

제 1장 분리막 기술 개요

에치투엘 김종표

분리막 제조 및 공정기술은 고순도, 고기능성 물질의 제조와 지구 환경 보호 등의 사회적 요구에 따라서 간단한 실험실적 규모로부터 산업분야의 대규모 공정에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다. 막분리 공정은 기화 및 응축을 반복하는 증류 공정과는 달리 상변화를 필요로 하지 않는 물리 기계적인 분리 조작이므로 기존의 에너지 다소비형인 공정과 비교하여 약 70 내지 80% 또는 그 이상까지도 에너지를 절약할 수 있다(표 1). 또한 분리 원리 및 공정이 비교적 간단하므로 장치의 구성이나 설치가 간단하고 차지하는 공간 역시 작아서 시설비 투자를 줄일 수 있는 장점이 있다.

표 1. 대표적인 증발공정과 분리막공정에서 요구되는 에너지 비교[1].

| 제조공정 | 증발공정 | 분리막공정 |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|
| 전유제조공정(2.2x) | 136 kcal/kg (MVR) | 17kcal/kg (RO) |
| 치즈유장제조(3x) 18,000lb/hr | \$380,000/year (double effect) | \$130,000/year(RO) |
| 옥수수침지액(CSL: Corn steep liquor) (6~50% TS) 300gpm | \$1.2million/year (MVR) | \$390,000/year(RO로 14%TS 농축 후 MVR 사용) |
| 젤라틴(2~18% TS) 20tons/hr | \$516,200/year (4-effect) | \$186,750/year (UF) |

이러한 막분리 기술은 침단 막소재를 개발하는 고분자 합성 등의 소재 및 제막기술, 각각의 분리막을 조립하여 손쉽게 취급할 수 있도록 만드는 막모듈 기술, 여과분리 특성상 막 근방에서 불가피하게 발생하는 막오염 저항을 최소화하기 위한 물리, 화학, 생물 및 유체역학 분야 그리고 대규모 공정 시스템 설계 및 운전 등으로 구성되는 복합 응용 기술이다. 이와 같은 막분리 기술의 발달과 에너지 절약형 분리공정의 필요성 그리고 무방류 등의 청정 환경공정 기술에 대한 사회적

필요성의 증대로 막분리 공정은 석유화학, 폐기물 처리, 가정용 정수기로부터 대규모 정수장, 반도체, 열적으로 불안정한 식품, 의약품, 바이오 관련 혼합물의 회수 및 정제분야, 수소, 산소를 비롯한 가스분리 분야 등에 광범위하게 확대 적용되고 있다.

1.1 분리막이란?

분리막(membrane)은 2 또는 다 성분 혼합물로부터 선택적으로 특정성분(1 또는 다 성분)을 분리할 수 있는 물리적 경계층(barrier)으로 정의할 수 있다. 따라서 분리막을 투과하거나 분리막으로 배제된 상(phase)중 특정성분의 농도는 증가 또는 감소할 수밖에 없다. 이와 같은 분리는 단순하게 입자의 크기 차이에 의하여 이루어질 수도 있지만, 농도 차에 의한 분자간 확산율, 전하 반발력, 분리막 재질에 대한 특정성분의 용해도 차이 등에 따라서 분리 특성이 복합적으로 결정되기도 한다. 그림 1은 정수공정에 정밀여과막 혹은 한외여과막을 사용하여 원생동물이나 무기화합물, 휴민산, 부유입자 등을 분리할 경우 크기 차이에 의해 분리되는 기구를 도식적으로 나타낸 것이다.

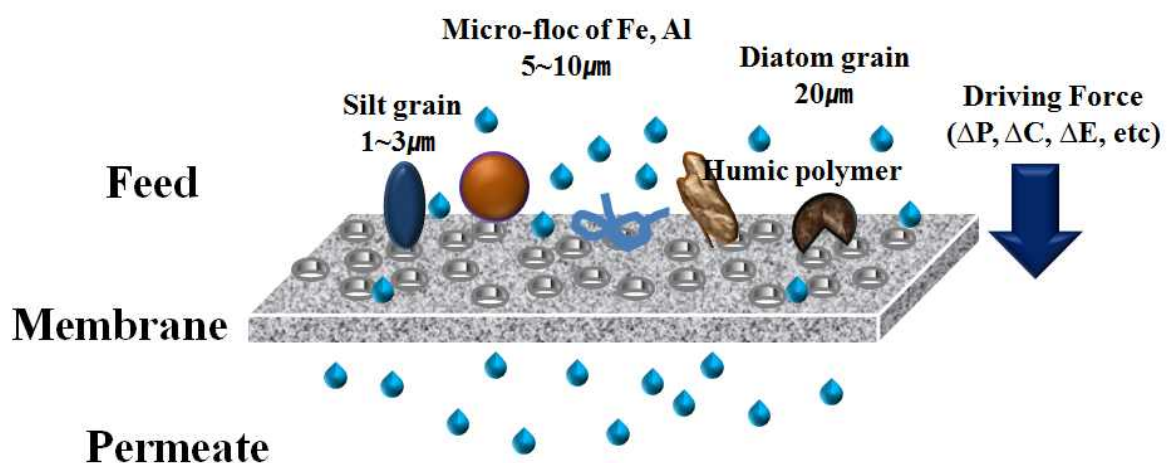


그림 1. 정수용 분리막에서의 분리 모식도

1.2. 분리막의 분류

1.2.1 재질에 의한 분류

분리막의 재질은 매우 다양하지만 크게 생체막과 합성막으로 구분할 수 있다. 생체막은 글자 그대로 생체에 존재하고 있는 막을 말하며 사람의 눈에 있는 각막, 혹은 방광막 등과 같이 생체 부위의 명칭이 붙어 있지만, 이들을 총칭하여 생체막이라 부른다. 그러나 생체막은 대량으로 확보하기 어렵고 모듈화하기 또한 쉽지 않으므로 공업적으로는 거의 대부분 합성막을 사용하고 있다.

합성막은 유기막과 무기막으로 구분될 수 있으며 유기막(organic membrane)은 대부분 고분자로 이루어져 있어 고분자막(polymeric membrane)이라고도 한다. 무기막에는 세라믹, 유리, 금속 재질 등이 소재로 사용된다(그림 2).



그림 2. 세라믹으로 이루어진 무기막의 한 종류

최근에는 분리막의 기공을 조절하거나 기능성을 부여하기 위하여 유-무기 복합 분리막을 제조하기도 한다. 고분자막은 무기막에 비해 저렴한 원료와 상대적으로 쉬운 제조공정 때문에 가격이 싸고, 다양한 재질과 모듈의 형상을 가질 수 있으

며, 선택성(selectivity)이 우수하고 광범위한 기공크기를 가질 수 있는 장점을 지닌다. 그러나 내열성이나 내약품성 그리고 기계적 강도가 약한 단점이 있다. 그림 3에 다양한 형태의 고분자 분리막을 나타내었다.

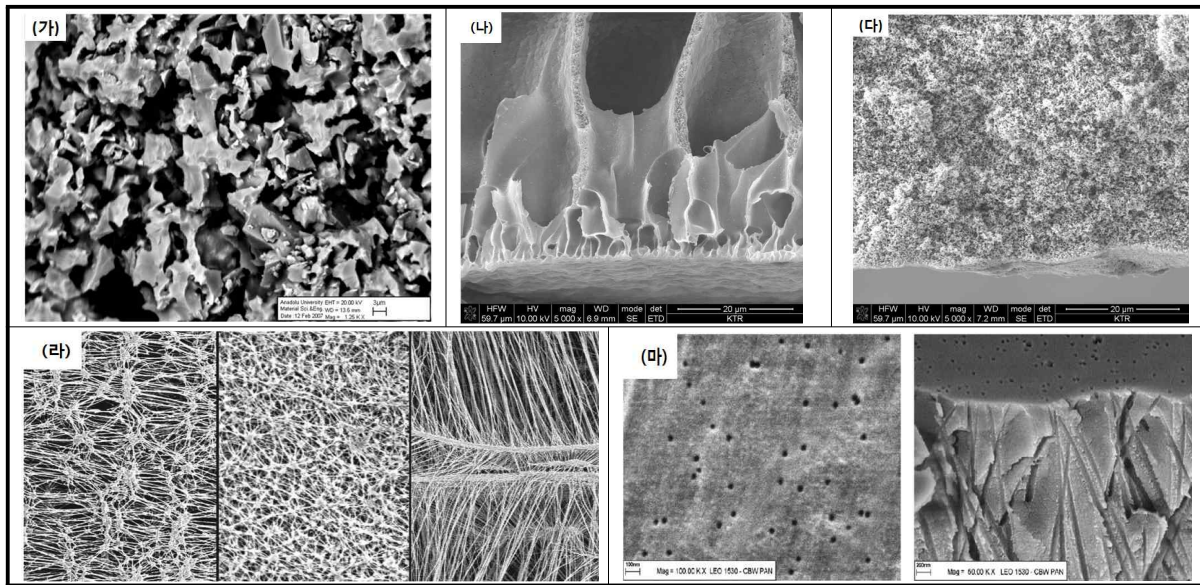


그림 3. 다양한 형태의 고분자 분리막 (가) 소결막 (나) 상변환막: 비대칭막단면 (다) 상변환막: 대칭막단면 (라) 연신막 표면 (마) track-etching 막 표면 및 단면

이밖에 액체막은 추출과 역추출이 단일장치에서 동시에 일어나는 분리조작으로서 유기용액이나 수용액으로 구성된 얇은 층을 말한다. 액체막은 다공성 지지막을 지닌 액체막과 에멀전과 같이 얇은 필름의 형태인 계면활성막으로 대별된다. 이 액체막은 용매의 소비량이 적고 담체를 이용하여 특정분리 대상 물질에 선택성을 높일 수 있어 그 응용 범위가 확대되고 있으나 액체막의 안정성 등이 본격적인 상업화를 위하여 해결해야 할 문제이다.

1.2.2 구조에 의한 분류

다공성(porous)막 과 비다공성(nonporous)막

다공성막은 기본적으로 여과지와 유사한 구조를 지니고 있으나 기공 직경이

0.001 내지 10 μm 범위로서 여과지보다 훨씬 작다. 대부분의 합성막에는 기공의 분포가 존재하며 이론적으로는 최대 기공보다 큰 모든 입자를 분리막으로 제거할 수 있다. 최대 기공과 최소 기공 중간 크기의 입자는 분리막의 기공 분포에 따라서 부분적으로 제거될 수 있다. 특히 최소 기공보다 작은 입자는 분리막을 통과하며 경우에 따라서는 기공 벽에 붙어서 분리막을 오염시킬 수 있다.

비다공성막은 미세 기공조차도 존재하지 않는 치밀한 구조의 분리막으로서 기체분리용으로 사용된다. 혼합물중 분리하고자 하는 물질이 막 물질 내에서의 확산과 농도 차이로 발생하는 상대적인 물질전달 속도로서 분리된다. 따라서 기공막에 비하여 투과율이 매우 낮으며 그러므로 막의 두께를 가능한 한 얇게 하여야 분리 효율을 높일 수 있다.

대칭(symmetric)막 과 비대칭(asymmetric)막

대칭막과 비대칭막의 단면 구조를 그림 4에 나타내었다.

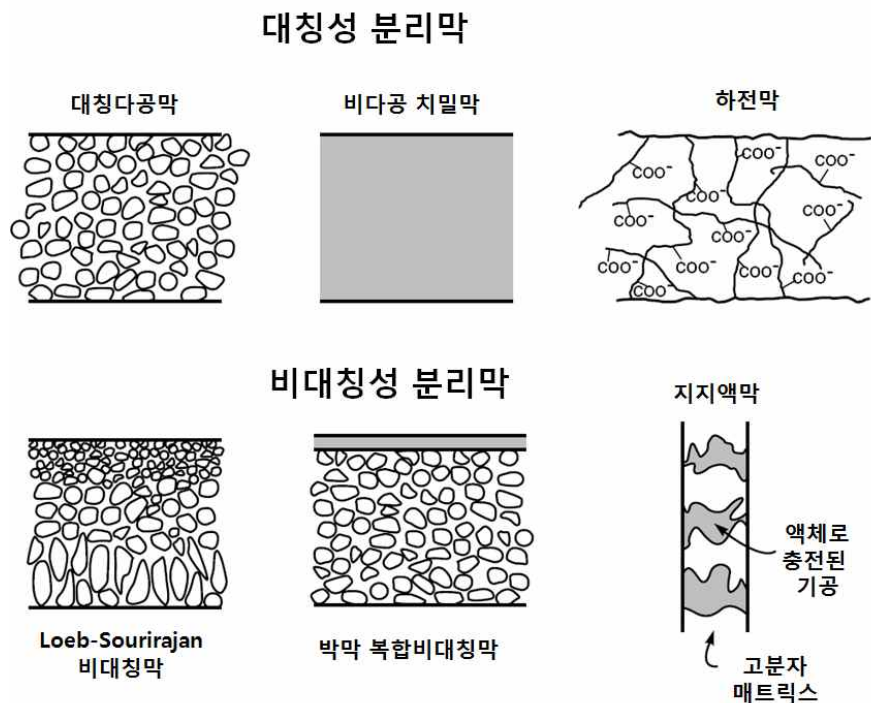


그림 4. 대칭막, 비대칭막 및 복합막의 단면도[5]

대칭막은 분리막의 단면이 전체적으로 일정한 구조를 이루고 있다. 분리막이 결합이 없이 자체적으로 지탱할 수 있는 기계적 강도를 지니기 위하여는 약 20 μ m의 두께가 필요하다. 그러나 투과율은 분리막의 두께에 따라서 감소하므로 기공이 매우 작은 경우에는 투과율이 매우 낮아 활용하기 곤란하다. 하지만 정밀여과막과 같이 기공 크기가 비교적 큰 경우에는 두께에 따른 분리막 저항이 감소되어 대칭막으로도 활용할 수 있다.

분리막 공정을 적용함에 있어서 높은 투과율은 경제적으로 매우 유리하므로 분리막 저항을 낮추기 위하여 분리막을 될 수 있는 한 얇게 제조하여야 한다. 따라서 분리막 표면에는 입자를 분리할 수 있는 미세 기공으로 이루어진 수 μ m 두께의 얇은 활성층(active layer)으로 구성하고 그 밑에는 큰 기공의 지지층(supported layer)으로 이루어지는 이른바 비대칭막을 Loeb 과 Sourirajan이 개발하여 40여년이 지난 현재까지 분리막 산업 활성화에 엄청난 기여를 하고 있다. Loeb 과 Sourirajan은 상전이법(phase inversion method)으로 비대칭막을 제조하였다.

균일한 고분자 용액으로 활성층과 지지층을 한꺼번에 제조할 경우 투과성능 향상에 제한이 있으므로 별도의 지지층위에 활성층을 계면 중합하여 최적화된 비대칭막 이른바 복합막(composite membrane)을 Cadotte 등이 개발하여 상용화하였다. 계면 중합중에 지지층의 기공내로 활성층의 고분자가 침투하는 것을 방지하기 위하여 지지층의 표면을 얇은 젤 층으로 덮은 후 활성층을 중합하기도 한다.

1.2.3 기공크기에 의한 분류

기공막에 경우 분리막 표면의 기공 크기에 따라서 그림 5에 나타낸 바와 같이 역삼투, 나노여과, 한외여과 및 정밀여과막으로 대별할 수 있고 이들은 그림 6에서 보는 바와 같이 정밀여과막은 주로 탁도나, 병원성 미생물, 입자성 물질 등을 제거하며, 한외여과막은 바이러스, 나노여과막은 다가이온이나 자연유기물을, 그리고 역삼투압막은 이온을 제거한다.

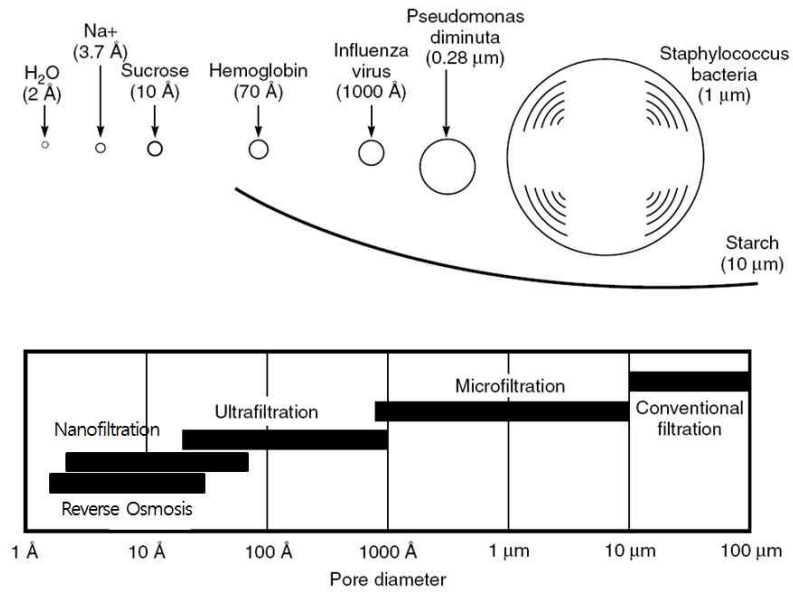


그림 5. 역삼투, 나노여과, 한외여과, 정밀여과막의 기공 범위 및 분리 가능한 용질[5]

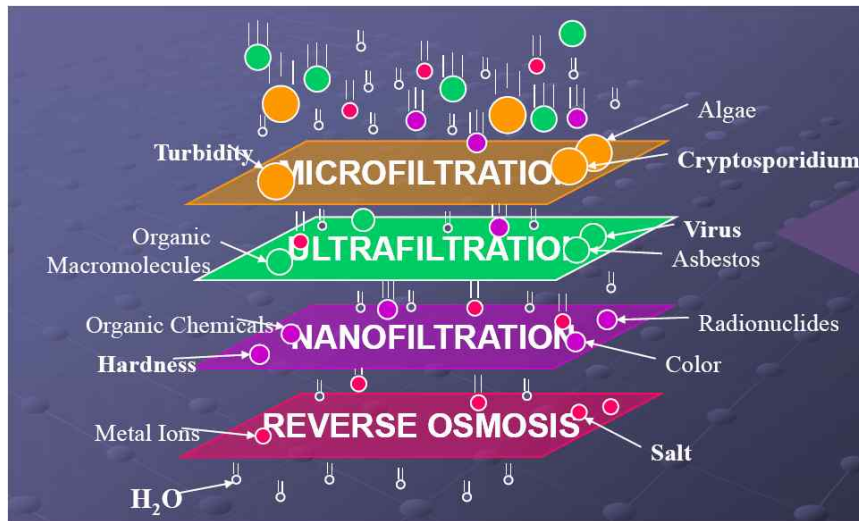


그림 6. 기공크기와 분리물질에 따른 수처리용 분리막[6]

역삼투막 - Reverse osmosis membrane

이온 및 분자크기가 10Å 이내인 용질을 분리하는 막분리 공정으로, 1970년대 해수 담수화 및 폐수처리에서 성공적으로 산업화되기 시작하였다. 삼투(osmosis)

란 저농도 용액과 고농도의 용액이 물 만을 선택적으로 통과시키는 분리막으로 나뉘어져 있을 경우, 저농도 용액 중에 물이 고농도 용액쪽으로 이동하는 자연 현상이다. 따라서 고농도 용액측에 삼투압보다 높은 압력을 가하면 물만이 분리막을 통과하여 순수를 제조할 수 있게 되며 이러한 막을 역삼투막이라 한다. 운전 압력은 용액에 포함되어 있는 염의 농도와 회수율에 크게 의존하는데 50 내지 100 기압 범위에서 염 농도가 높은 해수로부터 순수를 제조하는 고압의 역삼투 공정과 15 내지 50 기압 범위에서 담수를 처리하는 저압 역삼투 공정으로 대분할 수 있다. 역삼투법에서는 유기 고분자의 유전율(dielectric) 상수가 낮기 때문에 용존 염이 막표면에 잘 흡착되지 않을 뿐 아니라 정밀여과 또는 한외여과에서와 같이 유기물에 의한 막오염 현상이 작으므로 막의 수명도 길어진다. 그러나 역삼투막은 고압에서도 견딜 수 있도록 기계적 강도가 우수하여야 하며 염소와 용존 염에 대한 내화학성이 좋아야 한다. 역삼투막의 재질은 기계적 강도가 우수한 지지층 위에 분리효과를 극대화시킬 수 있는 분리층 또는 활성층으로 형성된 방향족 polyamide 복합막이 가장 널리 사용되며 비대칭형 cellulose acetate 막도 활용된다. 이상에서와 같이 역삼투막은 용존 염을 분리 제거할 뿐 아니라 분자량이 적은 유기물 및 방향족 탄화수소 등의 분리조작에도 이용되고 있다.

나노여과막 - Nanofiltration membrane

나노여과는 역삼투와 한외여과의 중간 영역으로 1 내지 수십 nm 크기로서 분자량이 수백 에서 수천 dalton에 이르는 작은 무기물이나 저분자 물질의 분리에 사용되나 경우에 따라서는 sucrose와 같은 다당류와 염료등의 약간 큰 분자까지도 분리할 수 있다. 보통 나노여과막의 1가 염의 배제율(NaCl)은 20 내지 50% 이하이지만 다가 염의 배제율은 90% 이상을 나타낸다. 따라서 소금과 적당한 분자량의 유기물 분리에 많이 응용되고 있으며, 유장이나 설탕의 탈염, 물의 연화과정 등에 주로 사용되며 최근에는 정수장에서 정수용으로 사용되기도 한다. 운전압력은 역삼투막의 20 내지 50% 수준인 7 내지 15기압 범위이다.

한외여과막 - Ultrafiltration membrane

한외여과란 분자크기가 수천 내지 수십만 dalton에 달하는 콜로이드 입자나 거대분자(macromolecule)를 분리하는 막분리 공정으로 분획분자량(Molecular Weight Cut-Off; MWCO) 대략 수천에서 수십만 dalton 정도이다. 특히 한외여과는 미생물, 바이러스 및 각종 단백질의 분리와 유가공 제품에 사용된다. 이와 같은 물질의 삼투압은 용존 염에 비하여 무시할 정도로 낮기 때문에 역삼투에서와는 달리 분리막 표면에서의 막오염이 분리의 주요 저항으로 작용한다. 한외여과의 운전범위는 3 내지 7 기압 정도이다.

정밀여과막 - Microfiltration membrane

정밀여과란 용질의 크기가 0.1 내지 10 μm 정도인 입자를 분리하는 공정이다. 정밀여과막의 공경은 학자에 따라 0.1 내지 0.01 μm 까지를 주장하지만 대략 0.05~10 μm 정도로 볼 수 있고, 공극율이 전체 부피의 70% 이상을 차지하는 다공질막이다. 분리 대상은 박테리아, 라텍스 또는 콜로이드 입자이며 정밀여과 조작시 분리막에 의하여 제거된 입자들이 분리막 표면이나 근방에 축적되는 이른바 막오염 현상이 심각하게 발생한다. 경우에 따라서는 입자가 분리막의 세공을 막음으로 재생이 불가능하여 막을 교체하여야 한다. 정밀여과막의 운전 압력은 1 내지 5기압의 범위에서 분리막 투과 유량과 막오염을 고려하여 결정한다.

1.2.4 사용용도에 따른 분류

액체 분리용 막

앞 절에서 설명한 역삼투, 나노여과, 한외여과 및 정밀여과막은 수용액 중에 포함되어 있는 이온, 콜로이드, 입자 등을 분리하는데 사용된다.

기체 분리용 막

기체 분리용으로 기공성 막과 비기공성 막이 사용 가능하다. 기공성 막을 통

해 기체 혼합물이 고압에서 저압으로 압력 차이에 의하여 확산될 경우 분자량이 작은 기체일수록 확산속도가 빠르므로 막을 잘 통과하게 된다. 막의 기공이 기체의 평균 자유경로(mean free path, 표준상태에서 1 A° 정도)보다 상당히 작으면 기체는 Knudsen 확산에 의하여 독립적으로 확산하며 기공내에서의 확산계수는 기공의 크기와 평균 분자속도에 비례하고, 평균 분자속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다.

그러나 비기공성 막에 의한 투과 메카니즘은 기공성 막과는 기본적으로 다르다. 비기공성 막으로는 일반적으로 고분자 막이 사용되며 그림 7에서와 같이 고분자 막내로 용해되고 확산되는 분자간의 차이에 의하여 기체 분리가 일어난다. 기체 투과의 메카니즘은 크게 다음과 같은 3단계 : (1) 원료 혼합기체측 분리막 표면으로의 기체 흡수 또는 흡착, (2) 고분자 막을 통한 확산 및 (3) 투과측으로 탈착 또는 증발로 이루어 진다. 이와 같은 용액-확산(solution-diffusion) 메카니즘은 분리막 양측에 작용하는 기체의 열역학적 활동도(activity)에 따른다. 투과도는 각 기체 성분의 확산도 또는 유동도 뿐만 아니라 고분자 막내에서의 물리-화학적 상호작용(physicochemical interaction)에 따라서 변화한다.

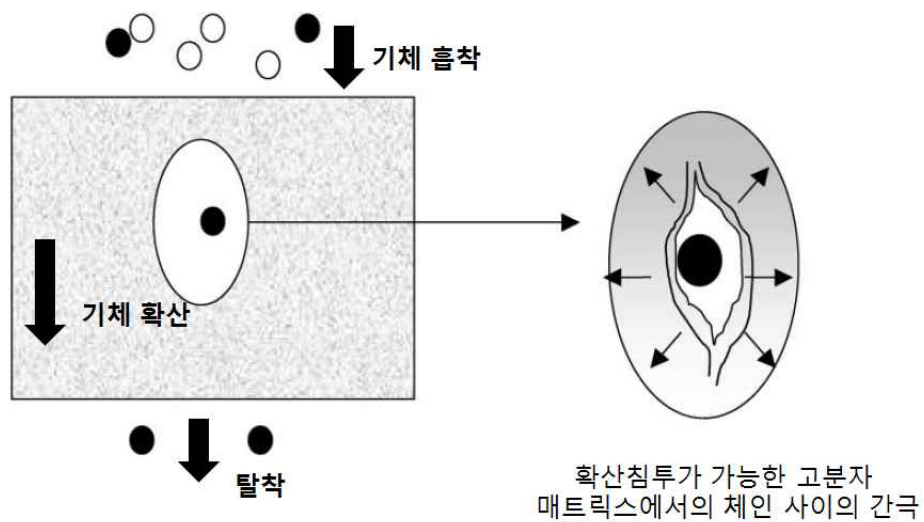


그림 7. 고분자 비기공성 분리막을 통한 가스분리 메카니즘[7]

이온교환막 - Ion exchange membrane

이온교환막은 양이온 교환막과 음이온 교환막으로 구분되며 양이온 교환막은 양이온만을 통과시키고 음이온 교환막은 음이온만을 통과시킨다. 이온 투과 특성은 막의 구조에 기인하는 것으로 막의 기공 벽에 양전하 또는 음전하를 지닌기를 함유하고 있다. 이 기는 전해질 용액에서 상대 전하를 가진 이온만을 막의 기공으로 끌여 들여 전기적으로 중성을 띄게 한다. 기동내에 들어온 이온은 한 기에서 약하게 결합하여 다시 떨어졌다가 다음 기에 재결합하는 상태가 연속적으로 반복하면서 막을 통과하게 된다. 이와 같이 이온교환막은 포화 재생이 자체적으로 연속하여 일어나므로 이온교환수지와 같이 재생공정이 필요하지 않는다. 이온교환막은 전기투석, 연료전지 등에 이용된다.

투석막 - Dialysis membrane

투석막에는 농도 차이를 추진력으로 작동하는 확산 투석막과 전위차를 추진력으로 하는 전기 투석막으로 대별된다. 확산 투석막의 대표적인 응용 사례는 인공신장이며 혈액 중에 대사 노폐물을 분리시키는 역할을 한다. 확산 투석막을 경계로 한 편에는 처리하고자 하는 용액을 반대편에는 물 또는 투석액을 흘려보내면서 양측 용액간의 농도차를 이용하여 대상물질을 분리하게 한다. 전기 투석막은 양전하를 띠는 음이온 교환막과 음전하를 띠는 양이온 교환막을 차례로 세워 두고 직류전압을 가하는데 이 경우 분리 용액 중 양이온은 양이온 교환막을 투과하나 음이온 교환막은 투과하지 못하고 음이온은 그 반대 현상이 발생하여 이온을 분리하게 한다. 전기 투석막의 투과 성능을 향상시키기 위하여 전기저항이 적은 막을 사용하거나 막간 거리를 단축하거나 막간의 난류 흐름을 유발하여 농도분극을 최소화하거나 또는 액체의 온도를 상승시켜 전기저항의 상승을 방지하는 등의 연구가 수행되고 있다.

1.3. 분리막 시장

1.3.1 세계시장

세계 분리막을 포함한 막모듈 시장은 2003년에 80억 달러, 2004년에는 87억 달러의 시장규모를 나타내어 약 8.3%의 성장을 나타내고 있는 것으로 추정된다. 분리막의 재료별로는 정밀여과 시장이 2003년과 2004년에 각각 22.6억 달러, 24.5억 달러로 가장 큰 시장 규모를 나타내고 있는 것으로 나타났으며, 시장성장률 또한 가장 높은 것으로 나타나고 있다. 또한, 역삼투막/나노여과막과 한외여과막도 2004년에 각각 19.3억 달러, 16.5억 달러의 큰 시장규모를 나타내고 있는 것으로 나타나고 있다. 아래 표 2에 세계 막모듈 시장규모 추이 및 예측을 나타내었다.

표 1.2 분리막 모듈 세계시장 (백만 달러)[8]

| 분리막 공정 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 역삼투/나노여과 | 1,716 | 1,814 | 1,934 | 2,070 | 2,222 | 2,391 | 2,571 |
| 한외여과 | 1,441 | 1,536 | 1,653 | 1,779 | 1,927 | 2,090 | 2,265 |
| 정밀여과 | 2,091 | 2,257 | 2,449 | 2,676 | 2,928 | 3,208 | 3,517 |
| 기타 액체여과 | 1,786 | 1,946 | 2,138 | 2,359 | 2,605 | 2,887 | 3,200 |
| 기체분리 | 453 | 497 | 547 | 610 | 679 | 758 | 846 |
| 합계 | 7,487 | 8,050 | 8,721 | 9,494 | 10,361 | 11,334 | 12,399 |

최근 이상기후와 지구온난화 등으로 물부족이 심각해지면서, 석유산업 못지않은 인류에 영향을 미칠 분야로 미래 물산업이 선정되기도 하였다. 이러한 물산업은 현재 GE나 Dow Chemical 등에서 역점을 두고 있으며, 방류수의 재사용, 해수담수화 등 수원지 다변화에 따른 정수시스템의 필요성이 제기되고, 이러한 정수시스템의 핵심기술이 정밀여과막이나 한외여과막 또는 역삼투막이다. 따라서, 2000년대 초반부터 시작된 분리막 제조기술, 엔지니어링 기술 확보를 위해 대기업 혹은 다국적 초거대기업을 중심으로 기업인수 합병이 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 2008년을 기점으로 대기업들이 미래성장동력산업으로 물산업에 관심을 갖기

시작하면서, 분리막 제조 및 응용분야에 관심을 가지기 시작하였다.

1.3.2 주요 국가별 분리막 시장

2003년을 기준으로 단일국가로서 가장 큰 시장규모를 나타내는 국가는 미국으로 25.9억 달러를 나타내어 세계시장의 약 1/3인 32% 이상을 점유하고 있다. 두 번째로 큰 시장은 일본시장으로 10.6억 달러를 나타내어 세계시장의 13%의 시장 규모를 점유하고 있다. 또한, 독일이 6억 달러, 프랑스 4.1억 달러, 영국 3.98억 달러, 이태리 3.3억 달러, 홍콩을 포함한 중국이 2.3억 달러를 나타내고 있다.

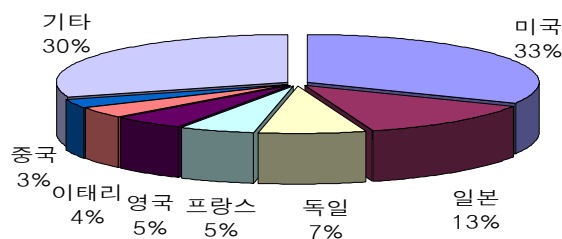


그림 8 세계 분리막 모듈 시장의 국가별 점유율(2003년)

1.4.3 국내시장

국내 분리막 모듈시장의 주된 분야는 고도의 첨단기술을 필요로 하는 공정인 물과 혈액 관련 분야이다. 첨단 산업 신소재로서 다양한 산업분야에 파급효과가 큰 분리막 산업은 타 산업에 비하여 상대적으로 낙후되어 있었으나, 2004년 정수처리용 분리막 모듈 및 공정기술 개발을 목표로 환경부에서는 에코스타과제로서 수처리선진화사업단(단장 명지대 남궁은교수)을 발족, 2011년까지 정수처리용 정밀여과막 모듈 개발 및 정수공정 개발을 목표로 활발히 연구를 진행하고 있으며, 현재 침지형 정수용 분리막을 개발하고 있는 (주)코오롱과 가압식 정수용 분리막

을 개발하는 에치투엘(주)는 이미 상당한 수준의 분리막 제조기술과 모듈화 기술을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 이들 기업들은 특히 물성이 매우 좋은 polyvinyliden fluoride(PVDF)를 소재로 정수용 분리막을 개발함으로써 그동안 일본의 Asahi Kasei나 Toray, 캐나다 GE Zennon 등 일부 기업에서 독점하던 PVDF 소재 정밀여과막 기술을 확보하게 되었다. 또한, 이러한 국산막을 이용한 정수공정의 개발이 (주)한화건설과 (주)태영, 대우건설(주) 등에서 이루어져 2009년 7월부터 개정 발효되는 수도법으로 국내의 분리막 시장은 더욱 확대될 것으로 기대되고 있다. 이 밖에도 해수담수화플랜트사업단(단장 김인수 광주과학기술원 교수)이 국토해양부에 의해 발족되어 해수담수화용 역삼투막의 개발(웅진케미칼, 고려대 등)과 해수담수화공정개발(두산중공업 등) 등이 활발히 진행되고 있으며, 연료전지사업단(단장 홍성안 KIST 책임연구원) 및 한국에너지자원기술기획평가원에 의해 연구사업이 진행될, 연료전지용 고분자 전해질막에 대한 연구 및 분리막 반응기에 대한 연구 등 최근 매우 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나 현재 세계 시장에서 차지하는 국내시장의 규모가 작고, 삼성전자나 하이닉스 등 일부 전자회사를 제외하면 매우 미미하여 세계적인 시장분석기관에서는 한국시장을 따로 분류하지 않고 있다.

국내시장은 인접국인 중국과 일본에 비해 매우 작은 시장규모를 나타내고 있으며, 일본에 매우 의존적인 시장구조를 가지고 있는 것으로 파악된다. 2005년 3월 현재 국내에 분리막 모듈과 관련된 국내시장 규모에 대한 자료는 각 업체를 중심으로 추정하고 있는 지엽적인 자료가 대부분으로 국내시장을 대표하는 신뢰성 높은 자료는 없다고 볼 수 있다. 따라서 미국 Elsevier Advanced Technology사의 2004년 자료인 “Profile of the International Membrane Industry”의 극동아시아 시장분석 부분을 토대로 표 3과 같이 추정하였다.

표 3에 따르면, 국내 막모듈 시장은 2003년과 2004년에 각각 1,200억원과 1,300억원 규모로 추정되고 있으며, 2005년에는 약 1,400억원 규모로 매년 약 100억원의 시장이 확대될 것으로 예상되고 있다. 또한 향후에도 8% 이상의 꾸준한 성장이 예상되어 2008년에는 1,800억원의 시장규모를 나타낼 것으로 예상된다.

표 3 국내 막모듈 시장의 규모 및 예측 (단위 : 억원)[8,9]

| 분리막 공정 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 역삼투/나노여과 | 263 | 275 | 293 | 312 | 330 | 354 | 379 |
| 한외여과 | 220 | 232 | 250 | 269 | 287 | 305 | 330 |
| 정밀여과 | 324 | 348 | 373 | 403 | 440 | 476 | 519 |
| 기타 액체여과 | 250 | 269 | 293 | 318 | 354 | 385 | 428 |
| 기체분리 | 67 | 73 | 79 | 86 | 98 | 110 | 122 |
| 합계 | 1,124 | 1,197 | 1,288 | 1,388 | 1,509 | 1,630 | 1,778 |

자료 : “Profile of the International Membrane Industry, Elsevier Advanced Technology, 2004”와 “Gross Domestic Product(Million current PPP\$), Main Science and Technology Indicators, OECD, 2003/ Korea(866496) : Chinese Taiwan(551640) = 1.57 : 1”을 토대로 KISTI 추정

※ 주 : 1달러 = 1,000원을 기준으로 작성함.

참고문헌

- [1] M. Cheryan, Ultrafiltration and Microfiltration handbook, Technomic Pub., 1998 (Lancaster).
- [2] Nitto Denko, Membrane 카타로그.
- [3] M. Wikol et al., Expanded Polytetrafluoroethylene Membranes and Their Applications, W. L. Gore & Associates, Inc. Newark, Delaware, USA(2008).
- [4] P. Yu Apel, I. V. Blonskaya, S. N. Dmitriev, O. L. Orelovitch, B. Sartowskab, Structure of polycarbonate track-etch membranes: Origin of the “paradoxical” pore shape, Journal of Membrane Science **282** 393-400 (2006).
- [5] R. W. Baker, Membrane Technology and Applications, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2004 (West Sussex, UK).
- [6] D. Folen, Minneapolis Water Works 자료제공 (2008)
- [7] A.F. Ismail, L.I.B. David, A review on the latest development of carbon membranes for gas separation, Journal of Membrane Science **193** 1-18 (2001).
- [8] Elsevier Advanced Technology, Profile of the International Membrane Industry, 3rd Eds., 2004.
- [9] OECD, Gross Domestic Product(Million current PPP\$), Main Science and Technology Indicators, 2003.
- [10] 한국막학회, 막분리 기초 및 응용, 자유아카데미, 1996 (서울).
- [11] L. T. Rozelle, J. E. Cadotte, W. L. King, A. J. Senechal and B. R. Nelson, Development of Ultrathin Reverse Osmosis Membrane for Desalination, Office of Saline Water, OSW, Res & Develp. Progr. No 659, 1973.
- [12] R. E. Kesting and A. K. Fritzsche, Polymeric Gas Separation Membranes", Wiley-Interscience, 1993.
- [13] N. Toshima, Polymers for Gas Separation, VCH Publishers, 1992.

- [14] W. L. McCabe, J. C. Smith and P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, 7th edition, McGraw-Hill, 2004.
- [15] J. D. Seader and E. J. Henley, Separation Process Principles, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2006.
- [16] W. Pusch and A. Walch, Synthetic Membranes-Preparation, Structure, and Application, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. **21** 660-685(1982).
- [17] 강종석, 김종표, 정건용, 수처리용 고분자 분리막 모듈의 기술개발 동향, 고분자과학과 기술, **16(4)**, 424-435 (2005).
- [18] 한국산업규격 K 0103 : 2001, 한국표준협회.