

21081

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
ภาควิชาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



T096924

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยประรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะ
ไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน

Biogas Production From Pineapple peel by Two-stages Anaerobic
Digestion

ปี พ.ศ.
๒๕๕๓
๒๕๕๓

จัดทำโดย

เลขที่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

- | | | | |
|---------------------|-----------|--------------|----------|
| 1. นางสาว ชัชชลัยย์ | สมิทธิชัย | รหัสนักศึกษา | 45040834 |
| 2. นาย พัฒนพงษ์ | เจริญผล | รหัสนักศึกษา | 45040849 |
| 3. นาย ยรรยง | รชตะเมธี | รหัสนักศึกษา | 45040852 |

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

..... 15 / มิ. ก. / ๕๓

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ดร. กิตติชัย บรรจง)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะ
ไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน

Biogas Production From Pineapple peel by Two – stages Anaerobic
Digestion

- 
- จัดทำโดย
- | | | |
|--------------------|---------------|-----------------------|
| 1. นางสาว ชัชวาลย์ | ดนิษฐ์ชัยภูมิ | รหัสนักศึกษา 45040834 |
| 2. นาย พัฒนพงษ์ | เจริญผล | รหัสนักศึกษา 45040849 |
| 3. นาย ยรรยง | ราชตะเมธ | รหัสนักศึกษา 45040852 |

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาว ชัชชลัยย์ สมิทธิชัย, นาย พัฒนพงษ์ เจริญผล และ นาย ชรรยง รัชตะเมธี 2548 :
 การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบ
 สองขั้นตอน (Biogas Production From Pineapple peel by Two – stages Anaerobic Digestion).
 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : คร. กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการ ระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 18.16 ลิตร โดยมีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์ : Continuous stirred tank reactor (CSTR) และถังหมักก๊าซ มีปริมาตร 6.03 ลิตร มีทิศทางการไหลของของเหลวจากด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบน และมีตัวกลางในการกรอง และยึดเกาะของจุลินทรีย์ : Up flow Anaerobic Filter (UFAF) ดำเนินระบบ ด้วยการกรองน้ำที่ได้จากเศษเปลือกสับประรดปั่น ที่มีของแข็งทั้งหมด 4 % (w/v) โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยในระยะที่ 1 ซึ่งมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 1 L/d โดยมี HRT system เท่ากับ 24.19 วัน แยกเป็น HRT ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 18.16 และ 6.03 วัน และมีค่า OLR ในถังหมักกรด เท่ากับ 1.49 g.COD /Ld โดยสามารถกำจัด COD ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 62.32 และ 79.05 % ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบโดยรวมเท่ากับ 92.10 % สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 15.63 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.62 L/ g.COD removal สำหรับ ในระยะที่ 2 ซึ่งมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 2 L/d โดยมี HRT system เท่ากับ 12.09 วัน แยกเป็น HRT ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 9.08 และ 3.01 วัน และมีค่า OLR ในถังหมักกรด เท่ากับ 2.49 g.COD /Ld โดยสามารถกำจัด COD ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 45.11 และ 43.77 % ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบโดยรวมเท่ากับ 69.13 % สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 21.07 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.57 L/ g.COD removal จากการพิจารณาจุดตัดประสิทธิภาพการกำจัด COD

และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สูงสุด พบว่า อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 1.5 L/d คิดเป็นค่า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OLR ที่เข้าสู่ถังหมักกรด เท่ากับ 2.45 g.COD / l.d โดยใช้ระยะเวลาการหมักของระบบโดยรวม (HRT system) เท่ากับ 16.20 วัน แยกเป็น HRT ที่ ถังหมักกรด เท่ากับ 12.16 วัน และที่ถังหมักก๊าซ เท่ากับ 4.04 วัน โดยระบบสามารถกำจัดปริมาณ COD ได้เท่ากับ 76.93 % ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 19.23 l/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อ น้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.56 l./ g.COD removal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาปัญหาพิเศษเรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ซึ่งได้ทำการนำเสนอปัญหาพิเศษ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง ซึ่งเป็นที่อาจารย์ที่ปรึกษาปรึกษางานปัญหาพิเศษของคณะผู้จัดทำ ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำปรึกษาและแนะนำ พร้อมทั้งให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนที่ยังบกพร่อง ทำให้รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ช่วยให้การสัมมนาครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้งานสำเร็จลงได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญ ขอขอบพระคุณแม่ค้าขายผลไม้ชวยจินดา ที่จัดเก็บเปลือกสับประรดไว้ให้แก่คณะผู้จัดทำ และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและการช่วยเหลือมาโดยตลอด

นางสาว ชัชชลัยย์

สมิทธิ์ธิษณ์

นาย พัฒนพงษ์

เจริญผล

นาย ยรรยง

รชตะเมธิ

15 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	3
2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	7
2.4 ดัชนีแบบแยกเชื้อ	11
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	14
3.1 แหล่งจุลินทรีย์	14
3.2 สารละลายเศษเปลือกสับประรด	14
3.3 ระบบถังหมัก	15
3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์	19
3.5 การดำเนินงานการศึกษา	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
4.1 คุณสมบัติของน้ำคั้นจากเศษเปลือกสับประรดที่เตรียมขึ้น	23
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทั้งหมด	23
4.3 การเปลี่ยนแปลง COD ภายในระบบ	33
4.4 การผลิตก๊าซชีวภาพ	37
4.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	40
4.6 การวิเคราะห์ผล	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	53
- Chemical oxygen demand (COD) โดยวิธีของ ธงชัย และวิบูลย์ลักษณ์ (2540)	53
- ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity : TALK)	56
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ	58
- การคำนวณการเตรียมเศษเปลือกสับประรดในลักษณะของเหลว โดยมีค่า TS 4 %	58
- การคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR)	58
- การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ (%)	59
- การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัด	59
ภาคผนวก ค ตารางการเปรียบเทียบ	60
- Comparison of features of various anaerobic reactors.	60
- Features of various reactors compared with anaerobic counterparts. Key is given in	61
ภาคผนวก ง การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ	62
- ด้านพลังงาน	62
- ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม	62
- ด้านการเกษตร	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกรดแลคติก	4
2.2 สารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ของเชื้อ <i>Lactobacillus sp.</i> สายพันธุ์ต่าง	16
2.3 ลักษณะและความแตกต่างของ <i>Lactobacillus sp</i>	20
4.1 ผลของแหล่งคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตกรดแลคติก.....	38
โดยเชื้อ <i>Lactobacillus casei</i> ATCC 10863	
4.2 ผลของน้ำตาลกลูโคสที่มีค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อการผลิตกรดแลคติก	44
โดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863	
4.3 ผลของการผลิตกรดแลคติก โดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863.....	52
ที่ทำการหมักภายในฟลากส์ขนาด 2 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับหมัก ในถังหมักขนาด 2 ลิตร ในสภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของ L (+) lactic acid และ D (-) lactic acid	4
2.2 กรดพอลิแลคติกแอซิด	5
2.3 ไซคลิกพอลิเมอร์ของกรดแลคติก	5
2.4 ไดอแกรมการ ใช้กรดแลคติกทางการค้าและการนำมาประยุกต์ในรูปแบบต่าง ๆ	9
2.5 โครงสร้างทางเคมีของสาร ไดอะซีทิล	13
2.6 วิธี Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) ในการผลิตกรดแลคติกของกลุ่ม	17
Obligately homofermentative lactobacilli	
2.7 วิธี Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) ในการผลิตกรดแลคติก.....	18
ของกลุ่ม heterofermentative lactobacilli	
2.8 วิธีฟอสโฟกลูโคเนตของกลุ่ม Obligately heterofermentative lactobacill	19
2.9 ตัวอย่างเครื่อง HPLC ของ Shimadzu	26
4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อ <i>Lactobacillus casei</i> ATCC 10863	39
ในอาหารสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกัน	
4.2 ปริมาณกรดแลคติกที่ผลิตโดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863	39
ในอาหารสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกัน	
4.3 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ	40
ของการผลิตกรดแลคติกจากแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกัน	
4.4 ปริมาณน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863.....	41
ในอาหารสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกัน	
4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863	42
ในอาหารสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนต่างชนิดกัน	
4.6 การเจริญเติบโตของเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 ในอาหารสังเคราะห์	43
ที่ใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นต่าง ๆ กันเป็นแหล่งคาร์บอน	
4.7 ปริมาณกรดแลคติกที่ผลิตโดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 ในอาหารสังเคราะห์.....	45
ที่ใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นต่าง ๆ กันเป็นแหล่งคาร์บอน	
4.8 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ของการผลิตกรดแลคติก	45
จากความเข้มข้นกลูโคสที่ต่างกัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง 46 โดยการเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลกลูโคส ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นแหล่งคาร์บอน	46
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 47 ในอาหารสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้นต่างๆ เป็นแหล่งคาร์บอน	47
4.11 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าการเจริญเติบโต 47 ปริมาณกรดแลกติก(กรัมต่อลิตร) ปริมาณน้ำตาลที่เหลือและค่าพีเอช ที่เกิดจากการหมักกรดแลกติกที่ความเข้มข้นกลูโคส 40 กรัมต่อลิตร ภายใต้สภาวะการหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พีเอช 6.5-7.0 ที่สภาวะนิ่ง	47
4.12 การเจริญเติบโตของเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 ในสภาวะที่เหมาะสม 50 ของแหล่งอาหาร ในรูปของค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และน้ำหนักแห้งของเซลล์ (กรัมต่อลิตร)	50
4.13 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 51 ในสภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	51
4.14 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช เมื่อเลี้ยงเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 10863 51 ในสภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	51
4.15 ปริมาณกรดแลกติกที่ผลิตโดยเชื้อ <i>Lactobacillus casei</i> ATCC 53 ในสภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	53
4.16 กราฟแสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปรียบเทียบ 53 การผลิตกรดแลกติกจากอาหารและสภาวะที่เหมาะสม ในระดับฟลาสก์และถังหมักขนาด 2 ลิตร	53
4.17 กราฟแสดงผลที่ได้ต่างๆ ในการหมักกรดแลกติก โดยเชื้อ 54 <i>L. casei</i> ATCC ใน ฟลาสก์ขนาด 2 ลิตร ชุดแรก ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 กราฟแสดงผลที่ได้ต่างๆ ในการหมักกรดแลคติก โดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC 55 ในพลาสติกขนาด 2 ลิตร ชุดที่สอง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	
4.19 กราฟแสดงผลที่ได้ต่างๆ ในการหมักกรดแลคติก โดยเชื้อ <i>L. casei</i> ATCC..... 56 ในถังหมักขนาด 2 ลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของแหล่งอาหาร	



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบัน โลกเริ่มประสบกับวิกฤตการณ์ของพลังงาน อันเนื่องมาจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้นานาประเทศต้องเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆ เพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน แหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจมากที่สุด ได้แก่ พลังงานทดแทน (Renewable energy) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) แสงอาทิตย์ ลม คลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน การผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหามลพิษ โดยลดปริมาณของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกไปสู่แวดล้อมอีกด้วย

การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอาจทำได้ 2 แนวทาง คือ ทางด้านจุลชีววิทยา และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ การเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านจุลชีววิทยาอาจทำได้หลายวิธี เช่น การคัดเลือกกลุ่มแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนได้สูง และการหมักที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนทางด้านวิศวกรรมอาจทำได้โดยการออกแบบระบบถังหมัก และควบคุมกระบวนการหมักให้อยู่ในสถานะที่เป็นไปตามความต้องการของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด

จากการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียว พบว่าการควบคุมระบบเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์ 2 ประเภท คือ แบคทีเรียพวกสร้างกรด และแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน ระบบมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยในปริมาณมาก ทำให้ระบบล้มเหลวได้ง่าย ดังนั้นการเลือกใช้ระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนที่มีการแยกกันระหว่างถึงผลิตรวด กับถึงผลิตก๊าซมีเทนน่าจะมีความเหมาะสมกว่า

เศษพืชที่นำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพมีอยู่หลายชนิด เช่น มีการศึกษาพบว่า ลำต้นและใบของกล้วยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณมาก (Kalia และคณะ.,1995) นอกจากนี้ยังมีรายงานการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกมะม่วงตากแห้งและน้ำเสี้ยวจากการแปรรูปมะเขือเทศ

เอกส(Sandara และ Nand,1989 และ Madhukara และคณะ.,1993) เป็นต้นดูสำหรับในประเทศไทยมีการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้ไม่อยู่มาก ซึ่งเปลือกสับประคถือเป็นเศษพืชอีกชนิด ที่มีปริมาณมาก แม้ว่าส่วนหนึ่งมีการนำไปเป็นอาหารสัตว์ แต่ส่วนที่เหลือหากปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น และยากต่อการทำลาย จึงเป็นเศษพืชที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็น ก๊าซชีวภาพอีกชนิดหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาการแปรสภาพเปลือกสับประคให้เป็นก๊าซชีวภาพ โดยใช้กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประค ภายในระบบถังหมัก
3. เพื่อศึกษาระยะเวลาเก็บกัก อัตราการป้อนอินทรีย์สาร ที่เหมาะต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

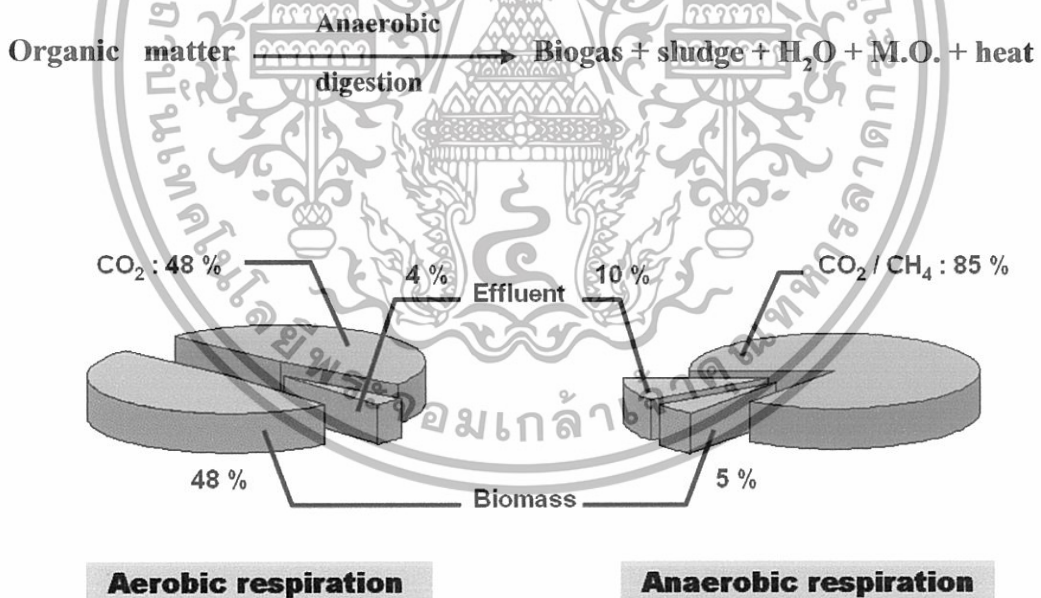
บทที่ 2

ทฤษฎี

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในสภาวะไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่

2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

ก๊าซชีวภาพ เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ ได้เป็นก๊าซชีวภาพ กากตะกอน น้ำ จุลินทรีย์เกิดใหม่ และความร้อน



ภาพที่ 2.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ ในรูปCOD ในการหายใจแบบ

Aerobic และ Anaerobic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ $35,800 \text{ kJ/m}^3$ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีสัดส่วนก๊าซมีเทน 65% ให้ค่าความร้อนประมาณ $22,400 \text{ kJ/m}^3$ ปริมาณความร้อนของ ก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติที่ส่วนผสมของก๊าซ Methane , Propane และ Butane ให้ค่าความร้อนประมาณ $37,300 \text{ kJ/m}^3$ (Metcalf and Eddy, 2003)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ใช้จุลินทรีย์หลายจำพวกในการย่อยสลาย ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนได้เป็น 3 ขั้นตอน



ภาพที่ 2.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

2.1.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis)

สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและขนาดโมเลกุลใหญ่ (Polymer) ทั้งที่สามารถละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ถูกทำให้ละลายน้ำโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งใช้เอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme) ของแบคทีเรียจำพวก hydrolytic bacteria เช่น proteolytic enzyme, cellulolytic enzyme และ lipolytic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

enzyme เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน โมเลกุลเดี่ยว (Monomer) ที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล

2.1.2 การหมักกรดอินทรีย์ระเหย และการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นกรดอะซิติก (Acidogenesis and Acetogenesis)

ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเดี่ยวในขั้นตอนแรก จะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรด (acidogenic bacteria) ดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ ซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานโดยกระบวนการหมัก (fermentation) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น acetic acid, formic acid, butyric acid, propionic acid, isobutyric acid, valeric acid, isovaleric acid เป็นต้น (Bangerjee *et al.*, 1998) นอกจากนี้ยังได้แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จะถูกเปลี่ยนโดย Acitogenic bacteria ให้กลายเป็นอะซิเตท (acetate) ฟอर्मेट (formate) ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย และไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนได้

2.1.3 การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

ในขั้นตอนนี้ อะซิเตท ฟอर्मेट ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) ย่อยสลาย โดยนำสารเหล่านี้ไปใช้เป็นสารอาหาร และแหล่งพลังงาน แล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซต่างๆ ซึ่งก๊าซสำคัญได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น 2 ใน 3 มาจากการใช้อะซิเตท นอกจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอर्मेट (formate) เมทานอล (methanol) และเมทิลลามีน (methylamine) (Balch *et. al.*, 1979)

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้ไม่ละลายน้ำ จึงสามารถที่จะเก็บแล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง ได้ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะออกไปในรูปของก๊าซ และบางส่วนก็ละลายน้ำแล้วทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในระบบเกิดเป็นไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ผลของการหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์นี้ทำให้เกิดผลต่อองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ เช่น pH ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหาร เป็นต้น อัตราการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซมีเทน จะเป็นตัวกำหนดการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เนื่องจากว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยจะทำให้ pH ลดต่ำลง และเกิดการล้มเหลวของระบบได้ แต่การควบคุมก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะรักษาความสมดุลในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ไปเป็นก๊าซมีเทน

2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

ในขั้นตอนของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนั้น จะเกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งมีหน้าที่การทำงานแตกต่างกัน เพราะระยะ หรือของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ แบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเหล่านี้ได้ จึงต้องมีแบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน (Non methanogenic bacteria) มาย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ให้กลายเป็นสารที่แบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้ได้เสียก่อน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

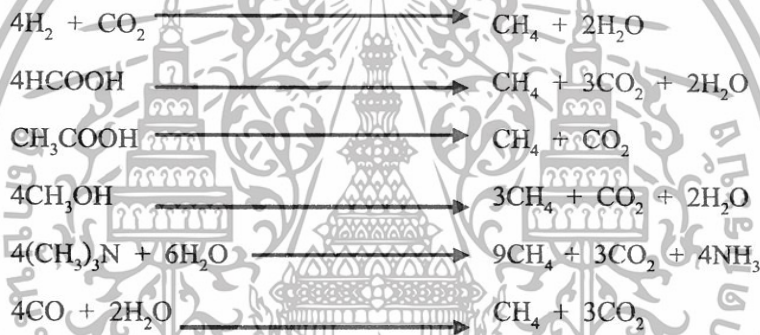
2.2.1 Non - methanogenic bacteria

เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน Hydrolysis , Acidogenesis และ Acitogenesis แบคทีเรียพวกนี้สามารถเจริญผลเติบโตได้ดีในช่วง pH 4.0 – 6.5 มีทั้งพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเท่านั้น (Obligate anaerobic bacteria) และพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มี และไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobic bacteria) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง สามารถเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ได้ภายในเวลา 14 – 18 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 Methanogenic bacteria

Methanogenic bacteria หรือ Methanogen เป็นกลุ่มของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน Methanogenesis เป็นแบคทีเรียที่จัดว่าไม่ต้องการออกซิเจนอย่างแท้จริง (Strictly anaerobic bacteria) เนื่องจากออกซิเจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียเหล่านี้ สามารถเจริญได้ดีใน pH ประมาณ 6.5 – 7.5 การแบ่งเซลล์เป็น 2 เท่าต้องใช้เวลา 3 – 5 วัน มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้น้อย และสามารถใช้อาร์อินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเพียงไม่กี่ชนิด เช่น อะซิเตท และสารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอมเท่านั้น เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟอรัมเมท และ เมทริลลามีน ดังสมการ



2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน และแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสภาพแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ในการที่จะคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องทำให้จุลินทรีย์นั้นอยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยทางด้านการทำงาน (Price and Cheremisinoff, 1981 ; Grady *et al.*, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental factor)

2.3.1.1 อุณหภูมิ (Temperature)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ อุณหภูมิระหว่าง 30 – 40 °C (Mesophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า Mesophilic bacteria และอุณหภูมิระหว่าง 50 – 60 °C (Thermophilic temperature) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า Thermophilic bacteria (Kim *et al.*, 2002) ในช่วง Thermophilic temperature อัตราเร็วของปฏิกิริยา และประสิทธิภาพของระบบจะมากกว่าในช่วง Mesophilic temperature ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์สั้นลง และลดปริมาตรถังหมักลง (Pagilla *et al.*, 2000 ; Zupancic and Ros , 2003) แต่ระบบการหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสีย คือ Thermophilic bacteria ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า Mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวสูง และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของระบบอีกด้วย ซึ่งเมื่อคำนึงถึงจุดนี้แล้ว ระบบการหมักที่อุณหภูมิต่ำน่าจะเหมาะสมต่อประเทศไทยมากกว่า เพราะสภาพอากาศของประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงนี้

2.3.1.2 ความเป็นกรดค่า (pH)

pH เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญของระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ประมาณ 6.5 – 7.5 (Acher and Kirsop , 1991) ถ้า pH มีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง และถ้า pH ของระบบมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะที่สภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้ใช้กรดอินทรีย์ระเหยไม่ทัน ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย pH จึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว และถ้า pH ลดต่ำลงถึง 4.5 – 5.0 จะทำให้ Methanogenic bacteria หยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถป้องกันโดยการเติมสารเคมีพวกต่างต่างลงไป เช่น ปูนขาว (CaO) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) โซดาไฟ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) เป็นต้น หรืออาจจะลดสารอินทรีย์ที่เข้าระบบลง ในการใช้ค่าแก่ หรือคาร์บอเนตในการปรับสภาพ จะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเกิดสมดุลชั่วคราว เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถูกดึงเข้าไปทดแทนคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ เพื่อสร้างค่าไบคาร์บอเนต ทำให้ pH เพิ่มขึ้น แต่เมื่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เอ็กสาร์เป็นเอ็กสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาแทนที่ จะทำให้จุลคุณสมบัติเปลี่ยนไปจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำสมดุลกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

2.3.1.3 กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acid , VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกที่สร้างกรด ซึ่งถูกแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหาร และแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะมีส่วนสำคัญต่อค่า pH ของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้น pH จะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่าย ไม่ควรเกิน 4,000 mg./L.(สุรพล. 2530) Buswell and Mueller (1952) กล่าวว่า กรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2,000 mg./L. ถ้ามีค่าเกินกว่านี้ จะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซลดลง และอาจจะยับยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน โดยไม่คำนึงถึง pH เลย และการเติมด่างก็ไม่ช่วยให้ดีขึ้น

2.3.1.4 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงปริมาณ Buffering capacity ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยภายในระบบสูงขึ้น ความเป็นไบคาร์บอเนตก็จะถูกทำลายไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ลดลง สำหรับค่าไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการเป็น บัฟเฟอร์ อย่างเพียงพอ อยู่ในช่วงระหว่าง 2,500 – 5,000 mg./L. (Graef and Andrews, 1974)

2.3.1.5 สารอาหาร (Nutrient)

สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (Macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนในการสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (McCarty and McKinney . 1961 ; Gosh *et. al.* , 1978) ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 และค่า C : N ประมาณ 20 – 30 : 1 ส่วนสารอาหารรองได้แก่ แคลเซียม (Ca) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และ นิกเกิล (Ni)

2.3.1.6 สารพิษ (Toxic substrate)

สารบางอย่างถ้ามีมากเกินไป จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารพิษ

2.3.2 ปัจจัยทางการดำเนินงาน (Operational factor)

2.3.2.1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR)

เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกัน ทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่ไหลผ่านถังหมัก หรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็ง หรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปในระบบ ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์จะมีผลต่อระยะเวลาที่เก็บด้วย

2.3.2.2 ระยะเวลาที่เก็บ (Hydraulic retention time, HRT)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเก็บกักสารอินทรีย์ จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบ (wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้น (Yilmazer and Yenigun, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบได้โดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานมากขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลาจะเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือ ระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก

ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ (Solid retention time, SRT) หมายถึง มวลของ

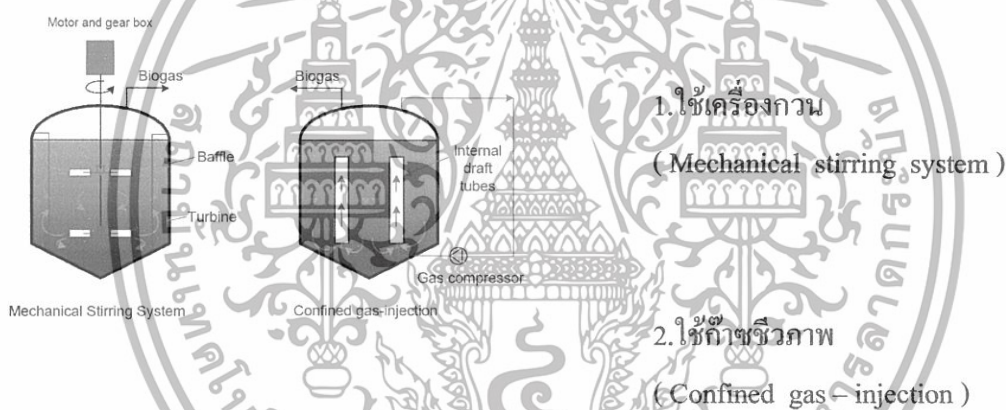
ของแข็งภายในระบบ หาดด้วยมวลของของแข็งที่ปล่อยออกจากระบบต่อวัน ในถังหมักแบบ

เอกลสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมดาที่ไม่มี การหมุนเวียนตะกอน ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในถังหมักจะเท่ากับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (SRT = HRT) แต่ถ้าในถังมีการหมุนเวียนตะกอน จะทำให้จุลินทรีย์อยู่ในระบบมากกว่า ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (SRT > HRT)

2.3.2.3 การกวน (Mixing)

การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่าง อาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่างๆ ของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก มีหลายวิธี เช่น



ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีในการกวนของเหลว

2.4 ถังหมักแบบแยกเชื้อ (Two-stage anaerobic digester)

เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (Optimum condition) กับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกสร้างกรด และแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนมีความแตกต่างกันมาก เช่นแบคทีเรียพวกสร้างกรดเจริญได้ดีที่ pH ต่ำ และระยะเวลาการกักเก็บน้อย ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน ทำให้จุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มทำงานได้ไม่เต็มที่ จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียวต่ำ จึงได้มีการพัฒนาระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนขึ้น โดยวิธีแยกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มจุลินทรีย์ทั้งสองออกจากกัน และจัดให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่ม เพื่อให้จุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถจะทำงานได้อย่างเต็มที่ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ทำให้ระบบสามารถทำงานได้ดีมากขึ้น (Ince , 1998) วิธีการที่ใช้ในการแยกกลุ่มจุลินทรีย์มีหลายวิธี เช่น การแยกด้วยเมมเบรน (Membrane separation) การควบคุมจลศาสตร์ (Kinetic control) และการควบคุม pH (pH control) แต่วิธีที่นิยมใช้คือการควบคุมจลศาสตร์ ร่วมกับการควบคุม pH

ระบบการย่อยสลายอินทรีย์ภายใต้สภาวะออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ที่มีการกวนอย่างทั่วถึง (Completely mixed) สองถังแยกจากกัน โดยเรียงต่อกันแบบอนุกรม ถังหนึ่งสำหรับการสร้างกรด ขณะที่อีกถังหนึ่งสำหรับการสร้างก๊าซมีเทน โดยที่สภาพแวดล้อมในถังหมักใบแรกจะมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ขณะที่ใบที่สองซึ่งรองรับผลผลิตจากถังใบแรก ออกแบบให้เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน

เนื่องจากกรดอินทรีย์ระเหยเป็นผลผลิตหลักของขั้นตอนแรก ดังนั้นการควบคุม pH ในขั้นตอนที่สองจึงเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อความสามารถของบัฟเฟอร์เกินขีดจำกัด การควบคุมในถังหมักก๊าซมีเทนอาจทำได้โดยการทำให้สารอินทรีย์ที่จะเข้าถังหมักเป็นกลาง โดยการปรับ pH หรือให้มีการเวียนกลับของส่วนเกินที่ออกจากขั้นตอนที่สอง

ข้อดี และข้อเสียของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

ข้อดี ของระบบย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน (Komatsu *et al.* , 1991 ; Alexiou *et al.* , 1994 ; Patel and Madamwar , 2001)

- สามารถที่จะดำรงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด (Optimum condition) สำหรับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่มในถังหมักได้
- สามารถลดขนาดของถังหมักได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการควบคุมดูแลรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบที่เรียกว่าสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ โดยไม่มีผลไปรบกวนแบบที่เรียกว่าสร้างก๊าซมีเทน
- มีอัตราการทำให้ของแข็งคงสภาพ (Solid stabilization) สูง และอัตราของผลผลิตก๊าซชีวภาพขั้นสุดท้ายมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูง
- ประสิทธิภาพการลดลงของของแข็งแขวนลอยสูง
- เหมาะสำหรับการติดตั้งร่วมกับระบบบำบัดที่มีอยู่แล้ว โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ
- สารพิษที่มีผลต่อแบบที่เรียกว่าสร้างก๊าซ เช่น แอมโมเนีย กรดไขมันสายยาว และซัลไฟด์ จะถูกกำจัดในขั้นตอนแรก โดยแบบที่เรียกว่าสร้างกรด

ข้อเสีย ของระบบย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

- ต้องมีการควบคุมโดยผู้ชำนาญการ
- ต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้น เพื่อใช้สำหรับการติดตามผล ตรวจสอบ และควบคุมระบบ
- ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการควบคุมระบบสูง



ภาพที่ 2.4 ถังหมักแบบแยกเชื้อ (Two-stage anaerobic digester)

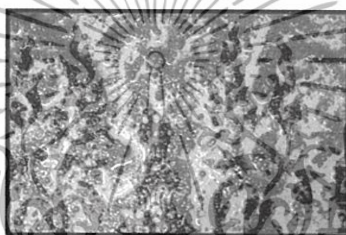
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอน และวิธีการทดลอง

3.1 แหล่งจุลินทรีย์

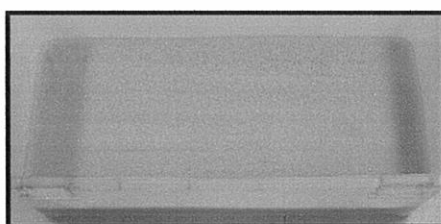
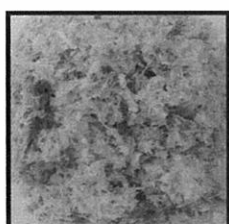
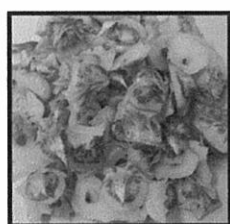
จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง คือ จุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ (Sludge) ของเชื้อผสม จากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน บริษัท มาลีสามพราน จำกัด (มหาชน) ตำบล ยายชา อำเภอ สามพราน จังหวัด นครปฐม



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2 สารละลายเศษเปลือกสับประรด

ตัวอย่างเศษเปลือกสับประรด จากร้านค้าผลไม้หั่นชิ้น นำมาปั่นลดขนาด (blender) ในการบดจะต้องเติมน้ำปริมาณเล็กน้อยทุกครั้ง และปรับค่าของแข็งทั้งหมด (Total solid) เป็น 4% TS แล้วทำการกรองเศษกากใยออก จากนั้นทำการปรับ pH ประมาณ 7 เพื่อเพิ่มค่าความเป็นด่าง โดย Na_2CO_3 นำสารละลายที่ได้บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด HDPE และทำการเก็บสารละลายตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิแช่แข็งประมาณ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อป้องกันปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จะเกิดขึ้น เพื่อใช้ในการเตรียมเป็นสารละลายเศษเปลือกสับประรด

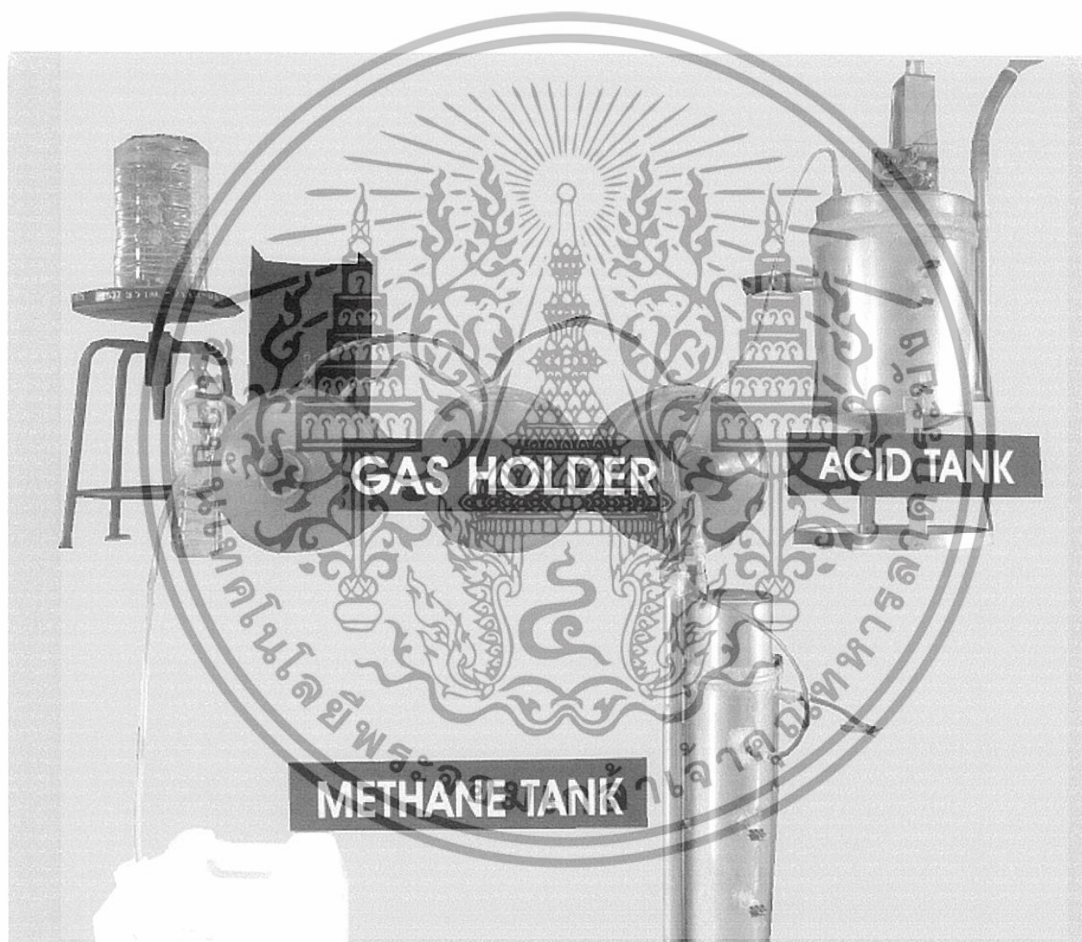


ภาพที่ 3.2 ลักษณะของสารละลายเศษเปลือกสับประรดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

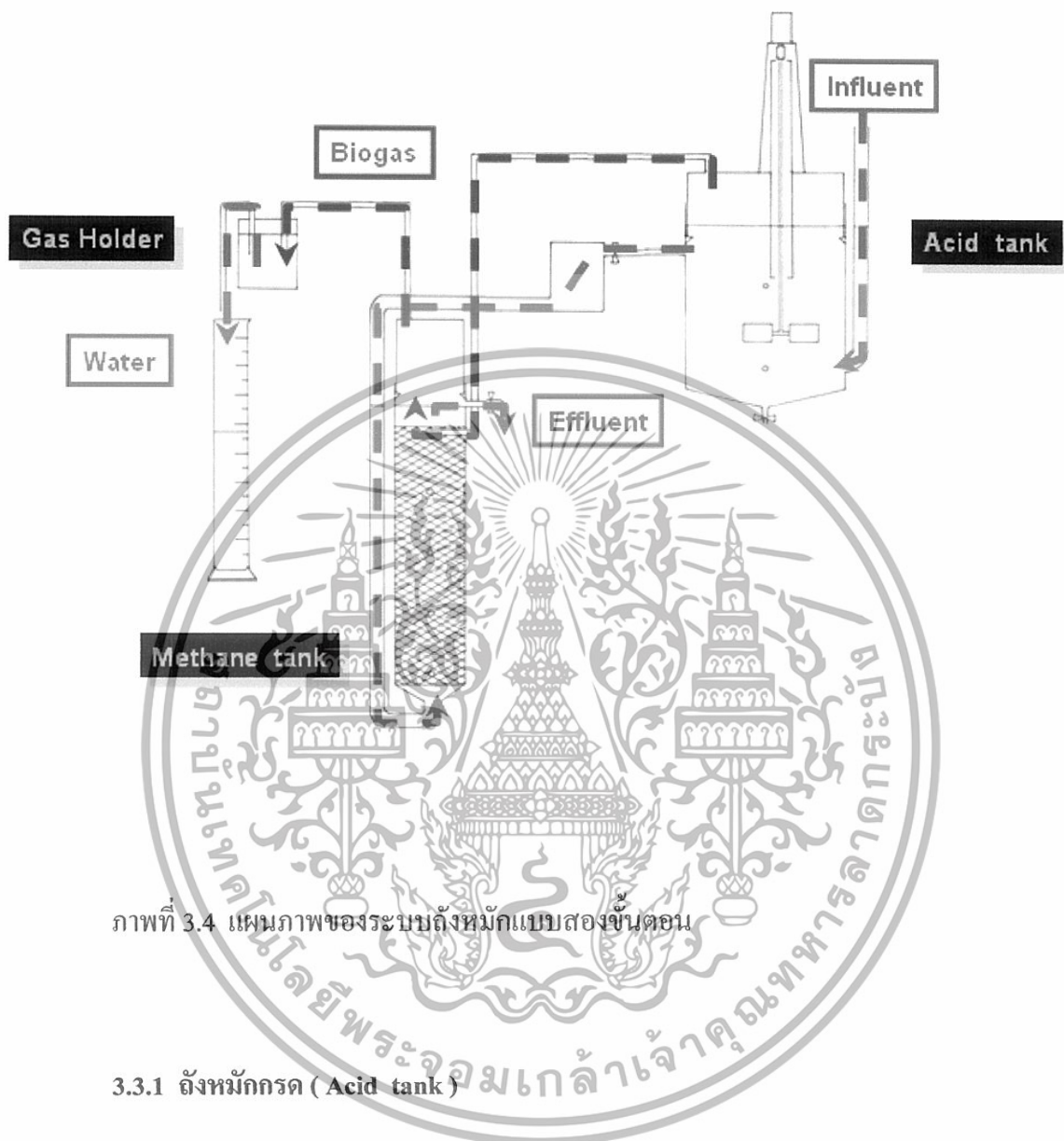
3.3 ระบบถังหมัก

ถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน (two-stage anaerobic digestion) แสดงดังรูป ซึ่งประกอบด้วย



ภาพที่ 3.3 ระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แผนภาพของระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน

3.3.1 ถังหมักกรด (Acid tank)

เป็นถังหมักประเภท Continuous stirred tank reactor (CSTR) คือมีการกวนผสมอย่างสม่ำเสมอ ตัวถังทำด้วยสแตนเลส (stainless steel) หนา 1 mm. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 cm. สูง 41.5 cm. ปริมาตรความจุ 23.47 L. ปริมาตรกรดหมัก 18.16 L. เจาะถังด้านข้างเป็นท่อต่อเข้าสำหรับป้อนสารละลายเปลือกสับปรดเข้าสู่ระบบถังหมัก และเจาะท่อด้านหน้า สำหรับนำสารละลายที่ผ่านการหมักออกจากถังหมักกรด เพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมักก๊าซต่อไป สำหรับด้านบนของถัง จะต่อท่อนำก๊าซที่ผลิตได้เข้าสู่ถังหมักก๊าซ ภายในถังจะมีการกวนผสมโดยใบกวนแบบ turbine 2 แฉก และเพลลาของใบกวนถูกต่อเข้ากับมอเตอร์ ที่มีความเร็วในการกวนผสม 30 rpm.

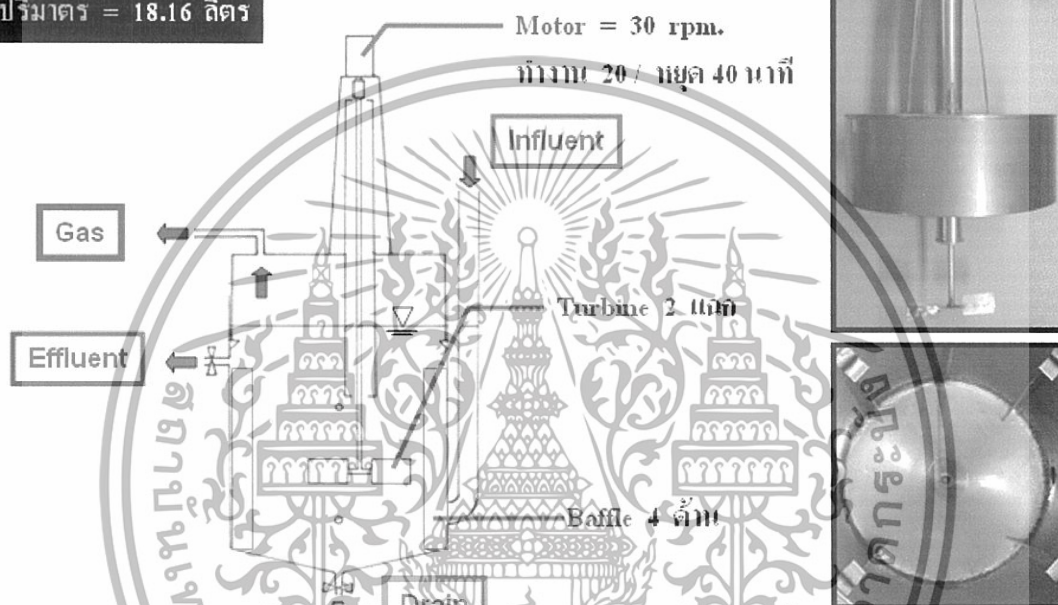
ที่ถูกควบคุมด้วยเครื่องตั้งเวลา โดยให้มอเตอร์ทำงาน 20 นาที และหยุด 40 นาที เพื่อป้องกันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้มอเตอร์ทำงานหนักเกินไป และยังมีแผ่นกั้นช่วยกวน (baffle) 4 ด้านของถัง เพื่อให้ประสิทธิภาพการกวนดีขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารตั้งต้นได้ดีขึ้นด้วย

Acid tank

Continuous stirred tank reactor (CSTR)

ปริมาตร = 18.16 ลิตร

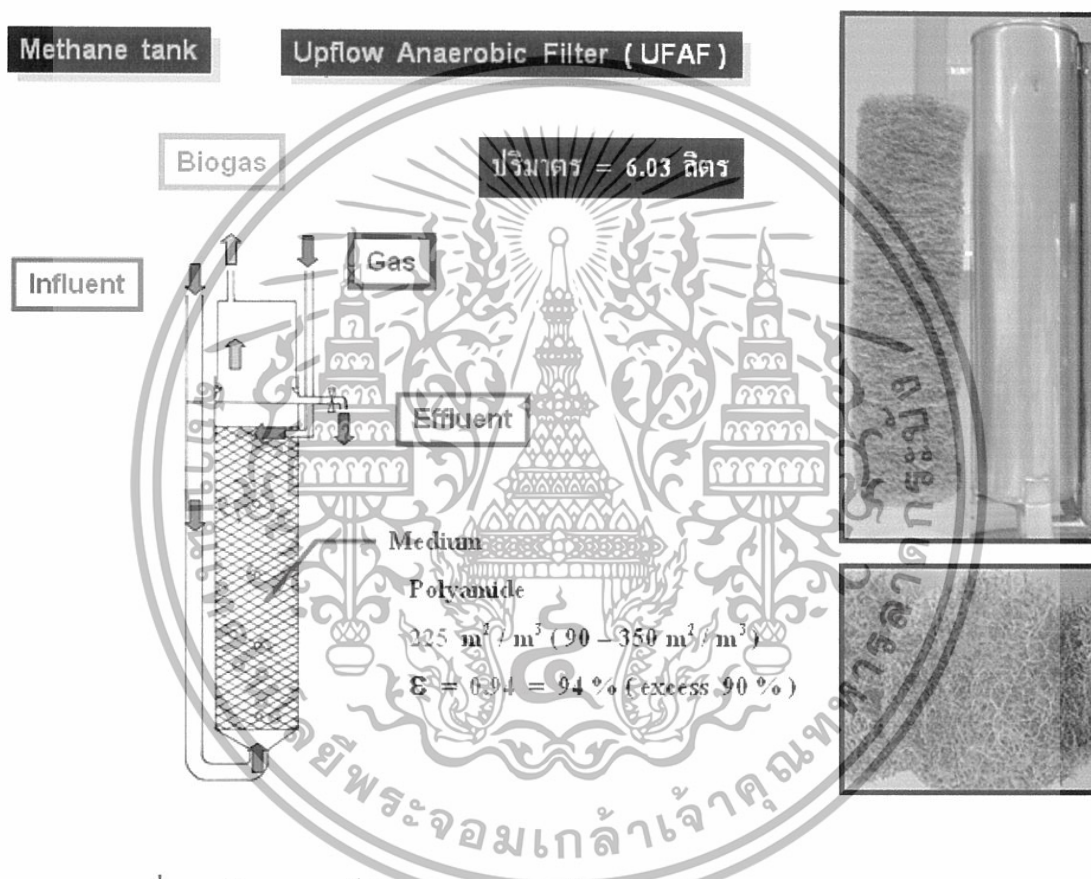


ภาพที่ 3.5 ลักษณะองค์ประกอบของถังหมักกรด

3.3.2 ถังหมักก๊าซ (Methane tank)

เป็นถังหมักประเภท Upflow Anaerobic Filter (UFAF) คือมีตัวกลาง ที่ใช้ในการกรอง และเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ และมีทิศทางการไหลของของเหลวจากด้านล่าง ขึ้นสู่ด้านบน ตัวถังทำด้วยสแตนเลส (stainless steel) หนา 1 mm. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.3 cm. สูง 67.2 cm. ปริมาตรความจุ 7.56 L. ปริมาตรการหมัก 6.03 L. เจาะถังด้านข้างเป็นท่อต่อเข้าสำหรับ ป้อนสารละลายที่ออกจากถังหมักกรด เข้าสู่ระบบถังหมักก๊าซ และเจาะท่อสำหรับสารละลายที่ ผ่านการหมักแล้วออก และต่อท่อนำก๊าซที่ได้จากถังหมักกรดเข้าสู่ถังหมักก๊าซ ส่วนด้านบนของถัง ทำการต่อท่อเพื่อนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบเก็บก๊าซชีวภาพ ภายในถังมีตัวถังบรรจุตัวกลาง (Medium) ที่ใช้ในการกรองคือ โพลีเอไมด์ (Polyamide) ซึ่งมีค่าสัดส่วนช่องว่าง เท่ากับ 0.94 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(94 % ค่าที่เหมาะสม คือ มากกว่า 90 % ขึ้นไป) และมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ ต่อ ปริมาตร เท่ากับ $225 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (ค่าที่เหมาะสม คือ $90 - 350 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ลักษณะคล้ายเส้นด้ายที่พันกันเป็นตาข่าย เพื่อให้เป็นตัวกลางสำหรับจุลินทรีย์ในการเกาะ ทั้งนี้จะสามารถรักษาปริมาณจุลินทรีย์ภายในถังหมัก ไม่ให้ไหลไปกับของเหลวขณะที่ทำการป้อนสารละลาย และปล่อยสารละลายออกจากถังหมัก



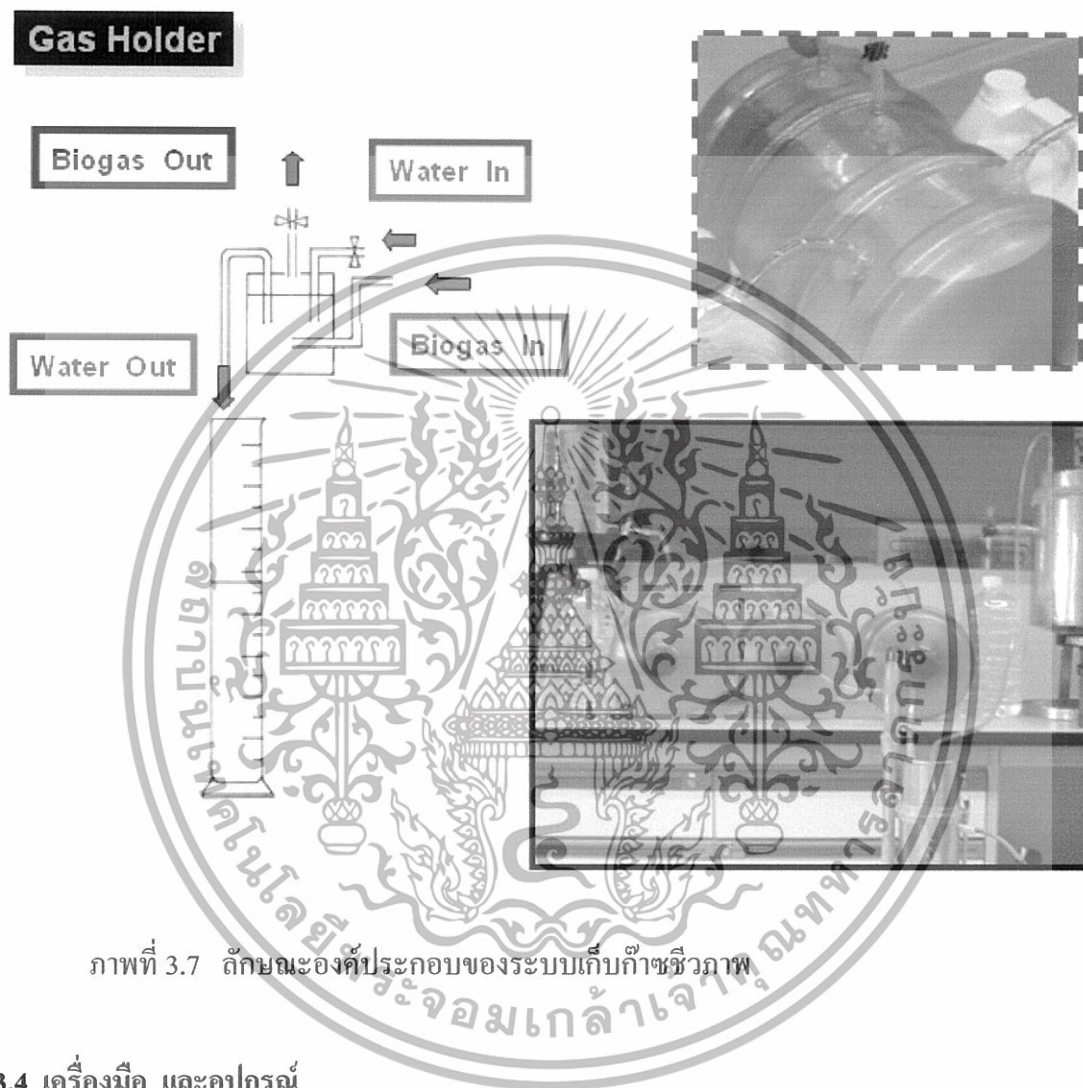
ภาพที่ 3.6 ลักษณะองค์ประกอบของถังหมักก๊าซ

3.3.3 ระบบเก็บก๊าซชีวภาพ (Gas holder)

ระบบเก็บก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นถังน้ำพลาสติก ขนาดความจุ 18 L. วางในแนวนอน ซึ่งทำการต่อท่อทั้งหมด 4 ท่อด้วยกัน คือ ท่อที่ 1 เป็นท่อที่นำก๊าซชีวภาพจากถังหมักก๊าซเข้าสู่ระบบเก็บก๊าซ ซึ่งปลายท่อจะจมอยู่ใต้ผิวน้ำ ท่อที่ 2 เป็นท่อที่น้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซไหลออกจากระบบเก็บก๊าซ ซึ่งสามารถวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น โดยการวัดปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาจากท่อนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อที่ 3 เป็นท่อที่นำน้ำเข้าสู่ถัง เมื่อต้องการเติมน้ำเข้าระบบ ท่อที่ 4 เป็นท่อที่นำก๊าซออกจากถัง เมื่อมีการเติมน้ำเข้าระบบทางท่อที่ 3



ภาพที่ 3.7 ลักษณะองค์ประกอบของระบบเก็บก๊าซชีวภาพ

3.4 เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เครื่องบดปั่น (blender)
4. ตู้อบ (hot air oven)
5. ตู้แช่แข็งอุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การดำเนินงานการศึกษา

3.5.1 การเตรียมสารละลายเศษเปลือกสับประด เพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมัก

สารละลายเศษเปลือกสับประดที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก เตรียมขึ้นจากการละลาย สารละลายเศษเปลือกสับประดแห้งแข็ง ที่ได้จากการกรองสารละลายเศษเปลือกสับประดที่มีค่าของแข็งทั้งหมด 4 % ดังแสดงในภาคผนวก ข และทำการปรับ pH ประมาณ 7 โดย Na_2CO_3

3.5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายเศษเปลือกสับประดที่ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมัก

นำสารละลายเศษเปลือกสับประดมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังนี้

1. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)
2. Chemical oxygen demand (COD) โดยวิธี Dichromate reflux method
3. ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity, TALK)

3.5.3 การเริ่มต้นดำเนินการระบบ และสถานะในการดำเนินการระบบ (Start-up and operating condition)

ในการทดลองนี้ใช้ระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน โดยใช้ถังหมักแบบ Continuous stirred tank reactor (CSTR) ซึ่งเป็นถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 18.16 L. จำนวน 1 ถัง ต่ออนุกรมเข้ากับถังหมักก๊าซแบบ Upflow Anaerobic Filter (UFAF) ซึ่งมีปริมาตร 6.03 ลิตร จำนวน 1 ถัง การเริ่มต้นระบบโดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ลงไปในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ประมาณ 60 % ของปริมาตรการหมัก หลังจากนั้นเติมสารละลายเศษเปลือกสับประดที่เตรียมได้ค้ำข้างส่วน Influent ของถังหมักกรด และเมื่อสารละลายออกมาจากถังหมักกรดจะทำการเพิ่มค่าความเป็นด่างทั้งหมดให้แก่สารละลาย จากนั้นส่งผ่านสารละลายที่ได้เข้าสู่ถังหมักก๊าซแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) คือ มีการเติมของเหลวใหม่ลงไปเมื่อมีของเหลวเก่าออกจากถังหมัก โดยที่ปริมาตรการเติมของเหลวใหม่ เท่ากับปริมาตรของเหลวที่ออกจากถังหมัก เพื่อเป็นการรักษาระดับปริมาตรของเหลวในถังหมักให้คงที่ตลอดการทดลอง และ

ความถี่ในการเติมสารละลายเศษเปลือกสับประด 1 วัน / ครั้ง ระยะเวลาเก็บกัก (hydraulic retention time) เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

retention time , HRT) เริ่มต้นเท่ากับ 18.16 วัน ซึ่งคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (organic loading rate , OLR) เท่ากับ 1.49 g.COD / L.d และ HRT เท่ากับ 6.03 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากับ 1.70 g.COD / L.d ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ระยะการดำเนินงานที่ถังหมักกรด (ถังมีปริมาตรการหมัก 18.16 L.)

เมื่อสารละลายมีค่า COD ประมาณ 27,194 mg./L. ในระยะที่ 1 และ 26,722 mg./L. ในระยะที่ 2

พารามิเตอร์	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2
HRT (วัน)	18.16	9.08
OLR (g COD / L.d)	1.49	2.94
อัตราการไหล (L. / d)	1.0	2.0

ตารางที่ 3.2 ระยะการดำเนินงานที่ถังหมักก๊าซ (ถังมีปริมาตรการหมัก 6.03 L.)

เมื่อสารละลายมีค่า COD ประมาณ 10,248 mg./L. ในระยะที่ 1 และ 14,669 mg./L. ในระยะที่ 2

พารามิเตอร์	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2
HRT (วัน)	6.03	3.01
OLR (g.COD / L.d)	1.70	4.86
อัตราการไหล (L. / d)	1.0	2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5.4 การวิเคราะห์ และเก็บข้อมูล

ตัวอย่างสารละลายเศษเปลือกสับประคที่เข้าระบบ ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ระหว่างการทดลอง จะถูกนำไปวิเคราะห์ค่า pH , ปริมาณ COD , ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด โดยทำการตรวจวิเคราะห์ทุกๆ 3 วัน จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล (steady state) โดยพิจารณาจากการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันเริ่มมีปริมาณคงที่ หรือใกล้เคียงกัน นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลังจากระบบเข้าสู่สมดุลมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงความสัมพันธ์ของก๊าซที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักของประสิทธิภาพการกำจัด COD ดังแสดงในภาคผนวก ข

ทำการบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในรูปของปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (total biogas) จากระบบเก็บก๊าซ โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ มีหน่วยเป็น ลิตร ต่อ วัน จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของน้ำคั้นจากเศษเปลือกสับประรดที่เตรียมขึ้น

ตัวอย่างเศษเปลือกสับประรด จากร้านค้าผลไม้หั่นชิ้น นำมาปั่นลดขนาด (blender) ในการปั่นจะต้องเติมน้ำปริมาณเล็กน้อยทุกครั้ง และปรับค่าของแข็งทั้งหมด (Total solid) เป็น 4% TS แล้วทำการกรองเศษกากใยออก และบรรจุในถุงพลาสติกชนิด HDPE และทำการเก็บสารละลายตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิแช่แข็งประมาณ -20°C เพื่อป้องกันปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่จะเกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการป้อนเข้าสู่ถังหมัก เมื่อนำสารตั้งต้นดังกล่าวมาทำการละลายและวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า สารละลายนี้มี pH เท่ากับ 7.35 - 8.23 ค่า COD เท่ากับ 24,064 - 28,576 mg/L. และค่าความเป็นค่าทั้งหมด (TALK) 852 - 1250 mg/L.

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆของระบบทั้งหมด

ในระหว่างการทดลองสารละลายตั้งต้นที่เข้าระบบในถังหมักกรดและถังหมักก๊าซ จะนำไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดค่า (pH) ปริมาณ COD และปริมาณความเป็นค่าทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

ค่า pH ของสารละลายที่เข้าระบบ ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ตลอดจนการทดลองแสดง ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 พบว่าค่า pH ของสารละลายตั้งต้นอยู่ในช่วง 7.35-8.23 ส่วนในถัง หมักกรด ค่า pH อยู่ในช่วง 4.71-6.83 เนื่องจากในถังหมักกรดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็น กรดอินทรีย์ระเหย จึงทำให้ pH ลดลง (Rao *et al.*, 2000) แต่ในถังหมักก๊าซมีค่า pH เพิ่มสูงขึ้นอยู่ ในช่วง 6.04 -7.59 เนื่องจากความเสถียรภาพของระบบและกิจกรรมของ Methanogenic bacteria ทำให้ pH เพิ่มขึ้นค่อนข้างจะเป็นกลางในถังหมักก๊าซ (Bouallagui *et al.*, 2002)

การที่ระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน สามารถที่จะปล่อย ให้ค่า pH ในถังหมักกรดต่ำได้ เพราะต้องการให้เป็นขั้นตอนการสร้างกรดให้ได้มากที่สุดจึงไม่ ต้องกังวลกับค่า pH ที่ต่ำลงเหมือนกับระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอน เดียว ทำให้ง่ายแก่การควบคุมระบบและประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้ในการปรับ pH อีก ด้วย

สำหรับค่า pH ในถังหมักก๊าซตลอดการทดลองนั้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จุลินทรีย์สร้าง ก๊าซมีเทนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และเหมาะสมต่อการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เพราะ การผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ดีที่ pH 6.6 – 7.6 แต่ในช่วงเริ่มต้นของระยะที่ 2 ของการทดลอง พบว่า pH ของระบบมีค่าต่ำลง เนื่องจาก HRT ลดลง ทำให้ OLR เพิ่มมากขึ้น และ pH ของระบบจะ ค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นจนระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่ง pH ในถังหมักก๊าซไม่ควรต่ำกว่า 6.6 เพราะอาจจะ เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ และถ้า pH ในถังหมักก๊าซต่ำกว่า 5.3 แล้ว อาจจะทำให้ระบบ ล้มเหลวได้ (Wildenauer and Winter, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ

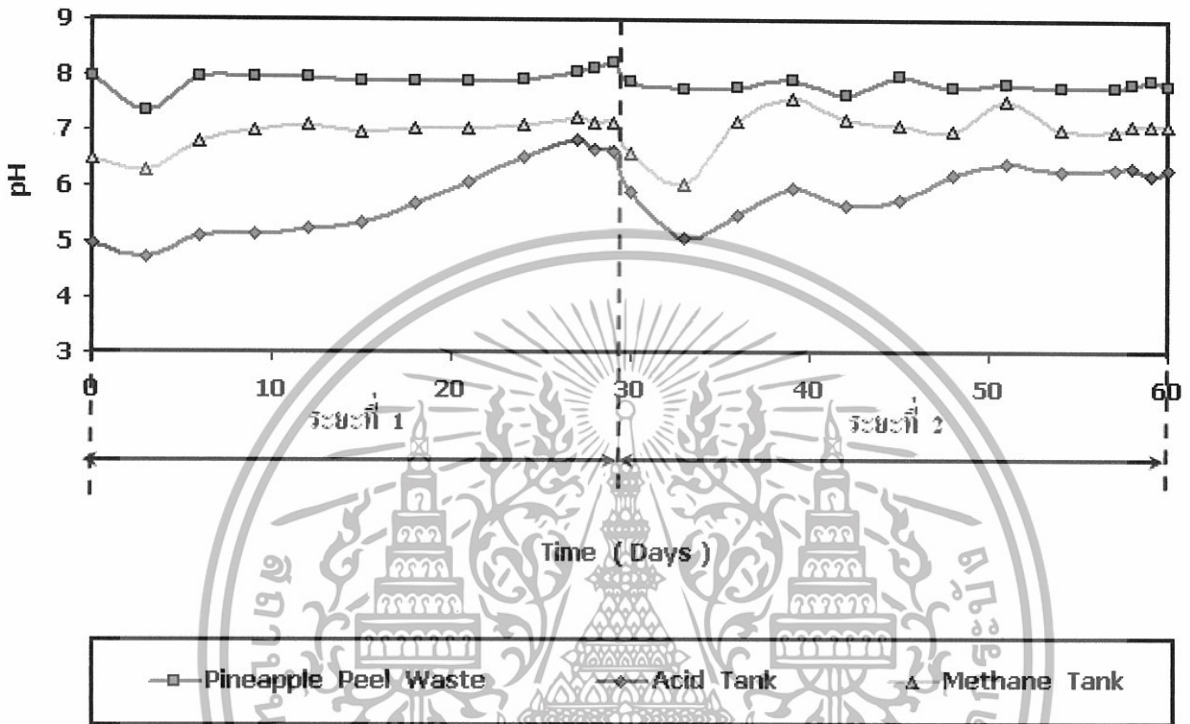
Time (days)	Pineapple peel Waste	Acid Tank	Methane Tank
0	7.95	4.97	6.50
3	7.35	4.71	6.28
6	7.95	5.10	6.81
9	7.95	5.15	7.00
12	7.95	5.25	7.09
15	7.88	5.33	6.97
18	7.90	5.68	7.02
21	7.90	6.08	7.02
24	7.92	6.53	7.10
27	8.08	6.83	7.25
28	8.14	6.67	7.13
29	8.23	6.61	7.13
30	7.90	5.90	6.60
33	7.76	5.07	6.04
36	7.80	5.49	7.17
39	7.93	5.97	7.59
42	7.66	5.67	7.22
45	7.99	5.75	7.10
48	7.78	6.21	7.01
51	7.87	6.43	7.56
54	7.80	6.28	7.04
57	7.80	6.30	7.00
58	7.87	6.34	7.12
59	7.93	6.21	7.09
60	7.83	6.32	7.10

หมายเหตุ



สัญลักษณ์ แสดงช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ค่า pH ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity : TALK)

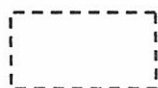
ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของสารละลายตั้งต้นที่เข้าระบบ ถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ตลอดจนการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 พบว่าค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่วิเคราะห์นี้ คิดในรูปของ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) พบว่าปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดของสารละลายตั้งต้น อยู่ในช่วง 852 – 1,250 mg./L. ในถังหมักกรดปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด อยู่ในช่วง 420 – 2,887 mg./L. และในถังหมักก๊าซปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด อยู่ในช่วง 1,350 – 5,775 mg./L. ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในสารละลายตั้งต้น และในถังหมักกรด เนื่องจากเกิดการย่อยสลายในถังหมักกรด ซึ่งได้กรดอินทรีย์ระเหย และแอมโมเนีย จากนั้นกรดอินทรีย์ระเหยจะถูก จะถูกใช้เป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนในถังหมักก๊าซ ทำให้แอมโมเนียเหลือมากขึ้น และเมื่อทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ กลายเป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต หรือสภาพด่างไบคาร์บอเนต ปริมาณค่าความเป็นด่างจึงเพิ่มขึ้น (Raynal *et al.*, 1998) แสดงให้เห็นว่าในถังหมักก๊าซนั้นระบบเกิดความเป็นบัฟเฟอร์ โดยจะช่วยป้องกันแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนให้สามารถทนต่อกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นได้

จะเห็นได้ว่า เมื่อ HRT ลดลง ทำให้ OLR เพิ่มขึ้น จากระยะที่ 1 เป็นระยะที่ 2 ปริมาณค่าเป็นด่างทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยที่มากขึ้น ดังนั้นค่าความเป็นด่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อเป็นการรักษาสถานะค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ให้เหมาะสมกับการเจริญของ จุลินทรีย์ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความเป็นค่าทั้งหมด ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และ ถังหมักก๊าซ

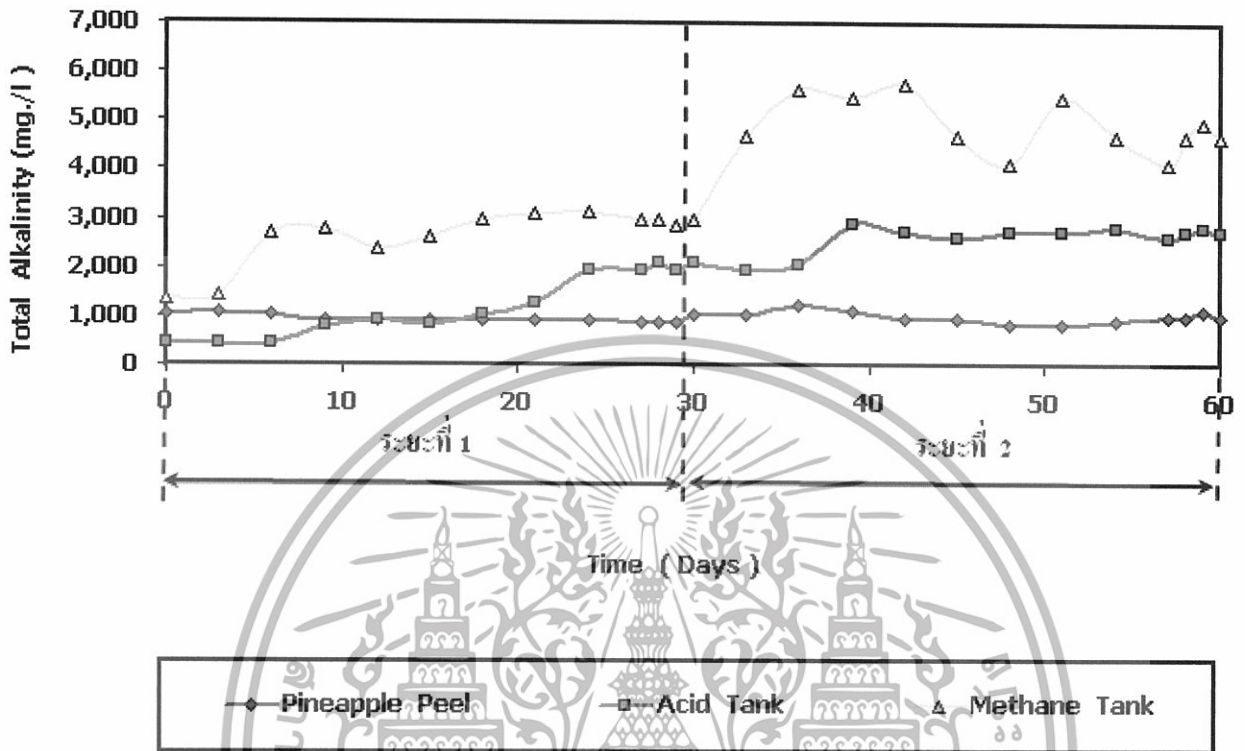
Time (days)	Pineapple peel Waste (mg. /L.)	Acid Tank (mg. /L.)	Methane Tank (mg. /L.)
0	1,050	420	1,350
3	1,080	450	1,440
6	1,050	450	2,700
9	930	780	2,790
12	900	930	2,400
15	900	840	2,610
18	900	1,050	3,000
21	900	1,290	3,090
24	900	1,950	3,150
27	870	1,950	3,000
28	870	2,100	3,000
29	870	1,950	2,850
30	1,050	2,100	3,000
33	1,050	1,950	4,675
36	1,250	2,062	5,637
39	1,100	2,887	5,500
42	935	2,750	5,775
45	963	2,630	4,675
48	852	2,750	4,125
51	852	2,750	5,500
54	907	2,805	4,675
57	1,010	2,630	4,125
58	980	2,750	4,675
59	1,100	2,805	4,956
60	987	2,750	4,675

หมายเหตุ



สัญลักษณ์ แสดงช่วงที่ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และ ถังหมักก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณของออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์

(Chemical Oxygen Demand : COD)

ปริมาณ COD ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าระบบในถังหมักกรดและถังหมักก๊าซตลอดการทดลอง พบว่า ปริมาณ COD ของสารละลายตั้งต้นมีค่าอยู่ในช่วง 24,064 - 28,576 mg/L. ในถังหมักกรดมีค่า COD อยู่ในช่วง 8,000 - 19,200 mg/L. และในถังหมักก๊าซ มีค่า COD อยู่ในช่วง 1,504 - 10,150 mg/L.

จะเห็นได้ว่าปริมาณ COD ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในการทดลองระยะที่ 2 เนื่องจาก HRT ลดลง อีกทั้ง OLR มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัด COD มีค่าลดลง และยังพบว่า ปริมาณ COD ในถังหมักกรดมีค่าลดลงจากสารละลายตั้งต้น 30.43 - 69.58% เนื่องจาก ในถังหมักกรดมีการย่อยสลายสารตั้งต้น ได้เป็นกรดอินทรีย์ระเหย จากนั้นกรดอินทรีย์เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน ที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ภายในถังหมักกรดได้ ทั้งนี้เนื่องจากค่า pH ภายในถังหมักกรดมีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนเมื่อระบบเข้าสู่สมดุล จากนั้น COD ที่เหลือจากถังหมักกรดจะถูกกำจัดภายในถังหมักก๊าซ เปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพอีกครั้ง แต่ปริมาณ COD ที่ออกจากระบบยังคงมีค่าสูงอยู่ ดังนั้นถ้าต้องการลดปริมาณ COD ลงอีก อาจต้องใช้วิธีการอื่น เช่น ระบบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เข้ามาร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ COD ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และ ถังหมักก๊าซ

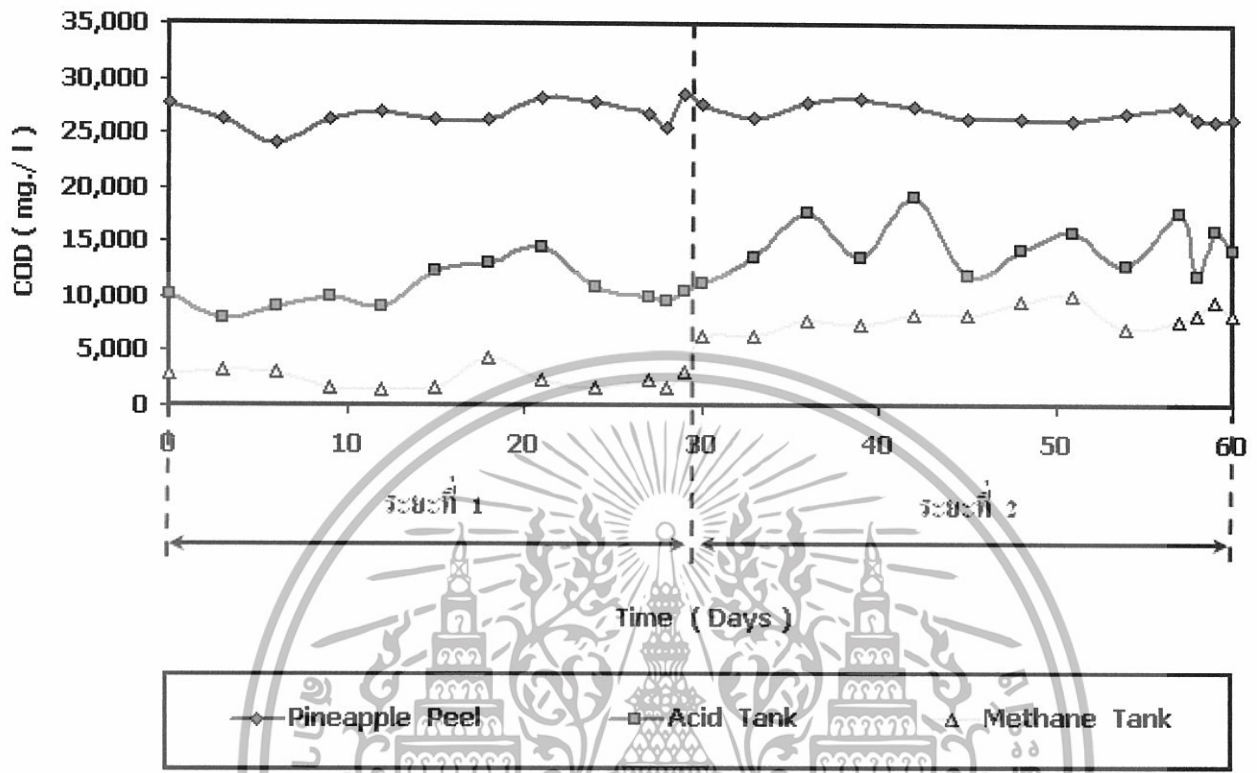
Time (days)	Pineapple peel Waste (mg. /L.)	Acid Tank (mg. /L.)	Methane Tank (mg./L.)
0	27,664	10,192	2,912
3	26,300	8,000	3,200
6	24,064	9,024	3,008
9	26,208	10,032	1,552
12	27,072	9,024	1,504
15	26,329	12,390	1,548
18	26,208	13,104	4,368
21	28,272	14,592	2,432
24	27,849	10,830	1,547
27	26,752	10,032	2,432
28	25,600	9,600	1,600
29	28,576	10,528	3,008
30	27,790	11,250	6,316
33	26,527	13,534	6,316
36	27,908	17,861	7,814
39	28,299	13,534	7,382
42	27,600	19,200	8,400
45	26,400	12,000	8,400
48	26,400	14,400	9,600
51	26,275	15,993	10,150
54	26,937	12,883	7,027
57	27,600	17,861	7,814
58	26,400	12,000	8,400
59	26,275	16,200	9,600
60	26,400	14,400	8,400

หมายเหตุ



สัญลักษณ์ แสดงช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณ COD ของสารละลายตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบ ในถังหมักกรด และ ถังหมักก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปลี่ยนแปลง COD ภายในระบบ

เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเริ่มคงที่ หรือมีค่าใกล้เคียงกัน จึงเริ่มเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพรวมของระบบ รวมถึงความสัมพันธ์ต่างๆที่เกิดขึ้น ต่อ HRT และ OLR ที่มีต่อระบบ

จากการศึกษาพบว่า เมื่อดำเนินระบบภายในถังหมักกรด ระยะที่ 1 โดยใช้ HRT เท่ากับ 18.16 วัน คิดเป็น OLR เท่ากับ 1.49 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 27,194 mg/L. เหลือเป็น 10,248 mg./L. นั่นคือลดได้ 62.32 % และระยะที่ 2 โดยใช้ HRT เท่ากับ 9.08 วัน คิดเป็น OLR เท่ากับ 2.94 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 26,722 mg./L. เหลือเป็น 14,669 mg./L. นั่นคือลดได้ 45.11 % ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4

และเมื่อดำเนินระบบภายในถังหมักก๊าซ ระยะที่ 1 โดยใช้ HRT เท่ากับ 6.03 วัน คิดเป็น OLR เท่ากับ 1.7 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 10,248 mg./L. เหลือเป็น 2,147 mg./L. นั่นคือลดได้ 79.05 % และระยะที่ 2 โดยใช้ HRT เท่ากับ 3.01 วัน คิดเป็น OLR เท่ากับ 4.86 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 14,669 mg./L. เหลือเป็น 8,248 mg./L. นั่นคือลดได้ 43.77 % ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5

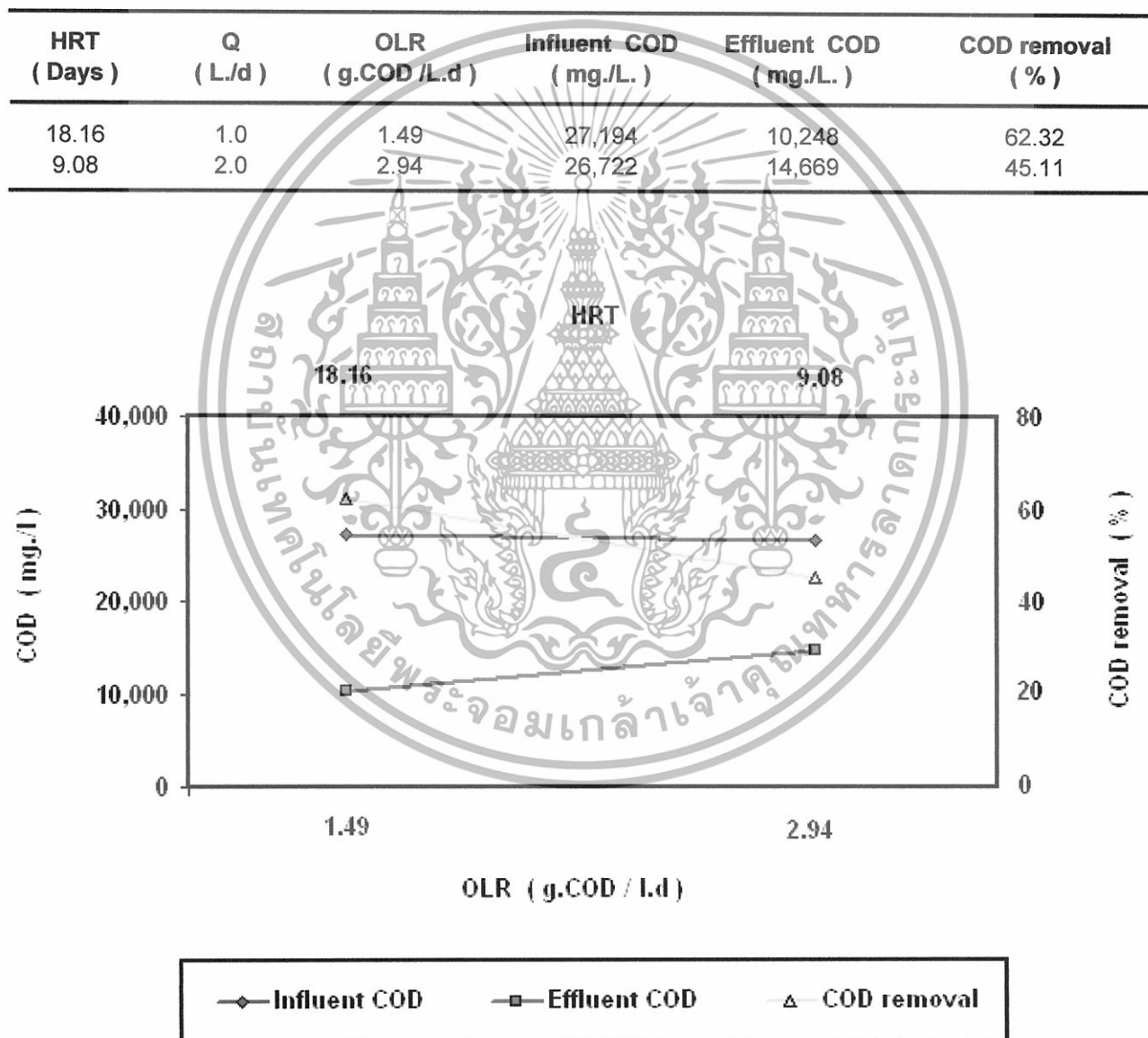
ดังนั้นการดำเนินระบบโดยรวมของถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ในระยะที่ 1 มี HRT system เท่ากับ 24.19 วัน คิดเป็น OLR ที่ถังหมักกรดเท่ากับ 1.49 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 27,194 mg./L. เหลือเป็น 2,147 mg./L. นั่นคือลดได้ 92.10 % และระยะที่ 2 โดยใช้ HRT เท่ากับ 12.09 วัน คิดเป็น OLR ที่ถังหมักกรดเท่ากับ 2.94 g.COD/L.d สามารถลดปริมาณ COD จาก 26,722 mg./L. เหลือเป็น 8,248 mg./L. นั่นคือลดได้ 69.13 % ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบโดยรวมมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อ HRT มากขึ้น เนื่องจากระบบที่มี HRT น้อย จะมีสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมาก ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ทัน จึงมีสารอินทรีย์เหลืออยู่ในระบบมาก เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ลดน้อยลงด้วย แต่เมื่อดำเนินระบบที่มี HRT มากขึ้น จุลินทรีย์มีเวลาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตาบอลิซึม (Metabolize) สารอินทรีย์ต่างๆ ได้ ทำให้ระบบมีสารอินทรีย์เหลืออยู่น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT , OLR และ COD removal ของถังหมักกรด ซึ่งมีปริมาตร 18.16 ลิตร

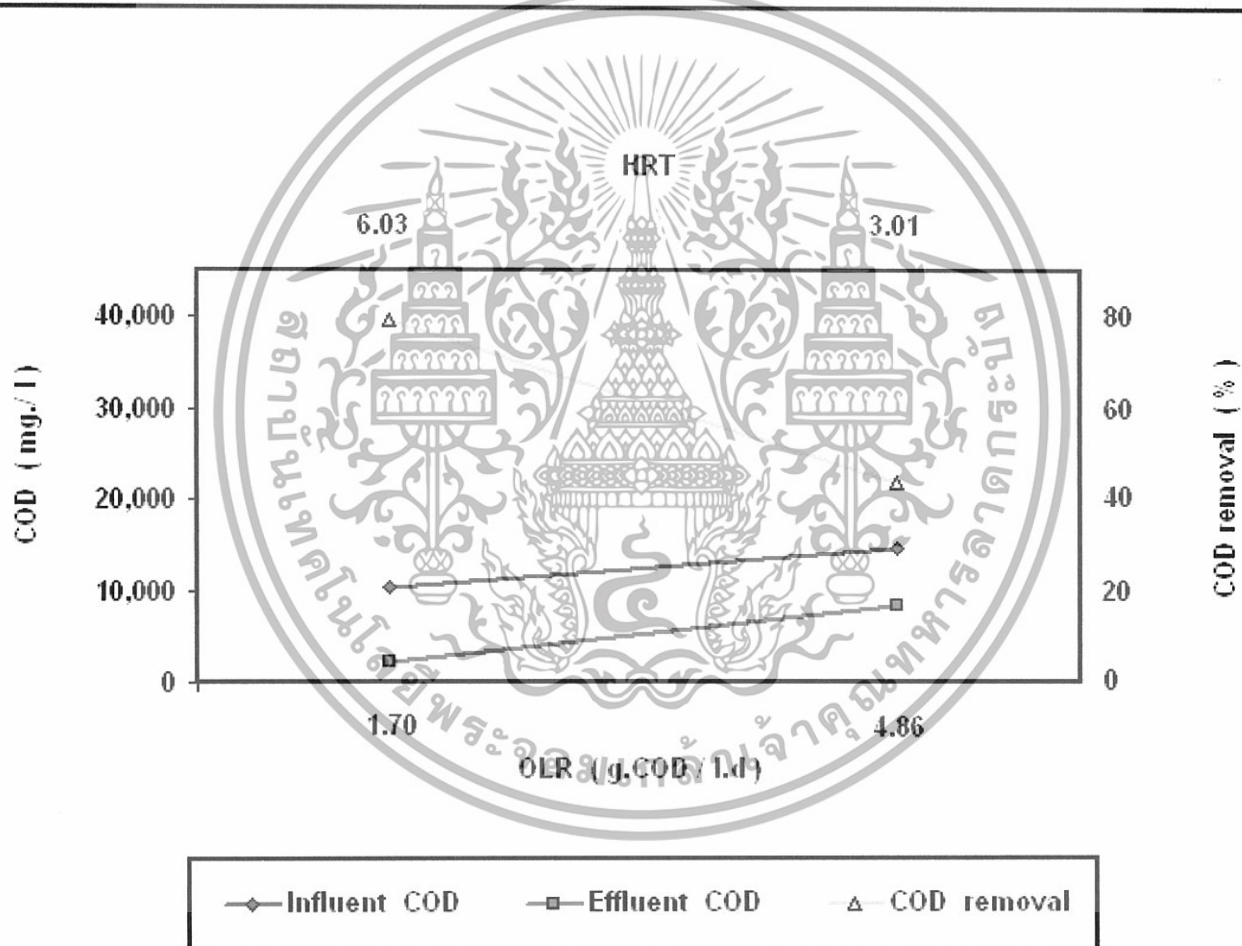


ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT ,OLR และ COD removal ของถังหมักกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT , OLR และ COD removal ของถังหมักก๊าซ
ซึ่งมีปริมาตร 6.03 ลิตร

HRT (Days)	Q (L./d)	OLR (g.COD /L.d)	Influent COD (mg./L.)	Effluent COD (mg./L.)	COD removal (%)
6.03	1.0	1.7	10,248	2,147	79.05
3.01	2.0	4.86	14,669	8,248	43.77

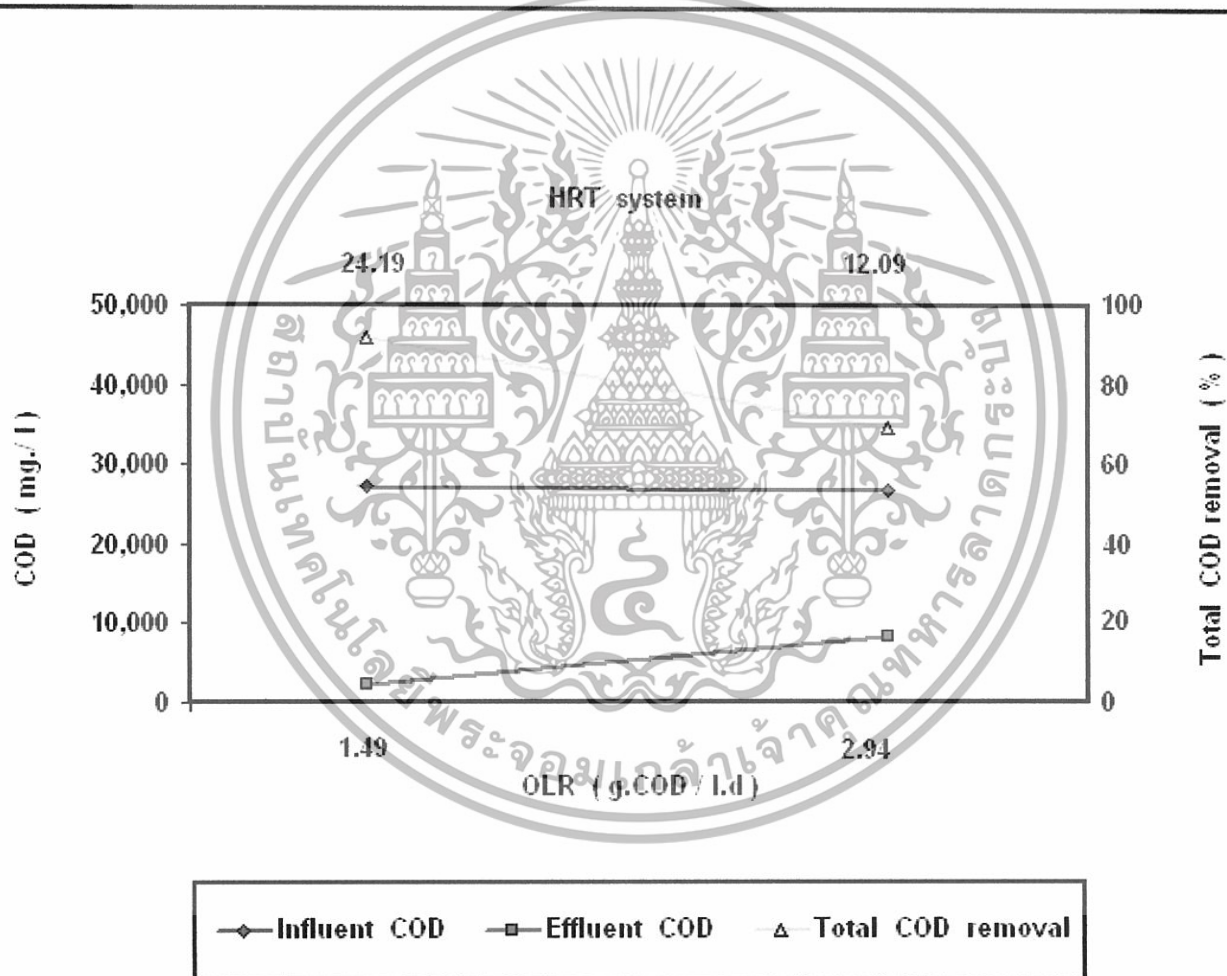


ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT , OLR และ COD removal ของถังหมักก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT system , OLR และ Total COD removal ของระบบโดยรวม ซึ่งมีปริมาตรโดยรวม 24.19 ลิตร

HRT system (Days)	Q (L/d)	OLR (g.COD /L.d)	Influent COD (mg./L.)	Effluent COD (mg./L.)	Total COD removal (%)
24.19	1.0	1.49	27,194	2,147	92.10
12.09	2.0	2.94	26,722	8,248	69.13



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่าง HRT system , OLR และ Total COD removal ของระบบโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การผลิตก๊าซชีวภาพ

บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อวัน โดยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด สามารถวัดได้จากการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวัน ในหน่วยลิตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน ภายใต้สภาวะการทดลอง (Room condition) พบว่า เมื่อดำเนินระบบในระยะที่ 1 มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ย เท่ากับ 15.63 L/d และเมื่อดำเนินระบบในระยะที่ 2 พบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ย เท่ากับ 21.07 L/d

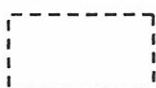
จะเห็นได้ว่า การผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อระบบมี HRT ที่ลดลง และ OLR ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก เมื่อมี HRT มากขึ้น สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าน้อย และจุลินทรีย์หมุนเวียนในระบบนาน ทำให้ทำให้ต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิต ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายนำไปใช้เป็นพลังงาน ทำให้การสร้างเซลล์ใหม่มีน้อยด้วย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จึงมีปริมาณที่น้อยกว่าสภาวะที่มี HRT น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง

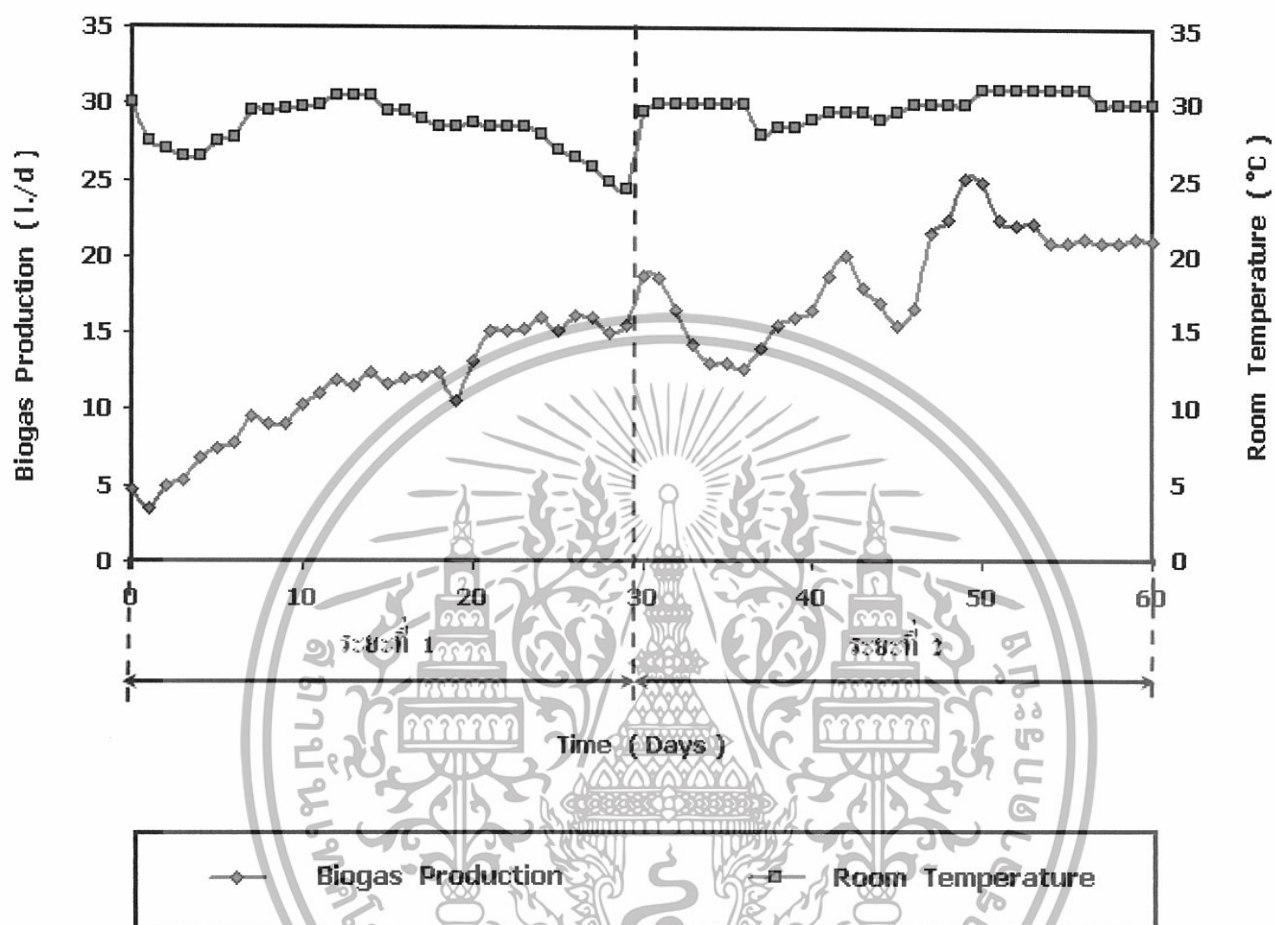
Time (days)	Gas production (L./ d)	Time (days)	Gas production (L./ d)
0	4.75	30	18.70
1	3.50	31	18.60
2	5.00	32	16.50
3	5.30	33	14.30
4	6.80	34	13.00
5	7.45	35	13.00
6	7.85	36	12.70
7	9.52	37	14.00
8	9.00	38	15.50
9	9.10	39	15.95
10	10.30	40	16.50
11	11.00	41	18.70
12	11.90	42	20.10
13	11.60	43	18.00
14	12.40	44	17.00
15	11.70	45	15.50
16	12.05	46	16.60
17	12.20	47	21.60
18	12.40	48	22.50
19	10.60	49	25.22
20	13.20	50	25.00
21	15.20	51	22.50
22	15.20	52	22.10
23	15.30	53	22.20
24	16.00	54	21.00
25	15.20	55	21.00
26	16.10	56	21.20
27	16.00	57	21.00
28	15.00	58	21.00
29	15.50	59	21.20
		60	21.10

หมายเหตุ

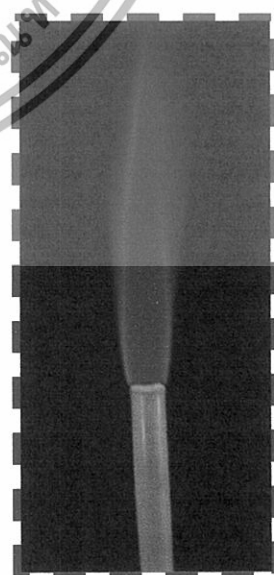


สัญลักษณ์ แสดงช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง และลักษณะเปลวไฟ ของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (Room condition) แสดงดังตารางที่ 4.8 เมื่อดำเนินระบบโดยรวมในระยะที่ 1 โดยใช้ HRT system เท่ากับ 24.19 วัน คิดเป็น OLR ที่เข้าระบบเท่ากับ 1.49 g.COD / L.d สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้เท่ากับ 15.63 L/d และระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD removal) ได้เท่ากับ 92.10 % คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.62 L./g.COD removal และเมื่อดำเนินระบบโดยรวมในระยะที่ 2 โดยใช้ HRT system เท่ากับ 12.09 วัน คิดเป็น OLR ที่เข้าระบบเท่ากับ 2.94 g.COD / L.d สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้เท่ากับ 21.07 L/d และระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD removal) ได้เท่ากับ 69.13 % คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.57 L./g.COD removal จะเห็นได้ว่าอัตราการการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดในระยะที่ 1 และที่ 2 ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อาริยา วิรัชวรกุล (2546) เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ที่พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมด ค่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนตลอดการทดลอง ทั้ง 4 ระยะ คือ 0.103 , 0.117 , 0.112 และ 0.111 L./g.COD removal ในระยะที่ 1 , 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (Room condition)

Parameter	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2
Q (L./ d)	1.0	2.0
HRT system (Days)	24.19	12.09
HRT : Acid Tank (Days)	18.16	9.08
HRT : Methane Tank (Days)	6.03	3.01
OLR (g.COD / L.d)	1.49	2.94
Influent COD (mg./L.)	27,194	26,722
Effluent COD (mg./L.)	2,147	8,248
Total COD removal (%)	92.10	69.13
Total gas Production (L./d)	15.63	21.07
Total gas production per g.COD removal (L./ g.COD removal)	0.62	0.57

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลอง ในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 เมื่อนำค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ ระหว่าง HRT , OLR , ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น และ ประสิทธิภาพการกำจัด COD แสดงดังตารางที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า จุดที่กราฟตัดกัน คือ จุดสมมูลระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และ ประสิทธิภาพการกำจัด COD ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบการย่อยสลายเศษ เปลือกสับประด ภายใต้อุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสแบบสองขั้นตอนนี้คือ ที่ HRT system เท่ากับ 16.20 วัน คิดเป็น OLR ที่ Acid tank เท่ากับ 2.45 g.COD / L.d โดยระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ได้เท่ากับ 76.93 % ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ 19.23 L/d ดังนั้น ตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

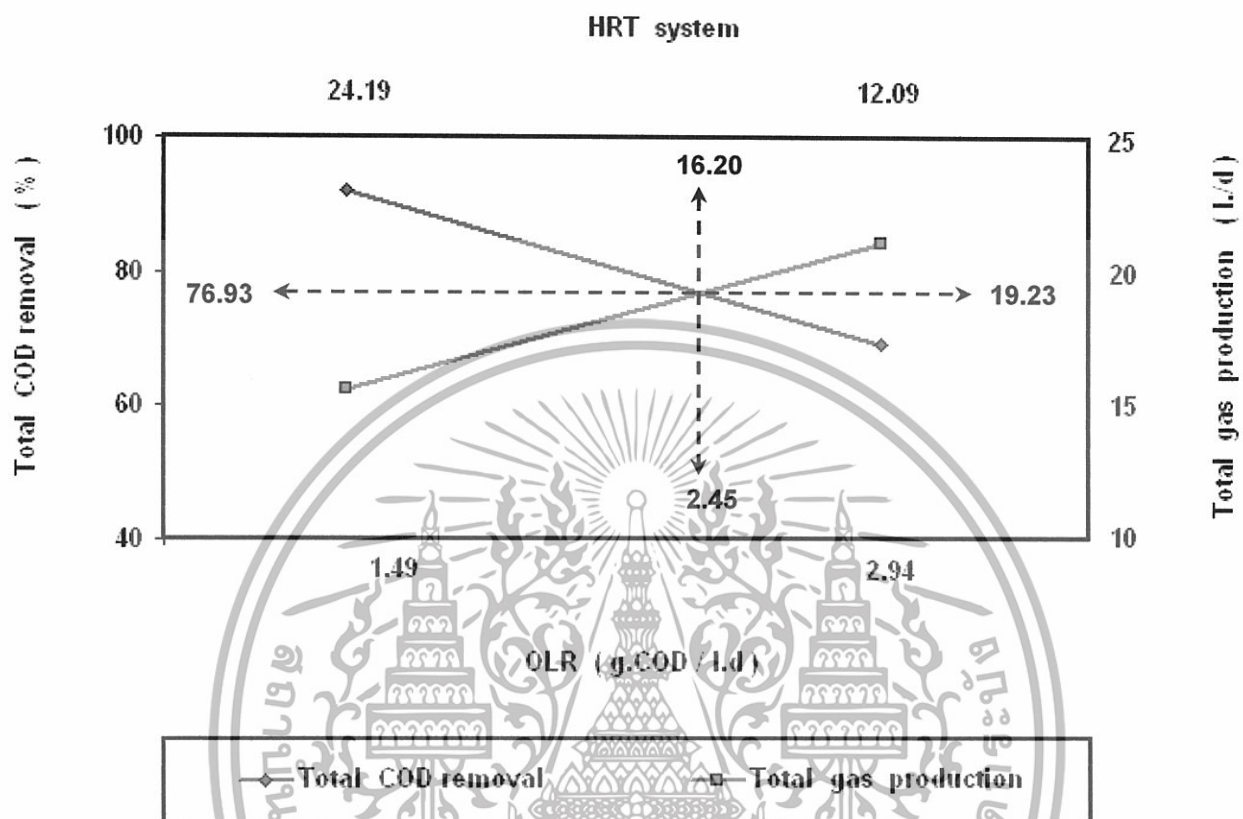
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ ระหว่าง HRT , OLR , ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น และ ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ

HRT system (Days)	OLR : Acid Tank (g.COD /L.d)	Total COD removal (%)	Total gas production (L./d)
24.19	1.49	92.10	15.63
12.09	2.94	69.13	21.07

ตารางที่ 4.10 สภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบ

Parameter	สภาวะที่เหมาะสม
HRT system (Days)	16.20
OLR : Acid Tank (g.COD / L.d)	2.45
Total COD removal	76.93
Total gas production (L./d)	19.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 สถานะที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 สรุปสถานะที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จากเศษเปลือก
สับประรด โดยกระบวนการย่อยสลาย ภายใต้ สภาวะ ไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

Parameter	สถานะที่เหมาะสม
Q (L./ d)	1.50
HRT (Days)	
System	16.20
Acid Tank	12.16
Methane Tank	4.04
OLR in Acid Tank (g.COD/L.d)	2.45
Total COD removal	76.93
Total gas production (L./d)	19.23
Total gas production per g.COD removal (L./ g.COD removal)	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน พบว่าคุณสมบัติของสารละลายเศษเปลือกสับประรด ที่เตรียมได้จากการกรองน้ำปั่นเศษเปลือกสับประรดที่มีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) 4% (w/v) มีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ คือ pH เท่ากับ 7.88, COD เท่ากับ 27,194 mg/L. และค่าความเป็นด่างทั้งหมด (TALK) เท่ากับ 970 mg/L. การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสารละลายเศษเปลือกสับประรด ที่เข้าสู่ระบบในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ มีค่า pH ของสารละลายเศษเปลือกสับประรด อยู่ในช่วง 4.71 – 6.83 และ 6.04 – 7.59 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียพวกสร้างกรด และพวกสร้างก๊าซ ตามลำดับ ส่วนปริมาณ COD ที่เข้าสู่ระบบมีค่าลดลงในถังหมักกรด และในถังหมักก๊าซ ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากภายในถังหมักกรดมีแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซที่สามารถดำรงชีวิตได้ และเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยภายในถังหมักกรดเป็นก๊าซมีเทนได้ และประสิทธิภาพการกำจัด COD มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ลดลง แต่ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดสูงขึ้น จาก 1,180 เป็น 2,586 mg/L. ในถังหมักกรด และ จาก 2,615 เป็น 4,769 mg/L. ในถังหมักก๊าซ เมื่อ HRT ลดลงจากระยะที่ 1 เป็นระยะที่ 2 เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงมากขึ้นเมื่อ HRT ลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาระดับ pH ในระบบ ค่าความเป็นด่างจึงมีค่าสูงมากขึ้นด้วย

ระบบการย่อยสลายเศษเปลือกสับประรด ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนนี้มีประสิทธิภาพกำจัด COD ในระยะที่ 1 ซึ่งมีค่า OLR ในถังหมักกรด เท่ากับ 1.49 g.COD/L.d และมี HRT ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 18.16 และ 6.03 วัน ซึ่งสามารถกำจัด COD ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 62.32 และ 79.05% ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบโดยรวมเท่ากับ 92.10% สำหรับประสิทธิภาพกำจัด COD ในระยะที่ 2 ซึ่งมีค่า OLR ในถังหมักกรด เท่ากับ 2.49 g.COD/L.d และมี HRT ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 9.08 และ 3.01 วัน ซึ่งสามารถกำจัด COD ในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ เท่ากับ 45.11 และ 43.77% ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบโดยรวมเท่ากับ 69.13%

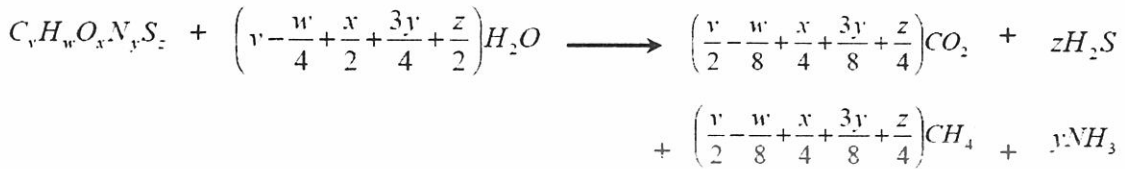
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อมี HRT ลดลง หรือ OLR เพิ่มมากขึ้น โดยที่ ระยะที่ 1 ค่า HRT system เท่ากับ 24.19 วัน แยกเป็น HRT ที่ถึงหมักกรด เท่ากับ 18.16 วัน และในถังหมักก๊าซ เท่ากับ 6.03 วัน คิดเป็น OLR ที่เข้าสู่ถังหมักกรด เท่ากับ 1.49 g.COD/L.d สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 15.63 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.62 L./g.COD removal และ ใน ระยะที่ 2 ค่า HRT system เท่ากับ 12.09 วัน แยกเป็น HRT ที่ถึงหมักกรด เท่ากับ 9.08 วัน และในถังหมักก๊าซ เท่ากับ 3.01 วัน คิดเป็น OLR ที่เข้าสู่ถังหมักกรด เท่ากับ 2.49 g.COD/L.d สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 21.07 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.57 L./g.COD removal

จากการพิจารณาจุดตัดประสิทธิภาพการกำจัด COD และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ สูงสุด พบว่า การทำงานของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน คือ ที่อัตราการการป้อนสารอินทรีย์ เท่ากับ 1.5 L/d คิดเป็น OLR ที่เข้าสู่ถังหมักกรด เท่ากับ 2.45 g.COD/L.d โดยใช้ระยะเวลาการหมักของระบบโดยรวม (HRT system) เท่ากับ 16.20 วัน แยกเป็น HRT ที่ถึงหมักกรด เท่ากับ 12.16 วัน และที่ถึงหมักก๊าซ เท่ากับ 4.04 วัน โดยระบบสามารถกำจัดปริมาณ COD ได้เท่ากับ 76.93 % ซึ่งสามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ เท่ากับ 19.23 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด เท่ากับ 0.56 L./g.COD removal

เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ของ อารียา (2546) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.103 – 0.117 L./g.COD removal แสดงให้เห็นว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด ให้ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด ที่มากกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ของ อารียา (2546) กับ การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียว ของ อวัสดา (2545) มีค่าสัดส่วนก๊าซมีเทน เท่ากับ 57.32 – 61.26 % CH₄ และ 60.04 – 62.43 % CH₄ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงให้เห็นว่า ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบสองขั้นตอน หรือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนเดียว ไม่มีผลมากนัก ต่อปริมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่มีในก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น แต่ สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่มีในก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นในการย่อยสลาย ดังสมการ



จากการทดลองการก๊าซชีวภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ของ ฉัตรชัย (2538) พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดคือน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด มีค่าเท่ากับ 0.50–0.66 L./g.COD removal โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน เท่ากับ 56–74% CH_4 คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซมีเทน คือน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด มีค่าเท่ากับ 0.37 L. CH_4 /g.COD removal

จากการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนนี้ พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดคือน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด มีค่าเท่ากับ 0.57–0.62 L./g.COD removal และใช้สารตั้งต้นใกล้เคียงกับการทดลอง การก๊าซชีวภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน ของ ฉัตรชัย (2538) ดังนั้นการทดลองนี้จึงสามารถประมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพได้ในช่วง 56–74% CH_4 เช่นเดียวกัน

จากสรุปผลการศึกษารวมการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษเปลือกสับประรด ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

1. ของเหลวที่ออกจากระบบยังคงมีสารอินทรีย์ สูงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้น ควรจะมีการศึกษาการนำของเหลวดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม หรือทำการบำบัด โดยกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เพื่อลดปริมาณของสารอินทรีย์ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2. เนื่องจากถังหมักก๊าซที่ใช้ในการทดลองมีขนาดไม่เหมาะสมกับการป้อนของเหลวเข้าระบบ คือ มีความถี่ในการป้อน 1 ครั้งต่อ 1 วัน (Semi - Continuous) ทำให้เกิดการสูญเสียค่าความเป็นด่างในระบบ จึงมีผลทำให้ระดับ pH ลดลง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของแบคทีเรียพวก

สร้างก๊าซ ซึ่งจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมี เพื่อเพิ่มค่าความเป็นด่างทั้งหมดในการปรับ pH ดังนั้นจึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรเปลี่ยนวิธีการป้อนของเหลวที่ละน้อยให้เป็นแบบต่อเนื่องตลอดเวลา (Continuous) เพื่อป้องกันการชะล้าง (Wash out) จุลินทรีย์และค่าความเป็นด่าง หรือ ทำการเพิ่มขนาดของถังหมักก๊าซให้มีปริมาตรมากกว่าถังหมักกรดอย่างน้อย 1.5 - 2 เท่า เพื่อเป็นการรักษาบัฟเฟอร์ของระบบ และป้องกันการ (Wash out) ของระบบ และอีกทั้งยังไม่เป็นการสิ้นเปลืองสารเคมีที่ในการปรับ pH ของระบบ

3. ควรมีการควบคุมอุณหภูมิของระบบให้คงที่ตลอดการทดลองให้อยู่ในช่วง 30 – 35 °C เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของ Mesophilic Bacteria อีกทั้งยังเป็นการลดปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อม คือ อุณหภูมิ ที่อาจมีผลรบกวนระบบ

4. ควรมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แท้จริงขององค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จริงจากการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ฉัตรชัย อินตะทา. 2538. การผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน จากกากสับประรด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร), มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง. 2548. ก๊าซชีวภาพ : ผลงานจากการแปรสภาพของเสียอินทรีย์. รายงานผลการวิจัยนครราชสีมา : สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุรพล สายพานิช. 2530. กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทรกทีสเติมโดเซชันแบบแอนแอโรบิก. รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อวิศา ฉลานวัฒน์. 2545. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อารียา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alexiou, I.E., G.K. Anderson and L.M. Evison. 1994. Design of pre-acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 29(9):199-204.
- Archer, D.B. and B.H. Krisop. 1991. The microbiology and control of anaerobic digestion, pp. 49-91. In A.W., ed. *Anaerobic Digestion : A water Treatment Technology*. Elsevier Applied Science Publisher, London.
- Banerjee, A., P. Elefsiniotis and D. Tuhtar. 1998. Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 38 (8-9): 417-423.
- Borja, R., E. Gonzalez, F. Raposo, F. Millan and A. Martin. 2001. Performavce evaluation of a mesophilic anaerobic fluidized-bed reactor treating wastewater derived from the production of proteins from extracted sunflower flour. *Bioresource Technology*. 76:45-52. Cited J. Iza. 1991. Fluidized-bed reactors for wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* 15: 169-176.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bouallagui, H.,R.B. Cheikh,L. Marouani and M. Hamdi. 2002. Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. **Bioresource Technology**. 1 – 5.
- Buswell, A.M., and Mueller, H.F. 1952. Mechanisms of Methane Fermentation . **Ind. Eng. Chem.** 44(3) : 550-552.
- Grady , C.P.L.,JR.G.T. Daigger and H.C. Lim. 1999. **Biological Wastewater Treatment**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Graef, S.P. and Andrews, J.F.1974. Stability and control of Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 46(4): 666-683.
- Hayes, T.P. and Theis, T.L. 1978. The Distribution of heavy Metals in Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 50(1) : 307-313.
- Ince, O. 1998. Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy wastewater. **Wat. Res.** 32 (9): 2707-2713.
- John, G.H., R.K. Noel, H.A.S. Peter, T.S. Jamas and T.W. Stanley. 1994. **Bergey's Maual of Determinative Bacteriology**. Ninth ediyion. Williams and Wilkins, New York.
- Kim, M., Y.H. Ahn and R.E. Speece. 2002. Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion ; mesophilic vs. thermophilic. **Wat. Res.** 1-17.
- Komatsu, T.,K. Hanaki and T. Masayo. 1991. Prevention of lipid inhibition anaerobic process by introducing a two-phase system. **Wat. Sci. Tech.** 23 (7-9) : 1189-1200.
- Macleod, F.A., S.R. Guiot and J.W. Costeron. 1990. Layered structure and bacterial aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. **Appl. Environ. Microbiol.** 55 (6) : 1589-1607.
- Mahendra, K.J.,J.G.Zeikus and L. Bhatnagar. 1991. Methanogen, pp. 226-246. *In* P.N. Levett, ed. **Anaerobic Microbiology**. Oxford University, New York.
- 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. 1961a. Salt Toxicity in Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 33(4) : 399-415.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E. 1961b. Volatile Acid Toxicity in Aerobic Digestion. . **J. Water Poll. Control Fed.** 33(3) : 223-235.

McGraw Hill.

Novaes, R.F.V. 1986. Microbiology of anaerobic digestion. **Wat. Sci. Tech.** 18 (12) : 1-14.

Patel, H. and D. Madamwar. 2001. Single and multichamber fixed film anaerobic reactors for biomethanation of acidic petrochemical wastewater-systems performance.

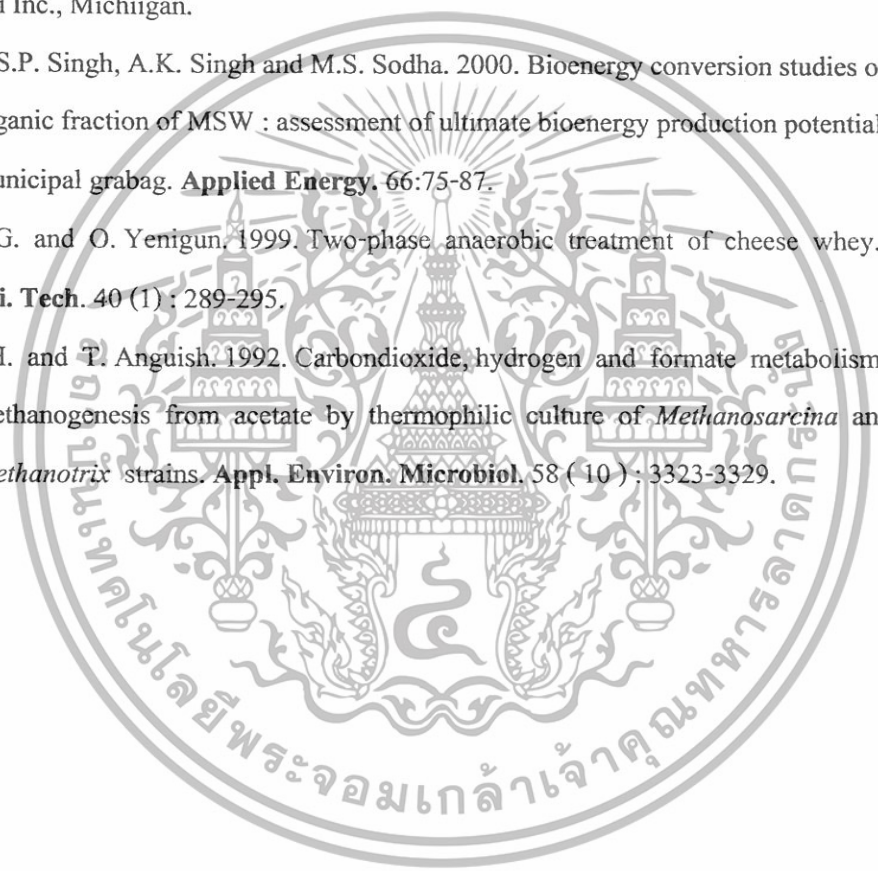
Process Biochemistry. 36 : 613-619.

Price, E.C. and P.N. Cheremisinoff. 1981. **Biogas Production and Utilization.** Ann. Arbor. Sci Inc., Michigan.

Rao, M.S., S.P. Singh, A.K. Singh and M.S. Sodha. 2000. Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW : assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal grabag. **Applied Energy.** 66:75-87.

Yilmazer, G. and O. Yenigun. 1999. Two-phase anaerobic treatment of cheese whey. **Wat. Sci. Tech.** 40 (1) : 289-295.

Zinder, S.H. and T. Anguish. 1992. Carbondioxide, hydrogen and formate metabolism during methanogenesis from acetate by thermophilic culture of *Methanosarcina* and *Methanotrix* strains. **Appl. Environ. Microbiol.** 58 (10) : 3323-3329.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

1. Chemical oxygen demand (COD) โดยวิธีของ ธงชัย และวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (closed reflux) มีหลักการเช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด อินทรีย์สารที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้มากกว่าในระบบเปิด เพราะมีเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจดูฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกหรือไม่ ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดการชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบ จะทำให้เกิดการปนเปื้อน และทำให้มีการสูญหายของอินทรีย์สารได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวัง สำหรับการย่อยสลายในเตาอบจะใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ที่ต้องการ

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 0.0167 M ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 g. ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้เย็นในโถดูดความชื้น ใส่น้ำกลั่นประมาณ 500 ml. ค่อยๆเติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 167 ml. เติม $HgSO_4$ 33.3 g. คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 ml. ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟิวริกเอเจนต์ ละลาย Ag_2SO_4 22 g. ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนักเนื้อสารของกรดซัลฟิวริก 4.0 kg. (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)

3. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.695 g. และ 1,10 phenanthroline monohydrate 1.485 g. ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 100 ml.

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot H_2O$ 39.2 g. ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml. เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 20 ml. คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็น

แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 ml. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับ สารละลายเอกลสที่มีปริมาตรที่แน่นอน ปริมาตรที่แน่นอนของเอกลสที่ใช้ใช้วิธีของธงชัยในการคำนวณค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่น่ามาใช้ โดยการเติมสารเคมีตาม ตารางผนวกที่ 1 ในภาชนะย่อยสลาย แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่าง ทั้งให้เขียนในอุณหภูมิจากห้อง แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 1 - 2 หยด ทำประมาณ 1-2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติ สีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียว เป็นสีน้ำตาล แดง

$$\text{Molality of Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 = \frac{\text{ml. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ml. Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2}$$

วิธีการวิเคราะห์

- ล้างหลอดย่อยสลาย และฝาจากด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์
- เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางผนวกที่ 1
- นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลาย หรือแอมพูล เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งได้แก่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม ไดโครเมต
- ค่อยๆ เทกรดซัลฟูริกที่เจือเจือจางให้ไหลลงก้นหลอดแล้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ได้ชั้นของตัวอย่างน้ำ และสารละลายในการย่อยสลาย
- ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น หรือถ้าใช้แอมพูลก็เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมา เพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
- นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย (block digestion) หรือเตาอบ ซึ่งได้ทำให้ร้อนถึง 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่ถึงอุณหภูมิจากห้อง
- เปิดฝาจุก แล้วจึงใช้แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered magnetic bar) ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แอมพูล ให้ทดลองภาชนะที่ใหญ่กว่า เพื่อนำไปไทเทรต เติมสารละลายเฟอร์ไรต์อินดิเคเตอร์ ปริมาณ 1-2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว จากฟ้ามืดเป็นน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้ามืดจะกลับมาปรากฏอีกในหลาย นาทีถัดมา และในลักษณะเดียวกัน ให้ทำรีพริคซ์ และไทเทรตแบลนค์ที่มีรีเอเจนต์กับน้ำกลั่น ใน ปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

ตารางผนวก ก 1 ปริมาณตัวอย่าง และรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ในการ ย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะ ย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ ml.	สารละลายในการ ย่อยสลาย ml.	กรดซัลฟูริก รีเอเจนต์ ml.	ปริมาตรทั้งหมด ml.
16 x 100 mm.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 mm.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 mm.	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน 10.0 ml.	2.5	1.5	3.5	7.5

การคำนวณ

$$\text{mg./L. COD} = \frac{(A - B) \times M \times 8,000}{\text{ml. sample}}$$

- เมื่อ A = ml. $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรตแบลนค์
 B = ml. $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ
 M = Molality of $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Total alkalinity (TAlk)

วิธีนี้ เป็นวิธีหาค่าแบบหยาบๆ ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนัก ไม่เหมาะสมสำหรับงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของลินทรีย์ในระบบ

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 1.00 N (เป็น stock solution สำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 และ 0.02 N)

เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1.00 N โดยใช้กรดซัลฟูริก 98 % ปริมาตร 30 ml. ละลายน้ำ 1 ลิตร

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตที่อบแห้งแล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง อยู่ระหว่าง 1.00 – 1.10 g. ละลายในน้ำกลั่น 100 ml. ใต้งในขวดรูปกรวย ทำ 3 ซ้ำ

ไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง บรอมครีซอลกรีน กับ เมทิลเรด จากสีฟ้าจนถึงจุดยุติเป็นสีชมพูอมส้ม

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้ (โดยโซเดียมคาร์บอเนต 1.06 g. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้น 1.0 N ปริมาตร 20 ml.)

2. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.10 N เจือจาง กรดซัลฟูริก 1.00 N ปริมาตร 100 ml. ด้วยน้ำกลั่นในขวดตวงปริมาตรขนาด 1 ลิตร เทียบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 N ปริมาตร 40 ml.

3. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N เจือจาง กรดซัลฟูริก 1.00 N ปริมาตร 20 ml. ด้วยน้ำกลั่นในขวดตวงปริมาตรขนาด 1 ลิตร เทียบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 N ปริมาตร 20 ml.

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง บรอมครีซอลกรีน กับ เมทิลเรด ละลาย เมทิลเรด 20 g. และ บรอมครีซอลกรีน 100 g. ในเอทานอล 95 % ปรับปริมาตรเป็น 100

ml. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์

การเลือกปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ต้องเป็นปริมาตรที่เมื่อนำมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกแล้ว ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐาน ทั้ง 2 ความเข้มข้นที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ ต้องไม่เกิน 25 ml.

ถ้าความเป็นด่างของตัวอย่างน้ำไม่เกิน 1,000 mg./L. ในรูปของ CaCO_3 ให้ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 N

แต่ถ้าความเป็นด่างของตัวอย่างน้ำมากกว่า 1,000 mg./L. ในรูปของ CaCO_3 ให้ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.10 N

วิธีการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างทั้งหมด

ปิเปตตัวอย่างน้ำด้วยปิเปตวงปริมาตรใส่ในขวดรูปกรวย หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีน กับ เมทิลเรด 3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกจนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้า เป็นสีชมพูอมส้ม

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นด่างทั้งหมดในรูปของ } \text{CaCO}_3 \text{ (mg./L.)} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml.)}}$$

เมื่อ B = ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ (ml.)
 N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ (N.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมเศษเปลือกสับประรดในลักษณะของเหลว โดยมีค่า TS 4 %

เมื่อเศษเปลือกสับประรดมีความชื้นประมาณ 83 % และค่า TS 17 %

การคำนวณ

TS 4 g. จะต้องเติมน้ำ 96 ml.

TS 17 g. จะต้องเติมน้ำ $(17 \times 96) / 4 = 408$ ml.

ดังนั้นในเศษเปลือกสับประรด 100 g. จะต้องเติมน้ำเพิ่มอีก $408 - 83 = 325$ ml.

น้ำหนักรวมทั้งหมดประมาณ $100 + 325 = 425$ g.

ต้องการให้ได้ปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ A ml.

ดังนั้นจะต้องใช้เศษเปลือกสับประรด $= (100 / 425) \times A =$ B g.

และต้องเติมน้ำลงไป $= (325 / 100) \times A =$ C ml.

2. การคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์ (OLR)

$$\text{OLR (g.COD /L.d)} = \frac{\text{ปริมาตรของเหลวที่เข้าสู่ระบบ (L/d)} \times \text{ค่า COD ของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก (L.)}}$$

$$= [(Q) \times (S_o)] / [V]$$

$$= [S_o] / \text{HRT}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่า COD ของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ = 27.194 g./L.

อัตราการป้อนของเหลวที่เข้าสู่ระบบ = 1.0 L./d

ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก = 18.16 L.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั่นเอง ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{OLR} &= [(1.0) \times (27.149)] / 18.16 \\ &= 1.49 \text{ g COD /L./d} \end{aligned}$$

ในกรณีอื่นๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

3. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ (%)

$$\text{COD removal (\%)} = [(S_o - S) / S_o] \times 100$$

เมื่อ S_o = COD ที่เข้าสู่ระบบ

S = COD ที่ออกจากระบบ

4. การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned} \text{Biogas production per COD removal (\%)} &= (B) / [(S_o - S) \times Q] \\ (\text{L./g COD removal}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Methane production per COD removal (\%)} &= (B) / [(S_o - S) \times Q] \times M \\ (\text{L./g COD removal}) \end{aligned}$$

เมื่อ B = ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยเฉลี่ย (L./d)

S_o = COD ของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ โดยเฉลี่ย (g.COD /L.d)

S = COD ของของเหลวที่ออกจากระบบ โดยเฉลี่ย (g.COD /L.d)

Q = ปริมาณของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ โดยเฉลี่ย (L./d)

M = ร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ (% CH_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางผนวก ก 1. Comparison of features of various anaerobic reactors.

ANFLOW , anaerobic flow – through digester without sludge recycle

ANCONT , contact digester with sludge recycle

ANBIOF , anaerobic biofilters

FANBIOF , fluidized anaerobic biofilter

UASB , upflow anaerobic sludge bed reactor

The more asterisks , the better the process (Oleskiewicz and Oltof 1982)

Feature	ANFLOW	ANCONT	ANBIOF	FANBIOF	UASB
Ease of start up	*	*****	****	***	**
Ease of operation after proper acclimatizing	**	**	*****	***	***
Good process control possible under transient influent conditions	*	*****	***	***	***
Resistance to shocks due to :					
Temperature	*	***	*****	*****	*****
Toxics	*	***	*****	*****	*****
High organic load	*	****	*****	*****	*****
Tolerance for influent quality variations	*	****	**	****	*****
Can tolerate high influent solid fluctuation	****	***	*	**	**
May incorporate sludge from pretreatment and aerobic polishing	*****	****	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ๒. Features of various reactors compared with anaerobic counterparts. Key is given in (Oleskiewicz and Olthof 1982)

Feature	Anaerobic process					Aerobic process		
	ANFLOW	ANCONT	ANBIOF	FANBIOF	UASB	Activated sludge	Trickling filter	
Load practiced (kg COD m ⁻³ d ⁻¹)	0.5 – 3	2 – 8	2 – 10	0.5 – 12	1 – 15	0.5 – 2	1 – 3 roughing	
Load used in experimental scale (kg m ⁻³ d ⁻¹)	0.5 – 10	0.5 – 100	0.5 – 25	1 – 40	1 – 60	1 – 10	2 – 15	
HRT used (days)	8+	0.2 – 8	0.2 – 4	0.15 – 3	0.15 – 8	1 – 5	0.05 – 0.2	
SRT resulting (days)	8+	15 – 80	20 – 300	20 – 100	30 – 300+	10 – 30	~ 30 (+)	
Temperatures used (°C)	35 , 55	35 , 55	15 – 35	35	5 – 35	15 – 25 (+)	15 – 25 (+)	
COD removals attained at practiced load : similar waste assumed (%)	60	90+	90+	90+	90+	90+	60 – 80 in 1 stage.	Multi – stages typical

ภาคผนวก ง

การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

1. ด้านพลังงาน

เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนในการผลิตแก๊สชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ และยังสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ ได้เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้า แก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ดังนี้

1. ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเดือดได้
2. ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60-100 วัตต์ ถูกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง
3. ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์
4. ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง
5. ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ
6. เทียบเท่ากับแก๊สหุงต้ม (LPG) 0.5 Kg.
7. เทียบเท่าน้ำมันก๊าด 0.75 ลิตร

2. ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

โดยการนำมูลสัตว์และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อแก๊สชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดมูลสัตว์ในบริเวณที่เลี้ยงทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลงและผลจากการหมักมูลสัตว์ในบ่อแก๊สชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายได้ ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวา และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ด้านการเกษตร

3.1 การนำมาทำเป็นปุ๋ย โดยกากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย ได้ดีกว่ามูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

3.2 การนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้ก็มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

ตารางผนวก ง 1. แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	องค์ประกอบ		คุณสมบัติการเผาไหม้			ความต้องการอากาศ
		%	ค่าความร้อน kw / m ³	ความหนาแน่น kg / m ³	อัตราการเผาไหม้ cm ³ / s	
มีเทน	CH ₄	100	9.94	0.554	43	9.5
โพรเพน	C ₃ H ₈	100	25.96	1.560	57	23.8
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	100	34.02	2.077	45	30.9
ก๊าซธรรมชาติ	CH ₄ ,H ₂	65:35 %	7.52	0.384	60	7.0
Town gas	H ₂ ,CH ₄ ,N ₂	50:26:24 %	4.07	0.411	82	3.7
ก๊าซชีวภาพ	CH ₄ ,CO ₂	60:40 %	5.96	0.940	40	5.7

ที่มา : Sassoc (1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้