

การดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

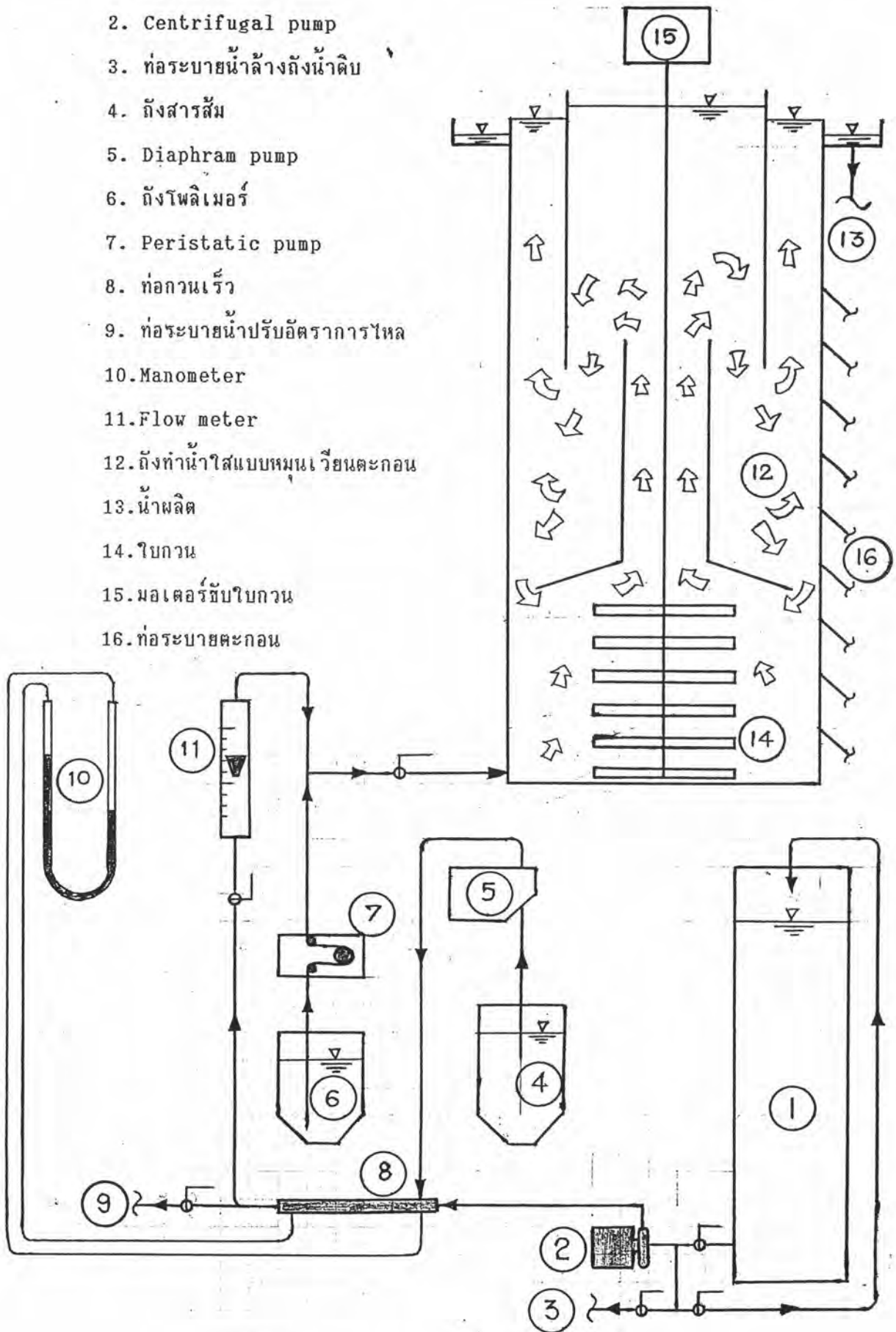
การทดลองทั้งหมดกระทำในห้องปฏิบัติการ ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการทดลองทั้งหมดรวม 64 การทดลอง

1. อุปกรณ์และการติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองพร้อมการติดตั้ง แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 ประกอบด้วย

- 1.1 ถาดเตรียมน้ำดิบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 70 ซม. ยาว 150 ซม. ลึก 20 ซม. จำนวน 2 ถาด เพื่อคัดขนาดอนุภาคดินคาโอลินในน้ำดิบสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มีขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร
- 1.2 ถังเก็บน้ำดิบเข็มชั้นขนาด 50 ลิตร จำนวน 4 ถัง
- 1.3 ถังเตรียมน้ำดิบขนาดกว้าง 70 x 70 ซม. ลึก 80 ซม. จำนวน 1 ถัง เพื่อผสมน้ำดิบให้มีค่าความขุ่นเป็น 50 NTU
- 1.4 ถังจ่ายน้ำดิบเข้าระบบขนาดความจุ 2000 ลิตร จำนวน 1 ถัง
- 1.5 เครื่องสูบน้ำดิบเป็น centrifugal pump
- 1.6 ท่อกวนเร็ว (static-mixer)
- 1.7 เครื่องวัดอัตราการไหล (flow meter)
- 1.8 ถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน (solids recirculation clarifier)
- 1.9 ถังเก็บ และเตรียมน้ำสารละลายสารส้ม ขนาดความจุ 30 ลิตร
- 1.10 ถังเก็บ และเตรียมน้ำสารโพลีเมอร์ ขนาดความจุ 20 ลิตร
- 1.11 เครื่องสูบน้ำจ่ายสารส้มเป็น diaphragm pump
- 1.12 เครื่องสูบน้ำจ่ายโพลีเมอร์เป็น peristaltic pump

1. ถังน้ำดิบ
2. Centrifugal pump
3. ท่อระบายน้ำล้างถังน้ำดิบ
4. ถังสารส้ม
5. Diaphragm pump
6. ถังโพลีเมอร์
7. Peristaltic pump
8. ท่อกวนเร็ว
9. ท่อระบายน้ำปรับอัตราการไหล
10. Manometer
11. Flow meter
12. ถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน
13. น้ำผลิต
14. ไบอกาน
15. มอเตอร์ขับไบอกาน
16. ท่อระบายตะกอน



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1.13 มอเตอร์ AC ติดตั้งวงจรที่ปรับรอบความเร็วการหมุนได้
ต่อกับแกนใบกวน
- 1.14 ใบพัดกวนติดตั้งให้กวนน้ำภายในถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียน-
ตะกอน
- 1.15 ชุดสายยางสำหรับ เก็บตัวอย่างตะกอนและระบายตะกอน
ทั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน
- 1.16 บีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ
- 1.17 อุปกรณ์กวนน้ำ ผลิตโดย Phipps & Bird Inc. โดยมี
ใบพายสำหรับกวนน้ำ 6 ชุดพร้อม ๆ กัน สามารถปรับและอ่านค่าความเร็วรอบได้
- 1.18 เครื่องมือวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100A
- 1.19 เครื่องชั่งละเอียด
- 1.20 ตู้บอดูอุณหภูมิ 103 ° C สำหรับหาของแข็งแขวนลอย
- 1.21 เติสลิเคเตอร์
- 1.22 กระดาษ GF/C
- 1.23 เครื่องสูบลม

2. สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 สารส้ม (aluminium sulfate hexadecahydrate) มี
สูตรเคมี คือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16 H_2O$ น้ำหนักโมเลกุล 630.39 มาตรฐาน
lab grade ขนาดบรรจุหน่วยละ 1 กก. ผลิตโดย Fluka chemica ,Switz-
erland เตรียมให้มีความเข้มข้น 500 มก./ล. เพื่อใช้ในการทดลอง

2.2 โพลีเมอร์ประจุลบ ผลิตโดย SNF FLOERGER รหัสทาง
การค้าคือ AN 923 PG เป็นโพลีเมอร์ที่สามารถใช้ในกระบวนการผลิตน้ำ
ประปา โดยไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มีลักษณะเป็นผงสีขาว ขนาด 0.5-1.5
มม. ความหนาแน่น 0.7-0.8 ก./ซม.³ เตรียมให้มีความเข้มข้น 70
มก./ล. เพื่อใช้ในการทดลอง

2.3 ดินคาโอลิน commercial grade ขนาดบรรจุลง 25 กก.

รูปแบบของการวิจัย

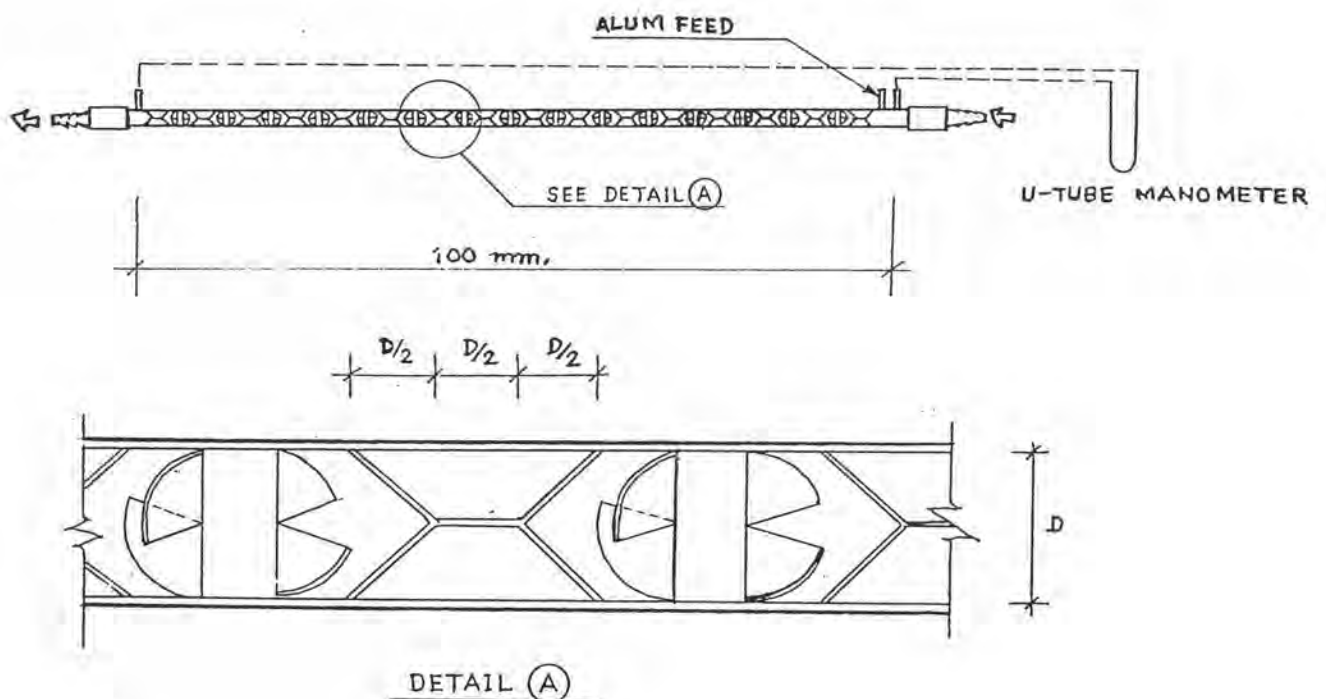
1. การเตรียมการทดลอง

1.1 การสร้างอุปกรณ์ทดลอง

1.1.1 การสร้างถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ประกอบด้วย พลาสติกใสรูปทรงกระบอก 3 ขนาดซ้อนกันดังรูปที่ 5.1 ทรงกระบอกอันนอกสร้างมาจากแผ่นพีวีซีใสนำมาให้ความร้อนและมีวนให้เป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. ยาว 300 ซม. ปลายล่างทำเป็นหน้าจานพร้อมแผ่นยางกันซึม ยึดปิดด้วยน็อต 8 ตัว ตรงกลางหน้าจาน มีแปรงที่ถอดจากรีสำหรับงานใต้น้ำเพื่อรองรับแกนใบกวน ซึ่งได้นำไปกลึงให้สามารถสอดเข้าได้แน่นพอดี ขนาดประมาณ 6 มม. ทางด้านข้างของทรงกระบอกอันนอกได้เจาะรูเชื่อมท่อขนาด 12 มม. ทุกระยะ 15 ซม. เพื่อใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่างตะกอนและระบายตะกอนทิ้ง ส่วนปลายด้านบนทำเป็นช่องรับน้ำโดยรอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวม 35 ซม. ทรงกระบอกที่อยู่ตรงกลาง ทำจากท่ออะคริลิกใสขนาด 8 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.4 ซม. ยาว 100 ซม. ทำรีบพลาสติก 4 มุม เชื่อมติด หัวท้ายให้สอดเข้าพอดีกับท่อนอก เพื่อป้องกันการกั้นขยับตัวหมุนไปตามใบกวน และ เป็นจุดร้อยเส้นเอ็นยึดแขวนตัวท่อไว้ทรงกระบอกอันในสุด ทำจากอะคริลิกใสขนาด 5 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 ซม. ยาว 100 ซม. ทำรีบพลาสติก 4 มุม เชื่อมติดหัวท้ายให้สอดเข้าพอดีกับท่อนกลาง เพื่อป้องกันการกั้นขยับตัวหมุนไปตามใบกวนและ เป็นจุดร้อยเส้นเอ็นยึดแขวนตัวท่อไว้ ที่ปลายด้านล่างของทรงกระบอกอันในนี้จะมีกรวยซึ่งตัดปากด้านแคบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 ซม. มัดติดอยู่ ปลายล่างของกรวยจะตัดให้มีขนาดพอดีที่จะสวมกับทรงกระบอกอันนอก โดยจะเจาะรูที่ปลายล่างของกรวย จำนวน 4 รู เพื่อให้ตะกอนจากส่วน clarification zone สามารถไหลเวียนกลับมาที่โซนแรกของถังได้ ใบกวนทำจากแผ่นเหล็กแอสแตนเลสมีจำนวน 6 ชุด แต่ละชุดมีใบกวน 2 ใบ แต่ละใบกวนมีความกว้าง 1.5 ซม. มีรัศมีวัดจากแกนเท่ากับ 7 ซม. ใบกวนแต่ละชุดติดห่างกัน 15 ซม. โดยใบกวนที่อยู่ติดกันจะติดตั้งทำมุม 90°

แกนใบกวนทำจากเหล็กแอสตอนเลสขนาดประมาณ 6 มม. ต่อยึดเข้ากับเฟลา มอเตอร์ AC ซึ่งติดตั้งวงจรไฟฟ้า ที่ทำให้สามารถปรับรอบการหมุนได้ ในช่วง 5-20 รอบ/นาที

1.1.2 การสร้างท่อกวนเร็ว ท่อกวนเร็วสร้างจากท่ออะคริลิกใสขนาด 20 มม. ภายในติดแผ่นพลาสติกใสรูปวงรีผ่าครึ่งวางไขว้กัน ดังรูปที่ 5.2 บริเวณปลายทั้งสองด้านของท่อได้เจาะรูสำหรับเติมสารส้ม 1 รู และรูสำหรับใส่ท่อวัดแรงดันด้านหัว และท้ายด้านละ 1 รู



รูปที่ 5.2 ท่อกวนเร็วที่ใช้ในการทดลอง

1.2 การเตรียมสารเคมี

1.2.1 การเตรียมน้ำดิบ นำผงดินคาโอลิน ใส่อ่างเตรียม น้ำดิบทั้งสองอ่าง ถึงละประมาณ 100 กรัม ที่มีน้ำอยู่ลึก 15 ซม. ผสมเข้ากันให้ทั่ว แล้วทิ้งให้ตกตะกอนนาน 2 ชม. จึงระบายน้ำส่วนบน 10 ซม. เข้าอ่างเก็บน้ำดิบ เข้มข้น นำน้ำจากอ่างเก็บน้ำดิบ เข้มข้นจำนวนประมาณ 30 ลิตร ผสมกับน้ำประปา จำนวนประมาณ 600 ลิตร ในอ่างเตรียมน้ำดิบ ปรับสัดส่วนความเข้มข้นของน้ำดิบ จนได้ค่าความขุ่นเป็น 50 NTU.

1.2.2 การเตรียมสารละลายสารส้ม นำสารส้ม (เป็น ผงสีขาว) มาชั่งให้ได้จำนวน 15 กรัม แล้วผสมน้ำ demineralized ให้ได้สารละลายสารส้ม 30 ลิตร เพื่อใช้สำหรับการทดลองในวันที่เตรียมนั้น และจะไม่เก็บไว้ใช้ในการทดลองวันต่อไป

1.2.3 การเตรียมสารละลายโพลีเมอร์ ผงโพลีเมอร์ถ้า นำมาเทใส่ในน้ำโดยตรง จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน และไม่ละลายน้ำ ดังนั้น การเตรียมน้ำละลายโพลีเมอร์ จะต้องกระจายผงโพลีเมอร์แต่ละเม็ด ให้สัมผัสกับน้ำ และค่อย ๆ ละลายโดยไม่ให้ผงแต่ละเม็ดสัมผัสกัน มิฉะนั้นจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน และไม่ละลาย วิธีการที่ใช้ในการทดลองนี้คือ นำโพลีเมอร์ที่ชั่งได้น้ำหนัก 1.4 กรัม มาเกลี่ยบนกระดาษฟอยล์ แล้ววางอย่างค่อย ๆ ให้จมลงไปในอ่างเตรียมโพลีเมอร์ ซึ่งใส่น้ำ 20 ลิตร ไว้แล้ว ปิดฝาถังไว้ 1 คืน จึงกวนผสมให้ทั่ว จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส และเหนียว เพื่อใช้สำหรับการทดลองในวันที่เตรียมนั้น และจะไม่เก็บไว้ใช้ในการทดลองวันต่อไป

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเดินระบบเพื่อใช้วางแผนการทดลอง ได้ทำ jar test น้ำดิบที่ใช้ในการทดลอง โดยแปรค่าความเข้มข้นสารส้ม 6 ค่า คือ 5 ,10 ,15 ,20 ,25 และ 30 มก./ล. และแปรค่าความเข้มข้นโพลีเมอร์ 6 ค่า คือ 0 , 0.05 ,0.10 ,0.15 ,0.20 และ 0.30 มก./ล. กวนเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 นาที และทิ้งให้ตกตะกอน 6 นาที แล้วระบายส่วนน้ำใสมาวัดค่าความขุ่น ผลการทดลองที่ได้จะเป็นแนวทาง ในการเลือกตัวแปรที่จะใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 6

2.2 การดำเนินการทดลอง

2.2.1 สูบน้ำดิบที่เตรียมได้ผ่านท่อกวนเร็วที่มีการเติมสารส้ม และโพลีเมอร์ประจุลบในปริมาณที่ต้องการสำหรับการทดลองครั้งนี้ ด้วยอัตราน้ำล้นผิว 60 ซม./นาที ซึ่งจะทำให้ตะกอนที่ตกค้างอยู่ในถังผสมกับน้ำที่เข้ามาอย่างทั่วถึง ไม่เกาะติดที่กันถัง เมื่อสังเกตเห็นว่า ชั้นตะกอนเคลื่อนขึ้นมาสูงจากจุดน้ำเข้า ประมาณ 60 ซม. จึงลดอัตราน้ำล้นผิว ของถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ลง เหลือเท่ากับ 10 ซม./นาที พร้อมกับลดปริมาณการเติมสารเคมีลง ตามสัดส่วนเดินระบบที่อัตราน้ำ เป็นเวลา 30 นาที ในช่วงนี้ ระบบจะทำงานเป็นแบบถังทำน้ำใสแบบมีชั้นตะกอน ระดับตะกอนจะอยู่สูงจากทางน้ำเข้าประมาณ 80 ซม. และจะค่อนข้างคงที่

2.2.2 เมื่อเตรียมตะกอนในระบบตามข้อ (1) แล้ว จึงเริ่มเดินระบบที่อัตราน้ำล้นผิว และ ปริมาณสารเคมีที่ต้องการ

2.3 การเก็บตัวอย่าง

2.3.1 วัดค่าความขุ่นของน้ำผลิต โดยเก็บจากบริเวณน้ำล้น ทุก ๆ 1 ชั่วโมงติดต่อกัน รวมจำนวน 6 ตัวอย่าง สำหรับแต่ละการทดลอง

2.3.2 วัดค่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของตะกอน ในถังทำ-น้ำใส แบบหมุนเวียนตะกอน โดยระบายตะกอนจากถังเมื่อเดินระบบไปได้ 6 ชม. ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ปริมาตรตะกอนหลังจากทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที จะเป็นค่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของตะกอน

2.3.3 วัดความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย โดยระบาย ตะกอนจากถัง เมื่อเดินระบบไปได้ 6 ชม. และนำไปกรองผ่านกระดาษ GF/C และ อบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 103°C เพื่อหาค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ที่ใช้สารส้มเป็น coagulant และใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็น coagulant aids รวมทั้งศึกษาหาค่าความเร็วรอบใบกวนที่เหมาะสม ดังนั้น จึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. การวิจัยกระทำโดยกระบวนการต้นแบบชนิดไหลต่อเนื่อง อุปกรณ์กวนเร็วใช้ท่อกวนเร็ว (static mixer) น้ำดิบจะถูกสูบลไหลเข้าท่อกวนเร็วเพื่อผสมกับ สารส้ม จากนั้น จึงมีการเติมโพลีเมอร์ประจุลบ ก่อนผ่านเข้าถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ถังทำน้ำใสที่ศึกษาเป็นแบบใช้กลไก หรือใบกวนเพื่อสร้างชั้นตะกอน และหมุนเวียนตะกอน ดังที่ได้อธิบายในข้อ 3.11
2. น้ำดิบที่ใช้เป็นน้ำขุ่นสังเคราะห์โดยใช้ดินคาโอลินผสมน้ำประปา และทำการตัดขนาด โดยการตกตะกอนซึ่งจะได้อนุภาคดินขนาดไม่เกิน 4 ไมโครเมตร รวมทั้งปรับให้มีความขุ่นเท่ากับ 50 NTU.
3. โดแอกกูแลนต์ (coagulant) ที่ใช้คือ สารส้ม (alum) โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารส้ม 4 ค่า คือ 10 , 15 , 20 , 30 มก./ล.
4. โดแอกกูแลนต์เอ็ด (coagulant aids) ที่ใช้คือ โพลีเมอร์ประจุลบ (anionic polymer) ค่าความเข้มข้นที่ใช้ดังที่ คือ 0.30 มก./ล.
5. ศึกษาพารามิเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของ ถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน โดยจะแปรค่า ความเร็วเกรเดียนท์ จากการแปรค่าความเร็วรอบการกวนทั้งหมด 4 ค่า คือ 5 , 10 , 15 , 20 รอบ/นาที
6. ศึกษาการทำงานของ ถังทำน้ำใสแบบหมุนเวียนตะกอน ที่อัตราน้ำล้นผิว (คิดจากอัตราการไหล ต่อพื้นที่หน้าตัดน้ำล้นออกจากถัง) ทั้งหมด 4 ค่า คือ 30 , 40 , 50 และ 60 ซม./นาที ซึ่งนับว่าเป็นการแปรค่าเวลากักน้ำในถังทั้งหมด 4 ค่าเช่นกัน คือ 4.5 , 6.0 , 7.5 และ 9.0 นาที ตามลำดับ
7. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดความขุ่น โดยวัดค่าความขุ่นของน้ำหลังผ่านกระบวนการ ทุก ๆ 1ชม.
8. ศึกษาลักษณะของตะกอน คือ ความเข้มข้นโดยปริมาตรของตะกอน และ ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย ซึ่งเป็นผลจากการแปรค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของระบบในการวิจัยนี้

จำนวน และรายละเอียดของการทดลอง

การทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 16 การทดลอง ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 5.1 , 5.2 , 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.1

การทดลองชุดที่ 1 อัตราน้ำล้นผิว 30 ซม./นาที

การทดลองที่	ความเข้มข้น สารส้ม, มก./ล.	ความเร็วรอบใบกวน รอบ/นาที
1	30	5
2	30	10
3	30	15
4	30	20
5	20	5
6	20	10
7	20	15
8	20	20
9	15	5
10	15	10
11	15	15
12	15	20
13	10	5
14	10	10
15	10	15
16	10	20

ตารางที่ 5.2

การทดลองชุดที่ 2 อัตราน้ำล้นผิว 40 ซม./นาที

การทดลองที่	ความเข้มข้น สารส้ม, มก./ล.	ความเร็วรอบใบกวาน รอบ/นาที
17	30	5
18	30	10
19	30	15
20	30	20
21	20	5
22	20	10
23	20	15
24	20	20
25	15	5
26	15	10
27	15	15
28	15	20
29	10	5
30	10	10
31	10	15
32	10	20

ตารางที่ 5.3

การทดลองชุดที่ 3 อัตราน้ำล้นผิว 50 ซม./นาที

การทดลองที่	ความเข้มข้น สารส้ม, มก./ล.	ความเร็วรอบใบกวน รอบ/นาที
33	30	5
34	30	10
35	30	15
36	30	20
37	20	5
38	20	10
39	20	15
40	20	20
41	15	5
42	15	10
43	15	15
44	15	20
45	10	5
46	10	10
47	10	15
48	10	20

ตารางที่ 5.4

การทดลองชุดที่ 4 อัตราน้ำล้นผิว 60 ซม./นาที

การทดลองที่	ความเข้มข้น สารส้ม, มก./ล.	ความเร็วรอบใบกวน รอบ/นาที
49	30	5
50	30	10
51	30	15
52	30	20
53	20	5
54	20	10
55	20	15
56	20	20
57	15	5
58	15	10
59	15	15
60	15	20
61	10	5
62	10	10
63	10	15
64	10	20