

---

---

# 한국 분리막 기술 현황

---

---

김 은 영 위원장  
(국가과학기술자문회의)

## 한국 분리막 기술 현황

김 은 영    강 용 수\*

국가과학기술자문회의      한국과학기술연구원\*

지난 10 여년간 국내에서 분리막에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 연구 수준이 양적 및 질적으로 매우 향상되었으며, 1991 년 한국막학회의 창립은 이런 연구 분위기를 더욱 고무시켰다. 그리고 NAMS (North American Membrane Society), ICOM (International Conference on Membranes and Membrane Processes) 및 IMSTEC (International Membrane Science and Technology Conference) 같은 국제학회에서도 한국인 연구자들의 발표 및 참여자 수가 주최국을 제외하곤 2-3 위를 차지 할 정도의 수준이 되었다.

아울러 기업체에서도 그 동안 응용 연구분야에 많은 인력과 자본을 투자하여 이전 상당 수준의 기술이 축적되어 선진 업체들과 어깨를 나란히 할 수 있을 정도의 기술 수준이 되었으나, 핵심이 되는 분리막 모듈은 모두 수입하여 사용하기 때문에 분리막 산업의 해외 의존도가 높다. 이러한 분리막 모듈의 수입 의존도에도 불구하고 한국의 분리막 산업이 성장할 수 있는 중요한 여건이 마련되어 성장기에 접어 들었다고 할 수 있다. 이에 상응하여 국내 기업에서는 분리막 및 모듈 제조에 적극적으로 참여하여 최근에 (주)새한에서 RO 막을, KOLON, SKI 그리고 효성 T&C 에서 UF 막을 생산하고 있다. 특히 분리막을 이용한 가정용 정수기 시장의 확대가 분리막에 대한 인

식을 변화시키고 시장을 빠른 시간 내에 활성화시켰다.

또한 가까운 미래에 분리막 기술이 에너지와 환경 산업에 광범위하게 응용될 것이다. 분리막 공정이 에너지 절약형이라는 것이 잘 알려져 에너지 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 담당하게 될 것이다. 따라서 대표적인 에너지 절약형 분리막 공정인 기체분리막 및 투과증발막에 대한 수요가 크게 증가할 것이다. 환경산업분야에서는 수처리에 대한 응용분야가 더욱 확대될 것이고, 물속이나 공기중에서 VOC (volatile organic compounds)를 제거하는 분리막의 응용분야도 매우 큰 잠재 수요를 갖고 있다. 아울러 생물화학 분야에 단백질 분리 등과 같은 새로운 응용 분야를 개척함으로써 분리막의 응용범위를 더욱 증대시킬 것이다.

다음에 국내의 분리막 연구 및 산업에 대한 현황과 미래에 대해 간단히 요약하고자 한다.

#### 1. 국내 분리막 연구 동향

현재 국내에서 수행되고 있는 연구과제 중 정부 차원에서 지원하는 과제로는 과학기술처에서 주관하는 선도 기술과제와 통상산업부의 에너지 자원 기술 개발 지원 센터 과제로 나눌 수 있다. 그 이외에도 출연연구소, 대학, 기업체 연구소 등에서 개별적으로 수행하는 과제들이 있는 데, 여기서는 정부에서 지원하는 과제에 대해서만 요약하고자 한다.

과학기술처에서 지원하는 선도 기술 개발 과제는 1992년부터 시작되었으며, 과제로는 수처리용 분리막, 기체 분리용 고분자 분리막 및 복합막 제조 및 분리 특성 연구 등이며, 환경부 지원 과제는 이산화 탄소 제어 기술 연구가 있다 (표 1). 이 과제에서는 주로 분리막 제조 기술에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

Table 1. Highly Advanced National Projects

Project Title	Research Institute	Funding	Period
Membrane Technology for Water Treatment	KIST	MOST/JINRO	1992 ~
Polymeric Membranes for Gas Separation	KIST	MOST/KOLON	1992 ~
Composite Membranes and their Separation Characteristics	KRICT	MOST/HYOSUNG T&C	1992 ~
Separation of Carbon Dioxide	KRICT	MOE/SSANG YONG CEMENT	1992 ~

통상산업부의 에너지자원 기술개발 지원센터에서도 에너지 절약 과제의 하나로 액체 분리용 막분리 시스템에 관한 연구를 1993년 시작하여 1996년에 종료하였다. 연구된 과제로는 대부분 RO 및 UF 막모듈을 제조하는 것인데, 모두 8과제로 주관연구기관 및 참여기업 등은 표 2에 나타냈으며 각 과제를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다 : 1. RO에 의한 정밀 화학용 농축 시스템, 2. UF에 의한 유업용 농축 시스템, 3. 에너지 절약형 산업 유기물 농축 시스템, 4. PV에 의한 유기산 농축 시스템, 5. 판틀

형 PV, RO 막 모듈, 6. 유업용 UF Tubular 형 막 모듈, 7. Emulsion 농축용 회전 원판형 막 모듈 그리고 8. 식품용 세라믹 UF 막 모듈 등이다. 마지막 과제는 1년 후에 종료되었고 나머지 모든 과제는 3년간 수행되었다. 이 과제들은 분리막 기술 중 가장 약점인 제조 기술에 집중되었으며, 응용 연구도 아울러 진행되었다.

Table 2. Membrane Systems for Liquid Separation \*

Project Title	Major Research Institute	Minor Research Institute	Period
RO Membrane System for Concentration of Fine Chemicals	Yonsei U.	Hyundai Water System	93 - 96
UF Membrane System for Dairy Process	SKI		93 - 96
Pervaporation System for Organic Separation	SKEC	Hang Yang U.	93 - 96
Pervaporation System for Concentration of Organic Acids	Tongahn Eng	Kyong Il U.	93 -96
Plate and Frame Modules for Pervaporation and RO	Han Yang U.	Han Nam U.	93 - 96
Tubular UF Modules for Dairy Process	Seoul National U.	Keimyung U./ Saehan Ind.	93 - 96
Rotating Disc Modules for Concentration of Emulsions	Yonsei U.		93 - 96
Ceramic UF Modules for Food Processing	Dong Su Industrial		93 - 94

\* supported by the R&D Management Center for Energy and Resources

이어서 통상산업부의 에너지자원 기술개발 지원센터에서는 에너지 절약 효과가 큰 기체분리용 분리막 시스템에 관한 연구과제도 1995년부터 지원하여 현재에도 진행되고 있다. 중점적으로 연구되고 있는 분야는 분리막을 이용한 공기 분리막 및 시스템 그리고 고농도 수소 제조 기술분야인데, 구체적인 연구과제명은 1. 연소 제어용 산소부화 농축시스템, 2. 식품 저장을 위한 질소 부화 농축 시스템 그리고 3. membrane 에 의한 초고순도 수소 제조 등이다 (표 3).

기체분리 분야 중 이산화탄소의 분리 및 고정화에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이는 이산화탄소가 온실가스로서 지구 온난화의 주요인이기 때문이다. 따라서 이산화탄소의 방출량을 규제하려는 움직임이 점점 구체화 되어 가고 있다. 분리막을 이용한

Table 3. Membrane Systems for Gas Separations \*

Project Title	Major Research Institute	Minor Research Institute	Period
Oxygen Enrichment Membrane System for Combustion Control	Kolon	KIST/ Kang Won U./ Kolon Eng	95 - 98
Nitrogen Enrichment Membrane System for Food Preservation	Daelim Ind.	KAIST/ Dong Kuk U./ Food Research I.	95 - 98
Membrane System for High Purity Hydrogen Production	Daesung SansoCo.	KRICT	95 - 98

\* supported by the R&D Management Center for Energy and Resources

이산화탄소의 분리법이 PSA 법이나 Amine 법에 의해 더욱 경제적이라는 것이 알려

저 분리막 제조 및 공정에 대한 연구가 선진국에서 꾸준히 진행되고 있다. 국내에서도 분리막을 이용한 이산화탄소의 분리는 전술한 바와 같이 선도기술과제의 하나로 화학연구소에서 수행되어 왔고 KIST 에서도 포항제철 및 한국전력의 지원하에 연구 과제를 수행 중이다 (표 4).

Table 4. Research Projects on Carbon Dioxide Separation from Flue Gas

Project Title	Research Institute	Funding	Period
Separation of Carbon Dioxide	KRICT	MOE/ SsangYong Cement	1992 ~
Composite Membranes for Carbon Dioxide Separation	KIST	POSCO	1995 -
Membranes for Separation and Concentration of Carbon Dioxide	KIST	KEPCO	1996 -

## 2. 국내 분리막 시장 현황

정밀여과막 (MF : microfiltration) 은 대부분 전통적인 반도체 및 제약 분야에 광범위한 시장을 형성해와 시장 규모가 산업 발전에 따라 꾸준히 증가하여 왔다. 최근에 국내 정수기 수요가 크게 확대되면서 전처리 필터용으로 사용량이 많아져 MF 막 시장이 급격히 증가하여 국내 시장이 약 200 억원 규모이며 년 성장율은 약 10 % 전후로 성장 속도가 매우 크다. MF 용 분리막은 국내에서 생산되지 않으며 전량 수입하고 있는 데, Millipore 사 제품이 42 %, Pall 및 Gelman 사 제품이 각각 20 및 13 %

사용되고 있다.

한외여과막 (UF : Ultrafiltration)은 크게 초순수 제조용, 전착도장 공정, 식품, 제약 및 환경 산업 분야에 광범위하게 사용되고 있다. 국내 반도체 산업의 발달에 따른 초순수의 수요 증가가 UF 막의 수요를 증가 시켰으며, 현재 연 30 억원 정도의 시장을 갖고 있는 데 분리막과 시스템의 거의 대부분을 일본에서 수입하여 사용하는 데, 특히 Asahi Kasei 사의 막을 많이 사용하고 있으며, 표 5 에 국내 반도체 업체들의 UF 막 사용 현황을 요약하였다.

Table 5. Ultrafiltration Membrane Market for Ultrapure Water Production

Semiconductor Producer	Membrane	Market (billion Won)
Samsung	Asahi Kasei	2
LG	Asahi Kasei	0.5
Hyundai	Nitto Denko	0.3
Misc.		0.2
Total		3

전착도장 공정에서도 UF 막이 많이 사용되고 있는 데, 이들은 페인트의 농도를 유지하고 사용된 페인트를 회수하는 데 그 주 목적이 있다. 국내 자동차 산업의 발달에 따라 전착도장에 대한 수요가 증가하여 현재 약 20-30 억원 정도의 시장 규모를 형성하고 있다. 여기서도 마찬가지로 일본의 Asahi Kasei 사의 UF 막이 70 % 이상을 차지하고 있다.



최근 수돗물에 대한 불신이 높아져 UF 막을 이용한 정수기 수요가 RO 막을 이용한 것과 동시에 급증하고 있다. 그러나 아직 UF 막 정수기 수요에 관한 국내 시장 규모에 대한 자료는 없다.

식품이나 제약 산업에서도 UF 막을 많이 사용하고 있으나 수요가 다양하고 분산적이라 통계를 잡기가 어려워 아직 믿을 만한 자료가 없는 실정이다. 환경산업 분야에서는 생활오수, 침출수, 절삭 폐유, 섬유처리수 처리 등에 사용되고 있으나 이 또한 아직 정확한 통계자료를 갖지 못하고 있다.

역삼투 (RO : reverse osmosis) 및 NF (nanofiltration) 은 산업분야와 가정용 정수기 분야로 나눌수 있다. 산업용 역삼투막의 용도는 대부분 보일러 및 공정수 제조와 반도체 회사의 초순수 제조 등에 주로 사용되고 있으며, 국내에 설치된 주요 산업용 RO 담수화 설비는 다음 표 6에 요약하였다.

Table 6. Major Domestic RO Plants

Plant	Capacity (m <sup>3</sup> /day)	Usage
Hyundai Petrochemical	70,000	boiler and process water
Samsung General Chemical	55,000	boiler and process water
A-Electronic Co.	25,000	ultrapure water
B-Electronic Co.	20,000	ultrapure water
Kia Motors	10,000	process water
Yukong	9,000	boiler feed water
Hyundai Refinery	8,000	boiler and process water
Tae Gu Dyeing Complex	2,400	boiler feed water

그런데 최근 가정용 정수기의 수요가 확산 되면서 RO 막의 수요가 더불어 크게 증가하여 국내 RO 모듈 시장의 60 %를 차지하여 산업용 수요 (40 %)를 능가하고 (표 7) 앞으로도 수요가 크게 증가할 것이라 판단된다. 정수기용 RO 막은 이제까지 전량 수입되었으나 최근 국내에서도 정수기 및 산업용 RO 분리막이 생산되기 시작하여 정수기 시장의 RO 막 시장을 변화 시켰다. 참고로 1995 년 정수기 관련 수입 규모는 RO 정수기는 1 억 3 백만불, 그리고 RO 모듈은 5 백 7 십만불 이었다.

Table 7. Domestic Market of RO Modules (1995)

	Number of Modules	Unit Price (thousand Won)	Market (billion Won)	Percentage (%)
Industrial	8,000	1,000	8	40
Water Purifier	60,000	200	12	60
Total	68,000	1,200	20	100

1995 년 현재 기체 분리막 시장은 세계적으로 2 억 3 천만불 정도의 시장을 형성하고 있으나, 국내는 선진국과 달리 아직도 본격적인 수요는 없다. 이는 국내에서는 에너지 절약에 대한 개념과 필요성을 별로 느끼지 않고 있고, 분리막 공정에 대한 인식 부족 때문으로 보인다. 그러나 원유값이 오르고 에너지 문제가 중요하게 대두될 경우 기체분리용 분리막의 수요가 크게 증가할 것이다. PV (pervaporation)막은 이제 탈수 공정의 표준 공정으로 자리 잡고 있으며 잠재수요는 매우 크나, 기체 분리막 분야와 마찬가지로 이유로 아직은 큰 시장이 형성되지 않고있다.

### 3. 국내 분리막 산업의 미래

국내 및 선진국들의 분리막 시장과 구조로부터 국내 분리막 산업의 미래를 예측할 수 있다. 국내 분리막 시장은 선진국과는 달리 독특한 시장을 형성하고 있는 데, 대부분 수처리에 관한 시장이며 그 중 정수기 분야가 60% 그리고 산업용이 40%이다. 이러한 시장구조는 우리나라의 특수한 사정 때문이겠지만 미래 시장구조는 선진국의 것과 비슷하게 될 것으로 짐작된다.

1998년 미국 분리막 소재 시장은 \$1.3 B 이고 연평균 성장율은 11.0%로 매우 높게 예측하고 있다. 세계시장도 막모듈이 \$3.5 B, 분리막 시스템 \$10 B 정도이며 연평균 성장률은 8-10%로 높게 보았다. 미국의 시장 구조를 살펴 보면 수처리분야가 44% (\$572 M), 식품 및 제약산업 20% (\$260 M) 그리고 화학산업 36% (\$468 M) 이다 (표 8). 반면 국내의 시장은 전술한바와 같이 거의 대부분이 수처리 분야가 차지하고 그 중에도 정수기가 60% 그리고 산업용으로 40%를 차지하고 있는 이상한 구조를 형성하고 있다. 만일 가까운 장래에 국내 시장 구조가 선진국과 비슷하게 된다고 가정하면 현재 거의 시장이 형성되지 않은 화학, 생물 및 제약 산업에 대한 수요가 급증하여 이 분야의 거대한 시장이 형성될 수 있을 것이다.

이 분야 이외에도 분리막은 환경산업과 에너지 산업 분야에 주로 응용될 거라는 것은 쉽게 예측할 수 있다. 환경산업으로 우선 수처리와 가정용 정수기 분야의 수요가 매우 늘어 날 것이며, 공기중의 VOC, 이산화탄소, 매립지 침출수 처리, 토양복원 등

다양한 분야에 응용될 전망이다. 그리고 에너지 분야는 1. 에너지 소비가 집중된 분리공정의 대체 분야 (예: propylene/propane, ethylene/ethane 혼합물 분리) 2. 원자재 및 에너지 회수 (예: 청정기술) 및 3. 화합물 및 에너지 변환 분야 (예: 연료전지) 등에 분리막의 수요가 커질 것으로 기대된다. 그리고 약물의 방출 조절 분야도 매우 큰 잠재 수요를 갖고 있다.

Table 8. Market of Membrane Modules in USA

Application	Market	Annual Growth Rate
Water Treatment	\$ 572 M (44 %)	10.3 %
Food, Beverage & Pharmaceuticals	\$ 260 M (20 %)	10.0 %
Chemical Industries	\$ 468 M (36 %)	9.0 %
Gas Separation	\$ 60 M	16.5 %

#### 4. 연구 방향

에너지자원 기술개발 센터에서는 “막분리 시스템 보급을 위한 정책 연구 (1996년 3월, 통산산업부)”를 1996년에 수행하였다. 이 중 분리막 기술에 관한 설문 조사 결과를 다음에 정리 요약하였다.

연구 결과에 의하면 국내 막분리 기술의 적용 속도가 기대보다 느린데, 그 이유는 분리막 시스템의 경제성 (30%), 품질의 신뢰성 (18%) 그리고 경영층 이해 부족

(15 %) 등으로 나타 났다. 막분리 시스템을 도입하는 이유는 품질 향상 (18 %), 원가 절감 (15 %) 그리고 설치 공간 절감 (15 %) 등의 순이다. 분리막 공정의 도입에 따른 만족도는 매우 좋다 (50 %), 좋은 편 (43 %) 등 만족한 경우가 93 % 이상으로 매우 높게 나타났으며, 만족하지 않는 경우가 7 % 이하로 매우 낮다. 따라서 분리막 시스템의 수요는 앞으로도 매우 클 것이라는 것을 쉽게 짐작할 수 있었으며, 시장전망은 100 %가 좋은 거라고 예측했다. 만약 신뢰성과 경제성이 향상된 분리막 시스템을 보급하여 제품의 품질 향상과 원가 절감에 기여할 수 있으면 분리막 시장이 매우 빠른 속도로 증가할 것 이라 기대된다.

그 이외에도 분리막 시스템에 관한 인식 부족으로 인한 도입 지연이 분리막 적용속도를 낮추는 중요한 부분을 차지하고 있는 데, 이는 신뢰성 확보와 지속적인 교육이 필요하며, 한국막학회가 지속적인 교육을 담당하는 중심 역할을 하여야 할 것 이다. 시장 개척 저해 요인으로는 응용기술부족 (23 %) 그리고 위험 기피 (21 %) 등이 있으며, 정책 지원은 주로 기술개발 분야 (32 %)에 중점적으로 해야 효과적이라는 데 의견을 일치하였다. 분리막 기술 사용 분야는 주로 공업용수처리 (45 %) 및 순수처리 (36 %) 분야이며, 폐수 처리나 유기물회수에 각 9 % 정도로 사용하고 있다. 한편 분리막 기술을 확보하기 위해서는 외국기술 도입 (50 %)에 의한 방안이 절반을 차지하고, 자체 혹은 공동 연구에 의한 기술 개발에는 소홀히 하고 있으며, 특히 분리막 제조 기술이나 설비 제작 기술에 대해서는 더욱 무관심한 것으로 나타났다 . 이는 국내 연구개발 수준과 방향과도 중요한 상관성이 있으므로 국내 연구자들이 신뢰성을 높히는 데 스스로 노력하여야 하고, 기업체에서도 기술 개발에 대한 보다 적극적인 자세를 갖는 것이 필요하다고 판단된다.

결론적으로 분리막 시장이 기대보다 증가하지 않는 가장 큰 이유는 기술 부족으로 나타났고, 기술개발에 정책적으로 지원하는 것이 중요하다고 지적되었다. 기술 개발 분야중 분리막 제조 및 설비 제작 기술 분야에 우선적으로 지원해야 할 필요가 있으며, 분리막 제조의 국산화를 통해 분리막 산업을 더욱 발달시킬 수 있을 것이라 기대된다.

기술 개발을 통하여 분리막 산업을 발달시키기 위해서는 1. 무엇보다도 먼저 분리막 자체의 성능이 향상되어야 하고, 2. 시스템 운전 기술의 향상 3. 사용 경험이 축적되어 신뢰성을 향상 시키고 그리고 4. 주변기기가 발달되어야 한다 (표 9).

Table 9. Technology Deficiency in Membrane Process

Unsatisfactory membrane properties (selectivity, permeability, chemical and thermal stability)
Operation problems (deficiency in basic engineering and application know-how)
Insufficient database (standardization, legal aspects and practical experience)
Lack of suited peripheral equipment

위의 4 요인중 분리막의 성능 개선이 무엇보다도 중요하며, 이를 위해서는 우선 1. 우수한 분리특성을 갖는 소재 개발, 2. 주어진 소재의 성능을 극대화 할 수 있는 분리막 및 모듈 제조기술 그리고 3. 분리막 공정을 개발하는 시스템 연구가 필요하다. 그런데 국가 지원 과제들은 대부분 분리막 및 모듈 제조에 중점을 둔 반면 국내 엔

지니어링 업체에서는 독립적으로 선진국으로부터 수입된 분리막 모듈을 시스템화하여 응용하는 분야를 개척해 왔다.

지금까지 국내에서는 대부분의 연구 과제가 제조 및 응용에 대한 연구가 진행되어 왔지만, 상분리 현상과 같은 근본적인 문제에 관한 연구는 거의 없고 시행착오법을 이용한 분리막 제조 수준을 벗어나지 못하고 있다. 따라서 분리막 제조 기술의 핵심인 상분리 과정에 대한 보다 근본적이고 체계적인 연구가 수행되어야 필요한 구조를 쉽게 조절하고 제조할 수 있는 기술을 보유하게 될 것이며 분리막의 성능을 극대화할 수 있을 것이다. 그리고 투과성이 향상된 분리막을 제조하기 위한 우수한 투과 특성을 갖는 소재 개발에 관한 연구가 소홀하였는데 이는 분리막 성능을 향상시키는데 매우 중요한 분야이다. 이젠 국내의 여러 여건의 성숙에 따라 우수한 투과 성능을 갖는 소재 개발에 집중적으로 투자를 해야 할 때이며, 소재 개발의 연구 특성상 장기적이고 지속적인 연구 지원이 필요하다고 판단된다.

## **The State of the Art for Membrane Technology in Korea**

Un Young Kim and Yong Soo Kang\*

Presidential Council on Science and Technology

\* Korea Institute of Science and Technology

The membrane technology in Korea has been developed rapidly in quality as well as in quantity for the last decade. The R&D projects in membrane preparation and applications started about 15 years ago, and then followed by the market development.

A variety of membrane research projects have been conducted in many places. Here, the research projects supported by the government will be briefly reviewed. First, the Ministry of Science and Technology has been supporting the majority of research projects including the membrane fabrication for water treatment and for gas separation since 1992. The R & D Management Center for Energy and Resources of the Ministry of Trade, Industries and Energy have also been supporting some research projects for saving energy including membrane systems for liquid separation (1993 - 1996) as well as for gas separation (1995 - ). One of the urgent research topics is on the separation of CO<sub>2</sub>, a green house gas, from flue gas. This has been funded by the government and the main carbon dioxide producers, the Pohang Iron and Steel Co. and Korea Electric Power Co.

The current membrane market has been primarily lead by the membrane processes for production of ultrapure and potable water as well as for process-water treatment. The microfiltration market is approximately 20 billion Won with an annual growth rate of 10 %. This market growth comes mainly from its



usage as a filter for the pre-treatment of water. Currently, all the microfiltration membranes have been imported from abroad. The ultrafiltration membranes are mostly used for preparation of ultrapure water in semiconductor industries (3 billion Won) and for treatment of washing water from electro-deposition painting system in automobile industries (2-3 billion Won). For the case of the reverse osmosis membrane, it holds the biggest share in Korea membrane market mostly for water treatment, but its market size has not been known precisely. The pharmaceutical and biochemical industries have also used membrane process as a standard process.

In future, the water treatment market will keep leading the domestic membrane market. The environment and energy industries would also be major membrane application fields. The chemical and biochemical industries are expected to be a large potential market in a near future, which constitutes almost 50 % of the market in the developed countries.

Until recently all the membranes and membrane separation equipments had been imported from abroad. But the technologies developed through the conduction of the researches cited above have been transferred to industries, resulting in the production of reverse osmosis and ultrafiltration membranes. Nowadays, the KOLON, SKI and HYOSUNG T&C have been producing ultrafiltration membranes and the SAEHAN CO. has started to produce reverse osmosis membranes quite recently. In engineering fields, many RO plants for water treatment have been designed and installed by domestic engineering companies. In conclusion, the membrane industry in Korea has been developed recently, and it is expected to grow swiftly.