

## PE6) 濟州地域 下水處理場 放流水 再利用 方案에 對한 研究

고성철<sup>1</sup>, 고기원<sup>2</sup>, 양태혁, 김성윤\*, 양성기  
제주대학교, <sup>1</sup>토목해양공학과, 서귀포시청,  
<sup>2</sup>제주도광역수자원관리본부

### 1. 서 론

제주도의 주된 수자원인 지하수는 강수에 원천을 둔 순환자원으로서 강수량 변동에 따라 수량 변화(지하수위 상승 및 하강 폭이 큼)가 크게 발생한다. 평균 개념에서 보면, 제주도 본도에는 연간 1,978mm의 비가 내리지만, 다우년(1999년 2,944mm)과 과우년(1996년 1,422mm) 간의 편차는 1,500mm에 이를 정도로 매우 크다.

상기와 같은 제주도 지하수자원의 특성과 가뭄 시 예상되는 문제점 등을 고려할 때, 극단적인 가뭄 때에도 안정적으로 공급할 수 있는 대체수자원 개발방안에 관한 연구가 필요한 실정이다. 지하수를 대체할 수 있는 대체수자원으로서는 용천수, 지표수 또는 빗물, 개별시설의 중수도, 해수 담수화, 하수종말처리장 방류수(이하 “하수처리장 방류수”라 함) 등을 생각할 수 있다. 그러나 제주도의 수자원 부존여건, 가뭄시 지속 이용 가능성, 그리고 경제성 등을 고려하면 상기와 같은 대상 중에서도 하수처리장 방류수가 가장 좋은 대체수자원이라 할 수 있다.

### 2. 연구목적 및 방법

본 연구는 제주지역에서 발생하는 하수처리장 방류수를 재이용할 수 있는 방안마련을 위한 기초적인 연구로서, 운영 중인 하수처리장에서 발생하는 방류수에 포함된 물질의 종류와 함량을 파악함과 아울러, 수질특성을 고려한 최적의 재처리 기술을 개발하고, 농·축·환경·공업용수 문제를 해결함은 물론 지하수에 편중된 제주도의 물이용 패턴을 다원화 하고, 청정한 바다환경과 해양생태계의 안정성 유지 등을 위해 하수처리장 방류수의 재이용 가능성을 평가하는데 주된 목적이 있다.

이를 위하여 제주시 도두처리장을 비롯한 도내 3개 처리장의 유입하수 및 방류수에 대해 월 1회 채수하여 일반오염물질 및 중금속 등을 제주도보건환경연구원에 의뢰 분석하여 수질평가를 함과 아울러, 방류수 중의 부유물질 함량 등을 평가, 모래여과기에 의한 모래입자 크기 및 선형속도별 부유물질 제거 성능과 입자 크기별 제거특성 분석을 실시하였고, 재처리 주 공정을 선정하기 분리막(UF, MF, RO) 종류별로 처리능력 평가를 실시하였다.

평가결과 RO(역삼투막공정) 적합한 것으로 분석되어 1일20톤 처리규모의 Pilot Plan (MF, RO)를 설치하여 실제로 재처리하는 과정을 통하여 방류수(원수) 특성에 따른 시스템의 성능평가를 수행하였으며, 처리수에 대해 월1회씩 정기적으로 수질(30개 항목) 검사

및 평가를 통해 수질적인 문제점을 도출하고 제주지역에 적용 가능한 최적의 재처리공정을 개발함과 동시에 방류수 재이용 방안을 연구하였다.

## 2.1. 방류수의 수질평가

제주지역 3개 하수처리장의 방류수에 대한 수질분석결과를 종합해 보면, 다음과 같은 몇 가지 특징을 찾을 수 있다. 염소이온 농도는 최대 117.6~3,523.9mg/ℓ (평균치 범위 529.6~730.0mg/ℓ) 범위를 나타내 내륙지역 하수처리장 방류수보다 훨씬 높으며, 지하수법상의 농업용수 수질기준(250mg/ℓ)을 초과하였으며, BOD(생물학적 산소요구량) 역시 26.5~2.9mg/ℓ (평균치 범위 8.6~13.8mg/ℓ)의 범위로서 지하수법상의 농업용수 수질기준(8mg/ℓ)을 초과하였다. 대장균군(100ml 당)은 3,200~42개(평균치 범위 400~930개) 범위에서 검출되고 있으며, 질산성질소는 2.1~27mg/ℓ (평균치 범위 6.0~15.3mg/ℓ)을 나타내 지하수법상의 농업용수 수질기준을 초과하고 있지는 않다. TCE(트리클로로에틸렌)을 비롯하여 페놀, 유기인, 비소, 시안, 카드뮴, 6가크롬, 수은 등 특정유해물질은 검출되지 않았다. 규산염을 비롯하여 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 나트륨 등의 이온성분들은 대체로 10~50mg/ℓ 범위의 농도를 나타내었으며, BOD를 비롯한 일반오염물질 성분들은 여름~가을철 기간이 낮고 겨울~봄철 기간이 다소 높은 계절변화의 경향을 나타내고 있다.

이상과 같은 방류수의 수질성상에 비추어 볼 때, 3차처리(고도처리)를 하지 않은 상태로 농업용수 및 조경용수로 재이용하는 것은 외국의 방류수 재이용 수질기준 또는 권장사항을 고려할 때, 공중보건상의 문제뿐만 아니라, 농작물에 영향을 미칠 수 있기 때문에 곤란한 것으로 판단다. 따라서, 제주지역 하수처리장에서 발생하는 방류수를 재이용하기 위해서는 적절한 공정에 의한 3차처리가 요구되고 있다.

## 2.2. 역삼투막공정의 성능평가

전기전도도는 35~152 $\mu$ s/cm(평균 69.4 $\mu$ s/cm)로서 97% 이상이 제거되었다. BOD<sub>86%</sub> 이상, COD<sub>Mn</sub>는 93% 이상제거 되었다. SS는 100% 제거되었으며, MF 전처리 과정에서도 81% 이상 제거되었다. 염소이온은 98% 이상, 나트륨이온은 97% 이상 제거되었다. 염소이온은 98%이상, 나트륨이온은 97%이상 제거되었다, 질산성질소는 87% 이상, 암모니아성질소는 82% 이상, 총질소는 95% 이상 제거되었다. 칼슘, 마그네슘, 규산염 등의 기타 이온성분들도 90% 이상 제거되었다. 또한 미생물학적 안정성을 확인하기 위해 2003년 9월 3일부터 9월 5일까지 하루 2회씩 대장균군을 분석한 결과 방류수에는 600~3,000개/ml의 대장균군이 검출되었으나 MF 처리수에는 36개/ml 이하, RO 처리수에는 검출되지 않았다.

사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는 유기화합물, 농약, 중금속 등을 분석하기 위해 WHO 음용수 수질 가이드라인에 제시되어 있는 121개 항목 중 102개 항목에 대하여 한국수도환경연구소에 분석을 의뢰하였다. RO 처리수의 수질을 비교하기 위해 중산간 지역 지하수(2개소), 강우 후 지표 유출수를 채수하여 수질 정밀분석을 실시하였다. 분석결과, 중산간지역 지하수 2개소에서는 총 대장균군과 분원성 대장균이 검출되지 않았으나 지표수에는 분원성 대장균이 검출되었고, RO 처리수에는 총대장균군이 검출되었다. 일반적으로 RO 막에

서는 세균, 바이러스, 원생동물 등이 모두 차단된다는 점을 감안할 때 RO 처리수에서 총대장균군이 검출된 것은 채수 또는 운반과정에서 감염이 된 것으로 판단된다. 사람에게 심미적으로 영향을 줄 수 있는 색도, 탁도, 알루미늄, 잔류염소, 구리 등의 항목에서는 지표수나 지하수, RO 처리수 모두 WHO 수질기준에 훨씬 못 미치는 양호한 결과를 보여 주고 있다. 건강에 위해를 줄 수 있는 유기화합물의 경우에는 톨루엔이 0.002~0.006mg/l 정도 검출되었지만, WHO 음용수 수질 권고 기준 및 우리나라 먹는물 수질기준(0.7mg/l)과 비교할 때 미미한 수준이라 할 수 있다. 또한 건강에 위해를 줄 수 있는 무기화합물인 경우 RO 처리수에서 붕소가 0.11mg/l 검출되었지만, WHO 음용수 수질 권고 기준과 우리나라 먹는물 수질기준(0.3mg/l)에는 못 미치고 있으며, 질산염도 4~4.9mg/l의 범위를 보여 WHO 기준치인 50mg/l 보다 매우 낮은 농도를 보였다. 농약, 제초제, 소독제, 소독 부산물 성분은 검출되지 않았거나 검출한계 이하로 분석되었다. 이상과 같이 RO 처리수의 수질은 중산간 지역 지하수의 수질과 큰 차이가 없고, 지표수보다 다소 양호한 것으로 분석되었다.

### 2.3. BIOCIDES 약품주입 평가 결과

Pilot Plant 시스템 가동 시 미생물 약품 무주입과 일시 중지 시 적절한 조치 미흡으로 발생할 수 있는 전처리 시스템의 미생물 오염을 방지하고, RO(역삼투) 공정의 약품주입에 의한 성능변화 등을 파악하기 위하여 1개월 간 약품주입과 1개월 간 약품 무주입 평가를 수행하였다. 평가결과, 20ppm의 약품 주입 시에는 막 표면 및 시스템에 부착된 미생물 슬러지가 대부분 제거되어 미생물 제거 약품주입에 따른 시각적인 효과는 뚜렷하게 나타났으나, 실질적인 성능 측면(유량 증가, 유입압력 감소)에서는 큰 차이를 보이지 않고 초기상태를 유지하는 하는 것으로 나타났다. 따라서 장기간 운전 시에는 미생물 제거약품을 주입함으로써 전처리 분리막 시스템의 안정적인 운전과 교체 주기 연장으로 운전비의 절감을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다. 일반적으로 미생물 제거약품을 주입하면 주입약품 중 반응하지 않은 것으로 인하여 역삼투 분리막이 손상을 입는 것으로 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 이 같은 영향이 적은 것으로 알려져 있는 Br계통의 약품을 사용하였다. 평가결과, 약품주입 시 역삼투 분리막 설비에서 전기전도도 평균 제거율은 98.3%로서 약품을 주입하지 않은 경우보다 약 0.5% 제거율이 높게 나타났으며, 유량은 약품을 주입하지 않았을 때가 주입시보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 약품 무주입시의 원수 수온이 높은 것에 기인한 것으로 보이는데, 온도를 보정한 결과 약품 주입 유무에 따른 유량의 변화는 미미하였다. 따라서, 향후 장기간 운전 시에는 적절한 약품을 주입하여 시스템의 미생물 오염을 사전에 방지하는 것이 유지비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 요 약

제주 Pilot Plant RO 처리수의 수질은 국내는 물론 외국의 하수처리장 방류수 재처리 사례와 비교하더라도 전혀 손색이 없을 뿐 아니라, 먹는물로 사용하더라도 수질적으로 문제가 없을 정도로 깨끗하게 처리되고 있었다. 특히, 방류수 재이용에 가장 큰 걸림돌로 작용했던 과다한 염소이온과 염분농도 문제가 완전히 해결됨으로써 농업용수는 물론 조경용수, 공업

용수, 지하수 인공함양 용수 등으로 재이용할 수 있는 좋은 대체수원으로 평가되고 있다.

방류수 재이용을 위한 재처리시설 투자를 위해서는 재처리수가 인체, 농작물, 지하수에 부정적 영향의 유무에 대한 심층적 연구와 경제성 분석에 대한 추가적인 연구가 이뤄져야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

한국수자원공사, 1993, 제주도수자원종합개발계획수립 보고서

환경부, 2003, 2002년 하수종말처리장 운영결과 분석결과

York, D.W., R.B.Linsky and Walker-Coleman, 2001, Water is Water: A Guiding Principle for Water Resources Management, Proceedings of the 2001 Florida Water Resources Conference, AWWA Florida Section, FWEA, and FW&PCOA. Jacksonville, FL.2001