

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
2. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
3. ถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch reactor)
4. เครื่องเป่าอากาศ (Diffuse Airator)
5. หลอดนึ่งยาคขนาด 50 ml
6. หลอดย่อย (Digestion Vessels)
7. บล็อกฮีตเตอร์ (Block heater) หรือตู้อบ
8. กระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) 0.45 μ m เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
9. กรวยกรองเมมเบรน (Membrane Filter Funnel)
10. เครื่องดูดสูญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดกรอง
11. โถดูดความชื้น (Desiccator)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด (Analytical Balance)
13. กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone)
14. ขวดเจลดาค์ (Kjeldahl Flask)
15. ชุดเครื่องมือสำหรับการย่อยสลาย
16. ชุดเครื่องมือสำหรับการกลั่นแอมโมเนีย

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$)
2. โปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate, $K_2Cr_2O_7$)
3. กรดซัลฟูริก (sulfuric Acid, H_2SO_4)
4. เมอร์คิวริกซัลเฟต (Mercuric Sulfate, $HgSO_4$)
5. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulfate, Ag_2SO_4)
6. 1,10-ฟีแนนโทลีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)

7. เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
8. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate, $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O})$)
9. โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium Sulfate, K_2SO_4)
10. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
11. เอทานอล (Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)
13. โซเดียมไธโอซัลเฟต (Thiosulfate Reagent, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
14. โซเดียมเตตราโบเรต (Sodium Tetra Borate, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)
15. กรดบอริก (Boric Acid, H_3BO_3)
16. เมทิลเรดอินดิเคเตอร์ (Methyl Red Indicator)
17. 95% เอทิลแอลกอฮอล์ (95% Ethyl Alcohol)
18. เมทิลีนบลู (Methylene Blue)

3.2 การวางแผนการทดลองโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ AQUASIM 2.1b

ในการวิจัยใช้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสีย คือ 200, 100 และ 60 mg/l ซึ่งสมการที่ใช้ในการทำนายค่าจลนพลศาสตร์ แสดงอยู่ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4.2 และค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์ AQUASIM 2.1b แสดงดังตารางที่ 3.1 เพื่อใช้ในการประมาณ ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และ ปริมาณเซลล์ที่เพิ่มขึ้น และนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการวางแผนการทดลอง และเมื่อทำการทดลองแล้วสามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าที่ถูกต้องของค่าตัวแปรจลนพลศาสตร์

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์ AQUASIM 2.1b เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของน้ำเสียและปริมาณเซลล์ที่ระยะเวลาต่างๆในการทดลอง

ตัวแปร	หน่วย	ค่าที่ 20°C
S_s	mg/l	200, 100, 60
X	mg/l	100, 710
μ_{mH}	d^{-1}	2 ^(a)
K_s	mg/l	40 ^(a)
Y	mg-Cells/mg-Substrate	0.4 ^(a)
b_H	d^{-1}	0.1 ^(a)

(a) Metcalf & Eddy (2003)

สมการที่ใช้ในการประมาณระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้แก่ สมการที่ 2.2, 2.4 และ 2.5 เนื่องจากในการทดลองนี้มีการเติมอากาศตลอดเวลาดังนั้นปริมาณออกซิเจนจึงมีปริมาณที่มากเกินไปนั่นคือความเข้มข้นของออกซิเจนมีค่ามากกว่า K_{OH} มากๆทำให้สามารถลดรูปสมการได้ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.4.2 ดังนั้นสมการจลนพลศาสตร์สำหรับถังปฏิกรณ์จะเป็นสมการหลัก 3 สมการดังนี้

1. สมการสำหรับการเจริญเติบโต

$$r_{GX} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} X \quad (3.1)$$

2. สมการสำหรับการย่อยสลายสารอาหาร

$$r_s = -(1/Y) r_{GX} \quad (3.2)$$

3. สมการสำหรับการสลายตัว

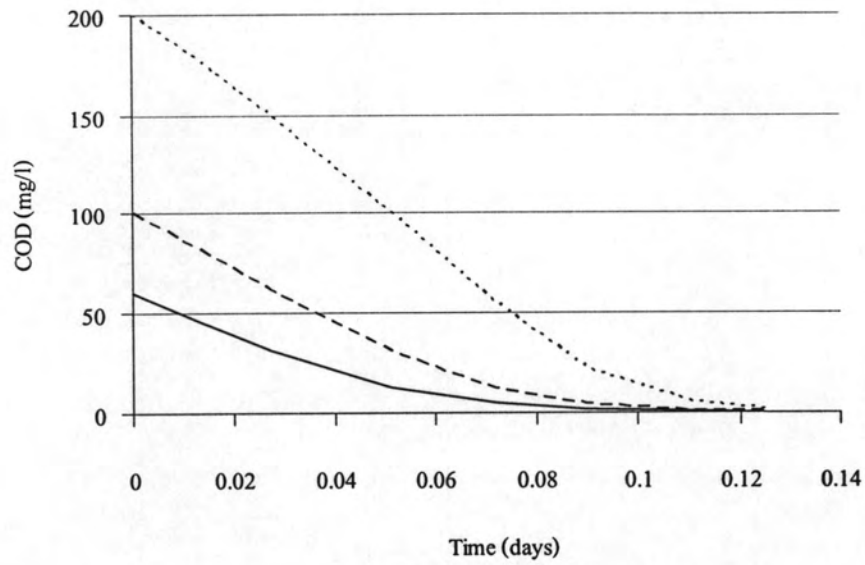
$$r_{bX} = -bX \quad (3.3)$$

ใ้สมการที่ 3.1 ถึง 3.3 ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์และทำการหาค่าตัวแปรทาง จลนพลศาสตร์ต่าง ๆ ซึ่งค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error of Estimate ; SEE) ของข้อมูล การทดลองกับค่าจากแบบจำลอง ดังสมการ 3.11 (Holman, 2001)

$$SEE = \left[\frac{\sum (C_i - \hat{C}_i)^2}{n - 2} \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

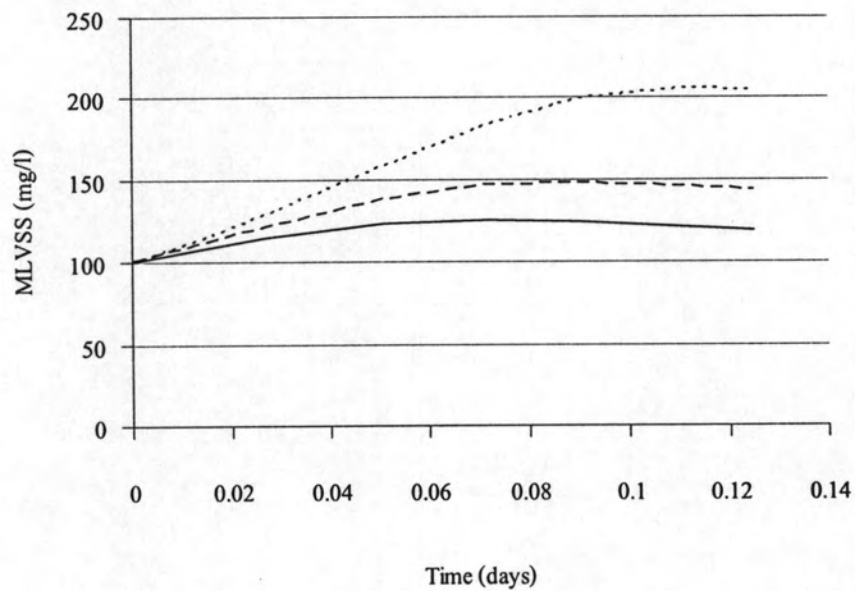
โดยที่	C_i	= Experimental data
	\hat{C}_i	= Model prediction data
	n	= Number of data points

ในการทดลองนี้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลชีพที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นต่างกัน นั้นคือ 100 และ 710 mg/l เนื่องจากต้องการศึกษาว่าความเข้มข้นของจุลชีพมีผลกระทบต่อค่า จลนศาสตร์หรือไม่ โดยจะใช้สมการ 3.1 ถึง 3.3 ในการประมาณระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพที่มีอยู่ในน้ำเสียโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลที่ได้จากการ ประมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลชีพที่ 100 mg/l พบว่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้น ต่างๆจะถูกย่อยสลายหมดภายในเวลา 0.12 วัน ดังรูปที่ 3.1 ส่วนความเข้มข้นของจุลชีพมีการ เปลี่ยนแปลงมากตามช่วงเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นในการทดลองจึงทำการวัดค่าเอ็มแอลวีเอสเอส ด้วย ส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลชีพที่ 710 mg/l นั้นผลที่ได้จากการประมาณระยะเวลาและการ เปลี่ยนแปลงของจุลชีพพบว่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่างๆจะถูกย่อยสลายหมด ภายในเวลา 0.1 วัน ดังรูปที่ 3.3 ส่วนการเปลี่ยนแปลงของจุลชีพที่ช่วงเวลาต่างๆนั้นค่อนข้างคงที่ ดังรูป ที่ 3.4 ดังนั้นจึงไม่ทำการวัดค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่ความเข้มข้นนี้



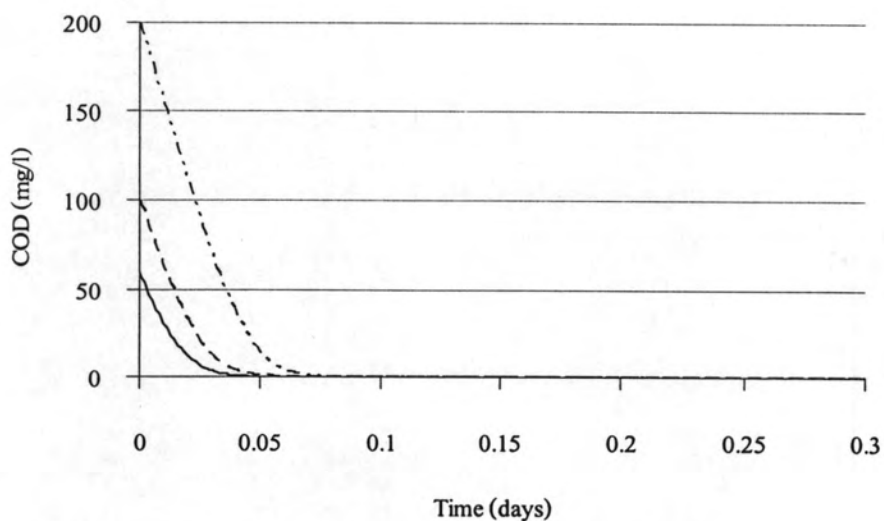
รูปที่ 3.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

(..... , ซีโอที 200 mg/l; - - - , ซีโอที 100 mg/l; ——— , ซีโอที 60 mg/l)



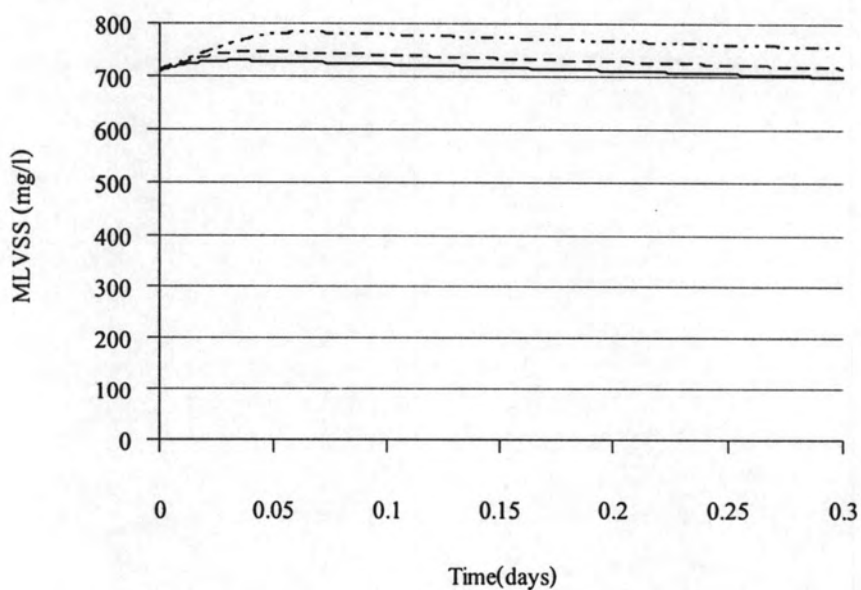
รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพในน้ำเสียกับระยะเวลาการทดลอง

(..... , ซีโอที 200 mg/l; - - - , ซีโอที 100 mg/l; ——— , ซีโอที 60 mg/l)



รูปที่ 3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

(-----, ซีโอดี 200 mg/l; - · -, ซีโอดี 100 mg/l; ———, ซีโอดี 60 mg/l)



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพน้ำเสียกับระยะเวลาการทดลอง

(-----, ซีโอดี 200 mg/l; - · -, ซีโอดี 100 mg/l; ———, ซีโอดี 60 mg/l)

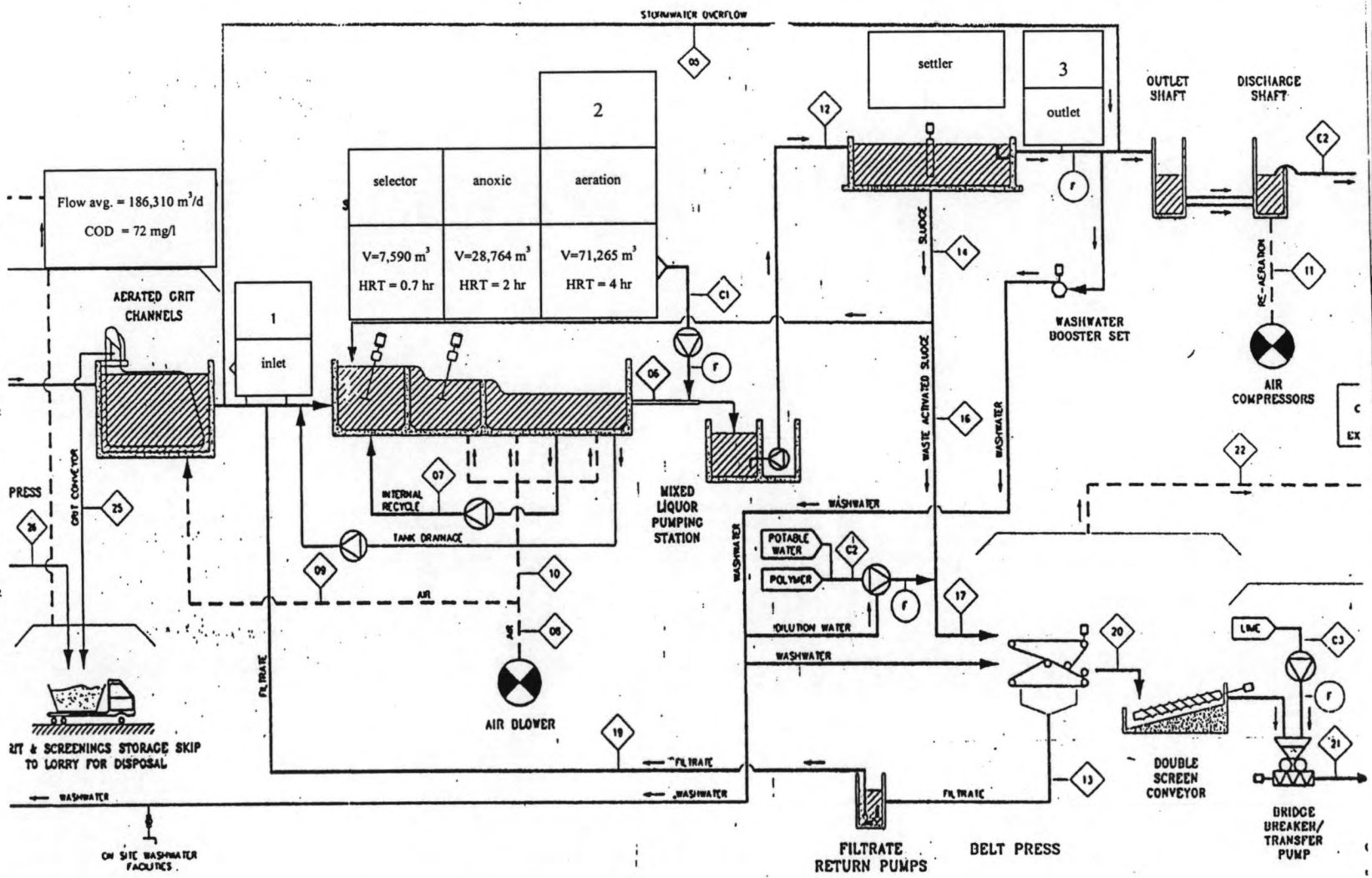
3.3 การดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยนี้ศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียต่ำและสูงซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นตัวแทนน้ำเสียชุมชนมาจาก 2 แห่ง คือ 1) น้ำเสียจากบ่อเกรอะอาคารเจริญวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สาเหตุที่นำน้ำเสียส่วนนี้มาใช้เนื่องจากต้องการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียให้มีความเข้มข้นที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำได้สามารถหาค่าจลนพลศาสตร์ที่ความเข้มข้นสูงได้ รวมทั้งทำการเปรียบเทียบน้ำเสียที่มาจากอาคารเจริญวิศวกรรมกับน้ำเสียที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง โดยทำการเจือจางน้ำเสียที่มาจากอาคารเจริญวิศวกรรมให้มีค่าความเข้มข้นเท่ากับน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดที่มาจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งจะทำให้สามารถบอกได้ว่าน้ำเสียที่นำมาใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นนั้นสามารถใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียชุมชนได้หรือไม่ และ 2) น้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงใช้สำหรับหาค่าจลนพลศาสตร์ที่ความเข้มข้นต่ำ โดยจุดที่ทำการเก็บน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงมี 3 จุด ดังนี้ จุดที่ 1 เป็นน้ำเสียก่อนเข้าถังเลี้ยงตะกอน จุดที่ 2 เป็นน้ำเสียจากถังเลี้ยงตะกอนที่ aeration zone และจุดที่ 3 เป็นน้ำเสียที่ออกจากถังตกตะกอนชั้นที่สอง แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ใช้น้ำเสียจากอาคารเจริญวิศวกรรมและน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงโดยทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 วิเคราะห์เกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำเสีย ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และ ทีเคเอ็น และส่วนที่ 2 วิเคราะห์ค่าปริมาณสัมพันธ์ (Y) และค่าจลนพลศาสตร์ได้แก่ μ_m และ K_s โดยจุดเก็บตัวอย่าง และวิธีรักษาสภาพตัวอย่างน้ำเสียแสดงในตารางที่ 3.2

ขั้นตอนที่ 2 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ป้อนเข้าในโปรแกรม AQUASIM 2.1 b เพื่อทำการหาค่าจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมและนำค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้มาจำลองระบบบำบัดน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานน้ำตาลสุพรรณบุรี



ตารางที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างที่วิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆและวิธีรักษาสภาพตัวอย่างน้ำเสีย

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีรักษาสภาพตัวอย่างน้ำเสีย
พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น	จุดที่ 1 ^(a) จุดที่ 2 ^(b) จุดที่ 3 ^(c) อาคารเจริญวิศวกรรม ^(b)	เก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่สามารถ ทำการวิเคราะห์ซีโอดีได้ภายใน 1 วัน ในขวดแก้ว โดยเติมกรดซัลฟูริกลงไป จนกระทั่งมี pH < 2 ^(d)

(a) วันจันทร์และพุธ เวลา 8.30 น. (b) เก็บทุกครั้งที่ทำการเดินระบบ

(c) วันจันทร์และพุธ เวลา 22.30 น. และ (d) มันสิน, 2543

3.3.1 วิธีเพิ่มความเข้มข้นของจุดซีพีให้มีความเข้มข้นสูง

นำน้ำเสียจากถังเติมอากาศของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงตั้งทิ้งไว้ในกรวยอิมฮอฟฟ์ 30 นาทีแล้วนำน้ำส่วนบนออกปริมาณ 80% น้ำสลัดจ์ที่นำมาใช้ในการทดลองจะเป็นน้ำส่วนที่เหลืออยู่ด้านล่างของกรวยอิมฮอฟฟ์

3.3.2 ศึกษาผลกระทบของแอมโมเนียต่อการวัดค่าซีโอดี

ในการศึกษาผลกระทบของแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียต่อการวัดค่าซีโอดี น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำตาลกลูโคสและแอมโมเนียมคลอไรด์เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์และแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำเสียชุมชน สำหรับวิธีที่ใช้ในการหาค่าซีโอดีของการทดลองนี้ใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed reflux method) ซึ่งวิธีนี้สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ในน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถสัมผัสกับสาร โปตัสเซียมไดโครเมตได้นาน

3.3.3 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตและค่าตัวแปรทงจนผลศาสตร์ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบแอโรบิก

ในการวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด โดยแต่ละชุดจะมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.3 และขั้นตอนในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.6 ระบบที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 3.3 แสดงความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำเสียและความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้ในการทดลอง

ถึง ปฏิกิริยา	ซีโอดี เริ่มต้น (mg/l)	ความเข้มข้น จุลชีพเริ่มต้นต่ำ (mg/l)	ความเข้มข้น จุลชีพเริ่มต้นสูง (mg/l)	หมายเหตุ
1	200	100	710	น้ำเสียจากบ่อเกรอะอาคารเจริญ วิศวกรรม ปริมาณ 1.5 ลิตร
2	100	100	710	น้ำเสียจากบ่อเกรอะอาคารเจริญ วิศวกรรม ปริมาณ 450 มิลลิลิตร ผสม กับน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ปริมาณ 1,050 มิลลิลิตร
3	60	100	710	น้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ปริมาณ 1.5 ลิตร
4	60	100	710	น้ำเสียจากบ่อเกรอะอาคารเจริญ วิศวกรรมปริมาณ 450 มิลลิลิตร นำมา เจือจางกับน้ำกลั่นปริมาณ 1,050 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.6 แผนภาพขั้นตอนแสดงการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตและค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ของจุลชีพที่ความเข้มข้นต่ำและสูง

3.3.4 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

วิธีการวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
พีเอช	Electrometric method	pH Meter
อุณหภูมิ	-	Thermometer
ซีโอดี	Closed reflux method (Standard method – 5220 C)	-
ของแข็งแขวนลอย	Standard method – 2540D	-
ทีเคเอ็น	4500-N _{org} Macro-kjeldahl	-