

폐수 처리장 방류수를 재이용하기 위한 역삼투시스템 적용에 관한 연구

김동일, 박진혁
경운대학교 환경공학과

The Research with Reverse Osmosis System for Waste water Treatment Discharge Reusing

Dong-Il Kim • Jin-Hyok Park

Department of Environmental Engineering, Kyungwoon University

1. 서론

최근 들어 산업폐수를 재이용함으로써 공업용수를 확보함과 동시에 폐수 배출량을 줄이기 위해 역삼투(revere osmosis, R/O)를 이용한 폐수재이용 기술이 개발 중에 있으며 그 적용 예도 증가하고 있는 추세이다¹⁾. 일반적으로 산업체에서는 용수를 한번 사용하고 버리는 것이 아니라 순환시켜 사용하는 관계로 산업폐수 중에는 용존 이온의 농도가 높은 것이 특징이다²⁾. 산업폐수를 재이용하기 위해서는 폐수 중에 있는 부유물과 같은 오염물질은 물론 용존염도 제거하여야 한다. 용존염을 제거할 수 있는 기술로는 역삼투법, 전기투석법, 증발법 등이 검토되고 있다³⁾. 역삼투법은 역삼투막을 이용하여 폐수를 처리하는 분리막법의 일종으로 폐수재이용을 위해 널리 적용되고 있다⁴⁾. 역삼투막을 이용한 폐수재이용에 있어서 가장 큰 문제점은 운전시간 경과에 따라 막의 오염이 심화되어 처리효율이 저하된다는 점이다. 따라서 본 연구는 역삼투막의 오염을 최소화할 수 있는 최적의 전처리 시스템과 운전조건 등을 도출하기 위해 현장에서 장기간에 걸친 Pilot test를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험 장치는 크게 BMF(Backwashable Micro Filter, 역세형 복합중공사막) 와 역삼투 시스템을 연속으로 구성하였다. BMF(Backwashable Micro Filter, 역세형 복합중공사막)는 MF(Micro Filter)를 발전시킨 형

태로 유입수 중의 미세한 입자성 물질을 제거하는 역할을 하는데, 공기와 물로 자동 역세가 가능해 막을 교체하지 않고 장기간 연속적으로 사용할 수 있도록 구성 되어 있으며 막공경은 $0.1\mu\text{m}$ 이고 역삼투 시스템은 압력용기 2개가 직렬로 연결되어 있고 각 압력용기 내부에는 역삼투 모듈이 1개씩 장착되어 있다. 전처리 된 폐수는 고압펌프에 의해 역삼투 모듈 내로 유입되면서 폐수 중의 용존 무기이온을 제거하는데 시스템 압력은 농축수 라인 상에 있는 농축수 밸브에 의해 조절된다. 그리고 각 저장조들은 레벨 스위치로 연동되어 24시간 무인 자동운전이 가능하도록 제작되어 있다. Fig. 1.은 본 실험에 사용된 bench scale 실험 장치의 세부 공정도를 나타낸 것이다.

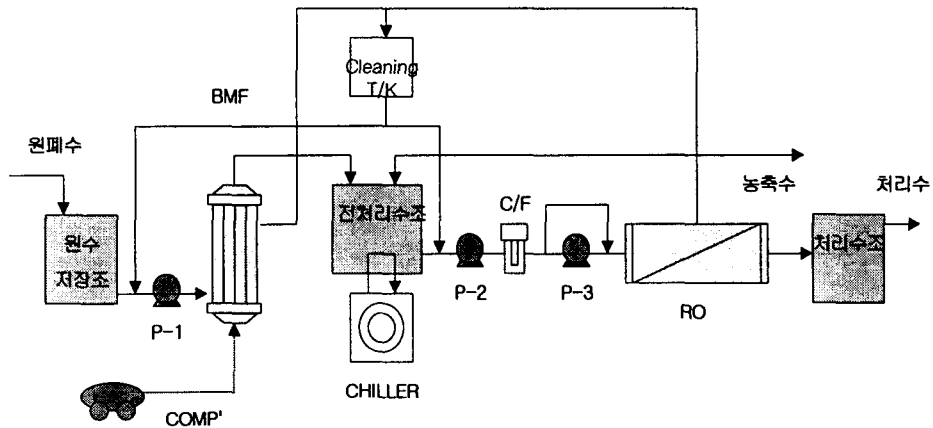


Fig. 1. 역삼투 시스템 bench plant 공정도

본 실험장치는 K제철소 내에 설치하여 전체시스템을 연계하여 운전하였으며 현장에서 약4개월 동안 24시간 연속운전하면서 각 장치별 처리유량 및 수질, BMF 역세 및 세정주기, 역삼투 시스템의 오염 물질 제거율과 운전 조건을 도출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 BMF (Backwashable Micro Filter, 역세형 복합중공사막) 장치

운전기간 중 일반적으로 역세주기는 수질에 따라 변화시켜야 하는데 폐수처리인 관계로 40min으로 설정하였으며 역세시간은 2min으로 설정하여 운전하였다. 유입압력은 운전기간 중 유입폐수의 온도와 수질에 따라 $1\sim 1.5\text{ kg/cm}^2$ 범위로 운전되었으며 BMF장치의 투과 플럭스는 역삼투 시스템의 처리수량과 농축수를 고려하여 $2.5\text{ m}^3/\text{hr}$ 운전하면서 압력의 변화를

관찰하였다. 역세주기는 7일로 나타났으며 Fig. 2는 운전기간 중 BMF 처리수량과 운전압력의 변화를 나타낸 그래프이다.

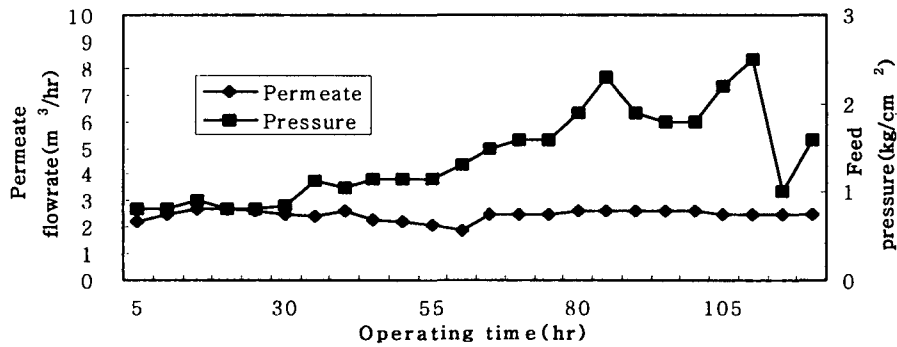


Fig. 2 BMF 처리수량과 압력변화

Table 1. Water Quality of BMF System

Item(Unit)	Raw water	Treated water
pH	6.63	6.82
SS (mg/L)	4	1.5
Cond. (μ s/cm)	3150	3150
COD _{mn} (mg/L)	2.64	1.04

실험 기간 중 BMF 장치의 처리수가 역삼투 시스템 유입조건을 만족하는지를 평가하기 위하여 SDI_{15min} 값을 측정하였는데, 분석 결과 SDI_{15min} 은 3.35로써 역삼투 시스템 유입조건(SDI_{15min} <5)을 만족함을 알 수 있었다.

3.2 역삼투 시스템

3.2.1 운전시간에 따른 유입유량과 처리수 유량의 변화

유입수량은 BW30-8040의 최대 유입수량의 65%인 약180~211L/min으로 고정한 상태에서 농축수 라인의 밸브를 조절하여 투과수의 유량이 약 20~22L/min가 되도록 조정하였다. 이때 33.3L/min의 농축수가 발생되는데, 이중 21.7L/min은 저장조로 다시 순환되고, 11.6L/min만을 배출시켜 모듈 2개의 회수율은 약10~12%, 전체시스템 회수율은 63~66%가 되도록 운전하였다. Fig. 3은 운전시간에 따른 유입 유량과 처리수 유량의 변화를 나타낸 그래프이다.

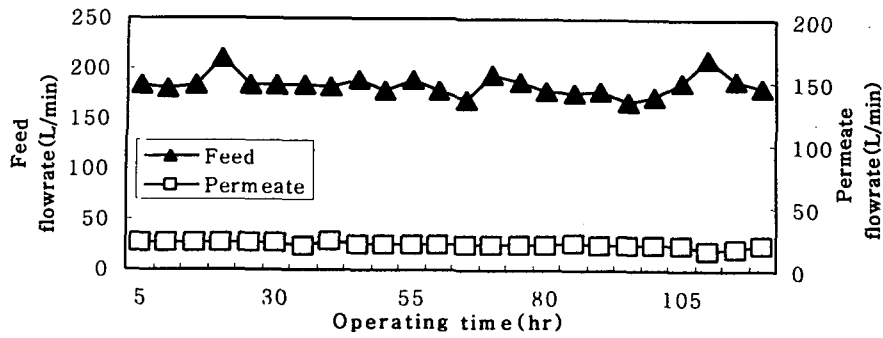


Fig. 3 운전시간에 따른 유입유량과 처리수 유량의 변화

3.2.2 운전시간에 따른 유입수와 처리수의 전기전도도 변화

운전기간 중 유입수와 처리수의 전기전도도의 변화를 측정한 것으로 역삼투 장치는 농축수 순환방식으로 운전하였기 때문에 역삼투 시스템은 BMF시스템의 처리수와는 수질이 다르다. 운전기간 중 유입수의 전기전도도는 $5000\sim 8000\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 범위였으며, 처리수는 $190\mu\text{s}/\text{cm}$ 이하로 매우 안정적으로 처리됨을 알 수 있었다. Fig. 4는 유입수와 처리수의 전기전도도 변화를 나타낸 그래프이다.

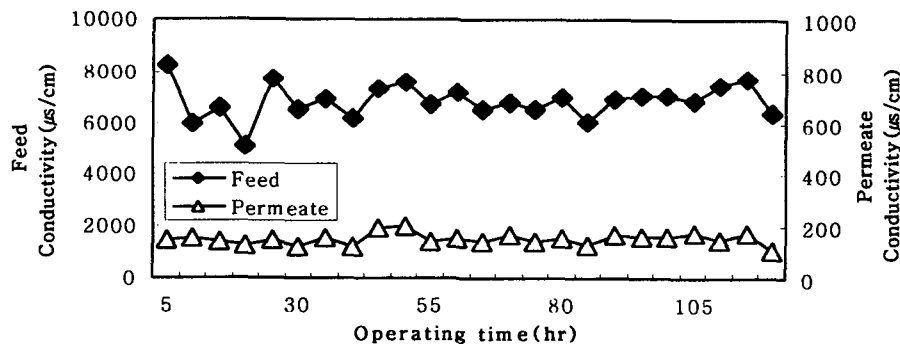


Fig. 4 유입수와 처리수의 전기전도도 변화

3.2.4 역삼투 시스템의 수질변화

Table 2.는 실험 기간 중 역삼투 시스템의 원수 및 R/O공급수와 처리수를 대상으로 각 수질 항목에 대해 분석한 평균값이다. 전체시스템에서 이온제거율은 Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} 등의 2가 이온에 대해서는 99% 이상의 높은 배제율을 보인 반면 Cl^- 과 같은 1가 이온들에 대해서는 상대적으로 낮은 배제율을 나타내었다.

Table 2. Water Quality of R/O(Reverse Osmosis) System

Item(Unit)	Raw water	Feed water	Treated water	Rejection(%)
pH	6.63	7.18	6.76	—
SS (mg/L)	4	7	0	100
Cond. (μ s/cm)	3150	7339.7	193.6	93.9
COD _{mn} (mg/L)	2.64	2.8	0	100
Alkalinity (mg/L)	18.1	20.9	6.7	63
Ca ²⁺ (mg/L)	258.91	571.4	0.001>	100
Mg ²⁺ (mg/L)	1.82	4.55	0.001>	99.9
Na ⁺ (mg/L)	367	791.4	22.7	93.8
K ⁺ (mg/L)	48.92	109.69	2.75	94.4
NH ⁴⁺ (mg/L)	19.47	38.8	1.3	93.1
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	656.95	1515.75	2.5	99.6
NO ₃ ⁻ (mg/L)	28.005	44.2	6.6	76.4
NO ₂ ⁻ (mg/L)	3.5	20.4	1	70.7
Cl ⁻ (mg/L)	659.45	1478.45	33.6	94.9
F ⁻ (mg/L)	1.647	3.701	0.1	93.6

4. 결론

본 실험장치에 사용된 bench scale plant 와 같이 원수 온도를 낮추기 위해 냉각탑을 사용하고, 역삼투막을 장기간 안정적으로 사용하기 위해 BMF(Backwashable Micro Filter, 역세형 복합중공사막)를 이용해 전처리함으로써 시스템을 안정적으로 운전할 수 있었으며 처리수는 공업용수대 비로 공정에 재사용이 가능한 수질이였다. 현장에서의 실험결과 BMF는 이온성분은 제거 할 수 없었으나, SS, COD_{mn}의 경우 60~65%이상 제거 할 수 있는 것으로 나타났고 역세주기는 7일에 1회 실시하였다. 역삼투의 경우 SS, COD_{mn}는 물론 용존 이온도 2가 이온은 99%이상이고, 1가 이온은 93%이상의 제거율을 나타내었다.

5.참고문헌

1. Fane, A. G., "Membranes for water production and wastewater reuse," Deslination, 106, 1-9(1996)
2. 환경부, "공장폐수의 발생과 처리" ,(1997)
3. Thomas, M., Missimer, P. G., Water supply development for membrane water treatment facilities, Lewis publishers(1993)
4. Winston Ho., Sirkar, W. S., and Kamalesh, K., Membrane Handbook, Chapman and Hall(1992)