บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดได้กระทำ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การวิจัยกระทำโดยใช้ถังปฏิกิริยาซึ่งออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีขนาดสำหรับใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory scale)

การวิจัยถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทดลองหาตัวกลางสารกรองชีวภาพที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสารกรอง 2 ประเภทดังนี้

1.1 การทดลองโดยใช้ทรายทั่วไป ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65 ทรายที่เลือกใช้เป็นตัวกลางมีขนาด 2 มิลลิเมตร ถึง 4 มิลลิเมตร

1.2 การทดลองโดยใช้ถ่านแอนทราไซท์ ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.6 ถ่านแอนทราไซท์ที่เลือกใช้เป็นตัวกลางมีขนาด 0.8 มิลลิเมตร ถึง 2.0 มิลลิเมตร

2. การทดลองหาค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ของถังปฏิกิริยา

การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์คิดเทียบกับปริมาตรของตัวกลาง (volumetric organic loading) จำนวน 4 ค่า คือ 1, 2, 5, และ 10 (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน) โดยควบคุมอัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรองคงที่เท่ากับ 2 วัน

3. การทดลองหาค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ของระบบ (kinetic coefficients)

การทดลองเพื่อหาค่ายิลด์ (yield coefficients, Y) และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการตาย (endogenous decay coefficients, K_d) การทดลองจะเปลี่ยนแปลงอัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรอง (turn over rate) จำนวน 4 ค่า คือ 0.5, 1, 2, และ 5 วัน โดยควบคุมภาระบรรทุกสารอินทรีย์คิดเทียบกับปริมาตรของตัวกลางคงที่ เท่ากับ 2 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

การทดลองเพื่อหาค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์ของระบบจะเป็นไปตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และค่าอัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรองที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลาง (วัน)
1	1	2
2	2	2
3	5	2
4	10	2
5	2	0.5
6	2	1
7	2	5

3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic Waste) โดยใช้น้ำตาลทรายเป็นสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon source) และมีแร่ธาตุสารอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยควบคุมอัตราส่วน BOD: N: P: Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จะเตรียมให้มีความเข้มข้นสูงแล้วจึงสูบขึ้นไปเจือจางกับน้ำประปาซึ่งจ่ายด้วยอัตราการไหลคงที่เพื่อควบคุมให้ได้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตามที่ต้องการ และมีภาระบรรทุกทางน้ำเท่ากับ 2 ม./ชม. หรือคิดเป็นอัตราการไหลของน้ำเสียลงถังปฏิกิริยาเท่ากับ 850 ลิตร/วัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

จากตารางที่ 3.3 การทดลองชุดที่ 2, 5, 6 และ 7 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากการทดลองมีการใช้เครื่องสูบน้ำเสียที่มีอัตราการไหลไม่เท่ากัน การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จึงมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน เพื่อควบคุมให้ได้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตามอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำที่มีอยู่ และอัตราการจ่ายน้ำประปาเจือจางได้เปลี่ยนแปลงตามอัตราการสูบจ่ายน้ำเสีย เพื่อควบคุมให้ได้ภาระบรรทุกทางน้ำเท่ากับ 2 ม./ชม. หรืออัตราการไหลรวมเท่ากับ 850 ลิตร/วัน

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ส่วนประกอบ น้ำเสียสังเคราะห์	ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/$ม^3$-วัน)			
	1	2	5	10
ซีโอดี (กรัม)	30	60	150	300
น้ำตาล (กรัม)	24	48	120	240
Urea (กรัม)	3	6	15	30
$MgSO_4.7H_2O$ (กรัม)	3	6	15	30
KH_2PO_4 (กรัม)	0.86	1.72	4.3	8.6
$NaHCO_3$ (กรัม)	12	24	60	120
$FeCl_3$ (กรัม)	0.284	0.568	1.42	2.84

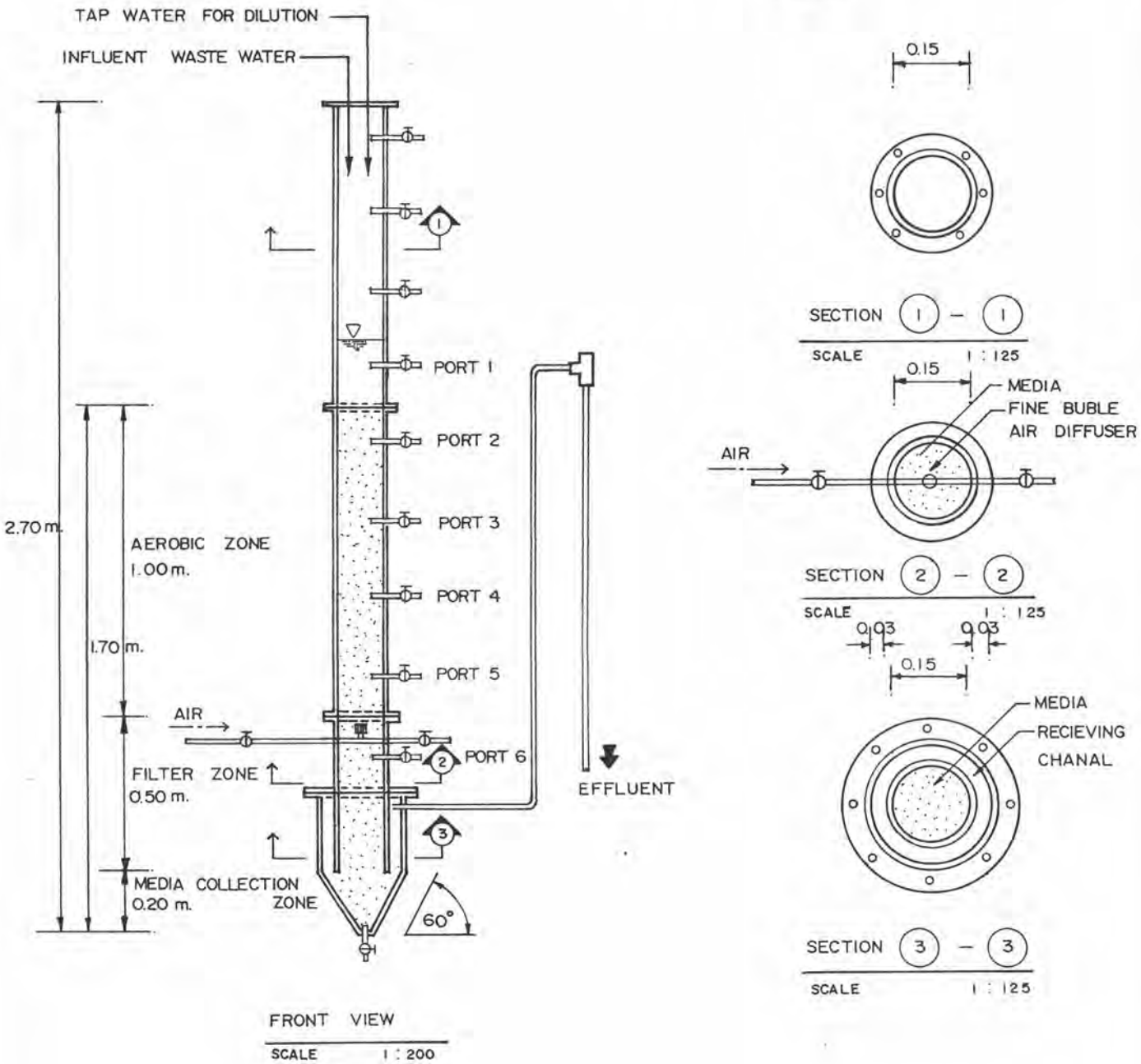
ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราการสูบจ่ายน้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้นและการเติมน้ำประปาเจือจาง ณ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ โดยควบคุมค่าภาระบรรทุกทางน้ำเท่ากับ 2 ม./ชม. (850 ลิตร/วัน)

การทดลอง	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรอง (วัน)	ความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ (มก./ล. ซีโอดี)	อัตราการสูบจ่ายน้ำเสีย (ลิตร/วัน)	อัตราการจ่ายน้ำประปาเจือจาง (ลิตร/วัน)
1	1	2	1000	30	820
2	2	2	2000	30	820
3	5	2	2000	75	775
4	10	2	3000	100	750
5	2	0.5	1000	60	790
6	2	1	1000	60	790
7	2	5	3000	20	830

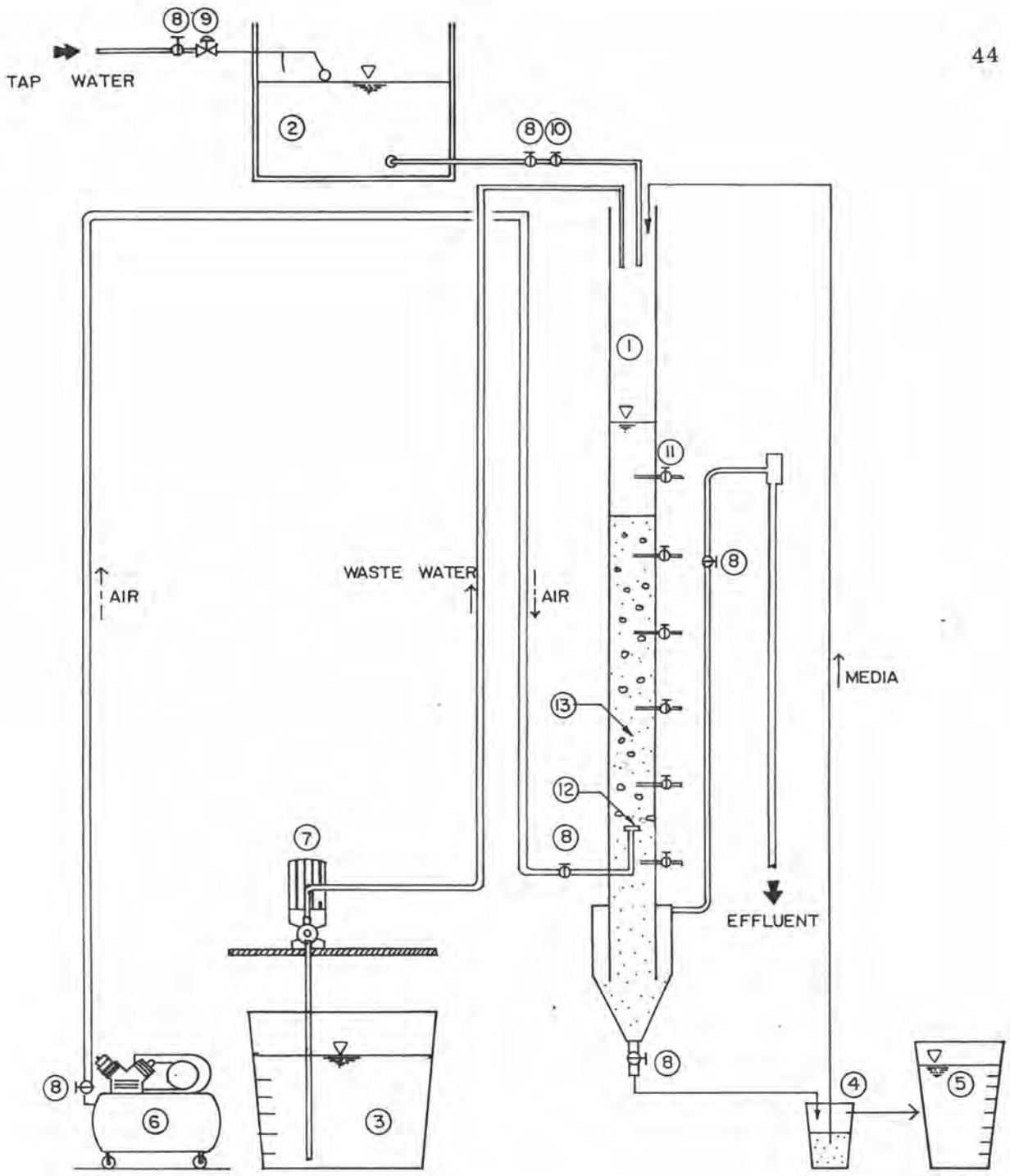
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ถังปฏิกิริยาระบบถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่ (Moving bed reactor)

รูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกิริยา, และการประกอบชุดการทดลองที่ใช้ในการวิจัย ถังปฏิกิริยาทำจากอะครีลิคใสที่มีความหนา 5 มม.ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนเติมอากาศและส่วนกรองเท่ากับ 15 ซม. ส่วนเก็บรวบรวมน้ำเสียกว้าง 2.5 ซม. โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 21 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 16 ซม. ส่วนรวบรวมสารกรองเป็นลักษณะกรวย มี ความชัน 60° พร้อมติดตั้งบอล์ลวาล์วขนาด 1 1/4 นิ้ว เพื่อควบคุมการไหลหมุนเวียนของสารกรอง ความสูงของถังปฏิกิริยาทั้งหมด เท่ากับ 2.70 ม. และบรรจุสารกรองสูง 1.70 ม. แบ่งเป็นส่วนเติมอากาศ 1.0 ม. ส่วนกรอง 0.50 ม. ส่วนรวบรวมสารกรอง 0.20 ม. ถังปฏิกริยาจะมีจุดเก็บน้ำตัวอย่างตามความสูงทุกระยะ 25 ซม.



รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงการติดตั้งและประกอบชุดทำการทดลอง

หมายเหตุ.

1. ถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่ (MOVING BED FILTER)
2. ถังจ่ายน้ำประปาเจือจางคงที่ (CONSTANT HEAD TANK FOR DILUTION)
3. ถังเก็บน้ำเสียเข้มข้น (CONCENTRATE WASTE WATER TANK)
4. ถังเก็บรวบรวมสารกรองไปล้าง
5. ถังเก็บน้ำล้างสารกรอง
6. เครื่องอัดอากาศ
7. เครื่องสูบน้ำเสียแบบไดอะแฟรม
8. บอล์ลวาล์วสำหรับเปิด - ปิด
9. วาล์วลูกลอย
10. บอล์ลวาล์วสำหรับปรับอัตราการไหลของน้ำ
11. บอล์ลวาล์วสำหรับเก็บน้ำตัวอย่าง
12. หัวกระจายฟองละเอียด
13. ตัวกลางสารกรอง

3.3.2 ตัวกลางสารกรอง (media)

ตัวกลางสารกรองที่ใช้ในการทดลองจะใช้ทรายขนาด 2 มม. ถึง 4 มม. ในการทดลองที่ 2 และใช้ถ่านแอนทราไซท์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มม. ถึง 2 มม. ในการทดลองที่ 1 ถึง 7 สารกรองทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองจะบรรจุอยู่ภายในถังปฏิกริยามีปริมาตร 30 ลิตร

3.3.3 ถังพักน้ำเสียเข้มข้น

ถังพักน้ำเสียเข้มข้นมีความจุน้ำเสียได้ 60, 90, 180, ลิตร อุณหภูมิของน้ำเสียจะแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิบรรยากาศ และไม่มีใบกวนน้ำเสียภายในถังพักน้ำเสีย การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จะเตรียมให้เพียงพอสำหรับวันต่อวัน

3.3.4 เครื่องสูบน้ำเสียชนิดไดอะแฟรม (diaphragm pump)

การป้อนน้ำเสียเข้มข้นเข้าสู่ถังปฏิกิริยา จะใช้เครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรมของบริษัท IWAKI โดยเดินเครื่องวันละ 24 ชั่วโมง

3.3.5 ถังจ่ายน้ำประปาอัตราการไหลคงที่ (constant head tank)

ถังจ่ายน้ำประปาอัตราการไหลคงที่จะรับน้ำประปาจากระบบประปาของอาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ระดับน้ำภายในถังจะถูกควบคุมให้มีระดับคงที่โดยใช้ลูกลอย การจ่ายน้ำไปสู่ถังปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยวาล์วซึ่งปรับควบคุมให้ได้อัตราการไหลตามต้องการสำหรับแต่ละชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.3

3.3.6 ถังล้างตัวกลางสารกรอง

ถังล้างตัวกลางสารกรองใช้สำหรับรองรับสารกรองในถังปฏิกริยาเพื่อนำไปล้างทำความสะอาดแล้วนำกลับมาเติมใส่ถังปฏิกริยาใหม่

3.3.7 ถังเก็บน้ำล้างตัวกลางสารกรอง

ถังเก็บน้ำล้างตัวกลางสารกรองมีขนาด 30, 50, 90, 180 ลิตร

3.3.8 เครื่องเติมอากาศ

เครื่องเติมอากาศใช้เครื่องอัดอากาศ (air compressor) ของ HITACHI รุ่น EFOUP ขนาด 0.5 แรงม้า

3.3.9 หัวเติมอากาศ

หัวเติมอากาศใช้เมมเบรนของหัวเติมอากาศแบบฟองละเอียด โดยเมมเบรนจะถูกตัดออกมาเพื่อประกอบเป็นหัวเติมอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม.

3.4 <u>การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ</u>

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะเก็บจากถังเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำเสียในถังปฏิกิริยาและน้ำทิ้ง น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะเก็บตัวอย่างน้ำจากถังพักน้ำเสียทันทีที่เตรียมน้ำเสียแล้วเสร็จ การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรต่างๆ ตามความลึกของถังปฏิกิริยาจะเก็บจากจุดเก็บตัวอย่าง 6 จุดตามความลึก การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากถังปฏิกิริยาจะเก็บรองจากท่อน้ำทิ้งของถังปฏิกิริยาโดยตรง การเก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์และตัวอย่างน้ำทิ้งจะเก็บวันละ 1 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ทันที การเก็บตัวอย่างน้ำตามความลึกของถังปฏิกิริยาจะเก็บเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

3.4.2 การล้างตัวกลางสารกรองและการวิเคราะห์น้ำล้างตัวกลางสารกรอง

การล้างตัวกลางสารกรองจะควบคุมปริมาณสารกรองที่ต้องล้างเพื่อให้เป็นไปตามอัตราการหมุนเวียนสารกรอง การถ่ายเทสารกรองออกมาล้างจะจำลองการหมุนเวียนล้างตลอดเวลา โดยควบคุมปริมาณสารกรองและความถี่ในการล้างสารกรองดังแสดงในตารางที่ 3.4 การล้างตัวกลางสารกรองจะใช้สายยางจุ่มลงในถังบรรจุสารกรอง ปล่อยน้ำประปาให้ไหลขึ้นพร้อมกับกวนสารกรองตลอดเวลาคล้ายกับการล้างย้อนถังกรองทราย

น้ำล้างตัวกลางสารกรองจะถูกเก็บรวบรวม และนำไปวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอยโดยเทียบอัตราส่วนน้ำล้างที่นำไปวิเคราะห์กับปริมาณน้ำล้างทั้งหมดดังสมการที่ 3.1 เพื่อหาค่าตะกอนที่ทิ้งไป จากนั้นจึงนำไปเผาหาค่าของแข็งแขวนลอยระเหยเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างของแข็งแขวนลอยระเหยกับของแข็งแขวนลอย (VSS/SS)

$$SS_B = \frac{SS_A \times B \times 1000}{A} \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยที่

SS_B = มวลตะกอนแขวนลอยทั้งหมดในน้ำล้างตัวกลาง (กรัม)

SS_A = มวลตะกอนแขวนลอยที่หาได้จากตัวอย่างน้ำล้างตัวกลางปริมาตร A (กรัม)

A = ปริมาตรตัวอย่างน้ำล้างตัวกลาง (มล.), ปกติในการทดลองใช้ 25 มล.

B = ปริมาตรน้ำล้างตัวกลางทั้งหมด (ลิตร)

ตารางที่ 3.4 แสดงการควบคุมปริมาณและความถี่ในการล้างตัวกลางเพื่อให้ได้อัตราการหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรองตามต้องการ

อัตราหมุนเวียนล้างตัวกลางสารกรอง (วัน)	ความสูงสารกรองที่ถ่ายล้างแต่ละครั้ง (ซม.)	ปริมาณสารกรองที่ถ่ายล้างแต่ละครั้ง (ลิตร)	คาบระยะเวลาในการล้าง (ซม.)	ความถี่การล้าง (ครั้ง/วัน)	ปริมาณสารกรองที่หมุนเวียนล้าง (ลิตร/วัน)
0.5	42.40	7.50	3	8	60
1	21.20	3.75	3	8	30
2	21.20	3.75	6	4	15
5	8.50	1.50	6	4	6

3.4.3 การวิเคราะห์หาค่ามวลจุลินทรีย์ทั้งหมดของระบบ

มวลจุลินทรีย์ทั้งหมดของระบบจะทำการวิเคราะห์หาค่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจะทำการล้างตัวกลางทั้งหมดในถังปฏิกิริยา มวลจุลินทรีย์ทั้งหมดภายในถังปฏิกิริยาจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นส่วนที่แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกิริยารวมกับของแข็งแขวนลอยที่หลุดจากตัวกลางเมื่อทำการล้าง ซึ่งวิธีวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยจะเป็นไปตามที่กล่าวแล้วในข้อ 3.4.2 สำหรับส่วนที่ 2 คือมวลจุลินทรีย์ที่ติดอยู่กับผิวตัวกลางสารกรอง การวิเคราะห์หามวลจุลินทรีย์จะทำการตวงตัวกลางซึ่งล้างแล้วเป็นปริมาตร 100 มล. นำไปอบแห้งที่ 103 $^{\circ}$ เซลเซียส และนำมาหาผลต่างของน้ำหนักกับตัวกลางที่สะอาดปริมาตร 100 มล. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$ เซลเซียสเช่นกัน แล้วจึงนำมาคำนวณหามวลจุลินทรีย์ที่เกาะติดตัวกลางทั้งหมดโดยคิดเทียบกับตัวกลางปริมาตร 30 ลิตรดังแสดงในสมการที่ 3.2 ก็จะได้มวลของแข็งแขวนลอยส่วนที่ 2 สำหรับการคำนวณหาค่าของแข็งแขวนลอยระเหยในส่วนที่ 2 จะคำนวณหาโดยใช้อัตราส่วนระหว่างของแข็งแขวนลอยระเหย และของแข็งแขวนลอยซึ่งหาได้ในส่วนที่ 1

$$SS_c = \frac{(A-B) \times C \times 1000}{100} \quad \text{.....(3.2)}$$

โดยที่

SS_c = มวลตะกอนที่ติดอยู่บนผิวตัวกลางที่ล้างแล้วทั้งหมด (กรัม)

A = มวลตัวกลางที่ล้างและอบแห้งที่ 103 °ซ เมื่อปิดการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 100 มล. (กรัม)

B = มวลตัวกลางสะอาดเมื่ออบแห้งที่ 103 °ซ โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 100 มล. (กรัม)

C = ปริมาตรตัวกลางทั้งหมดในถังปฏิกิริยาซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 ลิตร

3.4.4 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมีดังนี้

1. การวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี ใช้วิธี closed reflux, titration method ตามหนังสือ standard method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.

2. การวิเคราะห์หาค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยระเหยใช้วิธี gravimetric method ตามหนังสือ Standard method ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.

3. การวิเคราะห์หาค่า พีเอช ใช้เครื่องวัดพีเอชของ Horiba

4. การวิเคราะห์หาค่าดีโอ ใช้เครื่องวัดดีโอ ของ YSI Incorporated รุ่น 58 ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น มก./ล.