

하수처리수 재이용을 위한 분리막 조합공정의 처리성능 평가

안원영¹, 김건태¹, 임성균¹, 최광호¹, 강봉래², 고기원², 조재원³, 김승현⁴

코오롱건설(주)¹, 제주도수자원관리본부², 광주과학기술원³, 경남대학교⁴

Evaluation of an integrated membrane system for domestic wastewater reuse.

Won-Young Ahn¹, Keun-Tae Kim¹, Seong-Keun Yim¹, Kwang-Ho Choi¹,
Bong-Rae Kang², Gi-Won Koh², Jaeweon Cho³, Seung-Hyun Kim⁴

Kolon Engineering & Construction¹, Jeju Provincial Water Resources
Management Office², Kwangju Institute of Science & Technology³,
Kyungnam University⁴

1. 서론

대체수자원을 개발하는 방법에는 기존에 버려지던 우수의 개발, 누수의 저감기술 개발 등 수자원의 효율성을 증대시키는 방안과, 해수담수화, 하수 및 폐수 등의 재이용 등을 통한 새로운 수자원을 개발하는 방법 등이 있다.

이 중에서 하수처리수의 재이용을 통한 수자원의 확보기술은 연간 61억 톤이 발생하는 하수처리수를 생물학적처리, 물리화학적처리 등을 이용하여 고도처리한 후에 재이용하려는 기술로 국내에서도 하수처리장의 처리수의 재이용 의무화의 실행에 따라서 관심이 증가되고 있다.

본 연구는 RO(Reverse Osmosis) 공정을 주공정으로 하고 사여과와 역세정밀여과막(Backwashable microfiltration, BMF)을 전처리공정으로 하는 분리막 조합공정으로 하수처리수를 고급수질의 재이용수로 고도처리하고 이 때에 원수특성에 따른 시스템의 성능평가를 수행하고 최적의 시스템 구성 및 운전인자를 확보하는 것을 목적으로 수행되었다. 이를 위하여 20톤/일 규모의 모형실험장치를 J시 하수처리장에 설치하여 2차 처리수를 대상원수로 하여 장기실험을 수행하였다.

2. 이론

재이용수는 용도에 따라서 요구되는 최종처리수질이 다르며 이에 따라서, 처리기술도 달라지게 된다. 예를 들면 농업용수 및 저급 공업용수로 사용하기 위한 경우 소독이나 사여과 등 비교적 간단한 처리 후 용수로 재이용이 가능하지만 고급 공업용수, 청정지역의 하천유지수 및 중수도 등으로 이용하기 위해서는 고급산화공정(Advanced Oxidation Process, AOP), 분리막여과공정(Membrane Filtration), 토양대수층이용기술(Soil/Aquifer Technology, SAT) 등이 사용되어야 한다.

본 연구에서 채택한 분리막을 이용한 여과기술은 현재 구미지역의 선진국을 중심으로 재이용수 생산, 간접적 상수원수의 생산(Indirect Potable Reuse, IPR) 등의 목적으로 실용화단계에 이르고 있는 기술이다[1].

표 1) 국가별 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 현황

국가	적용 기술	세부 내용
미국	멤브레인	하루 20만톤 하수처리수 식수화(샌디애고)
미국	SAT	하루 70만톤(36%) 재이용(캘리포니아 LA 카운티)
미국	SAT	하루 34만톤(50%) 처리가능(아리조나 투슨)
싱가폴	멤브레인	하루 2만톤 공업용수 재이용
이스라엘	SAT	연간 6천만톤(20%) 재이용(텔아비브)
일본	MBR(MF)	도시하수 재이용(Kubota 공정)
일본	이온교환막	하루 250톤 공업용수 재이용(동경)
일본	MBR(UF)	빌딩하수 재이용(Pleidade 공정)
캐나다	MBR(UF)	도시하수 재이용(ZenoGem 공정)
캐나다	고도산화	폐수고도처리공정(Solarchem Pruifics 공정)
캐나다	멤브레인	하루 3천톤 공업용수 재이용
프랑스	고도산화	폐수고도처리공정(OTV 공정)
한국	MBR(UF)	하루 3천톤 도시하수 재이용(Biosuf 공정)
호주	SAT	연간 2천8백만톤(70%) 재이용(아델레이드)

3. 실험

분리막 조합공정의 처리성능 평가를 위해서 수질공정시험법에 따른 27개 항목의 원수 및 처리수의 수질이 분석되었으며 최적의 모형실험설비의 설계 및 제작을 위해서 실험실규모의 사여과의 입자크기와 투과선속도에 따른 입자의 제거실험이 실시되었다. 이를 통하여 분리막 조합공정이 최적 공정으로 도출되었다. 도출된 공정의 성능평가를 위해서 그림 1과 같은 20톤/일 규모의 모형실험장치가 구성되어 J시 하수처리장내에 설치되어 2개월간의 장기실험이 수행되었다.

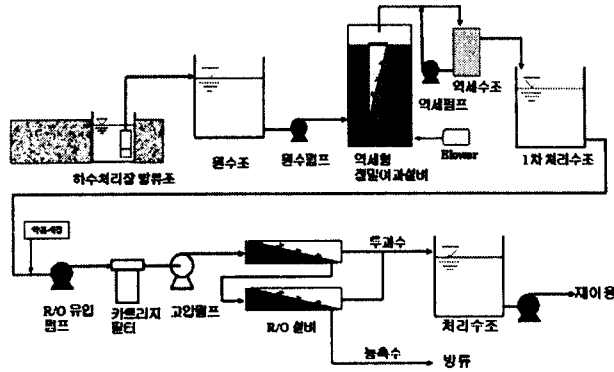


그림 1. 모형실험장치의 개략공정도

4. 결과 및 토론

4-1. 하수처리수의 특성평가

실험이 수행된 J시 하수처리장은 위치가 해변과 인접하여 해수의 침투에 의해 전기전도도가 $2,000 \sim 5,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 높았으며 이에 포함된 염소의 농도가 $600 \sim 1,300 \text{mg}/\text{L}$ 로 내륙에 위치한 하수처리수와 비교하면 최고 10배정도 높은 값을 나타내었다 (그림 2).

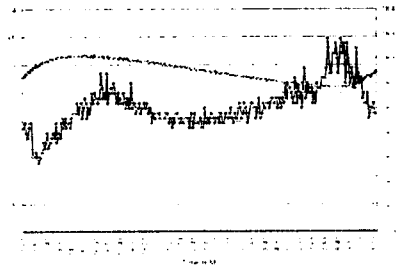


그림 2. 하수처리수의 전기전도도(J시)

위의 결과를 볼 때 농작물의 재배를 위한 농업용수의 이용 등 재이용수로 처리수를 사용하기 위해서는 원수에 포함된 이온성분의 제거가 필수적인 것을 알 수 있었다. 또한, 원수에 포함된 염소 및 브롬이온은 수중의 유기

물과 반응하여 트리할로메탄(THMs)과 할로아세트산(HAAs) 등의 발암물질을 생성할 가능성을 높여 재이용수로 사용이 부적절할 수 있다. 이를 검증하기 위해서 본 연구에서는 내륙에 위치한 K시 하수처리장의 2차 처리수와 J시의 2차 처리수내에 포함된 유기물의 농도와 이 때에 발생할 수 있는 THMs과 HAAs의 생성가능성을 비교 검토해 보았다. 그림 3에 나타난 것과 같이 하수처리수내에 유기물의 성상과 농도는 K시와 J시가 유사하였으나 염소와 브롬이온의 농도가 높은 J시의 하수처리수의 THMF₄(Trihalomethane formation potential 4)과 HAAFP₅(Haloacetic acid formation potential 5)의 값이 각각 K시의 1.5배와 10배로 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서, 대상 하수처리수의 재이용을 위해서는 RO공정을 이용한 원수내 염소 및 브롬이온의 제거가 적절함을 알 수 있었다.

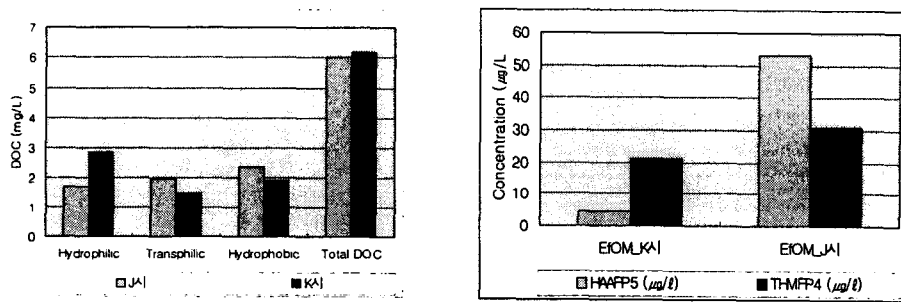


그림 3. 하수처리수내 유기물분포 및 소독부산물 생성가능성 비교

4-2. 전처리공정의 성능평가

하수처리수에 포함된 원수에는 1~10mg/L 정도의 부유고형물이 포함되어 있으며 이는 RO 분리막의 주된 막오염물질로 작용한다. 따라서, 이의 제거를 위한 적절한 전처리공정이 필수적이다. 본 연구에서는 사여과공정과 BMF공정을 전처리공정으로 검토하였다. 사여과공정은 BMF에 비해서 시설비 및 운전비가 낮기 때문에 우선 검토를 수행하였다. 그림 4에 나타난 것처럼 우선 원수를 사여과를 통해서 처리한 결과 약 40%의 부유고형물만이 제거되어 1~4mg/L의 부유고형물이 여전히 처리수에 남아있는 것이 확인되었다. 또한, 유입수에서 발견되는 입자의 분포를 측정해본 결과 대부분이 10~100µm의 범위에 집중되어 사여과에 의한 제거가 적절하지 않은 것을 알 수 있었다(그림 5). 또한 하수처리수의 부유고형물 농도가 1~10mg/L로 일반적인 하수 및 폐수에 비해서 농도가 낮기 때문에, 본 연구

에서는 세공크기 $0.1\mu\text{m}$ 의 BMF 분리막을 전처리설비로 채택하였다.

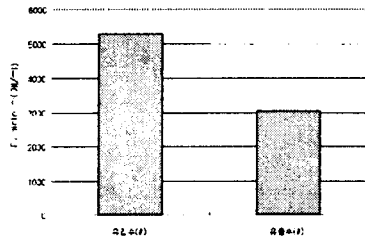


그림 4. 사여과에 의한 입자제거 성능

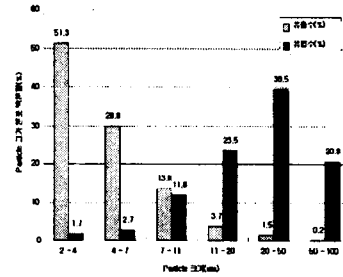


그림 5. 유입수의 입도분포

4-3. 분리막 조합공정의 장기운전

최적 공정으로 도출된 분리막 조합공정의 50일간 안정적으로 운전되었다. 처리수질 측면에서 전기전도도는 $40\sim 70\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 95%이상 제거되었으며 유기물, 질소, 인, 기타 금속이온 등도 완벽하게 제거되어 고급수질의 재이용수의 생산이 가능함을 알 수 있었다. 향후 생산된 재이용수를 이용한 농작물의 재배실험을 수행할 예정으로 처리수에 포함된 미량의 물질들이 장기적인 농작물의 재배에 미칠 영향을 고찰할 예정이다. 처리유량 측면에서도 아래의 그림 6에 나타난 대로 장기실험이 수행된 50일 동안 BMF 및 RO 투과유량이 안정적으로 확보되는 것을 확인할 수 있었다

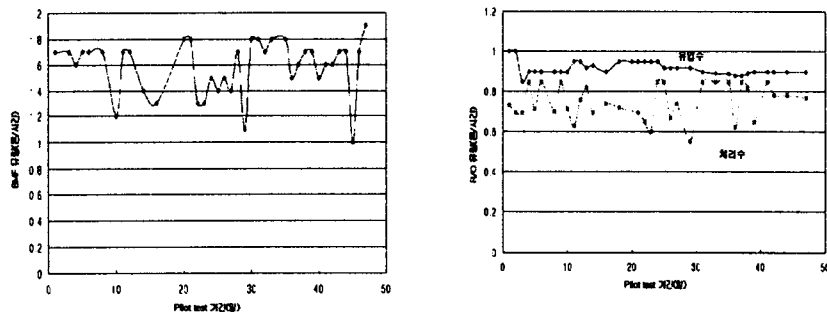


그림 6. BMF 및 RO 분리막의 처리유량

5. 참고문헌

1. 광주과학기술원, “용수 재이용 기술 개발 연구계획서” (2001)