

# 고효율 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 적합기술(2)

글 | 이동일 | 환경사업부 대리 | 전화 : 02-3433-7854 E-mail : dilee@ssyenc.com

최근 법적 방류수 수질기준 강화, 수질오염총량관리제 확대 적용, 물 순환이용 촉진에 관한 법률 제정, 사전환경성검토 및 환경영향평가 대응 등으로 하폐수 처리수질의 목표수준이 계속 강화되고 있는 가운데, 경제성을 겸비한 차세대 수처리 기술로서 부각되고 있는 MBR(Membrane Bio-Reactor)기술 중, 당사가 보유하고 있는 KSMBR 기술에 대해 소개하고자 한다.

- ① 하수처리수 재이용을 위한 MBR 기술의 적용성 검토
- ② KSMBR 기술 소개
- ③ 소단위 지역화 하수처리시스템 및 클러스터형 통합환경시설 정책 제안

## 2. KSMBR 기술 소개

### 2-1. 기술의 개요

#### 1) 기술개발 배경

수질환경의 보전을 위하여 영양염류 규제가 적용된 이래, 기존 하·폐수처리장들은 시설 개보수 및 증설을 통하여 질소, 인을 처리할 수 있는 고도처리 공정으로 바뀌고 있으며, 신설 하·폐수처리장 또한 수많은 종류의 고도처리 공정들이 적용되고 있다.

우리나라의 방류수 수질기준은 올해부터 전 지역이 특정지역 기준으로 대폭 강화되고, 오염총량관리제가 확대 적용됨에 따라, 개별 처리장들의 대책이 시급한 상황에서, 신규 적용되고 있는 대부분의 고도처리 공정들도 순수한 생물학적 처리만으로는 안정적인 질소, 인 및 대장균의 처리에 부담을 가지고 있다.

또한 운전의 어려움으로 인해 시설 고도처리화 후에도 운전자의 역량에 따라 안정적인 방류수질 확보에 곤란을 겪고 있어, 이를 해결하기 위해 통상적으로 여과, 소독설비 등의 후처리 추가시설이 결합되고 있는 바, 이는 건설 및 유지관리 등의 경제적 부담으로 작용하고 있다.

하·폐수처리에 있어서 차세대 핵심기술인 분리막의 도입은 수처리 효율 증대와 안정성의 확보 측면에서 진일보한 방법으로서 시

설 및 운전의 경제성 확보를 통한 그 필요성이 대두되고 있다.

#### 2) 기술개발의 목적

방류수 수질기준의 강화에 따른 질소 및 인 제거를 위해서는 고도처리가 가능한 BNR(Biological Nutrient Removal) 공정으로 설계하여 적용하여야 하며, 차세대 핵심기술인 분리막을 결합한 하수고도처리 공정은 시설의 콤팩트화 및 자동 무인운전이 가능하다는 큰 장점을 지니고 있어, 고도처리 공정에 분리막을 결합한 MBR(Membrane Bio-Reactor) 공정이 개발되어 적용되고 있다.

MBR공정은 일반 활성슬러지 공정에 비해 고형물의 완벽한 제거가 가능하고, 반응조의 미생물 농도를 고농도로 유지하여 반응조의 용량감소를 가져오며, 슬러지 발생량을 줄일 수 있는 장점이 있다. 침전조가 필요치 않고, 농축조의 부피 또한 감소시킬 수 있으며, 대장균을 효과적으로 처리하여 후속되는 여과공정 및 소독공정이 필요치 않다.

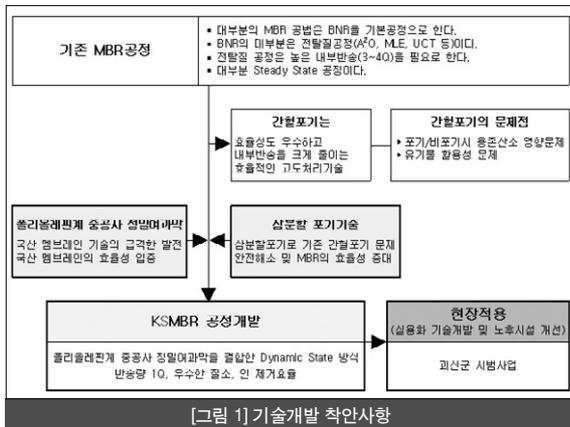
그러나 대부분 MBR공정은 전탈질 공정의 하수 고도처리공정과 결합되고 있어, 높은 내부 반응율(3~4Q)로 인하여 운영비가 증가하고, 과도한 용적부하로 인해 처리효율이 저하될 수 있는 문제점을 지니고 있다.

당 기술에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 병렬형 반응조

구성과 비포기-포기-비포기 기술 및 중공사 정밀여과막 기술을 결합하여 공정을 구성하고, 별도의 내부 반송 없이 슬러지반송을 1Q 이하에서 운영될 수 있게 함으로써, 처리효율과 경제성을 동시에 고려한 기술의 개발을 목적으로 하였다.

**3) 기술개발의 착안사항**

- ① 처리효율, 안정성 및 경제성 확보
- ② 차세대 핵심기술인 분리막 적용
- ③ 기존 간헐포기 공정의 문제점 개선
- ④ 무인 자동운전에 적합한 공정 개발
- ⑤ 시설 및 운전의 콤팩트화 지향

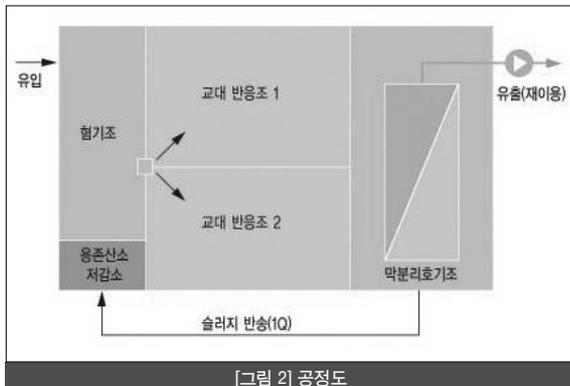


[그림 1] 기술개발 착안사항

**2-2. 공정소개**

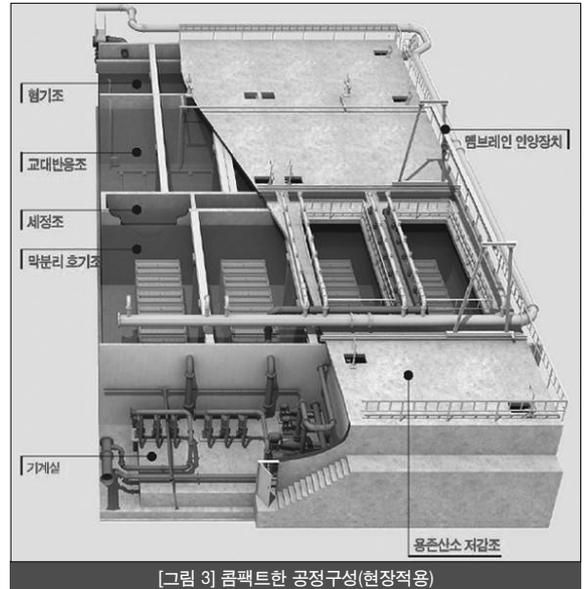
**1) 콤팩트한 공정구성**

신기술의 범위는 혐기조, 병렬로 배열되어 비포기-포기-비포기 및 비포기로 운전되는 교대반응조, 폴리올레핀계 중공사 정밀여과막



[그림 2] 공정도

을 침지시킨 호기조와 용존산소저감조로 구성되어 유기물 및 질소·인을 처리하고 여과막에 의하여 고액분리되는 하수 고도처리 기술이다.



[그림 3] 콤팩트한 공정구성(현장 적용)

각 공정의 기능 및 운전조건은 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

<표 1> 공정의 기능 및 역할

공정	기능 및 역할
혐기조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 하수 및 용존산소가 고갈된 반송슬러지의 일정비율 유입</li> <li>• 반송슬러지 내 질산성 질소 탈질 및 인 방출</li> </ul>
병렬형 교대반응조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60분 간격으로 유입방향 변경</li> <li>• 비포기(유입)비포기-포기-비포기(비유입) 방식으로 운영</li> <li>• 포기시에는 질산화, 비포기시에는 탈질, 인 방출 유도</li> <li>• 간헐포기하로 슬러지 자체 반송효과가 있어 유지비 절감</li> </ul>
막분리호기조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미처리 유기물 제거, 완벽한 질산화 및 인 섭취</li> <li>• 멤브레인 처리수 배출은 7분 운전/3분 정지로 운영</li> <li>• 물, 공기, 약품 역세정 없이 포기공기만을 이용한 멤브레인 세정으로 6개월 이상 운영</li> </ul>
용존산소저감조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 슬러지 내 용존산소 고갈 후 혐기조로 이송</li> <li>• 슬러지 내 용존산소 0.2mg/L이하</li> </ul>

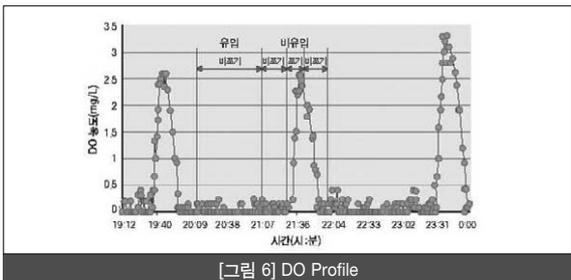
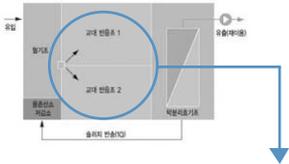
<표 2> 운전조건

구분	운전조건
Total HRT (hrs)	6
SRT (days)	20~30
MLSS (mg/L)	6,000~8,000
Membrane (min, On/Off)	7/3
Flux (LMH)	20
세정주기	년 2회 계외세정(계내 역세정 없음)



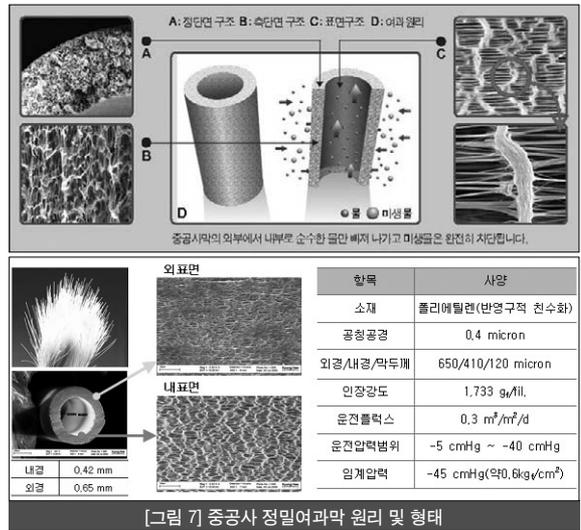
## 2) Dynamic State BNR

- ① 생물학적 고도처리공정의 최적화
- ② 기존 간헐포기의 잔류 DO에 의한 탈질 및 인 방출 저해요소 개선
- ③ 병렬형 반응조 교대유입과 비포기-포기-비포기 방식으로 유기원 손실 방지
- ④ 유기원 최대 활용으로 낮은 C/N비에서도 안정적 처리효율
- ⑤ 별도 내부 반응 없이 슬러지반송(1Q)만으로 안정적 질소, 인 제거



## 3) 분리막

- ① 순수 국내기술로 개발된 폴리올레핀계 중공사 정밀여과막
- ② 최첨단 연신기법에 의한 슬릿모양 기공으로 스크린능력 향상, 기공 막힘현상 감소
- ③ 표면기공도(내부)외부 특성으로 기공의 막힘현상 감소 및 수투과성 향상
- ④ 표면친수화(반영구적 코팅)로 유기물 흡착에 의한 막오염 최소화, 내염소성 증대
- ⑤ 0.4 μm 기공크기로 부유물질, 대장균 완벽제거



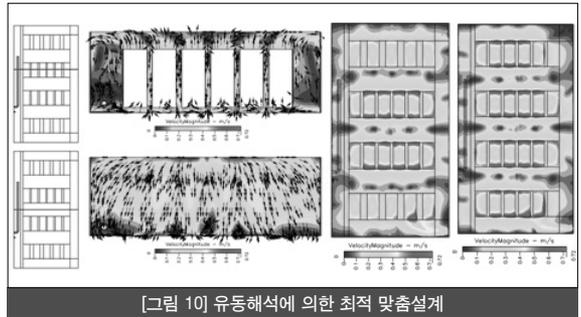
## 4) 카트리지형 분리막 모듈

: 성능향상, 최적화, 표준화 구현

- ① 기능적인 파울링 방지, 흡입압력 균등분배로 성능향상, 안정성 증대
- ② 산기관 형태 개선 및 집적도 증대로 소요동력 절감
- ③ 집적도 증대로 설치면적 축소, 프레임무게 감소, 확장성 용이
- ④ 단위 카트리지가 탈부착이 쉬워 세정, 유지관리 용이
- ⑤ 단위 카트리지의 상하 뒤집기가 가능하여 세정주기 증대 가능
- ⑥ 카트리지 모듈의 내열성, 내화학성, 내충격성 우수
- ⑦ 카트리지 단위로 LOT관리, 외관이 깨끗하고 세련됨



[그림 8] 카트리지형 분리막 모듈



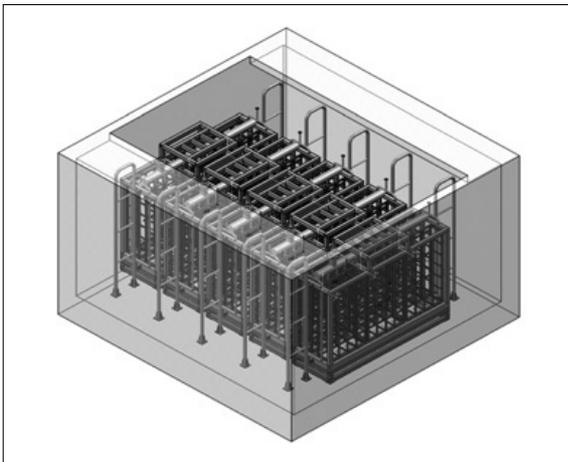
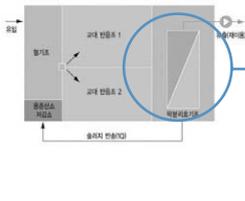
[그림 10] 유동해석에 의한 최적 맞춤설계



[그림 9] 분리막 생산공장(KMS, 경기도 용인시)

5) 침지형 막분리 호기조

: 유동해석에 의한 최적의 맞춤설계



2-3. 처리수질

KSMBR을 적용하여 시설 개조한 충북 괴산군의 사리마을하수처리시설의 운전결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 실증시설 운전결과

항 목	유입수(mg/L, 개/L)		처리수(mg/L, 개/L)			방류수 수질기준 (2008.1~)
	평균	범 위	평균	범 위	처리효율	
BOD <sub>5</sub>	90.6	31.6~331.0	1.3	0.4~2.3	98.3	10
COD <sub>Cr</sub>	42.3	17.2~154.0	5.4	3.1~8.5	85.8	40
SS	97.0	7.0~1244.0	0.7	0.0~2.0	97.9	10
T-N	25.2	17.4~62.9	8.3	2.6~14.1	66.1	20
T-P	3.1	1.4~10.6	0.6	0.1~1.2	79.8	2
대장균군수	22,000	1,200~59,000	0	0~0	100.0	1,000

※ 산기율 평균기간(6개월, 동월기 포함) 자료임

1) 유기물 제거

유입수의 평균 BOD농도는 90.6mg/L, 처리수의 평균 BOD농도는 1.3mg/L로 처리효율은 98.3%를 나타내었다.

유기물은 탈질 및 인 방출에 대부분 이용되었으며, 전단에서 산화하지 못한 유기물은 후단의 막분리호기조에서 산화되어 제거되었다.

2) 고형물 제거

유입수의 평균 SS농도는 97.0mg/L, 처리수의 평균 SS농도는 0.7mg/L로 처리효율은 97.9%를 나타내었다.

처리수의 고형물은 멤브레인을 통해 완벽하게 분리되므로, 추가적인 여과 등의 후속공정은 불필요하다.

3) 질소 제거

유입수의 평균 T-N농도는 25.2mg/L, 처리수의 평균 T-N농도는 8.3mg/L로 처리효율은 66.1%를 나타내었다.

동절기에 유입수의 최저 수온이 5.4℃까지 떨어졌으나, 반응조 내의 높은 미생물 농도로 인해 저온에서도 완벽한 질산화가 일어남

을 확인하였으며, 별도의 내부반송 없이 슬러지반송(1Q)만으로도 동절기 64.8%, 춘하절기 75.9%의 처리효율을 나타내었다. 이는 교대유입의 유입시점 제어와 비포기-포기-비포기 포기방식에 의해 유기물 손실을 최소화하였기 때문이다.

#### 4) 인 제거

유입수의 평균 T-P농도는 3.1mg/L, 처리수의 평균 T-P농도는 0.6mg/L로 처리효율은 79.8%를 나타내었으며, 동절기와 춘하절기 제거효율은 각각 80.8%와 79.3%를 나타내었다.

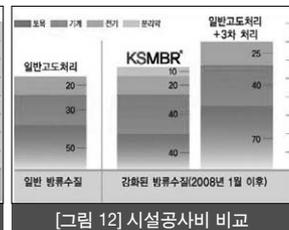
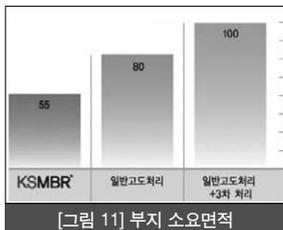
#### 5) 대장균 제거

유입수의 평균 대장균군수는 22,000개/mL, 처리수의 평균 대장균군수는 0개/mL로 평균 처리효율이 100%를 나타내어 멤브레인을 통해 병원균이 완벽히 제거되는 것으로 나타났다.

### 2-4. 경제성

#### 1) 경제적 장점

- ① 소요부지가 기존 고도처리공법의 50~70% 수준(사업예산 절감 효과)
- ② 침전, 여과 및 소독공정의 불필요로 인한 전기료 절약 (에너지 절감효과)
- ③ 잉여슬러지 발생량 저감으로 인한 폐기물 처리비용 절감효과
- ④ 국내생산 분리막 사용으로 구매비용 절감하고, 완벽한 사후관리 유지
- ⑤ 분리막에 부유물질 부착이 적고, 6개월 간격으로 세정
- ⑥ 높은 부유물질 제거효율과 대장균 완벽제거로 하수처리수 재이용에 적합



### 2) MBR공정 비교

환경신기술을 인증 받은 국내의 MBR공정에 대한 유지관리비 비교인자는 <표 4>와 같다.

<표 4> MBR공정 비교

구분	KSMBR	A	B	C	D
검출규격(톤/일)	200	60	180	35	105
검정시설	사리마을	구리하수	수원하수	연양하수	성남하수
막제조(국가)	KMB (한국)	미쯔비시 (일본)	제노 (캐나다)	스미토모 (일본)	Kolon (한국)
전력사용량(kwh/톤)	1.33	2.38	1.98	3.03	2.12
슬러지발생량(DS/제거 BOD)	0.63	0.83	0.73	0.95	0.64

\* 환경신기술 인증보고서 자료 근거

### 2-5. 기대효과

#### 1) 환경보전 기대효과

기존의 수처리 기술들이 법적 방류수질 또는 영향평가기준 등 법적 수질기준을 만족하기 위한 공정구성 및 운전이 목표였다면, 당 기술(KSMBR)은 환경오염 부하의 수계 최소 배출이라는 미래지향적 관점의 기술이라 할 수 있으며, 오염총량관리에도 적극적으로 대처할 수 있다. 이는 유입수의 부하변동 및 물리적 환경변화 등에 상관없이 안정적인 양질의 처리수질 확보가 가능하고, 분리막에 의해 고형물 및 대장균까지 완벽하게 제거하여, 침전조 및 별도의 소독공정이 불필요한 공정구성상의 경제적 장점뿐만 아니라, 처리수의 특별한 재처리 없이 재이용이 가능할 정도의 완벽한 처리로 상수원 보호에 기여하고, 수계의 오염을 방지하며, 물자원 순환 개념에 이바지할 수 있는 환경보전형 기술임에 있다. 또한 하천수의 근간이 되고 상대적으로 자연정화능력이 떨어지는 실개천을 살릴 수 있는 친환경적 기술로서, 하천수의 근간이 되는 지류의 수질을 회복함으로써, 당면적으로 필요한 양질의 수자원 확보뿐만 아니라, 자연환경과 조화된 인간의 삶의 질 향상과도 밀접하게 연관된 기술임을 의미하며, 도심에 적용할 경우 깨끗한 물을 펌핑하여 기계적으로 순환시키는 인위적 도심 하천이 아닌, 인간의 생활과 자연이 조화된 그대로의 자연형 하천 및 자연생태 보전을 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 2) 환경산업발전 기대효과

하폐수처리에 있어서 차세대 핵심기술인 분리막의 도입은 수처리 효율 증대와 안정성의 확보 측면에서 진일보한 방법으로서, KSMBR공법의 경우, 전량 수입에 의존하던 침지형 분리막을 오히려 더 나은 성능의 순수 국산화를 달성하고, 이를 생물학적 고도처리공정과 접목시킴으로써, 효율성과 안정성, 경제성을 모두 겸비

하고, MBR공법 중 국내 최대 적용실적을 보유함에 따라, 기술의 우수성을 입증 받고 있다. 수처리에 있어서 차세대 분야인 분리막 공정의 시대를 개척함과 동시에 국내 생산 분리막의 사용 확대에 기여하고, 개발공정의 적용을 통한 수처리 기술의 수준 향상 및 그 필요성이 지속적으로 증대됨에 따라, 국내 환경기술의 발전에 큰 기여를 하였으며, 향후 국내 실적확보 후 해외시장을 개척하여 국산 자재 및 고급 환경기술의 역수출 및 해외공사 수주를 통한 국익에 기여할 것으로 기대된다.

### 2-6. 적용실적

2005년 10월 환경신기술을 인증 받은 이후, 약 2년 반의 짧은 기간 동안 총 110개소, 60,000톤/일 이상이 적용되어 운전, 시공, 설계 중에 있다. S

〈표 5〉 KSMBR 적용실적

구 분	시설구분	처리용량	개소수	적용용량	비고	
총국 과산고 외	미륵하수처리	400 톤/일 외	8	903 톤/일	운전중	
대산유하수도시설확충사업	대정댐 1구역	하수출발처리	18,000 톤/일 외	1	18,000 톤/일	시공중
		마을하수처리	400 톤/일 외	30	3,340 톤/일	
	대청댐 2구역	마을하수처리	140 톤/일 외	13	1,120 톤/일	
	남강댐 2구역	미륵하수처리	100 톤/일 외	13	970 톤/일	
대구 달성산업단지	폐수종말처리	25,000 톤/일	1	25,000 톤/일		
경기 기평고 외	미륵하수처리	900 톤/일 외	11	4,310 톤/일		
경남 함양산업단지	폐수종말처리	2,400 톤/일	1	2,400 톤/일		
충북 청원군	하수출발처리	3,000 톤/일	1	3,000 톤/일	설계중	
경기 화성시 외	미륵하수처리	400 톤/일 외	31	2,734 톤/일		
총 계			110	61,777 톤/일		

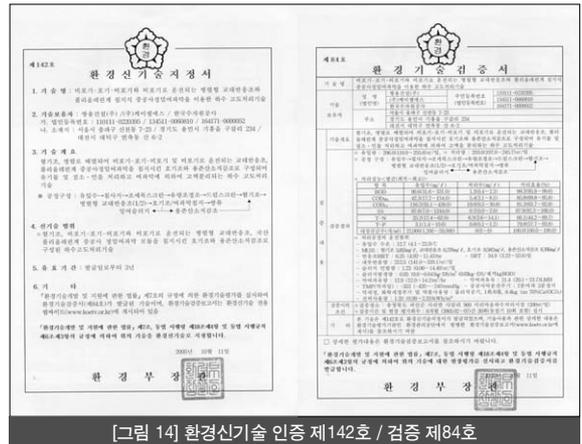
### 2-7. KSMBR 웹페이지

http://www.ksmbr.com

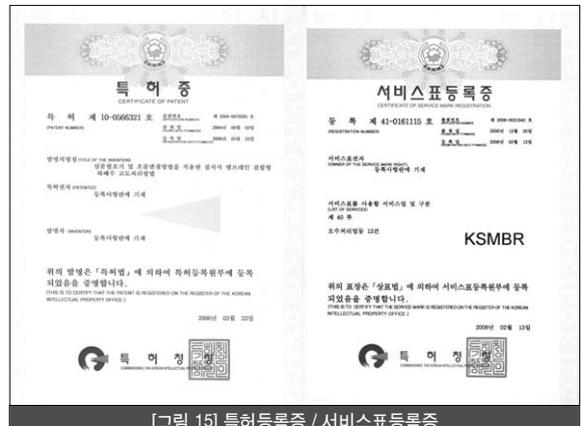


[그림 13] KSMBR 웹페이지

### 2-8. 산업재산권 및 수상실적



[그림 14] 환경신기술 인증 제142호 / 검증 제84호



[그림 15] 특허등록증 / 서비스표등록증



[그림 16] 환경기술상 대통령상 / 환경부장관 표창