

역삼투법에 의한 해수의 담수화에 관한 연구 Desalination of Seawater by Reverse Osmosis

이 선 주*

Lee, Sun Ju*

한국수자원공사 수자원연구원

(2003년 11월 20일 접수; 2004년 2월 16일 최종수정논문 채택)

Abstract

Many countries, including Korea, suffer from a shortage of freshwater. With increases in population and the quality of life, along with large-scale expansion in industrial and agricultural activities, more freshwater is needed. Available resources, including ground water, are limited, and desalination presents the opportunity for a new unlimited source of freshwater from the sea.

The objectives of this study were to test membrane performance in seawater desalination and to examine the quality of water produced. Beach well and sea water were used as water sources. Typically used membrane for seawater desalination and high rejection seawater desalination membrane are maintained at almost same recovery rate and permeate flux, while the conductivity was lower in the operation of typically used seawater membrane. The treated water quality using two types of membranes is satisfied with the Korea drinking water quality standards.

Key words: Seawater Desalination, Reverse Osmosis, Fresh Water, Membrane

주제어: 해수담수화, 역삼투법, 담수, 막

1. 서론

지구상에 존재하는 물의 양은 13억 8천5백만kt($m^3 \times 1,000$) 정도로 추정되며, 이중 바닷물이 97% 정도인 13억 5천만kt이고, 나머지 3% 정도인 3천5백만kt이 민물로 존재한다. 민물중 대부분이 빙산, 빙하형태이며, 지하수와 지표수, 대기 중에 존재하는 물 등

이 있다. 이들 중 우리가 쉽게 쓸 수 있는 담수는 연간 약 9,000kt 정도로 추산되며, 또한 3,500kt 정도는 댐이나 호소 수에 저장되어 있는 것들이다(한국수자원공사, 1996).

세계 수자원의 수요는 인구의 증가와 산업이 발달함에 따라 삶의 질을 향상시키기 위해 물의 수요량은 증가되고 있으나, 공급잠재력은 수자원의 고갈 및 수질오염 확산 등으로 급감함에 따라 수자원 부족의 심

*Corresponding author Tel.: +82-42-860-0378, E-mail: sunnyzoo@kowaco.or.kr (Lee, S.J.)

화는 물론 국제 물 분쟁의 확산될 가능성이 커지고 있다. 현재 80여 개국에서 전세계 인구의 40%가 식수난과 농업·산업용수난을 겪고 있으며, 중동·북아프리카·중국·멕시코·인도·남미 등이 물 부족이 특히 심각한 형편이다. 우리나라도 유엔에서 물부족 국가로 분류되었다. 또한 개발도상국에서 발생하는 질병 중 80%가 비위생적인 식수 때문에 야기되는 등 주민건강을 크게 위협하고 있다. 세계의 인구는 현재 60억에서 2025년 83억으로 증가할 것으로 전망됨에 따라 물 수요도 기하급수적으로 증가, 21년마다 2배로 증가할 것으로 예측된다(Helmer, 1997). 그러므로 대체 수자원으로서는 해수담수화의 중요성은 더욱 증대되고 있다.

해수 담수화 플랜트에서 생산되는 담수량은 23,000 kt/일 이상으로서, 연간 투자비가 50억\$ 이상 투자되어 생산되고 있다(IDA, 1998). 해수담수화 공정의 대부분은 증발법에 의한 것이었으나, 1980년대 후반부터 역삼투법의 경제성이 증가되어 현재는 증발법의 증설이나 대체 플랜트 및 신설 플랜트는 역삼투법이 선호되고 있으며, 경제성으로 볼 때 일 생산 50만 톤을 기준으로 대규모는 증발법 그 이하의 역삼투법이 설치되고 있다(Rautenbach et al., 1997).

해수담수 설비에 의해 생산된 담수의 생산비는 현재 1\$ 미만으로 생산되고 있으며, 전력생산과 담수를 함께 생산하는 이중목적의 복합 담수화 플랜트에서의 생산비는 최저 0.2-0.3\$까지 하락 할 것으로 보고되었다. 이와 같이 해수담수에 대한 기술력이 향상됨에 따라 21세기의 물부족사태를 해결하기 위한 대처 방안으로 해수담수설비의 설치는 급성장할 것으로 기대된다(Juhn, 1997).

우리나라는 총 3,167개의 도서중 유인도가 488개이며 경남(81개) 및 전남(279개) 지역이 전체의 74%를 차지하고 있고, 전체 유인도 중 가뭄시 상습적인 식수난을 겪고 있는 도서는 237개에 이르고 있다. 이들 지역은 생활용수를 간이상수도, 우물, 운반급수등에 의존하고 있으며 이중 111개 도서는 간이 급수설비도 전무한 실정이다.

이러한 도서지역의 상습 식수부족 현상을 해소하기 위하여 환경부에서는 2005년까지 1천9백억 원을 투자하기로 하였다. 그러므로 섬지역의 수자원을 확보하기 위하여 저수지와 암반수를 개발하고, 마땅한

수자원을 확보하지 못하는 경우 해수담수화시설을 도입하여 보급대상 섬지역의 상수도 보급율을 2002년 22%에서 2005년까지 70%로 높일 계획이다. 그러나 해수담수설비의 대부분을 차지하는 역삼투법에 의한 해수담수의 기초적인 자료가 부족한 실정이다.

그러므로 본 연구는 시범지역에 일 생산량 100m³의(1단막 50m³, 2단막 50m³) 역삼투법에 의한 해수담수화 설비를 설치하고, 원수로 해수와 해안 관정수를 이용하여, 1단막과 2단막의 생산수 수질 특성과 막의 투과수량 및 전기전도도의 변화를 실험하여 해수의 담수화에 관한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

역삼투법에 의한 해수담수화의 수질 및 막의 성능 변화를 알아보기 위하여 일생산 50m³의 1단(Single stage) 역삼투설비와 일생산 50m³의 2단(Double stage) 역삼투설비를 설치하여 실험하였다. 전처리설비는 1단과 2단이 함께 처리된 원수를 사용하였다. 간단한 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.1. 취수설비

취수방식에는 직접해수를 취수하는 방식과 해안관정을 이용한 취수방식이 있다. 본 설비는 2가지 방식의 취수가 가능하여 각각 400m³의 원수의 취수가 가능하다. 해안관정의 취수설비는 지하관정 H105m×2 공이며, 수중 펌프는 지하 약 95m 지점에 설치되어 있다. 해수는 해안 약 100m 지점의 수심 10m 지점에서 지면으로 1.5m 상부에 수중펌프를 설치하여 취수하였다.

2.2. 전처리설비

전처리설비는 해수나 해안 관정수가 막에 유입되기 전에 부유물질 및 입자들을 제거 막의 성능을 장기간 안정하게 유지하기 위해 사용된다. 이러한 목적으로 미생물의 살균제와 응집제를 주입하고, 막의 스케일의 원인이 되는 칼슘의 농도를 낮추기 위하여 산을 투입하였다.

전처리설비의 장치는 NaOCl, FeCl₃, NaHSO₄, H₂SO₄를 공급하기 위한 격막펌프(Diaphragm pump)와 약품탱크, 다중여과기(Multimedia filter), 조정탱크,

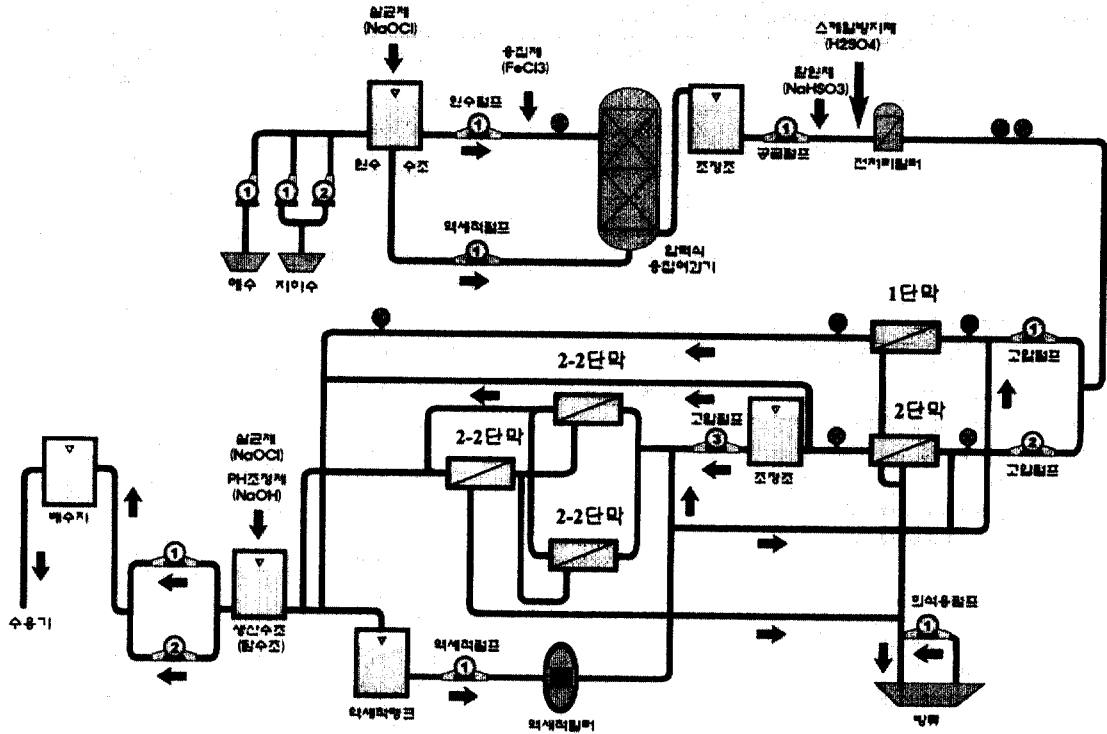


Fig. 1. Schematic process of seawater desalination.

전처리필터, 관로 안에서 약품이 완전히 혼합되도록 하는 In-Line Mixer로 구성되어 있다.

화학약품은 원수에 포함되어 있을지도 모르는 미생물이 막에 침투하여 미생물 번식을 방지하기 위하여 NaOCl을 사용하여 살균하였으며, NaOCl에서 생성된 살균용 유리잔류 염소는 Polyamide 막을 고화시키므로 환원제인 아황산나트륨(Sodium Bisulfite, SBS, NaHSO₄)를 사용하여 환원시켰다. 또한 원수에 포함되어 있는 현탁물질(Suspended Solid)를 제거하기 위하여 FeCl₃를 사용하여 응집시켜 다층여과기에서

제거시켰다. 다층여과기의 크기는 직경 1,600mm×높이 1,830mm이며, 여재는 위층부터 안트라사이트(비중: 1.4) 790ℓ, 모래(비중: 2.55~2.65) 710ℓ, 자갈 883ℓ로 구성되어 있다. 여재의 성상을 Table 1에 나타내었다.

전처리 필터는 카트리지필터(Cartridge filter, 16개×Length 30 Inch, Pore size 5μm)를 사용하였으며, 해수의 pH를 낮추어 스케일의 생성을 억제하기 위하여 H₂SO₄를 주입하였다.

Table 1. Characteristics of the Packing Materials in the Multimedia Filter

	Size of the Packing Materials(mm)	Volume of the Packing Materials(ℓ)	Specific Gravity
Anthracite	0.45~0.6	790	>1.4
	0.7~0.9		
	1.0~1.2		
Sand	0.05~0.45	710	2.55~2.65
	0.45~0.72		
Gravel	2~5	883	>2.55
	5~10		

Table 2. Characteristics of the Reverse Osmosis Membrane

	1 Stage Reverse Osmosis Membrane	2-1 Stage Reverse Osmosis Membrane	2-2 Stage Reverse Osmosis Membrane
Products Name	SW30HR-380	SW30-8040	RE4040-B
Used	Seawater	Seawater	Brackish Water
Type	Spiral Wound	Spiral Wound	Spiral Wound
Materials	Polyamide	Polyamide	Polyamide
Length	φ7.9inch x L40inch	φ7.9inch x L40inch	φ4inch x L40 inch
Product water(GPD)	6,000	6,000	2,000
Membrane surface(ft ²)	380	300	75
Min. salt rejection(%)	99.4(Cl ⁻)	98.6(Cl ⁻)	
Normalized salt rejection(%)	99.6(Cl ⁻)	99.1(Cl ⁻)	
Max. Operation Pressure (bar)	69	68	40
Max. feed water(m ³ /h)	14	14.7	4.65
Operation pH	2~11	2~11	2~11
Max. operation temperature(°C)	45	45	45
Max. operation turbidity(NTU)	>1	>1	>1
Feed Silt Density Index	SDI<5	SDI<5	SDI<5
Recovery per element(%)	8	10	20
[Standard Test Conditions]			
Feed Pressure bar	55	55	15.3
Feedwater NaCl conc.(mg/l)	32,000	35,000	2,000
Temperature(°C)	25	25	25
pH	8	8	6.5~7.5

2.3. 역삼투설비

역삼투설비는 고압펌프와 막 모듈로 구성되어 있으며, 1단용 고압펌프, 2단용 고압펌프, 2-2단 펌프 그리고 중간저장용 탱크로 구성되었다.

고압펌프는 1단과 2단 모두 플런저펌프(KLZ 50, 이탈리아, Pratisoli Com.)를 사용하였다. 2-2단의 펌프는 원심펌프(미국, Cat Com.)를 사용하였다.

역삼투막 1단과 2단은 미국산 해수용(Sea Water)을 사용하였으며, 그 중 1단 막은 High Rejection Sea Water(H.R.) 형태를, 2단 막은 일반적으로 사용되는 Sea Water-용(S.W.) 막을 사용하였다. 2단 막에 의해 생산된 담수를 투과하기 위해 사용된 2-2단 막은 국내산 기수용(Brackish Water, B.W.) 역삼투막을 사용하였다. 투과수량을 맞추기 위해 1개의 vessel에 5개의 막을 사용하였으며, 남는 하나의 공간은 Blind membrane을 사용하였다. 막에 대한 자세한 특성을 Table 2에 나타내었다.

2.4. 후처리설비

후처리설비는 생산수는 거의 모든 이온이 제거된 상태라 pH가 낮아져 pH를 상승시키기 위한 NaOH 주입설비와, 생산수가 배수지나 관망에서 미생물에 의해 오염되는것을 방지하기 위해 일정량의 잔류염소를 유지시킬수 있도록 NaOCl을 주입하기 위한 저장 탱크와 격막펌프가 있다.

2.5. 세정설비(Clean In Place, CIP)

막의 세정을 위한 세정설비는 5m³의 저장탱크, CIP용 전처리 설비(Cartridge Filter, 16개×30 Inch, Pore size 1μm) 그리고 CIP용 펌프로 구성되어 있다.

2.6. 농축수 처리설비

역삼투설비에서 발생하는 농축수는 주변해안의 생태계에 영향을 미칠수가 있으므로 주변 해안의 해수와 최대한 같은 환경이 되도록 노력해야한다. 역삼투설비에서 발생된 농축수는 30%의 담수를 생산하고, 나머지 배출되는 70%는 염분농도가 원수의 약 1.43

Table 3. Characteristics of Seawater and Beachwells A and B

Parameter	Seawater	Beachwell		
		A+B Beachwell	A Beachwell	B Beachwell
Temperature, °C	10~25	16.8~18.8	16.8~18.8	16.8~18.8
Turbidity(NTU)	2~10	3~500	3~500	3~500
pH	7.8~8.1	6.2~6.8	6.3~6.6	6.2~6.6
Salinity(‰)	32.3~34.5	22.9	22.5	25.1
Electrolytic conductivity(ms/cm)	39.0~47.0	28.5~33.5	28.3	35.2
Calcium(ppm)	382	539	481	578
Magnesium(ppm)	1,236	2,006	1,778	2,194
Iron as Fe(ppm)	0.02	<0.006	<0.006	<0.006
Manganese(ppm)	0.01	1.57	1.22	1.67
Silica(ppm)	0.5	N.D.	N.D.	N.D.
Strontium(ppm)	6.5	7.1	6.0	7.7
Barium(ppm)	0.021	0.075	0.076	0.075
Alkalinity(CaCO ₃ , ppm)	117	175	151	193

N.D.: Not Detected

~1.68배, pH가 스케일 방지를 위한 황산의 첨가로 해수보다 낮고, 수온이 약 1°C 정도 높아진 상태로 배출된다. 이러한 배출수가 생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 배출수를 해수와 희석하여 방류하는 희석방출법을 택하였다(Del, 1994; Badr, 1994).

2.7. 원수의 수질

원수는 해수를 직접 취수하여 사용하는 방법과 관정 A와 B를 이용하여 취수하는 2가지 방법이 있다. 특별한 경우가 아니면 해수를 직접 취수하여 해수담수에 이용하였으며, 관정은 비상시에 대처하기 위하여 설치하였다. 관정수의 탁도는 초기와 가동후 10시간 정도는 수십에서 수백 NTU를 나타내었으나, 그 후에는 수 NTU를 유지하였다. Table 3에 원수의 특성을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 먹는물 수질검사 결과

3.1.1. 해수 투과수의 먹는물 수질검사 결과

해수를 이용하여 해수담수화 설비로 생산된 생산수를 먹는물 수질검사소에 의뢰하여 수질검사를 실시하였다. 수질실험결과 생산수는 먹는물 수질검사에 적합하였다. 이 결과를 Table 4에 나타내었다.

일반적으로 해수담수에 문제가 되는 물질은 증발잔류물과 염소이온농도이다. 해수담수화 설비에서 생산된 생산수의 증발잔류물은 H.R.(High Rejection) 형태의 막은 312mg/l이었고, 일반적인 S.W.(Sea Water) 막은 389mg/l로 나타났으며, 염소이온은 H.R. 형태의 막은 72mg/l, S.W.막은 78mg/l로 나타났다. 이러한 결과는 막의 배제율에 의한 차이로 생각되며, 먹는물 수질기준인 500mg/l과 150mg/l에 만족하였다. 그러나 막이 고화 되어감에 따라 증발잔류물과 염소이온의 농도는 증가할 것으로 예상됨으로 계속적인 감시가 필요하다. 증발잔류물과 염소이온은 심미적으로 영향을 끼치는 물질로 물의 맛과 관련이 있으며, 건강에 유해한 물질들은 검출되지 않았다.

2-2단 투과수의 수질검사 결과 대부분의 이온들이 거의 검출되지 않았으며, 증발잔류물이 6mg/l, 염소이온 농도가 4mg/l로 나타났다.

3.1.2. 해안관정수 투과수의 먹는물 수질검사 결과

해안관정수를 이용한 해수담수 설비에서 생산된 담수의 먹는물 수질검사 결과는 해수와 크게 다르지 않았으나 경도와 과망간산칼륨 소비량, 증발잔류물, pH, 염소이온, 질산성질소, 망간등이 더욱 낮은 차이점을 보였다. 이러한 결과는 관정수의 수질이 해수의 수질보다 이온성분 함유량이 낮기 때문에 나타난 결과라고 생각된다. 이 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 4. Drinking Water Quality Standard and Performance of Reverse Osmosis Process(Sea Water)

1. Contents

Object	Seawater Desalination	Testing Method			Korea Drinking Water Quality Standard(KDWQS)			
Sampling Place	Hongdo Seawater Desalting System	Sampling Method			Direct Method			

2. Testing Results

Item	KDWQS	1st RO	2-1 Stage	2-2 Stage	Item	KDWQS	1st RO	2-1 Stage	2-2 Stage
		Filtrate	Filtrate	Filtrate			Filtrate	Filtrate	Filtrate
1. Psychrophilic bacteria	100cfu/ml	N.D.	N.D.	N.D.	24. Cadimium	0.01mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
2. Total Coliforms	N.D./50ml	N.D.	N.D.	N.D.	25. Arsenic	0.05mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
3. Hardness	300mg/l	10	46	7	26. Selenium	0.01mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
4.KMnO ₄ , consum.value	10mg/l	1.3	1.3	0.3	27. Lead	0.05mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
5. Total residue	500mg/l	312	389	6	28. Hexachr-omium	0.05mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
6. Turbidity	1NTU	< 1	< 1	< 1	29. Diazion	0.02mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
7. Odor	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	30. Parathion	0.06mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
8. Taste	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	31 Malathion	0.25mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
10. pH	5.8-8.5	6.6	6.6	6.9	33. Carbaryl	0.07mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
11. Detergent	0.5mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	34. Phenol	0.005mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
12.Aluminium	0.2mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	35. Total trihalomethan	0.1mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
13.Ammonium ion	0.5mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	36. Dichloromethan	0.02mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
14. Fluorine	1.5mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	37. 1,1,1-tri-chloromethan	0/1mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
15. Residual Chlorine	150mg/l	72	78	4	38. Benzene	0.01mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
16. Nitrate	10mg/l	0.8	0.8	0.8	39.Trichlo-roethylene	0.03mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
17. Sulfulic ion	200mg/l	6	12	3	40. Toluene	0.7mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
18. Cyanide ion	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	41. Tetrach-loroethylene	0.01mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
19. Iron	0.3mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	42. Ethyl-benzene	0.3mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
20.Manganese	0.3mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	43. Xylene	0.5mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
21. Copper	1mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	44. Tetrachl-oroarbon	0.002mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
22. Zinc	1mg/l	N.D.	0.002	N.D.	45. 1,1-Dich-loroethylene	0.03mg/l	N.D.	N.D.	N.D.
23. Mercury	1mg/l	N.D.	N.D.	N.D.	Proven		Good		

N.A.: Not Abnormal, N.D.: Not Detected, KDWQS: Korea Drinking Water Quality Standards

Table 5. Drinking Water Quality Standard and Performance of Reverse Osmosis Process(Beachwell)

1. Contents

Object	Seawater Desalination	Testing Method		Korea Drinking Water Quality Standard(KDWQS)			
Sampling Place	Hongdo Seawater Desalting System	Sampling Method		Direct Method			

2. Testing Results

Item	KDWQS	1st RO	2nd RO	Item	KDWQS	1st RO	2nd RO
		Stage Filtrate	Stage Filtrate			Stage Filtrate	Stage Filtrate
3. Hardness	300mg/l	8	33	4.KMNO ₄ , consum.value	10mg/l	0.9	1.1
5. Total residue	500mg/l	194	278	10. pH	5.8-8.5	6.8	6.8
15. Residual Chlorine	150mg/l	57	66	16. Nitrate	10mg/l	0.8	0.7
20.Manganese	0.3mg/l	0.005	0.008	Proven		Good	

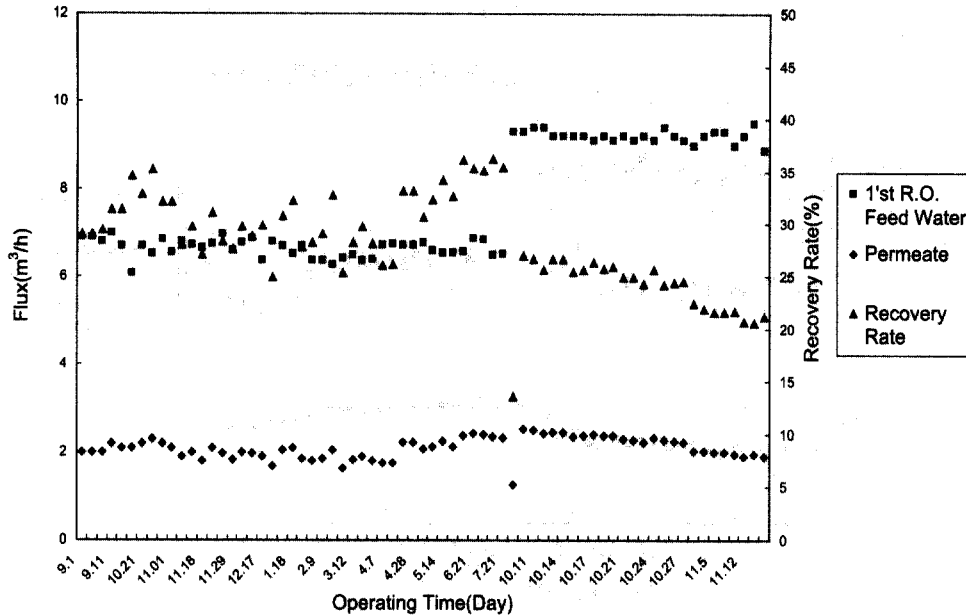


Fig. 2. The variation of feed water flux, permeate flux and recovery rate in the first stage membrane (High Rejection Type).

관정수에서 생산된 담수의 증발잔류물은 H.R.막에서 194mg/l, S.W.막에서 278mg/l로 나타나 해수와는 약 100mg/l의 차이를 보였다. 염소이온농도는 1단에서 57mg/l, 2단에서 66mg/l로 큰 차이는 보이지 않았다. 이러한 이유는 이온이 미량으로 함유되었을 경우에는 막의 배제율에 큰 차이가 없기 때문으로 생각된다. 관정수에서 생산된 생산수 또한 건강에 유해한 물질은 발견되지 않았으며, 거의 모든 유해한 이온들이 검출되지 않았다.

3.2. 막의 투과 특성변화

3.2.1. 1단 막의 투과 특성

1단 막의 투과특성을 Fig. 2에 나타내었다. 원수는 해안관정수 보다 전기전도도가 높은 해수를 사용하였다. 막은 해수용 H.R. (High Rejection) 형태를 사용하였으며, 압력은 54kg/cm²으로 투과압력을 유지하였다. 이 결과 회수율은 평균 약 30% 수준이었으며, 투과수의 유량은 2m³/h를 유지하였다. 7월에 낙뢰로 인하여 모든 시스템이 정지되었다. 이 시스템을 10월 말 전기공사 후 역세정한 다음 가동하였으나, 원수 인입 유량이 7m³/h에서 9m³/h로 급격히 증가하여 회

수율이 점차 감소되어 약 25% 이하로 감소하였다. 생산수의 유량은 큰 변화가 일어나지 않았다. 인입수의 유량이 상승하여 회수율이 저하된 것은 충전액을 채우지도 못한채 막을 2개월간 방치하여 막 내부 기공에 변화가 일어났으며, 이러한 변화로 약 2개월 후 회수율이 25% 이하로 감소되는 원인이 되었다고 생각된다.

3.2.2. 2단 막의 투과 특성

해수를 이용한 2단 막의 투과특성을 Fig. 3에 나타내었다. 막은 일반 해수용 (Sea Water)이었으며, 사용 압력은 56kg/cm²로 운전하였다. 이것은 실험용으로 2단으로 투과하여 투과수를 2-2단으로 다시 투과시키기 위하여서는 생산수량을 증가시킬 필요가 있어 압력을 1단 보다 조금 상승시켜 운전하였다.

2단 막은 1단 막보다 약 2kg/cm²의 압력을 상승시켜 운전하여 초기에는 1단 막보다 200~300/h 이상 생산수가 생산되었으나, 2개월 후 점차 감소되어 1단 막과 비슷한 생산수량을 나타내었다. 약 2개월의 생산 중단 후 인입수의 유량이 8m³/h에서 10m³/h로 약 2m³/h이 증가되었으나, 생산수의 유량도 증가되어 회수율에는 큰 변화가 없었다. 투과특성은 1단 막과 비

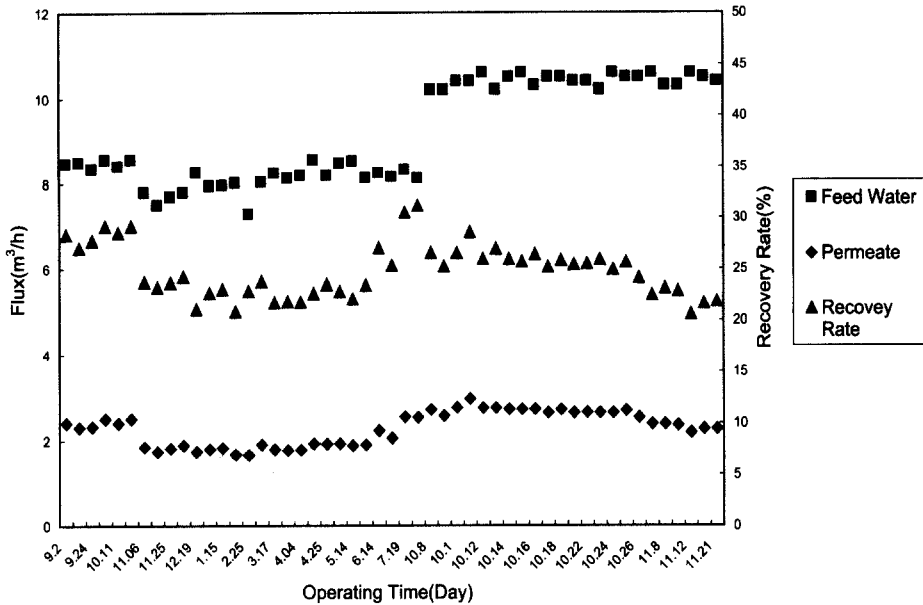


Fig. 3. The variation of feed water flux, permeate flux and recovery rate in the 2-1 stage membrane (Conventional Sea Water Type).

슷한 경향을 나타내었다.

3.2.3. 2-2단 막의 투과 특성

2-2단 막은 일반 기수용(Brackish) 막을 사용하여 투과하였다. 투과압력은 12kg/cm^2 이었으며, 이미 해수용 막을 투과한 담수이기 때문에 사용압력이 높지 않았다.

2-2단 막의 투과특성은 실험적으로 운영되어 장시간 운전하지는 않았다. 회수율은 초기에는 90% 이상의 회수율을 나타내었으나, 감소되어 평균적으로 80% 이상의 회수율을 나타내었다.

약 2개월의 정지 후 1단과 2단과 같은 인입수의 증가가 일어나지 않았으나 회수율은 점차 감소되는 경향을 나타내었다.

3.3. 투과수의 전기전도도의 변화

1단과 2단, 2-2단의 투과수의 전기전도도의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 수질의 지표가 되는 전기전도도의 범위가 $1,000\mu\text{S/cm}$ 이하일 때 먹는물 수질기준에 적합한 것으로 알려져 있다.

1단 투과수의 전기전도도의 변화는 초기 $500\mu\text{S/cm}$ 전기전도도가 약 2달간 지속되고 난 후 점차 증가되기 시작하여 약 10개월 후 $1,900\mu\text{S/cm}$ 까지 증가되었

다. 낙뢰사고로 약 2달의 정지 후 막을 세정하였으나 전기전도도가 $1,200\mu\text{S/cm}$ 이상을 나타내어 1단 막을 다시 세정하여 $790\mu\text{S/cm}$ 까지 낮추어 운전하였다.

2단의 전기전도도의 변화는 초기 2개월 정도는 $250\sim 350\mu\text{S/cm}$ 범위의 낮은 전기전도도 값을 나타내었으나, 약 2개월 후 $500\mu\text{S/cm}$ 의 안정된 전기전도도 값을 나타내었다. 계절적으로 수온의 온도가 상승되는 5월 말 이후 전기전도도가 조금 상승되어 $700\mu\text{S/cm}$ 대의 전기전도도를 나타내었다. 2개월의 정지 후 막세정 다음에도 전기전도도의 변화가 크지 않게 $600\mu\text{S/cm}$ 의 전기전도도 대를 나타내어, H.R. 형태보다 우수한 성향을 보였다.

일반적인 경향인 H.R. 형태 막의 투과수의 전기전도도가, 일반적인 S.W. 형태의 막보다 더욱 낮아야 하나, 시범지역의 해수인 경우 일반적인 S.W. 막의 투과수의 전도도가 우수하였다.

실험적으로 운영된 2-2단 기수용(Brackish Water, B.W.) 막의 투과수의 전기전도도의 변화는 초기에는 $10\mu\text{S/cm}$ 이하의 값을 나타내었으나, 5개월 후는 $20\mu\text{S/cm}$, 1년 후는 $50\mu\text{S/cm}$ 의 전기전도도를 나타내었다.

그러므로 해수담수화의 먹는물 생산수 수질 특성 및 경제성을 고려할 때 2-2단으로 처리할 필요는 없

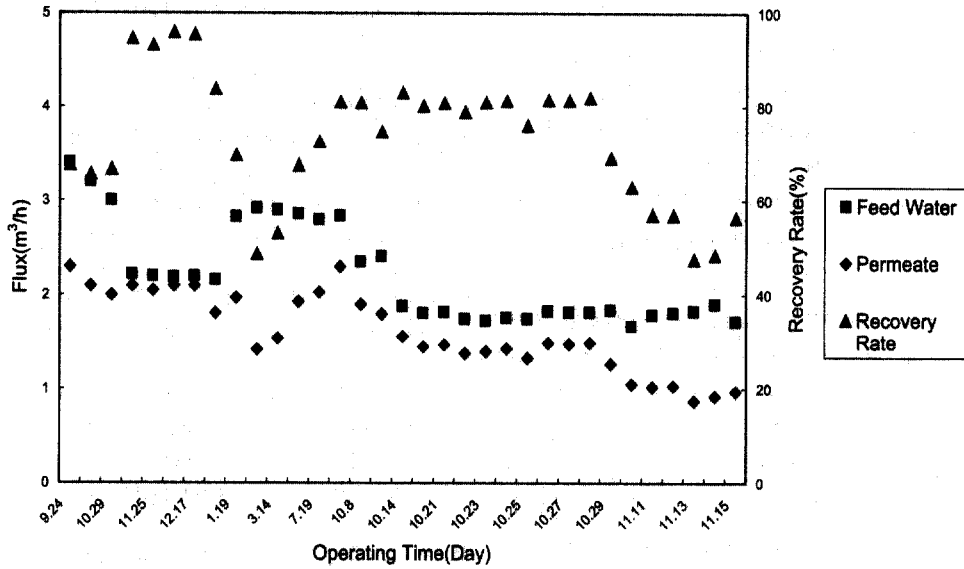


Fig. 4. The variation of feed water flux, permeate flux and recovery rate in the 2-2 stage membrane (Brackish Type).

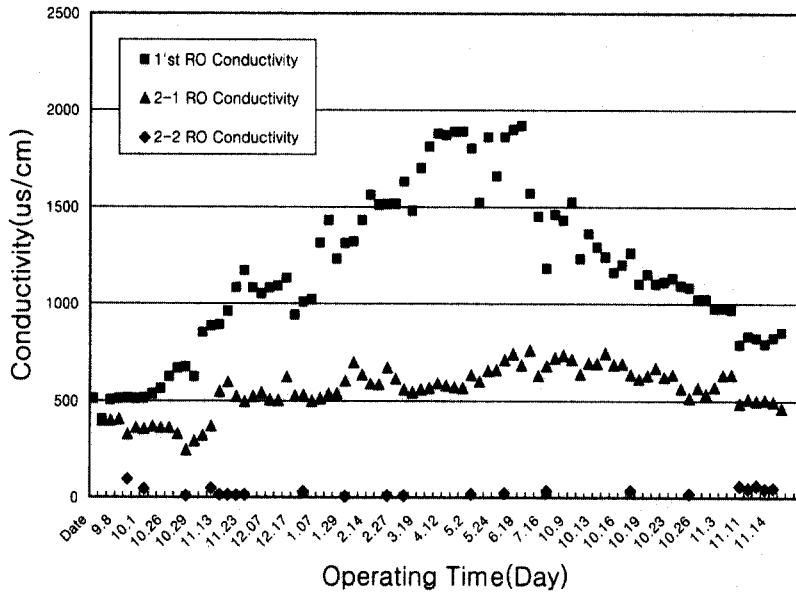


Fig. 5. The variation of desalted water conductivity.

었다.

4. 결론

본 연구에서는 점차 부족해지는 수자원을 대체하

기 위해 가장 각광받고 있는 해수담수 방법 중 역삼투법을 이용하여, 원수로 해수와 해안관정수를 사용하고, 1단과 2단 두 종류의 역삼투 막을 사용하여 생산 수질과 생산 수량의 변화 및 먹는물 수질기준에 적합성을 실험하여 나타난 결과는 다음과 같다.

1. 역삼투법에 의한 해수담수 생산수의 수질은 원수를 해수와 해안관정수로 하였을 때 일반적인 Sea Water(S.W.) 막과 High Rejection(H.R.) 형태의 막 모두 먹는물 수질기준에 적합하였다.
2. 일반적인 S.W. 막과 H.R. 형태 막의 회수율(Recovery Rate)과 투과수량(Permeate Flux)은 큰 차이를 나타내지 않았다.
3. 연구지역의 해수에서 생산수의 수질지표인 전기전도도는 High Rejection 형태의 막보다는 일반적인 Sea Water 막이 낮게 나타나, 우수한 수질을 보였다.
4. 1단과 2단으로 운전결과, 해수담수의 먹는물 수질특성상 2-2단으로 운전 할 필요성은 없었다.
5. 경제적인 운전 및 수질특성에 있어 해안관정수를 이용하여 담수화하는 것이 가장 효율적이었다.

참고문헌

- 한국수자원공사 (1996) 숫자로 본 수자원. pp. 18-21.
Badr, M. (1994) "Environmental impact of waste brine disposal

- of desalination plant, Red Sea, Egypt", *Desalination*, **97**, pp. 453-465.
Del, J.V., Jirka, G., and Largier, J. (1994) "Ocean brine disposal", *Desalination*, **97**, pp. 365-372.
Helmer, R. (1997) "Water Demand and Supply", *World Health Organization*, International Atomic Energy Agency, IAEA-SM-347, Symposium on Desalination of Seawater with Nuclear Energy, Taejon, Republic of Korea, May 1997, pp. 1-3.
I.D.A. (1998) "World-Wide Desalting Plants Inventory Report", *International Desalination Association*, June 1998, No. 15. pp. 35-42.
Juhn, P.E. (1997) Summary of IAEA Activities on Nuclear Desalination of Seawater, *International Atomic Energy Agency*, IAEA-SM-347, Symposium on Desalination of Seawater with Nuclear Energy, Taejon, Republic of Korea, May 1997, pp. 5-8.
Rautenbach, R., Widua, J., and Schafern, S. (1997) "Reflection on Desalination Processes for The 21st Century", *International Desalination Association*, World Congress on Desalination and Water Science, Abu Dhabi, November, pp. 117-136.