

정밀여과와 역삼투를 이용한 방류수 재이용 시스템 개발

강신경

포항산업과학연구원 광양환경연구팀

Development of Wastewater Reclamation System With Use of Microfilter and Reverse Osmosis

Shin-Gyung Kang

Research Institute of Industrial Science & Technology

1. 서론

최근 들어 용수가격 상승과 갈수기 대비 대체용수 확보차원에서 폐수를 처리하여 공업용수를 재이용하는 사례가 증가하고 있다. 국내의 경우 단위 사업장에서 폐수재이용 시설을 설치한 사례는 비교적 많은 편이나, 정상적으로 가동하는 경우는 드문 것으로 조사되고 있다[1]. 이는 초기 시설 투자비를 줄이기 위하여 전처리를 소홀히 한 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 즉 폐수재이용 시스템은 이미 확립된 것이라기보다는 사업장의 특성에 맞게 충분한 사전 실험을 거쳐 설치 운영되어야 한다는 것이다. 따라서 본 연구는 현장에서의 장기간에 걸친 pilot test를 거쳐 개발공정의 안정성을 평가하고 시설도입 대비 설계인자 및 운전조건을 도출하는 것이다.

2. 이론

일반적으로 산업체에서는 용수를 순환시켜 사용하는 관계로 폐수 중에는 용존 이온 농도가 높은 것이 특징이다. 따라서 이러한 폐수를 공업용수로 재이용하기 위해서는 폐수중의 이온성분을 제거하여야 하는데, 이를 위해서는 역삼투법 등 이온을 제거할 수 있는 공정 적용이 필수적이다[2]. 폐수재이용 시스템에 있어서 역삼투법을 적용할 경우 가장 중요하게 검토해야 할 것은 농축수 발생과 전처리 공정구성이다. 역삼투 시스템은 그 공정 특성상 고농도의 농축수가 발생되는데, 유입수질과 회수율을 고려하여 농축수가 배출허용기준을 초과하지 않도록 하여야 한다. 그렇지 않으면 별도의 후처리 장치를 두어야 한다. 다음으로 중요한 것이 전처리 시설인데, 역삼투법의 처리효율은 이미 널리 알려져 있다. 단지 폐수를 경제적으로 전처리 하여 역삼투 시스템 유입조건을 만족시키느냐 하는 것이다. 즉 산업폐수를 재이용하기 위해 비용이 많이 소요되는 것은 바로 이러한 이유이다.

3. 실험

3.1 실험장치

실험장치는 냉각탑, 정밀여과막(BMF) 그리고 역삼투시스템(RO)으로 구성되어 있으며, 처리용량은 투과수 기준 하루 30m³이다. 정밀여과막은 0.1 μm 인 중공사형 모듈 6개로 구성되어 있으며, 공기와 물을 이용해 자동 역세척이 가능하다. 역삼투 시스템은 BW30-400 모듈 2개를 직렬로 구성하였으며, 실 plant와 유사한 조건을 충족시키기 위해 농축수 순환방식으로 운전하였다. 이때 공랭식 Chiller를 사용하여 순환에 따르는 온도상승을 방지하였다. 다음 Fig. 1은 본 실험에 사용된 폐수재이용 시스템 공정구성도이다.

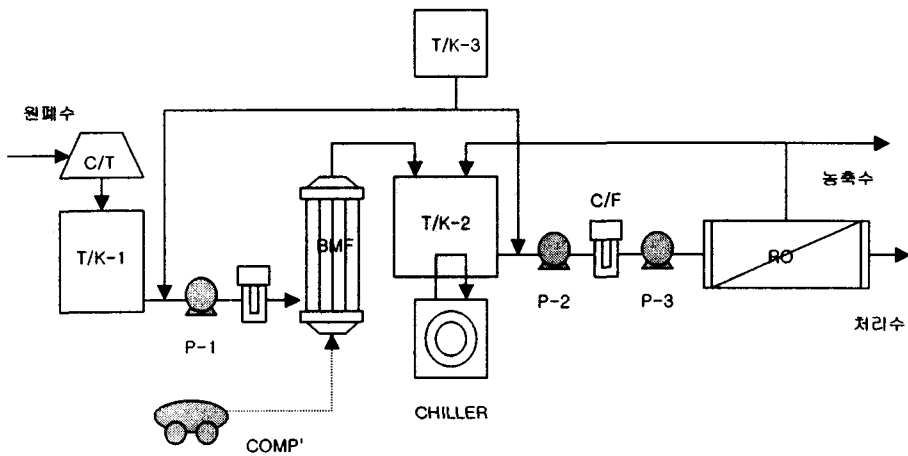


Fig. 1. Flow diagram of pilot plant.

3.2 실험방법

정밀여과막은 처리시간은 40분, 역세척은 2분으로 설정하여 운전하였으며, 유입수량은 3.0m³/hr, 투과수량을 2.5m³/hr 운전하면서 압력의 변화를 관찰하였다. 전처리 된 폐수는 고압펌프에 의해 역삼투시스템으로 유입되는데 유입수량은 10m³/hr으로 일정하게 유입시키면서 농축수 라인의 밸브를 조절하여 투과수의 유량이 1.3m³/hr으로 유지되도록 조정하였다. 이 때 8.7m³/hr의 농축수가 발생되는데, 0.7m³/hr만을 배출시키고 나머지는 순환시켜 전체시스템 회수율이 65%가 되도록 운전하였다. 각 저장조들은 레벨스위치로 연동되어 24시간 무인 자동운전이 가능하도록 제작되어 있다. 그리고 분리막은 장기간 가동하면 막오염의 진행에 따라 운전압력이 증가하게 되는데 이 때에는 세정제를 이용하여 막을 세정해 주었다.

4. 결과 및 토론

4.1 정밀여과 및 역삼투시스템 운전결과

Fig. 2는 운전기간에 따른 정밀여과막의 유량과 운전압력의 변화를 나타낸 것이다. 운전압력이 4 kg/cm²를 초과하면 막오염이 진행된 것으로 판단하여 막세정을 실시하였는데, 전체 실험기간 중 2회 실시하였다.

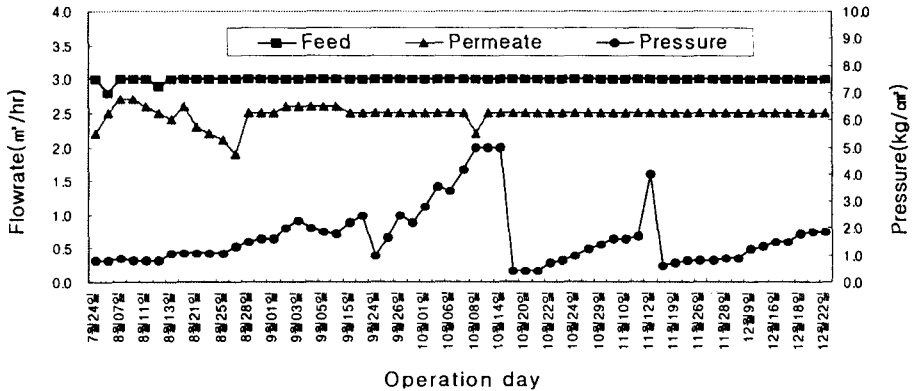


Fig. 2. Flowrate and operating pressure of BMF.

Fig. 3은 운전기간에 따른 역삼투시스템의 전기전도도 변화를 나타낸 것이다. 원수의 전기전도도는 3,000 ~ 4,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 범위를 보였으며, 역삼투시스템 투과수는 50 ~ 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위를 보였다. 역삼투시스템에 유입되는 유입수는 농축수가 순환되는 관계로 원수보다 높은 5,000 ~ 10,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위를 보였다.

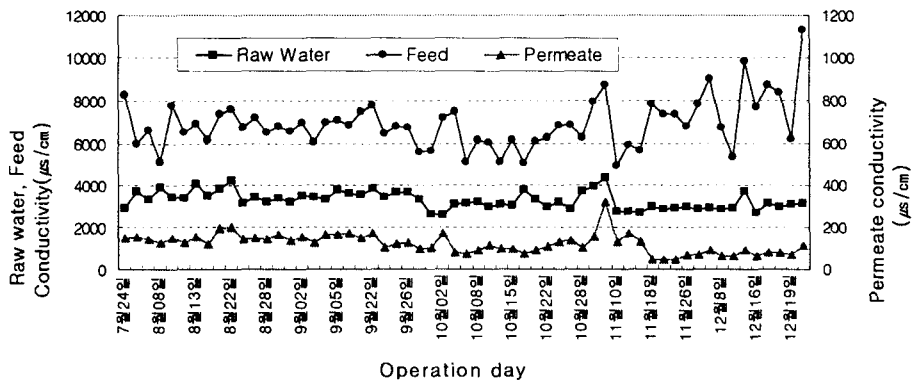


Fig. 3. Conductivity of RO system.

4.2 설계인자 및 운전조건 도출

현장에서의 장기간에 걸친 pilot test 결과 개발공정은 매우 안정적이었으며, 처리수는 공업용수로 재이용이 가능하였다. 시설용량 6,500m³/일(처리수 기준)의 폐수재이용 시설을 도입하기 위해 도출된 설계인자 및 운전조건은 다음과 같았다.

1) Cooling Tower

- 냉각범위: 40 → 30℃
- 동절기 가동 중지(30℃ 이하)

2) BMF

- Module: KOLON Cleanfil-S
- 유입유량: 450m³/hr, 처리유량: 420m³/hr
- 운전모드: Service(40min), Backwash(2min), 운전효율(95%)
- Train: 150m³/hr X 3train
- 단위 모듈당 처리수량: 300 L/hr
- 모듈 수량: 1,500ea(500ea X 3train)
- 운전압력: 1 ~ 3kg/cm²
- 세정주기: 1회/월
- 교체주기: 1회/2년

3) R/O

- Module: Filmtec BW30-400
- 유입유량: 420m³/hr, 처리수량: 273m³/hr
- 회수율: 65%
- Train: 140m³/hr X 3train
- Array : 2 Stage(1stage/16PV : 2stage/10PV)
- Elements/PV: 6ea
- Total elements: 468ea(156ea X 3train)
- 운전압력: 5 ~ 15kg/cm²
- 세정주기: 1회/3개월
- 교체주기: 1회/3년

5. 참고문헌

1. 안규홍, 강신경, “산업폐수 처리 및 재이용 기술개발”, 환경부 (1999).
2. 강신경, 전희동, 박영규, “역삼투시스템을 이용한 산업폐수재이용 기술의 실용화에 관한 연구”, 대한환경공학회지, 21(9), 1689-1697 (1999).