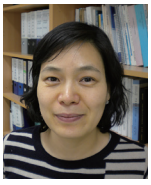
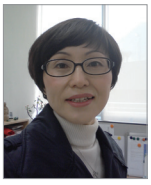
산업용 맞춤형 초순수 제조 기술개발

이 경 혁
K-water연구원 책임연구원
kh.lee@kwater.or.kr



이 영 주
K-water연구원 책임연구원
yjlee1947@kwater.or.kr



임 재 림
K-water연구원 수석연구원
jllim@kwater.or.kr

수도법상 공업용수도는 공업용수도사업자가 원수 또는 정수를 공업용에 맞게 처리하여 공급하는 수도(수도법 제3조)로 정의되며, 공업용수는 공장에서 제품생산 및 생산시설의 유지관리를 목적으로 사용하는 모든 종류의 용수를 의미한다. 생산공정에서 이용되는 공업용수라 함은 보일러용수, 원료용수, 제품처리용수, 세정용수 및 냉각용수 등으로 구분된다.

반면, 산업용수는 이에 대한 명확한 정의는 없으며 일반적으로 공업용수와 같은 의미로 사용되는 경우가 많은데, 수도사업자가 공급하는 공업용수와 구별하기 위하여 일반적으로 "원수, 침전수 등 범용적 공업용수를 수요자의 요구에 맞게 재처리하여 사용하는 용수로서 새롭게 부가가치를 창출하는 물"을 산업용수로 정의한다. 이러한 산업용수는 순수와 초순수를 들 수 있다. 순수(Pure water)는 사전적 의미로는 불순물을 포함하지 않는 물을 말하며, 화학구조로 H_2O로만 구성되어 있는 것을 의미한다. 그러나 이론적으로 완전한 순수의 생산은 어려우며, 불순물이 극히 적은 물을 의미한다는 것으로 받아들여지고 있다. 순수는 분야별로 요구되는 수준이 다르기 때문에 같은 용어를 사용한다고 하더라도 순수의 정의는 조금씩 차이를 보인다. 예를 들어, 미생물 관련 업종에서는 순수는 세균이나 미생물이 없는 물을 의미하며, 화학 관련 업종에서는 순수를 미네랄, 가스, 유기 불순물이 포함되지 않은 물을 의미한다. 또한, 수도공급자에 있어서의 순수는 먹기에 적합하고 먹는 물 수질기준에 맞는 물을 의미하기도 한다. 우리나라에서는 주로 연구소, 제약제조, 반도체제조, 디스플레이제조, 태양광제품 제조, 화학제품 제조, 발전소 스팀 제조 등에서 순수가 이용되고 있다.

초순수는 일반적인 순수(pure water)보다 불순물이 극히 더 적은 물을 말하나, 일반적으로 순수와 초순수(ultrapure water)의 경계는 수치상으로는 명확하게 구분되지 않는다. 업종별로 초순수에 대한 기준은 조금씩 다르지만 대략적으로 다음 표 1.과

같이 전기저항률(비저항)이 10.0㏁ · cm 이상의 물을 초순수로 본다.

표 1. 순수 및 초순수의 수질현황1)

구 분	비저항(㏁·cm)	전기전도율(㎛Ω/cm)	전해질농도(mg/l)	비 고
순 수	0.1이상	10.00이하	2~5	증류수
고순수	1.00이상	1.00이하	0.2~0.5	정제수
초순수	10.00이상	0.10이하	0.01~0.02	
이론 순수	18.25	0.055	0.00	

물속에는 여러 가지 불순물이 포함되어 있고 한 가지 방법으로는 완전한 제거가 불가능하다. 모든 불순물을 확실하게 제거하기 위해서는 각종 처리 기술을 조합하여 초순수 시스템을 구성해야만 한다. 초순수 시스템은 전처리 공정(Pretreatment system), 순수처리 공정(Make-up system 또는 primary system), 초순수처리 공정(Sub system 또는 secondary system) 으로 크게 세부분으로 구분된다.

순수처리 공정(Make-up system 또는 primary system)의 주요 구성 장치로서 역삼투 장치, 탈기 장치, 이온 교환 장치가 포함되어있다. 이중 역삼투 장치는 매우 중요한 역할을 하고있고, 역삼투 막의 기술적 진보에따라 초순수 제조기술은 비약적으로 진보했다. 이온 교환 장치도 무기 이온을 경제적으로 제거하기 위해서는 없어서는 안 될 기술이고 필수 기술로서 자리 매김 되었다.

초순수처리 공정(Sub system또는 secondary system)의 주요 구성 장치는 자외선 살균, 산화장치, 이온 교환 장치, 한외 여과 장치가 있다. 한외 여과는 최종 여과공정으로서 미립자, 박테리아를 제거하는 중요한 역할을 하고 있다.

이와 같은 산업분야별 맞춤형 초순수 제조 기술을 확보하기 위해 2012년부터 K-water의 핵심전략과제로 "산업용 맞춤형 초순수 기술 개발"과제가 진행 중에 있다. 초순수 제조기술은 기술 특성상 고도산업의 발전과 함께 발전하게 되므로 미국, 일본 등에서 시작되어 국내 설계기술은 상대적으로 열악한 상황이다. 따라서 향후 예상되는 산업용수 분야, 특히 초순수 제조 공정의 운영사업의 시장 경쟁력 확보를 위해 다음 그림 1.과 같이 초순수 제조 모형 플랜트를 제작하여 연구 개발에 활용하고 있다.

이에 본 연구에서는 다음 그림 2.과 같이 총 연구기간 5년(2012 ~16년)동안 1단계인 2013년까지 초순수 제조 단위 공정별 효율 검증, 최적공정 효율 검증, 운영인자 도출의 결과를 바탕으로 최적 공정 조합기술을 확보하고 2014년부터는 신단위 공정을 개발하여 초순수 제조 기술의 경쟁력 확보를 목표로 하고 있다. 본 과제의 기술적 최적 목표는 기존 외산 설계 공정 대비 초기 투자비 10% 절감, 운영비 20% 절감 가능한 초순수 제조 공정 개발이다.

본 연구과제의 목표 달성을 위해 2014년부터는 신개념 초순수 하이브리드 공정 분석과 개발을 추진 중이다. 이러한 하이브리드 공정으로는 기존 2단 RO(Reverse Osmosis)공정과 이온교환수지 결합공정을 축소할 수 있는 3단 RO공정 그리고 탈기공정의 부지면적을 축소할 수 있는 고순도 질소를 이용한 탈기공정의 개발 연구를 수행중이다.

2016년부터 진행되는 신단위공정 개발의 경우 현재 개별 공정 제작 업계 전문가들과 세부 기술개

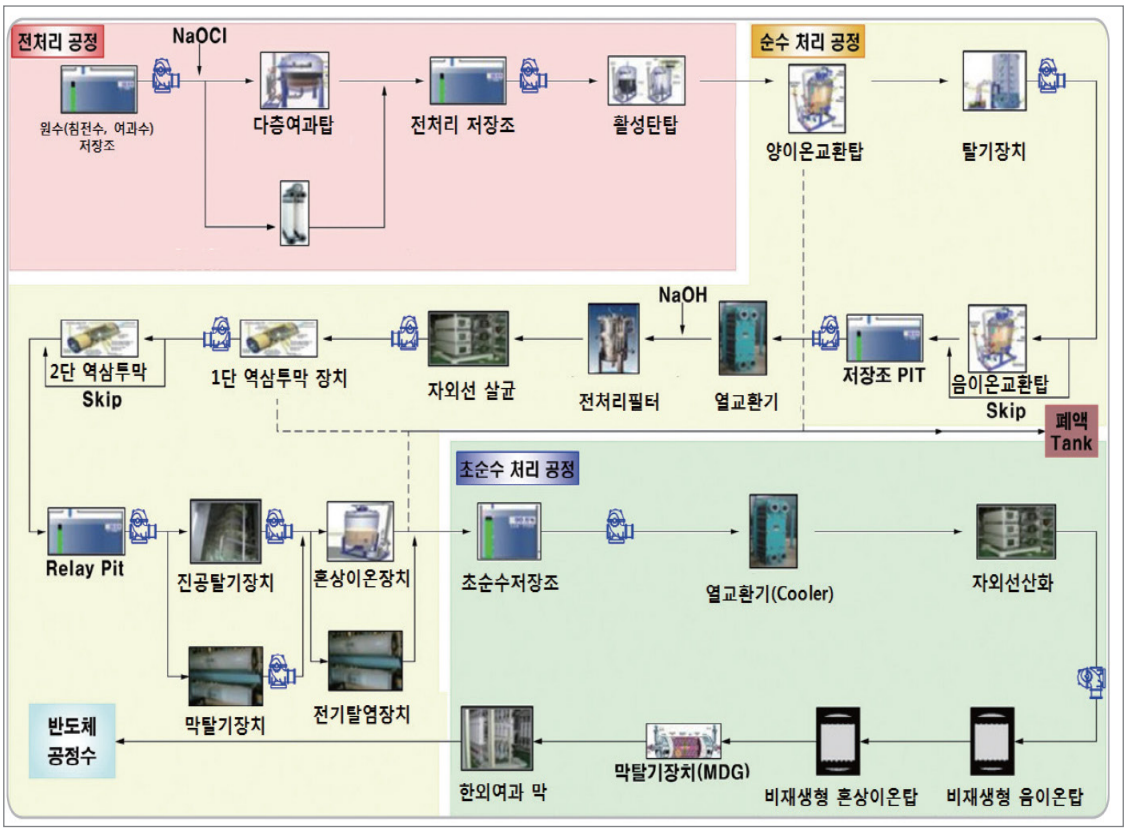


그림 1. 초순수 생산 모형플랜트 공정도(25 m3/일 규모)

그림 2. 연차별 연구 추진 계획

발 내용을 검토중에 있으며 상용화를 목표를 추진 중인 단위 과제는 TOC(Total Organic Carbon) 저감 효율 향상을 위한 일체형 자외선(UV)-막탈기(MDG:Membrane Degasifying)공정, 에너지 절감형 축전식 탈이온(CDI:Capacitive Deionization) 공정, 고효율 기체분리용 촉매멤브레인 기술 개발이 진행 될 예정이다.

현재 산업용수공급의 세계시장은 2010년 기준 29조원에서 오는 2025년 68조원으로 성장할 전망이다.(GWI, 2006) 이와 더불어 국내시장은 현재 년간 1조1천억 수준 규모로 지속적으로 성장중에 있다. 따라서 국내 기술력을 확보한 초순수 설계, 운영 시장 진출시 새로운 사업모델 창출과 매출증대에 획기적으로 기여 할 수 있을 것으로 예상된다.

본 과제는 약 20억원의 연구비를 투자하여 재작한 초순수 모형플랜트를 활용하여 현장 요구에 맞는 연구개발이 추진될 예정이며, 모형플랜트 운영을 통한 최적 설계인자 확보 및 최적 공정조합기술 개발은 국내 산업용수 공정 설계 및 운영 기술 발달에 크게 기여할 수 있을 것이다. 또한 고효율 저비용 초순수 제조 기술개발을 통해 안정적인 수질 유지뿐만 아니라 에너지 절감으로 국제적인 경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] 반도체기반기술연구회(Motomura Yoshito외), Science of Ultrapure water (초순수의 과학), Realize사, Tokyo Japan. 1990.

[2] GWI, Global Water Market2011, GWI, Oxford, UK, 2010.