หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แผนการวิจัยได้กำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการกรองโดยตรงในการผลิตน้ำประปาเพื่อชุมชน ดังนั้นจึงกำหนดพารามิเตอร์ที่แปรเปลี่ยนไว้ดังนี้ คือ

1. ระดับความขุ่นเริ่มต้นกำหนดไว้ 3 ระดับคือ 10 , 50 และ 100 NTU

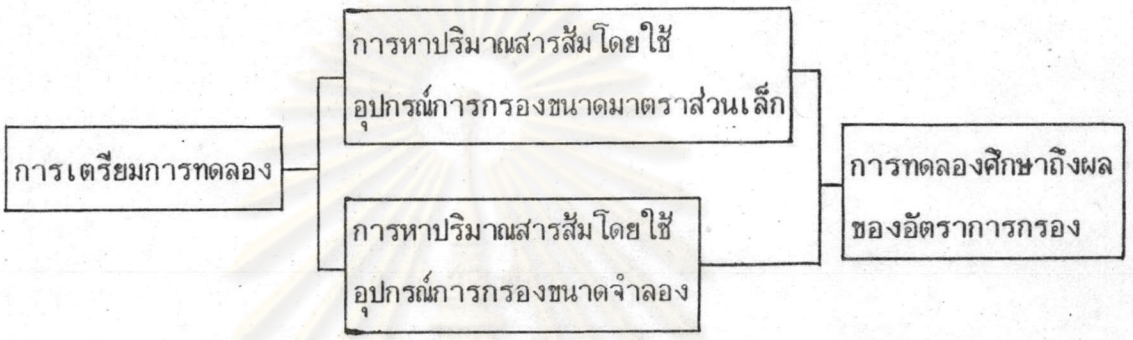
2. ปริมาณสารส้มที่แปรเปลี่ยนสำหรับแต่ละระดับความขุ่น กำหนดไว้ 9 ระดับคือ 0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 มก/ล

3. อัตราการกรองที่แปรเปลี่ยนสำหรับแต่ละระดับความขุ่น กำหนดไว้ 3 ระดับคือ 10 , 15 และ 20 ลบ ม/ตร ม-ชม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมการทดลอง การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก(lab scale) การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง(pilot scale) และการทดลองศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง ลำดับการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลำดับการทดลอง

รูปแบบและลักษณะของการทดลองเป็นดังนี้คือ

1. การเตรียมการทดลอง ได้แก่การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยอนุภาคดินคาโอลิน การเตรียมสารกรองและสารเคมีที่ใช้ การทดสอบหาช่วงปริมาณที่ใช้ในการทดลองของสารส้ม

2. การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก เป็นการทดลองเบื้องต้นกับอุปกรณ์ขนาดเล็กซึ่งสามารถกระทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ในการทดลองนี้ใช้ค่าดัชนีการกรองเพื่อบอกถึงปริมาณที่เหมาะสม(optimum condition) ค่าดัชนีการกรองหาได้จากการวัดค่าการสูญเสียเฮด และความขุ่นของน้ำที่กรองได้ โดยพยายามควบคุมอัตราการกรองให้คงที่ในแต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบ

3. การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลองเป็นการทดลองกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสโดยใช้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรองขนาดจำลอง ทำการกรองโดยแปรเปลี่ยนปริมาณสารส้มในแต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบ แล้วทำการวัดค่าการสูญเสียเฮด และความขุ่นของน้ำที่กรองได้ นำมาคำนวณหาค่าดัชนีการกรองเพื่อบอกถึงปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับขั้นตอนที่ 2 ซึ่งใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก

4. การทดลองศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง เป็นการทดลองที่ต่อเนื่องมาจากขั้นตอนที่ 3 แต่ทำการแปรเปลี่ยนอัตราการกรอง และทำการเติมสารส้มในปริมาณที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3 ในแต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบ แล้วทำการวัดค่าการสูญเสียเฮด และความขุ่นของน้ำที่กรองได้

4.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในการวิจัย

4.2.1 อุปกรณ์จาร์เทสต์

อุปกรณ์จาร์เทสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นของบริษัท PHIPP & BIRD , INC. ซึ่งปรับความเร็วรอบได้ ประกอบด้วยใบพัดกวนขนาด 1x3 นิ้ว จำนวน 6 ชุด

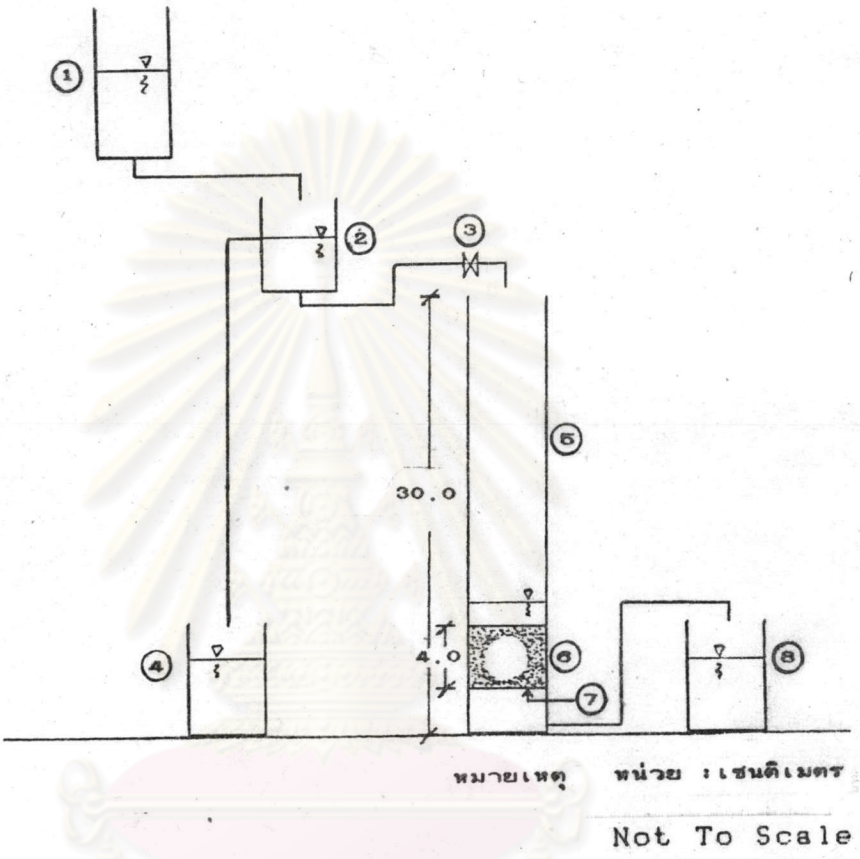
4.2.2 อุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก

เครื่องกรองของอุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองทำด้วยพลาสติกใสรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มม สูง 30 ซม และมีเสกลที่ด้านข้างของทรงกระบอกสำหรับอ่านค่าการสูญเสียเฮด รายละเอียดต่างๆแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2

ทรายกรองที่ใช้ในการหาค่าดัชนีการกรองมีขนาดสัมฤทธิ์ 0.235 มม และมีสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.53 ในการทดลองนี้บรรจุทรายในเครื่องกรองหนา 4 ซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I10301264



① กระบอกใส่น้ำที่จะกรอง

② Constant head tank

③ วาล์วปิด - เปิด

④ บีกเกอร์รองรับน้ำล้น เพื่อหมุนเวียนกลับ

⑤ กระบอกกรอง

⑥ ทรายกรอง

⑦ แผ่นพลาสติกเจาะรู วางทับด้วยผ้าตะแกรงใยสังเคราะห์

⑧ บีกเกอร์รองรับน้ำที่กรองได้

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์หาค่าดัชนีการกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก

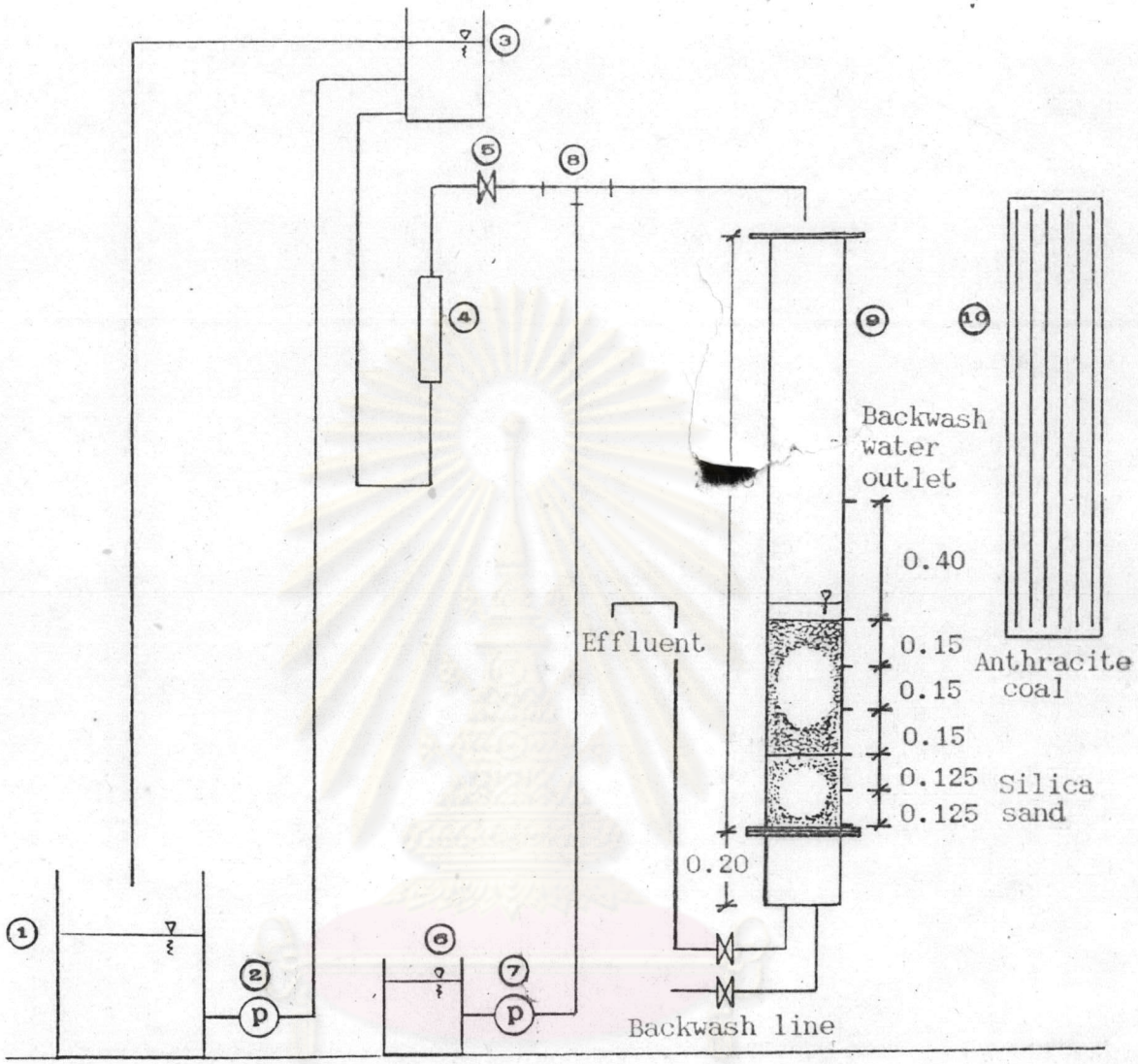
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 อุปกรณ์การกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสขนาดจำลอง

รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ระบบการกรองโดยตรง

เครื่องกรองของอุปกรณ์การกรองโดยตรงทำด้วยพลาสติกรูปทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 42 มม สูง 220 ซม ประกอบด้วยชั้นกรวดรองรับหนา 20 ซมและชั้นสารกรองแบบ 2 ชั้นกรอง ที่ประกอบด้วยชั้นทรายซิลิกา(ขนาดสัมฤทธิ์ 0.575 มม สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.10) หนา 25 ซม และชั้นถ่านแอนทราไซต์(ขนาดสัมฤทธิ์ 1.22 มม สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ 1.23) หนา 45 ซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ หน่วย: เมตร

Not To Scale

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(1)	Raw water tank	(6)	Alum solution tank
(2)	Raw water pump	(7)	Alum feeding pump
(3)	Constant head tank	(8)	In - line injector
(4)	Rotameter	(9)	Filtration column
(5)	Flow control valve	(10)	Manometer board

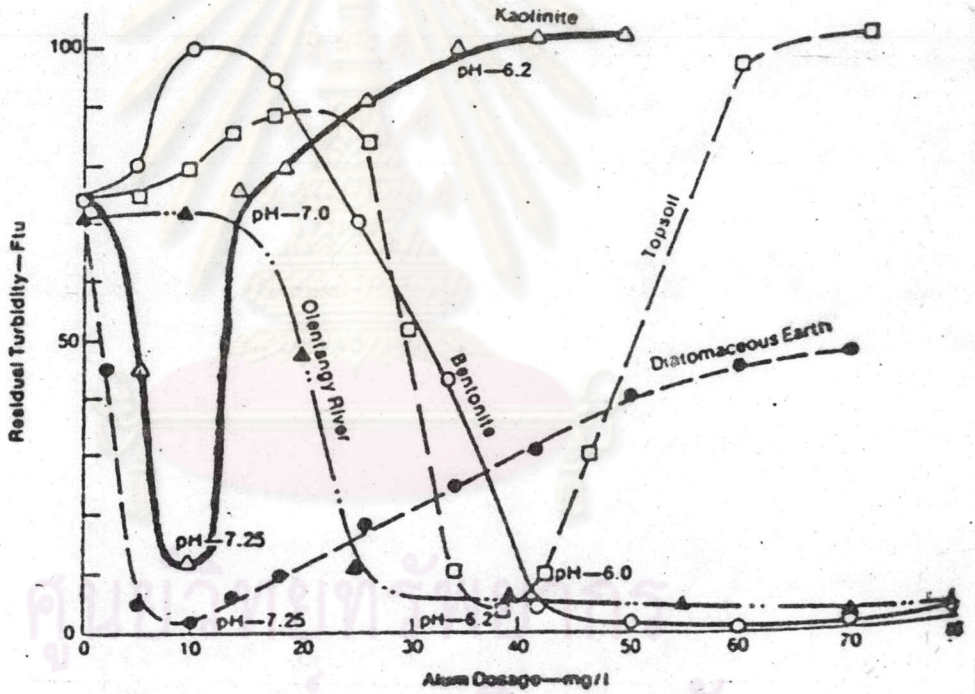
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์การกรองโดยตรง แบบกรองสัมผัส ขนาดจำลอง

4.3 การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์และสารเคมี

การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์และสารเคมี สามารถดำเนินการได้ดังนี้

4.3.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

ผงดินคาโอลินเป็นสารที่ใช้ในการสร้างความขุ่นในน้ำสำหรับใช้ในการทดลองนี้ ทั้งนี้เนื่องจากพบว่ามีปะปนอยู่ในน้ำผิวดินที่นำมาผลิตน้ำประปาและมี BEC(base exchange capacity) แคบ ทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน แม้จะใช้ปริมาณสารส้มเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผงดินชนิดอื่น(ดูรูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 อิทธิพลของอนุภาคดินและปริมาณสารส้ม

ในการวิจัยนี้ ได้กำหนดระดับความขุ่นไว้ที่ 10 , 50 และ 100 NTU และมีขนาดของอนุภาคความขุ่นในช่วงที่เล็กกว่าหรือเท่ากับ 1 ไมครอน ดังนั้นจึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอนในน้ำนิ่งตามเวลาและความลึกที่คำนวณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด(discrete settling) ดังนี้

$$V_s = g(\rho_s - \rho)d^2/18\mu \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่ V_s คือ ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค , ม/วินาที

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , ม/วินาที^{2}

ρ_s คือ ความหนาแน่นของอนุภาค , กก/ม^3

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ , กก/ม^3

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค , ม

และ μ คือ ความหนืดของน้ำ , นิวตัน - วินาที / ม^2

ในที่นี้อนุภาคดินคาโอลินมีความหนาแน่น 2,380 กก / ม^3

ดังนั้นถ้ากำหนดขนาดของอนุภาคดินคาโอลินให้มีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่า 1 ไมครอนแล้วจะได้ว่า $d = 1x10^{-6}$ ม , ρ_s = 2,380 กก/ม^3 , g = 9.81 ม/วินาที^{2}, ρ = 997 กก/ม^3 และ $\mu = 0.9x10^{-3}$ นิวตัน-วินาที/ม^2 ที่อุณหภูมิ 25 °C

แทนค่า $V_s = \{9.81(2,380-997)(1x10^{-6})^2\}/\{18(0.9x10^{-3})\}$

$= 8.37x10^{-7}$ ม/วินาที

= 0.30 ซม/ซม

ดังนั้นที่เวลา 24 ชั่วโมง จะตกตะกอนได้เป็นความลึก 7.2 เซนติเมตร

นั่นคืออนุภาคดินคาโอลินที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะสามารถตกตะกอนได้ระยะลึกมากกว่า 7.2 ซมและในทางตรงกันข้ามอนุภาคดินคาโอลินที่แขวนลอยอยู่ระหว่างผิวน้ำถึงระดับที่ลึก 7.2 ซมจะมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1 ไมครอน หลักการนี้นำมาใช้ในการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

1. ทำการชั่งผงดินคาโอลิน 2,000 กรัม แล้วนำมาผสมกับน้ำประปา 1 ลิตร โดยใช้อุปกรณ์เบลนเดอร์ช่วยในการผสม

2. รินน้ำในข้อ 1 ผสมกับน้ำประปาในถังพลาสติกขนาด 45x45x45 ซม โดยให้มีระดับน้ำสูง 15 ซม น้ำประปาที่ใช้ประมาณ 30 ลิตร

3. กวนส่วนผสมดังกล่าวให้เข้ากัน หลังจากนั้นปล่อยให้ตกตะกอนนาน 24 ชั่วโมง

4. ทำการดูดชักตัวอย่างน้ำที่ระยะลึก 7.2 ซม จากผิวน้ำ น้ำขุ่นคาโอลินที่ได้นี้จะมีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าหรือเท่ากับ 1 ไมครอน

5. ทำการเจือจางน้ำขุ่นคาโอลินที่ได้ด้วยน้ำประปาในอัตราส่วนที่เหมาะสมและผสมให้เข้ากัน จะได้น้ำดิบสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 10 , 50 และ 100 NTU ตามต้องการ แล้วทำการปรับสภาพพีเอชของน้ำให้อยู่ในช่วง 7.5 - 8.0

4.3.2 สารเคมี

4.3.2.1 สารส้ม

สารส้มที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นระดับที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory grade) ที่ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd. มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสูตรทางเคมีว่า $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$

สารละลายสารส้ม 1% เตรียมได้โดยทำการละลายสารส้ม $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ 10 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4.3.2.2 สารละลายกรดเกลือ

ทำการเจือจางกรดเกลือ(hydrochloric acid)ที่มีความเข้มข้น 36.0 N ปริมาตร 27 มล ลงในน้ำที่มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล จะได้ความเข้มข้นของกรดเกลือประมาณ 1.0 N หลังจากนั้นทำการเจือจางกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 1.0 N ปริมาตร 100 มล ลงในน้ำที่มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล จะได้ความเข้มข้นของกรดเกลือที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.1 N

4.3.2.3 สารละลายด่าง

นำสารโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 103 °C นาน 24 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นใน desiccator นาน 45 นาที หลังจากนั้นทำการละลาย Na_2CO_3 ปริมาณ 5.3 กรัม ลงในน้ำที่มีปริมาตรสุดท้าย 1,000 มล จะได้สารละลาย Na_2CO_3 ที่มีความเข้มข้น 0.1 N

4.4 การดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยได้แบ่งงานทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

4.4.1 การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก

การทดลองนี้เป็นการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสม โดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดมาตราส่วนเล็ก และใช้ค่าดัชนีการกรองเป็นค่าเปรียบเทียบ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. กำหนดความขุ่นของน้ำดิบและปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.5-8.0

2. ตวงน้ำดิบ 2 ลิตร ลงในบีกเกอร์ของอุปกรณ์จาร์เทสต์

3. ปรับความเร็วรอบของการหมุนให้ได้ 100 รอบ/นาทีซึ่งจะมีระดับความเร็วแกรเดียนต์ประมาณ 140 วินาที$^{-1}$ (R.J.,Lai et.al.(26) ได้ทำการประเมินค่าความเร็วแกรเดียนต์ที่ความเร็วรอบของการหมุน 100 รอบ/นาที สำหรับบีกเกอร์ชนิด D1 ไว้เท่ากับ 140 วินาที$^{-1}$)

4. เติมสารส้มแล้วปล่อยให้มีระยะเวลากวนเร็ว 1 นาที แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำไว้ประมาณ 50 ลบ ซม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความขุ่นของน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง

5. นำน้ำที่ได้จากข้อ 4 ผ่านเครื่องกรองขนาดมาตราส่วนเล็กซึ่งถูกเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว(โดยตวงน้ำประปาใส่กระบอกกรองปริมาตร 150 ลบ ซม และเททรายกรองหนัก 90.93 กรัม ซึ่งเทียบเท่าความสูง 4 ซม ลงในกระบอกกรอง)

6. การทำงานจะอาศัย Constant head tank ในการควบคุมอัตราการกรองให้คงที่ประมาณ 100 ลบ ซม/นาที (3.95 ลบ ม/ตร ม-ชม)

7. จับเวลาการกรอง 10 นาที แล้วอ่านค่าการสูญเสียเฮดจากสเกลข้างกระบอกกรองและบันทึกปริมาตรของน้ำที่กรองได้หลังจากนั้นจึงนำน้ำสุดท้ายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาค่าความขุ่นของน้ำที่กรองได้

8. คำนวณหาค่าดัชนีการกรอง จากสูตร

$$F = (C*H)/(C_o*v*t)$$

โดยที่ F คือ ค่าดัชนีการกรอง

C คือ ค่าความขุ่นของน้ำที่กรองได้ , NTU

C_o คือ ค่าความขุ่นของน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง , NTU

H คือ ค่าการสูญเสียเฮด , ซม

v คือ ปริมาตรของน้ำที่กรองได้ต่อเวลาต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซม/นาที

t คือ ระยะเวลาการกรอง , นาที

ในที่นี้ $vt = (Q/A)(V/Q) = V/A$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของน้ำที่กรองได้ , ลบ ซม

และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของถังกรอง

= 13.83 ตร ซม

ดังนั้น $F = 13.83\ C*H/(C_o*V)$

9. เมื่อมีการแปรเปลี่ยนปริมาณสารส้มหรือระดับความขุ่นตามตารางที่ 4.1 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่หัวข้อ 1-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่าแปรเปลี่ยนของปริมาณสารส้ม สำหรับแต่ละระดับความขุ่น

ระดับความขุ่น (NTU)	ปริมาณสารส้ม (มก/ล)
10	0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30
50	0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30
100	0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30

4.4.2 การหาปริมาณสารส้มโดยใช้อุปกรณ์การกรองขนาดจำลอง

การทดลองนี้เป็นการหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมโดยใช้อุปกรณ์การกรองโดยตรงแบบกรองสัมผัสที่ใช้เครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรองขนาดจำลอง และใช้ค่าดัชนีการกรองเป็นค่าเปรียบเทียบ ในการทดลองใช้อัตราการกรอง 10 ลบ ม/ตร ม-ชม ซึ่งเป็นอัตราการกรองปกติของเครื่องกรองแบบ 2 ชั้นกรอง แล้วทำการแปรเปลี่ยนปริมาณสารส้มในแต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. หาค่าการสูญเสียเฮดเริ่มต้นที่แต่ละระดับของสารกรองโดยทำการกรองน้ำใส(น้ำประปา)ผ่านเครื่องกรองเป็นเวลา 1 ชม

2. เตรียมน้ำดิบที่มีค่าความขุ่นและพีเอชตามกำหนด

3. กรองน้ำดิบผ่านเครื่องกรอง โดยมีการฉีดสารส้มให้กับน้ำดิบในเส้นท่อโดยตรง(in-line injection) ก่อนเข้าเครื่องกรอง

4. เก็บตัวอย่างน้ำที่กรองได้เพื่อวิเคราะห์หาค่าความขุ่น และบันทึกค่าการสูญเสียเฮดที่แต่ละระดับของสารกรองทุกๆ 1 ชั่วโมง

5. การสิ้นสุดการกรอง ในการทดลองกำหนดค่าความขุ่นสูงสุดที่ยอมรับของน้ำที่กรองได้ไว้เท่ากับ 1 NTU และกำหนดการสิ้นสุดการกรองไว้ดังนี้คือ

5.1 ในกรณีที่ไม่สามารถผลิตน้ำที่มีคุณภาพดังกล่าวภายในเวลา 1 ชั่วโมงแรก ให้ทำการกรองเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง

5.2 เมื่อเครื่องกรองเกิดเบรคธรูและน้ำที่กรองได้มีค่าระดับความขุ่นเท่ากับหรือมากกว่า 1 NTU

5.3 เมื่อค่าการสูญเสียเฮดทั้งหมดมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 120 ซม

6. การล้างย้อน ในการทดลองกำหนดให้ทำการล้างย้อนโดยให้มีระดับการขยายตัวของสารกรอง 30-40 % (ควบคุมที่ 35 %) เป็นเวลา 7.5 นาที และทำการบันทึกปริมาตรของน้ำล้างย้อนเพื่อคำนวณหาอัตราเฉลี่ยของการล้างย้อน

7. เมื่อมีการแปรเปลี่ยนปริมาณสารส้มหรือระดับความขุ่นตามตารางที่ 4.1 ให้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันตั้งแต่หัวข้อ 1 - 6

4.4.3 <u>การทดลองศึกษาถึงผลของอัตราการกรอง</u>

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงผลของอัตราการกรองที่มีต่อค่าความขุ่นของน้ำที่ผ่านการกรองและค่าการสูญเสียเฮด โดยทำการแปรเปลี่ยนอัตราการกรอง และเติมสารส้มในปริมาณที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองที่ 4.4.2 ในแต่ละระดับความขุ่นของน้ำดิบ สำหรับวิธีการทดลองกระทำเหมือนหัวข้อ 1 - 6 ของการทดลองที่ 4.4.2 แต่ทำการแปรเปลี่ยนอัตราการกรอง การเติมสารส้ม หรือระดับความขุ่น ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าแปรเปลี่ยนของอัตราการกรอง สำหรับแต่ละระดับความขุ่น

ระดับความขุ่น (NTU)	อัตราการกรอง (ลบ ม/ตร ม-ชม)					
	10*		15		20	
	ไม่เติมสารส้ม	เติมสารส้ม	ไม่เติมสารส้ม	เติมสารส้ม	ไม่เติมสารส้ม	เติมสารส้ม
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓
100	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ * การทดลองส่วนที่ได้ทำไปแล้วในหัวข้อ 4.4.2

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำและการสูญเสียเฮด

ความขุ่นทำการวัดโดยเครื่องวัดความขุ่นของ HACH รุ่น 2100 A พีเอชทำการวัดโดยเครื่องวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic การสูญเสียเฮดได้จากการอ่านค่าจากสเกลบน Manometer board หรือข้างกระบอกกรองซึ่งมีความละเอียดถึงมิลลิเมตร