

일반강연 II-5

## 3단 역삼투시스템에서 각 단별 투과특성 연구

강신경 · 박영규\*

포항산업과학연구원 환경보전연구팀, \*영남대학교 환경공학과

### Permeation property of each stage in Three stage Reverse Osmosis system

Shin-Gyung Kang, Yung-Kyu Park\*

Environmental Research Team, RIST

\*Department of Environmental Engineering, Young-Nam University

#### 1. 서론

역삼투시스템을 이용한 폐수재이용 시설을 도입하기 위해서는 장기간에 걸친 Pilot test가 필수적이다. 나선형 역삼투 모듈을 이용하여 폐수재이용 적용실험을 할 경우 높은 회수율을 얻기 위해서는 여러 개의 모듈을 연결하여 다단시스템으로 구성된 대용량의 장치가 필요하다. 따라서 대부분 1~2개의 모듈을 이용하여 농축수 순환 방식으로 실험하는데, 이 방식으로는 각 단에서의 투과 특성을 예측하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구는 높은 회수율로 운전이 가능한 판틀형 모듈 7개를 사용하여 회수율이 75%가 되도록 3단(배열: 4+2+1)으로 구성된 Pilot plant를 이용하여 장기간에 걸친 실험을 통해 막오염 진행에 따른 각 단에서의 유량 및 수질변화를 조사하였다.

#### 2. 이론

산업폐수를 공업용수로 재이용하기 위해서는 폐수 중에 있는 부유물과 같은 오염물질은 물론 용존염도 제거하여야한다. 용존염을 제거할 수 있는 기술로는 역삼투법, 전기투석법, 증발법 등이 검토되고 있는데, 역삼투법은 역삼투막을 이용하여 폐수를 처리하는 분리막법의 일종으로 폐수재이용을 위해 널리 사용되는 방법이다. 역삼투시스템은 1개의 모듈로 구성되는 경

우도 있으나, 대부분은 요구되는 수량과 수질을 얻기 위해 여러 개의 모듈을 직렬 혹은 병렬로 연결하여 다단시스템으로 사용하게 된다. 투과수처리 다단 시스템은 1단으로 요구하는 수질을 얻을 수 없을 때 1단의 투과수를 다시 처리하는 방식이고, 농축수처리 다단 시스템은 회수율을 최대로 하기 위해 1단에서 발생하는 농축수를 다시 다음 단의 유입수로 하여 처리하는 방식이다. 폐수재이용의 경우 재이용량을 늘리고 폐수방류량을 줄이기 위하여 일반적으로는 농축수처리 다단 시스템을 채택한다. 역삼투 모듈에는 나선형, 중공사형, 튜브형, 판틀형 등 여러 형태가 있으나 나선형 모듈이 가장 널리 사용되고 있다. 상용화된 나선형 모듈 엘리먼트 1개는 보통 10% 정도의 회수율을 갖기 때문에 통상 6개의 엘리먼트를 하나의 압력용기 내에 직렬로 연결하여 1단을 구성하게 된다. 이 경우 압력용기 한 개당 회수율은 약 50% 정도 된다. 따라서 나선형 모듈을 이용하여 75% 이상의 회수율을 얻기 위해서는 2단 이상의 농축수처리 시스템으로 최소 18개의 엘리먼트로 구성된 대 용량의 실험장치가 필요하게 된다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치(Pilot plant)

본 장치는 Disc-tube형 역삼투 모듈 7개를 이용하여 1단에 4개, 2단에 2개, 3단에 1개씩 농축수처리(Concentrate staged) 3단 시스템으로 구성하여 75%의 회수율을 갖도록 제작된 역삼투 실험장치이다.

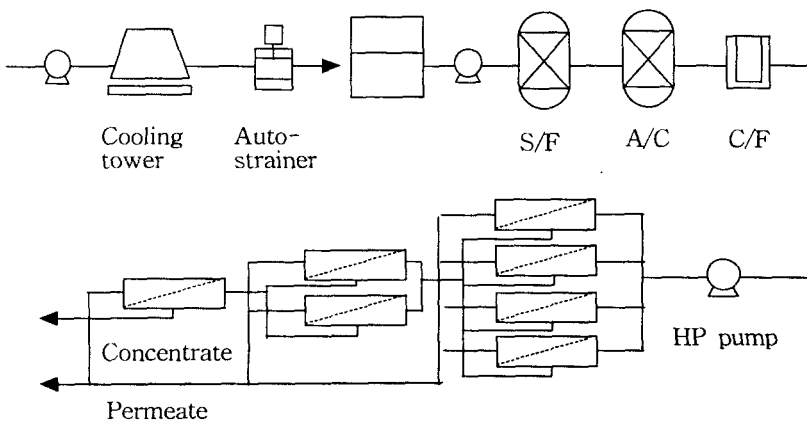


Fig. 1. Flow diagram of R/O pilot plant

### 3.2 실험방법

상기 장치를 P제철소 냉연공장 폐수처리장 현장에 설치하여 약 45일간 24시간 연속으로 운전하였다. 본 장치는 운전압이나 회수율을 고정하여 자동으로 운전할 수 있도록 제작되어 있는데, 폐수재이용의 실 플랜트에서 투과수는 공업용수로 직접 재이용되므로 투과수의 양을 일정하게 유지하는 것이 조업 효율적인 측면에서 바람직하다. 따라서 본 실험에서는 목표회수율 75%를 얻기 위해 유입수량 및 투과수량이 일정하게 되도록 고정한 후 운전압이 변화하는 방식으로 운전하였다. Pilot test 기간 중 전체시스템은 물론 각단별, 모듈별 유량 및 수질을 하루 오전, 오후 두 번 조사 및 측정하여 산술평균값을 해당 일의 대표 값으로 하여 각단 및 모듈별 투과 특성 변화를 조사하였다. 한편 운전시간이 경과하면 폐수중의 오염물에 의해 필연적으로 막오염이 발생된다. 이러한 현상은 운전압력의 증가로 관찰할 수 있었는데, 운전압이 45bar 이상으로 상승하게 되면 막세정을 실시하였다.

## 4. 결과 및 토론

### 4.1 각단별 투과수 유량변화

각 단 모듈 1개당 평균 투과수량은 Fig. 2와 같이 운전초기에는 1단, 2단, 3단의 순서로 많았으나 운전시간이 경과하여 막오염이 진행됨에 따라 1단의 투과수량은 감소하는 반면 2단은 변화가 없고, 3단은 점차 증가하였다. 또한 막오염이 매우 심하게 진행되었을 경우에는 거꾸로 3단, 2단, 1단의 순서로 투과수량이 많음을 확인할 수 있었다. 즉 막오염은 주로 1단에서 발생하며 점차 2단, 3단으로 진행되는 것을 알 수 있었다. 한편 실험기간 중 3회에 걸쳐 막세정을 실시하였는데 24일째 막세정 결과에 의하면, 막세정 후 1단의 회수율은 증가하였으며, 2단은 변화가 없고, 3단은 오히려 감소함을 알 수 있었는데, 이는 각 단별 세정효과가 달라서라기보다는 1단의 막이 회복됨에 따라 회수율이 증가하게 되므로, 전체 회수율을 일정하게 유지하기 위해 3단의 회수율은 떨어지기 때문이다. 이 결과에서 아주 중요한 정보를 얻을 수 있었는데 이는 막오염 유발현상은 주로 1단에서 발생하며, 그 오염 물질은 무기 스케일보다는 유기물일 가능성이 매우 높다는 것이었다.

### 4.2 각단별 투과수 수질변화

1단을 거친 농축수는 2단의 유입수로, 그리고 2단의 농축수는 3단의 유

입수로 공급된다. 따라서 유입수는 각단을 거치면서 점점 농축되어 같은 배제율을 갖는 막을 사용했다면 각단별 투과수는 1단이 가장 우수하고 다음은 2단, 3단의 순서일 것이라는 것은 충분히 예측되는 결과이다. 본 실험 결과도 Fig. 3과 같이 전기전도도 기준 1단, 2단, 3단의 순서로 우수함을 알 수 있었다. 즉 각단별 투과수의 수질은 막오염에는 큰 영향을 받지 않고, 전적으로 유입수의 수질조건에 의존하는 것을 확인할 수 있었다.

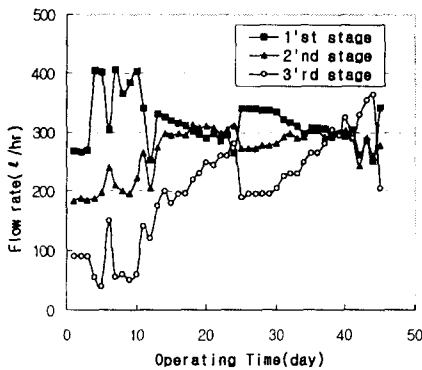


Fig. 2. Flowrate of each stage.

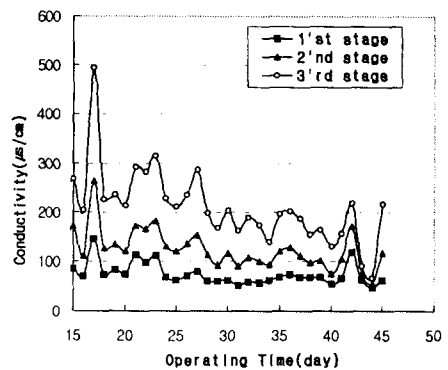


Fig. 3. Conductivity of each stage.

### 5. 참고문헌

1. Metcalf and Eddy, "Wastewater engineering", 1137-1184, Mcgraw Hill, NY(1991).
2. K. H. Choi, "막분리 공정을 위한 해수담수화", 멤브레인, 3(2), 51-59 (1993).
3. W. S. Winston Ho, Kamalesh K. Sirkar, Membrane Handbook, 293-299(1992).
4. Dow chem., Filmtec membranes, Dec.(1993).