บทที่ 4
การดำเนินการวิจัย

4.1 ลำดับของการทดลอง

งานทดลองทั้งหมดได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย โดยดำเนินการวิจัย ณ. ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งออกเป็นลำดับของการทดลอง และการจำแนกพารามิเตอร์ในการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 ลำดับของการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ การทดลองขั้นเตรียมการและการทดลองกับกระบวนการต้นแบบ

การทดลองขั้นเตรียมการ ได้แก่ การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยดินคาโอลิน การหาค่าความขุ่น พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์

การทดลองกับกระบวนการต้นแบบ ได้แก่การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยแปรค่าพารามิเตอร์ ความเร็วเกรเดียนท์ ระยะเวลากักน้ำ ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ขนาดของตัวกลางกรวด และความลึกของตัวกลางกรวด

4.1.2 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วเมื่อใช้ท่อแนวดิ่งบรรจุกรวดเป็นอุปกรณ์กวนเร็ว ดังนั้นจึงแปรค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการกวนเร็วในท่อ ได้แก่ G T และ C ตลอดจนขนาดของตัวกลางและความลึกของตัวกลางกรวด โดยควบคุมการทำงาน

ของกระบวนการส่วนอื่นให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่มีดังต่อไปนี้

1. น้ำขุ่นสังเคราะห์ ได้แก่ ความขุ่น พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิ

2. ระบบเติมสารละลายสารส้ม ได้แก่ อัตราเร็วในการไหลของสารส้มและปริมาณสารส้ม ที่พอเหมาะ

3. กระบวนการสมานตะกอน ซึ่งใช้เครื่องมือทดสอบแบบจาร์เทสต์ได้แก่อัตราเร็วในการกวนช้า , ระยะเวลาในการกวนช้า

4. กระบวนการตกตะกอน ได้แก่ อัตราการไหลล้นผิว กำหนดให้ใช้ 3 ค่า แต่ละค่ามีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีการแปรค่ามีดังต่อไปนี้

1. ขนาดของตัวกลางกรวด

2. ความลึกของตัวกลางกรวด

3. ความเร็วของเดียนท์ของการกวนเร็ว

4. เวลากักน้ำของการกวนเร็ว

5. ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าแปรของขนาด, ความลึกตัวกลางกรวด, G, T และ C แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

C (มก./ล)	5	10	15	20	30
G ($วินาที^{-1}$) ขนาด (มม)	T (วินาที) , ความลึก (ซม.)				
4754, 8-9	0.081 ,2	0.163 ,4	0.244 ,6	0.326 ,8	
6281, 6-7	0.075 ,2	0.149 ,4	0.224 ,6	0.299 ,8	
6775, 4-5	0.071 ,2	0.141 ,4	0.212 ,6	0.282 ,8	
7517, 2-3	0.065 ,2	0.130 ,4	0.195 ,6	0.262 ,8	
10416, 8-9	0.041 ,2	0.081 ,4	0.122 ,6	0.163 ,8	
12873, 6-7	0.037 ,2	0.075 ,4	0.112 ,6	0.149 ,8	
14445, 4-5	0.035 ,2	0.071 ,4	0.106 ,6	0.141 ,8	
15769, 2-3	0.033 ,2	0.065 ,4	0.098 ,6	0.130 ,8	
19487, 8-9	0.027 ,2	0.054 ,4	0.081 ,6	0.109 ,8	
22429, 6-7	0.025 ,2	0.050 ,4	0.075 ,6	0.100 ,8	
24386, 4-5	0.024 ,2	0.047 ,4	0.071 ,6	0.094 ,8	
26684, 2-3	0.022 ,2	0.043 ,4	0.065 ,6	0.087 ,8	
31823, 8-9	0.020 ,2	0.041 ,4	0.061 ,6	0.081 ,8	
33826, 6-7	0.019 ,2	0,037 ,4	0.056 ,6	0,075 ,8	
35383, 4-5	0.018 ,2	0.035 ,4	0,053 ,6	0.071 ,8	
38035, 2-3	0.016 ,2	0.033 ,4	0.049 ,6	0.065 ,8	
40899, 8-9	0.016 ,2	0.033 ,4	0.049 ,6	0.065 ,8	
43291, 6-7	0.015 ,2	0.030 ,4	0.045 ,6	0.060 ,8	
45679, 4-5	0.014 ,2	0.028 ,4	0.042 ,6	0.056 ,8	
48135, 2-3	0.013 ,2	0.026 ,4	0.039 ,6	0.052 ,8	

4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย ได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และอุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำ

4.2.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

ความขุ่นในน้ำผิวดินทั่วไปที่เกิดจากอนุภาคดินเหนียว มักแสดงพฤติกรรมคล้ายคาโอลิไนท์ (Kaolinite)(15,18) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอล์ไนท์ที่มีความขุ่น 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง โดยมีวิธีเตรียม พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิ ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ค่าความขุ่นคงที่ที่ 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง และให้มีขนาดอนุภาคความขุ่นในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้ขบวนการเตรียมดินผสมน้ำประปา จากการคำนวณโดยใช้สมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด ($V_s = g(p_s-p)d^2/18u$) พบว่าอนุภาคดินคาโอลินที่มีขนาด 1 ไมครอน จะมีความเร็วในการตกตะกอน 0.33 ซม./ซม. หรือในเวลา 24 ชั่วโมง อนุภาคดังกล่าวจะตกตะกอนลึกจากผิวน้ำเป็นระยะทาง 8 ซม. ดังนั้นอนุภาคที่ยังลอยอยู่เหนือระดับ 8 cm. จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน จึงใช้หลักการนี้ในการเตรียมความขุ่นสังเคราะห์โดยใช้ผงดินคาโอลิน 1500 กรัม ผสมกับน้ำประปาในถังขนาด 45x45x45 ซม. โดยให้มีระดับน้ำสูง 16 ซม. กวนส่วนผสมดังกล่าวให้เข้ากัน หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 24 ชม. ดูดน้ำตัวอย่างที่ความลึก 9.5 ซม. จากผิวน้ำ นำน้ำตัวอย่างที่ได้นี้ไปเจือจางด้วยน้ำประปาจนได้ค่าความขุ่นเท่ากับ 50 NTU

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. พีเอชของน้ำขุ่นสังเคราะห์

จะใช้พีเอชคงที่ที่ 7.6 ตลอดทุกการทดลอง เนื่องจากพีเอชมีผลต่อสภาวะคงตัวของอนุภาคความขุ่น (14) จากการเจือจางน้ำขุ่นดินคาโอลินเข้มข้นกับน้ำประปา จะได้ค่าพีเอชประมาณ 7.6 ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกวนเร็วที่ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน จะมีค่าอยู่ในช่วง 6-7.8

3. ค่าความเป็นด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์

จะมีผลต่อกระบวนการรวมตะกอน เมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน เนื่องจากปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ที่เกิดขึ้นทำให้ พีเอชลดลง จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ มีค่าอยู่ในช่วง 100-120 มก./ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าทั่วไปของแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงใช้ค่านี้ในการทดลอง

4. อุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์

พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบพบว่า มีค่าความหนืดแตกต่างกัน ประมาณ 5.5% และทำให้ค่า G คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1.8% ซึ่งประเมินได้ว่ามีผลกระทบน้อยมาก

4.2.2 สารเคมี

ในการทดลองนี้ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนโดยใช้สารเคมีเกรดห้องปฏิบัติการ (laboratory grade) สูตรทางเคมีคือ $Al_2(SO_4)16\ H_2O$ การเตรียมสารละลายสารส้มจะทำการเตรียมสารละลายสารส้มสำรองก่อน(12) โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 10 ก./ลบ.ด.ม. หรือ 1% (9) แล้วทำการบ่ม (aging) โดยกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชม. ก่อน ความเข้มข้นสารละลายสารส้มจะมีค่าแปรเปลี่ยนจาก 5,10,15,20,30 มก./ลบ.ด.ม.

ในการวิจัยครั้งนี้ หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมด้วยการทดสอบแบบจาร์ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกปริมาณสารส้มเพื่อแปรค่าในการทดลองดังนี้

1. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลินไนท์ที่มีความขุ่น 50 NTU ลงในถ้วยจาร์เทสต์ จำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร กวนเร็วที่อัตราเร็วของเครื่องกวนผสม 100 รอบ/นาที

2. เติมสารละลายสารส้ม 1% ลงในน้ำขุ่นสังเคราะห์แต่ละถ้วยจาร์เทสต์ให้มีปริมาณสารส้ม 15,20,25,30,35, และ 40 มก/ล กวนเร็วเป็นเวลา 2 นาที

3. จากนั้นจึงกวนช้าที่อัตราเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที

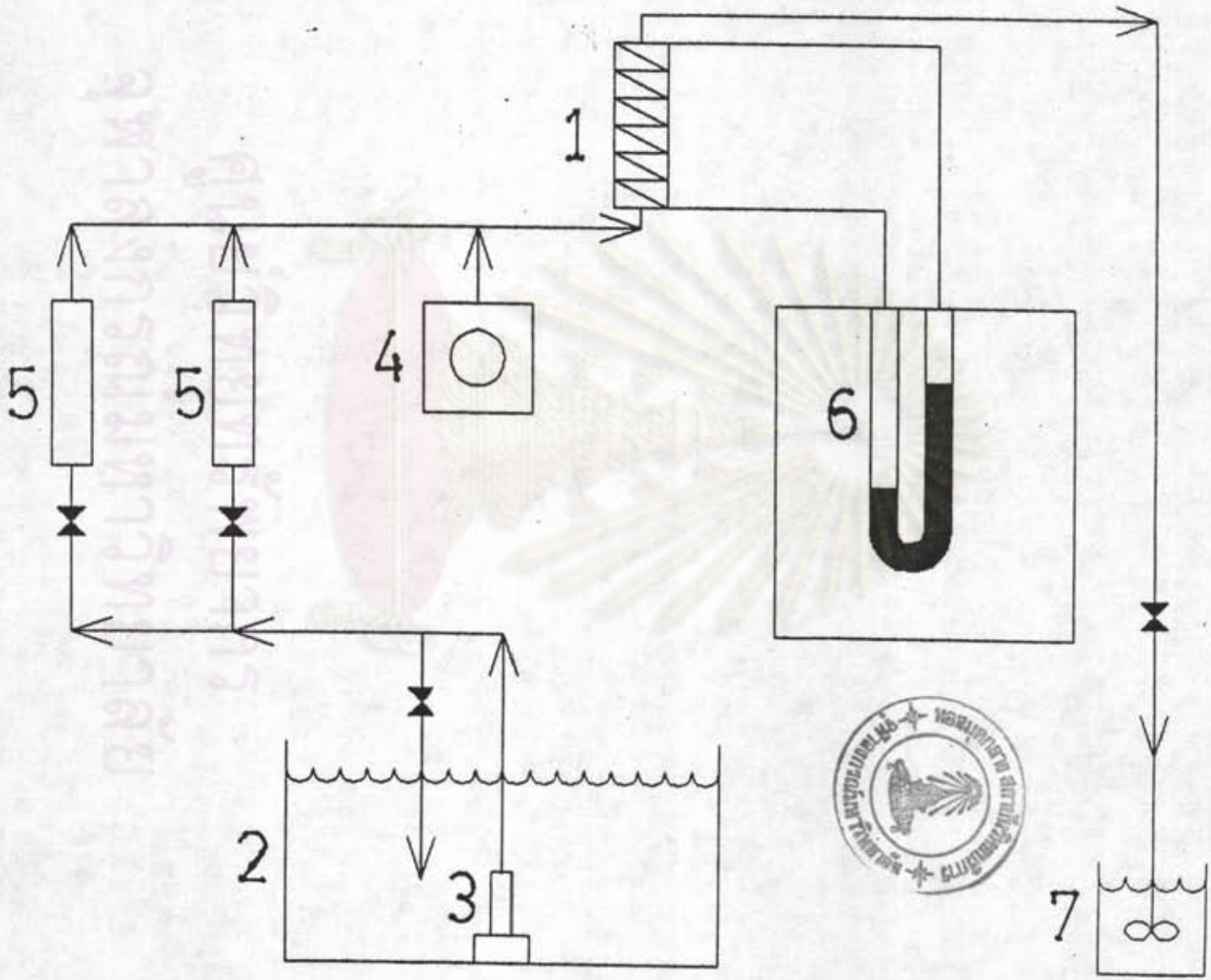
4. ปิดเครื่องกวนผสมปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที แล้วดูดตัวอย่างน้ำออกจากจุด นำตัวอย่างซึ่งอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำเท่ากับ 9.5 ซม

5. วัดความขุ่นของตัวอย่างน้ำ ผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพ ในการกำจัดความขุ่นที่ปริมาณสารส้ม 30 ถึง 40 มก/ล ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเพื่อ ความประหยัดของปริมาณสารส้ม จึงเลือกใช้ความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายสารส้ม ในการวิจัยนี้เท่ากับ 30 มก/ล และจะแปรเปลี่ยนให้มีค่าน้อยกว่า 30 มก/ล คือ 20, 15, 10 และ 5 มก/ล ตามลำดับ (11)

4.2.3 <u>เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย</u>

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ท่อกวนเร็วบรรจุกรวด ถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ ระบบป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์ ระบบป้อนสารรวมตะกอน ระบบวัดอัตราการไหล ระบบวัดระดับหัวน้ำสูญเสีย เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบแบบจาร์ รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้แสดงในรูปที่ 4.1

THE EXPERIMENT DIAGRAM



รูปที่ 4.1 ผังระบบการทดลอง

1. ท่อกวนเร็วบรรจุกรวด เป็นท่อพลาสติกใส เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 24 มม ภายในท่อจะมีขนาดกรวดที่ใช้เป็นตัวกลางคือ 2-3 มม., 4-5 มม, 6-7 มม, 8-9 มม. ใส่ในท่อโดยมีตะแกรงลวดสแตนเลสปิดหัวท้าย ความลึกของตัวกลางกรวด จะมีขนาด 2, 4, 6, และ 8 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นอุปกรณ์กวนช้าจะมีทั้งหมด 16 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1	ใช้ตัวกลางกรวดขนาด	2-3	มม.	ความลึกตัวกลาง	2 ซม.
แบบที่ 2	"	2-3	"	"	4 "
แบบที่ 3	"	2-3	"	"	6 "
แบบที่ 4	"	2-3	"	"	8 "
แบบที่ 5	"	4-5	"	"	2 "
แบบที่ 6	"	4-5	"	"	4 "
แบบที่ 7	"	4-5	"	"	6 "
แบบที่ 8	"	4-5	"	"	8 "
แบบที่ 9	"	6-7	"	"	2 "
แบบที่ 10	"	6-7	"	"	4 "
แบบที่ 11	"	6-7	"	"	6 "
แบบที่ 12	"	6-7	"	"	8 "
แบบที่ 13	"	8-9	"	"	2 "
แบบที่ 14	"	8-9	"	"	4 "
แบบที่ 15	"	8-9	"	"	6 "
แบบที่ 16	"	8-9	"	"	8 "

2. ถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ เป็นถัง PVC ขนาดกว้าง 0.80 เมตร ยาว 0.90 เมตร ลึก 0.90 เมตร เป็นถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 50 NTU

3. ระบบป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์ ประกอบด้วย เครื่องสูบใต้น้ำ (Submersible pump) อัตราการสูบได้เท่ากับ 80 ลิตร/นาที จำนวน 2 เครื่อง ป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์เข้าสู่ท่อ

กวนเร็ว การควบคุมอัตราไหลกระทำโดยควบคุมวาวล์ของท่ออ้อมผ่าน (by-pass) ที่ติดตั้งบริเวณทางน้ำออกของเครื่องสูบก่อนเข้ามาตรวัดอัตราไหลของน้ำ

4. ระบบป้อนสารรวมตะกอนประกอบด้วยเครื่องสูบเพอริสเตติก (peristatic pump) สำหรับป้อนสารละลายสารส้มเข้าสู่ท่อกวนเร็วตามอัตราไหลที่ต้องการ

5. ระบบวัดอัตราไหลประกอบด้วย มาตรวัดน้ำแบบโรตามิเตอร์ที่วางในแนวดิ่ง มี 2 ขนาด คือ 2-20 ลิตร/นาที และ 4-36 ลิตร/นาที

6. ระบบวัดระดับหัวน้ำสูญเสียประกอบด้วยดิฟเฟอเรนเชียลมาโนมิเตอร์ (differential manometer) แบบปรอท ใช้วัดความสูญเสียหัวน้ำในท่อกวนเร็วที่อัตราไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์ปริมาณต่างๆ

7. เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบแบบจาร์ เป็นของบริษัท Phipps and Bird , Inc. มีใบกวนแผ่นราบขนาด 25x75 มม. 6 ชุด สามารถแปรเปลี่ยนอัตราเร็วของการกวนได้จาก 0-100 รอบต่อนาที ใช้ถ้วยจาร์ขนาด 1 ลิตร

4.2.4 <u>อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติ</u>

พารามิเตอร์แสดงลักษณะสมบัติน้ำที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ความขุ่น พีเอช ค่าความเป็นด่างและอุณหภูมิ

ความขุ่นทำการวัดโดยเครื่องวัดความขุ่นของ Hach รุ่น 2100A
พีเอชทำการวัดโดยเครื่องวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic
ความเป็นด่างทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Methods
อุณหภูมิทำการวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

4.3 การควบคุมกระบวนการต้นแบบ

4.3.1 การควบคุมกระบวนการกวนเร็วในท่อ

การแปรค่า G และ T กระทำโดยปรับอัตราไหลกระแสเข้า (Influent) ของน้ำชุ่นสังเคราะห์ จาก 4 ถึง 20 ลิตร/นาที และแปรเปลี่ยนขนาดตัวกลาง และความลึกตัวกลาง จาก 2 ถึง 9 มม. และ 2-8 ซม.ตามลำดับค่า G และ T ที่ได้แสดงได้ในตารางที่ 4.2 อนึ่งค่า G และ T ที่อัตราไหลหนึ่งๆ หาได้ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณใน ผ.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2

Q(ล/นาที)	G(วินาที$^{-1}$)ขนาด(มม.)	T(วินาที) , ความลึก (ซม.)			
4	4754, 8-9	0.081 ,2	0.163 ,4	0.244 ,6	0.326 ,8
4	6281, 6-7	0.075 ,2	0.149 ,4	0.224 ,6	0.299 ,8
4	6775, 4-5	0.071 ,2	0.141 ,4	0.212 ,6	0.282 ,8
4	7517, 2-3	0.065 ,2	0.130 ,4	0.195 ,6	0.262 ,8
8	10416, 8-9	0.041 ,2	0.081 ,4	0.122 ,6	0.163 ,8
8	12873, 6-7	0.037 ,2	0.075 ,4	0.112 ,6	0.149 ,8
8	14445, 4-5	0.035 ,2	0.071 ,4	0.106 ,6	0.141 ,8
8	15769, 2-3	0.033 ,2	0.065 ,4	0.098 ,6	0.130 ,8
12	19487, 8-9	0.027 ,2	0.054 ,4	0.081 ,6	0.109 ,8
12	22429, 6-7	0.025 ,2	0.050 ,4	0.075 ,6	0.100 ,8
12	24386, 4-5	0.024 ,2	0.047 ,4	0.071 ,6	0.094 ,8
12	26684, 2-3	0.022 ,2	0.043 ,4	0.065 ,6	0.087 ,8
16	31823, 8-9	0.020 ,2	0.041 ,4	0.061 ,6	0.081 ,8
16	33826, 6-7	0.019 ,2	0,037 ,4	0.056 ,6	0,075 ,8
16	35383, 4-5	0.018 ,2	0.035 ,4	0,053 ,6	0.071 ,8
16	38035, 2-3	0.016 ,2	0.033 ,4	0.049 ,6	0.065 ,8
20	40899, 8-9	0.016 ,2	0.033 ,4	0.049 ,6	0.065 ,8
20	43291, 6-7	0.015 ,2	0.030 ,4	0.045 ,6	0.060 ,8
20	45679, 4-5	0.014 ,2	0.028 ,4	0.042 ,6	0.056 ,8
20	48135, 2-3	0.013 ,2	0.026 ,4	0.039 ,6	0.052 ,8

4.3.2 การควบคุมกระบวนการสมานตะกอน

การออกแบบและควบคุมการทำงานของชั้นสมานตะกอนขึ้นกับความเร็วเกรเดียนท์และเวลากักของการกวนช้า พารามิเตอร์ ทั้งสองมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของชั้นสมานตะกอน โดยกำหนดลักษณะทางกายภาพของตะกอนที่ได้ (18)

การกวนช้าในการทดลองนี้ใช้เครื่องกวนผสม โดยกำหนดค่าเกรเดียนท์ความเร็วของการกวนช้าประมาณ 18 วินาที$^{-1}$ ที่อัตราหมุนของใบพัด 40 รอบ/นาที และเวลากักน้ำของการกวนช้า 20 นาที ค่าคงที่เหล่านี้อยู่ในช่วงเกณฑ์ออกแบบถังกวนช้า (19)

4.3.3 การควบคุมกระบวนการตกตะกอน

การแปรค่า SOR กระทำโดยหลังการกวนช้าปล่อยให้ตกตะกอน เป็นเวลา 5 , 10 และ 15 นาที ตามลำดับแล้ว เก็บตัวอย่างนี้ที่อยู่ต่ำจากผิวน้ำ 9.5 ซม. ค่า SOR ที่ได้จากเวลาตกตะกอนต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า SOR ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

เวลาตกตะกอน (นาที)	SOR (ซม./นาที)
5	1.90
10	0.95
15	0.63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17119442.

4.4 การดำเนินการทดลอง

ก. เปิดปั๊มสูบน้ำจากถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ ปรับอัตราไหลผ่านอุปกรณ์กวนเร็วโดยใช้ ball valve ให้ได้อัตราไหลตามต้องการ

ข. เปิดปั๊มสารส้มเข้าไปในระบบปรับอัตราไหล เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารส้มตามต้องการ

ค. เปิดวาวล์เก็บน้ำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการกวนเร็วแล้ว ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 1 ใบ

ง. เปิดเครื่องกวนช้าปรับความเร็วรอบเท่ากับ 40 รอบ/นาที ($G=18\ s^{-1}$)

จ. ใช้เวลาในการกวนช้า ในบีกเกอร์นาน 20 นาทีหลังจากนั้นปล่อยทิ้งให้ตกตะกอนนาน 5, 10 และ 15 นาทีตาม ลำดับ แล้วนำตัวอย่างน้ำที่ความลึก 9.5 ซม. จากผิวน้ำไปวัดความขุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย