หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 ลำดับของการทดลอง

งานทดลองทั้งหมดได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย โดยดำเนินการวิจัย ณ โรงกรองน้ำประปาปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี ตั้งอยู่ที่ถนนปราจีนบุรี-ประจันตคาม อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี โดยลำดับการทดลองไว้ดังนี้

1. เตรียมน้ำดิบจากแม่น้ำปราจีนบุรี ซึ่งสูบโดยปั๊มสูบน้ำ ณ โรงสูบแรงต่ำ

2. ทำจาร์เทสต์ เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม (Optimun Dose) สำหรับการทดลอง

3. เตรียมสารละลายสารส้มด้วยปริมาณที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกวนเร็วในเส้นท่อ โดยการสูบจ่ายด้วยปั๊มจ่ายสารเคมี ณ โรงเก็บจ่ายสารเคมี

4. แปรเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำดิบค่าต่าง ๆ พร้อมทั้งควบคุมให้การจ่ายสารส้มอยู่ในปริมาณตามข้อ 2

5. นำน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการเติมสารส้มที่อัตราการไหลค่าต่าง ๆ แล้ว มาทำการสมานตะกอนและตกตะกอนโดยจาร์เทสต์ พร้อมทั้งทดสอบหาค่าความขุ่น, พีเอช, ความเป็นด่าง และปริมาณสารแขวนลอยของน้ำที่ตกตะกอนแล้ว

6. นำน้ำจากกระบวนการกวนช้าจากโรงกรองน้ำที่ศึกษามาตกตะกอนในถ้วยจาร์ พร้อมทั้งทดสอบหาค่าความขุ่น, พีเอช, ความเป็นด่าง และปริมาณสารแขวนลอย

7. เปรียบเทียบผลจากข้อ 5 และ 6

4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุในการวิจัยได้แก่ น้ำดิบ (จากแม่น้ำปราจีนบุรี) สารเคมีได้แก่ สารส้ม, ปูนขาว เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ จาร์เทสต์, เครื่องวัดความขุ่น, เครื่องวัดพีเอช, เครื่องวัดอัตราไหลของน้ำ, อุปกรณ์หาปริมาณสารแขวนลอย การวิจัยนี้จะใช้โรงกรองน้ำ-ประปาปราจีนบุรี ขนาดกำลังผลิต 320 ลบ.ม./ชั่วโมง (ปรับปรุงใหม่) เป็นสถานที่ในการ

วิจัย ตลอดการทดลอง ทั้งนี้ โดยอาศัยน้ำดิบ น้ำซึ่งผ่านกระบวนการเติมสารส้ม และน้ำจากกระบวนการกวนช้า เป็นตัวอย่างในการทดลอง

4.2.1 น้ำดิบ

น้ำดิบได้จากแม่น้ำปราจีนบุรี ซึ่งมีต้นกำเนิดจากแควพระปรง, แควหนุมาน และแควโสมง ในเขตอำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี เป็นน้ำดิบซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้ น้ำดิบดังกล่าวจะมีสภาพทางกายภาพที่ดี กล่าวคือ มีค่าความขุ่นระหว่าง 40 - 90 NTU พีเอชระหว่าง 7 - 8 ค่าความเป็นด่างอยู่ระหว่าง 50 - 80 มก./ล. ปริมาณสารแขวนลอยมีค่าระหว่าง 20 - 100 มก./ล.*

4.2.1.1 ความขุ่นของน้ำดิบ

น้ำดิบซึ่งเป็นน้ำจากแม่น้ำปราจีนบุรี และเป็นน้ำผิวดิน ในระหว่างการทดลองซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน - หนาว (กันยายน 2529 - ธันวาคม 2529) จากข้อมูลที่ตรวจวัดตลอดการทดลอง พบว่า มีค่าความขุ่นระหว่าง 40 - 90 NTU*

4.2.1.2 พีเอชของน้ำดิบ

น้ำดิบจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7 - 8 ซึ่งมีค่าความคงตัวดี ดังนั้น การทดลองจะควบคุมให้ค่าพีเอชของน้ำดิบมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

4.2.1.3 ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบ

น้ำดิบซึ่งมาจากน้ำผิวดินมีค่าความเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม กล่าวคือ มีค่าระหว่าง 50 - 80 มก./ล. ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทำน้ำประปาอย่างยิ่ง

4.2.1.4 อุณหภูมิของน้ำดิบ

อุณหภูมิของน้ำดิบแปรเปลี่ยนตามสภาพภูมิอากาศ ซึ่งในระหว่างการทดลองอยู่ในช่วงฤดูฝน - ฤดูหนาว อุณหภูมิโดยเฉลี่ย 25 - 30°

---

* จากข้อมูลการประปาส่วนภูมิภาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สารส้มและปูนขาว สารส้มที่ใช้เป็นชนิดก้อน จากบริษัทโรงงานสารส้มนนทบุรี จำกัด เป็นประเภท Industrial Grade มีสูตรทางเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O$ บรรจุถุงขนาด 25 และ 50 กิโลกรัม มีน้ำหนัก 960 - 1,200 กก./ลบ.ม. (แห้ง) มีส่วนประกอบของ Al_2O_3 อย่างน้อย 17% เป็นก้อนสีขาวปนเทา เมื่อละลายน้ำที่ความเข้มข้น 1% จะมีค่าพีเอช 3.4

ปูนขาวเป็นชนิดผงจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย เป็นประเภท Industrial Grade มีสูตรทางเคมีคือ $Ca(OH)_2$ บรรจุในถุงขนาด 20 กิโลกรัม น้ำหนัก 560 - 800 กก./ลบ.ม. (แห้ง) มีส่วนประกอบของ CaO อยู่ในเกณฑ์ 62 - 74% เป็นผงฝุ่นสีขาว เมื่อละลายน้ำอิ่มตัวจะมีค่าพีเอช 12.4

4.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ประกอบด้วย น้ำดิบ, เครื่องสูบน้ำดิบ, เครื่องสูบสารละลายสารส้ม, เครื่องวัดอัตราไหลของน้ำ, เครื่องกวนผสมแบบจาร์เทสต์, เครื่องวัดพีเอช และเครื่องวัดความขุ่น

4.2.3.1 เครื่องสูบน้ำดิบ ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำจำนวน 3 ชุด ดังนี้

1) HP1 เครื่องสูบน้ำขับด้วยมอเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของ SIHI-HALBERG รุ่น 15020 เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง ขนาดกำลังสูบ 270 ลบ.ม./ชั่วโมง ที่ความสูง 11 เมตร ประสิทธิภาพ 65% ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ของ SIEMENS ขนาด 18.5 กิโลวัตต์, 1.460 รอบ/นาที 3ø, 380 V., 50 Hz

2) HP2 เครื่องสูบน้ำชนิดขับด้วยมอเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของ SIHI-HALBERG รุ่น15026 เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง ขนาดกำลังสูบ 350 ลบ.ม./ชั่วโมง ที่ความสูง 15 เมตร ประสิทธิภาพ 65% ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ของ SIEMENS ขนาด 30 กิโลวัตต์, 1,470 รอบ/นาที, 3ø, 380 V., 50 Hz

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) LP1 เครื่องสูบน้ำขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ผลิตภัณฑ์ของ LOEWE-LUNE BURG รุ่น FN121A เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง ขนาดกำลังสูบ 160 ลบ.ม./ชั่วโมง ที่ความสูง 20 เมตร ประสิทธิภาพ 75% ขับด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ผลิตภัณฑ์ของ DEUTZ รุ่น F3L 912 ขนาด 3 สูบ, 30.5 แรงม้า, 1,500 รอบ/นาที

4.2.3.2 CP_1 เครื่องสูบสารละลายสารส้มจำนวน 1 ชุดเป็นผลิตภัณฑ์ของ IWAKI รุ่น IVXH-BK 120 VCE-04 เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรม ปั๊ม ขนาดกำลังสูบ 350 ลิตร/ชั่วโมง ที่ความสูง 30 เมตร ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.4 กิโลวัตต์ 1ø, 220 V., 1,440 รอบ/นาที

4.2.3.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ จำนวน 1 ชุด เป็นผลิตภัณฑ์ของ FLOW RESEARCH รุ่น FL 2000 ใช้ติดตั้งกับท่อน้ำดิบขนาด ø 300 มิลลิเมตร สามารถวัดอัตราไหลต่ำสุด 1,294 ลิตร/นาที ความเร็วต่ำสุดของน้ำ 3.0 ฟุต/วินาที มีอุปกรณ์บันทึกการไหลสามารถบันทึกและเก็บข้อมูลปริมาณน้ำได้ตลอด 24 ชั่วโมง

4.2.3.4 เครื่องกวนผสม (จาร์เทสต์) จำนวน 1 เครื่อง เป็นผลิตภัณฑ์ของ SUGIYAMA-GEN ENVIRONMENTAL SCIENCE Co. Ltd. มีจำนวน 6 ใบพัด สามารถแปรเปลี่ยนความเร็วรอบตั้งแต่ 0 - 160 รอบ/นาที

4.2.3.5 เครื่องวัดพีเอช จำนวน 1 เครื่อง เป็นผลิตภัณฑ์ของ BECKMAN รุ่น 0501032 ใช้วัดพีเอชได้ตั้งแต่ 0 - 14

4.2.3.6 เครื่องวัดความขุ่น จำนวน 1 เครื่อง เป็นผลิตภัณฑ์ของ HELIX รุ่น 9697 วัดความขุ่นโดยวิธีส่องกล้องผ่านแผ่นกรองแสง แล้วนำมาอ่านค่าความขุ่นจากกราฟ

4.2.3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิ จำนวน 1 อัน เป็นเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท สามารถอ่านค่าได้ 0 - 100 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I15732526

4.3 แผนผังวิธีการทดลอง

น้ำดิบจากแม่น้ำปราจีนบุรี จะถูกสูบโดยเครื่องสูบน้ำแรงต่ำ (HP1, HP2 หรือ LP1) ส่งมาตามท่อน้ำดิบขนาด ø 300 มม. โดยผ่านมายังบ่อของท่อผสม (FLASH MIXER CHAMBER) ซึ่งเป็นจุดเติมสารส้ม สารละลายสารส้มจะถูกเติมเข้าเส้นท่อโดยตรงยังบ่อของท่อผสมนี้ โดยเครื่องสูบสารละลายสารส้ม (CP1) ในอัตราที่เหมาะสม น้ำดิบจะถูกกวนผสมเข้ากับสารละลายสารส้มด้วยกลไกทางชลพลศาสตร์ ซึ่งจุดเติมสารส้มนี้จะติดตั้งด้วยท่อผสม (STATIC MIXER) น้ำดิบจะถูกกวนผสมอย่างรุนแรงตรงจุดนี้เป็นเวลา 2.5 - 5.0 วินาที จากนั้นจะถูกส่งต่อไปตามแนวเส้นท่อน้ำดิบเป็นระยะทาง 25 เมตร ก่อนจะถูกปล่อยลงรางแยกซึ่งใช้เวลาช่วงนี้ 10 - 20 วินาที ทั้งนี้ขึ้นกับอัตราไหลของน้ำดิบ

น้ำดิบซึ่งผ่านกระบวนการกวนผสมกับสารส้มด้วยปริมาณที่เหมาะสมจากกระบวนการกวนเร็วแล้ว (1) จะถูกเก็บมาทำการทดสอบต่อด้วยการกวนช้าจากจาร์เทสต์ ดังแผนผังการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

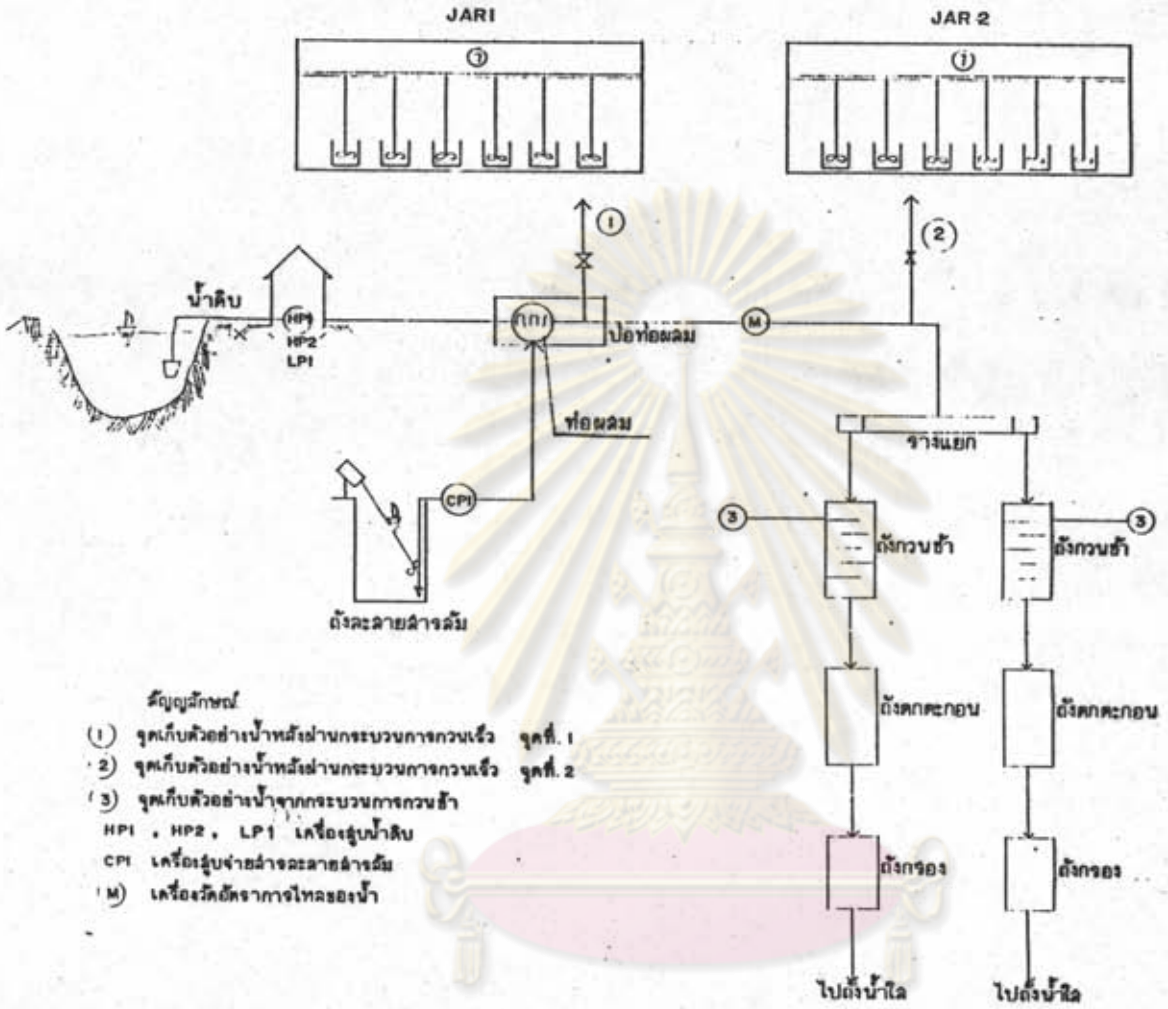
ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากถังกวนช้า (3) นำมาทดสอบการตกตะกอนในถ้วยจาร์ แล้วทำการวัดความขุ่น, ปริมาณ, สารแขวนลอย, ค่าพีเอช และค่าความเป็นด่าง ทั้งนี้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากจาร์เทสต์ที่ได้จากตัวอย่างที่ 2

4.4 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการประเมินผลกระบวนการโคแอกกูเลชั่นจากโรงกรองน้ำที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีจาร์เทสต์ ดังนั้น จึงต้องควบคุมปริมาณสารส้มที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบให้มีปริมาณพอเหมาะ (Optimum Dose) ในขณะเดียวกันทำการทดสอบกระบวนการกวนเร็ว, กวนช้า และประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของโรงกรองน้ำที่ศึกษา ณ อัตราไหลของน้ำดิบตั้งแต่ 240, 280, 320, 360 และ 400 ลบ.ม./ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าอัตราไหลของน้ำดิบที่ใช้สำหรับการทดลองนี้จะมีค่า ± 25% สูงและต่ำกว่าอัตราผลิตในปัจจุบัน

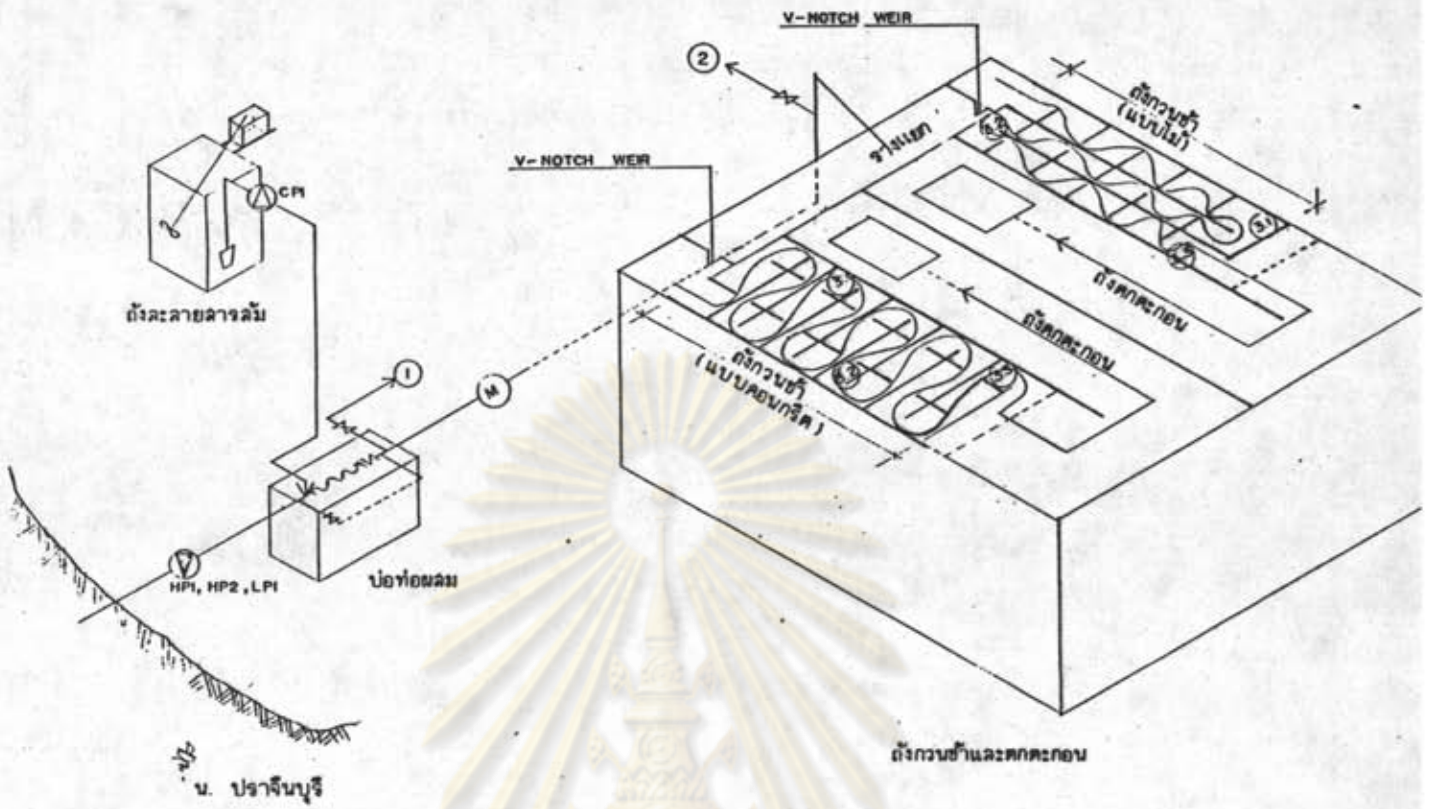
พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีค่าคงที่ในการทดลองได้แก่

1. น้ำดิบ มีความขุ่นในช่วง 40 - 90 NTU พีเอชในช่วง 7 - 8 และสภาพทางอิออน (ionic environment)



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงระบบการทดลองโรงกรองน้ำที่ศึกษา (การประปาปราจีนบุรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สัญญลักษณ์

① จุดเก็บตัวอย่างน้ำดิบหลังผ่านกระบวนการกวนเร็ว จุดที่ 1

② จุดเก็บตัวอย่างน้ำดิบหลังผ่านกระบวนการกวนเร็ว จุดที่ 2

③ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ จาก กระบวนการกวนช้า
3.1 , 3.2 และ 3.2 เป็นตัวอย่างน้ำ ฯเล็ส 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ

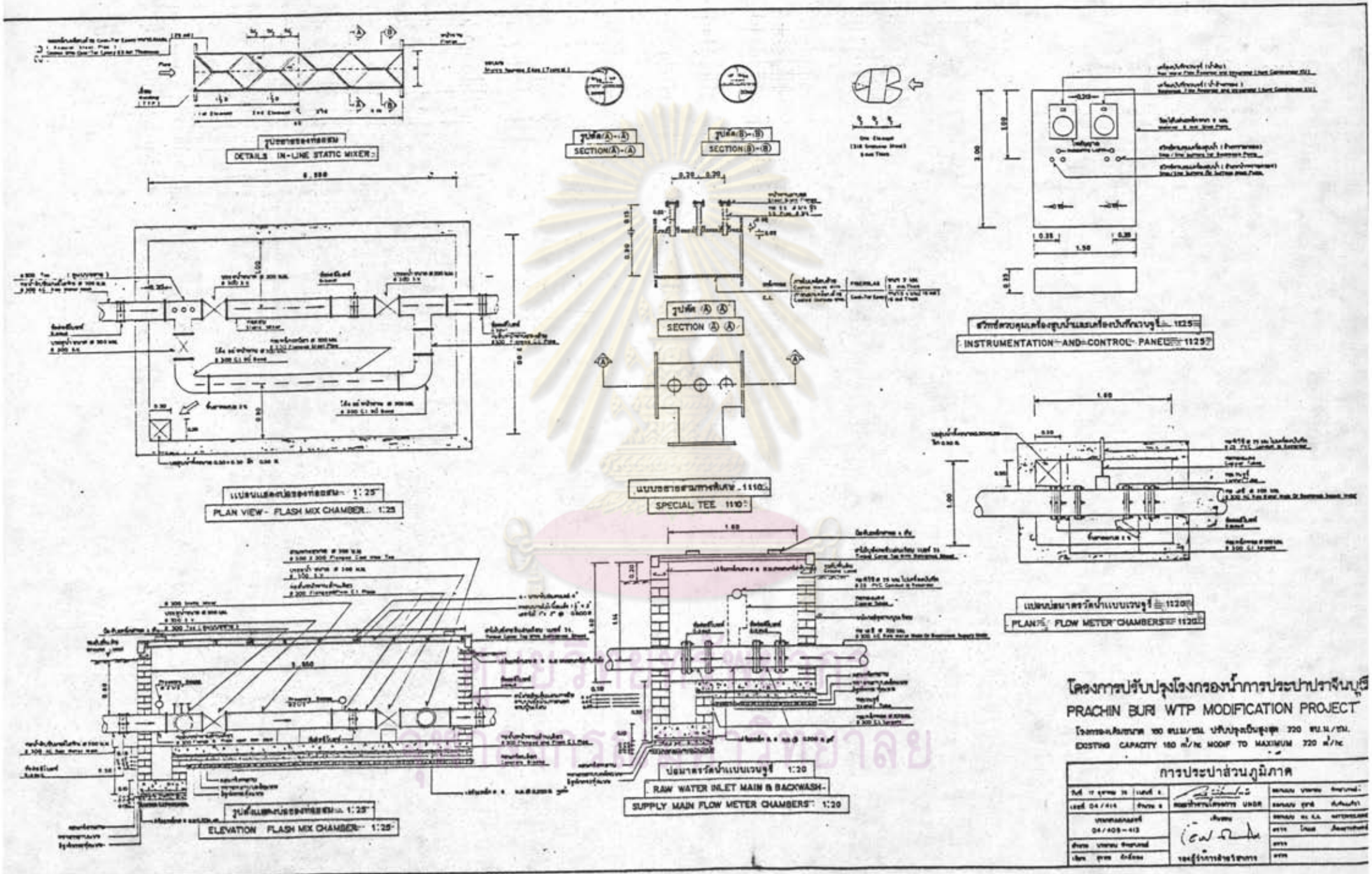
Ⓥ HPI , HP2 , LPI เครื่องสูบน้ำดิบ

Ⓐ CPI เครื่องสูบสารละลายสารส้ม

Ⓜ เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำจากโรงกรองน้ำที่ศึกษา
(การประปาปราจีนบุรี)



รูปที่ 4.3 ทอผสม และบอทอผสม การประปาปราจีนบุรี

2. ระบบเติมสารละลายสารส้ม ได้แก่ อัตราเร็วในการไหลของสารส้ม และปริมาณสารส้มที่พอเหมาะ โดยเติมเข้าในระบบจริง

3. กระบวนการสมานตะกอนและตกตะกอน ซึ่งใช้เครื่องมือทดสอบแบบจาร์เทสต์ ได้แก่ อัตราเร็วในการกวนช้า, ระยะเวลาในการกวนช้า

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีการแปรค่าเพื่อทำการศึกษาและประเมินผลกระบวนการโคแอกกูเลชั่น ได้แก่

4.4.1 ความเร็วเกรเดียนท์ (G) ค่าความเร็วเกรเดียนท์จะแปรเปลี่ยนตามอัตราการไหลของน้ำดิบ ซึ่งจะประมาณค่าได้ดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ความเร็วเกรเดียนท์ในกระบวนการกวนเร็ว

การกวนเร็วของโรงกรองน้ำที่ศึกษาแห่งนี้ ประกอบด้วยเครื่องกวนในท่อ (Inline Static Mixer) ขนาด ø 300 มม. ความยาว 1.80 ม. ภายในติดตั้งด้วยใบหัดเกลียวหมู มีลักษณะบิดเป็นเกลียวขึ้นลง 4 เกลียว (ดูภาพที่ 4.3 ประกอบ) เป็นอุปกรณ์ในการกวนเร็ว ค่า G สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G = \left(\frac{gH}{\nu T}\right)^{0.5} \quad \text{(วินาที}^{-1}\text{)} \qquad 4.1$$

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง = 9.81 ม./วินาที^{2}

H = ค่าหัวน้ำสูญเสีย (เมตร)

ν = ความหนืดจลน์ = $\frac{\mu}{\rho}$ (ลบม./เมตร-วินาที)

T = เวลาของการกวนเร็ว (วินาที)

ทำการวัดค่าหัวน้ำสูญเสียโดยการติดเกจวัดความดันไว้ที่ตอนต้นและตอนท้ายของท่อกวนเร็วแบบ Inline Static Mixer แล้วนำค่าหัวน้ำสูญเสียดังกล่าวมาแทนในสมการที่ 4.1 เพื่อประเมินค่า G ของท่อกวนเร็ว ซึ่งจะได้ค่าของ G แปรเปลี่ยนตามอัตราการไหลดังตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ของท่อกวนเร็วแบบใบคงที่

อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	ค่าหัวน้ำสูญเสีย (เมตร)	ค่าความเร็วเกรเดียนท์ (วินาที$^{-1}$)
240	1.3	1,824
280	1.5	2,117
320	1.8	2,479
360	2.0	2,772
400	2.2	3,062

4.4.1.2 ความเร็วเกรเดียนท์ในกระบวนการกวนช้า

การกวนช้าของโรงกรองน้ำที่ศึกษาแห่งนี้ใช้แบบ Helicoidal-Flow Baffled-Channel Flocculator โดยแยกชนิดของ Baffle เป็น 2 แบบ คือ แบบแผ่นคอนกรีตและแบบแผ่นไม้ โดยการแบ่งน้ำที่ผ่านกระบวนการกวนเร็วแล้วออกเป็น 2 ส่วนในอัตราเท่า ๆ กัน เพื่อแยกไหลสู่ถังกวนช้าแผ่นคอนกรีต และแผ่นไม้ (ดูรูปที่ 4.2 ประกอบ) การแบ่งน้ำออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ใช้เวียร์ 3 เหลี่ยม 90°

การประเมินค่าความเร็วเกรเดียนท์ในกระบวนการกวนช้า คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.2 ซึ่งเขียนได้ว่า

$$G = \left(\frac{\rho Q g H}{\mu v}\right)^{0.5} \qquad 4.2$$

โดยที่

$$H = \Delta Y + \alpha \frac{\Delta V^2}{2g} \quad \text{(จากสมการที่ 3.9)}$$

ทำการวัดค่าระดับน้ำแตกต่าง ณ สเต็ง ต่าง ๆ ของถังกวนช้าทั้งแบบไม้และคอนกรีต คำนวณค่า G และ T ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 สำหรับวิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า G ของถังกวนช้าแบบแผ่นคอนกรีต (Concrete Flocculator)

$$H = \alpha \frac{\Delta V^2}{2g} + \Delta Y$$

I = STAGE I
II = STAGE II
III = STAGE III

Q (m^3/hr)	$\alpha \frac{\Delta V^2}{2g}$ (m)(α = 1.15)			ΔY (m)			H (m)			G (sec^{-1})		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	G_1	G_2	G_3
120	0.086	0.029	0.0060	0.229	0.0585	0.0135	0.135	0.0875	0.0195	88	47.4	23.3
140	0.118	0.040	0.0085	0.230	0.072	0.018	0.348	0.112	0.0265	99.8	57.0	28.3
160	0.154	0.052	0.0110	0.251	0.081	0.0225	0.405	0.133	0.0335	114.4	66.0	33.3
180	0.194	0.066	0.0140	0.291	0.09	0.027	0.485	0.156	0.0410	131.5	75.4	38.8
200	0.240	0.081	0.0170	0.324	0.116	0.0315	0.564	0.197	0.0485	148	88.3	44.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า T, GT ของถังกวนช้าแบบแผ่นคอนกรีต (Concrete Flocculator)

Q (m^3/hr)	Volume (m^3)			Time (min.)			GT			Remarks
	I	II	III	T_1	T_2	T_3	I	II	III	
120	16.00	15.67	14.58	8.00	7.91	7.36	42240.	22496.0	10289.3	
140	16.58	16.40	15.67	7.10	7.03	6.71	42514.8	24042.0	11393.6	
160	16.77	16.58	16.40	6.30	6.22	6.16	43242.	24631	12307.7	
180	17.13	16.77	16.58	5.71	5.59	5.53	45051.9	25289.2	12873.8	
200	17.50	17.13	16.77	5.25	5.14	5.04	46620	27331.7	13396.3	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า G ของถังกวนช้าแบบแผ่นไม้ (Wood Flocculator)

Q (m^3/hr)	$\alpha \frac{\Delta V^2}{2g}$ (α = 1.15)			ΔY (m)			H (m)			G (sec^{-1})		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	G_1	G_2	G_3
120	0.0228	0.0096	0.0065	0.047	0.050	0.006	0.070	0.060	0.0125	41.4	38.6	18.2
140	0.0317	0.0133	0.0089	0.049	0.06	0.009	0.0807	0.0733	0.0179	47.5	45.8	23.1
160	0.041	0.0174	0.0118	0.0555	0.055	0.0135	0.0965	0.0724	0.0253	55.1	48.4	29.0
180	0.052	0.022	0.015	0.058	0.058	0.0150	0.11	0.08	0.0300	62.1	53.6	33.0
200	0.065	0.027	0.018	0.069	0.068	0.0180	0.134	0.095	0.0360	72	61.1	38.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า T, GT ของถังกวนช้าแบบแผ่นไม้ (Wood Flocculator)

Q (m^3/hr)	Volume (m^3)			Time (min.)			GT			Remarks
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
120	16.48	16.25	15.12	8.00	7.89	7.64	19872	18273	8342.9	
140	17.01	16.63	15.88	7.04	6.70	6.40	20064	18412	8870.4	
160	17.24	16.78	16.25	6.54	6.40	6.10	21621	18585.6	10614.0	
180	17.39	17.11	16.63	5.90	5.82	5.54	21983	18717	10969.2	
200	17.54	17.24	17.01	5.27	5.20	5.11	22766.4	18989.9	11650.8	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 <u>เวลากวนช้า</u> เวลาในการกวนช้าหาได้จากสมการ

$$T = \frac{V}{Q} \qquad \text{(จากสมการที่ 3.9)}$$

4.4.3 <u>ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม</u> ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม (Optimum Dose) ของสารละลายสารส้มที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการทำจาร์เทสต์ ดังนี้

ก. เติมน้ำดิบลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ๆ ละ 1 ลิตร แล้วนำบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบวางบนจาร์เทสต์ ให้ตำแหน่งใบพัดอยู่ตรงกลางบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ ทำการตั้งใบพัดของเครื่องจาร์เทสต์ให้สูงจากพื้นบีกเกอร์ $2\frac{1}{4}$"

ข. เริ่มต้นลองใช้ปริมาณสารส้มต่าง ๆ ดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40, 50 มก./ลิตร (โดยดูดสารละลายสารส้ม 1% ที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 มล.ตามลำดับ) เติมสารส้มปริมาตรดังกล่าวลงในบีกเกอร์แต่ละใบพร้อมกันขณะกวนเร็ว โดยปรับความเร็วรอบของใบพัดและระยะเวลาตามตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ค. เมื่อครบเวลาดังกล่าวแล้ว ยกใบพัดขึ้นทั้งหมด แล้วตั้งบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบไว้ 15 นาที จากนั้นนำส่วนใสตอนบนมาทำการวัดความขุ่นและพีเอช เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากขนาดของตะกอนที่เกิดขึ้นในแต่ละบีกเกอร์ว่าอันไหนเกิดได้ดีกว่ากัน พร้อมทั้งพิจารณาค่าความขุ่นของน้ำส่วนใส ซึ่งมีค่าไม่ควรเกิน 10 NTU และค่าพีเอชของน้ำควรอยู่ในช่วง 6.0 - 8.0

ง. จากการวิเคราะห์ตลอดการทดลองของตัวอย่างน้ำดิบในช่วงที่ทำการทดลอง พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30 - 40 มก./ล.

จ. ค่าสารส้มที่แปรเปลี่ยนค่าในการทดลองจะใช้ค่าที่ครอบคลุมค่าที่เหมาะสมของสารส้มที่ใช้ ในการทดลองใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายสารส้มแปรเปลี่ยน 4 ตัว คือ 15, 25, 35 และ 45 มก./ล.

4.4.4 <u>การใช้ปูนขาวในการปรับสภาพน้ำ</u>

ในกรณีที่น้ำดิบมีค่าความเป็นด่างน้อย (<40) และมีค่าพีเอชต่ำ (<6.0)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะต้องทำการปรับค่าพีเอชใหม่ โดยใช้ปูนขาวซึ่งสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี ดังนี้

4.4.4.1 โดยการทำจาร์เทสต์

ก. ทำจาร์เทสต์ โดยเติมปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากข้อ 4.4.3ข. ภายหลังเติมสารส้มครบ 10 วินาที ให้ทำการเติมปูนขาวขณะกวนเร็วในปริมาณต่าง ๆ กัน เช่น 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 มก./ล. ตามลำดับ ทั้งนี้ให้ปรับความเร็วรอบของใบพัด และระยะเวลาในการกวนเช่นเดียวกับข้อ 4.4.3

ข. เมื่อครบเวลาตามตารางที่ 4.3 แล้ว ยกใบพัดทั้ง 6 ขึ้น ปล่อยให้อนุภาคตะกอนตกในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนใสตอนบนของบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ มาทำการตรวจสอบสภาพการตกตะกอน พร้อมทั้งทดสอบวัดค่าความขุ่นและค่าพีเอช สภาพของบีกเกอร์ใดซึ่งมีการตกตะกอนดีมีค่าความขุ่นไม่เกิน 10 NTU และมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.0 - 8.0 แสดงว่า การใช้ปูนขาวในการปรับสภาพน้ำสำหรับบีกเกอร์นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมแล้ว

4.4.4.2 โดยการคำนวณ

ค่าพีเอชซึ่งลดน้อยลงแสดงว่า ค่าความเป็นด่างของน้ำดิบถูกปฏิกิริยาทางเคมีของสารส้มทำลายไป ตามข้อแนะนำขององค์การประปาแห่งสหรัฐอเมริกา (AWWA, 1971) แนะนำว่า เพื่อปรับสภาพความเป็นด่างและค่าพีเอชให้คงสภาพเดิมนั้น จะต้องเติมปูนขาวในอัตราตามตารางที่ 4.6 กล่าวคือ เมื่อทำการเติมสารส้มปริมาณ 1 มก./ล. จะต้องเติมปูนขาวในรูปของ Hydrated Lime, $Ca(OH)_2$ จำนวน 0.39 มก./ล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของปูนขาวในการรักษาค่าความเป็นด่างและพีเอช เมื่อทำปฏิกิริยากับ 1.0 มก./ล. ของสารส้ม (29)

สารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ		ความเข้มข้นของสารเคมี (มก./ล.)	ความเข้มข้นของสารส้ม (มก./ล.)
$CaCO_3$	ปูนขาว	0.50	1.0
85% CaO	ปูนขาว	0.33	1.0
95% $Ca(OH)_2$	ปูนขาว	0.39	1.0
Na_2CO_3	โซดาไฟ	0.54	1.0

4.5 การดำเนินการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาและประเมินผลกระบวนการโคแอกกูเลชั่นจากโรงกรองน้ำที่ศึกษา สามารถแยกเป็นรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

เนื่องจากในการทดลองนี้จะต้องหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมที่ความขุ่นของน้ำดิบ ณ อัตราการไหลต่าง ๆ โดยการทำจาร์เทสต์ก่อน จากนั้นจึงจะควบคุมปริมาณสารส้มที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบให้มีปริมาณที่เหมาะสมดังกล่าวต่อไป จึงต้องรอเวลาเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเสียก่อน จึงจะเริ่มเก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ จากการทดลองพบว่า ในการทดสอบจาร์เทสต์เพื่อหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติของน้ำ รวมทั้งระยะเวลาในการเตรียมสารละลายสารส้ม และเวลาที่เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชั่นในระบบจริง ต้องใช้เวลาทั้งสิ้นรวม 2 ชั่วโมง ดังขั้นตอนที่แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ระยะเวลาในการทดลองเพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ลำดับที่	ขั้นตอนในการทดลอง	ระยะเวลา (นาที)
1	เปิดเครื่องสูบน้ำและควบคุมอัตราไหลให้คงที่	20
2	เก็บตัวอย่างน้ำดิบพร้อมทดสอบ	5
3	จาร์เทสต์ พร้อมทดสอบ	45
4	เตรียมสารละลาย สารส้ม/ปูนขาว	20
5	สูบสารละลายสารส้มเข้าสู่ระบบ	5 -10
6	กระบวนการโคแอกกูเลชั่นในระบบจริง	25
	รวม	120 -125

จากตารางที่ 4.7 ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองจะต้องให้ระบบ เข้าสู่สภาวะคงตัวเสียก่อน ซึ่งใช้เวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง จึงจะเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการทดสอบต่อไป

4.5.2 การทดลองหาพารามิเตอร์ควบคุม

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่องสูบน้ำ HP1/HP2/LP1 ตัวใดตัวหนึ่ง หรือ 2 ตัวพร้อมกัน เพื่อให้ได้อัตราไหลตามตารางที่ 4.1 วัดอัตราไหลของน้ำดิบด้วยเครื่องวัด FLOW RESEARCH จากนั้นปรับอัตราไหลของน้ำดิบให้ได้ตามต้องการ โดยปรับวาล์วที่ท่อทางส่งของเครื่องสูบน้ำ

2. ทำการเก็บตัวอย่างจากท่อส่งน้ำดิบ แล้ววัดค่าอุณหภูมิ, พีเอช, ความขุ่น, ค่าความเป็นด่าง และปริมาณสารแขวนลอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ทำจาร์เทสต์เพื่อหาค่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสม พร้อมทั้งทดสอบค่า พีเอช, ความขุ่น, ค่าความเป็นด่าง, ปริมาณสารแขวนลอย รวมทั้งประสิทธิภาพในการตกตะกอนของน้ำดิบภายหลังการกวนช้าแล้ว

4. เตรียมสารละลายสารส้มในถุงละลายสารส้ม และสูบเข้าสู่เส้นท่อที่บ่อของท่าผสมด้วยเครื่องสูบสารละลายสารส้ม (CP 1) ในอัตราคงที่และให้มีความเข้มข้นตามข้อ 4.4.3.จ

5. รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำดิบที่ผ่านกระบวนการกวนเร็ว ที่จุด 1 และ 2 ทั้งนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบขั้นกวนเร็วโดยนำน้ำตัวอย่างจากจุด 1 มากวนช้าต่อด้วยจาร์เทสต์ที่ G 30 วินาที (30 รอบ/นาที) และเวลาในการกวนเท่ากับ 20 นาที ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบขั้นกวนช้าโดยนำน้ำตัวอย่างจากจุด 2 มากวนช้าด้วยจาร์เทสต์ โดยปรับความเร็วรอบของใบพัดและระยะเวลาในการหมุน เพื่อให้ค่า G และ T ของจาร์เทสต์เท่ากับค่า G และ T ของระบบที่ สเต็จ ต่าง ๆ จากนั้นทั้ง 2 ขั้นตอนจะทิ้งไว้ให้ตกตะกอนตาม OFR ค่าต่าง ๆ กัน 3 ค่า คือ 1, 1.5 และ 2 เมตร/ชั่วโมง แล้วทำการวัดค่า พีเอช, ความขุ่นที่เหลือ ค่าความเป็นด่าง และปริมาณสารแขวนลอยของน้ำส่วนใส เก็บตัวอย่างน้ำจากระบบจริงที่ สเต็จต่าง ๆ ปล่อยให้ตกตะกอนตาม OFR เดียวกับจาร์เทสต์ ทำการวัดค่าความขุ่นที่เหลือ pH, Alk, และ SS

6. เก็บตัวอย่างน้ำ (3) จากระบบจริงที่สเต็จต่าง ๆ ซึ่งผ่านถังกวนช้าแล้วมาทำการทิ้งให้ตกตะกอนในถ้วยจาร์ ที่ OFR ค่าต่าง ๆ กัน 3 ค่าคือ 1, 1.5 และ 2 เมตร/ชั่วโมง แล้วทำการวัดค่าพีเอช, ความขุ่นที่เหลือ, ค่าความเป็นด่าง และปริมาณสารแขวนลอยของน้ำส่วนใส

4.5.3 <u>อุปกรณ์จาร์เทสต์ ความเร็วรอบของใบพัด และระยะเวลาในการกวนสำหรับการทดลอง</u>

4.5.3.1 ถ้วยจาร์

การทดลองนี้ใช้ถ้วยจาร์เทสต์ขนาด 2 ลิตร ถ้วยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.115" ความสูง 7.5" ภายในติดตั้งด้วยแผ่น Agitator 6 แผ่น ใบพัดมีขนาด 1" × 3" (กว้าง × ยาว) สามารถเปลี่ยนความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0 - 100 รอบ/นาที ด้านล่างของถ้วยเสียบไว้ด้วยสายยางขนาด ø 1/4" สำหรับถ่ายเทน้ำภายในถ้วยจาร์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำต่อไป รูปลักษณะของถ้วยจาร์ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.5.3.2 ความเร็วรอบของใบพัด

ความเร็วรอบของใบพัดกำหนดให้สอดคล้องกับค่า G ที่เกิดขึ้นจากสภาพความเป็นจริงของถังกวนช้า ความเร็วรอบของใบพัดได้จากการคิดค้นและทดลองของ Camp.[30] ซึ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ และความเร็วรอบของใบพัดสำหรับถ้วยจาร์ขนาด 2 ลิตร ติดตั้งด้วยแผ่น Agitator 6 แผ่น ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

Camp.[30] พบว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความเร็วเกรเดียนท์จะสูงตามไปด้วย เมื่อกวนด้วยความเร็วเท่ากัน

จากรูปที่ 4.5 สามารถกำหนดความเร็วรอบของใบพัดในถ้วยจาร์ให้สอดคล้องกับค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่เกิดขึ้นจากสภาพความเป็นจริงของถังกวนช้าได้ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

4.5.3.3 เวลาในการกวนช้าของใบพัด

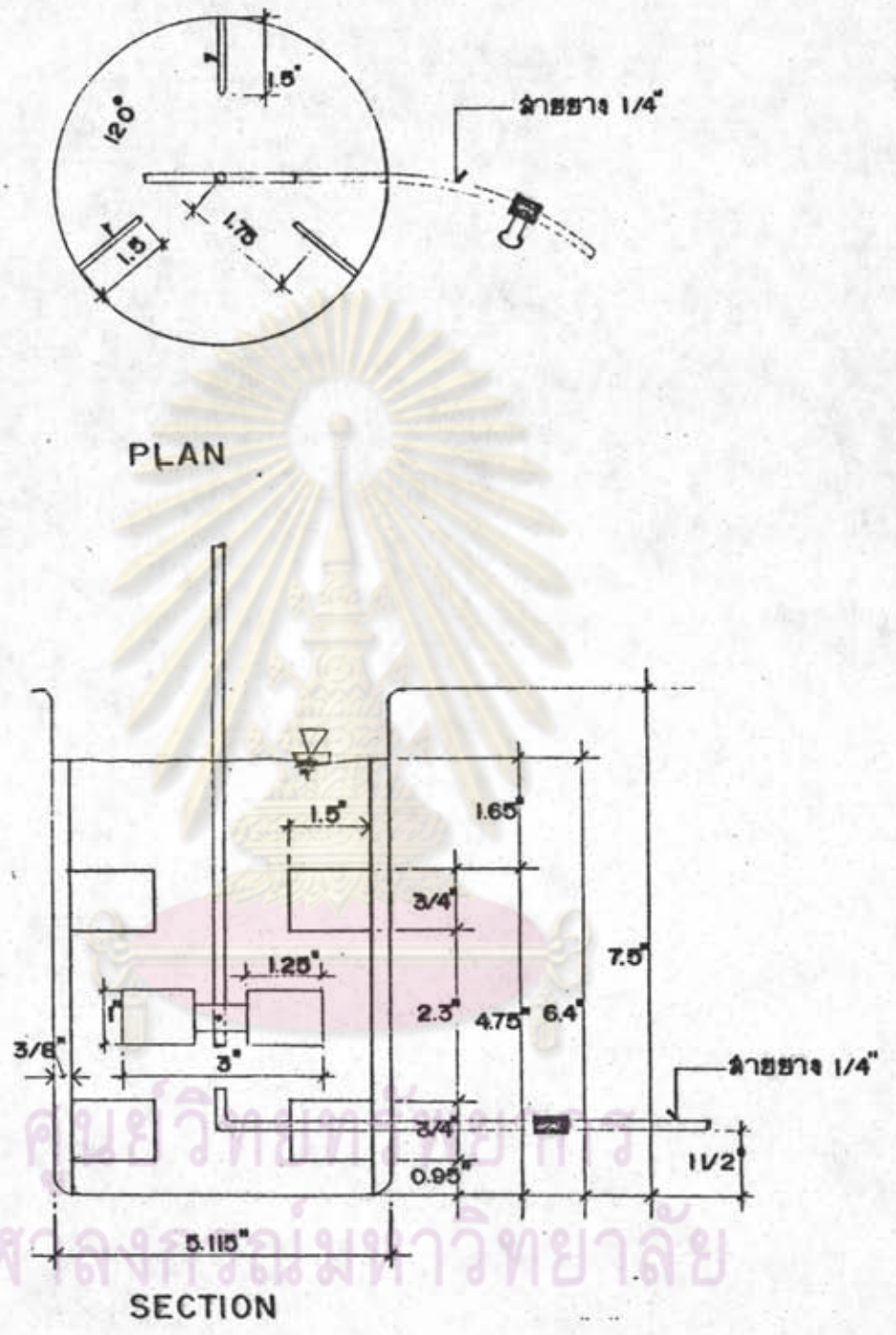
ระยะเวลาในการกวนช้าของใบพัดกำหนดให้สอดคล้องกับค่าเวลาเก็บกักของน้ำในถังกวนช้าจากสภาพความเป็นจริง ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามอัตราไหลของน้ำดิบดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

4.5.4 การควบคุมค่า OFR

การแปรค่า OFR กระทำโดยปล่อยให้น้ำตัวอย่างที่ผ่านการเติมสารส้มแล้วมากวนช้าต่อด้วยจาร์เทสต์ ตามเวลาและความเร็วรอบของใบพัดที่แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนในถ้วยจาร์เป็นเวลา 3.75, 5.00 และ 7.50 นาทีตามลำดับ เก็บน้ำใส (Supernatant) ด้วยวิธีระบายผ่านท่อระบายภายในถ้วยจาร์ โดยปากท่ออยู่ลึกจากผิวน้ำ 12.5 ซม. ค่า OFR ที่ได้จากเวลาในการตกตะกอน แสดงในตารางข้างล่าง

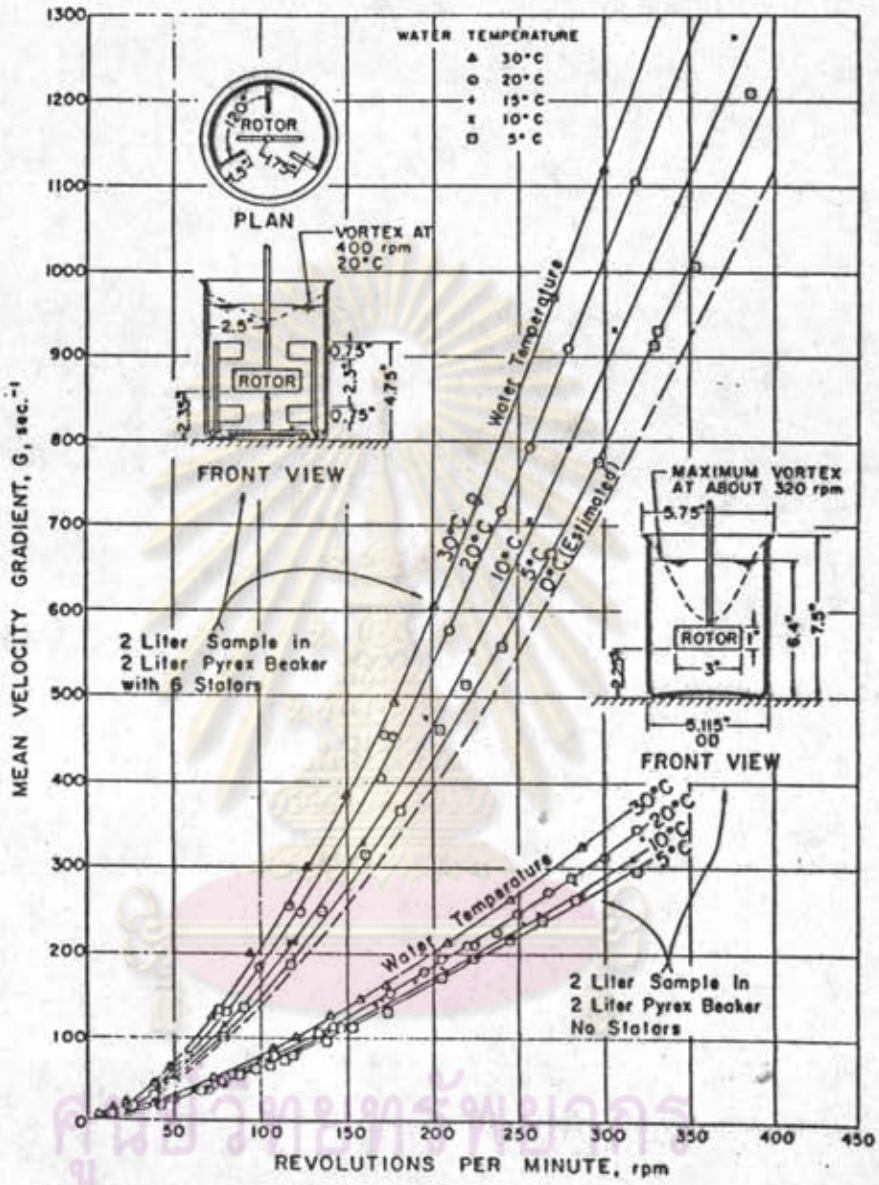
ค่า OFR ที่เวลาในการตกตะกอนต่าง ๆ

เวลาในการตกตะกอน (นาที)	OFR (ม./ชม.)
3.75	2.0
5.00	1.5
7.50	1.0



รูปที่ 4.4 แสดงขนาดของถ้วยจาร์, ใบพัด และแผ่น Agitator สำหรับการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเกรเดียนท์ และ
ความเร็วรอบของใบพัดในถ้วยจาร์ขนาด 2 ลิตร (Camp. 1970)[28]

ตารางที่ 4.8 ค่า G, RPM และ T ในการทดลองจาร์เทสต์ขนาด 2 ลิตรซึ่งกำหนดให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของถังกวนช้าแบบแผ่นคอนกรีต

อัตราไหล	ขั้นที่ I			ขั้นที่ II			ขั้นที่ III		
(ลบ.ม./ชม.)	G_1 (วินาที)	RPM 1 (รอบ/นาที)	T_1 (นาที)	G_2 (วินาที)	RPM 2 (รอบ/นาที)	T_2 (นาที)	G_3 (วินาที)	RPM 3 (รอบ/นาที)	T_3 (นาที)
120	88	56	8.00	47.4	40	7.91	23.3	26	7.36
140	99.8	64	7.10	57.0	43	7.03	28.3	28	6.71
160	114.4	68	6.30	66.0	47	6.22	33.3	32	6.16
180	131.5	75	5.71	75.4	52	5.59	38.8	35	5.53
200	148	80	5.25	88.3	56	5.14	44.3	38	5.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ค่า G, RPM และ T ในการทดลองจาร์เทสต์ขนาด 2 ลิตรซึ่งกำหนดให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของถังกวนช้าแบบแผ่นไม้

อัตราไหล (ลบ.ม./ชม.)	ขั้นที่ I			ขั้นที่ II			ขั้นที่ III		
	G_1 (วินาที)	RPM 1 (รอบ/นาที)	T_1 (นาที)	G_2 (วินาที)	RPM 2 (รอบ/นาที)	T_2 (นาที)	G_3 (วินาที)	RPM 3 (รอบ/นาที)	T_3 (นาที)
120	41.4	37	8.00	38.6	35	7.89	18.2	22	7.64
140	47.5	40	7.04	45.8	39	6.70	23.1	26	6.40
160	55.1	42	6.54	48.4	40	6.40	29.0	29	6.10
180	62.1	45	5.90	53.6	41	5.82	33.0	32	5.54
200	72	50	5.27	61.1	45	5.20	38.0	35	5.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนึ่ง ในข้อ 4.5.3.1 และ 4.5.3.3 เป็นการกำหนดค่าความเร็วรอบและเวลาในการทำงานของจาร์เทสต์ที่เลียนแบบถังกวนช้าจริง ส่วนความเร็วรอบและเวลาในการทำงานของจาร์เทสต์ทั่วไป (Conventional Jar Test) ได้กำหนดค่าไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ควบคุมของจาร์เทสต์ทั่วไป (31)

การกวน	ความเร็วรอบของใบพัด (รอบ/นาที)	เวลาในการกวน (นาที)
กวนเร็ว	100	1
กวนช้า	30	20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย