บทที่ 4

กระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรน หมายถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (Semi-Permeable Membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว กระบวนการเมมเบรนที่สำคัญมี 3 แบบ คือ อิเลคโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis-ED), รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis-RO), และอัลตราฟิวเตรชัน (Ultrafiltration-UF) ความแตกต่างของกระบวนการทั้งสามประเภทอยู่ที่ความสามารถในการแยกสารละลายที่ขนาดต่าง ๆ และแรงดันขับที่ทำให้เกิดการแยกสารละลายและน้ำออกจากกัน อิเลคโตรไดอะไลซิส (ED) ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดันให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นไอออนได้ออกจากน้ำแต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ ส่วนรีเวอร์สออสโมซิส (RO) (บางครั้งเรียกว่า Hyperfiltration) และอัลตราฟิวเตรชัน (UF) ใช้แรงดันในการแยกสารต่าง ๆ เกือบทุกชนิดออกมาได้ แต่อัลตราฟิวเตรชันมีความสามารถด้อยกว่ารีเวอร์สออสโมซิส เพราะอัลตราฟิวเตรชันสามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เท่านั้น อย่างไรก็ตามอัลตราฟิวเตรชันมักใช้แรงดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือน้อยกว่า ส่วนรีเวอร์สออสโมซิสมักใช้แรงดันตั้งแต่ 300 – 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือสูงกว่า ตารางที่ 4.1 สรุปถึงความแตกต่างของกระบวนการทั้งสามประเภท

ตารางที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่าง อิเลคโตรไดอะไลซิส (ED), รีเวอร์สออสโมซิส (RO), และ อัลตราฟิวเตรชัน (UF)

กระบวนการ	แรงขับดัน	สารที่แยกออกจากน้ำได้
รีเวอร์ออสโมซิส	แรงดัน 300 – 1000 พีเอสไอ หรือสูงกว่า	เกลือแร่, กรด, ด่าง, สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 (รวมทั้งแบคทีเรีย)
อัลตราฟิวเตรชัน	แรงดัน 100 พีเอสไอ หรือน้อยกว่า	สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500
อิเลคโตรไดอะไลซิส	แรงดันไฟฟ้า	สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้

เยื่อเมมเบรนของกระบวนการทั้งสามมีหน้าที่และขีดความสามารถไม่เท่ากัน กล่าวคือ แผ่นเมมเบรนของรีเวอร์สออสโมซิสสร้างขึ้นเพื่อให้น้ำไหลผ่านเท่านั้น และไม่ตั้งใจให้สารอื่น ๆ

ไหลผ่านได้ แผ่นเมมเบรนสำหรับอัลตราฟิวเตรชันนั้นกักได้เฉพาะสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500 และยอมให้สารอื่น ๆ รวมทั้งน้ำไหลผ่าน แผ่นเมมเบรนสำหรับอิเลคโตรไดอะไลซิสมี 2 ชนิด คือ แผ่นบวกและแผ่นลบซึ่งยอมให้ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน แต่โมเลกุลของน้ำไหลผ่านแผ่นเมมเบรนได้ยาก

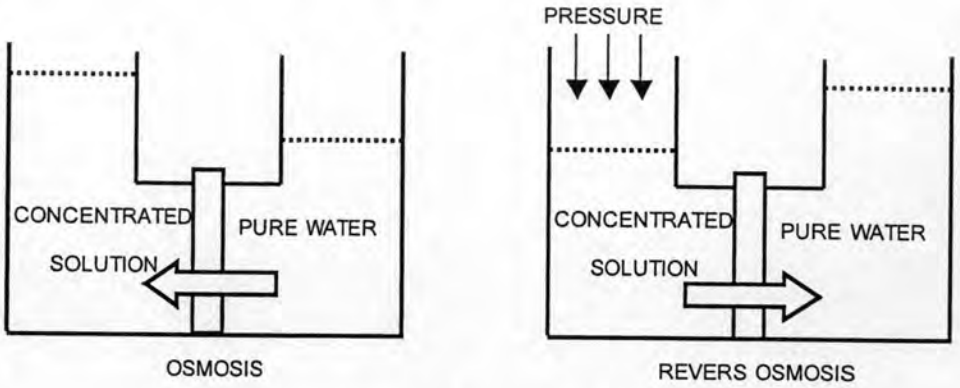
ในปัจจุบันความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำสะอาดที่มีปริมาณสารละลายต่ำและความสกปรกที่เพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำดิบ ทำให้กระบวนการเมมเบรนต่าง ๆ มีความสำคัญเพิ่มขึ้น และกลายเป็นระบบที่จำเป็นในหลายกรณี เนื่องจากระบบรีเวอร์สออสโมซิสนั้นมีขีดความสามารถกว้างขวางกว่าระบบอัลตราฟิวเตรชัน และระบบอิเลคโตรไดอะไลซิส ดังนั้นจึงมีการนำระบบรีเวอร์สออสโมซิสไปใช้ในการทำความสะอาดน้ำดีมากกว่าระบบเมมเบรนอื่น ๆ

4.1 ออสโมซิส (Osmosis) และรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

ออสโมซิส (Osmosis) หมายถึงการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำ ผ่านเยื่อเมมเบรนบาง ๆ (Semi Permeable Membrane) จากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้น เยื่อเมมเบรนในอุดมคติยอมให้น้ำไหลผ่านได้เท่านั้น ดังรูปที่ 4.1 แต่ในทางปฏิบัติโมเลกุลหรือไอออนบางชนิดอาจไหลผ่านได้เช่นกัน ถ้าจัดระบบออสโมซิสให้มีการไหลเป็นแบบที่เมื่อปล่อยให้มีการไหลของน้ำผ่านเมมเบรนจนกระทั่งถึงจุดสมมูล (ไม่มีการไหลอีก) ระดับน้ำในด้านซ้ายซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นสูงกว่าระดับน้ำในด้านขวาซึ่งเป็นน้ำจืด ผลต่างของระดับน้ำนี้เรียกว่าแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure) นักวิทยาศาสตร์ได้อธิบายถึงปรากฏการณ์ออสโมซิสว่า อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารละลายเข้มข้นมีความดันไอต่ำกว่าสารละลายเจือจาง ระดับน้ำในทั้งสองด้านของเมมเบรนจึงมีการปรับตัวจนกระทั่งแรงดันบนผิวน้ำทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ถ้ามีแรงดันที่มีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมซิสมากระทำต่อด้านที่มีสารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลย้อนกลับซึ่งเป็นการต้านการไหลตามธรรมชาติ วิธีดังกล่าวนี้วิศวกรนำมาใช้เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่าง ๆ และเรียกว่า รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis - RO) ดังนั้นกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสจึงอาศัยปัจจัยสำคัญ 2 อย่างคือ แรงดันและเมมเบรน

4.2 กลไกการทำงานของรีเวอร์สออสโมซิส (RO)

รีเวอร์สออสโมซิส (RO) กำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ด้วยกลไกที่แตกต่างจากกลไกของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) หรือการดูดติดผิว (Absorption) นักวิจัยเชื่อว่าระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) มีกลไกในการกำจัดเกลือแร่ (ไอออนต่าง ๆ) ไม่เหมือนกับกลไกใน



รูปที่ 4.1 แสดงออสโมซิส และรีเวอร์สออสโมซิส

การกำจัดสารอินทรีย์ ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) สามารถกำจัดสารละลายต่าง ๆ ได้เนื่องจากเมมเบรนยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่าน ไอออนต่าง ๆ ของเกลือถูกเมมเบรนผลักดันออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ส่วนโมเลกุลของสารอินทรีย์นั้นไม่ถูกเมมเบรนผลัก แต่ถูกกำจัดโดยการกรองติดค้าง (Seive)

4.2.1 กลไกในการกำจัดเกลือต่างๆ

กลไกของกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสมี 2 อย่างคือ กลไกที่ใช้ในการกำจัดเกลือ และกลไกที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ กลไกทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน กลไกในการกำจัดเกลือแร่ (Salt Rejection) ขึ้นอยู่กับจำนวนวาเลนซ์ (Valance) ของไอออนต่าง ๆ ไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกเมมเบรนผลักได้ไกลกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ แรงผลักนี้เชื่อว่าเกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงกระทำระหว่างไดอิเลคตริก (Dielectric Interaction) ไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะถูกผลักให้อยู่ห่างจากผิวของเมมเบรนประมาณ 1 ไมครอน ซึ่งห่างเท่ากับน้ำ 2 โมเลกุลต่อกัน แรงผลักดันระหว่างเกลือและเมมเบรนทำให้เกิดชั้นน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งปกคลุมผิวหน้าของเมมเบรนและยื่นเข้าไปถึงช่องว่าง (รู) ของเมมเบรนด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านชั้นเมมเบรนมิใช่เป็นการเคลื่อนที่อย่างสะดวกสบายเหมือนการไหลผ่านท่อน้ำ นักวิจัยเชื่อว่าน้ำไหลผ่านเมมเบรนทีละโมเลกุลโดยซึมเข้าไปในช่องว่างของโครงสร้างสามมิติของสารอินทรีย์ที่ใช้ทำเมมเบรน เมมเบรนที่ผลิตได้ในปัจจุบันยังไม่สมบูรณ์ถึงขั้นอุดมคติ จึงยังมีการรั่วไหลของไอออนต่าง ๆ เกิดขึ้นได้ประมาณ 1 – 10 % (ของความเข้มข้นทั้งหมด) เนื่องจากไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ เช่น โซเดียม (Na^+), คลอไรด์ (Cl^-), โพแตสเซียม (K^+), ไนเตรต (NO_3^-)เป็นต้น ถูกผลักน้อยที่สุดจึงอยู่ใกล้เมมเบรนมากที่สุด ไอออนเหล่านี้จึงรั่วผ่านเมมเบรนได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์สูง (ดูตารางที่ 4.2)

ด้วยเหตุนี้สารประกอบที่มีโซเดียม (Na^+) จึงรั่วออกจากระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ได้ง่ายกว่าสารประกอบที่มีแคลเซียม (Ca^{++}), ฟอสเฟตจึงถูกกำจัดได้ดีกว่าซัลเฟต (SO_4^-) หรือ

คลอไรด์ (Cl^-) สารอนินทรีย์ที่ไม่มีประจุไฟฟ้า เช่น ก๊าซต่าง ๆ จะไม่ถูกผลักจากเมมเบรน ดังนั้น ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) จึงไม่สามารถกำจัดก๊าซต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เช่นก๊าซคาร์บอนไดซ์ออกไซด์ (CO_2), ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซคลอรีน (Cl_2), ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ตารางที่ 4.2 ความสามารถของรีเวอร์สออสโมซิสในการกำจัดเกลือต่างๆ

Name	Rejection %	Average passage %	Max concentration %
Cations			
Sodium (Na^+)	94-96	5	3-4
Calcium (Ca^{2+})	96-98	3	+
Magnesium (Mg^{2+})	96-98	3	+
Potassium (K^+)	94-96	5	3-4
Iron (Fe^{2+})	98-99	2	+
Manganese (Mn^{2+})	98-99	2	+
Aluminium (Al^{3+})	99+	1	5-10
Ammonium (NH_4^+)	88-95	8	3-4
Copper (Cu^{2+})	98-99	1	8-10
Nickel (Ni^{2+})	98-99	1	10-12
Zinc (Zn^{2+})	98-99	1	10-12
Strontium (Sr^{2+})	96-99	3	-
Hardness (Ca and Mg)	96-98	3	+
Cadmium (Cd^{2+})	96-98	3	8-10
Silver (Ag^+)	94-96	5	+
Mercury (Hg^{2+})	96-98	3	-

Name	Rejection %	Average passage %	Max concentration %
Anions			
Chloride (Cl^-)	94-95	5	3-4
Bicarbonate (HCO_3^-)	95-96	4	5-8
Sulphate (SO_4^{2-})	99+	1	8-12
Nitrate (NO_3^-)	93-96	6	3-4
Fluoride (F^-)	94-96	5	3-4
Silicate (SiO_2^{2-})	95-97	4	-
Phosphate (PO_4^{3-})	99+	1	10-14
Bromide (Br^-)	94-96	5	3-4
Borate ($B_4O_2^{2-}$)	35-70++	-	-
Chromate (CrO_4^{2-})	90-98	6	8-12
Cyanide (CN)	90-95++	-	4-12
Sulphite (SO_3^{2-})	98-99	1	8-12
Thiosulphate ($S_2O_3^{2-}$)	99+	1	10-14
Ferrocyanide $(Fe(CN))_6^{2-}$	99+	1	8-14

\+ Must watch for precipitation : other ion controls maximum concentration.

++ Extremely dependent on pH : tends to be an exception to the rule.

4.2.2 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์

ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) กำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้โดยวิธีกรองติดค้าง (Sieve) โมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกจากน้ำเพราะไม่สามารถลอดผ่านรูเมมเบรนได้ แต่โมเลกุลขนาดเล็กสามารถลอดรูและทะลุออกไปจากเมมเบรนได้ ระบบรีเวอร์สออสโมซิสมีเมมเบรนที่สามารถกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 200 ได้เกือบทั้งหมด ส่วนสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 200 จะทะลุผ่านเมมเบรนไปได้มากน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่าง และขนาดของโมเลกุล (ดูตารางที่ 4.3) ยกตัวอย่างเช่น ฟอร์แมลดีไฮด์ (Formaldehyde) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 30 สามารถทะลุผ่านเมมเบรนได้โดยตลอด ส่วนน้ำตาลไม่สามารถผ่านได้เลยเพราะมีน้ำหนักโมเลกุล 342 (ความสามารถในการทะลุผ่านเมมเบรนได้ของฟอร์แมลดีไฮด์ ทำให้สามารถใช้สารเคมีตัวนี้ในการฆ่าเชื้อโรคให้กับน้ำที่อยู่ทั้งสองด้านของเมมเบรนได้) แบคทีเรีย, ไ วรัส และสารที่ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือไพโรเจน (Pyrogen) ล้วนมีขนาดใหญ่เกินไปจนไม่สามารถทะลุผ่านเมมเบรนได้ จึงสามารถใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิสในการกำจัดออกได้

ตารางที่ 4.3 สรุปความสามารถของกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสในการกำจัดสารอินทรีย์

Name	Molecular Weight	Rejection %	Max concentration %
Sucrose sugar	342	100	25
Lactose sugar	360	100	25
Protein	10000+	100	10-20
Glucose	198	99.9	25
Phenol	94	+	-
Acetic acid	60	+	-
Formaldehyde	30	+	-
Dyes	400-900	100	-
Biochemical oxygen demand	(BOD)	90-99	-
Chemical oxygen demand	(COD)	80-95	-
Urea	60	40-60	Reacts similar to a salt
Bacteria and virus	50000-500000	100	-
Pyrogen	100-5000	100	-

+ Permeate is enriched in material due to preferential passage through the membrane

4.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

4.3.1 Concentration Polarization

ในระบบไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic) ใดรวมทั้งระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) จะมีชั้นน้ำที่เรียกว่า Boundary Layer อยู่ติดกับผิวหน้าของเมมเบรน ชั้นน้ำดังกล่าวจะอยู่เป็นอิสระโดยไม่ผสมกับน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ภายนอก ความหนาของ Boundary Layer แปรผกผันกับอัตราการไหลของน้ำและความปั่นป่วน น้ำสะอาดถูกบังคับให้ออกจากชั้นนี้และกระจายซึมผ่านเมมเบรนออกไปภายนอก ทำให้มีการสะสมตัวของสารละลายต่าง ๆ เกิดขึ้นภายใน Boundary Layer จนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำดิบหลายเท่า ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิด Concentration Polarization ระดับของการเกิด Concentration Polarization อาจแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นสูงสุด (ที่ผิวเมมเบรน) ของสารละลายใน Boundary Layer และความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ (Cm/Ce)

สมรรถนะในการกำจัดสารละลายของเมมเบรนขึ้นอยู่กับ Concentration Polarization เป็นอย่างมาก เนื่องจากการสะสมตัวของเกลือแร่ใน Boundary Layer ทำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ต่อระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ที่กำลังทำงานอยู่ ดังต่อไปนี้

- ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้น เป็นผลให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) ลดลง
- ทำให้มีการรั่วไหลของสารละลายผ่านเมมเบรน (Salt Flux) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้น้ำที่ผลิตได้มีมลทินเพิ่มขึ้น
- เร่งเมมเบรนให้เสื่อมสภาพเร็วขึ้น
- ทำให้มีการตกผลึกของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)และ/หรือเกลือแคลเซียมซิลิเกต ($CaSO_4$)หรือสารประกอบอื่นๆ

4.3.2 อุณหภูมิและพีเอช

การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแต่ละองศาในช่วง 15 – 30 องศาเซลเซียส ช่วยให้อัตราการผลิตน้ำเพิ่มตามไปด้วยประมาณ 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เพิ่มการรั่วไหลของสารละลาย การที่เมมเบรนเป็นสารอินทรีย์เอสเตอร์ (Organic Ester) ซึ่งสามารถสลายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) อุณหภูมิและพีเอชจึงมีบทบาทสำคัญ ดังจะเห็นได้ว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาไฮโรไลซิสจะแปรตามอุณหภูมิของน้ำ และจะเกิดปฏิกริยาช้าที่สุดเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 3 – 7

4.3.3 แรงดัน

แรงดันมีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) ของระบบรีเวอร์สออสโมซิสเป็นอย่างมาก แต่แทบไม่มีผลกระทบต่ออัตรารั่วไหลของสารละลาย (Salt Flux) ด้วยเหตุนี้การเพิ่มแรงดันจึงมีผลทำให้ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) สามารถผลิตน้ำสะอาดได้เพิ่มขึ้นและทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามแรงดันสูงก็สามารถสร้างผลเสียได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะแรงดันทำให้โครงสร้างของเมมเบรนเกิดการอัดตัวแน่น (Compaction) จนกระทั่งน้ำไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวก ผลเสียอันนี้ถือว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) มีค่าลดลงเรื่อย ๆ ในระหว่างการใช้งาน

4.3.4 ความเข้มข้นของน้ำดิบ

อิทธิพลของปริมาณสารละลายในน้ำดิบมีผลต่อสมรรถนะของระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) โดยที่อัตราการผลิตน้ำ (Water Flux) มีค่าลดลงตามการเพิ่มของความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ และการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ มีผลทำให้สมรรถนะของระบบ

รีเวอร์สออสโมซิสลดลง เนื่องจากการรั่วไหลของสารละลายมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นและแรงดันออสโมซิสก็มีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.5 ระบบควบคุมอัตราไหลของน้ำเข้มข้นที่ต้องระบายทิ้ง

การควบคุมอัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) กระทำได้โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้มข้น (Concentrated water) หรือ Rejected water ด้วยวาล์วแบบธรรมดา น้ำสะอาดที่ถูกบีบออกจากโมดูลจะมีการไหลเป็นแบบอิสระเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำสะอาดมีความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศตลอดเวลา ถ้ามีการติดวาล์วควบคุมอัตราไหลของน้ำสะอาด อัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) จะลดน้อยลง เนื่องจากมีการสะสมแรงดันในท่อน้ำสะอาด โดยปกติน้ำเข้มข้นจะมีความดันต่ำกว่าน้ำดิบประมาณ 5 – 20 ปอนด์/ตร.นิ้ว (0.3 – 1.3 บาร์)

4.3.6 เมมเบรนสำหรับใช้กับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส (RO)

ในปัจจุบันแผ่นเมมเบรนสำหรับใช้กับระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) มักผลิตมาจากพอลิเมอร์ 2 ประเภท คือ เซลลูโลส (Cellulose) และ พอลิเอไมด์ (Polyamide) เซลลูโลสที่ใช้ผลิตเมมเบรนมี 2 ชนิด คือ เซลลูโลสอะซีเตด (Cellulose Acetate) และเซลลูโลสไตรอะซีเตด (Cellulose Triacetate) สารประกอบเหล่านี้ไม่สามารถทนกรดหรือด่างหรืออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เพราะจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพ เมมเบรนที่ทำจากพอลิเอไมด์มักมีความทนทานต่อพีเอชและอุณหภูมิได้ดีกว่าชนิดแรก อย่างไรก็ตามเมมเบรนเซลลูโลสสามารถทนคลอรีนเข้มข้นไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรได้เป็นเวลานาน ๆ และสามารถทนคลอรีนเข้มข้น 10 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลาสั้น ๆ และเป็นครั้งคราว แต่เมมเบรนพอลิเอไมด์ทนคลอรีนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

แผ่นเมมเบรนที่นิยมใช้กันมากทำมาจากเซลลูโลสอะเซเตด ซึ่งโดยปกติจะหนาประมาณ 100 ไมครอน และมี 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานจริง ๆ มีความหนาประมาณ 0.2 ไมครอน และทำหน้าที่ขัดขวางหรือกักสารละลายต่าง ๆ มิให้ซึมผ่านเมมเบรนออกไปพร้อมกับน้ำ ชั้นที่หนากว่าทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุนเต็มไปหมดสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้ ชั้นบางมิได้มีเนื้อพรุนเหมือนชั้นหนา รูที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำไหลผ่านไปได้เป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนเป็นการแพร่กระจายของน้ำผ่านช่องว่างดังกล่าวทีละโมเลกุล

4.3.7 โมดูลชนิดต่างๆ ของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

ปัญหาอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการใช้แผ่นเมมเบรนสำหรับแยกสารจากน้ำ คือ จะนำแผ่นเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซิสมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไร ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัย ดังต่อไปนี้

(ก) เนื่องจากเมมเบรนมีความหนาน้อยมาก เปราะ แต่ต้องรับแรงดันสูงประมาณ 200 – 1000 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงต้องการอุปกรณ์รองรับที่สามารถป้องกันมิให้แผ่นเมมเบรนแตกหักได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันต้องมีทางให้น้ำไหลทะลุผ่านเมมเบรนได้ด้วย

(ข) ภาชนะบรรจุเมมเบรนหรือโมดูล (Module) ต้องออกแบบให้กะทัดรัดและสามารถผลิตน้ำสะอาดได้มาก (คิดต่อหน่วยปริมาตรของถัง) หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าต้องออกแบบโมดูลให้สามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด

(ค)Concentration Polarization ต้องเกิดขึ้นน้อย

(ง) การอุดตันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุดและทำความสะอาด ได้ง่าย

(จ) ต้องไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้นตามรอยต่าง ๆ ของระบบ

ในปัจจุบันนี้มีการสร้างโมดูลรีเวอร์สออสโมซิสแบบต่าง ๆ 4 แบบ คือแบบแผ่น (Plate and Frame), แบบท่อ (Tubular), แบบม้วน (Spiral wound) และแบบเส้นใยกลวง (Hollow Filber) ข้อแตกต่างของทั้ง 4 แบบ สรุปอยู่ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ของโมดูลรีเวอร์สออสโมซิสทั้ง 4 แบบ

ชนิดของโมดูล	ชนิดของเมมเบรน	Packing Density* (m^2/m^3)	pH	ความสะดวกในการล้าง	Salt Rejection	Water Flux** (m^3/m^2-day)
แบบแผ่น	เซลลูโลส อะเซเตด	150	2-8	พอใช้	ดีมาก	0.5
แบบท่อ	เซลลูโลส อะเซเตด	450	2-8	ดีมาก	ดีมาก	0.5
แบบม้วน	เซลลูโลส อะเซเตด	750	2-8	ดี	ดีมาก	0.5
แบบเส้นใยกลวง	พอลิเอไมด์	7500 -15000	4-11	พอใช้	ดี	0.5 – 0.2

* พื้นที่เมมเบรนต่อปริมาณของโมดูล ** ที่แรงดัน 40 บรรยากาศ

4.3.7.1 โมดูลแบบแผ่น (Plate and Frame Module)

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนแบบที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้เทคนิคนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายฟิวเตอร์เพลส (Filter Press) แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous Plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกมาได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนและสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรนและแผ่นรองรับและไหลออกจากโมดูล โมดูลแบบนี้ต้องเสียเงินค่าติดตั้งและดูแลรักษาแพงมาก

4.3.7.2 โมดูลแบบท่อ (Tubular Module)

วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าน ศูนย์กลางประมาณ 12 มม. และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยกระดาษหรือทำด้วยใยสังเคราะห์และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนมิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาดอีกด้วย น้ำดิบที่มีความดันสูงจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อที่มีเมมเบรนบุอยู่ภายในแรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกสู่ภายนอก เทคนิคนี้ผลิตน้ำได้น้อยและทำความสะอาดได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้กับกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ต้องการแยกน้ำออกจากสารละลายต่าง ๆ

4.3.7.2 โมดูลแบบม้วน (Spiral Wound Module)

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรน 2 แ ผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวันดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนทั้งสามรอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วยพอลิพรอพีลีน (Polypropyrene) คลุมปิดอยู่ด้านนอกขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกอุดไว้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติและยึดติดกับท่อเจาะรู ลักษณะเช่นนี้ทำให้น้ำถูกบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ การม้วนเมมเบรน แผ่นรองรับ และตะแกรงพลาสติกทำให้โมดูลรูปทรงกระบอกที่สามารถบรรจุไว้ในท่อโลหะธรรมดาได้ โมดูลแบบนี้อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5, 10, 20, หรือ 30 ซม. และมีความยาวต่างๆ กันแต่มักไม่เกิน 1 เมตร น้ำดิบถูกบังคับให้ไหล (ในแนวแกนของโมดูล) เข้าไปตามแผ่นตะแกรง จากนั้นแรงอัดทำให้น้ำซึมทะลุผ่านเมมเบรน (ตามแนวรัศมีของโมดูล) ลงไปถึงแผ่นรองรับซึ่งทำหน้าที่ส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังท่อเจาะรูเพื่อนำออกจากโมดูล

4.3.7.3 โมดูลแบบเส้นใยกลาง (Hollow Fiber Module)

แผ่นเมมเบรนที่ใช้ในโมดูลทั้งสามชนิดที่กล่าวมาแล้วล้วนทำมาจากเซลลูโลสอะเซเตด แต่โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module) นี้ มักใช้เมมเบรนที่ทำมาจากวัสดุไนลอนจำพวกพอลิเอไมด์ (Polyamide) ซึ่งสร้างโดยบริษัทดูปองต์ (Du Pont Co.,Ltd.) ต่อมาภายหลังบริษัทดาวเคมีคอล (Dow Chemical Co.,Ltd.) ได้พัฒนาเมมเบรนที่ทำด้วยเซลลูโลสไตรอะเซเตด (Cellulose Triacetate) และสร้างเป็นเส้นใยกลวงได้ เส้นใยกลวงที่ทำจากพอลิเอไมด์มีขนาดเส้น

ผ่าศูนย์กลางภายนอกประมาณ 50 – 85 ไมครอน และเส้นผ่าศูนย์กลางภานในประมาณครึ่งหนึ่งของภายนอก ส่วนเส้นใยกลวงที่ทำจากเซลลูโลสไตรอะซิเตดมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกประมาณ 200 – 300 ไมครอน วิธีนำเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงมาใช้ประโยชน์กระทำได้ โดยนำมารวมกันเป็นมัด ๆ และงอพับเป็นรูปเกือกม้าหรือตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัดถูกตรึงอยู่ติดกับทางน้ำออก เส้นใยเมมเบรนทั้งหมดวางอยู่ในถังรูปทรงกระบอก น้ำดิบเข้ามาทางท่อเจาะรูซึ่งอยู่ว่างอยู่ตรงกลางของถังทรงกระบอก และกระจายน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ แรงดันทำให้น้ำซึมเข้าเส้นใยเมมเบรนและทะลุถึงภายใน น้ำบริสุทธิ์จะซึมไปตามรูกลวงของเส้นใยและไปรวมกันที่ทางออก

4.3.8 ความจำเป็นในการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO)

การเตรียมน้ำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมก่อนเข้าเครื่องรีเวอร์สออสโมซิส (RO) เป็นความจำเป็นที่ไม่ควรหลีกเลี่ยง ทั้งนี้เพราะน้ำดิบอาจสร้างความเสียหายให้กับระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ได้อย่างรวดเร็วหรืออาจทำให้อายุการใช้งานของเมมเบรนลดน้อยลงได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเนื่องมาจากการอุดตันของเครื่องหรือเมมเบรนและอาจจำแนกออกได้เป็น 5 แบบ คือ

- การเกิดตะกรันบนเมมเบรน
- การตกผลึกของเหล็กและแมงกานีส
- การอุดตันของเครื่องเนื่องจากสารแขวนลอย
- การอุดตันของเมมเบรนเนื่องจากคอลลอยด์
- การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling)

4.3.8.1 การเกิดตะกรันบนเมมเบรน

ลักษณะการทำงานของระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ซึ่งยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำซึมผ่านเมมเบรนและกักโมเลกุลชนิดต่าง ๆ ไว้ ทำให้มีการสะสมตัวของโมเลกุลและไอออนต่าง ๆ อยู่ในด้านน้ำดิบของเมมเบรน โดยปกติระดับสารละลายในน้ำดิบจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประมาณ 2 – 4 เท่า เมื่ออยู่ในระบบรีเวอร์สออสโมซิส สภาพเช่นนี้เอื้ออำนวยให้มีการตกผลึกของหินปูน ($CaCO_3$)และ/หรือแคลเซียมซิลิเกต ($CaSO_4$) หินปูนมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก จึงตกผลึกได้ง่ายกว่าสารประกอบอื่น ๆ ผลึกของหินปูนควรรีบล้างด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อละลายผลึกดังกล่าวแต่ถ้าเป็นผลึกของแคลเซียมซิลิเกต ($CaSO_4$) ควรใช้กรดซิตริก (Citric Acid) หรือ อีดีทีเอ (EDTA) ล้างเพื่อละลายให้หมด

การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้น อาจทำได้โดยการกำจัดที่ต้นเหตุโดยการกำจัดไอออนต่าง ๆ เหล่านี้ เช่นแคลเซียม (Ca^{++}), ซัลเฟต ($SO_4^{=}$) และคาร์บอเนต ($CO_3^{=}$) เป็นต้น หรือใช้สารเคมีห้ามผลึกมิให้เกิดขึ้น แม้การกำจัดแคลเซียมหรือฟอสเฟตจะเป็นไปได้แต่ก็ไม่นิยมทำในทางปฏิบัติ

เนื่องจากต้องสิ้นเปลืองมากและสร้างของเสียทำให้เป็นปัญหาขึ้นอีก ในทางปฏิบัติมักกำจัดคาร์บอเนตโดยการใช้กรดเกลือเปลี่ยนคาร์บอเนตให้เป็นไบคาร์บอเนตและ/หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังนั้นการเติมกรดจึงสามารถป้องกันการตกผลึกของหินปูน ($CaCO_3$) ได้ ถ้าต้องการป้องกันการตกผลึกของแคลเซียมซิลิเกต ($CaSO_4$) ควรใช้สารห้ามตะกรัน เช่น โซเดียมเฮกซะเมทตะฟอสเฟต (Sodium Hexametaphosphate-HMP) ในปริมาณประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้น อาจกระทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในโมดูลมิให้ค่าสูงเกินกว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบต่าง ๆ วิธีการคือ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้มข้นที่ปล่อยออกจากระบบให้มีปริมาณสูงพอเพียง เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมตัวอยู่ในโมดูล (วิธีการเช่นนี้เป็นการควบคุม %Recovery มิให้สูงเกินไปนั่นเอง)

4.3.8.2 การตกผลึกของเหล็กและแมงกานีส

ภายใต้สภาวะทั่วไปเหล็กสามารถตกผลึกได้รวดเร็วและง่ายกว่าแมงกานีสเป็นอย่างมาก ผลึกของเหล็กจึงพบมากในโมดูลรีเวอร์สออสโมซิส (RO) มากกว่าของแมงกานีส การตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้นเนื่องจากเหล็กเฟอรัส (Fe^{+2}) ซึ่งละลายน้ำได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำกลายเป็นเหล็กเฟอริกซึ่งตกผลึกได้ง่ายในระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO)

อันที่จริงแล้วเหล็กจะไม่สร้างปัญหาให้กับระบบรีเวอร์สออสโมซิสเลย ถ้าสามารถควบคุมให้อยู่ในรูปของเฟอรัสตลอดเวลา ดังนั้นจึงอาจแก้ปัญหาในเรื่องตกผลึกได้ โดยการเติมกรดเกลือเพื่อลดพีเอชซึ่งเป็นการลดอัตราออกซิเดชั่นของเหล็ก ในกรณีที่มีการตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้นอยู่ก่อนแล้วควรล้างด้วยสารละลายกรดซิตริก (Citric Acid) แล้วควบคุมพีเอชให้ได้เท่ากับ 4

4.3.8.3 การอุดตันของเครื่องเนื่องจากสารแขวนลอย

น้ำที่เข้าเครื่องรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ต้องปราศจากสารแขวนลอย เพื่อป้องกันมิให้มีการอุดตันท่อน้ำหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ปัญหาเรื่องนี้มีความรุนแรงแตกต่างกันออกไป ตามแต่ชนิดโมดูล โมดูลแบบเส้นใยกลวงถูกอุดตันได้ง่ายมาก แต่โมดูลแบบท่อสามารถทนได้ดีกว่า ด้วยเหตุนี้จึงควรกำจัดสารแขวนลอยต่าง ๆ ออกจากน้ำที่เข้าเครื่องรีเวอร์สออสโมซิส (RO) และควรติดตั้งไส้กรองคาร์ทริดจ์ (Cartridge Filter) ไว้กรองน้ำก่อนเข้าโมดูลเสมอ

4.3.8.4 การอุดตันเมมเบรนเนื่องจากคอลลอยด์

ปัญหานี้เกิดขึ้นจากการสะสมตัวของคอลลอยด์ใกล้แผ่นเมมเบรน และมีโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เกิดขึ้น การสะสมตัวของสารละลายในโมดูลทำให้มีระบบเกลือแร่สูงจนกระทั่ง Diffuse Layer ของคอลลอยด์ถูกบีบให้แคบลงและเกิดโคแอกกูเลชันได้ ผลที่เกิดขึ้นคือ มีการรวมตัวกันของคอลลอยด์จนเป็นกลุ่มก้อนและเกาะอยู่บนเมมเบรนทำให้มีการอุดตันบนเมมเบรน

การป้องกันคอลลอยด์มิให้อุดตันเมมเบรน จึงเป็นเสมือนกับการห้ามโคแอกกูเลชันมิให้เกิดนั่นเอง ซึ่งอาจกระทำได้โดยการลดปริมาณคอลลอยด์ และ/หรือเพิ่มเสถียรภาพของคอลลอยด์ (ทำให้เกิดโคแอกกูเลชันยาก) ในทางปฏิบัติมักกำจัดคอลลอยด์ออกจากน้ำก่อนด้วยวิธีโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ตามด้วยการตกตะกอน และ/หรือการกรอง การควบคุมระดับสารละลายในโมดูลเพื่อป้องกันการตกผลึกของสารต่าง ๆ มีส่วนช่วยทำให้โคแอกกูเลชันของคอลลอยด์ในโมดูลเกิดได้ยาก

การวัดเสถียรภาพและความเข้มข้นของคอลลอยด์ อาจกระทำได้โดยการวัดซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential) และ Silt Density Index (SDI) ตามลำดับ คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง จะมีซีตาโพเทนเชียลสูงและเกิดโคแอกกูเลชันได้ยาก ในทางตรงกันข้ามคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำจะมีซีตาโพเทนเชียลต่ำ และเกิดโคแอกกูเลชั่นได้ง่าย Silt Density Index (SDI) เป็นดรรชนีที่ใช้แสดงระดับความเข้มข้นของคอลลอยด์น้ำบาดาลมักมี SDI ประมาณ 2 – 3 หรือน้อยกว่า และไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องการอุดตันเมมเบรน น้ำผิวดินอาจมี SDI สูงตั้งแต่ 10 จนถึง 175 และมีคอลลอยด์เข้มข้นจนเกิดการอุดตันเมมเบรน

4.3.8.5 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling)

ถ้าปล่อยให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้บนเมมเบรน (ด้านน้ำเข้มข้นหรือน้ำดิบ) ปัญหาด้านต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ มีดังนี้

- เมมเบรนถูกทำลาย ทั้งนี้เพราะเมมเบรนเป็นสารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้
- อุดตันเมมเบรน
- จุลินทรีย์อาจรั่วผ่านเมมเบรนและหลุดออกไปพร้อมกับน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ทำให้น้ำสะอาดมีมลทิน

ในจำนวนโมดูลรีเวอร์สออสโมซิส (RO) ทั้ง 4 ชนิด มีชนิดเดียวเท่านั้นที่ทนทานต่อการทำลายของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี คือ โมดูลแบบเส้นใยกลวงซึ่งใช้พอลิเอไมด์ทำเมมเบรน การใช้คลอรีนฆ่าจุลินทรีย์ต้องกระทำอย่างระมัดระวัง ทั้งนี้เนื่องจากคลอรีนมีปฏิกิริยากับเมมเบรนส่วนใหญ่ ถ้าปล่อยให้สัมผัสกันนานเกินไปหรือคลอรีนเข้มข้นเกินไป เมมเบรนอาจถูกทำลายจนสูญเสียคุณภาพ วิธีรักษาเมมเบรนให้สามารถใช้ได้นานและมีคุณภาพดีตลอดเวลา อาจกระทำได้โดยทำลายจุลินทรีย์ในน้ำดิบด้วยคลอรีนเสียก่อน จากนั้นจึงกำจัดคลอรีนตกค้างที่มากเกินไปก่อนส่งน้ำเข้าโมดูล ในกรณีที่ต้องปิดเครื่องรีเวอร์สออสโมซิสเป็นเวลานาน ๆ ควรล้างเมมเบรนด้วยสารละลายฟอร์แมลดีไฮด์ (Formaldehyde) เสียก่อน เพื่อป้องกันจุลินทรีย์มิให้เติบโตภายใต้สภาวะสงบนิ่ง

4.4 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในระบบรีเวอร์สออสโมซิส

4.4.1 แรงดันออสโมซิส

แรงดันออสโมซิส (π) เป็นคุณสมบัติของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ดังอาจแสดงได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$\pi = nCRT \qquad (1)$$

เมื่อ π = แรงดันออสโมซิส

n = จำนวนไอออนในสารประกอบ เช่น NaCl มี n = 2, Na_2SO_4 มี n = 3 เป็นต้น

C = ความเข้มข้นของสารละลาย (โมล/ลิตร)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 0.082 บรรยากาศ-ลิตร/โมล - ^{o}K

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (^{o}K) = 273 + ^{o}C

ตารางที่ 4.5 แรงดันออสโมซิสของสารประกอบบางชนิดที่ 25 ^{o}C

Compound	Concentration		Osmotic Pressure
	(mg/liter)	(moles/liter)	(psi at 25 ^{o}C)
NaCl	35000	0.6	398
NaCl	1000	0.0171	11.4
$NaHCO_3$	1000	0.0119	12.8
Na_2SO_4	1000	0.00705	6
$MgSO_4$	1000	0.00831	3.6
$MgCl_2$	1000	0.0105	9.7
$CaCl_2$	1000	0.009	8.3
Sucrose	1000	0.00292	1.05
Dextrose	1000	0.00555	2.0

* A useful rule of thumb for estimating the osmotic pressure of a natural water is 10 psi/1000 mg/liter (ppm.)

4.4.2 Water Flux (F_w)

ในขณะที่การกรองน้ำแบบธรรมดามีอัตราการกรองเป็นพารามิเตอร์สำคัญ สำหรับระบบรีเวอร์สออสโมซิสก็ Water flux ป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ พารามิเตอร์ตัวนี้ หมายถึงอัตราเร็วของน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรนซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรน เช่น มล./ตร.ซม.-วินาที

น้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้ในอัตราที่ขึ้นอยู่กับแรงดันของเครื่องสูบและแรงดันออสโมซิสที่ต้านไว้ ดังจะเห็นได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$F_w = A(\Delta P - \Delta \pi) \qquad (2)$$

เมื่อ F_w = อัตราการผลิตน้ำ (มล./ซม.^{2}-วินาที)

A = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านเมมเบรน (มล./ตร.ซม.-วินาที-บรรยากาศ) สำหรับเมมเบรนที่ทำจากเซลลูโลสอะเซเตด A อาจถือว่ามีค่าประมาณ 1.5×10^{-5} มล./ตร.ซม.-วินาที-บรรยากาศ

ΔP = ความแตกต่างระหว่างแรงดันของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน (บรรยากาศ)

$\Delta \pi$ = ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมซิสของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน (บรรยากาศ)

อัตราไหลที่แท้จริงของน้ำผ่านเมมเบรนสามารถคำนวณได้จากผลคูณของ Water Flux และพื้นที่ของแผ่นเมมเบรนในทางตรงกันข้าม ถ้ารู้ค่า Water Flux (บริษัทผลิตเมมเบรนมักกำหนดค่าของ Water Flux ภายใต้สภาวะทำงานต่าง ๆ) และรู้ปริมาณน้ำสะอาดที่ต้องการก็สามารถคำนวณพื้นที่ของเมมเบรนที่ต้องการใช้ได้

สมการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของผลต่างระหว่าง ΔP และ $\Delta \pi$ ซึ่งทำให้กล่าวได้ว่า อัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มตามการเพิ่มของแรงดันของเครื่องสูบน้ำ ในตอนต่อไปจะเห็นอีกว่า การเพิ่มแรงดันของน้ำยังทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

4.4.3 Salt Flux (F_s)

สำหรับในอุดมคติเมมเบรนต้องไม่ยอมให้สารละลายไหลซึมผ่านได้เลย แต่ในความเป็นจริงแล้ว เมมเบรนไม่สามารถผลักโมเลกุลหรือไอออนได้หมดทุกตัวทำให้น้ำที่ผลิตได้ (Permeate) มีมลทินเสมอ การรั่วของสารละลายผ่านเมมเบรน เรียกว่า Salt Flux (F_s) ระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่มี Salt Flux สูง จะผลิตน้ำที่มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ดี จึงควรมี Salt Flux ต่ำและมี Water Flux สูง หน่วยของ F_s ที่ใช้คือ กรัม/ตร.ซม.-วินาที จะเห็นได้ว่า ทั้ง F_s และ F_w เป็นพารามิเตอร์ที่คิดต่อหน่วยพื้นที่เหมือนกัน Salt Flux ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำดิบ และไม่ขึ้นอยู่กับแรงดัน ดังจะเห็นได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$F_s = B(C_o - C_p) \qquad (3)$$

เมื่อ F_S = Salt Flux (กรัม/ตร.ซม.-วินาที)

B = สัมประสิทธิ์ของการไหลของสารละลายผ่านเมมเบรน (ซม./วินาที) สำหรับเมมเบรนเซลลูโลสอะเซเตด B มีค่าประมาณ 2×10^{-5} ซม./วินาที

C_O = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ (กรัม/มล.)

C_P = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาด (กรัม/มล.)

สมการที่ 3 แสดงว่าน้ำเค็ม (TDS ประมาณ 30000 มก./ล.) จะมีการรั่วของสารละลาย (F_S) สูงกว่าน้ำกร่อย (TDS ประมาณ 5000 มก./ล. หรือน้อยกว่า) ดังนั้นระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่ใช้กับน้ำเค็ม (หรือน้ำทะเล) จึงต้องใช้แรงดันสูงมาก เพื่อให้ได้ Water Flux สูงมาก สำหรับมาเจือจางสารละลายที่รั่วซึมผ่านเมมเบรน จึงจะสามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูง สำหรับในกรณีของน้ำกร่อยแรงดันไม่จำเป็นต้องสูงมาก เนื่องจากมีการรั่วซึมของสารละลายน้อยกว่าจึงไม่ต้องการน้ำมาเจือจางมาก น้ำทะเลและน้ำกร่อยมีแรงดันออสโมซิสประมาณ 400 และ 50 พีเอสไอ ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตน้ำจืดที่ดื่มได้ ระบบรีเวอร์สออสโมซิสต้องการแรงดันประมาณ 800 – 1500 และ 300 – 600 พีเอสไอ สำหรับน้ำทะเลและน้ำกร่อย ตามลำดับ

4.4.4 Rejection Factor หรือ % Rejection

Rejection เป็นคุณสมบัติที่เมมเบรนจะต้องมี เมมเบรนที่ดีต้องไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนไหลผ่านได้มาก นั่นคือ ต้องมี Rejection Factor หรือ % Rejection สูง เมมเบรนในอุดมคติจะมี % Rejection เท่ากับ 100 % คุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบรีเวอร์สออสโมซิสเป็นเครื่องสะท้อนถึง Rejection ของเมมเบรน เช่น ระบบรีเวอร์สออสโมซิส ที่มี % Rejection ต่ำจะมีค่า C_P สูง เป็นต้น ความหมายของ Rejection อาจแสดงให้เห็นได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Rejection } (R_j) = 100\left(\frac{C_0 - C_p}{C_0}\right)$$

$$= 100\left(1 - \frac{C_p}{C_0}\right) \qquad (4)$$

เนื่องจาก $C_P = \frac{F_s}{F_w}$ (5)

ดังนั้น $R_j = 100\left(\frac{1 - F_s}{C_0 F_w}\right)$ (6)

เมมเบรนมีความสามารถในการผลักหรือ Reject สารละลายต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่กล่าวไปแล้วโดยทั่วไป % Rejection ของสารละลายอนินทรีย์และอินทรีย์จะมีค่า

ประมาณ 90 – 99 % และ 95 – 99 % ตามลำดับ ส่วน % Rejection ของคอลลอยด์ต่าง ๆ (เช่น แบคทีเรีย, ความขุ่น ฯลฯ) มักสูงถึง 100 %

4.4.5 Recovery Factor หรือ % Recovery

คุณสมบัติของเมมเบรนที่ควบคู่ไปกับ Rejection คือ Recovery ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาตรของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำสะอาด

$$\% \text{ Recovery (R)} = 100\frac{Q_p}{Q_o} \qquad (7)$$

เมื่อ Q_p = อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ RO

Q_o = อัตราการไหลของน้ำดิบที่เข้าระบบ RO

ถ้าน้ำดิบทั้งหมดสามารถผลิตเป็นน้ำสะอาดได้ % Recovery จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 % แต่โดยปกติ Recovery มักไม่ถึง 100 % เนื่องจากต้องมีการทิ้งน้ำเข้มข้นออกจากระบบเสมอ บ่อยครั้งที่ต้องควบคุมให้ระบบรีเวอร์สออสโมซิสมี % Recovery ประมาณ 50 – 70 % เพราะต้องระบายน้ำเข้มข้นทิ้งในอัตราสูงเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมอยู่ในระบบรีเวอร์สออสโมซิส ตารางที่ 4.6 เป็นตารางรวบรวมค่าต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมและออกแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิส

ตารางที่ 4.6 ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้กับระบบรีเวอร์สออสโมซิส

Parameter	Range	Typical
Pressure	400 – 1000 psig	600 psig
Temperature	60 °F – 100 °F	70 °F
Packing Density	50 – 500 sq ft/cu ft	-
Flux	10 – 80 gpd/sg ft	12 – 35 gpd/sg ft
Recovery Factor	75 – 95 %	80 %
Rejection Factor	85 – 99.5 %	95 %
Membrane Life	-	2 years
PH	3 – 8	4.5 – 4.5
Turbidity	-	1 NTU
Feedwater Velocity	0.04 – 2.5 fps	-
Power Utilization	9 – 17 kwhr/1000gal	-