

# 역삼투막을 이용한 수처리 기술

유 제 강 · 이 규 현

## 1. 서 론

산업의 발전 및 인구 증가에 따라 발생하는 물에 관한 사회적 문제점은 수자원의 부족과 오염문제이다. 수자원 부족 현상은 필요한 물량을 어떻게 확보 할 수 있는가 하는 것과 양질의 물을 어떻게 얻을 수 있는가 하는 점이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 저수지나 댐의 건설 등 사회 기간산업에 대한 투자와 기술이 필요하며 전자공업, 의료 식품공업 등에서 요구 되는 고품위수질 요구에 대한 해결방안은 고도의 수처리 기술이다. 또한 수자원의 오염 문제는 산업의 팽창과 국민 의식 수준의 향상에 따라 필연적으로 대두되는 것으로 이를 해결하기 위해서는 새로운 수처리 기술의 개발이 요구된다. 이 두가지 문제점은 서로 연관되어 있어 이를 해결하기 위한 연구 개발이 진행되고 있다.

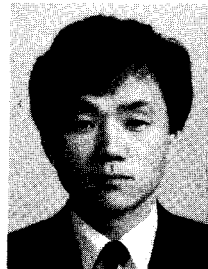
고분자막에 의한 물질의 분리는 약 20년전 S. Leob에 의한 비대칭분리막이 개발되면서 급속하게 발전되었으며, 상변화가 없고, 에너지소모가 작은 장점 때문에 Desalination을 비롯한 공업용수처리, 폐수 재활용 등의 수처리분야에서 상업화된 이후 막재질의 개발에 의해 식품공업의 분리농축, 화학공업의 분리, 정제, 산소부화 등의 기체분리, 인공신장에 의한 혈액투석에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다.

역삼투막은 해수의 담수화를 목적으로 개발되었지만 에너지절약 및 새로운 막재질의 개발과 분리공정의 개발로 희박한 유기용질의 농축에까지 응용되고 있다. 한외여과막은 고분자량의 용질의 분리에 이용되고 있으나, 한외여과공정의 중요한 문제점은 투과유속이 압력에 비례하지 않고 일정하여 한계유속이 존재하는 점이다. 이는 막 표면에 Gel층의 형성, 용질의 삼투압, 막의 눈막힘 및 막표면에 흡착 등이 일어난다. 이 한계유속을 증가시키기 위하여 고속으로 순환시키므로 에너지의 소비가 증가된다. 이를 해결하기 위해서는 막재질이나 모듈의 선정, 적절한 운전관리

및 세정, 막의 표면처리 등 새로운 기술개발이 요구된다. 이 이외에도 가스분리, 투석등도 상업화가 진행되고 있지만 아직은 초기단계에 머무르고 있는 실정이므로 여기에서는 막을 이용한 수처리 공정설계와 실제 운전하고 있는 플랜트를 분석, 그 경제성에 관해 검토하고자 한다.

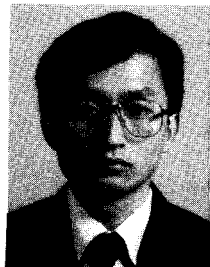
## 2. 막을 이용한 수처리공정 설계

수처리에 막을 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.



이규현

1980 한양대학교 공업화학과 (공학석사)  
1983 한양대학교 공업화학과 (공학박사)  
1984~1989 현대중공업(주) 종합연구소 책임연구원  
1989~현재 선경건설(주) 연구소 부장



유제강

1983 한양대학교 화학공학과(공학사)  
1985 한양대학교 화학공학과 (공학석사)  
1985~1990 현대중공업(주) 종합연구소 연구원  
1990~현재 선경건설(주) 연구소 과장

### Water Treatment Technology of Reverse Osmosis Membrane

선경건설(주)(Je Kang Yoo and Kyu Hyun Lee, Sunkyong Engineering and Construction limited, R & D Technology Center, 192-18 Kwanhun-Dong, ChongRo-ku, Seoul, Korea)

원수의 특성에 따라 막재질의 선정, 주변설비, 공정설계 등이 결정된다. 원수의 특성중 공정에 영향을 미치는 요인을 파악하여 설계시 이를 반영하여야 한다. 막분리에 영향을 미치는 요인은 원수에 함유되어 있는 물질중 막표면에 침전되어 Fouling을 일으키는 Dissolved 및 Suspended Colloidal성 물질과 Biofouling을 일으키는 Microorganisms, 막내에서 농도변화에 의해 생성되는  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  등의 Scale형성물질들이다. 다음은 공정설계시 고려하여야 할 원수의 특성을 정리하였다.

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,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$

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 method 등을 고려하여 설계하여야 한다. 처리공정의 개요를 그림 1에 나타내었다.

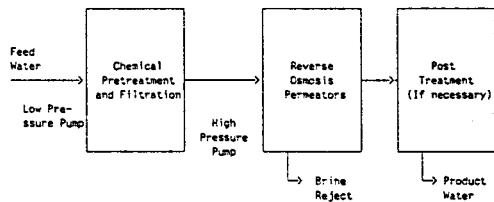


그림 1. Basic layout of reverse osmosis water treatment system.

2.1 전처리 공정설계

2.1.1 전처리 공정

전처리 공정은 막의 투과유속, 분리성능 및 수명을 좌우하는 중요한 처리공정으로 원수에 함유되어 있는 막 오염요인을 제거하는 공정이다. 막처리 공정은 시간이 경과함에 따라 막성능이 점차적으로 저하되는데 그 원인은 막 자체의 노화와 Fouling에 의한 것으로 표 1에 투과유속과 배제율의 변화를 정리하였다.

Scaling은 용액 중에 녹아있는 이온들이 농축에 의해 용해도 한계치를 초과 했을 때 염을 형성하여 막 표면에 석출되는 현상으로 Scale Inhibitor의 첨가와 같은 화학적 처리로 용해도 한계치를 조절하거나 전화를 조정으로 Scale 형성을 억제해 주어야 한다.

콜로이드 물질은 0.5~1 $\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 입자로 각 입자마다 음전하를 띠고 있어 서로 응집하지 않고 안정된 상태로 용액중에 부유하며 존재하지만 모돌내에 유입되어 농축된 이온들과 접촉하게 되면 각 입자의 전하층에 영향을 주어 서로 응집이 일어나 막에 Fouling을 일으키게 된다.

표 1. 막의 노화, Fouling에 의한 막 성능의 변화

구분	종 류	원 인	투과유속	배제율	문제되는 막
노화	화학적 노화	가수분해	↑	↓	Cellulose계 막
		산 화	↑	↓	합성 고분자 막
	물리적 노화	압 밀 화	↓	↑	역삼투 막
		긴 조	↓	↑	역삼투, 한외여과
생물적 노화	황 화	↑	↓	Cellulose계 막	
Fouling	부 작 물	Cake층	↓	↓	역삼투, 한외여과, 정밀여과막
		Gel층	↓	↑	역삼투, 한외여과, 정밀여과막
		Scal층	↓	↓	역삼투 막
		흡착층	↓	?	한외여과 막
	눈 막 힘	입 체 적	↓	↑	한외여과 막
		흡 착	↓	↑	한외여과 막
	석 출	↓	↑	한외여과 막	

따라서 콜로이드 농도가 높은 용액은 전처리과정에서 무기응집제(Alum, Ferric Compound)나 Polyelectrolyte 등의 응집제를 주입하여 입자를 일정크기 이상 응집시킨 다음 Clarifier나 Media Filter 등을 통과시켜 응집입자를 제거해 주어야 한다.

콜로이드의 농도를 측정하는 방법으로는 탁도와 Silt Density Index (SDI) 값을 측정하는 방법이 있는데 SDI 값이 막에 오염을 예측하는 지수로 보편화되어 있다. RO System에 유입되는 공급수의 SDI 값에 대한 요구치는 사용되는 모듈의 형태에 따라 서로 다른데 보통 Spiral

Wound Type 모듈의 경우 SDI는 5이하가 되어야 하며 Hollow Fine Fiber Type 모듈은 3이하의 SDI 값을 갖도록 전처리설비를 설계하여야 한다.

다음으로 미생물 물질에 의하여 막에 오염이 생길 경우 Bundle ΔP의 증가로 인하여 염배제율이 나빠지며 투과수량이 적어지는 막 성능 저하현상이 나타나기 때문에 염소 가스나 NaOCl 등의 약품을 주입하여 원수중에 함유된 미생물등을 제거해 주어야 한다. 이때 RO System에 사용된 막이 폴리아미드와 같이 염소와 반응하여 성능이 급격히 저하되는 재질로 되어있을 경우에는 염소로 처리된 원수가 막에 유입되기 전에 Activated Carbon Filter를 통과시키거나 Sodiumbisulfite(NaHSO<sub>3</sub>) 등의 약품을 주입하여 염소를 제거해주는 Dechlorination 과정이 병행되어야 한다.

위에서 언급된 전처리과정을 위한 설비는 막의 형태 및 원수의 특성에 따라 다르지만 주로 Chemical Dosing System, Clarifier, Media Filter, Micro Filter 등으로 구성된다.

표 2에 각 전처리 방법을 정리하였다.

표 2. 각종 전처리 공정

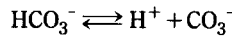
전처리 방법		처리 대상	처리 기술
침가조정법	화학약제 첨가에 의한 방법	미생물 용해성 유기물 용해성 무기물 Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mn(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	살균제(C <sub>12</sub> , NaClO, 염소) 산화제(C <sub>12</sub> , NaClO, O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , KMnO <sub>4</sub> )
	용해도조정 화학반응	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub> 난용해성 염 CaSO <sub>4</sub> , MgSO <sub>4</sub>	산(HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 알칼리 [Ca(OH) <sub>2</sub> , NaOH, 소석회] Inhibitor
사전 제거법	원인물질 사전제거	SS(탁도, 유기물, 조류, 화학반응에 의한 금속염, 수산화물 침전)	응집침전 [Ca(OH) <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , PAC <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , 고분자 응집제]
		용해성 유기물 Colloid물질 용해성 무기물 H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mn(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 미생물	모래여과 활성탄 여과 흡착 정밀 여과 (1~25μm) 규조토 여과 응집 여과(PAC 등) 이온 교환 흡착제 망간 제올라이트 필터 탈기(O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , 진공, 폭기)

### 2.1.2 Scale Control

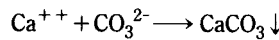
Membrane의 Fouling 현상을 초래하는 Scale은 유입수 중에 용해 되어있는 Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ba<sup>++</sup>, Sr<sup>++</sup> 등의 양이온과 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등의 음이온이 결합되어 Hard 및

Soft 한 침전물을 형성 막표면에 부착되면서 형성된다. Soft Scale인 CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>는 Membrane의 역세척이나 Chemical cleaning으로 제거 가능 하지만 Hard Scale인 CaSO<sub>4</sub>, BaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub> 등은 일단 Scale이 형성되면 제거가 곤란하므로 Membrane에 유입되기 전에 그 Solubility를 고려하여 전처리를 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.

#### 2.1.2.1 Calcium Carbonate(CaCO<sub>3</sub>)

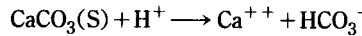


$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (1)$$



$$K_{sp} = [\text{Ca}^{++}][\text{CO}_3^{2-}] \quad (2)$$

용해도 평형상태에서는



평형상수 Keq는

$$\text{Keq} = \frac{[\text{Ca}^{++}][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} = \frac{K_{sp}}{K_2} \quad (3)$$

(3) 식을 재정리 하면

$$\text{pHs} = \log K_{sp}/K_2 - \log[\text{Ca}^{++}] - \log[\text{HCO}_3^-] \text{이며}$$

pH 8.5일때 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 Methyl orange alkalinity와 동일하며 평형상수 Ksp와 K<sub>2</sub>는 온도와 Ionic strength에 의존하므로 농축수축의 LSI는

$$\text{LSI} = \text{pHb} - \text{pHs}$$

$$\text{pHs} = \text{pCa} + \text{pHCO}_3 + C \text{가 된다.}$$

여기에서 pCa는 Ca농도의 (-)log이며, pAlk는 알칼리 농도의 (-)log 값이다. pHb는 농축수축의 pH이며, C는 최대 온도에서의 TDS와 관계되는 상수이다. 이는 그림 2의 Langelier Saturation Index에서 계산이 가능하다.

$$\text{pHb} = 6.30 + \log \text{Rb} \text{이며}$$

$$\text{Rb} = \text{HCO}_3(\text{as mg/l CaCO}_3) / \text{CO}_2(\text{as mg/l CO}_2)$$

그림 3에 Rb와 pH와의 관계를 나타내었다.

LSI가 (-)이면 CaCO<sub>3</sub>는 용해상태로 존재하며 LSI가 (+)이면 침전하여 Scale을 형성하게 된다. Sea water의 경우도 이와 유사하다.

$$\text{S \& DSI} = \text{pHb} - \text{pHs}$$

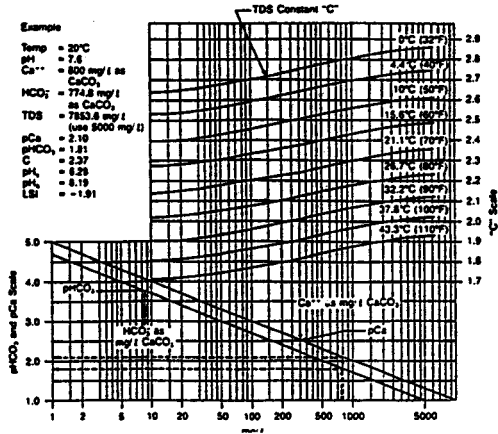


그림 2. Langelier saturation index.

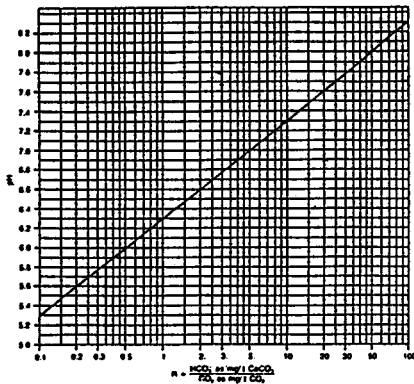


그림 3. Rb와 pH의 관계.

S & DSI가 (-)이면 CaCO<sub>3</sub>는 용해 상태이며 S & DSI가 (+)이면 CaCO<sub>3</sub>는 침전상태가 된다. S & DSI를 계산하기 위해서는 농축수의 이온강도를 계산하여야 한다.

이온강도(I)는

$$I = 1/2 \sum m_j Z_j^2$$

m<sub>j</sub>는 이온의 molal 농도, Z<sub>j</sub>는 이온들의 Ionic charge이다.

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

C<sub>j</sub>는 이온의 농도(이온ppm), M<sub>wj</sub>는 이온의 분자량, TDS는 용액의 총용해도이다.

### 2.1.2.2 Calcium sulfate(CaSO<sub>4</sub>), Barium Sulfate (BaSO<sub>4</sub>)

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 CaSO<sub>4</sub>의 이온강도와 Ksp값은 그림 4에 나타내었다.

### 2.2 Membrane System

전처리과정에서 처리된 원수는 Membrane System에서 염분이 제거된 투과수와 농축된 Brine으로 분리되는데 한 개의 모듈을 사용했을 경우에 대한 RO System의 공정 흐름도는 그림 5와 같다. RO System의 주요설비로는 원수를 가압시켜 주는 고압펌프와 막 모듈, 그리고 전화율을 조정해 주기 위해 Brine Line에 설치되는 Control Valve 등이 있다.

또한 막 모듈주위에 막을 보호해 주기 위하여 압력과 온

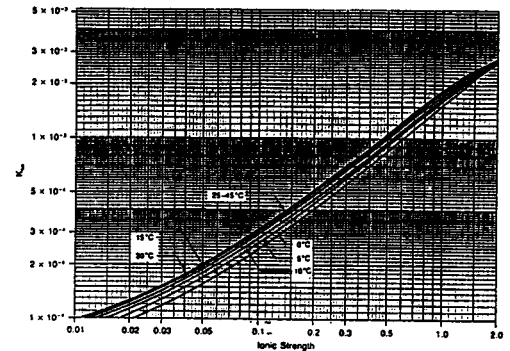


그림 4. Ksp와 이온강도의 관계

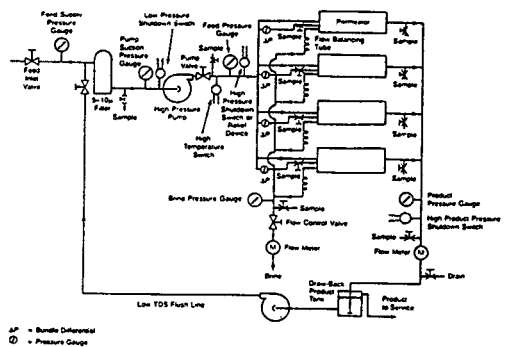


그림 5. Flow diagram of one permeator desalination process.

도 Shut Down Switch 그리고 전화를 조정을 위한 유량계 등의 설비가 설치된다. 그리고 여기에 사용되는 주요장치의 재질은 고압이 작용되는 부분은 Stainless Steel을 사용하고, 저압 부분은 PVC와 같은 비철 재질을 사용하여 부식에 의한 막의 오염을 방지해 주어야 된다.

한편, RO System을 설계할 때 모듈을 배열하는 방법으로는 필요한 투과수량을 얻는데 요구되는 모듈을 병렬로 1단 배열하는 방법과 회수율을 높이기 위하여 1단에서 농축된 Brine을 다음단의 공급수로 사용하는 Brine Staging 방법이 많이 사용된다.

일반적으로 해수를 담수화하는 경우는 1단으로 모듈을 배열하여 30% 전후의 전환율을 얻으며 해수보다 염분이 낮은 Brackish Water의 경우는 2단 이상의 배열을 하여 70% 이상의 전환율을 갖도록 설계한다.

### 2.3 후처리 설비

역삼투막의 투과수는 음료수의 수질기준을 만족하게 되고 pH만이 5.0으로 약간 낮은 상태이다. 이것은  $H_2CO_3$ 가 투과 수중에 남기 때문이다. 또한  $Ca^{2+}$ 와  $Mg^{2+}$  이온은 막에서 완전히 제거되기 때문에 투과수의 경도는 극히 낮게 되어 투과수를 음료수로서 그대로 공급하면 배관의 부식 발생의 원인이 된다. 따라서 투과수를 음료수로 사용하기 위해서는 1) 염소소독 2) pH조정 3) 경도 조정 등의 후처리가 필요하다. 2)와 3)을 동시에 처리하는 방법으로는 소석회( $Ca(OH)_2$ )의 주입이 있고 조개껍질 또는 여러종류의 암석으로 된 층을 통과시키면 pH와 경도의 조정이 가능하다. pH 조정의 다른 방법으로는 공기 폭기에 의해서 탈탄산화시키면 된다.

## 3. 상업용 수처리 플랜트 및 경제성 검토

### 3.1 Malta의 해수담수화 플랜트

Malta섬은 지중해의 관문으로 무역과 관광의 중심지인

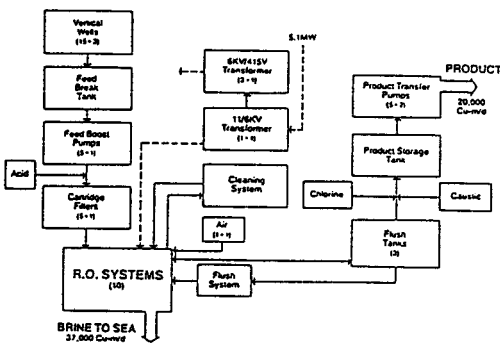


그림 6. The process diagram of Ghar-Lapsi plants.

표 3. Cost Summary of Malta R/O Plant

	Char-Lapsi Plant	Marsa Plant
Contract awarded to polymetrics, Inc.	March, 1982	March, 1982
Groundbreaking	May, 1982	May, 1982
Fully operational	February, 1983	July, 1983
Capacity	20,000 m <sup>3</sup> /day (5,300,000 U.S. GPD)	4,500 m <sup>3</sup> /day (1,200,000 U.S. GPD)
Total dissolved solids (TDS) of feedwater	38,900 mg/L(ppm)	13,000 mg/L(ppm)
Temperature of feedwater	17 to 23°C	21°C
Product water quality	<500 mg/L	<500 mg/L
Operating pressure	6,900kPa (1,000 psig)	6,900kPa (1,000 psig)
Conversion	35%	80%
Capital costs	\$ 875/m <sup>3</sup> /d (\$ 3.31/GPD)	\$ 622/m <sup>3</sup> /d (\$ 2.33/GPD)
Current production costs	\$ 1.08/m <sup>3</sup> (\$ 4.07/K gallons)	\$ 0.77/m <sup>3</sup> (\$ 2.87/K gallons)

246 km<sup>2</sup>면적에 350,000명이 거주하는 섬국가이다. 이섬의 부족한 생활용수를 확보하기 위해 정부는 1982년 담수화 기술을 검토한 결과, 투자비, 운전비용이 저렴하고, 건설 기간이 짧은 역삼투막 담수화 플랜트를 건설하기로 결정. Ghar Lapsi 지역에 20,000 m<sup>3</sup>/D 규모의 해수담수화 플랜트를, Marsa 지역에 4,500m<sup>3</sup>/D 규모의 Brackish water plant를 건설하기로 결정, 11개월의 공사기간을 통해 플랜트를 완공, 1983년 1월부터 운전에 들어갔다. Ghar Lapsi 플랜트는 18개의 해수 intake well로 부터 38,900 ppm의 해수를 퍼올려 500 ppm의 20,000 m<sup>3</sup>/D의 담수를 제조하는 플랜트로 그 개요는 그림 6과 같다. 이 플랜트는 Du-pont의 PERMASEP B-10를 사용 1,000 psig, 35% Recovery로 설계하였으며 공급해수의 온도는 17~23°C이다.

Marsa 플랜트도 PEPMASEP B-10, Hollow fiber형 막을 이용, 13,000 ppm의 High Brackish water를 1,000 pisp, 80% Recovery, 21°C로 설계하여 500 ppm의 담수를 만들 수 있도록 설계하였다.

이 플랜트의 경제성을 검토한 결과는 표 3과 같다.

해수의 경우 건설비는 생산수톤당 약 875 \$ 이고, Water Cost는 생산수톤당 1.08 \$이며 Brackish water의 경우는 각각 622 \$, 0.77 \$ 정도이다.

### 3.2 정수처리

정수처리는 응집, 침전, 여과, 살균을 기본으로한 공정이 표준이지만 수원지의 오염으로 인해 고도정수처리 방법이 요구되며 또한 처리면적이 적고 설비복잡함 및 인력부족에 따른 유지관리가 용이하면서 안정된 수질을 얻을 수 있는 처리공정이 요구되고 있다. 정수처리에 이용되는 분리막 기술은 RO, 저압용 RO, UF 및 MF 등으로 발암물질인 THM은 MF와 UF로 제거가능하며 무기염류(TDS)

의 제거는 RO가 사용되고 있다.

현재까지 제안된 분리막을 이용한 고도 정수처리 공정은 다음과 같다.

- 1) 원수 — 분말활성탄 — 응집 — 분리막 — 살균
- 2) 원수 — 오존 — 생물활성탄 — 분리막 — 살균
- 3) 원수 — 생물학 — 분리막 — 살균

이 처리공정들은 기존의 정수처리공정에서 문제시되고 있는 응집제(PAC) 사용에 의한 알루미늄의 유해성, 용해성유기물인 아민류, 염소소독에 의한 유기할로겐 유도체와 계면활성제 및 무기이온등을 제거하기 위한 공정들로 1, 2의 공정은 이미 실용화되어 사용되고 있다.

입상활성탄과 분리막을 사용한 공정의 경우, 분자량 1,000정도의 저분자 물질까지 처리가 가능하며 오존산화와 분리막 또는 오존산화, 생물활성탄 및 분리막의 공정은 오존에 의해 현탁물질을 저분자화하여 생물처리후 Pore size 0.1 $\mu$ ~0.2 $\mu$ m의 UF로 처리하는 것으로, 용해성 철, 망간 등이 오존에 의해 불용성 염으로 제거되고 유기물질과 냄새를 유발하는 물질이 산화분해되며 생물활성탄에서 유출되는 것을 분리막에서 제거함으로써 생물분해 효과가 향상되어 고도의 수질을 안정적으로 얻을 수 있다.

### 3.3 폐수처리

#### 3.3.1 Bioreactor 분리막 공정에 의한 고도처리

메탄 발효처리법은 황성오니법에 비해 에너지 절약형이며 잉여 오니 발생량이 적은 장점이 있어, 이를 하수처리에 적용하기 위해 메탄발효조와 분리막을 복합운전하여 메탄 발효조과 미분해유기물을 분리, 발효조에 반송함으로써 반응조 내의 농도를 고농도로 유지하기 위하여 분리막을 적용하고 있다.

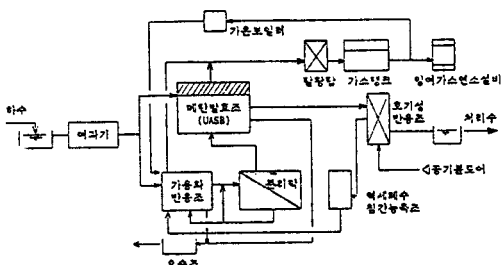


그림 7. Bioreactor 분리막 처리공정.

이 처리공정의 공정흐름도는 그림 7과 같으며 처리효율은 표 4와 같다.

이 처리공정은 일반 하수처리장에서 볼 수 있는 2시간 정도의 유량변동을 흡수하여 처리수질의 영향은 없으며 분리막과 복합한 가용화 메탄발효조에 호기성반응조의 역세폐수농축조까지 반송하지 않는 경우 VSS는 76.8~84.8%까지 분해되며, 반송할 경우는 52~70%까지 분해되는 것은 분리막을 사용한 효과이며 분리막 모듈은 SS 농도가 20,000~25,000 mg/l까지의 고농도에서도 투과수에 의한 역세척 및 가스를 사용한 세정에 의해 막의 성능을 유지할 수 있다.

#### 3.3.2 A-정유사 폐수재활용 플랜트

A-정유사는 부족한 공업용수를 확보하기 위한 방안의 하나로 종합폐수처리장에서 처리 후 방류되는 28,000 m<sup>3</sup>/D 폐수를 재활용, 10,000 m<sup>3</sup>/D의 공업용수를 확보하기 위해 역삼투막 플랜트 건설을 추진하고 있다.

플랜트 건설에 앞서 폐수의 재활용에 관련되는 설계인자를 도출하기 위해 50 m<sup>3</sup>/D 규모의 파이롯트 플랜트를 제작 약 3개월에 걸친 운전을 실시하였다.

본 시스템의 구성은 폐수의 방류수를 저장탱크로 이송한

표 4. 가용화 메탄 발효조의 처리효율

반응 온도 (C)	가용화 메탄 발효조의 VSS 부화량 (kg/일)		HRT (일)	SRT (일)	가용화율 (VSS기준) (%)	분해VSS의 메탄발생량 (1/kg)
	전처리 농축수 (A)	역세폐수 농축수 (B)				
25	11.70	0	3.7	44.5	84.8	395
25	7.76	1.11	4.2	33.7	70.8	412
25	8.14	3.55	4.2	29.1	52.1	395
25	14.10	7.04	3.5	27.0	59.0	107
25	10.84	6.85	3.7	25.4	70.1	218

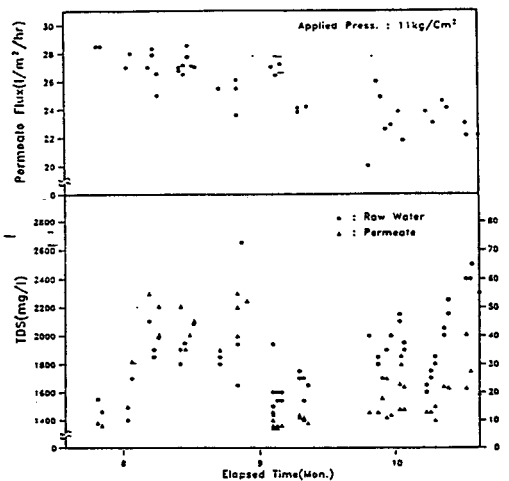


그림 8. Pilot plant 운전결과.

후 화학물질과 응집제를 주입한 후 모래여과탑과 활성탄 흡착탑을 거친 후 고압펌프에서 송압된 물이 막에 공급된다.

폐수와 처리수 수질은 표 5와 같으며 운전결과는 그림 8에 나타내었다.

### 3.3.3 매립지 침출수처리

매립지의 침출수처리는 중금속과 독성 유기물질을 고농도로 함유하고 있어 일반 폐수처리공정으로 처리하는데는 처리효율과 비용면에서 대단히 어려운 처리공정이다.

독일의 Schonberg 매립지에서는 침출수 처리공정에 RO 분리막을 이용하여 성공적으로 운전하고 있다. 이 공정에 사용되는 RO모듈은 평판형모듈로 Sprial wound나 Hollow fiber형 모듈에 비해 단위면적당 처리유량은 적지만 막표면의 fouling 형성을 억제할 수 있어, 침출수와 같은 고농도의 폐수처리에는 적합한 막 모듈이다.

Schonberg 매립지는 총 면적 150 ha으로 1979년부터 매립이 시작되었으며 연간 침출수량은 약 180,000 m<sup>3</sup>이다.

침출수는 매립지에서 침출수 저장조로 모여 혼합된 후 5 um의 카트리지 필터를 통과한 뒤 고압펌프에 의해 60 kg/cm<sup>2</sup>으로 송압된 후 분리막 모듈에 공급된다. 1단의 막모듈에서 처리된 처리수는 방류되고 농축수는 다시 120 kg/cm<sup>2</sup>으로 송압되어 2단처리 모듈에서 재처리된다.

1단에서의 회수율은 60%이며 2단에서 30%이상 회수되어 총 회수율은 90% 이상이며 농축수는 콘크리트와 혼합하여 매립지에 재 매립된다. 처리수의 수질은 표 6과 같다.

이 처리공정의 처리비용은 감가상각비를 3년으로 하여 처리수는 26,78 DM/m<sup>3</sup>이며 침출수를 기준으로하면 22,06 DM/m<sup>3</sup>이다. 이외에도 많은 폐수처리공정에 분리막이 응용되고 있는데 각 폐수처리공정에서의 처리공정의 경제성을 기존공정과 비교하면 표 7과 같다.

표 5. 폐수방류수 및 처리수 조절

항목	채취점	원폐수 (Effluent)	Filtered water	RO permeate	RO brine
온도(°C)		30	32	35	35
SS(mg/l)		16	3<	trace	4<
COD(mg/l)		20	5	1<	6
BOD(mg/l)		9	1<	trace	1<
n-hexane(mg/l)		2.1	trace	trace	trace
TDS(mg/l)		1800	1800	20	2200

표 6. Schonberg의 분리막 처리수질(단위 : mg/l)

항목	전 기 전도도	COD	BOD	NH <sub>4</sub> <sup>-1</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Zn	Pb
원 수	20450	5019	127.5	513	4681	3765	185	155	35
처리수	180	<15	1	4.4	40	5.6	1	30	10
제거율	99.1	99.6	99.2	99.1	99.1	99.8	99.5	80.6	71.4

## 4. 이후의 전망

분리막의 고도수처리에 적용은 이미 여러분야에서 실시되고 있으나 분리막이 가지고 있는 단점때문에 그 활용범위가 제한되는 경우도 있다. 분리막은 고분자 재료를 소재로 하기 때문에 내열성이 약하여 Max 50°C이하에서만 사용이 가능하며 수처리에 사용되는 화학약품에 대한 내구성도 고려하여야 할 점이다.

또한, 분리막은 막자체가 가지고 있는 분리특성 및 pore size 때문에 필히 전처리공정이 필요하며 농축액에서의 스케일형성을 방지하기 위한 대책과 막의 세정방법 등이 이후의 개발과제가 된다. 또한 최근의 처리공정은 생물처리와 복합하여 침전지 대신에 분리막을 응용하는 경우가 증가됨

표 7. 분리막과 기존공정의 경제성 비교

폐 수	하 수		전분 폐수		제 지 폐수		유 지 폐수	
	기존공정	분리막공정	기존공정	분리막공정	기존공정	분리막공정	기존공정	분리막공정
처리용량(m <sup>3</sup> /D)	50,000		500		160,000		5,000	
원수수질 (mg/l)	BOD	200	12,000		200		840	
	SS	250	3,500		150		500	
처리수질 (mg/l)	BOD	<10	<50		<20		<20	
	SS	<10	<50		<30		<20	
투자비(억엔)	191.8	159.4	8.9	7.5	107.3	97.4	3.9	3.9
처리비용(엔/m <sup>3</sup> )	137.5	101.2	1,073	941	41.7	35.5	442.1	436.9
소요면적(m <sup>2</sup> )	30,600	27,460	2,100	1,200	42,000	35,000	1,650	1,350
메탄발생량 (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0.04	0.07	5.07	5.21	0	0.034	0	0.38
오니발생량 (kg-DS/D)	6,400	3,220	1,128	890	16,000	10,785	128	98

으로 고농도의 SS에 의한 분리막의 눈막힘현상 방지를 위한 처리설비의 개발도 요구되고 있다. 그러나, 현재까지의 사용상의 문제점에도 불구하고 고효율과 에너지절감 및 설비가 Compact하다는 장점이 있어, 이후의 고도 수처리에는 분리막의 응용은 더욱더 확대될 것으로 전망된다.

## 참 고 문 헌

1. Dupont Co., "Technical Information manual", 1992.
2. W. S. Winston Ho., Membrane Handbook, 1991.
3. 이 규현, Membrane J., Vol 1, No 1, p 78, 1991.
4. 桐山 光市, 造水技術, Vol 17, No 4, p 22, 1992.
5. W. Wilf, Hydranautic Technical Paper "Application of Technology for water Reclamation in Southern California".
6. Joseph, A Nolet, Rochem Technical Paper "The Application of Advanced RO Technology in the Treatment of Leachate at Landfill".