

---

---

## UF/MF막의 국내 적용 사례

---

---



김 정 학 박사  
(SK 케미칼)

# UF/MF 막의 국내 적용사례

SK 케미칼 중앙연구소 Membrane 팀  
김 정 학

## 1. Membrane 시장형성의 환경적 요소와 응용분야

막분리기술은 1950년대 이온교환막의 실용화를 통해 발전하기 시작하여 1960년대에는 혈액투석막, 정밀여과막(MF), 역삼투막(RO) 및 한외여과막(UF)이 개발되었다. 1970년대초에는 식품, 생물분야, 수처리분야등에서 Pilot 규모의 Test를 통해 분리, 농축, 정제분야에 대한 적용가능성이 밝혀졌으며, 1970년대말 미국의 Yuma 지역에서 콜로라도강 지류의 탈염(300,000톤/일 규모)에 RO막을 적용함으로써 대규모 수처리시설에 대한 RO막의 적용성이 입증되었다. 1980년대이후부터는 고도의 분리기능을 가지는 막소재의 개발과 더불어 효율적 운전이 가능한 모듈 및 시스템의 고안에 대한 연구가 활발히 진행되었으며 많은 용도가 개발되었다. 1990년대이후 수처리, 환경분야에 대한 경제성과 가능성이 입증되면서 더욱 효율적인 형태의 막모듈 및 타공정과 조합된 Hybrid Process의 도입으로 Membrane 기술은 소규모의 정밀분리, 분획, 정제의 기능에서 이제 대규모의 처리공정으로 변화되었다. 이제 더 이상 Membrane은 Specialty Product가 아니며 Commodity Product이며, 분리막 시장 중 가정용정수기가 가장 큰 시장규모를 나타내는 분야가 되었다. 특히 미생물처리법과 조합된 Membrane Bio-reactor의 난분해성폐수처리와 생활오폐수처리에 대한 상용화와 더불어, 분리막이 기존의 응집침전방법을 대체하여 대규모 상수도시설과 음용수제조 공정에 적용됨에 따라 이제 막분리기술은 분리공정에서 큰 역할을 담당하는 보편적기술로 발전하게 되었다.

국내에서는 1980년대 초반 반도체 제조공정의 초순수제조용과 자동차공업의 전착도장용으로 처음으로 막분리기술이 도입되면서 막분리기술이 발전되기 시작했다. 1980년대중반부터 한국의 건설업계는 해외지역에 대한 건설/플랜트수출로 엔지니어링기술을 크게 발전시켰으며, 특히 이시기에 중동지역으로 담수화플랜트등을 수출하는 계기가 되었다. 이때 RO 막에 대한 설계기술이 도입되기 시작하였으며 국내 Membrane 시장 성장의 Seed가 되었다.

국내의 Membrane 시장은 1995년 이전까지는 대산석유화학단지, 반도체, 전착도장 등 극히 일부분의 용도를 제외하고는 매우 작은 규모의 시장이 형성되어 있었다. 1995년을 기점으로 국내에는 RO 정수기시장이 크게 성장하였으며, 수자원의 부족현상과 수질오염으로 인해 막분리공정이 부각되기 시작하였다. 또한 수질오염으로 인해 이제 먹는물 처리에 대한 완벽성이 요구됨에 따라 선진국처럼 우리나라에도 고도정수기술로서 UF/MF/NF 막등이 적용될 전망이다. 또한 수자원의 오염을 막기 위해 환경법규가 강화되어 탈질, 탈인기술도 요구하게 되었고 축산폐수처리, 각가성의 합병정화조등에도 적용될 전망이다.

국내에서 Membrane 시장이 크게 형성될 수 있는 환경적 요소는

- (1) 생활환경의 질적향상을 통해 고품질/편리성/고효율적 상품과 공정을 요구하게 되었고
- (2) 환경오염의 방지를 위해 인간의 생활 및 산업활동에서 배출되는 폐수의 처리와 제품의 생산/저장/수송/이용 과정에서 Clean Technology를 필수적으로 사용해야 하는 분위기가 되었으며
- (3) 수자원의 오염심화로 기존공정으로는 음용수로서 요구수준을 맞출 수 없게 되므로서 그동안 특수한 기술로 간주되던 막분리기술이 대규모 용수

처리에 적용될 것이다.

- (4) 또한 산업용수의 탈염에 적용되던 이온교환수지에 비해 RO/NF 막이 경제성이 좋아졌으며, RO 막의 안정된 성능 유지와 수명연장을 위해 이에 대한 전처리도 응집침전/화학적처리를 MF/UF 막으로 대체하게 될 것이다.
- (5) 정부에서는 환경오염 방지와 국민보건을 위해 수질에 대한 법규를 강화하고 있으며, 최근에는 중수도 및 합병정화조에 대한 법규를 제정하므로써 2000 년이후에는 이러한 공정이 강제적으로 적용된다고 볼 때 분리막의 성장을 예측할 수 있다.
- (6) 무엇보다도 국산막의 상품화는 안정된 분리막의 공급과 함께 업체간의 자연경쟁에 의해 가격이 낮아질 것이다. 실제로 RO 막의 가격은 10 년전에 비해 3-4 배 이하로 떨어졌다. 분리막의 가격이 낮아짐에 따라 지금까지 비용때문에 사용하지 못했던 공정에도 막이 적용될 수 있을 것이다.
- (7) 또한 국내의 현실을 볼 때 분리막산업은 대기업주도로서 양산기술 뿐 만 아니라 기술 및 자본의 투자로서 짧은 기간내에 외국의 일류 분리막전문업체와 어깨를 나란히 할 것이다. 따라서 지금까지 소비자 및 엔지니어링업체가 안고 있던 문제가 해결되면서 수요 또한 증가할 것이다. 지금까지 기술이 부실한 소규모 업체 주도에 의해 막분리시스템이 설계, 운전되므로써 실패사사례도 많이 배출되었으며 이러한 실패사례가 국내에서 분리막시장의 성장을 억제하는 장애요인이 되어왔다. 이제 흉내만 내는 기술은 인정받지 못할 것이며 경쟁력도 없게 될 것이다.

위의 사항은 선진국에서는 이미 실용화되었거나 시행되고 있는 것들이지만 아직 국내에서는 적용 도입단계라고 볼 수 있다. 따라서 수년내에 우리나라의 경우도 선진국을 따라갈 수 밖에 없는 현실이다.

막분리기술은 예전에는 타공정으로는 분리하기 어려운 것을 해결하는 Fine 분리공정으로서만 역할을 하였으나, 이제는 이러한 기능에 장시간의 환

경에 적합한 기능성과 효율성이 부가되어 장시간 운전 및 대규모처리시 신뢰성이 요구되며 보다 복잡한 기능이 필요하게 되었다. 각 용도별로 요구되는 특성은 다르지만 Membrane 산업성장에 필수적으로 요구되는 사항은 다음과 같다.

- (1) 처리대상물질에 대한 장기적 내구성/내화학성/완벽성
- (2) 내오염성 또는 막오염에 대한 확실한 세정대책
- (3) 막모듈/시스템/Process 에 대한 Cost 경쟁력 - 기존공정에 대한 경쟁력
- (4) 적용/운전기술에 대한 신뢰성
- (5) 타공정과 조합에 대한 Compatibility
- (6) 관련법규(FDA, EPA, USP 등의 관련 응용분야 Regulation)에 대한 적법성

막분리기술은 이제 분리, 정제만의 단순한 개념이 아니며 고도분리정제와 자원재활용등이 복합적으로 해결되는 효율적 공정으로서 “Zero Discharge” 및 “Closed-loop System”으로서의 개념을 가지고 있다. 이것은 Clean Technology 의 개념으로서 Membrane 기술의 향후 Vision 이라고 할 수 있다.

국내에 적용되고 있는 UF/MF 막의 용도는 다음과 같다.

(1) 수처리분야

- 소규모정수시설 ; 간이상수도, 아파트공동 정수시설
- 생수
- 반도체 초순수제조
- 제약용수 ; 무균수, 주사제
- 순수 ; RO 전처리, 이온교환수지 후처리
- 전용상수도
- 공업용수처리
- 재활용 ; 냉각수, 응축수 및 공장방류수 재활용

(2) 가정용정수기

(3) 폐수처리분야

- 침출수처리
- 중수도
- 축산폐수처리
- 합병정화조
- 염료폐수처리 및 재활용
- 수용성 기름폐수의 농축처리

(4) 식품/생물공정 분야

- 간장의 정제 ; 미발효 잠단백질제거 및 균,슬라임 제거
- 식초로부터 단백질 및 침전물 제거
- 전통주의 정제
- 당액의 정제
- 효소의 농축정제
- 발효생산물로부터 균의 농축, Debris 제거

(5) 전착도장 ; 도료의 회수 재사용

(6) 흡수식 냉동기의 LiBr 용액정제

## 2. UF/MF 막 및 모듈의 종류와 특징

### 가. UF/MF 막의 종류와 특징

UF/MF 막의 소재는 RO 막과는 달리 매우 다양하며 용도별로도 차별화되어 있는 실정이다. Module Configuration 못지 않게 막소재는 처리 대상물질에 따라 중요한 영향을 미친다. 응용분야별로 적용되는 막소재 및

요구특성은 다음과 같다.

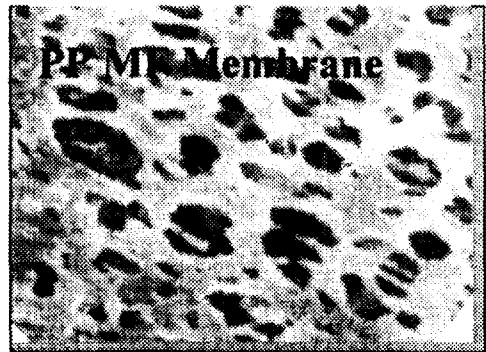
표 1. 응용분야별 UF/MF 막의 소재와 요구특성

응용분야		소 재		요구특성
구 분	용 도	UF	MF	
수처리	일반수처리 (음용수, 공업용수)	PSF, CA, PAN	PSF, PE, PP	<ul style="list-style-type: none"> <li>●제균,제탁성능</li> <li>●내염소성</li> <li>●장기적 투과성 유지성능</li> </ul>
	제약	PSF, CA	PE, PP	<ul style="list-style-type: none"> <li>●무균화성능(99.99%이상)</li> <li>●Pyrogen제거성능</li> </ul>
	가정용 정수기	PSF	PSF, PE	<ul style="list-style-type: none"> <li>●제균,제탁성능</li> </ul>
	초순수	PSF	PTFE, PP	<ul style="list-style-type: none"> <li>●제균,제탁성능</li> <li>●용출물에 대한 완벽성</li> <li>●세정후정상상태회복능력</li> </ul>
폐수처리		PSF, PAN, CA	PE, PSF	<ul style="list-style-type: none"> <li>●내화학성(pH, Solvent)</li> <li>●내오염성 및 세정복원력</li> <li>●장기적 투수성 유지성능</li> </ul>
식품, 생물공업		PSF, CA	Nylon	<ul style="list-style-type: none"> <li>●제균,제탁성능</li> <li>●정밀 분리, 분획성능</li> <li>●투과유속</li> </ul>
전착도장		PAN		<ul style="list-style-type: none"> <li>●내화학성(특히 내산성)</li> <li>●Chemical Balance유지</li> <li>●장기적 투과성 유지성능</li> </ul>

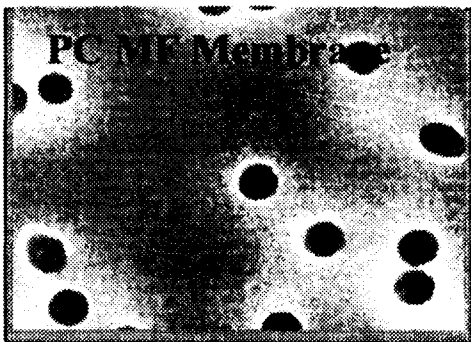
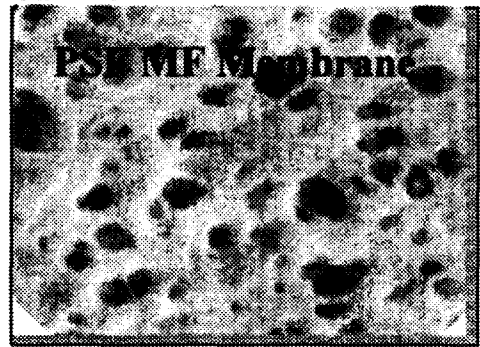
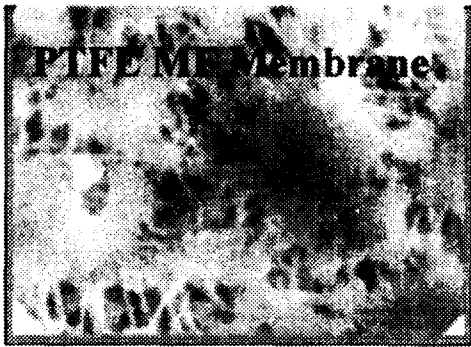
Membrane의 소재별 특징은 주로 내오염성, 내화학적, 기계적성능, 투수성에서 차이가 있는데 특별한 용도(주로 내화학적, 내열성)를 제외하고는 각소재의 장단점을 살려 적용되는 것이 일반적이다. 실제로 각소재를 용도별로 적용하여 보면 막제조 maker에서 주장하는 것과 같은 극단적인 결과가 나오는 것은 매우 드물며, 모두 일장일단이 있음을 알 수 있다. 즉 내오염성은 궁극적으로 장기적으로 안정된 투수성을 유지하는데 관련된 것이며 이런 목적을 달성하기 위해서는 오히려 자동운전 조작에 의해 주기적 세정을 효과적인 방법으로 하는 것이 유리할 수도 있다. 이런방법이 에너지를 많이 요구하고 세정에 따른 가동율을 저하시킬 수 있는 반면 대부분 소수성소재는 친수성소재보다 내구성, 내화학성이 우수하기 때문에 장기적 운전시에는 더 완벽한 수질의 물을 오랜기간 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉 공정에서 요구되는 목표물성과 운전에 관련된 주변적 환경요소를 잘 파악하여 Process를 설계하는 것이 필요하다.

Membrane의 형태는 소재별로도 많은 차이점을 가지고 있다. Polymeric Membrane의 경우 제조 방법에 따라서 구조가 달라지며, 실제 적용시에 이러한 막의 구조가 성능에 많은 영향을 미치기도 한다. 상용화된 분리막의 확대구조를 다음과 같이 살펴 보았다.

● 소재별 MF Sheet Membrane의 Pore Structure

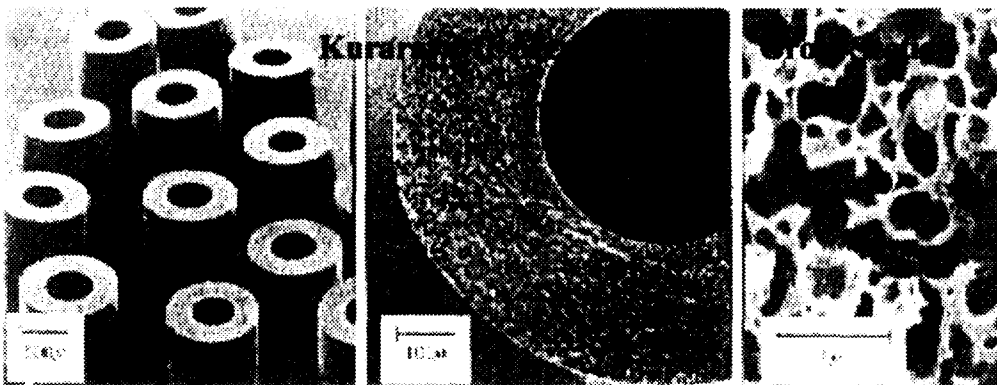




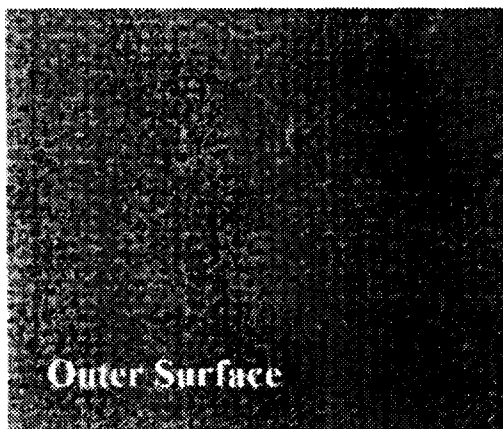
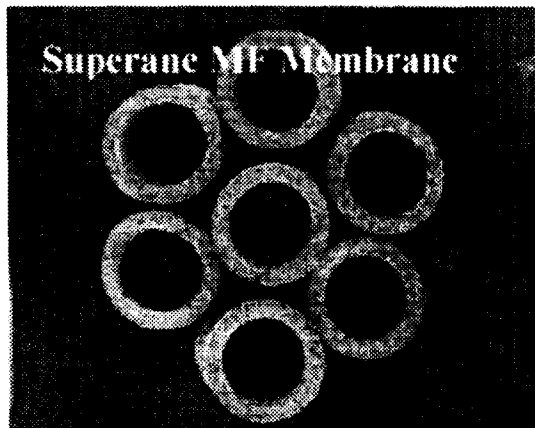


● Hollow Fiber MF Membrane 의 구조

(1) Kuraray 제품

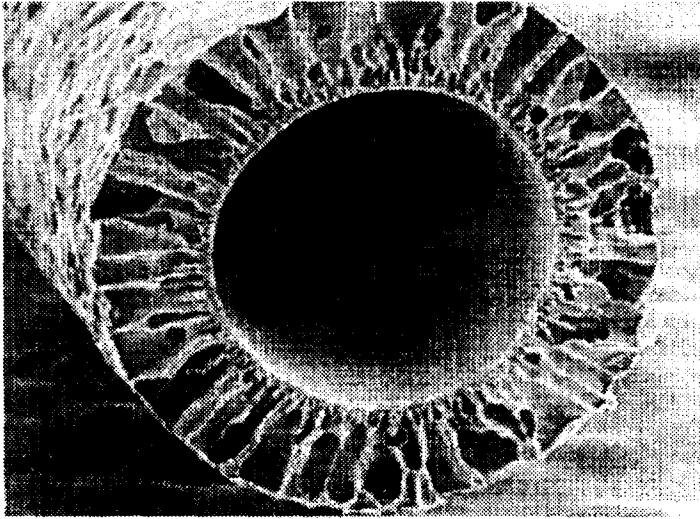


(2) SK Chemical 제품

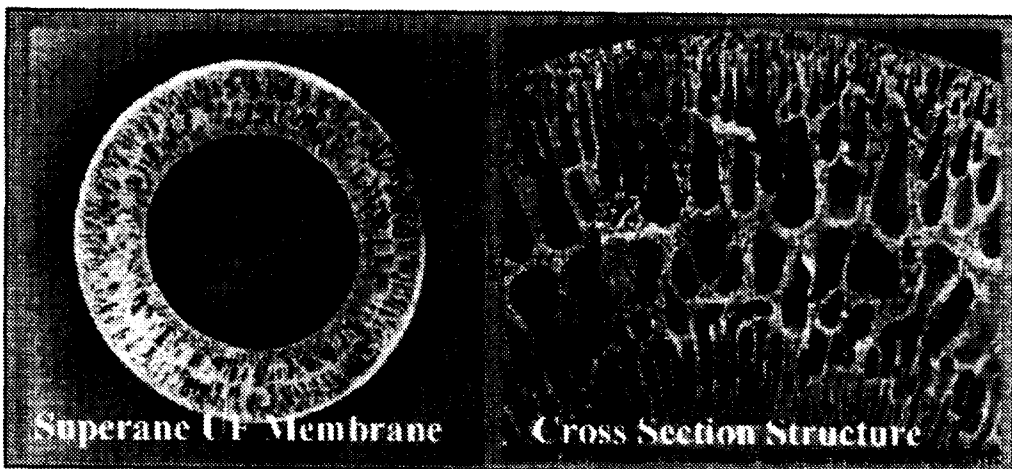


● Hollow Fiber UF Membrane 의 구조

(1) Romicon 제품



(2) SK Chemical 제품



## 나. UF/MF 모듈의 종류와 특성

지금까지 UF 및 MF 막은 식품, 제약 및 정밀분리를 위한 용도에 쓰여 왔으며 UF 막은 Hollow Fibers > Plate & Frame > Tubular > Spiral-wound Module 순으로 적용되어 왔으며, 국내에서는 전착도장, 반도체 초순수분야, 효소농축정제 및 생물산업분야에 Hollow Fiber Module 이 많이 적용되어왔다. MF 막의 경우에는 UF 와 마찬가지로 여러가지 모듈이 상용화되어 있지만 주로 주름적층식 형태를 가진 Pleated Cartridge 가 가장 많이 적용되어 왔으며 이것은 10-30 inch Housing 에 Cartridge 를 손쉽게 탈착할 수 있는 형태이거나 아예 Disposable 형식의 카트리지로써 반도체, 제약, 화학공업등 산업 전분야에서 많이 적용되어 왔고 현재 국내시장규모도 년간 350 억원 규모 이상된다. 또한 적은 규모로 사용되어 왔지만 특히 생물산업분야에서 Hollow Fiber 모듈이 사용되어왔다.

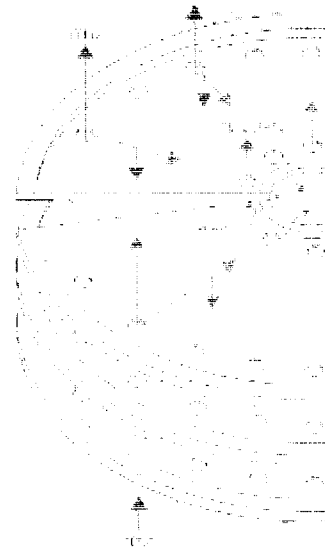
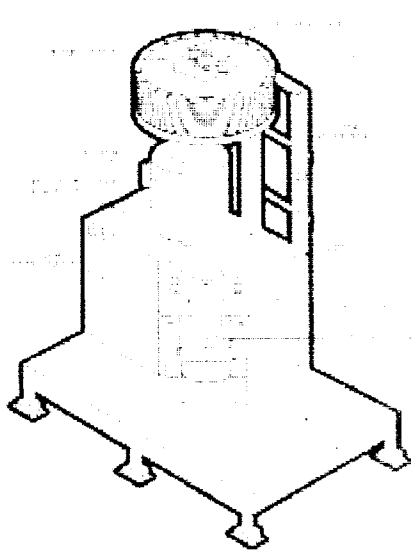
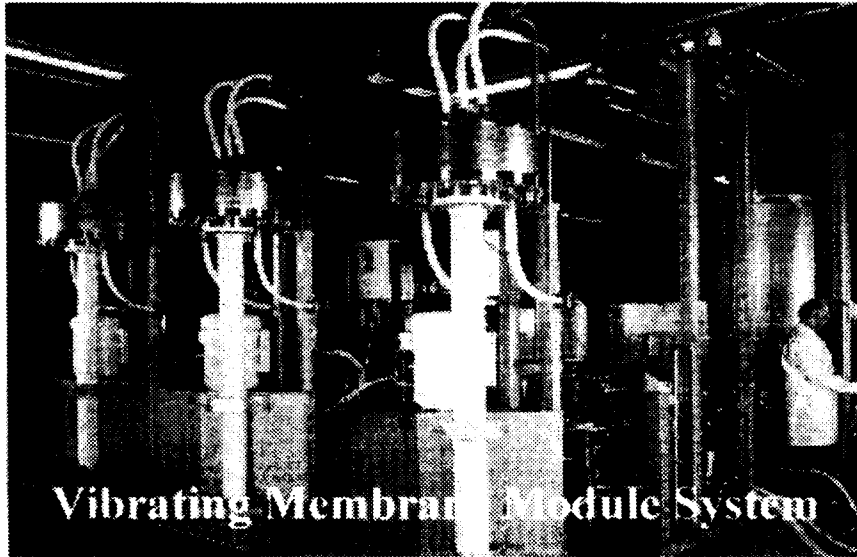
최근에는 먹는물 및 공업용수처리에 적합한 중공사막 모듈이 개발되면서 지금까지의 사용 판도는 바뀌어질 전망이다. Cross-flow Filtration 과 Dead-end Filtration 을 병행하는 여과공정과 더불어 물 및 공기에 의한 역세정방법이 등장하면서 수처리, 환경분야에서 중공사막의 수요는 크게 증가할 전망이다. 지금까지 양말단 접착형 중공사막 모듈형태에서 다양한 제품이 판매되고 있다.

최근 상품화되어 적용되고 있는 UF/MF 모듈을 소개하면 다음과 같다.

### (1) Vibrating Disk Membrane Module

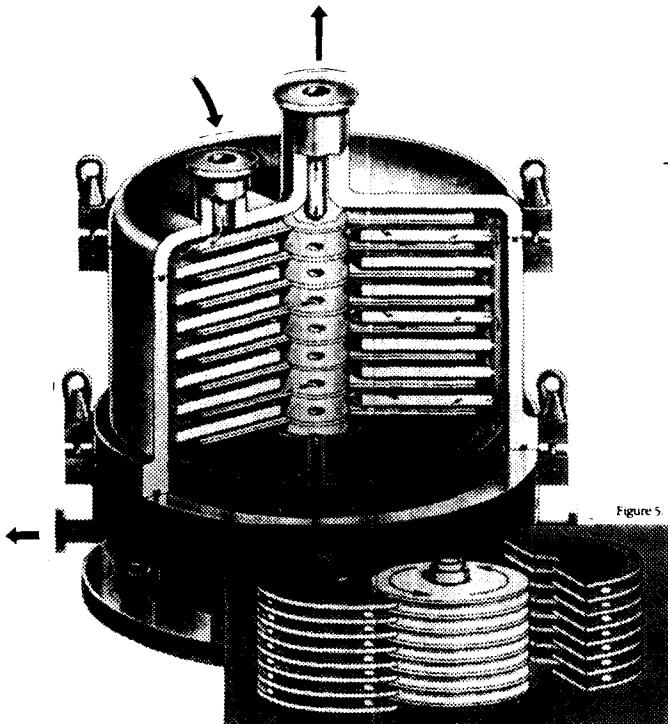
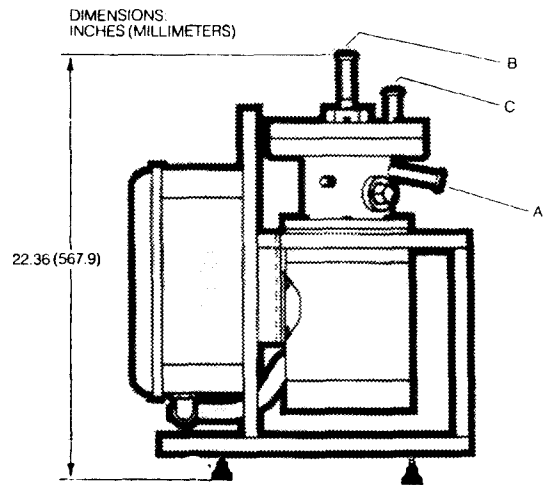
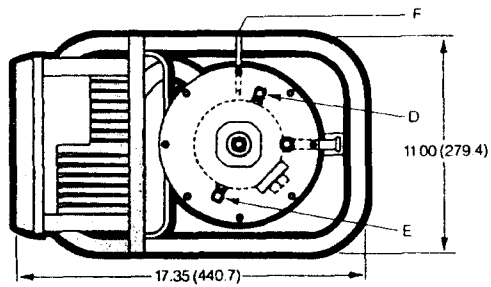
진동형 분리막모듈은 막표면에 유체가 통과할 때 회전 및 진동을 일으키도록 설계된 모듈로서 막표면에 오염물질이 부착되지 않도록 Sine Wave 를 일으킨다. 따라서 기존의 막분리장치보다 고농도 운전이 가능하고 투과성능 몇배 향상된다. 상용화되어 있는 PallSep 제품의 경우 Filter Disk 의 수직축에 대해 약 50-6- Hz 의 진동을 일으키며 Membrane 표면에서 100,000-150,000 /sec 의 Shear Rate 를 나타내고 있다. 이러한 모듈은

식품, 폐수처리공정등에 적합하며, 90%이상의 회수율을 얻을 수도 있으므로 주로 농축공정에 적합하다.



## (2) Rotary Disk Membrane Module

회전방식의 Disk Module 역시 막표면의 오염을 최소화시키기 위하여 Disk를 1축으로 회전시키거나 2축으로하여 엇갈려 회전시키는 방법으로 운전한다. 이러한 모듈의 막표면은 회전시 Shear Force에 의해 막표면에서의 농도분극이 감소되어 표면의 고농도 불순물이 Back-diffusion 되는 원리에 의해 고농도의 액의 처리시에 농축비 및 투수량을 증대시킬 수 있다.



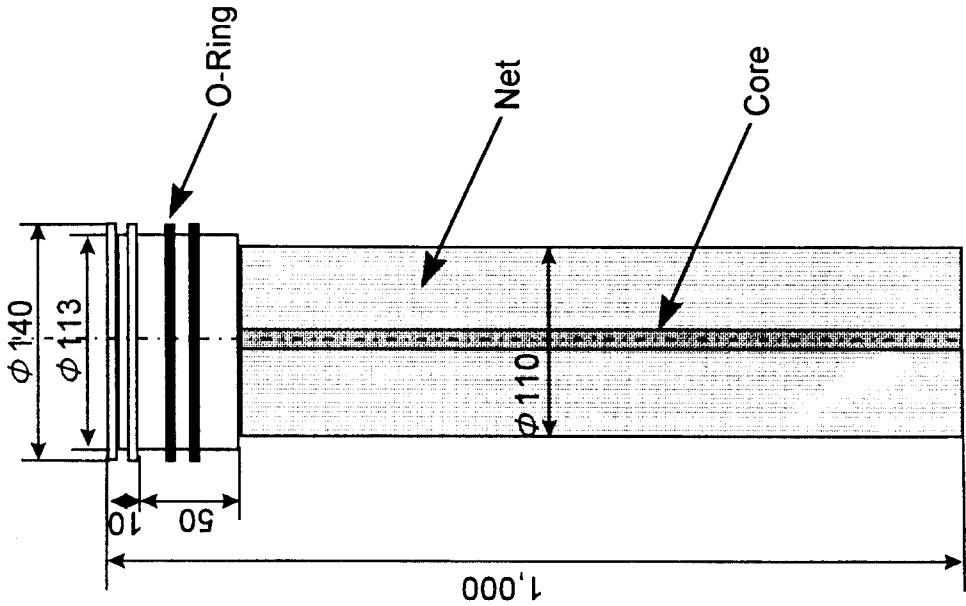
Connection Chart		
Port	Connection	Fluid
A	½" Tri-clover Tri-Clamp	Inlet
B	½" Tri-clover, Tri-Clamp	Outlet
C	½" Tri-clover, Tri-Clamp	Permeate
D	¼" tube	Coolant inlet
E	¼" tube	Coolant outlet
F	¼" tube	Pressure tap

### (3) Housing 삽입형 Hollow Fiber Element /Cartridge

지금까지 수처리분야에는 Spiral-wound 형태의 RO 막과 Pleated Type 의 MF 막이 주종을 이루어 왔는데 1990 년부터 유럽, 호주, 미국등지에서 음용수처리에 중공사 형태의 UF/MF 막을 적용하면서 중공사막모듈이 수처리분야에 대명사가 되었다. 또한 일본에서도 MAC21(Membrane Aqua Century 21) Project 를 통해서 UF/MF/NF 막의 먹는물제조에 대한 가능성(소규모수도용 막여과 시설)을 확인하였고 지금 실제 적용하고 있는 현실이다. 이와같이 상수도시설에까지 적용되고 있는 상황이기 때문에 Membrane 의 경제성을 따지지 않을 수 없게 되었다. UF/MF 막의 정수공정에서의 주요 역할은 제균, 제탁이다. 따라서 이에 적합한 Pore Size 및 고투수성을 필요로 한다. 또한 기존의 UF/MF 모듈(양쪽 접착형, 모듈과 중공사막의 일체 접착형, 농축액순환형)의 경우에는 우선 모듈 설치시에 배관에 정밀한 Manifold 가 고정되어야 하므로 설비비가 많이들고 모듈구조상 제조원가도 높다. 또한 오염시 막세정도 어렵고 설비의 부피도 크게 차지한다. 이러한 시스템으로는 대규모 정수처리에 적용되어 왔던 기존의 공정에 비해 가격경쟁력을 가질 수 없고 편리성에도 문제가 있다.

수처리에 적용되고 있는 모듈은 여러 종류가 있지만 그중 Microfilter Housing 과 같은 형태의 Housing 내에 카트리지형태로 끼워넣을 수 있는 형태의 모듈이 가장 유리하다. 이것은 장치를 Compact 하게 해주며(기존 Manifold 방식의 1/3-1/5), Element 형태로 되어 있으므로 탈착이 용이하며, 약품세정시 Housing 에서 꺼내어 별도 세정도 할 수 있는 장점이 있다. 향후 이러한 형태의 중공사막 Element 는 Cross-flow 및 Dead-end Filtration 모두 가능하며 대용량처리에 적합하다. 다음은 SK 케미칼이 상품화하여 판매하고 있는 MF Element(Superane SKMF-Element)의 형태 및 Housing 을 나타낸 것이다.

## 막 엘리먼트의 형태 및 사양

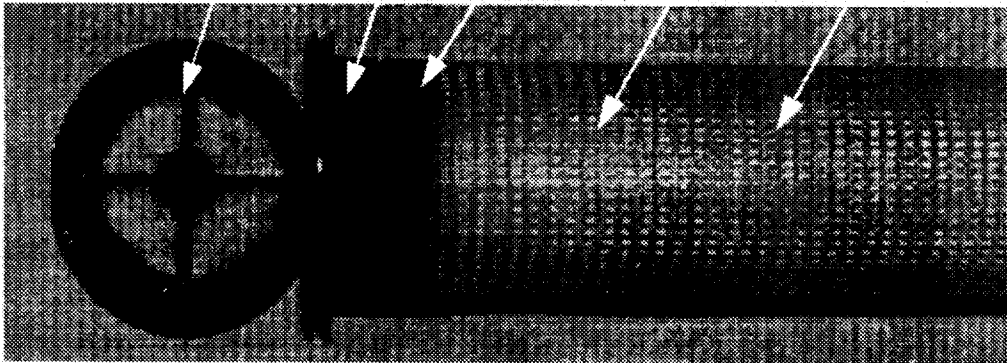


Model		SKMF01-EL
여과방식		외압식 전여과방식
성능	Pore Size ( $\mu\text{m}$ )	0.01
	여과수량 ( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) <sup>*1,2</sup>	1.0 - 1.5
운전조건	사용온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\leq 40$
	사용압력 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	$\leq 2$
	사용차압 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	5
	사용 pH 범위	2 - 12
	유효막면적 ( $\text{m}^2$ )	19
Size	전장(mm)	1,000
	외경(mm)	110
재질	중공사막	Polysulfone
	보호망	PE
	접착제	PU

- \*1. 설계수량은 실제수량과 다소의 차이가 있을 수 있음
- 2. 측정조건 :  $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$  압력,  $15^{\circ}\text{C}$  상수도



## SKMF01-Element 사진



Element상부의 절단면 사진

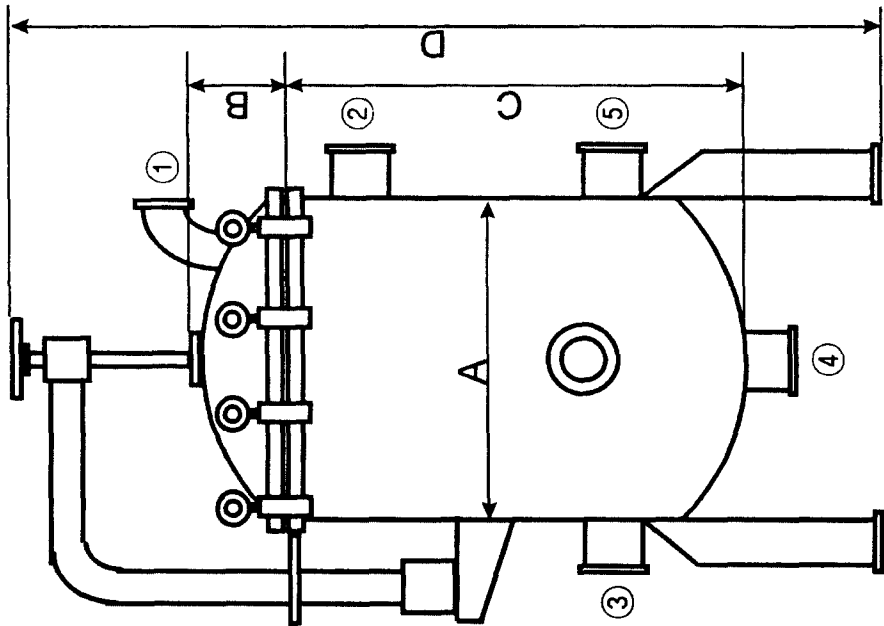
Double O-ring

Housing 접속 Head

Membrane보호망

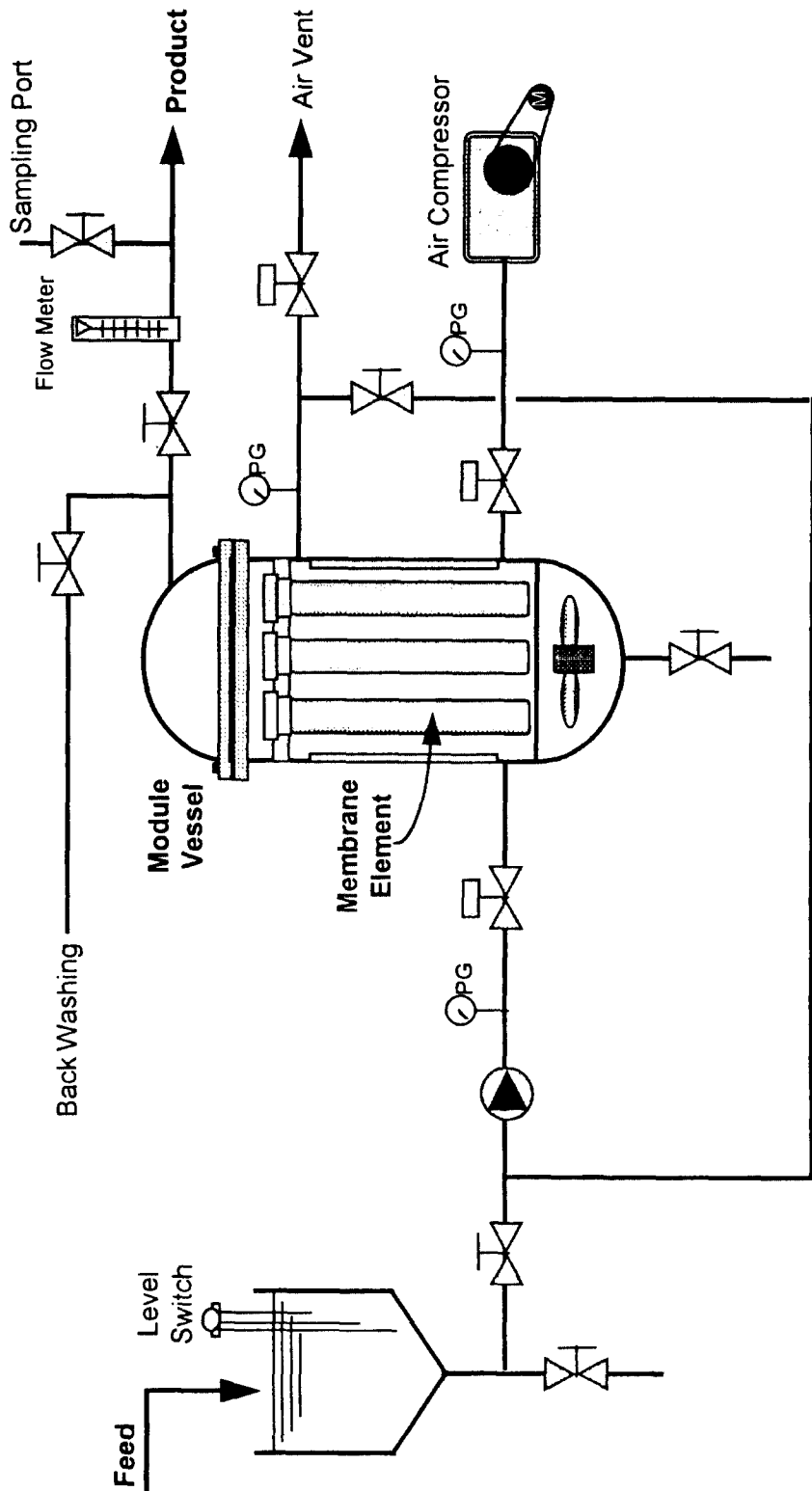
Hollow Fiber MF membrane

# 막 모듈의 형태 및 사양



사양	SKMV-EL07	SKMV-EL19	SKMV-EL28	SKMV-EL48
A (mm)	500	750	1,000	1,200
B (mm)	175	230	280	330
C (mm)	1,224	1,270	1,320	1,390
D (mm)	2,000	2,100	2,300	2,500
① 여액구	40A	50A	65A	80A
② Air outlet	40A	50A	65A	80A
③ 원수입구	25A	40A	50A	65A
④ 배수구	50A	80A	100A	125A
⑤ Air inlet	25A	40A	50A	65A
중량(kg)	220	400	800	1,100

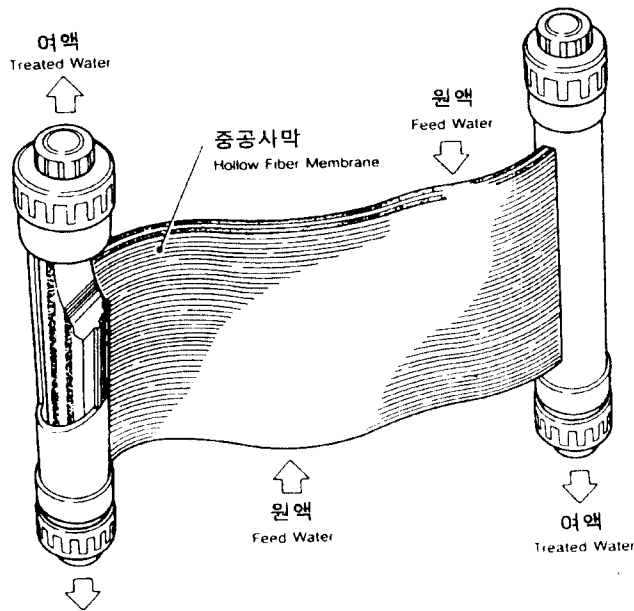
수처리 시스템 (WTS)



#### (4) 침적형 Hollow Fiber Module(Screen-like Structure)

대부분의 폐수처리 및 수처리공정은 Membrane 만으로 운전되기 어려우며 여러기능을 가진 분리공정이 조합되어 사용되는 것이 일반적이다. 또한 폐수처리 공정에서 처리효율의 극대화를 위해 미생물처리법과 병행하는 Membrane Bio-reactor 가 효과를 거두고 있는데 이분야에 중공사막이 많이 적용될 전망이다. 국내에 아직 국산제품으로 적용된 사례는 없으나 침적형 중공사형 MF 막으로서 Mitsubishi Rayon 의 Screen Type 모듈이 오수처리 및 합병정화조에 적용되고 있다. 국내에서는 아직 오폐수처리에 막 적용이 일반화되지 못했으나 앞으로 수질오염에 따라 상수원지역의 오염을 막기 위해 각가정에 합병정화조를 설치하는 것을 법규화하고 있다. 따라서 보다 가격이 저렴하고 효율적인 막모듈의 등장이 기대된다. 또한 침적형 막여과공정으로서 중공사막외에도 Tubular 막모듈을 사용하여 폐수처리에 적용한 사례가 다수 있다.

#### ● Mitsubishi Rayon 사의 침적형 Screen Type 중공사막 모듈



### 3. UF/MF Membrane 국내 적용사례

국내에는 1980년대초부터 Membrane 이 적용되기 시작했으며 반도체, 전착도장 및 식품분야에서 주류를 이루어 왔다. 본고에서 소개하고자 하는 사례는 수처리, 폐수처리 및 식품, 생물산업분야에서 국산화된 사례들로서 향후 시장파급이 크거나 기술적 효과들이 있는 것을 간단히 소개하였다.

#### 가. 아파트 및 공동주거집단에 제공되는 음용수처리

최근들어 생활수준의 향상과 더불어 좋은 물에 대한 국민들의 관심은 날로 커지고 있으나 상수원수질의 악화와 공급관로의, 노후화에 따른 2차 오염의 발생으로 수돗물을 그대로 마시고 있는 가정은 매우 찾아보기 힘든 현실이다. 따라서 각 가정에서는 별도로 정수기를 설치하거나 먹는샘물(생수)을 구입하여 마시는 사례가 늘고 있는데 이는 각가정의 경제적 부담 뿐만 아니라 관리 미숙으로 오히려 오염된 물을 먹게 되는 경우도 빈번하다. 특히 미생물에 대한 2차 오염은 오히려 상수도를 그냥 사용하는 경우 보다도 문제가 된다는 것이 언론을 통해서도 보고된 바 있다.

최근들어 입주자들에게 안전한 물을 공급하기 위해서 중앙공급식 정수처리장치를 설치하는 아파트가 늘고 있다. 이러한 정수처리장치는 각 아파트마다 구성방식이 다르나 UF/MF 막으로 접근되어 있는 것이 공통적이다. 한국환경수도연구소에서는 주공과 공동으로 아파트의 중앙정수처리시스템을 개발하였으며 분리막은 SK 케미칼의 중공사형태의 Polysulfone UF막(0.01 마이크론)을 적용하였다.

정수시스템의 구성은 원수공급부, 활성탄필터, 진처리필터, 고투수성 UF막, 제어부, 정수 저장부, UV 장치 및 공용음수대로 구성되며 시간당 6톤의 물을 정수할 수 있는 규모의 설비로 Design 하였다. 주요 Part 의 기능과 규격은 다음과 같다.

- 활성탄필터

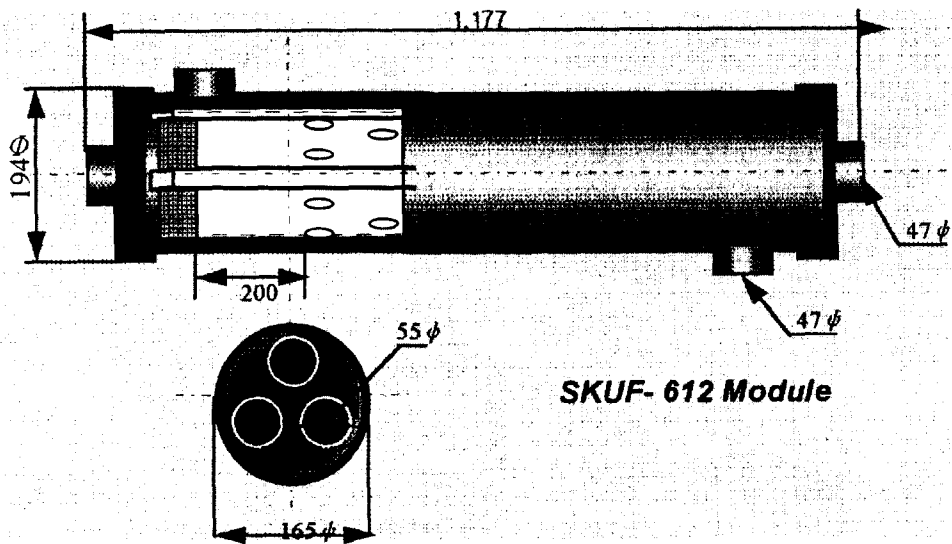
- 기능 ; 수돗물에 포함된 잔류염소와 소독부산물인 THM, 중금속(일부)등의  
    질질을 제거하는 장치로서 물맛을 좋게 한다.
- 처리용량 및 규격 ; 용량 6 톤/시간, 900mm D x 1,800 mmH
- 압력 ; 설계압력 10 기압, 사용압력 ; 5 기압
- 선속도 ; 10.5 m/hr

- 전처리필터

- 기능 ; 다공질분말을 성형하여 고온에서 소성시켜 만든 Alpha-Cellulose 재  
    질의 Microfilter로서 기공은 5 마이크론이고 녹물, 찌꺼기, 모래등을 제거  
    하여 UF 막을 보호하는 기능을 가진다.
- 규격 130 mm x 550 mmH

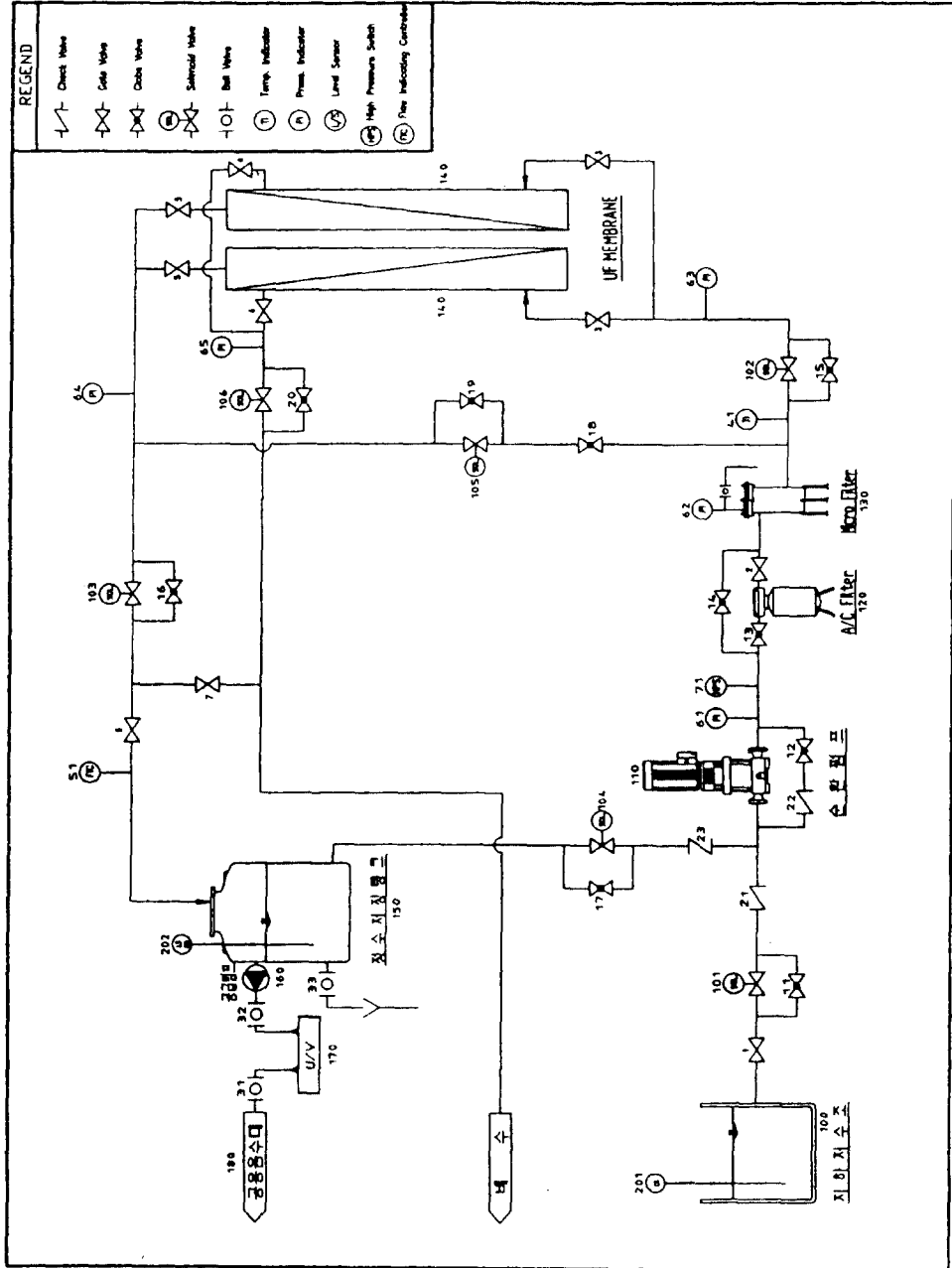
- 고투수성 UF 막

- 기공 0.01 마이크론으로 박테리아, 바이러스 및 미세한 불순물 찌꺼기를  
    제거한다.
- Polysulfone, 0.01 마이크론, ID/OD = 0.4/0.6 mm, 165 mm x 1,177 mm



- 수도물을 원수로하여 설계된 A/C-전처리여과-UF-UV 정수처리시스템의

### Flow Diagram



본 공정의 특징은 고투수성 UF 막을 적용한 것을 특징으로 하며, 특히 운전방법은 기본적으로 Dead-end Filtration 으로 하며 경우에 따라 수질의 탁도가 아주 높거나 일정기간 운전하여 시스템내에 오염물 잔존량이 많이 존재한다고 판단하였을 경우 밸브조절에 의해 원하는 만큼 Return 시킬수도 있다. 따라서 Cross-flow filtration 도 가능하다. 또한 3 시간에 1분씩 역세정하는 운전방법이 선정되었다. 어떠한 막이던지 오염은 일어나며 이를 어떻게 세정하느냐 하는 것이 관건이다. 본여과장치는 운전기술이 전무하다고 판단되는 주민들이 사용하는 장치이므로 안전성에 대한 Factor 가 크게 고려되었다. 따라서 오염이 진행되기 전에 바로 막표면의 세정을 하여 투수량이 지속되도록하였다. 본장치에 의해 얻어진 운전결과와 정제수의 수질분석 결과는 다음과 같다.

● 고투수성 UF 막의 미생물, 탁도제거성능 실험 결과

항 목 수 압	정수량 (리터/분)	미생물(CFU/100mL)			탁도(NTU)		
		유입수	정수	제거율 (%)	유입수	정수	제거율 (%)
1.0kgf/cm <sup>2</sup>	33.55~34.16	500	0	100	32.0	0.10	99.7
1.4kgf/cm <sup>2</sup>	45.08~45.55	520	0	100	31.5	0.08	99.7
1.8kgf/cm <sup>2</sup>	54.03~54.79	500	0	100	30.5	0.08	99.7



● 시간경과에 따른 UF 막의 투수성 변화

(수압 : 1.5kgf/cm<sup>2</sup>)

정수량 (리터/분)	경과시간	정수량 (리터/분)	경과시간
44.30	5분	44.18	9시간 5분
44.29	10분	44.17	9시간 10분
44.25	20분	44.13	9시간 20분
44.20	40분	44.07	9시간 40분
44.14	1시간	44.00	10시간
44.08	1시간 30분	43.92	10시간 30분
44.00	2시간	43.82	11시간
43.91	3시간	43.71	12시간
1분간 역세		1분간 역세	
44.26	3시간 5분	44.14	12시간 5분
44.25	3시간 10분	44.13	12시간 10분
44.20	3시간 20분	44.08	12시간 20분
44.14	3시간 40분	44.02	12시간 40분
44.07	4시간	43.95	13시간
44.00	4시간 30분	43.87	13시간 30분
43.92	5시간	43.78	14시간
43.81	6시간	43.68	15시간
1분간 역세		1분간 역세	
44.22	6시간 5분	44.09	15시간 5분
44.21	6시간 10분	44.07	15시간 10분
44.17	6시간 20분	44.02	15시간 20분
44.13	6시간 40분	43.95	15시간 40분
44.06	7시간	43.86	16시간
43.98	7시간 30분	43.77	16시간 30분
43.90	8시간	43.67	17시간
43.80	9시간	43.54	18시간
1분간 역세			

● 활성탄 +UF 막의 정수성능 실험 결과

구분 항목	조 제 수		정 수		제 거 율 (%)
	농 도	단 위	농 도	단 위	
일반세균	2,200	CFU/100mL	0	CFU/100mL	100
대장균	1,800	/50mL	0	/50mL	100
1,1,1-트리클로로에탄	0.634	mg/L	0	mg/L	100
테트라클로로에틸렌	0.204	"	0	"	100
트리클로로에틸렌	0.665	"	0	"	100
디클로로메탄	0.381	"	0	"	100
사염화탄소	0.016	"	0	"	100
벤젠	0.184	"	0	"	100
톨루엔	3.156	"	0	"	100
에틸벤젠	2.050	"	0	"	100
크실렌	3.095	"	0	"	100
탁도	64.0	NTU	0.60	NTU	99.0
트리할로메탄	0.711	mg/L	0	mg/L	100
세제	1.4	"	0	"	100
맛	+	-	무미	-	100
냄새	+	-	무취	-	100
비소	0.2024	mg/L	0.0123	mg/L	93.9
철	1.806	"	0.000	"	100
카드뮴	0.0252	"	0.0242	"	4.0
크롬	0.1631	"	0.0577	"	64.6
구리	3.248	"	1.455	"	55.2
페놀	0.038	"	0	"	100
불소	2.8	"	2.4	"	14.3
납	0.6953	"	0.0422	"	93.9
수은	0.0100	"	0.000	"	100
말라치온	0.8207	"	0	"	100
파라치온	0.1465	"	0	"	100
다이아지논	0.0904	"	0	"	100
페니트로치온	0.1165	"	0	"	100
카바릴	0.1997	"	0	"	100
잔류염소	5.0	"	0	"	100

## 나. 간이상수도

간이상수도란 시, 군이 관할하는 인구 5,000 명이하, 하루 1천톤 미만의 수도시설로 정의하고 있는데 실제로는 10-100여가구 규모의 거주집단에 필요한 수도로서 25가구기준일 경우 하루 25-40톤의 수도시설이 일반적이다. 국내에는 전국각지에 26,000여군데에 달하며, 향후 상수도 보급에 의해 상당부분 줄어들 것으로 예상되지만 현재 미생물, 특히 염소소독등으로도 잘 해결되지 않는 원충동물과 지역에 따라 유기물의 혼입등이 문제가 되고 있어 국민보건 차원에서 정부 및 지자체 주도로 개선이 진행되고 있다.

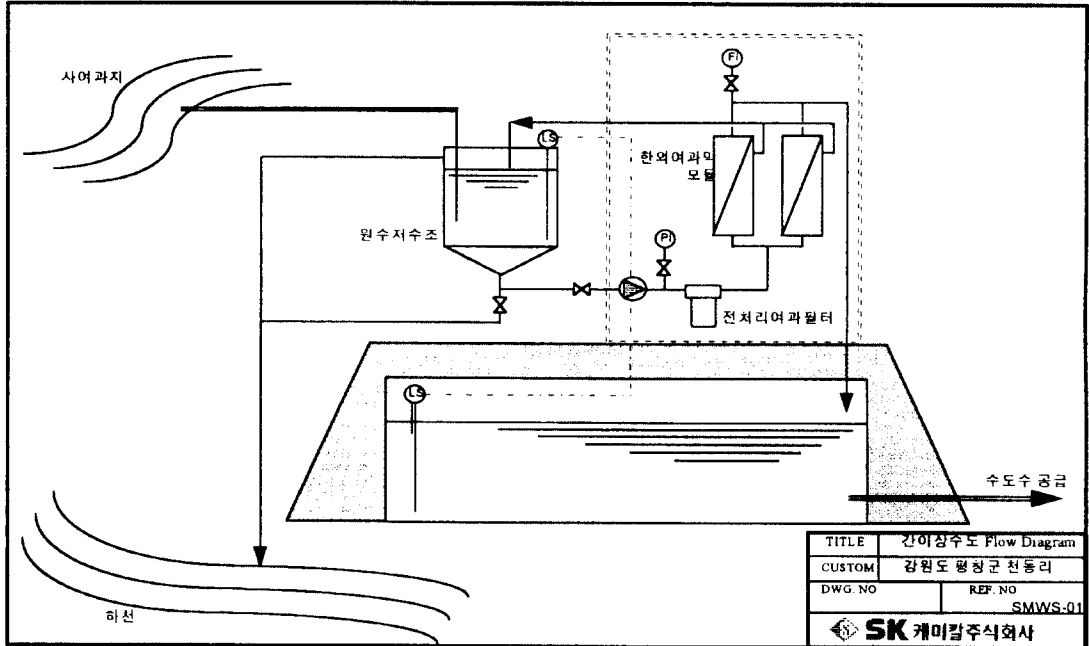
간이상수도는 지하수를 원수로 사용하는 경우가 52%로 가장 많고, 용천수 24%, 하천수 21% 순으로 되어 있다. 지금까지 간이상수도는 수원-취수-침전지-여과지-저수탱크-소독-급수, 또는 수원-취수-저수탱크-소독이 전부이다. 현재 간이상수도의 문제점은 적정수질의 음용수를 확보하기 곤란하고, 살균등도 비효율적으로 이루어지며 일상적인 유지관리가 불편하며, 균, 원충동물 및 벌레에 이르기까지 치명적 오염요소가 내재되어 있는 것이다. 이러한 문제 해결을 위해 UF/MF 중공사막과 활성탄이 적용된다.

SK 케미칼은 지역별 수질검사와 막여과방법에 대한 적용성을 평가하여 Pilot 실험을 완수하고 1998년 5월 국내 최초로 강원도 평창군에 간이상수도를 설치하였다. 간이상수도가 설치된 지역은 축산농가가 많이 모여 있는 지역으로서 지하수등에 축산폐수가 혼입되어 음용수로 사용하기 부적합한 곳이다. 이지역에는 30여가구가 살고 있는데 하루 사용하는 물은 25-30톤 내외이다. 간이상수도는 향후 물사용이 늘어날 것을 예상해서 하루 50톤으로 설계하였다. 본지역은 유기물에 의한 문제는 전혀 없었으나 균, 원충동물, 실벌레같은 미생물의 문제가 심각하여 막여과시설이 설치되었다

간이상수도에서 가장 중요한 Key Factors 는 Cost 와 장기적 운전시 Trouble 이 생기지 않는 것이다. SK 케미칼은 이러한 문제 해결을 위해 시스템을 구성하는 부품의 국산화와 자동화 및 연속적 투수성을 유지하기 위해 2시간에 1회 역세정 및 완전 Dead-end Filtration 이 아닌 부분적 Return 방식을 채택하였다. 평창군에 설치한 간이상수도의 모습과 실험결과를 다음에 나타내었다.

● 간이상수도 Flow Diagram

(1.5 Km 떨어진 계곡에서 Pipeline 을 통해 취수하였으며 취수전에 모래여과지를 통과한다.)



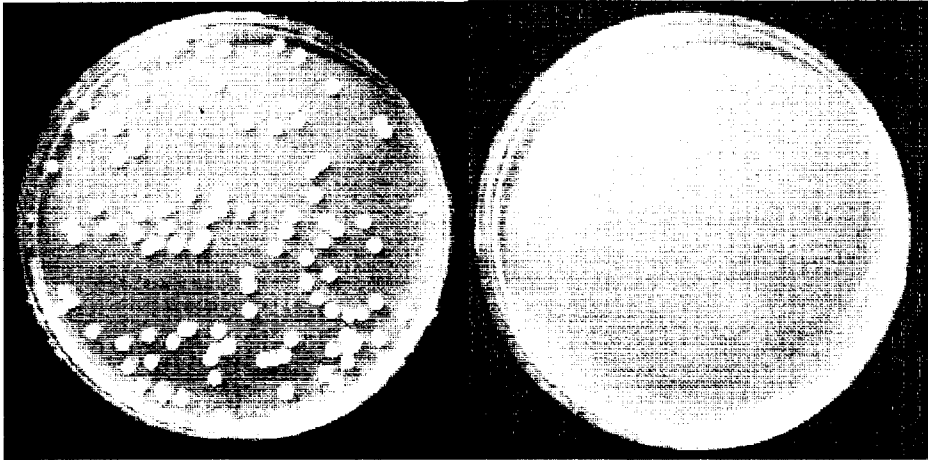
● 막여과장치의 정수효과

항목	단위	원수	정제수	제거율(%)
일반세균	CFU/100 ml	2,200	0	100
대장균	-/50 ml	1,800	0	100
탁도	NTU	60	0.2	99.7
맛	-	+	무미	100
냄새	-	+	무취	100

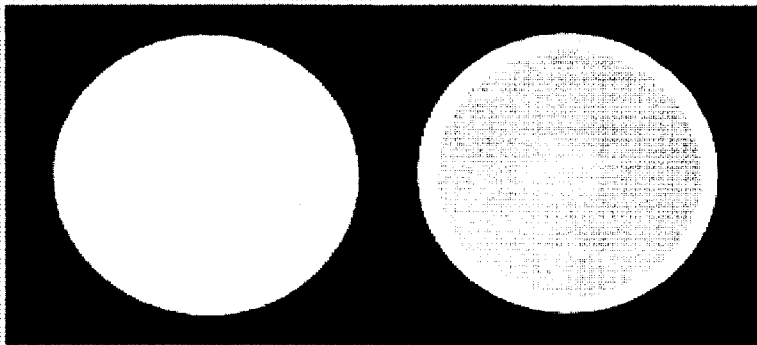
● 막여과장치의 균 제거성능 시험결과

▷ 사용균주: *Pseudomonas diminuta* ATCC 19146

▷ 원수균농도: 백만 CFU/ml 이상



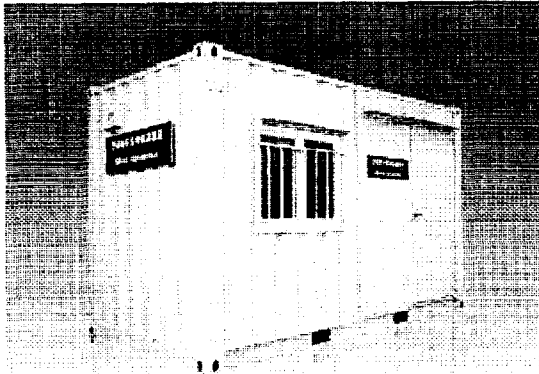
간이상수도막여과장치  
탁도성분제거결과



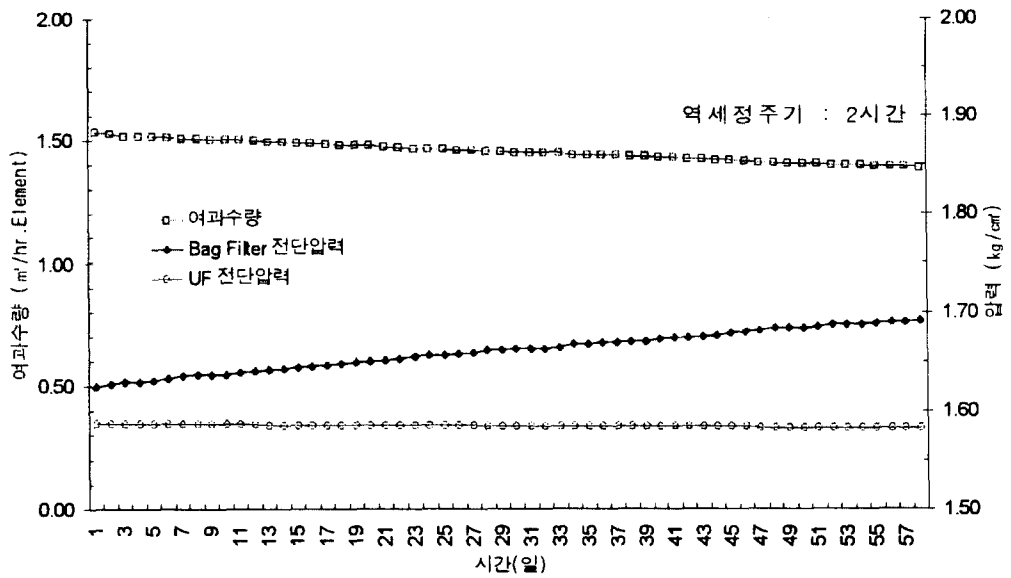
SKMF01여과후  
SDI = 0.5

SKMF01여과전(원수)  
SDI = 6.5

- 평창군에 설치된 SK 케미칼 간이상수도  
( Superane SKMF01 Membrane Element )



- 운전결과



## 다. 중수도

도시의 기능이 급격히 변화되고 인구가 집중되면서 대도시를 중심으로 생활용수가 크게 급증하고 있다. 수도권내에서 사용되는 물은 가정용수가 60 %, 대형건물에서 40 %정도 소요되고 있다. 향후 3 차산업의 발전이 가속화되어 더욱 많은 물을 소모하게 될 것이고 이에 대한 대책으로서 수자원 재활용이 강구될 전망이다. 2001 년도 중수도에 대한 수요 예측을 보면 용수 수요는 25,461,000 톤/일이며 생활용수가 18,671,000 톤/일, 공업용수가 6,794,000 톤/일이다. 정부에서 추진하려는 중수도 사용량은 총 3,628,000 톤/일로서 생활용수 2,469,000 톤/일, 공업용수 1,159,000 톤/일이며 중수도 대체율 14.2 %를 목표로 하고 있다.

중수도 처리방법은 생물처리나 물리화학적 처리방법이 보통이나 처리수를 재사용하기 위해서는 고도의 처리수질이 요구되기 때문에 최근 재래식방법과 UF 를 조합한 Hybrid System 을 사용하고 있다. 도시건물에서 배출되는 폐수규모는 비교적 작고 변동이 많기 때문에 설계면이나 운전면에서도 그다지 효율이 좋지는 않다. 따라서 높은 재이용률이나 고도의 재생기능을 요구하는데는 타당성이 없다. 재생수는 주로 화장실용수나 일반잡용수로 사용되며 어느정도 이상의 수질만 유지하면 된다. 일반적으로 도시건물 폐수중 70%가 화장실 폐수이므로 이러한 용도 만으로 사용하여도 있점이 있다.

다음에 생활오폐수처리 전문회사와 생활오폐수의 중수도로서의 사용가능성 판단을 위해 실험한 결과를 소개하고자 한다. UF System 의 운전조건 및 주요 결과를 다음에 설명하였다. SS 제거율을 평가하여 본 결과 유입원수의 SS 는 1-7ppm 으로 유지되었으며 처리수의 SS 는 검출되지 않았다. 또한 BOD 의 농도를 측정하여본 결과를 그래프에 나타내었다. 유입원수의 BOD 는 3.4-14 ppm, 평균 9.7ppm 으로 유입되었으며 UF 여과액의 BOD 는 0.2-2.2 ppm, 평균 0.91 ppm 으로 유지되었다. 즉 평균 88 %의 제거율을 나타내었다.

● UFTest 운전조건 및 결과

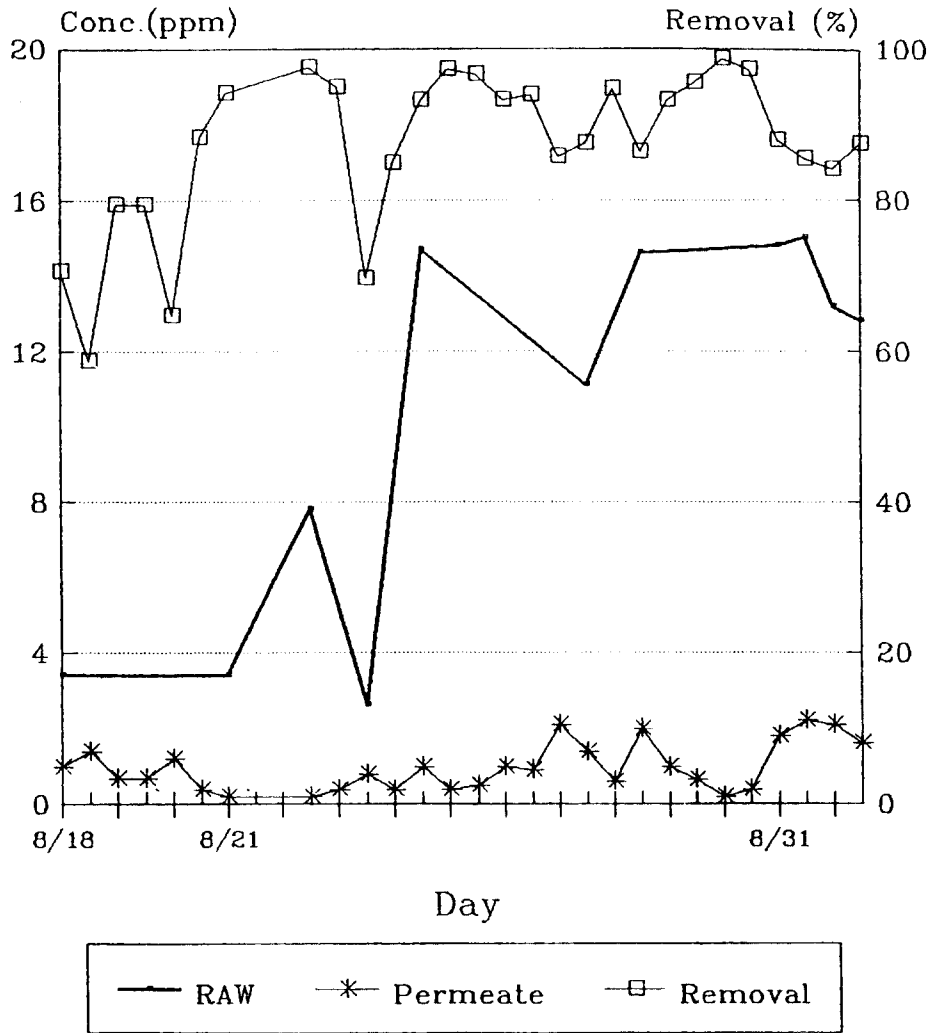
항 목		결 과	
운전압력(Kg/cm <sup>2</sup> )		2.5	3
최적막면유속(m/sec)		1.75	
평균Permeate(L/hr, 1.7m <sup>2</sup> )		240	270
Flux(LMH, 1 Kg/cm <sup>2</sup> )		56.47	53.53
BOD	평균원수농도(ppm)	9.7	
	평균처리수농도(ppm)	0.91	
	평균제거율(%)	88	
역세 조건	방 법	Permeate를 이용한 역세정	
	압력(Kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	
	시 간(분/회)	3-5	
	주 기(min)	30	
	유 량(L/hr)	250-300	

운전압력을 2.5 Kg/m<sup>2</sup>으로 유지하면서 막면 유속을 1, 1.25, 1.5, 1.75 및 2 m/sec 로 변화시키면서 테스트를 하였다. 그결과를 다음에 나타내었다. 실험결과 막면유속이 1.75 m/sec 에서 평균유량 4.67 L/min 으로 가장 양호하게 나타났다. 선속도를 빠르게 하면 막표면의 오염이 최소화된다. 또한 불순물의 제거율이 높아지는 것이 일반적이다. 그러나 에너지비용이 많이 들기 때문에 설계시 특히 유의하여야 할 Point 이다.

폐수처리에서 세정은 필수적인 기술이다. 폐수에 의해 오염되지 않는 막은 없으므로 관건은 얼마나 효율적으로 세정을 하느냐하는 점이다. 본 테스트에서는 여과액을 역세수로 사용하였을때 30분에 3분정도 역세하는 것이 유리하였고 회복율도 우수하였다.



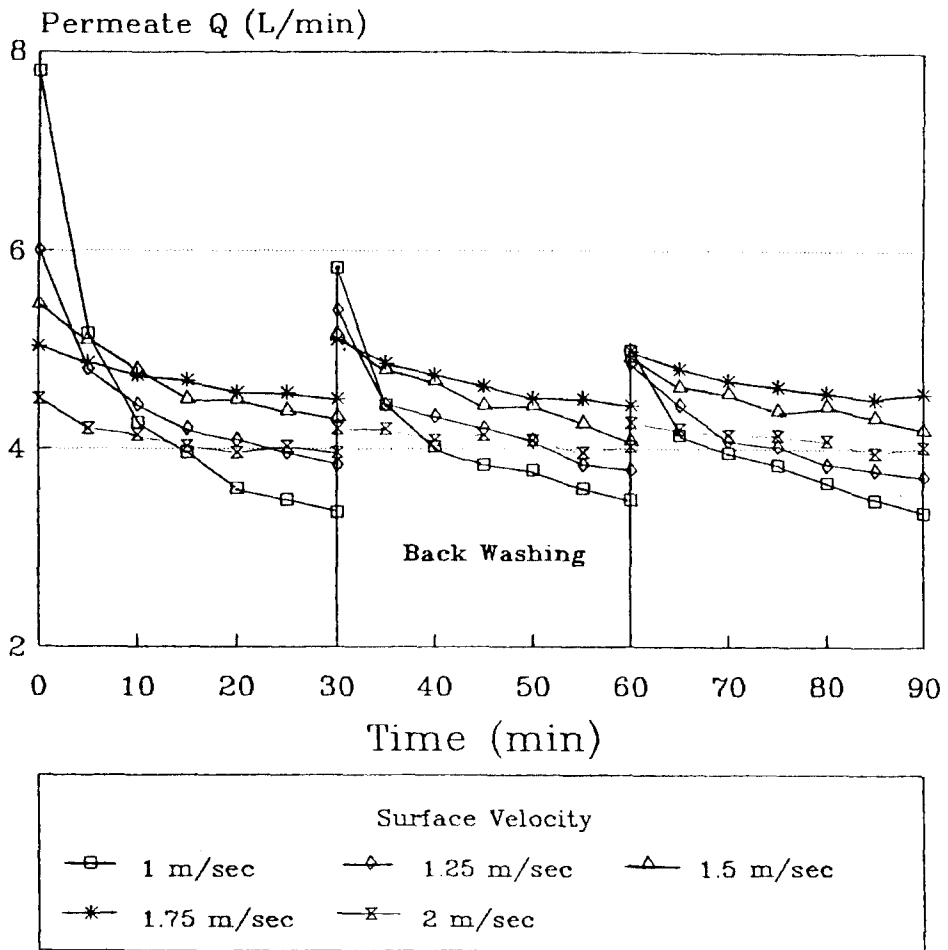
● UF 막의 BOD 제거 효율



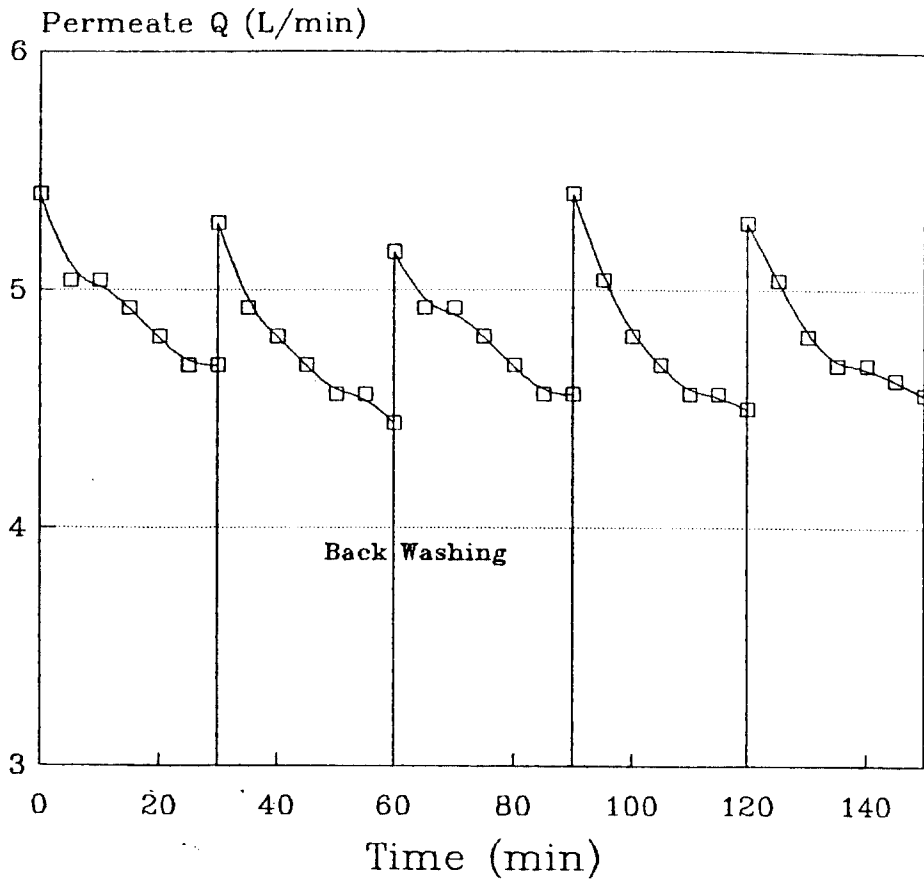
● 막표면의 유체의 선속도에 따른 Permeate 생산량 및 누적유량

구 분	Permeate 생산량 (L/min)					누적유량 (L)				
	막면유속 시간 min	1	1.25	1.5	1.75	2	1	1.25	1.5	1.75
0	7.80	6.00	5.46	5.04	4.50	0	0	0	0	0
5	5.16	4.80	5.10	4.86	4.20	32.4	27.0	26.4	24.8	21.8
10	4.26	4.44	4.80	4.74	4.14	55.2	50.1	51.2	48.8	42.6
15	3.96	4.20	4.50	4.68	4.02	76.5	71.7	74.4	72.3	63.0
20	3.60	4.08	4.50	4.56	3.96	95.4	92.4	96.9	95.4	83.0
25	3.48	3.96	4.38	4.56	4.02	113.1	112.5	119.1	118.2	102.9
30	3.36	3.84	4.32	4.50	3.96	130.2	132.0	140.9	140.9	122.9
30	5.82	5.40	5.16	5.10	4.20	130.2	132.0	140.9	140.9	122.9
35	4.44	4.44	4.80	4.86	4.20	155.9	156.6	165.8	165.8	143.9
40	4.02	4.32	4.68	4.74	4.08	177.1	178.5	189.5	189.8	164.6
45	3.84	4.20	4.44	4.62	4.14	196.7	199.8	212.3	213.2	185.1
50	3.78	4.08	4.44	4.50	4.08	215.7	220.5	234.5	236.0	205.7
55	3.60	3.84	4.26	4.50	3.96	234.2	240.3	256.2	258.5	225.8
60	3.48	3.78	4.08	4.44	4.02	251.9	259.4	277.1	280.8	245.7
60	4.98	4.86	4.92	4.98	4.26	251.9	259.4	277.1	280.8	245.7
65	4.14	4.44	4.62	4.80	4.20	274.7	282.6	300.9	305.3	271.1
70	3.96	4.08	4.56	4.68	4.14	295.0	303.9	323.9	329.0	291.9
75	3.84	4.02	4.38	4.62	4.14	314.5	324.2	346.2	352.2	312.6
80	3.66	3.84	4.44	4.56	4.08	333.2	343.8	368.3	375.2	333.2
85	3.48	3.78	4.32	4.50	3.96	351.1	362.9	390.2	397.8	353.3
90	3.36	3.72	4.20	4.56	4.02	368.2	381.6	411.5	420.5	373.2
평균 유량 ( L/min )						4.09	4.24	4.57	4.67	4.15

● 시간에 따른 UF Flux의 변화



● UF 막의 역세정효과



중수도처리방법은 생물학적방법, 물리화학적방법 및 막처리법이 있는데 국내실정으로는 설치 면적과 SS와 BOD가 높은 현실을 감안할 때 생물학적 처리법과 막처리를 조합한 Hybrid Process를 적용하는 것이 효과적이다. 각각의 처리방식을 다음에 나타내었다. 또한 처리방법 선정시 필요한 요소를 설명하였다.

● 처리방식별 특징

처 리 방 식	종 류	역 할	특 징
생물학적 처리	장기폭기법	유기물	①유기물질 배수의 처리에 최적이다. ②BOD, SS등이 낮은 배수나 높은 배수에도처리가 가능하다 ③배수량이 적은 곳에서부터 많은 곳에도 적용가능하다. ④부하변동에 약하다.
	접촉산화법		
	회전원판 (RBC)법		
물리화학처리	SCREEN처리	큰찌꺼기및오물	①유기물이 적고 무기물이 많은 배수 또한 유분을 포함한 배수처리에 최적이다. ②BOD가 낮고 SS가 높은 배수에 효과적이다. ③처리시설규모가 (SPACE)가 적다. ④유량, 수질, 변동에 강하다. ⑤운전의 정지, 재개가 비교적 용이하다.
	응집 침전법	유기물콜로이드	
	활성탄 여과법	색도, 취기, 용해성유기물	
	SAND 여과법	잔류 SS	
	염소 소독법	세균	
	오존 처리법	색도, 취기, 세균	
	급속여과법	잔류SS	
막 처 리	한외 여과법(UF)	BOD	①비교적 깨끗한 배수의 경우 막처리 후 활성탄 처리를 한다. 역으로 BOD, SS, 유분등이 높은 경우는 막처리 전에 생물, 물리적처리를 하여 폭넓은 처리 SYSTEM 구성이 가능하다. ②처리수의 수질이 양호하다. ③SS의 제거는 거의 완벽하다. ④시설이 비교적 COMPACT 하다. ⑤밀폐구조로 되어 위생적이고 취기 발생이 적다. ⑥오니 발생량이 적다.
	역 삼투법(RO)	COD SS 취기 색도 탁도	

● 중수도 처리방법 선정 Factors

평가항목	처리방식	생물처리의 시스템	물리화학처리의 시스템	막처리를 중심으로한 시스템
원배수의 수질제한		없 음	있 음	없 음
처리수질	BOD SS	● ○	○ ●	● ●
수질변동의 대응성		○	○	●
오니처리	발생량 처리기기	대 필 요	대 필 요	소 불 필 요
설치스페이스	기기 수조	소 대	중 소	대 소
코 스투	건설비 유지비	● ●	● ○	○ ○
운 전 관 리		○	○	●
취 기 발 생		△	●	●

기호설명 : ● 우수함 ○ 보통 △ 열세임.

● 막처리법을 적용하였을 경우 경제성 평가

구 분	시 수 사 용 시	중수(막처리법)사용시	비 고
개 요	· 시설투자비가 거의 들지 않는다. · 상수도, 하수도 요금부담이 크다. · 장래 시수, 정수사용 제한	· 초기투자비가 과다하다. · 설치공간이 소요된다. · 시설관리비용이 든다. · 유지비가 적게 든다.	
용 량	300m <sup>3</sup> /일	300m <sup>3</sup> /일	
소요 SPACE		400m <sup>2</sup> X 6.5 MH	
초기투자비		350,000,000	
세 제 감 면		78,000,000	
년간 운전비	126,000,000	50,000,000	
투자회수기간		2.3년	

※ 초기투자비 / (년간절감액) = 투자회수기간

$$350,000,000 / (126,000,000 + 78,000,000 - 50,000,000) = 2.3년$$

## 라. 특정폐기물처리 매립지의 침출수 처리

쓰레기 침출수는 국내에서도 언론에 자주 보도되는 환경오염 물질이다. 해외에서는 매립지에 대한 계획을 철저히 세워 쓰레기 매립후 부생되는 Methane 개스를 활용하며, 또 매립후 얻어진 부지에는 공원이나 관공서건물 등을 건설하여 사용하고 있다. 쓰레기가 썩어서 배출되는 침출수는 환경오염의 큰 주범이되고 있으며 특히 특정폐기물 매립지는 산업폐기물이 매립되므로 철저히 폐수처리를 하지 않으면 더욱 문제가 된다.

SK 케미칼은 1995 년도에 경기도 화성군 소재 특정폐기물 매립지 현장에 고도처리시설로서 UF 막을 설치하였다. 본 시설은 응집침전등의 화성처리를 거친 침출수를 고도처리하는 것으로서 UF 처리 - RO 처리 - 활성탄처리를 거쳐서 COD 20ppm 이하로 하는 것을 목적으로 하고 있는데 실제로는 평균 5 ppm 이하로 관리된다. 농축되어진 폐수는 Drum Dryer 를 통해 건조되어 고체 상태로 폐기된다. 침출수 및 고도처리후의 수질은 다음과 같다.

### ● 수질분석 결과

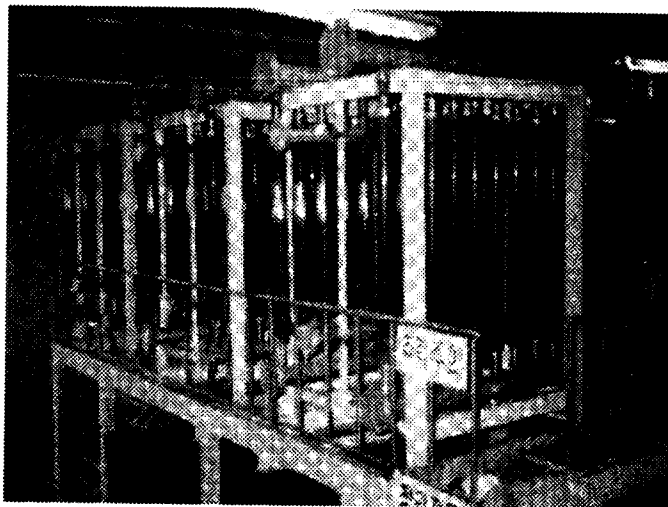
구 분	침출수원수	고도처리후 처리수	처리효율(%)
pH	7.29	8.1	-
COD(mg/l)	142.2	1.63	98.9
TDS(mg/l)	14,947	146.7	99.0
SS(mg/L)	54.1	3.8	93.0
Cu(mg/l)	24.3	0.012	99.5
Cd(mg/l)	0.049	0.008	83.7
Hg(mg/l)	0.001	0.001	0
CN(mg/l)	0.023	0.005	78.3
Cr(mg/l)	0.076	ND	100
Phenol(mg/l)	0.016	0.004	75.0

이공정에서 UF 의 역할은 RO 전처리로서 RO 공급수의 수질을 SDI 5 이하로 조절하기 위함이다. 본시설에 적용된 Membrane 의 규격은 다음과 같다.

- Type ; Hollow Fiber Polysulfone UF Membrane(MWCO 10,000)
- 유효막면적 ; 4.9 m<sup>2</sup>/모듈 x 60 개
- 운전압력 ; 평균 2 Kg/cm<sup>2</sup>
- 처리용량 ; 9.6 m<sup>3</sup>/hr 처리 보증

화성매립지 침출수처리에서 매우 중요하게 결론 지은 것은 고농도의 폐수처리에 있어서 Tubular 모듈 만이 적용될 수 있는 것이 아니고 Hollow Fiber 도 사용 가능하며 특히 처리규모가 작은 경우에는 Hold-up 부피가 작기 때문에 큰 특징점을 가진다는 것을 알 수 있었다. 본 Site 에서 하루 처리하는 침출수는 총 60 톤으로서 Tubular Module 을 사용하여 본 결과 Hold-up 이 많이되기 때문에 상대적으로 농축비를 높이기 어려웠고, 3-4 일 마다 세정을 하는 경우 산/알칼리 폐수가 Hold-up 된 부피이상으로 배출되므로 또다시 폐수의량을 증가시키는 꼴이되어 Tubular 모듈의 사용이 정지되고 Hollow Fiber 모듈로 변경하였다. 막의 수명은 2년으로서 운전기간 동안 SDI Control 이 가능하였다.

● SK 케미칼이 설치한 침출수처리용 UF System





## 마. 염료폐수의 처리 및 재활용

L 화학 온산공장에서는 염료공정으로 부터 배출되는 폐수를 막분리공정으로 처리하여 재활용하는 UF System 을 설치 하였다. 본 시설은 SK 케미칼과 SK 건설 공동으로 추진하였다. L 화학의 염료폐수는 입자크기 0.1-1  $\mu\text{m}$ 의 분산 염료가 주성분으로서 UF 를 사용하였을 때 농축하여 재사용이 가능하다. 또한 미결합염료 및 분산제등은 RO/NF 로 제거하여야 한다. 분산염료만 회수할 경우에는 UF 만 적용하면 되지만 폐수처리를 완벽히 하기 위해 말단에 RO 를 적용하였다. 염료의 농축회수에 적용된 UF 모듈의 사양은 다음과 같다.

- 막모듈 ; SK 케미칼제품 Superane SKUF10-312(4.9 m<sup>2</sup>/모듈 x 20 개)
- 처리량 ; 0.1 m<sup>3</sup>/hr,모듈
- 총처리규모 ; 10 m<sup>3</sup>/d (5 hr 운전/일)
- 세정 ; 30 분/일 역세정 및 1 회/주 화학세정 실시
- 선속도 ; 1.6 m/sec

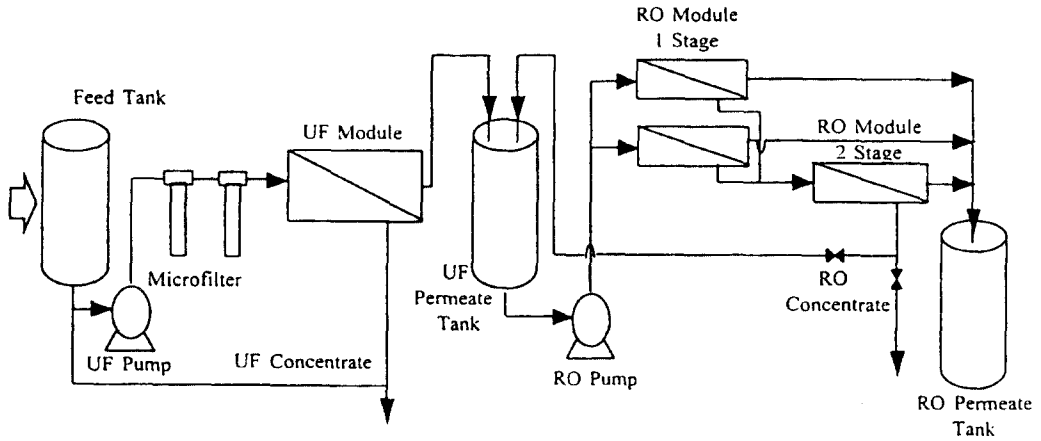
농축결과 31%의 Solid Content 를 나타냈으며 UF 로 최초 부피의 90%를 농축하였다. 염료폐수의 경우 가장 문제가 되는 것은 역시 오염에 대한 문제이다. 화학세정을 피할 수 없으며 강알칼리 성분인 RO-DAN Plus 를 역세와 함께 사용하였다.

폐수처리공정은 실제 시설도입은 하지 못했지만 Pilot 테스트를 거쳐 적용성을 검토하였다. 공정에는 UF 와 Spiral-wound RO 를 사용하였다. Bag Filter 를 거친 폐수를 10  $\mu\text{m}$ 의 Microfilter 와 분획분자량 10,000 의 Polysulfone 중공사 막을통과시키고 FilmTec 의 SW-2540 RO 막으로 최종적으로 처리하였다. 사용한 시스템의 Flow Diagram 을 다음에 나타내었다.

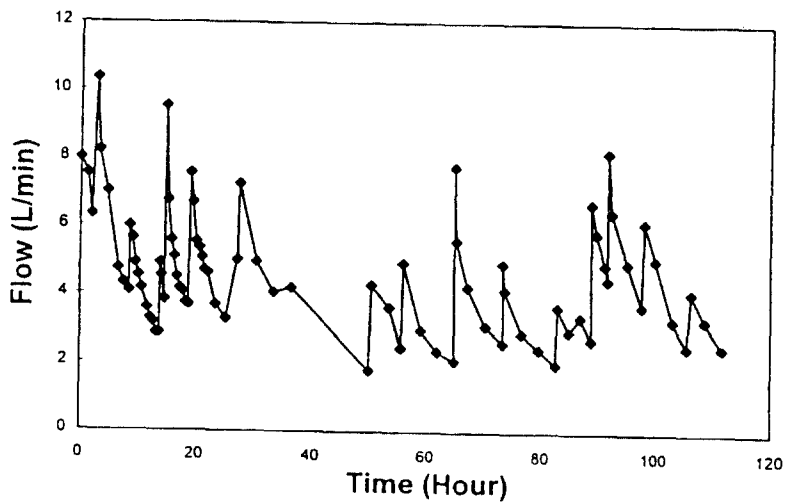
염료폐수에 대한 UF 막의 투수성을 보면 처음 운전시의 Flux 는 초기 3 시간동안 10.3L 에서 4.7L/min 으로 약 55% 감소하였다. 정상운전을 계속하면 약 2L/min 수준으로 유지된다. 오염된 막표면을 세정하기 위하여 약 6 시간마다 Air Flushing 을 실시하였다. Air Flushing 후에는 초기 투수량의 80-90%

의 수준으로 회복되었다. 30 시간이 지난 5 번 역세정후에는 초기 투수량의 70%로 감소하였다. 다음에 화학세정 없이 Air Flushing 만으로 얻어진 결과를 나타내었다.

● **UF-SWRO System Flow Diagram**



● **시간에 따른 UF 투과성능 변화**



## 바. 생활오폐수의 처리 및 재활용

국내에는 막분리기술을 이용한 생활오폐수의 처리 실적이 몇군데 있으며 향후 그 범위가 확대될 예정이다. 본고에서는 Plate & Frame Module 을 이용한 오폐수처리, 침적식 Tubular 모듈을 이용한 오폐수처리 및 중공사막을 이용한 합병정화조등을 소개한다. 이 기술들은 모두 생물학적처리와 병행한 Membrane Bio-reactor 라는 점에서 공통점을 가지고 있다.

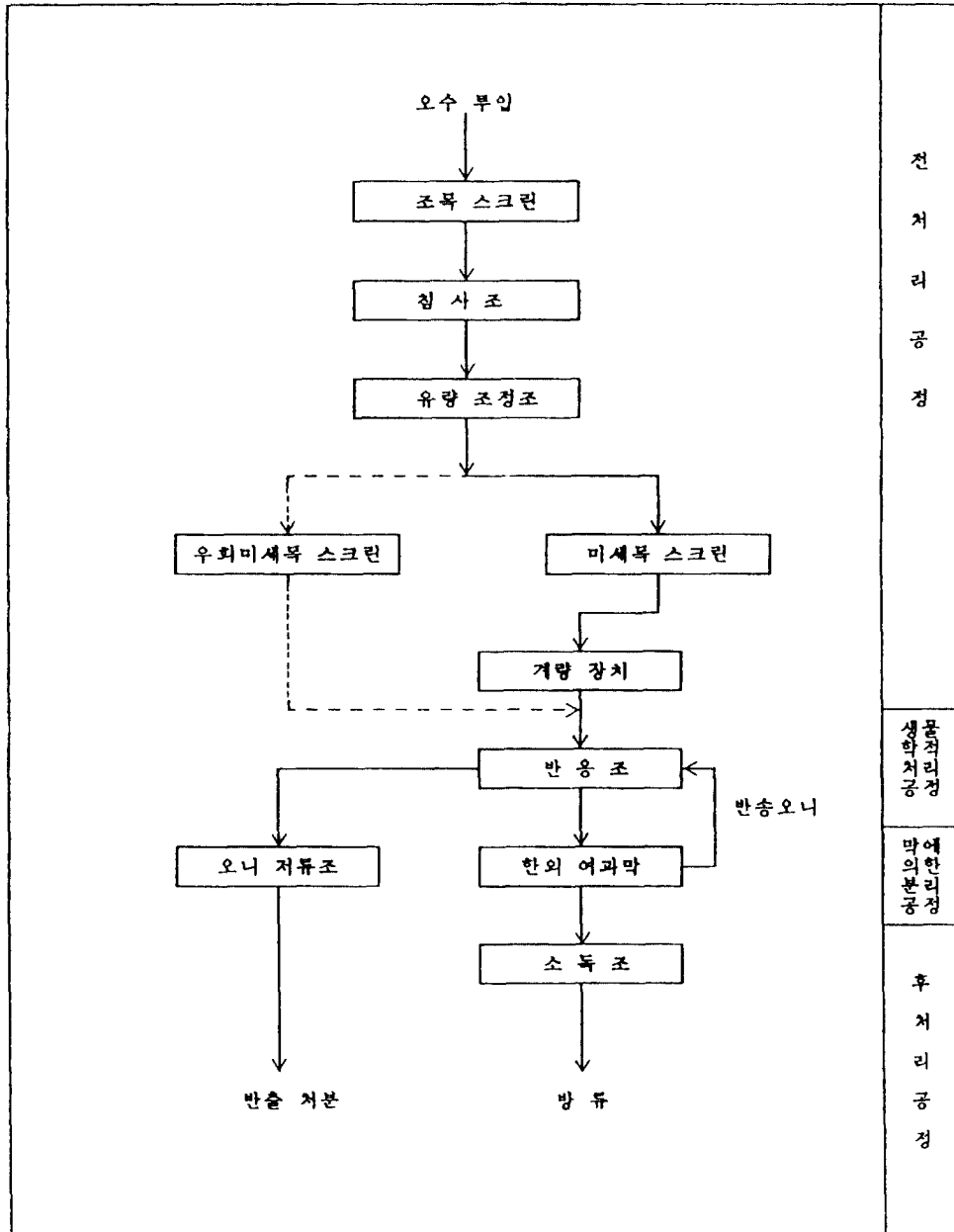
### (1) Plate & Frame Module 을 사용한 생물학적처리(UBIS)

이기술은 LG 엔지니어링이 일본 Mitsui Seka 로부터 기술을 도입하여 국산화한 것으로서 Golf 장의 오폐수를 처리하여 조경수로 재활용하는 목적으로 설치한 실적이 있다. UBIS(Ultra Biological System, 상품명)공정의 흐름도는 다음과 같다.

생물학적처리방법은 오니의 침강에 의해 고액분리를 하는 기존 공정과 달리 MLSS 가 고농도인 3,000 - 20,000 ppm 에서도 운전이 가능하며 따라서 처리 효율이 좋아 수리학적 체류시간이 대단히 짧은 2 - 5 Hr 된다. 특히 부영양화를 유발시키는 총량 질소 및 총량 인의 제거가 이루어지며, 아질산화반응 및 질산화반응도 동시에 이루어진다.

한외여과막은 침전조대신에 사용되는 것으로서 생물반응기의 안정화에 크게 기여한다. 사용된 UF 막의 규격 및 모듈의 구조를 다음에 나타내었다. 모듈은 Rhone-Ploumc 이 제조한 Plate & Frame 형태로서 10- 100 A 의 미세한 구멍을 가진 Polyacrylonitrile(PAN)막으로서 Plate 에 요철을 만들어 여과원액이 난류흐름을 형성하게 하여 농도분극현상을 최대한으로 줄여주는 역할을 한다. 분획분자량은 10,000 이며, 운전압력은 4.5 Kg/cm<sup>2</sup>이다. 전지리에 적용된 방법은 원통형 Screen Filter 로서 재질은 SUS 이며 1 차 100 mesh, 2 차 60 mesh 를 사용하였다.

● UBIS 의 공정흐름도



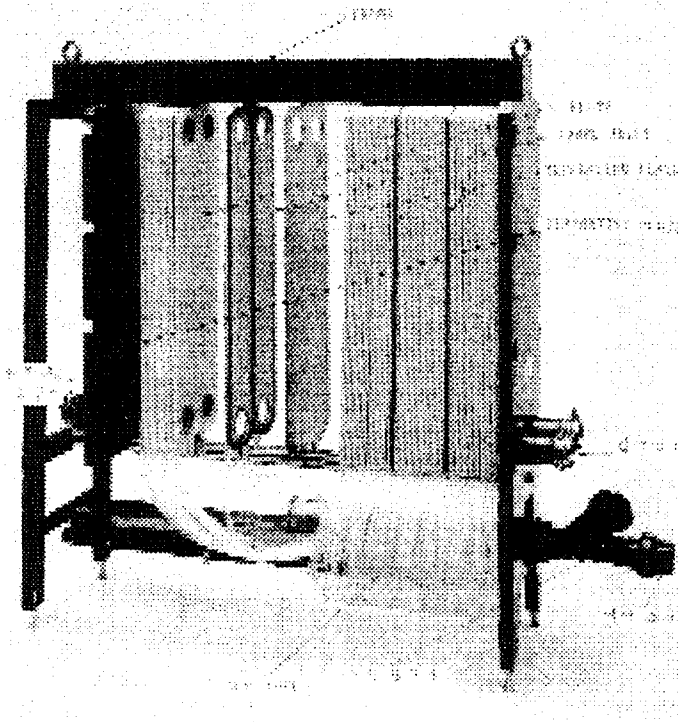
전  
처  
리  
공  
정

생  
물  
조  
리  
공  
정

막  
의  
분  
리  
공  
정

후  
처  
리  
공  
정

● Rhone-Plounc 제 Plate & frame Module



(2) 침적형 Tubular Module 을 이용한 주택단지 오수 재이용

아쿠아테크사는 남아프리카공화국의 Membratek 사로부터 Tubular Module 을 수입하여 침지형 Tubular 막을 이용한 생물학적처리기술(BIOSUF, 상품명)을 개발하여 국내의 오수, 폐수처리공정에 적용하고 있다. 당사는 호기성반응조 와 침적형모듈을 조합하여 I 시 P 단지내에 4,000 가구로 부터 발생하는 약 3,000 톤/일의 생활오수를 처리하였다. 사용한 Membrane Module 의 규격은 다음과 같다.

- 막종류 ; Polyethersulfone Tubular 모듈(막면적 ; 3 m<sup>2</sup>/모듈)
- MWCO 40,000
- 직경 8.9 mm ID
- 운전조건 ; 압력 1-5 Kg/cm<sup>2</sup>, 온도 35 ℃이하, pH 범위 3-10

다음에 BIOSUF 오수처리공정도 및 처리결과를 나타내었다. 결과로부터 BOD 2 mg/l 이하, SS 는 불검출, 총질소 또한 81 %의 제거 효율을 나타내고 있다. 이와같은 공정으로 설치하였을 경우에 건설사업비 및 운전비를 다음에 나타내었다.

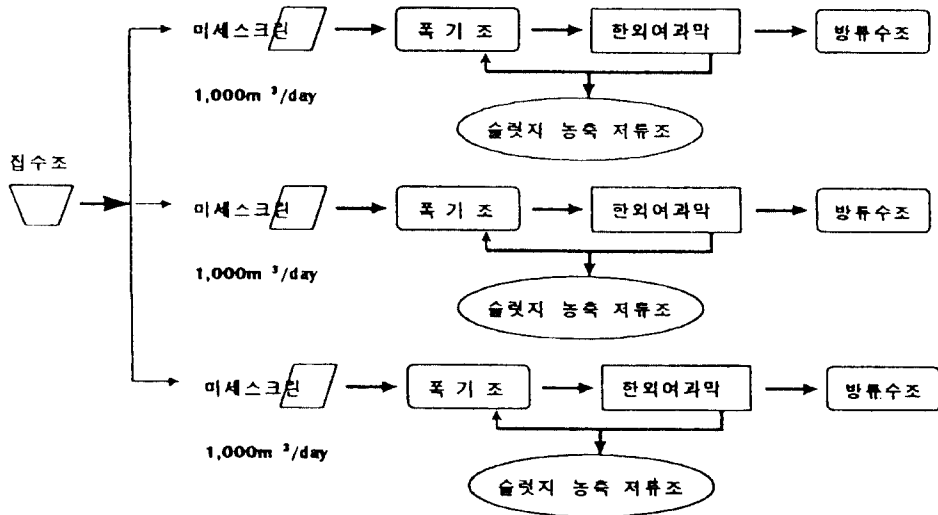


그림 1. 1시 대규모 주택 단지의 BIOSUF® 오수 처리 시설 공정도

표 3. BIOSUF® 공정의 오수 처리 특성

	유 입 수				유 출 수							MLSS (mg/L)	Flux (LMH)
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	대장균군 (MPN/50mL)	색도	탁도		
농도	70	300	130	60.4	1.5	30	-	6.3	1~2	2	2도이하	7,000	40~60

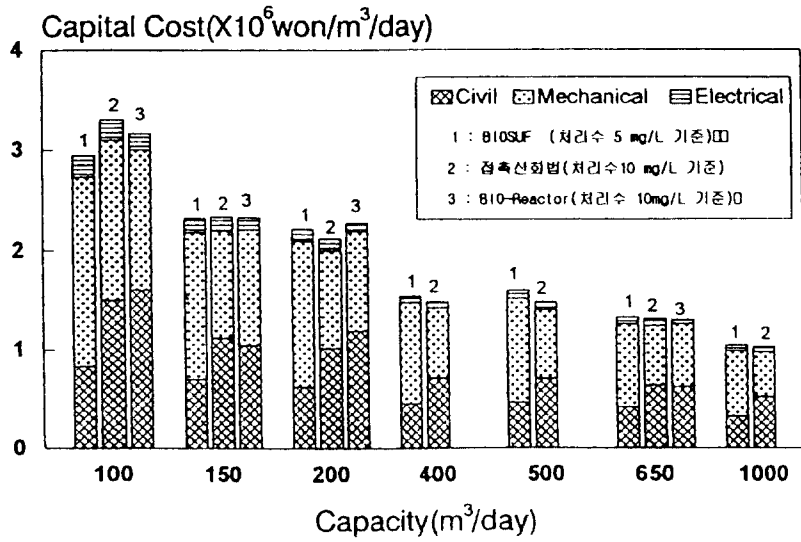


그림 2. BIOSUF<sup>®</sup> 오수 처리 시설의 용량에 따른 총 건설 사업비

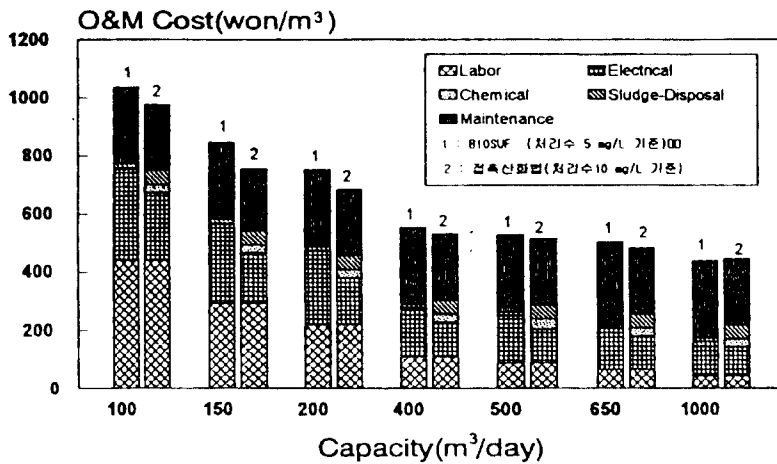


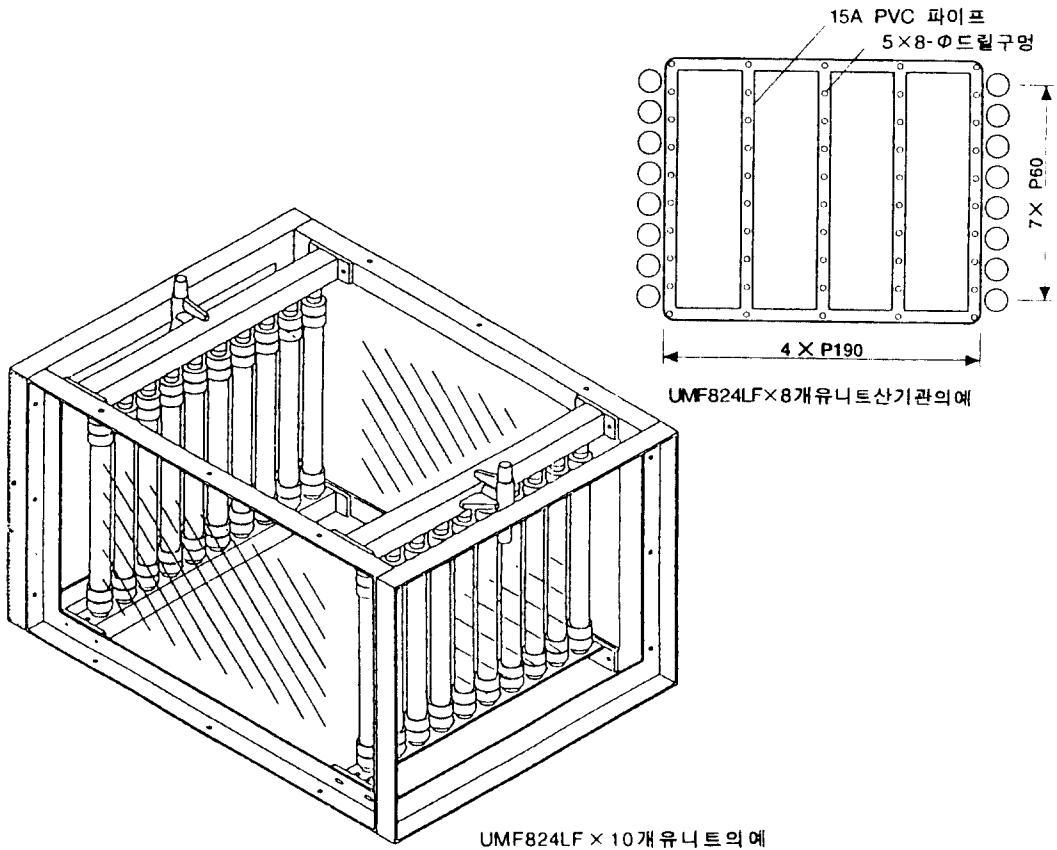
그림 3. BIOSUF<sup>®</sup> 오수 처리 시설의 용량에 따른 유지 관리비

### (3) 중공사막 침적흡인식 오폐수처리

한국의 필테크사와 서울정화개발사는 Mitsubishi Rayon 사의 Screen Type 중공사모듈을 수입하여 합병정화조 및 오폐수처리에 적용하고 있다. 기존의 알반활성오니법에 비교할 때 설치 면적이 50-70%로 감소하며, 처리수질이 탁월하다는 것이 특징이다. BOD 는 5 ppm 이하로 관리되며 SS 는 1 ppm 이하이다. 사용되는 막모듈의 사양은 다음과 같다.

- 막종류 ; 친수성 PE 다공막(0.1  $\mu$ m)
- 유효막면적 ; 4 m<sup>2</sup>
- 운전조건 ; 최대사용압 0.4 Kg/cm<sup>2</sup>이하, pH 2-11, 사용온도 40 °C이하

다음에 이장치의 특징과 개략도를 제시하였다.





항 목		중 공 사 막 시 스템	표준 활성오니 처리
처 리 공 정		원수→조정조 →막분리 폭기조→처리수	원수→조정조 →폭기조→침전조→2차처리 →침전조→처리수
설 비 면	설 치 공 간	설치면적이 작다(약 1/2이하) (침전조, 모래여과기가 불필요) (폭기조의 소형화)	많은 조와 설비가 필요
	비 용	설치설비의 콤팩트에 의한 비용 감소 (약 1/2~3/4)	종래와 같은 비용이 듦
	확장성	기존의 조를 기본으로 막유니트를 추가하면 처리수량 증가가 가능	조나 공정 전체의 개조가 필요
수 질 면	안정성	고안정성(항상 안정된 처리수를 확보) 재이용이 가능한 투명도를 확보 MLSS의 변동에도 영향없음	오니의 유출이 염려(이상 강수 등...) 처리수에 오니혼입이 있을수 있음
	효율성	고농도 폐수에서도 무희석이 가능 오니발생량이 극소→처리비가 감소	고농도의 원수는 희석이 필요 고농도에 의한 침강불량의 가능성 있음
운 용 면	유 지 관 리	유지관리 기술이 불필요 간단한 관리 (기기의 보수와 수질확인) 원격관리가 가능 (자동화) 막교환은 카트리리지식으로 용이 후단에 여과기 사용시 여재의 눈막힘이 없어 효율이 좋고 장기간 사용이 가능	전담 관리기술자가 필요 (기기관리, 오니관리, 수질관리) 현장에서의 관리가 필수
	비 용	오니처리비가 적다	오니처리비는 종래와 같은 비용이 듦
총합 평가		설치공간 축소, 콤팩트화 낮은비용 수질면의 안정성이나 관리가 용이하므 로 뛰어남 기존 시설의 용량부족시 기존조에 막침 적으로 용량부족을 간단히 해결할뿐더 러 효율을 향상시킴	종래의 폐수처리 방법

## 사. 흡수식 냉동기의 흡수액 여과 장치

비룡엔지니어링은 Kuraray 의 PVA Hollow Fiber 막을 이용하여 국내에 사용되는 흡수식냉동기의 LiBr 용액 정제 재사용하는 기술을 개발하여 국내에 80 여군데의 설치실적을 가지고 있다. 흡수식 냉동기는 운전시간이 지남에 따라 기내에 봉입되어 있는 LiBr 수용액에 기계 본체를 형성하고 있는 철이나 동이 서서히 용출되어 증가하므로써 여러가지 문제를 발생시킨다. Membrane 으로 여과하였을 때 철과 구리 부식무리 거의 완벽히 제거되므로 재활용이 가능하다. 처리시스템 및 애상태 비교사진을 다음에 나타내었다.

