

4. 제철소 폐수의 재활용을 위한 막분리 공정

(전인수, 이철 박사, 포스크개발(주))

제철소 폐수의 재활용을 위한 막분리 공정

포스코개발(주) 환경사업본부
이 철, 전인수

ABSTRACT

In case of industrial wastewater, it has various pollutants, high concentration and different physical, chemical properties each other in accordance with classification of wastewater. Therefore, after inquiring into the influence on the membrane of the dissolved pollutants, we should select the membrane of best efficient quality.

1. 서론

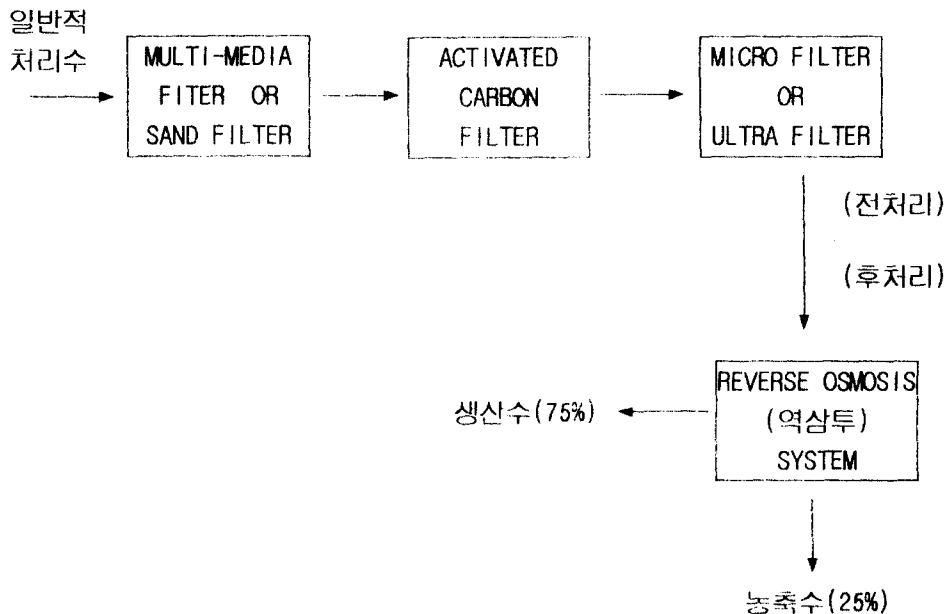
산업의 발달과 도시인구 집중현상으로 상수원 및 공업용수의 대부분을 지표수에 의존하고 있는 우리나라는 심화되는 수질오염 및 수자원의 고갈에 대처하기 위하여 점차적으로 고도 수처리에 의하여 폐수를 재활용 하는 기술이 요구됨으로써 새로운 수처리의 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 최근에 새로운 수처리 기술 중 분리막을 이용한 폐수처리 및 재활용 기술이 실용화되어 각광을 받고 있지만, 우리나라의 경우는 기술개발의 경험이 거의 없는 상태다. 초순수 제조나 해수 담수화의 경우처럼 유입수 수질이 양호하거나 수질이 일정한 경우는 막분리 공정이 문제가 없으나 산업폐수의 경우에는 오염물질이 매우 다양하고 농도가 높으며 폐수의 종류에 따라 물리 화학적 특성이 각기 다르므로 이용된 오염물질이 분리막에 미치는 영향을 면밀히 검토하여 가장 분리효율이 좋은 막을 선정하여야 한다.

폐수처리에서는 이 분리막의 FOULING 정도가 역삼투(R/O) 공정의 성공 여부를 결정짓는다. 배수 종말처리시설에서 배출되는 방류수를 담수로 재이용하고자 적정의 R/O PROCESS의 선정을 위하여 PILOT TEST를 하고 있다.

1.1 현황

국·내외적으로 환경문제가 심각히 대두되고, 환경라운드(GREEN ROUND)의 태동으로 말미암아 제품에 대한 환경관련 경영여건의 변화에 신속히 대응해야 한다. 또한 수자원의 고갈 및 수질오염으로 인한 상수원 확보의 한계성으로 인하여 방류되는 폐수를 재활용하는 SYSTEM이 검토되어야 하고, 특히 정책적 경제적면에서 경쟁력 있는 상황이 조만간 도래할 것으로 예측된다.

1.1.1 고도처리 공정도



1.1.2 국내 기술 현황

표 1 : 국내·외 기술 현황

구분 요소기술	국내	국외
○ 전처리 기술		
☞ SAND FILTER	- 기확보	- 기확보
☞ MULTI-MEDIA FILTER		
☞ MICRO FILTER	- 일반적 기술 확보	- 개량기술(운전비절감) 확보
☞ ULTRA FILTER		
○ MEMBRANE(R/O) 기술	- R/O에 대한 기본실계를 기술선 또는 MAKER 중심으로 확보	- 막적용 실적과 향상된 막적용 가능 - 계속된 기술 개발중

○ 국내에는 폐수 재이용 실적이 거의 없으며, 현재 대규모 PROJECT로서 한솔제지에서 SPIRAL WOUND TYPE의 R/O PLANT(10,000m³/D)가 설치되었으며, 대기업에서 계획중이다.

○ 현재 국내 자체기술로 폐수 재이용 PLANT를 성공한 예는 없으며 외국 기술선과 협업하여 사업을 추진하면서 자체 기술화 노력이 필요하다.

표 2 : 국내 R/O 설치 현황

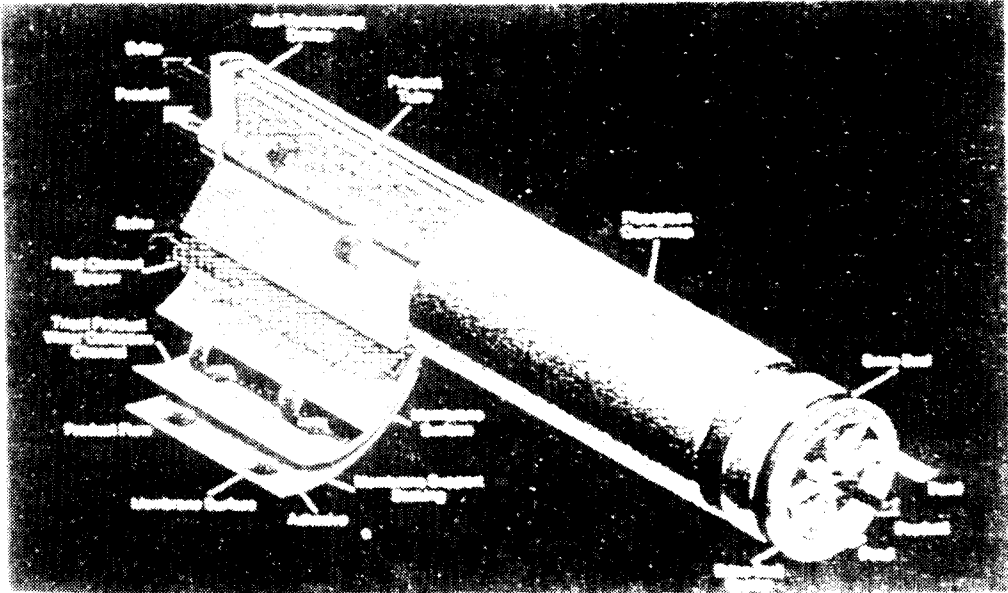
회 사 명	용량 (m ³ /DAY)	소 재 지
삼성석유화학	30,000	충남 대산
현대종합화학	50,000	충남 대산
현대정유	10,000	충남 대산
한솔제지	10,000	전북 전주
미원농장	400	경기 이천
한국비료공업	100	경남 울산
금호 타이어	350	전남 곡성

1.2 R/O MODULE 종류

MEMBRANE을 실제로 사용하기 위하여 압력용기에 넣어 사용하게 되는데 이것을 MODULE 이라고 한다. 이 MODULE은 형태에 따라 SPIRAL WOUND TYPE, DISC-TUBE TYPE, HOLLOW FIBER TYPE, TUBULAR TYPE, PLATE & FRAME TYPE으로 구분된다.

1.2.1 나선형 (SPIRAL WOUND TYPE)

모듈당 막면적이 넓고 투과 유속도 크며 장치가 COMPACT하고 비교적 가격도 싸기 때문에 오늘날 가장 많이 사용하는 모듈이다. 2장의 평막 사이에 통수 가능한 지지체를 넣고 막의 외면에는 그물 형태의 SPACER을 적층시킨 후 ROLL CAKE 형태로 말아서 만든 모듈이다. 또한 SPACER가 난류 촉진 역할을 하는 기능을 가지고 있고, 막에 대한 공급 유량이 적어도 막면에서의 농도분극 (CONCENTRATION POLARIZATION) 현상을 억제할 수 있는 반면에 유로단면이 $700\mu\text{m}$ 이하로 작기 때문에 적절한 전처리가 필수적이다. 즉 고농도의 SLURRY 물질에 의해서 장애가 일어나기 때문에 막의 세정에 의한 성능 회복에도 문제가 된다.



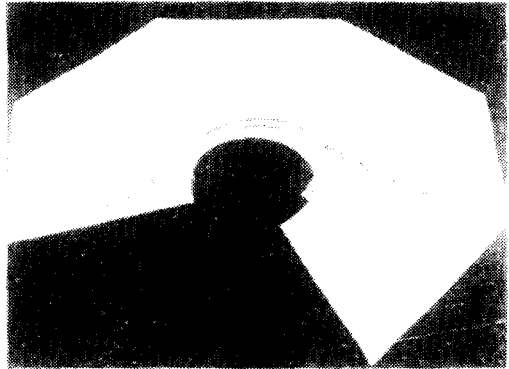
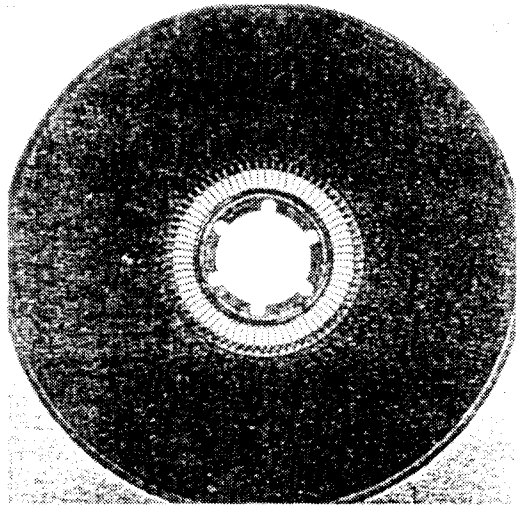
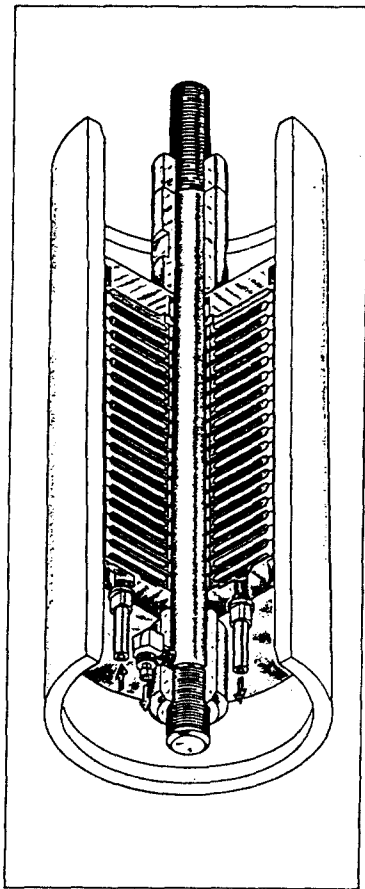
SPIRAL WOUND MODULE

1.2.2 DISC-TUBE TYPE

DISC-TUBE TYPE MODULE은 압력판 (HYDRAULIC DISC)들 사이에 분리막 (MEMBRANE CUSHION)을 겹쳐서 중앙의 장력봉 (TENSION ROD)에 끼우고 양끝을 금속플랜지로 결합하여 단단하게 분리막과 압력판을 조이고 있는 구조로서 탈염 및 물을 정화하는 능력이 탁월한 SYSTEM이다.

장점으로는,

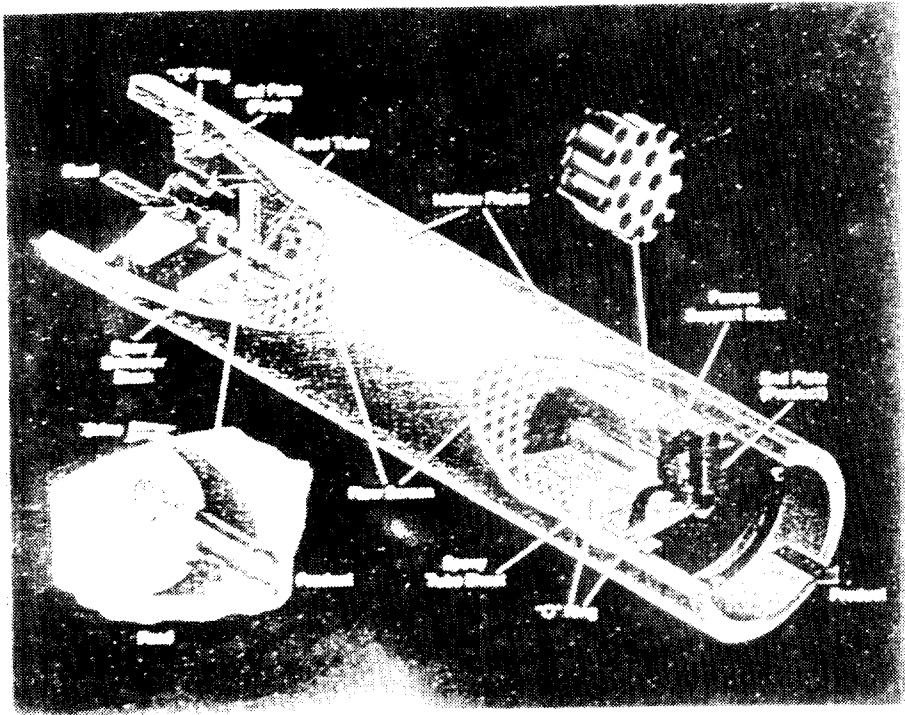
- SDI 한계치 20 %/MIN, TURBIDITY 한계치 4 NTU이므로 전처리 장치가 타 MODULE에 비해 가장 간단하고 산업폐수처리, 침출수처리 등 폭넓은 분야에 적용 가능하다.
- 에너지가 적게 소요되고 운전비용이 저렴하다.
- COMPACT하고 구조가 간단하며 MEMBRANE 교체가 쉽다.
- 난류를 촉진시키는 구조이므로 FOULING 현상이 가장 적으며 (수명이 4 ~ 6년) 화학약품 소요량이 대단히 적다.



DISC-TUBE MOUDLE

1.2.3 중공사형 (HOLLOW FIBER TYPE)

중공사막의 크기는 외경 0.1mm ~ 1.5mm 정도이며 중공사막 다발의 양쪽 끝부분을 EPOXY로 접착하여 사용하기 때문에 타 모듈과는 달리 막지지체가 없는 것이 특징이다. 단위 부피당 막면적이 넓어 저점도의 용액, SLUDGE 형성이 적은 물질이나 FOULING이 잘 일어나지 않는 액을 분리하는데 적합하다.



1.2.4 관형 (TUBULAR TYPE)

원통상으로 성형된 막을 장착한 모듈로서 0.5 ~ 1 인치의 합성수지 소결 다공성관의 내면에 막을 부착한 것을 내압형 모듈, 외면에 부착한 것을 외압형 모듈이라고 한다. 관형 모듈은 가장 간단한 구조로 되어있으며 타 모듈 형식에 비해 공급수 유로의 입구가 크고 공급수의 유속을 크게 할 수 있는 구조이다.

1.2.5 판틀형 (PLATE & FRAME TYPE)

막과 지지체를 SANDWICH TYPE으로 적층시켜 모듈화한 것으로 비교적 간단한 구조로 되어있어 조립, 분해가 쉽고 따라서 보수가 용이한 장점이 있다. 단위 면적당 차지하는 부피가 크지만 고점도 용액에 적합하며 SLUDGE가 많이 생성되는 물질에서 고분자 물질까지 비교적 폭넓게 사용이 가능하다.

표 3 : R/O MODULE별 특성비교

구분	PLATE & FRAME TYPE(판틀형)	TUBULAR TYPE (관형)	HOLLOW FIBER TYPE(중공사형)	SPIRAL WOUND TYPE(나권형)
구조	막과 지지체를 SANDWICH TYPE으로 적층시켜 모듈화 함	원통상으로 성형된 막을 장착한 모듈 - 내압형 - 외압형	비 CELLULOSE계의 소재를 원료로 비대칭 구조의 중공사막을 접속하여 모듈화함	2장의 평막사이에 통수가능한 지지체를 넣고 막의 외면에는 그물형태의 SPACER를 적층시킨 후 ROLL CAKE 형태로 말아서 만든 모듈
장점	-고점도용액에 적합 -구조설계 간단 -조립분해가 쉽고 보수용이	-가장간단함 -단순한 전처리로 운전가능 -유속이 크게 가능하므로 막면상의 SCALE형성이 적다 -다양한 세정 가능	-SELSUPPORTING 기능이 있으므로 역세척이 가능 -단위 부피당 유효 막면적이 넓고 HOLD UP VOLUME이 작다 -수명이 길다	-가장 COMPACT -가격이 저렴 -막면적이 넓고 투과유속이 크다
단점	-부피가 크다	-막면적비 장치 용량이 크므로 많은 공간 필요 -에너지 소비가 많다	-막교환 비용이 비싸다 -처리액 점도가 높거나 SLUDGE 형성이 많은액은 곤란	-유로단면적이 작으므로 적절한 전처리 필요한 -SLURRY 물질의 장애 발생
처리 대상	-SLUDGE 다량 물질 -고분자 물질	-고탁질 함유 액체 -SANITARY	-저점도 희박 용액 -FOULING이 잘 일어나지 않은 액	-전처리가 엄격

1.3 경제성 분석 및 전망

공사비 및 운전비는 원수의 QUALITY와 요구하는 물의 QUALITY에 따라 좌우되며, 또한 처리하는 PHILOSOPHY에 따라 차이가 난다. 역삼투법의 구성은 전처리 + 역삼투(R/O) + 후처리로 구분되며, 특히 전처리와 후처리의 방향에 따라 금액의 증감이 나타난다.

- 전처리 : SAND FILTER + 활성탄여과 + MICRO FILTER
- 본처리 : 역삼투 R/O
- 후처리 : 전기투석 + 증발농축

폐수 재활용의 경우에는 현 시점에서는 경제성이 없지만 정부의 보조 (세금혜택 등)가 있을 경우에는 경제성이 높아진다고 본다. 국내에서 사용하는 공업용수는 관로공사 및 감가상각비를 고려할 때 톤당 200원 정도이고 주민에게 보상금 지불 및 폐수총량 규제에 의한 부담금 고려시 톤당 400원 정도 소요된다고 본다. 요즘 환경오염으로 인한 부작용이 다반사로 표출되고 있는 현실을 볼때 기업이미지 쇠신 차원을 고려하여 돈으로 환산하면 경제성이 있다고 본다.

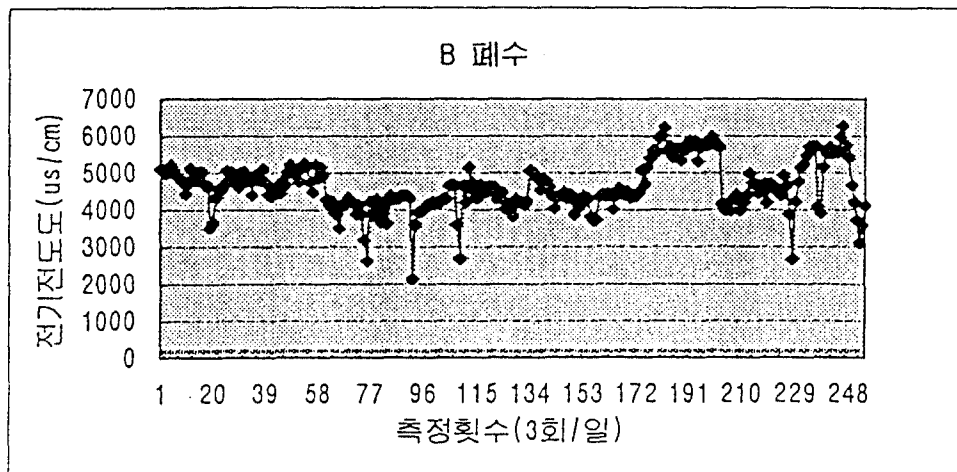
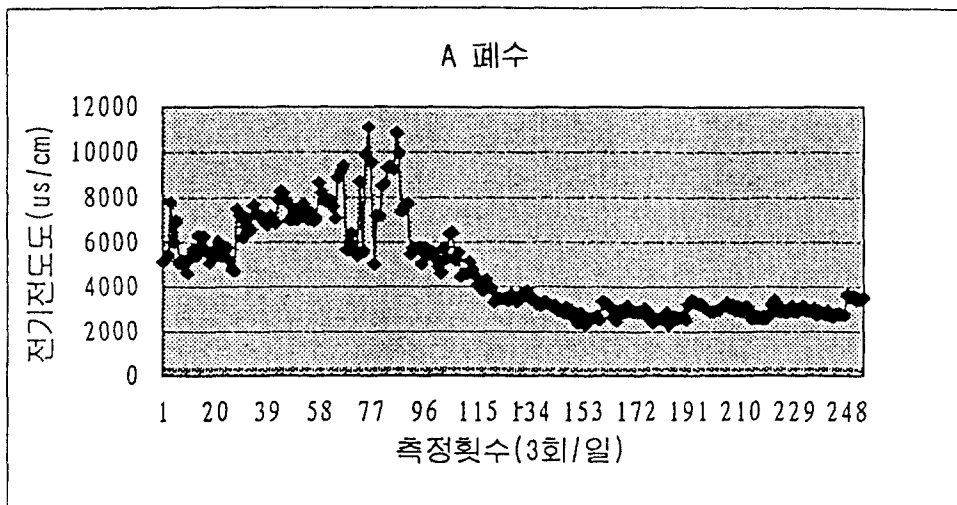
2. 본론

배수 종말처리 시설에서 배출되는 방류수를 재이용하고자 PILOT PLANT를 설치하여 R/O MEMBRANE 기술의 적용 가능성을 검토하기 위해 수행하고 있으며 각 단위공정에서 배출되는 폐수에는 이들 오염물질들이 R/O MEMBRANE에 미치는 영향에 대한 예측이 불가능하므로 '95년 1년간 실험하여 이를 토대로 가장 경제적인 PROCESS 구성, 적정 MEMBRANE 선정 및 단위공정별 DESIGN FACTOR 결정을 위한 설비의 처리효율, 적합한 CLEANING SOLUTION 선정 및 MEMBRANE FOULING 물질을 규명하는데 목적이 있다. 다음 사항이 역삼투(R/O) 공정의 성공 여부를 결정 짓는다.

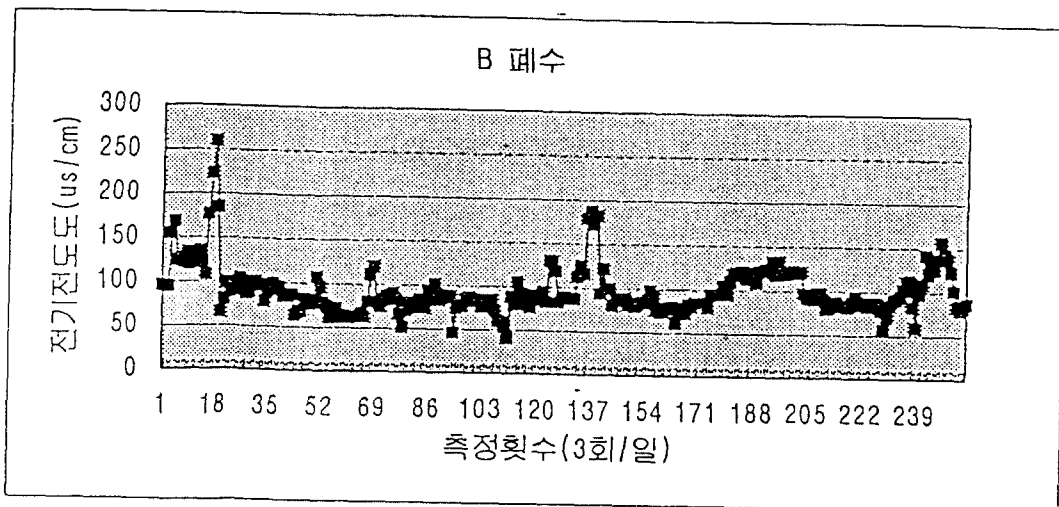
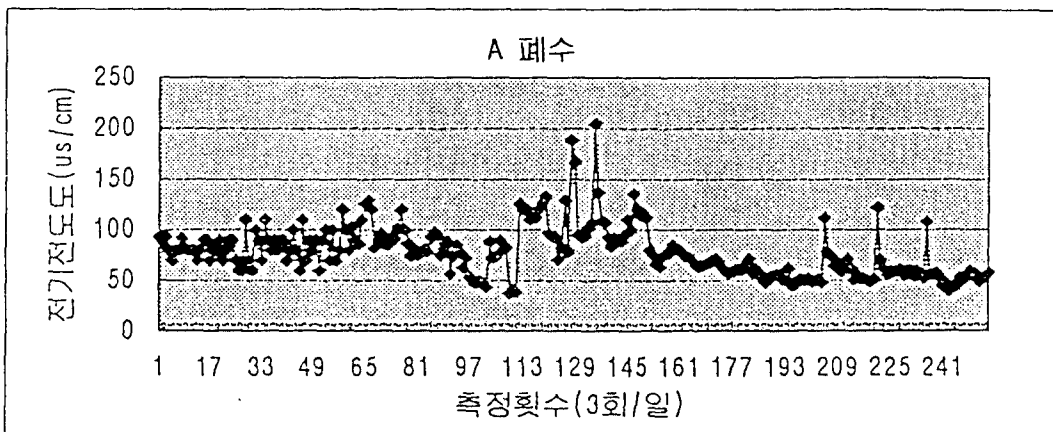
- 수질검토
 - 유입수질 검토
 - 단계별 처리수질 분석
 - 최종 처리수질 기준 결정
- 적정 R/O PROCESS 선정
 - S/F의 역세 주기 조사
 - M/F의 성능 비교
 - MEMBRANE CLEANING 주기 분석
- 단위 공정별 DESIGN FACTOR 결정
- 본설비의 경제성 검토

3. 결과 및 고찰

3.1 전기전도도



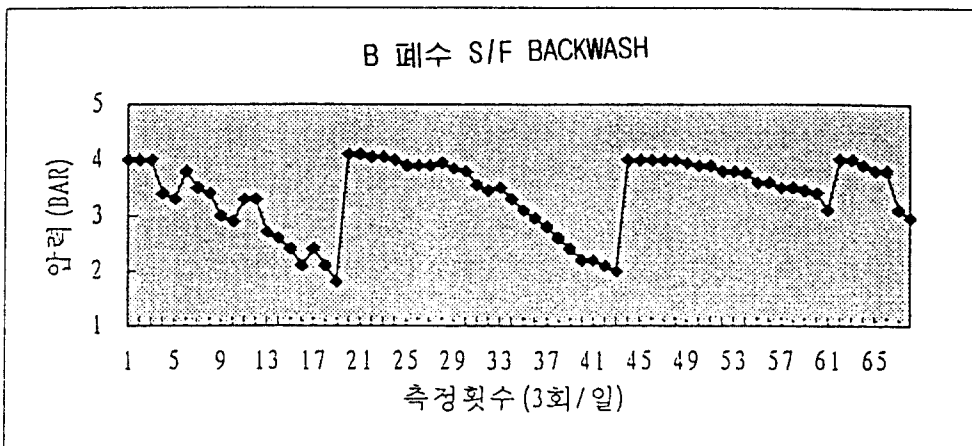
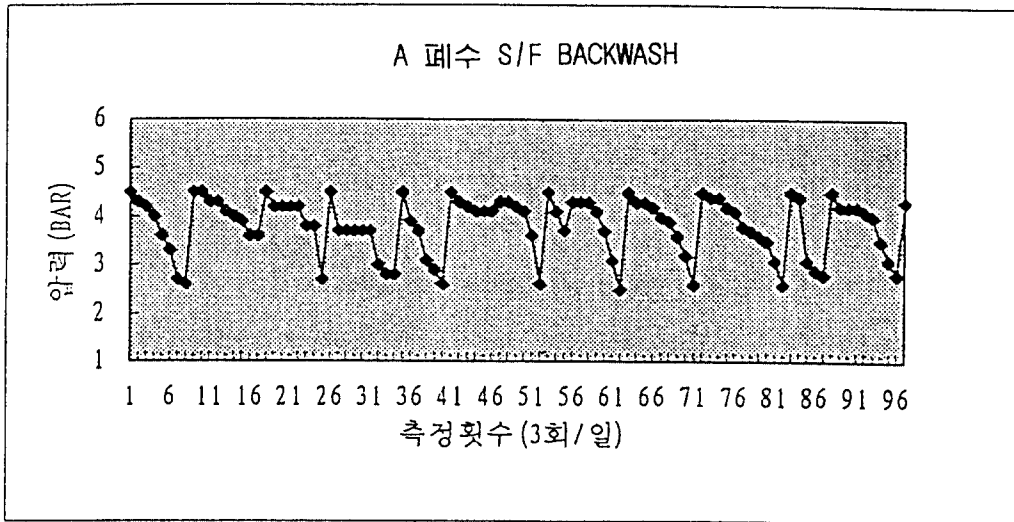
유입수 전기전도도



처리수 전기전도도

3.2 S/F BACKWASH

SAND FILTER의 BACKWASH는 SAND FILTER의 INLET, OUTLET PRESSURE의 ΔP 가 2BAR에 이르렀을때 역세를 실시한다.



3.3 수질분석

구 분	항 목	유입수	S/F 처리수	M/F 처리수	R/O 처리수	재활용 목표치
A 폐수	TDS	2,800	2,750	2,700	50	80
	COD	30	28	25	0	3.6
	SS	7	5	T	0	2
	T-H	830	820	815	8	34
	Cl-	1,326	1,300	1,260	22	10
	COND.	5,200	-	-	90	120
B 폐수	TDS	3,500	3,400	3,300	60	80
	COD	15	14	12	0	3.6
	SS	7	3	2	0	2
	T-H	980	350	900	12	34
	Cl-	1,300	1,250	1,200	20	10
	COND.	5,100	-	-	110	120

4. 결론

배출되는 방류수(WASTE WATER)를 재이용 하고저 R/O MEMBRANE 기술을 통한 폐수 재활용 PILOT TEST에서 다음과 같은 결론에 도달했다.

4.1 최적 PILOT 운전압력 결정

FOULING 물질이 MEMBRANE에 영향을 주지 않는 범위와 RECOVERY 75%의 처리수 목표로 PILOT 운전압력을 결정해야 한다.
PILOT의 최적운전압력은 각각 34BAR, 20BAR이다.

4.2 처리수 수질

처리수 수질 목표는 전기전도도 $100\mu\text{s}/\text{cm}$ 이하이고 MEMBRANE의 염 배제율은 97 ~ 99%이므로 현재 전기전도도의 변화폭이 크기 때문에 전기전도도 $5,000\mu\text{s}/\text{cm}$ 이상일 경우에는 처리수 수질에 도달하기 위해서 MEMBRANE의 배열은 각각 4-2-1 ARRAY, 2-1-1 ARRAY(PEMEATE 재처리 SYSTEM)으로 구성한다.

4.3 CLEANING 주기분석

A폐수의 경우 MEMBRANE CLEANING 주기는 7일이고 CLEANING SOLUTION (인산 계통의 무기세정제, 가성소다 계통의 유기세정제)의 투입 후 회복율이 100%이다.

B폐수의 경우 방류수를 BMF 처리후 MEMBRANE CLEANING 주기는 15일이고 CLEANING SOLUTION은 NAOCL과 FLOCON 100을 투입하였다.