

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ

1.1. น้ำเสีย (Wastewater)

- น้ำเสีย (Palm Oil Mill Wastewater; POMW) สำหรับใช้ในการทดลองซึ่งได้รับมาจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มของบริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด โดยเป็นน้ำเสียที่เก็บจากบ่อแรก ของระบบบำบัดน้ำเสีย

- น้ำเสียสังเคราะห์ (Pind *et al.*, 2002) ประกอบด้วย กรดอะซิติก 5.0 กรัม/ลิตร กรดโพพิโอนิก 1.8 กรัม/ลิตร กรดบิวทริก 1.2 กรัม/ลิตร และน้ำเสียเจือจาง โดยใช้สำหรับเป็นแหล่งสารอาหารของจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทนในถังปฏิกรณ์ UFAF สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีค่าซีไอดีประมาณ 15,000 มิลลิกรัมซีไอดี/ลิตร ซึ่งใช้เพื่อหาอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ UFAF ในช่วงแรกของการทดลอง

1.2. หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed Sludge)

ตะกอนจุลินทรีย์นำมาจากถังปฏิกรณ์ชนิด Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) ของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท เอเชียน้ำมันปาล์ม จำกัด และแกลนูล จุลินทรีย์ซึ่งนำมาจากถังปฏิกรณ์ชนิด Up-flow Anaerobic Sludge Blanked (UASB) ของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งของบริษัท โชติวัฒน์อุตสาหกรรม จำกัด สำหรับแกลนูลจุลินทรีย์ก่อนที่จะนำมาใช้ในการทดลองซึ่งจะต้องทำการปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการใช้งานโดยทำการลดอัตราส่วนของน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งต่อน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจาก 9:1 8:2 7:3 6:4 5:5 4:6 3:7 2:8 1:9 และน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งหมด ตามลำดับ เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถใช้น้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งของสารอาหาร จากนั้นนำจุลินทรีย์ทั้งสองแหล่งมากรองผ่านตะแกรงละเอียดเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนก่อนที่นำมาพร้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราส่วน 1:1 ทำการทดสอบกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ผสมเติมลงใน 50 มิลลิลิตร ของน้ำตาลซูโครส และกรดอะซิติก (เป็นแหล่งอาหารที่มีค่าซีไอดี เท่ากับ 4,000 มิลลิกรัม/ลิตร) ในขวด Serum bottle ขนาด 120 มิลลิลิตร ขวดละ 5 มิลลิลิตร (Alper *et al.*, 2005; Smolder *et al.*, 1995) วิเคราะห์

ผลผลิตของก๊าซที่เกิดขึ้นใน 24 ชั่วโมง พบว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์มีกิจกรรมในการผลิตมีเทนร้อยละ 45 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 6 ppm. และ ไนโตรเจน 4 ppm.

1.3. สารเคมี

สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์บีโอดี ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน ไนโตรเจน และปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด ตามวิธีการของ APHA, AWWA and WEF, 1998; AOAC, 1990

2. อุปกรณ์

1. แก๊สโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatograph - Flame Ionization Detector; GC-FID)
2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Multigas analyzer)
3. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
4. เครื่องวิเคราะห์หาค่าซีโอดี
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM)
6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อื่น ๆ

3. วิธีการวิเคราะห์

3.1. ปริมาณและส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณของก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ถูกผลิตขึ้นในแต่ละวันสามารถวัดได้จากปริมาณของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซในถังเก็บก๊าซ (ปริมาตร 5 ลิตร) ทำการวัดน้ำที่ไหลออกจากถังเก็บก๊าซ โดยใช้กระบอกตวงที่มีขีดบอกปริมาตรที่แน่นอน ในขณะที่การวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น โดยเก็บตัวอย่างก๊าซจากจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นโดยใช้เครื่อง Multigas analyzer รุ่น MX2100 (OLDHAM; France) สำหรับการเก็บตัวอย่างของก๊าซโดยอาศัย Precision analytical syringe (VICI precision sampling, Inc., Baton Rouge., LA, USA)

3.2. ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA)

ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ไหลออกจากถังหมักสามารถหาได้ ทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารแบบก๊าซโครมาโตกราฟฟี (Gas Chromatograph; GC) รุ่น HP 6850 ที่มีตัวตรวจวัดแบบ Flame Ionization Detector (FID) (Agilent, USA) สำหรับคอลัมน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นชนิด Capillary column (123-3232 DB-FFAP) ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 30 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.32 มิลลิเมตร

คอลัมน์ถูกเคลือบด้วย 5% Phenyl และ 95% Dimethyl polysiloxane โดยแผ่นฟิล์มที่ใช้เคลือบคอลัมน์นี้มีความหนาเท่ากับ 0.25 ไมโครเมตร (Agilent, USA) สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายโดยเครื่อง GC-FID ดังนี้ คือ อัตราการไหลของก๊าซขนส่ง (Carrier gas) เท่ากับ 13.3 มิลลิลิตร/นาที ก๊าซเชื้อเพลิง (H_2) เท่ากับ 30.0 มิลลิลิตร/นาที Oxidant gas (Air) เท่ากับ 300 มิลลิลิตร/นาที โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ Injector และ Detector เท่ากับ 250 และ 240 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างของเหลวจะต้องทำการเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยซึ่งเป็นตัวทำให้เกิด clogging ใน GC column ออกไปก่อน จากนั้นนำส่วนน้ำ 1.0 มิลลิลิตร ผสมรวมกับ 3 โมลาร์ ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และ 4-methyl valeric acid (Internal standard) โดยใช้ในอัตราส่วน 1:1:1 ก่อนนำไปฉีดเข้าสู่ GC column

3.3. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

ตัวอย่างของเหลวซึ่งถูกรวบรวมทุกวันจากน้ำทิ้งของถังปฏิกรณ์ทั้งสองนำมาหาค่าซีโอดีที่ลดลงโดยตัวอย่างน้ำเสียจะถูกนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที (APHA, AWWA and WEF, 1998) สำหรับการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD; CODs) ซึ่งสารมาตรฐานที่ใช้เป็นตัวทดสอบความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Positive control) และทดสอบความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ (Negative control) โดยใช้โพแทสเซียมไบพาเลท ($KHC_8H_4O_4$, KHP) และน้ำกลั่น ตามลำดับ ทำการย่อยตัวอย่างของเหลวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส โดยอาศัยเครื่อง Spectroquant รุ่น TR 320 (MERCK, Germany) จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยไปวัดผลแสดงค่าซีโอดีโดยอาศัยเครื่อง Spectroquant รุ่น NOVA 60 (MERCK, Germany)

4. วิธีการทดลอง

4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงาน

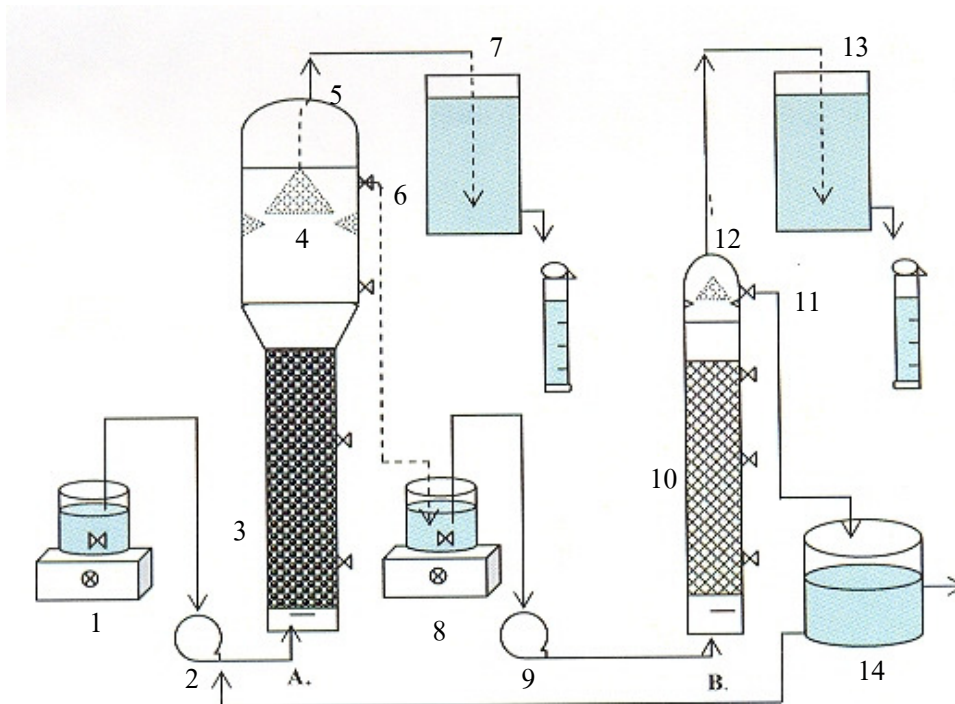
ผลิตน้ำมันปาล์ม

ขั้นตอนการเตรียมน้ำเสียเบื้องต้น (Pretreatment) สำหรับใช้ในการทดลองโดยน้ำเสียจะถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ทิ้งไว้ข้ามคืน) จากนั้นทำการกำจัดไขมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำออกไปก่อนและนำน้ำเสียดังกล่าวมาทำการกรองผ่านชุดกรองละเอียด 2 ครั้ง เพื่อกำจัดไขมันและน้ำมันรวมถึงของแข็งแขวนลอยที่เหลือบางส่วนออกไป เนื่องจากรายงานการทดลองของ Halalshah และคณะ (2005) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของไขมันและน้ำมันรวมถึงของแข็งแขวนลอยที่มีมากเกินไปซึ่งมีผลกระทบที่ร้ายแรงต่อการฟอร์มตัวของแกลนูลและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สำคัญในระบบ นำตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการเตรียมน้ำเสียเบื้องต้นมาวิเคราะห์ค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด (Total solids; TS) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile solids; TVS) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids; SS) ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (Volatile suspended solids; VSS) กรดไขมันระเหยง่าย ฟิเอช และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน (APHA, AWWA and WEF, 1998)

4.2 การสร้างถังปฏิกรณ์ การเริ่มต้นระบบ และการดำเนินงานสำหรับการทดลอง

4.2.1 ถังปฏิกรณ์สำหรับการทดลอง (Experimental Reactors)

ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยถังปฏิกรณ์สองชนิดที่แตกต่างกัน คือ ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และ UFAF แผนผังอธิบายลักษณะของระบบแบบสองขั้นตอนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ดังแสดงในภาพที่ 7 ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB มีปริมาตรใช้งาน เท่ากับ 10 ลิตร วัตถุประสงค์ของถังปฏิกรณ์นี้เพื่อใช้เป็นถังผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Acidogenic reactor) ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญต่อการผลิตมีเทนโดยมีทาโนจินิคแบคทีเรีย สำหรับลักษณะเฉพาะของถังปฏิกรณ์นี้ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนที่มีขนาดแตกต่างกัน (เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9.0 – 12.8 เซนติเมตร) โดยส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่กว่าส่วนฐานของถังปฏิกรณ์ภายใน (ส่วนบน) ถูกออกแบบให้มีกรวยสำหรับใช้ดักแยกก๊าซออกจากน้ำเสีย (Gas separator) ในขณะที่ด้านบนสุดของถังปฏิกรณ์จะมีการเชื่อมต่อกับถังเก็บก๊าซ โดยก๊าซชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นในถังหมักจะเข้าไปแทนที่น้ำที่อยู่ภายในถังเก็บก๊าซนี้ (Borja and Bank, 1995) สำหรับการออกแบบให้ส่วนบนของถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่กว่าส่วนล่างของถัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราการไหลของน้ำเสียภายในถังหมักทำให้สามารถลดการสูญเสียจุลินทรีย์ของระบบเนื่องจากแรงดันของน้ำเสีย (Rajeshwari *et al.*, 2000)



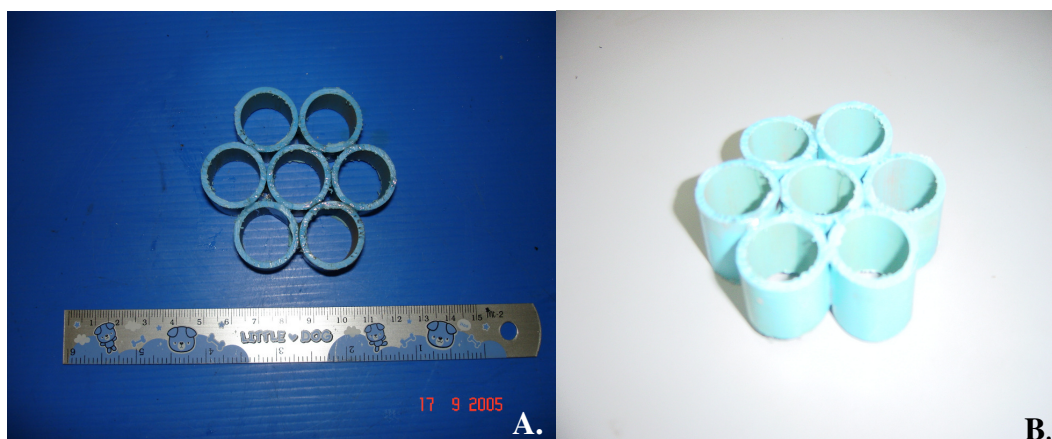
ภาพที่ 7 โครงร่างแสดงระบบการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการทดลอง (A) ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB (B) ถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF

Figure 7. Diagram of two-stage anaerobic treatment process for palm oil mill wastewater

(A) UASB reactor. (B) UFAF reactor.

หมายเหตุ	1 = เครื่องกวนผสม (Magnetic sterer)	8= เครื่องกวนผสม (Magnetic sterer)
	2= ปั๊ม (Pesistatic pump)	9= ปั๊ม (Pesistatic pump)
	3= ชั้นตะกอนจุลินทรีย์ (Sludge blanket)	10= ชั้นของวัสดุรองรับภายใน (Media)
	4= ตัวดักแยกก๊าซ (Gas separator)	11= ท่อน้ำเสียออกจากถังปฏิกรณ์
	5= ท่อน้ำก๊าซ	12= ท่อน้ำก๊าซ
	6= ท่อน้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์	13= ถังเก็บก๊าซ
	7= ถังเก็บก๊าซ	14= ถังรองรับน้ำเสีย

ถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งมีปริมาตรใช้งาน เท่ากับ 5 ลิตร (ภาพที่ 7) โดยวัตถุประสงค์ของถังปฏิกรณ์นี้เพื่อใช้สำหรับเป็นถังผลิตมีเทน (Methanogenic reactor) โครงสร้างภายในของถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยวัสดุตัวกลางซึ่งใช้สำหรับให้จุลินทรีย์เจริญยึดเกาะอยู่รอบพื้นผิว โดยวัสดุตัวกลางที่นำมาใช้งานนี้ทำมาจากท่อพีวีซี (Poly Vinyl Chloride; PVC) ที่มีการตัดเป็นท่อนสั้นขนาดเท่า ๆ กัน (Paravira *et al.*, 2005) ดังแสดงในภาพที่ 8 มีความสูงเท่ากับ 2.0 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก เท่ากับ 1.8 และ 2.2 เซนติเมตร ตามลำดับ (Chavez *et al.*, 2005; Michaud *et al.*, 2005; Held *et al.*, 2002) โดยชิ้นส่วนของวัสดุตัวกลางนี้จะถูกวางแบบสลับชั้นกันภายในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีทั้งหมด 45 ชั้น ความสูงทั้งหมดของชั้นนี้ เท่ากับ 90 เซนติเมตร



ภาพที่ 8 ลักษณะเฉพาะของวัสดุตัวกลางที่ใช้สำหรับให้จุลินทรีย์เจริญยึดเกาะภายในถังปฏิกรณ์ UFAF (A) ภาพทางด้านบนของวัสดุตัวกลาง (B) ภาพทางด้านข้างของวัสดุตัวกลาง

Figure 8. The Characteristic of innards material for microbial hole in UFAF reactor

(A) The Top view of innards material. (B) The side view of innards material.

4.2.2 การเริ่มต้นระบบ (Start-up Period)

ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และ UFAF ซึ่งถูกใช้เป็นที่สำหรับผลิตกรดไขมันระเหยง่าย และมีเทน ตามลำดับ โดยในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบซึ่งทำการเติมหัวเชื้อเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 ของปริมาตรใช้งานของถังปฏิกรณ์ทั้งสอง สำหรับการดำเนินงานของการทดลองในช่วงของการเริ่มต้นระบบ โดยถังปฏิกรณ์ทั้งสองจะดำเนินงานที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 เดือน การป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้งสองเริ่มต้นโดยใช้น้ำเสียที่มีการเจือจาง (POMW diluted) ซึ่งมีค่าซีโอดี อยู่ในช่วง 15,000-50,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้จะต้องทำการปรับค่าพีเอชให้ได้เท่ากับ 6.0 โดยใช้ปูนขาว (Calcium hydroxide; $\text{Ca}(\text{OH})_2$) (Marchaim, 1992; Subbah *et al.*, 2004) ในขณะที่สภาพความเป็นด่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์จะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 2,500-4,000 มิลลิกรัม แคลเซียมคาร์บอเนต/ลิตร (Borja *et al.*, 1996) ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักซึ่งเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องแบบเป็นขั้นตอน โดยการลดอัตราการเจือจางลงเป็นผลให้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 1.5 ถึง 5.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ในขณะที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียของถังปฏิกรณ์ทั้งสองจะรักษาไว้ที่ 3.3 วัน

4.2.3 การดำเนินงานในการทดลอง (Experimental Operation)

ในการดำเนินงานของการทดลองซึ่งเริ่มต้นขึ้นภายหลังขั้นตอนการเริ่มต้นระบบ (Start-up) ของถังปฏิกรณ์ทั้งสองเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) สำหรับในการทดลองของถังผลิตกรด (UASB) และถังผลิตมีเทน (UFAF) โดยจะดำเนินงาน ตามข้อ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

4.3. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตกรดไขมันระเหยง่ายของถังผลิตกรด (UASB) ในระบบแบบสองขั้นตอน

การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในถังผลิตกรด สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นและทำการเจือจางให้มีค่าซีโอดีประมาณ 50,000 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร อัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเริ่มต้นโดยมีค่าเท่ากับ 2.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวก่อนการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์ใหม่เข้าสู่ระบบโดยทำการเพิ่มขึ้นแบบเป็นขั้นตอน คือ 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 และ 17.5 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน มีผลทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 20.0 10.0 6.67 5.0 4.0 3.33 และ 2.86 วันตามลำดับ ตัวอย่างน้ำเสียจะมีการเก็บและทำการวิเคราะห์ค่าพีเอชทุกวัน หาค่าซีโอดีและปริมาณ

กรดไขมันระเหยง่ายทุก 4 วัน สำหรับการวัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นในแต่ละวัน โดยสามารถดูได้จากปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซในถังเก็บก๊าซ ในขณะที่ปริมาณของมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมดจะวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่อง Multigas analyzer ทำการทดลองจนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัวก่อนทำการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์ใหม่ เลือกชุดการทดลองที่เหมาะสม โดยให้ปริมาณกรดสูงสุดสำหรับการใช้ในการทดลองข้อ 4.5

4.4. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างผลผลิตก๊าซชีวภาพของ ถังผลิตมีเทน (UFAF) ในระบบแบบสองขั้นตอน

การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในถังผลิตมีเทน (UFAF) สำหรับน้ำเสียที่ใช้เติมเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้โดยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมกรดไขมันระเหยง่าย (Pind *et al.*, 2002) ในปริมาณแน่นอนลงไปบนน้ำเสียที่เจือจางสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์นี้มีค่าซีโอดีประมาณ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6.0 ด้วยปูนขาวก่อนป้อนเข้าสู่ถังผลิตมีเทน สำหรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ซึ่งมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.1 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัวจากนั้นค่อย ๆ ปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ขึ้นแบบเป็นขั้นตอน โดยมีค่า เท่ากับ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 กรัมซีโอดี/ลิตร/วัน มีผลทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียไว้ในถังปฏิกรณ์ลดลง โดยมีค่า เท่ากับ 13.5 6.0 3.0 2.0 และ 1.5 วัน ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ จะถูกเก็บรวบรวมก่อนนำไปวัดค่าพีเอชทุกวัน วิเคราะห์หาค่าซีโอดีและปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายทุก ๆ 4 วัน วัดปริมาณก๊าซที่ผลิตขึ้นทุกวันในถังเก็บก๊าซโดยดูปริมาณการแทนที่น้ำในถังเก็บก๊าซและวัดปริมาณของมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพทั้งหมดทำการวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่อง Mutigas analyzer ทำการทดลองจนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัวก่อนทำการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เลือกชุดการทดลองที่เหมาะสมโดยให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดสำหรับการใช้ในการทดลองข้อ 4.5

4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการสร้างผลผลิตมีเทนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ชั้นตอนเดียวและสองชั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

การศึกษาประสิทธิภาพการสร้างผลผลิตมีเทนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชั้นตอนเดียวโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB และ UFAF ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองชั้นตอนโดยใช้ถังปฏิกรณ์ UASB ต่อกันแบบอนุกรมกับถังปฏิกรณ์ UFAF (UASB/UFAF) ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมัน สำหรับในการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการเตรียมเบื้องต้นมาแล้วทำการเจือจางให้มีค่าซีโอดีประมาณ 50,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB จะไม่ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนนำไปใช้งานซึ่งในการดำเนินงานโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ UASB ซึ่งได้รับการทดลองตามข้อ 4.3 ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ในขณะที่การดำเนินงานโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยใช้น้ำเสียที่ได้รับมาจากถังผลิตกรดซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำเสียที่จะป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นี้โดยไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอช (พีเอช 5.98) ในการทดลองโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF ซึ่งได้รับการทดลองตามข้อ 4.4 ทำการทดลองจนระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ในขณะที่การดำเนินงานโดยอาศัยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองชั้นตอนซึ่งในการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB สำหรับเป็นถังผลิตกรดไขมันระเหยง่ายในชั้นตอนแรกและใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF สำหรับเป็นถังผลิตมีเทนในชั้นตอนต่อมา สำหรับในการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UASB โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งได้รับการทดลองตามข้อ 4.3 และในการดำเนินงานของถังปฏิกรณ์ชนิด UFAF โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมซึ่งได้รับการทดลองตามข้อ 4.4 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำผลที่ได้รับการทดลองที่ดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศชั้นตอนเดียวและระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองชั้นตอนโดยนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสร้างผลผลิตมีเทนและการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

4.6. การคำนวณประสิทธิภาพของระบบและการศึกษาจลพลศาสตร์ของการหมัก

นำข้อมูลการทดลองในช่วงสถานะคงตัวของการทดลองข้อ 4.3 ถึง 4.5 มาคำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- **เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายทั้งหมด (Total Degradation)** (ดัดแปลงจาก Halalsheh *et al.*, 2005)

$$\% \text{ Total degradation} = \frac{\text{COD}_{\text{CH}_4} + (\text{COD}_{\text{diseffl}} - \text{COD}_{\text{disinfl}})}{\text{COD}_{\text{infl}} - \text{COD}_{\text{disinfl}}} \times 100 \quad (5)$$

- **เปอร์เซ็นต์การสร้างกรด (Acidogenesis)** (Halalsheh *et al.*, 2005)

$$\% \text{ Acidification} = \frac{\text{COD}_{\text{CH}_4} + (\text{COD}_{\text{VFAeffl}} - \text{COD}_{\text{VFAinfl}})}{\text{COD}_{\text{infl}} - \text{COD}_{\text{VFAinfl}}} \times 100 \quad (6)$$

- **เปอร์เซ็นต์การสร้างมีเทน (Methanogenesis)** (Halalsheh *et al.*, 2005)

$$\% \text{ Methanogenesis} = \frac{\text{COD}_{\text{CH}_4}}{\text{COD}_{\text{infl}}} \times 100 \quad (7)$$

- **Organic Loading Rate (OLR)** (Mahmoud *et al.*, 2003)

$$\text{OLR} = \frac{Q \cdot \text{COD}}{V} = \frac{\text{COD}}{\text{HRT}} \quad (8)$$

เมื่อ	$\text{COD}_{\text{diseffl}}$	= ค่าซีโอดีละลายน้ำของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
	COD_{infl}	= ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัม/ลิตร)
	$\text{COD}_{\text{VFAeffl}}$	= ปริมาณของ VFA ที่มีอยู่ในน้ำเสียในรูปของค่าซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)
	$\text{COD}_{\text{VFA infl}}$	= ปริมาณของ VFA ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในรูปของค่าซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)
	COD_{CH_4}	= ค่าซีโอดีที่สามารถเปลี่ยนเป็นผลผลิตของมีเทน
	Q	= อัตราเร็วของน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (ลิตร/วัน)
	V	= ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (ลิตร)

นำข้อมูลการทดลองในช่วงสถานะคงตัวของการทดลองข้อ 4.3 ถึง 4.5 มาคำนวณหาค่าต่างๆ โดยใช้โปรแกรม EXCEL (EXCEL software) ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติคือ ANOVA เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองและสมมติฐานตามทฤษฎี ดังต่อไปนี้

- อัตราการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร (Substrate Removal Rate) (Borja *et al.*, 2004)

$$R_s = R_{s_{max}} [1 / (1 + K_s / S_c + S_c / K_i)] \quad (9)$$

จลพลศาสตร์พารามิเตอร์ ($R_{s_{max}}$, K_s และ K_i) สามารถกำหนดโดยอาศัย non-linear regression โดยใช้สมการ (9) นั่นคือ

$$S_c / R_s = K_s / R_{s_{max}} + (1 + 1 / R_{s_{max}}) S_c + (1 / K_i R_{s_{max}}) S_c^2 \quad (10)$$

เมื่อเทอมของ $K_s / R_{s_{max}}$ ซึ่ง Intercept กับจุดเริ่มต้น (Origin) หรือ independent term ของสมการโพลีโนเมียล (Polynomial equation) $1 / R_{s_{max}}$ เป็นสัมประสิทธิ์ของ S_c และ $1 / K_i R_{s_{max}}$ เป็นสัมประสิทธิ์ของ S_c^2

- อัตราการผลิตมีเทน (Methane Production Rate) (Borja *et al.*, 2004)

$$Q_M = Q_{M_{max}} [S_c / (K_s + S_c + (1 / K_i) S_c^2)] \quad (11)$$

ค่าของ $Q_{M_{max}}$, K_s และ K_i สามารถกำหนดโดยอาศัย non-linear regression ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$S_c / Q_M = K_s / Q_{M_{max}} + (1 / Q_{M_{max}}) S_c + (1 / K_i Q_{M_{max}}) S_c^2 \quad (12)$$

โดยที่ R_s = อัตราการใช้สารอาหาร (กรัม/ลิตร/วัน)

$R_{s_{max}}$ = อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (กรัม/ลิตร/วัน)

S_c = ความเข้มข้นของสับสเตรทที่ย่อยสลายได้ (กรัม/ลิตร)

K_s = สัมประสิทธิ์ของความอิ่มตัว (กรัม/ลิตร)

K_i = สัมประสิทธิ์การยับยั้ง (กรัม/ลิตร)

Q_M = อัตราการผลิตมีเทน (ลิตร/วัน)

$Q_{M_{max}}$ = อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด (ลิตร/วัน)

หมายเหตุ

$$R_s = \frac{\text{TCOD}_{\text{inf}} - \text{TCOD}_{\text{eff}}}{1/\text{HRT}}$$

$$S_c = \text{TCOD}_{\text{inf}} - S_{\text{nb}}$$

TCOD_{inf} = ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์
(กรัม/ลิตร)

TCOD_{eff} = ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ไหลล้นออกจากถังปฏิกรณ์
(กรัม/ลิตร)

HRT = ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในปฏิกรณ์ (วัน)

ความเข้มข้นของสับสเตรทที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (S_{nb}) หาได้จากการสร้างกราฟระหว่างค่าส่วนกลับของระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในถังปฏิกรณ์ ($1/\text{HRT}$) กับค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (TCOD_{inf}) ของอัตราการป้อนสารอินทรีย์นั้นๆ