

막분리 고도정수처리 시스템 상용화를 위한 연구현황

이길숙 | (주)대우건설 부장

1. 머리글

환경산업을 국가전략사업으로 육성시키기 위하여, 선택된 환경기술을 집중 개발하여 국제적인 경쟁력과 인지도를 갖춘 상품으로 개발하겠다는 목표로 출범한 환경부의 차세대 핵심 환경기술 개발사업 Eco-STAR PJ 수처리선진화사업은 현재 4단계의 사업 중, 2단계의 연구개발 과제를 마무리 중에 있으며, 헛수로는 3차 년도에 해당된다.

Eco-STAR PJ 수처리선진화사업은 우리나라에서 개발된 수많은 수처리 분야의 기술 중, 기술 도약의 발판이 될 수 있고, 기술성 및 경제성에서 세계 수준의 상품성이 있는 소수의 기술을 선정하여 집중 개발함으로써, 우리나라의 환경산업(ET)의 국제 경쟁력을 향상시키고, 아울러 국민 삶의 질을 향상시키려는 목적으로, 기술의 경제성, 현장구현 가능성, 시장성에 중점을 두는 성과중심의 연구 개발사업이다.

Eco-STAR PJ 수처리선진화사업에서 선택되어 집중 개발될 과제는 상수도 분야의 정수용 막소재 개발, 중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화, 상수관망의 최적설계 및 수질관리기술개발의 3가지, 하폐수 분야의 수영용수 수준의 하수고도처리 기술개발, 하수처리 시설의 고효율·초집적 기술개발, 전자산업폐수 무해화 기술개발, 고농도 식품산업폐수 고효율·집적형 처리기술개발의 4가지, 상용화 촉진 기반을 위한 에코 디자인

기술개발 등 8가지 과제로 구성되어 있으며, 중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화는 8개 과제 중 대표과제이다.

Eco-STAR PJ 수처리선진화사업의 단계별 추진은 1단계 기술개발 기반구축(2004.12 - 2005. 5, 6개월), 2단계 요소기술 및 통합시스템개발(2005. 6 - 2007. 5, 2개년), 3단계 시스템 최적화 및 시범사업(2007. 6 - 2009. 5, 2개년), 4단계 시스템의 상용화 및 상품화(2009. 6 - 2011. 5, 2개년)로 수행하여, 연구 성과를 계량화함으로써 소기의 목표를 얻을 수 있도록 계획되어 있다.

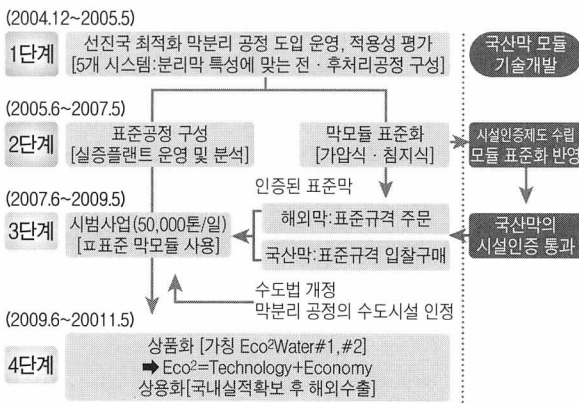
중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화 과제는 대우건설, 한화건설, 서울시상수도연구소 컨소시엄이 공동으로 수행하되, 대우건설은 가압식 분리막 고도정수처리 시스템개발을, 한화건설은 침지식 분리막 고도정수처리 시스템개발을, 서울시상수도연구소는 시스템의 평가, 막모듈 표준화, 연구기반시설제공 등의 분담시행 방식으로 추진되고 있다. 현재는 2단계로서 시스템 개발을 마무리 중이며, 3단계의 시범사업으로서 영등포정수장에 일일 50,000톤 처리용량의 분리막 정수장 건설을 계획 중에 있다.

2. 중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화 과제의 추진현황

중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화 과

제는 연구 성과의 상용화 및 상품화를 최선의 목표로 두고 있다. 시장원리에 입각하여 수도사업자는 고품질의 수돗물 생산이 가능할 뿐 아니라, 시설투자 및 생산비가 절감되는 시설을 확보하고, 건설 및 기자재를 공급하는 민간기업은 처리가 효율화, 집적화, 및 에너지 저감형의 신뢰성 높은 21세기 신 개념의 정수처리기술을 개발함으로써, 해외 수출이 가능한 국제 경쟁력을 갖춘 상품을 확보에 최우선을 두고 있다.

단계별 연구목표는 수처리선진화사업의 단계별 추진전략을 효율적으로 수행할 수 있도록 계획하였으며, 특히 시스템의 핵심 요소인 정수용 막소재 개발과제와 유기적으로 연계될 수 있도록 아래와 같이 수립하였다.

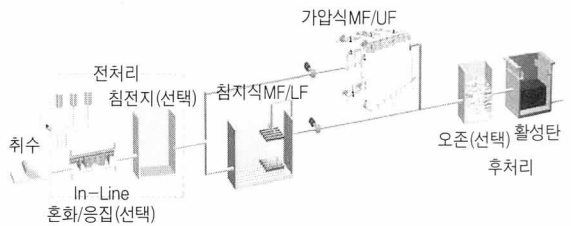


〈그림 1〉 중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화 과제의 단계별 목표

1단계에서는 서울시 구의정수장에 선진국의 5개 제조사인 일본의 아사히 카세이, 도레이, 캐나다의 제논, 프랑스의 데그레몽, 호주의 멤코의 처리 시스템을 기본으로 하는 각 500톤/일 규모의 실증 플랜트를 설치, 운영함으로써, 한강 원수의 적용성을 평가하였다.

실증플랜트 운영을 통하여, 선진국의 분리막 시스템이 국내의 한강 원수에도 안정성이 있음을 확인하였으나, 원천 기술사의 분리막 특성에 따라 전처리 및 운전 시스템이 독자적으로 결정되어, 이를 기반으로 아무리 정수처리 기술을 개발하여도, 그 기술은 선진국의 분리막 제조사에 점점 더 종속된다는 문제점이 나타났다.

2단계에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 분리막의 국산화가 반드시 필요하며, 국산 분리막의 성능이 초기에 외산 분리막의 성능에 이르지 못한 경우에도, 초기 도입된 외산막을 향후 품질이 향상된 국산막으로 대체할 수 있도록 막모듈의 표준화가 필요하다는 판단으로, 서울시 구의정수장에 국산막과 선진국의 분리막을 비교 분석할 수 있고, 전처리 시설을 집적화 할 수 있는 500톤/일 규모의 통합 실증플랜트를 추가 설치하였다. 1단계의 실증플랜트와 2단계의 추가 통합플랜트를 병행 운전함으로써, 최적의 처리공정 시스템개발을 도출하고, 서울시상수도연구소에서 진행되는 막모듈의 표준화와 연계하여 고도정수처리 모델 개발을 금년 5월까지 마무리 할 예정이다.



〈그림 2〉 시범사업 적용 예상 공정도

3단계에서는 2단계에서 개발된 모델을 이용하여 영등포정수장에 가압식 분리막 정수처리시설 25,000톤/일 및 침지식 분리막 정수처리시설 25,000톤/일 규모로 총 50,000톤/일 규모의 시범사업을 실시할 예정이며, 현재 개발 중인 국산 표준막을 사용할 예정이며, 만일 그때까지 국산막의 성능이 확보되지 않는 경우에는 2단계에서 표준화 된 규격으로 제작된 외산막의 사용도 고려하고 있다.



〈그림 3〉 분리막 고도정수처리 시스템의 성과품

4단계에서는 3단계 시범사업으로 건설된 정수장을 운영 평가하여, 문제점을 개선하고 시스템의 신뢰도를 향상시킨 후, Product, Process, Program, System이 일체화된 국제 경쟁력을 갖는 상품으로 향상시켜, 국내에 다수 적용하여 실적을 확보한 후에 해외시장에 진출할 것이다.

3. 분리막 고도정수처리 시스템의 연구개발 현황 및 성과

개발되는 분리막 고도정수처리 시스템이 범용 적으로 적용되기 위해서는 운전의 신뢰도가 높고, 처리효율이 높으며, 집적화되어 소요부지가 적으며, 유지관리가 단순하며 에너지가 적게 소모되는 방식이 되어야 한다는 점을 고려하여 세부 연구목표를 설정하고 연구개발을 진행하였다.

3.1 운전의 신뢰도가 높은 시스템

상수도는 국민의 보건 생활에 직결되는 기반시설로서, 어떠한 경우에도 중단 없이 위생적인 소정의 수량을 지속적으로 급수할 수 있어야 한다. 그러나, 우리나라는 4계절이 뚜렷하고, 갈수기와 홍수기가 분명하여 원수의 계절적 수온 및 수질변화가 매우 심하다.

실증플랜트의 운전을 통하여 원수를 분리막으로 직접 여과 운전하는 경우, 운전에 중요한 영향을 미치는 인자로는 수온, 2~4월 갈수기에 급격히 증가되는 조류 개체수, 장마철에 가장 높이 유입되는 탁도로 나타났으며, 분리막의 안정적인 운전을 위해서는 다음과 같은 방법이 필요하다는 결론을 얻었다.

① 분리막에 유입되는 탁도가 10NTU 이상이 되는 경우에는 TMP가 급격히 상승되므로, 분리막의 유입수 탁도를 10NTU 이하로 유지해 줄 필요가 있다.

② 수온이 10℃ 이하로 낮아질 경우, 점성의 상승으로 플러시가 30% 이상 감소하므로 응집제를 주입하여 막에 유입되는 수질을 향상시켜 막의 부하를 경감시킬 필요가

있다.

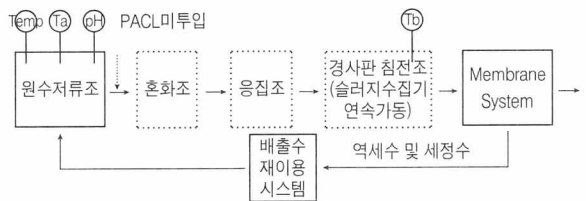
③ TMP의 상승과 조류 개체수는 높은 상관관계가 있으며, TMP 상승률을 30% 이내로 안정화시키기 위해서는 조류개체수 10,000cells/ml 이상은 전처리가 필요하다.

④ 조류개체수와 pH 또한 높은 상관관계를 가지고 있으며, pH가 8.6 이상인 경우에는 조류개체수가 10,000cells/ml 이하인 경우는 없으므로, pH가 8.6 이상이면 응집제를 주입하여 전처리함으로써 막에 유입되는 수질을 향상시켜야 한다.

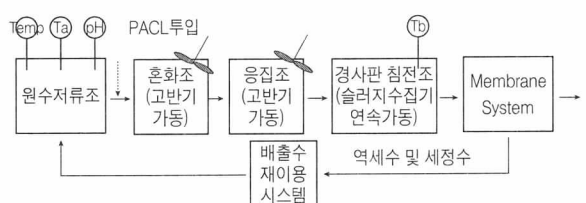
이를 이용하는 선택적 전처리 시스템을 현장에 구현하기 위해서는 On-line 수질계측 및 운전의 자동화가 필요하다는 판단으로 다음과 같은 기술을 개발하였다.

원수저류조에 원수수질을 정량적으로 측정이 가능한 탁도계, pH-Meter, 온도계 등을 설치하여 설정해 놓은 범위이상의 수질이 유입될 경우 전처리 시설을 운전, 원수수질이 양호한 경우에는 전처리 시설운전을 중단하고 단순히 수로(Channel)의 기능 및 역할을 부여하여 시설물의 사용률을 최대로 활용할 수 있는 공정으로 구성하였다.

① R-M 공정(Raw water to Membrane)



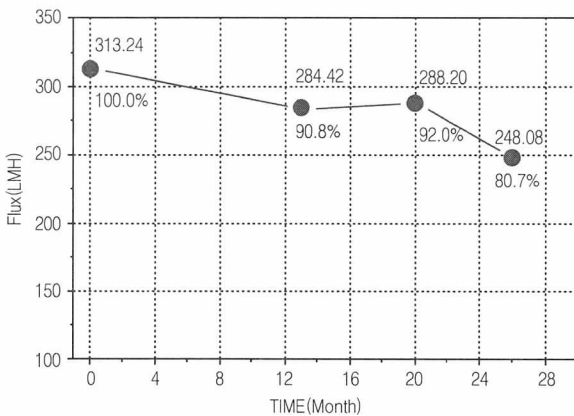
② F-M 공정(Flocculation to Membrane)



3.2 분리막 처리효율의 극대화

분리막 고도정수처리 시스템 자체가 재래식 처리공법에 대비하여 정수처리능력이 우수하고, 부지 및 비용의 절감효과가 높으며, 운전이 단순하다는 특징을 갖고 있지만, 막오염(Fouling)을 효과적으로 제어한다면, 플럭스를 보다 더 높일 수 있고, 이는 시스템의 경제성과 직결된다.

특히 분리막을 장기적으로 운전하는 경우, 처리수질의 안정성은 지속적으로 확보되나, 화학세정(CIP)을 실시하여도 플럭스는 지속적으로 감소되어 세정시간을 증가하거나, 플럭스를 회복시킬 수 있는 대체 방안이 필요하다.

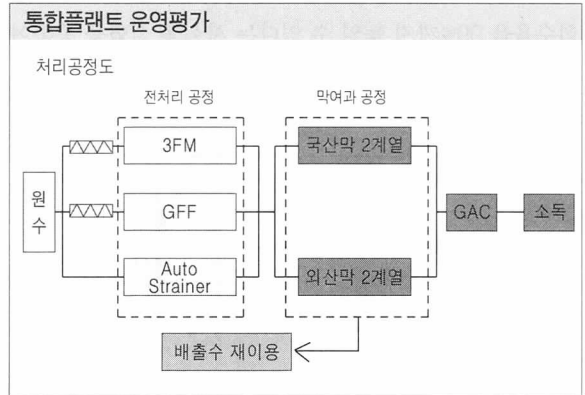


이를 위하여 본 과제에서는 EFM기법으로서 플럭스를 지속적으로 유지할 수 있는 방법을 도입하기 위하여 통합플랜트에서 연구 실험 중이며, 이는 재래의 화학세정(CIP)과는 차별적으로 세정주기를 짧게 함으로서, 높은 플럭스 운전이 가능하도록 하고, 막면적을 최대한 효율적으로 사용하며, 결과적으로 전체 막여과 시스템에 소요되는 투자비용 및 부지비용을 줄이는 것은 물론, 고부하 유입에 대응하는 안정적인 성능확보와 하이브리드 공정 조합이 보다 쉬워지는 효과를 얻을 것이다.

3.3 전처리 시설의 집적화

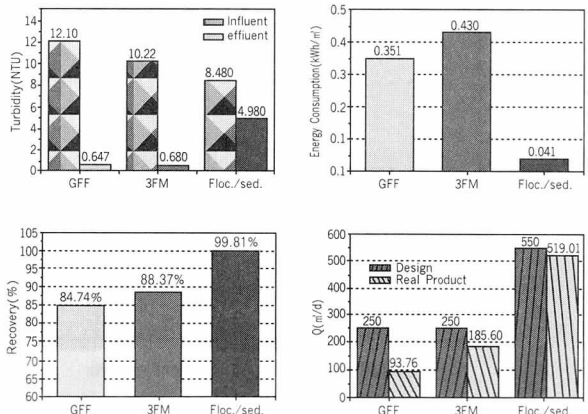
재래식 정수처리공정에서 보편적으로 사용되는 응집 및 침전 공정은 부지 소요가 매우 크고, 운전 제어가 쉽지 않다는 점을 고려하여, 이를 대체할 수 있는 집적화되고,

기계적으로 일정한 수질제어가 가능한 장치를 도입함으로써, 원수 수질이 다양하게 변하는 경우에도 항상 일정한 수준으로 경감된 전처리수를 분리막에 공급함으로써, 분리막의 부하경감, 전처리 시스템의 부지저감 및 투자비의 절감을 꾀하고자 통합플랜트 장치에 도입하여 적용성을 평가하였다.



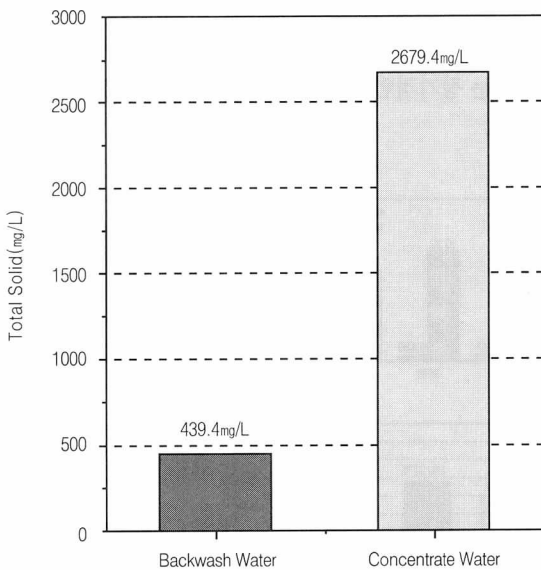
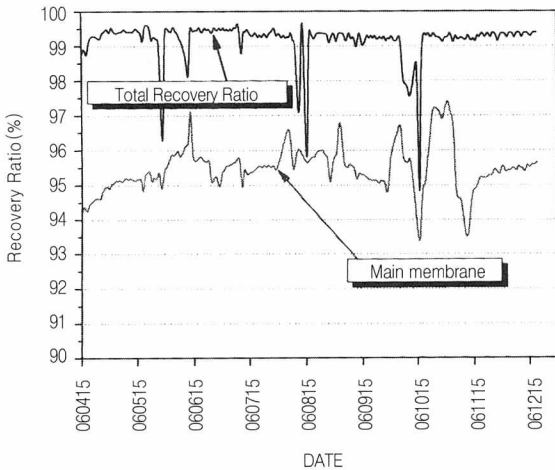
가압식 및 증력식 모델의 적용성을 통합플랜트 운전으로 평가한 결과, 탁도 제거능은 매우 우수하나, 에너지 소모량이 재래식에 비교하여 너무 높아, 중대형 정수장 적용에는 상당한 부담 요인으로 나타났다.

또한 회수율 및 설계대비 생산량도 비교적 낮아, 생산성 및 경제성이 매우 중요한 중대규모 정수장에 적용되기 위해서는 이러한 문제의 선결이 필요하므로, 현재의 시스템 보다는 장기적인 과제로서 고려되어야 할 것으로 생각된다.



3.4 배출수 재처리를 통한 회수율 향상 및 슬러지 탈수능 향상

막분리 공정에서는 막오염에 의한 여과유속 감소와 막 단독공정에서의 역세척 배출수 발생량이 높아, 개략 95% 전후의 회수율(Recovery rate)로 운전되는 것이 보통이다. 그러나 배출수를 분리막으로 다시 한 번 재처리 하면 회수율을 99%까지 높일 수 있다는 사실을 실험을 통하여 확인하였다.



아울러 배출수의 처리수는 수질이 매우 안정적으로 양호하여, 정수로 사용하거나, 주공정에 회수하여 사용하는 데 전혀 문제가 없는 것으로 판단되어, 회수율 제고로 수장원의 절감에 매우 효과적임을 알 수 있었다. 아울러 배출수의 농축수는 평균 6배, 최대 21배까지 가능하며, 탈수처리 등 최종 처분 부하를 획기적으로 경감시키는 것으로 생각된다.

3.5 감시 제어 시스템의 자동화와 공정 시뮬레이션

분리막 시스템은 여과, 역세, 세정 등 운전 절차가 복잡한 것으로 보이나, 항상 일정한 순서가 있고, 밸브 등으로 차폐되는 폐쇄회로의 장치로 구성되어 있고, 조작하는 요소도 시간 또는 TMP 등으로 단순하여, 자동화 시스템을 구축하기에 매우 편리한 정수처리장치이다.

즉, 분리막 시스템은 소수의 운영요원이 중앙 감시실에서 일괄 감시, 조작 및 제어를 수행함으로써, 최적 운전으로 전력 및 약품 등의 유지관리비를 절감하고, 인건비 절감과 함께 노동환경을 개선할 수 있는 운전 자동화에 가장 효율적인 정수처리공정이라 할 수 있다.

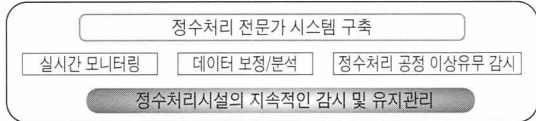
이에 본 연구에서는 상용화를 위해서는 정수장 운전자 및 유지관리자의 편의성 및 운전제어시스템의 신뢰성이 매우 중요하다는 판단으로, 다양한 원수조건에서도 최적의 운전조건으로 적절히 제어될 수 있고, 소수의 정예 요원으로 운전될 뿐 아니라 무인 운전까지 가능하도록 감시 및 제어 시스템을 개발하여, 정수처리시스템과 하나의 패키지 상품으로 만들어 현장 구현성이 극대화되도록 하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 원격 자동제어운전을 위하여 MMI를 웹 사이트에서 구현할 수 있는 Web MMI Solution, 다양한 원수수질조건에 대하여 처리공정조합 및 처리수질 예측이 가능한 정수처리공정 전산모사시험 시스템, 정수처리공정 최적화 및 경제성 있는 막분리 공정 조합을 위한 모델링 S/W 개발을 진행 중에 있으며, 조만간 가시적인 성과를 보여드릴 수 있을 것이다.

정수공정 Simulation

정수처리공정 시뮬레이션 시스템 기대효과
(Daewoo Drinking Water simulation & Modeling on Network (D²MON))

하드웨어 소프트웨어 계측장비



체계적인 정수시설 관리

- 정수시설 정보구축
- 시설의 점검/교체 주기 분석
- 생산단가 산출
- 수질 분석 DATA

정수시설 운영자료 축적

정수처리공정
Simulation 시스템

효율적인 정수처리
시설 관리

효율적인 정수시설 관리

- 취수장 수질 모니터링
- 정수처리장 설계자료 반영
- 적극적 시설 홍보
- 홍보시설의 관광지화

수돗물 불신 해소

4. 향후의 일정 및 과제

중대형 막분리 고도정수처리 시스템 개발 및 상용화 과제는 2단계가 종료되는 2007년 5월까지 최적화된 표준공정 구성을 완료하고, 3단계가 시작되는 2007년 6월부터 2년간 영등포정수장에 가압식 25,000톤/일, 침지식 25,000톤/일로 총 50,000톤/일의 시범정수장을 건설 예정이다.

시범정수장은 본 과제의 최종 목표인 국제적인 경쟁력을 갖는 정수처리시스템의 출시품이며, 향후 첨단 정수처리시설의 본보기가 된다는 점을 고려하여, 2단계에서 개발한 모든 기술을 구현하여 설계, 시공함으로써 세계적인 분리막 고도정수처리 시스템의 벤치마킹 대상이 될 수 있도록 할 예정이다.

정수장 준공 후 4단계 2년간은 시범 정수장을 운영, 평가하여 효율성이 낮거나, 신뢰도가 부족한 부분은 개선 보완하여 시스템의 완성도를 극대화하고, 아울러 세계적으로 경쟁력이 우수한 우리나라의 IT기술을 접목하여, 효율화 및 집적화되고, 경제성 높을 뿐 아니라, 운전 및 유지관리의 편의성에서도 첨단이 되도록 시스템의 완성도

를 높일 예정이다.

또한 홍보 및 교육을 통하여 국내 정수장의 시설현대화에 보급하고, 이를 기반으로 해외에도 진출하여 국제적인 인지도를 갖는 상품으로 만들고자 한다. 특히, 해외 수출의 경우, 스키드를 표준화하여 국내에서 제작한 막모듈 및 주변 소재 기기만 수출하면 현지에서 단순 조립 및 기본적인 기반시설 시공으로만 공사가 완성되는 시스템을 구축하여, 소재의 대량생산과 시공의 편의성을 도모하여 건설공사의 가격 경쟁력을 높이는 방법도 병행 연구할 예정이다.

5. 맺음글

환경부 보도자료(2006,2)에 의하면 물 산업을 범정부적 지원을 통하여 미래전략산업으로 집중육성하며, 그 방안에 따르면 2015년까지 국내 물 산업 규모를 20조원 이상으로 키우고, 세계 10위권의 기업을 2개소 이상 육성한다는 목표를 두고 있다.

이를 위해서는 여러 가지 세부과제가 필요하겠지만, 선진국의 물 산업 업체와 경쟁할 수 있는 상용화 기술이 무엇보다 중요할 것이다. 해외의 건설 또는 O&M 관련 물 시장에서, 우리의 독자적인 정수처리공법 및 운영 소프트웨어를 갖지 못하거나, 혹 갖더라도 기술적 또는 가격적으로 선진국의 다국적 기업이 가진 기술력을 따라 잡지 못하거나, 분리막 모듈 등 중요 소재를 선진국으로부터 수입하여 사용해야 한다면, 결코 해외시장에서 선진국 업체와의 경쟁에서 이기지 못할 것이다.

이에 우리의 목표는 국제적인 입찰경쟁에서 기술적 또는 가격적으로 선진국 업체에 결코 뒤지지 않는 상용화 기술을 Eco-STAR PJ 수처리선진화사업을 통하여 확보함으로써, 환경부의 물 산업 육성정책에 부응하고자 한다. ◀

정기구독 문의

Tel. 02-852-2291