หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

แผนการวิจัยได้รับการกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย โดยแบ่งออกเป็นการจำแนกพารามิเตอร์ในการทดลอง และลำดับของการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงผลของการใช้ความเร็วแกรเดียนท์ ในการควบคุมกลไกโคแอคกูเลชั่น ดังนั้น จึงต้องควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง ในขณะที่แปรค่าความเร็วแกรเดียนท์ที่เป็นเป้าหมายของการทดลอง ตลอดจนพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น เนื่องจากการใช้ความเร็วแกรเดียนท์ในการควบคุมกลไกโคแอคกูเลชั่นได้โดยตรง

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง

1. น้ำดิบสังเคราะห์ ได้แก่ระดับความขุ่น และขนาดของอนุภาคความขุ่น
2. สารเคมี ได้แก่ ปริมาณและความเข้มข้นของสารละลาย
3. ระบบการกวนเร็ว เวลากักน้ำ
4. ระบบการกวนช้า ความเร็วรอบและเวลากักน้ำ
5. ระบบการตกตะกอน เวลาในการตกตะกอน และระยะ(ความลึก) จากผิวน้ำในการชักน้ำตัวอย่าง

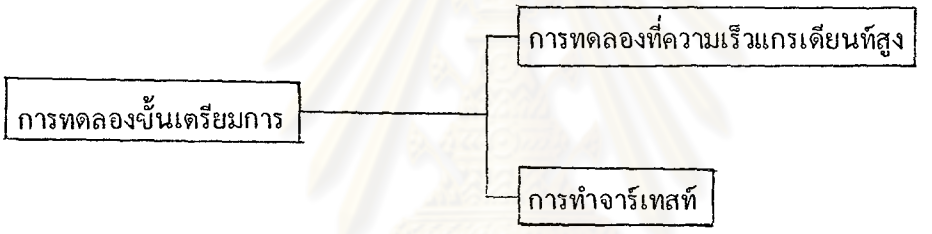
พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีการแปรค่าเพื่อการศึกษาได้แก่ ระดับของความขุ่น, ปริมาณสารส้มและพีเอชที่ใช้ ภายใต้ระดับความเร็วแกรเดียนท์ กำหนดดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยน

ระดับความขุ่น NTU	พีเอชลุดท้าย	ความเร็วแกรเดียนท์ $(วท)^{-1}$	ปริมาณสารส้ม มก/ล
20	4,5,6,7,8,9	≤500,1000,3000,5000	2.5,5,7.5,10,15,20,30
100	4,5,6,7,8,9	≤500,1000,3000,5000	7.5,15,22.5,30,40,50
500	4,5,6,7,8,9	≤500,1000,3000,5000	7.5,15,22.5,30,40,50

4.1.2 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน ได้แก่ การทดลองขั้นเตรียมการ การทดลองเมื่อความเร็วแกรเดียนท์สูง และการทดจาร์เทสท์ ลำดับของการทดลองได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลำดับของการทดลอง

การทดลองขั้นเตรียมการ ได้แก่การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยผงดินคาร์โอลิน(Kaolinite clay) การหาช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคความขุ่นมีสภาวะคงตัวสูง การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้ม การทดลองเพื่อควบคุมและวิเคราะห์ค่าความเร็วแกรเดียนท์ (G) ตลอดจนการควบคุมระบบ โคแอคกูเลชั่น

การทดลองที่ความเร็วแกรเดียนท์สูง ได้แก่การทดลองการควบคุมกระบวนการโคแอคกูเลชั่น ด้วยระดับความเร็วแกรเดียนท์ที่สูง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชั่น ทั้งนี้ การทดลองจะแปรค่าพีเอช และปริมาณสารส้มในแต่ละค่า G

การทำจาร์เทสท์ เป็นการทดลองที่ใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการควบคุมกลไกโคแอคกูเลชั่น ด้วยความเร็วแกรเดียนท์สูง เมื่อลักษณะน้ำดิบและพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่ในสภาพเดียวกัน

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย ได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์, สารเคมี, อุปกรณ์การกวนเร็ว, อุปกรณ์จาร์เทสท์ และอุปกรณ์วิเคราะห์สมบัติของน้ำ ในที่นี้จะกล่าวถึงการทดลองในขั้นเตรียมการสำหรับน้ำขุ่นสังเคราะห์, สารเคมี และการเตรียมอุปกรณ์การกวนเร็ว ทั้งเพื่อสนับสนุนผลการกำหนดพารามิเตอร์คงที่ ๆ ใช้ในการทดลองต่อไป

4.2.1 อุปกรณ์ในกระบวนการกวนเร็ว

กระบวนการกวนเร็วประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1 อุปกรณ์เบล็นเดอร์ (Blender)

อุปกรณ์การกวนเร็วในการทดลองนี้ ได้แก่ อุปกรณ์เบล็นเดอร์ (Blender) ผลิตโดยบริษัท National รุ่น MX-10PN/10GN ใช้พลังงานขับเคลื่อนสูงสุด 300 วัตต์ ดูภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนน้ำเพื่อกระจายสารส้ม

ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์เบล็นเดอร์

2 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

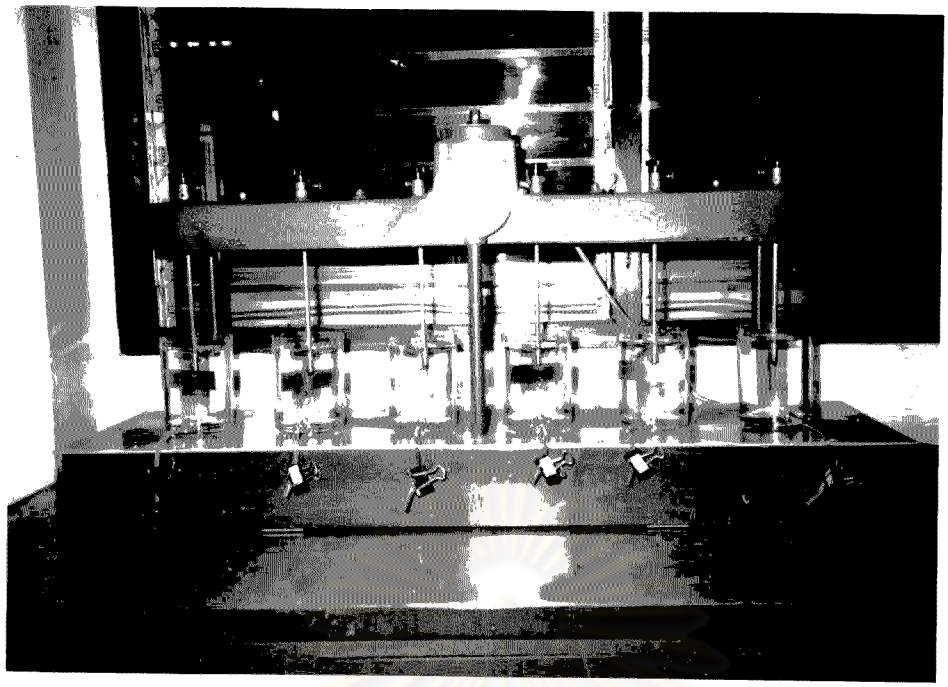
อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของการหมุนของอุปกรณ์เบลนเดอร์ ดูภาพที่ 4.3 อุปกรณ์ที่ใช้การควบคุมความเร็วแกรเดียนท์ โดยจะใช้รวมกับอุปกรณ์การวัดกระแสไฟฟ้า (Ampmeter) และอุปกรณ์ในการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt meter)

ภาพที่ 4.3 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

4.2.2 อุปกรณ์ในกระบวนการกวนช้า

อุปกรณ์จาร์เทสท์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกวนช้า

ดูภาพที่ 4.4 ในการทดลองที่กำหนดให้อุปกรณ์จาร์เทสท์มีหน้าที่หลักสำหรับการกวนช้าและการสร้างค่าความเร็วแกรเดียนท์ต่ำ ที่ใช้เปรียบเทียบกับการกวนเร็วที่มีระดับความเร็วแกรเดียนท์สูง ส่วนภาชนะที่ใส่ร่วมกับอุปกรณ์จาร์เทสท์ จะมีลักษณะแตกต่างจากบีกเกอร์ทั่วไป โดยที่ภาชนะดังกล่าวที่ได้มีอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำติดอยู่



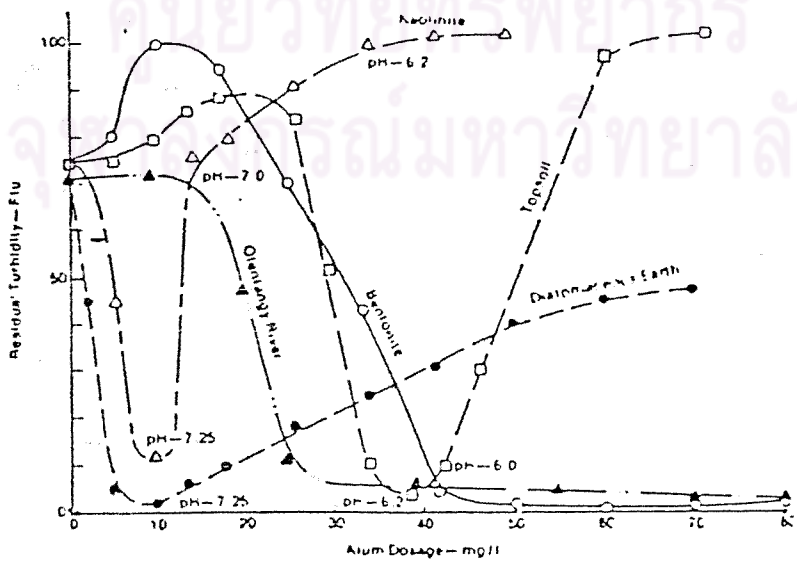
ภาพที่ 4.4 อุปกรณ์จาร์เทสท์

4.3 การเตรียมสารเคมีและน้ำขุ่นสังเคราะห์

การเตรียมสารเคมีและน้ำขุ่นสังเคราะห์ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

4.3.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

ผงดินคาโอลิน (Kaolinite clay) เป็นสารที่ใช้ในการสร้างความขุ่นในน้ำสำหรับใช้ในการทดลองนี้ ทั้งนี้ เนื่องจากพบว่ามีอยู่ในน้ำผิวดินที่นำมาผลิตน้ำประปา และมี BEC (Base Exchange Capacity) แคบ ทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัด แม้จะใช้สารส้มเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผงดินอย่างอื่น (ดูภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 อิทธิพลของอนุภาคดินและปริมาณสารส้ม (10)

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดระดับของความขุ่นไว้ที่ 20, 100 และ 500 NTU และมีขนาดของอนุภาคความขุ่นในช่วง 0.001 ถึง 1 ไมครอน จึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคดิน คาโอลิน ตกตะกอนในน้ำนิ่ง ตามเวลาและความลึก ที่คำนวณได้จากสมการทั่วไป ของการตกตะกอนแบบโดด (discrete settling) ดังนี้

$$Vs = g(\rho_S - \rho)\, d^2 / (18\, u) \qquad (4 - 1)$$

โดยที่ V_s คือความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค g คือ แรงเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก. ρ_S คือความหนาแน่นของอนุภาคดินคาโอลิน ρ คือความหนาแน่นของน้ำ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และ g คือความหนืดผลศาสตร์ของน้ำ การคำนวณโดยสมการ (4 - 1) แสดงไว้ในรายการคำนวณ ผ1 ปรากฏการณ์อนุภาคดินคาโอลิน ที่มีขนาด 1 ไมครอน จะตกตะกอนด้วยความเร็ว 0.3 ซม/ชั่วโมง ทั้งนั้นหากทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง อนุภาคดินคาโอลินที่ตกตะกอนลึกมากกว่า 14.4 ซม. จากผิวน้ำจะมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน แต่อนุภาคดินคาโอลินที่แขวนลอยอยู่ระหว่างผิวน้ำ ถึงระยะที่ลึก 14.4 ซม. จะมีขนาดเล็กกว่า หรือเท่ากับ 1 ไมครอน หลักการนี้จะนำมาใช้ในการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

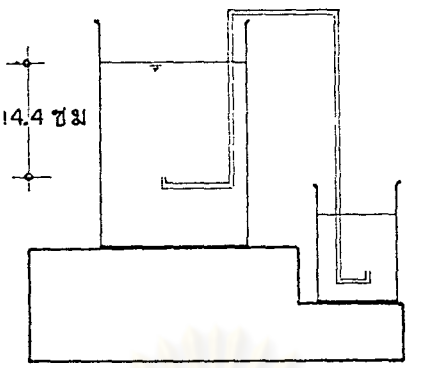
1. ทำการชั่งผงดินคาโอลิน 2000 กรัม/ล แล้วนำมาผสมกับน้ำประปา โดยใช้อุปกรณ์ เบลนเดอร์ ช่วยในการผสม

2. รินน้ำที่ผสมกับผงดินคาโอลิน ลงในโถแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 × 40 ซม โดยให้ผิวน้ำสูงกว่าก้นถึงประมาณ 30 ซม. น้ำประปาที่ใช้ประมาณ 10 ลิตร

3. ทำการปรับสภาพ พีเอช ของน้ำให้เหมาะสม โดยการเติมสารละลาย NaOH ให้มีพีเอช อยู่ในช่วง 7.5 - 8 แล้วจึงเติมอากาศนาน 24 ชั่วโมง

4. หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนนาน 48 ชั่วโมง

5. ทำการดูดชักตัวอย่างน้ำที่ระยะลึก 14.4 ซม. จากผิวน้ำ โดยอาศัยหลักการของกาลักน้ำ ดูภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แสดงการดูดชักตัวอย่างน้ำขุ่น

6. ระบายน้ำขุ่นคาโอลินที่เข้มข้น ออกจากถังคนถึงระดับความลึก 14.4 ซม. จึงหยุด น้ำขุ่นคาโอลินเหล่านี้ จะมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน มีค่าความขุ่นประมาณ 600 - 800 NTU

7. ทำการเจือจางน้ำขุ่นคาโอลินที่เข้มข้นด้วยน้ำประปา ผสมให้เข้ากัน ทำเช่นนี้จนได้น้ำขุ่นสังเคราะห์ คาโอลิน มีความขุ่น 20, 100 และ 500 NTU

4.3.2 สารเคมี

4.3.2.1 สารส้ม

สารส้มที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นระดับที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory grade) ที่ผลิตโดยบริษัท May & Bader Ltd. มีลักษณะเป็นผง มีสูตรทางเคมี $Al_2(SO_4)_3.14\ H_2O$ และมีส่วนประกอบที่เป็น Al 8.8 - 9.3 % Cl ไม่เกิน 0.02 % Fe ไม่เกิน 0.02 % และ Pb ไม่เกิน 0.005 %

ในการวิจัยนี้จะควบคุมความเข้มข้นของสารส้มให้คงที่ตลอดการทดลอง มีมีความเข้มข้น 0.1 % โดยการละลายจากสารละลายสารส้มที่มีความเข้มข้น 1 % (stock alum solution) สำหรับปริมาณสารส้มที่เหมาะสม พิจารณาได้จากผลของการทำจาร์เทสท์ โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้ (กรณีเมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 20 NTU)

1. เติมน้ำขุ่น 20 NTU ลงไปในบีเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร

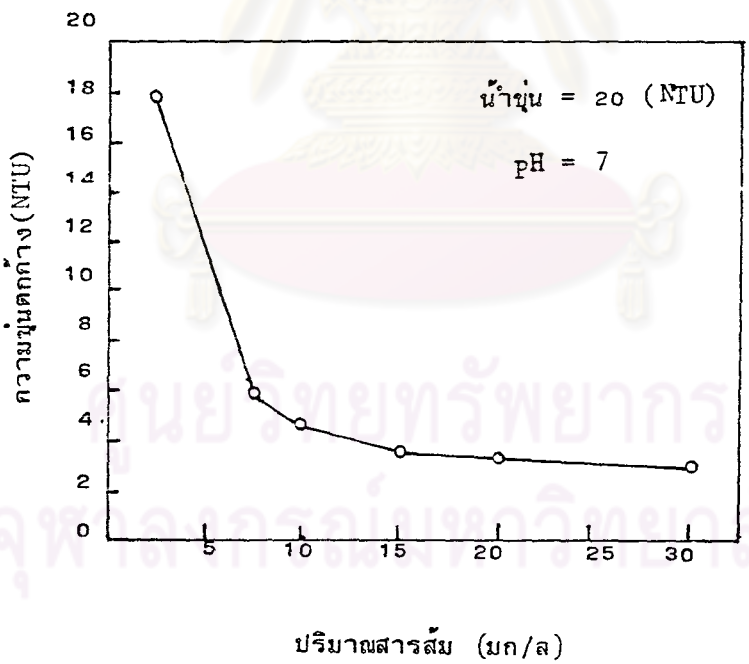
2. เติมสารละลายสารส้ม 0.1 % ลงในแต่ละบิกเกอร์ด้วยปริมาตร 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 มก./ล.

3. กวนเร็วด้วยความเร็วของใบเล็ก 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจึงกวนช้า 30 รอบ/นาที นาน 20 นาที

4. ปล่อยให้ตกตะกอนนาน 30 นาที ดูดตัวอย่างน้ำที่ 10 ซม. จากผิวน้ำ

5. นำตัวอย่างไปวัดค่าความขุ่น

ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.7 พิจารณาจากภาพ พบว่า ช่วงเหมาะสมของสารส้ม มีค่าระหว่าง 2.5 - 30 มก./ล. ดังนั้น จึงกำหนดค่าปริมาณสารส้มสำหรับน้ำดิบความขุ่น 20 NTU ไว้ 7 ระดับ ดังนี้ 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15, 20 และ 30 มก./ล. ตลอดการทดลอง



ภาพที่ 4.7 ผลการทำจาร์เทสท์น้ำขุ่น เริ่มต้น 20 NTU

สำหรับน้ำขุ่น 100 และ 500 NTU นั้น ช่วงปริมาณสารส้มที่เหมาะสมสามารถกำหนดได้ในลักษณะอย่างเดียวกัน และสามารถแบ่งช่วงที่เหมาะสมของปริมาณสารส้มได้ 6 ระดับ คือ 7.5, 15, 22.5, 30, 40 และ 50 มก./ล.

4.3.2.2 สารละลายกรดเกลือ

ทำการเจือจางกรดเกลือ (Hydrochlorid acid) ที่มีความเข้มข้น 36.0 N ในปริมาณ 27 มล. ลงในน้ำที่มีปริมาตรสุดท้าย 1000 มล. จะได้ความเข้มของกรดเกลือประมาณ 1.0 N หลังจากนั้นจึงทำการเจือจางกรดเกลือที่ความเข้มข้น 1.0 N ปริมาตร 100 มล. ลงในน้ำที่มีปริมาตรสุดท้าย 1000 มล. ได้ความเข้มข้นของกรดเกลือ ที่ใกล้เคียงกับ 0.1 N แล้วจึงทำการปรับค่าความเข้มข้นของกรดเกลือให้แน่นอน โดยการไตรเตรทกับสารละลายด่าง $Na_2(CO_3)$ มาตรฐาน 0.1 N (21) ทุกครั้งก่อนนำมาใช้งาน

4.3.2.3 สารละลายด่าง

นำสารโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 103°C นาน 24 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นใน disiccator นาน 45 นาที หลังจากนั้นทำการละลาย Na_2CO_3 5.3 กรัม ลงในน้ำ ที่มีปริมาตรสุดท้าย 1000 มล. จะได้สารละลาย Na_2CO_3 ที่มีความเข้มข้น 0.1 N

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การควบคุมอุปกรณ์เบล็นเดอร์ และอุปกรณ์จาร์เทสท์

การควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกวนเร็ว และกระบวนการกวนช้า มีวิธีการดังนี้

4.4.1 การควบคุมอุปกรณ์เบล็นเดอร์

อุปกรณ์เบล็นเดอร์ จะถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์วัดกระแส - แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ เพื่อใช้ในการกำหนดความเร็วแกรเดียนต์ (ดูภาพที่ 4.8)

ภาพที่ 4.8 อุปกรณ์เบล็นเดอร์ และอุปกรณ์ควบคุม

อุปกรณ์เบล็นเดอร์จะต่ออนุกรมกับอุปกรณ์การวัดทางไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ การกำหนดระดับความเร็วแกรเดียนท์ สามารถศึกษาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของอุปกรณ์เบล็นเดอร์ ดังแสดงไว้ในสมการ (4-2)

$$G = (550 \times \Delta P / Vu)^{\frac{1}{2}} \qquad (4-2)$$

โดยที่ G เป็นค่าความเร็วแกรเดียนท์ ΔP พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกวนน้ำ u เป็นค่าความหนืดพลศาสตร์ของน้ำ V เป็นค่าปริมาตรของน้ำขุ่น จากการคำนวณโดยสมการ (4-2) ดังในรายการคำนวณ ผ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์และพลังงาน (ดูตารางที่ 4.2) ดังนั้นหากจะกำหนดค่า G ค่าใดแล้ว จะต้องปรับระดับกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับค่า G ที่ได้จากการคำนวณไว้ก่อน

ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกรเดียนท์และพลังงาน

G	A	V	(W)	A'	V'	(W)'	(W'-W)	0.85(ΔP)	0.74(ΔP)	G
500	0.053	30	-1.59	0.059	31	1.83	0.24	0.204	0.151	511
1,000	0.055	33	1.815	0.067	42	2.814	1.0	0.85	0.63	1,042
3,000	0.40	109	43.6	0.46	113	51.98	8.38	7.123	5.271	3,017
5,000	0.47	165	77.55	0.59	174	100.34	22.79	19.322	14.34	4,975

W, W' = พลังงานที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศและในน้ำ = (V'A' - VA)

A, A' = กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศและในน้ำ

V, V' = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่เบลนเดอร์หมุนในอากาศและในน้ำ

ΔP = พลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำ = (W' - W)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การควบคุมอุปกรณ์จาร์เทสท์

จาร์เทสท์ เป็นอุปกรณ์กวนช้า ที่มีช่วงการทำงานต่อเนื่องจากการกวนเร็ว ความเร็วรอบของจาร์เทสท์จะกำหนดไว้ที่ 20 รอบ/นาที

สำหรับจาร์เทสท์ที่ทำหน้าที่การกวนเร็วนั้น ความเร็วรอบจะถูกกำหนดไว้ที่ 100 รอบ/นาที

4.5 การดำเนินการทดลอง

การทดลองในการวิจัยนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการทดลอง ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เริ่มด้วยการทดลองในขั้นเตรียมการ ซึ่งได้กล่าวถึงไปแล้ว ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง ดังมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การทำจาร์เทสท์

จาร์เทสท์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการ โคแอคกูเลชั่นอย่างหนึ่ง ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. กำหนดความขุ่น

2. ตวงน้ำดิบ 1 ลิตร ลงในบิกเกอร์ (6 ใบ)

3. ทำการปรับพีเอช ตามกำหนด หลังจากนั้นจึงทำการปรับความเร็วรอบของการหมุนให้ได้ 100 รอบ/นาที

4. เติมปริมาณสารส้มในปริมาณที่กำหนด หลังสิ้นสุดการเติมสารส้มนาน 2 นาที ให้ปรับความเร็วรอบลงเหลือ 20 รอบ/นาที นาน 20 นาที

5. ปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำไปวัดความขุ่น

6. บันทึกผลที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

7. สำหรับที่พีเอช และปริมาณสารส้มเปลี่ยนไป

การทดลองก็ยังคงอยู่ในลักษณะเดียวกัน โดยเริ่มลำดับจากข้อ 1 - 7

4.5.2 การทดลองโดยใช้เบล็นเดอร์

การทดลองโดยการใช้อุปกรณ์เบล็นเดอร์ในการควบคุมกระบวนการโคแอคกูเลชั่น มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดความขุ่นและความเร็วแกรเดียนท์

2. ตวงน้ำดิบ 0.8 ลิตร ลงในอุปกรณ์เบล็นเดอร์

3. ทำการปรับพีเอช ของน้ำขุ่นให้มีค่าตามกำหนด ในระหว่างที่ปรับค่าพีเอชนี้ การควบคุมให้การหมุนของเบลนเดอร์ช้าลง ทั้งนี้ เพื่อให้การปรับพีเอช เป็นไปอย่างทั่วถึง

4. ปรับระดับความเร็วแกรเดียนท์ตามกำหนด หลังจากนั้นจึงเติมสารส้มทันที โดยมีระยะเวลาดักน้ำนาน 1 นาที

5. หลังจากนั้นน้ำดิบในหัวข้อ 4 จะถูกนำไปกวนช้านาน 10 นาที

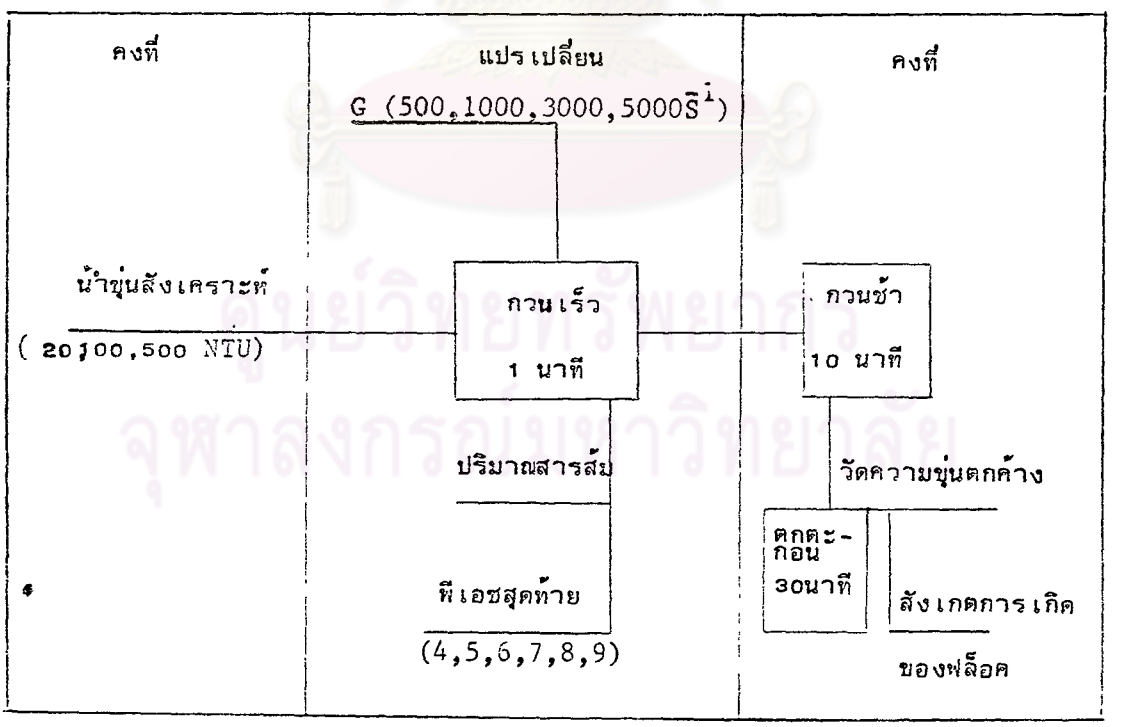
6. ปล่อยไว้ให้ตกตะกอนนาน 30 นาที แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

7. นำตัวอย่างมาวัดความขุ่น

8. บันทึกผลที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง

9. สำหรับการทดลองที่มีการเปลี่ยนค่าพีเอช, ปริมาณสารส้ม ระดับความเร็วแกรเดียนท์ และระดับความขุ่นแล้ว การทดลองก็ยังคงอยู่ในลักษณะเดียวกันนี้ โดยเริ่มจากหัวข้อ 1 - 9

สำหรับการทดลองในหัวข้อ 1 - 9 สามารถแสดงไว้ในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงแผนการทดลอง

4.5.3 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะอยู่ในรูปของความขุ่นตกค้าง

ความขุ่น ทำการวัดโดยใช้เครื่องวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100 A

พีเอช ทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic 2S-33

พารามิเตอร์อื่น ๆ ได้ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Method (21)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย