

전력사업에서의 분리막 이용현황 및 전망

(한국전력공사 전력연구원)

박 광 규

전력사업에서의 분리막 이용현황 및 전망

박 광 규

한국전력공사 전력연구원
재료부식연구소 수질부식그룹

Abstract

The lack of water resources is becoming worse due to water pollution with accelerated industrialization and regional unbalanced distribution of water resources. In recent, the production water quality is decreasing because of the increased organic matters and soluble solids in the water sources for power plants.

The purpose of this paper describes the status and prospect of membrane application in electric power industry. So this study lies in developing a process which can produce high purity water by applying RO(Reverse Osmosis) ahead of the IX(Ion Exchange) tower and evaluating the product water quality and the cost effectiveness. The capital and operating cost for the treatment of brackish water, sea water by RO were presented as a reference for the review on securing water source for the new plant site.

전력사업에서의 막분리 이용 현황 및 전망

1. 서 론

우리 나라는 산업의 지속적인 발달로 용수사용량은 점차 증가하고 있으나, 용수원의 한정과 수질오염에 따라 가용용수가 감소하는 추세에 있다. 이러한 문제는 전력사업에도 예외일 수 없이 겪고 있으며 최근의 전력수요 증가에 따른 발전소 건설부지 확보와 아울러 당면한 과제로 직면하고 있다.

또한 기존의 발전용수원도 주변 환경오염 등으로 점차 악화되어 지금까지 주로 적용하여 온 이온교환 수지기술에 한계를 맞고 있다. 이러한 현상은 현재의 발전단지중 서울, 인천의 수도권 지역과 낙동강을 용수원으로 하는 영남지역 등에서 뚜렷이 나타나고 있다. 원수중에 유기물 및 용존염류의 증가로 기존의 이온교환 수지탑의 채수량이 설계치보다 크게 감소되었고 이에 따라 재생제 사용량도 증가하는 실정이다. 또한 '93년부터 운전되고 있는 초임계압 보일러는 현재 대부분 운전되고 있는 아임계압 보일러의 수질기준치($0.2\mu\text{s}/\text{cm}$ 이하)보다 더욱 엄격한 기준을 요구하고 있다. 이온교환수지법(IEX)으로 완전히 제거되지 않는 유기물은 계통수의 전기전도도 상승, 이온교환수지의 열화, 수질감시기의 편차 유발 및 터빈에서의 스케일 생성 등의 장애를 유발하고 있다. 이러한 현상은 '85년도에 평택화력에서 겪게 되어 당초부터 사용한 아산호에서 지하수로 용수원을 변경하였으나 지하수의 수질도 저하되고 수량도 점점 감소되고 있는 추세에 있다.

가용용수원의 부족과 처리수의 순도는 떨어지는 반면 최근 개발되어 적용되는 수처리기술은 보다 고순도의 수질을 요구하는데 문제는 더욱 심각해지고 있다. 아무튼 이러한 문제를 해결하기 위하여 크게 3가지 방향으로 검토할수 있다.

- 1) 기존 용수 생산설비의 보강을 위하여 이온교환 수지탑 전잔에 역삼투막 장치를 설치하는 RO+IX 공정의 개발적용
- 2) 대부분의 발전단지가 해안에 인접되어 있기 때문에 비교적 용수원에 제약을 받지 않는 해수 담수화 기술개발
- 3) 경제적으로 양질의 순수를 확보하기 위하여 신규발전소 용수 생산설비는 신기술의 개발동향에 맞추어 새로운 막분리 기술의 도입 등이다.

따라서 본고에서는 발전용수 생산 기술변화 추이와 발전용수 확보를 위하여 기존의 이온교환수지 기술에 대체하여 이용할 수 있는 역삼투막법 처리기술을 중심으로 기술하고자 한다.

2. 발전용수 생산기술의 발전과 방향

水의 脫 Ion 기술발전은 1850~1855년에 영국의 Thompson이 발견한 토양의 Ion 교환현상에 의해 개시되었다. 이 연구는 Thomson의 친구인 Way에 의해 계속되어 황산 알루미늄과 규산화나트륨에서 Alumina Silicate gel을 처음으로 만들었으며 이것이 인류가 만든 최초의 합성 ion 교환체로 알려지고 있다.

그후 약 80년이 지난 1935년에는 영국의 Admaes와 Holmes에 의해 최초로 합성수지를 모체로 하는 ion 교환수지가 만들어졌고 이것이 52년을 지난 지금에 이르기까지 탈ion 기술의 중심으로 되어 있다. 이 ion 교환수지는 1940년경 독일에서 처음으로 공업적으로 생산되었으며 또 이어 미국에서도 공업적으로 생산이 되게 되었다.

그후 ion교환수지는 세계 각국에서 경쟁적으로 제조가 시작되어지고, 현재 세계의 탈ion 기술의 중요한 지주로 되어 있다. 2차 세계대전까지 ion 교환수지는 phenol 수지계나 Amine 수지 등 縮合形식이 었지만 Styrene계 ion 교환수지가 1945년경에 개발되어 미국의 Rohm & Hass Co.와 Dow Chemical Co.에서 공업적으로 제조를 하게 됨에 따라 그 이후 42년간 현재까지 가장 많이 이용되게 되었고 이후 Styrene계 ion 교환수지의 전성시대를 맞이하게 되었다. 특히 1948년에 미국의 Rohm & Hass Co.에서 처음으로 제조되어진 Styrene계의 강염기성 음 ion교환수지는 규산이나 炭素같은 弱酸도 ion 교환 吸着 하는 성질을 가졌기 때문에 이제까지 사용한 증발법에 의한 탈염수를 대신해 순수제조가 처음으로 가능하게 되었다. 이것은 탈 ion 기술발전의 역사상 획기적인 것이었다.

이어서 混床式 脫 ion 기술의 개발이 Rohm & hass Co.에서 이루어져 이 기술은 오늘날 화력발전이나 원자력발전 및 전자공업, 학술연구에 있어 고순도 순수나 초순수 제조의 중심적 기술로 되어 있다. ion교환수지는 그후 ion 교환막으로 형태를 바꾸어 1951년에 최초로 ion 교환막의 공업제품이 세상에 출현하였고 1954년에는 그 이온교환막을 이용한 水의 탈 ion용 電氣透析 裝置가 실용화되어지게 되었다. 이 ion 교환막의 개발과 실용화에 고조되어 막에 의한 수의 탈 ion 기술의 연구가 급속히 행하게 되고 1960년에 실용성을 가진 逆參透膜 최초로 출현했고, 이것은 미국 캘리포니아대학의 Loeb 교수의 업적으로 水의 탈 ion 기술을 더욱 진보시킨 점에서 극히 중요하다.

이 연구는 한외여과막의 연구로 발전하여 1961년에는 미국의 Michaels에 의해 여러 종의 분자량 분획성을 보유한 한외여과막이 최초로 등장했다.

이 역삼투막과 한외여과막의 출현은 금일 해수의 담수화나 순수제조장치는 전처리로서의 전탈염 및 전자공업 등에서 이용하는 초순수 제조를 처음으로 가능하게 한 점에서 획기적인 것이라고 말할 수가 있다.

이처럼 水의 脫 ion 기술의 진보는 10년을 주기로 크게 발전되어지고 있다.

즉 1940년대의 ion 교환수지의 발전, 1950년대의 ion 교환막의 개발, 1960년대의 역삼투막과 한외여과막의 개발, 1970년대에 이르러 이들의 탈 ion 기술이 더욱 진보되고 이들의 기술을 조합시키거나 관련기술이 개발되어져 오늘날 새로운 水의 탈 ion 기술의 기반이 확립되고 있다.

전력사업에 이온교환수지가 처음 사용된 것은 1950년부터이다.

화력발전소의 evaporator에 대신하여 강산성 양ion 교환수지와 강염기성 음 ion 교환수지를 사용한 2상식 대형순수제조장치 (190,000m³/년)가 처음으로 미국의 발전소에 설치되었다.

이후 이온교환수지 기술이 급속히 발전하여 최초의 Macro reticular의 polystyrene계 음 ion 교환수지(Amberlite XE-208, 현재의 IRA-904)가 Rohm & Hass Co.에 의해 제조, 시판되었다.

이 음 ion 교환수지는 평균공경 Å을 가지고 표면적은 63m²/g이고 통상의 gel형 음 ion 교환수지에 비하여 고분자유기물에 대한 흡·탈착성의 우수한 것이다. 그 후 1963년에 일련의 Macro Reticular 구조의 ion 교환수지로 약염기성의 Amberlite IRA-93, I 형 강염기성의 Amberlite IRA-900, II 형 강염기성의 Amberlite IRA-911 의 제조를 하였다.

세계의 ion 교환수지의 Marker 수는 14개국 20사에 달했으며, ion 교환수지의 연간 수요량은 약 50,000m³으로 추정되었다.

1963년에 일본의 Organo Co.가 복상식의 이동상형 연속 ion 교환순수 제조장치를 개시했다. 이 방식에 의해 사용하는 ion 교환수지량과 재생제량 및 설치면적이 통상의 순수제조장치의 1/2로 감소했다. 그 후 복상식에서 혼상식으로 개선되어 1966년에 이동상형 혼상식 연속 ion 교환순수 제조장치의 실장치(2,400m³/日)가 건설운전되었다.

우리의 전력사업에 있어서도 삼척화력 #2 건설시 강산성 양 ion 교환수지인 Amberlite IR-120을 이용한 경수연화 장치가 설치되어 기존 화력발전소의 evaporator만의 수처리시보다 기능을 보강하게 되었다. 이후 현재까지 용량에는 다소 차이가 있으나 27개 발전소에 약 77기가 운전중에 있다. 이들의 제품은 6개사의 35종으로 약 60만 리터의 이온교환수지가 사용되고 있다.

ion 교환 처리방식은 고정상식과 이동상식으로 대별된다. 이동상식은 고도성장시대에 채용되었고 Oil쇼크 이후 저성장시대에 이르러 자원절약이 강조되면서 이온교환방식도 재생약품 사용량을 대폭적으로 절감하기 위하여 적용하고 있다. 우리 공사의 수처리 설비는 울산화력 #4, 5, 6 인천화력 #3, 4가 향류재생방식(상향류 재생, 하향류 통수)을 채택하고 있으므로 효율면에서 뒤떨어지고 있다.

이에 각종 ion 교환수 제조장치는 각 방식별 ion 교환수지량, 재생약품 사용량 등의 비교를 Table.1 과 같이 정리하였다.

Table 1. 각종 이온교환수지 장치의 종합비교표

각 방식		병류재생식 (DF)	향류 재생식 (UP)	재생제 회수형 Strata	특별 재생제 Strata	Twin Starta
전처리의 정도(탁도)		0~5	0~1	0~2	0~1	0~5
재생제량		대	중	소	소	소
재생시간(H)		3~4	2(2.5)	2(3)	2(2.5)	2
재생폐액량		대	중	중	중	소
특별재생의 유무와 빈도		없다	많다	적다	많다	없다
재생폐액의 중화		곤란	보통	용이	용이	용이
운전조작		용이	보통	약간복잡	약간복잡	용이
처리수 수질 (min 치)	전기전도율(US/cm)	2~5	0.2~1.00	0.2~1.0	0.2~1.0	0.2~1.0
	SiO ₂	0.05~0.5	0.01~0.02	0.01~0.02	0.01~0.02	0.01~0.05
설치면적		소	중	대	중	소
건설비		싸다	소통	약간 높다	약간높다	보통

★ ()내의 재생시간은 특별 재생의 시간

복층상식 향류재생형의 장치는 재생용 약품비, 재생폐액의 중화용 약품비가 적고 ion 교환수의 제조경비(재생용 약품비)는 종래의 병류재생형 장치의 1/3~1/4로 되고 고순도의 처리수가 얻어짐을 알 수 있다.

일반적으로 우리공사 발전소의 수처리는 응집침전, 여과, 흡착, ion 교환의 Pattern만을 고수하였으나, 최근 건설되는 외국발전소의 수처리장치의 조합 예를 보면 原水의 수질에 따라 차이가 있으나 역침투막법(RO)를 채용하여

- 원수의 약 1/10 정도의 ion 부하량으로 저감시키므로 後段 ion 교환장치의 부하를 저감하고,

- ion 교환장치의 부하가 저감하기 때문에 ion 교환수지탑이 작게 되고 재생폐액량이 감소하며,

- 원수중의 유기물 등 ion 교환수지를 오염시키는 물질을 제거하므로 용이하게 고순도의 처리 수를 얻도록 하고 있다.

특히 유기물을 다량 함유한 원수를 사용하는 발전소의 경우 고려해야 할 사항이다.

이상에서 水의 脫 ion 기술의 역사를 살펴 보면 발전용 순수생산공정은 이온교환법(IX), 증발법(MSF), 역삼투막법(RO), 전기투석법(ED/EDR) 그리고 최근에는 연속탈염법(CDI) 등을 들 수 있다. 이들 각각의 공정은 공정별 특성이 있기 때문에 이들의 공정별로 치열한 경쟁을 하고 있다. 이들은 각 공정별 기술적, 경제적 특성 때문에 처리수의 수질에 따라 단독 또는 조합하여 순수제조공정을 구성하고 있다.

3. 역삼투막장치를 이용한 발전용수 확보

3. 1 Package형(소형) RO에 의한 해수담수화

3. 1. 1. 시험 개요

우리나라의 60여 도서지방에 자체 전력소요를 충당하기 위하여 크고 작은 내연발전소가 운용되고 있다. 이들 도서지방은 발전용수는 물론 생활용수까지도 봉천수에 의존하고 있어 용수원이 매우 부족하여 경우에 따라서는 인근 육지에서 선박으로 운반하여 용수를 확보하기 때문에 비용도 많이 소요되고 있는 실정이다.

한편 정부에서는 “농어촌 전화 촉진법”에 의거 1998년까지 현재의 500호 기준에서 50호 이상의 도서지방 내연기관은 모두 한전에서 운용하여야 할 도서지방의 내연기관이 현재의 7개 발전소에서 60여 개 발전소로 대폭 증가될 전망이다. 따라서 이들의 발전용수를 원활히 공급하며 인근 주민에게도 생활용수를 공급하기 위하여 Package형 RO를 추자내연에 Table 2와 같이 제작설치하여 시험하였다. 이들 시험에서는 막의 회수율, 최적장치설계 및 생산비용 등을 평가하여 추후 도서지방의 소형 해수담수화장치를 보급하는데 활용하도록 하였다.

Table 2. 추자내연 RO 시스템의 규격

기종		Package형 RO System			
생산수수질		500ppm as TDS			
생산수량		10톤/일			
반투막	염분추출	최저 98.1%, 평균 99.1%			
	해수염도	최고 60,000ppm as TDS	pH	2~11	
	형태	Spiral wound	규격	4" (Ø) × 40" (L)	
	작동온도	1℃ ~ 45℃	수량	3개/기	

3. 1. 2. 시험 결과

시운전후 1개월 뒤 음료수 적격여부 시험결과 Table 3과 같이 상수도 기준치를 만족하는 결과를 보였다. 3열 배출수 재처리(Brine stage)시스템으로 제작하여 운전한 결과 11개월 후에 3번째 반투막의 생산수가 음료수 수질기준치인 500ppm(as TDS)을 훨씬 넘는 720ppm으로 되어 각 반투막모듈에서의 생산수를 합친 것이 570ppm을 넘었다. 또한 1일 생산량도 반투막의 압밀화와 오염 등으로 8톤/일 이하로 되어 막세정을 실시하였으나 3번째 막의 생산수 수질이 560ppm 이상이었으므로 막을 교체하였다.

운전경험에 의하면 해수처리시 3열 배출수 재처리 시스템으로는 규정수질을 장시간 유지하기 어렵고 3번째 막의 교체주기가 빠르므로 발전용수 및 생활용수를 목적으로 할 때는 생산수 재처리시스템(product stage)이나 일단 평형 시스템(Single Stage Parallel System)을 설계 하여야 수질유지 및 경제성 측면에서 효

과적인 것으로 판단되었다. 생산비용은 톤당 약 710원 정도로 매우 경제성이 있었으며 내연발전소의 냉각수를 원활히 공급함은 물론 인근 주민에게도 생활용수를 공급할 수 있었다.

Table3. 추자내연 R. O. Plant 시험결과(Brine stage)

시 료 항 목	해 수	R. O. 생산수	음료수 수질기준
pH	8.2	7.5	5.8~8.5
염소이온 (mg/l)	19,503	113	150이하
황산이온 (mg/l)	2,408	2.7	200이하
증발잔유물(mg/l)	38,862	194	500이하
납[Pb](mg/l)	0.010	불검출	0.1이하
대장균군	9/50ml당	불검출	불검출/50ml
제거율(%)	99.3 이상		
생산비(원/m ³)	710		

3. 2. 이동식 역삼투막장치(MRO)에 의한 해수담수화

3. 2. 1. 시험 개요

신규발전소의 지속적인 건설에 따라 발전소 부지확보와 아울러 발전용수원 확보가 당면 문제로 대두되고 있다. 따라서 비교적 용수원의 제약을 받지 않는 해수담수화 기술을 평가하기 위하여 400ppm(as TDS)이하의 생산수 480톤/일을 생산하는 #1 RO장치와 이것을 재처리하여 생산하는 #2 RO 장치로 구성되는 생산수 재처리 시스템을 구성하여 해수담수화 기술을 평가하였다.

장치구성은 해수담수용 역삼투막장치(#2 RO)로 구성되는 생산수 재처리 시스템으로 구성하였다. 여기에 막세정장치, 제어장치 등이 장착되어 이동식으로 제작하였다. 이들의 개략도는 Fig. 1과 같다. 해수를 처리하기 때문에 고압펌프가 사용되었고 반투막은 UOP사 제품으로 나권형 타입의 Polyamide 재질 42개(8" × 40")가 소요되었다.

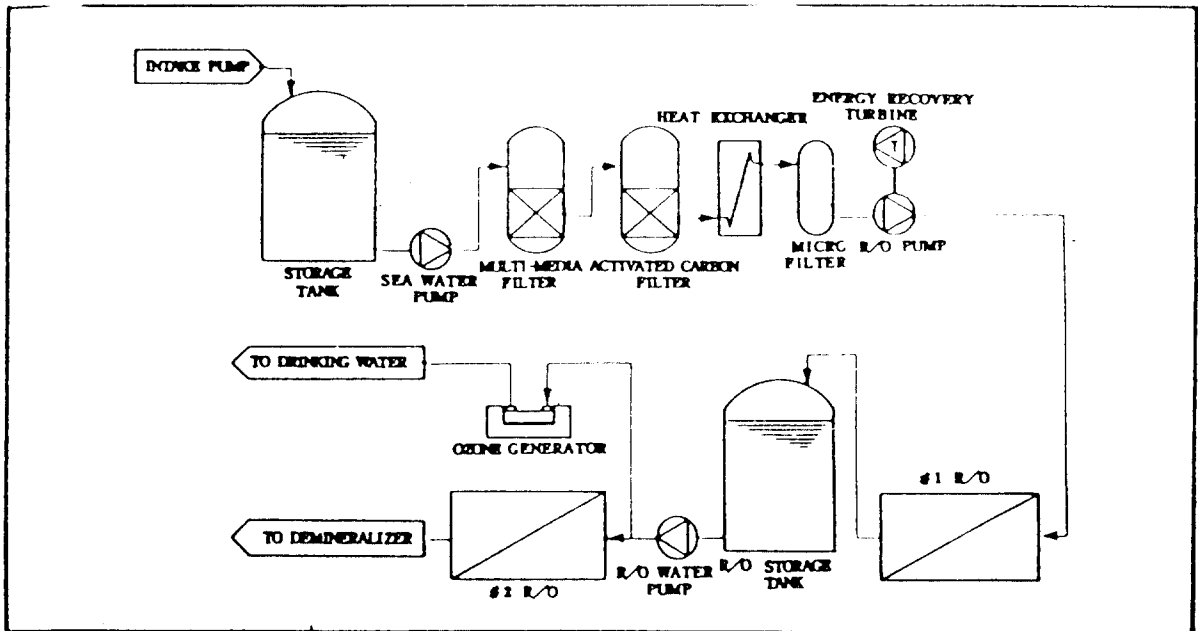


Fig 1. 이동식 역삼투막 장치의 개략도

3. 2. 2. 시험 결과

TFC Spiral-Wound막의 공급수 최고허용 탁도는 1.0NTU이고 SDI는 5 이하이다. 운전경험으로 보아 막모듈에 공급되는 보급수의 탁도는 0.2NTU 이상이면 막세정주기가 빨라지고 수명이 단축되므로 적합한 전처리장치의 설계와 약품주입 등으로 탁도를 0.2NTU 이상이면 막세정주기가 빨라지고 수명이 단축되므로 적합한 전처리장치의 설계와 약품주입 등으로 탁도를 0.2NTU 이하로 유지하는 것이 중요하다. 본 MRO 장치에서는 전처리로 Mediafilter 전단에 Line Mixer를 설치하여 처리하였다. 이 시험결과 밀물과 썰물때문에 탁도변화가 매우 심한 보령화력물량장에서는 응집제의 농도가 높을수록 응집 효과가 좋았고 같은 농도에서는 황산알루미늄보다 연화제2철이 Floc 생성속도가 빠르고 크게 형성되므로 탁도 제거에 효과적이었다. MRO에 의한 해수담수화의 시험결과는 Table 4와 같다. #1RO에서 1,451원/톤이고 #2RO에서 2,653원/톤이었다. 따라서 보령화력의 순수 생산비용은 2,131원/톤보다 다소 높게 나타났다. 그러나 절대용수원이 부족한 신규 발전부지나 장차 용수원 확보가 어려운 지역에서는 해수담수화를 검토할 수 있을 것이다.

또한 해수담수화 기술중에서 가장 경제성이 있는 역삼투막법(RO)과 다단증발법(MSF)이 있으나 역삼투막법이 훨씬 경제성이 있는 것으로 밝혀졌다.

Table 4. M.R.O. Plant 시험결과(Product stage)

항목	시료		# 2R/O
	해수	# 1R/O	생산수
pH	8.5	6.7	6.6
전도도(us/cm)	48,000	673	13
나트륨이온(ppm)	9,800	110	2.1
연소이온(ppm)	18,500	121	3.0
제거율(%)	-	99.8	97
회수율(%)	-	28	80
생산비(원/m ³)	-	1,451	2,653

★ 보령화력 순수생산단가 : 2,131원/m³

Table 5. 울산화력발전소 순수처리 장치 일반 현황

항목		규격	규격	비고
발전용량		MW	1800	총용량(6)
순수생산 CHAIN 수		기	6	
처리용량		톤/시간	60	
생산채수량(설계치)		톤/사이클	1360	
양이온수지	충진제 종류 및 충전량	ℓ	SK-1B(3300)	
	보충량(년)	%	5	
	재생제 종류 및 충전량	Kg	8% HCl, 620(35%)	
음이온수지	충진제 종류 및 충전량	ℓ	Lewatite M-540WS,6600	
	보충률(년)	%	10	
	재생제 종류 및 사용량	Kg	4% NaOH,520(45%)	
혼상탑	생산 채수량 (설계치)		톤/사이클	10,420
	충진제 종류 및 충전량	양이온	ℓ	SK-1B(850)
		음이온	ℓ	Lewatite M-540WS,850

3. 3. 고순수 생산을 위한 RO+IX공정

3. 3. 1. 시험 개요

본 시험에서는 기존의 용수원 수질이 악화됨에도 고순수의 발전용수를 안정적으로 공급하고자 기존 이온교환수지탑 전단에 역삼투막 장치를 연결 운용하는 기술을 평가하고 이의 경제성을 일일 생산량 2000톤을 기준으로 원수 수질의 총고형물(TDS) 75mg/ℓ, 150mg/ℓ, 300mg/ℓ, 별로 구분하여 평가하였다. 아울러 공정별 생산수의 순도 시험도 실시하여 수질도 비교하였다. 시험은 울산화력 순수생산 설비를 대상으로 시험하였다. 기존 공정도는 Fig. 2와 같으며 순수제조 장치

(a)와 이에 역삼투막 장치를 연결한 장치(b)로 구성하였다. 울산화력 순수생산 설비를 대상으로 시험하였다. 울산화력 기존의 응집침전조와 중력식 여과탑을 거쳐 여과수 저장조에 저장되고 이 여과수를 이동식 역삼투막장치로 처리한 후 기존의 활성탄 여과탑으로 보내지고 이어 이온교환수지탑으로 처리하는 공정이다. 역삼투막 장치의 설계 요건과 Membrane 사양은 Table 6과 같고 경제성 검토를 위한 원가 검토기준은 Table 7과 같다.

Table 6. 역삼투막장치의 설계요건과 Membrane 사양

구 분		염 수 용 R/O		비 고
		Feed	Product	
Flow rate (M ³ /Hr)		20.0	15.0	
Recovery ratio (%)		75		
TDS (mg/ l)		200	10	
SDI		5	-	
Membrane	제 작 사	UOP Fluid System		
	Type	Spiral wound TFC		
	재 질	Polyamide		
	규 격 (수량)	φ8"×4"L(18Ea)		
	Array	2 : 1 (Brine stage)		

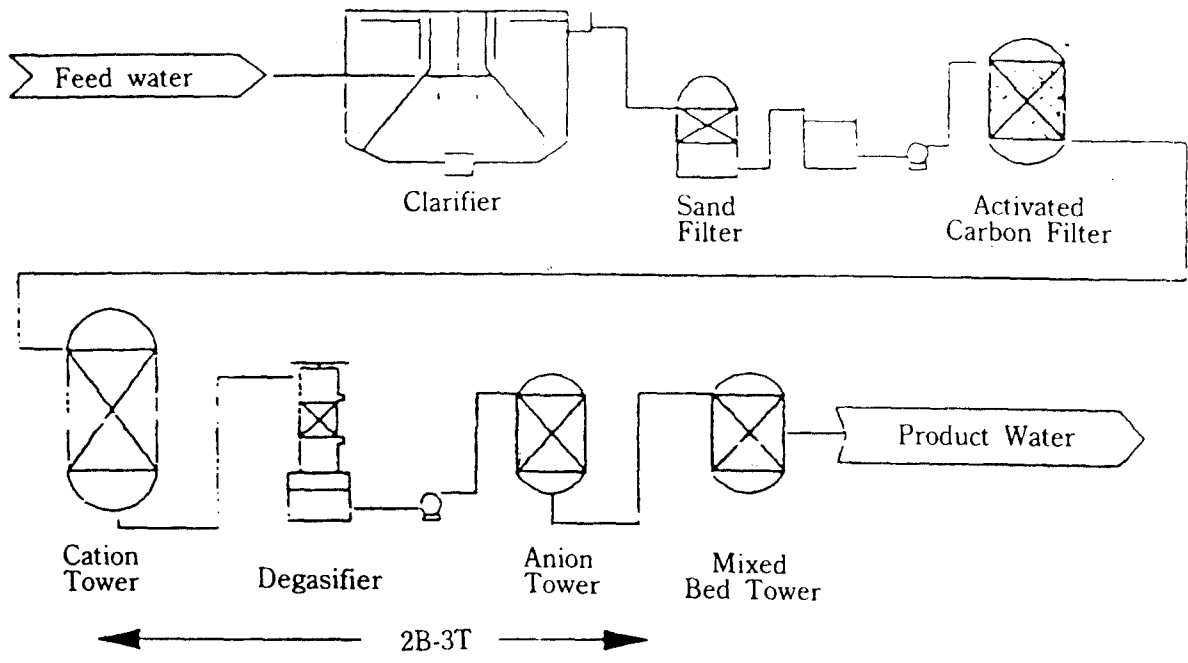
Table 7. 원가 검토 기준

가. 원수 수질 (PPM as TDS)

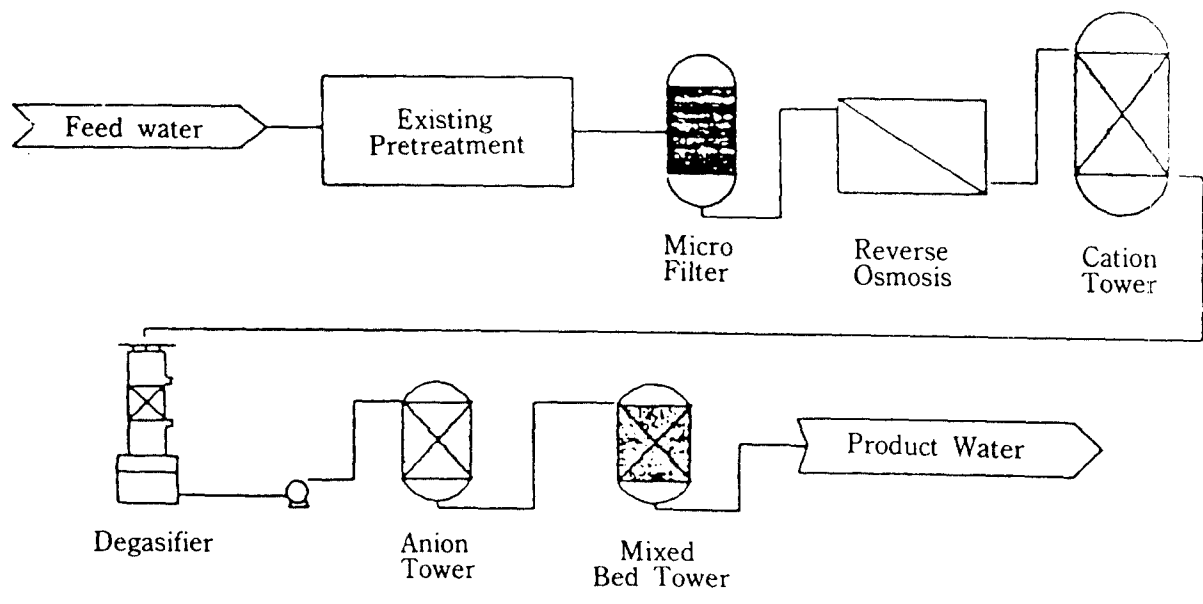
구 분	구 성	TDS	온 도	pH
기준 1	Ca 35.8 HCO ₃ 32.7	74.8	20℃	7.1
	Mg 26.7 SO ₄ 18			
	Na 12.3 Cl 24			
	SiO ₂ 5.8 NO ₃ 0.1			
기준 2	기준 1 × 2	150	20℃	7.1
기준 3	기준 1 × 3	300	20℃	7.1

나. 적용단가

순서	항 목	내 역	비 고
1	동 력 비	₩30/KWH	
2	가성소다 (as 45% soln)	₩246/Kg	
3	염 산 (as 35% soln)	₩55/Kg	
4	ALUM (주 응집제)	₩180/Kg	
5	AID (응집 보조제)	₩374/Kg	



(a)



(b)

Fig 2. Schematic diagram of demineralized plant

(a) Existing Ion Exchange System

(b) Plant after RO retrofit

3. 3. 2 장치구성

역삼투막 장치의 구성은 본래 전처리 장치 - 정밀필터 - 고압펌프 - 역삼투막 모듈 - 후처리 장치로 구성되며 그밖에 막세정 장치, 제어장치 및 각종 수질 계측 장치 등으로 구성되어 있다. 이 설비 중에서 전처리 장치는 이동식 역삼투막 장치의 것을 이용하지 않고 울산화력 순수생산 설비의 전처리를 그대로 사용하였다. 또한 울산화력의 용수원인 낙동강 원수 만을 처리하여 시험하였기 때문에 담수용 역삼투막장치(#2RO)만을 사용하고 해수용 역삼투막 장치(#1RO)는 사용하지 않았다. 담수탈염용 RO장치의 상세 사양은 다음과 같다.

1) 담수 탈염용 RO 장치(Reverse Osmosis Unit for Brackish Desalination)

- 운전압력 : 최고 25kg/cm^2 , 25°C
 실 운전시 15.5kg/cm^2 , 25°C
- 취수온도 : 설계치 20°C
- 취수용량 : $20\text{m}^3/\text{Hr}$
- 처리수 유량 : $10\text{m}^3/\text{Hr}$
- 농축수 유량 : $5\text{m}^3/\text{Hr}$
- 염수용 Membrane
 - 수량 : 18ea(3vessel \times 6elements=18)
 - 형태 : TFC Spiral Wound Type
 - 막재질 : Poly Amide
 - 크기 : 8"φ \times 40"L
 - 염분추출률 : 98.0% 이상
 - 제작사 : UOP Membrane Co.

3.3.3 시험결과

발전 용수원의 수질이 갈수록 악화되고 있는 실정으로 특히 동절기나 갈수기 때 반복적으로 오염물의 농도가 증가되어 순수제조설비의 오염도를 증가시키고 있다. 기존 이온교환 수지탑으로는 유기물의 제거 능력에 한계가 있어 그대로 순수 제조설비를 통과한 유기물 또는 미생물로 추정되는 물질의 함량이 증가됨으로 인하여 보일러 계통내 응축수의 전기전도도가 기준치 이상으로 상승하는 현상을 겪은바 있다.

본 시험이 수행한 울산화력발전소에서는 이러한 현상까지는 나타나지 않았으나 '87년 11월 낙동강 하구언이 준공되어 염분 농도의 증가는 줄었음에도 생활 오수와 산업 폐수의 영향으로 유기물 농도가 증가되는 추세이고 이온 염류도 증가하고 있다. 지난해 갈수기에는 전기 전도도가 약 $400\mu\text{s/cm}$ (설계치 200)로서 채수량이 820톤/Cycle ('92. 12)이 되어 설계치 1340톤/Cycle에 크게 미달되었다.

그러나 기존의 2Bed-3Tower, Anion Tower, Degasifier 전단에 역삼투막 장치

를 연결하여 시험 운전한 결과 기존 이온교환수지탑의 채수량 증가는 물론 생산수의 수질이 현저히 향상됨을 볼 수 있다.

기존의 이온교환수지탑과 전단에 역삼투막 장치를 연결 운영시 경제성을 평가하기 위하여 순수 생산단가를 수질에 따라 비교 검토하였다. Fig. 3은 울산화력 순수제조 설비에 RO를 연결하여 시험한 결과를 비교한 것으로 그림에서 보듯이 RO+IEX 공정은 수질의 변화에 크게 영향을 받지 않으나 IEX는 상당히 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 기존 이온교환수지탑 유입수의 25%를 RO로 처리하는 RO 부분 적용 공정과 RO를 이온교환 수지탑 전단에 전량 처리하는 공정을 비교하였다. Fig. 3에서 보듯이 RO 부분 적용 공정은 수질변화에 관계없이 경제성이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 전량 RO로 처리한 공정은 TDS 약 200mg/l가 분기점으로 나타났다. 이는 기존 이온교환수지탑의 재생횟수를 크게 줄이기 때문에 재생 약품비와 재생 폐액 처리비용이 절감되기 때문이다. 본 RO 장치를 연결 시험한 울산화력의 이온교환수지탑은 비교적 재생효율이 좋아 재생 약품비가 적게 소요되는 향류식 재생방식으로 경제성 측면에서 이온교환수지탑에 유리한 경우이다. 그러나 발전소의 기존 수처리 설비의 약 80% 이상을 차지하는 병류식 재생방식을 기준으로 검토한 결과를 보면 Fig. 4와 같으며 부분 RO 처리시는 역시 경제성이 낮아 수질이 TDS 225mg/l로 크게 악화시만 경제성이 있으나 전량 RO 처리시는 TDS 약 110mg/l가 분기점으로 나타나 이 수치는 국내 발전소 용수원의 갈수기 수질보다 낮은 값으로 나타났다.

그러나 신규 Plant 건설시 염수를 처리하기 위한 각 공정별 경제성을 평가한 보고서를 참조하면 RO+Polisher의 시스템으로 설계시, 기존 이온교환수지탑 전단에 역삼투막장치를 연결할 때보다 훨씬 경제성이 있음을 발표하고 있다. 현재 대략 TDS기준 약100mg/l 이하의 분기점으로 발표되고 있으나 관련기술의 발전 추세로 볼 때 경제성은 더욱 높아질 전망이다.

4. 향후 전망

Membrane의 발전속도와 용수원의 오염도 추세 정도로 미루어 볼 때 membrane technology가 발전용 수처리설비에 많이 채택될 전망이다. 그이유는 막분리기술은 상변화(Phase change)를 수반하지 않기 때문에 에너지절약형으로 타공정보다 경제성이 높고 운전이 비교적 간단하여 완전자동화가 가능하기 때문이다. 아울러 막분리장치 운영비의 1/3정도를 차지하는 전력비를 발전원가로 사용할 수 있으며, 심야 부하전력을 이용 할 수 있다. 또한 발전설비는 더욱 고온고압화되고,

적용되고 있는 수처리기술은 보다 고순도의 수질을 요구하기 때문에 일반적으로 RO후단에 polisher를 채택하고 있다. 향후 polisher는 혼상이온교환수지탑보다는 CDI(Continous deionization)의 채택이 유망하리라 본다. CDI는 Ion exchange

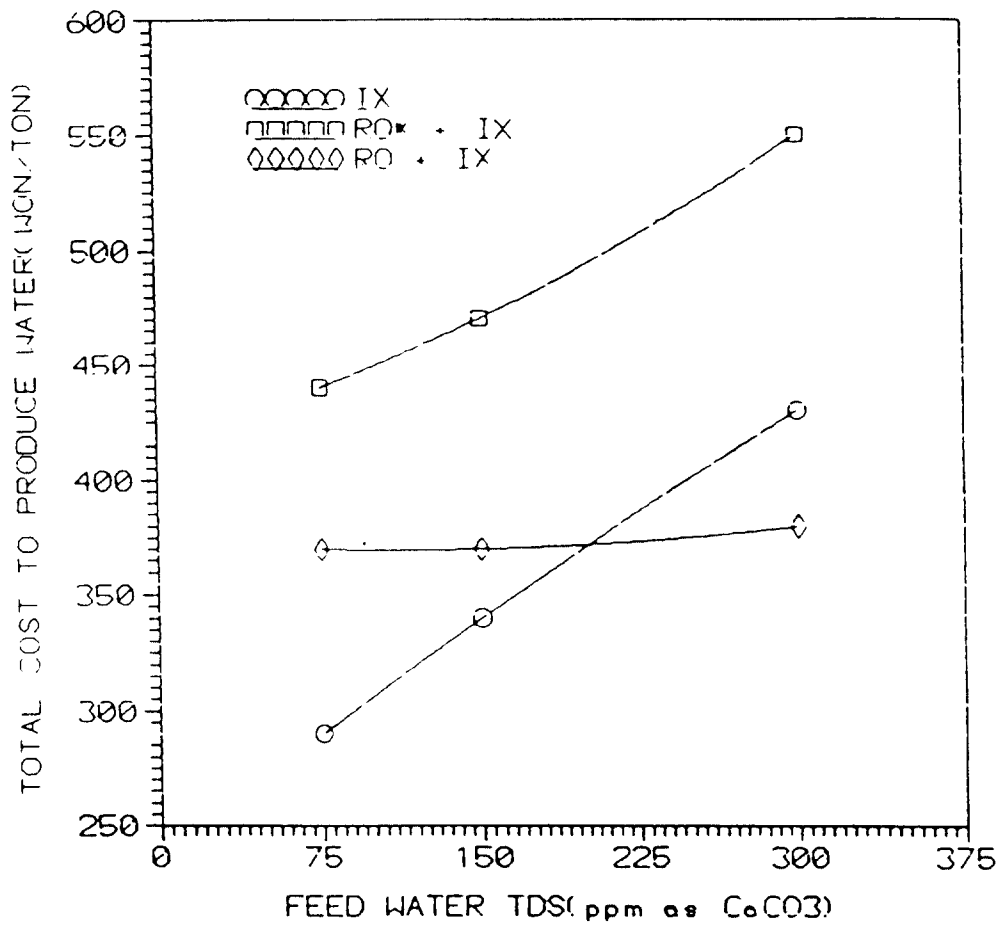


Fig 3. The Economical Comparison of the Combination of RO/IX on Feed Water TDS(at Counter-current Reg)
 Cf, RO* + IX : Partial flow RO(25%) + IX
 RO + IX : Full flow RO(100%) + IX

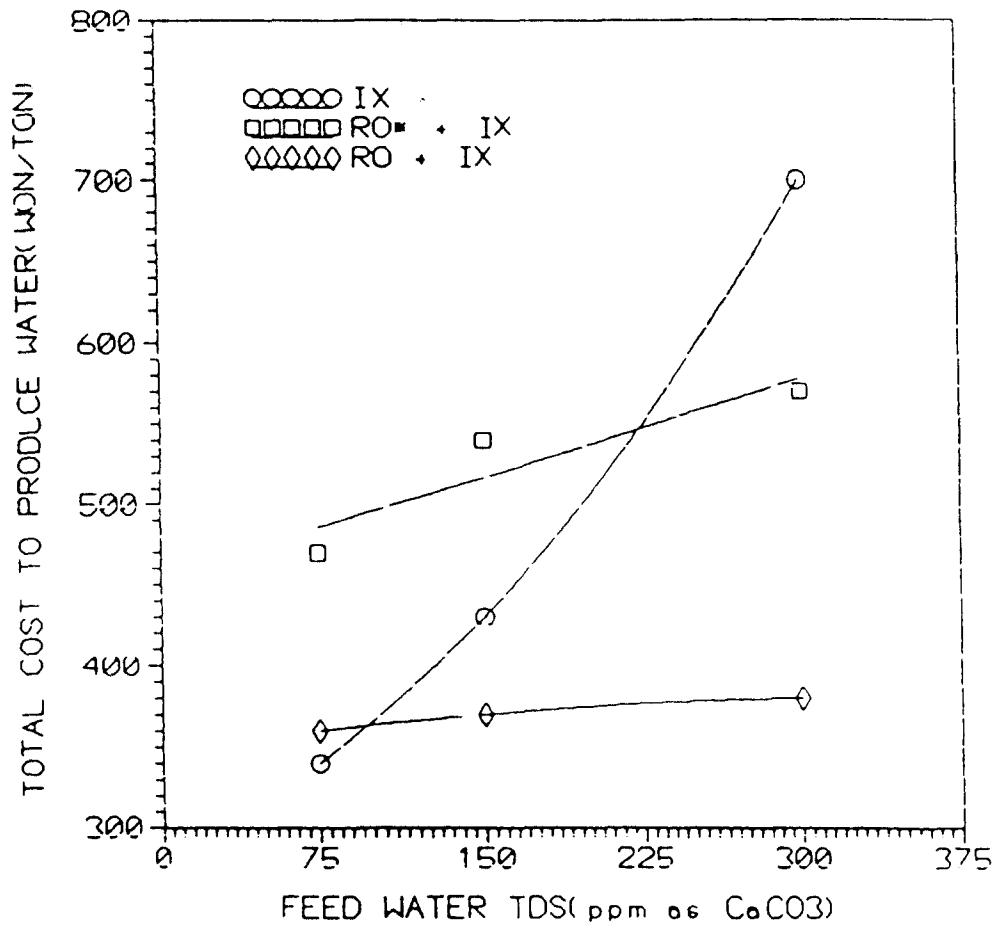


Fig 4. The Economical Comparison of the Combination of RO/IX on Feed Water TDS(at co-current Reg)
 Cf, RO* + IX : Partial flow RO(25%) + IX
 RO + IX : Full flow RO(100%) + IX

membrane, Rein, Electricity를 이용하여 약품 재생공정없이 전기힘에 의하여 수 중의 이온성분을 연속적으로 제거한다. DC전류가 양극(Anode, Cathode)에 인가 되면 Dilute compartment의 이온성분들이 IX membrane를 통과하여 concentrate compartment로 모여 농축제거되고, Dilute compartment에는 순수한 물만 남게된다. Dilute compartment에 충전된 Mixed resin은 이온의 이동(Transfer)를 원활하게 해주며, Dilute compartment의 저항을 감소시켜 전류흐름을 증가시킨다. DC 전류에 의해 dilute compartment의 물은 H⁺과 OH⁻로 분해되어 충전된 Mixed resin을 연속적으로 재생시켜 준다. 그림5는 CDI의 원리를 보여주고 있으며, 그림 6은 RO+CDI의 공정도이다. RO+CDI는 화학폐수를 발생하지 않는 장점과 함께 별도의 약품저장탱크와 설비등이 요구되지 않아 이동식 발전용수설비로는 매우 적절할 것이다. 또한 RO+CDI는 원수의 TDS에 크게 영향을 받지 않기 때문에 용수원 수질이 악화되면 더욱 유리할 것으로 전망된다.

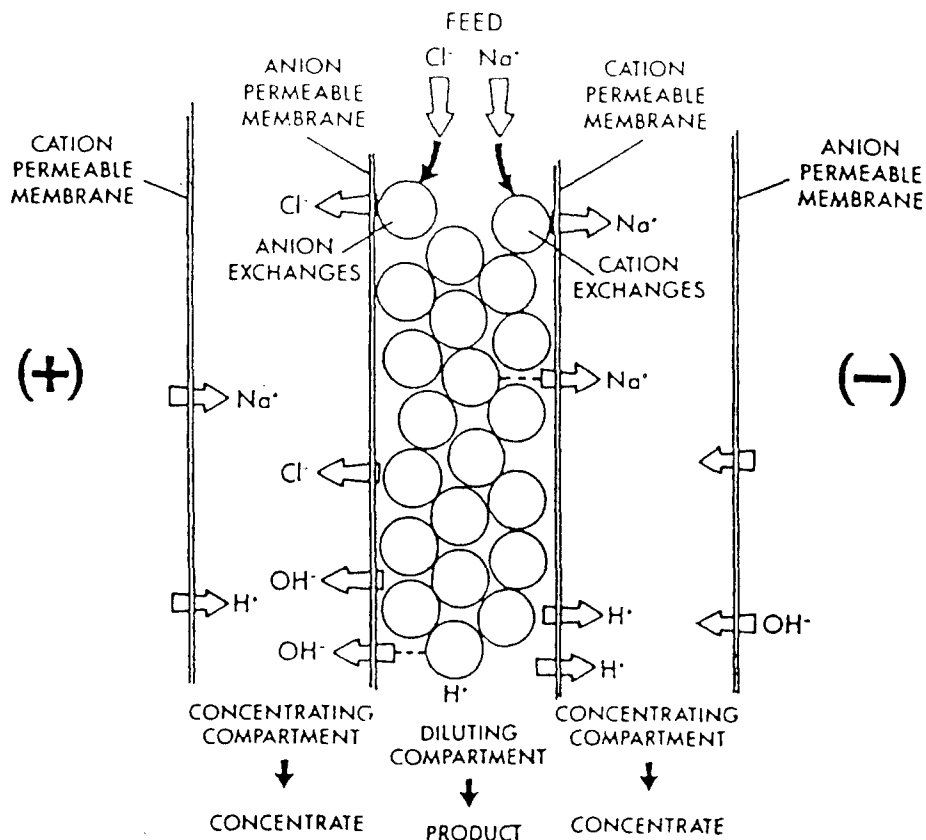


Fig 5. Continuous deionization

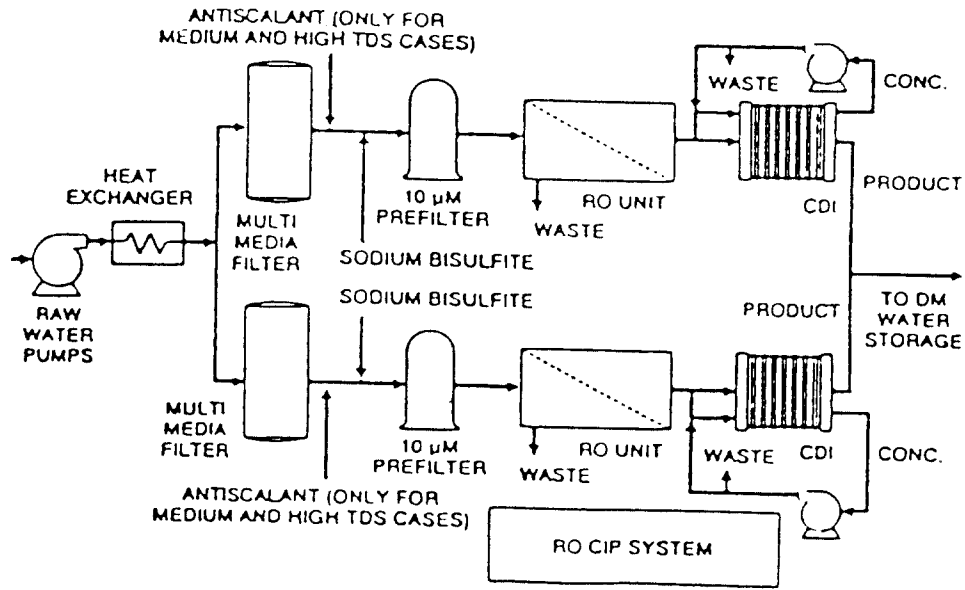


Fig 6. RO-CDI

5. 결 론

발전용수처리 기술의 발전을 크게 살펴 보면 80년대까지 주로 이온교환처리법에 의존하였으나 그 이후 막분리 기술의 발전과 함께 이의 혼합공정이 최근에 크게 이용되게 되었다. 역삼투막장치를 이용한 발전용수 확보를 위한 검토 내용을 요약하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 양질의 순수를 생산하기 위하여 RO×IX 공정은 매우 경제성이 있으며 처리수의 수질도 크게 향상되었다. 기존 이온교환수지탑(2B-3T, MBP)의 전단에 RO 장치를 연결 시험 운전한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 기존 IEX 장치가 향류 재생방식일 경우 대략 TDS 200mg/ℓ가 경제성 분기점으로 나타났고, 국내 발전소의 80% 이상을 차지하는 병류재생방식에서는 TDS 110mg/ℓ가 분기점으로 나타났다. 처리수의 수질은 음이온탐 출수구의 전기 전도도는 2.7~3.3→0.2~0.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 크게 향상되었다.

2. 역삼투막법에 의한 해수담수화가 증발법보다 경제성이 있으며 절대용수가 부족할 경우 해수의 가용용수원이 풍부하다는 장점과 함께 발전소의 심야부하창출에도 기여할 수 있어 신규건설부지의 용수원으로 검토해 봄직하다. 아울러 도서지방의 발전용수 및 생활용수 공급을 위하여 Package type RO System이 매우 유용하다.

향후 우리 나라의 용수 부족 및 수질오염 현상이 더욱 심화될 것으로 전망됨에 따라 발전용수원의 확보와 고순수의 생산을 위하여 역삼투막법 기술의 활용은 크게 확대될 것으로 전망되며 막의 국산화와 고압펌프의 기술향상 등으로 더욱 경제성이 높아질 전망이다.

참 고 문 헌

1. “담수화에 관한 연구”, 한국전력공사 기술연구원 연구보고서(1990. 6).
2. “이온교환수지의 혼합사용 및 탈염장치 효율향상 방안 연구”, 한국전력공사 기술연구원 연구 보고서(1988. 2).
3. “역삼투막장치를 이용한 고순수 생산 연구”, 한국전력공사 기술연구원 연구보고서(1994. 3).
4. International Desalination Association, “Proceedings of the IDA and WRPC World Conference on Desalination and Water Treatment”(1993).