บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของระบบไซคลิกแอกติเวเต็ดสลัดจ์ การทดลองเป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้พิจารณาในการทดลองประกอบด้วย ตัวแปรคงที่ (Fixed variables) ตัวแปรอิสระ (Independent variables) และตัวแปรตาม (Dependent variables) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ตัวแปรคงที่ คือตัวแปรกำหนดที่ต้องการให้คงที่ ได้แก่

- ปริมาตรถัง 11.75 ลิตร แบ่งถังเป็น 3 ส่วน มีรูปแบบการไหลตามยาว (Plug flow) โดยส่วนที่ 2 และ 3 มีรูปแบบการไหลแบบการกวนผสมสมบูรณ์ (Completely mixed) ดังรูปที่ 3.1

ปริมาตรในแต่ละส่วนเป็นดังนี้

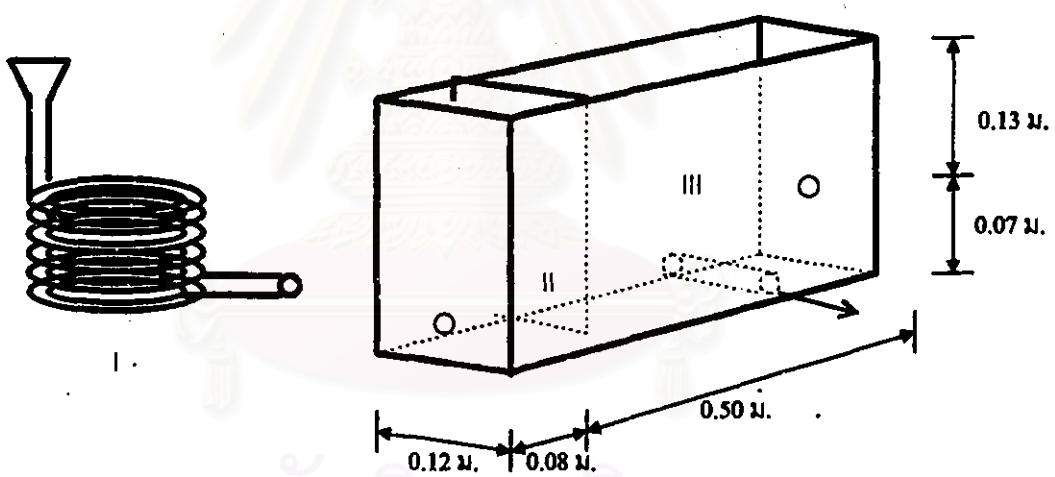
ส่วน 1	ปริมาตร 1.0	ลิตร	คิดเป็นร้อยละ 9.1
ส่วน 2	ปริมาตร 1.40	ลิตร	คิดเป็นร้อยละ 12.7
ส่วน 3	ปริมาตร 8.60	ลิตร	คิดเป็นร้อยละ 78.2
ปริมาตรรวม	11	ลิตร	

- สัดส่วนถัง

ถังส่วนที่ 1 จะใช้สายยางซิลิโคนใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ซม. ยาว 20 ม. ขดเป็นวงโดยส่วนปลายเชื่อมต่อกับถังส่วนที่ 2

ถังส่วนที่ 2 และ 3 เป็นอะครีลิกใสขนาด กว้าง 0.12 ม.* ยาว 0.58 ม.* สูง 0.20 ม. มีผนังกั้นเพื่อแยกส่วนที่ 2 และ 3 ที่ความยาวของถัง 0.08 ม. โดยส่วนปลายผนังกั้นจะมีช่องเปิดขนาด 012 ม.* 0.01 ม. เพื่อให้มีการไหลอย่างต่อเนื่อง

- กำหนดความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบ เท่ากับ 300 มก./ลิตร ความเข้มข้นไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เท่ากับ 30 และ 8 มก./ลิตร ตามลำดับ
- กำหนดระดับน้ำต่ำสุด (BWL) 5 ลิตร และระดับน้ำสูงสุด (TWL) 10 ลิตร อัตราส่วนการเติมน้ำเสีย เท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาตรทั้งหมด
- ระยะเวลาการตกตะกอน 1 ชั่วโมง และระยะเวลาระบายน้ำใส 30 นาที
- กำหนดให้อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 29 องศาเซลเซียส) เป็นอุณหภูมิในการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของถังปฏิกิริยาระบบไซคลิกแอดิเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- ค่าอายุตะกอน การทดลองจะใช้อายุตะกอน 4 ค่า คือ 5, 8, 16 และ 25 วัน ตามลำดับ ควบคุมโดยปรับอัตราการทิ้งตะกอนจากถังปฏิกิริยาส่วนที่ 3
- วัฏจักรการทำงาน การทดลองจะเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงาน 3 ค่า คือ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง/รอบ ตามลำดับ

3.1.3 ตัวแปรตาม คือ ตัวแปรที่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลง ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าออกซิเจนละลาย โออาร์พี เอสวี$_{30}$ สภาพด่าง ของแข็งแขวนลอย เอ็มแอลเอสเอส ซีโอดี บีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำและในเซลล์ เป็นต้น

3.1.4 แผนการทดลอง

การทดลองจะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้แบบจำลองระบบไซคลิกแอดิเวเด็ดสลัดจ์ปาบัดน้ำเสียสังเคราะห์พร้อมกัน 2 ถัง เริ่มทดลองที่ค่าอายุตะกอน 16 และ 25 วัน ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชั่วโมงต่อรอบ หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วทำการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานเป็น 4 และ 8 ชั่วโมงต่อรอบตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดลองที่ค่าอายุตะกอน 5 และ 8 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรการทำงานเป็น 4 และ 8 ชั่วโมงต่อรอบ ดังเช่นการทดลองชุดแรก รายละเอียดการดำเนินการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการดำเนินการทดลอง

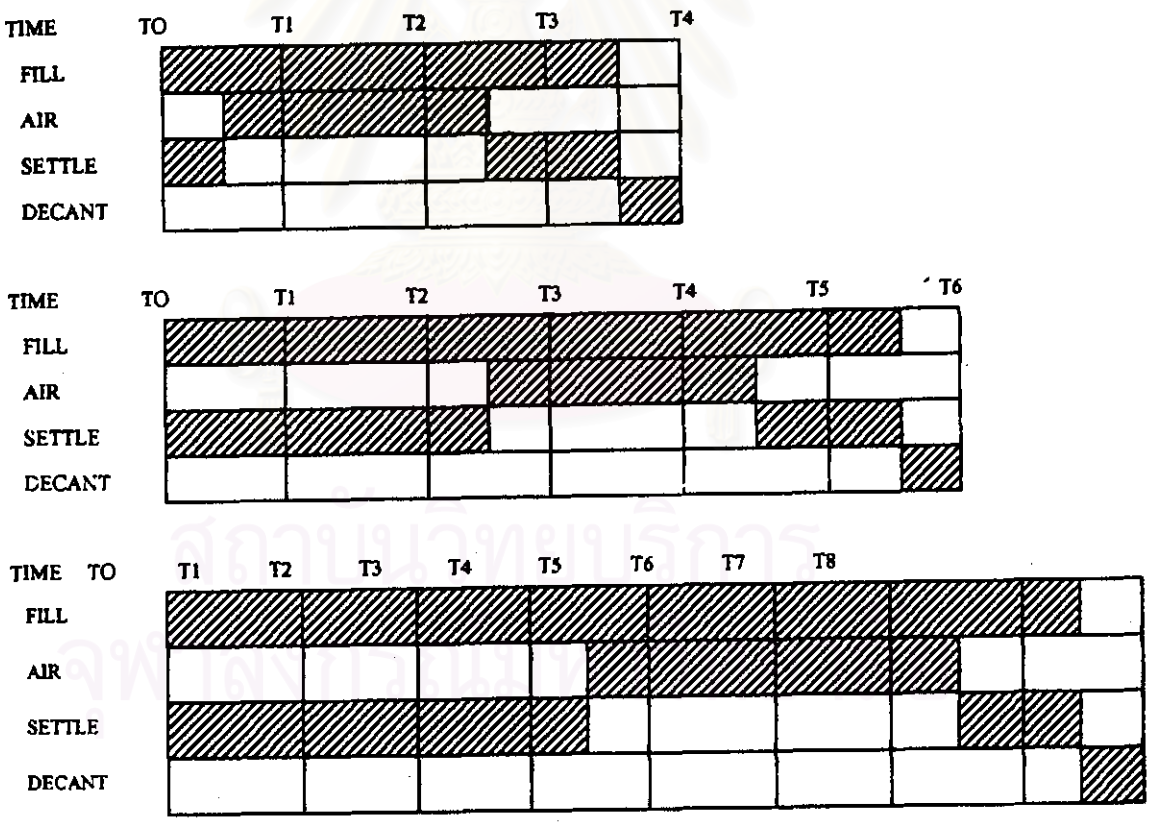
การทดลอง	ชื่อการทดลอง	ระยะเวลาทำงาน(ชม/รอบ)	อายุตะกอน (วัน)
1.1	C1.1	4	5
1.2	C1.2	6	5
1.3	C1.3	8	5
2.1	C2.1	4	8
2.2	C2.2	6	8
2.3	C2.3	8	8
3.1	C3.1	4	16
3.2	C3.2	6	16
3.3	C3.3	8	16
4.1	C4.1	4	25
4.2	C4.2	6	25
4.3	C4.3	8	25

3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของระบบ

CYCLE	FILL-IDLE (Min)	FILL-AERATE (Min)	FILL-SETTLE (Min)	DECANT (Min)	CYCLE TIME (Min)
1	30	120	60	30	240
2	150	120	60	30	360
3	210	180	60	30	480



รูปที่ 3.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของระบบ

3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 300 มก./ลิตร ค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 30 มก./ลิตร และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 8 มก./ลิตร ส่วนประกอบของน้ำเสียแสดงดังนี้

COD	จาก Nutrient Broth	150	มก./ล.
COD	Sodium acetate	150	มก./ล.
COD	รวมของน้ำเสีย	300	มก./ล.
TKN		30	มก./ล.
Total -P		8	มก./ล.
ความเป็นด่าง		300	มก./ล.

ค่า COD ของน้ำเสีย จะได้จาก 2 แหล่งคือ Nutrient Broth และ Sodium Acetate การเติม Sodium Acetate นั้น เพื่อใช้เป็นแหล่งของกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ นอกจากนี้ยังมีการเติมแร่ธาตุอื่น ๆ ที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำเสียต่อน้ำประปา 1 ลิตร มีดังนี้

Nutrient Broth	150	มก.
$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	450	มก.
KH_2PO_4	35.10	มก.
$FeCl_3$	7.25	มก.
$MgSO_4$	20.50	มก.
$CaCl_2$	11.00	มก.
$NaHCO_3$	450	มก.

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์

เป็นถังพลาสติกขนาดประมาณ 30 ลิตร จำนวน 2 ใบ สำหรับเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ น้ำเสียในถังนี้จะถูกสูบเข้าสู่ปฏิกิริยาส่วนที่ 1

3.4.2 ถังปฏิกิริยา

ถังส่วนที่ 1 จะใช้ท่อใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.008 ม.ยาว 20 ม.โดยส่วนปลายเชื่อมต่อกับส่วนล่างของถังที่ 2 ส่วนบนมีกรวยสำหรับเติมน้ำเสีย และตะกอนเวียนกลับจากส่วนที่ 3

ถังส่วนที่ 2 และ 3 เป็นอะครีลิกใสขนาด ก. 0.12 ม.* ย. 0.58 ม.* ส. 0.30 ม. มีระดับน้ำต่ำสุด 0.072 ม. ระดับน้ำสูงสุด 0.144 ม. มีผนังกั้นเพื่อแยกส่วนที่ 2 และ 3 ที่ความยาวของถัง 0.08 ม. โดยส่วนปลายผนังกั้นจะมีช่องเปิดขนาด 0.12 ม.* 0.10 ม. เพื่อให้มีการไหลอย่างต่อเนื่อง ต่อท่อเจาะรูด้านล่างเพื่อหมุนเวียนตะกอนเข้าถังส่วนที่ 1 ดังรูปที่ 3.1

3.4.3 เครื่องเติมอากาศ

เป็นเครื่องเติมอากาศที่ใช้เติมอากาศในตู้ปลาทั่วไปจำนวน 1 เครื่อง/ชุดการทดลอง เพื่อควบคุมให้ค่าออกซิเจนละลายในช่วงแอโรบิกประมาณ 1-2 มก./ลิตร

3.4.4 เวียร์ปรับระดับได้

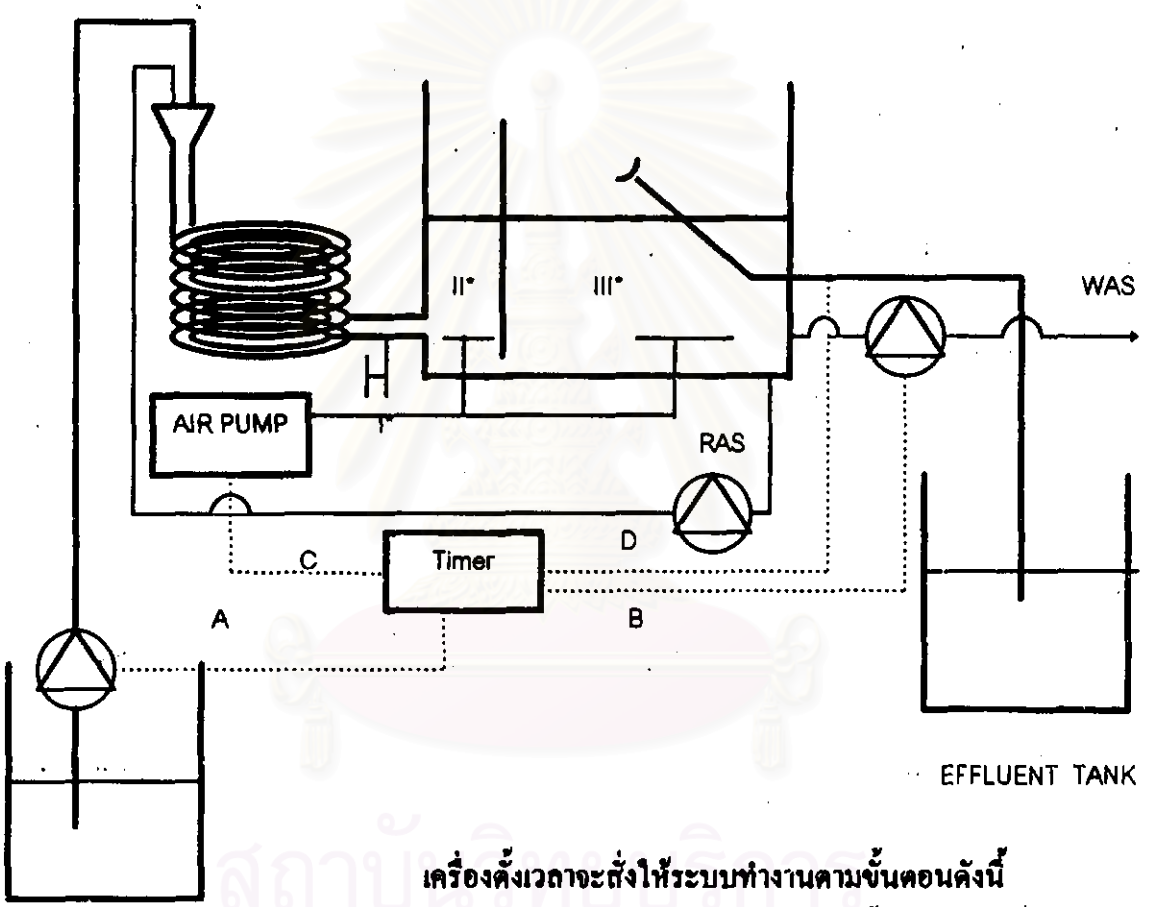
ทำการระบายน้ำใสหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนแล้ว โดยตอนแรกเวียร์จะอยู่ในระดับตั้งฉากกับน้ำใส เมื่อมอเตอร์ทำงานปรับระดับขึ้นลงให้เวียร์เลื่อนลงมา เพื่อรับน้ำใสแล้วระบายออกจากระบบ โดยมีระยะเวลาระบายน้ำทิ้ง 30 นาที

3.4.5 เครื่องตั้งเวลา

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เวียร์ เครื่องเติมอากาศ เครื่องสูบน้ำให้ปิด - เปิดตามเวลาที่ตั้งไว้ จำนวน 4 เครื่อง /ชุดการทดลอง

3.4.6 เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรมยี่ห้อ Prominent ขนาด 1.5 ลิตร/ชม. จำนวน 1 เครื่อง /ชุดการทดลอง เพื่อสูบน้ำจากถังน้ำสังเคราะห์เข้าสู่ถังปฏิกิริยา และเครื่องสูบน้ำชนิด Peristaltic ของ Watson & Marow จำนวน 2 เครื่อง /ชุดการทดลอง เพื่อเวียนกลับและระบายตะกอน สำหรับรายละเอียดในการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงในรูปที่ 3.3



เครื่องตั้งเวลาจะสั่งให้ระบบทำงานตามขั้นตอนดังนี้

A: สั่งเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสียจากถังน้ำเสียสังเคราะห์ เข้าระบบ

B: สั่งเปิด - ปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อระบายตะกอนทิ้งจากระบบ

C: สั่งเปิด - ปิดเครื่องเติมอากาศ ในช่วงออกซิก

D: สั่งเปิด - ปิดเวียร์ปรับระดับเพื่อระบายน้ำใสออกจากระบบ

*จุดเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะทำการวิเคราะห์ทั้งลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยลักษณะสมบัติ จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 สำหรับวิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย จะใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือ "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" เป็นหลัก ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และ 3.4

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และความถี่ที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	ส่วนที่1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3	น้ำออก
อุณหภูมิ	D	D	D	D	D
พีเอช	D	D	D	D	D
ไออาร์พี	-	D,P	D,P	D,P	D
ออกซิเจนละลาย	-	D,P	D,P	D,P	D
เอ็มแอลเอสเอส	-	I,P	I,P	I,P	I,S
เอ็มแอลวีเอสเอส	-	I,P	I,P	I,P	I,S
เอสวีไอ	-	-	-	I,S	-
เอสวี 30	-	-	-	I,S	-
ซีโอดีทั้งหมด	3/W	-	-	-	-
ซีโอดีกรอง	-	3/W,P	3/W,P	3/W,P	3/W,S
สภาพด่าง	I	I,P	I,P	I,P	I,S
กรดระเหยง่าย	I	3/W,P	3/W,P	3/W,P	S
ทีเคเอ็น (กรอง)	I	3/W,P	3/W,P	3/W,P	I,S
ไนไตรท์ (กรอง)	I	I,P	I,P	I,P	I,S
ไนเตรท (กรอง)	I	I,P	I,P	I,P	I,S
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	3/W	-	-	-	-
ฟอสฟอรัสกรอง	-	3/W,P	3/W,P	3/W,P	3/W,S

หมายเหตุ : D = วิเคราะห์ทุกวัน (daily)

3/W = วิเคราะห์ 3 วันต่อสัปดาห์

S = วิเคราะห์เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว (Steady state)

P = วิเคราะห์ตามระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว (Profile)

I = วิเคราะห์เป็นระยะ ๆ ตามความจำเป็น (Intermittent)

ตารางที่ 3.4 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
pH	pH Meter with Glass Electrode
ORP	ORP Meter with Platinum Electrode
DO	DO. Meter
Temp.	Thermometer
MLSS & MLVSS	Gravimetric Method
SV_{30}	Settled Volume Method
SVI	Calculated from MLSS & SV_{30}
COD	Dicromate Close Reflux Method
TKN	Kjedahl Method
NO_3-N	UV-Spectrophotometer Method
NO_2-N	NED Colorimetric Method
Total-P	H_2SO_4-HNO_3 Digestion with Vanadomolybdate Colorimetric
Alkalinity	Titration Method
VFA	Titration Method

3.6 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ

การดูแลรักษาระบบนั้น ประกอบด้วยการดูแลรักษาความสะอาดของถังปฏิกิริยาตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่สะอาดเพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น เชื้อราเกิดขึ้นภายในระบบ เนื่องจากเชื้ออื่น ๆ เหล่านี้อาจขัดขวางการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ การดูแล

รักษาระบบทำโดยการทำความสะอาดในถังปฏิกิริยาไม่ให้มีตะกอนจุลินทรีย์ เกาะติดอยู่ข้างถังปฏิกิริยา สายยางซิลิโคน และภายในท่อหมุนเวียนตะกอน โดยใช้แปลงขัดที่บริเวณถังปฏิกิริยา และมีการบีบสายยางซิลิโคนทุกวัน นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนท่อหมุนเวียนตะกอนทุก 7 วัน และภายในถังพักน้ำเสียต้องล้างถังทุกครั้งที่มีการเตรียมน้ำเสีย (ทุกวัน) และท่อสูบน้ำเสียจะต้องเปลี่ยนทุก 3 วัน เช่นเดียวกับท่อหมุนเวียนตะกอน สำหรับการควบคุมระบบนั้นประกอบด้วยการควบคุมหลายด้าน ดังนี้

3.6.1 การควบคุมอัตราการไหล

อัตราการไหลที่ต้องควบคุม ประกอบด้วย อัตราการไหลเข้าสู่ระบบของน้ำเสียรวมทั้งอัตราการหมุนเวียนและระบายตะกอนทิ้งจากระบบ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียทำได้โดยสังเกตปริมาตรน้ำเสียในถังพักน้ำเสียเทียบกับเวลา 1 วัน ว่าได้ปริมาตรตามที่ตั้งเครื่องสูบน้ำไว้หรือไม่ ถ้าปริมาตรผิดไปจากเดิมมากให้ทำความสะอาดเครื่องสูบน้ำและทำการตั้งเครื่องสูบน้ำใหม่ ส่วนการควบคุมอัตราการหมุนเวียนและระบายตะกอนทิ้งจากระบบ ให้ทำการตรวจสอบโดยวิธีวัดปริมาตรการไหลของเครื่องสูบตะกอนหมุนเวียนต่อระยะเวลาสั้น ๆ เช่น 5 นาที หลาย ๆ ครั้งเพื่อตรวจสอบอัตราการไหล โดยต้องตรวจสอบอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง ทั้งนี้ต้องไม่ลืมว่า ท่อสูบน้ำเสียต้องเปลี่ยนใหม่ทุก ๆ 3 วัน และท่อหมุนเวียนตะกอนต้องเปลี่ยนใหม่ทุก ๆ 7 วัน เพื่อป้องกันการอุดตัน ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลผิดพลาดได้

3.6.2 การควบคุมอายุตะกอน

การควบคุมอายุตะกอนให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้นั้น ทำได้โดยการระบายน้ำและตะกอนแขวนลอยออกจากถังปฏิกรณ์ส่วนที่ 3 ได้โดยตรง ปริมาณน้ำและตะกอนแขวนลอยที่ทิ้งในแต่ละวันสามารถคำนวนได้ดังนี้

$$F_w = \{(XV/\theta_c) - F_oX_o\}/(X) \qquad \text{.....(3.1)}$$

โดย F_w = อัตราการทิ้งตะกอนออกจากระบบ, ลิตร/วัน

F_o = อัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ, ลิตร/วัน

θ_c = ค่าอายุตะกอน, วัน

X = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในระบบ, มก./ล.

X_e = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ออกไปกับน้ำออก, มก./ล.

V = ปริมาตรถังปฏิกิริยา, ลิตร

จากสมการที่ 3.1 เห็นได้ว่าถ้า X_e มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับ X สมการ 3.1 จะสามารถลดรูปได้อย่างง่ายได้ดังนี้

$$F_w = (XV/\theta_c)/X \qquad \text{.....(3.2)}$$

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ X_e มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญ เช่น สูงกว่า 20 มก./ล. การคำนวณหา F_w ต้องคำนวณจากสมการที่ 3.1 เท่านั้น

จากการทดลองพบว่าระบบมี X_e ต่ำกว่า 20 มก./ล. จึงสามารถใช้สมการที่ 3.2 ในการคำนวณอัตราการระบายตะกอนดังนี้

อายุตะกอน (วัน)	อัตราการระบายตะกอน (ล./วัน)
5	1.00
10	0.50
16	0.31
25	0.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย