

## K-water 막여과 도입사례 및 기술개발 동향

안효원

한국수자원공사

### Case Studies and R & D on Membranes in K-water

Hyowon Ahn

*K-water(Korea Water Resources Corporation)*

#### 1. 들어가며

20세기초 우리나라에 근대적 개념의 상수도가 도입된 이후로 21세기에 접어들어 현재의 상수도 보급률은 90%에 육박하고 있으며, 대도시의 경우 거의 100%에 달하고 있어, 100년간의 수도산업은 팔목할만한 발전과 성장을 이루어 냈다고 볼 수 있다.

그러나, 대도시로의 인구집중과 산업화, 공업화 등으로 인한 상수원수 수질의 악화와 다양한 난분해성 오염원이 계속적으로 출현하고 있는 실정이다. 또한, 국민의 교육수준 및 생활수준의 향상에 따른 먹는물에 대한 기대수준이 날로 증가하고 있는 실정임에 따라, 기존 정수처리 방법인 응집, 침전, 여과 및 염소소독 공정만으로 대처하기 곤란한 시점에도 달하게 되었다.

따라서, 이러한 문제를 해결하고자 국내외 물산업 분야의 학계와 업계에서는 꾸준히 새로운 정수처리기술을 개발하고 적용하고 있는 가운데, 최근 부각되고 있는 막여과 기술은 전 세계적으로 현장도입이 활발하게 진행되고 있는 추세이다.

기존 수처리시설과 비교할 시, 소요부지면적이 작고 약품 주입량 감소 등 에너지 소모가 적으며 막소재의 물리·화학적 기능에 의해 특정물질을 분리할 수 있는 기능을 가지고 있다. 그 외에 슬러지발생량의 최소화, 소요설비의 축소 등 큰 장점을 지니고 있어, 최근에는 이러한 막여과의 특성을 다른 공정과의 조합(Hybrid)을 통하여 처리하기 곤란한 병원성 미생물(Giardia, Cryptosporidium) 및 소독생성물의 전구 물질, 맛냄새물질 등을 처리하고자 미국, 유럽 및 일본 등 선진국에서 이미 개발·적용되고 있는 중이다.

일본의 경우, 막여과 기술개발이 활발하게 추진되고 있는 대표적인 국가로써, 1991년 일본 후생성의 주도로 MAC 21 (Membrane Aqua Century 21) project를 시작으로 2007년 현재까지 3~4년 단위의 4개 project(New MAC 21, ACT 21, E-Water, E-Water II)들을 막기술 개발에 역점을 두고 꾸준히 진행해 왔다.

E-mail: [anwon@kwater.or.kr](mailto:anwon@kwater.or.kr)

Tel: 042-629-3701

Fax: 042-629-3739

유럽의 경우, 고도처리 대상물 제거를 위하여 적용되었던 오존 및 활성탄처리기술에서 점차 막여과를 조합한 고도처리공정이 증가하고 있는 추세이다. 다국적 기업인 베올리아의 경우, 이미 1988년부터 프랑스 Amoncourt정수장에 한회 여과설비를 적용한 이래 현재 대규모 정수장에 도입하여 많은 시민들에게 공급하고 있으며, 현재 유럽전역에 막여과, 오존 및 활성탄을 모두 포함하는 고도정수처리시설은 무려 1,000여개에 달할 정도로 막여과 기술이 확산 적용되어 있다.

미국의 경우에는 지리적 환경여건상 유럽이나 일본에 비해 막여과 기술도입이 활발하지 못한 편이나, 1984년 Braun Station, 1987년 Carrollton, 1993년 Milwaukee에서 잇달은 병원성미생물(Cryptosporidium) 출현으로 피해가 발생하자 정밀 및 한회여과에 대한 도입이 활발하게 움직이기 시작하게 되었다. 또한, 용존물질 및 염소이온 제거를 위한 나노여과법을 해안지역을 중심으로 확대 도입되고 있는 실정이다.

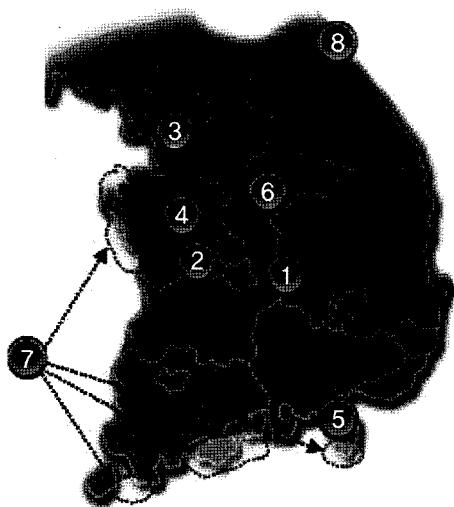
저개발국가 또한 막여과 기술도입에 한층 박차를 더하고 있는 추세로, 중동지역의 경우, 해수를 이용한 용수공급을 위하여 역삼투압(RO) 공정도입을 시작하고 있고, 그 외 필리핀 등 여러 국가에서 추진 중에 있다.

막여과 기술개발에 대한 장기적인 투자와 국가 또는 기업 차원의 의지는 선진국을 중심으로 이미 오래전에 시작된 것을 알 수 있다. 현재에는 개발된 막여과 기술과 설계·운영 경험으로 점차 기술개발 단계에서 적용단계로 전환되고 있는 실정이며, 이미 소규모 단위 정수장에서 중대규모의 정수장에 설치·운영되고 있을 뿐만 아니라, 다양한 다른 분야, 즉 초순수가 요구되는 반도체 산업, 의약제조 산업 및 산업폐수처리 산업 등 여러 분야에 확산·적용되고 있다.

이러한 막여과 도입에 앞서서 시작한 선진국들과 세계적인 기업들에 대응할 수 있는 국가 막여과 기술경쟁력을 강화하기 위하여 한국수자원공사(K-water)는 2003년 김천 지례정수장의 시범적용을 시작으로 본격적인 막여과 사업화를 추진하였다. 기존 모래여과공정에서 처리되기 힘든 유해물질을 제거함으로써, 국민들에게 안전하고 깨끗한 물의 공급실현과 더불어 소비자의 심리적 안전성을 제공하고, 국내 막여과 산업화를 위한 설계, 시공 및 운영노하우를 확보해야

**Table 1.** K-water 막여과 현장적용현황

| 분야 | 년도      | 대상시설         | 개소  | 적용막      |
|----|---------|--------------|-----|----------|
| 계  | 계       |              | 217 |          |
| 정수 | 2003    | 지혜정수장        | 1   | 한외여과(UF) |
|    | '04~'07 | 초중고등교 급식용수시설 | 112 | 나노여과(NF) |
|    | 2004    | 시흥정수장        | 1   | 한외여과(UF) |
|    | 2005~   | 공주정수장        | 1   | 정밀여과(MF) |
| 하수 | 2007~   | 연초정수장        | 1   | 무기막      |
|    | '04~'07 | 마을하수처리시설     | 107 | KSMBR    |
| 해수 | 2004~   | 도서지역 해수담수화시설 | 40  | 역삼투압(RO) |
|    | 2007~   | 강릉 해양심층수시설   | 1   | RO/NF    |



①김천 지혜정수장,  
②초중고등학교 급수시설,  
③시흥정수장,  
④공주정수장,  
⑤연초정수장,  
⑥마을하수처리시설,  
⑦도서지역 해수담수화시설, ⑧강릉 해양심층수 사업

**Fig. 1.** K-water 막도입 지역현황.

함은 물론, 향후 개방되는 물시장의 변화에 대응할 수 있는 기술력 확보의 필연성이 대두됨에 따라, K-water는 현재까지 개발된 기술을 이용하여 전국 217개의 사업장에 막여과 시설을 적용해 왔다.

본 고에서는 K-water에서 지금까지 추진되었던 막여과 시설 적용 사례 및 기술개발 내용을 각 분야별로 소개하고 이를 통해 얻어진 적용효과를 정리하여 보았다. 또한, 향후 막여과 기술개발과 사업촉진을 위하여 연구·개발의 추진 전략을 간단히 제시하고자 한다.

## 2. 도입현황

K-water는 막여과 기술선도 및 수돗물 안전성 확보를 목적으로 수자원연구원내 상하수도연구소에서 막여과 기술개발을 위한 전담팀을 1999년에 구성하여 현업에 있는 시설과 Pilot 장치를 이용하여 막과 관련한 요소기술 및 실용기술 개발을 체계적으로 진행해왔으며, 사업화를 위하여 현장 적용에 지속적인 투자를 진행해 왔다.

소규모 정수장의 수질문제, 유지관리문제 등 지방상수도의 소규모 단위의 수도시설에서 발생되는 현안문제 해결을 위하여 K-water는 2003년 국내 최초로 한외여과막(UF)를 적용하여 시범사업을 추진하였다. 이를 시점으로 저압 막여과 공정의 설계 및 운영인자를 도출하였으며, 연이어 시흥 및 공주정수장의 중대규모 막여과 적용을 통하여 수공 자체 막여과 설계 기술력의 확보에 중점을 두어 추진하게 되었다.

또한, 저압 막여과 공정 설계노하우의 정립과 운영 체계수립을 비롯하여 고압으로 운영되는 역삼투압(RO)와 나노여과막(NF)에 대한 기술개발 및 적용을 위하여 전국단위 초중고등학교의 급수시설에 NF 설치 및 운영지원을 추진해왔으며, 대체 수자원확보를 위하여 해양심층수 기술개발과 해안지역을 중심으로 위치한 소규모 수도시설에 막기술을 개발·적용하고 있다.

이 외에 기존 막재질의 특성으로 인한 운영문제점을 대체할 수 있어 현재 부각되고 있는 무기막(세라믹막)에 대하여 국내에서 최초로 현장 적용을 추진하고 있는 실정이며, 하수분야에서는 산·학·연과의 연계를 통하여, 기존 MBR공정의 처리효율 문제를 보완한 KSMBR를 개발하여 다수의 마을단위 하수처리시설을 개선해왔다. 이 공법은 환경부로부터 우수 신기술로 지정받아 환경신기술 및 특허를 획득한 K-water 브랜드의 신기술이며 2007년 환경기술 대상(대통령상)을 수상하였다.

### 2.1. 정수(Drinking water)분야

#### 2.1.1. 소규모 정수장 막여과 시설 시범적용

지방상수도에서 운영중인 소규모 수도시설에서 고질적으로 문제되고 있는 상수원수의 수질악화로 인한 운영관리 곤란과 신규 오염물질의 출현으로 인한 먹는 물 수질기준 강화, 노후시설물의 증가와 재정조달 문제 등 소규모 수처리시설의 운영관리상 많은 약점이 늘어나고 있는 실정이다. 이러한 문제해결을 비롯하여 우리나라의 자체 소규모수도에 적합한 막여과 설계 및 유지관리기술 개발과 적용방안을 수립하기 위하여 2003년 김천시 지혜정수장에 시범사업을 추진하였다.

복류수를 취수원으로 하고 완속여과법으로 구성된 지혜정수장은 시설용량 800 m<sup>3</sup>/일의 규모로 1982년부터 공급하여 왔다. 시범사업을 통하여 처리수질을 분석한 결과, 탁도 평균 0.1 NTU로 안전한 물을 생산하는 시스템이었으나, 물값 징수액 대비 운영관리비용의 과다로 적자 재정여건 하에 운영 중에 있었다.

시범사업으로 추진된 막여과 시설은 300 m<sup>3</sup>/일 규모로 설치되어 수자원연구원에서 원격제어 및 감시시스템을 통하여 무인 자동운전되었으며, 한외여과막(UF)으로 처리한 생산수의 평균탁도가 0.0004 NTU로 기존의 재래식 공정의 생산수보다 양호한 결과를 도출하였다. 이 외에 기타 소규모 수도시설의 막여과 적용방안을 모색하기 위하여 제도 및 수탁운영방안, 무인자동운전을 위한 통합 관리체계 구축안 등을 검토·제시하였으며, 지방상수도 소규모 수도시설에 대한 기술적·제도적 개선방안제시를 통하여

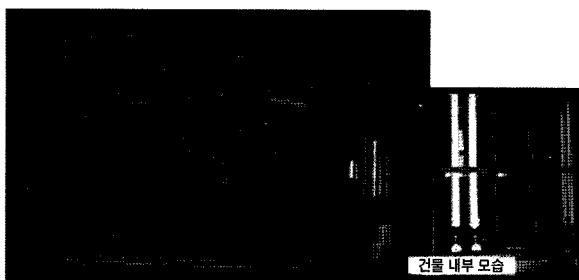


Fig. 2. 지례정수장의 막여과장치.

현존하는 유지관리의 어려움과 수질관리문제, 운영비용 적자 문제에 대한 해결방안을 제시하였다.

### 2.1.2. 초중고등학교 급식용수 막여과 기술지원

우리나라의 전용 또는 간이상수도는 지하수를 사용하고 있고 이들 중 상당수가 아직 안전성을 확보하지 않은 실정이다. 그 중 전국에 있는 초중고등학교 중 2003년 기준 약 18%가 지하수를 원수로 이용하고 있으며, 이 중 먹는물로서 부적합한 것으로 분석된 17개교를 포함하여 총 157개교가 지속적인 관리가 필요한 것으로 조사되었다.

이러한 학교의 문제점으로는 소독시설의 미비로 인한 관정 및 물탱크를 통한 오염 발생이며, 시설규모가 대부분 소규모로 되어 있어 홍수기 등에 질산성질소, 일반세균 또는 대장균 등 일시적 수질악화에 대한 대처가 곤란하다는 것이다. 이러한 수질문제로 학교 급식용수 및 음식물에 대한 식증독 환자 등이 적지않게 발생되었다고 볼 수 있다.

청소년들의 건강을 위한 안전한 물을 공급을 목적으로 2004년 충남도내 광석, 기산 및 북창 등 3개 초등학교를 대상으로 시범사업을 시작하였으며, 질산성질소의 처리에 효과적인 나노여과막(NF)를 적용하였다. 탁도성분은 전처리 필터를 통하여 제거되어지고, 막여과를 거친 후 차아염소산나트륨을 이용한 소독처리를 하게된다.

초중고등학교의 급수시설 개선을 위한 지원사업의 일환으로, 각 학교내 막시설도입과 병행하여 급수시설의 안정적인 운영을 위하여 설비 설치 후 10년 동안의 시설 운영관리 및 유지보수를 지원하고 있으며, 이러한 지원사업은 시범사업을 거쳐 2004년도부터 현재까지 1,2차 사업으로 나누어 지원대상 학교를 선정하여 전국 112개 초중고등학교 급수시설을 개선하였다.



Fig. 3. 논산 광석초등학교 막여과시설.

Table 2. 학교 급수용수 막여과 기술지원현황 (단위: 학교개수)

| 구분                       | 합계  | 수도권 | 강원 | 충청 | 전라 | 경상 |
|--------------------------|-----|-----|----|----|----|----|
| 계                        | 112 | 7   | 4  | 49 | 21 | 31 |
| 시범사업+1차사업<br>('04 ~ '05) | 92  | 7   | 1  | 47 | 17 | 22 |
| 2차사업<br>('06 ~ '07)      | 20  |     | 3  | 2  | 4  | 9  |

### 2.1.3. 중대형 막여과 시설 시범도입 및 운영

앞서 기술한 바와 같이, 국외 막여과공정은 소규모에서 중대규모의 시설에 도입·적용되고 있는 추세이다. 막재질의 발전과 시설공정의 설계 및 운영기술의 발전과 경험으로 점차 많은 선진국에서 대규모의 수도시설에 적용하고 있다. 대표적인 나라로, 세계최대규모의 미국 Columbia Heights정수장(27만m<sup>3</sup>/일)을 비롯하여 일본 등경도의 기누타정수장(8.8만m<sup>3</sup>/일) 그 외 마츠야마시와 하무라시 등에 도입되었으며, 기타 프랑스, 캐나다 및 오스트레일리아 등에 중대형막여과공정이 설치·운영된 사례를 볼 수 있다.

이에 K-water는 향후 중대규모의 정수처리시설의 개량 또는 신설에 막여과 시설도입을 위하여 2004년 시범사업으로 시홍정수장에 3,600 m<sup>3</sup>/일 규모의 막여과 시설을 적용하였다. 기존 시홍정수장의 침전지를 거친 비교적 안정적 원수를 유입받아 중공사형 UF막을 거쳐 처리하는 시스템으로 국내 최초 중대규모의 막여과시설의 실적용을 통하여 설계 노하우와 운영인자를 얻어낼 수 있었다는 것에 중요한 의의를 찾을 수 있겠다. 2004년 시험운영을 통한 처리수에 대한 비교·분석결과, 기존 공정에 비해 탁도를 포함한 55개의 법정 수질상태가 향상된 것을 볼 수 있었다.

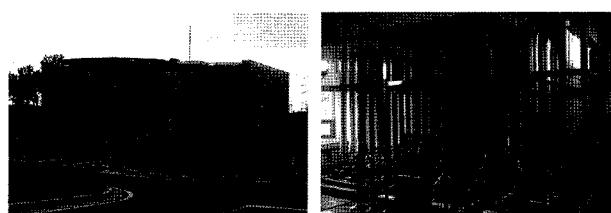


Fig. 4. 시홍정수장 막여과시설.

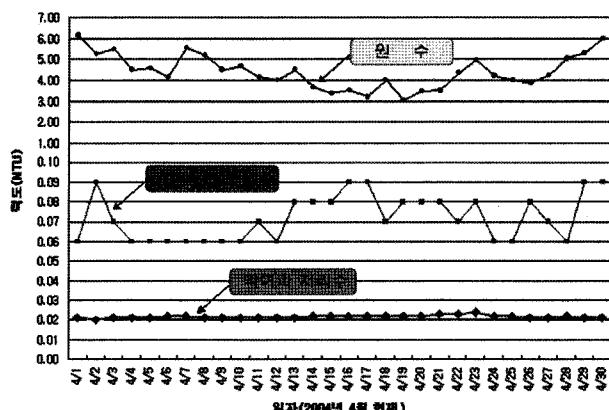


Fig. 5. 기존시설 대비 막여과시설 처리수질(탁도) 비교.

### 2.1.4. 고도처리 융합형 막여과 도입 및 막검증 평가 실시

앞서 소개한 시흥정수장의 막여과 도입이후 대규모 막여과시설이 추진되고 있는 사업으로 공주정수장 막여과 도입 사례를 들 수 있겠다.

현재 충남중부권광역상수도 사업내 추진중인 공주정수장 건설은 대청호의 발전방류수를 원수로 하는 30,000 m<sup>3</sup>/일 규모의 MF막이 적용되었다. 공주정수장은 막여과의 효율성 제고 및 계절별 목표물질의 효과적인 제거를 위하여 전처리시설로 활성탄 공정이 적용된 Hybrid형 고도처리공정의 실사례로 볼 수 있다.

하절기시 맷냄새 및 유기물의 제거와 막여과 파울링의 저감을 위하여 PAC를 이용한 활성탄 공정이 적용되었으며, 이후 병원성미생물에 대한 Barrier 설치를 위하여 막여과시설을 조합하였다.

최적의 막여과공정을 적용하기 위하여, 3개 업체의 다른 막모듈과 공정설계의 제안을 받아, 선진국에서 시행하고 있는 막검증평가 체계를 도입하여 K-water가 직접 국내 실정에 맞게 보완하여 평가실시 후 선정하는 막검증평가를 2005년도에 시행하였다. 이를 통해 막모듈 및 처리공정의 적정성 검증평가기술의 기틀을 만들었다.

- 막여과 검증평가를 위한 Pilot설치 및 운전
  - 설치위치 및 용량 : 현도취수장, 1,000 m<sup>3</sup>/일
  - Pilot 실험기간 : 약 6개월
  - 참가업체 : 3개사
  - ※ 케이싱형 중공사막 2, 침지식 중공사막 1
- 검증평가절차

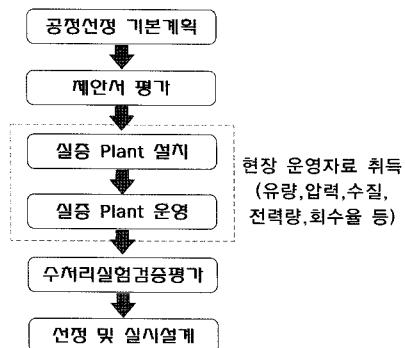


Fig. 6. 막검증평가절차.

#### - 검증평가 세부항목

| 평가항목     | 세부평가항목  |
|----------|---|
| 수처리 실험평가 | 가. 전처리의 필요성<br>① 전처리장치(탁도제거)<br>② 응집제 주입량<br>나. 막여과의 안정성<br>① 차압의 변화<br>② 회수율의 변화<br>③ 수질 및 수량의 변화<br>④ 고장 막모듈의 감지 및 대책<br>⑤ 장치 운전의 안정성<br>다. 막여과 유지 관리 용이성<br>① 차압, 막여과유속,<br>② 역세방법(시간, 빈도, 약품 등)<br>③ 배출수량 및 농도<br>④ 유지관리비(전력비, 약품비)<br>경제성<br>① 구성 설비 및 자재의 내구성 |

공주정수장의 활성탄 및 막여과 Hybrid공정에 대한 자체 설계 및 막모듈·공정에 대한 평가시행을 통하여 국내 최대 규모의 고도처리 조합형 막여과 적용 기술력을 확보할 수 있는 계기를 마련하게 되었다.

### 2.1.5. 국내 최초 신소재(세라믹) 막여과 시설 도입

연초멤 환경개선사업의 시행으로 2004. 9월부터 노후된 연초정수장은 운휴되었으나, 거제시의 장래 용수공급의 부족으로 시설개량을 통한 재가동이 불가피하게 되었으며, 맷, 냄새 물질과 소독부산물 처리가 곤란한 기존 일반정수처리공정의 고도처리시설 도입이 요구되고 있다.

연초정수장의 원수수질 분석결과, 2-MIB, Geosmin 등 맷, 냄새 유발물질과 소독부산물이 간헐적으로 검출되고 있으며, 망간과 암모니아성 질소가 저수위 운영시 농도가 증가됨을 알 수 있었다. 따라서, 이에 대한 대처로 K-water는 산화 및 흡착공정으로 전오존처리공정을 도입하였으며, 다양한 수질에 대한 처리효율 및 내오존성·내구성이 뛰어난 무기막(Ceramic)을 도입, 오존과 무기막의 조합공정시설로 개량·추진하고 있다.

#### - 무기막(Ceramic막)의 특징

- 기계적 강도가 강하여 막파손이 없음
- 화학적 안전성이 뛰어나며, 막열화가 없음
- 입경이 일정한 입자를 소결하여 막을 제조하므로 공정분포가 균일함
- 셀내경이 크고, 내압식임에도 탁질제어성이 뛰어남
- 막수명이 15년, 일반 유기막의 2배 이상임
- 친수성, 투수성이 높고 사용후에도 세라믹원료로서 리사이클 되어 자원 재활용에도 아주 우수함.

국내 최초로 도입·적용되는 무기막의 신뢰성을 확보하기 위하여, 다른 고도공정과의 비교·분석은 물론, 사내외 설계자문위원회의 구성·운영을 통하여 기술 및 사업적으로 검증하였으며, 이를 근거로 기본 및 실시설계를 추진하고 있는 중이다. 본 사업을 통하여 기존 유기막(PVDF) 운영시 단점으로 볼 수 있는 회수율문제, 역세회수 등 운영관리상의 개선을 도모할 수 있고 국내 막여과 신소재의 도입추진에 박차를 가할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 판단된다.

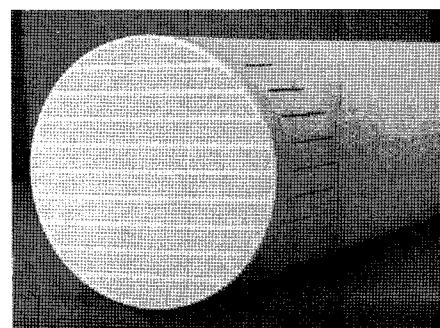


Fig. 7. 무기막(세라믹막).

## 2.2. 하수(Wastewater)분야

정수분야에 적용한 막여과공정에 이어 하수처리분야에도 소규모 단위에서 중대규모의 시설에 확대 적용 중에 있으며, 대표적인 막여과 공법으로 현재 많은 시설에서 간헐포기식 MBR(Membrane Bio-Reactor)을 적용·운영중에 있다. K-water는 산·학·연과 연계한 기술개발 추진으로, 간헐포기식 MBR(Membrane Bio-Reactor)에서 취약점으로 분석되고 있는 질소와 인체거의 효율개선을 위하여 2004년도에 중공사정밀여과막(MF)과 삼분할포기기술을 결합한 KSMBR(Kwater-KMS-Ssangyong Membrane Bio-Reactor)을 개발하였다. 2004년도 충북 괴산군 사리마을하수도사업을 시작으로 현재까지 총 107개 하수처리시설에 적용하였다.

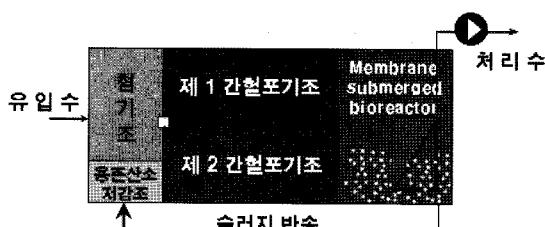


Fig. 8. KSMBR 공법 개념도.

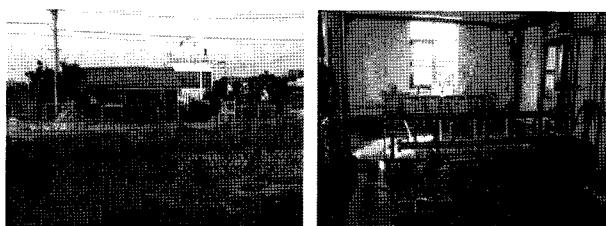


Fig. 9. 괴산군 사리마을하수도시설.

기존 비포기-포기로 구성된 간헐포기법은 처리효율은 우수하지만 C/N비가 낮게 유입되는 우리나라의 하수에 적용하면 유입수의 유기물이 손실되어 질소 및 인체거의 효율이 감소하게 된다. Fig. 10에서 보는 바와 같이, 기존 간헐포기법은 비포기 기간에 남아있는 용존산소가 탈질이나 인 방출에 이용되는 유기물을 소모시키기 때문에 질소, 인의 제거율에 영향을 주고 있는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여, 포기구간을 삼분할하여 유기물의 활용성을 극대화하고 비포기 전환 후 용존산소의 영향을 완전히 배제하도록 KSMBR를 개발하였다. 이 공법은 dynamic state 방식의 생물학적 고도처리공정과 국내 최초로 개발한 폴리올레핀 중공사정밀여과막(MF) 모듈 및 삼분할포기기술로 구성되었으며 여과 및 소독공정이 불필요한 컴팩트한 하수고도처리기술이라 할 수 있겠다. 본 공법은 2005년에 환경부로부터 환경신기술을 획득하였으며, 2006년에 특허등록이 완료된 신기술이다. 또한 2007년도 제8회 환경기술상에서 대상(대통령상)을 수상하였다.

## 2.3. 해수(Sea water)분야

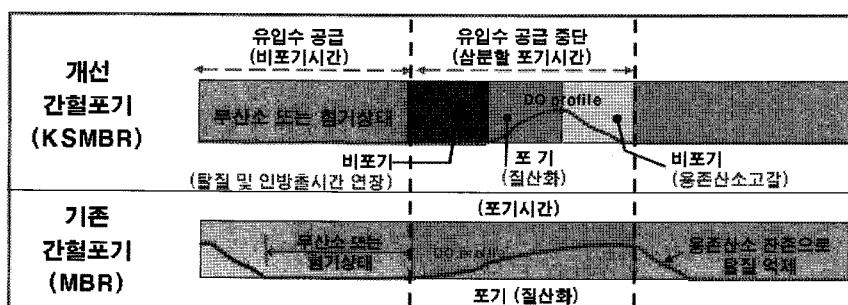
### 2.3.1. 도서지역 해수담수화 막여과시설 통합운영 관리

선유도, 야미도 등 도서지역의 물 문제해결을 위하여 해수담수화 시설을 설치, 운영하고 있는 실정으로 재정문제 및 시설운영기술력의 부족 등으로 인하여 설비가 미가동되고 있어, K-water는 역삼투막(RO)의 자체 설계 및 운영관리 기술력을 투입하여 현재 위·수탁 관리사업 및 시범건설사업을 추진 중에 있다.

현재 전국 16개 지자체의 68개의 해수담수화 시설(총 4,837 m<sup>3</sup>/일) 중 8개 지자체의 40개 시설(총 1,525 m<sup>3</sup>/일)을 2004년도에 실시협약을 체결하여 운영관리 및 건설 중에 있다.

Table 3, Fig. 10. 기존 공정과의 비교.

| 구 분      | 개선 간헐포기 기술(KSMBR)  | 기존 간헐포기 기술(MBR)  |
|----------|--|--|
| cycle 구성 | 비포기/비포기-포기-비포기   | 비포기/포기   |
| 특 징      | <ul style="list-style-type: none"> <li>포기시간을 삼분할하여 일부를 포기시간으로 설정</li> <li>전후의 나머지 시간은 비포기로 운영<br/>→ 유기물 활용성 극대화 및 비포기 전환 후 용존산소 영향 완전배제</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>포기에서 비포기로 전환 후 약 10~20분정도의 용존산소 저감을 위한 시간이 필요함으로 저농도 하수에서는 탈질 수행 불가능 또는 크게 저해</li> </ul>                          |
| 효율성      | <ul style="list-style-type: none"> <li>유입수 주입/비포기 전환 시 DO 농도 0 mg/L</li> <li>비포기 전환 후 무산소 상태에 즉시도달</li> <li>비포기 시 공급된 유기물 100% 활용</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>유입수 주입/비포기 전환 시 DO 농도 2~5 mg/L</li> <li>비포기 전환 후 무산소 상태 도달에 10~20 분 소요</li> <li>비포기 종료 전에 공급된 유기물 손실발생</li> </ul> |



지자체의 재정지원을 위하여 시설확장, 단위설비 전체교체 등을 제외한 운영관리비는 수공에서 부담하여 수탁사업을 추진중이다.

이러한 도서지역의 지원사업을 통하여, 위·수탁 당시 설비 가동률이 저조했던 해수담수화시설을 체계적인 관리와 시설 개선으로, 현재는 전 시설을 가동하게 되었으며(당초 47.8% → 현재 100%), 기존 물값의 1/3~1/5 수준으로 감소되어 지역주민의 물값 부담을 경감한 실적을 이루어 냈다. 또한, 안정적인 용수공급을 위하여 정기적인 수질검사실시, 권역별 전담인력 배치·운영, 원격감시제어시스템의 구축 및 관리전산화를 통하여 식수난을 해결함과 동시에 지역주민의 만족도를 크게 제고하였다.



### 2.3.2. 해양심층수 산업화를 위한 막여과 기술개발

장래 물 부족에 대비한 신규수자원개발 및 도시화·산업화로 인한 상수원의 지속적인 악화로 대체수자원확보의 요구 및 청정한 해수자원을 이용한 고부가가치 산업의 육성 등의 국내 물산업의 변화에 따라, 정부(해양수산부)는 2000년 10개년 사업으로 해양심층수 다목적 개발사업을 추진하게 되었다. 이에 따라, 관련 법률이 2007년도에 제정되었다. 이미 미국과 일본 등 선진국에서는 해양심층수를 이용한 응용수개발이 한창 추진 중에 있는 실정이다.

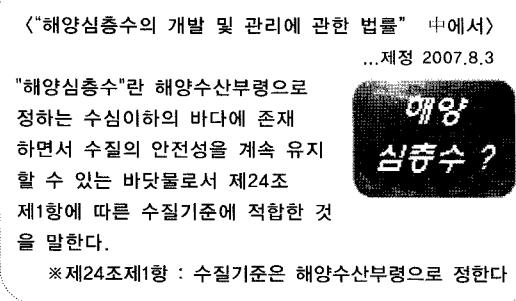


Fig. 11. 해양심층수 공동연구센터(강원도 고성).

Table 4. 해양심층수 기반기술

| 구 분         | 연구내용   |
|-------------|--|
| 수질조정기술      | <ul style="list-style-type: none"> <li>미네날성분을 고농도로 분리·농축</li> <li>나노여과, 역삼투(고회수율 60%), 전기투석 등 이용→고효율 Hybrid 공정기술개발</li> <li>단독 및 연계운전하여 다양한 종류의 생수 생산</li> </ul> |
| 공정설계 및 운영기술 | <ul style="list-style-type: none"> <li>공정 설계: 전처리, 소독, 막선정기술</li> <li>운영기술: 막오염제어(미생물 및 스케일)</li> <li>대량생산기술: 안정성 확보(수량 및 수질고려)</li> </ul>                       |

K-water는 대체수자원의 기술개발 및 실용화를 위하여, 해양심층수의 담수화 설계, 유지관리기술개발과 산업용도별 수질조정기술 및 분수공정개발을 위하여 한국해양연구원과 공동연구를 추진하고 있다.

본 공동연구의 추진을 위하여, 2004년도에 강원도 고성에 해양심층수 공동연구센터를 건립하였으며, 해양심층수 수질조정기술 및 공정설계·운영기술 개발을 목적으로 년차별로 추진하고 있다. 현재 강릉해양심층수사업에 대한 타당성 조사 및 기본계획( $4,000 \text{ m}^3/\text{일}$ )이 시행중에 있다.

### 3. R&D 현황

환경부는 막여과시설의 본격적인 도입을 위하여 관련 제도 기반마련의 일환으로 수도법의 개정 및 6개년 연구수행을 위한 ‘중대형 막분리 고도정수처리 시스템개발(Eco-STAP project [†])’ 과제를 수행하고 있다.

앞서 언급한 시흥정수장 막여과 시범사업을 필두로 막여과사업은 여러 지역과 분야에 도입되어 추진되고 있으며, 이에 병행하여 기술적·제도적 기반을 마련하기 위하여 K-water는 현장의 Pilot 설치 및 실험을 통하여 고효율 막여과 정수 처리시스템 및 조합공정 개발, 기존 노후시설개량을 통한 막여과 융합 Retrofitting 기술개발, 국내 제조막의 빌전을 위한 막평가 기술확보 및 제도수립 등 다각적인 연구개발을 추진 중에 있다.

#### 3.1. 막여과 연계 수계별 고도정수처리시스템 개발(SMART 과제)

우리나라 3대 수계의 원수수질 특성과 목표수질을 감안

한 막여과 공정의 구성 및 전, 후 정수처리공정의 조합을 통하여 수계별 최적 막여과 시스템을 구축하는 것을 목적으로 2005~2008년 동안 연구개발 추진하고 있다. 앞서 기술된 공주정수장을 비롯한 여러 막여과 시설의 자체 설계 및 운영기술의 성과는 본 과제와 같은 체계적인 R&D 추진에서 발달된 것으로 보아야 할 것이다.

막모듈 및 장치관련 설계기술, 수질분석 및 Pilot plant 실험을 통한 운영인자 도출, 고도정수처리와의 조합공정 개발 등 체계적인 기반기술 확보를 위하여 국내외 산업체와 학교, 연구소와의 파트너쉽을 구축하여 추진하고 있다.

SMART(Safe, Stable and Sustainable Membrane Aqua Renovation and Technology) 연구과제는 Fig. 12에서 보는 바와 같이, 한강, 금강·섬진강 및 낙동강수계에 위치하고 있는 정수장을 대상으로 Pilot plant 설치·운영하여 Table 5의 R&D 중점추진 연구분야를 추진하고 있다.

### 3.2. 고도처리 및 막여과 융합 Retrofitting 기술개발

현재 운영중인 정수장의 노후화와 지속적인 수질기준 강화로 국내 정수장의 고도정수처리 개량사업이 확대 시행되고 있는 실정으로, 기존 시설의 재이용을 통한 경제성 제고를 위하여 개량기술 개발 및 보급이 시급한 상태이다. 이에 대한 대처로 K-water의 기술전략(TRM, Technology Road Map)의 일환으로, 저비용·고효율 구조의 Retrofitting 기술개발과 Brand화를 추진하고 있다.

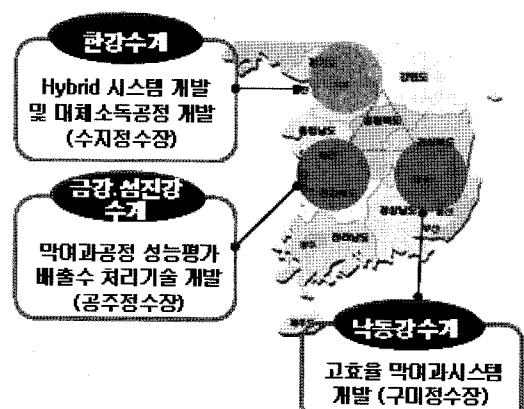


Fig. 12. 수계별 연구개발분야.

Table 5. R&D 중점추진 분야

| 분야             | 연구내용   |
|----------------|--|
| 고효율 막여과 시스템 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>막여과 전처리 기술개발</li> <li>막공정 구성 기술평가</li> <li>배출수 처리기술개발</li> </ul>                                |
| Hybrid 시스템 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>오존, 활성탄 공정최적화</li> <li>MF 시스템 개발</li> <li>맛냄새, 미량유해물질 제거기술 평가</li> <li>Hybrid 시스템 평가</li> </ul> |
| 대체 소독 공정개발     | <ul style="list-style-type: none"> <li>UV 반응기 성능 평가기법 개발</li> <li>복합소독기술 개발</li> <li>오존소독공정 평가기술 개발</li> </ul>                         |

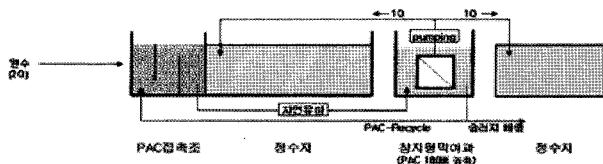


Fig. 13. PMR 공정도.

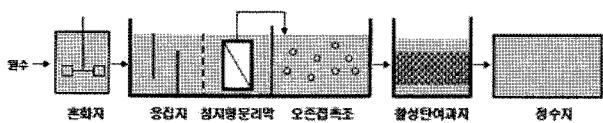


Fig. 14. MAT 공정도.

대표적인 기술로 고농도 분말활성탄 체류식 접촉조와 침지형 막여과를 융합시킨 「PAC+ Membrane 조합 Retrofitting (PMR)」 기술과 막여과/오존접촉조/GAC공정을 조합시킨 MAT (Membrane Advanced Treatment)공정을 개발 중에 있다. 이는 새로운 개념의 고도처리 방식과 막여과를 도입함으로써 설치 면적을 대폭 축소시키고, 기존의 시설을 그대로 사용함으로써 저비용 구조의 고도처리 Retrofitting이 가능하게 될 것이다.

PMR공정의 경우, 80 m<sup>3</sup>/일의 Pilot plant(와부정수장내) 설치·운영을 통하여 한강원수 및 인공오염물질(Spiking test)에 대한 수처리 성능평가 실시와 기존시설의 Retrofitting의 타당성을 평가를 실시한 결과, 유기물(DOC)과 맛냄새물질의 우수한 제거효율을 얻어냈으며, 높은 회수율(99.5%)과 수처리용량의 극대화와 슬러지 발생량의 최소화를 할 수 있는 조합공정과 운영인자를 도출하였다.

기존 고도정수처리공정과의 비교·분석시, 추가 부지 매입이 불필요하며, 단순한 공정으로 유지관리가 상대적으로 용이하고 간헐적 PAC 투입 및 응집제 미투입으로 유지관리비가 저렴한 장점을 예상할 수 있다.

현재 Pilot plant를 통해 개발된 신개발공정의 특허등록을 시행하고 있는 중이며, 향후 시범사업과 연계한 Demo plant (500 m<sup>3</sup>/일) 규모의 연구개발을 통해 실용화·상용화를 추진할 예정이다.

### 3.3. 국내 제조막 성능평가 사업 추진 및 인증기준 수립

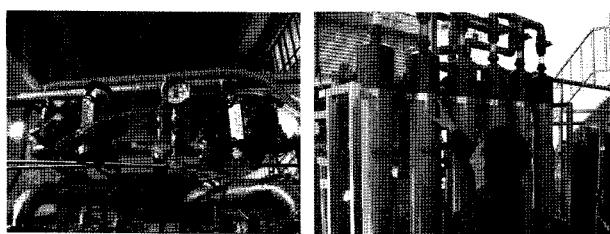
막여과 단위공정 및 조합공정에 대한 최적설계 및 운영기술 개발과 더불어 국내 막개발의 발전을 위하여 막모듈 및 장치에 대한 평가기술 및 인증기준 개발을 수행하고 있다.

현재 정수 및 하수분야에 적용되고 있는 수처리용 여과막의 경우, 대부분이 일본 등과 같은 선진 외국산에 의존되어 적용되고 있는 실정으로, 운영기술 역시 의존될 수밖에 없는 구조로 되어 있다. 이러한 구조적 문제해결과 국내 막제조업체의 기술적 장려, K-water의 여과막의 평가시행을 통한 막성능평가기술 획득을 목적으로 2003년 실검증을 위한 Pilot 설치·운영을 통하여 국내에서 제조된 3개의 막에 대한 성능평가를 2년간 실시하였다.

막모듈 성능 및 특성에 관한 평가와 Plant 운영결과에 대한 평가 등 2개 분야에 대한 성능평가를 실시하는데, 세부 평가항목은 아래와 같다.

**Table 6. 막성능평가항목**

| 평가항목           | 세부내용  |
|----------------|---|
| 막모듈 성능 및 특성    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 막여과 유속</li> <li>· 탁도 제거능</li> <li>· 미생물 제거능</li> <li>· 침출성 평가</li> <li>· 내압성 평가</li> </ul>   |
| 실검증 Plant 운영결과 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수질평가           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탁도, 미생물, 일반수질 180개 항목, 일반수질, 클립토스포리디움</li> </ul> </li> <li>· 수량평가           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 막여과 유속, 회수율, 차압의 적정성, 시스템의 연속운전</li> </ul> </li> <li>· 운전평가           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세정약품 및 방법, 세정수 처리적정성, 막파단 대책, 경제성</li> </ul> </li> </ul> |

**Fig. 15. K사 막모듈 내압성 평가.**

또한, 한국상하수도협회의 주관하에 2007년부터 추진되고 있는 국내 막여과 기술 인증기준 수립에 대하여 K-water는 막인증 관련 기술평가의 기관으로서 막모듈에 대한 성능기준을 실험을 통하여 수립할 예정이며, 막여과 설비에 대한 평가방안 및 측정항목을 개발할 계획이다.

K-water의 국내 제조막에 대한 성능평가 실시와 수립중인 막여과 기술인증기준으로 국내 막제조업체의 기술발전과 국내 막시장의 활성화에 기틀을 마련하게 되었다.

#### 4. 향후계획

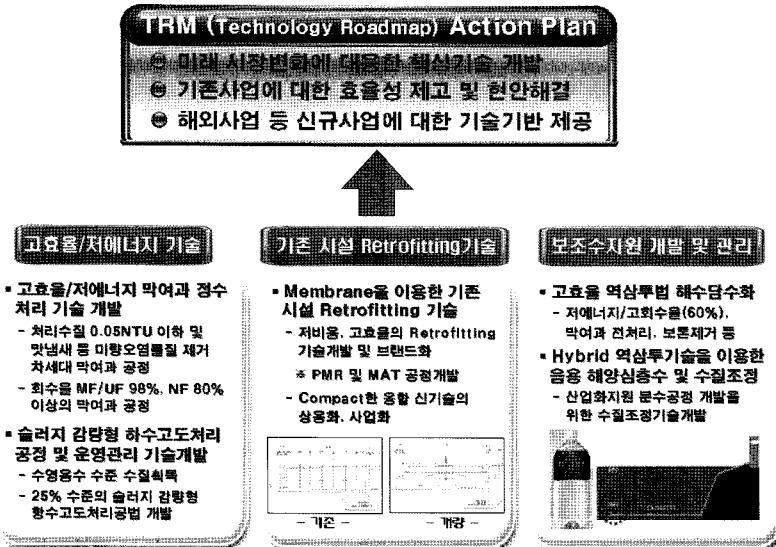
지금까지 K-water에서 추진 중에 있는 막여과 기술관련 연구개발과 현장적용을 위한 추진사업들을 분야별로 알아보았다. 아직까지는 막모듈부터 막여과 시설 설계·운영기술까지 선진 외국기술에 의존하여 추진되었으나, 점차 협업 기술 적용을 통한 경험축적과 지속적인 연구추진 및 기술교류를 통하여 국내 막시장의 활성화를 도모해야 할 것이다. 또한, 국내외 구분없이 기술의 확산과 변화의 흐름에 대처하기 위하여 핵심분야의 빌글과 끊임없는 기술개발과 사업추진이 이루어져야 할 것이다.

더욱이 상하수도서비스표준화(ISO/TC224) 규정제정에 따른 물시장의 개방과 다국적 기업의 국내 진출이 활발히 진행하는 시점에서 국가차원의 수처리 신기술개발의 체계적인 투자와 다각적인 사업추진에 박차를 가해야 한다.

이미 선진기술을 실적용하고 있는 국가와 기업들도 새로운 차세대 수도시설 구축 기술개발을 위해 인력과 자본을 투자하고 있는 실정으로, SWITCH(Sustainable Water Management Improves Cities' Health)의 대형프로젝트, Veolia의 현대석유화학의 수처리시설 매입·운영 등 지속적인 기술개발 및 사업진출이 이루어지고 있다.

K-water는 이러한 사업적 변화의 흐름에 대응하고 미래 핵심 기술의 확보를 위하여 자체 기술로드맵(TRM)을 구성하여 중점적으로 추진하고 있는데, 이 중 막여과 기술분야는 아래와 같이 고효율/저에너지 기술개발, 기존 시설의 Retrofitting 기술, 보조수자원 개발 및 관리 등 3개 중점분야로 정리해 볼 수 있다.

국제적인 경쟁력을 갖춘 고도정수처리 공정개발의 기술 확보 및 계획의 실용성 및 실행력의 촉진을 위해 10년의 중장기 추진전략을 수립, 약 350억원을 투자함으로써 K-water는 세계적 수준의 막여과 기술을 확보하고, 소규모 수도시설에 막여과 시설도입을 위한 지속적인 지원을 해나갈 것이며, 국내 제조막의 평가기술 확보 및 인증기준의 수립을 통해 국내 막여과 기술의 선도기관으로써 책임을 다할 것이다.

**Fig. 16. Technology Roadmap Action Plan.**