บทที่ 3
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

ระบบผลิตน้ำ DI นี้พัฒนาขึ้นจากเครื่องมือประกอบการสอนเรื่องเมมเบรน ประกอบด้วยระบบต่างๆ ที่มีอยู่แล้วและระบบที่ปรับปรุงพัฒนาขึ้นใหม่ ได้แก่

1. ปรับปรุงระบบการบำบัดเบื้องต้น

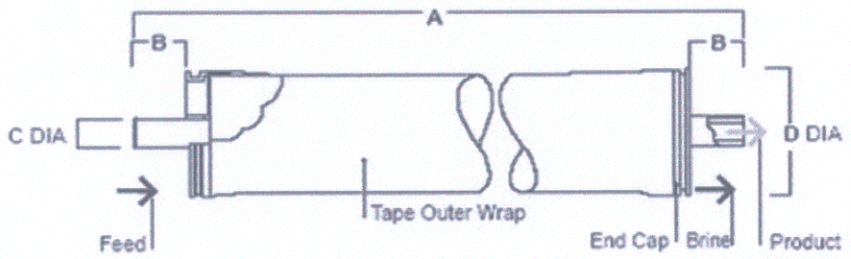
1.1 ดำเนินการติดตั้งระบบกรองน้ำก่อนเข้าถังสำรองน้ำเป็นเครื่องกรองเซรามิกส์ ซึ่งของเดิมไม่มี เพื่อกำจัดสารแขวนลอย ดังภาพประกอบที่ 21

ภาพประกอบที่ 21 เครื่องกรองน้ำแบบเซรามิกส์

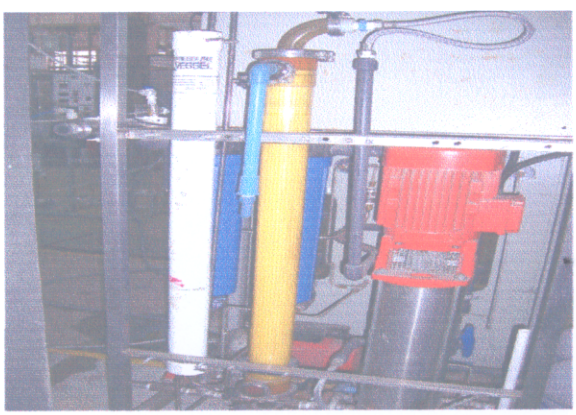
1.2 เปลี่ยนไส้กรองระบบบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) ทดแทนของเก่า ได้แก่ ไส้กรองขนาด 5 ไมครอน และไส้กรองคาร์บอน

ภาพประกอบที่ 22 คอลัมน์บรรจุไส้กรอง 5 ไมครอน และไส้กรองคาร์บอน

1.3 เปลี่ยนเมมเบรน RO ยี่ห้อ FILMTEC ซึ่งเป็นเมมเบรนชนิด Thin-Film Composite Polyamide ผลิตโดย The Dow Chemical Company. เป็นโมดูลแบบ spiral wound ขนาด 61 x 1016 mm ความสามารถในการกรองได้ สูงสุด 1.4 m^3/h

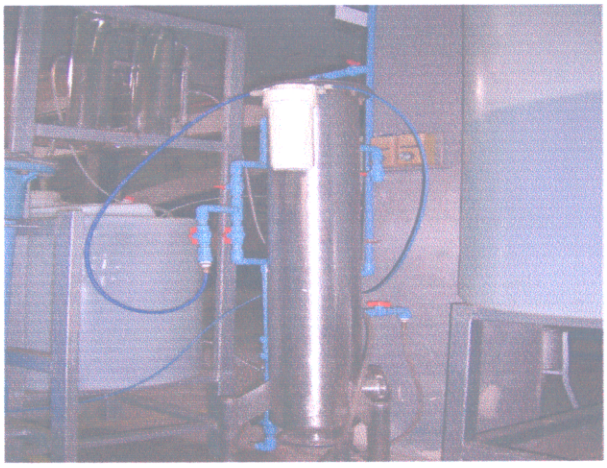


ภาพประกอบที่ 23 แสดงมาตราส่วนย่อของเมมเบรน RO ที่ใช้
โดยที่ A = 1016 mm, B = 30 mm, C = 19 mm, D = 61 mm



ภาพประกอบที่ 24 คอลัมน์บรรจุ เมมเบรน RO (ซ้าย)

1.4 เปลี่ยนเรซิ่นในระบบ DI ซึ่งเป็นคอลัมน์แบบมิกส์เบด รีเจนเนอเรตเรซิ่น ตามวิธีการในคู่มือ Cation resin ที่ใช้ เป็นชนิด Lewatit S100 และ Anion resin เป็นชนิด Lewatit M500 ผลิตโดย The Dow Chemical Company.



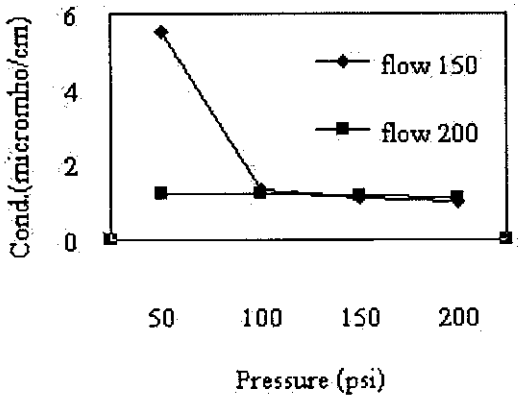
ภาพประกอบที่ 25 คอลัมน์มิกส์เบดเรซิ่น(ซ้าย) และถังเก็บน้ำ DI (ขวา)

1.5 สร้างระบบ DI เพิ่มก่อนเข้ามิกเบดส์ 2 ถัง โดยแยกเป็นแบบ Cation และ Anion เรซิ่นที่ใช้เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในมิกส์เบด วิธีการรีเจนเนอเรต ทำตามวิธีการคู่มือ

ภาพประกอบที่ 26 คอลัมน์บรรจุ cation resin และ anion resin

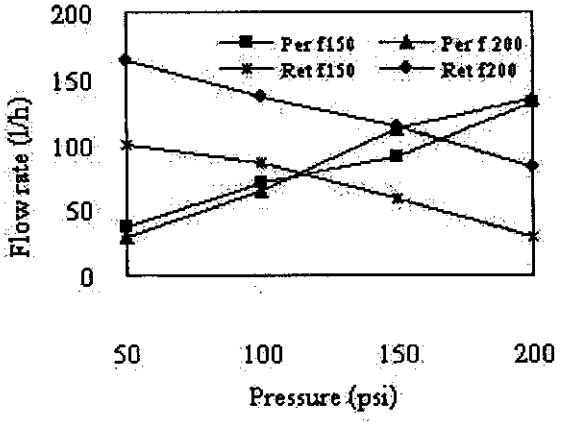
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระบบ

ผลการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า การทดลองที่อัตราการไหล 100 l/h ปริมาณน้ำป้อนเข้าระบบน้อยเกินไป ปรับความดันได้สูงสุด 50 psi จึงไม่สามารถใช้อัตราการไหลนี้ในการทดลองได้ ส่วนผลการทดลองที่อัตราการไหล 150 และ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ความดัน 50, 100, 150 และ 200 psi ประเมินผลเบื้องต้นจากค่าการนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยพลอตกราฟได้ผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 27



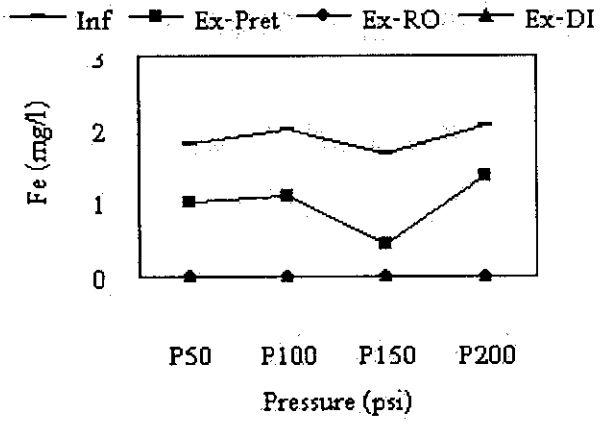
ภาพประกอบที่ 27 ค่าการนำไฟฟ้าที่อัตราการไหล 150 และ 200 l/h ความดัน 50-200 psi

จากภาพประกอบที่ 27 สภาวะที่เหมาะสม คือ ที่อัตราการไหล 150 – 200 l/h ความดัน 150 – 200 psi โดยน้ำที่ผ่านระบบ RO มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 14-20 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร น้ำผ่านระบบ DI 1 ชุด มีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 0.9-1.0 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่กรองได้ (เพอมิเอท) และน้ำทิ้ง (รีเทนเทท) ดังกราฟที่ 28 พบว่าที่อัตราการไหล 150 และ 200 l/h ได้เพอมิเอทปริมาตรใกล้เคียงกันประมาณ 100-130 l/h แต่รีเทนเททที่อัตราการไหล 150 l/h มีประมาณ 58.2 l/h ส่วนที่อัตราการไหล 200 l/h มีประมาณ 113 l/h มากกว่าที่ 150 l/h ประมาณ 2 เท่า ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่จะใช้งาน คือ ที่อัตราการไหล 150 l/h ความดัน 150 psi



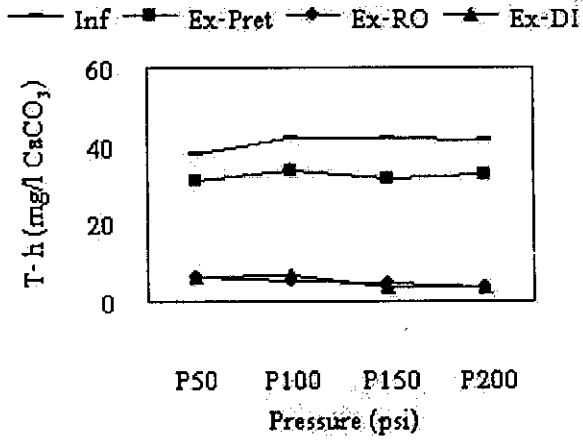
ภาพประกอบที่ 28 อัตราการไหลน้ำเพอมิเอทและรีเทนเททที่อัตราการไหลและความดันต่างๆ

ที่สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวพิจารณา ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) ดังภาพประกอบที่ 29 พบว่าระบบ RO และระบบ DI สามารถกำจัดเหล็ก ได้ 100 %



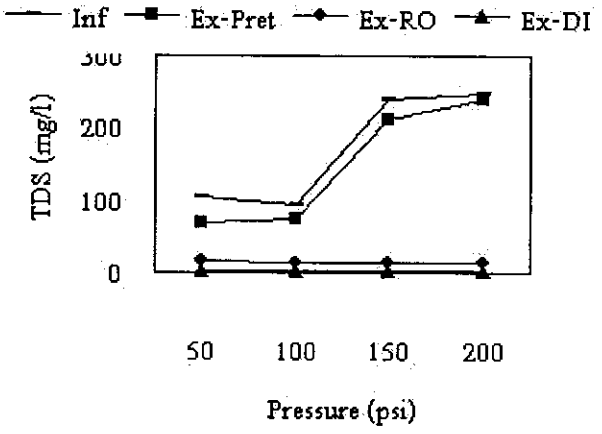
ภาพประกอบที่ 29 ความเข้มข้นของเหล็กที่ความดันต่างๆ

แต่เมื่อพิจารณาการกำจัดความกระด้าง (Total hardness, Th) ดังภาพประกอบที่ 30 พบว่า น้ำผ่านระบบ RO มีความกระด้างต่ำสุดประมาณ 4.7 mg/l ส่วนน้ำที่ออกจากระบบ DI มีความกระด้างประมาณ 3.5 mg/l แสดงว่า RO กำจัดความกระด้างได้ประมาณ 85 %

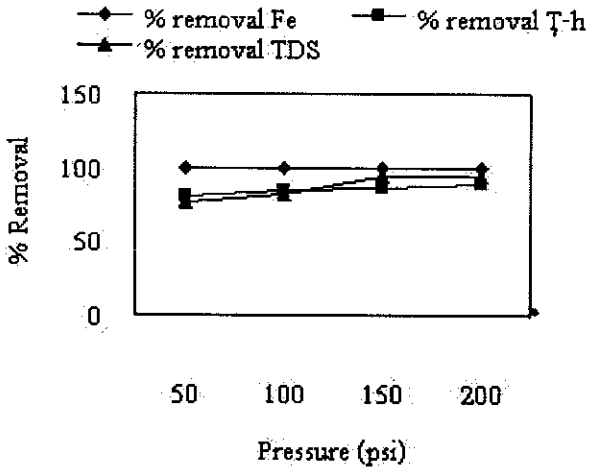


ภาพประกอบที่ 30 ความกระด้างที่ความดันต่างๆ

และที่อัตราการไหล 150 ที่ทุกความดันน้ำที่ออกจากบำบัดเบื้องต้นจะมีค่า TDS ลดลงตามความดันที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ค่า TDS จะเพิ่มขึ้น ระบบ RO ก็ยังสามารถกำจัด TDS ได้ดีดังแสดงในภาพประกอบที่ 31 และสามารถสรุป % removal ของทั้ง 3 พารามิเตอร์ ได้ดังภาพประกอบที่ 32



ภาพประกอบที่ 31 ค่า TDS ที่ความดันต่าง ๆ



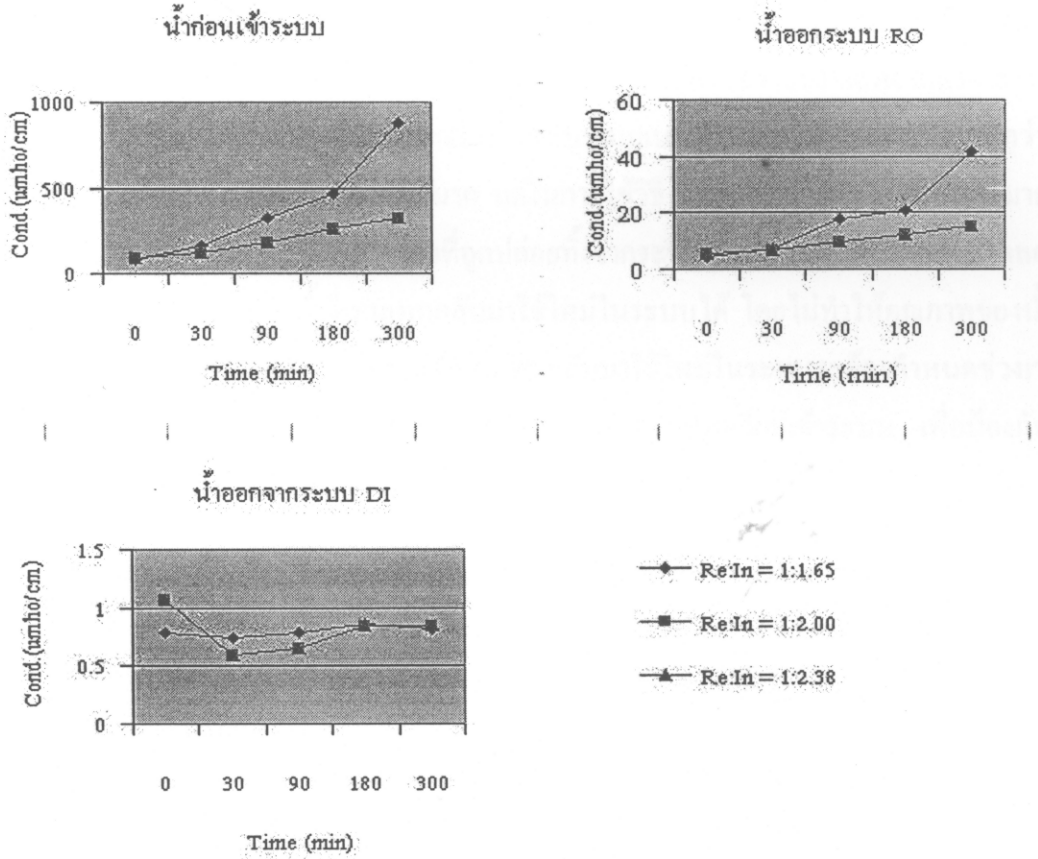
ภาพประกอบที่ 32 % Removal ของเหล็ก ความกระด้าง และ TDS ที่ความดันต่างๆ

3. ศึกษาความเหมาะสมการหมุนเวียนน้ำ Retentateเข้าระบบ โดยที่ทุกสภาวะที่ทดลอง ที่ เวลา 120 นาที เก็บตัวอย่างรีเทนเทท วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 6 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับน้ำก่อนป้อนเข้าระบบ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำ retentate

ที่ความดัน	Conductivity (micromho/cm)	pH	Fe (mg/l)	T-h (mg/lCaCO3)	TDS (mg/l)
P50	66.4	6.7	1.35	36.6	112
P100	146	7.07	1.7	53.8	254
P150	259	6.85	1.8	98	265
P200	275	7.1	1.85	105	283

3.1 ผลการศึกษาการหมุนเวียนน้ำ Retentate เข้ารวมกับน้ำป้อนเข้าระบบด้วยสัดส่วน Retentate : Influent = 1:1.65, 1:2 และ 1:2.38 และให้น้ำที่ออกจากระบบ RO เข้าสู่ระบบกำจัดอิออนแบบแยกประจุ Cation และ Anion ก่อนเข้าระบบกำจัดอิออนแบบมิกส์เบดที่มีอยู่ จะทำให้สามารถลดค่าการนำไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 1 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร ผลการวัดค่าการนำไฟฟ้าตัวอย่างน้ำที่หมุนเวียน retentate ที่สัดส่วนต่างๆ ผ่านระบบ DI ที่พัฒนาขึ้น ที่เวลา 0, 30, 90, 180 และ 300 นาทีได้ผลการทดลอง ดังภาพประกอบที่ 33



ภาพประกอบที่ 33 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำก่อนเข้าระบบ น้ำออก RO และน้ำผ่าน DI Unit เมื่อหมุนเวียนน้ำ retentate เข้าระบบ

สังเกตได้ว่าการหมุนเวียนน้ำทิ้งเข้าระบบที่สัดส่วนน้ำ รีเทนเทท มากกว่า 2 เท่า ก็ยังให้น้ำออกแต่ละระบบอยู่ในช่วงที่กำหนด คือน้ำผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 400 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร น้ำผ่าน RO มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 18 และน้ำผ่าน DI มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 1.5 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ และน้ำ DI จากระบบที่พัฒนาขึ้น มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำถึง 0.5 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร แต่เมื่อเดินระบบไปเป็นเวลานานถึง 300 นาที ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษศาสตร์

จากการใช้น้ำที่ได้จากระบบ RO เพื่อการผลิตน้ำ DI แทนการใช้น้ำจากระบบการกลั่น ซึ่งให้ผลของคุณภาพน้ำ DI เป็นไปตามความต้องการ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ระหว่างการใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งสองวิธี เพื่อการแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ระบบ RO แทนการกลั่น โดยในการวิเคราะห์ได้สมมติ อัตราการผลิตน้ำ DI ที่ 90 ลิตรต่อชั่วโมง ไม่มีการหมุนเวียนน้ำรีเทนเททกลับไปใช้ และไม่คิดเงินลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์ ทำการเปรียบเทียบเฉพาะค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ เช่น ราคาน้ำป้อน ค่าอุปกรณ์อะไหล่ พลังงานและเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบแสดงได้ดังตารางที่ 7 และ 8 ซึ่งพบว่าการผลิตน้ำด้วยการกรองด้วยระบบเมมเบรน RO มีต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าและประหยัดพลังงานได้มากกว่าวิธีการกลั่นมาก แต่ในการใช้วิธี RO มีการใช้น้ำในปริมาณที่มากกว่าวิธีการกลั่น 40% เนื่องจากมีน้ำรีเทนเททที่ถูกปล่อยทิ้งจากระบบส่วนหนึ่ง ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่าสามารถนำน้ำรีเทนเททกลับมาใช้ใหม่ในระบบได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพของน้ำ DI เปลี่ยนไปจนเกินค่ากำหนด แต่การนำรีเทนเททกลับมาใช้ใหม่ในระบบจะต้องกำหนดช่วงเวลาที่จะต้องปล่อยน้ำทิ้งขณะที่ฟลัชวาล์วทำงานทิ้งคนละทางกับน้ำหมุนเวียนเข้าระบบ เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งปนเปื้อนในระบบและทำให้เมมเบรนเกิดการอุดตัน

ตารางที่ 7 ต้นทุนค่าดำเนินการด้วยการกลั่นน้ำเพื่อใช้ในการผลิตน้ำ DI

การกลั่น	การลงทุน
1. การลงทุนอุปกรณ์	ไม่เปรียบเทียบ
2. ค่าเดินระบบ	
2.1 น้ำป้อนหม้อน้ำได้ไอน้ำ 90 l/h/12h/day	3.24 บ/วัน
2.2 น้ำมันเตา 6.79l/h @ 14 บ.	1,140.72 บ/วัน
2.3 ค่าไฟปั๊มน้ำเข้า DI	17.49 บ/วัน
2.4 ค่าน้ำหล่อเย็น	48.6 บ/วัน
รวมค่าใช้จ่าย	1,210 บ/วัน
250 วัน/ปี	302,512.5 บ/ปี

ตารางที่ 8 ต้นทุนค่าดำเนินการด้วยการกรองน้ำเพื่อใช้ในการผลิตน้ำ DI

การกรอง	การลงทุน
1. การลงทุนอุปกรณ์	ไม่เปรียบเทียบ
2. ค่าเดินระบบ	
2.1 น้ำป้อนระบบ 150 l/h/12h/day	5.4 บ/วัน
2.2 ค่าไฟปั๊ม 2 ตัว	112.89 บ/วัน
2.3 เปลี่ยนไส้กรองปีละ 2 ครั้ง	30,000 บ/ ปี
รวมค่าใช้จ่าย	118.29 บ/วัน
250 วัน/ปี	59,572.5 บ/ปี

5. แผนการบำรุงรักษา

5.1. บันทึกเวลาที่ใช้ในการเดินระบบแต่ละวันและเก็บตัวอย่างน้ำที่ออกจากระบบที่จุดต่างๆ วัดค่าการนำไฟฟ้า โดยที่น้ำผ่านการบำบัดเบื้องต้นควรมีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 400 น้ำผ่าน RO ไม่เกิน 18 ไมโครไมห์ต่อเซ็นติเมตร น้ำผ่าน DI ไม่เกิน 1.5 ไมโครโมห์ต่อเซ็นติเมตร

5.5 จุดใดที่มีการนำไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนดให้ทำการล้างหรือปรับปรุงระบบตามคู่มือ

5.5 จัดทำแผนการบำรุงรักษาแต่ละระบบ

5.5 จัดทำคู่มือการล้างแต่ละระบบ

6. ประชาสัมพันธ์การให้บริการน้ำ DI ผ่าน web site ของภาควิชาฯ