

특별강연 II

새로운 진동막 분리기술을 이용한 산업폐수의 경제적 처리방안

신대윤*, 김용대**, 지은상

조선대 환경공학과*, 서강정보대 환경위생과**, 아주환경주식회사

New Approach for Economic Treatment Solution of Industrial Waste Water by New Separation Technology (VSEP)

Dai-Yoon Shin*, Yong-Dai Kim**, Eun-Sang Chi

Dept. of Environmental Engineering, Chosun Univ.*

Dept. of Environmental Hygiene, Seokang College**

Aju Environmental Systems, Inc.

1. 서론

그동안 막분리공정 기술이 이십년이상 여러산업 분야에서 사용되어 오면서 새로운 막제조 기술 및 적용 또한 발전을 하여 오고 있다.

막분리기술이 폭넓게 사용을 되어오고 있지만 높은 투자비 (특히 저용량일 경우), 운전비용 그리고 막의 오염 등으로 국내의 대부분 적용업체가 적잖은 문제를 경험을 하여왔다. 특히 막의 오염은 잦은 화학세정과 교체비용의 부담이 가져다 준다.

최근에 개발되어 미국등 선진국에서 폭넓게 적용되고 있는 막분리기술의 하나인 진동막(Vibratory Shear Enhanced Processing) 분리기술은 투자 및 운전비용과 막의 오염문제 해결에 있어서 혁신적인 기술로서 평가받고 있으며 실제 적용의 성능을 고려해볼때 막분리기술의 혁신이라 생각된다.

기존의 역삼투막 분리기술(Conventional RO)과 새로운 진동막분리기술(VSEP)을 비교실험을 통하여 폐수의 재이용 및 경제성을 평가하고자한다.

2. 원리

기존의 막분리기술(한외여과, 나노필터, 역삼투 등)들은 크게 원형(평막), 원판튜브형, 중공사형, 관상형 및 나권형으로 제작되어 사용된다. 이중 RO막으로서 사용되는 나권형(Spiral Wound Type)의 경우는 적절한 전처리(Pretreatment)을 한후 온도, 농도 등을 고려하여 막표면에 압력을 가하여 난류(Turbulent Flow)을 일으켜 막의 표면에 각종오염 유체에 함유된 각종 물질들이 퇴적에 따른 오염을 최소화하게 되어있으며 원판튜브형은 나권형보다 전처리나 막의 오염에 있어서 잇점이 있다. (그림1)

미국의 NIL에서 개발시판중인 진동막 분리기술은 막의 표면으로 유체를 통과시에 막의 경계층에서 강력한 진동에 의해 전단파장(Shear Waves)을 기존의 막분리 방식보다 10배이상을 일으키므로 막표면에 각종 이물질의 퇴적등의 오염발생이 거의 없도록 한다. (그림2)

VSEP과 같은 신기술의 막분리기술은 막을 원형으로 하여 병렬로 쌓아 일정한 압력용기에 넣은 다음 진동모타에 의해서 막이 조립된 용기(Membrane Pack)을 좌우로 강하게 움직이게하는데 이때 진동을 150,000 Inverse Seconds 이상을 일으킨다.

이로써 VSEP은 전체에너지의 99% 가까이를 막표면에서 Shear Waves로서 변환시켜주므로 고농도 및 고점성의 유체를 처리할 수 있다. (표1)

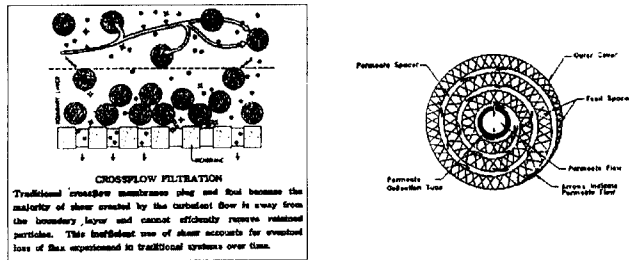


그림1. 기존막분리기술의 원리

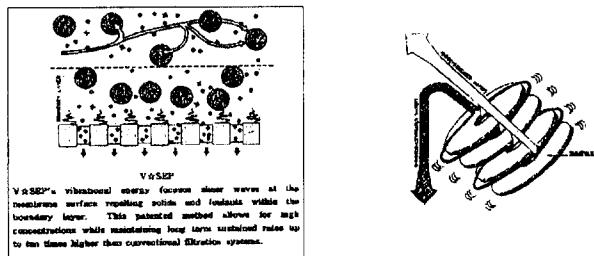


그림2. 새로운 진동막분리기술의 원리

표1. 막 MODULE의 허용현탁물질농도와 허용점도

	현탁물질농도(mg/l)				점 도(cP)				비 고
	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ²	10 ⁴	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ²	10 ⁴	
HOLLOW FIBER									Polishing용으로 주로 사용
외압중공사									역세수가 과다하다고 CIP가 빈번함
내압중공사									
TUBULAR									높은 동력비 소요 및 초기 투자비가 높음
SPRIAL WOUND									RO용으로 사용되며 수재이용에 한계가있음
평판 (PLATE & FRAME)									
진동 및 회전(VSEP)									차세대신기술로서용수및 폐수재이용등에도 최적

3. 운전방법

새로운 막분리기술(VSEP)은 그림3에서와 같이 밸브1을 잠그고서 슬러리 (Slurry)상태의 유체도 공급을 할 수 있다.

사전 설계에 의해 설치된 진동막분리장치(VSEP System)를 작동하면 안쪽 으로는 깨끗한 투과수를 생산하게 되고 가장자리로는 농축된 농축수가 빠져 나온다.

소프트 프로그램에 의해 밸브1이 열리면서 고행성 물질들이 농축이 되어서 빠져나오게 되며 이러한 작동은 무한적 반복된다.1

VSEP에 적용에 있어서 막의 선정은 매우 중요하기 때문에 반드시 사전에 Pilot Test에 의해 압력, 온도, 진동폭, 체류시간, 제거범위 등을 실험 및 분석을 하여야 한다.

운전압력은 공급펌프에 의하며 일반적인 역삼투막과 같이 1000 psi까지 사용할 수가 있다.

만일 고농도나 고점성의 유체를 처리를 위해 고압이 필요할 경우 에너지 소모가 많으므로 이때는 막의 온도를 70-80℃까지 올려서 압력을 떨어뜨리고 투과 및 농축을 조절할 수 있다.

진동폭(Vibration Amplitude or Shear Rate)은 막분리 능력 효과를 지속적으로 유지관리시키며 이러한 Shearing은 멤브레인팩 바닥에 연결된 뒤틀림 운동을 하는 봉에 의해서 일어난다.

멤브레인 팩이 설치된 축은 좌우로 1인치씩 60 Hz의 진동을 하며 이때 Shear Intensity는 축의 가운데서 약 150,000 Inverse Seconds가 일어난다. 공급된 유체는 이런 Shear Wave에 의해서 기존의 막분리 기술과는 달리 막의

오염이 거의 없이 고농도로 농축을 할 수 있어서 기존 막분리기술과는 다방면에 적용이 가능하다.

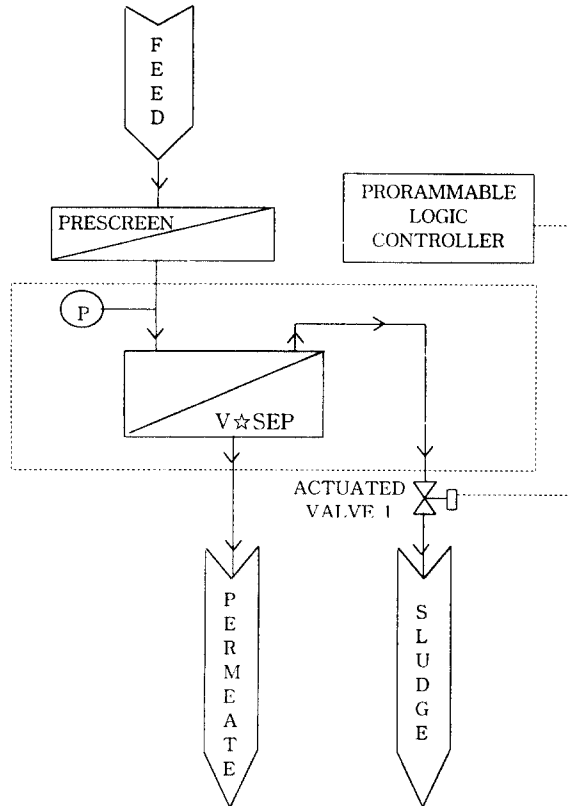


그림3. 진동막분리기술의 운전방법

4. 장치구성

장치는 크게 5부분으로 구성이 되어 있다 (그림4).

① 프레임 (Frame)

화공약품 및 기후에 의해서도 견디게 특수에폭시로 처리된 재질로 제작되어 있다.

② 구동장치 (Drive System)

본 새로운 막분리기술의 핵심으로서 동력 10마력 모타가 내장이 되어 있으며 엄청난 무게에 강력한 지진처럼 움직여서 멤브레인 팩속에 뒤틀림 스프링에 의해 에너지로 변환한다.

③ 배관 (Plumbing)

테프론, 폴리프로필렌 그리고 스텐레스강으로 배관되어 있어서 강력한

유기용제나 강산 및 강알카리 등에도 내약품성으로 되어있다.

④ 멤브레인 팩 (Membrane Pack)

새로운 회전진동막분리장치의 압력용기는 일반적으로는 폴리프로필렌이나 FRP등으로 제작되고 멤브레인 재질은 처리코저하는 유체에 따라 MF, NF, UF 및 RO 범위까지 선택 제거가 가능하고 재질도 폴리프로필렌, 테프론, 폴리아마이드, 폴리카보네이트, 폴리술폰, 나일론 및 아크릴등으로 다양하게 적용을 할 수가 있다.

즉 멤브레인 재질이 선정되며 멤브레인은 정밀여과 범위에서 한외여과, 나노필타 및 역삼투막 범위까지의 이온, 고분자 및 미립자 등을 제거할 수 있다.

쌓여있는 멤브레인의 지름은 19인치 원형으로서 여과면적은 100ft²(9.29 m²)-1600ft²(149m²)까지 사용할 수 있게 되어있다.

⑤ 제어장치 (Control System)

PLC에 의해 완전자동으로 운전이 된다.

처리코저하는 유체에 따라 콘트롤을 다양하게 변경할 수가 있다. 즉, 온도, 전류, 자동세정, 자동 Flush, 자동멈춤 그리고 자동 경고음등이 모니터화면에 나타나고 기록이 되므로 신뢰성이 있게 되어있다.

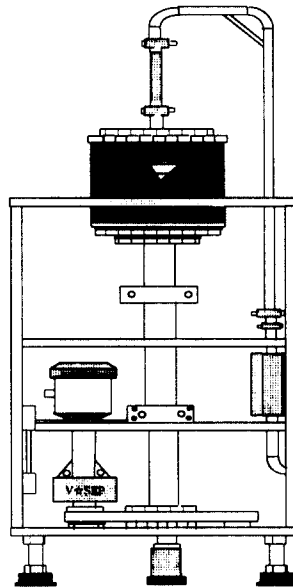


그림4. 진동막분리기술의 장치

5. Vsep와 타분리기술과의 비교

고액분리나 액액분리에 있어서 상업적으로 많은 기술들이 분야별로 경쟁적이다.

이러한 분리기술을 새로운 진동막분리기술(Vsep)과 비교하면 표2과 같이 요약할 수 있다.

6. 적용분야 (Applications)

① 화학산업

(Chemical Process Industry)

- 라텍스농축
- 촉매 세척 및 농축
- 이산화티타늄여과
- 탄산칼슘농축
- 염화칼슘정제 등

③ 도료 및 안료

(Paints/ Pigments)

- 유기 및 무기 안료 세척
- 유기 및 무기 안료 농축
- 라텍스도료 회수
- 전착 도료 회수
- 염료회수

⑤ 폐수처리

(Waste & Pollution)

- 생물학적 처리 및 슬러지 농축
- 유수분리
- 수산화 금속 폐수 여과
- BOD/COD 제거
- 슬러지 탈수
- 세정 폐수 처리
- 반도체, 전자 및 인쇄 회로기판 폐수 재이용
- 철강, 식품, 섬유등의 폐수처리 및 재이용

⑦ 기타

- 제약 폐수처리 및 농축
- 정유산업의 크래킹 촉매제거
- 추출 농축수 회수 등

② 식품 및 유업

(Food & Beverage)

- 포도주, 맥주 정제
- 제당 공정
- 식초 정제
- 주스 정제 및 색도 제거
- 진분 및 치즈 공정 등

④ 펄프 및 제지

(Pulp & Paper)

- 제지 폐수
- 공정수여과
- 리그닌 제거 등

⑥ 각종용수처리

- 음용수처리
- 보일러수 처리
- 강, 댐 및 하천수 처리
- 재이용수 처리

표2. 진동막분리(VSEP)기술과 기존막분리기술(RO등) 및 기타처리기술과의 비교표

NO	비교항목	진동막분리기술 (VSEP TECHNOLOGY)	기존막분리기술 (CONVENTIONAL CROSSFLOW FILTRATION : RO)	현상분리기술 (CENTRIFUGES)	생물학적처리 (BIOLOGICAL TREATMENT)	증발 (EVAPORATION)	팔터드프레스 (FILTER PRESS)	회전진공필터 (ROTARY VACUUM FILTERS)	화학적처리 (CLARIFIERS)	모래 및 규조토여거 (SAND/DE FILTERS)	비 고	
1	투자비용 (CAPITAL COST) 4LPP기준	₩1,500~₩7,500	TUBULAR ₩7,500~₩15,000 SPINAL WOUND ₩3,000~₩6,000	₩1,500~ ₩7,500	₩15,000~ ₩75,000	₩15,000~ ₩150,000	₩500~₩1,000	₩3,000~ ₩15,000	₩3,000~ ₩15,000	< VSEP		
2	제거 기능 달달	이온물질	○	○	x	x	○	x	x	x	x	
		유기물질	○	○	x	○	○	x	△	△	x	
		부유물질	○	○	○ (>10µm)	○ (50ppm)	○	○ (10-50µm)	○	○	○	○
		PH	○	○	x	△	○	x	△	○	x	
		CO2/ROD	○	○	x	○	○	x	△	○	x	
		TDS	○	○	x	x	○	x	x	x	x	
		TURBIDITY	○	○	△	△	○	x	○	○	x	
3	SYSTEM구성	· MEMBRANE PACK · VIBRATORY MOTOR	· PRETREATMENT · MICRO FILTER · HIGH PRESSURE PUMP · HIGH PRESSURE VESSEL · MEMBRANE ELEMENTS · CHEMICAL DOSING SYSTEM · CIP etc.	CENTRIFUGES UNIT	· 전처리 · BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEM (복기/반송오니 등)	· EVAPORATOR	· PLATE FILTER FRAME FILTER MATERIAL etc.	· PRECOAT UNIT · ROTARY VACUUM FILTERS etc.	· PH ADJUST · COAGULATION/FLOCCULATION · SEDIMENTATION etc.	· SAND OR DE FILTERS		
4	실치면적 (REQUIRED SPACE) 570 m ² /일 처리기준	1.85 m ²	165 m ²	100~150 m ²	VERY LARGE	VSEP의 10~20배	VSEP 10~15배	VSEP 5~10배	VERY BIG	VSEP의 10배이상		
5	전기 (ELECTRICITY)	5HP	20HP	> VSEP	> VSEP	VERY HIGH	< VSEP	> VSEP	> VSEP	≤ VSEP		
6	처리유량 (FLOW)	기존 30에 비해 2~3배증가	< VSEP	VSEP과 비슷	-	< VSEP	-	< VSEP	< VSEP	< VSEP		
7	특징 (KEY CHARACTERISTICS)	· 연속적 운전 · FOULED이 거의 없음 · 회전진동에 의해 SHEAR WAVE 발생 · FILTER PACK을 인의로 변경가능 (MF, UF, NF 및 RO까지 제거가능) · CIP가 거의 없다. · MEMBRANE 사용 온도 40~80℃ 가능 · 재질 : PVDF, PE, PS, CA, PA 등 · 고농도, 고염분 유체에 사용 적합 · 액관이 단순하다 · 지동으로 운전	· SPEED (VELOCITY)에 의해 SHEAR WAVE 발생 · 시정된 MEMBRANE 사용에 따라 제거 원인 지경(RO, UF 등) · CIP가 빈번 · 사용온도 40℃ 이하 · 재질 : PS, PA, CA 등 · 동해비가 VSEP보다 10배정도 비싸다 · 온도가 VSEP보다 높다 · 액관이 다소 복잡하다	· CROSS SEPA- RATION으로 부유물질만 제거 · 주정공정중에 작용적립 · 설비가 매우 무겁고 크다 · 전문적인 기술이 있어야 유지관리가능	· 유입수의 농도 일정관리 필요 · 전 처리 필요 · 온도, pH 관리 중요 · 처리수질의 SS가 500mg/l 정도 · 설치면적 크다	· 설치비 크다 · 인력에 의한 에너지 필요 · 증발기내의 스칼링 및 파울링처리 기술 요구 · 3.5m ² 치리에 STEM마분 최저 9,000원 이상	· 인력에 의한 할수 · 회분식 (BATCH)으로 주로사용 · 주로 화학적 처리의 침전 물질을 최종	· PRECOAT 가 필요 · VSEP 보다 50%이상 투자비 소요	· 중화, 응집 침전공정필요 · 화학적처리로 다량의 화학약품 사용 · 슬러지(메기들) 다량 발생 · 시추처리기술인 · 처리된 수질의 부유물질이 500mg/l 내외 · VSEP보다 조기투자비 50%이상 소요	· 후처리기술 (배수분아) · 용수예선 전처리어용 · CROSS FILTRATION 으로 여거에 의한 여과 · 역세시 역세수 발생 · DE사용시 DE 처리분체 고려		

7. 적용사례

① 반도체산업

반도체 제조 산업 있어서 실리콘 웨이퍼를 제조하는 과정에서 크게 3가지의 폐수 형태로 분리된다.

첫째 : 세척 폐수 (Process Solids Waste Water)

둘째 : 불소 화합물 폐수 (Fluoride Waste Water)

셋째 : 고농도 실리콘 함유폐수(High Suspended Solids Waste Water)

상기 중에서 고농도 실리콘 함유 폐수는 부유물질농도가 매우높아서 대부분 업체에서 화학적 처리에 의해 처리를 한다.

따라서 본 폐수를 대상으로 기존의 역삼투막 분리(RO)와 진동막분리(VSEP)기술을 병행하여 실험하였다.

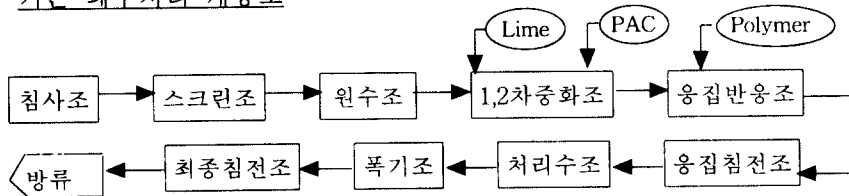
	공급수 (Feed Water)	Conventional RO 처리후	VSEP 처리후
pH	9-10.5	6.5-7.5	6.5-7.5
TDS (mg/ℓ)	<3000	50-70	50-70
COD (mg/ℓ)	200-250	<10	<10
Fluoride (mg/ℓ)	6.02	불검출	불검출
SS (mg/ℓ)	500-600	불검출	불검출
n-H (mg/ℓ)	8-3	불검출	불검출
회수율 (Recovery)	-	50-65	80-85
크리닝주기 (회/월)	-	5-7	1-2
막교체주기 (회/년)	-	1-2	0.5
기타사항	-	<ul style="list-style-type: none"> · 전처리가 필수적이다. · 막의오염으로수명이짧아진다 · 특정유체에 한하여처리된다 · 실제적용은 어려웠다. · 잦은CIP가 요구된다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 막의 오염이 거의없어 막의 교체비가절감된다. · 전처리가 거의필요치않다. · 고농도 및 고점성인 실리콘폐수도 처리가 잘 되었다.

② 식품폐수

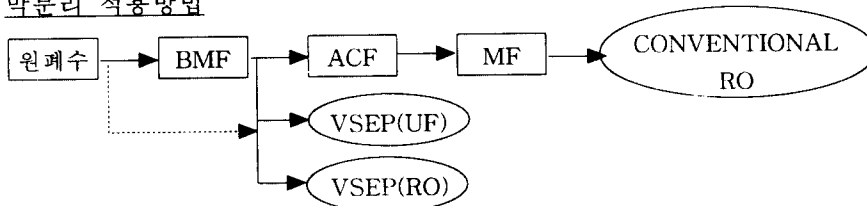
식용유등은 생산하는 공정에서는 다량의 수용성 및 불용성 오일이 함유되어 있고 발생 폐수가 고온이다.

	유입수질조건	기존 RO처리후	새로운 VSEP처리후	
			UF Range	RO Range
pH	2.82	5.87	5.9	5.9
COD(mg/ℓ)	250	12.3	60	11
전도도(μs/cm)	2640	8.8	1230	10
SS (mg/ℓ)	253.5	불검출	불검출	불검출
n-H(mg/ℓ)	524	불검출	불검출	불검출
탁도(NTU)	21	-	<0.05	-
온도 (℃)	55-60	조정필요	55-60	55-60
기타	<ul style="list-style-type: none"> · OIL성분이 Emulsion상태로서 막의 오염이 심하고 Flux가 급격히 감소를 나타냈다. (특히 기존 RO) · 전처리로서 공히 유수분리기의 설치가 바람직하였다. · 기존의 화학적 처리후의 방류수는 수온:25-30℃ COD:<30mg/ℓ SS:<10mg/ℓ n-H:<5로서 원폐수의 경우 경도가 10mg/ℓ 이하이나 처리수는 >500mg/ℓ 이상으로서 방류수에 막분리기술의 적용은 어려웠다. · 기존RO의 적용은 막의 여러 문제점이 있어 어려운 것으로 확인되었다. 			

기존 폐수처리 계통도



막분리 적용방법

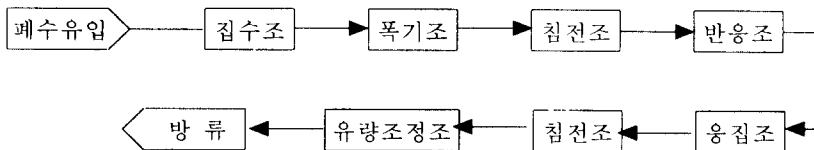


③ 라이신 생산폐수

가축 사료용 라이신(L-Lysine)을 생산하는 공정에서 발생하는 폐수는 고온(60℃), COD 및 탁도가 가장 큰 문제이다.

	유입수질조건	기존 RO처리후	새로운 VSEP처리후
pH	5.9	6.5	6.5-7.0
COD (mg/l)	950	8.5	7.3
전도도(μ s/cm) (TDS:mg/l)	3000 (1750)	80	76
SS (mg/l)	530	불검출	불검출
탁도 (NTU)	32	<0.1	<0.1
온도 (℃)	40-50	온도조절	40-50
기타	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 RO 유입수 온도 관리필요(40℃이하) · 기존RO는 막의 오염시 성능회복에 어려움이 있었다. · 원폐수의 경우 재이용율이 65%, 1차처리수는 80%, 방류수는 90%가 기대된다. · 농축수를 최소화하기위해 증발농축(폐액) 및 해양투기가 검토된다. · 원폐수의 입도는 80-0.12μm, 방류수는 58.1-0.1μm 정도였다. · 처리수질은 공히 비슷하나 투자비, 막의 오염물질세정설치 면적 및 운전비용면에서 VSEP이 더 잇점이 많았다. 		

기존 폐수처리 계통도와 막분리기술 적용방법



실험은 폭기조 전에서 실시하였다.

8. 결론

① 기존의 막분리기술(RO)과 새로운 진동막분리기술(VSEP)을 동일조

건하에서 내오염성(Fouling Resistance)을 비교해볼 때 새로운 막분리 기술(VSEP)은 거의 오염이 되지 않았다.

② 새로운 진동막분리기술(VSEP)은 95%이상을 투과수로 유출되므로 고농도로 농축이 가능하였다.

③ 동일 조건하에서 운전비용이 기존 RO와 비교시 3배이상 저렴하였다.

④ 초기투자비에 있어서 용수용 소용량(10m³/hr)에서는 기존 RO가 다소 저렴하나 대용량(20m³/hr)일수록 새로운 진동막분리기술이 저렴하였다.

⑤ 새로운 진동막분리기술(VSEP)은 전처리가 거의 필요치 않았다.

⑥ 유입수의 수질변화(특히 전도도)에도 새로운 진동막분리는 막의 오염이나 투과율에서 큰 변화없이 일정한 상태를 유지할 수 있었다.

⑦ 새로운 진동막분리기술은 기존 RO와 달리 온도에 제한이 없이 70-80℃로 폭넓게 적용하여도 성능에는 문제가 없었다.

⑧ 고농도 및 고점성의 유체에 있어서도 새로운 진동막분리기술은 막의 오염없이 처리가 잘 되었다.

⑨ 기존의 막분리기술과 전반적인 면에서 비교해볼 때 향후의 막분리 산업에 있어서 진보된 기술로서 국내에서도 이러한 막분리기술에 대한 관심과 개발이 시급히 요구된다.

⑩ 동일여과 면적에서 기존의 RO에 비해 새로운 막분리기술(VSEP)이 처리 유체에 따라 다소 차이는 있으나 10-15배의 높은 투과율을 보였다.

⑪ 대부분의 산업체에서 환경오염 방지를 위해서는 사후처리 기술(End-of-pipe Treatment)로서 처리하고있으나 새로운 진동막분리기술(VSEP)과 같이 내오염성막을 적용할 경우 환경오염 물질 처리에 있어서 저렴하게 운영할 수 있고 처리된 물의 재이용도 할 수 있으므로 사전예방차원에 향후 청정기술로서 보급이 확산되리라 생각된다.

⑫ 기존의 폐수처리시설로부터 막분리기술을 적용할 경우 방류수를 유입수(Feed Water)로 할 경우 염농도(TDS)와 경도(Hardness) 및 미세입자(Fine Particles)의 증가로 막의 오염(Fouling) 문제가 빈번할 수 있으므로 전처리로서 간단한 물리적처리를 한 원폐수를 직접 막분리기술을 적용하는 것이 기존의 폐수처리시설과 비교할 경우 경제적이며 투자비의 회수도 기대된다.
(표.3)

표3. 폐수별 기존처리방법과 새로운 막분리방법의 비교

	기존폐수처리시설 (Conventional WWTS)			기존역삼투막분리 (Conventional RO)			진동막분리 (VSEP)			비 고
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
운전비용 (₩/m ³)	1800 -2300	1100 -1300	700 -1300	800 -880	-	-	350 -430	510 -540	380 -450	감가상각 및 이자 고려치 않음
투자비용 :백만원 (500m ³ /D 기준)	400 -600	300 -400	600 -700	300 -350	-	-	250 -300	350 -450	300 -400	기존시설의 경우 ①:화학적처리 ②③:화학적 생물학적처리
설치면적 :m ² (500m ³ /D 기준)	170	300	1000	200	-	-	50	100	70 -100	막분리기술은 실내설치기준

- ①: 반도체 폐수(HSS)
- ②: 식품 폐수
- ③: 사료(라이신)폐수

9. 참고문헌

1. Filtration & Separation. Vol.29 No5 (1992)
2. Michele Monroe, Progress in Paper Recycling. J, May 1997
3. Chemical Engineering Progress. J, p29-p33, Jan. 1998
4. 日刊工業新聞社編, 實用膜分離技術 (1996)
5. Eun-Sang Chi, Fifth IESH Conference (Clean Technology on Waste Water Recycling from Wafer Mfg. Process), 1998
6. 지 은 상, 에너지관리 (p65-p69), 1998년 10월호