



### บทที่ 3

#### แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยได้กำหนดให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่เก็บจากกองขยะซอยอ่อนนุช กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีคุณลักษณะของน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของน้ำเสียจากกองขยะที่ใช้ในการทดลอง

คุณลักษณะ	หน่วย	การทดลองขั้นต้น	การทดลองแบบอัตราการไหลต่อเนื่อง
พีเอช		8.30	8.30
ซีไอทีรวม	มก./ล.	3250	2101.3
ซีไอทีละลาย	มก./ล.	—	1750
บีไอที <sub>5</sub>	มก./ล.	—	100
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	—	250
สี	Pt-Co	7500	3750

#### 3.1 แผนการทดลอง วิธีการทดลอง วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Feed) เพื่อศึกษาหาค่าเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของถังกวนเร็ว ค่าเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของถังกวนช้า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกผลึก ดังแสดงต่อไปนี้

### 3.1.1 การทดลองชุดที่ 1

มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาค่าเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของถังกวนเร็วโดยกำหนดตัวแปรตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 1

ค่าตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เปลี่ยนแปลง	
Ca(OH) <sub>2</sub> DOSE	กรัม	30	40
น้ำยยะ	มิลลิลิตร	500	500
เวลาที่ใช้ในการกวนเร็ว (100 rpm)	นาที	1,3,5,7	1,3,5,7
เวลาที่ใช้ในการกวนช้า (25 rpm)	นาที	10	10
เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน	นาที	30	30
รวมการทดลอง		4 การทดลอง	4 การทดลอง

#### 3.1.1.1 วิธีการทดลอง

- 1) ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ JAR TEST
- 2) เติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาตร 30 กรัม ลงในน้ำเสียบจากกองขยะ 500 มิลลิลิตร

- 3) กวนเร็วที่ค่า 100 rpm เป็นเวลา 1 นาที
- 4) กวนช้าที่ค่า 25 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- 5) ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนค่าเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วเป็นเวลา 3, 5, 7 นาทีตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนการเติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตร 40 กรัมลงในน้ำยະ 500 มิลลิลิตร

#### 3.1.1.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

- 1) เก็บตัวอย่างหลังจากการเปลี่ยนตัวแปรตามที่กำหนด
- 2) วิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 2.1) ความเข้มข้น COD, COLOR ก่อนเข้าระบบ
  - 2.2) ความเข้มข้น COD, COLOR ออกจากระบบ
  - 2.3) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

### 3.1.2 การทดลองชุดที่ 2

มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาค่าเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมของถังกวนช้าโดยกำหนดตัวแปรตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 2

ค่าตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เปลี่ยนแปลง	
Ca(OH) <sub>2</sub> DOSE	กรัม	30	40
น้ำขยะ	มิลลิลิตร	500	500
เวลาที่ใช้ในการกวนเร็ว (100 rpm)	นาที	5	5
เวลาที่ใช้ในการกวนช้า (25 rpm)	นาที	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20
เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน	นาที	30	30
รวมการทดลอง		4 การทดลอง	4 การทดลอง

#### 3.1.2.1 วิธีการทดลอง

- 1) ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ JAR TEST
- 2) เติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาตร 30 กรัม ลงในน้ำเสี้ยวจากกองขยะ 500 มิลลิลิตร

- 3) กวนเร็วที่ค่า 100 rpm เป็นเวลา 5 นาที
- 4) กวนช้าที่ค่า 25 rpm เป็นเวลา 5 นาที
- 5) ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที
- 6) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนค่าเวลาที่ใช้ในการกวนช้าเป็นเวลา 10, 15, 20 นาทีตามลำดับ
- 7) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนการเติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นปริมาตร 40 กรัมลงในน้ำยาระยะ 500 มิลลิลิตร

#### 3.1.2.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

- 1) เก็บตัวอย่างหลังจากการเปลี่ยนตัวแปรตามที่กำหนด
- 2) วิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 2.1) ความเข้มข้น COD, COLOR ก่อนเข้าระบบ
  - 2.2) ความเข้มข้น COD, COLOR ออกจากระบบ
  - 2.3) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

### 3.1.3 การทดลองชุดที่ 3

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการตกผลึก โดยกำหนดตัวแปรตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 3

ค่าตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เปลี่ยนแปลง	
pH	-	11.0, 11.5 12.0, 12.5	11.0, 11.5 12.0, 12.5
Ca(OH) <sub>2</sub> DOSE	กรัม	30	40
น้ำยยะ	มิลลิลิตร	500	500
เวลาที่ใช้ในการกวนเร็ว (100 rpm)	นาที	5	5
เวลาที่ใช้ในการกวนช้า (25 rpm)	นาที	10	10
เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน	นาที	30	30
รวมการทดลอง		4 การทดลอง	4 การทดลอง

### 3.1.3.1 วิธีการทดลอง

- 1) ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ JAR TEST
- 2) เติมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาตร 30 กรัม ลงในน้ำเสี้ยวจากกองขยะ 500 มิลลิเมตร
- 3) กวนเร็วที่ค่า 100 rpm เป็นเวลา 3 นาที
- 4) กวนช้าที่ค่า 25 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- 5) ในขณะที่กวนช้า ทำการปรับ pH ให้ได้ค่า 11.0, 11.5, 12.0, 12.5 ตามลำดับ โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 6) ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที

### 3.1.3.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง

- 1) เก็บตัวอย่างหลังจากการเปลี่ยนตัวแปรตามที่กำหนด
- 2) วิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 2.1) ความเข้มข้น COD, COLOR ก่อนเข้าระบบ
  - 2.2) ความเข้มข้น COD, COLOR ออกจากระบบ
  - 2.3) ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

## 3.2 แผนการทดลองแบบอัตรการไหลต่อเนื่อง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัด COD, SS, color ของน้ำเสี้ยวจากกองขยะ และศึกษาลักษณะตะกอนและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- 1) อัตราการส่งน้ำเสี้ยวเข้าระบบด้วยอัตราคงที่ 150 มล./นาที
- 2) อัตราการสูบส่งสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบ ด้วยอัตราคงที่ 25 มล./นาที
- 3) อัตราส่วนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำเสี้ยวกำหนดไว้ดังนี้ คือ 2.5, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 กรัม  $\text{Ca(OH)}_2$  ต่อลิตรน้ำเสี้ยว

- 4) พีเอช กำหนดให้ควบคุมพีเอชที่ค่าเท่ากับ 12.5  
 5) อัตราการสูบน้ำตะกอนเวียน กำหนดไว้ดังนี้คือ 0, 30 มล./นาที่

จากค่าตัวแปรที่กำหนดสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 4

ค่าตัวแปร	หน่วย	ค่าที่เปลี่ยนแปลง	
อัตราการส่งน้ำเสียเข้าระบบ	มล./นาที่	150	150
อัตราการจ่าย $\text{Ca(OH)}_2$	มล./นาที่	25	25
ปริมาณสาร $\text{Ca(OH)}_2$ ต่อน้ำเสีย	กรัม $\text{Ca(OH)}_2$ ลิตรน้ำเสีย	2.5, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80	5, 10, 20, 30, 50, 80
pH	-	12.5	12.5
อัตราการสูบน้ำตะกอนเวียนกลับ	มล./นาที่	0	30
รวมการทดลอง		12 การทดลอง	6 การทดลอง



### 3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

#### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

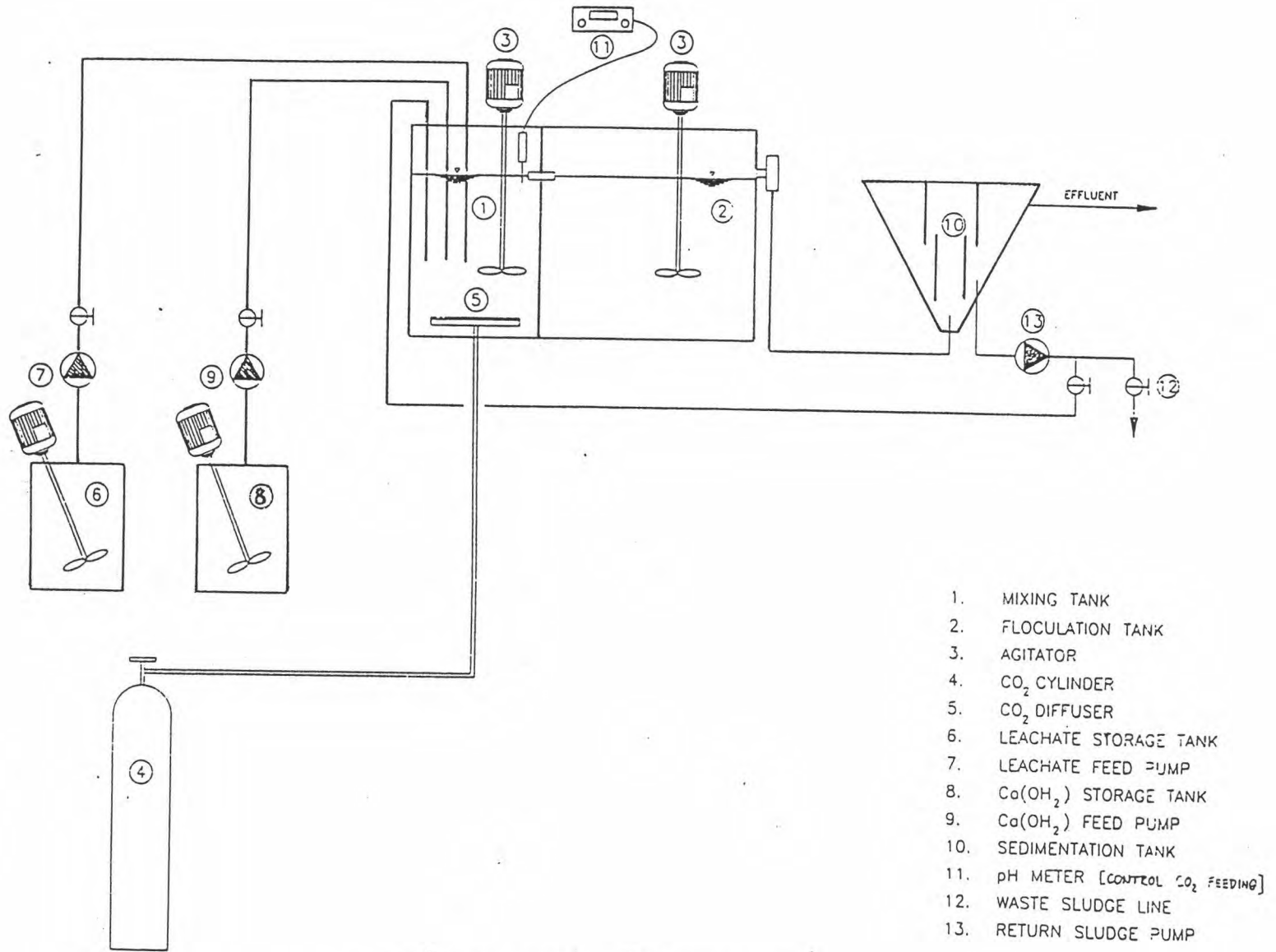
- 1) ถังกวนเร็ว (MIXING TANK) ทำด้วยกระจกใสประกอบเป็นถังสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร มีปริมาตรรวม 1 ลิตร หรือมีค่า Hydraulic retention time เท่ากับ 5 นาที
- 2) ถังกวนช้า (FLOCCULATION TANK) ทำด้วยกระจกใสประกอบเป็นถังสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร มีปริมาตรรวม 2 ลิตร หรือมีค่า Hydraulic retention time เท่ากับ 10 นาที
- 3) โบกวน (AGITATOR) ในถังกวนเร็ว ทำหน้าที่กวนสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้ผสมกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง โบกพัดกวนเร็วสามารถปรับความเร็วรอบได้ผลิตโดยบริษัท Heidolph
- 4) โบกวน (AGITATOR) ในถังกวนช้า ทำหน้าที่กวนน้ำเสียที่ผสมกับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อย่างช้า ๆ เพื่อสร้างผลึกและฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการตกตะกอน โบกพัดกวนช้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที
- 5) ถังเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> CYLINDER) มีปริมาตรบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15 กิโลกรัม ติดตั้งพร้อมถังแก๊วอัตโนมัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 6) หัวกระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> Diffuser) มีหน้าที่ในการกระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สัมผัสกับน้ำเสียจากกองขยะ และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

- 7) ถังเก็บน้ำเสียจากกองขยะ (Leachate storage tank) เป็นถังพลาสติก ขนาดบรรจุ 20 ลิตร
- 8) เครื่องสูบน้ำเสียจากกองขยะ (Leachate feed pump) ทำหน้าที่สูบล่งน้ำเสียเข้าถังกวนเร็วอย่างต่อเนื่อง เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นแบบเครื่องสูบบรรีตสาย (Peristaltic pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ ผลิตโดยบริษัท WATSON MARLOW LIMITED
- 9) ถังเก็บสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นปีกเกอร์ขนาดบรรจุ 1 ลิตร
- 10) เครื่องสูบสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$  feed pump) ทำหน้าที่สูบล่งสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าถังกวนเร็วอย่างต่อเนื่อง เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นเครื่องสูบบรรีตสาย (Peristaltic pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ ผลิตโดยบริษัท WATSON MARLOW LIMITED
- 11) ถังตกตะกอน (SEDIMENTATION) ทำด้วยพลาสติกใสประกอบเป็นถังตกตะกอนทรงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร มีความลึกด้านตรง 18 เซนติเมตร ที่ด้านล่างของถังทำเป็นรูปทรงกรวยลาดเอียง 60 มีปริมาตรรวม 7 ลิตร
- 12) พีเอชมิเตอร์ (pH METER) ทำหน้าที่วัดค่าพีเอชเพื่อส่งคำสั่งไปปรับอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 13) ท่อระบายตะกอนส่วนเกิน (WASTE SLUDGE LINE) ทำหน้าที่ระบายตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนเกินในถังตกตะกอนซึ่งออกจากระบบ
- 14) เครื่องสูบตะกอนเวียนกลับ (RETURN SLUDGE PUMP) ทำหน้าที่สูบล่งตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตในถังตกตะกอนกลับไปเข้าถังกวนเร็ว เครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นเครื่องสูบบรรีตสาย (Peristaltic pump) ผลิตโดยบริษัท GILSON MEDICAL ELECTRONICS (FRANCE)

### 3.4 การติดตั้งแบบจำลองและเครื่องมือ

การติดตั้งแบบจำลองและเครื่องมือจะดำเนินการ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- 1) สูบน้ำเสียเข้าถังกวนเร็ว (Mixing tank) ด้วยอัตรา 150 มล./นาที
- 2) สูบสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าถังกวนเร็ว ด้วยอัตรา 25 มล.ต่อ นาที เพื่อให้ได้อัตราส่วนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรของน้ำเสีย เท่ากับ 2.5 กรัม/ลิตร
- 3) เติม  $\text{CO}_2$  เข้าถังกวนเร็ว ปรับ FLOW GAUGE REGULATOR เพื่อควบคุม pH ให้มีค่าเท่ากับ 12.5
- 4) ส่งน้ำที่ทำปฏิกิริยาเข้าถังกวนช้า (FLOCCULATION TANK)
- 5) น้ำที่ผ่านกระบวนการในถังกวนช้าจะไหลผ่านเข้าถังตกตะกอน
- 6) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านถังตกตะกอน นำมาวิเคราะห์หาค่า COD, SS, color, ปริมาณตะกอน
- 7) ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 2-6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่ออัตราการไหลของน้ำเสีย เท่ากับ 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 กรัมต่อลิตรของน้ำเสียและทำการทดลองที่อัตราการจ่าย  $\text{CO}_2$  ค่าต่าง ๆ เพื่อควบคุม pH ที่ค่าเท่ากับ 12.5
- 8) ทำการทดลองตามหัวข้อที่ 2-6 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่ออัตราการไหลของน้ำเสีย เท่ากับ 5, 10, 20, 30, 50, 80 กรัมต่อลิตรของน้ำเสีย ในขณะที่เดียวกันทำการสูบตะกอนเว็บบนกลับจากถังตกตะกอนด้วยอัตรา 30 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการทดลองที่อัตราการจ่าย  $\text{CO}_2$  ค่าต่าง ๆ เพื่อควบคุม pH ที่ค่า เท่ากับ 12.5



รูปที่ 3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

### 3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำที่เก็บแต่ละจุดจะมีปริมาตรประมาณ 200 มิลลิลิตร และจะนำมาวิเคราะห์ปริมาณค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์

ตัวแปร	หน่วย	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง			
		น้ำเสียเข้า	น้ำที่ผ่าน กวนช้า	น้ำที่ผ่านถัง ตกตะกอน	ตะกอนในถัง ตกตะกอน
ซีไอดี (TOTAL)	มก/ล	A	B	C	—
ซีไอดี (SOLUBLE)	มก/ล	A	—	C	—
ของแข็งแขวนลอย	มก/ล	A	B	C	—
สี	มก/ล	A	B	C	—
ปริมาณตะกอน	%	—	—	—	C
ความเข้มข้นตะกอน	มก/ล	—	—	—	D
บีไอดี	มก/ล	B	—	B	—

หมายเหตุ :

- A = ตัวแปรที่วิเคราะห์ 1 ครั้งก่อนทำการทดลอง
- B = ตัวแปรที่วิเคราะห์ที่ค่าอัตราส่วนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรของน้ำเสียเท่ากับ 10 , 50 กรัม/ลิตร
- C = ตัวแปรที่วิเคราะห์หลังการทดลองทุกครั้ง
- D = ตัวแปรที่วิเคราะห์ที่ค่าอัตราส่วนของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรของน้ำเสียเท่ากับ 20 , 40 กรัม/ลิตร

### 3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิธีวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำมีดังต่อไปนี้

- 1) พีเอช (pH) วิเคราะห์โดยพีเอชมิเตอร์
- 2) ซีโอดี (COD) วิเคราะห์โดยวิธี Open Reflux Titrimetric Methods
- 3) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) วิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods โดยใช้กระดาษกรอง GF/C ของ WHATMAN
- 4) สี (Color) วิเคราะห์โดยวิธี HACH Comparator
- 5) ความเข้มข้นตะกอน (Sludge density) วิเคราะห์ตามวิธีของ Standard Methods โดยใช้กระดาษกรอง GF/C ของ WHATMAN