

고효율 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 적합기술

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

수질환경의 보전을 위하여 영양염류 규제가 적용된 이래, 우리나라 하수처리시설의 처리수질과 관련된 기준은 수계오염부하 저감, 각종 용수 부족, 물순환 이용, 물산업 개방 등과 같은 내·외부 환경과 연계하여 급격하게 요구수준이 강화되고 있다. 이에 대처하기 위한 관련 기관과 기업체 등의 지속적 연구개발이 진행되고 있으며, 이에 부합하는 차세대 기술로서 MBR(Membrane Bio-Reactor) 및 이를 응용한 공정은 최근 국내에 많이 적용되어 그 입지를 굳혀가고 있는 상황이다.

이에 MBR 기술이 하수처리수의 재이용에 활용될 수 있는 적합성을 검토하고, 당사가 보유하고 있는 MBR기술인 KSMBR과 도심 자연 생태 보전 및 하수처리수의 적극적 재이용을 위해, 당사에서 정책 제안중인 새로운 개념의 하수처리시스템에 대해 소개하고자 한다.

〈연재 순서〉

1. 하수처리수 재이용을 위한 MBR 기술의 적용성 검토
2. KSMBR 기술 소개
3. 소단위 지역화 하수처리시스템 정책 제안

1. 하수처리수 재이용을 위한 MBR 기술의 적용성 검토

1-1. 하수처리수 재이용 정책 방향

1) 배경

① 연간 상수공급량 60억톤/년

연간 하수처리량 64억톤/년

→ 하수처리수 각종 용수 재이용시 물 부족량을 충당할 수 있음
(수요와 공급 충족)

② 오염부하 배출감소에 따른 수질개선

→ 수질오염총량관리제 연계

③ 건전화 도심하천에 유지용수 공급

→ 하천 생태계 회복

④ 수도물 생산비용 680원/톤

하수처리 재이용비용 299원/톤(6개공법 평균)

※ 6개 공법 : 모래여과, MF, MF+RO, 모래여과+생물활성탄,
MBR, MBR+RO

→ 사회, 경제적 비용 절감

2) 하수처리수 재이용 현황 및 목표

① 매년 꾸준히 증가하는 추세이며, 06년에는 연간 64억톤의 하수 처리량 중 4.9억톤 재이용

② 06~08년 기간 중 12개 처리장 대상으로 국고지원사업 추진 : 생활용수1(인천송도), 공업용수1(오산/냉각수), 농업용수1(강진), 하천유지용수9(천안 외)

③ 하수처리수 재이용을 제3의 물시장으로 육성

※ 제1물시장 : 상수, 제2물시장 : 하수, 제3물시장 : 하수 재이용

④ 매년 3,700억원의 재이용시장 형성

〈표 1〉 우리나라 하수처리수 재이용 현황 및 목표

2000년	2003년	2006년	2016년
2.9%	5.4%	7.7% (4.9억톤/년)	19% (12.4억톤/년)

〈표 2〉 해외 재이용 사례

미국 플로리다	미국 캘리포니아	싱가포르	일본	호주
52% ('01)	10% ('02)	6.7% ('03)	1.5% ('96)	7.3%

Note

- 1. 싱가포르는 상수원의 75%를 말레이시아에서 수입함에 따라 국가 생존차원에서 재이용사업 추진(New-Water Project)하여 공업용수, 간접음용수 사용
- 2. 미국 캘리포니아는 지반침하 방지 목적으로 (Water Factory 21 Project) 지하수 충전 용도로 사용

3) 경과

- ① 하수처리수 재이용 촉진 시범사업계획 수립(2005. 3)
- ② 하수처리수 재이용 수질권고기준 설정(2005. 11) : 6개 용도별 권고기준(청소, 조경, 유지, 친수, 농업, 공업용수)
- ③ 하수처리수 재이용사업 국고지원(2006~2007)
- ④ 물순환이용 기본계획 수립(2007. 2)
- ⑤ 물산업육성 5개년 계획(2007. 7) : 환경부 물산업육성과 신설
- ⑥ 하수도법 개정(2007. 9) : 공공하수처리시설 재이용 의무(5%), 요금징수 근거 마련 등
- ⑦ 하수처리수 재이용 가이드북 발간(2007. 12) : 6개 용도별 권고기준 → 9개 용도별로 세분화(청소, 도시조경, 친수, 유지, 관개, 인체비접촉 세척, 습지, 지하수 충전, 공업용수)
- ⑧ 물의 순환이용 촉진에 관한 법률 시행 예정(2009)

4) 하수처리수 재이용사업 추진방식

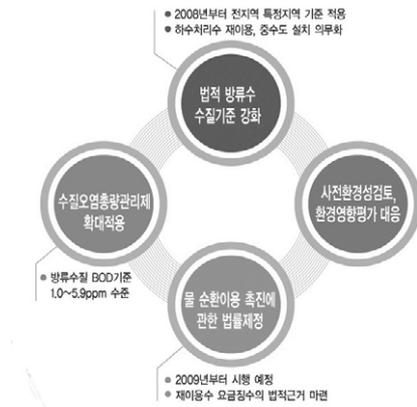
- ① 공공부문
 - 수도사업과 유사하며, 막대한 초기투자비 소요
 - 대규모 택지개발 등 개발사업과 병행 추진
 - 유지용수, 농업용수 등 공공성을 가진 재이용 사업은 공공부문에 서 추진
- ② 민간부문
 - 물산업 개방 대비와 해외진출을 위한 민간 자본과 기술 활용
 - 기존 중수도 외에 하수처리 재이용에 민간의 직간접 참여 유도 (사회기반시설 민간투자 사업대상에 포함)

5) 향후 로드맵

- ① 1단계(2007~2008) : 재이용사업 추진 및 평가, 법제도 정비
- ② 2단계(2009~2010) : 재이용기술 국내 상용화
- ③ 3단계(2011~2012) : 재이용사업 표준화 및 수출산업화
- ④ 장기적으로는 먹는 물 수질을 만족하는 처리수 수질이 목표

1-2. 하수처리 수질의 목표수준 강화 요구

- ① 법적 방류수 수질기준 강화
- ② 수질오염총량관리제 확대적용
- ③ 물 순환이용 촉진에 관한 법률
- ④ 사전환경성검토, 환경영향평가 대응



[그림 1] 하수처리 수질의 목표수준 강화 요구

1-3. 우리나라 수질관련 기준

1) 수계 오염부하 배출관련 기준

- ① 공공하수처리시설 방류수 수질기준 (하수도법 제7조)
- ② 환경영향평가 기준 (법적 방류수 수질기준 보다 강화된 기준 / 사업별 상이)
- ③ 수질오염 총량관리제 목표수질

2) 하수처리수 재이용 관련 기준

- ① 공공하수처리시설 처리수의 재이용(하수도법 제21조) : 재이용 의무규정, 재이용수 요금징수의 법적 근거 마련, 수질관련 기준 미제정
- ② 용도별 하수처리수 재이용 수질권고기준 (하수처리수 재이용 가이드북)
- ③ 개인하수처리 중수도 수질기준(하수도법 제26조)

3) 환경기준(수질등급 기준)

- ① 건강보호기준, 생활환경기준 (환경정책기본법 제10조)

4) 먹는 물의 수질기준

- ① 먹는 물의 수질기준 (먹는물관리법 제5조)

(표 3) 수계 오염부하 배출관련 기준 (mg/L, 개/mL)

구분	공공하수 처리시설 방류수 수질기준 (2008. 1~)	환경영향 평가기준	수질오염 총량관리 목표수질
BOD	10	법적 방류수 수질기준보다 강화된 기준	1.0 ~ 5.9
COD	40		-
SS	10		-
T-N	20		-
T-P	2		항후 포함
대장균군	1,000		-

(표 4) 하수처리수 재이용관련 기준 (mg/L, 개/mL)

구분	하수처리 재이용 수질권고 기준	중수도 수질기준	수질등급 (#등급)	수영용수 수준 수질기준
BOD	3	10	3	3
COD	-	20	-	-
SS	6	-	25	3
T-N	10	-	-	5
T-P	1	-	-	0.5
대장균군	ND	ND	10	ND
PH	5.8~8.5	5.8~8.5	6.5~8.5	
DO	2.0이상	-	5.0이상	
결함잔류 염소	0.20이상	0.20이상	-	
탁도 (NTU)	2	2	-	
색도(도)	5	20	-	
외관	-	미불쾌	-	
냄새	미불쾌	미불쾌	-	
염화물	250	-	-	
Cd	0.01		0.005	
As	0.05		0.05	
CN	ND		ND	
Hg	0.001		ND	
유기인	-		ND	
PCB	ND		ND	
Pb	0.1		0.05	
Cr6+	0.05		0.05	
ABS	0.5		0.5	
Al	5		-	
Co	0.05		-	
Cu	0.2		-	
Li	2.5		-	
Mn	0.2		-	
Ni	0.2		-	
Se	0.02		-	
Zn	2		-	
사염화 탄소	-		0.004	
1,2-디클 로로에탄	-		0.03	
PCE	-		0.04	

디크로로	-		0.02	
메탄	-		0.01	
벤젠	-		0.01	
클로로	-		0.08	
포름	-		0.008	
인티몬	-		0.02	

Note

1. 하수처리 재이용수질권고기준의 중금속/유해화학물질은 농업용수 기준임.
2. '수영용수 수준 수질기준'은 환경부 Eco-STAR Project의 수처리선진화사업 단에서 추진하는 수영용수 수준의 하수 고도처리기술이 목표로 하는 수질기준으로, 재이용 관련 기준 중 가장 낮은 수치임.
3. ND : 불검출

1-4. 국내 MBR 공법의 처리수질 검토

- ① 국내 MBR 5개 공법의 처리수질은 BOD 1.0~1.5 mg/L, COD 5~7mg/L, SS 0.5~1.0mg/L, T-N 6~8mg/L, T-P 0.5~1.0mg/L, 대장균군수 0개/mL 수준

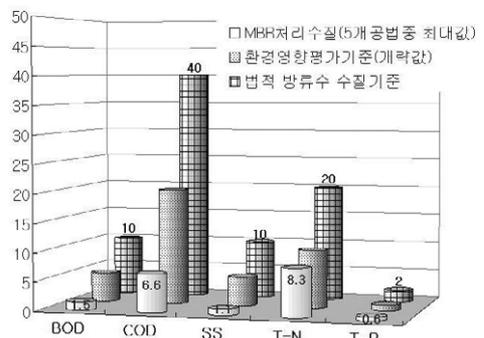
(표 5) MBR 5개공법 처리수질 (mg/L, 개/mL)

구분	S사	H, D사	H사	D사	K사
BOD	1.3	1.1	1.5	1.1	0.7
COD	5.4	6.6	5.8	6.0	6.5
SS	0.7	1.1	0.4	0.4	0.1
T-N	8.3	7.4	5.9	6.3	7.3
T-P	0.6	0.6	0.3	0.5	0.6
대장균군	0	0	<30	<30	0.5

Note

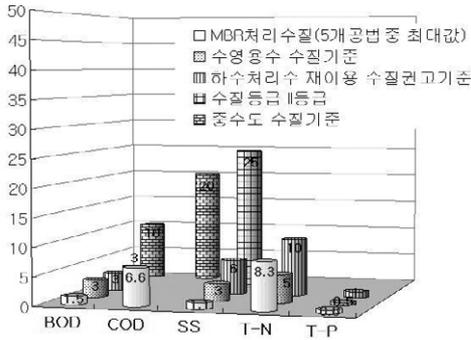
1. 처리수질 평균값 기준
2. 환경신기술 검증보고서 자료근거

② MBR 처리수질 - 수계 오염부하 배출관련 기준 비교



[그림 2] MBR처리수질 검토 1

③ MBR 처리수질 - 하수처리수 재이용관련 기준 비교



[그림 3] MBR처리수질 검토 2

1-5. MBR 공법의 하수처리수 재이용 검토

1) 수계 오염부하 배출관련 기준 만족 및 수질오염총량관리제 대처 가능

2) 재이용 용도별 수질(권고)기준 대부분 만족

3) 특수 목적 재이용을 위해 기준 만족 또는 비상시 대처를 위한 최소 개념 투입 요구 (일부 공정개선 또는 최소한의 후처리시설 도입 가능)

4) 수영용수 수준 목표수질 대비 질소, 인 제거효율 향상 필요

- ① 해외 고도재생처리 사례의 경우 후 탈질 및 화학적 인 제거를 적극 활용하여 처리수의 질소, 인 농도 매우 낮음.
- ② 국내 환경신기술 공법(MBR 포함)의 경우 후 탈질 도입 전무(약품투입에 따른 경제성 측면), 화학적 인 제거 일부 도입
- ③ 목표수질에 따른 비용대비 효율측면 고려하여 BNR공정에서의 질소, 인 제거 극대화 필요

1-6. MBR-RO 재이용수 생산 테스트

1) 하수처리수 재이용 공법 (6개 대표공법)

- ① 모래여과
- ② MF (Membrane Filter)
- ③ MF+RO (Reverse Osmosis)
- ④ 모래여과+생물활성탄
- ⑤ MBR (Membrane Bio-Reactor)
- ⑥ MBR+RO

※ 처리효율 (처리수질 측면) MBR+RO > MBR 가장 우수

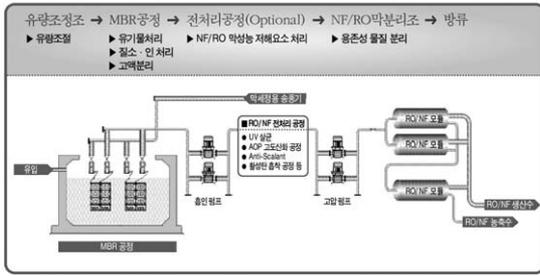
2) MBR + RO 공정도

- ① 유량조정조 : 유량조정
- ② MBR공정 : 유기물처리, 질소·인 처리, 고액분리
- ③ 전처리공정 : 농축수 처리 고려한 공정구성, Biofouling저감, MBR 처리수 재오염 대비
- ④ RO 막분리조 : 용존성 물질 분리
- ⑤ 재이용

<표 6> 해외의 고도재생처리 사례

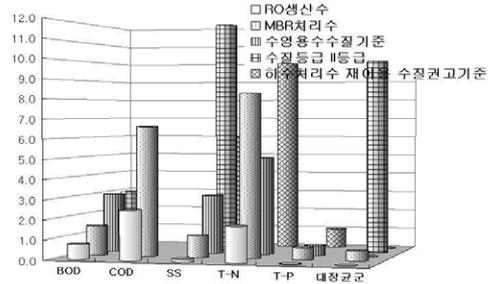
구분	유량 (톤/일)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	주처리공정
Graceville, FL, USA	4,160	<2.5	<0.50	SBR BNR+여과
Maryland, MA, USA	8,330	4.8	0.21	헤파+산화구+Bio P
Fiesta Village, FL, USA	18,930	1.0	0.19	Packed Bed 분리 후 탈질+화학적P제거
City of Dunedin, FL, USA	22,710	2.3	0.31	Packed Bed 분리 후 탈질+화학적P제거
Parkway, MD, USA	29,900	4.1	0.41	BNR+화학적P제거
City of Daytona Beach, FL, USA	37,850	2.8	<0.50	Packed Bed 분리 후 탈질+화학적P제거
River Oaks, FL, USA	37,850	1.4	0.30	질산화+후 탈질+화학적P제거
Eastern Water Reclamation, FL, USA	43,150	3.9	0.39	질산화/탈질+발효+Phostrip+여과+화학적P제거
H.L.Mooney, VA, USA	68,130	<3.0	0.10	AS+분리 후 탈질+화학적P제거
Piscataway, MD, USA	94,620	4.9	0.09	Step Feed BNR+화학적P제거
Himmerjarden Grodning, Sweden	95,000	4.8	0.48	유동상+여과+화학적P제거
Truckee Meadows Reno, NV, USA	151,400	2.0	0.34	M Phostrip+살수여상+여과+후 탈질
평균값	47,850	3.1	0.32	후탈질 활용 : 6개소
				공정자체 고효율화 : 6개소
				화학적 인제거 : 10개소
				화학적 인제거 미사용 : 2개소

출처 : 하수처리수 재이용 가이드북, 환경부 (2007)



[그림 4] MBR+RO 공정도

① 기본항목 비교



[그림 5] MBR, MBR+RO 생산수 수질검토1

3) MBR + RO 공정 생산수 수질

(표 7) MBR+RO 공정 생산수 수질 (mg/L, 개/mL)

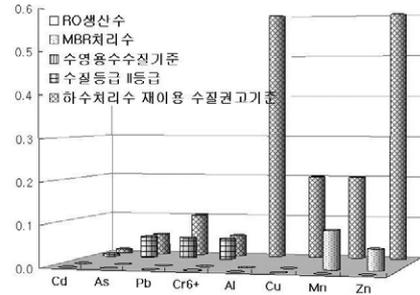
항목	MBR 처리수	RO 생산수	RO 처리효율
BOD	2.0	0.76	62.0%
CODcr	22.0	5.0	77.3%
SS	0.88	0.13	85.2%
T-N	13.1	1.8	86.3%
NH4-N	0.08	0.04	50.0%
NO2-N	0.02	0.01	50.0%
NO3-N	11.15	1.54	86.2%
T-P	2.21	0.03	98.6%
PO4-P	1.81	ND	100.0%
대장균군	ND	ND	-
TOC	0.48	0.16	66.7%
DOC	0.46	0.26	43.5%
Cl-	121.79	3.19	97.4%
알칼리도	77	4	94.8%
Cd	ND	ND	-
As	ND	ND	-
Pb	ND	ND	-
Cr6+	ND	ND	-
Al	ND	ND	-
Cu	ND	ND	-
Mn	0.091	ND	-
Zn	0.05	ND	-
Fe	0.022	0.005	77.3%
Ca	74.59	0.04	99.9%
Mg	5.441	ND	100%

Note

1. RO 회수율 60%

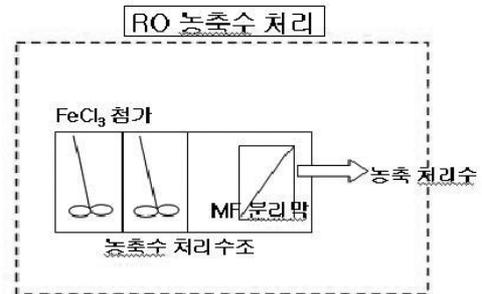
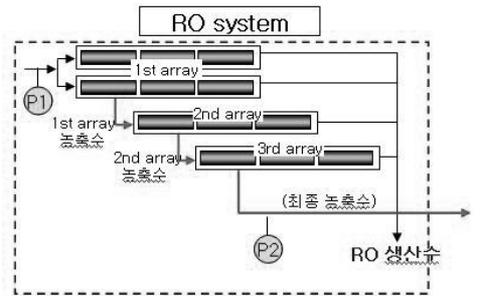
4) 재이용 수질기준 대비 생산수 수질 비교

② 중금속 비교



[그림 6] MBR, MBR+RO 생산수 수질검토2

5) RO 농축수 처리



[그림 7] RO 농축수 처리공정

〈표 8〉 농축수 처리수질 (mg/L, 개/mL)

구분	농축수 처리수 수질
BOD	7.2
CODcr	21.1
SS	1.7
T-N	23.5
T-P	0.8
대장균군	ND

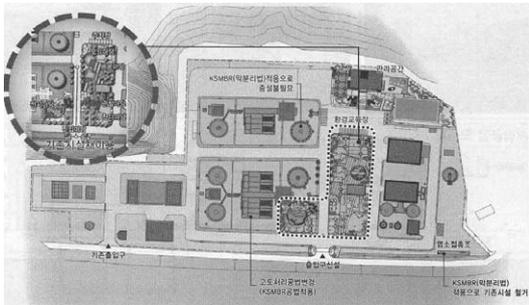
6) MBR + RO 생산수 재이용 검토

- ① MBR 처리수 : 재이용 용도별 수질(권고)기준 대부분 만족
- ② MBR+RO 생산수 : 재이용 용도에 따라 필요시 우수한 수질의 생산수 획득 가능
 - 먹는 물 수질기준 만족
 - RO 농축수 처리에 따른 부담 가중 및 방류수 수질 악화 요인
- ③ 재이용 용도에 따른 경제적 공정 조합 필요
 - MBR : 일반적 재이용수 사용 (청소용수, 조경용수, 유지용수, 농업용수, 공업용수 등)
 - MBR+RO : 고도수질을 요하는 용수

1-7. KSMBR 재이용 적용사례

1) 옥천 하수종말처리장

- ① 충북 옥천군의 하수종말처리장을 고도처리화 하는 개량사업
- ② 이차침전지를 재이용수, 농업용수 공급수조 등 재이용시설로 활용



〔그림 8〕 옥천하수처리장 조감도 및 개량 평면도 (18,000톤/일)

- ③ 고속침전지, 약품주입시설, 급속여과시설이 필요 없어서 이 부지를 생태학습장 등 주민친화시설로 활용

2) 달성산단 폐수종말처리장

- ① 대구 달성산업단지의 폐수종말처리장을 고도처리화 하는 개량사업
- ② 기존시설의 침전지 등이 필요 없어서 처리수 재이용을 위한 저장 공간으로 활용



〔그림 9〕 달성산락 폐수종말처리장 조감도 (25,000톤/일)

3) 처리수질 비교

〈표 9〉 처리수질 비교 (mg/L, 개/mL)

구분	일반적 고도처리		MBR 고도처리	
	A2/O계열 보충수질	A2/O계열 처리수질	MBR 보충수질	KSMBR 처리수질
BOD	5~10	5~10	3~5	1.3
SS	5~10	5~10	3~5	0.7
T-N	10~15	5~15	10~15	8.3
T-P	1~2	0.5~1.5	1~2	0.6
대장균	1,000	100~500	0~200	0

Note

- 1. 상기 보충 및 처리수질은 일반적 경우의 범위 자료이며, 사업별로 상이할 수 있음.
- 2. A2/O계열 보충, 처리수질은 3차 처리(후처리) 및 소독시설 설치 후 결과임.

참고문헌

- 1. 하수재이용기술 국제심포지엄 자료
- 2. 하수처리수 재이용 가이드북, 환경부
- 3. 하수도법, 환경정책기본법, 먹는물관리법
- 4. 물의순환이용촉진에관한법률(안) 입법예고
- 5. 일반 하수의 재이용수 생산을 위한 MBR-RO 시스템 적용에 관한 연구, KMS