

ภาคผนวก ก  
สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. น้ำเลี้ยงสังเคราะห์ที่ใช้ในการตรวจสอบกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Smolder และคณะ, 1995)

**Nutrient Solution** ประกอบด้วย (กรัม/ลิตร)

FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	1.5
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.15
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.13
KI	0.18
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0.12
Na <sub>2</sub> MO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0.06
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.12
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.15
EDTA	10

**น้ำเลี้ยงสังเคราะห์** ประกอบด้วย (มิลลิกรัม/ลิตร)

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	75.5
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	50
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	90
Yeast Extract	10
Nutrient Solution	0.3      มิลลิลิตร/ลิตร

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก 1.0 % (V/V) โดยผสมน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ปริมาตร 500 มิลลิลิตร กับกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร จากนั้นปรับค่าพีเอชให้ได้ประมาณ 7.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

**ภาคผนวก ข**  
**วิธีวิเคราะห์น้ำเสีย**

**1. BOD (Biochemical Oxygen Demand) (A.O.A.C., 1990)**

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. Incubation Bottle ขนาด 250-300 มิลลิเมตร พร้อมจุกปิดสนิท
2. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร และขาตั้งบิวเรต
3. กระจกตวงขนาด 1 ลิตร
4. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
5. ตู้อบอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

**สารเคมี**

1. น้ำกลั่นที่มีคุณภาพสูง เพื่อใช้เตรียมน้ำสำหรับการเจือจาง ควรมีทองแดงน้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และปราศจากคลอรีน คลอรามีน Caustic Alkalinity สารอินทรีย์ และกรด
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  8.5 กรัม  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75 กรัม  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  33.4 กรัม และ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วทำการเจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้มีค่า pH เท่ากับ 7.2
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย anhydrous  $\text{CaCl}_2$  27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายกรดและด่าง 1 นอร์มัล เพื่อปรับ pH ให้เป็นกลาง
7. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 นอร์มัล ละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  1.575 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ไม่อยู่ตัวต้องเตรียมในวันที่ใช้

## วิธีการวิเคราะห์

### 1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

- 1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่จะใช้ 1 ลิตร ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด
- 1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ เพอร์ริคคลอไรด์โดยเติมสารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำเจือจาง 1 ลิตร
- 1.3 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

### 2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์

- 2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดต้องปรับ pH ให้เท่ากับ 7.0 ด้วยกรดซัลฟูริก 1 นอร์มัล หรือด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล
- 2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนตกค้าง โลหะหนัก หรือสารที่เป็นพิษชนิดอื่นเจือปนอยู่จะต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อนเป็นพิเศษ

### 3. วิธีการทำเจือจาง

- 3.1 เลือกเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างมาทำการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า  $BOD_5$  อยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วเลือกเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันตามตารางผนวก 1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ค่า  $BOD_5$  โดยประมาณก่อน
- 3.2 ค่อยๆ รินน้ำสำหรับการทำการเจือจาง 700-800 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร
- 3.3 เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการแล้วเติมน้ำสำหรับการทำการเจือจางจนได้ปริมาตรเป็น 1 ลิตร
- 3.4 คนให้เข้ากันโดยใช้แท่งแก้วเสียบจุกยางไว้ที่ปลายขวดขึ้นลงเบาๆ โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ
- 3.5 ค่อยๆ รินน้ำตัวอย่างผสมให้เข้ากันดีแล้วใส่ในขวดบีโอดีที่แห้งและสะอาดจนเต็ม 3 ขวด ปิดจุกให้สนิทนำไปเก็บในตู้ Incubator ที่ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนขวดที่เหลือนำไปหาค่า DO ทันที เพื่อหาค่า DO เริ่มต้น
- 3.6 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2-3.5 สำหรับเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างที่เจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่าตามลำดับ

### 4. การหาค่า DO ที่จุดเริ่มต้น ใช้วิธี Azide Modification ดังรายละเอียด ข้อ 2

### 5. การเพาะเลี้ยง (Incubation)

เพาะเลี้ยง โดยเก็บ 2 ขวด ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมีอุณหภูมิ  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำมาหาปริมาณ DO ( $D_2$ ) ตามข้อ 4 การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ยังไม่ได้ใส่เชื้อลงในขวด BOD 2 ขวด ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งบ่มที่ 20 องศาเซลเซียส อีกขวดนำไปหาค่า DO ทันที ผลต่างของ DO ที่ได้ไม่ควรต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

#### 6. การพิจารณาผลเพื่อคำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือและจะใช้คำนวณนั้น จะต้องมียค่า DO อย่างน้อย 1 มิลลิกรัม และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 มิลลิกรัม/ลิตร ของตัวอย่างน้ำที่ทำการเจือจางจึงทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาถูกต้องที่สุด

#### ตารางผนวก 1 ช่วงของค่าบีโอดีและวิธีการเจือจางน้ำเสีย

**Appendix Table 1.** BOD range and dilute wastewater method.

ช่วงค่า BOD	(%) ตัวอย่าง
20,000-70,000	0.01
10,000-35,000	0.02
4,000-14,000	0.05
2,000-7,000	0.1
400-1,400	0.2
200-700	1.0
100-350	2.0
40-140	5.0
20-70	10.0
10-35	20.0
4-14	50.0
0-7	100

## 2. ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolve Oxygen; DO) โดยวิธี Azide Modification (A.O.A.C., 1990)

### สารเคมี

1. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  480 กรัม หรือ  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  400 กรัม หรือ  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  364 กรัม ในน้ำกลั่นกรองแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร สารละลายนี้ ต้องไม่เกิดสีกับน้ำแฉ่ำเมื่อเติมสารละลายที่ทำให้เป็นกรดแล้วของ KI

2. สารละลายไอโอดีน-ไอซิด์ ละลาย NaOH 500 กรัม และ NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ละลาย  $\text{NaN}_3$  10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมในสารละลายข้างต้น

3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4. น้ำแฉ่ำอินดิเคเตอร์ละลาย Soluble Starch 5 กรัม ในน้ำต้มประมาณ 800 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันเติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที ตั้งค้างคืนไว้ใช้น้ำส่วนใส เติม Salicylic acid 1.25 กรัมต่อน้ำแฉ่ำ 1 ลิตร หรือ Toluene 2-3 หยด เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

5. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมโซโครัลเฟต 0.025 นอร์มอล ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  5 กรัม ในน้ำกลั่นเติม NaOH 0.4 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ทำการ Standardize ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต

6. สารละลายมาตรฐาน โปตัสเซียมไบโอไอเดต 0.025 นอร์มัล ละลาย  $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$  0.8124 กรัม ในน้ำกลั่นปรับจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

### การ Standardize สารละลายมาตรฐานโซเดียมโซโครัลเฟต 0.025 นอร์มัล ด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไบโอไอเดต

1. ละลาย KI 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 มิลลิลิตร ในขวดชมพู
2. เติม 1+9  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จำนวน 10 มิลลิลิตร
3. นำมาไตเตรตไอโอดีนที่ถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซโครัลเฟต 0.025 นอร์มัล ที่เตรียมไว้จนถึงจุดยุติสังเกตจากสีของสารละลายจะจางลง เติมน้ำแฉ่ำ 1 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อจนถึงจุดยุติ ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซโครัลเฟตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มัล พอติปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต เท่ากับ 20.00 มิลลิลิตร ถ้าไม่ได้ให้ปรับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซโครัลเฟตให้ เท่ากับ 0.025 นอร์มัล

### วิธีการวิเคราะห์

1. จากตัวอย่างที่เหลือในข้อ 3.5 นำมาเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร ลงไปได้ผิวน้ำ
2. เติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรคลอไรด์ 1 มิลลิลิตร ลงไปได้ผิวน้ำ
3. ปิดจุกยางอย่าให้ฟองอากาศเข้า เขย่าโดยกลับขวดไปมา 15 ครั้ง
4. ปล่อยให้ตกตะกอนนอนก้นภายหลังสังเกตเห็นน้ำใสข้างบนมีปริมาตรได้ประมาณ 100 มิลลิลิตร ให้เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร โดยค่อยๆ ปล่อยให้กรดไหล เป็นสายไปตามคอขวด
5. ปิดจุกแล้วเขย่ากลับไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด
6. ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้ไอโอดีนที่เกิดกระจายไปทั่วขวดก่อนริน
7. ตวงสารละลายที่ได้สำหรับใช้ในการไตเตรตโดยยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของ ตัวอย่างน้ำ 200 มิลลิลิตร เป็นหลักนั่นคือถ้าขวดขนาด 300 มิลลิลิตร และเติม สารละลายแมงกานีสซัลเฟต และสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรคลอไรด์ รวม 2 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาไตเตรตจะเป็น  $\frac{200 \times 300}{300-2} = 208$  มิลลิลิตร

นำปริมาตรสารละลายที่คำนวณได้มาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียม-ไฮโปซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนได้สีเหลืองอ่อนๆ เติมน้ำแข็ง 1-2 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อจนกระทั่ง สีน้ำเงินหายไป

### การคำนวณ

1. ออกซิเจนละลาย (DO)
  2.  $BOD_5$  (เมื่อไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)
 
$$BOD_5 \text{ (mg/l)} = (D1-D2)/P$$
  3.  $BOD_5$  (เมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์)
 
$$BOD_5 \text{ (mg/l)} = [(D1-D2)-(B1-B2) f]/P$$
- โดยที่ D1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรก  
 D2 = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5  
 P = อัตราส่วนการเจือจางน้ำตัวอย่าง  
 B1 = ค่าออกซิเจนละลายในวันแรกของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)  
 B2 = ค่าออกซิเจนละลายในวันที่ 5 ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ (mg/l)

$F =$  อัตราส่วนของปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่างต่อปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับแก้ค่าเนื่องจากการเติมหัวเชื้อ

### 3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method (A.O.A.C., 1990)

#### วัสดุอุปกรณ์

1. ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) ขนาด 250-300 มิลลิลิตร
2. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heating mantle)
3. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (Semi-micro distillation apparatus)
4. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ปิเปต
7. บิวเรต
8. ลูกแก้ว
9. กระดาษกรอง

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ )
2. สารช่วยเร่งการย่อย (catalyst) ประกอบด้วย  $CuSO_4$  1 ส่วน และ  $K_2SO_4$  10 ส่วน
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 40
4. กรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) เข้มข้นร้อยละ 2
5. Mixed indicator
  - 5.1 ชั่ง 0.125 กรัม เมทิลเรด และ 0.082 กรัม เมทิลีนบลูละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
  - 5.2 ชั่ง 0.1 กรัม โพรโมคริซอลารีนละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
  - 5.3 ผสมสารละลาย 2 ชนิดรวมกัน สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ทุกเดือน

## วิธีการ

### การย่อยตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.2-0.5 กรัม หรือ 5-10 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดย่อยตามปริมาณไนโตรเจน คาดว่าจะมีถ้ามีมากก็ใช้น้อยถ้ามีน้อยก็ใช้มาก (ทำ blank ทุกครั้ง)
2. ใส่สารช่วยเร่งการย่อย (catalyst) 1-2 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5-10 มิลลิลิตร สวมและเปิดเครื่องจับไอกรด
4. ย่อยที่อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นจนถึง 350 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
5. เมื่อย่อยจนใสหรือได้สารละลายสีฟ้าหรือสีเขียวอมฟ้าตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
6. นำไปกลั่น

### การกลั่นตัวอย่าง

1. ใส่ตัวอย่างในหลอดกลั่นเติมน้ำประมาณ 60-100 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เพื่อผสมกรด
2. ใส่หลอดเข้ากับเครื่องกลั่นที่พร้อมจะกลั่นเปิดน้ำหล่อเย็นอัตราการไหลประมาณ 3-4 ลิตรต่อนาที
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไปช้าๆ จนได้สารละลายสีดำ
4. เริ่มกลั่น โดยใช้กรดบอริก (2%) ที่มีการเติม Mixed indicator (2-3 หยด) ประมาณ 10 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร รองรับ Condensate โดยให้ปลายท่อจมอยู่ใต้กรด
5. กลั่นให้ได้ Condensate ประมาณ 100-150 มิลลิลิตร ก่อนเสร็จการกลั่นในแต่ละครั้งให้เลื่อนพลาสติกเก็บตัวอย่างลงให้พื้นของเหลวกลั่นต่อประมาณ 1 นาที เพื่อล้างเครื่องกลั่น
6. ไตรเตรทกับ 0.02-0.1 นอร์มัล HCl หรือ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ลบกับค่า blank ออกเพื่อนำไปคำนวณ

## การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 14}{W}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตรเตรทกับตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตรเตรทกับ blank

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)

กรณีคิดปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) คูณด้วย 6.25



#### 4. ของแข็งทั้งหมด (Total solids; TS) (APHA, AWWA and WEF, 1998)

##### วัสดุอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้องสำหรับระเหย
2. ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 องศาเซลเซียส
3. อ่างไอน้ำ
4. โถดูดความชื้น (Desiccators)
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

##### วิธีการวิเคราะห์

1. นำถ้วยระเหยล้างให้สะอาดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ตวงตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าใส่ลงในถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
3. นำไประเหยให้แห้งในอ่างไอน้ำ
4. อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 45 นาที ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

##### การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็ง (มิลลิกรัม)} \times 1,000}{\text{มิลลิลิตร ตัวอย่าง}}$$

## 5. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids; SS) (APHA, AWWA and WEF, 1998)

### วัสดุอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว
2. กรวยกรองบุคเนอร์ (Bucher funnel)
3. ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 องศาเซลเซียส
4. เครื่องดูดอากาศ (Suction funnel)
5. โถดูดความชื้น (Desiccators)
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

### วิธีการวิเคราะห์

1. นำกระดาษกรองใยแก้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. เลือกปริมาณน้ำตัวอย่างที่ให้ปริมาณของแข็งไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร
3. วางกระดาษกรองลงบนกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องดูดสุญญากาศใช้น้ำกลั่นฉีดที่กระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
4. กรองน้ำตัวอย่างโดยเปิดเครื่องดูดสุญญากาศใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่จนหมด
5. ปิดเครื่องดูดสุญญากาศคีบกระดาษกรองวางบนภาชนะที่ทนความร้อนนำไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 45 นาที ชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

### การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็ง (มิลลิกรัม)} \times 1,000}{\text{มิลลิลิตร ตัวอย่าง}}$$

## 6. สภาพด่าง (Alkalinity) วิธีโพแทสเซียมเมตริก

### วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก
3. บีกเกอร์และบิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

### สารเคมี

1. น้ำที่ปราศจากคาร์บอน ไดออกไซด์คั่งน้ำกลั่นให้เดือดและทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมน้ำยาเคมีหรือสำหรับการเจือจาง
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 5 กรัม ในเอทานอล 95% จำนวน 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
3. สารละลายเมธิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ ละลายผงเมธิลออเรนจ์ 500 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น จำนวนเล็กน้อยแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเททริลเรดเตรียมโดยละลายเกลือโซเดียมเมทิลเรด 20 มิลลิกรัม และเกลือโซเดียมบรอมครีซอลกรีน 100 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ละลายเมธิลเรด 20 มิลลิกรัม และบรอมครีซอลกรีน 100 มิลลิกรัม ในเอทานอล 95% หรือ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จำนวน 100 มิลลิลิตร
5. สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  25 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ประมาณ 0.05 นอร์มัล ออบโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 3-5 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่ง  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่อบแล้ว 2.45 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตรขนาด 1 ลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร อย่าเก็บสารละลายนี้ นานกว่า 1 สัปดาห์
7. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 1.00 นอร์มัล (เพื่อใช้สำหรับเตรียม 0.1 นอร์มัล และ 0.02 นอร์มัล) เตรียมกรดซัลฟูริกให้มีความเข้มข้นมากกว่า 1 นอร์มัล (ใช้กรดเข้มข้น ประมาณ 30 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร) ชั่ง โซเดียมคาร์บอเนตที่อบแล้ว ประมาณ 1.00-1.10 กรัม ต้องทราบน้ำหนักที่แน่นอน ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทำ 3 ซ้ำ ไตเตรตด้วยกรดซัลฟูริก ที่เตรียมโดยใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนกับเมธิลเรดจากสีฟ้าให้เป็นสีชมพูอมส้ม จุดปริมาตรที่ใช้แต่ละครั้ง (หาค่าเฉลี่ยปริมาตรกรดที่ใช้) คำนวณปริมาตรกรดที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดี

กับโซเดียมคาร์บอเนตโดยโซเดียมคาร์บอเนต 1.06 กรัม จะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซัลฟูริก 1.0 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร คำนวณปริมาณน้ำที่จะเติมให้สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก มีความเข้มข้น 1.00 นอร์มัลพอดี

$$\text{ปริมาณน้ำที่จะเติม} = \frac{\text{ปริมาตรกรดที่จะนำมาเจือจาง} \times A}{\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต}}$$

โดยที่ A = ปริมาตรกรดจากการคำนวณ - ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต

เช่น เตรียมกรดซัลฟูริกความเข้มข้นมากกว่า 1.0 นอร์มัล จำนวน 1 ลิตร เตรียม  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  โดยชั่งน้ำหนัก 1.05 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วไตเตรตด้วยกรดซัลฟูริกที่เตรียม ใช้กรดในการไตเตรต 19.5 มิลลิลิตร

$$\text{ปริมาตรกรดที่จะนำมาเจือจาง} = 900 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต} = 19.5 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาตรกรดจากการคำนวณ} = 20 \times 1.05/1.06 = 19.8 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่จะเติม} = \frac{900}{19.5} (19.8 - 19.5) = 13.85 \text{ มิลลิลิตร}$$

จะต้องเติมน้ำ 13.85 มิลลิลิตร ให้กับสารละลายกรดที่นำมาเจือจาง 900 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 1.00 นอร์มัล

8. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล โดยเจือจางกรดซัลฟูริก 1.00 นอร์มัล จำนวน 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เทียบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มัล จำนวน 40.0 มิลลิลิตร

9. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล โดยเจือจางกรดซัลฟูริก 1.00 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เทียบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มัล จำนวน 20.0 มิลลิลิตร

### วิธีการวิเคราะห์

1. เลือกขนาดตัวอย่างน้ำและความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานตามความเหมาะสมโดยทั่วไปมักใช้ปริมาตรตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ห้ามกรองตัวอย่างก่อนหรือทำการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างโดยการเจือจางหรือทำให้เข้มข้นขึ้น

2. ปิเปิดตัวอย่างใส่บีกเกอร์ วางบีกเกอร์ บนเครื่องกวนแม่เหล็กกลุ่มอิเล็ก โตรดลงในบีกเกอร์

3. วัดพีเอชของตัวอย่างน้ำแล้วเติมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกจากบิวเรตลงไปอย่างรวดเร็วจนใกล้จุดยุติให้เติมทีละน้อย ๆ รอจนแน่ใจว่าพีเอชถึงจุดสมมูลก่อนจึงค่อยเติมต่อไปจนถึงจุดยุติ ถ้าหาสภาพต่างฟีนอล์ฟทาไลน์จะไตเตรตจนถึงพีเอช 8.3 (ถ้าตัวอย่างของน้ำมีพีเอชมากกว่า 8.3) และถ้าหาสภาพต่างทั้งหมดให้ไตเตรตจนถึงพีเอช 4.3 จดปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรต

#### การคำนวณ

$$\text{สภาพต่าง P} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตร ของสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตจนถึงจุดยุติของฟีนอล์ฟทาไลน์

N = นอร์มัลลิตีของสารละลายกรดมาตรฐาน

P = สภาพต่างมีหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

$$\text{สภาพต่าง M.O} = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตจนถึงจุดยุติของเมทิลออเรนจ์หรืออินดิเคเตอร์ผสม

ในกรณีที่หาสภาพต่าง M.O โดยไตเตรตต่อจากการหาสภาพต่าง P สภาพต่างทั้งหมดคำนวณได้ดังนี้

$$\text{สภาพต่างทั้งหมด} = \text{M.O Alkalinity} + \text{P. Alkalinity}$$

ในกรณีที่หาสภาพต่าง M.O โดยไตเตรตจากตัวอย่างน้ำใหม่

$$\text{สภาพต่างทั้งหมด} = \text{M.O Alkalinity}$$

## 7. ไขมันและน้ำมัน

### วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดสกัดซอกซ์เลต
2. เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum pump)
3. กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel)
4. เครื่องอิงน้ำ
5. ขวดสกัด (Extraction flask)
6. เครื่องชั่งละเอียด
7. ตู้อบ
8. กระดาษกรองเบอร์ 40 ขนาด 7 เซนติเมตร
9. เอกซ์แทรกชันทิมเบิล (Extraction thimble paper)
10. ลูกแก้ว

### สารเคมี

1. กรดเกลือเข้มข้น
2. โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ
3. เฮกเซน (n-Hexane) หรือฟริออน
4. สำลี

### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักกากตะกอนที่เปียกจำนวน  $20 \pm 0.5$  กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร
2. ทำให้เป็นกรด (พีเอชน้อยกว่า 2) โดยเติมกรดเกลือเข้มข้น 0.3 มิลลิลิตร
3. ใส่โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำปริมาณ 25 กรัม รวมกับตัวอย่างน้ำคนให้เข้ากัน แล้ว  
แผ่ตัวอย่างไปตามข้างๆ บีกเกอร์ ตั้งทิ้งไว้ 15-30 นาที
4. ใช้แท่งแก้วบดตัวอย่างให้ละเอียด
5. ถ่ายตัวอย่างลงในทิมเบิล ใช้สำลีชุบเฮกเซนเช็ดไขมันที่ติดข้างบีกเกอร์และแท่งแก้ว  
ให้หมดใส่สำลีสวมลงไป ในทิมเบิลด้วย ใส่ลูกแก้วให้เต็มทิมเบิล
6. ชั่งน้ำหนักขวดสกัดซึ่งได้อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส และมีน้ำหนักคงที่  
สมมุติว่าหนักเท่ากับ A กรัม ใส่เฮกเซนลงไปจำนวน 200 มิลลิลิตร

7. ใส่ทิมเบิลในชุดสกัดชอกส์เลตโดยใช้เฮกเซนหรือฟริออนเป็นตัวทำละลายด้วยอัตรา 20 รอบ/ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

8. กลับเฮกเซนจากขวดสกัดในเครื่องอังน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ออกจนแห้งสามารถนำเฮกเซนกลับมาใช้ได้

9. ปลอ่ยให้ขวดสกัดเย็นในโถทำแห้งไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสมมุติเท่ากับ B กรัม

#### การคำนวณ

$$\text{น้ำมันและไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)} = \frac{(B-A) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก (กรัม) X (\%)\ ตะกอนแห้ง}}$$

**ภาคผนวก ค**  
**ข้อมูลผลการทดลอง**

**ค-1. การศึกษาลักษณะของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**

**ตารางภาคผนวก 2** ลักษณะของน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลอง

**Appendix Table 2.** The characteristic of palm oil mill wastewater (POMW) for used.

พารามิเตอร์	น้ำเสีย (ไม่ผ่านการเตรียม)	น้ำเสีย (ผ่านการเตรียมเบื้องต้น)	ประสิทธิภาพสูงสุด ในการบำบัด (%)
บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	18,000-22,000	14,000-18,000	22.22
ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	72,000-95,000	68,000-74,000	22.11
ซีโอดีละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร)	55,000-72,000	50,000-68,000	9.1
ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	12,500-35,000	11,500-14,000	60.0
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	7,000-12,000	6,000-7,500	37.5
เถ้า (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,700-4,500	2,500-2,700	40.0
ไขมันและน้ำมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	6,100-10,600	5,500-6,100	42.45
ไนโตรเจนทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	1,078	980	9
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	472.5	432.5	8
PO <sup>3-</sup> H-P (มิลลิกรัม/ลิตร)	147.0	125.0	15
พีเอช	4.35	4.36	-



ค-2. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างกรดระเหยง่ายในถังผลิตกรด

2.1. ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างกรดระเหยง่ายในถังผลิตกรดระหว่างช่วงเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ตารางภาคผนวก 3 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างเริ่มต้นระบบ

Appendix Table 3. The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at start-up period.

OLR (gCOD/l/d)	VFA (mg/l)	Acetic (mg/l)	Propionic (mg/l)	Butyric (mg/l)	pH
<b>1.5</b>	1303	440.25	398.13	0	7.25
	1839.27	122.37	0	0	7.22
	2360.94	114.21	566.52	0	7.21
	1987.26	122.43	280.29	0	7.15
	2403.61	80.46	677.94	0	7.09
	933.48	60.84	447.66	84.81	7.12
	782.34	638.52	0	0	7.08
<b>Means</b>	<b>1658.56</b>	<b>225.58</b>	<b>338.65</b>	<b>25.74</b>	<b>7.16</b>
<b>2.5</b>	1022.37	36.18	880.41	0	6.61
	2293.95	49.26	549.15	0	6.64
	2029.05	225.98	814.74	140.58	6.55
<b>Means</b>	<b>1871.79</b>	<b>103.81</b>	<b>748.1</b>	<b>46.86</b>	<b>6.60</b>
<b>5.0</b>	1663.23	1330.47	0	0	6.15
	1856.37	82.53	42.39	0	6.08
	1795.86	0	0	0	6.1
	2890.95	51.69	915.48	0	6.14
	3041.34	0	1233.21	0	6.1
	3316.86	71.76	1276.62	0	6.09
	3967.38	77.73	1521.39	0	6.03

ตารางภาคผนวก 3 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง  
ค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างของการเริ่มต้นระบบ

**Appendix Table 3. (Con.)** The experimental data show effect of organic loading rate on  
parameter changed in acidogenic reactor at start-up period.

OLR (gCOD/l/d)	VFA (mg/l)	Acetic (mg/l)	Propionic (mg/l)	Butyric (mg/l)	pH
5.0	3146.61	61.47	1181.01	0	6.02
	2052	0	0	0	6.0
	3636.38	84.57	1320.69	0	6.04
	3015.75	91.56	0	0	6.01
	1825.83	0	0	0	6.0
	1590.57	0	0	0	6.01
<b>Means</b>	<b>2599.93</b>	<b>142.44</b>	<b>576.21</b>	<b>0</b>	<b>6.06</b>

ตารางภาคผนวก 4 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง  
ค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างของการเริ่มต้นระบบ

**Appendix Table 4.** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter  
changed in acidogenic reactor at start-up period.

OLR (gCOD/l/d)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	Alkalinity (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)
1.5	0.03	0.19	nd	8510	6630
	0.15	0.01	-	-	-
	0	0	4010	7980	6220
	0.12	0.01	-	-	-
	0.45	0.036	3850	8100	6300
	0.52	0.04	-	-	-
	0.78	0.09	3715	7750	6050
<b>Means</b>	<b>0.29</b>	<b>0.05</b>	<b>3678.33</b>	<b>8085</b>	<b>6300</b>
2.5	1.07	0.13	nd	nd	nd
	1.35	0.16	-	-	-
	2.25	0.27	3150	7810	6100
<b>Means</b>	<b>1.56</b>	<b>0.19</b>	<b>3150</b>	<b>7810</b>	<b>6100</b>

ตารางภาคผนวก 4 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง  
ค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างของการเริ่มต้นระบบ

Appendix Table 4. (Con.) The experimental data show effect of organic loading rate on  
parameter changed in acidogenic reactor at start-up period.

OLR (gCOD/l/d)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	Alkalinity (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)
5.0	3.93	0.47	3075	7700	6000
	4.2	0.5	-	-	-
	5.2	0.62	nd	7820	6090
	5.8	0.7	-	-	-
	4.96	0.74	3100	7600	5930
	5.35	0.8	-	-	-
	5.07	0.91	3050	7570	5900
	5.55	0.83	-	-	-
	5.29	0.95	3000	7600	5920
	5.74	0.69	-	-	-
	5.06	1.21	nd	7500	5850
	5.31	1.27	-	-	-
	5.98	1.44	3020	7500	5880
<b>Means</b>	<b>5.19</b>	<b>0.86</b>	<b>3049</b>	<b>7612.86</b>	<b>5938.57</b>

## 2.2 ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างกรดของถังปฏิกรณ์ UASB ในช่วงดำเนินงาน

ตารางภาคผนวก 5 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 5.** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Acetic (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>pH</b>
<b>2.5</b>	42.57	0	0.12	0.01	6.67
	17.58	0	0.32	0.025	6.76
	13.59	0	0.75	0.09	6.8
	25.98	0	1.25	0.15	6.72
	49.83	0	1.56	0.19	6.76
	14.82	0	2.05	0.25	6.84
	12.84	0	2.15	0.17	6.74
	9.66	0	2.45	0.2	6.73
	8.01	0	2.47	0.3	6.72
	7.62	0	2.56	0.31	6.71
	9.12	0	2.87	0.287	6.73
0	0	2.78	0.33	6.68	
<b>Means</b>	<b>17.64</b>	<b>0</b>	<b>1.78</b>	<b>0.19</b>	<b>6.74</b>
<b>5.0</b>	95.21	16.35	4.07	0.98	6.67
	49.74	22.23	3.15	0.88	6.71
	76.44	30.87	3.37	1.21	6.64
	80.12	15.69	3.12	0.75	6.60
	50.72	27.36	3.70	1.11	6.64
	73.18	14.16	4.15	1.25	6.69
	65.1	0	3.81	1.14	6.65
	55.46	0	3.76	1.35	6.61
	79.84	0	6.15	1.72	6.59
	40.31	0	6.50	1.82	6.63
<b>Means</b>	<b>66.61</b>	<b>12.66</b>	<b>4.18</b>	<b>1.22</b>	<b>6.64</b>

ตารางภาคผนวก 5 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 5. (Con.)**The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Acetic (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>pH</b>
<b>7.5</b>	246.21	22.14	5.72	2.05	6.64
	231.03	28.71	6.26	2.63	6.58
	262.71	69.84	9.70	2.49	6.34
	227.52	33.63	9.84	2.54	6.38
	193.62	27.36	11.41	2.79	6.30
	234.41	25.86	10.47	3.13	6.33
	202.53	0	11.14	2.46	6.32
	274.44	0	11.69	2.91	6.29
<b>Means</b>	<b>234.06</b>	<b>25.95</b>	<b>9.53</b>	<b>2.63</b>	<b>6.40</b>
<b>10.0</b>	308.85	197.55	9.67	4.74	6.49
	322.65	41.04	8.95	4.92	6.51
	361.82	57.93	9.17	4.49	6.45
	379.08	66.75	10.15	4.97	6.6
	390.61	135.99	9.6	5.28	6.55
	387.39	210.90	11.24	5.11	6.63
	349.11	95.75	10.1	5.26	6.63
	337.43	63.06	10.96	5.42	6.39
331.03	27.15	13.5	5.62	6.39	
<b>Means</b>	<b>352.0</b>	<b>100.02</b>	<b>10.37</b>	<b>5.09</b>	<b>6.52</b>
<b>12.5</b>	415.14	90.99	15.27	5.49	6.38
	405.24	285.66	17.7	6.37	6.38
	397.3	315.69	18.97	6.69	6.38
	430.08	280.38	19.67	6.9	6.5
	446.21	230.28	17.05	6.32	6.46
	522.09	249.36	19.32	6.4	6.62
<b>Means</b>	<b>436.01</b>	<b>242.06</b>	<b>18.0</b>	<b>6.36</b>	<b>6.45</b>

ตารางภาคผนวก 5 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 5. (Con.)** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at experimental operation period.

OLR (gCOD/l/d)	VFA (mg/l)	Acetic (mg/l)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	pH
<b>15.0</b>	1099	247.41	23.96	6.3	6.61
	1121.71	413.04	25.57	7.02	6.54
	1144.42	578.70	23.94	7.18	6.54
	1758.78	446.04	22.73	7.27	6.44
	1228.72	313.38	22.75	6.82	6.42
	1877.03	664.77	25.44	7.1	6.44
	2525.34	7.02.81	24.71	6.91	6.44
	1853.67	622.29	25.5	6.8	6.45
	1182	514.80	25.33	7.11	6.42
<b>Means</b>	<b>1532.23</b>	<b>503.37</b>	<b>24.44</b>	<b>6.95</b>	<b>6.48</b>
<b>17.5</b>	1851.07	1072.59	23.96	5.25	6.54
	5580	4928.76	25.57	2.26	6.54
	2540.26	1172.66	19.43	1.46	6.02
	5701.7	1642.92	18.1	1.28	6.05
	1570.92	1570.92	19.93	1.04	6.02
	3272.88	2487.06	19.43	1.0	6.01
	<b>Means</b>	<b>2324.72</b>	<b>1508.90</b>	<b>20.43</b>	<b>1.59</b>

ค-3. การศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ UFAF

3.1. ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการสร้างก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ UFAF  
ในระหว่างช่วงของการเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ตารางภาคผนวก 6 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง  
ค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการเริ่มต้นระบบ

Appendix Table 6. The experimental data show effect of organic loading rate on parameter  
changed in methanogenic reactor at start-up period.

OLR (gCOD/l/d)	VFA (mg/l)	Acetic (mg/l)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	pH
1.5	1264.32	567.81	1.65	0.132	6.12
	2381.52	593.07	3.85	0.462	6.07
	989.94	858.51	5.22	0.63	6.06
	2687.79	47.49	3.8	0.57	6.12
<b>Means</b>	<b>1830.89</b>	<b>516.72</b>	<b>3.63</b>	<b>0.45</b>	<b>6.09</b>
2.5	1990.5	60.0	6.03	1.09	6.11
	1054.23	388.8	3.36	0.61	6.07
	1672.53	99.48	3.9	0.7	6.03
<b>Means</b>	<b>1572.42</b>	<b>182.76</b>	<b>4.43</b>	<b>0.8</b>	<b>6.07</b>
5.0	7563.3	3919.35	5.12	1.23	6.08
	4397.82	75.33	4.78	1.15	7.12
	4268.01	76.11	5.31	1.27	7.37
	3724.5	1346.88	4.82	1.45	7.19
	2942.01	258.51	5.3	1.59	7.28
	3019.86	963.63	4.95	1.78	7.1
	4876.95	1917.51	5.4	1.62	7.1
	3008.01	48.63	5.06	1.82	7.04
	6126.75	3293.52	4.79	2.01	7.0
	1948.83	63.75	5.27	2.21	7.05
	1572.57	259.59	5.32	2.61	7.05
2306.61	49.14	5.41	2.65	7.03	
<b>Means</b>	<b>3812.94</b>	<b>1022.66</b>	<b>5.13</b>	<b>1.78</b>	<b>7.03</b>

### 3.2. ผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ UFAF ในระหว่างช่วงดำเนินงานสำหรับการทดลอง

ตารางภาคผนวก 7 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลง

ค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 7.** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in methanogenic reactor at experimental operation period.

OLR (gCOD/l/d)	VFA (mg/l)	Acetic (mg/l)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	pH
<b>1.1</b>	33.9	0	3.2	2.24	7.12
	35.26	0	4.3	2.62	7.37
	38.44	0	6.45	4.52	7.19
	43.5	0	5.7	3.48	7.28
	45.6	0	8.85	4.34	7.1
	38.1	0	6.8	3.13	7.1
	35.9	0	7.63	2.29	7.04
	34.92	0	7.42	2.67	7.0
	9.71	0	7.51	2.25	7.05
	0	0	7.76	2.79	7.05
	0	0	7.18	2.15	7.03
<b>Means</b>	<b>28.67</b>	<b>0</b>	<b>6.62</b>	<b>2.95</b>	<b>7.12</b>
<b>2.5</b>	11.58	0	6.79	2.44	7.18
	11.82	0	6.22	2.61	7.1
	10.56	0	7.21	3.53	7.05
	8.73	0	7.73	3.79	7.01
	9.45	0	7.37	4.05	7.0
	14.07	0	7.86	3.85	7.01
	10.98	0	8.42	4.13	7.0
	<b>Means</b>	<b>11.03</b>	<b>0</b>	<b>7.37</b>	<b>3.49</b>



ตารางภาคผนวก 7 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 7. (Con.)** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in methanogenic reactor at experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Acetic (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>pH</b>
<b>5.0</b>	295.83	0	14.38	7.05	6.94
	352.53	0	12.63	6.95	7.09
	214.05	5.82	10.58	5.82	7.1
	231.42	7.98	11.39	7.4	7.1
	166.2	0	15.03	8.27	7.02
	281.46	28.41	14.54	10.18	7.01
	189.87	0	15.24	9.91	7.02
	53.61	12.24	14.17	9.92	7.0
	129.09	3.66	15.25	11.44	7.05
<b>Means</b>	<b>212.67</b>	<b>6.46</b>	<b>13.69</b>	<b>8.55</b>	<b>7.04</b>
<b>7.5</b>	0	0	19.7	12.01	7.04
	0	0	20.09	11.05	7.06
	0	0	19.95	12.97	7.02
	0	0	18.43	12.9	7.0
	0	0	19.83	12.1	7.01
	0	0	19.54	12.75	7.0
	0	0	19.79	12.88	7.04
<b>Means</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.62</b>	<b>12.38</b>	<b>7.02</b>
<b>10.0</b>	0	0	21.63	7.78	7.01
	0	0	22.67	3.8	7.05
	0	0	19.65	3.93	7.01
	0	0	18.5	3.7	7.06
	0	0	19.72	3.55	7.04
	0	0	18.27	3.6	7.01

ตารางภาคผนวก 7 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของถังผลิตมีเทนในช่วงระหว่างการดำเนินงานของการทดลอง

**Appendix Table 7. (Con.)** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in methanogenic reactor at experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Acetic (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>pH</b>
<b>10.0</b>	0	0	18.3	3.72	7.03
	0	0	19.65	3.12	7.0
	0	0	19.95	3.64	7.02
	0	0	20.1	3.58	7.04
<b>Means</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.84</b>	<b>4.04</b>	<b>7.03</b>

ค-5. การศึกษาจลพลศาสตร์ของการหมัก

ตารางภาคผนวก 8 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของระบบ

**Appendix Table 8.** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at steady-state of experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>HRT (d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>COD (mg/l)</b>
<b>2.5</b>	20.0	9.66	2.45	0.2	1875
		8.01	2.47	0.3	1860
		7.62	2.56	0.31	1870
		9.12	2.87	0.287	1865
		0	2.78	0.33	1860
<b>Means</b>		<b>6.88</b>	<b>2.63</b>	<b>0.28</b>	<b>1866</b>
<b>5.0</b>	10.0	73.18	4.15	1.25	2440
		65.1	3.81	1.14	2380
		55.46	3.76	1.35	2350
		79.84	6.15	1.72	2360
		40.31	6.50	1.82	2370
<b>Means</b>		<b>62.78</b>	<b>4.87</b>	<b>1.46</b>	<b>2380</b>
<b>7.5</b>	6.67	227.52	9.84	2.54	4585
		193.62	11.41	2.79	4605
		234.41	10.47	3.13	4635
		202.53	11.14	2.46	4630
		274.44	11.69	2.91	4640
<b>Means</b>		<b>226.50</b>	<b>10.91</b>	<b>2.77</b>	<b>4619</b>
<b>10.0</b>	5.0	390.61	9.6	5.28	6335
		387.39	11.24	5.11	6315
		349.11	10.1	5.26	6295
		337.43	10.96	5.42	6300
		331.03	13.5	5.62	6310
<b>Means</b>		<b>359.11</b>	<b>11.08</b>	<b>5.34</b>	<b>6311</b>

ตารางภาคผนวก 8 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตกรดในช่วงระหว่างการดำเนินงานของระบบ

**Appendix Table 8 (Con.)** The experimental data show effect of organic loading rate on parameter changed in acidogenic reactor at steady-state of experimental operation period.

<b>OLR</b> (gCOD/l/d)	<b>HRT</b> (d)	<b>VFA</b> (mg/l)	<b>Biogas</b> (l/d)	<b>Methane</b> (l/d)	<b>COD</b> (mg/l)
<b>12.5</b>	4.0	405.24	17.7	6.37	8215
		397.3	18.97	6.69	8245
		430.08	19.67	6.90	8255
		446.21	17.05	6.32	8250
		522.09	19.32	6.40	8260
<b>Means</b>		<b>440.18</b>	<b>18.54</b>	<b>6.54</b>	<b>8245</b>
<b>15.0</b>	3.33	1228.72	22.75	6.82	9760
		1877.03	25.44	7.10	9745
		2525.34	24.71	6.91	9755
		1853.67	25.5	6.80	9740
		1182	25.33	7.11	9745
<b>Means</b>		<b>1733.35</b>	<b>24.75</b>	<b>6.95</b>	<b>9749</b>
<b>17.5</b>	2.86	5580.00	25.57	2.26	10475
		2540.26	19.43	1.46	15200
		5701.70	18.10	1.28	19625
		1570.92	19.93	1.04	19600
		3272.88	19.43	1.00	19615
<b>Means</b>		<b>3733.15</b>	<b>20.49</b>	<b>1.41</b>	<b>16903</b>

ตารางภาคผนวก 9 ผลที่ได้จากการคำนวณจลพลศาสตร์ของการใช้สารอาหารสำหรับสร้างผลผลิต  
ในถังผลิตรกรด

**Appendix Table. 9** The kinetic experimental data for substrate removal and produce in  
acidogenic reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	<i>S<sub>c</sub></i> (gCOD/l)	<i>R<sub>s</sub></i> (gCOD/l/d)	<i>K<sub>s</sub></i> (gCOD/l)	<i>K<sub>i</sub></i> (gCOD/l)
20.0	0.05	1.78	2.41	9.03	0.47
6.67	0.15	4.54	6.80	8.17	1.44
5.0	0.2	6.23	8.74	8.71	2.22
4.0	0.25	8.16	10.44	9.50	2.84
3.33	0.3	9.67	12.09	9.65	3.20

หมายเหตุ :  $S_{nb} = 0.0812$

ตารางภาคผนวก 10 ผลที่ได้จากการคำนวณจลพลศาสตร์ของการสร้างผลผลิตก๊าซมีเทน  
ในถังผลิตรกรด

**Appendix Table 10.** The kinetic experimental data for methane production in acidogenic reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	<i>Q<sub>M</sub></i> (lCH <sub>4</sub> /l/d)	<i>S<sub>c</sub></i> (gCOD/l)	<i>K<sub>s</sub></i> (gCOD/l)	<i>K<sub>i</sub></i> (gCOD/l)
20.0	0.05	0.028	1.97	100.11	5.19
6.67	0.15	0.277	4.73	108.78	24.36
5.0	0.2	0.534	6.42	118.59	34.89
4.0	0.25	0.654	8.35	120.50	45.91
3.33	0.3	0.695	9.86	112.37	54.33

หมายเหตุ :  $S_{nb} = 0.0812$

ตารางภาคผนวก 11 ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตมีเทน

ภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตมีเทนในระหว่างช่วงดำเนินงานของระบบ

**Appendix Table 11.** The kinetic experimental data for methane production in methanogenic reactor at steady state of the experimental operation period.

<b>OLR (gCOD/l/d)</b>	<b>HRT (d)</b>	<b>VFA (mg/l)</b>	<b>Biogas (l/d)</b>	<b>Methane (l/d)</b>	<b>COD (mg/l)</b>
<b>1.1</b>	13.5	35.90	7.63	2.29	1260
		34.92	7.42	2.67	1265
		9.71	7.51	2.25	1250
		0	7.76	2.79	1260
		0	7.18	2.15	1265
<b>Means</b>		<b>16.11</b>	<b>7.50</b>	<b>2.43</b>	<b>1260</b>
<b>2.5</b>	6.0	10.56	7.21	3.53	1540
		8.73	7.73	3.79	1580
		9.45	7.37	4.05	1565
		14.07	7.86	3.85	1555
		10.98	8.42	4.13	1560
<b>Means</b>		<b>10.76</b>	<b>7.72</b>	<b>3.87</b>	<b>1560</b>
<b>5.0</b>	3.0	166.2	15.03	8.27	2160
		281.46	14.54	10.18	2165
		189.87	15.24	9.91	2155
		53.61	14.17	9.92	2150
		129.09	15.25	11.44	2160
<b>Means</b>		<b>164.05</b>	<b>14.85</b>	<b>9.94</b>	<b>2158</b>
<b>7.5</b>	2.0	0	19.95	12.97	2880
		0	18.43	12.90	2860
		0	19.83	12.10	2875
		0	19.54	12.75	2880
		0	19.79	12.88	2870
<b>Means</b>		<b>0</b>	<b>19.51</b>	<b>12.72</b>	<b>2873</b>

ตารางภาคผนวก 11 (ต่อ) ผลของการศึกษาผลของอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อการผลิตมีเทน  
ภายใต้สถานะคงตัวของถังผลิตมีเทนในระหว่างช่วงดำเนินงานของระบบ

**Appendix Table 11 (Con.)** The kinetic experimental data for methane production in  
methanogenic reactor at steady state of the experimental operation  
period.

OLR (gCOD/l/d)	HRT (d)	VFA (mg/l)	Biogas (l/d)	Methane (l/d)	COD (mg/l)
10.0	1.5	0	18.27	3.60	2950
		0	18.3	3.72	2870
		0	19.65	3.12	2860
		0	19.95	3.64	2890
		0	20.10	3.58	2870
<b>Means</b>		<b>0</b>	<b>19.25</b>	<b>3.53</b>	<b>2888</b>

ตารางภาคผนวก 12 ผลที่ได้จากการคำนวณจลพลศาสตร์ของการใช้สารอาหารสำหรับสร้าง  
ผลผลิตในถังผลิตมีเทน

**Appendix Table 12.** The kinetic experimental data for methane production in methanogenic  
reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	Sc (gCOD/l)	Rs (gCOD/l/d)	Ks (gCOD/l)	Ki (gCOD/l)
13.5	0.07	0.31	1.02	1.90	0.02
6.0	0.17	0.61	2.24	1.71	0.07
3.0	0.33	1.21	4.28	1.77	0.19
2.0	0.5	1.93	6.06	1.94	0.38

หมายเหตุ :  $S_{nb} = 0.9466$

ตารางภาคผนวก 13 ผลที่ได้จากการคำนวณจลพลศาสตร์ของการสร้างผลผลิตก๊าซมีเทน  
ในถังผลิตมีเทน

**Appendix Table 13.** The kinetic experimental data for methane production in methanogenic  
reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	$Q_M$ (lCH <sub>4</sub> /l/d)	Sc (gCOD/l)	Ks (gCOD/l)	Ki (gCOD/l)
13.5	0.07	0.49	1.19	10.48	0.36
6.0	0.17	0.77	1.49	9.78	0.42
3.0	0.33	1.99	2.09	8.31	1.06
2.0	0.5	2.54	2.80	8.44	1.46

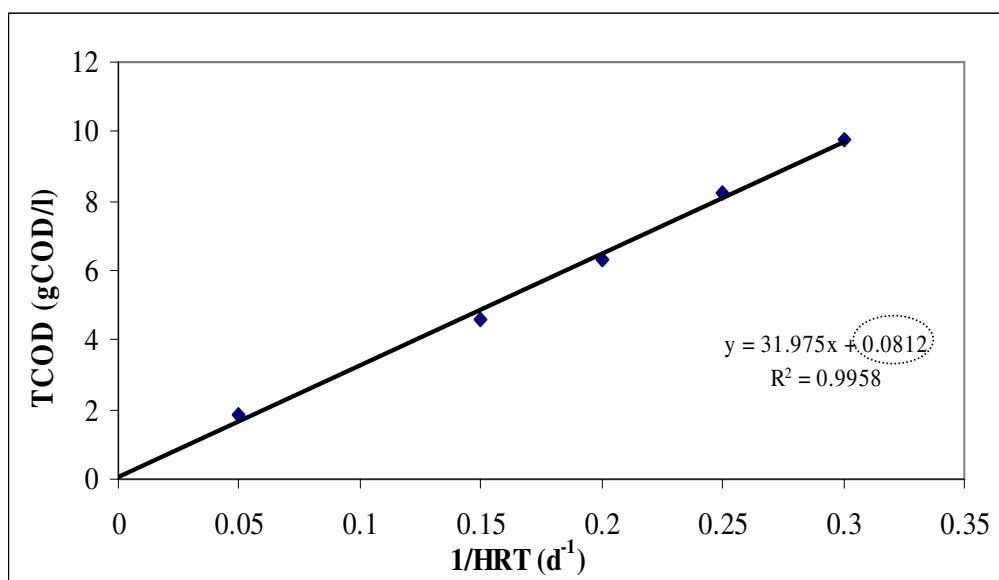
หมายเหตุ :  $S_{nb} = 0.9466$

ภาคผนวก ง  
ตัวอย่างการคำนวณจลนพลศาสตร์ของหมัก

ตารางภาคผนวกที่ 14 การคำนวณจลนพลศาสตร์อัตราการใช้สารอาหารของถังผลิตกรด (UASB)  
Appendix Table 14. The kinetic calculated of substrate removal rate in UASB reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	TCOD <sub>eff</sub> (g/l)
20.0	0.05	1.866
6.67	0.15	4.619
5.0	0.2	6.311
4.0	0.25	8.245
3.33	0.3	9.749

สร้างกราฟระหว่างค่าของสารอินทรีย์ทั้งหมด (TCOD<sub>eff</sub>) ของน้ำเสียที่ไหลออกจากถัง  
ปฏิกรณ์กับค่า 1/HRT เพื่อหาค่า S<sub>nb</sub> ดังนี้



ภาพผนวกที่ 1 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารอาหารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้  
ของถังผลิตกรด (UASB)

Appendix Figure 1. non-biodegradable substrate concentration in UASB reactor.



ผลของการสร้างกราฟระหว่างค่าของ  $\text{TCOD}_{\text{eff}}$  กับ  $1/\text{HRT}$  ซึ่งทำให้ทราบความเข้มข้นของสารอาหารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ ( $S_{\text{nb}}$ ) ของถังผลิตกรด (UASB) ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0812 จากนั้นนำค่า  $S_{\text{nb}}$  ที่ได้รับมาทำการคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ ( $S_{\text{c}}$ ) โดยใช้สมการ ( $S_{\text{c}} = \text{TCOD}_{\text{eff}} - S_{\text{nb}}$ ) ในขณะที่ค่า  $R_{\text{s}}$  คำนวณได้จากสมการ

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

$\text{TCOD}_{\text{inf}}$  = ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (กรัม/ลิตร)

$\text{TCOD}_{\text{eff}}$  = ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ไหลล้นออกจากถังปฏิกรณ์ (กรัม/ลิตร)

$\text{HRT}$  = ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกเก็บกักไว้ในระบบ (วัน)

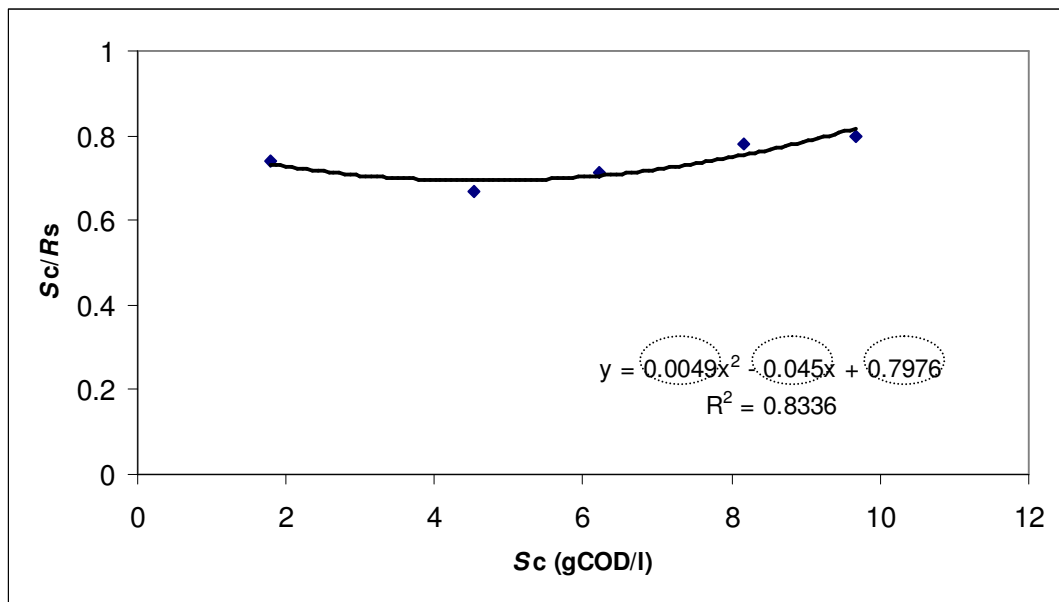
สำหรับผลที่ได้รับจากการคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตกรด (UASB) ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

**ตารางภาคผนวกที่ 15** การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตกรด (UASB)

**Appendix Table 15.** The kinetic calculated of UASB reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	TCOD <sub>eff</sub> (g/l)	S <sub>c</sub> (gCOD/l)	R <sub>s</sub> (gCOD/l/d)	S <sub>c</sub> /R <sub>s</sub>
20.0	0.05	1.866	1.7848	2.4067	0.7416
6.67	0.15	4.619	4.5378	6.8037	0.6669
5.0	0.2	6.311	6.2298	8.7378	0.7130
4.0	0.25	8.245	8.1638	10.4387	0.7821
3.33	0.03	9.749	9.6678	12.0874	0.7998

นำค่า  $S_{\text{c}}$  กับ  $S_{\text{c}}/R_{\text{s}}$  ที่ได้รับจากการคำนวณจลนพลศาสตร์ของการทดลองของถังผลิตกรด (UASB) มาสร้างกราฟเพื่อหาค่า  $1/K_i R_{\text{s,max}}$ ,  $1/R_{\text{s,max}}$  และ  $K_{\text{s}}/R_{\text{s,max}}$  ดังต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $S_c$  กับ  $S_c/R_s$  ที่ได้รับการคำนวณของ ถังผลิตกรด (UASB)

**Appendix Figure 2.** The relationship between  $S_c$  and  $S_c/R_s$  of UASB reactor.

สำหรับผลที่ได้รับจากการสร้างกราฟระหว่างค่า  $S_c$  กับ  $S_c/R_s$  ซึ่งทำให้สามารถทราบค่า  $1/K_i R_{s_{\max}}$  (0.0049)  $1/R_{s_{\max}}$  (-0.045) และ  $K_s/R_{s_{\max}}$  (0.7976) จากนั้นนำค่าที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้สารอาหาร ( $K_s$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ของการยับยั้ง ( $K_i$ ) ของถังผลิตกรดโดยแทนค่านี้ในสมการ  $[S_c/R_s = K_s/R_{s_{\max}} + (1/R_{s_{\max}})S_c + (1/K_i R_{s_{\max}})S_c^2]$  สำหรับผลได้ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

**ตารางผนวกที่ 16** การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตกรด (UASB)

**Appendix Table 16.** The kinetic calculated of UASB reactor.

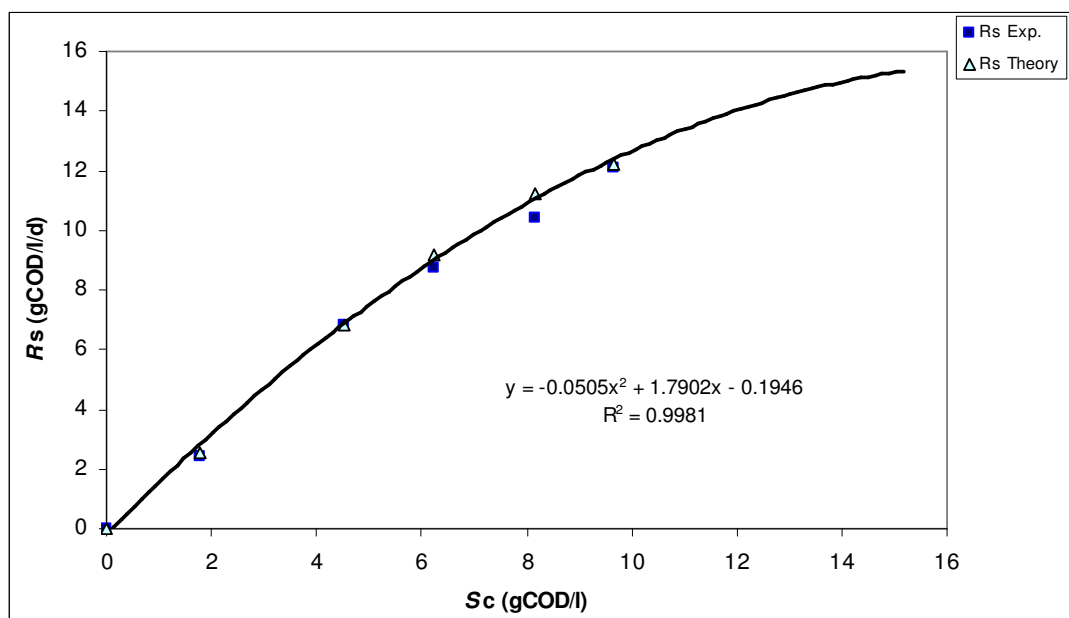
HRT (d)	$K_s$ (gCOD/l)	$K_i$ (gCOD/l)
20.0	9.03	0.47
6.67	8.167	1.44
5.0	8.71	2.218
4.0	9.497	2.84
3.33	9.60	3.20

ทำการสร้างกราฟระหว่างอัตราการใช้สารอาหารที่ได้รับจากการทดลอง ( $R_s$  Exp.) กับอัตราการใช้สารอาหารจากค่าทางทฤษฎี ( $R_s$  Theor.) ซึ่งได้รับการคำนวณโดยใช้สมการ  $[Sc/R_s = K_s/R_{s_{max}} + (1+R_{s_{max}})Sc + (1/K_i R_{s_{max}})Sc^2]$  สำหรับผลที่ได้รับดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางภาคผนวกที่ 17 การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตกรด (UASB)

Appendix Table 17. The kinetic calculated of UASB reactor.

HRT (d <sup>-1</sup> )	$R_s$ Exp. (gCOD/l/d)	$R_s$ Theor. (gCOD/l/d)
20.0	2.407	2.537
6.67	6.804	6.82
5.0	8.738	9.175
4.0	10.439	11.23
3.33	12.087	12.225



ภาพผนวกที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Sc$  กับค่า  $R_s$  (Exp.) และ  $R_s$  (Theor.) ที่ได้รับจากการคำนวณของถังผลิตกรด (UASB)

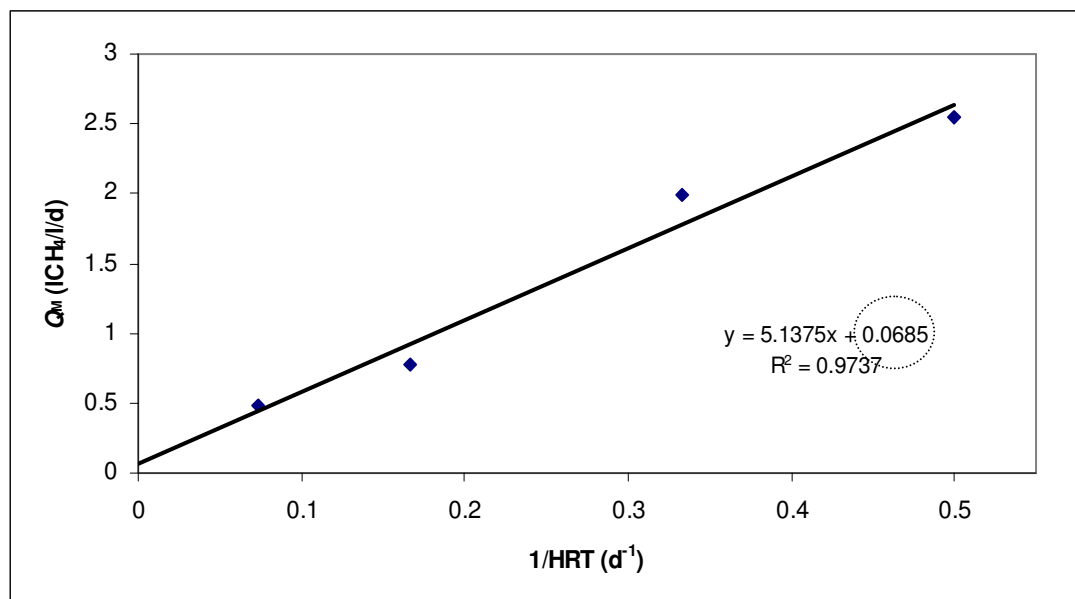
Appendix Figure 3. The relationship between  $Sc$ ,  $R_s$  (Exp.) and  $R_s$  (Theor.) of UASB reactor.

ตารางภาคผนวกที่ 18 การคำนวณจลนพลศาสตร์อัตราการผลิตมีเทนของถัง  
ผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Table 18. The kinetic calculated of methane production rate in UFAF reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	Q <sub>M</sub> (lCH <sub>4</sub> /l/d)
13.5	0.07	0.486
6.0	0.17	0.774
3.0	0.33	1.988
2.0	0.5	2.544

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของมีเทน (Q<sub>M</sub>) ที่ได้รับจากการดำเนินงาน  
กับค่า 1/HRT ดังกราฟข้างล่างนี้



ภาพผนวกที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตมีเทน(Q<sub>M</sub>) กับ 1/HRT  
ที่ได้รับจากการคำนวณของถังผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Figure 4. The relationship between Q<sub>M</sub> and 1/HRT of UFAF reactor.

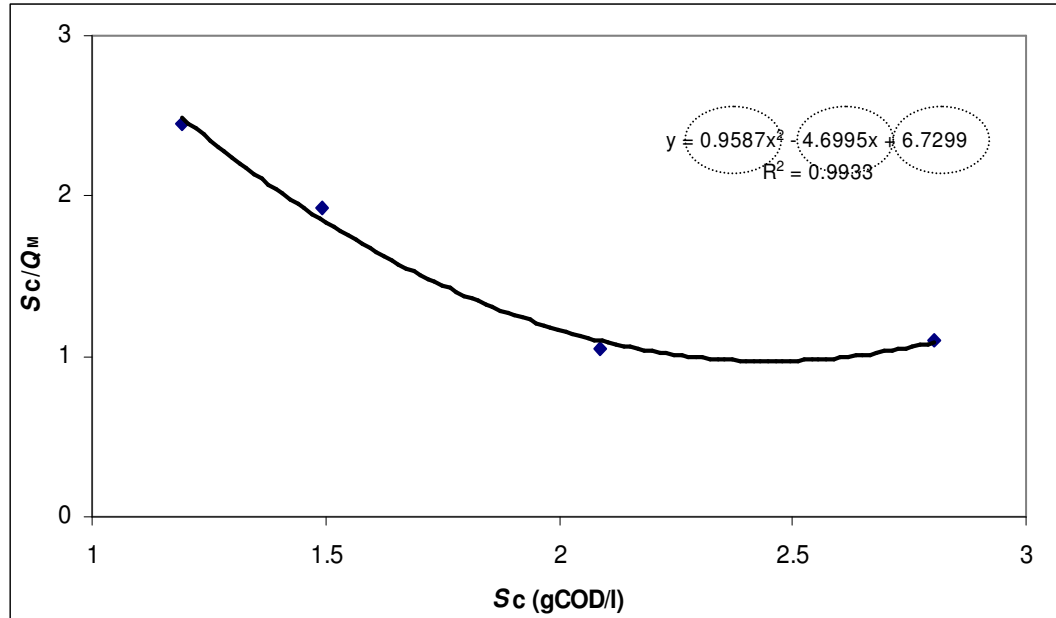
สำหรับผลที่ได้รับจากการคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตมีเทน(UFAF) ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางภาคผนวกที่ 19 การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Table 19. The kinetic calculated of UFAF reactor.

HRT (d)	1/HRT (d <sup>-1</sup> )	TCOD <sub>eff</sub> (g/l)	Sc (gCOD/l)	Q <sub>M</sub> (lCH <sub>4</sub> /l/d)	Sc/Q <sub>M</sub>
13.5	0.07	1.26	0.3134	0.486	0.6448
6.0	0.17	1.56	0.6134	0.774	0.7925
3.0	0.33	2.16	1.2114	1.988	0.6093
2.0	0.5	2.87	1.9264	2.544	0.7572

จากนั้นนำค่า Sc กับ Sc/Q<sub>M</sub> ที่ได้รับจากการคำนวณจลนพลศาสตร์ของการทดลองของถังผลิตมีเทน (UFAF) มาสร้างกราฟ 1/ K<sub>i</sub>Q<sub>M(max)</sub> 1/Q<sub>M(max)</sub> และ K<sub>s</sub>/Q<sub>M(max)</sub> ดังต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Sc กับ Sc/Q<sub>M</sub> ที่ได้รับจากการคำนวณของถังผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Figure 5. The relationship between Sc and Sc/Q<sub>M</sub> of UFAF reactor.

ผลที่ได้รับจากการสร้างกราฟระหว่างค่า  $S_c$  กับ  $S_c/R_s$  ซึ่งทำให้สามารถทราบค่า  $1/K_i Q_{M(\max)}$  (0.9587)  $1/Q_{M(\max)}$  (-4.6995) และ  $K_s/Q_{M(\max)}$  (6.7299) จากนั้นนำค่าที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้สารอาหาร ( $K_s$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ของการยับยั้ง ( $K_i$ ) ของถังผลิตมีเทน โดยแทนค่านี้ในสมการ  $[S_c/Q_M = K_s/Q_{M(\max)} + (1+Q_{M(\max)}) S_c + (1/K_i Q_{M(\max)}) S_c^2]$  สำหรับผลที่ได้รับดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางภาคผนวกที่ 20 การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Table 20. The kinetic calculated of UFAF reactor.

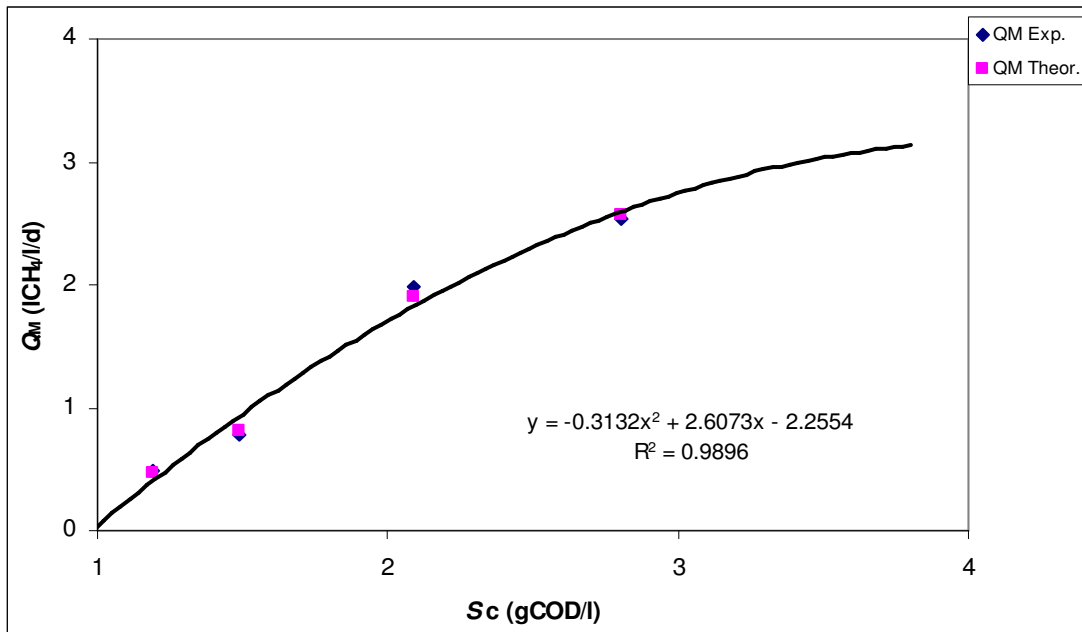
HRT (d <sup>-1</sup> )	$K_s$ (gCOD/l)	$K_i$ (gCOD/l)
13.3	10.47	0.36
6.0	9.78	0.42
3.0	8.31	1.06
2.0	8.44	1.46

ทำการสร้างกราฟระหว่างอัตราการใช้สารอาหารที่ได้รับจากการทดลอง  $Q_M$  (Exp.) กับอัตราการใช้สารอาหารของค่าทางทฤษฎี  $Q_M$  (Theor.) จากข้อมูลข้างล่างนี้

ตารางภาคผนวกที่ 21 การคำนวณจลนพลศาสตร์การทดลองของถังผลิตมีเทน (UFAF)

Appendix Table 21. The kinetic calculated of UFAF reactor.

HRT (d)	$Q_M$ (Exp.) (lCH <sub>4</sub> /d)	$Q_M$ (Theor.) (lCH <sub>4</sub> /d)
13.5	0.486	0.478
6.0	0.774	0.805
3.0	1.988	1.906
2.0	2.544	2.573



ภาพผนวกที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Sc$  กับ  $Sc/R_s$  ที่ได้รับจากการคำนวณของ  
ถังผลิตมีเทน (UFAF)

**Appendix Figure 6.** The relationship between  $Sc$  and  $Sc/R_s$  of UFAF reactor.