

## 전력사업에서의 막분리 이용 현황

박 광 규

한국전력공사 기술연구원 전력연구실 수화학연구팀  
(1994년 6월 30일 접수, 1994년 7월 30일 채택)

### Status of Membrane Application in Electric Power Industry

Kwang Kyu Park

Korea Electric Power Corporation Research Center

(Received June 30, 1994, Accepted July 30, 1994)

#### 1. 서 론

우리 나라는 산업의 지속적인 발달로 用水需要는 점차 증가하고 있으나 용수원의 한정과 수질오염에 따라 가용용수가 감소하는 추세에 있다. 이러한 문제는 전력사업에도 예외일 수없이 겪고 있으며 최근의 전력수요 증가에 따른 발전소 건설부지 확보와 아울러 당면한 과제로 직면하고 있다.

또한 기존의 용수원도 주변 환경오염 등으로 점차 악화되어 지금까지 주로 적용하여온 이온교환수지기술에 한계가 오고 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 주로 운전되고 있는 아임계압 보일러의 수질기준치(0.2  $\mu$ s/cm 이하)보다 더욱 엄격한 기준을 요구하고 있다. 이온교환법(IX)으로는 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 아

산호에서 지하수로 용수원을 변경하였으나 지하수의 수질도 저하되고 수량도 점점 감소되고 있는 추세에 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 크게 3가지 방향으로 검토할 수 있다.

1) 기존 용수 생산설비의 보강을 위하여 이온교환수지탑 전단에 역삼투막 장치를 설치하는 RO+IX 공정

2) 대부분의 발전단지가 해안에 인접되어 있기 때문에 비교적 용수원에 제약을 받지 않는 해수 담수화 기술

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

水の脫 Ion 기술발전은 1850~1855년에 영국의 Thompson이 발견한 토양의 Ion 교환현상에 의해 개시되었다. 이 연구는 Thomson의 친구인 Way에 의

해 계속되어 황산 알루미늄과 규산나트륨에서 Alumina Silicate gel을 처음으로 만들었으며 이것이 인류가 만든 최초의 합성 ion 교환체로 알려지고 있다.

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

그후 ion 교환수지는 세계 각국에서 경쟁적으로 제조가 시작되어지고, 현재 세계의 탈 ion 기술의 중요한 지주로 되어 있다. 2차 세계대전까지의 ion 교환수지는 phenol 수지계나 Amine 수지 등 縮合形식이었지만 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 ion 교환수지는 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. ion 교환수지는 그후 ion 교환막으로 형태를 바꾸어 1951년에 최초로 ion 교환막의 공업제품이 세상에 출현하고 1954년에는 그 이온교환막을 이용한 水의 탈 ion용 電氣透析裝置가 실용화 되어지게 되었다. 이 ion 교환막의 개발과 실용화에 고조되어 막에 의한 水의 탈 ion 기술의 연구가 급속히 행하게 되고 1960년에 실용성을 가진 逆浸透膜이 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 분획

성능을 보유한 한외여과막이 최초로 등장했다.

이 역삼투막과 한외여과막의 출현은 금일 海수의 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 양 ion 교환수지와 강염기성 음 ion 교환수지를 사용한 2상식 대형순수제조장치 (190,000m<sup>3</sup>/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 63m<sup>2</sup>/g이고 통상의 gel형 음 ion 교환수지에 비하여 고분자유기물에 대한 흡·탈착성이 우수한 것이다. 그후 1963년에 일련의 Macro Reticular 구조의 ion 교환수지로 약염기성의 Amberlite IRA-93, I형 강염기성의 Amberlite IRA-900, II형 강염기성의 Amberlite IRA-911의 제조를 하였다.

세계의 ion 교환수지의 Maker 수는 14개국 20사에 달했으며, ion 교환수지의 연간 수요량은 약 50,000m<sup>3</sup>으로 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. 그후 복상식에서 혼상식으로 개선되어 1966년에 이동상형 혼상식 연속 ion 교환순수 제조장치의 실장치 (2,400m<sup>3</sup>/H)가 건설운전되었다.

우리의 전력사업에 있어서도 삼척화력 #2 건설시 강산성 양 ion 교환수지인 Amberlite IR-120을 이용한 경수연화 장치가 설치되어 기존 화력발전소의

Table 1. 각종 ion 교환수 제조장치의 종합 비교표

항 목		각 방식	병류 재생식 (DF)	향류 재생식 (UP)	재생제 회수형 Strata	특별 재생제 Strata	Twin Strata
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) SiO <sub>2</sub>		2~5 0.05~0.5	0.2~1.00 0.01~0.02	0.2~1.0 0.01~0.02	0.2~1.0 0.01~0.02	0.2~1.0 0.01~0.05
설 치 면 적	건 설 비		소 짜다	중 소	대	중	소
				소	약간 높다	약간 높다	보 통

\* ( )내의 재생시간은 특별 재생의 시간

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 Oil Shock 이후 저성장시대에 이르러 자원절약이 강조되면서 ion 교환방식도 재생용 약품을 절감시키는 향류 재생방식이 출현했다. 향류재생방식은 처리 후의 순도의 향상과 재생용 약품의 사용량을 대폭으로 절감하기 위해 적용한다. 우리공사의 수처리 설비는 울산 화력 #4, 5, 6 인천화력 #3, 4가 향류재생방식(상향류 재생, 하향류 통수)을 채용하고 있으며 기타 발전소는 병류재생방식(하향류 재생, 하향류 통수)을 채택하고 있으므로 효율면에서 뒤떨어지고 있다.

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

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

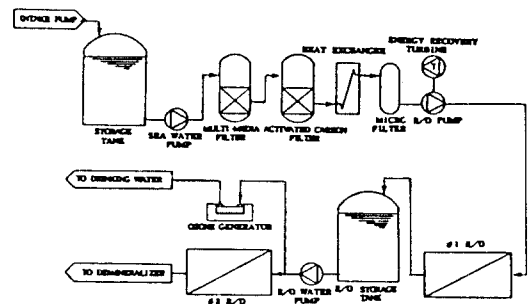


Fig. 1. MRO의 간략한 흐름도

(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 처리수를 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. 최근의 수처리 경향으로 볼 때 Membrane Technology가 발전용 수처리방법으로 많이 적용될 전망이다. 그 이유는 여러 가지가 있겠으나 막분리 기술은 상변화(phase change)를 수반하지 않기 때문에 에너지 절약형으로 타공정보다 경제성이 높고 운전이 비교적 간단하여 완전자동화를 할 수 있어 운영원을 감축할 수 있다는 것이다. 또한 이온교환법과 같이 화학세정 폐액을 발생하지 않는다는 장점이 있다. 이들 중 국내여건에 가장 경제성이 있는 역삼투막법에 대하여 처리수의 종류에 따른 경제성을 중심으로 검토하고자 한다.

### 3. 역삼투막장치를 이용한 발전용수 확보

#### 3. 1. Package형(소형) RO에 의한 해수담수화

##### 3. 1. 1. 시험 개요

우리 나라의 60여 도서지방에 자체 전력소요를 충족하기 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 인수하여 운용하게 되어 있다. 따라서 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.

##### 3. 1. 2. 시험 결과

시운전후 1개월 뒤 음료수 적격여부 시험결과 Table 3과 같이 상수도 기준치를 만족하는 결과를 보였다. 3월 배출수 재처리(Brine stage)시스템으로 제작하여 운전한 결과 11개월 후에 3번째 반투막의 생산수가 음료수 수질기준치인 500ppm(as TDS)을

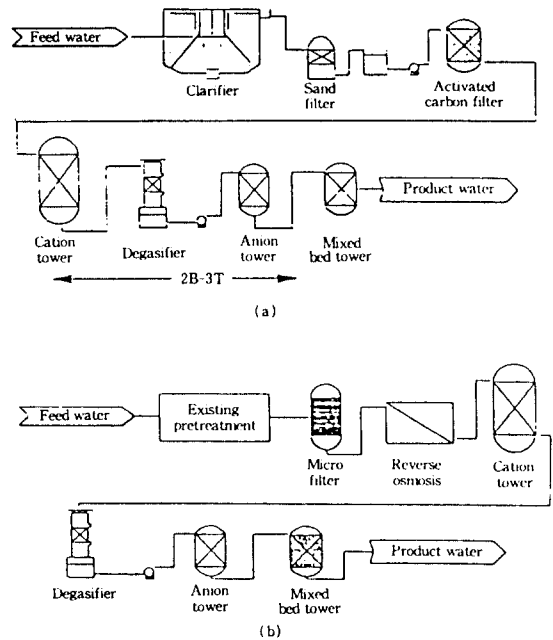


Fig. 2. Schematic diagram of demineralized plant.

(a) Existing ion Exchange System

(b) Plant after RO retrofit

Table 2. 추자내연 RO 시스템의 규격

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

Table 3. 추자내연 R. O. Plant 시험결과(Brine stage)

항 목	시 료	해 수	R.O. 생산수	음 료 수 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
중발잔유물(mg/ℓ)		38,862	194	500이하
납[Pb](mg/ℓ)		0.010	불 검출	0.1이하
대 장 균 균		9/50ml당	불 검출	불검출/50ml
제거율(%)			99.3 이상	
생산비(원/m <sup>3</sup> )			710	

회전 넘는 720ppm으로 되어 각 반투막모듈에서의 생산수를 합친 것이 570ppm을 넘었다. 또한 1일 생

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

시료	해 수	# 1 R/O 생산 수	# 2 R/O 생산 수
항 목			
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 <sup>3</sup> )	—	1,451	2,653

\* 보령화력 순수생산단가 : 2,131원/m<sup>3</sup>

산량도 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 일단평형시스템(single stage parallel system)을 설계를 하여야 수질유지 및 경제성 측면에서 효과적인 것으로 판단되었다. 생산비용은 톤당 약 710원 정도로 매우 경제성이 있었으며 내연발전소의 냉각수를 원활히 공급함은 물론 인근 주민에게도 생활용수를 공급할 수 있었다.

### 3. 2. 이동식 역삼투막장치(MRO)에 의한 해수담수화

#### 3. 2. 1. 시험 개요

신규발전소의 계속적인 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 RO 장치와 이것을 재처리하여 생산수수질 30ppm(as TDS)이하를 생산하는 #2 RO 장치로 구성되는 생산수 재처리 시스템을 구성하여 해수담수화 기술을 평가하였다.

장치구성은 해수담수용 역삼투막장치(#1 RO)와 담수 탈염용 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 제

Table 5. 울산화력발전소 순수처리 장치 일반 현황

항 목	단 위	규 격	비 고
발전용량	MW	1800	총용량(6)
순수생산 CHAIN 수	기	6	
처리용량	톤/시간	60	
생산채수량(설계치)	톤/사이클	1360	
양이온수지	충진제 종류 및 충진량	ℓ	SK-1B(3300)
	보충량(년)	%	5
음이온수지	충진제 종류 및 충진량	ℓ	Lewatite M-504WS,6600
	보충량(년)	%	10
혼	재생제 종류 및 사용량	Kg	4% NaOH, 520(45%)
	생산 채수량(설계치)	톤/사이클	10,420
상	충진제 종류	양이온	ℓ SK-1B(850)
	담	충진제 종류	음이온

품으로 나권형 타입의 Polyamide 재질 42개(8"×40")가 소요되었다.

#### 3. 2. 2. 시험 결과

TFC Spiral-Wound막의 공급수 최고허용 탁도는 1.0NTU이고 SDI는 5 이하이다. 운전경험으로 보아 막 모듈에 공급되는 보급수의 탁도는 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 보령화력 물량장에서는 응집제의 농도가 높을수록 응집 효과가 좋았고 같은 농도에서는 황산알루미늄보다 염화제2철이 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 6. 역삼투막장치의 설계요건과 Membrane 사양

구 분	염 수 용 R/O		비 고
	Feed	Product	
Flow rate (M <sup>3</sup> /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	Polyimide	
	규격(수량)	φ 8" × 4"L(18Ea)	
	Array	2:1 (Brine stage)	

Table 7. 원가 검토 기준  
가. 원수 수질 (PPM as TDS)

구 분	구 성			TDS	온도	PH	
기준 1	Ca	35.8	HCO <sub>3</sub>	32.7	74.8	20℃	7.1
	Mg	26.7	SO <sub>4</sub>	18			
	Na	12.3	Cl	24			
	SiO <sub>2</sub>	5.8	NO <sub>3</sub>	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	비고
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	

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 기존의 응집침전조와 증력식 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.

3. 3. 2 장치 구성

역삼투막 장치의 구성은 본래 전처리 장치-정밀 필터-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 원수만을 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<sup>2</sup>, 25℃  
실 운전시 155kg/cm<sup>2</sup>, 25℃
- 취수온도 : 설계치 20℃
- 취수용량 : 20m<sup>3</sup>/Hr
- 처리수 유량 : 10m<sup>3</sup>/Hr
- 농축수 유량 : 5m<sup>3</sup>/Hr
- 염수용 Membrane
  - 수량 : 18ea(3vessel × 6elements = 18)
  - 형태 : TFC Spiral Wound Type
  - 막재질 : Poly Amide
  - 크기 : 8"φ × 40"L
  - 염분 추출률 : 98.0% 이상
  - 제작사 : UOP Membrane Co.

3. 3. 3. 시험 결과

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 유기물의 제거능력에 한계가 있어 그대로 순수 제조 설비를 통과한 유기물 또는 미생물로 추정되는 물질의 함량이 증가됨으로 인하여 보일러 계통내 응축수의 전기전도도가 기준치 이상으로 상승하는 현상의

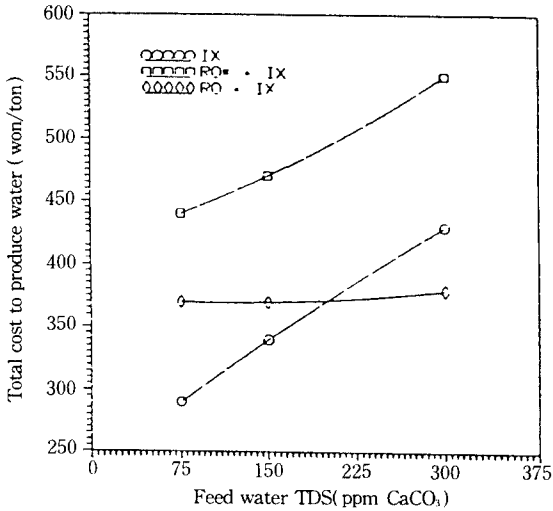


Fig. 3. The economical comparison of the combination of RO/IX on feed water TDS(at counter-current reg) Cf. RO+IX : partial flow RO (25%)+IX  
RO+IX : full flow RO(100%)+IX

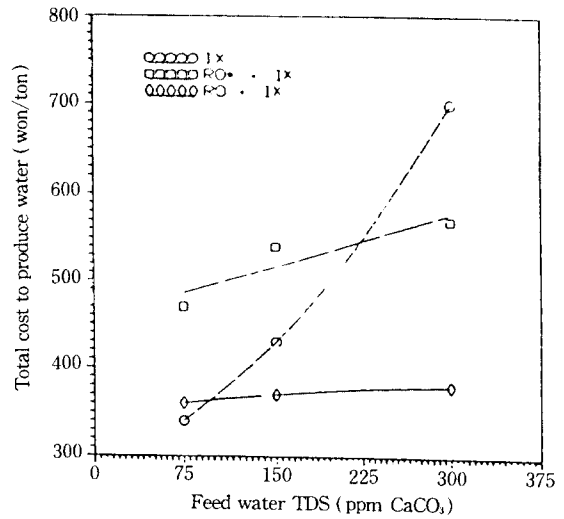


Fig. 4. The economical comparison of the combination of RO/IX on feed water TDS(at Co-current reg) Cf. RO+IX : partial flow RO (25%)+IX  
RO+IX : full flow RO(100%)+IX

Table 8. 생산수의 수질 비교

항	목	W/O RO	WITH RO
Anion	출구수 전도도( $\mu$ s/cm)	2.7~3.3	0.2~0.4
MBP	"	0.1	0.08~0.1
MBP	출구수 박테리아(colony)	15	-

겪은 바 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 $\mu$ s/cm (설계치 200)로서 채수량이 820톤/Cycle ('92. 12)이 되어 설계치 1340톤/Cycle에 크게 미달되었다.

그러나 기존의 2Bed-3Tower (Cation Tower, Anion Tower, Degasifier) 전단에 역삼투막 장치를 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 울

산화력 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 RO부분 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 재생약품비와 재생 폐액 처리비용이 절감되기 때문이다. 본 RO 장치를 연결 시험한 울산화력의 이온교환수지탑은 비교적 재생효율이 좋아 재생약품비가 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 악화지만 경제성이 있으나 전량 RO 처리시는 TDS 약 110mg/l가 분기점으로 나타나 이수치는 국내 발전소 용수원의 갈수기 수질

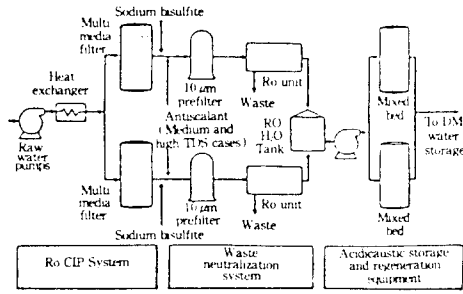


Fig. 5. Flow diagram for an RO/MBP system.

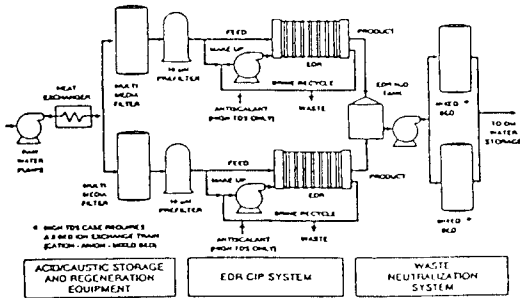


Fig. 6. Flow diagram for an EDR/MBP system.

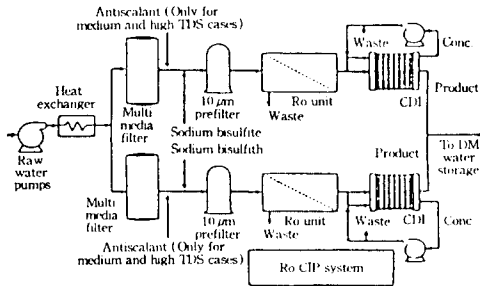


Fig. 7. RO-CDI

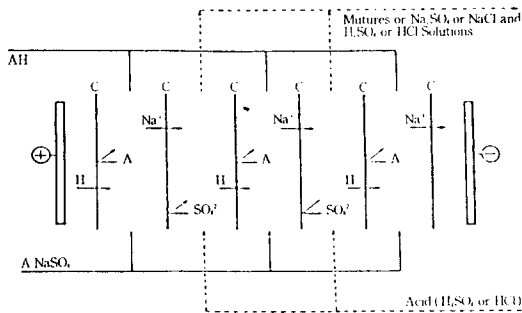


Fig. 8. Electro dialysis.

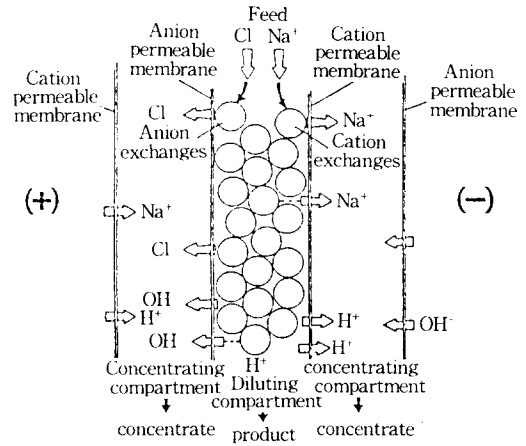


Fig. 9. Continuous deionization.

보다 낮은 값으로 나타났다.

그러나 신규 Plant 건설시 염수를 처리하기 위한 각 공정별 경제성을 살펴 보면 기존이온교환수지탑 전단에 역삼투막장치를 연결할 때보다 훨씬 경제성이 있음을 알 수 있다. Fig. 5에서 7까지는 RO/MBP System, EDR/MBP System 및 RO/CDI System에 대한 개략공정도를 나타낸 것이다. 이들의 대략적인 경제성을 살펴 보면 원수의 이온부하량이 낮은 범위의 TDS(80mg/l)에서는 IX가 가장 경제성이 있는 공정이며 RO/MBP 및 EDR/MBP도 목적에 따라 사용 가능하지만, RO/CDI는 경제적이지 못하다. 그러나 RO/CDI의 경우에는 화학폐수가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 원수부하량이 중간범위의 TDS (80~350mg/l)에서는 RO/MBP, EDR/MBP가 경제적인 공정이며 IX 및 RO/CDI는 가격은 비싸지만 목적에 따라 사용 가능하다. 높은 범위의 원수 TDS (350mg/l)에서는 RO/IX 및 RO/CDI가 경제적인 공정이 되는데 이 이유는 RO와 CDI가 TDS의 영향을 별로 받지 않기 때문에 TDS가 높을수록 RO와 CDI가 투자비 및 운전비 면에서 유리하기 때문이다. Fig. 8과 9는 각각 ED 및 CDI의 원리를 나타낸 것이다.

#### 4. 결 론

발전용수처리 기술의 발전을 크게 살펴 보면 80년 대까지 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 RO장치를 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 병류 재생방식에서는 TDS 110mg/ℓ가 분기점으로 나타났다. 처리수의 수질은 음이온탐 출구수의 전기 전도도는 2.7~3.3→0.2~0.4 μv/cm로 크게 향상되었다.

2. 역삼투막법에 의한 해수담수화가 증발법보다 경제성이 있으며 절대용수가 부족할 경우 해수의 가용용수원이 풍부하다는 장점과 함께 발전소의 심야부하 창출에도 기여할 수 있어 신규건설부지의 용수원으로 검토해 볼지하다. 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.

## 참고 문헌

1. “담수화에 관한 연구”, 한국전력공사 기술연구원 연구보고서(1990. 6).
2. “이온교환수지의 혼합사용 및 탈염장치 효율향상 방안 연구”, 한국전력공사 기술연구원 연구보고서(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).