정보분석보고서

이온교환막 기술 및 산업의 동향

2014. 11.

한국과학기술정보연구원

<목 차>

1. 분리막 기술의 정의 및 분류 ····· 1

가. 분리막 기술의 정의 ····· 1

나. 분리막 기술의 분류 ····· 2

다. 분리막 기술의 응용범위 ····· 7

2. 분리막 기술의 특성 ····· 15

가. 분리막 기술의 특성 ····· 15

나. 분리막 기술/시장에 미치는 영향요소 ····· 15

3. 국내외 분리막 시장규모 ····· 24

가. 분리막 소재시장 ····· 24

나. 분리막 응용시장 ····· 28

4. 국내외 분리막 관련 산업 동향 ····· 37

가. GE ····· 37

나. Mega a.s. ····· 37

다. Astom Corporation. ····· 38

라. SnowPure LLC ····· 39

마. Membranes International Inc. ····· 39

바. PCA GmbH ····· 40

사. AGC Engineering Co., Ltd. ····· 40

아. 국내업체 ····· 41

5. 국내외 분리막 산업 전망 ····· 42

가. 소재시장 ····· 42

나. 응용시장 ····· 44

6. 결론 및 시사점 ····· 51

<참고문헌> ····· 53

<표 목차>

<표 1-1> 분리막의 성질에 따른 분류 ····· 3
<표 1-2> 분리막의 막모듈 형태에 따른 분류 ····· 5
<표 1-3> 이온교환특성에 따른 이온교환막의 종류 ····· 6
<표 1-4> 이온교환 제품간의 비교 ····· 7
<표 1-5> 분리막의 응용범위 ····· 7
<표 1-6> ED/EDR의 주요 응용분야 ····· 14
<표 2-1> 주요 수처리방법별 처리한계비용 ····· 20
<표 2-2> 주요 해양에너지(해양발전)별 입지조건 ····· 21
<표 3-1> 세계 분리막 시장(소재기준) 현황 ····· 24
<표 3-2> 세계 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장현황 ····· 26
<표 3-3> 세계 주요 국가별 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장현황 ····· 26
<표 3-4> 세계 담수화 시장현황 ····· 29
<표 3-5> 세계 주요국별 담수화 시장현황 ····· 29
<표 3-6> 국내 기업의 주요 담수화 플랜트 수주프로젝트 ····· 31
<표 5-1> 세계 주요 국가별 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장전망 ····· 42
<표 5-2> 세계 담수화 시장전망 ····· 44
<표 5-3> 세계 주요국별 담수화 시장전망 ····· 45
<표 5-4> 세계 주요 지역별 염분차발전에 의한 전력잠재량 ····· 47
<표 5-5> GIWA기준 세계 주요지역별 염분차발전에 의한 전력잠재량 ····· 49
<표 5-6> 발전방식에 따른 염분차 발전의 관련지표 ····· 50

<그림 목차>

<그림 1-1> 분리막의 개략도 ····· 1

<그림 1-2> 이온 교환막의 원리 ····· 2

<그림 1-3> 이온교환막의 응용분야 ····· 2

<그림 2-1> 담수화 분야 패러다임 변화에 따른 공정별 중요성 ····· 16

<그림 2-2> 수자원의 용도별 수요전망 ····· 17

<그림 2-3> 세계 가용가능 수자원의 종류별 비중 ····· 18

<그림 2-4> 세계 물부족 현상의 원인 ····· 19

<그림 2-5> 담수화 기술전환에 따른 원가감소 추이 ····· 23

<그림 3-1> 압력지연삼투방식에 의한 농도차발전의 원리 ····· 33

<그림 3-2> 역전기투석방식에 의한 농도차발전의 원리 ····· 34

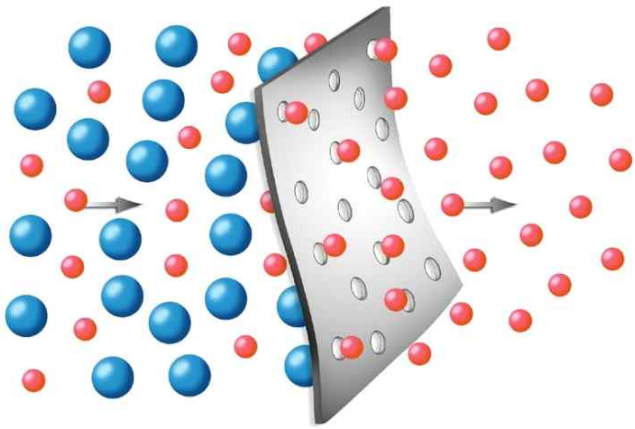
<그림 3-3> 네덜란드 Harlingen에 위치한 역전기투석에 의한 염분차발전소 전경 ···· 35

<그림 5-1> 강 하구 중심의 세계 주요 염분차발전 예상적합지역 ····· 48

1. 분리막 기술의 정의 및 분류

가. 분리막 기술의 정의

분리막(膜, Membrane)은 일반적으로 서로 다른 두 물질사이에 존재하는 선택기능을 가진 장애물 혹은 장벽(barrier)으로서, 어떤 물질을 선택적으로 통과시키거나 배제하는 역할을 하는 소재를 말한다. 분리막의 구조, 재료 혹은 분리막을 통과하는 물질의 상태, 이동 원리 등의 제한은 없으며, 단지 두 물질 사이를 서로 격리시키고 그 사이의 막을 통해 물질의 선택적인 이동이 발생한다면 그 소재를 분리막으로 총칭할 수 있다.



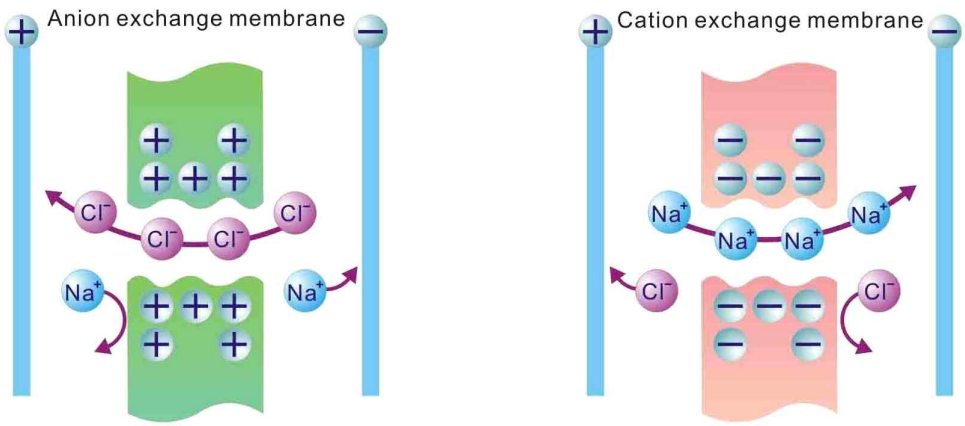
<그림 1-1> 분리막의 개략도

이온교환막(ion-exchange membrane)은 선택투과막이라고도 하며 이온교환 기능을 가진 막이다. 고효율 분리막의 일종으로 분리막의 종류 중 하전막에 해당하여 전하 반발력을 이용한 분리특성을 가지고 있다.

또한, 동 분리막은 일반적으로 2가지 혹은 다수의 성분이 혼합된 혼합물로부터 선택적으로 특정성분(1가지 혹은 여러 성분)을 분리할 수 있는 물리적 경계층이 될 수 있다. 즉, 분리막을 투과하거나 분리막으로 배제된 상(phase) 중 특정성분의 농도는 증가 혹은 감소하도록 되어있는 구조이다. 형상으로는 불용해성 다전해질인 이온교환수지(ion-exchange resin)를 막(膜, membrane)

모양으로 성형・제조한 것이다.

이온교환막의 원리로는 막에 있는 극소형의 구멍을 통해 물 혹은 유기용매 등의 이동이 이루어지고 교환막을 전해질 용액에 담가 이것을 격막으로 하여 용액에 전류를 통하게 할 경우, 막의 기공 벽에 양전하 혹은 음전하를 지닌 관능기(官能基, functional group)가 상대 전하를 가진 이온만을 막의 기공으로 끌어들임으로서 전기적으로 중성을 띄게 하므로 양이온 및 음이온 중 하나가 통과하지 못하게 된다. 나머지 기공 내에 들어온 이온은 한 관능기에서 약하게 결합하여 다시 떨어졌다가 다음 관능기에 재결합하는 상태가 연속적으로 반복되므로 결과적으로는 막을 통과하게 되는 것이다.



(a) 양이온 교환막 (b) 음이온 교환막

<그림 1-2> 이온교환막 원리

나. 분리막 기술의 분류

분리막은 성질, 막의 원료, 막모듈 형태 등에 따라 다양한 종류로 나뉠 수 있다. 단일 분리막의 경우 다양한 기준에 따라 분류될 수 있으며, 아래에서 언급하는 다양한 특성이 모두 적용가능 할 수도 있다.

일례로 본 보고서가 다루고 있는 이온교환막의 경우 합성막(인공막)으로서, 비다공질막, 대칭막, 단일막, 균질막에 해당하며, 친수성막, 하전막, 액체분리막 등에 해당한다.

1) 성질에 따른 분류

분리막의 성질에 관하여 합성 유무에 따라 생체막과 합성막으로 나뉘며, 다공질의 유무에 따라 다공질막과 비다공질막, 대칭성 여부에 따라 대칭성막과 비대칭성막, 막재료의 종류에 따라 단일막과 복합막으로 나뉜다. 또한, 균질성 여부에 따라 균질막과 불균질막, 막표면이 나타내는 물과의 결합성에 따라 친수성막과 소수성막으로 나뉜다. 그 밖에 하전성의 유무에 따라 하전막과 비하전막으로 나뉘며, 분리물질의 종류에 따라 기체분리막과 액체분리막으로도 나눌 수 있다.

〈표 1-1〉 분리막의 성질에 따른 분류

구분	종류	비고
합성유무	생체막	생체내에 존재하는 막(미생물 및 각종 기관의 세포막)
	합성막(인공막)	생체막 이외의 막
다공질의 유무	다공질막	세공이 많이 존재하는 막으로 세공크기가 수 nm 이상인 막
	비다공질막	기체분자, 무기이온 등의 물질이 투과 가능한 세공경(nm 이하)을 가진 막
	미다공질막	다공질막과 비다공질막 사이의 세공경을 기진 막
대칭성 여부	대칭막	막의 단면에서 중심선에 대해 대칭된 구조를 갖는 막
	비대칭막	막의 단면에서 막의 구조가 단면 방향에 대해 다른 막
막재료의 단일성 여부	단일막	한 종류의 막재료로서 만들어지는 막
	복합막	2가지 종류 이상으로 막이 합성되어 만들어지는 막
균질성 여부	균질막	실리콘 막을 중심으로 막의 단면에서 막이 균질한 막
	불균질막	실리콘 막 등에서 막의 단면에서 막이 균질하지 않은 막
막표면의 물과의 결합성 여부	친수성막	막표면이 물과 친수성을 보이는 소재의 막 (재생셀룰로스, 초산셀룰로스, 폴리비닐알콜, 유리 등)
	소수성막	물에 대해 발수성을 보이는 소재의 막 (폴리술폰, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 테프론 등)
하전성 여부	하전막	액중에서 정(+) 또는 부(-)의 하전성을 가진 막
	비하전막	액중에서 하전성을 나타내지 않는 막
분리물질의 종류	기체분리막	기체를 분리하기 위한 막(산소분리막, 질소분리막 등)
	액체분리막	액체를 분리하기 위한 막(정밀여과막, 한외여과막, 나노여과막, 역삼투막 등)

자료 : 한국수자원공사

2) 막의 원료에 따른 분류

분리막은 원료에 따라 유기막(고분자막)과 무기막(세라믹막)으로 나눌 수 있다. 일반적으로 세라믹 소재의 분리막이 널리 사용되어 왔으나, PP 및 PVDF 등 유기고분자 물질도 운영・유지 측면에서 장단점을 가지고 있으므로 상황에 따라 적절히 활용되고 있다.

유기막(고분자막)은 아크릴수지, PBs 등의 합성 중합체, 셀룰로스 아세테이트 등을 많이 활용하고 있다. 고분자막은 무게가 가볍고, 막의 두께가 얇으며, 적은 공간을 필요로 하는 장점이 있다. 가는 중공사막에서 나선형, 평판형 등에 이르기까지 많은 형태로 생산, 사용이 가능하다.

그 중 셀룰로스 아세테이트막은 친수성을 가지고 있어 막의 단점중 하나로 지적되는 유기물에 의한 파울링(Fouling, 외적 물질에 의해 막의 성능이 변화하는 것) 현상에 대해 내구성을 가지고 있다. 그러나 염소에 대한 내성이 적어 장기간 사용시 막의 산화작용이 나타날 수 있다는 단점이 있다. 폴리스티렌막은 상대적으로 높은 내약품성, 산화제에 대한 내구성 등으로 널리 사용되는 소재중 하나이다. 75℃까지의 고온에 대한 내구성이 있으며, 염소, 산화제 등 산화작용에도 내성을 가지고 있다.

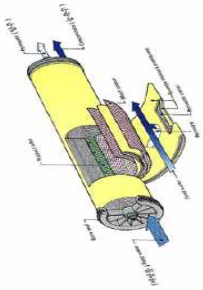
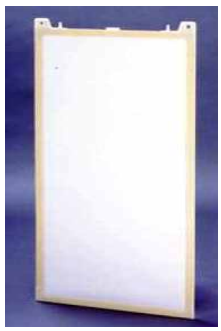
한편, 무기막(세라믹막)은 산화알루미늄, 티타늄, 이산화물, 산화지르코늄, 탄소화합물 등으로 제조되며, 유기막(고분자막)에 비해 두께가 두꺼워 보통 단일 관형태를 갖고 있다. 유기막(세라믹막)의 특징으로는 무기막 대비 유지 및 세정이 용이하며, 내약품성에 대한 내구성, 100℃의 고온 및 2kPa의 압력에도 내성을 갖추고 있다.

3) 막모듈 형태에 따른 분류

분리막을 실제 응용분야에 활용하기 위하여 적합한 형태로 충진한 것을 막모듈이라고 하며, 막모듈은 중공사형(Hollow Fiber), 나권형(Spiral Wound),

평판형(Plate & Frame), 관형(Tubular) 등이 있다. 중공사형과 나권형은 충진밀도가 높은 편이나, 평판형과 관형은 상대적으로 충진밀도가 낮은 형태를 보이고 있다.

<표 1-2> 분리막의 막모듈 형태에 따른 분류

구분	중공사형 (Hollow Fiber)	나권형 (Spiral Wound)	평판형 (Plate & Frame)	관형 (Tubular)
막모듈 형태				
충진밀도	매우 높음	높음	낮음	낮음
적용되는 막의 종류	MF, UF	NF, RO	MF, UF	MF, UF

자료 : 한국수자원공사
주. MF(정밀여과, Microfiltration), UF(한외여과, Ultrafiltration), RO(역삼투여과, Reverse Osmosis) 등은 액체분리막을 막의 기공크기에 따라 분리한 것임.

4) 이온교환막의 분류

한편, 이온교환막을 막의 특성에 따라 크게 양이온 교환막, 음이온 교환막, 바이폴라(bipolar) 교환막으로 구분할 수 있다. 양이온 교환막(CEM, Cation Exchange Membrane)은 음이온이 고정전하로서 양이온만을 통과시킬 수 있으며, 음이온 교환막(AEM, Anion Exchange Membrane)은 양이온이 고정전하로서 음이온만을 통과시킬 수 있는 막이다. 바이폴라 교환막(BEM, Bipolar Exchange Membrane)은 양이온 및 음이온 교환막을 양쪽 측면에 결합한 형태로서 양이온과 음이온을 모두 선택적으로 투과시킬 수 있다.

동 교환막은 막(membrane) 내에 연결된 전하를 띤 관능기의 종류/분포에 따

라 homogeneous(균질), heterogeneous(불균질) 교환막 등으로 구분하기도 하나, 실제로는 homogeneous 교환막이 대다수를 차지하므로 동 구분법은 큰 의미가 없는 경우가 많다. 또한, 막의 소재에 따라 탄화수소 필름막 혹은 불소폴리머 필름막 등으로 구분하기도 한다.

〈표 1-3〉 이온교환특성에 따른 이온교환막의 종류

교환막	투과대상	특성	비고
양이온 교환막	양이온	음이온이 고정전하 (SO^{3-}, COO^{-}, PO_3^{2-}, PO_3H^{-}, $C_6H_4O^{-}$ 등)	PVA, PVA/PSSA-MA, 설폰화, 4급암모늄화 가교폴리스티렌 등
음이온 교환막	음이온	양이온이 고정전하 (NH^{3+}, NRH^{2+}, NR_2H^{+}, NR^{3+}, PR^{3+}, SR^{2+})	
바이폴라 교환막	양이온/음이온 (선택적)	음이온/양이온 교환막을 동시에 배치	

그 밖에 이온교환막은 이온교환수지, 이온교환섬유 등과 설계상 원료는 비슷할 수 있으나, 그 특징은 형태가 달라짐에 따라 구분되는 여러 특성을 나타내고 있으며, 이온교환수지·이온교환섬유대비 이온교환막의 고유특성은 다음과 같다.

① 서로 다른 특성의 전하를 선택적으로 투과시킬 수 있으며,
② 전기저항이 낮으며,
③ 용질·용매의 확산계수가 적어 이동이 불필요한 물질의 확산을 최소한으로 억제할 수 있으며,
④ 기계적 강도가 우수하고,
⑤ 내약품성이 뛰어나며,
⑥ 팽윤성이 작고 치수 안정성이 크며,
⑦ 전하를 띤 물질을 선택적으로 투과시키는 능력을 가지고 있으므로 막 자체의 오염 외에는 추가적인 재생이 요구되지 않으며,
⑧ 이에 따라 화학적으로 안정하므로 장기적으로 연속적인 사용이 가능하다.

<표 1-4> 이온교환 제품간의 비교

이온교환막	이온교환수지	이온교환섬유
-막상(멤브레인 형태) -이온의 선택적 투과 -막의 오염에 따른 청소 외에 추가적인 재생은 요구되지 않음 -장기적으로 연속사용 가능	-입상(과립형태) -이온의 흡착 혹은 교환 -흡착된 량이 많아져 흡착 능력이 줄어들 경우 재생이 요구됨 -주기적인 재생에 따라 수명이 짧음 -재생 시 황산, 염산, 가성소다 등 유독성 약품의 사용이 불가피	-섬유상(장/단섬유의 직조 형태, 부직포 등의 형태) -이온의 흡착 및 교환 -섬유상이므로 기타 소재와의 가공성이 우수 -내열/내산성 및 건 조시 물리적 강도 우수 -재생 가능하므로 경제적 -내부확산이 요구되지 않으며 교환반응성 매우 우수

다. 분리막 기술의 응용범위

분리막의 응용범위는 크게 수처리 분야, 음료 분야, 의료 분야, 석유・환경・화학 분야, 에너지 분야 등으로 구분할 수 있다.

<표 1-5> 분리막의 응용범위

구분	응용범위
수처리 분야	용수처리: 해수의 담수화, 반도체와 제약산업 등에 필요한 초순수 제조, 가정용 정수기, 고도정수처리시설 폐수처리: 분리막 생물 반응기를 통한 폐수처리, 중수도와 같은 폐수 재이용 시스템, 침출수 처리
음료분야	각종 과일주스 농축, 맥주 제조, 당 분리, 전분 제조, 효소 정제, 천연색소 회수
의료분야	혈액투석 또는 여과, 혈장 분리, 세포 반응기, 인공심폐기, 산소부화 공기 제조, 약물전달 시스템, 콘택트렌즈, 바이오센서
석유·환경・화학분야	기체분리: 이산화탄소/질소/산소/수소 분리, 쓰레기매립장의 메탄 회수, 휘발성유기 화합물 제거 화학공정: 유기 혼합물 분리, 유기용매 분리, 방향족 탄화수소 분리
에너지분야	분리막 : 연료전지, 리튬이온 전지 등 2차 전지의 분리막 염분농도차(역전기투석) 발전 : 해수와 민물의 염분차이를 이용하여 삼투압에 의해 분리시킨 후 낙수의 힘에 의한 발전

1) 수처리 분야

수처리 분야는 응용범위 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 크게 용수처리, 폐수처리 등 분리막을 이용하여 산업용수 및 수돗물을 생산, 정수하는 용수처리, 하수・오수・폐수 등을 처리하는 폐수처리, 해수담수화 등으로 나눌 수 있다.

초순수는 일반적으로 17~18MΩ/cm 정도의 전기적 저항을 가진 물리・화학적으로 화합물질 및 합성물질 등이 거의 존재하지 않는 고순도의 물이다. 특히 반도체, 전자, 초임계 보일러, 원자력발전소, 제약 등의 분야에 대량으로 사용되고 있어 이에 대한 처리기술의 향상이 더욱 요구되고 있다. 음용수의 제조는 과거 활성탄의 흡착, 미세한 기공을 함유한 다공성 세라믹을 응용한 분리막이 주류를 이루었으나, ‘80년대 이후에는 역삼투막 및 중공사막에 의해 널리 사용되고 있다.

상수도처리는 수도의 수원으로 하천・호소(湖沼)・제수지・지하수 등을 이용하고 있으나 수질이 좋은 지하수・용출수는 염소소독만으로도 급수가 가능한 반면, 하천・호소 등은 탁도, 세균류 등 유해불순물을 완벽히 제거해야만 음용수로 사용할 수 있다. 이에 따라 물의 정화는 정수장에서 완속・급속여과를 거쳐 이루어졌으나, 최근 바이러스, 원생동물 등의 완벽한 제거를 위하여 분리막에 의한 여과가 증가하는 추세이다.

하・폐수 처리의 경우 단순히 폐수를 처리하기 보다는 폐수 중에 함유된 유효물질을 회수, 재활용함과 동시에 폐수 중의 물을 높은 수율로 회수함으로서 폐수 오염원의 부하를 크게 줄여주는 역할도 하고 있다. 또한, 분리막에 의한 처리는 처리약품의 양이 적어 슬러지 발생량을 줄이고, 물리적 방법에 의해 처리하므로 폐수의 수질변화에 대한 영향이 적어 일정 처리수준의 유지가 가능하다. 또한, 공장폐수, 하수의 처리, 재활용에 의해 경제적・환경적 측면에 대한 여러 장점을 이용할 수 있으며, 특히 산업폐수의 처리 시 중요성이 강조되고 있다.

해수담수화는 해수 중에 용해되어 있는 염분을 제거하여 담수를 얻는 일련의 공정을 말하며, 담수화의 방식에 따라 상태변화를 동반하는 방식으로서 증발법, 결정법 등이 있으며, 상태변화를 동반하지 않는 방식으로서 막분리법과 용매추출법 등이 있다. 에너지 사용형태로서 열을 이용하는 증발법, 압력을 이용하는 역삼투법, 전기에너지를 이용하는 전기투석법 등으로 구분할 수 있다.

특히, 증발법은 30,000~50,000mg/l의 고농도 염수에 주로 사용하고 있으며, 전기투석법은 500~3,000mg/l의 비교적 저농도 염수에 적용하고 있다. 역삼투법은 500~50,000mg/l까지 다양한 농도의 염수에 적용 중이다.

2) 음료분야

음료분야는 각종 음용수의 생산을 위해 농축, 살균, 분리 등 필수적인 생산공정으로서 활용되고 있다.

농축분리의 경우 주류가공, 유가공, 음료생산 등의 제조과정에서 액체 여과에 적용되고 있으며, 고분자를 소재로 한 역삼투막이나 한외여과막이 주로 이용되고 있다.

정제분리는 에너지 절약을 위해 기존의 정제분리법인 증류, 흡수, 건조, 기계적 분리법 등을 대신하여 막분리에 의한 응용에 대해 관심이 높아지고 있다. 특히, 선택적 투과성을 갖는 막을 이용함으로서 액상 혹은 기체상에서 유기 혹은 무기물 등을 압력・농도・전위차 등으로 분리, 정제, 농축하는 과정이다. 공정이 비교적 단순하고 적용범위가 넓으며, 에너지 소비가 적으면서도 용매 필요성이 적어 경제적이다. 상변화시 고온처리 등이 수반되지 않아 기존의 분리공정을 대체할 수 있는 공정이다.

3) 의료분야

의료분야에서는 혈액투석(Hemodialysis), 혈액여과(Hemofiltration), 혈액투석여과(Hemodiafiltration), 혈장분리(Plasma Separation), 혈장분획(Plasma Fractionnation), 약물전달, 콘택트렌즈 등으로 활용되고 있다.

대부분의 의료용 기기는 혈액정화를 위해 중공사막을 주로 사용하고 있으나, 용도에 따라서 처리가 곤란한 독성물질이 체내에 들어오거나 생체 본래 기능에 결함이 있을 경우 인공막을 사용하고 있다. 분리, 투과, 흡착 등의 원리를 활용하여 대사계(代謝係) 인공장기로 사용하고 있으며, 대표적인 것이 대사노폐물을 제거하기 위한 인공신장이다.

특히, 막의 선택투과성, 분리기능을 이용한 대표적인 것으로서 인공신장인 혈액투석기, 막형 인공심폐기 등이 있다. 혈액투석기, 혈액여과기, 혈액투석여과기, 흡착혈액관류기, 혈장분리기, 혈장분획기, 막형 인공심폐기 등이 고분자 분리막을 사용하여 활용되는 것들이다.

4) 석유・환경・화학분야

석유・화학분야에서는 이산화탄소・수소분리 및 회수, 산소의 농축, 혼합물 분리 등 다양한 공정에서 활용되고 있다.

석유화학분야에서는 기체분리로서 휘발성 유기할로겐화합물인 메틸렌클로라이드, 디클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로프로판, 클로로디브로모에탄 등 자동차, 석유화학단지에서 배출되는 이러한 휘발성 유기화합물이 지하수・토양・대기 등의 환경오염 물질의 하나로 대두되고 있어 이를 제거, 회수하는 방법으로서 막분리법을 활용하고 있다.

화합물이 함유된 가스를 분리막에 선택적으로 투과시켜 화합물을 흡착탑에 의해 흡수 혹은 회수하고, 화합물이 제거된 가스를 공기 중으로 방출되는 방식을 활용하고 있다.

정밀화학분야에서는 물질의 3가지 형태인 고체, 액체, 기체를 고체/액체, 액체/액체, 기체/액체, 기체/기체 분리 등으로 최종 사용시점에서 필요한 방법으로 활용하고 있다.

고체/액체분리는 고체와 액체가 혼합되어 있을 경우 2개의 삼차원 균일상을 제3의 상인 막(멤브레인)이 가진 물리·화학적 특성을 이용하여 분리하는 것이다. 막에서 이동하는 유체에 집중된 저항을 가하면 물질에 선택적으로 작용하게 되어 이동속도의 차이에 따라 두 상의 분리가 일어나는 원리이다.

액체/액체분리는 혼합액체로부터 분리막의 물리·화학적 성질에 따라 선택적으로 특정 액체를 분리해내며, 주로 역삼투, 한외여과, 투과증발, 이온교환막을 이용한 전해/전기투석 등이 이용되고 있다.

기체/액체분리는 화학, 식품, 의료, 반도체 등 다양한 분야에서 액체 중에 용존된 기체를 탈기하는 것으로서, 기체-액체의 혼합기체에서 특정기체 혹은 기체자체를 분리하는 데 사용되고 있다.

기체/기체분리는 혼합기체로부터 특정 기체를 분리하는 데 사용되고 있으며, 한쪽면으로부터 혼합기체가 접촉되어 막과의 친화성이 좋은 혼합기체내의 특정 기체분자가 막 반대편으로 선택적으로 투과되는 현상을 이용하는 것이다. 특히, 수소, 질소, 산소, 이산화탄소 등을 분리하는 데 사용하고 있다.

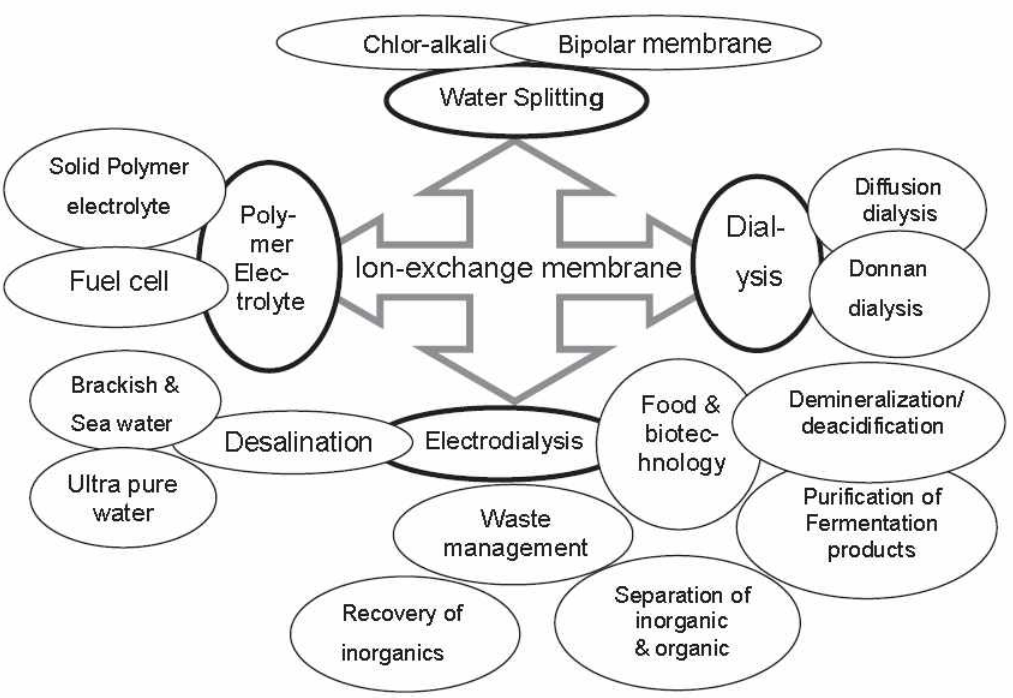
5) 에너지 분야

향후 개발 및 성장가능성이 높은 분야로서는 에너지 분야가 있으며, 그 중 리튬이온전지 및 연료전지 등 다양한 2차 전지의 분리막으로서 성장세가 높은 상황이다. 연료전지의 경우 수소와 산소가 전기화학적으로 반응시 물 외에 전기/열이 발생되는 원리를 이용한 발전장치로서, 물 전기분해의 역반응을 이용한 것이다. 현재 화석에너지의 사용에 따른 환경오염물 배출과 비교

하여 연료전지는 환경오염물질의 배출이 거의 없이 물만을 배출하므로 이상적인 발전기술로 각광받고 있다.

이같은 청정에너지 발전법 중 다른 하나로서 아직까지 본격적인 상용화는 이루어지지 않고 있으나 바닷물과 민물의 염분차를 이용하여 바닷물을 농축하고, 이를 끌어올려 발전을 하는 염분차발전(역전기투석에 의한 발전) 등에도 다양하게 이용될 것으로 예상된다.

이온 교환막의 경우 연료전지의 분리막, 유기산을 정제하기 위한 전기투석, 산/염기의 회수를 위한 물분해 전기투석, 산세 폐액으로부터 산·금속화학종을 회수하기 위한 확산투석, 초순수 제조를 위한 CEDI(Continuous Electro Deionization) 등 다양하다.



<그림 1-3> 이온교환막의 응용분야

자료 : Recent developments on ion-exchange membranes and electro-membrane processes, R.K. Nagarale, G.S. Gohil, Vinod K. Shahi, 2005. 12

그 중 전기투석법(ED, Electrodialysis)의 경우 전기적 성질을 갖는 전해질(양/음이온)을 선택적으로 투과하는 이온교환막을 응용하여 이온성 물질을 분리하는 막분리 공정이다. 역전기투석법(EDR, Electrodialysis Reversal)은 막의 오염을 줄이기 위해 전류의 방향을 주기적으로 바꾸는 양극전도(Polarity Reversal)를 이용한 공정으로서 유로와 전기투석의 전위구배를 바꿀 수 있으므로 전기투석공정의 장애요인인 오염속도의 감소가 가능하다. 이들 투석법의 응용분야는 크게 환경, 식품, 기타(전자・자동차・철강・의약) 등으로 나누어 볼 수 있다.

<표 1-6> ED/EDR의 주요 응용분야

구분	응용분야	비고
환경	물의 연수화, 질산성 질소제거, 유가금속의 회수, 중금속 제거, 방사성 물질제거, 탈염, 정수처리, 중수도·고도정수처리	이온성 물질의 분리·정제
식품	아미노산·유기산 분리·정제, 탈염, 식염제조, 당의 탈색	최종제품 생산을 위한 정제
기타 (전자・철강・자동차・의약)	초순수 제조, 금속·산의 회수, 최종제품의 분리·정제, 전기투석을 응용한 전기탈염	전기탈염

환경분야에서는 이온성 물질의 분리정제 공정에 다양하게 활용되고 있으며, 물의 연수화, 질산성 질소제거, 도금폐수에서 유가금속의 회수, 중금속 제거, 원자력 발전소의 1차 냉각계통에서 발생하는 방사성 물질제거, 정유폐액의 탈염, 정수처리, 중수도 및 고도정수처리 등에 활용된다.

식품분야에서는 아미노산・유기산의 분리 및 정제, 유가공품 생산시 탈염, 식염제조, 유장(乳漿, Cheese Whey)의 탈염, 당(糖, Sugar) 정제공정상의 탈색 등 최종 제품의 생산시 필요한 정제공정에 활용된다.

그 밖의 분야에서는 전자・자동차 분야에서 필요한 초순수 제조, 철강 분

야에서 금속 및 산(酸, Acid)의 회수, 의약분야에서 최종제품의 분리·정제 등으로 활용되고 있으며, 특히 전기투석을 응용한 전기탈염공정이 기술적 우수성을 인정받아 널리 활용되고 있다.

본 보고서에서는 ED/EDR의 주요 응용분야 중 담수화/탈염(전기투석에 의한 방식포함) 및 염분차발전 분야(역전기투석에 의한 방식포함)를 중심으로 살펴보고자 한다.

2. 분리막 기술의 특성

가. 분리막 기술의 특성

분리막 기술은 막이 가진 특성을 이용하여 여러 혼합물에서 특정 물질을 분리해내는 것이며, 그 중 가장 큰 부분을 차지하는 수처리 분야를 상기하면 동 시장은 환경에 대한 관심의 정도, 경기변동 및 정부정책에 민감하다고 볼 수 있다.

일반 범용제품의 경우는 국산품이 수입품을 대체함으로서 국내시장에서의 완전경쟁체제를 보이고 있으나, 여전히 초정밀 제품 등 고부가제품의 수입의존도는 높으며, 원가절감을 위한 경쟁력 강화를 위해 관련 업체들의 국산화 노력이 시급한 상황이다.

수처리 중 하수처리 분야는 세계적인 환경친화적 추세와 오염방지에 대한 관심이 증가하면서 국가차원에서 환경오염 저감 및 제거전략을 중점으로 수질 및 수자원 관리기술의 지원이 이루어지고 있다.

그럼에도 불구하고 국내외 환경분야의 투자확대에 따른 시장진입 및 확대 기회가 발생하고 있음에도 불구하고, 자발적인 형성보다는 정부정책에 의해 발생하는 경우가 더욱 많아 정부의 환경관련 정책이 변화되거나 국가전체의 경제위기 등이 발생하는 경우 시장자체의 형성이 어려워질 수 있는 단점도 가지고 있다.

나. 분리막 기술/시장에 미치는 영향요소

이 같은 시장의 특성에 따라 현재 분리막 시장에 영향을 미치는 요소들로서 담수화에 대한 패러다임 전환, 물 부족에 따른 물산업의 호조, 기존 비개발자원인 물자원의 관심 증가 및 활용가능성 확대, 소재발전에 따른 기술개발 진전 등을 들 수 있다.

1) 담수화의 패러다임 전환

글로벌 컨설팅기업 ADL(Arthur D. Little)의 보고서에 따르면, 향후 담수화 분야의 패러다임으로서 부품 및 솔루션에 따른 차별화가 확대되면서 엔지니어링 역량을 기반으로 한 소규모 플랜트 방식에 집중될 전망이며, 과거 큰 비중을 차지하지 못한 유지 및 보수관련 시장의 확대도 예상되고 있다.

<그림 2-1> 담수화 분야 패러다임 변화에 따른 공정별 중요성

자료 : ADL

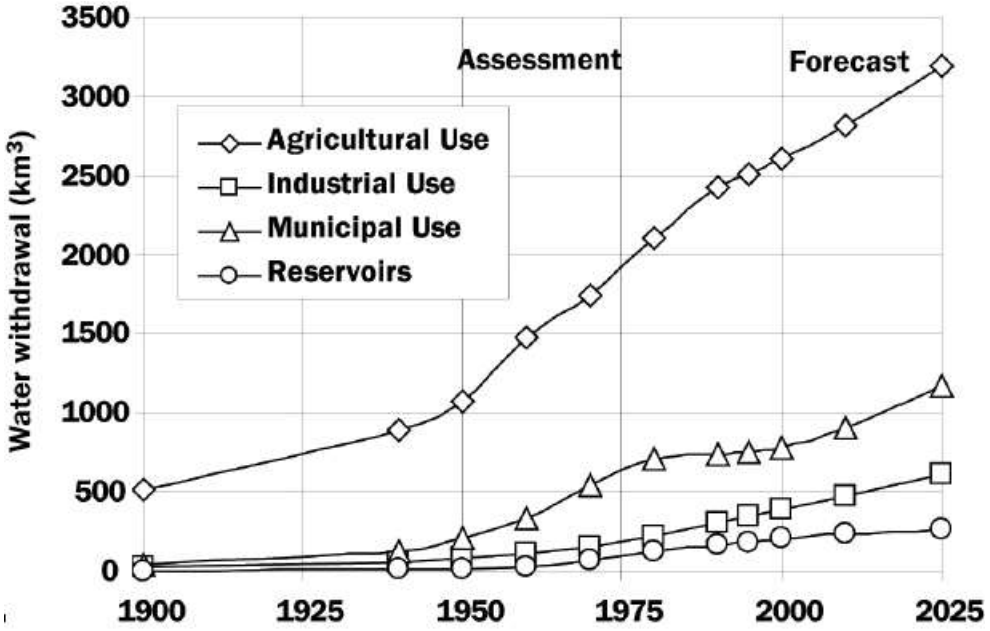
이는 현재까지 역삼투막(RO) 등 범용 분리막 부품위주로서 발전함으로서 설비분야는 단순조립에 그치는 아웃소싱의 방식이 주를 이루었으나, 설비가 더욱 컴팩트화되고 모듈화 되면서 단순조립의 메리트도 사라지는 상황이다.

따라서 범용 분리막 부품으로부터 FO(Forward Osmosis), MD(Membrane Distillation), ED(Electro Dialysis - 이온교환막) 등 고성능의 분리막 부품 및 모듈로의 전환이 나타나면서 이에 대한 의존도는 더욱 높아질 것이라는 예측이 나오고 있으며, 운영(O&M, Operations and Maintenance) 측면에서도 고난이도 기술의 도입에 따라 전문화된 영역도 구축되고 있다.

2) 물 부족에 따른 물산업의 호조

과거 물산업은 사회 간접자본 및 공공성 측면이 강조된 바 있으나, 비즈니스로의 인식전환이 이루어지면서 21세기 핵심 산업군으로 자리잡고 있다. 특히, 신흥국, 개도국 등의 산업화를 위한 설비증가, 물부족 해결을 위한 해수담수화 시설증가, 선진국의 수질기준 강화에 따른 하수처리 기술 등 동 분야에 대한 다양한 변화요인이 나타나고 있다.

또한, 서비스 개념으로서 산업모델이 등장함과 동시에 공공기관의 관리에서 벗어나 민영화가 확대됨으로 인해 물산업의 규모 및 경제성이 높아짐으로서 석유를 대체할 21세기 '블루골드(Blue Gold)'로 부상하고 있다.

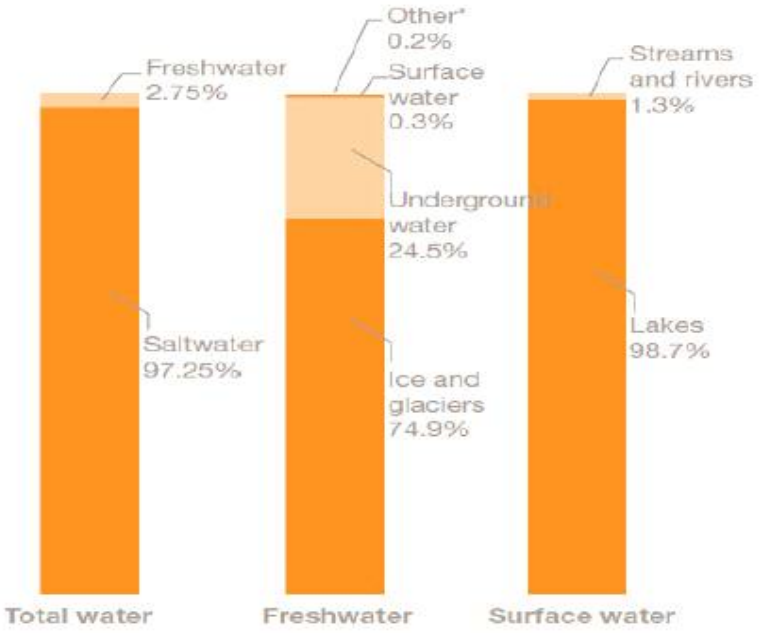


<그림 2-2> 수자원의 용도별 수요전망

자료 : GWI

이는 현재 지구상의 담수 중 약 0.3%만이 인간이 사용할 수 있는 수자원이며, 지구온난화에 따른 수자원의 고갈, 지역별 수자원의 편차 및 오염이 심화되기 때문이다. 인구증가 외에 도시화, 산업화의 가속으로 물 수요는 급증하고 있다. 중국 등 개도국의 생활수준 향상에 따라 위생관념도 높아지고

있어 물 사용량이 증가하는 추세이며, 반도체 등 IT분야, 제약, 정밀화학 등 초순수의 수요증가 등이 이를 뒷받침하고 있다.



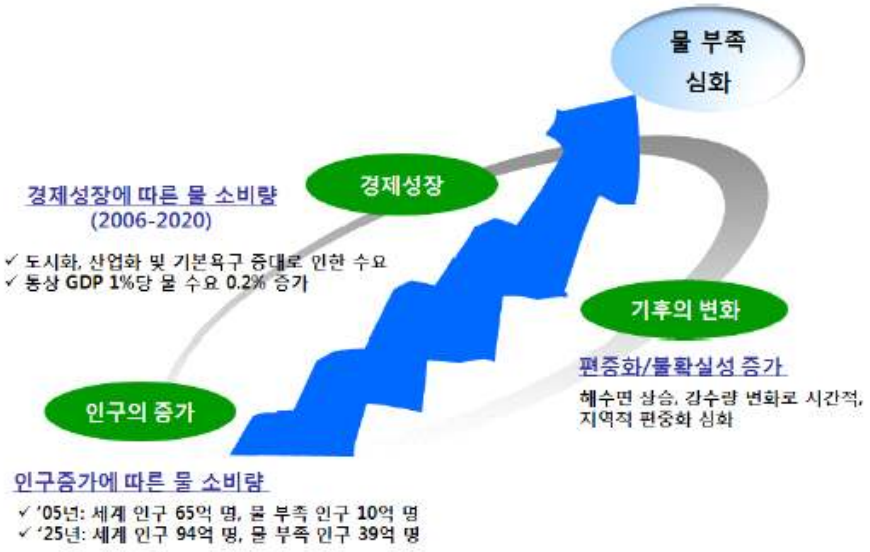
<그림 2-3> 세계 가용가능 수자원의 종류별 비중

자료 : PwC, Water : challenges, drivers and solutions, 2012 재인용

세계적으로 수리권 확보 및 무기화에 따른 분쟁이 확대되고 있으며, 수자원은 이동이 제한적이므로 독점적으로 지역적인 사업기회가 발생하고 있다. 특히, 수자원을 고품질로서 효율적으로 관리, 공급하기 위해서는 분리막과 같은 고성능의 처리기술이 수반되어야 한다.

3) 기존 비개발자원인 수자원에 대한 관심증가

세계 각국에서 수자원 관련정책의 실패에 따른 관리소홀 등으로 세계 인구 중 약 20%가 깨끗한 물을 마시지 못하고 있으며, 26억명의 인구는 기본적인 하수처리시설 없이 생활하고 있다. 또한 공급되는 물의 30~40%는 버려지거나 새어나감으로서 제대로 된 활용이 이루어지지 않고 있다.



<그림 2-4> 세계 물부족 현상의 원인

자료 : 한국수출입은행, 국내 물산업의 해외진출 전략, 2014

이처럼 수자원에 대한 인식부족과 부적절한 관리로 수자원은 한정된 양이 지속적으로 유지되고 있으나 향후 '25년까지 세계 인구가 94억명으로 증가하겠으나 물 부족인구는 39억명에 달하는 등 1인당 사용가능 수자원은 점차 줄어들 것으로 보인다. 따라서 기타 천연자원과는 달리 수자원은 개발적인 측면에서 다소 뒤처지고 있다.

지구온난화 등 기후변화에 따른 가뭄발생 및 일부 지역에서의 해수면 상승 등 편중화·불확실성의 증가, 환경오염으로 인한 맑고 풍부한 물에 대한 요구증가, 하천의 어메니티(Amenity, 인간이 살아가는 데 필요한 종합적인 쾌적함) 강조 및 하천의 공간활용에 대한 국민적 수요증가 등으로 수자원이 예전과 같이 쉽게 접하고 이용할 수 있는 자원이 아님을 인식하게 되었다.

이에 따라 선진국을 중심으로 안전한 물공급과 환경보전을 위한 스마트 물이용 사회의 구축에 앞장서고 있으며, 물의 다면적 활용을 위하여 맑은 물의 안정적 확보, 수해방지, 건강한 수생태계 유지 및 물순환체계 확립 등을 실행하고 있다.

GWI에 따르면, 산업계/도시에서의 물 생산량은 다양한 수자원에서 총 1,182km^{3}이 생산되었고, 이 중 주변 지표수가 841km^3, 재생가능 지하수 186km^3, 재생불가능 지하수 134km^3, 담수처리 17km^3 등이었다. 그러나 향후 '30년까지 물수요가 1,562km^{3}까지 증가할 전망이나, 대부분을 낮은 비용의 간편한 수자원 개발로 생산이 어려운 상황이다.

아래 표와 같이 간편한 수자원의 개발에 드는 비용과 장기운송, 담수처리 등에 드는 비용간의 차이는 최소 수십 배에서 1천배까지 크게 차이를 보이고 있다.

<표 2-1> 주요 수처리방법별 처리한계비용

Solution	Capital cost per m³/d	O&M cost per m³	Notes
Shallow freshwater aquifer	$3	($0.01	10,000m³/d at 10m depth
Deep freshwater aquifer	$7	$0.07	10,000m³/d at 200m depth
Brackish water desal	$480	$0.29	10,000m³/d facility
Long-distance transfer	$3,000	$0.15	500km long; 100m elevation; 2 million m³/d capacity
lew reservoir & conveyance	$1,700	($0.01	250,000m³/d output with 20km conveyance
Indirect potable reuse	$800	$0.45	50,000m³/d facility with UF, RO and UV-water returned to aquifer
Membrane seawater desal	$1,200	$0.47	100,000m³/d capacity
Thermal seawater desal	$1,500	$0.57	300,000m³/d capacity
Shipping water by bladder	$60	$1.50	10,000m³ bladder to port unloading facility 50km away
Shipping water by tanker	$120	$1	100,000m³ tanker travelling 500km with loading and unloading facilities

자료 : GWI

따라서 이에 대한 처리가 필수적이며, 이를 효율적, 경제적으로 처리하기 위해서는 다양한 분리막 중심의 수처리가 동반될 것으로 예측된다.

4) 수력발전 외에 해양발전 등 청정에너지원으로서의 물자원 활용가능성 확대

수력발전은 수력의 낙차에 따라 터빈을 회전시켜 전력을 생산하는 방식으로서 현재 가장 널리 사용되는 재생가능 에너지중 하나이며, 의존도도 높은 상태이다. 주로 큰 낙차를 이용하기 위해 인공댐 등을 건설하고 수문 주변에

발전소를 위치시키고 있으나, 댐의 건설비용, 주변지역의 환경영향, 관리 등으로 인하여 재생가능 에너지로서의 의미가 다소 퇴색되는 상황이다.

이에 따라 해양발전(해양에너지) 분야에서 수자원으로서의 중요성이 확대되고 있다. 해양에너지는 주로 해양의 조수·파도·해류·온도차 등을 변환시켜 전기 혹은 열을 생산하고 저장하여 전기를 공급하게 된다.

대표적인 발전의 종류로는 에너지 이용방식에 따라 조력발전, 파력발전, 조류발전, 온도차발전 등이 있다. 기타 발전으로는 해류발전, 근해 풍력발전, 해양 생물자원의 에너지화, 염도차(염분농도차) 발전 등도 포함된다.

조력발전은 조석간만의 차를 동력원으로 하여 해수면의 상승·하강운동을 이용하여 전기를 생산하며, 파력발전은 연안 또는 심해의 파랑에너지를 이용하여 전기를 생산한다. 조류발전은 해수의 유동에 의한 운동에너지를 이용하여 전기를 생산하며, 온도차발전은 해양 표면층의 온수(25~30℃)와 심해(500~1,000m)에 존재하는 냉수(5~7℃)의 온도차를 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환시켜 전기를 생산한다.

<표 2-2> 주요 해양에너지(해양발전)별 입지조건

구분	조력발전	파력발전	조류발전	온도차발전
입지조건	-평균조차 : 3m 이상 -폐쇄된 만의 형태 -해저의 지반이 강고해야 함 -에너지 수요처와 근거리에 위치 요구	-자원량이 풍부한 연안 -육지에서 거리 30㎞미만 -수심 300m미만의 해상 -항해, 항만 기능에 방해되지 않아야 함	-조류의 흐름이 2m/s 이상인 곳 -조류흐름의 특징이 분명한 곳	-연중 표·심층수와 온도차가 17℃ 이상인 기간이 많아야 함 -어업 및 선박 항행에 방해되지 않아야 함

자료 : 에너지관리공단

그러나 이들 반전은 위와 같은 입지조건을 요구하기 때문에 상당한 제약조건으로 작용할 수 있어 국내의 경우 '09년 시화호의 조력발전소(용량

254MW, 연간 552.7Gwh 전력생산), ’11년 울돌목의 조류발전소(2기, 총용량 1MW, 2차 사업 진행중)를 제외하면 기타 발전을 대체하기에는 다소 부족한 상황이다.

이러한 해양발전의 입지조건에 따른 제약사항을 고려하면, 잠재량으로서 2.6TW 규모에 달하며 향후 입지조건의 제약이 기타 발전방식대비 적은 편이며 이론적인 발전효율이 높은 방식으로서 염분차(염도차, Salinity Gradient Power)발전이 각광받고 있다.

동 방식은 강물과 바닷물이 마주칠 때 삼투압 작용에 의해 농도가 낮은 강물이 농도가 높은 바닷물로 빨려 들어가는 힘을 이용하여 발전하며, 약 24기압(atm)에 해당하는 압력차가 발생하므로 최대 240m 높이의 댐에서 물의 낙차를 이용한 발전과 비슷한 수준을 보일 수 있어 향후 활용 가능성이 매우 높다.

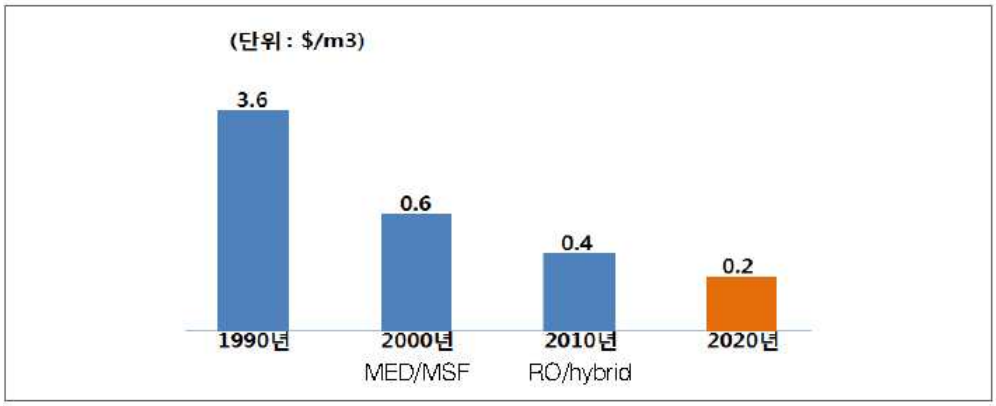
5) 소재의 발전 및 융합(하이브리드화)에 따른 관련기술의 개발진전 및 경제성 향상

수처리를 중심으로 분리막용 고분자 소재는 주로 PVDF(polyvinylidene fluoride), PTFE(polytetrafluoroethylene)를 중심으로 한 불소계 고분자와 PES(polyethersulfone), PS(polysulfone)과 같은 술폰계 고분자, PE(polyethylene), PP(polypropylene)와 같은 올레핀계 고분자 소재 등이 있다. 이들 소재는 브레이드(braid)와 같은 중공형태의 보강재 표면에 코팅한 복합막과 고분자 소재 자체만으로 제조된 단일막으로 상용화되고 있다.

특히, 기존 소재가 강도의 미흡, 장시간 운전시 막의 오염발생, 물리·화학적 세정에 의한 막의 수명단축 등으로 기존 제조공법의 개선을 통한 성능강화, 타 기술과의 융합 및 개발을 통한 새로운 원천소재의 활용 등으로 경제성 있는 제조기술이 진전을 보이고 있다. 일례로 PVDF의 내화학성, 친수성, 내구성의 향상연구, PTFE와 같은 신규 소재의 응용 등이 있다.

한편, 수처리 분리막과 관련한 기술전환 및 기술개발이 진전되면서 원가하락이 이루어져 기존의 기술을 대체하고 적정수준의 경제성을 확보하여 보급이 확대되는 추세이다.

담수화와 관련해서는 운영비용이 '90년대 m^3당 평균 3.6불에서 '00년대 0.6불로 크게 하락하였으며, '10년에는 0.4불까지 하락한 상태이다. '20년에는 절반수준인 m^3당 0.2불까지 낮아질 것으로 예상된다. 현 기술수준으로 보면, 막방식(역삼투압)이 증류식(열처리방식)에 비해 생산원가가 절반 수준으로 저렴해짐에 따라 담수화 시장에서 대표적인 지위를 점하고 있다.



<그림 2-5> 담수화 기술전환에 따른 원가감소 추이

자료 : GWI

탈염기술과 관련하여 이온교환막에 의한 전기투석 기술도 막결합형 축전식 탈염기술(MCDI, Membrane Capacitive Deionization) 등 기존의 RO기술과 경쟁하여 에너지 소모량을 줄이기 위한 노력이 나타나고 있다.

동 기술은 정전기적 인력에 의해 이온들이 하전된 전극표면에 흡착되는 원리를 이용한 것이며, 일례로 염분농도 1,000~3,000ppm인 염수를 탈염시 RO 공정이 1.0~1.4kWh/m^3의 에너지가 요구되나 MCDI의 경우는 0.03~0.8kWh/m^3 수준의 소모량을 나타낼 수 있다. 또한, 공정 운영의 용이성, 운전과정에서 오염물질을 배출하지 않는 친환경 공정 등으로서 각광받고 있다.

3. 국내외 분리막 시장규모

가. 분리막 소재시장

1) 분리막 시장

GWI(Global Water Intelligence), The Freedonia Group, 후지경제 등 다양한 시장정보 업체의 자료를 종합한 결과, 세계 분리막 시장(소재기준)은 '11년 17.6억불 규모에서 '13년 22.7억불 규모로 약 28.9% 증가한 것으로 추정된다. '12년 들어 성장세가 다소 주춤하긴 하였으나, '13년에는 전년대비 19.3% 증가하여 회복세로 돌아섬에 따라 향후에는 이러한 회복세를 이어 지속적으로 성장할 전망이다.

분리막 시장(소재기준)이 '13년 들어 큰 폭의 성장세를 나타낸 이유로는 분리막의 가장 큰 응용시장인 수처리 시장과 가장 큰 관련이 있으며, 기타 촉매, 분리시장에서 분리막의 사용비중이 점차 확대되는 것으로 보인다.

<표 3-1> 세계 분리막 시장(소재기준) 현황

(단위 : 백만불)

구분		2011	2012	2013
유기 분리막	MF/UF	166	174	210
	RO/NF	722	707	928
	소계	888	881	1,138
무기 분리막	UF	240	270	290
	MF	360	390	410
	NF	90	110	120
	기체분리용	180	250	310
	소계	870	1,020	1,130
계		1,758	1,901	2,268

자료 : GWI, 후지경제, Freedonia 등을 토대로 KISTI 정리
주. 일부는 추정치임.

그 중 고분자막을 중심으로 한 유기 분리막 시장이 ‘11년 8.9억불에서 ’13년 11.4억불로 28.0% 증가하였으며, 세라믹 막을 중심으로 한 무기 분리막 시장은 8.7억불에서 11.3억불로 29.9% 증가하였다. 유기 분리막이 분리막 전체시장에서 차지하는 비중은 ‘11년 50.5%에서 ’13년 50.2%로 소폭 감소하였으나 전반적으로는 비슷한 수준이며, 무기 분리막 역시 비중 면에서는 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이는 각 분리막의 사용처가 확연히 구분되기 때문이며, 유기 분리막이 수처리 등 액체분리에 많이 활용되는 반면, 무기 분리막은 기체 분리, 촉매회수, 화학공정 쪽에 더욱 중점으로 두고 있기 때문으로 풀이된다.

유기 분리막 시장은 MF/UF가 ‘11년 1.7억불에서 2.1억불로 23.5% 증가하였으며, RO/NF가 7.2억불에서 9.3억불로 29.1% 증가하였다. 그러나 비중으로 보면, ’13년 기준으로 MF/UF가 18.5%에 불과하여 동 시장에서는 RO를 중심으로 한 시장이 여전히 큰 비중을 점하는 것으로 보인다.

유기 분리막 시장에서 용도별로 구분하면, 도시 수처리를 위한 지역 일반 공급용(상수용)으로서 비중은 ‘13년 기준으로 56.1%를 점하고 있으며, 산업용으로서의 비중은 동기간 27.6%를 점하고 있다. 나머지 16.3%의 경우는 막에 의한 설비가동시 발생하는 교체 및 부분품의 시장으로 추정된다.

무기 분리막 시장은 ‘11년 기준으로 MF의 비중이 41.3%로 가장 컸으나, ’13년에는 36.2%로 감소하였으며, 기체 분리용 시장의 급성장에 따라 기체 분리용막 시장의 비중이 ‘11년 20.7%에서 ’13년에는 27.4%로 확대되었다. 기체분리용 막의 경우 에너지, 생명공학, 제약, 의약, 정밀화학 분야에서 고온환경시 수소분리, 이산화탄소 분리 등과 관련하여 수요가 증가하는 데 기인한다.

2) 이온교환막 시장

물산업 분야의 시장정보업체인 GWI에 따르면, 세계 이온교환(수지, 막 등 포함) 및 흡착제 시장(소재기준)은 '11년 13.4억불에서 '13년 14.9억불로 11.1% 증가하였다. 그 중 이온교환제품은 '11년 6.4억불에서 '13년 7.0억불로 9.3% 증가하였다. 정확한 통계는 발표되지 않고 있으나, 이 중 이온교환막은 약 30~40% 수준으로 추정되고 있다.

<표 3-2> 세계 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장현황

(단위 : 백만불)

구분		2011	2012	2013
이온교환 및 흡착제	이온교환	640	668	700
	전기탈이온	114	122	138
	활성탄소	552	578	607
	기타 흡착용 미디어	37	40	44
계		1,343	1,408	1,489

자료 : GWI, Global Water Market 2013

동 분야와 관련하여 부품 및 소재시장을 살펴보면, '11년 4.5억불에서 '13년 5.4억불로 18.6%를 기록하였다. 제품대비 소재시장의 규모비중은 '13년 기준 약 36%에 불과한 상황이며, 나머지는 설비 및 플랜트 설계, 유지·보수 등과 관련된 분야로 추산된다.

이를 주요 지역·국가별로 살펴보면, 아시아/태평양이 '11년 1.3억불에서 1.8억불로 14.9% 증가하였으며, 중동, 아프리카, 유럽은 동 기간 중 2천만불, 6백만불, 4천만불 수준으로 큰 변화가 없었으나, 미주의 경우 1.2억불에서 1.5억불로 23.3% 급증하였다. 이는 미국을 중심으로 선두업체의 이온교환관련 부품 및 소재생산이 증가했기 때문으로 풀이된다.

<표 3-3> 세계 주요 국가별 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장현황

(단위 : 백만불)

구분		2011	2012	2013
아시아/태평양	중국	56.4	63.2	75.9
	일본	30.4	31.7	36.5
	인도	21.4	27.8	34.4
	인니	3.7	4.7	5.6
	말련	2.6	2.9	3.5
	필리핀	0.8	1.0	1.2
	태국	2.2	2.7	3.2
	방글라데시	0.4	0.5	0.6
	베트남	0.6	0.8	1.0
	호주	10.4	12.8	14.6
	아시아/태평양계	**128.9**	**148.1**	**176.5**
중동	사우디	7.2	7.4	6.9
	아랍에미리트	5.8	6.1	5.1
	쿠웨이트	1.8	2.0	2.1
	카타르	1.7	1.8	1.9
	요르단	0.1	0.1	0.1
	터키	2.2	2.2	2.4
	오만	2.0	2.3	2.4
	중동계	**20.8**	**21.9**	**20.9**
아프리카	알제리	1.3	1.3	1.3
	앙골라	0.6	0.7	0.7
	카메룬	0.1	0.1	0.1
	이집트	1.7	1.7	1.7
	가나	0.1	0.1	0.1
	리비아	0.6	0.6	1.2
	나이지리아	1.5	1.5	1.6
	튀니지	0.2	0.2	0.2
	아프리카계	**6.1**	**6.2**	**6.9**
유럽	프랑스	8.7	9.0	9.2
	독일	19.0	17.0	16.1
	폴란드	2.0	1.9	1.9
	체코	1.0	1.0	1.0
	헝가리	0.7	0.7	0.7
	영국	8.3	8.3	8.5
	유럽계	**39.7**	**37.9**	**37.4**
미주	미국	77.0	85.9	93.2
	캐나다	15.7	20.2	23.0
	멕시코	7.3	7.8	8.0
	브라질	8.9	9.9	10.1
	칠레	5.0	6.0	6.5

	콜롬비아	1.5	1.6	1.7
	페루	4.2	5.1	5.5
	베네수엘라	3.8	4.2	4.3
	도미니카	0.3	0.3	0.3
	미주계	**123.7**	**141**	**152.6**
세계계		**452.7**	**486.1**	**537.0**

자료 : GWI, Global Water Market 2013
주. 세계계에는 기타 지역 및 국가포함

지역별 비중으로도 ‘13년 기준으로 아시아가 32.9%, 미국이 28.4%를 각각 점하여 2개 지역이 비중이 전체의 약 60%를 나타내고 있다. 그 뒤로 유럽이 7%, 중동이 3.9%, 아프리카가 1.3%를 각각 점하였다.

나. 분리막 응용시장

본 보고서에서는 이온교환막이 가지고 있는 대표적인 응용시장 중에서 수처리 공정 중 탈염(담수화)시장과 해양발전 중 염분농도차를 통한 발전시장을 중심으로 관련시장의 내용을 언급하고자 한다.

1) 탈염(담수)

GWI에 따르면, 세계 탈염(담수화) 시장은 ‘11년 44억불에서 ’13년 62억불로 그 규모가 39% 급증하였다. 주요 용도별로 구분하면, ‘13년을 기준으로 상수용 시장은 32억불, 산업용 30억불로 각각 구성되어 있다.

그 중 상수용 시장은 ‘11년 전체시장에서 차지하는 비중은 43.3%에서 ’12년 32.7%로 축소되었으나, ’13년 들어 51.6%로 점차 비중이 증가하는 추세이며, 반대로 산업용 시장은 ‘11년 56.7%에서 ’12년 67.3%, ‘13년 48.4%로 등락을 보이고는 있으나, 전반적으로는 다소 축소되는 상황이다.

<표 3-4> 세계 담수화 시장현황

(단위 : 백만불, %)

구분	2011	2012	2013
상수용 (비중)	1,917.9 (43.3)	1,287.7 (32.7)	3,182.1 (51.6)
산업용 (비중)	2,515.6 (56.7)	2,650.6 (67.3)	2,984.9 (48.4)
계	**4,433.5 (100.0)**	**3,938.3 (100.0)**	**6,167.0 (100.0)**

자료 : GWI

이를 주요 국별로 구분하여 살펴보면, '13년 기준으로 최대 국가는 미국과 사우디로서 각 8.9억불로 전체의 14.4%를 각각 점유 하였으며, 그 뒤로는 UAE(6.7억불, 10.9%), 인도(6.1억불, 9.8%) 등이었다.

<표 3-5> 세계 주요국별 담수화 시장현황

(단위 : 백만불)

구분	2011	2012	2013	2011~2013 소계
중국	223.1	90.5	162.5	476.1
인도	95.8	80.0	605.8	781.6
사우디	585.4	1,417.0	886.8	2,889.2
UAE	177.5	216.8	671.7	1,066
쿠웨이트	189.7	12.3	32.3	234.3
이스라엘	416.9	288.4	197.1	902.4
미국	438.3	99.7	893.5	1,431.5
칠레	208.6	43.8	127.7	380.1
호주	440.4	63.9	215.5	719.8
세계계	**4,433.5**	**3,938.3**	**6,167.0**	**14,538.8**

자료 : GWI

본 자료 상에서는 각 국별로 담수화시장이 다소 급변을 보이고 있으나, 이

는 주요 프로젝트의 계약, 착공, 운영시기가 차이를 보이고 있어 상대적으로 차이를 나타내는 것으로 풀이된다. 따라서 ‘11~’13년 총계를 살펴보면, 최대 시장으로는 사우디로서 동 3년간 28.9억불을 보여 세계시장의 19.8%를 점하는 것으로 나타났으며, 그 뒤로는 미국이 9.8%로 절반 수준에 그치는 것으로 보인다. 기타 국가로서는 이스라엘(9.0억불, 6.2%), 인도(7.8억불, 5.4%), 호주(7.2억불, 5.0%) 등이었다.

IDA와 GWI 등의 자료에 따르면, 담수화 설비를 기술별로 구분할 경우 2010년을 기준으로 역삼투막 공정이 가장 큰 비중인 59%를 점하고 있으며, 증류법(다중효용 및 다단플래시) 36%, 전기투석법 4%를 각각 나타내고 있다. 이에 따라 위의 시장에 적용해보면, 담수화 처리시장 중 해수 담수화시장은 약 60% 수준이며, 세계 이온교환막을 이용한 전기투석 탈염(담수화)시장 규모는 ‘13년을 기준으로 1.5억불로 추정된다.

국내 시장을 살펴보면, 상수도 시설이 구비되지 못한 도서지역을 중심으로 일일 생산량이 1천톤 이하의 소규모 시설로 구성되어 있어 시장규모로서는 미미한 수준이다. 이는 우리나라가 물이 절대적으로 부족한 지역이 해외에 비해 상대적으로 적은 편이며, 담수생산 비용이 일반 정수처리비용에 비해 수 배가량 높은 상황이므로 시장규모가 급속히 확대되기 어려운 실정이다. 단, 물공급에 어려움을 겪는 일부 도서지역 외에 연안공업단지의 용수공급을 위하여 해수담수화 시설이 고려된다면 향후 발전가능성은 잔존하는 것으로 판단된다.

그러나 두산중공업, 현대건설 등 국내 건설업체(플랜트 사업부 중심)의 해외 플랜트 건설수주 및 해외진출이 급성장하고 있어 국내시장의 기반은 적은 편이나, 향후 해외진출에 의한 세계 담수처리시장에서의 점유율은 크게 확대될 것으로 예상된다.

〈표 3-6〉 국내 기업의 주요 담수화 플랜트 수주프로젝트

연도	기업명	진출국	프로젝트명	공사금액 (천불)	비고
2005	두산중공업	쿠웨이트	사비야 3단계 담수공사	260,868	40%
		카타르	라스라판 IWPP 2단계 공사	266,534	100%
	현대건설	U.A.E	제벨알리 발전담수 L-2단계 공사	676,831	6% (기타)
2006	두산중공업	사우디	쇼아이바 다수발전 3단계 프로젝트	848,750	100%
2007	두산중공업	사우디	슈아이바 확장공사 -RO	182,200	64%
		U.A.E	제벨알리 M 담수발전 공사	1,689,080	3% (기타)
		오만	바르카 2단계/루사일 발전담수 공사	515,100	11% (기타)
	현대중공업	사우디	마라피끄 담수발전공사	1,063,056	47%
2008	두산중공업	사우디	젯다 RO 3단계 프로젝트	196,278	43%
		오만	소하르 발전/담수설비 건설공사	407,852	76%
		쿠웨이트	슈웨이크 역삼투압 방식 담수설비 설치공사	324,467	100%
2009	두산중공업	카타르	라스라판 IWPP 3단계 공사	288,800	100%
	대림산업	쿠웨이트	기존 GC-15 Desalter Train 및 부대설비 추가설치공사	23,838	100%
2010	두산중공업	사우디	라스 아주르 담수 플랜트	1,456,838	65%
		사우디	슈아이바 확장공사 - RO	184,200	64%
		쿠웨이트	쿠웨이트 슈와이바 담수설비 개보수공사	66,269	100%
2011	한화건설	사우디	얀부 2 전력 및 발전담수 프로젝트	1,046,000	N/A
	두산중공업	사우디	얀부 2 MED 담수발전 공사	124,000	100%
2012	두산중공업	사우디	얀부 3 전력 및 발전담수 프로젝트	100,000	N/A
2013	두산중공업	칠레	해수담수화플랜트	103,000	100%
2014	현대건설	U.A.E	미르파 민자 발전/담수 플랜트공사	79,540	N/A
	GS건설	튀니지	튀니지 제르바 해수담수화 플랜트	25,912	100%

자료 : 해외건설협회
주. 공사금액은 전체 프로젝트 기준이며, 비고는 담수화 플랜트의 사업비중임.

국내 해수담수화 시설은 상수용 분야가 도서지방에 설치되어 있는 하루 생산량 1천톤 이하의 소규모 시설이 대부분으로 2010년 기준 95개소에 총 7,582m^3/일 시설규모를 갖고 있다. 공업용수용 담수화 시설은 석유화학단지 등에 사용되는 시설로 총 326,540톤/일(대산지역 5개사 설비제외)의 규모를 갖고 있다.

국내 해수담수화 시설로서 최대 규모는 부산광역시 기장군 대변리에 건설되고 있는 것으로서 ‘06년 국토교통부의 혁신로드맵중 ’ 미래가치 창출 10대 과제 ‘에 선정되어 총 1,954억원(국비 823억원, 시비 425억, 민자 706억)을 투자하여 시행되는 국책사업의 일환이다.

45,850여m^2 부지에 각종 건물과 담수화시설이 들어서 있으며, 담수화의 전처리시설인 용존공기부상설비(부유물 등 큰 물질의 여과)와 이중여과설비(미세입자 여과)가 있으며, 일일처리량 36천톤(8MIGD, MIGD(Million Imperial Gallon per Day, 1MIGD=4,546톤/일, 일일 15천명의 사용가능량)) 및 9천톤급 설비가 건설된 상황이다. 담수화공정은 에너지 소비량이 4~6kW/톤 수준인 역삼투압 방식을 적용하고 있다. 현재 종합시운전이 이루어지고 있으며, 9월경에는 기장군 일대에 일일 45천톤의 식수를 공급할 예정이다.

그러나 이온교환막을 활용하여 전기투석에 의한 탈염시설은 아직까지 실증시설에 불과하며, 막비용, 막오염, 장기운전의 안전성 등으로 실용화가 지연되는 것으로 알려지고 있다.

2) 염분농도차 발전시장

염분차 발전은 질량당 염분농도가 3.5%에 달하는 바닷물과 소금기가 거의 없는(0.05%) 강물의 농도차를 이용해 전기를 생산하는 기술로 해양에너지 가운데 가장 잠재력이 높은 것으로 평가받고 있다.

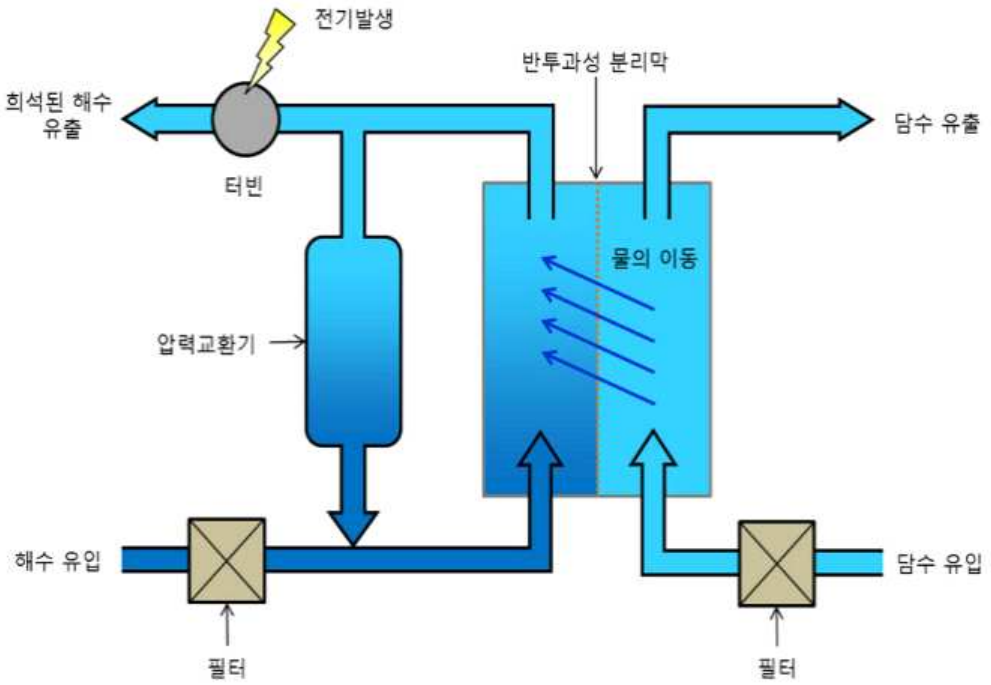
화석연료를 전혀 사용하지 않는데다 이산화탄소를 포함한 오염물질을 배출하지 않으며, 태양광 · 풍력처럼 날씨 조건에 영향을 받지 않고 언제든 발전이 가능하다는 것도 장점이다.

세계적으로 염분차 발전이 가능한 에너지 부존량은 연간 2,000TWh에 달하는 것으로 추정되고 있다. 이론상으로는 1m^3의 담수당 1MJ의 전력을 얻을 수 있으나 에너지 회수율은 경제적으로 최대 60% 이하 수준이 될 전망이다. 아직까지는 일부 국가에서 실증용 설비를 가동하는 단계이며 시장의 실용화

단계에는 다소 미흡한 것으로 나타나 시장의 규모는 미미하다.

현재 널리 연구되고 있는 발전방식은 RO 막을 이용한 압력지연삼투(PRO, pressure-retarded osmosis) 발전과 이온 흐름을 이용한 역전기투석(EDR, Electrodialysis Reversal)발전 등으로 나뉘고 있다.

이 중 압력지연삼투 발전은 염분 농도가 다른 바닷물과 민물을 반투과성 멤브레인으로 분리된 구조물에 유입시켜 삼투압 작용을 일으키는 방식이다. 발전기 내부로 유입된 민물의 80~90%는 삼투압에 의해 대기압의 24배인 24atm으로 해수 쪽으로 이동하는데, 이 힘을 이용해 터빈을 돌려 전기를 만드는 원리이다.

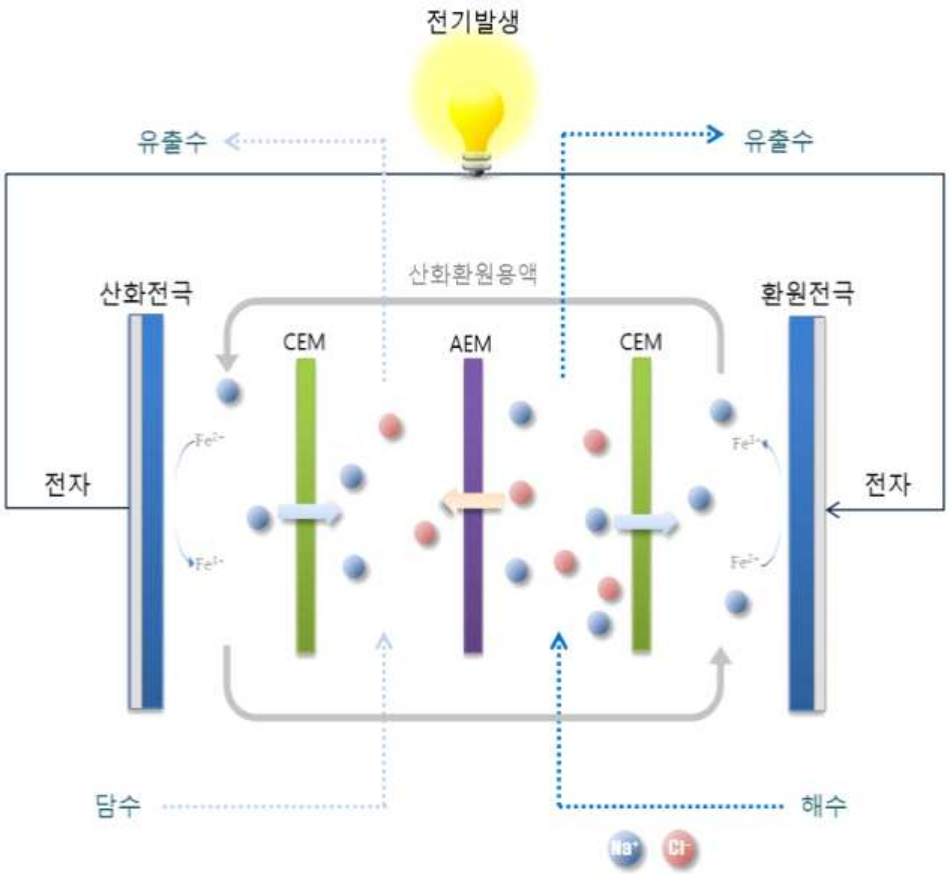


<그림 3-1> 압력지연삼투방식에 의한 농도차발전의 원리

자료 : GS 칼텍스

역전기투석 발전은 전기를 이용해 용액의 이온을 제거하는 방식을 반대로 활용하여 전기를 생산한다. 양이온교환막과 음이온교환막을 교대로 배치한 구조물에 바닷물과 민물을 통과시키면 해수 속의 양이온인 나트륨이온은 양

이온교환막 쪽으로, 음이온인 염소이온은 음이온교환막 쪽으로 통과하게 되며, 배터리 양쪽 끝의 전극간에 전위차를 발생시키고 전극에서의 레독스(redox) 반응을 이용하여 전기에너지를 얻는 개념이다.



<그림 3-2> 역전기투석방식에 의한 농도차발전의 원리

자료 : GS 칼텍스

세계적으로는 노르웨이의 국영전력회사인 Statkraft는 '90년대 말부터 상용화를 위한 개발을 시작하였으며, ' 09년 Tofte 지역에 4kW 규모로 시험설비의 건설에 성공하였다. 이후 2015년까지 연간 12TW/h의 전력생산을 위한 계획 중이다. 이에 따라 동 시기에 1MW/h당 65~126불 수준(PRO 방식)의 에너지공급이 가능할 것으로 예측하고 있으며, 화석연료의 생산비용(1MW/h당 50불 수준)임을 감안하면 충분이 경쟁력이 있을 것으로 기대되고 있다.

네덜란드의 경우 KEMA는 ' 03년 세계 최초로 Harlingen 지역에 역전기투

석 방식의 시험설비건설을 실시한 이후 ‘11년에는 일본의 후지필름이 투자에 참여하고 Afsluitdijk 지역에 발전플랜트의 추가건설에 성공하였다.

Breezanddijk 지역의 설비는 약 7백만 유로의 금액이 투자되었으며, 현재까지 약 500kW의 전력생산이 가능한 것으로 알려졌다. 이후 ’20년까지 25MW 급의 발전소 완공을 목표하고 있다. 현재 RED 공정에 의한 이온교환막의 성능은 1m^3당 1.25W의 전기에너지 생산이 가능하며 최대 50kW의 전력추출이 가능한 것으로 알려지고 있다.

그 밖에 네덜란드의 RedStack이라는 업체가 2014년까지 50kW급의 실증설비를 건설하고 2018년 이후 200MW급의 상용발전소의 건설계획을 추진하고 있다.

<그림 3-3> 네덜란드 Harlingen에 위치한 역전기투석에 의한 염분차발전소 전경

네덜란드의 경우 라인강과 뫼즈강이 강우를 통해 담수를 얻는 지형으로서 많은 양의 강물이 바다로 유입되는 지역으로 거론되고 있다. 이에 따라 초당 3,000m^3의 담수가 바다로 유입되므로 담수의 전체량이 100% 전력으로 전환시 최대 3,000MW의 전력공급이 가능하다. 이러한 지역으로서 현재 건설중 혹은 건설완료된 지역 외에 로테르담의 Nieuwe Waterweg, North Sea Canal

등이 후보지로 거론되고 있다.

국내에서는 에너지기술연구원을 중심으로 염분농도차 발전과 관련하여 실증기술개발 연구가 진행되는 수준이다. 동 연구원에서는 현재 제주글로벌연구센터에서 삼투압을 이용한 '압력지연삼투(PRO) 발전'과 이온의 이동을 이용한 '역전기투석(RED) 발전' 연구를 모두 진행 중이다. 국내 5대강에 적용시 확보 가능한 전력량은 3,479MWh로 추정하고 있다.

현재 2015년까지 50kW급 염분차발전을 위한 실증용 플랜트를 건설하고, 2020년까지 200MW급 상용화 발전소를 건설할 계획을 마련 중이다. 특히, 염분차 발전을 해수담수화와 연결할 경우 담수는 식음료로 활용하고, 고농도 염수는 발전에 이용해 경제성을 크게 높일 계획도 가지고 있다.

이와 관련하여 GS건설에서는 국토교통부의 지원을 받아 진행하는 '차세대 해수담수화 기술개발'에서 해수담수화 플랜트를 기반으로 발전설비를 가동하였다. PRO 방식에 의하여 일일 20톤 규모의 담수화 과정시 일일 약 200W의 전기를 생산할 수 있으며, '15년까지 일일 200톤 규모의 담수화 플랜트 건설과 함께 전기생산량도 일일 10kW로 확대하겠다는 계획이다.

4. 국내외 분리막 관련 산업 동향

가. GE

GE(General Electric)은 1878년 설립된 미국 굴지의 다국적 복합기업이다. 종합전기회사로서 금융, 방송 등의 사업에도 진출하고 있으며, 중전기기, 가정용 전기기구를 기반으로 원자연료, 제트엔진, 원자력발전설비도 제조하고 있다. 세계 각국에 자회사 및 계열사가 있으며, 생산량의 상당부분을 미 국방부에 납품하고 있는 것으로 알려져 있다.

분리막과 관련하여 지난 2005년 설립된 GE Infrastructure가 담당해왔으며, 2008년 GE Technology Infrastructure와 GE Energy Infrastructure로 분리되면서 현재 GE Energy Infrastructure 산하의 GE Water & Process Technologies가 담당하고 있다.

동사는 20여년간 해수담수화 분야에서 전문적인 운전과 유지보수 경험을 가지고 있으며, 일산 2천톤 규모의 소규모 공장에서 일산 200천톤 규모의 담수화 공장까지 다양한 설비를 건설한 바 있다. 이를 위한 막의 설계, 전처리, 세정기법, 에너지 회수, 자재선택 등 다양한 능력도 갖추고 있다. 또한 반염수의 담수화와 관련하여 역삼투압(RO) 및 역전기투석(EDR) 시스템을 통하여 현재까지 총 250mgd(950천m3/일) 규모의 EDR 시스템과 600mgd(2.3백만m3/일) 규모의 RO 시스템을 설치한 바 있다.

동사의 이온교환막 제품으로는 AR204-UZRA(음이온 교환막), CR67-HMR(양이온 교환막) 등이 있다.

나. Mega a.s.

Mega a.s는 1992년 설립된 체코업체이며, Czechoslovak uranium industry (ČSUP)의 독립기구로서 우라늄 산업분야의 다양한 기술적 분석 및 실험이

이루어지면서 용수, 공기, 토양, 폐기물에 대한 관련연구가 집중되었고, 1991년 독립기구로 발전하여 이후 MEGA a.s.로 독립하였다.

동사의 이온교환막으로서 유명한 RALEX는 1985년 개발되기 시작하였으며, 이온교환그룹이 부착된 극세 폴리머입자를 폴리머 매트릭스에 의해 구성되어 있는 포일형태로 생산되며, 멤브레인의 기계적 성질을 높이기 위해 피트된 직물로 보강된 형태이다.

우수한 기계적 성질 외에도 낮은 전기저항성, 높은 투과선택성, 산업용 멤브레인 독성, 활성 화학제품 등에 높은 내성을 가지고 있으며, 내열성이 우수하고 넓은 pH 운용능력도 가지고 있다.

주요 제품으로는 RALEX AMH-PES(음이온 교환막), CHM-PES(양이온 교환막), AHM-PAD(음이온 교환막), CM-PAD(양이온 교환막) 등이 있으며, 주로 ED(Electrodialysis)용으로 활용되고 있다.

다. Astom Corporation

일본의 Astom Corporation은 1995년 일본의 Asahi Kasei Corporation과 Tokuyama Corporation Soda가 공동으로 설립한 업체로서 세워졌으며, 2004년부터 양사는 이온교환막, 전기투석 장치 및 시스템 등과 관련된 모든 R&D, 판매, 마케팅, 생산 등을 단일화하여 운영하고 있다.

동사의 주요제품으로는 NEOSEPTA(양/음이온 교환막), NEOSEPTA BIPOLAR(바이폴라 교환막), EDCORE(멤브레인 전극장치), ACILYZER(전기투석장치), ACILYZER EDR(탈염・질소이온제거용 전기투석장치), MICRO ACILYZER(소형 전기투석장치) 등이 있다.

그 중 대표적인 이온교환막 제품으로는 NEOSEPTA AMX(음이온 교환막), NEOSPETA CMX(양이온 교환막)이 있다.

라. SnowPure LLC

미국의 SnowPure LLC는 전기탈이온 분야에 원천기술을 가지고 있는 업체로서, 지난 1977년 창립자인 Harry O'hare가 EDI의 프로토 타입을 SRI(Southern Research Institute)에서 테스트한 이후 HOH Water Technology, INC(1996년 Electropure로 사명변경)를 설립하고 EDI 특허 및 프로토 타입을 이용하여 연구를 지속하였고, 1998년 이온교환막 및 공정인 Excellion의 개발 및 특허출원을 완료후 1999년 XL 제품군을 개발하였다.

SnowPure LLC는 2005년 설립되어 Electropure(Micro Imaging Technology Inc.로 사명변경, 이후 MMTC에 인수됨)의 EDI 사업부를 인수하였으며, 이후 EDI관련 제품을 다양하게 출시하고 있으며, 중국에 상해 사무소를 개소하는 등 관련시장으로의 적극적인 진출을 시행하고 있다.

동사의 주요제품으로는 EDI 모듈/시스템, ED 장치, Excellion 이온교환막, Excellnano NF 멤브레인, ExcellUltra UF 멤브레인, CO2제거용 가스통과 멤브레인 등 다양하다.

이온교환막 제품으로는 Excellion I-200(음이온 교환막), I-100(양이온 교환막) 등이 있으며, 열적안정성이 우수한 것으로 알려져 있다.

마. Membranes International Inc.

미국의 Membrane International Inc.는 1983년부터 전기도금 및 수처리산업용 이온교환막을 제조해왔으며, 설립자중 하나인 Electrocoat Association을 통하여 품질에 대한 산업표준을 제정, 유지하고 있다.

특히, 동사의 이온교환막 제품은 PPG, DuPont, Valspar 등으로부터 인증받았으며, 주로 전기도금 페인트시스템에 활용되어 왔음. 또한, 초순수 생산을 위한 전기탈이온 장치에도 사용되고 있다. 동사의 이온교환막 제품은 단일

시트, 연속형 롤, 튜브 형태로도 생산되고 있다.

이온교환막 제품으로는 Ultrex AMI-7001(음이온 교환막), Ultrex CM-7000 (양이온 교환막) 등이 있으며, 동 제품도 열적 안정성이 우수하다.

바. PCA GmbH

독일의 PCA GmbH는 Patrick Altmeier 박사가 설립한 업체인 Polymerchemie Altmeier의 뒤를 이어 1996년 설립되었다. 동사는 2000년 Heusweiler로 본사를 이전하였으며, 멤브레인의 생산 외에 특성화 및 개발을 통한 생산설비로의 실증 연구소 등을 완벽한 설비를 갖추고 있다. 동사의 주요 업태는 이온교환막의 생산 및 개발로서 이를 이용한 전기투석의 엔지니어링 및 신규 멤브레인 공정의 개발에 주력하고 있다.

동사의 주요 개발방향으로는 일반적인 탈염용 양·음이온 교환막 외에 일반적인 미네랄산의 소량누출에 최적화된 산차단용 음이온 교환막, 전기저항성을 최대로 낮추고 수분의 이동을 줄인 대형 유기막(음이온 교환막), 미네랄산의 고확산 투과성 확산투석멤브레인 등이 있다.

이온교환막 제품으로는 PC-SA(음이온 교환막), PC-SK(양이온 교환막) 등이 있으며, 단일 막의 두께가 얇은 것이 특징이다.

사. AGC Engineering Co., Ltd.

일본의 AGC Engineering Co., Ltd.는 1959년 설립되었으며, 일본의 Asahi Glass Company의 100% 자회사이다. Asahi Glass Company 및 기타 그룹사의 다양한 기술을 개발, 축적함으로서 다양한 산업분야에 응용해왔으며, 최근에는 이온교환막용 기술개발 및 정밀기기 분야에 집중하고 있다.

동사의 주요 사업영역으로는 화학공장의 건축 및 유지보수, 환경 및 오염

방지 설비 및 장비의 디자인・설계・공급・설치・유지보수, 산업용 컨테이너, 열교환기, 타워, 필터, 탱크, 멤브레인 타입의 가스건조기 제조/공급, 부식방지용 시스템, 이온교환막을 사용한 화학공장의 건설 및 엔지니어링 등이 있다.

동사의 이온교환막 제품으로는 SELEMION AMV(음이온 교환막), SELEMION CMV(양이온 교환막) 등이 있다.

아. 국내업체

국내업체는 아직까지 자체기술에 의해 대량생산중인 이온교환막(소재) 생산업체는 거의 없는 실정이며, 해외 이온교환막 업체로부터 수입・판매하는 업체(창조테크노, 혜천산업 등)가 일부 존재하고 있다. 주로 ASTOM 및 AGC Engineering의 제품을 취급하는 것으로 알려져 있다.

창조테크노의 경우 1993년 설립되어 ASTOM의 한국총판으로서 동사의 제품을 수입・판매하고 있으며, 이온교환막 및 이온교환섬유 외에 전기투석, 확산투석장치 등을 판매하고 있으며, 자체 기술개발 및 생산을 통해 RO, NF, UF, EDI 등의 장치를 공급하고 있다.

5. 국내외 분리막 산업 전망

가. 소재시장

GWI의 전망에 따르면, 세계 이온교환 및 흡착제(부품 및 소재기준) 시장은 ‘14년 5.6억불에서 ’ 18년 7.6억불로 연평균 7.9% 증가할 것으로 예상된다. 일반적으로 현재까지 이온교환과 관련된 분야로서 산・알칼리의 생산, 산업폐수내 중금속 제거, 해수담수화, 반도체・제약 산업의 초순수 제조, 해수로부터의 식염제조, 발효산업의 유가산・아미노산 등의 회수에서 널리 응용되어 왔다.

향후에는 이온교환막과 다공성 탄소전극을 결합한 막축전식 해수담수화, 해수・담수간의 염도차를 이용한 역전기식 해수발전 등 새로운 선택분리기능 및 응용분야를 중심으로 기술개발과 함께 관련시장의 형성 및 확대가 이루어질 것으로 예상된다.

지역별로는 동 기간 중 아시아가 178백만불에서 260백만불로 연평균 10.0%의 성장이 기대되고 있으며, 유럽도 41백만불에서 61백만불로 연평균 10.5% 성장이 기대되고 있다. 미국과 중동은 159백만불, 29백만불에서 198백만불, 32백만불로 증가하여 연평균 5.7% 및 2.9% 각각 증가할 것으로 예상된다.

<표 5-1> 세계 주요 국가별 이온교환 및 흡착제(소재기준) 시장전망

(단위 : 백만불)

구분		2014	2015	2016	2017	2018
아시아/태평양	중국	78.0	91.6	96.8	105.8	116.3
	일본	37.0	41.6	43.3	46.2	49.3
	인도	33.9	41.7	43.6	48.0	51.7
	인니	5.4	6.7	7.1	7.6	8.3
	말련	3.4	4.1	4.3	4.6	4.9
	필리핀	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8
	태국	3.3	3.9	4.1	4.5	4.9
	방글라데시	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8
	베트남	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5

	호주	14.3	17.5	18.0	18.9	20.9
	아시아태평양계	**178.1**	**210.4**	**220.8**	**239.4**	**260.4**
중동	사우디	10.1	7.2	10.0	7.3	10.0
	아랍에미리트	7.7	5.2	8.5	6.2	8.5
	쿠웨이트	2.7	2.4	2.6	2.6	3.1
	카타르	2.2	2.1	2.5	2.4	2.8
	요르단	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	터키	2.7	2.9	3.3	3.6	4.1
	오만	3.0	2.5	2.8	2.8	3.2
	중동계	**28.5**	**22.5**	**29.9**	**25.1**	**31.9**
유럽	프랑스	9.8	10.7	11.4	11.8	12.9
	독일	18.2	23.2	26.4	27.7	31.3
	폴란드	2.0	2.0	2.1	2.2	2.4
	체코	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7
	헝가리	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1
	영국	9.0	9.6	10.3	10.6	11.5
	유럽계	**40.9**	**47.6**	**52.5**	**54.8**	**60.9**
미주	미국	97.8	94.0	99.7	109.4	116.2
	캐나다	24.3	23.3	22.5	24.5	25.9
	멕시코	8.5	9.7	10.3	12.3	13.2
	브라질	10.4	12.5	12.1	14.5	15.2
	칠레	6.0	8.1	8.4	8.7	9.8
	콜롬비아	1.9	2.1	2.1	2.5	2.7
	페루	5.0	6.9	7.0	7.3	8.1
	베네수엘라	4.4	4.9	4.6	6.1	6.3
	도미니카	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
	미주계	**158.6**	**161.8**	**167.1**	**185.8**	**197.9**
세계계		**563.4**	**615.3**	**655.3**	**699.7**	**763.2**

자료 : GWI, Global Water Market 2013
주. 세계계에는 기타 지역 및 국가포함

이를 지역별 비중으로 살펴보면, ‘14년을 기준으로 아시아와 유럽의 비중이 60%를 점할 것으로 보이며, ’ 18년에는 2개 지역의 비중이 여전히 60% 내외를 유지하면서 주요시장으로서 지속할 것으로 예상된다.

유럽은 동 기간 중 7.3%에서 8.0%로 소폭의 확대가 예상되나, 중동은 7.3%에서 4.1%로 큰 폭의 축소가 예상되고 있다. 이는 아직까지 중동의 관련 시설이 외국 플랜트/엔지니어링 업체와의 계약에 의해 플랜트 자체를 하청/용역하여 건설하고 있어 소재면에서의 시장은 크지 않을 것으로 보이기 때문이다.

나. 응용시장

1) 탈염(담수)시장

담수화 시장은 물공급 문제를 해결하기 위한 가장 효과적인 수단으로 떠오르고 있으며, 소재시장과 함께 가장 높은 성장률을 기록하고 있다. GWI의 전망에 따르면, 세계 담수화시장은 ‘14년 81억불에서 ’18년 152억불로 연평균 16.9%의 고성장을 보일 것으로 전망된다.

특히 상수용의 경우 동 기간 중 32억불에서 98억불로 32.1%의 고성장이 기대된다. 공업용은 48억불에서 53억불로 2.2% 증가에 그칠 것으로 예상되나, 이는 전반적으로 담수화 시장이 플랜트의 건설시점과 맞물려 규모의 급변동이 나타나고 있는 점을 감안할 때 최소 10% 내외의 성장이 나타날 것으로 전망된다.

<표 5-2> 세계 담수화 시장전망

(단위 : 백만불, %)

구 분	2014	2015	2016	2017	2018
상수용 (비중)	3,236.9 (39.9)	7,923.4 (69.5)	8,458.0 (62.0)	5,671.7 (47.4)	9,849.2 (64.8)
산업용 (비중)	4,884.9 (60.1)	3,472.1 (30.5)	5,185.4 (38.0)	6,292.7 (52.6)	5,339.2 (35.2)
계	**8,121.7 (100.0)**	**11,395.4 (100.0)**	**13,643.5 (100.0)**	**11,964.4 (100.0)**	**15,188.4 (100.0)**

자료 : GWI

따라서 담수화 시장의 용도별 비중의 경우에도 연도별로 급변하는 모습을 보이고 있으며, 상대적으로 상수용이 증가하는 시점에는 상수공급관련 플랜트의 건설이 확대되는 시점일 것으로 풀이된다.

지역별로는 미국이 ‘14년에는 6.2억불 규모에서 ’18년에는 17.3억불로

연평균 29.3% 증가할 것으로 예상되며, 사우디가 '14년 4.4억불에서 '18년 15.8억불로 연평균 37.6%의 증가가 예상되고 있다. 그 뒤로 쿠웨이트가 10.8억불에서 14.5억불로 연평균 7.7%의 증가가 예상되고 있으며, 중국은 9.1억불에서 11.0억불로 약 5%의 증가가 예상된다.

증가율 면에서는 이스라엘이 '14년 0.3억불 규모에서 '18년 8.1억불 규모로 2배 이상 성장할 것으로 예상되는 가운데 사우디, UAE, 쿠웨이트 등 중동을 중심으로 한 증가세가 두드러질 것으로 예상되며, 칠레의 경우 6.6억불에서 5.0억불 수준으로 감소가 나타날 것으로 예상된다.

위에서 밝힌 바와 같이 담수화 시장의 규모 또한 플랜트 건설프로젝트의 시기에 따라 급변동하는 특징을 가지고 있으므로 이를 단순히 평가하는 어려운 점이 있으나 전반적으로는 상당한 성장세를 나타낼 것으로 평가되고 있다.

<표 5-3> 세계 주요국별 담수화 시장전망

(단위 : 백만불)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2014~2018 소계
중국	906.3	436.3	826.5	910.9	1,101.8	4,181.8
인도	602.9	636.5	466.5	598.1	737.0	3,041.0
사우디	440.9	900.7	1,202.8	358.3	1,582.2	4,484.9
UAE	124.2	926.1	2,097.9	656.2	619.0	4,423.4
쿠웨이트	1,079.8	447.5	704.4	652.5	1,454.6	4,338.8
이스라엘	25.9	87.1	733.5	80.9	805.8	1,733.2
미국	617.3	1,558.4	1,938.6	1,084.2	1,727.4	6,925.9
칠레	659.4	152.5	149.1	365.1	500.0	1,826.1
호주	543.7	177.9	352.0	390.9	971.7	2,436.2
세계계	**8,121.7**	**11,395.4**	**13,643.5**	**11,964.4**	**15,188.4**	**60,313.4**

자료 : GWI

분리막에 의한 수처리 시장에서는 상수처리 및 하수처리의 비중이 전체의 약 70%를 점하고 있으나, 비중의 확대속도가 점차 둔화되고 있으며, 산업용 하수처리도 점차 비중이 감소하고 있다. 그러나 담수화 시장은 기타 분리막 응용시장의 비중은 상당히 적은 편이나 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 신규발주 담수시설 용량은 일일 1,200만m^3을 넘어서는 등 단일시설용량의 확대가 가속화되고 있어 성장세를 뒷받침 할 것으로 보인다.

한편, 전기투석법에 의한 담수화는 기수(염분농도가 해수보다 낮은 물)담수화 분야는 상당부분 진척되고 있으나, 해수담수화에는 실적이 적은 편이며, 이에 따라 해수담수화를 위한 대규모 시설은 적은 편이다.

단, 상온·상업에서 운전되어 고분자·유기 막소재의 사용이 가능하므로 부식문제가 상대적으로 적으며, 막세정을 위한 교환주기가 역삼투막대비 다소 빠르다는 단점이 있으나 정류기·펌프 등의 운전이 중심이 되어 운영되므로 유지관리가 용이하여 향후에도 각광받을 것으로 예상되고 있다.

일례로 독일의 Siemens가 개발 중인 연구에 따르면, 전기투석 방식을 활용해 기존 해수담수화에 필요한 전기에너지를 일일 50m^3 기준으로 1.5kW로 낮춤으로서 현재까지 가장 효율적으로 평가받는 역삼투압(RO) 방식의 4kW대비 절반 수준에 근접할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 담수자원이 부족한 중동지역 외에 싱가포르와 같이 해수면으로 둘러싸인 국토면적이 적은 국가들을 중심으로 전기투석방식의 해수담수화에 관심이 집중되고 있다.

업계에 따르면, 담수화에서 전기투석 방식이 차지하는 비중 또한 ‘07년 1% 수준에서 ’ 10년 4% 수준으로 급성장하고 있으며, ‘18년에는 8% 수준에 도달할 수 있을 전망임에 따라 세계 이온교환막을 이용한 전기투석시장은 약 12억불 규모로 예상된다.

2) 염분차 발전

2005년 IEA(국제에너지기구, International Energy Agency)의 발표에 따르면, 세계적으로 해양에너지 자원(조력, 파력, 조류, 온도차, 염도차 발전, 해상풍력 제외)량은 연간 93,100TWh로 평가되고 있으며, 그 중 염분차 발전을 위한 자원부존량은 2,000TWh으로 평가되고 있다.

그러나 2010년 세계 해양에너지 컨퍼런스에서 발표된 자료에서는 이는 이론상의 수치이며, 기술적인 문제와 아울러 이에 대한 방식, 상업용으로 활용하기 위한 관련비용 등을 감안하면 518TWh 수준(PRO방식 기준, 전 세계 모든 강하류를 건설예정지로 포함시)이 최대 규모로 추산되며, 세계 에너지 생산의 약 3.5% 수준에 근접한다고 알려진 바 있다.

이에 따라 세계적으로 518TWh(PRO 방식 기준) 규모의 염분차발전 잠재량은 지역별로 아시아와 남미지역이 166TWh, 159TWh로 가장 큰 것으로 분석되고 있으며, 북미지역도 79TWh 수준으로 평가되고 있다.

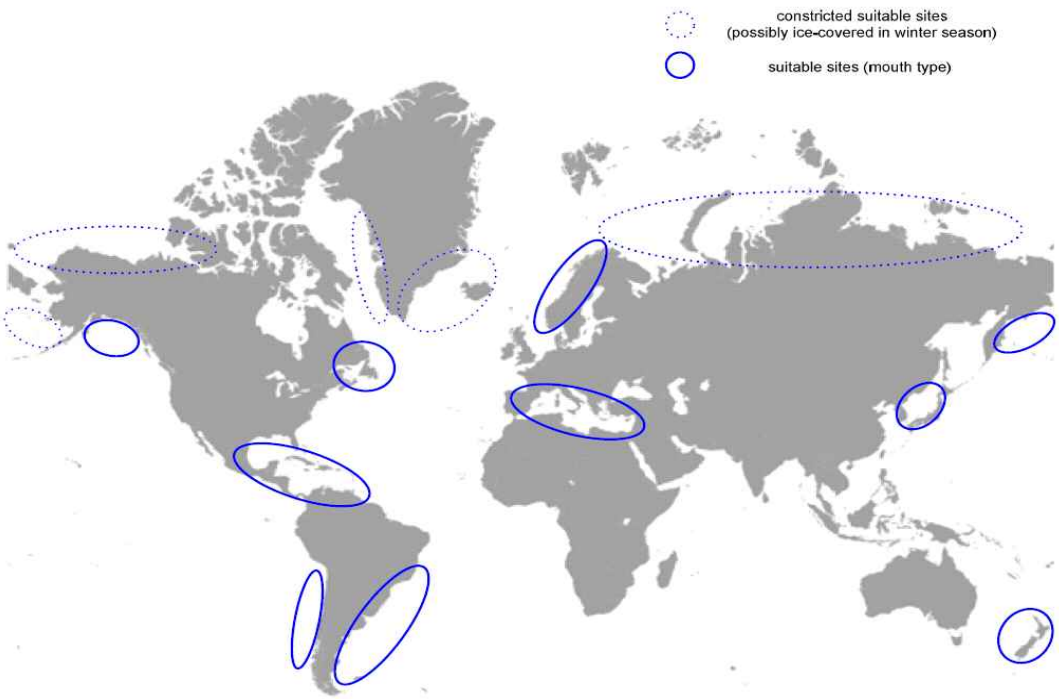
<표 5-4> 세계 주요 지역별 염분차 발전에 의한 전력잠재량

구분	염분차 발전에 의한 전력잠재량	
	GW	TWh/년
유럽	5	39
아프리카	6	50
아시아	21	166
북미	10	79
남미	20	159
호주	3	24
세계계	65	518

자료 : 3rd ICOE(International Conference on Ocean Energy) 발표자료, 2010
주. PRO 방식기준이며, 모든 강 하류를 건설예정지로 포함함을 가정

이를 가능 지역별로 자연적인 환경 측면까지 고려할 경우 UNEP(United Nation Environment Programme)가 발표하는 자료인 GIWA(세계 물평가보고서, Global International Waters Assessment)를 참조하여 염분차발전에 적합

한 예상적합지역을 아래와 같이 표시할 수 있다.



<그림 5-1> 강 하구 중심의 세계 주요 염분차발전 예상적합지역
자료 : 3rd ICOE(International Conference on Ocean Energy) 발표자료, 2010

따라서 이들 주요 지역에서 생산가능한 최대 발전량은 122TWh/년으로 추정되고 있으며, 이 또한 염분차 발전을 위한 강 하구의 형태, 기타 강 측면 기준을 제외하고 해수의 염도, 해수의 조성, 강 하구로의 유입량에 따라 수치는 크게 변동을 보일 수도 있다.

동 자료의 기준에 따르면, 가장 큰 잠재량을 지니고 있는 지역은 북극으로서 약 36TWh/년 규모에 해당한다. 그 뒤로 멕시코만, 파타고니안만, 알래스카만 등이 각각 16TWh/년, 13TWh/년, 10TWh/년 규모를 보이고 있다.

국내의 경우에도 동해가 4TWh/년의 규모를 가지고 있는 것으로 추산되고 있으며, 이는 세계전체의 염분차발전 잠재량의 약 3.3%에 해당한다.

<표 5-5> GIWA기준 세계 주요지역별 염분차 발전에 의한 전력잠재량

주요지역(GIWA 기준)	염분차 발전에 의한 전력잠재량	
	GW	TWh/년
북극(Arctic)	4.5	36
멕시코만(Gulf of Mexico)	2.0	16
파타고니안만(Patagonian Shelf)	1.7	13
알래스카만(Gulf of Alaska)	1.3	10
지중해(Mediterranean Sea)	0.8	7
브라질해류(Brazil Current)	0.7	6
바렌츠해(Barents Sea)	0.7	6
훔볼트해류(Humboldt Current)	0.6	5
뉴파운드랜드만(Newfoundland Shelf)	0.6	5
태즈먼해(Tasman Sea)	0.5	4
동부베링해(East Bering Sea)	0.5	4
동해(East Sea)	0.4	3
서부 베링해(West Bering Sea)	0.2	2
노르웨이해(Norwegian Sea)	0.2	2
아이슬랜드만(Iceland Shelf)	0.1	1
동부그린랜드만(East Greenland Shelf)	0.1	1
서부그린랜드만(West Greenland Shelf)	0.1	1
캐리비안섬(Caribbean Islands)	0.1	1
세계계	15.2	122

자료 : 3rd ICOE(International Conference on Ocean Energy) 발표자료, 2010

IRENA(국제신재생에너지기구, International Renewable Energy Agency)에 따르면, 2020년경에는 발전원가가 1MWh 당 90불 수준(RED 방식기준)까지 도달할 것으로 전망되는 가운데 전력 50kW 생산에는 담수 및 해수가 각각 200톤 가량이 요구되는 등 효율개선의 문제가 대두되고 있다.

발전원가를 1MWh당 90불, 발전효율을 약 10%로 각각 가정하면, 세계 염분차발전 시장규모(RED 방식기준)는 (전력잠재량) x (발전원가) x (발전효율)

로 추산해볼 수 있으며, ‘20년 기준으로 약 160억불 규모로 추산이 가능하다. 국내 기준으로도 이를 적용해보면, 동해의 전력잠재량을 기준으로 위의 공식과 동일하게 적용할 경우 4억불(약 4,000억원) 규모로 추산된다.

<표 5-6> 발전방식에 따른 염분차 발전의 관련지표

구분		PRO 방식	RED 방식
테스트 완료된 설비용량		5kW	5kW
향후 건설예정		2MW(2017년 예정)	5kW(2017년 예정) 5MW(2020년 예정)
에너지비용 (2020년 예상)	MW	MW당 65~125불	MW당 90불
	kWh	kWh당 0.15~0.30불	kWh당 0.11~0.20불

자료 : IRENA, Salinity Gradient Energy Techology Brief, 2014
주. 에너지비용에는 시설투자, 유지보수, 운영비용 등을 포함

기존의 연구결과에서 매장량의 최대규모(에너지효율 최대 60% 내외)로 계산시 전체 에너지 생산량의 3.5% 수준이 될 수 있다고 추측하고 있으나, 위와 같은 추산적인 결과에서는 현재의 발전효율이 일반 화력발전의 효율인 38~40%, 복합화력발전 57% 등에 크게 못 미치고 있으므로 시장의 확대를 위해서는 막기술개발에 의한 발전효율 확대가 필수적으로 보인다.

6. 결론 및 시사점

이온교환막은 선택투과성을 활용하여 수처리를 중심으로 사용이 증가하고 있다. 최근에는 연료전지의 고성능화를 위하여 수소이온 교환막을 활용하는 등 전자분야에서 고효율·저비용의 달성을 위한 대안으로 제시되고 있으며, 본 보고서에서 살펴본 전기투석에 의한 탈염(담수화) 및 염도차 발전은 다양한 응용분야에서도 더욱 부각되는 시장 중 대표적인 것들이다.

전기투석에 의한 탈염은 담수화의 주요 분야로서 담수화를 위한 방식 중 아직까지 비중이 높은 수준은 아니나, 역삼투막의 처리비용이 한계에 다다르고 있어 기존의 증발법과의 융합기술인 하이브리드 방식이 제시되는 상황에서 전기투석에 의한 탈염은 처리비용 측면에서 충분한 가능성이 존재하고 있으므로 이를 타개할 새로운 대안이 될 수 있을 것으로 전망된다.

그 밖에 염도차 발전은 세계적으로 에너지 패권주의와 맞물려 각 국의 에너지 자원확보 경쟁이 매우 치열해지고 있으며, 일본의 후쿠시마 원전사고를 비롯한 화석에너지의 부존량 한계, 에너지 가격불안, 고유가 등으로 신재생에너지를 요구하고 있으나, 극심한 경제불황으로 동 분야에 대한 투자가 다소 둔화되고 있는 실정이다.

그러나 중장기적으로는 여전히 큰 폭의 성장이 전망되고 있으며, 기존의 해양에너지 분야의 대표주자인 조력, 파력, 조류, 온도차 발전에 이어 염도차 발전도 신재생에너지의 범주에 포함되기 위한 각종 노력이 경주되고 있다. 또한, 발전효율을 높이기 위한 농축시 담수화도 병행이 가능하기 때문에 담수설비로서도 동시 활용이 가능하다는 장점도 있다. 아직까지 막제조비용이 높아 진전이 더딘 편이나 국내외적으로 주요 막소재 업체의 기술개발 및 설비건설이 가속화되고 있다.

위에서 밝힌 바와 같이 물산업에 대한 관심증가와 ‘blue gold’로서의 부상가능성이 현실화되는 가운데, 수처리 등 동 산업에서 빠르게 부상하는 분

야에서 요구·활용되는 고성능 소재 및 부품의 비중은 점차 확대되고 있으며, 첨단제품의 개발에 필요한 특수소재도 그 수요가 점차 증가하는 상황이다. 이러한 점에서 이온교환막과 관련된 신소재, 신기술 개발은 물산업, 신재생에너지 산업 등 기타 첨단 분야로의 무한한 응용성을 가지고 있다는 점에서 향후 전망이 매우 밝은 것으로 판단된다.

<참고문헌>

1. GWI, Global Water Market, 2013/2014
2. Frost & Sullivan, Sustainable Water Treatment Technologies in the 2020 Global Water Market, 2012
3. IEA-OES, Annual Report, 2008
4. Tongwen Xu, Ion exchange membranes: State of their development and perspective, Journal of Membrane Science, 2005
5. Steve Maxwell, 2012 Water Market Review, TechKNOWLEGDGEy Strategic Group, 2012
6. P. Stenzel and H.-J. Wagner, Osmotic power plants: Potential analysis and site criteria, 3rd International Conference on Ocean Energy, 2010
7. Watereuse Association, Seawater Desalination Power Consumption, White Paper, 2011
8. PwC, Water : challenges, drivers and solutions, 2012
9. R.K. Nagarale, G.S. Gohil, Vinod K. Shahi, Recent developments on ion-exchange membranes and electro-membrane processes, Advances in Colloid and Interface Science, 2006
10. IRENA, Salinity Gradient Energy : Technology Brief, 2014
11. The Freedonia Group, Filters : United States, 2014
12. 한국수출입은행, 국내 물산업의 해외진출 전략, 2014
13. KB 투자증권, 담수플랜트, 2010
14. 한국수자원학회, 담수화 기술의 현황 및 기술개발 동향, 물과 미래, 2008.6
15. 대한토목학회, 떠오르는 물산업 - 해수담수화, 대한토목학회지, 2009
16. 이홍주, 최재환, 장봉준, 김정훈, 이온교환막 공정의 연구개발 전망, 공업화학과 전망, 2011
17. 충남발전연구원, 충청남도 물산업 육성을 위한 전문가 워크숍 발표자료, 2014
18. The Freedonia Group, Membrane Separation Technologies : United States, 2013
19. 국토해양부, 수자원장기종합계획(2011~2010), 2011
20. LG경제연구원, 수처리 기술변화가 물 산업 판도 바꾼다, LG Business Insight, 2010
21. 차봉준, 지성대, 수처리용 고분자 분리막소재 기술동향, 고분자 과학과 기술, 2011
22. 대덕연구개발특구지원본부, ㈜테크노베이션파트너스, 2009년 대덕특구 특허 패키지 판매기술서 - 액체 분리막 분야, 2009

23. 이상호, 최준석, 황태운, 최근 이슈가 되고 있는 차세대 해수담수화 기술 연구에 대하여 토목·환경분야가 어떤 형태로 분야발전을 이룰 수 있을까요?, 대한토목학회지, 2013
24. 한국수자원공사, 해수담수화 사업, 2010
25. 유호천, 해수담수화 플랜트 기술의 현황분석 및 발전방향, The Plantech Journal, 2005
26. 강호근, 김유택, 이영호, 해수염도차발전 기술의 현황과 개발전망, KoSME Webzine, 2013
27. 김준규, 해안·도서지역 해수담수화 시설 운영, 수자원정보, 2004
28. 한국수자원공사, 해양심층수를 이용한 해수담수화, 2005
29. 황기형·박광서, 해양에너지 산업화 지원방안 연구, 2010
30. The Freedonia Group, Water Treatment Equipment : United States, 2013
31. http://www.waterindustry.co.kr/overseas/overseas03_view.php?code=overseas01&idx=16100, 담수화 플랜트 현황과 시사점, 글로벌물산업정보센터
32. http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-29/issue-2/show-preview-siww-2014/ion-exchange-resins-and-membranes-for-the-asian-region.html, Ion exchange resins and membranes for the Asian region, WaterWorld
33. http://www.insightofgscaltex.com/?p=63607, 생활 속의 에너지 - 바다와 강이 만나면 전기가 생긴다!!?, GS Caltex
34. http://www.blogkwater.or.kr/1850, 물 시대를 열어갈 해양 심층수 vs 해수 담수화, 한국수자원공사 공식블로그
35. http://blog.kemco.or.kr/32, 블루에너지를 개발하는 네덜란드, 에너지관리공단 블로그
36. http://www.icak.or.kr/main.php, 해외건설종합정보서비스, 해외건설협회
37. KISTI 미리안, 해양온도차 발전 및 염분 농도차 발전 기술동향, 글로벌동향브리핑, 한국과학기술정보연구원
38. http://www.roplant.or.kr/, 막여과 & 담수화연구센터, 알오플랜트
39. http://www.ois.go.kr/portal/page?_pageid=93,721498&_dad=portal&_schema=PORTAL&p_depsl=info&p_deps2=&oid=1121026162613296174, 블루에너지 시대를 준비하는 네덜란드, 해외투자진출포털, KOTRA
40. http://www.mdpi.com/2073-4441/6/5/1134/htm, Desalination Technologies: Hellenic Experience, MDPI AG
41. http://www.unep.org/dewa/giwa/areas/regions_and_network.asp, Regions and network, GIWA, UNEP