การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE USING COMPOST AND BIOGAS REACTOR

ชลธิชา มะลิซ้อน

ชัยวัฒน์ เพชรโสม

ชุลีพร จิตคงสง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE USING COMPOST AND BIOGAS REACTOR

T133105

ชลธิชา มะลิซ้อน

ชัยวัฒน์ เพชรโสม

ชุลีพร จิตคงสง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2556

เล่มที่.....
เลขทะเบียน...133105
วัน,เดือน,ปี..22 ก.ย. 2557

b10191087
b.12659129
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE USING COMPOST AND BIOGAS REACTOR

CHONTICHA MALISORN

CHAIWAT PECHSOM

CHULEEPORN JITKONGSONG

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD WASTE USING COMPOST AND BIOGAS REACTOR
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชลธิชา มะลิซ้อน นายชัยวัฒน์ เพชรโสม นางสาวชุลีพร จิตคงสง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	
ผศ. ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
ผศ. ดร. สุวรรณี จรรยาพูน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชลธิชา มะลิซ้อน นายชัยวัฒน์ เพชรโสม นางสาวชุลีพร จิตคงสง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพขนาด 3,400 ลิตร โดยเติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก และน้ำประปา 40 กิโลกรัม และใช้น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยทรายกรองแทนน้ำประปา ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเศษอาหารจากโรงอาหารและของผสม ตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ pH, Alkalinity, TS, VS, VFA, ความชื้น และน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพที่ผ่านทรายกรองตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ pH, SS, COD และ BOD โดยศึกษาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพทุกๆชั่วโมงจากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 43 วัน และมีค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 33.3 g/L/day จากการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่าของผสมในระบบ มีค่าพีเอช 7.38-8.57 และสภาพความเป็นด่าง มีค่า 2,208-9,174 mg/L as $CaCO_3$ นั่นคือระบบอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 6.86-8.31 ลบ.ม.ต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบขึ้นอยู่กับการเติมอาหาร โดยก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าและเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม และจากการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองด้วยทรายตามวิธีมาตรฐาน APHA (2012) พบว่าน้ำทิ้งค่า pH ที่อยู่ในช่วง 7.15-7.97 ซึ่งอยู่ในช่วงของมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ในส่วนค่า SS, COD และ BOD มีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน จากการทดลองพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการกรองทรายสามารถนำไปใช้แทนน้ำประปาได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Biogas productiom from food waste using compost and biogas reactor
Student	Chonticha Malisorn
	Chaiwat Pechsom
	Chuleeporn Jitkongsong
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2013
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

ABSTRACT

This special project is to studied digestion condition and biogas production from food waste using a 3,400 liter compost and biogas reactor. 40 kg of food waste (by wet weight) from the canteen of Faculty of Science, KMITL and 40 kg of tap water were added into the reactor as feedstock. The replacing of tap water by wastewater from the reactor after filtering through and filter was also investigated physical and chemical properties (including pH, Alkalinity, TS, VS, VFA and moisture) of food waste and slurry were analyzed using APHA Standard methods. The effluent from the reactor after filtering through sand filter (including pH, SS, COD and BOD) was also analyzed using APHA Standard methods. Biogas production rate was measured hourly. Hydraulic retention time (HRT) was 43 day. Organic loading rate (OLR) was 33.3 g/L /day. The results showed that pH of slurry in the reactor was 7.38-8.57 and Alkalinity was 2,208-9,174 mg/L as $CaCO_3$ which are optimum condition for the growth of microorganisms in the reactor. Biogas production was 6.86-8.31 m^3/d. The biogas production rate depended on feed rate of substrate. This biogas could be used to produce electricity and fuel gas. It was found that pH value of the effluent was 7.15-7.97, which is within the standard of wastewater. However SS, COD and BOD of the effluent exceeded the standard values. The experimental results showed that the effluent after filtering through sand filter could be used to replace tap water in the reactor.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือเสนอแนะ แก้ไขปรับปรุง และให้ความอนุเคราะห์ดูแล เอาใจใส่ในรายละเอียดของการทำโครงงานพิเศษอย่างใกล้ชิด

ขอขอบพระคุณ ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์ อาจารย์พิเศษสาขาวิชาชีววิทยา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ข้อมูล และเสนอแนะความคิดเห็นในการศึกษาโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณพี่นักวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือในการทำการศึกษา และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาเคมี ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณพี่นักวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาจุลชีววิทยา และสาขาวิชาฟิสิกส์ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้สถานที่และอุปกรณ์

ขอขอบคุณสำนักงานกรุงเทพมหานครและบริษัท เบสท์ แคร์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ที่มอบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก รวมถึงให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณพ่อ แม่ เพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและกำลังใจมาโดยตลอด จนการศึกษาโครงงานพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำสำนึกในพระคุณของทุกๆท่าน และขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้กำลังและให้คำปรึกษาดีๆกับโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ชลธิชา มะลิซ้อน
ชัยวัฒน์ เพชรโสม
ชุลีพร จิตคงสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

°C	=	องศาเซลเซียส
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/L as $CaCO_3$	=	มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต
g/L.d	=	กรัมต่อลิตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	**38**
4.1 ผลการศึกษาสภาวะในระบบของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	38
4.2 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ	47
4.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	**57**
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	63
ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง	81
ภาคผนวก ค การคำนวณผล	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	4
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของขยะเศษอาหารในประเทศเกาหลี	5
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบต่างๆ	5
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน	11
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของอาร์เคียแบคทีเรียบางชนิดที่สร้างก๊าซมีเทน	13
ตารางที่ 2.6 ช่วงอุณหภูมิสำหรับการผลิตก๊าซมีเทนในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในเขตเทศบาลเมือง	16
ตารางที่ 2.7 ปริมาณและหน้าที่ของสารอาหารที่จำเป็น	17
ตารางที่ 2.8 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา	19
ตารางที่ 2.9 การกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยไอออนประจุบวก	20
ตารางที่ 2.10 ระดับอันตรายของก๊าซหลักในก๊าซชีวภาพ	24
ตารางที่ 2.11 เปรียบเทียบมูลค่าของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรกับเชื้อเพลิงอื่นๆ	25
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์	35
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของเศษอาหาร	39
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า C/N ratio ของเศษอาหารและกากตะกอนที่ผ่าน การย่อยสลายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	45
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานต่างๆ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ก-1 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่าง ๆ 70

ตารางที่ก-2 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในหาค่าบีโอดี 73

ตารางที่ข-1 ค่าพีเอชของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 82

ตารางที่ข-2 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหารและของผสม
ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 83

ตารางที่ข-3 ค่าของแข็งทั้งหมดของเศษอาหารและของผสม
ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 84

ตารางที่ข-4 ค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของเศษอาหารและของผสม
ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 85

ตารางที่ข-5 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายของเศษอาหารและของผสม
ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 86

ตารางที่ข-6 ค่าความชื้นของเศษอาหารในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 87

ตารางที่ข-7 ค่า C/N ratio ของเศษอาหารและของผสม
จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 88

ตารางที่ข-8 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ 89

ตารางที่ข-9 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง 94

ตารางที่ข-10 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง 95

ตารางที่ข-11 ค่า COD ของน้ำทิ้ง 96

ตารางที่ข-12 ค่า BOD ของน้ำทิ้ง 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ	6
รูปที่ 2.2 ลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟ	22
รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหลัง	34
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	37
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของเศษอาหาร(Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	40
รูปที่ 4.2 ค่าสภาพด่างทั้งหมดของเศษอาหาร(Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	41
รูปที่ 4.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของเศษอาหาร(Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	42
รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของเศษอาหาร(Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	43
รูปที่ 4.5 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ของเศษอาหาร(Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ	44
รูปที่ 4.6 (ก) ลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟ (ข) ลักษณะความเข้มของเปลวไฟที่ได้จากการหมักเศษอาหาร	46
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิบรรยากาศ	47
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ได้กับค่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายในรูปเปอร์เซ็นต์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen
(ก) แบคทีเรียที่พบในของผสม (Slurry)
(ข) แบคทีเรียกลุ่ม Methanogen 51
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ 53
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ 54
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ 55
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ 56

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งจำนวนมาก เนื่องจากพลังงานในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากปัญหาการขาดแคลนพลังงานและการเพิ่มราคาของพลังงานนำเข้า การหาพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์เป็นการแปรรูปขยะให้เป็นพลังงานและปุ๋ยเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณขยะอินทรีย์ในประเทศไทยมีปริมาณมากถึง 41,532 ตัน/ปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของจำนวนประชากรและการเติบโตทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นวิธีง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย นอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงและกระแสไฟฟ้าแล้ว ยังช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์และก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสภาวะโลกร้อน

เศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เหลือทิ้งจากการบริโภคในแต่ละวันเป็นจำนวนมากซึ่งเศษอาหารประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเกิดก๊าซชีวภาพ โครงงานพิเศษนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพ อัตราการย่อยสลายเศษอาหารและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1.2.2 ศึกษาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของเศษอาหาร (Feedstock) จากโรงอาหารและของผสม (Slurry) ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ pH, Alkalinity, TS, VS, VFA, C/N ratio และ ความชื้น

1.3.2 ศึกษาปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆชั่วโมง

1.3.3 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพตามวิธีมาตรฐาน ได้แก่ pH, SS, COD และ BOD

1.3.4 ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศหลังจากผ่านการกรองด้วยทราย ไปใช้แทนน้ำประปาในการเตรียม Feedstock

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ก๊าซชีวภาพจากการหมักแบบไร้อากาศของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม

1.4.2 ช่วยลดปริมาณเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของก๊าซชีวภาพ

ในศตวรรษที่ 17 Robert Boyle และ Stephen Hale ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายผุพังของสารอินทรีย์ครั้งแรกจากการกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบแล้วเกิดก๊าซที่สามารถติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี ค.ศ. 1859 Sir Humphrey Davy ได้พบก๊าซมีเทนจากขี้วัว ในอินเดียในปี ค.ศ. 1859 ได้มีการสร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digester) ขึ้นเป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ.1907 ได้มีการออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพในเยอรมนี ในปี ค.ศ. 1985 ในอังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมาโดยใช้ถังปฏิกูลผลิตก๊าซแล้วนำก๊าซไปจุดไฟส่องสว่างตามถนน และในช่วงทศวรรษที่ 1930 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศก็เริ่มเป็นที่รู้จักในวงการนักวิชาการกันมากขึ้น ได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาและได้มีการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

ในชนบทของประเทศกำลังพัฒนา การใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจากครัวเรือน สามารถเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะใช้เป็นพลังงานหรือผลิตก๊าซสำหรับใช้ในการทำอาหาร ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทั้งรัฐบาลของอินเดียและจีนต่างก็ได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน ซึ่งนอกจากจะลดค่ายังชีพแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติด้วย ในประเทศพัฒนาแล้ว การนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ ยังเป็นการลดการปล่อยมลภาวะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะเป็นปัญหามากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติพลังงาน การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญมากขึ้น เพราะเป็นการช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆ ประเทศ รวมถึงประเทศไทยต่างก็ให้การส่งสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ และสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ (http://th.wikipedia.org/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม และเศษอาหารจากครัวเรือนหรือตามโรงอาหาร เป็นต้น ด้วยวิธีทางชีววิทยาภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic conditions)

2.1.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยก๊าซต่างๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70 %, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนียม (NH_3), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สูงถึง 2 % (20,000 ppm) เนื่องจากน้ำเสียนั้นมีองค์ประกอบของสารซัลเฟต (SO^{-2}_4) สูง (เสาวลักษณ์, 2535)

2.1.4 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่า
ค่าความร้อนประมาณ (ที่ CH_4 60 %)	MJ/m^3 kWh/m^3	21 5.96
ความเร็วเปลวไฟ	cm/s	25
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	m^3 a/m^3 g	6.19
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	°C	650
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH_4	°C	600
ค่าความจุความร้อน (Cp)	kJ/m^3 - °C	1.6
ความหนาแน่น	kg/m^3	1.15

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซคงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน การนำมาใช้งานจึงใช้ในสภาพความดันปกติ หากต้องการอัดก๊าซมีเทนให้กลายเป็นของเหลวต้องการความดันไม่ต่ำกว่า 45.8 เท่าของบรรยากาศ และอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า -82.5 °C ปกติจะมีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายมาก ในกรณีที่ต้องการเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพ ทำได้โดยการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้เหลือเฉพาะแต่ก๊าซมีเทน (CH_4) เท่านั้น เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป (เสาวลักษณ์, 2535)

2.2 เศษอาหาร

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของขยะเศษอาหารในประเทศเกาหลี (Shin *et al.*, 2000)

พารามิเตอร์	ช่วงที่วัดได้
ของแข็งทั้งหมด (Total solids)	79.7-89.6 %
ความชื้น	76.2-83.5 %
C:N ratio	13.6-26.7 %
ความหนาแน่น	755-970 กก./ลบ.เมตร
pH	4.0-6.8

วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบต่างๆ

วัตถุดิบ	ก๊าซชีวภาพ (ลบ.เมตร/กก.ของแข็งระเหย)
มูลโค	0.38
มูลสุกร	0.569
มูลไก่	0.617
น้ำเสีย	0.255
วัชพืช	0.277
แป้งมัน	0.60
เซลลูโลส	0.75
เศษอาหาร	0.90

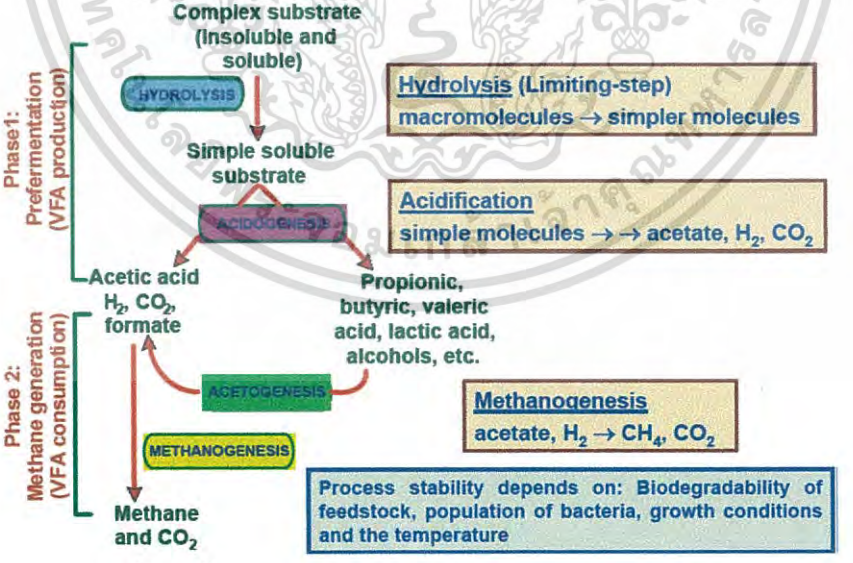
ที่มา : Nand *et al.*(1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษอาหาร คือ อาหารที่เหลือจากการบริโภค ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ข้าว แป้งต่างๆ น้ำหวาน น้ำเชื่อม, โปรตีน ได้แก่ ไข่ไก่ ไข่เป็ด เนื้อหมู ไก่ กุ้ง ปู วัว และไขมันและน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันทอดอาหารชนิดต่างๆ หนังหมู หนังไก่ รวมถึงเศษพืชผัก ผลไม้ ส่วนที่บริโภคไม่ได้ เช่น กระดูกสัตว์ กระดองสัตว์ ก้างปลา องค์ประกอบของเศษอาหาร ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ฐานะของบุคคล, ท้องถิ่นที่อยู่อาศัย, วัฒนธรรม ประเพณีนิยม และเหตุการณ์บังคับ

2.3 การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศนี้จะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบร่วมกัน 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิด ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง จากนั้นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป โดยสารอินทรีย์ที่เข้าสู่กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศจะถูกย่อยสลายผ่านขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.1 (นันทวัฒน์, 2549)



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ (Bouallagui,2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (นันทวัฒน์, 2549) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว ตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายดังกล่าว ดังสมการที่ 2.1-2.3

$$\text{Fats} \xrightarrow{\text{hydrolysed}} \text{Long chain fatty acids} \qquad (2.1)$$

$$\text{Proteins} \xrightarrow{\text{hydrolysed}} \text{Short chain peptides + amino acids} \qquad (2.2)$$

$$\text{Polysaccharides} \xrightarrow{\text{hydrolysed}} \text{Monosaccharides + disaccharides} \qquad (2.3)$$

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวไทริก กรดพรอพิออนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรท และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นกรดบิวไทริกและกรดพรอพิออนิกเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิถี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่ถ้าไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง ผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก กรดพรอพิออนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.4

$$(C_6H_{12}O_6)_n + H_2O \longrightarrow H(CH_2)_nCOOH + 8H_2 + CO_2 \qquad (2.4)$$

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตจีนิก (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สับสเตรทเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทธิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตจีนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติก และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า $2x10^{-3}$ บรรยากาศและต่ำกว่า $9x10^{-3}$ บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริกและกรดพรอพิออนิก ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.5

$$H(CH_2)_nCOOH \longrightarrow CH_3COOH + H_2 + CO_2 \qquad (2.5)$$

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้คือ Facultative และ Obligate aerobic bacteria เรียกว่า Non-methanogenic bacteria หรืออาจเรียกว่า Acid formers

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศอย่างเด็ดขาด ดังสมการที่ 2.6-2.7

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3 \qquad (2.6)$$

$$4\,H_2 + H_2CO_3 \longrightarrow CH_4 + 3\,H_2O \qquad (2.7)$$

กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรทอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล, กรดฟอร์มิก (HCOOH) ดังสมการที่ 2.8-2.9

$$4\,CH_3OH \longrightarrow 3\,CH_4 + CO_2 + 2\,H_2O \qquad (2.8)$$

$$4\,HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2\,H_2O \qquad (2.9)$$

การเกิดก๊าซมีเทนส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นมีเทน (สมการ 2.6) ประมาณ 70% ส่วนอีกประมาณ 30% จะเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมการ 2.7) ในขั้นตอนนี้ความเป็นกรดจะลดลงเนื่องจากกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ CH_4 และ CO_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ข้อดีข้อเสียของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ข้อดี

- ทำให้ของเสียเกิดการ Stabilization คือจะไม่มีการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อได้มากกว่า
- มีผลผลิตของมวลจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากการสังเคราะห์สร้างเซลล์มีน้อย
- ตะกอนที่เหลือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้
- ความต้องการสารอาหารต่ำ
- ไม่ต้องมีการเติมอากาศ
- ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิต

ข้อเสีย

- ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบนาน เนื่องจากปฏิกิริยาการตอบสนองของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ
- การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปได้ช้า
- ต้องดูแลควบคุมระบบอย่างใกล้ชิดเป็นเวลานาน เนื่องจากความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่คงที่ มีกลิ่นเหม็น และต้องควบคุมปริมาณอาหารในการนำเข้าระบบ

2.3.2 คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักอินทรีย์สาร

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (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)

เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นก๊าซที่ปราศจากสีและกลิ่น มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 16.04 และความหนาแน่นเท่ากับ 0.7167 กรัมต่อลิตร สามารถจุดไฟติดและจุดระเบิดได้ในที่มีออกซิเจน เปลวไฟมีสีน้ำเงินและให้ค่าความร้อน 7,800 กิโลแคลลอรีต่อลูกบาศก์เมตร มีจุดเดือดที่ -161.61 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3)

เป็นก๊าซที่ไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีกลิ่นฉุน ง่ายต่อการทำให้เป็นของเหลวโดยการใช้ความดัน น้ำหนักโมเลกุล 17.03 ความหนาแน่น 0.7708 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ มีจุดเยือกแข็ง 77.7 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ -33.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ แอลกฮอล์ และอีเทอร์ สามารถจะไฟติดที่อุณหภูมิ 1,204 องศาเซลเซียส

2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ (ศุภาพร และวสุ, 2553)

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนภายใต้สภาวะไร้อากาศจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ในรูปของก๊าซชีวภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนมากเป็นพวกแบคทีเรีย โดยเฉพาะกลุ่ม strictly anaerobic bacteria และ facultative anaerobic bacteria ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการ hydrolysis และ acidogenesis แบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) non-methanogenic ได้แก่ Acid-forming (Hydrolytic and fermentative) bacteria และ Acetogenic (Acetate and H_2-producing) bacteria

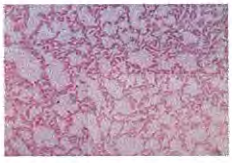
2) methanogenic bacteria ได้แก่ Acetoclastic (Methane-forming) bacteria และ Hydrogen-utilizing methane bacteria

2.4.1 Non-methanogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นพวก Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกฮอล์ CO_2/H_2 แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic bacteria และ Acetogenic bacteria ได้แก่ Hydrolytic bacteria, Acid forming bacteria, Acetic acid producing bacteria ดังแสดงในตารางที่ 2.4

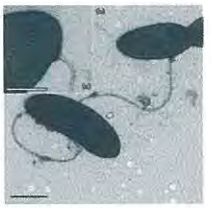
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน

จีนัส	แหล่งที่พบ	รูปร่างและคุณสมบัติของเชื้อ	การติดสี (Gram's stain)	การเคลื่อนที่	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)
Bacteroides sp. 	พบทั่วไปในธรรมชาติ บางชนิดเป็นแบคทีเรียประจำถิ่นในลำไส้ใหญ่และทางเดินปัสสาวะของคน และยังพบในทางเดินอาหารของสัตว์หลายชนิด เช่น วัว ควาย ไก่ ม้า เป็นต้น	- Obligate anaerobe - รูปร่างแท่งสั้น - ไม่สร้างสปอร์	Gram negative	ไม่เคลื่อนที่	35
Clostridium sp.	พบในแหล่งที่อยู่ที่ไม่มีออกซิเจน เช่น ดิน , ในทางเดินอาหารหรือลำไส้ของสัตว์, สปอร์ของเชื้อพบทั่วไปในธรรมชาติและจะงอกเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและมีอาหารที่เหมาะสม	- Obligate anaerobe - รูปร่างเป็นแท่งหรือแท่งโค้ง - สร้างสปอร์ตรงกลางเซลล์หรือค่อนมาทางปลายด้านใดด้านหนึ่งที่ปลายเซลล์ทำให้ดูคล้ายไม้ตีกลองอาจเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ - สปอร์ทนทานต่อออกซิเจน	Gram positive จนถึง Gram variable	เคลื่อนที่ได้	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) คุณสมบัติของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน

จีนัส	แหล่งที่พบ	รูปร่างและคุณสมบัติของเชื้อ	การติดสี (Gram's stain)	การเคลื่อนที่	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)
Ruminococcus sp.	พบในผิวเยื่อเมือกผิวหนัง, ทางเดินอาหารในคนและสัตว์	- Obligate anaerobe - รูปร่างกลมอยู่กันเป็นคู่ (diplococci) หรือต่อเป็นสายสั้นหรือยาวก็ได้	Gram positive	เคลื่อนที่ได้	35-37
Eubacterium sp.	พบจำนวนมากในธรรมชาติ และพบได้ในอาหารที่เน่าเสีย, น้ำและดิน พบในทางเดินอาหารสัตว์	- Obligate anaerobe - รูปร่างเป็นแท่งอยู่เป็นคู่หรือเป็นสายสั้น - ไม่สร้างสปอร์	Gram positive	ไม่เคลื่อนที่	37
Flavobacterium sp.	พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในน้ำจืด, น้ำทะเลและ ดิน อาหาร และโรงงานผลิตอาหาร	- anaerobe - รูปร่างแท่ง - สร้างรงควัตถุ - ไม่สร้างสปอร์	Gram negative	มีทั้งที่เคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่	20-25 แต่ก็สามารถเจริญได้ดีที่ 35-37
Butyrivibrio sp. 	พบในทางเดินอาหาร, ลำไส้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว และอาจพบได้ในคน พบในถังหมัก หรือตะกอนที่มีการทับถมกันใต้น้ำ	- Obligate anaerobe - รูปร่างแท่งปลายเรียว หรือแท่งโค้ง	Gram negative	เคลื่อนที่ได้	30-45

ที่มา : ศุภาพร และวสุ (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Methanogenic bacteria

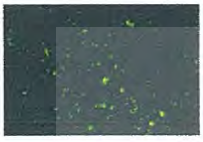
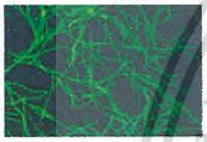
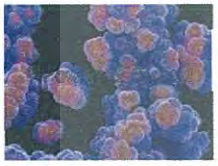
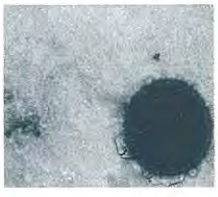
แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ตามธรรมชาติพบในชั้นตะกอนของแม่น้ำลำคลองหรือในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นอยู่กับชนิดของ cell envelop ของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก obligated anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 7.0-7.8 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ซึ่งโดยเฉลี่ยต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-5 วัน ที่ 35 °C ถึง 10 วัน ที่ 10 °C ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ได้แก่ แบคทีเรียในกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophs และ Acetotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria หรือ Acetate splitting bacteria ได้แก่ Acetoclastic methanogens และ Hydrogenophilic methanogens ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของอาร์เคียแบคทีเรียบางชนิดที่สร้างก๊าซมีเทน

จีนัส	แหล่งที่พบ	รูปร่างของเซลล์	วัตถุดิบในการผลิตก๊าซมีเทน	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)
Methanobacterium sp.	ทางเดินอาหารสัตว์, ตะกอนดิน ตามแหล่งน้ำ	รูปร่างแท่งยาวจนถึงเป็นเส้นสาย	$CO_2 + H_2$, formate	37-45
Methanobrevibacter sp.	ทางเดินอาหารสัตว์, ดิน, ในต้นไม้, สิ่งปฏิกูลที่มีการทับถม	รูปร่างกลม, แท่งสั้นหรือคล้ายมีดผ่าตัดปลายแหลม	$CO_2 + H_2$, formate	37-39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) คุณสมบัติของอาร์เคียแบคทีเรียบางชนิดที่สร้างก๊าซมีเทน

จีนัส	แหล่งที่พบ	รูปร่างของเซลล์	วัตถุดิบในการผลิตก๊าซมีเทน	อุณหภูมิที่เหมาะสม (°C)
Methanomicrobium sp. 	ทางเดินอาหารสัตว์	แท่งสั้น	$CO_2 + H_2$, formate	40
Methanospirillum sp. 	ทางเดินอาหารสัตว์, ตะกอนดิน	รูปร่างเป็นเกลียวสั้นจนถึงยาว	$CO_2 + H_2$, formate	30-40
Methanosaeta sp.	ถังหมัก	แท่งยาวหรือเป็นสาย	acetate	34-40
Methanosarcina sp. 	ตะกอนดิน, ถังหมัก	รูปร่างกลมขนาดใหญ่ อยู่เป็นกลุ่ม	$CO_2 + H_2$, acetate , methanol	35-40
Methanococcus sp. 	ตะกอนดิน, ถังหมัก, สิ่งปฏิกูล	รูปร่างกลมขนาดไม่แน่นอน	$CO_2 + H_2$, formate, CO_2 + pyruvate	36-40

ที่มา : ศุภาพร และวสุ (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

1. พีเอช (pH)

พีเอชที่เหมาะสมกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ควรอยู่ระหว่าง 6.6 และ 7.6 สำหรับ acid-forming bacteria อยู่ระหว่าง 7-7.2 สามารถทนได้ที่ pH ต่ำถึง 5.5 ส่วน methanogenic bacteria จะถูกยับยั้งถ้า pH ต่ำ ค่า pH ในถังหมัก อาจต่ำลงมาถึง 6.6 ถ้ามีการสะสม volatile fatty acids ซึ่งอาจเกิดจาก Organic loading rate สูงเกินไป หรือมี toxic materials อยู่ในถังหมัก ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของ methanogenic bacteria ถ้า pH ต่ำต้องรีบแก้ปัญหาทันทีซึ่งอาจเกิดมาจากการสะสมของกรดไขมันหรือ H_2 partial pressure เพิ่มขึ้นและอัตราการผลิต CH_4 จะลดลง โดยทั่วไปใช้วิธีหยุดการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบปล่อยให้พวก methanogen ใช้กรดอินทรีย์และ H_2 ที่สะสมไว้ เมื่ออัตราการผลิต CH_4 เพิ่มขึ้นจนเหมาะสมจึงป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบอีกครั้ง บางกรณีอาจจำเป็นต้องปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยสารเคมี เช่น ปูนขาว หรือเบสอื่นๆ สรุปได้ว่า pH ควรอยู่ระหว่าง 7-8 ถ้าต่ำกว่านี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Polprasert, 2007)

2. ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

ถังหมักที่มีฤทธิ์เป็นกรดมากจะทำให้จุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์หยุดการเจริญเติบโต ทำให้การย่อยสลายไม่ดีและเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดน้อย แต่ถ้าถังหมักมีฤทธิ์เป็นด่างหากไม่มีการเติมสารอินทรีย์ไปก็จะไม่เกิดก๊าซชีวภาพเช่นกัน วิธีการเติมสารอินทรีย์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและเติมอย่างสม่ำเสมอจะรักษาความเป็นกรดเป็นด่างไว้ได้ ค่าความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 1,000-5,000 มก./ล. ในรูปของ $CaCO_3$ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553)

3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิโดยทั่วไปจะพบว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีอยู่ 3 ช่วง (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553) คือ

1. กลุ่มแบคทีเรีย Psychrophilic bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ (5-15 °C)

2. กลุ่มแบคทีเรีย Mesophillic bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (35-37 °C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลุ่มแบคทีเรีย Thermophillic bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง (50-55 °C)

แบคทีเรียในการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในกลุ่ม Mesophillic bacteria จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีที่อุณหภูมิ 30-35 °C อุณหภูมิแต่ละวัน แต่ละฤดูจะมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ช่วงอุณหภูมิที่สำคัญต่อการผลิตก๊าซมีเทนคือ 25-40 °C เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของ Mesophillic bacteria และ 50-65 °C เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของ Thermophillic bacteria คล้ายกับการทำปุ๋ยหมัก อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มแต่จะหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 45°C ที่อุณหภูมินี้การผลิตก๊าซมีเทนจะไม่เพิ่มขึ้น แบคทีเรียทั้ง Mesophilic bacteria และ Thermophilic bacteria จะไม่ชอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C การผลิตก๊าซจะลดลงอย่างมากจึงไม่ควรให้ระบบอยู่ในช่วงอุณหภูมินี้ ที่อุณหภูมิ 30-35 °C เป็นช่วงที่เหมาะสมแต่การยับยั้งเชื้อโรคจะไม่ดีเท่าในช่วง Thermophilic bacteria ดังนั้นในช่วงฤดูหนาวอาจจำเป็นต้องให้ความร้อนกับถังหมัก เพื่อให้ anaerobic bacteria โดยเฉพาะ methanogens เจริญได้ดีขึ้น ซึ่งทำได้โดยให้ความร้อนกับ influent feeding materials (Polprasert, 2007) ช่วงอุณหภูมิในการผลิตก๊าซมีเทนในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในเขตเทศบาลเมืองแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ช่วงอุณหภูมิสำหรับการผลิตก๊าซมีเทนในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในเขตเทศบาลเมือง

อุณหภูมิ, °C	การผลิตก๊าซมีเทน
35	เหมาะสม
32-34	น้อย
21.31	น้อยมาก, ถังหมักเริ่มมีสภาวะเป็นกรด
<21	ไม่มี, ถังหมักมีสภาวะเป็นกรด

ที่มา : Speece (1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. สารอาหาร

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ต้องการสารอาหารหลายชนิดซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrients) และสารอาหารรอง (micronutrient หรือ trace elements) โดยสารอาหารหลัก ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนของการสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (McCarty and McKinney,1961 ; Gosh *et. al.*, 1978) พบว่าแบคทีเรียต้องการสารอินทรีย์ในอัตราส่วน C:N ประมาณ 20-30 : 1 ส่วนสารอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิกเกิล (Ni) หน้าที่ของสารอาหารรองแสดงไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ปริมาณและหน้าที่ของสารอาหารที่จำเป็น

สารอาหาร	ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ผล
Fe^{2+}	0.2	ต่อโครงสร้างฟิลม์ชีว (Biofilm) การตกตะกอนของซัลไฟด์
Ni^{2+}	0.01	สร้าง F420 Co facter ในพวก methanogen
	0.006	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
SO^{2-}_4	0.02	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
CO^{2+}	0.03	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์

ที่มา : สุรพล (2530)

5. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8– 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเอง และจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

133105

มากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวน Methanogen ลดลง นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

จากการใส่มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่ พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตาม สามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

6. ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acids, VFA)

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย มีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือเมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรควรมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายไม่เกิน 4,000 mg/L (สุรพล, 2530)

7. ก๊าซออกซิเจน

ระบบที่มี free O_2 จะยับยั้ง methanogenic bacteria จะทำให้ระบบล้มเหลวได้

8. ความเหนียวข้นของส่วนผสมในบ่อหมัก

ส่วนผสมในบ่อหมักที่มีความเหนียวข้นมากจะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นหมักหมมอยู่ก้นบ่อ และก๊าซบางชนิด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์สะสมที่ก้นบ่อจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ และยังทำให้ส่วนที่ย่อยแล้วไม่สามารถกระจายไปเพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายแก่ส่วนอื่นได้ ดังนั้นควรจะผสมเจือจางด้วยน้ำในอัตรา 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งเมื่อผสมแล้วจะมีปริมาณของแข็งร้อยละ 10 และควรที่จะเติมส่วนผสมดังกล่าวลงบ่อหมักอย่างสม่ำเสมอ (เสาวลักษณ์, 2535)

9. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials)

การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอมโมเนีย ซัลไฟด์ และโลหะบางชนิด เช่น โซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำให้การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ดังแสดงในตารางที่ 2.8-2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา

Parameter	Inhibiting concentration (mg/L)
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	>2,000 (as acetic acid)
แอมโมเนีย ไนโตรเจน	1,500-3,000 (at pH >7.6)
ซัลไฟด์ (ในรูปสารละลาย)	>200 ;
	>3,000 toxic
แคลเซียม	2,500-4,500 ;
	8,000 strongly inhibitory
แมกนีเซียม	1,000-1,500 ;
	3,000 strongly inhibitory
โพแทสเซียม	2,500-4,500 ;
	12,000 strongly inhibitory
โซเดียม	3,500-5,500 ;
	8,000 strongly inhibitory
ทองแดง	0.5 (soluble metal)
แคดเมียม	150
เหล็ก	1.710
โครเมียม$^{+6}$	3
โครเมียม$^{+3}$	500
เงิน	2

ที่มา : EPA (1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 การกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโดยไอออนประจุบวก

ประจุบวก (Cation)	ความเข้มข้น มก./ล.		
	มีฤทธิ์กระตุ้น (Stimulation)	มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลาง (Moderately Inhibitory)	มีฤทธิ์ยับยั้งรุนแรง (Strong Inhibitory)
โซเดียม	100-200	3,500-5,500	8,000
โปตัสเซียม	200-400	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม	100-200	2,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม	75-150	1,000-1,500	3,000

ที่มา : McCarty (1964)

10. ขนาดของอนุภาค (Particle size)

ขนาดของอนุภาคนั้นมีผลต่ออัตราการย่อยสลาย ซึ่งถ้าลดขนาดของอนุภาคให้เหลือจากเหลือ 2.5 ซม. จะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 4.4 เท่า (วรวรรณ และคณะ, 2549)

2.5.2 ปัจจัยด้านการทำงาน

1. ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time)

ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลง ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า TSC อุณหภูมิ ขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร (Friendly fuel trains, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Feed rate) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง หากการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง และการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไปจะทำให้มีการใช้ถังหมักอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ (http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson2.pdf)

3. การปั่นกวน (Mixing) เป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ทำให้ผลิตแก๊สได้มากขึ้น ป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่างๆของถังหมัก ลดการจมตัวของของแข็ง ป้องกันการเกิด scum ที่ผิวของ slurry และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.3 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

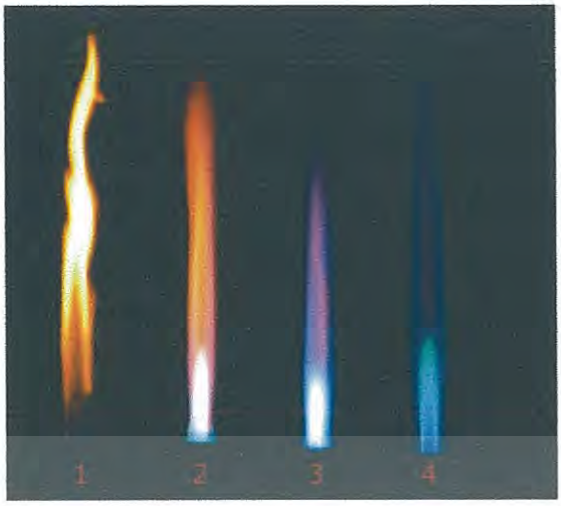
ข้อดี

• ด้านพลังงาน

1. ใช้ในการผลิตพลังงานความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาแก๊สเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน หรือทดแทนน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

แก๊สหุงต้มปกติทั่วไปแล้วเวลาจุดไฟมาจะสังเกตเห็นว่ามีไฟ 2 สีคือ สีแดงและสีน้ำเงินโดยไฟสีน้ำเงินจะอยู่ทางด้านล่าง ส่วนไฟสีแดงจะอยู่ทางด้านบน ซึ่งไฟสีน้ำเงินนั้นจะมีไฟที่ให้ความร้อนสูงกว่าไฟสีแดงเพราะค่าพลังงานแปรผันตามความถี่ของคลื่นแสง โดยสีน้ำเงินมีความยาวคลื่นสั้น ความถี่สูง จึงทำให้มีค่าพลังงานที่สูงตามไปด้วย หากถ่ายกล้องอินฟราเรดที่สามารถบอกได้ว่ามีบริเวณใดมีความร้อนเท่าใดจากภาพจะแสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีแก๊สมีแสงสีน้ำเงินจะมีความร้อนประมาณ 140-170 องศาฟาเรนไฮต์หรือประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส แต่บริเวณที่แก๊สมีแสงไฟสีแดงจะมีความร้อนประมาณ 95 องศาฟาเรนไฮต์หรือประมาณ 35 องศาเซลเซียสเท่านั้น (http://www.nsm.or.th/) การเรียงลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟดูได้จากรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟ (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Bunsen_burner_flame_types_.jpg)

2. ใช้ในการผลิตพลังงานกล นำก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อการผลิตพลังงานกล เช่น ให้กับเครื่องยนต์สำหรับหมุนพัดลม , เครื่องจักรกลทางการเกษตร เป็นต้น

3. การผลิตพลังงานไฟฟ้า

- ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
- ใช้หม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำ วิธีนี้สามารถนำความร้อนจากไอน้ำมาใช้งานได้เรียกว่า ระบบผลิตพลังงานความร่วม การผลิตพลังงานร่วม เป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมกันซึ่งเป็นระบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนเพียงอย่างเดียว (http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/(15).pdf)

การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการนำเอาก๊าซชีวภาพที่ได้มาผ่านเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งจะมีขดลวดตัวนำฝังอยู่ในร่องรอบแกนโรเตอร์ ที่ทำจากแผ่นเหล็กซิลิคอน (Silicon Steel Sheet) ขนาดหนาประมาณ 0.35-0.5 มิลลิเมตร นำมาอัดแน่นโดยระหว่างแผ่นเหล็กซิลิคอนจะมีฉนวนเคลือบ ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ภายในแกนเหล็กของโรเตอร์ จะได้รับไฟฟ้ากระแสตรงจากเอ็กไซเตอร์ (Excitor) เพื่อทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น อีกส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) ภายในร่องแกนสเตเตอร์ มีขดลวดซึ่งทำจากแผ่นเหล็กอัดแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับโรเตอร์ ฝังอยู่ อาศัยหลักการของการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านลวดตัวนำ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์ และนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปใช้ต่อไป

หลักการง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนผ่านขดลวดบนสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิด กระแสและแรงดันขึ้นที่ขดลวด สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นได้จากการป้อนไฟกระแสตรง เข้าขดลวดของโรเตอร์ ไฟกระแสตรงจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์และเมื่อโรเตอร์หมุนจะเหนี่ยวนำแรงดันกระแสสลับขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ (http://protectionrelay ,...,03.html) จากนั้นแปลงกำลังไฟเพื่อนำไปบรรจุไว้ในแบตเตอรี่ ก่อนนำพลังงานกระแสตรงจากแบตเตอรี่ไปใช้งานจะต้องมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะทำการแปลงพลังงานกระแสตรง กำลังไฟ 12 โวลต์ ที่ได้จากแบตเตอรี่ แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟ 220 โวลต์ โดยการทำงานของวงจรสวิชชิ่งทรานซิสเตอร์ (Switching transistor) ด้วยการเปิด-ปิดวงจรกระแสตรงของทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วรวมกับหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วจ่ายออกมาได้ (http://www.leonics.co.th/) นำไปใช้งานตามความเหมาะสม

การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการนำเอาก๊าซชีวภาพที่ได้มาผ่านเข้าเครื่องปั่นไฟ แปลงกำลังไฟเพื่อนำไปบรรจุไว้ในแบตเตอรี่ รอการนำไปใช้งานตามความเหมาะสม

- ใช้ไมโครเทอร์ไบน์ (Micro Turbine)

ก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติคล้ายกับก๊าซธรรมชาติ แต่มีค่าความร้อนต่ำกว่า สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลหรือเบนซินในรถยนต์ได้ แต่มีข้อจำกัดในการบรรจุก๊าซชีวภาพลงในถังซึ่งบรรจุได้ในปริมาณน้อยมาก จึงไม่สะดวกในการเดินทางไกล (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2553)

• ด้านสิ่งแวดล้อม

- ช่วยลดการระบาดของเชื้อโรค หรือการแพร่พันธุ์เชื้อโรค
- ช่วยลดปัญหาในการจัดการขยะ, เศษอาหาร และของเสีย
- ช่วยลดค่าใช้จ่าย/งบประมาณ ในการกำจัดเศษอาหาร
- ช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรบกวน
- ช่วยลดปัญหาก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซมีเทน) ในชั้นบรรยากาศได้
- ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ลดการสูญเสียวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติ
- ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ด้านอื่น ๆ

- ผลพลอยได้จากวัตถุที่ระบายออกจากบ่อหมักสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้
- น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ เช่น ล้างพื้น, ล้างห้องน้ำ, รดน้ำต้นไม้ เป็นต้น

ข้อเสีย

1. งบประมาณในการลงทุนเริ่มต้นนั้นค่อนข้างสูง
2. อาจมีก๊าซพิษที่หลงเหลือมาเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ทำให้มีปัญหาเวลานำก๊าซไปปั่นไฟ อย่างไรก็ตาม ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นส่วนน้อย อาจมีอันตรายดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ระดับอันตรายของก๊าซหลักในก๊าซชีวภาพ

ส่วนประกอบของก๊าซ	ความเข้มข้น		ระยะเวลาที่อันตราย	ผลกระทบทางกายภาพ
	ppm	%Vol		
				Asphyxiant
CH_4	500,000	50	-	Headache , non-toxic
				Asphyxiant
CO_2	20,000	2	-	Safe
	30,000	3	-	Increased breathing
	40,000	4	-	Drowsiness , headaces
	60,000	6	30 min	Heavy , asphyxianting breathing
	300,000	30	30 min	Could be fatal
				Poison
H_2S	100	0.01	hours	Irritation of nose and eyes
	200	0.02	60 min	Headaches, dizziness
	500	0.05	30 min	Nausea, excitement, insomnia
	1,000	0.1	-	Unconsciousness, death

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยเทียบเท่ากับพลังงานอื่นๆ ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 เปรียบเทียบมูลค่าของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรกับเชื้อเพลิงอื่นๆ

เชื้อเพลิง	ปริมาณ (เทียบเท่า)	หน่วย
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันเตาเกรด A	0.55	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเบนซิน	0.7	ลิตร
พลังงานไฟฟ้า	1.25	กิโลวัตต์

ที่มา : COWTEC (2013)

จากการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากเครื่องผลิตปุ๋ยและก๊าซชีวภาพซึ่งใน 1 วันสามารถได้แก๊สชีวภาพถึง 10 ลูกบาศก์เมตร เรานำมาใช้ในรูปของแก๊สหุงต้มนั้น 10 ลูกบาศก์เมตรได้เท่ากับแก๊ส LPG 4.6 กิโลกรัม (เพื่อหุงต้มอาหารในครอบครัว 20-50 คนได้ 3 มื้อ) (COWTEC, 2013)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lin *et al.* (2011) ศึกษาศักยภาพชีวเคมีการผลิตมีเทนจากเศษผักผลไม้และเศษอาหารแบบไม่ใช้อากาศของประเทศจีนทางตอนเหนือ มีค่าเท่ากับ 0.30, 0.56 m^3 CH_4/kg VS, ตามลำดับ ทั้งเศษผักผลไม้และเศษอาหารสามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยมีศักยภาพในการย่อยสลาย 59.3% และ 83.6% ตามลำดับ ถังปฏิกิริยาในการทดลองมีอัตราในการลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ 3 kg VS/(m^3 , day) เมื่อทำการเติมเศษผัก ผลไม้ลงในถังปฏิกิริยาสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.17 m^3/(m^3 , day) และผลิตมีเทนได้ 0.42 m3 CH_4/kg VS อย่างไรก็ตามในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยเศษอาหารเพียงอย่างเดียวนั้นยังไม่สำเร็จเนื่องจากเกิดการสะสมกรดไขมันระเหยได้ ในอัตราส่วนสำหรับการย่อยของเศษผักผลไม้และเศษอาหารที่เหมาะสมคือ 1 ต่อ 1 ภายใต้สภาวะนี้ผลผลิตมีเทนสารระเหยได้ และประสิทธิภาพการกำจัด sCOD เป็นดังนี้ 0.49 m^3 CH_4/kg VS, 74.9% และ 96.1% ตามลำดับ การย่อยสลายร่วมกันของเศษผัก ผลไม้ และเศษอาหารนั้นไม่เพียงแต่สามารถช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนแต่ยังสามารถเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการกำจัดวัตถุอินทรีย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อวัสดา (2545) ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time, HRT) อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (Organic loading rate, OLR) และความถี่ในการเติมของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศ ตัวอย่างเศษอาหารที่เก็บจากโรงอาหารประกอบด้วยข้าว พืชผักและเนื้อสัตว์ต่างๆ มีความแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเป็นปริมาณมาก เพื่อตัวอย่างเศษอาหารที่ใช้ในกรทดลองจะมีสารประกอบต่างๆ ใกล้เคียงกันมากที่สุด จากนั้นเศษอาหารจะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้ได้ของเหลวมีค่าปริมาณของแข็ง (TS) ประมาณ 4% เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายเศษอาหารที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่ามีอัตราส่วนระหว่าง BOD:COD ประมาณ 0.7 เป็นพารามิเตอร์ที่ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดโดยใช้วิธีทางจุลชีววิทยา สำหรับอัตราส่วน BOD:N:P ของสารละลายเศษอาหารมีค่าประมาณ 100 : 29.21 : 2.18 เป็นอัตราส่วนที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยไม่จำเป็นต้องเติมธาตุอาหารเพิ่มเติมให้แก่ระบบ เพราะอัตราส่วน BOD:N:P ที่ใช้สำหรับการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยทั่วไปมีค่า 100 : 1.1 : 0.2 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรีย์สารและผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลง ถ้ามีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้ เช่น ตะกอนแบคทีเรียลอยตัวหลุดออกจากระบบได้ ในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากระบบจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล พบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเริ่มจะคงที่ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบซึ่งถือว่าระบบสามารถปรับตัวได้รวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในระบบมีการปรับสภาพกับเศษอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าลดลงเมื่อมี HRT มากขึ้น (OLR น้อยลง) กล่าวคือเมื่อมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น OLR ของระบบ ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมี HRT มากขึ้นหรือ OLR น้อยลง จุลินทรีย์อยู่ในระบบนาน ทำให้ต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิต ดังนั้นอินทรียสารส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายนำไปใช้เป็นพลังงาน ซึ่งทำให้การสร้างเซลล์ใหม่มีน้อย นอกจากนี้เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลวมากกว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงมากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียจะได้รับอินทรีย์สารอย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ

ชัยยา และคณะ (2549) ได้สร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่เกิดขึ้นในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหาศักยภาพของเศษอาหาร ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศ โดยศึกษาการย่อยสลายของเศษอาหารในถังหมักขนาดความจุ 100 ลิตร ซึ่งคำนวณจากปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นใน 1 วันที่มากที่สุดในรอบสัปดาห์พบว่า จะมีปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นมากสุด 75 กิโลกรัม หรือคิดเป็นปริมาตรจะได้ 75.8 ลิตร ภายใต้สภาวะการทดลองที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันคือทดลองหมักเศษอาหารแบบมีการกวน 30 วัน และทดลองหมักเศษอาหารแบบไม่มีการกวน 30 วัน เพื่อหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น จากปริมาณเศษอาหารเปียก 35 กิโลกรัม โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่มีการแยกชนิดของเชื้อจำนวน 20 กิโลกรัม ผสมรวมกันภายในถัง การทดสอบการหมักเศษอาหารในเครื่องผลิตก๊าซ ด้วยระบบการหมักแบบไม่มีการกวนเศษอาหารจะพบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณค่อนข้างสูงช่วง 4 วันแรกของการหมัก โดยวันแรกที่ทำการหมักจะมีปริมาณที่สูงที่สุด หลังจากนั้นปริมาณก๊าซที่ได้มีค่าที่ลดน้อยลงในแต่ละวัน และเมื่อเปรียบเทียบกับเศษอาหารแล้วปริมาณก๊าซที่เกิดมีเทนเป็น 1.7 เท่าของปริมาณเศษอาหาร และ 7.7 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด การทดสอบการหมักเศษอาหารในเครื่องผลิตก๊าซ ด้วยระบบหมักแบบกวนเศษอาหาร โดยมีการกวนวันละ 4 ครั้ง จะพบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วง 3 วันแรกของการหมัก โดยวันแรกที่ทำการหมักจะมีปริมาณสูงที่สุด หลังจากนั้นปริมาณก๊าซที่ได้จะมีค่าที่ลดน้อยลงในแต่ละวัน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเศษอาหารแล้วปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีเป็น 2 เท่าของปริมาณเศษอาหาร และ 9 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด จากข้อมูลการหมักทั้ง 2 ระบบคือ แบบมีการกวนและไม่มีการกวน พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซในทั้ง 2 ระบบ ระบบที่มีการกวนจะมีการให้ค่าปริมาณก๊าซที่มากกว่าทั้งในส่วนของช่วงในการเกิดก๊าซเริ่มต้นและปริมาณรวมทั้งหมดของก๊าซที่เกิดขึ้น ในส่วนของระยะเวลาในการหมัก ระบบแบบมีการกวนจะทำให้เกิดช่วงระยะเวลาในการหมักเกิดก๊าซสูงสุดที่น้อยกว่าประมาณ 3-4 วัน ซึ่งสามารถนำมากำหนดเวลาของการเปลี่ยนถ่ายเศษอาหารได้ ซึ่งผลจากการแยกองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ พบก๊าซที่มีค่าสูงที่สุดอยู่ 2 ชนิดคือ ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากผลการทดลองพบว่าในระบบการหมักแบบกวนเศษอาหารมีค่าของก๊าซมีเทน (CH_4) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ในการหมักแบบไม่มีการกวน จะให้ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่สูงกว่าค่าของก๊าซมีเทน (CH_4) เมื่อเปรียบเทียบค่าของก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้นในการหมักทั้ง 2 ระบบ จะพบว่าการหมักแบบกวนเศษอาหารมีค่าของการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) สูงกว่าในการหมักแบบไม่มีการกวนกล่าวได้ว่าการหมักเศษอาหารด้วยระบบการกวนก่อให้เกิดศักยภาพในการผลิตก๊าซที่สูงกว่าและรวดเร็วกว่าการหมักในระบบไม่มีการกวนเศษอาหาร

วรวรรณ และคณะ (2549) ศึกษาศักยภาพ การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารในโรงอาหาร อาคารเรียนเอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 อันดับมาทำการทดลอง หาค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ โดยใน 7 วันของขยะเศษอาหารสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 149.68 มิลลิลิตรต่อปริมาณขยะเศษอาหาร 1 กิโลกรัม ชนิดของอาหารที่ทำการทดลองเรียงอันดับจากปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุดตามลำดับได้ดังนี้ ไข่ กะหล่ำปลี ผักบุ้ง แตงกวา ข้าว รวมถึงทดสอบค่าทางเคมี ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งละลาย (TDS) เรียงอันดับจากค่ามากได้ดังนี้ กะหล่ำปลี ผักบุ้ง แตงกวา ไข่ ข้าว, ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เรียงอันดับจากค่าความเป็นเบสได้ตามลำดับดังนี้ ไข่ ข้าว กะหล่ำปลี แตงกวา ผักบุ้ง , ค่าไนโตรเจน (N) เรียงตามอันดับจากค่ามากได้ตามลำดับดังนี้ ไข่ ข้าว ผักบุ้ง แตงกวา กะหล่ำปลี, ค่าซีโอดี (COD) เรียงตามอันดับจากมากไปน้อยดังนี้ ไข่ ข้าว กะหล่ำปลี แตงกวา ผักบุ้ง เพื่อนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินศักยภาพความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทน จากขยะเศษอาหารในโรงอาหารอาคารเรียนเอ หรือใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบการผลิตเพื่อศักยภาพสูงสุดในการผลิตก๊าซมีเทน ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่ทำการทดลองในช่วง 1 ถึง 7 วัน จะมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อทำการศึกษาต่อในช่วง 8 ถึง 17 วัน จนลดลงน้อยมาก ในช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นเวลา 18 ถึง 30 วัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขยะเศษอาหารในขวดหมักมีปริมาณน้อยลงเพราะถูกย่อยเมื่อเวลาผ่านไปหรือในขยะเศษอาหารบางชนิดอาจไม่เพียงพอในการที่จุลชีพจะนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้อาจมีปัจจัยอื่นอาจมีผลทำให้ยับยั้ง หรือหยุดการเจริญเติบโต หรือทำให้การทำงานของจุลชีพต้องกระทำได้ช้าลง เช่น ลิกนิน และเซลลูโลสที่เป็นสารย่อยสลายได้ยากต้องใช้เวลานานในการย่อย อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมโดยตัวอย่างการทดลองทั้ง 7 ชนิด สามารถจำแนกเป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูง และปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ โดยให้กลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ 30 วันมีค่ามากกว่า 1,500 ถึง 3,000 มิลลิลิตรตลอดการศึกษา 30 วันหรือคิดเป็นกลุ่มที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม มากกว่า 50 ถึง มากกว่า 100 มิลลิลิตรต่อวันเป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูง และกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ 30 วัน มีเท่ากับ 0 ถึง 1,500 มิลลิลิตรตลอดการศึกษา 30 วัน หรือคิดเป็นกลุ่มที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 0 ถึง 50 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ กลุ่มของตัวอย่างที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูง เรียงจากสูงไปต่ำได้แก่ ไข่ (4139.67 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 138 มิลลิลิตรต่อวัน), เศษอาหาร (2,128.33 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 70.94 มิลลิลิตรต่อวัน), แตงกวา (1982.50 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 66.08 มิลลิลิตรต่อวัน) กลุ่มของตัวอย่างที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ เรียงจากสูงไปต่ำ ผักบุ้ง (1459.5 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 48.65 มิลลิลิตรต่อวัน), ข้าว (1442 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 48.07 มิลลิลิตรต่อวัน), กะหล่ำปลี (1194 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 39.8 มิลลิลิตรต่อวัน) และ เชื้อจุลินทรีย์สำหรับหมัก (1100.67 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 36.69 มิลลิลิตรต่อวัน)

ธนกร (2550) ศึกษาการหมักก๊าซโดยใช้เศษอาหารที่เกิดขึ้นในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยในส่วนเศษอาหารจะนำมาจากโรงอาหารตึก A โดยนำอาหารที่นำมาทำการหมักนั้นได้คัดแยกเศษขยะและนำเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่ผ่านการคัดแยกแล้วนำมาทำการบดให้มีขนาดเล็กลงและทำการใส่ผสมกับจุลินทรีย์ในบ่อเกรอะด้านหลังตึกภาควิศวกรรมโยธา ทางด้านวิธีการบรรจุนั้นใช้อัตราส่วนระหว่างเศษอาหารและจุลินทรีย์ โดยใส่เศษอาหารปริมาณ 3 ส่วน ต่อปริมาณจุลินทรีย์ 1 ส่วน โดยจะทำการใส่ในปริมาณ 60 % ของเครื่องผลิตก๊าซมีเทน จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยการทำการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารนั้นเพื่อที่จะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง ทำการแบ่งการทำงานเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกหลังจากการทำการประกอบเครื่องวัดก๊าซจากนั้นใส่เศษอาหาร และจุลินทรีย์ครั้งแรกลงในเครื่องหมักแก๊สชีวภาพพร้อมทั้งการปรับสภาพและเริ่มทำการทดลอง ส่วนช่วงที่ 2 คือหลังจากที่ได้ทำการบรรจุเศษอาหารและทำการปล่อยให้จุลินทรีย์ได้ทำการปรับตัวให้เข้ากับเศษอาหารเป็นเวลาทั้งสิ้น 1 เดือนจากนั้นจึงทำการทดลองใหม่อีกครั้ง ผลการทำการทดลองครั้งแรกสรุปได้ว่า จุลินทรีย์ที่มาจากบ่อเกรอะนั้น เมื่อนำมาทำการย่อยสลายเศษอาหาร ทำให้ค่าปริมาณของก๊าซมีเทนมีค่าต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 13-14 ลิตรต่อวัน เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด ได้ทำการสร้างกรด (Acidogenesis) และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ปริมาตรของก๊าซที่เกิดขึ้นครั้งแรกเกิดจากการหมักขยะเศษอาหารออกมาเฉลี่ย 1-2 วันแรกมีปริมาณรวมกันเท่ากับ 26.02 ลิตร ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 3-4 มีปริมาตรก๊าซรวมกันเท่ากับ 22.15 ลิตร ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 5-6 มีปริมาตรก๊าซรวมกันเท่ากับ 15.09 ลิตรและปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 7-8 มีปริมาณรวมกันเท่ากับ 10.11 ลิตร จะเห็นได้ว่าปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 7-8 มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงแรก อีกทั้งการหาเศษอาหารเพื่อที่จะนำมาทำการหมักสามารถทำได้ง่าย ดังนั้นการทำการบรรจุเศษอาหารใหม่และทำการนำเศษอาหารเก่าออกนั้น ควรทำทุกๆ 6-7 วันจะทำให้มีปริมาณการเกิดของก๊าซมากที่สุด และเป็นการนำเศษอาหารที่ผ่านการหมักมาใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชได้อีกทาง

ปราโมทย์ (2551) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารของโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีเศษอาหารเหลือวันละประมาณ 58 กิโลกรัม องค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ คือ ข้าว ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ตามลำดับ มีค่าความชื้นทั้งหมดเฉลี่ย 74.21 เปอร์เซ็นต์ และค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 25.79 เปอร์เซ็นต์ โดยการย่อยสลายในถังหมักแบบต่อเนื่องสองขั้นตอนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ถังใบแรกมีปริมาตร 27.7 ลิตร และใบที่สองมีปริมาตร 52.8 ลิตร โดยการเติมสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมด 4% (w/v) ที่ระยะเวลากักเก็บ 35, 30, 25 แล 20 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 5.77, 6.39, 8.3 และ 10.27 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 35 วันระบบสามารถลดปริมาณความสกปรกคิดเป็นค่าซีโอดีได้สูงสุดถึง 90.1% และผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวมเท่ากับ 31.2 ลิตรต่อวัน มีสัดส่วนมีเทน 57.3% ของปริมาตรก๊าซทั้งหมด ของแข็งทั้งหมดลดลง 84.3% ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมดที่ลดลง 89.3% และที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วันสามารถลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสกปรกค่าซีโอดีได้ 82.1% แต่ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงถึง 54.4 ลิตรต่อวัน และมีความเข้มข้นของมีเทน เท่ากับ 61.3%

บุญรัตน์ และคณะ (2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารจากโรงอาหารโดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 37°C และใช้เชื้อผสมจากน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารโดยการเติมอาหารแบบกึ่งต่อเนื่องผลการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารจากโรงอาหารเป็นแหล่งอาหาร โดยเติมอาหาร 10% ของเชื้อจุลินทรีย์ผสมเริ่มต้นที่ได้จากน้ำหมักในถังหมักก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารทำการหมักที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ปริมาตรก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงชั่วโมงที่ 24 ปริมาตรก๊าซเริ่มคงที่ทั้งในถังหมักน้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหาร สำหรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมจะเริ่มผลิตก๊าซเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ส่วนน้ำเสียจากเศษอาหารจะเริ่มผลิตก๊าซเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมอาหารแต่มีเพียงเชื้อจุลินทรีย์ผสมในน้ำหมักจากถังหมักก๊าซชีวภาพสามารถผลิตก๊าซได้ 30 มิลลิลิตร และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ส่วนชุดที่เติมน้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมและชุดที่เติมเศษอาหาร สามารถผลิตก๊าซใน 24 ชั่วโมงได้ 349 มิลลิลิตร และ 833 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าประมาณ 10 เท่า และ 30 เท่าของแหล่งอาหารเดิม แสดงว่าจุลินทรีย์สามารถผลิตก๊าซจากแหล่งอาหารเดิมจากน้ำหมักอาหารที่ใช้เป็นแหล่งเชื้อจุลินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อย และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารได้กว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีม นอกจากนี้ในน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมยังมีค่าไขมันและน้ำมันซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายยากอยู่สูงกว่า น้ำเสียจากโรงงานผลิตไอศกรีมซึ่งมีค่า COD:N:P เท่ากับ 675:16:1 เปรียบเทียบกับการใช้เศษอาหารจากโรงอาหารซึ่งมีค่า COD:N:P เท่ากับ 8,045:8:1 อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมมีค่ามากกว่าเศษอาหาร โดยเทียบจากพื้นที่ใต้กราฟจากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-TCD และจากการสังเกตลักษณะการติดไฟของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมจะมีเปลวไฟสูงกว่าและไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารจะมีเปลวไฟน้อยและมีกลิ่น

สมจินตนา และคณะ (2554) ศึกษากระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศของเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรีนในสภาวะเมโซฟิลิกระยะเวลาการหมัก 111 วัน จากการทดลองได้ก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 47-60 % และผลผลิตของก๊าซมีเทนเฉลี่ย 0.465 m^3CH_4/kgCOD ที่อุณหภูมิห้อง (ผลผลิตของก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.789 m^3biogas/kgCOD) และเมื่อคำนวณผลผลิตต่อของแข็งระเหยได้ซึ่งการทดลองนี้คำนวณค่าภาระของแข็งรวม 230.2 g/day ได้ผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.445 m^3CH_4/kgVS ค่าผลผลิตที่ได้มีค่าสูงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับงานของ Zennaki และคณะ (1996) และผลการทดลองของ Kim และคณะ (2006) ได้รายงานผลผลิตของก๊าซชีวภาพไว้ 223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$LCH_4/kgCOD_{degraded}$ และ $\%CH_4$ อยู่ในช่วง 54-67 % ในงานวิจัยนี้การเพิ่มกลีเซอรีนเพื่อใช้เป็นตัวร่วมในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ กลีเซอรีนมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงจึงไปช่วยเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบจากการทดลองพบว่า ในช่วงสองวันแรกของการเติมกลีเซอรีนค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไประบบสามารถที่จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในกลีเซอรีนไปเป็นกรดไขมันระเหยได้ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบมีค่าลดลง ประกอบกับค่าสภาพด่างของระบบเพิ่งขึ้นจากค่าประมาณ 200 mg/L as $CaCO_3$ ในตอนเริ่มต้นเป็นระดับประมาณ 500-800 mg/L as $CaCO_3$ ในช่วงการเติมกลีเซอรีน แต่ระบบยังคงให้ค่าความเป็นกรด-ด่างค่อนข้างคงที่ การเพิ่มขึ้นของความเป็นสภาพด่างเกิดขึ้นจากการเติมเศษอาหารและกลีเซอรีนดิบเข้าไปสะสมตามระบบนี้ ได้ส่งผลดีต่อการหมัก เนื่องจากค่าสภาพด่างในระบบนี้ช่วยรักษาให้ระบบทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดีขึ้น ซึ่งในขั้นตอนการไฮโดรไลซิสของการหมักแบบไร้อากาศจะเกิดการผลิตกรดไขมันระเหยได้ขึ้นก่อนการผลิตมีเทน ถ้าระบบมีสภาพด่างต่ำเกินไปย่อมส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบลดลง ระบบจะสูญเสียสภาวะที่ดีในการผลิตมีเทน การรักษาสภาพด่างที่เหมาะจึงช่วยให้สภาพแวดล้อมของการผลิตมีเทนยังเกิดได้ดี กลีเซอรีนที่เติมเข้าไปในระบบใช้เป็นอาหารร่วมกับเศษอาหารเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่เป็นแหล่งอาหารหลักของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพและสร้างเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ (TOC analyzer) บริษัท Shimadzu รุ่น TOC-VCPH, ประเทศ-ญี่ปุ่น

2. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น 827 pH Lab บริษัท Metrohm, ประเทศสวิตซ์เซอร์แลนด์

3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น B-3100S บริษัท Sartorius, ประเทศไทย

4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น 2842 บริษัท Sartorius, ประเทศไทย

5. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

6. เครื่องปั่นกวน ยี่ห้อ Moulinex

7. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร

8. Hot plate

9. เครื่องแก้วต่างๆ

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan Analytical Science, ประเทศไทย

2. กรดซัลฟิวริก (conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab-Scan Analytical Science, ประเทศไทย

3. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี

4. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี

5. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศอิตาลี

6. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วัตถุดิบที่ป้อนเข้าระบบ

เศษอาหาร ที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารที่เหลือจากการบริโภคของนักศึกษาภายในคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เริ่มต้นระบบโดยทางบริษัท ไมโครไบโอเทค จำกัด ได้ทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์และอาหารเป็นปริมาตร 2 ใน 3 ของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ และเติมเศษอาหาร 20 กิโลกรัมต่อเนื่องเป็นเวลา 1 เดือนจนระบบคงที่

โครงงานวิจัยทำการทดลองโดยเติมอาหารวันจันทร์-วันศุกร์ แบ่งเป็นเศษอาหาร 40 กิโลกรัมและน้ำประปา 40 กิโลกรัม เติมตั้งแต่วันที่ 5 มิถุนายน 2556 ถึง 16 สิงหาคม 2556 และเปลี่ยนเป็นเศษอาหาร 40 กิโลกรัมและน้ำทิ้ง 40 กิโลกรัม วันที่ 19 สิงหาคม 2556 ถึง 19 กันยายน 2556 หลังจากเติมเศษอาหารปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที

3.1.4 ของผสม (Slurry) ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

ของผสม (Slurry) ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักละก๊าซชีวภาพ มีการถ่ายออกจากเครื่องวันจันทร์-วันศุกร์ วันละ 80 กิโลกรัม ซึ่งของผสม (Slurry) ในส่วนนี้จะถูกนำไปกรองผ่านบ่อทราย

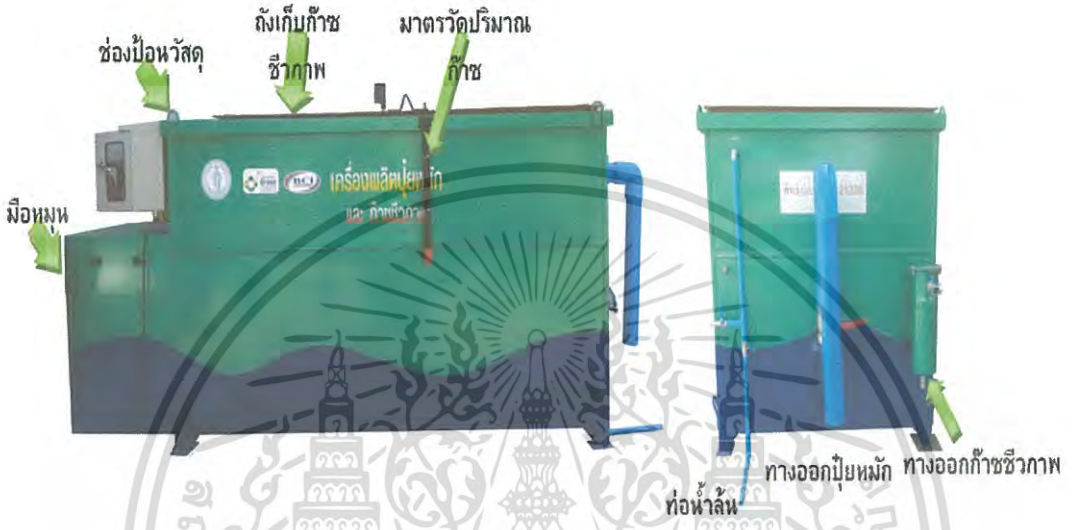
3.1.5 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไมโครไบโอเทค จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากสำนักงานกรุงเทพมหานคร มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความจุ 3,400 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิรอบตัวเครื่องที่ 35±2 องศาเซลเซียส ติดตั้งใบพัดที่ใช้ระบบปั่นกวนด้วยระบบไฟฟ้าหรือมือหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ (ก) ด้านข้าง (ข) ด้านหลัง

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหาร

การทดลองศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ซึ่งทำการวิเคราะห์เศษอาหาร (ขั้นตอนที่ 3.1.3) โดยการชั่งเศษอาหาร 300 กรัมต่อน้ำ 300 กรัม (1:1) โดยน้ำหนักเปียก นำไปปั่นรวมกันจนได้ปริมาณรวม 600 กรัม

1. ทำการวิเคราะห์ความชื้น pH, ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), ค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Volatile Solids, VS), ค่าสภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity), ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA), ค่าทีโอซี (Total Organic Carbon- Total Nitrogen, TOC-TN) โดยใช้วิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

2. ทำซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ (Temperature)	เทอร์โมมิเตอร์
พีเอช (pH)	pH meter
ค่าสภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)	Titration ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Disc) ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS)	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Volatile Solids ,VS)	เผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอินทรีย์ในน้ำ (Chemical Oxygen Demand)	วิธี Closed Reflux ,Titrimetric method ตามวิธีมาตรฐาน AHPA (2012)
ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen Demand)	โดยวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)	Titration ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)
ค่าคาร์บอนทั้งหมด-ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Organic Carbon- Total Nitrogen, TOC-TN)	TOC Analizer ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (2012)

3.2.2 ศึกษาสภาวะในระบบของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

ทำการวิเคราะห์ของผสม (Slurry) (ขั้นตอนที่ 3.1.4) โดยเก็บตัวอย่าง 600 มล. จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1. วิเคราะห์หาความชื้น, pH, ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS), ค่าของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Volatile Solids, VS), ค่าสภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity), ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA), ค่าทีโอซี (Total Organic Carbon- Total Nitrogen, TOC-TN) โดยใช้วิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

2. ทำซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำค่าปริมาตรของถังและอัตราการป้อนเศษอาหาร (OLR) คำนวณระยะเวลาในการกักเก็บเศษอาหาร (HRT)

3.2.3 ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพ

ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง หลังเติมเศษอาหาร ดังนี้

1. ทำการตรวจนับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆชั่วโมง ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยอ่านค่าจากสเกลบอกปริมาตรก๊าซของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ พร้อมบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 จำนวน 5 ซ้ำ

3. นำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบการผลิตกระแสไฟฟ้า น้ำมันเบนซิน แก๊สหุงต้ม (LPG)

4. ตรวจสอบสีของเปลวไฟ ที่เกิดจากก๊าซชีวภาพของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

3.2.4 วิเคราะห์ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

1. เก็บตัวอย่างของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ 100 มล.

2. นำมาตรวจสอบกลุ่มของเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้วิธีการย้อมแกรม (ภาคผนวก ก.)

3. ส่องกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า

3.2.5 ศึกษาคุณภาพน้ำทิ้ง

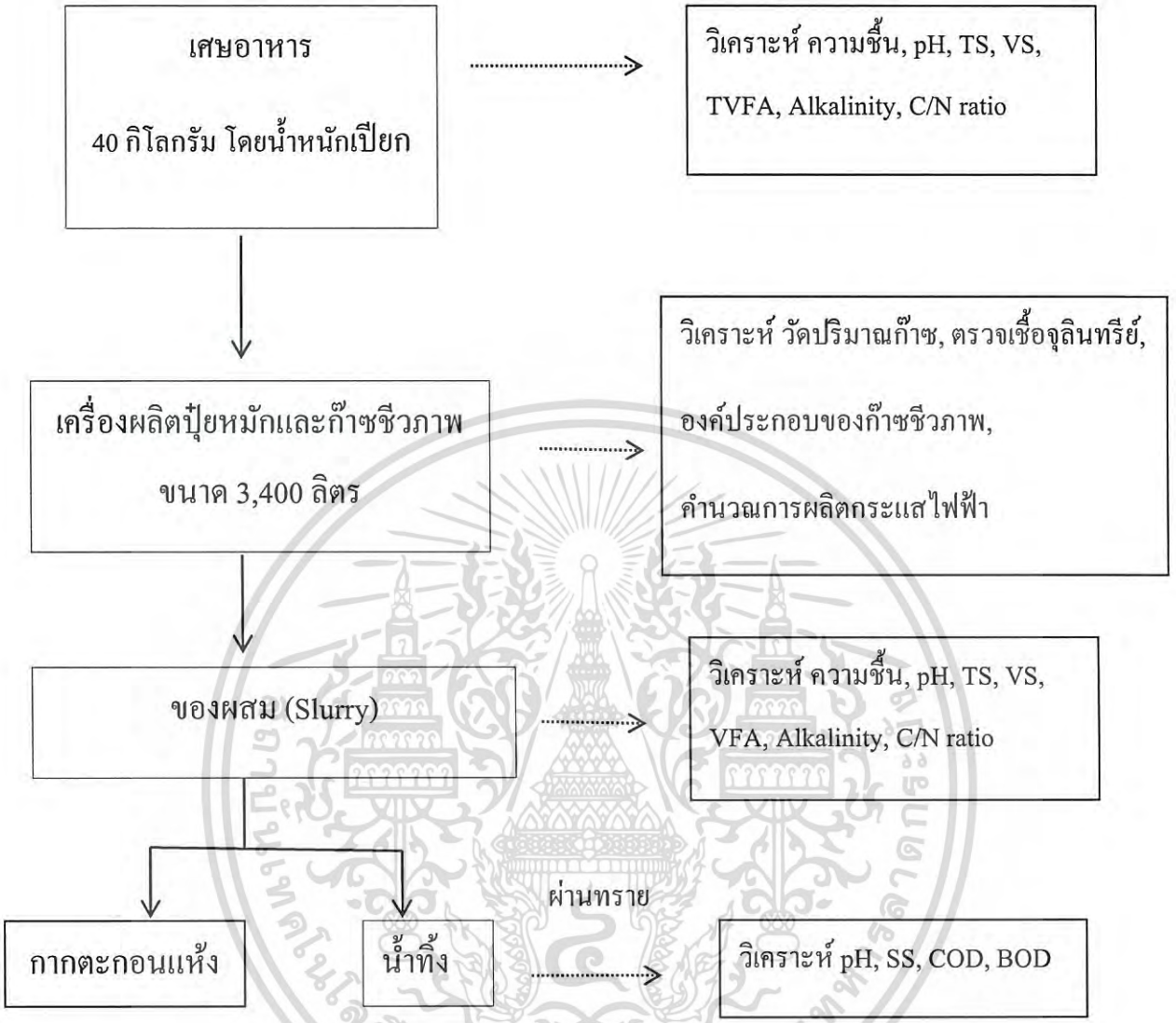
น้ำทิ้งที่ได้จากการกรองของผสม (Slurry) ถูกนำออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซ-ชีวภาพผ่านบ่อทราย ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง 600 มิลลิลิตร ตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งด้วยการวิเคราะห์ ค่า pH, ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS), ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) , ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) โดยใช้วิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

2. ทำซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสรุปได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาสภาวะในระบบของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

การศึกษาสภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองโดยใส่เศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ ที่ปริมาณ 40 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษอาหารต่อน้ำ 1:1 เติมเศษอาหารทุกวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 14.00-15.00 น. เมื่อใส่เศษอาหารแล้วจะมีการปั่นกวนขณะใส่เป็นเวลา 15 นาที หลังจากเติมอาหารครบ 24 ชั่วโมง จะทำการถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพในอัตราเท่ากันกับอัตราการเติม (80 กิโลกรัม) ของผสม (Slurry) จะถูกกรองน้ำออกโดยถังกรองทราย เศษอาหาร (Feed) , ของผสม (Slurry) และน้ำทิ้งจะนำมาตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างวันที่ 19 มิถุนายน ถึง 11 ตุลาคม 2556 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหาร สภาวะในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ รวมทั้งศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งก่อนทิ้งลงท่อระบายน้ำสาธารณะ เพื่อบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของเศษอาหาร

จากตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะของเศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ พบว่าเศษอาหารมีค่าความชื้น, pH, ค่าสภาพความเป็นด่าง, TS, VS, VFA และ C/N ratio (ดูรายละเอียดข้อมูลในภาคผนวก ข-1.1 – ข-1.12) ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับผลการทดลองของชัยยาและคณะ (2549) พบว่าเศษอาหารมีค่าความชื้นเฉลี่ย 78.26% , pH 5.74 และCOD 99,130-107,900 mg/L ดังแสดงในตาราง 4.2 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สจล. มีคุณลักษณะใกล้เคียงกันกับเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

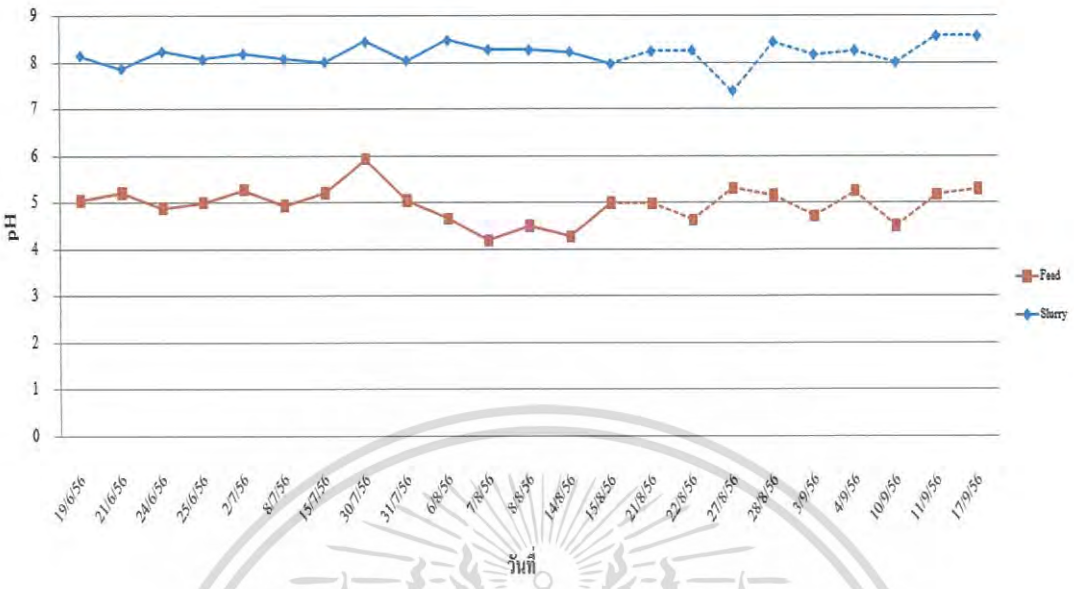
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของเศษอาหาร

คุณลักษณะ	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเศษอาหาร	ผลการวิเคราะห์เศษอาหารของชัยยาและคณะ (2549)
ความชื้น	59.05% – 83.25%	(เฉลี่ย) 78.26%
pH	4.20 – 5.90	5.74
Alkalinity	0 mg/L as $CaCO_3$ – 2,299 mg/L as $CaCO_3$	-
TS	170,168.33 mg/L – 454,680 mg/L	19.05% - 24.28%
VS	165,766.33 mg/L – 424,788 mg/L	(เฉลี่ย) 16.73%
VFA	364.60 mg/L as $CaCO_3$ – 1,947.12 mg/L as $CaCO_3$	-
COD	141,200 mg/L	99,130 mg/L -107,900 mg/L
C/N ratio	41.14 – 101.28	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในระบบ

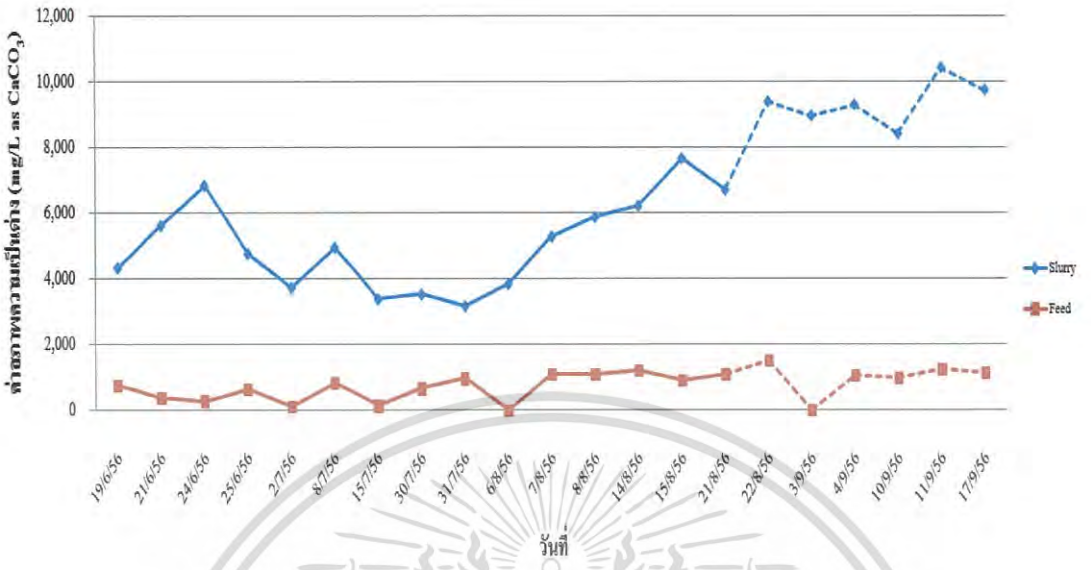


รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry)
จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก ข) จากการทดลองพบว่าพีเอชของเศษอาหารมีค่าในช่วง 4.20-5.90 ส่วนค่าพีเอชของของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 7.38-8.54 เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบจะย่อยเศษอาหารให้เป็นกรดอินทรีย์ โดย hydrolytic bacteria จากนั้นกลุ่ม methanogen bacteria จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้พีเอชของผสม (Slurry) ที่ได้หลังจากผ่านการย่อยสลายมีพีเอชสูงขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชของเศษอาหารและมีของผสม (Slurry) ค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าอัตราการเติมอาหาร อัตราการกำจัดของผสม (Slurry) ออกจากระบบ และระยะเวลากักเก็บเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างทั้งหมดในระบบ

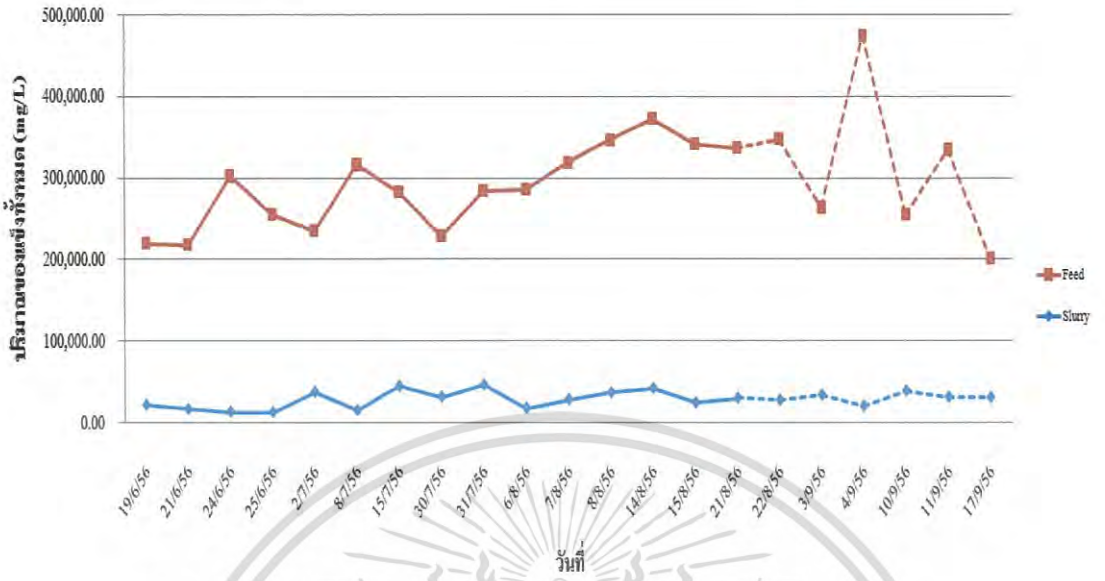


รูปที่ 4.2 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2 ภาคผนวก ข) แสดงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหาร (Feed) พบว่ามีค่าช่วง 0-2,299 mg/L as $CaCO_3$ และของผสม (Slurry) มีค่าในช่วง 2,208-9,174 mg/L as $CaCO_3$ (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค-1.5) จะเห็นว่าในระหว่างวันที่ 19/06/56 ถึง 15/08/56 ค่าสภาพความเป็นด่างค่อนข้างคงที่ แต่หลังจากวันที่ 21/08/56 ถึง 17/09/56 ค่าสภาพความเป็นด่างมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนจากการเติมน้ำประปามาเป็นน้ำทิ้งที่เหลือจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าสภาพความเป็นด่างก็ยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (1,000-5,000) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของสภาพความด่างทั้งหมดของผสม (Slurry) มีค่ามากกว่าเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของของผสม (Slurry) ที่มากกว่าของเศษอาหารด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบ

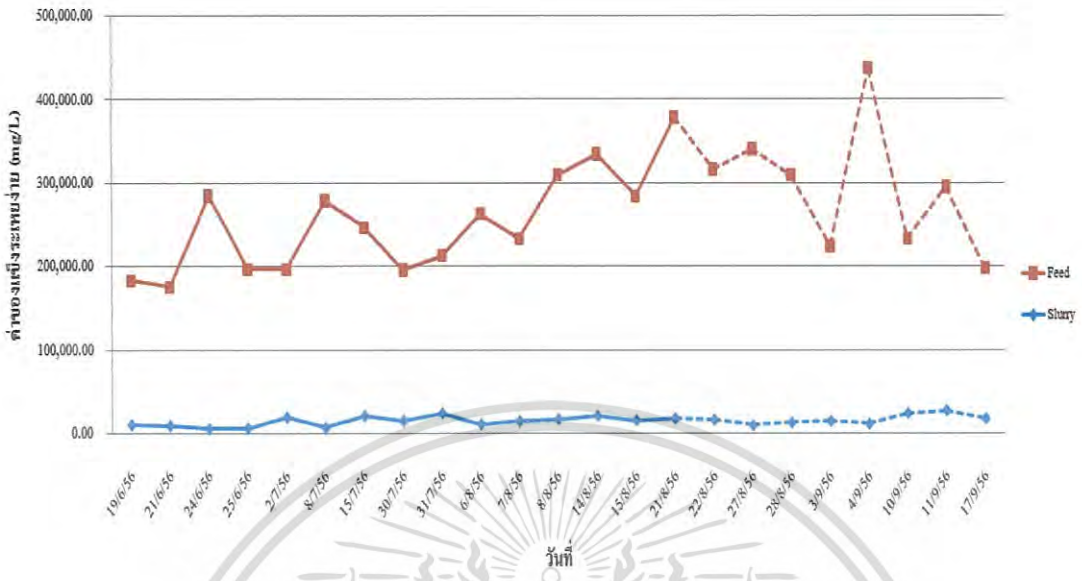


รูปที่ 4.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข) พบว่าเศษอาหาร (Feed) มีค่าปริมาณของแข็งไม่คงที่ เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบในเศษอาหารที่เหลือจากโรงอาหารในแต่ละวันมีค่าไม่แน่นอน (ขึ้นกับพฤติกรรมการบริโภค) จากการทดลองพบว่าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพปริมาณของแข็งของเศษอาหาร (Feed) ก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีค่า 170,168 – 454,680 mg/L มากกว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของของผสม (Slurry) มีค่า 13,286 – 47,098 mg/L ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบใช้เศษอาหาร (Feed) ที่มีปริมาณของสารอินทรีย์ที่สูงเป็นแหล่งอาหารและยังสามารถย่อยสลายได้ง่าย จึงเป็นผลให้ของผสม (Slurry) มีปริมาณของแข็งลดลง จากผลการทดลองพบว่าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด 89.03% (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค-1.2) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งและประสิทธิภาพการย่อยสลายของจุลินทรีย์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดในระบบ



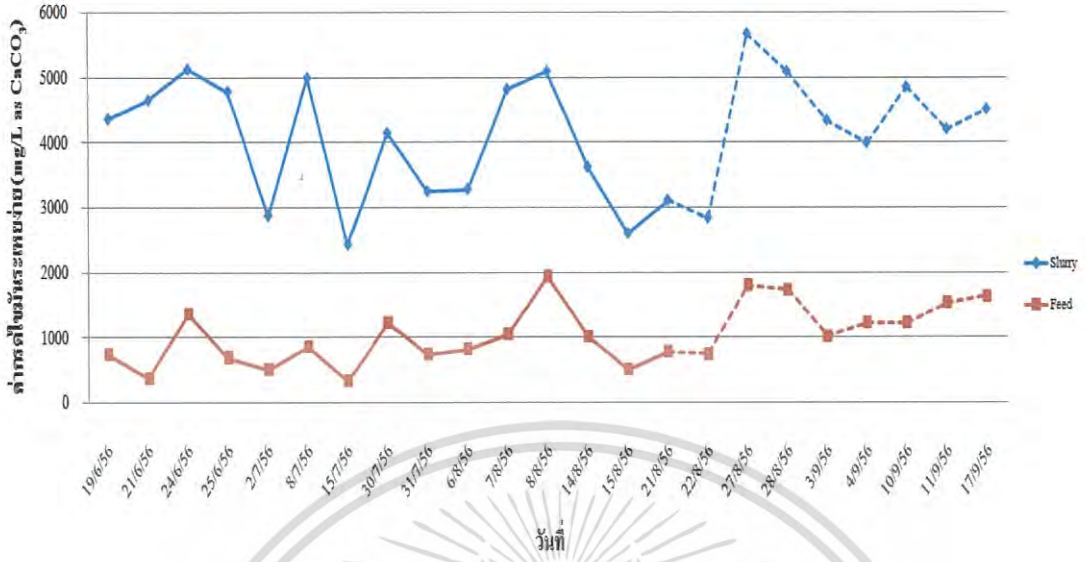
รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4 ภาคผนวก ข) แสดงปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (VS) ของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ตั้งแต่วันที่ 19 มิถุนายน 2556 ถึงวันที่ 17 กันยายน 2556 พบว่าเศษอาหาร (Feed) มีค่าอยู่ในช่วง 165,766 – 329,690 mg/L ส่วนของผสม (Slurry) มีค่าอยู่ในช่วง 5,151.67 – 31,620 mg/L จากการทดลองพบว่าระบบมีประสิทธิภาพกำจัดของแข็งระเหยง่ายถึง 93.68% เศษอาหาร (Feed) มีค่าของแข็งระเหยง่ายสูงกว่าของผสม (Slurry) ที่ออกจากระบบเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบได้เปลี่ยนสารอินทรีย์ระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) ไปเป็นก๊าซชีวภาพ

จากประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมด 89.03% และประสิทธิภาพกำจัดของแข็งระเหยง่าย 93.68% ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับกับงานวิจัยของปราโมทย์และคณะ (2551) ที่พบว่าเศษอาหารจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดลดลง 84.30% และ 89.3% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในระบบ



รูปที่ 4.5 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) และของผสม (Slurry) จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-5 ภาคผนวก ข) พบว่าของผสม (Slurry) มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 2,083-4,269 mg/L และเศษอาหาร (Feed) ที่มีค่าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 341-1,947 mg/L จะเห็นว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายของเศษอาหาร (Feed) ก่อนเข้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีค่าน้อยกว่าของผสม (Slurry) เนื่องจากสารอินทรีย์ของเศษอาหารจะถูกย่อยสลายเพื่อใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์และเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยง่าย จากนั้นกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน (CH_4) จึงทำให้ของผสม (Slurry) ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนในระบบและการทดสอบสีเปลวไฟ

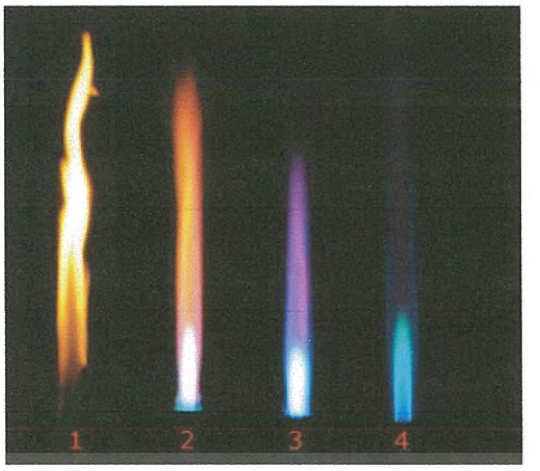
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่า C/N ratio ของเศษอาหารและของผสมที่ผ่านการย่อยสลายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	C/N ratio (Feed)	C/N ratio (Slurry)
31/07/56	101.28	1.62
7/08/56	41.14	1.73
8/07/56	60.98	1.80
14/08/56	58.64	1.98
21/08/56	74.78	2.40

จากตารางที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7 ภาคผนวก ข) จากการทดลองพบว่าเศษอาหารจากโรงอาหารมีค่า C/N ratio อยู่ระหว่าง 41.14 – 101.28 และของผสม (Slurry) มีค่า C/N ratio อยู่ระหว่าง 1.62 – 2.40 แสดงให้เห็นว่า อาหารมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง จุลินทรีย์สามารถเอาไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี จะเห็นได้จากค่า C/N ratio ของของผสม (Slurry) ที่ลดต่ำลง ซึ่งตรงกับ %COD removal = 90.41% (ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค – 6) แสดงว่าระบบภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพอยู่ในสภาวะเหมาะสมในการย่อยสลาย

นอกจากนี้ค่า C/N ratio ที่มากนั้น จะทำให้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีสัดส่วนของก๊าซอื่น เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบเปลวไฟในรูปที่ 4.6 พบว่าเปลวไฟมีความร้อนที่สูงอยู่ในระดับ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าก๊าซชีวภาพที่ได้จากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) ที่สูง แต่อย่างไรก็ตาม ควรทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) ให้แน่นชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) ลำดับความร้อนจากสีของเปลวไฟ (http://en.wikipedia.org,...,burner_.jpg)

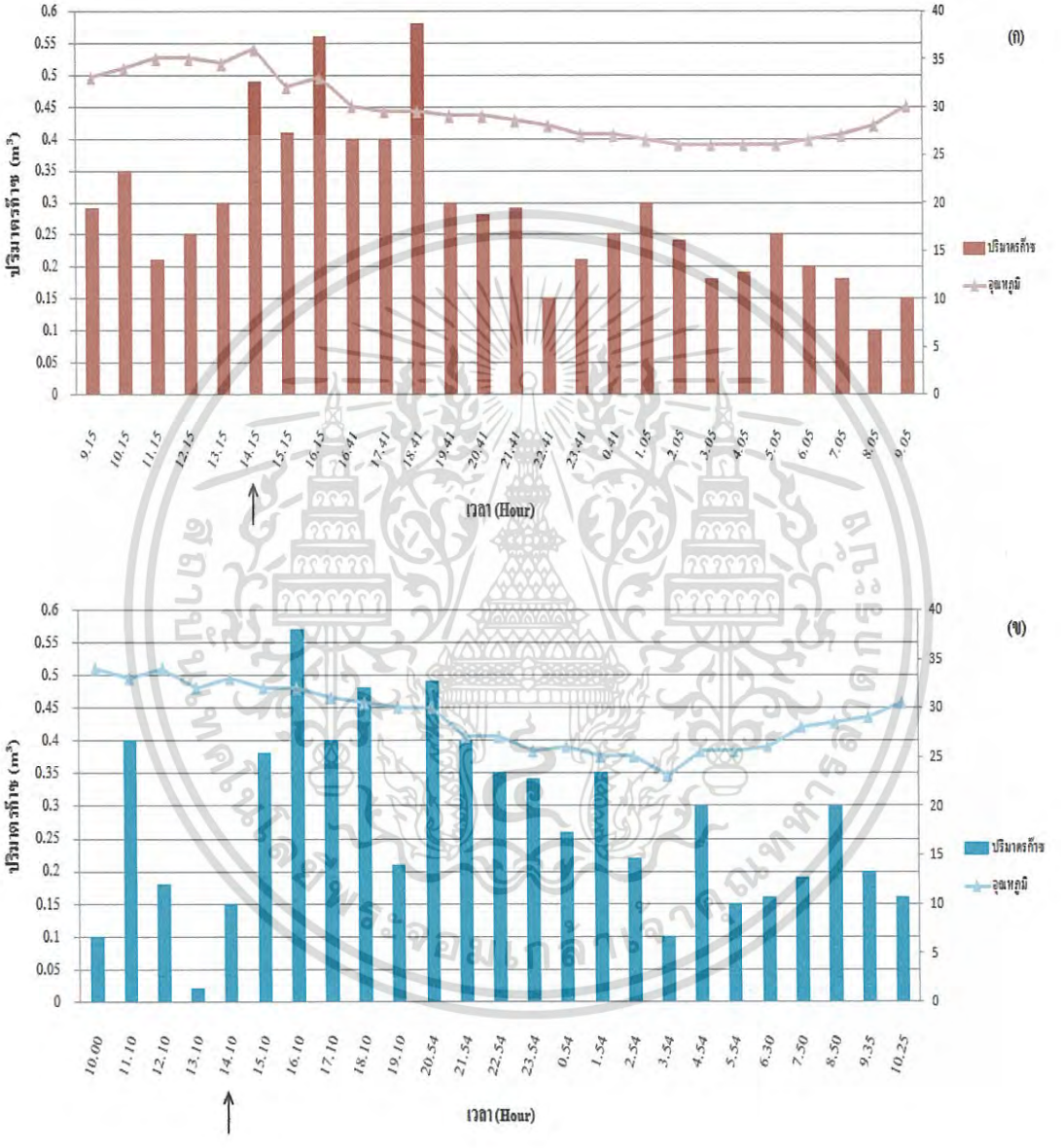
(ข) ลักษณะความเข้มของเปลวไฟที่ได้จากการหมักเศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ

4.2.1 ผลการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบ

จากผลการวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิในทุกๆชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รวม 5 วัน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-8 ภาคผนวก ข)

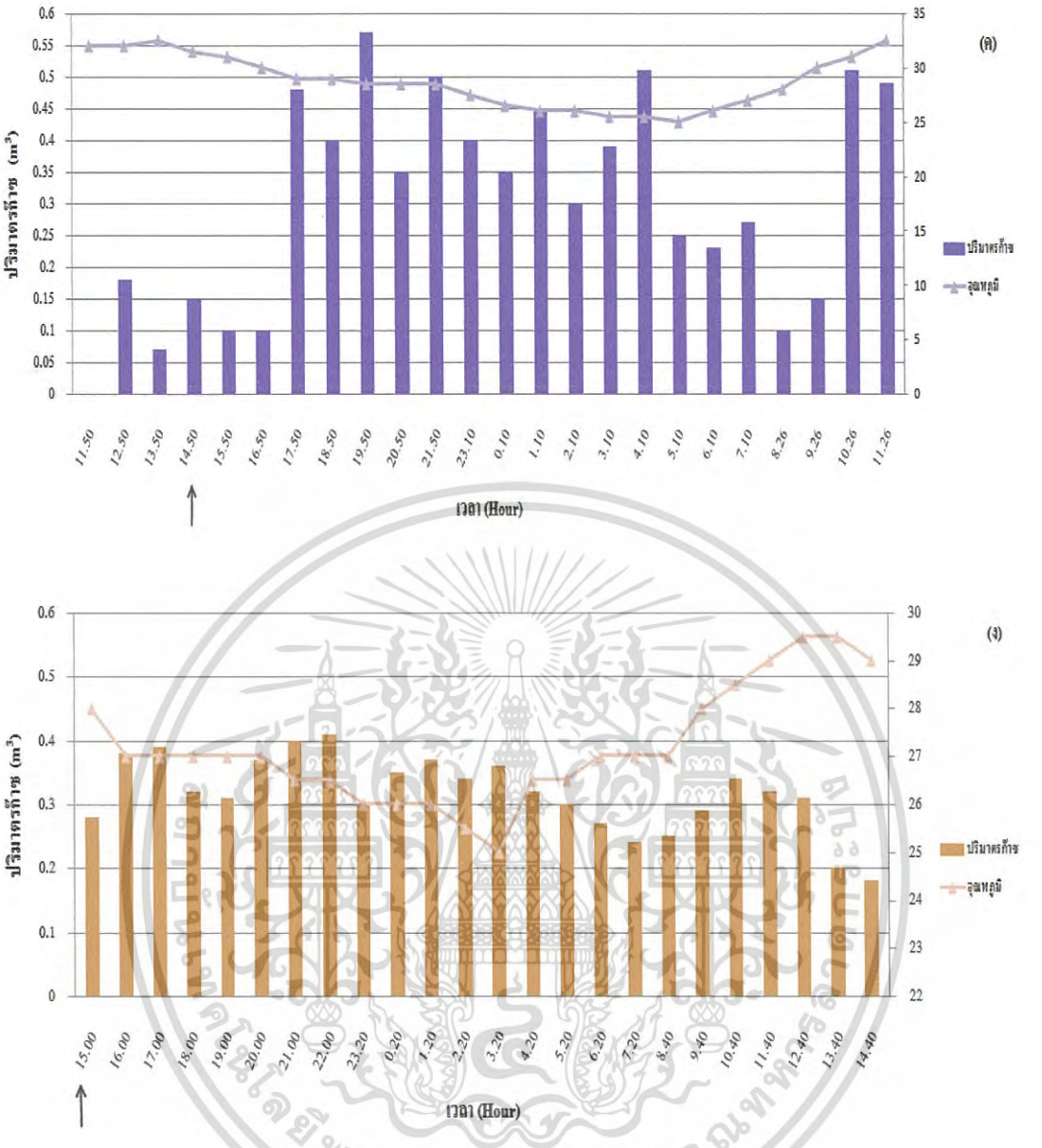


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิบรรยากาศ

(ก) วันที่ 6 สิงหาคม 2556 (ข) วันที่ 8 สิงหาคม 2556 (ค) วันที่ 14 สิงหาคม 2556

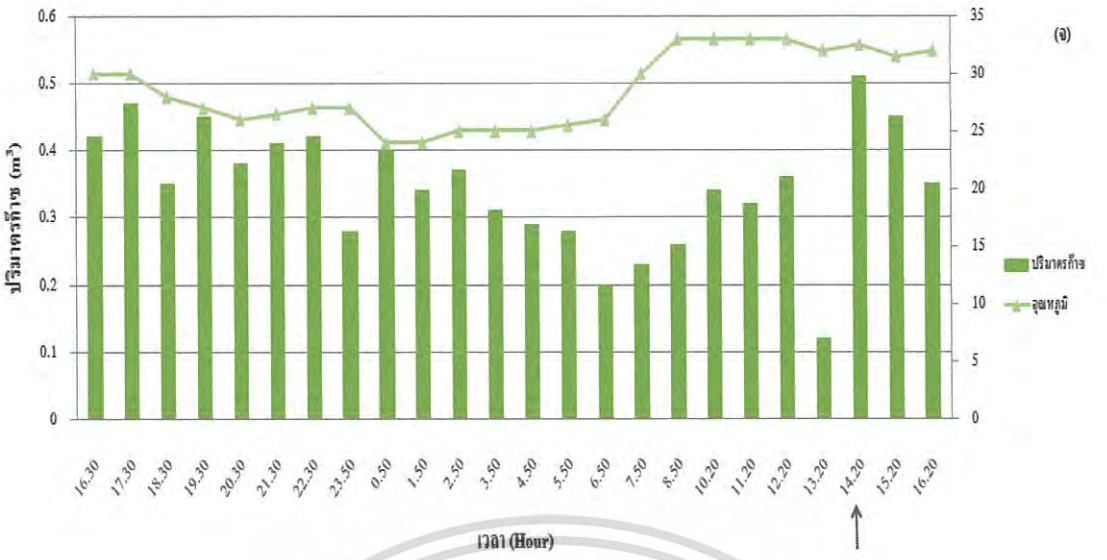
(ง) วันที่ 4 กันยายน 2556 (จ) วันที่ 10 กันยายน 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



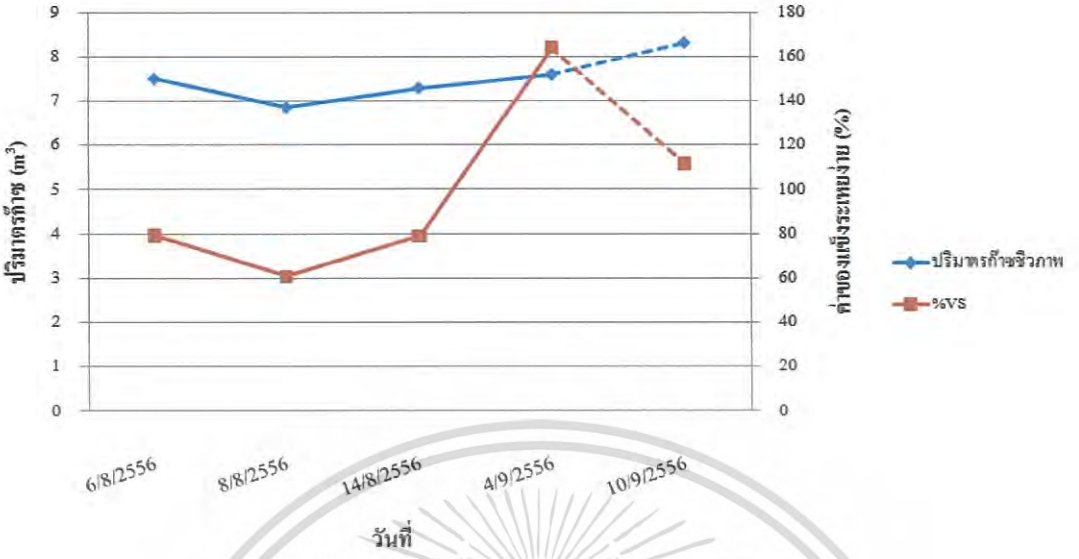
รูปที่ 4.7(ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและอุณหภูมิบรรยากาศ

จากผลการทดลองพบว่าการเกิดก๊าซชีวภาพในเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพทุกๆชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจำนวน 5 วัน ในวันที่ 6 สิงหาคม 2556, 8 สิงหาคม 2556, 14 สิงหาคม 2556, 4 กันยายน 2556 และ 10 กันยายน 2556 มีปริมาณก๊าซชีวภาพ 7.51 m^3, 6.86 m^3, 7.30 m^3, 7.60 m^3 และ 8.31 m^3 ตามลำดับ

จากผลการวัดปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพทุกๆชั่วโมงพบว่า ช่วงเวลาหลังจากการเติมเศษอาหารที่เวลา 15.00 น. จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 5-6 ชั่วโมง การเกิดก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ และหลังจากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจะเริ่มลดลงตามลำดับ แสดงให้เห็นได้ว่าการเติมเศษอาหารมีผลต่อการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบรรยากาศกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้น ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน เพราะอุณหภูมิบรรยากาศภายใน 1 วันไม่แตกต่างกันมากนัก และอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่มีการเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีที่ประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแข็งระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพ



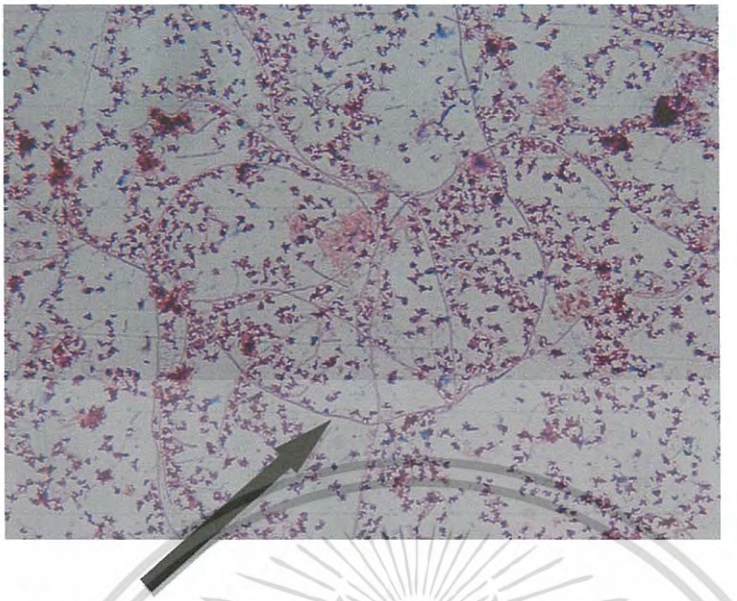
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้กับค่าของแข็งระเหยง่ายในรูป %

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นกับปริมาณของแข็งระเหยง่ายในเศษอาหาร จากผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็งระเหยง่ายในระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gelegenis, (2007) และ Ozturk, (2013)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

จากผลการศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ส่องเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400X ผลปรากฏว่าพบแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว คาดว่าน่าจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม methanogen ซึ่งทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ภายในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียที่พบมีลักษณะคล้ายคลึงกับงานวิจัยของปริยา (2539) ที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียกลุ่ม methanogen ซึ่งลักษณะเซลล์เป็นรูปท่อนไม่มีสปอร์และเป็นแบคทีเรียแกรมบวกดังแสดงในรูป 4.9 อย่างไรก็ตาม ควรมีการตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียดทางจุลชีววิทยาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

คาดว่าน่าจะเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen

(ข)

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบลักษณะแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen

(ก) แบคทีเรียที่พบในของผสม (Slurry)

(ข) แบคทีเรียกลุ่ม Methanogen จากงานวิจัย ปริยา (2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการศึกษาก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ในรูปพลังงานไฟฟ้า

จากการติดตามการเกิดขึ้นของก๊าซชีวภาพใน 1 วัน ทั้งหมด 5 วัน ในวันที่ 6 สิงหาคม 2556, วันที่ 8 สิงหาคม 2556, วันที่ 14 สิงหาคม 2556, วันที่ 4 กันยายน 2556 และวันที่ 10 กันยายน 2556 โดยนำปริมาตรรวมของก๊าซชีวภาพมาคำนวณเทียบกับค่ามาตรฐานพลังงานทดแทนต่างๆ เทียบใน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร

ผลการศึกษาก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ในรูปพลังงานไฟฟ้า จำนวน 5 วัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ดูรายละเอียดการคำนวณในค-2 ภาคผนวก ค)

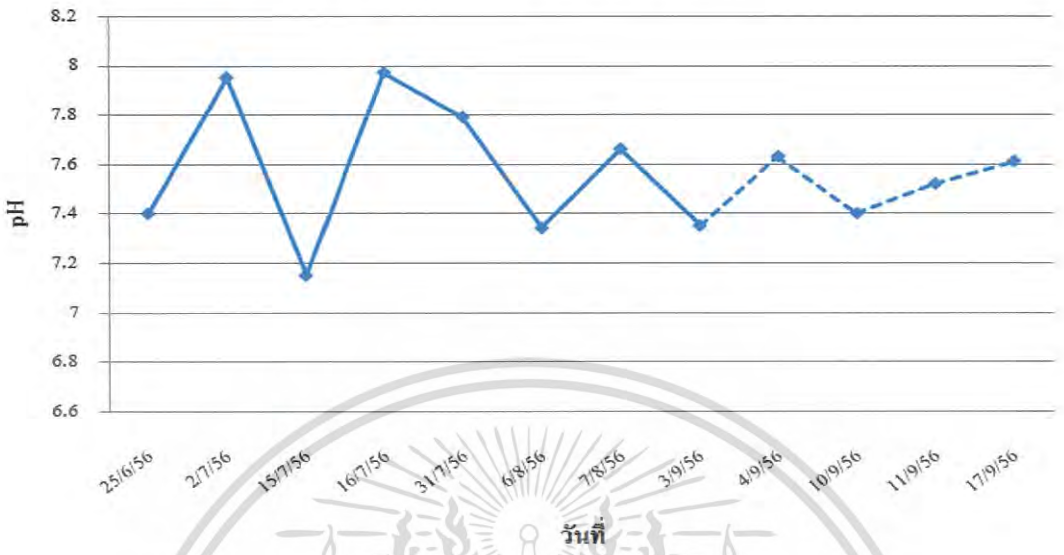
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานต่างๆ

วันที่	ปริมาตรก๊าซที่ได้ต่อวัน (m^3)	เท่ากับน้ำมันเบนซิน (ลิตร)	ผลิตกระแสไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	เท่ากับแก๊ส LPG	หุงต้มในครอบครัว (คน/มื้อ)
6/08/56	7.51	5.257	9.3875	3.4546	30-31/23
8/08/56	6.86	4.802	8.575	3.1556	~27/~20
14/08/56	7.30	5.11	9.125	3.358	~29/~22
4/09/56	7.60	5.32	9.5	3.496	30-31/23
10/09/56	8.31	5.817	10.3875	3.8226	~33/~25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

4.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้ง

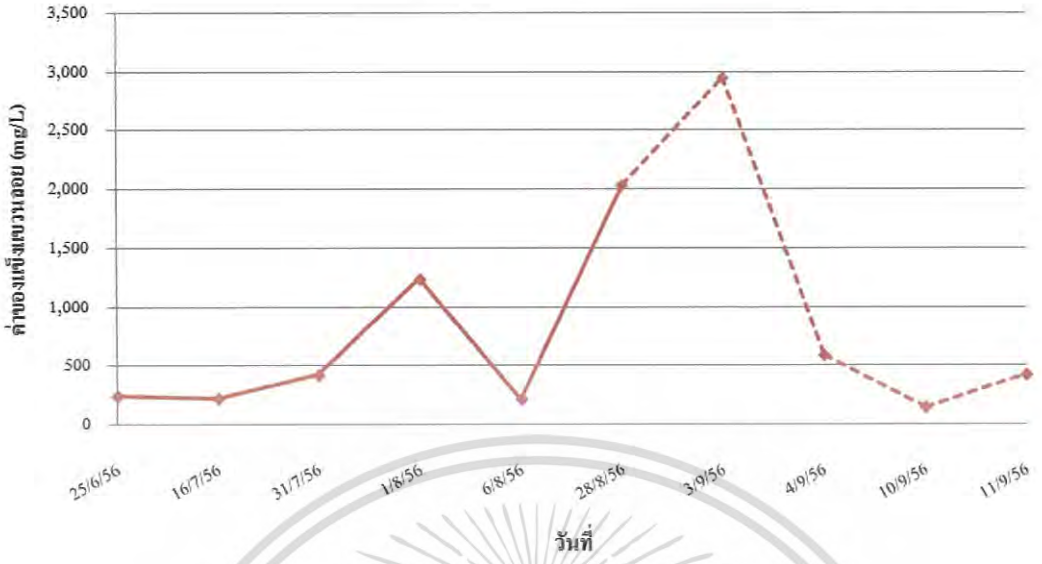


รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-9 ภาคผนวก ข) พบว่าค่า pH เฉลี่ยมีค่า 7.56±0.013 จะเห็นได้ว่า วันที่ 2 และ 16 กรกฎาคม 2556 มีค่า pH ที่สูงโดยมีค่า 7.95 และ 7.97 สอดคล้องกับระบบที่มี Alkalinity สูงตามลำดับ และวันที่ 15 กรกฎาคม 2556 มีค่า pH ต่ำที่สุดอยู่ที่ 7.15 ซึ่งสาเหตุมาจากเกิดการปนเปื้อนของน้ำฝนในบ่อพัก อย่างไรก็ตาม ค่า pH น้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ทั้งหมดนั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐาน เนื่องจากค่ามาตรฐานความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำทิ้งชุมชนกำหนดให้อยู่ในช่วง 5.5-9.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) ในน้ำทิ้ง

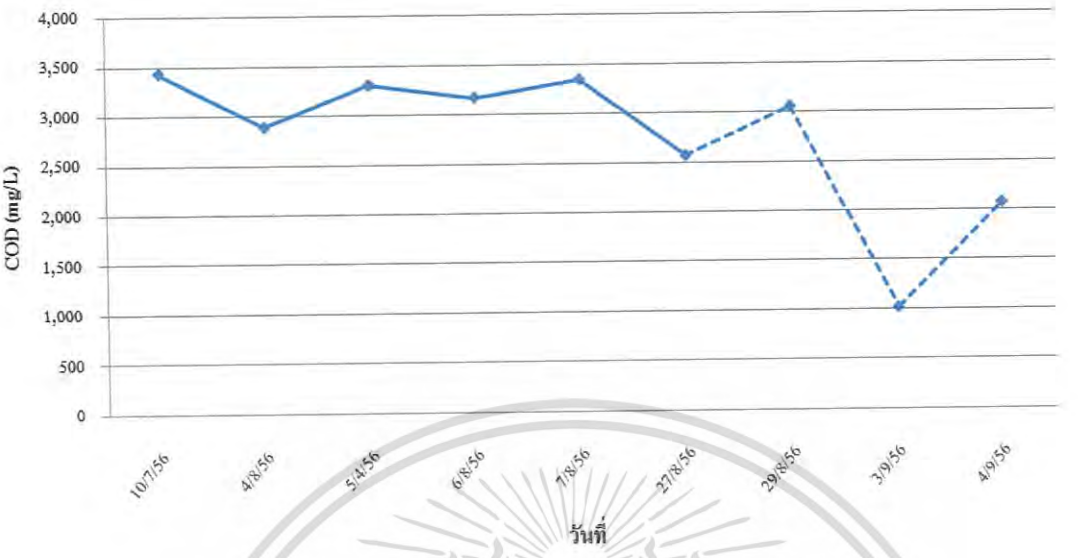


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ดูรายละเอียดในตาราง ข-10 ภาคผนวก ข) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ 776.46 mg/L ± 38.74 mg/L จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้แสดงให้เห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ของน้ำทิ้งมีลักษณะของค่าที่กระจายตัวค่อนข้างสูง ค่ามีความแตกต่างกัน จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่ไม่คงที่โดยเฉพาะ ในวันที่ 1 สิงหาคม 2556 ค่าสูงขึ้นซึ่งมีปริมาณของแข็งแขวนลอย 1,233.33 mg/L และลดลงมาเป็น 214.97 mg/L ในวันที่ 6 สิงหาคม 2556 และวันที่ 28 สิงหาคม 2556 ค่าก็เริ่มสูงขึ้นอีกครั้งโดยมีปริมาณ ของแข็งแขวนลอยอยู่ที่ 2,033.33 mg/L และในวันที่ 3 กันยายน 2556 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงที่สุดซึ่งมีปริมาณ 2,948.33 mg/L เนื่องจากในระยะเวลาที่มีการวิเคราะห์นั้นทรายกรองที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานานพอสมควรทำให้มีผลต่อการกรอง ประสิทธิภาพในการกรองน้อยลง แต่หลังจากวันที่ 4 กันยายน 2556 ค่าของแข็งแขวนลอยก็เริ่มลดลงเนื่องจากมีการปรับปรุงระบบทรายกรอง ทำให้การกรองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งจากการผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอย (SS) น้ำทิ้ง มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนกำหนดค่า SS ไม่เกิน 30 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ในน้ำทิ้ง

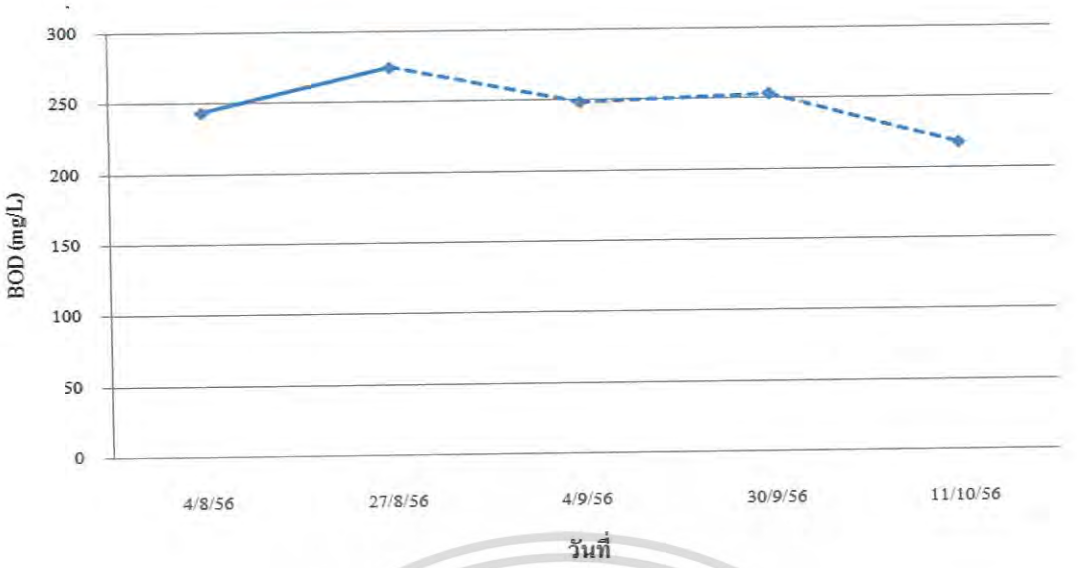


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า COD ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ดูรายละเอียดในตาราง ข-11 ภาคผนวก ข) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ 2,759.15 mg/L และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ที่ 166.05 ซึ่งจากรูปที่ 4.12 ในระยะแรกค่า COD จากการวิเคราะห์ มีค่าค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน แต่ค่า COD จากการวิเคราะห์ในวันที่ 3 กันยายน 2556 มีค่าลดลงต่ำสุด ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1,024.32 mg/L เนื่องมาจากในช่วงของการวิเคราะห์เป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีการปนเปื้อนของน้ำฝนในบ่อพัก ทำให้มีผลต่อค่า COD ของน้ำทิ้ง จึงมีค่าต่างจากค่าอื่นๆ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีน้ำทิ้ง มีค่าเกินจากที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจะต้องมีค่า COD ไม่เกิน 120 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) แสดงให้เห็นว่าในน้ำทิ้งมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงทำให้มีค่าความสกปรกอยู่มาก

4.3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) น้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในน้ำทิ้ง ที่เวลาต่างๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า BOD ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ดูรายละเอียดในตาราง ข-12 ภาคผนวก ข) มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ 247 mg/L และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ที่ 7.35 จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าค่าบีโอดีน้ำทิ้ง มีลักษณะของค่าที่กระจายตัวไม่มากนัก ค่าค่อนข้างที่จะเกาะกลุ่มอยู่บ้าง บ่งบอกได้ว่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาตรใกล้เคียงกัน แต่จากผลการศึกษาพบว่าค่า BOD น้ำทิ้งเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐาน BOD น้ำทิ้งที่กำหนดจะต้องมีค่าไม่เกิน 20 mg/L (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) แสดงว่าในน้ำทิ้งมีปริมาณสารอินทรีย์ปะปนอยู่ในมาก ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำถูกจุลินทรีย์นำไปใช้มากด้วยเช่นกันจึงมีผลทำให้น้ำทิ้งมีค่าเกินมาตรฐาน

เนื่องจากน้ำทิ้งมีค่า SS, COD และ BOD สูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน จึงนำไปใช้แทนน้ำประปาที่ใส่ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพในอัตราส่วน 40 กิโลกรัมตั้งแต่วันที่ 19 สิงหาคม 2556 ถึง 20 กันยายน 2556 ซึ่งจากการทดลองไม่มีผลกระทบต่อระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษอาหารแบบไร้อากาศด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ ปริมาตร 3,400 ลิตร โดยเติมเศษอาหาร 40 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเปียก และน้ำประปา 40 กิโลกรัมต่อมาเปลี่ยนเป็นน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยทรายกรอง ในอัตราส่วน 1:1 ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น. พร้อมทั้งมีการปั่นกวนภายในถังหมัก 15 นาที จากนั้น ถ่ายของผสม (Slurry) ออกจากระบบ 80 กิโลกรัม จากการคำนวณพบว่าระบบมีระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 43 วัน และมีค่าอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR) 33.3 กรัม/ลิตร/วัน จากการศึกษาสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.38-8.57 และสภาพความเป็นด่าง มีค่า 2,208-9,174 mg/L as $CaCO_3$ นั่นคือระบบอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปริมาณก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 6.86-8.31 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบขึ้นอยู่กับการเติมอาหารอาหาร ในส่วนของอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมช่วงกลางวันและกลางคืนมีค่าต่างกันไม่มากซึ่งไม่ส่งผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของจุลินทรีย์ในระบบ โดยก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าและเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการกรองด้วยทรายตามวิธีมาตรฐาน APHA (2012) พบว่าน้ำทิ้งมีค่า SS, COD และ BOD เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ยกเว้นค่า pH ที่อยู่ในช่วง 7.15-7.97 ซึ่งอยู่ในช่วงของมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน และสามารถนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปั่นเศษอาหารก่อนเข้าระบบให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องปั่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์

2. ควรวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง GC

3. ควรศึกษาอัตราการเติมเศษอาหารในระบบ

4. ควรศึกษาสัดส่วนการเติมเศษอาหารและวัตถุดิบอื่นในการผลิตก๊าซชีวภาพ

5. ควรทำการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเติมอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ควรทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นปุ๋ยของกากตะกอนแห้ง

7. ควรทำการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

8. ควรมีการตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทางจุลชีววิทยาที่ละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553. **มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.** [Online]. Available : www.pcd.go.th/info_seru/reg_std_water 04.html

คาวเทค. 2556. **"ผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพจากเศษพืช ขยะอินทรีย์ และของเสีย.**

ชัยยา อ่ำบุญ, ธัญญ์ยชนกกิ์ ชีพสุมล และประพาส ทองรัศมี. 2549. **เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนกร พฤฒิวโรดม. 2550. **การศึกษาการเกิดแก๊สชีวภาพจากการหมักขยะเศษอาหารด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศ.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนะราช. 2549. **"โครงการถังหมักขยะเศษอาหารแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สมีเทนใช้ในการหุงต้ม."** รายงานฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บุญรัตน์ พงษ์อนุวัฒน์, ศิริลักษณ์ ตั้งจิตพิทักษ์กุล และเสาวลักษณ์ แสงพิทักษ์. 2553. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานผลิตไอศกรีมและเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ.** ภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปราโมทย์ ศิริโรจน์. 2551. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2553. **เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลและก๊าซชีวภาพ.** 20 กุมภาพันธ์ 2553.

วรวรรณ วิโรจน์ชัยยันต์, ชานุ สุรียวิจิตรเศรณี และวิเศษพล ทรัพย์มณี. 2549. **ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารโรงอาหารวิศวกรรมศาสตร์.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุภาพร หวังศิริเจริญ และวสุ ปฐมอารีย์. 2553. วารสารวิทยาศาสตร์ . "*จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ*". ปีที่ 64 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน 2553.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. 2536. **" ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการหมักมะเขือเทศแบบอับอากาศ 2 ขั้นตอน"**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยาประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

สุรพล สายพานิช. 2530. **" กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทกส์สเตบิดไลเซชันแบบแอนแอโรบิก"**, รายงานการวิจัย, กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมจินตนา ลิ้มสุข, ปุณยวี เพียรธรรม และอนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. 2554. วิศวกรรมสาร. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับกลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2554.

เสาวลักษณ์ ภูมิวสนะ. 2535. **" แนวคิดในการวางแผนการวิจัยด้านพลังงานทดแทน:ก๊าซชีวภาพ"**, สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทย์ฯ. เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กันยายน 2535.

อวัสดา ฉลานุวัฒน์. 2545. **อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร.**

Aills and D. J. (1979). Effects of carbon : Nitrogen ratio on anaerobic digestion of daily manure. **Agricult. Waste**, 1, 267-278.

American Puplic Health Association. 2012. **Standard Method for the Examination of Water and Waste water.** 22th ed. Washington DC. USA: APHA.

Bouallagui, H., Torrijios, M., Gadon, J. J., Moletta, R., Ben Cheikh, R., Touhami, Y., Delgenes, J. P. and Hamdi, M. 2004. Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable waste : bioreactors performance. **Biochem. Eng. J,** 23, 193-197.

Dan B. and Yabo L. 2013. Solid state anaerobic co-digestion of yard waste and food waste for biogas production. **Bioresour. Technol.** 127, 275-280.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim, J. K., Oh, B. R., Chun, Y. N. and Kim, S. W., (2006). Effects of Temperature and Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Food Waste. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Vol. 102, No.4, p.328-332.

EPA. 1979. Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, Washington, D.C. : U.S. **Environmental Protection Agency**, 1979.

"Friendly fuel trains". 2005. (Oct. 30, 2005). New Straits Times, p. F17.(ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง)

Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I. and Mavris, V. 2007. Optimization of biogas product by co-digestion whey diluted poultry manure. **Renew. Energy**, 321, 2147-2160.

Ghasimi, S.M.D., Idris, A., Chuah, T.G. and Tey, B.T. 2009. The Effect of C:N:P ratio, volatile fatty acids and Na^+ levels on the performance of an anaerobic treatment of fresh leachate from municipal solid waste transfer station. **African J. Biotech.**, 8, 4572-4581.

Gosh, et.al. 1978. "Anaerobic Process", **J.Water Poll.Control Fed**. 50(10) : 307-313.

Lin, J., Zuo, J., Gan, L., Li, P., Liu. F.L., Wang, K., Chen, L., Gan, H.N. 2011. Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. **Journal of Environmental Sciences**. 23, Pages 1403- 1408.

McCarty, P.L. 1964. "Anaerobic Waste Treatment Fundamental Part 1,2,3,4," **Public Works**, 95(9) : 107-115.

McCarty, P.L. and Mckinney, R.E. 1961. **"Salt Toxioity in Anaerobic Digestion"**, J.Water Poll. Control Fed. 33(3) : 223-235.

K. Nand, S. Sumithra Devi, P. Viswanath, D. Somayaji, R. Sarada. 1991 ; Anaerobic digestion of canteen wastes for biogas production- process optimisation. **Process Biochem.**, 26, pp. 1–5.

Ozturk, B. 2012. **Evaluation of Biogas Product Yields of Different Waste Materials.** Canadian Center of Science and Education, 165-174.

Polprasert, C. 2007. **Organic waste recycling technology and management** . Second edition : wiley publishing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sassc, L. 1988. **Biogas Plants : design & Details of Simple Biogas Plant.** 2nd, USA : Vieweg and Son (GTZ) Eschborn.

Shin, H. S., Han, S. K., Song, Y. C., & Lee, C. Y. (2001). Performance of UASB reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste. **Water Research**, *35*(14), 3441-3447.

Speece, R.E. 1996. **"Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters",** Archae Press, Nashville, Tennessee.

Zannaki, B.Z., Zadi, A., Lamini,H., Aubinefermear , M. and Boulif, M., (1996). Methane fermentation of cattle manure: effects of HRT, Temperature & substrate concentration. **Tropicultural**, Vol 14, p. 134-140.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bunsen_burner_flame_types_.jpg. 30 กันยายน 2556

http://protectionrelay.blogspot.com/2010/11/generator_03.html. 21 กันยายน 2556

http://th.wikipedia.org/wiki. 12 กันยายน 2556

http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/(15).pdf. 21 กันยายน 2556

http://www.leonics.co.th/. 21 กันยายน 2556

http://www.nsm.or.th/. 30 กันยายน 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก จนกระทั่งสีชมพูของน้ำตัวอย่างหายไป ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในตัวอย่างแล้วไม่เกิดสีชมพูแสดงว่าไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีน จดปริมาตรกรดที่ใช้โดยปกติถ้าพีเอชของน้ำตัวอย่างน้อยกว่า 8.3 จะไม่มีสภาพด่าง P

4. สภาพด่างทั้งหมด (T)

หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมทธีลเรด 3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ ซึ่งได้ทำการหาสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีนแล้ว หรือใช้ตัวอย่างใหม่เลยแล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกจากสีฟ้าจนเป็นสีชมพูอมส้ม จดปริมาตรที่ใช้ คำนวณสภาพด่างทั้งหมดจากปริมาตรกรดรวมที่ได้จากข้อ 3 และข้อ 4

2.4 การคำนวณ

สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)

$$= \frac{\text{มล. ของกรดที่ใช้ x โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก x 50 x 1000}}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

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

ทีเอส หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในภาชนะภายหลังจากระเหยน้ำออกจากตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้นจะได้ปริมาณของของแข็งหรือสารทั้งหมด มีหน่วยเป็น มก./ลบ.ดม.

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

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

3.2 วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย : จานที่ใช้จะต้องสะอาดและนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 103-105°ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก สมุมติเป็น A มิลลิกรัม
2. เลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำให้เหมาะสม โดยปกติใช้ 50 หรือ 100 ลบ.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อยๆรินตัวอย่างน้ำที่เขย่าให้เข้ากันดีแล้วลงในถ้วยระเหยที่ตั้งบนเครื่องอังน้ำ เมื่อไอน้ำระเหยออกหมดแล้ว

4. ให้นำจานระเหยไปอบที่เตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ. นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง

5. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง

6. ทำซ้ำในข้อ 4,5 จนชั่งน้ำหนักจานระเหยได้คงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมุมติเป็น B มิลลิกรัม (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมารสารทั้งหมดหรือทีเอส)

3.3 การคำนวณ

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

<u>หมายเหตุ</u> อาจคำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดได้จาก

ปริมาณของแข็งทั้งหมด หรือ ทีเอส , มก./ลบ.ดม.

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

= 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. เตรียมจานระเหย โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °ซ. เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งชั่งหาน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำซ้ำข้อ 1 จนกระทั่งชั่งจานระเหยได้ค่าน้ำหนักคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4

3. นำจานระเหยที่ชั่งแล้วไปหาปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือปริมาณของแข็งแขวนลอย

4. นำจานระเหยที่ชั่งหาปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือที่หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (สมมติ= C) แล้วไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 ± 50 °ซ. จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)

5. ปล่อยให้เย็นลงในโถทำแห้ง ชั่งหาน้ำหนักสารที่เหลืออยู่ (สมมติ = D)

6. ทำซ้ำข้อ 4,5 จนน้ำหนักจานระเหยได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลน้อยกว่าร้อยละ 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. หาสภาพด่างทั้งหมด

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

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนค่าพีเอชถึง 3.3 -3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาณกรดที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2 – 3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

3. ไทเทรตกลับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การคำนวณ

สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. ในรูป$CaCO_3$)

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

สภาพด่างวีเอฟเอ (มล./ล.ในรูป $CaCo_3$)

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

ก-6 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids,SS)

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

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 สมุมติว่าเป็น A มิลลิกรัม

3. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำ ซึ่งจะให้ค่าของแข็งชั่งได้โดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มก (เพิ่มจากน้ำหนักของกระดาษกรอง)

4. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ ซึ่งต่อเข้ากันเครื่องดูดอากาศ

5. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดากรองให้เปียกและให้ถูกดูดติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์

6. กรองตัวอย่างน้ำตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย

7. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ปิดเครื่องดูดอากาศ ใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (Petri dish) ถ้วยอะลูมิเนียม หรือกระจกนาฬิกา

9. นำไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ.จนกว่าจะแห้งใช้เวลา 1 ชั่วโมง

10. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในโถทำแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักกระดาษกรองใหม่

11. ทำซ้ำในข้อ 9,10 จนชั่งน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่ หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมุมติว่า B มิลลิกรัม

6.3 การคำนวณ

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

ก-7 ซีโอดีที่ละลายในน้ำ (โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด)

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (digestion vessel) ควรใช้หลอดทดลองที่เป็นบอโรซิลิเคตซึ่งมี 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

ชั่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มล. เติมเมอร์คิวริคซัลเฟต 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.695 กรัม และ [1,10 ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต 1,10 phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8H_2.N_2O$)] 1.485 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มล.

4. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล. คนให้ละลายทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่นำมาใช้ เติมสารเคมีตามตารางที่ ก – 1 ในภาชนะย่อยสลาย แต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วยเอฟเอเอสใช้เฟอโรอินดิเคเตอร์ 0.05 – 0.1 มล. ทำประมาณ 1 – 2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

7.2.1 การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{โมลาริตีของเอฟเอเอส} = \frac{\text{ปริมาตรของ } K_2Cr_2O_1 \text{ X } 0.1}{\text{ปริมาตรเอฟเอเอสที่ใช้ไทเทรต}}$$

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 ($HOOCC_6H_4COOK$) ซึ่งอบที่ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ 425 มก. ในน้ำกลั่นเจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

7.3 วิธีวิเคราะห์

1. ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุกด้วยกรดซัลฟิวริกร้อยละ 20 ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์

2. เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางที่ ก – 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรองตัวอย่างน้ำโดยวิธีกรองลดความดันก่อนนำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลาย เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลายซึ่งได้แก่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

4. ค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและน้ำยาย่อยสลาย

5. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

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

7. เปิดฝาจุกแล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered Magenetic bar) เติมเฟอโรอินดิเคเตอร์ 1 – 2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างเร็วขณะที่ไทเทรตด้วย 0.1 นอร์มัลเอฟเอเอส จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง

7.4 การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี, (มก.}O_2\text{/มล.)} = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{มล. ตัวอย่างน้ำ}}$$

โดย A = มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์

B = มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ

M = โมลาริตีของเอฟเอเอส

ก-8 บีโอดี

8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดอินคิวเบท หรือ ขวดบีโอดี ขนาด 300 มล. ซึ่งมีจุกเป็นจุกแก้วปิดสนิท พร้อมฝาครอบพลาสติก เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศผ่านเข้าไปในขวดบีโอดีในระหว่างการเพาะเชื้อ สามารถทำได้โดยใช้น้ำหล่อปากขวดไว้โดยกลับขวดบีโอดีคว่ำลงในอ่างน้ำอุ่น หรือหล่อน้ำไว้รอบๆ ปากขวดบีโอดี และใช้ถ้วยกระดาษหรือถ้วยพลาสติกครอบปากขวดไว้เพื่อลดการระเหยของน้ำหล่อ ก่อนที่จะนำขวดบีโอดีมาใช้ จะต้องนำขวดมาล้างให้สะอาดปราศจากอินทรีย์สารต่างๆ การล้างควรล้างด้วยสารละลายของกรดโครมิก หลังจากนั้นนำขวดมาล้างด้วยน้ำสะอาด ครั้งสุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งหนึ่งแล้วทำให้แห้ง

2. ตู้อินคิวเบท ชนิดใช้อากาศหรือน้ำ ซึ่งสามารถควบคุมและปรับอุณหภูมิได้เองหรืออัตโนมัติที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส และต้องเป็นตู้ซึ่งสามารถป้องกันไม่ให้แสงผ่านเข้าไปได้ เพื่อป้องกันการเกิดดีโอโดยการสังเคราะห์แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

8.2 รีเอเจนต์

1. น้ำกลั่นจะต้องมีคุณภาพดี กลั่นจากเครื่องกลั่นที่ทำด้วยแก้วและต้องเป็นน้ำกลั่นซึ่งมีปริมาณของทองแดงน้อยกว่า 0.01 มก. /ล.

2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

ละลายโพแทสเซียมไดไฮไดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($NH_2HPO_4.7H_20$) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4C1) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. แล้วเจือจางเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้จะมีค่าพี่เอชเท่ากับ 7.2

3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปต้าไฮเดรต ($MgSO_4.7H_2O$) 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล.

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ละลายแอนไฮดรัสแคลเซียมคลอไรด์ (Anhydrous $CaC1_2$) 27.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล.

5. สารละลายกรดและด่างเข้มข้น 1.0 โมลาร์

ใช้สำหรับปรับตัวอย่างน้ำที่เป็นกรดและด่างให้เป็นกลางก่อนที่จำนำมาวิเคราะห์

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.0125 โมลาร์

ละลายแอนไฮดรัสโซเดียมซัลไฟต์ (N_2SO_3) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1,000 มล. (สารละลายนี้ไม่อยู่ตัว ต้องเตรียมในวันที่จะใช้เท่านั้น)

7. สารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก

นำกลูโคสและกรดกลูตามิคไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำไปใส่โถทำแห้งเพื่อทำให้เย็น นำไปชั่ง 150 มก. แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล.

8.3 วิธีวิเคราะห์

นำที่ใช้ในการเจือจาง ชุดควบคุม

1. บรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจางลงขวดบีโอดี 2 ขวด ให้เต็มขวดด้วยวิธีกาลักน้ำและให้ไหลรินลงตามคอขวดไม่ให้มีฟองอากาศ

2. ขวดที่ 1 ทำการวัดค่าดีโอทันที เป็นค่า DO_0

3. ขวดที่ 2 นำไปบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5 ขณะที่บ่มต้องมีน้ำหล่อบนฝาจุกแก้วและปิด จุกพลาสติกครอบที่จุกแก้วอีกครั้ง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่หล่อเหนือจุกแก้ว

4. ค่า DO_0-DO_5 ต้องน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ถ้ามากกว่าแสดงว่ามีผลต่อความถูกต้องในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิค

1. ใช้การเจือจางโดยตรง ปิเปตสารละลายกลูโคสและกลูตามิคมา 5 มล. ลงในขวดบีโอดีเติม น้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางลงไปจำนวน 3 ขวด ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศภายใน เช่นเดียวกับการบรรจุน้ำที่ใช้เจือจาง

2. คว่ำสลับหงายขวดให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันทั่วทั้งขวด เติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางหล่อไว้ที่จุกแก้วด้วย

3. วัดค่าดีโอขวดที่ 1 ทันทีเป็นค่า DO_0

4. ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5

5. คำนวณค่าบีโอดี

น้ำตัวอย่าง

1. เก็บตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มายังห้องปฏิบัติการ บันทึกข้อมูลแหล่งที่เก็บน้ำตัวอย่างโดยละเอียด

2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ค่าพีเอช ข้อมูลของแหล่งน้ำ เพื่อตัดสินใจเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเจือจางว่าควรเจือจางเท่าไร

3. เตรียมน้ำตัวอย่างตามทฤษฎี เช่นการปรับค่าพีเอชการกำจัดคลอรีนตกค้าง การเจือจาง ฯลฯจากนั้นจึงถ่ายน้ำขวดบีโอดีตามวิธี ชุดละ 3 ขวด โดยขวดที่ 1 ใช้หาค่า DO_0 ทันที อีก 2 ขวด นำไปบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส ไว้สำหรับค่า DO_5 กรณีที่ไม่เจือจาง

4. กรณีที่ต้องเจือจางต้องทำ 3 ชุด ของความเข้มข้นดูจากตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก – 2 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในหาค่าบีโอดี

เมื่อใช้เปอร์เซ็นของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
% ของผสม	ช่วงค่าบีโอดี	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่าบีโอดี
0.01	20,000 – 70,000	0.01	30,000 – 105,000
0.02	10,000 – 35,000	0.02	12,000 – 42,000
0.05	4,000 – 14,000	0.10	6,000 – 21,000
0.1	2,000 – 7,000	0.2	3,000 – 10,500
0.2	1,000 – 3,500	0.5	1,200 – 4,200
0.5	400 – 1,400	1.0	600 – 2,100
1.0	200 – 700	2.0	300 – 1,050
2.0	100 – 350	5.0	120 – 420
5.0	40 – 140	10.0	60 – 210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก – 2(ต่อ) การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในหาค่าบีโอดี

เมื่อใช้เปอร์เซ็นของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
% ของผสม	ช่วงค่าบีโอดี	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่าบีโอดี
20.0	10 – 35	50.0	12 – 42
50.0	4 – 14	100	6 – 21
100	0 – 7	300	0 – 7

- ให้เติมน้ำที่ใช้สำหรับเจือจางลงในกระบอกตวงขนาดหนึ่งลิตรด้วยวิธีกาลักน้ำลงประมาณ 300 มล. ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตรตามตารางระบุไว้ โดยจุ่มปลายปิเปตลงใต้ผิวน้ำ

- ทำการเติมน้ำสำหรับการเจือจางให้ไหลรินจามข้างกระบอกตวงจนถึง 1 ลิตร

- ใช้แท่งแก้วคนขึ้นลงเบาๆ ให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงขวดบีโอดีให้ไหลลงตามคอขวดจนเต็ม และไม่ให้เกิดฟองอากาศ เมื่อปิดจุกต้องมีน้ำหล่อค้างอยู่ด้วย

5. กรณีที่ต้องเติมหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างและต้องเจือจาง

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ให้เติมหัวเชื้อ 2 มล. ลงน้ำก่อนปรับปริมาตร 1,000 มล. ผสมให้เข้ากันและบรรจุลงขวดบีโอดีด้วยวิธีเดียวกัน

- ทำชุดควบคุมที่มีหัวเชื้อเพิ่มอีก 1 ชุด โดยใส่หัวเชื้อ 2 มล. กับน้ำที่ใช้เจือจางจนได้ 1 ลิตร แต่ไม่ต้องมีน้ำตัวอย่างเช่นกัน

6. วัดค่าดีโอขวดที่ 1 ของแต่ละชุดทันทีเป็นค่า DO_0

7. ขวดที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุดนำไปบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5

8. การหาค่าออกซิเจนละลายวันแรก และวันหลังจากอินคิวบิทแล้ว 5 วัน โดยวิธีวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายมี 2 แบบ คือ

a. วัดโดยใช้เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter)

b. วัดโดยวิธีทางเคมี เช่น วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน

รีเอเจนต์

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (manganese sulfate solution)

สารละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($MnSO_4 4H_2O$) 480 กรัมหรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4 2H_2O$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4 H_2O$) 364 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล.

2. อัลคาไลน์ – ไอโอไดด์ – เอไซด์รีเอเจนต์ (Alkaline – iodine – azide reagent)

สามารถเตรียมได้ 2 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 700 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 150 กรัม) ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1,000 มล. หลังจากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ซึ่งละลายน้ำกลั่นจำนวน 40 มล. ก่อนที่จะใช้เติมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น สารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นสารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อทำเป็นกรดหรือทำให้เจือจาง

2.2 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่นซึ่งต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์และทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้ว 500 มล. เมื่อละลายจะเกิดความร้อนขึ้น ทิ้งไว้ให้เย็นเล็กน้อย เติมโซเดียมเล็กน้อย เติมโซเดียมไอโอไดด์ 900 กรัม ละลายโซเดียมเอไซด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. แล้วเทลงในสารละลายด่าง ถ้าปริมาตรของสารละลายด่าง ถ้าปริมาตรของสารละลายที่เตรียมไว้ยังไม่ถึง 1 มล. ทำให้เจือจางเป็น 1 มล. แต่ในทางปฏิบัติสารละลายที่เตรียมขึ้นนี้จะมีปริมาตรเกิน 1 มล. เล็กน้อยอยู่แล้วโดยไม่ต้องเจือจางอีกเนื่องจากมีความเข้มข้นของเกลือที่ละลายอยู่สูง

3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

ซึ่ง 1 มล. จะสมมูลกับ 3 มล. ของอัลคาไลน์ – ไอโอไดด์ – เอไซดรีเอเจนต์

4. น้ำแป้ง

ละลายแป้ง (Solution starch) 2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน ปริมาตร 100 มล. และเติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic starch) 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมลาร์

เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 4 เท่าก่อน โดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 24.82 กรัม ในน้ำกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมลาร์ จำนวน 6.0 มล. หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัมแล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้จะต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ด้วยสารไบไอโอเดตและเมื่อทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วจึงนำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ และหาความเข้มข้นที่แน่นอนอีกที

5.1 การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

ละลาย KI ประมาณ 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100 – 150 มล. ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 โมลาร์ จำนวน 1 มล. หรือกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 – 3 หยด และสารละลายมาตรฐานไบโอเดต 20 มล. แล้วทำให้เจือจางเป็น 200 มล. ไทเทรตไอโอดีนซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ เติมน้ำแป้งเมื่อใกล้จะถึงจุดยุติ (end of titration) สังเกตจากสีของสารละลายจะมีสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20 มล. ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.025 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารละลายมาตรฐาน 0.0021 โมลาร์

ละลาย $KH(IO_3)_2$ 812.4 มก. ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 มล.

7. สารละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ (potassium fluoride solution)

ละลายโพแทสเซียมฟลูออไรด์ไดไฮเดรต ($KF2H_2O$) 40 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มล. สารละลายนี้ใช้ต่อเมื่อตัวอย่างน้ำมีไอร์ออน Fe(III) มาก (เท่ากับหรือมากกว่า 5 มก./ล. เกลือเฟอร์ริกไอออน)

8.4 วิธีวิเคราะห์

การหาค่าออกซิเจนละลายจากตัวอย่างน้ำซึ่งเก็บไว้ในขวดบีโอดีขนาด 300 มล. ทำได้ดังต่อไปนี้

1. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มล. และอัลคาไล – ไอโอไดด์ – เอไซดรีเอเจนต์ 1 มล. ลงในขวดบีโอดีที่ใส่ตัวอย่างน้ำ โดยให้ปลายปิเปตแตะอยู่ข้างปากขวดเหนือผิวของตัวอย่างน้ำเพียงเล็กน้อย (ถ้าปิเปตต์จุ่มลงในตัวอย่างน้ำหรือเปื้อนตัวอย่างน้ำหรือเปื้อนตัวอย่างน้ำให้ล้างปิเปตต์ที่จุ่มด้วยน้ำกลั่นเสียก่อน หรือทำการเปลี่ยนปิเปตต์ใหม่) ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ

2. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาตรน้ำใส ½ ของขวด

3. เติมเข้มข้นกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 มล. โดยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปข้างๆขวด ปิดจุกผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

4. ถ้าใช้ขวดบีโอดีที่มีความจุขนาด 300 มล. จะใช้น้ำตัวอย่างจากขวดในข้อ 3 เท่ากับ 201 มล. เพื่อนำไปไทเทรต ปริมาตรตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับปริมาตรตัวอย่างน้ำเริ่มต้น 200 มล. เนื่องจากมีการสูญเสียตัวอย่างน้ำจากขวดบีโอดีโดยการแทนที่ของสารละลายเคมีที่เจิมลงไปทั้งสิ้น 2 มล. ดังนั้นปริมาตรตัวอย่างซึ่งใช้ในการไทเทรตจึงควรเท่ากับ

$$\frac{200 \times 300}{(300-2)} = 201 \text{ มล.}$$

5. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 2-3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป อ่านปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

8.5 การคำนวณค่าบีโอดี

ก. เมื่อไม่เจือจาง

$BOD_5 = DO_0 - DO_5$

เมื่อ BOD_5 = ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มก./ล.)

DO_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้คำนวณจากการวัดหรือการไทเทรตเมื่อเตรียมน้ำตัวอย่างเสร็จทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DO_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้คำนวณจากการวัดหรือการไทเทรตเมื่อบ่มครบ 5 วัน

ข. เมื่อเจือจางน้ำตัวอย่าง

1. ไม่เติมหัวเชื้อ

$$BOD = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

2. เติมหัวเชื้อ

$$BOD = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

เมื่อ D_1 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำตัวอย่างเมื่อวัดหลังเจือจางน้ำทันที

D_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำตัวอย่างเมื่อวัดหลังเจือจางน้ำและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

B_1 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดควบคุมที่เติมหัวเชื้อโดยวัดทันที

B_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุดควบคุมที่เติมหัวเชื้อโดยวัดหลังบ่ม 5 วัน

f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างตัวกลุ่มที่ควบคุม

= (% หัวเชื้อใน D_1)/ (% หัวเชื้อใน B_1)

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

การแก้ค่าเนื่องมาจากหัวเชื้อ = $(B_1-B_2) * f$

ก-9 วิธีการตรวจเชื้อที่ใช้ในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

9.1 อุปกรณ์และสารเคมี

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

ก. การเตรียมสไลด์

สไลด์ที่ใช้ย้อมสีแบคทีเรียต้องสะอาด วิธีทำความสะอาดโดยใช้นิ้วแตะสบู่หรือผงซักฟอกที่เปียกน้ำ ถูบริเวณผิวสไลด์ให้ทั่ว ทิ้งไว้พอหมาด ใช้ผ้านุ่มและสะอาดเช็ดคราบสบู่ออกให้หมด การตรวจว่าสไลด์สะอาดหยดน้ำจะแผ่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การเตรียมเชื้อแบคทีเรียสำหรับการย้อมสีแกรม

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

9.2 การย้อมสีแบบ gram stain

1. หยดสี crystal violet ลงบนสไลด์ให้ท่วมรอยสเมียร์ของเชื้อ ทิ้งไว้นาน 1 นาที

2. ล้างออกด้วยน้ำยาแกรมไอโอดีน แล้วหยดน้ำยาแกรมไอโอดีนให้ท่วมรอยสเมียร์และทิ้งไว้นาน 1 นาที

3. ล้างน้ำยาไอโอดีนออกด้วยน้ำและล้างอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 95% หรืออะซิโตนแอลกอฮอล์ จนน้ำยาที่ล้างไม่มีสีติดออกมา (ใช้เวลาไม่เกิน 20 วินาทีให้ล้างออกด้วยน้ำทันที)

4. ย้อมทับ (counterstain) ด้วยสี safranin นาน 1 นาที

5. ล้างด้วยน้ำก๊อก แล้วปล่อยให้สไลด์แห้ง หรือซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ

6. ตรวจผลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า และถ่ายรูป

ก-10 ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม

ต่อท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักเพื่อใช้ลำเลียงก๊าซ

เปิดวาว์ลบริเวณจุดเชื่อมระหว่างท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักกับท่อลำเลียงก๊าซเข้าสู่หัวจ่ายก๊าซ

เปิดวาว์ลบริเวณหัวจ่ายก๊าซเข้าสู่เตาแก๊ส

จุดไฟในลักษณะเปลวไฟ

ใช้งานได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-11 ขั้นตอนการนำก๊าซชีวภาพมาเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

ต่อท่อลำเลียงก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมักเพื่อใช้เป็นท่อผ่านก๊าซไปยังเครื่องปั่นไฟ

Start เครื่องปั่นไฟซึ่งมีกำลังไฟ 220 V. เปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซผ่านเข้าเครื่องปั่นไฟ

ทำการต่อปลั๊กเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เข้ากับเครื่องปั่นไฟกำลังไฟ 220 V.

ต่อขั้วบวกและขั้วลบของเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เข้ากับแบตเตอรี่

กดปุ่มเปิดเครื่องแปลงกำลังไฟฟ้า 12 V. เพื่อทำการบรรจุก๊าซชีวภาพที่ผ่านเครื่องปั่นไฟฟ้ากำลังไฟ 220 V. เก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อรอการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.1 ขั้นตอนการนำกระแสไฟที่บรรจุในแบตเตอรี่ไปใช้งาน

เนื่องจากไฟฟ้าที่ทางคณะวิทยาศาสตร์ใช้งานนั้น มีกำลังไฟอยู่ที่ 220 V. แต่กระแสไฟที่ได้บรรจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่มีกลังไฟ 12 V. ซึ่งต้องมีการแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนี้

ต่อขั้วบวกและขั้วลบ ของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า กำลังไฟ 220 V. กับแบตเตอรี่ที่บรรจุกระแสไฟฟ้ากำลังไฟ 12 V.

ทำการต่อปลั๊กของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า 220 V. เข้ากับเต้าเสียบสำหรับการใช้งานไฟฟ้าในอาคาร

กดปุ่มเปิดเพื่อใช้งานของตัวแปลงกำลังไฟฟ้า 220 V. โดยให้มีไฟสีเขียวปรากฏ

ใช้งานได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่า pH ของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed			Slurry		
	ครั้งที่			ครั้งที่		
	1	2	3	1	2	3
19/6/56	5.05	5.05	5.06	8.16	8.15	8.15
21/6/56	5.21	5.22	5.19	7.84	7.89	7.89
24/6/56	4.88	4.9	4.88	8.22	8.25	8.25
25/6/56	5.02	5	4.99	8.07	8.06	8.07
2/7/56	5.28	5.27	5.27	8.18	8.19	8.19
8/7/56	4.94	4.94	4.95	8.08	8.08	8.09
15/7/56	5.21	5.22	5.2	8.01	8.02	8.01
30/7/56	5.92	5.92	5.92	8.44	8.45	8.45
31/7/56	5.07	5.01	5.05	8.04	8.05	8.04
6/8/56	4.68	4.65	4.64	8.49	8.47	8.48
7/8/56	4.2	4.21	4.2	8.28	8.29	8.28
8/8/56	4.5	4.5	4.51	8.27	8.27	8.26
14/8/56	4.28	4.27	4.27	8.23	8.24	8.23
15/8/56	4.98	5	4.99	7.98	7.97	7.97
21/8/56	4.99	4.98	4.98	8.25	8.24	8.24
22/8/56	4.65	4.64	4.61	8.26	8.27	8.26
27/8/56	5.35	5.3	5.27	7.41	7.35	7.38
4/9/56	5.26	5.24	5.24	8.25	8.27	8.27
10/9/56	4.48	4.51	4.53	8	8	8
11/9/56	5.17	5.18	5.16	8.57	8.57	8.56
17/9/56	5.29	5.28	5.29	8.57	8.57	8.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed (mg/L as CaCO3)			Slurry (mg/L as $CaCO_3$)		
	ครั้งที่			ครั้งที่		
	1	2	3	1	2	3
19/6/56	714.00	756.00	756.00	3600.80	3600.80	3600.80
21/6/56	363.00	363.00	371.00	5264.00	5247.00	5247.00
24/6/56	264.00	264.00	297.00	6567.00	6567.00	6534.00
25/6/56	637.40	637.40	637.40	4125.00	4125.00	4125.00
2/7/56	132.00	132.00	99.00	3630.00	3597.00	3630.00
8/7/56	839.00	839.00	839.00	4125.00	4092.00	4125.00
15/7/56	132.00	132.00	132.00	3267.00	3267.00	3234.00
30/7/56	660.00	660.00	660.00	2871.00	2871.00	2871.00
31/7/56	939.00	939.00	1014.20	2199.00	2199.00	2226.00
6/8/56	0.00	0.00	0.00	3810.00	3810.00	3917.00
7/8/56	1109.00	1100.00	1109.00	4175.00	4175.00	4175.00
8/8/56	1099.00	1099.00	1100.10	4700.00	4700.00	4916.00
14/8/56	1201.50	1201.50	1201.50	5011.00	5011.00	5011.00
15/8/56	856.00	856.00	902.00	6541.00	6872.00	6872.00
21/8/56	1124.00	1124.00	1106.80	5577.00	5610.00	5610.00
28/8/56	1485.00	1518.00	1518.00	7887.00	7887.00	7887.00
3/9/56	0.00	0.00	0.00	8631.00	9114.00	9114.00
4/9/56	1056.00	1056.00	1056.00	8240.00	8240.00	8240.00
10/9/56	996.00	996.00	974.00	7438.00	7438.00	7392.00
11/9/56	1264.00	1264.00	1201.10	9207.00	9207.00	9108.00
17/9/56	1155.00	1122.00	1122.00	8613.00	8613.00	8613.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ค่าของแข็งทั้งหมดของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed (mg/L)			Slurry (mg/L)		
	ครั้งที่			ครั้งที่		
	1	2	3	1	2	3
19/6/56	198,432.00	196,431.00	199,030.00	20,141.00	24,310.00	22,360.00
21/6/56	200,143.00	197,531.00	205,430.00	17,430.00	14,930.00	19,136.00
24/6/56	300,566.00	291,110.00	274,700.00	14,784.00	15,168.00	12,040.00
25/6/56	234,680.00	252,194.00	239,184.00	13,760.00	13,360.00	12,740.00
2/7/56	181,515.00	208,525.00	200,355.00	38,610.00	37,505.00	38,835.00
8/7/56	258,130.00	323,470.00	321,690.00	16,690.00	18,360.00	12,310.00
15/7/56	242,960.00	260,070.00	211,410.00	44,740.00	46,690.00	45,220.00
30/7/56	189,075.00	232,315.00	170,910.00	32,100.00	31,655.00	32,780.00
31/7/56	253,050.00	242,830.00	218,080.00	52,725.00	45,425.00	43,135.00
6/8/56	270,480.00	266,460.00	268,740.00	16,355.00	18,110.00	20,760.00
7/8/56	227,160.00	410,065.00	234,160.00	27,990.00	31,175.00	28,150.00
8/8/56	306,925.00	342,625.00	280,200.00	38,768.50	39,045.00	34,365.00
14/8/56	328,500.00	314,555.00	347,055.00	42,700.00	44,170.00	41,975.00
15/8/56	301,960.00	334,016.00	316,678.00	24,691.00	24,007.00	25,902.00
21/8/56	269,075.00	337,390.00	313,235.00	30,110.00	30,960.00	31,198.00
22/8/56	334,100.00	345,370.00	280,730.00	26,880.00	32,025.00	25,715.00
3/9/56	249,200.00	225,150.00	214,200.00	34,135.00	33,380.00	36,285.00
4/9/56	467,750.00	441,550.00	454,740.00	20,245.00	21,245.00	21,381.00
10/9/56	201,680.00	223,966.00	221,014.00	40,698.00	39,118.00	39,617.00
11/9/56	300,164.00	311,887.00	298,060.00	32,881.00	33,460.00	29,606.00
17/9/56	170,431.00	169,184.00	170,890.00	28,616.00	34,718.00	30,960.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed (mg/L)			Slurry (mg/L)		
	ครั้งที่			ครั้งที่		
	1	2	3	1	2	3
19/6/56	176,313.00	169,399.00	171,430.00	9,934.00	10,414.00	11,003.00
21/6/56	159,610.00	172,349.00	165,340.00	9,841.00	9,634.00	9,661.00
24/6/56	239,850.00	312,830.00	281,915.00	3,315.00	5,970.00	6,170.00
25/6/56	190,004.00	188,341.00	189,531.00	5,584.00	5,575.00	5,415.00
2/7/56	168,446.00	181,436.00	178,440.00	20,830.00	18,960.00	21,114.00
8/7/56	229,495.00	292,715.00	291,320.00	5,645.00	6,825.00	8,080.00
15/7/56	227,300.00	247,410.00	200,175.00	20,355.00	20,875.00	22,500.00
30/7/56	160,590.00	219,595.00	159,335.00	15,460.00	15,135.00	15,690.00
31/7/56	216,120.00	188,405.00	158,695.00	27,164.00	24,905.00	24,205.00
6/8/56	250,115.00	251,980.00	250,275.00	10,795.00	11,108.50	12,170.00
7/8/56	213,750.00	220,670.00	216,615.00	13,820.00	17,280.00	14,005.00
8/8/56	289,060.00	267,245.00	317,750.00	17,690.00	18,255.00	16,095.00
14/8/56	313,870.00	297,350.00	325,690.00	20,850.00	21,315.00	21,705.00
15/8/56	269,348.00	258,960.00	275,221.00	16,961.00	15,881.00	15,001.00
27/8/56	240,295.00	356,470.00	392,305.00	12,990.00	13,446.00	12,871.00
28/8/56	288,667.00	299,431.00	297,661.00	19,935.00	19,055.00	21,200.00
3/9/56	228,190.00	203,410.00	196,075.00	11,365.00	11,945.00	11,412.00
4/9/56	441,255.00	405,295.00	427,814.00	25,681.00	24,431.00	24,048.00
10/9/56	222,451.00	201,680.00	200,943.00	21,188.00	25,686.00	23,991.00
11/9/56	269,118.00	270,369.00	262,417.00	32,050.00	31,230.00	31,580.00
17/9/56	173,455.00	185,715.00	179,041.00	11,325.00	12,015.00	10,380.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายของเศษอาหารและของผสมในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed (mg/L)			Slurry (mg/L)		
	ครั้งที่			ครั้งที่		
	1	2	3	1	2	3
19/6/56	734.10	749.67	766.10	3,610.80	3,619.10	3,601.10
21/6/56	363.40	389.00	389.00	5,247.10	2,547.10	5,014.00
24/6/56	1,434.72	1,332.24	1,332.24	3,791.76	3,586.80	3,894.24
25/6/56	694.30	698.10	698.10	4,123.10	4,123.10	4,011.70
2/7/56	512.40	512.40	512.40	2,562.00	2,152.08	2,357.04
8/7/56	924.80	839.00	839.00	4,125.00	4,125.00	4,125.00
15/7/56	409.92	307.44	307.44	2,152.08	2,049.60	2,049.60
30/7/56	1,229.76	1,229.76	1,229.76	2,914.60	2,910.12	2,914.60
31/7/56	819.84	717.36	717.36	2,459.52	2,562.00	2,468.20
6/8/56	819.84	819.84	819.84	2,459.52	2,459.52	2,459.52
7/8/56	1,127.28	1,024.80	1,024.80	3,894.24	3,689.28	3,689.28
8/8/56	1,947.12	1,947.12	1,947.12	3,176.88	3,074.40	3,176.88
14/8/56	1,024.80	1,024.80	1,024.80	2,664.48	2,562.00	2,562.00
15/8/56	512.40	512.40	512.40	2,049.60	2,152.08	2,049.60
21/8/56	819.84	717.36	819.84	2,254.56	2,357.04	2,357.04
22/8/56	819.84	717.36	717.36	2,152.08	2,049.60	2,049.60
3/9/56	1,024.80	1,024.80	1,024.80	3,381.84	3,279.36	3,279.36
4/9/56	1,229.76	1,229.76	1,229.76	2,766.96	2,766.96	2,766.96
10/9/56	1,229.76	1,229.76	1,229.76	3,689.28	3,586.80	3,586.80
11/9/56	1,537.20	1,537.20	1,537.20	2,664.48	2,664.48	2,664.48
17/9/56	1,639.68	1,639.68	1,639.68	2,869.44	2,869.44	2,869.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ค่าความชื้นของเศษอาหารในเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	% ความชื้น		
	ครั้งที่		
	1	2	3
19/6/56	75.88	72.61	76.30
21/6/56	82.14	82.93	82.64
24/6/56	60.58	62.48	64.11
25/6/56	84.96	81.11	81.48
2/7/56	61.51	57.95	57.68
8/7/56	69.04	72.81	67.49
15/7/56	76.96	75.19	78.97
30/7/56	74.96	75.40	75.99
31/7/56	79.72	70.57	74.45
2/8/56	75.46	74.39	78.40
6/8/56	69.17	68.49	62.02
7/8/56	66.25	66.75	68.13
8/8/56	79.55	80.37	77.56
14/8/56	54.45	66.60	60.45
21/8/56	76.87	73.89	78.01
22/8/56	73.45	73.40	72.22
27/8/56	76.67	77.02	76.90
28/8/56	83.61	83.70	82.43
3/9/56	77.80	74.59	70.84
4/9/56	71.85	74.41	69.04
10/9/56	79.22	79.29	79.06
11/9/56	73.24	74.22	73.06
17/9/56	63.92	64.24	68.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-7 ค่า C/N ratio ของเศษอาหารและของผสมจาก

เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ

วัน/เดือน/ปี	Feed			Slurry		
	%C	%N	C/N ratio	%C	%N	C/N ratio
31/07/56	44.11	0.40	101.28	19.95	12.34	1.62
8/07/56	36.44	0.88	41.14	19.65	11.34	1.73
7/08/56	75.01	1.23	60.98	22.42	12.42	1.80
14/08/56	43.98	0.75	58.64	27.51	13.88	1.98
21/08/56	77.02	1.03	74.78	25.63	10.70	2.40

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ

วันที่ 6 สิงหาคม 2556

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ
0.29	33
0.35	34
0.21	35
0.25	35
0.3	34.5
0.49	36
0.41	32
0.56	33
0.4	30
0.4	29.5
0.58	29.5
0.3	29
0.28	29
0.29	28.5
0.15	28
0.21	27
0.25	27
0.3	26.5
0.24	26
0.18	26
0.19	26
0.25	26
0.2	26.5
0.18	27
0.1	28
0.15	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ

วันที่ 8 สิงหาคม 2556

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ
0.1	34
0.4	33
0.18	34
0.02	32
0.15	33
0.38	32
0.57	32
0.4	31
0.48	30.5
0.21	30
0.49	30
0.4	27
0.35	27
0.34	25.5
0.26	26
0.35	25
0.22	25
0.1	23
0.3	25.5
0.15	25.5
0.16	26
0.19	28
0.3	28.5
0.2	29
0.16	30.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ

วันที่ 14 สิงหาคม 2556

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ
0	32
0.18	32
0.07	32.5
0.15	31.5
0.1	31
0.1	30
0.48	29
0.4	29
0.57	28.5
0.35	28.5
0.5	28.5
0.4	27.5
0.35	26.5
0.45	26
0.3	26
0.39	25.5
0.51	25.5
0.25	25
0.23	26
0.27	27
0.1	28
0.15	30
0.51	31
0.49	32.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ

วันที่ 4 กันยายน 2556

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ
0.28	28
0.38	27
0.39	27
0.32	27
0.31	27
0.37	27
0.4	26.5
0.41	26.5
0.3	26
0.35	26
0.37	26
0.34	25.5
0.36	25
0.32	26.5
0.3	26.5
0.27	27
0.24	27
0.25	27
0.29	28
0.34	28.5
0.32	29
0.31	29.5
0.2	29.5
0.18	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8(ต่อ) ปริมาณก๊าซชีวภาพ และอุณหภูมิบรรยากาศ

วันที่ 10 กันยายน 2556

ปริมาณก๊าซชีวภาพ	อุณหภูมิ
0.42	30
0.47	30
0.35	28
0.45	27
0.38	26
0.41	26.5
0.42	27
0.28	27
0.4	24
0.34	24
0.37	25
0.31	25
0.29	25
0.28	25.5
0.2	26
0.23	30
0.26	33
0.34	33
0.32	33
0.36	33
0.12	32
0.51	32.5
0.45	31.5
0.35	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ข-9 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง

วัน/เดือน/ปี	pH		
	ครั้งที่		
	1	2	3
25/6/56	7.4	7.39	7.42
2/7/56	7.94	7.94	7.96
15/7/56	7.15	7.14	7.15
16/7/56	7.95	7.95	8
31/7/56	7.81	7.77	7.79
6/8/56	7.34	7.34	7.35
7/8/56	7.65	7.68	7.66
3/9/56	7.36	7.35	7.35
4/9/56	7.59	7.65	7.64
10/9/56	7.39	7.38	7.39
11/9/56	7.53	7.52	7.52
17/9/56	7.61	7.61	7.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง

วัน/เดือน/ปี	SS (mg/L)		
	ครั้งที่		
	1	2	3
19/6/56	68.00	69.40	67.81
25/6/56	202.00	262.00	262.00
16/7/56	165.00	260.00	241.00
31/7/56	402.00	429.00	431.00
1/8/56	1,295.00	1,141.00	1,264.00
6/8/56	212.00	220.01	212.90
28/8/56	2,060.00	2,090.00	1,950.00
3/9/56	2,841.00	2,994.00	3,010.00
4/9/56	540.00	640.00	584.00
10/9/56	150.00	140.00	150.00
11/9/56	410.00	440.00	420.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง

วัน/เดือน/ปี	COD (mg/L)		
	ครั้งที่		
	1	2	3
10/7/56	3,604.00	3,381.60	3,298.00
4/8/56	3,095.20	2,798.40	2,756.00
5/8/56	3,028.48	3,594.24	3,274.52
6/8/56	3,104.00	3,200.00	3,200.00
7/8/56	3,072.00	3,600.00	3,348.60
27/8/56	2,400.00	2,880.00	2,420.00
29/8/56	2,800.00	3,200.00	3,149.00
3/9/56	1,054.08	1,002.24	1,016.64
4/9/56	2,069.12	2,107.50	2,043.40

ตารางที่ ข-12 ค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง

วัน/เดือน/ปี	DO_0	DO_5		BOD (mg/L)	
	ครั้งที่	ครั้งที่		ครั้งที่	
	1	1	2	1	2
4/8/56	7.65	5.18	5.26	247	239
27/8/56	7.97	5.3	5.16	267	281
4/9/56	8.1	5.6	5.64	250	246
30/9/56	7.24	4.77	4.65	247	259
11/10/56	7.52	5.42	5.28	210	224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-1 คำนวณการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะของเศษอาหาร และกากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลาย

ค-1.1 คำนวณเปอร์เซ็นความชื้นของเศษอาหาร

สูตร % ความชื้น = $\frac{(w-D)}{W} \times 100$

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 17/09/56

% ความชื้น = $\frac{(10.003-3.609)}{10.003} \times 100$

= 63.9

ค-1.2 คำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

สูตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L) = $\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น } (B-A)\times 1000}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$

A = น้ำหนักชามระเหย (mg)

B = น้ำหนักชามระเหยที่มีตัวอย่าง (mg)

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 3/09/56

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg / L) = $\frac{(66.8175 \text{ กรัม} - 61.8335 \text{ กรัม}) \times 10^6}{20 \text{ มล.}}$

= 249,200 mg/L

ค-1.3 คำนวณปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid)

สูตร ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (mg/L) = $\frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น } (B-A)\times 1000}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$

A = น้ำหนักชามระเหย (mg)

B = น้ำหนักชามระเหยที่มีตัวอย่าง (mg)

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 3/09/56

ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (mg/L) = $\frac{(66.8175 \text{ กรัม} - 62.2537 \text{ กรัม}) \times 10^6}{20 \text{ มล.}}$

= 228,190 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1.4 คำนวณปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

สูตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (mg/L)

$$= \frac{\text{ปริมาณกรดที่ใช้ทั้งหมด} \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก} \times 50 \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 3/09/56

ปริมาณกรดที่ใช้ = 0.33 ml

โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก = 1.0248 N

ตัวอย่างน้ำ = 50 ml

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (mg/L) $= \frac{0.33 \times 1.0248 \times 50 \times 1000}{5o}$

$= 338.184$ mg/L

เจือจางตัวอย่าง 10 เท่า จะได้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (mg/L) = 3,381.84 mg/L

ค-1.5 คำนวณปริมาณสภาพด่าง (Alkalinity)

สูตร ปริมาณสภาพด่าง (mg/L as $CaCO_3$)

$$= \frac{\text{ปริมาณกรดที่ใช้ทั้งหมด} \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก} \times 50 \times 1000}{\text{ตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 21/08/56

ปริมาณกรดที่ใช้ = 3.38 ml

โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก = 0.033 N

ตัวอย่างน้ำ = 50 ml

ปริมาณสภาพด่าง (mg/L) $= \frac{3.38 \times 0.033 \times 50 \times 1000}{5o}$

$= 111.54$ mg/L as $CaCO_3$

เจือจางตัวอย่าง 10 เท่า จะได้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (mg/L) = 1,115.4 mg/L as $CaCO_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-2 การคำนวณการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร

เท่ากับ เบนซิน 0.7 ลิตร

ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.25 กิโลวัตต์

แก๊ส LPG 0.46 กิโลกรัม

หุงต้มอาหารให้กับคน 4 คน ได้ 3 มื้อ

ตัวอย่าง เช่น ปริมาตรก๊าซชีวภาพในวันที่ 8 สิงหาคม 2556 เท่ากับ 7.51 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ เบนซิน 0.7 ลิตร

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 7.51 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ เบนซิน $\frac{0.7\times7.51}{1}$

$= 5.257$ ลิตร

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.25 กิโลวัตต์

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 7.51 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ $\frac{12.5\times7.51}{1}$

$= 9.3875$ กิโลวัตต์

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ แก๊ส LPG 0.46 กิโลกรัม

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 7.51 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ แก๊ส LPG $\frac{0.46\times7.51}{1}$

$= 3.4546$ กิโลกรัม

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ หุงต้มอาหารให้กับคน 4 คน ได้ 3 มื้อ

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 7.51 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ หุงต้มอาหารให้กับคน 4 คน ได้ 3 มื้อ

$= \frac{4\times7.51}{1} \sim 30$ คน

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ หุงต้มอาหารให้กับคน 4 คน ได้ 3 มื้อ

ปริมาตรก๊าซชีวภาพ 7.51 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ หุงต้มอาหารให้กับคน ~30 คน ได้

$\sim \frac{30\times3}{4} \sim 23$ คน

ภาคผนวก ค-3 การคำนวณระยะเวลาการกักเก็บของอินทรีย์สารภายในถังผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก (HRT)

$$\text{จากสูตร HRT (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรของถังหมัก (ลบ.ม.)}}{\text{อัตราการเติมเศษอาหารเข้าสู่ถังหมัก (ลบ.ม./วัน)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรถัง (ลบ.ม.) = กว้าง × ยาว × สูง

= 1.45 ม. × 2.60 ม. × 0.90 ม.

= 3.393 ลบ.ม.

อัตราการเติมอาหารเข้าสู่ถัง (ลบ.ม./วัน) = 80 กก./วัน × ลบ.ม./1,000 กก.

= 0.08 ลบ.ม./วัน

$$\text{HRT (วัน)} = \frac{\text{ปริมาตรของถังหมัก (ลบ.ม.)}}{\text{อัตราการเติมเศษอาหารเข้าสู่ถังหมัก (ลบ.ม./วัน)}}$$

$$= \frac{1.45 \text{ ม.} \times 2.60 \text{ ม.} \times 0.90 \text{ ม.}}{0.08 \text{ ลบ.ม.}}$$

= 42 วัน 9 ชั่วโมง 54 นาที

ภาคผนวก ค-4 การคำนวณอัตราการป้อนอินทรีย์สาร (OLR)

$$\text{จากสูตร OLR (g/l.d)} = \frac{\text{ปริมาตรเศษอาหารที่เข้าสู่ระบบ (l/d)} \times \text{ค่า COD ของเศษอาหารที่เข้าสู่ระบบ (l/d)}}{\text{ปริมาตรความจุของถังหมัก (l)}}$$

$$= \frac{80 \text{ (l/d)} \times 141.2 \text{(g/l)}}{3.393 \times 1000 \text{ l}}$$

= 3.33 g/l.d

ภาคผนวก ค-5 คำนวณคุณภาพน้ำทิ้ง

ค-5.1 คำนวณปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)

$$\text{สูตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg / L)} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B−A)} \times 1000}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ}}$$

A = น้ำหนักกระดาษกรอง (mg)

B = น้ำหนักกระดาษกรองที่มีตัวอย่าง (mg)

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 6/08/56

$$\text{ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(0.0875 - 0.0860) \times 10^{6}}{10}$$

= 150 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-5.2 คำนวณปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand)

$$\text{สูตร COD (mg/L)} = \frac{(B-Ex)\times \text{โนมอลริตีของ FAS} \times 8{,}000}{\text{ml Ex ที่ใช้}}$$

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 7/08/56

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(3.03-1.11)\times 0.05 \times 8{,}000}{2.5}$$

$$= 307.2 \text{ mg/L}$$

เจือจางน้ำตัวอย่าง 10 เท่าจะได้ปริมาณ COD = 3,072 mg/L

ค-5.3 การคำนวณ ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand , BOD)

$$\text{BOD (mg/L)} = \frac{D1-D2}{P}$$

เมื่อ D_1 คือ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำตัวอย่างเมื่อวัดหลังเจือจางน้ำทันที

D_2 คือ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำตัวอย่างเมื่อวัดหลังเจือจางน้ำละบ่มเป็นเวลา 5 วัน

P คือ สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{BOD (mg/L)} = \frac{D1-D2}{P}$$

$$= \frac{7.65-5.22}{0.01}$$

$$= 243 \text{ (mg/L)}$$

ภาคผนวก ค-6 การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (% Removal)

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด (\%)} = \frac{(\text{อินทรีย์สารที่เข้าระบบ} - \text{อินทรีย์สารที่ออกจากระบบ})}{\text{อินทรีย์สารที่เข้าระบบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ค-6.1 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ระบบ (%)

COD ที่เข้าระบบ = 141,200 mg/L

COD ที่ออกจากระบบ = 13,448 mg/L

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = $\frac{(141,200-13,448)}{141,200} \times 100$

= 90.48

ค-6.2 ประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ (%)

TS ที่เข้าระบบ = 267,510.49 mg/L

TS ที่ออกจากระบบ = 29,338.66 mg/L

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = $\frac{(267,510.49-29,338.66)}{267,510.49} \times 100$

= 89.03 %

ค-6.3 ประสิทธิภาพการกำจัด VS ของระบบ (%)

VS ที่เข้าระบบ = 250,313.84 mg/L

VS ที่ออกจากระบบ = 15,807.38 mg/L

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = $\frac{(250,313.84-15,807.38)}{250,313.84} \times 100$

= 93.68 %

ค-6.4 ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของ VFA ของระบบ (%)

VFA ที่เข้าระบบ = 1,043.94 mg/L

VFA ที่ออกจากระบบ = 3,069.06 mg/L

ประสิทธิภาพการกำจัด (%) = $\frac{(3,069.06-1,043.94)}{3,069.06} \times 100$

= 65.98 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-7 คำนวณ % VS

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 14/08/56

จากการทดลอง VS = 6.246 g

เศษอาหาร 20 ml มี VS = 6.246 g

เศษอาหาร 600 ml มี VS $= \frac{6.246 \times 600}{20}$

= 187.38 g

เศษอาหารมีความชื้น 60.55 % $= 600-(600 \times \frac{60.55}{100})$

= 236.7 g (น้ำหนักแห้งของเศษอาหาร)

เศษอาหาร 236.7 g มี VS = 187.38 g

เศษอาหาร 100 g มี VS $= \frac{187.38 \times 100}{236.7}$

= 79.16 %

ภาคผนวก ค-8 คำนวณ C/N ratio

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 14/08/56

ค-8.1 คำนวณหา คาร์บอนทั้งหมด

จากการทดลอง VS = 6.246 g

เศษอาหาร 20 ml มี VS = 6.246 g

เศษอาหาร 600 ml มี VS $= \frac{6.246 \times 600}{20}$

= 187.38 g

เศษอาหารมีความชื้น 60.55 % $= 600-(600 \times \frac{60.55}{100})$

= 236.7 g (น้ำหนักแห้งของเศษอาหาร)

เศษอาหาร 236.7 g มี VS = 187.38 g

เศษอาหาร 100 g มี VS $= \frac{187.38 \times 100}{236.7}$

= 79.16 %

จะได้ % C $= \frac{\%VS}{1.8}$

$= \frac{79.16}{1.8}$

= 43.9797

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-8.2 คำนวณหาไนโตรเจนทั้งหมด

จากการทดลอง TN = 2,971 mg/L

ในสารละลาย 1,000 ml มี TN = 2,971 mg

ในสารละลาย 600 ml มี TN = 1,782.6 mg (1.7826 g)

เศษอาหารมีความชื้น 60.55 % $= 600-(600\times\frac{60.55}{100})$

= 236.7 g (น้ำหนักแห้งของเศษอาหาร)

เศษอาหาร 236.7 g มี TN = 1.7826 g

เศษอาหาร 100 g มี TN $=\frac{1.7826\times100}{236.7}$

= 0.7531 %

ดังนั้น $\frac{C}{N} = \frac{43.9797}{0.7531}$ = 58.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้