

# 국내 막분리 고도정수처리시스템의 도입에 대하여

정수장의 막분리 고도정수처리시스템에 대한 국내외 적용 및 개발 역사에 대하여 소개하고 국내 도입에 대한 제언을 하고자 한다.

남궁 은

환경부 수처리선진화사업단, 명지대 환경생물공학부 (enamkung@mju.ac.kr)

## 분리막이란?

분리막(membrane)이라함은 특정물질을 선택적으로 통과 시킴으로써 혼합물을 분리시킬 수 있는 액체 혹은 고체막으로 특정종류의 물질만을 선택적으로 통과시키는 재질(material)로 정의한다. 또한 막을 여재로 물을 통과시켜, 수중에 존재하는 오염물질이나 불순물을 여과하는 기술을 막여과(membrane Filtration)라 한다.

분리막의 종류는 정밀여과(microfiltration/MF)막, 한외여과(ultrafiltration/UF)막, 나노여과(nano filtration/NF)막, 역삼투 여과(reverse osmosis/RO)막 등이 있으며, 이에 대한 비교는 표 1과 같고, 분리막의 종류별 분리대상 범위에 따른 분류는 그림 1에 나타내었다. 또한 막분리 고도정수처리시스템은 그림 2와 같이 원수의 성상에 따라 여러가지 형

태의 공정으로 구성하게 된다.

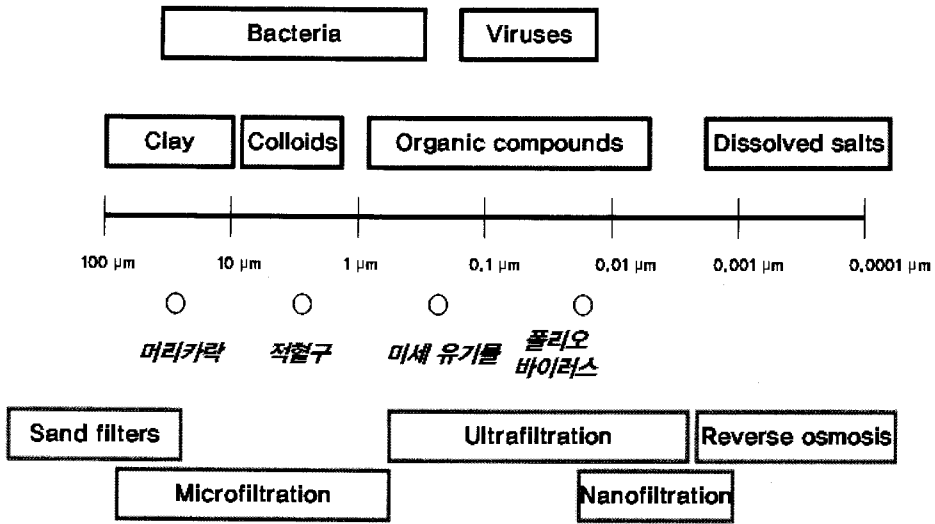
## 막분리 고도정수처리시설의 개발

### • 미국

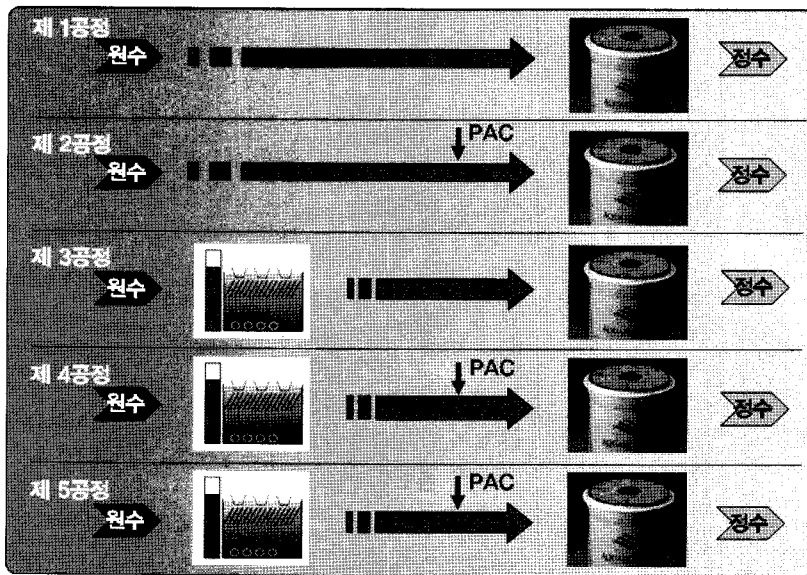
미국은 음용수법의 강화에 따른 필요성에 의해 막여과 정수처리 기술이 발전해 왔으며 이를 수도시설로써 도입을 촉진하고자 막여과 시설의 인증제도가 점진적으로 발달되어 왔다. 미국은 1960년대 세계 최초로 상업화된 역삼투막(RO)을 개발한 뒤 해수의 담수화에 일부 적용하였고, 1980년대부터 염소소독제 사용시 THM과 같은 발암성 소독 부산물의 문제가 대두되기 시작하면서, 저압 역삼투막 또는 나노여과막을 이용한 정수처리 공정이 개발되어 현장에 적용되었다. 이 후 1990년대에는 Cryptosporidium 과 같은 염소소독에 내성을 지닌 병원성미생물들에

<표 1> MF, UF, NF 및 RO의 비교

항 목	분리대상	사용압력	제거대상
정밀여과 (Microfiltration / MF)	0.1 $\mu\text{m}$ 이상	- 60 kPa ~ 200 kPa	탁도
한외 여과 (Ultrafiltration / UF)	0.1 ~ 0.01 $\mu\text{m}$	- 60 kPa ~ 300 kPa	탁도, 바이러스
나노여과 (Nano Filtration / NF)	0.01 ~ 0.001 $\mu\text{m}$	0.2 ~ 1.5 MPa	탁도, 바이러스, 소독부산물, 암모니아성질소
역삼투 여과 (Reverse Osmosis / RO)	0.001 $\mu\text{m}$ 이하	5.5 ~ 7.5 MPa (해수담수화 공정)	탁도, 바이러스, 소독부산물, 암모니아성질소, 맛/냄새



[그림 1] 분리막의 종류별 분리대상 범위에 따른 분류



[그림 2] 원수성상에 따른 MF/UF Membrane 공정

의한 대형감염사고(1993년 Milwaukee)가 발생하면서 막여과에 대한 관심이 고조되어 이후 막여과시설의 도입이 증가하였다. 특히 MF/UF 막여과 기술은 강화된 지표수처리법과 소독부산물 관련 규정을 동시에 만족시킬 수 있는 정수기술로써 원생동물의 완

벽한 제거와 소독제의 사용량을 저감할 수 있는 방법으로 제시되었다.





MF/UF 막여과 기술은 1987년 콜로라도주에서 지표수를 원수로 하고 탁도와 세균제거를 주목적으로 하는 Keyston 정수장에 도입된 이후 지속적으로 확산되었으며 현재 10,000 m<sup>3</sup>/day 이상의 규모를 갖춘 대규모 막여과 시설들이 40 여개소가 가동 중에 있다.

미국의 고도정수처리의 시장은 2006년에 약 13억 달러이나 연평균 10.7%로 성장하여 2011년에는 21억달러를 넘을 것으로 전망되고 있다. 이 중에서 특히 막여과가 이러한 고도정수처리에서 차지하는 비중은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

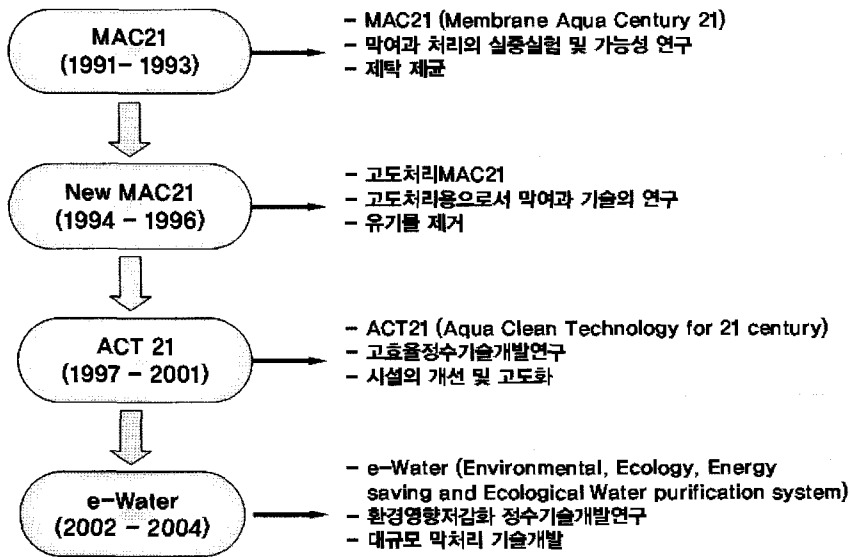
• 일본

일본은 서구의 선진국보다 막여과에 의한 정수처리에 대한 도입이 늦었지만 정부 주도로 제도의 정비 및 연구개발이 활발히 진행되었다. 1992년에 먹는물 수질기준이 강화되면서 막여과 정수처리에 대한 관심이 높아지기 시작하였으며, 1994년과 2001년에는 수원2법과 수도법이 개정되면서 막여과 정수처리 시스템이 점차 확산되어왔다. 또한 그림 3과 같이 막여과 정수처리에 대한 장기간의 연구 프로젝트를 진행하였으며, 그 결과 다수의 막 제조업체가 발전할 수 있는 원동력을 마련할 수 있었다.

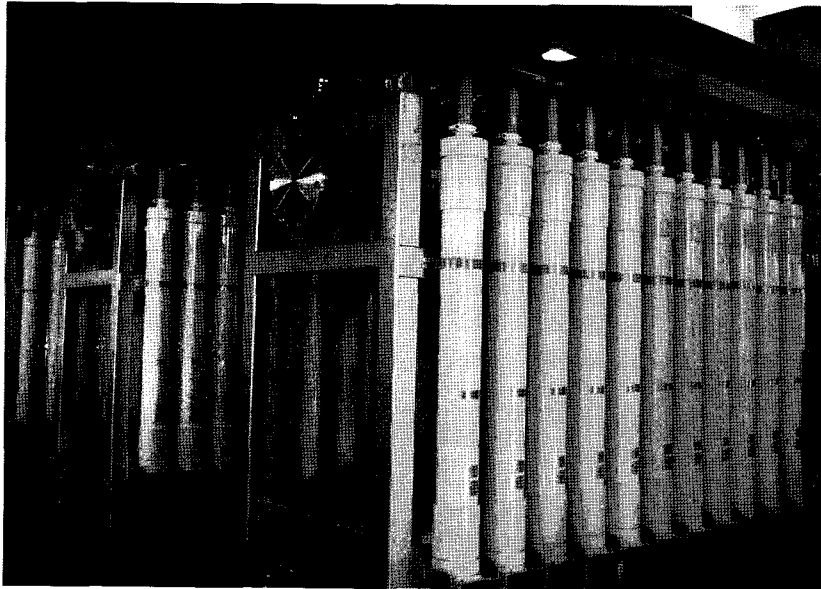
2004년 조사 결과에 의하면 일본에서는 막여과 정수처리가 총 328개소에 도입되었으며, 총 처리용량은 20만 톤에 달하고 있다. 일본의 막여과 정수처리는 과거에는 주로 소규모 시설에 도입되어왔으나 최근에는 대규모 시설에도 적용되고 있다. 2007년에 완공되어 가동 중인 키누타 정수장(그림 4)은 2개소를 합쳐 총 처리용량이 8만톤 규모에 달하는 대규모 막여과 정수처리 시설로서 현재 일본에서 운영 중인 최대의 막여과 시설이다.

• 유럽

영국은 1990년대 초반에 주로 소규모 지역을 중심으로 수도용으로 막이 도입되기 시작하였다. 2003년의 보고자료에 의하면 약 100여 개의 막이용 플랜트에서 1,000,000 m<sup>3</sup>/d 의 정수 처리를 담당하고 있으며 이는 전체 수도 공급량의 5%에 해당하는 양이다. 영국에서 막이용 플랜트가 급증하게 된 것은 1999년 12월에 DWI에서 발효한 병원성 미생물인 Cryptosporidium에 관한 법령 때문이다. 이 법령에 의하면 음용수에 존재하는 입자의 크기가 1 um보다 작다면 Cryptosporidium을 지속적으로 모니터링할 필요가 없다는 것이다. 사실 Cryptosporidium을 지속적으



[그림 3] 일본 막여과 기술 발전 과정



[그림 4] 일본 동경도 키누타 정수장

로 모니터링할 수 있는 방법은 현실적으로 불가능하기도 하고 그리고 막이용 수도 플랜트를 건설하는 것이 경제적이라고 판단하여 수도업자들은 서둘러 MF나 UF를 도입하기 시작하였으며 이로 인해 2000년 이후로 영국의 막이용 수도 플랜트가 급증하였다. 영국의 Claylane 정수장은 1999년부터 가동되고 있는 대규모 정수장으로서 일 16만톤의 처리규모를 갖추고 있다.

프랑스는 일찍부터 막여과 정수처리에 관심을 보였으며, 1984년에 쌍·젤베에서 지하수를 원수로 하는 정밀여과막에 의한 정수장을 세계 최초로 설치하였으며, 2002년 자료에 의하면 총 800,000 톤/일 규모의 정밀 및 한외여과 정수장을 가동 또는 설치 중이다. 또한 Mery-Sur-Oise 정수장에는 14만 톤/일 규모의 나노여과 시설이 가동되고 있으며, 분말활성탄과 한외여과를 조합한 혼성공정이 안젤 정수장 (12만톤/일) 등 대규모 정수장에 설치하여 운영 중이다.

그 외에도 최근 세계 각국에서 대규모 막여과 정수처리에 대한 도입사례가 증가하고 있다. 싱가포르의 Chestnut 정수장에서는 27만 톤/일의 시설용량을 가지는 UF 막여과 공정을 도입하여 운전하고 있으며, 호주의 Bendigo에서는 2002년에 12만 톤/일의 시설

용량을 가지는 MF 막여과 공정을 설치하였다.

#### • 국내

국내에서는 90년대부터 막분리를 이용한 하폐수처리에 관심을 가지기 시작하여 아직 기술개발 초기단계에 있지만 지속적으로 기술개발 수준이 향상되고 있다. 막여과기술개발에 대한 국내의 연구개발투자는 1980년 과학기술부 주관으로 “Membrane Development Program”을 시작으로 ‘80년대 주로 기초적인 연구를 수행하였고 90년도 중반 일본의 UBIS공정을 하수처리에 도입하였으나 국내 하수특성을 고려하지 못해 실효를 거두지 못하였다. 같은 시기에 제지산업에서 나노여과/역삼투 공정을 폐수처리에 도입하였으나 심각한 막오염 현상을 해결하지 못해 시스템 운전을 중단한 사례도 있다.

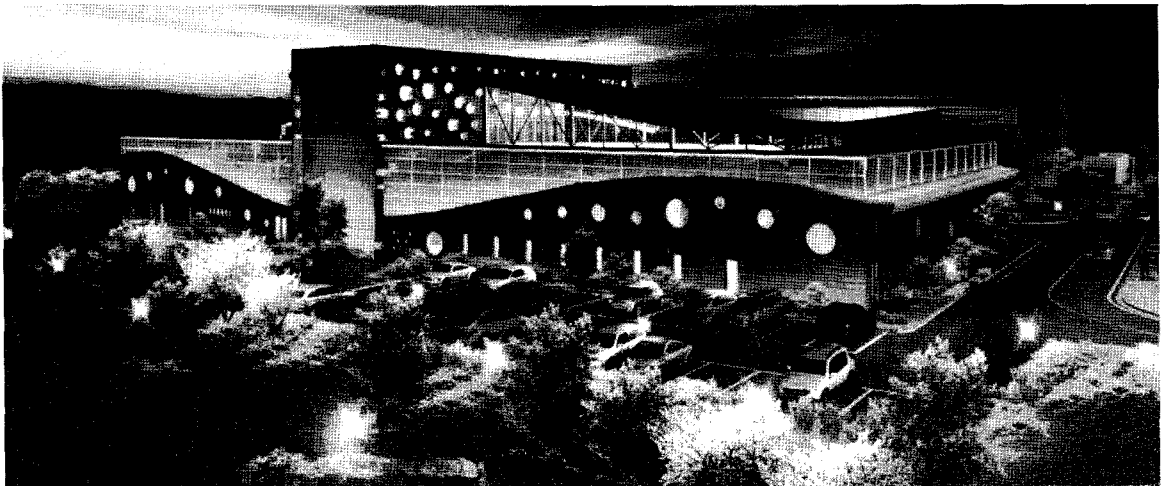
이후 1993년 통산산업부, 환경부 및 과기부에서 막이용 정수처리시스템 개발을 위한 연구가 일부 진행되었으나, 현재까지의 막여과 정수시설에 대한 도입은 표 1과 같이 미미한 실정이고, 정수처리용 국산 분리막이 개발되지 않아 외국산 분리막에 의존하여 설치, 운영되고 있는 실정이다.

이에 환경부에서는 차세대핵심기술개발사업의 일



<표 2> 국내 정수처리용 분리막 공정 적용 현황

구 분	소재지	준공년도	시설규모(m <sup>3</sup> /일)	공정	막공급사
삼성 ATC 정수장	아산	2006	5,000	혼화응집+MF	Zenon
Camp영평 (미군부대)	포천	2003	650	MF	Zenon
미군부대 정수처리장	파주	2003	1,200	MF	Zenon
지례정수장	김천	2006	300	MF/UF	Asahi Kasei
Camp무적 (미군부대)	포항	2006	1,400	MF	Zenon
수자원공사 시흥정수장	시흥	2004	3,600	혼화응집+침전+MF/UF	Asahi Kasei
포천 이동정수장	포천	2004	1,500	UF	Asahi Kasei
거창 위천정수장	거창	2005	800	UF	Memcor
양동정수장	양평	2005	1,000	UF	Aquasource
총			15,450		



[그림 5] 수처리선진화사업중 “중대형 막분리 고도정수처리시스템 개발 및 상용화” 과제의 시범사업 (영등포정수장, 50,000 m<sup>3</sup>/일) 조감도

환으로 추진되고 있는 Eco-STAR Project 중 하나로 세계 최고 수준의 수처리 기술과 시스템을 개발하고 상용화하여 환경을 개선하고 국민의 삶의 질 향상을 도모할 목적으로 수처리선진화사업단(단장 남궁 은)을 2004년 9월 발족하였다.

수처리선진화사업은 상수원으로 유입되는 하수, 폐수에 대한 철저한 관리와 처리는 물론, 막분리 기술을 이용해 고도처리 된 정수의 상수관망 공급과정까지도 관리가 가능케 하는 “원수부터 수도꼭지까지 (From Source To Tap)” 를 모토로 막분리 고도정수

기술, 상수관망의 최적설계 및 수질관리 기술, 수영용수 수준의 하·폐수 처리기술을 개발하고 있다. 또한, 선택과 집중의 원칙에 따라 시장성, 성공 가능성이 높은 기술을 선정하였고, 이를 중심으로 하는 시범사업을 추진할 뿐만 아니라 개발한 기술이 현업에 활용될 수 있게 개발된 기술을 통합하고 실증화 할 수 있는 종합적인 연구개발 추진체계를 구축, 운영해 우리나라 수처리 산업의 선진화를 이루고자 한다.

특히 수처리선진화사업단은 중대형 정수장에 막분리 기술을 적용하고자 분리막을 제조하는 기술(정수

용 분리막 및 모듈 개발)과 시스템을 개발(중대형 막 분리 고도정수처리시스템 개발 및 상용화)하는 2개 과제를 2004년 12월 부터 2011년 5월까지 추진중에 있다. 또한 사업단에서는 국산 분리막 개발과 더불어 막분리 고도정수처리시스템을 최적화하여, 시범사업(영등포 정수장, 50,000 m<sup>3</sup>/일)을 추진할 계획이며, 이미 시범사업에 대한 기본 및 실시설계를 완료하고, 2008년부터 시공을 계획하고 있다.

### 막분리 고도정수처리시설의 도입에 따른 제언

국내의 막분리 고도처리시설 분야는 2009년 7월부터는 5,000 m<sup>3</sup>/일 규모이상의 막분리 정수처리시설의 설치를 허용한 환경부의 수도법 개정을 통하여, 이미 막분리 설비 도입의 계기는 마련되었다고 보며, 향후 활성화가 될 것으로 기대하고 있다.

물론 외국에서는 수십년간 막여과 정수처리 기술이 연구되어 현장에서 운전되어 왔으나 국내 상황에 적합하지 않을 수 있기 때문에 이를 직접적으로 도입하는 것은 무리가 있을 수 있다. 이에 국내의 여러 가지 상황을 고려하여 막분리 정수처리의 도입을 위해서 해결하여야 할 기술적인 사항들은 다음과 같이 제언하고자 한다.

- 막분리 정수처리는 처리효율이 안정적인 것으로

알려져 있으나 우리나라와 같이 여름철과 겨울철의 수질차이가 크고, 계절에 따라 조류가 발생하는 경우에는 막의 오염에 의한 생산효율의 감소문제가 발생할 수 있다. 따라서 막분리로 기존의 정수처리 공정을 모두 대체하는 것 보다는 기존 시설과 막여과 시설을 결합하는 혼성공정이 보다 효율적일 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

- 국내의 수계에서는 병원성 미생물 뿐 아니라 맛냄새 유발물질과 소독부산물 등 미량오염물질에 대한 제어가 중요하다. 따라서 막여과 공정의 전후처리로서 이러한 미량오염물질을 제거할 수 있으므로 지역별 원수 특성에 적합한 최적공정의 도출이 필요하다.

- 중대규모 막여과 정수처리공정에서 시설의 운전 및 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 자동화 시설이 필수적이다. 특히 우리나라와 같이 유입수 수질조건이 계절에 따라 크게 변화하는 경우에는 이를 자동적으로 대처하기 위한 지능형 운전제어 기술 개발이 필요하다.

- 마지막으로 막여과 정수처리 기술은 차세대 정수처리기술로서 향후 물산업 시장에서 중요한 부분을 차지할 것으로 예상되기 때문에 핵심부품소재인 정수용 분리막에 대한 국산화 기술의 확보가 중요하게 고려되어야 한다. \*