

하수처리장 2차유출수의 재이용을 위한 막공정의 SAR 비교 연구

이은우*, 장인성*

*호서대학교 환경공학과

e-mail:cis@office.hoseo.ac.kr

Comparison of SAR (sodium adsorption ratio) between RO and NF processes for the Reclamation of the Secondary Effluent

Eun-Woo Lee*, In-Soung Chang*, Youngchul Kim**

*Dept of Environmental Engineering, Hoseo University

요 약

하수처리장의 2차유출수를 농업용수로 재이용 할 때 가장 문제가 되는 요소는 염도(Salinity)와 SAR(Sodium adsorption ratio)이다. RO와 NF 막분리 공정을 사용하여 각각의 결과값을 비교·분석하고 재이용 시 이용될 적합한 막공정에 대한 지침을 마련하고자 하였다.

1. 서론

급속하게 진행되는 산업화와 도시화로 인해 수질은 심각하게 오염되고 물의 수요량 또한 급증하고 있어 사용가능한 물이 점점 부족해지고 있다. 현재 전 세계적으로 소비되는 물의 약 70%는 관개용수로 이용되지만 산업발달과 인구증가로 물의 용도가 바뀌어 사용되고 있어 농업용수 부족의 심각성을 깨달아야 할 때이다. 또한 UN에서도 우리나라를 물부족 국가로 분류하고 있고 앞으로 물 부족사태가 예상되고 있으므로 대체 수자원의 개발이 시급한 실정이다.

최근 기존의 수자원에 대한 의존도를 줄이고 물을 절약하거나 물을 재이용하는 방향으로 연구가 진행되고 있고 하수처리장 방류수를 재이용하는 기술이 그 한축을 이루고 있다. 하수처리장에서는 다량의 처리수가 발생되지만 그 사용이 미비한 상태이므로 농업용수로의 재이용이 충분히 고려될 수 있다.

하수처리수를 농업용수로 재이용할 때 특히 문제가 되는 항목은 염도(Salinity)와 SAR(Sodium adsorption ratio)이다. 염도가 특히 높은 경우 염분

에 잘 견딜 수 있는 작물에 국한되어 재이용해야 한다. 염도는 토양의 삼투압(Osmotic potential)을 악화시켜 농작물의 수분 흡수를 저해한다. SAR은 나트륨이 토양에 미치는 정도를 나타내며 값이 높을 경우 토양의 투수성에 악영향을 줌으로써 농작물의 흡수성을 방해하게 된다.

막분리 공정은 탁월한 분리능력 때문에 하수처리장의 2차유출수를 재이용하는데 적합한 공정으로 평가되고 있고 특히 RO(Reverse Osmosis)와 NF(Nanofiltration)막이 사용되고 있다. 이는 막 고유의 분리특성으로 인해 SAR 값에 서로 다른 영향을 미칠 수 있으므로 농업용수로 재이용될 수질기준에 만족하지 못할 수 있다.

본 연구는 막분리 공정을 사용하여 여과수의 SAR값을 비교하고 2차유출수의 재이용 가능성과 그에 따른 적합한 막분리 공정을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구는 크게 전처리공정(UF)과 막분리공정

(NF와 RO)으로 나누어 실시하였다.

2.1. 전처리 공정

유입수로 사용된 시료는 충남 천안 환경사업소에
서 방류되는 2차 유출수를 채취하였다. 채취된 2차
유출수는 즉시 0.45µm membrane filter로 여과한 후
실험기간 동안 4°C에서 저장하여 사용하였다.

UF(Ultrafiltration)는 부유물질 및 미생물 등의 제
거가 탁월하여 NF와 RO에서 지적되는 막오염에 의
한 막 성능저하를 다소 지연시킬 수 있다고 판단되
어 NF와 RO의 전처리 공정으로 사용하였다. UF 막
은 분획분자량(MWCO)이 30KDalton인 Regenerated
Cellulose 재질의 YM30(Amicon, USA) 환외여과막
을 사용하였으며 교반셀(Stirred batch cell, 8200,
Amicon, USA) 장치에 장착하여 실험하였다. 유효
막면적은 30.1cm²이고 교반속도와 압력은 각각
180rpm과 1.4bar로 유지하였으며, permeate flux는
전자저울에 연결하여 permeate의 무게를 측정하여
결정하였다.

2.2. 막분리 공정

전처리 공정 후의 유출수는 막분리 공정의 유입
수로 사용되었다.

본 연구에 사용된 RO·NF 실험장치의 유입탱크
용량은 5L이고, 실험하는 동안 일정 온도(20±2°C)를
유지하였다. 실험에 사용된 분리막은 spiral 형태의
Nanamax50(=NF)과 Nanamax95(=RO)(Millipore,
USA) 막을 사용하였고, 막의 유효면적은 0.37m²이
다.

2차유출수의 재이용 가능성을 평가하기 위하여
농업용수로의 재이용 시 문제가 될 수 있는 수질 항
목을 중심으로 선정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰.

UF의 경우, 직렬 여과 모델 저항
(resistance-in-series model)을 이용하여 각 저항값
을 산출하였다. 막에 의한 저항값(R_m)은 3.49×10¹²m⁻¹
이고 막오염에 의한 저항값(R_f)은 0.05×10¹²m⁻¹이며
캐익층에 의한 저항값(R_c)은 0.12×10¹²m⁻¹이다. 여과
공정은 VCR(Volume Concentrate Ratio)이 5에 도달
할 때까지 실시하였고, 각 실험에서의 평균 투과 플
럭스는 UF의 경우, 98.1 l/m²·hr·bar, NF는 4.55 l
/m²·hr·bar, RO는 1.91 l/m²·hr·bar으로 계산되

었다.

Table 1는 2차유출수와 UF, NF 및 RO의 여과수
분석결과를 나타낸 것이다. 농업용수 수질기준의 경
우, 2차유출수를 농업용수로 재이용하는 기준이 우리
나라는 미비하므로 외국의 농업기준을 바탕으로 비
교·분석하였다. NF와 RO의 여과수는 대부분 농업
용수 수질기준 이하로 처리되었다.

Table 1 Water qualities of the Secondary effluent and permeates of the UF, NF and RO.

	Secondary Effluent	UF	NF	RO
pH	8.24	8.24	8.29	8.28
SS(mg/L)	4	ND	ND	ND
TDS(mg/L)	396	292	201	12.3
Conductivity(µS/cm)	506	500	361	17.5
Turbidity(NTU)	1.240	0.118	0.096	0.083
COD(mg/L)	21	9	ND	ND
TOC(mg/L)	6.22	4.16	ND	ND
Na ⁺ (mg/L)	56.0	55.9	48.8	2.03
Ca ²⁺ (mg/L)	21.6	20.7	2.49	0.25
Mg ²⁺ (mg/L)	31.9	31.1	3.51	0.21
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	44.2	43.5	1.20	0.50
Cl ⁻ (mg/L)	76.1	74.1	61.0	1.76
NH ₃ -N(mg/L)	11.1	9.29	ND	ND
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	5.0	4.9	4.7	1.0

2차유출수의 COD 농도는 21mg/L로서 농업용수
수질환경기준인 8mg/L을 초과하였지만 NF와 RO 공
정 후에는 검출되지 않았다. COD가 높으면 농작물
의 양분흡수와 체내대사를 저해하여 뿌리의 활력을
감소시키게 되고 결국 농작물의 감소를 가져온다.

삼투압으로 인하여 작물의 수분흡수에 영향을 미
치는 전기전도도(Conductivity)는 2차유출수의 값이
506µS/cm으로써 일본의 농업용수 수질기준인 300µ
S/cm을 초과하였고, RO의 유출수만 기준을 만족하
였다.

Cl⁻는 과다하면 식물체의 광합성을 감소, 탄수화
물 이동저해, 호흡 및 수분흡수를 저해한다고 알려져
있다. 일본의 농무성에서의 농업용수 수질기준은
500mg/L이하이고, 여과수 뿐만 아니라 2차유출수 역
시 기준치 이하로 나타나 농작물에 직접적인 영향을
미치지 않을 것으로 판단된다.

NH₃-N는 다른 형태의 질소에 비해 벼의 품질,
날알 불량 등에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있

다. 분석결과, 막분리 공정에서 완전히 제거되므로 식물의 NH₃-N의 영향은 배제된다고 판단된다.

Fig. 1은 2차유출수와 여과수의 양이온 농도 및 SAR 변화율을 나타내었다. UF 실험의 경우, 양이온 제거에 영향을 미치지 않으므로 유입수와 비슷한 이온농도를 나타내었다. NF는 Ca²⁺와 Mg²⁺가 80% 이상의 제거율을 보였고, Na⁺의 경우 12.7%의 낮은 제거율을 보였다. RO는 Ca²⁺와 Mg²⁺ 뿐만 아니라 Na⁺ 역시 90% 이상의 높은 제거율을 보였다. 이 현상은 NF와 RO의 각기 다른 여과 능력에서 비롯된 결과이다. 그러나 NF 공정 후의 SAR값(=4.67)은 UF의 SAR(=1.81)보다 두 배 이상 증가하는 경향을 보였다. 반면, RO의 경우 SAR이 1.81에서 0.72로 감소하였다.

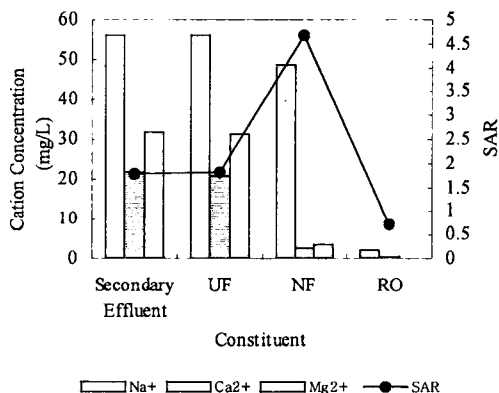


Fig. 1. Variation of cation concentration and SAR during the UF, NF and RO

본 연구에서 NF를 사용한 공정의 SAR값은 증가하는 경향을 보였다. 증가한 SAR은 토양의 투수성에 영향을 미치고 농업용수로의 재이용 시 제한적으로 작용한다. 일반적으로, 농업용수의 SAR이 3보다 작으면 토양에 미치는 영향이 적은 반면, 6보다 크면 재이용수의 관리가 필요하다. 그러므로 하수처리장의 2차유출수를 재이용하여 농업용수로 사용할 때 막의 종류에 따라 SAR값이 변하므로 SAR을 우선적으로 고려해야 하여 사용될 분리막을 선정해야 한다.

참고문헌

[1] Lopez-Ramirez J.A., Sahuquillo S, Sales D, and Quiroga J.M., "Pretreatment optimization for secondary effluent reclamation with reverse

osmosis", *Water Research*, 37, 1177-1184, 2003
 [2] Donald R, Rowe, Isam Mohammed Abde I- Magid, "Handbook of Wastewater reclamation and reuse", CRC Press, Inc., pages 23-30, 1995
 [3] S.L. Kim, J. Paul Chen and Y.P. Ting, Study on feed pretreatment for membrane filtration of secondary effluent, *Separation and Purification Technology*, 29, 171-179, 2002
 [4] I.S. Chang, C.H. Lee, K.H. Ahn, Membrane filtration characteristics in membrane coupled activated sludge system : The effect of floc structure on membrane fouling, *Separation Science and Technology*, 34(9), 1743-1758, 1999
 [5] J.M.M. Peeters, J.P. Boom, M.H.V. Mulder, H. Strathmann, Retention measurements of nanofiltration membranes with electrolyte solutions, *Journal of membrane Science*, 145, 199-209, 1998
 [6] 김진호, 이종식, 류종수, 안의영, 안승구, 수원 서호의 수질화학성분변화와 농업용수원으로의 적합성 평가, *한국환경농학회지*, 19(3), 242-246, 2000
 [7] 한국전력기술, 하수처리수의 재이용 기술에 관한 연구, 환경관리공단, 2001