บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (HLR) และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์, ไนโตรเจนและของแข็งแขวนลอยของกระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรอง (ต่อไปจะเรียกถังปฏิกรณ์ = MBR และ ถังกรอง = FIL) โดยใช้น้ำเสียของ อาคารชุดนิติบุคคล ปทุมวัน คอนโดมิเนียมเพลส และเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 6 ชุดการทดลองโดย

ชุดการทดลองที่ 1-3 กำหนด OLR =6.67 kgCOD/m^3-d และแปรค่า HLR = 0.5 1.0 และ 2.0 m/h

ชุดการทดลองที่ 4-6 กำหนด OLR =13.33 kgCOD/m^3- d และแปรค่า HLR = 0.5 1.0 และ 2.0 m/h

ตารางที่ 3.1 ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์และค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชุดการทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)
1	6.67	0.5
2	6.67	1.0
3	6.67	2.0
4	13.33	0.5
5	13.33	1.0
6	13.33	2.0

3.2.1 ตัวแปรกำหนด

1.ระบบทำงาน 3 ชั่วโมง 50 นาที หยุดพักระบบเพื่อสลับการทำงาน 10 นาที รวมเป็น 4 ชั่วโมง

2.ปริมาณการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์ในช่วงเติมอากาศ เท่ากับ 2 ลิตรต่อ 1รอบการทำงาน

3.2.2 ตัวแปรอิสระ

1.ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3 ค่า ได้แก่ 0.5 1.0 และ 2.0 m/h

2.ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เทียบกับปริมาตรตัวกลาง (Volumetric organic loading rate) จำนวน 2 ค่า ได้แก่ 6.67 และ 13.33 kgCOD/m^3-d

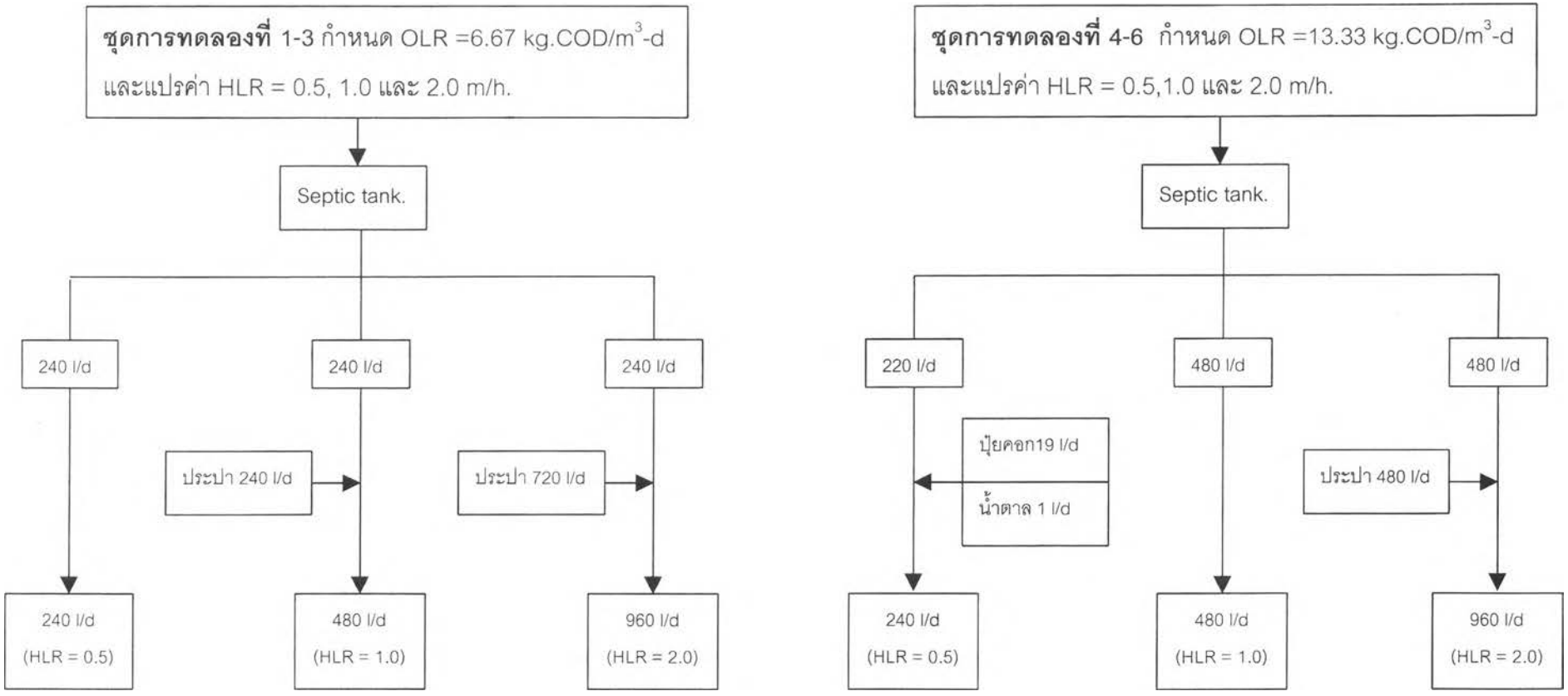
3.2.3 ตัวแปรตาม

1.พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ซีโอดี เอสเอส วีเอสเอส อัลคาไลนิตี้ อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจนละลาย บีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน

2.ค่าอายุตะกอน, ยีลด์และสัมประสิทธิ์การเน่าเปื่อย

3.3 อัตราการจ่ายน้ำเสีย

เนื่องจากทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ทำให้มีการใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลและปุ๋ยคอกเพื่อเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon Source) และน้ำเสียที่เตรียมขึ้นมานี้มีความเข้มข้นสูงจึงต้องทำการเจือจางด้วยน้ำประปาซึ่งจ่ายด้วยอัตราการไหลคงที่เพื่อควบคุมให้ได้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์และภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ตามที่ต้องการ อัตราการจ่ายน้ำเสียและน้ำประปาแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 **อัตราการสูบจ่ายน้ำเสียและน้ำประปา**

ตารางที่ 3.2 อัตราการจ่ายน้ำเสียและน้ำประปา

ชุดการทดลอง	อัตราการสูบจ่ายน้ำเสีย (ลิตร/วัน)			อัตราการสูบจ่ายน้ำประปาเจือจาง(ลิตร/วัน)	อัตราการสูบจ่ายน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/วัน)
	น้ำเสียอาคารสูง	น้ำเสียสังเคราะห์จากปุ๋ยคอก	น้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาล		
1	240	-	-	-	240
2	240	-	-	240	480
3	240	-	-	720	960
4	220	19	1	-	240
5	480	-	-	-	480
6	480	-	-	480	960

3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวผสมกับน้ำเสียจากอาคารสูง มีผลทำให้เกิดปัญหาตะกอนอืด ด้วยสาเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำเสียจำพวก (Protein Waste) ลงไปผสมด้วยซึ่งในการวิจัยนี้ ใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์จากปุ๋ยคอก โดยนำปุ๋ยคอก 1 กิโลกรัมละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 10 ลิตร กรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วจึงนำน้ำเสียที่สังเคราะห์นี้มาวิเคราะห์หาค่าซีโอดี จากนั้นเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้ปริมาณ 19 ลิตร ผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาล จำนวน 1 ลิตร รวม 20 ลิตร ผสมกับน้ำเสียจากอาคารสูง จำนวน 220 ลิตร เพื่อให้ได้ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. (แสดงรายการคำนวณในภาคผนวก ข)

3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ถังปฏิกรณ์และถังกรอง จะมีขนาดและรูปร่างที่เหมือนกัน อันเนื่องมาจากต้องสลับการทำงาน โดยถังทั้งสองจะทำจากอะคริลิกใส ที่มีความหนา 5 มม. ถังมีขนาดความยาวด้านกว้าง 10 ซม. ความยาวด้านยาว 20 ซม. ความสูง1.00 ม. แต่เผื่อระยะน้ำล้นอีก 0.95 ซม. รวมความสูง

1.95 ม. แนวกลางถังจะมีอะครีลิกใสหนา 5 มม. กั้นกลางยาว 70 ซม. เพื่อให้ตัวกลางสามารถเคลื่อนที่วนเวียนได้ โดยแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.2

2) ตัวกลางสารกรอง (media) ได้รับความอนุเคราะห์ตัวกลางจาก บริษัท อะควานิชฮาร่า จำกัด โดยตัวกลางที่ใช้เป็นตัวกลางที่สังเคราะห์ขึ้นจากพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยที่ผิวนอกและผิวในมีความขรุขระ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในโดยเฉลี่ย 5 มม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มม. และความยาวโดยเฉลี่ย 3 มม.มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.1 และมีค่าความพรุนอากาศขณะแห้งร้อยละ 61 ดังแสดงในภาพที่ 3.1

3) เครื่องสูบน้ำเสียแบบรีดสาย (peristatic pump) ยี่ห้อ Watson Marlow ขนาด 100 วัตต์ ทำหน้าที่ป้อนน้ำเสีย, น้ำประปาและระบายน้ำตะกอนจุลินทรีย์

4) เครื่องอัดอากาศ ยี่ห้อ Tiger ขนาด 0.5 แรงม้า ทำหน้าที่จ่ายอากาศให้กับถังปฏิกรณ์โดยผ่านหัวเติมอากาศชนิดเมมเบรนฟองละเอียด ส่วนการล้างย้อนจะจ่ายอากาศผ่านท่อพีวีซีที่เจาะรู 1 มม.

5) ไมโครโปรเซสเซอร์ ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น Fxos series มี I/O อย่างละ 6 ช่อง จำนวน 2 เครื่อง ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโซลีนอยด์วาล์ว

6) รีเลย์ ยี่ห้อ OMRON ขนาด 5 Amp พร้อม Socket จำนวน 12 ตัว ทำหน้าที่จ่ายไฟให้โซลีนอยด์วาล์ว

7) โซลีนอยด์วาล์ว ยี่ห้อ UNI-D ขนาด 0.5 นิ้ว จำนวน 20 ตัว ทำหน้าที่เปิดและปิดวาล์วเพื่อระบายน้ำเข้า-ออก ตะกอนส่วนเกิน น้ำทิ้ง น้ำใสส่วนบน น้ำจากการล้างย้อนและน้ำสูบตะกอนกลับ

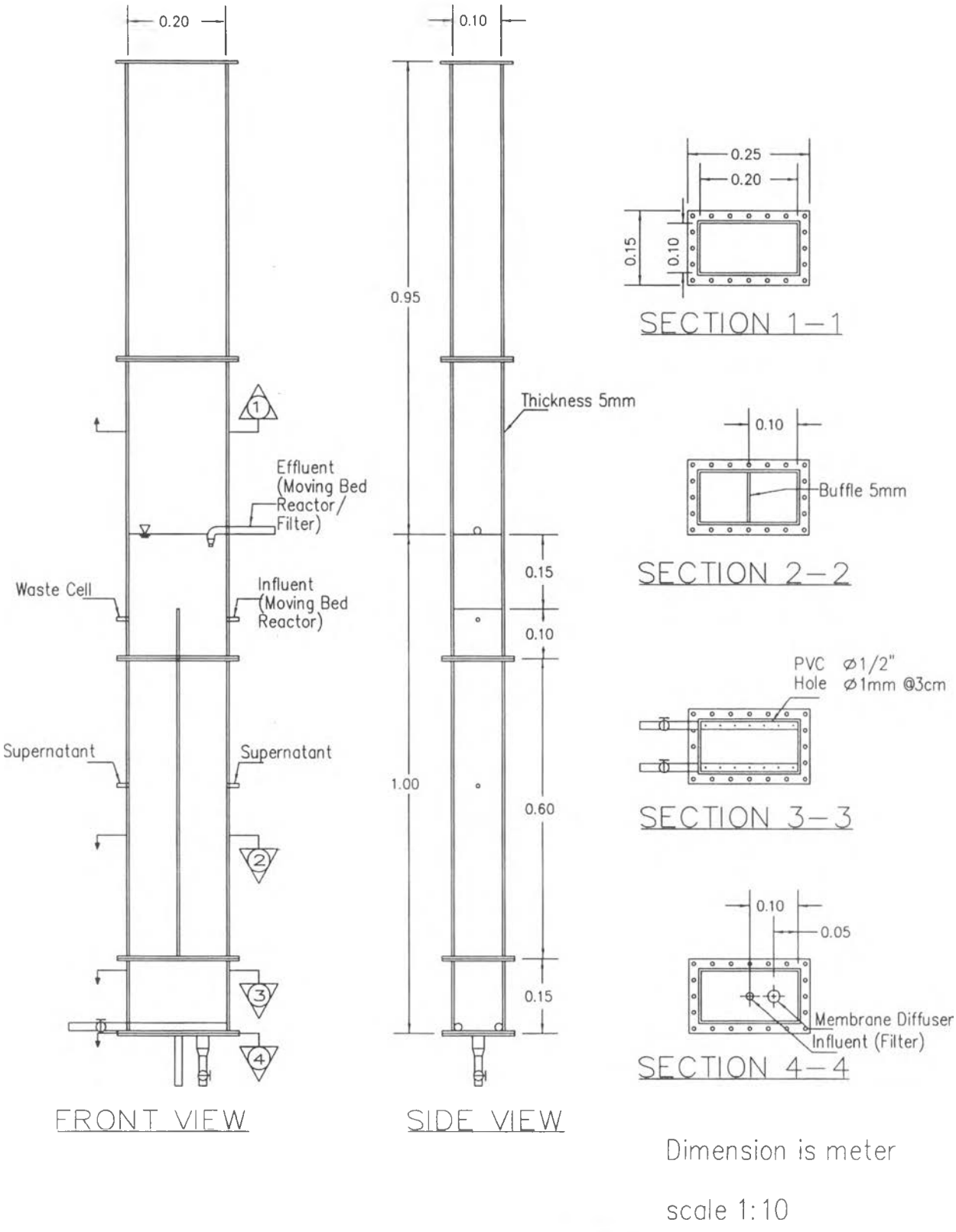
8) ถังพักน้ำเสียเข้มข้น เป็นถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร เพื่อเตรียมน้ำเสียก่อนสูบเข้าไปเจือจางด้วยน้ำประปา

9) ถังพักน้ำจากการล้างย้อน มีขนาด 30 ลิตร ทำหน้าที่ พักน้ำจากการล้างย้อนเพื่อรอสูบกลับไปยังถังกรองเพื่อทำการเป่าอากาศใหม่อีกครั้ง

10) ถังเก็บน้ำ (ระบายน้ำใสส่วนบน) เป็นถังพลาสติก ขนาด 100 ลิตร

11) ถังเก็บน้ำ (ระบายตะกอนส่วนเกิน) เป็นถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร

12) ถังพักน้ำประปา ขนาด 60 ลิตร เพื่อเป็นแหล่งน้ำประปาสูบไปเจือจางกับน้ำเสีย



รูปที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์/ถังกรอง

ภาพที่ 3.1 ตัวกลางสารกรอง

3.6 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของระบบแบบอัตโนมัติ

ไมโครโปรเซสเซอร์ 2 ตัว จะสลับการทำงานทุก 4 ชม. เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวแรกทำงานอยู่ในช่วงสภาวะแอโรบิกให้กับถังปฏิกรณ์ ขณะเดียวกันไมโครโปรเซสเซอร์อีกตัวจะไม่ทำงานถือเป็นช่วงสภาวะแอนอกซิกให้กับถังกรอง ขั้นตอนการทำงานของระบบจะมีขั้นตอนการทำงาน (รูปที่3.3) ดังนี้

1. ช่วงสภาวะการทำงานปกติ

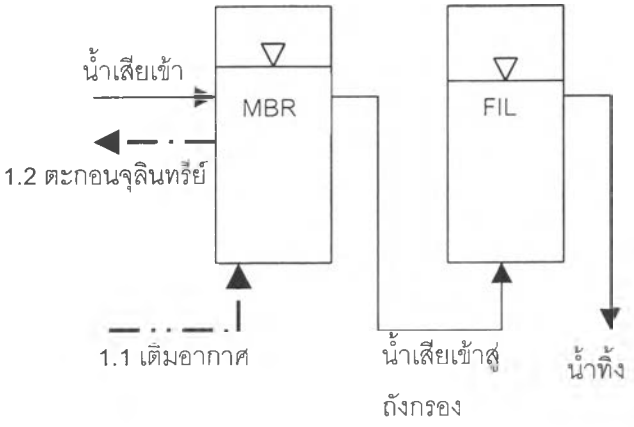
1.1 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายทำงานเพื่อสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอากาศแล้วปล่อยน้ำเสียที่ผ่านถังปฏิกรณ์เข้าสู่ถังกรองในลักษณะการกรองแบบไหลขึ้น และน้ำที่ผ่านถังกรองจัดเป็นน้ำทิ้งที่ได้รับการบำบัดน้ำเสีย ช่วงแอโรบิก(ถังปฏิกรณ์ที่เติมอากาศ)จะมีระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ 0:00:00 - 3:50:00 (Hr:Min:Sec) ดังแสดงในภาพที่ 3.2

1.2 เมื่อระบบทำงานมาถึงเวลา 2:00:00 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสายตัวที่สองจะทำงานเพื่อระบายตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินทิ้งจากถังปฏิกรณ์ที่เติมอากาศจนถึงเวลา 2:30:00

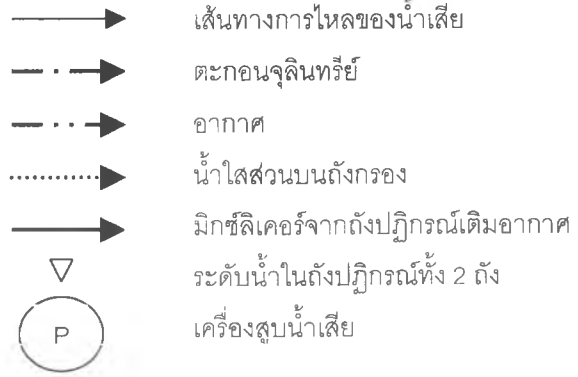
1. **ช่วงสภาวะการทำงานปกติ** (0:00:00-3:50:00)

1.1 แอโรบิก (0:00:00 – 3:50:00)

1.2 ระบายตะกอนจุลินทรีย์(2:00:00-2:30:00)



สัญลักษณ์

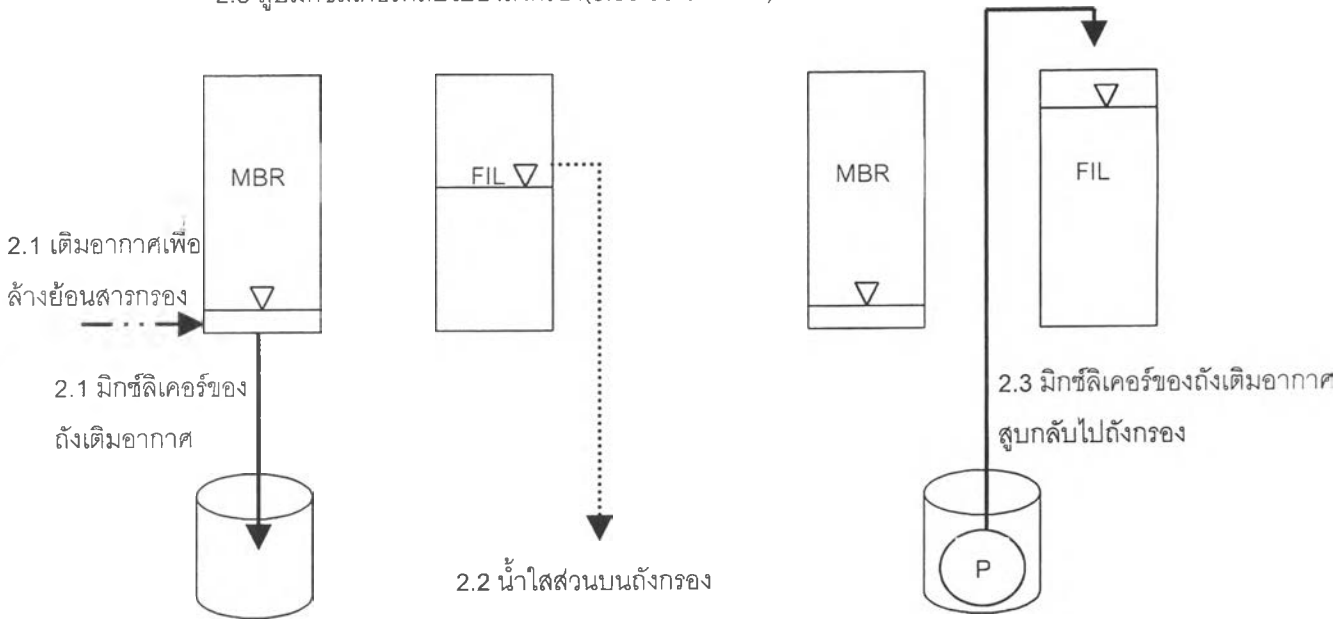


2. **ช่วงสภาวะหยุดระบบเพื่อสลับการทำงาน** (3:50:00 – 4:00:00)

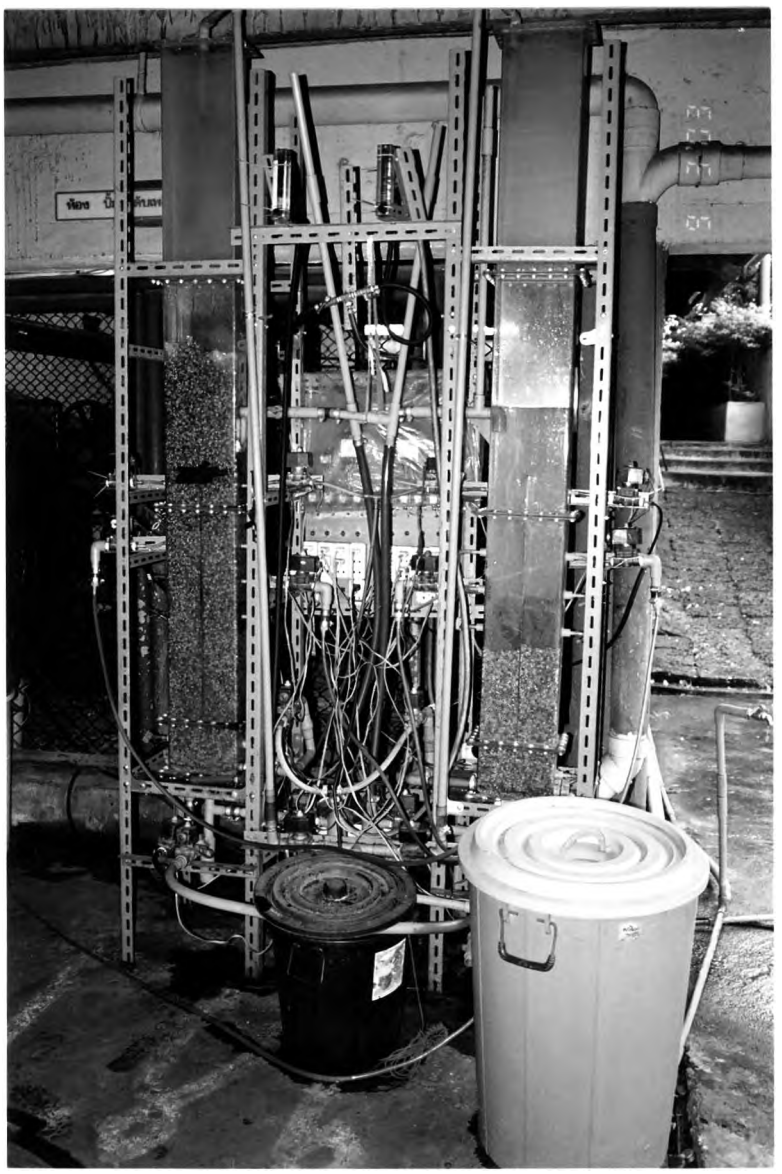
2.1 เติมอากาศเพื่อการล้างย้อนและระบายมิกซ์ลิเคอร์จากถังเติมอากาศ(3:50:00-3:55:30)

2.2 ระบายน้ำใสส่วนบนถังกรอง(3:50:00-3:51:45)

2.3 สูบมิกซ์ลิเคอร์กลับไปยังถังกรอง(3:55:00-3:56:15)



รูปที่ 3.3 **ขั้นตอนการทำงานที่** 1 **วัฏจักรของระบบ**



ภาพที่ 3.2 การทำงานของระบบ

2. ช่วงสภาวะหยุดระบบเพื่อสลับการทำงาน

2.1 เมื่อระบบทำงานมาถึงช่วงท้ายของสภาวะแอโรบิก(3:50:00) ถังปฏิกรณ์จะหยุดการเติมอากาศและเริ่มทำการล้างย้อนโดยผ่านท่อพีวีซี ขณะเดียวกันจะระบายน้ำล้างย้อนลงสู่ถังพักน้ำล้างย้อนที่ก้นถังปฏิกรณ์ โดยมีระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ 3:50:00 - 3:55:30

2.2 ขณะที่ถังปฏิกรณ์ทำการล้างย้อน ส่วนถังกรองจะระบายน้ำใสส่วนบนทิ้งโดยใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 3:50:00 - 3:51:45

2.3 น้ำจากการล้างย้อน(มิกซ์ลิเคอร์ของถังเติมอากาศ)ที่อยู่ในถังพักจะสูบกลับไปยังถังกรองโดยเครื่องสูบน้ำแบบใบพัด ซึ่งมีระยะเวลาการทำงานในช่วงสูบน้ำล้างย้อนกลับเข้าสู่ถังกรองตั้งแต่ 3:55:00 - 3:56:15

เมื่อครบทั้ง 2 สภาวะการทำงานที่เวลา 4:00:00 ระบบจะกลับไปเริ่มการทำงานสภาวะปกติในขั้นตอนที่ 1 ใหม่อีกครั้ง

3.7 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.7.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำเสียเข้าจะเก็บก่อนที่น้ำเสียจะเข้าระบบ ส่วนการเก็บตัวอย่างช่วงแอโรบิก (ถังปฏิกรณ์) ช่วงแอนอกซิก (ถังกรอง) และน้ำใสส่วนบนถังกรองที่ระบายทิ้ง จะทำการเก็บชั่วโมงที่สองหลังสลับการทำงาน ในส่วนน้ำใสส่วนบนจะเก็บจากถังรับน้ำใส โดยกวนให้เข้ากันก่อนชักตัวอย่างเพื่อไปวิเคราะห์ ตัวอย่างจะถูกเก็บตามตำแหน่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.3

3.7.2 วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆนั้นจะใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง		
	น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง
พีเอช	A	A	A
อุณหภูมิ	A	A	A
ออกซิเจนละลาย	A	A	A
สภาพความเป็นด่าง	B	B	B
เอ็มแอลเอสเอส	A	A	A
เอ็มแอลวีเอสเอส	A	A	A
ซีโอดี	C	C	C
บีโอดี	D	D	D
ทีเคเอ็น	C	C	C
แอมโมเนียไนโตรเจน	A	A	A
ไนไตรท์ไนโตรเจน	C	C	C
ไนเตรทไนโตรเจน	C	C	C

หมายเหตุ

A = วิเคราะห์ตัวแปรโดยไม่ผ่านการกรอง สัปดาห์ละ 3 วัน ทั้งก่อนและหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

B = วิเคราะห์ตัวแปรโดยผ่านการกรอง สัปดาห์ละ 3 วัน ทั้งก่อนและหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

C = วิเคราะห์ตัวแปรที่ผ่าน/ไม่ผ่าน การกรอง สัปดาห์ละ 3 วัน ทั้งก่อนและหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

D = วิเคราะห์ตัวแปรที่ผ่าน/ไม่ผ่าน การกรอง เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว วิเคราะห์ตัวแปรจำนวน 2 ครั้งต่อ1ชุดการทดลอง

ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	pH .Meter with Glass Electrode
อุณหภูมิ	Thermometer
ออกซิเจนละลาย	Azide Modification
สภาพความเป็นด่าง	Titration Method
เอ็มแอลเอสเอส	Gravimetric Method
เอ็มแอลวีเอสเอส	Gravimetric Method
ซีโอดี	Dicromate Close Reflux Method
บีโอดี	5-Day BOD Test
ทีเคเอ็น	Kjedahl Method
แอมโมเนียไนโตรเจน	Titration Method
ไนไตรท์ไนโตรเจน	NED Colorimetric Method
ไนเตรทไนโตรเจน	UV-Spectrophotometer Method

3.7.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตัวกลางกรอง

การเก็บตัวอย่างตัวกลางกรองภายในถังปฏิกรณ์จะทำหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณมวลจุลินทรีย์

วิธีวิเคราะห์หาค่าปริมาณมวลจุลินทรีย์

1. นำวัสดุตัวกลางที่มีมวลจุลินทรีย์มาล้างด้วยน้ำกลั่น
2. เติมน้ำกลั่น 50 มล. นำไปผ่านคลื่นอุลตร้าโซนิค 6 วัตต์ต่อมล. นาน 10 นาที
3. กรองแยกวัสดุตัวกลางกับน้ำที่มีมวลจุลินทรีย์ปะปน
4. นำวัสดุตัวกลางไปอบที่ 105°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก
5. นำน้ำที่มีมวลจุลินทรีย์ปะปนไปทำการไล่น้ำบน Hot Plate แล้วนำไปอบที่ 105°C นาน 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของมวลจุลินทรีย์

มวลจุลินทรีย์ = X*(A/B) กรัมเอ็มแอลเอสเอส/ลิตร(ตัวกลางสารกรอง)

โดย X = น้ำหนักแห้งของมวลจุลินทรีย์ (กรัม)

A = ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง(Bulk Density) (กรัม/ลิตร)

B = น้ำหนักแห้งของวัสดุตัวกลาง (กรัม)