รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ซึ่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มล. เติมเมอร์คิวริกซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร ทิ้งไว้ 1 – 2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมดก่อนนำไปใช้

3. เฟอโรอินดิเคเตอร์

ละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.695 กรัม และ [1,10 ฟีนานโทโรลีน โมโนไฮเดรต 1,10 phenanthroline monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{H}_2 \cdot \text{N}_2\text{O}$)] 1.485 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มล.

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล. คนให้ละลายทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่น่ามาใช้ เติมสารเคมีตามตารางที่ ก – 1 ในภาชนะย่อยสลาย แต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วยเอพเอเอสใช้เฟอโรอินดิเคเตอร์ 0.05 – 0.1 มล. ทำประมาณ 1 – 2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

7.2.1 การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{โมลาริตีของเอพเอเอส} = \frac{\text{ปริมาตรของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ปริมาตรเอพเอเอสที่ใช้ไทเทรต}}$$

ตารางที่ ก-1 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่าง ๆ

ขนาดของภาชนะย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ (มล.)	สารละลายในการย่อยสลาย	กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด
หลอดย่อยสลาย 16 x 100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0

5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$) ซึ่งอบที่ 120 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่ 425 มก. ในน้ำกลั่นเจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

7.3 วิธีวิเคราะห์

1. ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุด้วยกรดซัลฟิวริกร้อยละ 20 ก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

2. เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางที่ ก - 1

3. กรองตัวอย่างน้ำโดยวิธีกรองลดความดันก่อนนำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลาย เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลายซึ่งได้แก่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

4. ค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ได้ชั้นตัวอย่างน้ำและน้ำย่อยสลาย

5. ปิดจุหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

6. นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย (block digester) หรือเตาอบ ซึ่งได้ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ก่อนใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง

7. เปิดฝาจุแล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered Magnetic bar) เติมเฟอร์โรนิกเคเตอร์ 1 - 2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างเร็วขณะที่ไทเทรตด้วย 0.1 นอร์มัลฟอสเฟต จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง

7.4 การคำนวณ

$$(A - B) \times M \times 8000$$

$$\text{ซีไอดี, (มก. O}_2\text{/มล.)} = \frac{\quad}{\quad}$$

มล. ตัวอย่างน้ำ

โดย	A	=	มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไทเทรตแบลจค์
	B	=	มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ
	M	=	โมลาริตีของเอฟเอเอส

ก-8. วิธีการตรวจเชื้อที่ใช้ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

8.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. เชื้อแบคทีเรียจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
2. สีย้อม Safranin, Crystal violet
3. น้ำยาแกรมไอโอดีน (Gram's iodine), แอลกอฮอล์
4. สไลด์
5. ลวดเขี่ยเชื้อ (loop)
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์
7. กระจกเช็ดเลนส์
8. กล้องจุลทรรศน์
- ก. การเตรียมสไลด์

สไลด์ที่ใช้ย้อมสีแบคทีเรียต้องสะอาด วิธีทำความสะอาดโดยใช้นิ้วและสบู่หรือผงซักฟอกที่เปียกน้ำ ถูบริเวณผิวสไลด์ให้ทั่ว ทิ้งไว้พอหมาด ใช้ผ้านุ่มและสะอาดเช็ดคราบสบู่ออกให้หมด การตรวจว่าสไลด์สะอาดหยดน้ำจะแผ่กระจาย

ข. การเตรียมเชื้อแบคทีเรียสำหรับการย้อมสีแกรม

หยดน้ำตัวอย่างลงบนสไลด์หนึ่งหยด ใช้ลวดเขี่ยเชื้อเผาไฟให้แดงทิ้งไว้ในอากาศนาน 5-10 วินาที จากนั้นใช้ลวดเกลี่ยเชื้อให้กระจายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆบนสไลด์ ผ่านไฟ 2-3 ครั้ง

8.2 การย้อมสีแบบ gram stain

1. หยดสี crystal violet ลงบนสไลด์ให้ทั่วมรอยสเมียร์ของเชื้อ ทิ้งไว้ 1 นาที
2. ล้างออกด้วยน้ำยาแกรมไอโอดีน แล้วหยดน้ำยาแกรมไอโอดีนให้ทั่วมรอยสเมียร์และทิ้งไว้ 1 นาที
3. ล้างน้ำยาไอโอดีนออกด้วยน้ำและล้างอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 95% หรืออะซิโตน แอลกอฮอล์ จนน้ำยาที่ล้างไม่มีสีติดออกมา (ใช้เวลาไม่เกิน 20 วินาทีให้ล้างออกด้วยน้ำทันที)
4. ย้อมทับ (counterstain) ด้วยสี safranin นาน 1 นาที
5. ล้างด้วยน้ำก็้อก แล้วปล่อยให้สไลด์แห้ง หรือซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ

6. ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า และถ่ายรูป

ก-9. ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม

ต่อท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักเพื่อใช้ลำเลียงก๊าซ



เปิดวาล์วบริเวณจุดเชื่อมระหว่างท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักกับท่อ
ลำเลียงก๊าซเข้าสู่หัวจ่ายก๊าซ



เปิดวาล์วบริเวณหัวจ่ายก๊าซเข้าสู่เตาแก๊ส



จุดไฟในลักษณะเปลวไฟ



ใช้งานได้ตามต้องการ

ก-10. ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพมาเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก

ต่อท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักเพื่อใช้เป็นท่อผ่านก๊าซไปยังเครื่องปั่นไฟ



Start เครื่องปั่นไฟซึ่งมีกำลังไฟ 220 V. เปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซผ่านเข้าเครื่องปั่นไฟ



ทำการต่อปลั๊กเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เข้ากับเครื่องปั่นไฟกำลังไฟ 220 V.



ต่อขั้วบวกและขั้วลบของเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เข้ากับแบตเตอรี่



กดปุ่มเปิดเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เพื่อทำการบรรจุก๊าซชีวภาพที่ผ่านเครื่องปั่นไฟฟ้ากำลังไฟ
220 V. เก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อรอการใช้งาน

10.1 ขั้นตอนการนำกระแสไฟที่บรรจุในแบตเตอรี่ไปใช้งาน

เนื่องจากไฟฟ้าที่ทางคณะวิทยาศาสตร์ใช้งานนั้น มีกำลังไฟอยู่ที่ 220 V. แต่กระแสไฟที่ได้บรรจุ
เก็บไว้ในแบตเตอรี่มีกำลังไฟ 12 V. ซึ่งต้องมีการแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนี้



ต่อขั้วบวกและขั้วลบ ของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า กำลังไฟ 220 V. กับแบตเตอรี่ที่บรรจุกระแสไฟฟ้า
กำลังไฟ 12 V.



ทำการต่อปลั๊กของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า 220 V. เข้ากับเต้าเสียบสำหรับการใช้งานไฟฟ้าในอาคาร



กดปุ่มเปิดเพื่อใช้งานของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า 220 V. โดยให้มีไฟสีเขียวปรากฏ



ใช้งานได้ตามต้องการ

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ตารางที่ข-1 ค่าพีเอช pH ของเศษอาหาร (Feed)

วันที่	Feed			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	5.19	5.27	5.22	5.23	0.04
2	5.49	5.45	5.48	5.23	0.02
3	5.2	4.99	4.93	5.04	0.14
4	5.94	5.99	5.95	5.96	0.03
5	5.37	5.37	5.38	5.37	0.01
6	5.22	5.23	5.23	5.23	0.01
7	4.87	4.87	4.86	4.87	0.01
8	5.45	5.43	5.42	5.43	0.02
9	5.66	5.53	5.62	5.60	0.07
10	4.73	4.69	4.67	4.70	0.03
11	4.95	4.86	4.84	4.88	0.06

ตารางที่ข-2 ค่าพีเอช pH ของผสม (Slurry)

วันที่	Slurry			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	7.18	7.29	7.29	7.25	0.06
2	6.93	6.84	6.94	6.90	0.06
3	6.86	6.88	6.87	6.87	0.01
4	7.13	7.2	7.23	7.19	0.05
5	7.14	7.12	7.14	7.13	0.01
6	7.12	7.16	7.14	7.14	0.02
7	7.34	7.33	7.27	7.31	0.04
8	7.23	7.24	7.2	7.22	0.02
9	7.12	7.23	7.23	7.19	0.06
10	7.32	7.39	7.28	7.33	0.06
11	7.13	7.22	7.23	7.19	0.06

ตารางที่ 3- ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหาร

วันที่	Feed (mg/L as CaCO ₃)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	3,042.00	2,368.00		2,705.00	476.59
2	625.80	537.60	651.00	604.80	59.55
3	1,800.00	2,112.00	2,820.00	2,244.00	522.65
4	668.00	576.00	356.00	533.33	160.32
5	1,675.80	1,222.20	1,373.40	1,423.80	230.96
6	168.00	196.00	280.00	214.67	58.29
7	612.00	740.00	472.00	608.00	134.04
8	564.00	812.00	560.00	645.33	144.35
9	1,213.80	704.00	524.00	813.93	357.80
10	1,412.00	1,452.00	2,176.00	1,680.00	430.01
11	2,568.00	1,432.00	2,768.00	2,256.00	720.58

ตารางที่ 4- ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของของผสม

วันที่	Slurry (mg/L as CaCO ₃)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	-	-	-	-	-
2	5,880.00	6,090.00	5,871.60	5,947.20	123.74
3	1,248.00	1,272.00	1,236.00	1,252.00	18.33
4	1,160.00	1,172.00	1,224.00	1,185.33	34.02
5	2,948.40	2,885.40	2,822.40	2,885.40	63.00
6	2,560.00	2,584.00	2,755.20	2,633.07	106.45
7	3,408.00	3,332.00	3,216.00	3,318.67	96.69
8	3,216.00	3,272.00	-	3,244.00	39.60
9	3,512.00	3,320.00	3,024.00	3,285.33	245.84
10	3,744.00	3,912.00	3,824.00	3,826.67	84.03
11	6,472.00	6,752.00	6,676.00	6,633.33	144.79

ตารางที่ข-5 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ของเศษอาหาร (Feed)

วันที่	Feed (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	475,200.00	364,600.00		419,900	78,206
2	129,800.00	168,600.00	157,200.00	151,867	19,942
3	302,400.00	391,200.00	352,400.00	348,667	44,518
4	267,400.00	201,800.00	229,400.00	232,867	32,937
5	222,200.00	234,000.00	220,000.00	225,400	7,529
6	372,600.00	344,000.00	332,520.00	349,707	20,640
7	211,600.00	346,200.00	228,000.00	261,933	73,436
8	228,800.00	184,400.00	207,800.00	207,000	22,211
9	286,600.00	241,000.00	227,000.00	251,533	31,165
10	195,000.00	148,000.00	164,600.00	169,200	23,835
11	197,400.00	236,000.00	221,600.00	218,333	19,506

ตารางที่ข-6 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS) ของของผสม (Slurry)

วันที่	TS (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	21,600.00	21,200.00	23,000.00	21,933.33	945.16
2	27,000.00	25,500.00	25,800.00	26,100.00	793.73
3	22,200.00	21,200.00	21,200.00	21,533.33	577.35
4	-	-	-	-	-
5	26,400.00	27,400.00	26,000.00	26,600.00	721.11
6	31,600.00	29,600.00	29,600.00	30,266.67	1,154.70
7	26,800.00	30,200.00	27,000.00	28,000.00	1,907.88
8	29,600.00	30,600.00	29,800.00	30,000.00	529.15
9	28,000.00	28,600.00	29,800.00	28,800.00	916.51
10	30,000.00	30,000.00	30,800.00	30,266.67	461.88
11	44,200.00	63,800.00	26,400.00	44,800.00	18,707.22

ตารางที่ 7- ค่าของแข็งระเหยง่ายของเศษอาหาร

วันที่	Feed (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	-	-	-	-	-
2	122,600	149,800	126,400	132,933.33	14,730.01
3	298,200	384,000	344,200	342,133.33	42,937.32
4	254,800	188,000	217,600	220,133.33	33,471.98
5	215,400	227,000	154,000	198,800.00	39,229.07
6	351,600	337,000	319,800	336,133.33	15,917.71
7	206,600	339,200	219,200	255,000.00	73,190.98
8	209,800	176,400	200,400	195,533.33	17,223.63
9	282,800	235,400	223,400	247,200.00	31,408.92
10	187,000	139,600	156,000	160,866.67	24,071.84
11	191,000	228,800	212,800	210,866.67	18,974.02

ตารางที่ 8 ค่าของแข็งระเหยง่ายของของผสม

วันที่	Slurry (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
1	-	-	-	-	-
2	12,000.00	*1,600.00	10,200.00	11,100.00	1,272.80
3	10,600.00	10,200.00	10,400.00	10,400.00	200.00
4	34,400.00	27,600.00	31,620.00	31,207.00	3418.80
5	15,400.00	16,000.00	14,800.00	15,400.00	600.00
6	18,600.00	18,200.00	20,200.00	19,000.00	1,058.30
7	14,800.00	22,600.00	15,000.00	17,467.00	4446.70
8	16,000.00	16,800.00	16,000.00	16,267.00	461.90
9	18,600.00	17,400.00	19,400.00	18,467.00	1,006.60
10	16,200.00	16,000.00	17,000.00	16,400.00	529.20
11	32,400.00	51,600.00	15,800.00	33,267.00	17,915.70

*หมายเหตุ (ค่านี้ไม่นำมาคิด)

ตารางที่ 9- ค่ากรดไขมันระเหยของเศษอาหาร

วันที่	Feed (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	2,800.00	2,900.00	2,800.00	2,833.33	57.74
2	1,400.00	800.00	600.00	933.33	416.33
3	666.70	417.00	334.00	472.57	173.17
4	-	-	-	-	-
5	200.00	400.00	400.00	333.33	115.47
6	200.00	200.00	500.00	300.00	173.21
7	100.00	100.00	200.00	133.33	57.74
8	200.00	200.00	300.00	233.33	57.74
9	700.00	700.00	700.00	700.00	-
10	1,300.00	300.00	500.00	700.00	529.15
11	600.00	500.00	600.00	566.67	57.74

ตารางที่ 10 ค่ากรดไขมันระเหยของของผสม

วันที่	Slurry (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	1,100.00	1,900.00	1,000.00	1,333.33	493.29
2	4,500.00	4,000.00	4,100.00	4,200.00	264.58
3	1,584.00	1,084.00	1,500.00	1,389.33	267.74
4	-	-	-	-	-
5	2,000.00	2,200.00	1,600.00	1,933.33	305.51
6	3,100.00	2,100.00	2,300.00	2,500.00	529.15
7	2,200.00	2,100.00	2,100.00	2,133.33	57.74
8	2,200.00	2,300.00	2,500.00	2,333.33	152.75
9	1,900.00	2,200.00	2,300.00	2,133.33	208.17
10	2,000.00	2,500.00	2,400.00	2,300.00	264.58
11	3,300.00	3,200.00	2,800.00	3,100.00	264.58

ตารางที่ 11 ค่าความชื้นของเศษอาหาร

วันที่	% ความชื้น			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่				
	1	2	3		
1	52.48	63.54	34.22	50.08	14.81
2	87.02	83.14	84.28	84.81	1.99
3	69.80	60.89	64.79	65.16	4.47
4	73.27	79.83	77.08	76.73	3.29
5	77.78	76.60	78.00	77.46	0.75
6	62.74	65.60	66.76	65.03	2.07
7	78.84	65.38	77.20	73.81	7.34
8	77.12	81.56	79.22	79.30	2.22
9	-	-	-	-	-
10	71.34	75.90	77.30	74.85	3.12
11	80.50	85.20	83.54	83.08	2.38
12	80.20	76.40	77.84	78.15	1.92

ตารางที่ข-12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 14 มกราคม 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ°C
0.2	27
0.2	26.5
0.1	27
0.08	26
0.02	26.5
0.1	25
0.05	25
0.1	24
0.05	23
0.05	22
0.08	21.5
0.1	21
0.12	20.5
0.05	20
0.05	19.5
0.15	19
0.17	19.5
0.03	18.5
0.08	19
0.02	20
0.2	21.5
0.1	23
0.15	24.5
0.1	26
0.1	25.5

ตารางที่ข-12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 15 มกราคม 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ°C
0.06	25.3
0.21	25
0.23	25
0.15	25.5
0.2	26
0.1	25.5
0.2	25
0.15	24.5
0.15	24
0.12	23
0.15	22.5
0.15	22
0.14	21.5
0.21	20.5
0.16	20
0.16	19.5
0.03	18
0.06	20.5
-	21
-	22
-	23.5
-	24
-	25.5
-	26

ตารางที่ 12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 21 มกราคม 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ °C
0.13	25.5
0.14	26
0.23	26
0.14	25
0.11	26
0.2	24
0.1	23.5
0.1	20.5
0.12	21
0.18	20.5
0.1	20
0.12	19.8
0.03	19.5
0.13	19
0.12	18.7
0.05	18.5
0.05	18
0.15	18.5
0.07	18.7
0.08	19
0.12	19.5
0.03	20
-	21
-	23
-	23.5

ตารางที่ข-12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ °C
0.3	31
0.5	30.5
0.25	30.5
0.54	30.2
0.21	28.6
0.5	27.8
0.4	27
0.25	26.6
0.35	26.2
0.39	26
0.59	25.5
0.25	25
0.3	25
0.25	24.8
0.2	24.5
0.15	25.8
0.15	26
0.15	27.5
0.2	28
0.25	28.8
0.35	29.5
0.3	30.9
0.3	31
0.3	31.4
-	-

ตารางที่ข-12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ °C
0.1	31.3
0.39	31.4
0.58	30.9
0.28	29.9
0.35	28.6
0.37	27.8
0.3	27.4
0.23	27
0.2	26.8
0.5	26.3
0.22	26.2
0.2	26
0.11	25.8
0.1	25.5
0.19	24.7
0.11	25
0.22	26.7
0.21	27
0.2	28.8
0.15	29.5
0.05	31.5
-	32.8
-	31.4
-	-

ตารางที่ข-12(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ °C
0.25	30
0.4	29
0.5	28
0.48	26.9
0.44	26.3
0.33	26.2
0.05	25.7
0.3	24.9
0.4	25
0.37	24.4
0.57	24
0.26	23.6
0.45	23
0.35	22.8
0.22	22.5
0.38	23.7
0.4	25.8
0.25	26.3
0.2	28
0.15	29.8
0.15	30
-	30.9
-	-
-	-
-	-

ตารางที่ ๑๒(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพกับอุณหภูมิ

วันที่ 10 มีนาคม 2557

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ °C
0.35	32
0.49	31.4
0.23	30.8
0.32	30
0.33	28.7
0.33	27.9
0.49	27.8
0.1	27.6
0.32	27.4
0.25	27.1
0.47	27.1
0.38	26.8
0.3	26.5
0.5	26.3
0.45	26.5
0.34	26.8
0.36	27.5
0.35	28.9
0.22	30.1
0.27	31.4
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

ตารางที่ข-13 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ	ปริมาณความเข้มข้น			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
CH ₄ (%)	51.2	52	55.2	52.8	2.12
CO ₂ (%)	42.2	44.4	44.7	43.8	1.37
O ₂ (%)	0.2	0	0	0.1	0.12
H ₂ S (ppm)	95	100	105	100	5

ตารางที่ข-14 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง

วันที่	น้ำทิ้ง			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	7.53	7.58	7.6	7.57	0.04
2	7.79	7.77	7.78	7.78	0.01
3	7.3	7.2	7.4	7.3	0.10
4	-	-	-	-	-
5	7.78	7.84	7.85	7.82	0.04
6	7.83	7.75	7.87	7.82	0.06
7	7.63	7.62	7.6	7.62	0.02
8	8.06	8.07	8.14	8.09	0.04
9	7.57	7.6	7.64	7.60	0.04
10	7.93	7.91	7.94	7.93	0.02
11	8.11	8.14	8.17	8.14	0.03

ตารางที่ข-15 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง

วันที่	SS (mg/L)			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	400	200	200	266.6667	115.4701
2	200	0	200	133.3333	115.4701
3	200	200	0	133.3333	115.4701
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	100	0	33.33333	57.73503
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-

ตารางที่ข-16 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง

วันที่	น้ำทิ้ง			ค่าเฉลี่ย AVG	SD
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		
1	720.00	752.00	576.00	682.67	93.75
2	320.00	640.00	640.00	533.33	184.75
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	368.00	208.00	208.00	261.33	92.38
6	160.00	160.00		160.00	-
7	160.00	160.00	160.00	160.00	-
8	208.00	368.00		288.00	113.14
9	1,376.00	416.00	256.00	682.67	605.75
10	1,168.00	1,008.00	848.00	1,008.00	160.00
11	313.60	345.60	345.60	334.93	15.08