บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมการทำอาหารและเครื่องดื่ม การทำน้ำผลไม้ให้เข้มข้น การทำน้ำผลไม้ให้ใส การกำจัดสีออกจากน้ำ เป็นต้น เมมเบรนที่ใช้มีหลายชนิด แต่ละชนิดนำมาใช้งานแตกต่างกัน เช่น การศึกษาของ Nader (2004) ใช้รีเวอร์สออสโมซีส (RO) ในการกำจัดสีและซัลเฟตในน้ำ พบว่าสามารถกำจัดได้ดีที่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 500–1000 ppm. นอกจากนี้ Bodezek et al., (2003) ได้ศึกษาการกำจัดสารพทาเลทซึ่งปนเปื้อนน้ำโดยใช้เมมเบรน 3 ชนิด คือ นาโนฟิวเตรชั่น (NF) อัลตราฟิวเตรชั่น (UF) และ RO พบว่าเมมเบรนทั้งสามชนิดสามารถกำจัดพทาเลทได้ใกล้เคียงกัน โดยสามารถกำจัดได้มากกว่า 99% และมีการหมุนเวียนน้ำรีเทนเททกลับไปใช้อีกด้วย Ipek (2004) พบว่า RO สามารถกำจัดฟีนอลซึ่งเป็นสารอันตรายต่อร่างกายได้ดีอีกด้วย

ผู้วิจัยจึงนำ RO มาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำปลอดอิออน (DI) เนื่องจาก RO มีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ เช่น สามารถกรองได้ถึงระดับอิออน คือ สามารถผลักดันอนุภาคขนาด 10^{-5}–10^{-6} mm ได้ดี (รัตนา, 2541) มีประสิทธิภาพในการผลักดัน (rejection) ได้ดีกว่าเมมเบรนชนิดอื่น (Yoon and Lueptow, 2005) ที่สำคัญสามารถประหยัดพลังงานและเวลาในการกลั่นน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประหยัดน้ำหล่อเย็นซึ่งปล่อยทิ้งไปอย่างน่าเสียดาย นอกจากใช้การกรองด้วยเมมเบรนแล้วยังมีการนำกระบวนการแลกเปลี่ยนอิออน (ion exchange) มาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำเพิ่มอีกระบบเพื่อให้ได้น้ำที่ปลอดอิออนมากขึ้น ซึ่งจากการตรวจสอบเอกสารพบว่า Yaun et al., (2006) สามารถเตรียมน้ำคุณภาพสูงถึงระดับ ultra pure water คือ มีค่าความต้านทานไฟฟ้า 18 เมกะโอห์ม

จากการศึกษาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ระบบการกรองด้วย RO มาใช้ในการผลิตน้ำปลอดอิออน โดยการเพิ่มระบบการแลกเปลี่ยนอิออนและระบบการฆ่าเชื้อ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำปลอดอิออนที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 1.5 ไมโครโมท์ต่อเซนติเมตร และจะทดลองนำน้ำรีเทนเททหมุนเวียนกลับไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการลดปริมาณน้ำทิ้งให้น้อยที่สุด

ตรวจเอกสาร

1. ระบบการกรองและเมมเบรน

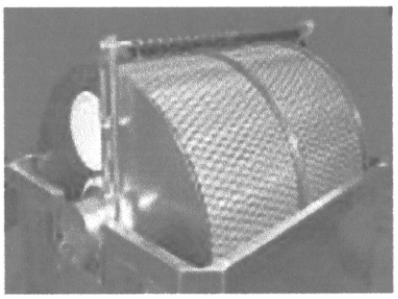
ความต้องการน้ำสะอาดปราศจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และสารพิษต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกลั่นแยก การกรองด้วยไส้กรองสังเคราะห์ และการกรองด้วยเมมเบรน เป็นต้น การกลั่นเป็นวิธีที่ใช้กันมานานและเข้าใจว่าน้ำกลั่นเป็นน้ำที่สะอาดที่สุด แต่เมื่อวิทยาการเจริญขึ้นจึงรู้ว่าการกลั่นนั้นยังมีบางส่วนของสารปนเปื้อนสามารถระเหยไปได้ที่อุณหภูมิที่จุดเดือดนั้น เช่น การกลั่นน้ำกลั่นในห้องปฏิบัติการแบบกลั่นครั้งเดียวยังพบว่ามีธาตุเหล็กปนเปื้อนอยู่ เชื้อโรคบางชนิดไม่สามารถฆ่าให้ตายได้ที่จุดเดือดของน้ำ

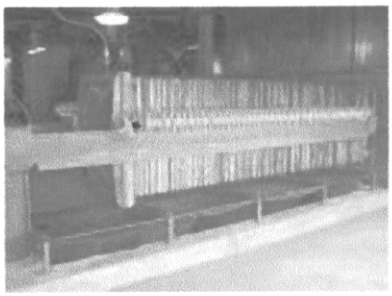
เป็นต้น การกรองด้วยไส้กรองธรรมดา เช่น นาโนฟิวเตรชั่น ก็ยังไม่สามารถกรองเชื้อโรคบางชนิดได้ แต่ RO มีคุณสมบัติที่ดีกว่าวิธีการที่กล่าวมาแล้ว คือ สามารถกรองได้ถึงระดับอิออน และสามารถกรองเชื้อโรคพวกไวรัสต่างๆ ได้

การที่จะนำกระบวนการเมมเบรนมาใช้ต้องมีความรอบคอบ เนื่องจากเมมเบรนมีรูพรุนขนาดเล็กมาก เมื่อใช้งานไปจะเกิดการอุดตันได้ง่าย การนำมาใช้จะต้องรักษาให้สามารถใช้งานได้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ เมื่อเกิดการอุดตันต้องเปลี่ยนใหม่ สิ้นเปลืองและมีราคาแพง ดังนั้นเพื่อชะลอการเกิดปัญหาดังกล่าว จึงต้องมีระบบต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น ระบบเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO ระบบกำจัดอิออน และระบบอื่นๆ ที่จำเป็น ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

1.1 ระบบการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO (pretreatment) ระบบนี้ประกอบด้วยระบบต่างๆ ได้แก่

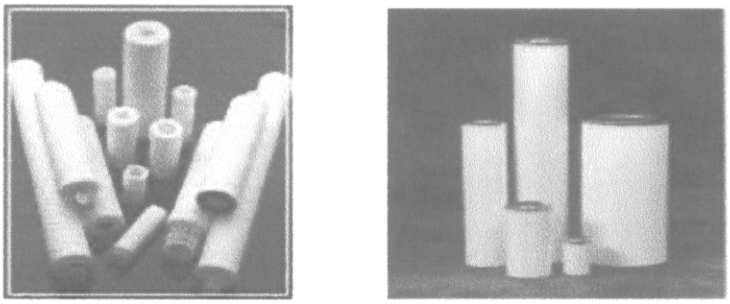
1.1.1 ระบบกรองหยาบ เป็นการกรองตะกอนแขวนลอยหรือความขุ่นออก เพื่อชะลอการอุดตันของเมมเบรน ตัวกรองอาจเป็นผ้า แผ่นใยสังเคราะห์ หรือแท่งกรอง ซึ่งมีหลายแบบ เช่น เครื่องกรองแบบใช้แผ่นกรอง แผ่นกรองอาจเป็นผ้าหรือแผ่นโลหะหรือแผ่นใยสังเคราะห์ เช่น เครื่องกรองแบบไมโครสกรีน (micro screen) ฟิลเตอร์เพรส (filter press) และเครื่องกรองแบบสุญญากาศ (vacuum filter) เป็นต้น





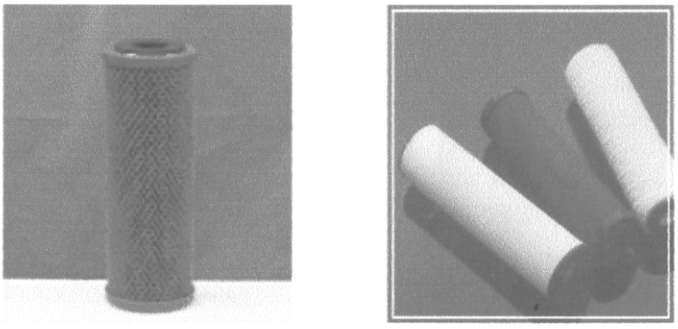
ภาพประกอบที่ 1 เครื่องกรองแบบ micro screen **ภาพประกอบที่ 2** เครื่องกรองแบบ filter press
ที่มา: http://www.metlabsolutions.com/equipmainpage.htm., 25 กรกฎาคม 2549

1.1.2 ระบบการกรองละเอียด เป็นการกำจัดสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กมากๆ ที่สามารถหลุดผ่านการกรองหยาบมาได้ เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน โดยใช้ไส้กรองขนาด 1 – 5 ไมครอน สำหรับกำจัดคอลลอยด์และสารแขวนลอยขนาดเล็ก และนอกจากนี้ควรมีระบบกำจัดสี กลิ่น และคลอรีน เนื่องจากคลอรีนมีผลต่อเมมเบรน โดยใช้ไส้กรองคาร์บอนในการกำจัดสีและกลิ่น



ภาพประกอบที่ 3 ไส้กรองขนาด 1-5 ไมครอน

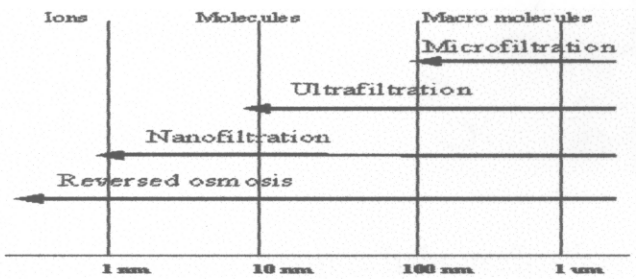
ที่มา: http://www.nfs-inc.com/filter_cartridges.htm , 25 กรกฎาคม 2549



ภาพประกอบที่ 4 ไส้กรองคาร์บอน

ที่มา: http://www.aquaserve4u.com/products.html , 25 กรกฎาคม 2549

1.2. เมมเบรน กระบวนการกรองด้วยเมมเบรน หมายถึงกระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (semi-permeable membrane) ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว ได้แก่ อิเลคโตรไดอะไลซีส (electrodialysis, ED), รีเวอร์สออสโมซีส (reverse osmosis, RO) และอัลตราฟิลเตรชั่น (ultrafiltration, UF) เป็นต้น ความแตกต่างของแต่ละชนิดอยู่ที่ความสามารถในการแยกสารละลายที่มีขนาดต่างๆ และแรงดันที่จะทำให้เกิดการแยกสารและน้ำออกจากกัน อิเลคโตรไดอะไลซีสอาศัยความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดันให้เกิดการแยกสารประกอบให้แตกตัวออกเป็นอิออนแยกออกจากน้ำ แต่ไม่สามารถแยกสารอินทรีย์ได้ ส่วน RO และ UF ใช้แรงดันในการแยก โดย RO สามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ เกือบทุกชนิดออกมาได้แต่ UF มีความสามารถด้อยกว่า RO คือแยกได้เฉพาะสารอินทรีย์ขนาดใหญ่เท่านั้น



ภาพประกอบที่ 5 ความสามารถในการกรองอนุภาคขนาดต่างๆ ของเมมเบรน

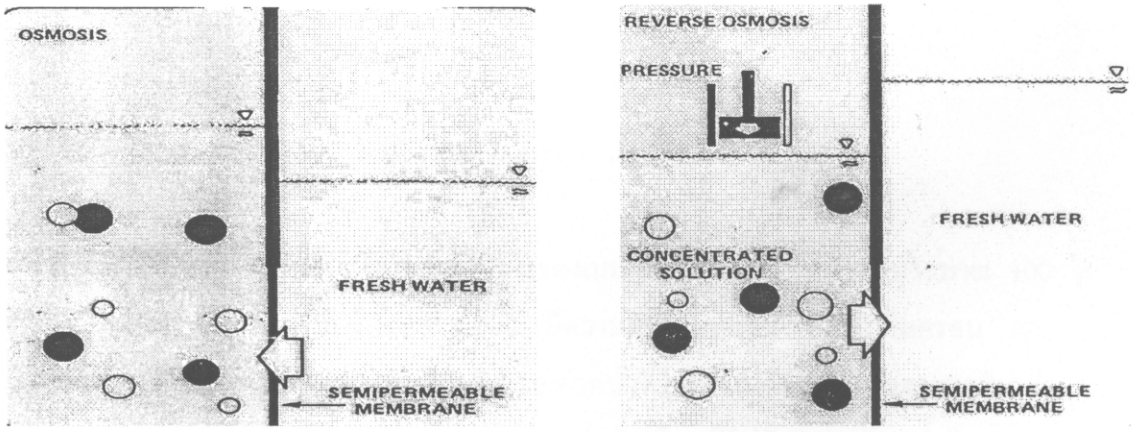
ที่มา: **http://www.lenntech.com/membrane-technology.htm** , 30 พฤศจิกายน 2549

ความดันที่ใช้กับ UF มักไม่เกิน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วน RO ต้องใช้แรงดันตั้งแต่ 300 – 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่าง ED, RO และ UF

กระบวนการ	แรงดัน	สารที่แยกออกจากน้ำได้
RO	300 – 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือสูงกว่า	เกลือแร่ กรด ด่าง สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล มากกว่า 200 รวมทั้งแบคทีเรีย
UF	100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือต่ำกว่า	สารอินทรีย์ที่น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500
ED	แรงดันไฟฟ้า	สารที่แตกตัวเป็นอิออนได้

ในปัจจุบันจึงมีผู้นิยมนำ RO มาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำที่ต้องการความสะอาดปราศจากอิออนปนเปื้อน หลักการการ RO เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อของเหลวซึมผ่านเยื่อเมมเบรนบางๆ (semi permeable membrane) โดยที่จะเกิดการแพร่จากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้น ในอุดมคติ เยื่อเมมเบรนจะยอมให้น้ำไหลผ่านได้เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงโมเลกุลหรืออิออนบางชนิดอาจไหลผ่านได้เช่นกัน เมื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านเมมเบรนจนถึงจุดสมดุล คือน้ำจะไม่มีการไหลอีก ระดับน้ำด้านที่สารละลายเข้มข้น จะสูงกว่าระดับน้ำในสารละลายที่เจือจาง ผลต่างของระดับน้ำนี้เรียกว่า แรงดันออสโมซีส (osmosis pressure) ถ้ามีแรงดันที่มีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมซีสมากระทำต่อด้านสารละลายที่เข้มข้นน้ำจะไหลย้อนกลับ ซึ่งเป็นการต้านการไหลตามธรรมชาติ วิธีการดังกล่าววิศวกรจึงนำมาใช้แยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ เรียกว่า Reverse Osmosis ดังนั้นกระบวนการ RO จึงอาศัยปัจจัยสำคัญ 2 อย่างคือ แรงดันและเมมเบรน

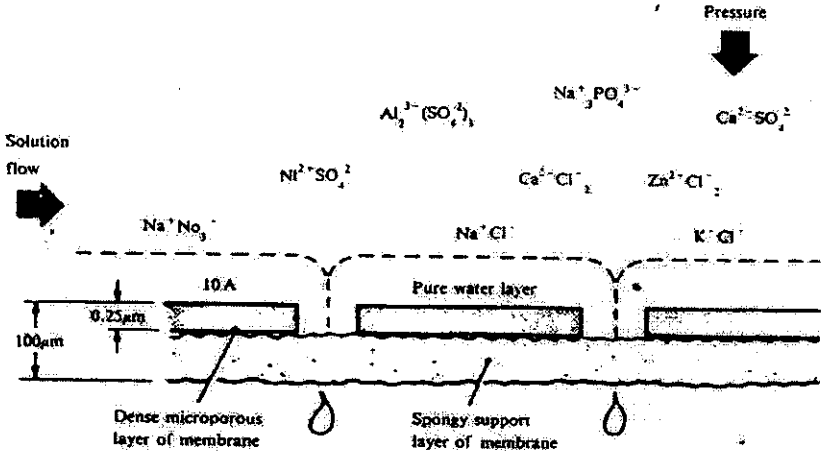


ภาพประกอบที่ 6 รูปแสดงความแตกต่างระหว่างออสโมซีส และรีเวอร์สออสโมซีส
ที่มา: มั่นสิน ตุณฑุลเวศม์, 2542

เมื่อมีการนำ RO มาใช้ประโยชน์มากขึ้น จึงมีการพัฒนาทำให้เมมเบรนมีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก มีความสามารถในการลดปริมาณสารปนเปื้อนได้หลากหลาย รวมถึงจุลินทรีย์และไวรัส แต่อาจจะมีสารอินทรีย์บางประเภทที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 200 ละลายน้ำได้ และเป็น non polar ซึมผ่านเมมเบรนได้ เช่น ฟีนอล chlorinated hydrocarbon ยาฆ่าแมลง (pesticide) ไพโรเจน (pyrogen) และแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่ RO สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของสีในน้ำได้ เช่น กรดฮิวมิก (humic acid) กรดฟิวริก (furic acid) เป็นต้น

แม้ว่า RO จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนสูงมาก แต่ไม่อาจรับประกันได้ 100% ดังนั้นการใช้ RO ในอุตสาหกรรมยา และในโรงงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องนำน้ำ RO ผ่าน UV หรือเครื่องกรองจุลินทรีย์เพื่อฆ่าเชื้อก่อนเสมอ

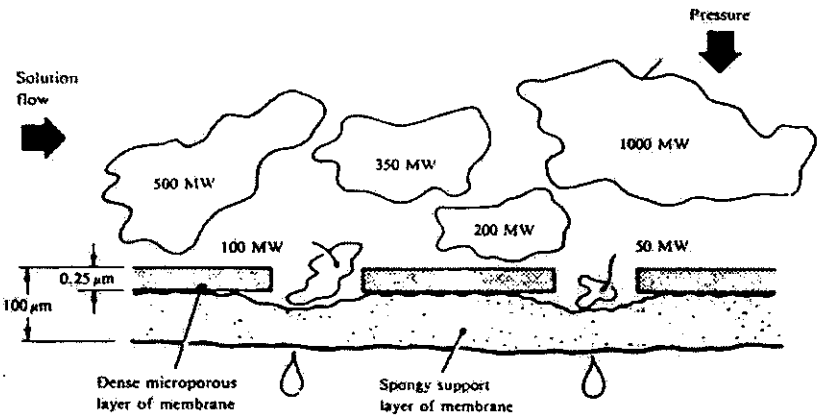
1.3 กลไกการทำงานของ RO กลไกการทำงานของ RO มี 2 อย่าง คือ กลไกที่ใช้ในการกำจัดเกลือ และกลไกที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ กลไกทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน ดังภาพประกอบที่ 7 และ 8



ภาพประกอบที่ 7 กลไกการกำจัดเกลือ
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542

ภาพประกอบที่ 7 แสดงให้เห็นภาพตัดขวางของเมมเบรนซึ่งมี 2 ชั้น หนาประมาณ 100 ไมครอน ชั้นบนซึ่งติดกับผิวน้ำดิบ เป็นส่วนที่มีเนื้อแน่นแต่บาง มีความหนาประมาณ 0.25 ไมครอน และมีรูขนาด 0.2 ไมครอนกระจายอยู่ทั่วไป เมมเบรนชั้นนี้สำคัญมากทำหน้าที่ในการกำจัดเกลือแร่และสารอินทรีย์ ชั้นล่างมีเนื้อพรุนและหนา ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง รองรับและขนส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังภายนอก น้ำดิบจะถูกสูบอัดเข้าเครื่อง RO ด้วยแรงดันสูงกระจายไปทั่วผิวหน้าของแผ่นเมมเบรน การไหลของน้ำต้องเป็นแบบที่มีความปั่นป่วน (turbulent flow) ทั้งนี้เพื่อรักษาความสะอาดเมมเบรน น้ำบริสุทธิ์ถูกบีบให้ซึมผ่านเมมเบรนและไหลออกไปข้างนอก สารละลายต่างๆ ที่ไหลผ่านเมมเบรนไม่ได้จะสะสมตัวจนมีความเข้มข้นสูง และถูกระบายออกนอกระบบ

กลไกในการกำจัดเกลือแร่ เรียกว่า salt rejection ขึ้นอยู่กับจำนวนวาเลนซ์ (valence) ของอิออนต่างๆ อิออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกเมมเบรนผลักได้ไกลกว่า ส่วนอิออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ เช่น Na^+, Cl^-, K^+, NO_3^- จึงถูกผลักน้อยที่สุด จึงอยู่ใกล้เมมเบรนมากที่สุด อิออนเหล่านี้จึงวิ่งผ่านเมมเบรนได้ดีกว่าอิออนที่มีวาเลนซ์สูง ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่มีประจุไฟฟ้า เช่น ก๊าซต่างๆ จะไม่ถูกผลักจากเมมเบรน ดังนั้นระบบ RO จะไม่กำจัดก๊าซดังต่อไปนี้ CO_2, O_2, Cl_2, H_2S และ SO_2



ภาพประกอบที่ 8 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542

ภาพประกอบที่ 8 แสดงถึงการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้โดยวิธีการกรองติดค้าง (sieve) โมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกจากน้ำเพราะไม่สามารถลอดผ่านรูบนเมมเบรนได้ ส่วนโมเลกุลสารขนาดเล็กสามารถลอดผ่านรูและทะลุออกจากเมมเบรนไปได้ เมมเบรนสามารถกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 200 ได้เกือบทั้งหมด ส่วนสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 200 จะทะลุไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของโมเลกุล

ตารางที่ 2 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์

Name	Molecular weight	Rejection, %	Maximum 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	*	-
Formaldehide	30	*	-
Dyes	400-900	100	-
Urea	60	40-60	Reacts similar to a salt
Bacteria and virus	50000-500000	100	-
Pyrogen	1000-5000	100	-

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

ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

ตารางที่ 3 ความสามารถของ RO ในการกำจัดเกลือแร่ต่างๆ

Name	Rejection ,%	Average passage. %	Maximum 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	-
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 [$Fe(CN)_6^{3-}$]	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

ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของ RO ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของ RO มีหลายประการได้แก่

1.4.1 Concentration Polarization เกิดจากการที่มีการสะสมตัวของสารละลายต่างๆ เกิดขึ้นภายใน Boundary layer ทำให้ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ ค่า concentration polarization = Cm/Ce โดยที่ Cm เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่ boundary layer และ Ce เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ ค่า concentration polarization แสดงให้เห็นถึงการสะสมของสารละลายใน boundary layer ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบ RO ดังนี้

- ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้น เป็นผลให้อัตราการผลิต (หรือ water flux) ลดลง
- มีการรั่วของสารละลายผ่านเมมเบรน (salt flux) เพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำที่ผลิตได้มีมลทินเพิ่มขึ้น
- ทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น
- ทำให้การตกผลึกของ $CaCO_3$, $CaSO_4$ หรือสารประกอบอื่นๆ

1.4.2 อุณหภูมิและพีเอช อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต (water flux) ไม่ควรให้สูงเกิน 40°C และ pH ควรอยู่ ในช่วง 3–7

1.4.3 แรงดัน แรงดันมีอิทธิพลต่อการผลิตของระบบ RO เป็นอย่างมาก แต่ไม่กระทบต่ออัตราการรั่วของสารละลาย (salt flux) ด้วยเหตุนี้การเพิ่มแรงดันจึงมีผลทำให้ระบบ RO สามารถผลิตน้ำสะอาดได้เพิ่มขึ้นและทำให้น้ำคุณภาพดีขึ้นด้วย แต่แรงดันก็อาจเกิดผลเสียได้เช่นกัน เพราะจะทำให้โครงสร้าง RO จับตัวกันแน่น (compaction) น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวกทำให้ การผลิตจะลดลงเรื่อยๆ

1.4.4 ความเข้มข้นของน้ำดิบ ถ้าความเข้มข้นของน้ำดิบสูงจะทำให้สมรรถนะของ RO ลด และการเพิ่ม % recovery ก็ทำให้สมรรถนะของ RO ลดลงเช่นกัน ดังนั้นระบบ RO จึงต้องมีระบบบำบัดเบื้องต้นก่อน (pretreatment)

1.5 การเลือกใช้ RO เมมเบรน ปัจจุบัน RO เมมเบรนมักผลิตจากโพลีเมอร์ 2 ประเภทคือ เซลลูโลส (cellulose) และโพลีเอไมด์ (polyamide) เซลลูโลสที่ใช้ผลิตเมมเบรนมี 2 ชนิดคือ เซลลูโลสอะซิเตด (cellulose acetate) และเซลลูโลสไตรอะซิเตด พวกนี้ไม่สามารถทนกรด ด่าง และอุณหภูมิสูงกว่า 30°C ได้ เมมเบรนที่ทำจากโพลีเอไมด์จะมีความทนต่อพีเอช อุณหภูมิได้ดีกว่าแต่ทนคลอรีนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร รูปแบบโมดูลของเมมเบรน RO มีหลายแบบ เช่นแบบแผ่น แบบท่อ แบบม้วน และแบบเส้นใยกลวง แต่ละแบบมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4

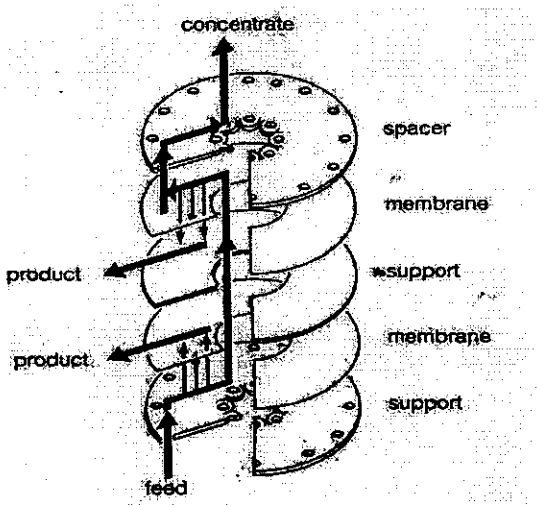
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของ RO โมดูลชนิดต่างๆ

ชนิดของโมดูล	ชนิดของเมมเบรน	Packing density* (m^2/m^3)	pH	ความสะดวกในการล้าง	Salt rejection	Water flux** (m^3/m^2-day)
แบบแผ่น	เซลลูโลสอะซิเตด	150	2-8	พอใช้	ดีมาก	0.5
แบบท่อ	เซลลูโลสอะซิเตด	450	298	ดีมาก	ดีมาก	0.5
แบบม้วน	เซลลูโลสอะซิเตด	750	2-8	ดี	ดีมาก	0.5
แบบเส้นใยกลวง	โพลีเอไมด์	7500-15000	4-11	พอใช้	ดี	0.5-0.2

* พื้นที่เมมเบรนต่อปริมาตรของโมดูล ** ที่แรงดัน 40 บรรยากาศ

ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

1.5.1 โมดูลชนิดแผ่น โมดูลชนิดนี้ส่วนมากผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตด วิธีการใช้งานเป็นแบบง่ายๆ โดยวางแผ่นเมมเบรนบนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน มีร่องให้น้ำไหลออกได้ แผ่นเมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางสลับกัน

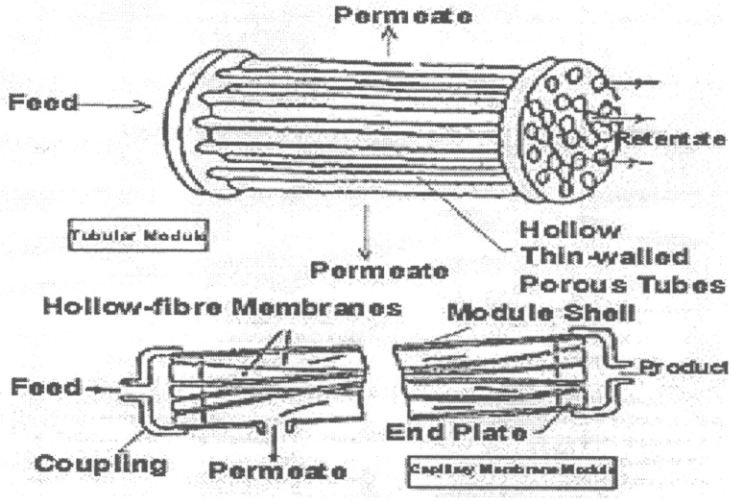


ภาพประกอบที่ 9 โมดูลชนิดแผ่น

ที่มา : ไพศาล วีรกิจ, 2549

1.5.2 โมดูลชนิดท่อ ผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตด โดยม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นท่อขนาดเล็ก

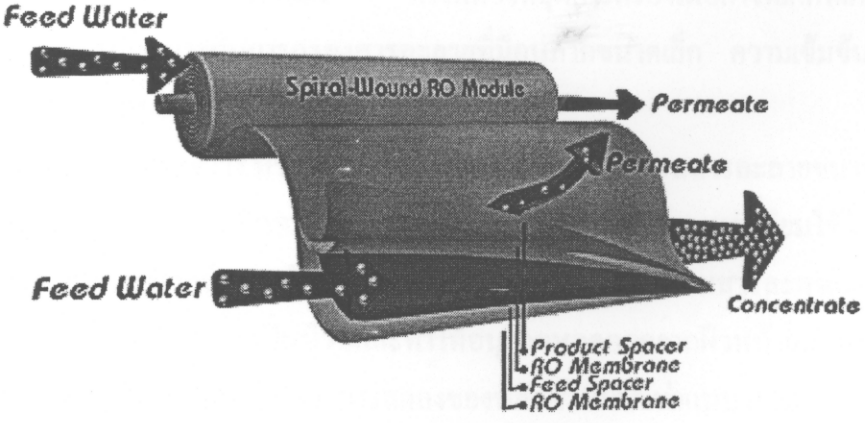
เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 มม. และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยกระดาษหรือใยสังเคราะห์ น้ำดิบจะไหลภายในท่อน้ำสะอาดซึมออกรอบข้าง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 10



ภาพประกอบที่ 10 โมดูลชนิดท่อ

ที่มา : www.tifac.org.in/news/memb.htm., 4 พฤษภาคม 2550

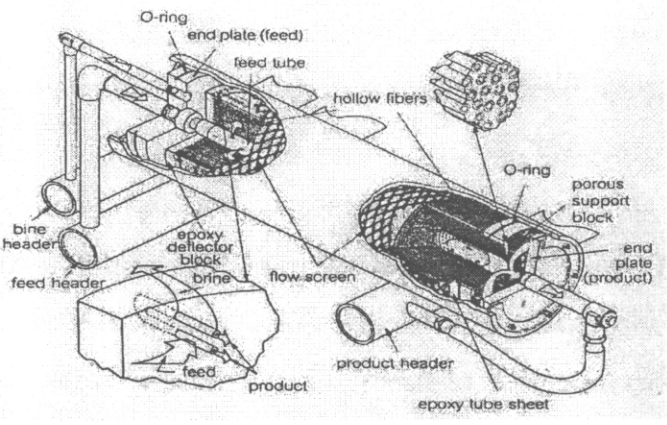
1.5.3 โมดูลแบบ Spiral wound โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรน 2 แผ่นประกบกันโดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่กลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นเมมเบรนทั้งสามชั้น รอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงทำด้วย polypropylene คลุมปิดอยู่ด้านนอก ขอบของ เมมเบรนทั้งสามด้านถูกอุดไว้ด้วยกาวพิเศษ ส่วนขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดและยึดติดกับท่อ เจาะรู ลักษณะเช่นนี้ทำให้น้ำถูกบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรู เพื่อนำน้ำออกจากโมดูล



ภาพประกอบที่ 11 โมดูลแบบ spiral wound

ที่มา: www.water-technology.net/.../perth/perth4.html , 30 พฤศจิกายน 2549

1.5.4 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) โมดูลที่ผ่านมาทำจากเซลลูโลสอะซีเตด แต่โมดูลชนิดนี้ต่างจากโมดูลอื่นๆ คือ ทำจาก polyamide วิธีการนำเส้นใยกลวงมาใช้ โดยนำมารวมกันเป็นมัดๆ งอพับเป็นรูปตัวยู ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยถูกมัดตรึงกับทางออกของน้ำ เส้นใยทั้งหมดวางอยู่ในถังรูปทรงกระบอก น้ำดิบเข้ามาทางท่อเจาะรู ซึ่งวางอยู่ตรงกลางถังทรงกระบอก แรงดันทำให้น้ำซึมเข้าเส้นใยเมมเบรนและทะลุถึงภายใน น้ำบริสุทธิ์จะซึมไปตามรูกลวงของเส้นใยไปรวมกันที่ทางออก



ภาพประกอบที่ 12 โมดูลแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber)
ที่มา: ไพศาล วีรกิจ, 2549

1.6. ลักษณะการกรองด้วยเมมเบรน

1.6.1 การกรองแบบแบบ dead-end การกรองแบบนี้จะป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเมมเบรน จะทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวเมมเบรน เรียกว่า เค้ก (cake) เมื่อกรองไปนานๆ ทำให้เกิดการอุดตัน ความดันจะสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการต้านทานการไหลและฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องหยุดการกรองเพื่อกำจัดเค้กที่เกิดขึ้น การกรองแบบนี้เหมาะกับการกรองสารละลายที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ความเข้มข้นต่ำ และดำเนินงานแบบกะ

1.6.2 การกรองแบบไหลขวาง หรือที่เรียกว่า cross flow เป็นการป้อนสารละลายขนานกับเมมเบรน หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมิเอท การกรองแบบนี้นิยมใช้ในกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส อัลตราฟิวเตรชั่น การป้อนสารละลายแบบไหลขวางมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนและทำให้อนุภาคหลุดออกจากผิวหน้าเมมเบรนได้ ดังนั้นการอุดตันที่ผิวเมมเบรนน้อย การลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่าแบบ dead-end

1.7. ระบบกรอง การแยกด้วยกระบวนการเยื่อแผ่นสามารถแบ่งการดำเนินการออกได้เป็น 2 ระบบหลักๆ คือ

1.7.1 แบบกะ จะใช้ในกรณีที่แยกสารละลายปริมาณไม่มาก เหมาะกับสารละลายที่มีอนุภาคขนาดเล็ก

1.7.2 แบบต่อเนื่อง เป็นระบบที่เหมาะกับอุตสาหกรรม ซึ่งการไหลแบบต่อเนื่องนี้อาจดำเนินการได้ 2 แบบ คือ

- การไหลผ่านครั้งเดียว สารละลายผ่านเยื่อแผ่นออกไปเป็นเพอมิเอทและรีเทนเทท ไม่มีการวนกลับ
- การไหลผ่านแบบวนกลับ รีเทนเททจะไหลวนกลับไปรวมกับน้ำป้อนเข้าระบบ ซึ่งอัตราการป้อนจะต้องศึกษาสัดส่วนของอัตราการป้อนที่เหมาะสมด้วย

2. ระบบแลกเปลี่ยนอิออน

สารแลกเปลี่ยนอิออนเป็นตัวช่วยในการกำจัดอิออนต่างๆ ที่แตกตัวในรูปประจุอยู่ในน้ำ คุณสมบัติน้ำ DI จะต้องปราศจากอิออนโดยยอมให้มีอิออนในน้ำโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ไม่เกิน 1.5 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร หรือไมโครซีเมนต์ สารแลกเปลี่ยนประจุทั่วไปมี 2 ประเภท ได้แก่ ซีโอไลต์ (zeolite) และเรซิ่น (rasin) ซึ่งปัจจุบันเรซิ่นจะได้รับความนิยมมากเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่า

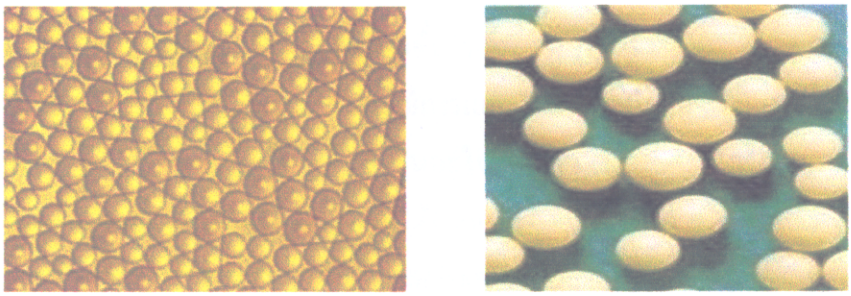
ซีโอไลต์ เป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนที่อยู่ในตัวมันเองกับอิออนบวกที่อยู่ในน้ำได้หลายชนิด เช่น alkaline earth ions, และอิออนที่มีประจุ +2 บางตัว ซีโอไลต์มี 2 ชนิด คือ

ซีโอไลต์แบบธรรมชาติ ได้แก่ green sand หรือ glauconite เป็นแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติพบมากในรัฐนิวเจอร์ซี สหรัฐอเมริกา

ซีโอไลต์แบบสังเคราะห์ สังเคราะห์จากการนำสารประกอบหลายชนิดมารวมกัน เช่น โซเดียมซิลิเกต อะลูมิเนียมซัลเฟตหรือโซเดียมอะลูมิเนต เนื่องจากซีโอไลต์มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนอิออนต่ำ จึงได้มีการพัฒนาสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนอิออนใหม่ เรียกว่า resinous ion exchanger

ในกระบวนการแลกเปลี่ยนอิออนจะมีการกำจัดอิออนต่างๆ ออกจากน้ำเช่น $Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^-$ ทำให้ได้น้ำสะอาดขณะเดียวกันจะได้สารละลายที่มีอิออนเข้มข้นออกมากับสารละลายรีเจนเนอแรนต์ (regenerant) เมื่อมีการรีเจนเนอเรชั่น (regeneration) ความพิเศษตรงนี้จะนำไปประยุกต์ใช้กับการแยกสารที่มีด่างออกจากน้ำ

การแลกเปลี่ยนอิออนมักจะใช้ในการกำจัดสารละลายที่อยู่ในรูปอิออนมักจะไม่ใช้ในการกรองคอลลอยด์หรือโมเลกุลที่อยู่ในรูปอิออน (มีประจุ) โครงสร้างของเรซิ่นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ โครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่อิออนที่มีประจุไฟฟ้า (functional group) มีความคงรูปร่างไม่ละลายน้ำและไม่แตกหัก



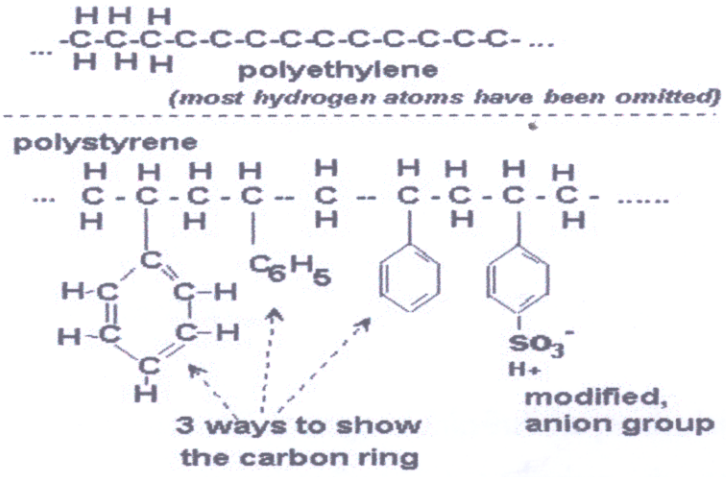
A B

ภาพประกอบที่ 13 ภาพA, B ภาพขยายของเรซิ่น

ที่มา: A: http://www.ionics.com/technologies/ix/index.htm, 30 พฤศจิกายน 2549

B: http://www.bizviet.net, 21 พฤศจิกายน 2549

โครงร่างของเรซิ่นสร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันต่อกันเป็นเส้นยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูป 3 มิติ ที่มีความโปร่งและความพรุน ความโปร่งและความพรุนขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสานที่เรียกว่า degree of closslinkage



ภาพประกอบที่ 14 closslinkage polystyrene

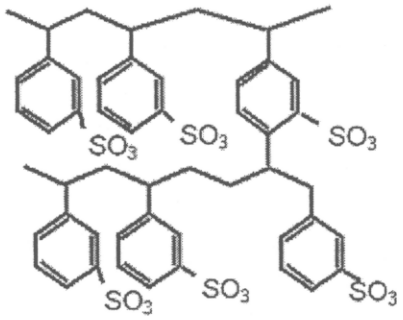
ที่มา: http://www.novasep.com, 21 พฤศจิกายน 2549

ตัวอย่างจากรูปภาพประกอบที่ 14 เรซิ่นนี้ทำจากโพลีสไตรีน มีตัว divinylbenzene (DVB) เป็นตัวประสาน สมมติให้มี degree of closslinkage 8–12% หมายความว่ามี DVB 8–12% และมีโพลีสไตรีน 88–92% การที่ % DVB มากหรือน้อยจะมีผลทำให้เกิดความอ่อนและความแข็งของเรซิ่น ถ้า DVB มากโครงร่างของเรซิ่นจะแข็งและทึบแต่ถ้าใช้ DVB น้อยโครงร่างจะอ่อนและโปร่ง ดังนั้นทั่วๆ ไปจะให้มี degree of closslinkage ประมาณ 8–12% ความโปร่งหรือความพรุนของเรซิ่นมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (exchange capacity)

และกำหนดลักษณะอื่นๆ ของเรซิ่นด้วย เช่น ความชื้นในเรซิ่น เป็นต้น เรซิ่นจะต้องมีความพรุนเพียงพอที่จะทำให้อิออนต่างๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวก จึงจะมีการแลกเปลี่ยนอิออนได้ เรซิ่นที่มี degree of crosslinkage สูงเกินไปจะมีความพรุนต่ำ ทำให้มีน้ำหรือความชื้นอยู่ในเรซิ่นน้อยและแตกหักได้ง่าย เรซิ่นที่มี degree of crosslinkage ต่ำเกินไปจะมีความพรุนมาก อมน้ำได้มากแต่สลายตัวได้ง่าย เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงประสานต่ำ มีข้อเสียคือทำให้อิออนที่มีขนาดใหญ่ เช่น โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีประจุไฟฟ้าสามารถเข้าถึงภายในโครงร่างและทำให้เรซิ่นเสียได้ในเวลาต่อมา

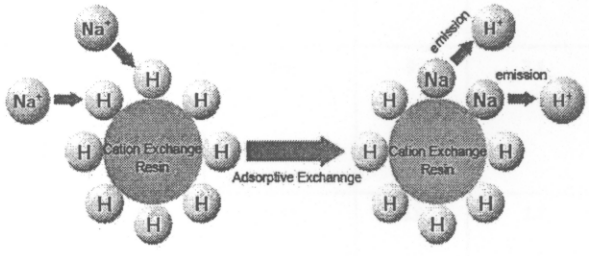
การบวมหรือพองน้ำของเรซิ่นที่มี degree of crosslinkage ต่ำๆ ทำให้ปริมาตรของเรซิ่นเพิ่มขึ้นได้มาก ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนต่อปริมาตร (meq/ml) มีค่าลดหรือเพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของ degree of crosslinkage เรซิ่นที่มีเปอร์เซ็นต์ DVB สูง จึงมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนสูงกว่าเรซิ่นชนิดเดียวกันที่มีเปอร์เซ็นต์ DVB ต่ำ

หมู่อิออน (functional group) ของเรซิ่นเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของเรซิ่น เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออน เป็นต้น หมู่อิออนที่เกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอนทำให้เรซิ่นมีประจุดังตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 14 หมู่อิออนที่เกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอน
ที่มา: http://www.novasep.com, 21 พฤศจิกายน 2549

ภาพประกอบที่ 14 และ 15 มีหมู่ซัลโฟนิก ($-SO_3^-$) ทำให้เรซิ่นมีประจุลบประจำตัว ซึ่งเรียกว่า cation resin ใช้ในการกำจัดอิออนบวกออกจากน้ำ ส่วนหมู่แอมมีน (ammine) ชนิดต่างๆ เช่น $RRNH_2^+$ ทำให้เรซิ่นมีประจุบวกประจำตัว เรียกว่า anion resin ใช้ในการกำจัดอิออนลบออกจากน้ำ



ภาพประกอบที่ 15 อิออนอิสระในการแลกเปลี่ยนประจุ
ที่มา: http://www.astom-corp.jp/image , 25 พฤศจิกายน 2549

โครงร่างไฮโดรคาร์บอนและหมู่อิออนที่มีประจุไฟฟ้าจับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิ่น และจำเป็นต้องมีอิออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้ามมาทำให้เรซิ่นเป็นกลาง เรซิ่นใหม่นี้จะมี H^+, Na^+, Cl^-, OH^- ตัวใดตัวหนึ่งเป็นอิออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิ่นและสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ อิออนอิสระนี้จะจับอยู่กับหมู่อิออนของเรซิ่นอย่างชั่วคราวและพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนกับอิออนอื่นที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ

เรซิ่นที่ใช้งานอยู่แบ่งตามความเป็นกรดและด่างได้ 4 ชนิด คือ

เรซิ่นแบบกรดแก่ (strong acidic cationic resin)

เรซิ่นแบบกรดอ่อน (weak acidic cationic resin)

เรซิ่นแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin)

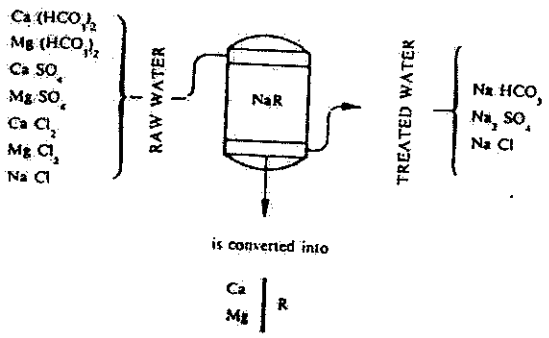
เรซิ่นแบบด่างอ่อน (weak basic aninoic resin)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติสำคัญของเรซิ่นชนิดต่างๆ

Type Resin	Functional group	Drained Density lb/ft^3.	Drained Density Kg/m^3	Operating pH Range	Maximun Exchange Capacity Me/g	me/ml	Kgr/ft^3	Regeneration	Trade name Example
Strong Acid	$-SO_3-H^+$ Sulfonic acid	49-53	790-850	0-14	4.8	2.0	43.7	Excess strong acid	Duolite C-20 Amberlite 120 Dowex 50
Weak Acid	$-COO-H^+$ Carboxylic acid	45	720	7-14	11	4.5	98.3	Weak or strong acid	Duolite C-433 Amberlite IRC-50 Zeo Carb 226
Strong Base Type I	$-CH_2N(CH_3)_3+OH^-$ Quaternary ammonium	45	720	0-14	4.3	1.3	28.4	Excess strong base	Amberlite IRA-410 Duolite A-101 D
Strong Base Type II	$-CH_2N(CH_3)_2CH_2CH_2OH^+$ OH^- Modified Quaternary ammonium	45	720	0-14	3.4	1.4	30.6	Excess strong base	Amberlite IRC 140 Duolite A-102 D
Weak Base	$N(CH_3)_2H^+OH^-$ Tertiary amine	32	510	0-6	9	2.5	54.6	Weak or strong base	Amberlite IRA-93 Duolite A-7
Intermediate base	Mix of above two	43	690	0-14	8.8	2.7	59.0	Strong base	Duolite A-30B

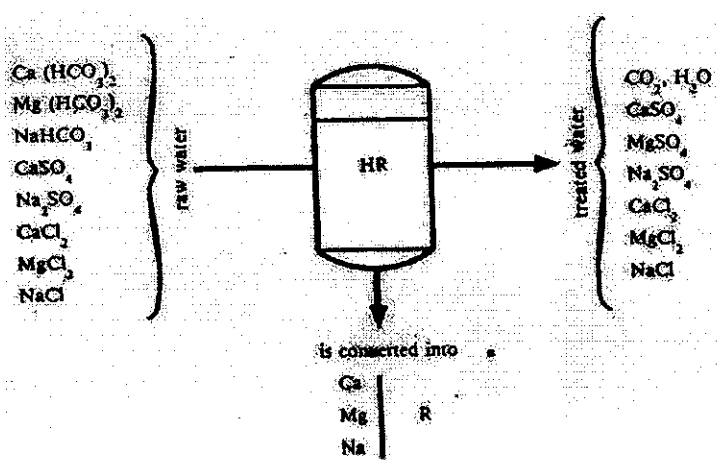
ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542

เรซิ่นแบบกรดมี 2 ชนิด คือ เรซิ่นแบบกรดแก่และเรซิ่นแบบกรดอ่อน เรซิ่นแบบกรดจะใช้อิออนบวกของตัวเอง (H^+ หรือ Na^+) แลกกับอิออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+} เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 17 การแลกเปลี่ยนประจุของกรดแก่
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542

เรซิ่นแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิกหรือ $-SO_3^-$ เป็นหมู่อิออนและจะมี H^+ หรือ Na^+ มาเกาะ มีความสามารถในการแลกประจุกับอิออนในน้ำได้ เรซิ่นเมื่อใช้งานไปนานๆ จะเสื่อมอำนาจลงต้องทำการฟื้นอำนาจกลับมาเรียกว่า รีเจนเนอเรชั่น เรซิ่นที่เป็น Na^+ ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง (NaCl) ส่วนเรซิ่นที่เป็น H^+ รีเจนเนอเรตด้วยกรดแก่ เรซิ่นแบบกรดแก่มีข้อดีหลายประการคือ ใช้ได้ดีกับน้ำที่มี pH ทุกระดับ การรั่วไหลของอิออนบวกที่ต้องการกำจัดน้อย สามารถแลกเปลี่ยนอิออนได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับกำจัดความกระด้างและทำน้ำให้บริสุทธิ์



ภาพประกอบที่ 18 การแลกเปลี่ยนประจุของกรดอ่อน
ที่มา : มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542

ส่วนเรซิ่นแบบกรดอ่อนจะมีหมู่อิออนเป็นกรดอ่อน เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH หรือ –COONa) เรซิ่นชนิดนี้แตกตัวเป็นอิออนได้น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนอิออนได้ การรีเจนเนอเรตใช้เกลือแกง เรซิ่นแบบด่างมีหน้าที่ให้อิออนลบของตนมักเป็น OH^- หรือ Cl^- แลกกับอิออนในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- เป็นต้น หมู่อิออนของด่างแก่มักเป็น Quatenary Amine เช่น $(CH_3)_3\ CH_2N^+$ อิออนอิสระมักเป็น Cl^- หรือ OH^- เมื่อรีเจนเนอเรตเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนี้

$$2(CH_3)_3CH_2NOH + SO_4^= \leftrightarrow [(CH_3)_3\ CH_2N]_2\ SO_4^= + 2OH^-$$
$$2(CH_3)_3\ CH_2NCl + SO_4^= \leftrightarrow [(CH_3)_3\ CH_2N]_2\ SO_4^= + 2Cl^-$$

สารรีเจนเนอแรนท์อาจเป็น NaCl หรือ HCl หรือ NaOH ทั้งนี้แล้วแต่ว่าเรซิ่นอยู่ในรูปใด

การกำจัดความเป็นด่างออกจากน้ำ อาจใช้เรซิ่นแบบด่างแก่ที่อยู่ในรูป Cl^- และใช้ NaCl เป็นสารรีเจนเนอแรนท์ เรซิ่นแบบด่างอ่อน จะไม่มีการแลกเปลี่ยนอิออน เรซิ่นชนิดนี้จึงไม่ต้องมีอิออนอิสระ สารรีเจนเนอแรนท์ อาจเป็น NaOH หรือ Na_2CO_3 หรือ NH_4OH ก็ได้

ในการผลิตน้ำที่บริสุทธิ์ที่ปราศจากอิออนสามารถทำได้หลายวิธี แต่ทุกวิธีต้องมีเรซิ่น 2 ชนิด คือแบบด่างและแบบกรด อาจบรรจุแยกถังหรือบรรจุในถังเดียวกัน (mixed bed) เรซิ่นแบบด่างซึ่งรีเจนเนอเรตด้วยโซดาไฟ (NaOH) จะทำหน้าที่กำจัดอิออนลบรวมทั้ง SiO_2 และ CO_2 ออกจากน้ำ ส่วนเรซิ่นแบบกรด ซึ่งรีเจนเนอเรตด้วยกรดเกลือ (HCl) หรือกรดกำมะถัน (H_2SO_4) จะทำหน้าที่กำจัดอิออนบวกจากน้ำ

3. ระบบการฆ่าเชื้อ การฆ่าเชื้อในระบบการผลิตน้ำ DI เป็นการกำจัดแบคทีเรียในน้ำ ในอากาศที่อาจปนเปื้อนผ่านเข้าไปในน้ำได้ อาจเกิดการสะสมในระบบ ได้แก่ สปอร์สาหร่าย ซึ่งจะทำให้น้ำที่ผลิตแล้วเมื่อได้รับแสงอาจเจริญเติบโตได้ โดยทั่วไปจะนิยมฆ่าเชื้อด้วยแสงยูวี (UV lamp)

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arora et al., (2004) ศึกษาการนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาใช้ในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำบาดาล โดยปรับเปลี่ยนสภาวะของน้ำป้อนเข้าระบบ เช่น พีเอช ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ อัตราการป้อน และความดันที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเมมเบรน จากการศึกษาพบว่าทั้ง พีเอช ความเข้มข้น อัตราการป้อน และความดันมีผลต่อประสิทธิภาพของเมมเบรนทั้งสิ้น และจากการศึกษาการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำบาดาลจากหมู่บ้านที่สนใจ พบว่า ระบบ RO สามารถกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำซึ่งได้แก่ อิออนต่างๆ และฟลูออไรด์ได้มากกว่า 95%

Yoon and Lueptow (2005) ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้เมมเบรนชนิด RO 6 ชนิด NF 2 ชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน และผู้ผลิตต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ จากการทดลองหา % rejection โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมคาร์บอเนต และยูเรีย เป็นสารปนเปื้อนที่ใช้ศึกษา พบว่า RO ทุกชนิดมี % rejection โซเดียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมคาร์บอเนต มากกว่า 80% ยกเว้น NF ส่วน % rejection ยูเรีย มากกว่า 50% จะเห็นว่า RO ทุกตัวที่ศึกษามี % rejection สูงแต่ NF มี % rejection ต่ำ ที่ flux ที่ศึกษาเดียวกัน

แสดงว่า RO มีความสามารถในการกำจัดได้ดีกว่า NF เนื่องจากมีขนาดรูพรุนเล็กกว่า แต่อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสารด้วย

Nader (2004) ศึกษาการกำจัดสีและเกลือโซเดียมซัลเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ RO โดยสีที่ใช้เป็นสีจากเมทธีลโอเรนจ์ จากการค้นคว้าผู้วิจัยพบว่าสีกับเกลือในน้ำเสียมีการจับตัวกันแบบ Co-existence ทำให้มีผลต่อการกำจัดสีในเมมเบรน NF ชนิด cross-flow สีทำให้เกิดฟิล์มเจลมีผลต่อ concentration polarization ของเกลือ จากการศึกษาการกำจัดสีและเกลือโดยใช้ RO ชนิด spiral wound ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นในช่วง 500-1000 ppm จะทำให้ % reject เกลือลดลงที่ทุกความดัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือเป็น 5000 – 10000 ppm จะทำให้ % rejection ของสีลดลง

Bodzek et al., (2003) ได้นำเมมเบรนชนิดต่างๆ เช่น RO NF และ UF มาใช้ในการกำจัดสารพทาเลท ซึ่งสารนี้มีการปนเปื้อนในน้ำ อาหาร โดยแหล่งที่มาของพทาเลทมาจากพลาสติก พีวีซี วัสดุห่ออาหาร เวชภัณฑ์ ของเล่น เครื่องสำอาง ฯลฯ โดยพทาเลทที่ศึกษามี 3 ชนิดคือ diethyl phthalate, Di-n-butyl phthalate และ Di-12-etheylhexyl phthalate ที่ความเข้มข้น 40, 200, 600 ไมโครกรัม และทดลองเก็บตัวอย่างจากน้ำประปาจากจุดที่สนใจเพื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนของพทาเลทในแหล่งน้ำ ผลการทดลองพบว่าเมมเบรนทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการกำจัดพทาเลทได้ดีมีค่า retention coefficient, R มากกว่า 99% มีการหมุนเวียนน้ำรีเทนเทท กลับไปที่ถังน้ำป้อนระบบ

Ipek (2004) ได้ศึกษา ความสามารถของ RO ในการกำจัดฟีนอลซึ่งเป็นสารอันตรายต่อร่างกาย มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ปอด ไต ที่พบในน้ำส่วนมากมาจากการเติมคลอรีนที่มีคลอโรฟีนอลปนอยู่ โดยเปรียบเทียบระหว่างการมีระบบบำบัดเบื้องต้น (pre-treatment) ด้วย polypropylene depth filtration ตามด้วย activated carbon ชนิด bituminous coal และการไม่มีระบบบำบัดเบื้องต้น ฟีนอล จากการทดลองพบว่า สามารถลดความเข้มข้นของฟีนอลจาก 10 mg/l เหลือน้อยกว่า 0.25 mg/l ที่ pH ที่เหมาะสมคือ 4 – 6 ในขณะที่ไม่มีระบบบำบัดเบื้องต้นความเข้มข้นเหลือมากกว่า 1 mg/l

Yuan et al., (2000) ได้ศึกษาการเตรียมน้ำบริสุทธิ์สูง (ultra pure water) โดยการใช้น้ำกลั่นกรองผ่านเครื่องกรองแบบแลกเปลี่ยนไอออน จำนวน 6 คอลัมน์ โดยเป็นเรซินชนิดบวก (cation rasin) 2 คอลัมน์ ชนิดลบ (anion rasin) 2 คอลัมน์ หลังจากนั้นให้น้ำ DI ผ่านไปยัง E-pure unit จะได้น้ำ ultra pure เก็บไว้ในถังชนิดโพลีเอทธิลีน ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำ DI 10 เมกะโอห์ม ส่วนน้ำ ultra pure 18 เมกะโอห์ม

จากการศึกษาค้นคว้าจะเห็นว่ามีการนำเทคนิคด้านเมมเบรนโดยเฉพาะ RO มาใช้งานอย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำได้สูงมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรน การบำบัดเบื้องต้นน้ำก่อนเข้าเมมเบรน สภาวะที่ใช้งาน เช่น pH ความเข้มข้น และความดัน เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จะได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น อาจถึงระดับ ultra pure ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความเหมาะสมที่จะใช้งาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตน้ำด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิสให้มีคุณภาพสูงสุด โดยผ่านระบบแลกเปลี่ยนไอออนแล้วมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร

2. เพื่อพัฒนาให้มีระบบการผลิตน้ำสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการแทนการกลั่น ลดการสูญเสียน้ำและประหยัดพลังงาน
3. เพื่อสามารถให้บริการน้ำปลอดไอออนที่มีคุณภาพแก่หน่วยงานในมหาวิทยาลัยและชุมชนได้

ประโยชน์ที่จะได้รับ

สามารถพัฒนาครุภัณฑ์การเรียนการสอนที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีระบบการผลิตน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการแทนการกลั่นน้ำ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำไปโดยไม่เกิดประโยชน์ และสามารถให้บริการน้ำปลอดไอออนแก่หน่วยงานในมหาวิทยาลัยและชุมชนได้