บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปชนิดกรองเติมอากาศ ซึ่งมีแผนผังสรุปขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 3.1 การทดลองทั้งหมดกระทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์ โดยมีรายละเอียดตัวแปรในการวิจัย ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวแปรต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการควบคุม	ตัวแปรคงที่ที่ใช้ ในการทดลอง			
	การทดลองชุดที่ 1	การทดลองชุดที่ 2	การทดลองชุดที่ 3	การทดลองชุดที่ 4
อัตราการไหลเข้า (ลิตรต่อวัน)	30	30	60	60
อายุตะกอน (วัน)	10	10	10	10*
เวลากักน้ำของถังแอนนอกซิก (ชั่วโมง)	-	8.4	4.2	4.2
เวลากักน้ำของถังแอโรบิก (ชั่วโมง)	20	10.5	5.25	5.25
อัตราส่วนการเวียนตะกอนกลับ (% ของอัตราการไหลเข้า)	100	100	100	100
อัตราส่วนการเวียนตะกอนภายใน (% ของอัตราการไหลเข้า)	-	100	100	100
การเติมตัวกลางในถังแอโรบิกและแอนอกซิก	-	-	-	เติม
การแบ่งห้อง	-	2 ห้อง	2 ห้อง	2 ห้อง

หมายเหตุ: * คืออายุตะกอนในส่วน suspended-growth

ตัวแปรที่นำมาใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1 ข้างต้น อ้างอิงตามหนังสือ "Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse 3rd Edition1991" ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวแปรจากกระบวนการเอ็มแอลอี (modified L.E. process)หรือเรียกว่ากระบวนการขาดอากาศ – เติมอากาศ (Anoxic-Aerobic Process) ได้แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจน(Metcalf และ Eddy, 1991)

Design parameter/ process	SRT, d[a]	MLSS, mg/L	τ, h			RAS, % of influent	Internal recycle, % of influent
			Total	Anoxic zone	Aerobic zone		
MLE	7–20	3000–4000	5–15	1–3	4–12	50–100	100–200
SBR	10–30	3000–5000	20–30	Variable	Variable		
Bardenpho (4-stage)	10–20	3000–4000	8–20	1–3 (1st stage) 2–4 (3rd stage)	4–12 (2nd stage) 0.5–1 (4th stage)	50–100	200–400
Oxidation ditch	20–30	2000–4000	18–30	Variable	Variable	50–100	
Bio-denitro™	20–40	3000–4000	20–30	Variable	Variable	50–100	
Orbal™	10–30	2000–4000	10–20	6–10	3–6 (1st stage) 2–3 (2nd stage)	50–100	Optional

[a] Temperature-dependent.

งานวิจัยนี้ใช้อัตราการเวียนตะกอนกลับ และอัตราการเวียนตะกอนภายในเท่ากับ 100 % ของอัตราการไหลเข้า ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการกำจัดไนโตรเจน สามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อเพิ่มปริมาณไนเตรทที่เวียนกลับทั้งหมดสูง แต่ควรพึงระวังถึงปริมาณออกซิเจนที่จะเพิ่มมากขึ้นในถังแอนนอกซิกด้วย ซึ่งจะส่งผลทางด้านลบในการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น อีกทั้งต้องมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่เพียงพอด้วย หากไม่พอจะต้องทำการเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก เช่น เมธานอล (CH_3OH) หรือกรดอะซิติก (CH_3COOH)

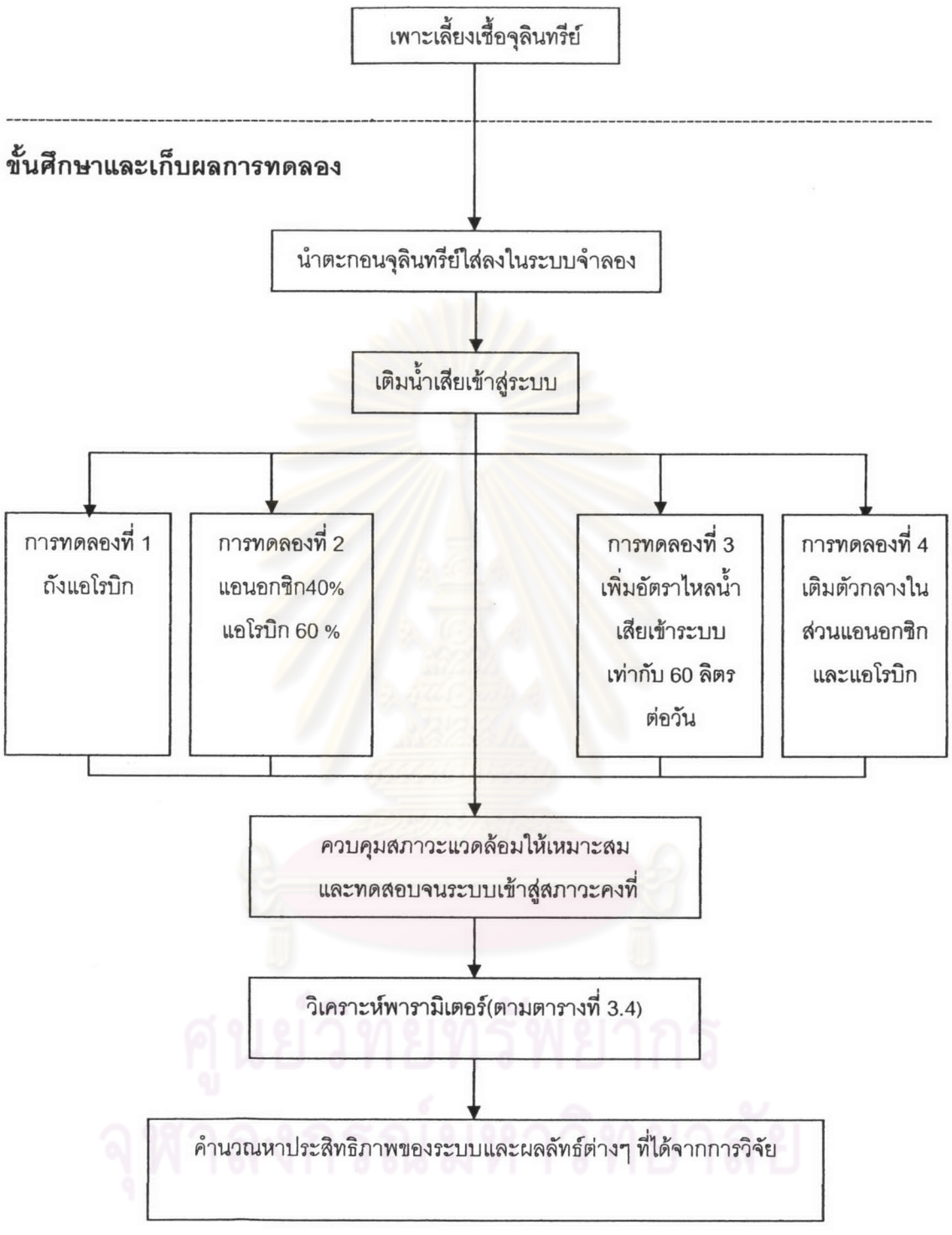
จากงานวิจัยของ M. Goto, S. Kuribayashi, Y. Nonaka และ M. Yamazaki (2002) ศึกษาการบำบัดร่วมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยกระบวนการ A^2O และได้ทำแปรค่าอัตราการเวียนไนเตรทกลับสู่ถังแอนนอกซิก เท่ากับ 2, 2.5 และ 3.0 และมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดออกจากระบบ เท่ากับ 6.8, 7.6 และ 13 มก./ล. ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการเวียนไนเตรทสูงขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนลดลง เนื่องจากเกิดปริมาณออกซิเจนจากไนเตรทหลุดเข้าไปในถังแอนนอกซิกสูง ที่ค่าอัตราการเวียนกลับไนเตรทเท่ากับ 3 มก./ล. มีค่าออกซิเจนละลายถึง

0.56 มก./ล. ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งจุลินทรีย์ในระบบ และเป็นผลต่อการเกิดกระบวนการเกิดดีไนตริฟิเคชันไม่ดีนัก

จากงานวิจัย C.W. Randall และ Sen. D (1996) ศึกษาการดัดแปลงระบบกำจัดไนโตรเจนแบบสลัดจ์เดี่ยว โดยใช้สัดส่วนแอโรบิก:แอนนอกซิก เท่ากับ 60:40 และใช้อัตราส่วนการเวียนตะกอนกลับ อัตราการเวียนตะกอนภายในเท่ากับ 1.3 เท่าและ 1.0 เท่าของอัตราการไหลเข้าตามลำดับ อีกทั้งเพิ่มตัวกลางประเภท Fixed Film เข้าไปในระบบ ซึ่งช่วยให้มีไนเตรตเพิ่มขึ้นในขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันเท่ากับ 25% และมีไนโตรเจนรวมในน้ำทิ้งเท่ากับ 8 มก./ล.

จากงานวิจัย C. Burica, M. Strazar และ I. Mahne (1996). ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชน โดยใช้ระบบเอเอสแบบพรีแอนอกซิก สัดส่วนแอนอกซิก: แอโรบิกเท่ากับ 40:60 ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่มีค่าไนโตรเจนรวมเท่ากับ 10 มก./ล (ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนรวมเท่ากับ 74 %) และสารอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 2 มก./ล (ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับ 87 %)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูป

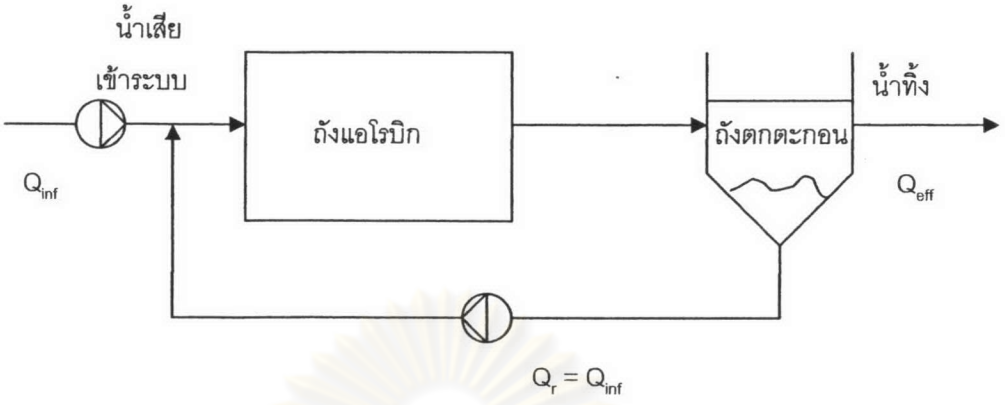
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงในตารางที่ 3.3 สำหรับรายละเอียดการเดินระบบ ขนาดของถังปฏิกิริยา และตัวกลางที่นำมาใช้ในการทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ถึง 3.8

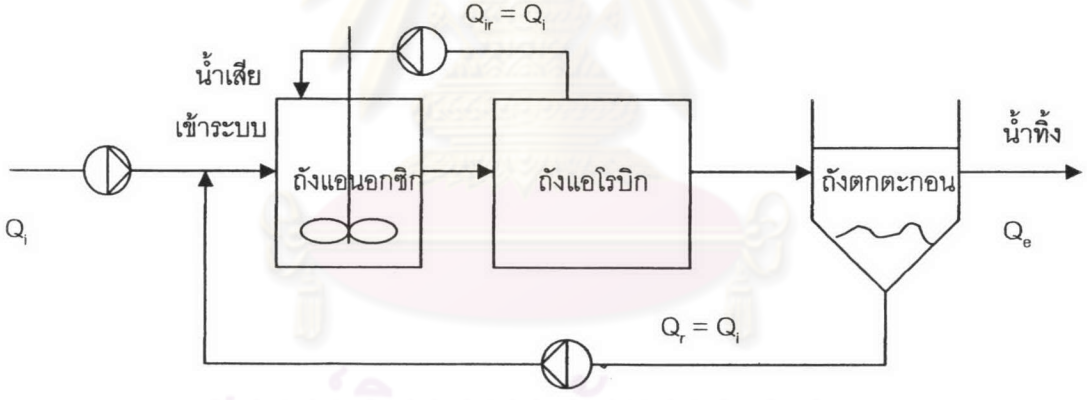
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	อุปกรณ์	รายละเอียด
1	ถังปฏิกิริยา (การทดลองที่ 1)	ถังแอโรบิก กว้าง 15 ซม. ยาว 60 ซม. มีระดับน้ำลึก 28 ซม. ปริมาตรเท่ากับ 25.2 ลิตร
2	ถังปฏิกิริยา (การทดลองที่ 2, 3 และ 4)	แบ่งออกเป็น 2 ถัง คือ ถังแอนอกซิก กว้าง 15 ซม. ยาว 25 ซม. มีระดับน้ำลึก 28 ซม. ปริมาตรเท่ากับ 10.5 ลิตร และถังแอโรบิก กว้าง 15 ซม. ยาว 35 ซม.มีระดับน้ำลึก 25 ซม.ปริมาตรเท่ากับ 13.13 ลิตร
3	ถังตกตะกอน	ทรงกระบอกสี่เหลี่ยมฐานกรวยปิรามิด มีปริมาตร 6.36 ลิตร
4	ถังน้ำเสีย	90 ลิตร
5	ถังน้ำทิ้ง	90 ลิตร
6	เครื่องเติมอากาศและหัวเติมอากาศ	ชนิดที่ใช้กับตู้ปลา
7	เครื่องกวน	มอเตอร์พร้อมใบพัด ความเร็ว 150 รอบ/นาที
8	เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ	Diaphragm
9	เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน	Peristaltic
10	เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนภายใน	Peristaltic
11	ตัวกลาง	ทำจากวัสดุโพลีเอทิลีน มีขนาดกว้าง 1.5 ซม. ยาว 1.5 ซม. และสูง 2.0 ซม. มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 ก/ซม.^{3} พื้นที่ผิวจำเพาะ เท่ากับ 74 ม.^{2}/ม.^{3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

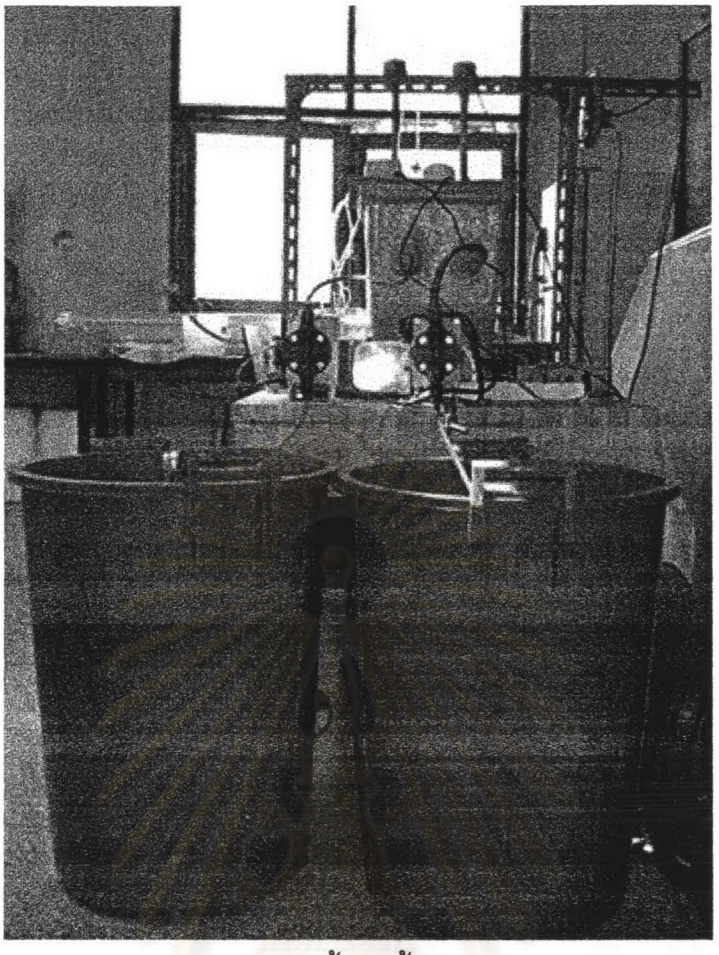


รูปที่ 3.2 การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 1

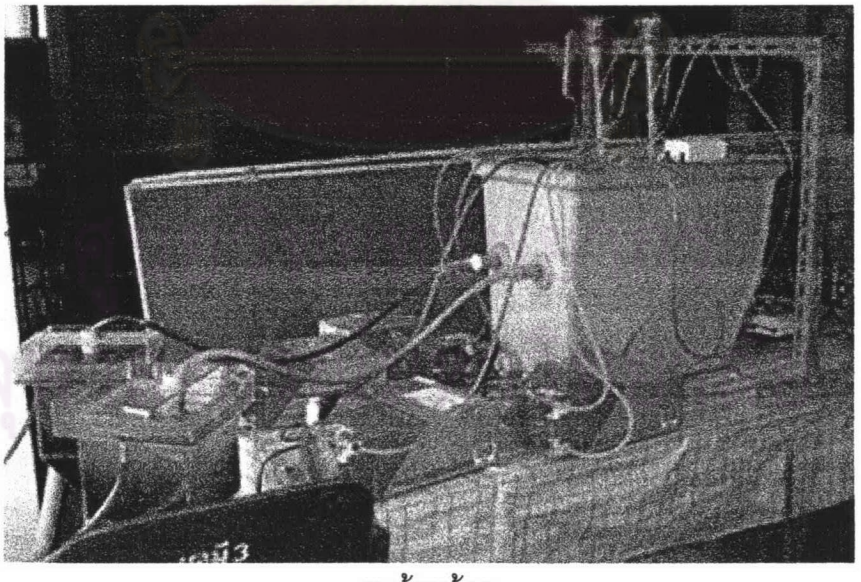


รูปที่ 3.3 การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 2,3 และ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



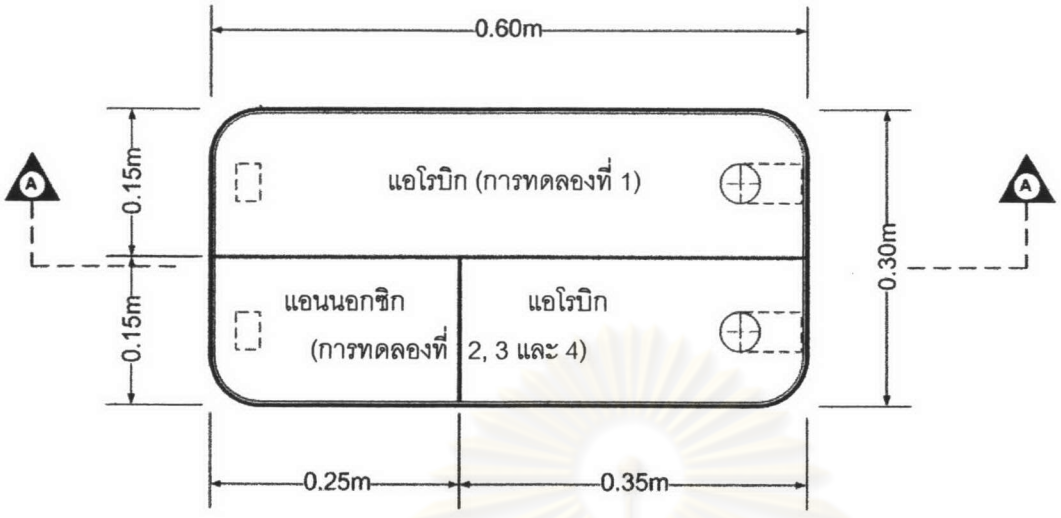
ก. ด้านหน้า



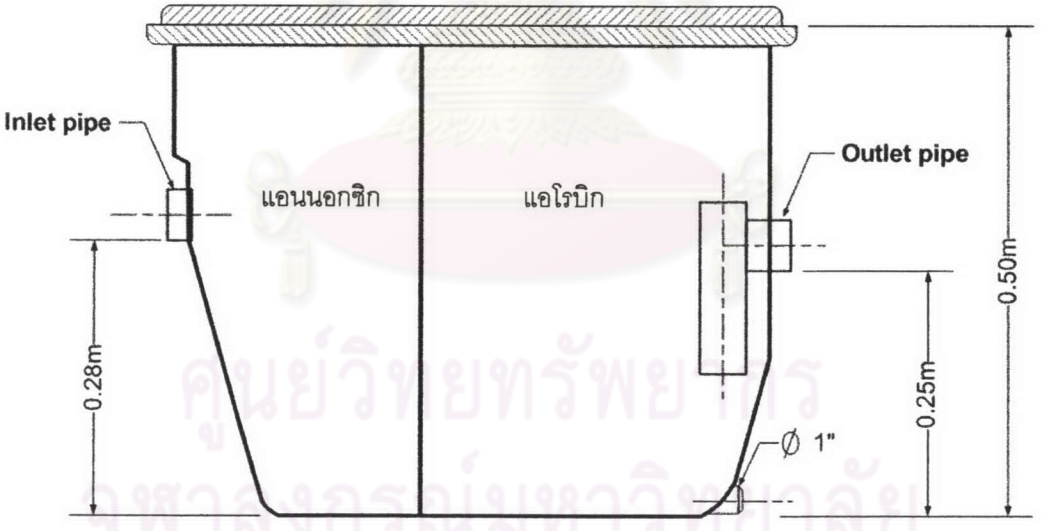
ข. ด้านข้าง

รูปที่ 3.4 รายละเอียดของระบบและอุปกรณ์ต่างๆ

ก. ด้านหน้า ข.ด้านข้าง

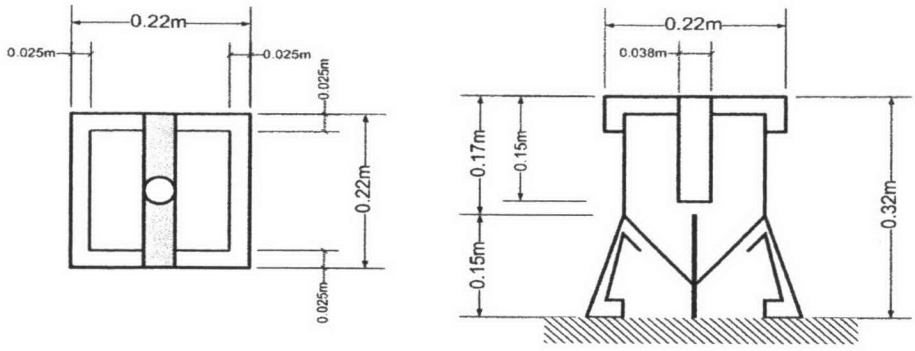


รูปที่ 3.5 รายละเอียดของถังปฏิกิริยา (ด้านบน)



รูปที่ 3.6 รายละเอียดของถังปฏิกิริยา (ด้านข้าง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 รายละเอียดของถังตกตะกอน

รูปที่ 3.8 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีค่าอัตราส่วนซีโอดี : ทีเคเอ็น : ฟอสฟอรัส คือ 100 : 10 : 1.5 โดยมีการเติมสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเติบโตของจุลชีพในระบบ โดยส่วนประกอบของน้ำเสียต่อน้ำประปา 30 ลิตร (รัชพล สุทธาโรจน์, 2540) มีดังนี้

น้ำตาลทราย	10.53 มก.
ยูเรีย $(NH_2)_2CO$	2.40 มก.
KH_2PO_2	0.78 มก.
$FeCl_3.6H_2O$	0.42 มก.
$NaHCO_3$	6.00 มก.
$MgSO_4.7H_2O$	0.30 มก.
$CaCl_2.2H_2O$	0.21 มก.

3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อมาทำการวิเคราะห์ ใช้วิธีเก็บจากถังปฏิกิริยาและถังพักน้ำโดยตรง แล้วทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทันที โดยพารามิเตอร์ทั่วไป เช่น พีเอช โออาร์พีนั้น จะวัดจากน้ำตัวอย่างที่เก็บได้โดยตรงจากภายในถัง ส่วนซีโอดี ทีเคเอ็น ไนไตรท์ และไนเตรท ในน้ำเสีย จะใช้วิธีวิเคราะห์หาค่าทั้งหมด (Total) ส่วนในถังแอนนอกซิก ถังแอโรบิก และน้ำออก จะใช้วิธีกรองเอาตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดออกไปก่อนโดยใช้กระดาษกรอง GF-C แล้วจึงนำน้ำใสมาวิเคราะห์

สำหรับการเก็บตัวอย่าง ตลอดจนความถี่ในการวิเคราะห์ สามารถสรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย จะใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ "Standard Method for the examination of water and wastewater 20th edition 1998" เป็นหลัก ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง			
	น้ำเสีย	ถังแอนนอกซิก	ถังแอโรบิก	น้ำออก
pH	A	A	A	A
DO	A	A	A	A
ORP	A	A	A	A
Temp	A	A	A	A
MLSS	-	B	B	B
MLVSS	-	B	B	-
V_{30}	-	A	A	-
COD(filt.)	B*	B	B	B
TKN(filt.)	B*	B	B	B
NH_3-N(filt.)	B*	B	B	B
NO_3-N(filt.)	B*	B	B	B
NO_2-N(filt.)	B*	B	B	B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ : A = ตัวแปรที่ต้องทำการวิเคราะห์ทุกวัน

B = ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

filt = นำไปกรองก่อนการวิเคราะห์

(*) ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านการกรองก่อนการวิเคราะห์

3.5 วิธีการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.5 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้วิเคราะห์
pH	pH meter
ORP	ORP Meter
DO	DO Meter
Temperature	Thermometer
MLSS	Standard Method 2540 D
MLVSS	Standard Method 2540 E
V_{30}	Standard Method 2710 D
COD	Standard Method 5220 C
NH_3-N	Standard Method 4500-NH_3 C
TKN	Standard Method 4500-N_{org} B
NO_3^--N	Standard Method 4500- NO_3^- B
NO_2^--N	Standard Method 4500- NO_2^- B

3.6 การเดินระบบและการควบคุมระบบ

3.6.1 การเดินระบบ

1) ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำเชื้อจุลินทรีย์มาเพาะเลี้ยงให้คุ้นกับน้ำเสีย โดยวิธีเลี้ยงให้คุ้นกับน้ำเสีย โดยวิธีเลี้ยงแบบทีละเท (Batch) โดยเลี้ยงเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยมี MLSS ประมาณ 3000 มก./ล.
2) นำตะกอนจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงไว้ใส่ในถังแอโรบิก เริ่มป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบ สูบตะกอนจากถังตกตะกอนกลับสู่ถังแอโรบิกด้วยอัตรา 100% ของน้ำ

เสียที่เข้าระบบ และสูบตะกอนจากถังแอโรบิกกลับเข้าสู่ถังแอนอกซิกด้วยอัตรา 100 % ของน้ำเสียเข้าระบบเช่นกัน

3) เริ่มทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์

3.6.2 การดูแลระบบ

การดูแลและควบคุมระบบนั้น ประกอบด้วยการดูแลรักษาความสะอาดของถังปฏิกิริยาตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่สะอาด เพื่อป้องกันมิให้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่นเชื้อราเกิดขึ้นภายในระบบ เนื่องจากเชื้ออื่นๆ เหล่านี้ อาจขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ การดูแลรักษาระบบ ทำได้โดยการทำความสะอาดในถังปฏิกิริยาไม่ให้มีเมือกจุลินทรีย์ (Slime) เกาะติดอยู่ข้างถังปฏิกิริยา ใบพัด หัวเติมอากาศ ท่อภายในระบบ และท่อตะกอนหมุนเวียน โดยใช้แปรงขัดทุกวัน และเปลี่ยนท่อซิลิโคนในเครื่องสูบน้ำแบบรีด ทุก 7 วัน

3.6.2.1 การควบคุมปริมาณการไหล

อัตราการไหลที่ต้องทำการควบคุมประกอบด้วย อัตราการไหลเข้าสู่ระบบของน้ำเสียและอัตราการหมุนเวียนตะกอน การควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย ทำได้โดยสังเกตปริมาตรน้ำเสียในถังพักน้ำเสียเทียบกับเวลา 1 วัน ว่าได้ปริมาตรตามที่ตั้งเครื่องสูบน้ำไว้หรือไม่ ถ้าปริมาตรผิดไปจากเดิมให้ทำการตั้งเครื่องสูบน้ำใหม่ ส่วนการควบคุมอัตราการหมุนเวียนตะกอนนั้น ให้ทำการตรวจสอบโดยวัดปริมาตรการไหลของเครื่องสูบน้ำตะกอนหมุนเวียนต่อระยะเวลาสั้นๆ เช่น 5 นาที หลายๆ ครั้ง เพื่อตรวจสอบอัตราการไหล โดยต้องตรวจสอบอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง ทั้งนี้ต้องไม่ลืมว่า ท่อสูบน้ำเสียต้องเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 3 วัน และท่อหมุนเวียนตะกอนต้องเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 7 วัน เพื่อป้องกันการอุดตัน ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลผิดพลาดได้

3.6.2.2 การควบคุมอายุตะกอน

การควบคุมตะกอนให้ได้ 10 วันตามที่กำหนดนั้น มีความสำคัญต่อระบบมาก เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หากมีอายุตะกอนของระบบต่ำกว่า 7 วัน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ดังนั้นวิธี

ควบคุมอายุตะกอน สามารถทำได้โดยการระบายน้ำและตะกอนแขวนลอยออกจากระบบโดยตรง ปริมาณน้ำและตะกอนแขวนลอยที่ทิ้งในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_w = \{(XV/SRT) - F_0X_e\} / (X - X_e) \quad .....(3.1)$$

เมื่อ F_w = อัตราการทิ้งตะกอนออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

F_0 = อัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (ลิตร/วัน)

SRT = ค่าอายุตะกอน (วัน)

X = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในระบบ (มก./ล.)

X_e = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ไปกับน้ำออก (มก./ล.)

V = ปริมาตรถังปฏิกิริยา (ลิตร)

จากสมการที่ 3.1 เห็นได้ว่าถ้า X_e มีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับ X สมการที่ 3.1 จะสามารถลดรูปเป็นอย่างง่ายได้ดังนี้

$$F_w = (XV/SRT) / X \quad .....(3.2)$$

อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ X_e มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นสูงกว่า 20 มก./ล. การคำนวณหา F_w ต้องคำนวณจากสมการที่ 3.1 เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย