บทที่ 3

ระบบรีเวอร์สออสโมซิส

บทนำ

ระบบรีเวอร์สออสโมซิส ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อแข่งขันโดยตรงกับกระบวนการกลั่น เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้พลังงานความร้อน ต้องการเพียงพลังงานเชิงกลเท่านั้น และสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิปกติ โดยทั่วๆไปในขบวนการกลั่นต้องให้ความร้อนแก่น้ำทะเลที่อุณหภูมิ 90-120°C น้ำทะเลจะระเหยกลายเป็นไอ และควบแน่นกลับมาเป็นน้ำสะอาดที่เราต้องการ

ปรากฏการณ์ออสโมซิสถูกค้นพบมาเป็นเวลามากกว่า 2 ศตวรรษ ในตอนต้นทศวรรษ 1950 ได้มีการวิจัยอย่างหนักเพื่อนำมาสู่การพัฒนาในเชิงการค้า โดยบริษัทดาวน์เคมิคอล และบริษัทดูปองก์ วัตถุประสงค์หลักคือพัฒนาเยื่อเมมเบรนออสโมติก (osmotic membrane) ในปี ค.ศ.1953 ได้มีการให้ทุนสนับสนุนเทคโนโลยีของรีเวอร์ส ออสโมซิส เพื่อประโยชน์ในการนำน้ำทะเลมาใช้ โดยวิธีการสังเคราะห์เยื่อเมมเบรนชนิดยอมให้ซึมผ่านได้ (semi permeable membrane) การใช้งานในช่วงแรกจะเป็นการพัฒนากระบวนการการขจัดเกลือออกจากน้ำกร่อย

ในระยะแรกเยื่อเมมเบรนมีลักษณะการกั้นผ่านที่ดี แต่น้ำจืดที่ได้มีน้อย ต่อมาได้มีการพัฒนาเป็นเยื่อเซลลูโลส อะซิเตต เป็นจุดเริ่มต้นในการก้าวเข้าสู่เชิงการค้า ในปี ค.ศ. 1960 Loeb และ Sourisajan นำไปสู่การพัฒนาเยื่อเมมเบรนที่น่าสนใจในเชิงการค้า โดยที่น้ำสามารถซึมผ่านได้มากกว่า 20 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความดัน 40 atm

ออสโมซิสและรีเวอร์สออสโมซิส

ในภาชนะเปิดรูปตัวยู แยกน้ำสะอาดและน้ำทะเลออกจากกันโดยเยื่อเมมเบรน น้ำจากด้านที่เจือจางกว่าจะแพร่ผ่านเข้าไปในด้านที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ขณะที่น้ำไหลผ่านเยื่อเมมเบรน ความดันด้านที่เจือจางจะตกลง ขณะเดียวกันความดันด้านสารละลายเข้มข้นจะเพิ่มขึ้น

จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า **ออสโมซิส** ดังอธิบายในรูปที่ 3.1

ที่จุดสมดุลระดับของของเหลวในด้านที่เข้มข้นจะสูงกว่าในด้านน้ำสะอาด ปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านทั้งสองทางจะเท่ากัน แรงดันออสโมติกขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำทะเลและอุณหภูมิ น้ำทะเลที่ค่าความเค็ม 35,000 ppm มีแรงดันออสโมติก 23 ATM ขณะที่น้ำทะเล 50,000 ppm มีแรงดันออสโมติก 37 ATM ดังสมการแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันออสโมติกกับความเข้มข้น

$$O_p = \Delta C.R.T$$

ซึ่ง O_p = แรงดันออสโมติกในหน่วย Pa

ΔC = ความเข้มข้นที่แตกต่างกันในหน่วย $mol/m^3 = kg/m^3/molar\ mass$

R = ค่าคงที่ของแกส = 8.314 J/(mol.k)

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ ในหน่วย $^{\circ}K$

จากสมการข้างบนเห็นได้ว่าโมเลกุลยิ่งเล็ก แรงดันออสโมติกยิ่งมากขึ้นตามความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ถ้าให้ความดันมากกว่าแรงดันออกสโมติกเข้าที่ด้านบนของส่วนที่เป็นน้ำทะเล ทิศทางการไหลของสารละลายจะไหลย้อนกลับ น้ำบริสุทธิ์จะเริ่มไหลย้อนกลับเข้าไปในส่วนของน้ำบริสุทธิ์ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า **รีเวอร์ส ออสโมซิส** (reverse osmosis) ซึ่งใช้ในการแยกน้ำบริสุทธิ์จากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล

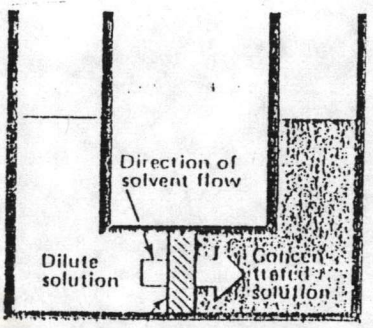
อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเยื่อเมมเบรน เป็นสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันที่ให้ และแรงดันออสโมติก (แรงดันขับสุทธิ) ขณะที่ความแตกต่างนี้เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นขณะที่อัตราไหลของเกลือยังคงที่ ดังนั้นการเพิ่มความดัน (และอัตราการไหล) ทำให้ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ผลิตได้ลดลง ถ้าให้ความดันที่เท่ากันนี้กับสารละลายทั้งสองชนิดที่แตกต่างกัน คือ สารละลายเจือจางและสารละลายเข้มข้น อัตราการไหลและความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผลิตได้จะสูงขึ้นกว่าเดิม ความบริสุทธิ์ที่แน่นอนของน้ำบริสุทธิ์ ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำทะเลและค่าคงที่ที่ยอมให้เกลือซึมผ่านได้ของเยื่อเมมเบรน

รีเวอร์ส ออสโมซิส เปรียบเหมือนกับการกรองเพื่อแยกของ 2 สิ่ง ขณะที่กรองที่ผลที่ได้จากการกรองจะมีสิ่งที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นที่เยื่อเมมเบรน แต่การกรองโดยวิธีรีเวอร์ส ออสโมซิส ผลที่ได้คือ มีการไหลสองอย่าง เป็นส่วนของสิ่งที่ไม่ต้องการและน้ำบริสุทธิ์ ทิศทางการไหล

รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส

SEMI-PERMEABLE MEMBRANES

เยื่อกั้นผ่านซึ่งยอมให้สารละลายบางชนิดผ่านได้เช่น น้ำ หรือ ก๊าซ แต่ป้องกันมิให้สารชนิดอื่นผ่าน เช่น เกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ

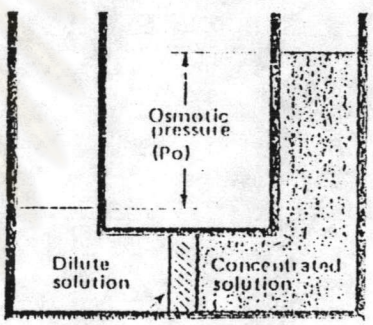


Semi-permeable membrane

OSMOSIS

เมื่อน้ำสะอาดและสารละลายเกลือถูกแยกออกจากกันโดย SEMI-PERMEABLE MEMBRANE น้ำจากด้านที่เจือจางกว่า จะแพร่ผ่านเข้าไปในสารละลายเกลือ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า osmosis เยื่อกั้นผ่านจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกลือไหลกลับ

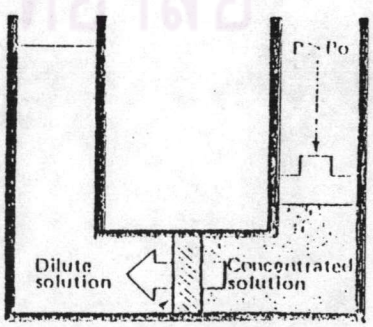
แรงดันออสโมติก (OSMOTIC PRESSURE) ขณะที่น้ำไหลผ่านเยื่อกั้น ความดันด้านสารละลายเจือจางลดลง ในขณะเดียวกันความดันด้านสารละลายเข้มข้นเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่สภาวะสมดุล ความแตกต่างของระดับของเหลวเริ่มเท่ากัน เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นแรงดันออสโมติกของสารละลาย



Semi-permeable membrane

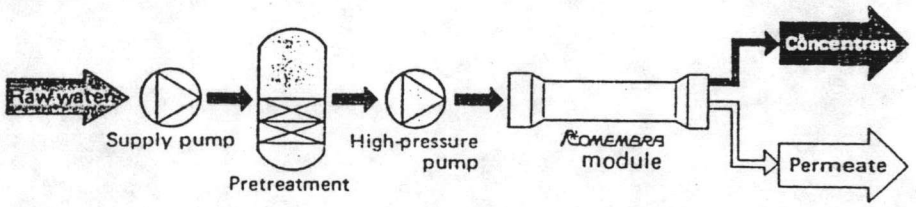
REVERSE OSMOSIS

เมื่อให้ความดันที่มากกว่าแรงดันออสโมติกแก่สารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลผ่านจากด้านที่มีความเข้มข้นมากไปยังด้านที่มีความเข้มข้นน้อย การไหลผ่าน SEMI-PERMEABLE MEMBRANE ของน้ำจากด้านที่มีสารละลายเข้มข้นไปสู่สารละลายเจือจาง เรียกว่ารีเวอร์สออสโมซิส (REVERSE OSMOSIS)



Semi-permeable membrane

ในรีเวอร์ส ออสโมซิส เป็นแนวขนานไหลผ่านเยื่อเมมเบรน ดังรูปที่3.2 ส่วนการกรอง การไหลอยู่ในแนวตั้งฉาก

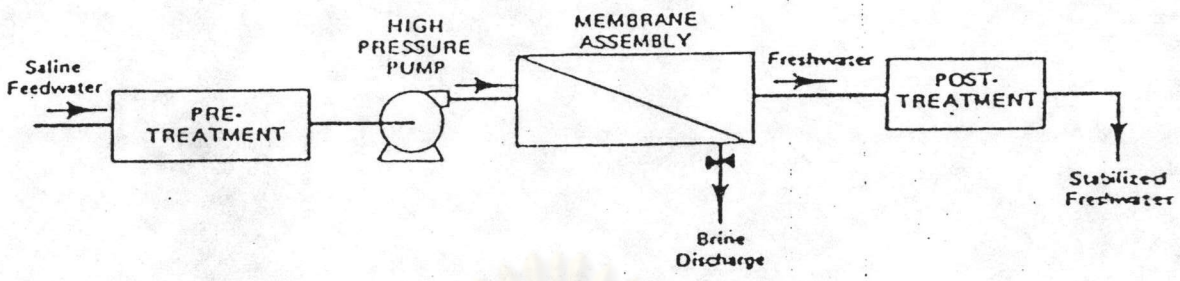


รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมแสดงทิศทางการไหลของน้ำในระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส

ระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส แตกต่างจากอุลตร้าฟิลเทรชัน (Ultrafiltration) คือ อุลตร้าฟิลเทรชันใช้ความดันต่ำ (ปรกติน้อยกว่า 5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ระบบรีเวอร์ส ออสโมซิสใช้ความดันสูง ส่วนใหญ่ความดันที่ใช้จะมากกว่าที่ใช้ในอุลตร้าฟิลเทรชันถึง 10 เท่า ในระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส แรงดันที่ใช้ต้องมากกว่าแรงดันออสโมติก(ซึ่งเป็นนัยสำคัญ) ในระบบอุลตร้าฟิลเทรชัน แรงดันออสโมติกไม่เป็นนัยสำคัญ อุลตร้าฟิลเทรชันขจัดเฉพาะสารที่ไม่ละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ต่ำถึงปานกลาง อย่างไรก็ตาม รีเวอร์ส ออสโมซิส สามารถขจัดได้แม้ว่าเป็นไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

กระบวนการรีเวอร์ส ออสโมซิส (Reverse osmosis Process)

น้ำทะเลผ่านการปรับสภาพน้ำในขั้นต้น กรองและปั๊มด้วยปั๊มที่มีแรงดันสูงเข้ามายังโมดุล (module) ที่มีเยื่อเมมเบรน (Semipermeable membranes) ความดันที่ต้องการคือ 25-40 atm มากกว่าแรงดันออสโมติก เพราะต้องการเพิ่มแรงดันขับ การแยกเกลือส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่เยื่อเมมเบรนน้ำทะเลที่ป้อนเข้าไปในโมดุลจะถูกแยกเป็น 2 กระแส น้ำบริสุทธิ์ไหลผ่านเยื่อเมมเบรน (เนื่องจากความดัน) ขณะที่น้ำทะเลเข้มข้นซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการยังคงไหลต่อเนื่องผ่านวาวล์ควบคุมการไหล (a flow control valve) ทำให้แน่ใจได้ว่าไม่มีการตกตะกอนของสารประกอบที่อิ่มตัวยิ่งยวดของน้ำทะเล ซึ่งสามารถอุดตันเยื่อเมมเบรน และลดอัตราการไหลผ่านเยื่อเมมเบรน กรณีที่ไม่มีการระบายน้ำทิ้ง ความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ต้องการใช้ปั๊ม เพื่อเพิ่มพลังงานที่เอาชนะแรงดันออสโมติกที่เพิ่มขึ้นโดยธรรมชาติ ดังรูปที่ 3.3 ไดอะแกรมของระบบรีเวอร์สออสโมซิส



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมของระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส

น้ำทะเลเข้มข้นถูกปล่อยเข้าไปในทะเล กรณีที่ 1 ติดตั้งpower recovery turbine น้ำทะเลที่ไม่ต้องการจะไหลผ่านก่อนที่จะปล่อยทิ้งไป ในบางกรณี เมื่อน้ำที่ผลิตได้มีค่าความเค็มมากกว่าที่ต้องการ จะถูกส่งไปยังระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส อีกตัวหนึ่ง หรือ ion exchanger เพื่อขจัดความเข้มข้นของเกลือต่อไป

เพื่อที่จะได้ปริมาณของน้ำสะอาดตามที่ต้องการ ความดันที่ให้ต้องมากกว่าแรงดันออสโมติก พลังงานหลักที่ใช้เป็นแรงดันป้อนให้กับน้ำทะเล ความดันที่ใช้ควรจะเป็น 3 เท่าของแรงดันออสโมติก ความดันเป็นเพียงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ รีเวอร์ส ออสโมซิส แหล่งของพลังงานเชิงกลที่ต้องการคือพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีความร้อนแฝงของการระเหยเกี่ยวข้อง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของ รีเวอร์ส ออสโมซิส เป็นเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการกลั่น

กระบวนการรีเวอร์ส ออสโมซิส ไม่ต้องใช้ความร้อน สิ่งที่ไม่ต้องการและผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเกือบจะใกล้เคียงกับน้ำทะเลที่ป้อนเข้าไป ระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส สามารถใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็ง ถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis System)

มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนในการทำระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส

- ระบบการปรับสภาพน้ำก่อนเข้ากระบวนการ (Pretreatment)
- ปั๊มความดันสูง

- ส่วนประกอบของเยื่อเมมเบรน
- ระบบการดูแลสภาพน้ำ (Post-treatment)

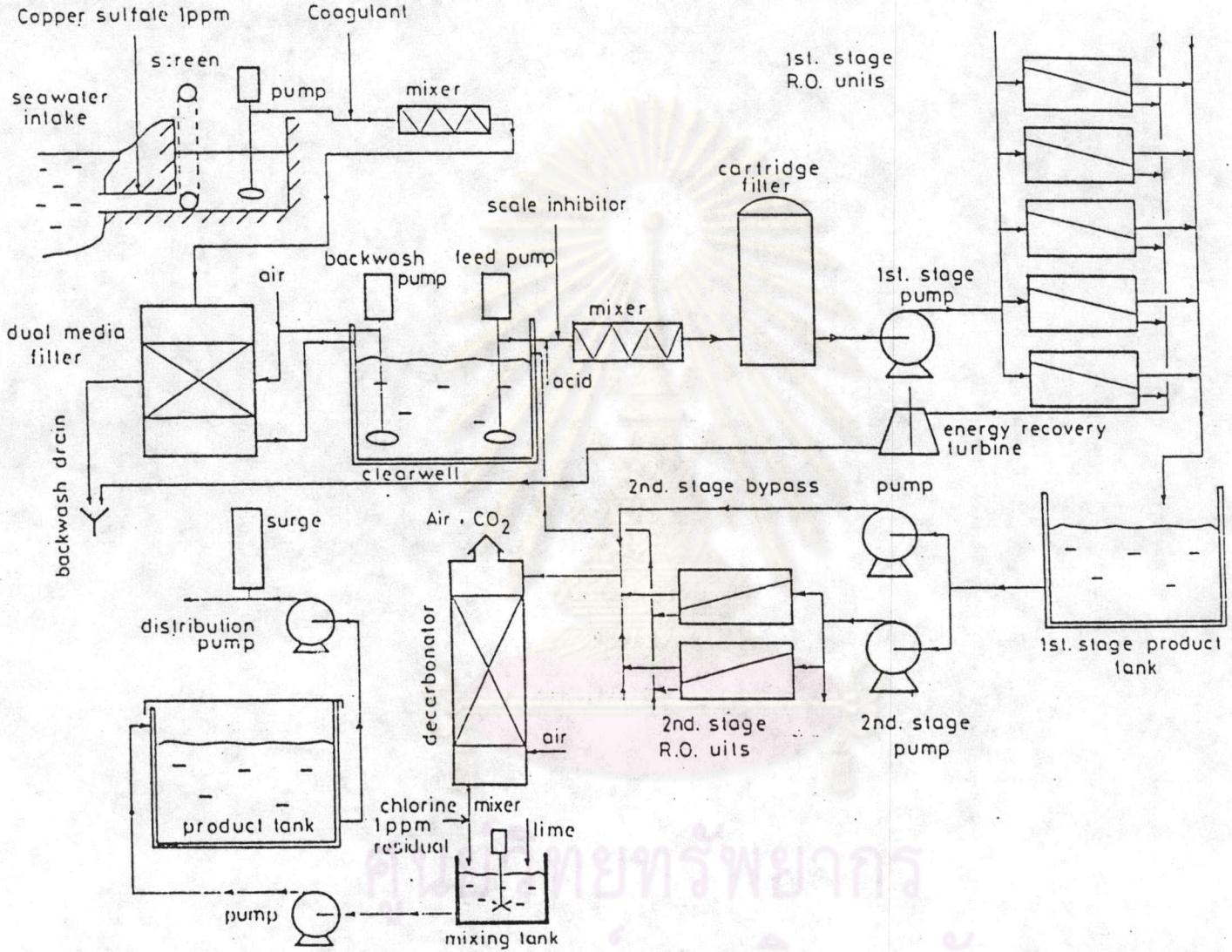
1. การปรับสภาพน้ำก่อนเข้ากระบวนการ

การปรับสภาพน้ำในขั้นต้น เป็นปัจจัยที่สำคัญในการช่วยเหลือให้การดำเนินงานของระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส เป็นผลสำเร็จ ถ้าการปรับสภาพน้ำไม่เพียงพอ เยื่อเมมเบรนจะสกปรกง่ายเพราะเกลือจากน้ำทะเล เยื่อเมมเบรนทำหน้าที่ขจัดสารแขวนลอย ของแข็ง โลหะ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้ปริมาณการไหลของน้ำลดลง การทำงานจึงจำเป็นต้องใช้ความดันสูงเพื่อปริมาณของน้ำที่ผลิตได้ ในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนเยื่อเมมเบรน เพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำที่ออกมาให้สม่ำเสมอ

สิ่งที่สำคัญ คือ ควรมีการวิเคราะห์น้ำทะเลก่อนที่จะผ่านไปยังระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส การวิเคราะห์ควรรวมถึงแหล่งที่มา ปริมาณ ความขุ่น สี อุณหภูมิ(สูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย) ดัชนีความหนาแน่นของเกลือ (SDI) สำหรับการแขวนลอย pH coliform count (bacterial) total plate count (แบคทีเรีย) แคลเซียม แมกนีเซียม โปแตสเซียม เหล็ก แมงกานีส แบเรียม สตรอนเตียม คลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรท แอมโมเนีย ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ ซิลิกา ไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่ละลาย และ TDS

ระบบการปรับสภาพน้ำ ถูกออกแบบสำหรับน้ำทะเลที่ป้อนเข้าไปในระบบโดยเฉพาะ ขนาดและชนิดในการปรับสภาพน้ำขึ้นกับ คุณภาพของน้ำและปริมาณ ชนิดของเยื่อเมมเบรน และรูปร่างภายนอก (configuration) ไม่มีวิธีการปรับสภาพน้ำ (pretreatment) แบบครอบจักรวาลซึ่งสามารถใช้ครอบคลุมทุกสถานะการณ์ ในการปรับสภาพน้ำ ควรแน่ใจว่าสามารถขจัดสารแขวนลอย และสารละลาย อย่างเช่น อนุภาคของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เหล็ก แมงกานีส และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ

โดยปรกติการปรับสภาพน้ำสามารถทำได้ง่าย กระบวนการกรอง(ทราย ทรายเขียว) ใช้สำหรับขจัดของแข็ง ตัวกรองทรายอย่างเร็วและตัวกรองละเอียดมีใช้กันอย่างทั่วไป ตัวยับยั้งหรือการควบคุม pH ใช้เพื่อป้องกันตะกรันและลดอัตราการออกซิเดไดส์ของ Fe^{++} ซัลฟูริค หรือกรดไฮโดรคลอริกใช้เพื่อปรับ pH การเติมคลอรีนก็เป็นสิ่งที่ควรทำสำหรับเยื่อโพลีเอไมด์(poly amide membranes) และตามด้วยการขจัดคลอรีน การปรับสภาพน้ำสำหรับระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 การปรับสภาพน้ำสำหรับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส ปราณีตมากกว่าที่ต้องการสำหรับกระบวนการกลั่น ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำทะเลเป็น 60-65 % ของเงินลงทุนทั้งหมดของกระบวนการและเท่ากับ 1/3 ของค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายรวมทั้งการปรับสภาพน้ำอยู่ในช่วง $3.5-8.5/kgal ของน้ำสำหรับระบบขนาดกลาง (10^5-10^6 gal/day) ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสำหรับการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด การเปลี่ยนทดแทนเยื่อเมมเบรน และต้นทุนอื่นที่เกี่ยวข้องในช่วงที่หยุดเครื่อง

1) ตะกรัน (Scaling)

การเกิดตะกรันขึ้นกับค่าความเข้มข้นของน้ำทะเลที่ไม่ต้องการ และอัตราการนำน้ำทะเลกลับมาใช้ใหม่ การเกิดตะกรันในเยื่อเมมเบรน เกิดขึ้นโดยการตกตะกอนของเกลือที่ละลายน้ำได้ อย่างเช่น แคลเซี่ยมคาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซัลเฟต แบเรียมซัลเฟต และซิลิกา (ถ้าขีดความสามารถในการละลายมีมากเกินไป)สิ่งเหล่านี้เป็นไปได้ เนื่องจากน้ำทะเลมีความเข้มข้นเริ่มต้น 2-3 เท่าศักยภาพของการเกิดตะกรันของน้ำทะเล ตรวจได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี อัตราการแปรสภาพ และขีดความสามารถในการละลายของเกลือต่าง ๆ

โดยทั่ว ๆ ไป มีการปรับสภาพน้ำเฉพาะแคลเซียมคาร์บอเนต แต่จะต้องมีการตรวจเช็คว่าไม่มีขีดจำกัดของความสามารถในการละลาย ซึ่งอาจจะมีมากเกินไป น้ำดีบางแห่งมีปริมาณเกลือเกือบถึงขั้นอิ่มตัว การตกตะกอนสามารถลดความเข้มข้นของส่วนประกอบให้ต่ำที่สุดก่อนที่น้ำจะผ่านเข้าไปยังเยื่อเมมเบรน ถ้าเติมกรด pH จะต่ำ และการละลายของสารที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้น

การละลายของแคลเซียมซัลเฟต โดยปรกติต้องไม่มากเกินที่ระดับหมุนเวียนปกติ(75-80 %) ไม่เช่นนั้นความเค็มของน้ำทะเลที่ป้อนเข้าไปอาจเป็น 1500 ppm หรือมากกว่า การตกตะกอนของแคลเซียมซัลเฟต หริอเกลือของแบเรียม และสตรอนเตียม ถูกยับยั้งโดยเติมโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (Sodium hexametaphosphate)

โดยทั่ว ๆ ไป มี 3 วิธีที่ใช้ในการควบคุมตะกรัน

- คาร์บอเนต - ขจัด Ca^{++} and Hg^{++} (การทำน้ำอ่อน)
  - ขจัดประจุ CO_3 และ HCO_3 โดยใช้กรดเพื่อป้องกันหินปูนและลดอัตราของการสันดาบของ Fe^{++}

- แยกออกไป ซึ่งเป็นการป้องกันการตกตะกอน

- ซัลเฟต
  - การทำน้ำอ่อน
  - แยกออกไป
  - หลีกเลี่ยงสภาวะการอิ่มตัว
- ซิลิกา
  - การทำน้ำอ่อน
  - เพิ่มอุณหภูมิ
  - หลีกเลี่ยงสภาวะอิ่มตัว
- คอลลอยด์ - น้ำอ่อน,ตกตะกอน,และกรอง
- แบคทีเรีย - ฆ่าเชื้อโรคและการกรอง

2) **ออกไซด์ของโลหะ(Metal oxides)**

เยื่อเมมเบรนสกปรกเนื่องจากการเกิดออกไซด์ และ/หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก รวมทั้งแมงกานีส(Manganese) และอะลูมินัม(aluminum) ทำให้สกปรก แต่อย่างไรก็ตามความสกปรกส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นจากเหล็ก เหล็กที่อยู่ในน้ำผิวดินจะอยู่ในรูป Fe^{+++} และสามารถขจัดโดยทำให้ใสและการกรองเหล็กในรูปการละลายเฟอร์รัส (Fe^{++}) สามารถถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอริก (ferric) ที่เยื่อเมมเบรน สิ่งสกปรกเกิดขึ้นจากการตกตะกอนของ $Fe(OH)_3$ ถ้าเหล็กยังคงอยู่ในรูปสารละลาย เยื่อเมมเบรนสามารถขจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การป้องกันสิ่งสกปรกจากเหล็ก มี 2 วิธี คือ

- ขจัดเหล็กออกจากน้ำทะเลที่ป้อนเข้ามา
- การป้องกันการออกซิเดชัน จากเฟอรัสเป็นสภาวะเฟอริก

หลักการการขจัดออกไซด์ของโลหะ รวมทั้งการเติมกรด (เพื่อให้ pH ต่ำกว่า5.5) และการแลกเปลี่ยนประจุ (เพื่อขจัดประจุบวกที่ไม่ต้องการ) การแลกเปลี่ยนประจุสามารถปฏิบัติได้ ถ้าความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสต่ำกว่า 5.5 ppm อีกวิธีการหนึ่ง คือ เติมโซเดียมเฮกซาเมตาฟอสเฟต (Sodium hexametaphosphate) 5 ppm สามารถป้องกันการตกตะกอนได้ ถ้าความเข้มข้นทั้งหมดของเหล็กและแมงกานีสต่ำกว่า 1 ppm

3) สิ่งสกปรกทางชีวภาพ (Biological Fouling)

กรณีที่น้ำทะเลมีสารอาหารอย่างเพียงพอ สิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ สามารถเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการยึดเกาะของน้ำเมือก น้ำเมือกทำให้เกิด irreversible fouling และสูญเสียสถานะภาพ สิ่งมีชีวิตบางอย่างยึดติดกับเยื่อเมมเบรน การแก้ปัญหา คือ การฆ่าเชื้อโรค ส่วนใหญ่มักจะใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค ประสิทธิภาพของคลอรีนขึ้นกับความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัส (contact time) และpHของน้ำ ควรควบคุมอัตราการใช้อย่างระมัดระวังในระบบรีเวอร์ส ออสโมซิสควรมีคลอรีนอิสระตกค้าง 0.5-1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต อนุพันธ์เซลลูโลสอะซิเตต สามารถทนคลอรีนได้อย่างมีขีดจำกัดแต่เยื่อโพลิเอไมด์ไม่สามารถทนได้ สำหรับเยื่อเมมเบรนโพลิเอไมด์ ต้องมีการขจัดคลอรีน การขจัดคลอรีน (Dechlorination) ทำโดยการกรองด้วยถ่าน หรือ $NaHSO_3$ $NaHSO_3$ ยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้ออีกด้วย โอโซนสามารถนำมาใช้ในวัตถุประสงค์เดียวกันนี้ มีพลังและรวดเร็ว แต่ค่าใช้จ่ายสูง และไม่สามารถควบคุมโดยง่าย วิธีอื่นรวมทั้งรังสีอุลตร้าไวโอเลตและ ultrafiltration

4) สารแขวนลอย (Suspended Solids)

อนุภาคของสารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ (5-30 ไมครอน) ต้องขจัดออกไป เพื่อป้องกันการอุดตันการไหลของน้ำทะเล โดยการใช้ทราย หรือมัลติมิเดีย ฟิลเตอร์ (multimedia filter) แล้วตามด้วย คาลทริดจ์ ฟิลเตอร์ (cartridge filters) การกรองด้วยทรายอย่างรวดเร็วถูกนำมาใช้เพื่อขจัดของแข็ง และตะกอนของสารแขวนลอยออกจากน้ำ ใช้คาทริดฟิลเตอร์ (cartridge filter) ขนาดเล็ก (fine mesh) เพื่อขจัดของแข็งทุกชนิดที่ลอดผ่านจากการกรองด้วยทราย

สิ่งสกปรกที่เป็นสารแขวนลอย (Colloidal fouling) เกิดจากการตกตะกอนของสารแขวนลอย อนุภาคของสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1 ไมครอน) สามารถกระจายตัวในสารละลาย ซึ่งลอยขึ้นมาบนผิวหน้า

อนุภาคของสารแขวนลอยยึดเกาะที่เยื่อเมมเบรน และก่อตัวเป็นผิวชั้นบน ทำลายความสามารถในการซึมผ่านน้ำ สารที่เป็นสารแขวนลอยส่วนใหญ่คือ เหล็ก แมงกานีส ซิลิกา และ

ดินเหนียวละเอียด อนุภาคของสารแขวนลอยของซัลเฟอร์เกิดจากการออกซิเดชันของ H_2S ซึ่งขจัดออกยากมาก การออกซิไดซ์ของ H_2S สามารถป้องกันโดยขจัดอากาศ หรือออกซิแดนซ์ (oxidants)อื่น ๆ สิ่งสกปรกที่เป็นสารแขวนลอยสามารถป้องกันโดย ทำให้อัตราการตกตะกอนน้อยลง ทำโดยการควบคุมความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือเพิ่มเสถียรภาพของสารแขวนลอย

ความเข้มข้นของสารแขวนลอยวิเคราะห์จาก Silt Density Index (SDI) ในหน่วย fouling index SDI เป็นการวัดความเข้มข้นสารแขวนลอย ค่า SDI อยู่ในช่วงระหว่าง 5 และ 40 มีแนวโน้มสูงขึ้นที่บริเวณผิวน้ำทะเล และบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบของสารแขวนลอย ซึ่งเกี่ยวข้องกับตำแหน่งของน้ำทะเลที่นำเข้ามา

โดยทั่ว ๆ ไป สารแขวนลอยไม่สามารถกรองได้ แต่สามารถขจัดได้โดยกระบวนการตกตะกอน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก การลดเสถียรภาพ(destabilization) ขจัดประจุที่ผิวหรือทำให้เป็นกลาง อนุภาคของสารแขวนลอยที่มีประจุแตกต่างกัน จะดูดซึ่งกันและกัน ตกตะกอน (coalesce) และทำให้ประจุแต่ละตัวเป็นกลาง ในขั้นที่สอง การตกตะกอน(flocculation) อนุภาคที่เป็นกลางจะรวมกลุ่มเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถขจัดได้โดยการกรองและตกตะกอน

นอกจากการตกตะกอนตามแบบธรรมดา เพื่อการขจัดสารแขวนลอย อาจใช้วิธีการตกตะกอนในท่อ สารที่ช่วยในการตกตะกอนคือ สารส้ม หินปูน และพอลิเมอร์ โดยการเติมสารเหล่านี้ในน้ำทะเลที่จะป้อนเข้าสู่ระบบ หลังจากที่ผสมเรียบร้อยแล้ว จะผ่านมีเดีย ฟิลเตอร์โดยทันที ซึ่งจะทำการขจัดกลุ่มตะกอนเล็ก ๆ (microfloc)ที่เกิดขึ้น กรณีที่น้ำทะเลมีค่า SDI มากกว่า 50 ไม่ควรใช้วิธีนี้

2. เครื่องสูบน้ำแรงดันสูง (High Pressure Pump)

หน้าที่ของเครื่องสูบน้ำแรงดันสูงนี้ คือ เพื่อสูบน้ำดิบให้ผ่านเยื่อเมมเบรนที่ความดันสูงเพียงพอที่จะเกิดการรีเวอร์ส ออสโมซิสขึ้น ความดันที่ต้องการเป็น 3 เท่าของความดันออสโมติก เพื่อการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล(ขึ้นกับแรงต้านทาน/การสูญเสียทางการไหลของน้ำ)

เครื่องสูบน้ำความดันสูง เป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ต้องมีระดับความเชื่อมั่น เนื่องจากในสภาวะการดำเนินงานที่ไม่เหมาะสม สาเหตุเกิดจากของเหลวที่มีความสามารถในการกัดกร่อน (Corrosive fluids) ความดันที่สูง และการขัดสีของอนุภาค

ต่าง ๆ น้ำที่มี ความเข้มข้นสูงขึ้นความดันที่ใช้งานก็สูงด้วย โดยทั่วไปการใช้งานกับน้ำกร่อยอยู่ในช่วง 17-27 บาร์ และน้ำทะเลอยู่ในช่วง 52-69 บาร์

3. เยื่อเมมเบรนและส่วนประกอบเยื่อเมมเบรน

เยื่อเมมเบรนมีลักษณะเป็นแผ่นบางทำหน้าที่เป็นประตูกั้นทางน้ำไหล ซึ่งยอมให้สารบางชนิดผ่านได้และบางชนิดผ่านไม่ได้ ขณะที่เยื่อเมมเบรนของรีเวอร์ส ออสโมซิสยอมให้น้ำไหลผ่าน แต่ยังคงเหลือสารอินทรีย์ทั้งหมดในสารละลาย 90-99% ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ 95-99% และเกือบ 100% เป็นสารแขวนลอย (แบคทีเรีย ไวรัส สารแขวนลอย ซิลิกา เป็นต้น)

เยื่อเมมเบรนมี 2 ชั้นที่แตกต่างกัน ชั้นแรกเป็นวัสดุรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ซึ่งยอมให้ซึมผ่านได้ดีทั้งเกลือและน้ำ ชั้นที่ 2 หนาเพียง 10 ในล้านส่วนของนิ้ว ที่ผิวชั้นนี้มีหน้าที่ในการแยกน้ำออกจากสารละลายเกลือ ผิวนี้แตกและสามารถเสื่อมได้โดยการขัดถู สารเคมีอื่น ๆ อายุการทำงานของเอมไซม์ หรือโดยของเสียในการผลิต

การถ่ายเทน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนนี้ไม่ใช่เป็นการไหลผ่านรู แต่เป็นการแพร่ของหนึ่งโมเลกุลผ่านช่องว่างในโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุที่เป็นเยื่อเมมเบรน แต่ละโมเลกุลจะไหลผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของเยื่อเมมเบรนในรูปของสารละลาย การเดินทางของน้ำไหลผ่านเยื่อเมมเบรนด้วยอัตราเร็วกว่าสารละลายเกลือ เพราะว่าเกลือมีความสามารถในการละลายต่ำกว่าในเยื่อเมมเบรน ดังนั้นการเคลื่อนไหวของเกลือในเยื่อเมมเบรนในสภาพของสารละลายไม่สูงเท่ากับน้ำ

1) เยื่อเมมเบรนชนิดเซลลูโลสอะซิเตตและเยื่อเมมเบรนโพลิเอไมด์

เยื่อเมมเบรนเดิมผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตต ตามด้วยเซลลูโลสไดอะซิเตต เยื่อเมมเบรนเซลลูโลสอะซิเตตให้อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ผิวสูง เยื่อเมมเบรนพอลิเอไมด์มีอัตราการไหลจำเพาะต่ำกว่า ผลิตอยู่ในรูปของ Hollow fine fibers ซึ่งแสดงในหน่วยพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตร เยื่อเมมเบรนพอลิเอไมด์ มีอายุการใช้งานนานกว่าเยื่อเมมเบรนอะซิเตต

ทั้งเยื่อเมมเบรนเซลลูโลสอะซิเตต และเยื่อเมมเบรนพอลิเอไมด์ต่างก็มีจุดอ่อนในเรื่องเสถียรภาพและอ่อนแอเมื่อสัมผัสกับสารเคมี ในทั่วไปเยื่อเมมเบรนพอลิเอไมด์ไม่สามารถ

ทนต่อคลอรีนและปัญหาแบคทีเรีย ดังเช่น เยื่อเมมเบรนเซลลูโลสอะซิเตต ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยแบคทีเรีย

เยื่อเมมเบรนสามารถแบ่งเป็น fixed membranes และ dinamic membranes fixed membranes เป็นแบบที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส เยื่อเมมเบรนทั้ง 2 ชนิดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกคือผิวที่สัมผัสกับน้ำทะเล ทำหน้าที่ขจัดเกลือที่ไม่ต้องการและยอมให้น้ำผ่าน อีกส่วนหนึ่ง คือ รูพรุนที่เสริมกับผิวหน้า ช่วยพยุงผิวหน้าและยอมให้น้ำไหลผ่าน

2) โครงสร้างของโมดุล

เยื่อเมมเบรนชนิดที่ยอมให้ผ่านได้มีลักษณะบางและเปราะจำเป็นต้องมีสิ่งช่วยยึด เพื่อต้านทานความดันของสารละลายที่ปั๊มเข้ามา การออกแบบระบบรีเวอร์ส ออสโมซิสที่ประสบผลสำเร็จขึ้นกับคุณสมบัติที่แท้จริงของเยื่อเมมเบรน และสิ่งที่ช่วยยึดเยื่อเมมเบรน

เยื่อเมมเบรนประกอบเข้าด้วยกันเป็น 1 หน่วย เรียก โมดุล โดยทั่ว ๆไปจะออกแบบให้มีโมดุลหนึ่งอันหรือหลายอันก็ได้ โมดุลแต่ละอันถูกบรรจุและเชื่อมติดกับปั๊มน้ำทะเล วิธีการนี้เป็นประโยชน์ กรณีที่โมดุลตัวใดตัวหนึ่งมีปัญหา สามารถแยกโมดุลที่มีปัญหาออกมาได้โดยที่การผลิตไม่ต้องหยุดชะงัก

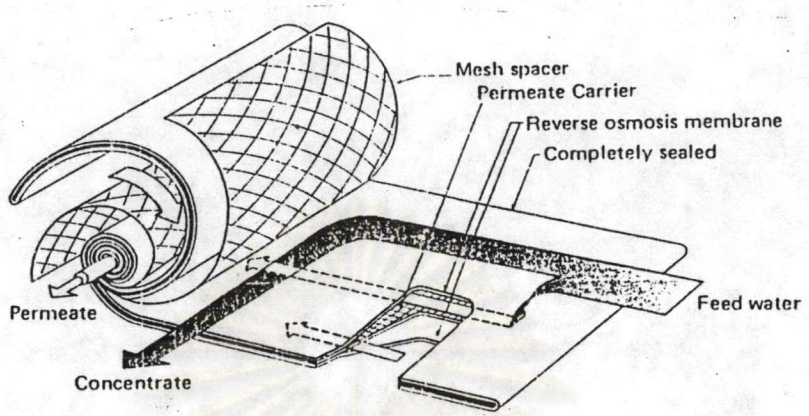
ปัญหาพื้นฐานในการออกแบบโมดุล คือ บรรจุอย่างไรให้บางที่สุด มีพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเครื่องสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากน้ำที่ไหลผ่านเยื่อเมมเบรนในอัตราส่วนผกผันกับความหนาและแปรผันตรงกับพื้นที่ผิว

รูปร่างของเยื่อเมมเบรนมีหลายชนิด ปัจจุบันมีเพียง 2 ชนิด เท่านั้นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ แบบเป็นเกลียว (spiral) และเส้นใยละเอียดกลวง (hollow fine fiber) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- แบบเกลียว

มีลักษณะเป็นแผ่นแบน 2 แผ่น รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าเชื่อมติดกัน 3 ด้านคล้ายกับซองจดหมาย ภายในบรรจุวัสดุที่มีรูพรุน สามารถทำงานได้ภายใต้ความดันสูงและให้น้ำไหลผ่านไปยังปลายเปิด ด้านที่สี่เชื่อมติดกับ slotted collection tube ยอมให้น้ำไหลผ่านได้เท่านั้น ท่อหนึ่งอันอาจเชื่อมติดกับแซนด์วิชหลายอันก็ได้ โดยทั่วไปใช้ 2-26 อัน แต่ละอันถูกแยกออกจากกันโดยตะแกรง แซนด์วิชและตะแกรงจะถูกม้วนให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดัง

แสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6



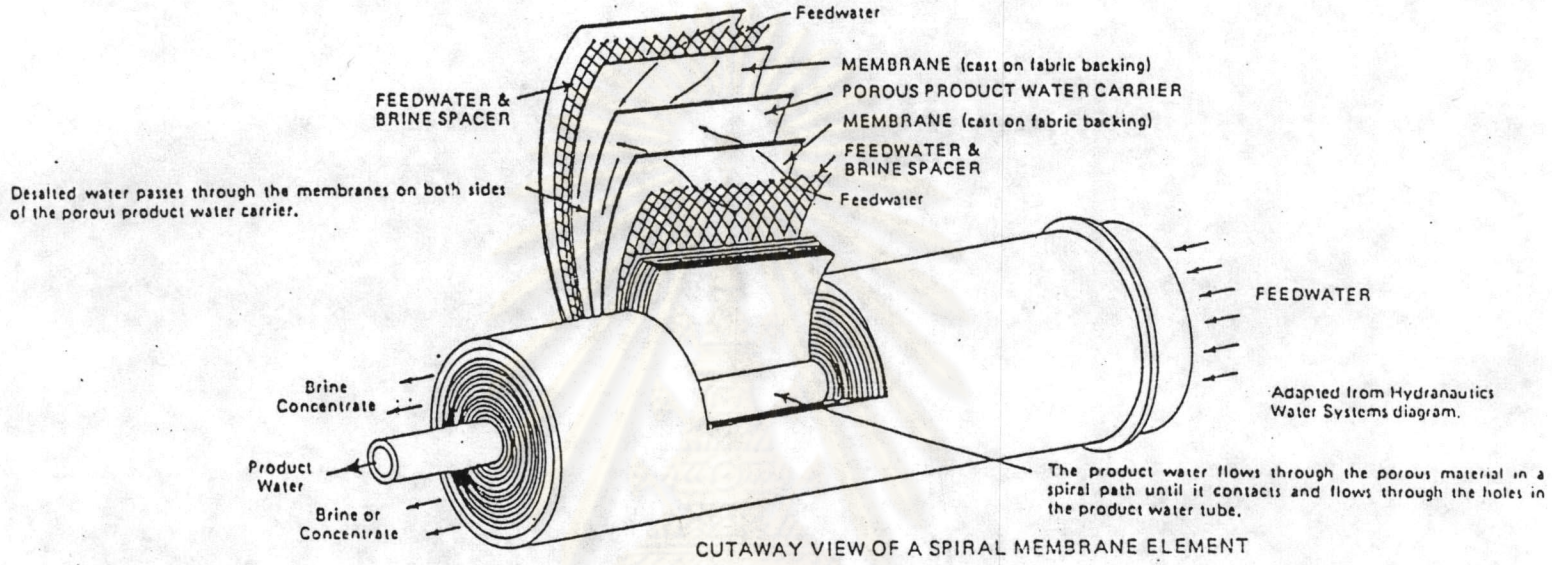
รูปที่ 3.5 ทิศทางการไหลของน้ำใน spiral membrane

ป้อนน้ำทะเลที่มีความดันสูงให้ไหลในแนวขนานไปที่แกนslotted collection tube น้ำทะเลไหลผ่านตะแกรงไปยังเยื่อเมมเบรน ยอมให้น้ำไหลผ่านเยื่อเมมเบรนไปยังวัสดุที่มีรูพรุน (a porous backing material)ซึ่งเป็นทางเดินที่เป็นเกลียวให้กับน้ำทีบริสุทธิ์ โดยที่น้ำทะเลเข้มข้นค้างอยู่ด้านหนึ่งของเยื่อเมมเบรน น้ำบริสุทธิ์จะไหลไปยังslotted collection tube ซึ่งมีการเชื่อมปิดอย่างดี ป้องการสิ่งเจือปนไม่ให้รั่วเข้ามา

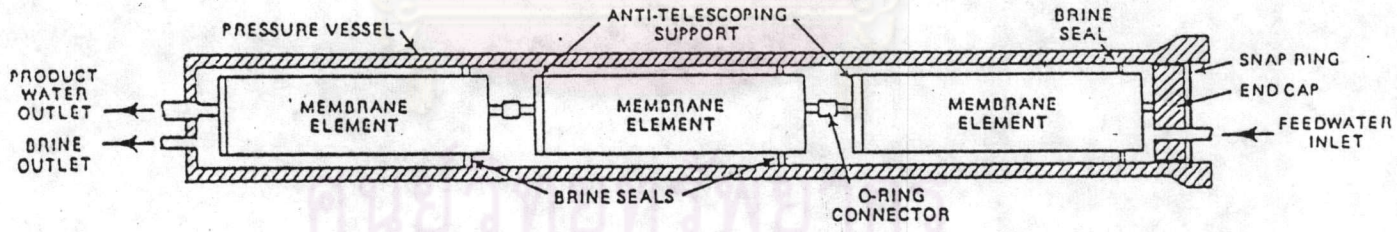
อย่างไรก็ตามเยื่อเม่มเบรนชนิดนี้มีข้อจำกัด คือ ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลซียส และทำงานที่ช่วงpH 3-8

- แบบเส้นใยละเอียดกลวง (HFF membrane)

มีลักษณะเป็นหลอดที่มีรูเล็กยาว ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เส้นผ่าศูยน์กลางประมาณความหนาของเส้นผม แต่ละเส้นเป็นหลอดความดันสูงขนาดเล็ก เส้นผ่าศูยน์กลางภายนอก 80-100 ไมครอน และเส้นผ่าศูยน์กลางภายในประมาณ 40-50 ไมครอน อัตราส่วนเป็น 2:1 ทำให้ไฟเบอร์แข็งแรง ทนต่อความดันสูง มีพื้นที่ต่อหน่วยปริมาตรมากที่สุด เยื่อเมมเบรนบรรจุอย่างหนาแน่นเป็นระเบียบได้ 30,000 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยความดันในการใช้งานสูงสุดประมาณ 70 บาร์



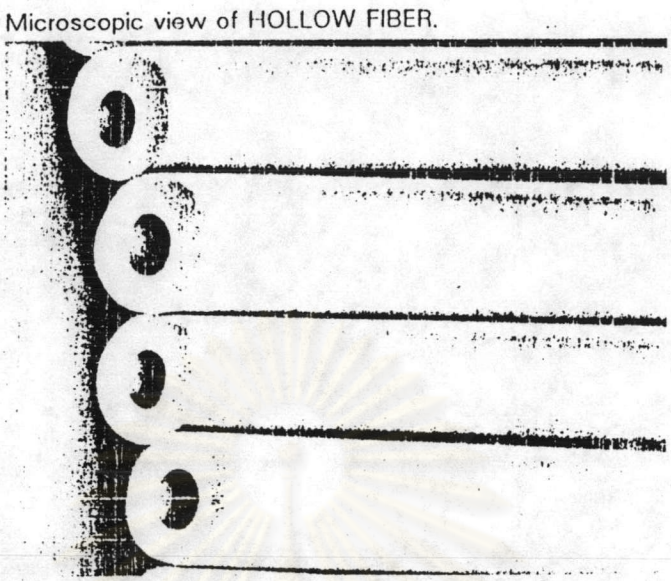
CUTAWAY VIEW OF A SPIRAL MEMBRANE ELEMENT



CROSS SECTION OF PRESSURE VESSEL WITH 3-MEMBRANE ELEMENT

รูปที่ 3.6 โครงสร้างของเยื่อเมมเบรนชนิดเกลียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 ภาพขยายของเส้นใยละเอียดกลวง(Hollow Fine Fiber)

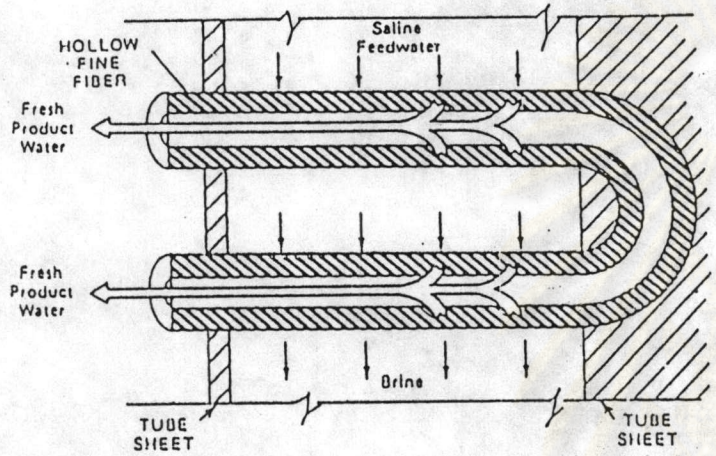
การป้อนน้ำทะเลภายใต้ความดันเข้าที่ปลายด้านหนึ่งของโมดุล ผ่านหลอดที่กระจายอยู่ตรงกลาง น้ำไหลจากภายนอกของเส้นใยเข้าไปในแนวรัศมี ดังแสดงในรูปที่ 3.8 การไหลของน้ำบริสุทธิ์จะไหลจากด้านนอกเข้าสู่ใจกลางของเส้นใย เก็บสะสมและไหลไปตามท่อผ่านออกไปยังท่อส่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10

ข้อจำกัดของเยื่อเมมเบรนชนิดนี้ คือ ทางเดินของน้ำทะเลผ่านกลุ่มไฟเบอร์ ซึ่งแคบมาก ช่องทางการไหลตามปรกติระหว่างไฟเบอร์อาจเป็น 25 ไมครอน มีลักษณะคล้ายผ้ากรองละเอียดสำหรับน้ำทะเลเข้มข้น เกิดการอุดตันโดยสารแขวนลอยได้ง่าย จึงต้องการน้ำดิบที่มีคุณภาพดี ผ่านการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบ ปัจจุบันเยื่อเมมเบรนชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

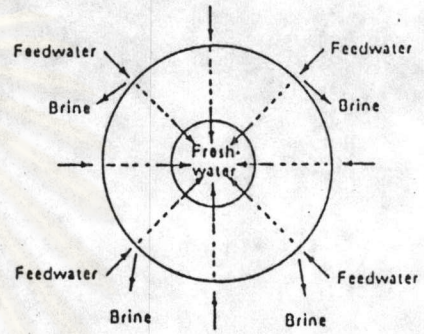
3) ลักษณะของเยื่อเมมเบรน

ลักษณะของเยื่อเมมเบรนซึ่งมีส่วนสำคัญสำหรับประโยชน์ใช้งาน ดังนี้

- มีการขจัดเกลือที่ดี
- ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง
- ยอมให้น้ำไหลผ่านเยื่อเมมเบรนสัมพันธ์กับปริมาณที่ต้องการใช้



Drawing adapted from Dow Chemical USA sales literature.



SECTION A-A
Cross Section of a
Hollow Fine Fiber-Enlarged

Diameter of Hollow Fine Fibers

	Fiber Diameter			
	Inside		Outside	
	(in)	(μm*)	(in)	(μm*)
DuPont Brackish	0.0010	40	0.0034	85
DuPont Seawater	0.0016	40	0.0034	100
Dow Brackish	0.0030	90	0.01	250

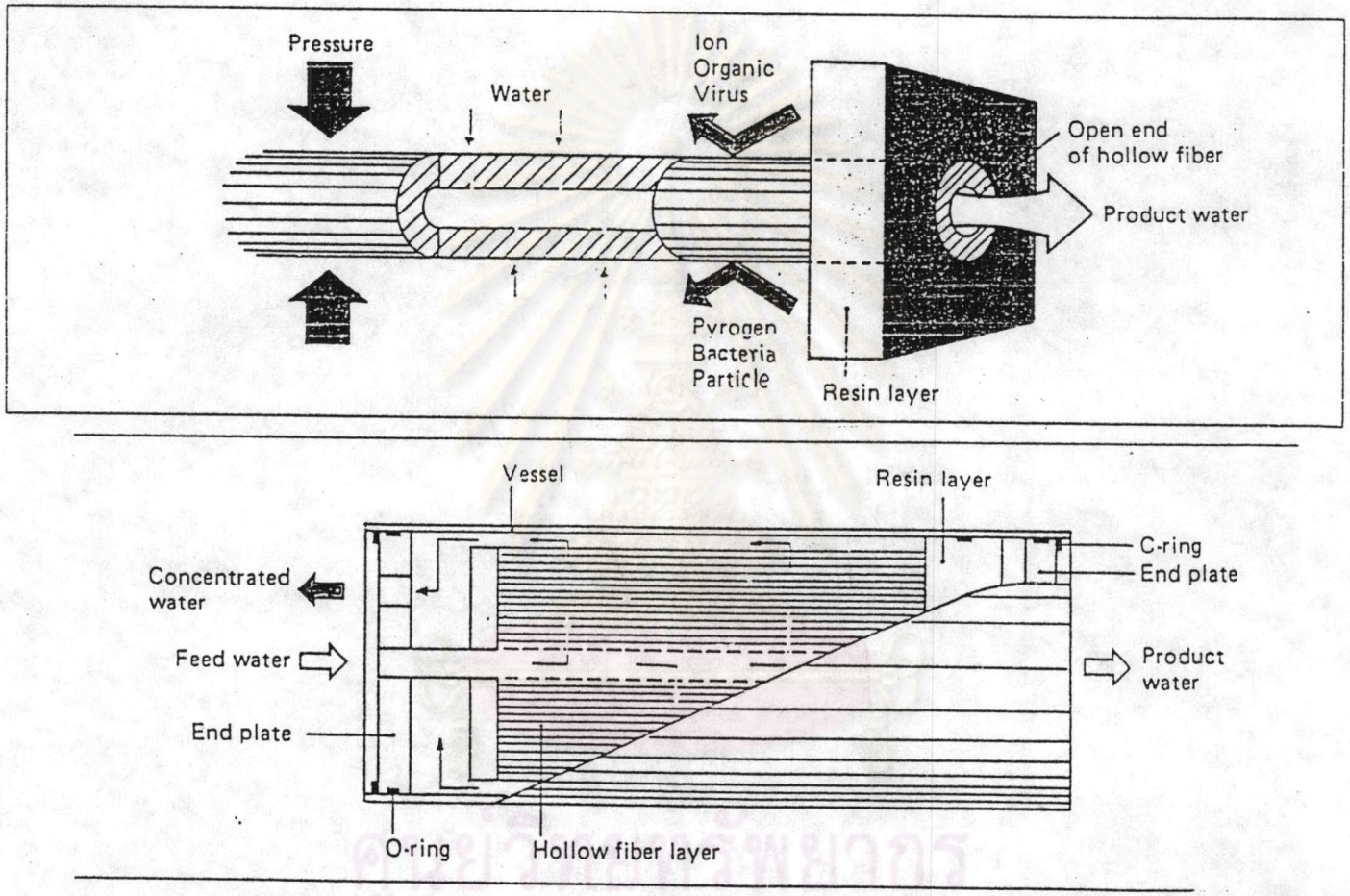
*μm = microns

Most hollow fine fiber membranes are asymmetric in structures, although development is taking place on thin fine composite hollow fine fiber membranes (Albany International), and Dow has introduced an experimental dense hollow fine fiber membrane for seawater applications.

Courtesy of USAID

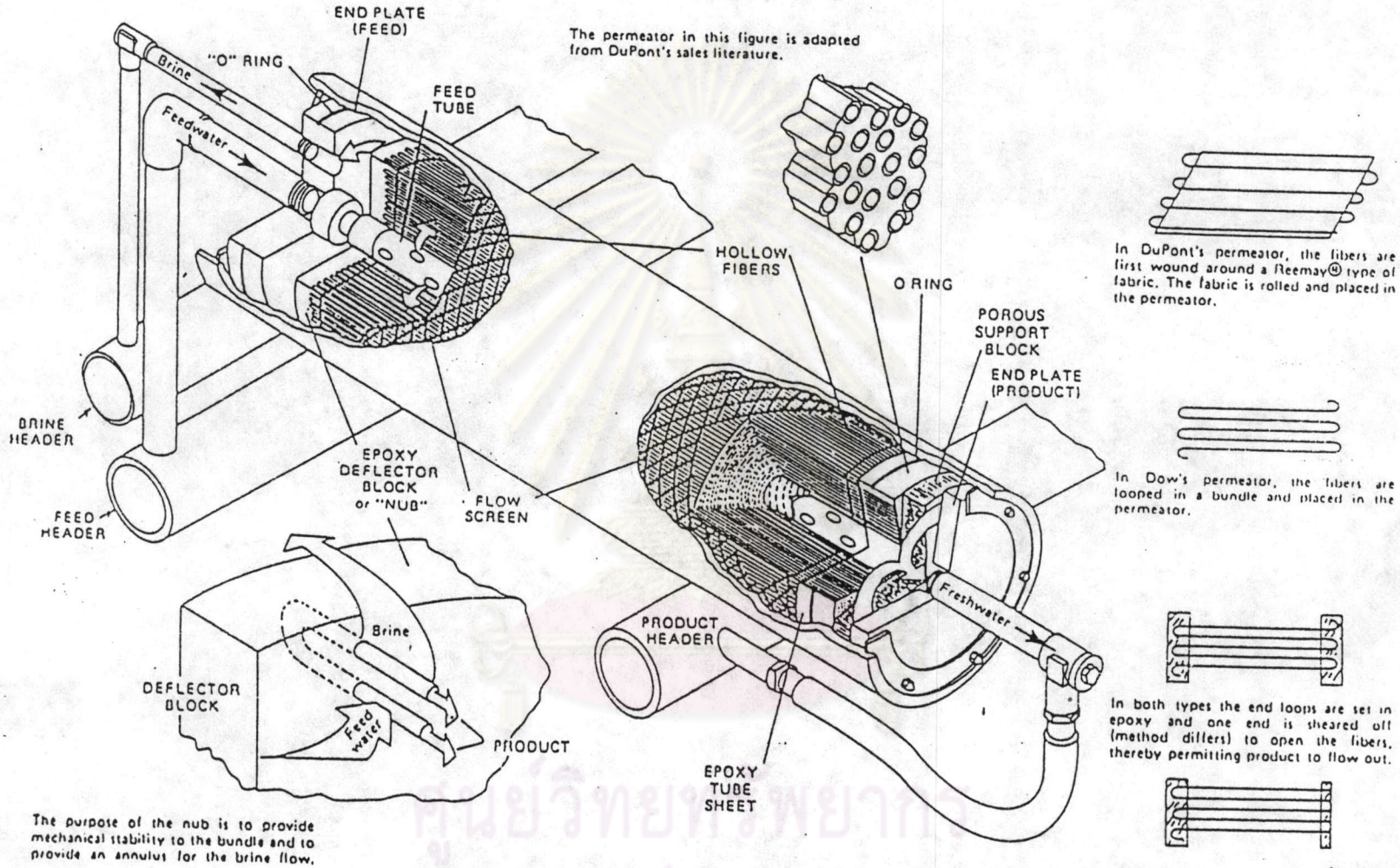
รูปที่ 3.8 ทิศทางการไหลของน้ำภายในเส้นใยละเอียดกลวง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมของเส้นใยละเอียดกลวง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 เส้นใยละเอียดกลวง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ราคาไม่แพง
- ไม่ไวต่อสิ่งสกปรก
- อายุการใช้งานนานและน่าเชื่อถือ
- แข็งแรงเพียงพอในการต้านทานแรงดันสูงและคุณภาพของน้ำดิบที่ไม่คงที่
- คุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และความร้อนไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออยู่ในน้ำทะเล

4) อายุของเยื่อเมมเบรน

อายุของเยื่อเมมเบรนส่วนใหญ่ ถูกจำกัดโดยผลกระทบทางกายภาพ เช่น แรงอัด ผลกระทบทางเคมี และสิ่งสกปรก เยื่อเมมเบรนส่วนใหญ่ประกันอายุ 5 ปี โดยกำหนดให้ระบบทำงานตามเงื่อนไขที่ระบุไว้หรือประกันตามสัดส่วน ถ้าเยื่อเมมเบรนเสียหายเปลี่ยนทดแทนให้ที่ 80 เปอร์เซนต์ของราคาเยื่อเมมเบรนใหม่ เนื่องจากเยื่อเมมเบรนที่เสียยังคงสามารถผลิตน้ำได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง อัตราการไหลลดลงตามเวลาที่ผ่านไป สามารถรักษาสมรรถนะของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาจเปลี่ยนตัวใหม่เพียงหนึ่งตัวหรือมากกว่าไปแทนที่ของเก่า

5) การทำความสะอาด

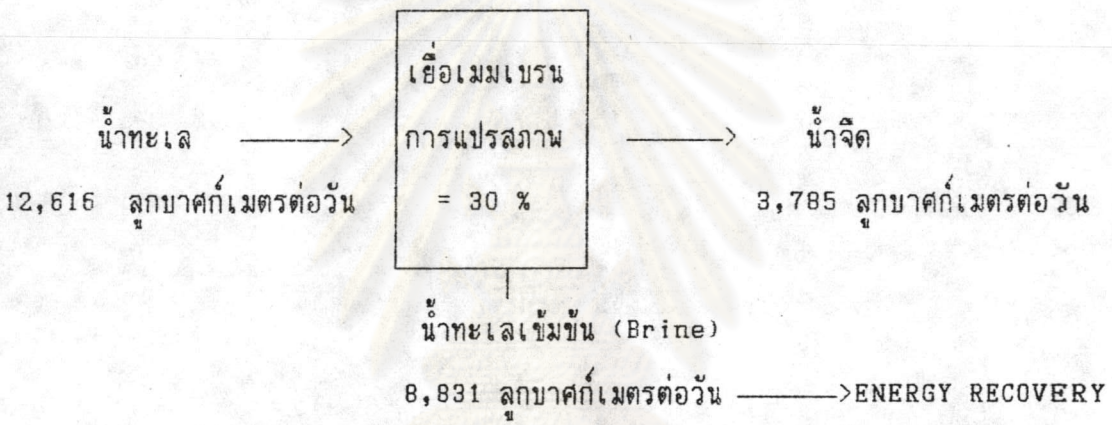
เป็นสิ่งที่ยุ่งยากที่จะทำความสะอาดเยื่อเมมเบรนที่สกปรก จึงควรป้องกันการสกปรก ถ้าน้ำดิบที่ป้อนเข้ามามีคุณภาพดี จะสามารถยืดอายุได้ กฎเกณฑ์ในการทำความสะอาดควรกำหนดขึ้นมาเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกและตะกอน วิธีการทำความสะอาดจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของเยื่อเมมเบรน และการแนะนำของผู้ผลิต

บางครั้งปัญหาจะเกี่ยวข้องกับการทำความสะอาด การเก็บรักษาสารเคมีและสารเคมีที่ตกค้างทำให้เกิดปัญหาที่รุนแรงได้

การคำนวนหาต้นทุน

การคำนวนหาต้นทุนการผลิตในที่นี้ ทำการศึกษาจากระบบรีเวอร์สออสโมซิสขนาดกำลังการผลิต 3,785 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แผนผังอย่างง่ายของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.11 และข้อมูลเบื้องต้นสำหรับเครื่องรีเวอร์สออสโมซิส ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สามารถนำมาใช้ในการคำนวนหาต้นทุนการผลิตน้ำจืดต่อลูกบาศก์เมตรได้ การคำนวนในที่นี้แยกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนเงินทุนและต้นทุนการดำเนินงาน

รูปที่ 3.11 ระบบรีเวอร์สออสโมซิสขนาดกำลังผลิต 3,785 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน



ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ทำการศึกษา

กำลังการผลิต	3,785	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
TDS ของน้ำทะเล	40,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
อุณหภูมิ	27	องศาเซลเซียส
การแปรสภาพ	30*	เปอร์เซนต์
ความดันขณะที่ใช้งาน	6,900	kPa
TDS น้ำที่ผลิตได้	500	มิลลิกรัมต่อลิตร
เวลาทำงานของระบบ	345	วัน
ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต่อปี	1,306,000	ลูกบาศก์เมตร

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

หมายเหตุ * เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ

1. ต้นทุนเงินทุน

เงินลงทุนต่อหน่วยของระบบรีเวอร์สออสโมซิสแปรตาม ทำเลที่ตั้ง ขนาดของกำลังการผลิต ระดับการปรับปรุงสภาพน้ำ (degree of pretreatment) ความเค็มของน้ำทะเล อุณหภูมิ และข้อจำกัดต่างๆของแต่ละโครงการ ส่วนของเงินลงทุนประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของเงินลงทุนของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

รายการ	จำนวนเงิน (ล้านบาท)
การปรับปรุงพื้นที่ก่อสร้าง	5
อาคารและสำนักงาน	5
สิ่งก่อสร้างสำหรับนำน้ำทะเลเข้ามา	21
ท่อส่งน้ำทะเลและปั๊ม	15
ระบบการปรับสภาพน้ำ (preteatment)	17
ปั๊มแรงดันสูง	25
ชั้นวางรีเวอร์สออสโมซิสและเยื่อเมมเบรน	32
บ่อเก็บน้ำจืดที่ผลิตได้	10
รวม	130

ที่มา : บริษัทธัญธิญะเทคโนโลยี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงินลงทุนของระบบทั้งหมดสำหรับขนาดกำลังการผลิต 3,785 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เท่ากับ 130,000,000 บาท อายุโครงการ 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 12 % การคำนวนหาต้นทุนต่อหน่วยได้ดังสมการ

$$A = \frac{P\,(i)}{1-(1+i)^{-N}} \div 1,306,000$$

$$= \frac{130,000,000\,(0.12)}{1-(1+0.12)^{-20}} \div 1,306,000$$

$$= 13.33$$

ซึ่ง A : ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)

P : เงินลงทุน

i : อัตราดอกเบี้ย 12 %

N : อายุเครื่องจักร 20 ปี

ต้นทุนเงินทุนต่อหน่วยเท่ากับ 13.33 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

2. ต้นทุนการดำเนินงาน

ต้นทุนการดำเนินงานประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
- ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี
- ค่าแรงงาน
- การเปลี่ยนทดแทนเยื่อเมมเบรน
- ค่าซ่อมบำรุงและรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

พลังงานเป็นส่วนประกอบสำคัญ และใหญ่ที่สุดของต้นทุนการดำเนินงานในระบบรีเวอร์สออสโมซิส สำหรับระบบรีเวอร์สออสโมซิสขนาดใหญ่ที่มี energy recovery equipment สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้

ต้นทุนของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3 ระบบนี้จะรวมระบบหมุนเวียนพลังงาน(energy recovery equipment) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถลดความต้องการใช้พลังงานได้ 31 %

ตารางที่ 3.3 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส

รายการ	KWh/m^3	จำนวนเงิน (บาทต่อลบ.ม.)
ปั๊มน้ำทะเล	0.42	0.62
ปั๊มกรด	0.19	0.28
ปั๊มรีเวอร์สออสโมซิส	8.42	12.46
ปั๊มขจัดอากาศ	0.48	0.71
ปั๊มน้ำ	0.29	0.43
รวม	9.80	14.50
ต้นทุนต่อหน่วย 14.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร		

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย (ค่าไฟฟ้า 1.48 บ./$ม^3$)

2) ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ต้องการใช้ ขึ้นกับคุณภาพของแหล่งน้ำดิบ น้ำกร่อยต้องการสารเคมีเพียงเล็กน้อยในการปรับปรุงน้ำ น้ำทะเลต้องการในปริมาณที่มากกว่า การใช้สารเคมีในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการใช้แบบต่อเนื่องและใช้แบบช่วงเวลา ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดสารเคมีที่ต้องการและต้นทุนต่อหน่วยในการผลิต

ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

รายการ	ราคา (บาทต่อกก.)	อัตราการใช้	จำนวนเงิน (บาทต่อลบ.ม.)
สารเคมีที่ใช้อย่างต่อเนื่อง			
กรดซัลฟุริก	4	7 มก./ลิตร	0.05
สารเคมีที่ใช้เป็นช่วงเวลา		การทำความสะอาดต่อปี	
กรดซิตริก	25	2 (2900 ล./ครั้ง)	0.11
ดีเทอร์เจนต์	30	2 (540 ล./ครั้ง)	0.02
กรดแทนนิค	605	2 (18 ล./ครั้ง)	0.02
พอลิไวนิลเมธิลอีเทอร์	179	2 (375 ล./ครั้ง)	0.10
ฟอร์มัลดีไฮด์	4	1 ครั้ง	0.00
โซเดียมไฮดรอกไซด์	7	2 ครั้ง	0.00
รวม			0.30
ต้นทุนต่อหน่วย 0.30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร			

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

3) ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานแปรตามขนาดของเครื่องและทำเลที่ตั้ง ถ้าเครื่องถูกแยกอยู่โดดเดี่ยว อาจจำเป็นที่จะต้องมีคนเฝ้าตลอดเวลา แต่ถ้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบส่วนของระบบรีเวอร์สออสโมซิสไม่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ ระบบสามารถปิดเปิดได้โดยอัตโนมัติ ในกรณีที่ระบบมีปัญหา และตารางที่ 3.5 แสดงค่าแรงงานภายใต้ข้อสมมติฐานว่าระบบรีเวอร์สออสโมซิสแยกอยู่โดดเดี่ยว

ตารางที่ 3.5 ค่าแรงงาน

รายการ	จำนวน	บาทต่อปีต่อคน	บาทต่อปี
ผู้ควบคุม	1	120,000	120,000
ผู้ปฏิบัติงาน	4	60,000	240,000
ช่างเครื่อง	1	96,000	96,000
รวม			456,000
ต้นทุนต่อหน่วย 0.35 บาทต่อลูกบาศก์เมตร			

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) ค่าซ่อมบำรุงรักษา

ค่าซ่อมบำรุงรักษาขึ้นกับ อัตราการเปลี่ยนทดแทนจริงหรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ของเงินลงทุน ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าซ่อมบำรุงรักษา

รายการ	จำนวน	จำนวนเงิน (บาท)
cartridge filter	2 ครั้งต่อปี	0.03
ปั๊มและมอเตอร์	6 % ของต้นทุน	0.63
การควบคุมและการใช้ไฟ	7 % ของต้นทุน	0.74
เครื่องมือ	7 % ของต้นทุน	0.74
อื่น ๆ	10 % ของต้นทุน	0.21
รวม		2.35
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 2.35 บาท		

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

5) ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเยื่อเมมเบรน

อายุของเยื่อเมมเบรนโดยทั่วไปมีอายุ 5 ปี ในการเปลี่ยนทดแทนไม่เกิน 12 เปอร์เซนต์ต่อปี ราคาของเยื่อเมมเบรน 98,000 บาทต่อท่อน จำนวน 4 ท่อนต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยได้ 4.86 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการคำนวนหาต้นทุนต่อหน่วย ในการผลิตน้ำจืดจากระบบรีเวอร์สออสโมซิส ในตารางที่ 3.3 ถึง 3.6 พบว่า ต้นทุนในการดำเนินงานเท่ากับ 17.35 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.7

ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

รายการ	จำนวนเงิน (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
พลังงาน	14.50
สารเคมี	0.30
ค่าแรงงาน	0.35
ค่าซ่อมบำรุงรักษา	2.35
ค่าเปลี่ยนทดแทนเยื่อเมมเบรน	4.86
รวม	22.36
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 22.36 บาท	

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

ดังนั้นต้นทุนการผลิตทั้งหมดในการผลิตน้ำจืดจากระบบรีเวอร์สออสโมซิสเป็น 35.69 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ต้นทุนการผลิตทั้งหมดของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

รายการ	จำนวนเงิน (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
ต้นทุนเงินทุน	13.33
ต้นทุนการดำเนินงาน	22.36
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 35.69 บาท	

ที่มา : จากการคำนวนของผู้วิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ของรีเวอร์สออสโมซิส

ความต้องการใช้น้ำที่มีคุณภาพสูงมีเพิ่มมากขึ้นทุกวัน รวมทั้งน้ำเพื่อการบริโภค การชลประทาน และการอุตสาหกรรม วิธีการรีเวอร์สออสโมซิส จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมาก ดังนี้

- อุตสาหกรรมอิเลคโทรนิคส์

รีเวอร์สออสโมซิสจะทำหน้าที่ขจัดอิออนออกจากน้ำ ทำให้น้ำมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และปราศจากแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับขบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเลคโทรนิคส์

- อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์

มาตรฐานเกี่ยวกับวิชาที่ว่าด้วยแบคทีเรีย และเกลือแร่สำหรับการผลิต และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพสูง

- การเพาะปลูกพันธุ์ไม้

ต้นไม้และดอกไม้บางชนิดไม่ควรถูกรบกวนด้วยสารละลายเกลือมากเกินไป หรือน้ำที่มีแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ น้ำที่ยังไม่ได้บำบัดอาจเป็นตัวยับยั้งไม่ให้พืชเจริญเติบโต อาจเกิดโรคพืช และทำให้ผลผลิตลดลง

- หม้อไอน้ำและระบบความชื้น

ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาโดยใช้รีเวอร์สออสโมซิส

- อุตสาหกรรมยา

ต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง ปราศจากแบคทีเรียและไพโรเจน (pyrogens)

- HOMODIALYSIS

บทบาทของรีเวอร์สออสโมซิสมีความสำคัญกับโรงพยาบาลมาก ซึ่งเน้นความสำคัญในเรื่องความเชื่อมั่นของการดำเนินงาน ติดตั้งง่าย ใช้วัสดุที่ไม่เป็นพิษ และการบำรุงรักษาต่ำ คุณภาพน้ำที่ได้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข

ข้อดีและข้อเสียระบบรีเวอร์สออสโมซิส

ข้อดี

1. สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการกลั่น
2. ติดตั้งเครื่องเสร็จได้ในระยะเวลาอันสั้น รวดเร็ว
3. สามารถเปิด - ปิด เครื่องได้อย่างรวดเร็ว
4. สามารถขยายระบบง่าย เนื่องจาก MODULAR CONCEPT
5. ปริมาณการใช้พลังงานต่ำ
6. การบำรุงรักษาต่ำ
7. ขนาดกะทัดรัด ใช้พื้นที่น้อย
8. การกัดกร่อนต่ำ เนื่องจากใช้งานที่อุณหภูมิปรกติ
9. อุณหภูมิของน้ำทิ้งต่ำ ช่วยรักษาสภาพแวดล้อม
10. ไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องกรณีที่โมดุลตัวใดตัวหนึ่งชำรุด เนื่องจากเป็น MODULAR CONCEPT สามารถใช้ได้โดยไม่ผ่านเข้าโมดุลที่เสียได้
11. ไม่ต้องใช้พลังงานไอน้ำ
12. มีระบบพลังงานหมุนเวียนเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (ประสิทธิภาพพลังงานสูงที่สุด)

ข้อเสีย

1. ต้องการปรับสภาพน้ำที่ดี เพื่อขจัดสารแขวนลอยในน้ำ
2. ใช้งานที่ความดันสูง
3. เยื่อเมมเบรนมีความไวต่อเหล็ก (0.05 ppm)
4. เยื่อเมมเบรนมีความไวต่อปริมาณของคลอรีนในน้ำทะเล (ควรเป็น 0)
5. ความบริสุทธิ์ของน้ำที่ได้ถูกจำกัดที่ประมาณ 500 ppm
6. เยื่อเมมเบรนต้องการการดูแลและอุณหภูมิต้องอยู่ระหว่าง 0-40 C
7. อายุของเยื่อเมมเบรนประมาณ 5 ปี
8. เป็นที่รู้จักในเชิงการค้าน้อยมาก สำหรับการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล
9. เยื่อเมมเบรนมีราคาแพงมากและยังไม่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย