

## 하수를 공업용수로 재이용하기 위한 정밀여과 및 역삼투 시스템 적용에 관한 연구

강 신 경<sup>†</sup> · 이 해 군 · 김 지 원 · 한 기 백\*

<sup>†</sup>포항산업과학연구원 환경보전연구팀, \*(주)나노엔텍 생명환경연구소  
(2002년 6월 24일 접수, 2002년 7월 25일 채택)

### Application of Microfiltration and Reverse Osmosis System to Sewage Reuse for Industrial Water

Shin-Gyung Kang<sup>†</sup>, Hae-Goon Lee, Ji-Won Kim, and Ki-Baek Han\*

Environmental Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology

\*Institute of Bio and Environmental Technology, naonoENTech co., Ltd.

(Received June 24, 2002, Accepted July 25, 2002)

**요 약 :** 본 연구는 하수를 공업용수로 재이용하기 위한 분리막 시스템 적용에 관한 연구이다. 정밀여과와 역삼투시스템으로 구성된 bench scale 실험장치를 이용하여 하수처리장 현장에서 실험을 수행한 결과, 정밀여과 시스템은 이온성분은 제거할 수 없었으나 SS를 70% 이상 처리할 수 있어 처리수는 직접냉각수로 재이용이 가능하였다. 그리고 역삼투 시스템은 SS는 물론 이온성분도 95% 이상 제거할 수 있어 처리수는 간접냉각수 및 제품세척수로 사용이 가능하였다. 100 m<sup>3</sup>/일 용량의 pilot plant를 제작하기 위해서는 정밀여과 모듈은 20개, 역삼투 모듈은 12개가 필요하였다.

**Abstract :** This research was to demonstrate the possibility of sewage reuse for industrial purpose with use of membrane system. A bench scale test with microfiltration and reverse osmosis showed that microfiltration in the sewage treatment was not able to remove the soluble salts but 70% suspended solids (SS), suggesting that the treated water could be used as direct cooling water. In addition, the reverse osmosis removed not only soluble salts but also 95% SS, proposing that reverse osmosis-treated water could be used as both indirect cooling water and rinsing water. For a 100 ton/day pilot plant, 20 and 12 elements of microfiltration and reverse osmosis were required, respectively.

**Keywords :** sewage reuse, microfiltration, reverse osmosis, industrial waer

#### 1. 서 론

급속한 산업화와 도시화에 따라 물 수요가 급증하

고 이에 용수부족 사태는 갈수록 심화되고 있다. 따라서 정부에서는 일정규모 이상의 건물에는 중수도 시설 도입을 의무화하도록 하고[1] 또한 중수처리 기술을 개발하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있다. 그러나 중수도의 용도는 수세식 화장실용수, 살수용수

<sup>†</sup>주저자(e-mail : sgkang@rist.re.kr)

그리고 조경용수로 제한되어 있으며, 이는 일본 미국 등 선진국들과 크게 다르지 않다[2]. 이러한 개념의 중수도는 단독 건물에서 배출되는 하·오수의 재이용에는 적합하나 하수중말처리장 방류수는 수량적인 측면에서 이러한 용도로 재이용하기는 어려운 실정이다[3]. 하수처리장 방류수의 재이용 즉 광역개념의 중수도는 농업용수나 공업용수로 재이용하는 것이 현실적인 것으로 판단된다. 물론 농업용수의 재이용은 하수 중 특정 유해성분이 농작물 및 인체에 미치는 영향 등을 장기간에 걸쳐 세부적으로 조사한 후 시행하여야 한다. 그러나 공업용수의 재이용은 전적으로 수량과 수질조건에 의존하기 때문에 가장 우선적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다. 지금까지 산업폐수를 자체공장에서 재이용하는 사례는 비교적 많으며[4,5], 또한 많은 연구사례가 있다[6,7]. 그러나 하수를 공업용수로 재이용하기 위한 연구는 그다지 많지 않은 것으로 조사되고 있다.

일반적으로 산업체에서는 용수를 한번 사용하고 버리는 것이 아니라 순환시켜 사용하는 관계로 산업폐수 중에는 용존 이온의 농도가 높은 것이 특징이다[8]. 따라서 이 폐수를 공정수로 재이용하기 위해서는 폐수 중의 이온성분을 제거하여야 하는데, 이를 위해서는 증발법 및 역삼투법 등 이온을 제거할 수 있는 공정의 적용이 필수적이다[9]. 산업폐수를 재이용하기 위해 비용이 많이 소요되는 것은 바로 이러한 이유이다. 그러나 생활용수는 한번 사용하고 버리기 때문에 하수처리장 방류수는 산업폐수와 비교하여 이온 함량이 상대적으로 낮다. 따라서 산업폐수보다는 하수를 재이용하는 것이 시설비 및 운전비 면에서 저렴할 수 있다.

하수를 공업용수로 재이용하기 위해서는 공업용수의 사용현황을 정확히 이해하여야 한다. 산업체에서의 용수사용 형태는 각 용도에 적합하도록 처리된 여러 등급의 물을 사용한다는 것과, 한번 사용된 용수는 그대로 버리는 것이 아니라 순환시키면서 사용 후 용도별 관리기준치를 초과하면 배출한다는 것이다. 다음 Fig. 1은 포스코의 경우 용수 흐름도를 나타낸 것이다[10].

그림에서 보는 바와 같이 공업용수는 사용용도 즉 수질에 따라 크게 용수(Industrial water), 정수(Purified water), 순수(Deionized water)로 구분되어 사용되는데, 약 60% 정도는 직접냉각수 등 용수가 사용되고, 간접냉각수 및 순수의 용도로 사용되는 정수는 40%

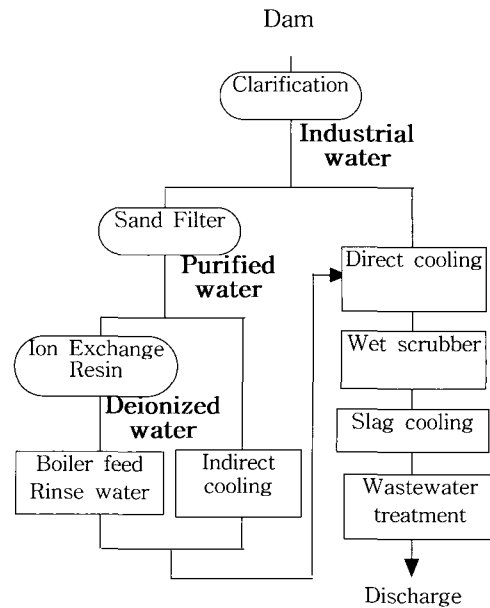


Fig. 1. Flow diagram of industrial water.

정도이다. 냉각수는 냉각공정에서는 한번 사용하고 버리는 것이 아니라 여러 번 순환시켜 사용하다가 냉각계통의 수질관리 기준치를 초과하게 되면 배출시키고 일정 수량의 용수를 보충 받아 계통내의 수질을 일정하게 관리한다. 이때 간접냉각 계통의 배출수는 비교적 수질이 좋기 때문에 그대로 방류하지 않고 직접냉각수로 다시 사용한다. 그리고 직접냉각수 용도로 사용 시에도 관리기준치를 초과하게 되면 전기집진기 및 습식 스크러머 세척수 등으로 사용한 후 최종적으로 폐수처리장에서 처리 후 방류된다. 이렇게 산업체에서의 용수사용 흐름은 cascade 방식으로 고급의 용수가 필요한 공정에서 사용 후 저급의 수질이 사용되는 공정으로 보내 단계적으로 사용하면서 물의 소비를 최소화하는 것이다.

한편 공업용수의 수질관리 항목은 유기물질 등과 같은 오염물질이 아니고 SS(부유물질), Ca 경도 또는 Cl<sup>-</sup> 이온 등이 주요 지표가 되는데, Ca 경도는 설비의 스케일 발생 그리고 Cl<sup>-</sup>는 설비의 부식과 직접관련이 있기 때문이다. 다음 Table 1은 용도별 관리기준치를 정리한 것이다.

한편, 냉각수 중의 SS는 배관의 폐색이나, 제품의 마모 그리고 노즐 막힘 등의 주요 요인이 되기 때문에 특별한 관리 기준치가 있는 것은 아니나 매우 엄격하게 관리되고 있다. 하수를 공업용수로 재이용하

**Table 1. Water Quality for Industrial Purpose(POSCO)**

Application	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Conductivity ( $\mu$ s/cm)
Direct cooling	50 ↓	100 ↓	
Indirect cooling	10 ↓	20 ↓	
Rinsing water			
			10 ↓

기 위해서는 우선적으로 재이용 용도를 선정한 후 사용용도에 적합한 시스템을 선정하여야 한다. 그러나 이 경우라도 재이용수 중에 이온성분이 기존의 보충수보다 많이 존재하면 순환시스템에서는 관리기준치를 조기에 초과하기 때문에 배출수량이 많아지게 되며, 또한 그만큼 용수를 보충 받아야 한다. 즉 공업용수로의 재이용 순환시스템에 있어서 수질은 곧 수량과 직접적인 관련을 갖고 있다는 것은 무엇보다 중요한 사실이다.

## 2. 실험장치 및 방법

하수를 공업용수로 재이용하기 위해, 정밀여과와 역삼투 시스템으로 구성된 bench scale 실험장치를 이용해, 2001년 12월부터 2002년 6월까지 양산하수처리장 방류수를 대상으로 현장에서 수행하였다.

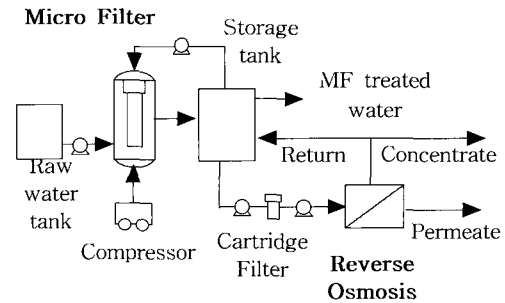
### 2.1. 실험장치

#### 2.1.1 공정구성

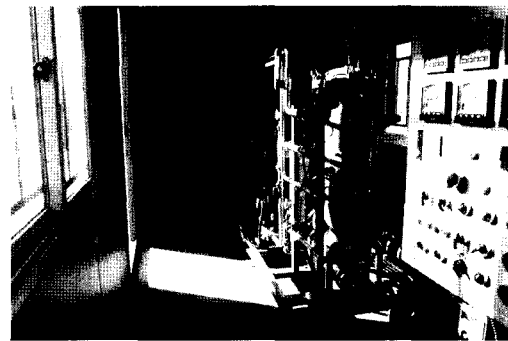
하수처리장 방류수의 수질조사를 통해 직접냉각수로 재이용하기 위해서는 부유물과 유기물을 제거해야 하기 때문에 정밀여과 시스템을 사용하였고, 또한 간접냉각수나 제품세척수로 사용하기 위해서는 용존 이온을 제거해야하기 때문에 역삼투 시스템을 사용하기로 하였다. 전체공정은 정밀여과 장치와 역삼투 장치를 연속으로 구성하고 각 장치 및 저장조들은 레벨스위치로 연동되어 무인 자동운전이 가능하도록 하였다. 실험장치의 세부공정도는 Fig. 2와 같고, Fig. 3은 현장설치 전경 사진이다.

#### 2.1.2. 장치사양

정밀여과 시스템은 유입수 중의 미세한 입자성 물질을 제거하는 역할을 하는데, 공기와 물로 자동 역세가 가능해 막을 교체하지 않고 장기간 연속적으로 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 정밀여과막은 외압식으로 0.1  $\mu$ m의 세공경 및 15 m<sup>2</sup>의 막 면적을 갖



**Fig. 2. Flow diagram of the bench plant.**



**Fig. 3. Photograph of the bench plant.**

는 중공사형 엘리먼트 2개로 구성되어 있다.

역삼투 시스템은 크게 고압펌프, 압력용기로 구성되어 있는데, 압력용기 내부에는 직경이 4 인치이며 BW(Brackish water)등급의 나권형 역삼투 모듈이 1개 장착되어 있다. 전처리 된 원폐수는 고압펌프에 의해 역삼투 모듈 내로 유입되면서 폐수중의 용존 무기이온을 제거하는데 시스템 압력은 농축수 라인에 있는 농축수 밸브에 의해 조절한다. 역삼투 장치에서는 일정 이상의 시스템 회수율을 얻기 위해 농축수중 일부를 정밀여과장치 처리수조로 다시 순환시킬 수 있도록 제작되어 있다.

### 2.2. 실험방법

실험기간 중 전체시스템을 연계하여 운전하였으며 현장에서 장기간의 실험을 수행하면서 오염물질의 제거효율과 pilot plant 제작을 위한 설계인자 및 운전조건을 도출하였다.

#### 2.2.1. 운전 및 실험

본 정밀여과 장치는 십자형(crossflow filtration)과

Table 2. Specifications of the Bench Plant

Items	Specifications
Micro filter	
- Raw water tank	FRP, 1 m <sup>3</sup>
- Storage tank	FRP, 1 m <sup>3</sup>
- Feed pump	3.0 m <sup>3</sup> /hr × 3 kg/cm <sup>2</sup>
- Backwash pump	4.0 m <sup>3</sup> /hr × 3 kg/cm <sup>2</sup>
- Compressor	138 L/min × 0.75 kw
- MF element(2sets)	maker: SKchemical model: VSA type: hollow fiber pore size: 0.1 μm material: polysulfone membrane area: 15 m <sup>2</sup> ID/OD: 0.7/1.1 mm housing: SUS 304
Reverse osmosis	
- Feed pump	3.0 m <sup>3</sup> /hr × 3 kg/cm <sup>2</sup>
- High pressure pump	3.0 m <sup>3</sup> /hr × 70 kg/cm <sup>2</sup>
- Cartridge filter	pore size: 5 μm material: polypropylene
- Reverse osmosis	maker: FILMTEC type: spiral wound material: polyamide model: BW30-4040

전 여과(dead-end filtration) 방식 두 가지 방법으로 운전이 가능한데, 본 실험에서는 전 여과 방식으로 운전하였다. 또한 본 장치는 일반적인 정밀여과 장치와 달리 일정시간 운전 후 막 표면에 이물질이 축적되게 되면 공기와 물로 자동으로 역세를 하도록 구성되어 있으며, 단지 유입수질에 따라 역세 주기만 변화시키면 된다.

역삼투 장치는 정압식과 정유량식으로 운전할 수 있는데, 산업적으로는 설비의 설계 및 운전 그리고 유량의 안정적인 확보 측면에서 정유량 방식을 주로 사용한다[11]. 따라서 본 실험에서도 투과수량을 일정하게 유지하도록 압력을 조절하는 정유량 방식으로 운전하였다.

한편 역삼투 모듈은 최대 및 최소 유입유량 범위가 있는데, BW30-4040 모듈은 최고 3.6 m<sup>3</sup>/hr(60 L/min)의 유입수를 처리할 수 있다. 그러나 최대 유입량으로 처리할 경우 압력손실이 심하게 발생되어 유입수량은 최대 유입량의 약 60~70% 범위로 운전하였다. 즉 고압펌프 후단의 bypass 밸브를 조작하여 유입수량을 40 L/min로 고정된 상태로 투과수의 유량이 일정하게 유지되도록 압력을 조정하였다.

## 2.2.2. 수질분석

현장 실험기간 중 각 장치의 최적 운전조건을 선정하기 위하여 유량, 압력 그리고 전기전도도 등은 부착되어 있는 계측기의 측정값을 읽었고, 처리효율을 평가하기 위하여 정밀여과 및 역삼투 장치의 유입수와 처리수를 채취하여 주 1회씩 분석하였다. SS, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P 등은 환경오염공정시험법[12]에 의해 분석하였으며, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등은 IC를 이용하여 분석하였다.

## 2.2.3. 막 세정(Cleaning)

운전시간이 경과하면 폐수중의 오염물에 의해 막 오염이 발생된다. 이러한 현상은 운전압력의 증가로 관찰할 수 있는데, 일정압력 이상으로 상승하게 되면 세정제(KURIDINE, 한수)를 사용하여 막 세정을 실시하였다. 정밀여과장치는 유기물세정제만 사용하고 역삼투 장치는 유기물세정제와 무기물세정제를 각각 사용하여 두 번 세정을 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 정밀여과 장치

#### 3.1.1. 운전압력 및 처리유량의 변화

정밀여과 장치는 운전시간이 경과함에 따라 막 오염이 진행되어 처리유량은 감소하고 운전압력은 상승하는 경향을 보였다. 운전압력은 초기의 1.0 kg/cm<sup>2</sup>에서 3.2 kg/cm<sup>2</sup>까지 상승하였는데, 3.0 kg/cm<sup>2</sup>을 초과할 때 막 세정을 실시하였다. 실험기간 동안 1차 세정은 운전개시 후 25일째에 그리고 2차 세정은 37일째에 실시하였다. 막 세정 후 회복력은 비교적 우수하였다.

한편, 정밀여과 장치의 처리유량은 운전시간이 경과함에 따라 초기에 20 L/min에서 13 L/min까지 감소하였다. 따라서 이를 설계할 때는 처리유량이 가장 적을 때를 기준으로 하여야한다. 정밀여과 장치의 총 막 면적은 30 m<sup>2</sup>이다. 따라서 본 수질에서의 정밀여과막 단위 면적 당 플럭스는 26 LMH(L/m<sup>2</sup> · hr)이었다. Fig. 4는 실험기간 중 정밀여과 장치의 운전압력과 처리수의 유량변화이다.

#### 3.1.2. 수질변화

정밀여과장치의 처리수가 직접냉각수로의 사용 가능성을 판단하기 위해 원수와 처리수를 분석하였다.

Table 3. Water Quality of MF System

Items (unit)	Raw water	Treated water
pH (-)	6.75(6.71 ~ 6.80)	6.79(6.70 ~ 7.10)
SS (mg/L)	4.94(3.0 ~ 8.5)	1.30(0.5 ~ 2.2)
COD <sub>Min</sub> (mg/L)	8.03(6.8 ~ 9.1)	6.46(5.3 ~ 8.1)
T-N (mg/L)	40.2(26.5 ~ 49.4)	38.6(35.0 ~ 43.4)
T-P (mg/L)	0.71(0.65 ~ 0.85)	0.55(0.40 ~ 0.65)
Conductivity ( $\mu$ S/cm)	498(389 ~ 540)	502(402 ~ 552)
Ca <sup>+2</sup> (mg/L)	20.3(16.4 ~ 25.7)	19.8(15.3 ~ 26.1)
Mg <sup>+2</sup> (mg/L)	6.6(4.4 ~ 9.2)	6.1(4.3 ~ 9.2)
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	56.4(39.8 ~ 69.2)	58.7(40.1 ~ 70.3)
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	45.4(30.1 ~ 60.5)	45.2(20.5 ~ 59.8)

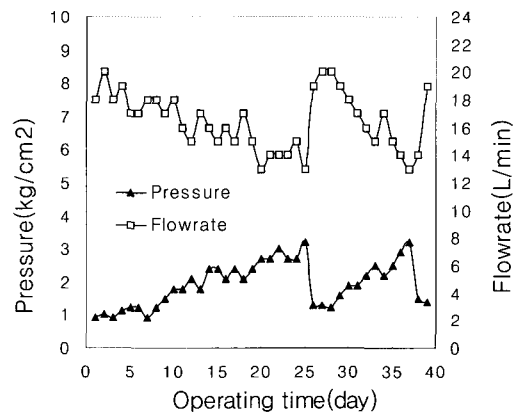


Fig. 4. Daily changes of pressure and flow rate in MF.

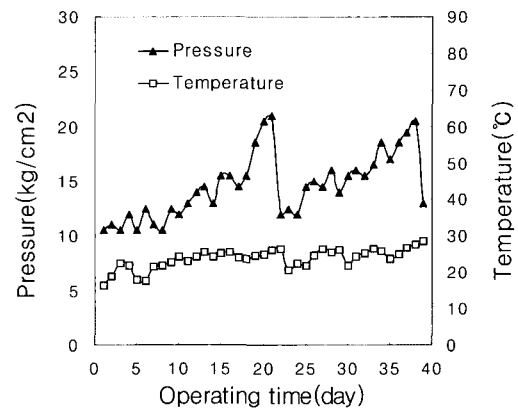


Fig. 5. Daily changes of temperature and pressure in RO.

다음 Table 3은 실험기간 중 원수와 처리수의 수질분석 결과이다.

정밀여과 처리수는 직접냉각수의 관리기준치 (Table 1) 보다는 훨씬 우수하였다. 따라서 직접냉각수로 사용이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 2000년도 용수의 평균 수질(Ca<sup>+2</sup>= 6.7 mg/L, Cl<sup>-</sup>= 9.5 mg/L) 과 비교한 결과 SS를 제외하고 전 항목이 용수의 수질보다 나빴다. 특히 이온함량은 전체적으로 약 3~6배 정도 높았다. 즉 정밀여과 장치의 처리수는 직접냉각수로 사용은 가능하다. 그러나 이 경우 보충수의 수질이 용수보다 나빠짐에 따라 보충수량이 증가하게 되고, 또한 그만큼 배출수량도 증가하게 된다.

한편, 정밀여과 장치의 처리수가 역삼투시스템 유입 조건을 만족하는지를 평가하기 위하여 SDI 값을 측정하였는데, 분석결과 SDI<sub>15</sub>는 4.8로써 역삼투시스템 유입조건(SDI<sub>15</sub> < 5)을 만족함을 알 수 있었다.

### 3.2. 역삼투 장치

#### 3.2.1. 유입수량 및 처리수량

유입수량은 BW30-4040의 최대 유입유량의 66%인 40 L/min 으로 고정된 상태에서 농축수 라인의 밸브를 조절하여 투과수의 유량이 3.5 L/min가 되도록 조정하였다. 이때 36.5 L/min의 농축수는 발생되는데, 이 중 35 L/min은 저장조로 다시 순환시키고, 1.5 L/min만을 배출시켜 모듈 회수율은 8.8%, 전체 시스템 회수율은 70%가 되도록 운전하였다.

#### 3.2.2. 유입수 온도와 운전압력의 변화

실험은 겨울철에 시작하여 여름철까지 수행한 관계로 유입수의 온도는 20~30°C로 점차 상승하였다. 한편 본 실험은 정유량 방식으로 운전하였기 때문에 운전시간이 경과하면 막 오염이 진행되어 필연적으로 운전압력은 상승하게 된다. 다음 Fig. 5는 운전시간에 따른 유입수 온도와 운전압력의 변화를 나타낸 그래프이다.

Table 4. Water Quality of RO System

Items (unit)	Feed water	Treated water
pH (-)	6.8(6.7~7.1)	5.9(5.5~6.2)
SS (mg/L)	1.8(1.3~2.1)	0.0(0.0~0.01)
CODmn (mg/L)	7.46(5.0~9.4)	0.31(0.18~0.50)
T-N (mg/L)	52.3(41.5~76.5)	4.52(3.2~6.9)
T-P (mg/L)	0.88(0.77~1.01)	0.08(0.04~0.18)
Conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	535(462~551)	8.02(7.4~9.8)
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	22.1(19.2~29.5)	0.09(0.06~0.2)
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	7.3(5.5~9.2)	0.02(0.01~0.03)
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	61.9(42.5~72.7)	0.95(0.41~1.28)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	51.1(33.4~64.2)	0.52(0.49~0.63)

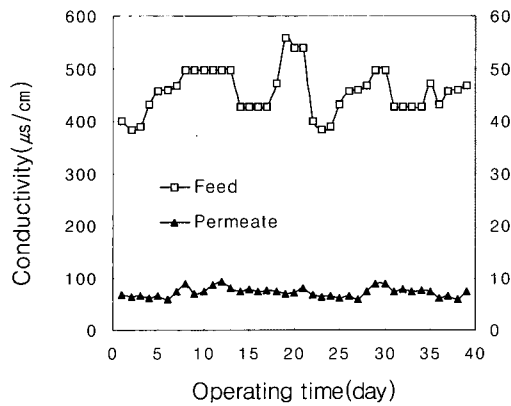


Fig. 6. Conductivity of feed and permeate in RO.

운전압력은 초기의  $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 약  $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 까지 상승하였는데, 막 세정은 운전개시 후 21일째와 38일째 두 번 실시하였다. 막 세정 후 운전압력은  $12 \text{ kg}/\text{cm}^2$  정도로 초기보다는 약간 높음을 알 수 있었다.

### 3.2.3. 유입수와 투과수의 전기전도도 변화

운전기간 중 유입수와 투과수의 전기전도도의 변화를 측정하였다. 역삼투 장치는 농축수 순환방식으로 운전하였기 때문에 역삼투 시스템에는 정밀여과 시스템의 처리수와 역삼투 시스템 농축수가 혼합되어 유입되는 관계로 정밀여과 시스템 처리수와는 수질이 다르다. 다음 Fig. 6은 운전시간에 따른 유입수와 투과수의 전기전도도 변화를 나타낸 그래프이다.

운전기간 중 공급수의 전기전도도는  $350 \sim 50 \mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위였으며, 투과수는  $10 \mu\text{s}/\text{cm}$  이하로 매우 안정적으로 처리됨을 알 수 있었다. 역삼투 시스템 투과

수는 정수의 수질보다 훨씬 우수하기 때문에 간접냉각수로 사용은 물론 사용시 설비부식이나 스케일 발생을 대폭적으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 냉연제품 세척수의 기준치는 전기전도도 기준  $10 \mu\text{s}/\text{cm}$  이하인데 역삼투시스템의 투과수는 평균  $8.02 \mu\text{s}/\text{cm}$  이었다. 따라서 이 정도의 수질이면 제품 세척수로의 사용도 가능한 것으로 판단되었다.

### 3.2.4. 시스템에 대한 수질변화

Table 4는 실험기간 중 역삼투 시스템의 공급수와 투과수를 대상으로 각 수질 항목에 대해 분석한 평균값이다.

전체 시스템에서 이온 제거율은 Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등의 2가 이온에 대해서는 99.5% 이상의 높은 배제율을 보인 반면 Cl<sup>-</sup>과 같은 1가 이온에 대해서는 상대적으로 낮은 98.5% 정도의 배제율을 나타냈다.

## 3.3. Pilot plant 설계인자 및 운전조건 도출

정밀여과와 역삼투시스템을 이용한  $100 \text{ m}^3/\text{day}$  ( $= 4.17 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) 처리용량의 pilot plant 주요 설계인자 및 운전조건을 다음과 같았다.

### 3.3.1. 설계인자

#### 1) 정밀여과시스템

- 처리용량: 최대  $10 \text{ m}^3/\text{hr}$
- MF element 수량: 20ea
- 분리막: SKYRANE VSA
- Feed pump:  $10 \text{ m}^3/\text{hr} \times 5 \text{ kg}/\text{cm}^2$

#### 2) 역삼투시스템

- 처리용량: 최대  $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ (투과수 기준)
- 시스템: 1단 병렬, 농축수 순환방식

- R/O element 수량: 12ea
- Pressure Vessel: 2ea
- 분리막: BW30-8040(Spiral wound)
- Feed pump: 15 m<sup>3</sup>/hr×5 kg/cm<sup>2</sup>
- Cartridge filter: 5 μm×20 inch×10ea
- High pressure pump: 15 m<sup>3</sup>/hr×20 kg/cm<sup>2</sup>

3.3.2 운전조건

- 1) Micro Filter
  - 운전압력: ~ 3 kg/cm<sup>2</sup>
  - 역세주기: 30~60 min
- 2) Reverse Osmosis
  - 운전압력: ~ 20 kg/cm<sup>2</sup>
  - 시스템 회수율 : 70%

4. 결 론

하수처리장 방류수는 산업폐수에 비해 이온함량이 상대적으로 적어 재이용하기에 유리함을 알 수 있었다. 현장에서의 실험결과 정밀여과 시스템은 이온성분은 제거할 수 없었으나, SS의 경우 70% 이상 제거할 수 있어 처리수는 직접냉각수로 사용이 가능하였다. 역삼투시스템의 경우 SS는 물론 용존 이온도 95% 이상 제거할 수 있어 처리수는 간접냉각수로의 사용은 물론 제품세척수로도 재이용이 가능하였다. 100톤/일 처리용량의 pilot plant를 제작하기 위해서는 정밀여과 막은 20개가 필요하였고, 역삼투모듈은 12개가 필요하였다.

감 사

본 논문은 차세대 핵심환경기술개발사업으로 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 수도법(2001.3.28, 법률 제 6449호).
2. 환경부, “중수도 이론과 실제 -일본 중수도연구회-”, (1997).
3. 건설부, “중수도 기술개발 방안 연구”, (1994).
4. A. G. Fane, “Membranes for water production and wastewater reuse,” *Desalination*, **106**, 1-9 (1996).
5. M. Masson, G. Deans, “Membrane filtration and reverse osmosis purification of sewage: Eraring Power Station,” *Desalination*, **106**, 11-15 (1996).
6. 김정학, “분리막 공정을 이용한 재활용 국외 기술 사례 및 현황”, *멤브레인*, **10(4)**, 175-185 (2000).
7. 이광현, “UF/RO 공정을 이용한 정유공장 방류수의 재활용을 위한 고도처리” *멤브레인*, **10(4)**, 220-229 (2000).
8. 환경부, “공장폐수의 발생과 처리”, (1997).
9. 안규홍, 강신경, “산업폐수 처리 및 재이용 기술개발”, 환경부 (1999).
10. “환경백서”, 포스코 광양제철소 (1999).
11. 강신경, 전희동, 박영규, “역삼투시스템을 이용한 산업폐수재이용 기술의 실용화에 관한 연구”, *대한환경공학회지*, **21(9)**, 1689-1697 (1999).
12. 환경부, 수질오염공정시험방법 (1999).