บทที่ 4

แผนงาน และ การดำเนินการวิจัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 แผนการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แผนการวิจัยได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการใช้ดรรชนีของการกรองในการควบคุมโคแอกกูเลชั่น กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชันดังนี้

1. ตัวแปรคงที่ กำหนดเวลาในการกวนเร็ว 1 นาที
2. ตัวแปรอิสระ
   - ก. ค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) กำหนด 4 ระดับดังนี้ คือ 500, 1,000, 3,000 และ 5,000 วินาที $^{-1}$
   - ข. ค่าพีเอชสุดท้าย ที่ควบคุมในการทดลองได้แก่ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9
   - ค. ความขุ่นเริ่มแรกได้แก่ 20, 100 และ 500 NTU
3. ตัวแปรตาม
   - ก. ความขุ่นที่เหลือหลังจากผ่านการกรอง
   - ข. ปริมาณสารส้มเปลี่ยนแปลงตามค่าพีเอชและความขุ่นเริ่มแรก

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีการแปรค่าเพื่อการศึกษาได้แก่ ความขุ่นเริ่มแรก ปริมาณสารส้ม และพีเอช ภายใต้ระดับความเร็วแกรเดียนท์กำหนดดังแสดงในตารางที่ 4-1

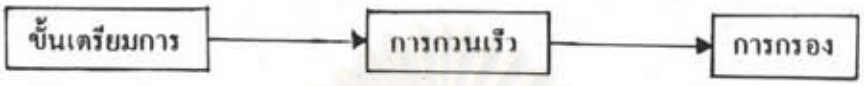
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยน

ระดับความขุ่น NTU.	พีเอชสุดท้าย						ความเร็วแกรเดียนท์ $(วท)^{-1}$				ปริมาณสารส้ม มก./ล.							
20	4	5	6	7	8	9	500	1.000	3.000	5.000	0	2.5	7.5	15	22.5	30	40	50
100	4	5	6	7	8	9	500	1.000	3.000	5.000	0	-	7.5	15	22.5	30	40	50
500	4	5	6	7	8	9	500	1.000	3.000	5.000	0	-	7.5	15	22.5	30	40	50

4.1.2 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนได้แก่ ขั้นเตรียมการทดลอง การกวนเร็ว และการกรอง ลำดับทดลองได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ลำดับของการทดลอง

ขั้นการเตรียมทดลองได้แก่ การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยอนุภาคดินคาโอลิน เตรียมทรายกรอง และสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช การทดลองหาช่วงปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มในการทดลอง การทดลองเพื่อควบคุม และวิเคราะห์ค่าความเร็วแกรเดียนท์

การกวนเร็ว เป็นการเตรียมน้ำก่อนเข้าก่อน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชัน ค่าพีเอช และปริมาณสารส้มในแต่ละค่าความเร็วแกรเดียนท์ภายใต้ความขุ่น 3 ระดับ

การกรอง เป็นการทดลองเพื่อหาค่าดรรชนีของการกรองในการควบคุมโคแอกกูเลชัน ได้จากการวัดค่าการสูญเสียเฮด และความขุ่นที่กรองได้โดยควบคุมอัตราการกรองคงที่ในแต่ละสภาวะน้ำดิบ และพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่ในสภาพเดียวกัน

4.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในการวิจัย

4.2.1 เครื่องกวนเร็ว

เครื่องกวนเร็วที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ อุปกรณ์เบลนเดอร์ (Blender) ผลิตโดยบริษัท National รุ่น MX-10PN/10GN ใช้พลังงานขับเคลื่อนสูงสุด 300 วัตต์ นำมาต่ออนุกรมกับ Dimer เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมเร็วรอบ โดยจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์ในการวัดกระแสไฟฟ้า (Ampmeter) และอุปกรณ์ในการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt meter) ดูภาพที่ 4-2

ภาพที่ 4-2 อุปกรณ์กวนเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าพลังงานที่ใช้ในการกวนเร็ว สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเร็วแกรเดียนท์จากสมการของแคมท์ และสไตน์โดยใช้สมการ (3-5) เริ่มจากกำหนดค่า G ขึ้นมาก่อน แล้วทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้า (A) และแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) ควบคู่กันไปด้วย Dimer จากนั้นจึงนำค่ากระแสไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาลองคำนวณหาค่าพลังงานเพื่อให้ได้ค่า G ตามต้องการ ดังแสดงในภาคผนวกรายการคำนวณที่ ผ.2 ดูตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์ และพลังงาน

G	A	V	(W)	A'	V'	(W)'	(W'-W)	0.85(P)	0.74(P)	G
500	0.053	30	1.59	0.059	31	1.83	0.24	0.204	0.151	511
1000	0.055	33	1.815	0.067	42	2.814	1.0	0.85	0.63	1,042
3000	0.40	109	43.6	0.46	113	51.98	8.38	7.123	5.271	3,017
5000	0.47	165	77.55	0.59	174	100.34	22.79	19.322	14.34	4,975

W,W' = พลังงานที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศ และในน้ำ = (V'A' - VA)

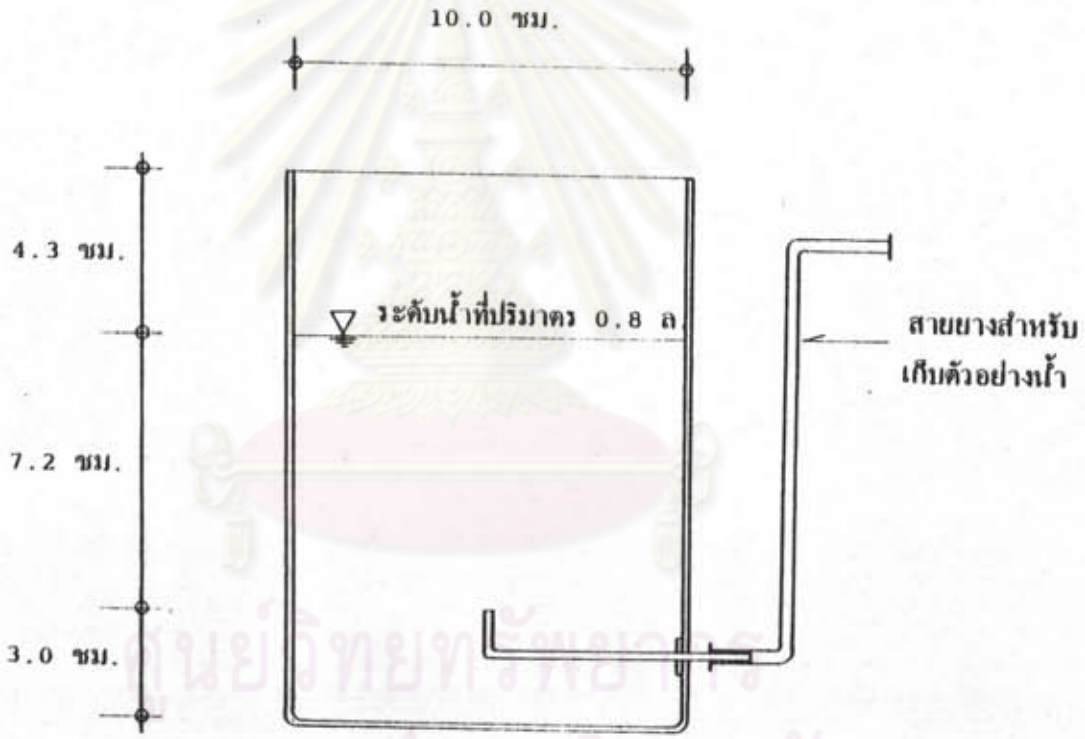
A,A' = กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศ และในน้ำ

V,V' = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศ และในน้ำ

P = พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำ = (W'-W)

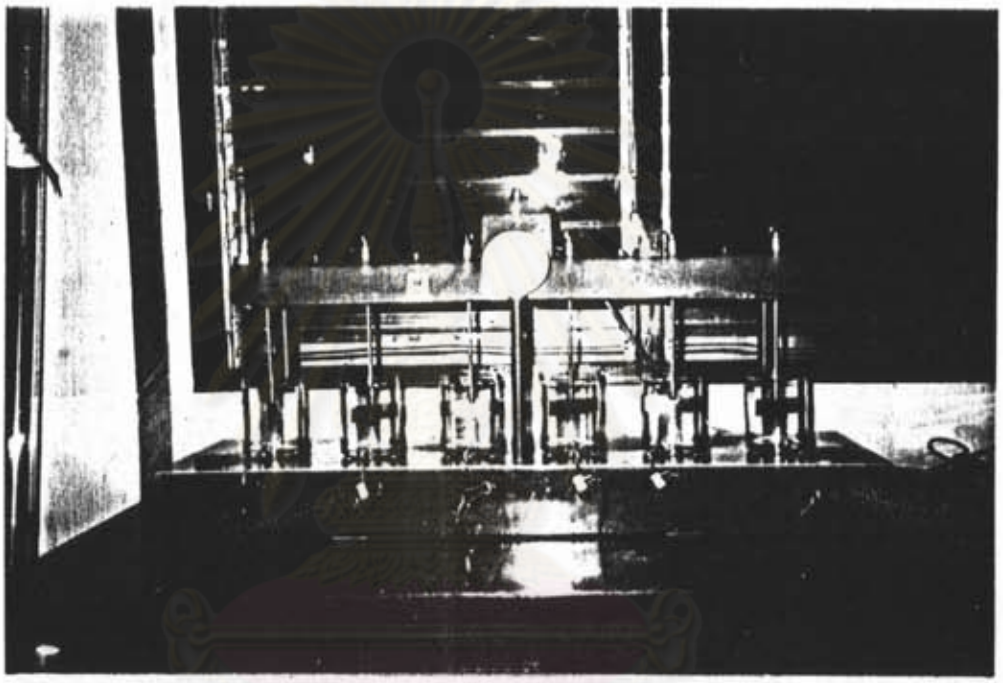
4.2.2 เครื่องทดลองจาร์เทสต์

เครื่องกวนที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบมาตรฐานทั่วไป ซึ่งปรับความเร็วรอบ-ได้ประกอบด้วยใบพัดสำหรับกวนขนาด 1×3 นิ้ว จำนวน 6 ใบ ส่วนถ้วยทดลองใช้ถ้วยพลาสติกทรงกลม ซึ่งเพิ่มอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4-3 และ 4-4



ภาพที่ 4-3 ถ้วยทดลองและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

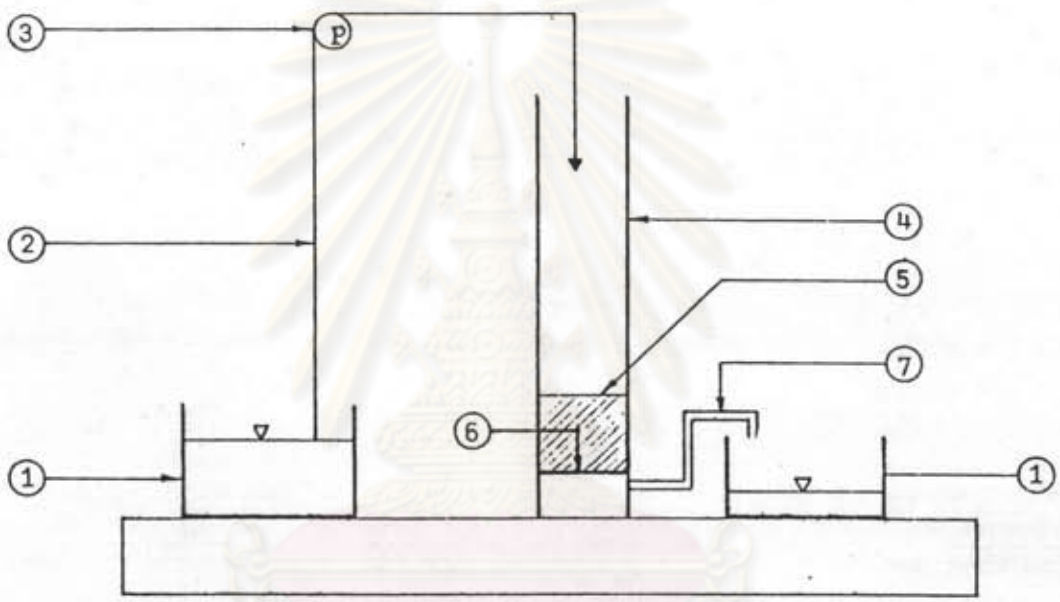


ภาพที่ 4-4 เครื่องจาร์เทสต์ที่ใช้ในการวิจัย และถ้วยที่มีอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 อุปกรณ์หาค่าดรรชนีของการกรอง

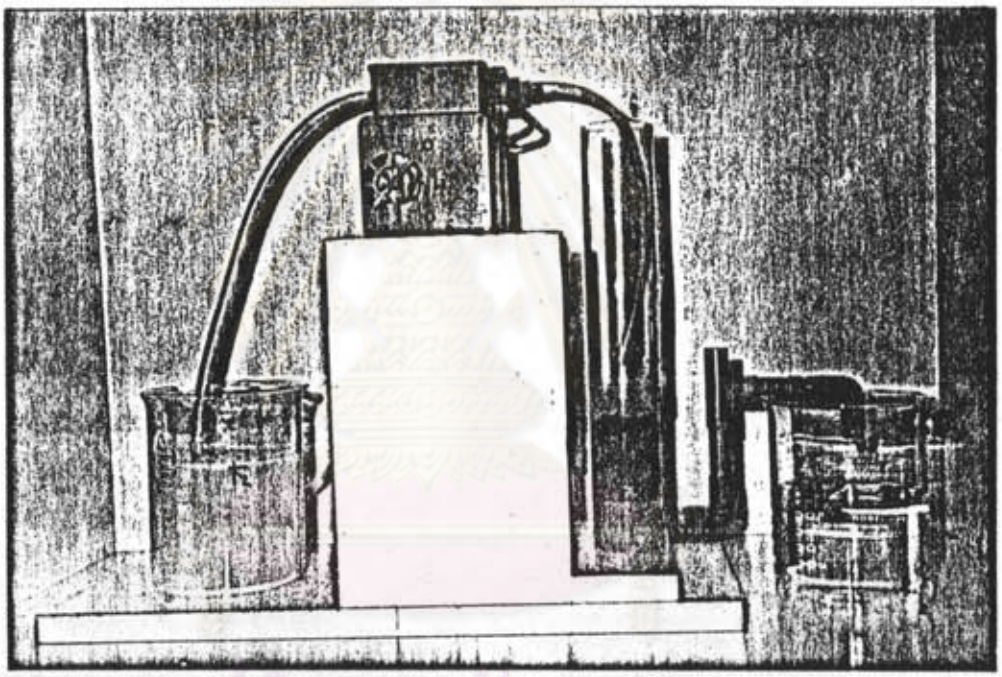
ภาพที่ 4-5 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าดรรชนีของการกรอง ตามแบบของ Ives (1) ภาพเดียวกันนี้แสดงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้



① บีคเกอร์ใส่น้ำดิบ และน้ำที่กรองได้
② สายยางอ่อน
③ ปั๊มไดอะแฟรม
④ กระบอกกรอง
⑤ ทรายกรอง
⑥ แผ่นพลาสติกเจาะรู วางทับด้วยผ้าตะแกรงไยสังเคราะห์
⑦ ท่อ P.V.C

ภาพที่ 4-5 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์หาค่าดรรชนีของการกรอง

4.2.3.1 เครื่องกรอง ทำด้วยพลาสติกใสรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 มม. รายละเอียดต่าง ๆ แสดงอยู่ในภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 เครื่องกรองที่ใช้ในการหาค่าดรรชนีของการกรอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I10293917

4.2.3.2 ทรายกรอง มีขนาด E.S. 0.3-0.4 มม. และมีค่า U.C. ประมาณ 1.4.-1.5 ถ.พ. 2.6 และมีค่าความพรุน 0.425 ในการทดลองนี้ บรรจุทรายในเครื่องกรองสูง 6 ซม.

4.2.3.3 เครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม ใช้สูบน้ำดิบเข้าถังกรองในอัตราคงที่เท่ากับ 100 ลบ.ซม./นาที เสมอ

4.3 การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ และสารเคมี

การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ และสารเคมี สามารถดำเนินการได้ดังนี้

4.3.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

เตรียมน้ำจากผงดินคาโอลิน (Kaolinit clay) ในการวิจัยนี้ได้กำหนดระดับของความขุ่นไว้ที่ 20, 100 และ 500 NTU และมีขนาดของอนุภาคความขุ่นในช่วง 0.001 ถึง 1 ไมครอน จึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลิน ตกตะกอนในน้ำนิ่ง ตามเวลาและความลึกที่คำนวณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (Discrete settling) ดังนี้

$$V_s = g (p_s - p) d^2 / (18 u) \quad \text{--------} \quad (4\text{-}1)$$

โดยที่

V_s = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

p_s = ความหนาแน่นของอนุภาคดินคาโอลิน

p = ความหนาแน่นของน้ำ

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

u = ความหนืดพลศาสตร์ของน้ำ

การคำนวณโดยสมการ (4-1) แสดงไว้ในภาคผนวก รายการคำนวณที่ ผ.1

จากการคำนวณปรากฏว่า อนุภาคที่มีขนาด 1 ไมครอน จะตกตะกอนด้วยความเร็ว 0.3 เซนติเมตร/ชั่วโมง ดังนั้นถ้าทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน สามารถตกตะกอนได้มากกว่า 14.4 ซม. ในทางตรงข้าม อนุภาคที่ลอยอยู่ในน้ำจนถึงระดับ 14.4 ซม. ย่อมมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน หลักการนี้ จะนำมาใช้ในเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

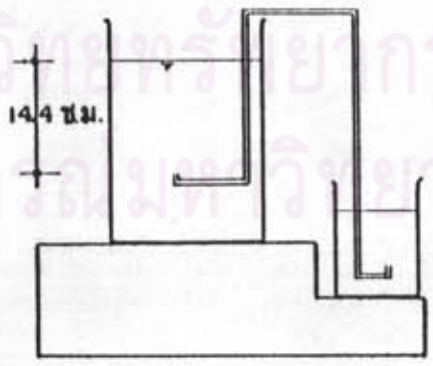
1. ทำการชั่งผงดินคาโอลิน 2000 กรัม/ลิตร แล้วนำมาผสมกับน้ำประปา โดยใช้อุปกรณ์เบลนเดอร์ช่วยในการผสม

2. รินน้ำที่ผสมกับผงดินคาโอลินลงในโถแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม. สูง 40 เซนติเมตร โดยให้มีระดับน้ำสูง 30 ซม. น้ำประปาที่ใช้ประมาณ 10 ลิตร

3. ทำการปรับสภาพพีเอชของน้ำให้เหมาะสมโดยการเติมสารละลาย NaOH ให้มีพีเอชอยู่ในช่วง 7.5-8 แล้วจึงกวนด้วยวิธีการเป่าลมเติมอากาศนาน 24 ชั่วโมง

4. หลังจากนั้น ปล่อยให้ตกตะกอนขนาด 48 ชั่วโมง

5. ทำการดูดชักน้ำที่ระยะลึก 14.4 เซนติเมตร จากผิวน้ำ โดยอาศัยหลักการของการลักน้ำ ดูภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 แสดงการดูดชักตัวอย่างน้ำขุ่น

6. ระบายน้ำคาโอลินออกจากถังจนถึงระดับความลึก 14.4 เซนติเมตร จึงหยุด น้ำคาโอลินเหล่านี้จะมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน และขุ่นประมาณ 600-800 NTU.

7. ทำการเจือจางน้ำคาโอลินด้วยน้ำประปา ในอัตรา ส่วน ที่เหมาะสม และผสมให้เข้ากัน จะได้น้ำดิบสังเคราะห์มีความขุ่น 20, 100 และ 500 NTU. ตามต้องการ

4.3.2 สารเคมี

4.3.2.1 สารละลายสารส้ม 1%

ละลายสารส้ม $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14\ H_2O$ 57 กรัมในน้ำกลั่น และเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.3.2.2 สารละลายสารส้ม 0.1%

ตวงสารละลายสารส้ม 1% ปริมาตร 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.3.2.3 สารละลายกรดเกลือ 1 N

ตวงกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 36.0 N ปริมาตร 27 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.3.2.4 สารละลายกรดเกลือ 0.1 N

ตวงสารละลายกรดเกลือ 1 N ปริมาตร 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.3.2.5 สารละลายด่าง 1 N

ละลายโซเดียมคาร์บอร์เนต (Na_2CO_3) ปริมาณ 5.3 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.6 สารละลายด่าง 0.1 N

ตวงสารละลายด่าง 1 N ปริมาตร 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.4 การดำเนินการทดลอง

การทดลองในการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดความขุ่นของน้ำดิบ พีเอช และความเร็วแกรเดียนท์

2. ตวงน้ำดิบ 800 ลบ.ซม. ลงในอุปกรณ์กวนเร็ว

3. ทำการปรับพีเอชของน้ำดิบ โดยควบคุมค่าพีเอชสุดท้ายภายหลังการเติมสารส้มให้มีค่าอยู่ในระดับที่กำหนด ในระหว่างที่ปรับค่าพีเอชนี้ต้องควบคุมให้การหมุนของเบล็นเดอร์ช้าลง ทั้งนี้เพื่อให้การปรับพีเอชเป็นไปอย่างทั่วถึง และวัดค่าได้ถูกต้อง

4. ปรับระดับความเร็วแกรเดียนท์ให้ได้ตามกำหนด แล้วจึงเติมสารส้มลงทันที โดยมีระยะเวลากักน้ำนาน 1 นาที

5. น้ำดิบในหัวข้อ 4 จะถูกนำไปถ่ายลงในบีคเกอร์เพื่อปั๊มน้ำเข้ากระบอกกรองซึ่งถูกเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว (โดยตวงน้ำประปาใส่กระบอกกรองปริมาตร 150 ลบ.ซม. และเททรายกรองหนัก 136.43 กรัม ซึ่งเทียบเท่าความสูง 6 ซม. ลงในกระบอกกรอง)

6. ปั๊มน้ำเข้ากระบอกกรองโดยควบคุมอัตราการกรองคงที่ 100 ลบ.ซม. ต่อนาที และวัดค่าการสูญเสียเฮด (H) จากสเกลข้างกระบอกกรองเมื่อการกรองสิ้นสุด

7. การวัดความขุ่นที่กรองได้ โดยกรองน้ำดิบให้ได้ปริมาตรประมาณ 600 ลบ.ซม. จึงเททิ้งแล้วรองรับใหม่จนการกรองสิ้นสุด จากนั้นจึงนำน้ำที่กรองได้ไปวัดหาความขุ่น (Co)

8. คำนวนหาค่าตรรชนีของการกรองจากสูตร

$$F = \frac{Co.H}{C.v.t}$$

9. สำหรับการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณสารส้ม ระดับค่าความเร็วแกรเดียนท์ และระดับความขุ่นให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน โดยเริ่มจากหัวข้อ 1-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำ และการสูญเสียเฮด

ความขุ่นทำการวัดโดยเครื่องวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100 A พีเอชทำการวัดโดยเครื่องวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic 2S33 พารามิเตอร์อื่น ๆ ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Method (13) การสูญเสียเฮดได้จากการอ่านค่าจากสเกลข้างกระบอกกรองที่มีความละเอียดถึงมิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย