

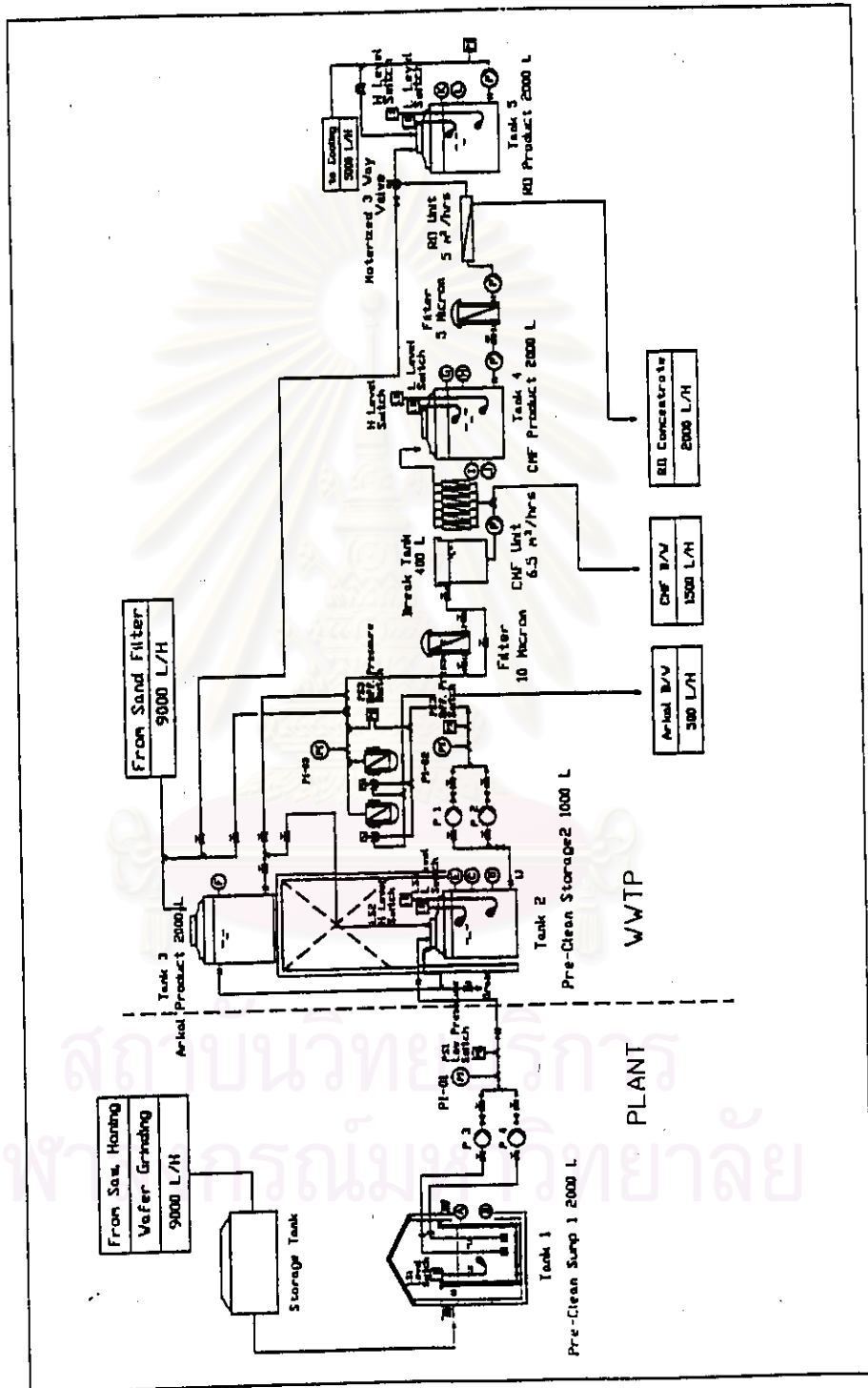
บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลอง และขั้นตอนการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง:

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.1)

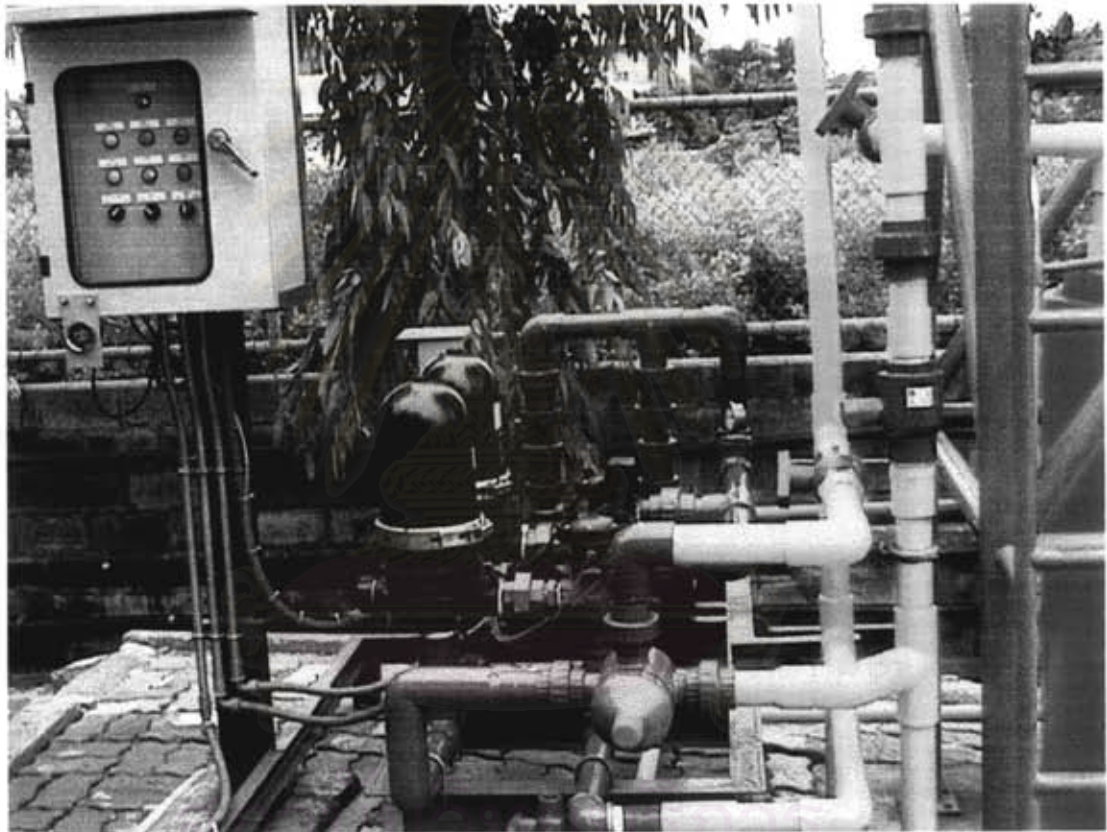
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แสดง โดะแกรมของระบบ Recycle system

1. แผงกรองแบบเขาระ่อง (อัลคัลฟิลเตอร์) แสดงได้ดังรูปที่3.2

จำนวน	2 ชุด
รุ่น	ระบบฟอสฟอรัสอัตโนมัติโดยใช้ค่าความต่าง ของความดัน / กำหนดเวลา
ชนิด	ซูเปอร์ พี
ความละเอียดของการกรอง	200 ไมครอน 58 ไมครอน

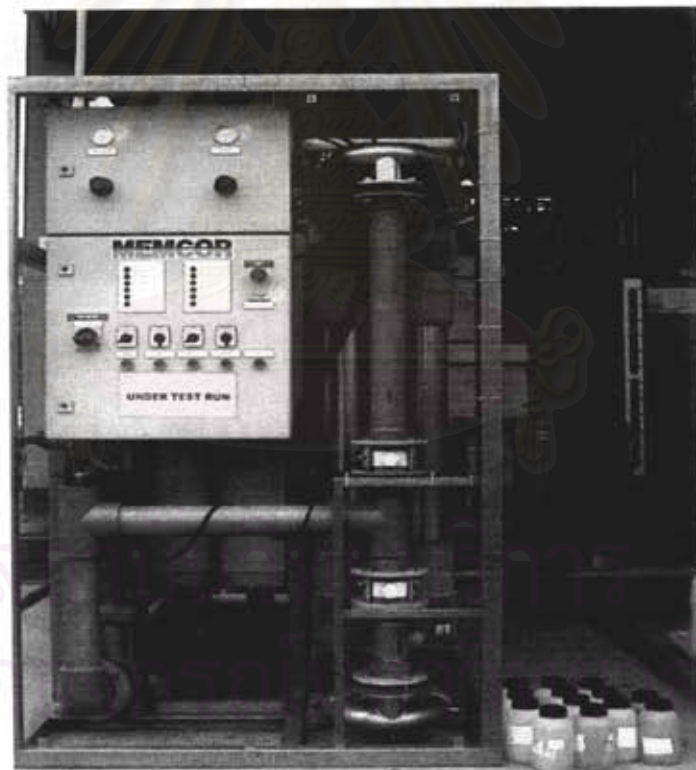


รูปที่ 3.2 แสดง อัลคัลฟิลเตอร์

2. ไล้กรอง 30 ไมครอน

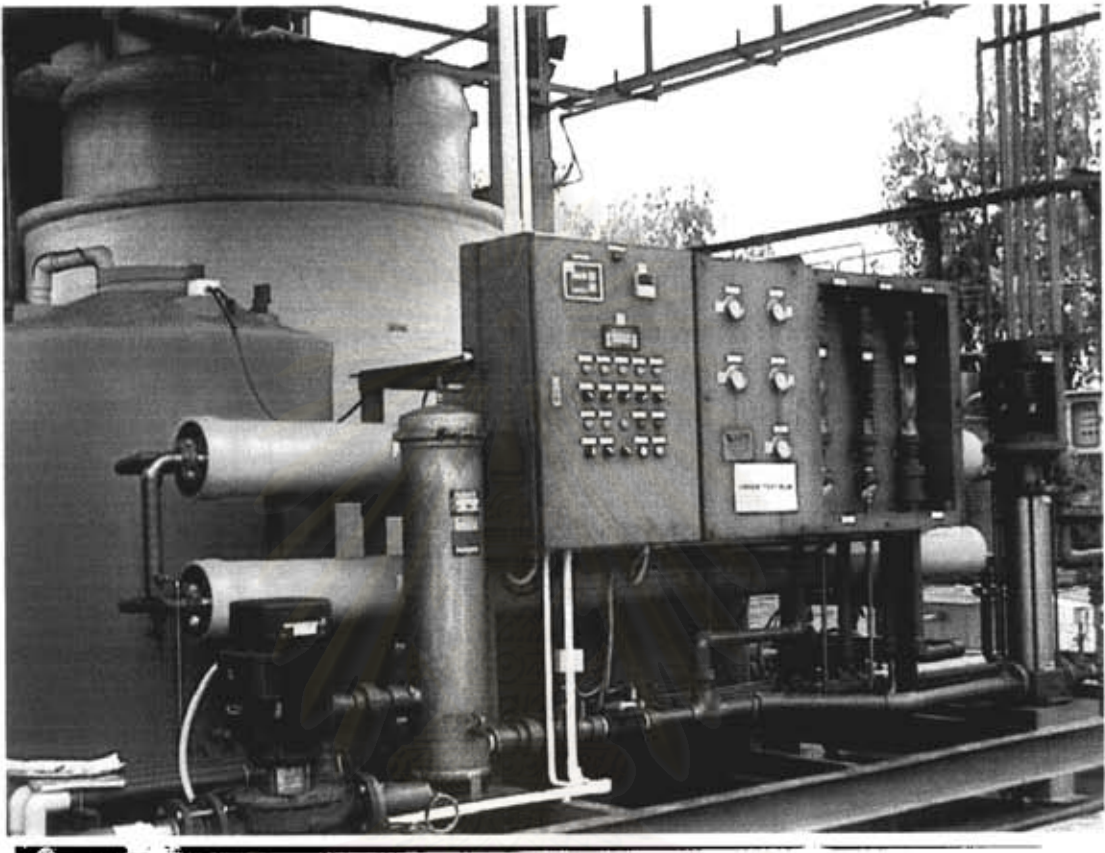
จำนวน	1 ชุด
แหล่งผลิต	ฟิลเตอร์ไวต์
รุ่น	14 TKO 3 A 2 IP
วัสดุที่ใช้สำหรับเฮาส์ซึ่ง	แอสตันเลสสตีล
ไล้กรอง	20 นิ้ว 7 ชั้น

3. ระบบการกรองแบบต่อเนื่องไมโครฟิลเตรชันแบบต่อเนื่อง
(ซีเอ็มเอฟแมมคอร์8 เอ็ม 10 ซี) แสดงได้ดังรูปที่ 3.3
- | | |
|---|--------------------------|
| จำนวนโมดูล | 6 |
| ปริมาณของถังสำรอง | 500 ลิตร |
| ขนาดมอเตอร์ | 3.0 กิโลวัตต์ |
| ความสามารถ | 8-8 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง |
| ต้องการลมมีความดัน (อย่างต่ำ) : | 700 กิโลปาสคาล |
| ปริมาณลมที่ใช้ในการล้างกลับ (มากที่สุด) | 960 ลิตร |
| ขนาด ความสูง | 1978 มิลลิเมตร |
| ความกว้าง | 1200 มิลลิเมตร |
| ความยาว | 1875 มิลลิเมตร |



รูปที่ 3.3 แสดงระบบไมโครฟิลเตรชัน

4. ระบบรีเวอร์สออสโมซิส แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงระบบรีเวอร์สออสโมซิส

4.1 ระบบรีเวอร์สออสโมซิส

จำนวน	1 ชุด
กำลังความสามารถ	6 ลูกบาศก์เมตร / ชั่วโมง
ความสามารถในการกำจัดเกลือแร่	99.5 เปอร์เซ็นต์
Recovery	40-70 เปอร์เซ็นต์
กระแสไฟฟ้าที่ต้องการ	380 โวลท์ / 3 เฟส / 5เฮิรตซ์

4.2 เนื้อเยื่อเมมเบรน

จำนวน	6 ชุด
รุ่น	สไปรัล วูลด์ บิดบลิว 30-330
วัสดุ	ทินฟิล์มคอมโพสิต
ความสามารถในการกำจัด	97 เปอร์เซ็นต์
ช่วงค่าพีเอชที่สามารถทำงานได้	2-11
ความดันที่ทำงาน	150 - 250 พีเอสไอ
เฮลส์ซิ่ง	ไฟเบอร์กลาส 8040 - 3

4.3 ไม้กรองขนาด 5 ไมครอน

จำนวน	1 ชุด
รุ่น	21 ทีเคโอ3เอ - 2
เฮลส์ซิ่ง	สแตนเลสสตีล 304
ไม้กรอง	30 นิ้ว 7 ชั้น

4.4 สวิทช์ความดัน

จำนวน	2 ชุด
-------	-------

4.5 บีมแรงดันสูง:

จำนวน	1 ชุด
แหล่งผลิต	กรุนด์ฟอส
รุ่น	ซีอาร์ 8 -200
กำลังความสามารถ	8 ลูกบาศก์เมตร / ชั่วโมง
วัสดุ	สแตนเลส สตีล 304
กระแสไฟฟ้าที่ต้องการ	7.5 กิโลวัตต์ 380 โวลท์ 50เฮertz

4.6 เกจ และ มิเตอร์

เกจวัดความดัน	0 - 160 พีเอสไอ 2 ตัว
	0 - 300 พีเอสไอ 2 ตัว

มิเตอร์วัดอัตราการไหล

มิเตอร์วัดอัตราการไหล สำหรับส่วนเข้มข้นและส่วนน้ำดี

จำนวน	2 ชุด
ผู้ผลิต	เอสเค 21
ช่วง	600 - 6,000 ลิตร ต่อ ชั่วโมง

มิเตอร์วัดอัตราการไหลย้อนกลับ

จำนวน	1 ชุด
ผู้ผลิต	จีเอฟ
ช่วง	300 - 3,000 ลิตร ต่อ ชั่วโมง

4.7 มิเตอร์วัดค่าความการนำไฟฟ้า

จำนวน	1 ชุด
รุ่น	ทอนตัน740 :เซลทอนตัน 208 จำนวน 2 เซล
กระแสไฟฟ้าที่ต้องการ	100 โวลท์ / 220 โวลท์

4.8 มิเตอร์ควบคุมค่าพีเอช

จำนวน	1 ชุด
รุ่น	แอลเอ็มไอ (ดีพี 2000)
ช่วง	0 - 14 220 โวลท์ 50 เฮทซ์

5. บีมน้ำดิบ (พี3 และ พี4)

จำนวน	2 ชุด
แหล่งผลิต	กรุนด์ฟอส
รุ่น	ซี เอช 12-20
ความสามารถ	12 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง
กำลัง	1.57แรงม้า380 โวลท์ 50เฮทซ์

6. **ปั๊มพรีฟิลเตอร์ (พี1 และ พี2)**
- | | |
|------------|----------------------------------|
| จำนวน | 2 ชุด |
| แหล่งผลิต | กรุนด์ฟอส |
| รุ่น | ซี เอชไอ 12-30 |
| ความสามารถ | 12 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง |
| กำลัง | 3.08 แรงม้า 380 โวลท์ 50 เฮิรตซ์ |
7. **ถัง และ บ่อเก็บน้ำ**
- 7.1 บ่อเก็บน้ำ
- ที่1 (ถังไฟเบอร์กลาส : เส้นผ่าศูนย์กลาง 1400 ความสูง 1800)
- 7.2 ถังเก็บน้ำดิบ
- ที่2 (ถังพีอี 1500 ลิตร)
- 7.3 ถังเก็บน้ำที่ได้จาก อัลคัลฟิลเตอร์ :
- ที่3 (ถังพีอี 2000 ลิตร)
- 7.4 ถังเก็บน้ำที่ได้จาก ซี เอ็ม เอฟ:
- ที่ 4 (ถังพีอี 2000 ลิตร)
- 7.5 ถังเก็บน้ำที่ได้จากรีเวอร์สออสโมซิส : ที่5 (ถังพีอี 2000 ลิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.1 สามารถสรุปขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์การทดลองต่างๆได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจ่ายน้ำออกจากบ่อเก็บน้ำ (ที่ 1)

น้ำที่ จากขบวนการตัดแต่งวงจรร (Wafer saw) , Grinding, Honning จะถูกทิ้งลงมายังถังเก็บบ่อเก็บน้ำ (ที่ 1) ด้วยอัตราการไหลประมาณ 9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นจนถึงระดับ A (high set-point) ในครั้งแรกปั้มน้ำดิบที่ 3 จะทำงานโดยจ่ายน้ำออกไปยังถังเก็บน้ำดิบที่ 2 ที่บริเวณบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะมีแรงดันประมาณ 1 bar ระดับน้ำในถังเก็บบ่อเก็บน้ำที่ 1 จะลดลงจนถึงระดับ B (low set-point) ปั้มน้ำดิบที่ 3 จะหยุดทำงาน ซึ่งความแตกต่างของระดับน้ำที่ส่งให้ปั้ม ทำงานนั้นมีความสูงเท่ากับ 1 เมตร หรือ มีปริมาตรประมาณ 1.2 ลูกบาศก์เมตร หลังจาก ปั้มน้ำที่ 3 หยุดทำงานแล้ว เมื่อระดับน้ำในถัง เพิ่มขึ้นในครั้งต่อไปปั้มน้ำดิบที่ 4 จะทำงานแทน และสลับกันทำงานไปอย่างนี้ (การให้ปั้มสลับกันทำงานจะต้องเลือกสวิตซ์ของปั้มทั้งสองตัวไปยังตำแหน่งอัตโนมัติเท่านั้น) ในขณะที่ ปั้มน้ำหนึ่งตัวใดทำงานอยู่ หากมีเหตุทำให้แรงดันในระบบลดลงต่ำกว่า 0.5 บาร์ ตัวถัดไปจะทำงานแทน โดยใช้ Pressure switch PS1 เป็นตัวต่อวงจรและใช้ Timer delay T1 เป็นตัวตั้งเวลา ดังนั้นน้ำที่จ่ายออกไปจะมีการไหลที่สม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 2 การกรองครั้งแรกด้วยระบบแผ่นกรองแบบเซาะร่อง(อัลคัลฟิลเตอร์)

น้ำที่ถูกจ่ายออกมาจากบ่อเก็บน้ำ (ที่ 1) จะเก็บไว้ในถังเก็บน้ำดิบ (ที่ 2) เพื่อนำมาบำบัดขั้นต้นโดยการกรองด้วย ที่มีความละเอียดในการกรองเท่ากับ 55 ไมครอน ซึ่งมีวิธีการดังนี้

เมื่อระดับน้ำในถังเก็บสูงขึ้นจนถึงระดับ C (low set-point) ระบบจะเริ่มทำงานโดยปั้มพีลฟิลเตอร์ที่ 1 จะทำงานและจ่ายน้ำเข้าสู่อัลคัลฟิลเตอร์ ทั้งสองชุด และการทำงานของปั้มพีลฟิลเตอร์ที่ 1 จะหยุดลงเมื่อระดับน้ำลดลงจนถึงระดับ D (lower-low set-point) ซึ่งหลังจากปั้มหยุดแล้วเมื่อมีการเริ่มทำงานในครั้งต่อไปปั้มน้ำที่ 2 จะทำงานแทน และสลับกันทำงานตลอด (การให้ปั้มสลับกันทำงานจะต้องเลือกสวิตซ์ของปั้มทั้งสองตัวไปยังตำแหน่งอัตโนมัติ เท่านั้น) น้ำที่ออกมาจะเป็นน้ำที่ผ่านการกรองนี้จะถูกจ่ายผ่าน Pressure Control Valve ต่อไปยังไส้กรอง 30 ไมครอน เพื่อทำการกรองตะกอนอีกชั้นหนึ่งก่อนจ่ายให้กับระบบการกรองไมโครฟิลเตอร์ชั้นแบบต่อเนื่อง (CMF)

ในระบบการกรองไมโครฟิลเตอร์ชั้นแบบต่อเนื่อง จะมีถังพักอยู่ใบหนึ่งเรียกว่า "break tank" ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของน้ำโดยวาล์วควบคุมอัตโนมัติ คือเมื่อระดับน้ำใน break tank สูงถึงระดับ high , valve จะปิด ซึ่งทำให้เกิดการปิดระบบ(block pressure) เป็นผลให้แรงดันที่มีในระบบสูงขึ้น จนถึงจุดหนึ่ง (>3 bar) Pressure Control Valve จะเปิดและจ่ายน้ำขึ้นไปยังถังเก็บน้ำที่ได้จากอัลคัลฟิลเตอร์ (ที่ 3) จนกว่าแรงดันลดลง หรือ น้ำใน Break Tank ลดลงนั่นเอง

ชุดของอัลคัลฟิลเตอร์ จะมีการล้างกลับ ซึ่งถูกตั้งเวลาด้วย PLC ซึ่งให้ทำการการล้างกลับ ทุก 20 นาที เวลาในการล้างกลับ เท่ากับ 20 วินาทีต่อชุด แต่หากน้ำที่จ่ายมาจากบ่อเก็บน้ำ (ที่ 1) มีความสกปรกมาก

ค่าของความแตกต่างความดันจะสูงขึ้น ระบบอัลตราฟิลเตอร์จะทำการล้างกลับ โดยใช้สัญญาณจาก Differential Pressure Switch (PS2) เป็นตัวสั่งงาน (ปกติแล้วแรงดันของน้ำเข้าอัลตราฟิลเตอร์ = 3 บาร์, แรงดันน้ำออกจากอัลตราฟิลเตอร์ = 1.5 บาร์, ค่าความแตกต่างของความดัน = 1.5 บาร์)

และในขณะที่ปั๊มตัวหนึ่งตัวใดทำงานอยู่ หากมีเหตุทำให้แรงดันในระบบต่ำกว่า 1.0 บาร์ปั๊มตัวถัดไป จะทำงานแทน โดยใช้ Pressure switch PS3 เป็นตัวต่อวงจรและใช้ PLC เป็นตัวควบคุม

ขั้นตอนที่ 3 การกรองครั้งที่สองด้วยระบบการกรองไมโครฟิลเตรชันแบบต่อเนื่อง

ระบบ CMF จะใช้น้ำที่จ่ายมาจากอัลตราฟิลเตอร์ เมื่อระดับน้ำที่จ่ายเข้ามาที่ Break tank สูงขึ้นถึง ระดับ L (low set-point) ระบบจะเริ่มทำงานตามกระบวนการ โดยเริ่มจาก ระบบจะ flush ประมาณ 5 วินาที และเข้าสู่ขั้นตอนการกรองและทำงานอย่างต่อเนื่อง ระหว่างการกรองจะมีการทำความสะอาดโดยการล้างกลับ ซึ่งสามารถใช้การควบคุมโดยใช้ โหมดอัตโนมัติ ได้ด้วยการเลือกช่วงเวลา ตั้งแต่ 15, 20, 25, 30 นาที หรือใช้การควบคุมด้วยมือ น้ำสะอาดที่ได้จะจ่ายให้กับ ระบบรีเวอร์สออสโมซิส โดยจ่ายไปเก็บในถังเก็บน้ำที่ได้จาก CMF (ที่4) จนกว่าน้ำใน ที่4 จะถึงระดับ G(upper-high set-point) หรือน้ำใน Break tank ลดลงมาถึงระดับ LL(lower-low set-point) และจะเริ่มทำงานใหม่เมื่อ ที่4 อยู่ในระดับต่ำกว่า H (high set-point) หรือน้ำใน Break Tank อยู่ในระดับ L อีกครั้งหนึ่ง

ในระบบ CMF จะมีการทำความสะอาดอยู่สองวิธีคือ การล้างกลับด้วยลม และการล้างกลับด้วยลม และน้ำ ซึ่งการ Backwash จะเป็นการใช้ลม(Air) ในการทำความสะอาด ส่วน Rewet จะใช้น้ำในการทำ ความสะอาดและยังช่วยไล่อากาศออกจากระบบ

ขั้นตอนที่ 4 การกรองครั้งสุดท้ายด้วยรีเวอร์สออสโมซิส

การกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิสจะใช้น้ำในถังเก็บน้ำที่ได้จาก CMF (ที่ 4) มีน้ำถึงระดับ I (low set-point) ระบบจะเริ่มทำงานโดย Feed Valve เป็นตัวเปิดระบบ ขณะเดียวกันบูสเตอร์ปั๊มจะดูดน้ำจากถังเข้าสู่ ไล์กรองเนื้อเยื่อเมมเบรน ด้วยแรงดันต่ำ จากนั้นประมาณ 10 วินาที Feed ปั๊ม จะทำงานพร้อมกับ Flush Valve เปิดและไล์น้ำที่คงค้างในระบบทั้งประมาณ 20 วินาที Flush Valve จะปิดและทำงานใหม่ทุก 20 นาที

เมื่อระบบเริ่มทำงาน ค่าการนำไฟฟ้า จะมีค่าสูง Motorized Three-way Valve จะเปิดให้น้ำถูกป้อน คินไปยังจุดเริ่ม ที่ ที่ 3 ซึ่งค่าจะถูกตั้งไว้ที่ค่า %Rejection 90 ระบบจะทำงานจนกระทั่งระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ที่ได้จาก รีเวอร์สออสโมซิส (ที่ 5) ถึงระดับ K(upper-high set-point) หรือระดับน้ำในถัง ที่4 ลดลงถึง ระดับ J(lower-low set-point) และเริ่มทำงานใหม่เมื่อ ที่4 มีระดับสูงกว่า I, T5 ต่ำกว่าระดับ L(high set-point)

ขั้นตอนที่ 5 การจ่ายน้ำไปใช้งาน

โดยใช้น้ำที่ผ่านระบบรีเวอร์สออสโมซิส จ่ายไปใช้งานที่หอทำน้ำเย็น ด้วยปั๊มซึ่งควบคุมด้วยสวิตช์แรงดัน และสวิตช์ลดยกจากถังเก็บน้ำที่ได้จากรีเวอร์สออสโมซิสที่ 5

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ

3.2.1 การทดลองที่ระบบการกรองแบบต่อเนื่องไมโครฟิลเตรชั่น (CMF)

ก. โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน (Transmembrane pressure) โดยการเพิ่มค่าจาก 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 บาร์ แล้ววัดอัตราการผลิตน้ำ (permeate flux) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำได้นำมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

พีเอช, สารละลายทั้งหมด, ความกระด้าง, M-Alkalinity, คลอไรด์, ซัลเฟต, ซิลิกา, เหล็ก, บีโอดี, นิเกิล, ตะกั่ว, ทองแดง

3.2.2 การทดลองที่ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (R/O)

ก. โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน โดยการเพิ่มค่าความดันจาก 8, 11, 14, 17 บาร์ และกำหนดค่า Recovery 60 % จากนั้นวัดอัตราการผลิตน้ำ (permeate flux) จากนั้นวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

พีเอช, สารละลายทั้งหมด, ความกระด้าง, M-Alkalinity, คลอไรด์, ซัลเฟต, ซิลิกา, เหล็ก, บีโอดี, นิเกิล, ตะกั่ว, ทองแดง

ข. โดยการเปลี่ยนแปลงค่า % Recovery โดยการกำหนดอัตราการไหล ที่ 4 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง (% Recovery = $\frac{\text{อัตราการไหลของน้ำที่ผลิตได้}}{\text{อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ}} \times 100$) โดยการเพิ่มค่าจาก 40, 50, 60, 70 จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ หาค่าต่างดังนี้

พีเอช, สารละลายทั้งหมด, ความกระด้าง, M-Alkalinity, คลอไรด์, ซัลเฟต, ซิลิกา, เหล็ก, บีโอดี, นิเกิล, ตะกั่ว, ทองแดง

ค. โดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่เข้าระบบและน้ำที่ผลิตได้ทุก ๆ 8 ชั่วโมง ถึง 240 ชั่วโมงเพื่อนำมาหาค่า % การกำจัดเกลือแร่ โดยการกำหนดค่าความดัน 11 บาร์ และ Recovery 60%

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของน้ำที่วิเคราะห์ของน้ำเสีย, น้ำที่ได้จาก อัลตราฟิลเตรเตอร์ ไมโครฟิลเตรชันและขบวนการรีเวอร์สออสโมซิส

คุณลักษณะของน้ำที่วิเคราะห์	หน่วยที่วัด
1. พีเอช (pH)	
2. สารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS)	Mg/l
3. ของแข็งแขวนลอย (SS)	Mg/l
4. ความกระด้างของน้ำทั้งหมด (Total hardness)	PPM as CaCO ₃
5. อัลคาไลน์ตี (M-Alkalinity)	PPM as CaCO ₃
6. เหล็ก (Total Iron)	PPM as Fe
7. คลอไรด์ อีออน (ppm as Cl)	PPM as Cl
8. ซัลเฟตอีออน (ppm as SO ₄)	PPM as SO ₄
9. ซิลิกา	PPM as SiO ₂
10. บีโอดี	PPM
11. นิกเกิล	PPM as Ni
12. ตะกั่ว	PPM as Pb
13. ทองแดง	PPM as Cu

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการทดลองของระบบต่างๆ

สภาวะการทดลอง	Arkal filter	CMF	รีเวอร์สออสโมซิส
1. ความดัน (bar)	3	0.2 - 0.8	8-17
2. อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/ชม.)	6	-	-
3. อัตราการผลิตน้ำ (ลิตร/ตรม.-ชม.)	-	44.44 - 72.22	17.5-33.71
4. % Recovery	-	-	40 - 70 %
5. ชั่วโมงการทำงานเมื่อเทียบกับ % การกำจัดเกลือแร่	-	-	8 - 240