บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนงานการวิจัย

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง

พารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง ได้แก่ ค่าระดับเวลาในการกักตะกอนจุลชีพ (Solid Retention Time , SRT) เท่ากับ 20 วัน และความเข้มข้นซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าคงที่ประมาณ 500 มก./ล. โดยมีตัวแปรอิสระที่จะทำการศึกษา คือ อัตราส่วนระหว่าง COD : N ของน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแปรเปลี่ยนค่าเป็น 3 ระดับคือ 100 : 5 , 100 : 10 และ 100 : 20 ในการแปรเปลี่ยนอัตราส่วน COD : N โดยคงค่าซีโอดีไว้ จะมีผลให้ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนแปรเปลี่ยนตามด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตัวแปรตาม ที่ทำการศึกษาได้แก่

1) พีเอช (pH)
2) ดีโอ (Dissolved Oxygen , DO)
3) โออาร์พี (Oxidation - Reduction Potential , ORP)
4) ตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid , SS)
5) ปริมาตรของตะกอนจุลชีพ ที่ทิ้งให้ตกตะกอนในภาชนะขนาด 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที (V_{30})
6) เอสวีไอ (Sludge Volume Index , SVI)
7) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand , COD)
8) เจลดัลไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen , TKN)
9) สารแอมโมเนีย - ไนโตรเจน (Ammonia - Nitrogen Compound)

10) สารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic - Nitrogen Compound)

11) สารไนเตรต - ไนโตรเจน (Nitrate - Nitrogen Compound)

12) สารไนไตรต์ - ไนโตรเจน (Nitrite - Nitrogen Compound)

13) ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphate)

14) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

นอกจากนี้ ยังมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบ แต่ไม่สามารถควบคุมได้ตลอดการทดลอง คือ อุณหภูมิที่แปรเปลี่ยนตามฤดูกาล

ตารางที่ 3.1 สภาวะทำงานต่างๆ ที่กำหนดเป็นแผนการวิจัย

การทดลองที่	น้ำเสียสังเคราะห์			ระยะเวลาในการกักตะกอนจุลชีพของทั้งระบบ (วัน)	ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อน (ล./วัน)
	อัตราส่วน COD : N	ความเข้มข้น COD (มก./ล.)	ความเข้มข้นสารไนโตรเจน (มก./ล.)		
1	100 : 5	500	25	20	28.75
2	100 : 10	500	50	20	28.75
3	100 : 20	500	100	20	28.75

3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น เพื่อให้มีความเข้มข้น ซีโอดี ประมาณ 500 มก./ล. และความเข้มข้นสารประกอบไนโตรเจน ประมาณ 25 , 50 และ 100 มก./ล. จะมีส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสูตรน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	สารเคมี		ปริมาณที่ใช้		
	สารประกอบ	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	การทดลองที่ 1 COD:N = 100:5	การทดลองที่ 2 COD:N = 100:10	การทดลองที่ 3 COD:N=100:20
1	น้ำตาลทราย	-	13.65 กรัม	13.65 กรัม	13.65 กรัม
2	ยูเรีย	100	15.00 ซม.^{3}	30.00 ซม.^{3}	60.00 ซม.^{3}
3	$NaHCO_3$	50	100.00 "	200.00 "	300.00 "
4	$FeCl_3$	15	10.00 "	10.00 "	10.00 "
5	KH_2PO_4	80	15.00 "	15.00 "	15.00 "
6	$MgSO_4$	60	15.00 "	15.00 "	15.00 "
			แล้วเจือจางน้ำจนกระทั่งได้ปริมาตรรวม 30 ลิตร		

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

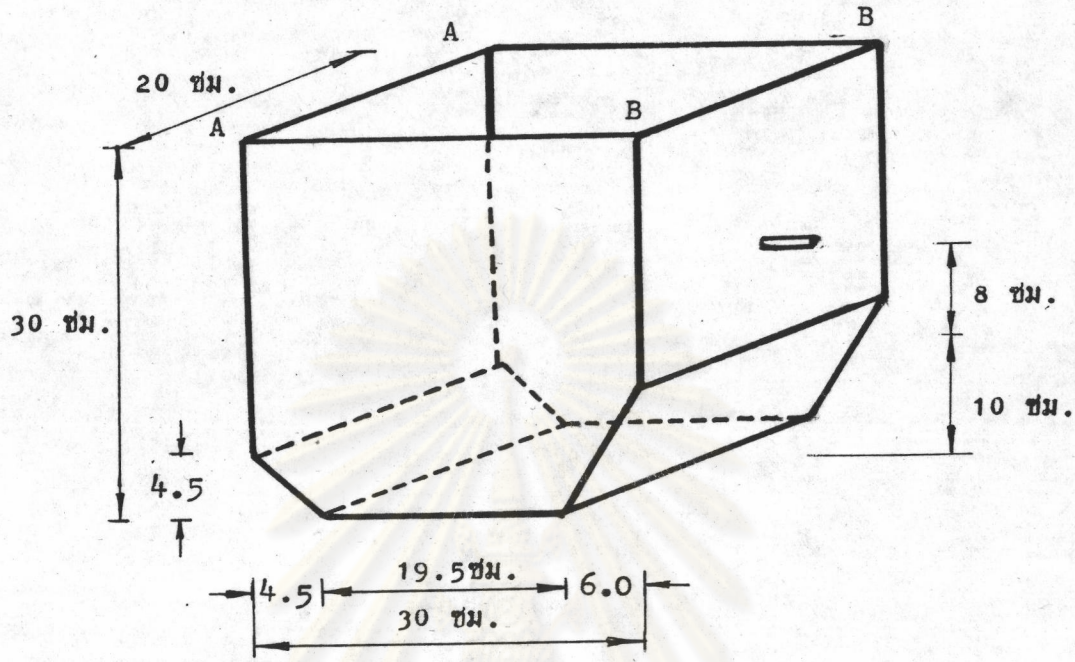
3.3.1 ถังพักน้ำเสียสังเคราะห์ จำนวน 1 ถัง เป็นถังพลาสติก มีขนาดความจุ 35 ลิตร

3.3.2 เครื่องสูบน้ำเสียแบบไดอะแฟรม (diaphragm pump) จำนวน 1 ชุด ซึ่งสามารถสูบส่งน้ำเสียได้ด้วยอัตรา 1.25 ลิตร ต่อ ชั่วโมง

3.3.3 ถังปฏิกิริยาแอเรชัน จำนวน 1 ถัง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ถังแอเรชันขนาดจำลอง (laboratory scale) ตัวถังทำด้วย พีวีซีใส มีปริมาตรจุ 10 ลิตร โดยมีลักษณะและขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ในรูปที่ 3.1 ท่อส่งน้ำเสียเข้าสู่ถังแอเรชัน จะถูกติดตั้งไว้ทางด้าน A-A ของถัง ส่วนท่อทางน้ำออกจะอยู่ทางด้าน B-B ซึ่งจะนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากถังแอเรชันแล้ว ส่งต่อไปบำบัดยังถังแอนนอกซิคต่อไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

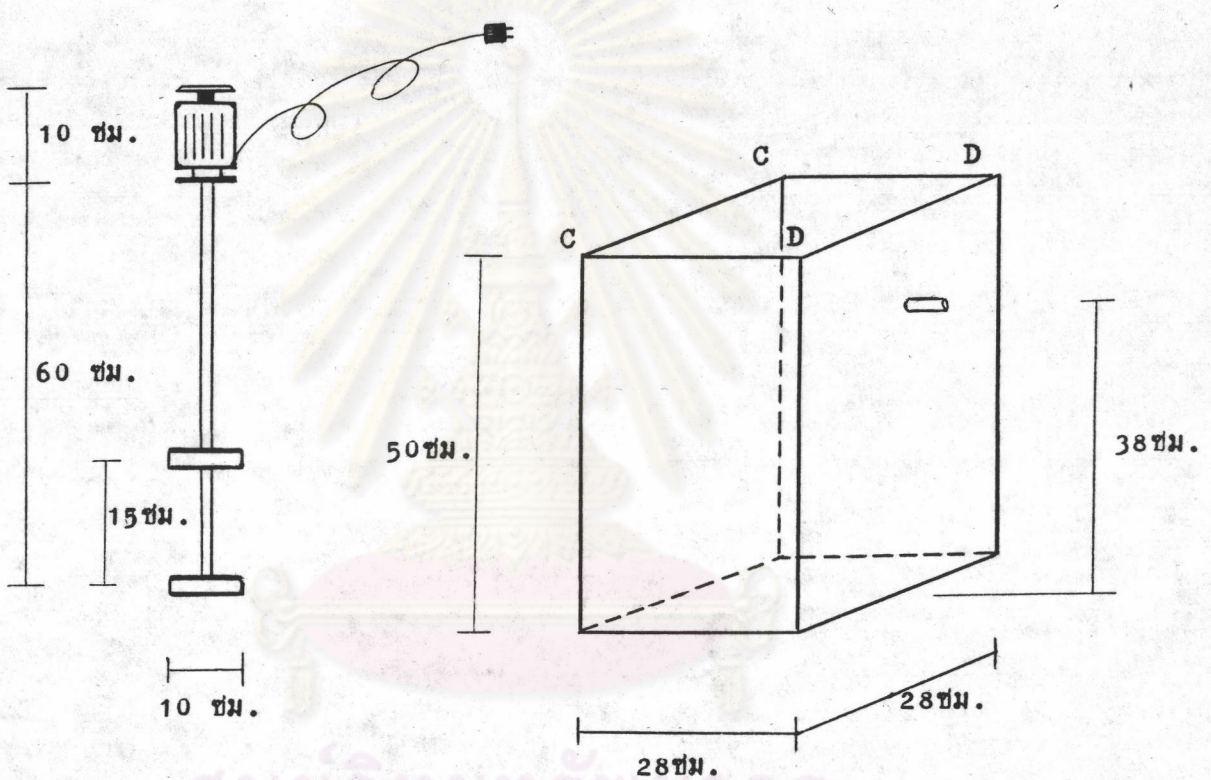


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะ และขนาดของถังแอเรชัน

3.3.4 ถังปฏิกิริยาแอนนอกซิค จำนวน 1 ถัง พร้อมด้วยอุปกรณ์กวนน้ำ 1 ชุด สำหรับถังแอนนอกซิค จะใช้ขนาดจำลอง (laboratory scale) ตัวถังทำด้วยพีวีซีใส สามารถจุน้ำได้ 30 ลิตร โดยมีลักษณะและขนาดของถัง ดังรูปที่ 3.2 ส่วนอุปกรณ์กวนน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่กวนให้จุลชีพ แขวนลอยในถังแอนนอกซิคตลอดเวลา จะเป็นใบพัด ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 15 วัตต์ หมุนด้วยความเร็วรอบ 27 รอบ ต่อ นาที

ในรูปที่ 3.2 ท่อน้ำเข้าจะถูกติดตั้งไว้ทางด้าน C-C ส่วนท่อน้ำออกซึ่งอยู่ทางด้าน D-D ของตัวถังนั้น จะส่งน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปยังถังตกตะกอนต่อไป

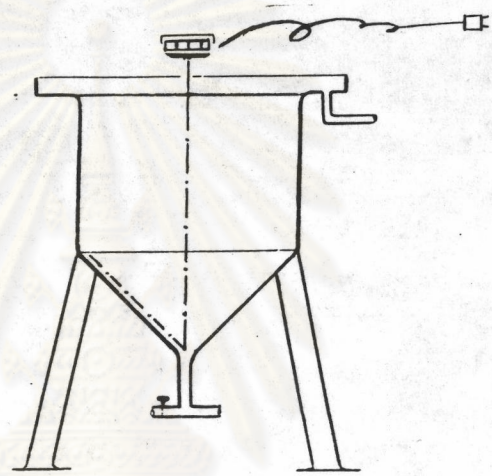
I1029546X



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะ และขนาดของถังแอนนอกซิค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.5 ถังตกตะกอน จำนวน 1 ถัง ขนาดความจุ 5 ลิตร ในการทดลองนี้ จะใช้ขนาดจำลอง (laboratory scale) ซึ่งตัวถังทำด้วย พีวีซี โดยส่วนก้นถังเป็นรูปกรวย (ดูรูปที่ 3.3 ประกอบ) ทำด้วย พีวีซีใส เพื่อให้เห็นลักษณะการตกตะกอนของตะกอนจุลชีพ และทางตอนปลายสุดของถังจะมีท่อซึ่งมีทางเปิดออก 2 ทาง โดยทางหนึ่งจะมีวาล์วสำหรับ ปิด - เปิด ส่วนอีกทางหนึ่งจะเป็นท่อปลายเปิด ซึ่งจะต่อเข้ากับท่อที่สูบส่งตะกอนเวียนกลับเข้าสู่ถังแอเรชันต่อไป สำหรับน้ำใสจะไหลล้นออกทางตอนบนของถัง ลงสู่ถังรองรับน้ำทิ้งต่อไป



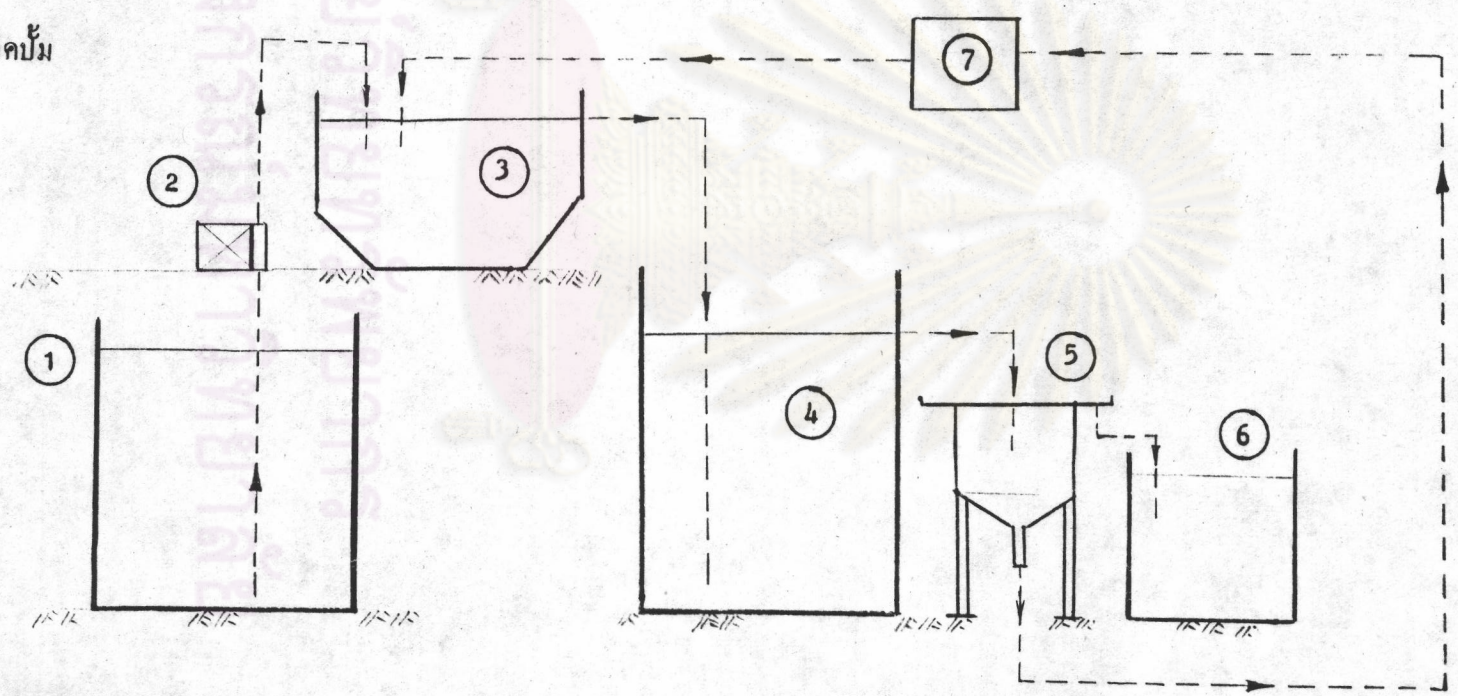
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของถังตกตะกอนขนาดต้นแบบ

3.3.6 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) จำนวน 1 ชุด เพื่อใช้ในการเวียนตะกอนจุลชีพจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังแอเรชัน โดยมีอัตราการเวียนตะกอนจุลชีพ เท่ากับ 100 % อนึ่ง เนื่องจากแบคทีเรียมีการเพิ่มจำนวนตลอดเวลา ดังนั้น เพื่อเป็นการรักษาค่าระดับ SRT ของระบบ จึงต้องมีการระบายตะกอนจุลชีพออกจากระบบบ้าง ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการระบายออกจากถังแอเรชันและถังแอนนอกซิค และจะได้กล่าวถึงต่อไปใน ข้อ 3.5

3.3.7 ถังรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว หรือถังน้ำทิ้ง เป็นถังพลาสติก ขนาดความจุ 30 ลิตร จำนวน 1 ถัง

ส่วนประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.4

1. ถังเตรียมน้ำเสีย
2. ปั๊มไดอะแฟรม
3. ถังปฏิกิริยาแอเรชัน
4. ถังปฏิกิริยาแอนนอกซิค
5. ถังตกตะกอน
6. ถังรับน้ำทิ้ง
7. เพอริสแทลทิคปั๊ม



รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ และการติดตั้ง ระบบแอคติเวทเตดสลัดจ์แบบดัดแปลง

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดเก็บตัวอย่างน้ำภายในระบบมีด้วยกัน 4 จุด คือ เก็บจากถังน้ำเสียสังเคราะห์ ถังแอเรชัน ถังแอนนอกซิค และถังน้ำทิ้ง โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บในแต่ละวัน จะเก็บเป็นแบบตัวอย่างแยก (grab or catch samples) และในการเก็บแต่ละครั้ง จะเก็บประมาณ 100 - 200 มิลลิลิตร ต่อ จุด แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ทันที

3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จะวิเคราะห์ทั้งลักษณะทางเคมี ทางกายภาพ และทางชีวภาพของน้ำ อันได้แก่ ค่าระดับพีเอช , ดีโอ , โออาร์พี (Oxidation - Reduction Potential) , ตะกอนแขวนลอย , ปริมาตรของตะกอนจุลชีพที่ทิ้งให้ตกตะกอนในภาชนะขนาด 1 ลิตร เป็นเวลา 30 นาที (V_{30}) , เอสวีไอ (Sludge Volume Index) , ซีโอดี , เจลดัลไนโตรเจนรวม , สารแอมโมเนีย - ไนโตรเจน , สารอินทรีย์ไนโตรเจน , สารไนเตรต - ไนโตรเจน , สารไนไตรต์ - ไนโตรเจน , ฟอสฟอรัสรวม , สภาพความเป็นด่าง รวมทั้งตรวจดูลักษณะภายนอกด้วยกล้องจุลทัศน์

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

สำหรับวิธีวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ของตัวอย่างน้ำ มีดังนี้

ก) ค่าพีเอช วิเคราะห์โดยการวัดด้วยเครื่องวัดพีเอช ของ Beckman

ข) โออาร์พี วิเคราะห์โดยเครื่องวัดโออาร์พี ของ Beckman (โดยใช้ Platinum Electrode)

ค) ตะกอนแขวนลอย , V_{30} และ SVI วิเคราะห์ตาม Standard Method (42)

ตารางที่ 3.3 แสดงแผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างน้ำ			
	น้ำเสีย	ถังแอเรชัน	ถังแอนนอกซิค	น้ำทิ้ง
อุณหภูมิ	–	ก	ก	–
ดีโอ	–	ก	ก	–
พีเอช	–	ก	ก	–
โออาร์พี	–	ก	ก	–
ตะกอนแขวนลอย	–	ข	ข	ข
V_{30}	–	ก	ก	–
เอสวีไอ	–	ข	ข	–
ซีโอดี	ข*	ข**	ข**	ข*
เจลดัลไนโตรเจน (**)	ข	ข	ข	–
สารอินทรีย์ไนโตรเจน (**)	–	ข	ข	–
สารแอมโมเนีย – ไนโตรเจน (**)	–	ข	ข	–
สารไนเตรต – ไนโตรเจน (**)	–	ข	ข	–
สารไนไตรต์ – ไนโตรเจน (**)	–	ข	ข	–
ฟอสฟอรัสรวม (**)	–	ค	ค	–
ความเป็นด่าง (**)	–	ค	ค	–

หมายเหตุ ก – ตัวแปรตาม ที่ต้องวิเคราะห์ทุกวัน

ข – ตัวแปรตาม ที่ต้องวิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 วัน

ค – ตัวแปรตาม ที่ต้องวิเคราะห์ เดือนละ 1 ครั้ง

(*) – ตัวอย่างน้ำ ที่ยังไม่ผ่านการกรอง

(**) – ตัวอย่างน้ำ ที่ผ่านการกรองแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง) ซีโอดี วิเคราะห์โดยวิธี Dichromate Reflux ตาม Standard Method (42)

จ) สารเจลดัลไนโตรเจนรวม สารแอมโมเนีย - ไนโตรเจน และสารอินทรีย์ไนโตรเจน วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl Method & Acidimetric ตาม Standard Method (42)

ฉ) สารประกอบไนเตรต - ไนโตรเจน วิเคราะห์โดยวิธี Brucine ตาม Standard Method (42)

ช) สารประกอบไนไตรต์ - ไนโตรเจน วิเคราะห์โดยวิธี Griess-Ilosvay Diazotization ตาม Standard Method (42)

ฌ) สารฟอสฟอรัสรวม วิเคราะห์โดยวิธี Sulfuric Acid - Nitric Acid Digestion & Vanadomolybdophosphoric Acid Colorimetric ตาม Standard Method (42)

ญ) สภาพความเป็นด่าง วิเคราะห์โดยวิธี Indicator ตาม Standard Method (42)

3.5 <u>การควบคุมและตรวจสอบระบบแอกทิเวตเตดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชัน เกิดทีหลัง</u>

ในการทดลองนี้ สิ่งที่ต้องควบคุมและปฏิบัติเป็นประจำทุกวันได้แก่ การป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น โดยมีค่า พีเอช เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.0 ถึง 7.5 เข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 1.25 ลิตร ต่อ ชั่วโมง และหยุดป้อนน้ำเสียเป็นเวลาประมาณ 30 - 60 นาที ต่อ วัน เพื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ระบายตะกอนจุลชีพทิ้งจากถังปฏิกิริยา (เพื่อรักษาระดับ SRT ของระบบ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป) และเพื่อทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบ นอกจากนี้ ควรตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นครั้งคราว เช่น การตรวจวัดอัตราการสูบน้ำของเครื่องป้อนน้ำเสีย การตรวจสอบความชำรุดของสายยางซิลิโคนของเครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) เป็นต้น

อนึ่ง ได้ทำการตรวจวัดค่า พีเอช ของน้ำในแต่ละถังปฏิกิริยาเฉลี่ยวันละ 2 ครั้ง คือ ในช่วงก่อนที่จะเริ่มต้นของงานประจำวันที่ต้องปฏิบัติ และภายหลังจากที่มีการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ประจำวันเข้าสู่ระบบแล้วประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง เพื่อควบคุมค่า พีเอช ของน้ำให้อยู่ในช่วง 7.0 ถึง 7.5

สำหรับการระบายตะกอนจุลชีพทิ้งจากถังปฏิกิริยา เพื่อควบคุมค่าระดับ SRT ของระบบนั้น ในการทดลองนี้ จะทำการระบายทิ้งออกจากถังแอเรชันและถังแอนนอกซิค โดยควบคุมค่าระดับ SRT ให้เท่ากับ 20 วัน ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณของตะกอนจุลชีพที่ต้องทำการระบายทิ้งออกจากถังปฏิกิริยาทั้งสอง ได้ดังนี้

เนื่องจาก SRT หมายถึงระยะเวลาที่ตะกอนจุลชีพถูกเก็บอยู่ในระบบบำบัด และเขียนแทนได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$SRT = \frac{\text{ปริมาณตะกอนจุลชีพที่อยู่ในถังเติมอากาศ}}{\text{อัตราการระบายตะกอนจุลชีพทิ้งจากระบบ}}$$

จากนิยามของ SRT จะได้ว่า

$$SRT = \frac{VX}{F_w X + (F - F_w)X_e}$$

โดยที่ SRT = ค่าระดับเวลาในการกักตะกอนจุลชีพ , วัน

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา , ลิตร

X = ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพแขวนลอยในถังปฏิกิริยา , มก./ล.

F_w = อัตราการระบายตะกอนทิ้ง , ลิตร/วัน

F = อัตราไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด , ลิตร/วัน

X_e = ความเข้มข้นของตะกอนจุลชีพแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตกตะกอน , มก./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งในการทดลองนี้ เนื่องจากระบบเกิดปัญหาโรคจมไม่ลงของสลัดจ์ (sludge bulking) และการทำงานของถังตกตะกอนล้มเหลวอย่างสิ้นเชิง จึงได้ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ติดตั้งไว้ ณ ทางน้ำออกของถังแอนนอกซิคแทนการใช้ถังตกตะกอน (รายละเอียดจะได้กล่าวถึงต่อไปใน หัวข้อ 4.3.4) น้ำทิ้งที่ได้จากระบบมีลักษณะใสมาก ปริมาณตะกอนจุลชีพแขวนลอย X_e มีค่าต่ำ และส่วนใหญ่ไม่สามารถทำการวัดค่าได้ ดังนั้น เทอม $(F - F_w)X_e$ จึงมีค่าน้อยมากและอาจตัดทิ้งได้ ดังนั้น

$$SRT = \frac{VX}{F_w X} = \frac{V}{F_w}$$

และเมื่อ SRT = 20 วัน

V = ปริมาตรถังแอเรชัน 10 ลิตร + ปริมาตรถังแอนนอกซิค 30 ลิตร

= 40 ลิตร

เพราะฉะนั้น $F_w = \frac{V}{SRT}$

$= \frac{40}{20}$

= 2 ลิตร

จะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการควบคุมระบบที่ทำการทดลองให้มีค่า SRT เท่ากับ 20 วันแล้ว จะต้องทำการระบายตะกอนจุลชีพทิ้งเป็นจำนวน 2 ลิตร ต่อ วัน แต่เนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง ปริมาตรของถังแอเรชัน ต่อ ปริมาตรของถังแอนนอกซิค เท่ากับ 1:3 ดังนั้น ปริมาณตะกอนจุลชีพที่ต้องระบายทิ้งจากถังแอเรชัน จึงเท่ากับ 0.5 ลิตร ต่อ วัน และระบายทิ้งจากถังแอนนอกซิค เท่ากับ 1.5 ลิตร ต่อ วัน