

하 · 폐수 고도처리용 MBR 기술의 적용 현황 및 전망

장문석 · 김진호 · 이지웅

(주) 케이엠에스

Prospect and Present Status of MBR Technology for Advanced Wastewater Treatment

Moon Seog Jang · Jin Ho Kim · Ji woong Lee

KMS Co. Ltd.

1. 서론

점차 심화되는 수자원 공급 부족과 인구증가의 가속화에 따라 생활용수, 산업용수, 심지어는 음용수에 사용되는 수원을 보호, 제공하기 위한 통합적 물재이용 시스템의 구축이 수환경 분야의 새로운 이슈로 부각되고 있다. 최근 수년 간 꾸준히 지속되어온 기술 개발과 각종 비용 감소의 노력 등에 의해 하, 폐수처리 및 재이용수 생산 분야에 MBR(Membrane Bio-Reactor) 관련 기술의 적용 사례가 급증하고 있다. 전세계적으로 최근까지의 MBR 시스템 적용 사례는 처리장 부지 면적의 부담이 있는 경우, 처리수의 재이용이나 환경 기준이 강화되어 일반활성슬러지공정(CAS; Conventional Activated Sludge process)으로 규제치를 만족시키기 곤란한 경우 등에 특히 도입 사례가 많았다. 국내에서도 2008년 이후 기존의 특정지역에 적용되던 방류수질 기준이 전지역으로 확대, 시행되는 등 수질환경 기초시설의 규제기준이 크게 강화될 뿐 아니라 오염총량제 실시 또한 점차 확대될 것으로 예상되는데, 이러한 움직임과 관련하여 MBR 시스템은 현재에도 도입 사례가 급증하고 있고 향후 더욱 강화될 수질규제기준과 수자원 재이용 보급률의 증가 측면에서 볼 때 MBR 시스템의 전망은 매우 밝다고 하겠다.

본 고에서는 국, 내외 크게 유행하고 있는 MBR 공정의 수처리 프로세스로서의 적용성과 현황을 살펴보고 각국의 사례 연구를 통해 MBR 기술이 단지 하, 폐수처리 분야에서 고품질의 처리수를 얻을 수 있는 새로운 처리 개념으로 국한되는 것이 아니라 미래 수환경 산업을 주도하고 수자원 부족 문제를 가장 적극적으로 현실적으로 극복할 수 있는 방안이 될 수 있음을 소개하고자 한다.

2. MBR 공정의 개요

MBR 공정은 기존의 활성슬러지공정에서 침전조를 없애고 정밀여과막(MF) 또는 한외(UF)여과막 분리 공정을 결합시키는 방법으로 처리수의 입자를 완벽하게 제거할 수 있는 복합공정이다. MBR 공정은 일반활성슬러지 공정과 유사한 점이 많으나 2차침전지가 필요 없고 3차처리인 사여과 및 살균처리의 효과를 기대할 수 있을 정도로 뛰어난 수질을 얻을 수 있기 때문에 하, 폐수처리 분야에서 현재 가장 주목을 받고 있는 처리공법이 되고 있다.

고액분리의 목적으로 슬러지의 중력 침전을 이용한 침전지가 배제되었기 때문에 반응조 내 미생물의 침전성을 고려할 필요가 없어 미생물 농도의 범위를 매우 다양하게 할 수 있으나 일반적으로 반응성을 크게 하기 위해 농도를 다소 높게 유지하며, 일반활성슬러지의 농도의 약 3~5배인 8,000~15,000 mg/L의 MLSS를 유지할 수 있기 때문에 일반활성슬러지 공정에 비해 소요부지면적이 현저하게 적다.

30여년 이상 지속된 MBR 기술 연구를 통해 몇 세대의 MBR 시스템이 진화되어 왔다. 1990년대 초반 MBR은 반응조 외부에 막모듈이 장착되고 여과루프(Filtration-loop)를 통해 반응조 내 슬러지가 순환되면서 고액분리되는 계외여과형(Side-stream) 방식이 대부분이었으나 이러한 방식은 전력소요량이 매우 컸기 때문에 도시하수처리 적용에 제한이 있었다.¹⁾ 한편 1990년대 초반 일본 정부는 MBR 프로세스의 기술적, 산업적 전환기가 되었던 총 6년의 R&D 프로젝트를 수행하였고 그 결과 낮은 음압 조건(Out-to-in)과 분리막의 막오염 저감을 위한 하부 폭기식 침지형 분리막 모듈 및 운전 개념이 탄생하게 되었다. 이를 통해 초기투자비 및 운영비를 크게 줄일 수 있었는데 장치의 축소화 및 단순화, 그리고 계외여과방식에서 적용했던 슬러지의 순환 루핑을 배제했기 때문에 에너지 소요량을 크게 절감할 수 있었다. 이 침지식 프로세스의 개념 탄생과 정립은 전세계적으로 1990년대 중반, 도시하수처리분야에서 MBR의 적용을 폭넓게 확산시키는 계기가 되었다.²⁾ 현재 보편화된 침지형 분리막 모듈은 크게 중공사막(Hollow fiber), 평막(Flat-sheet) 두 가지 형태가 시장을 점유하고 있다.

E-mail: moonseog@chol.com

Tel: 02-554-3923

Fax: 02-554-3925

3. MBR 기술의 특징

일반활성슬러지공정과 비교할 때 MBR 공정은 아래와 같은 다양한 장점들을 가진다.

- 특별한 처리 없이 일반 재이용수에 적용될 수 있을 정도로 처리수질이 매우 뛰어나다.
- 반응조 내 8,000~15,000 mg/L 정도의 높은 MLSS 농도 유지가 가능하기 때문에 소요부지 면적 및 반응조 체적 부담이 작고 반응조 내 질산화미생물 등 특정 미생물의 우점화가 용이해 질산화도가 매우 높다.
- 일반활성슬러지공정에서는 불가능한 수리학적체류시간(HRT)과 고형물체류시간(SRT)을 독립적으로 운용할 수 있기 때문에 매우 유연한 처리 전략을 가질 수 있다.
- 유입수 부하변동에 강하다.
- 슬러지 발생량은 일반활성슬러지의 경우에 비해 20~40% 정도 적다.
- 유지관리 포인트가 줄어들어 원격자동감시 및 제어가 용이하다.

MBR 공정이 이와 같이 많은 장점들을 가지고 있으며, 전 세계 대부분 국가에서는 갈수록 수질오염 방지 및 수계보전을 위해 수질오염 규제를 점차 강화시키고 있고, 우리나라 역시 2008년 이후에는 전 지역이 특정지역 방류수질 기준을 적용받기 때문에 관련 법규 측면상 MBR 도입이 더욱 가속화 될 것으로 보여진다. 게다가 MBR 공정의 시설비(특히 분리막 구입 비용)와 운영 비용이 최근 약 15년 동안 급격하게 감소되었기 때문에 점차적으로 하, 폐수처리 목적의 대규모 MBR 공정의 도입이 구체화되고 있다. 또한 탁월한 수질과 경제성 그리고 무인운전의 용이성으로 인해 분산형 하수처리계획에 가장 적합하다. 그림 1은 최근 10~15년 동안 Kubota의 MBR 공정의 비용 변화 추이를 나타낸 것으로 지수함수 형태로 급감하는 것을 알 수 있는데 이는 공정의 설계, 공정 및 유지기법 향상과 분리막 자체 가격의 하락(분리막 제조사 증가로 인한 가격 경쟁 증가), 교체주기 및 보증 연한의 증가 등이 주요인이었다.³⁾ 또한 기존 일반활성슬러지공정을 MBR 공정

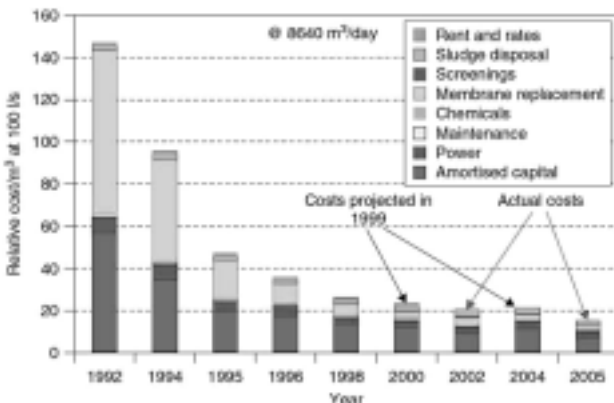


Fig. 1. 연도별 MBR 공정(Kubota)의 소요비용 변화 추이.³⁾

으로 개, 보수하는 과정이 매우 단순하고 생물반응조 용적 대비 상당히 큰 침전지가 배제될 수 있으며, MBR로 대체될 경우 기존 프로세스에 비해 동일 체적의 반응조로 처리 용량을 증가시킬 수 있기 때문에 소요 부지면적을 상당히 줄일 수 있어 머지않아 전체 소요비용 면에서도 일반활성슬러지공정과 근접한 수준에 이를 수 있을 것으로 기대된다.

MBR 공정은 또한 전세계적으로 물부족을 겪고 있는 지역에서 물 재순환 및 재이용의 목적으로 도입 사례가 증가하고 있다. MBR 공정은 안정한 수량으로 음용수에 근접한 수준까지 고품질의 처리수를 얻을 수 있기 때문에 관개용수, 화장실용수, 세차용수, 산업용수 등의 용도로 처리수 재이용 분야에 적용되고 있고, 경우에 따라서 지하수 재충전 또는 강이나 호소와 같은 지표수와 혼합 형태로 간접적 음용수원으로도 사용되고 있다.

처리수 재이용에서 가장 중요한 요소는 미생물 제거능이다. MBR에 적용되는 정밀여과막은 총대장균, 분변성대장균 심지어는 박테리오파지 등의 미생물 제거율이 박테리아의 경우 6~8 log, 바이러스의 경우 3~5 log 정도로 상당히 높기 때문에 해당 항목을 볼 때 MBR 처리수는 재이용수로 충분한 자격이 있다고 할 수 있다. 그러나 처리수가 발생한 순간에는 미생물 함유의 가능성이 매우 적을 수 있으나 경우에 따라서 처리수의 분배 및 저장과정에서 처리수가 배지 역할을 하는 등 다양한 재오염원에 의해 다시 미생물이 성장할 수 있기 때문에 용도에 따라 후처리 살균 공정이 필요할 수 있다. 그러나 MBR 처리수는 많은 경우 발생 이후 정제 없이 바로 분배된다면 잔류염소 함유 없이 바로 사용이 가능하다.⁴⁾

4. MBR 기술의 국, 내외 현황

4.1. 전세계 MBR 기술관련 현황

전세계 수많은 연구자들이 MBR 관련 연구에 대해 종사하고 있고, 약 30여개국의 저자들이 서로의 연구를 공유하고 피드백하는 연구공동체 등의 형태로 활발하게 MBR 기술을 발전시키고 있다. 그러나 MBR 관련 연구의 약 75% 이상이 영국, 미국, 일본, 캐나다, 한국, 중국, 독일, 프랑스의 8개국에 의해 주도되어 왔으며, 초기 MBR 관련 연구는 영국, 프랑스, 일본과 한국에 의해 대부분 집중되었고, 이들 나라에 의해 선구적인 연구가 수행되었다. 이해 비해 중국과 독일 등은 2000년 이후 관련 분야 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.¹⁾

4.2. 전세계 상업화 MBR 기술 현황

4.2.1. 국외

(1) 미국, 캐나다

북아메리카에서 폐수처리를 위해 미생물 반응조와 분리막을 결합시킨 첫 시도는 1960년대 후반, Dorr-Oliver사에 의해 발전된 MST(Membrane Sewage Treatment) 시스템이

Table 1. 4개의 주요 북아메리카 MBR 공급 업체별 시스템 비교¹⁾

	GE Zenon	Siemens-memcor	Kubota	Mitsubishi-Rayon
분리막 타입	Hollow fiber	Hollow fiber	Flat sheet	Hollow fiber
공정 형태	수직 침지식	수직 침지식	수직 침지식	수평/수직 침지식
공경 크기(μm)	0.04	0.1	0.4	0.4
분리막 재질	PVDF	PVDF	Polyethylene	PE/ PVDF
세정 방법	Backpulse & relax	Backpulse or relax	Relax	Relax
세정주기(min/min)	0.5/15	1/15	1/60	2/12
회복 방법	화학적 침지	화학적 침지	Chlorine backwash	Chlorine backwash
회복 주기	≥3개월	≥2개월	≥6개월	≥3개월

다. 1980년대 초반 이후로 소수의 연구자와 시스템 공급자들이 산업폐수 처리를 위해 MBR 공정을 연구하였고 1980년대 MBR 시스템의 효율과 성능 면에서 큰 성장을 이루었다. 1991년에는 산업폐수 처리를 위해 최초로 대규모의 계외여과 방식을 적용한 MBR 플랜트가 건설, 운전되었으며, 이후 지속적인 발전을 통해 MBR이 적용된 다양한 산업폐수 처리장이 운전되었다. 1990년대 중반 이전에는 도시 및 가정하수 처리를 위한 MBR 공정이 소규모로 국한되었는데, 이는 계외여과 방식의 단점 가운데 하나인 과도한 전력소요 때문이었다. 이후 상대적으로 전력소요의 부담이 적은 침지식 MBR 공정의 발전과 함께 도시하수 처리장의 MBR 적용은 점차 증가하기 시작하였다.

북아메리카에서는 GE Zenon(구 Zenon, 미), Siemens-memcor(구 USfilter, 미), Kubota(일), Mitsubishi-Rayon(일) 등 4개의 주요 MBR 공급업체가 영업활동을 진행하고 있다. 이 두 일본 제조 회사는 각각 미국의 Enviroquip Inc.와 Ionics에 의해 운영되고 있다.⁵⁾

Table 2는 2005년 기준 북아메리카의 실규모 MBR 플랜트의 운전 개소수를 정리한 것으로 상기 4개 회사에서 총 258개소를 건설, 운영하고 있다. 비록 도시하수처리를 위한 MBR 플랜트가 점차적으로 대형화 추세에 있기는 하나 1,000 m³/일 이하의 중, 소규모 시설이 대부분으로 Table 2의 MBR 플랜트 가운데 10,000 m³/일 이상은 단지 17개소에 불과하다. 이들 플랜트의 대부분은 도시하수처리에 적용되었고 GE Zenon이 북아메리카의 MBR 시장을 석권하고 있음을 알 수 있다.

전술된 바와 같이 MBR 공정은 악취와 소음발생 부담이 적기는 하나 결국 오, 폐수 정화시설이기 때문에 인구밀집지역 내에 설치되기 위해서는 인근 주민들의 동의가 필요하다. 그러나 일단 설치된다면 중수도 개념의 처리수 재이용 측면에서 생산수의 분배가 용이하기 때문에 비용 절

감이 상당히 크다. 해당 사례로 미국 North Fulton주의 Cauley Creek WRF(Water Reclamation Facility)는 운전 개시 후 단 한차례도 민원 접수가 없었다고 한다. 1,000 gallon당 약 \$2.5의 상수 요금에 비해 시설의 소유주는 처리수 1,000 gallon당 약 \$1.5의 가격을 책정했는데 그 결과 인근 주민들의 재이용수 사용 요청 사례가 매우 많아 성공적인 처리수의 재이용 사업 사례로 자주 거론되고 있다.⁶⁾ 현재 North Fulton주의 처리수 재이용을 위한 네트워킹이 확장되고 있고 약 140,000명의 재이용수 사용을 충당할 대용량의 MBR 플랜트 건설을 준비 중에 있다. 또한 2007년까지 현재 26,500 m³/일의 일반활성슬러지 공법의 플랜트가 약 57,000 m³/일 용량의 MBR 기술이 도입된 Johns Creek Environmental Campus로 대체될 것이라 한다.⁶⁾

(2) 유럽

유럽의 분리막 제조회사의 경우 9개 주요 회사에서 파생되어 현재 약 60여개의 업체에서 제조 및 MBR의 솔루션을 제공하고 있는데, MBR 공정의 도입 결과 수자원 재이용 측면에서 여타 수처리 프로세스와 비교해볼 때 처리수의 수질이 매우 양호하고 안정적이라고 평가하고 있다. 1990년대 초기 MBR 도입 이후 상당히 보급률이 증가하여 2005년도 기준 MBR 시장은 약 4천만 유로에서 이후 약 9%의 성장률을 보이며 꾸준히 성장하고 있다. 유럽에서 향후 5~10년간 이러한 성장을 유지할 수 있는 MBR 적용 분야는 기존 대규모 처리장에서 다수의 소규모 MBR 처리장으로 분산화하는 것과 처리수 재이용분야로 전망하고 있는데, 소규모처리장 다수가 분산되어 설치, 운영된 MBR의 성공적 도입이 결정적인 계기가 되었던 것으로 보인다.

유럽에서 도시하수처리에 MBR 공정이 적용된 첫 실규모 플랜트는 1998년도 건설된 영국의 Porlock 하수처리장(3,800 m³/일)으로 이와 함께 독일의 Büchel and Rödigen 하수처리장(각각 1,000 p.e., 3,000 p.e. ; 1999), 프랑스의 Perthes en Gâtinais 하수처리장(4,500 p.e. ; 1999) 등이 유럽의 초기 도시하수처리를 위한 MBR 실규모 플랜트이다. 2004년에는 80,000 p.e. 규모의 당시 가장 큰 MBR 플랜트가 독일 Kaarst에 건설되어 불과 수년 동안 수천에서 수만의 거주 인구를 충당하는 용량의 플랜트로 거대화 되었다. 2006년도에는 유럽에 500 p.e. 이상 용량의 실규모 도시하수 MBR 플랜트가 100여개소 정도 운전되었으며, 20 m³/일 이상 용량의 산업폐수처리용 MBR 플랜트는 약

Table 2. 북아메리카의 MBR 플랜트 설치 개소 수¹⁾

	미국	캐나다	멕시코
GE Zenon	155(132+23)*	31(23+8)	6(1+5)
Siemens-memcor	13(13+0)	0	0
Kubota	51(48+3)	0	0
Mitsubishi-Rayon	2(2+0)	0	0
계	221(195+26)	31(23+8)	6(1+5)

* 도시하수처리 플랜트 + 산업폐수처리 플랜트

Table 3. 유럽의 2,000 m³/일 이상 중, 대규모 도시하수 MBR 플랜트 현황⁴⁾

위치	용량(m ³ /일)	회사	시작연도	위치	용량(m ³ /일)	회사	시작연도
Rödingen, DE	2,400	GE Zenon	1999	Kaarst, DE	45,144	GE Zenon	2003
Ile de Yeu, FR	2,260	GE Zenon	2000	Waldmössingen, DE	2,160	GE Zenon	2004
Markranstädt, DE	3,600	GE Zenon	2000	Guilvinec, FR	2,600	Kubota	2004
Swanage, UK	12,720	Kubota	2000	La Bisbal, SP	3,240	GE Zenon	2004
Campbeltown, UK	2,678	GE Zenon	2001	Riells I Viabrea, SP	5,160	Kubota	2004
Westbury, UK	3,536	Kubota	2002	Uerikon, CH	5,200	GE Zenon	2004
Lowestoft, UK	14,160	GE Zenon	2002	Cardigan, UK	8,640	Kubota	2004
Brescia, IT	42,000	GE Zenon	2002	Buxton, UK	10,627	GE Zenon	2004
Monheim, DE	2,400	GE Zenon	2003	Varsseveld, NL	18,120	GE Zenon	2004
Schlide, BE	6,520	GE Zenon	2003				

300개소에 이르렀다. 현재 MBR 공정은 도시 구역에의 도입으로 한정해볼 때 일반활성슬러지공정(MBR 처리수와 유사한 수준까지 후처리 공정을 구성할 경우)의 초기투자비보다 오히려 경제적인 수준에까지 이르렀다.⁴⁾

물재이용의 움직임이 점차 증가하고 있는 추세를 볼 때 MBR 기술의 발전은 매우 긍정적이라고 대부분 평가하고 있다. 반면 거의 모든 서유럽 국가에서 소수 MBR 플랜트가 운전 중에 있음에도 불구하고 MBR 처리수의 재이용 사례는 극히 적으나 비록 현재는 처리수가 재이용되지 않을지라도 언제라도 물재이용의 용도에 부합되도록 수질관리에 초점을 맞추어야 한다고 주장하고 있다.⁴⁾

(3) 중국

중국의 MBR 관련 연구 및 적용은 1990년대부터 시작하여 전세계적으로 볼 때 후발주자에 속한다. 1998년까지 연구는 답보 상태를 보이다 1999년 이후 급속한 성장을 보여 현재 연구 수준 및 적용 실적에서 상위권에 위치하고 있다.

Table 4에서와 같이 최근(2006년 현재) 중국에서 운전 중인 MBR 공정은 약 20여개소로 20 m³/일의 소용량부터 가장 큰 플랜트인 북경 밀운현 재이용처리장, 45,000 m³/일까지 다양하며, 1만톤/일 이상의 플랜트는 7개소 정도로 알려져 있다. 중국의 MBR 공정은 재이용수 생산 목적으

Table 4. 중국의 각종 수처리를 위한 MBR 플랜트의 설치 예⁷⁾

처리장 명칭	원수 성상	MBR 형태	공정 구성	처리 용량
중국 석화 낙양지점 화학섬유 오수처리장	화학섬유오수	Submerged Hollow fiber	협기+호기	4,800 m ³ /day
석노인 마을오수처리장	생활오수	Submerged Flat-sheet	산소부족+협기+호기	1,000 m ³ /day
천진의과대학교 총의원 오수처리장	병원오수	Submerged Hollow fiber	호기	1,000 m ³ /day
천진 모 소지역 중수참	생활오수	Submerged Hollow fiber	SBR	650 m ³ /day
천진 제일중심병원 오수처리시스템	병원오수	Submerged Hollow fiber	전 봉쇄+호기	500 m ³ /day
북경 모 바캉스 총 MBR 오수재생 공정	생활오수+우수	Submerged Hollow fiber	호기	500 m ³ /day
광주과학성 MBR 공법 중수활용공정	목욕수+우수	Submerged Hollow fiber	호기	300 m ³ /day
모 대형마켓폐수처리공정	마켓폐수	Submerged Flat-sheet	응고+기체부상+호기	200 m ³ /day
상해 알칼리성 화공주식회사 중간 실험	폴리염화비닐폐수	Submerged Hollow fiber	호기	50 m ³ /day
북경 북소하 MBR 오수처리공정(시공중)	도시오수	Submerged Hollow fiber	호기	60,000 m ³ /day
산동 동아현 MBR 중수재활용공정	도시오수	Submerged Hollow fiber	호기	30,000 m ³ /day
천진공항 물류가공지역 심도처리 공정	공업폐수	Submerged Hollow fiber		30,000 m ³ /day
광동 혜주 대야만 석화공업지역 오수처리	화공폐수	Submerged Hollow fiber		25,000 m ³ /day
해남 실화련화 오수처리 및 재활용 공정	화공폐수	Submerged Hollow fiber		10,000 m ³ /day
내몽고 아야드어스 캐시미어 고농도 처리재활용 공정	유기폐수	Submerged Hollow fiber		10,000 m ³ /day
김령련화 오수처리 및 재활용공정	화공폐수	Submerged Hollow fiber		5,000 m ³ /day
바링 석화오수처리 및 재활용공정	화공폐수	Submerged Hollow fiber		7,200 m ³ /day
북경 밀운현 오수처리장 재생수장	도시오수	Submerged Hollow fiber	호기	45,000 m ³ /day
천진 김위 맥주회사 오수처리공정	맥주폐수	Submerged Hollow fiber	UASB+MBR	4,000 m ³ /day
서주 담배장 오수처리 및 중수 재활용 공정	담배폐수	Tubular MBR-RO	호기	2,000 m ³ /day
북경 해전 온천진 MBR 재활용공정	생활오수	Submerged Hollow fiber	호기	1,000 m ³ /day
북경 고비단 오수처리장 MBR 중수 공정	도시오수	Submerged Hollow fiber	호기	500 m ³ /day

로 건설된 경우가 많기 때문에 생활오수 및 도시하수가 대부분 처리 대상이나 병원폐수, 화학, 공업폐수 등의 산업폐수처리장에 MBR이 도입된 경우도 많은 편이다.⁷⁾

중국은 이미 50여년 전부터 정부 주도의 국가 환경기술 관리체계를 수립한 바 있으며 현재 제 11차 국민경제, 사회발전 5개년 계획, 즉 ‘11.5’(2006~2010) 기간의 관리체계에서 물자원 부족에 대한 주요방안은 크게 절수 대책과 수자원의 재이용 강화로 요약되는데, 이 가운데 중국 정부의 수자원 재이용 방안의 핵심은 도시하수 및 오수를 재이용하는, 즉 도시의 중수재이용과 관련된 사업으로 보인다. 특히 ‘11.5’기간에서 두드러지게 나타나는 재이용수 보급률 증가의 방향은 하수 및 오수처리장과 재이용수 시스템 설비를 동시에 추진하는 것으로 대표적인 사례로는 2006년 7월 준공된 북경시 밀운현 재이용처리장을 들 수 있겠다. 재생수 공장은 오수처리장의 2차 침전지에서 취수하며 그릴-폭기조-막조(膜池)-자외선소독-최종 배출의 과정을 거친다. 이 사업은 현재 세계적으로 가장 선진화된 막-생물반응기(MBR)을 채용한 것으로 알려지고 있다. 이외에도 현재 추진되고 있거나 가동중인 중국 내 오수 및 하수의 재이용시스템의 다수는 생물학적 고도처리 공법과 분리막이 결합된 MBR 공법이며, 부가적으로 재이용 용도에 따라 적합한 후처리 단계로 구성되어 있다. 뿐만 아니라 중국에 도입된 20여개소의 MBR 공정 가운데 50%를 상회하는 11개소 정도가 중수 및 재활용을 목적으로 건설된 것으로 하수 및 오수의 재활용을 위한 중국 정부의 의지가 충분히 반영되었다고 할 수 있다.⁸⁾

4.2.2. 국내

국내의 경우 마을하수처리시설, 소규모 오수처리시설 등과 같이 소규모 플랜트 적용 개소수는 매우 많다. 이러한 MBR 시장은 2003년 이전까지 외국 제품이 주도하였으나

이후 케이엠에스를 중심으로 한 국산막 제조 회사들이 점차 증가함으로 현재 MBR 시장내에서 국산막과 외산막이 거의 대등한 시장 점유율을 보이고 있다. 현재 국내의 경우 수만톤 규모의 MBR 플랜트 가동 사례는 없으나 20,000 m³/일 이상의 도시하수 및 폐수처리 플랜트가 현재 시공중에 있으므로 국내에서도 중, 대규모 MBR 플랜트의 가동이 얼마 남지 않은 것으로 보인다.

Table 5는 환경신기술 검증을 획득한 국내 주요 상용화 MBR 고도처리 공정의 현황으로 현재까지 적용실적 면에서 케이엠에스-쌍용건설-한국수자원공사의 KSMBR 공정과 현대건설의 HANT 공정이 설치 개소수 뿐만 아니라 대용량 플랜트 건설분야 등 모든 부분에 시장을 주도하고 있다. 한편 코오롱건설은 자사의 분리막을 적용하여 KIMAS II 공법을, 한화건설은 퓨어엔비텍의 평막을 적용하여 DF-MBR 공법에 대한 환경신기술 검증을 2007년도에 획득하여 사업화를 준비 중에 있는 것으로 알려지고 있다.

위에 제시한 업체들 중 케이엠에스는 2007년 현재까지 국내, 외 약 500여개소의 MBR 플랜트를 설치, 보급하여 국내 업체로는 가장 많은 설치 개소수를 보유하고, 최근에는 각각 18,000 m³/일, 25,000 m³/일 규모의 도시하수 및 폐수처리 플랜트 건설 사업을 체결하여 현재 시공중에 있다. 케이엠에스-한국수자원공사-쌍용건설이 공동 개발한 KSMBR 고도하수처리 공법을 그림 3에 나타내었다. 혐기조, 원수 유입시 비포기, 비유입시 비포기-포기-비포기로 운영되는 병렬형 교대반응조, 분리막이 침지된 막분리 호기조, 그리고 반송슬러지의 DO 저감 용도의 용존산소저감조로 구성된다. 공정의 기술적 특징은 국내 하수의 낮은 C/N비에서도 효율적으로 질소, 인을 제거하기 위해 교대 유입식 병렬형 간헐폭기 기술을 도입하여 슬러지 반송을 1Q 이하로 유지하면서도 효율적으로 질산화-탈질을 가능하게 한 것이 공법의 핵심이다.¹⁵⁾

Table 5. 국내 상용화 MBR 고도처리 공정 현황^{9~14)}

기술보유회사	공정명	분리막 제조업체	분리막 종류(재질)	환경신기술	적용실적
케이엠에스 쌍용건설 한국수자원공사	KSMBR	케이엠에스 (한국)	중공사막(PE)	환경신기술 검증 제84호(2005)	달성폐수처리장 25,000 m ³ /일(시공중) 옥천하수처리장 18,000 m ³ /일(시공중) 외
현대건설	HANT	Mitsubishi- Rayon (일본)	중공사막(PVDF)	환경신기술 검증 제33호(2001)	천안하수처리장 70,000 m ³ /일(시공중) 진영하수처리장 14,000 m ³ /일(시공중) 외
대우건설	DMBR	Sumitomo (일본)	중공사막(PTFE)	환경신기술 검증 제76호(2005)	산동하수처리장 8,000 m ³ /일 신평하수처리장 2,000 m ³ /일 외
진우환경기술연구소 한국과학기술연구원	SAM	진우환경기술 연구소(한국)	평막	환경신기술 검증 제80호(2004)	상용화 예정중
코오롱건설	KIMAS II	코오롱 (한국)	중공사막(PVDF)	환경신기술 검증 제105호(2007)	상용화 예정중
한화건설	DF-MBR	퓨어엔비텍 (한국)	평막(CPVC)	환경신기술 검증 제104호(2007)	상용화 예정중

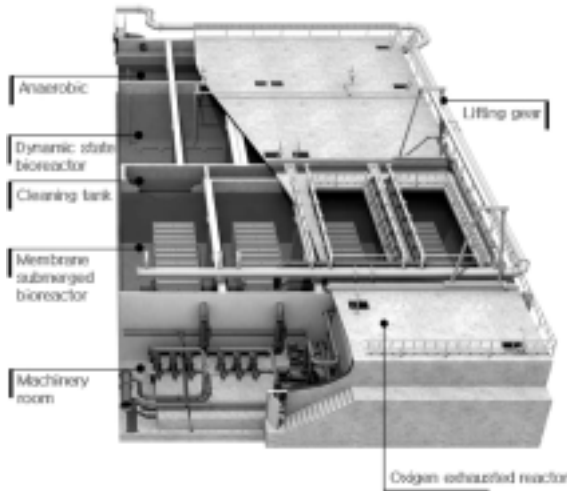


Fig. 2. 실규모 KSMBR 공법의 3D 처리계통도.

5. 결론 및 제언

세계적으로 물부족과 수질악화 문제가 심화되고 지구온난화와 급격한 인구증가로 물부족 문제가 가속화되고 있다. UN은 세계 물부족 인구가 현재 10억명에서 2025년에는 30억명, 2050년에는 50억명에 이를 것이라고 전망하는데 향후 수처리 공정은 단지 환경규제 기준을 만족시켜 단순 방류하는 것이 아니라 물을 재이용하는 방향으로 발전될 것임이 분명하고 현재 이러한 움직임이 진행되고 있다. 실례로 2000년 이후 대형 M&A를 통해 수처리 설비와 기기 시장에 신규 진입한 GE, Siemens가 특별히 분리막 분야에 집중하기 위해 각각 Zenon과 Ionics, USFilter를 인수하면서 물산업 분야의 주도기업으로 성장하고 있다. 국내에서도 한미자유무역협정에 이어 유럽연합과의 FTA 협상이 진행되고 있어 국내 물산업 시장의 개방이 가속화될 것임이 분명하며, 국내 물산업이 최소한의 국제 경쟁력을 갖출 수 있도록 많은 R&D 활동으로 확보된 저비용 및 집적화 기술을 활용해 현재의 하, 폐수처리 시설을 고도화해야 한다. MBR 공정은 국내 뿐 아니라 전세계적으로 하수 및 오수의 재이용 측면에서 적합한 프로세스로 평가받고 있어 최근 국내에서는 기초연구를 포함, MBR 공정의 적용성 연구 및 상용화가 대학교와 MBR 공급자간의 연계로 매우 활발하게 진행 중이다. 최근 몇몇 대기업은 관련 업체의 인수·합병을 적극적으로 보이는 등 활발한 움직임을 보이고 있는데, 국제 경쟁력 향상을 위해서는 자금과 기술력에서 우위에 있는 대기업의 참여가 필요하다. 최근 환경부 댐상류 하수도처리시설 확충사업의 수주 결과 전체 사업용량 및 개소수에서 MBR 공정이 차지한 비율이 각각 28.2%와 20.3%임을 감안해 보면 국내에서 통합적 물관리시스템에 MBR 공정의 비중이 상당함

을 짐작할 수 있다. 또한 자연생태계가 보전된 친환경적 물순환 체계구축이 도시계획의 화두가 되고 있는 가운데 소요부지 면적이 작고 가장 탁월한 처리 능력을 지닌 MBR 공정의 보급이 더욱 요망된다고 할 수 있다.

그러나 MBR 공정의 보급과 잠재적인 수자원으로서 처리수 재이용 기술을 정립하기 위해서는 막오염의 제어기술, 전처리기술, 유지관리 및 운영자의 교육, 대용량 적용에 따른 설계기술, 그리고 MBR 처리수의 재이용시 문제점, 공급 및 보관 등 다각적인 기술력 확보가 요구된다. 또한 이 기술의 도입에 따른 청사진만이 아닌 많은 실제적 결점들을 개선해야 할 것이다. 이제 충분히 검증된 우수한 성능의 국산 분리막과 엔지니어링 기술이 확보된다면 상, 하수 고도처리 및 재이용수 생산 분야의 통합 솔루션에 MBR 공정이 중심에 있을 것이며 환경산업의 수출고도화에 기여할 것으로 기대해본다.

참고문헌

1. Wenbo Yang, et. al., "State-of-the-art of membrane bioreactors: Worldwide research and commercial applications in north america," *J. Membrane Sci.*, **270**, pp. 201 ~ 211(2006).
2. <http://www.mbr-network.eu/mbr-projects/index.php>.
3. Kennedy, S., Churchouse. S. J., Progress in membrane bioreactors: new advances, Proceedings of water and wastewater Europe Conference, Milan, June(2005).
4. T. Melin, et. al., "Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse," *Desalination*, **187**, pp 271 ~ 282(2006).
5. http://www.mindbranch.com/catalog/print_product_page.jsp?code=R263-2142.
6. http://www.zenon.com/newsroom/articles/2006/04/mbr_for_water_reuse.shtml.
7. Xia Huang, 중국 청화대학교 자체보고서(2007).
8. <http://www.konetic.or.kr/chinanews/article.asp?ld=3&sd=1&ho=206&n=10713>.
9. 케이엠에스, 환경신기술 검증보고서(2005).
10. 현대건설, 환경신기술 검증보고서(2001).
11. 대우건설, 환경신기술 검증보고서(2005).
12. 진우환경기술연구소, 환경신기술 검증보고서(2004).
13. 코오롱건설, 환경신기술 검증보고서(2007).
14. 한국막학회, 한국상하수도협회, 하계워크샵 발표자료(2007).
15. 케이엠에스, 기술자료(2007).
12. 코오롱건설, 환경신기술 검증보고서(2006).
13. 한국막학회, 한국상하수도협회, 하계워크샵 발표자료(2007).
14. 케이엠에스, 기술자료(2007).