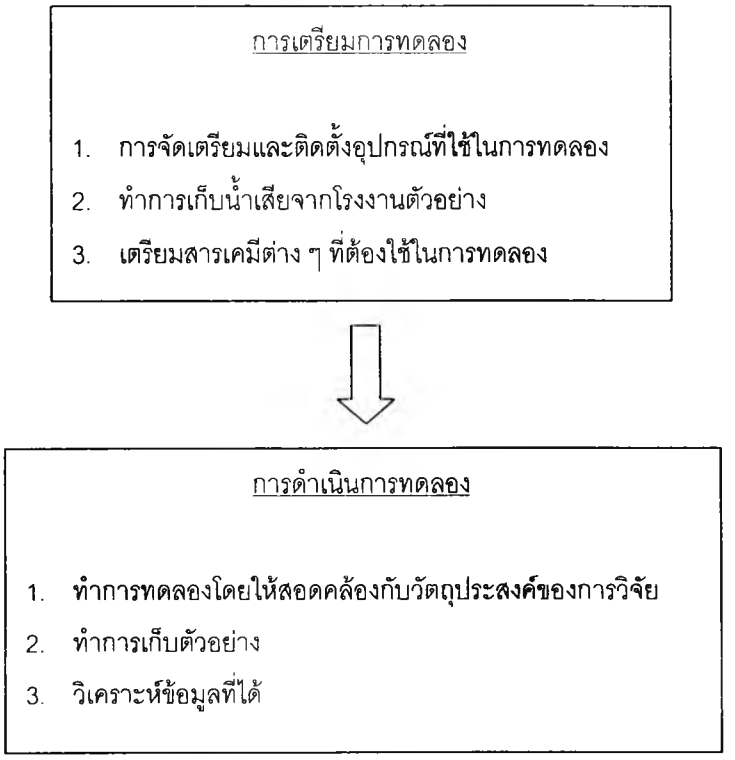
บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นการทดลองโดยใช้ชุดทดลองขนาดเล็ก (Test Cell) ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนธานีคลองห้า ปทุมธานี และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นการทดลองขนาดทดสอบ (Pilot Scale) ซึ่งจะทำการทดลองที่โรงงานงานฟอกย้อมตัวอย่าง

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบางส่วนจะทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย แผนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

3.1.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยชุด Test Cell

การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดลองที่โรงงานตัวอย่าง ในระดับชุดทดสอบ (Pilot Scale) โดยจะแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองได้แก่

1. การทดลองชุดที่ 1 เป็นการศึกษาผลของ Crossflow Velocity ที่มีต่อการเกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization กับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell) โดยในชุดนี้จะแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองคือ

การทดลองชุดที่ 1.1 เป็นการศึกษาผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบและการเกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization กับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell)

การทดลองชุดที่ 1.2 เป็นการศึกษาผลของ Crossflow Velocity ที่จะไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization กับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell)

2. การทดลองชุดที่ 2 เป็นการศึกษาผลของค่า % Recovery ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ กับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell)

3. การทดลองชุดที่ 3 เป็นการศึกษาถึงการเพิ่มระบบ Pretreatment กับประสิทธิภาพของระบบสำหรับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell)

3.1.2 การทดลองที่โรงงานตัวอย่างด้วยชุดขนาดทดสอบ (Pilot Scale)

จะเป็นการทดลองที่โรงงานตัวอย่าง โดยการใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ มาใช้ในการควบคุมระบบและทำการทดลอง โดยจะศึกษาถึงการเดินระบบต่อเนื่อง กับผลของฟลักซ์ที่ลดลง และกำหนดให้ค่าฟลักซ์ที่ลดลงที่ร้อยละ 50 ของฟลักซ์ตั้งต้นนั้นเป็นค่าที่การเดินระบบยอมรับได้มากที่สุด จึงหยุดทำการทดลอง

3.2 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตัวแปรคงที่ ได้แก่

- ชุด Test Cell แบบแผ่น พื้นที่ผิวประสิทธิผลของแผ่นเมมเบรน 60 cm^2
- ชนิดและขนาดของแผ่นเมมเบรนแบบแผ่น สำหรับการทดลองกับชุดทดลองขนาดเล็ก (test cell) รุ่น NF90 ของบริษัท Filmtec
- โมดูลเมมเบรนแบบ Spiral Wound สำหรับการทดลองขนาด Pilot Scale ของบริษัท Filmtec รุ่น NF90-2521
- สารเคมี เวลา และความดันในการล้างเมมเบรน
- สารยับยั้งการทำงานของจุลชีพ $NaHSO_3$ 6 mg/l

3.2.2 ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา ได้แก่

- Crossflow Velocity
- ความดันในการดำเนินระบบ
- % Recovery
- วิธีการป้องกันการเกิด Fouling

3.2.3 ตัวแปรตามที่จะทำการวิเคราะห์ ได้แก่

- pH และอุณหภูมิ
- ความเข้มของสี
- ความขุ่น
- สภาพนำไฟฟ้า
- ปริมาณของแข็งละลาย
- ความกระด้างทั้งหมด
- สภาพด่างทั้งหมด
- คลอไรด์
- ค่าดัชนีแลงเกลียร์

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองชุดห้องปฏิบัติการ (Lab Scale) และชุดทดสอบ (Pilot Scale) ได้แก่

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดทดลองขนาด Lab Scale

1. ถังน้ำดิบ เป็นถังน้ำพลาสติกขนาด 25 ลิตร
2. ปั๊มสูบน้ำแบบ Booster Pump ขนาด 5 LPM ให้ความดันสูงสุด 200 PSI
3. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) ของ Sangi ขนาด 100 PSI. 2 ตัว ที่ด้าน Influent และที่ด้าน Concentrate
4. Cartridge Filter ขนาด 5 ไมครอน ของ Hydro Pure ขนาด 25 cm. 1 ตัว
5. ไมโครฟิลเตอร์ 0.3 micron 1 ตัว
6. เมมเบรนรุ่น NF90 ของบริษัท Filmtec ขนาดพื้นที่ประสิทธิผล 60 cm^2
7. วาล์วเข็ม (Needle Valve) ใช้ในการปรับค่าความดัน, Crossflow Velocity และค่า % Recovery
8. Flow Meter สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ Influent, Concentrate และน้ำเวียนกลับ

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดทดลองขนาดทดสอบ (Pilot Scale)

1. ปั๊มสูบน้ำแบบ Submersible Pump ขนาด Max. Flowrate 100 l/min. Head 6.5 เมตร สำหรับสูบน้ำดิบเข้าระบบ
2. ปั๊มสูบน้ำแบบ Multistage Pump ขนาด Max. Flowrate 100 l/min. ความดันสูงสุด 10 บาร์
3. มาตรวัดความดัน (Pressure Gauge) ของ Sangi ขนาด 100 PSI. 2 ตัว ที่ด้าน Influent และที่ด้าน Concentrate
4. เมมเบรนแบบ Spiral Wound Module รุ่น NF90-2521 ของบริษัท Filmtec
5. Metering Pump สำหรับสูบสารเคมีเข้าระบบ
6. Cartridge Filter ขนาด 5 ไมครอน ของ Hydro Pure ขนาด 25 cm. 1 ตัว

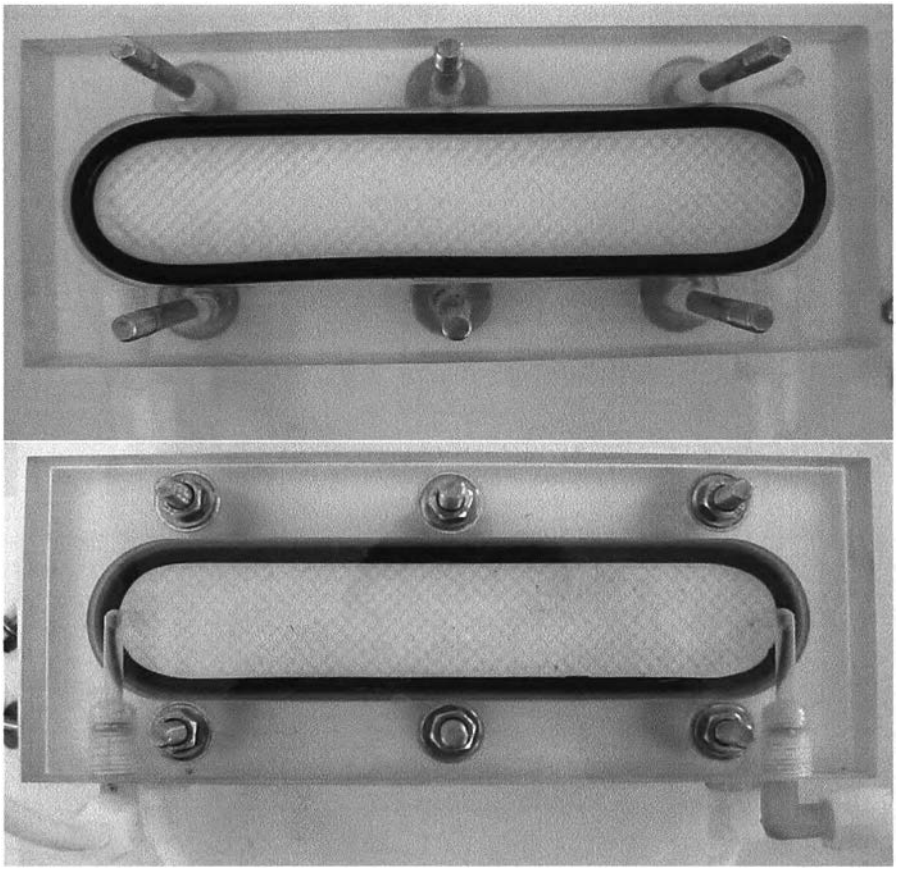
7. ไมโครฟิลเตอร์ 0.3 micron 1 ตัว
8. ชุดวาล์วเข็ม (Needle Valve) สำหรับควบคุมความดัน Crossflow Velocity และค่า % Recovery
9. Flow Meter สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ Influent, Concentrate และน้ำเวียนกลับ
10. ถังพักน้ำดิบขนาด 80 ลิตร 1 ใบ

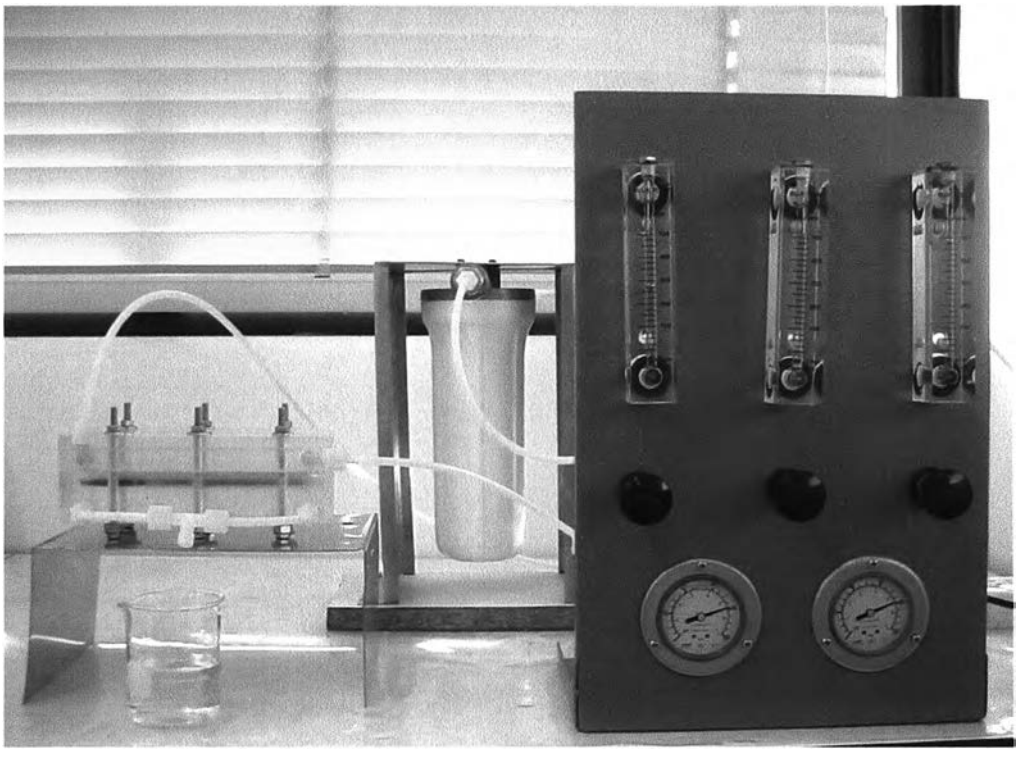
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการทดลองในระดับ Lab Scale ซึ่งจะทำในห้องปฏิบัติการด้วยชุด Test Cell และอีกส่วนจะเป็นการทดลองในระดับ Pilot Scale โดยจะทำการทดลองจริงที่โรงงานตัวอย่าง ขั้นตอนการทดลองแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ (Lab Scale)

1) เก็บน้ำตัวอย่างจากโรงงานฟอกย้อม โดยใช้น้ำทิ้งซึ่งได้ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองมาแล้ว
2) ติดตั้งชุดทดลองขนาด Lab Scale ซึ่งใช้ชุด Test Cell ในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 3.2 หรือตามแผนผังรูปที่ 3.4
3) ก่อนจะทำการทดลองจะทำการล้างเมมเบรนด้วยการป้อนสารละลายของกรดไฮโดรคลอริกที่มี pH ประมาณ 3 เป็นเวลา 30 นาที และล้างต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มี pH ประมาณ 10.5 เป็นเวลา 30 นาที เข้าระบบด้วยความดันประมาณ 2 bar เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อาจเกาะอยู่บนเมมเบรนหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ของชุดทดลอง
4) เดินระบบด้วยน้ำ demineralization โดยใช้ความดัน 3 bar และ Crossflow Velocity 0.7 m/s จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว
5) เติมสาร $NaHSO_3$ ความเข้มข้น 6 mg/l ลงในถังน้ำดิบ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโต ของจุลชีพที่จะเข้าสู่ระบบ และป้องกันการเกิด Biological Fouling
6) สูบน้ำดิบเข้าสู่ชุดทดลอง โดยควบคุมตัวแปรอิสระต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละชุดการทดลองดังตารางที่ 3.1ก, 3.1ข, 3.2 และ 3.3
7) ทำการวิเคราะห์ค่าของตัวแปรตามต่าง ๆ ของแต่ละชุดการทดลอง





รูปที่ 3.2 การประกอบชุด Test Cell (บน) การจัดชุดทดลองในห้องปฏิบัติการ (ล่าง)

3.4.2 การทดลองที่โรงงานด้วยชุดขนาดทดสอบ (Pilot Scale)

1) ติดตั้งชุดทดลองแบบต่อเนื่องที่โรงงานตัวอย่าง โดยพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการทดลองขนาด Lab Scale ดังรูปที่ 3.3 ตามแผนผังรูปที่ 3.5
2) ก่อนจะทำการทดลองจะทำการล้างเมมเบรนด้วยการป้อนสารละลายของกรดไฮโดรคลอริกที่มี pH ประมาณ 3 เป็นเวลา 30 นาที และล้างต่อด้วยสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มี pH ประมาณ 10.5 เป็นเวลา 30 นาที เข้าระบบด้วยความดันประมาณ 2 bar เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อาจเกาะอยู่บนเมมเบรนหรือบนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของชุดทดลอง
3) เดินระบบด้วยน้ำ demineralization โดยใช้ความดัน 3 bar และ Crossflow Velocity 0.7 m/s จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว สูบน้ำทิ้งจากโรงงานเข้าสู่ชุดทดลอง โดยควบคุมตัวแปรอิสระต่าง ๆ โดยพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการทดลองขนาด Lab Scale
4) เติมสาร $NaHSO_3$ ความเข้มข้น 6 mg/l เข้าสู่ระบบด้วย Metering Pump เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลชีพที่จะเข้าสู่ระบบ และป้องกันการเกิด Biological Fouling
5) ทำการวิเคราะห์ค่าของตัวแปรตามต่าง ๆ ของแต่ละชุดการทดลอง

รูปที่ 3.3 การจัดชุดทดลองที่โรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1ก การทดลองในห้องปฏิบัติการชุดที่ 1.1 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของความดันต่อประสิทธิภาพของระบบและการเกิด Concentration Polarization

ความดันที่ใช้ (bar)	ค่าที่ควบคุม	การวิเคราะห์
3	ค่า Crossflow Velocity ควบคุมที่ 0.7 m/s	ศึกษาและหาค่าความดันในการเดินระบบที่เหมาะสมที่สุดของระบบและไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization
4		
5		
6		
7		

ตารางที่ 3.1ข การทดลองในห้องปฏิบัติการชุดที่ 1.2 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของ Crossflow Velocity ต่อการเกิด Concentration Polarization

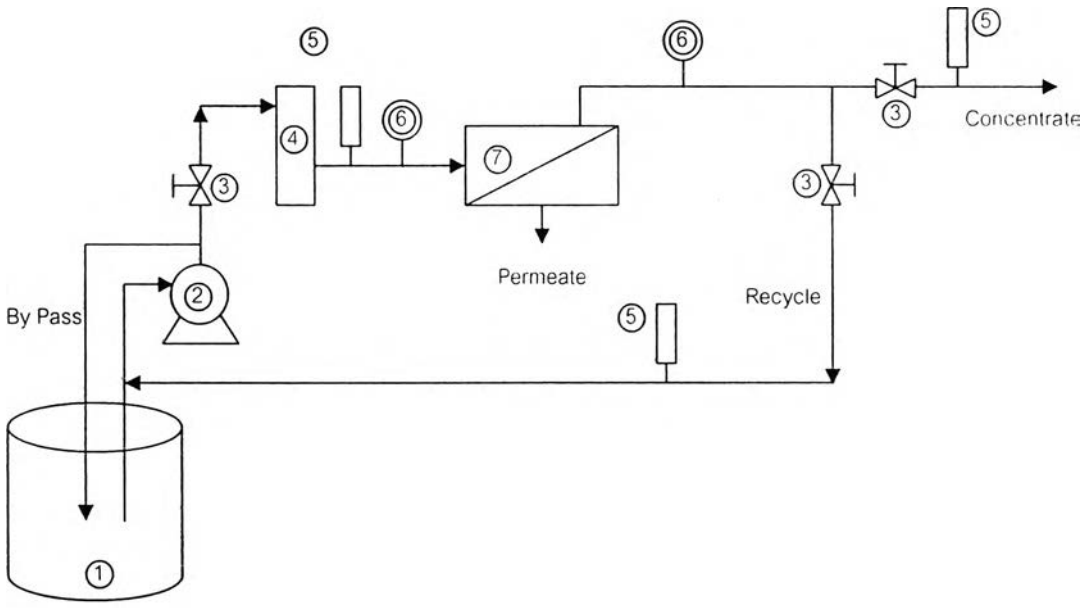
Crossflow Velocity (m/s)	ค่าที่ควบคุม	การวิเคราะห์
0.05	ความดันที่เหมาะสมจากการทดลองชุดที่ 1.1	ศึกษาและหาค่า Crossflow Velocity และความดันที่เหมาะสมที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization
0.1		
0.3		
0.5		
0.7		

ตารางที่ 3.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการชุดที่ 2 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของ ค่าเปอร์เซ็นต์ Recovery ต่อการเกิด Fouling

% Recovery	ค่าที่ควบคุม	การวิเคราะห์
20	Crossflow Velocity และความดันที่ใช้ที่เหมาะสมจากการทดลองชุดที่ 1.2	เพื่อศึกษาผลของ % Recovery สำหรับการเดินระบบ ที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสะอาด และประสิทธิภาพของระบบ
30		
40		
50		
60		

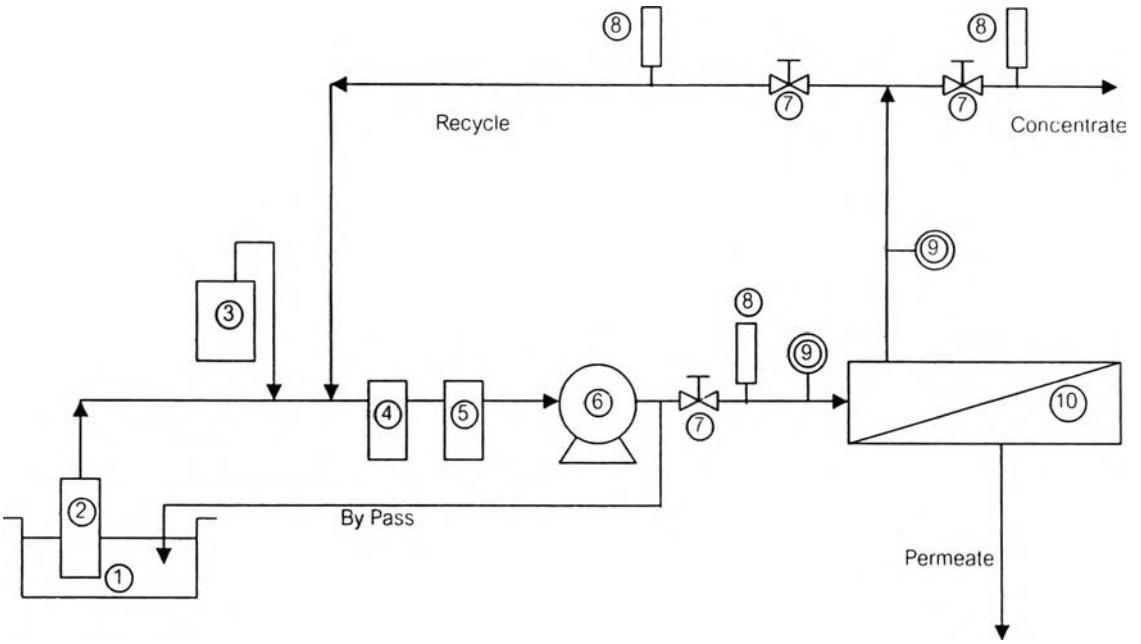
ตารางที่ 3.3 การทดลองในห้องปฏิบัติการชุดที่ 3 เพื่อศึกษาถึงวิธีการลดหรือป้องกันการเกิด Fouling

Pretreatment	ค่าที่ควบคุม	การวิเคราะห์
เพิ่มชุดไมโครฟิลเตอร์ในการบำบัดเบื้องต้น	Crossflow Velocity , ความดันที่ใช้ และ % Recovery ที่เหมาะสมจากการทดลองชุดที่ 2	เพื่อศึกษาระบบ Pretreatment ที่มีความเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพดีที่สุด
เติมด้วยกรด H_2SO_4		



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงชุดขนาด Lab Scale

หมายเหตุ : 1. ถังน้ำดิบ 3. Needle Valve 5. Flow Meter 7. Membrane Test Cell
2. ปั๊มน้ำ 4. Cartridge Filter 6. Pressure Gauge



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงชุดทดลองขนาดทดสอบ (Pilot Scale)

หมายเหตุ :

1. รางระบายน้ำทิ้ง
2. ปั๊มป้อนน้ำเข้าระบบ
3. ถังเติมสารเคมี
4. 5 ไมครอน ฟิลเตอร์
5. ไมโครฟิลเตอร์
6. Multistage Pump
7. Needle Valve
8. Flow Meter
9. Pressure Gauge
10. NF เมมเบรนโมดูล

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุดที่สำคัญ คือ

1) น้ำดิบที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Feed)
2) น้ำใสที่ผ่านเมมเบรน (Permeate)
3) น้ำทิ้งจากระบบ (Concetrate)

สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการคือชุดการทดลองที่ 1 จะทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเริ่มเดินระบบและเมื่อเสร็จสิ้นการเดินระบบ การทดลองชุดที่ 2 และ 3 จะเก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 ชั่วโมง

และในการทดลองเดินระบบแบบต่อเนื่องที่โรงงานจริงจะเก็บตัวอย่างวันละ 3 ครั้ง จนกว่าจะเสร็จสิ้นการเดินระบบรายละเอียดในการเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเก็บตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง				
	การทดลองที 1.1	การทดลอง ที่1.2	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่โรงงาน
อัตราการไหล	ทุก 30 นาที	ทุก 15 นาที	ทุก 1 ชั่วโมง	ทุก 1 ชั่วโมง	ทุก 8 ชั่วโมง
อุณหภูมิ	ที่ 6 ชั่วโมง	ที่ 6 ชั่วโมง	ทุก 6 ชั่วโมง	ทุก 8 ชั่วโมง	
พีเอช					
สี					
ความขุ่น					
ของแข็งละลาย					
ความกระด้าง					
แคลเซียม					
สภาพด่าง					
คลอไรด์					
LSI					

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์ตัวอย่างนี้จะวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตของโรงงานและการปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ได้แก่ค่า pH, อุณหภูมิ, ความเข้มสี, ความขุ่น, ความกระด้าง, Ca^{2+}, SS, TDS, Cl^- และ LSI วิธีในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ลำดับที่	ตัวแปร	วิธีวิเคราะห์
1	pH	pH meter
2	อุณหภูมิ	Thermometer
3	ความเข้มสีในหน่วย SU และ ADMI	เครื่อง Spectrophotometer
4	ความขุ่น	Turbidity Meter
5	Langelier Saturation Index (LSI)	การคำนวณ
6	ความกระด้าง	การไตเตรตด้วย EDTA
7	แคลเซียม	การไตเตรตด้วย EDTA
8	สภาพด่าง	การไตเตรตด้วย H_2SO_4
9	SS	กรองด้วยกระดาษกรอง
10	TDS	กรองผ่านกระดาษกรอง
11	Cl^-	การไตเตรตด้วย $AgNO_3$
12	ความนำไฟฟ้า	Conductivity Meter
13	SDI	Standard Method
14	ความดันในการเดินระบบ	อ่านจาก Pressure Gauge
15	อัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน	วัดปริมาตรจับเวลา และ อ่าน flow meter

3.6 ระยะเวลาการวิจัย

ระยะเวลาและขั้นตอนการวิจัยแสดงได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ระยะเวลาและขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ค้นคว้าเอกสารและสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์	←	→										
2. เตรียมวัสดุอุปกรณ์		←	→									
3. ดำเนินการทดลอง				←					→			
4. วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง							←			→		
5. ทำรายงานวิทยานิพนธ์									←		→	
6. สอบวิทยานิพนธ์												↔