การประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

ประกร รามกุล[1,*], อัญชลี มูลคลี้น[2]

บทคัดย่อ

กระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้มีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง บทความนี้จึงเป็นการการแนะนำให้รู้จักถึงทฤษฎีของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ชนิดของเมมเบรนที่ใช้, หลักการทำงานเบื้องต้นและตัวอย่างในกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อให้ผู้ศึกษานั้นได้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการนี้ รวมไปถึงทั้งการเลือกโมดูลที่นำมาใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ โดยแต่ละโมดูลนั้นมีลักษณะและระบบการทำงานภายในโมดูลแต่ละตัวที่แตกต่างกันไปเพื่อให้ผู้ใช้นั้นใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นแล้วผู้เขียนยังได้ให้ความรู้เรื่ององค์ประกอบพื้นฐานของกระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมอีกด้วย ตลอดจนถึงการชี้ให้เห็นถึงการนำไปประยุกต์ในกระบวนการของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การไปประยุกต์ใช้กับการกระบวนการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม หรือกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเล ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ระบบออสโมซิสผันกลับเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: ออสโมซิสผันกลับ, อาร์โอ, เมมเบรน, ชนิดโมดูลเยื่อแผ่นเหลว, การประยุกต์ใช้ออสโมซิสผันกลับ

[1,] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์
* ผู้ติดต่อ อีเมลล์ : korn_mass_transfer@hotmail.com รับเมื่อ 6 กรกฎาคม 2553 ตอบรับเมื่อ 23 กันยายน 2554

Current Application of Reverse Osmosis in Industrial Process

Prakorn Ramakul[1,*] Unchalee Mooncluen[2]

Abstract

Reverse osmosis (RO) is widely applied in the industries. This paper is the introduction to the theory of recent RO process, type of membrane, principle of working and the examples in the industrial process. The system and character of each module were demonstrated. Therefore, the criteria to recruit the membrane module have been presented. Not only to inform the principle of RO in industrial scale, but the basic composition of RO system is also informed and the applications in the industrial process are presented such as waste treatment, separation of salt from seawater which is the most famous for RO.

Keywords: Reverse Osmosis, RO membrane, RO module, RO application

[1] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakon Patom Campus

* Corresponding author, Email: korn_mass_transfer@hotmail.com Received 6 July 2010; Accepted 23 September 2011

1. บทนำ

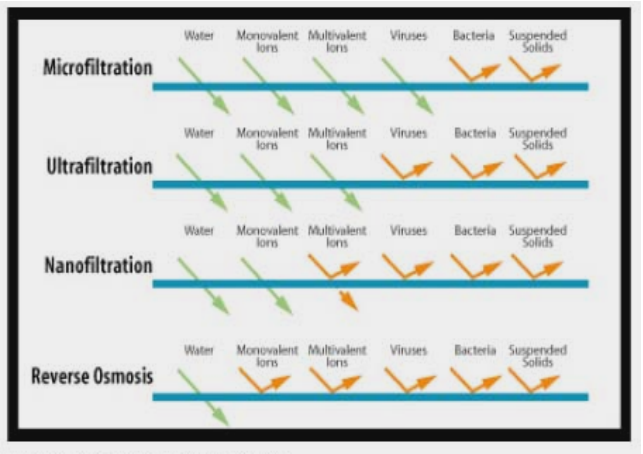
ในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นในชีวิตประจำวันหรือในอุตสาหกรรมและครัวเรือน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำสะอาดที่มีปริมาณตัวถูกละลายต่ำมาก แต่ในขณะเดียวกันความสกปรกของแหล่งน้ำดิบนั้นก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลอันเนื่องมาจากสิ่งเจือปน และมลพิษที่เกิดจากกิจวัตรประจำวันต่างๆของมนุษย์ จากปัญหาในจุดนี้จึงได้มีการพัฒนาและคิดค้นกระบวนการต่างๆที่จะมาทำให้ทำให้น้ำสกปรกกลายเป็นน้ำสะอาดหรือน้ำบริสุทธ์ได้ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งทั้งในอุตสาหกรรมและในครัวเรือน ยกตัวอย่างของกระบวนการที่ทำให้น้ำบริสุทธ์ เช่น กระบวนการกรองความขุ่นและดูดซับ กระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี กระบวนการกรองโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange: IX) กระบวนการกรองโมเลกุลโดยใช้แผ่นผ้ากรอง และนอกจากยังมีกระบวนการที่ทำน้ำให้บริสุทธิ์ คือ “กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis)” โดยกระบวนการนี้เป็นหนึ่งในกระบวนการที่ใช้ในการแยกน้ำบริสุทธิ์ออกจากสารละลาย ซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรม เช่น การกำจัดเกลือแร่ของน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยสำหรับทำน้ำดื่มการนำน้ำเสียกลับมา ใช้ในกระบวนการทำอาหาร และเครื่องดื่ม การแยกสารปฏิชีวนะ การทำน้ำบริสุทธิ์สำหรับดื่มในบ้าน และใช้ในกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้นยังพบ ว่าได้มีการใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ บ่อยครั้งในการผลิตน้ำที่มีความ บริสุทธิ์สูงมากๆ สำหรับใช้ในการผลิตยา หรือในห้องปฏิบัติการอีกด้วย และจากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้นการติดตั้งระบบออสโมซิสผันกลับ ก่อนชุดเครื่องกรอง แลกเปลี่ยนไอออน จะทำให้ลดต้นทุนการดำเนินงาน และความถี่ของการ ฟื้นฟู สภาพระบบการแลกเปลี่ยนไอออน ลงไปได้มากอีกด้วย

ซึ่งบทความนี้จะนำเสนอถึงหลักการเบื้องต้นของกระบวนการออสโมซิสผันกลับตลอดจนชนิดของเมมเบรนที่ใช้ การคัดเลือกไอออน ชนิดของโมดูล และอุตสาหกรรมต่างๆที่มีการใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับ

2. กระบวนการออสโมซิสผันกลับ

2.1 ทฤษฎี

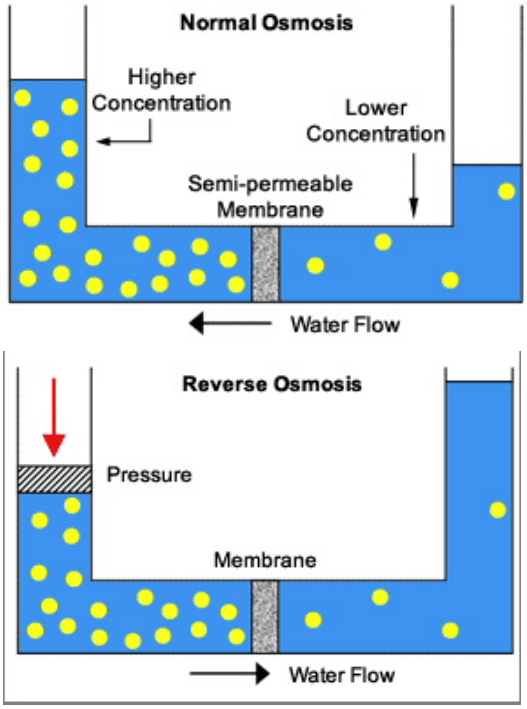
การออสโมซิสผันกลับนั้นจะใช้ความดันต่างระหว่างผิวหน้าของเมมเบรน กระบวนการนี้แตกต่างจากกระบวนการไมโครฟิวเตรชั่น (Microfiltration) และกระบวนการอัลตราฟิวเตรชั่น (ultrafiltration) ตรงขนาดของสารที่ถูกกรอง [1] โดยสามารถแยกได้ตาม Minifiltration Characteristics [2-3] จากค่า pore diameter ได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความแตกต่างของขนาดของรูพรุนของเมนเบรนแต่ละชนิดความสามารถในการให้ผ่านของเมมเบรนชนิดต่างๆ เทียบกับขนาดของตัวถูกละลาย [4-5]

กระบวนการออสโมซิสผันกลับนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้เมนเบรนที่ให้ค่าการเลือกผ่านเฉพาะน้ำโดยที่ไอออนหรือโมเลกุล ที่ละลายอยู่ในน้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนออกมาได้ สารป้อน(feed) จะถูกป้อนความดันเพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนสำหรับให้น้ำบริสุทธิ์เคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนออกมายังอีกฝั่ง (permeate) ที่ความดันต่ำ [3-4] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยปรากฏการณ์ออสโมซิส (*Osmosis*) เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากด้านน้ำบริสุทธ์ไปด้านสารละลาย จะเท่ากับการเคลื่อนที่ของน้ำจากด้านสารละลายไปด้านน้ำบริสุทธิ์ ความดันต่างที่เกิดขึ้นที่สมดุลเรียกว่า ความดันออสโมติก *(Osmotic Pressure,* $\Delta\pi$*)* [1] โดยถ้าเราพิจารณากระบวนการออสโมซิสผันกลับ *(Reverse Osmosis)* จะเริ่มจากการเกิด *Forward*

Osmosis (FO) ก่อน และไม่มีการใส่ความดันให้กับระบบ ($\Delta p = 0$) หลังจากนั้นเมื่อเริ่มมีการใส่ความดันเพื่อจะเอาชนะแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure) โดยจะเกิดการหน่วง (Retarded) ขึ้นที่เรียกว่า Pressure Retarded Osmosis (PRO) ($\Delta\pi = \Delta p$) ถ้ามีการเพิ่มความดันต่อไปเรื่อยๆจะพบว่า ความดันที่ป้อนจะสูงกว่าความดันออสโมซิสซึ่งจะเริ่มเกิดกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ($\Delta\pi > \Delta p$) ขึ้นมา เราสามารถแสดงสมการทั่วไปในการอธิบายการผ่านของน้ำใน FO, RO และ PRO ดังนี้ [7]



รูปที่ 2 แสดงภาพความแตกต่างของการออสโมซิสแบบธรรมดาและการออสโมซิสแบบผันกลับ [6]

สมการทั่วไปของ FO, RO และ PRO:

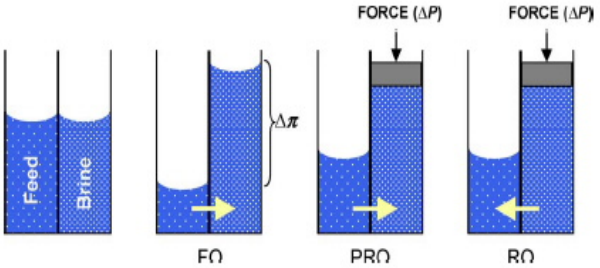
$$J = K(\Delta\pi - \Delta p) \quad (1)$$

โดยที่ J คือ ฟลักซ์ของน้ำบริสุทธิ์

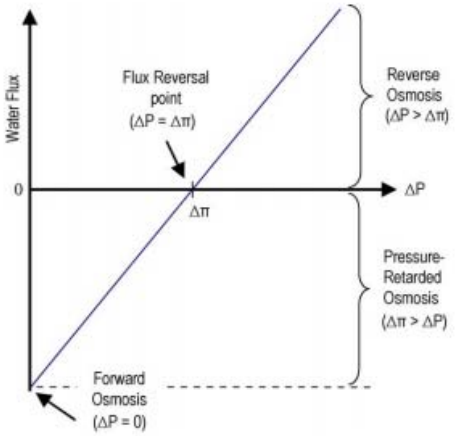
K คือ ค่าคงที่การซึมผ่านของแมมเบรน (Permeability constant of the membrane)

Δp คือ แรงดันที่ให้กับระบบ

ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นกระบวนการเกิด FO, PRO และ FO ดังรูปที่ 5 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางและ ขนาดของ water flux ของ applied pressure ใน FO PRO และ RO ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการเกิด FO, PRO และ RO ตามลำดับ [7]



รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางและขนาดของ water flux ของ applied pressure ใน FO PRO และ RO [7]

โดยเราสามารถคำนวณแรงดันออสโมติก (π) ได้จากสมการข้างล่างนี้ [8] และรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารละลายและผลของความเข้มข้นของสารละลายที่มีต่อ Osmotic Pressure

$$\pi = \sum_{i}^{n} \frac{RTc_i Z_i}{M_i} \quad (2)$$

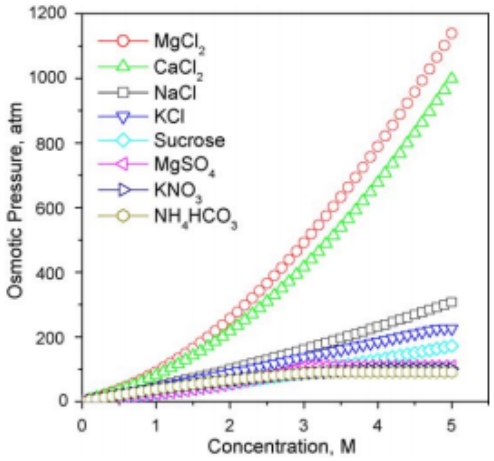
โดยที่ R = ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 [J/K.mol]

T = อุณหภูมิ [K]

c_i = ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายป้อน [g/m^3]

M_i = มวลโมเลกุลของไอออน [g/mol]

Z_i = valency ion [-]



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อ Osmotic Pressure [7]

2.2 ชนิดของเมมเบรนกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

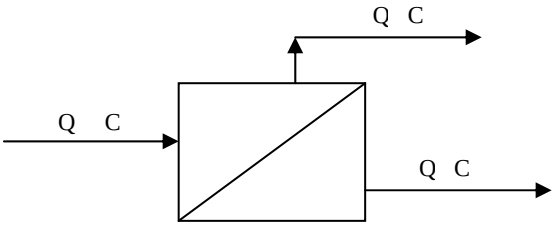
เมมเบรนที่พัฒนาสำหรับการใช้งานในกระบวนการออสโมซิสผันกลับนั้น ส่วนใหญ่เป็นเมนเบรนในตระกูลเซลลูโลสอะซิเตต ได้แก่ เซลลูโลสไตรอะซิเตต และ เมมเบรนผสมระหว่างเซลลูโลสไดอะซิเตตและเซลลูโลสไตรอะซิเตต เป็นต้น ตลอดจนเมมเบรนที่ทำจากวัสดุอื่นๆเช่น polyamide และ polyurea ที่สามารถทนอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ ได้ตลอดจนมีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological attack) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเมมเบรนแบบไม่สมมาตร (Asymmetric membrane) หรือแบบคอมโพสิต (Composite membrane)เพื่อให้ได้เมมเบรนที่มีคุณสมบัติดีและเหมาะสมในการทำงานมากขึ้น โดยคุณสมบัติที่ใช้ในการเลือกชนิดของเมมเบรนคือค่าฟลักส์(Flux) และค่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชั่น (%Rejection) [1] ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์รีเจ็คชั่น เป็นปริมาณที่บ่งชี้ถึงปริมาณในการกรองสารที่ไม่ต้องการออกโดยเมมเบรน และสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\%rejection = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) X100 \qquad (3)$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับ (Recovery) เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ของกระบวนการในระบบเป็นอย่างไร โดยมีความสัมพันธ์

$$\%recovery = \frac{Q_p}{Q_f} X100 \qquad (4)$$

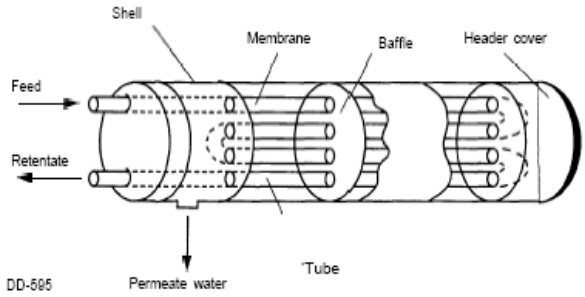
โดยในที่นี้ถ้าเราได้ค่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับ เท่ากับ 80% แสดงว่าจากสารละลายป้อนเข้มข้น 100% จะได้ permeate 80% โดยจะมีน้ำที่เหลือในสารละลายป้อนประมาณ 20% คือลดลงจากเดิม 5 เท่า ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 5 เท่าเช่นกัน หากเราพบว่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับ อยู่ในช่วง 1 – 10% ควรเปลี่ยนแปลงระบบ RO เป็นแบบ series ซึ่งจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับ สูงขึ้นตามที่ต้องการคือ 80% แต่สำหรับกระบวนการกรองน้ำทะเลพบว่าได้ค่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับ สูงสุดเพียง 50% เนื่องจากน้ำทะเลมีข้อจำกัดในเรื่องของการเกิดตะกรัน (scaling) ที่เกิดจากความเข้มข้นของเกลือในปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆในการกรอง ในขณะที่การกรองน้ำใต้ดินจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การนำกลับสูงถึง 95%



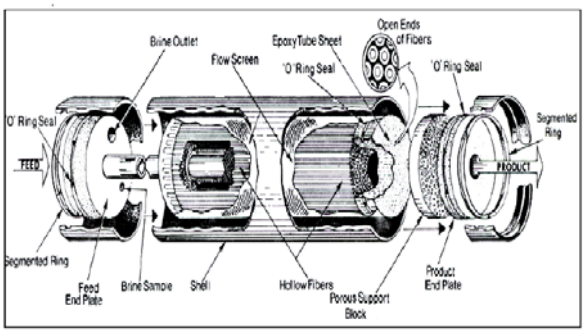
รูปที่ 6 แผนผังการไหลของกระบวนการแยกด้วยเมมเบรน

2.3 โมดูลของระบบออสโมซิสผันกลับ [1-3]

โมดูลที่ใช้สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ในช่วงแรกๆเป็นแบบท่อ(รูปที่ 7) และแบบเพลทแอนด์เฟรม (รูปที่ 8) ต่อจากนั้นมีการพัฒนาโมดูลแบบสไปรอลวูล (รูปที่ 9) และหลังจากนั้น ได้พัฒนาโมดูลแบบเส้นใยกลวง (hollow fiber) ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 10

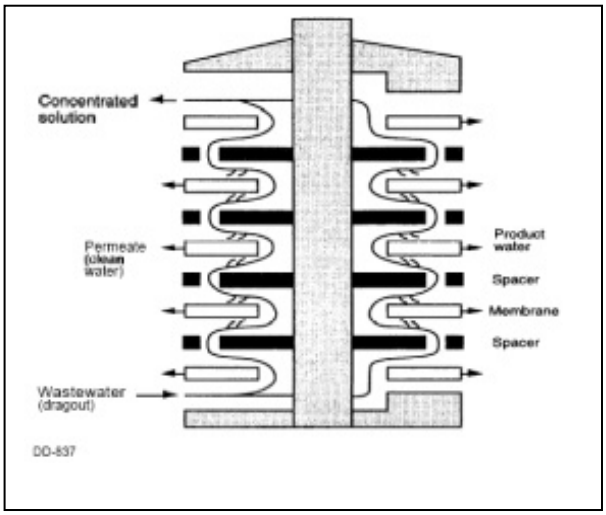


รูปที่ 7 แบบท่อ (Tubular module) [9]

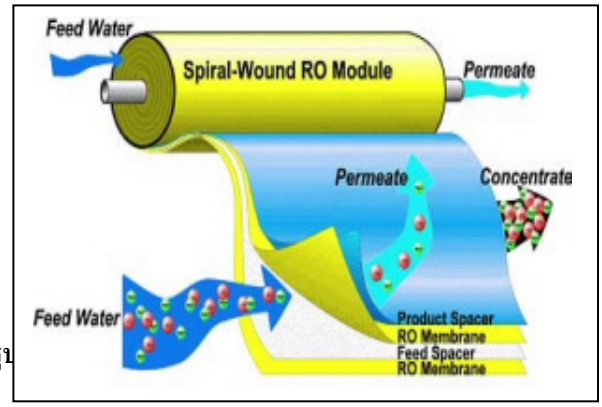


รูปที่ 8 แบบแผ่นและกรอบ (Plate-and-frame) [9]

เราสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้โมดูลแต่ละแบบได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 9 แบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber module) [10,11]



รูป

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของโมดูลแต่ละแบบ [9]

ข้อมูล	แบบแผ่นและกรอบ	แบบท่อม้วน	แบบท่อ	แบบเส้นใยกลวง
พื้นที่/ปริมาตร (m^2/m^3)	100-400	300-1,000	150-300	9,000-30,000
ฟลักซ์ ($l/m^2.h$)	10-50	10-50	10-50	0.5-5
ความกว้างของช่องสารละลาย (mm)	~5	~1.5	>10-13	0.1-0.5
การเปลี่ยนแผ่นเยื่อ	เป็นแผ่น	ทั้งชุด	เป็นท่อ	ทั้งชุด
การเกิดการฟาวลิง (fouling)	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
การทำความสะอาด	ปานกลาง	ปานกลาง	ง่าย	ยาก
ราคา	ปานกลาง	ถูก	แพง	ถูกมาก

2.4 การเลือกผ่านไอออนของเมมเบรน (Membrane Selectivity) [13]

1. ไอออนที่มีประจุมากกว่า 1 จะถูกกรองตามลำดับของค่า rejection ของเมมเบรนแต่ละชนิดดังนี้

ไอออนบวก: $Fe^{3+} > Ni^{2+} = Cu^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^{+} > K^{+}$

ไอออนลบ: $PO_4^{3+} > SO_4^{2+} > HCO_3^{-} > Br^{-} > Cl^{-} > NO_3^{-} = F^{-}$

2. ก๊าซที่ละลายอยู่ในสารละลาย เช่น ammonia, carbon dioxide, sulfur dioxide, oxygen, chlorine และ hydrogen sulfide สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้ดี

3. ค่า rejection ของกรดและเบสอ่อนจะขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยกรดหรือเบสในรูปไอออน จะมีค่า rejection สูง แต่เมื่อไม่อยู่ในรูปไอออน (nonionized form) จะมีค่า rejection ต่ำโดยที่ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่เหนือค่า pKa จะได้ค่า rejection สูง ขณะที่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่าค่า pKa จะอยู่ในรูปที่เป็นกลาง จะทำให้ค่า rejection ต่ำลง

4. สารอินทรีย์ที่เป็นกลาง ค่า rejection มักเพิ่มตามน้ำหนักโมเลกุล (หรือเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุล) ของตัวทำละลาย โดยน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100 จะทำให้ค่า rejection สูง เช่น ค่า rejection ของ Caprolactam จะดีกว่าของ Ethanol

5. การเกิด negative rejection coefficients เช่นตัวถูกละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆในด้าน permeate มากกว่าในสายป้อนจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก เช่น phenol และ benzene ที่ใช้กับ cellulose acetate membrane ความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนโดยการใช้ระบบออสโมซิสผันกลับเป็นไปตามตารางที่ 2

2.5 กระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรม

โดยทั่วไประบบ ออสโมซิสผันกลับจะถูกสร้างจากส่วนประกอบพื้นฐาน คือ

1. ส่วนของการเตรียมวัสดุก่อนที่จะเข้ากระบวนการ (Pretreatment)
2. ปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump)
3. Membrane Assembly
4. การบำบัดขั้นหลัง (Post Treatment)

ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากแผนผังดังรูปที่ 11

ตารางที่ 2 การแยกสารปนเปื้อนในระบบออสโมซิสผันกลับ[6]

Contaminant	% norminal	Contaminant	% norminal
	rejection		**rejection**
Aluminum	96-98	Ammonium	80-90
Bacteria	99+	Borate	30-50
Boron	50-70	Bromide	90-95
Cadmium	93-97	Calcium	93-98
Chloride	92-95	Chromate	85-95
Copper	96-98	Cyanide	85-95
Fluoride	92-95	Hardness Ca& Mg	93-97
Iron	96-98	Lead	95-98
Manganese	96-98	Magnesium	93-98
Mercury	94-97	Nickel	96-98
Nitrate	90-95	Orthophosphate	96-98
Phosphate	95-98	Polyphosphate	96-98
Potassium	93-97	Radioactivity	93-97
Silica	80-90	Silicate	92-95
Silver	93-96	Sodium	92-98
Sulfate	96-98	Thoisulfate	96-98
Zinc	96-98	-	-

โดยทั่วไปเราสามารถออกแบบ Multiple stage process ได้เป็น 3 แบบคือ series array parallel array และ tapered array ดังรูปที่ 12

จากที่ได้นำเสนอองค์ประกอบของกระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมแล้วนั้น พบว่าในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานกระบวนการออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น ซึ่งในประเทศไทยนั้นได้มีการใช้กระบวนในแต่ละระบบดังที่จะยกตัวอย่างต่อไปนี้

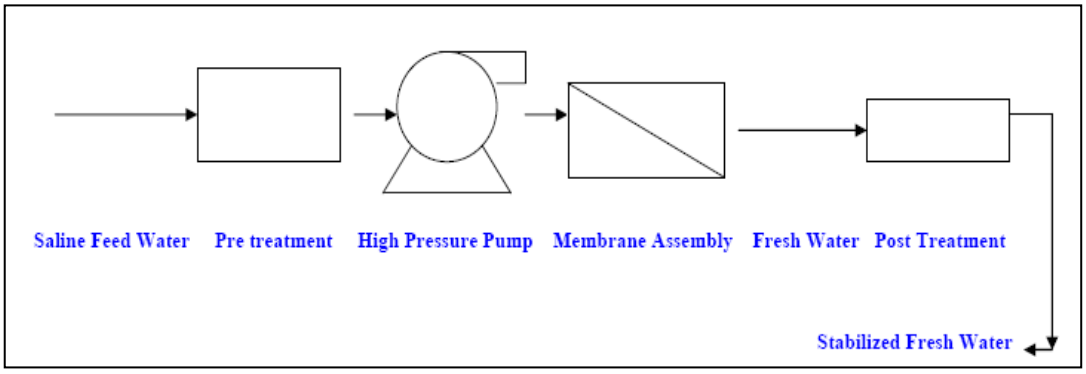
1. การแยกเกลือจากน้ำทะเล น้ำกร่อย เพื่อผลิตน้ำดื่มหรือน้ำสะอาดสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

2. การบำบัดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เพื่อลดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำใต้ดิน ที่เกิดเนื่องจากการใช้สารเคมี เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลงในเกษตรกรรม

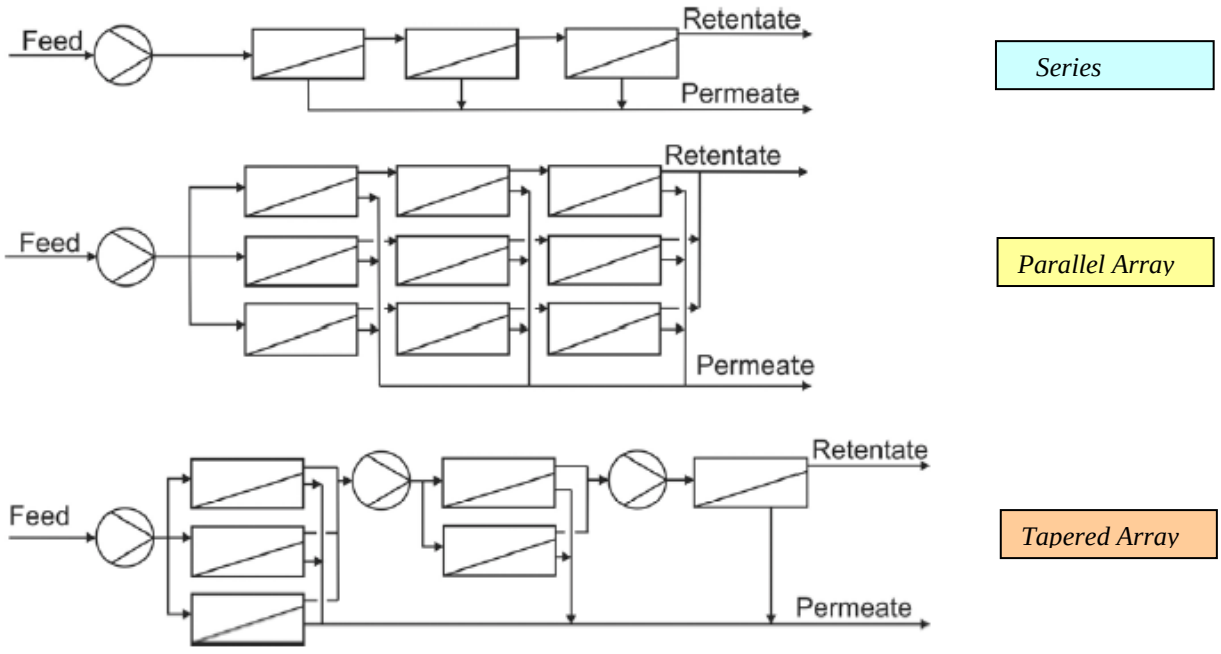
3. การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม แยกโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรม แยกเกลือ กรดไขมัน ไขมัน สารลดแรงตึงผิว และสีย้อม ออกจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น

4. การบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชน แยกของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TDS) เช่นสารอินทรีย์และ อนินทรีย์ที่เป็นพิษ ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้ด้วยวิธีปกติที่ใช้อยู่

5. การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมนม เช่น การเพิ่มความเข้มข้นหางนมจากการผลิตชีส (cheese whey) จากปริมาณ 6%ไปเป็น24% ของแข็งรวม เพื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำผลไม้ จากที่พบว่าการนำกระบวนการออสโมซิสผันกลับมีมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแล้ว กระบวนการออสโมซิสผันกลับยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของกระบวนการดังนี้



รูปที่ 11 แผนผังของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ [15]



รูปที่ 12 รูปแบบการปฏิบัติการของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ ในโรงงานอุตสาหกรรม [15]

1. ความดัน การเพิ่มความดันเป็นการเพิ่มแรงขับดันฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น ทำให้การกักกันอาจเพิ่มขึ้น ถ้าเกลือที่ถูกดูดซับอยู่ก่อนช่วยกีดกันไม่ให้โมเลกุลอื่นๆ ผ่านเยื่อแผ่นไปได้ ทำให้ตัวละลายผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยลง แต่ในหลายๆ กรณีพบค่าการกักกันลดลงเมื่อเพิ่มความดัน ผลของตัวแปรที่มีต่อค่าการกักกันอธิบายได้ยากกว่าฟลักซ์เพราะขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น

2. อุณหภูมิ ฟลักซ์เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิ ~2.3%/ 1 องศา ที่อุณหภูมิสูงความหนืดของสารละลายลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น ทั้งน้ำและตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้ดีขึ้นส่งผลให้ค่ากักกันลดลง

3. ความเข้มข้น ตัวอย่างการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือทำให้ความดันออสโมติกของสารละลายเพิ่มขึ้น ฟลักซ์จึงลดลง และที่ความเข้มข้นสูงโอกาสที่เกลือจะละลาย/แพร่ในเยื่อสูงขึ้นทำให้ค่าการกักกันลดลง

4. อัตราการไหล การเพิ่มอัตราการไหลหรือความเร็วที่สารละลายไหลผ่านผิวหน้าเยื่อแผ่นช่วยลดการสะสมของตัวถูกละลายที่ผิวหนังเยื่อแผ่น ทำให้เกิด CP น้อยลงหรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (k) มีค่าสูงขึ้น ทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้นด้วย

5. pH ความเป็นกรดด่างของสารละลายมีผลต่อการแตกตัวของสารอิเล็กโตรไลท์ (เช่น สารละลายเกลือ) และสามารถมีผลต่อการมีขั้ว (polarity) ของเยื่อแผ่น ตลอดจนอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น

จากข้อจำกัดของกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ การที่จะนำกระบวนการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการในอุตสาหกรรมก็ต้องมีการคำนึงถึงข้อจำกัดด้วยเพื่อให้ได้ เกิดประโยชน์สูงสุด

3. บทสรุป

กระบวนการออสโมซิสผันกลับนั้น มีประโยชน์อย่างมากในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม การแยกเกลือจากน้ำทะเล น้ำกร่อย การบำบัดน้ำผิวดิน การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและชุมชนหรือแม้กระทั่งในอุตสาหกรรมอาหาร โดยกระบวนการนี้การใช้งานที่เด่นที่สุดคือการแยกน้ำหรือบำบัดน้ำเพื่อให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่จะนำมาใช้ดื่มที่สำคัญคือในชีวิตของมนุษย์นั้นได้น้ำเป็นส่วนประกอบหลักและเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ไม่ว่าจะเป็นในประเทศไหนๆก็ตาม ซึ่งหากในอนาคตมีการนำเทคโนโลยีออสโมซิสผันกลับไปพัฒนาอีก ก็จะทำให้การใช้กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ถูกใช้งานในอุตสาหกรรมมากมากยิ่งขึ้นไป ทั้งนี้สิ่งสำคัญคือการเลือกชนิดของเมมเบรน โดยดูจากขนาดของรูพรุน เปอร์เซ็นต์การนำกลับ เปอร์เซ็นต์การรีเจคชั่น ชนิดของไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลายป้อน และหากเป็นกระบวนการออสโมซิสผันกลับที่มีขนาดใหญ่ เช่นในโรงงานอุตสาหกรรม การเลือกลักษณะในการดำเนินการ เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ระบบออสโมซิสผันกลับนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Winston, K. Sirkar, “Membrane Handbook”, Van Nostrand Reinhold, 1992.

[2] A.G. Fane, “An overview of the use of microfiltration for drinking water and waste water treatment” .Annals of the Symposium on Microfiltration for water treatment. Irvine, California, 1994.

[3] V. Savov. “Membrane Filtration”. National Bank for Industrial Microorganisms and Cell Cultures. 2001.

[4] R.W. Baker. “Membrane Technology and Applications”, John Wiley & Sons, Ltd, 2004.

[5] U. Pancharoen. “Graph prediction on the extraction of metal ions via hollow fiber supported liquid membrane”, Chulalongkorn University, 2008.

[6] C. Fritzmann, J. Loewenberg, T. Wintgens, T. Melin, “State-of-the-art of reverse osmosis desalination”, Desalinaion, 216, 2007, pp. 1-76.

[7] Y. C. Tzahi “Forward Osmosis: Principles, applications, and recent developments”, Journal of Membrane Science. 281, 2006, pp.70-87.

[8] R. Jirarattananon, “Process separation of synthesis membrane”, Chemical Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2000.

[9] S.A. Tiwari and K.P. Bhattacharrya. “Hydrodynamic Considerations of Reverse Membrane Modules & their Merits and Demerits with Respect to their Applications”, BARC Newsletter, 249, 2003.

[10] Environmental Protection Technology. Capsule Report. Reverse Osmosis Process. EPA/625/R96/009. September 1996.

[11] P. T. Hai, M.N.A Hawlader. “The Effect of pH on the Efficiency of Reverse Osmosis Desalination Plant”, 2003.

[12] P. T. Hai, M.N.A Hawlader, The Effect of pH on The Efficiency of Reverse Osmosis Desalination Plant, National University of Singapore, 1999.

[13] R. G. Sudak. Reverse Osmosis. “Handbook of Industrial Membrane Technology”, New Jersey: Noyes Publications, 1990.

[14] R. W. Baker. Membrane Technology and Application. New Jersey: Mc. Graw- Hill, 2000.

[15] D. H. Paul, A. Rahman, M. Abanmy. “Reverse Osmosis Membrane Fouling”, The Final Frontier. Ultra Pure Water, 7, 1990, pp. 25-36.