

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

แผนการวิจัยได้รับการกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย โดยแบ่งออกเป็นงานจำแนกพารามิเตอร์ในการทดลอง และลำดับของการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

โดยที่การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงการใช้ตะกอนหรือการเพิ่มปริมาณตะกอนในชั้นสมานตะกอนของกระบวนการรวมตะกอน ดังนั้นจึงต้องควบคุมการทำงานในส่วนอื่นของกระบวนการให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง ในขณะที่แปรค่าพารามิเตอร์ที่เป็นเป้าหมายของการศึกษาคือพารามิเตอร์ของถังสมานตะกอนได้แก่ G และ HRT ตลอดจนพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมปริมาณตะกอนคือ SRT ทั้งนี้เพื่อให้สามารถศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ตะกอนในถังสมานตะกอนได้โดยตรง

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีค่าคงที่ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1. น้ำขุน้ำสังเคราะห์ ได้แก่ ความขุ่น พีเอช และสภาพทางไอออน (ionic environment)
2. สารเคมี ได้แก่ ปริมาณ และความเข้มข้นของสารละลาย
3. ถังผสมเร็ว ได้แก่ G และ t
4. ถังตกตะกอน ได้แก่ อัตราน้ำล้น (overflow rate) และเวลากักน้ำ
5. ระบบหมุนเวียนตะกอน ได้แก่ อัตราส่วนหมุนเวียน (recycle ratio)

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีการแปรค่าเพื่อทำการศึกษา ได้แก่ พารามิเตอร์ของถังสมานตะกอนคือ G HRT และพารามิเตอร์ควบคุมปริมาณตะกอนคือ SRT ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่แปรค่าและค่าแปร เมื่อไม่มีการใช้ตะกอน

| เมื่อไม่มีการใช้ตะกอน | G (วินาที) ⁻¹ | HRT (นาที) |
|----------------------------------|--------------------------|------------------|
| เมื่อใช้สารส้ม | 15 30 45 60 | 5 10 15 20 30 40 |
| เมื่อใช้สารส้มกับ superfloc A115 | 15 30 45 60 90 | 5 10 15 20 30 40 |

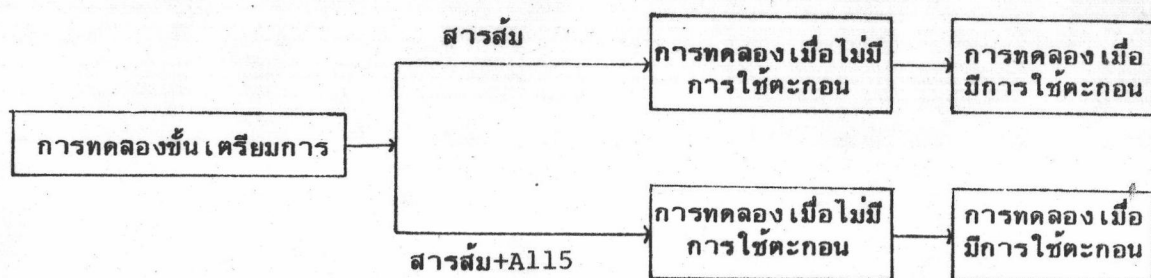
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่แปรค่าและค่าแปร เมื่อมีการใช้ตะกอน

| เมื่อมีการใช้ตะกอน* | G (วินาที) ⁻¹ | SRT (นาที) |
|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| เมื่อใช้สารส้ม | 15 30 45 60 | 10 20 30 50 |
| เมื่อใช้สารส้มกับ superfloc A115 | 15 30 45 60 90 | 10 20 30 50 70 |

* ภายใต้อัตรา HRT ที่คงที่

4.1.2 ลำดับของการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็นสามขั้นตอน ได้แก่ การทดลองขั้นเตรียมการ การทดลองเมื่อไม่มีการใช้ตะกอนและการทดลองเมื่อมีการใช้ตะกอน ทั้งนี้ การทดลองดังกล่าวจะแบ่งเป็นสองกรณี กรณีแรกเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน กรณีที่สอง เมื่อใช้สารส้มและสารโพลีเมอร์ประจุลบคือ superfloc A115 เป็นสารรวมตะกอนและสารช่วยรวมตะกอนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลำดับการทดลอง

การทดลองขั้นเตรียมการ ได้แก่ การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยอนุภาคดินเหนียว (clay particle) การทดลองหาช่วงพีเอชที่อนุภาคความขุ่นมีสถานะคงตัวสูง การวิเคราะห์สภาพทางไอออนของน้ำขุ่นสังเคราะห์ การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของสารรวมตะกอนและสารช่วยรวมตะกอน การทดลองเพื่อควบคุมและวิเคราะห์ค่า G ของถังผสมเร็วและถังสมานตะกอน ตลอดจนการทดลองควบคุมกระบวนการต้นแบบ

การทดลองเมื่อไม่มีการใช้ตะกอน คือการทดลองในกระบวนการต้นแบบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการรวมตะกอนกับค่า G และ HRT ของถังสมานตะกอน ทั้งนี้ดำเนินการทดลองโดยแปรค่า G และแปรค่า HRT ในแต่ละค่า G

การทดลองเมื่อมีการใช้ตะกอน ได้แก่ การทดลองในกระบวนการต้นแบบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการรวมตะกอน ปริมาณตะกอนใน ทอม SRT และค่า G ของถังสมานตะกอน ทั้งนี้ดำเนินการทดลองโดยแปรค่า G และแปรค่า SRT ในแต่ละค่า G ภายใต้ HRT ที่คงที่ นอกจากนี้ได้แก่ การหาประสิทธิภาพของการตกตะกอนโดยวิธีการทดลองแบบแบทช์

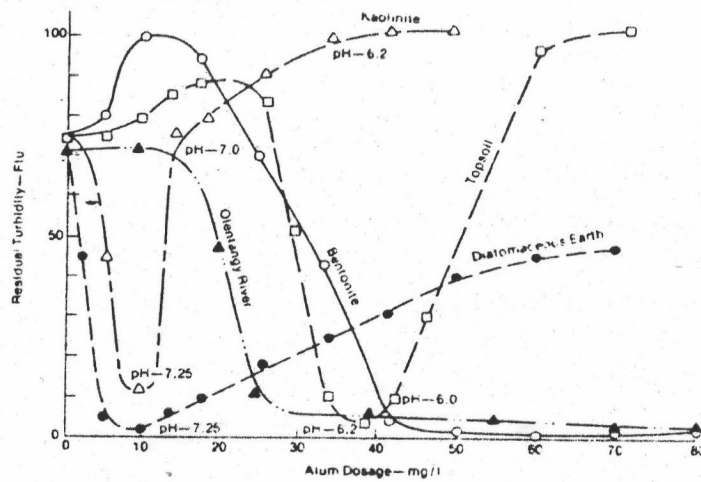
4.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

วัตถุประสงค์ในการวิจัยได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี กระบวนการต้นแบบ และอุปกรณ์วิเคราะห์สมบัติของน้ำ ในที่นี้จะกล่าวรวมถึงการทดลองขั้นเตรียมการสำหรับน้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี และกระบวนการต้นแบบ เพื่อแสดงถึงค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองต่อไป

4.2.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

อนุภาคดินเหนียวเช่น คาโอลินท์(kaolinite) เบ็นโทไนท์(bentonite) และเวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) เป็นสาเหตุสำคัญของความขุ่นในน้ำผิวดินที่นำมาผลิตเป็นน้ำประปา^(19,61,62) ชนิดของอนุภาคดินเหนียวมีผลกระทบต่อปริมาณสารรวมตะกอนที่ใช้ และมีช่วงประสิทธิผล (effective range) ในการกำจัดโดยกระบวนการรวมตะกอนต่างกัน กล่าวคือ อนุภาคดินเหนียวที่มีค่า BEC (base exchange capacity) น้อย เช่น คาโอลินท์ จะมีความต้องการปริมาณสารรวมตะกอนและมีช่วงประสิทธิผลในการกำจัดน้อยกว่าอนุภาคดินเหนียวที่มีค่า BEC มากเช่นเบ็นโทไนท์⁽¹⁹⁾ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 โดยทั่วไปในการ

ทดลองเกี่ยวกับการกำจัดความขุ่น มักใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยคาโอลิไนท์ อย่างไรก็ตาม Kawamura (19) ได้เสนอว่า การใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลิไนท์เพื่อวิจัยกระบวนการรวมตะกอน อาจให้ผลที่ไม่แสดงถึงพฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้นในการทำลายสภาวะคงตัวของอนุภาคความขุ่นในน้ำผิวดิน ทั้งนี้เนื่องจากคาโอลิไนท์มีค่า BEC และช่วงประสิทธิผลในการกำจัดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคดินเหนียวอื่น ๆ ในน้ำผิวดิน



รูปที่ 4.2 อิทธิพลที่ชนิดของอนุภาคดินเหนียวมีต่อกระบวนการรวมตะกอน

ตารางที่ 4.3 ค่า BEC ของอนุภาคดินเหนียวในน้ำผิวดิน

Base Exchange Capacity of Clays

| Type of Clay | Kaolinite | Top Soil | Fuller's Earth | Bentonite | Vermiculite |
|------------------------------|-----------|----------|----------------|-----------|-------------|
| Base exchange capacity-meq/l | 7-11 | 14-20 | 24-28 | 70-120 | 70-150 |

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์เป็นไทไนท์ซึ่งมีค่าความขุ่น 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง โดยมีวิธีการเตรียม พีเอช สภาพทางไอออนที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. วิธีการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

เพื่อให้ได้อนุภาคความขุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วงขนาดของคอลลอยด์ คือ 0.001 ถึง 1 ไมครอน⁽¹⁸⁾ จึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคเป็นไทไนท์ตกตะกอนในน้ำนิ่ง ตามเวลา และความลึกที่คำนวณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (discrete settling)⁽⁶⁵⁾ ดังนี้

$$V_s = \frac{(\rho_s - \rho) d^2}{18 \mu g} \quad (4-1)$$

โดยที่ V_s คือความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ρ_s คือความหนาแน่นของอนุภาค ρ คือความหนาแน่นของน้ำ d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และ μ คือความหนืดพลศาสตร์ของน้ำ จากการคำนวณโดยสมการ (4-1) ดังแสดงในรายการคำนวณ ผ.1 ปรากฏว่า อนุภาคเป็นไทไนท์ที่มีขนาด 1 ไมครอนจะมีความเร็วในการตกตะกอน 0.35 ซม./ชั่วโมง ดังนั้น ถ้าปล่อยให้อนุภาคเป็นไทไนท์ตกตะกอนในน้ำที่มีความลึกจากกันถึง 17 ซม. เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อนุภาคที่ตกตะกอนที่กันถึงจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่า 1 ไมครอน ในขณะที่อนุภาคที่ยังลอยอยู่ในน้ำจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน หลักการดังกล่าวนี้นำมาใช้เตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ก. เติมน้ำเป็นไทไนท์ 1,500 กรัม ลงในถังขนาด 65x65x65 ซม. ซึ่งบรรจุน้ำประปาประมาณ 115 ลิตร และมีความลึกจากผิวน้ำถึงท่อระบายน้ำส่วนล่างของถัง 17 ซม.
- ข. กวนน้ำให้เป็นไทไนท์กระจายทั่วถัง ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- ค. เปิดท่อระบายน้ำ ระบายน้ำขุ่นเป็นไทไนท์เข้มข้นออกจากถังจนถึงท่อระบายน้ำจึงหยุด น้ำขุ่นเป็นไทไนท์เข้มข้นจะประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน มีค่าความขุ่นประมาณ 450 ถึง 500 NTU และมีปริมาตร 70 ลิตร
- ง. เจือจางน้ำขุ่นเป็นไทไนท์เข้มข้นด้วยน้ำประปา ผสมให้เข้ากันดี วัดค่าความขุ่น ทำเช่นนี้จนได้น้ำขุ่นสังเคราะห์เป็นไทไนท์ที่มีค่าความขุ่น 50 NTU ตามต้องการ

อนึ่ง น้ำขุ่นสีน้ำตาลเป็นไทโท 50 NTU ดังกล่าวนี มีความเข้มข้นของเป็นไทโทในช่วง 94 ถึง 98 ก/ม³ ทั้งนี้จากการตรวจสอบ 6 ครั้งในระหว่างการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

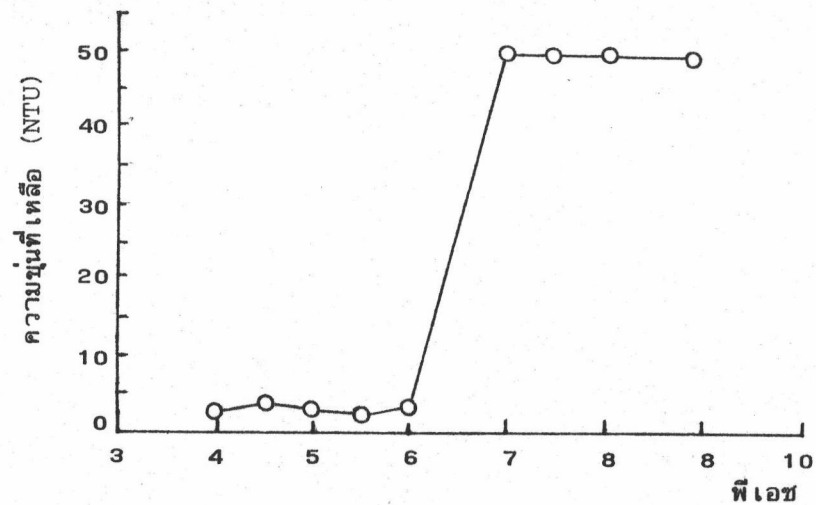
ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของเป็นไทโทในน้ำขุ่นสีน้ำตาล

| การทดลองครั้งที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|----|----|----|----|----|----|
| ความเข้มข้นของเป็นไทโท (ก/ม ³) | 98 | 94 | 96 | 94 | 97 | 98 |

2. พีเอชของน้ำขุ่นสีน้ำตาล

พีเอชของน้ำมีผลกระทบต่อสภาวะคงตัวและไม่คงตัวของอนุภาคความขุ่นหรือคอลลอยด์^(64,65) ดังนั้น เพื่อควบคุมการทำงานของชั้นผสมเร็วให้คงที่และเพื่อให้การกำจัดความขุ่นในการวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการรวมตะกอนอย่างแท้จริง จึงกำหนดให้น้ำขุ่นสีน้ำตาลมีพีเอชคงที่ตลอดทุกการทดลองและมีค่าอยู่ในช่วงที่อนุภาคเป็นไทโทมีสภาพคงตัวสูง การทดลองเพื่อหาค่าคงที่ที่เหมาะสมของพีเอช กระทำดังต่อไปนี้

- ก. ทดลองหาช่วงพีเอชที่อนุภาคเป็นไทโทมีสภาวะคงตัวสูง กระทำโดยเติมน้ำขุ่นสีน้ำตาล 50 NTU ลงในบีกเกอร์ขนาดหนึ่งลิตร จำนวน 10 ใบ ใบละ 1 ลิตร ปรับพีเอชด้วย 0.1 N H₂SO₄ และ 0.1 N NaOH ให้น้ำตัวอย่างมีพีเอชที่แตกต่างกันตั้งแต่ 4 ถึง 9 ปล่อยให้ไว้ 24 ชั่วโมง ดูตัวอย่างน้ำจากทุกบีกเกอร์ด้วยวิธีกาลักน้ำ (siphoning) ที่ความลึก 8 ซม. จากผิวน้ำ นำตัวอย่างน้ำวัดค่าความขุ่น ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อิทธิพลที่พีเอชมีต่อสภาวะคงตัวของอนุภาคเบนโทไนท์

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าตั้งแต่พีเอช 7 ขึ้นไป น้ำขุ่นสังเคราะห์ยังคงมีความขุ่นเท่าเดิมคือ 50 NTU แสดงว่า อนุภาคเบนโทไนท์มีสภาวะคงตัวสูงในช่วงพีเอช 7 ถึง 9 ดังนั้น เมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการรวมตะกอนที่ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนคือ 6 ถึง 7.8⁽¹⁹⁾ ก็สามารถประเมินได้ว่า น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยควรมีพีเอชอยู่ระหว่าง 7 ถึง 7.8

- ข. ทดลองหาค่าพีเอชของน้ำขุ่นสังเคราะห์ โดยวัดค่าพีเอชทันทีหลังจากการเจือจางน้ำขุ่นเบนโทไนท์เข้มข้นด้วยน้ำประปาจนได้น้ำขุ่นสังเคราะห์ 50 NTU ปรากฏว่าน้ำขุ่นสังเคราะห์ในเวลาดังกล่าวมีค่าพีเอช 6.8 ซึ่งต่ำกว่าช่วงพีเอชที่ต้องการเล็กน้อย ปล่อยน้ำขุ่นสังเคราะห์ทิ้งไว้ และวัดค่าพีเอชที่ 12 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังการผสมตามลำดับ ปรากฏว่าพีเอชในสองกรณีหลังมีค่าเท่ากันคือ 7.6 ค่าของพีเอชที่สูงขึ้นดังกล่าวนี้อยู่ในช่วงพีเอช 7 ถึง 7.8 ตามต้องการ โดยมีต้องใช้สารเคมีปรับพีเอชแต่อย่างใด

ดังนั้น จึงกำหนดให้น้ำขุ่นสังเคราะห์มีค่าพีเอชคงที่ที่ 7.6 โดยปล่อยน้ำขุ่นสังเคราะห์ภายหลังการผสมระหว่างน้ำขุ่นเบนโทไนท์เข้มข้นกับน้ำประปาทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาใช้ในการทดลอง

3. สภาพทางไอออนของน้ำขุนสังเคราะห์

สภาพทางไอออนในน้ำมีผลกระทบต่อกลไกทำลายสภาวะคงตัวของอนุภาคความขุ่นในชั้นผสมเร็วของกระบวนการรวมตะกอน สภาพดังกล่าวได้แก่ชนิดและความเข้มข้นของไอออนโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ Cl^- SO_4^{2-} และ HCO_3^- (66-68) ดังนั้นเพื่อควบคุมการทำงานของชั้นผสมเร็วให้คงที่ตลอดการทดลอง จึงทำการตรวจสอบความเข้มข้นของไอออนดังกล่าวในน้ำขุนสังเคราะห์ ใช้ค่าที่ตรวจสอบได้เป็นเกณฑ์ควบคุม จากนั้นจึงทำการตรวจสอบในระหว่างทำการทดลองเป็นครั้งคราว เพื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ควบคุมดังกล่าว

การตรวจสอบเพื่อหาเกณฑ์ควบคุมกระทำโดยวิเคราะห์น้ำขุนสังเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Method (69) โดยทำการวิเคราะห์น้ำขุนสังเคราะห์ที่ได้จากการผสมหรือเจือจางด้วยน้ำประปาในเวลาที่แตกต่างกันคือ อาทิตย์ละหนึ่งครั้ง เป็นจำนวนสี่ครั้ง ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าความเข้มข้นของไอออนดังกล่าวมีความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสมบัติของน้ำประปาที่เปลี่ยนไปตามเวลามากน้อยเพียงใด ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของ Cl^- SO_4^{2-} และ HCO_3^- ในน้ำขุนสังเคราะห์

| การวิเคราะห์ครั้งที่ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------|------|------|----|
| Cl^- (ก/ม ³) | 15 | 22 | 26 | 18 |
| SO_4^{2-} (ก/ม ³) | 23.5 | 18.5 | 21.5 | 26 |
| HCO_3^- (ก/ม ³) | 68.5 | 70 | 62.5 | 72 |

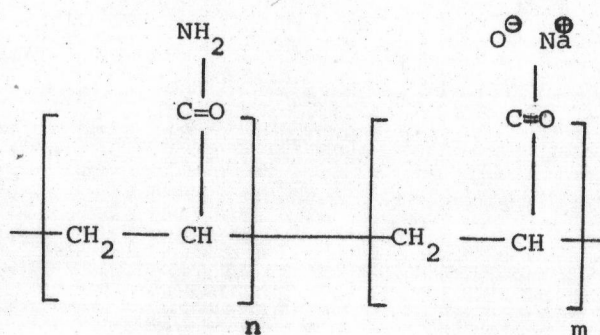
จะเห็นว่า Cl^- มีความเข้มข้น 15 ถึง 26 มก/ล SO_4^{2-} มีความเข้มข้น 18.5 ถึง 26 มก/ล และ HCO_3^- มีความเข้มข้น 62.5 ถึง 72 มก/ล ช่วงความเข้มข้นดังกล่าวนี้แสดงว่า สภาพทางไอออนที่มีอิทธิพลต่อชั้นผสมเร็วมีความเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และมีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่คาดว่า不会有ผลกระทบต่อกลไกทำลายสภาวะคงตัวในชั้นผสมเร็วแต่อย่างใด (66-68) ดังนั้นจะถือช่วงความเข้มข้นดังกล่าวนี้เป็นเกณฑ์ควบคุมที่อนุโลมได้ ถ้าผลการตรวจสอบระหว่างการทดลองไม่สูงกว่าช่วงควบคุมมาก เกินไปจนผิดปกติ

4.2.2 สารเคมี

การใช้สารเคมีในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นสองกรณี กรณีแรกใช้สารส้ม เป็นสารรวมตะกอน กรณีที่สองใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนและสารโพลีเมอร์ประจุลบ เป็นสารช่วยรวมตะกอน

สารส้มที่ใช้เป็นสารเคมีระดับห้องปฏิบัติการทดลอง (laboratory grade) ที่ผลิตโดย May & Bader Ltd. เป็นสารส้มชนิดผง มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ และมีส่วนประกอบที่เป็น Al 8.8-9.3% Cl ไม่เกิน 0.02% Fe ไม่เกิน 0.02% และ Pb ไม่เกิน 0.005%

สารโพลีเมอร์ประจุลบที่ใช้คือ Superfloc All5 ผลิตโดย American Cyanamid Company เป็นสารเคมีระดับใช้ทั่วไปหรือระดับพาณิชย์ (commercial grade) ชนิดเกร็ด (granule form) Superfloc All5 มีสูตรทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 4.4 ประกอบด้วย acrylamide group และ sodium acrylate group ซึ่งแตกตัวให้ประจุลบ 11.5% โดยประมาณ Superfloc All5 ได้รับการรับรองจาก U.S. Environmental Protection Agency, the United Kingdom Committee on New Chemicals for Water Treatment และ the Netherlands Kenringsinstitut Voor Waterleidingartikelen ให้ใช้เป็นสารช่วยรวมตะกอนได้ ทั้งนี้โดยมีปริมาณไม่เกิน 1 ก/ม³



รูปที่ 4.4 สูตรทางเคมีของ Superfloc All5

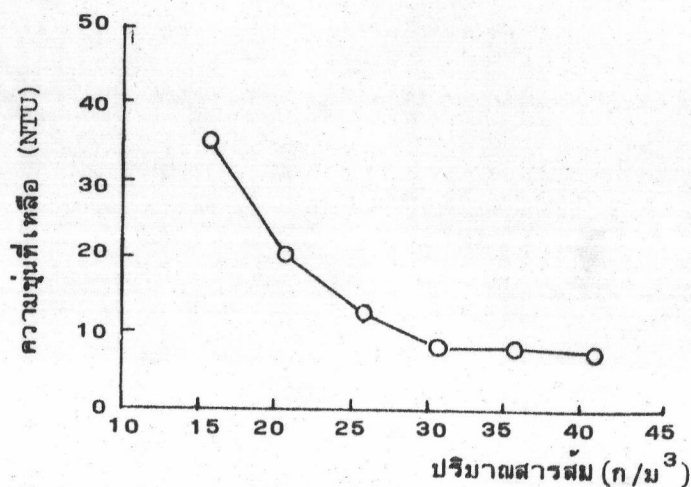
ในการวิจัยครั้งนี้ จะควบคุมปริมาณสารเคมี ตลอดจนความเข้มข้นของสารละลายเคมีที่ใช้ในกระบวนการค้นแบบ ให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณสารเคมี

ทำการทดลองแบบจาร์เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการต้นแบบ ในกรณีที่ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนเพียงอย่างเดียว ดังนี้

- ก. เติมน้ำขุ่นส่งเคราะห์ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร
- ข. เติมสารละลายสารส้ม 0.1 % ลงในน้ำขุ่นส่งเคราะห์แต่ละบีกเกอร์ ให้มีปริมาณสารส้ม 15 20 25 30 35 และ 40 g/m^3
- ค. กวนเร็วด้วยความเร็วรอบของใบพัด 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจึงกวนช้าด้วยความเร็วรอบใบพัด 30 รอบ/นาทีเป็นเวลา 20 นาที
- ง. ปล่องให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที ดูตัวอย่างน้ำด้วยวิธีกาลักน้ำจากระดับความลึก 8 ซม. จากผิวน้ำ
- จ. นำตัวอย่างน้ำไปวัดค่าความขุ่น

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าที่ปริมาณสารส้ม 30 ถึง 40 g/m^3 ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น จึงเลือกปริมาณสารส้ม 30 g/m^3 เป็นปริมาณที่จะใช้ในกระบวนการต้นแบบต่อไป

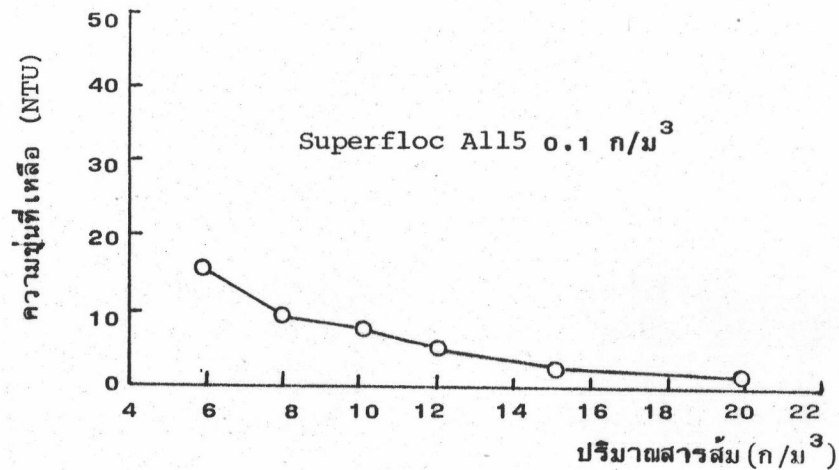


รูปที่ 4.5 ผลการทดลองแบบจาร์เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

ต่อไป ทำการทดลองแบบจาร์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มและ Superfloc All5 ที่ใช้เป็นสารรวมตะกอนและสารช่วยรวมตะกอนตามลำดับ โดยพิจารณาว่า ปริมาณดังกล่าวควรเป็นปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นใกล้เคียงกับที่ได้จากการใช้ สารส้ม 30 ก/ม³ เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการใช้ตะกอนใน กระบวนการต้นแบบ เมื่อใช้สารเคมีในสองกรณีดังกล่าวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การทดลองแบบจาร์เพื่อ หาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มและ Superfloc All5 กระทำโดยใช้เวลาและความเร็วรอบ ของใบพัดในการกวนเร็วและกวนช้า ตลอดจนอัตราการนำลิ้นของการตกตะกอน เช่นเดียวกับที่ใช้ใน การทดลองแบบจาร์สำหรับสารส้มดังกล่าวข้างต้น และมีขั้นตอนในการทดลอง ดังต่อไปนี้

- ก. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์ 1 ลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร กวน ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที ในขณะที่เดียวกันเติมสาร ละลายสารส้ม 0.1 % ให้น้ำขุ่นสังเคราะห์มีปริมาณสารส้มเพิ่ม ขึ้นครั้งละ 1 ก/ม³ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนสังเกตเห็นอนุภาค ตะกอนจึงหยุด ผลปรากฏว่าอนุภาคตะกอนเริ่มเกิดขึ้นที่ปริมาณ สารส้ม 4 ก/ม³
- ข. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร เติมสารละลายสารส้ม 0.1% ให้มีปริมาณสารส้ม ในน้ำขุ่นสังเคราะห์ทุกบีกเกอร์ 4 ก/ม³ เริ่มกวนเร็ว
- ค. เมื่อกวนเร็วครบ 2 นาที เติมสารละลาย Superfloc All5 0.001 % ให้ได้ปริมาณ Superfloc All5 ในแต่ละใบ 0.01 0.05 0.1 0.15 0.2 และ 0.3 ก/ม³ เริ่มกวนช้า และปล่อยให้ ตกตะกอนตามลำดับ จากนั้นจึงดูดตัวอย่างน้ำนำไปวัดค่าความ ขุ่น ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุดที่ ปริมาณ Superfloc All5 0.1 ก/ม³
- ง. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร จากนั้นจึงเติมสารละลายสารส้ม 0.1% ให้ได้ ปริมาณสารส้มในแต่ละบีกเกอร์ 6 8 10 12 15 และ 20 ก/ม³ เริ่มกวนเร็ว

จ. เมื่อกวนเร็วครบ 2 นาที เติมสารละลาย Superfloc All5 0.001 % ให้ได้ปริมาณ 0.1 ก/ม³ ทุก ๆ 15 วินาที เริ่มกวนช้า และปล่อยให้ตกตะกอนตามลำดับ จากนั้นจึงดูคน้ำตัวอย่างไปวัดค่าความขุ่น ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองแบบจาร์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มและ Superfloc All5

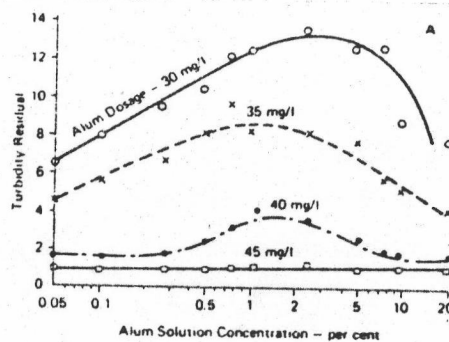
จากรูป 4.6 จะเห็นว่าเมื่อใช้ Superfloc All5 0.1 ก/ม³ ซึ่งเป็นปริมาณที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงสุดร่วมกับสารส้มที่ปริมาณต่างๆ ปรากฏว่าที่ปริมาณสารส้ม 8 และ 10 ก/ม³ จะให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับที่ได้จากการใช้สารส้ม 30 ก/ม³ เพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ เมื่อใช้สารส้มและ Superfloc All5 ร่วมกันในกระบวนการต้นแบบ จะใช้ปริมาณสารส้ม 8 ก/ม³ และ Superfloc All5 0.1 ก/ม³

2. ความเข้มข้นของสารละลายเคมี

ความเข้มข้นของสารละลายเคมีที่ใช้ในกระบวนการรวมตะกอนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ (4, 23) ดังตัวอย่างการทดลองของ Kawamura (23) ที่แสดงในรูปที่ 4.7 ดังนั้นเพื่อให้สามารถศึกษาถึงผลการใช้ตะกอนในกระบวนการต้นแบบได้โดยตรง จึงกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายเคมีที่ใช้มีค่าคงที่ตลอดทุกการทดลอง ดังต่อไปนี้

สารละลายสารส้มมีความเข้มข้น 0.1% ได้จากการผสมน้ำกลั่นกับสารละลายสารส้มสำรอง (stock alum solution) ที่มีความเข้มข้น 1 %

สารละลาย Superfloc Al15 มีความเข้มข้น 0.001 % ได้จากการผสมน้ำกลั่นกับสารละลาย Superfloc Al15 สำรองที่มีความเข้มข้น 0.05% อนึ่งก่อนที่จะป้อนสารละลาย Superfloc Al15 0.001 % เข้าสู่กระบวนการต้นแบบ จะทำการบ่ม (aging) สารละลายก่อนโดยกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (electrical magnetic stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายเคมีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการรวมตะกอน

4.2.3 กระบวนการต้นแบบ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระบวนการต้นแบบ และการควบคุมกระบวนการต้นแบบ มีดังต่อไปนี้

3.2.3.1 ส่วนประกอบของกระบวนการต้นแบบ

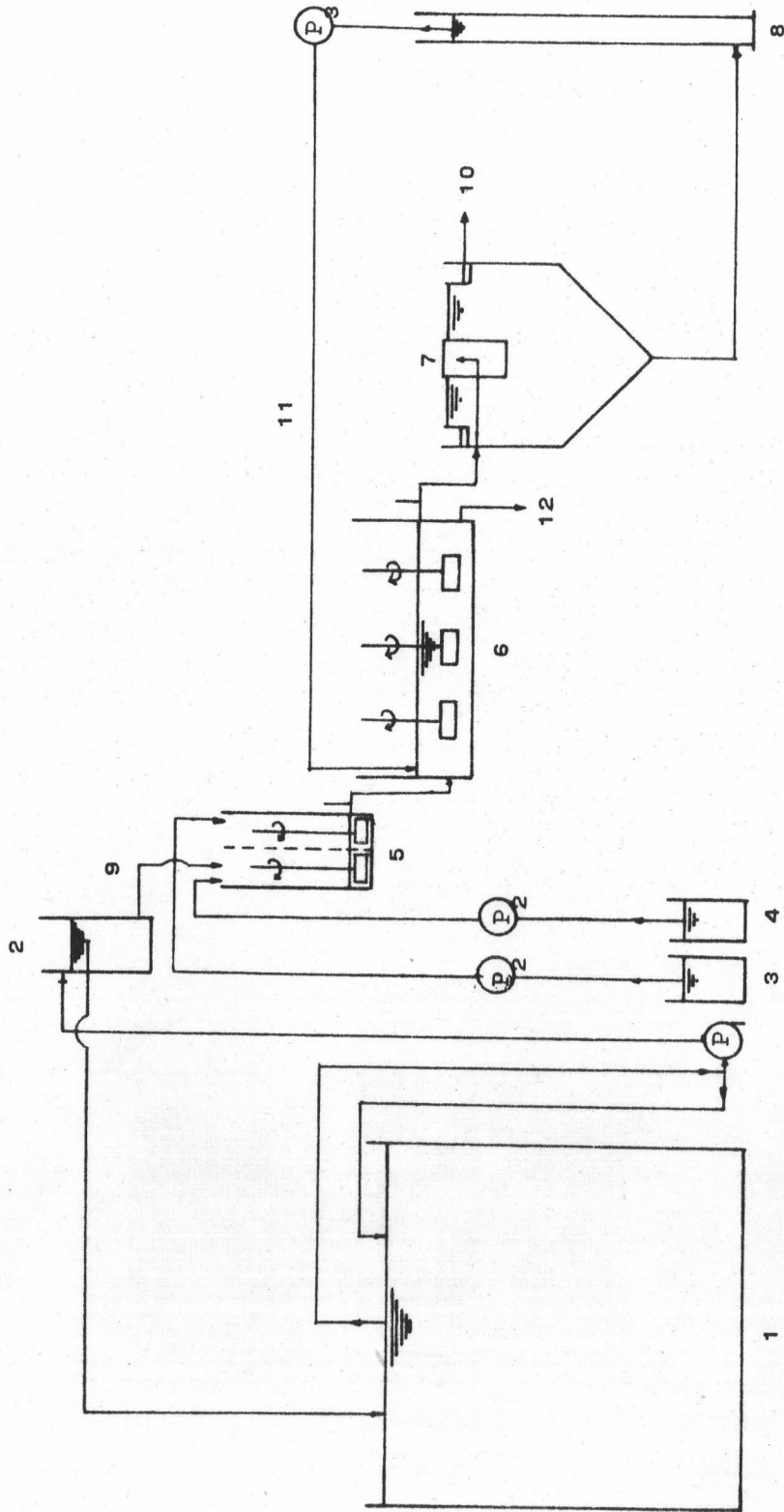
กระบวนการต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง เป็นกระบวนการชนิด - ไหลต่อเนื่อง (continuous flow) ประกอบด้วย ถังผสมเร็ว ถังผสมานตะกอน ถังตกตะกอน ตลอดจนระบบป้อนน้ำพุ่งสังเคราะห์ ระบบป้อนสารเคมี และระบบหมุนเวียนตะกอน รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9

ถังผสมเร็วสร้างด้วยแผ่นพีวีซีใสมีปริมาตร 8 ลิตร ภายในถังแบ่งออกเป็นสองส่วน แต่ละส่วนมีปริมาตรเท่ากัน โดยใช้แผ่นกั้นซึ่งมีช่องระบายน้ำเป็นระยะ

ตามความสูง น้ำขุ่นที่เข้าสู่ถังผสมเร็วในส่วนแรกจะไหลผ่านช่องดังกล่าวเข้าสู่ส่วนที่สอง จากนั้นจึงไหลออกจากถังผสมเร็วทางช่องระบายน้ำของส่วนที่สอง เข้าสู่ถังสมานตะกอนที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ช่องระบายน้ำของส่วนที่สองนี้มีเป็นระยะตามความสูง สามารถเลือกใช้ช่องใดก็ได้โดยมีช่องอื่นที่อยู่ต่ำกว่า ทั้งนี้แต่ละช่องระบายน้ำจะให้ปริมาณน้ำในถังผสมเร็วต่างกัน 1 ลิตร เริ่มจากช่องต่ำสุดให้ปริมาณน้ำ 1 ลิตร ไปจนถึงช่องสูงสุดด้านบนของถังคือช่องที่เจ็ดจะให้ปริมาณน้ำ 7 ลิตร อนึ่ง น้ำที่ไหลจากถังผสมเร็วจะไหลทางท่ออย่างสม่ำเสมอ เข้ากับช่องระบายน้ำที่ได้รับการเลือกใช้เข้าสู่ช่องรับน้ำเข้าของถังสมานตะกอน โดยการไหลเนื่องจากความโน้มถ่วง (gravity flow)

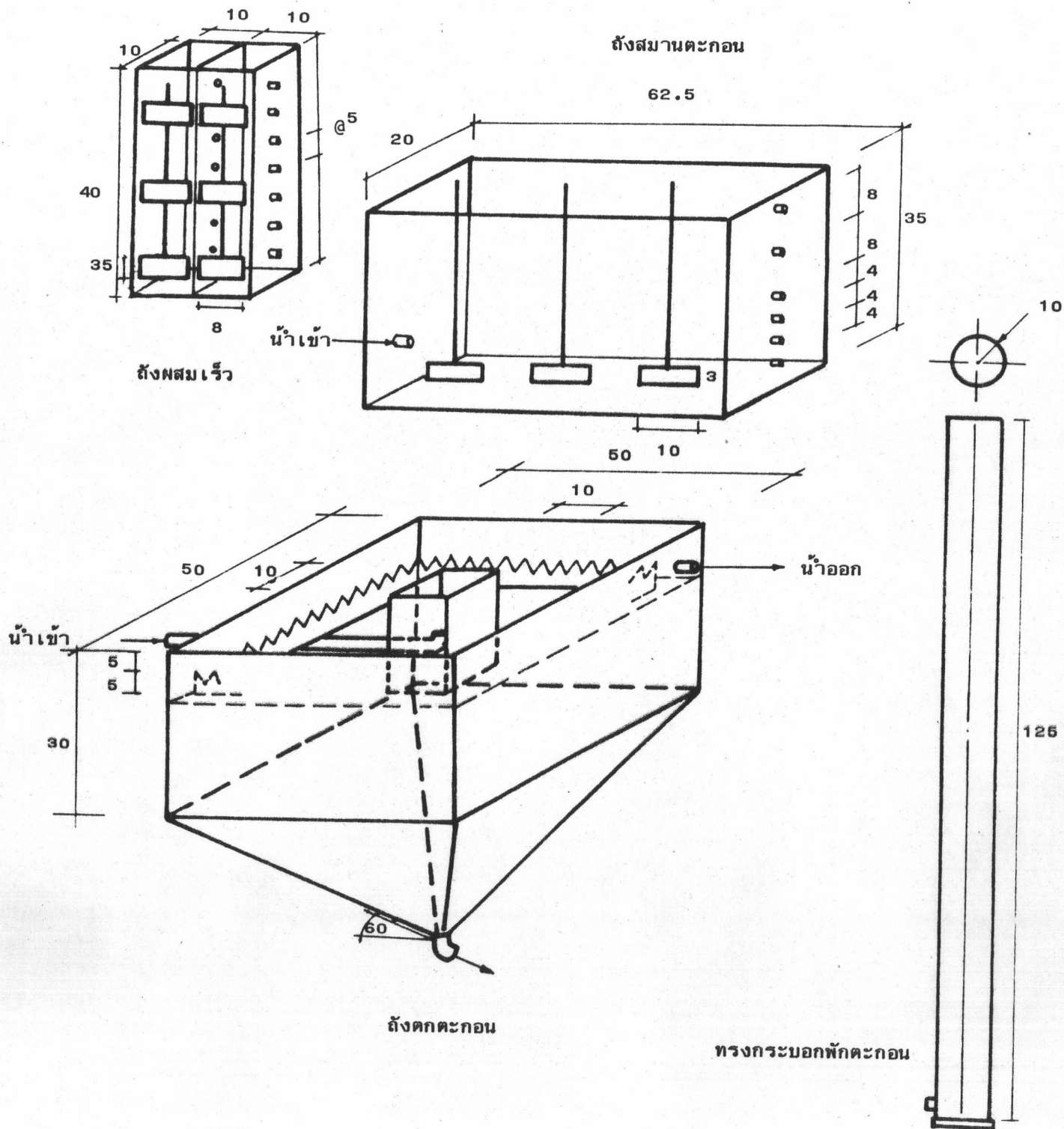
ถังสมานตะกอนสร้างด้วยแผ่นพีวีซีใสมีปริมาตร 43.75 ลิตร ประกอบด้วยช่องรับน้ำเข้าจากถังผสมเร็วและช่องระบายน้ำออกไปยังถังตกตะกอน ช่องระบายน้ำดังกล่าวนี้จะให้ปริมาณน้ำในถังสมานตะกอนแตกต่างกันไปจาก 5 ลิตรในช่องแรก จนถึง 40 ลิตรในช่องสูงสุดด้านบนของถังคือช่องที่หก น้ำจะไหลจากถังสมานตะกอนเข้าสู่ถังตกตะกอนโดยการไหลเนื่องจากความโน้มถ่วง อนึ่ง ได้ช่องระบายน้ำออกช่องแรก จะมีช่องระบายน้ำตะกอนออกจากถังสมานตะกอน ซึ่งควบคุมอัตราการระบายได้โดยใช้วาล์ว

อุปกรณ์ที่สำคัญของถังผสมเร็วและถังสมานตะกอนคือ เครื่องมือกลที่ใช้กวนน้ำแบบใบพาย ชุดใบพายประกอบด้วยใบพายและก้านใบพายซึ่งยึดติดกับรอกที่ทำหน้าที่รับและส่งกำลัง ถังผสมเร็วประกอบด้วยใบพายหนึ่งชุดในแต่ละส่วนของถัง ใบพายชุดแรกรับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าและส่งกำลังให้ใบพายชุดที่สอง รอกของใบพายทั้งสองชุดดังกล่าวมีขนาดเท่ากันทำให้ใบพายทั้งสองมีความเร็วรอบเท่ากัน ถังสมานตะกอนประกอบด้วยใบพายสามชุด ใบพายชุดแรกใช้รอกสองชั้นโดยชั้นแรกมีขนาดใหญ่กว่ารอกตัวสุดท้ายของถังผสมเร็ว ทั้งนี้เพื่อลดความเร็วรอบของใบพายในถังสมานตะกอนให้น้อยลง รอกอีกชั้นหนึ่งของใบพายชุดแรกทำหน้าที่ส่งกำลังไปยังรอกที่มีขนาดเดียวกันของใบพายชุดที่สองและสาม ทำให้ใบพายทั้งสามใบของถังสมานตะกอนมีความเร็วรอบเท่ากัน ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนความเร็วรอบของใบพายในถังสมานตะกอน สามารถกระทำได้โดยเปลี่ยนขนาดรอกชั้นแรกของใบพายชุดแรกในถังสมานตะกอน อนึ่ง เพื่อทำการตรวจสอบสถานะการกวนน้ำในถังสมานตะกอน ได้ทำการทดสอบหาความเข้มข้นของตะกอนภายใต้การกวนน้ำที่ความเร็วรอบ 12 รอบ/นาที ซึ่งให้ค่า $G = 15 \text{ วินาที}^{-1}$ ที่ปริมาณน้ำ 5 ลิตร ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์เก็บจากตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ความ



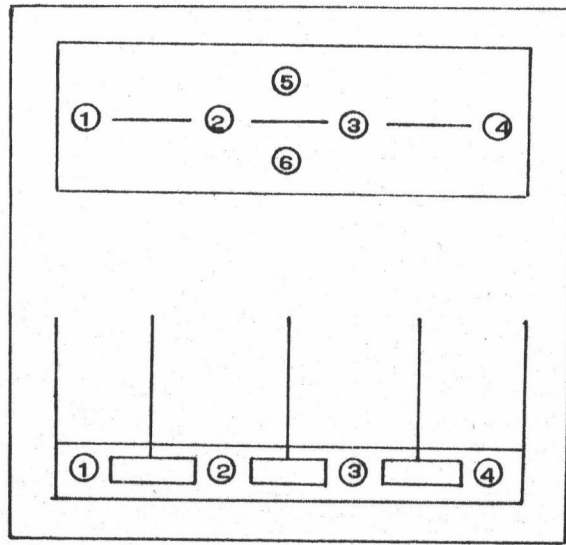
- | | | |
|------------------------------------|--|--|
| 1. ถังเก็บน้ำพูนสูงเคราะห์ | 5. ถังผสมเร็ว | 9. น้ำเข้า |
| 2. ถังระดับน้ำคงที่ | 6. ถังสนามตะกอน | 10. น้ำออก |
| 3. สารละลาย Superfloc All5 | 7. ถังตกตะกอน | 11. ตะกอนพูนเวียน |
| 4. สารละลายสารส้ม | 8. ทรางกระบอกพักตะกอน | 12. ตะกอนระบาย |
| P ₁ เครื่องสูบลมแบบโซ่ง | P ₂ เครื่องสูบลมแบบไดอะแฟรม | P ₃ เครื่องสูบลมแบบเพอร์สตีลติก |

รูปที่ 4.8 กระบวนการต้นแบบ



รูปที่ 4.9 ส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการค้นแบบ (หน่วยเซนติเมตร)

เข้มข้นของตะกอน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งเก็บน้ำเพื่อตรวจสอบสภาวะการกวนในถังผสมตะกอน

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของตะกอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังผสมตะกอน

| ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ความเข้มข้นของตะกอน (ก/ม ³) | 153 | 165 | 158 | 166 | 162 | 160 |

ผลการทดสอบปรากฏว่า ความเข้มข้นของตะกอน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังผสมตะกอนมีค่าใกล้เคียงกันจาก 153 ถึง 166 ก/ม³ ลักษณะเช่นนี้ทำให้ประมาณได้ว่า เกิดการกวนอย่างสมบูรณ์ (complete stirring) ในถังผสมตะกอน และโดยที่ค่า G ที่ใช้ในการตรวจสอบครั้งนี้เป็นค่าต่ำสุดที่จะใช้ในการทดลองต่อไป ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่าถังผสมตะกอนในการวิจัยครั้งนี้เป็นถังปฏิกรณ์ชนิดกวนสมบูรณ์ (complete stirred tank reactor)

ถังตกตะกอนสร้างด้วยแผ่นเหล็กสังกะสี รับปริมาตรน้ำได้ 90 ลิตร ตัวถังเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและก้นถังลาดเอียง 60° เป็นรูปพีระมิดคว่ำ น้ำจากถังผสมตะกอนจะไหลเข้าที่รับน้ำเข้าซึ่งป้อนน้ำเข้าสู่กึ่งกลางถังตกตะกอนทางด้านบนภายในส่วนรับน้ำเข้า (feed well) จากนั้นน้ำจะไหลลงทางด้านล่างของส่วนรับน้ำเข้าและไหลขึ้นส่วนบนของถัง ล้นผ่านเวียร์แบบฟันปลาซึ่งปรับความสูงได้ (adjustable V-notch weir) เข้าสู่ราง-

รับน้ำแล้วไหลออกจากท่อระบายน้ำออกในที่สุด สำหรับกันดังตกตะกอนจะมีท่อระบายตะกอนซึ่งควบคุมด้วยวาล์วใช้ในการระบายตะกอนทั้งหรือระบายตะกอนที่จะหมุนเวียนกลับไปใช้ในถังสมานตะกอนต่อไป

ระบบป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์เริ่มจากน้ำขุ่นสังเคราะห์ ประมาณ 600 ลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในถังขนาด 0.75 x 0.85 x 1.05 เมตร ถูกสูบด้วยเครื่องสูบบวมทอยโข่ง (centrifugal pump) การควบคุมอัตราการสูบน้ำกระทำโดยควบคุมวาล์วของท่อลัดผ่าน (by pass) ที่ติดตั้งเข้ากับทางน้ำเข้า (suction side) ของเครื่องสูบน้ำ อัตราสูบน้ำวัดโดยมาตรวัดน้ำแบบเวนจูรี (venturi meter) ซึ่งประกอบเข้ากับทางน้ำออก (discharge side) ของเครื่องสูบน้ำ อย่างไรก็ตาม ในขณะที่สูบน้ำ ระดับน้ำในถังเก็บจะลดลงเรื่อย ๆ ทำให้อัตราการไม่คงที่ ดังนั้นจึงสูบน้ำขึ้นไปเข้าถังระดับน้ำคงที่ (constant head tank) ซึ่งติดตั้งอยู่เหนือถังผสมเร็ว จากนั้นจึงเปิดวาล์วของถังระดับน้ำคงที่ปล่อยน้ำขุ่นสังเคราะห์ไหลลงสู่ถังผสมเร็วตามอัตราไหลที่ต้องการในที่สุด อนึ่ง น้ำขุ่นสังเคราะห์ในถังเก็บจะถูกทำให้ปั่น่วนตลอดเวลาด้วยน้ำที่ไหลกลับมาทางท่อลัดผ่านและน้ำที่ไหลลงจากถังระดับน้ำคงที่ผ่านท่อที่กลับเข้าสู่ถังเก็บ ทำให้น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่สูบเข้าสู่กระบวนการมีความขุ่น 50 NTU ตลอดเวลา

ระบบป้อนสารเคมีประกอบด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่กวนสารละลายเคมีที่บรรจุในโถแก้วตลอดเวลาที่ทำการป้อนสารเคมี สารเคมีจะถูกป้อนเข้าสู่ถังผสมเร็วด้วยเครื่องสูบบวมไดอะแฟรม (diaphragm pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราสูบได้ ในกรณีที่ใช้สารส้ม เป็นสารรวมตะกอนเพียงอย่างเดียว สารละลายสารส้มจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนแรกของถังผสมเร็ว ในกรณีที่ใช้สารส้มและ superfloc All5 สารละลายสารส้มยังคงถูกป้อนในตำแหน่งเดิม ในขณะที่สารละลาย Superfloc All5 จะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนที่สองของถังผสมเร็ว

ระบบหมุนเวียนตะกอนเริ่มจากตะกอนไหลจากกันดังตกตะกอน - ผ่านทางท่ออย่างเข้าสู่ทรงกระบอกพักตะกอนซึ่งทำด้วยท่อพีวีซีไทร ทรงกระบอกดังกล่าวมีความสูงมากกว่าระดับเวียร์ของถังตกตะกอน ดังนั้นเมื่อเปิดวาล์วกันดังตกตะกอน ระดับน้ำตะกอนในทรงกระบอกจะสูงขึ้นจนเท่าระดับเวียร์ของถังตกตะกอนและรักษาระดับเท่ากันตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้เมื่อสูบน้ำตะกอนออกจากทรงกระบอก ตะกอนจะไหลออกจากกันดังตกตะกอนเข้าสู่ทรงกระบอกด้วยอัตราไหลเท่ากับอัตราสูบน้ำตะกอนจากทรงกระบอกตลอดเวลาเช่นกัน เครื่องสูบน้ำที่ทำหน้าที่สูบน้ำตะกอนจากทรงกระบอกพักตะกอนเข้าสู่ถังสมานตะกอนคือ เครื่องสูบบวมเพอริสตัลติก (peristal-

tic pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราสูบได้

4.2.3.2 การควบคุมกระบวนการต้นแบบ

เมื่อกำหนดอัตราไหลของน้ำพุ่งสังเคราะห์เข้าสู่กระบวนการต้นแบบเท่ากับ 1 ลิ/นาทีตลอดทุกการทดลอง การควบคุมระบบป้อนสารเคมี ดังผสมเร็ว ดังสมานตะกอน ดังตกตะกอน และระบบหมุนเวียนตะกอน กระทำดังต่อไปนี้

1. ระบบป้อนสารเคมี

สารละลายสารส้มมีความเข้มข้น 0.1% สารละลาย Superfloc A115 มีความเข้มข้น 0.001 % ดังนั้น ในกรณีที่ใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวเป็น ปริมาณ 30 ก/ม³ อัตราป้อนสารละลายสารส้มเท่ากับ 30 มล/นาที ในกรณีที่ใช้สารส้ม 8 ก/ม³ ร่วมกับ Superfloc A115 0.1 ก/ม³ อัตราป้อนสารละลายสารส้มเท่ากับ 8 มก/นาที อัตราป้อนสารละลาย Superfloc A115 เท่ากับ 10 มล/นาที

2. ดังผสมเร็ว

พิจารณาเลือกใช้ค่า $t = 2$ นาที⁽²⁸⁾ ดังนั้นที่อัตราไหล 1 ลิ/นาที ปริมาตรน้ำ 2 ลิตรที่ได้จากการใช้ช่องระบายน้ำทั้งสองจากกันดังผสมเร็วจะให้ $t = 2$ นาทีตามต้องการ ที่ปริมาตรน้ำ 2 ลิตรและความเร็วรอบใบพาย 104 รอบ/นาทีจะได้ค่า G ประมาณ 310 วินาที⁻¹ ดังแสดงในรายการคำนวณที่ ผ.2 ค่า t และ G ดังกล่าวที่ปริมาตรสารส้ม 30 ก/ม³ จะให้ค่าของเทอม $Gt_{opt} C^{1.46}$ ประมาณ 5.9×10^6 ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์ควบคุมที่เหมาะสม⁽²⁴⁾ คือ 5.9×10^6 ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จะควบคุมดังผสมเร็วให้มีค่า $t = 2$ นาที และ $G = 310$ วินาที⁻¹ คงที่ตลอดทุกการทดลอง

3. ดังสมานตะกอน

การแปรค่าพารามิเตอร์ในดังสมานตะกอนแบ่งเป็นสอง - กรณี กรณีแรกเมื่อไม่มีการใช้ตะกอน แปรค่า G และ HRT กรณีที่สองเมื่อมีการใช้ตะกอน แปรค่า G และ SRT ภายใต้ HRT ที่คงที่ การควบคุม G HRT และ SRT กระทำดังต่อไปนี้

ค่าแปรของ HRT คือ 5 10 15 20 30 และ 40 นาที ดังนั้นที่อัตราไหล 1 ลิ/นาที ปริมาตรน้ำจะเท่ากับ 5 10 15 20 30 และ 40 ลิตรตามลำดับ ปริมาตรน้ำที่ให้ค่า HRT ตามต้องการดังกล่าวนี้ ควบคุมโดยเลือกใช้ช่องระบายน้ำที่ให้ปริมาตรน้ำ

ตามต้องการ ตั้งแต่ช่องระบายช่องแรกจากกันถังที่ให้ปริมาตรน้ำในถัง 5 ลิตร ไปจนถึงช่องระบายช่องที่หกซึ่งให้ปริมาตรน้ำในถัง 40 ลิตร

ค่าแปรของ G คือ 15 30 45 60 และ 90 วินาที⁻¹ การแปรค่า G ของถังสมานตะกอนกระทำโดยเปลี่ยนความเร็วรอบของใบพายด้วยการเปลี่ยนขนาดของรอกใบพายชุดแรกของถังสมานตะกอนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าความเร็วรอบของใบพายที่ให้ค่า G ตามต้องการที่ปริมาตรน้ำหรือ HRT หนึ่ง ๆ แสดงในตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่า G แสดงในรายการคำนวณที่ ผ.3

ตารางที่ 4.6 ความเร็วรอบของใบพาย (รอบ/นาที) ซึ่งให้ค่า G โดยประมาณ

| G (วินาที ⁻¹) | HRT (นาที) | | | | | |
|---------------------------|------------|----|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| 15 | 12 | 16 | 18 | 20 | 22 | 26 |
| 30 | 20 | 26 | 30 | 32 | 36 | 40 |
| 45 | 26 | 34 | 38 | 42 | 48 | 52 |
| 60 | 32 | 40 | 46 | 50 | 58 | 64 |
| 90 | 42 | 52 | 60 | 66 | 76 | 84 |

ค่าแปรของ SRT คือ 10 20 30 50 และ 70 นาที ภายใต้ HRT ที่คงที่ การแปรค่า SRT กระทำโดยเปลี่ยนอัตราการระบายน้ำตะกอนออกจากถังสมานตะกอน F_w หนึ่ง จากผลการทดลองซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 5 พิจารณาเลือกใช้ HRT 5 นาทีเป็นค่า HRT ที่คงที่ตลอดทุกการทดลองที่มีการใช้ตะกอน ดังนั้น เมื่อควบคุมอัตราการระบายน้ำตะกอนจากถังสมานตะกอน 500 250 166.5 และ 71.5 มล/นาที จะได้ค่า SRT 10 20 30 50 และ 70 นาทีตามลำดับ

4. ถังตกตะกอน

พื้นที่ผิวของถังตกตะกอนไม่คิดพื้นที่ส่วนรับน้ำเข้าเท่ากับ 0.4 m^2 ปริมาณน้ำภายในถังเท่ากับ 90 ลิตร ดังนั้น ที่อัตราไหลของน้ำซึ่งคงที่ตลอดทุกการทดลองคือ 1 ล/นาทิจังตกตะกอนจะมีอัตราน้ำล้น 0.375 ม/ชม. และมีเวลากักน้ำ 1 ชั่วโมง 30 นาที

5. ระบบหมุนเวียนตะกอน

กำหนดให้อัตราส่วนหมุนเวียนเท่ากับ 1 ตลอดทุกการทดลองที่มีการใช้ตะกอน ดังนั้นที่อัตราไหลของน้ำเข้าสู่กระบวนการ 1 ล/นาทิจังอัตราหมุนเวียนตะกอนจะเท่ากับ 1 ล/นาทิจังเช่นกัน

จากที่กล่าวมา จะเห็นว่าพารามิเตอร์ของน้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี ถึงผสมเร็ว ถังตกตะกอน และระบบหมุนเวียนตะกอน จะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถศึกษาถึงผลของการใช้ตะกอนในถังผสมตะกอนได้โดยตรง ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ดังกล่าวสรุปในตารางที่ 4.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่ของพารามิเตอร์ในการวิจัย

| พารามิเตอร์ | ค่าคงที่ |
|--------------------------|--------------------------|
| 1. น้ำขุ่นสังเคราะห์ | |
| 1.1 ความขุ่น | 50 NTU |
| 1.2 พีเอช | 7.6 |
| 1.3 สภาพทางไอออน | |
| 1.3.1 Cl^- | 15 - 26 ก/ม^3 |
| 1.3.2 SO_4^{2-} | 18.5 - 26 ก/ม^3 |
| 1.3.3 HCO_3^- | 62.5 - 72 ก/ม^3 |

2. สารเคมี

2.1 ปริมาณสารเคมี

| | | | | |
|-------|----------------|----------------------------------|-----|------------------|
| 2.1.1 | สารส้ม | เมื่อใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว | 30 | ก/ม ³ |
| 2.1.2 | สารส้ม | เมื่อใช้สารส้มกับ Superfloc A115 | 8 | ก/ม ³ |
| 2.1.3 | Superfloc A115 | เมื่อใช้สารส้มกับ Superfloc A115 | 0.1 | ก/ม ³ |

2.2 ความเข้มข้นสารละลายเคมี

| | | |
|-------|-------------------------|---------|
| 2.2.1 | สารละลายสารส้ม | 0.1 % |
| 2.2.2 | สารละลาย Superfloc A115 | 0.001 % |

3. กังผสมเร็ว

| | | | |
|-----|---|-----|----------------------|
| 3.1 | t | 2 | นาที |
| 3.2 | G | 310 | วินาที ⁻¹ |

4. กังตกตะกอน

| | | | |
|-----|-------------|-------|---------|
| 4.1 | อัตราน้ำล้น | 0.375 | ม/ชม. |
| 4.2 | เวลากักน้ำ | 1 ชม. | 30 นาที |

5. ระบบหมุนเวียนตะกอน

| | | |
|-----|--------------------|---|
| 5.1 | อัตราส่วนหมุนเวียน | 1 |
|-----|--------------------|---|

4.3 การดำเนินการทดลอง

การทดลองในการวิจัยครั้งนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการทดลอง ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เริ่มด้วยการทดลองในขั้นเตรียมการซึ่งได้กล่าวถึงไปแล้ว ในที่นี้จะกล่าวถึง การทดลองด้วยกระบวนการค้นแบบ เมื่อไม่มีการใช้ตะกอน การทดลองด้วยกระบวนการค้นแบบเมื่อมีการใช้ตะกอนซึ่งรวมถึงการทดลองการตกตะกอนแบบ-แบบท์ และการวิเคราะห์สมบัติของน้ำ ดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดลองเมื่อไม่มีการใช้ตะกอน

ดำเนินการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ที่ค่า G และ HRT หนึ่ง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เลือกขนาดรอกของใบพายชุดแรกในถังสมานตะกอน ซึ่งให้ความเร็วรอบของใบพายและให้ค่า G ตามต้องการ
2. เลือกช่องระบายน้ำของถังสมานตะกอน ซึ่งให้ปริมาตรน้ำและให้ค่า HRT ตามต้องการ
3. เปิดเครื่องสูบลมทยอยโข่งเพื่อสูบน้ำขุ่นสังเคราะห์จากถังเก็บ ปรับให้ได้อัตราสูบลมประมาณ 2 ล/นาทิจโดยปรับวาล์วของท่อลัดผ่าน เมื่อน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีอัตราไหลดังกล่าว เข้าสู่ถังระดับน้ำคงที่ซึ่งอยู่เหนือถังผสมเร็วจนเริ่มมีน้ำไหลออกทางท่อระบายน้ำ- ล้นแล้ว จึงเปิดวาล์วของถังระดับน้ำคงที่และปรับให้ได้อัตราไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์เข้าสู่ถังผสมเร็วเท่ากับ 1 ล/นาทิตามต้องการในที่สุด อนึ่ง น้ำจากท่อลัดผ่านประมาณ 15 ล/นาทิจ และน้ำจากท่อระบายน้ำล้นของถังระดับน้ำคงที่ประมาณ 1 ล/นาทิจ จะไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำ ตลอดเวลา ทำให้น้ำขุ่นสังเคราะห์ถูกกวนให้สม่ำเสมอตลอดเวลาที่ป้อนเข้าสู่ถังผสมเร็ว
4. ในขณะที่น้ำขุ่นสังเคราะห์เริ่มเข้าสู่ถังผสมเร็ว เปิดเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรมเพื่อสูบลมละลายสารเคมีเข้าสู่ถังผสมเร็ว และเปิดมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนใบพายกวนน้ำ อนึ่ง สารละลายสารเคมีจะถูกกวนโดยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้า ตลอดเวลาทำการทดลอง
5. รวบน้ำเริ่มออกจากกระบวนการคันแบบคือไหลออกจากถังตกตะกอน จึงเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำประมาณ 100 มล. ไปวัดค่าความขุ่น ทำเช่นนี้ทุก 30 นาที จนความขุ่นของน้ำออก (effluent) เริ่มมีความเปลี่ยนแปลงน้อย เปลี่ยนมาเก็บตัวอย่างน้ำทุก 15 นาที ทำเช่นนี้จนความขุ่นของน้ำออกมีค่าคงที่ รออีกประมาณ 30 นาที จึงเก็บตัวอย่างน้ำที่แท้จริงประมาณ 200 มล. และหยุดการทำงานของกระบวนการคันแบบ
6. นำตัวอย่างน้ำวัดค่าความขุ่น และวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solids)

9. หลังจากหยุดการทำงานของกระบวนการต้นแบบแล้ว ปล่อยให้ตะกอนในถังตกตะกอนจมตัวและอัดตัวประมาณ 30 นาที จากนั้นจึงระบายตะกอนเพื่อนำมาใช้ในการทดลองแบบแบทช์ต่อไป

10. เติมตะกอนเข้มข้นที่ได้ลงในกระบอกแก้ว (cylinder) ขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ใบ โดยให้มีปริมาณตะกอนในแต่ละใบแตกต่างกันไป จากนั้นจึงเติมน้ำประปาลงในแต่ละกระบอกแก้วจนได้ปริมาตรน้ำตะกอน 1 ลิตรทุกใบ

11. ทำให้น้ำตะกอนในแต่ละกระบอกแก้วมีความสม่ำเสมอ โดยใช้ฟ้ามือปิดปากกระบอกแก้วให้แน่น จับกระบอกแก้วคว่ำหงายไปมาสองครั้ง แล้วจึงวางลงบนโต๊ะซึ่งจะไม่มี ความกระทบกระเทือนตลอดการทดลอง

12. รอให้น้ำในกระบอกแก้วทั้ง 5 ใบนิ่ง จึงเริ่มจับเวลา บันทึกเวลาที่ผิวหน้าของชั้นตะกอนจมตัวลงทุกครั้งชย. ใน 5 ชม. แรก จากนั้นจึงบันทึกเวลาทุก 1 ชม. ที่ผิวหน้าชั้นตะกอนจมตัว ทำเช่นนี้ประมาณ 45 นาทีจึงแล้วเสร็จ

13. เขย่าน้ำตะกอนให้สม่ำเสมออีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำประมาณ 100 มล. จากแต่ละกระบอกแก้วไปวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติน้ำ

พารามิเตอร์แสดงสมบัติน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย พีเอช HCO_3^- Cl^- และ SO_4^{2-}

ความขุ่นทำการวัดโดยเครื่องวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 1860 A

พีเอชทำการวัดโดยเครื่องวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic SS-33

พารามิเตอร์อื่น ๆ ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Method ⁽⁶⁹⁾

น้ำที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.9

ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 น้ำที่วิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

| พารามิเตอร์ | น้ำที่วิเคราะห์ | ความถี่ในการวิเคราะห์ |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ความขุ่น | 1. น้ำดิบ 2. น้ำออก | ทุกการทดลอง |
| ของแข็งแขวนลอย | 1. น้ำดิบ 2. น้ำออก 3. น้ำตะกอน | 1. บางครั้ง 2 และ 3 ทุกการทดลอง |
| พีเอช | 1. น้ำดิบ 2. น้ำออก | บางครั้ง |
| HCO_3^- | 1. น้ำดิบ 2. น้ำออก | บางครั้ง |
| Cl^- | 1. น้ำดิบ | บางครั้ง |
| SO_4^{2-} | 1. น้ำดิบ | บางครั้ง |