

## 하수를 공업용수로 재이용하기 위한 시스템 개발

강신경

포항산업과학연구원 환경보전연구팀

### Development of Sewage Reuse for Industrial Water

Shin-Gyung Kang

Research Institute of Industrial Science & Technology

#### 1. 서론

국내의 중수도는 단독건물에서 배출되는 하·오수를 대상으로 수세식 화장실용수, 살수용수, 조경용수 그리고 세차·청소용수 등으로 주로 사용되고 있다[1]. 그러나 하수종말처리장 방류수는 수량과 이송적인 측면에서 이러한 용도로 재이용하기는 어려운 실정이다[2]. 즉 광역개념의 중수도는 농업용수나 공업용수로 재이용하는 것이 가장 현실적인 것으로 판단된다. 하수처리장 방류수의 공업용수로의 재이용은 전적으로 수량과 수질조건에 의존하기 때문에 가장 우선적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

#### 2. 이론

일반적으로 산업체에서는 용수를 한번 사용하고 버리는 것이 아니라 순환시켜 사용하는 관계로 폐수 중에는 용존 이온의 농도가 높은 것이 특징이다. 따라서 이 폐수를 공정수로 재이용하기 위해서는 폐수중의 이온성분을 제거하여야 하는데, 이를 위해서는 증발법 및 역삼투법 등 이온을 제거할 수 있는 공정 적용이 필수적이다[3]. 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 하는데, 각 용도에 적합하도록 처리된 여러 등급의 물을 사용한다는 것과, 사용된 용수는 농축 순환시키면서 사용 후 용도별 관리기준치를 초과하면 배출한다는 것이다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

하수처리장 방류수를 직접냉각수로 재이용하기 위해서는 부유물과 유기물을 제거해야 하기 때문에 정밀여과 시스템을 사용하였고, 간접냉각수나 제품세척수로 사용하기 위해서는 용존 이온을 제거해야 하기 때문에 역삼투 시스템을 사용하기로 하였다. 전체공정은 정밀여과 장치와 역삼투 장치를 연속적으로 구성하였고 세부공정도는 다음 Fig. 1과 같다.

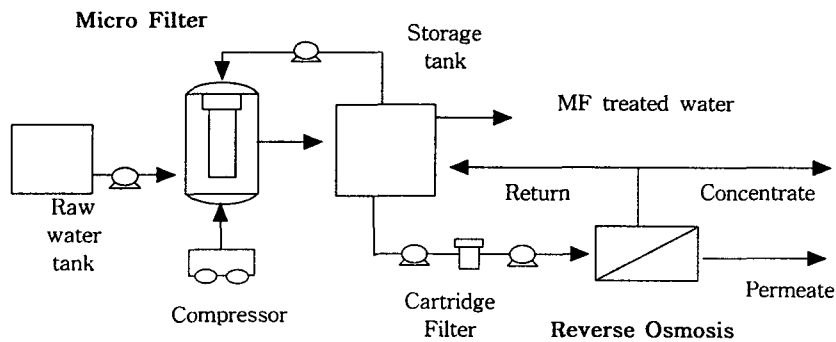


Fig. 1. Flow diagram of bench scale plant.

#### 3.2 실험방법

상기 실험장치를 양산하수처리장에 설치하여 2001년 12월부터 2002년 6월까지 운전하면서 각 장치별 오염물질 제거효율을 분석하였다. 정밀여과 장치는 일정시간 운전 후 막 표면에 이물질이 축적되게 되면 공기와 물로 자동으로 역세를 하도록 구성되어 있으며, 전 여과 방식으로 운전하였다.

역삼투 장치는 정압식과 정유량식으로 운전할 수 있는데, 산업적으로는 설비의 설계 및 운전 그리고 유량의 안정적인 확보 측면에서 정유량 방식을 주로 사용한다[4]. 따라서 본 실험에서도 투과수량을 일정하게 유지하도록 압력을 조절하는 정유량 방식으로 운전하였다. 한편 역삼투 유입수량은 BW30-4040의 최대 유입유량의 66 %인 40 L/min 으로 고정한 상태에서 농축수 라인의 밸브를 조절하여 투과수의 유량이 3.5 L/min 가 되도록 조정하였다. 이때 36.5 L/min의 농축수는 발생되는데, 이 중 35 L/min은 저장조로 다시 순환시키고, 1.5 L/min 만을 배출시켜 모듈 회수율은 8.8 %, 전체 시스템 회수율은 70 %가 되도록 운전하였다.

## 4. 결과 및 토론

### 4.1 정밀여과장치

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>를 초과할 때 막 세정을 실시하였다. 실험기간 동안 1차 세정은 운전개시 후 25일째에 그리고 2차 세정은 37일째에 실시하였다. 한편, 정밀여과 장치의 처리유량은 운전시간이 경과함에 따라 초기에 20 L/min에서 13 L/min 까지 감소하였다. Fig. 2는 실험기간 중 정밀여과 장치의 운전압력과 처리수의 유량변화이다. 정밀여과장치의 처리수가 직접냉각수로의 사용 가능성을 판단하기 위해 원수와 처리수를 분석하였는데, 다음 Table 1은 실험기간 중 분석 결과이다. 정밀여과 처리수는 직접냉각수의 관리기준치 보다는 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[5]. 특히 이온함량은 전체적으로 약 3~6 배 정도 높았다. 즉 정밀여과 장치의 처리수를 직접냉각수로 사용할 경우 보충수의 수질이 기존 용수보다 나빠짐에 따라 보충수량이 증가하게 되고, 또한 그만큼 배출수량도 증가하게 된다.

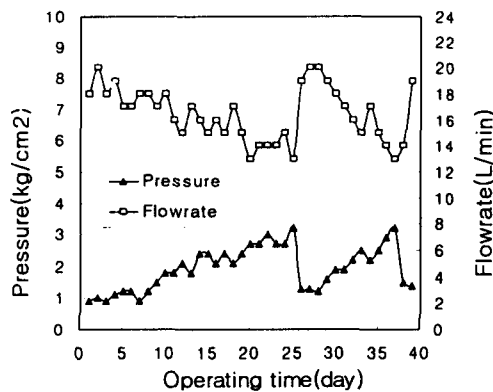


Fig. 2. Pressure and flow rate in MF.

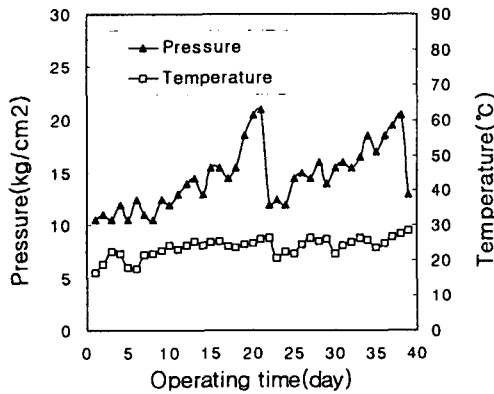
Table 1. Water quality of MF

Items (unit)	Raw water	Treated water
SS (mg/L)	4.94	1.30
COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	8.03	6.46
T-N (mg/L)	40.2	38.6
T-P (mg/L)	0.71	0.55
Conductivity (μs/cm)	498	502
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	20.3	19.8
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	56.4	58.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	45.4	45.2

### 4.2 역삼투장치

겨울철에 시작하여 여름철까지 수행한 관계로 유입수의 온도는 20~30 °C로 점차 상승하였다. 정유량 방식으로 운전하였기 때문에 운전시간이 경과하면 막 오염이 진행되어 필연적으로 운전압력은 상승하게 된다. 다음

Fig. 3은 운전시간에 따른 유입수 온도와 운전압력의 변화를 나타낸 그래프이다. 운전압력은 초기의 10 kg/cm<sup>2</sup>에서 약 20 kg/cm<sup>2</sup>까지 상승하였는데, 막 세정은 운전개시 후 21일째와 38일째 두 번 실시하였다. 막 세정 후 운전압력은 12 kg/cm<sup>2</sup> 정도로 초기보다는 약간 높음을 알 수 있었다. 다음 Table 2는 역삼투 시스템의 공급수와 처리수의 수질분석 결과인데, 운전기간 중 공급수의 전기전도도는 350~550  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위였으며, 투과수는 10  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이하로 매우 안정적으로 처리됨을 알 수 있었다. 투과수는 정수의 수질보다 훨씬 우수하기 때문에 간접냉각수로 사용은 물론, 설비부식이나 스케일 발생을 대폭적으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 냉연제품 세척수의 기준치는 전기전도도 기준 10  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이하인데, 투과수는 평균 8.02  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이었다. 따라서 제품세척수로의 사용도 가능한 것으로 판단되었다. 전체 시스템에서 이온 제거율은  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  등의 2가 이온에 대해서는 99.5 %이상의 높은 배제율을 보인 반면 Cl 과 같은 1가 이온에 대해서는 상대적으로 낮은 98.5 %정도의 배제율을 보였다.



**Table 2.** Water quality of R/O

Items (unit)	Feed water	Treated water
SS (mg/L)	1.8	0.0
COD <sub>mn</sub> (mg/L)	7.46	0.31
T-N (mg/L)	52.3	4.52
T-P (mg/L)	0.88	0.08
Conductivity ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	535	8.02
$\text{Ca}^{+2}$ (mg/L)	22.1	0.09
Cl (mg/L)	61.9	0.95
$\text{SO}_4^{-2}$ (mg/L)	51.1	0.52

**Fig. 3.** Temperature and pressure in R/O.

## 5. 참고문헌

1. 수도법(2001.3.28, 법률 제 6449호).
2. 건설부, “중수도 기술개발 방안 연구”, (1994).
3. 안규홍, 강신경, “산업폐수 처리 및 재이용 기술개발”, 환경부 (1999).
4. 강신경, 전희동, 박영규, “역삼투시스템을 이용한 산업폐수재이용 기술의 실용화에 관한 연구”, *대한환경공학회지*, 21(9), 1689-1697 (1999).
5. “환경백서”, 포스코 광양제철소 (1999).