สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

นางสาวนารีรัตน์ สิริกอบกุล
นางสาวพิมพ์พรรณ วิทยาแพทย์
นางสาวศรียา นาคอุติ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72593
วัน,เดือน,ปี 20 ส.ค. 2550
.b.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of the increase efficiency of the Biogas Production from nearly Expired Pasteurized Milk

Miss Nareerat Sirikobkul

Miss Pimpan Wittayapaet

Miss Sareeya Nakjuti

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

นักศึกษา นางสาวนารีรัตน์ สิริกอบกุล รหัสประจำตัว 46050640

นางสาวพิมพ์พรรณ วิทยาแพทย์ รหัสประจำตัว 46050643

นางสาวศรียา นาคจุติ รหัสประจำตัว 46050650

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดรอุ่นเรือน เพชรวัลย์	
กรรมการ รศ.ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์	
กรรมการ ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์	

.....

(รศ.ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

นักศึกษา นางสาวนารีรัตน์ สิริกอบกุล
นางสาวพิมพ์พรรณ วิทยาแพทย์
นางสาวศรียา นาคจุติ

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ดุษฎี ธนะบริพัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ โดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย ถังกรด (acidogenic reactor) และถังมีเทน (methanogenic reactor) โดยถังมีเทนมีการกวนผสมอย่างต่อเนื่อง สภาวะที่ใช้ในการศึกษาคืออุณหภูมิปกติ ระยะเวลาเก็บกัก (hydraulic retention time, HRT) 320 วัน อัตราการป้อนของเหลวใช้นมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ วันละ 25 มิลลิลิตร โดยลักษณะการหมักเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ระหว่างกระบวนการหมักทำการเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (COD) กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ทำการตรวจวัดทุกวัน จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 0.17 ลิตรต่อวัน มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.44-7.10 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่ามีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี 78.33 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมด 79.78 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ 57.68 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study on the increase of biogas production efficiency from nearly expired pasteurized milk
Name	Miss Nareerat Sirikobkul Miss Pimpan Wittayapaet Miss Sareeya Nakjuti
Department	Applied Biology
Program	Biotechnology
Acadamic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Dusanee Thanaboripat
Special Project Co-advisor	Dr. Pramote Sirirote

Abstract

Increase of biogas production efficiency from nearly expired pasteurized milk was investigated in a two-phase anaerobic digestion system. A system consisted of acidogenic and methanogenic reactors. Methanogenic reactor has continuous mixing. A condition for this study was at room temperature, hydraulic retention time (HRT) of 320 days and feeding rate of 25 ml/day using semicontinuous fermentation. During fermentation the sample was taken ever 3 days for the determination of COD, TS and VFA. The biogas production and pH value were analyzed everyday. The results showed that the system increased the biogas production rate and methane yield as well as the reduction in COD and total solids of the nearly expired pasteurized milk. It was found that biogas production was 0.17 l/day and pH was between 3.44 -7.10 which were optimum for microbial activities in the system. In addition, the removal efficiency for COD, total solids and volatile fatty acids was 78.33 %, 79.78% and 57.68 %, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานพิเศษเรื่องการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ ซึ่งในการจัดโครงงานนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ดุษฎี ธนะบริพัฒน์ และ ดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์ ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทำการทดลอง ตลอดจนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ ๆ ปริญญาโทและเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ทำให้การทำโครงงานพิเศษดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาของผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนกำลังทรัพย์ในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้เป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หรือผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโครงงานพิเศษนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นารีรัตน์ สิริกอบกุล
พิมพ์พรรณ วิทยาแพทย์
ศรียา นาคจุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญรูป ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาของโครงงานพิเศษ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 3

2.1 ก๊าซชีวภาพ 3

2.2 การใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน 4

2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน 5

2.4 การหายใจของจุลินทรีย์ 6

2.5 การย่อยแบบปราศจากออกซิเจนแบบสองขั้นตอน 8

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 8

2.7 วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ 11

2.8 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมัก 14

2.9 ชนิดของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน 14

2.10 การออกแบบถังปฏิกิริยาชีวภาพสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ 16

2.11 การประยุกต์ถังปฏิกิริยาสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ 18

2.12 องค์ประกอบและลักษณะของก๊าซชีวภาพ 19

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 22

3.1 นมพาสเจอไรส์ไกล้หมดอายุ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เชื้อจุลินทรีย์ 22

3.3 ระบบถังหมัก 22

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 25

3.5 วิธีการทดลอง 26

บทที่ 4 ผลการทดลอง 38

4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุ 38

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด 38

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 40

เอกสารอ้างอิง 43

ภาคผนวก 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบหลักและลักษณะของก๊าซที่พบจากพื้นที่ฝังกลบ	20
2	คุณสมบัติของนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุ	30
3	ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลวทุกวัน	31
4	ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง	33
5	ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง	35
6	ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง	36
7	การผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบไมเลกุลใหญ่	4
2	การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	6
3	การย่อยสารอินทรีย์ไมเลกุลใหญ่ได้ผลผลิตเป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานน้อยลง	7
4	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในการหายใจแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน	7
5	รูปแบบการผสมในถังย่อยแอนแอโรบิก	9
6	ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง	17
7	ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน	17
8	ถังหมักแบบยูเอเอสบี	18
9	ถังหมักไร้อากาศแบบเอบีอาร์	19
10	แสดงระยะเวลาของการเกิดก๊าซในพื้นที่ฝังกลบ	21
11	ถังหมักแบบสองขั้นตอนที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	23
12	แผนภาพของระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน	23
13	ถังหมักใบที่หนึ่ง สำหรับผลิตกรดอินทรีย์	24
14	ถังหมักใบที่สอง สำหรับผลิตก๊าซมีเทน	24
15	ถังเก็บก๊าซชีวภาพ	25
16	ลักษณะของหลอดรูปตัวยู	27
17	ลักษณะเข็มเก็บก๊าซชีวภาพ	28
18	ลักษณะหลอดสูญญากาศ	28
19	แผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง	29
20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และเวลา (วัน)	32
21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทนกับเวลา (วัน)	34
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทนกับเวลา (วัน)	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน)	37
24	ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพ กับเวลา (วัน)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงงานพิเศษ

ในช่วงทศวรรษที่ 70 ราคาน้ำมันสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์จนเกิดวิกฤตพลังงานและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลกทำให้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทนการใช้น้ำมัน ซึ่งในขณะนั้นก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวเลือกที่ใช้ทดแทนน้ำมันในอนาคตเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่นให้พลังงานต่อหน่วยได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (เกรียงศักดิ์, 2548) เวลาต่อมาราคาน้ำมันลดลง ความสนใจในการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นพลังงานทดแทนลดลง จนกระทั่งทศวรรษที่ 90 เมื่อโลกตื่นตัวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้ก๊าซไฮโดรเจนกลับมาเป็นที่สนใจอีกครั้ง พร้อมกับหาพลังงานทดแทน (renewable energy) ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ แสงอาทิตย์ ลม และคลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ (สุเมธ, 2530) ก๊าซมีเทนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติอัด ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ รู้จักกันในชื่อว่า ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas for Vehicles, NGV) ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

ปัจจุบันพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมนมมีการผลิตนมเป็นจำนวนมากทำให้ผลิตภัณฑ์มีมากเกินความจำเป็น การนำน้ำนมที่ใกล้หมดอายุมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพถือว่าเป็นแนวทางการจัดการของเสียที่ดีทางหนึ่ง อวัสดา (2545) ได้ใช้ประโยชน์จากเศษอาหารเหลือทิ้งซึ่งย่อยสลายด้วยแบคทีเรียโดยใช้ระบบถังหมักไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว พบว่าการควบคุมระบบเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์สองประเภท คือแบคทีเรียพวกที่สร้างกรด และแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทนทำให้ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในปริมาณมากเป็นเหตุให้ระบบล้มเหลวได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้ระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศแบบสองขั้นตอนที่มีการแยกระหว่างถังผลิตกรดและถังผลิตก๊าซมีเทนเพื่อความเหมาะสม (อาริยา, 2546)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการหมักแบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอนโดยการนำนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุมาทำการหมัก เพื่อลดปริมาณนมเสียและเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงการนำผลิตภัณฑ์นมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.2 เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศของนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ

1.2.3 เพื่อศึกษาความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของจุลินทรีย์ในนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ

1.2.4 เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.3.1 ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

1.3.2 ศึกษาการประสิทธิภาพการหมักก๊าซชีวภาพเกี่ยวกับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemial oxygen demand, BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand, COD) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในการหมักก๊าซชีวภาพ และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ เป็นการนำผลิตภัณฑ์มาใช้ให้เกิดประโยชน์นอกจากการทำลายทิ้งเป็นของเสียที่ไม่เกิดประโยชน์

1.4.2 เพื่อลดปัญหาปริมาณนมเสียเหลือทิ้งในท้องตลาด

1.4.3 สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในอนาคต

1.4.4 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพดี

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเป็นเชื้อผสม หมักด้วยนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุโดยใช้การหมักแบบไม่ใช้อากาศ เมื่อมีการผลิตก๊าซเกิดขึ้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการย่อยสลายอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ 35,800 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนก๊าซมีเทนร้อยละ 65 ให้ค่าความร้อนประมาณ 22,400 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติที่ส่วนผสมของก๊าซมีเทน โพรเพน และบิวเทน ให้ค่าความร้อนประมาณ 37,300 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (Metcalf & Eddy *et.al*, 2003)

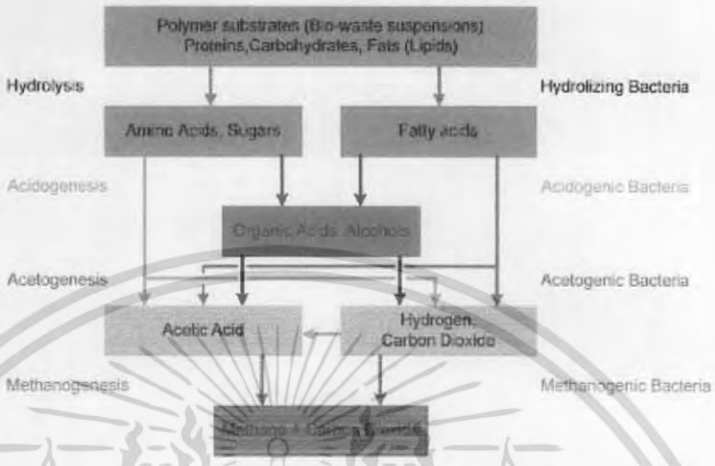
ในถังย่อยแบบปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digester) มีก๊าซอนินทรีย์เกิดขึ้นจำนวนมากขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจากสารโมเลกุลใหญ่ (รูปที่ 1) โดยส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 60-65 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 35-38 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 2 เป็นก๊าซอื่นๆ ซึ่งได้แก่ แอมโมเนีย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สัดส่วนของก๊าซขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในขณะเดินระบบได้แก่ อุณหภูมิ องค์ประกอบของน้ำเสีย ความเป็นกรดเป็นด่าง อัลคาลินิตี้ ระยะเวลาเก็บกัก อายุของตะกอน (sludge) สารพิษ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง (Metcalf & Eddy *et.al*, 2003)

ในกรณี ที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินระบบส่งผลให้ระบบย่อยแบบปราศจากออกซิเจนผลิตก๊าซสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compound) ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOC) สารอินทรีย์ระเหยง่ายประกอบด้วย กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบซัลเฟอร์ (Volatile Sulfur Compound, VSC) สารประกอบซัลเฟอร์เกิดจากการย่อยสารประกอบโปรตีน (Gerardi, 2003)

การเกิดก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่สภาวะมาตรฐาน (ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ และ 0 องศาเซลเซียส) ระบบปราศจากออกซิเจสามารถเปลี่ยนสารประกอบในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีโอดีไปเป็นก๊าซมีเทน เท่ากับ 0.35 ลิตร มีเทนต่อกรัมซีโอดี (ซีโอดีของมีเทน คือปริมาณออกซิเจนที่ใช้สำหรับออกซิไดซ์มีเทนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบโมเลกุลใหญ่

ที่มา : (Metcalf & Eddy *et.al*, 2003)

2.2 การใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบปราศจากออกซิเจนส่วนใหญ่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ ในเบื้องต้นก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ต้องทำการแยกไอน้ำออกโดยผ่านเครื่องควบแน่น ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ ระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ และมาตรฐานของเครื่องจักรกล

สมบัติพิเศษของก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ คือไม่ระเบิด มีกลิ่นเล็กน้อยซึ่งถ้ารั่วทำให้ทราบทันที และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ความร้อนที่ได้สามารถต้มน้ำ 18 ลิตร ให้เดือดได้ภายในเวลา 9-10 นาที ซึ่งดีกว่าโพรเพน ที่ใช้เวลาถึง 11-12 นาที Gottas (1956) รายงาน ว่าครอบครัวขนาด 5-6 คน ใช้ก๊าซ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เท่ากับการเลี้ยงสุกร 8-20 ตัว ดังนั้นครอบครัวในชนบทจึงรับภาระการเลี้ยงสุกร เพราะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้

กากชีวภาพที่เหลือจากการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน 1.3-3.2 กรัม ฟอสฟอรัส 0.18-0.55 กรัม และโพแทสเซียม 3.7-6.72 กรัม ดังนั้นจึงนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อการเกษตรได้ และของเหลือนี้อาจนำไปเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว หรือนำกลับมาเป็นอาหารสัตว์แทนกากถั่ว และกากเมล็ดฝ้าย การใช้ก๊าซชีวภาพมีข้อจำกัดหลายประการ ที่สำคัญคือแหล่งที่ใช้ประโยชน์ต้องอยู่ใกล้ถังหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการอัดก๊าซชีวภาพในถัง หรือส่งไปตามท่อไกลๆ ด้วยแรงดันสูงทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก เพราะก๊าซมีเทนอัดได้ยาก การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จึงใช้ในการหุงต้มอาหาร และจุดตะเกียงในบริเวณบ้านเท่านั้น ในต่างประเทศ เช่นประเทศอินเดียได้มีความพยายามในการพัฒนาความรู้ในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่นในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร ใช้กับรถยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเมื่อผสมกับก๊าซออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสมสามารถจุดระเบิดได้ ในการทำเป็นเชื้อเพลิงต้องระวังอันตรายจากสาเหตุนี้

2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน

กระบวนการผลิตและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังหมักเป็นการย่อยแบบปราศจากออกซิเจนที่ซับซ้อนเกิดขึ้นต่อเนื่องหลายขั้นตอน โดยแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้อยู่ในรูปสารละลายจนกลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acids) โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid producing bacteria) ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria)

2.3.1 *Liquefaction stage* เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ ถูกย่อยสลายแล้วอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัวเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ โดยแบคทีเรียที่เรียกว่า Acid Formers ขั้นตอนนี้แบ่งออกได้เป็น

ก. Hydrolysis โดยแบคทีเรียดูดซึมน้ำจากสารละลายผ่านเมมเบรนของเซลล์ ส่วนอนุภาคของสารอาหารถูกย่อยด้วยเอนไซม์ที่ปล่อยออกมานอกเซลล์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนนี้เป็นพวกสารประกอบอย่างง่าย (Simple soluble compound) แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อในเซลล์ต่อไป ดังสมการที่ 1-3

Carbohydrates	⟶	Simple sugar + Alcohol	สมการที่ 1
Proteins	⟶	Peptide + Amino acid	สมการที่ 2
Fats	⟶	Glycerol + Fatty acid	สมการที่ 3

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่มีหลายชนิด ได้แก่ Fat-decomposing microorganism, Cellulose-decomposing microorganism และ Protein-decomposing microorganism

ข. Acid formation stage เป็นการนำเอาสารประกอบอย่างง่ายจากขั้นตอน Hydrolysis หรือจากวัตถุดิบโดยตรงมาสลายต่อไปได้กรดอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดแอซีติก (Acetic acid) ดังสมการที่ 4

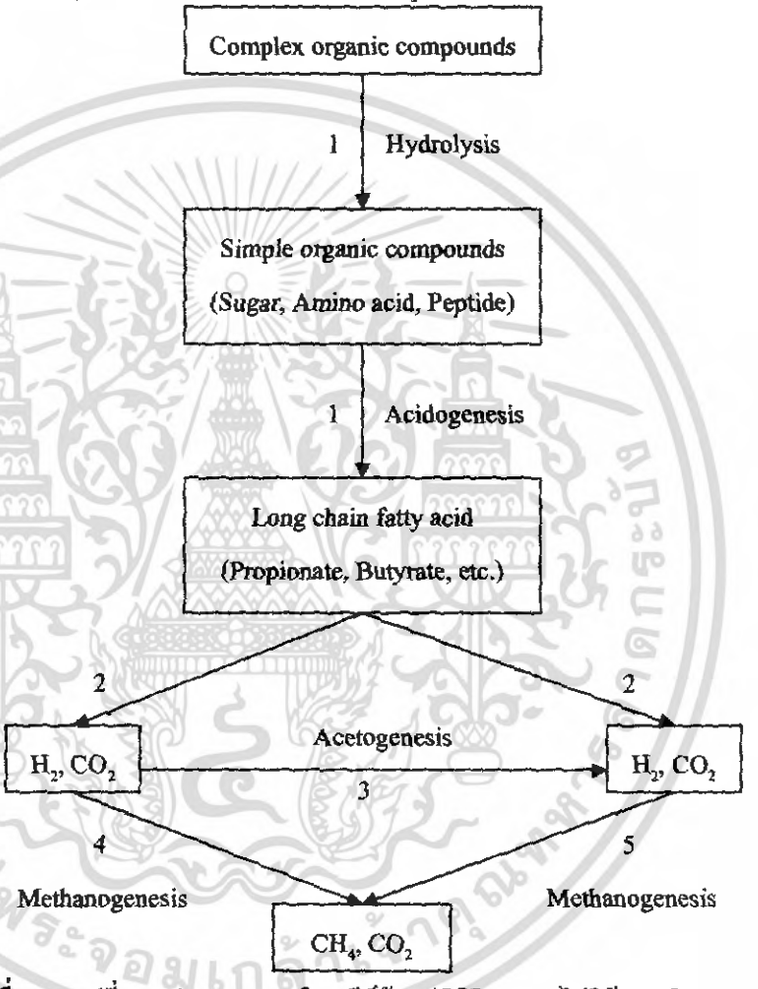
Complex ⟶ Organic acid + CO_2 สมการที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Gasification stage เป็นขั้นที่แบคทีเรียเปลี่ยนผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนหนึ่งให้เป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกขั้นตอนนี้ว่า Methane formation หรือ Methane fermentation ดังสมการที่ 5

$$\text{Organic acid} \xrightarrow{\textit{Methane formers}} CO_2 + CH_4 \qquad \text{สมการที่ 5}$$

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจนเพื่อผลิตก๊าซมีเทนอาศัยขั้นตอนการทำงานและจุลินทรีย์ ดังแผนผังที่ได้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

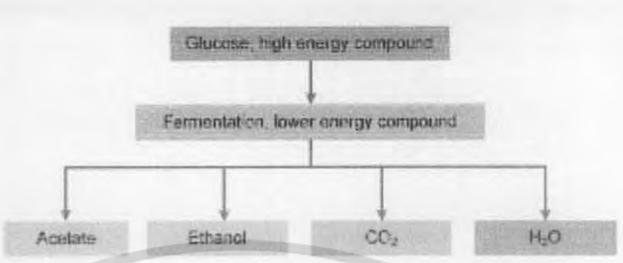
ที่มา : Price and Cheremisinoff (1981)

2.4 การหายใจของจุลินทรีย์

การหายใจเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบคทีเรีย เมื่อสารอาหารถูกย่อยสลายในเซลล์จะได้พลังงานจากอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจากการทำลายพันธะสารโมเลกุลใหญ่ที่มี

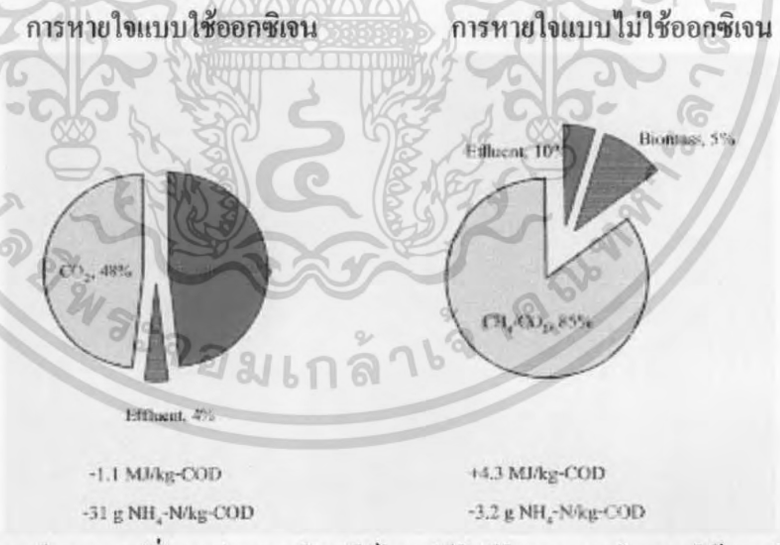
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสูง (รูปที่3) อิเล็กตรอนถูกส่งไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ หลายขั้นตอน ส่วนหนึ่งนำไปสร้าง adenosine triphosphate (ATP) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโต และรักษาเซลล์และอีกส่วนหนึ่งสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 3 การย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ได้ผลผลิตเป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานน้อยลง

การหายใจโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเรียกว่า anaerobic respiration ได้พลังงานในรูป ATP มากที่สุด (36 ATP จากกลูโคส 1 โมล) (สาโรจน์ และประวิทย์, 2538) แบคทีเรียสามารถใช้พลังงานส่วนหนึ่งสำหรับการสร้าง หรือการเจริญของเซลล์เมื่อเปรียบเทียบในรูปของค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปพบว่าประมาณร้อยละ 48-50 นำไปสร้างเป็นเซลล์ แต่การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนได้พลังงานต่ำ (2 ATP จากกลูโคส 1 โมล) และมีการสร้างเซลล์ประมาณร้อยละ 5-10 และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพประมาณร้อยละ 85-90 (Kleerebezem และ Macarie, 2003) (รูปที่4)



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีในการหายใจแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา : Kleerebezem และMacarie (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การย่อยแบบปราศจากออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

การย่อยแบบปราศจากออกซิเจนแบบสองขั้นตอน มีข้อดีข้อเสีย (Ghosh และคณะ, 1975) ดังนี้

2.5.1 ข้อดีของระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบสองขั้นตอน

การย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนมีข้อได้เปรียบหลายอย่างเมื่อเทียบกับการย่อยสลายแบบธรรมดาและแบบอัตราสูง (Conventional standard and high rate process) ซึ่งได้แก่

ก. สามารถที่จะดำรงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (optimum environment) สำหรับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม

ข. สามารถลดขนาดของถังหมักได้ ซึ่งผลที่ตามมาคือประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและควบคุม

ค. มีอัตราการทำให้ของแข็งคงสภาพ (solid stabilization) สูงและอัตราของผลผลิตก๊าซขั้นสุดท้ายมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนสูง

ง. ลดพลังงานความร้อนที่ต้องการ และเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้สูงขึ้น

จ. เหมาะสำหรับการติดตั้งร่วมกับระบบบำบัดที่มีอยู่แล้วโดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ

ฉ. ลดองค์ประกอบของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ออกจากระบบด้วยการละลายน้ำและเกิด denitrification ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักกรด

2.5.2 ข้อเสียที่สำคัญของระบบแบบไร้อากาศสองขั้นตอน คือ ต้องมีการควบคุมด้วยผู้ชำนาญการ และต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเพื่อใช้สำหรับติดตาม ตรวจสอบและควบคุม

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.6.1 อุณหภูมิ การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส

2.6.2 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักมากโดยช่วงความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 6.6-7.55 ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำเกินไปทำให้เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน

2.6.3 อัลคาลินิตี้ (Alkalinity) ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างของค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าตั้งแต่ 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

2.6.4 สารอาหาร (Nutrient) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ซึ่งธาตุอาหารหลักถือได้ว่าเป็นอาหารสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียม เหล็ก โซเดียม และคลอไรด์ ส่วนธาตุอาหารรอง ได้แก่ สังกะสี แมงกานีส โมลิบดีนัม ซีลีเนียม คาร์บอนมอนนอกไซด์ คอปเปอร์ นิเกิล และวิตามิน ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการสันดาปและการทำงานของเอนไซม์ของเซลล์ มีรายงานการศึกษาพบว่าสารอาหารในสัดส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจน และคาร์บอนต่อฟอสฟอรัส ในอัตรา 25 ต่อ 1 และ 20 ต่อ 1 สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ ตามลำดับ

(Metcalf & Eddy *et.al*, 2003)

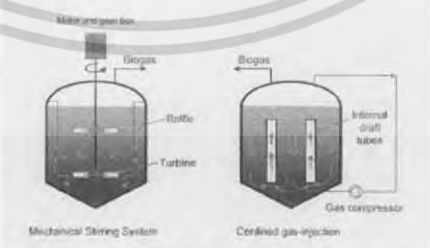
2.6.5 สารยับยั้งและสารพิษ เช่น กรดไขมันระเหยได้ไฮโดรเจนหรือแอมโมเนีย สามารถทำให้กระบวนการย่อยสลายแบบปราศจากออกซิเจนหยุดชะงักได้

2.6.6 สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์ สำหรับกระบวนการย่อยสลายซึ่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.6.7 ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ ข้อดีในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีปราศจากออกซิเจนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้สารเคมีและการเติมอากาศมีมากมายหลายประการ เช่นได้ก๊าซชีวภาพ ค่าก่อสร้างถูกกว่า ค่าใช้จ่ายประจำวันต่ำกว่าเพราะไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเติมอากาศ และไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมี ขจัดปัญหากลิ่นเหม็นได้อย่างน้อยร้อยละ 90 การย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำเสียเกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ ถือว่าเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ส่วนหนึ่ง ข้อเสียในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีปราศจากออกซิเจน คือใช้พื้นที่มากกว่าถ้ารวมพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำแบบ Wet land ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด

2.6.8 การกวน การกวนเป็นการทำให้แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น การกวนสามารถลดเวลาเก็บกักของถังปฏิกิริยาได้วิธีการกวนโดยใช้ใบพัดกวนมีประสิทธิภาพสูงกว่าการกวนโดยการหมุนเวียนก๊าซที่เกิดขึ้นภายในระบบ (รูปที่ 5) การกวนสามารถเลือกรูปแบบได้ทั้งแบบต่อเนื่อง และเป็นช่วงเวลา กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน มีความไวต่อการกวน (Rapid Mixed, Velocity gradient, G >500 s-1) มาก ควรหลีกเลี่ยงการกวนที่อาจทำให้แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนหลุดออกจากระบบเพราะทำให้ระบบล้มเหลวได้

(Gerardi, 2003)



รูปที่ 5 รูปแบบการผสมในถังย่อยแบบปราศจากออกซิเจน

ที่มา : (Gerardi, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.9 ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time, HRT) มี 2 ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเวลาในถังปฏิกิริยา ได้แก่ อายุตะกอน และ ระยะเก็บกัก โดยที่อายุตะกอนเป็นเวลาเฉลี่ยที่แบคทีเรียอยู่ในถังปฏิกิริยา ส่วนระยะเวลาเก็บกัก เป็นเวลาเฉลี่ยที่น้ำเสียหรือตะกอนอยู่ในถังปฏิกิริยา ตัวแปรทั้งสองอาจสัมพันธ์กันหรือไม่ ขึ้นอยู่กับลักษณะการเริ่มระบบ จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนต้องการเวลาสำหรับการพักตัว และเพิ่มจำนวนมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นการเริ่มระบบไม่ควรให้อายุตะกอนน้อยกว่า10 วัน เนื่องจากอาจเกิดการชะล้าง (Washout) จุลินทรีย์ชนิดสร้างก๊าซมีเทนออกจากระบบ อายุตะกอนถือได้ว่ามีความสำคัญกว่าระยะเวลาเก็บกัก เพราะไม่ขึ้นกับลักษณะน้ำเสียหรือลักษณะของตะกอน การเพิ่มตัวกลางเข้าไปในระบบทำให้อายุตะกอนเพิ่มขึ้นได้ ข้อดีของการเดินระบบที่ค่าอายุตะกอนมาก ได้แก่เพิ่มความสามารถในการบำบัด ลดขนาดถังปฏิกิริยา ลดผลกระทบจากภาวะรับภาระเกิน (Shock loading) หรือมีสารพิษที่เข้ามากับน้ำเสีย การเพิ่มค่าอายุตะกอน อาจทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การเพิ่มขนาดถังปฏิกิริยา และการเพิ่มความเข้มข้นของแบคทีเรียในระบบ ทั้งนี้ระยะเก็บกักมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซมีเทน

2.6.10 การเริ่มเดินระบบ (Start-up) การเริ่มเดินระบบสามารถดำเนินการได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การบ่มเพาะเชื้อขึ้นเองจากน้ำเสียที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจใช้เวลาในการบ่มเพาะนานหลายเดือน และการนำหัวเชื้อ (Seed) มาจากระบบอื่นที่มีลักษณะน้ำเสียคล้ายคลึงกัน ซึ่งวิธีการหลังใช้เวลาในการเริ่มเดินระบบสั้นกว่าวิธีแรก แต่ยังคงใช้เวลามากกว่า 1 เดือน (Kleerebezem และ Macarie, 2003) แหล่งเชื้อเบื้องต้นควรนำตะกอนมาจากถังตกตะกอนแรก และถังตกตะกอนที่ 2 ในสัดส่วนประมาณ 10 ต่อ 1 (ตะกอนจากถังตกตะกอนแรกมีจุลินทรีย์ชนิดเจริญได้ในที่ไม่มีอากาศ ซึ่งทำหน้าที่ย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงจำนวนมาก ส่วนตะกอนจากถังตกตะกอนที่สองมีจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการเจริญมากกว่าซึ่งรวมถึงจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนด้วย) แม้ว่าสัดส่วนของตะกอนจากถังตกตะกอนที่สองน้อยกว่าแต่มีความเข้มข้นของแบคทีเรียมากกว่า เนื่องจากจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถดำรงชีพในสภาวะที่มีออกซิเจนอิสระได้ ดังนั้นตะกอนจากระบบ activated sludge อาจมีความเข้มข้นของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนต่ำ การป้อนตะกอนจากระบบดังกล่าวอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการเริ่มเดินระบบในระยะเริ่มต้นถ้าปริมาณของจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนไม่มากพอ ทำให้มีการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย มีกลิ่นเปรี้ยว (Sour) อาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนจากมูลวัวสดป้อนด้วยอัตรา 5 ลิตร:10,000 ลิตร ของปริมาตรถังปฏิกิริยาป้อนต่อเนื่องจนกระทั่งระบบมีประสิทธิภาพเป็นที่พอใจก่อนการป้อนเชื้อจากแหล่งอื่น นอกจากนี้การปรับอุณหภูมิไปที่ 35 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบทำงานได้รวดเร็วขึ้น การดำเนินการช่วงการเริ่มเดินระบบต้องดำเนินการอย่างค่อยเป็นค่อยไป และต้องรักษาค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกรดเป็นด่างให้คงที่ในช่วง 6.8 - 7.2 และค่าอัลคาลินิตี้ ประมาณ 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Gerardi, 2003; Metcalf & Eddy *et.al*, 2003)

2.7 วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับอุตสาหกรรมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเสียและมูลสัตว์ที่ได้จากฟาร์มหรือไร่นา ปัจจุบันเริ่มมีการเติมชีวมวลเพื่อช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนที่เติมเข้าไปเป็นการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็น

จาก รายงานของกรมมลพิษ ปี พ.ศ.2544 พบว่าขยะมูลฝอยมีสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้มาก จากการศึกษางานวิจัยของ Barlaz ในปี ค.ศ.1987 พบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยมีมากขึ้น การศึกษาผลของการแยกขยะมูลฝอยแต่ละประเภทต่อพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักมูลฝอย พบว่าองค์ประกอบที่เน่าเปื่อยได้ง่ายทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีมากขึ้น และมีผลทำให้ได้พลังงานมากขึ้น หากพิจารณาปริมาณความชื้นต่อการเกิดก๊าซมีเทน พบว่าหากกระบวนการหมักมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 มีผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80

2.7.1 นมและการเสียของนม

นมเป็นอาหารที่ดีมากของจุลินทรีย์หลายชนิด เพราะมีความชื้นสูง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5 และมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ครบถ้วน เช่นสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ น้ำตาลแล็กโทส ครีม ซิเทรต และสารประกอบไนโตรเจนพวกโปรตีน กรดอะมิโน แอมโมเนีย ยูเรีย และเกลือแร่ นมที่รีดใหม่ๆ จะมีสารยับยั้งบางชนิด เช่น lactoperoxidase และ agglutinin รวมอยู่ด้วย แต่สารเหล่านี้จะเสื่อมประสิทธิภาพในเวลาอันสั้น (ลัดดาวัลย์, 2536)

การเปลี่ยนแปลงในน้ำนม ได้แก่

ก. การเกิดกรด

ในนมมีน้ำตาลอยู่ นมดิบจังมักเกิดกรดโดยการหมักของแบคทีเรีย ถ้าเก็บนมไว้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าไม่มีแบคทีเรียชนิดให้กรดปนเปื้อนอยู่หรือสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการเจริญอาจมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบอื่นได้ การเกิดกรดทำให้นมมีรสเปรี้ยวและทำให้โปรตีนในนมเกิดการตกตะกอนเป็นเคิร์ด(curd) และได้หางนมใสเรียกว่า เวย์ (whey) นมดิบที่เกิดการหมักที่อุณหภูมิห้องให้กรดแลกติกมากที่สุด นอกจากพวกแลกติกแอซิดแบคทีเรียแล้วยังมีแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ที่สามารถผลิตกรดได้ แต่มีกิจกรรมเมื่อพวกแรกเจริญไม่ได้เท่านั้น ได้แก่ โคลิฟอร์มให้กรดแลกติกกับสารระเหยได้ เช่น ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแอซีติก แอลกอฮอล์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิด เช่น *Micrococcus, Microbacterium* และ *Bacillus* ก็อาจให้กรดแลกติกในนมได้เช่นกัน ในนมดิบที่เก็บที่อุณหภูมิ 10-37 องศาเซลเซียส มักเกิดรสเปรี้ยว เนื่องจาก *Streptococcus lactis* เป็นส่วนใหญ่ นอกนั้นอาจมีสาเหตุจากพวกโคลิฟอร์ม enterococci, lactobacilli และ micrococci

ข. การเกิดก๊าซ

มักเกิดขึ้นพร้อมกับการผลิตกรด ทำให้นมและผลิตภัณฑ์นมมีลักษณะที่ไม่ดี แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซได้มากที่สุด ได้แก่พวกโคลิฟอร์ม *Clostridium* และ *Bacillus* ซึ่งให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การผลิตก๊าซทำให้นมเป็นฟอง ถ้ามีก๊าซมากขึ้นทำให้ดันเดิร์ดให้ลอยขึ้น และแตกกระจายเรียกลักษณะที่เกิดนี้ว่า stormy fermentation

ค. การย่อยโปรตีน

จุลินทรีย์ย่อยโปรตีนในนมทำให้มีเพปไทด์หลายชนิดเกิดขึ้น ทำให้นมมีรสขม ซึ่งเกิดได้ดีเมื่อเก็บนมที่อุณหภูมิต่ำ จุลินทรีย์ทำให้นมเกิดการเปลี่ยนแปลงได้หลายแบบคือ

การย่อยโปรตีนแบบให้กรด การย่อยโปรตีนแบบนี้แบคทีเรียสามารถผลิตกรดออกมาพร้อมกับการย่อยโปรตีน ในตอนแรกโปรตีนตกตะกอนกลายเป็นเดิร์ดและเวย์ ต่อมาถูกย่อยอย่างช้าๆ นมเริ่มเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส การย่อยโปรตีนแบบนี้มีสาเหตุจาก *Micrococcus* ซึ่งบางชนิดเจริญอยู่ในเต้านมโค และทำให้นมที่รีดออกมาเสียได้

การย่อยโปรตีนแบบให้กรดหรือด่างเพียงเล็กน้อย แบบนี้มักเกิดจากแบคทีเรียที่ไม่สามารถย่อยเล็กโทสได้ อัตราการย่อยโปรตีนขึ้นกับชนิดของแบคทีเรีย การผลิตกรดเล็กน้อยทำให้นมเป็นด่างอยู่ แบคทีเรียหลายชนิดทำให้โปรตีนในนมตกตะกอนชนิดละเอียด เรียกว่า sweet curd ซึ่งเกิดจากการสร้างเอนไซม์ที่คล้ายเรนนินของแบคทีเรีย จากนั้นจึงมีการย่อยโปรตีนในนมจนได้ของเหลวใส แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีนแบบนี้ ได้แก่ *Micrococcus, Alcaligenes, Pseudomonas, Proteus, Flavobacterium, Serratia, Bacillus* และ *Clostridium* นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางสกุลเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้นมที่แช่ไว้เกิดการสลายตัวของโปรตีนและมีรสขม

การย่อยสลายโปรตีนอย่างช้าๆ โดยเอนไซม์ภายในเซลล์ของแบคทีเรียถูกปล่อยออกมาหลังจากการย่อยตัวเอง ไม่ค่อยพบในนมทั่วไปตามท้องตลาด มักพบในนมที่เก็บไว้นาน

การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์โปรติเนสที่ทนความร้อน เช่น *Pseudomonas fluorescens* ที่ผลิตเอนไซม์โปรติเนสที่ทนอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรส์ในขณะที่เซลล์แบคทีเรียเองไม่สามารถทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การเกิดเมือกเหนียว

มีสาเหตุมาจากแบคทีเรียสร้างแคปซูลหรือสารเมือก หรือสาเหตุอื่นที่ไม่ใช่จุลินทรีย์ ปกติแบคทีเรียเริ่มสร้างเมือกเหนียวได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ และลดลงเมื่อมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น การเป็นยางเหนียวในนมมีหลายแบบ เช่น

เป็นยางเหนียวเฉพาะผิวหน้านม เกิดจากเชื้อ *Alcaligenes viscolactis* มักพบในน้ำหรือดิน เจริญได้ดีในนมที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หรืออาจเกิดจาก micrococci ชนิดทนความร้อน (thermoduric) เช่น *Micrococcus freudenreichii*

การเป็นยางเหนียวทั้งหมดเกิดจากเชื้อ *Enterobacter aerogenes, E. cloacae, Streptococcus lactis, L .bulgaricus, L. plantarum, Streptococcus cremoris* และแบคทีเรียหลายชนิดที่ผลิตด่างซึ่งไม่เจริญถ้ามีแบคทีเรียชนิดผลิตกรดเจริญอยู่ เนื่องจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดยางเหนียวในนมมีที่มาจากน้ำ หญ้า อาหารสัตว์ และเครื่องมือต่างๆ หากลดการปนเปื้อน และฆ่าเชื้อถูกวิธีแบคทีเรียเหล่านี้ก็ถูกทำลายหมด

จ. การย่อยไขมัน

ไขมันในนมถูกย่อยโดยแบคทีเรีย ยีสต์หรือราหลายชนิด แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวก aerobic หรือ facultative ย่อยโปรตีนได้ และไม่ผลิตกรด แบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ *Micrococcus, Alcaligenes, Pseudomonas, Proteus, Bacillus* และ *Clostridium* และยังพบว่า *Pseudomonas fragi* และ *Staphylococcus aureus* ให้ไลเปสที่ทนความร้อนซึ่งอาจทำให้นมที่ผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรส์เสียได้

ฉ. การเกิดสี

สีของนมอาจเปลี่ยนแปลงไป สีแดงเนื่องจากมีเลือดปน สีเหลืองอ่อนจากมีมันเนยมาก จุลินทรีย์ก็เป็นสาเหตุ เช่น *Pseudomonas syncyanea* ทำให้นมมีสีน้ำเงินจนถึงสีน้ำตาลอ่อน แต่ถ้าเจริญร่วมกับ *Streptococcus lactis* จะทำให้นมมีสีแดงเข้ม *P. synxantha* ทำให้ครีมในนมมีสีเหลือง และ *Flavobacterium* ก็ทำให้นมมีสีเหลือง

อุณหภูมิอาจทำให้นมเสียคนละแบบ แต่ไม่ว่าเป็นอุณหภูมิใดก็ตาม นมดิบมีการเปลี่ยนแปลงต่อๆ กันตามแต่ละชนิดจุลินทรีย์ในนม เช่นที่อุณหภูมิตู้เย็นโปรตีนถูกย่อยโดยพวก Psychrotroph เช่น *Pseudomonas* ที่อุณหภูมิห้องมักเกิดการหมักชนิดให้กรดเป็นอันดับแรกโดยพวก *Streptococcus* และโคลิฟอร์ม เมื่อให้กรดมากขึ้นแบคทีเรียเหล่านี้ก็ตายไปพร้อมๆ กับการเจริญของพวก *Lactobacillus* ที่ทนกรดได้ดีและมีการผลิตกรดต่อไป ต่อจากนี้มีการเจริญของราและยีสต์ที่ผิวหน้าของนมและออกซิไดซ์ทำให้ปริมาณกรดลดลง เมื่อกรดถูกทำลายหมดแล้ว แบคทีเรียชนิดย่อยโปรตีนทำการย่อยโปรตีนต่อจนสารอาหารหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการหมัก

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นวัสดุอินทรีย์ที่มีโมเลกุลสูงถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลง จนกลายเป็นอนินทรียสาร และก๊าซในที่สุดโดยแบคทีเรียทำการย่อยสลายแบบปราศจากออกซิเจน

ชีวมวล + แบคทีเรีย ⟶ ก๊าซต่างๆ + ธาตุอาหาร

CHO (N, P, K, S) CH4, CO_2, N (N, P, K, S)

การย่อยสลายดังกล่าวคล้ายคลึงกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติแตกต่างกันคือ กระบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยมีออกซิเจนปรากฏอยู่ ดังนั้นผลผลิตที่ได้แตกต่างกัน การทำการเกษตรแบบดั้งเดิมในประเทศเดนมาร์กมีทางเลือกที่เกษตรกรนิยมทำคือการทิ้งมูลสัตว์ไว้ตามไร่นาหรือที่ดินในฟาร์มเพื่อให้มีการย่อยสลายในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นไปอย่างช้าๆ และธาตุอาหารต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้นอาจถูกชะไปก่อนที่พืชสามารถดูดซับเอาไว้ได้ขณะที่ศักยภาพด้านพลังงานของชีวมวลไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์

ของเสียจากชุมชนประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิด เช่น เศษอาหาร กระดาษ เศษใบไม้ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้า การนำของเสียจากชุมชนมาฝังกลบสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์โดยกระบวนการแบบใช้ออกซิเจนทำให้เสียโอกาสในการใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

2.9 ชนิดของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการผลิตก๊าซมีเทนเป็นแบคทีเรียชนิด Anaerobic bacteria พวก Methanogenic bacteria ซึ่งพบในธรรมชาติตามโคลนสีดำ ดิน มูลของสัตว์กินหญ้า ผิวน้ำทะเลสาบ ขยะ แหล่งน้ำเน่า และอื่นๆ ในปี 1956 Barker ได้ทำการแยกแบคทีเรียพวก Methanogenic bacteria ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันตามรูปร่าง (Morphological group) ดังนี้

ก. **แบคทีเรียพวก Methanogen ที่มีรูปร่างเป็นท่อน** แบ่งเป็น

ชนิดไม่สร้างสปอร์ (non sporulating rod-shaped cells) ได้แก่

Methanobacterium solmgenii

Methanobacterium formicicum

Methanobacterium propionicum

ชนิดสร้างสปอร์ (sporulating rod-shaped cells) ได้แก่

Methanobacterium omelianskii

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แบคทีเรียพวก Methanogen ที่มีรูปร่างกอม

เซลล์ที่ไม่มีการจัดเรียงตัวแบบ sarcina ได้แก่ *Methanococcus vanielii* และ *Methanococcus mazei*

เซลล์ที่การจัดเรียงตัวแบบ sarcina ได้แก่ *Methanosarcina methanica* และ *Methabosarcina barkerii*

การดำรงชีพของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน มีความไวต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมมากกว่าแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid former) ดังนั้นจำนวนประชากรของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน จึงมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมเพียงเล็กน้อยอาจทำให้แบคทีเรียพวกสร้างมีเทนชะงักการเจริญ แต่แบคทีเรียพวกสร้างกรดยังคงเจริญได้รวดเร็วทำให้มีปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบค่อยๆ สะสมเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ และพีเอชต่ำลงจนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีพของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนทำให้ระบบมีประสิทธิภาพของระบบต่ำลงทุกที ในที่สุดไม่มีก๊าซเกิดขึ้นจากสภาวะดังกล่าวเรียกว่า ระบบเกิดการชะงักงัน (stuck) การแก้ไขสภาวะชะงักงันในถังหมักก๊าซชีวภาพอาจทำได้หลายวิธี เช่นการลดปริมาณการไหลเข้าของสารอินทรีย์ หรือหยุดการเติมมูลสัตว์แล้วปล่อยให้ระบบค่อยๆ ปรับตัวเองเข้าสู่สภาวะสมดุล หากในกรณีที่ค่าพีเอชต่ำมากอาจแก้ไขด้วยวิธีการเติมปูนขาวเพื่อช่วยทำลายกรดบางส่วนเพื่อให้ค่าพีเอชในถังหมักไม่ควรต่ำกว่า 6.5

ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายมีอัตราส่วนตามชนิดของวัตถุดิบ (substrate) ที่สลายตัว พบว่าก๊าซมีเทนได้จากการเปลี่ยนแปลงของกรดแอซีติกเท่านั้น แต่จากการศึกษากระบวนการเมแบอลิซึมของแบคทีเรียหลายชนิดทำให้ทราบว่าก๊าซมีเทนสามารถเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้ (Barker, 1956)

2.9.1 Production from methyl group

เมื่อศึกษากรดแอซีติกโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนโดยใช้เทคนิค Tracer Technique พบว่าแบคทีเรียบางชนิดสลายสารประกอบเหล่านี้จนเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนจำนวนเท่ากัน และจากผลการทดลองสรุปได้ว่าก๊าซมีเทนได้จากหมู่เมทิล ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้จากหมู่ไฮดรอกซิล ดังสมการที่ 6-7

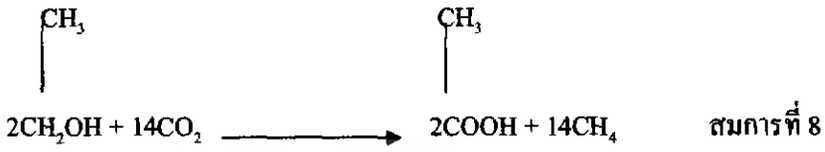
$$14\ CH_3\text{-}COOH \longrightarrow 14CH_4 + CO_2 \qquad \text{สมการที่ 6}$$

$$CH_3\text{-}_{14}COOH \longrightarrow CH_4 + 14CO_2 \qquad \text{สมการที่ 7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 Reduction CO_2 to methane

จากการศึกษาในแบคทีเรีย *Methanobacterium amelianskii* เมื่อเลี้ยงด้วยเอทานอล พบว่าแบคทีเรียชนิดนี้เปลี่ยนแอลกอฮอล์ให้เป็นกรดได้ต่อเมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าร่วมปฏิกิริยาด้วย ดังสมการที่ 8



$$2CH_3OH + 14CO_2 \longrightarrow 2COOH + 14CH_4$$ สมการที่ 8

การใช้เทคนิคทางกัมมันตภาพรังสีในอะตอมของคาร์บอนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าแบคทีเรียชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นมีเทนซึ่งเป็น radioisotope ดังสมการที่ 8 ไม่พบ C_{14} นี้ ในหมู่คาร์บอกซิล จากข้อมูลนี้สรุปได้ว่า ก๊าซมีเทนมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การทดลองที่แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียบางชนิดสร้างก๊าซมีเทนโดยการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์โดยโมเลกุลของไฮโดรเจน และได้พลังงานนำไปสร้างเนื้อเยื่อของตัวแบคทีเรียเอง

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$ สมการที่ 9

ปฏิกิริยาทั้ง 2 แบบนี้ ใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นในการหมักเพื่อให้ได้โมเลกุลของกรดอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเกิดจาก

- Complete oxidation ของสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- Simultaneous reduction ส่วนหนึ่งของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นก๊าซมีเทน

จากการศึกษาเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียทำให้ทราบว่ามีแบคทีเรียหลายตัวที่สามารถสร้างก๊าซมีเทนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถสร้างก๊าซมีเทนจากวิธีอื่นได้ด้วย จึงสรุปได้ว่าแบคทีเรียสามารถสร้างก๊าซมีเทนได้จากหลายวิธีแล้วแต่ชนิดของแบคทีเรีย แม้นักวิทยาศาสตร์สามารถทราบเมแทบอลิซึมของการหมักของแบคทีเรียหลายตัว แต่ไม่ทราบการทำงานของเอนไซม์ในขั้นตอนต่างๆ ของเมแทบอลิซึมเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือจากกรดแอซีติก

2.10 การออกแบบถังปฏิกิริยาชีวภาพสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

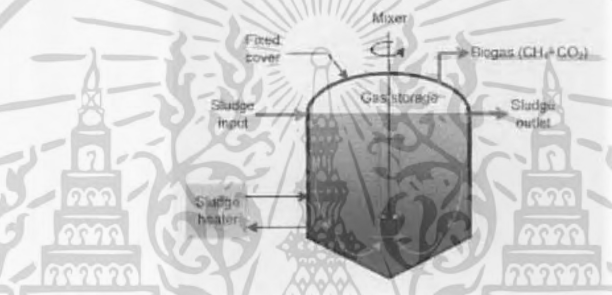
การออกแบบถังปฏิกิริยาต้องอยู่บนพื้นฐานของความเข้าใจในหลักการทางชีวเคมี และจุลชีววิทยา ที่ผ่านมาในอดีตยังไม่เข้าใจในหลักการอย่างถ่องแท้เท่าที่ควรจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อออกแบบถังปฏิกิริยา โดยนิยมใช้หลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 Bioreactor Configuration รูปแบบถังปฏิกิริยาสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพออกแบบเป็นขั้นตอนเดียว หรือสองขั้นตอน (รูปที่ 6-7) ซึ่งแต่ละรูปแบบสามารถแบ่งตามภาระบรรทุก และการเดินระบบได้ 2 ประเภท (Reynolde และ Richards, 1996)ได้แก่

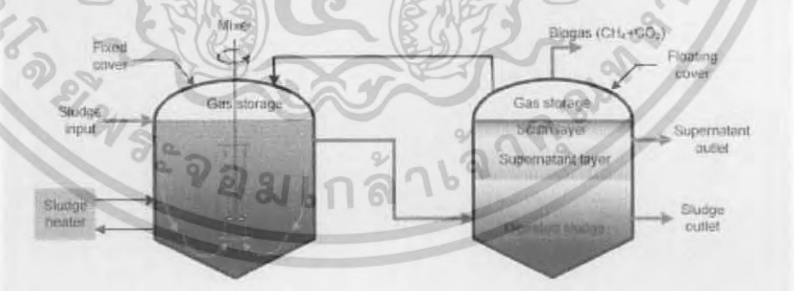
ก. Low-Rate Digester เป็นถังปฏิกิริยาแบบพื้นฐาน มีระยะเวลาเก็บกัก 30-60 วันภาระบรรทุก 0.64-1.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วัน การเดินระบบอาจทำการกวน การเติมน้ำเสีย และการเอาตะกอนออกเป็นครั้งคราว ถังปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถใช้ฝาปิดที่ลอยได้หรือแบบติดกับที่ แต่การใช้ฝาปิดชนิดติดกับที่ไม่สะดวกในการเดินระบบหรือการทำงานของผู้เดินระบบ

ข. High-Rate Digester ถังปฏิกิริยาชนิดนี้มีระยะเวลาเก็บกัก 10-20 วันภาระบรรทุก 2.4-6.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การเดินระบบทำการกวน เติมน้ำเสีย และการทิ้งตะกอนอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปถังปฏิกิริยาชนิดนี้มักใช้ฝาปิดแบบติดกับที่



รูปที่ 6 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง

ที่มา : Reynolde และ Richards (1996)



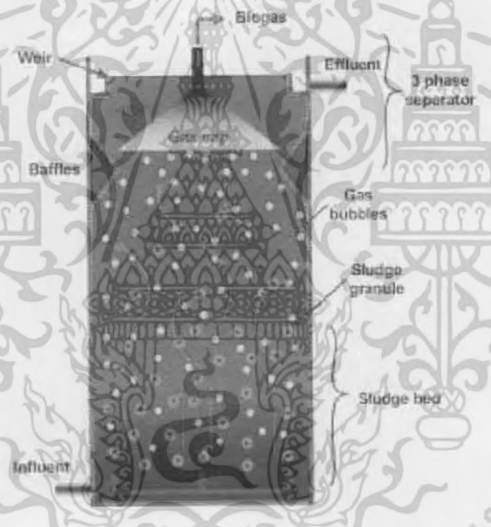
รูปที่ 7 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน

ที่มา : Reynolde และ Richards (1996)

72593
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การประยุกต์ถังปฏิกิริยาสำหรับผลิตก๊าซ

จากข้อมูลการสำรวจของ Kleerebezem และ Macarie (2003) ชี้ให้เห็นว่าถังปฏิกิริยายูเอเอสบี เป็นที่นิยมออกแบบ และนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เป็นระบบที่มีการศึกษาวิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งรูปแบบถังปฏิกิริยากลไกทางชีวเคมี และชีววิทยา (รูปที่8) ถังปฏิกิริยาชนิดนี้พบครั้งแรกประมาณปลายปี ค.ศ. 1970 โดย Lettinga และคณะ (ประเทศเนเธอร์แลนด์)(Metcalf & Eddy *et.al*, 2003) ลักษณะถังปฏิกิริยาเป็นการรวมกันระหว่างส่วนที่เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายส่วนการตกตะกอน และส่วนแยกก๊าซ (3 phase separator) การที่ระบบมีแบคทีเรียความเข้มข้นสูง (20,000-30,000 mg VSS/L) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้อย่างดีที่เวลาเก็บกัก 10 ชม. และอายุตะกอน 50 วัน ความไม่สัมพันธ์กันระหว่างค่าเวลาเก็บกัก กับอายุตะกอนเป็นผลให้ระบบยูเอเอสบี มีความสามารถในการบำบัดมากกว่าระบบทั่วๆ ไป (Kleerebezem และ Macarie, 2003)



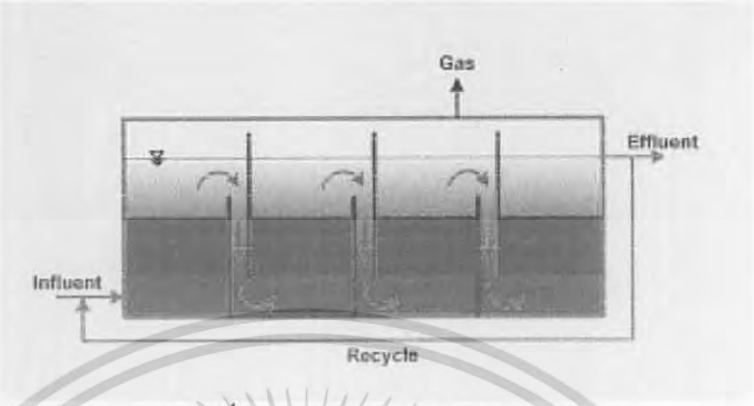
รูปที่ 8 ถังหมักแบบยูเอเอสบี

ที่มา : Kleerebezem และ Macarie, (2003)

การเลือกรูปแบบถังปฏิกิริยาต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเหมาะสมทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และกฎหมาย สำหรับประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับการนำพลังงานจากน้ำเสียมาใช้ประโยชน์มากขึ้นโดยเฉพาะฟาร์มสุกร มีหน่วยงานของรัฐให้การสนับสนุนในการลงทุนรูปแบบถังปฏิกิริยาที่นิยมเรียกว่า ถังหมักไร้อากาศแบบเอบีอาร์ (รูปที่9) หรือสถานประกอบการที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Anaerobic pond สามารถปรับปรุงและแก้ไขให้สามารถนำก๊าซชีวภาพมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยคลุมบ่อด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ เรียกถังปฏิกิริยานี้ว่า Cover Lagoon นอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์แล้วยังสามารถช่วยลดกลิ่นเหม็นของระบบได้อีกด้วย



รูปที่9 ถังหมักไร้อากาศแบบเอบีอาร์

ที่มา : Kleerebezem และ Macarie, (2003)

2.12 องค์ประกอบและลักษณะก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบมีก๊าซหลายชนิด (ตารางที่ 1) ได้แก่ ก๊าซแอมโมเนียร้อยละ 0.1-1.0 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40-60 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละ 0-0.2 ไฮโดรเจนร้อยละ 0-0.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 0-1.0 มีเทนร้อยละ 45-60 ไนโตรเจน ร้อยละ 2-5 และออกซิเจนร้อยละ 2-5

นอกจากนี้สามารถพบสารระเหยอื่นๆ ได้แก่ Volatile organic compound (VOCs) แต่ปริมาณที่พบค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซหลักดังกล่าวข้างต้นปริมาณและชนิดของก๊าซที่พบขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการฝังกลบ ถ้าแบ่งเวลาการเกิดหรือการลดลงของก๊าซชนิดต่างๆ ในการฝังกลบสามารถอธิบาย ได้ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

นอกจากนี้สามารถพบสารระเหยอื่นๆ ได้แก่ Volatile organic compound (VOCs) แต่ปริมาณที่พบค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซหลักดังกล่าวข้างต้นปริมาณและชนิดของก๊าซที่พบขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการฝังกลบ ถ้าแบ่งเวลาการเกิดหรือการลดลงของก๊าซชนิดต่างๆ ในการฝังกลบสามารถอธิบาย ได้ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะเริ่มแรก สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจนอันเนื่องมาจากอากาศที่อยู่ในชั้นมูลฝอย

ระยะที่ 2 ระยะเปลี่ยนแปลง ก๊าซออกซิเจนลดลงและการย่อยสลายอยู่ในสภาวะปราศจากออกซิเจน ไนเตรตซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไนโตรเจนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในระยะนี้ค่า ORP (Oxidation/Reduction Potential) มีค่าอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิโวลท์

ระยะที่ 3 ระยะการเกิดกรด เกิดการย่อยสลายทำให้เกิดกรดอินทรีย์และก๊าซไฮโดรเจน ในช่วงแรกของระยะนี้เป็นการย่อยสารประกอบที่มีขนาดใหญ่ได้แก่ ไขมัน พอลิแซคคาไรด์ โปรตีนและกรดนิวคลีอิก เกิดเป็นสารประกอบที่มีขนาดเหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์สามารถดึงเข้าสู่เซลล์ได้ หลังจากนั้นจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดทำการเปลี่ยนสารประกอบเหล่านี้ให้เป็นกรดแอซีติก หรือกรดอินทรีย์อื่นๆ ช่วงนี้มีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีก๊าซไฮโดรเจนเล็กน้อย

ระยะที่ 4 ระยะเกิดมีเทน ระยะนี้จุลินทรีย์สร้างมีเทน ทำการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

ระยะที่ 5 ระยะสุดท้าย สารอินทรีย์ในชั้นมูลฝอยส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายไปแล้วคงเหลือแต่สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงนี้มีน้อย

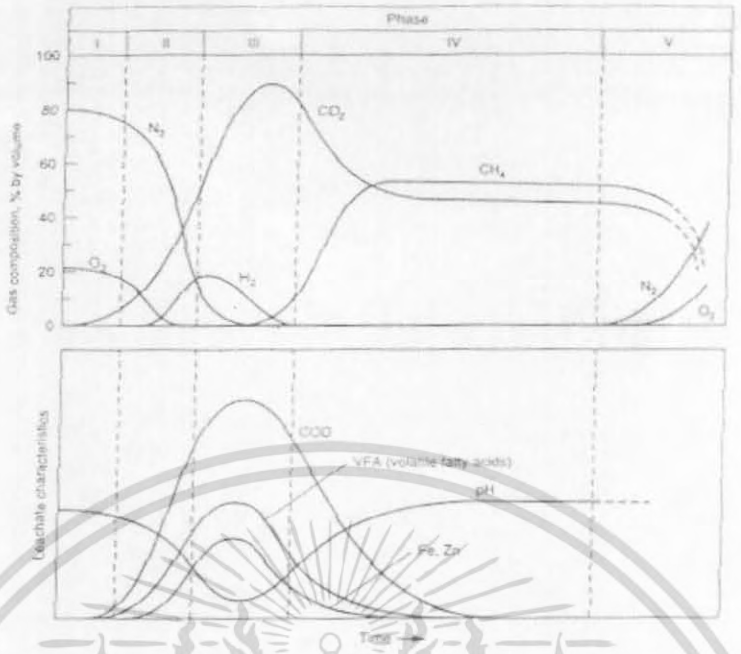
ช่วงระยะเวลาของระยะดังกล่าวข้างต้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ในพื้นที่ฝังกลบความชื้น ความหนาแน่นของมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบ

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบหลักและลักษณะของก๊าซที่พบจากพื้นที่ฝังกลบ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตรแห้ง
มีเทน	45-60
คาร์บอนไดออกไซด์	40-60
ไนโตรเจน	2-5
ออกซิเจน	2-5
ซัลไฟด์ ไดซัลไฟด์ เมอร์แคปเทน อื่นๆ	0-1.0
แอมโมเนีย	0.1-1.0
ไฮโดรเจน	0-0.2
คาร์บอนมอนออกไซด์	0-0.2
ก๊าซอื่นๆ	0.01-0.6
อุณหภูมิ (องศาฟาเรนไฮต์)	100-120
ความถ่วงจำเพาะ	1.02-1.06
ความชื้น	อิ่มตัว
ค่าความร้อนสูง (บีทียู/ลูกบาศก์เมตร)	400-555

ที่มา : กรมมลพิษ (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงระยะเวลาของการเกิดก๊าซในพื้นที่ฝังกลบ

ที่มา : กรมมลพิษ (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 นมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ

นมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุยี่ห้อดัชมิลล์ จากห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.2 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน มีลักษณะเป็นเชื้อผสมจากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

3.3 ระบบถังหมัก

ถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจนแบบสองขั้นตอนชนิดที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 11 และ12

3.3.1 ถังหมัก

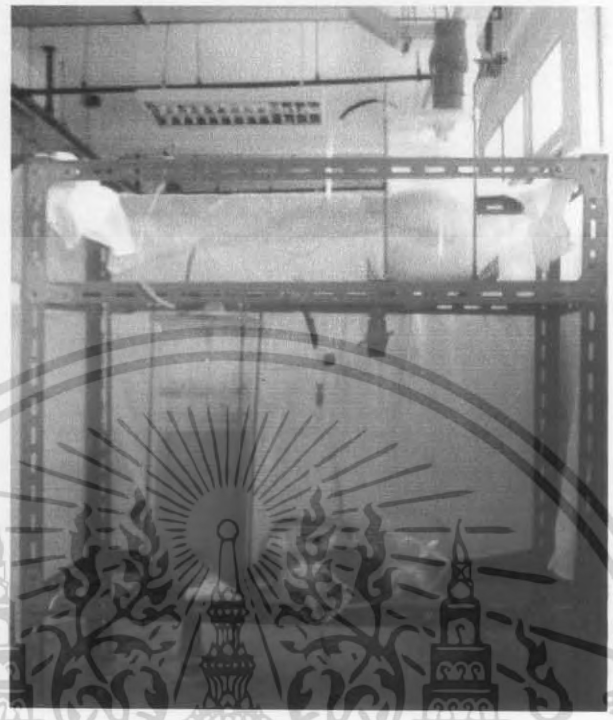
ถังหมักที่ใช้ในการดำเนินงานมี 2 ถัง คือ

ก. ถังใบที่หนึ่ง มีลักษณะเป็นท่ออะครีลิกใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างของท่อปิดสนิทด้วยแผ่นอะครีลิกใสหนา 1 เซนติเมตร โดยมีปริมาตรความจุ 4 ลิตร และมีปริมาตรการหมัก 2 ลิตร เจาะถังด้านบนเป็นท่อสำหรับป้อนของเหลวและท่อนำก๊าซ ส่วนด้านล่างของถังเจาะเป็นท่อสำหรับปล่อยของเหลว วัดความเป็นกรดเป็นด่างและเก็บของเหลวไว้ฉีดใส่ถังใบที่สอง ทำการหมักโดยให้สภาวะภายในถังหมักมีค่าความเป็นกรดเพื่อผลิตกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 13

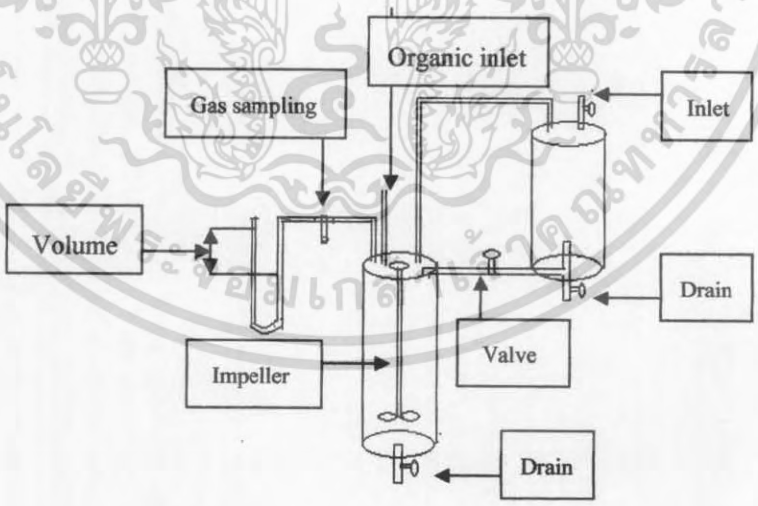
ข. ถังใบที่สอง มีลักษณะเป็นท่ออะครีลิกใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างของท่อปิดสนิทด้วยแผ่นอะครีลิกใสหนา 1 เซนติเมตร โดยมีปริมาตรความจุ 8 ลิตร และมีปริมาตรการหมัก 6 ลิตร ด้านบนของถังเจาะใส่สายยางสำหรับรับของเหลวจากถังในที่หนึ่ง มีการกวนผสมด้วยใบพัดต่อกับมอเตอร์ความเร็วรอบการหมุน 5 รอบต่อนาที มีท่อนำก๊าซที่เชื่อมต่อระหว่างถังใบที่หนึ่งและถังใบที่สอง มีท่อนำก๊าซชีวภาพวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้ไหลผ่านหลอดรูปตัวยู ที่ใช้เป็นจุดเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ของก๊าซ ทำการหมักโดยให้สภาวะภายในถังหมักมีค่าเป็นกลางเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 14

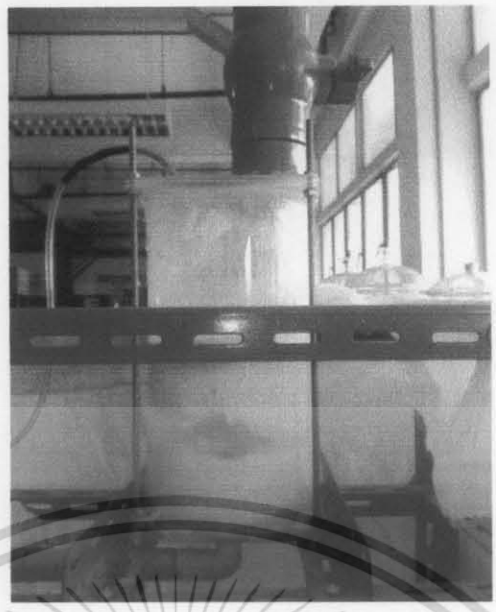


รูปที่ 11 ถังหมักแบบสองขั้นตอนที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 12 แผนภาพของระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



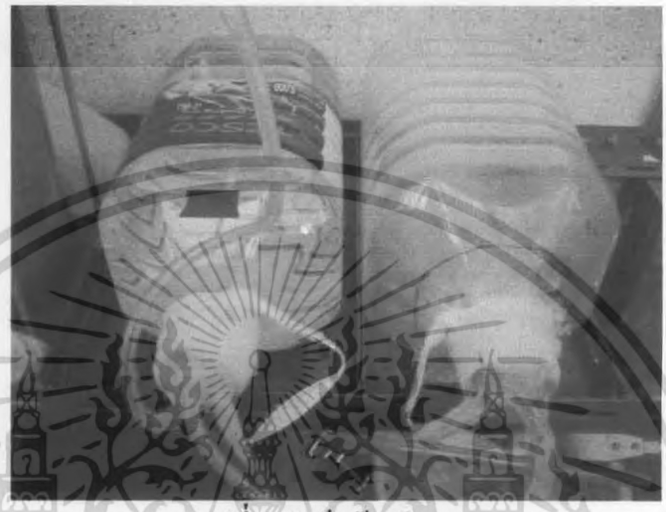
รูปที่ 13 ถังหมักใบที่หนึ่ง สำหรับผลิตกรดอินทรีย์

รูปที่ 14 ถังหมักใบที่สอง สำหรับผลิตก๊าซมีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ถังเก็บก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นขวดพลาสติกขนาดความจุ 5 ลิตร จำนวน 2 ถัง วางในแนวนอน ปากขวดทำการเจาะรู 3 รู ใส่สายยางเข้าไปแล้วทำการปิดด้วยกาวซิลิโคนเพื่อป้องกันอากาศ รูที่ 1 เป็นสายยางที่นำก๊าซออกมาจากถังหมัก รูที่ 2 เป็นสายยางที่ต่อไว้สำหรับเติมน้ำเข้าไป ส่วนรูที่ 3 เป็นสายยางที่ต่อเข้ากับขวดใบที่สองเพื่อวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ดังรูปที่ 15



รูปที่15 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องวัดพีเอช (Eutech รุ่น pH 150)
2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Shimadzu LFBROR รุ่น EB-4000H)
3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น A2005)
4) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Falcon รุ่น 6/300)
5) เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี
6) ตู้แช่เข็งอุณหภูมิ-20 องศาเซลเซียส (Mirage รุ่น FZ189)
7) เตาไฟฟ้า (Corning Hot Plate Stirrer รุ่น PC-351)
8) เตาเผา (Carbolite รุ่น CSF 1200)
9) เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)
10) ตู้อบ (WTC binder รุ่น ED53)
11) บิวเรตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
12) ขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร ที่มีจุกปิดสนิท
13) ตู้บ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
14) ฟลาสก์ ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) ฟลาสก์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

16) กระบอกตวง ขนาด 500 มิลลิลิตร

17) กระบอกตวง ขนาด 1000 มิลลิลิตร

18) เครื่องควบแน่น (Electromantle ME รุ่น SHEL-LAB 2020)

19) ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมนมพาสเจอไรส์เพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมัก

ป้อนนมพาสเจอไรส์รสจืดยี่ห้อดัชมิลล์ใกล้หมดอายุเข้าสู่ถังหมัก 25 มิลลิลิตรต่อวัน

3.5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ

นำตัวอย่างสารละลายวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังนี้

ก. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

ข. ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD)

ค. ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (COD)

ง. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จ. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)

3.5.3 การทดสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นของถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นแล้วก๊าซชีวภาพจะออกมาตามรอยรั่วต่างๆ ได้ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ การทดสอบรอยรั่วสามารถทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักให้ระดับน้ำสูงกว่ารอยต่อต่างๆ แล้วสังเกตการรั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการทดสอบรอยรั่วของก๊าซชีวภาพทำได้โดยการใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่างๆ แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วด้วยกาวซิลิโคน

3.5.4 การเริ่มต้นดำเนินระบบ และสภาวะในการดำเนินระบบ

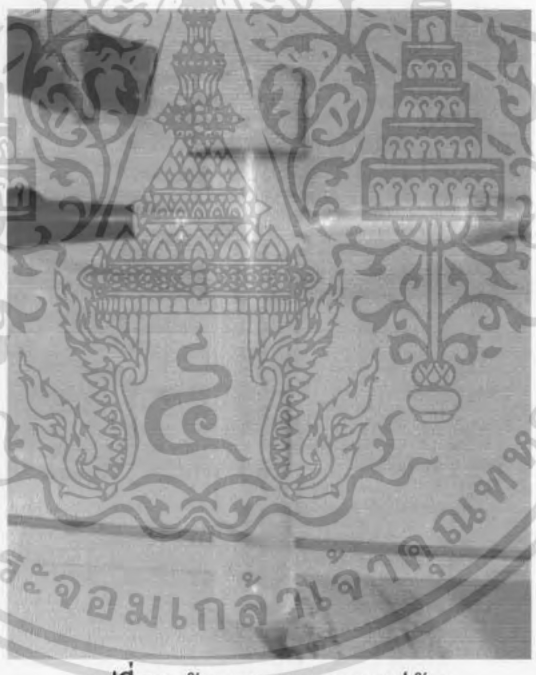
การทดลองนี้ใช้ระบบการย่อยแบบไม่ใช้อากาศแบบสองขั้นตอน ซึ่งถังหมักกรดมีปริมาตรความจุ 4 ลิตร และปริมาตรการหมัก 2 ลิตร ต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพมีปริมาตรความจุ 8 ลิตร และมีปริมาตรการหมัก 6 ลิตร เริ่มต้นระบบในแต่ละถังหมักกรดเติมนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุปริมาตร 2 ลิตร และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปในถังมีเทนปริมาตร 6 ลิตร การป้อนของเหลวเข้าสู่ถังหมักเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) คือ มีการเติมของเหลวใหม่ลงไปเมื่อมีของเหลวเก่าออกจากถังหมักโดยที่ปริมาตรการเติมของเหลวใหม่เท่ากับปริมาตรของเหลวที่ออกจากถังหมัก เพื่อเป็นการรักษาระดับปริมาตรของเหลวในถังหมักให้คงที่เท่ากับปริมาตรการหมักตลอดเวลาการทดลอง และความถี่ในการเติมนมพาสเจอไรส์ 1 วันต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 การหมักก๊าซชีวภาพ การวิเคราะห์ และเก็บข้อมูล

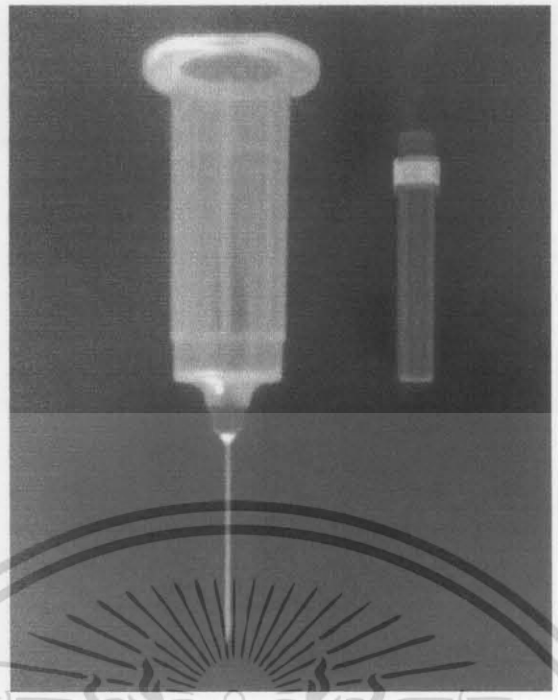
นำของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลาย(BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์(COD) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย(VFA) โดยทำการวิเคราะห์ทุก 3 วัน จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวันที่เริ่มมีปริมาณคงที่ บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในรูปของปริมาณก๊าซทั้งหมด (total gas) จากระบบเก็บก๊าซชีวภาพโดยอาศัยการแทนที่น้ำ(มีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน) ส่วนการเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพทำการเก็บ 3 วันต่อครั้ง โดยการดูดเก็บก๊าซชีวภาพจากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ(หลอดรูปตัวยู)ซึ่งมีจุกยางที่มีคุณสมบัติปิดตัวเองได้สนิทครอบอยู่(ดังรูปที่ 16) โดยใช้เข็มสองปลาย(ดังรูปที่ 17)เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ต่อกับหลอดสุญญากาศ(ดังรูปที่ 18) นำตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี

แผนภูมิสรุปขั้นตอนการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 19



รูปที่ 16 ลักษณะของหลอดรูปตัวยู

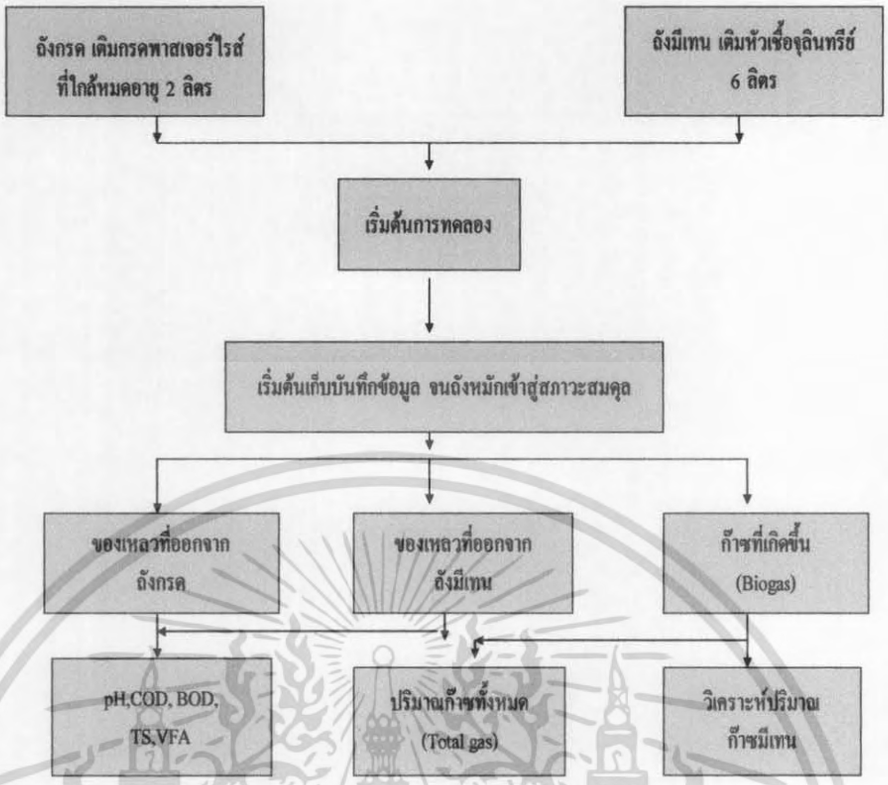
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 ลักษณะเข็มเก็บก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 18 ลักษณะหลอดสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

การทดลองนี้เป็นการใช้นมพาสเจอร์ไรส์รสจืด ยี่ห้อดัชมิลล์ ที่ใกล้หมดอายุ มีค่าพีเอชอยู่ที่ 6.38 ค่าBOD, COD, TS และ VFA อยู่ที่ 90,000, 54,000, 142,970 และ 5,781 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	6.38
BOD (mg/l)	54,000
COD (mg/l)	90,000
TS (mg/l)	142,970
VFA (mg/l)	5,781

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด

ในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างของเหลวที่เข้า และออกจากถังหมักได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าพีเอช COD BOD TS และ VFA จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อปริมาณก๊าซเริ่มคงที่ จึงเริ่มเก็บข้อมูลเพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ โดยมีการเติมของเหลววันละ 25 มิลลิลิตร

4.2.1 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลวในถังกรดที่มีการกำจัดเดิร์คออก และของเหลวในถังมีเทน เพื่อทำการวิเคราะห์ทุกวัน ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 3 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และวันที่ทำการหมักแสดงไว้ดังรูปที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลวทุกวัน

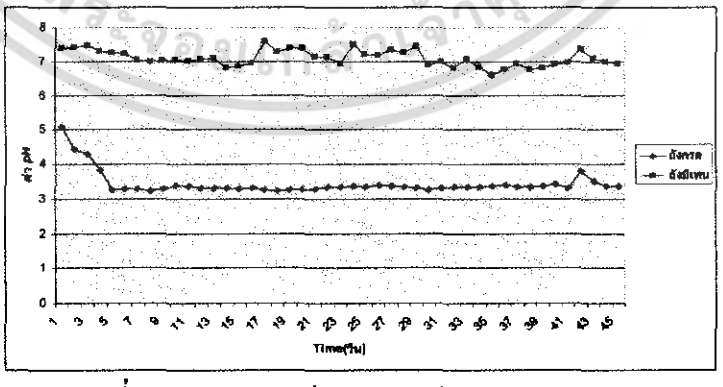
Time(วัน)	Effluent (ถังกรด)	Effluent(ถังมีเทน)
1	5.10	7.39
2	4.43	7.43
3	4.29	7.48
4	3.85	7.32
5	3.26	7.26
6	3.30	7.23
7	3.28	7.06
8	3.24	6.99
9	3.28	7.01
10	3.40	7.06
11	3.38	7.02
12	3.33	7.07
13	3.31	7.09
14	3.32	6.79
15	3.30	6.86
16	3.33	6.93
17	3.27	7.60
18	3.25	7.29
19	3.27	7.40
20	3.26	7.39
21	3.29	7.16
22	3.35	7.14
23	3.34	6.95
24	3.37	7.52
25	3.34	7.21
26	3.40	7.18
27	3.38	7.35
28	3.34	7.27
29	3.33	7.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Time(วัน)	Effluent (ถังกรด)	Effluent(ถังมีเทน)
30	3.26	6.88
31	3.33	7.06
32	3.34	6.80
33	3.35	7.08
34	3.37	6.83
35	3.39	6.58
36	3.35	6.75
37	3.35	6.95
38	3.34	6.74
39	3.37	6.80
40	3.42	6.91
41	3.31	6.97
42	3.81	7.37
43	3.50	7.09
44	3.38	6.99
45	3.38	6.95
ค่าเฉลี่ย	3.44	7.10

จากตารางที่ 3 ค่าพีเอชของของเหลวที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 3.25-5.10 และ 6.58-7.60 โดยค่าพีเอชของถังหมักในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วและเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซมีเทน



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และเวลา (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์อินทรีย์สาร (Chemical Oxygen Demand, COD)

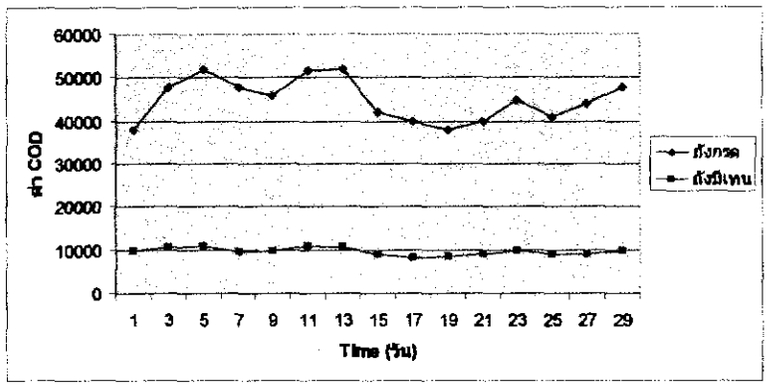
ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบของถังกรดที่ผ่านการกำจัดเคิร์ดออก และค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในถังมีเทน เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และทำการเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง แสดงดังตารางที่ 4 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน) แสดงไว้ดังรูปที่ 21 พบว่าค่าเฉลี่ยของ COD ลดลงจาก 44,866 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) เป็น 9,720 มก.ต่อลิตร (ในถังมีเทน)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง

Time (ครั้ง)	Effluent (ถังกรด) mg/l	Effluent(ถังมีเทน) mg/l
1	38,000	9,800
2	48,000	10,800
3	52,000	11,000
4	48,000	9,600
5	46,000	9,800
6	51,000	11,000
7	52,000	10,800
8	42,000	9,000
9	40,000	8,200
10	38,000	8,600
11	40,000	9,200
12	45,000	10,000
13	41,000	9,000
14	44,000	9,000
15	48,000	10,000
ค่าเฉลี่ย	44,866	9,720

หมายเหตุ COD ของนมพาสเจอไรส์ เท่ากับ 90,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน)

4.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid, TS)

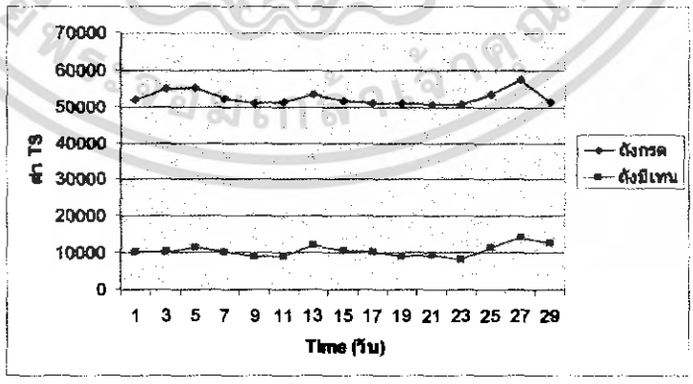
ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบของถังกรดที่ผ่านการกำจัดเคิร์ดออก และค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในถังมีเทน เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และทำการเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง แสดงดังตารางที่ 5 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน) แสดงไว้ดังรูปที่ 22 พบว่าค่าเฉลี่ยของ TS ลดลงจาก 52,578 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) เป็น 10,633 มก.ต่อลิตร (ในถังมีเทน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง

Time (ครั้ง)	Effluent (ถังกรด) mg/l	Effluent(ถังมีเทน) mg/l
1	52,095	10,250
2	54,960	10,480
3	55,515	11,520
4	52,295	10,270
5	51,100	9,185
6	51,315	9,050
7	53,605	12,245
8	51,695	10,765
9	51,230	10,250
10	51,030	9,245
11	50,775	9,485
12	50,735	8,200
13	53,440	11,525
14	57,415	14,155
15	51,465	12,870
ค่าเฉลี่ย	52,578	10,633

หมายเหตุ TS ของนมพาสเจอไรส์เท่ากับ 142,970



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA)

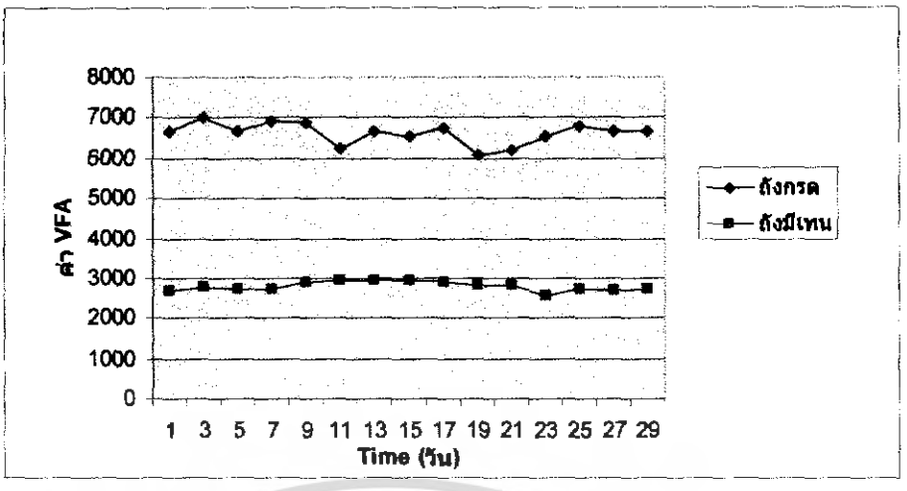
ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบของถังกรดที่ผ่านการกำจัดเคิร์ดออก และค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในถังมีเทน เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และทำการเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง แสดงดังตารางที่ 6 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน) แสดงไว้ดังรูปที่ 23 พบว่าค่าเฉลี่ยของ VFA ลดลงจาก 6.621 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) เป็น 2,802 มก.ต่อลิตร

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง และเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง

Time (ครั้ง)	Effluent (ถังกรด) mg/l	Effluent(ถังมีเทน) mg/l
1	6,656	2,688
2	7,031	2,781
3	6,656	2,719
4	6,938	2,750
5	6,906	2,906
6	6,250	2,969
7	6,656	2,969
8	6,531	2,969
9	6,750	2,906
10	6,094	2,844
11	6,188	2,813
12	6,531	2,563
13	6,813	2,719
14	6,656	2,688
15	6,656	2,750
ค่าเฉลี่ย	6,621	2,802

หมายเหตุ VFA ของนมพาสเจอไรส์เท่ากับ 5,781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA ของของเหลวในถังหมักกรด และถังหมักมีเทน กับเวลา (วัน)

4.2.5 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซ

ในระหว่างการทดลองทำการบันทึกการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยทำการบันทึกข้อมูลก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และทำการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของก๊าซ โดยพิจารณาก๊าซทั้งหมด (*total gas production*) และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (Methane production)

4.2.5.1 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (total gas production)

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวันได้ปริมาตรก๊าซทั้งหมดในหน่วยลิตรต่อวัน เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันภายใต้สภาวะการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง โดยเติมส่วนที่เป็นเวย์ ปริมาตรการเติม 25 มิลลิลิตร ใช้ HRT 320 วัน พบว่าปริมาตรก๊าซเกิดทั้งหมดเกิดขึ้นสูงสุด คือ 0.22 ลิตรต่อวัน และก๊าซเกิดทั้งหมดเกิดขึ้นต่ำสุด คือ 0.12 ลิตรต่อวัน

การผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงไว้ดังตารางที่ 7 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพกับเวลา (วัน) แสดงไว้ดังรูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

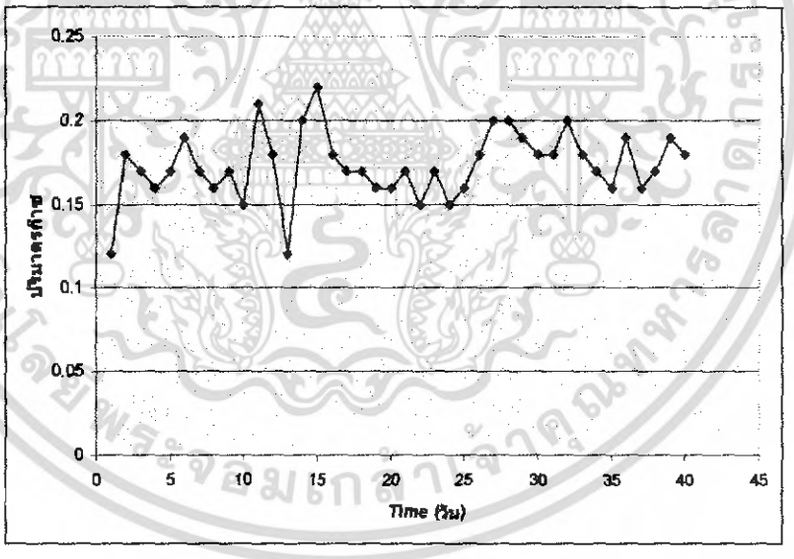
ตารางที่ 7 การผลิตก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน

Time(วัน)	total gas production (ลิตรต่อวัน)
1	0.12
2	0.18
3	0.17
4	0.16
5	0.17
6	0.19
7	0.17
8	0.16
9	0.17
10	0.15
11	0.21
12	0.18
13	0.12
14	0.20
15	0.22
16	0.18
17	0.17
18	0.17
19	0.16
20	0.16
21	0.17
22	0.15
23	0.17
24	0.15
25	0.16
26	0.18
27	0.20
28	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Time(วัน)	total gas production (ลิตรต่อวัน)
29	0.19
30	0.18
31	0.18
32	0.20
33	0.18
34	0.17
35	0.16
36	0.19
37	0.16
38	0.17
39	0.19
40	0.18
ค่าเฉลี่ย	0.17



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพ กับเวลา (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอัตราการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดและกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีอัตราการเจริญไม่เท่ากัน การสะสมของกรดอินทรีย์ปริมาณมากทำให้ค่าพีเอชในถังมีเทนมีค่าต่ำลง ซึ่งไม่เหมาะต่อแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อย สังเกตได้จากค่า COD และ TS ผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบค่าพีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อดำเนินระบบต่อไปเรื่อยๆ พีเอชในถังหมักเริ่มสูงขึ้น หมายความว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถปรับตัวกับสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้แล้ว มีผลทำให้แบคทีเรียเกิดการผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในถังมีเทน และถังกรด คือ 7.10 และ 3.44 ตามลำดับ

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยได้ (Voltile fatty acid, VFA) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ HRT คือที่อุณหภูมิสูงขึ้นและ/หรือมี HRT นานมากขึ้น ทำให้VFA ลดลง ซึ่งในการทดลองนี้ค่า VFA ของของเหลวที่ออกจากถังมีเทนนั้นมีค่าต่ำกว่าในนม แสดงว่ากระบวน methanogenesis สามารถดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ย VFA ของถังมีเทนและถังกรดค่อนข้างคงที่ ค่า VFA ที่ได้ลดลงจาก 6,621 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) เป็น 2,802 มก.ต่อลิตร (ในถังมีเทน) คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดไขมันระเหยได้ เท่ากับร้อยละ 57.68

การผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้เฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ลิตรต่อวัน ซึ่งถือว่ามีปริมาณมากเมื่อเทียบกับการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ (กัญญารัตน์ และคณะ, 2548) เนื่องจาก ในการศึกษาเบื้องต้นนั้นได้เติมนมในระบบสูงถึง 250 มิลลิลิตร พบว่าเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 ลิตรต่อวัน แต่ในการศึกษานี้เติมนมเข้าสู่ระบบวันละ 25 มิลลิลิตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ย 0.17 ลิตรต่อวัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Chemical oxygen demand, COD) จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถลดค่า COD ได้จาก 44,866 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) ลดลงจาก 9,720 มก.ต่อลิตร (ในถังมีเทน) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า COD เท่ากับร้อยละ 78.34

เมื่อดำเนินระบบมีการป้อนของเหลวเข้าสู่ระบบ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์จากจุลินทรีย์ในระบบ จากสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหม่ให้เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ระบบสามารถลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งทั้งหมดได้จาก 52,578 มก.ต่อลิตร (ในถังกรด) เหลือ 10,633 มก.ต่อลิตร(ในถังมีเทน) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 79.78

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD, TS, VFA มีค่าสูง แสดงว่าอัตราการป้อนของเหลวเหมาะสม ทำให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้พีเอชในระบบค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือในระบบน้อยกว่า แสดงว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ การเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อทำการทดลองเป็นเวลานาน ทำการเปรียบเทียบกับการศึกษาเบื้องต้น พบว่าการศึกษาเบื้องต้นมีการรบกวนระบบอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากมีการกวน ทำให้การตกตะกอนของนมเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้มีการเพิ่มประสิทธิภาพโดยไม่มีการรบกวนระบบเนื่องจากไม่ใช้การกวน จึงทำให้นมตกตะกอนและแยกส่วนใสออกมาได้อย่างดี ทำให้ในระบบสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ในปริมาณที่มากขึ้น

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของของเหลวที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 2,561- 2,969 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากอุณหภูมิของระบบค่อนข้างคงที่ ทำให้จุลินทรีย์ของระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากกรดไขมันระเหยได้ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนในระบบคงที่ จึงทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบมีปริมาณคงที่ด้วยเช่นเดียวกัน

งานวิจัยในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น เนื่องจากนมพาสเจอไรส์ มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้เกิดการตกตะกอนซึ่งเป็นปัญหาของการศึกษาเบื้องต้นในการศึกษานี้มีการแก้ไขปัญหาเรื่องการตกตะกอนได้ส่วนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิจัยของการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ใกล้หมดอายุ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบ แต่การพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นนั้นต้องมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

2. ควรศึกษาการหมักโดยใช้ถังหมักหลายๆ ชนิด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

3. โปรตีนนมที่ตกตะกอนมีปริมาณมากซึ่งมีประโยชน์ ควรมีการศึกษาเพื่อที่นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมมลพิษ. 2544. องค์ประกอบและลักษณะของก๊าซชีวภาพ. [Online]. Available : http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E-learningPdf/phisit3.pdf

เกรียงศักดิ์ เลิศประภามงคล. 2548. Biohydrogen พลังงานสะอาดจากเทคโนโลยีชีวภาพ. LAB.Today. 15 : 22-25

กัญญารัตน์ ลาภเดโช ปรีณาวรรณ รัตนานุภาพ และปาลศิริ ศรีรุ่งเรือง. 2548. การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นวลพรรณ ณ ระนอง. 2539. ปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลัดดาวัลย์ รัศมีทัต. 2536. จุลชีววิทยาทางอาหาร. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล และประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ. 2538. วิศวกรรมเคมีชีวภาพพื้นฐาน 1. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุเมธ ชวเดช. 2530. ระบบหมักก๊าซชีวภาพ UASB. เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อวัสดา ฉลานุวัฒน์. 2545. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรียสารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาริยา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Arnold, E.G. 1992. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th. New York : American Public Health Association.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 11 th ed. Washington, D.C. : The Association of Official Analytical Chemist.

Barker,H.A. 1956. Biological Formation of Methane. Ind. Eng. Chem. 48 (9): 1438-1443.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Barlaz, M.A., Milke, M.W. and Ham, R.K. 1987. Gas production parameters in sanitary landfill simulators. Department of Civil and Enveromental Engineering, University of Wisconsin, Madison, WT, U.S.A.

Gerardi, M. H. 2003. The microbiology of anaerobic digester. New Jersey: John Wiley & Son

Ghosh, S. Conrad, J.R. and Klass, D.L. 1975. Anaerobic acidogenesis of wastewater sludge. Wat. Poll. Control Fed. 47 (1): 30-40.

Gottas. 1956. การใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งพลังงาน. [Online]. Available : http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E-learningPdf/phisit3.pdf

Kleerebezem, R and Macarie, H. 2003. Treating industrial wastewater: Anaerobic digestion comes of age. AIChemJ. April: 56-64.

Metcalf & Eddy, Inc., Tehobanoglous, G., Burton, F.L., Burton, F. and Strnsel, H.D.

Price, E.C. and Cheremisinoff, P. M. 1981. Production and utilization. Michigan : Ann abar science.

Reynolde, T. D. and Richards, P. A.1996. Unit operations and processes in environmental engineering. Boston: PWS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) โดยวิธีของ Arnold et al, 1992

ปริมาณของแข็งทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในภาชนะ หลังจากระเหยน้ำออกจากตัวอย่างจนหมด (รวมทั้งของแข็งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ) จากนั้นนำภาชนะไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่

วิธีการวิเคราะห์

1. นำจานระเหยไปอบในเตาอบจนมีน้ำหนักคงที่ (ใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง) จากนั้นนำมาทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักของจานระเหยแต่ละใบ

2. เติมปริมาตรน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม (50-100มล.) ลงในจานระเหยที่ทราบน้ำหนักจากข้อ1

3. นำจานระเหยที่มีตัวอย่างน้ำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำจนกระทั่งน้ำในจานระเหยหมด จากนั้นนำจานระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ ทำให้จานระเหยเย็นในเดซิกเคเตอร์

4. ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่งขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดนำไปคำนวณ

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก.ต่อลิตร)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก.)} \times 1000}{\text{ปริมาณตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) (AOAC,2000)

นำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่น10มล. ผสมให้เข้ากัน แล้ววัดด้วยเครื่องวัดพีเอช (Cyberacan 2000 pH-meter) วัดพีเอชของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

3. การวิเคราะห์ซีโอดี (COD) โดยวิธี Dichromate reflux method (นวลพรรณ, 2539)

การวัดค่าซีโอดีเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่างน้ำได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นการหาค่าซีโอดีก็เพื่อวัดปริมาณสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ซีโอดีใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง จึงเหมาะสมในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถแก้ไขได้ทันทีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นและสามารถนำไปประมาณค่าบีโอดีของตัวอย่างได้เพื่อหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียชนิดนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 5.5 กรัมในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 กิโลกรัม

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 12.259 กรัม (อบที่103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชม.) ลงในน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.25 M ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตชนิดเออาร์(AR) 98 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20.0 มล. ลงไป ทำให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร(สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M) นำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยนำสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 10.0 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100.0มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30.0 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำมาไทเทรตด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ (2-3 หยด)

$$\text{โมลาริตี (M)} = \frac{\text{มิลลิลิตรของ 0.0417M (โพแทสเซียมไดโครเมต) x 0.25}}{\text{มิลลิลิตรของเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต}}$$

4. สารละลายเฟอโรอิน

5. เมอร์คิวรีซัลเฟตชนิดผง ใช้กำจัดหมู่คลอไรด์

6. กรดซัลฟามิกชนิดเออาร์ (sulfumic acid)ใช้กำจัดไนไตรต์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งเมอร์คิวรีซัลเฟต 0.4 กรัมใส่ในขวดก้นกลม

2. เติมตัวอย่างน้ำ 20.0 มล. หรือส่วนของตัวอย่างน้ำที่เจืองจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร20.0 มล.

3. เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10.0 มล. จากนั้นค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีซิลเวอร์ซัลเฟตเจือปนอยู่ลงไป 30.0 มล.

4. เขย่าสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันดี นำขวดต่อเข้ากับเครื่องควบแน่นกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะถอดเครื่อง

5. เติมน้ำกลั่นลงในขวดก้นกลมจนปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. ไทเทรตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ (2-3 หยด) จนกระทั่งสีของส่วนผสมเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ

7. ทำแบลงค์ (Blank)โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างและดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มก.ต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \times C \times 8000}{\text{มล.ของน้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับแบลงค์

B = มิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ

C = โมลาริตี (M) ของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

หมายเหตุ ในขณะที่กลั่นตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ถ้าสารละลายในขวดเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียวแสดงว่าใช้ตัวอย่างน้ำมากเกินไปต้องนำมาทำใหม่ โดยใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างน้อยกว่าเดิมหรือนำมาทำให้เจือจางลง

3. การวิเคราะห์บีโอดี (BOD) (นวลพรรณ, 2539)

บีโอดี(biochemical oxygen demand) เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการสลายตัวทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ ในน้ำทิ้ง น้ำโสโครก และน้ำเสีย เช่น ซัลไฟด์และเฟอรัสไอออน ซึ่งอาจรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ไนโตรเจน (Nitrogenous demand) ถ้าไม่ใส่สารยับยั้งการย่อยสลายไนโตรเจน

ค่าบีโอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้หายใจ โดยแบคทีเรียเหล่านั้นใช้สารอินทรีย์ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นค่าบีโอดีนี้จึงสามารถบอกถึงลักษณะของน้ำว่ามีความสกปรก (ในรูปสารอินทรีย์) มากน้อยแค่ไหน ถ้าตัวอย่างมีสารอินทรีย์มากทำให้แบคทีเรียมีปริมาณมากและหายใจใช้ออกซิเจนมาก ค่าบีโอดีจะสูงและในทำนองเดียวกัน ถ้าน้ำมีสารอินทรีย์อยู่น้อยค่าบีโอดีจะน้อยลง น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงเมื่อถูกทิ้งลงแหล่งน้ำ ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงจนอาจเกิดสภาพปราศจากออกซิเจน ทำให้น้ำเน่าเสียและทำให้ปลาตายได้

หลักการ

เติมตัวอย่างลงขวดบีโอดีปิดจุกให้แน่นไม่ให้อากาศเข้าออกได้ แล้วนำขวดไปเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะที่กำหนดเป็นเวลาจำกัด วัดปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) ตอนเริ่มต้นและหลังจากเลี้ยงเชื้อ 5 วัน หาค่าความแตกต่างของ DO ในวันแรกและวันที่ 5 แล้วนำไปคำนวณค่าบีโอดี น้ำทิ้งส่วนใหญ่ต้องการปริมาณออกซิเจนมากกว่าปริมาณอิ่มตัวในน้ำ จึงจำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างก่อนนำไปเลี้ยงเชื้อ เพื่อให้ค่าความต้องการออกซิเจนลดลงน้ำที่ทำการเจือจางตัวอย่างต้องเติมสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะปริมาณน้อยๆ ที่จำเป็น และปรับพีเอชของตัวอย่างให้คงที่ด้วยบัฟเฟอร์เพื่อให้พีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ช่วงเวลามาตรฐานในการเลี้ยงเชื้อ คือ 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์บีโอดีของตัวอย่างน้ำ หาค่าบีโอดี 5 วัน โดยนำตัวอย่างน้ำมาเติมออกซิเจนอิ่มตัว แล้วเติมลงขวดบีโอดี 3 ขวด ขวดแรกนำมาวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายทันที อีก2 ขวดนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาออกซิเจนที่เหลือในขวด ดังนั้น บีโอดี 5 วัน คือ ปริมาณออกซิเจนในวันแรกลบด้วยปริมาณออกซิเจนที่เหลือหลังจากเก็บตัวอย่างน้ำไว้ 5 วัน การวัดบีโอดีจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้สำหรับออกซิไดซ์สารอินทรีย์และสารไนโตรเจน ซึ่งค่าหลังเป็นค่าที่เราไม่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งการเกิดการย่อยสลายแอมโมเนีย ทำให้เราสามารถวัดออกซิเจนที่ใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์และไนโตรเจนแยกจากกันได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี ขวดมีฝาแก้วปิดขนาด 300 มิลลิลิตร ให้หล่อน้ำไว้ที่ปากขวด เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปในขวดระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ครอบปากขวดด้วยถ้วยพลาสติกหรือกระดาษฟอยล์ (foil) เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

2. ตู้บ่มเชื้อหรืออ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เก็บในที่มิดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงที่มีผลทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น

สารเคมี

ก. สารละลายสำหรับเตรียมน้ำที่ใช้เจือจาง

1. สารละลายฟอสฟอรัสบัฟเฟอร์ ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 21.75 กรัม โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 33.4 กรัมและแอมโมเนียมคลอไรด์ 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตรแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายควรมีพีเอช 7.2

2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 22.2 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ 27.5 กรัมแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายเฟอริกคลอไรด์ ละลายเฟอริกคลอไรด์ 0.25 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1ลิตร

5. สารละลายกรดและสารละลายด่าง 1 นอร์มอล เพื่อใช้ปรับพีเอชให้เป็นกลาง

ข. สารละลายสำหรับวิเคราะห์ออกซิเจนละลาย

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.4H_2O$) 480.0 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.2H_2O$) 400.0 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ (AIA) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500.0 กรัมและโซเดียมไอโอไดด์ 135.0 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร จากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ 10.0 กรัม ซึ่งละลายในน้ำกลั่น 40.0 มิลลิลิตรลงในสารละลายข้างต้น

3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำแป้ง ละลายแป้ง 2.0 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100.0 มิลลิลิตร เติมกรดซาลิไซลิก 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 M จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา สารละลายนี้ควรนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐานไอโอเดต

วิธีการวิเคราะห์

ก. การเตรียมน้ำสำหรับเจือจาง

1. นำน้ำกลั่นที่จะใช้เจือจางมาเป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

2. เติมสารละลายฟอสฟอรัสบัฟเฟอร์, แมกนีเซียม, แคลเซียมคลอไรด์, และเฟอริกคลอไรด์ ตามลำดับ โดยใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร

ข. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหาค่าบีโอดี

1. วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่างและปรับให้ได้ 7.0 ถ้าตัวอย่างน้ำมีคลอรีนอยู่มากต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟต์ โดยมีวิธีคำนวณปริมาตรที่ต้องเติมดังนี้ นำตัวอย่าง (100.0-1000.0 มิลลิลิตร) เติมกรดแอซีติก 10.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์) แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.0125 M โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ ที่ใช้เติมลงในตัวอย่างน้ำกวนให้เข้ากันทิ้งไว้ 10-20 นาที

2. ในกรณีถ้าเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกมาก ต้องทำให้ตัวอย่างน้ำเจือจางลง โดยเลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างในการเจือจางให้อยู่ในช่วงที่กำหนด และเลือกเปอร์เซ็นต์ที่เจือจางสูงกว่า และต่ำกว่าที่อยู่ติดกันอีก 2 ขั้น ปกติจะทราบค่าบีโอดีประมาณจากค่าซีโอดี (ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของซีโอดี)

3. ค่อยๆรินน้ำเจือจาง 300.0-500.0 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1000.0 มิลลิลิตร โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 2.0 มิลลิลิตร (ในกรณีที่ต้องเติม)

4. เติมตัวอย่างน้ำเสียจำนวนที่ต้องการลงไป เติมน้ำเจือจางจนครบ 1000.0 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนค่อยๆจากนั้นนำน้ำไปใส่ในขวดบีโอดี 3 ขวดจนเต็ม (อย่าให้มีฟองอากาศในขวด) ปิดจุกขวด

5. นำขวดบีโอดี 1 ขวด ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ความเจือจางไปหาค่าออกซิเจนละลาย (DO) เพื่อต้องการทราบค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้น (D_1)

6. นำขวดบีโอดีที่เหลือของแต่ละเปอร์เซ็นต์ความเจือจางไปบ่มที่ตู้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำออกมาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลือ (D_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงช่วงค่าบีโอดีกับวิธีการเจือจางของน้ำตัวอย่าง

โดยวิธีเจือจาง เปอร์เซ็นต์ตัวอย่างนี้	ช่วงบีโอดี	โดยใช้ตัวอย่างน้ำโดยตรง มล.ของตัวอย่างนี้	ช่วงบีโอดี
0.01	20000-70000	0.02	30000-105000
0.02	10000-35000	0.05	12000-42000
0.05	4000-14000	0.10	6000-21000
0.10	2000-7000	0.20	3000-10500
0.20	1000-3500	0.50	1200-4200
0.50	400-1400	1.0	600-2100
1.0	200-700	2.0	300-1050
2.0	100-350	5.0	120-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100.0	6-21
100.0	0-7	300.0	0-7

ก. การหาค่าออกซิเจนละลาย (DO) โดยวิธี Iodometric method

1. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1.0 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ จำนวน 1.0 มิลลิลิตร ตามลำดับลงในขวดบีโอดี (ให้ปลายปิเปตต์อยู่ใต้ผิวน้ำ)

2. ปิดจุกขวดบีโอดีระวังอย่าให้มีฟองอากาศ จับขวดคว่ำขึ้นลงอย่างน้อย 15 ครั้ง

3. ตั้งขวดบีโอดีไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นตก จนมีปริมาณน้ำใสครึ่งขวด เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้ไหลลงไปตามคอขวด ปิดจุกแล้วเขย่าจนตะกอนละลายหมด

4. นำสารละลายในขวดบีโอดี 201.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 500.0 มิลลิลิตร ปริมาตรน้ำนี้จะแทนที่ปริมาตรของน้ำตัวอย่างจริงๆ 200.0 มิลลิลิตร เนื่องจากปริมาตรของน้ำตัวอย่างถูกแทนที่ด้วยสารละลายแมงกานีสซัลเฟตและอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ 2.0 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาใช้เพื่อการไทเทรตเท่ากับ $\frac{200 \times 300}{300} = 201.0$

5. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 2-3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้มไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ถ้าใช้ตัวอย่างในการไทเทรต 200.0 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M 1 มิลลิลิตร มีค่าสมมูลพอดีกับ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ของออกซิเจนละลายในตัวอย่างน้ำ

1. กรณีไม่เติมหัวเชื้อ

$$\text{บีโอดี(มก.ต่อลิตร)} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

2. กรณีเติมหัวเชื้อ

$$\text{บีโอดี (มก.ต่อลิตร)} = \frac{D_1 - D_2 - (B_1 - B_2) f}{P}$$

เมื่อ D_1 = ออกซิเจนละลายของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วเป็นเวลา 15 นาที ของวันที่ 0

D_2 = ออกซิเจนละลายที่ทำการเจือจางแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

P = อัตราส่วนของตัวอย่างที่ใช้ต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

B_1 = ออกซิเจนละลายของหัวเชื้อคุม (seed control) ก่อนการบ่ม

B_2 = ออกซิเจนละลายของหัวเชื้อคุม (seed control) หลังการบ่ม 5 วัน

f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในตัวอย่างต่อหัวเชื้อคุม
(เปอร์เซ็นต์หัวเชื้อในD_1 ต่อเปอร์เซ็นต์หัวเชื้อในB_1)

หมายเหตุ

1. ถ้าใช้ตัวอย่างน้ำโดยตรง ให้นำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตรที่ต้องการใส่ลงในขวดบีโอดีแล้วจึงเติมน้ำเจือจางจนเต็มขวด เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์(ในกรณีที่จำเป็นต้องเติม)

2. ผลที่น่าเชื่อถือและใช้ในการคำนวณ ต้องมีค่าปริมาณออกซิเจนละลาย(DO) เหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องมีการลดออกซิเจนที่ละลายลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะทำให้ค่าบีโอดีที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้องที่สุด

3. หัวเชื้อ (seeding) ในการวิเคราะห์บีโอดี เตรียมโดยการนำน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมาเติมอากาศติดต่อกัน และเติมน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์นั้นลงไปทีละน้อยจนมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นมากพอ

4. กรดไขมันระเหยง่าย(Volatile fatty acid, VFA) โดยวิธีของธงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

วิธีนี้เป็นวิธีหยาบๆ ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนักไม่ควรนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ใช้เวลาในการทดลองไม่เกิน 1 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาสภาพด่างทั้งหมดที่พีเอช 4 โดยวิธีการไทเทรตแบบโพเทนชิออเทตริก

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไทเทรตกลับจากพีเอช 4 ไปเป็น7 เพื่อหาสภาพด่างของกรดระเหยง่ายและสภาพด่างของเบส แล้วจึงคำนวณหาค่าVFA ต่อไป

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองและนำไปหมุนเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบประมาณ 7000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ จากนั้นนำเอาส่วนใสที่อยู่ส่วนบนมา 50-200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำไทเทรตตัวอย่างน้ำจนถึงพีเอช 4 ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาริตี บันทึกปริมาตรกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมติ = A (มล.)

2. ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนพีเอชถึง 3.3-3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาตรที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2- 3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

3. ปรับพีเอชให้เป็น4 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาริตี บันทึกปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกลับ ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพด่างเนื่องจากกรดระเหยง่าย สมมติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = B (มล.)

การคำนวณ

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด (มก.ต่อลิตรคิดในรูป} CaCO_3) = \frac{A \times H_2SO_4(M) \times 50 \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

$$\text{สภาพด่าง VFA (มก.ต่อลิตรคิดในรูป} CaCO_3) = \frac{B \times NaOH(M) \times 50 \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง (มล.)}}$$

5. ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total gas production)

การวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอาศัยหลักการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวัน ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบเก็บก๊าซที่อาศัยหลักการแทนที่น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณหา HRT (Hydraulic retention time)

ถังกรด ปริมาตรการหมัก 2 ลิตร เติมของเหลววันละ 25 มิลลิลิตร

$$\text{ดังนั้น HRT} = \frac{2000 \text{ มล.}}{25} = 80 \text{ วัน}$$

ถังมีเทน ปริมาตรการหมัก 6 ลิตร เติมของเหลววันละ 25 มิลลิลิตร

$$\text{ดังนั้น HRT} = \frac{6000 \text{ มล.}}{25} = 240 \text{ วัน}$$

เพราะฉะนั้น $HRT_{รวม}$ คือ $80 + 240 = 320$ วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้