Advanced Water Treatment

1. Name : Pornsak Samornkraisorakit

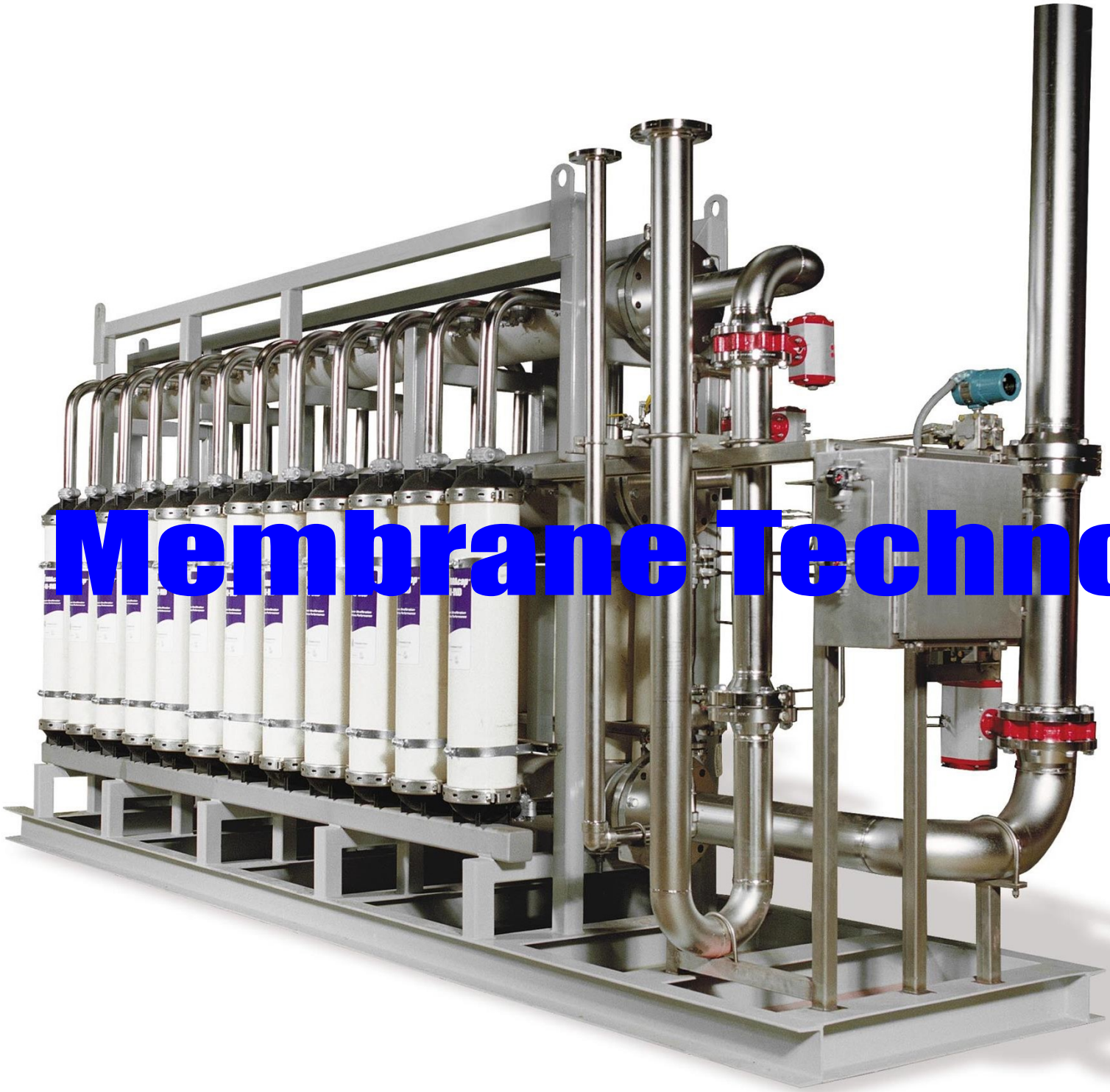
2. Position : Director of Samsen Water Treatment Department

3. Working for Metropolitan Waterworks Authority

- Educational Background :

1. Bachelor Degree in Sanitary Science from Mahidol University,1993
2. Master Degree in Environmental Engineering from Kasetsart University,1998

- Training course Yokohama Training Program 2001 in Japan



Membrane Technology

History of Membranes

ค.ศ.1748

- Abbe Nollett (Germany) discovered Osmosis (สังเคราะห์เส้นใยฝ้าย)

ค.ศ. 1865

- Fick (England) made 1st Synthetic Membrane (วิจัยเกี่ยวกับโลหิตและเชื้อรา)

ค.ศ. 1907

- Bechold (Germany) (เปลี่ยนขนาดรูฝอยของเส้นใยฝ้าย)

ค.ศ. 1919

- Zsigmody (Germany) สามารถควบคุมขนาดของรูพรุนได้อย่างอิสระ
- ทำการจดสิทธิบัติเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ในชื่อ "The name of Membrane Filter"

ค.ศ. 1927

- MF became Commercially available(เริ่มนำมาใช้ในทางการค้า)

ค.ศ. 1950

- 1st RO Membrane Created

ค.ศ. 1957

- US Public Health Service accepts MF for Coliform Testing

Membranes Enter Municipal Market

A.D. 1950

- Electrodialysis

A.D. 1960

- Reverse Osmosis

A.D. 1980

- Nanofiltration

A.D. 1990

- Membrane Filtration

US Membrane History

- ในปี ค.ศ. 1990 เริ่มนำระบบ Reverse Osmosis มาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย
- ในปี ค.ศ. 1990 เริ่มมีการนำระบบ Membrane Bioreactor เข้ามาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย(MBR)
- กลางปี ค.ศ. 1990 เริ่มมีการนำมาใช้กับน้ำทะเล (RO Seawater)
- กำลังการผลิตน้ำแบบ Reverse Osmosis ในระยะแรกต่ำกว่า 1 ล้านแกลลอน/วัน
- ในปี ค.ศ. 1993 มีการใช้งานระบบ Membrane Filtration กันอย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าระบบผลิตน้ำจนได้อัตราการผลิตสูงถึง 3.6 ล้านแกลลอน/วัน
- ปัจจุบันมีระบบผลิตน้ำที่ใช้ Membrane มากกว่า 250 แห่ง
- แนวโน้มที่จะใช้ Membrane ในระบบผลิตน้ำมีมากขึ้นและมีขนาดกำลังการผลิตสูงขึ้น

  — Minneapolis – 70 and 95 ล้านแกลลอน/วัน

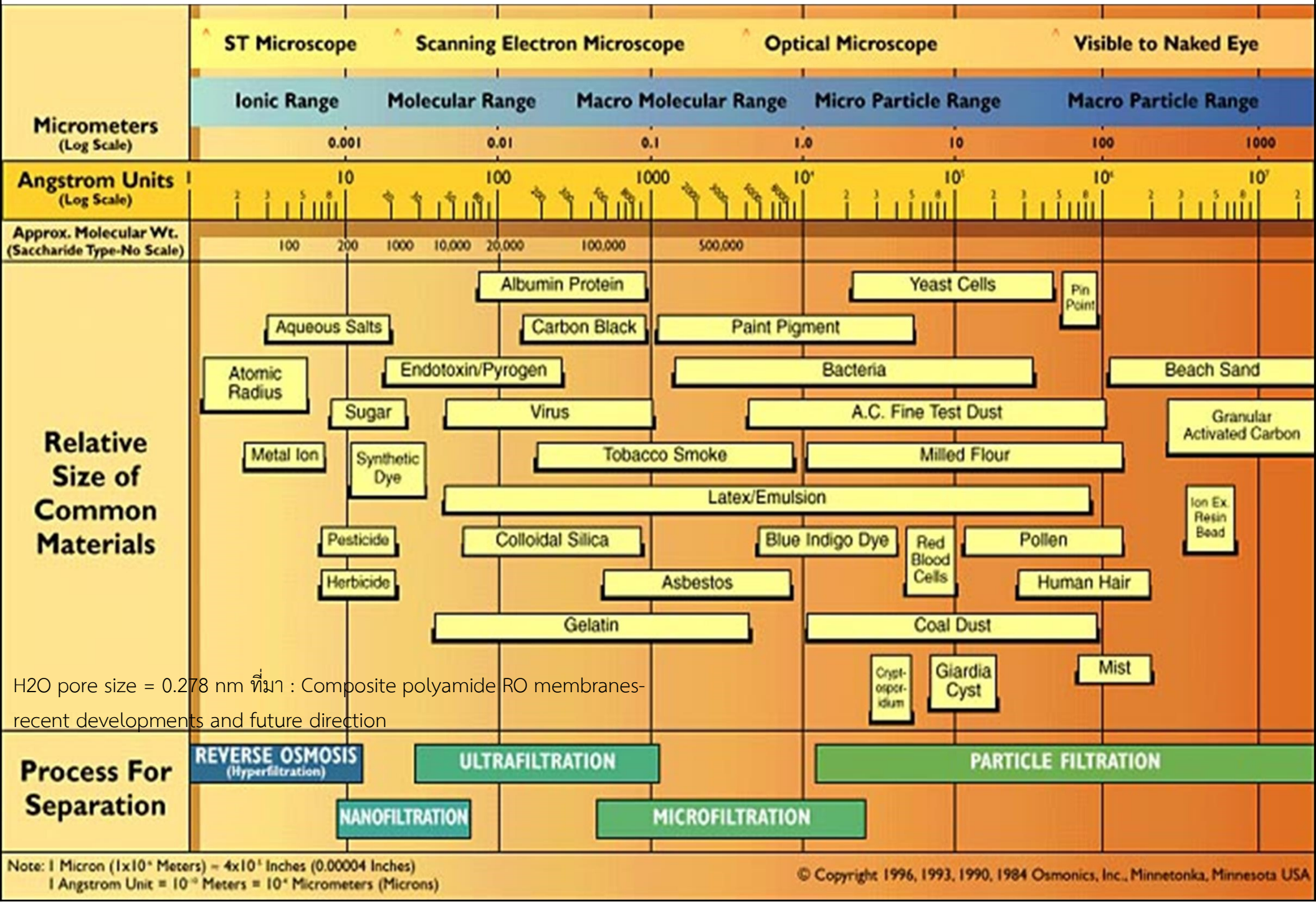
  — Singapore – 72 ล้านแกลลอน/วัน

Conventionally Membrane systems are classified as

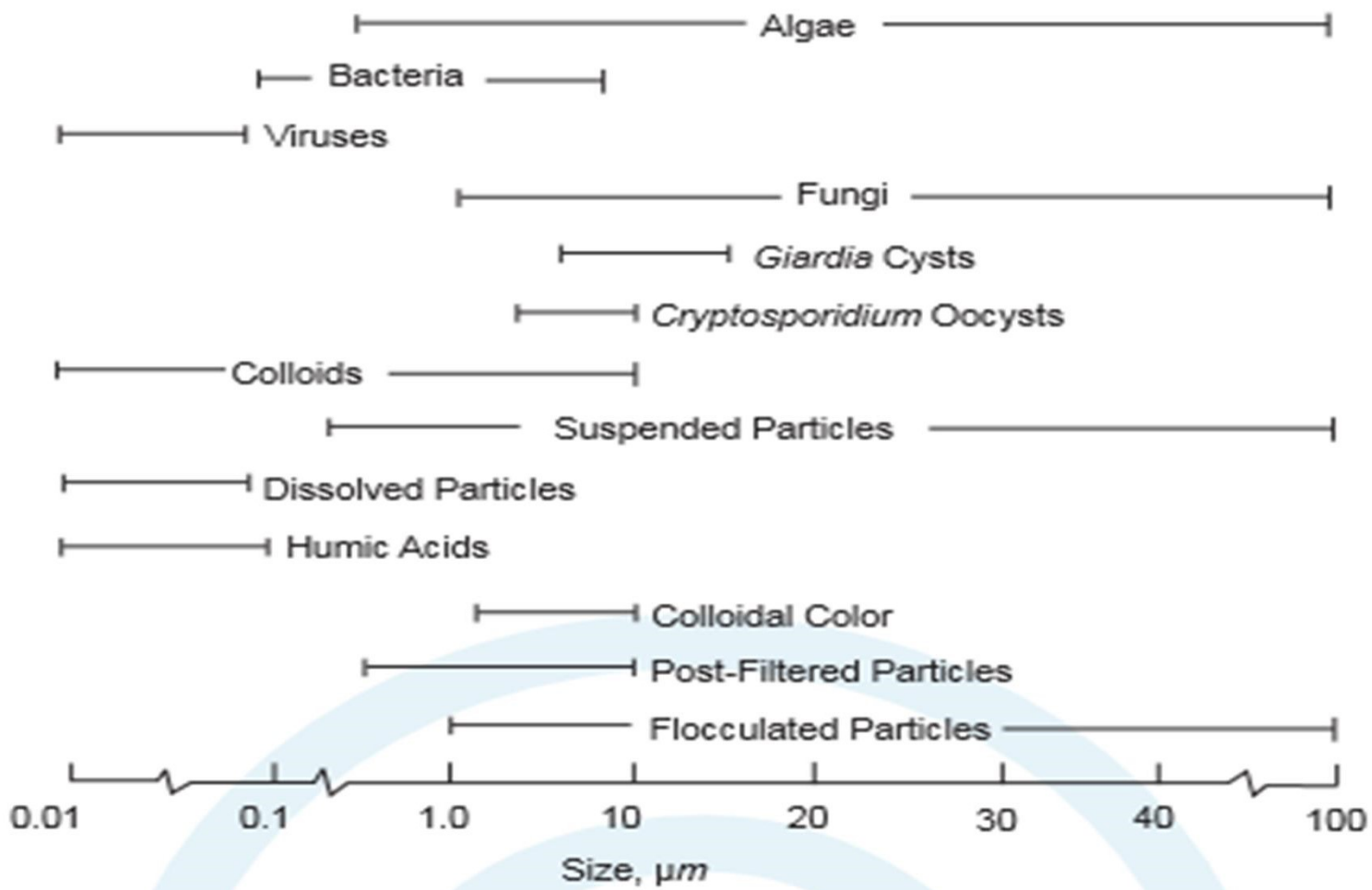
1. Microfiltration Membrane (MF)
2. Ultrafiltration Membrane (UF)
3. Nanofiltration Membrane (NF)
4. Reverse Osmosis Membrane (RO)
5. Forward Osmosis (FO)

based on membrane's pore size, these membranes process which is used pressure to drive water across the membrane can be used in water treatment, wastewater treatment and pure water plants.

The Filtration Spectrum



H2O pore size = 0.278 nm ที่มา : Composite polyamide RO membranes-recent developments and future direction

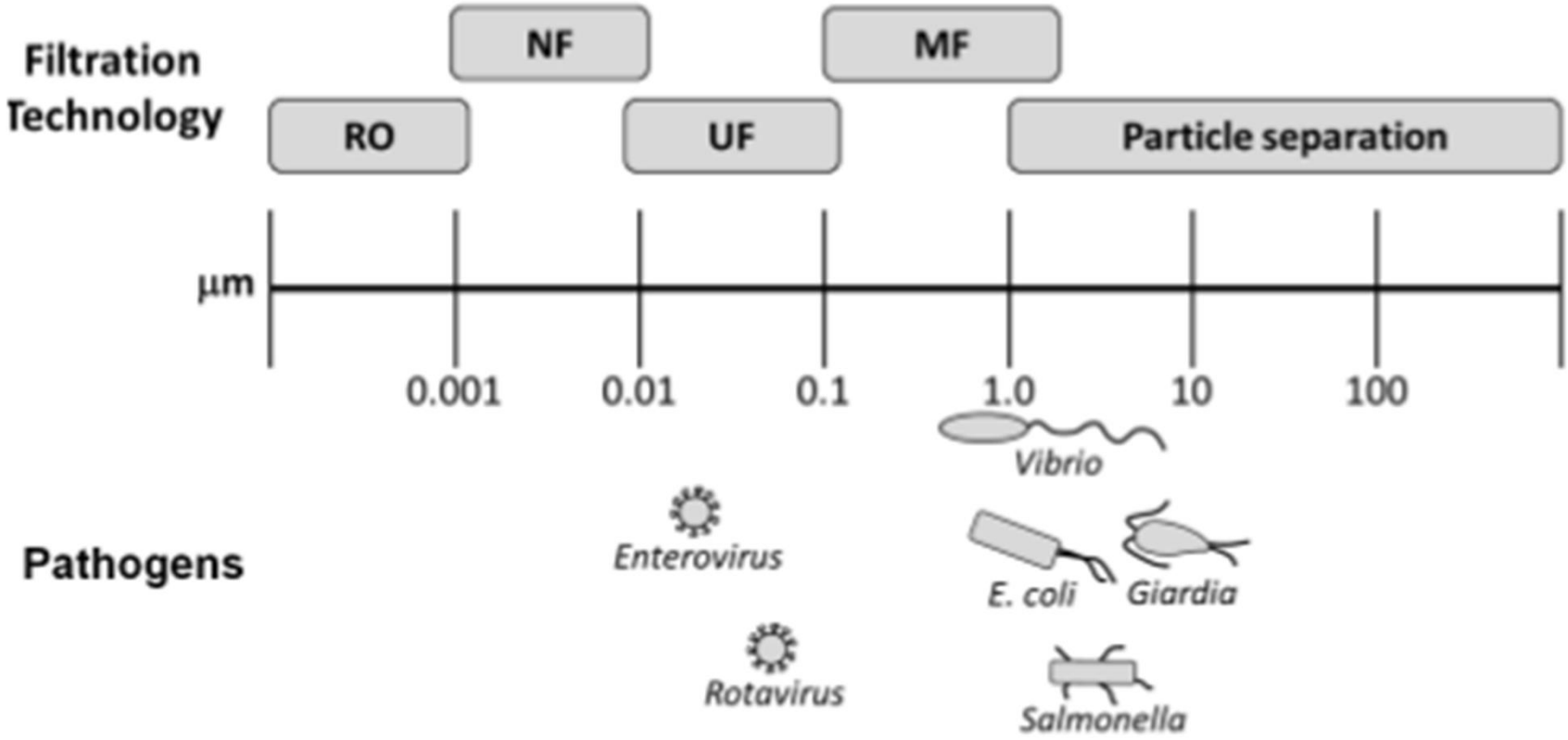


Source: McTigue and Cornwell 1988.

Figure 1-1 Particulates present in source and finished water

Source : Operational Control of Coagulation and Filtration Process. AWWA Manual M37.Third Edition.2011

Figure 1. Membrane filtration spectrum for rejection of pathogenic microorganisms (adapted from [11]).



ที่มา : Removal of Pathogens by Membrane Bioreactors: A Review of the Mechanisms, Influencing Factors and Reduction in Chemical Disinfectant Dosing., Faisal I. Hai 1,*, Thomas Riley 1, Samia Shawkat 2, Saleh F. Magram 3 and Kazuo Yamamoto 4. Water 2014, 6, 3603-3630; doi:10.3390/w6123603. www.mdpi.com/journal/water

Table 1. Membrane types based on filtration class*

Membrane type based on filtration class	Typical pore size	Typical targets removed	Typical operating pressure
MF	0.1-10 μm	Suspended solids, bacteria, protozoa	0.1-2 bar
UF	3-100 nm (1-100 kDa)	Colloidal or molecular particles, proteins, most bacteria, partially viruses	1-5 bar (cross-flow) 0.2-0.3 bar (dead-end and submerged)
NF	1-3 nm (250-400 Da)	Viruses, natural organic matter (NOM), divalent or multivalent ions	5 – 20 bar
RO	< 125 Da	Almost all impurities, including monovalent ions	10 – 100 bar
FO	< 125 Da	Almost all impurities, including monovalent ions	Osmotic pressure

* Modified from Membrane technologies for water applications, European Commission, 7th Framework programme, 2010 applications

1 dalton = 1.65×10^{-24} grams : น้ำหนักของสารละลายที่เมมเบรนยอมให้ไหลผ่านรูพรุน

ที่มา : **JUN YIN,2011,** FABRICATION AND MODIFICATION OF NANOCOMPOSITE MEMBRANES FOR ENHANCED WATER PURIFICATION.

H_2O pore size = 0.278 nm.

ที่มา : Composite polyamide RO membranes-recent developments and future direction

TABLE 7.2

Physical and Chemical Characteristics of HAB Toxins

Toxin	Molecular Weight
Microcystin-LA	910.06
Microcystin-LF	986.16
Microcystin-LR	995.17
Microcystin-LY	1002.16
Microcystin-RR	1038.20
Microcystin-YR	1045.19
Cylindrospermopsin	415.43
Anatoxin-a	165.23
Saxitoxin	299.29

HAB : Harmful Algae Blooms

Teixeira and Rosa examined the removal of microcystin-LR, -LY, and -LF by NF and found good removal (>97%) of this toxin for a variety of experimental conditions [2]. The NF membrane (NFT50) used in their experiments was a thin-film composite made of polypiperazine amide on a polysulfone/polyester support material. The membrane had a pore size of 0.43 nm and an MWCO of 150 Da. As a result, NFT50 can be considered a "tight" NF membrane with pore size and MWCO on the smaller end of the spectrum for NF membranes. The similarly high rejection percentage of all the toxins is expected based on the size of microcystins and size exclusion by the NFT50 membrane. The lowest molecular weight of all the toxins examined was that of microcystin-LF, with a molecular weight of 986.16 Da. Water quality parameters, including natural organic matter (NOM) composition and salt concentration, had little or no impact on microcystin rejection because of the predominance of size exclusion in controlling removal.

More recently, Dixon et al. [3] examined the removal of microcystins by NF, including an NF membrane with a larger pore size in the loose range. Four different microcystin variants were examined: microcystin-LR, -YR, -RR, and -LA. Four different membranes with varying MWCO and materials of construction were included in the study. The MWCO of the membranes varied from 100 to 800 Da. The membranes were made of a variety of materials, including polyamide, sulfonated polyethersulfone, and a combination of polyamide/polysulfone. For microcystin, high toxin rejection was observed for the three membranes with MWCO values of 300 Da or less, which was expected based on the molecular weight of all the microcystins examined. The molecular weights of microcystin-LR, -YR, -RR, and -LA were 995.17, 1045.19, 1038.20, and 910.06 Da, respectively, all significantly greater than 300 Da.

Source : **Harmful Algae Blooms in Drinking Water: Removal of Cyanobacterial Cells and Toxins.** Harold W. Walker. CRC Press, Dec 18, 2015

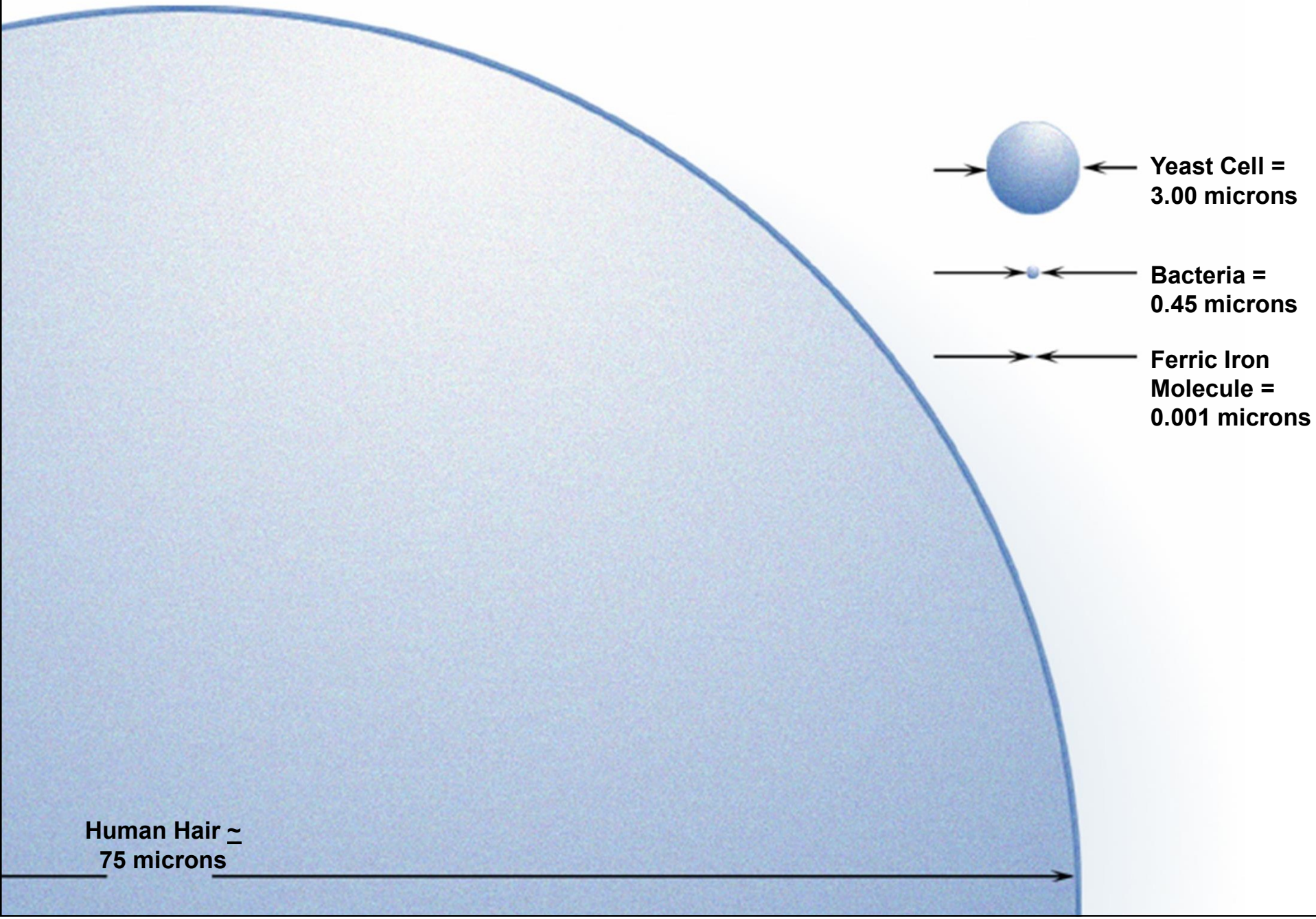
Although not depicted in Figure 3-2, microfiltration and ultrafiltration may also effectively address intracellular toxins by cell removal, without significant cell lysis and associated release of toxins into the water. Operational considerations if using micro- or ultrafiltration membranes for cyanobacteria cell removal during a HAB include evaluating backwash and cleaning frequencies due to plugging of screens and reduced flux and permeability. Microfiltration and ultrafiltration are not effective means of removing extracellular toxins however, as the molecular weight cutoff for these types of filters is greater than the molecular weight of the toxins (AWWA, 2010). For further discussion on membranes, see the "Treatment considerations for extracellular toxins" section below.

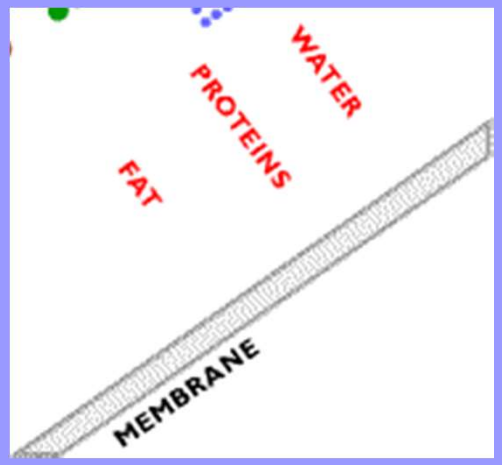
Source : Water Treatment Optimization for Cyanotoxins Version 1.0. EPA 810-B-16-007. October 2016

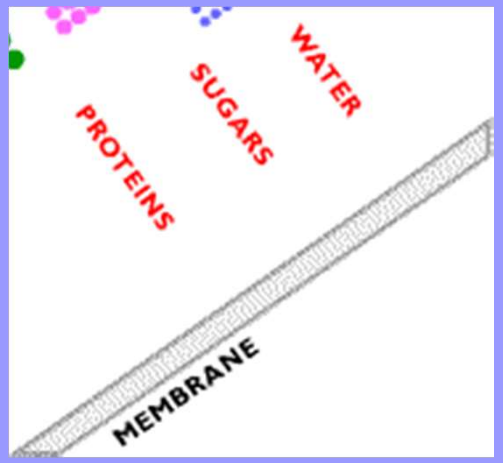
The following subsections describe some of the more common analytical methods for evaluating cyanotoxins in water. The description is not all-inclusive, and the body of available analytical methods continues to grow. When considering various methods, one should verify that the detection limit is appropriate for finished water characterization (e.g., the Health Advisory levels for children less than six years old of 0.3 µg/L for total microcystins and 0.7 µg/L for cylindrospermopsin). As with any analytical method, it is important to follow the established sample collection, preservation, storage, and preparation steps (Kamp et al., 2016). For example, it is important to quench[5] finished water samples during collection if exposed to oxidants, protect samples from sunlight, and chill samples at a temperature according to the method prior to analysis (Ohio EPA, 2015; USEPA, 2015g,h; Kamp et al., 2016).

Source : **Harmful Algae Blooms in Drinking Water: Removal of Cyanobacterial Cells and Toxins.** Harold W. Walker. CRC Press, Dec 18, 2015

Particle Size







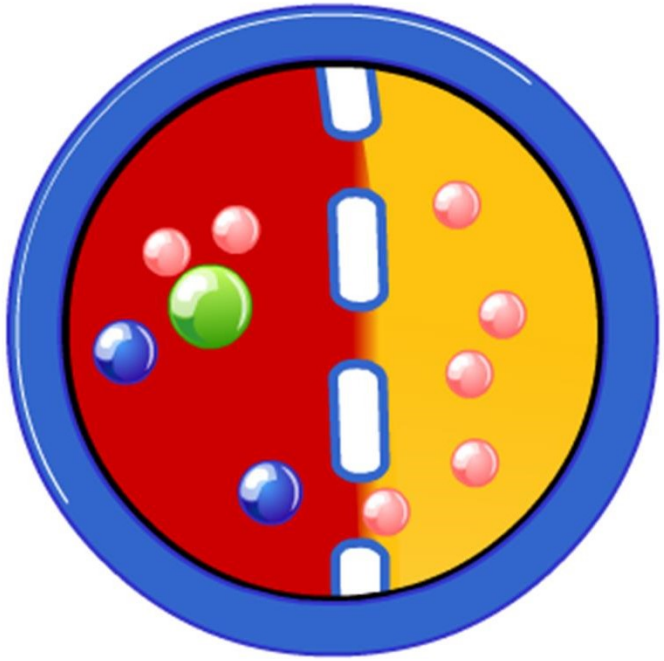
MF membrane

UF membrane

NF membrane

RO membrane

MOLECULES SIZES

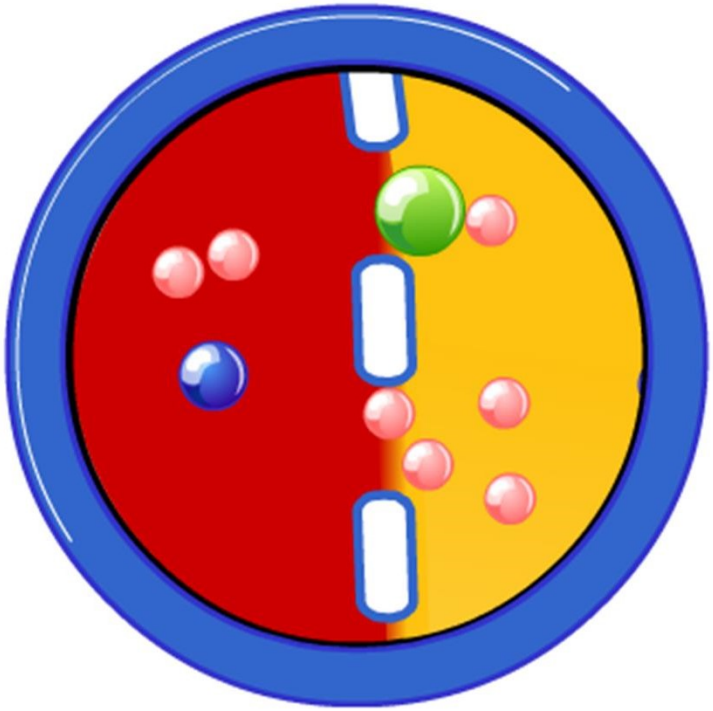


Small pore size

© Copyright 2004 Gambro Lundia AB

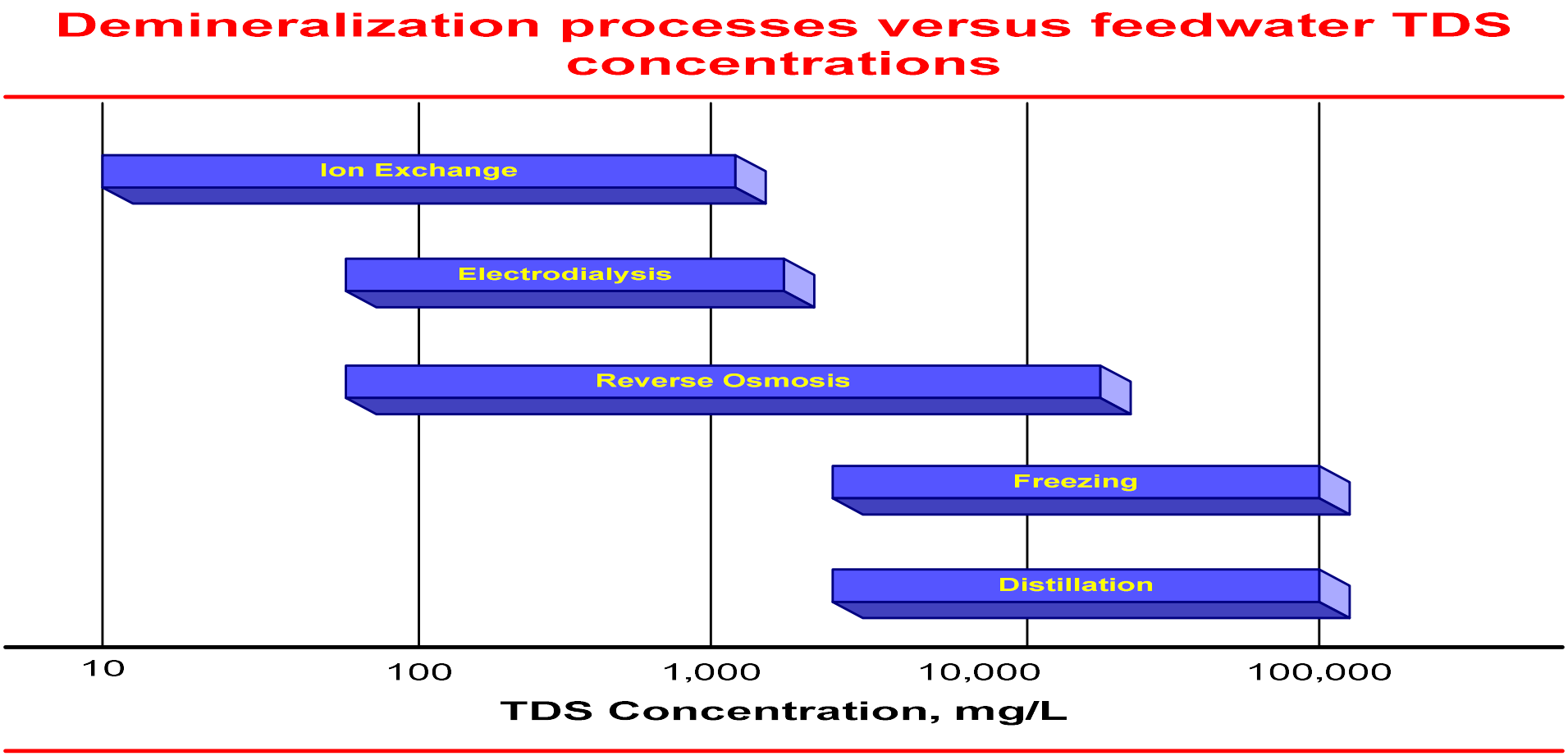
© Copyright 2004 Gambro Lundia AB

MOLECULES SIZES



Large pore size

Demineralization Processes



TDS(mg/l)x(1.5 ถึง 1.67) = Conductivity(micromho/cm)

Classification of Water Based on Salinity and Source

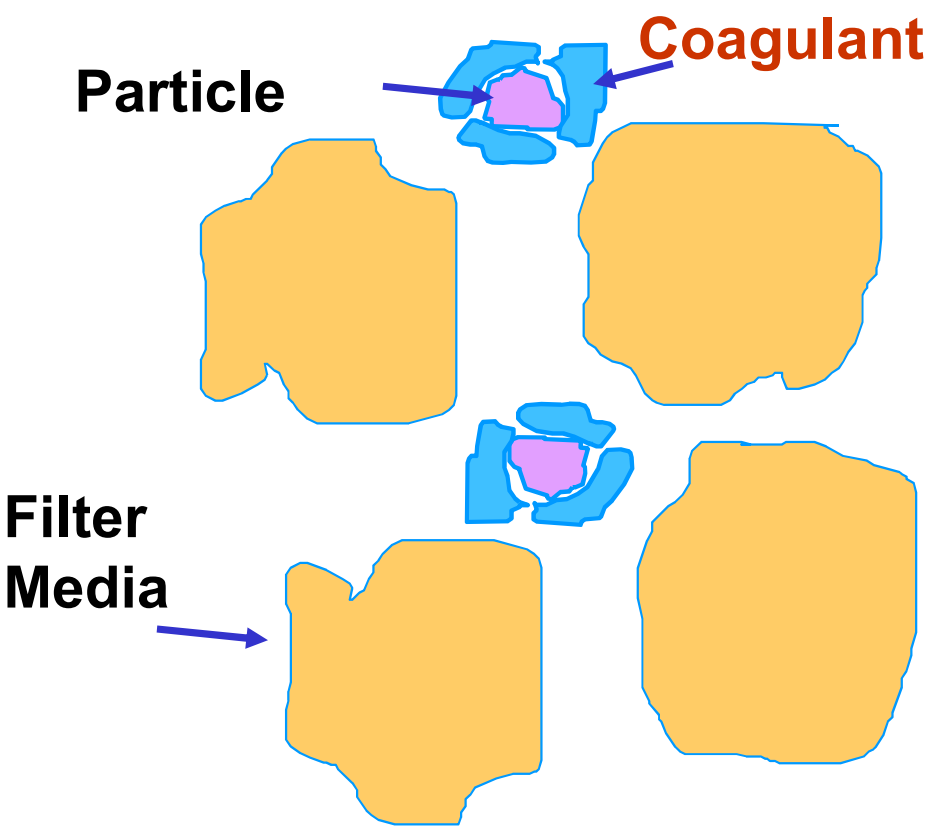
Classification	Source	TDS(mg/l)
Fresh or sweet	Rivers, lakes ground	Less than 500
Slightly saline	Ground, river, lake	500 – 1,000
Mildly saline	Brackish mixture of saline and fresh water, estuary	1,000 – 2,000
Moderately saline	Inland and brackish mixture	2,000 – 10,000
Several saline	Inland and coastal	10,000 – 30,000
Sea water [a]	Offshore waters of oceans and seas	30,000 – 36,000

a The major elements and their typical concentrations in sea water are Cl=19,400 mg/l, Na=10,800 mg/l, K=380 mg/l, Mg=1,350 mg/l, S=885 mg/l, Ca=422 mg/l, Br=68 mg/l, C=28 mg/l, Sr=8 mg/l and B=4 mg/l

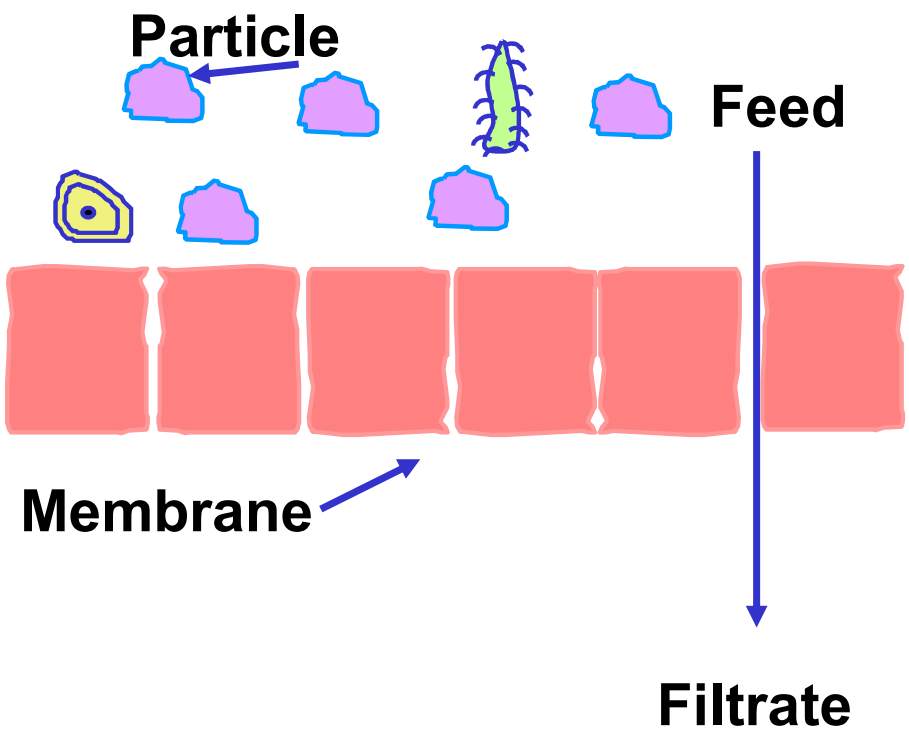
Source : Syed R.Qasim.,Edward M. Motley.,Guang Zhu. Water Works Engineering. 2000

Filtration Comparison

Conventional Filtration



Membrane Filtration



ข้อแตกต่างระหว่างการกรองทรายกับการกรองโดยใช้ Membrane

การกรองทราย(Sand Filter)	การกรองแบบ Membrane
Filtration rate = 120 – 250 m/d	**Membrane filtration flux** = 0.5 – 1 m/d per membrane pressure difference(98.1 kpa)
Filtration Area Practically < 100 m^2	**Filtration Area** 100 – 300 m^2/ พื้นที่ติดตั้ง 1 m^2
Filtration Mechanism **-Interception**(กัก)**, collision**(ชนปะทะ)**, electrostatic attraction**(แรงดูดทางไฟฟ้า) **-Straining only happens in cake filtration** (ชั้นตะกอน)	**Filtration Mechanism** **-Concentration Polarization** **(**ยกเว้น **Microfiltration(MF))** **-Sieving**(คัดเลือก)**/Straining**(กรอง)

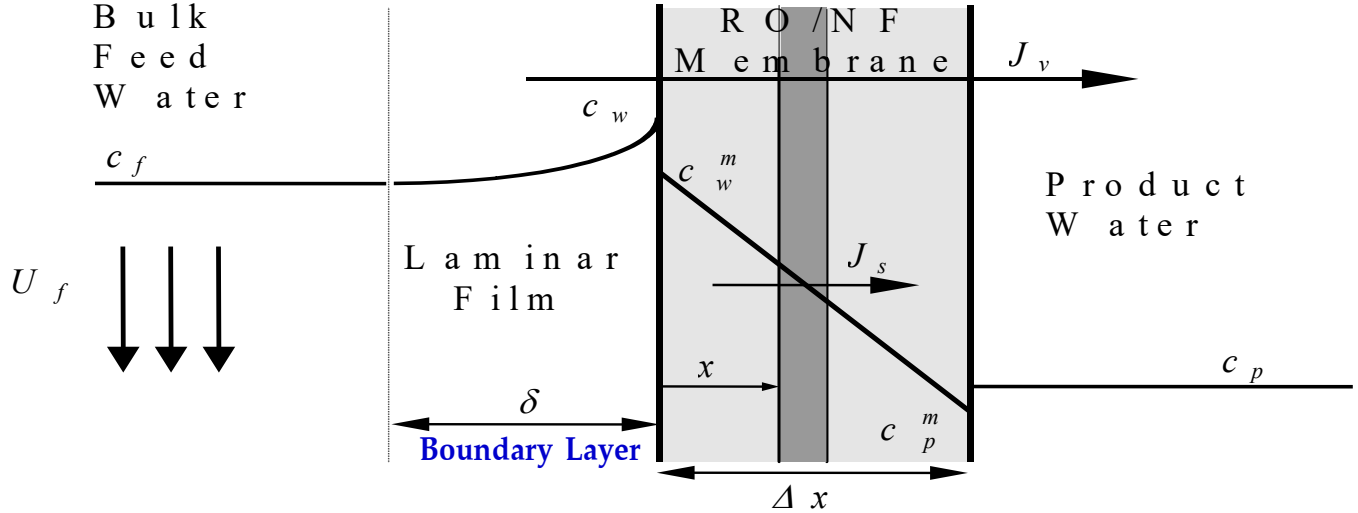
RO SEAWATER Operate at fluxes of approximately 14 – 20 liters per meter squared per hour(LMH),AWWA 2011

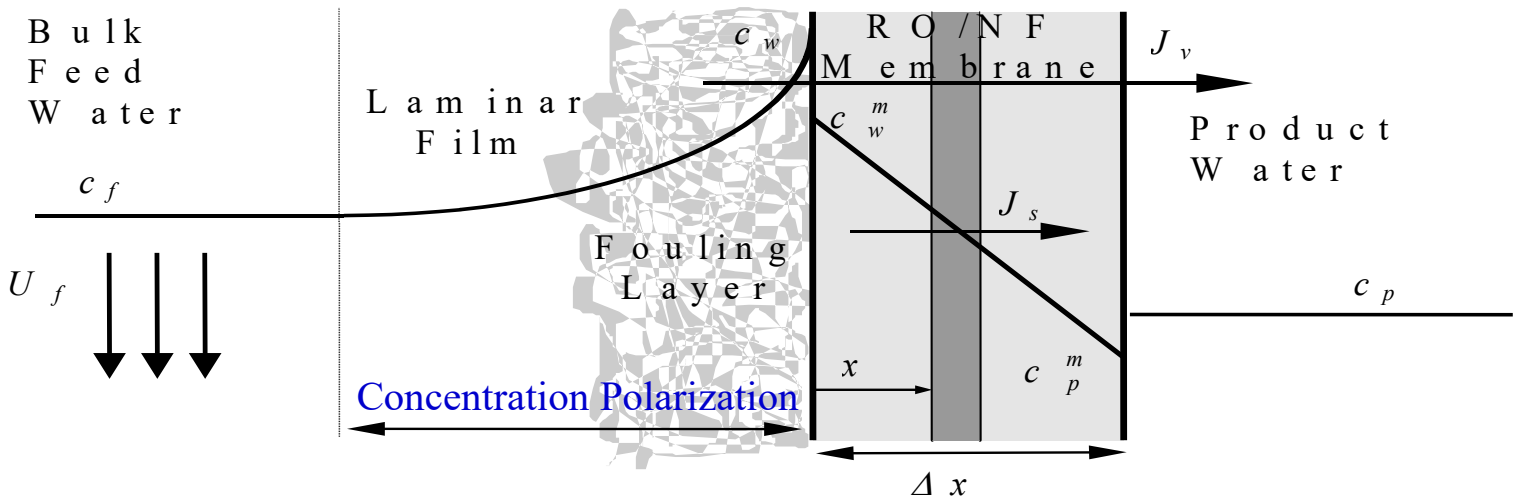
สาเหตุของการเกิด Concentration Polarization

- เกิดจากการตกผลึกของสารละลายต่างๆอยู่บนผิวหน้า membraneในบริเวณชั้นน้ำที่เรียกว่า Boundary Layer ชั้นน้ำดังกล่าวจะอยู่อย่างอิสระความหนาของชั้นดังกล่าวจะแปรผกผันกับอัตราการไหลและสภาพปั่นป่วน สาเหตุเนื่องจากน้ำจะถูกบังคับให้วิ่งผ่านชั้นน้ำนี้และวิ่งผ่านผิวหน้า membrane เมื่อวิ่งผ่านไปเรื่อยๆสารละลายบางชนิดที่มีขนาดใหญ่กว่ารู membraneไม่สามารถผ่านรูไปได้จะถูกกำจัดออกไปแต่มีสารละลายบางชนิดจะติดอยู่บนผิวหน้าเมื่อสะสมกันมากๆจนมีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำดิบหลายเท่าจนถึงจุดอิ่มตัวก็จะเริ่มตกผลึกและอุดตันอยู่บนผิวหน้าเรียกว่าเกิด Concentration Polarization

การแก้ไขโดยการเพิ่มความเร็วของน้ำผ่านผิวหน้า membrane ให้เพิ่มขึ้นและสร้างสภาพปั่นป่วนที่บริเวณผิวหน้า membrane เพื่อไปรบกวนธาตุที่ตกผลึกให้เกิดการแพร่กระจายกลับมาอยู่ในน้ำอีกครั้ง

ปรับรูปแบบ pressure vessels ที่วางในระบบใหม่ (Christmas tree flow arrangement)





- Interfacial Processes
  - Chemical Fouling/Biofouling(ตกตะกอน)
  - Concentration Polarization
  - Scaling(ตกตะกอนผลึก)

ผลกระทบของ Concentration Polarization

1. ทำให้แรงดัน Osmotic Pressure สูงขึ้น
2. อัตราการไหลของน้ำผ่าน membrane ลดลง
3. สารปนเปื้อนในน้ำสะอาดสูงขึ้น
4. อายุของ RO Element ลดลง
5. เกิดการตกผลึกของ $CaCO_3$ or $CaSO_4$

Membrane สามารถแบ่งแยกได้ ดังนี้

1. แบ่งตามวัสดุที่ทำและขนาดของรูกรองน้ำ
2. แบ่งตามแรงที่เข้าไปกระทำและทิศทางการไหลของน้ำก่อนเข้า membrane
3. แบ่งตามกลไกในการกรอง – Filtration or Concentration Polarization
4. แบ่งตามรูปทรง สัญฐานทางคณิตศาสตร์
5. แบ่งตามคุณภาพน้ำที่ต้องการใช้สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ

Membrane Materials

1. Organic Membrane

- *Microfiltration (MF)*
- *Ultrafiltration (UF)*
- *Nanofiltration (NF)*
- *Reverse Osmosis (RO)*

2. Inorganic Membrane

- *Microfiltration (MF)*
- *Ultrafiltration (UF)*

24

วัสดุที่นำมาผลิต Membrane Element

1. Organic Membrane

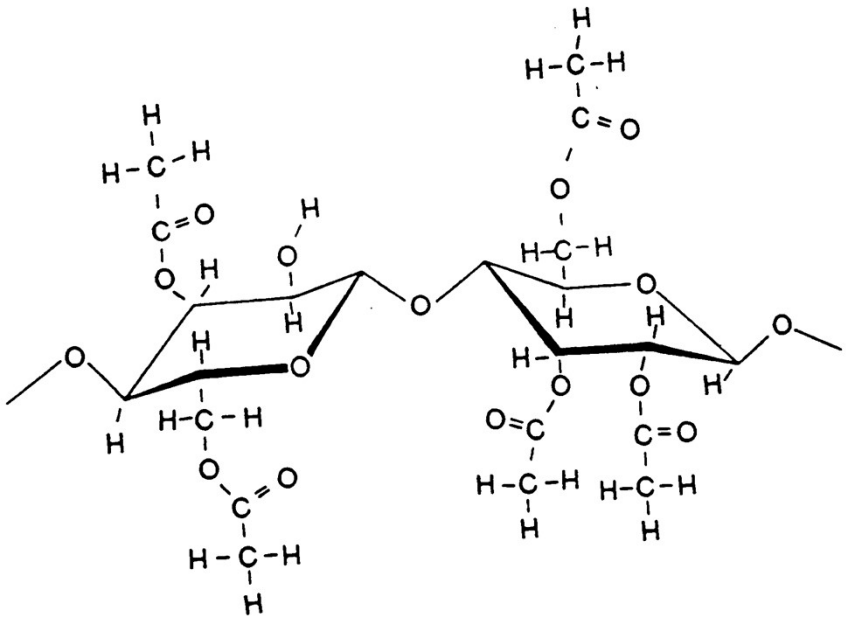
- Polyethylene
- Polyvinylidenefluoride (PVDF)-Hollow Fiber Membrane
- Cellulose acetate (CA) and Cellulose Triacetate (CTA)
- Polyamide (ปัจจุบันนิยมนำมาใช้ทำเป็นชั้น active layer)
- Polyethersulfone - Hollow Fiber Membrane, Support layer RO

2. Inorganic Membrane

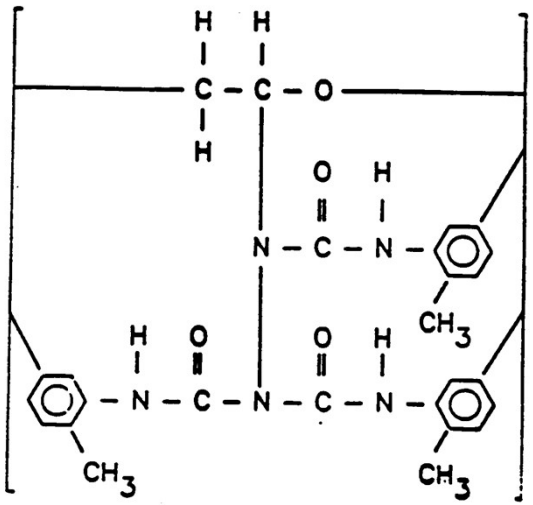
- Zirconium Oxide (ZrO_3)
- Aluminium Oxide (Al_2O_3)
- Titanium Oxide (TiO_2)

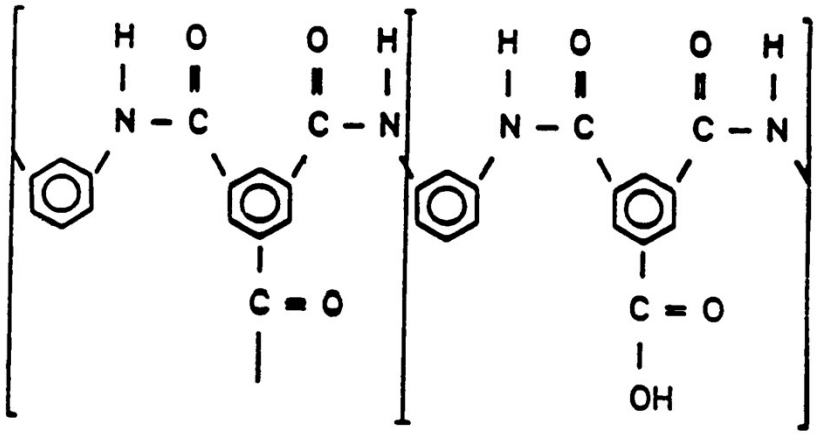
Membrane Polymers

- Cellulose Acetate and Derivatives



- Polyamides





Reverse Osmosis Membrane Structure and Composition

- Two common type of membranes:
  - Cellulose acetate and Cellulose Triacetate – older designs
  - Polyamide (Thin Film Composites(TFC)) – newer design
  - Polyamide (Thin Film Nanocomposites (TFN)) – newer design (ปี 2007)

Cellulose Acetate (CA) and Cellulose Triacetate (CTA)

ข้อดี

1. ทนทานต่อการทำลายจากพวก Bacteria
2. ทนทานต่อสาร Oxidizing Agent เช่น Cl_2 สามารถทนความเข้มข้นของ Cl_2 ได้สูงถึง 1 mg/l ในช่วงเวลาสั้นๆ
3. สกัด Salt Rejection ได้ถึง 95 %
4. ราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ Membrane ชนิดอื่นๆ

ข้อเสีย

1. ใช้งานได้ในช่วง pH 4.5 - 7 ถ้าเกิน 7 ผิว Membrane จะเสีย
2. ความดันที่ใช้ในการกรองค่อนข้างสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน
3. ทนทานต่ออุณหภูมิได้ไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส

Thin Film Composite (TFC) or Aromatic Polyamide

ข้อดี

1. ใช้งานได้ในช่วง pH 2 - 10
2. ทำงานได้ที่อุณหภูมิสูง 45 องศาเซลเซียส
3. สกัด Salt Rejection ได้ถึง 99 %
4. ความดันที่ใช้ในการกรองต่ำเมื่อเทียบกับ CA และ CTA
5. มีโอกาสถูกเคลือบ/อุดตัน (fouling) จากสารอินทรีย์ต่ำ

ข้อเสีย

1. ทนทานต่อการทำลายจากพวก Bacteria ได้น้อยกว่า CA และ CTA
2. ไม่ทนทานต่อสาร Oxidizing Agent เช่น Cl_2 ความเข้มข้น 0.1 mg/l ที่เวลา 1,000 ชั่วโมงก็จะทำให้เสียหาย
3. ราคาสูงกว่า CA และ CTA

Reverse Osmosis Membrane Structure and Composition

Comparison of Membrane Characteristics

Characteristics	Cellulose Acetate	Thin film Composite
Net Driving Pressures:	400 psi	200 psi
NaCl Rejection:	92-97%	98 - 99%
Flux Rate at 200 psi, 77°F	25 GFD	25 - 30 GFD
Operating pH range:	4.0 - 6.0	3.0 - 10.0
Cleaning pH range:	3.0 - 6.0	2.0 - 12.0
Cost relative to tin film composite membrane:	Lower	-
Allowable feedwater chlorine concentration:	1.0 mg/L	none
Maximum operating temperature:	104°F (40°C)	113°F (45°C)
Salt Passage increase after 3 years	2X	<30%
	Subject to biological attack	Not subject to biological attack
	Subject to hydrolysis	Higher fouling rates than CA
	Most suitable for treatment of municipal wastes and some heavily pretreated surface water supplies (due to lower fouling rate vs. thing film)	Higher rejection and flux rates than CA
		Sensitive to oxidants in feedwater

	เมมเบรน CA แบบเกลียว	เมมเบรน PA แบบเกลียว
สารแขวนลอย		
ก) ความขุ่น (NTU)	< 1.0	< 1.0
ข) SDI	≤ 4.0	< 4.0
องค์ประกอบที่เป็นไอออน		
ก) เหล็ก (มก./ลิตร)	< 2.0	< 2.0
ข) แมงกานีส (มก./ลิตร)	< 0.5	< 0.5
ค) สตรอนเทียม (ร้อยละของความเข้มข้นอิ่มตัว	2000	3000
ง) แบเรียม (ร้อยละของความเข้มข้นอิ่มตัว	5000	3000
จ) ซิลิกา (มก./ลิตรในน้ำข้นโดยปราศจากสารหน่วง)	< 160	< 160
สารเติมแต่งทางเคมี		
ก) คลอรีนตกค้าง (ส่วนในล้านส่วน)	< 1.0	ND
ข) สารหน่วงตะกรัน (มก./ลิตรในน้ำข้น)	12-18	12-18
ค) ความเป็นกรด (pH)	5.5-6.0	4-10
อุณหภูมิน้ำป้อนสูงสุด (^{o}C)	40	45
ดัชนีความอิ่มตัวแลงเลียร์โดยมีสารหน่วงตะกรัน		+ 1.8 to +2.0
ผลิตภัณฑ์ละลาย ($CaSO_4$) โดยมีสารหน่วงตะกรัน	150%	150%

R.O. Contaminant Rejection

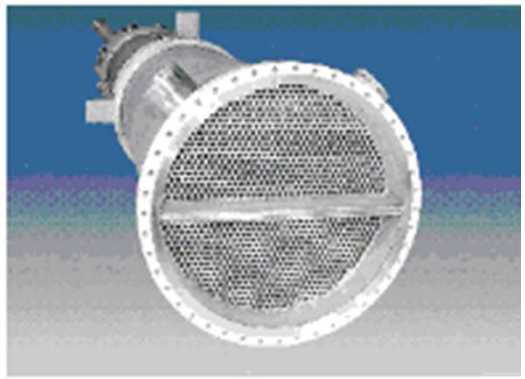
Inorganics	CTA Rejection	TFC Rejection	inorganics	CTA Rejection	TFC Rejection
Sodium	85-90%	90-95%	Fluoride	85-90%	90-95
Calcium	90-95%	93-98%	Phosphate	90-95%	93-98%
Magnesium	90-95%	93-98%	Chromate	85-90%	90-95%
Potassium	85-90%	90-95%	Cyanide	85-90%	90-95%
Iron	90-95%	93-98%	Sulfate	90-95	93-98%
Manganese	90-95%	93-98%	Boron	30-40%	55-60%
Aluminum	90-95%	93-98%	Arsenic+3	60-70%	70-80%
Copper	90-95%	93-98%	Arsenic+5	85-90%	93-98%
Nickel	90-95%	93-98%	Selenium	90-95%	93-98%
Zinc	90-95%	93-98%	Radioactivity	90-95%	93-98%
Strontium	90-95%	93-98%	Biological&Particles		
Cadmium	90-95%	93-98%	Bacteria	>99%	>99%
Silver	90-95%	93-98%	Protozoa	>99%	>99%
Mercury	90-95%	93-98%	Amoebic Cysts	>99%	>99%
Barium	90-95%	93-98%	Giardia	>99%	>99%
Chromium	90-95%	93-98%	Asbestos	>99%	>99%
Lead	90-95%	93-98%	Sediment/Turbidity	>99%	>99%
Chloride	85-95%	90-95%	Organics		
Bicarbonate	85-90%	90-95%	Organics MW>300	>90%	>99%
Nitrate	40-50%	85-90%	Organics MW<300	0-90%	0-99%

CTA-Cellulosic Membrane
TFC-Thin Film Composite

All rejections nominal for 60 psi net pressure and at 77°F

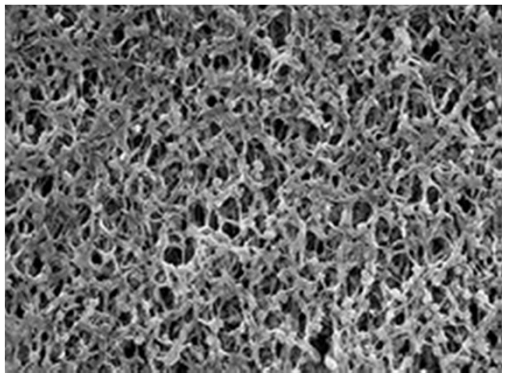
Different material

Membrane can be classified by its material: one is organic material such as organic polymers : cellulose acetate (CA) , polyamide (PA) , polysulfide (PS), vinvlidene fluoride (VF),acrylonitrile (AN), etc… and another type is inorganic material such as ceramic stainless steel etc …

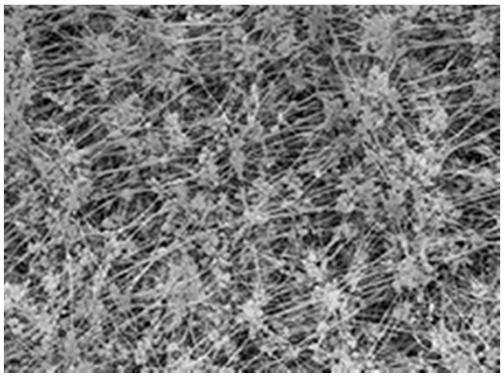


Types of Media

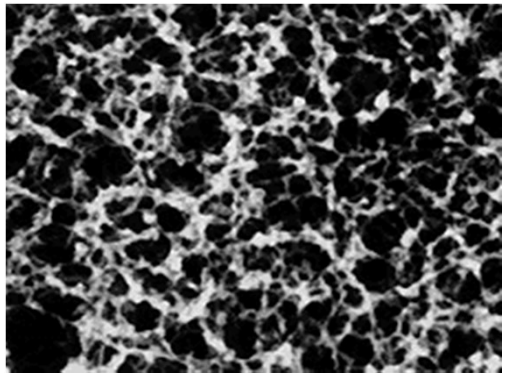
Nylon, PVDF, PTFE, and hollow fiber ultrafiltration media are recommended for use in DI water applications. Photomicrographs of these media are shown here.



Polyvinylidene-fluoride(PVDF) Medium shown at 3000X magnification



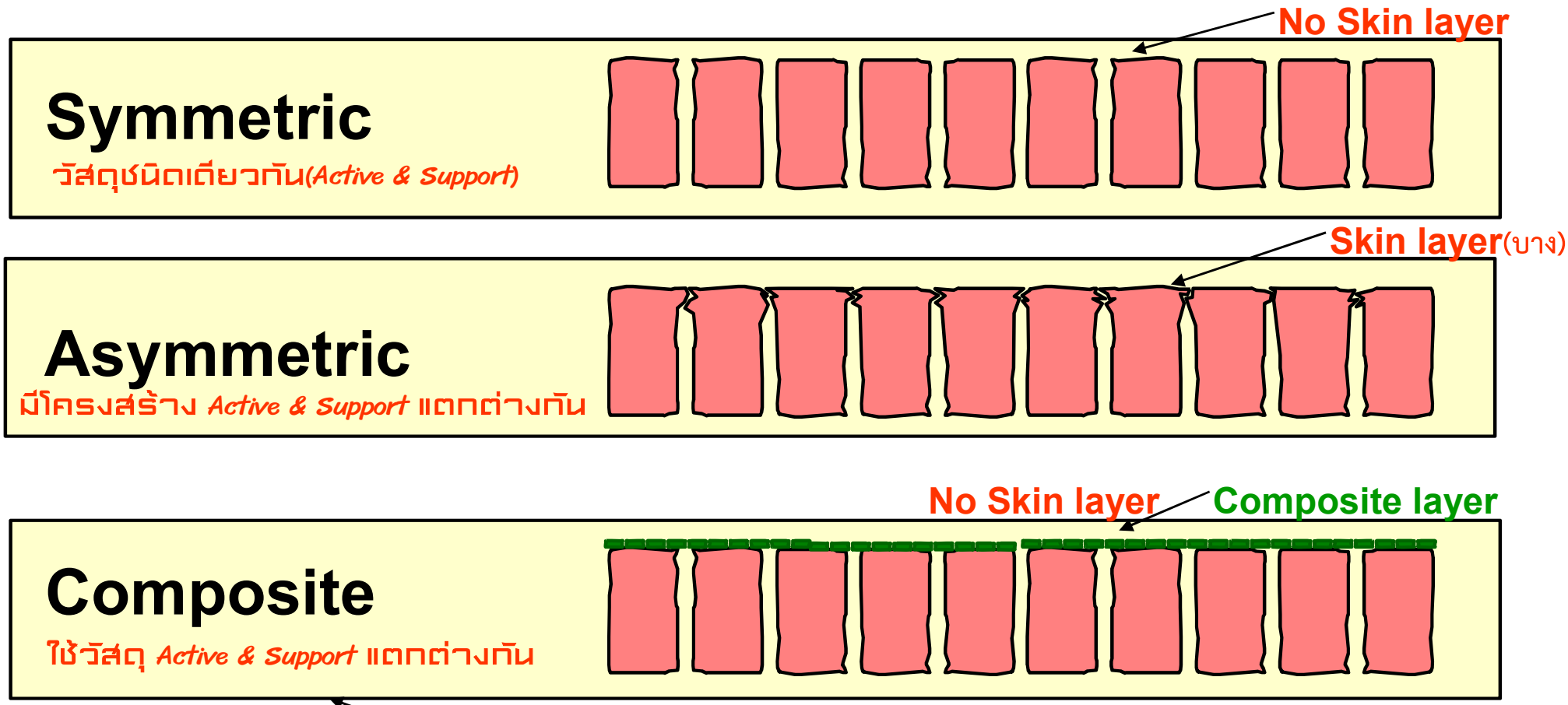
Polytetrafluoroethylene(PTFE) Medium shown at 3000X magnification



Nylon Medium shown at 3000X magnification

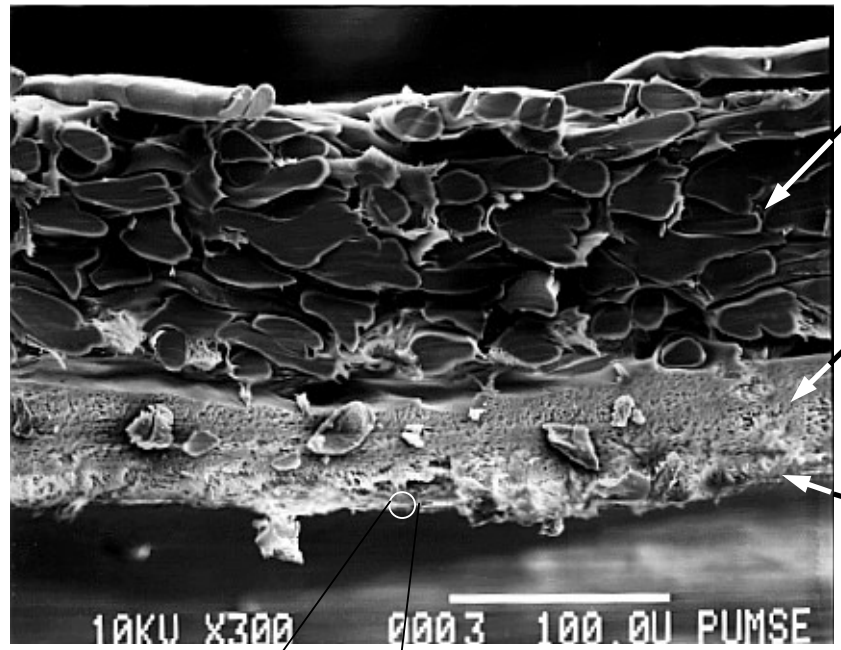
Hollow fiber ultrafiltration medium shown at 300X magnification

Membrane Construction Options



เป็นเมมเบรนพวก Crosslinked Aromatic Polyamide

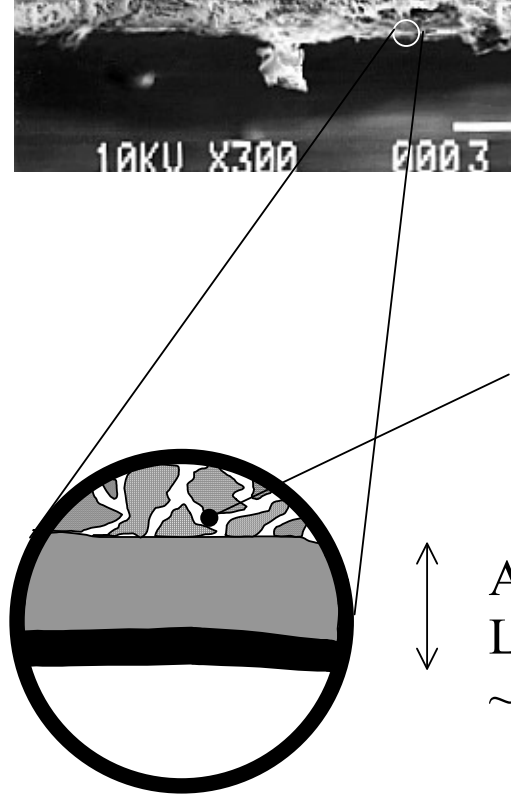
Thin-Film Composite Membranes



Polyester Fiber Backing ~120 µm *(Support Layer)*

Polysulfone Support ~50 µm *(Porous Layer)*

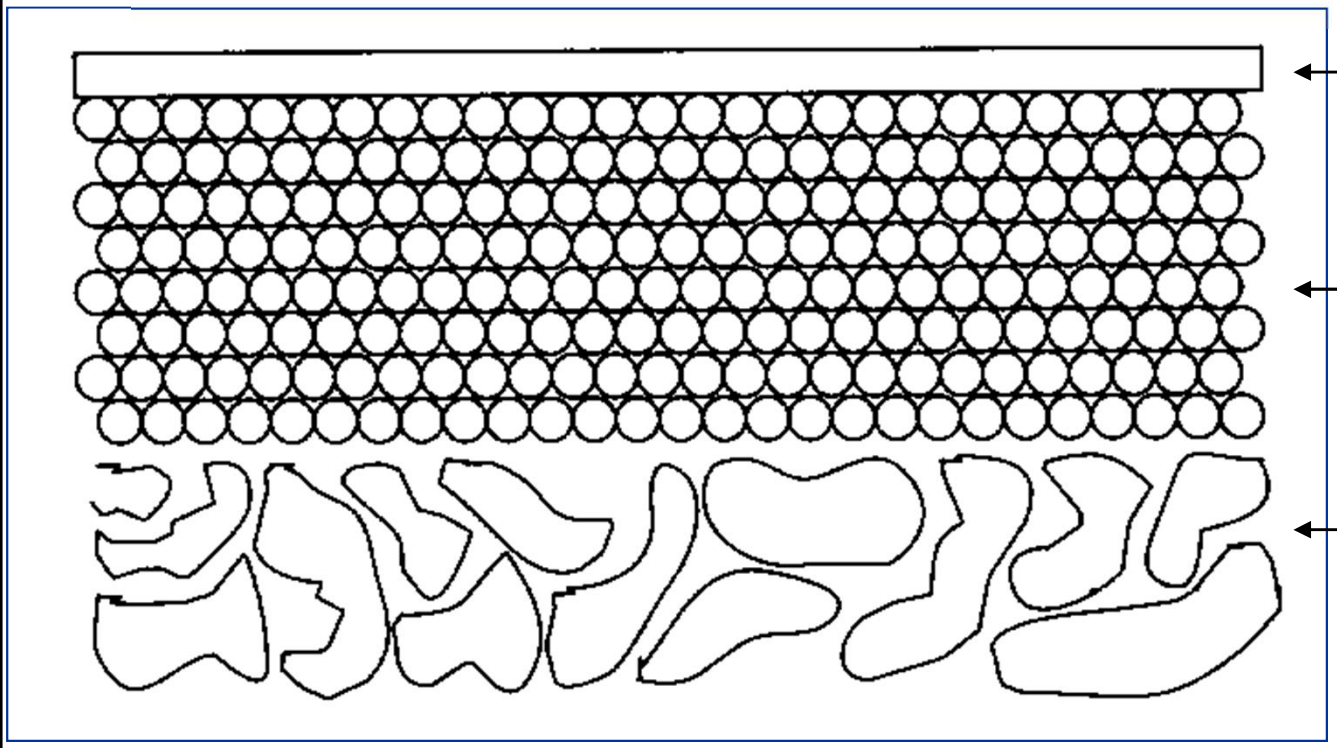
Active NF/RO Layer *(Dense Layer)*



Polysulfone Layer Pore Size ~20-30 nm

Active Layer ~50-250 nm

Thin Film Composite Membrane(TFC)

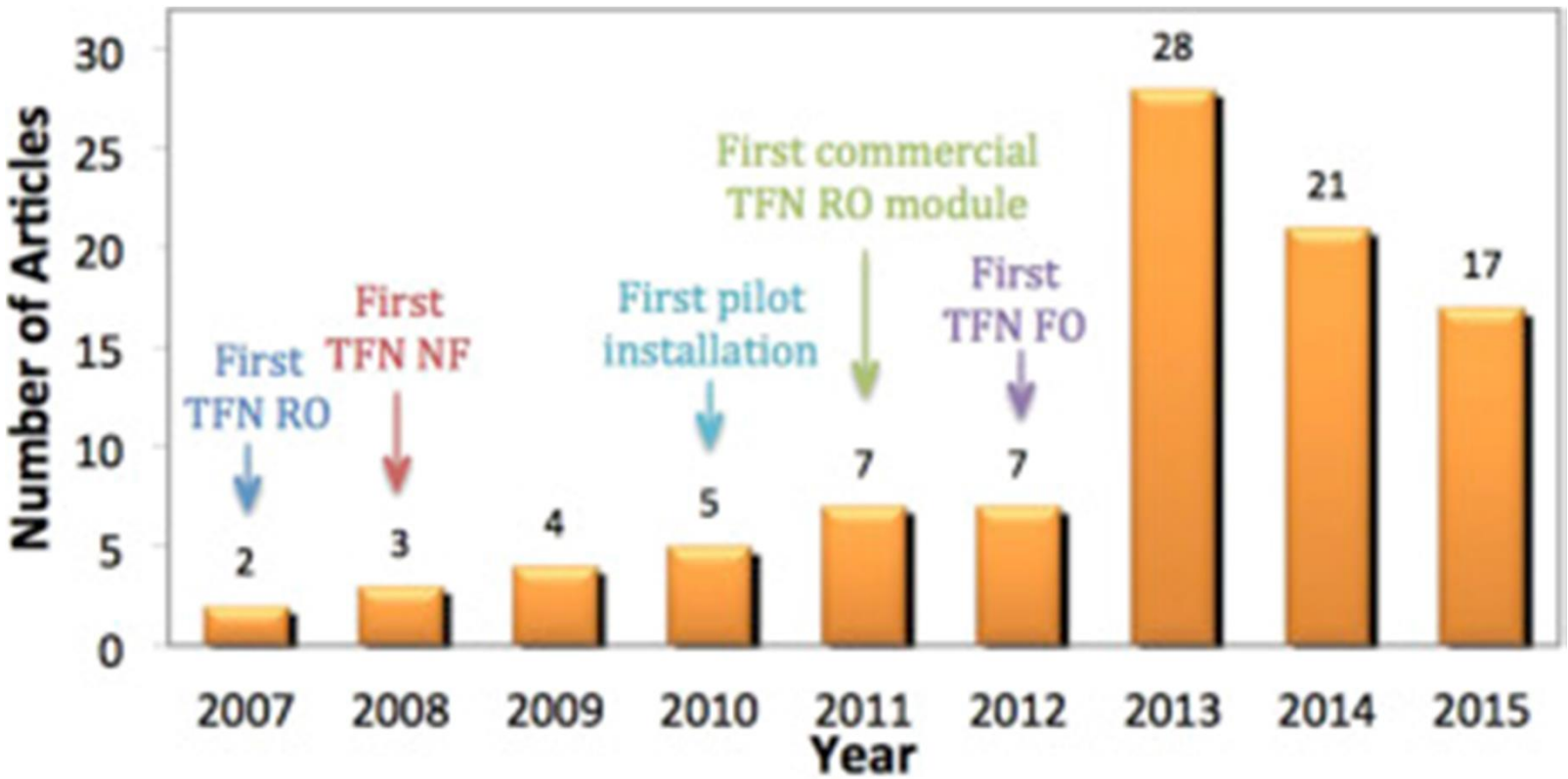


Polyamide ultrathin barrier layer (approx. 0.2μm)

Polysulfone microporous Support (approx. 50μm)

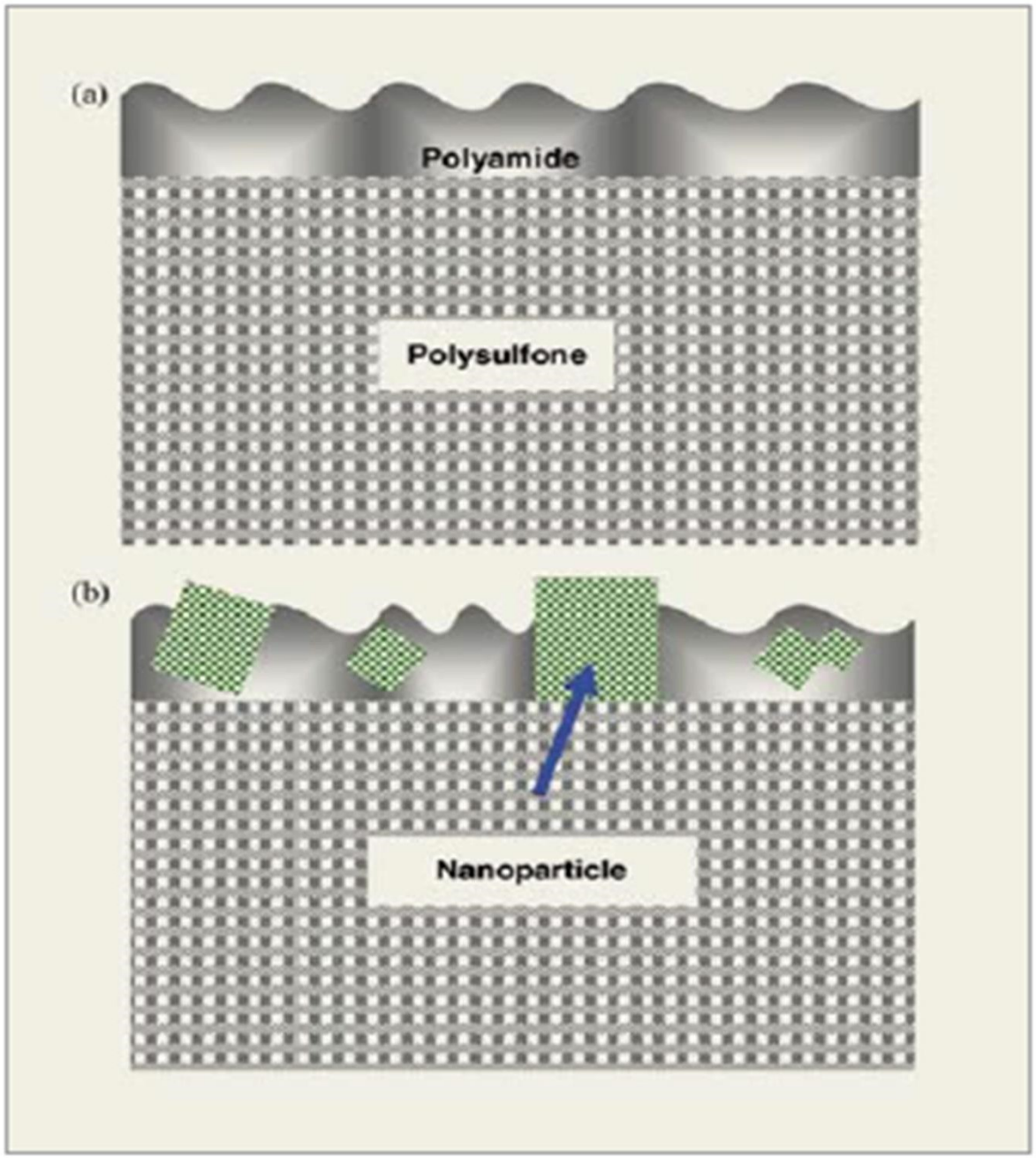
Polyester non-woven web Carrier (approx. 120μm)

Thin Film Nanocomposite (TFN)



Number of TFN articles published between 2007 and 2015 (March)

ที่มา : A review on polyamide thin film nanocomposite (TFN) membranes: History, applications, challenges and approaches, January 2015



(a) Thin Film Composite (TFC)

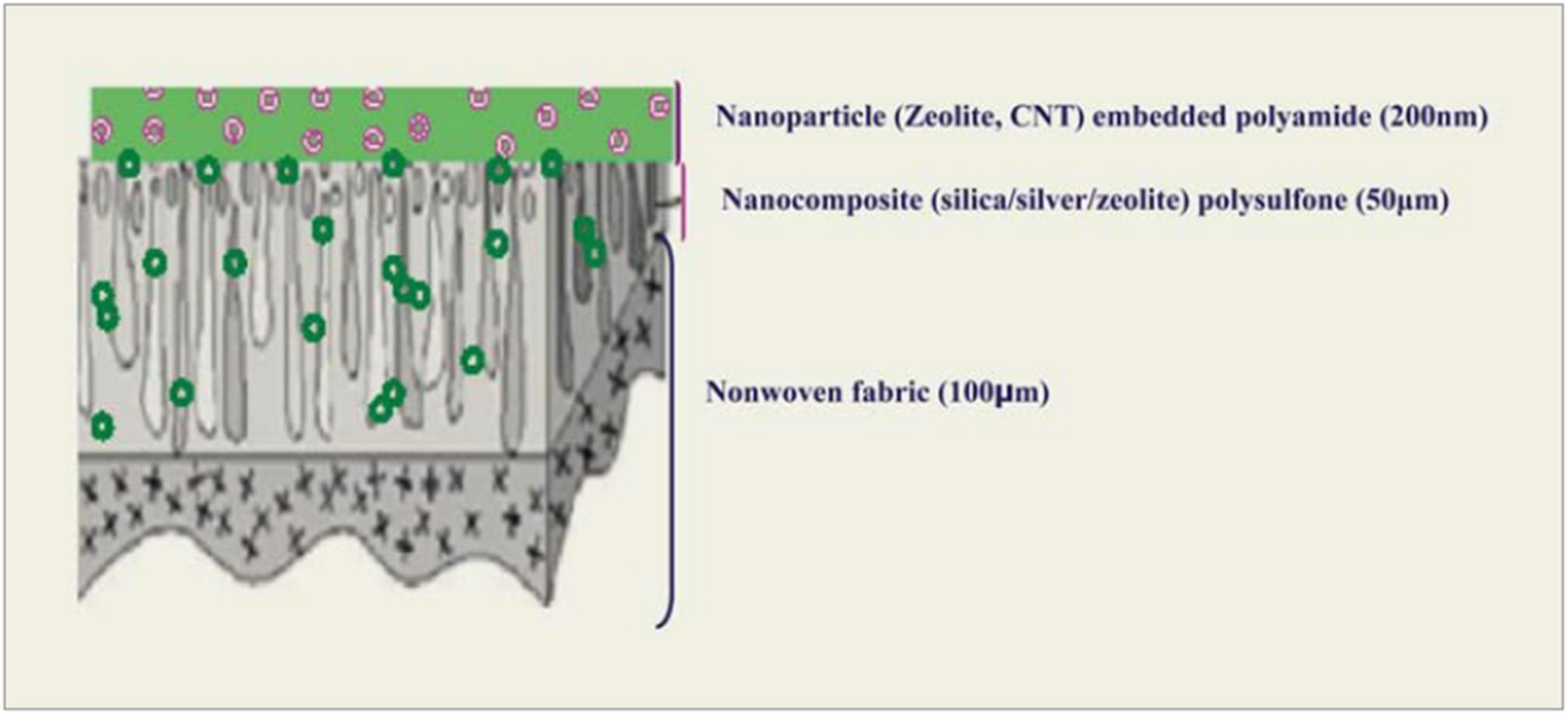
(b) Thin Film Nanocomposite (TFN)

- zeolite nanoparticle
  (Nanoparticle)
- silica particles
  (Nanocomposite)

ที่มา : Composite Polyamide Reverse Osmosis (RO)Membranes – Recent Developments and Future Directions

A.K. Ghosh, R.C. Bindal, S. Prabhakar and P.K.Tewari Desalination Division

Conceptual picture of probable next generation nanocomposite RO membrane



chlorine resistance of organic/inorganic nanocomposite RO membranes was improved as the amount of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) increased.

ที่มา : Composite Polyamide Reverse Osmosis (RO)Membranes – Recent Developments and Future Directions

A.K. Ghosh, R.C. Bindal, S. Prabhakar and P.K.Tewari Desalination Division

การแบ่งตามแรงที่เข้าไปกระทำ (Driving Force)

Type of Membrane	Type of Driving Force
RO and NF	Pressure Driven Process
ED and EDR	Electric Potential Driven Process
FO	Concentration Driven Process

Source : Desalination of Seawater. First Edition. American Water Works Association.2011

แบ่งตามแรงที่เข้าไปกระทำ(Pressure-Driven Membrane)

- Low Pressure: Microfiltration(MF), Ultrafiltration(UF)
  - กำจัดความขุ่น (Turbidity) และ จุลชีพ(microbial)ต่างๆที่ปนเปื้อนในน้ำ
  - ใช้กระบวนการ Sorption/Membrane เพื่อควบคุมสารละลายที่ปนเปื้อนในน้ำ

- High Pressure: Nanofiltration(NF), Reverse Osmosis(RO)
  - กำจัดเกลือที่ละลายในน้ำ(Desalination)
  - กำจัดความกระด้าง (Softening)
  - ควบคุมธาตุที่ปนเปื่อนในน้ำ (Dissolved Trace)

Pressure Driven Membrane Processes

	OPERATING PRESSURES	RECOVERY	PRIMARY APPLICATION
RO	125 TO 1,200 PSIG	50 TO 85 PERCENT	DESALTING
NF	80 TO 120 PSIG	70 TO 90 PERCENT	SOFTENING NOM REMOVAL
UF	5 TO 30 PSIG	80 TO 95 PERCENT	SWTP NOM REMOVAL
MF	5 TO 15 PSIG	80 TO 95 PERCENT	SWTP

1PSIG = 0.07 Bar

RO SEA WATER 45 – 55 %,Brackish Water 70 – 80 %. AWWA 2011

Membrane Filtration Type

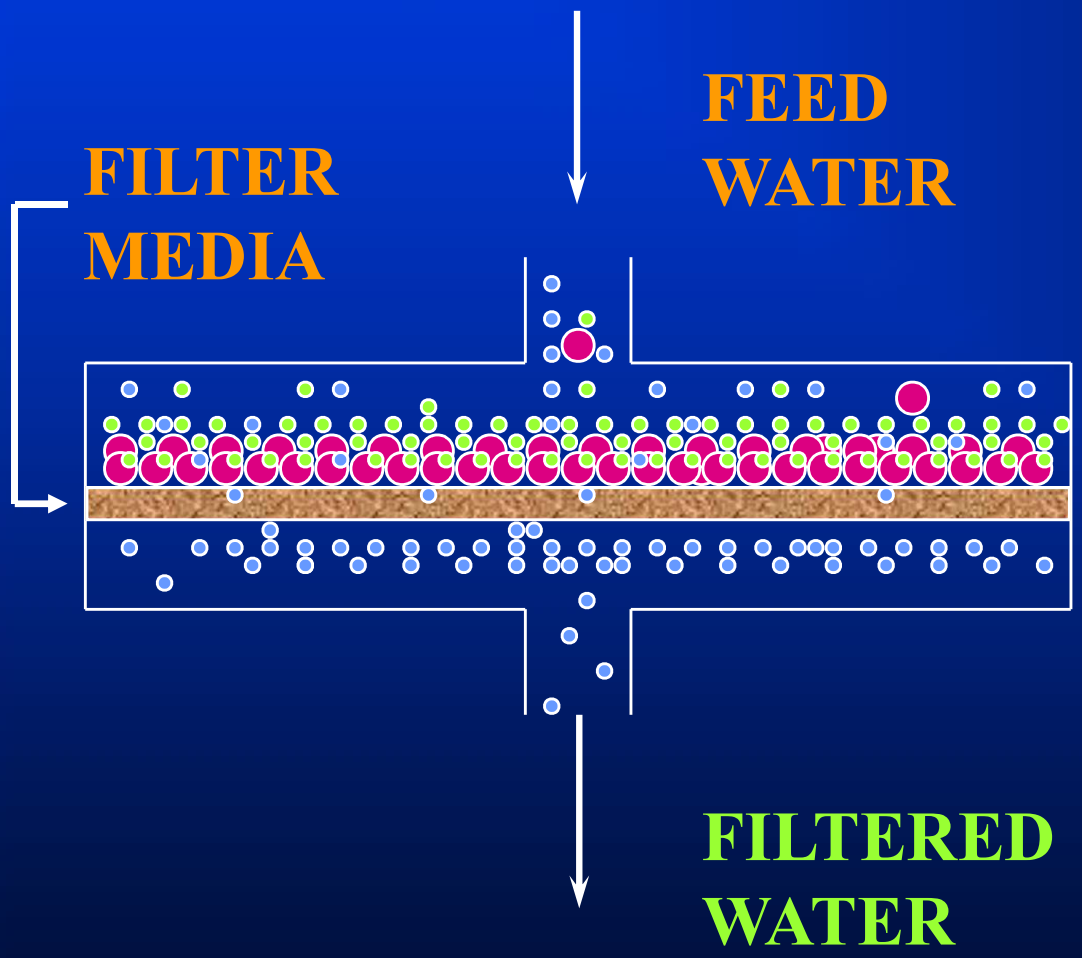
1. Dead end Filtration

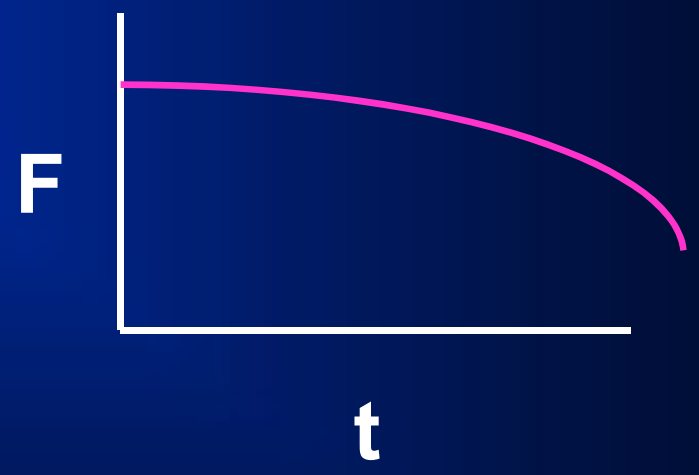
- low energy consumption
- quickly clogging and fouling

2. Cross-Flow Filtration

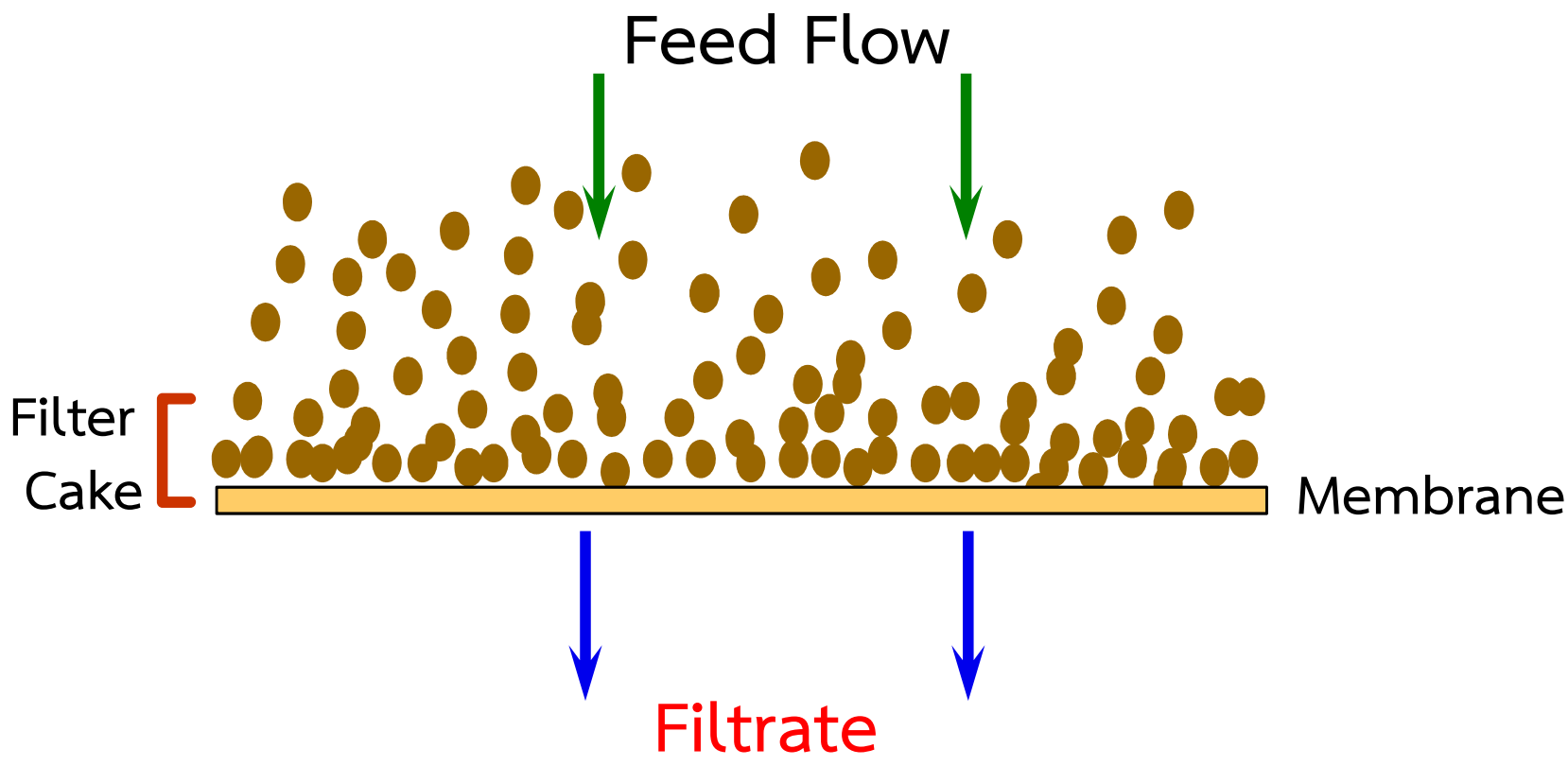
- high energy consumption
- prolong clogging and fouling

DEAD END FILTRATION





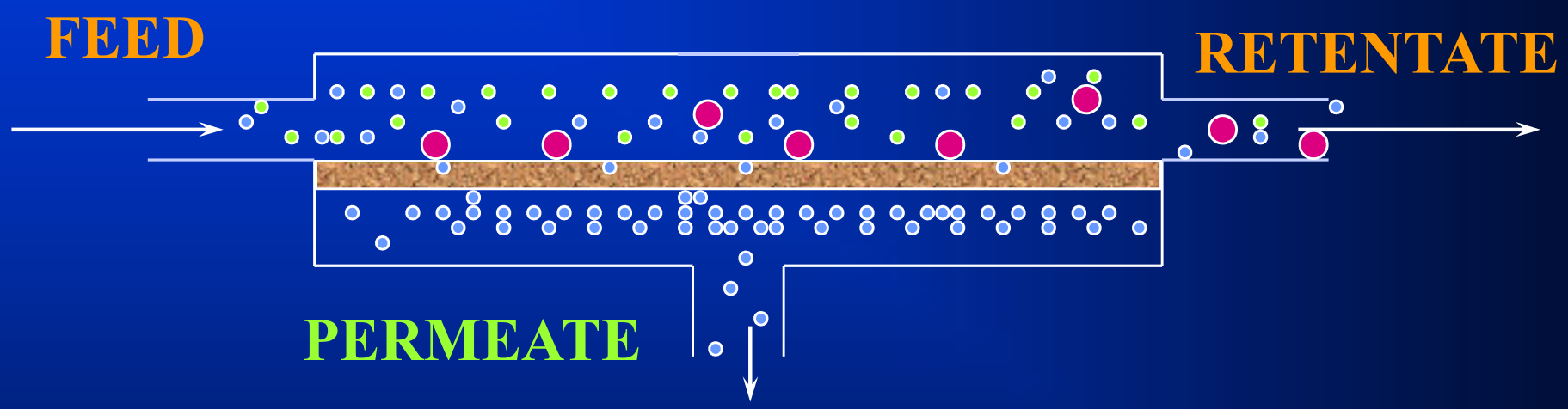
Direct Flow Configuration



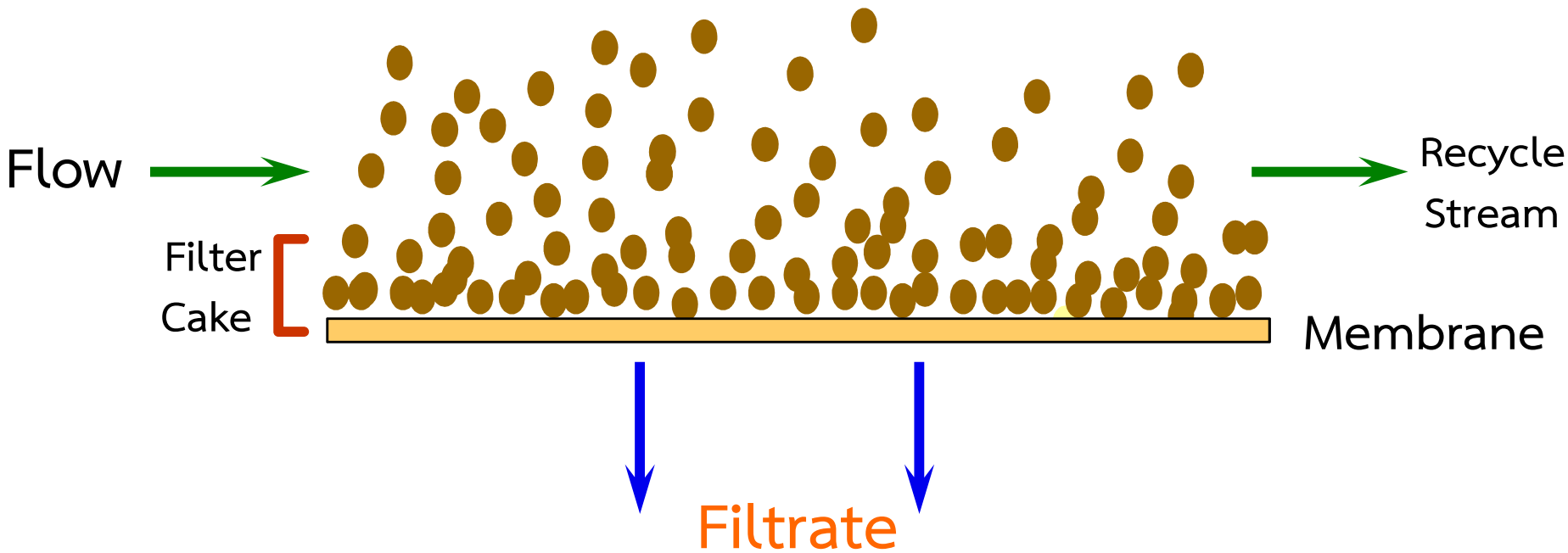
DEAD END FILTRATION

- เกิดการอุดตันที่ผิวหน้า membrane ได้เร็ว
- ระบบผลิตน้ำจะต้องหยุดเป็นระยะๆเพื่อทำความสะอาดหรือเปลี่ยน membrane
- ระบบผลิตน้ำจะเดินแบบ BATCH PROCESS (เดินๆหยุดๆเป็นระยะๆ)
- ไม่สามารถรักษาระดับการกรอง(Fluxes rate) ผ่าน membrane ได้อย่างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน

CROSSFLOW FILTRATION



Crossflow Configuration



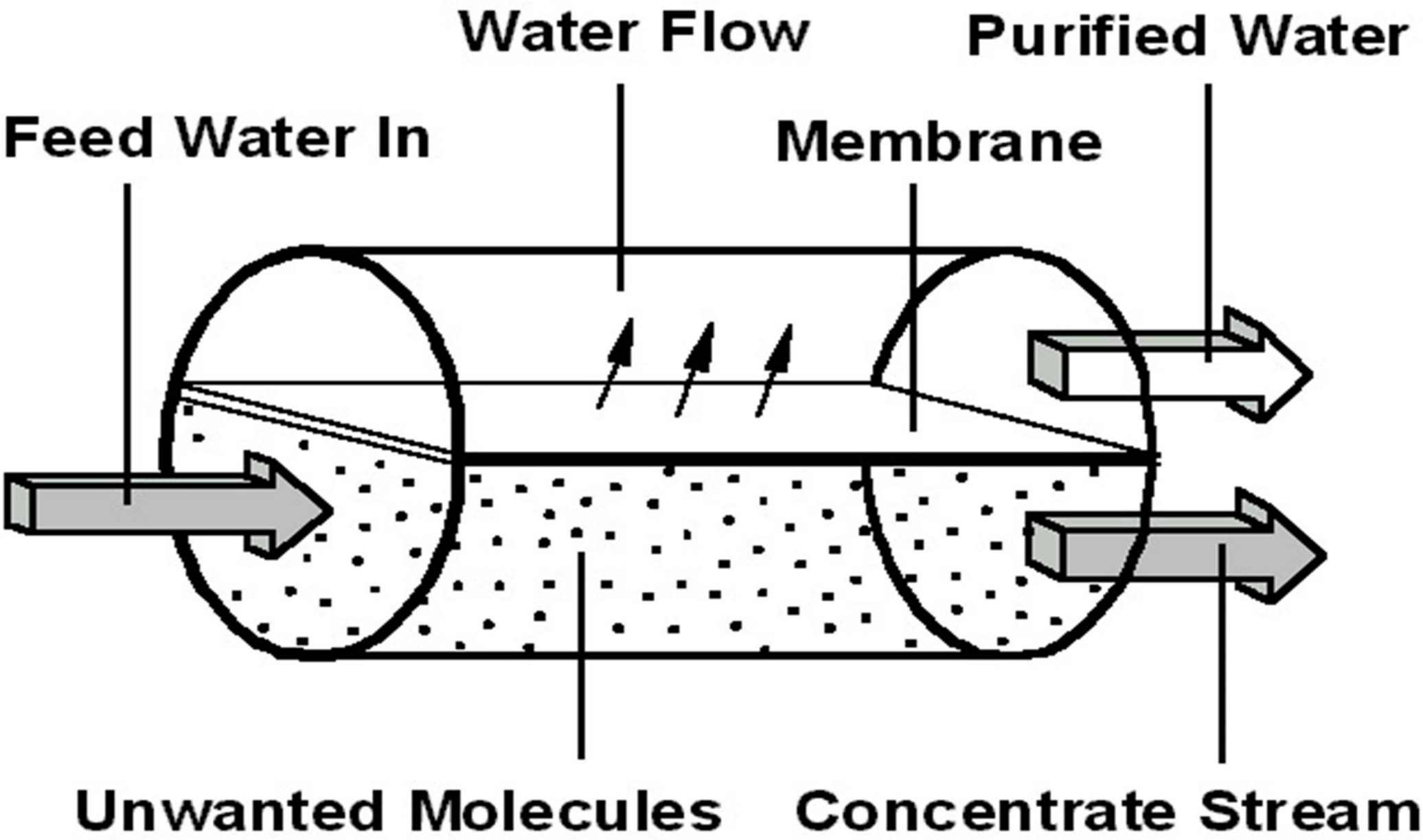
CROSSFLOW FILTRATION

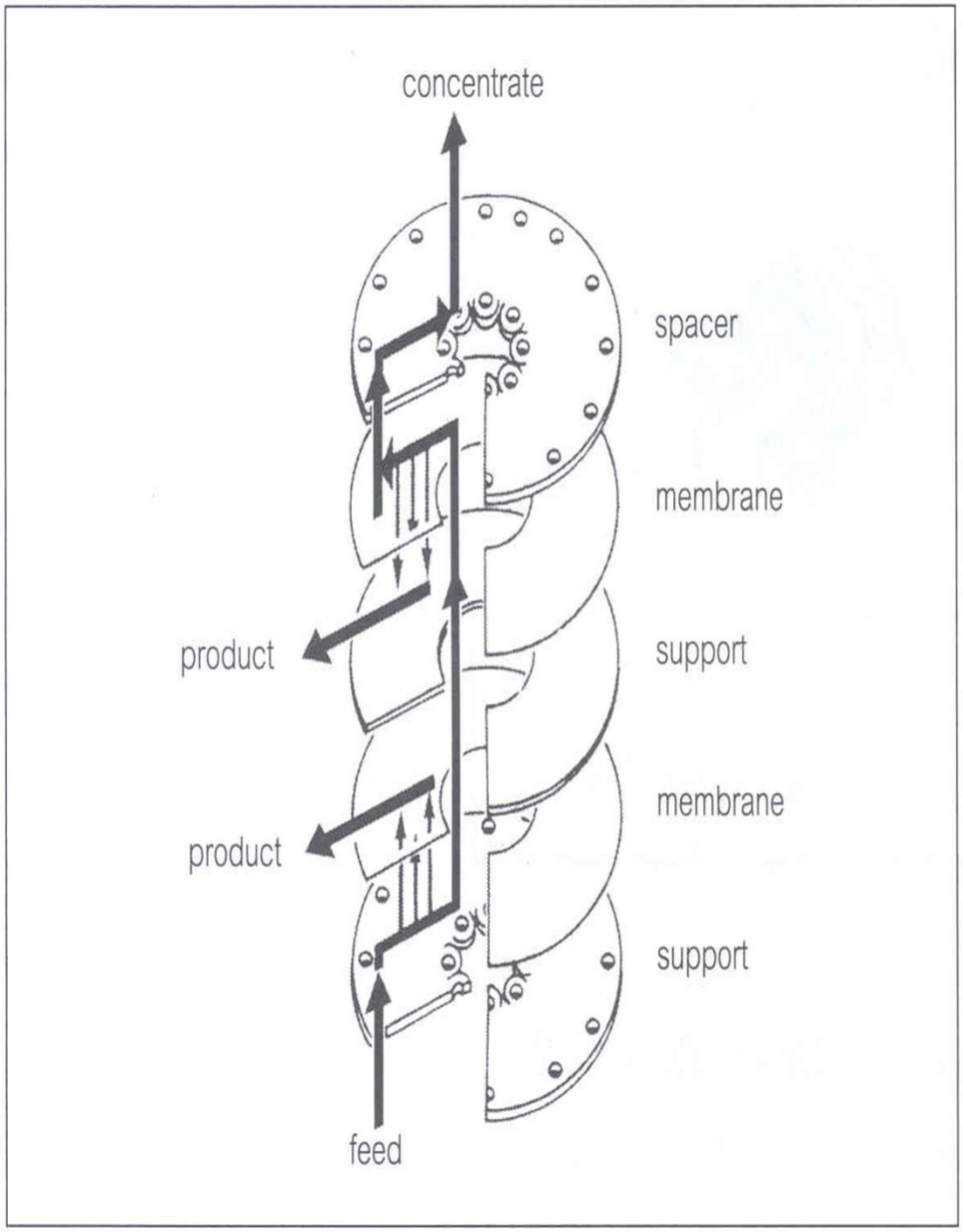
- เกิดการอุดตันที่ผิวหน้า membrane ได้ช้ากว่าแบบ Dead End
- มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิด Concentration Polarization และการอุดตันที่ผิวหน้า membrane ได้ดี
- รักษาระดับการกรอง(Fluxes rate) ผ่าน membrane ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน

Membrane Geometry

1. Sheet Module (แบบแผ่น)
2. Tubular Module (แบบท่อ)
3. Hollow Fiber Module (แบบเส้นใยกลวง)
4. Spiral Wound Module (แบบม้วน)

Sheet Module



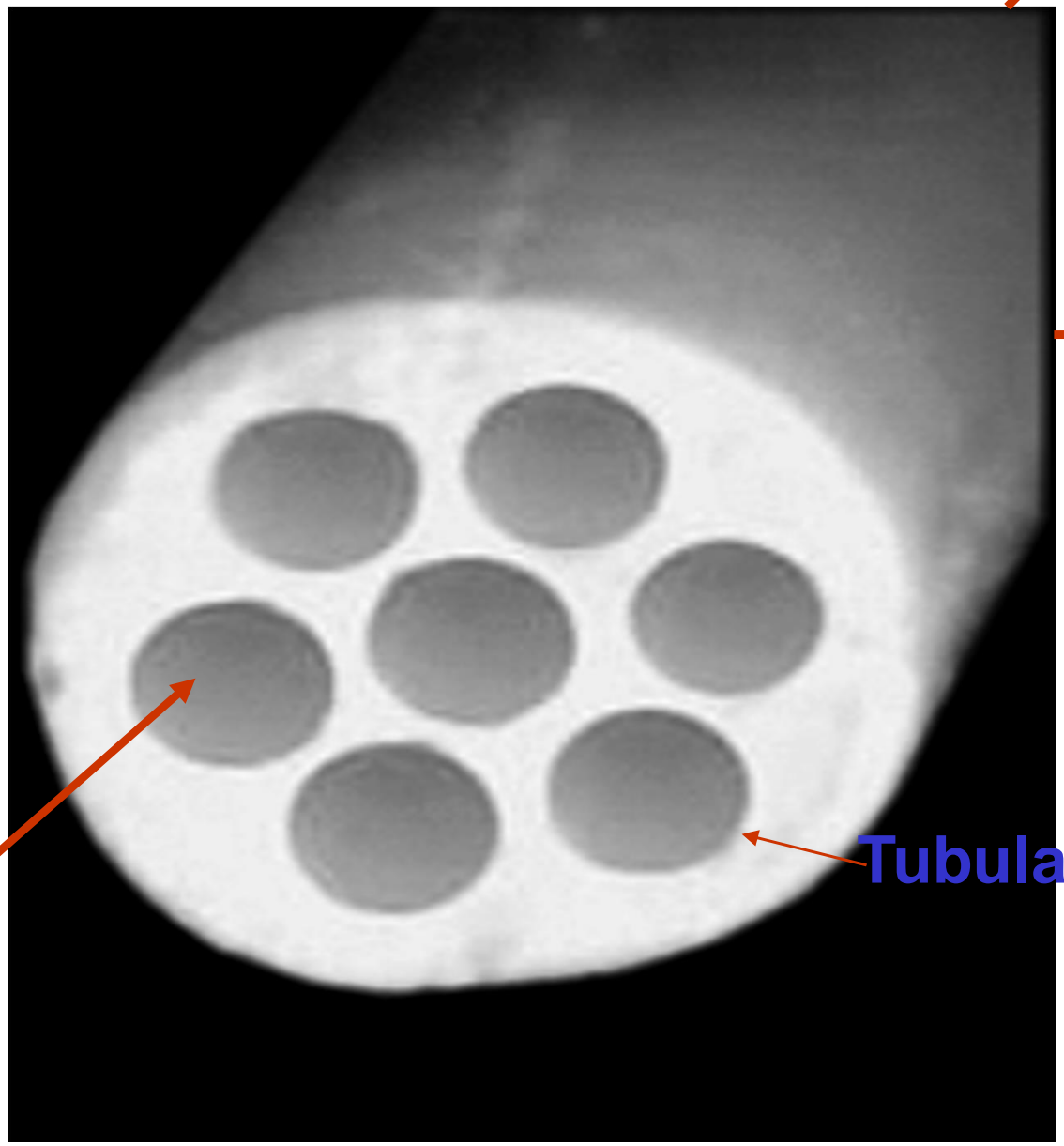

concentrate
spacer
membrane
product
support
membrane
product
support
feed

Membranes Classification (Configuration)

- Tubular Membranes (OD > 3 mm)

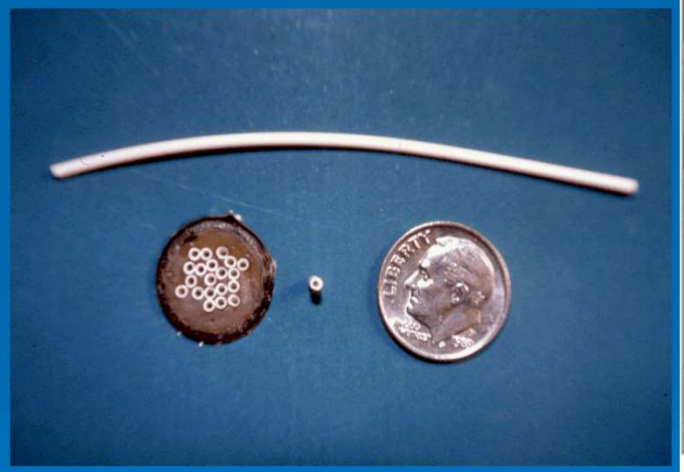
Mostly used in Industrial MF

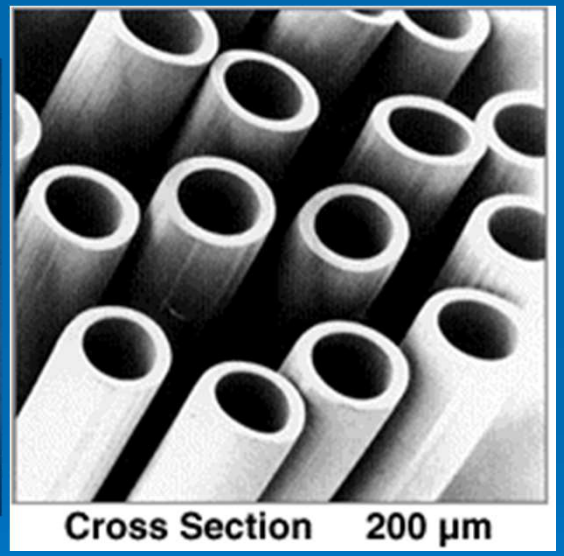
Tubular Module



Membranes Classification (Configuration)

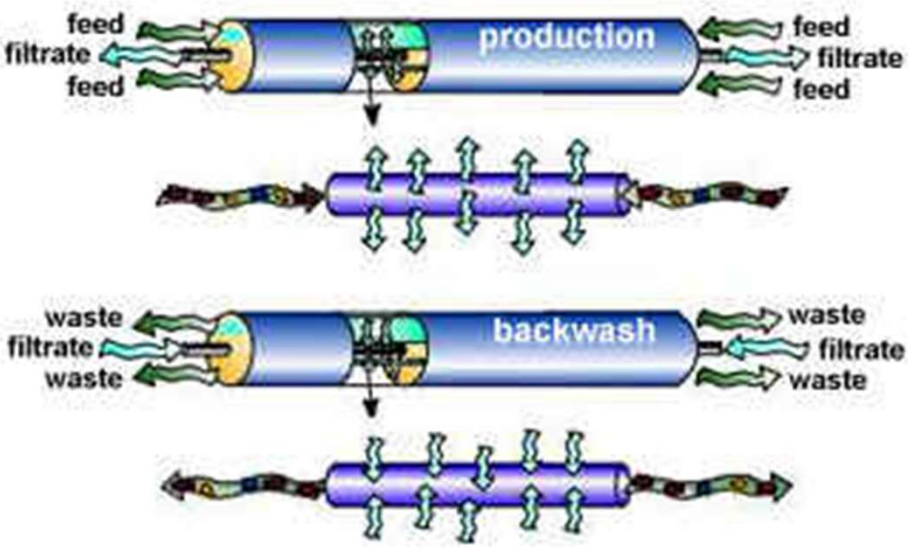
- Hollow Fiber Membranes (ID < 1.5 mm)

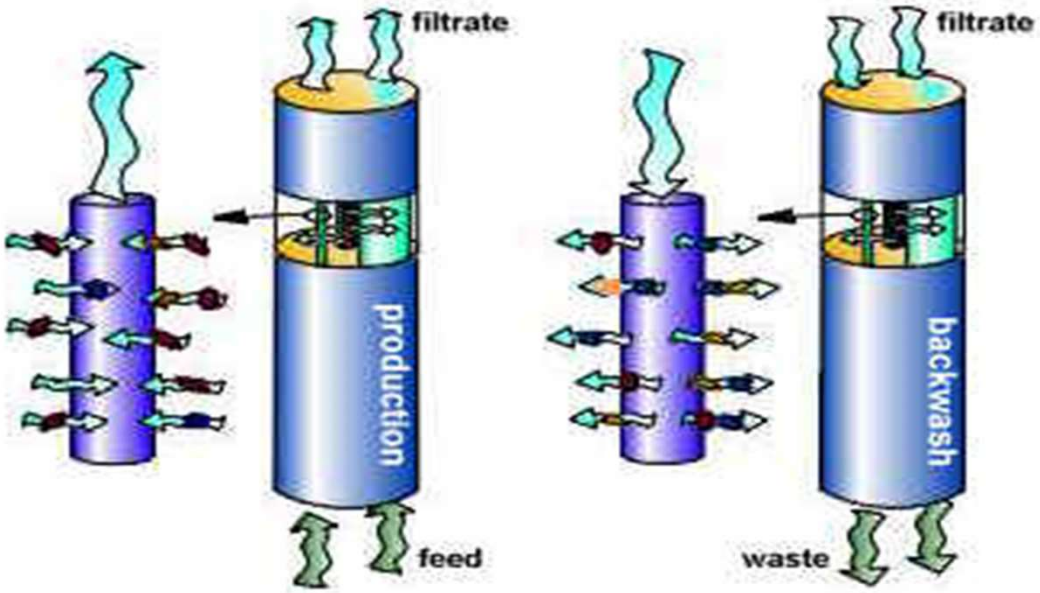




Mostly used in MF & UF

Hollow Fiber Module



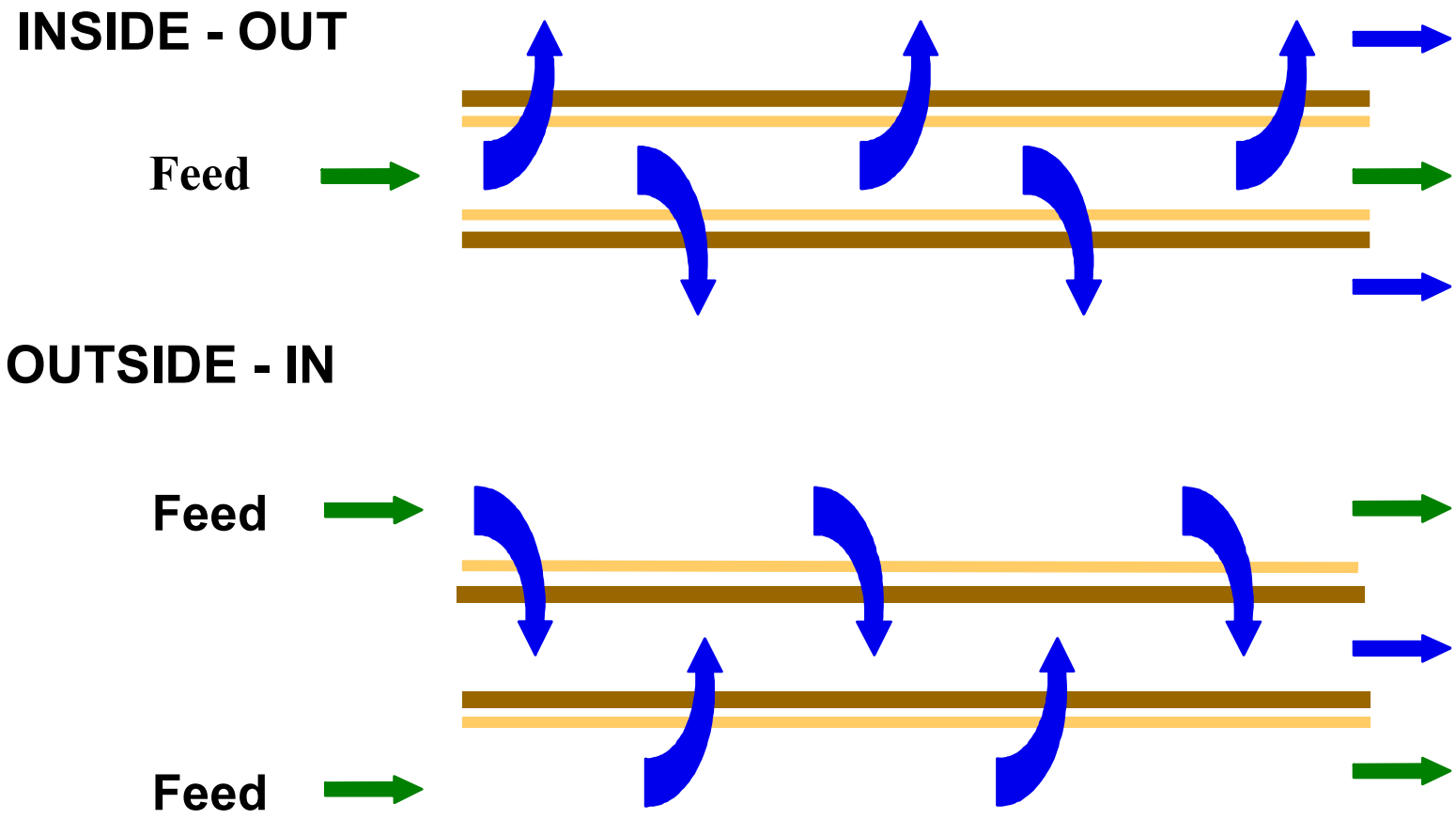


Ultrafiltration Membranes

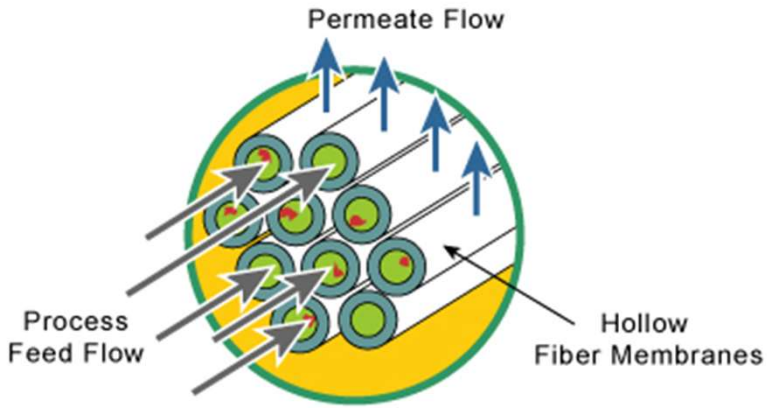
Hollow fiber UF Membrane—Inside-out

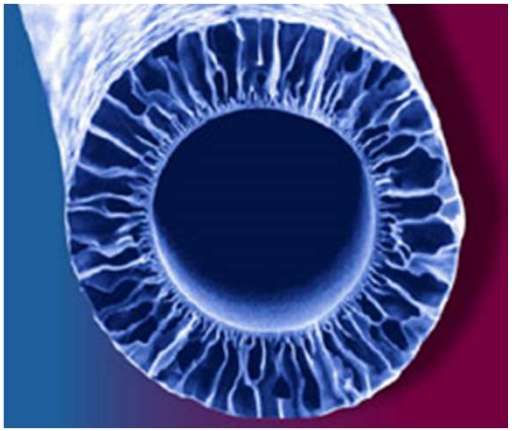
Hollow fiber UF Membrane—Outside-in

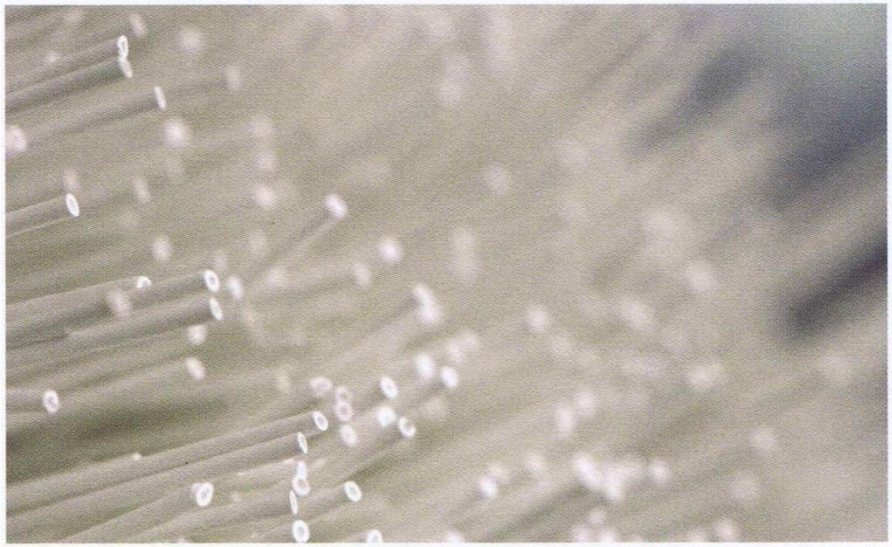
Hollow Fiber Flow Patterns



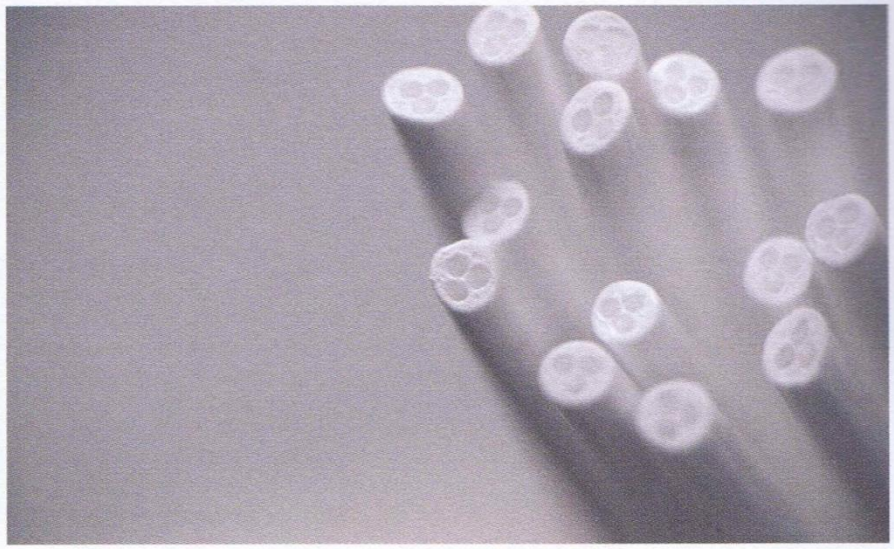
Hollow Fiber Membranes



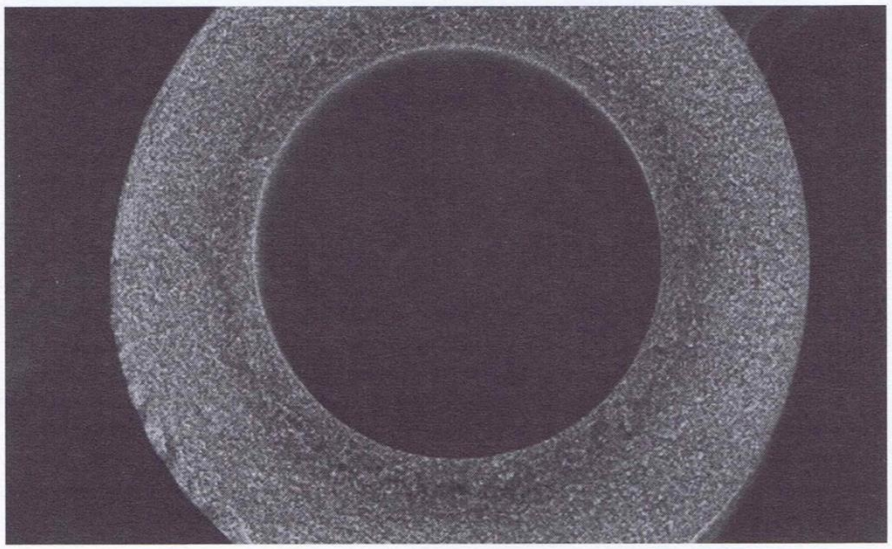




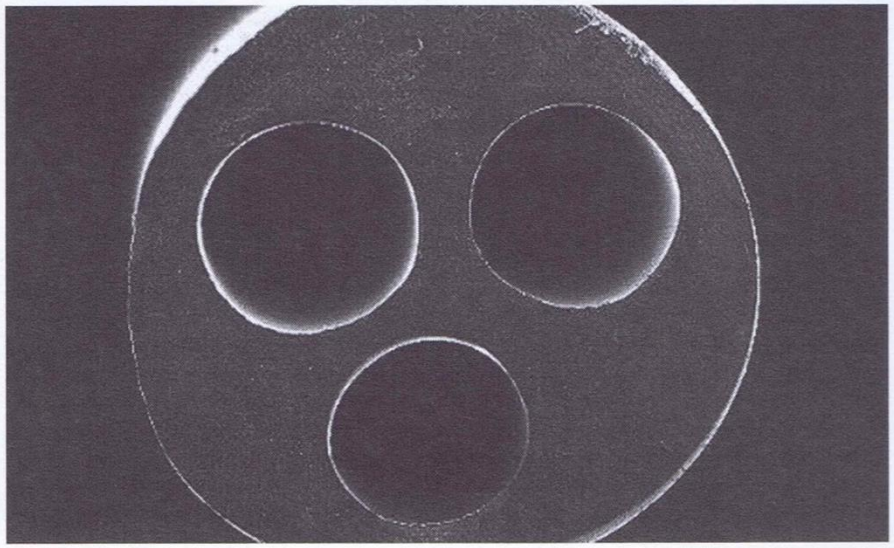
Single bore



Tri-bore



Single bore (SEM photo)



Tri-bore (SEM photo)

Outside-in flow

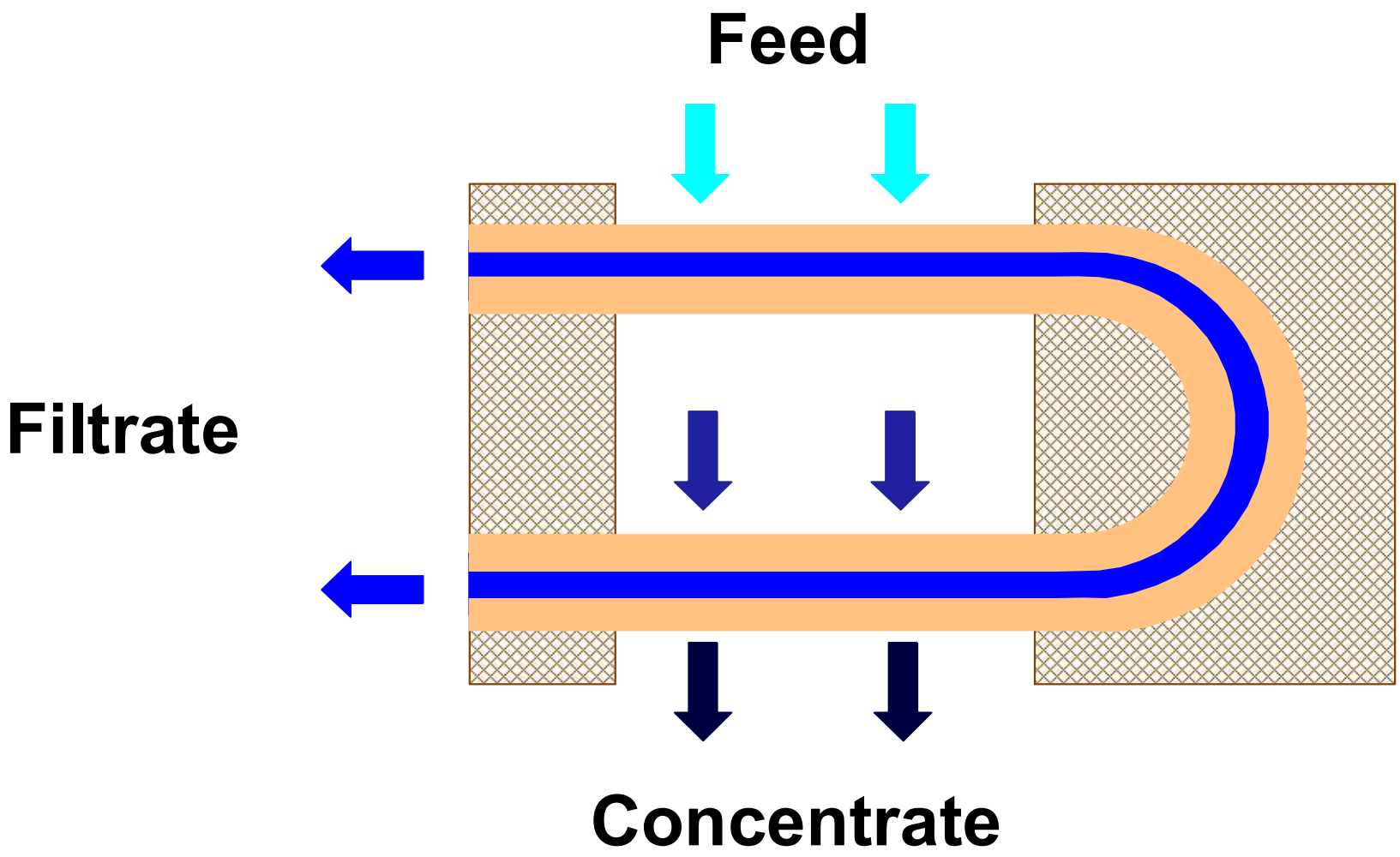
ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

UF membranes use a blended polyethersulphone (PES)

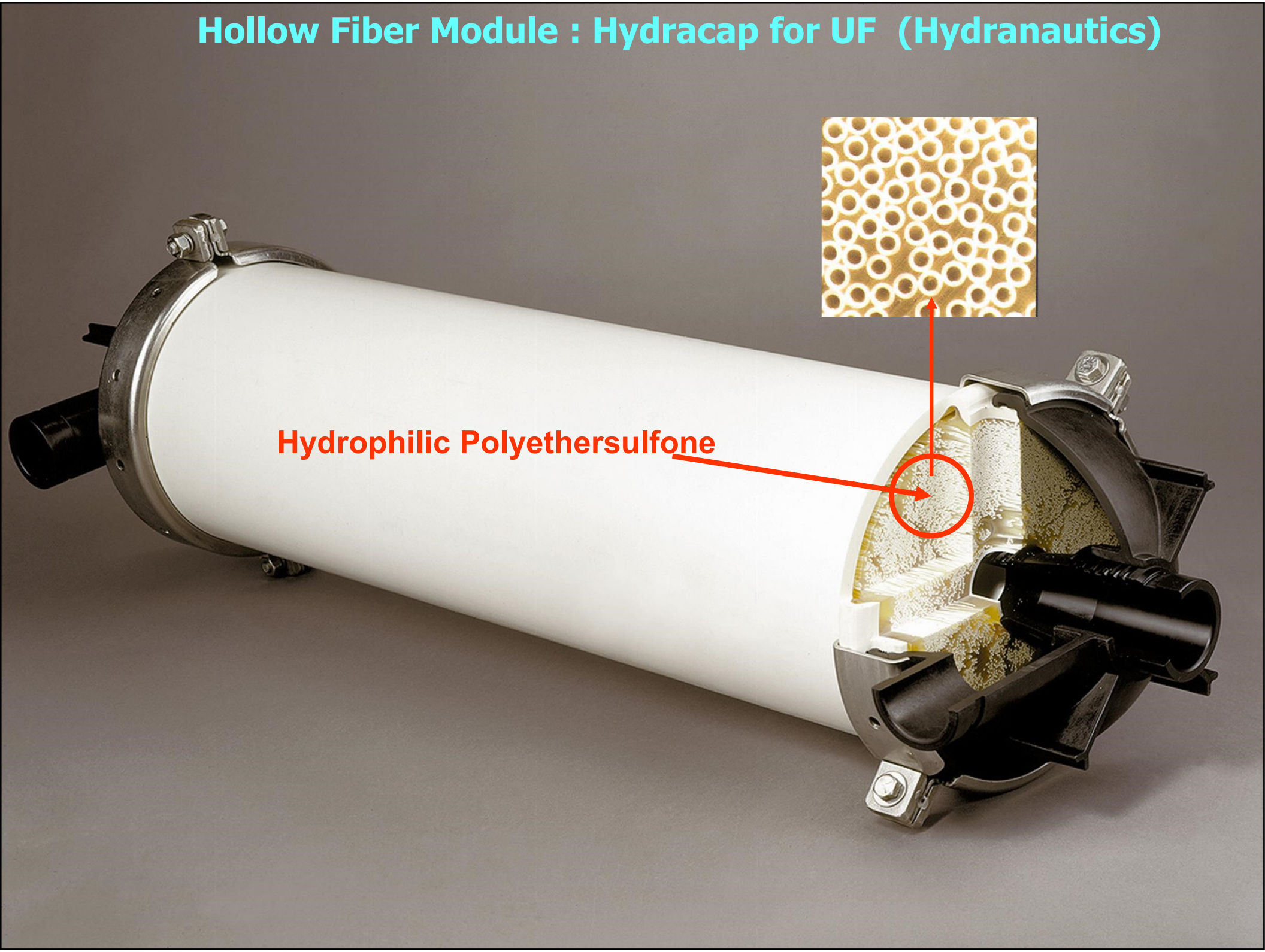
SevenBore fiber technology with an inside-out flow

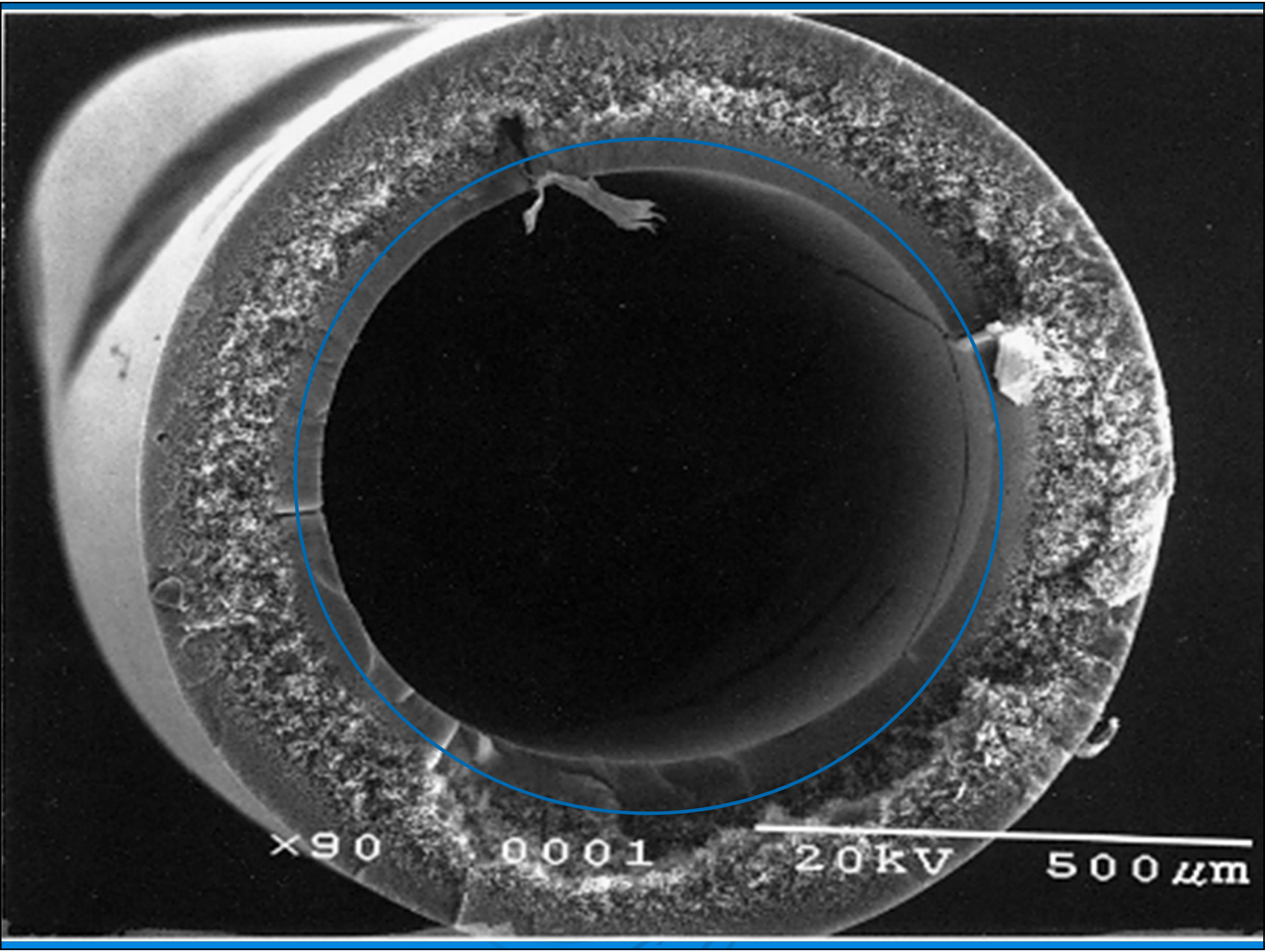
ที่มา : https://www.gewater.com/

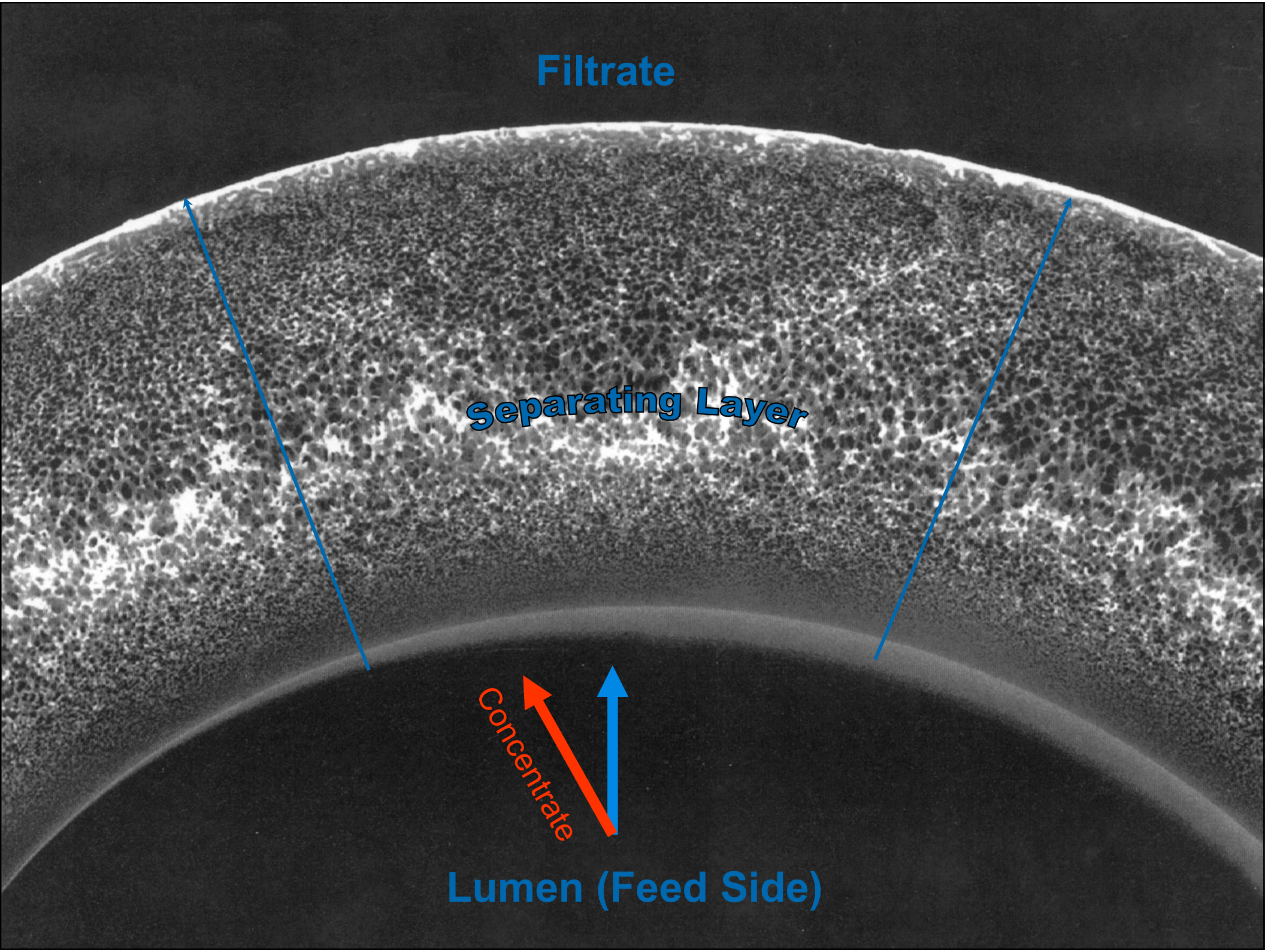
Hollow Fiber Membrane



Hollow Fiber Module : Hydracap for UF (Hydranautics)



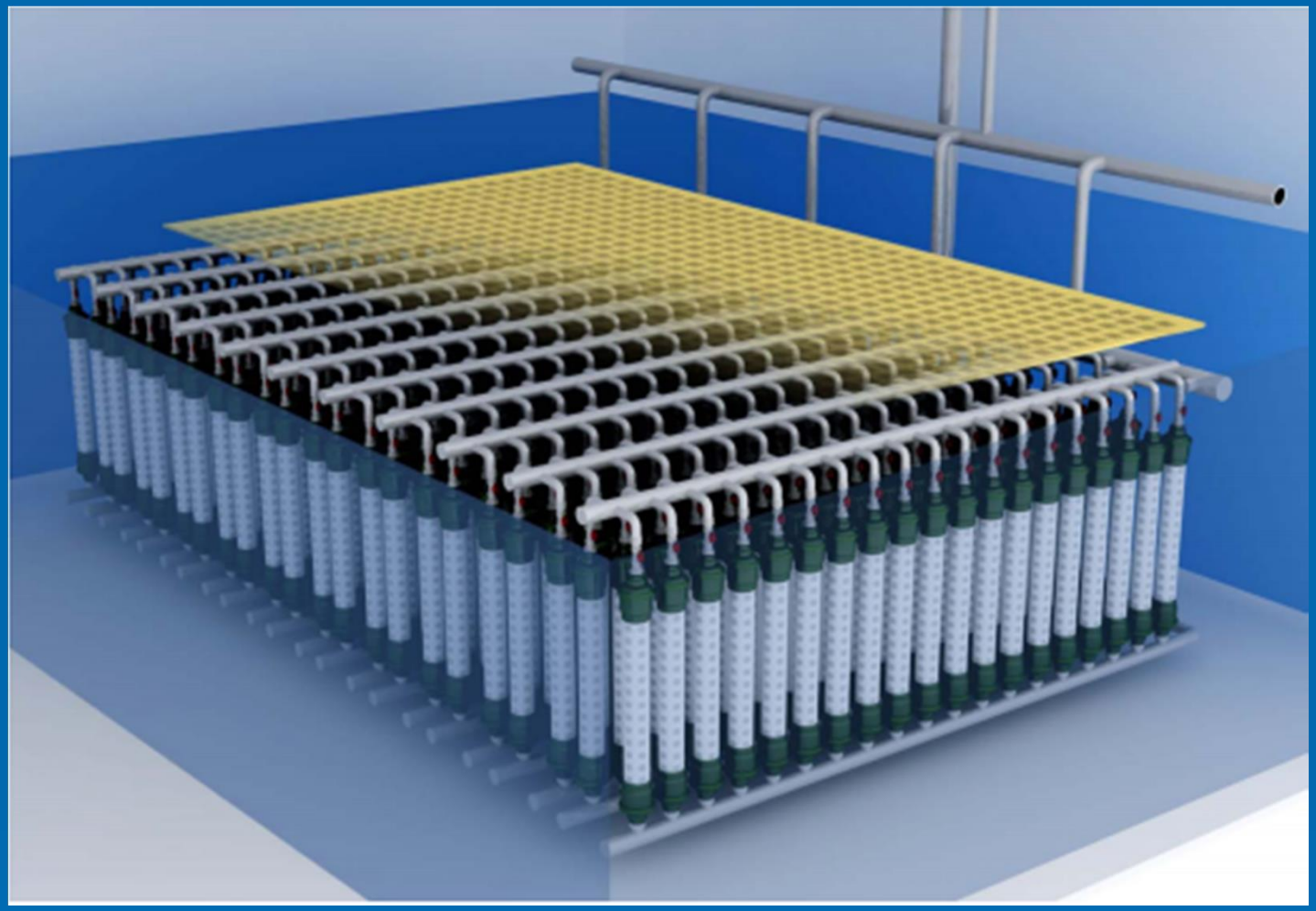

X90 .0001 20kV
500 μm


Filtrate
Separating Layer
Concentrate
Lumen (Feed Side)

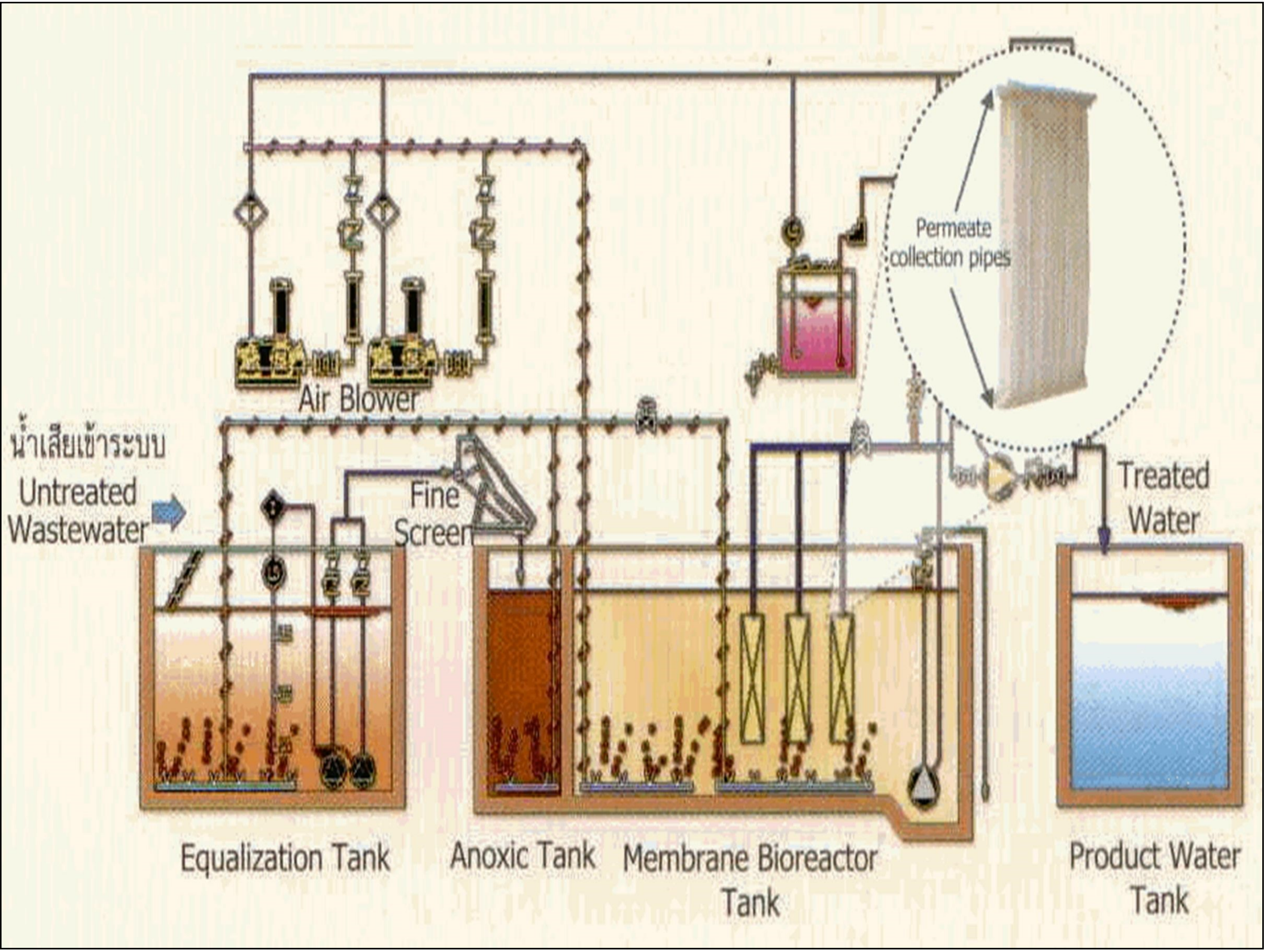
STACK MODULE

(MBR)

COLUMN MODULE



SUBMERGE MODULE


Permeate collection pipes
Air Blower
น้ำเสียเข้าระบบ
Untreated Wastewater
Fine Screen
Treated Water
Equalization Tank
Anoxic Tank
Membrane Bioreactor Tank
Product Water Tank

ULTRAFILTRATION MEMBRANE PROCESS (UF)

STANDARD MEMBRANE SYSTEMS

WATER QUALITY FOR UF SYSTEMS

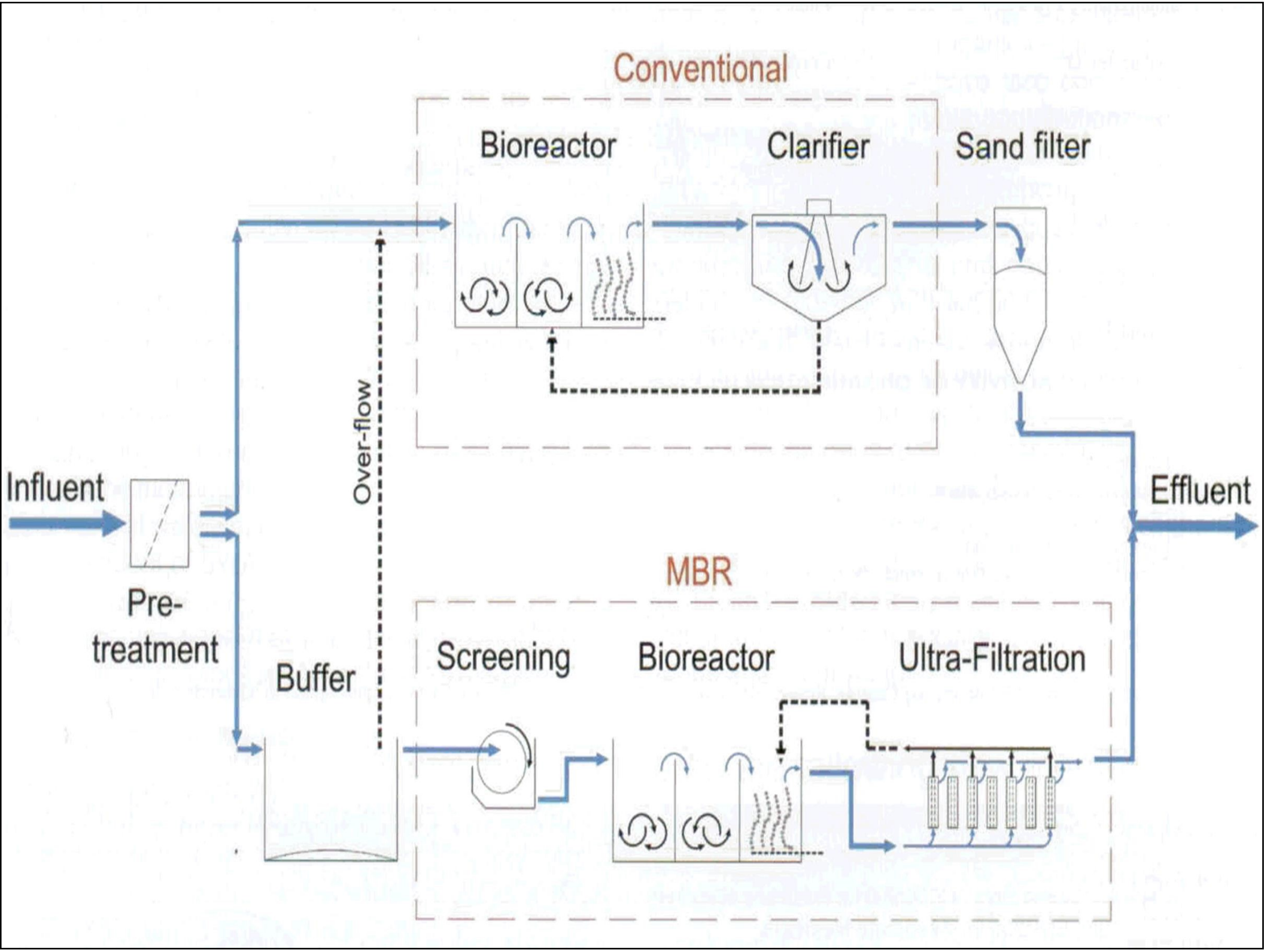
Feed Water Parameters	Units	Normal	Maximum
Turbidity	NTU	< 10	< 25
TSS	mg/L	< 20	< 50
TOC	mg/L	< 5	< 15
COD	mg/L	< 15	< 30
Total Oil & Grease	mg/L	Negligible	< 1
Total Iron	mg/L	< 0.2	
Total Manganese	mg/L	< 0.05	
Total Colour	Pt-Co/L	< 10	< 20
Total Hardness as $CaCO_3$	mg/L	< 2,000	< 3,000
Product Water Parameters	**Units**	**Expected Value**	
Turbidity	NTU	< 0.2	
SDI	-	< 3	

ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

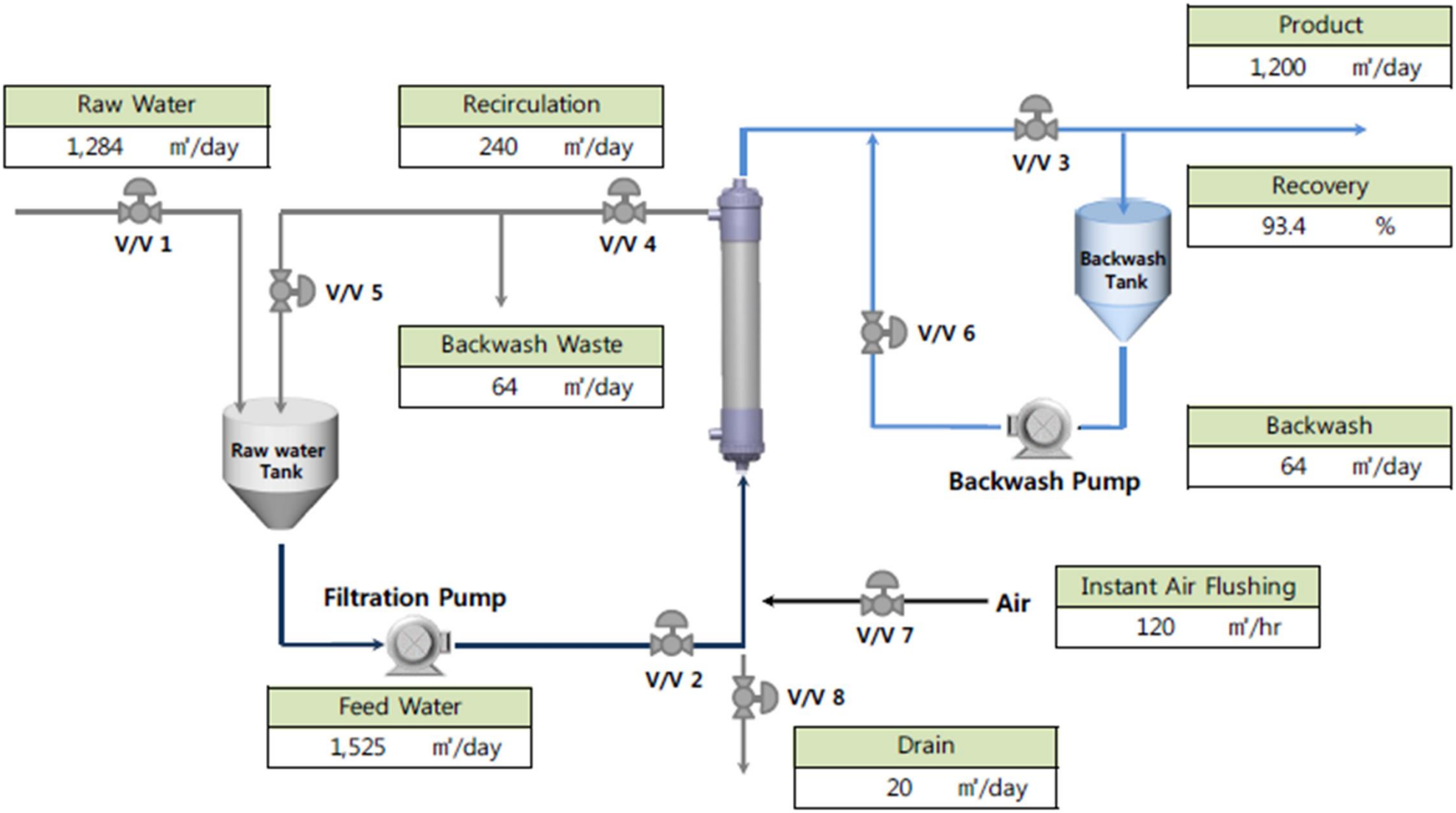
DOW Ultrafiltration modules designs are based on qualified feed water conditions as shown in Table

Parameter	Unit	Design Basis	Maximum Allowable
Turbidity	NTU	<50	300
TOC	mg/l	<10	40
Particle Size	micron	<150	300
COD_{Mn}	mg/l	<20	60
Oil /Grease	mg/l	0	< 2
pH continuous		6-9	2-11
Temperature	°C	25	40
Cl2 continuous	mg/l	0.5	200
TSS	mg/l	50	100

ที่มา : https://www.dow.com


Conventional
Bioreactor
Clarifier
Sand filter
Influent
Pre-
treatment
Over-flow
Buffer
Effluent
MBR
Screening
Bioreactor
Ultra-Filtration

UF System Design Issues : General Design



ที่มา : http://www.csmfilter.com

UF System Design

CSM®

■ Design Criteria

Feed source	Feed quality	Operating flow rate (LMH)	Back-wash flow rate (LMH)	CEB cycle (day)	CEB chemical	CIP cycle (month)
Ground water	< 0.5 NTU	80 ~ 120	100 ~ 160	Optional	NaOCl H_2SO_4	6 ~ 12
	1 ~ 3 NTU	60 ~ 120	100 ~ 160	Optional		
Surface water	0 ~ 10 NTU	60 ~ 80	80 ~ 120	7	NaOCl	3 ~ 12
	10 ~ 20 NTU	40 ~ 60	50 ~ 90	7		
	20 ~ 200 NTU	20 ~ 60	30 ~ 90	3		
	Chl.-a 25 g/L	20 ~ 40	30 ~ 60	3		
Waste water	0 ppm < TSS/BOD < 10 ppm	30 ~ 40	40 ~ 60	7	NaOCl H_2SO_4 NaOH	3 ~ 6
	10 ppm < TSS/BOD < 50 ppm	20 ~ 40	30 ~ 60	3		
	50 ppm < TSS/BOD < 100 ppm	< 20	30 ~ 60	1		
Sea water	0 ~ 20 NTU	40 ~ 60	50 ~ 90	7	NaOCl H_2SO_4	6 ~ 12
	20 ~ 200 NTU	20 ~ 40	30 ~ 80	3		

1) This table is normal condition, the operating flow rate is different according to the applied feed water quality.

2) All operating standard is 25 ℃.

ที่มา : http://www.csmfilter.com

UF System O&M Issues : Cleaning Agents

CSM®

Contaminants	Cleaning Agent	Concentration
Bacteria Organics	NaOCl	Up to 5,000 ppm
Organics / Colloidal	NaOH	Up to 4 %
Inorganic colloid	Nitric Acid	Up to 10 %
	Hydrochloric Acid	Up to 10 %
	Oxalic Acid	Up to 2 %
	Citric Acid	Up to 10 %
	EDTA	Up to 0.4 %
(Steriliazation)	NaOCl	10 to 100 ppm
	Hydrogen peroxide	Up to 1 %

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

■ Chemical Cleaning Criteria

	CEB	CIP
Cleaning type	On-line cleaning by SKID	
Cleaning cycle	3 ~ 7 days	3 ~ 12 months
Cleaning temperature	Room temperature	
Base cleaning	NaOCl : 300 ~ 500 mg/L NaOH : 500 ~ 700 mg/L	NaOCl : 2,000 mg/L NaOH : 1,000 mg/L
Acid cleaning	H_2SO_4 : 500 ~ 700 mg/L	H_2SO_4 : 2,000 mg/L
Necessary time	Operating 1 min, Soaking 20 min	Base cleaning : 2 hr Acid cleaning : 2 hr

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Membrane Materials by Suppliers

CSM®

Company	Membrane				Module				Configuration	
	Polymer	Rating, UF/MF	MWCO, kda	Pore size, µm	Diameter mm	Length mm	Fiber Length mm	Surf Area m^2	PDv, PDh or SUB	In or Out
Aquasource	CA	UF	35-100	0.01	450	1320	1200	125	PDv	In
Dow/Omexell	PVDF	UF	20	0.01	165	2210	2030	47.1	PDv	Out
Inge	PES	UF	100-150	0.01-0.025	250	1680	1500	50	PDv	In
Koch	PS	UF	100		273	1830		80.9	PDv	In
Memcor	PP	MF		0.2	150		1050	35	PDv/SUBv	Out
Pall/Asahi	PVDF	MF		0.1	165	2338	2216	50	PDv	Out
Pall/Asahi	PAN	UF	80	0.01	140	2227	2210	41	PDv	Out
Toray	PVDF	MF		0.1	200	2160	2000	80	PDv	Out
Toray	PAN	UF		0.01	100		1000	10	PDv	Out
Zenon	PVDF	MF		0.2-0.4	1750	2.54X2.1	1900	31.6	SUBv	Out
Zenon	PVDF	UF		0.02-0.025	890	2.6X1.82	600	37-56	SUBh	Out
Woongjin	PVDF	MF		0.03	194	2270	1900	60	PDv	Out

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Commercial MF/UF membrane material

CA – Cellulose acetate

PS – polysulfone

PES – Polyether sulfone

PAN – Polyacrilonitrile

PVDF – Polyvinylidiene flouride

PP – Polypropylene

PE – Polyethylene

PVC – Polyvinyl chloride

Source : Mark Wilf, Ph.D. Tetra Tech. Membrane Types and Factors Affecting Membrane Performance

Preferred UF/MF membrane materials

High mechanical strength & durability

- PVDF – Polyvinylidiene flouride
- PS – polysulfone
- PES – Polyether sulfone
- PAN – Polyacrilonitrile

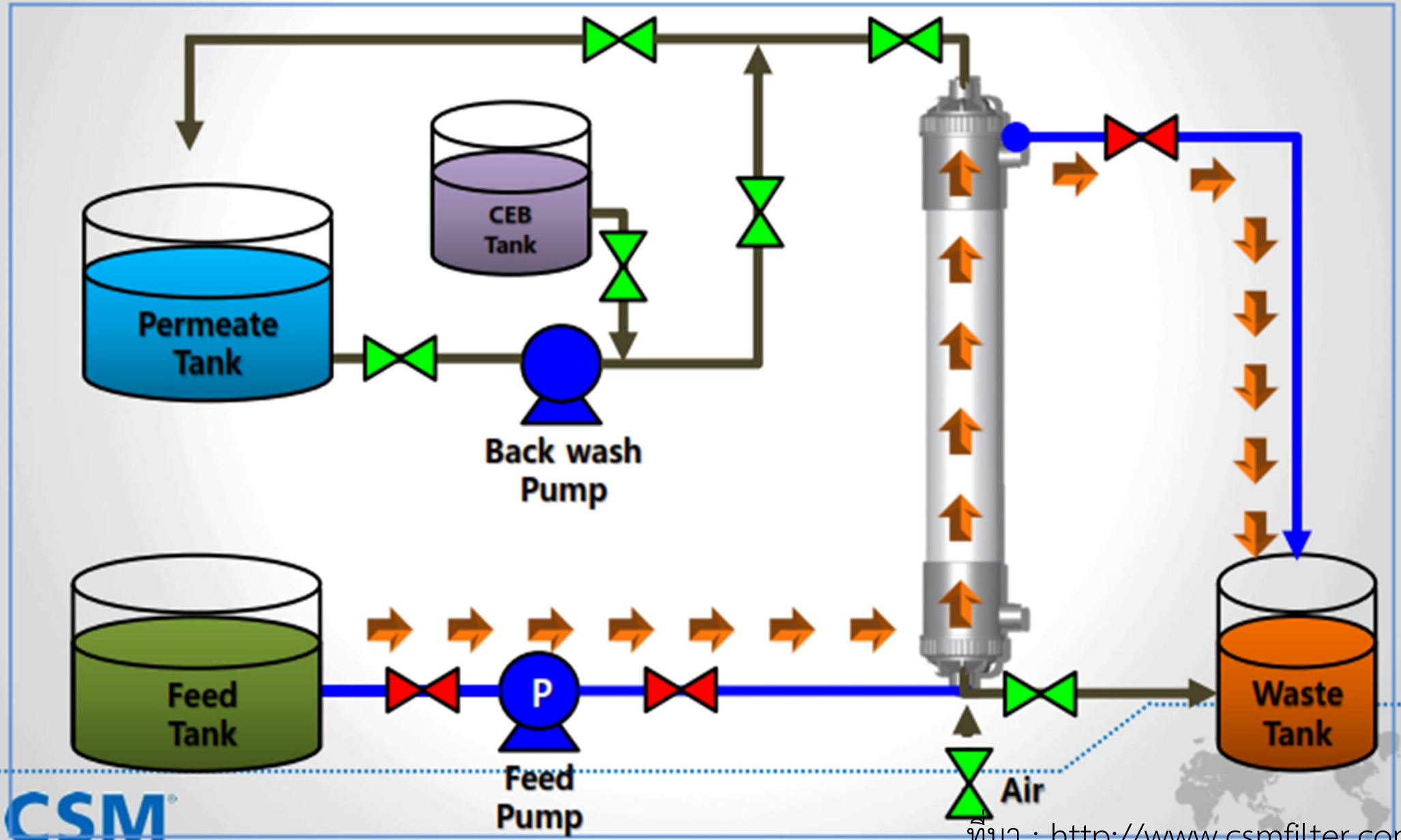
Low polymer cost

- PE – Polyethylene

Source : Mark Wilf, Ph.D. Tetra Tech. Membrane Types and Factors Affecting Membrane Performance

Technical Data

■ Flow Chart by Step : Forward flushing step

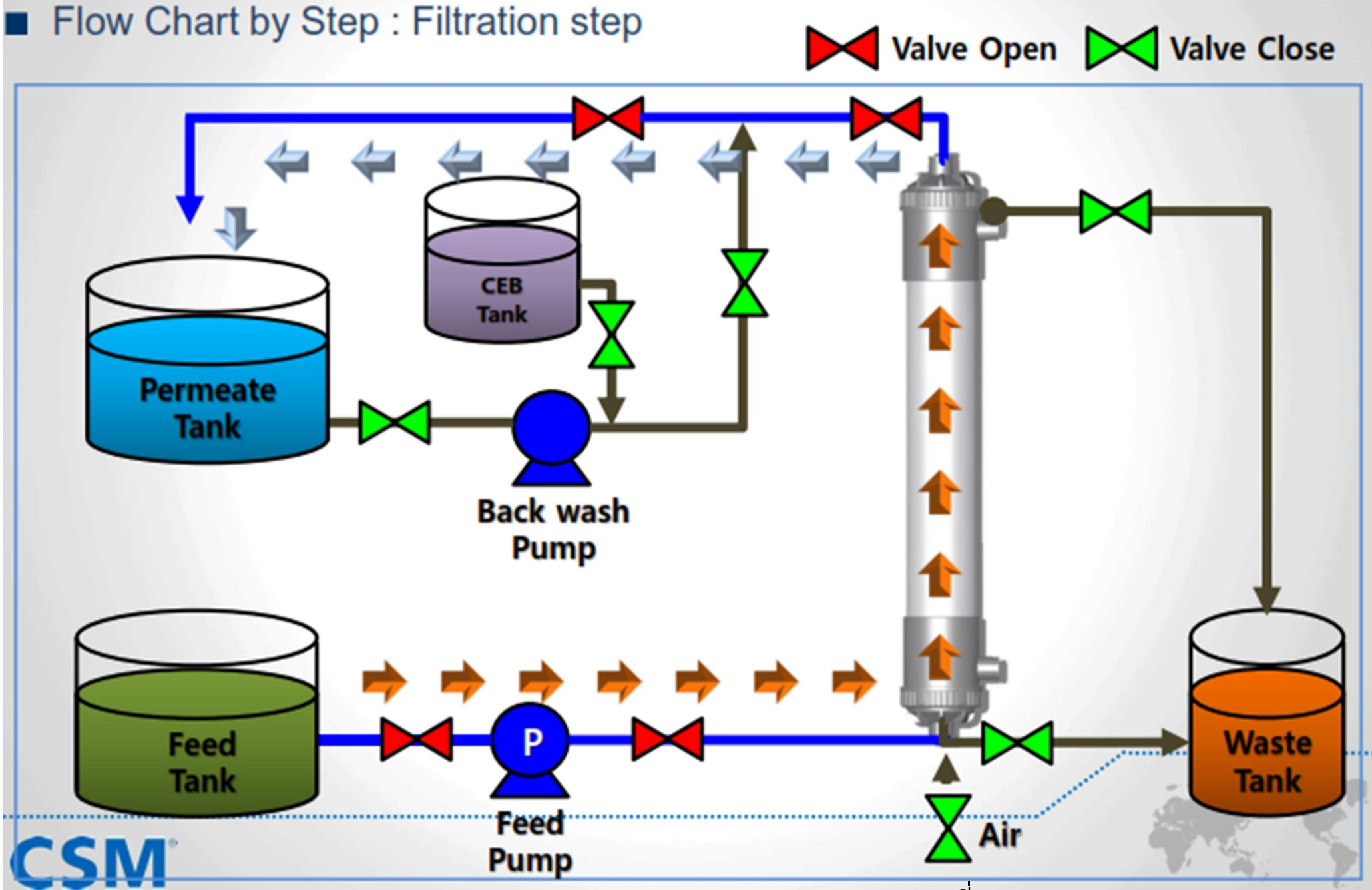


CSM

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

■ Flow Chart by Step : Filtration step

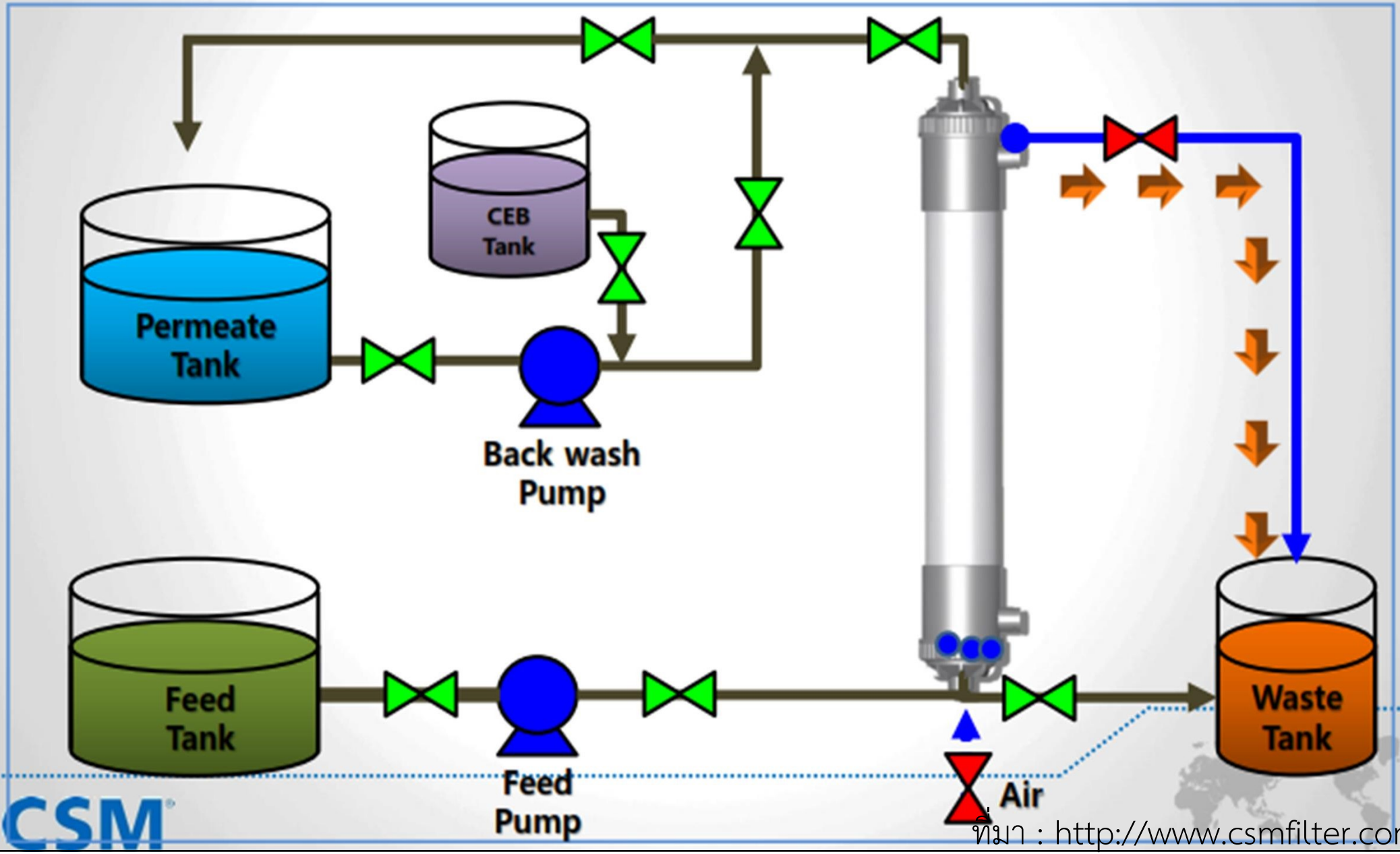


ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

Duration 20 to 60 seconds per cycle

■ Flow Chart by Step : Air scour step



CSM

ที่มา : http://www.csmfilter.com

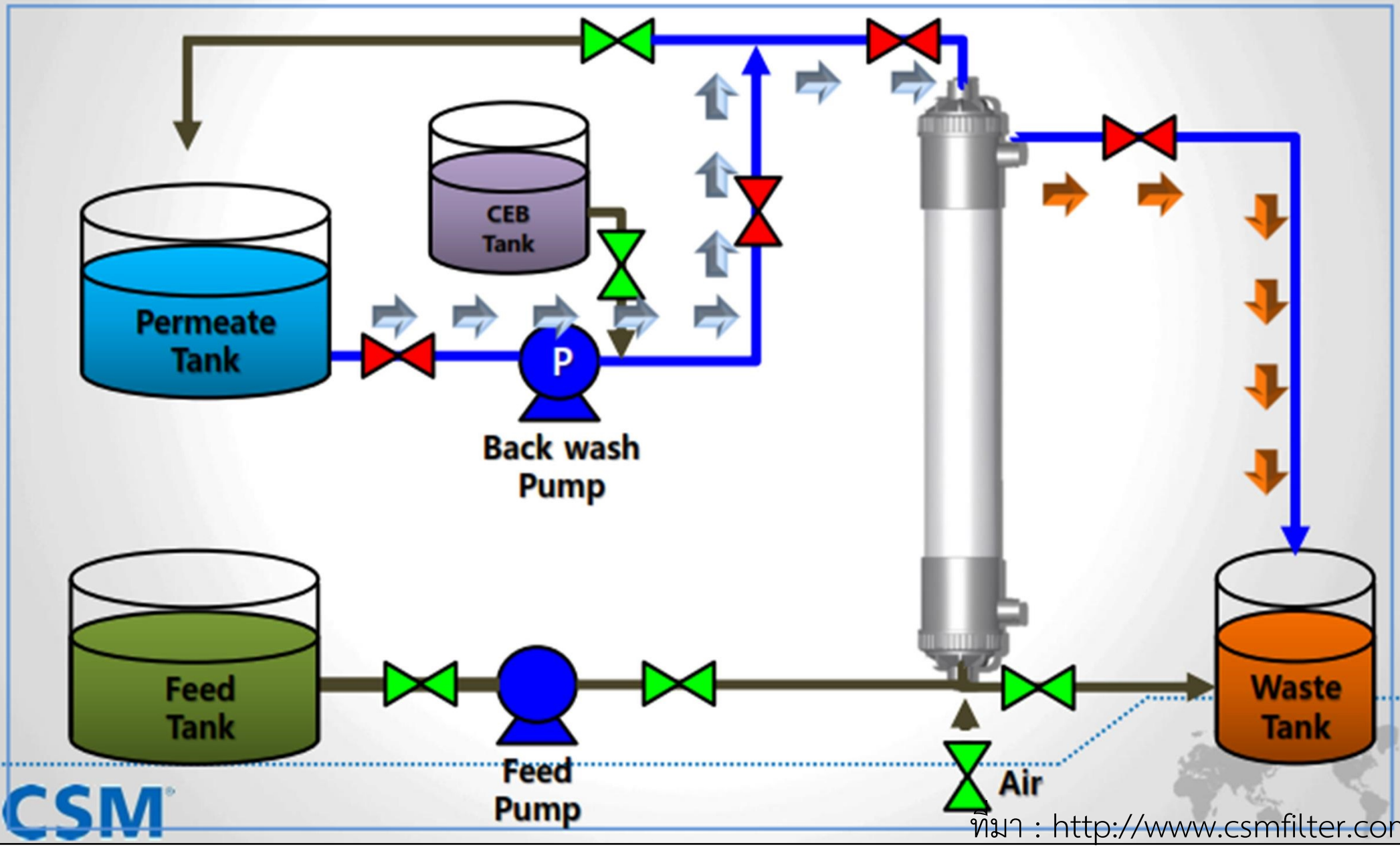
Technical Data

Backwash Frequency Once every 20 to 60 minutes (water source or pilot test results)

Backwash Duration : 40 to 120 seconds

Backwash Flux : 100 to 150 l/m2·h (60 - 90 gfd)

Flow Chart by Step : Backwash step

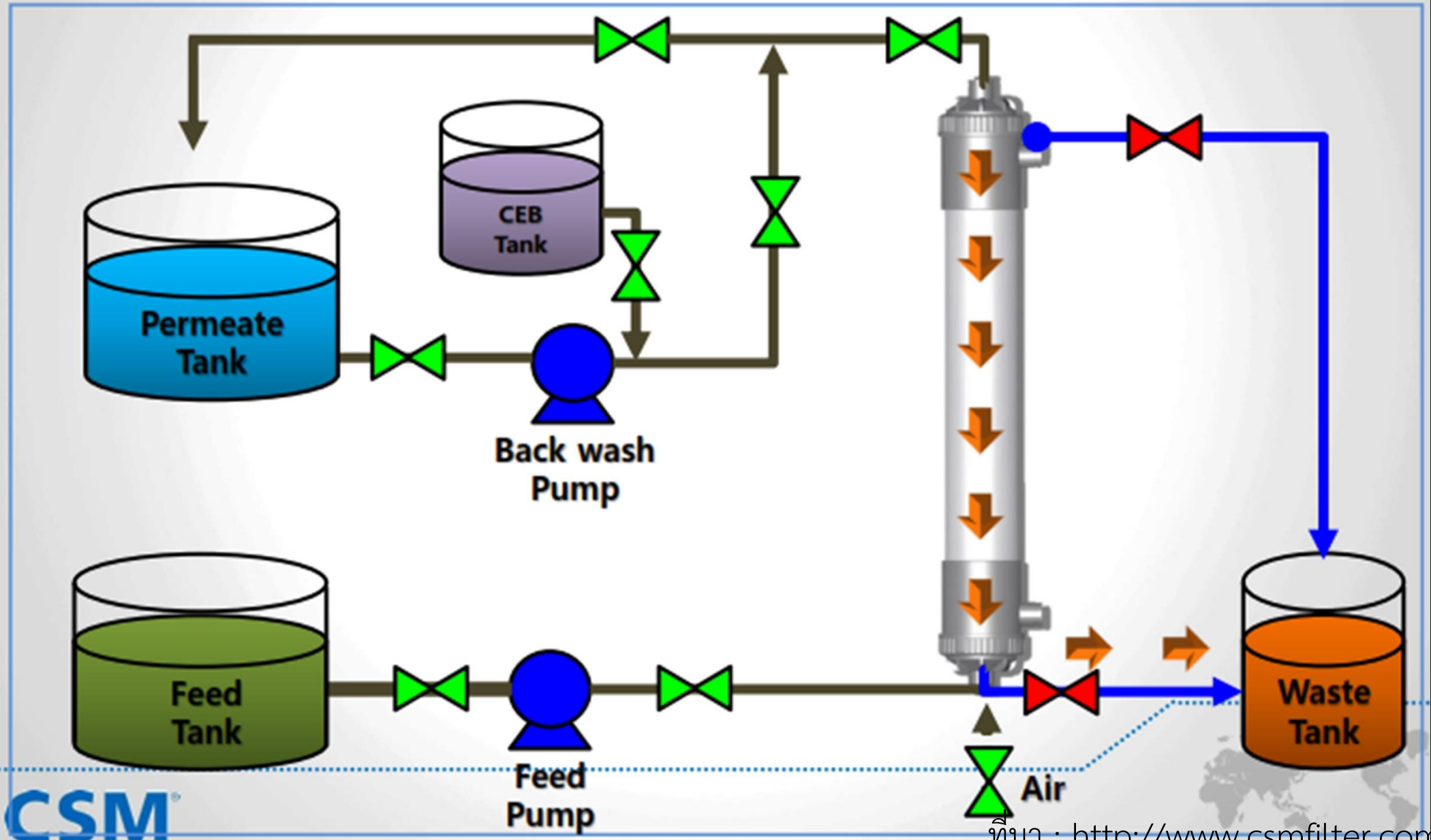


CSM

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

- Flow Chart by Step : Drain step



CSM

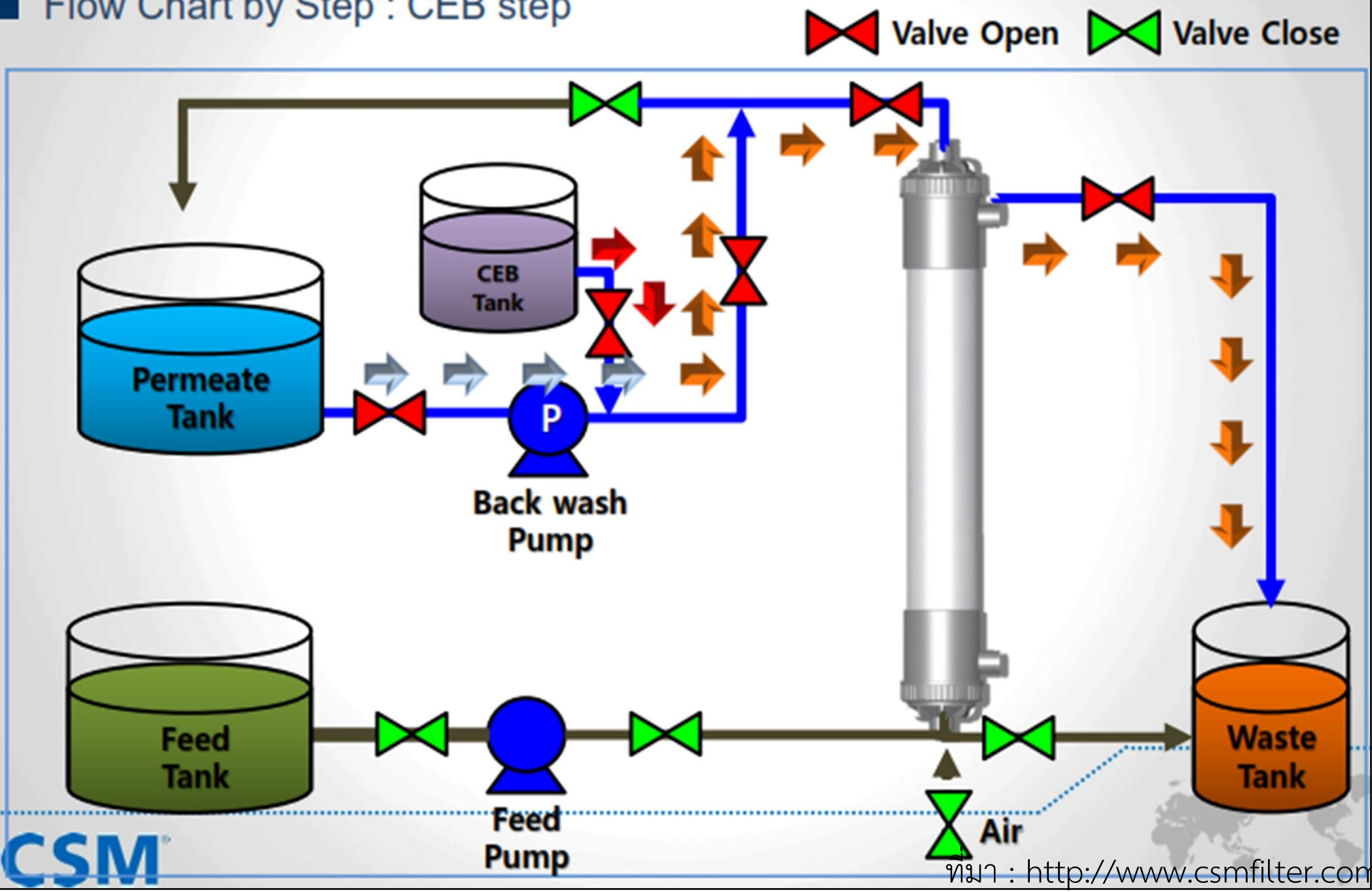
ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

Frequency : As needed

Duration : Backwash Time plus soak 5 to 20 minutes

Flow Chart by Step : CEB step



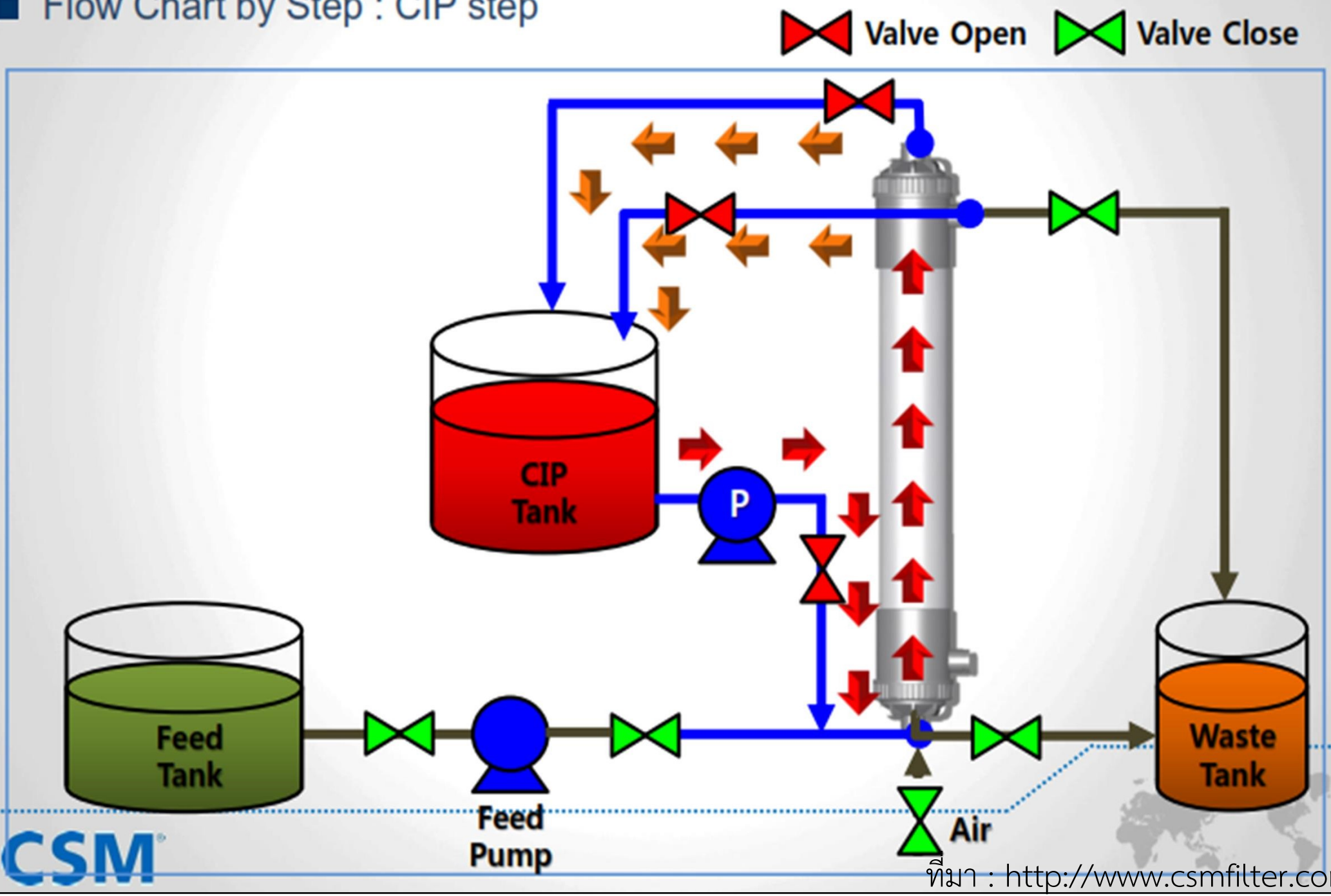
CSM

ที่มา : http://www.csmfilter.com

Technical Data

Frequency When TMP exceeds 1.0 bar above starting TMP (at same temperature). Duration : 120 minutes (recycle and soak) or longer

■ Flow Chart by Step : CIP step



ที่มา : http://www.csmfilter.com

ทางน้ำเข้า-น้ำออกของระบบ UF

ทางน้ำเข้า

ทางน้ำออก

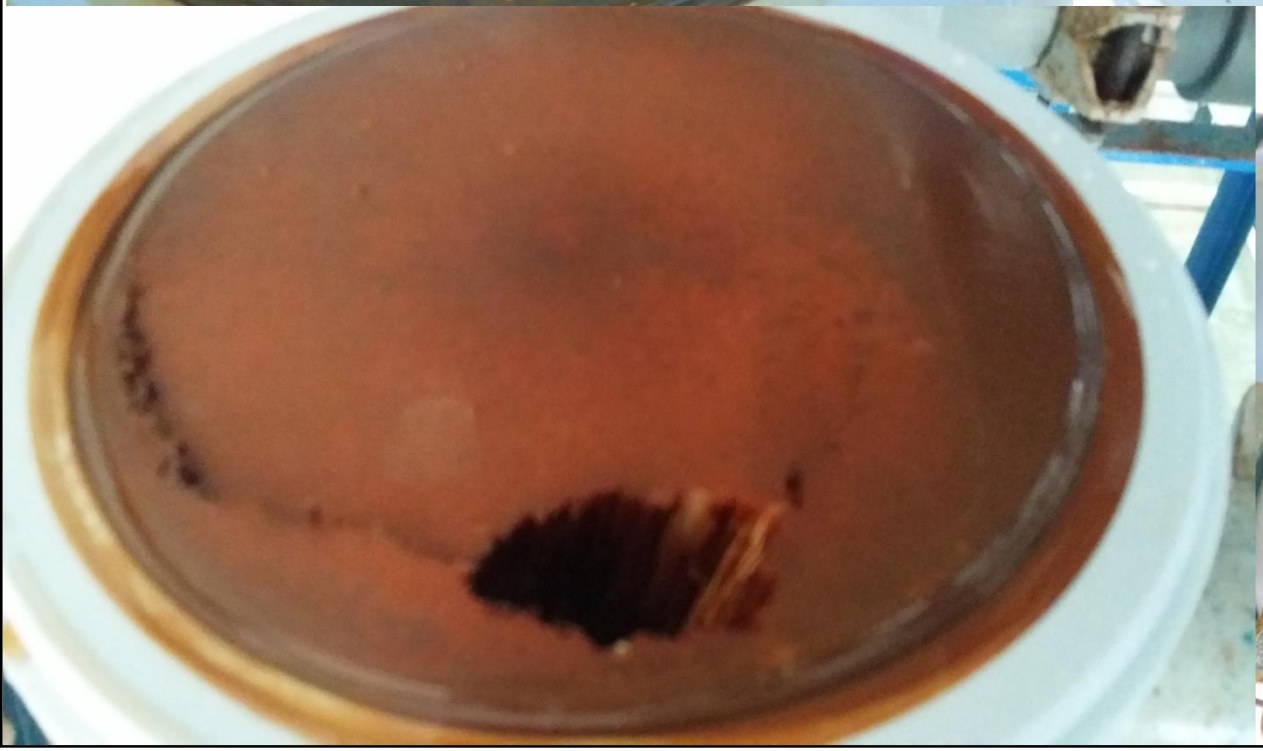
อาการรั่วของระบบ UF

1. คุณภาพน้ำหลังกรอง(Permeate Water) มีการปนเปื้อนสูงขึ้น เช่น ความขุ่นสูงขึ้น แบคทีเรียปนเปื้อน เป็นต้น

2. ความดันของน้ำป้อน (Feed Water Pressure) ลดลง อาการนี้จะเห็นได้ชัดกรณีที่มีการรั่วค่อนข้างมาก

3. ค่า Transmembrane Pressure Difference (TMP) ลดลง อาการนี้จะเห็นกรณีรั่วน้อย

การรั่วของระบบ UF



การตรวจเช็คอาการรั่วของระบบ UF ด้วยการสังเกตจากฝาครอบ

วิธีการตรวจเช็คอาการรั่วของระบบ UF วิธีที่ 1

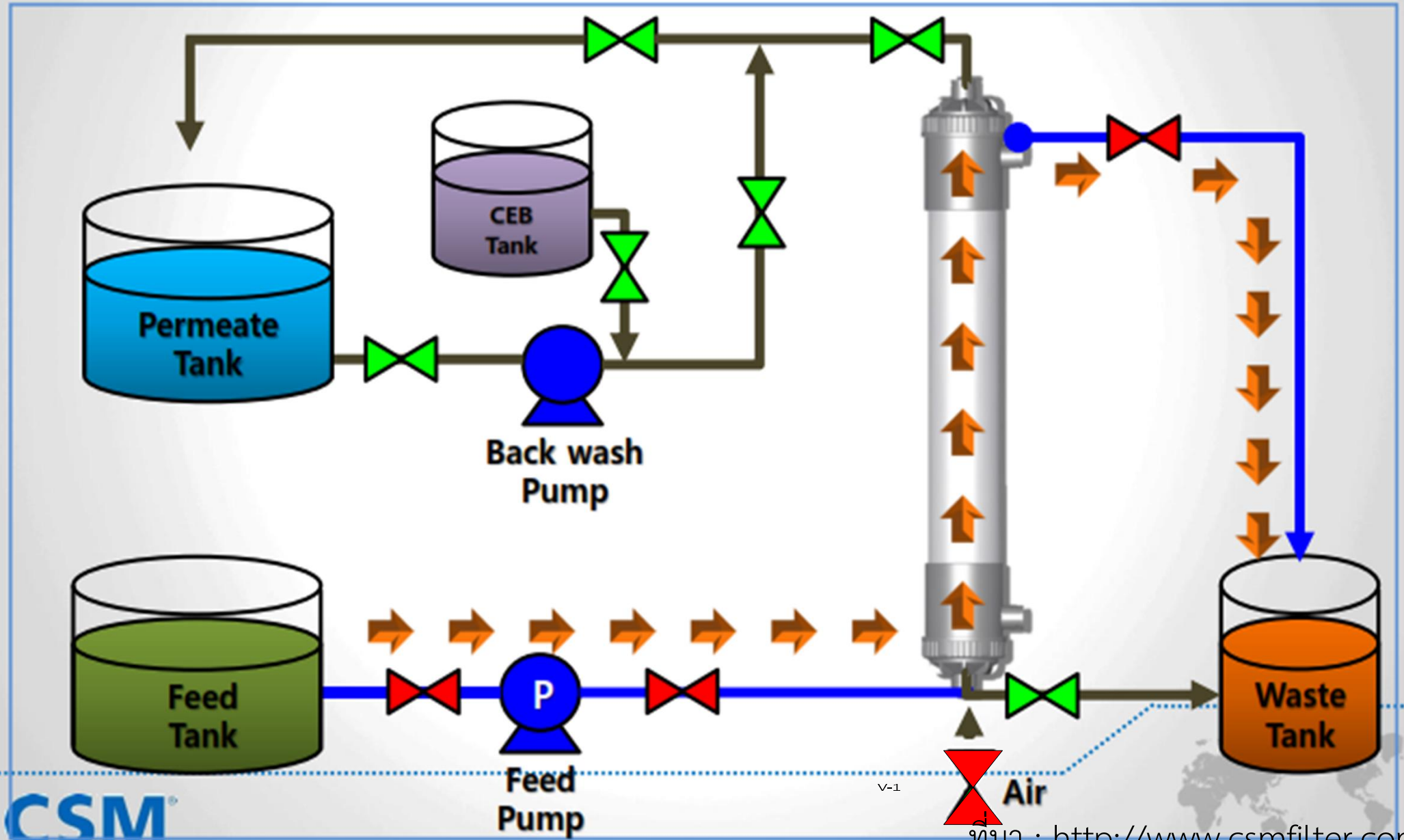
1. ปรับ Mode การ Operate เป็นแบบ Flushing และหยุดระบบ Automatic

2. ปล่อยน้ำป้อน(Feed Water) เข้าระบบปรับลดอัตราการไหลด้วยวาล์วหน้าปั้มเพื่อไม่ให้น้ำเข้ามากเกินไป ให้พอแค่ล้นระดับฝาครอบ

3. ปล่อยลม (Air Scouring) เข้าระบบปรับลดอัตราการไหลด้วยวาล์วหน้าปั้มลม เพื่อไม่ให้ลมเข้ามากเกินไป ให้พอแค่เห็นฟองอากาศกรณีรั่วที่ด้านบนฝาครอบ

Technical Data

■ Flow Chart by Step : Forward flushing step



ที่มา : http://www.csmfilter.com

วิธีการตรวจเช็คอาการรั่วของระบบ UF

1. กรณีที่มีการรั่วค่อนข้างมาก ปล่อยน้ำอย่างเดียวจะเห็นการรั่วแล้ว

2. กรณีที่มีการรั่วน้อย ปล่อยน้ำอย่างเดียวจะเห็นไม่ชัดเจน ต้องปล่อยลมด้วยจึงจะเห็นการรั่ว

วิธีการตรวจเช็คอาการรั่วของระบบ UF วิธีที่ 2

1. หยุดการเดินระบบและหยุดระบบ Automatic

2. ปิดทางเดินของน้ำ Concentrate

3. เปิดฝาครอบ UF Membrane Module ด้านบน

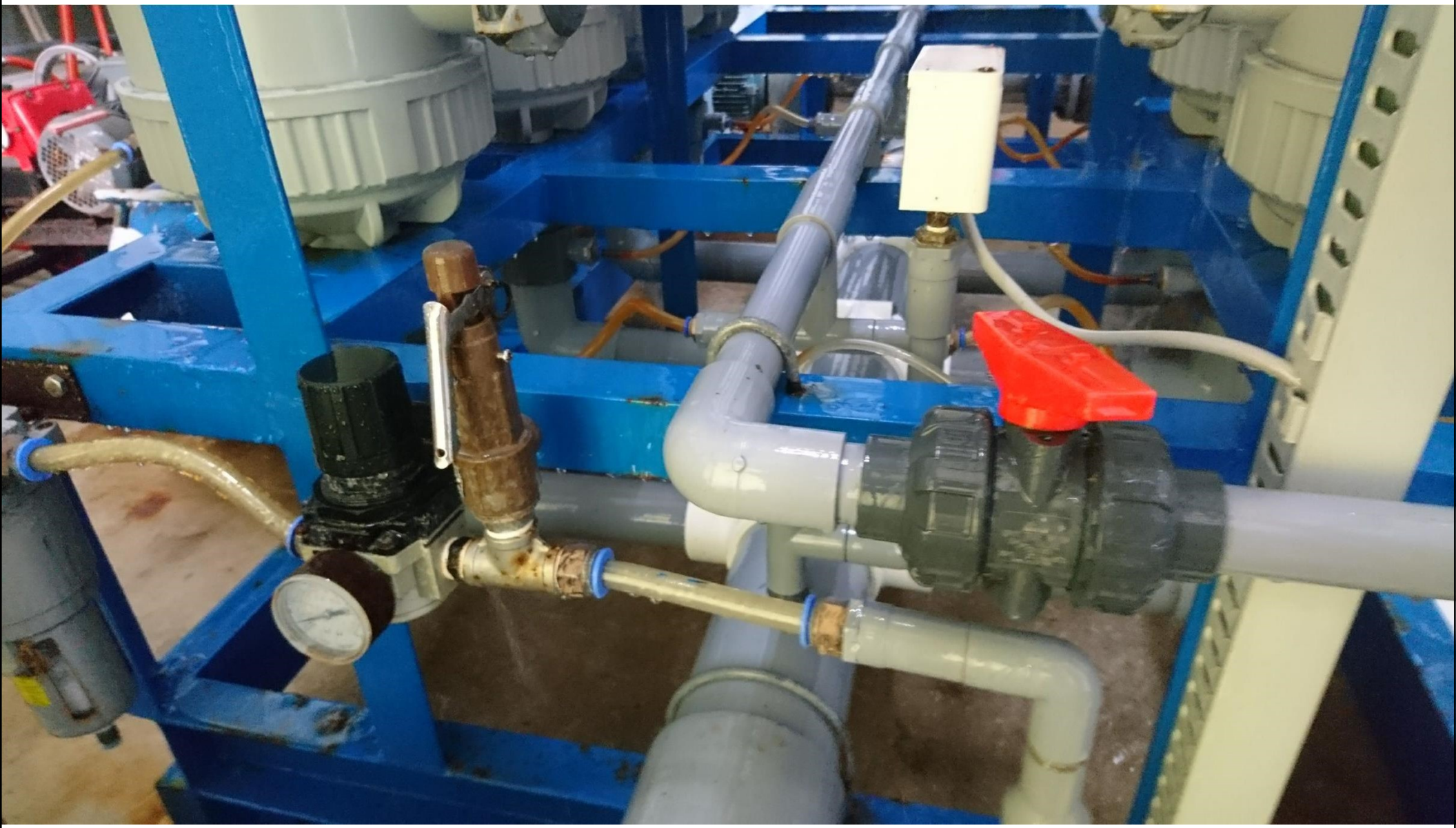
4. ปล่อยลม (Air Scouring) เข้าระบบปรับลดอัตราการไหลด้วยวาล์วหน้าปั๊มลม ปรับแรงดันไปที่ 1 bar เพื่อไม่ให้ลมเข้ามากเกินไป ให้พอแค่เห็นฟองอากาศกรณีรั่วที่ด้านบนฝาครอบ

5. ใช้สายยางฉีดน้ำด้านบนทางน้ำออกของ UF Membrane

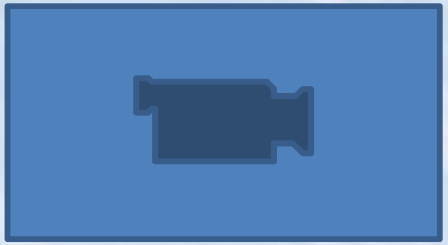
เปิดฝาครอบ UF Membrane Module ด้านบน

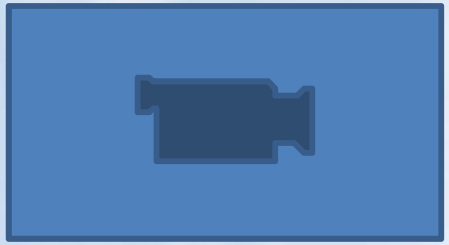
UF Membrane Module ด้านบที่ถอดฝาครอบออกแล้ว

ปล่อยลม (Air Scouring) เข้าระบบปรับลดอัตราการไหลด้วยวาล์วหน้าปั้มลม ปรับแรงดันไปที่ 1 bar

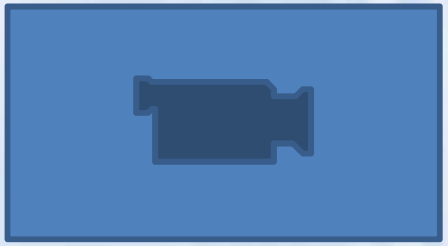


ULTRAFILTRATION FIBER REPAIR 1



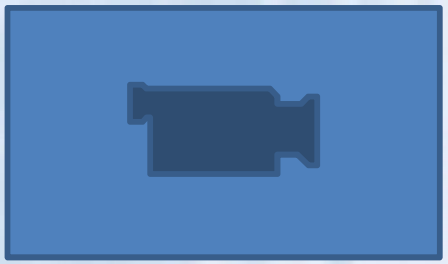


ULTRAFILTRATION FIBER REPAIR 2

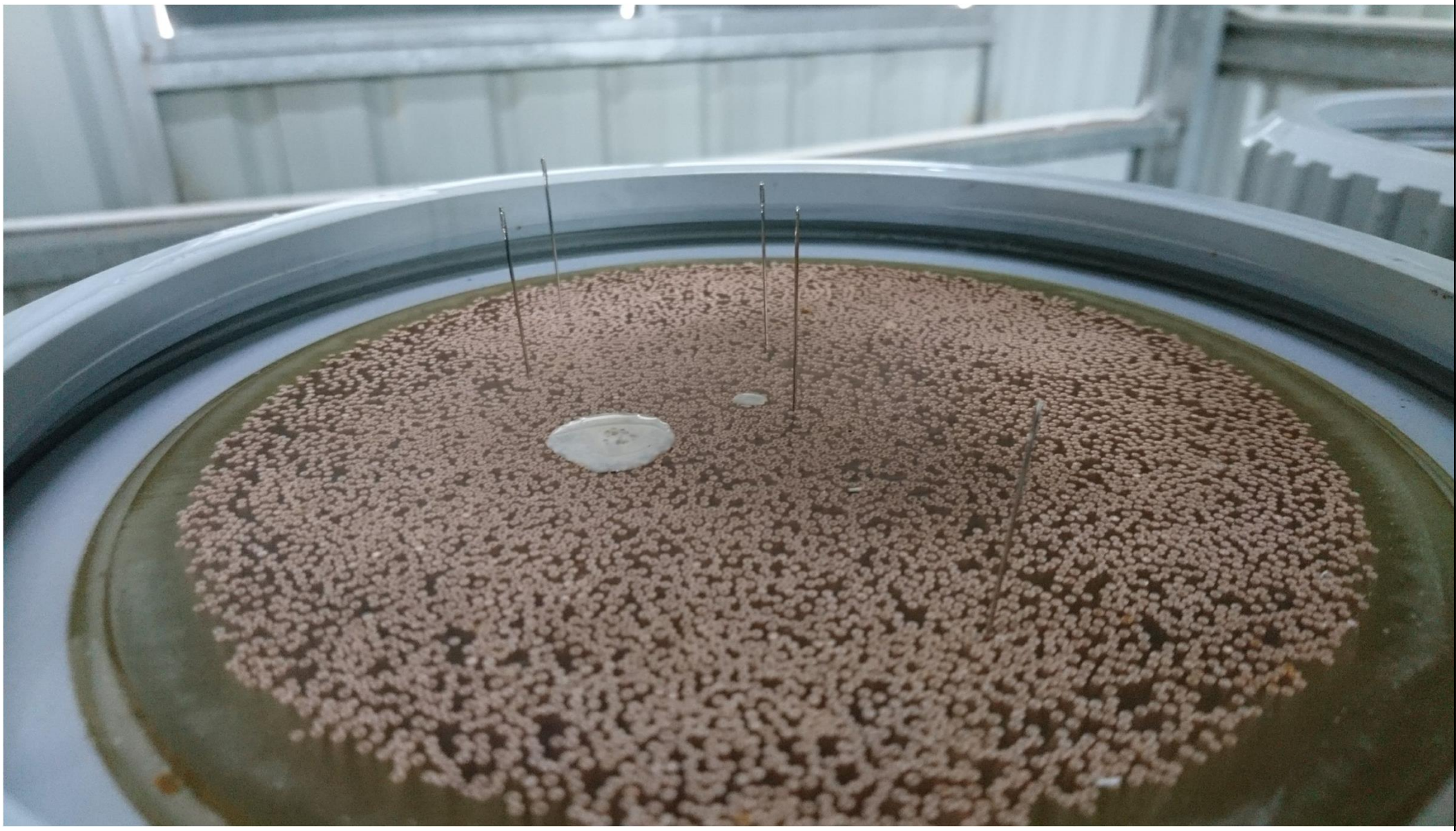


DOW ULTRAFILTRATION FIBER REPAIR

ULTRAFILTRATION FIBER REPAIR 3



ใช้เข็มหมุดปักลงตำแหน่งที่รั่ว

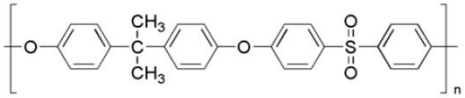
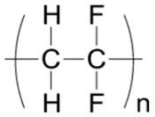


การเลือกระบบ UF

- พิจารณา flux rate ที่เหมาะสม
- มีระบบน้ำล้างย้อนกลับ (Backwash)
- มีระบบล้างด้วยเคมี CEB หรือ การล้างด้วย manual
- มีระบบล้าง CIP
- มีระบบเป่าลม ขณะล้างย้อนกลับ

การเลือกไส้กรองวัสดุในการใช้ใน UF

Key Features – PES vs PVDF

Properties	PES	PVDF
		
Hydrophilicity	Excellent	Good
Hardness (Rockwell M)	Excellent	Good
Tensile Strength (MPa)	Excellent	Good
Water Absorption (%)	Very Good	Moderate
Low pH Tolerance	Very Good	Excellent
High pH Tolerance	Excellent	Very Good
Oxidant Tolerance	Good	Excellent
Material Cost	Moderate	Moderate-High

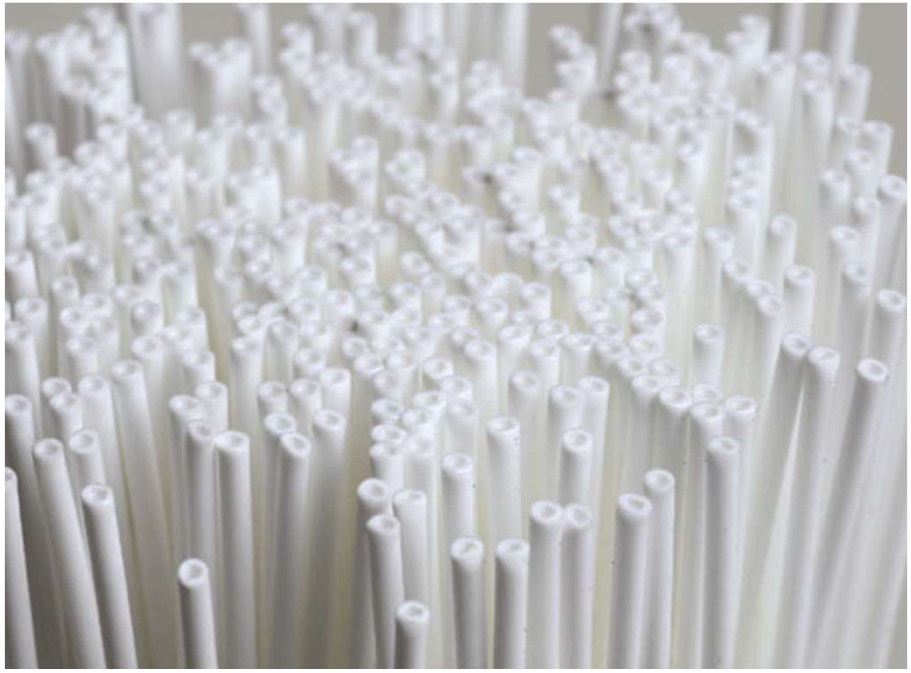
ในการเลือกใช้ในการผลิตน้ำเลี้ยงกุ้งควรเลือกใช้ PES material เป็นสำคัญ เพราะ pH น้ำสูง

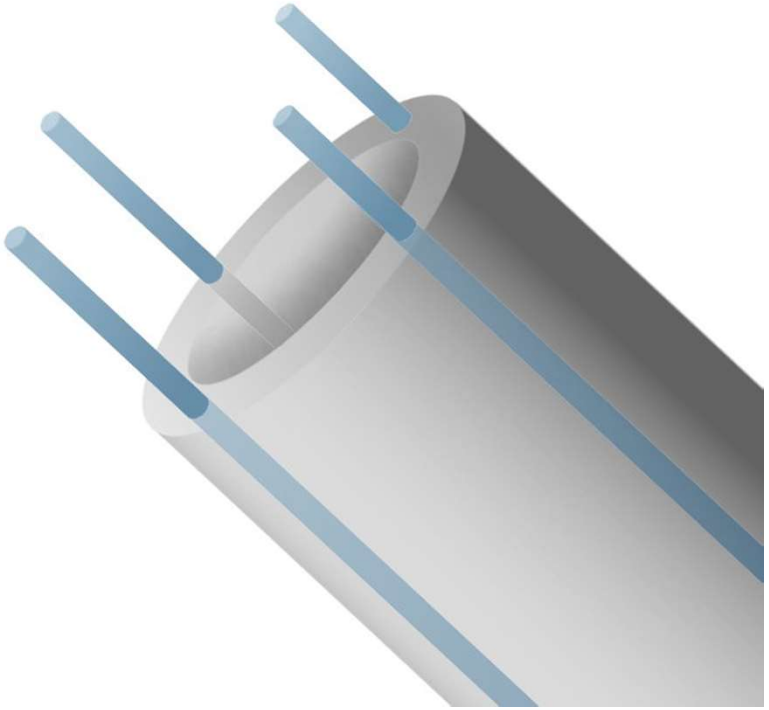
เนื่องจากในตลาดมี การผลิต PVDF เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลการเข้าใจในการเลือก material ผิด.

**ที่มา จาก material membrane technology website.

การเลือกไส้กรองวัสดุในการใช้ใน UF

Advance technology in market: PES “Reinforced” Hollow Fibre





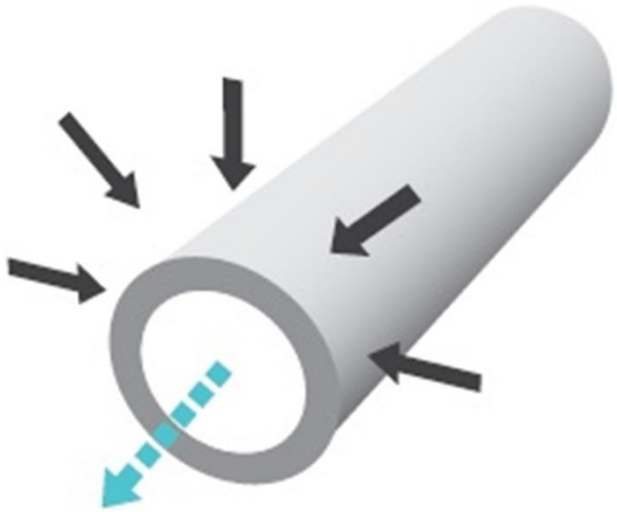
ปัจจุบันมีการพัฒนา นำ reinforeced หรือ แท่งยึดเข้ากับ membrane ทั้งเส้น เพื่อป้องกันเส้นใยขาด

ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

การเลือกวิธีการกรอง

Key Feature: **Outside-In** Flow Direction

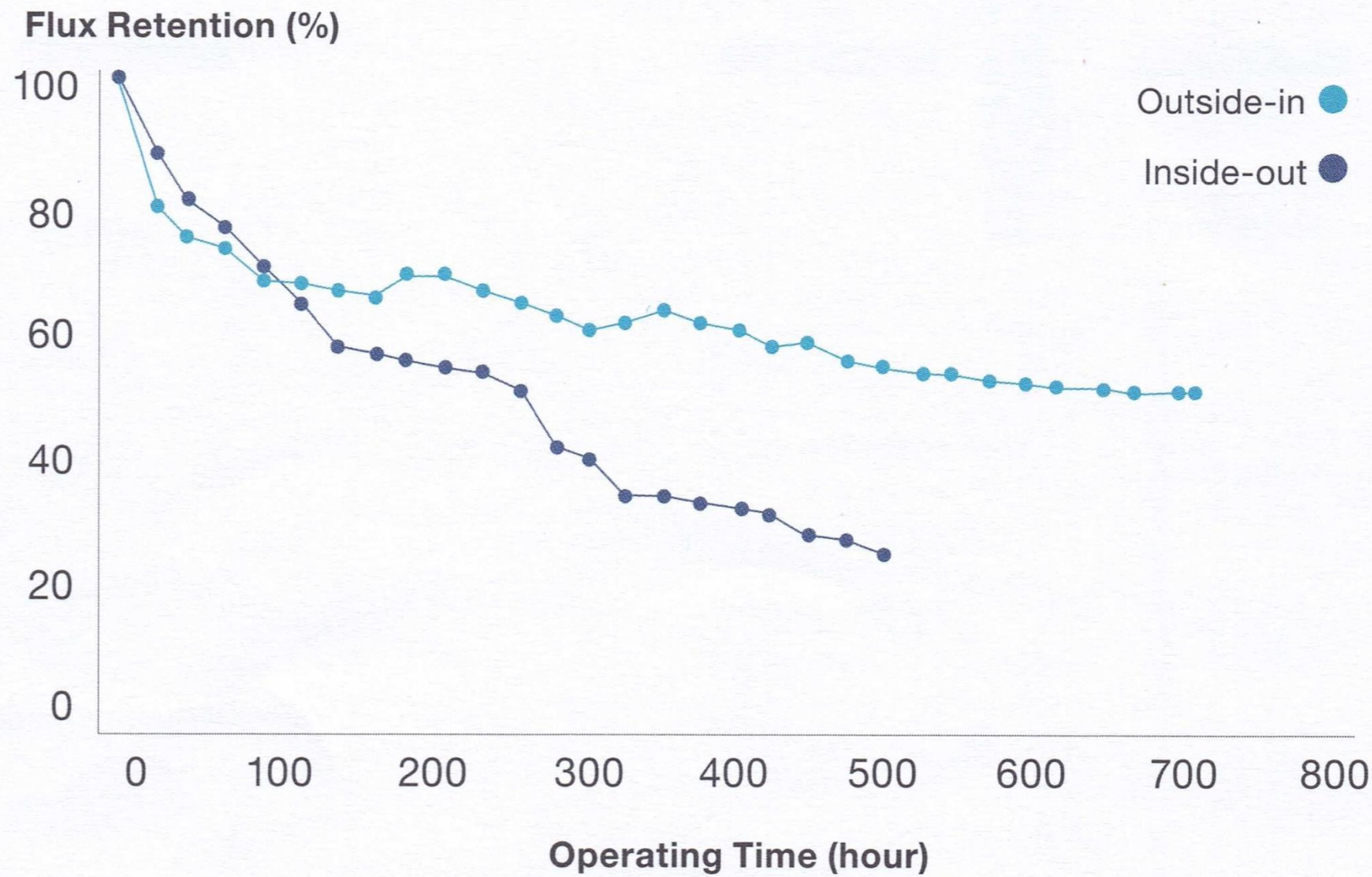
Inside-Out



Outside-In

- พื้นที่การกรองเยอะกว่าในจำนวนดเส้นใยที่เท่ากัน
- ล้างทำความสะอาดง่ายกว่า ด้วยลม
- รูกรองไม่ขยาย ง่าย

ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/



Flux performance graph of outside-in vs inside-out membranes

ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

Kristal Calculator V0.3 (Locked).xlsx - Microsoft Excel

File | Home | Insert | Page Layout | Formulas | Data | Review | View | Acrobat

V110

KRISTAL® MODULE SIZING AND DESIGN SUMMARY

Hyflux®

Basic Information

Client company name:	0
Client name:	0
Client code:	-
Client address	0
Client contact number:	0
Client email address:	0
Date of enquiry:	0 January 1900
Project name:	pornsak
Project location:	0
Design capacity (Product):	100.00 m3/d based on 23 hours operation.
Final application:	Drinking water

Project Code	Revision no
-	-

UF Feed Water Quality Summary

Water type: Surface water (river/ lake/ reservoir)

Further specifications: 0

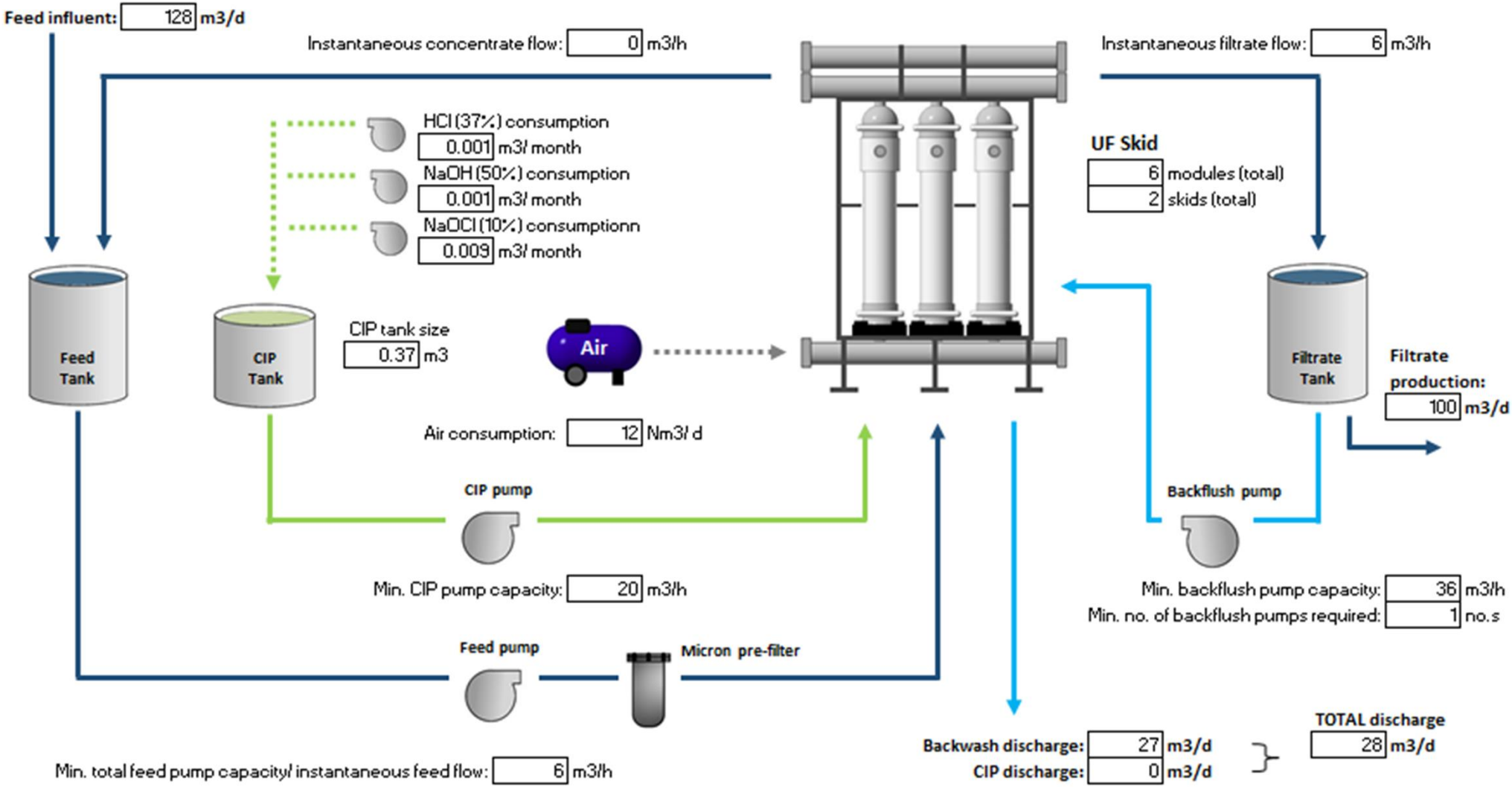
Parameter	Units	Values
Turbidity	NTU	20
Total Suspended Solids (TSS)	mg/L	22
Total Organic Carbon (TOC):	mg/L C	4
Chemical Oxygen Demand (COD_{Cr}):	mg/L O	25
Design temperature:	°C	25
Oil & grease (emulsified):	mg/L	0

Parameter	Units	Values
-	0	0
-	0	0
-	0	0
-	0	0
-	0	0
-	0	0
-	0	0

Basic Info & Water Quality | Op Parameters & Module Sizing | Summary

Ready | Average: 66.27577896 | Count: 79 | Sum: 1590.618695 | 75%

KRISTAL® SYSTEM SCHEMATIC DIAGRAM



ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

TORAY
Innovation by Chemistry
MEMBRANE

Projection Software for PVDF Hollow Fiber Membrane Module "HF-Series"

User Name（ご利用者名）: Pornsak
E-mail Address（メールアドレス）:mr078883@mwa.co.th

Calculation（計算実行） Clear（消去）

Project(プロジェクト)

	Project Name プロジェクト名		Pornsak
	Product Water (m^3/d) 生産水量 (m^3/日)		60000.00
	Product Water (m^3/h) 生産水量 (m^3/時間)		2500.00
	Water Category 原水種別		Surface Water
	Coagulant 凝集剤有無		Without Coagulant
	Toray Maintenance Cleaning (TMC)		With TMC (1time/d)

Permeate Water Quality

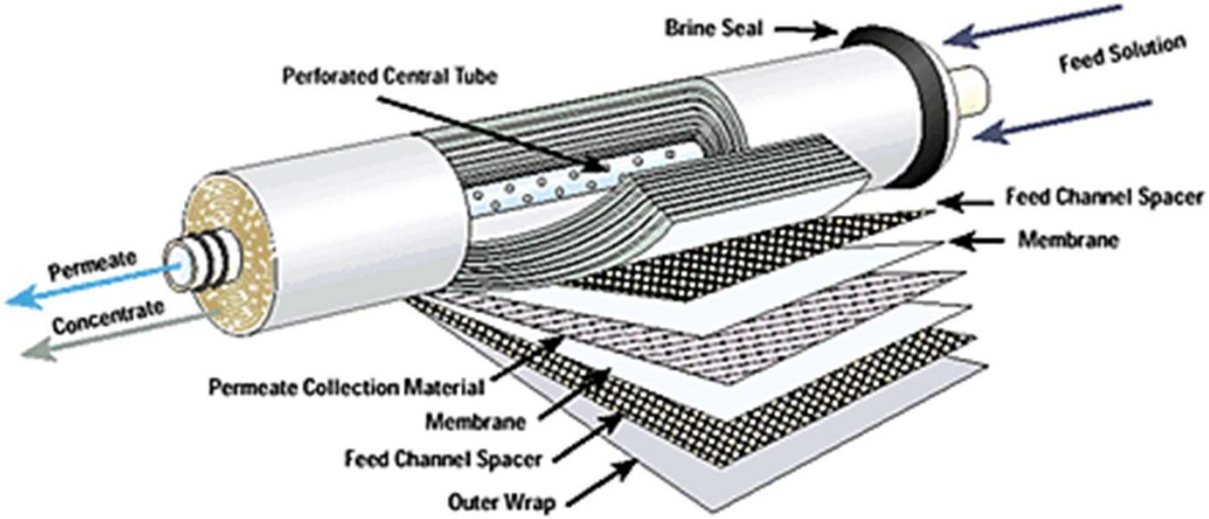
PERFORMANCE	
Initial Clean Water Flow Rate	39.5 gpm (9 m^3/h) ±10% @14.5 psi (1 bar), 77°F (25°C)
Typical Process Feed Flow Rate	26 – 35 gpm (6 – 8 m^3/h)
Typical Permeate Flow Rate	18 – 31 gpm (4 – 7 m^3/h)
Typical E. Coli Reduction	5 – 6 log
Typical Filtrate Turbidity	≤ 0.1 NTU
Typical Filtrate SDI	< 3
Typical TOC Reduction	15 – 20%

ที่มา : http://www.hyfluxmembranes.com/

Ultrafiltration System

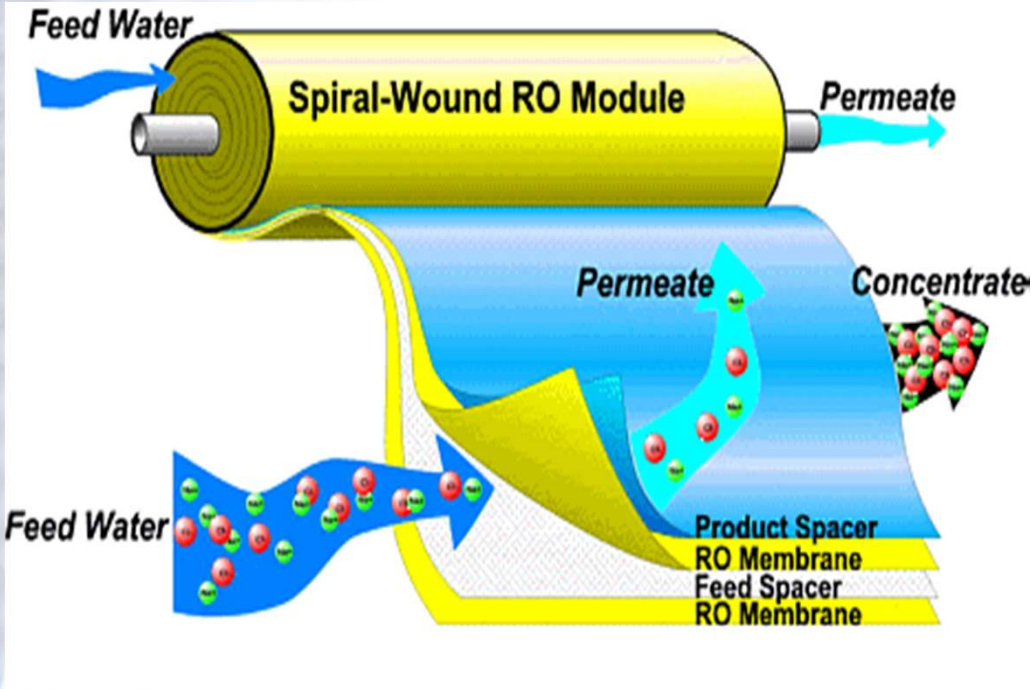
Membranes Classification (Configuration)

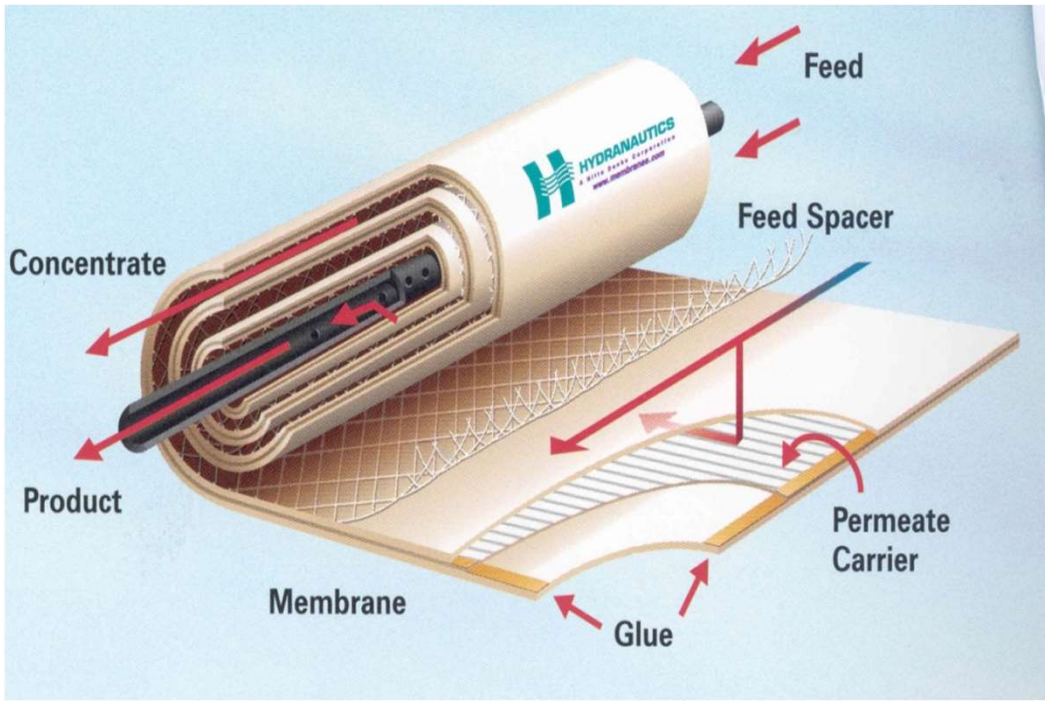
- Flat Sheet (Spiral-wound)

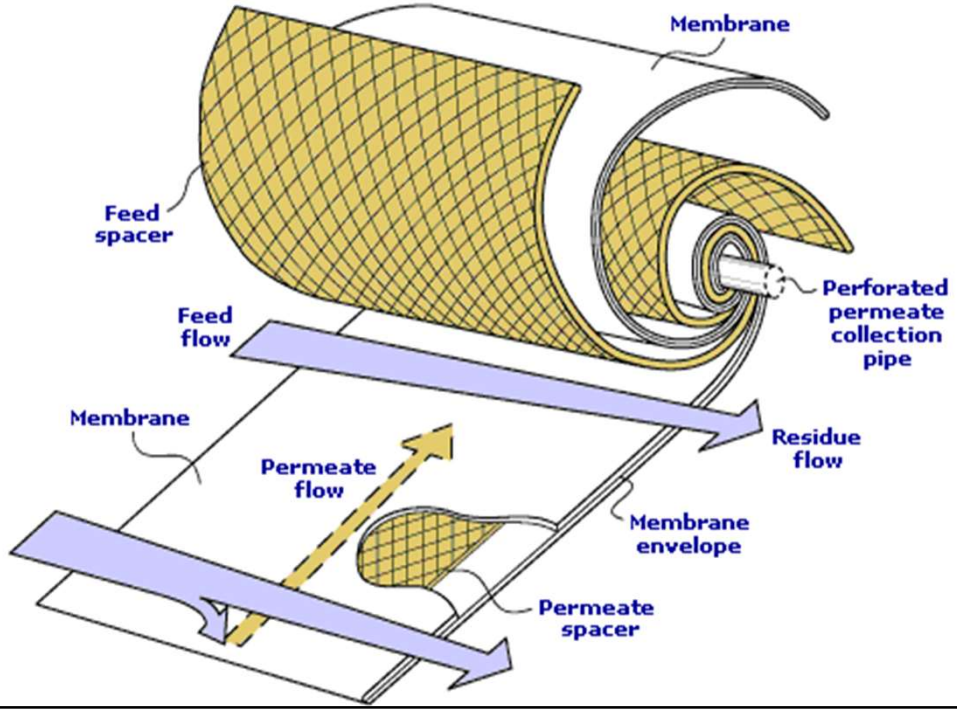


Mostly used in Reverse Osmosis & Nanofiltration

Spiral Wound Module

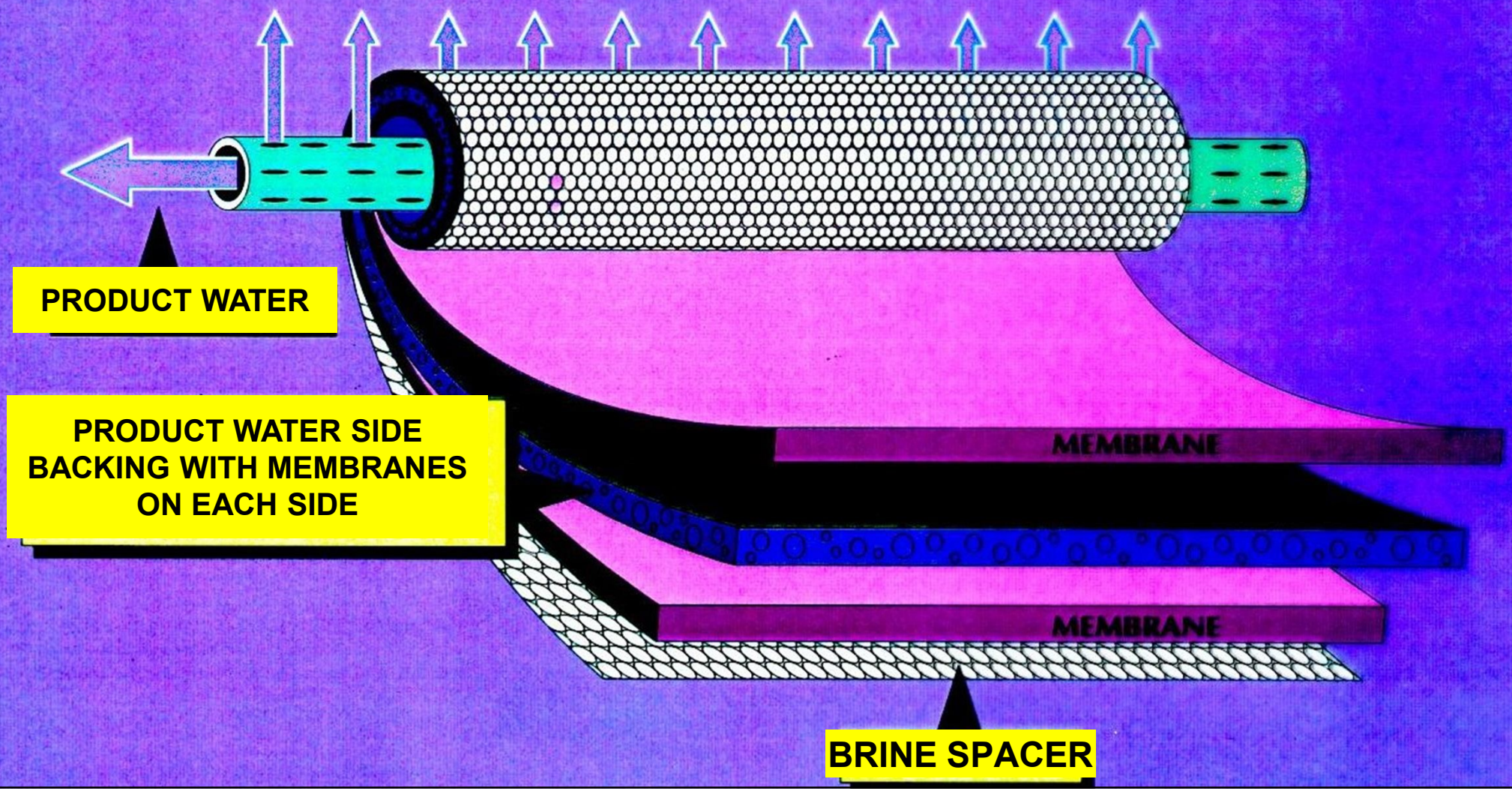






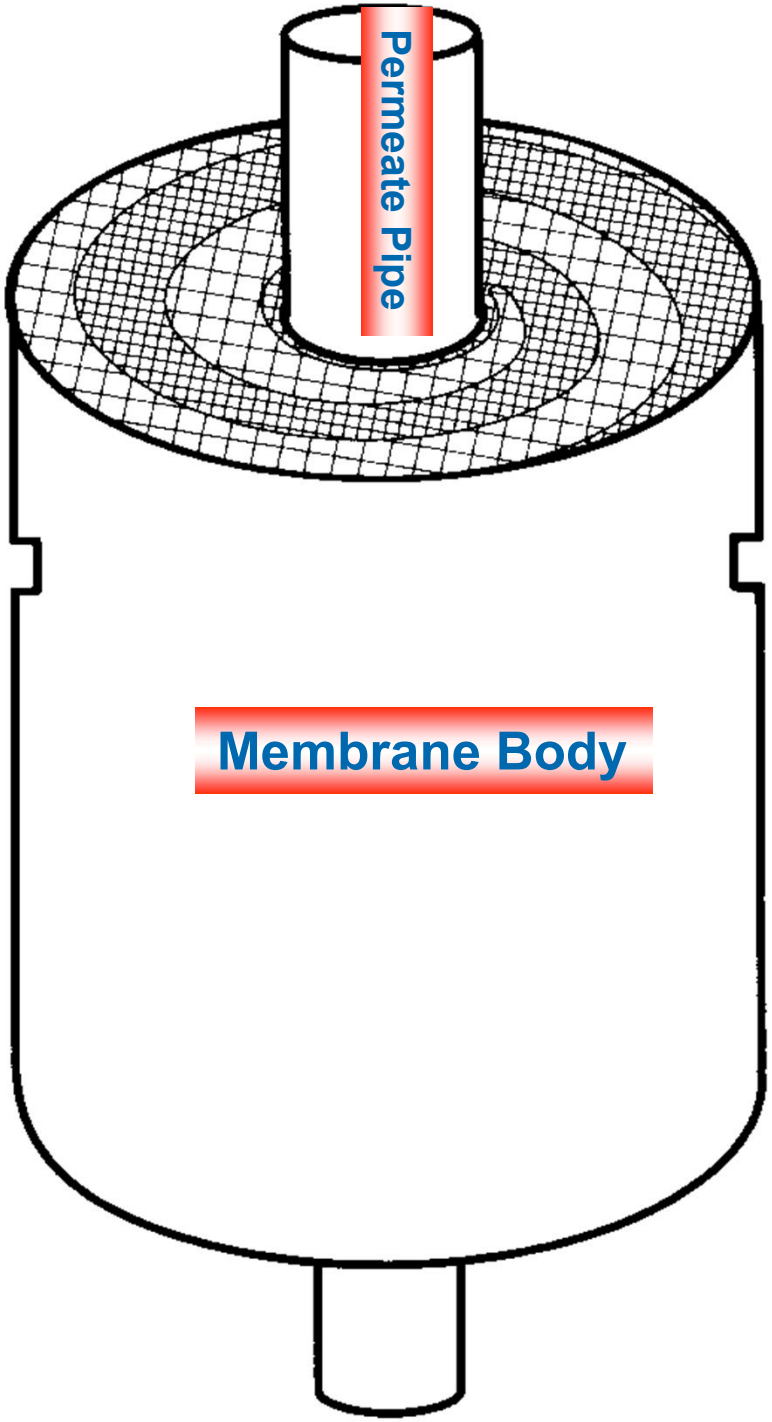
Spiral Wound Membranes

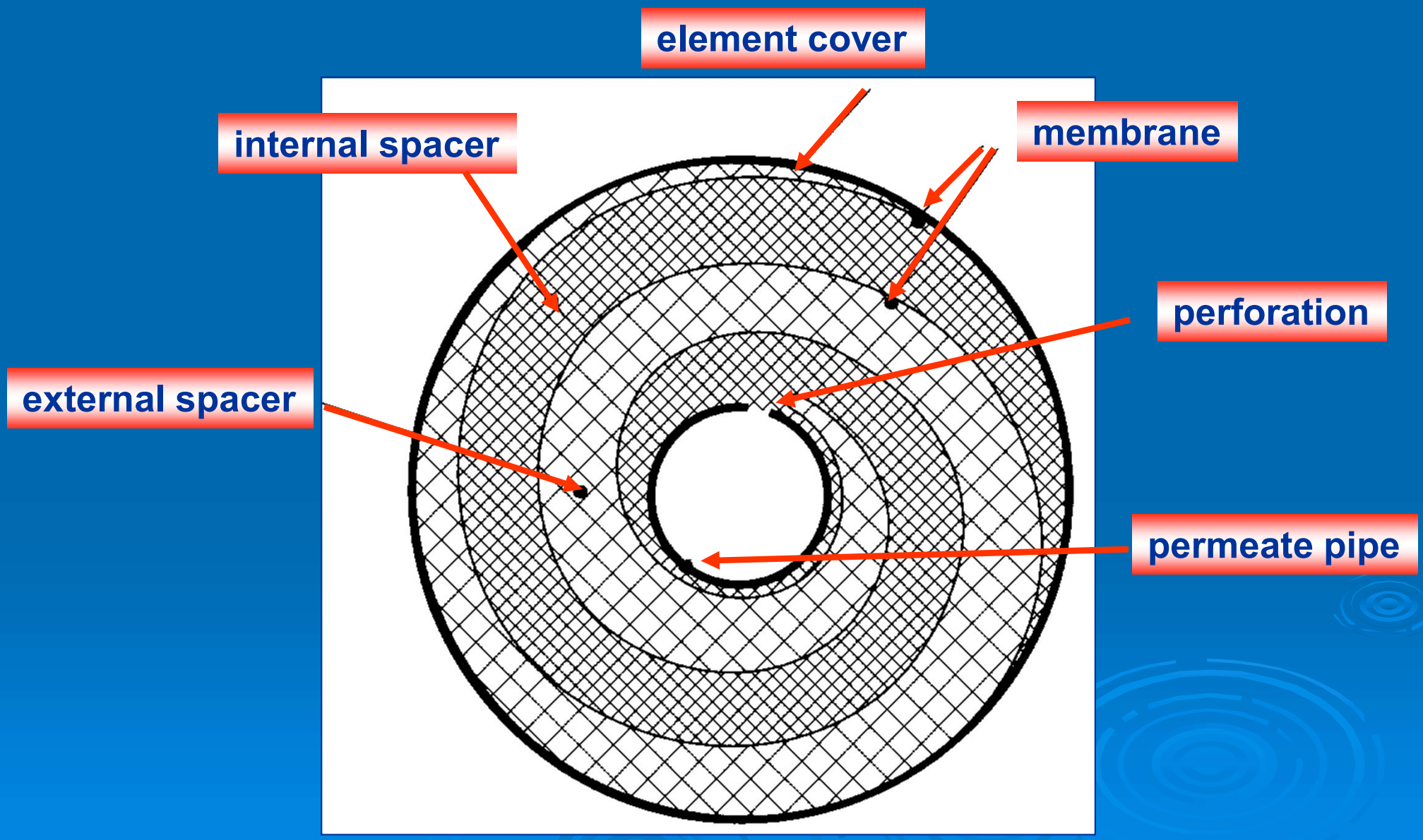
- Reverse Osmosis (excludes <0.001 microns)
- Nanofiltration (excludes >0.001 microns)
- Ultrafiltration (excludes >0.01 microns)
- Microfiltration (excludes >0.1 microns)

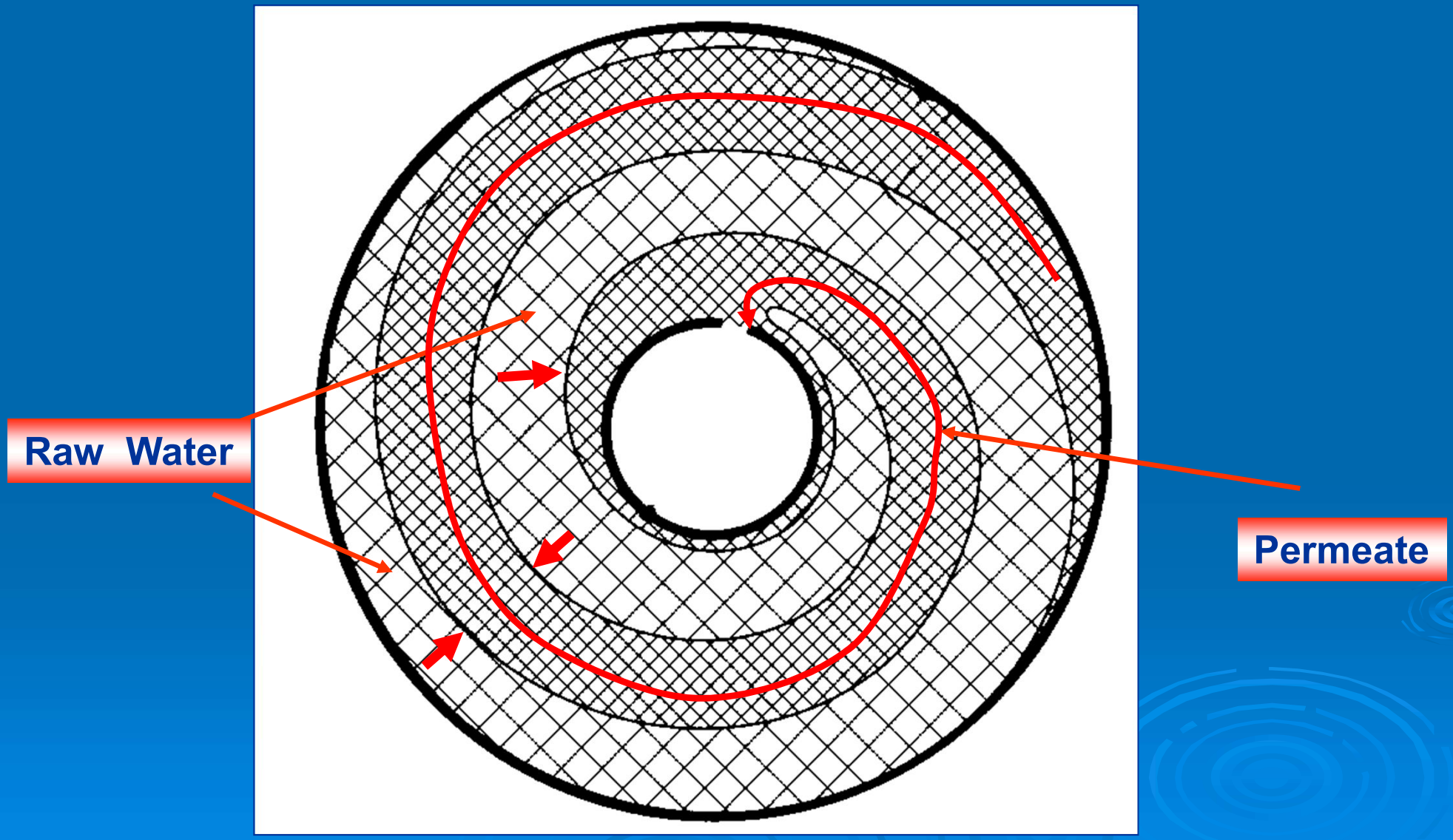


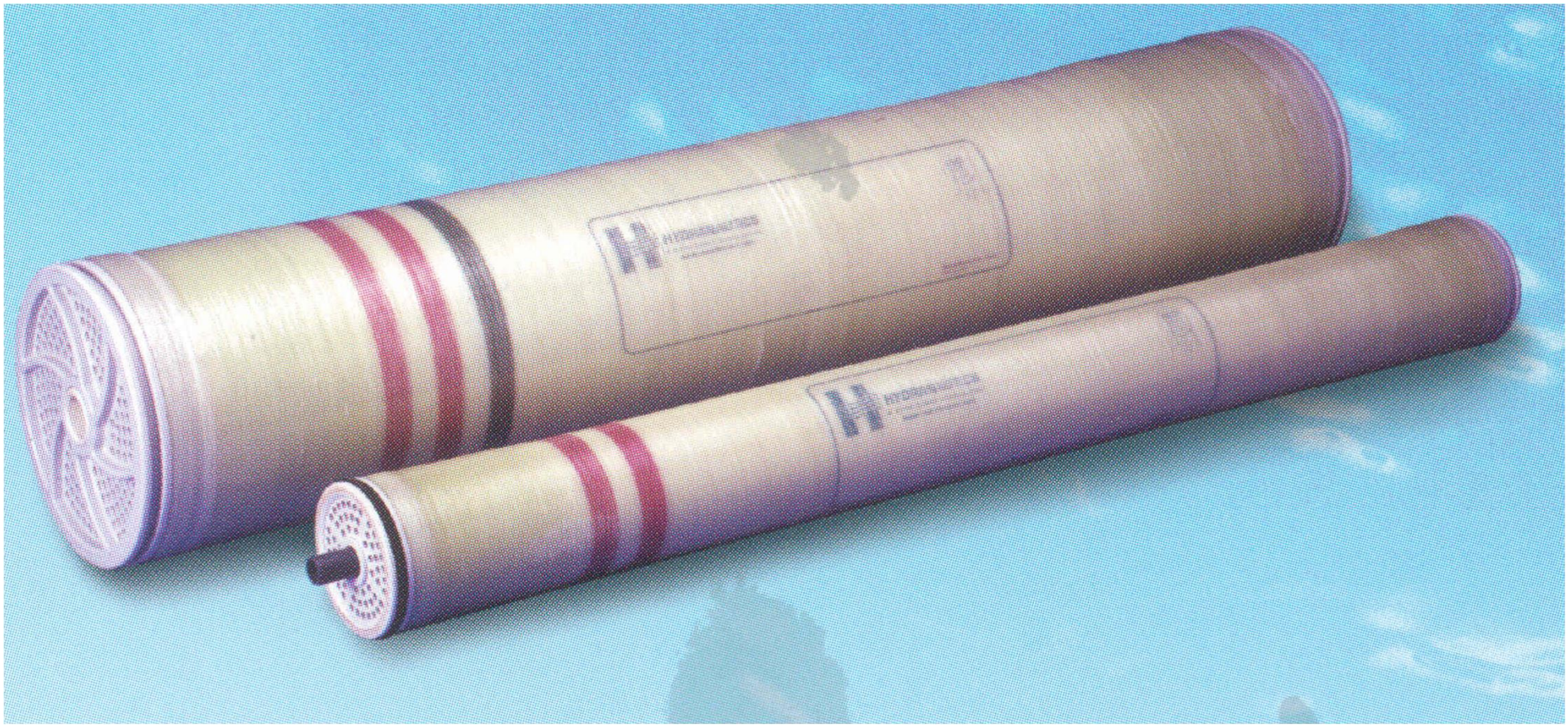
DEVELOPMENTAL
MEMBRANE ELEMENT

The Structure Of Module




element cover
internal spacer
membrane
perforation
external spacer
permeate pipe


Raw Water
Permeate



	DESIGN			
CHARACTERISTIC	Spiral-Wound	Hollow Fibers	Tubular	Plate & Frame
Cost	Low	Low	High	High
Packing Density	High	UF-High RO Very High	Low	Moderate
Pressure Capability	High	UF-Low RO-High	UF-Low RO-Medium	High
Membrane Polymer Choices	Many	Few	Few	Many
Fouling Resistance	Fair	UF-Good RO-Poor	Very Good	Fair
Clean ability	Good	UF-Very Good RO-Poor	Very Good	Good

แบ่งตามคุณภาพน้ำที่ต้องการใช้สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ

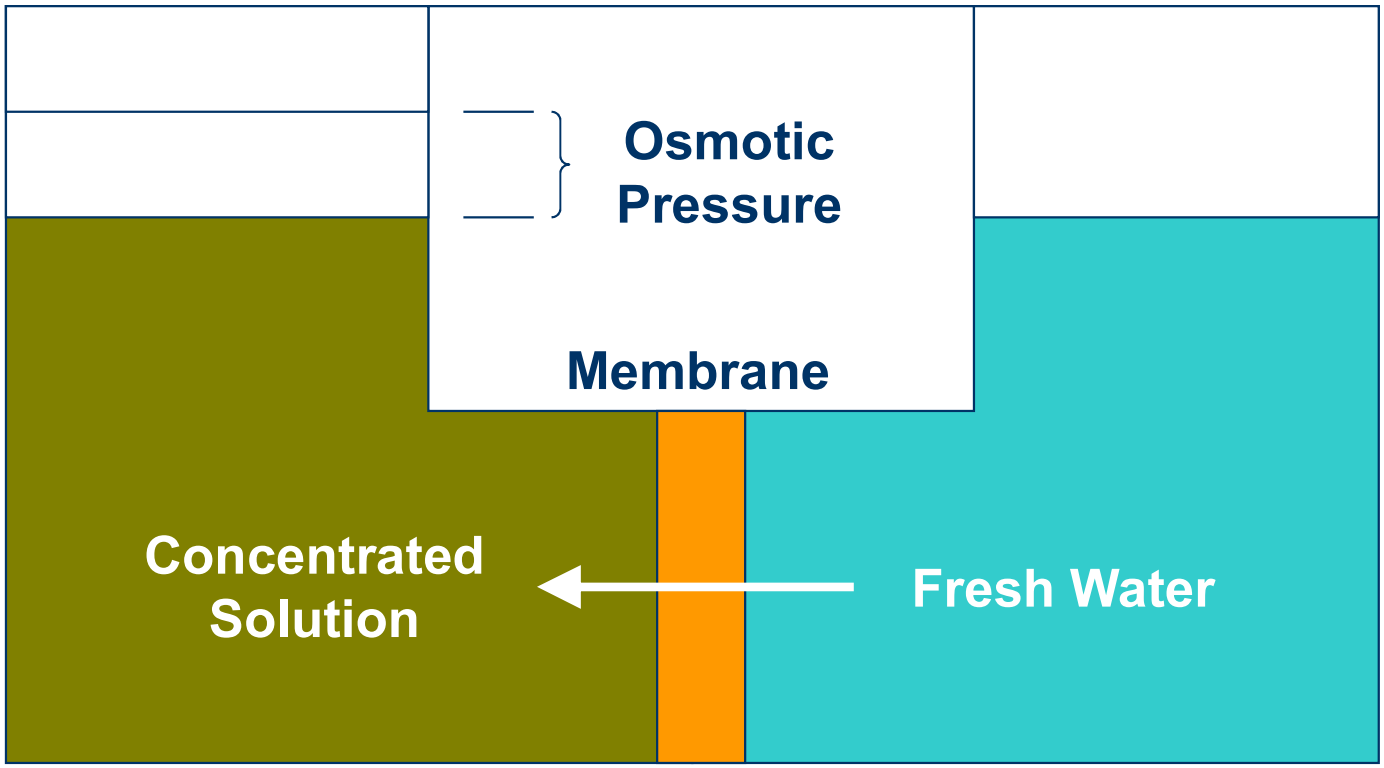
	RO	NF	UF	MF
Advantages	It can removal ions. Salt in high removal efficiency	It can removal of required organics, bacteria or viruses, and provides salt rejection from 50% to 90%	It can treat ground water ,separate selected component from mixed solution, low pressure .Pretreat influent before RO or NF	It can separate selected component Relative long life Pretreat influent before UF Low operation pressure.low cost
Disadvantages	High cost ,short using life Backwash frequently ,fouling problem	Cost relative lower than RO, fouling problem, short using life	Middle cost Clog problem Short using life	Clog problem it can't remove small particles
Applied areas	Semi conducting Pure water plant Ion recovery in industry wastewater	Concentrate and partially demineralize liquid whey . Partial ion recovery	Water and waste water treatment . wildly applied in food, pharmaceutical chemical industries	Food industry Pharmaceutical Chemicals separation and recovery as well as concentration of hazardous waste from wastewater. Oil removal.

Reverse Osmosis Systems

System technology and operation parameter

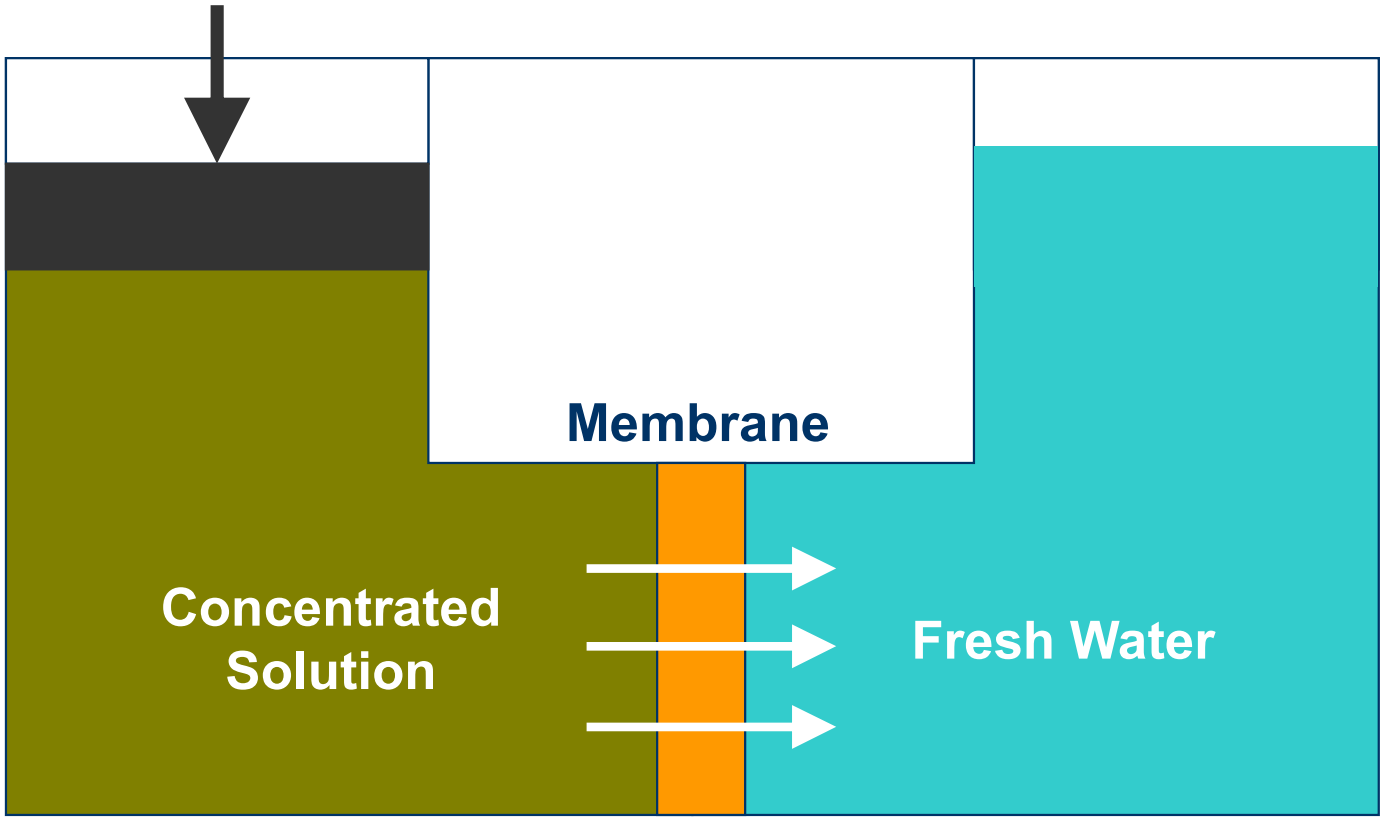
ออสโมซิส (Osmosis) หมายถึงการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนบางๆ (Semi Permeable Membrane) จากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้น เมื่อปล่อยให้มีการไหลของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนจนกระทั่งถึงจุดสมดุลย์(ไม่มีการไหลอีก) ระดับน้ำในด้านซ้ายซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นจะสูงกว่าระดับน้ำด้านขวาซึ่งเป็นน้ำเจือจาง ผลต่างของระดับน้ำนี้เรียกว่า แรงดันออสโมซีส (Osmosis Pressure)

- *Osmosis – Normal flow from low to high concentration*



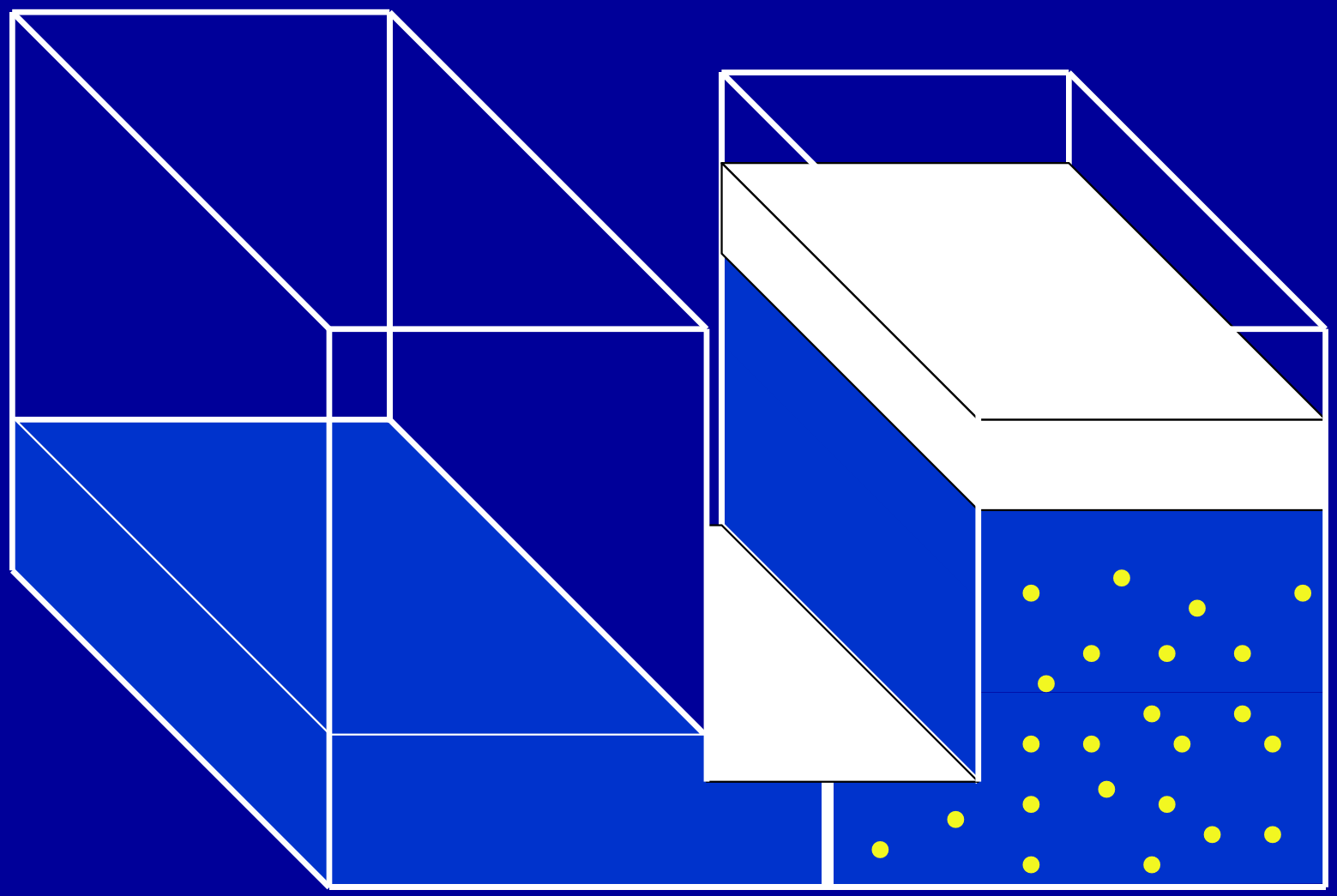
ออสโมซีสย้อนกลับ(Reverse Osmosis) หมายถึงแรงดันจากภายนอกซึ่งมีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมซีส (Osmosis) กระทำต่อด้านที่มีสารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลย้อนกลับซึ่งเป็นการต้านการไหลตามธรรมชาติ วิธีการนี้วิศวกรนำมาใช้เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ

- **Reverse Osmosis – Flow reversed by application of pressure to high concentration solution**



Reverse Osmosis

- force water through membrane
- removes many contaminants



OSMOTIC PRESSURE (P_o)

THUMB RULE:

P_o = **1 psi(0.07 Bar) per 100 mg/l TDS**

= **10 psi(0.7 Bar) per 1000 mg/l TDS**

Example: **Osmotic pressure will be 25.5 psi of a solution containing 2,550 mg/l TDS.**

OSMOTIC PRESSURE (P_o)

ACCURATE CALCULATION

$$P_o = 14.7 * C * R * T$$

where C = Solution TDS in moles/l

R = Gas constant

= 0.08206 (l.atm/^{o}K.moles)

T = Temperature in degree Kelvin

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

OSMOTIC PRESSURE (P_o)

Example:

$$P_o = 14.7 * C * R * T = 23.76 \text{ psi}$$

where C = 0.065 moles/l TDS

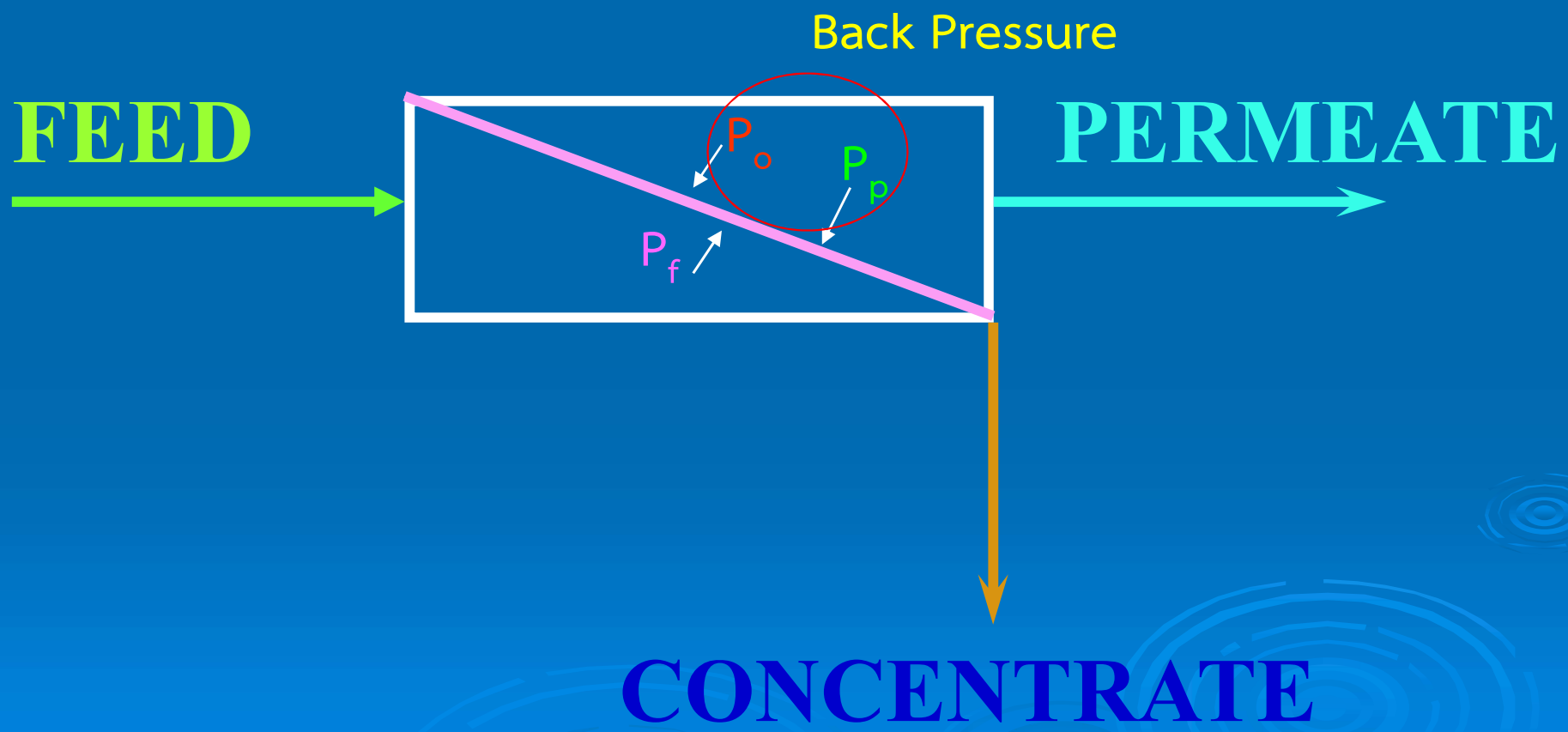
R = Gas constant

= 0.08206 (l.atm/^{o}K.moles)

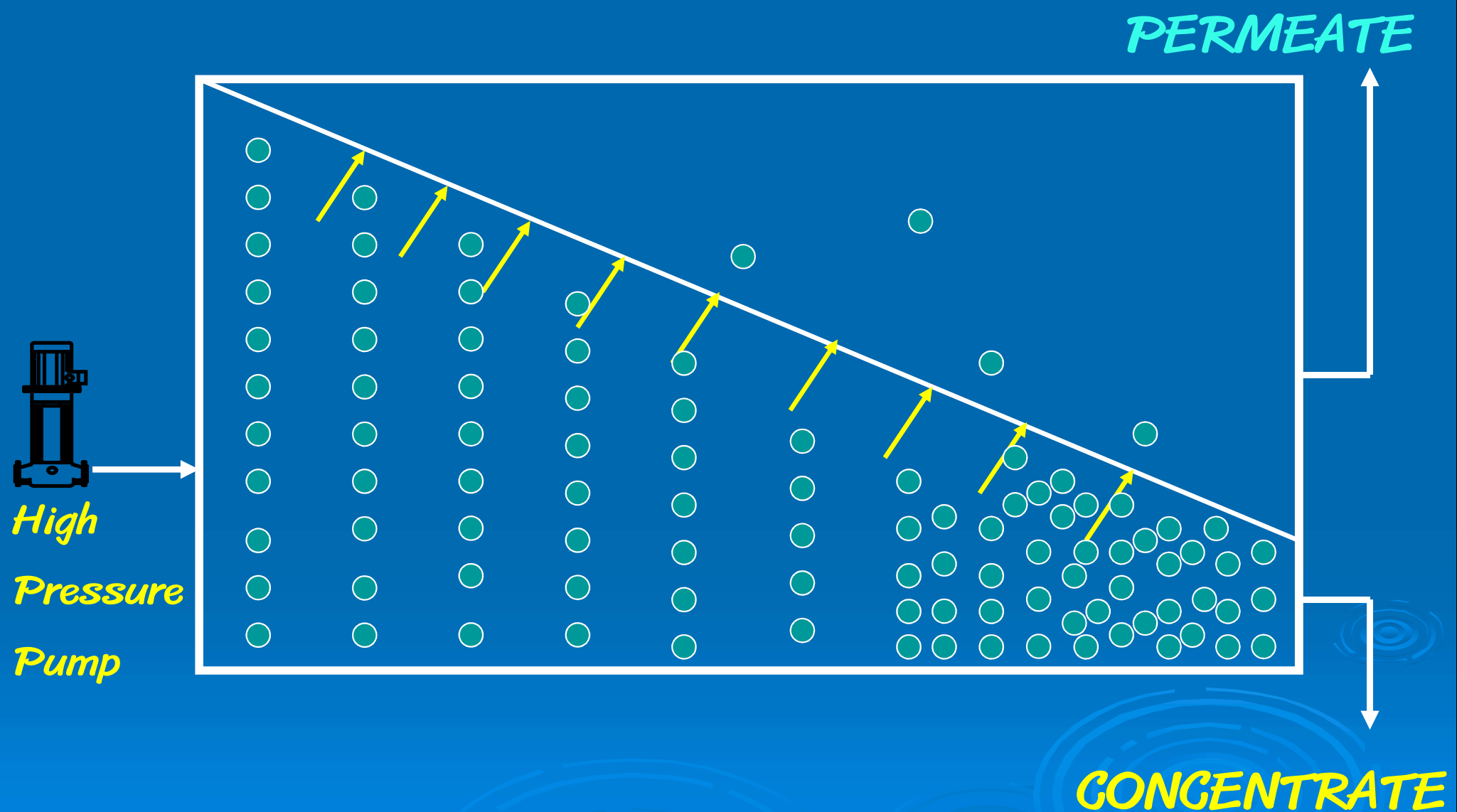
T = Temperature in degree Kelvin

= (30 + 273) ^{o}K = 303 ^{o}K

MEMBRANE PROCESS



Water and Salt Passage



Net Driving Pressure (NDP)

แรงดันขับเคลื่อนสุทธิ (NDP) คือ แรงดันที่มีอยู่ที่จะผลักดันน้ำให้ผ่านเมมเบรน ซึ่งเท่ากับ แรงดันเฉลี่ยของน้ำป้อน(Feed Pressure)และน้ำข้น(Concentrate Pressure)ของเมมเบรนลบด้วยแรงดันน้ำกรอง(Permeate Pressure)และลบด้วยแรงดันออสโมซิสแตกต่าง(Osmotic Pressure)

Transmembrane Pressure Difference (TMP)

ความดันแตกต่างผ่านเมมเบรน(TMP) คือ ความแตกต่างของแรงดันเฉลี่ยของน้ำป้อน(Feed Pressure)และน้ำข้น(Concentrate Pressure) ของเมมเบรนลบด้วยแรงดันน้ำกรอง(Permeate Pressure)

Net Driving Pressure (NDP)

$$NDP = P_{fc\ avg} - P_p - P_{osm}$$

Where :

NDP = แรงดันขับเคลื่อนสุทธิเฉลี่ย (psi)

$P_{fc\ avg}$ = แรงดันน้ำป้อนและน้ำข้นเฉลี่ย (psi)

$$= \frac{(P_f + P_c)}{2}$$

P_f = แรงดันน้ำป้อน (psi)

P_c = แรงดันน้ำข้น (psi)

Net Driving Pressure (NDP)

P_p = แรงดันน้ำกรอง (psi)

P_{osm} = แรงดันออสโมซิส (psi)

กรณี bar = 0.07

$$\sim \text{โดยประมาณ} = \frac{(C_f + C_c)}{2} x \left(\frac{1}{100}\right)$$

C_f = ความเข้มข้น TDS ของน้ำป้อน (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_c = ความเข้มข้น TDS ของน้ำข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

Average Net Driving Pressure ($\overline{NDP}$)

Equation :

$$\frac{NDP_{1st\ Inch} + NDP_{Last\ Inch}}{2}$$

Transmembrane Pressure Difference (TMP)*

$$TMP = \frac{(P_f + P_c)}{2} - P_p$$

* For Crossflow mode of Operation

Where :

TMP = ความดันแตกต่างผ่านเมมเบรน(psi)

P_f = แรงดันน้ำป้อน (psi)

P_c = แรงดันน้ำข้น (psi)

P_p = แรงดันน้ำกรอง (psi)

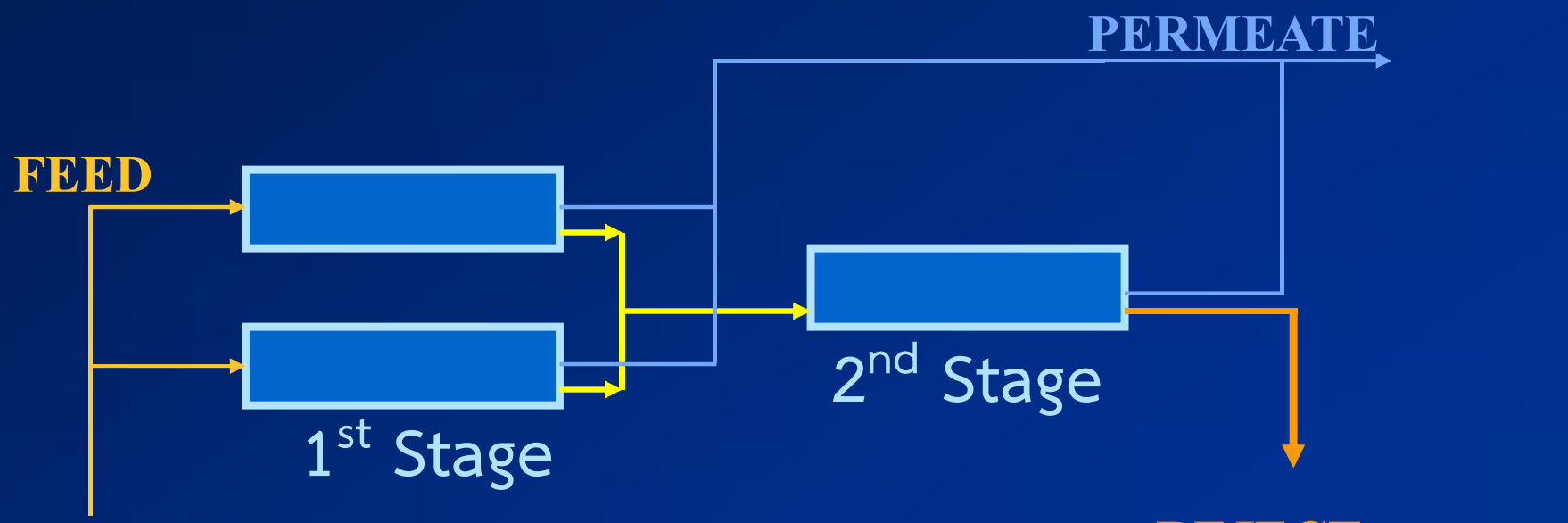
$$TMP = P_f - P_p$$

For Dead End mode of Operation

ตัวอย่างการคำนวณ NDP

$$P_p = 15 \quad psi$$

$$C_p = 50 \quad mg/l$$



$$P_f = 230 \quad psi$$

$$C_f = 1{,}000 \quad mg/l$$

$$P_c = 200 \quad psi$$

$$C_c = 4{,}000 \quad mg/l$$

ตัวอย่างการคำนวณ NDP (ต่อ)

Equation 1 :

$$P_{fc\ avg} = \frac{(P_f + P_c)}{2}$$

แทนค่าลงในสมการ 1 :

$$P_{fc\ avg} = \frac{(230\ psi + 200\ psi)}{2} = 215\ psi$$

Equation 2 :

$$P_{osm} = \frac{(C_f + C_c)}{2} x0.01$$

ตัวอย่างการคำนวณ NDP (ต่อ)

แทนค่าลงในสมการ 2 :

$$P_{osm} = \frac{(1{,}000\ mg/l + 4{,}000\ mg/l)}{2} x0.01 = 25\ psi$$

Equation 3 :

$$\boxed{NDP = P_{fc\ avg} - P_p - P_{osm}}$$

แทนค่าลงในสมการ 3 :

$$NDP = 215\ psi - 15\ psi - 25\ psi$$

$$NDP = 175\ psi$$

ตัวอย่างการคำนวณ TMP

Equation :

$$TMP = \frac{(P_f + P_c)}{2} - P_p$$

* For Crossflow mode of Operation

แทนค่าลงในสมการ :

$$P_f = 230 \quad psi$$

$$P_c = 200 \quad psi$$

$$P_p = 15 \quad psi$$

$$TMP = \frac{(230 + 200)}{2} - 15$$

$$= 200 \quad psi$$

Normalized Permeate Flow (NPF)

อัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า (NPF) เมื่อระบบ RO/NF ยังใหม่อยู่ จะมีอัตราการไหลของน้ำกรองค่าหนึ่ง ตามสภาวะตอนเริ่มเดินระบบของอุณหภูมิ แรงดันน้ำป้อน แรงดันลด อัตราการนำน้ำจืดกลับคืน(recovery)และความเข้มข้นของเกลือในน้ำป้อน ต่อจากนั้นหากน้ำกรองมีปริมาณลดลงโดยมีสภาวะการเดินระบบคงเดิมแสดงว่ามีคราบตะกรันสะสมหรืออุดตันเกิดขึ้นหากอัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า(NPF)ลดลงต่ำมาก ขอแนะนำให้ทำความสะอาดด้วยสารเคมี ผู้ผลิตท่อนเมมเบรนหลายรายกำหนดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญไว้ที่ร้อยละ 10 – 15 เมื่อเทียบกับค่าพื้นฐานที่ 2 หรือ 24 ชั่วโมง

Normalized Permeate Flow (NPF)

Equation :

$$NPF = Q_p x TCF_{(25^o C)} x \left[\frac{NDP_{start}}{NDP_{today}} \right] x MC$$

Where :

NPF = อัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า (m^3/hr)

Q_p = อัตราการไหลของน้ำกรองที่อุณหภูมิบรรยากาศ (m^3/hr)

$TCF_{(25^o C)}$ = สัมประสิทธิ์ปรับแก้อุณหภูมิ เพื่อให้เทียบค่ากับการเดินระบบที่ 25°C

NDP_{start} = แรงดันขับเคลื่อนสุทธิในระหว่างการเริ่มต้นเดินระบบ(ซึ่งก็คือค่าที่อ่านได้ช่วง 24 ถึง 48 ชั่วโมงแรกของการเดินระบบ (bar)

NDP_{today} = แรงดันขับเคลื่อนสุทธิในขณะที่วัด (bar)

MC = สัมประสิทธิ์การหดตัวของเมมเบรนหรือสัมประสิทธิ์อายุขัย ซึ่งผู้ผลิตสมัยใหม่ส่วนใหญ่กำหนดให้ MC = 1 (membrane compaction factor)

โปรดสังเกตุว่าผู้ผลิตเมมเบรนจะให้ค่า TCF ในรูปแบบของตารางหรือสมการ

Find the temperature correction factor (TCF) from the table Below.

Divide the rated permeate flow at 77 degrees Fahrenheit by the temperature correction factor. The result is the permeate flow at the desired temperature.

Feed Water Temperature		Correction Factor
°C	°F	
5	41.0	2.58
6	42.8	2.38
7	44.6	2.22
8	46.4	2.11
9	48.2	2.00
10	50.0	1.89
11	51.8	1.78
12	53.6	1.68
13	55.4	1.61
14	57.2	1.54
15	59.0	1.47
16	60.8	1.39
17	62.6	1.34

Feed Water Temperature		Correction Factor
°C	°F	
18	64.4	1.29
19	66.2	1.24
20	68.0	1.19
21	69.8	1.15
22	71.6	1.11
23	73.4	1.09
24	75.2	1.04
25	77.0	1.00
26	78.8	0.97
27	80.6	0.94
28	82.4	0.91
29	84.2	0.88
30	86.0	0.85

สมการ :

$$TCF_{(25^{o}C)} \approx \frac{1}{1.03^{(T-25)}}$$

Where :

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างการคำนวณ NPF

ผู้ผลิตเมมเบรนกำหนดค่า TCF ดังนี้

^{o}F	^{o}C	TCF
86	30	0.887
77	25	1.00
68	20	1.132

ข้อมูลจากการเดินระบบ Reverse Osmosis มีดังนี้

Parameter	Startup	Today
1. P_f (bar)	14	13.3
2. P_p (bar)	1	1
3. P_c (bar)	12	12
4. C_f (mg/l)	500	500
5. C_p (mg/l)	8	8
6. C_c (mg/l)	1200	1500
7. Q_p (m^3/hr)	150	150
8. T_f (^{o}C)	20	30

NPF at Startup

Equation คำนวณหา NPF:

$$NPF = Q_p x TCF_{(25^o C)} x \left[\frac{NDP_{start}}{NDP_{today}} \right] x MC$$

Equation คำนวณหา NDP:

$$NDP = P_{fc\ avg} - P_p - P_{osm}$$

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหา NDP start:

$$NDP = \left(\frac{14+12}{2} \right) - 1 - \left(\frac{500+1200}{2} \right) * \left(\frac{0.07}{100} \right)$$

$$NDP = 11.41 \quad bar$$

NPF at Startup

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหา NDP today:

$$NDP = \left(\frac{14+12}{2}\right) - 1 - \left(\frac{500+1200}{2}\right) * \left(\frac{0.07}{100}\right)$$

$$NDP = 11.41 \quad bar$$

ขั้นตอนที่ 3 แทนค่า NDP start และ today ลงในสมการ NPF:

∴ NPF at Startup

$$NPF = 150(m^3/hr) * 1.132 * \left(\frac{11.41}{11.41}\right) * 1$$

$$= 169.8 \quad m^3/hr$$

NPF at Today

Equation คำนวณหา NPF:

$$NPF = Q_p x TCF_{(25^o C)} x \left[\frac{NDP_{start}}{NDP_{today}} \right] x MC$$

Equation คำนวณหา NDP:

$$NDP = P_{fc\ avg} - P_p - P_{osm}$$

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหา NDP start:

$$NDP = \left(\frac{14+12}{2} \right) - 1 - \left(\frac{500+1200}{2} \right) * \left(\frac{0.07}{100} \right)$$

$$NDP = 11.41 \quad bar$$

NPF at Today

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหา NDP today:

$$NDP = \left(\frac{13.3+12}{2}\right) - 1 - \left(\frac{500+1500}{2}\right) * \left(\frac{0.07}{100}\right)$$

$$NDP = 10.95 \quad bar$$

ขั้นตอนที่ 3 แทนค่า NDP start และtoday ลงในสมการ NPF:

∴ NPF at Startup

$$NPF = 150(m^3/hr) * 0.887 * \left(\frac{11.41}{10.95}\right) * 1$$

$$= 138.6 \quad m^3/hr$$

เปรียบเทียบค่า NPF Start และ Today

NPF start $= 169.8 \quad m^3/hr$

NPF today $= 138.6 \quad m^3/hr$

แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำกรองมีค่าลดลงเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$= 100 - \left(\frac{138.6(m^3/hr)}{169.8(m^3/hr)}\right)*100$$

$= 18.37 \quad \%$ (Design Criteria : 10 – 15 %)

แนะนำให้ทำความสะอาดด้วยสารเคมี

คำจำกัดความต่างๆในระบบ Reverse Osmosis

1. Feed water คือน้ำที่ส่งเข้าระบบ RO เพื่อผลิตน้ำที่ต้องการ

2. RO Product หรือ Permeate คือน้ำที่ผ่านการกรองจาก RO

3. RO Reject, Concentrate, Retentate หรือ Brine คือน้ำที่เหลือจากการกรอง RO และมีความเข้มข้นของสารละลาย (TDS) สูง

4. Recovery Rate คือ อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของ RO Product กับ Feed Water เช่น ระบบ RO มี Recovery Rate 70 % หมายถึง ส่ง Feed Water เข้าไป 100 ส่วน จะได้ RO Product 70 ส่วน อีก 30 ส่วนเป็น RO Reject

5. Percent Salt Rejection คือ จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ RO membrane สามารถสกัดเอาสารละลายไว้ได้ เช่น Feed water มี โซเดียม 100 ส่วน ใน RO Product มี โซเดียมเหลือ 5 ส่วน ดังนั้น Sodium rejection มีค่า 95 %

6. Pressure Vessel คือ ท่อความดันสำหรับใส่ RO Element เพื่อทำการกรองน้ำ มีขนาดบรรจุได้ตั้งแต่ 1 ถึง 7 Elements วัสดุทำด้วย PVC, Fiber Glass หรือ Stainless Steel

7. Stage คือ จำนวนครั้งที่น้ำไหลผ่านระบบ RO

- Single Stage หมายถึง น้ำไหลผ่านระบบ RO ครั้งเดียว
- Two Stage หมายถึง น้ำไหลผ่านระบบ RO สองครั้ง

ซึ่งอาจจะเป็น Brine-staging ซึ่งหมายถึง reject จาก stage แรกถูกส่งเข้าไปใน Stage ที่สอง เพื่อเพิ่ม recovery rate

หรืออาจจะเป็น Product staging ซึ่งหมายถึง RO Product จาก Stage แรกถูกส่งเข้าไปใน Stage ที่สอง เพื่อขจัดสารละลายเพิ่มขึ้น

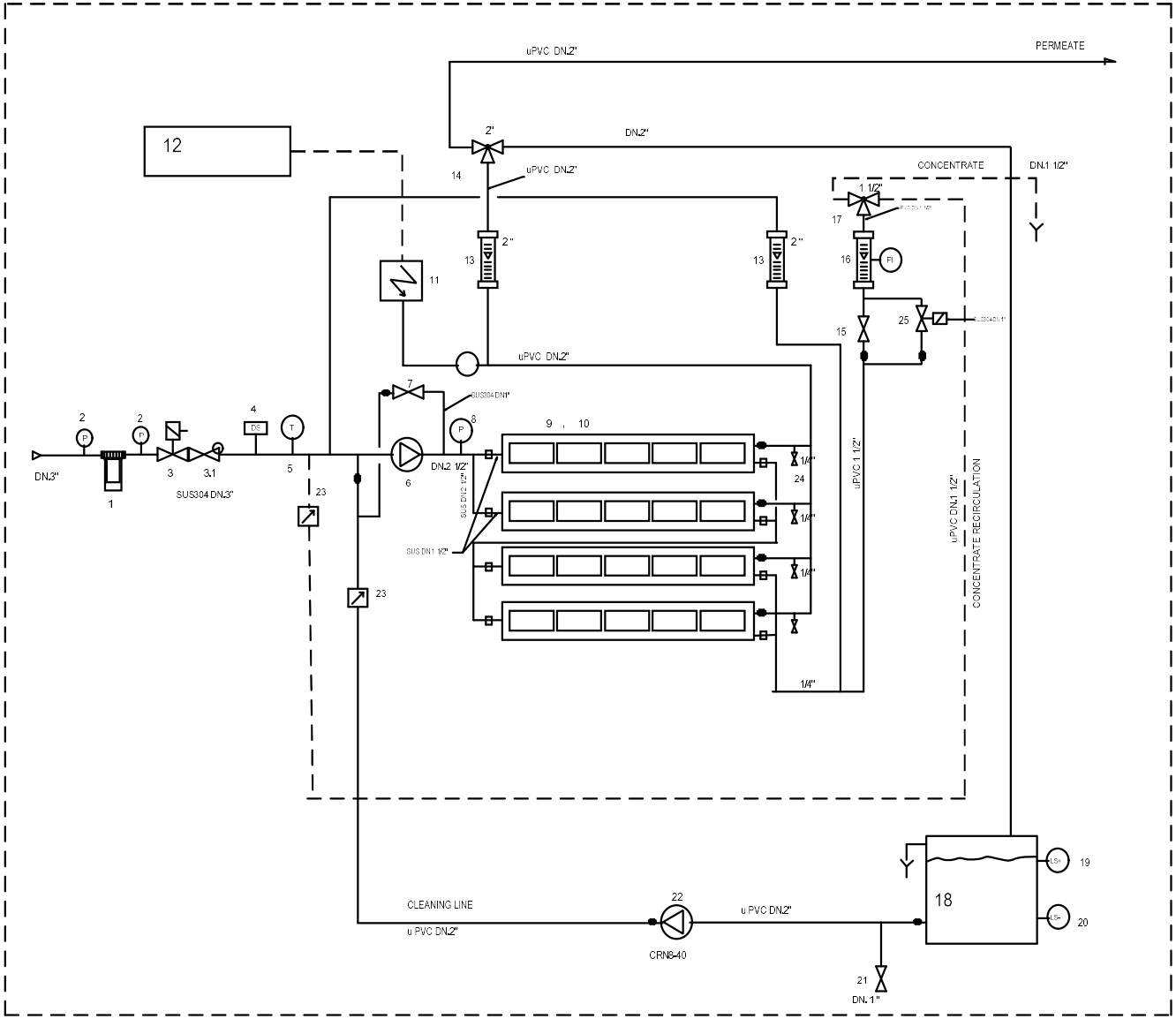
8. Array หมายถึง จำนวน pressure vessel พร้อมด้วย RO Elements ที่ติดตั้งเป็นชุดและมีความสัมพันธ์กับการ Staging

ตัวอย่างเช่น

- Array = 2x4,0 หมายถึง RO ชุดนี้เป็น single stage และมี pressure vessle 2 ชุดๆละ 4 element
- Array = 3x5,1x4 หมายถึง RO ชุดนี้เป็น 2 stage และมี pressure vessle ใน stage แรก 3 ชุดๆละ 5 element และใน stage ที่สอง 1 ชุดๆละ 4 element
- Array = 3x5,2x4,1x3 หมายถึง RO ชุดนี้มี 3 stageและมี pressure vessle ใน stage แรก 3 ชุดๆละ 5 element ใน stage ที่สอง 2 ชุดๆละ 4 element และใน stage ที่สาม 1 ชุดๆละ 3 element

9. RO Bank หมายถึง ชุดของ RO Pressure Vessels ถูกจัดมารวมกลุ่มกันและติดตั้งอยู่ในโครงรองรับ (Supporting Frame) เดียวกัน เช่น Array 3,1 จะถูกติดตั้งอยู่ใน Bank เดียวกัน

10. Clean-In-Place (CIP) คือ ระบบสำหรับล้างทำความสะอาด RO Elements ซึ่งอาจจะติดตั้งอยู่กับที่ติดตั้งระบบ RO หรืออาจเป็นระบบล้อเลื่อนเข็นเข้ามาใช้เมื่อต้องการทำความสะอาด



Item	Description	Qty.	DN.	Supp.
1	Pre-filter	1	65	
2	Pressure gauge	2	65	
3	Soliniod valve	1	65	
3.1	Check valve	1	65	
4	Pressureswitch	1	10	
5	Thermometer	1	8	
6	High pressure pump	1	80	
7	By pass valve (ball valve)	1	25	
8	Pressure gauge	1	65	
9	Pressure vessel	4	8"	
10	Membrane	20	80x40	
11	Conductivity meter	1		
12	Control cabinet	1		
13	Flow meter	2		
14	Electric actuator three-way valve	1	50	
15	Ball valve	1	40	
16	Flow meter	1	0-10	
17	Three-way valve	1	40	
18	Cleaning tank	1	750	
19	Level switch (high)	1		
20	Level switch (low)	1		
21	Ball valve	1	25	
22	Cleaning pump	1	50	
23	Angle seat check valve	1	50	
24	Sampling ball valve	5	15	
25	Solenoid valve	1	25	

REVERSE OSMOSIS 20 M³/HR

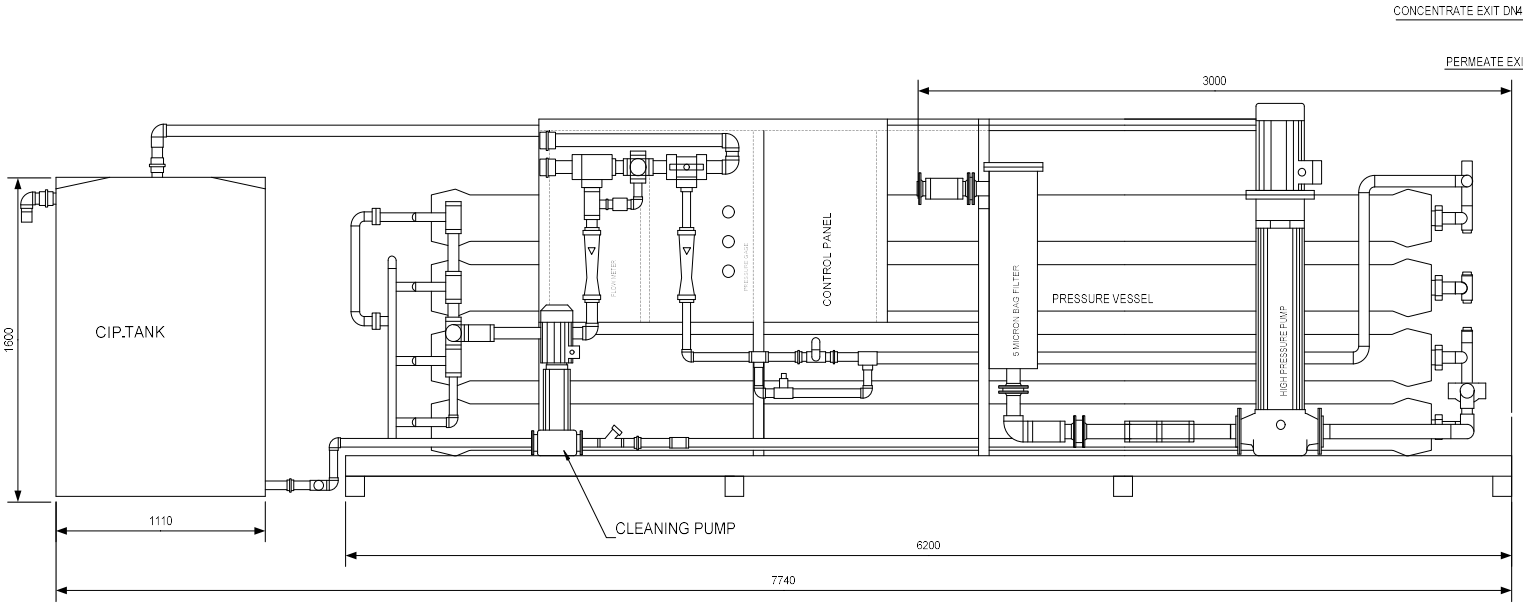
No.		DATE
APPR		
CHECKED		
DRAWN		
TRACED		

TITLE

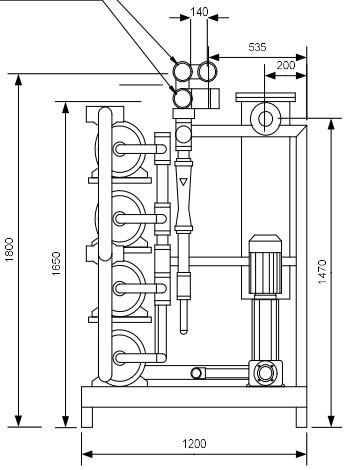
Revers Osmosis

Capacity : 20m³/hr

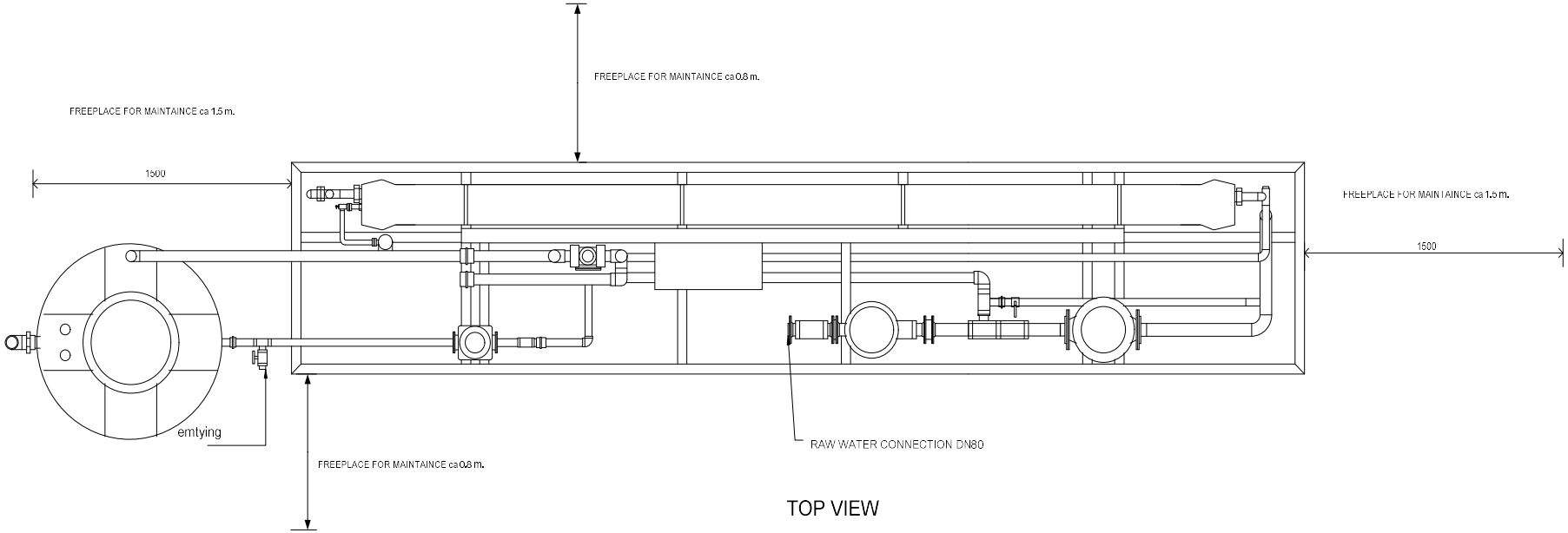
DRAWING No.



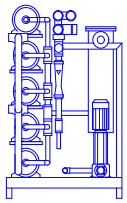
FRONT VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



Title	REVERSE OSMOSIS CAPACITY 20 M³/HR	Date		Revise		☐ PI-Diagram
		Drawn		Drawing No.		☐ Flow Diagram
Project		Approved		Code No.		☐ Shop Drawing
		Scale		Sale Man		☐ As-Built
		Design		Technician		☐ Schematic

Definition of Flux

- อัตราเร็วของน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรน ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรน
  - Cubic meter per sq meter per hour (m/hr)
  - Gallons per sq ft per day (GFD)
  - Grams per second per sq centimeter (gm/cm^2-sec)
- อัตราเร็วของน้ำมีผลต่อความถี่ในการทำความสะอาดเมมเบรน

Feed water Source	Flux Rate, GFD
Industrial/Municipal Waste	8 – 12
Surface Water	8 – 14
Well	14 - 20

Calculate Flux Rate

Known

Permeate Flow, GPD	1,330,000
No. of Vessels	44 (33 + 11)
No of Elements	6
Membrane Area per Element, sq ft	325

Unknown

Average Flux Rate, GFD

Calculate Flux Rate

1. Determine total membrane area in the system.

Membrane Area, Sq Ft	=	No. of Vessels	x	No. of Elements	x	Surf Area per Element

= (44 Vessels) x (6 elements) x (325 ft^2/element)

= 85,800 Ft^2

Calculate Flux Rate

2. Calculate average membrane flux rate for system

$$\text{Avg Flux Rate, GFD} = \frac{\text{Permeate Flow, GPD}}{\text{Membrane Area, Sq Ft}}$$

$$= \frac{1{,}330{,}000 \text{ GPD}}{85{,}800 \text{ sq Ft}}$$

$$= 15.5 \text{ GFD}$$

ผลกระทบของระยะเวลาการเดินระบบต่อการลดลงของ membrane flux rate

$$F_t = F_o x \left[\frac{T_t}{T_o} \right]^m$$

โดยที่ :

F_t = FLUX ที่เวลาปัจจุบัน T_t

F_o = FLUX ที่เวลาเริ่มเดินระบบ T_o

m = ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของค่า FLUX (ได้จากผู้ผลิต membrane)

ตัวอย่างผลกระทบของระยะเวลาการเดินระบบต่อการลดลงของ membrane flux rate

1. เวลาเริ่มเดินระบบ T_o = 1.0 ชั่วโมง
2. เวลาปัจจุบัน T_t = 1.0 ปี (365x24 ชั่วโมง)
3. membrane flux rate ที่เวลาปัจจุบัน F_o = 9,500 gpd
4. ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของค่า FLUX = -0.02(จากผู้ผลิต)

คำนวณหา FLUX(F_t) ที่เวลาปัจจุบัน T_t

$$F_t = F_o x \left[\frac{T_t}{T_o} \right]^m$$

แทนค่าลงในสมการจะได้ดังนี้

$$F_t = 9{,}500x\left[\frac{(1x365x24)}{1}\right]^{-0.02}$$

$$F_t = 8{,}443 \quad gpd$$

What means Recovery ?

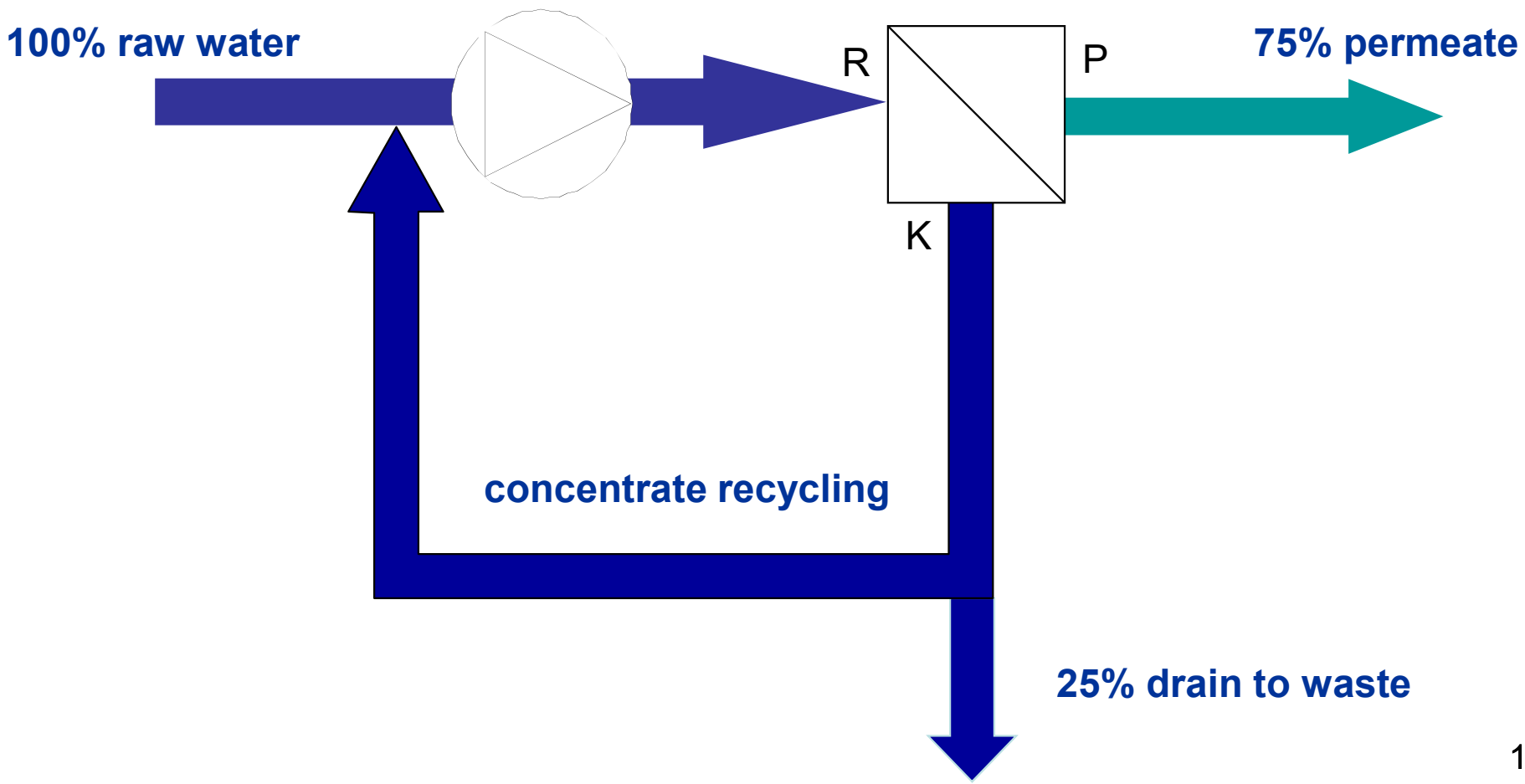
- หมายถึงอัตราส่วนของปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาตรน้ำดิบที่ใช้ผลิต

$$\textbf{Recovery} = \frac{\text{permeat flow } [m^3/h]}{\text{raw water flow } [m^3/h]} \times 100\ \%$$

- เป็นตัวบ่งบอกสมรรถนะของเมมเบรนในการผลิตน้ำสะอาด
- ตัวแปรที่มีผลต่อ Recovery rates :

1. คุณภาพน้ำสะอาดที่ต้องการผลิต
2. ปริมาณสารละลายที่ปนเปื้อนในน้ำดิบ

Recovery = premeate flow in relation to raw water flow



What means salt passage ?

- หมายถึงอัตราส่วนของความเข้มข้นสารละลายที่ผ่านเมมเบรนปนเปื้อนมากับน้ำสะอาดต่อความเข้มข้นสารละลายที่นำมาผลิต หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะบ่งบอกถึงการรั่วของสารละลายผ่านเมมเบรน น้ำสะอาดที่ผลิตออกมาได้ควรมีค่า salt passage ต่ำ

$$\text{Salt passage (\%)} = \frac{\text{Permeat salt concentration} \times 100}{\text{Feed salt concentration}}$$

$$\text{Salt rejection (\%)} = 100 - \text{Salt passage}$$

Concentration Factor (CF)

Concentration Factor หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มข้นมักใช้ในการอธิบายสัดส่วนของความเข้มข้นในน้ำป้อนต่อน้ำข้น

Equation :

$$CF = \frac{Q_f}{Q_c}$$

Where :

Q_f = อัตราการไหลของน้ำป้อน (m^3/hr)

Q_c = อัตราการไหลของน้ำข้น (m^3/hr)

Concentration Factor (CF)

Equation :

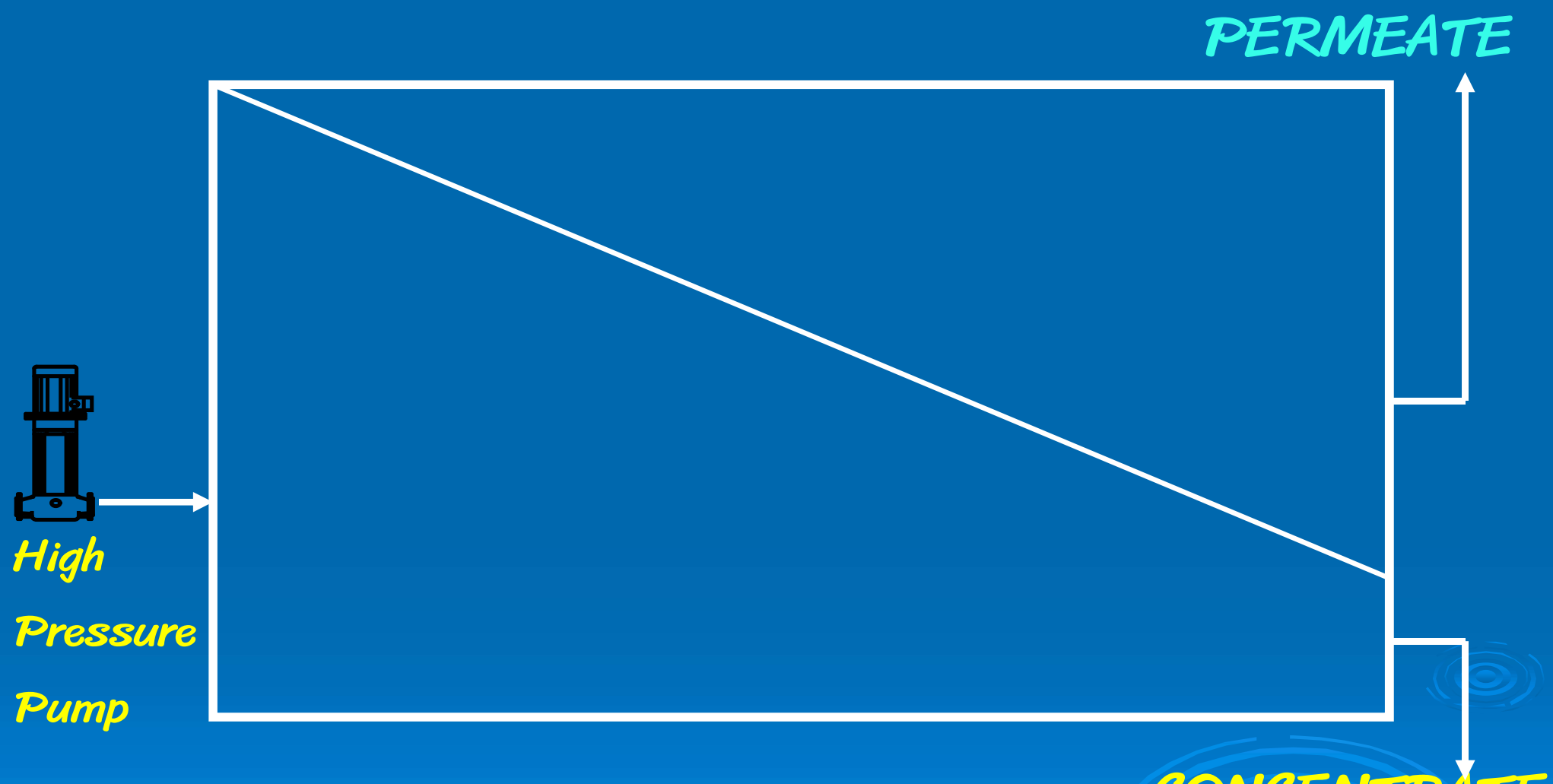
$$TDS\ Concentrate\ Water = TDS\ Feed\ Water\ x\ CF$$

Where :

$TDS\ Concentrate\ Water$ = ความเข้มข้นของสารละลายทั้งหมดของน้ำข้น (mg/l)

$TDS\ Feed\ Water$ = ความเข้มข้นของสารละลายทั้งหมดของน้ำป้อน (mg/l)

ตัวอย่างการคำนวณ CF



Q_f = 100 m^3/hr

TDS = 300 mg/l

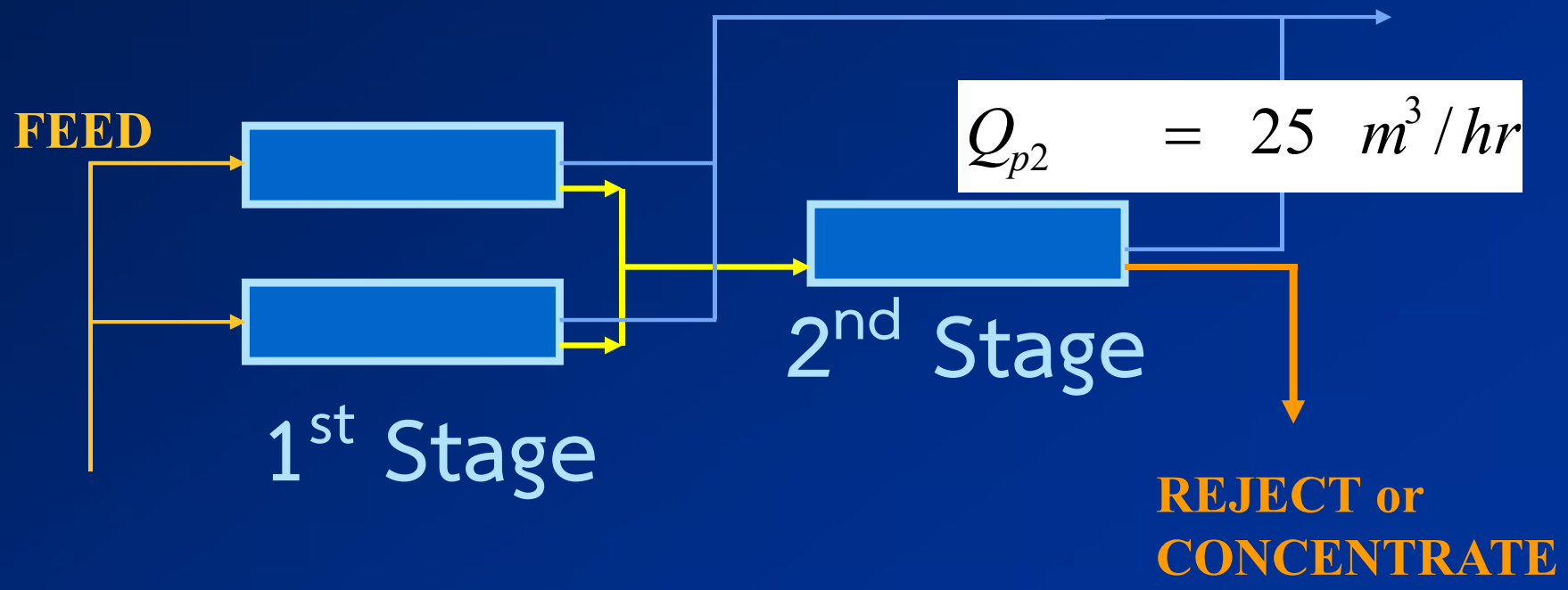
CF = ?

Q_c = 20 m^3/hr

TDS = 1500 mg/l

ตัวอย่างการคำนวณ CF

$$Q_{p1} = 50 \ m^3/hr$$



$$Q_{p2} = 25 \ m^3/hr$$

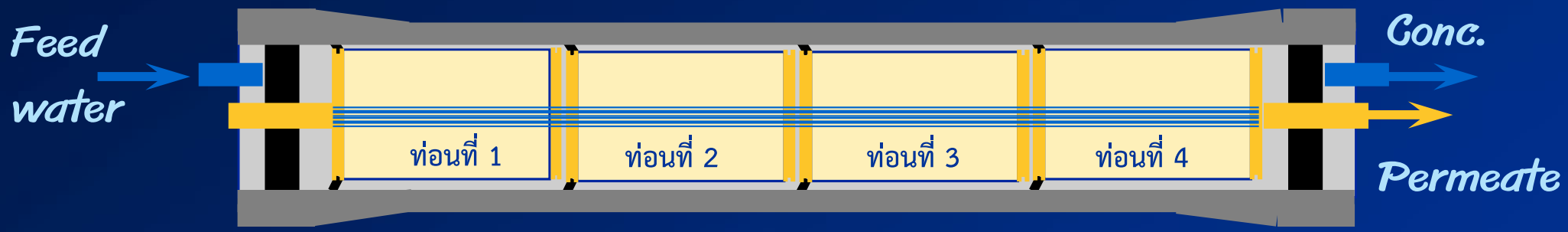
CF = ?

$$Q_c = 25 \ m^3/hr$$

TDS Feed Water = ?

$$C_c = 4{,}000 \ mg/l$$

อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อนเมมเบรน

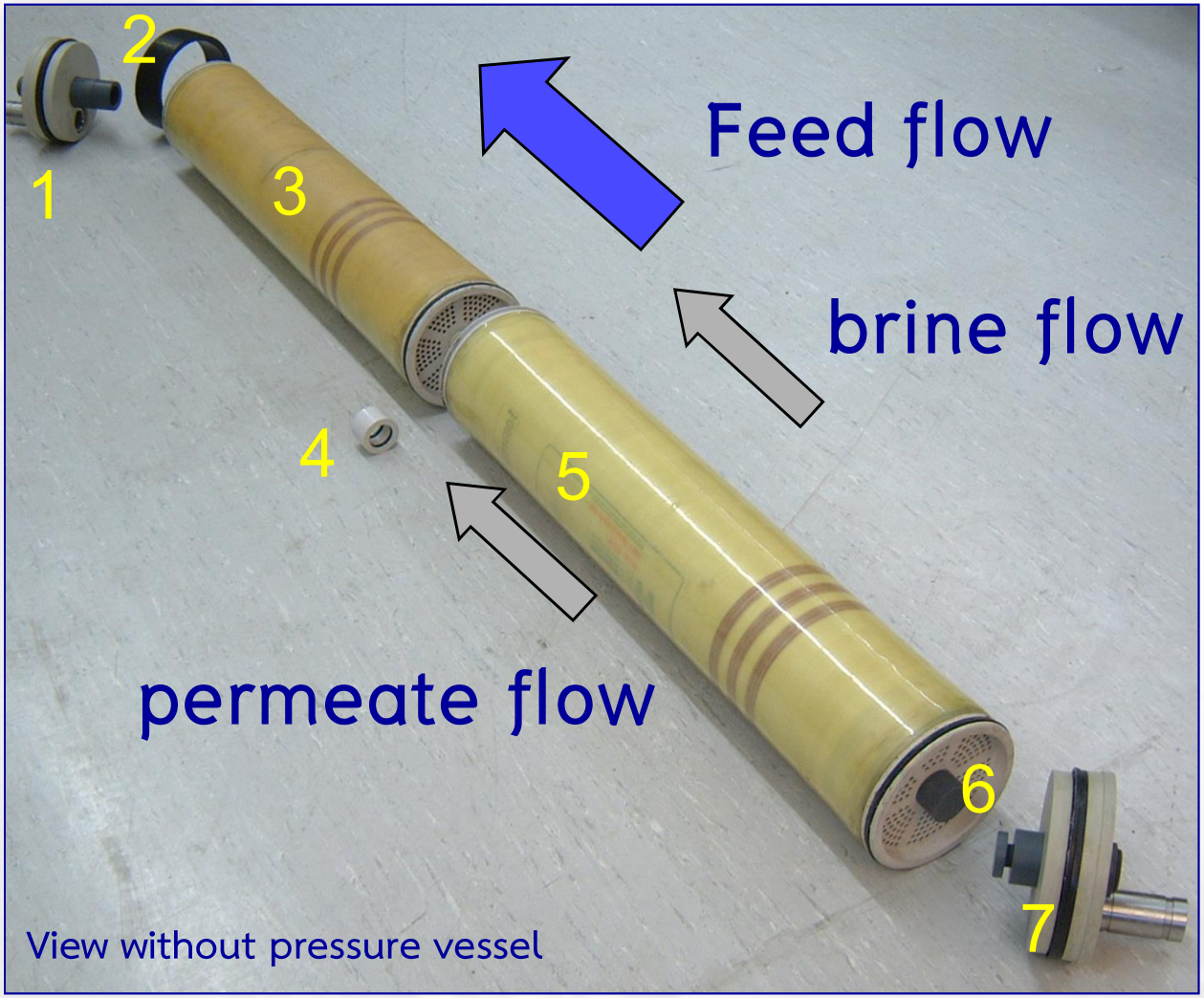


อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อนเมมเบรนแต่ละท่อน

ประมาณ ***5 – 15 %*** ของน้ำ ***Feed Water***

Installation of membranes

brine flow and permeate flow are the same direction



1 end plate permeat body open
2 spacer
3 module No.1
4 interconnector
5 module No.2
6 element adapter closed
7 end plate permeat body closed

Membrane Design

การออกแบบควรพิจารณาหลักเกณฑ์ดังนี้

1. Membrane Filtration Flux

0.5 – 1 $m^3/d.m^2$ per membrane pressure difference(98.1 kpa)

2. Water Temperature ≤ 45 °C

Water Temperature↓ water viscosity↑ membrane filtration flux ↓

Water Temperature ↑ water viscosity ↓ membrane filtration flux ↑

3. Transmembrane Pressure Difference

membrane filtration flux ↑ Transmembrane Pressure Difference ↑TDS in Permeate ↑

membrane filtration flux ↓ Transmembrane Pressure Difference ↓TDS in Permeate ↓

4. Recovery

$$Flux(L/m^2.hr) = A_P(P_T - P_o)$$

$A_p = membrane\ permeability\ coefficient(\text{dimentionless})$

$P_T = the\ transmembrane\ pressure(TMP)(kPa,[psi])$

$P_o = the\ osmotic\ pressure\ of\ the\ feed\ solution(kPa,[psi])$

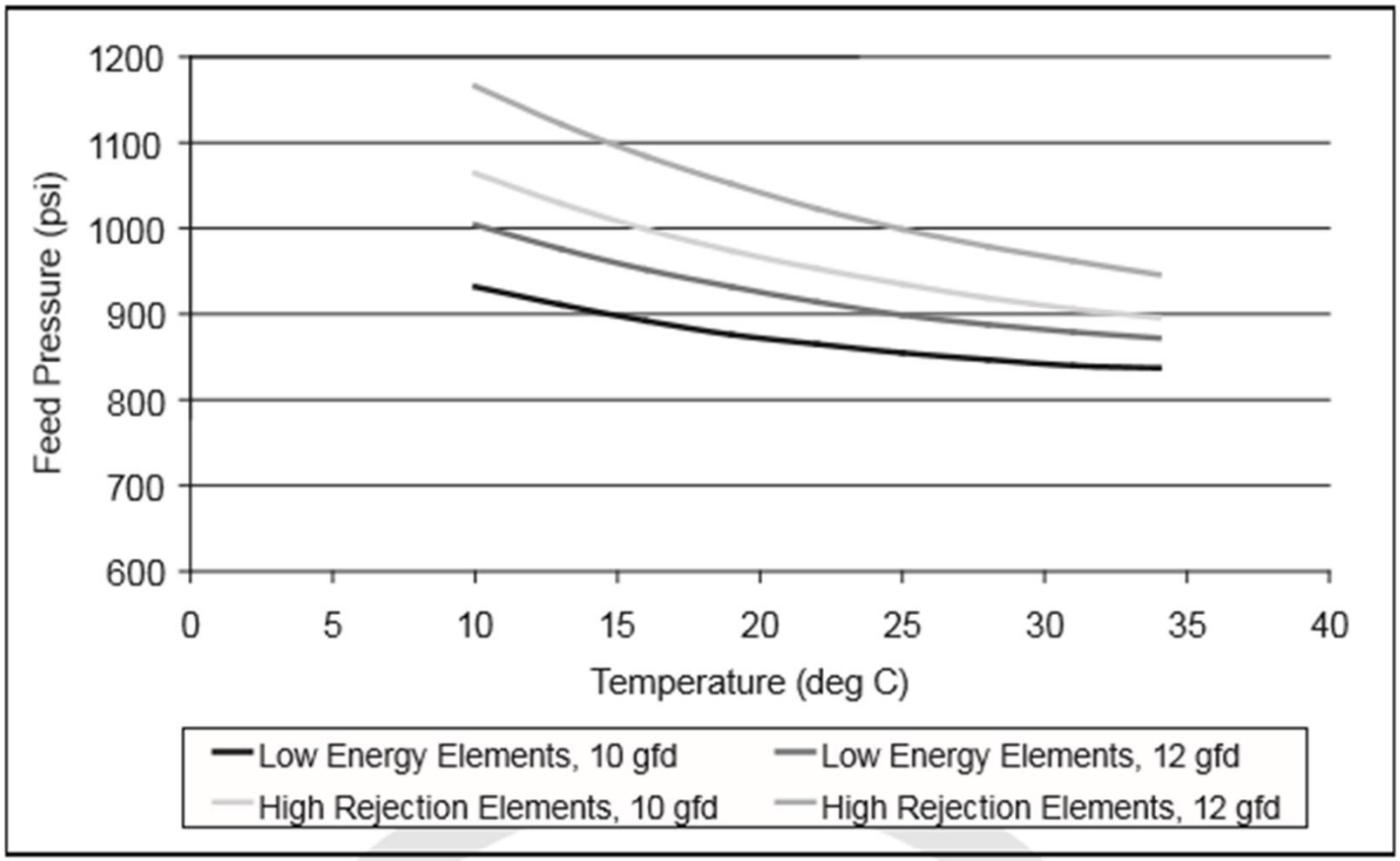
5. Water Quality input

Summary Design and Operation Parameters of a Membrane System :

System	Transmembrane Pressure Operating Range (psi)	Feed Water TDS Range (mg/l)	Recovery Rates (%)
Sea Water	800 – 1,500	10,000 – 50,000	15 – 55
Standard Pressure	400 - 650	3,500 – 10,000	50 – 85
Low Pressure	200 - 300	500 – 3,500	50 – 85
Nanofiltration	45 - 150	Up to 500	75 - 90

Source : AWWA, 1990, Water Quality and Treatment

1 psi = 0.07 Bar

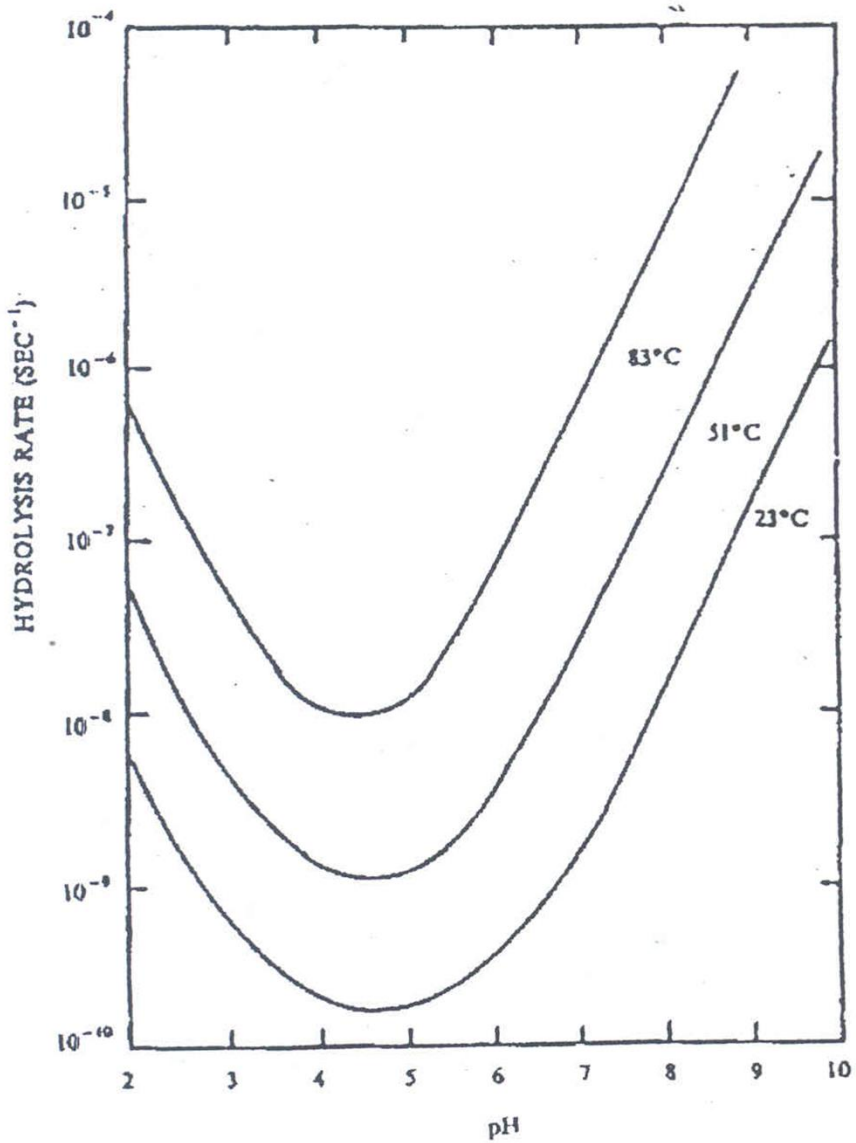


Courtesy of Ken Klinko and Greg Wetterau using Hydranautics IMSDesign (2009)

Figure 3-2 Projected SWRO feed pressure requirements as a function of influent water temperature for different flux rate and element type

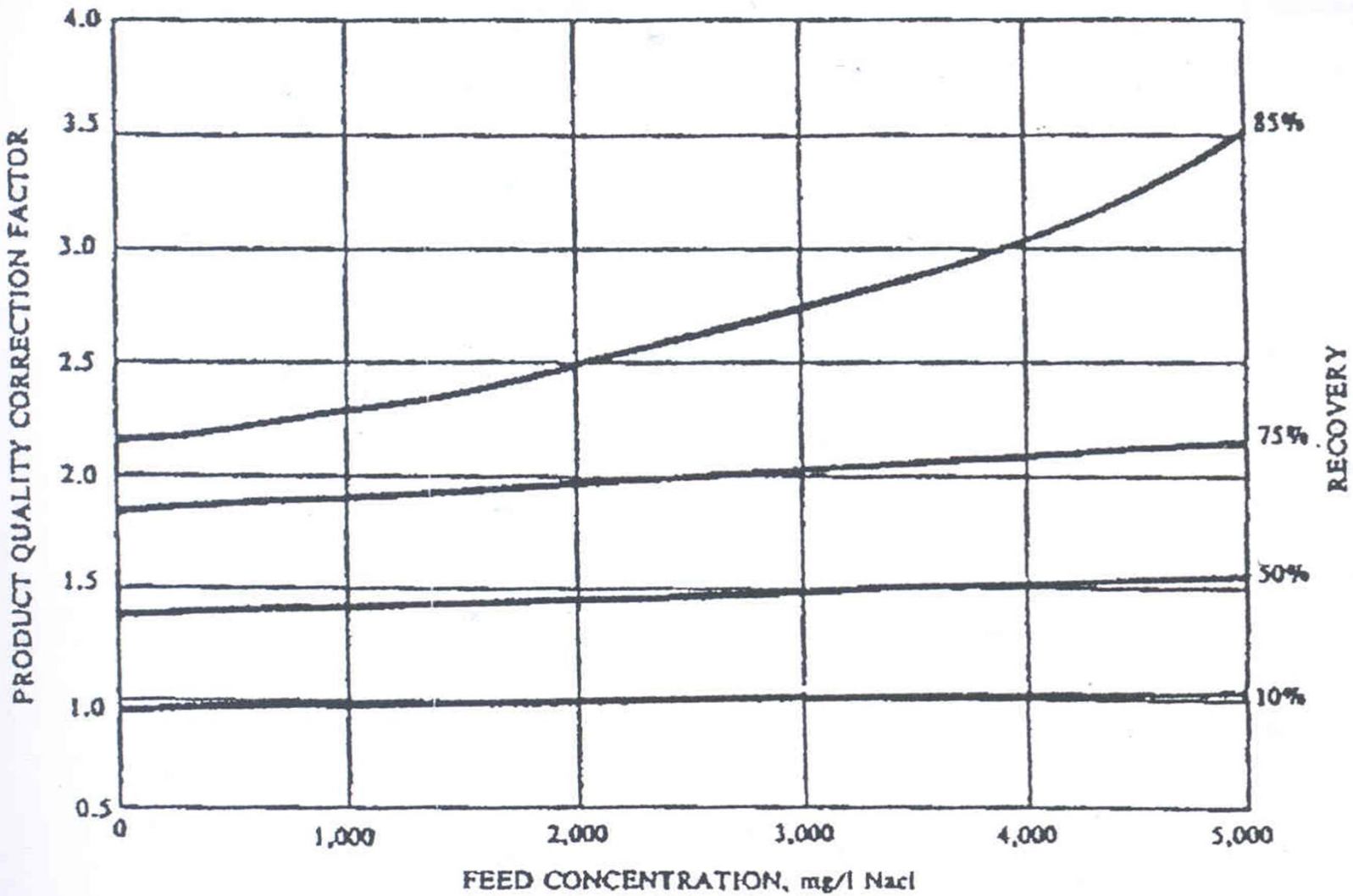
1 psi = 0.07 Bar

ที่มา : American Water Works Association. Desalination of Seawater . Manual of Water supply practices M61. first edition.2011. page 35.

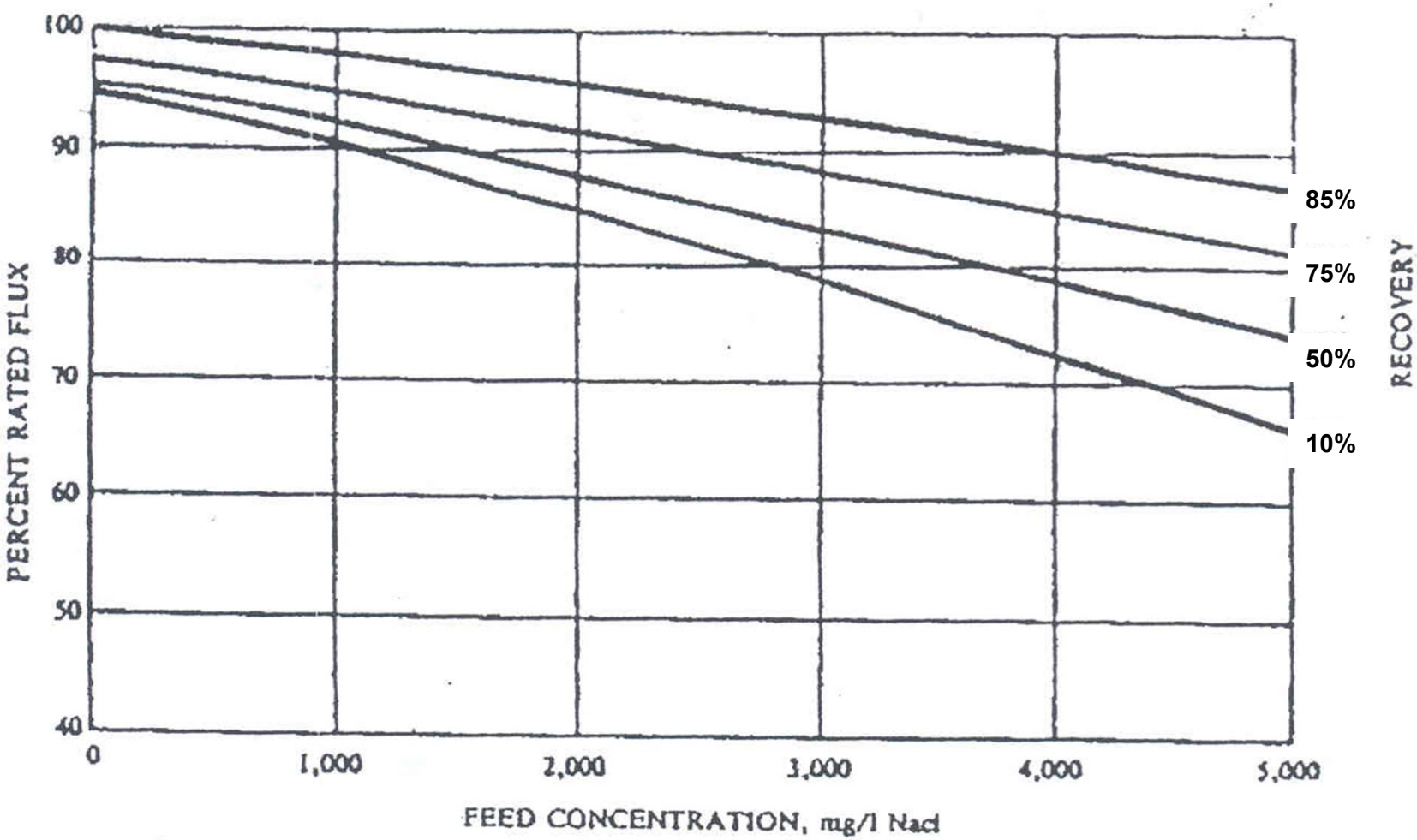


ภาพที่ 14.5 อิทธิพลของพีเอชและอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเมมเบรน

เฉพาะเมมเบรนที่ทำจาก Cellulose Acetate (CA) และ Cellulose Triacetate (CTA)



ภาพที่ 14.6 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำดิบและ Recovery ที่มีต่อคุณภาพของน้ำที่ผลิตได้



ภาพที่ 14.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำดิบและ Recovery ที่มีต่อ Water Flux

Software Design

ROSA Control Panel

File Options Help

System Permeate Flow: 0.20 gpm System Feed Flow: 1.33 gpm System Recovery: 15.00%

Project Information

Notes:

Project Name: MyProject

Project Cases

Notes for Current Case:

Case: 1 Add Case Delete Case Manage Pre-stage ΔP: 5.000 psig

Project Preferences

Analysis By:

Company Name:

Balance Analysis With: NaCl

Units Set: Flow: gpm, Pressure: psig

Temperature Unit: Celsius (°C)

Small Commercial System

DOW Water & Process Solutions

Default Project Folder: C:\Program Files (x86)\Dow Chemical\ROSA8\MyProjects

1) Project Information | 2) Feedwater Data | 3) Scaling Information | 4) System Configuration | 5) Report | 6) Cost Analysis

Friday, September 06, 2013 Ready...

CSMPRO v5.0 - [DESIGN]

File Option Help Update

Project Name

Projected By | Company

E-Mail | Homepage

Project(Case)Note

Case 1 + -

Version 1.0

Date 6/9/2556

OPEN SAVE

Unit

Flow m3

Pressure Ba

Flux lm

Temp C

Result

Feed | Scale Calculation | System

Number of Feed 1

Date : 6/9/2556

Open Water Profile | Save Water Profile

Feed 1

Water Source Well Water SDI<3

Feed 6.813 m3/hr 100.00 %

TDS mg/l as Ion .00

Temperature 25.00

Ion Analysis

	mg/l as Ion	ppm as CaCO3	meq/l	Output Unit
Na	.00	.00	.00	as Ion
K	.00	.00	.00	as Ion
NH4	.00	.00	.00	as Ion
Ca	.00	.00	.00	as Ion
Mg	.00	.00	.00	as Ion
Fe	.00	.00	.00	as Ion
Ba	.00	.00	.00	as Ion
Sr	.00	.00	.00	as Ion
Cl	.00	.00	.00	as Ion
NO3	.00	.00	.00	as Ion
SO4	.00	.00	.00	as Ion
F	.00	.00	.00	as Ion
HCO3	.00	.00	.00	as Ion
CO3	.00	.00	.00	as Ion
CO2	.00	.00	.00	as Ion
B	.00			as Ion
SiO2	.00			as Ion
Total Alkalinity	.00			as CaCO3

	Unit	Feed1	Feed2	Overall
SDI	15 min			
Turbidity	NTU			
TOC	mg/l as O2			
COD	mg/l as O2			
BOD	mg/l as O2			
Cl2	mg/l as Cl2			

etc

E cond 0 uS/Cm

Feed pH 7.0

Total Cation .00

Total Anion .00

Extra Ion .00

Auto Balance

Adjust Na | Adjust NaCl

Adjust Cl | Reset to Zero

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Welcome to IMSDesign

INTEGRATED MEMBRANE SOLUTIONS ™

Where Technology Flows

Design UF

Design RO

Design RO+UF

Hydranautics Membrane Solutions Design Software, v. 2012

HYDRANAUTICS
High Performance Membrane Products
A NITTO DENKO CORPORATION

Hydranautics Design Limits

The Following System Design Limits should be observed when designing a Reverse Osmosis system.

Average flux rates and expected % decrease in flux per year:

Water Type	SDI	Flux	% Flux Decline/year
Surface water	(SDI 2 - 4)	8 - 14 GFD	7.3 - 9.9
Well water	(SDI < 2)	14 - 18 GFD	4.4 - 7.3
RO Permeate	(SDI ≤ 1)	20 - 30 GFD	2.3 - 4.4

Expected % Salt Passage Increase per year:

MembraneType	Abbreviation	% SP Increase/year
Cellulosic membrane	CAB1, CAB2, CAB3	17 - 33
Composite Membrane		
Brackish, Low Pressure	ESPA1, ESPA2, ESPA3	3 -- 17
Brackish, High Rejection	CPA2, CPA3, CPA4	3 -- 17
Low Fouling	LFC1, LFC2	3 -- 17
Seawater	SWC1, SWC2, SWC3	3 -- 17
Softening, PolyVinyl Deriv.	PVD1, ESNA1, ESNA2	3 -- 17

Maximum Feed Flow and Minimum Concentrate Flow Rates per Vessel:

Membrane Diameter (in)	Max (GPM)	Max (m^3/hr)	Min (GPM)	Min (m^3/hr)
4	16	3.6	3	0.7
6	30	8.8	7	1.6
8	75	17.0	12	2.7
8.5	85	19.3	14	3.2

Saturation Limits for Sparingly Soluble Salts in the Concentrate:

Salt	Saturation %
$CaSO_4$	230
$SrSO_4$	800
$BaSO_4$	6000
SiO_2	100

Limits of Saturation Indices (Langelier and Stiff & Davis Saturation Indices):

Condition*	LSI Value
LSI and SDSI without scale inhibitor	≤ -0.2
LSI & SDSI with SHMP	≤ 0.5
LSI & SDSI with organic scale inhibitor	≤ 1.8

Hydranautics' Industrial RO Design Guidelines

Metric

Raw Water source	RO Perm	Brackish Well	Brackish Surface	Sea Well	Sea Surface	Waste Tertiary
Feedwater Parameters						
Recommended Maximum:						
SDI @ 15 minutes	1	2	4	3	4	4
Turbidity as NTU	0.1	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4
TOC ppm as C	1	3	5	3	3	10
BOD ppm as O2 (est. as TOC x 2.6)	3	8	13	8	8	26
COD ppm as O2 (est. as TOC x 3.6)	4	11	18	11	11	36
System Average Flux (in LMH)	39.1	30.6	20.4	17	14.45	17
Lead Element Flux (in LMH)	51	45.9	30.6	40.8	34	25.5
% Flux Decline (per year)	5	7	7	7	7	15
% Salt Passage Increase (per year)	5	10	10	10	10	10
Beta (individual element)	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Feed m3/hr (maximum per vessel)						
4"	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
8"	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Reject m3/hr (minimum per vessel)						
4"	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
8"	1.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Pressure Drop (per vessel, in bar)	2.72	2.38	2.38	2.38	2.72	2.72
Pressure Drop (per element, in bar)	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Feedwater Temperature (in C)	0.1 to 45	0.1 to 45	0.1 to 45	0.1 to 45	0.1 to 45	0.1 to 45

$L/m^2.hr$

Hydranautics RO Projection Program - [Analysis]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Project	Milk Factory		Code	MILKFA	Feed	Well Water		Date	
pH	7.45		Turb	7.0	E cond	613	uS/cm	CO2	14.100 ppm
Temp	25.0	C	SDI	3.0	15min	H2S	.0 ppm	Fe	.400 ppm

Ca	70.0	ppm	3.49	meq	CO3	.5	ppm	.02	meq
Mg	3.0	ppm	.25	meq	HCO3	250.0	ppm	4.10	meq
Na	25.2	ppm	1.10	meq	SO4	14.0	ppm	.29	meq
K	25.0	ppm	.64	meq	Cl	37.4	ppm	1.06	meq
NH4	.3	ppm	.02	meq	F	.0	ppm	.00	meq
Ba	.000	ppm	.00	meq	NO3	1.5	ppm	.02	meq
Sr	.000	ppm	.00	meq	B	.00	ppm	.00	meq
					SiO2	.0	ppm	.00	meq

Total positive 5.49 meq

Autobalance

Total negative 5.49 meq

Calculated TDS	427	ppm	Ionic strength	.008	
CaSO4 saturation	.6	%	BaSO4 saturation	.0	%
Silica saturation	.0	%	SrSO4 saturation	.0	%
Saturation Index	0.1	Langelier	Osmotic pressure	3.5	psi

Print

Save

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Project	Milk Factory	Calculated by		Date	06/30/53
pH	7.45	Membrane age	3.0 years	Chem type	H2SO4
Temp	25.0 C	Chem dosing rate	.0 ppm	Chem concentration,%	96

Flux decline % per year	7.0	Feed water type	Well Water
Fouling Factor	.80	Permeate blending ☐	Permeate throttling ☐
SP increase % per year	10.0	Concentrate recirc. ☐	Booster pump ☐
Product recovery, %	75.0		
Permeate flow m3/hr	50.00		
Average flux rate l/m2-hr	24.9		
Feed flow m3/hr	66.7		
Concentrate flow m3/hr	16.7		

Passes 1

Stage 1 | Stage 2

System Specs

	Stage 1	Stage 2
Element type	CPA3-LD	CPA3-LD
Elements/vessel	6	6
Vessels	6	3

Stages Pass 1 2

Recalc Array

Run

Print

Flow diagr.

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Project	Milk Factory	Calculated by		Date	12/07/53
pH	7.45	Membrane age	3.0 years	Chem type	H2SO4
Temp	25.0 C	Chem dosing rate	.0 ppm	Chem concentration,%	96

Flux decline % per year	7.0	Feed water type	Well Water
Fouling Factor	.80	Permeate blending	☐ Permeate throttling ☐
SP increase % per year	10.0	Concentrate recirc.	☐ Booster pump ☐
Product recovery, %	75.0		
Permeate flow	m3/hr 50.00		
Average flux rate	l/m2-hr 24.9		
Feed flow	m3/hr 66.7		
Concentrate flow	m3/hr 16.7		

Calculation Results

Pressure bar | Flow/vessel m3/hr | l/m2-hr

Array	Vessels	Feed	Conc.	Feed	Conc	Flux	Beta
1-1	6	10.6	9.7	11.1	5.3	26.3	1.16
1-2	3	9.7	8.6	10.5	5.6	22.2	1.12
1-3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Passes 1

Next

Print

Flow diagr.

Permeate concentration (ppm)

Ca	0.34	K	0.72	Sr	0.00	Cl	0.27	NO3	0.08	CO2	14.07
Mg	0.01	NH4	0.01	CO3	0.00	SO4	0.03	B	0.00	pH	5.6
Na	0.58	Ba	0.00	HCO3	3.22	F	0.00	SiO2	0.00		

Total TDS 5.3 ppm

Concentrate parameters

CaSO4 sat, %	3	SrSO4 sat, %	0	Ionic strength	0.03	pH	8.0
BaSO4 sat, %	0	SiO2 sat, %	0	Osmotic pressure	1.0	bar	

Saturation Index: Langelier	1.8	Stiff & Davis	1.84	Total TDS	1691.7	ppm

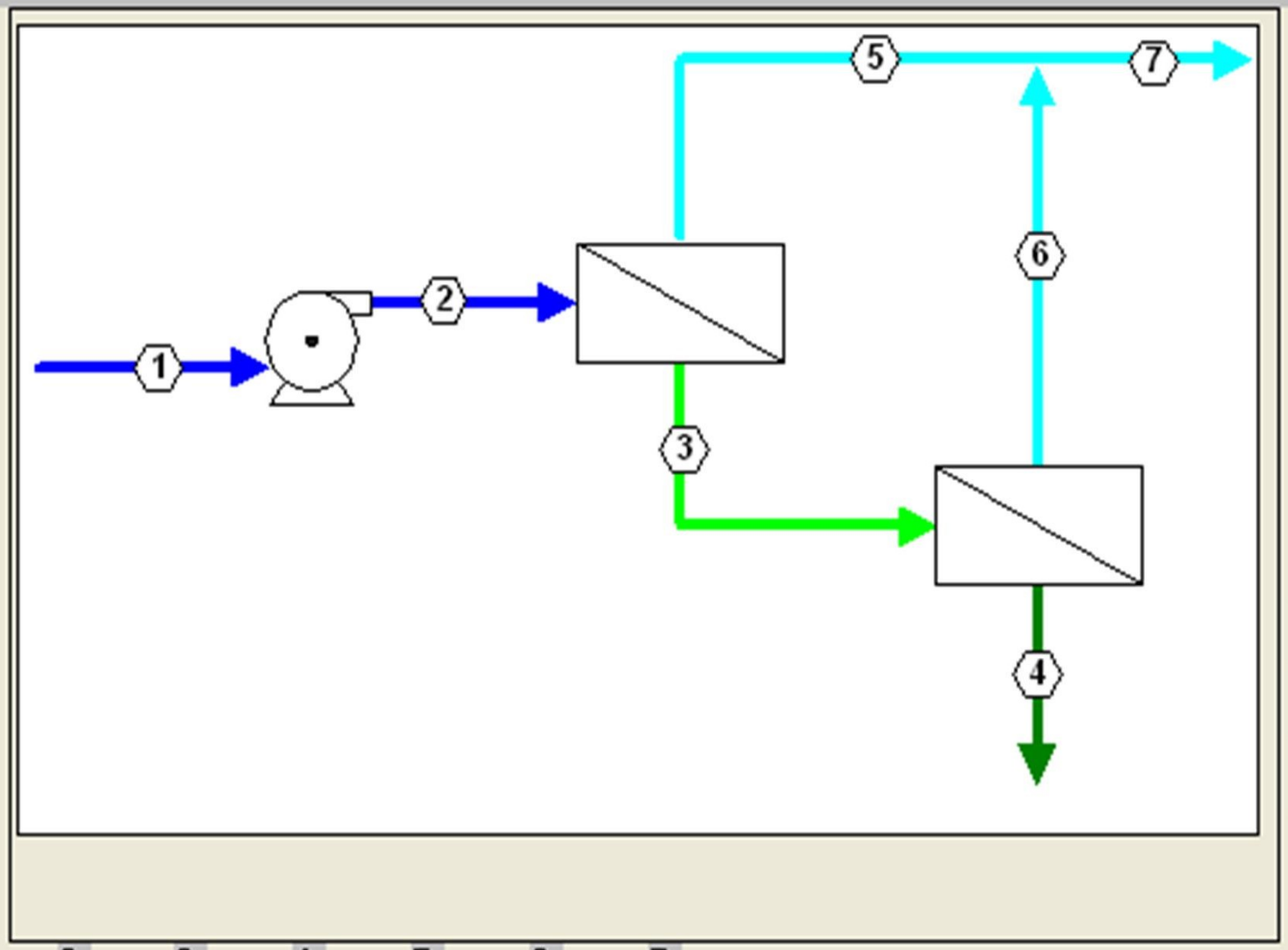
Warning : Saturation limits exceeded-click here for more info

☐ AutoDisplay

☐ Summary Calc

Flow Diagram

TWO STAGE SYSTEM



Close

Clipboard

Print

		1	2	3	4	5	6	7
Flow	m3/hr	66.7	66.7	31.5	16.7	35.1	14.9	50.0
Pressure	bar	.0	10.6	9.7	8.6	.0	.0	.0
TDS (ppm)		426.9	426.9	899.0	1691.7	3.4	9.6	5.3

Print Preview

Print... | Page Setup... | Printer Setup... | Export RTF.. | Export PDF.. | Clipboard | Exit

1/3

BASIC DESIGN

RO program licensed to:
Calculation created by:

Project name:	Milk Factory		Permeate flow:	50.00	m3/hr
HP Pump flow:	66.7	m3/hr	Raw water flow:	66.7	m3/hr
Feed pressure:	10.6	bar	Permeate recovery:	75.0	%
Feedwater Temperature:	25.0	C(77F)			
Feed water pH:	7.5		Element age:	3.0	years
Chem dose, ppm (96%):	0.0	H2SO4	Flux decline % per year:	7.0	
			Fouling factor:	0.80	
			Salt passage increase, %/yr:	10.0	
Average flux rate:	24.9	lm2hr	Feed type:	Well Water	

Stage	Perm. Flow m3/hr	Flow/Vessel Feed m3/hr	Flow/Vessel Conc m3/hr	Flux l/m2-hr	Beta	Conc.&Throt. Pressures bar	Conc.&Throt. Pressures bar	Element Type	Elem. No.	Array
1-1	35.1	11.1	5.3	26.3	1.16	9.7	0.0	CPA3-LD	36	6x6
1-2	14.9	10.5	5.6	22.2	1.12	8.6	0.0	CPA3-LD	18	3x6

	Raw water		Feed water		Permeate		Concentrate	
Ion	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Ca	70.0	3.5	70.0	3.5	0.338	0.0	279.0	13.9
Mg	3.0	0.2	3.0	0.2	0.014	0.0	12.0	1.0
Na	25.2	1.1	25.2	1.1	0.581	0.0	99.1	4.3
K	25.0	0.6	25.0	0.6	0.719	0.0	97.8	2.5
NH4	0.3	0.0	0.3	0.0	0.009	0.0	1.2	0.1
Ba	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0
Sr	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0
CO3	0.5	0.0	0.5	0.0	0.000	0.0	1.8	0.1
HCO3	250.0	4.1	250.0	4.1	3.224	0.1	990.3	16.2
SO4	14.0	0.3	14.0	0.3	0.025	0.0	55.9	1.2
Cl	37.4	1.1	37.4	1.1	0.269	0.0	148.8	4.2
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0
NO3	1.5	0.0	1.5	0.0	0.079	0.0	5.8	0.1
B	0.00		0.00		0.000		0.00	
SiO2	0.0		0.0		0.00		0.0	
CO2	14.07		14.07		14.07		14.07	
TDS	426.9		426.9		5.3		1691.7	
pH	7.5		7.5		5.6		8.0	

	Raw water	Feed water	Concentrate
CaSO4 / Ksp * 100:	1%	1%	3%
SrSO4 / Ksp * 100:	0%	0%	0%
BaSO4 / Ksp * 100:	0%	0%	0%
SiO2 saturation:	0%	0%	0%
Langelier Saturation Index	0.12	0.12	1.84
Stiff & Davis Saturation Index	0.18	0.18	1.84
Ionic strength	0.01	0.01	0.03
Osmotic pressure	0.2 bar	0.2 bar	1.0 bar

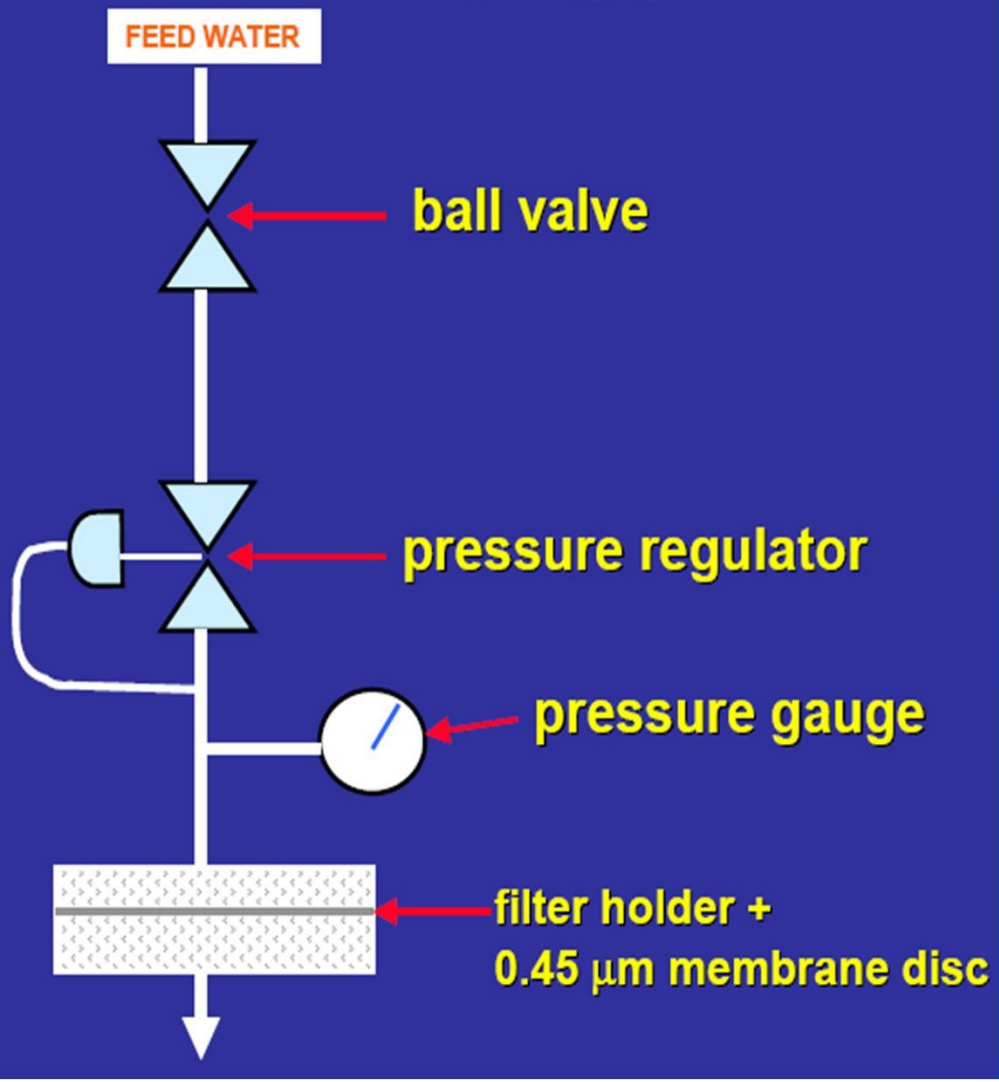
What is the SDI (Silt Density Index or fouling index) ?

เป็นดรรชนีที่ใช้แสดงระดับความเข้มข้นของคอลลอยด์ที่มีผลต่อการอุดตันผิวเมมเบรน ซึ่งสำคัญต่อการออกแบบระบบเมมเบรนมากๆ น้ำบาดาลมักมี SDI ประมาณ 2 – 3 หรือน้อยกว่าและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันเมมเบรน น้ำผิวดินอาจมี SDI สูงตั้งแต่ 10 จนถึง 175 จะก่อให้เกิดการอุดตันผิวเมมเบรน

แหล่งที่ก่อให้เกิดค่า SDI ได้แก่ ดิน แบคทีเรีย สารอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนเข้าระบบเมมเบรน ด้วยวิธี Conventional Water Treatment Process ก่อน

ค่า SDI ของน้ำก่อนเข้าระบบ Reverse Osmosis ที่เป็นข้อกำหนดทั่วๆไปคือ SDI $\leq$ 3

Silt Density Index (SDI) Apparatus



How is SDI measured ?

- เริ่มแรกจะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่า SDI ตามรูปดังกล่าวซึ่งประกอบด้วย ball valve, pressure regulator, pressure gauge and filter holder incl. 0.45µm pore filterpaper, 500 ml measuring cylinder and a stop watch is needed.

- การหาค่า SDI มีขั้นตอนดังนี้:

1. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวเสร็จแล้วให้วางแผ่นกรอง(filterpaper) บน filter holder ฉีดน้ำลงไปในเปียก
2. เริ่มเปิดเครื่องปรับความดันไปที่ 2.1 bar (30 psi) เทน้ำตัวอย่างลงไปที่ปริมาตรตัวอย่าง 500 มิลลิลิตรเริ่มจับเวลาจนกระทั่งวัดปริมาตรน้ำที่ออกมาได้ 500 มิลลิลิตรเวลาที่ได้เป็น t_0 (ปรับความดันให้คงที่ตลอดเวลาที่กรองที่ 2.1 bar)
3. กรองน้ำต่อไปจนกระทั่งครบเวลา 15 นาที ภายใต้ความดัน 2.1 bar (30 psi) เทน้ำที่กรองทิ้ง

4. ทำการวัดใหม่อีกครั้งโดยไม่ต้องเปลี่ยนแผ่นกรองใช้ปริมาตรน้ำเท่าเดิมคือ 500 มิลลิลิตรเริ่มจับเวลาจนกระทั่งวัดปริมาตรน้ำที่ออกมาได้ 500 มิลลิลิตรเวลาที่ได้ เป็น t_1 (ปรับความดันให้คงที่ตลอดเวลาที่กรองที่ 2.1 bar (30 psi))

5. คำนวณค่า SDI ได้ดังนี้

$$SDI = \frac{\left[1 - \frac{t_o}{t_1}\right]}{15} x100$$

สภาพสีที่เกิดบนกระดาษกรอง SDI

Colour	Indication
Yellow/Brown	Organics
Red/Brown	Iron
Dark/Gray	Activated Carbon
Particles	Suspended Solid

ที่มา :

MOSSET, A., BONNELYE, V., PETRY, M. & SANZ, M. A. (2008) The sensitivity of SDI analysis: from RO feed water to raw water. Desalination, 222, 17-23.

Silt Density Index

Direct SDI - Complete, Portable and Affordable SDI Measurement

Filters for Direct SDI (SDI-1000)

EZ & Enhanced Automatic SDI Monitors

Spare Parts for Y-EZSDI, Y-EZSDIC, & Y-ENHSDI

SIMPLE SDI Kit

LSI (Langelier saturation index):

เป็นวิธีการตรวจสอบแนวโน้มในการตกผลึกหรือกัดกร่อนโลหะ

1. ถ้าค่า LSI มีค่าเป็นบวก แสดงว่าน้ำมีแน้วโน้มในการสร้างตะกรันและไม่กรัดกร่อนโลหะ
2. ถ้าค่า LSI มีค่าเป็นลบ แสดงว่าน้ำมีแน้วโน้มในการกัดกร่อนโลหะและไม่สร้างตะกรัน
3. ถ้าค่า LSI มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าน้ำมีแน้วโน้มไม่สร้างตะกรันแต่อาจกัดกร่อนโลหะเล็กน้อย

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่า LSI คือ

CaF_2, $BaSO_4$, $CaCO_3$, $SrSO_4$, $CaSO_4$ →

increasing solubility

วิธีการคำนวณหาค่าLSI (Langelier saturation index):

$$LSI = pH - pH_s$$

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

where:

$$A = (Log_{10}[TDS] - 1)/10$$

$$B = -13.12 x Log_{10}(^oC + 273) + 34.55$$

$$C = Log_{10}[Ca^{2+} as\ CaCO_3] - 0.4$$

$$D = Log_{10}[Alkalinity\ as\ CaCO_3]$$

เกณฑ์กำหนดค่า LSI:

LSI ≤ -0.2 ไม่ต้องมีการเติม scale inhibitor ทุกชนิดในระบบผลิต

LSI ≤ 0.5 เติม sodium hexametaphosphate ในระบบผลิต

LSI ≤ 1.8 เติม organic scale inhibitor

วิธีการคำนวณปั๊มแรงดันสูง(High Pressure Pump)

$$Pump(KWhr/m^3) = \frac{0.02724xP_f}{(RxEF_pxEF_m)}$$

Where :

$$Pump = High\ pressure\ pump\ power(KWhr/m^3)$$

$$P_f = Pump\ pressure(bar)$$

$$R = \mathrm{Re}\,\mathrm{cov}\,ery\ rate(\%)$$

$$EF_p = Pump\ efficiency(\%)$$

$$EF_m = Motor\ efficiency(\%)$$

ที่มา : Mark Wilf Ph.D. Fundamentals of RO-NF Technology

ตัวอย่างการคำนวณปั๊มแรงดันสูง(High Pressure Pump)

Step 1

$$P_f = Pump\ pressure(bar)$$

$$R = Recovery\ rate(\%)$$

Print Preview

Print... | Page Setup... | Printer Setup... | Export RTF.. | Export PDF.. | Clipboard | Exit

1/3

Hydranautics Membrane Solutions Design Software, v. 2010 — 19/7/2553

BASIC DESIGN

RO program licensed to:
Calculation created by:
Project name: Milk Factory
HP Pump flow: 66.7 m3/hr
Feed pressure: 10.6 bar
Feedwater Temperature: 25.0 C(77F)
Feed water pH: 7.5
Chem dose, ppm (96%): 0.0 H2SO4

Average flux rate: 24.9 lm2hr

Permeate flow: 50.00 m3/hr
Raw water flow: 66.7 m3/hr
Permeate recovery: 75.0 %
Element age: 3.0 years
Flux decline % per year: 7.0
Fouling factor: 0.80
Salt passage increase, %/yr: 10.0
Feed type: Well Water

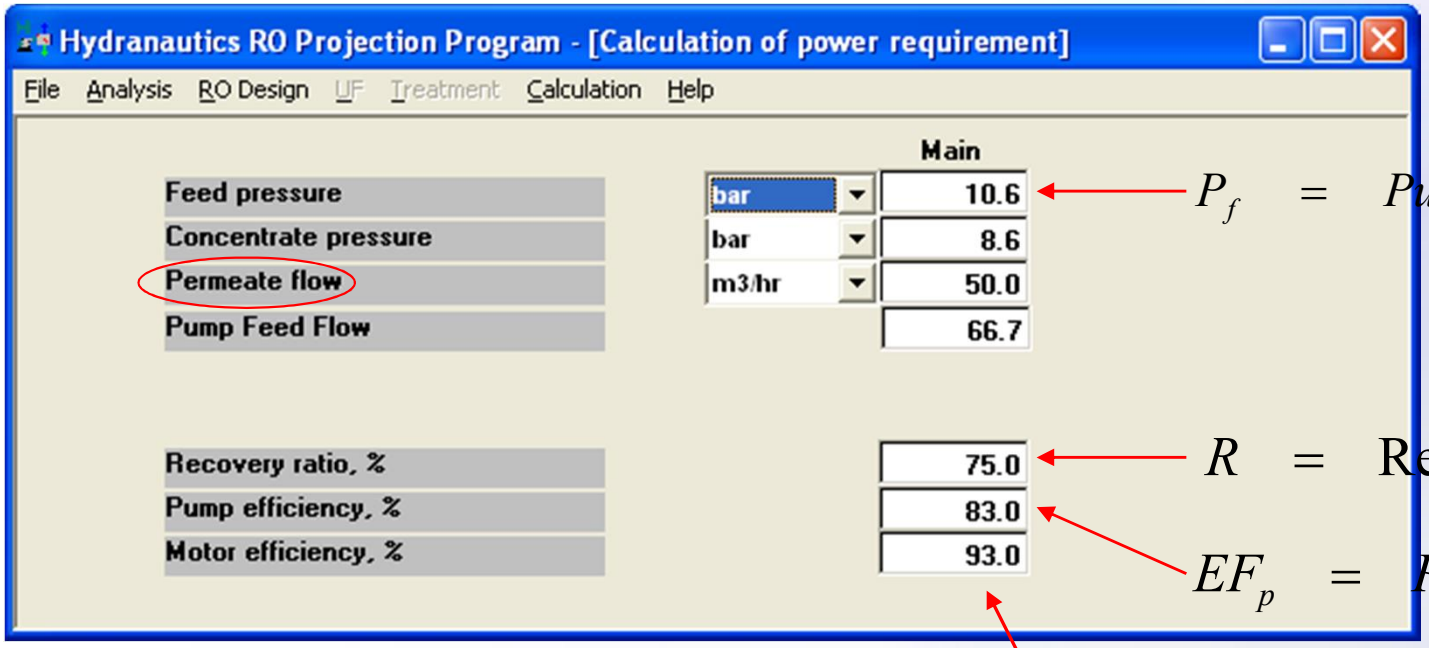
Stage	Perm. Flow m3/hr	Flow/Vessel Feed m3/hr	Flow/Vessel Conc m3/hr	Flux lm2-hr	Beta	Conc.&Throt. Pressures bar	bar	Element Type	Elem. No.	Array
1-1	35.1	11.1	5.3	26.3	1.16	9.7	0.0	CPA3-LD	36	6x6
1-2	14.9	10.5	5.6	22.2	1.12	8.6	0.0	CPA3-LD	18	3x6

Ion	Raw water mg/l	Raw water meq/l	Feed water mg/l	Feed water meq/l	Permeate mg/l	Permeate meq/l	Concentrate mg/l	Concentrate meq/l
Ca	70.0	3.5	70.0	3.5	0.338	0.0	279.0	13.9
Mg	3.0	0.2	3.0	0.2	0.014	0.0	12.0	1.0
Na	25.2	1.1	25.2	1.1	0.581	0.0	99.1	4.3
K	25.0	0.6	25.0	0.6	0.719	0.0	97.8	2.5
NH4	0.3	0.0	0.3	0.0	0.009	0.0	1.2	0.1
Ba	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0
Sr	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0
CO3	0.5	0.0	0.5	0.0	0.000	0.0	2.0	0.1
HCO3	250.0	4.1	250.0	4.1	3.224	0.1	990.3	16.2
SO4	14.0	0.3	14.0	0.3	0.025	0.0	55.9	1.2
Cl	37.4	1.1	37.4	1.1	0.269	0.0	148.8	4.2
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	0.0
NO3	1.5	0.0	1.5	0.0	0.079	0.0	5.8	0.1
B	0.00		0.00		0.000		0.00	
SiO2	0.0		0.0		0.00		0.0	
CO2	14.07		14.07		14.07		14.07	
TDS	426.9		426.9		5.3		1691.8	
pH	7.5		7.5		5.6		8.0	

	Raw water	Feed water	Concentrate
CaSO4 / Ksp * 100:	1%	1%	3%
SrSO4 / Ksp * 100:	0%	0%	0%
BaSO4 / Ksp * 100:	0%	0%	0%
SiO2 saturation:	0%	0%	0%
Langelier Saturation Index	0.12	0.12	1.84
Stiff & Davis Saturation Index	0.18	0.18	1.84
Ionic strength	0.01	0.01	0.03
Osmotic pressure	0.2 bar	0.2 bar	1.0 bar

ตัวอย่างการคำนวณปั๊มแรงดันสูง(High Pressure Pump)(ต่อ)

Step 2



$P_f = Pump\ pressure\ (bar)$

$R = Recovery\ rate(\%)$

$EF_p = Pump\ efficiency(\%)$

$EF_m = Motor\ efficiency(\%)$

$Pump\ efficiency, usually\ \ 70-90\ \ percent$

$Motor\ efficiency, usually\ \ 70-92\ \ percent$

ที่มา : Syed R Qasim.,Edward M.Motley.,Guang Zhu. Water Works Engineering@2000

ตัวอย่างการคำนวณปั๊มแรงดันสูง(High Pressure Pump)(ต่อ)

Step 3 แทนค่าลงในสมการ :

$$Pump(KWhr/m^3) = \frac{0.02724x10.6}{(0.75x0.83x0.93)}$$

$$= 0.5 \quad KWhr/m^3 \longleftarrow 1$$

$$Permeate\ water\ flow = 50 \quad m^3/hr \longleftarrow 2$$

$$\therefore High\ pressure\ pump\ power = 25 \quad KW \longleftarrow 1 \times 2$$

$$from\ conversion\ of\ power\ 0.746 \quad KW = 1 \quad HP$$

$$\therefore High\ pressure\ pump\ power = 33.5 \quad HP$$

Cost of Water Produced by RO Systems

RO Water Treatment Application	Cost of Water (US$/m^3)
Wastewater RO Treatment For Reuse	0.2 – 0.8
Brackish water Desalination	0.3 – 0.6
Desalination of Pacific Ocean Water	0.5 – 1.0

Energy Use of Various Water Supply Alternatives

RO Water Treatment Application	Energy Use (KWh/m^3)
Wastewater RO Treatment For Reuse	0.4 – 1.1
Brackish water Desalination	0.6 – 1.2
Desalination of Seawater	3.0 – 4.5

1US$ = 36 baht

Desalination of Seawater Energy Use 1.58 KWh/m^3 (ADC)
Desalination of Seawater Energy Use 2.6 – 5.3 KWh/m^3 (AWWA ,2011)

Source : Nikolay Voutchkov, Advanced of Reverse Osmosis Membrane Desalination,Waste&Energy Thailand,March/April 2008,14

ข้อควรตระหนักเกี่ยวกับเงื่อนไขการติดตั้งระบบ

1. คุณภาพน้ำดิบ หากไม่นับส่วนสารตกตะกอน และเชื้อราต่างๆ ต้องมีคุณสมบัติเหมาะที่จะเป็นน้ำประปา

2. เป็นจุดที่มีไฟฟ้า

3. อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการจ่ายน้ำไปยังจุดที่มีความต้องการรับน้ำ

4. พื้นที่ดินมีความมั่นคง

5. เป็นสถานที่ที่สามารถควบคุมสุขลักษณะได้

6. มีพื้นที่เหลือเพียงพอในการดำเนินการติดตั้ง ตรวจเช็คหรือเปลี่ยน membrane module

7. การจัดตำแหน่งของอุปกรณ์เอื้ออำนวยต่อการทำงานของระบบ

8. สามารถปล่อยน้ำออกสู่ธรรมชาติได้

9. มีอุบัติภัยทางธรรมชาติ เช่น อุทกภัย ฟ้าผ่า เกิดขึ้นยาก

ระบบ Reverse Osmosis และส่วนประกอบ

1. Pre Treatment
2. Pre Disinfection
3. De-chlorination
4. pH Adjustment
5. Anti – Scaling System
6. Cartridge Filter
7. RO – Feed Pump

ระบบ Reverse Osmosis และส่วนประกอบ

8. RO Module & Pressure Vessel

9. Frame Structure and Skid-Mount

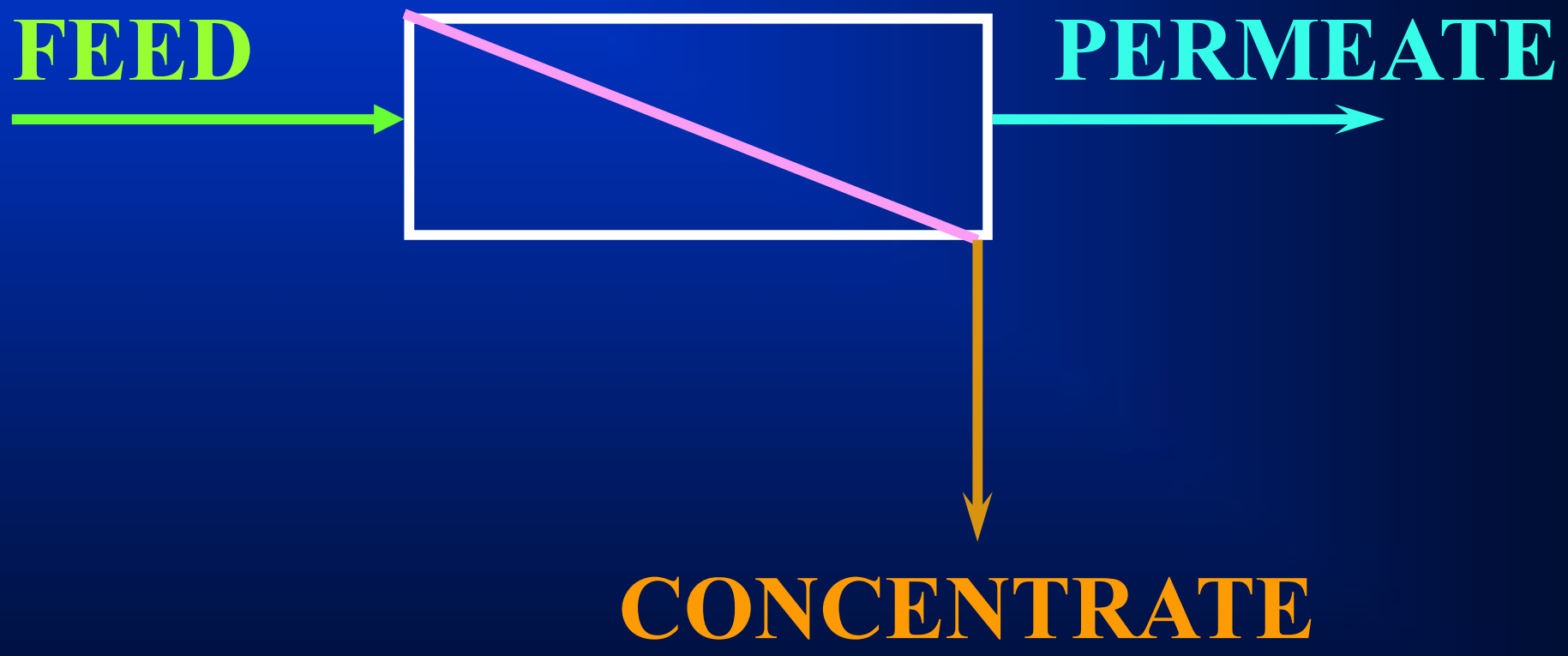
10. RO Product Storage

11. CIP System

12. RO Piping

13. Accessory : Flow meter, Back Pressure Valve, Pressure Gauge, TDS Meter, Conductivity Meter, Temperature meter

MEMBRANE PROCESS



Membrane Filtration Enhancements

Pre - Treatment

Organic + Coagulant

Matter

colloid + Coagulant

Ferrous + Oxidant

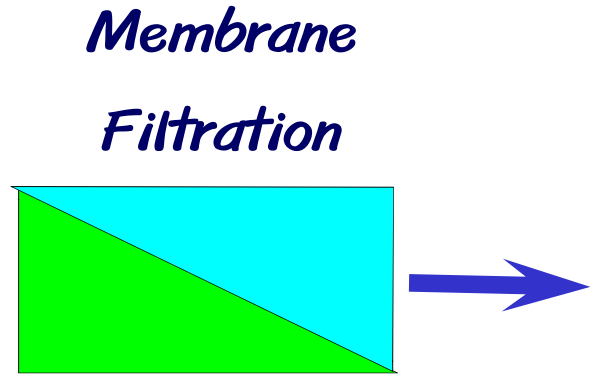
Hydrogen + Oxidant

Sulfide

Organic + PAC

Compounds

RO Process



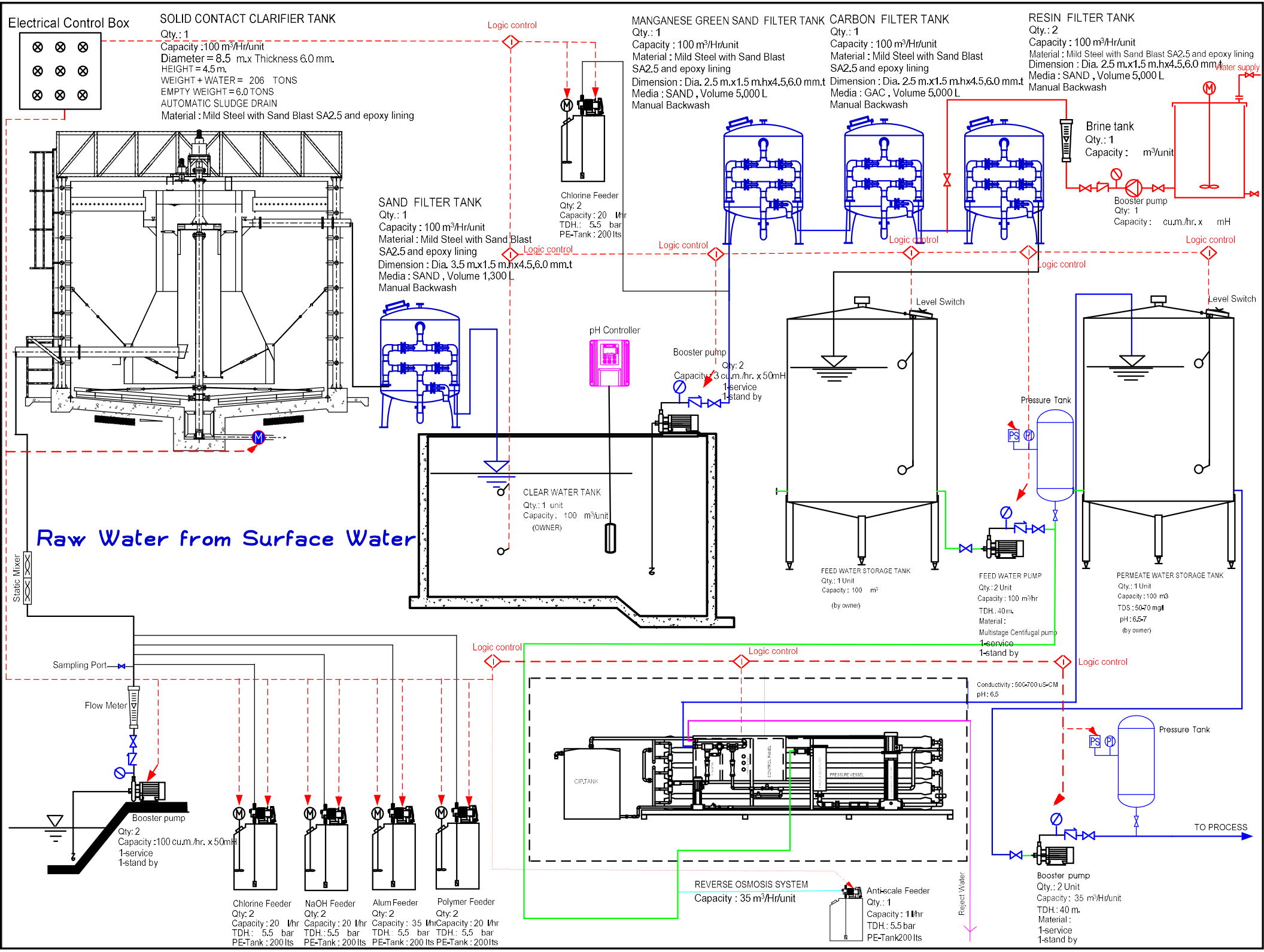
Treated

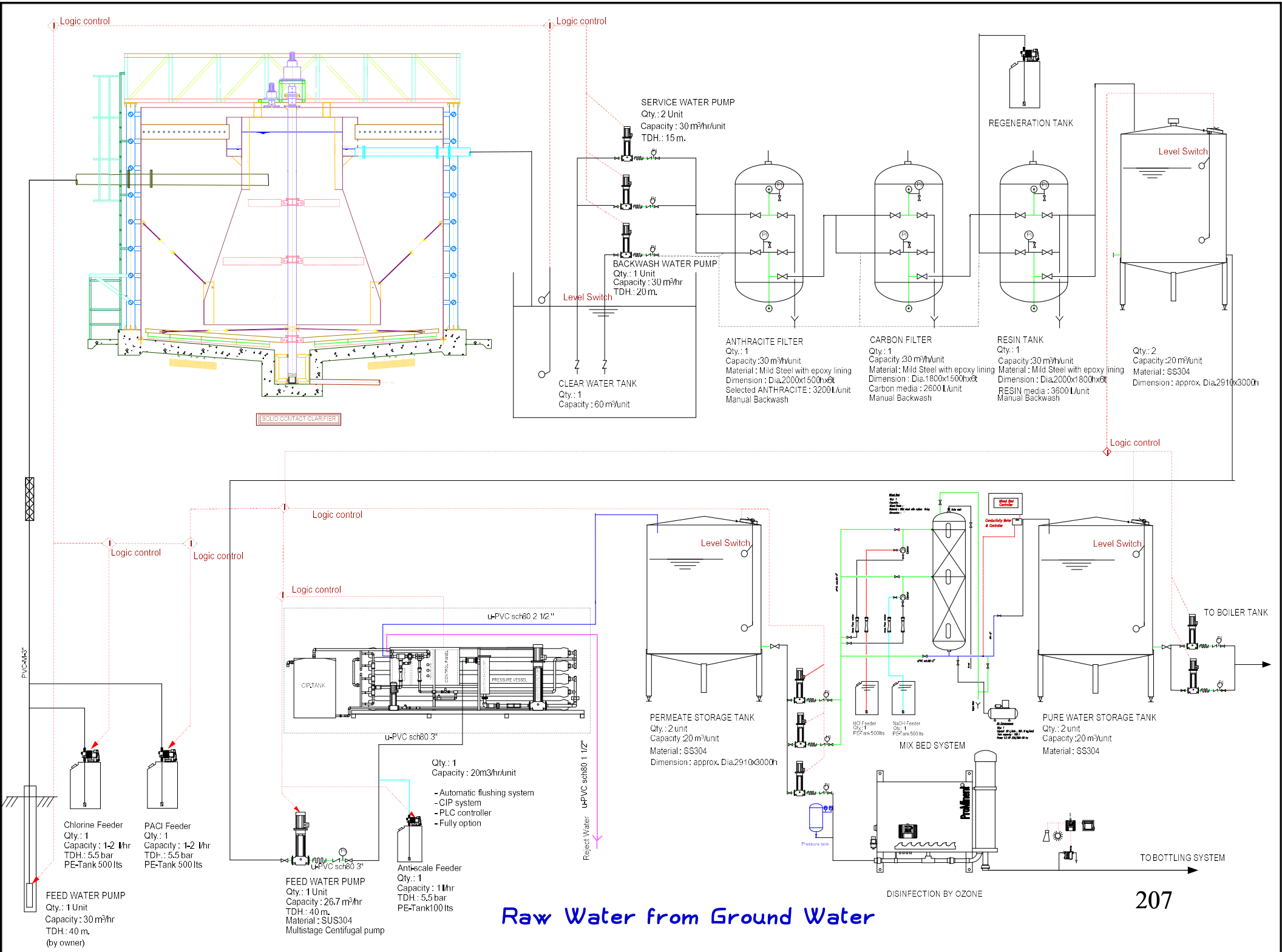
Water

Pretreatment

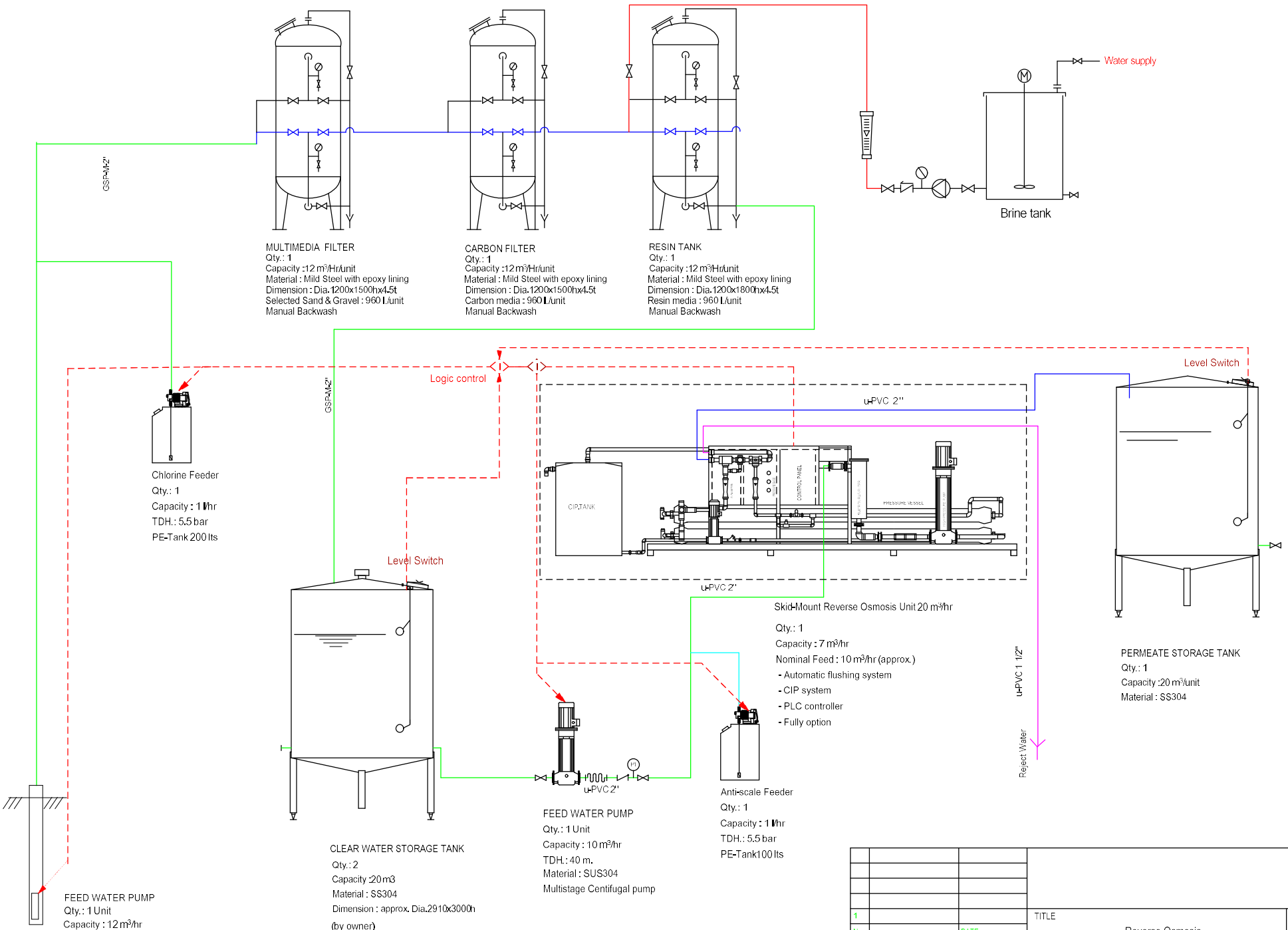
- Purpose:

  - กำจัดความขุ่นและสารแขวนลอยออกจากน้ำ
  - ปรับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำให้เหมาะสม
  - กำจัดสารละลายที่มีโอกาสเกิด Scaling หรือ Fouling
  - ฆ่าจุลชีพที่อยู่ในน้ำออกเพื่อไม่ให้เกิด Biofouring
  - ควบคุมการสะสมของซิลิกา


Electrical Control Box
SOLID CONTACT CLARIFIER TANK
Qty.: 1
Capacity :100 m³/Hr/unit
Diameter = 8.5 m.x Thickness 6.0 mm.
HEIGHT = 4.5 m.
WEIGHT + WATER = 206 TONS
EMPTY WEIGHT = 6.0 TONS
AUTOMATIC SLUDGE DRAIN
Material : Mild Steel with Sand Blast SA2.5 and epoxy lining
Logic control
Chlorine Feeder
Qty: 2
Capacity : 20 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank : 200 lts
MANGANESE GREEN SAND FILTER TANK
Qty.: 1
Capacity : 100 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with Sand Blast SA2.5 and epoxy lining
Dimension : Dia. 2.5 m.x1.5 m.hx4.5,6.0 mm.t
Media : SAND , Volume 5,000 L
Manual Backwash
CARBON FILTER TANK
Qty.: 1
Capacity : 100 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with Sand Blast SA2.5 and epoxy lining
Dimension : Dia. 2.5 m.x1.5 m.hx4.5,6.0 mm.t
Media : GAC , Volume 5,000 L
Manual Backwash
RESIN FILTER TANK
Qty.: 2
Capacity : 100 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with Sand Blast SA2.5 and epoxy lining
Dimension : Dia. 2.5 m.x1.5 m.hx4.5,6.0 mm.t
Media : SAND , Volume 5,000 L
Manual Backwash
Water supply
Brine tank
Qty.: 1
Capacity : m³/unit
Booster pump
Qty: 1
Capacity : cu.m./hr. x mH
SAND FILTER TANK
Qty.: 1
Capacity : 100 m³/Hr/unit
Material : Mild Steel with Sand Blast SA2.5 and epoxy lining
Dimension : Dia. 3.5 m.x1.5 m.hx4.5,6.0 mm.t
Media : SAND , Volume 1,300 L
Manual Backwash
pH Controller
Booster pump
Qty: 2
Capacity : 3 cu.m./hr. x 50mH
1-service
1-stand by
Level Switch
Level Switch
Pressure Tank
PS
PI
CLEAR WATER TANK
Qty.: 1 unit
Capacity : 100 m³/unit
(OWNER)
Raw Water from Surface Water
Static Mixer
FEED WATER STORAGE TANK
Qty.: 1 Unit
Capacity : 100 m³
(by owner)
FEED WATER PUMP
Qty.: 2 Unit
Capacity : 100 m³/hr
TDH.: 40 m.
Material :
Multistage Centifugal pump
1-service
1-stand by
PERMEATE WATER STORAGE TANK
Qty.: 1 Unit
Capacity : 100 m3
TDS : 50-70 mg/l
pH : 6.5-7
(by owner)
Sampling Port
Flow Meter
Conductivity : 500-700 uS-CM
pH : 6.5
CIP TANK
CONTROL PANEL
PRESSURE VESSEL
Pressure Tank
TO PROCESS
Booster pump
Qty: 2
Capacity : 100 cu.m./hr. x 50mH
1-service
1-stand by
Chlorine Feeder
Qty: 2
Capacity : 20 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank : 200 lts
NaOH Feeder
Qty: 2
Capacity : 20 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank : 200 lts
Alum Feeder
Qty: 2
Capacity : 35 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank : 200 lts
Polymer Feeder
Qty: 2
Capacity : 20 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank : 200 lts
REVERSE OSMOSIS SYSTEM
Capacity : 35 m³/Hr/unit
Anti-scale Feeder
Qty.: 1
Capacity : 1 l/hr
TDH.: 5.5 bar
PE-Tank 200 lts
Reject Water
Booster pump
Qty.: 2 Unit
Capacity : 35 m³/Hr/unit
TDH.: 40 m.
Material :
1-service
1-stand by



Raw Water from Ground Water



Raw Water from Ground Water

NOTE:

Not to be used for construction unless certified

1			TITLE
No.		DATE	Reverse Osmosis
APPR			Capacity 7 m³/hr
CHECKED			
DRAWN			
TRACED			

RO Pretreatment - Why

Feed water limiting conditions

- SDI less than 5 (3.0)*
- Turbidity less than 1 NTU (0.3)*
- Temp. less than 45 deg C
- Bacteria and organics nil
- Oil & Grease nil
- Free chlorine less than 0.1 mg/l(ORP less than +300 mV)
- Fe, Mn less than 0.1 mg/l
- Al less than 0.1 mg/l
- TOC less than 4 mg/l

* With MF/UF pre-treatment

WATER QUALITY FOR RO SYSTEMS

Feed Water Parameters	Units	Seawater			Brackish	
		Low Salinity	Normal Salinity	High Salinity	Low Salinity	High Salinity
TDS	mg/L	20,000 – 30,000	30,000 – 40,000	40,000 – 50,000	1,500	3,000
pH	pH	6 - 9				
Turbidity	NTU	< 0.2				
SDI	-	< 3				
Temperature	°C	20 - 40				
Oil & Grease	mg/L	Nil				
Chlorine	mg/L	Nil				
TOC	mg/L	< 1				
COD	mg/L	Nil				
Silica, SO_2	mg/L	< 40				

Product Water Parameters	Units	Seawater		Brackish
		One Pass RO	Two Pass RO	One Pass RO
TDS	mg/L	< 500–750*	< 50	< 100

* 750 mg/L in case of TDS > 40,000 mg/L as feed

ที่มา : https://www.hyflux.com

Table 3.4 Generally-accepted water quality guidelines to minimize RO membrane fouling.

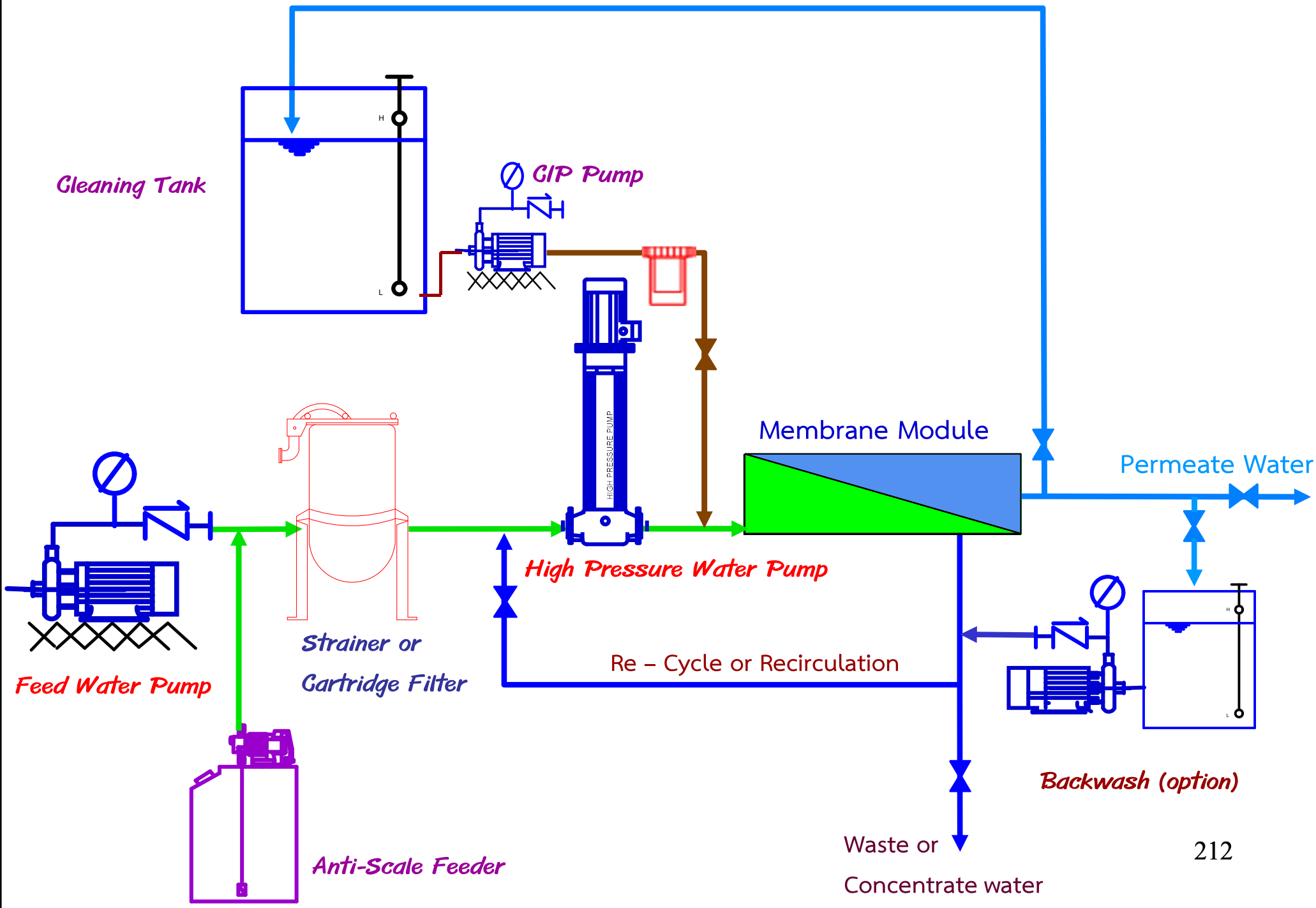
Species	Measure	Value
Suspended Solids	Turbidity	< 1 NTU
Colloids	SDI	< 5
Microbes	Dip Slides*	< 1,000 CFU/ml**
Organics	TOC Concentration	< 3 ppm
Color	Color units	< 3 APHA
Metals: iron, manganese, aluminum	Concentration	< 0.05 ppm
Hydrogen Sulfide	Concentration	< 0.1 ppm

* Other methods see Chapter 7.3

** In RO reject stream

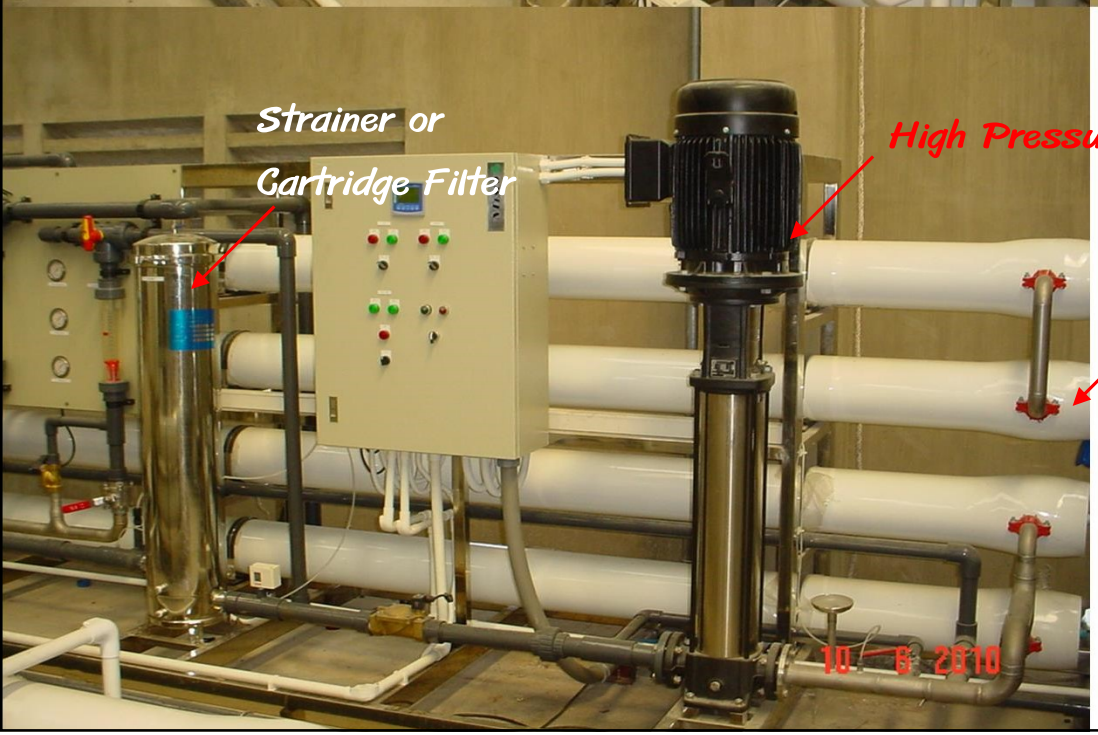
หมายเหตุ : จากหนังสือ Reverse Osmosis Industrial Applications and Processes,2010

Membrane Filtration Process

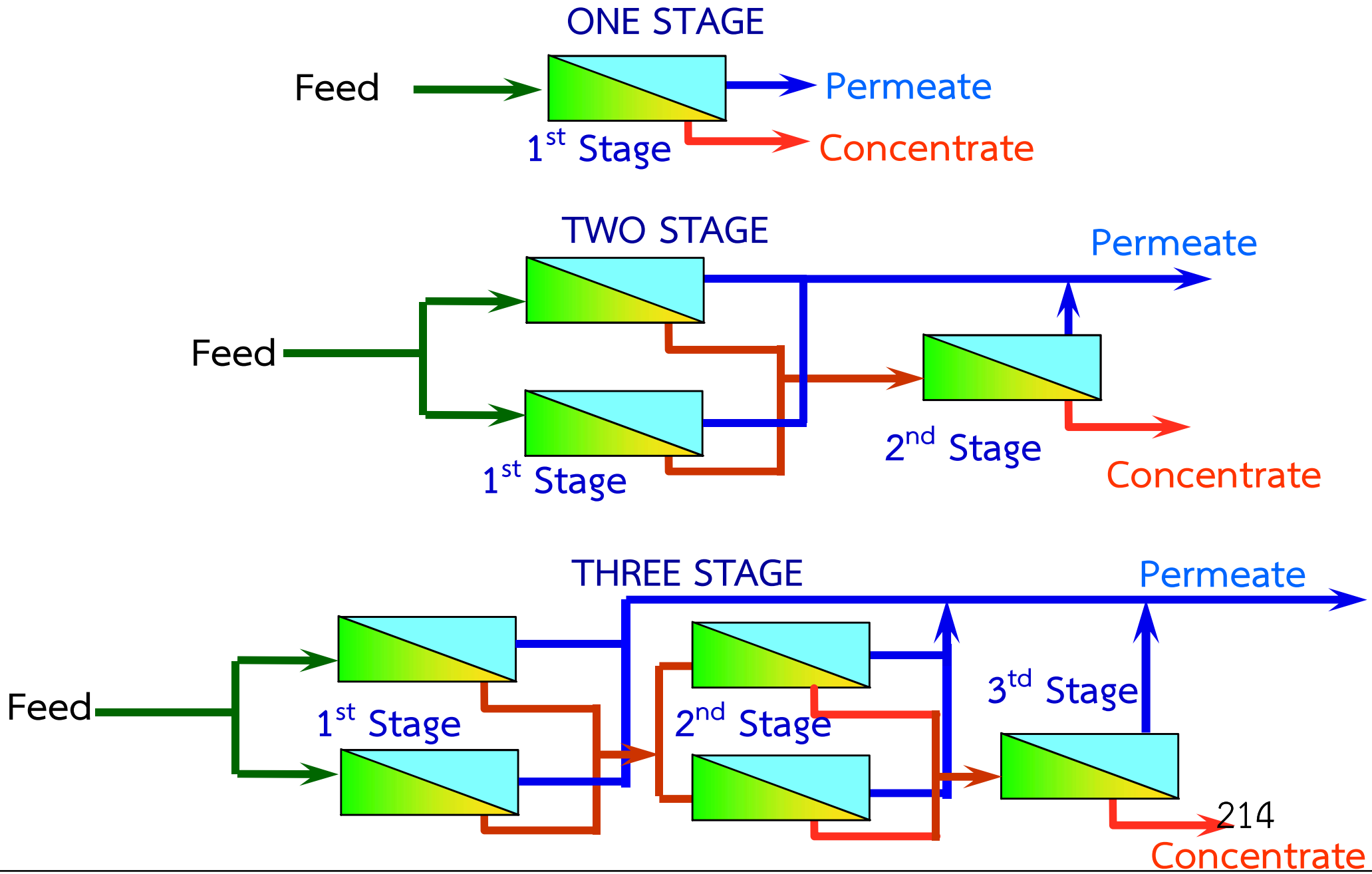


Cleaning Tank
Anti-Scale Feeder
Feed Water Pump
10 6 2010

CIP Pump
10 6 2010

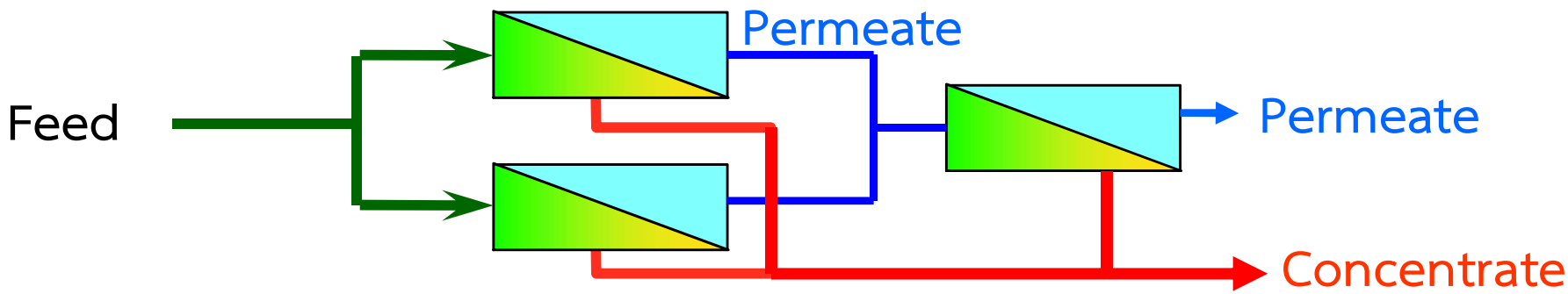

Strainer or
Cartridge Filter
High Pressure Water Pump
Membrane Module
10 6 2010

Membrane Staging

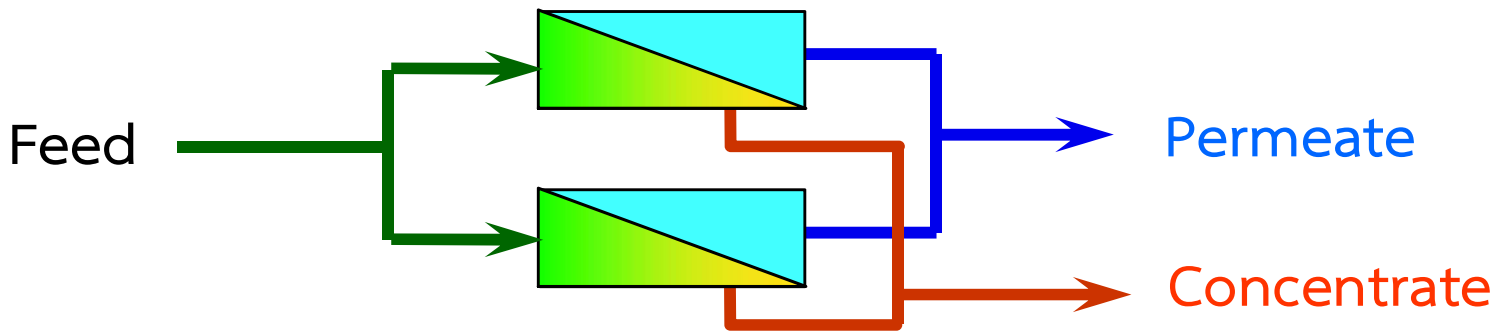


Membrane Staging

DOUBLE STAGE(DOUBLE PASS)

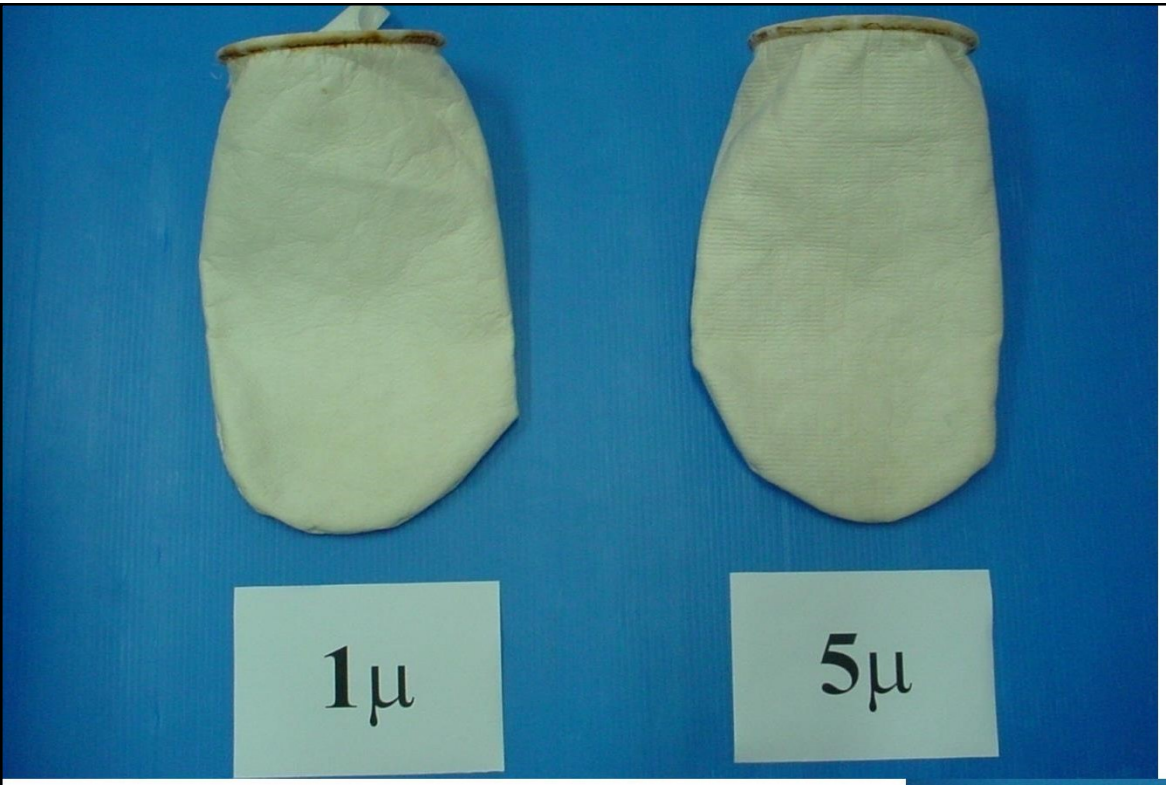


PARALLEL STAGE



ANH
ANH
THANH
WATA

Residential Components


1μ
5μ

Micro-Filter
(Ceramic)

Cartridge Filter

Pressure Vessels

1. PVC Pressure Vessels Max pressure 200 psi

2. Stainless Steel Pressure Vessels Max pressure 400 psi

3. Fiberglass Pressure Vessels Max pressure 400 - 1500 psi

Microfiltration (MF) System

24 Module HYDRABLOC

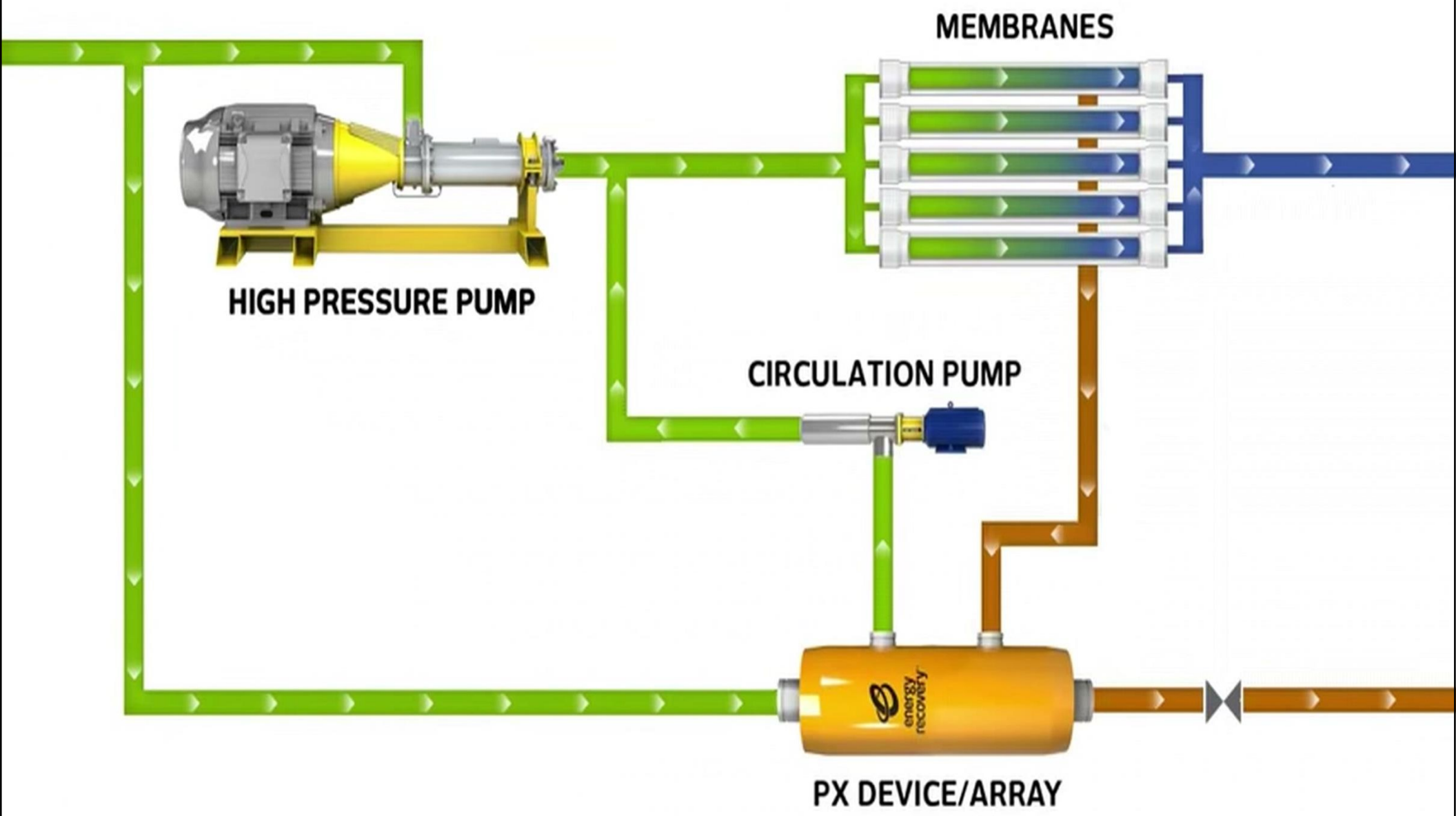
Ultrafiltration (UF) System

Industrial Installation

Ultrafiltration (UF) System

Reverse Osmosis (RO) System

RO SEA WATER



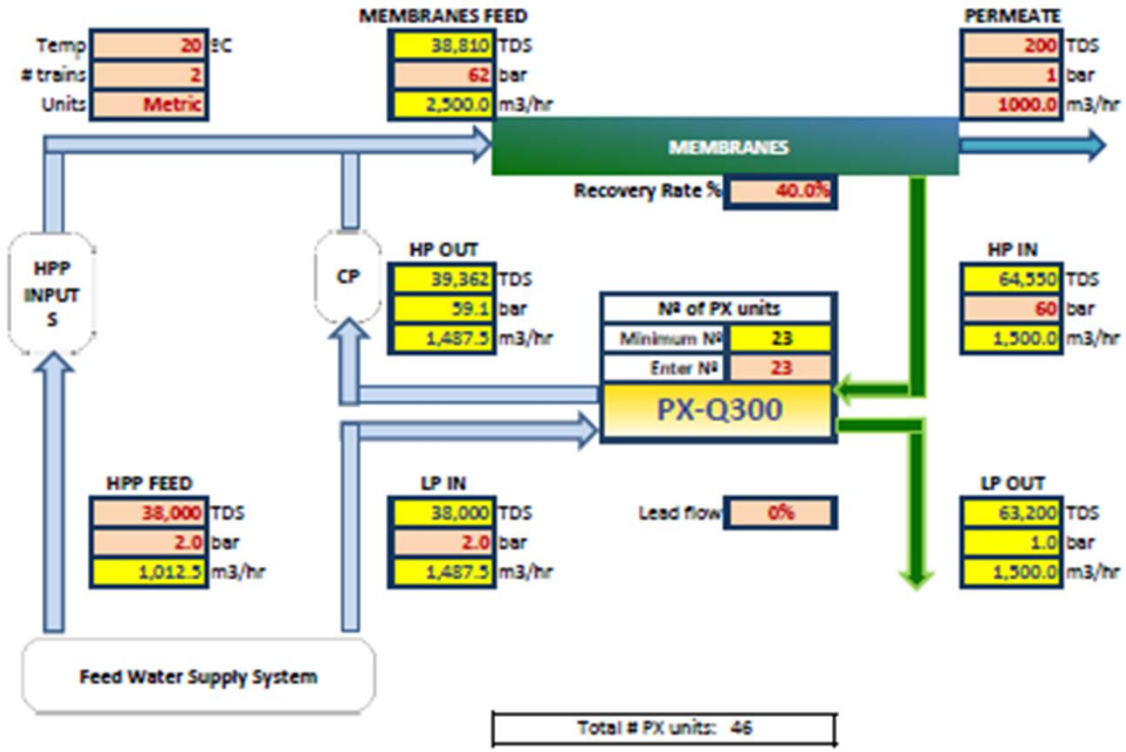
Source : http://www.energyrecovery.com/water/px-pressure-exchanger/

ERI™ PX™ POWER MODEL

energy recovery™

ERI Document No. 80313-01

Project Name	Project x
Company Name	Company y
Projection By	Engineer z
Case Nº	1

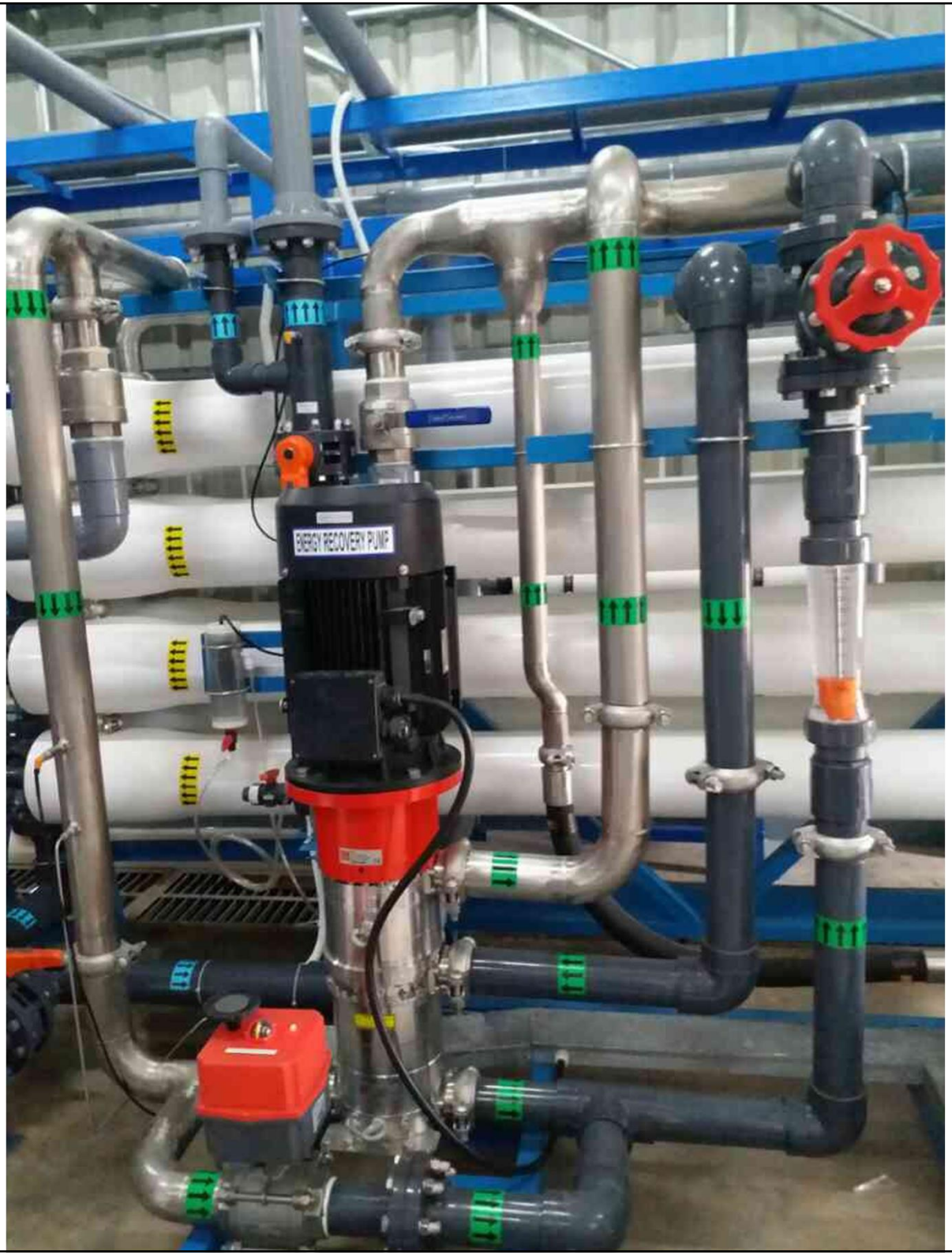


PX Technology Performance

PX unitary flow	65.2	m3/hr
Salinity increase at membranes	2.1%	
Volumetric mixing VM	5.1%	
Lubrication flow (LF) per PX array	12.5	m3/hr
LF as % of concentrate flow	0.8%	
HP DP	0.9	bar
LP DP	1.0	bar
RO Specific Energy **	2.23	kWh/m3
Efficiency	96.17%	

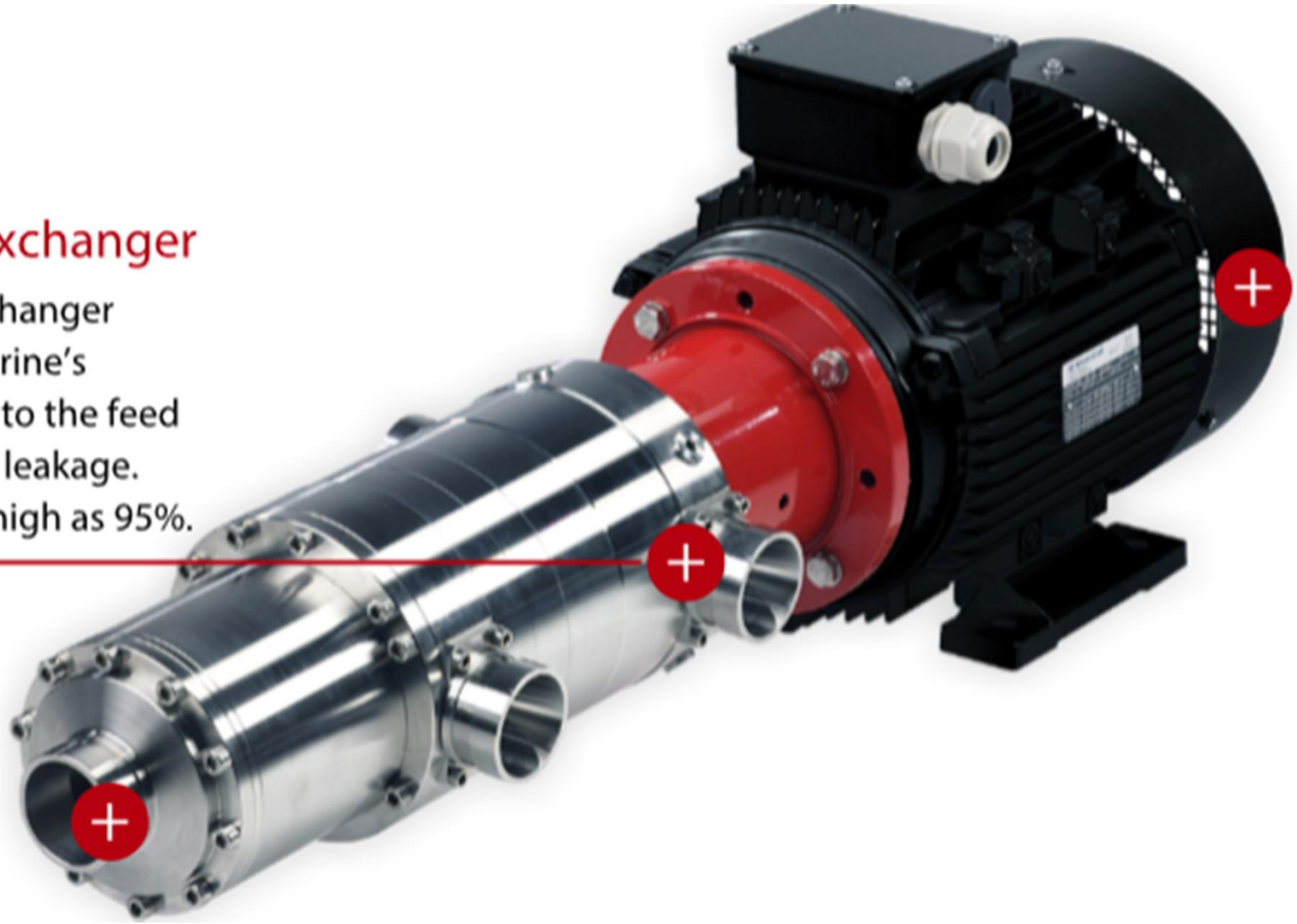
** Does not include Feedwater Supply Pump Energy consumption

Disclaimer: The data shown in this power model simulator are mere estimates and cannot be regarded as commercially binding information. Upon request, ERI will provide more accurate power model data for its customers according to specific project measurements and conditions.

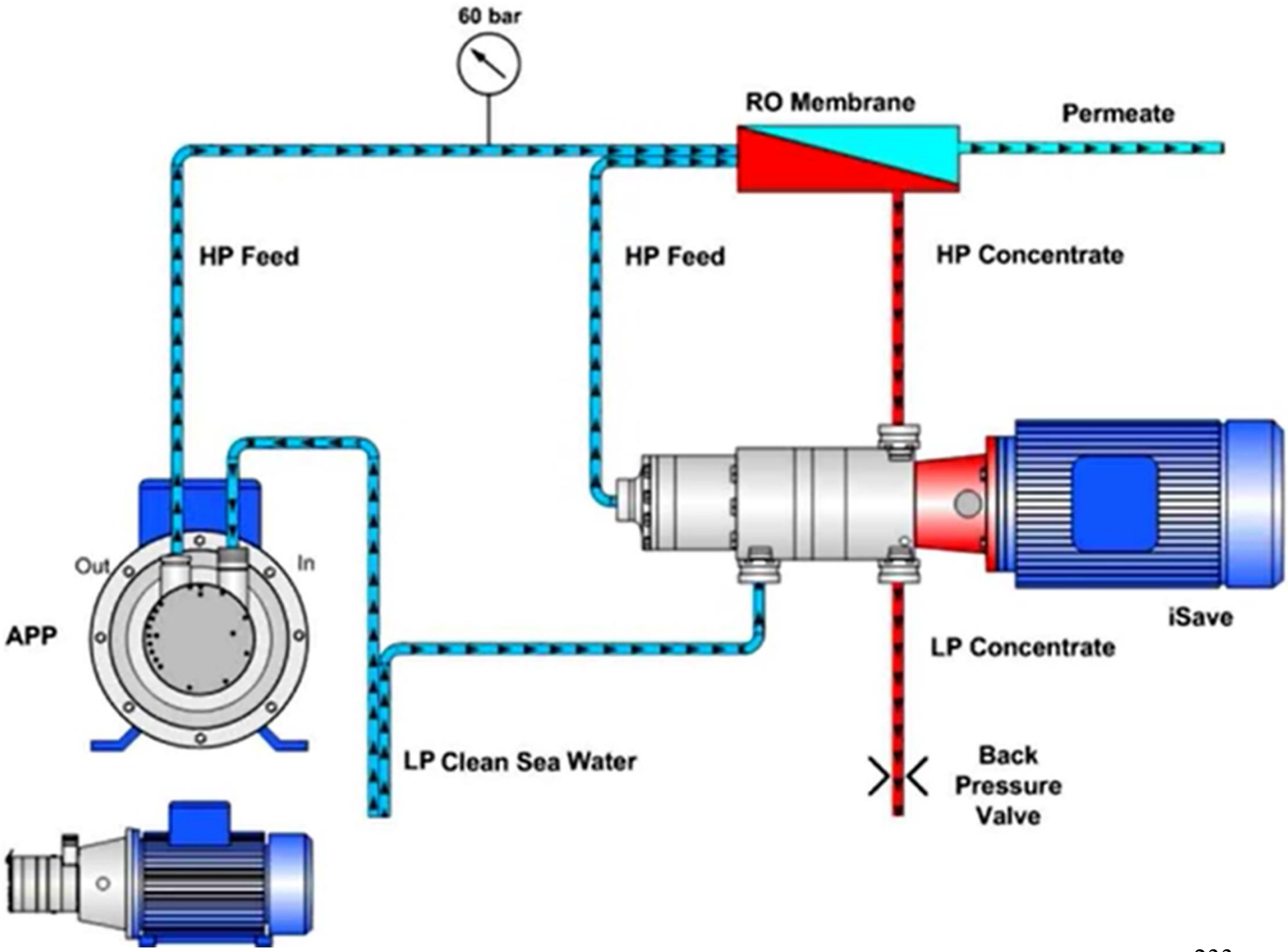

ENERGY RECOVERY PUMP

Isobaric pressure exchanger

Our isobaric pressure exchanger effectively transfers the brine's hydraulic energy directly to the feed with minimal mixing and leakage. Net energy transfer is as high as 95%.



Source : http://high-pressurepumps.danfoss.com/products/energy-recovery-devices/isave-design/



Source : http://high-pressurepumps.danfoss.com/products/energy-recovery-devices/isave-design/

Danfoss iSave selection tool

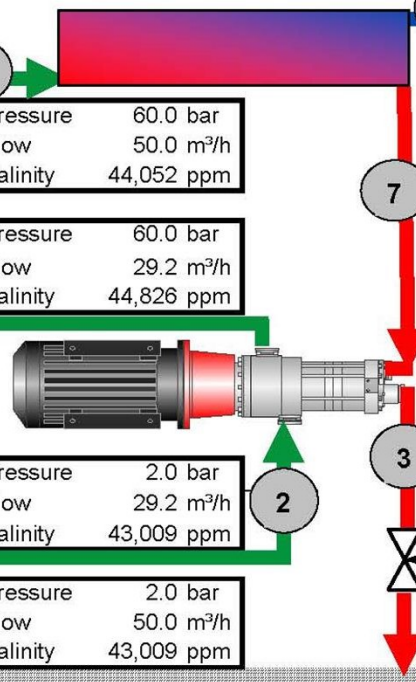
Company
Project

Specific energy

2.24 kWh/m³

Version 510.1

= Required input to calulation
= Can be changed. Standard values



Pressure	60.0	bar
Flow	20.8	m³/h
Salinity	43,009	ppm

Pressure	60.0	bar
Flow	50.0	m³/h
Salinity	44,052	ppm

Pressure	60.0	bar
Flow	29.2	m³/h
Salinity	44,826	ppm

Pressure	1.0	bar
Flow	20.0	m³/h
Salinity	316.7	ppm

Pressure	57.0	bar
Flow	30.0	m³/h
Salinity	73,286	ppm

Pressure	1.3	bar
Flow	30.0	m³/h
Salinity	71,517	ppm

Pressure	2.0	bar
Flow	29.2	m³/h
Salinity	43,009	ppm

Pressure	2.0	bar
Flow	50.0	m³/h
Salinity	43,009	ppm

High pressure pump

Pump efficiency	89	%
Motor efficiency	96.2	%
Power consumption	39.0	kW
Suggested APP	APP 22/1500	
Number of pumps	1	
Rotational speed	1421	rpm

System feed pump

Pump efficiency	60	%
Motor efficiency	89	%
Power consumption	0.0	kW

Sea water

Salinity	43,009	ppm

Input

Permeate flow (8)	480.00	m³/day
Recovery rate	40	%
Feed pressure to membrane (6)	60.0	bar
Pressure drop (6-7)	3.0	bar
Brine discharge pressure (3)	1.3	bar
System feed pump pressure (1&2)	2	bar
Include system feed pump	○ Yes	● No
Suggest Danfoss APP pump	● Yes	○ No

iSave

Size	iSave40	
Number of units	1	
iSave unit inlet flow	30.0	m³/h
Salinity increase @ memb.	2.4	%
iSave total lubrication flow	0.78	m³/h
iSave total lubrication flow	2.6	%
iSave efficiency	90.6	%
iSave power savings	52.3	kW
iSave rotational speed	859	rpm
Motor efficiency	92.2	%
VFD efficiency	98	%
Power consumed	5.8	kW

Select units

Flow	m³/h
Pressure	bar
Power	kW

Warnings

iSave	
iSave	
APP	

Annual power cost saving is based on a comparison in between a system with an iSave ERD and a system without any ERD device.

Total Energy Data

Choose currency	Euro	
Total power consumption	44.8	kW
Specific power consumption	2.24	kWh/m3
Specific cost	0.27	Euro/m3
Annual power cost	47,100	Euro/year
Annual power cost saving*	55,012	Euro/year
Energy Price	0.12	Euro/kWh

DANFOSS ISAVE SELECTION TOOL IS SOLELY FOR GUIDING PURPOSES. THE DATA PRESENTED DOES NOT REPRESENT GUARANTEED PERFORMANCE. ALWAYS CONSULT DANFOSS SALES ORGANIZATION TO DETERMINE YOUR ACTUAL NEED. IN NO EVENT SHALL DANFOSS A/S BE LIABLE FOR ANY DAMAGE OR LOSSES RELATED TO THE USE OF THE

ENGINEERING TOMORROW Danfoss

Source : http://high-pressurepumps.danfoss.com/products/energy-recovery-devices/isave-design/

การควบคุม ตรวจสอบ เครื่องจักรอุปกรณ์ในระบบ Membrane Filtration

1. การตรวจเช็คระบบ Membrane Filtration มีดังนี้

1.1 ปริมาณน้ำ : ปริมาณน้ำที่จ่ายเข้า-ออกระบบ

: ปริมาณน้ำหมุนเวียนและปริมาณน้ำสำหรับทำความสะอาด

1.2 อุณหภูมิน้ำ : อุณหภูมิน้ำที่จ่ายเข้าระบบ

1.3 แรงดันน้ำ : แรงดันด้านเข้าและออกระบบ

1.4 ความขุ่นน้ำ : ความขุ่นน้ำดิบและความขุ่นของน้ำที่ออกจากระบบ

1.5 ค่าความนำไฟฟ้าและ pH น้ำดิบและน้ำที่ออกจากระบบ

2. การตรวจเช็คอุปกรณ์เสริมในระบบ Membrane Filtration มีดังนี้

2.1 ตรวจเช็คสเตรนเนอร์ที่กำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำดิบก่อนเข้าระบบ

2.2 ตรวจเช็คปั้มน้ำต่างๆโดยดูการสั่นสะเทือนและเสียงผิดปกติ

2.3 ตรวจเช็คอุปกรณ์จ่ายสารเคมี Anti scale และ Chemical cleaning

2.4 ตรวจเช็คอุปกรณ์ Flow Meter, Pressure Gauge, Level Meter

อาการที่บ่งบอกว่า Membrane Element ชำรุด

- คุณภาพน้ำที่ออกจาก membrane ด้อยลง
- ผิวหน้าของ membrane สึกกร่อนและเปรอะเปื้อน
- ความสามารถในการบำบัดและคุณสมบัติการกำจัดสิ่งสกปรกโดยรวมของระบบ membrane filtration ถดถอยลง

วิธีตรวจจับกรณี Membrane Element ชำรุด

- ตรวจวัดความขุ่นของน้ำที่ออกจาก membrane ตลอดเวลา
- ตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของ operation pressure และ back wash pressure
- ตรวจจับความผิดปกติ โดยใส่แรงดันอากาศเข้าไปใน membrane element แล้วฟังเสียงฟองอากาศด้วยวิธีทางไฟฟ้าหรือวัดอัตราการลดลงของแรงดัน

Daily Monitoring

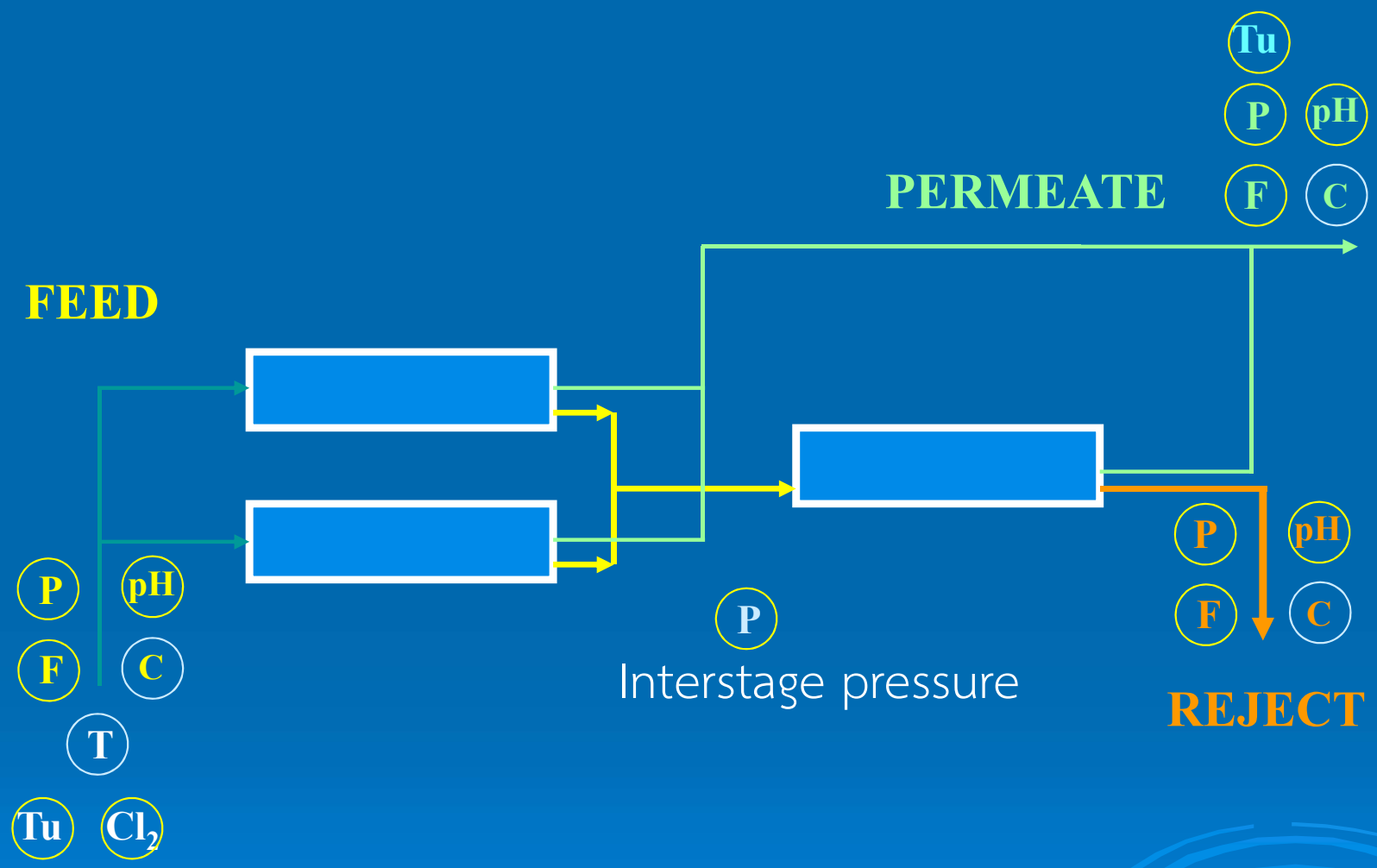
วัตถุประสงค์

1. เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ RO ว่ายังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีอยู่หรือไม่
2. เพื่อต้องการทราบว่าแรงดันขับเคลื่อนสุทธิ (NDP) ของระบบ RO ว่าถึงเวลาต้องทำความสะอาดหรือยัง

พารามิเตอร์ที่ใช้เฝ้าระวังประจำวัน

1. Pressure (P)
2. Flow (F)
3. Conductivity (C)
4. pH
5. Temperature (T)
6. SDI (Surface Water)

OPERATING PARAMETERS



T = Temperature C = Conductivity Tu =Turbidity

F = Flow P = Pressure Cl_2 =Free Residual Chlorine

ทำไมถึงต้องมีการเฝ้าระวัง ?

1. เพื่อให้แน่ใจว่าหน่วยการผลิตแต่ละหน่วยในระบบ RO เป็นไปตามการออกแบบ

2. ดักจับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในระบบ RO แต่ละ Stage

Weekly Monitoring

วัตถุประสงค์

1. เพื่อต้องการทราบแนวโน้มของสมรรถนะการทำงานของระบบ RO ว่ายังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีอยู่หรือไม่

พารามิเตอร์ที่ใช้เฝ้าระวังประจำสัปดาห์

1. Normalized Permeate Flow (NPF)

(อัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า)

2. Normalized Salt Passage (NSP)

(ร้อยละของการยอมให้เกลือผ่านที่ถูกเทียบค่า)

3. Normalized Pressure Drop (NPD)

(แรงดันลดหรือแรงดันแตกต่างที่ถูกเทียบค่า)

Table 1 Monitoring of reverse osmosis and nanofiltration systems

Parameter	Measurement	Frequency	Limits (typical)
Pretreatment monitoring:			
Feedwater particulates	Turbidity	Continuous	< 1 to 0.1 ntu
	Silt density index, SDI	1 – 3/day or continuous	< 3 – 5 SDI units
	Particle count	Some projects apply continuously	Project specific
Dissolved material	Saturation of scaling salts	Project specific, typically 4 – 12/year	Depends on antiscalant. Typical limits: $CaCO_3$: LSI < 2 $BaSO_4$ < 60 x Ksp CaF < 100 x Ksp $CaSO_4$ < 2 x Ksp $SrSO_4$ < 8 x Ksp SiO_2 ~ 150 – 180 mg/L
Membrane unit monitoring:			
Flow	Permeate, concentrate (feed typically by difference)	Continuous	Project specific
	Percent recovery	Continuous	Project specific
	Normalized permeate flow or analogous parameter	Daily data points, graphed weekly	Project specific
Pressure	Feed, concentrate, permeate, interstage	Continuous	Project specific
Pressure drop	Feed-concentrate, each stage	Continuous	Project specific
Conductivity	Feed & permeate	Continuous	Project specific
Concentration	TDS of feed, permeate & finished water	Periodically to check relationship to conductivity and/or for permits	
Rejection	Calculation based on conductivity and concentration measurements	Continuous	Project specific
pH	Feed & finished water	Continuous	Project specific
Temperature	Feed	Continuous	Project specific
Biological monitoring:			
HPC or other indicator	Feed & concentrate	Varies, possibly 2 – 4/year	Project specific
Chlorine residual *	Feed	Continuous, if applicable	0 mg/L for PA 0.5 – 1 mg/L for CA
Chlorine	Finished water	Continuous	Project Specific
Instrument calibration:			
Various	Flow, pressure, conductivity, etc	1 – 2/year	Varies
System balance check	Flows & conductivities	Weekly	Within 5 – 10 percent

* CA (cellulosic) membrane requires chlorine residual. PA (poly amide) membrane is degraded by chlorine residual. Sometimes an ORP or bisulfite residual monitor is applied.

1. Normalized Permeate Flow (NPF)

อัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า (NPF) เพื่อให้ทราบว่า :

1.1 แรงดันน้ำป้อนเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

1.2 แรงดันแตกต่าง(pressure drop)เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

1.3 แรงดันน้ำกรองเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

1.4 แรงดันออสโมซิสเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

1.5 อุณหภูมิน้ำเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

$$NPF = Q_p x TCF_{(25^o C)} x \left[\frac{NDP_{start}}{NDP_{today}} \right] x MC$$

2. Normalized Salt Passage (NSP)

ร้อยละของการยอมให้เกลือผ่านที่ถูกเทียบค่า (NSP)

เพื่อให้ทราบว่า :

2.1 TDS น้ำป้อนเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

2.2 % Recovery เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

2.3 Concentration Factor เปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

2.4 อัตราการไหลของน้ำกรองเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

2.5 อุณหภูมิน้ำเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

$$NSP = SPx\left(\frac{Q_{p(today)}}{Q_{p(startup)}}\right)xTCF$$

Where : $SP = Salt\ Passage(\%)$

$Q_p = Permeate\ Flow(m^3/hr, gpm)$

$TCF = Temperature\ Correction\ Factor$

3. Normalized Pressure Drop (NPD)

แรงดันลดหรือแรงดันแตกต่างที่ถูกเทียบค่า (NPD)

เพื่อให้ทราบว่า :

3.1 อัตราการไหลน้ำป้อนเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

3.2 อัตราการไหลน้ำข้นเปลี่ยนแปลงมีผลกระทบหรือไม่

$$NPD = PDx\left(\frac{\overline{Q}_{f(startup)}}{\overline{Q}_{f(today)}}\right)$$

Where :

$$PD = \text{Pressure Drop}(bar, psi)$$

$$\overline{Q}_f = \text{Average Feed Flow}(m^3/hr, gpm)$$

$$= \frac{Q_f + Q_c}{2}$$

Pressure Drop

Pressure Drop ใน Filtration Membrane นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบได้แก่

1. Pressure Drop ที่เกิดขึ้นทางด้านหน้าของ membrane หรือเรียกว่าด้าน upstream ของตัวอุปกรณ์ต่างๆ เช่น membrane module ท่อ วาล์ว ($\Delta P1$) *แทนค่าลงในสูตร NPD*

2. Pressure Drop ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านหน้าของ membrane หรือเรียกว่าด้าน upstream กับด้าน downstream (ด้านที่กรองผ่านมาแล้ว) ($\Delta P2$) เราเรียกว่า Transmembrane pressure different

Pressure Drop

Equation :

$$\Delta P_1 = P_f - P_c$$

Where :

ΔP_1 = แรงดันลดจากน้ำป้อนไปยังน้ำข้น(psi)

P_f = แรงดันน้ำป้อน(psi)

P_c = แรงดันน้ำข้น(psi)

$$\Delta P_2 = \left(\frac{P_f + P_c}{2}\right) - P_p$$

Where :

ΔP_2 = *Transmembrane pressure difference(psi)*

P_p = แรงดันน้ำสะอาด(psi)

Monthly Monitoring

วัตถุประสงค์

1. เพื่อต้องการให้ทราบเครื่องมือพื้นฐานที่แก้ไขปัญหาของระบบ RO
2. เพื่อให้เข้าใจอาการที่บ่งบอกจากการวัดค่าความนำไฟฟ้า(conductivity)ว่าเกิดปัญหาที่ใด

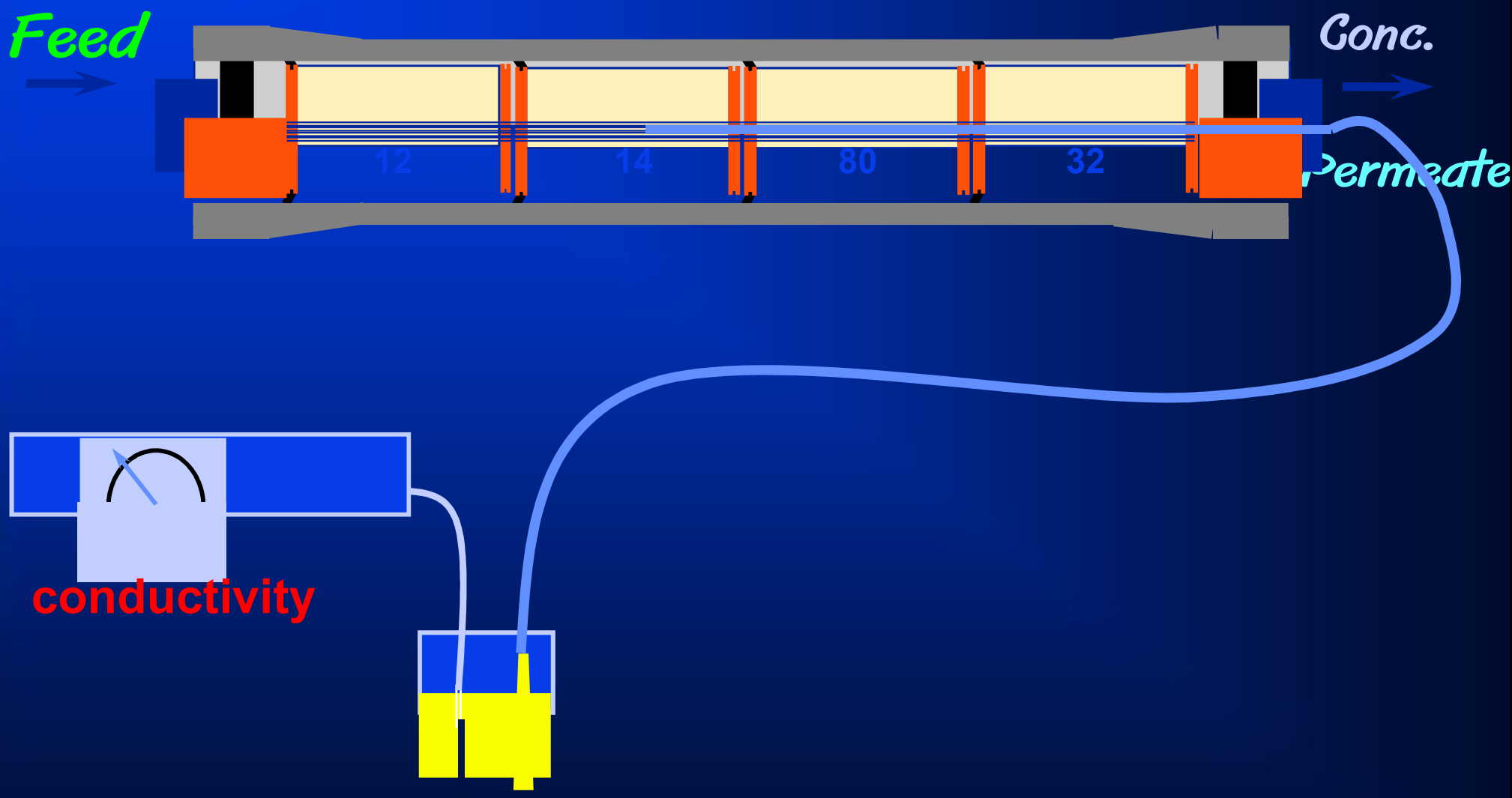
การทำโปรไฟล์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Profile)

ในการทำโปรไฟล์ค่าการนำไฟฟ้า ผู้เดินระบบจะวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกรองจากแต่ละท่อรวมถึงวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำข้นจากแต่ละ stage เบื้องต้นควรเก็บจากทุกๆ ชุด vessel หลังจาก 24 ถึง 48 ชั่วโมง แรกของการเดินระบบ โดยเป็นกิจกรรมหนึ่งของการเริ่มเดินระบบ เพื่อจดบันทึกข้อมูลพื้นฐานเพื่ออำนวยความสะดวกต่อการบันทึกข้อมูลจากค่าที่อ่านได้ในแต่ละ vessel ควรบันทึกเป็นไดอะแกรมหรือตารางซึ่งจัดเรียงและระบุตำแหน่งในลักษณะเดียวกันกับการจัดวาง vessel จริง

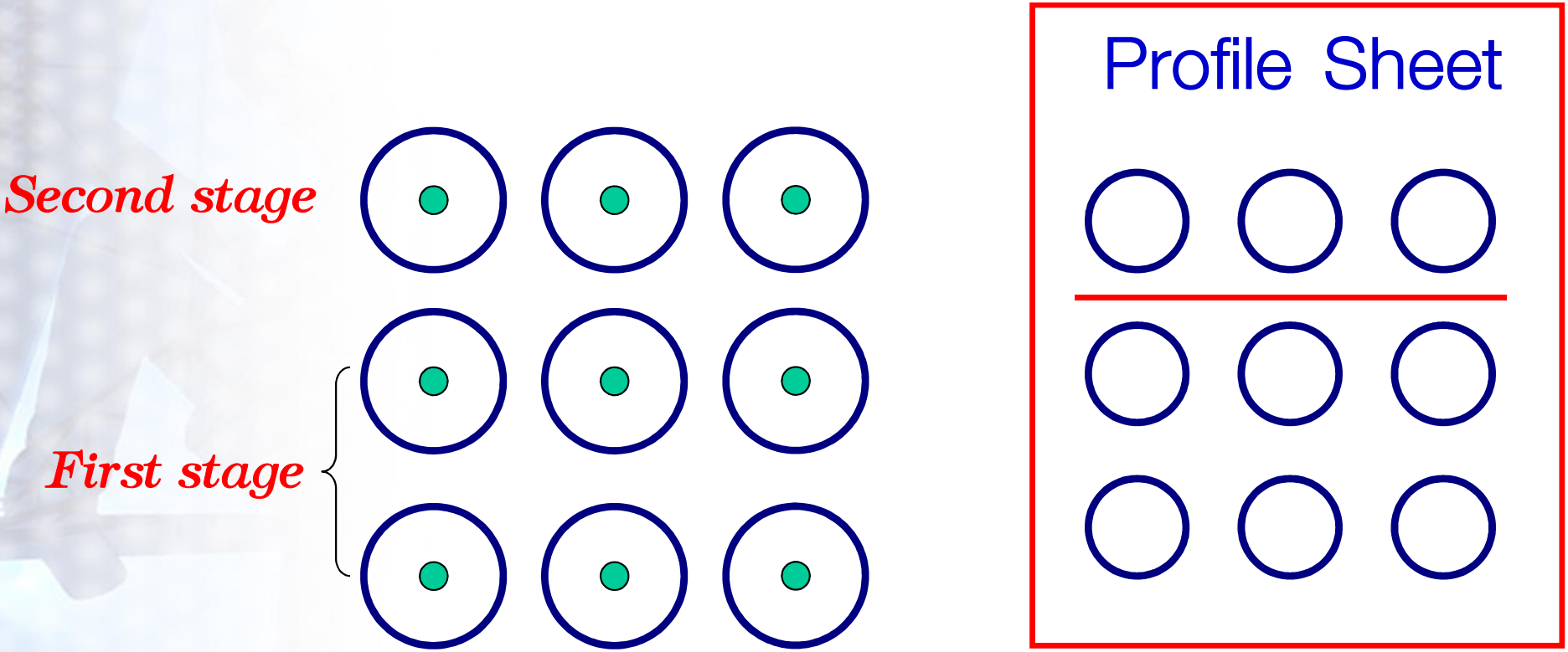
การทำโปรไฟล์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Profile)

ความถี่ในการทำโปรไฟล์คือทุกๆ 6 เดือน แต่ความจำเป็นของแต่ละโรงงานอาจแตกต่างกันไป ค่าการนำไฟฟ้าหรือการยอมให้เกลือผ่าน(salt passage) ของ vessel ทั้งหมดใน stage เดียวกันควรมีค่าเท่าๆกันในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าใน stage ต่อๆมาจะสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำป้อนที่เข้าสู่ stage เหล่านั้นสูงขึ้น หากมี vessel หนึ่งใน stage ใดๆวัดค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่า vessel อื่นๆแสดงว่าเกิดปัญหา

Probing the vessels



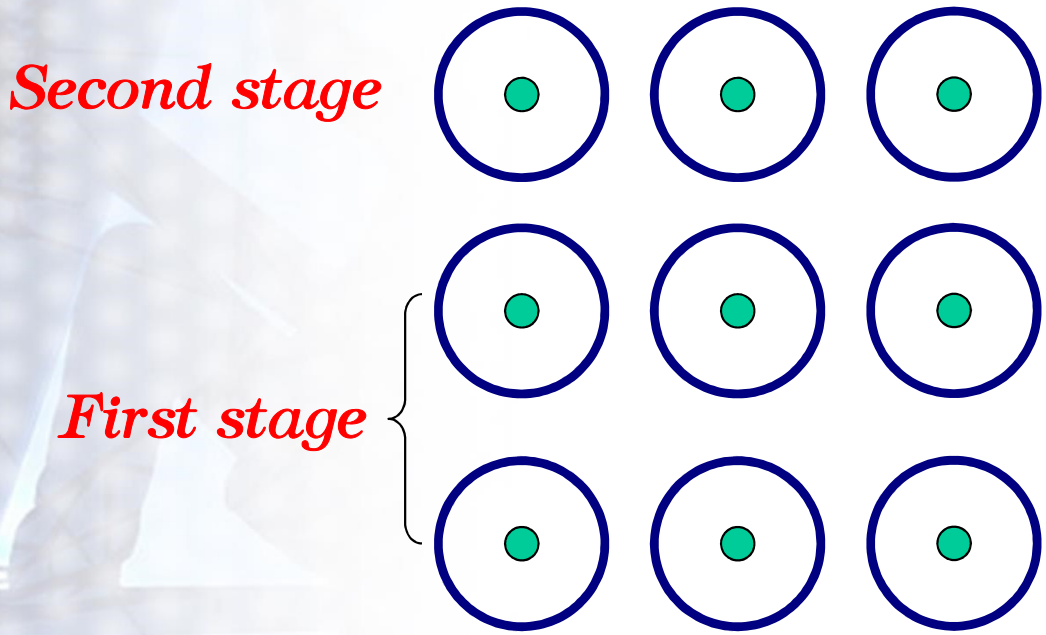
การทำโปรไฟล์ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Profile)

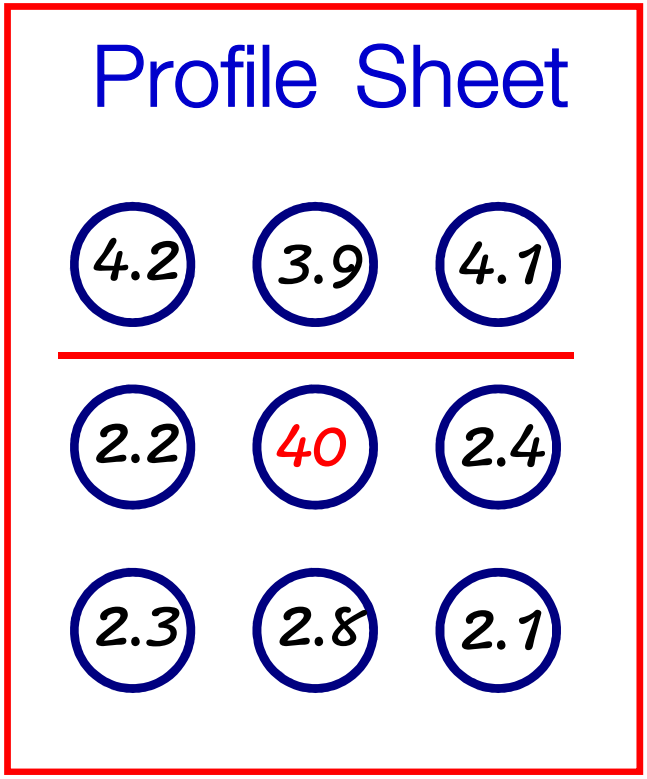


อาการที่บ่งบอกจากทำโปรไฟล์ค่าการนำไฟฟ้า

1. ค่าการนำไฟฟ้าในหนึ่ง Pressure Vessel ที่ Stage ใดๆ สูง
2. ค่าการนำไฟฟ้าในทุก Pressure Vessel ที่ Stage แรกสูง
3. ค่าการนำไฟฟ้าในทุก Pressure Vessel ที่ Stage ที่สองสูง

1. ค่าการนำไฟฟ้าในหนึ่ง Pressure Vessel ที่ Stage ใดๆ สูง





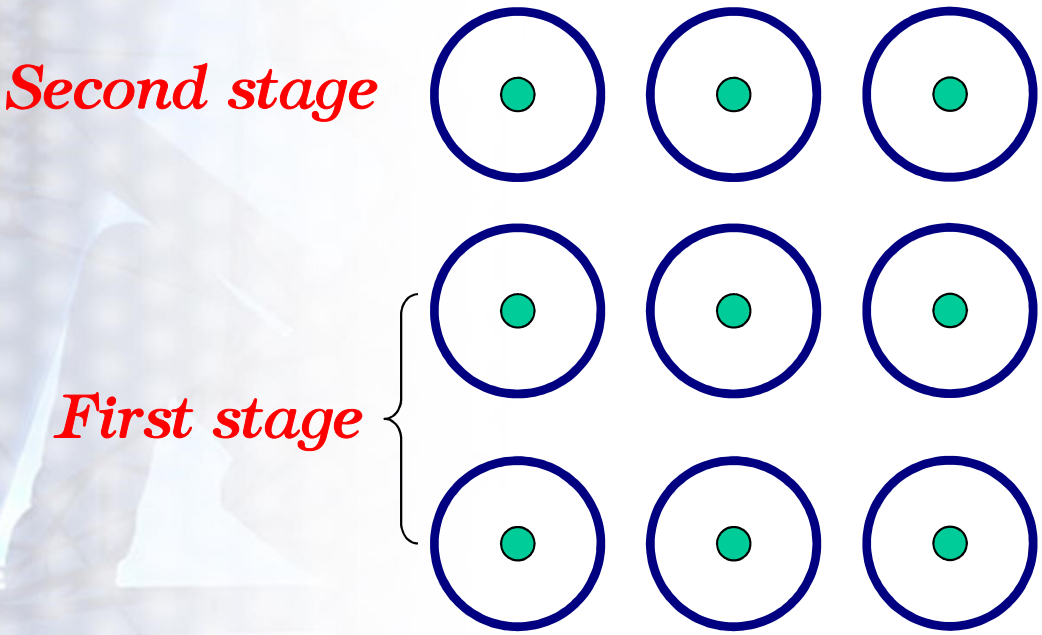
สาเหตุเกิดจาก :

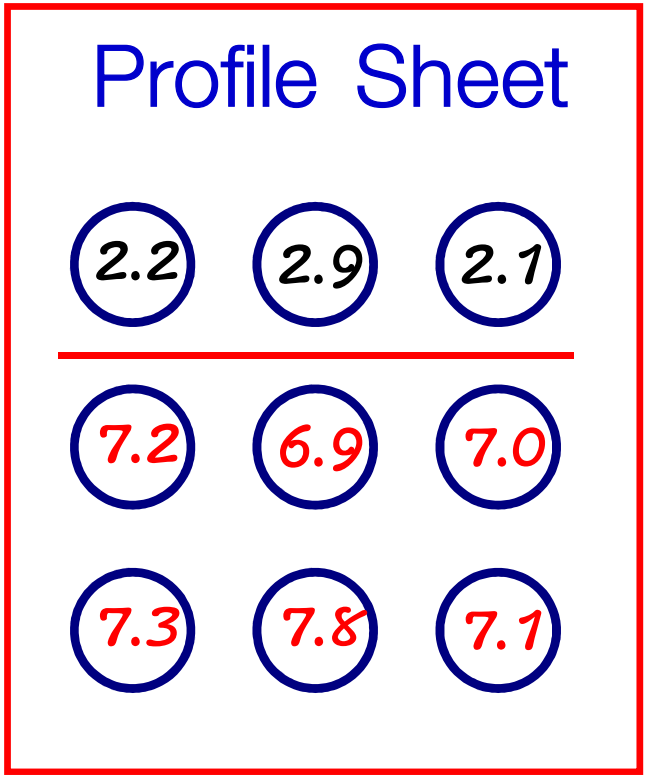
1.O-Ring Leak(มักจะเกิดที่ O-Ring ตัวที่ 1)

2.Membrane Element ชำรุดเสียหาย

3.วัสดุป้องกันน้ำข้น(concentrate water) ชำรุดเสียหาย

2. ค่าการนำไฟฟ้าในทุก Pressure Vessel ที่ Stage แรกสูง





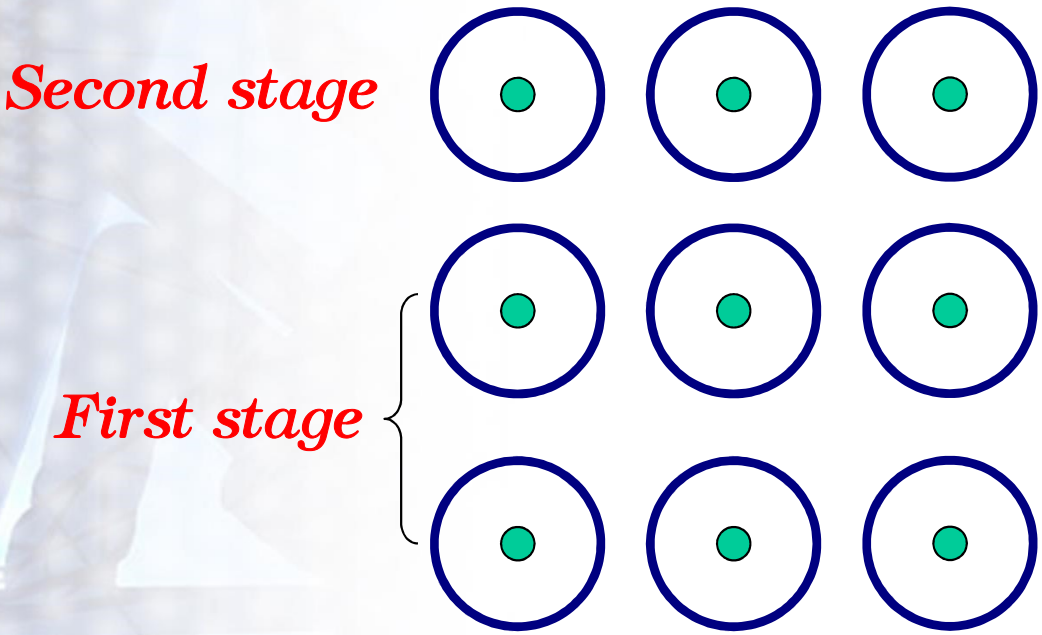
สาเหตุเกิดจาก :

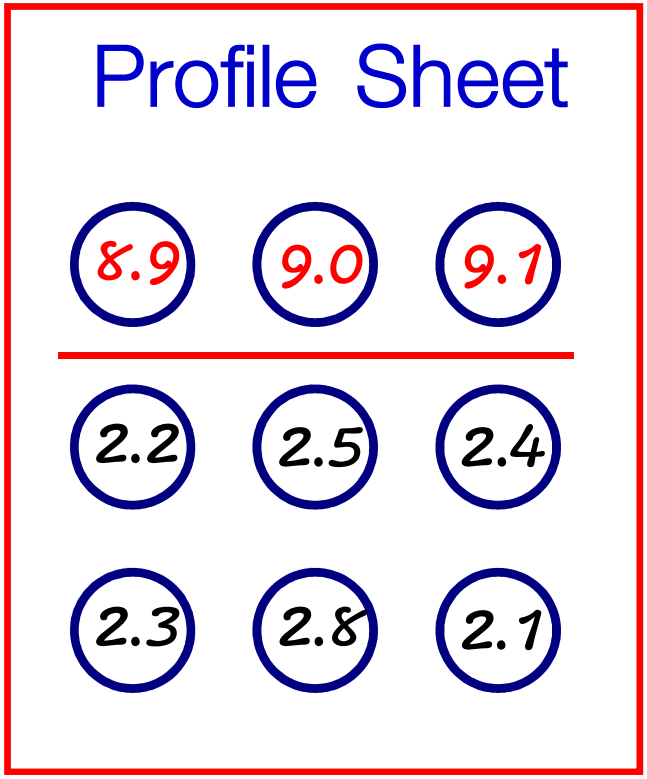
1.Chemical attack(ความเสียหายอันเกิดจากมีสารเคมีหลุดเข้ามาในระบบ RO)

2.ความผิดพลาดจากการประกอบระบบ RO

3.แรงดันกลับของน้ำกรอง(permeate back pressure) ถ้ามีค่าสูงกว่า น้ำป้อน 5 – 10 psi จะสามารถสร้างความเสียหายกับตัว membrane ได้

3. ค่าการนำไฟฟ้าในทุก Pressure Vessel ที่ Stage ที่สองสูง





สาเหตุเกิดจาก :

1.Scaling

2.Chemical attack(ความเสียหายอันเกิดจากมีสารเคมีหลุดเข้ามาในระบบ RO)

3.แรงดันกลับของน้ำกรอง(permeate back pressure) ถ้ามีค่าสูงกว่า น้ำป้อน 5 – 10 psi จะสามารถสร้างความเสียหายกับตัว membrane ได้

สภาพปัญหาที่มักพบในการควบคุมระบบผลิต RO

- SCALING (ตกตะกอนผลึก)
- FOULING (ตกตะกรันหรือตะกอน)
- CHEMICAL ATTACK(สารเคมีที่หลุดมาแล้วมีผลกับผิวเมมเบรน)
- การเปลี่ยน RO Element ก่อนถึงเวลาอันควร
- ระบบการทำความสะอาดไม่มีประสิทธิภาพ

Fouling : ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่ตัวถูกละลายในน้ำที่จ่ายเข้าระบบ membrane ถูกกันไม่ให้ผ่านทำให้เกิดการอุดตัน (clogging)และเกิดการก่อตัวของชั้นสารที่จับติดทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของ membrane ลดลง ส่วนใหญ่เป็นการอุดตันที่เกิดจากสารอินทรีย์(Organic)

Scaling : ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดการอุดตัน(clogging)อันเกิดจากสารอนินทรีย์(Inorganic) โดยเกิดการตกผลึกอยู่บนผิว membrane มีผลทำให้ประสิทธิภาพของ membrane ลดลง ผลึกบางชนิดต้องมีการเติมน้ำยาป้องกัน anti-scaling เช่น Sodium bisulfide($NaHSO_3$) ป้องกันเหล็กไม่ให้เปลี่ยนรูป

Fouling and Scaling

Membrane Blocking

Fouling

Biological Fouling

- Bacteria
- Algae
- Fungi

Suspended Particle

-Colloidal

-Organic Material

Scaling

- $CaCO_3$
- $CaSO_4$
- $BaSO_4$
- Silica or Silicate

Organic Fouling

Inorganic Scaling

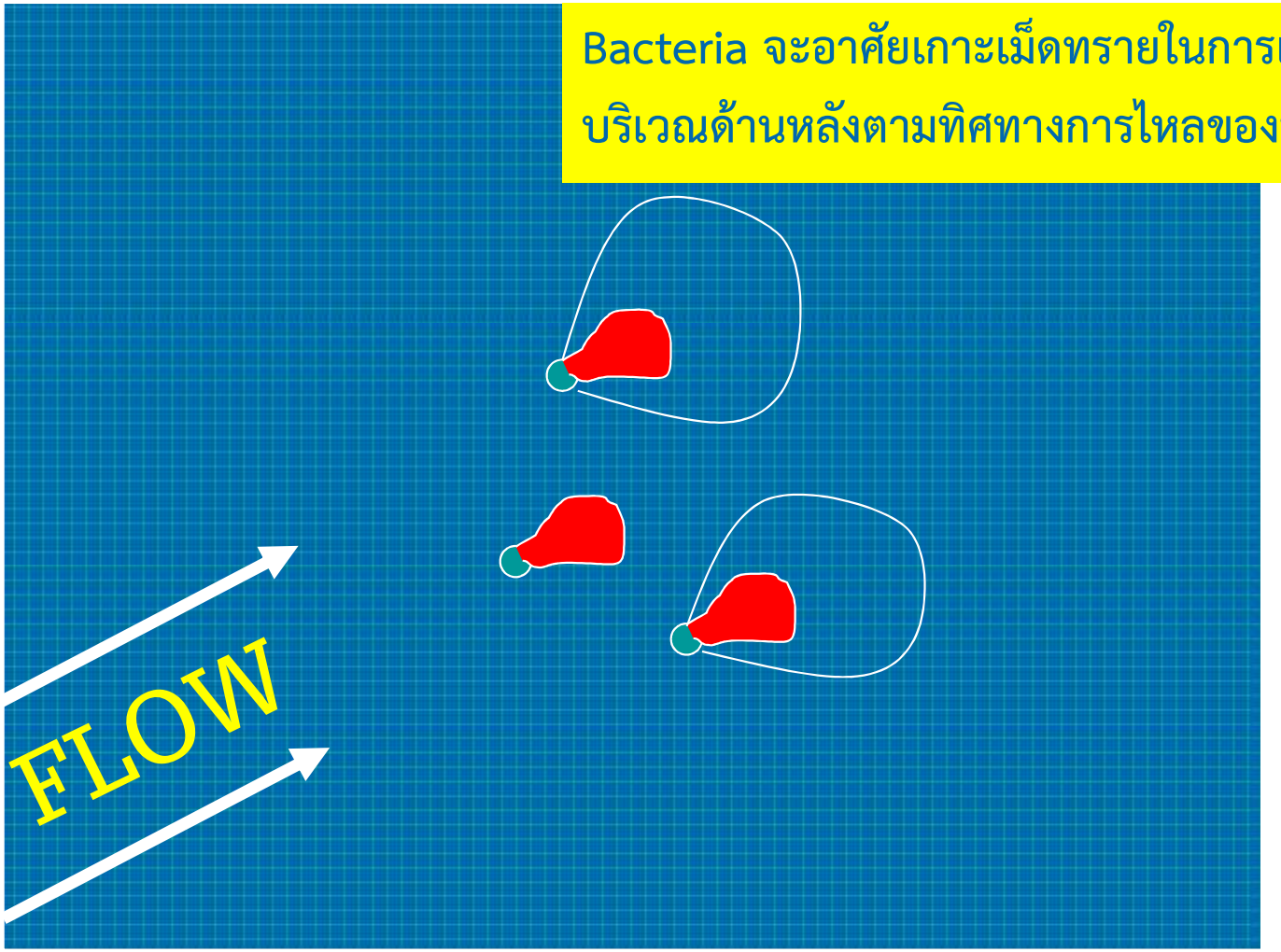
อาการที่บ่งบอกว่าเกิด Fouling

- Differential Pressure สูงกว่าค่าที่ออกแบบ
- Feed Pressure สูงกว่าค่าที่ออกแบบ
- อัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน (Filtration Flux) ลดลง
- ค่า Salt Rejection ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบ

ลำดับการเกิด Fouling

- จะเกิด Fouling จาก Suspended Particle ก่อนเช่น Silt ,Clay , Sand หลังจากนั้น จึงเกิด Biological Fouling โดย Bacteria จะอาศัยวัสดุดังกล่าวจับหรืออาศัยเพื่อเจริญเติบโต

FEED SPACER



● Sand

Bacteria Growth

อาการที่บ่งบอกว่าเกิด Scaling

Inorganic Scale

- ทำให้ค่า Transmembrane pressure differential สูงขึ้นและทำให้สภาพความปั่นป่วนบนผิวหน้า membrane ลดลง
- ส่งผลกระทบกับค่า Salt rejection และทำให้อัตราการไหลของน้ำผ่าน membrane ลดลง
- ระหว่างที่ทำความสะอาดตะกรันมีผลทำให้เกิดสึกกร่อนของผิวหน้า membrane
- น้ำ Permeate มีค่า Conductivity สูงขึ้น
- ค่าความดันทางด้านน้ำป้อน(Feed Pressure) สูงขึ้น

Scale Formation

อิออนอิสระ

Ions ⇄

อิออนจับคู่

Ions Pairs ⇄

อิออนรวมกลุ่ม

Ions Clusters

↑↓

Critical Size

อิออนรวมกลุ่ม

ได้ขนาดวิกฤติ

←

Nucleation

เกิดเป็นแก่นนิวเคลีย

←

เกิดเป็นผลึกขนาดเล็ก

Discrete

Crystals

↓

Crystals

Growth

ผลึกขนาดใหญ่ขึ้น

→

Agglomeration

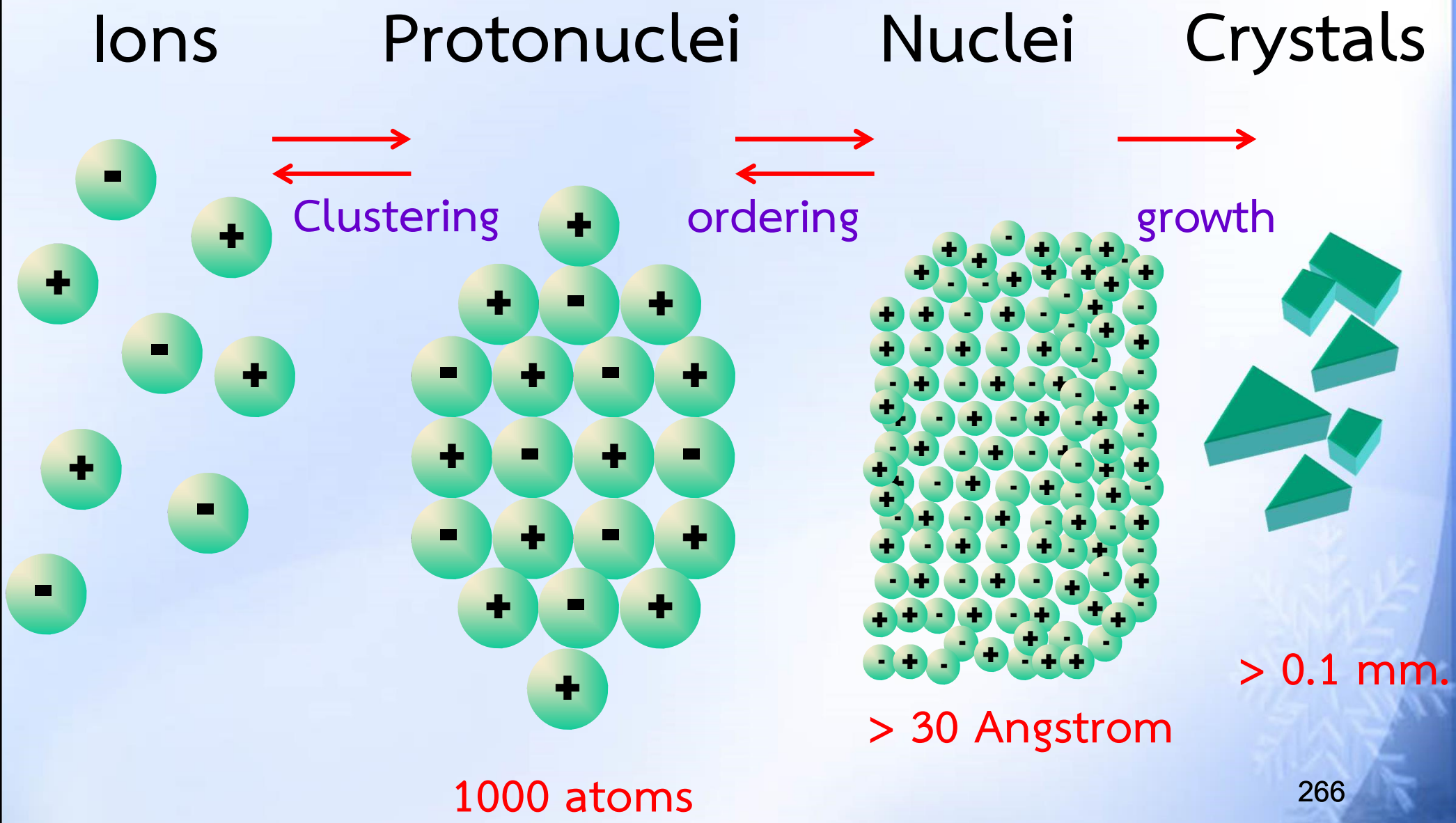
ผลึกขนาดใหญ่

รวมกลุ่มกลายเป็นก้อน

→

Scale

Scale Formation Mechanism



Inhibition Mechanisms

1. Threshold Inhibition
   (ป้องกันตั้งแต่เริ่มต้น)
2. Crystal Modification
   (ป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปผลึก)
3. Dispersion
   (ป้องกันรูปผลึกไม่ให้เกิดการรวมกลุ่ม)

1. Threshold Inhibition

Ions ⇄ Ions Pairs ⇄ $\boxed{\text{Ions Clusters}}$

⇅

Critical Size

ทำลายกลุ่มของประจุก่อนที่จะเริ่มก่อตัวเป็นขนาดวิกฤติ (critical size)

2. Crystal Modification

Ions ⇄ Ions Pairs ⇄ Ions Clusters

Discrete Crystals ← Nucleation ← Critical Size

ยับยั้งไม่ให้เกิดการก่อตัวของผลึกให้มีขนาดที่แข็งแรงขึ้น

Crystals Growth → Agglomeration → Scale

3. Dispersion

Ions ⇄ Ions Pairs ⇄ Ions Clusters

Discrete Crystals ← Nucleation ← Critical Size

ยับยั้งไม่ให้เกิดการรวมตัวของผลึกให้มีขนาดที่เป็นกลุ่มก้อนที่จะก่อให้เกิด scale

Crystals Growth ⊘ Agglomeration → Scale

Inorganic Scale Formation

Causes

- High Alkalinity and High Silica
- High Hardness or Metal Oxide Content
- High pH
- High Recovery
- Dosing System Failure
- Incorrect Pretreatment Chemicals

Inorganic Scale Formation

- ธาตุที่เป็น Double Charge ทำปฏิกริยากับ Single Charge จะไม่เกิด Scaling เช่น $2Na^{+}, CO_3^{2-}$ หรือ $Ca^{2+}, 2Cl^{-}$
- ธาตุที่เป็น Double Charge ทำปฏิกริยากับ Double Charge จะเกิด Scaling เช่น Ca^{2+}, CO_3^{2-}

Non-Scaling

1. Non-Scaling Carbonate :

   Sodium Carbonate - Na_2CO_3

2. Non-Scaling Sulfate :

   Sodium Sulfate - Na_2SO_4

3. Non-Scaling Hydroxide :

   Sodium Hydroxide - NaOH

4. Non-Scaling Silica :

   Sodium Silicate - Na_2SiO_3 , Na_4SiO_4

รูปแบบของซิลิก้า(Silica) ที่พบในน้ำธรรมชาติ

แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

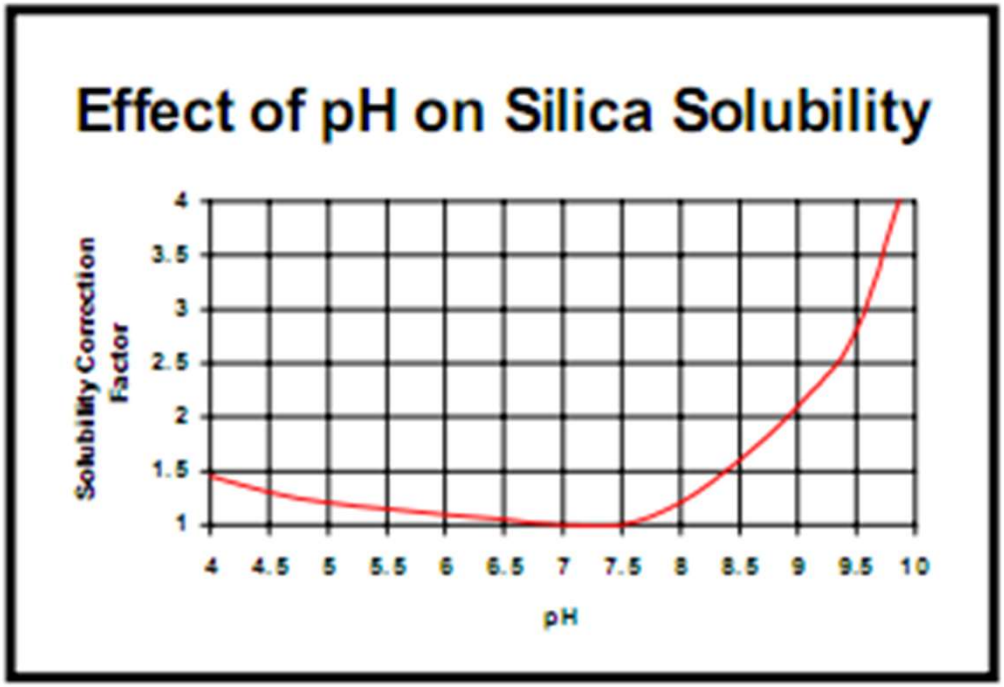
1. Reactive Silica (Dissolved Silica)
   - Monosilicic acid ($Si(OH)_4$) or H_4SiO_4
   - Disilicic acid ($H_2Si_2O_5$)
   - Polysilicic acid $(OH)_3Si-O-Si(OH)-$dimer
2. Colloidal Silica $(SiO_2)_n$
3. Particulate Silica – Sand or Suspended Solid

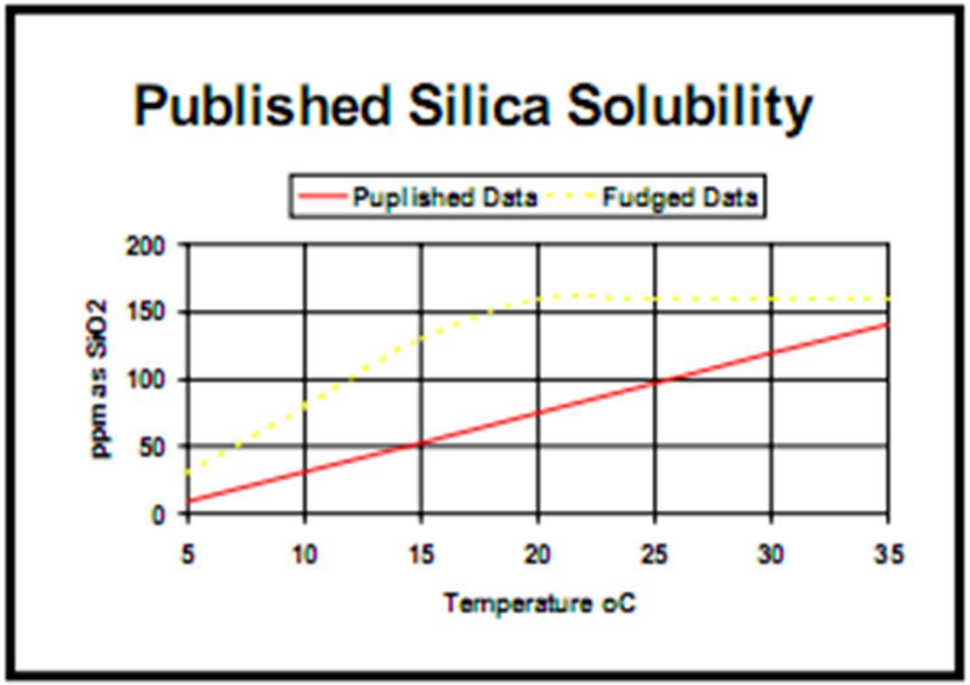
Size vs Type of Silica

Size vs type of silica	Size Microns
Filterable	>0.45
Colloidal	0.01-0.45
Polymeric (“giant”)	<0.01
Monomeric	<0.0001

ที่มา : Behavior of silica in ion exchange and other systems by Peter Meyers presented at the international water conference. Held in Pittsburgh,PA October 18-20,1999

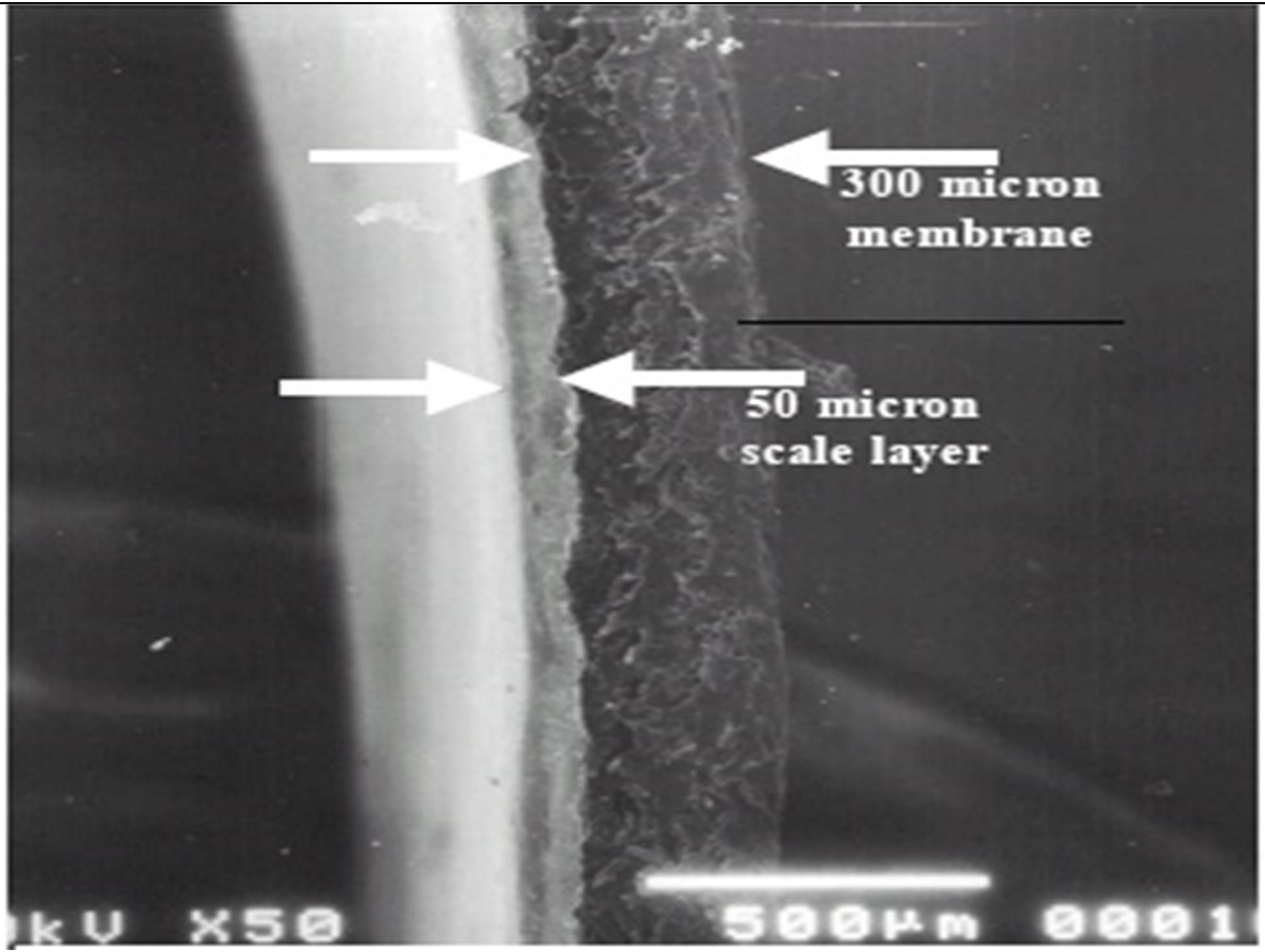
ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของซิลิกาคือ pH และ Temperature ของน้ำ





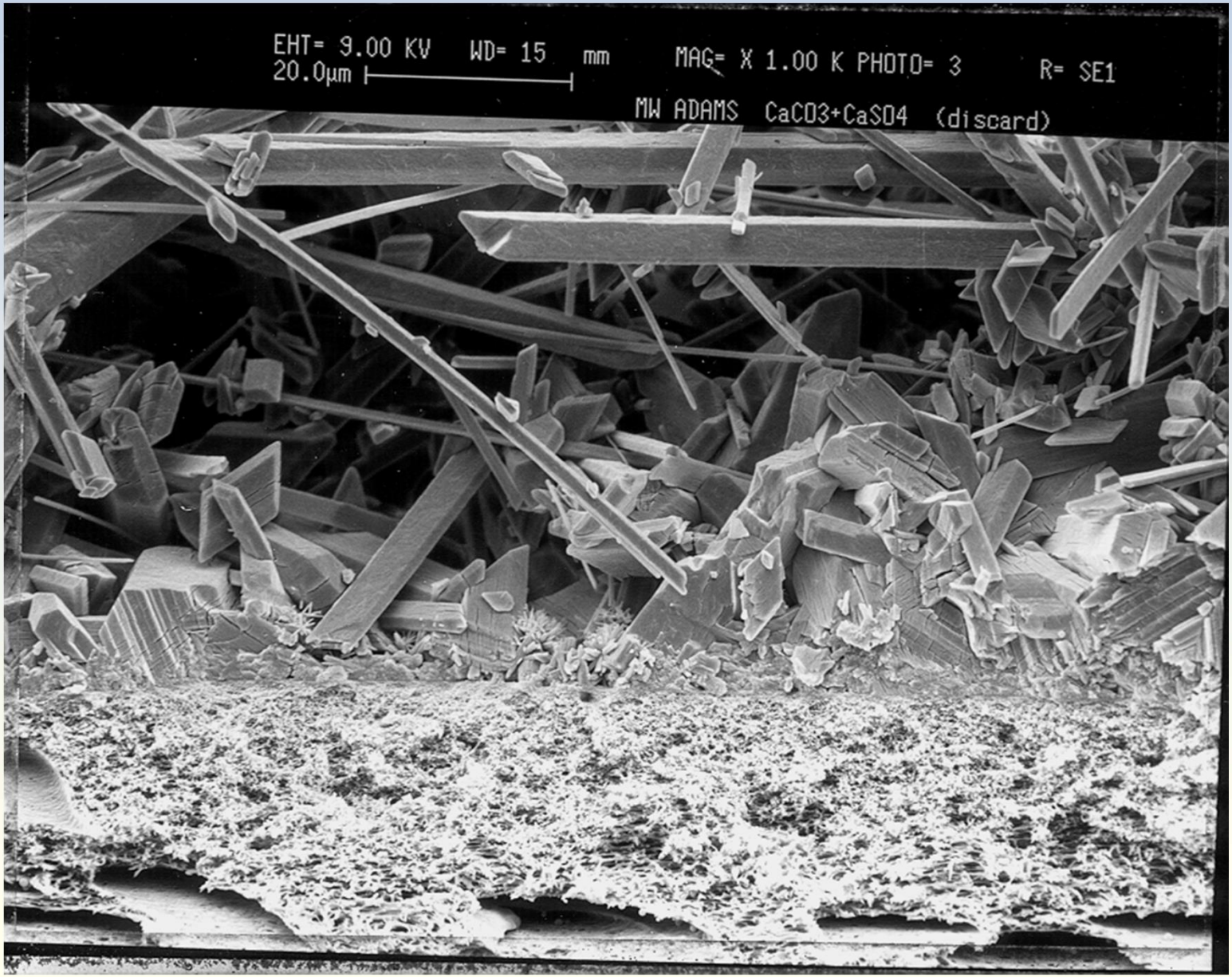
pH ต่ำ และ pH สูงจะส่งผลต่อการละลายของซิลิกา

Temperature สูงจะทำให้ซิลิกามีความสามารถในการละลายได้ดี

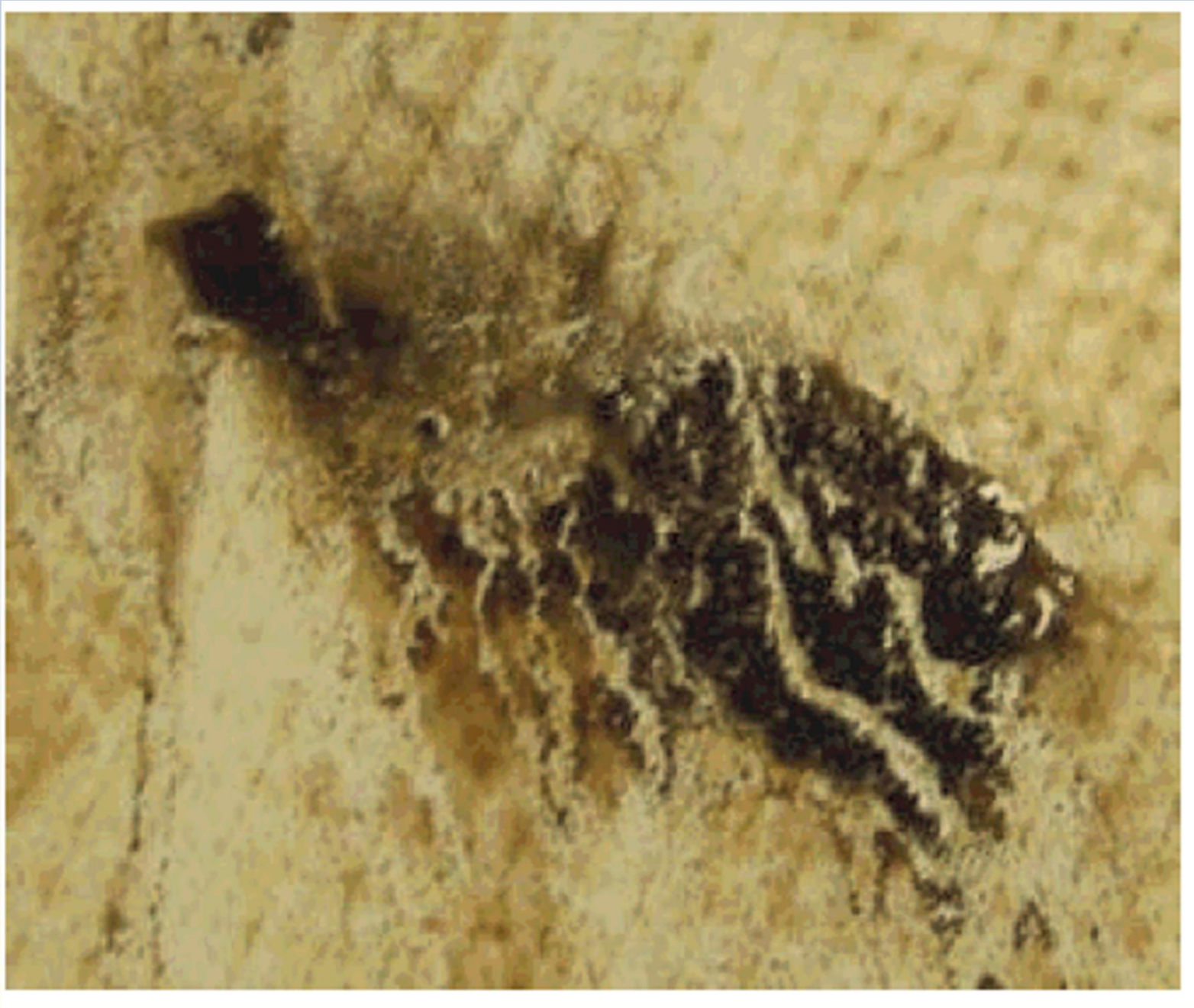


Silica Coated

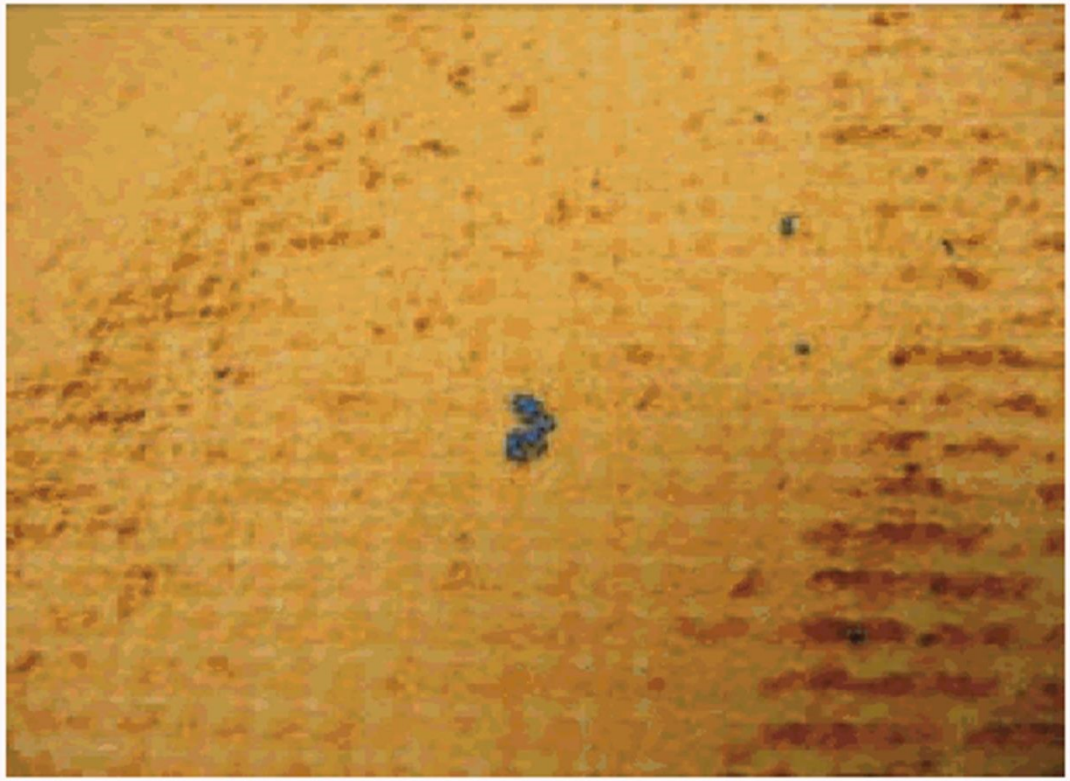
Membrane Scaling



Deposit of MnO_2 on RO Membrane



Iron Deposit on RO Membrane



Antiscalant or Scale Inhibitors

The additives commonly used fall in two categories :

1. *Polymeric (P)*

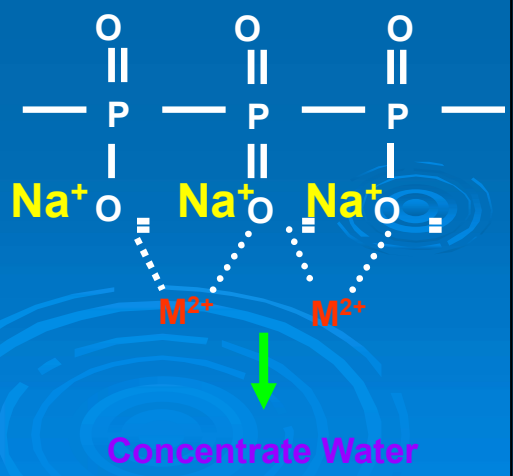
   - homopolymers of acrylic acid
   - maleic acid
   - copolymers containing different functional groups

2. *Non' Polymeric (NP)*

   - phosphonates
   - polyphosphonates
   - Phosphono carboxylic acid

➢ Anti-Scaling Chemicals routinely used in RO systems:

- Sodium hexametaphosphate (SHMP)($NaPO_3)_6$ *(NP)*
- Pentasodiumtriphosphate (STP)($Na_5P_3O_{10}$) *(NP)*
- Formaldehyde (CH_2O) *(NP)*
- Polymeric carbonic Acid $(C_{15}H_{16}O_2CH_2O_3)_n$ *(P)*
- Polyphosphoric Acid ($H_{n+2}P_nO_{3n+1}$) *(NP)*
- polyacrylic acid(PAA) *(P)*
- polycarboxylic acids *(P)*



➢ Chemical Dosing : 3 – 5 mg/l (Usage)

ผู้ผลิต	ชื่อการค้า	สารออกฤทธิ์		ความถ่วงจำเพาะ	pH	ลักษณะทางกายภาพ	การใช้งาน
		Type	%wt				
Houseman Ltd	Permacare ™ 191	Phos		1.36	10.5	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ทั่วไป
	471	Poly		1.28	8.3	ของเหลวสีอ่อน	RO น้ำทะเล
	391	Bl. Phos		1.1	11.0	ของเหลวใสไม่มีสี	RO/ EDR ขนาดเล็ก
	510	Bl. Phos		1.11	2.6	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ควบคุมซิลิกา
	289	Sulf		1.0	1.4	กรดฤทธิ์แรงใส	คาร์บอเนต
FMC	Flocon 100		35%	1.17	3.5	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	ตะกรันอนินทรีย์
	260			1.16	<2/0	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	สารกระจายตัว
BF Goodrich	Aquafeed AF 600		35%	1.2	3-4	ของเหลวสีขาวถึงเหลืองอำพัน	ตะกรัน
	AF 820		37%	1.2	4.3-5.3	ของเหลวสีขาวถึงเหลืองอำพัน	คาร์บอเนต, สารกระจายตัว
	AF 1025		37%	1.15	2.5-5.3	สารกระจายตัว	
Calgon							
GE-Betz	Hypersperse ™ AF120UL			1.05-1.15	3.5 ±	ของเหลวสีอ่อนถึงอำพัน	ทั่วไป
	AF150UL			1.1-1.2	2.5 ±	ของเหลวสีอ่อนถึงสีอำพันเข้ม	สารกระจายตัว
	SI300UL			1.05-1.15	4.8-5.5	ของเหลวสีอ่อนถึงสีอำพัน	ซิลิกา
King Lee	Pretreat Plus ™				5-8	ของเหลว	ทั่วไป
	-0100			1.03-1.13	1-2	ของเหลวไร้สี	ออกไซด์ของโลหะ, ซิลิกา
	-1100			1.03-1.13	2.5-3.5	ของเหลวไร้สี	สารกระจายตัว

ตารางที่ 3 สารหน่วงตะกรันที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป

ควรได้รับการรับรองตามาตรฐานระดับประเทศ เช่น มาตรฐานสารเติมแต่งในน้ำดื่มของ NSF

ที่มา : Waste & Energy Thailand, May-June 2009

การประเมินปริมาณการเติมสารหน่วงตะกรัน

Scale Inhibitors

$$SI_{(f)} = \frac{SI_{(C)}}{CF}$$

Where:

$SI_{(f)}$ = คือความเข้มข้นของสารหน่วงตะกรันในน้ำป้อน(มิลลิกรัม/ลิตร)

$SI_{(C)}$ = คือความเข้มข้นของสารหน่วงตะกรันในน้ำเข้มข้นที่ออกมา (มิลลิกรัม/ลิตร) อยู่ระหว่าง 12 – 16 มิลลิกรัม/ลิตร

CF = คือสัมประสิทธิ์ความเข้มข้นที่อัตราการนำกลับคืนตามที่ระบบเดิน

$$CF = \frac{Q_f}{Q_c}$$

ที่มา : Waste & Energy Thailand, May-June 2009

Chemical Attack

สาเหตุของการเกิด Chemical Attack

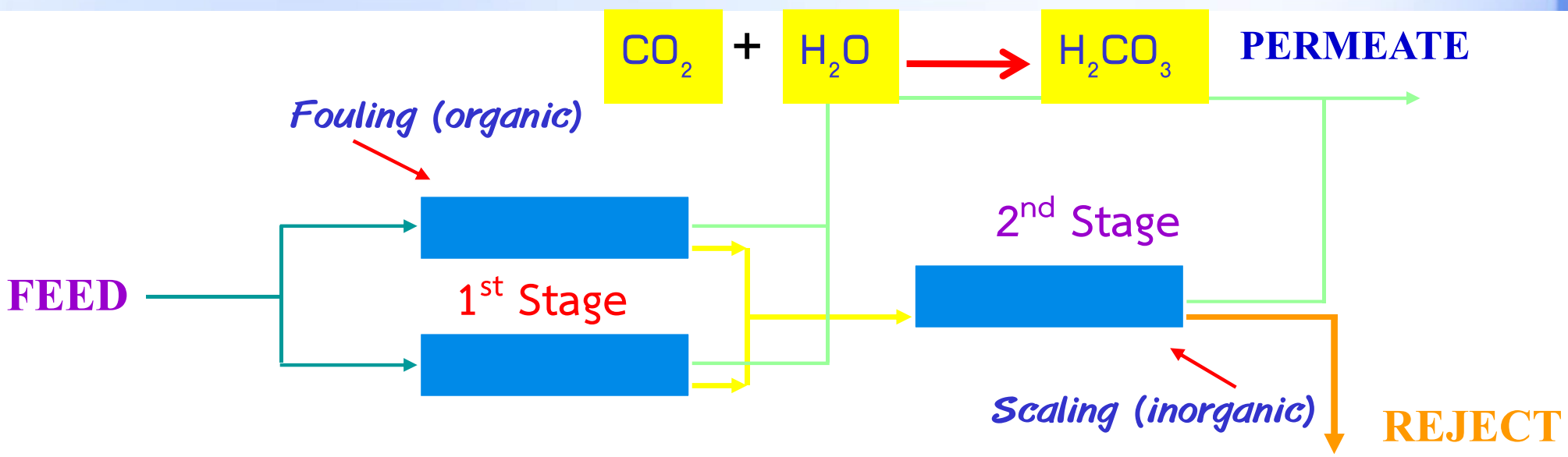
- จ่ายสารเคมีเพื่อสร้างตะกอนมากเกินไป(Overdosing) ในระบบ Pretreatment
- เลือกชนิดของสารเคมีผิดพลาด
- เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำดิบ

อาการที่บ่งบอกว่าเกิด Chemical Fouling

- น้ำ Permeate มีค่า Conductivity สูงขึ้น
- ค่าความดันทางด้านน้ำป้อน(Feed Pressure) ลดลง

General Rule of Troubleshooting

- First Stage Problem – Fouling (organic)
- Last Stage Problem – Scaling (inorganic)
- Dissolved Gas can not removal then it pass through membrane to permeate water (pollute) : CO_2, N_2, H_2S
- Permeate water : pH decrease from Carbonic Acid (H_2CO_3), Silicic Acid ($SiO_x(OH)_{4-2x})_n$



Troubleshooting Guide 1

Permeate flow	Salt passage	Differential pressure	Direct cause	Indirect cause	Corrective measure
↑	↑	→	Oxidation damage	Chlorine ozone	Replace element
↑	↑	→	Membrane leak	Permeate back pressure Or Abrasion	Replace Element Improve filtration
↑	↑	→	"O" Ring leak	Improper Installation	Replace "O" Ring
↑	↑	→	Leaking Product Tube	Damaged during loading	Replace element

Troubleshooting Guide 2

Permeate flow	Salt passage	Differential pressure	Direct cause	Indirect cause	Corrective measure
↓	↑	↑	Scaling	Insufficient Scale control	Cleaning Scale control
↓	↑	↑	Colloidal Fouling	Insufficient pretreatment	Cleaning Improve pretreatment
↓	→	↑	Biofouling	Contaminated Raw water	Cleaning & disinfection Improve pretreatment

Troubleshooting Guide 3

Permeate flow	Salt passage	Differential pressure	Direct cause	Indirect cause	Corrective measure
↓	→	→	Organic fouling	Oil/Greases HMW Polymers	Cleaning Improve pretreatment
↓	↓	→	Compaction	Water hammer	Replace element or Add elements

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

1. การเพิ่มขึ้นของเกลือที่ผ่านออกมา

การแก้ปัญหา

1.1 ยืนยันความเที่ยงตรงของการอ่านค่าของเครื่องมือ

1.2 จัดทำโปรไพล์ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาตัวท่อที่เป็นปัญหา

1.3 ตรวจสอบการเติมสารเคมีที่ใช้บำบัดภายหลัง หากกระบวนการนั้นอยู่ก่อนจุดที่ตรวจวัดความเค็ม

1.4 พิจารณาการทำความสะอาดแบบ CIP

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

2. การเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าหรือความเข้มข้นในน้ำกรอง

การแก้ปัญหา

2.1 ตรวจสอบความเข้มข้นของน้ำป้อนและค่าเกลือที่ผ่านออกมาได้หากพบว่าเป็นเช่นนั้นให้ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานสำหรับ กรณีการเพิ่มขึ้นของเกลือที่ผ่านออกมาได้

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

3. การเพิ่มขึ้นของค่าความดันลด(Pressure Drop) ในน้ำป้อนหรือน้ำข้น

การแก้ปัญหา

3.1 ยืนยันความเที่ยงตรงของการอ่านค่าของเครื่องมือและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

3.2 ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำป้อนหรือน้ำข้นสูงกว่าสภาวะพื้นฐานหรือไม่ หากอัตราการนำน้ำจืดกลับคืนลดลงและอัตราการไหลของน้ำกรองคงที่ อัตราการไหลของน้ำป้อนและน้ำข้นจะเพิ่มขึ้นและความดันลดจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

3.3 ยืนยันว่าการบำบัดเบื้องต้นและขั้นตอนกระบวนการอื่นๆ ที่อยู่ก่อนหน้าทำงานปกติ

3.4 ปิดระบบและเปิด Pressure Vessel ที่ Stage แรก เพื่อดูด้วยสายตาว่ามีวัสดุอุดตัน RO Element หรือไม่ ซึ่งจะส่งผลให้ความดันลด(Pressure Drop) เพิ่มขึ้น

3.5 พิจารณาการทำความสะอาดแบบ CIP

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

4. การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของน้ำกรอง (Permeate Flow Rate)

การแก้ปัญหา

4.1 ยืนยันความเที่ยงตรงของการอ่านค่าของเครื่องมือ

4.2 ตรวจสอบระบบควบคุม บางทีค่าที่ตั้งไว้ของอัตราการไหลของน้ำกรองถูกเปลี่ยนไป

4.3 ตรวจสอบอุณหภูมิและพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการเดินระบบ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของน้ำกรองเพิ่มขึ้นหากสภาวะอื่นๆคงที่

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

4.4 ตรวจสอบค่า TDS ของน้ำป้อนหากต่ำลงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำกรองสูงขึ้นโดยธรรมชาติ หากแรงดันป้อนและสภาวะอื่นๆคงที่

4.5 ตรวจสอบคุณภาพน้ำกรอง เช่น ค่าความนำไฟฟ้า หากเปลี่ยนแปลงไปในทางที่สูงขึ้นแสดงว่าอาจมีการรั่วที่รอยอุดหรือประเก็น อาจมีผลทำให้น้ำปริมาณมากไหลผ่านไปยังน้ำกรองได้

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

5. การลดลงของอัตราการไหลของน้ำกรอง (Permeate Flow Rate)

การแก้ปัญหา

5.1 ยืนยันความเที่ยงตรงของการอ่านค่าของเครื่องมือ

5.2 ตรวจสอบระบบควบคุม บางทีค่าที่ตั้งไว้ของอัตราการไหลของน้ำกรองถูกเปลี่ยนไป

5.3 ตรวจสอบอุณหภูมิและพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการเดินระบบ อุณหภูมิที่ลดลงจะทำให้อัตราการไหลของน้ำกรองลดลงหากสภาวะอื่นๆคงที่

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

5.4 ตรวจสอบค่า TDS ของน้ำป้อนหากสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำกรองต่ำลงโดยธรรมชาติ หากแรงดันป้อนและสภาวะอื่นๆคงที่

5.5 ยืนยันความแม่นยำของการคำนวณ หากคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือระบบควบคุมและคำนวณด้วยมือซ้ำเพื่อยืนยัน

5.6 พิจารณา CIP

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

6. การลดลงของอัตราการไหลของน้ำกรองที่ถูกเทียบค่า (หรือการเพิ่มขึ้นของแรงดันขับเคลื่อนที่ถูกเทียบค่า)

การแก้ปัญหา

6.1ยืนยันความเที่ยงตรงของการอ่านค่าของเครื่องมือ

6.2 ยืนยันความแม่นยำของการคำนวณ หากคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือระบบควบคุมและคำนวณด้วยมือซ้ำเพื่อยืนยัน

แนวคิดการแก้ปัญหา Reverse Osmosis System

6.3 ตรวจสอบค่า TDS ของน้ำป้อนหากสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำกรองต่ำลงโดยธรรมชาติ หากแรงดันป้อนและสภาวะอื่นๆคงที่

6.4 พิจารณา CIP

Membrane Cleaning

(CIP)

วัตถุประสงค์ของการทำ CIP

1. ละลายและกำจัดตะกรันสารอนินทรีย์ (Inorganic Scales)

2. ทำให้คราบสะสมหลุดกำจัดออกไป(SS) (Organic Fouling)

3. ทำลายและกำจัดคราบจุลินทรีย์(Bio) (Organic Fouling)

Membrane Cleaning

- ***Hydraulic Cleaning (10~30 minutes)***
  - Water/Air Backwash(ถ้ามี)
  - Air Scouring (ถ้ามี)
  - Water Flushing
- ***Chemical Cleaning (1~8 weeks)***
  - Free Chlorine (Sodium Hypochlorite)
  - Acid/Base
  - Other strong oxidants, such as H_2O_2
  - Reducing agent, such as SBS($NaHSO_3$)
  - Chelating chemicals, such as EDTA
  - Proprietary Chemicals (surfactants)

Membrane Cleaning

- Hydraulic Cleaning
  - อัตราการไหลของน้ำและระยะเวลาการ Back Wash ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต membrane เป็นผู้กำหนดค่าดังกล่าว

- Chemical Cleaning
  - ความเข้มข้นของสารเคมีที่เตรียม อัตราการไหลและระยะเวลาที่ใช้ล้างทำความสะอาดขึ้นอยู่กับผู้ผลิต membrane เป็นผู้กำหนดค่าดังกล่าว

จะทำความสะอาด Membrane เมื่อไหร่ ?

- เมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่าน membrane ที่ถูกเทียบค่า(NPF) ลดลง 10–15 %
- ความดันแตกต่างในแต่ละ stage เพิ่มขึ้น 15–25 %
- ร้อยละของการยอมให้เกลือผ่านที่ถูกเทียบค่า (NSP) เพิ่มขึ้น 5 – 10 %

อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดก่อนหรือ

- ระดับน้ำในถังเก็บน้ำสะอาดเต็ม(Permeate Water)

- เมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่าน membrane ที่ถูกเทียบค่า(NPF) ลดลง 10–15 %
- ความดันแตกต่างในแต่ละ stage เพิ่มขึ้น 15–25 %
- ร้อยละของการยอมให้เกลือผ่านที่ถูกเทียบค่า (NSP) เพิ่มขึ้น 5 – 10 %

ลำดับการล้างทำความสะอาด(CIP)

1. ระบบหยุดทำงาน High Pressure Pump หยุดทำงาน Feed Water Pump จะทำการส่งน้ำด้วยแรงดันระดับหนึ่งเข้าไปล้าง(Flush) RO Element ก่อนประมาณ 1 นาที(Hydraulic Cleaning)

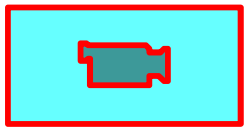
2.เตรียมสารเคมีด่างความเข้มข้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่นำมาเตรียมปกติจะใช้น้ำกรองและควรตรวจสอบว่าไม่มีคลอรีนอยู่ในน้ำที่นำมาเตรียม

3.ทำการล้างด้วยด่าง(Alkaline Cleaning) เป็นเวลา 30 – 60 นาที ควบคุมค่า pH ให้อยู่ในขีดจำกัดของเมมเบรนนั้นๆเสร็จแล้วทำการล้างด้วยน้ำสะอาด (flush)เพื่อล้างด่างที่หลงเหลืออยู่ให้ออกไปประมาณ 1 นาที (ทฤษฎีบอกว่าควรแช่น้ำเป็นเวลา 1 – 12 ชั่วโมง) (remove foulants like oil or biological matter)

4.เตรียมสารเคมีกรดความเข้มข้นไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่นำมาเตรียมปกติจะใช้น้ำกรองและควรตรวจสอบว่าไม่มีคลอรีนอยู่ในน้ำที่นำมาเตรียม

5.ทำการล้างด้วยกรดก่อน(Acid Cleaning) เป็นเวลา 30 – 60 นาที ควบคุมค่า pH ให้อยู่ในขีดจำกัดของเมมเบรนนั้นๆ เสร็จแล้วทำการล้างด้วยน้ำสะอาด(flush)เพื่อล้างกรดที่หลงเหลืออยู่ให้ออกไปประมาณ 1 นาที (ทฤษฎีบอกว่าควรแช่น้ำเป็นเวลา 1 – 12 ชั่วโมง) (remove foulants like mineral scale or metal oxides/hydroxides fouling.)

ในขั้นตอนการทำ CIP จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง



ระดับน้ำในถังเก็บน้ำสะอาดเต็ม

1. ระบบหยุดทำงาน High Pressure Pump หยุดทำงาน Feed Water Pump จะทำการส่งน้ำด้วยแรงดันระดับหนึ่งเข้าไปล้าง RO Element ก่อนประมาณ 1 นาที (Hydraulic Cleaning)

Hydranautics recommends that the membrane system operator thoroughly investigate the signs of fouling before they select a cleaning chemical and a cleaning protocol. Some forms of fouling (iron deposits and scaling commonly associated with well waters) may require only a simple low pH cleaning. However, for most complex fouling phenomena, Hydranautics recommends the following sequence:

1. Flushing with permeate with addition of non oxidizing biocide (DBNPA or similar type) at the end of the flushing.
2. High pH CIP – Temperature versus pH as per recommendations in this TSB
3. Flushing with permeate until pH on the brine side is below pH 8.5
4. Low pH CIP
5. Acid flushing with permeate and non oxidizing biocide (DBNPA or similar type)

Source : Hydranautics membranes

Cleaning and Flushing Flow Rates per RO Pressure Tube

Table 5: Cleaning and Flushing Flow Rates per RO Pressure Tube
(Pressures are not to exceed 60 psi (4 bar) at inlet to tubes.)

Element Diameter	GPM	LPM
4-inches	6 to 10	23 to 38
6-inches	12 to 20	46 to 76
8-inches	24 to 40	91 to 151
8.5-inches	27 to 45	102 to 170
16-inches	96 to 160	360 to 600

ที่มา : http://www.membranes.com

How much cleaning solution will I need to clean my membranes?

Table 6: Cleaning Solution Volume Requirement per RO Element
(these volumes do not include volumes required for piping, filters, etc)
(these volumes do not include initial 20% of volume dumped to drain)

Element Size	Normal Fouling (Gallons)	Heavy Fouling (Gallons)	Normal Fouling (Liters)	Heavy Fouling (Liters)
4 x 40 inches	2.5	5	9.5	19
6 x 40 inches	5	10	19	38
8 x 40 inches	9	18	34	68
8.5 x 40 inches	10	20	38	76
16 x 40 inches	36	72	136	272

ที่มา : *http://www.membranes.com*

Estimate of Cleaning Solution Volume

$V = El \times Vol \times 5$

- El = Number of Elements(RO Element)
- Vol = Volume of one element from Flow Tables

Remark : 1 gallon = 3.785 liters

ที่มา : *http://www.watertreatmentguide.com/membrane_cleaning1.htm*

จะหยุดทำความสะอาด Membrane เมื่อไหร่ ?

จะหยุดทำความสะอาดก็ต่อเมื่อค่าต่างๆเหล่านี้ไม่เปลี่ยนแปลง

- *pH*
- *Pressure*
- *Pressure Drop*
- *Flow*

Cleaning Effectiveness

หลังจากเริ่มเดินระบบไปแล้ว 24 ชั่วโมง

- อัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน (Permeate flow) กลับสู่สภาพเหมือนระบบใหม่หรือใกล้เคียง
- ความดันแตกต่างของน้ำในแต่ละ stage กลับสู่สภาพเหมือนระบบใหม่หรือใกล้เคียง

Summary of Fouling Material & Cleaning Chemicals

Cleaning Chemical	For Fouling Material
NaOCl (sodium hypochloride)	Biological; NOM; Synthetic polymers
Acids (HCl, H_2SO_4, Citric Acid)	Inorganic deposits
NaOH	NOM
Sodium bi-sulfite (SBS)($NaHSO_3$)	Reducible metals (Fe, Mn)
H_2O_2	NOM
EDTA	Metals

ประเภทของสารฆ่าเชื้อ	ตัวอย่าง	ช่วงความเข้มข้นที่ใช้ประโยชน์	ความเข้ากันได้ของเมมเบรน	ข้อคิดเห็น
ออกซิไดซิ่ง	คลอรีน	0.1-1.0 มก./ลิตร	CA และ PS	สารฆ่าเชื้อที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์ในรายการนี้จะถูกนำมาใช้เป็นสารเติมในน้ำป้อนเป็นหลัก เนื่องจากโมโนคลอรามีนมีฤทธิ์ออกซิไดซ์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับคลอรีนอิสระจึงไม่เป็นอันตรายต่อเมมเบรน PA มันเป็นสารฆ่าเชื้อที่ดีเยี่ยมโดยเฉพาะเมื่อพิจารณาในเรื่องของฟิล์มจุลินทรีย์
	โมโนคลอรามีน	0.5-5.0 มก./ลิตร	ทั้งหมด	
	กรดเปอร์อะซีติก	0.1-1.0 มก./ลิตร	CA และ PS	
	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	0.1-1.0 มก./ลิตร	ทั้งหมด	
	ไอโอดีน			
ไม่มีฤทธิ์ออกซิไดซิ่ง	ฟอริมัลดีไฮด์	05.5.0%	ทั้งหมด	โซเดียมไบซัลไฟต์ เป็นสารฆ่าเชื้อที่ไม่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์เพียงตัวเดียวที่ใช้เป็นสารเติมในน้ำป้อนในปัจจุบัน ตัวอื่น ๆ จะใช้ในการรักษาเมมเบรน จากการเสื่อมทางชีวภาพในระหว่างที่โรงบำบัดหยุดทำงาน
	กลูตารัลดีไฮด์	0.5-5.0%	ทั้งหมด	
	ไบซัลไฟต์	1.0-100 มก./ลิตร	ทั้งหมด	
	2-เมทิล-4-ไอโซไทอาโซลิน-3-โอน	0.01-1.0%	ทั้งหมด	
	ควอเตอร์นารีอามีน	0.01-1.0%	CA และ PS	
	เบนโซเอต	0.1-1.0%	ทั้งหมด	
	EDTA	0.01-1.0%	ทั้งหมด	
การฉายรังสี	อัลตร้าไวโอเล็ต	1-2 MR *	ทั้งหมด (ตามเงื่อนไข)	การฆ่าเชื้อด้วยการฉายรังสีมีประสิทธิผลดีมากแต่ไม่มีสารตกค้างหลังจากฉายรังสีทำให้แบคทีเรียที่รอดชีวิตสามารถกลับมาเจริญเติบโตบนผิวเมมเบรนอีก การใช้รังสีแกมมา เหมาะสมกับการฆ่าเชื้อในเมมเบรนชุดใหม่ (ที่ยังอยู่ในห่อพลาสติก) ก่อนจะนำไปเก็บเป็นเวลานาน
	แกมมา		ทั้งหมด (ตามเงื่อนไข)	

ระยะเวลาการเก็บรักษา Membrane Element หากระบบหยุดทำงาน

1. การเก็บรักษา Membrane Element ใน Pressure Vessel ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ(แบบเปียก 3 ถึง 30 วัน)

2. การเก็บรักษา Membrane Element ใน Pressure Vessel ในช่วงระยะเวลานานๆ(แบบเปียก > 30 วัน)

3. การเก็บรักษา Membrane Element แบบแห้งในระยะเวลานานๆ(มากกว่า 6 เดือน)

1. การเก็บรักษา Membrane Element ใน Pressure Vessel ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ(แบบเปียก)

ระบบหยุดทำงานระหว่าง 3 - 30 วัน มีขั้นตอนดังนี้

1.1 ทำการล้างด้วยน้ำเปล่าจาก feed water ระยะเวลาหนึ่งเพื่อไล่ก๊าซออกไปก่อน

1.2 เมื่อน้ำเปล่าเข้าไปแทนที่ก๊าซที่ไล่ออกไปแล้ว ให้ปิดวาล์วเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไป

2. การเก็บรักษา Membrane Element ใน Pressure Vessel ในช่วงระยะเวลานานๆ(แบบเปียก)

ระบบหยุดทำงานมากกว่า 30 วัน มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ทำความสะอาดด้วย CIP ก่อน

2.2 ทำการล้างด้วยสารฆ่าเชื้อที่ไม่มีฤทธิ์ออกซิไดซิ่ง(วิธีการเตรียมตามาตรฐานผู้ผลิต)

2.3 เมื่อสารฆ่าเชื้อเข้าไปแทนที่ก๊าซที่ไล่ออกไปแล้วให้ปิดวาล์วเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไป

2. การเก็บรักษา Membrane Element ใน Pressure Vessel ในช่วงระยะเวลานานๆ(แบบเปียก)

2.4 ทำซ้ำในขั้นตอน 2.2 และ 2.3 ทุกๆ 30 วัน ที่อุณหภูมิกักเก็บน้อยกว่า 27 °C ถ้าอุณหภูมิมากกว่า 27 °C ให้ทำทุกๆ 15 วัน

3. การเก็บรักษา Membrane Element แบบแห้งในระยะเวลานานๆ(มากกว่า 6 เดือน)

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษา Membrane Element หากระบบหยุดทำงานเป็นระยะเวลานานมากกว่า 6 เดือน

Formaldehyde

A formaldehyde solution of 0.1 to 1.0% concentration may be used for system disinfection and as a preservative for long term storage.

Glutaraldehyde

A glutaraldehyde solution of 0.1 to 1.0% concentration may be used for system disinfection and as a preservative for long term storage.

Isothiazolin

Isothiazolin is distributed by manufacturers of water treatment chemicals under the trade name Kathon. The commercial solution contains 1.5% of the active ingredient. The recommended concentration of Kathon for disinfection and storage is 15 to 25 ppm.

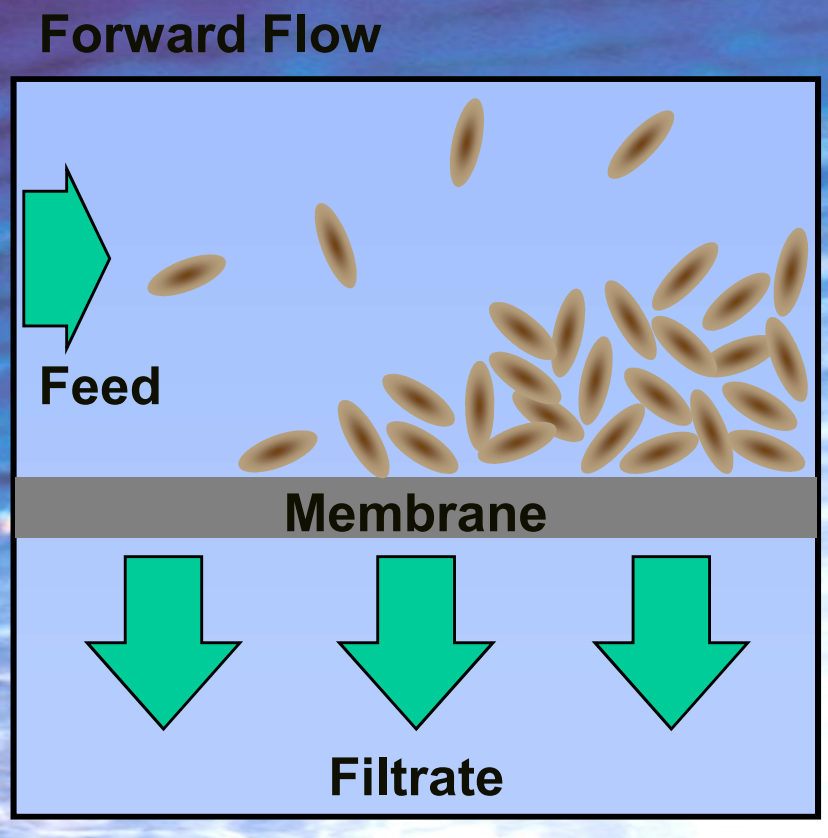
สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษา Membrane Element หากระบบหยุดทำงานเป็นระยะเวลานานมากกว่า 6 เดือน

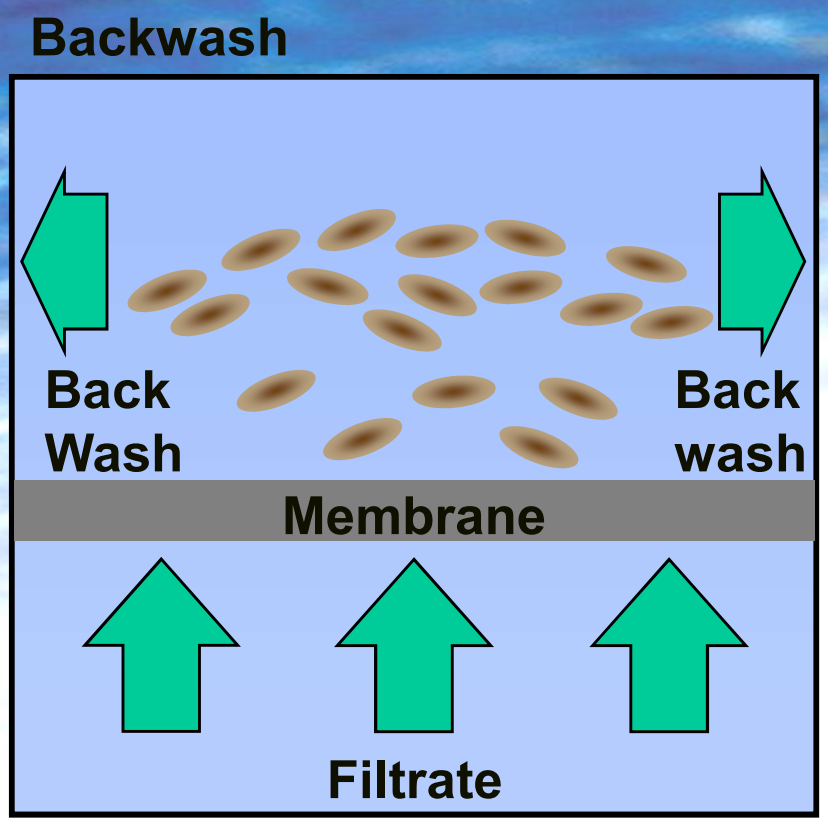
Sodium Bisulfite

Sodium bisulfite (SBS) can be used as a non-oxidizing inhibitor of biological growth at higher doses, particularly for aerobic bacteria. SBS at higher doses may be considered to have biostatic properties that inhibit biological growth, in part by removing available oxygen to aerobic bacteria, which in turns creates a hostile environment for bacteria, algae, and fungi to grow. To control biological growth with sodium bisulfite, it is applied at a dosing rate of 500 ppm for 30 to 60 minutes daily.

Sodium bisulfite at a 1% concentration can also be used as a preservative during long term storage of the membrane elements. Membranes preserved in a 1% SBS solution in a pressure vessel should be checked on a monthly basis to assure proper preservation. If the pH of the preservation solution drops below 3.0 due to oxidation by air, the solution must be replaced to prevent membrane damage.

Hydraulic Cleaning(Hollow Fiber Membrane)





Flux: 35-85 GFD (59-145 l/m^2/hr)

Transmembrane Pressure: 4-22 psig (27-152 kPa)

Recovery: 90-98% (w/ BW)

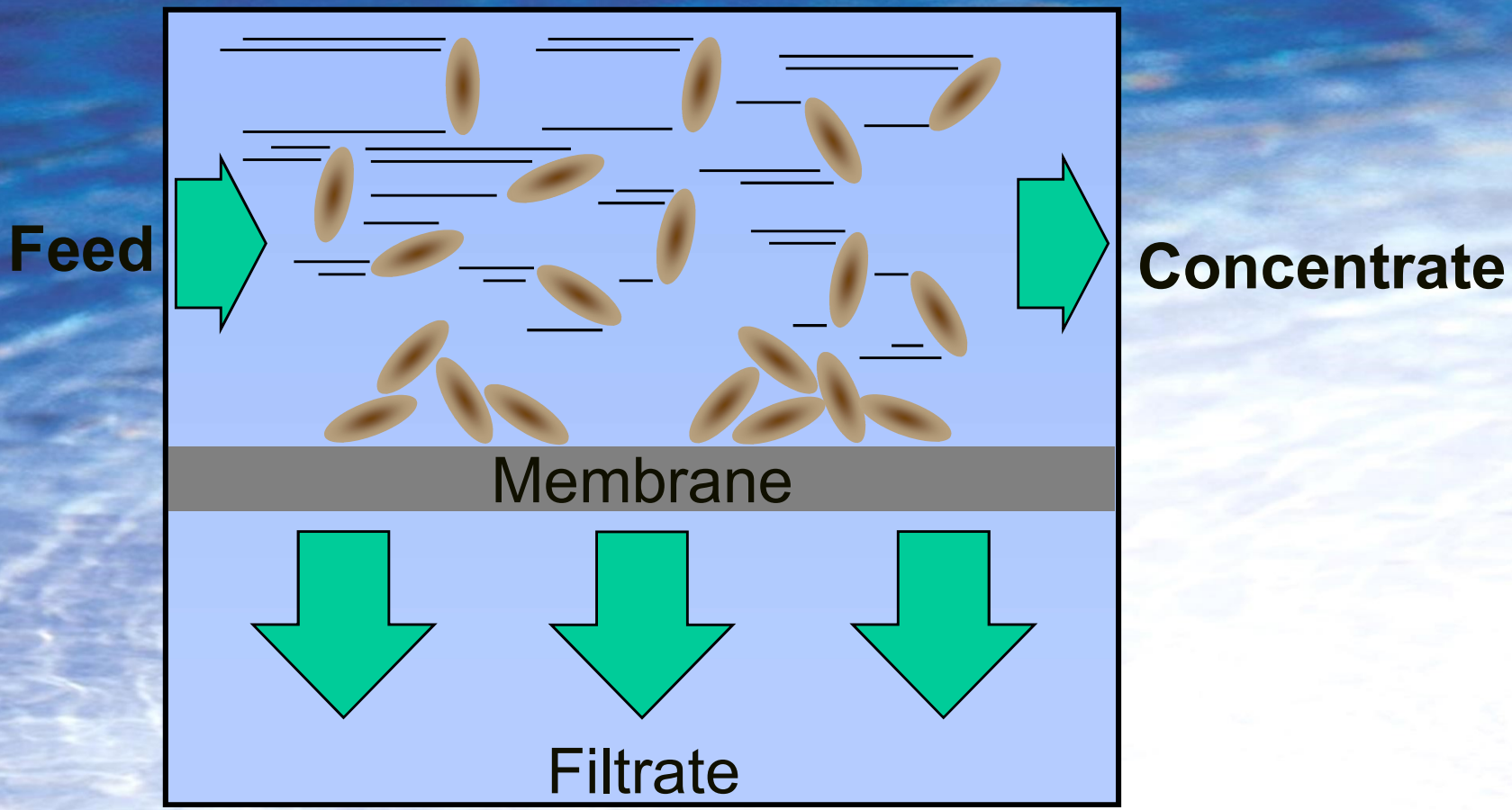
Flux: 175-200 GFD (298-340 l/m^2/hr)

Pressure: 35 psig (242 kPa)

Frequency: once every 15-60 minutes

HYDRANAUTICS
A Nitto Denko Corporation
www.membranes.com

Chemical Cleaning



Frequency:	Once every 1-2 months
Cleaning chemicals:	NaOCl +NaOH
	or Citric Acid($C_6H_8O_7$)

HYDRANAUTICS
A Nitto Denko Corporation
www.membranes.com

ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis

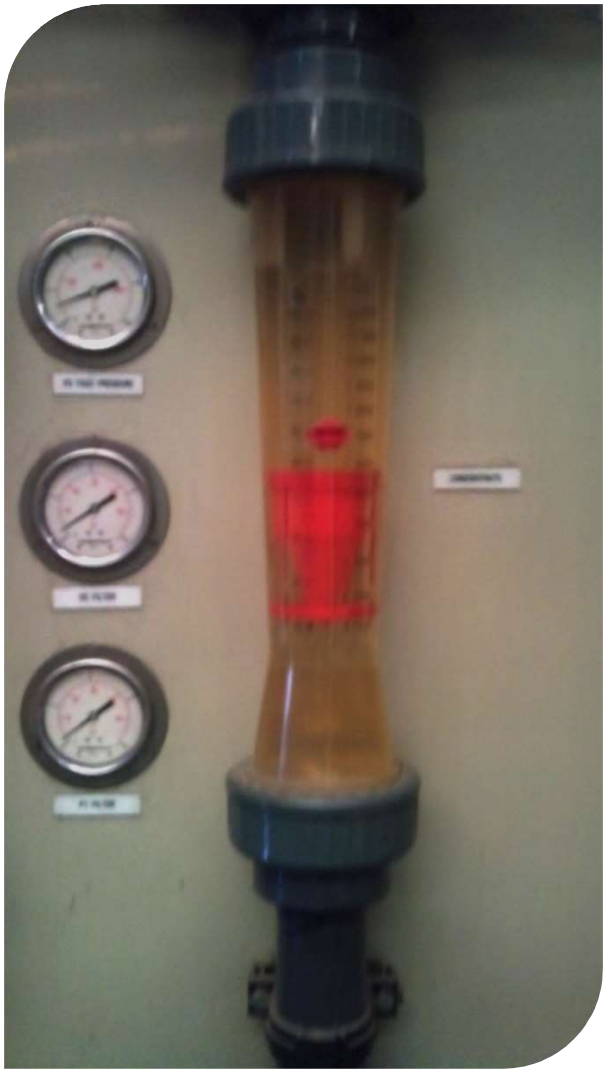
○ CIP ด้วยด่าง(Alkaline) - สารละลายเป็นสีดำ

ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis

ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis

○ CIP ด้วยด่าง(Alkaline) - สารละลายเป็นสีน้ำตาล

ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis



ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis

ภาพการทำ CIP ระบบ Reverse Osmosis

○ CIP ด้วยกรด(Acid) – สารละลายเป็นสีใส

การทำงานเชิงป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาสำหรับระบบ RO

1. ทำความเข้าใจถึงเป้าหมายการออกแบบและข้อจำกัดของอุปกรณ์ต่างๆ
2. บำรุงรักษาตามกำหนดเป็นประจำ
3. ซ่อมแซมจุดรั่วไหลต่างๆที่เกิดขึ้น
4. หมั่นสอบเทียบเครื่อมือ
5. เก็บข้อมูลย้อนหลังไว้เพื่อใช้อ้างอิงภายหลัง
6. เก็บรักษาข้อมูลบันทึกของหน่วย RO เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบหน่วยต่อหน่วยและเปรียบเทียบสมรรถนะในอดีตและปัจจุบัน

การทำงานเชิงป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาสำหรับระบบ RO

7. เก็บรักษาข้อมูลบันทึกของ CIP ที่สำเร็จและล้มเหลว

8. จัดทำโปรไฟล์ข้อมูลการนำไฟฟ้าของแต่ละชุดท่อ สำหรับช่วงเวลาเท่าๆกันและ 24 ชั่วโมงหลังจากการ CIP

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามฤดูกาล

1. ทำความเข้าใจถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเดินระบบและการเทียบค่าการคำนวณ

   1.1 อุณหภูมิที่สูงขึ้นต้องการแรงดันป้อนที่ต่ำลงเพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำกรองให้เท่าเดิม

1.2 อุณหภูมิที่ต่ำลงต้องการแรงดันป้อนที่สูงขึ้นเพื่อเพื่อรักษาอัตราการไหลของน้ำกรองให้เท่าเดิม

2. อุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อเกลือที่ผ่านออกมาแต่มีผลน้อยกว่าที่จะกระทบกับอัตราการไหลของน้ำกรองเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มข้นของน้ำกรองอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหากอัตราการกรองคงที่

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำป้อนตามฤดูกาล

1. อาจจำเป็นต้องปรับปรุงการบำบัดเบื้องต้น
2. พิจารณาการลดฟลักซ์(Flux rate) หรือ Recovery rate
3. อาจจำเป็นต้องเปลี่ยน Cartridge Filters บ่อยขึ้น
4. อาจจำเป็นต้องทำ CIP บ่อยขึ้น
5. อาจจำเป็นต้องเพิ่มความเร็วของน้ำข้น

RO DATA LOG SHEET

Electrodialysis (ED)

Electrodialysis (ED)

- Common Problems
  - Scaling or fouling
  - Precipitation of magnesium hydroxide or calcium carbonate
    - This may cause increased electrical resistance and damage the membranes
- Acid is usually feed to ensure scale-free operation

Electrodialysis Filtration Enhancements

Pre - Treatment

Organic + Coagulant

Matter

colloid + Coagulant

Ferrous + Oxidant

Hydrogen + Oxidant

Sulfide

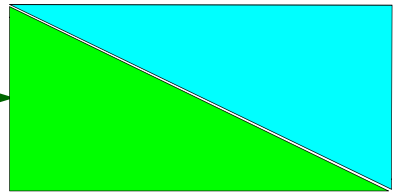
Organic + PAC

Compounds

RO Process

Membrane

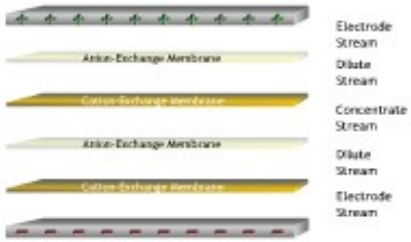
Filtration



Particle

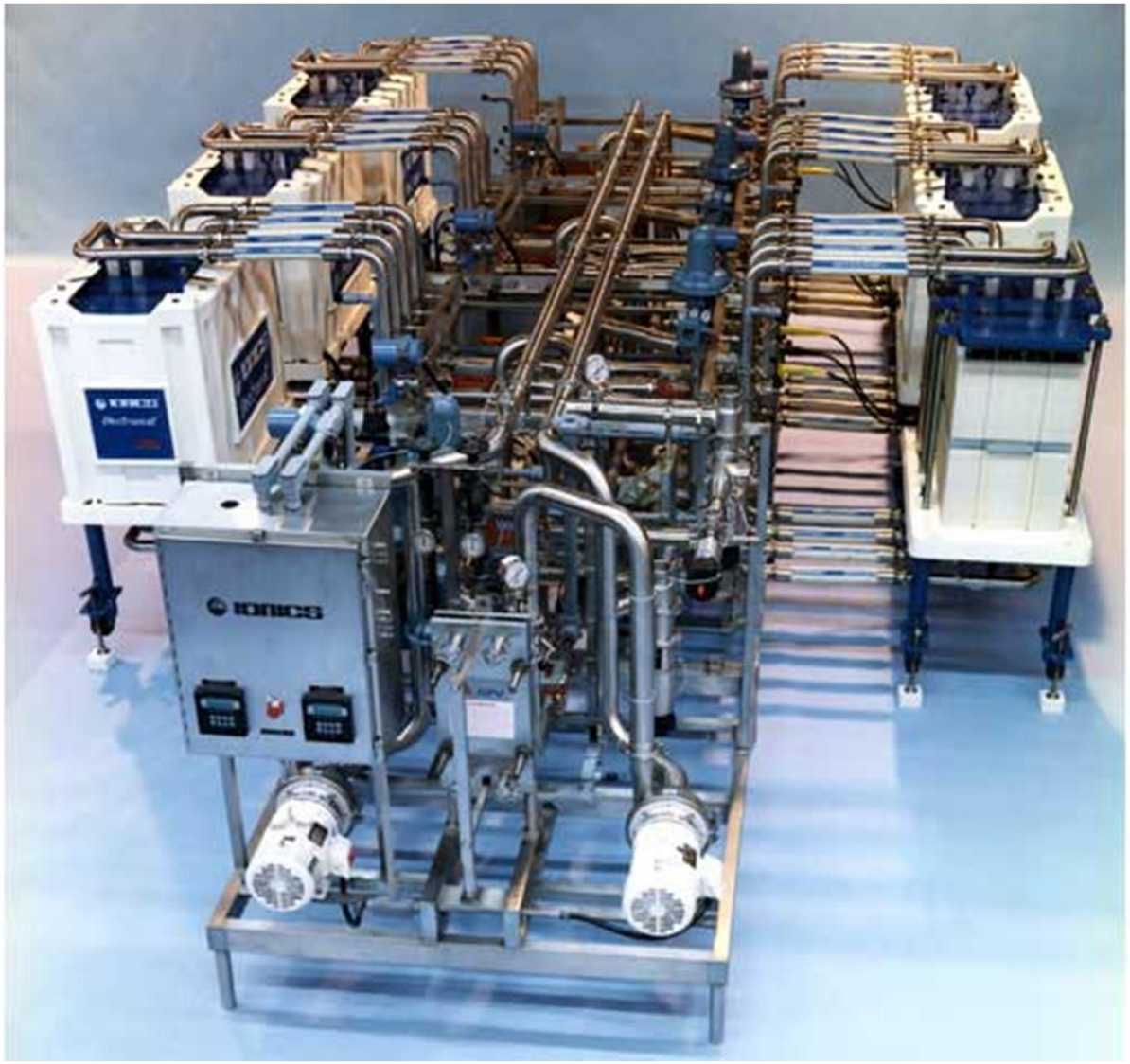
Removal

ED Process



Treated Water

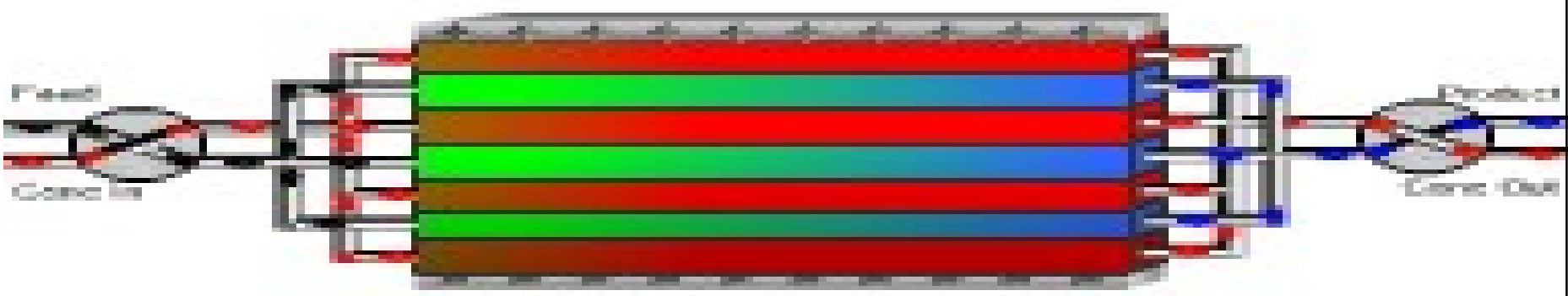
Electrodialysis (ED)



Electrodialysis (ED)

Electrodialysis Reversal (EDR)

Electrodialysis Reversal (EDR)



Electrodialysis Reversal Filtration Enhancements

Pre - Treatment

Organic + Coagulant

Matter

colloid + Coagulant

Ferrous + Oxidant

Hydrogen + Oxidant

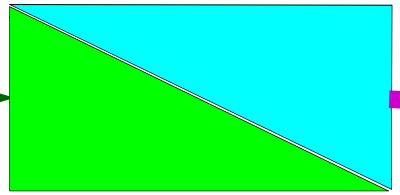
Sulfide

Organic + PAC

Compounds

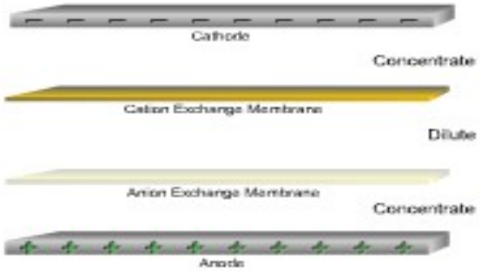
RO Process

Membrane Filtration



Particle Removal

EDR Process



Treated Water

Membranes Market

1. AMI Membranes
2. TOYOBO Membranes
3. Hydranautics Membranes
4. Koch Membranes
5. FilmTec (DOW) Membranes
6. DuPont Membranes
7. Toray Membranes
8. Trisep Membranes
9. Saehan Membranes

US STERILES

HYDRANAUTICS
High Performance Membrane Products
A Nitto Denko Corporation

DOW

EMERSON
Process Management

FLOJET

GRUNDFOS

SeaTech inc

McCoy

HIDROTEK

SAEHAN

PureGen
TM

AQ & Q

PureTek
CORPORATION

KOCH
MEMBRANE SYSTEMS

KEMFLO

SHURflo®

TM
OSMONICS
AUTOTROL

HARMSCO®
FILTRATION PRODUCTS

AQUA
TECH
ASIA

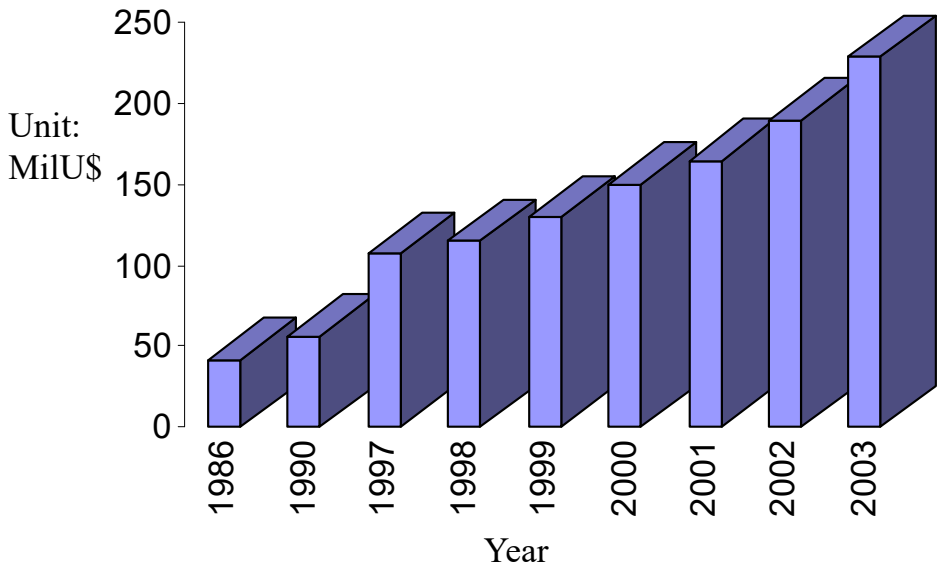
Specification comparison of Sea Water RO

SAEHAN

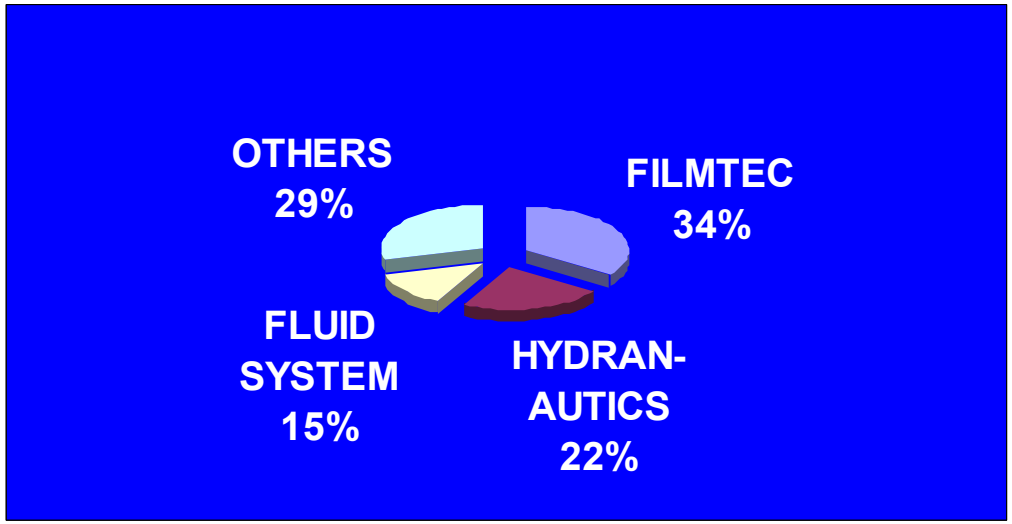
Model	Rejection(%)	Flux(GPD)	Surface Area(ft^2)
RE-8040SN	99.2	6200	330
RE-8040SR	99.6	6000	380
HSR(Development)	99.8	5200	380
DOW (Filmtec)			
SW30-8040	99.1	6000	300
SW30HR-380	99.6	6000	380
TORAY			
SU820	99.75	4000	295
SU820FA	99.75	5000	335
HYDRANAUTICS			
SWC3	99.6	5900	370
SWC4	99.8	5200	370

Sea Water RO membrane market Size

Yearly Marlet Size



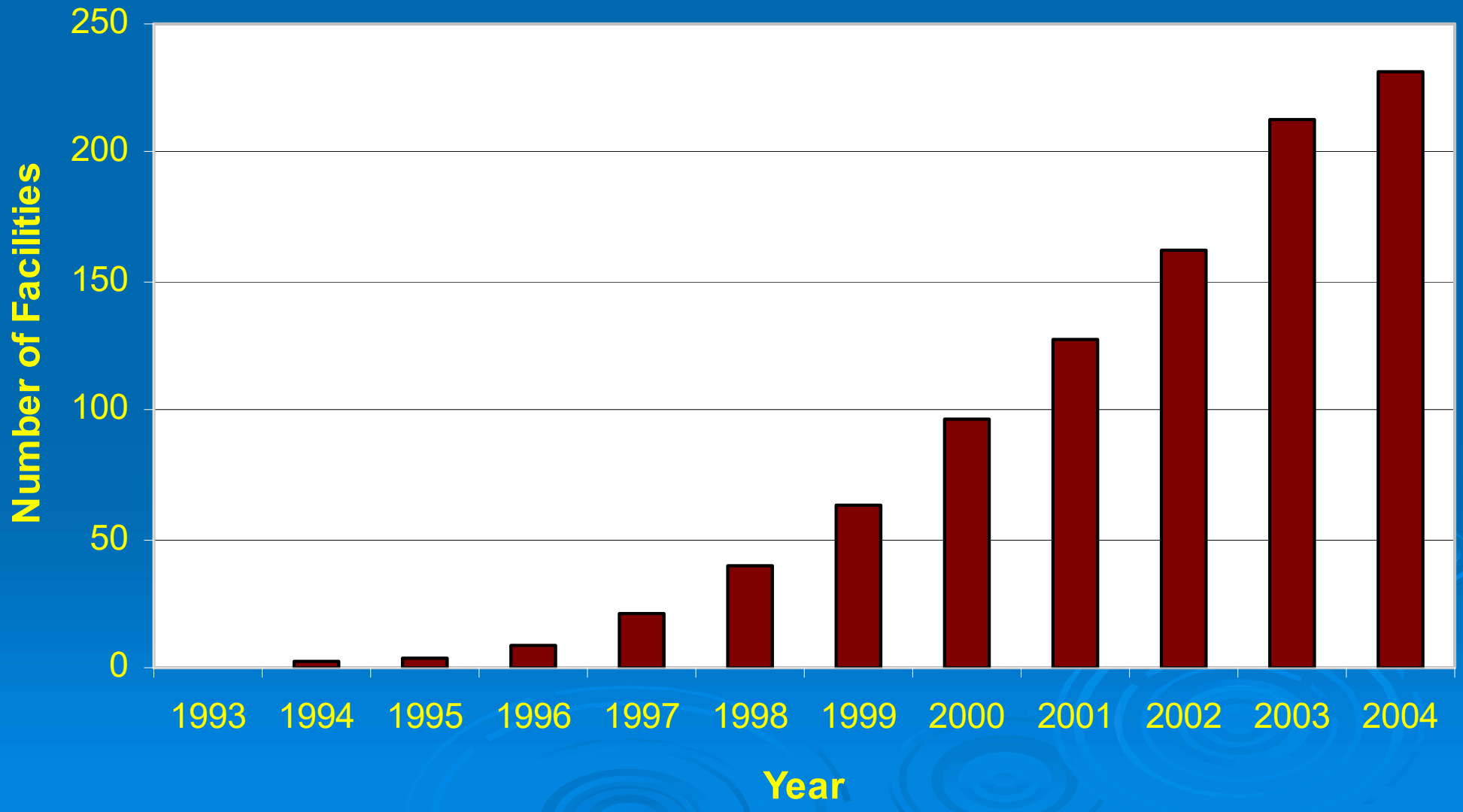
Market Share by Maker



Reference:
"The 1998 Guide to the US Membrane Industry"(Desalination Sea Water TFC Membrane Market)

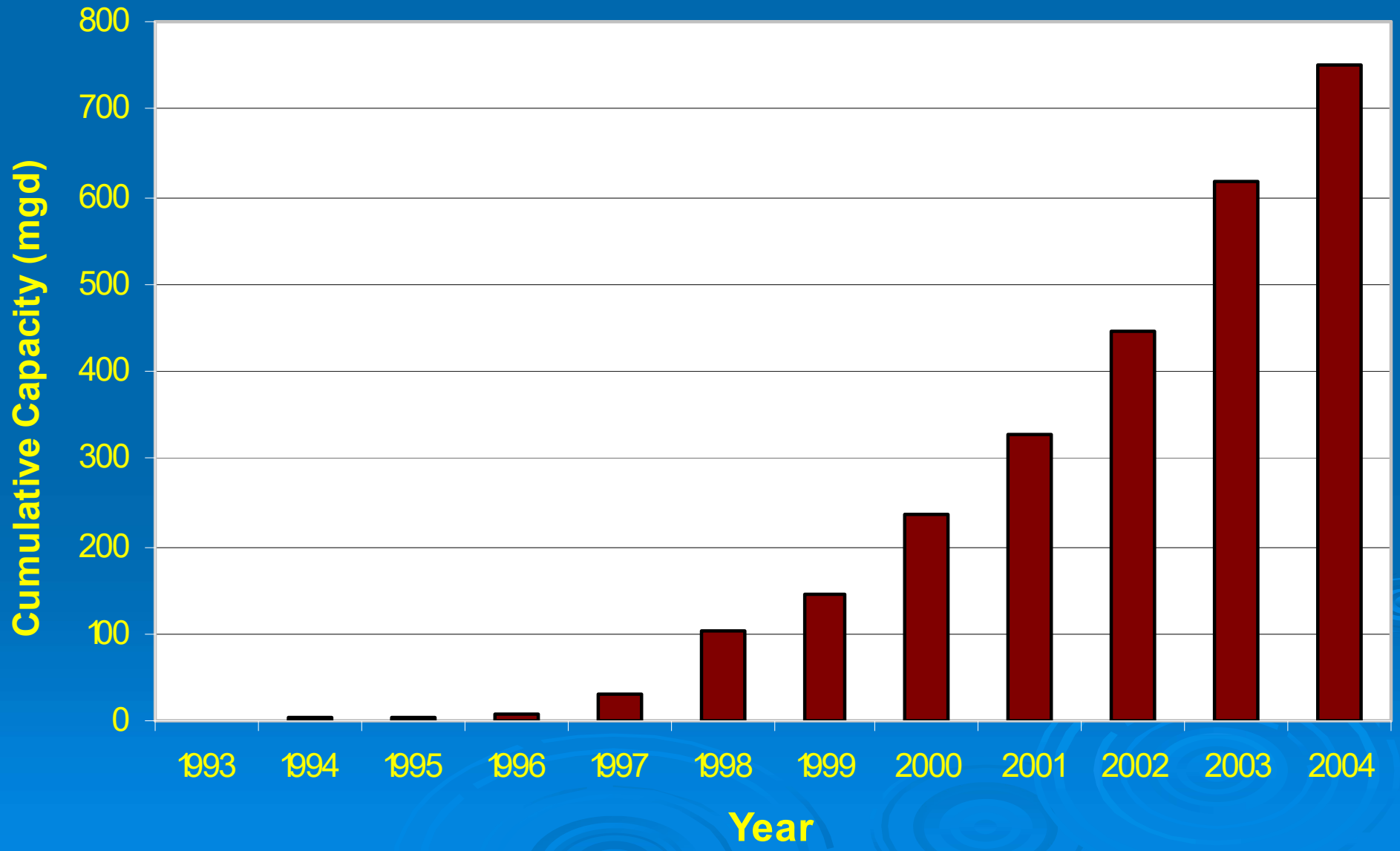
Growth of the Industry

North American MF/UF Installations - Drinking Water

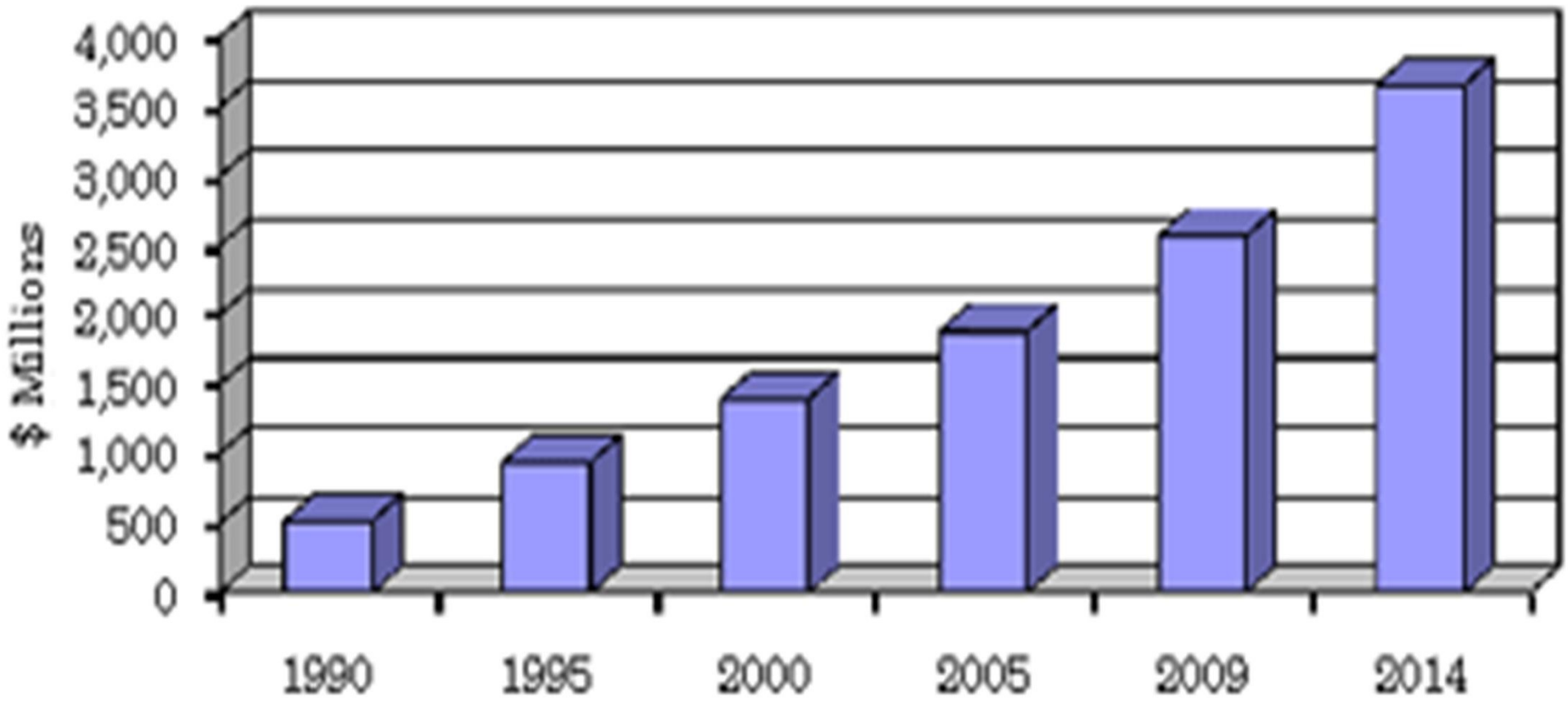


Growth of the Industry

North American MF/UF Installations - Drinking Water



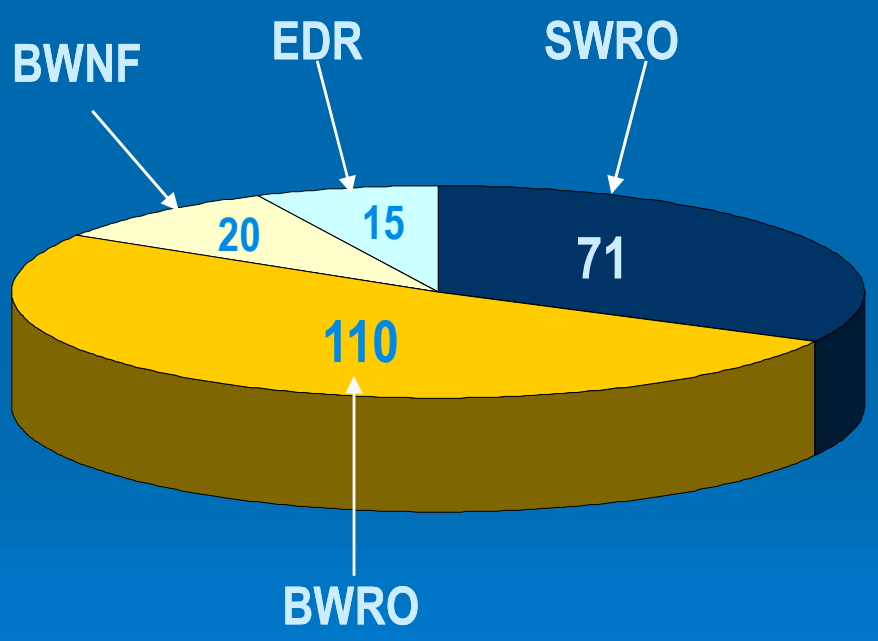
SUMMARY FIGURE
GLOBAL VALUE OF RO SYSTEM COMPONENTS FOR WATER TREATMENT, 1990–2014
($ MILLIONS)



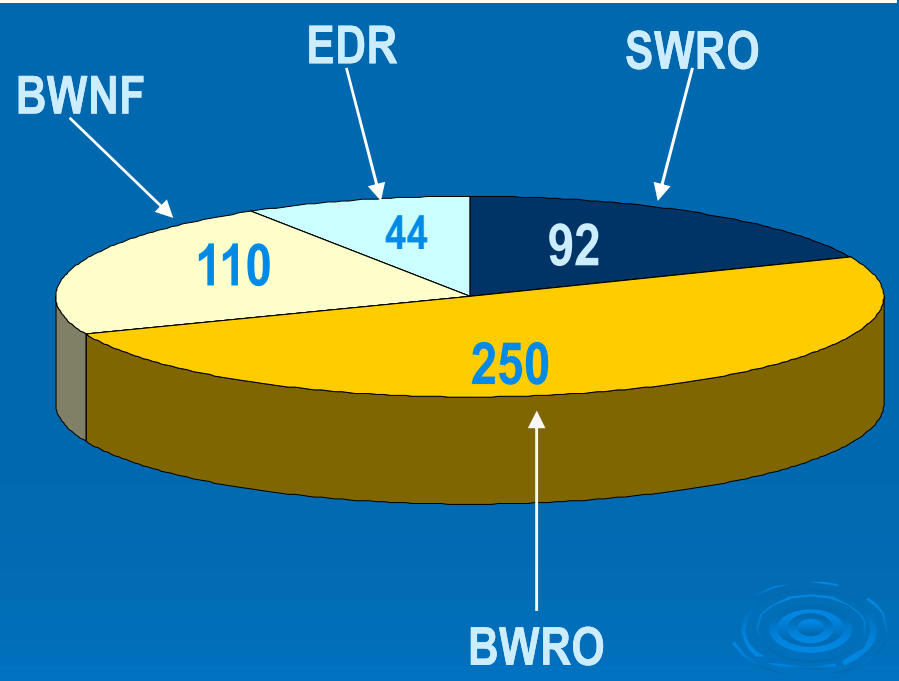
Source: BCC Research

Desalination Is Growing As Well

Number of Installations



Capacity (mgd)



Questions ?