

막분리 공정설계 및 응용

이 규 현

(주)선경건설연구소

Design and Application of Membrane Separation Processes

Kyu-Hyun Lee

R & D Center,
Sunkyong Engineering & Construction Limited

1. 막분리 공정(Membrane Separation Process)

최근 산업의 고도화 및 다변화로 인한 고순도, 고품위의 제품이 요구됨에 따라 분리공정은 대단히 중요한 공정으로 인정되고 있어 화학공업, 식품공업, 약품공업 등의 공업분야뿐만 아니라 의료, 생화학 및 환경분야에 이르기까지 중요한 연구과제가 되고 있다.

분리공정은 열역학적 상평형 원리에 기인한 분리방법과 물질이동 즉, 이동속도 원리에 기인한 분리방법으로 구별할 수 있는데 이는 혼합물의 동적 성질, 특히 확산성이나 침투속도가 서로 다른 것을 이용한 것이다(표 1, 2).

표 1. 상평형 원리에 의한 분리

	기-액	기-고	액-액	액-기
분리 방법	증류 기-액 크로마토그래피 기포 분별	흡착 승화	추출 액-액 크로마토그래피	침전 분별침전 이온교환 흡착

고분자막에 의한 물질의 분리는 약 20년전 S. Leob에 의한 고효율의 비대칭분리막이 개발되면서 급속하게 발전되었으며, 상변화가 없고, 에너지소모가 적은 장점 때문에 Desalination을 비롯한 공업용수처리, 폐수 재활용 등의 수처리분야에서 상업화된 이후 분리막 재질의 개발에 의해 식품공업의 분리농축, 화학공업의 분리, 정제, 산소부화 등의 기체분리, 인공신장에 의한 혈액투석에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다.

표 2. 속도원리에 의한 분리

	Barrier에 의한 분리	System에 의한 분리	기 타
분리 방법	투석, 삼투 한외여과 전기투석 전기삼투 역삼투 기체투과	전기영동 초원심법 열확산법 전착 질량분석법	분자증류 효소분해 분해증류

이와같은 막을 이용한 분리공정은 막의 형태, 조작 원리 및 적용분야에 따라 정밀여과, 한외여과, 역삼투, 기체분리 및 투과증발 등으로 분류되며 이는 고분자막에 존재하는 Pore의 크기, 막의 균일성, 대칭성 및 막의 하전형태에 따라 구분한다. 표 3에 이들의 분리특성을 정리하였다.

표 3. 막 분리기술의 특성

분리방법	막 형태	구동력	분리원리	적용분야
정밀여과	대칭형 다공성막 (Pore size 0.1-10 μ m)	정수압 차 (0.1-1 Bar)	Pore size 및 흡착현상에 기인한 체 걸름	전자공업의 초순수 제조, 무균수 제조, 식품의 무균여과
한외여과	비대칭형 다공성 막 Pore size Skin층 103-10-1 μ m Support층 1-10 μ m	정수압 차 (0.5-1 Bar)	체 걸름 (Sieving)	전자공업의 초순수 제조 유수 혼합물 분리 도료 페인트 회수, 효소농축 혈장 단백질 분리 섬유호재 회수 섬유, 제지공업의 폐수처리
역삼투	비대칭성 Skin형 막 Skin 층: 균일막 Pore size : Å	정수압 차 (20-100 Bar)	용해, 확산	해수, 공업용수의 탈염 액체식품의 탈수 전기 도금공업의 탈이온수 화학, 약품공업의 무균, 탈이온수, 농축 폐수처리, 재이용
투석	비대칭성 다공성 막 (균일 팽윤막, Pore size : 0.1-10 μ m)	농도 차	대류가 없는 층에서의 확산	인공신장 및 의료공업 화학, 식품, 약품공업에서의 고분자와 저분자의 분리
기체분리	균일, 다공성 막	정수압 차 농도 차	용해, 확산 확산	공업용, 의료용 산소부화 메탄-이산화 탄소 분리 천연가스에서 수소회수 공기중의 질소농축 핵공업의 희소가스 회수
투과증발	균일계 막	농도 차	용해, 확산	에탄올의 탈수 공비혼합물의 탈수
전기투석	양이온, 음이온 교환 막	전위 차	입자의 전하, 크기	염수의 탈염 알칼리 제조, 공업용수의 연화, 도금공업의 중금속 회수, 약품, 제당공업의 탈이온화, 폐수처리

역삼투막은 해수의 담수화를 목적으로 개발되었지만 에너지 절약, 및 새로운 막 재료의 개발과 분리공정의 개발로 희박한 유기용질의 농축에까지 응용되고 있다. 한외여과막은 고분자량의 용질을 대상으로 이용되고 있으나, 한외여과공정의 중요한 문제점은 투과유속이 압력에 비례하지 않고 일정하여 한계유속이 존재하는 점이다. 이는 막 표면에 Gel층의 형성, 용질의 삼투압, 막의 눈막힘 및 막에의 흡착 등이 일어난다. 이 한계유속을 증가시키기 위하여 고속으로 순환시키므로 에너지의 소비가 증가된다. 이를 해결하기 위해서는 막재료나 모듈의 선정, 적절한 운전관리 및 세정, 막의 표면처리 등 새로운 기술개발이 요구된다.

투과증발법은 역삼투법보다 더 먼저 개발이 진행되었으나 에너지의 소비가 증류법보다 높아 상업화가 진행되지 못하다가 연료용 에탄올의 탈수공정중 공비혼합물 분리공정에서 고순도의 에탄올 제조시 증류법

과 혼합하여 사용되고 있다. 그러나 다른 유기물의 분리에 적용하기 위해서는 막재료의 개발이 시급히 요구되고 있다. 이외에도 가스분리, 투석 등도 상업화가 진행되고 있지만 아직은 초기단계에 머무르고 있는 실정이므로 여기에서는 막분리 기술의 공정설계를 설명하기 위하여 가장 많이 보급되고 개발이 많이 진행된 역삼투막 공정을 중심으로 공정설계를 설명하고자 한다.

2. 막분리 공정설계

물질의 분리에 막 기술을 응용할 경우, 대상 처리물질과 요구되는 처리조건에 따라 설계의 기준이 변화한다 역삼투막의 경우 대부분이 수처리에 응용되기 때문에 공정설계시 가장 먼저 고려되는 것은 처리하고자 하는 원수의 조건이다.

원수의 특성에 따라 막재질의 선정, 주변설비, 공정설계 등이 결정된다. 원수의 특성 중 공정에 영향을 미치는 요인을 파악하여 설계시 이를 반영하여야 한다. 막분리에 영향을 미치는 요인은 원수에 함유되어 있는 물질 중 막표면에 침전되어 Fouling을 일으키는 Dissolved 및 Suspended Colloidal성 물질과 Biofouling을 일으키는 Microorganisms, 막 내에서 농도변화에 의해 생성되는 $CaCO_3$, $CaSO_4$ 등의 Scale 형성 물질들이다. 다음은 공정설계시 고려하여야 할 원수의 특성을 정리하였다

Raw Water Characteristics

Source of Raw Water Supply

- Surface Water
- Well Water
- Municipal or City Water
- Other-Waste Water, Sea Water

Key Parameters of Raw Water Analysis

- Total Dissolved Solids - Inorganic Analysis
- Total Suspended Solids - Turbidity, SDI
- Organics, Color - TOC, COD
- Dissolved Gases - Chlorine, Hydrogen Sulfide, Ammonia
- Sparingly Soluble Material - Fe, Mg, Ba, Sr, Ca, HCO_3 , SO_4

- PH
- Microorganisms

Equipment Sizing Parameters

- Temperature
- Supply Pressure
- Supply Volume

따라서 역삼투막의 공정설계시에는 운전을 고려한 전처리 설비와 요구 처리조건을 만족시킬 수 있는 Membrane System설계, System Control, Cleaning method등을 고려하여 설계하여야 한다. 처리공정의 개요를 그림 1에 나타내었다.

- Pretreatment - Softening
- Carbon Filtration
- Depth Filtration

- Acid Injection
- Scale Inhibitor Injection
- Biological Control
- Dissolved Solids Removal - RO
- Ion Exchange
- ED
- Post Treatment - IX Polishing
- pH Adjustment
- UV Sterilization
- Submicron Filtration

Specifications for Treated Water Quality
 Characteristics of Raw Feed Water
 Quantity of Treated Water Required

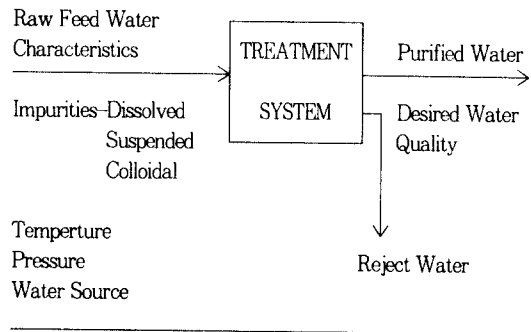


그림 1. Process Selection Criteria.

2. 1. 전처리 공정 설계

2. 1. 1. 막의 노화 및 Fouling

전처리공정은 막의 투과유속, 분리성능 및 수명을 좌우하는 중요한 처리공정으로 원수에 함유되어 있는 막 오염요인을 제거하는 공정이다. 막처리공정은 시간이 경과함에 따라 막 성능이 점차적으로 저하되는데 그 원인은 막 자체의 노화와 Fouling에 의한 것으로 표 4에 그 내용과 표 5에 투과유속과 배제율의 변화를 정리하였다. 표 6에는 Fouling 관찰 및 분석 방법을 정리하였다.

2. 1. 2. 전처리 공정

전처리 방법으로는 용해도의 조정과 화학반응(산화, 침전반응, 킬레이트화)을 일으키는 화학약품의 첨가에 의해 방지하는 방법과 사전에 문제를 야기하는 물질을 제거하는 방법으로 분류할 수 있다. 표 7에 각 전처리 방법을 정리하였다.

표 4. 막의 노화와 Fouling

분 류	정 의	내 용		
노 화	막자신의 변질에 의해 생기는 불가항력적인 막 성능의 저하	물리적 노화 압 밀 화 손 상 건 조 화학적 노화	장기적인 압력부하에 의한 막구조의 압밀화(Creep변형) 원액중의 고형물, 진동에 의한 막면의 손상, 마모, 절단 건조,수축에 의한 막구조의 불가역적인 변화	
		가수분해 산 화 생물학적 노화	막이 PH, 온도에 의한 분해 산화제에 의한 막재료의 물성 변화 미생물에 의한 막재료의 변형, 또는 분비물에 의한 변화	
Fouling	막자체의 변질이 아닌 외부적인 요인에 의해 생기는 막성능 저하로 그 원인에 따라 세척에 의해 성능이 회복된다	부 착 층	Cake 층	공급원액중의 현탁물질이 막표면에 축적되어 형성하는 층
			Gel 층	농축에 의한 용해성 고분자 등이 막면에 형성하는 비유동성 층
			Scale 층	농축에 의한 난용해성 물질이 용해도를 초과하여 막표면에 석출하여 형성하는 층
			흡 착 층	공급원액중에 함유되어 있는 흡착성 물질이 막표면에 흡착되어 형성하는 층
		눈 막 힘	고체 : 막의 다공성부에 흡착, 석출 등에 의한 밀폐 기체 : 소수성막의 다공성부가 기체로 치환(건조)	
		유 로 밀 폐	모듈의 원액유로 및 투과수유로가 고형물에 밀폐되어 액이 흐르지 않는 것	

표 5. 막의 노화, Fouling에 의한 막 성능의 변화

구 분	종 류	원 인	투과유속	배 제 율	문 제 되 는 막
노 화	화학적 노화	가수 분해	↑	↓	Cellulose계 막
		산 화	↑	↓	합성 고분자 막
	물리적 노화	압 밀 화	↓	↑	역삼투 막
		건 조	↓	↑	역삼투, 한외여과
생물적 노화	황 화	↑	↓	Cellulose계 막	
Fouling	부 착 물	Cake 층	↓	↓	역삼투, 한외여과, 정밀여과 막
		Gel 층	↓	↑	"
		Scale 층	↓	↓	역삼투 막
		흡 착 층	↓	?	한외여과 막
	눈 막 힘	입 체 적	↓	↑	한외여과 막
		흡 착	↓	↑	"
		석 출	↓	↑	"

표 6. Fouling 관찰 및 분석방법

관찰 및 분석방법	Cake 층	Gel 층	Skin 층	흡 착 층	눈 막 힘
부착물(육안,현미경)	0	0	0	0	0
부착물량 정량	0	0	0		
미생물 배양	0				
SEM	0		0		
XMA	0		0		0
X선 회절	0		0		0
IR	0	0	0		0
FT-IR	0	0	0	0	
ESCA	0	0	0	0	

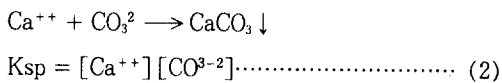
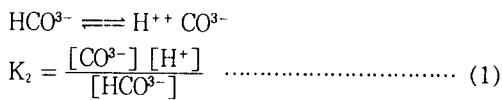
표 7. 전처리 공정

전처리 방법		처리 대상	처리 기술
침가조정법	화약약제 첨가에 의한 방법	미생물 용해성 유기물 용해성 무기물	살균제(Cl ₂ , NaClO, 염소) 산화제(Cl ₂ , NaClO, O ₂ , O ₃ , KMnO ₄)
	용해도조절 화학반응	Fe(HCO ₃) ₂ , Mn(HCO ₃) ₂ CaCO ₃ MgCO ₃ 난용해성 염 CaSO ₄ , MgSO ₄	산(HCl, H ₂ SO ₄) 알칼리[Ca(OH) ₂ , NaOH, 소석회] Inhibitor
사전제거법	원인물질 사전 제거	SS(탁도, 유기물, 조류, 화학반응에 의한 금속염, 수산화물 침전)	응집 침전[Ca(OH) ₂ , Al ₂ (SO ₄) ₃ , PAC ₃ , FeCl ₃ , 고분자 응집제]
		용해성 유기물 Colloid물질 용해성 무기물 H ₂ SiO ₃ Fe(HCO ₃) ₂ , Mn(HCO ₃) ₂ Ca(HCO ₃) ₂ , Mg(HCO ₃) ₂ 미생물	모래 여과 활성탄 여과 흡착 정밀 여과(1-25μm) 규조도 여과 응집 여과(PAC 등) 이온 교환 흡착제 망간 제올라이트 필터 탈기(O ₂ , CO ₂ , 진공, 폭기)

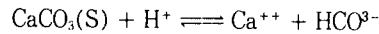
2. 1. 3. Scale Control

Membrane의 Fouling 현상을 초래하는 Scale은 유입수 중에 용해되어 있는 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Ba⁺⁺, Sr⁺⁺ 등의 양이온과 HCO³⁻, CO³⁻ 등의 음이온이 결합되어 Hard 및 Soft 한 침전물을 형성 막표면에 부착되면서 형성된다. Soft Scale인 CaCO₃, SiO₂는 Membrane의 역세척이나 Chemical cleaning으로 제거 가능하지만 Hard Scale인 CaSO₄, BaSO₄, SrSO₄ 등은 일단 Scale이 형성되면 제거가 곤란하므로 Membrane에 유입되기 전에 그 Solubility을 고려하여 전처리 조작을 실시하여야 한다. 이와 같은 Scale 형성을 예측할 수 있는 지표는 Brackish Water의 경우에는 Langelier Saturation Index(LSI)를 Sea Water의 경우에는 Stiff and Davis Stability Index(S & DSI)를 사용한다.

가. Calcium Carbonate(CaCO₃)



용해도 평형상태에서는



평형상수 Keq는

$$Keq = \frac{[Ca^{++}][HCO_3^-]}{[H^+]} = \frac{K_{sp}}{K_2} \dots\dots\dots (3)$$

(3)식을 재정리하면

$$PH_s = \log K_{sp}/K_2 - \log[Ca^{++}] - \log[HCO_3^-]$$

이며 pH. 8.5일때 HCO³⁻의 농도는 Methyl orange alkalinity와 동일하며 평형상수 Ksp와 K₂는 온도와 Ionic strength에 의존하므로 농축수축의 LSI는

$$LSI = PH_b - PH_s$$

$$PH_s = pCa + pHCO_3 + C$$

가 된다. 여기에서 pCa는 Ca농도의 (-)log이며, pAlk는 알칼리농도의 (-)log 값이다. PH_b는 농축수축의 PH이며, C는 최대 온도에서의 TDS와 관계되는 상수이다. 이는 그림 2의 Langelier Saturation Index에서 계산이 가능하다.

$$PH_b = 6.30 + \log Rb \text{이며}$$

$$Rb = HCO_3(\text{as mg}/\ell \text{ CaCO}_3)/CO_2(\text{as mg}/\ell \text{ CO}_2)$$

그림 3에 Rb와 PH와의 관계를 나타내었다.

LSI가 (-)이면 CaCO₃는 용해상태로 존재하며

LSI가 (+)이면 침전하여 Scale을 형성하게 된다.

Sea water의 경우도 이와 유사하다.

$$S \text{ \& DSI} = PHb - PHs$$

S & DSI가 (-)이면 CaCO₃는 용해 상태이며 S & DSI가 (+)이면 CaCO₃는 침전상태가 된다. S & DSI를 계산하기 위해서는 농축수의 이온강도를 계산하여야 한다.

이온강도(I)는

$$I = 1/2 \sum m_j Z_j^2 \text{으로}$$

m_j는 이온의 molal 농도, Z_j는 이온들의 Ionic charge이다.

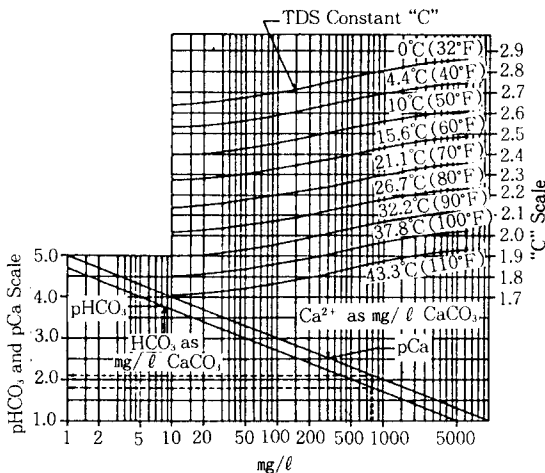


그림 2. Langelier Saturation Index.

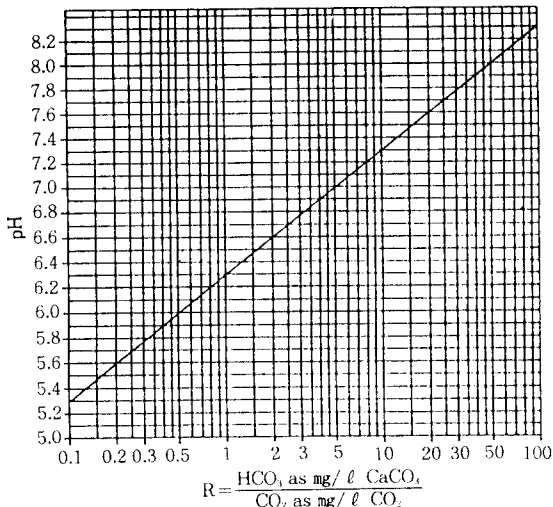


그림 3. Effect of HCO₃ and CO₂ on PH.

$$m_j = \frac{C_j}{1000M_{w_j} [10^6 - TDS/10^6]} \text{이며}$$

C_j는 이온의 농도(이온ppm), M_{wj}는 이온의 분자량, TDS는 용액의 총용해도이다.

수용액속의 이온의 보정계수는 표 8과 같다.

나. Calcium sulfate (CaSO₄a), Barium Sulfate (BaSO₄)

IPb > Ksp 침전 형성

IPb < Ksp 용해 Scale 형성 없음

IPb = Ksp 평형 및 포화 형성 없음

따라서 Hard Scale Control은 IPb ≤ 0.8(Ksp)가 되도록 하여야 한다.

여기에서 IPb는 농축수의 이온의 곱, Ksp는 Solubility이며 CaSO₄의 이온강도와 Ksp값은 그림 4에 나타내었다.

다. SiO₂

SiO₂ Scale은 SiO₂의 용해도와 관계되며 농축수의 SiO₂b와 분현상의 SiO₂lit 용해도에서 Scale Guideline은 SiO₂ ≤ SiO₂lit이며 SiO₂lit = (SiO₂temp) (PH 보정계수)로 계산한다.

SiO₂temp는 그림 5에 나타내었다. 따라서 SiO₂ ≤ SiO₂lit이며 침전이 형성되지 않으며 SiO₂b ≥ SiO₂lit이면 Scale이 형성된다.

표 8. Conversion Factors

Ion	CaCO ₃ Factor	Molecular Weight
Ca ⁺⁺	2.495	40.08
Mg ⁺⁺	4.112	24.32
Na ⁺	2.175	22.99
K ⁺	1.279	39.10
Sr ⁺⁺	1.141	87.63
Ba ⁺⁺	0.728	137.36
Fe ⁺⁺	1.791	55.85
HCO ₃ ⁻	0.819	61.02
SO ₄ ⁼	1.041	96.07
Cl ⁻	1.41	35.4
F ⁻	2.632	19.00
NO ₃ ⁻	0.806	62.01
CO ₃ ⁼	1.666	60.01
PO ₄ ⁼	1.579	94.98
SiO ₂	-	60.09

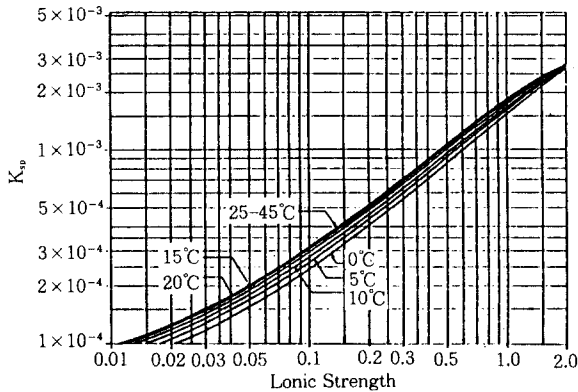


그림 4. Ksp for CaSO₄ vs Ionic Strength.

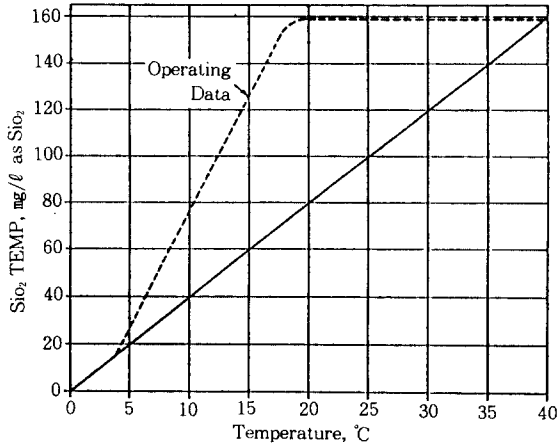


그림 5. Effect of Temperature on SiO₂ Solubility.

2. 1. 4. Case Study

설계 조건

TDS : 1,963mg/ℓ
 PH : 7.6
 Temp : 20°C (Max.25 C)

Conversion : 75%
 Capacity : 10,000 M³/Day

수질 조건

양이온	농도(mg/ℓ)		음이온	농도(mg/ℓ)	
	Ion	CaCO ₃		Ion	CaCO ₃
Ca ⁺⁺	80.2	200	HCO ₃ ⁻	244.2	200
Mg ⁺⁺	24.3	100	SO ₄ ⁼	480.3	500
Na ⁺	551.7	1200	Cl ⁻	567.4	800
Total	656.2	1500	Total	1291.9	1500

SiO₂ : 42.4mg/ℓ as SiO₂

CO₂ : 10mg/ℓ as CO₂

가. CaCO₃ Scale

① 75% Conversion의 경우 Concentration factor (CF) Y는

$$CF = 1/1-Y = 1/1-0.75 = 4$$

② Ca⁺⁺와 HCO₃⁻ 및 TDS의 농축수에서의 농도는

$$Ca^{++}b = 200 * 4 = 800mg/ℓ \text{ CaCO}_3$$

$$HCO_3b = 200 * [1 - (0.75)(0.044)/1 - 0.75] = 773.6mg/ℓ \text{ CaCO}_3$$

$$TDSb = 1963.1 * 4 = 7852.4mg/ℓ$$

$$CO_2b = CO_2f = 10mg/L \text{ as CO}_2$$

농축수의 PHb는 PHb = 6.30 + log Rb이며, Rb = HCO₃b(as mg/ℓ CaCO₃)/CO₂ (as mg/ℓ CO₂)이므로 Rb = 773.6/10 = 77.4 그림 3에서 PHb는 PHb = 8.19, PHs = PCa + PHCO₃ + C이므로 그림 2에서 = 2.10 + 1.81 + 2.26 = 6.17

LSI는 LSI = PHs - PHb = 8.12 - 6.17 = +2.02 따라서 CaCO₃는 침전을 형성한다.

나. CaSO₄ Scale

① 농축수의 Ca⁺⁺ 및 SO₄²⁻의 농도는

$$Ca^{++}b = 80.2 * 4 = 320.8mg/ℓ \text{ ion}$$

$$SO_4^{2-}b = 610.4 * 4 = 2441.6mg/ℓ \text{ ion}$$

② Ca⁺⁺와 SO₄²⁻의 Molality는

$$(M_{Ca^{++}})b = 320.8 / [(40.08) * (1000)] = 0.008 \text{ mol/ℓ}$$

$$(M_{SO_4^{2-}})b = 2441.6 / [(96.08) * (1000)] = 0.0254 \text{ mol/ℓ}$$

③ CaSO₄의 IPb는 IPb = 0.008 * 0.0254 = 2.03 * 10⁻⁴ mol²/ℓ²

④ 농축수의 이온 강도는

이온	농축수에서의 농도(mg/ℓ)	MW	Mj	Z ²	MjZ ²
Ca ⁺⁺	320.8	40.08	0.0082	4	0.0324
Mg ⁺⁺	97.2	24.32	0.004	4	0.016
Na ⁺	2206.8	22.99	0.0967	1	0.0967
HCO ₃ ⁻	204	61.02	0.0034	1	0.0034
Cl ⁻	2269.6	35.46	0.0645	1	0.0645
SO ₄ ⁻	2441.6	96.07	0.0256	4	0.1024
					Total = 0.3154

따라서 Ib는 Ib = 1/2(0.3154) = 0.1577, Ib가 0.1577이므로 그림 4에서 Ksp는 Ksp = 4.3 * 10⁻⁴

따라서 (0.8)*(4.3*10⁻⁴) = 3.4 * 10⁻⁴ IPb < 0.8

(Ksp)이므로 CaSO₄의 침전은 형성되지 않는다.

2. 2. Membrane System 설계

2. 2. 1. 고압 펌프

역삼투막법에서는 기계적인 압력을 가해야 하는 특징 때문에 고압펌프가 사용되고 에너지의 대부분은 이 고압펌프의 동력에 사용된다. 이들 펌프는 고양정, 고유량이 요구되어 개발면에서는 막과 비교하면 상당히 늦지만 역삼투막법의 발전과 더불어 급속히 진전되고 있다. 또한 고압펌프의 재질이 부식되면 그에 따른 부식물이 모듈을 오염시켜 막성능저하의 원인이 되기 때문에 재질의 선택은 매우 중요하다. 이런 고압펌프를 선정하는데는 다음과 같은 점에 유의해야 한다.

- i) 역삼투막모듈의 운전조건(유량, 회수율, 압력)에 일치할 것
- ii) 높은 효율을 가질 것
- iii) 백동이 적고 막에 영향이 없을 것
- iv) 기계적인 고장이 적을 것
- v) 원수에 대하여 내식성을 가질 것
- vi) 에너지 회수가 가능할 것

2. 2. 2. Membrane System

전처리 과정에서 처리된 원수는 Membrane System에서 용해성 이온이 제거된 투과수와 농축된 Brine으로 분리된다. Membrane System의 주요설비로는 원수를 가압시켜 주는 고압펌프와 Membrane Module 그리고 회수율을 조정해주기 위해 Brine Line에 설치되는 Control Valve 등이 있다. 또한 Membrane Module 주위에 막을 보호해주기 위하여 압력과 온도 Shut Down Switch 그리고 회수율 조정을 위한 유량계 등의 설비가 설치된다. 그리고 여기에 사용되는 주요장치의 재질은 고압이 작용되는 부분은 Stainless Steel을 사용하고, 저압 부분은 PVC와 같은 비철 금속을 사용하여 부식에 의한 막의 오염을 방지해 주어야 된다.

Membrane System을 설계할 때 모듈을 배열하는 방법으로는 그림 6과 같이 생성수의 수질을 높이기 위한 Product Stage로 1단 배열하는 방법과 그림 7과 같이 처리수의 회수율을 높이기 위하여 1단에서 농축된 Brine을 다음단의 공급수로 사용하는 Brine Stage 방법이 많이 사용된다.

일반적으로 해수를 담수화하는 경우는 1단으로 모듈을 배열하여 40% 전후의 회수율을 얻으며 해수보

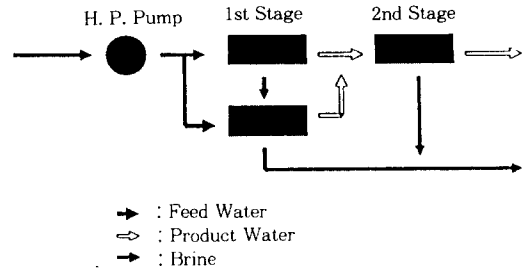


그림 6. Membrane Arrangement Design.

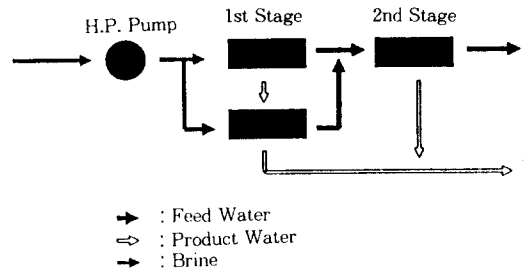


그림 7. Membrane Arrangement Design Brine Stage.

다 염분이 낮은 Brackish Water의 경우는 2단 이상의 배열을 하여 70% 이상의 회수율을 갖도록 설계한다.

3. Computer Projection

3. 1. Design Program

Membrane System 설계는 처리하고자 하는 원수의 특성을 고려하여 Membrane Element 형태 및 수, Element Housing 및 Size, 회수율, Element 배열, 운전압력 및 투과유량을 결정한다.

이와같은 Process Design을 위하여 대부분의 Membrane Maker에서 고유의 Computer program을 개발, 설계에 사용하도록 하고 있다. 이 Program을 운전하기 위해서는 초기 입력 Data를 결정, 입력하여야 하며 그 내용은 다음과 같다.

- Raw water 수질 분석 Data(ppm, mg/ℓ as ion)
- System 총용량 (gpd, M3/D)
- 설계온도 (평균온도와 Max Design 온도)
- Membrane element의 크기 및 형태 (Spiral Wound, Hollow Fiber, 2", 4", 8")
- Element housing(2-, 3- or 6 element/housing)
- Fouling factor(1-0.8)

- Recovery Rate(1-100%)
- 운전압력(psi, kg/cm²)

입력된 Data에 의해 Computer program의 Output는 Product 및 Rejection water의 수질, 공급 및 Rejection 압력, Flowrate, 전처리 요구 여부 등에 관한 정보를 제공한다. 입력 Data를 변화시켜 가장 적절한 배열을 선택, Process Design을 최적화한다.

3. 2. Case Study

Scale Control의 Case Study경우와 같은 수질조건으로 Computer Projection 결과는 다음과 같다.

PREPARED FOR : CASE STUDY
ANALYSIS BY : K. H. LEE
DATE : 93-06-30

FEED : 557.33 M3/H, 1976 MG/L, 20 DEG C
RECOVERY : 74.9 PERCENT

ARRAY :	1	2
NO.OF PV :	64	32
NO.EL/PV :	6	6
EL.TOTAL :	384	192
ELEMENT :	BW8040	BW8040

FOULING FACTOR: 0.85

PRESSURE(BAR)	FEED	REJECT	AVERAGE
OSMOTIC PRESSURE(BAR)	15.4	12.5	13.9
NDP(MEAN) = 11.4BAR	1.2	4.5	2.5

ARRAY	EL.NO	RECOVERY	PERMEATE	FEED		
			M3/D	MG/L	M3/H	MG/L PRESS(BAR)
1	1	0.101	21.15	42	8.7	1976 15
	2	0.109	20.46	50	7.8	2193 15
	3	0.118	19.80	58	7.0	2455 15
	4	0.129	19.10	68	6.1	2777 14
	5	0.141	18.16	81	5.4	3180 14
	6	0.155	17.08	101	4.6	3690 14
2	1	0.085	15.90	113	7.8	4347 14
	2	0.088	14.98	129	7.1	4742 13
	3	0.090	14.06	148	6.5	5186 13
	4	0.093	13.13	171	5.9	5686 13
	5	0.095	12.17	199	5.4	6250 13
	6	0.096	11.19	234	4.8	6884 13

ARRAY :	TOTAL	1	2
REJECT M3/H :		248.7	140.1
REJECT MG/L :		4347	7592
PERM M3/D :	10013	7408	2606
PERM MG/L :	90	65	161
PERMEATE, MG/L AS ION			
NH4	0.0	0.0	0.0
K	0.0	0.0	0.0
NA	27.8	20.0	49.9
MG	0.7	0.5	1.3
CA	2.4	1.8	4.2
HCO ₃	9.4	6.7	16.9
NO ₃	0.0	0.0	0.0
CL	31.0	22.3	56.0
F	0.0	0.0	0.0
SOR	17.4	12.8	30.4
SIO ₂	1.3	1.0	2.0
FEED/REJECT, MG/L AS ION			
NH ₄	0.0	0.0	0.0
K	0.0	0.0	0.0
NA	552.2	1213.0	2114.4
MG	24.3	53.8	94.5
CA	80.2	177.5	311.8
HCO ₃	171.6	376.3	654.8
NO ₃	0.0	0.0	0.0
CL	567.4	1244.1	2165.0
F	0.0	0.0	0.0
SO ₄	537.4	1188.7	2086.5
SIO ₂	42.4	93.8	164.9

TO BALANCE 0.5 MG/L SODIUM AND 0.0 MG/L CHLORIDE ADDED TO FEE.

FEED WATER IS SURFACE WATER (BW) SDI 3-5

	FEED	ACIDIFIED FEED	REJECT
HCO ₃ - (MG/L)	244.2	171.6	654.8
CO ₂ - (MG/L)	10.0	62.4	62.4
SO ₄ - (MG/L)	480.3	537.4	2086.5
CA- (MG/L)	80.2	80.2	311.8
TDS- (MG/L)	1991.0	1975.6	7592.0
PH	7.60	6.65	7.23
LSI	0.14	-0.96	0.77
IONIC STRENGTH(MOLAL)	0.038	0.039	0.149
IP CASO4(SQ·MOLAR)	0.10E-04	0.11E-04	0.17E-03

IP CASO₄ AT SATURATION(SQ·MOLAR) = 0.33E-03
SULFURIC ACID DOSING (MG/L, 100% = 58.3
TEMPERATURE(DEGREE C) = 20.0
RECOVERY(PERCENT) = 74.9

TO BALANCE 0.5 MG/L SODIUM AND 0.0 MG/L
CHLORIDE ADDED TO FEED.
ESTIMATED PERMEATE PH IS 5.4
SULFURIC ACID CONSUMPTION
(100% CONCENTRATION) = 778.9 KG/DAY