บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยสนใจผลของระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ (HRT) ของส่วนต่าง ๆ ทั้งระบบ โดยกำหนดค่าอายุตะกอนที่ 40 วัน และอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าถังแอนแอโรบิก และถังแอนนอกซิกคงที่ 75% : 25% ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและกลไกการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพร่วมกับกระบวนการไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว หาค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญทางวิศวกรรม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

แบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ ติดตั้งอยู่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียรวมของศูนย์การค้ามาบุญครองเซนเตอร์ การหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 3-1 โดยมีรายละเอียดแต่ละช่วงดังนี้

<u>การทดลองช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1 และ การทดลองเริ่มต้น</u>

ทำการทดลองเพื่อหาค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิกที่น้อยที่สุดที่ระบบยังดำเนินการได้ โดยแปรค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอโรบิกที่ 2 และ 4 ชั่วโมง ขณะที่ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนแอโรบิกและถังแอนนอกซิกคงที่ 2 ชั่วโมง

<u>การทดลองช่วงที่ 2 การทดลองที่ 2</u>

ทำการทดลองโดย เลือกระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิก จากการทดลองในช่วงที่ 1 ทำการทดลองต่อโดยลดค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนแอโรบิกและถังแอนนอกซิกลง จาก 2 ชั่วโมงเป็น 1 ชั่วโมง ถ้าคุณภาพน้ำทิ้งไม่ผ่านตามมาตรฐาน จะทำการทดลองในช่วงที่ 3

<u>การทดลองช่วงที่ 3 การทดลองที่ 3 และ 4</u>

ทำการทดลองโดย เลือกค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิกที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 และปรับค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนแอโรบิกและแอนนอกซิกจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-1 จำนวนและรายละเอียดชุดการทดลอง

การทดลอง	ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ (ชั่วโมง)		
	แอนแอโรบิก	แอนนอกซิก	แอโรบิก
เริ่มต้น	2	2	2
1	2	2	4
2	1	1	4 หรือ 2
3	1	2	4 หรือ 2
4	2	1	4 หรือ 2

ตัวแปรอิสระ

การทดลองช่วงที่ 1 : ค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอโรบิก ที่ 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง

การทดลองช่วงที่ 2 : ค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอนนอกซิกและถังแอนแอโรบิกโรบิก ที่ 1ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง

ตัวแปรคงที่

การทดลองช่วงที่ 1 : ค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอนแอโรบิกและถังแอนนอกซิก ที่ 2 ชั่วโมง

การทดลองช่วงที่ 2 : ค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอโรบิกโรบิกที่ต่ำที่สุดจากการทดลองช่วงที่ 1 เป็น 2 ชั่วโมง หรือ 4 ชั่วโมง

การทดลองช่วงที่ 3 : ค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอโรบิกโรบิกที่ต่ำที่สุดจากการทดลองช่วงที่ 1 เป็น 2 ชั่วโมง หรือ 4 ชั่วโมง และค่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอนแอโรบิกและถังแอนนอกซิก ที่ 1 ชั่วโมง

ในทุกการทดลอง :

- ค่า DO ในถังแอโรบิก ควบคุมให้มีค่ามากกว่า 2 มก./ล.
- อายุตะกอนเป็น 40 วัน
- อัตราการเวียนน้ำกลับ 100 %
- อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าถังแอนแอโรบิก : ถังแอนอกซิกเป็น 0.75 : 0.25
- ฟลักซ์การกรองของเมมเบรนคงที่ ที่ 15 ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง

ตัวแปรตามในการศึกษา

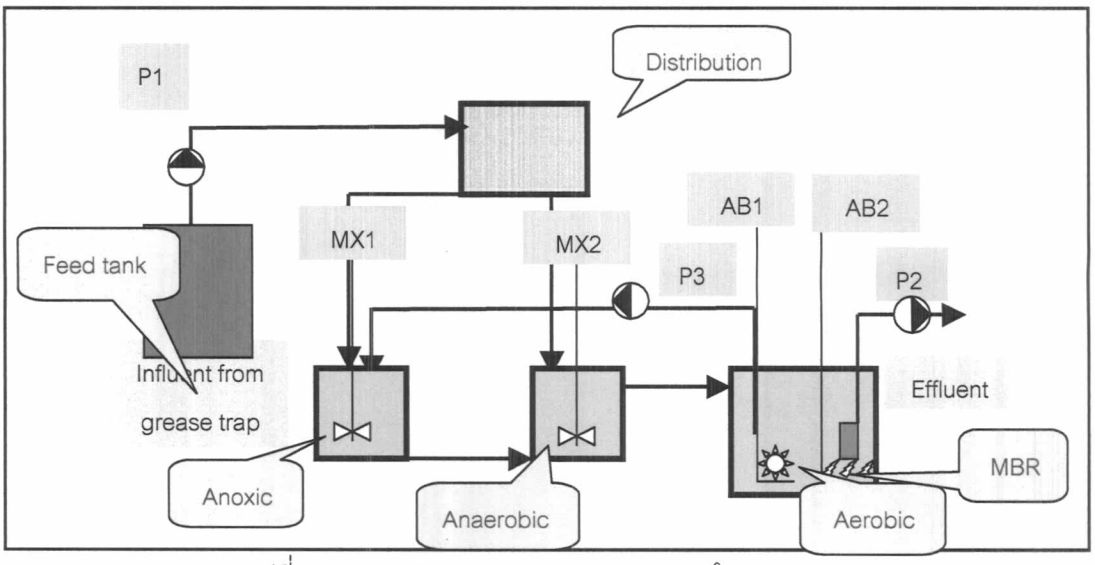
ตัวแปรตามที่ทำการศึกษาได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ เอสเอส เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส ซีโอดี บีโอดี ไนโตรเจน ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสฟอรัส ความขุ่น แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

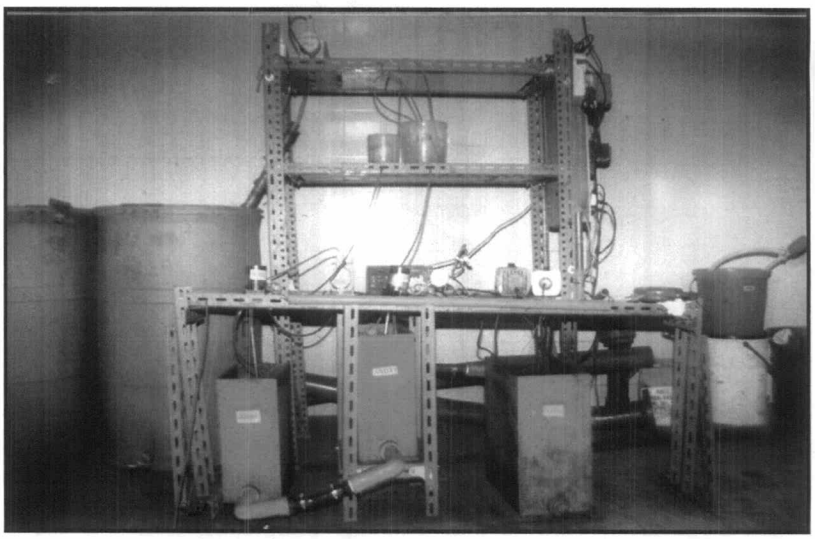
ใช้น้ำเสียจากอาคารศูนย์การค้ามาบุญครองเซ็นเตอร์ ซึ่งผ่านการบำบัดจากถังดักไขมันด้วยระบบดีเอเอฟ (Dissolved Air Floatation, DAF) คุณลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบในขณะดำเนินการทดลองเป็นดังตารางที่ 4-1

3.3 หลักการทำงานของระบบ

หลักการทำงานของระบบเป็นดังรูปที่ 3-1 และรูปของระบบที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-1 แสดง Flow Diagram ของระบบ A^3 –MBR



รูปที่ 3-2 ระบบที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ถังปฏิกรณ์

โครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส ความหนา 6 มม. ดังรูปที่ 3-2 และขนาดของแต่ละส่วนจะเปลี่ยนไปตามการทดลองแต่ละชุด ดังรูปที่ 3-3

3.4.2 เครื่องสูบน้ำ (P1), (P2), (P3)

ชนิด	:	Positive Displacement	
จำนวน	:	3	ชุด
กำลัง	:	1/60	Hp
อัตราการสูบ			
(P1)	:	9	ล./ชม.
(P2)	:	9	ล./ชม.
(P3)	:	4.5	ล./ชม.

3.4.3 เครื่องเป่าอากาศ (AB1),(AB2)

จำนวน	:	2	ชุด
กำลัง	:	0.6	w
อัตราการจ่ายอากาศ	:	60	ล./นาที

3.4.4 เครื่องกวนรอบต่ำ (MX1),(MX2)

ชนิด	:	Stainless Steel	
จำนวน	:	2	ชุด
กำลัง	:	0.30	W

3.4.5 ไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว (ดังรูปที่ 3.4)

ขนาดรูพรุน	:	0.4	μm
พื้นที่ผิว	:	0.3	ตร.ม.

3.4.6 ถังเก็บน้ำก่อนเข้าระบบ (Feed tank)

วัสดุ	:	โพลีเอทธิลีน	
จำนวน	:	1	ชุด
ความจุ	:	120	ล.

3.4.7 อุปกรณ์การแบ่งน้ำเสีย (Distribution box)

โครงสร้างเป็นถล่องพลาสติกทรงกระบอก จำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 3-5

3.4.8 ชุดควบคุมเวลา (Timer)

ติดตั้งบนแผงไฟฟ้า ดังรูปที่ 3-6

ความละเอียด : 0-30 นาที

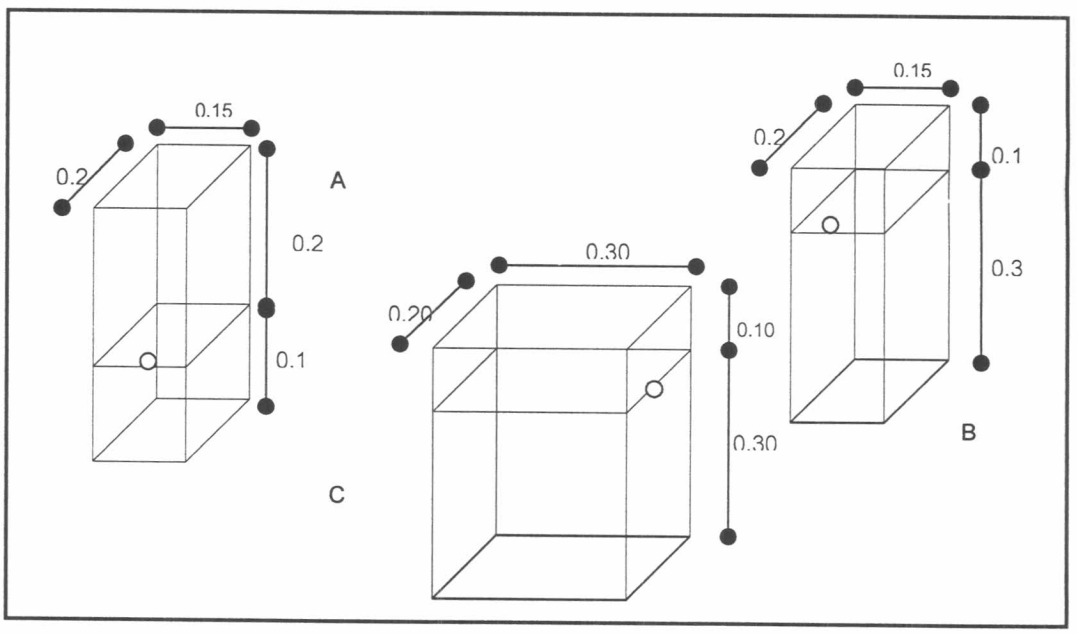
จำนวน : 1 ชุด

3.4.9 มิเตอร์ไฟฟ้า

ติดตั้งบนแผงไฟฟ้า ดังรูปที่ 3-6

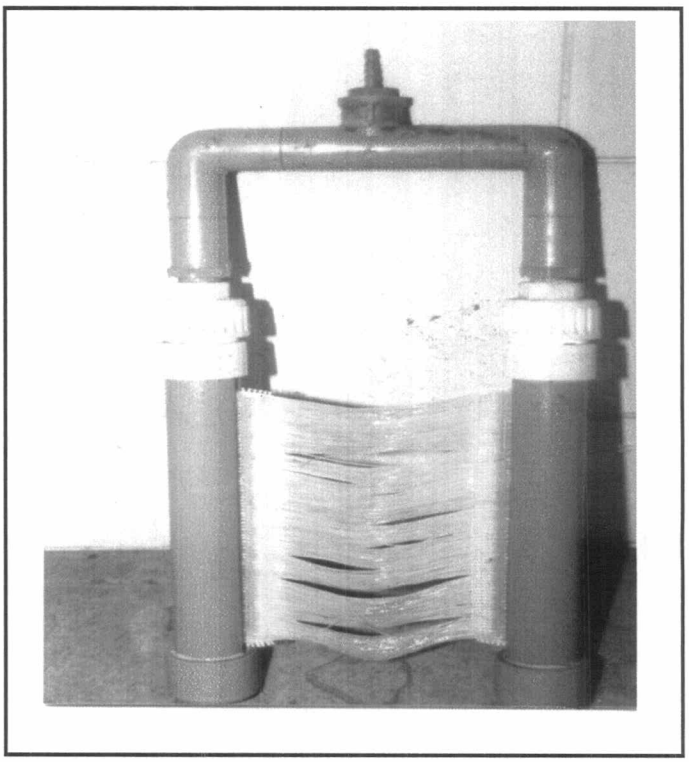
ตารางที่ 3-2 ขนาดถังในแต่ละชุดการทดลอง

การทดลอง	อัตราการไหล (l/d)	Anoxic		Anaerobic		Aerobic	
		HRT (h)	Volume (l)	HRT (h)	Volume (l)	HRT (h)	Volume (l)
เริ่มต้น	108	2	9	2	9	2	9
1	108	2	9	2	9	4	18
2	108	1	4.5	1	4.5	4	18
3	108	1	4.5	2	9	4	18
4	108	2	9	1	4.5	4	18

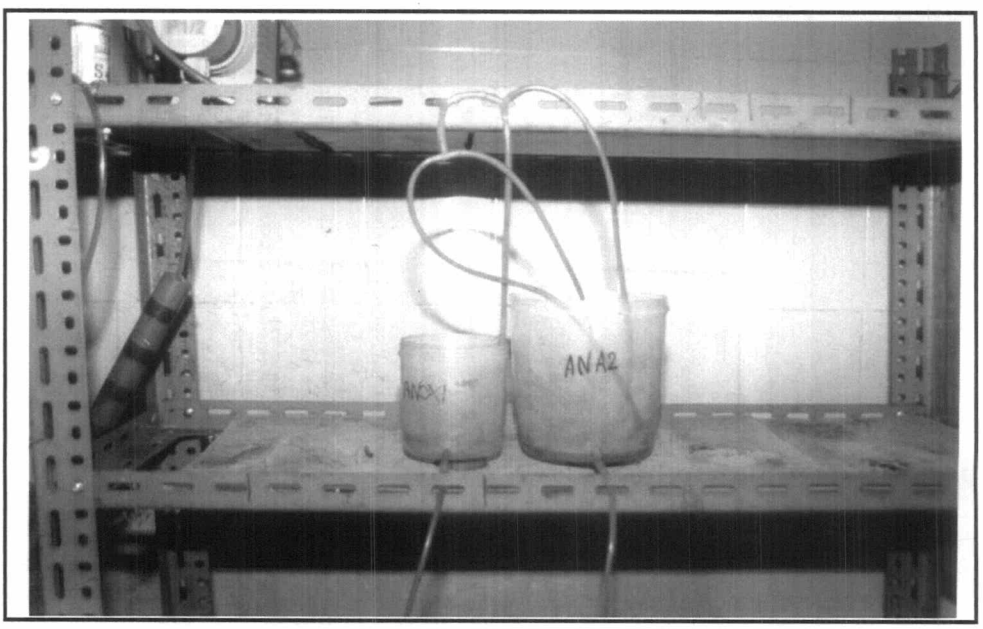


รูปที่ 3-3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

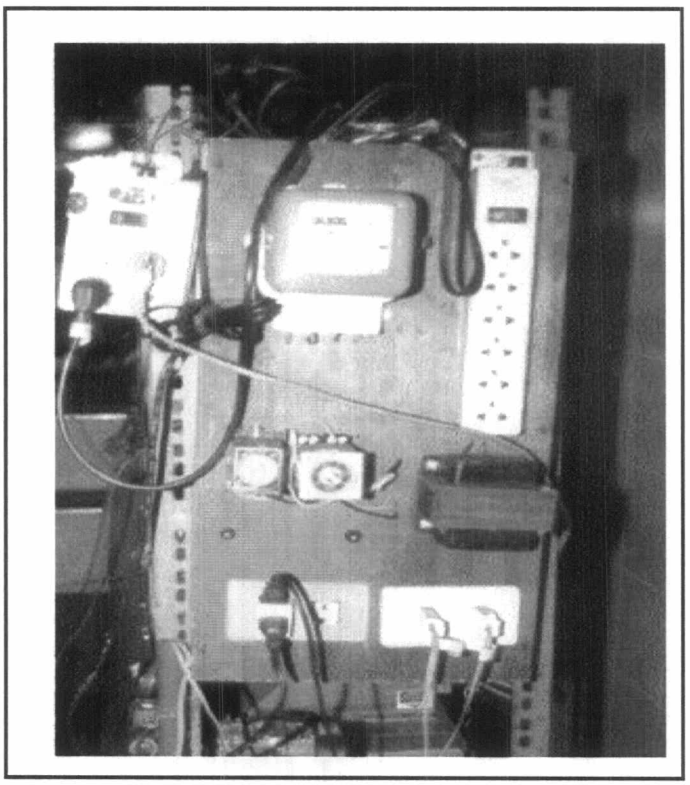
(A. ขนาด 4.5 ลิตร B. ขนาด 9 ลิตร และ C. ขนาด 18 ลิตร)



รูปที่ 3-4 เมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-5 อุปกรณ์การแบ่งน้ำเสีย (Distribution box)



รูปที่ 3-6 รูปแผงไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

3.5 การควบคุมระบบ

3.5.1 การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การควบคุมการทำงาน

อุปกรณ์	หน้าที่	สัญลักษณ์	การควบคุม	รอบ 1 ชั่วโมง					
1. เครื่องสูบน้ำ 1	Influent	P1	Timer		X		X		X
2. เครื่องสูบน้ำ 2	Effluent	P2	Timer		X		X		X
3. เครื่องสูบน้ำ 3	Internal Recirculation	P3	-	X	X	X	X	X	X
4. เครื่องเติมอากาศ 1	Oxygen Transfer	AB1	-	X	X	X	X	X	X
5. เครื่องเติมอากาศ 2	Crossflow Filtration	AB2	-	X	X	X	X	X	X
6. เครื่องกวนรอบต่ำ 1	Mixing in anoxic tank	MX1	-	X	X	X	X	X	X
7. เครื่องกวนรอบต่ำ 2	Mixing in anaerobic tank	MX2	-	X	X	X	X	X	X

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากถังดักไขมัน จะถูกนำมาเก็บไว้ที่ถังพักน้ำเสีย (Feed Tank) หลังจากนั้นจะสูบเข้าระบบด้วยเครื่องสูบน้ำ P1 ขนาด 9 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งถูกควบคุมโดย Timer ที่สั่งให้สูบทุก 10 นาที และหยุด 10 นาที สลับกันไปเรื่อย ๆ เพื่อเข้าถังแบ่งน้ำเสียที่ควบคุมให้น้ำเสียไหลเข้าถังแอนนอกซิก และถังแอนแอโรบิก เป็น 75% และ 25% ตามลำดับ

เครื่องสูบน้ำออกจากระบบ (P2) ทำหน้าที่สูบน้ำที่ผ่านการบำบัด และการกรองด้วยเมมเบรน ออกจากถังเติมอากาศ ถูกควบคุมโดย Timer ที่กำหนดให้สูบสลับกับหยุดสูบทุก 10 นาที พร้อมกับเครื่องสูบน้ำ P1

เครื่องสูบน้ำเวียนกลับ (P3) จะสูบน้ำที่มีไนเตรทสูงพร้อมมวลจุลชีพในถังเติมอากาศกลับไปยังถังแอนนอกซิก เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

เครื่องกวนรอบต่ำ (MX1,MX2) ขนาด 0.30 วัตต์ ติดตั้งในถังแอนนอกซิก และถังแอนแอโรบิกถังละ 1 ตัว ให้ทำงานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการสัมผัสของจุลชีพกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง

เครื่องเติมอากาศ (AB1) ติดตั้งในถังเติมอากาศ ให้ทำงานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อเติมออกซิเจนให้กับจุลชีพและทำให้จุลชีพเกิดการสัมผัสของจุลชีพกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง

เครื่องเติมอากาศ (AB2) ติดตั้งในถังเติมอากาศ ใต้ชุดไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน เพื่อให้เกิดการกรองแบบขนาน (Crossflow filtration) ลดการอุดตันของเมมเบรน โดยจะทำงานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวจะต่อเข้ากับมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อทราบถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละวัน

3.5.2 การควบคุมอายุตะกอนของระบบ

จากสมการ $$\theta_c = \frac{VX}{Q_W X_r + Q_e X_e} \quad \ldots(3.1)$$

เมื่อ θ_c = ค่าอายุตะกอน (วัน)

V = ปริมาตรของระบบ (ลิตร)

X = ค่าความเข้มข้นของตะกอนในระบบ (มก./ล.)

Q_W = ค่าอัตราการทิ้งตะกอนออกจากระบบ (มก./ล.)

X_r = ค่าความเข้มข้นของตะกอนที่ทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)

Q_e = อัตราน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (ลิตร/วัน)

X_e = ค่าความเข้มข้นของตะกอนในน้ำทิ้งออกจากระบบ (มก./ล.)

เนื่องจากน้ำทิ้งผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ซึ่งสามารถกักตะกอนไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้ง ดังนั้น $X_e \approx 0$ และเอาตะกอนส่วนเกินออกจากถังปฏิกรณ์ทำให้ $X \approx X_r$

ดังนั้น

$$\theta_c = \frac{V}{Q_w} \quad \ldots(3.2)$$

หรือ

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad \ldots(3.3)$$

เนื่องจากความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยในแต่ละถังไม่เท่ากัน ในการควบคุมค่าอายุตะกอนของระบบให้มีค่าเท่ากับ 40 วัน เท่ากันทุกถัง ดังนั้นการระบายตะกอนส่วนเกินของแต่ละถังจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังนั้นๆ ซึ่งอัตราการระบายตะกอนในแต่ละการทดลองเป็นดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 อายุตะกอนกับอัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกิน

การทดลอง	อัตราการทิ้งตะกอน (ลบ.ซมต่อวัน)			
	ถังแอนนอกซิก	ถังแอนแอโรบิก	ถังแอโรบิก	รวมทั้งหมด
เริ่มต้น	225.0	225.0	225.0	675.0
1	225.0	225.0	450.0	900.0
2	112.5	112.5	225.0 หรือ 450.0	450.0 หรือ 675.0
3	112.5	225.0	225.0 หรือ 450.0	562.5 หรือ 787.5
4	225.0	112.5	225.0 หรือ 450.0	562.5 หรือ 787.5

3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่จะทำการวิเคราะห์ ตำแหน่ง ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3-5 และ ตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-5 จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์	จำนวนครั้งที่วิเคราะห์ต่อสัปดาห์				
	น้ำเสียเข้า	ถังแอนนอกซิก	ถังแอนแอโรบิก	ถังแอโรบิก	น้ำทิ้ง
พีเอช	3	3	3	3	3
ออกซิเจนละลายน้ำ	-	3	3	3	3
อุณหภูมิ	3	3	3	3	3
ซีโอดี	3	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
ทีเคเอ็น	3	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
ไนไตรท์	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
ไนเตรท	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
ฟอสฟอรัส	3	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
เอ็มแอลเอสเอส	-	3	3	3	-
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	3	3	3	-
เอสเอส	3	-	-	-	3
แบคทีเรียโคลิฟอร์ม	-	-	-	-	1
บีโอดี	1	-	-	-	1
สภาพด่าง	3	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
กรดไขมันระเหย	3	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	$3^{(f)}$	3
ความขุ่น	1	-	-	-	1

หมายเหตุ

$3^{(f)}$ วิเคราะห์ตัวอย่างโดยผ่านการกรอง จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์

3 วิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ผ่านการกรอง จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์

1 วิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ผ่านการกรอง จำนวน 1 ครั้งต่อการทดลอง (เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว)

ตารางที่ 3-6 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	pH meter with glass electrode
ออกซิเจนละลาย	DO meter
อุณหภูมิ	Thermometer
บีโอดี	Direct titration method
ซีโอดี	Close reflux titration method
ทีเคเอ็น	Kjedahl method
ไนไตรท์	NED Colorimetric method
ไนเตรท	Brucine for wastewater and sea water
ฟอสฟอรัส	Vanadomolybdate method
เอ็มแอลเอสเอส	Gravimetric method 103 °C
เอ็มแอลวีเอสเอส	GC/F and drying at 103 °C - 550 °C
เอสเอส	GC/F and drying at 103 °C
ความขุ่น	Nephelometric method
แบคทีเรียโคลิฟอร์ม	MPN
สภาพด่าง	Titration method
กรดไขมันระเหย	Titration method