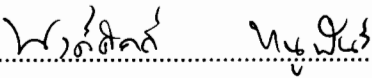


ผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
ของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

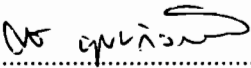
นางสาวนันท์นภัส ชันธุ์ราพันธ์ชัย วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2552

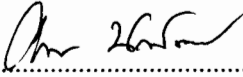
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ผศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


(ดร.อรรณพ นพรัตน์)

กรรมการ


(ผศ.ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวนันท์นภัส ขันธวัราพันธ์ชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก เอสบีอาร์ ดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) และสภาวะเทอร์โมฟิลิก (55 องศาเซลเซียส) โดยที่แต่ละสภาวะแบ่งการป้อนน้ำเสียเป็น 2 แบบคือ น้ำเสียกากตะกอนปาล์ม (R1 30 และ R3 55) และน้ำเสียกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และแซโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 วัน (R2 30_P และ R4 55_P) ดังปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นขวดเออร์เลนเมเยอร์ปริมาตร 2 ลิตร มีระยะเวลาพักเก็บน้ำในระบบ 10 วัน และดำเนินการทดลองที่อัตราการสารอินทรีย์ที่ 0.5-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากผลการทดลองหาค่าความสามารถจำเพาะในการผลิตก๊าซมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์พบว่าค่าเอสเอ็มเอคตอนเริ่มการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.108 และ 0.104 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวันของที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบค่าเอสเอ็มเอคหลังทำการทดลองมาเป็นระยะเวลา 184 วัน พบว่าค่าเอสเอ็มเอคมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากตอนเริ่มต้นระบบคือถึงปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P มีค่าเท่ากับ 0.159 และ 0.206 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน สำหรับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และถึงปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P มีค่าเท่ากับ 0.210 และ 0.213 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน สำหรับที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และจากผลการศึกษาถึงปฏิกรณ์ทั้งสี่พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูงสุดมากกว่าร้อยละ 90 โดยที่อัตราการสารอินทรีย์ 4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าแต่ละถึงปฏิกรณ์มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์ต่อวันสูงสุด เท่ากับ 0.529, 0.737, 0.794 และ 0.968 ลิตรต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นมีสัดส่วนร้อยละมีเทนเท่ากับ 61, 70, 64 และ 73 สำหรับ

ถึงปฏิกรณ์ R1 30, R2 30_P, R3 55 และ R4 55_P ตามลำดับ นอกจากนั้นผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนพบว่าถึงปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P ที่อุณหภูมิสูงมีค่าเท่ากับร้อยละ 51 และ 62 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P ที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 34 และ 47 ตามลำดับ และสำหรับที่สภาวะอุณหภูมิเดียวกันพบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของถึงปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P สูงกว่าถึงปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 แสดงว่าอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนของระบบแบบไร้อากาศ

คำสำคัญ : การบำบัดเบื้องต้น/ กากตะกอนปาล์ม/ เมโซฟิลิก/ เทอร์โมฟิลิก/ แอนแอโรบิกเอสปีอาร์/
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Thesis Title	Effect of Temperature and Pretreatment on Biogas Production Efficiency of Decanted Cake from Palm Oil Mill Industry
Thesis Credit	12
Candidate	Miss Nannaphat Khanvaraphantichai
Thesis Advisor	Dr. Saroch Boonyakitsombut
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2552

Abstract

The objective of this research was to study the effect of pretreatment and temperature on biogas production efficiency of the decanted cake from palm oil mill industry by using lab-scale anaerobic sequencing batch reactors operated under mesophilic ($30 \pm 1^\circ\text{C}$) and thermophilic (55°C) conditions. For each condition, two types of waste were used, i.e., raw decanted cake (R1 30 and R3 55) and decanted cake with pretreatment with heat at 90°C for 2 hours and submerged in 0.1 N sodium hydroxide for 2 days (R2 30_P and R4 55_P). Two-liter erlenmeyer flasks were used as the reactors with the hydraulic retention time of 10 days and the organic loading rate of $0.5\text{--}4.0 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$. Specific methane activities of the initial seed sludge were 0.108 and 0.104 gCOD/gVSS/day at 30 and 55°C , respectively. After 184 days of the experiment, this activity increased to 0.159 and 0.206 gCOD/gVSS/day for the R1 30 and R2 30_P at 30°C and 0.210 and 0.213 gCOD/gVSS/day for the R3 55 and R4 55_P at 55°C , respectively. All four scenarios provided higher than 90% removal efficiency for COD. At the organic loading of $4.0 \text{ kgCOD/m}^3/\text{day}$, the methane production yield reached 0.529, 0.737, 0.794 and $0.968 \text{ LCH}_4/\text{L}/\text{day}$ and the methane composition in the biogas were 61, 70, 64 and 73% for R1 30, R2 30_P, R3 55 and R4 55_P, respectively. In addition, the methane production efficiency at 55°C was higher than at 30°C , i.e., the R3 55 and R4 55_P were 51 and 62%, respectively, as compared to R1 30 and R2 30_P of 34 and 47%, respectively. It was also found that the methane production efficiency of R2 30_P and R4 55_P were higher than R1 30 and

R3 55, respectively. This indicated that temperature and pretreatment could enhance the methane production efficiency.

Keywords : Pretreatment/ Decanted Cake/ Mesophilic/ Thermophilic/ AnSBR/
Palm Oil Mill Industry

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ดูแลให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหา ขอขอบพระคุณ ผศ.ศักดิ์ชัย สุริยจันทร์ทอง, ดร.อรรณพ นพรัตน์ และ ผศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบให้วิทยานิพนธ์ มีความสมบูรณ์และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพระดา ว่องเกษญา เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำหรับคำแนะนำและช่วยเหลือในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณคุณเด่นใจ โพธิ์ทอง และ คุณนวลจันทร์ เลหาศิริชัยกุล เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกต่างๆ ขอขอบคุณ คุณวลัยรัตน์ มาลัยหอม และ คุณอมรรัตน์ บุญมี ผู้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย-ศูนย์เครือข่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณครอบครัว ผู้ให้การอบรมและเป็นกำลังใจที่สำคัญให้แก่ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัย ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์นี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๗
กิตติกรรมประกาศ	๘
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๘
รายการรูปประกอบ	๙
รายการสัญลักษณ์	๙
ประมวลศัพท์และคำย่อ	๑๐
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์	4
2.1 ปาล์มน้ำมัน	4
2.2 การแปรรูปปาล์มน้ำมันของไทย	5
2.3 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	11
2.4 กลไกพื้นฐานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	11
2.5 ปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่มีต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน	17
2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	24
2.7 ระบบบำบัดแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor	25
2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
3. แผนการและการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 แผนการดำเนินงาน	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.3 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์และของเสีย	32
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	33

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	39
4.1 การบำบัดเบื้องต้น	39
4.2 การเริ่มต้นเดินระบบ	41
4.3 ปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ	42
4.4 ประสิทธิภาพในการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบแอนแอโรบิคเอสปีอาร์	49
4.5 ประสิทธิภาพของระบบในการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์ม โดยระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิคเอสปีอาร์	54
4.6 คุณภาพตะกอนจุลินทรีย์	60
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	68
ก ตารางผลการทดลอง	68
ข ตัวอย่างการคำนวณ	120
ประวัติผู้วิจัย	125

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ	21
2.2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศ	23
3.1 แผนการดำเนินงาน	30
3.2 ลักษณะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส	32
3.3 ลักษณะของกากตะกอนปาล์มจากโรงสกัดน้ำมันปาล์ม	33
3.4 อัตราการสลายอินทรีย์และปริมาณชีโอดีเข้าถังปฏิกรณ์ที่วันทำการทดลองต่างๆ	36
3.5 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	36
4.1 ค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	44
4.2 ค่ากรดระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	45
4.3 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายและสภาพด่างของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	46
4.4 อัตราส่วนชีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสของน้ำเข้าระบบ	47
4.5 ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปและที่เหลืออยู่ในน้ำออกที่การสลายอินทรีย์ต่างๆ	48
4.6 ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย และค่าสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอย ที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	52
4.7 ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย และค่าสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอย ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	53
4.8 สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์	55
4.9 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	57
4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน	58
4.11 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเข้าและน้ำออกที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	59
4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อัตราการสลายอินทรีย์ต่างๆ	59
4.13 ยieldsของการผลิตก๊าซมีเทนของแต่ละถังปฏิกรณ์	59
4.14 ปริมาณและคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์	61
4.15 คุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนและหลังการทดลอง	61
ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์	69
ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์	74
ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างวิเอเฟและค่าความเป็นด่างทั้งหมด	79
ก.4 อัตราส่วน COD:N:P ของน้ำเข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ ณ สภาวะคงตัว	83

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.5 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออก	84
ก.6 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย ในถังปฏิกรณ์ที่สภาวะคงตัว	87
ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน	88
ก.8 ค่าซีไอดีที่เข้าระบบ, ค่าซีไอดีที่ออกจากระบบ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี	104
ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ	108

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 องค์ประกอบของทะเลสาบปลั่มน้ำมัน	4
2.2 โครงสร้างองค์กรในระบบอุตสาหกรรมปลั่มน้ำมันของไทย	5
2.3 การใช้ประโยชน์จากปลั่มน้ำมัน	6
2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปลั่ม	10
2.5 แสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย	12
2.6 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้อากาศ	13
2.7 รูปร่างของเซลล์ของแบคทีเรียสร้างมีเทน	17
2.8 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของเซลล์	18
2.9 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR	25
3.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองถึงปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor	31
3.2 แผนผังการทดลอง	35
4.1 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อน 90 องศาเซลเซียส	40
4.2 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อน 90°C 2 ชั่วโมง และแช่ NaOH 0.1 N ที่เวลาต่างๆ	40
4.3 ค่าศักยภาพศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปลั่ม (BMP) เมื่อเทียบกับค่าตามทฤษฎีที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส	42
4.4 ค่าพีเอชของน้ำออกในแต่ละถังปฏิกรณ์	43
4.5 สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์	44
4.6 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์	45
4.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ	49
4.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออกที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ	50
4.9 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยและของแข็งแขวนลอยที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ	50
4.10 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันที่ภาระอินทรีย์ต่างๆ	55
4.11 ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนต่อวันที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ	56

รายการสัญลักษณ์

R1 30	=	ถังปฏิบัติการที่ 1
R2 30_P	=	ถังปฏิบัติการที่ 2
R3 55	=	ถังปฏิบัติการที่ 3
R4 55_P	=	ถังปฏิบัติการที่ 4

ประมวลศัพท์และคำย่อ

กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน	=	กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล.	=	มิลลิลิตร
ล.	=	ลิตร
AnSBR	=	Anaerobic Sequencing Batch Reactor
BMP	=	Biochemical Methane Potential
COD	=	Chemical Oxygen Demand
gCOD/gVSS	=	Gram Chemical Oxygen Demand per Gram Volatile Suspended Solids per Day
HRT	=	Hydraulic Retention Time
L/d	=	Liter per Day
mg/l	=	Milligram per Liter
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
N	=	Nitrogen
OLR	=	Organic Loading Rate
P	=	Phosphorus
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand
SMA	=	Specific Methanogenic Activity
SRT	=	Sludge Retention Time
SS	=	Suspended Solids
TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
TS	=	Total Solids
TVS	=	Total Volatile Solids
VFA	=	Volatile Fatty Acid
VSS	=	Volatile Suspended Solids

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

วิกฤตพลังงานเป็นเรื่องที่คนทั่วโลกให้ความสนใจซึ่งน้ำมันถือเป็นพลังงานหลักที่ประเทศไทยและทั่วโลกจำเป็นต้องใช้มากที่สุด เนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมมากขึ้นทำให้ความต้องการพลังงานสูงขึ้นเช่นกัน โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งนับวันจะราคาพุ่งสูงขึ้นเรื่อยๆ ปัจจุบันจึงเริ่มมีการให้ความสำคัญในการผลิตพลังงานทดแทนจากของเสียต่างๆ เพิ่มขึ้นซึ่งระบบบำบัดแบบไร้อากาศก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำของเสียต่างๆ มาผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซชีวภาพ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด [1] ปัจจุบันอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจึงเริ่มได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากสามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานทดแทนที่เรียกว่าน้ำมันไบโอดีเซลได้และสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ทำให้ความต้องการปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งได้ก่อให้เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นมากด้วยเช่นกันเนื่องจากในกระบวนการของการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นจะมีของเสียออกมากในรูปของทั้งน้ำเสีย, ทะลายปาล์มเปล่า, กะลาปาล์ม และกากตะกอนปาล์มซึ่งในทะลายสดปาล์มน้ำมันหนึ่งร้อยละ 14 [2] ซึ่งในกากตะกอนปาล์มนั้นมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ปนเปื้อนและมีลักษณะเป็นพวกเส้นใยเซลลูโลสอยู่มาก ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสนั้นย่อยสลายได้ค่อนข้างยาก การบำบัดเบื้องต้นเชื่อว่าจะมีส่วนช่วยให้สารอินทรีย์พวกเส้นใยเซลลูโลสย่อยสลายได้ง่ายขึ้นโดยการบำบัดเบื้องต้นนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้กรด การใช้ด่าง และการใช้ความร้อน [3],[4] ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการนำกากตะกอนปาล์มที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้โดยใช้กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดแอนแอโรบิกเอสปีอาร์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่สภาวะไร้อากาศ
2. เพื่อศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่สภาวะไร้อากาศ
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกากตะกอนปาล์มที่เหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบเอสบีอาร์ที่สภาวะไร้อากาศ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) โดยมีขอบเขตการวิจัยต่างๆ ดังนี้

1. ทำการทดลอง ณ.ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ใช้เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยระบบแอนแอโรบิค เอสบีอาร์ ที่มีลักษณะการทำงานแบบกะ ใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร จำนวน 4 ชุดการทดลอง
3. ของเสียที่ใช้ทดลองเป็นกากตะกอนปาล์มและกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม
4. กำหนดระยะเวลาการทำงานของระบบบำบัดไร้อากาศแบบ SBR ใน 1 รอบการทำงาน ดังนี้
 - ช่วงเติมน้ำเสีย 15 นาที
 - ช่วงทำปฏิกิริยา 20 ชั่วโมง
 - ช่วงตกตะกอน 3.5 ชั่วโมง
 - ช่วงระบายน้ำออกจากระบบ 15 นาที
5. ควบคุมอุณหภูมิของการทดลองที่ อุณหภูมิห้อง 30 ± 1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

6. ตะกอนที่ใช้ในการทดลองเป็นจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ทำการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C และ 55°C
7. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ประกอบด้วย พีเอช, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย, กรดอินทรีย์ระเหยง่าย, ค่าความเป็นด่าง, ค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

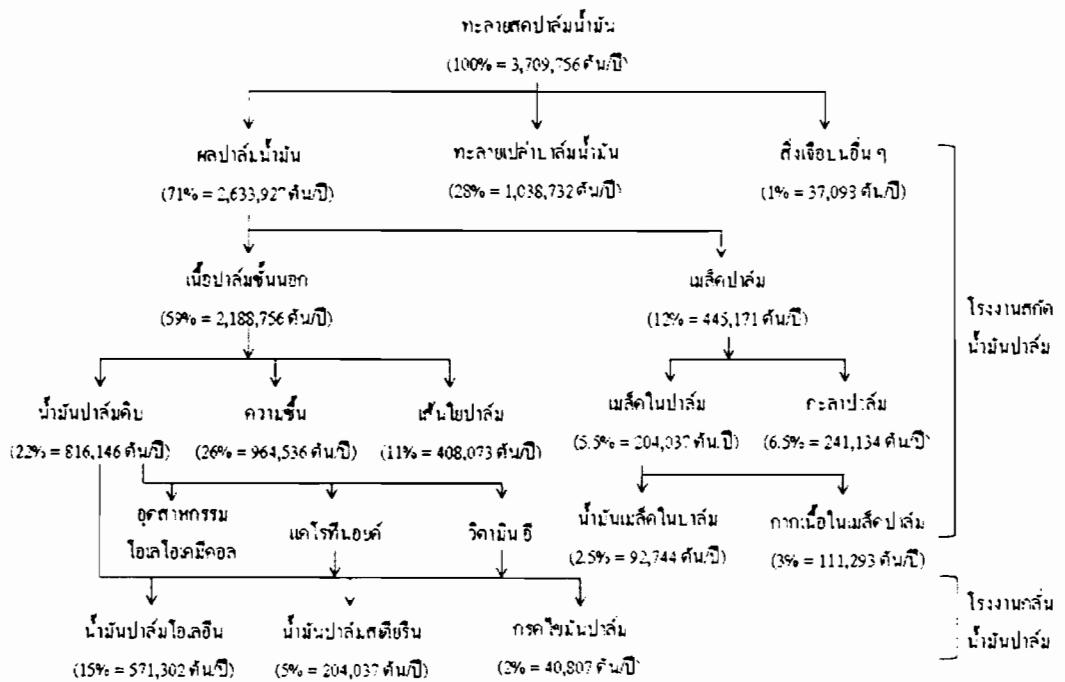
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ในการบำบัดกากตะกอนปาล์มที่เหลือจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม
2. ทราบถึงผลของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ในการบำบัดกากตะกอนปาล์มที่เหลือจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม
3. สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีการเพาะปลูกได้เฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้นของโลกที่อยู่ระหว่างเส้นละติจูด 10 องศาเหนือ-ใต้ โดยทั่วไปแล้วจากลักษณะทางชีววิทยา ปาล์มน้ำมันอาจมีอายุมากกว่า 200 ปี ผลผลิตหลักที่ได้จากปาล์มน้ำมันคือน้ำมัน ซึ่งจัดเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ [1] น้ำมันที่ได้จากผลปาล์มน้ำมันจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติทางเคมีดีที่สุดประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านการบริโภคและอุปโภค โดยเฉพาะในประเทศไทยได้ใช้น้ำมันปาล์มในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การใช้น้ำมันทำน้ำมันพืช การใช้ทำสบู่ การใช้ในอุตสาหกรรมขนมและอาหารขบเคี้ยว การใช้ในอุตสาหกรรมบะหมี่สำเร็จรูป การใช้ทำครีมเทียม การใช้น้ำมันขึ้นหวานและจืด การใช้น้ำมันขาวและเนยเทียมและการใช้ในอุตสาหกรรมอุปโภคอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น และยางรถยนต์ เป็นต้น และยิ่งไปกว่านั้นของเสียที่เหลือจากปาล์มน้ำมันยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและพลังงานทดแทนได้อีกด้วย ดังนั้นปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยและของโลก องค์ประกอบของทะลายสดปาล์มน้ำมันแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่าทะลายสดปาล์มน้ำมัน 100% ประกอบด้วย ผลปาล์มน้ำมัน 71% ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน 28% และสิ่งเจือปนอื่นๆ 1% [2]



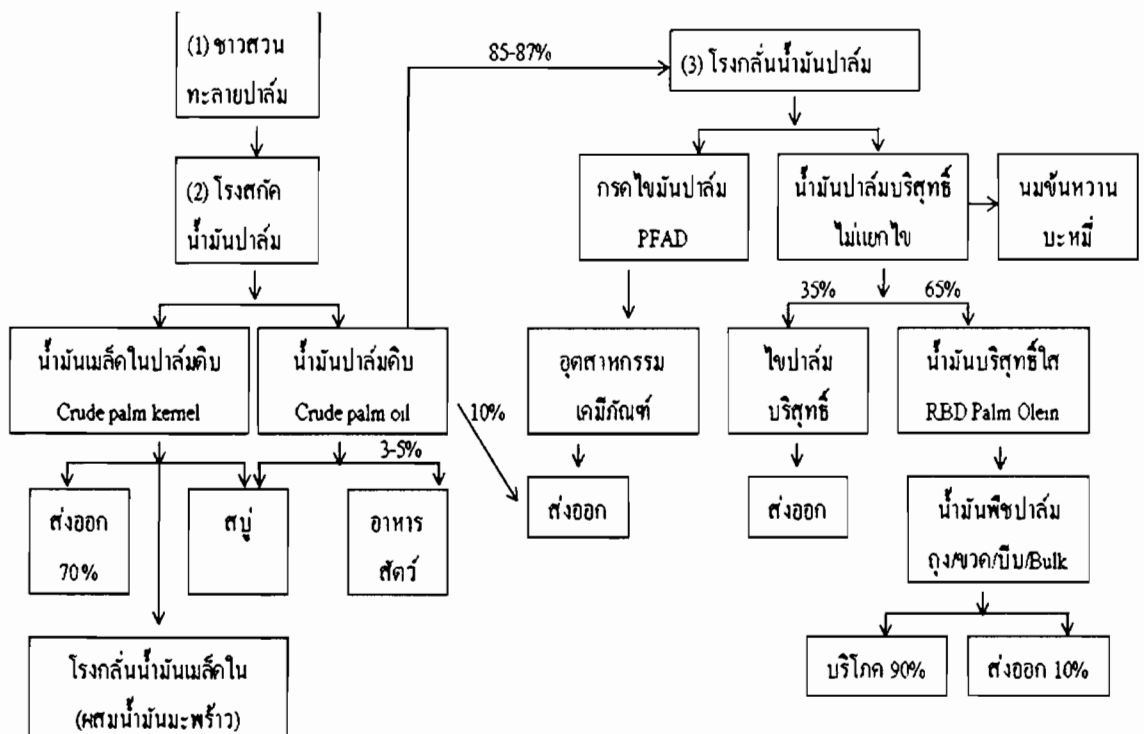
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของทะลายสดปาล์มน้ำมัน [2]

2.2 การแปรรูปปาล์มน้ำมันของไทย [2]

2.2.1 โครงสร้างองค์กรในระบบของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันไทย

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย ในระบบมีผู้เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน 3 ฝ่าย 3 ระดับ ดังรูป 2.2 คือ

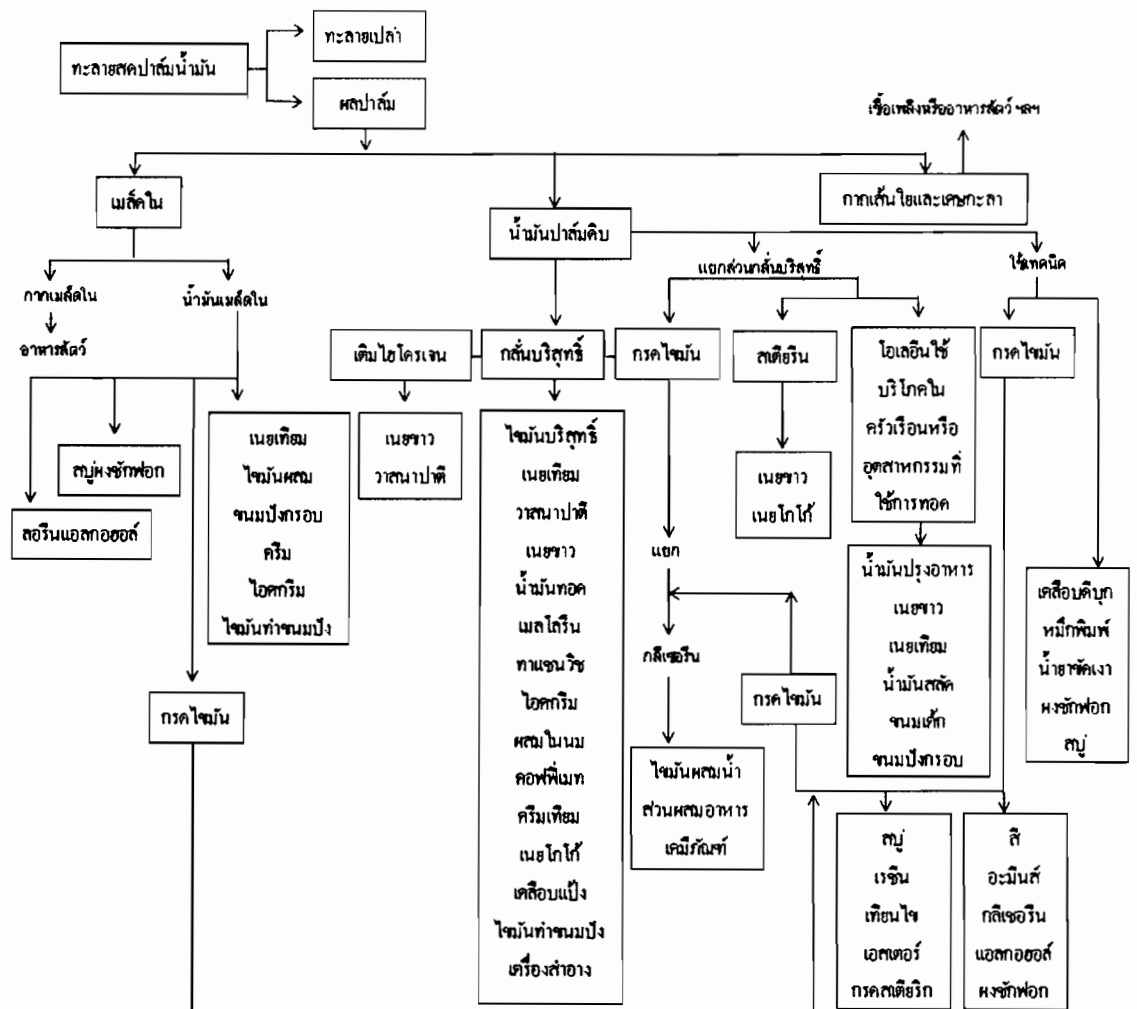
1. กลุ่มผู้ประกอบการผลิตปาล์มน้ำมัน เป็นเกษตรกรรายย่อย กลุ่มเกษตรกร เกษตรกรรายใหญ่ และบริษัทผู้ทำกิจการเกี่ยวกับสวนปาล์มน้ำมันและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นสวนนี้จะมีขนาดตั้งแต่ 20-25 ไร่ จนถึงระดับหมื่นไร่ ในประเทศไทยมีผู้ปลูกปาล์มน้ำมันรายย่อยประมาณ 66,910 ครัวเรือน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ปี 2546)
2. กลุ่มโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เป็นกลุ่มผู้ทำกิจการเกี่ยวกับการสกัดหรือหีบน้ำมันออกมาเป็นน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil) ซึ่งเป็นผู้รองรับผลผลิตปาล์มน้ำมันจากสวนทั้งหมด กลุ่มนี้จะเป็นการลงทุนขนาดใหญ่ที่มีกำลังการสกัดประมาณตั้งแต่ 15-90 ตันทะลายสดปาล์มน้ำมัน ปัจจุบันมีโรงงานดังกล่าวเฉพาะในภาคใต้ของประเทศไทยประมาณ 33 โรงงาน (กรมโรงงาน, ปี พ.ศ.2547)
3. กลุ่มโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์เป็นกลุ่มที่ทำกิจการเกี่ยวกับการนำน้ำมันปาล์มดิบมาทำให้บริสุทธิ์และส่งจำหน่ายต่อเพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ อีกมากมาย กลุ่มโรงงานส่วนใหญ่จะอยู่ในกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีประมาณ 12 โรงงาน (กรมโรงงาน, ปี 2546)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างองค์กรในระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย [2]

2.2.2 ผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันที่สามารถแปรรูปได้ทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารและที่ไม่ใช่อาหาร ความหลากหลายของการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันแสดงดังรูปที่ 2.3 เช่น ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ทำอาหารในครัวเรือน หรือใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ที่ต้องมีการทอด เนยเทียม ไอศกรีม ขนมหกเหลี่ยม สบู่ ผงซักฟอก และอุตสาหกรรมเอโอเคมีคอล (oleochemical) ซึ่งรวมถึงการผลิตเชื้อเพลิง (เมทานอล) เพื่อใช้กับเครื่องยนต์เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน [3]

2.2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

ผลทะลายสดปาล์มน้ำมัน (FFB : fresh fruit bunch) หลังจากถูกเก็บเกี่ยวจะถูกขนส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันหลังจากนั้นโรงงานก็จะสกัดน้ำมันออกมาตามกระบวนการ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.3.1 การสกัดน้ำมันปาล์มจากส่วนเปลือก

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มส่วนเปลือกจะได้น้ำมันปาล์มดิบออกมา (Crude palm oil) ซึ่งจะมีคุณสมบัติโดยเฉลี่ยดีกว่าน้ำมันจากเนื้อใน โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. ผลปาล์มน้ำมันในลักษณะของทะลายสดและผลร่วงจะถูกเทรวมลงในตู้ที่มีรางเลื่อนเข้าสู่ขั้นตอนตามลำดับของโรงงานต่อไป การที่ทางโรงงานรับทะลายสดปาล์มน้ำมันแล้วจะมีการเข้าขั้นตอนต่อไปโดยเร็วเนื่องจากถ้ามีการเข้าขั้นตอนต่อไปช้าจะทำให้คุณภาพน้ำมันในผลปาล์มน้ำมันลดลงเช่นเดียวกัน
2. การอบไอน้ำความดันเป็นกระบวนการที่นำทะลายสดปาล์มน้ำมันไปอบด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส และที่ความดันไอน้ำ 2.4-3.4 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในเวลา 60 – 70 นาที เพื่อเป็นการยับยั้งกระบวนการที่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ในผลปาล์มน้ำมันและยังช่วยให้ผลปาล์มน้ำมันหลุดร่วงออกจากทะลายปาล์มง่ายขึ้น การอบไอน้ำและความดันทะลายปาล์มสดต้องระวังอย่าใช้เวลานานจนเกินไปเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันปาล์มได้แต่ในขณะเดียวกันถ้าใช้เวลาในการอบไอน้ำและความดันสั้นเกินไปก็จะทำให้ผลปาล์มน้ำมันจำนวนหนึ่งไม่สามารถหลุดจากทะลายในขั้นตอนแยกผลปาล์มน้ำมัน
3. การแยกผลปาล์มออกจากทะลาย กระบวนการนี้จะถูกเข้าเครื่องนวด (stripping) ซึ่งเครื่องจะทำหน้าที่แยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลาย หมดขั้นตอนนี้จะได้ผลปาล์มน้ำมันและทะลายเปล่าแยกจากกัน ส่วนของผลปาล์มน้ำมันจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนย่อยผลและส่วนของทะลายปาล์มน้ำมันจะถูกนำไปเผาหรือไปใช้ในสวนปาล์มน้ำมันอีกครั้งหนึ่งโดยใช้คลุมโคน จากการวิเคราะห์ทะลายเปล่าจะมีแร่ธาตุหลายอย่างโดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมอาจมีสูงถึง 30-35% โดยน้ำหนัก และมีแมกนีเซียม 3-5% โดยน้ำหนัก
4. การย่อยผลปาล์มน้ำมันเป็นการย่อยเพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ด เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของเปลือก (mesocarp) และส่วนของเมล็ด (seed) กระบวนการย่อยผลปาล์มน้ำมันนี้จะต้องใช้ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส โดยต้องควบคุมอุณหภูมิอยู่ในระดับนี้ตลอดไม่ให้สูงเกินกว่านี้เพราะจะทำให้น้ำเคี้ยว การย่อยนี้จะต้องให้มีความสม่ำเสมอทั่วถึง
5. หีบน้ำมันเป็นกระบวนการใช้เครื่องหีบน้ำมันปาล์มแบบเกลียวอัดหรือแบบเครื่องปั่นสกัดน้ำมันออกมาจากชั้นเปลือกโดยน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดออกมาได้จะยังมีสิ่งเจือปนและความชื้นอยู่จึงต้องผ่านขั้นตอนต่อไป

6. กรองน้ำมัน กระบวนการกรองน้ำมันคือน้ำมันดิบที่ได้จากการหีบเพื่อแยกกากน้ำมันออก เครื่องกรองน้ำมันจะเป็นแบบมีแผ่นกรองหลายชั้นเมื่อเสร็จสิ้นการกรองจะได้น้ำมันที่สะอาดปราศจากกากน้ำมัน โดยเครื่องจะทำการแยกกากออกไป
7. เครื่องเหวี่ยงเป็นการใช้เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง กระบวนการทำงานของเครื่องคือการแยกน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบที่ได้จากการกรองแล้วยังมีน้ำและสิ่งเจือปนอยู่ การเหวี่ยงนี้อาศัยความเร็วสูงและความร้อนเข้าช่วยก็จะสามารถแยกเอาน้ำและสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบได้ อุณหภูมิที่ใช้คือ 85-95 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันจะอยู่ส่วนบนส่วนน้ำจะถูกแยกออกมาตามท่อ
8. การสกัดความชื้นเนื่องจากว่าน้ำมันที่เข้าเครื่องเหวี่ยงเรียบร้อยแล้วยังคงมีความชื้นอยู่จึงต้องนำไปสกัดความชื้นออกก่อนนำไปบรรจุในถังเพื่อส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูปต่อไป น้ำมันดิบที่ได้จะต้องมีมาตรฐานตามความชื้นที่กำหนด โดยน้ำมันปาล์มที่ดีจะต้องมีส่วนประกอบต่างดังนี้ กรดไขมันอิสระไม่เกิน 5 % ความชื้นไม่เกิน 0.5 % สิ่งเจือปนไม่เกิน 0.05%

2.2.3.2 การสกัดน้ำมันปาล์มจากเนื้อใน

1. ส่วนของกากใยจากชั้น mesocarp และเมล็ดทั้งเมล็ดซึ่งประกอบด้วยชั้นของกะลา (shell) และเนื้อใน (kernel) ในชั้นของเนื้อในนี้จะมีน้ำมันที่เรียกว่า palm kernel oil
2. ส่วนของกากใยและเมล็ดจะถูกเข้าเครื่องแยกซึ่งจะแยกชั้นของกากใยออกไปทางหนึ่งและเมล็ดไปทางหนึ่งส่วนของกากใยจะถูกส่งไปทำปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมันและใช้ประโยชน์ต่างๆ หรือนำไปใช้ทำเชื้อเพลิงในโรงงานต่อไปโดยส่วนของเมล็ดจะถูกส่งไปยังกระบวนการขั้นต่อไปอีกที
3. อบเมล็ดเป็นกระบวนการเพื่อไล่น้ำออกจากเมล็ด เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของเมล็ดออกมาซึ่งประกอบด้วยชั้นของกะลา (shell) และเนื้อใน (kernel) ส่วนของน้ำจะถูกแยกออกไป
4. เมล็ดปาล์มน้ำมันจะถูกนำมากะเทาะให้แตกเพื่อให้ได้เนื้อในแยกออกมาเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของกะลาและเนื้อใน
5. เป็นขั้นตอนการแยกเอาส่วนของกะลาออกจากเนื้อใน โดยในขั้นตอนนี้จะแยกเอาส่วนของกะลาเปล่าออกไป ซึ่งจะถูกลงไปใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงโรงงานหรืออาจนำไปทำถ่านกัมมันต์ได้ ส่วนของเนื้อในจะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไป
6. ส่วนของเนื้อในที่แยกออกมาแล้วจะยังมีความชื้นอยู่ระดับหนึ่งต้องนำมาอบเพื่อให้ น้ำระเหยออก โดยใช้อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียสในเวลา 14-16 ชั่วโมง ซึ่งจะมีความชื้นต่ำกว่า 7 % เนื้อในที่ได้ออกมาจะถูกบรรจุกระสอบ แล้วนำส่งโรงงานสกัดน้ำมันจากส่วนของเนื้อใน เพื่อทำ palm kernel oil ต่อไป

2.2.3.3 การกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์

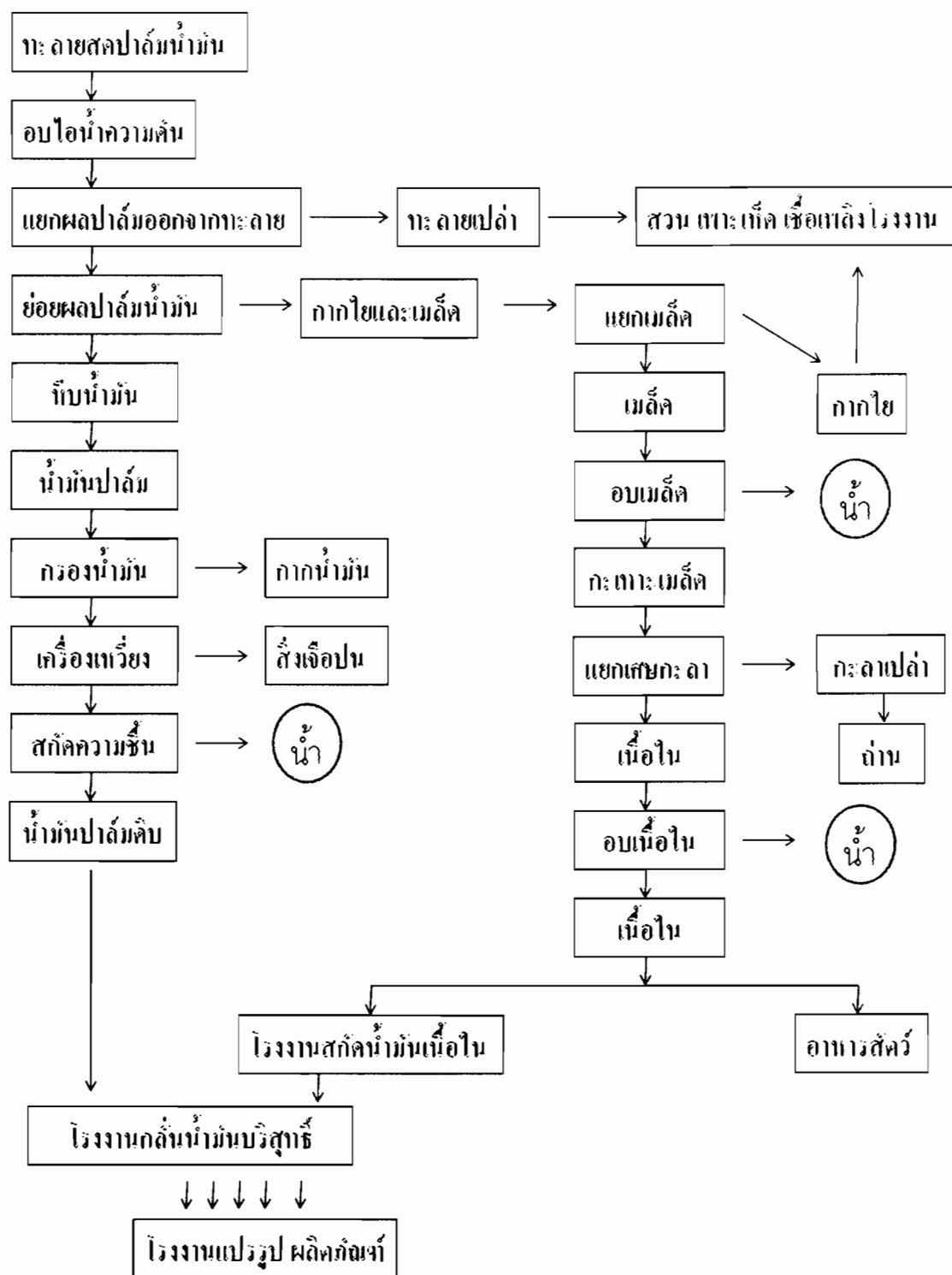
ขั้นตอนการกลั่นน้ำมันให้บริสุทธิ์เป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกไปจากน้ำมันดิบ สารต่างๆที่ถูกกำจัดออกไปคือ

- สารในกลุ่มไฮโดรเลติก เช่น กรดไขมันอิสระ เอ็นไซม์ กลีเซอไรด์ ความชื้น และสิ่งสกปรก
- สารในกลุ่มออกซิเดทีฟ เช่น เม็ดสี โลหะหนัก สาร phosphatide และสาร tocopherol
- สารตัวเร่งให้เกิดสารพิษ เช่น สารกำมะถัน ไนโตรเจน และฮาโลเจน

โดยกระบวนการกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์นั้นมี 2 แบบ

- กระบวนการทางฟิสิกส์ เป็นการนำน้ำมันดิบมากำจัดสารพวก phosphatide และสิ่งเจือปนออกโดยใช้กรด phosphoric หลังจากนั้นก็นำมาฟอกสีและกำจัดพวกกรดไขมันอิสระ โดยการพ่นไอน้ำ 240-260 องศาเซลเซียส ในสถานะสูญญากาศเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จะได้น้ำมัน RBD (Refining Bleaching Deodorizing)
- กระบวนการทางเคมี เป็นกระบวนการใช้สารเคมีมาทำปฏิกิริยา โดยการใช้กรด phosphoric มาแยกสาร phosphatide หลังจากนั้นกำจัดกรดไขมันโดยใช้สารโซดาไฟ แล้วไล่ความชื้นออกและฟอกสีด้วยดินฟอกสีกรอบ กำจัดกลิ่นหืนด้วยไอน้ำและฟอกสีทำให้ใส จะได้น้ำมัน RBD ออกมาเช่นกัน

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่นบริสุทธิ์แล้วจะต้องมีคุณสมบัติทั่วไป คือมีสีเหลืองอ่อน มีลักษณะเข้มข้น กิ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง และมีสิ่งเจือปนและความชื้นไม่เกิน 0.1 %



รูปที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปล้มน [1]

2.3 การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

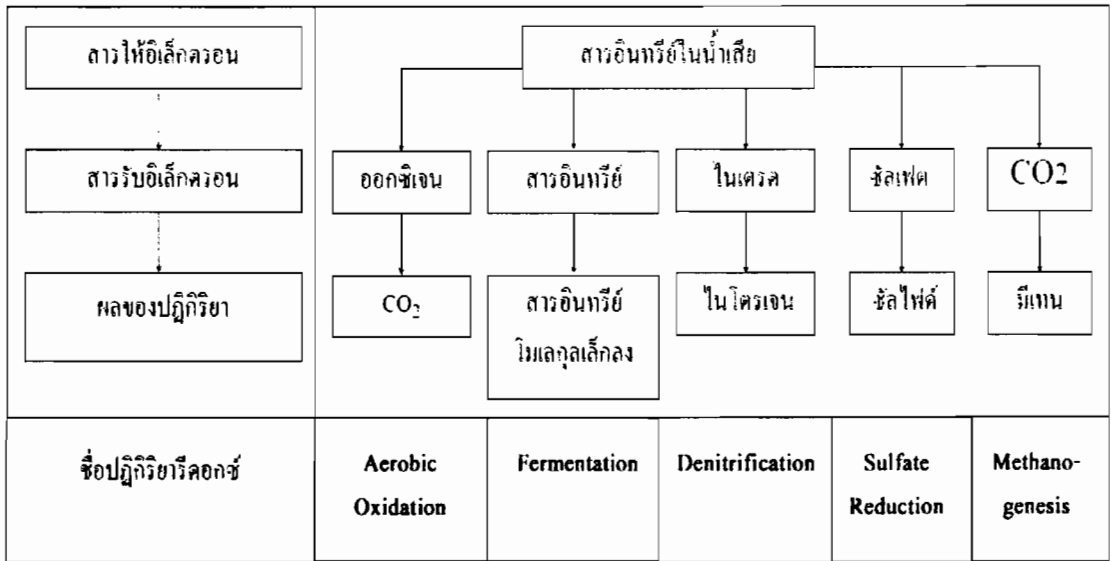
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาสนั้นเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ใช้จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายมลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง โดยมีสารต่างๆ ในน้ำเสียจะเปลี่ยนสภาพเป็นเซลล์จุลินทรีย์ใหม่, ก๊าซมีเทน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ระบบบำบัดชีวภาพจะใช้กระบวนการชีวเคมีดังต่อไปนี้

- เฟอร์เมนเตชัน (Fermentation)
- มีเทนเฟอร์เมนเตชัน (Methane Fermentation)
- ซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction)
- ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

2.4 กลไกพื้นฐานของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ [5]

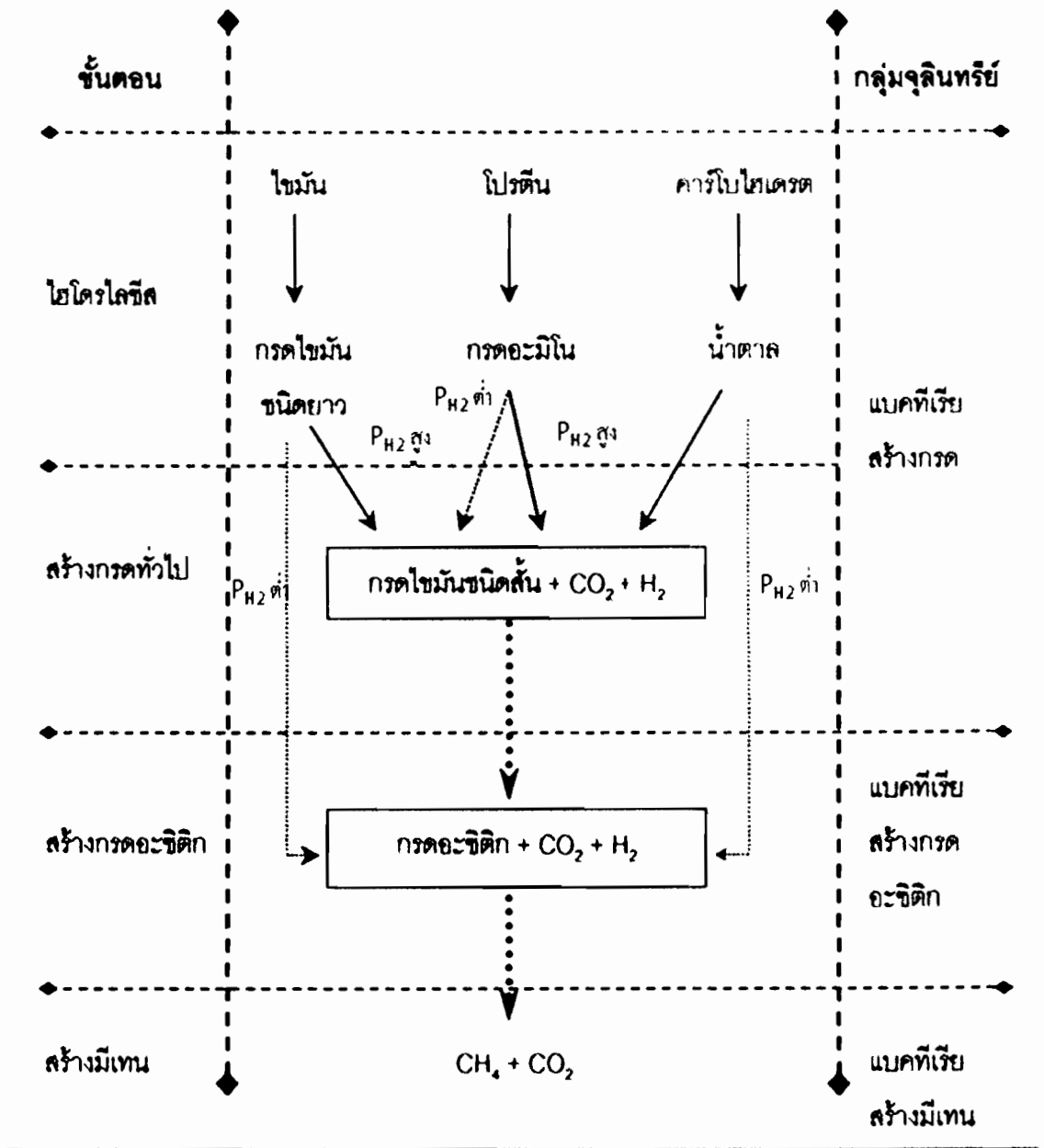
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศก็เป็นแบบเดียวกับที่เกิดขึ้นในธรรมชาติบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนแต่สิ่งทีระบบบำบัดน้ำเสียต่างออกไปจากธรรมชาติก็คือ ปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียจะมีมากกว่าในธรรมชาติมากซึ่งจะทำให้สารอินทรีย์ลดลงได้ในเวลาที่รวดเร็ว ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบที่ซับซ้อนเนื่องจากกลุ่มจุลินทรีย์อาศัยอยู่ร่วมกันมากมายหลายกลุ่มโดยความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีทั้งการพึ่งพาอาศัยกันและการแข่งขันกัน สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกเปลี่ยนรูปไปเนื่องจากการย่อยสลายของกลุ่มจุลินทรีย์หลายๆ กลุ่มต่อกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งจะถูกย่อยสลายต่อโดยกลุ่มจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่ง เกิดเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถใช้ได้โดยจุลินทรีย์หลายกลุ่มก็ทำให้เกิดความสัมพันธ์แบบแข่งขันกันขึ้น กลุ่มจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่อาศัยอยู่ร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์กันเหล่านี้เองที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์, มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ซัลไฟด์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.5 แต่สารอินทรีย์ในระบบจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่มใดและถูกใช้ไปในสัดส่วนเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดดเด่นที่สุดในระบบ ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ผลิตมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มที่โดดเด่นที่สุดในระบบก็คือแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียสร้างกรดที่ทำงานร่วมกันแล้วได้ก๊าซมีเทน



รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย [5]

2.4.1 กลไกของการสร้างมีเทน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีไนเตรทโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบหลักๆ 3 กลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิด ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ต่อจากนั้นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป สารอินทรีย์ที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะถูกย่อยสลายผ่านขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้อากาศ [6]

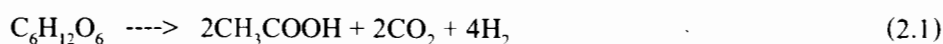
2.4.1.1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานซึ่งการขนส่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดเข้าสู่เซลล์มีความยากง่ายต่างกัน สารอินทรีย์ขนาดใหญ่จะไม่สามารถขนส่งเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงก่อน แบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียสร้างกรดจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้นให้มีขนาดเล็กลง โดยการผลิตเอนไซม์ขึ้นภายในเซลล์และปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เอนไซม์ที่ออกมาจะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์และช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นแต่เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อปฏิกิริยาและตัวทำปฏิกิริยาดังนั้นแบคทีเรียต้องสร้างเอนไซม์ที่ใช้ได้เฉพาะกับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น ต้องใช้อะไมเลส (amylase) ย่อยสลายแป้งและไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาลหรือใช้เอนไซม์ ลิเปส (lipase) และเอสเตอเรส (esterase) ย่อยสลายไขมันและไลปิดให้เป็นกลีเซอรอลและกรดไขมัน หรือต้องใช้เอนไซม์โปรตีเอส (protease) ย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน เป็นต้น ขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของปฏิกิริยาเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าโดยความเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมี ความเข้มข้นเอนไซม์ อุณหภูมิ พีเอช พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน

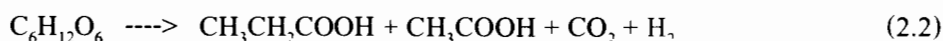
2.4.1.2 กระบวนการอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)

เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ได้จากขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์ ซึ่งแบคทีเรียที่ทำหน้าที่สร้างกรดเป็นพวก Fermentative bacteria และ Acid forming bacteria หลังจากสารอินทรีย์ถูกขนส่งเข้าสู่เซลล์แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์ เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย คาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก, กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เป็นต้น รวมทั้งได้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซึ่งจะเกิดสารใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสาร และ Hydrogen Partial Pressure โดยผลของปฏิกิริยาที่ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งในการย่อยสลายของกลูโคสโดยผ่านวิถีทางชีวเคมีที่เรียกว่า Embden-Meyerhof pathway โดยในสถานะที่มี Low hydrogen partial pressure จะได้ผลผลิตคือ กรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าในสถานะที่มี High hydrogen partial pressure จะได้ผลผลิตคือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ดังสมการ

สภาวะ Low hydrogen partial pressure

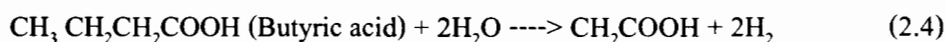
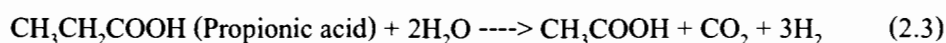


สภาวะ High hydrogen partial pressure



2.4.1.3 กระบวนการอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis)

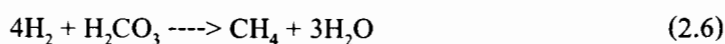
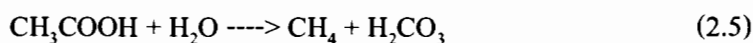
เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) ไม่สามารถใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่า 2 อะตอม เช่น กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารโดยตรงในการผลิตมีเทน ต้องอาศัยแบคทีเรียจำพวกอะซิโตเจน (acetogenic bacteria) ในการเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทน แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน (hydrogen producing acidogenic bacteria) จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะ low hydrogen partial pressure ดังสมการ



ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะช่วยลดการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยง่ายซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณมากจะทำให้ค่าพีเอชลดลงทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

2.4.1.4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

แบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในกระบวนการนี้คือ Methanogenic bacteria ซึ่งจะเปลี่ยนกรดอะซิติกและไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด ดังสมการ



2.4.2 กลุ่มแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับระบบไร้อากาศ

ในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศจะมีแบคทีเรียหลายกลุ่มทำงานร่วมกันเพื่อย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งกลุ่มแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการย่อยสลายนี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

2.4.2.1 ไฮโดรไลซิสแบคทีเรีย

แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอนุภาคใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมัน ให้มีอนุภาคโมเลกุลเล็กลง วิธีการย่อยสลายของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ย่อยสลายจนสารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 และสามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้

2.4.2.2 แบคทีเรียสร้างกรด

แบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Homoacetogenic Bacteria หมายถึงแบคทีเรียชนิดนี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมาและ H_2 -producing Acetogenic Bacteria หมายถึงแบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหยหรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งแบคทีเรียพวกนี้สามารถอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศจึงสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี โดยทั่วไปจุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าภายในเวลาหนึ่งวัน

2.4.2.3 แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะเป็นแบคทีเรียประเภทที่ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย แบคทีเรียพวกนี้จะเจริญเติบโตช้า และเลือกชนิดของอาหารมาก สารอาหารสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทนมีอยู่ประมาณ 10 ชนิด โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอาหารที่มีเกือบทั่วไปในธรรมชาติ และเมื่อแหล่งให้อิเล็กตรอนเป็นก๊าซไฮโดรเจนแบคทีเรียสร้างมีเทนพวกนี้จะจัดเป็นจุลินทรีย์ออโทโทรฟิกที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นทั้งสารรับอิเล็กตรอนและ แหล่งคาร์บอน นอกจากนี้ ยังมีสารอาหารอีกหลายตัวที่เป็นแหล่งคาร์บอนเช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีก กระบวนการนี้ต้องการสารโคเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens) เท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ช่วยสารเอนไซม์ในการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนหลายชนิดได้ถูกค้นพบและสามารถเพาะแยกเชื้อได้ การศึกษาทั้งทางกายภาพและในระดับโมเลกุลทำให้สามารถแยกแบคทีเรียชนิดนี้ได้เป็น 7 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 17 จีนัส (Genus) รูปร่างของแบคทีเรียชนิดนี้มีทั้งที่เป็นแท่ง (ทั้งชนิดยาวและชนิดสั้น) ทรงกลม (cocci) หรือเป็นรูปแผ่น รวมทั้งที่

เป็นเส้นใย (filamentous) การติดสีมีทั้งแกรมลบและแกรมบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 พวกแบคทีเรียสร้างมีเทนนี้มีลักษณะเด่นชัดแตกต่างจากพวกโปรคาริโอตทั่วไปตรงที่มีสารโคเอนไซม์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับแบคทีเรียกลุ่มนี้เท่านั้นอยู่หลายตัว



รูปที่ 2.7 รูปร่างของเซลล์ของแบคทีเรียสร้างมีเทน [7]

2.5 ปัจจัยสถานะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

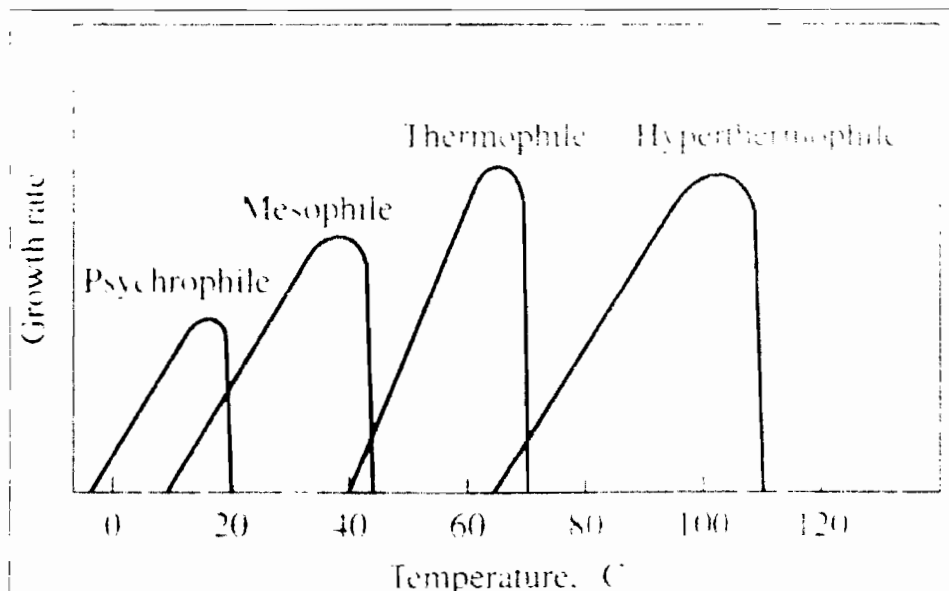
เนื่องจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกันดังนั้นจึงต้องมีการดูแลควบคุมสถานะแวดล้อมให้เหมาะสมกับแบคทีเรียกลุ่มต่างๆให้ทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงมีดังต่อไปนี้

2.5.1 อุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไม่ใช้อากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ

- ช่วง Psychrophilic จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 5 - 20 องศาเซลเซียส
- ช่วง Mesophilic จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 - 45 องศาเซลเซียส
- ช่วง Thermophilic จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45 - 75 องศาเซลเซียส

โดยปกติแล้วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์จะเร็วขึ้นอัตราการเจริญเติบโตก็เพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มสูงเกินกว่าที่เซลล์ทำงานได้ โปรตีนกรดนิวคลีอิก และส่วนประกอบของเซลล์หลายส่วนจะถูกทำลายจนไม่อาจกลับคืนสภาพได้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจึงเพิ่มการเจริญเติบโตและการทำงานของเซลล์ได้จนถึงอุณหภูมิหนึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านั้น การทำงานและการเจริญเติบโตจะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็วมาก ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ [8]

2.5.2 ความเป็นกรด-เป็นด่าง (พีเอช)

จุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอชช่วงหนึ่ง ซึ่งจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงพีเอช 5-10 เพราะสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ในธรรมชาติมีพีเอชอยู่ในช่วง 5-10 จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ที่พีเอชต่ำกว่า 5 เรียกว่า Acidophiles เช่น ราและแบคทีเรียบางชนิด ส่วนพวกที่เจริญเติบโตได้ที่พีเอช 10-11 เรียกว่า Alkaliphiles สำหรับกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ พีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6.8-7.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถ้าพีเอชน้อยกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว

2.5.3 กรดไขมันระเหยและสภาพด่าง

ในถังบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดีควรมีค่ากรดไขมันระเหย (VFA) ประมาณ 20-200 มิลลิกรัมกรดอะซิติกต่อลิตร กรดไขมันระเหยที่สะสมจนมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับที่กล่าวแสดงว่าระบบมีแบคทีเรียสร้างมีเทนน้อยเกินไปหรือแสดงว่าแบคทีเรียสร้างกรดผลิตกรดไขมันระเหยได้เร็วเกินไปกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุลเพราะจะทำให้พีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียสร้างกรด แม้ว่าแบคทีเรียสร้างกรดจะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนก็ตาม สังเกตได้จากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถอยู่ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า ดังนั้นสภาพด่างจึงแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบซึ่งจะรักษาระบบให้มีพีเอชค่อนข้าง

คงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยได้ โดยทั่วไปกระบวนการไม่ใช้อากาศควรมีสภาพด่าง (Alkalinity) ประมาณ 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับย่อยสลายหรือ น้ำเสียเข้มข้น ปริมาณสภาพด่างที่พอเพียงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของชีโอดีที่ย่อยสลายได้ นอกจากจะดูสภาพด่างแล้ว ยังต้องพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกต่อสภาพด่างด้วย โดยค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างสูงกว่า 0.8 แล้ว แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำ ควรหาสาเหตุที่ทำให้อัตราส่วนสูงขึ้นและแก้ไขเพราะถ้าพีเอชมีแนวโน้มลดลงอาจทำให้ระบบอาจล้มเหลวได้

2.5.4 ธาตุอาหาร (nutrient)

ในกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อซัลเฟอร์ (C:N:P:S) ในเซลล์มีค่าประมาณ 100:10:1:1 จึงจำเป็นต้องรักษาอัตราส่วนนี้ไว้ไม่ให้ต่ำกว่านี้ จุลินทรีย์จึงต้องการอาหารเสริมนอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสอย่างน้อยควรมีค่าเท่ากับ 100:1:0.2 [9] สำหรับกระบวนการไม่ใช้อากาศ นอกจากนี้ยังมีธาตุบางอย่างที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิลและซัลเฟอร์ นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงความต้องการธาตุอีก 3 ชนิด คือ โมลิบดีนัม, ทังสแตนและเซลเนียม แต่ยังไม่มีข้อยืนยันอย่างแน่นอนเหมือนอีก 4 ธาตุข้างต้น อาหารเสริมที่เติมสำหรับระบบไร้อากาศจะใช้ตามสูตรของ speece, 1996 ดังตารางที่ 2.1

2.5.4.1 เหล็กและโคบอลต์

เหล็กเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้น้อยและสามารถรวมกับซัลไฟด์ในระบบแยกตัวออกจากน้ำตกตะกอนผลึกในรูปของเหล็กซัลไฟด์ ทำให้อาจเกิดปัญหาการจำกัดของเหล็กได้ ส่วนโคบอลต์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่า แต่ก็อาจเกิดปัญหาเดียวกันได้

2.5.4.2 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอนไซม์ F430 ซึ่งเป็นหนึ่งในโคเอนไซม์สำคัญต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งได้แก่ โคเอนไซม์ F420, F430 และ 2-Mercaptoethane Sulfonic Acid โดยปกติแล้ว นิกเกิลเป็นมลทินที่ติดอยู่ใน Yeast Extract และในเกล็ดแร่อื่นๆ ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนได้รับ นิกเกิลโดยไม่ได้ตั้งใจ อย่างไรก็ตาม นิกเกิลอาจรวมกับซัลไฟด์และตกผลึกได้เช่นเดียวกับผลึกเหล็ก จึงอาจมีความจำเป็นต้องเติมนิกเกิลบ้างในกรณีที่ไม่มีหรือมีนิกเกิลไม่เพียงพอ

2.5.4.3 ซัลไฟด์

บทบาทของซัลไฟด์ที่มีต่อระบบไม่ใช่อากาศมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซัลไฟด์มีผลเสียต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนเนื่องจากสามารถตกผลึกเหล็ก นิกเกิลและโลหะหนักที่จำเป็นต่างๆ นอกจากนี้ซัลไฟด์ในรูปแบบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 100-150 มก./ล. เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน [5] แต่อย่างไรก็ดี ซัลไฟด์ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็เป็นสารที่จำเป็นและขาดไม่ได้สำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อวิเคราะห์เซลล์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนปรากฏว่าพบซัลไฟด์สูงถึง 2.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด ในขณะที่โคเอนไซม์ 2-Mercaptoethane Sulfonic Acid มีซัลไฟด์เพียง 4 เปอร์เซ็นต์ของที่พบทั้งหมด ดังนั้นซัลไฟด์ 2.6 เปอร์เซ็นต์นี้ต้องเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแบคทีเรีย ความต้องการซัลไฟด์ของแบคทีเรียสร้างมีเทนอาจแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 1-25 มก./ล. ซึ่งปริมาณซัลไฟด์ในน้ำที่แบคทีเรียนำไปใช้ได้จะถูกกำหนดโดยพีเอชและความดันพาร์เชียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในบรรยากาศเหนือน้ำของถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ [10]

สารเคมี	ความเข้มข้นที่ต้องการ(มก./ล.)
สารอาหารเสริมหลัก	
NH_4Cl	400
KCl	400
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	400
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	300
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80
สารอาหารเสริมรอง	
KI	10
$(\text{NaPO}_3)_6$	10
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	40
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
ZnCl_2	0.5
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.5
H_3BO_3	0.5
$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
Na_2SeO_4	0.5
NH_4VO_3	0.5
$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10
สารเสริมความเป็นด่าง	
NaHCO_3	3,000 – 20,000

2.5.5 สารพิษ

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกาศโดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนมีอยู่หลายชนิด ระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้นสารที่เป็นพิษบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็นแต่ต้องมีปริมาณพอเหมาะ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะกลายเป็นพิษได้

2.5.5.1 พิษของอามอนิเอ

อามอนิเอในน้ำเสียที่อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ ได้แก่ โซเดียม, โพแตสเซียม, แมกนีเซียมและแคลเซียมอามอนเหล่านี้ถ้ามีความเข้มข้นที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียโดยอามอนที่มีวาเลนซ์สูงจะมีความเป็นพิษมากกว่าอามอนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ซึ่งพิษจากอามอนของแมกนีเซียมและแคลเซียมมีมากกว่าโซเดียมและโพแตสเซียมถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของอามอน บวกจึงเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น แต่ความเข้มข้นของอามอนที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นเท่าใด มีรายงานถึงความเข้มข้นของโซเดียมที่ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตมีเทนที่ 50 เปอร์เซ็นต์อยู่เป็นจำนวนมากโดยค่าความเข้มข้นในงานเหล่านั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 6-40 ก./ล.

2.5.5.2 โลหะหนัก

โลหะหนักที่อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ได้แก่ แมงกานีส, สังกะสี, แคดเมียม, นิกเกิล, โคบอลต์, ทองแดง และโครเมียม โลหะหนักเหล่านี้จะอยู่ในรูปอามอนพบว่าลำดับความเป็นพิษของโลหะหนักจะเรียงตามลำดับดังนี้ คือ ทองแดง, เหล็ก, แคดเมียม และสังกะสี แต่ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลงได้ถ้ามีปริมาณซัลไฟด์พอเหมาะ เพราะสามารถรวมกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้

2.5.5.3 พิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกาศมาจากการย่อยสลายสารพวกโปรตีน ซึ่งมีไนโตรเจนรวมอยู่ในโมเลกุลด้วย โดยไนโตรเจนที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปแอมโมเนียและแอมโมเนียมอามอน ดังสมการ



ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางซ้าย ถ้าพีเอชมากกว่า 7.2 ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางขวา ดังนั้นที่พีเอชสูงขึ้นก็จะมีแอมโมเนียอยู่ในระบบมากขึ้นแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศมากกว่าแอมโมเนียมไอออน ผลของแอมโมเนียในโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลของแอมโมเนียในโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศ [9]

แอมโมเนีย (mgN/l)	ผลต่อระบบ
50 – 200	ปริมาณพอเหมาะ
200 – 1,000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1,500 – 3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
มากกว่า 3,000	เป็นพิษโดยตรง

2.5.5.4 พิษของซัลไฟด์

ถ้าปริมาณของซัลไฟด์ในระบบมีความเข้มข้นถึงระดับหนึ่ง ซัลไฟด์จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน ไม่ว่าซัลไฟด์นั้นจะมาจากน้ำเสียที่เข้าระบบหรือการย่อยสลายของซัลเฟตก็ตาม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไอออนบวกในระบบด้วย เพราะถ้าในระบบมีโลหะหนัก ซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักแล้วตกตะกอนผลึกลงมาทำให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ลดลงได้ ระดับความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.5.5.5 พิษจากสารอื่นๆ

สารพิษอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำและอาจทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการผลิตมีเทน ได้แก่ ออกซิเจนเป็นพิษอย่างมากแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เพราะจะทำการแตกของโมเลกุลของเอนไซม์ สารรับอิเล็กตรอนอื่น เช่น ไนเตรท หรือซัลเฟต ถ้ามีอยู่ในปริมาณมากจะทำให้ผลิตก๊าซมีเทนได้ลดลงเนื่องจากเส้นทางการไหลของอิเล็กตรอนก็จะเปลี่ยนไปทั้งนี้เพราะแบคทีเรียที่ใช้ไนเตรทหรือซัลเฟตได้พลังงานมากกว่าจากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ และมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า ทำให้สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งถูกใช้โดยแบคทีเรียกลุ่มอื่น แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้สารอินทรีย์ได้ลดลง สารเคมีบางชนิด เช่น 2-Bromoethanesulfonic Acid (BES; $\text{BrCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3$) ขัดขวางการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากมีลักษณะสมบัติคล้ายกับโคเอนไซม์เอ็ม เป็นต้น

2.6 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเป็นวิธีที่ไม่ต้องมีการเติมออกซิเจน ระบบบำบัดนี้จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงๆ ได้และระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศนี้ยังเหมาะกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วงสภาวะเมโซฟิลิก ช่วงอุณหภูมิ 20-45 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น

2.6.1 ข้อดีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีข้อดีมากมายหลายประการเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ได้แก่

1. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศเนื่องจากไม่ต้องมีการเติมอากาศ
2. ใช้พื้นที่ในการสร้างถังปฏิกรณ์น้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศเพราะสามารถออกแบบให้รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่า
3. มวลเซลล์ที่เกิดขึ้นในระบบน้อยกว่าจึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนส่วนเกิน
4. มีความต้องการสารอาหารเสริม น้อย เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เพราะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำ
5. ได้ก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทน

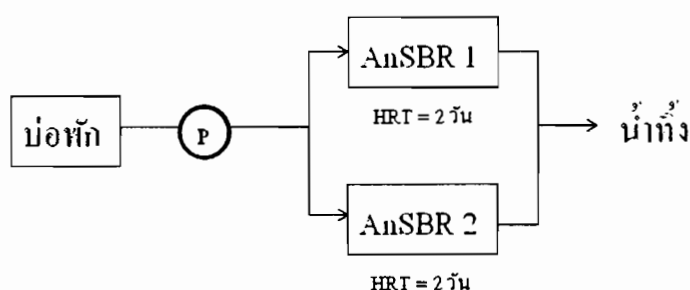
2.6.2 ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศมีข้อเสียเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ได้แก่

1. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตช้า จึงต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ
2. เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีกลิ่นเหม็น
3. น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังคงเหลือสารปนเปื้อนสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงต้องมีการบำบัดด้วยระบบอื่นเป็นขั้นตอนต่อไปด้วย
4. สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเติมสารบัฟเฟอร์ฟิเอช

2.7 ระบบบำบัดแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

ระบบ AnSBR ที่ใช้มีลักษณะเดียวกับระบบยูเอเอสบีหรือถังหมักไม่ใช้อากาศที่ปิดฝาไม่มีการกวนน้ำ และมีการเติมน้ำเสียเป็นแบบเท (Batch) การย่อยสลายตัวของชีโอดีทำให้มีก๊าซเกิดขึ้นจนทำให้ชั้นสลัดจ์ฟุ้งทั้งถังคล้ายกับการกวนน้ำด้วยใบพัดกวน เมื่อชีโอดีลดลงปริมาณก๊าซก็ลดลง (จะเห็นได้จากการลดลงของการฟุ้งของชั้นสลัดจ์) ทำให้มีการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้นและทำให้สามารถแยกชั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนออกทิ้งได้ การออกแบบอาจให้รอบการทำงานของแต่ละถังเป็นเวลา 1 วัน (ครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งชั้นสลัดจ์ในถังหมักก็ไม่มีฟุ้งแล้ว) ตัวอย่างเช่น ให้ถัง AnSBR มีเวลากักน้ำ 2 วัน (เท่ากับปริมาตร 50% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดในหนึ่งวัน) และใช้เชื้อแบคทีเรียประมาณ 25% ของความจุถัง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การบำบัดน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอด้วยระบบ AnSBR

แม้ว่าระบบนี้ต้องการเวลากักน้ำ 2 วัน ทำให้อัตราระงับอินทรีย์เท่ากับประมาณ 5-6 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ก็ใช่อัตราระงับอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยาก ดังเช่นในกรณีของน้ำเสียฟอกย้อมผ้าทอ

ข้อดีของระบบ AnSBR มีหลายประการดังนี้

- ไม่ต้องการตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นเมือก และไม่ต้องเลี้ยงเชื้อให้เป็นเมือกเหมือนระบบ UASB
- ใช้ได้กับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอย
- ใช้ได้ง่ายมากและออกแบบง่าย

ระบบ AnSBR มีลักษณะคล้ายบ่อกักไม่ใช้อากาศ แต่เป็นบ่อกักขนาดเล็กที่มีการเลี้ยงสลัดจ์เข้มข้นสูงมาก บ่อกักธรรมดาจะมีเชื้อเข้มข้นต่ำการที่เลี้ยงเชื้อเข้มข้นมากต้องเริ่มต้นด้วยการเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์มาก ถึง AnSBR จึงแบ่งเป็น 2 ถัง แต่ละถังระยะเวลากักเก็บน้ำเสียภายในระบบเท่ากับ 2 วัน ทำให้สามารถหาตะกอนจุลินทรีย์มาเริ่มต้นได้ง่าย การรับน้ำเสียของ AnSBR ก็คล้ายกับบ่อกักแต่มี

ข้อแตกต่างคือระบบ AnSBR รับน้ำเสียเพียง 50% ของน้ำเสียทั้งหมด การทำงานของบ่อหมักเป็นแบบต่อเนื่อง ในขณะที่ระบบ AnSBR ทำงานเป็นแบบกึ่งเท กล่าวคือในแต่ละวันเมื่อมีการบำบัดน้ำเสียในถัง AnSBR นานถึง 23 ชั่วโมง ก๊าซชีวภาพจะหมดและมีการตกตะกอนของสลัดจ์ น้ำใสจะถูกระบายออกทิ้งภายในเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะรับน้ำเสียในวันต่อไปถ้าต้องการให้มีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ ต้องสร้างฝาปิดถัง AnSBR ในกรณีนี้ถัง AnSBR จะคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศที่ใช้บำบัดสลัดจ์ (Anaerobic Digester) ก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีการย่อยสลายชีโอดีจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เมื่อใกล้ 24 ชั่วโมงก๊าซจะหมดจึงถึงเวลาระบายน้ำทิ้งออก ช่วงนี้สามารถเปิดท่อระบายอากาศเพื่อให้ทั้งน้ำใสได้ง่าย การทำงานของระบบ AnSBR ที่ต้องการก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับบ่อหมักไม่ใช้อากาศที่มีการปิดฝาหรือคล้ายกับถังหมักไม่ใช้อากาศแบบธรรมดาที่ใช้บำบัดสลัดจ์ แต่ถัง AnSBR เป็นถังหมักที่มีเวลากักน้ำเสียเพียง 2 วัน (ถังหมักธรรมดาใช้เวลากักน้ำประมาณ 10-30 วัน)

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Borja ในปี 1994 [11] ได้ศึกษาระบบบำบัดแบบ upflow anaerobic filter ปริมาตร 23 ลิตร สำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ใช้เวลาทดลองทั้งหมด 215 วัน โดยทำการทดลองที่ภาระอินทรีย์ 1.2 ถึง 11.4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเท่ากับ 15 ถึง 6 วัน จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูงกว่าร้อยละ 90 และน้ำออกจากระบบบำบัดจะไม่มีของแข็งแขวนลอยอยู่เลย ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบประมาณ 20 ถึง 165 ลิตรต่อวัน ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนประมาณ 60% โดยแต่ละวันก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.69 ถึง 0.79 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด

Richard ในปี 1997 [12] ได้ทำการเปรียบเทียบสภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก ของระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกาแฟ ได้ทำการทดลองทั้งหมด 100 วัน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 35 และ 55 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองสภาวะจะรับภาระอินทรีย์ที่ 10 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันได้แต่ที่สภาวะเมโซฟิลิก รับภาระสารอินทรีย์มากกว่า 10 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบจะล้มเหลวเนื่องจากระบบมีปริมาณกรดระเหยง่ายทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก เมื่อมีการเพิ่มภาระสารอินทรีย์เป็น 11.4 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบสามารถรับได้แต่เมื่อเพิ่มเป็น 13.3 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะพบว่าปริมาณกรดระเหยง่ายทั้งหมดในระบบเพิ่มขึ้นจาก 80 ไปเป็น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร การกำจัดชีโอดีของทั้งสองสภาวะจะแตกต่างกันเล็กน้อยโดยที่สภาวะเทอร์โมฟิลิก เท่ากับร้อยละ 70 และที่สภาวะเมโซฟิลิก เท่ากับร้อยละ 78 สรุปได้ว่าทั้งที่สภาวะเมโซฟิลิกและเทอร์โมฟิลิก สามารถประสบความสำเร็จในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกาแฟด้วยระบบ UASB

Fun และคณะ ในปี 2007 [13] ได้ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก เอสบีอาร์ โดยน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจะมีเส้นใยและเปลือกปนมา ส่งผลให้มีค่าของแข็งแขวนลอยและความขุ่นในน้ำสูง จากการทดลองพบว่าสามารถกำจัดชีโอดีทั้งหมดได้เท่ากับร้อยละ 82 และกำจัดชีโอดีละลายน้ำได้เท่ากับร้อยละ 88 และกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เท่ากับร้อยละ 62

Wanna Choorit ในปี 2007 [14] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มด้วยระบบบำบัดแบบ CSTRs โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 37 และ 55 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสรับภาระอินทรีย์ได้มากที่สุด 12.25 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และมี HRT เท่ากับ 7 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 71.10 และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 3.73 ลิตรของก๊าซต่อลิตรของถังปฏิกรณ์ต่อวัน ซึ่งประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 71.04 ส่วนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสรับภาระอินทรีย์ได้มากที่สุด 17.01 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน และมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเท่ากับ 5 วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีร้อยละ 70.32 และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 4.66 ลิตรของก๊าซต่อลิตรของถังปฏิกรณ์ต่อวัน ซึ่งประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 69.53

Mailin Misson ในปี 2009 [15] ได้ทำการศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นของทะเลสาบปาล์มเปล่า โดยการนำทะเลสาบปาล์มเปล่ามาแช่ด้วย NaOH 0.1 นอร์มัล และมีการกวนผสม เป็นเวลาสองวันจะพบว่าลินินสามารถย่อยสลายได้สูงถึง 65% ซึ่งมากกว่าการบำบัดด้วยการแช่ Ca(OH)_2 ถึง 7.2 เท่า

Mingxia Zheng ในปี 2009 [16] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศของขังข้าวโพดที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดเบื้องต้นคือ มีความชื้นร้อยละ 80 ที่อุณหภูมิห้อง 20 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการบำบัดเบื้องต้น 3 วัน ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 % และที่ภาระสารอินทรีย์ 65 กรัมต่อลิตร นั้นเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่าการบำบัดเบื้องต้นช่วยให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าถึงร้อยละ 72.9 และมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าถึงร้อยละ 73.4 และใช้เวลาในการย่อยสลายน้อยกว่าถึงร้อยละ 34.6 โดยวิธีการบำบัดเบื้องต้นแบบใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นใช้เวลาในการบำบัดเบื้องต้นเร็วกว่าและใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยกว่าถึงร้อยละ 66.7 เมื่อเทียบกับวิธีการบำบัดเบื้องต้นแบบใช้ของแข็งโซเดียมไฮดรอกไซด์ การวิเคราะห์ส่วนประกอบและโครงสร้าง ทางเคมีพบว่าการลดลงของลินิน, เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสทั้งหมด ร้อยละ 9.3-19.1 ดังนั้นการบำบัดเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถช่วยประหยัดต้นทุนในการเปลี่ยนขังข้าวโพดไปเป็นพลังงานชีวภาพ

Lin Yunqin ในปี 2009 [17] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดแบบไร้อากาศของเยื่อไม้และตะกอนกระดาษ โดยการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ถึงปฏิกรณ์มีการผสมแบบสมบูรณ์ มีปริมาตรขนาด 1 ลิตร มีพื้นที่การทำงาน 700 มิลลิเมตร จากผลการทดลองปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดเบื้องต้นคือ 8 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 100 กรัมตะกอนของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยการบำบัดเบื้องต้นภายใต้สภาวะนี้พบว่าโครงสร้างของเยื่อไม้และตะกอนกระดาษจะถูกרבกวนโดยจะมีอัตราส่วนช่องว่างและขนาดของไฟเบอร์ลดลงและมีค่าซีไอดีละลายน้ำเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 83 ขณะที่บำบัดด้วยระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศมีค่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูงสุดถึง 1,040 มิลลิกรัมกรดอะซิติกต่อลิตร ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศได้ทำการทดลองป้อนทั้งเยื่อไม้และตะกอนกระดาษที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยพบว่าสภาวะที่ป้อนเยื่อไม้และตะกอนกระดาษที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นนั้นมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สูงกว่า คือ 0.32 ลูกบาศก์เมตรก๊าซมีเทนต่อกิโลกรัมสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด ซึ่งเพิ่มขึ้นจากระบบที่ป้อนเยื่อไม้และตะกอนกระดาษที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นถึงร้อยละ 183.5 ดังนั้นแสดงว่าการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถช่วยเพิ่มให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของระบบบำบัดแบบไร้อากาศของเยื่อไม้และตะกอนกระดาษดีขึ้น

บทที่ 3 แผนการและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการ

การศึกษาวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายกากตะกอนปาล์มโรงสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้เชื้อตะกอนเริ่มต้นจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยใช้ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบ เอสบีอาร์ขนาด 2 ลิตร จำนวน 4 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ที่หนึ่งและสองควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ป้อนกากตะกอนปาล์มและกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นตามลำดับและถังปฏิกรณ์ที่สามและสี่ควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ป้อนกากตะกอนปาล์มและกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นตามลำดับเช่นกัน ดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยกำหนดเวลาการดำเนินงานวิจัย ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

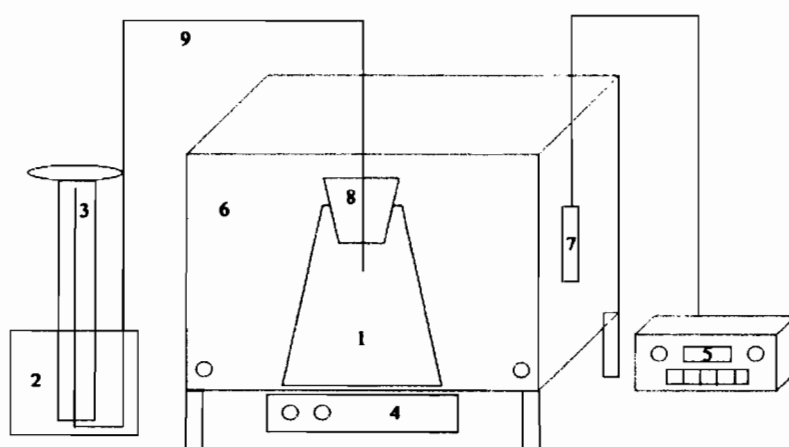
การดำเนินงาน	ปี พ.ศ. 2551									ปี พ.ศ. 2552		
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล												
เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์การทดลอง												
ทำการทดลอง												
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง												

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบบำบัดแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor โดยถังปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นขวดเออร์เลนเมเยอร์ขนาดปริมาตร 2 ลิตร ดำเนินการทดลองที่ 2 ช่วงอุณหภูมิ คือช่วงเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้อง จำนวน 2 ถังปฏิกรณ์ และช่วงเทอร์โมฟิลิกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งควบคุมอุณหภูมิโดยอ่างควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 2 ถังปฏิกรณ์ และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้โดยใช้หลักการแทนที่น้ำซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองสำหรับการจำลองถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับสร้างถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

1. ถังปฏิกรณ์แบบ AnSBR ขนาด 2 ลิตร จำนวน 4 ถัง
2. ถังน้ำขนาด 1 ลิตร จำนวน 4 ใบ
3. กระบอกตวง จำนวน 4 ใบ
4. เครื่องกวน (Magnetic stirrer) จำนวน 4 เครื่อง
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 1 เครื่อง
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ 1 เครื่อง
7. เทอร์โมมิเตอร์ 1 อัน
8. จุกยาง 4 อัน
9. สายยาง



รูปที่ 3.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 1. เครื่องมือวัดพีเอช (pH meter)
- 2. เครื่องชั่งแบบละเอียด (Analytical balance)
- 3. ตู้อบอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (Oven)
- 4. ตู้ดูดควัน (Fume hood)
- 5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 6. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- 7. เตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (Muffle furnace)
- 8. เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum pump)
- 9. เครื่องกวนแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 10. สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.3 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์และของเสีย

3.3.1 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเป็นจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบยูเอสบี ในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ทำการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส โดยการทดลองจะใส่เชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ความเข้มข้นถึงละ 10,000 มิลลิกรัมของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดต่อลิตร โดยลักษณะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มการทดลองนั้นแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส

คุณลักษณะเชื้อตะกอนจุลินทรีย์	อุณหภูมิ 30°C	อุณหภูมิ 55°C
ของแข็งทั้งหมด (TS), mg/l	81,000	87,000
ของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS), mg/l	49,000	53,000
SMA, gCOD/gVSS-d	0.108	0.104

3.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ของเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นกากตะกอนปาล์มที่เหลือจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็น Slurry คล้ายดิน ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของกากตะกอนปาล์มจากโรงสกัดน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
pH	4.0-5.8
TCOD (g/gdry)	1.073
TKN (mgN/gdry)	228.56
TP (mgP/gdry)	5.98
% Solids	25%
%moisture	75%
BMP (mL.CH ₄ /gCOD)	178.21(30°C), 191.93(55°C)

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment)

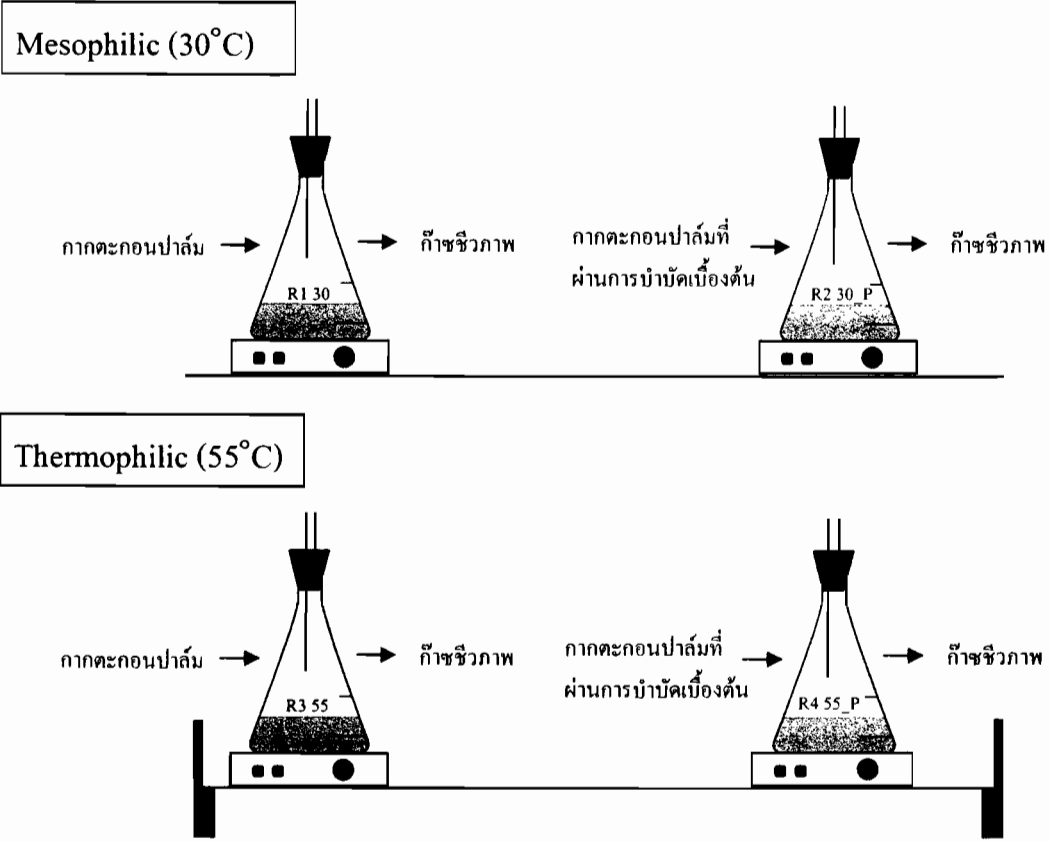
ในการศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนปาล์ม โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะมีการทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดเบื้องต้นซึ่งจะใช้ความร้อนและโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ในการบำบัดเบื้องต้น โดยในขั้นตอนแรกจะทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส บำบัดกากตะกอนปาล์มหลังจากนั้นเมื่อได้เวลาเหมาะสมของการบำบัดด้วยความร้อน แล้วจึงทำการทดลองขั้นที่สองโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล แ่กากตะกอนปาล์มแล้วนำไปให้ความร้อนตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากในขั้นตอนที่หนึ่งแล้วจึงปล่อยทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาในการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม ในการบำบัดเบื้องต้นเพื่อให้กากตะกอนปาล์มนั้นสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น

3.4.2 การเริ่มเดินระบบการทดลอง

ในทดลองระบบแบบแอนแอโรบิคเอสปีอาร์นั้นจะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลทั้งในเรื่องของอุณหภูมิ และในเรื่องของการบำบัดเบื้องต้นที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนปาล์ม ซึ่งในการเดินระบบนี้จะประกอบด้วย 4 ชุดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยลักษณะการเดินระบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (AnSBR) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร จำนวน 4 ชุด ควบคุมที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 1 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยที่แต่ละอุณหภูมิจะทำการป้อนของเสียเข้าระบบสองแบบคือแบบที่หนึ่งป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผสมน้ำ แบบที่สองป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงและแซโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล 2 วัน
2. ทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นเข้าไปในระบบโดยให้ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในแต่ละถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร เท่ากับ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 20 กรัมวีเอสเอส
3. เริ่มระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยระบบจะไม่ทำการควบคุมอายุของตะกอนจุลินทรีย์แต่มีการควบคุมระยะเวลาเก็บน้ำเสียภายในระบบเท่ากับ 10 วัน ดังนั้นอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าออกจากระบบเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อวัน โดยในการป้อนน้ำเสียนั้นจะแบ่งออกเป็นสองแบบตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นโดยในแบบที่หนึ่ง ทำการนำกากตะกอนปาล์มมาผสมกับน้ำเพื่อให้ได้ความเข้มข้นชีโอดีตามอัตราภาระสารอินทรีย์นั้นๆ ส่วนในแบบที่สองนั้นจะนำกากตะกอนปาล์มมาผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เพื่อให้ได้ความเข้มข้นชีโอดีตามอัตราภาระสารอินทรีย์นั้นๆ หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสองชั่วโมงและแช่ทิ้งไว้เป็นเวลาสองวัน จากนั้นจะเติมอาหารเสริมตามสูตรของ speece [10] ในสัดส่วนค่อน้ำเสีย 1:1 และเมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวก็จะทำการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ให้มากขึ้นตามความสามารถของจุลินทรีย์ในระบบที่จะรับได้ดังตารางที่ 3.4 โดยอาจจะดูจากประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและดูจากความเหมาะสมของค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายเป็นต้น
4. เดินระบบบำบัดไร้อากาศแบบเอสปีอาร์โดยมีระยะเวลาการทำงานในหนึ่งรอบดังนี้
 - ช่วงเติมน้ำเสีย 15 นาที
 - ช่วงทำปฏิกิริยา 20 ชั่วโมง
 - ช่วงตกตะกอน 3.5 ชั่วโมง
 - ช่วงระบายน้ำออกจากระบบ 15 นาที

- 5. ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในแผนการทดลอง
- 6. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนและลักษณะการทำงานของระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์



รูปที่ 3.2 แผนผังการทดลอง

ตารางที่ 3.4 อัตราภาระสารอินทรีย์และปริมาณชีโอดีเข้าถังปฏิกรณ์ที่วันทำการทดลองต่างๆ

วันที่ทำการทดลอง	ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.วัน)	ชีโอดีที่เข้าระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1 - 34	0.5	5,000
35 - 79	1.0	10,000
80 - 115	2.0	20,000
116 - 160	3.0	30,000
161 - 184	4.0	40,000

3.4.3 แผนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การเก็บน้ำมาวิเคราะห์จะเก็บตอนขาเข้าและขาออกของทุกวันเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยได้ทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ [18]

พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
อุณหภูมิ	Thermometer	ทุกวัน
พีเอช (pH)	pH meter	ทุกวัน
ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (Biogas)	Water displacement	ทุกวัน
ของแข็งแขวนลอย (SS)	Dried at 103-105°C	1 ครั้งต่อสัปดาห์
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	Vanadate molybdate	1 ครั้งต่อสัปดาห์
ทีเคเอ็น (TKN)	Total Kjeldahl Nitrogen	1 ครั้งต่อสัปดาห์
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)	Titrimetric method	2 ครั้งต่อสัปดาห์
อัลคาไลน์ตี (Alkalinity)	Titrimetric method	2 ครั้งต่อสัปดาห์
ชีโอดี (COD)	Closed Reflux Titrimetric	3 ครั้งต่อสัปดาห์

3.4.4 การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์ม

(Biochemical Methane Potential, BMP)

การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจะทำได้เพื่อความสามารถในการย่อยสลายของของเสียที่จะนำมาบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งของเสียที่ใช้ในการทดสอบนี้คือกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยจะทำการทดลองที่สองสถานะคือ สถานะเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้องและสถานะเทอร์โมฟิลิกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปนี้

1. เตรียมน้ำเสียที่ต้องการทดสอบ โดยนำกากตะกอนปาล์มมาผสมน้ำให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ (นำน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าซีโอดี) แล้วเติมอาหารเสริมตามสูตรของ Speece หลังจากนั้นนำไปทำการปรับ พีเอชให้มีค่าประมาณ 7 โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและกรดไฮโดรคลอริกเพื่อให้มีสถานะที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน
2. ใส่ น้ำเสียปริมาตร 70 มิลลิลิตร ลงในขวดซีรัมขนาด 125 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมตะกอนจุลินทรีย์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 49,000 และ 53,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ลงในขวดซีรัม
3. นำขวดซีรัมไปใส่ในอานกาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วน 70:30 เป็นเวลา 1 นาที แล้วทำการปิดฝาขวดซีรัมทันที
4. นำขวดซีรัมไปไว้ในที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเขย่าเพื่อให้เกิดการกวนผสมระหว่างจุลินทรีย์และน้ำเสีย
5. วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจนบันทึกค่าและเวลาที่ทำการวัด โดยทำการวัดจนกระทั่งไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในขวดซีรัม
6. นำก๊าซชีวภาพในขวดซีรัมไปวิเคราะห์หาปริมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography
7. ทำเบงค์โดยใช้ น้ำประปาแทนน้ำเสียแล้วทำตามข้อ 1-6 เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบอาจมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ใดมาด้วยจึงต้องนำค่าก๊าซชีวภาพที่เกิดจากเบงค์ไปลบก๊าซชีวภาพที่เกิดจากน้ำเสีย
8. นำค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์ม

3.4.5 การศึกษาความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน

(Specific Methanogenic Activity, SMA)

การศึกษาความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนเพื่อหาคุณภาพของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ โดยจะทำการทดสอบทั้งตอนเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลองซึ่งในการทดสอบจะทำการหาคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ทั้งของสภาวะอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นแหล่งสารอินทรีย์ โดยวิธีการทดสอบทำเช่นเดียวกับการหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)

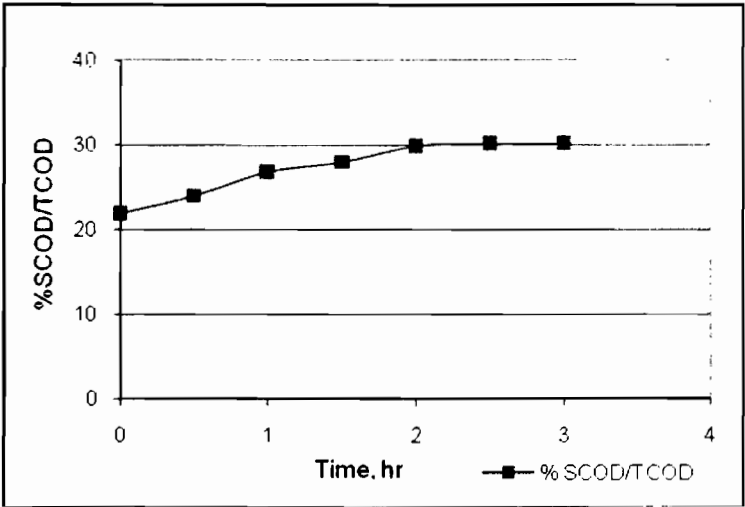
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ โดยการทดลองได้แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่หนึ่ง (R1 30) และสอง (R2 30_P) จะถูกควบคุมภายใต้สภาวะเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 1^{\circ}\text{C}$) และชุดการทดลองที่สาม (R3 55) และสี่ (R4 55_P) จะถูกควบคุมภายใต้สภาวะเทอร์โมฟิลิก (55°C) โดยที่แต่ละสภาวะมีการป้อนของเสียเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกันโดยชุดการทดลองที่หนึ่งและสามป้อนกากตะกอนปาล์มและชุดการทดลองที่สองและสี่ป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (2 ชั่วโมง) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (2 วัน) ตามลำดับ การทดลองดำเนินการภายในถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร และมีการควบคุมแบบสมบูรณ์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาวะแวดล้อมหลายอย่าง ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 การบำบัดเบื้องต้น

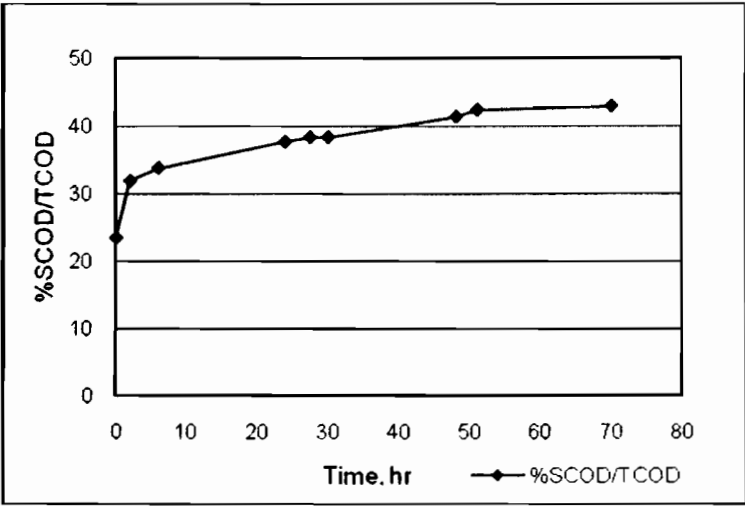
เนื่องจากว่ากากตะกอนปาล์มนั้นมีลักษณะเป็น Slurry คล้ายดินและประกอบด้วยสารอินทรีย์เซลลูโลสซึ่งย่อยสลายได้ยาก เมื่อเข้าระบบบำบัดอาจต้องใช้เวลาานมากกว่าจะย่อยสลายได้หมด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองบำบัดเบื้องต้นซึ่งคาดว่าจะมีส่วนช่วยให้กากตะกอนปาล์มนั้นย่อยสลายได้ง่ายขึ้น โดยในการทดลองจะทำการหาระยะเวลาที่เหมาะสมของการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อน โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยจะนำกากตะกอนปาล์มมาผสมกับน้ำให้ได้ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วทำการจับเวลาที่ชั่วโมงต่างๆ แล้วนำไปหาค่าซีโอดีที่ละลายน้ำว่ามีค่าร้อยละของซีโอดีละลายน้ำต่อซีโอดีทั้งหมดเพิ่มขึ้นหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อมีการให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้นค่า %SCOD/TCOD ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยเมื่อมีการให้ความร้อนเป็นเวลาสองชั่วโมงพบว่าค่า %SCOD/TCOD เริ่มมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักโดยมีค่า %SCOD/TCOD เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8 ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้ยังไม่ถือว่ามีความสำคัญต่อการย่อยสลายของกากตะกอนปาล์มได้ง่ายขึ้นมากนัก



รูปที่ 4.1 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อน 90 องศาเซลเซียส

การทดลองบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสองชั่วโมงและแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ที่เวลาต่างๆ จากในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการให้ความร้อนและแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น %SCOD/TCOD เพิ่มขึ้นสูงตามไปด้วยโดยพบว่าเมื่อผ่านไปประมาณ 2 วัน %SCOD/TCOD เริ่มมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักโดยมีค่าประมาณร้อยละ 41.33 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้นที่มี %SCOD/TCOD เท่ากับร้อยละ 23.39 ประมาณร้อยละ 18 ซึ่งคาดว่าค่าเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำนั้นมีส่วนช่วยให้การย่อยสลายกากตะกอนปาล์มทางชีวภาพด้วยระบบไร้อากาศดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.2 ผลการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อน 90°C 2 ชั่วโมง และแช่ NaOH 0.1 N ที่ เวลาต่างๆ

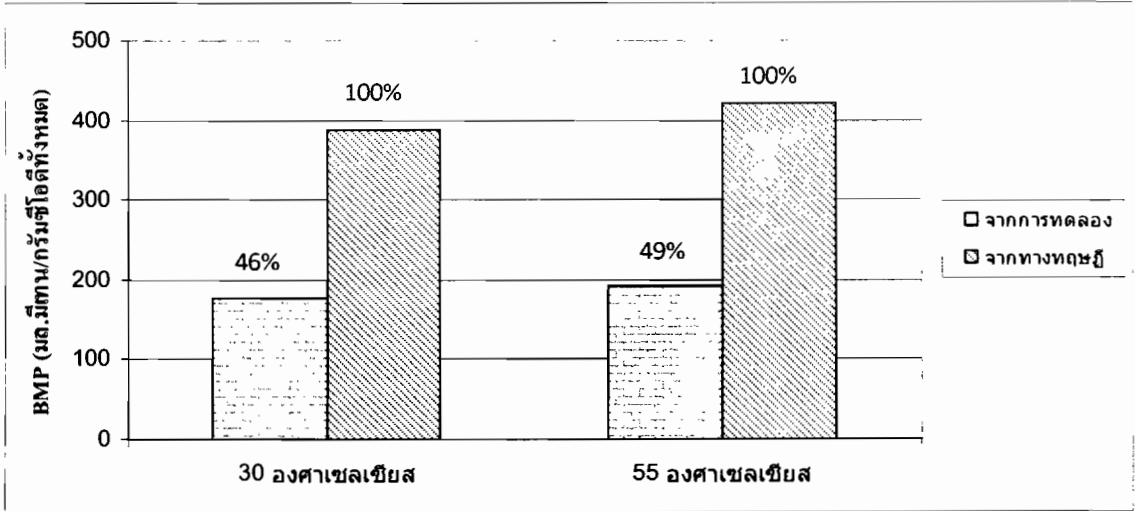
4.2 การเริ่มต้นเดินระบบ

4.2.1 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์

การเริ่มต้นเดินระบบทำการเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ลงในแต่ละถังปฏิกรณ์ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 10,000 มิลลิกรัมของแข็งระเหยง่ายทั้งหมดต่อลิตร โดยได้ทำการหาค่าความสามารถจำเพาะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน (SMA) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่าเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าเอสเอ็มเอใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.108 และ 0.104 กรัมชีโอดีต่อกรัมของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อวัน ตามลำดับ

4.2.2 กากตะกอนปาล์ม

จากการวิเคราะห์ลักษณะของกากตะกอนปาล์ม ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 3.3 พบว่ากากตะกอนปาล์มที่ใช้ในการทดลองมีค่าชีโอดีเท่ากับ 1.073 กรัมต่อกรัมกากตะกอนปาล์มแห้ง และเมื่อนำเอากากตะกอนปาล์มมาผสมน้ำจะพบว่ามีค่าชีโอดีละลายน้ำต่อชีโอดีทั้งหมดประมาณร้อยละ 22.57 ซึ่งแสดงว่าของเสียกากตะกอนปาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นสารอินทรีย์ไม่ละลายน้ำซึ่งย่อยสลายได้ค่อนข้างยากเป็นส่วนใหญ่ โดยเมื่อนำกากตะกอนปาล์มมาหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์ม (BMP) ที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียสพบว่ามีค่าเท่ากับ 178.21 และ 191.93 มิลลิลิตรก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ป้อนตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์ม (BMP) ตามทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ 388.64 มิลลิลิตรก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ป้อนตามลำดับ และเมื่อนำมาคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์มพบว่กากตะกอนปาล์มมีความสามารถถูกย่อยสลายด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศได้ประมาณร้อยละ 46 และ 49 ของที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องมาจากว่ากากตะกอนปาล์มนั้นมีลักษณะเป็น slurry ที่มีสารอินทรีย์พวกเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายได้ยากกว่าสารอินทรีย์ทั่วไปจึงทำให้มีค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์มน้อยกว่าค่าตามทฤษฎี



รูปที่ 4.3 ค่าศักยภาพศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของกากตะกอนปาล์ม (BMP) เมื่อเทียบกับค่าตามทฤษฎีที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส

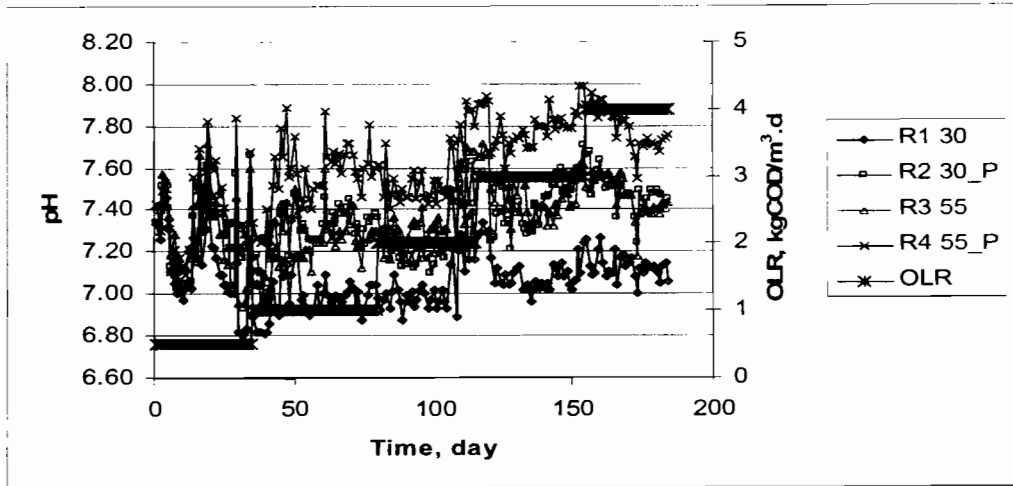
4.3 ปัจจัยสถานะแวดล้อมที่ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ

4.3.1 อุณหภูมิ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำการศึกษาที่สองช่วงอุณหภูมิคือ ช่วงเมโซฟิลิกทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องมีค่าอยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ซึ่งตลอดการทดลองที่ผ่านมาพบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์โมฟิลิกมีอุณหภูมิอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิภายในอ่างน้ำร้อน ดังแสดงในตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก

4.3.2 พีเอช

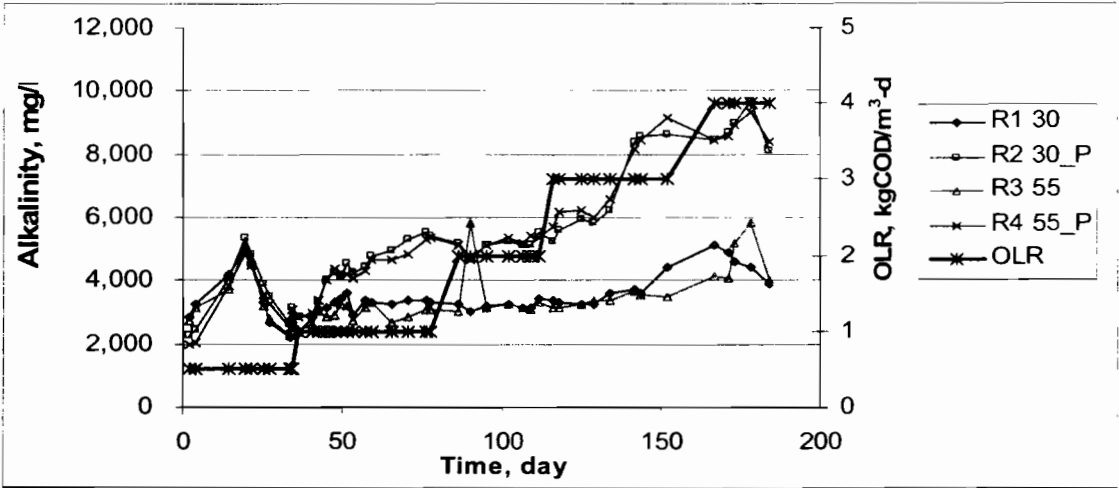
ค่าพีเอชเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญในการควบคุมระบบเนื่องจากว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนนั้นมีความอ่อนไหวต่อค่าพีเอชมาก โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำงานได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 6.8-7.2 [10] ซึ่งถ้าพีเอชในระบบมีค่าตกลงไปต่ำกว่า 6 จะมีผลทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้นั้นไม่สามารถทำงานผลิตก๊าซมีเทนได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจากการตรวจวัดค่าพีเอชในน้ำออกซึ่งเป็นตัวแทนค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ (ตารางที่ ก.2 ภาคผนวก ก) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าในระบบนั้นสามารถเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีได้เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นมีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำ (กากตะกอนปาล์ม) และค่าพีเอชค่อนข้างสูง (กากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น) แต่น้ำที่ระบายออกจากระบบโดยส่วนใหญ่ของทั้งสี่ถังปฏิกรณ์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 6.8-7.8 ซึ่งมีค่าเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำงานในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ



รูปที่ 4.4 ค่าพีเอชของน้ำออกในแต่ละถังปฏิกรณ์

4.3.3 สภาพความเป็นด่างและกรดไขมันระเหยง่าย

สภาพความเป็นด่างและกรดไขมันระเหยง่ายนั้นสามารถบ่งบอกถึงสภาพการทำงานของระบบไว้รออากาศได้ โดยสภาพความเป็นด่างในระบบนั้นจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าพีเอชภายในระบบลดต่ำลง ซึ่งค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมในระบบควรมีค่าอยู่ในช่วง 1000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร [19] ส่วนกรดไขมันระเหยง่ายเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการควบคุมระบบเนื่องจากหลังจากกระบวนการขึ้นตอนไฮโดรไลซิสมะมีการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นมาซึ่งถ้าหากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนทำงานได้ไม่ดีก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายซึ่งส่งผลต่อค่าพีเอชโดยตรงและอาจทำให้ค่าพีเอชในระบบลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้เสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบลดลง โดยทั่วไปจะมีการควบคุมกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างไม่ให้มีค่าเกิน 0.3 ดังนั้นจึงต้องมีการคอยตรวจสอบวิเคราะห์ค่าของสภาพด่างและกรดไขมันระเหยง่ายตลอดการทดลอง (ตารางที่ ก.3 ภาคผนวก ก) โดยแสดงดังรูปที่ 4.5-4.6 และในตารางที่ 4.1-4.3



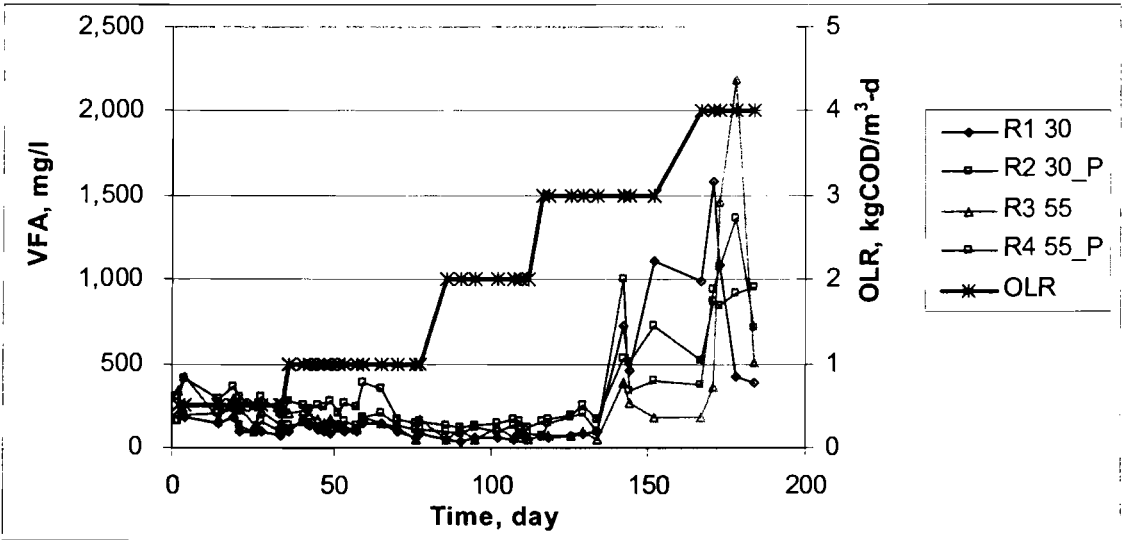
รูปที่ 4.5 สภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าความเป็นด่าง (มก./ล. CaCO ₃)			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	3412	3565	3392	3286
1.0	3191	4334	2946	4233
2.0	3200	5163	3540	5174
3.0	3578	6812	3371	7055
4.0	4591	8791	4652	8727

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 พบว่าที่ทุกอัตราภาระสารอินทรีย์นั้นมีค่าความเป็นด่างโดยเฉลี่ยสูงกว่า 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันมีค่าความเป็นด่างปริมาณใกล้เคียงกันทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 1.0-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าในถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P นั้นมีค่าความเป็น

ค่าสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 เป็นผลมาจากของเสียที่ป้อนเข้าถึงปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P นั้นมีการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่างและอาจช่วยเป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบได้ด้วย



รูปที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 4.2 ค่าการระเหยง่ายของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าการระเหยง่าย (มก./ล. CaCO ₃)			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	129	155	237	292
1.0	112	139	152	246
2.0	55	101	68	138
3.0	334	302	148	340
4.0	895	892	939	820

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.2 พบว่าในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 0.5-3.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทั้งสี่ถังปฏิกรณ์มีค่าการระเหยง่ายอยู่ในช่วง 50-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทนนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงทำให้มีการสะสมของกรกระเหยง่ายในระบบเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 4.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าค่าการระเหยง่ายนั้นมีค่ามากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนไม่สามารถย่อยสลายกรกระเหยง่ายได้ทันกับที่จุลินทรีย์สร้างกรกระเหยง่ายขึ้นเลยทำให้เกิดการสะสมของกรกระเหยง่ายในระบบสูง แต่เนื่องจากในระบบมีค่าความเป็นด่างสูง ทำให้เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ค่าอัตราส่วนความเป็นด่างต่อกรดไขมันระเหยง่ายของทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์ พบว่ายังมีค่าน้อยกว่า 0.3 แสดงว่าในระบบมีบัฟเฟอร์ที่เพียงพอจึงทำให้ระบบยังสามารถทำงานและผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายและสภาพด่างของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	สัดส่วนค่าการระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่าง			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	0.04	0.05	0.07	0.10
1.0	0.04	0.03	0.05	0.06
2.0	0.02	0.02	0.02	0.03
3.0	0.09	0.04	0.04	0.05
4.0	0.19	0.10	0.18	0.09

4.3.4 สารอาหาร

จุลินทรีย์นั้นต้องการธาตุอาหารเพื่อไปใช้ในการสร้างเซลล์ โดยธาตุอาหารหลักประกอบด้วย คาร์บอน, ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่จุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศนั้นเจริญเติบโตช้า จึงต้องการในปริมาณน้อยแต่ไม่สามารถขาดได้ โดยทั่วไประบบบำบัดแบบไร้อากาศนั้นมีอัตราส่วน ความต้องการซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 150:1:0.2 โดยถ้าหากในระบบมีปริมาณ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ ก็จะเป็นข้อจำกัดทำให้จุลินทรีย์ไม่ค่อยเจริญเติบโตซึ่งจะส่งผล ต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นจึงได้มีการเติมสารอาหารเสริมตามสูตรของ speece [10] เพื่อให้มีธาตุอาหารต่างๆเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ โดยค่าซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อ ฟอสฟอรัส (ตารางที่ ก.4 ภาคผนวก ก) แสดงดังในตารางที่ 4.4 พบว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นมี ปริมาณคาร์บอน, ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์และ จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ การถูกใช้ไปของไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากว่าตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีการเจริญเติบโตและสร้าง เซลล์เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เข้ามาภายในระบบในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้มีความต้องการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสของน้ำเข้าระบบ

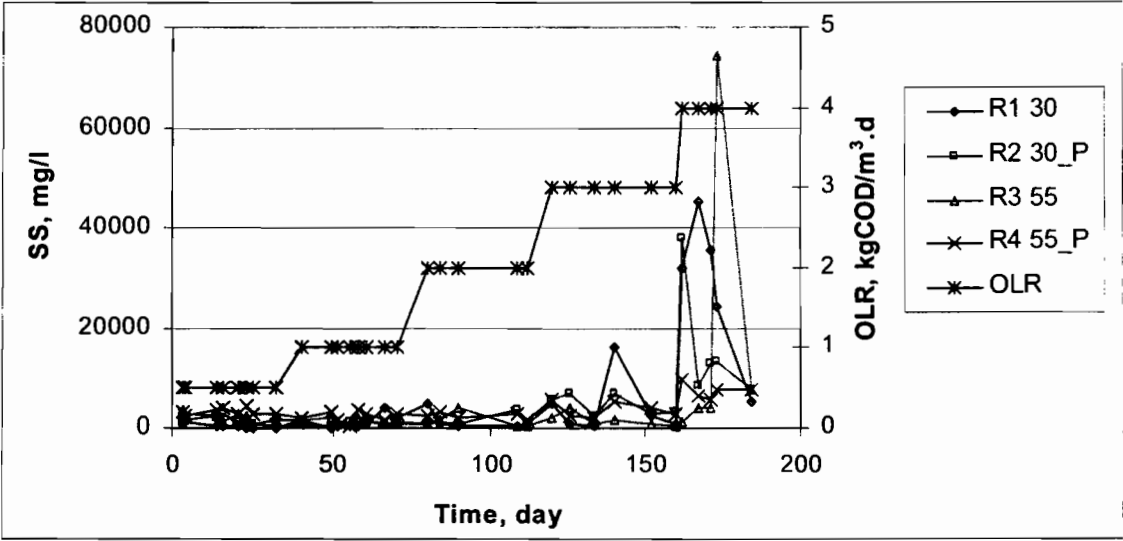
ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	COD : N : P เข้าระบบ			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4
1.0	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9
2.0	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5
3.0	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3
4.0	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3

ตารางที่ 4.5 ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปและที่เหลืออยู่ในน้ำออกที่การระสารอินทรีย์ต่างๆ

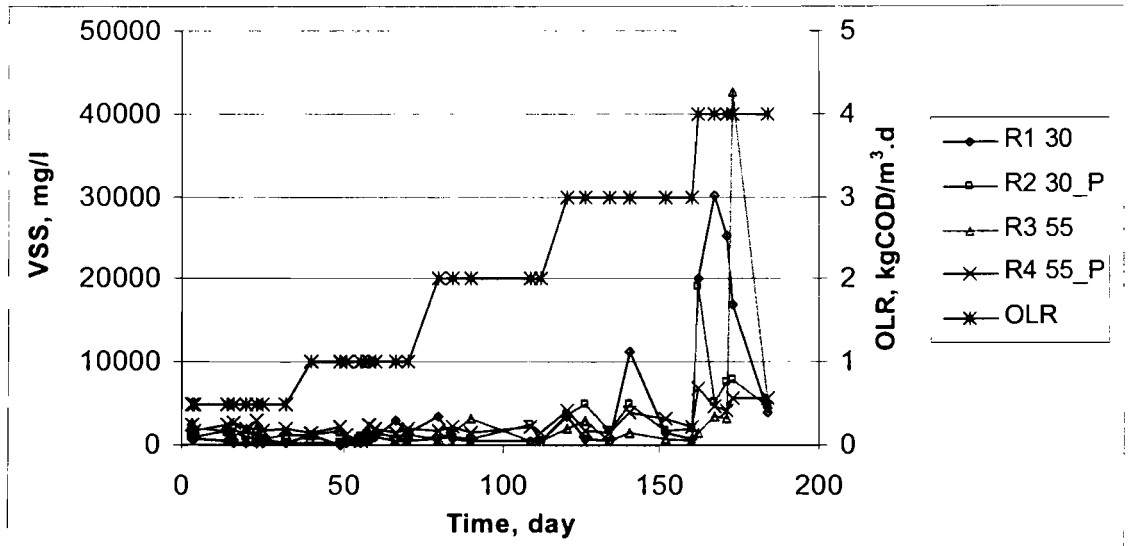
ถังปฏิกรณ์	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ค่าไนโตรเจน (mgN/l)			ค่าฟอสฟอรัส (mgP/l)		
		ที่เข้า ระบบ	ที่ถูก ใช้ไป	ที่เหลือ	ที่เข้า ระบบ	ที่ถูก ใช้ไป	ที่เหลือ
R1 30	0.5	325	151	174	47	13	34
R2 30_P		325	118	207	47	13	34
R3 55		325	153	172	47	25	22
R4 55_P		325	111	214	47	28	19
R1 30	1.0	404	170	234	53	21	32
R2 30_P		404	144	260	53	19	34
R3 55		404	201	203	53	35	18
R4 55_P		404	171	233	53	33	20
R1 30	2.0	432	276	156	66	33	33
R2 30_P		432	195	237	66	31	35
R3 55		432	267	165	66	50	16
R4 55_P		432	187	245	66	48	18
R1 30	3.0	453	247	206	70	44	26
R2 30_P		453	127	326	70	38	32
R3 55		453	238	215	70	60	10
R4 55_P		453	120	333	70	52	18
R1 30	4.0	475	349	126	78	54	24
R2 30_P		475	236	239	78	50	28
R3 55		475	335	140	78	69	9
R4 55_P		475	215	260	78	61	17

4.4 ประสิทธิภาพในการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์

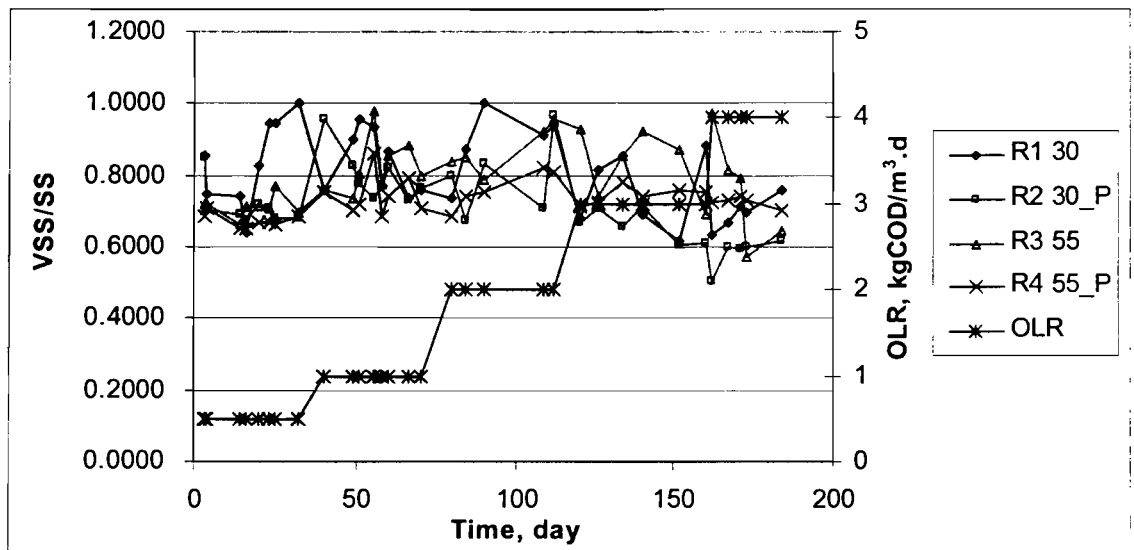
การกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบเป็นเรื่องที่สำคัญต่อระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกโดย พารามิเตอร์ที่เป็นตัวชี้วัดคือค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยกับค่าของแข็งแขวนลอยระเหย ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของแข็งที่เป็น สารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในของแข็งนั้น ประกอบด้วยทั้งเชื้อจุลินทรีย์และกากตะกอนปาล์มที่ยังไม่ย่อยสลาย โดยถ้าในถังปฏิกรณ์มีการหลุด ออกของตะกอนจุลินทรีย์มากก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดน้อยลงและอาจ เกิดการล้มเหลวของระบบได้ เนื่องจากว่าจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกนั้นมีอัตราการ เจริญเติบโตที่ช้ามาก นอกจากนั้นการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูงยังแสดงถึงการ ตกตะกอนในระบบที่ไม่ดีและส่งผลให้ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการกักเก็บตะกอนไว้ ในระบบจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย และค่าอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยกับค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (ตารางที่ ก.5 ภาคผนวก ก) แสดงดังในรูปที่ 4.7-4.9 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออกที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยและของแข็งแขวนลอยที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อพิจารณาที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5-2.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกของถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P ที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิเมโซฟิลิกนั้นมีความสามารถในการตกตะกอนดีกว่าถังปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P ที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก เนื่องจากว่าลักษณะของเชื้อตะกอนที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิกนั้นมีลักษณะเป็นฟlocsขนาดเล็ก ซึ่งไม่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เกิดการแขวนลอยอยู่ในน้ำ และหลังจากนั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 3.0-4.0 กิโลกรัมชีโอดี

ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าเมื่อมีการเติมสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นระบบเริ่มย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่ทันจึงทำให้ในช่วงการตกตะกอนนั้นยังคงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซอย่างต่อเนื่องจึงทำให้เกิดการยกตัวของชั้นตะกอนขึ้น ส่งผลให้เมื่อมีการระบายน้ำออกจากระบบจึงมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูงมาก ซึ่งมีผลทำให้ค่าซีไอดีในน้ำออกสูงตามไปด้วยและเมื่อพิจารณาค่าของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ (ตารางที่ ก.6 ภาคผนวก ก) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าสอดคล้องกับค่าของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ โดยในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5-2.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P จะมีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในถึงในปริมาณที่มากกว่าถังปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P เนื่องจากในน้ำออกมีของแข็งแขวนลอยหลุดออกไปจากระบบน้อยกว่า และเมื่อพิจารณาในด้านของการบำบัดเบื้องต้นพบว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 นั้นมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ที่สูงกว่าถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P เนื่องมาจากว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 นั้นป้อนกากตะกอนที่ไม่ได้มีการบำบัดเบื้องต้น ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ใช้เวลานานมากกว่า จึงทำให้กากตะกอนปาล์มบางส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทันในช่วงทำปฏิกิริยาจึงตกตะกอนและเกิดการสะสมในถังปฏิกรณ์ โดยเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 3.0-4.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าถังปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P มีปริมาณของแข็งแขวนลอย ในระบบที่สูงกว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P เนื่องจากว่าในถังปฏิกรณ์ทั้งสองนี้ประสบปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนทำให้เมื่อมีการระบายน้ำออกจึงมีการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์สูงซึ่งอาจประกอบด้วยทั้งตะกอนจุลินทรีย์, กากตะกอนปาล์มที่ยังไม่ย่อยสลาย และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์สูงจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบลดน้อยลงได้

ตารางที่ 4.6 ค่าของแข็งแวนลอย, ค่าของแข็งแวนลอยระเหย และค่าสัดส่วนของของแข็งแวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแวนลอย ที่ออกจากถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

พารามิเตอร์	ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ถังปฏิกรณ์			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
ของแข็งแวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	478	1506	2316	3248
	1.0	1621	399	1311	2288
	2.0	1973	767	1753	2080
	3.0	5967	5640	2040	3533
	4.0	34700	10900	39250	7133
ของแข็งแวนลอยระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	383	1075	1640	2176
	1.0	963	491	1152	1677
	2.0	1172	1088	1240	1832
	3.0	2993	3138	1360	2771
	4.0	19293	8933	11046	5426
ของแข็งแวนลอยระเหย ต่อของแข็งแวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	0.84	0.71	0.71	0.67
	1.0	0.84	0.80	0.82	0.75
	2.0	0.89	0.79	0.87	0.76
	3.0	0.76	0.66	0.83	0.75
	4.0	0.69	0.58	0.76	0.73

ตารางที่ 4.7 ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย และค่าสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอย ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

พารามิเตอร์	ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	19480	16640	17540	13800
	1.0	27233	22833	24200	16967
	2.0	44933	28600	38200	28400
	3.0	41050	50500	54450	53650
	4.0	41066	49383	73299	80333
ของแข็งแขวนลอยระเหย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	13740	11200	11780	8960
	1.0	19000	14466	16167	9800
	2.0	29600	17833	27200	18333
	3.0	26100	25250	33400	33500
	4.0	23549	24133	39616	40483
ของแข็งแขวนลอยระเหย ต่อของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.5	0.71	0.67	0.67	0.65
	1.0	0.70	0.63	0.67	0.58
	2.0	0.66	0.62	0.71	0.65
	3.0	0.64	0.50	0.61	0.62
	4.0	0.57	0.49	0.54	0.50

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าค่าของแขวนแข็งลอยระเหยมีค่าเป็นแนวโน้มเดียวกับค่าของแข็งแขวนลอย และจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่ของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากระบบนั้นส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยทั้งจุลินทรีย์และกากตะกอนปาล์มที่ไม่ถูกย่อยสลายตกค้างอยู่ในระบบ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่มีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 0.6-1.0 ดังนั้นถ้ามีการหลุดออกของของแข็งแขวนลอยมากก็จะทำให้ระบบสูญเสียจุลินทรีย์ออกจากระบบ และทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ซึ่งเมื่อมาพิจารณาค่าของแข็งแขวนลอยระเหยต่อค่าของแข็งแขวนลอยภายในถังปฏิกรณ์ดังตารางที่ 4.7 พบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ 4.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งแสดงว่าภายในถังปฏิกรณ์มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่เพียงครึ่งหนึ่งของตะกอนทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ซึ่งเป็นผลจากการสะสมของกากตะกอนปาล์มที่ไม่ย่อย

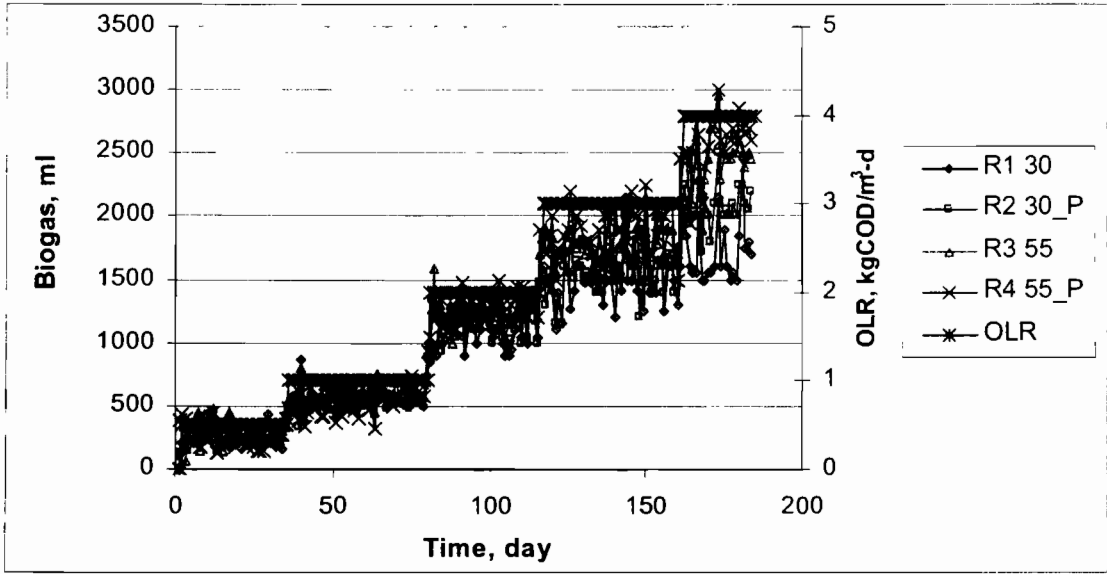
สลายซึ่งประกอบด้วยทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ตกค้างอยู่ในถังปฏิกรณ์เป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้ามีการเพิ่มอัตราภาระอินทรีย์ที่สูงขึ้นอาจต้องระวังในเรื่องของการเกิดการสะสมของกากตะกอนปาล์มในระบบที่สูงยิ่งขึ้นและอาจส่งผลให้ระบบไม่สามารถทำงานและผลิตก๊าซมีเทนได้

4.5 ประสิทธิภาพของระบบในการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มโดยระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์

เนื่องจากกากตะกอนปาล์มที่ใช้เป็นของเสียในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นของเสียที่ย่อยสลายได้ยาก เนื่องจากมีค่าซีโอดีละลายน้ำแค่ประมาณร้อยละ 22-23 ของซีโอดีทั้งหมด ดังนั้นในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบจึงพิจารณาจากการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นหลักแทนที่จะพิจารณาประสิทธิภาพของระบบจากการกำจัดซีโอดี เนื่องจากกากตะกอนปาล์มนั้นย่อยสลายยากซึ่งในขั้นตอนของการตกตะกอนกากตะกอนปาล์มที่ไม่ย่อยสลายจะตกตะกอนและสะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ ทำให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มากกว่าความสามารถของระบบที่ทำได้จริง

4.5.1 ก๊าซชีวภาพและร้อยละก๊าซมีเทน

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นนั้นจะแสดงถึงการกำจัดซีโอดีที่ถูกย่อยสลายไป โดยตลอดการทดลองนั้นได้ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (ตารางที่ ก.7 ภาคผนวก ก) แสดงดังในรูปที่ 4.10 ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องมาจากว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าระบบเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซชีวภาพได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเก็บก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์หาสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าถึงปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P มีค่าร้อยละมีเทนสูงสุดเท่ากับ 70 และ 73 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าของถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 ที่มีค่าร้อยละมีเทนสูงสุดเท่ากับ 61 และ 64 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P มีการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและทำให้ค่าพีเอชในระบบสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนลดลง [20] จึงทำให้ถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P นั้นอยู่ในสภาวะ Low hydrogen partial pressure มากกว่า ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับแบคทีเรียกลุ่ม acetogenesis ทำงานเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นกรดอะซิติก จึงทำให้โดยส่วนใหญ่ในถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P เกิดกรดอะซิติกขึ้นมากกว่าที่จะเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายตัวอื่นเช่น กรดโพรพิโอนิก, กรดบิวทิริก จึงส่งผลให้มีร้อยละมีเทนในก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55



รูปที่ 4.10 ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันที่ภาระอินทรีย์ต่างๆ

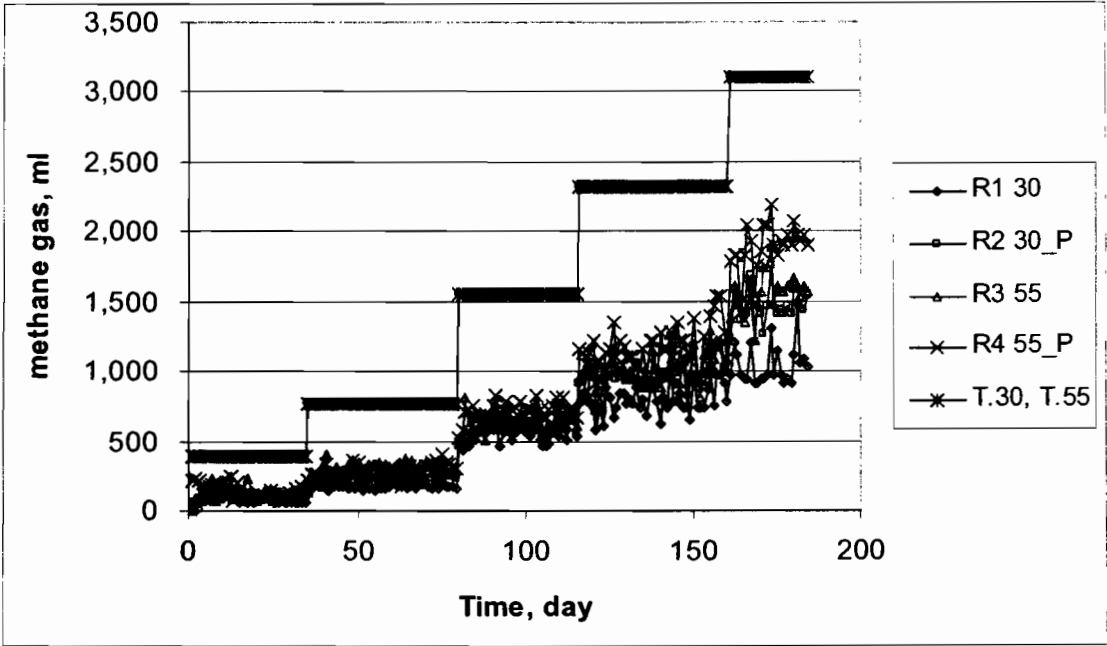
ตารางที่ 4.8 สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ร้อยละมีเทนในก๊าซชีวภาพ			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	32	46	51	55
1.0	32	46	51	55
2.0	51	55	51	56
3.0	52	62	56	61
4.0	61	70	64	73

4.5.1.1 การเปรียบเทียบผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันแสดงดังในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์มากขึ้นปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนก็เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนนั้นมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากในช่วงแรกของการเดินระบบอาจต้องมีการปรับตัวของเชื้อจุลินทรีย์ให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและสภาวะแวดล้อมใหม่แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์เป็น 1.0-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะพบว่าที่สภาวะเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส ถึงปฏิกรณ์ R2 30_P ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจะมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.737 ลิตรมีเทน

ต่อลิตรต่อวัน ซึ่งมากกว่าถึงปฏิกิริยาที่ R1 30 ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มซึ่งมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.529 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน และที่อุณหภูมิสถานะเทอร์โมฟิลิกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ถึงปฏิกิริยาที่ R4 55_P ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจะมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.968 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน ซึ่งมากกว่าถึงปฏิกิริยาที่ R3 55 ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มซึ่งมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.794 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และความร้อนนั้นมีส่วนช่วยทำให้กากตะกอนปาล์มที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเซลลูโลสผองตัว จึงทำให้เอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาสามารถเข้าไปย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสในกากตะกอนปาล์มได้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายกากตะกอนปาล์มเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้เร็วกว่าเลยส่งผลให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดนั้นสูงกว่า โดยเฉลี่ยประมาณ 0.191 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน



รูปที่ 4.11 ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนต่อวันที่ภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ตารางที่ 4.9 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรมีเทน/ลิตร/วัน)			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	0.036	0.052	0.064	0.060
1.0	0.089	0.124	0.153	0.167
2.0	0.284	0.311	0.318	0.358
3.0	0.429	0.516	0.548	0.634
4.0	0.529	0.737	0.794	0.968

4.5.1.2 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน

การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่สองสถานะคือสถานะเมโซฟิลิกที่อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส และสถานะเทอร์โมฟิลิกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.9 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าที่สถานะเทอร์โมฟิลิก ถึงปฏิกรณ์ที่ R3 55 และ R4 55_P มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.529 และ 0.737 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ที่ R1 30 และ R2 30_P มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.794 และ 0.968 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนที่อุณหภูมิสูงนั้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตและมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนที่อุณหภูมิต่ำปานกลาง [10],[21] จึงทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายกากตะกอนปาล์มเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้เร็วกว่า ส่งผลให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดนั้นสูงกว่า โดยเฉลี่ยประมาณ 0.248 ลิตรมีเทนต่อลิตรต่อวัน

4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ได้อย่างน่าเชื่อถือที่สุด เนื่องจากว่าสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการต่างๆและเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซชีวภาพ จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ประสิทธิภาพของระบบที่สถานะต่างๆ ยังคงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 19-33 เป็นผลมาจากว่าเป็นช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ และจุลินทรีย์ยังไม่คุ้นเคยกับน้ำเสียและสถานะต่างๆ จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ต่ำ แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์เริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสียและสถานะ

ต่างๆ มากขึ้นประกอบกับจำนวนของแฉ่งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นในระบบซึ่งประกอบด้วยทั้งตะกอน จุลินทรีย์และกากตะกอนปาล์มที่สะสมอยู่ในระบบที่มีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพในระบบเพิ่มสูงขึ้น โดยจากผลการทดลองพบว่าดังปฏิกิริยาทั้งสี่มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซ มีเทนสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 37, 47, 51 และ 62 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าดังปฏิกิริยา R4 55_P มี ประสิทธิภาพสูงสุดแสดงว่าทั้งการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนและโซเดียมไฮดรอกไซด์และสภาวะ อุณหภูมิสูงมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนให้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	19	27	33	31
1.0	23	32	39	43
2.0	37	40	41	46
3.0	37	44	47	54
4.0	34	47	51	62

4.5.3 ชีโอดี

พารามิเตอร์หนึ่งที่บ่งบอกความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบก็คือค่าชีโอดีซึ่งสามารถ บอกรความสามารถของระบบได้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นเนื่องจากว่าของเสียที่เข้าระบบมีลักษณะเป็น ตะกอนที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้ในขั้นตอนการตกตะกอนมีสารอินทรีย์บางส่วนที่ไม่ย่อยสลาย ตกตะกอนสะสมอยู่ในถังปฏิกิริยาทำให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ได้มีค่าสูงมากกว่าปกติ ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าชีโอดีในน้ำออกจากกระบบในรูปของค่าชีโอดีละลายน้ำ (ตารางที่ ก.8 ภาคผนวก ก) โดยจากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงค่า ชีโอดีในน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งสอดคล้องกับค่าของแฉ่งแขวนลอยที่ออกจากกระบบดัง แสดงในตารางที่ 4.6 โดยเมื่อนำค่าชีโอดีไปคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์พบว่าที่อัตรา ภาระสารอินทรีย์ 1.0-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ มากกว่าร้อยละ 90 ของทั้งสี่ถังปฏิกิริยา ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ซึ่งประสิทธิภาพของระบบที่คิดได้ นั้นสูงมากกว่าความเป็นจริงเนื่องจากว่าค่าประสิทธิภาพที่คิดได้นั้นมาจากความสามารถในการย่อย สลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์และของการตกตะกอนทางฟิสิกส์ของกากตะกอนปาล์มที่ยังไม่ถูกย่อย สลายด้วยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเข้าและน้ำออกที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าชีโอดีที่เข้าระบบ (มก./ล.)	ค่าชีโอดีที่ออกจากระบบ (มก./ล.)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	5000	415	516	539	732
1.0	10000	247	689	404	851
2.0	20000	327	907	604	1063
3.0	30000	453	1343	797	1597
4.0	40000	469	1524	907	2178

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	%ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	92	90	89	85
1.0	97	93	96	91
2.0	98	95	97	94
3.0	99	96	97	95
4.0	99	96	98	94

ตารางที่ 4.13 ยี่ลค์ของการผลิตก๊าซมีเทนของแต่ละดั่งปฏิกรณ์

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ยี่ลค์ของการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรมีเทน/กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	0.079	0.115	0.143	0.140
1.0	0.091	0.133	0.159	0.183
2.0	0.144	0.163	0.164	0.189
3.0	0.145	0.180	0.188	0.223
4.0	0.134	0.192	0.203	0.256

โดยเมื่อนำค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดมาคิดเป็นยี่ลด์ของการผลิตก๊าซมีเทนดังตารางที่ 4.13 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้น ยี่ลด์ของการผลิตก๊าซมีเทนก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงว่าระบบมีความสามารถในการย่อยสลายกากตะกอนปาล์มไปเป็นก๊าซมีเทนได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ โดยทั้งสี่ถังปฏิกรณ์มีค่ายี่ลด์ของการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.145, 0.192, 0.203 และ 0.256 ตามลำดับ และเมื่อนำมาเทียบกับค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนพบว่ามีความสอดคล้องกันคือเท่ากับร้อยละ 37, 49, 52 และ 66 แสดงว่าถังปฏิกรณ์ R4 55_P มีความสามารถในการย่อยสลายกากตะกอนปาล์มไปเป็นก๊าซมีเทนสูงสุด

4.6 คุณภาพตะกอนจุลินทรีย์

ค่าความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทน(เอสเอ็มเอ) นั้นสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบซึ่งเป็นองค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งที่จะบอกประสิทธิภาพของระบบ นอกจากปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ โดยปริมาณและคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์แสดงดังในตารางที่ 4.14 โดยตอนเริ่มต้นการทดลองมีเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบเท่ากับ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (20 กรัมวีเอสเอส) หลังจากนั้นเมื่อดำเนินการทดลองเป็นเวลา 184 วัน พบว่าในแต่ละถังปฏิกรณ์มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นสูงขึ้นมาก โดยทั้งสี่ถังปฏิกรณ์มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 47, 48, 79 และ 80 กรัมวีเอสเอส ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์มีการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์เพิ่มปริมาณและเนื่องมาจากตลอดระยะเวลาที่มีการเดินระบบไม่มีการระบายตะกอนที่สะสมอยู่ภายในระบบออกเลย ทำให้กากตะกอนปาล์มบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายนั้นสะสมอยู่ภายในถังปฏิกรณ์และปะปนอยู่กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำงานผลิตก๊าซชีวภาพในระบบ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณตะกอนในถังปฏิกรณ์พบว่าถังปฏิกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกนั้นมีปริมาณสูงกว่าถังปฏิกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะเมโซฟิลิก ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากตะกอนจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าและมีลักษณะเป็นฟลอคขนาดเล็กจึงทำให้ในขั้นตอนการตกตะกอนจุลินทรีย์มีการเรียงตัวที่หนาแน่นกว่าจึงมีการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่า โดยเมื่อทำการทดสอบคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งของเสียที่นำมาใช้ในการทดสอบคุณภาพคือกรดอะซิติกและกากตะกอนปาล์ม และทำการวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจนเข้าสู่สภาวะคงที่ หลังจากนั้นนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่ได้ไปหาสัดส่วนของก๊าซมีเทน โดยเครื่อง Gas Chromatography โดยจากผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ ก.9 ภาคผนวก ก) แสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า การทดสอบคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งของคาร์บอน มีค่าความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าการทดสอบคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้กากตะกอนปาล์มเป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งเป็นผลมาจากกากตะกอนปาล์มนั้นจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นกรดอะซิติกแล้วจึงย่อยสลายกรดอะซิติกไปเป็นก๊าซมีเทนในขณะที่การทดสอบคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งของคาร์บอน

นั้นจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายกรดอะซิติกแล้วเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้โดยตรงจึงทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สูงกว่าการใช้กากตะกอนปาล์มเป็นแหล่งคาร์บอน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์พบว่าที่อุณหภูมิสูงที่ 55 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าเอสเอ็มเอสสูงสุดเท่ากับ 0.210 และ 0.213 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ซึ่งมากกว่าที่อุณหภูมิปานกลางที่ 30 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเอสเอ็มเอสเท่ากับ 0.159 และ 0.206 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน และเมื่อเปรียบเทียบในด้านของการบำบัดเบื้องต้นพบว่าคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ที่ R2 30_P และ R4 55_P ที่ป้อนกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ที่สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ป้อนกากตะกอนปาล์ม

ตารางที่ 4.14 ปริมาณและคุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์	ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ ในถังปฏิกรณ์ (gVSS)	SMA (gCOD/gVSS-d)	
		Acetic Acid	Decanterd Cake
R1 30	47.098	0.159	0.101
R1 30_P	48.266	0.206	0.153
R2 55	79.232	0.210	0.184
R2 55_P	80.966	0.213	0.186

ตารางที่ 4.15 คุณภาพของตะกอนจุลินทรีย์ก่อนและหลังการทดลอง

ถังปฏิกรณ์	SMA (gCOD/gVSS-d)	
	Acetic Acid	
	ตอนเริ่มการทดลอง	ตอนสิ้นสุดการทดลอง
R1 30	0.108	0.159
R2 30_P	0.108	0.206
R3 55	0.104	0.210
R4 55_P	0.104	0.213

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ตอนเริ่มต้นการทดลอง และคุณภาพตะกอนจุลินทรีย์ตอนสิ้นสุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งสารอินทรีย์

พบว่าตอนเริ่มต้นการทดลองตะกอนจุลินทรีย์คุณภาพเท่ากับ 0.108 และ 0.104 กรัมซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ที่อุณหภูมิ 30 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นการทดลองมีความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนของทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน และหลังจากนั้นเมื่อดำเนินการทดลองมาเป็นระยะเวลา 184 วันโดยมีการป้อนกากตะกอนปาล์มและกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วยไฮโดรอกไซด์และความร้อนพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ของทุกถังปฏิกรณ์มีความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้นโดยมีค่าเท่ากับ 0.159 และ 0.206 กรัมซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวันของอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และเท่ากับ 0.210 และ 0.213 กรัมซีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวันของที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แสดงว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละถังปฏิกรณ์มีคุณภาพเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนได้ดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนของภายในระบบที่ทำการทดลองดังตารางที่ 4.10 พบว่าในช่วงท้ายการทดลองมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเมื่อเทียบช่วงแรกของการทดลอง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณตะกอนเชื้อจุลินทรีย์และความสามารถจำเพาะของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากตอนเริ่มต้นเดินระบบ

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ด้วยระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ ช่วงอุณหภูมิที่เดินระบบคือที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิสูง 55 องศาเซลเซียส การเดินระบบเริ่มทำที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5-4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อพิจารณาในเรื่องของประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนของทั้งสี่ถังปฏิกรณ์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีมากกว่าร้อยละ 80

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนพบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 4.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนสูงสุดโดยถังปฏิกรณ์ R3 55 และ R4 55_P ควบคุมที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 51 และ 62 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R2 30_P ที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 34 และ 47 ตามลำดับ แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน โดยที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอุณหภูมิปานกลางโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 16

เมื่อพิจารณาผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยความร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (2 ชั่วโมง) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2 วัน) พบว่าถังปฏิกรณ์ R2 30_P และ R4 55_P ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการบำบัดนั้นมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนสูงกว่าถังปฏิกรณ์ R1 30 และ R3 55 ที่ป้อนกากตะกอนปาล์มที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแสดงว่าการบำบัดเบื้องต้นมีส่วนช่วยให้สารอินทรีย์พวกเส้นใยเซลลูโลสผองตัวจึงทำให้กากตะกอนปาล์มย่อยสลายได้ง่ายขึ้นด้วยระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ทำให้สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้เพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12

ความสามารถจำเพาะของแบคทีเรียสร้างมีเทน (SMA) ของตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองตะกอนจุลินทรีย์มีค่าความสามารถจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นจากตอนเริ่มต้นการทดลองโดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเอสเอ็มเอ ตอนสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 0.159 และ 0.206 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.108 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ส่วนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีค่าเอสเอ็มเอ ตอนสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 0.210 และ 0.213 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.104 กรัมชีโอดีต่อกรัมวีเอสเอสต่อวัน โดยพบว่าที่อุณหภูมิสูงตะกอนจุลินทรีย์มีคุณภาพเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิปานกลาง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. กากตะกอนปาล์มที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีความสามารถในการย่อยสลายด้วยระบบชีวภาพค่อนข้างยาก ดังนั้นเมื่อทำการเดินระบบที่อัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงมากขึ้นจะพบว่าการสะสมของกากตะกอนปาล์มที่ไม่ย่อยสลายอยู่ภายในถังปฏิกรณ์เป็นจำนวนมากซึ่งอาจจะไปขัดขวางการกวนผสมของจุลินทรีย์และกากตะกอนปาล์มในระบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบน้อยกว่าความเป็นจริงได้ ดังนั้นจึงควรมีการระบายตะกอนออกส่วนหนึ่งเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล
2. การทำการทดลองเดินระบบอาจต้องใช้ระยะเวลานานกว่านี้เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนนั้นมีการเจริญเติบโตได้ช้ามาก การเดินระบบเพียงแค่ 6 เดือน จึงอาจยังไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่แท้จริงของระบบที่สามารถทำได้ในการกำจัดสารอินทรีย์และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน
3. การบำบัดเบื้องต้น การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และเพิ่มเวลาการบำบัดที่มากขึ้น อาจมีส่วนช่วยให้กากตะกอนปาล์มนั้นย่อยสลายได้ง่ายขึ้นและทำให้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่ผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2549. คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน, พิมพ์ครั้งที่ 1. มติชน. กรุงเทพฯ. หน้า 10-352.
2. ชีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน, พิมพ์ครั้งที่ 2. ม.ป.พ., กรุงเทพฯ, หน้า 16-59.
3. Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapple, M. and Ladisch, M.. 2005, "Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass", **Bioresource Technology**, Vol. 96, No.6, pp. 673-686.
4. Mailin Misson, 2009, "Pretreatment of empty palm fruit bunch for production of chemicals via catalytic pyrolysis", **Bioresource Technology**, Vol. 100, No.11, pp. 2867-2873.
5. มั่นสิน ตันจุลเวศม์, 2546, คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 1-12.
6. Sam-Soon ,Palns et al, 1987, "Hypothesis for Pelletisation in the Upflow Sludge Bed Reactor", **Water SA**, Vol. 13, No. 2, pp. 69-80.
7. Madigan, T.M., Martinko, J.M. and Parker, J., 1997, **Brock Biology of Microorganisms**, 8th ed., Prentice Hall International, USA, pp.34-63.
8. Rittmann, B.E and McCarty, P.L., 2001, "**Environmental Biotechnology: Principles and Applications**", McGraw-Hill International Editions, pp.45-67.
9. McCarty, P.L., 1964, **Anaerobic waste treatment fundamentals**, Part iii. Toxic Materials and their Control. Public Works, pp.53-69.
10. Speece, R.E., 1996, **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**, Archae Press, Nashville, Tennessee, p. 29.

11. Borja. R. and Banler, C.J., 1994, "Treatment of palm oil mill effluents by upflow anaerobic filtration", **Bioresource Technology**, Vol. 61. No.2. pp. 103-109.
12. Richard M. Dinsdale, 1997, "Comparison of mesophilic and thermophilic upflow anaerobic sludge blanket reactors treating instant coffee production wastewater", **Pergamon**, Vol.31, No.1, pp. 163-169.
13. Fun C. W et al, 2007, "Treatment of palm oil mill effluent using biological sequencing batch reactor", **River Basin Management IV**, Vol.104, pp. 511-518.
14. Wanna Choorit, 2007, "Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent", **Journal of Biotechnology**, Vol.10, No.3, pp. 376-385.
15. Mailin Misson, 2009, "Pretreatment of empty palm fruit bunch for production of chemicals via catalytic pyrolysis", **Bioresource Technology**, Vol.100, No.11, pp. 2867-2873.
16. Zheng M, Li X, Li L, Yang X, He Y, 2009, "Enhancing anaerobic biogasification of corn stover through wet state NaOH pretreatment", **Bioresource Technology**, Vol.100, No.21, pp. 5140-5145.
17. Lin et al., 2009 Y.Q. Lin, D.H. Wang, S.Q. Wu and C.M. Wang, "Alkali pretreatment enhances biogas production in the anaerobic digestion of pulp and paper sludge", **Journal of Hazardous Materials**, Vol.170, No.1, pp. 366-373.
18. APHA, AWWA and WEF, 1998, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th ed., pp. 15-874.
19. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, **วิศวกรรมกรรมการก่ำน้เสีย**, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 352-353.
20. Herbert H.P. Fang, Hong Liu, 2002, "Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture", **Bioresource Technology**, Vol.82, No.1, pp.87-93.

21. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.2546. “คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเล่ม 1”. กรุงเทพฯ, หน้า 7-9.

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยา

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
1	30	30	55	55
2	30.5	30.5	55	55
3	31	31	55	55
4	30	30	55	55
5	30	30	55	55
6	-	-	55	55
7	-	-	55	55
8	30	30	55	55
9	30	30	55	55
10	29.5	29.5	55	55
11	31	31	55	55
12	30	30	55	55
13	30	30	55	55
14	31	31	55	55
15	31	31	55	55
16	-	-	55	55
17	-	-	55	55
18	-	-	55	55
19	30	30	55	55
20	30	30	55	55
21	30.5	30.5	55	55

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
22	31	31	55	55
23	32	32	55	55
24	31	31	55	55
25	30.5	30.5	55	55
26	30.5	30.5	55	55
27	30	30	55	55
28	-	-	55	55
29	-	-	55	55
30	30	30	55	55
31	30.5	30.5	55	55
32	31	31	55	55
33	30	30	55	55
34	-	-	55	55
35	30	30	55	55
36	30.5	30.5	55	55
37	-	-	55	55
38	-	-	55	55
39	30.5	30.5	55	55
40	31	31	55	55
41	30	30	55	55
42	-	-	55	55

หมายเหตุ: (-) ไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยา (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
43	30.5	30.5	55	55
44	30	30	55	55
45	31	31	55	55
46	30	30	55	55
47	30.5	30.5	55	55
48	30	30	55	55
49	30	30	55	55
50	-	-	55	55
51	-	-	55	55
52	31	31	55	55
53	30.5	30.5	55	55
54	-	-	55	55
55	-	-	55	55
56	31	32	55	55
57	-	-	55	55
58	30.5	30.5	55	55
59	30	30	55	55
60	-	-	55	55
61	31	31	55	55
62	30.5	30.5	55	55
63	30	30	55	55

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
64	-	-	55	55
65	30	30	55	55
66	30.5	30.5	55	55
67	-	-	55	55
68	31	31	55	55
69	31	31	55	55
70	30.5	30.5	55	55
71	30	30	55	55
72	-	-	55	55
73	30	30	55	55
74	30	30	55	55
75	30.5	30.5	55	55
76	-	-	55	55
77	30	30	55	55
78	30	30	55	55
79	30.5	30.5	55	55
80	30.5	30.5	55	55
81	30.5	30.5	55	55
82	31	31	55	55
83	30	30	55	55
84	29.5	29.5	55	55

หมายเหตุ: (-) ไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยา (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
85	29	29	55	55
86	29.5	29.5	55	55
87	30	30	55	55
88	29.5	29.5	55	55
89	30.5	30.5	55	55
90	29	29	55	55
91	30	30	55	55
92	30.5	30.5	55	55
93	30	30	55	55
94	-	-	55	55
95	-	-	55	55
96	30	31	55	55
97	-	-	55	55
98	30.5	30.5	55	55
99	30	30	55	55
100	30	30	55	55
101	-	-	55	55
102	30	30	55	55
103	31	31	55	55
104	-	-	55	55
105	30	31	55	55

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
106	30	30	55	55
107	30	30	55	55
108	30.5	30.5	55	55
109	-	-	55	55
110	-	-	55	55
111	30	31	55	55
112	-	-	55	55
113	-	-	55	55
114	30.5	30.5	55	55
115	30.5	30.5	55	55
116	30	30	55	55
117	-	-	55	55
118	-	-	55	55
119	30.5	31.5	55	55
120	-	-	55	55
121	-	-	55	55
122	30.5	30.5	55	55
123	31	31	55	55
124	31	31	55	55
125	30.5	30.5	55	55
126	-	-	55	55

หมายเหตุ: (-) ไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกริยา (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
127	30	30	55	55
128	30	30	55	55
129	29.5	29.5	55	55
130	-	-	55	55
131	-	-	55	55
132	-	-	55	55
133	29.5	29.5	55	55
134	29	29	55	55
135	-	-	55	55
136	30	30	55	55
137	30	30	55	55
138	30.5	30.5	55	55
139	-	-	55	55
140	-	-	55	55
141	30	30	55	55
142	30.5	30.5	55	55
143	31	31	55	55
144	-	-	55	55
145	-	-	55	55
146	30	30	55	55
147	31	31	55	55

วันที่ทำ การ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
148	30	30	55	55
149	30.5	30.5	55	55
150	-	-	55	55
151	31	31	55	55
152	-	-	55	55
153	-	-	55	55
154	-	-	55	55
155	30.5	30.5	55	55
156	30	30	55	55
157	30.5	30.5	55	55
158	30.5	30.5	55	55
159	-	-	55	55
160	31	31	55	55
161	31	31	55	55
162	30.5	30.5	55	55
163	-	-	55	55
164	-	-	55	55
165	30.5	30.5	55	55
166	30.5	30.5	55	55
167	29.5	29.5	55	55
168	30	30	55	55

หมายเหตุ: (-) ไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกิริยา (ต่อ)

วันที่ทำการ ทดลอง	อุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกิริยา			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
169	30	30	55	55
170	30	30	55	55
171	30.5	30.5	55	55
172	-	-	55	55
173	-	-	55	55
174	30	30	55	55
175	30	30	55	55
176	-	-	55	55
177	-	-	55	55
178	-	-	55	55
179	30	30	55	55
180	30.5	30.5	55	55
181	30.5	30.5	55	55
182	-	-	55	55
183	30	30	55	55
184	30	30	55	55

หมายเหตุ: (-) ไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
1	7.33	7.34	7.42	7.43
2	7.26	7.32	7.40	7.30
3	7.42	7.52	7.57	7.49
4	7.46	7.53	7.54	7.50
5	7.31	7.41	7.37	7.34
6	7.11	7.13	7.19	7.11
7	7.05	7.09	7.28	7.21
8	7.00	7.03	7.14	7.05
9	7.01	7.06	7.17	7.17
10	6.97	7.04	7.12	7.11
11	7.03	7.05	7.13	7.09
12	7.05	7.03	7.22	7.21
13	7.03	7.06	7.17	7.18
14	7.27	7.37	7.42	7.56
15	7.17	7.15	7.43	7.49
16	7.43	7.51	7.66	7.69
17	7.14	7.29	7.33	7.43
18	7.31	7.37	7.50	7.58
19	7.47	7.61	7.72	7.82
20	7.23	7.36	7.48	7.61
21	7.22	7.41	7.45	7.59

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
22	7.17	7.36	7.44	7.64
23	7.09	7.38	7.28	7.47
24	7.09	7.38	7.28	7.51
25	7.04	7.28	7.16	7.41
26	7.01	7.32	7.14	7.34
27	7.00	7.22	7.34	7.04
28	7.00	7.22	7.34	7.04
29	7.15	7.57	7.46	7.84
30	6.82	7.22	6.95	7.32
31	6.80	7.17	6.94	7.33
32	6.82	7.22	6.95	7.28
33	6.83	7.22	7.03	7.26
34	7.25	7.66	7.60	7.68
35	6.89	7.17	7.05	7.34
36	6.82	7.19	7.05	7.27
37	6.82	7.11	7.04	7.27
38	6.82	7.10	6.95	7.24
39	6.81	6.94	7.08	7.26
40	6.82	7.03	7.28	7.40
41	6.86	6.95	7.17	7.26
42	7.06	7.22	7.34	7.52

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
43	6.94	7.17	7.35	7.65
44	6.90	7.16	7.13	7.50
45	7.16	7.38	7.43	7.79
46	7.08	7.38	7.30	7.65
47	7.14	7.43	7.44	7.89
48	6.95	7.18	7.17	7.56
49	7.09	7.35	7.36	7.60
50	7.17	7.48	7.50	7.75
51	7.19	7.46	7.38	7.57
52	6.97	7.30	7.18	7.45
53	6.99	7.33	7.17	7.40
54	6.94	7.30	7.21	7.60
55	6.90	7.26	7.21	7.45
56	6.92	7.26	7.11	7.40
57	6.92	7.25	7.26	7.50
58	7.04	7.25	7.26	7.52
59	6.91	7.26	7.24	7.52
60	7.00	7.33	7.24	7.52
61	7.09	7.46	7.60	7.87
62	6.99	7.32	7.31	7.65
63	6.96	7.33	7.26	7.63

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
64	6.93	7.39	7.34	7.68
65	6.99	7.35	7.23	7.62
66	6.98	7.43	7.30	7.67
67	6.96	7.38	7.26	7.57
68	6.99	7.38	7.30	7.66
69	7.01	7.41	7.39	7.72
70	7.06	7.45	7.33	7.72
71	7.03	7.41	7.42	7.66
72	6.94	7.28	7.25	7.58
73	7.01	7.33	7.23	7.55
74	6.87	7.22	7.12	7.46
75	6.93	7.31	7.24	7.60
76	6.99	7.36	7.26	7.62
77	7.04	7.34	7.27	7.81
78	7.04	7.36	7.30	7.56
79	7.04	7.38	7.30	7.60
80	6.98	7.36	7.29	7.61
81	6.92	7.29	7.30	7.61
82	6.97	7.30	7.17	7.46
83	7.00	7.31	7.53	7.72
84	6.93	7.16	7.16	7.40

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
85	7.01	7.20	7.30	7.48
86	7.09	7.31	7.36	7.55
87	7.02	7.22	7.31	7.47
88	6.96	7.17	7.28	7.44
89	6.87	7.13	7.16	7.50
90	6.99	7.20	7.25	7.46
91	6.96	7.14	7.27	7.46
92	7.01	7.20	7.33	7.55
93	6.94	7.12	7.35	7.59
94	6.97	7.14	7.32	7.45
95	7.02	7.22	7.34	7.53
96	7.04	7.21	7.41	7.59
97	7.00	7.16	7.26	7.46
98	6.93	7.19	7.27	7.43
99	6.97	7.10	7.31	7.47
100	7.02	7.14	7.33	7.54
101	6.93	7.19	7.27	7.43
102	6.96	7.20	7.36	7.54
103	7.02	7.22	7.30	7.50
104	6.96	7.17	7.31	7.49
105	6.93	7.25	7.31	7.46

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
106	7.14	7.48	7.50	7.74
107	7.21	7.44	7.46	7.70
108	6.89	7.21	7.24	7.49
109	7.20	7.44	7.56	7.73
110	7.28	7.52	7.62	7.81
111	7.11	7.42	7.33	7.63
112	7.36	7.59	7.70	7.92
113	7.16	7.43	7.68	7.87
114	7.39	7.63	7.68	7.88
115	7.16	7.43	7.68	7.80
116	7.28	7.58	7.65	7.90
117	7.29	7.54	7.65	7.90
118	7.34	7.58	7.72	7.91
119	7.29	7.54	7.68	7.94
120	7.30	7.56	7.66	7.92
121	7.17	7.25	7.50	7.67
122	7.05	7.27	7.44	7.70
123	7.12	7.38	7.53	7.73
124	7.05	7.40	7.54	7.85
125	7.04	7.39	7.52	7.76
126	7.09	7.33	7.40	7.60

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
127	7.04	7.35	7.51	7.72
128	7.05	7.21	7.31	7.67
129	7.10	7.44	7.55	7.73
130	7.12	7.38	7.47	7.75
131	7.13	7.44	7.55	7.74
132	7.02	7.33	7.56	7.78
133	7.03	7.31	7.52	7.76
134	7.04	7.28	7.39	7.69
135	6.96	7.32	7.30	7.69
136	7.02	7.30	7.35	7.70
137	7.06	7.43	7.43	7.83
138	7.03	7.32	7.41	7.80
139	7.05	7.40	7.42	7.80
140	7.03	7.46	7.41	7.80
141	7.05	7.46	7.32	7.75
142	7.02	7.47	7.39	7.93
143	7.14	7.52	7.32	7.83
144	7.12	7.52	7.43	7.78
145	7.08	7.57	7.37	7.83
146	7.15	7.60	7.45	7.84
147	7.08	7.49	7.49	7.80

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
148	7.11	7.50	7.48	7.79
149	7.04	7.58	7.41	7.80
150	7.02	7.49	7.42	7.79
151	7.07	7.53	7.43	7.87
152	7.21	7.60	7.59	7.85
153	7.10	7.59	7.61	7.99
154	7.24	7.71	7.61	7.99
155	7.26	7.66	7.51	7.90
156	7.13	7.68	7.50	7.88
157	7.09	7.47	7.58	7.96
158	7.10	7.53	7.54	7.91
159	7.21	7.59	7.56	7.84
160	7.27	7.64	7.59	7.93
161	7.15	7.55	7.57	7.93
162	7.08	7.50	7.55	7.88
163	7.11	7.53	7.58	7.86
164	7.10	7.52	7.54	7.85
165	7.21	7.54	7.52	7.84
166	7.04	7.36	7.42	7.74
167	7.17	7.51	7.58	7.88
168	7.19	7.54	7.55	7.83

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่าพีเอชในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	พีเอชของน้ำในถังปฏิกรณ์			
	R1	R2	R3	R4
	30	30_P	55	55_P
169	7.13	7.46	7.48	7.82
170	7.15	7.48	7.48	7.80
171	7.17	7.47	7.47	7.72
172	7.08	7.36	7.34	7.65
173	7.00	7.24	7.18	7.55
174	7.12	7.49	7.38	7.72
175	7.10	7.43	7.40	7.70
176	7.15	7.38	7.41	7.71
177	7.12	7.45	7.39	7.74
178	7.12	7.49	7.38	7.72
179	7.13	7.48	7.41	7.71
180	7.10	7.49	7.40	7.70
181	7.05	7.48	7.38	7.68
182	7.13	7.47	7.43	7.73
183	7.15	7.43	7.40	7.74
184	7.06	7.45	7.44	7.76

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างวีโอเฟและค่าความเป็นด่างทั้งหมด

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Alkalinity (mg/l)				VFA (mg/l)				VFA/Alk			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
2	0.5	2874	2263	2742	1974	190	162	336	303	0.066	0.071	0.122	0.153
4	0.5	3250	2463	3125	2042	185	190	426	415	0.057	0.077	0.136	0.203
14	0.5	4175	4083	3729	3867	149	205	164	287	0.036	0.050	0.044	0.074
19	0.5	5012	5371	5040	4818	177	234	286	359	0.035	0.044	0.057	0.075
21	0.5	4500	4806	4677	4484	92	138	231	303	0.021	0.029	0.049	0.067
25	0.5	3306	3887	3177	3581	93	88	134	242	0.028	0.023	0.042	0.068
27	0.5	2677	3484	2815	3242	96	152	213	298	0.036	0.044	0.076	0.092
33	0.5	2203	2609	2281	2500	69	91	135	211	0.031	0.035	0.059	0.084
34	0.5	2706	3118	2939	3065	108	133	207	207	0.040	0.043	0.071	0.068
36	1.0	2357	2849	2437	2857	99	139	203	272	0.042	0.049	0.083	0.095
40	1.0	2828	2844	2641	2969	168	143	215	253	0.059	0.050	0.081	0.085
42	1.0	3094	3328	3016	3391	133	135	188	235	0.043	0.041	0.062	0.069

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างเฟอและค่าความเป็นด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Alkalinity (mg/l)				VFA (mg/l)				VFA/Alk			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
45	1.0	3125	4047	2844	4047	110	120	165	255	0.035	0.030	0.058	0.063
47	1.0	3297	4273	2938	4344	100	110	150	238	0.030	0.026	0.051	0.055
49	1.0	3422	4141	3250	4266	90	138	173	278	0.026	0.033	0.053	0.065
51	1.0	3594	4547	3227	4203	128	133	123	200	0.035	0.029	0.038	0.048
53	1.0	2906	4242	2742	4094	103	163	125	270	0.035	0.038	0.046	0.066
57	1.0	3397	4437	3119	4333	100	130	105	245	0.029	0.029	0.034	0.057
59	1.0	3317	4794	3317	4651	150	185	185	388	0.045	0.039	0.056	0.083
65	1.0	3240	4940	2680	4640	145	200	150	345	0.045	0.040	0.056	0.074
70	1.0	3380	5280	2840	4850	96	137	127	163	0.028	0.026	0.045	0.034
76	1.0	3380	5540	3090	5280	58	107	54	145	0.017	0.019	0.017	0.027
77	1.0	3340	5420	3100	5340	90	107	166	155	0.027	0.020	0.054	0.029
86	2.0	3260	5200	3020	5120	44	97	44	134	0.013	0.019	0.014	0.026

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างฟอสเฟตและค่าความเป็นด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Alkalinity (mg/l)				VFA (mg/l)				VFA/Alk			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
90	2.0	3020	4740	5800	4680	41	81	108	115	0.013	0.017	0.019	0.025
95	2.0	3180	5120	3120	5100	63	119	47	131	0.020	0.023	0.015	0.026
102	2.0	3240	5240	3260	5340	58	96	118	142	0.018	0.018	0.036	0.027
107	2.0	3120	5140	3160	5200	52	128	58	166	0.017	0.025	0.018	0.032
109	2.0	3120	5140	3100	5420	81	105	55	157	0.026	0.020	0.018	0.029
112	2.0	3460	5560	3320	5360	47	81	47	122	0.013	0.015	0.014	0.023
116	3.0	3380	5260	3140	5700	76	77	74	154	0.022	0.015	0.024	0.027
118	3.0	3340	5590	3140	6160	63	140	73	172	0.019	0.025	0.023	0.028
125	3.0	3240	5960	3240	6230	68	175	77	195	0.021	0.029	0.024	0.031
129	3.0	3240	5840	3360	5980	88	202	92	259	0.027	0.035	0.027	0.043
134	3.0	3622	6244	3367	6567	92	101	46	169	0.025	0.016	0.014	0.026
142	3.0	3725	8375	3650	8175	722	996	384	534	0.194	0.119	0.105	0.065

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างเฟอและค่าความเป็นด่างทั้งหมด (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Alkalinity (mg/l)				VFA (mg/l)				VFA/Alk			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
144	3.0	3625	8575	3575	8475	457	333	264	512	0.126	0.039	0.074	0.060
152	3.0	4450	8650	3500	9150	1109	395	178	729	0.249	0.046	0.051	0.080
167	4.0	5138	8463	4138	8475	986	370	176	519	0.192	0.044	0.043	0.061
171	4.0	4917	8686	4099	8552	1586	939	358	870	0.323	0.108	0.087	0.102
173	4.0	4587	8991	5209	8918	1093	1070	1465	842	0.238	0.119	0.281	0.094
178	4.0	4438	9688	5813	9313	420	1365	2190	920	0.095	0.141	0.377	0.099
184	4.0	3875	8125	4000	8375	390	715	505	950	0.101	0.088	0.126	0.113

ตารางที่ ก.4 อัตราส่วน COD:N:P ของน้ำเข้าและออกจากถังปฏิริยา ณ สภาวะคงตัว

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	COD : N : P ของน้ำเข้าถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4	150 : 10 :1.4
1.0	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9	150 : 6 : 0.9
2.0	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5	150 : 3 :0.5
3.0	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3	150 : 2 : 0.3
4.0	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3	150 :2 : 0.3

ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	COD : N : P ของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	150 : 63 : 12.3	150 : 60 : 9.8	150 : 48 : 6.0	150 : 44 : 3.8
1.0	150 : 142 : 19.4	150 : 57 : 7.3	150 : 75 : 6.8	150 : 41 : 3.6
2.0	150 : 71 : 15.2	150 : 39 : 5.8	150 : 41 : 3.9	150 : 35 : 2.6
3.0	150 : 68 : 8.7	150 : 36 : 3.5	150 : 40 : 1.9	150 : 31 : 1.7
4.0	150 : 40 : 7.7	150 : 24 : 2.7	150 : 23 : 1.5	150 : 18 : 1.2

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออก

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ของแข็งแขวนลอยที่ออกจากรังปฏิกิริยา (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยที่ออกจากรังปฏิกิริยา (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
3	0.5	980	1620	3700	3420	840	1380	2660	2340	0.857	0.852	0.719	0.684
4	0.5	1014	1500	2886	2257	757	1057	2071	1600	0.746	0.705	0.718	0.709
14	0.5	540	2440	2440	3700	400	1690	1620	2400	0.741	0.693	0.664	0.649
16	0.5	360	2750	1350	3970	230	1850	960	2590	0.639	0.673	0.711	0.652
20	0.5	400	1270	2870	2800	330	910	2040	1870	0.825	0.717	0.711	0.668
23	0.5	180	1070	2620	4370	170	760	1850	2930	0.944	0.710	0.706	0.670
25	0.5	190	930	920	2770	180	630	710	1830	0.947	0.677	0.772	0.661
32	0.5	160	470	1740	2700	160	320	1210	1850	1.000	0.681	0.695	0.685
40	1.0	1550	230	1670	2110	1180	220	1270	1590	0.761	0.957	0.760	0.754
49	1.0	100	230	2210	3240	90	190	1630	2280	0.900	0.826	0.738	0.704
51	1.0	230	360	660	1710	220	280	530	1230	0.957	0.778	0.803	0.719
55	1.0	300	1220	920	580	280	900	900	500	0.933	0.738	0.978	0.862

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออก (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ของแข็งแขวนลอยที่ออกจาทดปฏิบัติการ (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยที่ออกจาก ถังปฏิกริยา (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยต่อ ของแข็งแขวนลอย			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
58	1.0	570	390	1930	3550	440	300	1500	2440	0.772	0.769	0.777	0.687
60	1.0	1000	1300	1633	2700	866	1067	1400	2000	0.866	0.821	0.857	0.741
66	1.0	4133	616	983	1783	3050	450	867	1417	0.738	0.731	0.882	0.795
70	1.0	2080	680	1400	2780	1580	520	1120	1960	0.760	0.765	0.800	0.705
80	2.0	4760	880	740	2520	3500	700	620	1720	0.735	0.795	0.838	0.683
84	2.0	940	1400	1720	3140	820	940	1460	2320	0.872	0.671	0.849	0.739
90	2.0	520	820	4060	2040	520	680	3200	1540	1.000	0.829	0.788	0.755
109	2.0	460	3600	520	2700	420	2540	480	2220	0.913	0.706	0.923	0.822
112	2.0	640	600	460	1680	600	580	440	1360	0.938	0.967	0.957	0.810
120	3.0	4920	5640	2160	5760	3340	3760	2000	4120	0.679	0.667	0.926	0.715
126	3.0	760	6740	4040	2480	620	4785	3000	1800	0.816	0.710	0.743	0.726
134	3.0	560	2540	700	1900	480	1662	598	1480	0.857	0.654	0.854	0.779

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำออก (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ของแข็งแขวนลอยที่ออกจาล้างปฏิกิริยา (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยที่ออกจาล้างปฏิกิริยา (มก./ล.)				ของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
140	3.0	16300	6800	1500	5140	11280	4860	1380	3820	0.692	0.715	0.920	0.743
152	3.0	2433	2800	900	4166	1500	1700	784	3167	0.617	0.607	0.871	0.760
160	3.0	840	3380	580	2980	740	2060	400	2240	0.881	0.609	0.690	0.752
162	4.0	31867	37833	1400	9533	20133	19133	1366	6933	0.632	0.506	0.976	0.727
167	4.0	45200	8600	4100	6533	30233	5166	3333	4766	0.669	0.601	0.813	0.730
171	4.0	35700	12967	3866	5766	25366	7700	3066	4266	0.711	0.594	0.793	0.740
173	4.0	24200	13200	74400	7733	16833	7900	42533	5633	0.696	0.598	0.572	0.728
184	4.0	5133	7700	7667	7867	3900	4766	4933	5533	0.760	0.619	0.643	0.703

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ที่สภาวะคงตัว

OLR (kgCOD/m ³ -d)	ของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกริยา (มก./ล.)					ของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกริยา (มก./ล.)					ของแข็งแขวนลอยระเหยต่อ ของแข็งแขวนลอย			
	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
0.5	19480	16640	17540	13800		13740	11200	11780	8960		0.705	0.673	0.672	0.649
1.0	27233	22833	24200	16967		19000	14466	16167	9800		0.698	0.634	0.668	0.578
2.0	44933	28600	38200	28400		29600	17833	27200	18333		0.659	0.624	0.712	0.646
3.0	41050	50500	54450	53650		26100	25250	33400	33500		0.636	0.500	0.613	0.624
4.0	41066	49383	73299	80333		23549	24133	39616	40483		0.573	0.489	0.540	0.504

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
1	0.5	120	45	0	390	38	21	0	213	10	5	0	51
2	0.5	210	125	40	435	67	57	20	238	17	15	5	57
3	0.5	165	175	70	400	53	80	36	219	14	21	9	52
4	0.5	210	150	320	225	67	69	164	123	17	18	39	29
5	0.5	215	200	215	220	69	92	110	120	18	24	26	29
6	0.5	205	215	355	315	65	98	181	172	17	25	43	41
7	0.5	355	305	450	335	113	140	230	183	29	36	55	44
8	0.5	230	185	140	175	73	85	72	96	19	22	17	23
9	0.5	325	230	430	255	104	105	220	140	27	27	52	33
10	0.5	295	220	435	220	94	101	222	120	24	26	53	29
11	0.5	365	280	435	235	116	128	222	129	30	33	53	31
12	0.5	325	305	485	444	104	140	248	243	27	36	59	58

ตารางที่ ก.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
13	0.5	375	200	165	135	120	92	84	74	31	24	20	18
14	0.5	285	280	345	370	91	128	176	203	23	33	42	48
15	0.5	205	220	150	190	65	101	77	104	17	26	18	25
16	0.5	230	225	320	220	73	103	164	120	19	27	39	29
17	0.5	200	235	445	205	64	108	227	112	16	28	54	27
18	0.5	235	200	295	220	75	92	151	120	19	24	36	29
19	0.5	200	205	210	180	64	94	107	99	16	24	26	23
20	0.5	230	255	270	225	73	117	138	123	19	30	33	29
21	0.5	225	210	235	205	72	96	120	112	18	25	29	27
22	0.5	260	220	275	195	83	101	141	107	21	26	33	25
23	0.5	270	220	235	180	86	101	120	99	22	26	29	23
24	0.5	250	255	305	270	80	117	156	148	21	30	37	35

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
25	0.5	205	190	245	170	65	87	125	93	17	22	30	22
26	0.5	195	300	250	140	62	137	128	77	16	35	30	18
27	0.5	275	215	240	140	88	98	123	77	23	25	29	18
28	0.5	205	215	265	145	65	98	135	79	17	25	32	19
29	0.5	430	215	220	230	137	98	112	126	35	25	27	30
30	0.5	215	235	260	185	69	108	133	101	18	28	32	24
31	0.5	200	185	230	290	64	85	118	159	16	22	28	38
32	0.5	185	205	245	250	59	94	125	137	15	24	30	33
33	0.5	190	225	230	315	61	103	118	172	16	27	28	41
34	0.5	160	240	250	270	51	110	128	148	13	28	30	35
35	1.0	365	410	335	400	116	188	171	219	15	24	20	26
36	1.0	520	485	550	475	166	222	281	260	21	29	33	31

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
37	1.0	570	470	500	475	182	215	255	260	23	28	30	31
38	1.0	580	490	530	455	185	224	271	249	24	29	32	30
39	1.0	565	335	630	385	180	153	322	211	23	20	38	25
40	1.0	875	575	800	600	279	263	409	328	36	34	49	39
41	1.0	460	440	400	335	147	201	204	183	19	26	24	22
42	1.0	550	480	510	450	175	220	261	246	23	28	31	29
43	1.0	585	460	630	510	187	211	322	279	24	27	38	33
44	1.0	560	550	580	485	179	252	296	265	23	32	35	32
45	1.0	540	495	555	535	172	227	284	293	22	29	34	35
46	1.0	580	500	580	420	185	229	296	230	24	29	35	27
47	1.0	495	505	660	410	158	231	337	224	20	30	40	27
48	1.0	530	545	585	675	169	249	299	369	22	32	36	44

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มด.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มด.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
49	1.0	480	540	560	510	153	247	286	279	20	32	34	33
50	1.0	685	620	675	630	218	284	345	345	28	37	41	41
51	1.0	450	470	435	370	143	215	222	203	18	28	26	24
52	1.0	610	430	600	525	194	197	307	287	25	25	36	34
53	1.0	520	520	655	410	166	238	335	224	21	31	40	27
54	1.0	485	520	640	570	155	238	327	312	20	31	39	37
55	1.0	475	515	655	570	151	236	335	312	19	30	40	37
56	1.0	640	565	690	505	204	259	353	276	26	33	42	33
57	1.0	480	490	605	460	153	224	309	252	20	29	37	30
58	1.0	500	575	545	405	159	263	278	222	21	34	33	26
59	1.0	565	505	625	560	180	231	319	307	23	30	38	36
60	1.0	580	570	580	585	185	261	296	320	24	34	35	38

ตารางที่ ก.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
61	1.0	590	525	605	460	188	240	309	252	24	31	37	30
62	1.0	595	520	680	525	190	238	347	287	24	31	41	34
63	1.0	560	440	450	320	179	201	230	175	23	26	27	21
64	1.0	670	550	750	590	214	252	383	323	27	32	46	38
65	1.0	565	580	640	580	180	265	327	317	23	34	39	38
66	1.0	630	560	710	540	201	256	363	296	26	33	43	35
67	1.0	520	480	520	580	166	220	266	317	21	28	32	38
68	1.0	600	495	600	530	191	227	307	290	25	29	36	34
69	1.0	580	550	560	500	185	252	286	274	24	32	34	33
70	1.0	575	510	690	580	183	233	353	317	24	30	42	38
71	1.0	550	560	570	580	175	256	291	317	23	33	35	38
72	1.0	520	510	650	650	166	233	332	356	21	30	39	42

ตารางที่ ก.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มด.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มด.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
73	1.0	620	620	620	660	198	284	317	361	25	37	38	43
74	1.0	500	485	575	600	159	222	294	328	21	29	35	39
75	1.0	630	600	655	735	201	275	335	402	26	35	40	48
76	1.0	550	560	570	650	175	256	291	356	23	33	35	42
77	1.0	555	530	550	605	177	243	281	331	23	31	33	39
78	1.0	535	545	570	590	171	249	291	323	22	32	35	38
79	1.0	505	500	570	570	161	229	291	312	21	29	35	37
80	2.0	900	890	920	930	458	494	473	518	29	32	28	31
81	2.0	845	950	1010	1040	430	527	519	579	28	34	31	34
82	2.0	980	900	1585	1285	499	499	815	715	32	32	48	43
83	2.0	900	960	1200	1300	458	532	617	723	29	34	37	43
84	2.0	900	1200	1300	1350	586	665	668	751	38	43	40	45

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
85	2.0	1000	930	1100	1200	509	516	565	668	33	33	34	40
86	2.0	1120	1010	1200	1220	570	560	617	679	37	36	37	40
87	2.0	1100	1050	1300	1170	560	582	668	651	36	37	40	39
88	2.0	1075	1150	1000	1250	547	638	514	696	35	41	31	41
89	2.0	1200	1050	1300	1100	611	582	668	612	39	37	40	36
90	2.0	1150	1250	1300	1350	586	693	668	751	38	45	40	45
91	2.0	1280	1330	1400	1480	652	738	720	824	42	47	43	49
92	2.0	900	1050	1170	1200	458	582	601	668	29	37	36	40
93	2.0	1120	1150	1200	1300	570	638	617	723	37	41	37	43
94	2.0	1200	1250	1300	1400	611	693	668	779	39	45	40	46
95	2.0	1100	1100	1200	1250	560	610	617	696	36	39	37	41
96	2.0	900	1150	1250	1300	509	638	643	723	33	41	38	43

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
97	2.0	1100	1150	1250	1320	560	638	643	735	36	41	38	44
98	2.0	1190	1200	1300	1400	606	665	668	779	39	43	40	46
99	2.0	1200	1200	1250	1250	611	665	643	696	39	43	38	41
100	2.0	1100	1150	1200	1300	560	638	617	723	36	41	37	43
101	2.0	1050	1000	1250	1300	535	555	643	723	34	36	38	43
102	2.0	1100	1100	1200	1300	560	610	617	723	36	39	37	43
103	2.0	1250	1250	1350	1500	637	693	694	835	41	45	41	50
104	2.0	1000	1050	1200	1300	509	582	617	723	33	37	37	43
105	2.0	900	1000	1050	1200	458	555	540	668	29	36	32	40
106	2.0	900	950	1150	1200	458	527	591	668	29	34	35	40
107	2.0	950	1020	1180	1300	484	566	607	723	31	36	36	43
108	2.0	1100	1100	1200	1350	560	610	617	751	36	39	37	45

ตารางที่ ก.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มด.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มด.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
109	2.0	1400	1400	1450	1450	713	776	745	807	46	50	44	48
110	2.0	1050	1000	1250	1200	535	555	643	668	34	36	38	40
111	2.0	1280	1280	1300	1450	652	710	668	807	42	46	40	48
112	2.0	1000	1050	1200	1200	509	582	617	668	33	37	37	40
113	2.0	1330	1300	1350	1300	677	721	694	723	44	46	41	43
114	2.0	1300	1250	1300	1300	662	693	668	723	43	45	40	43
115	2.0	1050	1000	1200	1200	535	555	617	668	34	36	37	40
116	3.0	1480	1480	1700	1900	776	920	947	1161	33	39	38	46
117	3.0	1600	1500	1750	1850	839	933	975	1130	36	40	39	45
118	3.0	1500	1300	1900	1700	787	808	1058	1039	34	35	42	41
119	3.0	1500	1550	1750	1850	787	964	975	1130	34	41	39	45
120	3.0	1420	1700	1850	2000	745	1057	1030	1222	32	45	41	48

ตารางที่ ก.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
121	3.0	1100	1150	1550	1500	577	715	863	917	25	31	34	36
122	3.0	1400	1350	1700	1750	734	839	947	1069	32	36	38	42
123	3.0	1150	1150	1700	1650	603	715	947	1008	26	31	38	40
124	3.0	1700	1600	1750	1850	892	995	975	1130	38	43	39	45
125	3.0	1550	1550	1900	1900	813	964	1058	1161	35	41	42	46
126	3.0	1270	1830	1900	2200	666	1138	1058	1344	29	49	42	53
127	3.0	1420	1510	1800	1800	745	939	1003	1100	32	40	40	44
128	3.0	1600	1650	1750	2000	839	1026	975	1222	36	44	39	48
129	3.0	1600	1600	1820	1920	839	995	1014	1173	36	43	40	47
130	3.0	1470	1520	1700	1800	771	945	947	1100	33	41	38	44
131	3.0	1520	1550	1800	1800	797	964	1003	1100	34	41	40	44
132	3.0	1470	1520	1700	1800	771	945	947	1100	33	41	38	44

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
133	3.0	1700	1700	1700	1700	892	1057	947	1039	38	45	38	41
134	3.0	1420	1400	1600	1650	745	870	891	1008	32	37	35	40
135	3.0	1520	1500	1600	1900	797	933	891	1161	34	40	35	46
136	3.0	1300	1400	1700	1600	682	870	947	978	29	37	38	39
137	3.0	1690	1500	1700	2000	887	933	947	1222	38	40	38	48
138	3.0	1700	1750	2050	2000	892	1088	1142	1222	38	47	45	48
139	3.0	1500	1620	1700	1500	787	1007	947	917	34	43	38	36
140	3.0	1200	1500	1600	2100	630	933	891	1283	27	40	35	51
141	3.0	1550	1600	1750	1900	813	995	975	1161	35	43	39	46
142	3.0	1420	1530	1800	1900	745	951	1003	1161	32	41	40	46
143	3.0	2150	2000	1750	2100	1128	1243	975	1283	48	53	39	51
144	3.0	1500	1650	1700	1800	787	1026	947	1100	34	44	38	44

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
145	3.0	1500	1600	1650	2200	787	995	919	1344	34	43	36	53
146	3.0	1600	1850	1650	2000	839	1150	919	1222	36	49	36	48
147	3.0	1420	1650	1920	2000	745	1026	1069	1222	32	44	42	48
148	3.0	1400	1200	1500	1850	734	746	836	1130	32	32	33	45
149	3.0	1250	1500	1750	1750	656	933	975	1069	28	40	39	42
150	3.0	1850	1900	2150	2250	971	1181	1198	1375	42	51	47	54
151	3.0	1400	1480	1720	1700	734	920	958	946	32	39	38	37
152	3.0	1400	1400	1450	1700	734	870	808	946	32	37	32	37
153	3.0	1400	1500	2000	2050	734	933	1114	1253	32	40	44	50
154	3.0	1650	1600	1780	1850	866	995	992	1130	37	43	39	45
155	3.0	1650	1600	2000	1900	999	1123	1286	1389	43	48	51	55
156	3.0	1250	1400	1700	2000	757	983	1093	1462	32	42	43	58

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาตรก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
157	3.0	1600	1700	1900	2100	969	1193	1222	1535	42	51	48	61
158	3.0	1600	1650	1900	2100	969	1158	1222	1535	42	50	48	61
159	3.0	1500	1400	1650	1750	908	983	1061	1279	39	42	42	51
160	3.0	1300	1450	1700	1500	787	1018	1093	1096	34	44	43	43
161	4.0	1600	1750	2150	2450	969	1228	1383	1791	31	40	41	53
162	4.0	2000	2250	2500	2500	1211	1579	1608	1827	39	51	48	54
163	4.0	1850	2100	2450	2500	1120	1474	1576	1827	36	47	47	54
164	4.0	1600	1950	2400	1950	969	1369	1543	1425	31	44	46	42
165	4.0	1550	2000	2100	2500	939	1404	1350	1827	30	45	40	54
166	4.0	1550	2000	2600	2800	939	1404	1672	2046	30	45	50	61
167	4.0	2000	2400	2300	2650	1211	1684	1479	1937	39	54	44	58
168	4.0	1500	1720	1900	2100	908	1207	1222	1535	29	39	36	46

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาณก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
169	4.0	1500	2150	2300	2400	908	1509	1479	1754	29	49	44	52
170	4.0	1550	2000	2450	2550	939	1404	1576	1864	30	45	47	55
171	4.0	1550	1800	2700	2800	939	1263	1736	2046	30	41	52	61
172	4.0	1600	2100	2700	2800	969	1474	1736	2046	31	47	52	61
173	4.0	2150	2500	2950	3000	1302	1755	1897	2193	42	56	56	65
174	4.0	1600	2100	2300	2600	969	1474	1479	1900	31	47	44	56
175	4.0	1900	2000	2500	2500	1151	1404	1608	1827	37	45	48	54
176	4.0	1600	2050	2450	2650	969	1439	1576	1937	31	46	47	58
177	4.0	1500	2000	2450	2600	908	1404	1576	1900	29	45	47	56
178	4.0	1550	2100	2500	2700	939	1474	1608	1973	30	47	48	59
179	4.0	1500	2000	2500	2600	908	1404	1608	1900	29	45	48	56
180	4.0	1850	2250	2600	2850	1120	1579	1672	2083	36	51	50	62

ตารางที่ ก.7 ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (มล.)				ปริมาตรก๊าซมีเทน (มล.)				ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน (%)			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
181	4.0	2450	2250	2500	2700	1484	1579	1608	1973	48	51	48	59
182	4.0	1750	2100	2400	2650	1060	1474	1543	1937	34	47	46	58
183	4.0	1800	2050	2500	2700	1090	1439	1608	1973	35	46	48	59
184	4.0	1700	2200	2450	2600	1030	1544	1576	1900	33	50	47	56

ตารางที่ ก.8 ค่าซีโอดีที่เขาระบบ, ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

วันที่ทำ การ ทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Total COD Influent (mg/l)				Soluble COD Effluent (mg/l)				เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
3	0.5	4890	4890	4890	4890	886	665	960	822	82	87	81	84
4	0.5	4890	4890	4890	4890	565	666	823	953	89	87	84	81
10	0.5	4890	4890	4890	4890	357	529	443	726	93	89	91	85
14	0.5	4890	4890	4890	4890	400	428	550	844	92	91	89	83
16	0.5	5150	5150	5150	5150	489	600	678	761	90	88	86	85
19	0.5	5150	5150	5150	5150	528	378	372	600	89	92	93	88
20	0.5	5150	5150	5150	5150	278	478	433	678	94	90	91	86
23	0.5	5150	5150	5150	5150	219	427	384	647	96	91	92	87
25	0.5	5150	5150	5150	5150	190	479	420	610	96	90	92	88
32	0.5	5150	5150	5150	5150	236	511	328	682	95	90	93	86
40	1.0	8960	8960	8960	8960	275	407	309	707	97	96	97	93
41	1.0	8960	8960	8960	8960	280	515	402	648	97	95	96	94

ตารางที่ ก.8 ค่าซีโอดีที่เขาระบบ, ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Total COD Influent (mg/l)				Soluble COD Effluent (mg/l)				เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
45	1.0	8960	8960	8960	8960	250	476	456	923	97	95	95	91
46	1.0	8960	8960	8960	8960	294	579	442	726	97	94	96	93
49	1.0	8960	8960	8960	8960	211	659	384	707	98	93	96	93
51	1.0	8960	8960	8960	8960	180	713	385	794	98	93	96	92
55	1.0	8960	8960	8960	8960	203	698	448	806	98	93	96	92
58	1.0	9870	9870	9870	9870	209	710	364	878	98	93	96	91
60	1.0	9870	9870	9870	9870	484	830	472	1093	95	92	95	89
66	1.0	9870	9870	9870	9870	160	804	482	1036	98	92	95	90
70	1.0	9870	9870	9870	9870	223	790	324	878	98	92	97	91
72	1.0	9870	9870	9870	9870	196	1080	385	1013	98	89	96	90
84	2.0	19300	19300	19300	19300	319	1050	619	1152	98	95	97	94
86	2.0	19300	19300	19300	19300	181	825	644	994	99	96	97	95

ตารางที่ ก.8 ค่าซีโอดีที่เข้าระบบ, ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Total COD Influent (mg/l)				Soluble COD Effluent (mg/l)				เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
90	2.0	19300	19300	19300	19300	375	1013	681	1106	98	95	97	94
95	2.0	19300	19300	19300	19300	381	759	719	1153	98	96	96	94
102	2.0	19300	19300	19300	19300	396	1030	262	1047	98	95	99	95
107	2.0	19300	19300	19300	19300	355	794	646	1073	98	96	97	95
112	2.0	19300	19300	19300	19300	285	881	657	916	99	96	97	95
118	3.0	31320	31320	31320	31320	287	815	636	938	99	97	98	97
120	3.0	31320	31320	31320	31320	379	862	697	1062	99	97	98	96
123	3.0	31320	31320	31320	31320	472	1431	882	1169	98	95	97	96
125	3.0	31320	31320	31320	31320	480	997	738	1108	98	97	98	96
129	3.0	31320	31320	31320	31320	609	886	646	1329	98	97	98	96
134	3.0	31320	31320	31320	31320	521	829	741	1306	98	97	98	96
140	3.0	31320	31320	31320	31320	529	1906	988	2224	98	94	97	93

ตารางที่ ก.8 ค่าชีโอดีที่เข้าระบบ, ค่าชีโอดีที่ออกจากระบบ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	OLR (kgCOD/m ³ -d)	Total COD Influent (mg/l)				Soluble COD Effluent (mg/l)				เปอร์เซ็นต์การกำจัดชีโอดี			
		R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P	R1 30	R2 30_P	R3 55	R4 55_P
144	3.0	31320	31320	31320	31320	510	2803	880	3174	98	91	97	89
152	3.0	31320	31320	31320	31320	287	1555	963	2068	99	95	97	93
160	4.0	39160	39160	39160	39160	406	1454	710	2163	99	96	98	95
162	4.0	39160	39160	39160	39160	287	1217	896	1893	99	97	98	95
167	4.0	39160	39160	39160	39160	377	1509	823	2297	99	96	98	94
171	4.0	39160	39160	39160	39160	617	2023	1474	2606	98	95	96	93
173	4.0	39160	39160	39160	39160	480	1577	823	2194	99	96	98	95
178	4.0	39160	39160	39160	39160	608	1504	693	2231	98	96	98	94
184	4.0	39160	39160	39160	39160	507	1386	930	1859	99	97	98	95

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ

ก่อนดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

Time, day	HAC 2400 mg/l			HAC 3200 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	0.00	0.51	0.51	0.00	0.00	0.00
0.13	0.00	0.51	0.51	0.00	0.00	0.00
0.22	0.00	0.51	0.51	0.00	0.00	0.00
0.32	0.00	0.51	0.51	0.00	0.00	0.00
0.81	0.00	5.99	5.99	0.00	5.40	5.40
1.17	0.00	12.70	12.70	0.00	12.63	12.63
1.79	0.00	24.49	24.49	0.00	27.01	27.01
2.13	0.00	33.91	33.91	0.00	37.23	37.23
2.81	0.62	43.25	42.64	0.62	50.01	49.39
3.11	1.31	48.65	47.35	1.31	57.31	56.00
4.76	1.31	53.18	51.87	1.31	64.17	62.86
5.85	1.54	54.64	53.10	1.54	66.36	64.82
6.83	2.00	55.44	53.44	2.00	66.94	64.94
7.81	2.00	55.44	53.44	2.00	67.38	65.38
8.85	2.00	55.44	53.44	2.00	67.38	65.38
9.83	2.62	56.03	53.41	2.62	67.38	64.76
10.79	3.31	56.03	52.72	3.31	68.11	64.80
11.84	3.70	56.83	53.13	3.70	68.77	65.07
12.86	3.70	56.83	53.13	3.70	69.35	65.65

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

ก่อนดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)

Time, day	HAC 2400 mg/l			HAC 3200 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	2.31	4.08	1.77	2.31	1.82	-0.49
0.13	2.31	5.04	2.73	2.31	1.82	-0.49
0.22	2.31	5.88	3.57	2.31	2.28	-0.04
0.32	2.31	6.42	4.11	2.31	2.98	0.67
0.83	2.31	9.30	6.99	2.31	7.67	5.36
1.17	2.31	12.12	9.81	2.31	13.27	10.96
1.79	2.31	18.45	16.14	2.31	29.30	26.99
2.13	2.31	25.35	23.04	2.31	40.15	37.84
2.81	2.31	34.17	31.86	2.31	52.89	50.58
3.11	3.00	39.45	36.45	3.00	60.31	57.30
4.76	6.55	51.75	45.21	6.55	71.65	65.10
5.83	8.55	56.91	48.36	8.55	75.85	67.30
6.85	9.24	59.73	50.49	9.24	77.81	68.57
7.83	10.40	61.23	50.84	10.40	79.28	68.88
8.85	12.71	63.27	50.57	12.71	80.75	68.04
9.85	13.09	63.27	50.18	13.09	80.75	67.66
10.81	13.86	63.93	50.07	13.86	81.24	67.38
11.85	13.86	63.93	50.07	13.86	81.24	67.38
12.86	15.25	64.89	49.64	15.25	81.24	65.99

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)
หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R1 30)

Time, day	HAC 1600 mg/l			HAC 2400 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	1.7	1.7	0.0	3.2	3.2
0.2	0.0	2.4	2.4	0.0	4.0	4.0
0.3	0.0	2.8	2.8	0.0	4.5	4.5
0.5	0.0	3.5	3.5	0.0	5.0	5.0
0.9	0.0	5.8	5.8	0.0	7.5	7.5
1.9	0.0	13.7	13.7	0.0	16.0	16.0
2.7	0.0	21.1	21.1	0.0	24.5	24.5
4.3	0.0	32.7	32.7	0.0	41.0	41.0
4.9	0.0	35.8	35.8	0.0	48.7	48.7
7.3	0.0	38.1	38.1	0.0	58.9	58.9
9.8	0.1	39.7	39.6	0.1	64.0	64.0
14.1	0.0	41.0	41.0	0.0	66.2	66.2
18.1	0.0	41.9	41.9	0.0	67.3	67.3
22.1	0.0	42.5	42.5	0.0	68.2	68.2
36.2	0.0	43.8	43.8	0.0	69.7	69.7

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)
หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R1 30)

Time, day	HAC 3200 mg/l			HAC 4800 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.00	2.81	2.81	0.00	3.11	3.11
0.22	0.00	3.63	3.63	0.00	4.03	4.03
0.34	0.00	4.41	4.41	0.00	4.53	4.53
0.48	0.00	5.00	5.00	0.00	4.80	4.80
0.86	0.00	8.05	8.05	0.00	6.72	6.72
1.92	0.00	17.46	17.46	0.00	14.09	14.09
2.73	0.00	27.03	27.03	0.00	22.19	22.19
4.32	0.00	51.60	51.60	0.00	39.27	39.27
4.85	0.00	59.42	59.42	0.00	47.72	47.72
7.27	0.00	82.66	82.66	0.00	61.69	61.69
9.82	0.05	89.34	89.28	0.05	88.56	88.50
14.13	0.00	92.46	92.46	0.00	114.13	114.13
18.08	0.00	93.95	93.95	0.00	116.77	116.77
22.12	0.00	94.77	94.77	0.00	117.77	117.77
36.17	0.00	96.25	96.25	0.00	119.38	119.38

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)
หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R2 30_P)

Time, day	HAC 1600 mg/l			HAC 2400 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.00	1.53	1.53	0.00	3.13	3.13
0.23	0.00	2.34	2.34	0.00	4.24	4.24
0.34	0.00	2.95	2.95	0.00	5.01	5.01
0.48	0.00	3.93	3.93	0.00	6.05	6.05
0.87	0.00	7.48	7.48	0.00	10.23	10.23
1.93	0.00	19.90	19.90	0.00	25.16	25.16
2.74	0.00	25.76	25.76	0.00	38.18	38.18
4.33	0.00	31.76	31.76	0.00	53.79	53.79
4.85	0.00	32.63	32.63	0.00	56.21	56.21
7.27	0.00	32.63	32.63	0.00	57.69	57.69
9.82	0.00	33.64	33.64	0.00	59.34	59.34
14.13	0.00	34.57	34.57	0.00	60.31	60.31
18.08	0.00	35.17	35.17	0.00	60.92	60.92
22.12	0.00	35.69	35.69	0.00	61.52	61.52
36.17	0.00	37.16	37.16	0.00	63.14	63.14

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R2 30_P)

Time, day	HAC 3200 mg/l			HAC 4800 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.00	2.86	2.86	0.00	4.98	4.98
0.23	0.00	4.38	4.38	0.00	6.63	6.63
0.34	0.00	5.64	5.64	0.00	7.87	7.87
0.48	0.00	7.05	7.05	0.00	8.85	8.85
0.87	0.00	12.43	12.43	0.00	13.99	13.99
1.93	0.00	29.65	29.65	0.00	30.66	30.66
2.74	0.00	45.93	45.93	0.00	44.87	44.87
4.33	0.00	74.70	74.70	0.00	78.04	78.04
4.85	0.00	79.01	79.01	0.00	90.46	90.46
7.27	0.00	83.93	83.93	0.00	120.82	120.82
9.82	0.00	86.63	86.63	0.00	137.92	137.92
14.13	0.00	87.89	87.89	0.00	143.58	143.58
18.08	0.00	88.85	88.85	0.00	145.45	145.45
22.12	0.00	89.26	89.26	0.00	146.47	146.47
36.17	0.00	91.21	91.21	0.00	148.89	148.89

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิคเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R3 55)

Time, day	HAC 1600 mg/l			HAC 2400 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.03	3.51	3.48	0.03	5.81	5.79
0.23	0.03	5.22	5.19	0.03	9.14	9.12
0.35	0.04	6.50	6.46	0.04	11.69	11.65
0.48	0.04	7.93	7.89	0.04	13.84	13.81
0.90	0.04	14.65	14.62	0.04	23.84	23.80
1.94	0.04	28.17	28.13	0.04	46.95	46.92
2.74	0.04	33.79	33.74	0.04	55.71	55.66
4.33	0.04	36.24	36.19	0.04	60.80	60.76
4.84	0.04	37.24	37.19	0.04	62.59	62.55
7.47	0.04	37.29	37.25	0.04	62.66	62.62
9.84	0.07	38.55	38.48	0.07	64.82	64.75
14.15	0.24	40.51	40.28	0.24	67.72	67.49
18.10	0.29	42.80	42.50	0.29	69.81	69.52
22.13	0.33	44.54	44.20	0.33	71.87	71.53
36.18	0.33	44.54	44.20	0.33	71.87	71.53

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R3 55)

Time, day	HAC 3200 mg/l			HAC 4800 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.03	5.98	5.96	0.03	7.06	7.04
0.23	0.03	10.16	10.14	0.03	11.28	11.25
0.35	0.04	13.42	13.38	0.04	14.77	14.74
0.48	0.04	16.86	16.82	0.04	18.15	18.11
0.90	0.04	29.64	29.60	0.04	31.41	31.37
1.94	0.04	61.08	61.04	0.04	68.40	68.36
2.74	0.04	74.08	74.03	0.04	98.89	98.85
4.33	0.04	82.97	82.92	0.04	124.45	124.41
4.84	0.04	85.98	85.93	0.04	130.15	130.10
7.47	0.04	86.05	86.00	0.04	132.20	132.15
9.84	0.07	90.33	90.27	0.07	137.82	137.75
14.15	0.24	94.05	93.81	0.24	141.73	141.49
18.10	0.29	96.88	96.59	0.29	144.12	143.83
22.13	0.33	98.72	98.39	0.33	145.91	145.57
36.18	0.33	98.72	98.39	0.33	145.91	145.57

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R4 S5 P)

Time, day	HAC 1600 mg/l			HAC 2400 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.05	3.55	3.49	0.05	5.19	5.14
0.23	0.05	4.41	4.36	0.05	6.89	6.84
0.35	0.05	4.64	4.59	0.05	7.57	7.52
0.48	0.05	4.93	4.88	0.05	8.46	8.41
0.90	0.10	9.17	9.07	0.10	13.11	13.02
1.94	0.10	21.71	21.62	0.10	33.93	33.84
2.50	0.10	29.30	29.20	0.10	47.19	47.09
3.47	0.10	33.91	33.82	0.10	60.26	60.17
3.99	0.10	35.07	34.97	0.10	64.14	64.04
6.65	0.10	35.07	34.97	0.10	64.53	64.43
8.98	0.10	36.10	36.01	0.10	68.86	68.77
13.28	0.13	36.97	36.84	0.13	70.00	69.87
17.24	0.13	37.78	37.64	0.13	71.42	71.29
21.27	0.13	38.06	37.93	0.13	72.49	72.36
35.32	0.13	38.06	37.93	0.13	72.49	72.36

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ถังปฏิกรณ์ R4 55_P)

Time, day	HAC 3200 mg/l			HAC 4800 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.05	5.53	5.48	0.05	7.13	7.08
0.23	0.05	7.48	7.43	0.05	9.31	9.25
0.35	0.05	8.07	8.02	0.05	9.92	9.87
0.48	0.05	8.93	8.87	0.05	10.58	10.53
0.90	0.10	14.23	14.13	0.10	13.61	13.52
1.94	0.10	38.78	38.69	0.10	29.52	29.42
2.50	0.10	54.84	54.75	0.10	49.16	49.06
3.47	0.10	78.66	78.56	0.10	84.77	84.67
3.99	0.10	83.96	83.86	0.10	97.32	97.22
6.65	0.10	87.74	87.64	0.10	126.10	126.00
8.98	0.10	92.61	92.51	0.10	140.28	140.19
13.28	0.13	94.64	94.50	0.13	144.88	144.74
17.24	0.13	97.01	96.88	0.13	146.27	146.14
21.27	0.13	98.57	98.44	0.13	147.62	147.49
35.32	0.13	98.57	98.44	0.13	147.62	147.49

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ใช้กากตะกอนปาล์มเป็นสารอาหาร)

Time, day	R1 30 , COD 4124 mg/l			R2 30_P , COD 4124 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.16
0.34	0.00	0.61	0.61	0.00	1.34	1.34
0.60	0.00	2.59	2.59	0.00	4.07	4.07
0.89	0.00	4.68	4.68	0.00	7.73	7.73
1.13	0.17	6.89	6.72	0.00	10.94	10.94
1.83	0.55	11.96	11.41	0.00	20.15	20.15
2.12	0.78	15.98	15.20	0.00	25.12	25.12
2.58	0.97	20.74	19.77	0.00	29.75	29.75
3.60	1.36	30.39	29.03	0.07	35.18	35.11
4.00	1.61	34.79	33.18	0.10	37.91	37.81
4.69	1.61	40.93	39.32	0.10	40.32	40.22
5.67	1.91	46.89	44.98	0.10	43.42	43.32
6.73	2.17	51.52	49.35	0.15	45.94	45.79
8.60	2.17	59.89	57.72	0.23	49.26	49.03
13.13	2.38	78.04	75.66	0.23	50.22	49.99
15.69	2.74	80.68	77.94	0.32	52.20	51.88

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดลองเอสเอ็มเอ (ต่อ)

หลังดำเนินการทดลองในระบบแอนแอโรบิกเอสปีอาร์ (ใช้กากตะกอนปาล์มเป็นสารอาหาร)

Time, day	R3 55 , COD 4124 mg/l			R4 55_P , COD 4124 mg/l		
	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง	ml.CH ₄ สะสม ของ Blank	ml.CH ₄ สะสม	ml.CH ₄ ที่ เกิดขึ้นจริง
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.11	1.19	1.08	0.00	0.00	0.00
0.29	0.13	2.74	2.61	0.00	2.28	2.28
0.54	0.15	5.80	5.65	0.00	4.08	4.08
0.85	0.15	10.74	10.59	0.00	9.15	9.15
1.08	0.15	17.73	17.58	0.00	13.18	13.18
1.79	0.15	37.19	37.04	0.00	32.33	32.33
2.07	0.21	40.44	40.23	0.00	37.57	37.57
2.53	0.21	43.10	42.89	0.00	43.18	43.18
3.58	0.21	46.27	46.06	0.00	47.37	47.37
3.98	0.25	47.77	47.52	0.00	50.22	50.22
4.63	0.30	49.83	49.53	0.00	52.64	52.64
5.63	0.30	50.57	50.27	0.00	53.62	53.62
6.69	0.30	51.57	51.27	0.00	55.20	55.20
15.64	0.34	55.69	55.35	0.00	60.64	60.64

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 หาปริมาณน้ำที่ต้องป้อนเข้าสู่ระบบแต่ละวัน

เนื่องจาก ค่า COD เริ่มต้นที่จะป้อนให้กับระบบคือ 5000 mg/l โดยมีค่า OLR เริ่มต้น 0.5 kg/m³.d

$$\begin{aligned}
 \text{โดยจะหา HRT โดย} \quad \text{OLR} &= \text{COD/HRT} \\
 \text{HRT} &= (5000 \text{ mg/l}) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) \times (1000 \text{ l}/1 \text{ m}^3) \\
 &\quad \times (1/(0.5 \text{ kg})) \times 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ day} \\
 &= 10 \text{ day} \\
 \text{HRT} &= V/Q \\
 10 \text{ d} &= 2 \text{ L}/Q \\
 Q &= 0.2 \text{ L} \\
 Q &= 200 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

ข.2 วิเคราะห์ค่า COD

เนื่องจากการวิเคราะห์ซีโอดีเป็นการวิเคราะห์ความสกปรกของน้ำเสียต่างๆ โดยวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยสามารถคำนวณหาค่า COD ได้โดย

$$\begin{aligned}
 \text{COD} &= (A-B) \times N \times 8000 / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)} \\
 \text{เมื่อ } A &= \text{มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์} \\
 B &= \text{มล. ของเอฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรทน้ำตัวอย่าง} \\
 N &= \text{นอร์มัลของเอฟเอเอส (0.1 N)}
 \end{aligned}$$

โดยมีค่า เอฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์เท่ากับ 6.5 ml

เอฟเอเอสที่ใช้ในการไตเตรทน้ำตัวอย่างเท่ากับ 3 ml

$$\text{COD} = (6.5-3) \times 0.1 \times 8000/1$$

$$\text{COD} = 2800 \text{ mg/l}$$

ข.3 วิเคราะห์ค่า SS และ VSS

เนื่องจาก SS ของแข็งแขวนลอยที่ไม่ละลายน้ำ แต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ หาได้โดยการกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว จากนั้นนำไปอบแห้งแล้วชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง

$$\text{SS} = \text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A)} \times 10^6 / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } A &= \text{น้ำหนักแห้งของจานระเหยก่อนเติมน้ำตัวอย่าง (g.)} \\
 B &= \text{น้ำหนักแห้งของจานระเหยหลังเติมน้ำตัวอย่าง (g.)} \\
 C &= \text{น้ำหนักกระดาศ + น้ำตัวอย่างหลังอบ 550 องศา (g.)} \\
 \text{โดยมีค่า } A &= 0.0810 \text{ (g)} \\
 B &= 0.0875 \text{ (g)} \\
 SS &= (0.0875 - 0.0810) \times 10^6 / 5 \\
 &= 1300 \text{ mg/l} \\
 VSS &= (B - C) \times (\text{g}) / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)} \\
 \text{โดยมีค่า } C &= 0.0830 \text{ (g)} \\
 VSS &= (0.0875 - 0.0830) \times 10^6 / 5 \\
 &= 900 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

ข.4 วิเคราะห์ค่า VFA และ ALK_T

เนื่องจาก VFA คือ กรดระเหยง่ายที่เป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ VFA มีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก

$$ALK_T \text{ (mg/l as CaCO}_3\text{)} = A \times \text{นอร์มอลิตีกรดซัลฟิวริก} \times 50 \times 1000 / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}$$

$$VFA \text{ (mg/l as CaCO}_3\text{)} = B \times \text{นอร์มอลิตีโซเดียมไฮดรอกไซด์} \times 50 \times 1000 / \text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (ml)}$$

ถ้าความเป็นด่าง VFA มากกว่า 180 mg/l as CaCO_3 ;

$$VFA \text{ อยู่ในรูปกรดอะซิติก, mg/l} = \text{ความเป็นด่าง} \times 1.5$$

ถ้าความเป็นด่าง VFA น้อยกว่า 180 mg/l as CaCO_3 ;

$$VFA \text{ อยู่ในรูปกรดอะซิติก, mg/l} = \text{ความเป็นด่าง} \times 1.0$$

$$\text{โดยมีค่า } A = 4.80 \text{ ml}$$

$$B = 1.60 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned}
 ALK_T &= 4.80 \times 0.05 \times 50 \times 1000 / 40 \\
 &= 300 \text{ mg/l as CaCO}_3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 VFA &= 1.60 \times 0.05 \times 50 \times 1000 / 40 \\
 &= 100 \text{ mg/l as CaCO}_3
 \end{aligned}$$

แต่ค่าความเป็นด่าง VFA มากกว่า 180 mg/l as CaCO_3

$$\text{เพราะฉะนั้น } VFA = 300 \times 1.5 = 450 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

ข.5 การวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ จัดเป็นสารอาหารจำกัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ดังนั้นการปล่อยน้ำทิ้งที่มีฟอสฟอรัสลงในแหล่งน้ำ อาจกระตุ้นให้การเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน.

$$\begin{aligned}\text{โดยมีค่าปริมาตรน้ำตัวอย่าง} &= 5 \text{ ml.} \\ \text{อ่านค่าจากกราฟ} &= 230.48 \text{ ไมโครกรัม} \\ \text{มก.ฟอสฟอรัส / ล.} &= 230.48 / 5 \\ &= 46.1\end{aligned}$$

ข.6 การวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน

เนื่องจากไนโตรเจนสามารถเกิดเป็นสารประกอบได้หลายอย่างในธรรมชาติ สารประกอบไนโตรเจนเข้ามาพบพานในน้ำก็เพราะสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน

$$\begin{aligned}\text{ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (นอร์มัล, N)} &= 10 \times 0.02 / \text{มล.กรดซัลฟิวริกที่ใช้ไทเทรต} \\ \text{Ammonai-N (mg/l NH}_3\text{-N)} &= (A-B) \times 1,000 \times N \times 14 / \text{มล.ตัวอย่างน้ำที่ใช้}\end{aligned}$$

ในการกลั่น

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ } A &= \text{มล.ของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง} \\ B &= \text{มล.ของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์} \\ N &= \text{ความเข้มข้นที่แน่นอนที่เป็นนอร์มัลของกรดซัลฟิวริก}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{โดยมีค่า } A &= 3.4 \text{ ml} \\ B &= 0 \text{ ml} \\ \text{Ammonia-N} &= (3.4-0) \times 1,000 \times 0.02 \times 14 / 5 \\ &= 190.4 \text{ ml/l NH}_3\text{-N}\end{aligned}$$

ข.6 การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน

ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน (%) =
$$\frac{(\text{Biogas production} \times \%CH_4)}{(\text{gCODin} \times 388.64)}$$

- เมื่อ Biogas Production = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น (mlCH₄/d)
%CH₄ = สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (%)
388.64 = เป็นปริมาตรก๊าซมีเทนที่สมมูลกับชีโอดี 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
gCODin = ภาระสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบต่อวัน (gCOD/d)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นางสาวนันท์นภัส จันทร์วราพันธุ์ชัย
วัน เดือน ปีเกิด	6 มิถุนายน 2529
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปากเกร็ด พ.ศ. 2546
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2550
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2552
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2552 ทุนเพชรพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	นันท์นภัส จันทร์วราพันธุ์ชัย และ สาโรช บุญกิจสมบัติ, 2553, “ผลของการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม”, การประชุม วิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9, 24-27 มีนาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์, หน้า 231-232

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 28 เดือน เมษายน พ.ศ. 2553

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) นันทน์ภัส ชันธวัชรพันธุ์ รหัสประจำตัว 51400410 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับ ☐ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ☒ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ อยู่บ้านเลขที่ 61 หมู่ 4 ตรอก/ชอย แขวงวัฒนาปากเกร็ด 38 ตำบล/แขวง บางตลาด อำเภอ/เขต ปากเกร็ด จังหวัด นนทบุรี รหัสไปรษณีย์ 11120 เป็น “ผู้โอน” ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ ตำแหน่ง รองคณบดีฝ่ายวิชาการ เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง ผลของอุณหภูมิและการบำบัดเบื้องต้นต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของกากตะกอนปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ดร.สาโรช บุญกิจสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา และ/หรือ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดจนอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

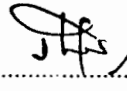
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

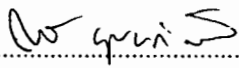
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ก่อน

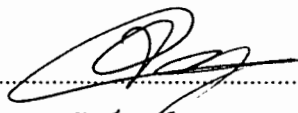
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้นโดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....น.ส. นันทน์ภัท จันทร์วานิชชัย.....ผู้โอนสิทธิ
(นางสาวนันทน์ภัท จันทร์วานิชชัย)

ลงชื่อ..........ผู้รับโอนสิทธิ
(รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดีฯ

ลงชื่อ..........พยาน
(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

ลงชื่อ..........พยาน
(ผศ.จารุรัตน์ วรรณิสรากุล)