สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

นางสาวกัญญารัตน์ ลาภเดโช
นางสาวปรีณาวรรณ รัตนานุภาพ
นางสาวปาลศิริ ศรีรุ่งเรือง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 67276
วัน,เดือน,ปี 22 พ.ย. 2549

b 11662361
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on the Biogas Production from Nearly Expired Pasteurized Milk

Kanyarat Lapdecho

Preenawan Rattananupap

Palsiri Srirungreung

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 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาเบื้องต้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ
นักศึกษา	นางสาวกัญญารัตน์ ลาภเดโช รหัสประจำตัว 45050726
	นางสาวปรีณาวรรณ รัตนานุภาพ รหัสประจำตัว 45050755
	นางสาวปาลศิริ ศรีรุ่งเรือง รหัสประจำตัว 45050756
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง	
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 การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ
นักศึกษา นางสาว กัญญารัตน์ ลาภเดโช
นางสาว ปรีณาวรรณ รัตนานุภาพ
นางสาว ปาลศิริ ศรีรุ่งเรือง
ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์
สาขาวิชา จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ดุษณี ธนะบริพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์

บทคัดย่อ

การศึกษาเบื้องต้นของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 2 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย ถังกรด (acidogenic reactor) และถังมีเทน (methanogenic reactor) โดยถังทั้งสองมีการกวนผสมอย่างต่อเนื่อง สภาวะที่ใช้ในการศึกษาคือ ที่อุณหภูมิปกติ (mesophilic) ระยะเวลาในการหมัก (hydraulic retention time, HRT) 30 วัน และมีอัตราการป้อนของเหลวซึ่งคือ นมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ เท่ากับ 250 มิลลิลิตรต่อวัน โดยลักษณะในการป้อนของเหลวเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ระหว่างกระบวนการหมักจะเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง เพื่อนำตัวอย่างน้ำหมักไปวิเคราะห์หาปริมาณ COD, กรดไขมันระเหยได้(VFA) และปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS) ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะทำการตรวจวัดทุกวัน จากการทดลองพบว่าระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 0.3 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 55 เปอร์เซ็นต์ และค่าพีเอชอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63-7.97 ซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD 31.03 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณของแข็งทั้งหมด 86.74 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ 94.87 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study on the biogas production from nearly expired pasteurized milk
Name	Miss Kanyarat Lapdecho
	Miss Preenawan Rattananupap
	Miss Palsiri Srirungreung
Department	Applied Biology
Program	Industrial Microbiology
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Dusanee Thanaboripat
Special Project Coadvisor	Dr. Pramote Sirirote

Abstract

Biogas production from nearly expired pasteurized milk was investigated in a two-phase anaerobic digestion. A system consisted of two continuous stirred tank reactors (CSTR) as the acidogenic and the methaogenic reactors. A condition for this study was at room temperature (mesophilic), hydraulic retention time (HRT) at 30 days and feeding rate at 20 ml/day using semi-continuous fermentation. During fermentation the samples were taken every 3 days for the determination of COD, TS and VFA. The biogas production was analyzed everyday. The results showed that the system could increase the biogas production rate and methane yield as well as the reductions in COD and total solids of the expired pasteurized milk. It was found that biogas production was 0.3l/day, the composition of methane gas was 55%.and a pH was between 6.63-7.97 which were optimum for microbial activities in the system. In addition, the removal efficiency for COD, total solids and total volatile fatty acids was 31.25%, 80.90% and 82.36%, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงงานพิเศษ เรื่องการการศึกษาเบื้องตนของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ โครงงานนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้หากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์ และ ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์ ที่เสียสละเวลาให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทำการทดลอง ตลอดจนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพี่ๆ ปริญญาโทและเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ ทำให้การทำโครงงานพิเศษเป็นไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาของผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนกำลังทรัพย์ในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจในงานที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้หรือผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโครงงานพิเศษนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

กัญญารัตน์ ลาภเดโช
ปรีณาวรรณ รัตนานุภาพ
ปาลศิริ ศรีรุ่งเรือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ(ต่อ)	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ก๊าซชีวภาพ	3
2.2 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ	4
2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ	5
2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	9
2.5 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด	13
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศ	16
2.7ระบบถังหมักแบบไม่มีอากาศ	21
2.8 การย่อยสลายแบบไม่มีอากาศสองขั้นตอน	25
บทที่3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 แหล่งจุลินทรีย์	27
3.2 นมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ	27
3.3 ระบบถังหมัก	27
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การดำเนินการวิจัย	31
3.6 ระยะเก็บข้อมูล	33
บทที่4 ผลการทดลอง	
4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ	36
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทั้งหมด	36
บทที่5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก.	52
ภาคผนวก ข.	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวของในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ 10

ตารางที่2.2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน 12

ตารางที่2.3 ปริมาณก๊าซที่ได้ตามทฤษฎีจากองค์ประกอบต่างๆของพืช 14

ตารางที่2.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุพวกพืชผัก 15

ตารางที่2.5 ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็น 18

ตารางที่2.6 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งของแคตไอออนโลหะเบา 19

ตารางที่4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ 36

ตารางที่4.2 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบ 37

ตารางที่4.3 ค่าเฉลี่ยซีโอดีของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว1 วัน/ครั้ง 39

ตารางที่4.4 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว1 วัน/ครั้ง 40

ตารางที่4.5 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว1 วัน/ครั้ง 41

ตารางที่4.6 การผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน 43

ตารางที่5.1 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้และประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารกับงานวิจัยอื่น 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่2.1	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในแต่ละขั้นตอน	6
รูปที่2.2	ผลผลิตของการหมักที่สร้างจากไพรูเวต	8
รูปที่2.3	การย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไร้อากาศและสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมักแอซีเตต	9
รูปที่2.4	กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก	22
รูปที่2.5	ถังหมักแบบไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดต่ำ	22
รูปที่2.6	ถังหมักแบบไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง	23
รูปที่2.7	ถังหมักแบบไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน	23
รูปที่2.8	ถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส	24
รูปที่2.9	ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส	25
รูปที่3.1	ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟสชนิดที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์	28
รูปที่3.2	ถังหมักใบที่ 1	29
รูปที่3.3	ถังหมักใบที่ 2	29
รูปที่3.4	แผนภาพของระบบถังหมัก	30
รูปที่3.5	แผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง	34
รูปที่3.6	ลักษณะของเข็มเก็บก๊าซและหลอดสุญญากาศ	35
รูปที่3.7	ลักษณะของหลอดแก้วรูปตัวยู	35
รูปที่4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและเวลา(วัน)	38
รูปที่4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และเวลา(วัน)	39
รูปที่4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และเวลา(วัน)	41
รูปที่4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และเวลา(วัน)	42
รูปที่4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในช่วงทศวรรษที่ 70 ราคาน้ำมันพุ่งสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์จนเกิดวิกฤตพลังงานและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลก ทำให้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานอื่นๆมาทดแทนการใช้น้ำมัน ซึ่งในขณะนั้นก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวเลือกที่จะใช้ทดแทนน้ำมันในอนาคตเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ให้พลังงานต่อหน่วยได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับบรรดาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จึงใช้เป็นเชื้อเพลิงในจรวดขับดันสำหรับส่งยานอวกาศ และสามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษอันเป็นจุดเด่นของการเป็น "พลังงานสะอาด" (clean energy) ผลิตผลที่เกิดจากการเผาไหม้มีเพียงน้ำเท่านั้น (เกรียงศักดิ์, 2548) ในเวลาต่อมาเมื่อราคาน้ำมันลดลง ความสนใจในการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงก็ลดลงไป จนกระทั่งทศวรรษที่ 90 เมื่อโลกตื่นตัวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้ก๊าซไฮโดรเจนกลับมาเป็นที่สนใจอีกครั้ง พร้อมกับการหาแหล่งพลังงานทดแทน (renewable energy) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ (biogas) แสงอาทิตย์ ลม และคลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจ (สุเมธ, 2530) เพราะนอกจากจะใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหามลพิษโดยลดปริมาณของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย (เกรียงศักดิ์, 2548) นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูงเรียกว่า ก๊าซธรรมชาติอัด ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ รู้จักกันในชื่อว่า "ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์" (Natural Gas for Vehicles : NGV) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน

มีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้อย่างกว้างขวางในชนบทของหลายประเทศ เช่น จีน อินเดีย และเกาหลี (Hohlfeld and Sasse, 1985) ในการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถนำของเสียชนิดต่างๆ มาใช้ได้ เช่น ขยะ (สมชาย, 2530), กากมะเขือเทศ (สุพรรณี, 2536), มูลสุกร (บุษบา, 2537), ฟางข้าว (Somayaji and Khanna, 1994), น้ำกากส่า (Goyal *et al*, 1996), เปลือกกล้วยและเปลือกสับปะรด (Bardiya *et al*, 1996) การเปลี่ยนของเสียหรือมลพิษทางชีวภาพให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ มักนิยมใช้กันในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Hulshoff Pol *et al*, 1982; Fang and Liu, 2001) และสิ่งปฏิกูลแบบไม่ใช้อากาศโดยใช้จุลินทรีย์พวกที่ใช้กระบวนการหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพ (fermentation-dark process)ได้แก่แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) และแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน(nitrogen-fixing aerobic baeteria) บางชนิด

ปัจจุบันพบว่ามีการผลิตนมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำน้ำนมที่ใกล้หมดอายุมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ถือว่าเป็นแนวทางการจัดการของเสียที่ดีอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่ง Karve จากสถาบัน ARTI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Appropriate Rural Technology Institute) ของอินเดียได้ใช้ประโยชน์จากเศษอาหารเหลือทิ้ง เช่น ธัญพืชที่เน่าเสีย ผลไม้ เศษอาหาร นมเสีย และเมล็ดธัญพืช ที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้มาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย เพื่อให้ได้พลังงานเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ก๊าซมีเทนที่ได้จากแป้ง และน้ำตาล หรือจากมูลสัตว์ ทำให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เป็นพลังงานทดแทน และยังสามารถลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศได้อีกด้วย (Karve, 2003)

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุมาทำการหมักแบบไม่ใช้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อลดปริมาณนมเสีย และยังเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดนอกเหนือจากการนำไปทำลายโดยการทิ้งเพื่อเป็นของเสียที่เปล่าประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการนำผลิตภัณฑ์นมที่ใกล้หมดอายุมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศของนมที่ใกล้หมดอายุ

1.2.3 เพื่อศึกษาความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของจุลินทรีย์ในน้ำนม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้นมที่ใกล้หมดอายุ

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการหมักก๊าซชีวภาพในส่วนของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand, COD) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical oxygen demand, BOD) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ในการหมักก๊าซ และปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์นมที่ใกล้หมดอายุเป็นการนำผลิตภัณฑ์มาใช้ให้เป็นประโยชน์

1.4.2 เพื่อการลดปัญหาปริมาณนมเสียเหลือทิ้งในท้องตลาด

1.4.3 สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นั้นมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซระหว่างก๊าซมีเทน(CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจมีก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ และสภาวะของกระบวนการหมัก แต่โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทน	55-65	เปอร์เซ็นต์
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	35-45	เปอร์เซ็นต์
ก๊าซไนโตรเจน	0-8	เปอร์เซ็นต์
ก๊าซออกซิเจน	0-1	เปอร์เซ็นต์
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	0-1	เปอร์เซ็นต์

ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ จะต้องมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1984)

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติหลายอย่าง เช่น แหล่งที่จะใช้ประโยชน์จากก๊าซต้องอยู่ใกล้กับบ่อหมัก เพราะการอัดก๊าซชีวภาพใส่ถังหรือส่งไปตามท่อไกลๆ ด้วยความดันสูงทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงเป็นอุปสรรคในการที่จะผลิตก๊าซชีวภาพปริมาณมากเพื่อที่จะส่งก๊าซไปตามระบบท่อ จึงทำให้ใช้ได้เฉพาะภายในครัวเรือนชนบท เช่น ใช้ในการหุงต้มอาหาร ในบางประเทศ เช่น อินเดีย ได้หวัน อินโดนีเซีย ได้พยายามพัฒนาเทคโนโลยีในการนำก๊าซชีวภาพไปประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น การใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลต่างๆ ได้แก่ เครื่องสูบน้ำ ตู้เย็น และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ในปัจจุบันการผลิตก๊าซชีวภาพได้ขยายวงกว้างมากขึ้น โดยเฉพาะในการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และในฟาร์มปศุสัตว์ เพราะนอกจากจะเป็นการกำจัดของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากแล้วยังได้พลังงานกลับไปใช้ในฟาร์มหรือโรงงานอีกด้วย (กรมป่าไม้,2539)

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ พวกมูลวัว ควาย หมู เป็ดและไก่ หรือ จากวัชพืชบกและน้ำ เช่น หญ้า ผักตบชวา สาหร่ายทะเล ตลอดจนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น เปลือกผลไม้จากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง ซึ่งสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบได้แก่ เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรด ไขมัน และโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียที่เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ เป็นแบคทีเรียที่เรียกว่ามีเทนแบคทีเรีย (methane bacteria) ไม่สามารถที่จะย่อยสลายพวกมูลสัตว์ วัชพืช หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ๆ และมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียพวกอื่นเสียก่อน เพื่อให้ได้สารที่มีเทนแบคทีเรียสามารถจะนำไปใช้เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ

พลังงานจากก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซนั้น เช่นถ้ามีปริมาณมีเทนอยู่ 70 เปอร์เซ็นต์ จะให้พลังงานออกมา 26 เมกกะจูล/ลบ.ม (MJ/M^3) และที่ 59 เปอร์เซ็นต์ จะให้พลังงานออกมา 22 เมกกะจูล/ลบ.ม เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยแล้ว พบว่าที่ 64 เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพทั้งหมด จะให้พลังงานออกมาประมาณ 24 เมกกะจูล/ลบ.ม

มีเทนบริสุทธิ์เป็นก๊าซที่ปราศจากสี และกลิ่น โดยทั่วไปก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศจะมีองค์ประกอบเป็นมีเทนระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือประมาณ 30-50เปอร์เซ็นต์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนมาก และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อีกเล็กน้อย (กรมป่าไม้, 2539)

2.2 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ (กรมป่าไม้,2539)

2.2.1 ด้านพลังงาน

เมื่อคำนึงถึงด้านเศรษฐกิจ การลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้ได้ ดังนี้

ก. ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เดือดได้

ข. ใช้กับตะเกียงก๊าซขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง

ค. ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์

ง. ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง

จ. ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มอาหารได้ 3 เวลา

2.2.2 ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

โดยการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อก๊าซชีวภาพ จะช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยง ทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง และผลจากการหมักมูลสัตว์ในบ่อก๊าซชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ด้านการเกษตร

ก. การทำเป็นปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน ในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ข. การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมักไปตากแห้ง และนำไปผสมเป็น อาหารสัตว์สำหรับโคและสุกร แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ในอาหารสัตว์ ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จึงจะมีผลทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิต

2.2.4 การใช้ก๊าซชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า

ก่อนผลิตกระแสไฟฟ้า จำเป็นต้องรู้ก่อนว่าขนาดบ่อหมักบรรจุก๊าซได้กี่ลูกบาศก์เมตร และจำนวนที่ใช้กระแสไฟฟ้าในฟาร์ม จากนั้นจึงคำนวณหาอุปกรณ์ที่จะใช้ ดังกรณีตัวอย่างบ่อก๊าซชีวภาพแบบปล็กโฟลว์ ขนาดบ่อหมักซึ่งมีปริมาตร 170 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งชุดของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ก. เครื่องยนต์ ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ (เครื่องยนต์ใช้แล้ว) ความจุกระบอกสูบ เท่ากับ 198 ลูกบาศก์เซนติเมตร สัดส่วนการอัดอากาศต่อก๊าซชีวภาพ 8.2 :1 มีกำลัง 91 แรงม้า ที่ 4,800 รอบต่อวินาที แรงบิดสูงสุด เท่ากับ 160 นิวตันเมตร ที่ 3,200 รอบต่อนาที

ข. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 13 กิโลวัตต์ ใช้ไฟ 3 สาย แรงขับเคลื่อนไฟฟ้า 380 โวลต์ ปริมาณไฟฟ้า 30 แอมแปร์

ค. เครื่องควบคุมวงจรไฟฟ้า วัตถุประสงค์ที่ติดตั้งเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าตกหรือสูงเกินไปหรือในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ หรือสูงไม่เป็นไปตามปกติ

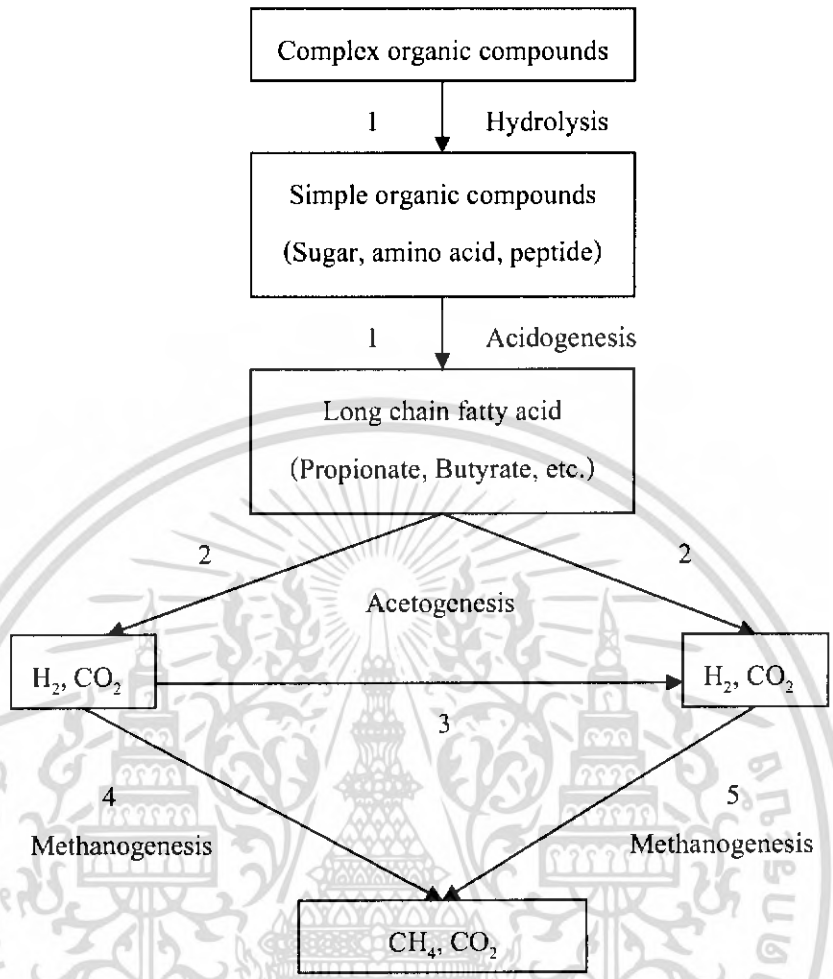
2.3 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ ใช้จุลินทรีย์หลายจำพวกในการย่อยสลาย ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนได้เป็น 3 ขั้นตอน (รูปที่ 2.1) (Price and Cheremisinoff, 1981) ดังนี้

2.3.1 การย่อย (Hydrolysis)

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolytic bacteria) จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ (Extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ละลายอนุภาคสารอินทรีย์ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน เพปไทด์ เพื่อที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ง่าย แบคทีเรียจะใช้โมเลกุลเล็กๆเหล่านี้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานโดยการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Fermentative bacteria
2. H_2-producing acetogenic bacteria
3. H_2-consuming acetogenic (homoacetogenic bacteria)
4. CO_2-reducing methanogenic bacteria
5. Acetoclastic methanogenic bacteria

รูปที่2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศ และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในแต่ละขั้นตอน

ที่มา : Price and Cheremisinoff (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

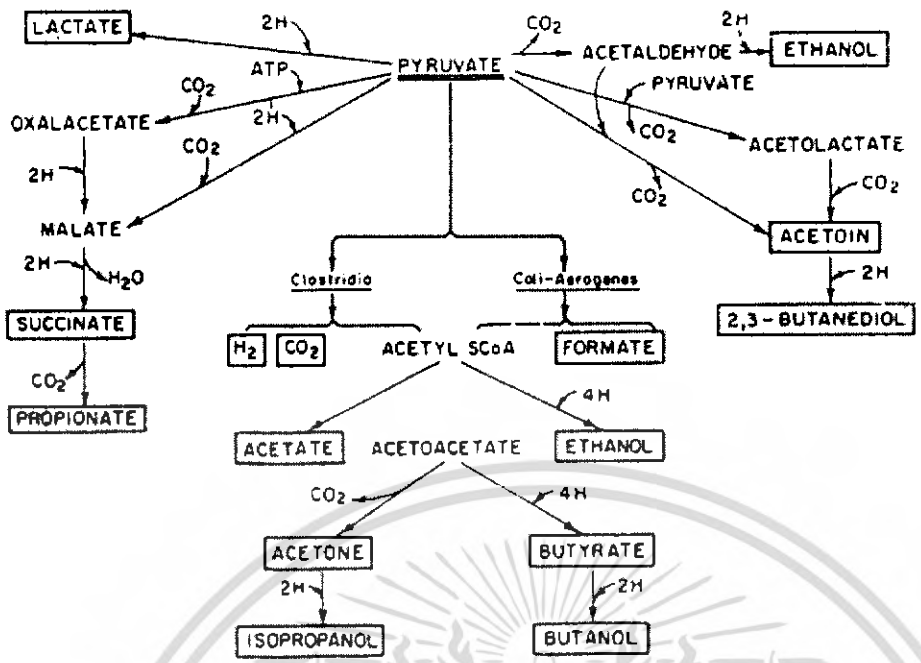
2.3.2 การผลิตกรด (Acidogenesis และ Acetogenesis)

สารอินทรีย์จากขั้นตอนแรกจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และย่อยสลายภายในเซลล์ ทำให้ได้กรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรด (Acidogenic bacteria) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดแอซีติก (acctic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butylic acid) และกรดฟอร์มิก(formic acid) การผลิตกรดเหล่านี้เรียกว่า Acidogenesis นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดที่ผลิตกรดใช้กรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่ากรดแอซีติก และสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกรีดิวซ์โดยแบคทีเรียที่ผลิตกรดแอซีติก (acetogenic bacteria) เพื่อผลิตกรดแอซีติก นอกจากนี้ยังได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนด้วย กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแอซีติกเรียกว่า Acetogenesis กิจกรรมของแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนเรียกว่า Hydrogenogenesis ความแตกต่างระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรดและที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนยังไม่ชัดเจน เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยทั่วไปจะผลิตกรดด้วย แต่แบคทีเรียที่ผลิตกรดบางชนิดเท่านั้นที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน จึงอาจถือได้ว่าแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นกลุ่มย่อยของแบคทีเรียที่ผลิตกรด แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้รวมกันเรียกว่า แบคทีเรียที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทน (nonmethanogenic bacteria) และเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียทำให้เกิดกรดฟอร์มิก กรดแอซีติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน

ในขั้นที่ไม่มีการผลิตก๊าซมีเทน การลดค่าซีโอดี (COD) เกิดจากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและความไม่มีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นแยกออกจากตัวกลาง พลังงานที่มีอยู่จะลดลง ดังนั้นค่าซีโอดีของน้ำเสียจึงลดลง ผลผลิตของขั้นไม่ผลิตก๊าซมีเทนจะถูกแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) ใช้ผลิตก๊าซมีเทน เป็นไปได้ว่าอาจมีแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนที่สามารถใช้กรดอินทรีย์อื่น และสารอินทรีย์เพื่อสร้าง ก๊าซมีเทนแต่ก็ยังไม่สามารถแยกออกมาได้

เนื่องจากความหลายหลายของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ ดังนั้นผลผลิตสุดท้ายจากเมแทบอลิซึมจึงมีหลายชนิด รูปที่ 2.2 แสดงผลผลิตชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการหมักของกรดไพรูวิก ซึ่งเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่สำคัญในการย่อยสลายสารประกอบจำนวนมาก กรดอินทรีย์อาจเกิดจากการหมักของกรดอะมิโนและไขมันบางตัวโดยไม่ผ่านการเป็นกรดไพรูวิก แม้ว่าผลผลิตสุดท้ายส่วนใหญ่ของแบคทีเรียที่ไม่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นกรดที่ระเหยง่าย โซ่สั้น(มี กรดแอซีติก โพรพิโอนิก และบิวไทริกเป็นตัวสำคัญที่สุด) ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของผลผลิตต่างๆจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของทั้งสภาพแวดล้อม (พีเอช อุณหภูมิ ศักย์ขั้วไฟฟ้า และอื่นๆ) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์เนื่องจากการเปลี่ยนชนิดของจุลินทรีย์ที่เด่นในแต่ละกลุ่ม และการเปลี่ยนแปลงภายในของตัวจุลินทรีย์เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ผลผลิตของการหมักที่สร้างจากไพรูเวต

ที่มา : Andrews and Pearson (1965)

Barker (1985) ได้เสนอขั้นตอนของปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการเกิดก๊าซมีเทนไว้ดังนี้

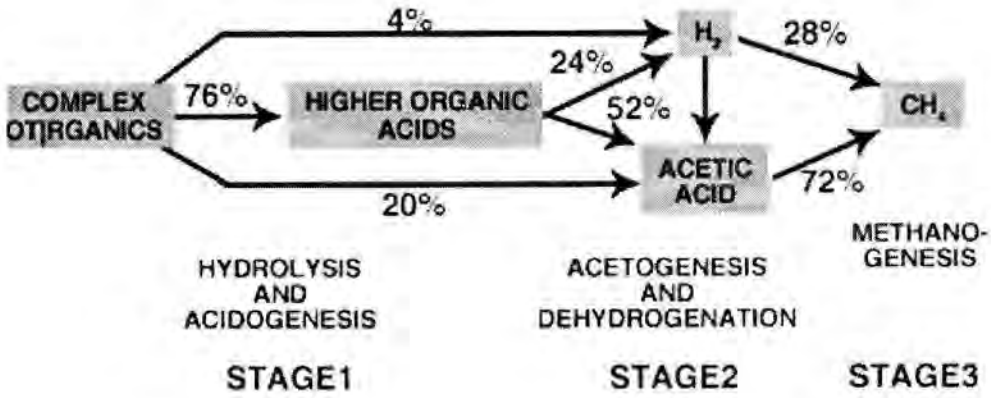
$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

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

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นพบว่าสองในสามมาจากแอซีเตต ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ยังเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอร์เมต (formate) เมทานอล (methanol) และเมทิลลามีน (methylamine) (Balch, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.3 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศและสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมักแอซีเตต

ที่มา : Speece (1983)

2.3.3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียจำพวก Methanogen เช่น CO_2 – reducing methanogenic bacteria, acetoclastic methanogenic bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแอซีติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในการผลิตก๊าซชีวภาพอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1984) คือ

2.4.1 Non Methanogenic bacteria

เป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน Hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์พวกนี้เจริญได้ดีในช่วงพีเอช 4 - 6.5 และส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobic bacteria) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี มีอัตราการเจริญสูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้แก่ Fermentative bacteria, Hydrogen producing acetogenic bacteria และ Homoacetogenic bacteria (Novaes, 1986) ตัวอย่างจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

	Species	Substrate degraded	Fermentation products
1.Hydrolysis and acidogenesis			
Aerobes	*Pseudomonas*	nutritionally highly	
	Micrococcus	verlatiles	lactate
Facultative	*Bacillus*		
Anaerobes	*Streptococcus*	starch maltose	lactate
	Lactobacillus	numerous sugars	acetate
	Escherichia	numerous sugars	
	Clostridia		succinate, acetate
Anaerobes	*Ruminococcus*	cellulose, cellobiose	ethanol, hydrogen
	Bacteroides	hemicellulose, pectin	formate
	Butyrivibrio	starch	butyrate, lactate
	Megasphera	lactate, glucose	branched VFA hydrogen
	Selenomonas	other sugars	acetate, propionate,
			lactate, hydrogen
	Desulfovibria	lactate, malate	acetate
	Bifidobacteria	proteins	VFA
	Propionibacterium	amino-acids	propionate
	Peptostreptococcus		
	Anaerovibrio		
2. Acetogenesis			
2.1 Hydrogen producing acetogenic			acetate
Bacteria	*Desulfovibrio*		(when associated with
	Selenomonas	see above	methanogens)
	Ruminococcus		
	Clostridium		
		fatty acids	
		neutral end products	
"S"microorganism			
Syntrophobacter wolinii		monocarboxylic	acetate
Syntrophomonas wolfei		C_4-C_8 fatty acids	
2.2 Homoacetogenic bacteria			
Clostridium aceticum			
Clostridium formicoaceticum			
Clostridium thermoautotrophicum		CO_2+H_2	acetate
Acetobacterium woodii			
Acetogenium kivui			

ที่มา : Marty (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Methanogenic bacteria

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะไม่มีอากาศเท่านั้น(obligate anaerobic bacteria) จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 - 7.5 ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 จุลินทรีย์จะหยุดทำงาน (Sprott ,1985) และการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลงเมื่อพีเอชต่ำลงด้วย ระยะเวลาในการแบ่งตัว (doubling time) อยู่ระหว่าง 4 - 6 วัน ตัวอย่างจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ

2.4.2.1 Fermentative bacteria

ทำหน้าที่ในขั้นตอน Hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้จะผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส แป้ง โปรตีน และสารโมเลกุลใหญ่อื่นๆให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน สารต่างๆเหล่านี้จะผ่านเข้าสู่เซลล์และถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอื่นๆ เช่น อะซิเตต(acetate)โพรพิโอเนต (propionate) แลกเตต(lactate) บิวทิเรต(butyrate)และเอทานอล เป็นต้น ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะที่จุลินทรีย์เจริญ ในสภาวะที่ก๊าซไฮโดรเจนต่ำจุลินทรีย์จะผลิตสารอินทรีย์พวกอะซิเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน แต่ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูง จุลินทรีย์จะผลิตโพรพิโอเนต แลกเตต และเอทานอล เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรียที่ในFamily Streptococcaceae, Enterobactariaceae, Bacillaceae และ Lactobacillaceae (Holland *et. al.*, 1987)

2.4.2.2 Hydrogen-producing acetogenic bacteria

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายโพรพิโอเนต เอทานอล และกรดอินทรีย์อื่นๆ ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าอะซิเตตให้ได้เป็นอะซีเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ตัวอย่างของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ได้แก่ *Sytrophomonas wolfei* และ *Sytrophus buswellii*

2.4.2.3 Homoacetogenic bacteria

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นพวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญ และผลิตอะซิเตตออกมาเพียงอย่างเดียว ถ้าสารประกอบมีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น กรดแลกติก ไพรูเวต เฮกโซส จะผลิตทั้งบิวทิเรตและอะซิเตตผสมกัน จุลินทรีย์ที่พบมากในกลุ่มนี้ คือ *Acetobacterium woodi, Butyriterium meththylotrophicum* และ *Clostridium thermoaceticum* (Novaes, 1986)

2.4.2.4 แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria)

เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวก obligate anaerobic bacteria คือสามารถเจริญได้ในสภาวะไม่มีอากาศ จุลินทรีย์เหล่านี้จะสลายอะซิเตต ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนได้ผลผลิตสุดท้ายอยู่ในสถานะก๊าซ จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนจะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

Species	Morphology	Substrates
Methanobacterium	long rods	H_2 , formate
formicicum	to	H_2
bryantii	filaments	H_2
thermoautotrophicum		
Methanobrevibacter	lancet-shaped	H_2 , formate
ruminantium	cocci	H_2 , formate
smithii	short rods	H_2
arboriphilus		
Methanococcus	motile irregular	H_2 , formate
vannielii	small	H_2 , formate
voltae	cocci	H_2 , formate
thermolithtrophicus	Pseudosarcina	H_2 , methanol
mazei		methylamines,
		acetate
Methanomicrobium	motile short	H_2 , formate
mobile	rods	
Methanobacterium	motile irregular	H_2 , formate
cariaci	small cocci	H_2 , formate
marisnigri		
Methanospirillum	motile regular	H_2 , formate
hungatei	curved rods	
Methanosarcina	irregular cocci	H_2 , acetate
barkeri	as single cells	methanol
	packets, pseudoparenchyma	methylamines
Methanothix	rods to	acetate
soehngenii	long filaments	
Methanogehermus	non-motile	H_2
fervidus	rods	

ที่มา : Marty (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ง่ายๆ และสารประกอบอนินทรีย์เป็นอาหาร จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15-40 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-65 องศาเซลเซียส) พีเอชที่เหมาะสมในการเจริญและการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8 - 7.2

แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ CO_2 – reducing methanogenic bacteria ที่สร้างก๊าซมีเทนจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไฮโดรเจน และ acetoclastic methanogenic bacteria ที่สร้างก๊าซมีเทนจากหมู่เมทิลในโมเลกุลของอะซิเตต ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 เฉพาะแบคทีเรียสกุล *Methanotrix* และ *Methanosarcina* สามารถใช้เมทานอล เมทิลลามิน และอะซิเตต แต่ไม่ใช้ฟอร์เมต นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาร์บอนมอนนอกไซด์ได้เล็กน้อย (Holland *et. al.*, 1987)

2.5 ลักษณะทั่วไปของถังสร้างกรด

ระบบการหมักไร้ออกซิเจนมีขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างกรด และแบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีความต้องการแตกต่างกันในเรื่อง อาหาร สภาพทางกายภาพ อัตราการเจริญ และความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน แบคทีเรียที่สร้างกรดเป็นแบคทีเรียเป็นพวก facultative anaerobeเจริญเร็ว ทำให้เจริญอยู่ในลักษณะฟล๊อค (floc) ได้ง่าย ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเป็นพวก strictly anaerobe เจริญเติบโตช้า ทำให้สามารถเจริญอยู่ในลักษณะเม็ดตะกอนที่อัดแน่นได้ ในทางทฤษฎีการแยกระบบการหมักออกเป็น 2 ขั้นตอน จะทำให้ระบบการหมักแต่ละขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียแต่ละชนิดได้มากที่สุด

Ghosh and Poland (1971) ได้แนะนำให้แยกระบบถังไร้ออกซิเจนออกเป็น 2 ถังปฏิกิริยา ถังใบแรกสำหรับขั้นตอนไฮโดรไลซิส ขั้นตอนการสร้างกรด ขั้นตอนทั้งสองนี้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ เนื่องจากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องเป็นตัวเดียวกัน ส่วนถังใบที่สองใช้สำหรับการสร้างอะซีเตตและขั้นตอนการสร้างมีเทน

2.5.1 องค์ประกอบและปริมาณก๊าซที่ได้

การเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน สามารถทำนายปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นได้จากความรู้ทางเคมีขององค์ประกอบของเสีย McCarty (1964) ได้แสดงว่าก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ของ 1 กิโลกรัม BOD หรือ COD เท่ากับ 0.351 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน และ 1 กิโลกรัมของกลูโคสเมื่อย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ จะให้ปริมาณก๊าซ 0.747 ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Burford และ Varani (1976) ได้แสดงปริมาณก๊าซที่ได้ตามทฤษฎีจากองค์ประกอบของพืชผัก และมูลสัตว์ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายพวกพืชผักดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่2.3 ปริมาณก๊าซที่ได้ตามทฤษฎีจากองค์ประกอบต่างๆ ของพืช (Burford and Varani, 1976)

องค์ประกอบ	มีเทน(%)	ปริมาณก๊าซ
คาร์โบไฮเดรต$(C_6H_{10}O_5)_n$	50	0.886
ไขมัน $(C_{50}H_{90}O_6)$	70	1.535
โปรตีน$(6C.2NH_3.3H_2O)$	84	0.587

2.5.2 ข้อดีและความจำเป็นในการมีถังสร้างกรด

ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน การมีถังสร้างกรดมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบที่ไม่มีถังสร้างกรดหลายประการ เนื่องจากถังสร้างกรดป้องกันถังสร้างมีเทนจากสภาวะที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน เช่น การเพิ่มภาระให้แก่ระบบอย่างกะทันหัน การมีสารพิษเข้าสู่ระบบ หรือจากสภาวะที่แปรปรวนต่างๆ (Gosh ,1978 ; Bull *et al.,* 1984) ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียสร้างกรดสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า Malasopina และคณะ (1996) พบว่าถังสร้างกรดช่วยให้ค่าพีเอชของระบบคงที่ เพิ่มเสถียรภาพให้ระบบในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเนยแข็ง ขณะที่ Shin และคณะ(1992) พบว่าถังสร้างกรดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตสูงมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยถังสร้างกรดสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำเสียจากโรงกลั่นเหล้าได้ถึง 35-65 % การลดลงของปริมาณซัลเฟตในถังสร้างกรด คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ซัลเฟตสามารถหลุดออกจากถังสร้างกรดได้ในรูปก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ค่าพีเอชในถังกรดประมาณ 6.5 Lettinga และคณะ(1991) กล่าวว่าถังสร้างกรดในระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแป้งมันฝรั่ง ใช้เพื่อกำจัดซัลไฟด์และโปรตีนในน้ำเสีย ซึ่งซัลไฟด์เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ ส่วนโปรตีนทำให้เกิดการลอยตัวของตะกอนจุลินทรีย์ นอกจากนี้การมีถังสร้างกรดทำให้ระบบสามารถรับปริมาณอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นได้ ทำให้โอกาสที่จะเกิดอันตรายต่อถังสร้างมีเทนลดน้อยลง อีกทั้งน้ำเสียยังสามารถถูกย่อยให้เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่าย เช่น พวกกรดไขมันระเหยโมเลกุลเล็ก ซึ่งสามารถย่อยต่อได้อย่างรวดเร็วในถังสร้างมีเทน (Bull *et al.,* 1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุจำพวกพืชผัก (ศักดิ์ชัย, 2527)

ชนิดของพืช	ลูกบาศก์เซนติเมตรของก๊าซชีวภาพ		
	ต่อกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าไป	ต่อกรัมของแข็งทั้งหมดที่ใส่เข้าไป	หมายเหตุ
สาหร่าย	-	240	
เปลือกกล้วย	-	360	
ฟางข้าวบาร์เล่	-	150	
กะหล่ำปลี	792	-	ต่อกรัมของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป
แครอท	693	-	ต่อกรัมของแข็งระเหยที่ถูกทำลายไป
ฟางปอ ขยะเปียก	333	300	
เศษหญ้า	500	-	ค่าเฉลี่ย
มันฝรั่ง	390	-	ค่าเฉลี่ย
กระดาษ	480	-	
ต้นกก	475	-	ค่าเฉลี่ยของกระดาษหนังสือพิมพ์
ฟางข้าว	470	-	
สาหร่ายทะเล	455	-	
ผักตบชวา	-	300	
ฟางข้าวสาลี	-	163	
ไม้	310	-	ค่าเฉลี่ย
	-	5	

ถังสร้างกรดช่วยป้องกันการเจริญที่มากเกินไปของแบคทีเรียสร้างกรด อันเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัวของระบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Bulking) ในถังสร้างมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญได้เร็วกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน และผลิตสารพอลีเมอร์ (Extracellular polymer) ออกมาจำนวนมาก (Yoda *et al*, 1989) จากการศึกษา ของ Endo และคณะ (1988) พบว่าถังสร้างกรดจำเป็นมาก เพื่อป้องกันการเกิดการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากมีแบคทีเรียสร้างกรดแบบเส้นใยจำนวนมากเกิดขึ้นในระบบ นอกจากนี้ถังสร้างกรดยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำไปใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพอื่นๆทำให้ประหยัด เนื่องจากถังสร้างกรดจะเปลี่ยนน้ำเสียที่ซับซ้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นกรดไขมันระเหยอย่างง่าย สำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ในระบบ เช่น ระบบ Biological Nutrient Removal และระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (Alexion, 1994)

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศ

เนื่องจากการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศ ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิดคือ พวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด และพวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นเพื่อควบคุมระบบให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นจะต้องทำให้แบคทีเรียต่างๆเหล่านี้ อยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นกับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางด้านการทำงาน (Lawrence, 1971)

2.6.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

2.6.1.1 พีเอช

พีเอชเป็นสิ่งที่ใช้บ่งชี้สภาวะในถังหมักไร้อากาศได้ แต่เป็นปัญหาคือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ช้า ในขณะที่กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าพีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากผลของการบัฟเฟอร์ของความเป็นด่างกายในถังหมัก ดังนั้นการใช้ค่าพีเอชสำหรับการแก้ไขสภาวะภายในถังหมักอาจไม่ทันการ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น แต่ค่าพีเอชก็ยังมีความสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6- 7.6 หรือต่ำกว่านี้คือ พีเอชเท่ากับ 6.4 (Barker, 1956) แต่ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 7.0-7.2 นอกเหนือจากช่วงพีเอชดังกล่าวแล้วการหมักแบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพลดลง และที่พีเอช 6.2 หรือต่ำกว่านี้การทำงานของระบบจะล้มเหลวเพราะไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่ง McCarty และ McKinney (1961) ได้จัด H^+ ไว้อยู่ในพวกแคตไอออนที่เป็นพิษ

2.6.1.2 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่าง หมายถึง ค่าความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 2,5000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

2.6.1.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA)

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียจำพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ เมื่อปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่ายไม่ควรเกิน 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุรพล, 2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.1.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญต่อระบบการหมักแบบไม่มีอากาศ เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเร็วขึ้นด้วย (Pfeffer, 1974 ; Cooney and Wise, 1975 ; Therkelson and Carlson, 1979) มีผลทำให้ระยะเวลาการหมักลดลง

อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักแบบไม่มีอากาศ แบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ

ก. Mesophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 21 - 40 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 35-40 องศาเซลเซียส

ข. Thermophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 40 - 60 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 53-60 องศาเซลเซียส

มีรายงานว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไม่มีอากาศ สามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 0-55 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ถังหมักจึงควรทำงานในช่วง mesophilic และ thermophilic เท่านั้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2524) การหมักในช่วงอุณหภูมิสูงจะดีกว่าการหมักในช่วงอุณหภูมิต่ำ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ประมาณ 1.9 เท่า (Bryant, 1979) แต่ระบบการหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ thermophilic bacteria ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบ และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักให้ได้ 55องศาเซลเซียสอีกด้วย

2.6.1.5 สารอาหาร

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่มีอากาศต้องการสารอาหารหลายชนิด ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ สารอาหารหลัก (macronutrient) และสารอาหารรอง (micronutrient หรือ trace element) โดยสารอาหารหลักได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนของการสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญ ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก พบว่าแบคทีเรียต้องการสารอินทรีย์ในอัตราส่วน C : N ประมาณ 20-30 : 1 ส่วนสารอาหารรองได้แก่ แคลเซียม(Ca) แมกนีเซียม(Mn) สังกะสี(Zn) แมงกานีส(Mg) ทองแดง(Cu) โคบอลต์(Co) เหล็ก(Fe) และนิเกิล(Ni)(McCarty and McKinney, 1961 ; Gosh, 1978) หน้าที่ของสารอาหารรองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

67276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็น

สารอาหาร	ความเข้มข้น(กรัมต่อลิตร)	
Fe^{2+}	0.2	ผลต่อโครงสร้างฟิล์มชีวภาพ(bioflim)การตกตะกอนของซัลไฟต์
Ni^{2+}	0.1	สร้าง F_{420} CO factor ในพวก methanogen
	0.06	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
SO_4^{2-}	0.02	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
CO^{2+}	0.03	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์

ที่มา : สุรพล (2530)

2.6.1.6 สารพิษ

สารบางอย่างถ้ามีในถังหมักมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างสารพิษต่างๆมีดังนี้

ก. กรดไขมันระเหยง่าย

กรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อจุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะกรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อค่าพีเอชภายในถังหมัก เดิมพบว่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ความเข้มข้นมากกว่า 2,000มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน โดยจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนน้อยลง แต่ McCarty and Mckinney(1961)ได้ทำการทดลองพบว่ากรดไขมันระเหยง่ายที่สูงถึง10,000มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดแอซีติกจะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรียถ้ามีปริมาณของสารที่ปรับสภาพ (buffering capacity)เพียงพอ ถ้าไม่เพียงพอจะมีผลทำให้พีเอชลดลงจนแบคทีเรียไม่สามารถทนได้

ข. แคตไอออนของโลหะเบา

กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตขึ้นจะมีผลทำให้พีเอชลดลง การควบคุมจึงเกี่ยวข้องกับการเติมเบสเพื่อรักษาพีเอชให้เป็นกลาง ในการทำเช่นนี้ควรระวัง เพราะแคตไอออนของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบสเกือบทั้งหมดมีผลเป็นพิษต่อแบคทีเรีย และความเป็นพิษของแคตไอออนนั้นมีปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แคตไอออนเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของแคตไอออนด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งแบคทีเรียของแคตไอออนโลหะเบา

	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
แคตไอออน	กระตุ้น	เริ่มยับยั้ง	ยับยั้งรุนแรง
Na^{+}	100-200	3,500-5,500	8,000
K^{+}	200-400	2,500-4,500	12,000
Ca^{2+}	100-200	1,500-4,500	8,000
Mg^{2+}	75-150	1,000-1,500	3,000

ที่มา : McCarty (1964)

ค. โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นต่ำมากๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ความเป็นพิษที่รุนแรงนี้ไม่จำเป็นว่าจะทำให้เกิดปัญหาในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะว่าส่วนที่ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษ และความเข้มข้นละลายของโลหะหนักสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษ โดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ ถ้าซัลไฟด์ที่เกิดเองไม่เพียงพอควรเติมเฟอรัสซัลเฟต (Lawrence and McCarty, 1965) โดยวิธีนี้ซัลไฟด์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกดึงออกจากสารละลายโดยเหล็ก ถ้ามีโลหะหนักเพิ่มขึ้นในถังหมักจะเกิดการดึงซัลไฟด์ออกจากเหล็ก เนื่องจากเหล็กซัลไฟด์ละลายได้มากที่สุดในกลุ่มโลหะหนักซัลไฟด์ ถ้าพีเอชมากกว่า 6.4 เหล็กที่ถูกปล่อยออกมาจะตกผลึกในรูปเหล็กคาร์บอเนต ดังนั้นจึงป้องกันความเป็นพิษจากการละลายของเหล็กได้

ง. ก๊าซบางชนิด เช่น

ซัลไฟด์ที่มีอยู่ในระบบกำจัดแบบไร้อากาศ เกิดจากซัลไฟด์ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบกำจัด หรือเกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งการย่อยสลายซัลเฟต หรือการย่อยสลายโปรตีน ซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษเพราะเข้าถึงเซลล์โลหะหนัก ทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ละลาย ดังนั้นการเติมโลหะ เช่น เหล็ก จะลดความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลาย เป็นการลดความเป็นพิษ ซัลไฟด์สามารถแยกออกในรูปของก๊าซ H_2S ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลว และส่วนประกอบของก๊าซ ซึ่งการหาความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายสำหรับการตรวจสอบผลความเป็นพิษที่เป็นไปได้ต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมด (Lawrence and McCarty, 1965)

แอมโมเนียเป็นอีกสารหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ ซึ่งสามารถเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ตะกอนน้ำเสียเกือบทั้งหมดมีปริมาณโปรตีนมาก ขณะที่โปรตีนสลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนีย แอมโมเนียจะเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือแอมโมเนีย (NH_3) ขึ้นอยู่กับพีเอชของระบบด้วย ดังสมการ

$$NH_4^+ \quad <-------> \quad NH_3$$

ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนเกิน 150 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเกิดความเป็นพิษที่รุนแรง (McCarty, 1964) ขณะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนต้องมากกว่า 3000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรจึงจะมีผลเหมือนกัน ถ้าพีเอชเท่ากับ 7.2 หรือต่ำกว่า แอมโมเนียเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน ดังนั้นจุลินทรีย์สามารถทนความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งหมดจนเข้าใกล้ 3000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรได้โดยมีผลเสียเล็กน้อย

2.6.2 ปัจจัยทางด้านการทำงาน

2.6.2.1 ระยะเวลาเก็บกัก

เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจะเพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บกักอินทรีย์สาร จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นจะลดลง แต่ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้อยเกินไป จะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก จนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่แบคทีเรียถูกล้างออกจากระบบในอัตราที่เร็วกว่าแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลว นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บกักจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบถังหมัก กล่าวคือระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก สามารถหาได้โดยการหาปริมาตรถังหมักด้วยปริมาตรของของเสียที่เติมลงในถังหมักต่อหน่วยเวลา (สุพรรณี, 2536)

2.6.2.2 อัตราการป้อนอินทรีย์สาร

เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่กำหนดความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย การปรับอัตราการป้อนอินทรีย์สารให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของเสียที่ไหลผ่านถังหมัก หรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็ง หรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะมีผลต่อระยะเวลาเก็บกัก (สุพรรณี, 2536)

2.6.2.3 การกวน

การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศ เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่างๆของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน(รูปที่ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบถังหมักแบบไม่มีอากาศ

ชนิดและประเภทของถังหมักแบบไม่มีอากาศ (เพ็ชรพร , 2537)แบ่งออกได้ ดังนี้

2.11.1 ถังหมักไร้อากาศแบบธรรมดา

ระบบถังหมักไม่มีอากาศที่ใช้กันแพร่หลายในการย่อยสลายตะกอน จากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ระบบกำจัด ประกอบด้วยถังหมักซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซ เพื่อระบายก๊าซจากระบบ ระบบถังหมักธรรมดามี 2 แบบ คือ

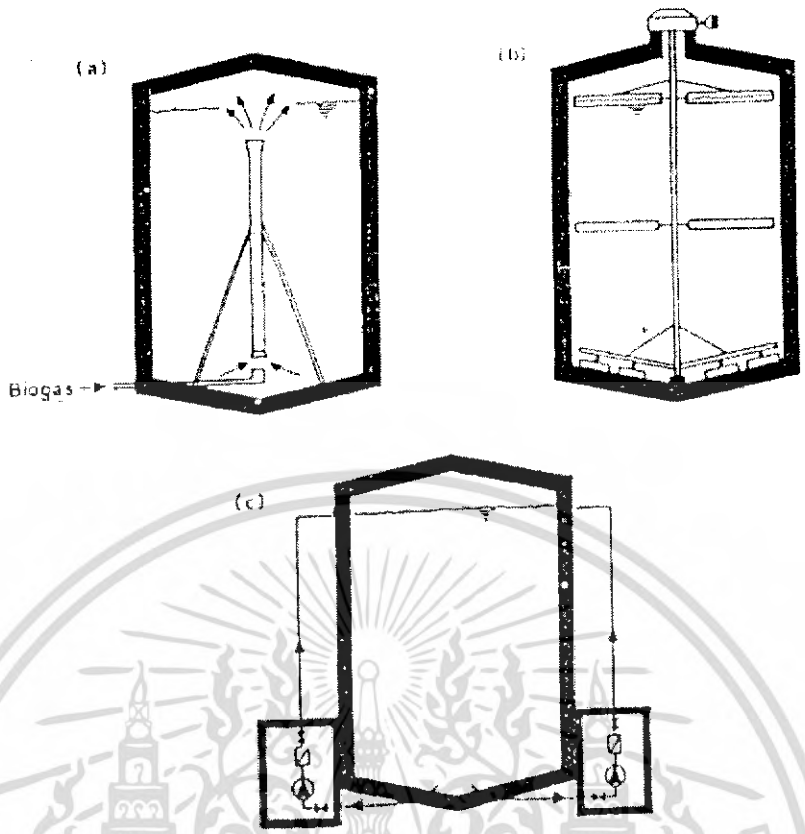
2.11.1.1 ถังหมักแบบไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดต่ำ

ภายในถังหมักไม่มีเครื่องกวน ทำให้ตะกอนหนักจมลงก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นตะกอนเบาจะหนาหลายฟุต ซึ่งเป็นการลดปริมาตรในถัง และเกิดการลัดวงจร (short circuit) ได้ง่ายอีกด้วย ของเหลวและตะกอนในถังหมักจะแยกออกเป็นส่วนๆ ได้แก่ (1) scum layer เป็นชั้นของตะกอนที่ลอยตัว เนื่องจากมีรูพรุน หรือมีฟองก๊าซอยู่ (2) supernatant เป็นชั้นของน้ำที่ตะกอนแยกตัวออก (3) active layer เป็นชั้นที่มีการย่อยสลายตะกอน แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญในชั้นนี้ และ (4) stabilized solids เป็นตะกอนที่ย่อยสลายแล้วตกลงสู่ก้นถัง ส่วนก๊าซซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการย่อยสลายส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยสู่ส่วนบนของถังซึ่งจะช่วยขยาย active layer ทำให้การย่อยสลายตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว แสดงดังรูปที่ 2.5

2.11.1.2 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง

ภายในถังหมักมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง (completely mixed) (รูปที่ 2.6 และ 2.7) ในถังแบบนี้มีการลัดวงจร (short circuit) น้อยลง ทำให้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำทิ้งที่จำเป็นน้อยลง และประสิทธิภาพดี เนื่องจากจุลินทรีย์สัมผัสกับของเสียได้ทั่วถึงมากยิ่งขึ้น แต่น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้ต้องมีการแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกก่อน สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเปลี่ยนไปในรูปก๊าซชีวภาพ และตะกอนที่ย่อยแล้วจะมีความเข้มข้นประมาณครึ่งหนึ่งของตะกอนที่ยังไม่ผ่านการบำบัด เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศช้ามาก ดังนั้นจึงต้องการระยะเวลาการเก็บกักน้ำประมาณ 10-30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



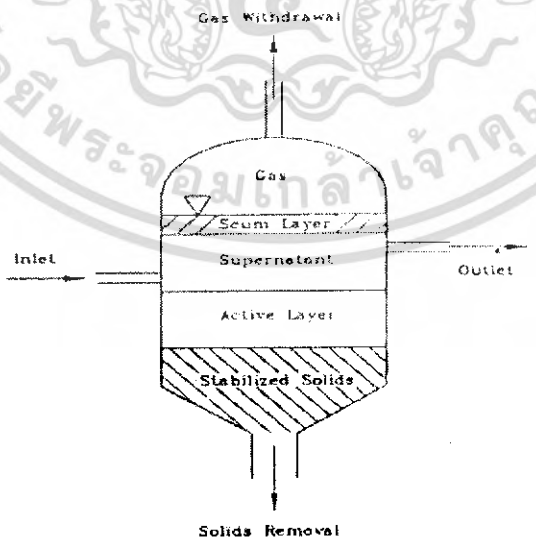
รูปที่ 2.4 กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก

1) การใช้สูบผ่านท่อน้ำ (pumping draft tube)

2) การใช้เครื่องกวน (mechanical mixing)

3) หมุนเวียนตะกอนด้วยปั๊ม (recycling of sludge by pump)

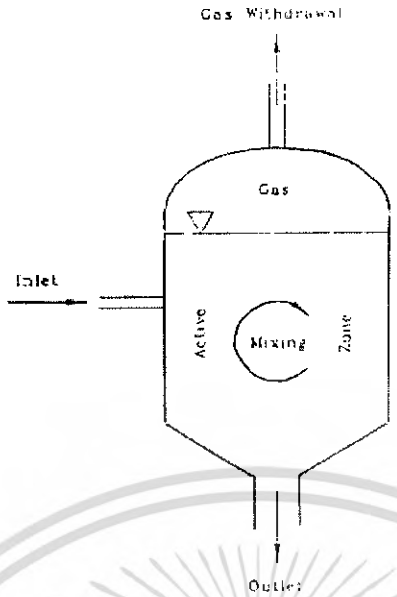
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)



รูปที่ 2.5 ถังหมักแบบไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดต่ำ

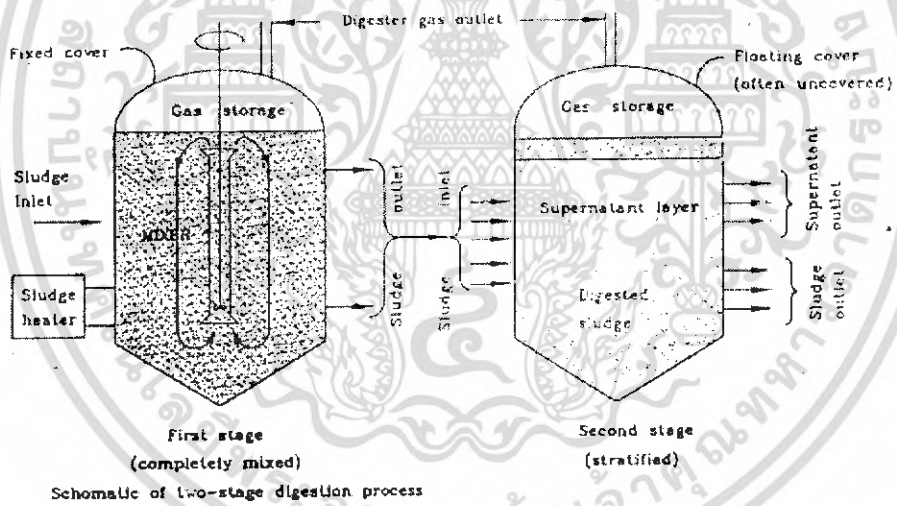
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง

ที่มา : เพ็ชรพร (2537)



รูปที่ 2. 7 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน

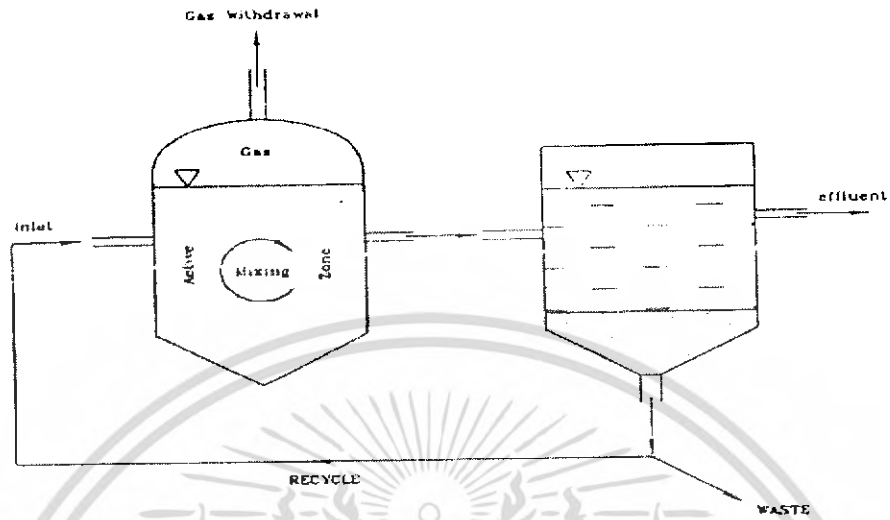
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

2.11.2 ถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส

เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการกำจัดสูง(รูปที่ 2.8) ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งอาจเป็นของแข็ง หรือสารละลายก็ได้ ในบางครั้งอาจเป็นถังแบบหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังหมักแบบสัมผัสนี้จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบตะกอนเร่งแบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอนอาจใช้ได้กับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของค่า COD ที่เหมาะสม คือ 4,000-50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร



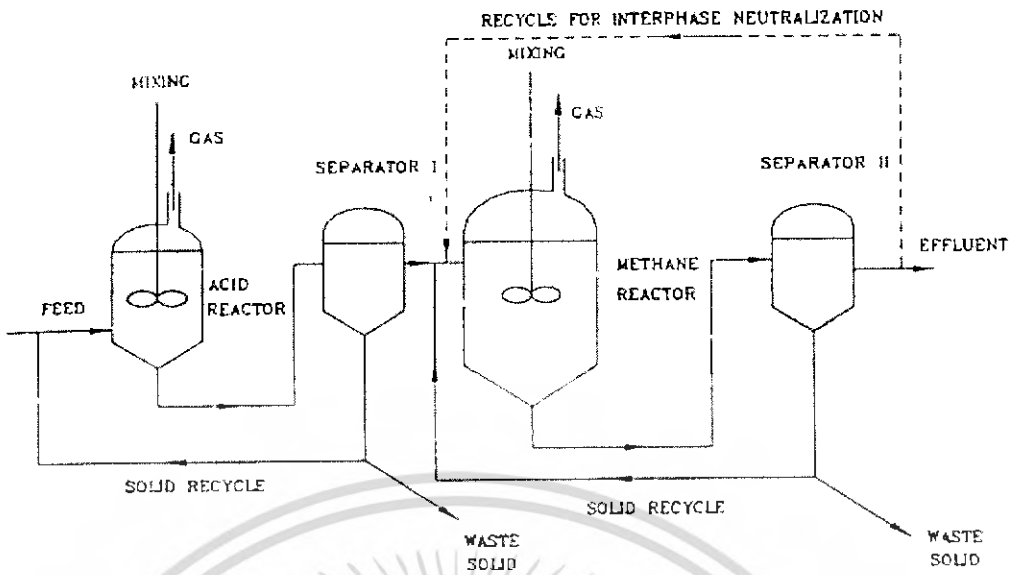
รูปที่ 2.8 ถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส

ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

2.11.3 ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส

เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วน (รูปที่ 2.9) ตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์แต่ละชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟสที่ใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมัก ถังใบแรกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6 แต่จะมีแบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังใบที่สองซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน การควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกสร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส

ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

2.8 การย่อยสลายแบบไม่มีอากาศสองขั้นตอน (Ghosh *et al.*, 1975)

2.8.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศสองขั้นตอน

การย่อยสลายแบบไม่มีอากาศสองขั้นตอนมีข้อได้เปรียบหลายอย่างเมื่อเทียบกับการย่อยสลายแบบธรรมดาและแบบอัตราสูง (Conventional standard and high rate process) ซึ่งได้แก่

2.8.1.1 สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สำหรับจุลินทรีย์ในถังหมักได้

2.8.1.2 สามารถลดขนาดของถังหมักได้ซึ่งผลที่ตามมาคือประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและควบคุม

2.8.1.3 มีอัตราการทำให้ของแข็งคงสภาพ (solids stabilization) สูง และอัตราของผลผลิตก๊าซขั้นสุดท้ายมีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนสูง

2.8.1. 4 ลดความต้องการความร้อน (พลังงาน) ที่ต้องการ และเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนให้สูงขึ้น

2.8.1.5 เหมาะสำหรับการติดตั้งร่วมกับระบบบำบัดที่มีอยู่แล้วโดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ

2.8.1.6 ลดองค์ประกอบของไนโตรเจนของน้ำเสียที่ออกจากระบบด้วยการละลายน้ำและเกิด denitrification ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ข้อเสียที่สำคัญของระบบแบบไม่มีอากาศสองขั้นตอน คือ

2.8.2.1 ต้องมีการควบคุมด้วยผู้ชำนาญการ

2.8.2.2 ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเพื่อใช้สำหรับติดตาม ตรวจสอบและควบคุม

ค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบการย่อยสลายแบบไม่มีอากาศแบบสองขั้นตอนอาจจะไม่สูงกว่าระบบแบบธรรมดา เพราะค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าของอุปกรณ์ประกอบรวมทั้งค่าแรงที่สูงกว่าอาจจะถูกชดเชยจากการลดความร้อน (พลังงาน) น้อยลงและ ค่าลงทุนครั้งแรกที่ต่ำกว่า

2.8.3 วิธีการแยกขั้นตอนการทำงาน

จุดประสงค์ของการแยกทางกายภาพของแบคทีเรียที่สร้างกรด และแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็เพื่อที่จะคงสภาพความหนาแน่นของแบคทีเรียทั้งสองชนิดให้แยกกันในแต่ละถังหมักเพื่อให้เกิดการเจริญอย่างสูงสุดทั้งของพวกสร้างกรดและสร้างมีเทน ด้วยวิธีการควบคุมที่แยกกันโดยการใช้คุณสมบัติที่ต่างกันของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มในการควบคุม ดังนั้นวิธีการแยกขั้นตอนไม่ได้หมายถึงการแยกกันอย่างเด็ดขาดของสายพันธุ์ (species) ของพวกที่สร้างมีเทนทั้งหมดออกจากถังหมักกรดและในทางกลับกันการแยกอย่างสมบูรณ์อาจจะเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

Zeikus(1979) กล่าวว่าการแยกจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มออกจากกันอย่างเด็ดขาด อาจจะเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมเช่นในระบบสองขั้นตอน เนื่องจากว่าอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพสมดุลของระดับการย่อยสลายระหว่างกลางได้ ซึ่งก่อให้เกิดการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจน และ/หรือความเข้มข้นของโปรตอน ที่จะเป็นพิษต่อกลุ่มจุลินทรีย์และอาจจะสามารถสร้างเงื่อนไขทางจลนศาสตร์ความร้อนที่ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายของกรดอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แหล่งจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ เชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งมีลักษณะเป็นเชื้อผสม จากห้องปฏิบัติการภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

3.2 นมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

ตัวอย่างนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้วันหมดอายุหาซื้อได้จากบริเวณลาดกระบังโดยตัวอย่างนมที่ได้นั้นนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.3 ระบบถังหมัก

ถังหมักในระบบห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟสชนิดที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 3.1) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

3.3.1 ถังหมัก

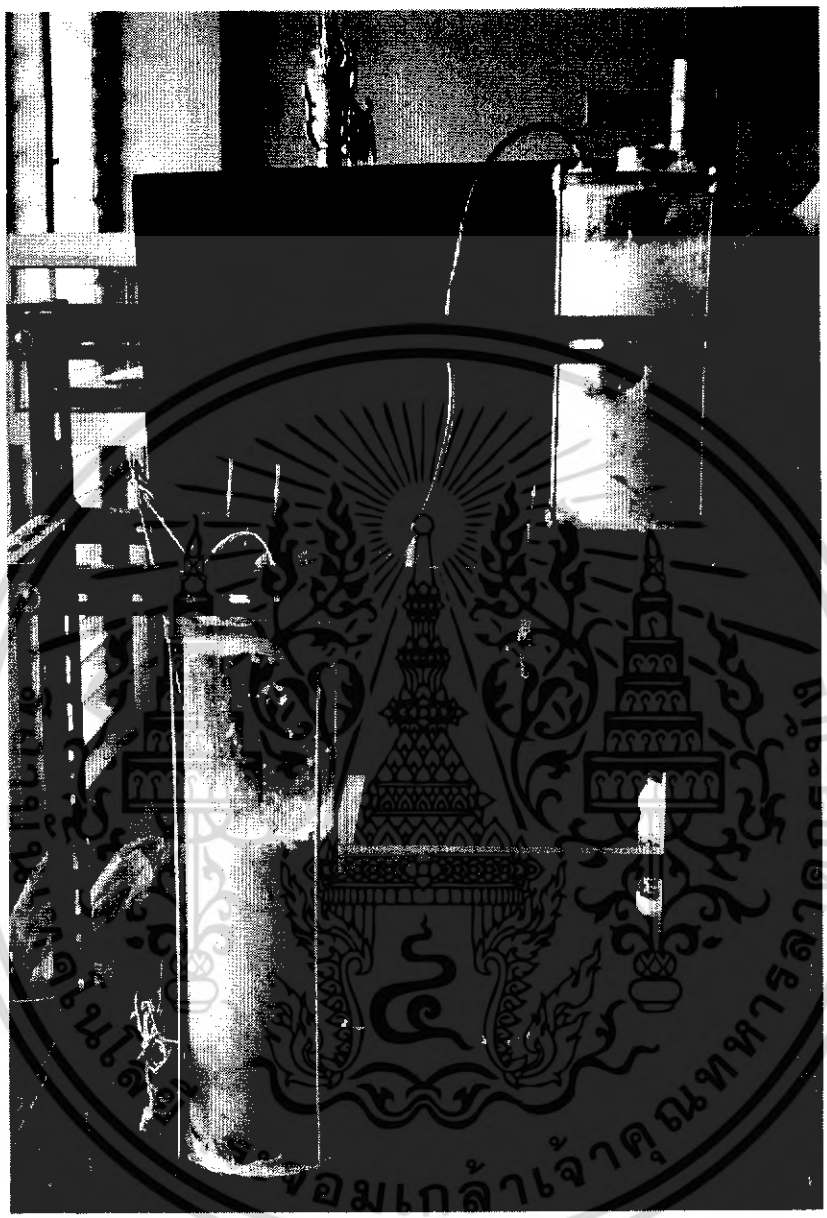
ส่วนของถังหมักถูกแบ่งเป็น 2 ถังย่อย ดังนี้

3.3.1.1 ถังใบแรก มีลักษณะเป็นท่ออะครีลิคใสเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างของท่อปิดสนิทด้วยแผ่นอะครีลิคใสหนา 1 เซนติเมตร โดยมีปริมาตรความจุ 4 ลิตรและมีปริมาตรการหมักเป็น 2 ลิตร เจาะถังด้านบนเป็นท่อสำหรับป้อนของเหลวและท่อนำก๊าซ ส่วนด้านล่างของถังเจาะเป็นท่อสำหรับปล่อยของเหลวไปยังถังใบที่ 2 ภายในถังหมักจะมีการกวนผสมด้วยใบพัดต่อกับมอเตอร์ที่มีความเร็วในการหมุน 5 รอบต่อนาที ทำการหมักโดยให้สภาวะภายในถังหมักมีค่าความเป็นกรดเพื่อผลิตกรดอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

3.3.1.2 ถังใบที่สอง มีลักษณะเป็นท่ออะครีลิคใสเส้นผ่านศูนย์กลาง15 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างของท่อปิดสนิทด้วยแผ่นอะครีลิคใสหนา 1 เซนติเมตร โดยมีปริมาตรความจุ 8 ลิตรและมีปริมาตรการหมักเป็น 6 ลิตร ด้านบนของถังเจาะเป็นท่อสำหรับรับของเหลวที่มาจากถังใบแรกและท่อนำก๊าซที่เชื่อมต่อระหว่างถังใบแรกและใบที่ 2 และท่อนำก๊าซชีวภาพ วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้จะไหลผ่านหลอดรูปตัวยู (U) ที่ใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซ ทำการหมักแบบสภาพของน้ำหมักที่เป็นกลาง เพื่อผลิตก๊าซมีเทนโดยอัตราส่วนของถังหมักใบที่แรกต่อใบที่สองนั้น มีอัตราส่วน

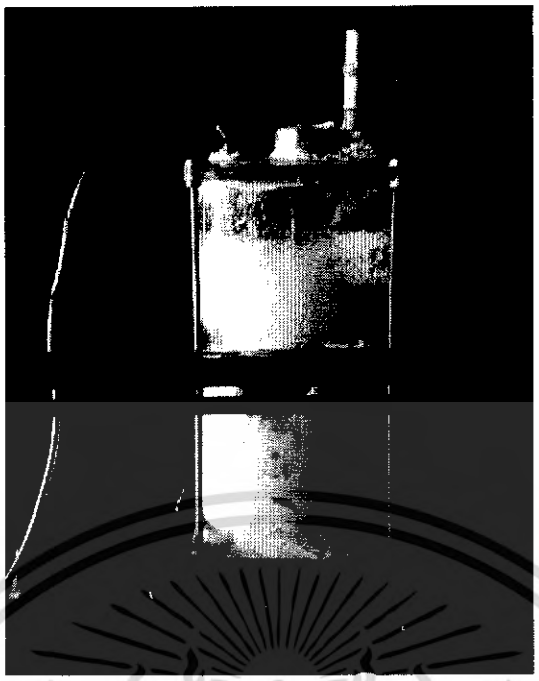
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบรรจุน้ำหมักคือ 1 : 3 ซึ่งถังหมักใบที่ 2 และแผนภาพของระบบถังหมักแสดงดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

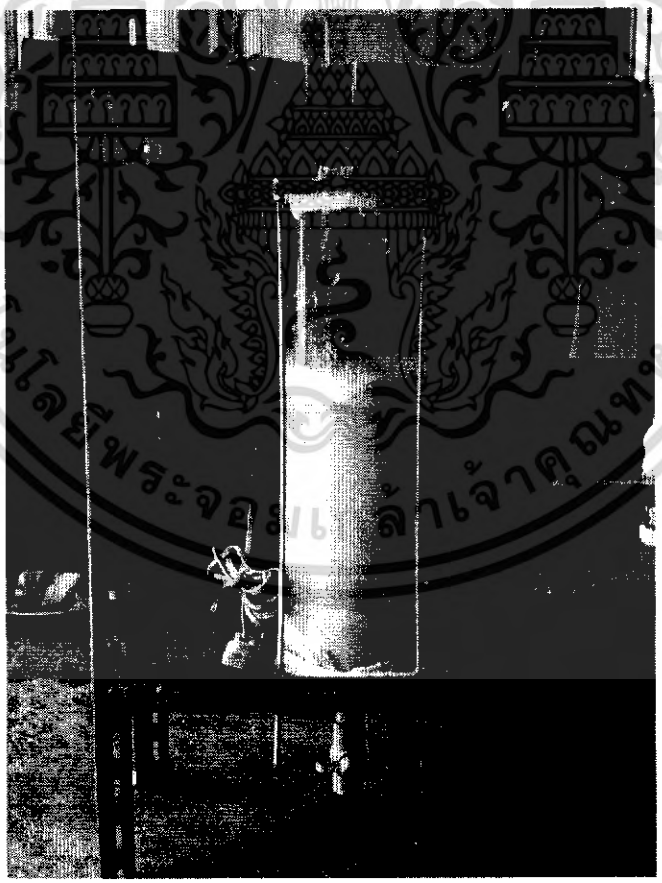


รูปที่ 3.1 ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟสชนิดที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

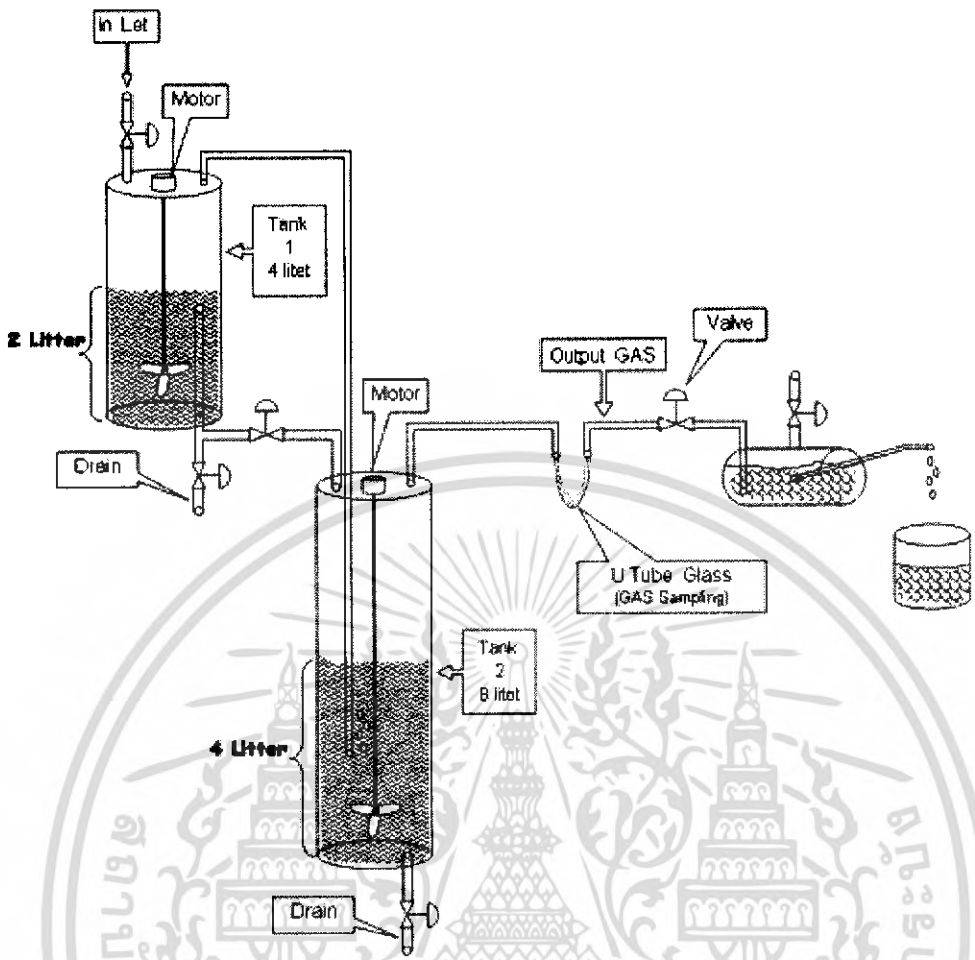


รูปที่ 3.2 ถังหมักใบที่ 1



รูปที่ 3.3 ถังหมักใบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพของระบบถังหมัก

3.3.2 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ถังเก็บก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นขวดแก้วขนาดความจุ 5 ลิตร วางในแนวนอน ปากขวดปิดด้วยจุกยางเจาะรูและใส่แท่งแก้ว 3 แท่ง ขนาด 0.5 เซนติเมตร แท่งหนึ่งต่อกับสายยางที่นำก๊าซออกมาจากถังหมัก ส่วนอีกแท่งต่อเข้ากับสายยาง งอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วเพื่อให้ปลายของแท่งแก้วแตะส่วนล่างของขวด วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นได้โดยการวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซ และแท่งสุดท้ายสำหรับปล่อยก๊าซออกจากถังเมื่อเติมน้ำเข้าสู่ถัง โดยงอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะด้านบนของขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องวัดพีเอช (Eutech รุ่นpH 150)

2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Shimadzu LFBROR รุ่นEB-4000H)

3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น A2005)

4) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Falcon รุ่น 6/300)

5) เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี

6) ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ-20 องศาเซลเซียส (Mirage รุ่น FZ189)

7) เตาไฟฟ้า (Corning Hot Plate Stirrer รุ่น PC-351)

8) เตาเผา (Carbolite รุ่น CSF 1200)

9) โถดูดความชื้น

10) ตู้อบ (WTC binder รุ่น ED53)

11) บิวเรตต์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

12) ขวดบีโอดีขนาด 300.0 มิลลิลิตร ที่มีจุดปิดสนิท

13) ตู้บ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

14) ฟลาสก์ ขนาด 250 มิลลิลิตร

15) ฟลาสก์ ขนาด 500 มิลลิลิตร

16) กระบอกตวง ขนาด 500 มิลลิลิตร

17) กระบอกตวง ขนาด 1000 มิลลิลิตร

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

19) ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

3.5 การดำเนินการวิจัย

3.5.1 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมัก

น้ำนมพาสเจอร์ไรส์รสจืดที่ใกล้หมดอายุใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมัก 250 มิลลิลิตร

3.5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้วันหมดอายุ

นำตัวอย่างสารละลายมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ตามวิธีของธงชัย และวิบูลย์ลักษณ์ (2540) และวิธี Standard method for examination water and wastewater (Arnold, 1992) (ภาคผนวก ก)

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

2) ค่าบีโอดี

3) ค่าซีโอดี โดยวิธี Dichromate reflux method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid , VFA)โดยวิธีไทเทรต

5) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

3.5.3 การทดสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นแล้วก๊าซจะออกมาตามรอยรั่วต่างๆ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ การตรวจสอบทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักแล้วสังเกตการั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการตรวจสอบการรั่วของก๊าซที่อาจเกิดขึ้นโดยใช้น้ำสบู่แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยการใช้กาวซิลิโคนและการเชื่อมด้วยเส้นพีวีซี

3.5.4 ระยะเริ่มต้นของถังหมัก

ในการทดลองใช้ถังหมักไร้อากาศแบบ 2 เฟส ขนาดความจุ 4 ลิตรและ 8 ลิตรตามลำดับ ซึ่งในแต่ละถังมีปริมาตรการหมักเป็น 2 ลิตรและ 6 ลิตร ตามลำดับ ในแต่ละถังเริ่มต้นดำเนินระบบโดยการเติมนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุลงไปในถังกรดปริมาตร 2 ลิตร และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงไปในถังมีเทนปริมาตร 6 ลิตร

การป้อนของเหลวเข้าสู่ถังหมักเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) คือ มีการเติมของเหลวใหม่ลงไปเมื่อมีการเก็บของเหลวออกจากถังหมัก โดยมีปริมาตรการเติมของเหลวใหม่เท่ากับปริมาตรของเหลวที่เก็บจากถังหมักคือ 250 มิลลิลิตรจัดเป็นการรักษาปริมาตรของเหลวในถังหมักให้คงที่ ที่ 2 และ 6 ลิตร ตลอดการทดลองและทำการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง

3.5.5 การหมักก๊าซชีวภาพ

นำตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, COD, BOD, TS และ VFA ทำการวิเคราะห์ทุก 3 วัน จนระบบถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุล พิจารณาจากปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันเริ่มมีปริมาณคงที่

บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปของปริมาตรก๊าซทั้งหมด (total gas) จากระบบเก็บก๊าซที่อาศัยหลักการการแทนที่น้ำ(หน่วยเป็นลิตรต่อวัน) ส่วนการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ จะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซสัปดาห์ละครั้ง โดยการดูดเก็บก๊าซด้วยเข็มเก็บก๊าซ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.8 เปอร์เซ็นต์ จะได้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังหมัก ในการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน จะเก็บก๊าซจากเข็มเก็บก๊าซ ซึ่งจะมีจุกยางที่มีคุณสมบัติปิดตัวเองได้สนิทครอบอยู่ โดยในขณะเก็บตัวอย่างก๊าซจะทำการถอดจุกยางออกแล้วนำเข็มเก็บก๊าซดูดตัวอย่างก๊าซที่อยู่ในสายยางที่เป็นส่วนของเก็บตัวอย่างก๊าซ เสร็จจากการเก็บตัวอย่างแล้วก็จะปิดจุกอย่างไว้อย่างเดิม นำตัวอย่างก๊าซที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี

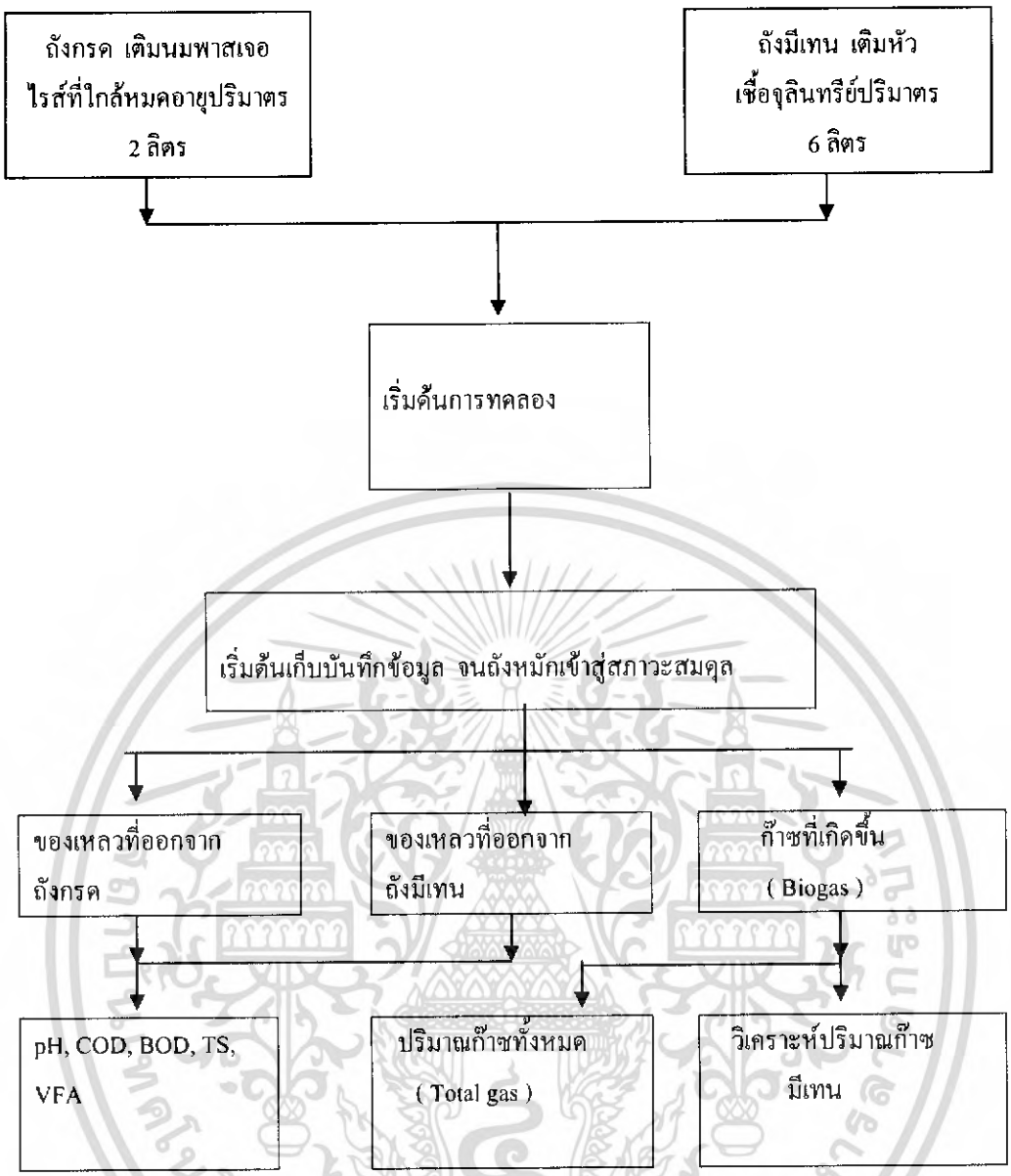
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ระยะเก็บข้อมูล

นำตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, COD, TS, VFA และ BOD ทำการวิเคราะห์ทุกๆ 3 วัน จนระบบถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุล (รูปที่ 3.5) พิจารณาจากปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันเริ่มมีปริมาณคงที่ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลังจากระบบถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุลมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ

บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปของปริมาตรก๊าซทั้งหมด (total gas) จากระบบเก็บก๊าซที่อาศัยหลักการแทนที่น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน ส่วนการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ จะทำการเก็บตัวอย่างวันเว้นวัน โดยการดูดเก็บก๊าซด้วยหลอดสุญญากาศ (venoject tube) (รูปที่ 3.6) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี เปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.8% จะได้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ในการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน จะเก็บก๊าซจากหลอดรูปตัวยู (รูปที่ 3.7) ซึ่งจะมีจุกยางที่มีคุณสมบัติปิดตัวเองได้สนิทครอบอยู่ โดยใช้เข็มสองปลายที่ติดกับตัวยึด (holder) ซึ่งมีลักษณะกลวงคล้ายกระบอกสูบ เมื่อจะทำการเก็บตัวอย่างนำหลอดสุญญากาศสอดเข้าไปในส่วนกลวงนี้ ปลายเข็มด้านหนึ่งแทงทะลุเข้าไปในจุกยางที่ครอบหลอดแก้วรูปตัวยู ปลายอีกด้านหนึ่งแทงเข้าไปในส่วนของหลอดสุญญากาศ ก๊าซในระบบเก็บก๊าซจะเข้ามาในหลอดสุญญากาศโดยอาศัยแรงดูด จากนั้นดึงหลอดสุญญากาศออกจากเข็มสองปลาย นำตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีภายใต้สภาวะการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนภูมิที่สรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 ลักษณะของเข็มเก็บก๊าซและหลอดสุญญากาศ

รูปที่ 3.7 ลักษณะของหลอดแก้วรูปตัวยู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

การทดลองนี้เป็นการใช้นมพาสเจอร์ไรส์ที่ใกล้หมดอายุที่มีค่าพีเอชอยู่ที่ 4.89 - 4.52 ค่า BOD, COD, TS และ VFA อยู่ที่ 59,247.76, 86,000, 78,610 และ 48,750 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

Parameter	ความเข้มข้น	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	4.89-4.52	4.70
BOD (mg/l)	88,495.57-29,999.91	59,247.76
COD (mg/l)	92,000-80,000	86,000
TS (g/l)	85.20-72.01	78.61
VFA (g/l)	51.75-45.75	48.75

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด

ในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, COD, TS, VFA และ BOD จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง คือ HRT เท่ากับ 30 วัน (ภาคผนวก ข) และมีการเติมของเหลววันละ 250 มิลลิลิตร

4.2.1 พีเอช

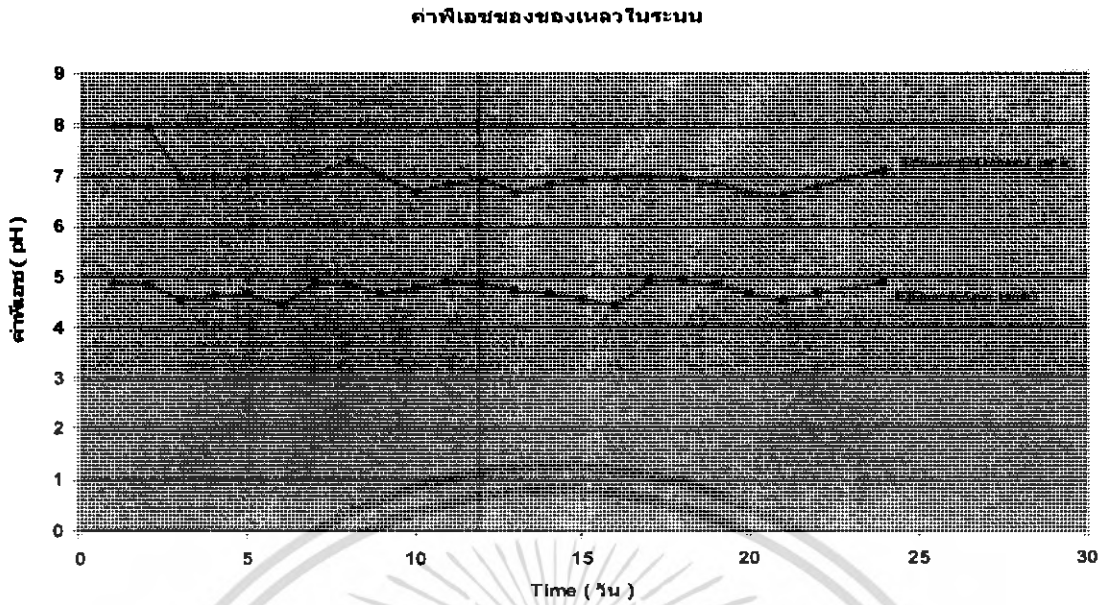
ค่าพีเอชของของเหลวในระบบ จะทำการตรวจวิเคราะห์ทุกวันจนถึงวันที่ 24 ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 ในช่วงแรกค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 6.63 และเมื่อดำเนินระบบต่อไป ค่าพีเอชจะเริ่มสูงขึ้นจนคงที่ ที่ประมาณ6.9 ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบ

Time (วัน)	Effluent(ถังกรด)	Effluent(ถังมีเทน)
1	4.87	7.97
2	4.84	7.94
3	4.55	6.95
4	4.63	6.97
5	4.66	6.96
6	4.44	6.97
7	4.88	7.01
8	4.84	7.32
9	4.65	6.99
10	4.78	6.67
11	4.88	6.82
12	4.87	6.93
13	4.72	6.67
14	4.66	6.83
15	4.55	6.93
16	4.44	6.95
17	4.89	6.94
18	4.90	6.93
19	4.84	6.82
20	4.66	6.65
21	4.52	6.63
22	4.69	6.79
24	4.87	7.10
ค่าเฉลี่ย	4.93	6.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และเวลา (วัน)

4.2.2 **ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์อินทรีย์สาร (Chemical Oxygen Demand, COD)**

ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบ เมื่อมีการเติมของเหลว 1วัน/ครั้ง และทำการเก็บตัวอย่าง 3 วัน/ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.3 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD ของของเหลวจากถังหมักทั้งสอง และเวลา (วัน) แสดงดังรูปที่ 4.2

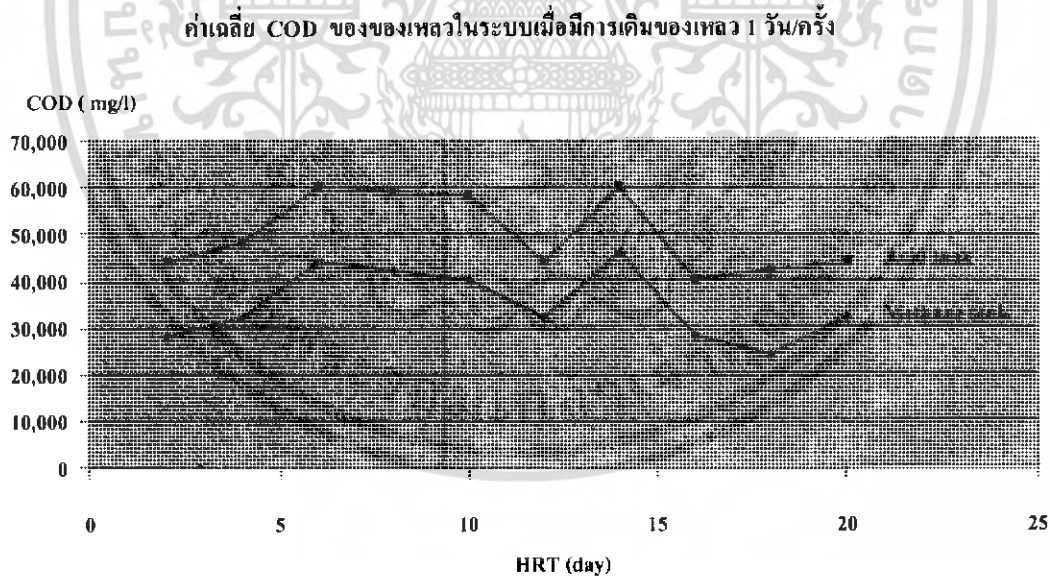
เมื่อดำเนินระบบโดยมีการเติมของเหลววันละครั้ง จากกราฟพบว่าระบบสามารถลดค่า COD จาก 48,000 เหลือ 33,000 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 5-10 มีการลดค่า COD ได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

วัน	Efffluent(ถังกรด) mg/l	Effluent (ถังมีเทน) mg/l
0	44,000	28,000
3	40,000	24,000
6	48,000	32,000
9	60,000	44,000
12	58,000	40,000
15	44,000	32,000
18	60,000	46,000
21	40,000	28,000
24	42,000	24,000
27	44,000	32,000

หมายเหตุ COD ของน้ำนมเท่ากับ 86,000



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าCOD และเวลา (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)

ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบ เมื่อมีการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดทั้งในถังกรด และถังมีเทน แสดงดังรูปที่ 4.3

ในการทดลองสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้โดยสามารถลดปริมาณของแข็งจาก 78.61 กรัมต่อลิตร ให้เหลือเพียง 15 กรัมต่อลิตรในช่วงวันที่ 5-10 แต่เมื่อดำเนินระบบต่อไป พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งของระบบนั้นลดลง

4.2.4 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty acid, VFA)

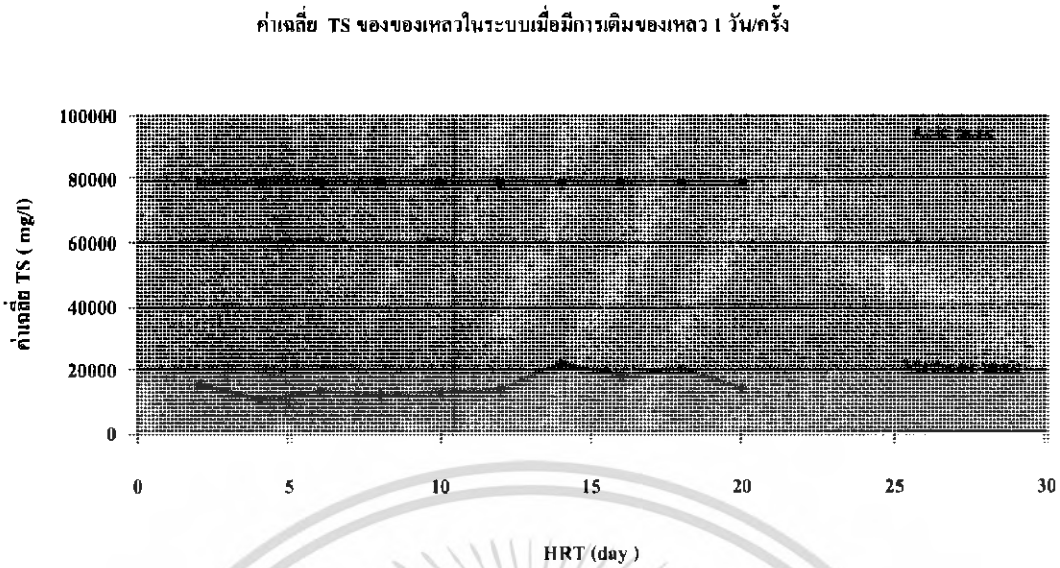
ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบ เมื่อมีการเติมของเหลว 1 วันต่อครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 3 วันต่อครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

วัน	Effluent (ถังมีเทน) mg/l
0	15,256
3	10,424
6	12,957
9	11,892
12	12,572
15	13,667
18	21,906
21	17,794
24	19,827
27	13,866

หมายเหตุ ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 78,610 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



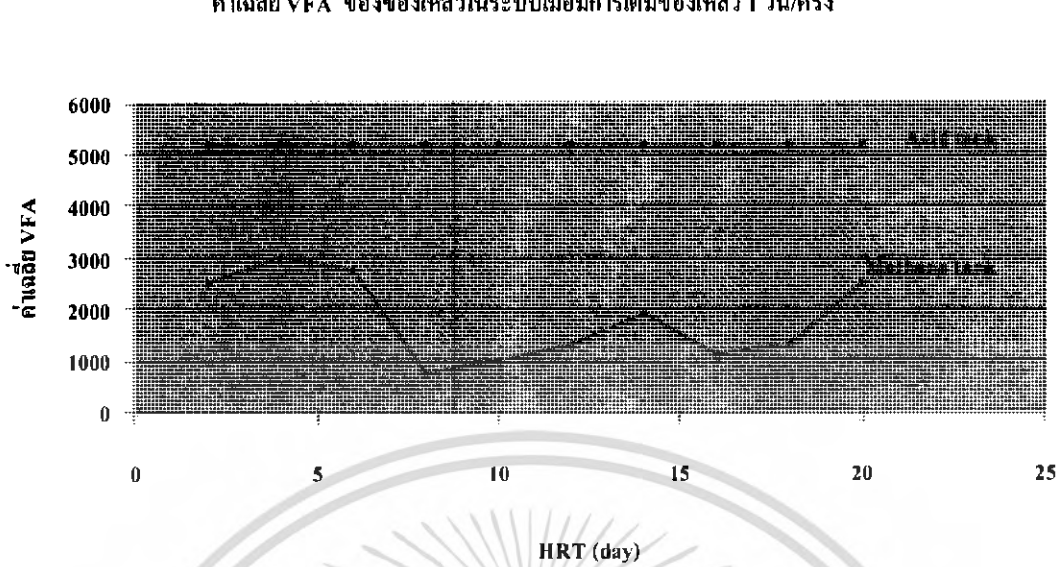
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าTS และเวลา (วัน)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่การเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

วัน	Effluent (ถังมีเทน) mg/l
0	2,500
3	3,000
6	2,760
9	750
12	970
15	1,290
18	1,900
21	1,100
24	1,300
27	250

หมายเหตุ ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4,875 mg/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าVFA และเวลา (วัน)

4.2.5 การผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ในระหว่างการทดลองจะทำการบันทึกการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยทำการบันทึกข้อมูลก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ละทำการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของก๊าซ โดยพิจารณาก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด (total gas production) และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (methane production)

4.2.5.1 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (total gas production)

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวัน จะได้ปริมาตรก๊าซทั้งหมดในหน่วยลิตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันภายใต้สภาวะการทดลอง (room condition) จะเห็นได้ว่าจากการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง และมีค่า HRT 20 วัน พบว่าจะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นสูงสุด คือ 0.86 ลิตรต่อวัน และต่ำสุดที่ 0.05 ลิตรต่อวัน

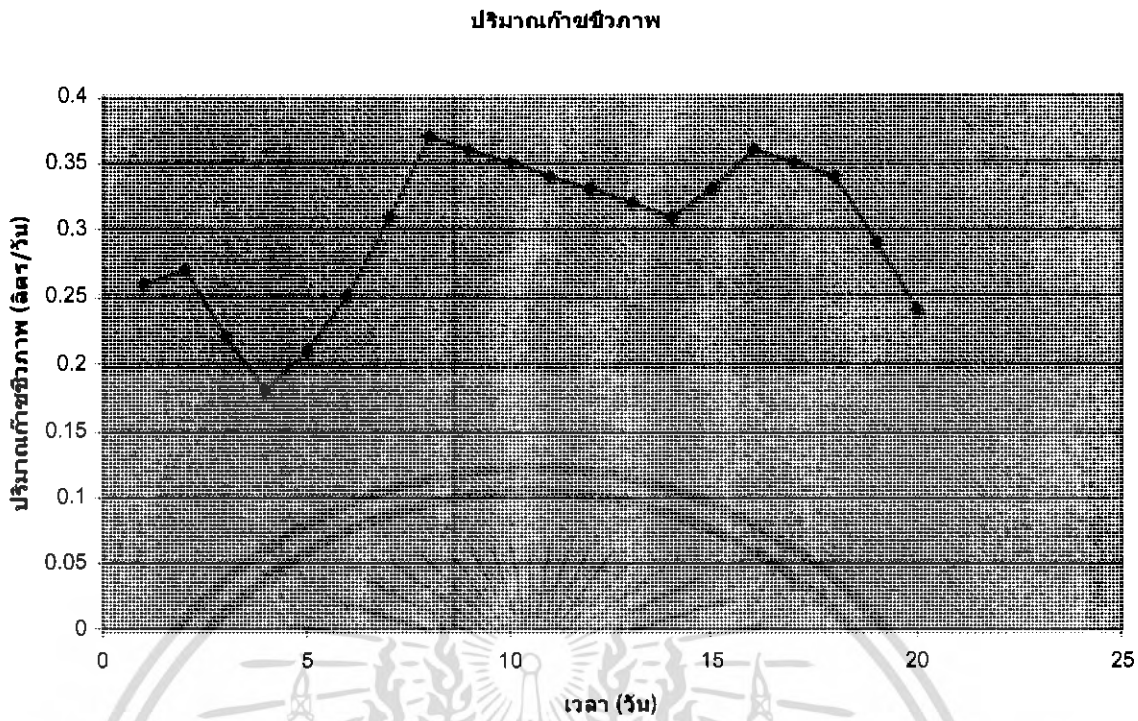
การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพ กับ เวลา (วัน)แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

เวลา (วัน)	ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน)
1	0.26
2	0.27
3	0.22
4	0.18
5	0.21
6	0.25
7	0.31
8	0.37
9	0.36
10	0.35
11	0.34
12	0.33
13	0.32
14	0.31
15	0.33
16	0.36
17	0.35
18	0.34
19	0.29
20	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ค่าพีเอชจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าน้ำตาลแล็กโทสในนมนั้นสามารถถูกใช้โดยจุลินทรีย์ที่เจริญได้โดยไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ แต่จุลินทรีย์ไม่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลแล็กโทสเป็น CH_4 และ CO_2 ได้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากอัตราการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรด และกลุ่มที่ผลิตมีเทนนั้นไม่เท่ากัน ซึ่งการสะสมของกรดอินทรีย์ปริมาณมากในทั้งหมดทำให้ค่าพีเอชในถังหมักมีค่าต่ำ จะมีผลทำให้ไปยับยั้งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทน ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อย สามารถสังเกตได้จากค่า COD และ TS จากผลการทดลองจะเห็นว่าช่วงแรกของการหมัก ค่าพีเอชจะลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อดำเนินระบบไปเรื่อยๆ จุลินทรีย์ในระบบเริ่มมีการปรับสภาพกับนมที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้แล้วจะทำการใช้สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้แบคทีเรียที่ผลิตมีเทนสามารถสร้างก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่หมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบ คือ เท่ากับ 6.69

ความเข้มข้นของ กรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid, VFA) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ชนิดของของเสีย และHRT คือ ที่อุณหภูมิสูงขึ้น และ/หรือมี HRT นานมากขึ้น ทำให้ VFA ลดลง ซึ่งในการทดลองนี้ค่า VFA ของของเหลวที่ออกจากระบบนั้นมีค่าต่ำกว่าในนม แสดงว่ากระบวนการ methanogenesis นั้นดำเนินอย่ามีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองพบว่า HRT วันที่ 5-10 ระบบมีการลดปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ได้มากที่สุดคือ จาก 4,875 เหลือ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดกรดไขมันระเหยได้ เท่ากับ 80.1- 84.62 เปอร์เซ็นต์

การผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน พบว่าสอดคล้องกับค่ากรดไขมันระเหยได้ (VFA) ซึ่งจุลินทรีย์สร้างมีเทนจะใช้กรดไขมันระเหยได้เป็นอาหารเพื่อการเจริญ ถ้าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ลดลงมากจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมาก จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงที่ช่วงวันที่ 5 - 10 โดยมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 0.37 ลิตรต่อวัน และคิดเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพนี้ เท่ากับ 0.2995 ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 ลิตรต่อวัน และสามารถผลิตได้มีเทนเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Chemical oxygen demand, COD) จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถลดค่า COD ได้จาก 48,000 เหลือ 33,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD เท่ากับ 31.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของการผลิตก๊าซชีวภาพจากหางนมที่ได้จากการทำเนยแข็ง (Ghaly, 1996) ที่มีค่าระหว่าง 28.2-36 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการป้อนของเหลวเข้าสู่ระบบจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่นคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แล้วเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ละลายอนุภาคสารอินทรีย์ให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก เพื่อให้จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และพลังงาน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้จาก 78,610 เหลือ 15,016.1 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 80.90 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารในรูป COD, TS และ VFA มีค่าต่ำ เนื่องจากมีอัตราการป้อนของเหลวเร็วเกินไป ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถกำจัดอินทรีย์สารได้หมด จึงมีอินทรีย์สารเหลือในระบบมาก เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารน้อย และยังมีผลทำให้พีเอชลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียทำให้ไม่สามารถกำจัดอินทรีย์สารได้หมด

ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมดเมื่อทำการทดลองเป็นเวลานานขึ้น ทำให้มีปริมาณอินทรีย์สารที่อยู่ในระบบมีปริมาณมากขึ้น ทำให้มีตะกอนของแข็งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการกวน เพราะของเหลวมีความหนืดมากขึ้น ทำให้อินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบไม่สามารถสัมผัสกับแบคทีเรียได้ทั่วถึง แบคทีเรียจึงย่อยสลายอินทรีย์สารได้ยาก ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อย

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของของเหลวที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 250-2,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่ามีค่าความแปรปรวนสูง เนื่องจากอุณหภูมิของระบบไม่คงที่ ส่งผลต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโดยทั่วไปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Buswell and Mueller, 1952)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถปรับสภาพเพื่อการอยู่รอดได้ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่อ่อนแอและมีบางส่วนตายลง และเนื่องจากการที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้ส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันระเหยได้ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยได้ก็มีความแปรปรวนสูงเช่นกัน

เนื่องจากงานวิจัยในเรื่องการนำนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุมาผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ จึงยังมีผู้ทำวิจัยไม่มากนักแม้แต่ในต่างประเทศเองก็ตาม สำหรับในประเทศไทยยังไม่พบว่ามีผู้ทำการศึกษาในเรื่องนี้มาก่อน มีเพียงแต่งานวิจัยของ ศักดิ์ชัย(2527) และ สมชาย(2530) ที่ได้ทำการศึกษาการนำขยะมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้และประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารกับงานวิจัยอื่น

	ผลจากการทดลองนี้	ศักดิ์ชัย(2527)[1]	สมชาย(2530)[2]
HRT (day)	30	15	3.49
Total gas production (l/d)	0.2995	1.025	0.138
COD removal (%)	31.25	50.28	76.78
TS removal (%)	80.90	60.40	86.67

[1] การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 1 ขั้นตอน

[2] การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน

จากผลการวิจัยของการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

2. ควรศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้นมพาสเจอไรส์ที่ใกล้หมดอายุ

3. ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใกล้หมดอายุในสภาวะถังหมักหลายๆชนิด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สาร และอัตราการผลิตก๊าซกับการทดลองในครั้งนี้

4. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของการพัฒนาระบบ เพื่อนำไปใช้งานในระดับภาคสนามและนำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์

5. ของเหลวที่ออกจากระบบถังหมักยังมีอินทรีย์สารอยู่ในระดับสูง ดังนั้นควรจะมีการศึกษาถึงการนำของเหลวดังกล่าวไปใช้ประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2539. สถิติการป่าไม้ของประเทศไทยปี2539. สำนักสารสนเทศ : กรมป่าไม้.

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

บุษบา ธรรมประเสริฐ. 2537. การกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ UASB. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพ็ชรพร คุณาวนากิจ. 2537. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์ และธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย. 2527. การย่อยสลายและผลิตก๊าซชีวภาพขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชอบความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2524. แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าโรงงานสุรากรมสรรพสามิต ตอนที่2.

สมชาย เจียมธีรสกุล. 2530. การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. 2536. ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอิทรีย์สารต่อการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ 2ขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยาประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

สุรพล สายพานิช. 2530. กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทกท์สเตบิดไลเซชั่นแบบแอนแอโรบิก. รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

Alexion, I.E., Anderson, G.K. andEvision, L.M. 1994. Design of pre-acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 2a : 199-204.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Andrews, J.F. and Pearson, E.A. 1965. Kinetics and characteristics of volatile acid production in anaerobic fermentation process. *Int. J. Air. Wat. Poll.* 9 : 439-461.

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

Barker, H.A. 1956. Biological formation of methane. *Ind. Eng. Chem.* 48(9) : 1438-1443.

Bryant, M.P. 1979. Microbial methane production theoretical aspects. *J. Anim. Sci.* 48(1) : 193-201.

Bull, M.A., Sterritt, R.M. and Lester, J.N. 1984. An evaluation of single-and separated. Phase anaerobic industrial wastewater treatment in fluidized bed reactor. *Biotech. Bioeng.* 26 : 1054-1065.

Burford, J.L. and Varani, F.T. 1976. Energy potential through bioconversion of agricultural wastes. Final report to the four corners regional commission by biogas of Colorado Inc and the Colorado energy research institute.

Buswell, A.M. and Mueller, H.F. 1952. Mechanisms of methane fermentation. *Ind. Eng. Chem.* 44(3) : 550-552.

Cooney, C.L. and Wise, D.L. 1975. Thermophilic anaerobic digestion of solid waste for fuel gas production. *Biotech. Bioeng.* 17 : 1119-1135.

Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1984. Update guidebook on biogas Development. Series no. 27. New York : United Nation.

Endo, G. and Yahya, Y. 1988. Ecological study o anaerobic sludge bulking caused by filamentous bacterial growth on anaerobic contact process. *Wat. Sci .Tech.* 20(11/12) : 205-211.

Fang,H.P. and Liu, H. 2001. Effect of pH oh hydrogen production from glucose by a mixed culture. *Biosource Technology.* 82 : 87-93.

Ghaly, A.E. 1996. A comparative study of anaerobic digestion of acid cheese whey and diary manure in a two-stage reactor. Biosource Technology. 58(1) : 61-72.

Ghosh, S. and Pohland, F.G. 1971. Population dynamics in continuous cultures of microbial populations. *Develop.Tnd.Microbial.* 12 : 295.

Ghosh, S., Conrad, J.R. and Klass, D.L. 1975. Anaerobic of wastewater sludge. *J, Water Poll. Control Fed.* 47(1) : 30-45.

Ghosh, S. 1978. Anaerobic process. *J. Water Poll. Control Fed.* 50(10) : 307-313.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Goyal, S.K., *et al.* 1996. Diphasic fixed –film biomcthanation of distillery spentwash. *Biores. Technol.* 56 : 239-244.

Holland, K.T. 1987. Anaerobc bacteria. New York : Chapman and Hall.

Hohlfeld, J. and Sassc, G. 1985. Production and developing countries. Germany : Dt. Ges. For technology Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

Hulshoffpol, L.W., Lettinga, G., Grin, P. and Roersma, R. 1982. Anaerobic treatment using the UASB process ; scminar on anaerobic wastewater treatment ; Sydney August, 1982.

Karve, A.D. 2003. A new compact biogas system based on sugary starchy feedstock. Appropriate rural technology institute (ARTI). India : Maninee

Lawrence, A.W. 1971. Anaerobic biological waste treatment system. Agricultural waste principle and guideline for practical solution. *Proc.Cornell Univ.Conf.Agric.* Wastes management.

Lawrence, A.W. and McCarty, P.L. 1965. The role of sulfide in preventing heavy metal toxicity in anaerobic treatment. *J.Watere poll.Control Fed.* 37(1) : 392-409.

Lettinga, G. 1991. USAB process design for variance types of wastewater. *Wat.SciTech.* 24(8) : 87-107.

Malasapina F. 1996. Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow upflow hybrid reactor. *Biores.Tech.* 55 : 131-139.

Marty, B. 1984. Microbiology of anaerobic digestion. 72-89. In bruce, A.M.,Kouzeli, A. and Nerman, P.J.(editors). Anaerobic digestion of seawage sludge and organic agricultural wastes. New York : Elsevier applied science.

McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamental part 1,2,3,4. *Public works.* 95(9) : 107-115.

McCarty, P.L. and McKinney, R.E. 1961. Salt toxicity in anaerobic digestion. *J.Water Poll Control Fed.* 33(4) : 223-235.

Novaes, R.F. 1986. Microbiology of anaerobic digestion. *Water.Sci.Tachnol.* 18(2) : 1-14.

Pfeffer, J.T. 1974. Temperature effects on aerobic fermentation of domestic refuse. *Biotechnol.Bioeng.* 16 : 771-787.

Price, E.C. and Cheremisiniff, P.N. 1981. Production and utilization. Michigan : Ann abar science.

Somayaji, D. and Khanna, S. 1994. Biomethanation of rice and wheat straw. *World J.Microbial.Biotachnol.* 10 : 521-523.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speece. 1983. Anaerobic technology for industrial wastewater treatment. *Rnv.Sci.Technol.* 17(9) : 1085-1099.

Sprott, D.G., Richard, S. and Daniels, L. 1985.The bioenergetics of methanogenesis. *Bioenergetics.* 768(2) : 113-163.

Therkelson, H.H. and Carlsin, D.A. 1979. Thermophillic anaerobic digestion of a strong complex substrate. *J.Water Poll.Control Fed.* 51(7) : 1949-1964.

Yoda, M., Kitagawa, M. and Miyaji, Y. 1989. Granular sludge formation in the anaerobic expaded micro carrier bed process. *Wat.Sci.Tech.* 21 : 109-120.

Zeikus, J.G. 1979. Microbial populations in digesters proceeding of the first international symposium on anaerobic digestion (Stafford, D.A., Wheatley, B.I. and Hughes, D.E. 1979. pp.61-89. London : Applied science publishers.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์แล้วชั่งหาน้ำหนักของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหยต้องอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์แล้วชั่งหาน้ำหนักของแข็งในภาชนะที่แน่นอน
2. เลือกใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม
3. ค่อยๆ รินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในจานระเหยนำไประเหยน้ำออกให้หมดบน water bath หรือ hot plate นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักจานระเหยทันที น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกในเทอมของ มิลลิกรัมต่อลิตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/l)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg)} \times 1000}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}}$$

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) (AOAC, 2000)

นำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มล. เติมน้ำกลั่น 10 มล. ผสมให้เข้ากัน แล้ววัดด้วย Cyberscan 2000 pH-meter วัดพีเอชของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น

3. การวิเคราะห์ซีโอดี (COD) โดยวิธีของธงชัย และ วิบูลลักษณ์ (2540)

ค่าซีโอดีเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการสลายสารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่างน้ำได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นการหาค่าซีโอดีก็เพื่อวัดปริมาณสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ซีโอดีใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง จึงเหมาะสมในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถแก้ไขได้ทันทีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น และสามารถนำไปประมาณค่าบีโอดีของตัวอย่างได้เมื่อหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียชนิดนั้นได้

สารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 12.259 กรัม(อบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำจนครบ 1 ลิตร

2. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตซัลเฟต 0.25 M ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ชนิด เออาร์ 98 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตรลงไป ทำให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร (สารละลายนี้ต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0417 M)นำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยปิเปตต์สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตรใส่ลงขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น เติมเฟอโรอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดแล้วนำไปไทเทรตกับ FAS จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

นอร์มอลลิตี้ของสารละลาย FAS = $\frac{\text{ปริมาตรของ 0.25 นอร์มอลโพแทสเซียมไดโครเมต} \times 0.25}{\text{ปริมาตรของFASที่ใช้ไทเทรต}}$

=2.5/มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรต

3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 5.5 กรัม ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 กิโลกรัม

4. สารละลายเฟอร์โรอิน

5. เมอร์คิวริกซัลเฟตเป็นผลึกหรือผง ใช้กำจัดหมู่คลอไรด์

6.กรดซัลฟามิก ชนิด เอ.อาร์ (Sulfamic acid) ใช้กำจัดไนไตรต์

วิธีการ

1. เติมเมอร์คิวริกซัลเฟตประมาณ 0.4 กรัมลงขวดซีโอดี

2.ใส่ลูกแก้ว 2-3 ลูก

3. เติมตัวอย่างน้ำที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 20 มิลลิลิตร (สำหรับน้ำตัวอย่างที่มีค่าซีโอดีไม่เกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีโอดีเกินกว่า 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใช้ตัวอย่างน้ำน้อยกว่า 20 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 20 มิลลิลิตร จดปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้

4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร

5. นำขวดซีโอดีต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น

6. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก 30 มิลลิลิตร โดยค่อยๆรินลงข้างๆคอเครื่องควบแน่น จะเกิดชั้นกรดที่ก้นขวด

7. แกว่งขวดซีโอดีให้สารละลายทุกอย่างผสมเข้ากันก่อน จึงเปิดเตาให้ความร้อน

8. ต้มให้เดือดนาน 2 ชั่วโมง

9. ทิ้งให้เย็น แล้วจึงเทน้ำกลั่นล้างเครื่องควบแน่นเล็กน้อย ถอดขวดซีโอดีออกจากเครื่องควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทิ้งให้เย็น เติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

11. ไทเทรตกับสารละลายเอฟเอเอส จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล วัดปริมาตรสารละลายเอฟเอเอส(ก.)

12. ทำแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรแทนตัวอย่างน้ำ แล้วทำทุกอย่างเหมือนข้อ 1 ถึง 11 จดปริมาตรสารละลายเอฟเอเอสที่ใช้ไทเทรตแบลงค์(ข.)

การคำนวณ

ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) = $\frac{(ข.-ก.) \times \text{ความเข้มข้นของเอฟเอเอส (นอร์มอล)} \times 80000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$

3. บีโอดี (BOD) โดยวิธีของ Arnold, 1992

บีโอดี(biochemical oxygen demand) เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับน้ำทิ้ง น้ำโสโครกและน้ำเสีย เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการสลายตัวทางชีววิทยาของสารอินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ และเฟอรัสไอออน ซึ่งอาจจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ไนโตรเจน(Nitrogenous demand) ถ้าไม่ใส่สารยับยั้งการย่อยสลายไนโตรเจน

ค่าบีโอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้หายใจ โดยแบคทีเรียเหล่านั้นกินสารอินทรีย์ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นค่าบีโอดีนี้จึงสามารถบอกถึงลักษณะของน้ำว่ามีความสกปรก(ในรูปสารอินทรีย์)มากน้อยแค่ไหน ถ้าตัวอย่างมีสารอินทรีย์มากจะทำให้แบคทีเรียมีปริมาณมากและหายใจใช้ออกซิเจนมาก ค่าบีโอดีก็สูงและในทำนองเดียวกัน ถ้าน้ำมีสารอินทรีย์อยู่น้อยค่าบีโอดีก็จะน้อย น้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงเมื่อถูกทิ้งลงแหล่งน้ำ จะทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงในแหล่งน้ำลดลงจนอาจเกิดสภาพไร้ออกซิเจน น้ำเน่าเสียและทำให้ปลาตายได้

หลักการ

เติมตัวอย่างลงขวดบีโอดีปิดจุกให้แน่นไม่ให้อากาศเข้าออกได้ แล้วนำขวดไปเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะที่กำหนดเป็นเวลาจำกัด วัดปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ตอนเริ่มต้นและหลังจากเลี้ยงเชื้อ 5 วัน หาค่าความแตกต่างของ DO ในวันแรกและวันที่ 5 แล้วนำไปคำนวณค่าบีโอดี น้ำทิ้งส่วนใหญ่ต้องการปริมาณออกซิเจนมากกว่าปริมาณอิ่มตัวในน้ำ จึงจำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างก่อนนำไปเลี้ยงเชื้อ เพื่อให้ค่าความต้องการออกซิเจนลดลงน้ำที่ทำเจือจางตัวอย่างต้องเติมสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโลหะปริมาณน้อยๆที่จำเป็น และปรับพีเอชของตัวอย่างให้คงที่ด้วยบัฟเฟอร์เพื่อให้พีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระหว่างการเลี้ยงเชื้อ ช่วงเวลามาตรฐานในการเลี้ยงเชื้อคือ 5 วัน

การวิเคราะห์บีโอดีของตัวอย่างน้ำ จะหาค่าบีโอดี 5 วัน โดยนำตัวอย่างน้ำมาเติมออกซิเจนอิ่มตัว แล้วเติมลงขวดบีโอดี 3 ขวด ขวดแรกนำมาวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายทันที อีก 2 ขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 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 ครอบปากขวดด้วยถ้วยพลาสติกหรือกระดาษฟอยด์เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

2. ตู้เพาะเชื้อหรืออ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เก็บในที่มืดเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงที่จะทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น

สารเคมี

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

2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ 27.5 กรัมแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

4. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.25 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

5. สารละลายกรดและสารละลายด่าง 1 นอร์มอล เพื่อใช้ปรับพีเอชให้เป็นกลาง

6. สารยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชั่น ใช้ 2-คลอโร-6-ไตรคลอโรเมททิล ไพริดีน

7. สารละลายกลูโคส-กลูตามิกแอซิด(Glucose-glutamic acid solution) อบกลูโคสและกรดกลูตามิกให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งกลูโคส 150 มิลลิกรัมและกรดกลูตามิก 150 มิลลิกรัมละลายในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้ง

การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์

1. ปรับพีเอชของตัวอย่างน้ำให้เป็นกลาง 6.5-7.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวทเต็จสลัดจ์และระบบไม่ใช้ออกซิเจนให้ทำการยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชั่น โดยเติม 10 มิลลิกรัม 2-คลอโร-6-ไตรคลอโรเมทธิลไพริดีน ในน้ำทำการเจือจาง 1 ลิตร โดยเติมพร้อมการเติมสารอาหาร

การวิเคราะห์บีโอดีโดยการเจือจางตัวอย่างน้ำ

สำหรับน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างน้ำด้วยน้ำเจือจาง เพื่อให้น้ำมีความสกปรกลดลงและใช้ออกซิเจนในขวดบีโอดีไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต้องเตรียมการเจือจางหลายๆความเข้มข้นเนื่องจากยังไม่ทราบค่าบีโอดีที่แน่นอน การประมาณค่าบีโอดีสามารถทำได้โดยวิธีการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีของน้ำแล้วนำมาประเมินค่าบีโอดี โดยการคำนวณจากค่าประมาณบีโอดีเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ของค่าซีโอดี แล้วนำค่าประมาณบีโอดีนี้ไปเทียบกับตารางว่าต้องทำการเจือจางกี่เปอร์เซ็นต์

ตาราง แสดงปริมาตรตัวอย่างน้ำที่จะนำมาทำเจือจาง โดยใช้ค่าประมาณบีโอดีและ เทียบเปอร์เซ็นต์เจือจาง

ช่วงบีโอดีที่ประมาณได้	เปอร์เซ็นเจือจางน้ำเสีย	ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(มิลลิลิตร) ที่นำมาเจือจางเป็น 1 ลิตร
20000-70000	0.01	0.1
10000-35000	0.02	0.2
4000-14000	0.05	0.5
2000-7000	0.1	1
1000-3500	0.2	2
400-1400	0.5	5
200-700	1.0	10
100-350	2.0	20
40-140	5.0	50
20-70	10.0	100
10-35	20.0	200
4-14	50.0	500
0-7	100	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1. คำนวณปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้ โดยตัวอย่างน้ำ 1 ตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่นเพื่อเจือจางประมาณ 1 ลิตร ตวงน้ำกลั่นปริมาตรที่ต้องการใส่ลงในขวดโหล

2. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต สารละลายแคลเซียมคลอไรด์และสารละลายเฟอริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 1 ลิตรผสมให้เข้ากัน

3. เติมออกซิเจนละลายลงในน้ำให้อิ่มตัวโดยใช้ปั๊มอากาศนาน 20 นาที

การเจือจางน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์บีโอดี

1. เลือกเปอร์เซ็นต์ในการทำเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนดตามตาราง

2. ตวงปริมาตรตัวอย่างน้ำตามเปอร์เซ็นต์ที่เจือจางลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

3. เติมน้ำสำหรับใช้เจือจางลงในกระบอกตวงจนครบ 1 ลิตร

4. ใช้แท่งแก้วกวนให้น้ำผสมกัน

5. ใช้สายยางดูดน้ำจากกระบอกตวงน้ำใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด โดยให้ปลายสายยางอยู่ที่ก้นขวดบีโอดี ปิดจุกให้มีน้ำหล่อที่ปากขวด

6. นำขวดหนึ่งไปวิเคราะห์หาดีโอทันที อีก 2 ขวดนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบ 5 วัน นำมาวิเคราะห์ค่าดีโอที่เหลือ

7. เตรียมความเข้มข้นบีโอดีอีก 2 ความเข้มข้น คือสูงกว่าและต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์เจือจางในข้อ 1 แล้วทำซ้ำข้อ 1-6

การคำนวณ

$$\text{บีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{ค่าออกซิเจนละลายวันที่ 0} - \text{ค่าออกซิเจนละลายวันที่ 5}}{\text{เปอร์เซ็นต์เจือจาง}}$$

หมายเหตุ

1.ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณต่อไป ขวดที่เก็บไว้ครบ 5 วัน จะต้องมีค่าดีโอเหลืออยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตรและต้องมีค่าดีโอลดลงอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะทำให้ค่าบีโอดีที่คำนวณออกมาได้นั้นถูกต้อง

2.ค่าบีโอดีที่คำนวณได้จากสูตรในทุกความเข้มข้นที่ทำการเจือจางควรมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าค้าบีโอดีที่ได้แตกต่างกันเกินกว่าร้อยละ 20 ให้ตัดค่านั้นทิ้ง นำเฉพาะค่าที่แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 20 มาเฉลี่ยเท่านั้น

การทำแบลงค์ของน้ำเจือจาง

น้ำเจือจางที่ใช้ถ้ามีสารปนเปื้อนอยู่อาจทำให้ค่าบีโอดีที่วัดได้สูงกว่าปกติ ดังนั้นจึงควรตรวจวัดค่าบีโอดีของน้ำเจือจาง โดยนำน้ำเจือจางใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด วัดดีโอเริ่มต้นและดีโอของวันที่ 5 ของแบลงค์นี้ ดีโอที่ใช้ไปไม่ควรเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิตรจัดว่าดี ควรทำแบลงค์ของน้ำเจือจางทุกครั้งที่วิเคราะห์ค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์โดยวิธีเจือจาง

การคำนวณ

กรณีเติมเชื้อลงในน้ำเจือจาง

บีโอดี(มิลลิกรัมต่อลิตร) = $\frac{(D_1-D_2)-(B_1-B_2)f\times 100}{\text{เปอร์เซ็นต์เจือจาง}}$

D_1 = ดีโอเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D_2 = ดีโอเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้ว หลังจากเพาะเชื้อ 5 วันที่ 20 องศาเซลเซียส (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)

B_1 = ดีโอของน้ำเจือจาง (แบลงค์) ก่อนเพาะเชื้อ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B_2 = ดีโอของน้ำเจือจาง (แบลงค์) เพาะเชื้อ 5 วันที่ 20 องศาเซลเซียส (มิลลิกรัมต่อลิตร)

F = อัตราส่วนของเชื้อในตัวอย่างต่อเชื้อที่ควบคุม = (เปอร์เซ็นต์น้ำเชื้อใน D) ต่อ (เปอร์เซ็นต์น้ำเชื้อใน D)

ถ้าบีโอดีมีค่าสูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ต้องนำค่า f มาคำนวณ

4. กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile fatty acid,VFA) โดยวิธีของธงชัย และ วิบูลลักษณ์ (2540)

วิธีนี้เป็นวิธีหยาบๆค่าที่ได้ไม่แม่นยำนักไม่ควรนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ใช้เวลาในการทดลองไม่เกิน 1 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.หาสภาพด่างทั้งหมดที่พีเอช 4 โดยวิธีการไทเทตรแบบโพเทนชิออเมตริค

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

3. ไทเทรดกลับจากพีเอช 4 ไปเป็น 7 เพื่อหาสภาพด่างของกรดระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) และสภาพด่างของเบส (base alkalinity) แล้วจึงคำนวณหาค่า VFA ต่อไป

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองและไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง(centrifuge)ที่ความเร็วรอบประมาณ 7000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ จากนั้นนำเอาส่วนใสที่อยู่ส่วนบนมา 50-200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำไทเทรตตัวอย่างน้ำจนถึงพีเอช 4 ด้วยน้ำยามาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลลาลิตี บันทึกปริมาตรกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมุติ = A (ml)
2. ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนพีเอชถึง 3.3-3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรับพีเอชให้เป็น 4 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลลาลิตี จด ปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทตรกลับ ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพด่างเนื่องจากกรดระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) สมมุติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = B(ml)

การคำนวณ

สภาพด่างทั้งหมด (mg/l คิดในรูป $CaCO_3$) = $\frac{A \times H_2SO_4\ (M) \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(ml)}}$

สภาพด่างVFA (mg/l คิดในรูป $CaCO_3$) = $\frac{B \times NaOH\ (M) \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(ml)}}$

ก) กรณีที่1 : ถ้าสภาพด่างVFAน้อยกว่า 180 mg/l

VFA (mg/l คิดในรูปกรดแอซีติก) = สภาพด่างVFA x 1.0

ข) กรณีที่ 2 : ถ้าสภาพด่างVFAมากกว่า 180 mg/l

VFA (mg/l คิดในรูปกรดแอซีติก) = สภาพด่างVFA x 1.5

5.ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น(Total gas production)

การวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอาศัยหลักการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวัน ปริมาตรก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบเก็บก๊าซที่อาศัยหลักการแทนที่น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหา HRT (Hydraulic retention time)

ถังกรด ปริมาตรการหมัก 2 ลิตร เติมของเหลววันละ 250 มิลลิลิตร

ดังนั้น $HRT = \frac{2000\ ml}{250\ ml} = 8$ วัน

ถังมีเทน ปริมาตรการหมัก 6 ลิตร เติมของเหลววันละ 250 มิลลิลิตร

ดังนั้น $HRT = \frac{6000\ ml}{250\ ml} = 24$ วัน

ดังนั้น $HRT_{รวม}$ คือ 8+24 = 30 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้