บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย ได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี กรวด อุปกรณ์ถังโซลิดส์ คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ และเครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะของน้ำ

3.1.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

อนุภาคแร่ดินเหนียว เช่น คาโอลิไนท์ (kaolinite) เบนโทไนท์ (bentonite) และเวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) เป็นสาเหตุสำคัญของความขุ่นในน้ำผิวดินที่นำมาผลิตเป็นน้ำประปา จากการสำรวจพบว่า แร่ดินที่พบมากในแหล่งน้ำของประเทศไทย ได้แก่ คาโอลิไนท์ (จุมพล คืนตัก, ธงชัย พึ่งรัศมี และพิภพ วสุวานิช, 2524) ดังนั้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับความจริงจึงใช้ดินคาโอลิน (kaolinite clay) ที่มีส่วนผสมของแร่คาโอลิไนท์ และสารอินทรีย์มาเป็น ตัวสร้างความขุ่น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ โดยผสมดินคาโอลินลงไปสร้างความขุ่นและทำการปรับให้มีความขุ่น 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารส้ม

สารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์ ได้แก่ สารส้ม โดยใช้เกรดสำหรับห้องปฏิบัติการ (laboratory grade) ผลิตโดย May and Baker Ltd. มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว สูตรทางเคมี คือ $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ โดยมีส่วนประกอบได้แก่ Al 8.8-9.3% Cl ไม่เกิน 0.02% , Fe ไม่เกิน 0.02% และ Pb ไม่เกิน 0.005% สารละลายสารส้มที่ใช้ในการทดลอง จะเตรียมให้มีความเข้มข้น 3000 มก./ล.

3.1.2.2 โพลีเมอร์ประจุลบ

สารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์เอด ได้แก่ โพลีเมอร์ประจุลบซึ่งผลิตโดย SNF FLOERGER รหัสทางการค้าคือ AN 923 PG เป็นโพลีเมอร์ที่สามารถใช้ในกระบวน

การผลิตน้ำประปาได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มีลักษณะเป็นผงสีขาวใส ขนาด 0.5-1.5 มม. ความหนาแน่น 0.7-0.8 ก./ซม^3. สารละลายโพลีเมอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะเตรียมให้มีความเข้มข้น 30 มก./ล.

3.1.2.3 สารละลายกรดเกลือ

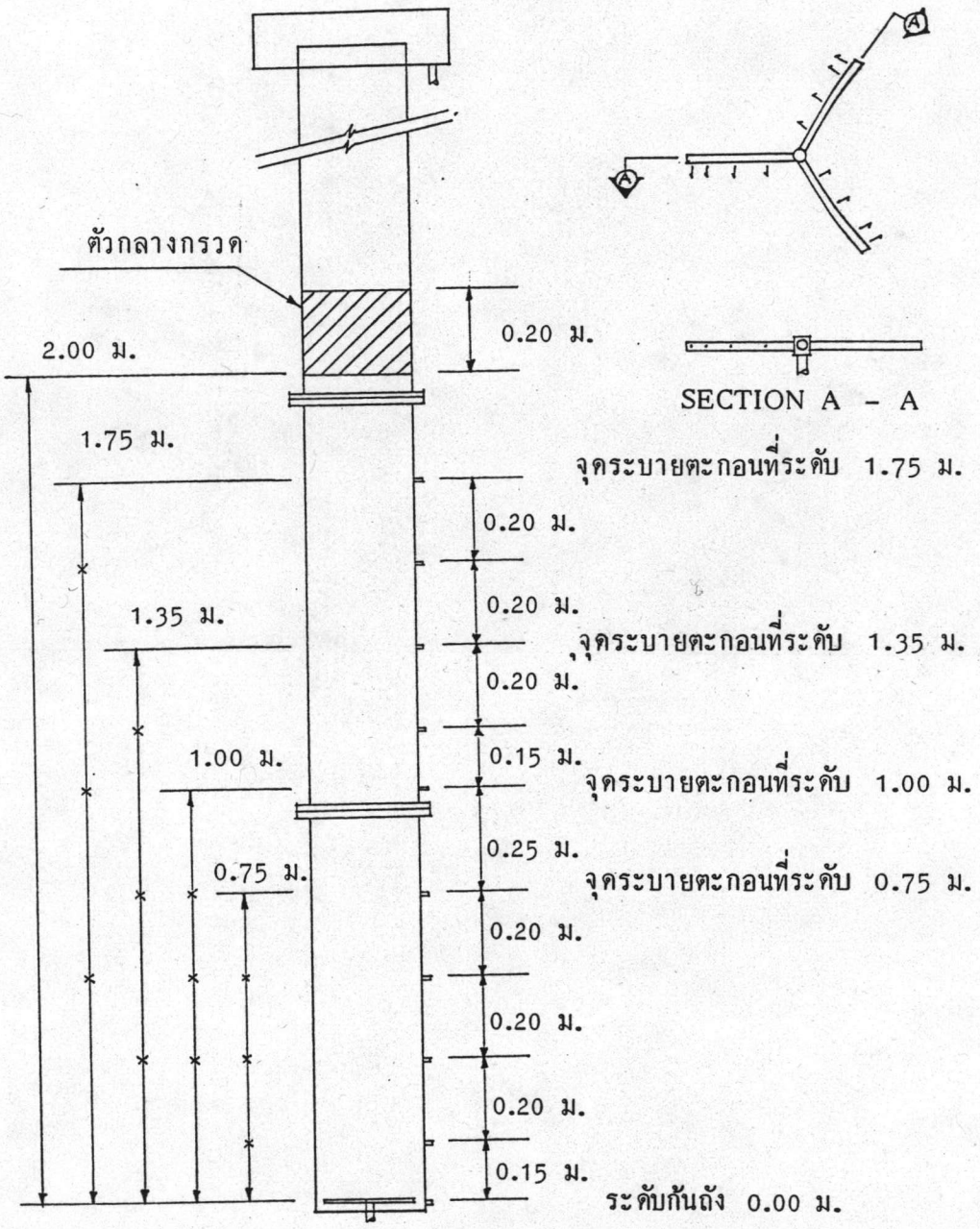
ทำการเจือจางกรดเกลือ (hydrochloric acid) ปริมาตร 83 มล. (จากสารละลายกรดเข้มข้น 12 นอร์มัล 1 ส่วน เจือจางด้วยน้ำกลั่น 11 ส่วน โดยปริมาตร) จนกระทั่งมีปริมาตรรวม 1000 มล. จะได้ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ 1.0 นอร์มัล จากนั้นจึงนำสารละลายเกลือที่ได้ปริมาตร 100 มล. มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง จนมีปริมาตรรวม 1000 มล. สารละลายสุดท้ายจะมีความเข้มข้นของเกลือ 0.1 นอร์มัล

3.1.3 กรวด

กรวดนำมาจากกองกรวดทั่ว ๆ ไป ลักษณะค่อนข้างกลม และผิวเรียบ นำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วแช่ด้วยกรดเกลือ (HCl 0.1 N) ทิ้งไว้ 24 ชม. ตากให้แห้งแล้วจึงนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เพื่อแยกกรวดที่มีขนาดระหว่าง 9-12 มม. นำมาทดลองต่างขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไป

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

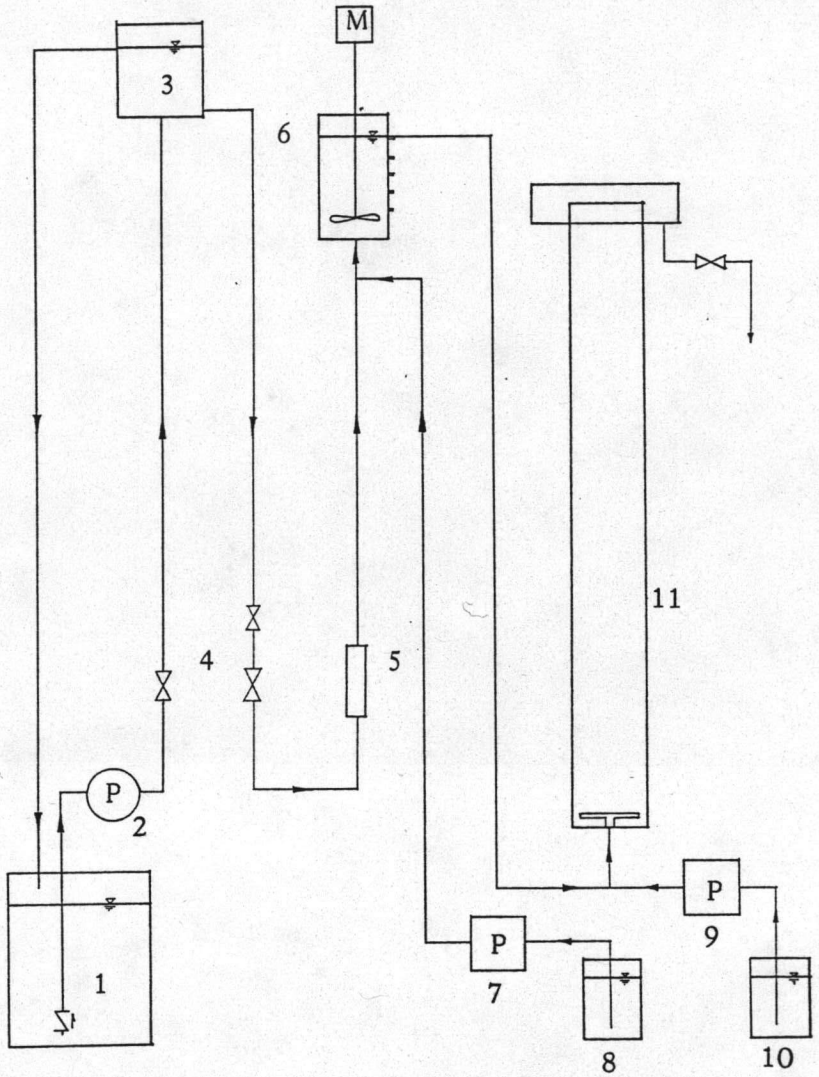
1. ถังเก็บน้ำดิบขนาดจุ 500 ลิตร
2. เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง
3. เครื่องสูบสารส้ม ชนิดเพอริสแตลติค
4. เครื่องสูบโพลีเมอร์ ชนิดเพอริสแตลติค
5. มอเตอร์กวนเร็วซึ่งมีรอบการหมุน 100 รอบต่อนาที
6. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ
7. ถังกวนเร็วทำด้วยพลาสติกใส รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 ซม. ความสูง 50 ซม.
8. อุปกรณ์ถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ทำด้วยพลาสติกใส รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 ซม. สูง 300 ซม. (รูปที่ 3.1, 3.2)



x = ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงของชั้นตะกอนต่าง ๆ

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ที่ใช้ในการทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. ถังเก็บน้ำดิบสังเคราะห์
2. เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง
3. ถังเก็บน้ำดิบที่มีระดับน้ำคงที่
4. วาล์วปรับอัตราการไหล
5. เครื่องมือวัดอัตราการไหล
6. อุปกรณ์กวนเร็ว
7. เครื่องสูบสารส้ม ชนิดเพอริสแตลติค
8. ถังเก็บสารเคมี (สารส้ม)
9. เครื่องสูบโพลีเมอร์ ชนิดเพอริสแตลติค
10. ถังเก็บสารเคมี (โพลีเมอร์)
11. ถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์

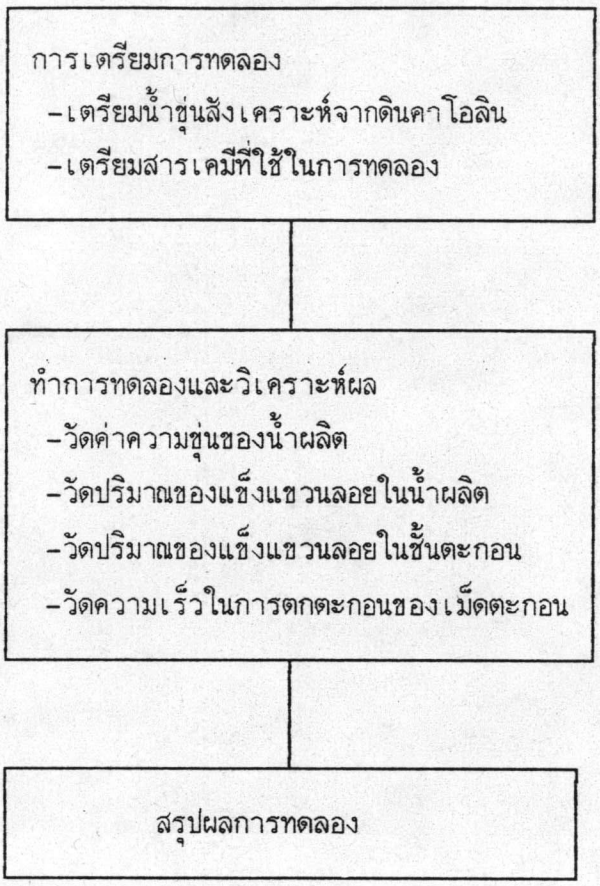
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะของน้ำ

1. เครื่องมือวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100 A
2. เครื่องมือวัดพีเอช ของ BECKMAN รุ่น ZEROMATIC
3. เครื่องมือสำหรับหาค่าของแข็งแขวนลอย

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมการทดลอง การทำการทดลองและวิเคราะห์ผล และการสรุปผลการทดลอง ลำดับการศึกษา ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

3.3 รูปแบบของการศึกษา

แบ่งออกได้ดังนี้

3.3.1 การเตรียมการทดลอง

เตรียมการทดลองโดยการประกอบติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง การเตรียมน้ำดิบสังเคราะห์จากดินคาโอลิน และการเตรียมสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2 การเลือกใช้ขนาดของตัวกลาง

จากการทดลองของ Suter M. (1956) ใช้บ่อขนาด 12x19 เมตร ที่ก้นบ่อ

ใส่ทรายกรองขนาด 1 มม. หนา 15 ซม. กรองน้ำจากแม่น้ำอิลลินอยส์ เมื่อทำการกรองอยู่ 3 ปี พบว่าต้องเปลี่ยนทรายปีละ 2 ครั้ง เนื่องจากตะกอนดินจากแม่น้ำไปอุดตันในชั้นทราย จากนั้นได้ทดลองเปลี่ยนจากทรายเป็นกรวดขนาด 4-5 มม. ลึกประมาณ 15 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำจะเพิ่มขึ้น

Heiple L.P. (1959) ได้ศึกษาการลดความขุ่นของน้ำผิวดิน โดยใช้กรวดเป็นสารกรอง กรวดที่ใช้มีขนาด 6-12 มม. ลึก 40 ซม. พบว่าประสิทธิภาพในการลดความขุ่นมีมากกว่า 50% และถึง 90% เป็นครั้งคราว

Dhabadgaonkar (1977) ได้ทำการทดลองใช้กรวดขนาด 6-10 มม. มาเป็นสารกรอง พบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้ผลดี โดยน้ำผลิตที่ได้มีค่าความขุ่นต่ำกว่า 5 NTU

ทนงศักดิ์ เลิศวงศ์คณากูล (2527) ได้ทำการทดลองใช้กรวดขนาด 4-12 มม., 9-12 มม. มาเป็นพรีฟิลเตอร์ โดยใช้น้ำดิบจากเชื่อนศรีนครินทร์ และสุวิมล ผดุงธนมงคล (2527) ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน แต่พรีฟิลเตอร์ที่ใช้เป็นวงแหวนพลาสติกและชุดแผ่นกลาสิเฟล็กซ์ จากผลการทดลองของทั้ง 2 คน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า กรวดกำจัดแอลจีและความขุ่นได้ดีกว่าวงแหวนพลาสติก โดยเฉพาะแผ่นกลาสิเฟล็กซ์มีประสิทธิภาพต่ำสุด โดยกรวดกำจัดแอลจีได้ประมาณ 28-37% โดยเฉลี่ย แหวนพลาสติกกำจัดได้ 29-34% โดยเฉลี่ย และชุดแผ่นกลาสิเฟล็กซ์กำจัดได้ 21-26% โดยเฉลี่ย ส่วนความขุ่นกรวดสามารถกำจัดได้ 30% โดยเฉลี่ย แหวนพลาสติกกำจัดได้ประมาณ 27% โดยเฉลี่ย และชุดกลาสิเฟล็กซ์ 17% โดยเฉลี่ย

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ากรวดซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารกรองในการกำจัดความขุ่น ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกลางเป็นกรวดขนาด 9-12 มม. มาทำการทดลองหาค่าความสูงของชั้นกรวดที่เหมาะสมเพื่อทำการทดลองในช่วงต่อไป

3.3.3 การดำเนินการทดลอง

ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงการทำงานของถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ที่ใช้ตัวกลางในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอน โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่
   -ปริมาณความเข้มข้นของสารส้มที่ใช้
   -ความสูงของชั้นตะกอน
   -ความเร็วของน้ำไหลขึ้น

2. ตัวแปรตาม ได้แก่
   -ปริมาณความขุ่นในน้ำผลิต
   -ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำผลิต
   -ปริมาณของแข็งแขวนลอยในชั้นตะกอน
   -ความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดตะกอน

3. ตัวแปรคงที่ ได้แก่
   -ชนิดของน้ำขุ่นสังเคราะห์
   -ระดับความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์
   -ความเร็วของใบพัดกวนน้ำในถังกวนเร็ว
   -ขนาดและความสูงของตัวกลางกรวด
   -ตำแหน่งของตัวกลางกรวด
   -ชนิดและปริมาณของโพลีเมอร์ที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนท์เอด

3.3.4 การสรุปผลการทดลอง

นำผลการทดลองมาทำการประเมินเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบในในการกำจัดความขุ่น เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานต่อไป

3.4 ขอบเขตการทดลอง

การทดลองทั้งหมดกระทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการทดลองซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ อยู่ในขอบเขต ดังนี้

น้ำดิบสังเคราะห์ (โดยใช้ดินคาโอลิน) ความขุ่น				50	เอ็นทียู
ความเข้มข้นของสารส้ม	10	15	20	30	มก./ล.
ความเข้มข้นของโพลีเมอร์ประจุลบ				0.3	มก./ล.
ความสูงของชั้นตะกอน	0.75	1.00	1.35	1.75	ม.

ความเร็วของน้ำไหลขึ้น	15	20	25	30	40	ซม./นาที
ขนาดของกรวดที่ใช้					9-12	มม.
ความสูงของกรวดที่ใช้					20	ซม.
ตำแหน่งของกรวดเหนือก้นถัง					2	ม.

3.5 การดำเนินการศึกษา

3.5.1 วิธีการทดลอง

ทำการปรับค่าความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่เตรียมจากดินคาโอลินให้ได้ค่าความขุ่น 50 เอ็นทียู จากนั้นสูบมาผสมกับสารส้มในถังกวนเร็ว โดยใช้ปริมาณสารส้มค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทดลอง (10, 15, 20, 30 มก./ล.) หลังจากนั้นน้ำจากถังกวนเร็วที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะไหลเข้าสู่ปลายล่างสุดของอุปกรณ์ถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ โดยจะมีการเติมโพลีเมอร์ประจุลบให้ผสมกับน้ำที่มาจากถังกวนเร็วในท่อน้ำตรงบริเวณก่อนจะเข้าสู่ปลายล่างสุดของอุปกรณ์ถังโซลิดส์คอนแทกต์แคลริไฟเออร์ โดยมีการควบคุมความเร็วน้ำไหลขึ้นเท่ากับความเร็วที่ต้องการทดลอง (15, 20, 25, 30, 40 ซม./นาที) และมีการปรับระบายตะกอนที่ระดับที่ต้องการทดลอง (0.75,1.00,1.35,1.75 ม.) เพื่อรักษาระดับของชั้นตะกอนให้คงที่

3.5.2 การเก็บตัวอย่าง

3.5.2.1 เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดทุก ๆ ชั่วโมง จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) ณ จุดที่ความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเริ่มมีค่าคงที่

3.5.2.2 เมื่อเดินระบบครบ 6 ชม.

- เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อนำมาหาปริมาณของแข็งแขวนลอย
- เก็บตัวอย่างปริมาณของแข็งแขวนลอยในชั้นตะกอนจากท่อเก็บตัวอย่างโดยเก็บตลอดความยาวของชั้นตะกอนที่ทำการศึกษา (จำนวน 4 จุด)

3.5.3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตัวอย่าง

ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. ความขุ่นของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัด ใช้เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimiter 2100 A : Hach) หน่วยที่วัดได้เป็นเอ็นทียู

2. วัดปริมาณของแข็งแขวนลอย หน่วยที่วัดได้เป็น มก./ล.

3.6 จำนวนและรายละเอียดของการทดลอง

ทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 80 การทดลอง โดยแสดงไว้ในตารางที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, และ 3.5

ตารางที่ 3.1 การทดลองชุดที่ 1 ความเร็วน้ำไหลขึ้น 15 ซม./นาที

ความสูงของชั้นตะกอน (ม.) / สารส้ม (มก./ล.)	0.75	1.00	1.35	1.75
10	R1	R2	R3	R4
15	R5	R6	R7	R8
20	R9	R10	R11	R12
30	R13	R14	R15	R16

R คือ สัญญลักษณ์ระบุครั้งที่ทำการทดลอง

รวมจำนวนการทดลองในชุดที่ 1 ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

ตารางที่ 3.2 การทดลองชุดที่ 2 ความเร็วน้ำไหลขึ้น 20 ซม./นาที

ความสูงของชั้นตะกอน (ม.) / สารส้ม (มก./ล.)	0.75	1.00	1.35	1.75
10	R17	R18	R19	R20
15	R21	R22	R23	R24
20	R25	R26	R27	R28
30	R29	R30	R31	R32

R คือสัญญลักษณ์ระบุครั้งที่ทำการทดลอง

รวมจำนวนการทดลองในชุดที่ 2 ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

ตารางที่ 3.3 การทดลองชุดที่ 3 ความเร็วน้ำไหลขึ้น 25 ซม./นาที

สารส้ม (มก./ล.) \ ความสูงของชั้นตะกอน (ม.)	0.75	1.00	1.35	1.75
10	R33	R34	R35	R36
15	R37	R38	R39	R40
20	R41	R42	R43	R44
30	R45	R46	R47	R48

R คือ สัญญลักษณ์ระบุครั้งที่ทำการทดลอง

รวมจำนวนการทดลองในชุดที่ 3 ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

ตารางที่ 3.4 การทดลองชุดที่ 4 ความเร็วน้ำไหลขึ้น 30 ซม./นาที

สารส้ม (มก./ล.) \ ความสูงของชั้นตะกอน (ม.)	0.75	1.00	1.35	1.75
10	R49	R50	R51	R52
15	R53	R54	R55	R56
20	R57	R58	R59	R60
30	R61	R62	R63	R64

R คือสัญญลักษณ์ระบุครั้งที่ทำการทดลอง

รวมจำนวนการทดลองในชุดที่ 4 ทั้งสิ้น 16 การทดลอง

ตารางที่ 3.5 การทดลองชุดที่ 5 ความเร็วน้ำไหลขั้น 40 ซม./นาที

สารส้ม (มก./ล.) \ ความสูงของชั้นตะกอน (ม.)	0.75	1.00	1.35	1.75
10	R65	R66	R67	R68
15	R69	R70	R71	R72
20	R73	R74	R75	R76
30	R77	R78	R79	R80

R คือสัญญลักษณ์ระบุครั้งที่ทำการทดลอง

รวมจำนวนการทดลองในชุดที่ 5 ทั้งสิ้น 16 การทดลอง