
분리막을 이용한 중수시스템

배 성 수 수석연구원
(SK 케미칼)

분리막을 이용한 중수 SYSTEMS

SK 케미칼 맑은물연구소

목차

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. SK 케미칼의 물환경사업소개 | 4. VSA 를 이용한 SYSTEM |
| 2. 한국의 수자원환경 | 5. 결론 |
| 3. 중수도의 개념 및 분류 | |

1. SK 케미칼의 물환경사업소개

SK 케미칼은 1990 년 국내 최초로 한외여과 중공사막(Ultrafiltration Hollow Fiber Membrane, SKYRANE®) 개발 및 상품화에 성공하였으며, 이에 대한 공로를 인정받아 1992 년에 과학기술처, 산업기술진흥회, 매일경제신문이 공동으로 선정, 수상하는 IR52 장영실상의 수상 및 1994 년에는 KT 마크를 획득하였다. 한외여과 중공사막 모듈로 소비자들의 호평과 인정을 받은 데 이어 1995 년에는 새로운 형태의 정밀여과 중공사막(Microfiltration Hollow Fiber Membrane)을 개발하였고, 1998 년에 이르러 기존의 물역세(Water Backwashing) 와 공기세정을 효과적으로 결합한 구조를 갖는 모듈과 이를 이용한 수처리 시스템인 VSA SYSTEM 을 개발하였다. VSA SYSTEM 은 2000 년 주택공사의 아파트중앙정수시스템의 기본 사양으로 선정되었으며 2002 년에는 EM 마크를 획득하였고 현재 아파트중앙정수, Hotel 등의 중수도, 고액분리공정, 공장 및 하수처리장의 물재이용등 50 여개 현장에 적용되어 운전되고 있다. 표 1 은 SK 케미칼의 수처리사업분야를 정리한 것이다.

2. 한국의 수자원

우리나라의 수자원은 표 2 에 나타난 바와 같이 연평균강수량은 1274mm 로서 세계평균에 1.3 배에 이르나 1 인당 연간 강수량으로 환산해 보면 2755 톤으로 세계평균에 12.5%에 불과하다.¹ 반면에 1960 년대 이후 급속하게 진행된 도시화 및 산업화로 인해 맑고 깨끗한 물의 수요는 계속적으로 증가하여 머지않은 장래에 물부족이 예상되고 있다. 구체적으로 정부자료에 의하면 물수요는 2006 년까지 매년 22.6% 증가하는 데 반해 공급은 7.6%에 지나지않아 물부족문제가 심각해질 것으로

¹ 수자원편람 1998, 건설교통부, 한국수자원공사

예상하고 있다.

즉, 2006년에는 약 4.5 억톤이 2011년에는 약 20 억톤의 물이 부족할 것으로 내다 보고 있다.² 그러나 종래와 같이 대규모댐을 건설하여 용수수요 증가를 충족시키기에는 .댐건설지의 고갈과 비용의 증가 및 환경파괴 등의 문제로 어려워졌다. 따라서 정부는 새로운 대안을 찾게 되었는데, 1997년부터 시작된 수자원 장기종합계획을 살펴보면 가장 중요한 변화는 종래의 공급위주의 정책에서 수요관리의 강화를 기본 방침으로 정했다는 점이다.

표 1. SK 케미칼 물환경사업 분야

구분	고객	사업 현황
중수도 (Re-use)	건물 중수도	SK UF system, VSA system
	공장 내 중수도	공장 폐수 처리수 ⇒ C/T Project 추진
	광역 중수도	굴포천 하수 처리장, 울산 회야 하수 처리장 등
고도 처리 (End of pipe)	합병정화조	양평군 시범사업 수행 (42개소)
	침출수	KIMAS system
	축산폐수	-
정수	단체급수	APT 종합정수, 간이 상수도 System
	지역상수도	-
	고품질용수	RO 전처리
기타	식품	주스 청정화 및 간장, 식초 등 정제
	제약	주사제 제조 및 효소 농축/정제
	기타	염료 폐수, 세차장 폐수 등

표 2. 우리나라 및 세계각국의 강수량 비교

구분	한국	일본	중국	미국	세계평균
연평균강수량(mm)	1,274	1,405	578	982	973
1인당강수량(m ³)	2,755	4,227	4,446	34,270	22,096

구체적으로는 중수도를 포함한 물의 재이용을 장려하고, 물을 절약하기 위해 절수기의 설치, 수도요금현실화 노후 관로의 교체를 통해 2006년에는 연간 7.9 억톤/년의

² 수자원장기종합계획, 건설교통부, 1996

물을 절약하는 목표를 세워놓고 있다. 이 양은 전체 수돗물생산량의 13.5%에 해당하는 것으로 예상되는 물부족량 4.5 억톤/년을 충당하고도 남는 양이다.³

3. 중수도 개념 및 분류

중수도는 Water Reclamation and Reusing System 으로 번역되며 정의에 의하면 한번 사용한 물을 어떤 형태로든 한번 혹은 반복적으로 사용하는 물을 말하고 중수도는 중수를 공급하기 위한 설비를 말한다.⁴ 중수는 사용한 물을 특별한 처리없이 그대로 적절한 용도에 다시 사용하는 형태와 일정한 처리과정을 거쳐 사용하는 경우가 있으며 일반적으로는 종래 상수도에 의해 급수되고 있는 많은 용수 중에서 반드시 음용수와 똑같은 정도의 청정을 필요로 하지않고 사람의 신체에 직접 접촉하지 않는 허드렛물, 가령 화장실세정수, 청소용수, 조경용수등에 사용된다. 표 1 에 소개한 바와 같이 당사는 중수도사업을 다음과 같이 건물중수도, 공장중수도, 광역중수도로 구분지었다. 건물중수도는 건물내에서 발생하는 여러가지 잡배수와 오수를 처리하여 화장실세정수, 청소용수 및 냉각용수로 재이용하는 것을 말하며 공장중수도는 각종 공정에서 발생하는 공정폐수를 처리하여 다시 공정에 투입하는 형태와 공장에서 운영되는 폐수처리장의 방류수를 처리하여 공정에 재이용하는 것으로 나누어 볼 수 있다. 광역중수도는 하수재이용으로 중수도와 별도로 구분하기도 하는데 일반적으로 하수처리장의 방류수를 처리하여 아파트화장실 세정수, 공장의 용수 살수 및청소용수, 조경용수등으로 활용하는 것을 이른다. 특히 주거지의 환경, 조경등에 대한 인식이 높아지면서 아파트단지의 인공호수나 하천등에 대한 수요가 증가하고 있다.

4. VSA 및 VSA 를 이용한 중수 SYSTEM

분리막 여과 공정은 반투과성 경계 면을 이용한 여과 및 확산에 의해 물질을 분리하는 것으로, 여과하는 물질의 크기, 막의 형태, 운전방법에 따라 다음의 표 3 과 같이 분류된다. 분리막을 통한 수처리에 있어 가장 중요한 것은 어떻게 효율적으로 오염원(Foulant)을 제어하는가이다. SK 케미칼은 다년간의 연구를 통해 다음과 같이 오염원을 효과적으로 제어할 수 있는 성능을 지닌 VSA SYSTEM 을 개발하였다. VSA SYSTEM 의 foulant 제어 성능은 첫째 중공사막의 기공구조에 기인한다. 즉 중수도에 사용되는 정밀여과막인 SKYRANE-MF 는 중공사의 바깥쪽 표면에는 편평하고 매끄러운 그림 1 의 전자현미경 사진에서 보는 것과 같이 0.1/0.3 마이크론 크기의 미세공이 균일하게 분포되어 있는 다공성의 막이 형성되어 있고 중공사의 안쪽 표면은 중공사막 그림 에서 보는 것과 같이 매우 큰 기공구조를 하고 있다. 이와같은 비대칭기공 구조는 외부압력에 의해 중공사의 바깥표면으로부터 안쪽으로

³ 노재화, 선우중호, 1997, “수자원 종합개발계획의 연혁”

⁴ 수도법 제 3 조 제 11 호, 1991

표 3 분리막의 분류 및 VSA SYSTEM에 적용되는 분리막(■)

Filter의 종류		Pore size (μm)	분리능력	막형태	막소재	비고
역삼투막	R/O Membrane (역삼투막)	0.0001	저분자 이온 (NaCl)	Spiral Wound	CA	UF MWCO 1,3,5萬
	UF Memb. (한외여과막)	0.001~0.01	고분자 콜로이드	중공사	PSF	
	MF Memb. (정밀여과막)	0.1~10	세균 미립자	평막	PE PA	
제반	부직포 Filter	> 1	대형입자	Tubular	PAN PP	MF 0.1 & 0.3μ

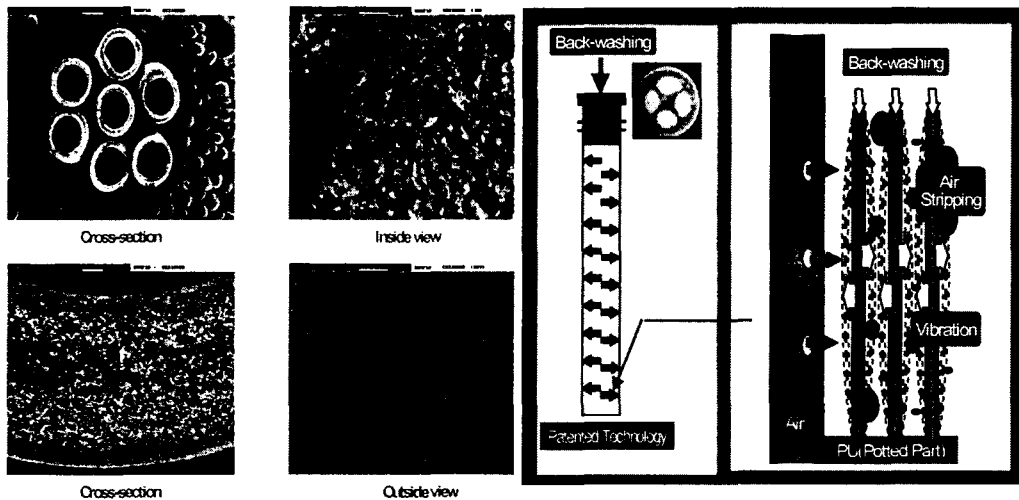


그림 1 VSA SYSTEM에 적용되는 분리막의 전자현미경사진
그림 2 VSA(Vibrating and Stripping by Air)의 원리

여과가 되도록 운전되는 외압식 여과과정에서 축적되는 외표면의 foulant 층을 역세와 같은 세정기작으로 쉽게 제거할 수 있는 잇점이 있다.

두번째로는 중공사막 모듈 하나하나에 기존의 역세와 더불어 공기를 이용한 세정을 수행할 수 있는 구조를 도입한 것이다.(그림 2) VSA는 Vibrating and Stripping by Air의 이니셜을 딴 것으로 특히 일부 외국사 제품과 차별화되는 점은 공기세정의 효과를 극대화 하기위해 외압형 중공사막 모듈의 오염메카니즘을 조사해 본 결과 모듈 상부와 하부에 집중된다는 점을 고려하여 공기의 분사구조를 배열하였다는 점에 있다. 그림 3은 중수도에 사용되는 VSA 모듈 사양과 장치구성도이다.

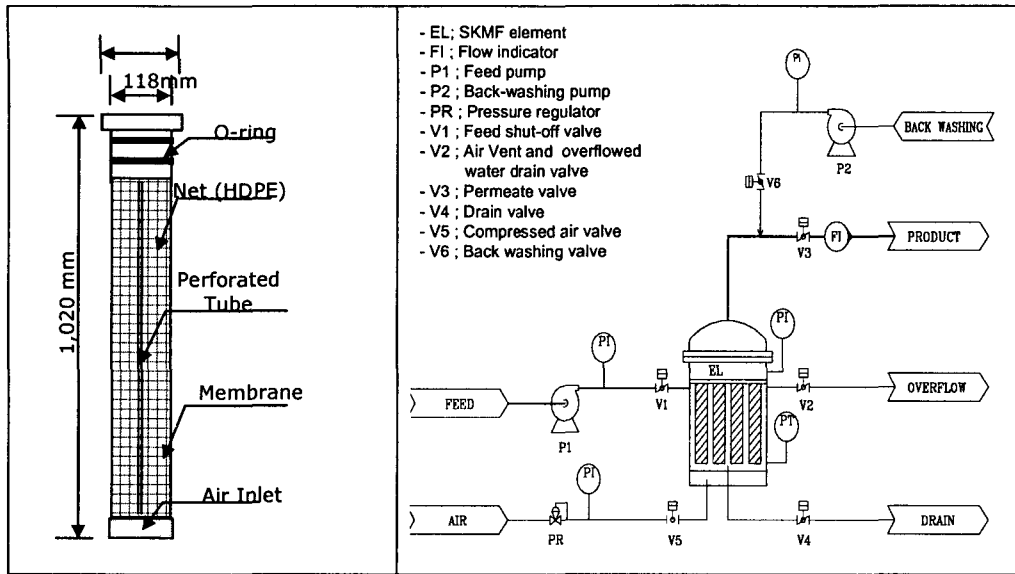


그림 3 VSA 사양과 장치구성도

다음으로 VSA 를 이용한 중수 SYSTEM 의 현장적용사례를 통한 소개를 하고자 한다.

사례 I - 공장중수도

중수도의 목적은 S 사 공장의 폐수처리장의 방류수를 VSA SYSTEM 을 적용하여 냉각탑의 보충수로 재활용하고자 하는데 있었다. 많은 냉각탑 중 농축도가 높지 않아 보충수의 요구수질이 정밀여과막 처리만으로도 충족시킬 수 있다고 판단되는 그림 4 와 같이 STEAM EJECTOR 형의 폴리에스테르 중합반응기와 연결된 냉각탑을 선정하였다.

일 50 톤규모의 Pilot test 를 통해 역세와 VSA 등의 세정조건을 포함한 최적운전조건을 설정하였다. 특히 Pilot test 를 통해 폐수처리장 방류수를 VSA SYSTEM 에 바로 적용하였을 경우 fouling 에 의한 운전압증가 및 여과유량감소가 급격히 진행됨이 발견되어 이를 개선하기 위해 NaOCl 을 최종적으로 역세과정에 투입하는 방법으로 문제를 해결하였다. Pilot test 결과를 종합하여 일 500 톤 규모의 본 설비를 제작 설치 하였고 2003 년 6 월 현재 약 9 개월에 걸쳐 운전을 하고 있다. Pilot test 때와 다른 점은 NaOCl 투입이 Polysulfone 재질인 중공사막의 물성을 손상시킬수 있음을 확인하고 fouling 을 제어하기위해 전처리공정으로 응집/침전을 도입하였다는 것이다. 응집제로는 Polyaluminum chloride 를 사용하였으며 그림은 응집/침전 전처리공정도입의 효과를 나타낸 것이다. 그림 5 에서 나타난 바와같이 응집/침전 전처리공정의 도입에 의해 매우 효과적으로 분리막의 fouling 을 개선시킬 수 있음을 알 수있다.

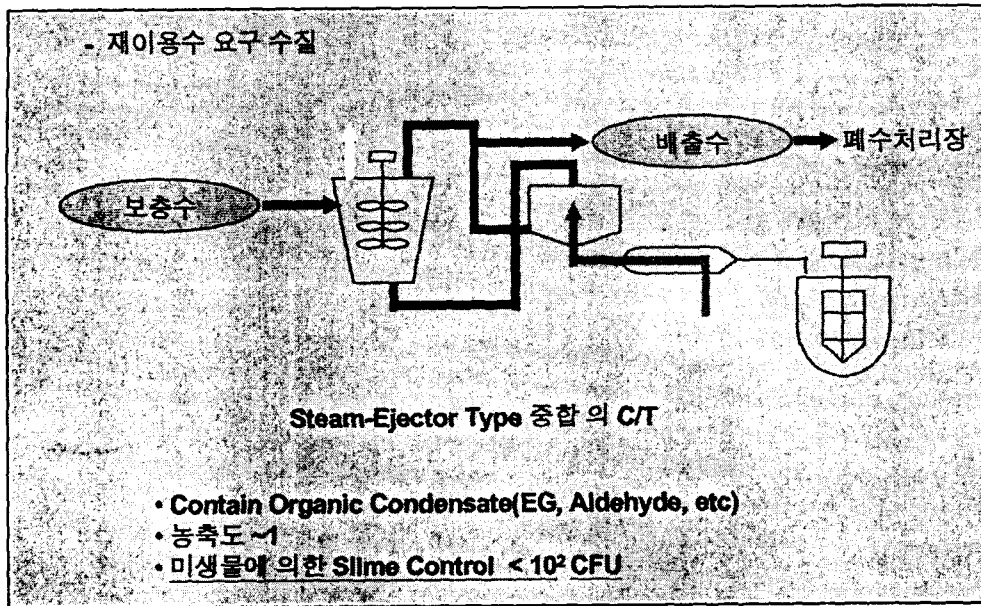


그림 4. STEAM EJECTOR 형 폴리에스테르중합공정 냉각탑과 요구수질

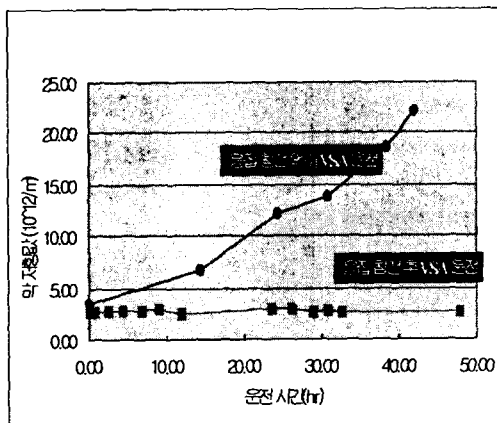


그림 5. 응집/침전 전처리효과

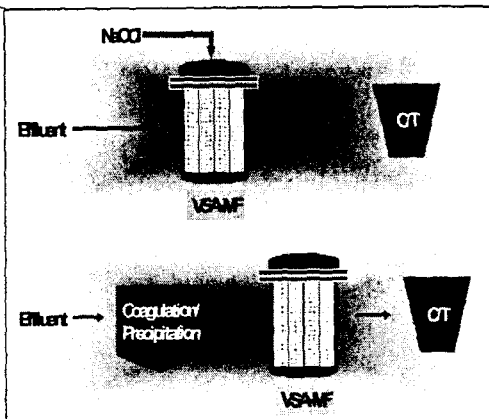


그림 6. Fouling 제어방법(上;NaOCl, 下; 응집/침전)

표 4 는 공장폐수처리장 방류수 및 VSA SYSTEM 을 이용한 중수의 수질을 나타냈다. 이렇게 생산된 중수는 앞서 소개했던 냉각탑의 보급수로 투입되어 2003 년 6 월 현재 약 9 개월간의 관찰을 통해 냉각탑에서의 부식이나 scale 혹은 slime 등의 문제없이 운전되고 있다. VSA SYSTEM 은 이상의 사례에서 살펴본 바와 같이 공장폐수방류수를 이용한 냉각수적용뿐만 아니라 Hotel 을 포함한 각종 건물의 잡배수 혹은 오수처리수를 이용하여 화장실세정수 혹은 청소수로 활용하는 건물중수 및 하

수처리장방류수를 이용한 농업용수생산등의 광역중수등에 매우 활발히 적용되고 있다. 아래의 그림은 건물중수 및 광역중수의 사례를 소개하였다.

표 4 VSA SYSTEM 에 의한 방류수 처리결과

	COD _{Mn} [ppm]	SS [ppm]	pH	Turbidity [FTU]	Bacteria [CFU/ml]
Effluent	10 ~ 40	5 ~ 20	6.0 ~ 7.0	1 ~ 10	~ 10 ⁶
Treated water	5 ~ 20	< 0.3	6.0 ~ 7.0	< 4	N.D.
Removal rate	~ 50 %	~ 98 %	-	~ 60 %	100 %

	건물명		규모 (m ³ /day)
	1	2	
	강원랜드	1,000	
	센츄리 21 C.C.	500	
	인천 롯데 백화점	300	
	부산 현대백화점	200	
	인터컨티넨탈호텔	200	
5	.	.	
6	.	.	
.	.	.	
.	.	.	
.	.	.	

그림 6 VSA SYSTEM 을 적용한 건물중수사례

그림 7 광역중수도사례-J 하수처리장방류수를 이용한 농업용수적용(上;처리수수질, 下; 작물위해성실험결과)

5. 결론

공장중수도, 건물중수도, 광역중수도에 VSA SYSTEM 을 적용할 경우 첫째, 기공크기가 균일하여 완벽한 제탁제균성능을 나타냄으로 매우 우수한 수질의 처리수를 얻을 수 있고,

둘째, 내외표면의 기공구조가 비대칭형을 갖고, 오염메카니즘을 고려한 공기세정구조를 개개의 모듈에 도입함으로써 기존의 역세공정과 결합하여 매우 우수한 세정회복능력갖으며,

셋째, 원수의 성상에 따라 모래여과, 응집/침전, 살균제투입등과 결합하여 안정한 중수의 생산이 가능하며,

넷째, 처리수의 용도에 따라 역삼투공정등의 후처리공정과 결합하여 공업용수, 농업용수, 냉각용수, 세정용수등으로 활용이 가능하다.

항목	방류수	VSA처리수	RO처리수
전도도(uS/cm)	3293.57	3288.00	67.62
BOD ₅ (ppm)	12.01	8.00	0.70
COD _{Mn} (ppm)	10.63	7.56	0.35
SS(ppm)	6.61	0.3 <	ND
Cl ⁻ (ppm)	826.74	812.06	13.00

