

2주차 : 막여과 공정의 기본 개념

작성자 : 충청운영처 기계 3급 김한석

1. 막여과 개요

액상-액상계, 고상-액상계, 액상-기상계 및 기상-기상계 등에 있어서 분리, 정제에 사용되는 기술 중, 분리막(이하 막이라 칭함)이라는 선택 투과 기능을 갖는 여재를 이용하여 분리하는 기술을 막여과라 하며 막여과 기술의 대상 및 용도는 다양하고 그 적용범위 또한 광범위하다.

막(membrane)은 액체나 기체상태의 용해되지 않는 입자의 분리라는 일반여과(Filtration) 개념에서 더 나아가 액체에 용해된 용존물질이나 혼합기체의 분리까지도 가능한 특수 기능을 갖는다는 관점에서 일반여과와는 다르게 분류할 수 있겠다.

막여과 공정은 막을 이용하여 기상 또는 액상의 혼합물을 막 양면의 농도차, 압력차, 전위차 등에 의하여 분리, 농축, 정제하는 공정을 말하는 것으로 막여과에서는 유체의 성상변화를 수반하지 않는 특정물질만의 분리기능을 이용하여 막소재의 물리, 화학적 기능에 의해서, 미세 구조에 의한 크기별 분리, 화학적 친화성, 이온성의 차이에 따라 분리한다.

막여과 공정은 제거되는 입자의 크기로 역삼투법(reverse osmosis; RO), 저압역삼투법 또는 나노여과법(nanofiltration; NF), 한외여과법(ultrafiltration; UF), 정밀여과법(microfiltration; MF), 전기투석법(electrodialysis; ED)의 5가지로 분류된다.

수도에 있어서 막여과 기술은 막을 여재로 하여 물을 통과시키고 원수중의 불순물질을 제거하여 깨끗한 여과수를 얻는 정수방법으로 제거대상 물질의 크기에 따라 MF, UF, NR, RO 등의 공정을 채용하며 이중 UF, NF, RO막은 원수중의 용해성물질이 막표면 근처의 경계층에서 농축되는 농도분극현상(Concentration polarization)을 일으키므로 용해성물질의 농도가 막의 유속과 제거성능을 좌우한다.

2. 막여과 이론 및 공정의 기본 개념

2.1. 막 공정별 제거원리 및 기본 이론

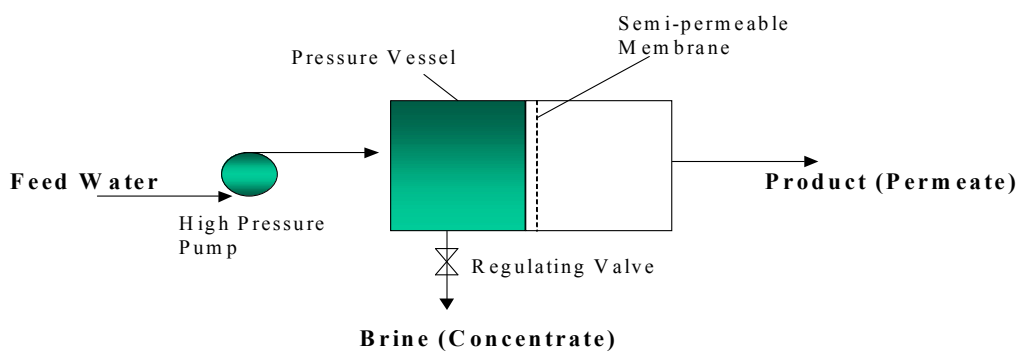
1) 역삼투막법

RO(역삼투막) 반투막에 의하여 용액과 용매가 격리되어 있을 때 열역학적 이론에 의거하여 용매가 용액 쪽으로 정삼투압 현상을 일으킨다. 이때 용액 쪽에 정삼투압보다 더 큰 압력을 작용하면 삼투압 방향이 역으로 되어 용액 쪽으로 용매가 반투막을 투과하여 용액은 농축되고 용매가 분리된다. 이러한 원리에 의하여 용액중의 임의의 물질을 분리, 농축 및 분류하는 조작을 역삼투막법이라 한다.

<역삼투막의 특징>

구분	특징
잔류물질	현탁물질, 콜로이드, 용해물질
pore size	0.001 μ m 이하
여과추진력	압력차(5 ~ 60 kg/cm ²)
분리원리	비세공성 막으로 Micelle간의 간격을 통한 물질투과(용해 및 확산)
적용분야	- 해수, 공업용수의 탈염, - 액체 식품의 탈수

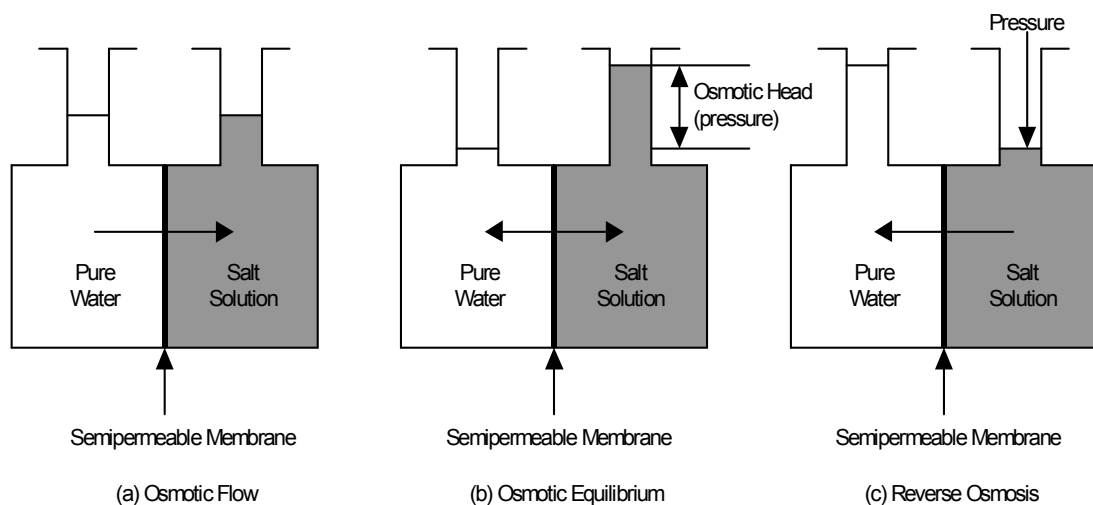
역삼투공정은 보통 10-100기압 정도의 압력구배를 이용하여 각종 염이나 유기물질들을 제거하는 공정이다. 역삼투공정에서는 분자수준의 초미립 분리가 이루어진다. 역삼투 공정의 주된 적용범위는 우선 해수 및 염수의 담수화가 있고 반도체 및 전자산업분야에서 필수적인 초순수제조에도 많이 사용되고 있다. 또한 역삼투공정으로 얻어진 초순수는 각종 세균이 전혀 없는 상태이므로 의료용으로도 많이 사용되고 있다. 역삼투 공정의 새로운 응용분야로는 폐수처리공정을 들 수 있다. 각종 폐수에는 여러 종류의 유기 및 무기물질들이 용해되어 있어 환경오염의 주범이 되고 있는데 수처리 분야에 사용되고 있는 역삼투공정은 초순수제조나 해수 담수화 공정에 비하여 낮은 압력에서 이루어지는 공정으로서 주로 용해물질들의 농도가 희박하지만 독성이 강하거나 그 가격이 고가이어서 회수가 필요한 경우에 주로 사용된다. 역삼투 공정은 도시 폐수나 매립물에서 스며 나오는 폐수는 물론 화학 공장, 섬유공장, 석유화학공장, 전기화학공장, 펄프 및 제지공장, 식품공장등에서 배출되는 폐수의 처리에 사용되고 있다.



간단한 RO 공정 흐름도

가) 역삼투의 이론

삼투현상(osmosis)이란 반투과성막을 사이에 두고 용매가 용질의 농도가 낮은쪽에서 높은쪽으로 통과하는 현상을 말한다. 반대로 역삼투는 용질의 농도가 높은쪽에 삼투압보다 더 큰 압력을 가하여 용매의 이동을 용질의 농도가 낮은쪽으로 보내는 방법을 말하며, 이러한 방법을 이용해서 분리해내는 작업을 역삼투법(reverse osmosis)이라고 한다.



역삼투는 반투성 막을 통하여 용매를 막으로 통과시킬 때 압력을 이용한다는 면에서는 앞에서 설명한

미세여과 및 한외여과의 작용기전과 거의 같다.

2) 나노여과법

NF막은 1980년 초에 개발되어 1986년 상용화된 막으로 주로 계면활성법에 의한 복합 막으로 폴리 아미드, 술폰화폴리술폰 등을 소재로 하며 역삼투막(RO)막과 한외여과막(UF)막의 중간적인 특성을 지니고 있다. 분리원리는 주로 RO막과 같은 용액의 확산을 이용하는 것이지만 분획분자량(MWCO)은 RO와 UF막의 중간적 특성을 가지고 있으며, RO막에 비해서 낮은 압력에서도 높은 막투과유속을 얻을 수 있다. NF이란 명칭은 해수의 담수화에 사용되는 RO와 구분하기 위해서 명명되었다.

Nanofiltration의 특징

구분	특징
처리범위	RO 와 UF의 중간범위인 분자량
pore size	RO 막보다 큰공경
분리범위	2가 이상 이온 및 저분자 유기물
여과추진력	압력차(0.5 ~ 3 kg/cm ²)
적용분야	- 중, 저분자 물질분리, - 탈염 및 경수의 연화

재질에 따른 NF와 RO membrane의 일반적인 저지율

salt	Rejection %			
	FT 30	NF 70	XP 45	XP 20
NaCl	99.5	75	50	20
MgCl ₂	> 99.5	70	83	-
MgSO ₄	> 99.5	97.5	97.5	85
NaNO ₃	90	50	<20	0
Cu-EDTA	-	-	-	99

3) 한외여과법

한외여과(Ultrafiltration, UF)는 반투막을 이용하여 저분자와 고분자 물질을 분리하는 방법으로 주로 물에 용해된 고분자의 농축과 정제에 이용되고 있다. 한외여과막은 주로 0.001 - 0.1um정도의 Pore Size를 가지며 1 - 10 kg/cm² 의 압력을 구동력으로 하여 분리가 이루어지고 있다. 한외여과 막은 일반적으로 이방성구조 (Asymmetric Structure)로 되어 있는데 선택분리기능을 가진 표면활성층 (Active Skin Layer)과 이를 지지하는 다공성 지지층(Sponge 층)으로 구성되어있다. 선별능력을 가지는 표면활성층의 기공 크기는 콜로이드 물질의 분별이 가능할 정도로 크기가 작고 미세하므로 분리능력을 μ m으로 표시하지 않고 분획분자량 (MWCO, Molecular Weight of Cut-Off), 즉 걸러낼수있는 분

자량의 크기로 나타내고 있다. 표면활성층의 두께는 0.1-0.5 μm 이고 20-200 Å 정도의 미세공을 가지고 있어 최소의 에너지로 수용액을 가압여과하는 것에 의해 물 및 저분자물질과 단백질, 효소 등 고분자 물질이나 콜로이드 물질을 분리 할 수 있다. 한외여과막을 이용한 분리 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다

- (1) 상변화를 수반하지 않은 공정으로서 열에너지를 필요로 하지 않으므로 에너지절약효과가 있으며 분리대상의 물질도 일어나지 않는다.
- (2) 표면활성층의 미세구조에 의해 분자량 크기별로 분별하는 것이 가능하여 특정물질만의 분리가 용이하다
- (3) 열에너지를 사용하여 분리할 경우 필수적인 콘덴서나 증발장치가 필요없어 설비가 간단하고 자동화에 의해 운전이 용이하다

UF 공정에서 투과속도를 지배하는 인자는 막의 저항, 막면에 생성된 농도분극층 또는 gel층의 저항이다 이러한 투과속도를 증진시키기 위해서는 난류(turbulence)를 크게하거나 인위적으로 gel층을 깎아내는 방법이다.

한외여과막의 특징

구분	특징
잔류물질	0.1 ~ 10 μm 부유물
pore size	0.01 ~ 10 μm
여과추진력	압력차(0.5 ~ 3 kg/cm^2)
막형태	대칭형 다공성막
분리원리	막의 공경과 분리대상 물질의 크기 및 흡착현상에 좌우
적용분야	- 전자공업의 초순수 제조, - 무균수제조

가) 한외여과의 이론

한외여과는 다공성막을 통한 물질의 흐름이므로 유체역학에서 관을 통한 층류 흐름을 가정한다면 Hagen-Poiseuille식으로 표현될 수 있다. 이 식은 세공내 용질의 흡착 또는 침적이 없고 세공내로 투과하는 흐름이 층류라는 가정을 포함한다. 단위 면적당 n 개의 세공을 통과하는 용매의 투과량을 체적플럭스 J_v 라하고 Hagen-Poiseuille식을 적용해서 다음식으로 나타낸다.

$$J_v = \left(\frac{n d^4}{128 \eta} \right) \frac{\Delta p}{l}$$

J_v : 체적플럭스, n : 단위면적당 세공수, d : 막의 지름

l : 막의 길이, η : 침투 용액의 점도, Δp : 막사이의 압력차

2.2. 막여과 기본 이론

1) 투과 Flux

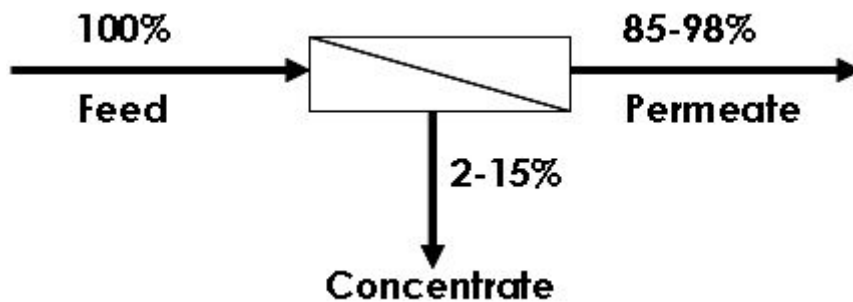
- ▶ 단위 막 면적당 처리수량을 의미
- ▶ 수질이 양호하면 막여과 플럭스를 높게 설정할 수 있다
- ▶ $\text{Flux } 1 = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$

$$\text{Flux} = J = \frac{\Delta P}{\mu R_{total}} = \frac{\Delta P}{\mu(R_b + R_c + R_m)}$$

※ Resistance : m(membrane), C(cake), B(pore-block)

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{\text{Feed} \times \text{Recovery}(\%)(\text{m}^3/\text{d})}{\text{Flux}(\text{m}^3/\text{d})}$$

$$2) \text{ Recovery}(R) = \frac{Q_{\text{Permeate}}}{Q_{\text{feed}}} \times 100$$



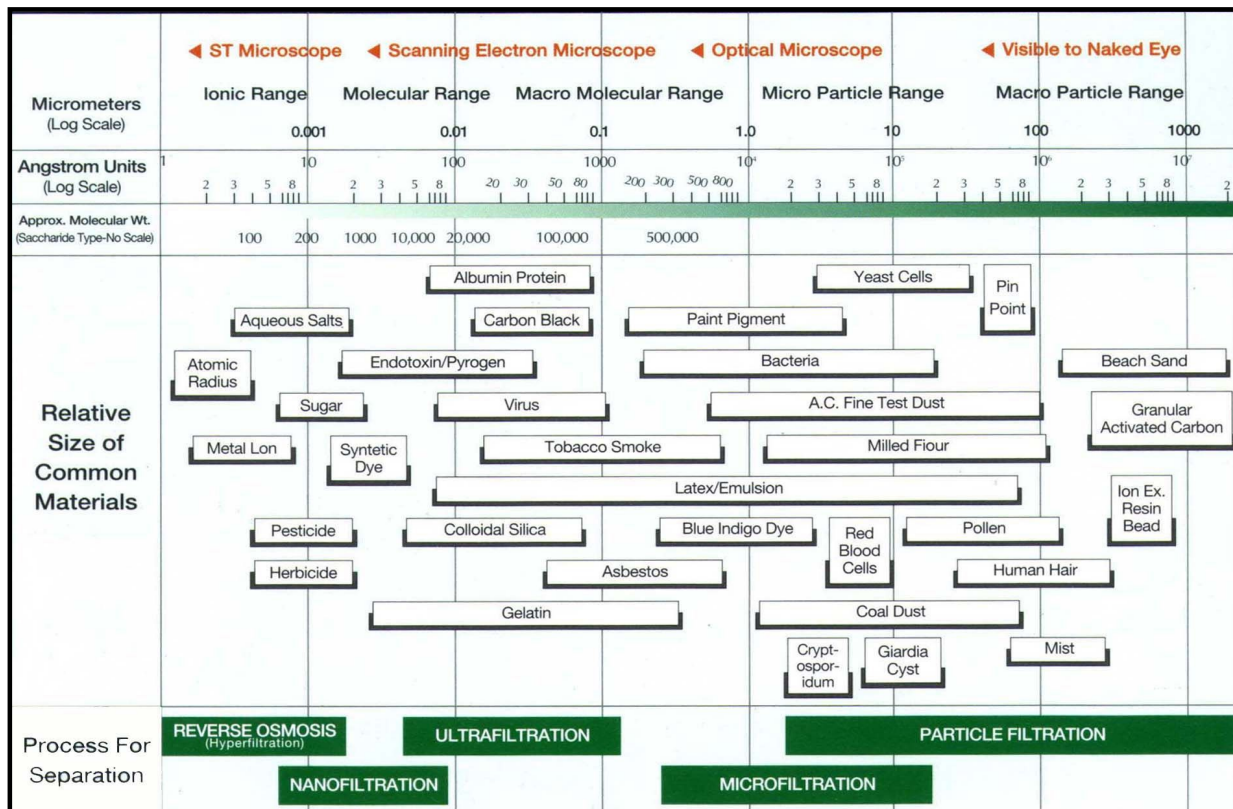
3) 막여과 방식

항 목	전량여과방식 [Dead-end filtration]	심자흐름방식 [Cross flow filtration]
개념도		
특 징	- 공급수 전량을 여과하는 방식 - 막면상 집적한 오염물질의 정기적 배출필요	- 공급수가 막면을 따라서 흘러 공급수와 직각방향이됨
장 점	- 동력비 저렴	- 높은 탁도의 원수에서도 안정적인 Flux
단 점	- 고탁도의 경우 낮은 Flux	- 동력비가 높음

4) 막의 통수방식

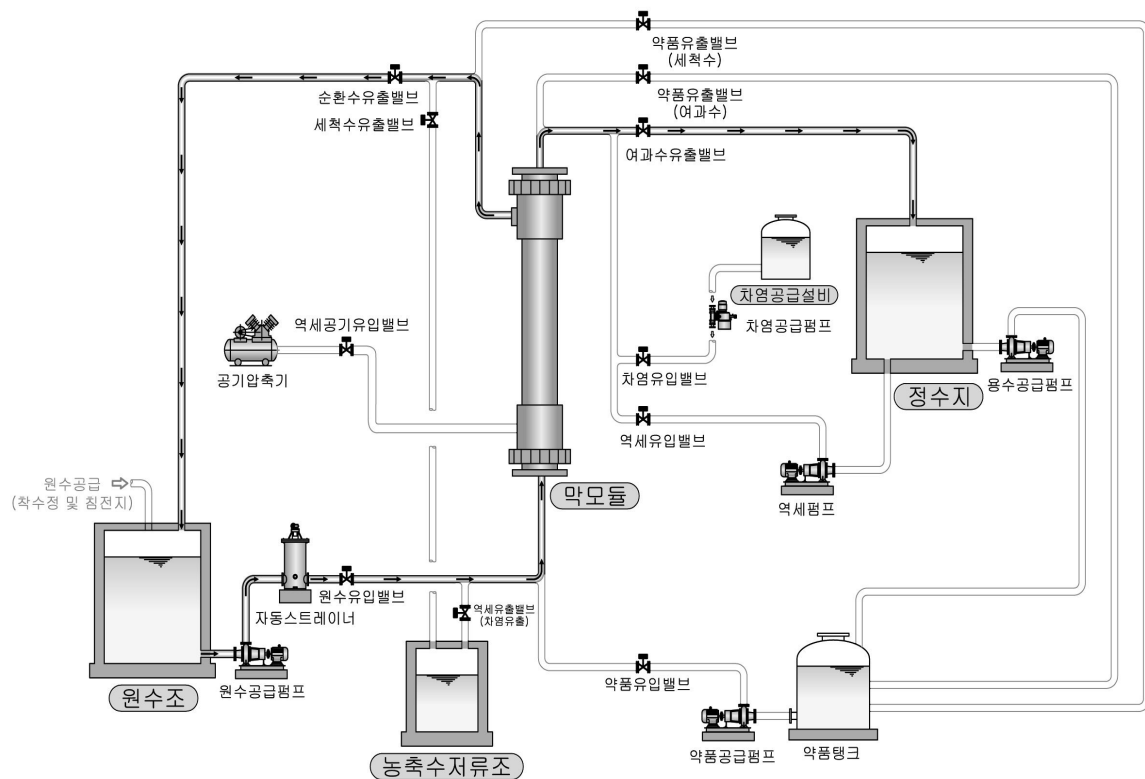
항 목	외압여과 (Outside-in)	내압여과 (Inside-out)
개념도		
장 점	♦ 단위면적당의 부하경감 ♦ 고탁도의 원수에서도 Flux 안정	♦ 막면에서의 유속이 빠름 ♦ 순환(Cross-flow) 효과로 부유물질 부착 적음
단 점	♦ 부착부(상부)에 부유물질의 축적 가능성 있음	♦ 고탁도의 경우 낮은 Flux(유로막힘 가능)

5) 제거대상 물질별 막여과 공정



막의종류	기공크기	운전압력 (Kg/cm ²)	회수율 (%)	제거대상물질
Microfiltration	0.1 μ m이하	0.7~1.4	90이상	탁도, 콜로이드, 세균 등
Ultrafiltration	0.01 μ m이하	0.7~2.8	90이상	탁도, 콜로이드, 세균, 바이러스 등
Nanofiltration	0.001 μ m이하	5.3~10.6	50이상	자연유기물, 농약 등 다가이온 등
Reverse Osmosis	0.0001 μ m이하	14이상	40이상	맛·냄새, 염류, 일가이온 등 용해성 물질

6) 막공정 흐름도



3. 막의 종류와 원리 및 구조

3.1 분리막

1) 분리막의 종류와 분류

가) 종류

(1) 생체막과 합성막(인공막)

생체막은 미생물과 각종의 기관에 있어서 세포막 등의 생체내에 존재하는 막으로서 주요한 구성요소가 지질이중층막으로 그 작용이 분리보다는 물질의 전달에 관계한다. 한편 인공막은 생체막 이외의 막을 의미하며 통상 합성막 또는 인공막(synthetic membrane, artificial membrane)이라고 부르며 수도막에 사용하는 막은 전부 합성막이다.

(2) 다공질막과 비다공질막

다공질막(porous membrane)은 막에 실제 세공이 많은 막으로서 세공의 크기는 수 nm 이상이고 세공수가 많고(즉 개공율이 높음을 의미), 균일한 공경을 가진 막이 가치가 높다. 비다공질막(non-porous membrane)은 기체분자와 무기이온 등의 물질이 투과되는 정도의 세공경(수 nm 이하)을 가진 막이며 다공질막과 비다공질막의 사이에 세공경을 가진 막을 미다공질막(microporous membrane)이라 칭한다.

(3) 대칭성막과 비대칭성막

막의 단면을 확대해서 관찰하는 경우 셀로판과 같이 단면의 중심선에 대해 대칭된 구조를 가지는 막을 대칭막(symmetrical membrane)이라 하고 이것에 대응해서 막의 구조가 단면 방향에 대해서 다른 막을 비대칭막(asymmetrical membrane)이라 부른다. 비대칭성막이 막의 양면(표면과 이면)에 있어서 막형성 상태의 차가 생긴다. 비대칭막은 일반적으로 표면에 특수한 얇은 치밀층(0.1~1μm정도)과 이것을 지지하는 다공질층으로 형성되어있는데 분리는 치밀층에 의해 행하여지는데 여과저항을 작게하기 위해서는 얇고 균등한 치밀층의 형성이 중요하다.

(4) 단일막과 복합막

한 종류의 막재료로서 만들어지는 막을 단일막이라 하며 2종류 이상으로 막이 합성되어 만들어지는 막을 복합막(composite membrane)이라 한다. 복합막은 비대칭성막의 일종으로서 분리기능을 가진 특수한 얇은 치밀층이 재질이 다른 지지층을 형성하고 있는 막이다. 복합막의 작성법은 라미네이트법, 도포법, 계면중합법, 표면그라우트법 및 플라즈마법이며, 역삼투막과 가스분리용막의 제막법으로 사용한다.

(5) 균질막과 불균질막

실리콘막에 있어서 막의 단면에서, 막이 균질한 것을 균질막이라 하며, 균질하지 않은 것을 불균질막이라 부른다. 균질막은 대칭막으로서 막이 상당히 두꺼워서 여과저항이 크다. 비대칭막, 복합막은 불균질막으로서 보강하기 위해서 부직포 위에 형성시킨 이온교환막도 불균질막이다.

(6) 유기막과 무기막

나이론, 초산셀룰로오스 등의 유기물로부터 합성되어진 막을 유기막이라한다. 유리, 알루미늄 등의 세라믹 및 스텐레스 등의 금속으로 형성되어진 막을 일반적으로 무기막이라 한다.

유기막은 고분자이기 위하여 이런 종류는 풍부하게 막형태도 다양하다. 한편 무기막은 종류와 형태

에 있어서도 한정적이지만 내고온성, 내산화성 등 유기막에 없는 특징을 가진다.

(7) 친수성막과 소수성막

막표면이 물과 친수성을 보이는 소재의 막을 친수성막(hydro philic membrane)이라하며, 재생셀룰로오스, 초산셀룰로오스(CA), 폴리비닐알콜(PVA), 유리 등의 막의 친수성막이다. 한편, 라후론(PTFE), 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE) 등의 막이 발수성을 보이는데 소수성막(hydro phobic membrane)이라 부르며, 폴리스ulfon(PS)막도 약한 소수성을 보인다. 또한, 막의 패스가 소수성이더라도 표면에 화학적 처리를 함으로써 친수화된 막도 많이 시판되고 있다.

(8) 하전막과 비하전막

일반적으로 사용되는 막에서는 소수성막을 제외하고 해리기를 가지는 비하전막에서 액중에서는 정(+) 또는 부(-)의 약한 하전성을 것이 많다. 그렇다 하더라도 이온교환막에 있어서 적극적인 정(+) 또는 부(-)의 하전성을 가진 막을 일반적으로 하전막이라한다. 이온교환막 이외에도 MF, UF, RO막에 있어서도 이렇게 하전막(charged membrane)으로 제막할 수 있다.

※ MWCO(Molecular Weight Cut Off, 분획분자량) : 막의 분리성능을 분자량 크기로 나타내는 지표이다. UF, NF, RO막 등에서 막의 세공크기를 직접 측정하는 것이 곤란하기 때문에 분자량을 알고 있는 물질을 사용하여 어떤 막이 90%까지 저지 할 수 있는 물질의 분자량을 일반적으로 MWCO로 표시한다. 단위는 질량단위인 Dalton으로 표시된다. UF막의 MWCO는 10,000 ~ 500,000Dalton 이다. NF는 200 ~ 1,000Dalton , RO 막은 100Dalton 이하이다.

2) 막의 원료와 구조

가) 막의 원료

막의 원료로 가장 널리 사용되는 것은 세라믹물질이나 PP 혹은 PVDF 등의 유기 고분자 물질이다. 운영과 유지를 위해 각각의 장단점을 가지고 있으며 MF와 UF에 적절한 막을 찾기 위해서는 두 물질 모두 고려되어야 한다.

(표1) 막재질 선택 특성

Membrane Material	Type	Hydrophobicity	Oxidant Tolerance	pH Range	Fouling Resistance/ Cleanability
PVDF	MF/UF	Modified hydrophilic	Very high	2-11	Excellent
PP	MF	Slight hydrophilic	Low	2-13	Acceptable
Polyethersulfone(PES)	UF	Very hydrophilic	High	2-13	Very good
Polysulfone(PS)	UF	Modified hydrophilic	Moderate	2-13	Good
Cellulose acetate(CA)	UF	Naturally hydrophilic	Moderate	5-8	Good

(1) 고분자막

고분자막은 아크릴수지나 PBs 등의 합성중합체 또는 CA로 구성된다. 이 막들의 선택특성은 표1에 잘 나타나 있다.

이러한 막들은 무게가 가볍고, 얇으며 적은 공간을 필요로 한다. 가는 중공사막에서 나선형, 평판형

막 단위까지 많은 배열들이 알려져 있다. CA막은 친수성이며 따라서 공급수 내 유기물에 의한 파울링에 내구성을 갖는다. 막 수명은 5.6~6사이의 pH로 운영될 때 최대화 되지만 CA막은 4~8사이의 pH 범위와 50℃에 이르는 온도에서도 견딜 수 있다.

셀룰로스 물질은 일반적으로 1mg/L이하의 낮은 염소농도에만 저항할 수 있으며 이처럼 낮은 농도라 하더라도 오랜시간에 걸쳐 막 원료의 산화작용을 유발할 수 있다.

대부분의 합성 수처리막은 소수성이다. 이들은 반드시 침윤제로 가득차 있거나, 젖은 상태로 저장되어야 한다. 막이 마르게되면 도달가능한 플럭스의 손실을 야기하는 구조적변화를 가져올 수 있다.

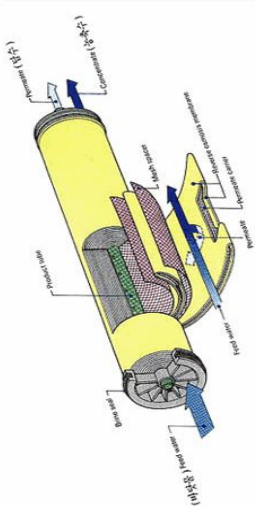
PS막은 상대적으로 높은 pH 및 산화제에 대한 내구성 때문에 MF 및 UF막의 원료로 가장 광범위하게 이용되는 물질 중 하나이다. 이것은 대략 2~13pH의 범위를 가지며, 약 75℃에 이르는 고온에도 견뎌낸다. 또한 염소나 기타 산화제에 의한 산화작용에도 매우 저항적이다.

(2) 세라믹 막

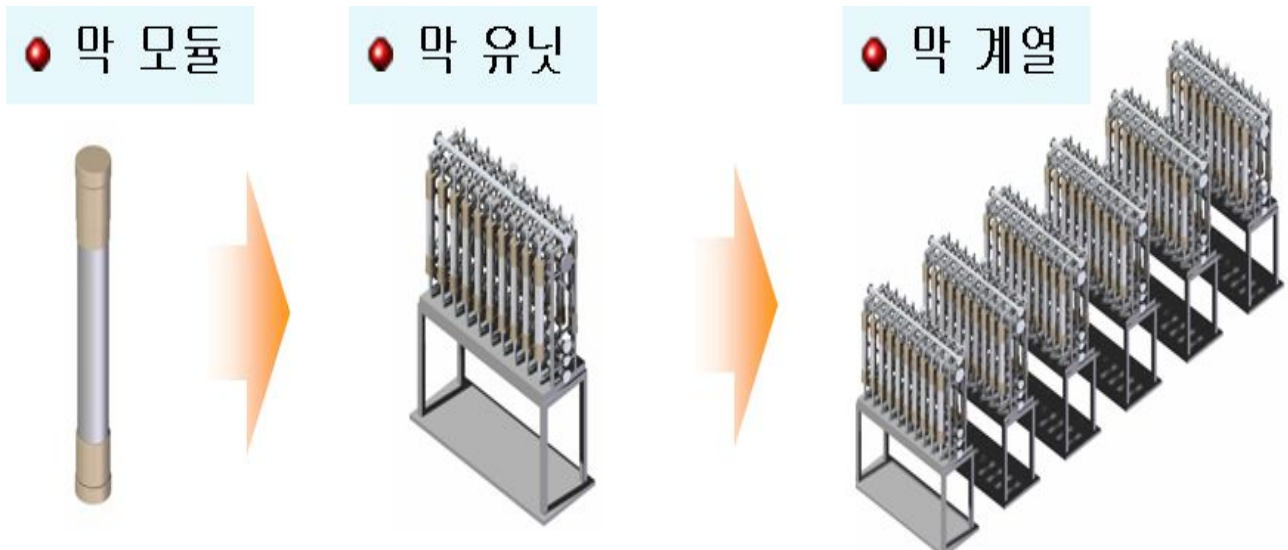
세라믹 막은 소결하는 무기물을 깨지기 쉽고, 진흙같은 세라믹 형태로 변화시킴으로써 만들 수 있다. 원료로는 산화알루미늄, 티타늄, 이산화물, 산화 지르코늄, 또는 탄소화합물 등이 있다. 이런 막들은 유기막보다 두터우며 보통 단일 관형 막 형태를 작게된다. 세라믹 막은 물을 수송하는데 있어서 큰 내구성을 갖게되며 따라서 원하는 유량을 유지하기 위해 높은 막차압이 요구될 수 있다. 세라믹 막은 더 낮은 운영비용을 갖는 유기고분자 막보다 유지 및 생정이 용이하다. 이 막은 0에서 14에 이르는 광범위한 pH에 내구성을 갖으며 때때로 100℃이상에 이르는 고온과 2kpa 수준의 고압도 견딜 수 있다.

나) 분리막의 종류와 정의

(1) 막모듈 : 막을 실용화에 적합한 형태로 충전한 것

형 태	중공사형 (Hollow fiber)	나권형 (Spiral wound)	평판형 (Plate&frame)	관형 (Tubular)
모 듈 형 태				
충진밀도	매우높음	높음	낮음	낮음
적용	MF, UF	NF, 개	MF, UF	MF, UF

(2) 막 구성 단위



〈가압형/침지형 막여과 특징 비교〉

항 목	가 압 식	침 지 식
장 점	■ 높은 막여과유속 유지 가능 ■ 취급 용이 [보관, 수송, 교환 등] ■약품세정이 비교적 용이 ■ 세계적으로 실적이 많음	■ 동력비 저렴 ■ <u>기존 침전지, 여과지 이용 가능</u> ⇒ 기존 정수장 Rerofitting시 유리
단 점	■ 동력비가 상대적으로 높음	■ 한계압력이 낮기 때문에 막여과유속이 작음 ⇒ 필요 막면적이 큼 ■ 약품세정이 복잡 ■ 막교환에 노동력 소요 ■ 실적이 적음

3. 막의 제조방법

막의 제조방법으로는 용융법과 상분리법으로 대별되며 용융법으로는 추출법, 연신법에 의한 제조방법이 있고 상분리법으로는 용매교환법과 열유도 상분리법 등이 있다.

추출법은 미립자, 가소제등을 용융하여 성형 후 추출하는 방식으로 주로 PVDF, PE, PP 등의 재질을 이용한 막제조시 사용하는 방법이며 연신법은 결정성고분자를 잡아당겨 다공성을 부여하는 방식의 제조법으로 PE, PP 재질의 막 제조시 사용되는 공법이다.

용매교환법은 고분자 용액을 비용매에 침전시켜 상분리한 후 용매를 추출하여 다공성을 부여하는 방식의 제조법으로 PVDF, PS, PAN 등의 재질에 적용된다. 또한 열유도 상분리법은 고분자 용액을 냉각하여 상분리를 유도한 후 희석제를 추출하여 다공성을 부여하는 방법이다. 이외에 막의 종류에 따라 아래와 같은 제조방법이 있다.

2.1. 촉매코팅 막의 제조방법

촉매 코팅 막의 제조방법은 미세다공성 막을 촉매 분산 용액에 노출시켜 촉매 함유 미세다공성 막을 형성시키는 단계, 상기 촉매 함유 미세다공성 막을 수지 분산 용액에 노출시켜 촉매 층을 형

성시키는 단계, 및 상기 촉매 층 두 개 사이에 양자 교환 막을 위치시켜 라미네이팅 공정으로 촉매 코팅 막을 형성시키는 단계로 이루어진다.

2.2. 제올라이트 막의 제조방법

제올라이트 막 제조방법은 제올라이트 분말을 지지체에 부착하는 단계, 및 실리카원 및 알루미늄원을 함유하는 현탁액을 숙성시킨 후 여과하여 제조된 투명 여과액을 상기 지지체와 접촉시키고 열처리 하여 결정성 제올라이트 막을 형성하는 단계를 거쳐 제조한다.

2.3. 기체분리용 세라믹 막의 제조방법

기체분리용 세라믹 막의 제조방법은 다공성 지지체에, 메조포어 크기의 미세공이 균일하게 분포하는 γ -알루미나층의 중간층, 상기 중간층 상부에 분리 활성층인 실리카 층이 초음파 분무 열분해법으로 적층된 다층구조를 형성하게 하는 방식으로 제조

4. 사례조사

막여과중에서도 수도용 정수막은 미국이나 유럽, 일본 등지에서 폭 넓게 적용되어 왔으며 국내에서도 소규모 정수장의 시범적용 등을 거쳐 중대규모 정수장인 시흥정수장과 공주정수장에 정수처리를 위한 막여과 공정이 도입되어 정수처리 공정에서도 막여과법이 고도처리공정과 조합공정이나 단독 공정으로 도입이 확대될 것이 예상된다.

4.1 국내 정수처리공정에 막여과 도입 배경

- 환경부에서 2002년 7월 정수처리에 관한 기준 고시를 통해 정수공정으로 막여과 공정을 처음 언급
- *Giardia*, *Cryptosporidium*, Virus 등 미생물의 제거를 위해 모래 이외의 기타여과공정을 사용하는 경우 한국상하수도협회의 인증을 받도록 규정
- ※정수처리기준 제3조 “기타여과”라 함은 모래 이외의 활성탄, 막 등 다공성 여재를 이용하는 정수처리공정을 말한다.

4.2 국내 R&D 추진 현황

- 1990년대
학계 및 일부 업계를 중심으로 연구 실시 [pilot scale]
- 2000~2002
한국수자원공사에서 소규모 및 간이상수도에 막여과 시범적용
- 2003
상수도용 국내 제조 막 성능 검증 사업 [수공: 국내 제조사 막대상]
대규모 정수장에 막여과 도입 검토 [서울시-5개 업체 연구 수행]
- 2004. 5.
중규모 막여과 시범 적용 [수공-시흥정수장: 3,600톤/일 준공]
- 2005
Eco-star project의 일환으로 수도용 막기술 개발을 위한 연구 추진

4.3 국내 막여과 기술 도입상의 문제점

- 첫째. 멤브레인 정수기술 도입에 대한 가이드라인이 없음
- 둘째. 정수분야의 미래대비형 오염물질에 대한 예측 없이 현재의 문제만을 해결하는 형태로 멤브레인 기술도입이 되고 있음
- 셋째. 현재 모든 국내의 멤브레인 정수기술은 외국의 기술을 중심으로 도입되고 있어, 국내 멤브레인 기술의 개발 동기부여가 매우 부족함.

- 넷째. 국산 분리막을 이용하여 적용한 사례가 lab 이나 pilot 규모 실적이 적음
- 다섯째. 막분리 기술이 기존 공정에 대하여 비용측면에서 경쟁력에 대한 연구가 없음
- 여섯째. 막분리 수처리 기술의 발전을 수도법 등이 제도적으로 뒷받침해주지 못하고 있음
- 일곱째. 막분리 공정을 운전할 수 있는 전문 엔지니어가 절대적으로 부족
- 여덟째. 중대규모 정수시설에 분리막을 적용하기에는 현재 국내 제조회사가 생산해 낼 수 있는 막 모듈이 없음
- 아홉째. 막관련 산업의 영세성 [350개 관련사업체 중 분리막 제조업체 10여개 내외]
- 열 번째. 국내 제조 분리막에 대한 성능과 분리막 소재 및 막모듈 구조가 수도용 기자재로 적합한지를 검증하는 표준방법 및 표준기구가 정해져 있지 않다.

4.4 국내 막여과 기술도입 활성화 방안

- 첫째. 법·제도 개선을 통한 막기술 도입 활성화
 - 정수공정에 막여과기술 도입의 국제적 추세를 반영하여 법 개정
 - 정수공정에 도입을 활성화하여 막시장 규모 확대
- 둘째. 인증제도의 확립
 - 막 모듈에 대한 성능과 막시설에 대한 인증제도의 도입
 - 인증기준 수립 및 인증기관을 포함한 절차 마련
- 셋째. 막여과 기술 도입을 위한 가이드라인 수립 및 교육
 - 막여과시설 설계 및 도입을 위한 가이드라인
 - 막여과시설 운영 가이드라인의 수립·보급 및 교육을 통해 막여과 기술의 현장 적용 가속화
- 넷째. 막여과 기술의 국산화 및 가격경쟁력 확보
 - 막소재 및 모듈 제조기술의 국산화를 통해 가격 경쟁력 확보
 - 막시설 설계 기술의 국산화를 통해 관련 기술의 국제경쟁력 확보

4.4 국내 막여과 기술의 단계별 발전계획

- 단기
 - 막관련 상설위원회의 구성
 - 수도법 등 관련 법령 정비
 - 막의 성능인증 제도의 확립
 - 막 공정 도입 및 운전 가이드라인의 작성
 - 공정 및 막의 개발 연구
 - 표준화의 시작
 - 인력의 육성
 - 산학공동 교육과 실험
- 중기
 - 표준화 설정, 국제적 연대 추진
 - 실적 확보를 위한 제도의 도입
- 장기
 - 업체의 대형화, 전문화 유도
 - 해외진출 방안의 확보

4.5 공주정수장 막여과 도입 현황

- 시설개요
 - 시설용량 : 30천 m³/일
 - 부지면적 : 64,150 m²(약2만평)

o 막여과 시설 개요

- 막종류 :정말여과막(MF)
- 막형태 : 중공사막(케이싱수납형)
- 여과방법 :외압식, 전량여과
- 막면적 : 72㎡
- 막재질 : PVDF(Polyvinylidene fluoride)
- 공칭공경 : 0.05μm
- 모듈치수 : 전장 2,160mm, 외경 216mm
- 막투과유속 : 0.95㎡/㎡·일(평상시), 1.33㎡/㎡·일(비상시)
- 막모듈수 : 780본(4계열, 6UNIT/계열, 20본/UNIT)

o 막여과공정 운영방안

구 분	정상운전 조건	고탁도 운전조건
여과방식	전량여과(200NTU이하)	전량여과(200NTU~400NTU) Bleed(400NTU이상)
여과유속	0.95㎡/㎡·일	0.98㎡/㎡·일
역세유속	1.5㎡/㎡·일	1.5㎡/㎡·일
운전모드	급수->여과->물리세정->배수	급수->여과->물리세정->배수
응집제	미주입	주입
여과시간	30분	25분
물리세정시간	30초	45초
약품세정시기	막차압 1.5kgf/cm ²	막차압 1.5~2.0kgf/cm ²
회수율	93.96%	최저 90%
생산수량	30,000㎡/일	30,000㎡/일

<참고문헌>

1. 정수처리막여과공정지침서(한국수자원공사) : 제2장 막여과 공정의 기본개념
2. 정수처리기술총람(한국수자원공사) : 제5장 막여과 제1장 1.1 분리막
3. WEB 자료 등