

해수담수화 산업기술동향

고 은 옥[†] · 문 중 덕 · 박 중 만

한국산업기술평가관리원 주력산업평가단
(2010년 9월 20일 접수, 2010년 9월 24일 수정, 2010년 9월 24일 채택)

Status-of-arts of Desalination Technology

Eun-Ok Ko[†], Jong-Duck Moon, and Jong-Man Park

Core Industry Dept. Office of R&D Program Management, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT),
8~13F KOTECHE Bldg. 305, Teheran-ro, Gangnam-Gu, Seoul 135-080, Korea

(Received September 20, 2010, Revised September 24, 2010, Accepted September 24, 2010)

요 약: 현재 우리나라가 세계최고 수준을 보유한 해수담수화기술과 해외 플랜트 수주확대를 위한 정부정책의 필요성에 따라 지속적인 해수담수화 시장 선점을 위한 새로운 핵심기술개발이 중요해지는 시점이다. 본 연구에서는 그 중요성이 부각되고 있는 물산업의 동향, 해수담수화기술의 개요 및 시장현황을 고찰하고, 국가 R&D지원 정책방향 및 기술개발지원현황 자료를 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 기업의 담수플랜트 운전경험 축적을 바탕으로 신뢰성을 확보할 수 있도록 제도적 장치가 필요하며, 원천기술확보를 위한 전략적 R&D지원이 이루어져야 한다. 또한, 담수화 플랜트에 소요되는 핵심기자재에 대한 국산화가 선행되어야 할 것이다.

Abstract: Korea is presently the leading country in global desalination industry and has been investing a large amount of money and human resources in development of new core technologies to increase its' share of global market. In this paper, we reviewed world-wide trends of the advanced water industry and outlined various seawater desalination technologies developed so far. We also made some analysis on the directions and results of the government-lead R&D sponsorship in the field of seawater-freshening technology. Present studies showed that we need an institutional strategy to help domestic companies guarantee the credibility of the technologies developed by themselves based upon their experience of plant operation. Futhermore, strategic R&D programs to develop original technologies and localization of key components for desalination plants should be preceded in the near future.

Keywords: desalination, distillation, reverse osmosis, membrane, KEIT

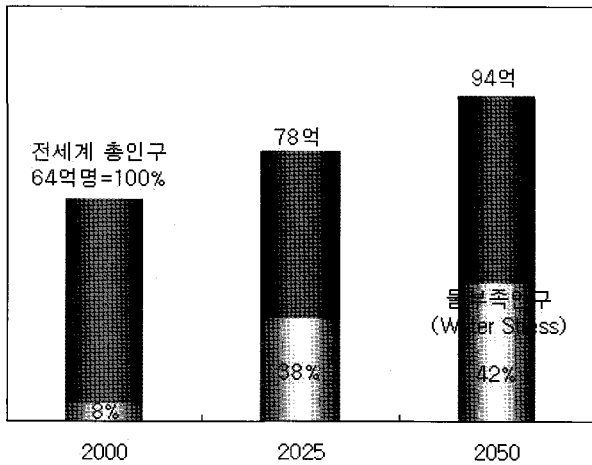
1. 서 론

블루골드로 부상하고 있는 물산업은 현재 세계시장 규모가 이미 800억 달러를 넘어섰으며[1], 21세기 물산업이 20세기 석유산업 규모를 추월할 것이라는 전망이 나온 지 이미 오래다[2]. 이는 Fig. 1과 Table 1에서 보듯이 심각해지는 물부족 현상과 수질오염으로 인하여 깨끗한 물을 확보할 수 있는 수처리 기술의 필요성이 대두되고, 과거 물리화학적 및 생물학적 공정을 이

용한 수처리 기술에서 분리막을 이용한 고도물처리 방법으로 기술의 패러다임이 전환되고 있는 것이 주요 원인으로 판단된다. 또한, 다양한 요인으로 인한 물 수요에 대비하기 위해 지구상에 존재하는 물의 96.5%를 차지하고 있는 해수를 이용하는 방법에도 관심이 모아지고 있다[3].

해수를 처리하여 민물로 만드는 해수담수화기술은 증발법으로는 이미 우리나라가 세계 1위이나, 상대적으로 부가가치가 높은 분리막을 이용한 해수담수화는 유럽 국가가 기술적 우위를 점유 하고 있어 날로 커져가는 시장의 주도권확보를 위해서는 빠른 대응이 필요하

[†]주저자(e-mail: eogoh@keit.re.kr)



자료 : UN 세계 수자원 개발 보고서(2003. 3)

Fig. 1. Worldwide population of water stress[6].

다. 또한, Table 2에서와 같이 발전·담수 플랜트는 해외플랜트 수주 측면에서 Oil&Gas 플랜트에 이어 비중이 큰 분야이다[4].

한국산업기술평가관리원(KEIT)은 지식경제부의 산업기술개발을 전담하는 기관으로, 전략적 R&D 지원정책에 따라 해수담수화 관련 기술개발을 지원하고 있다. 특히 올해에는 Eco-Ener 플랜트 경쟁력 확보사업이 지식경제부의 대표적인 중장기 기술개발사업인 산업융합

원천기술개발사업(*10년 예산, 1.6조원) 플랜트엔지니어링 분야로 신규 개편되어 장기적인 관점에서의 핵심 융합·원천기술개발지원이 가능해졌으며, 향후 이 분야의 신산업·신시장 창출에 기여할 것으로 판단된다[5].

본 연구에서는 점차 그 중요성이 부각되고 있는 물산업의 동향, 해수담수화 기술개요 및 시장현황을 고찰하고, 국가 R&D지원 정책방향 및 기술개발지원현황의 자료를 통하여 향후 해수담수화기술의 발전 방향을 제시하고자 한다.

2. 해수담수화의 산업현황

2.1. 해수담수화의 개요

2.1.1. 기술의 개념

해수담수화는 해수 내 염분을 제거하여 담수(식수, 공업용수 등)를 생산하는 기술을 총칭하는 용어로 증발법(Distillation)과 역삼투법(Reverse Osmosis)이 대표적인 기술로 알려져 있으며, 그 밖에도 냉열에너지를 이용한 냉동법(Freezing Process)과 전기장을 이용한 전기투석법(Electric Energy) 등의 방법도 존재한다.

염분의 이온성분을 제거하여 음용수로 이용하려는 노력은 예전부터 이루어져 왔다. 가장 간편한 담수화 방법은 물을 끓여 수증기만을 응축시켜 담수를 얻는 방

Table 1. Water Poverty Index (WPI)*

국가	한국	미국	일본	영국	이탈리아	프랑스	독일	캐나다	벨기에	스웨덴
WPI	62.4	65.0	64.8	71.5	60.9	68.0	64.5	77.7	60.6	72.4

자료 : 물과 미래(국토해양부, 2007)

* WPI는 영국 생태환경 및 수문학센터에서 개발한 지표로서, 1인당 수자원량, 수자원접근율, 사회경제요소, 물이용량, 환경 등을 종합하여 산정. 우리나라는 OECD 국가 가운데 20위에 그침.

Table 2. Contract Amount in Regions and by Plants Types[4]

(단위 : 억달러)

지역	2008	2009	증감률	종류	2008	2009	증감률
중동	20,031	31,118	55.3	발전·담수	10,086	7,667	△24.0
아시아	6,069	6,882	13.4	해양	16,144	5,242	△67.5
아프리카	2,314	4,222	82.5	Oil&Gas	8,277	27,858	236.6
유럽	5,450	1,113	△79.6	석유화학	6,188	2,615	△57.7
미주	12,343	2,969	△75.9	산업시설	3,454	2,234	△35.3
합계	46,207	46,304	0.2	합계	46,207	46,304	0.2

자료 : 지식경제부

Table 3. Characteristics of Different Desalination Technologies

구분	에너지소비량(kWh/m ³)	적용원수농도(TDS mg/L)	운전온도(°C)	장단점
증발법	18~25	30,000~500,000	35~120	<ul style="list-style-type: none"> · 소중대규모 장치에 실적이 많음 · 생산수의 순도가 높음 · 다중목적의 장치에 유리함 · 에너지 소비량이 많음 · 부식 방지가 필요함
역삼투법	4~8	500~50,000	0~40	<ul style="list-style-type: none"> · 최근에 실적이 많음 · 증발법보다 에너지 소비량 적음 · 조작성 용이함 · 막의 내구성 문제가 있음 · 해수의 충분한 전처리가 요구됨

자료: 해수담수화 시스템 기술동향 및 전망(한국기계연구원, '07.10.02)

법으로 1593년 R. Hawkins가 신대륙으로 향하는 장기간의 선박여행에서 증발기를 사용하여 해수를 담수화한 것이 담수화 기술의 시초였다. 이후 산업혁명 도래 이후, 다중효용 증발법(multiple effect distillation)과 다단플래시 증발법(multi-stage flash distillation)이 개발되어 이용되기 시작하였으나 본격적인 담수화플랜트는 1960년 중동의 쿠웨이트에 4,000 m³/일 용량을 갖는 증발법 해수담수화플랜트가 최초였으며, 1980년대에는 전체 담수화 플랜트의 3/4이 증발법을 이용한 설비였다 (Table 3 참조).

그러나 현재에는 많은 에너지를 필요로 하는 증발법은 에너지 가격이 안정되고 값싼 중동지역에 편중되어 사용되고 있으며, 이외의 지역에서는 증발법 외에 역삼투막법, 전기투석법, 냉동법 등이 개발되어 활용되고 있다. 세계 담수화 시장의 기술은 현재 증발 방식에서 역삼투막 방식으로 점차 확대되어가는 추세이다. 또한 담수화를 위한 전력원 확보가 용이하지 않은 곳에서는 재생에너지를 활용하여 전력원의 문제를 해결한 담수화 설비가 개발되고 있으며, 이를 위한 정책적 방안도 함께 지원되는 추세이다[7].

2.1.2. 기술의 분류

가. 증발법(Thermal Technology)

증발법은 담수화 기술 중 가장 역사가 오래된 기술이며, 현재 전 세계 담수화 생산용량 중 약 70%를 차지하고 있다. 이 방법은 증발기의 형상과 열원의 이용 방법에 따라 크게 다중 효용방식, 다단 플래쉬방식 등으로 분류할 수 있다.

1) 다단 플래쉬 방식(MSF : multi stage flash distillation)

다단 플래쉬 방식은 현재 대용량 담수화장치에 가장 널리 사용되는 기술로 전 세계 담수화 용량의 약 60%를 차지하고 있다[8]. 어떤 온도의 액체를 그 온도에 대응하는 포화증기압 이하로 급감하면 액체는 유지하고 있던 열을 증발잠열로 소비하게 되어 자기증발 또는 플래쉬 증발하게 되는데, 이 원리를 이용하여 발생한 증기를 응축시켜 담수를 생산하는 방식을 다단 플래쉬 방식이라고 한다. 여러 단계에서 순차적으로 증발-응축 현상을 만들어주기 때문에 대용량화가 가능하여 1956년 쿠웨이트에서 하루에 2,235 m³을 생산하는 MSF 플랜트가 건설된 이후 1970년대 이후 중동에서는 대부분 이 방식의 담수플랜트가 건설되었다.

지난 30년간 오랜 운전 경험과 기기의 최적화 과정을 통해 비용절감 및 효율화가 이루어졌으며 FF (Fouling factor)도 약 0.20 m²°C/kW에서 0.13 m²°C/kW로 감소되었다[9].

또한, 담수를 생산하기 위해 필요한 에너지원으로 원자로 시설을 사용하는 것에 대한 연구가 진행 중으로 인도의 Kaipakkam에 있는 원자력발전소(가압중수형 원자로)에서는 해수담수화 시설과 연결하여 운전하고 있다. 여기에 적용한 담수화공정은 다단 플래쉬 방식과 역삼투 공정을 조합한 하이브리드 공정으로 담수생산 용량은 6,300 m³/day이다. 우리나라에서도 한국원자력 연구소에서 해수담수화개념의 원자로(SMART)를 설계하여 시험단계에 이르고 있다. 스마트 원자로에서 발생하는 열 출력은 330 MW에 이르며, 이를 이용해 하루

에 9만 KW의 전기와 4만톤의 담수를 생산할 수 있다. 이는 인구 10만명 규모의 도시에 전기와 물을 함께 공급하기 좋은 크기다. 그래서 대형 원자력발전소가 필요 없으면서 물 부족을 겪는 동남아시아나 중동 지역 등의 섬나라와 사막에서 유용하여 상용화시 수출가능성이 높을 것으로 예상된다[10,11].

2) 다중 효용 방식(MED : multi effect distillation)

다중효용방식은 단순 증류기를 시리즈로 배열한 형태로 첫 번째의 증발기에 보일러에서 발생된 증기로 열을 가하여 해수를 증발시키면, 발생된 증기는 다음 증발기에서 응축되어 담수가 되고 동시에 가열원으로 작용하여 증발기 내부의 해수를 증발시킨다. 이 공정의 특징은 발생된 증기가 다음 증발기에서 가열원으로 작용한다는 것이다. 이 공정은 4~21개 효용조에서 계속된다. 이때 각 효용 증발기 내의 압력을 차례로 낮게 유지하여 공정이 진행됨에 따라 더 낮은 온도에서 비등이 일어나도록 해주어야 한다. 또한 각 효용조에서 생산된 담수의 온도가 상온보다 높기 때문에 유입되는 해수와 상호 열교환을 시켜 생산 담수의 현열을 회수하는 방법도 널리 채택되고 있다.

고온에서의 다중효용방식은 높은 성능비를 가지지만 스케일문제가 있으며, 저온 공정은 에너지비가 높다. 이런 문제를 해결하는 방법으로 증기압축기를 사용하여 저온에서 다중효용방식을 활용하는 기술이 도입되고 있으며 이를 통해 물생산비를 감축시킬 수 있어, 작은 담수플랜트 건설도 가능해지는 추세이다[12].

나. 역삼투법(Reverse Osmosis Technology)

막분리법은 얇은 필터에 미세한 구멍이 있는 막을 이용하여 물 속의 불순물을 걸러내는 방법으로 막의 구멍의 크기에 따라 마이크로 필터(MF), 울트라 필터(UF), 나노필터(NF), 역삼투압필터(RO)로 세분화되며[13], 각 막의 특성에 따라 전처리(MF, UF) 공정과 해수담수(NF, RO) 공정에 사용된다.

역삼투막에 의한 해수담수화는 물에 용해되어 있는 이온성 물질은 거의 배제되고 순수한 물은 통과되는 반투막(RO)에 의해 담수화하는 기술이며, 역삼투법은 해수의 담수화 뿐만 아니라 반도체공업 및 의약품공업용의 순수·초순수의 제조, 도시배수처리 등의 폭넓은 분야에서 이용되고 있다.

해수에서 이온성 물질과 순수한 물을 분리시키기 위

한 삼투압은 보통 42~80 bar 정도의 높은 압력이 필요하며 담수화에 필요한 주요 에너지는 공급되는 해수가 가압하는데 사용된다. 반투막을 이용한 수처리 기술은 이미 오래전에 개발된 방법이나 막자체의 높은 가격과 운전시 소모되는 과도한 전기량 등으로 인하여 경제적 효용이 낮아 시장의 외면을 받아왔다[14]. 그러나 제조 기술의 혁신으로 가격 경쟁력을 확보하고, 에너지 회수 장치 등의 개발에 따른 전기소모량의 감소가 가능해짐에 따라 최근 계약실적의 약 60% 이상을 역삼투법이 차지하고 있으며, 향후 10년간 이 경향은 두드러질 것으로 전망된다.

역삼투압(RO) 방식의 해수담수화 플랜트는 공급수의 전 처리, 고압펌프, 분리막 및 삼투 후처리의 네 부분으로 구성되며, 이를 위해 고도의 전처리 장비, 고압 펌프 시스템 및 에너지 회수 장비, RO필터, 약품 오염의 농축 방류수 처리 장비들로 이루어져 있다. 이들 장비들과 부품은 모두 기술기반을 가지고 있어야 생산이 가능한 품목들이기 때문에 진입장벽을 극복하려면 기술의 차별성을 앞세우는 것이 중요하며, 이것의 성공여부가 대규모 글러벌 사업화 가능여부를 결정지을 것으로 판단된다.

GWl (Global Water Intelligence) 보고서에 의하면 2007년 막을 이용한 시스템 시장은 61억 달러수준으로 추산되고 있으며, 연평균 19.5%로 성장하여 2016년에는 303억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다. 역삼투압막의 경우 DOW, NittoDenko, Toray 등 3개 업체의 시장 점유율이 74%에 이르고 있다[14]. 이는 이들 기업들이 기술적 차별화에 성공한 요인도 있지만, 다른 경쟁업체에 비해 풍부한 사업경험을 확보하고 있다는 점이 유리하게 작용하였다.

역삼투압방식의 트레인(Train) 사이즈는 점차 증가하여 9,084~13,626 m³/day에 도달가능하나 MSF 유닛의 56,775~68,130 m³/day에 비하면 아직도 차이가 크다. 그러나 에너지소모량이 적어 증발법의 에너지 소비량이 6~16 kWh/m³[15]인 것에 비하여 역삼투방식은 에너지 회수장치가 없을 때 약 6~8 kWh/m³, 에너지 회수장치를 설치하면 4~5 kWh/m³까지 낮출 수 있다. 또한, 증발법의 물생산원가가 0.6 달러/m³인데 비하여, 증발법은 0.8 달러/m³로 경제성이 있다[16]. 에너지 회수 장치는 주로 중형급 이상에서는 Pelton 또는 Francis 수차 등 터보형이 주로 이용되나 효율이 떨어지고 소형에 적용이 어려운 점이 있다. 최근에는 PXTM이 많이 보

Table 4. Levels of Technologies in Water Industry

(단위 : %)					
구분	1987	1993	1998	2003	2007
멤	66	67	68	70	73
상·하수도	59	63	65	67	76
플랜트	-	62	68	72	81

자료: 건설산업의 해외경쟁력제고방안, 제6차 선진화포럼(건설기술연구원, 2007)

* 선진국 수준 100, 80 포인트 수준에서는 경쟁 가능

급되고 있으나 고가이며 시스템이 복잡하다. SIEMENS에 의하면 Pelton wheel과 같은 터빈 또는 압력교환장치를 사용한 결과, 전체 RO 시스템 에너지소비량의 전체의 60%를 차지하는 배수물에서 93%의 에너지를 회수하여, RO 시스템의 총 에너지소비를 기존 19.2에서 8.49 kWh/kgal로 감소가 가능하다고 한다[17]. 이에 따라 우리나라에서도 에너지회수를 위한 대용량/고효율 독자모델개발이 필요할 것으로 판단된다.

특히 역삼투압방식에서는 전처리방법이 중요한데, 최근에는 NF (Nanofiltracion) 전처리장치를 재래의 여과시스템과 함께 적용하여 박막의 파울링을 방지함으로써 기존 플랜트에서 40%의 생산량 증가를 얻은 연구결과가 있는 등 기존 방법보다 효율적인 방법으로 진화하고 있다[18].

2.2. 해수담수화 관련 산업현황

고도 물처리 산업은 물을 취수하여 정수 처리한 후 공급하고, 물사용 이후 하·폐수 이송 처리하는데 관여하는 제조 및 서비스업 일체를 포괄하는 의미로, 최근 민영화, 해수담수화를 포함한 담수사업의 증가 및 분리막에 의한 수처리기술 패러다임의 전환 등으로 미래 녹색성장의 주축으로서 꾸준한 성장이 예측되고 있다. 향후 10년간 전세계 평균 2.5%의 성장이 전망된다.

2.2.1. 국내 현황

고도 물처리 산업의 발전은 물 관련 플랜트, 화학, 소재 산업 등 관련 산업에 상당한 파급효과가 예상되며, 특히 최근 IT·BT·NT 등 연관기술 발달에 따른 하이테크 산업화 진행으로 새로운 고부가가치 창출도 가능하다. 국내 고도 물처리 산업은 충분한 성장 잠재력을 보유하고 있어 상하수도 플랜트·댐건설 등의 국내기술 수준은 단기간에 선진국 수준이 도달가능하며(Table 4 참조), 해수담수화 분야는 이미 세계 1위의 기술력을 보유하고 있다. 정부는 2015년까지 국내 물산업 규모를 20조원 이상으로 확대하고 세계 10위권 기업 2개를 육성하는 장기비전을 발표한 바 있다[1].

2.2.2. 해외 현황

세계 고도물처리 산업은 인구증가, 기후변화, 수질오염, 물 부족 심화 등으로 점차 확대되어 Table 5에서와 같이 2015년에 15,433억 달러의 대규모 시장 형성이 전망되고 있으며, 최근 중국·인도 등 주변 개도국에서 상하수도 인프라 구축을 위한 투자가 빠르게 확대되고 있다.

2000년 이후 대형 M&A를 통해 신규진입한 GE와 SIMENS가 설비·기기에 집중하며 물산업 제조업분야의 주도기업으로 성장하고 있으며, 기존 주도기업인 Veolia, Suez 등은 제조업 분야에서 철수하여 안정적인 시장 대상의 서비스업 중심으로 사업구조를 조정하고 있다 (Table 6 참조). 또한 물, 전력 등 다수의 공공재를 단일 기업에게 공급받는 멀티-유틸리티(Multi-utility) 경향이 유럽에 확산되면서 에너지 기업들이 신규진입하고 있다[19]. 미국과 일본의 경우 산업규모에 있어서는 세계 1,2위이지만 중앙정부와 자치단체 중심의 사업체계를 유지하고 있어 세계 10위권 물기업을 단 하나도 가지고 있지 못하다[20].

Table 5. Global Water Industry Market Grows

(단위: 억달러)

구분	합계	운영 및 서비스					건설		
		소계	상하수/폐수	병입수	정수기	해수 담수화	소계	상하수/폐수	해수 담수화
2004년	8,556	5,526	5,400	68	25	33	3,030	2,878	152
2015년	15,433	9,214	8,934	159	48	73	6,219	5,881	338

자료: 물 산업 육성방안에 관한 연구(환경부, 2005)

Table 6. Sizing the Global Water Market Issues

	매출액(조원)	서비스인구(만명)	해외사업 비중
Veolia (프)	15.0	10,815	86% (90개국)
Suez (프)	10.1	11,737	76% (130개국)
RWE AG (독)	5.7	6,946	61% (80개국)
Bouygues (프)	2.4	3,353	82% (17개국)

자료 : GWI (Global Water Intelligence) 2004

3. 해수담수화의 국내외 시장 동향

3.1. 해수담수화 시장 규모 및 관련 기업

해수담수화 시장은 Table 5에 의하면 세계 물산업의 약 2% 정도로 추정되며, '04년 현재 약 185억 달러, '15년에는 411억 달러가 될 것으로 예상된다. 또한 최근 시장성장률은 연 11%로 추정된다[21].

우리나라에는 총 70여 개의 담수설비가 도서지방에 설치 및 운영 중으로 담수화를 이용한 생활용수 확보는 도입 중기단계이며, 공업용수의 경우 1989년 보령화력의 해수담수화 플랜트를 시작으로 일부 공장에서 담수화 플랜트 운영 중에 있다. 담수화 시설 용량은 하루 수백 ton에서 수만 ton 규모의 공업용수 시설이 대부분이고, 음용수 생산용 시설은 하루 수십 ton 이하의 소규모 시설이 대부분이며(Table 7 참조), 담수화방식은 대부분 역삼투압(RO) 방식을 채택하여 운영하고 있다.

세계 담수화 플랜트 시장은 두산이 대용량 MSF방식의 플랜트로 중동지역 시장의 46%를 점유 세계 1위이다. 2위는 GE로 '05년 Ionics를 인수하여 해수담수시장에 단기간에 Top Maker로 진입하였으며, RO방식으로 세계시장 1위를 점유하고 있다. 전세계 해수담수화 Player는 초대형 및 대형 플랜트부문은 대형건설 EPC사(두산중공업, Veolia 등), 중소형 규모 부문은 증건수처리회사 혹은 기자재 중심의 회사(Toray, Toyobu 등)로 구분되어 각각의 시장에서 치열한 경쟁을 하고 있다

Table 7. Domestic Desalination Facilities for Residential Purposes

구분	인천	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
수량(개소)	1	21	6	30	1	7	4	70
용량(ton/day)	200	655	290	2,270	28	120	2,200	5,763
급수인구(명)	1,250	3,814	1,690	5,794	40	643	5,766	18,997

자료 : 막여과 · 해수담수화 연구센터, 2008년 1월

Table 8. Global Desalination Players

항 목	업 체 명
RO	GE Ionics, IDE Technologies, Veolia, Ondeo Degremont etc.
MSF	Fisia Italimpianti, Doosan Heavy Industries, Hitachi Zosen etc.
Consulting	Mott MacDonald, PB Power, Black & Veatech etc.
SWRO Membrane	Toyobo, Dow, Toray etc.
BWRO Membrane	Dow, Hydronautics, Toray etc.

(Tables 8, 9 참조).

3.2. 세계 담수화 플랜트 규모 및 분포 현황

세계 담수화 플랜트는 2005년 말 약 40백만 ton/day (약 1.5억 명 사용량)이 운영되고 있으며, 앞으로 10년간 지속적으로 성장하여 2015년에는 Table 10에서와 같이 약 1억 ton/day 규모로 설비가 확대될 것으로 전망된다.

3.3. 담수처리 용량별 시장 현황

2008년 6월 현재 전세계의 담수플랜트시장은 설치용량 기준으로 1만톤 미만의 플랜트가 약 24%로 14백만톤 규모의 별도 시장을 갖고 성장해가고 있으며, 또한, Plant 설치수량 측면에서도 전체 14,000개 Site의 92%인 13,000개가 중소형 Plant이다. 금액적인 규모에 있어서는 전체시장의 약 40% 이상 규모의 시장이 존재할 것으로 판단된다[22].

3.4. 해수담수화 방식별 시장 현황

세계시장은 대형 MSF, MED 등의 증발법(Thermal)에서 역삼투법(Membrane)으로 전환되고 있는 추세로 향후 10년간의 전망을 보면 역삼투법의 증가가 두드러

Table 9. Domestic Desalination Players

항 목	주요 ENG업체	주 요 설 비	국내 생산업체
RO	두산중공업 효성에바라 (주)크로시스	RO Membrane	(주)웅진
		RO Vessel	-
		Process Pump	효성에바라(주), 현대중공업
		고압 Pump	-
		에너지 회수장치	-
전처리System (UF, MF막) 효림산업, 성신엔지니어링, 프로텍코리아(UF, MF막 생산업체 없음)			
증발식	두산중공업 현대중공업 대경기계	응축기	대경기계
		증발기	동화엔텍, 대원열판(주), 대경기계
		Brain Heater	동화엔텍, 대원열판(주), 대경기계
		진공펌프	현대중공업
		진공설비	성진 지오텍
발식	두산중공업 현대중공업	TVC	대경기계
		진공설비	성진 지오텍
MED	대경기계 동화엔텍	증발기	두산중공업, 현대중공업
		응축기	두산중공업, 현대중공업
MVR	LHE	증기압축기	대경기계, 동화엔텍
	한텍엔지니어링	증발기	두산중공업, 현대중공업

Table 10. Desalination Market Growth in Regions

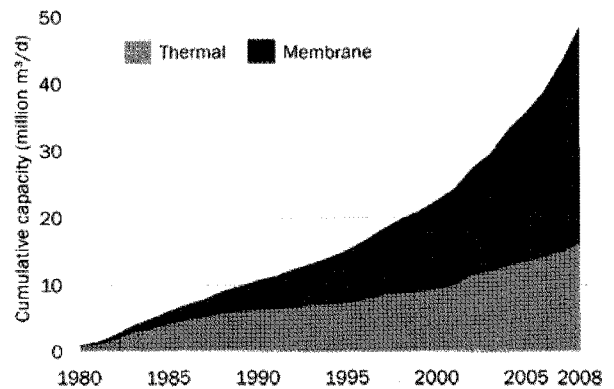
(단위 : 백만 ton/day)

년 도	중동	미국	유럽	아프리카	아시아	기타	종합
~2005년	18.1	6.6	3.8	2.7	3.1	5.6	39.9
2006~2010년	11.3	1.3	1.7	3.1	3.6	3.4	24.4
2011~2015년	12.8	2.7	1.6	4.2	7.8	4.1	33.2
2015년 누계	42.2	10.6	7.1	10.	14.5	13.1	97.5

자료 : GWI (Global Water Intelligence) 2007.

질 것으로 전망된다(Fig. 2 참조).

중동과 아프리카 지역은 전세계의 45%를 점유하고 있는 가장 큰 담수시장이며 조금씩 RO 방식이 증발식 방식과 함께 Hybrid 공정으로 적용되고 있다. 중동 이외의 지역에서는 증발식보다 RO 방식의 점유율이 높으며, 유럽은 스페인을 중심으로 RO 시장이 크게 형성되고 아시아는 중국, 호주, 싱가포르를 중심으로 RO 시장이 확대중이며 86%의 높은 점유율을 보이고 있다. 미주지역은 대부분 RO 공정(92%)이며 대형, 중형, 소형의 고 른 용량 분포를 보이고 있다.



자료 : GWI (Global Water Intelligence) 2008.

Fig. 2. Contracted desalination market share by technology.

Table 11. Trends of Desalination Technology Developments

과 거	현 재	미 래
대용량 위주	용량 다양화	분산형 및 모듈화
중앙집중식	하이브리드	고부가가치 시장
지역편중	에너지효율 향상	Well-Being
증발식 주류	막분리식 부상	에너지 순환형
식수공급 목적	다목적	친환경
기술독점	기술의 보편화	기술의 전문화

자료 : 해수담수화 시스템 기술동향 및 전망(한국기계연구원, '07.10.02)

Table 12. Strategies to Support Desalination Technologies[23]

분 야	세계시장 전망	우리기술수준	중점 개발기술
담 수	· 물부족 현상심화 및 유가상승으로 수요급증 · '10년 69억불 전망	· 증발식 : 세계1위 · 역삼투식 : 분리막 등 일부기술만 확보 · 핵심기자재 국산화율 저조	· 역삼투막, 에너지처리· 회수기술 · 정삼투막, 유도용액 분리기술

4. 해수담수화의 기술개발 동향

4.1. 해수담수화의 기술개발 방향

해수담수화는 과거 중동지방에서 주로 적용된 대용량 증발식 방법에서 점차 분산형 및 모듈화방향으로 전환되고 있으며, 앞으로는 재생에너지 등을 활용한 친환경적인 방법을 활용하는 기술이 부각될 것으로 판단된다(Table 11 참조). 또한, 현 시점에서 세계 1위를 유지하고 있는 증발식 방법에서 신기술을 이용한 시장 점유도도 높이기 위해, Table 12에서와 같이 정부는 담수화 기술을 중점지원분야로 선정하여 지원책을 마련하고 있다.

4.2. 해수담수화 관련 정부 R&D 지원현황

정부에서는 담수플랜트의 해외 수출경쟁력 확보를 위한 방법으로 전략적 R&D 지원을 강화하고 있는 추세이다[23]. 과거 설계와 건설 중심으로 이루어지던 담수화플랜트 산업을 신규공정에 대한 원천기술 및 주요 소재와 기자재에 대한 핵심기술확보를 통한 수출경쟁력을 확보하여 플랜트 수준의 지속적인 확대 및 외화가득률을 향상시키는 것이 정부지원의 목적이라 하겠다. 여기서는 담수화 관련 기술로 지식경제부 한국산업기술평가관리원에서 지원된 대표적인 과제들을 통하여 담수화 최근 기술동향을 살펴보고자 한다.

4.2.1. 정삼투식(FO, Foward Osmosis) 다목적 담수화플랜트 개발

- 지원사업명 : Eco-Ener 플랜트 경쟁력 강화사업* (지식경제부)
- 총 사업기간 : '09. 10. 1~'14. 9. 30 (1단계 3년, 2단계 2년, 총 5년)
- 과제의 정의 및 목표
 - (정의) 바닷물보다 고농도인 유도용액을 분리막으로 유입시켜 삼투현상만으로 바닷물에서 물을 얻는 담수화 기술 개발
 - (목표) 물회수율 70% 이상, 에너지소비율 1 kWh/m³ 이하 담수화 공정 원천기술 개발
- 과제 구성 및 예산 : 다음 페이지의 상단 표

유가 상승 및 기후변화로 인한 담수화 패러다임의 변화로 상대적으로 에너지 소모량이 적은 방식의 선호도가 높아지고 있어 에너지 저소비형 해수담수화 플랜트에 대한 원천기술개발을 위해 본 과제가 기획되었다. 국내의 정삼투식(FO) 해수담수화 플랜트 기술과 압력지연삼투(PRO) 방식의 삼투압발전 플랜트 기술이 해외 시장에서 경쟁력을 갖기 위해서는 선진국의 유도용질, 정삼투용 분리막, 정삼투 공정설계와 관련된 특허 등을 집중 분석하여 차별성을 갖는 기술을 독자적으로 개발하여 경쟁력을 확보하는 것이 중요할 것으로 판단된다 [24].

(단위 : 백만원)

지원과제명	주관기관	참여기관	예산(정부출연)		
			'09	'10	'11
총괄과제 정삼투식 다목적 담수화플랜트 개발	한국기계연구원		30	100	100
세부과제 1 정삼투식 담수 공정 기술 개발	한국기계연구원	STX중공업, 성진지오텍, KAIST, 서강대학교	270	1,200	1,000
세부과제 2 정삼투 분리막 및 모듈 개발	웅진케미컬	한국화학연구원, 고려대학교	200	800	600
세부과제 3 삼투압을 이용한 발전시스템 개발	금성 E&C	충주대학교	100	400	300
계			600	2,500	2,000

* '10·'11년 예산 변경가능, '11년부터 플랜트엔지니어링 주력산업융합원천기술개발사업으로 확대 개편
 자료 : Eco-Ener 플랜트 경쟁력 강화사업 기획보고서, 정삼투식 다목적 담수플랜트개발, 2009

【참고】 역삼투식과 정삼투식 담수플랜트의 기술 동향

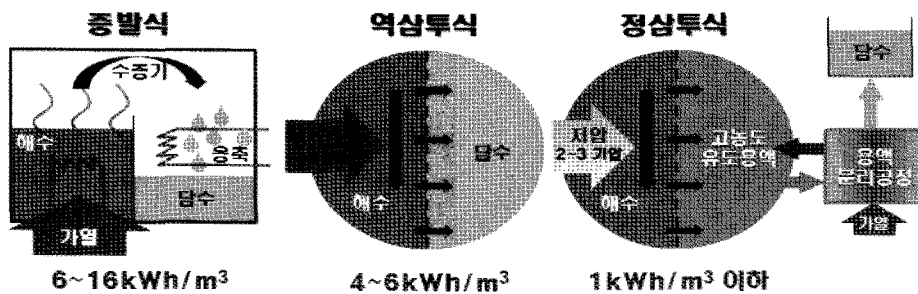
□ 기술 및 시장분석

- (역삼투방식)인위적으로 압력을 가해 해수중의 담수를 분리하는 기술
 - 증발식담수화 대체, 성장기 산업, 기존 공정의 고효율화 및 실증 중요
- (정삼투방식) 농도도 유도용액과 해수의 농도차를 이용하여 해수 중의 담수를 분리하는 기술

☞ 정삼투방식은 역삼투압방식에 비해 저에너지소비형(정삼투방식 1.0 kWh/m³, 역삼투방식 4~6 kWh/m³) 담수플랜트 기술임.

- 역삼투시장 대체 예상, 도입기 기술, 핵심 원천라이선스 기술 확보 중요
- 현재, 전 세계적으로 실험실 연구개발 수준으로 기술 개발시 라이선스 원천기술의 확보가 가능한 분야

〈해수담수화 기술비교〉



4.2.2. 태양열 다중 복합 고효율 담수화시스템 상용화모델 개발

- 지원사업명 : 신성장동력 스마트 프로젝트(지식경제부)
- 총 사업기간 : '09. 7. 1~'10. 6. 30 (총 12개월)

○ 과제의 정의 및 목표

- (정의) 신재생 에너지인 태양열에너지를 이용 집열한 열로 역삼투의 농축수를 담수화 생산하는 증발식과 소형 역삼투방식과의 복합 해수담수설비 개발

(단위 : 백만원)

지원과제명	주관기관	참여기관	예산(정부출연)
태양열 다중 복합 고효율 담수화시스템 상용화 모델개발	효성에바라(주)	한국남동발전(주), (주)코네스코퍼레이션, 효림산업(주), (주)성신엔지니어링, (주)한국화이바	4,980

자료 : 신성장동력 스마트 프로젝트 사업계획서, 신재생 담수플랜트, 2009

- (목표) 물회수율 50% 이상, 에너지소비율 5.5 kWh/m³ 이하 담수화 상용화 모델 개발
- o 과제 구성 및 예산 : 상단 표

동 과제는 발전소 운영에 필요한 담수를 생산하기 위한 목적으로 2,000 ton/day 규모의 담수화 플랜트 기술 개발을 진행하였다. 주로 바닷가 지역에 건설되고 있는 발전소의 경우 물공급이 원활하지 않고, 배관작업에 따른 비용 과다 투입과 관리비용 상승으로 인해 대체 수자원 개발을 고려하고 있는 Site가 늘고 있어 동 기술이 개발될 경우 활용도가 높을 것으로 판단된다. 또한, 동 기술은 담수화에 소요되는 에너지원이 충분하지 않을 경우에 대처하여 신재생에너지인 태양열을 에너지원으로 사용함으로써 중소규모의 하이브리드형 담수기술의 상용화 가능성을 보여주었으며 향후 신규 시장이 열리는 지역으로의 수출가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

4.2.3. 다기능성 고분자 멤브레인 소재 개발

- o 지원사업명 : WPM (World Premier Materials)사업 (지식경제부)
- o 총사업기간 : '10. 8. 1~'19. 2. 28 (총 103개월)
- o 과제의 정의 및 목표
 - 동 과제는 총 4개의 세부과제로 구성되며, 과제별 개발기술의 정의 및 목표는 다음과 같음

(정의) 해수담수화용 정삼투 플랫폼에 적합한 저에너지 고효율 담수용 멤브레인 소재개발

(목표) 염분제거율 99% 이상, 수투과도 50 LMH 이상, 에너지 소비율 1.5 kWh/톤 이하

(정의) 다기능성 정수처리용 멤브레인 소재개발

(목표) 고분자량 셀룰로오스계 소재개발(AMC), 고강도 친수성 나노급 기공 복합 멤브레인 개발, 고유량 정수처리용 복합 멤브레인 소재개발 등

(정의) 연료전지용 탄화수소계 강화복합막 개발

(목표) 이온전도도 0.14 S/cm, 두께 20 μm 이하, 수소투과도 0.03 mA/cm² 등

(정의) OBIGGS (On Board Inert Gas Generating System)용 고투과 선택성 기체분리용 멤브레인 소재개발

(목표) 선택도(산소/질소) 6.0 이상, 투과도(GPU) 75 이상, 모듈사이즈 2.0 m × 20 cm 등

- o 과제 구성 및 예산 : 아래 하단 표

GW (Global Water Intelligence) 예측에 의하면 2007년 멤브레인 시스템 시장은 61억 달러 수준으로 추산되며, 연평균 19.5%로 성장하여 2016년에는 303억 달러 규모로 커질 것이라고 한다[22,25]. 이는 물산업 전체의 시장 성장률이 같은 기간 연평균 4.7%임을 놓고 본다면 4배 이상 빠른 것이다. 제조기술의 발달로 가격 경쟁력을 확보하면서 그 성장률은 빠르게 증가하고 있으며 역삼투압 방식의 필터가격은 10년간 75% 하락했고, 전기소모량도 5년 전에 비해 절반수준으로 떨어졌다. 이러한 가격 경쟁력 확보는 시장 확산으로 이어질 것

(단위 : 백만원)

지원과제명	주관기관	참여기관	예산(정부출연)		
			'10	'11	'12
다기능성 고분자 멤브레인 소재개발	코오롱 패션머티리얼(주)	(주)효성, 에경유화(주), 제일모직(주)	2,050	11,525	11,625

* '11년, '12년 예산은 변경가능

자료 : WPM 프로그램 연구기획보고서, 다기능성 고분자 멤브레인소재개발, 2010

멤브레인, 제 20 권 제 3 호, 2010

로 예상됨에 따라 본 과제를 통해 분리막 제조 및 모듈화 기술, 최적화 시스템 개발 기술 등을 확보한다면 세계 시장 전환의 과도기에서 우리나라 기업들이 주도권을 잡을 수 있는 기회가 될 것으로 판단된다[26,27].

5. 결 론

해수담수화 기술개요 및 시장현황, 물산업의 동향 등을 분석하고 해수담수화에 대한 국가 R&D 지원 정책 방향 및 기술개발 지원현황 등의 자료를 고찰한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다.

첫째, 기업의 담수플랜트 운전 경험이 축적되어야 한다. 담수화를 고도물처리 산업의 한 분야로 보았을 때, 우리나라 기업이 플랜트 건설뿐만 아니라 Multi-utility를 동시에 제공할 수 있는 세계적인 수처리 기업으로 성장하기 위해서는 현재 공공부분에 전담되어 있는 수처리를 민간이 함께 운영하여 기술의 신뢰성을 확보할 수 있는 제도적인 장치의 마련이 필요할 것으로 판단된다. 더불어, 금융지원과 세제혜택 등이 다른 어떤 산업분야보다 뒷받침되어야 할 것이다.

둘째, 원천기술 확보를 위한 전략적 R&D 지원이 이루어져야 한다. 해수담수화에 대한 수요가 먹는 물뿐만 아니라 공업용수 등으로 확대되고, 에너지 집중형 대형 플랜트에서 에너지 절감형 또는 재생에너지를 활용한 중소형 플랜트로 수요가 다양화됨에 따라 처리효율향상과 에너지사용량저감을 위한 끊임없는 연구개발이 필요하다. 특히, 아직 개발초기여서 진입장벽이 낮은 신기술에 대한 정부차원의 과감한 투자가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

셋째, 담수화플랜트에 소요되는 핵심기자재에 대한 국산화가 선행되어야 한다. 해외플랜트 분야의 외화가득률은 2008년 현재 43%로서 자동차 분야의 70~80%에 비하면 매우 낮다[28]. 그러나 전체 수주액의 60~65%가 기자재가 차지하는 등 전·후방산업에 미치는 영향이 큰 플랜트 산업의 특성상 기자재 국산화가 이루어진다면 외화가득률을 높일 수 있을 것이다[29]. 이를 위해선 국산기자재 품질향상을 위한 품목별 소재·부품의 원천기술 확보뿐만 아니라 중소 기자재업체의 해외벤처 등록 등을 지원 및 장려하는 정책이 함께 활성화되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. “물산업 육성방안에 관한 연구”, 환경부 (2005).
2. “Water promises to be to the 21st century what oil was to the 20th century, Water, Water Everywhere”, Fortune, May 15 (2000).
3. “세계 물산업의 구조변화와 시사점”, SERI 경제 포커스, **152** (2007).
4. 장두석, “최근 해외플랜트 수주증가와 관련 산업의 성장 유망분야”, KDBRI 산업이슈, 산은경제연구소 (2010).
5. “2011년도 산업융합원천기술개발 지원대상과제 발굴을 위한 기술수요조사 착수”, 지식경제부 (2010).
6. “물 산업의 물길이 바뀌고 있다”, LG Business Insight (2009).
7. June Gibbons, *et al.*, “Assessment of EU policy: Implications for the implementation of autonomous desalination units powered by renewable resources in the Mediterranean region”, *Desalination*, **220**, 422 (2008).
8. 박광규, “담수화 기술의 현황 및 기술개발 동향”, *물과 미래*, **41(6)**, 23 (2008)
9. A. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, and J.-M. Wie, “Advances in seawater desalination technologies”, *Desalination*, **221**, 47 (2008).
10. 박태진, “원자료가 바닷물 마시게 해준다고?”, KISTI 과학향기 SCI-FOCUS, 제1128호 (2010).
11. S. Nisan and N. Benzarti, “A comprehensive economic evaluation of integrated desalination system using fossil fuelled and nuclear energies and including their environmental costs”, *Desalination*, **229**, 125 (2008).
12. A. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, and J.-M. Wie, “Advances in seawater desalination technologies”, *Desalination*, **221**, 47 (2008).
13. Springer Verlag, “Membrane Technology in Water and Wastewater Treatment”, Hillis, P. (2007).
14. “Water for People, Water for Life”, The United Nations World Water Development Report (2003).
15. <http://www.roplant.org/wconversion/fresh.htm>, August 01 (2010).

16. 홍대석, “해수담수와 공정의 비교 및 에너지 저감화”, *설비저널*, **37(1)**, 45 (2008).
17. “Method and Apparatus for Desalination”, SIEMENS Water Technologies Corp., WP2008036163, pp. 1 ~31 (2008).
18. A. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, and J.-M. Wie, “Advances in seawater desalination technologies”, *Desalination*, **221**, 47 (2008).
19. 정만대, “고기능 환경설비 분야의 2020 비전과 전략”, 산업연구원 (2007).
20. “2006 세계 물산업 동향과 시사점”, 한국수자원공사 (2006).
21. C. W. Kim, “Current status of seawater desalination industry in the world”, Green Korea, September (2009).
22. “Global forecast and analysis”, Desalination Markets, Global Water Intelligence (2008).
23. “플랜트 수출확대 및 경쟁력 제고방안”, 지식경제부 등 관계부처합동 (2009).
24. “Eco-Ener 플랜트 경쟁력 확보사업 예비타당성조사 보고서”, 한국과학기술기획평가원 (2010).
25. “수처리 기술 변화가 물산업 판도 바꾼다”, LG 경제포커스, 4월 5일 (2010).
26. “대기업 앞다퉀 물산업 뛰어든 까닭은”, 매일경제, 4월 25일 (2010).
27. “물산업 멤브레인”, 매일경제, 8월 18일 (2010).
28. “해외건설 현황 및 활성화 방안”, 국토해양부 등 관계부처합동, 1월 15일 (2010).
29. “수처리 기술의 진화와 시사점”, SERI 경제포커스, **213** (2008).
30. “세계 물산업 동향과 시사점”, 2006 Waterforum, 한국수자원공사 (2006).
31. 차원민, “지중해 지역의 재생에너지로 가동되는 독립형 담수화장치에 관한 EU의 정책 평가”, 한국과학기술정보연구원 (2008).
32. 박상진, “자연에너지를 이용한 담수화기술”, *기계와 재료*, **13(4)** (2001).
33. 차종희, “해수담수화기술의 최근 동향”, 한국과학기술정보연구원 (2008).
34. 강창무, “화석연료와 원자력의 해수담수생산 경제성 평가”, 한국과학기술정보연구원 (2008).
35. 김종명, “담수화의 방법과 장치”, 한국과학기술정보연구원 (2008).
36. US Department of Energy, Goldman Sachs (2007).
37. 제17회 한국막학회 하계 Workshop, 한국막학회 (2009).
38. 이은창, 정귀수, 안혜영, “플랜트산업 전망과 국내 플랜트 기자재업체의 경쟁력 분석”, 하나금융경영연구소 산업연구시리즈, **29**, 9월 29일 (2008).
39. 유재영, “고기능성 분리막의 기술로드맵” IOD Report, 7-0001, 한국과학기술정보연구원 (2005).
40. 장현숙, “블루골드 물산업, 유망사업 분야 및 진출 전략”, Trade Focus, 한국무역협회 (2010).
41. 박해선, “최근 해외건설 · 플랜트시장 구조 및 우리 기업의 경쟁력 비교 분석”, 수은해외경제 (2006).
42. 한국플랜트학회, “플랜트 엔지니어링 중장기 기술 개발 로드맵”, 지식경제부 (2005).
43. T. Y. Cath, A. E. Childress, and M. Elimelech. “Forward Osmosis : Principles, applications, and recent developments”, *J. Membr. Sci.*, **281(1)**, 70 (2006).