



해수담수화 시장의 전망(정삼투-역삼투 융합기술 측면에서)

The Outlook for Forward Osmosis-Reverse Osmosis (FO-RO) Hybrid Desalination Market

김자겸¹·한지희²·손진식^{2*}·김승현³

Jakyum Kim¹·Jihee Han²·Jinsik Sohn^{2*}·Seung-Hyun Kim³

¹주유신, ²국민대학교 건설시스템공학부, ³경남대학교 토목공학과

¹Yooshin Engineering Corporation, ²Department of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University

³Department of Civil Engineering, Kyungnam University

ABSTRACT

Seawater desalination market after global economic crisis has been stalled due to the market uncertainties and decreased demand in desalination. It is important to review the status of the market and to estimate the appropriate share of Forward osmosis-Reverse Osmosis (FO-RO) hybrid desalination technology by figuring out the outlook of the desalination market. Main part of the desalination market will still be MENA (Middle East and North Africa) in the near future due to the fast population increase and high dependency of fossil fuel in the region. The market for FO-RO hybrid technology, however, might be smaller than the conventional SWRO desalination market anyway because of aesthetic issues from using wastewater as raw water and higher costs associated with capex. Therefore, it is essential to improve FO membrane performance and system operation technologies in order to make the hybrid technology attractive compared to the conventional SWRO technology.

Key words: Forward, Osmosis, Desalination, Hybrid, MENA

주제어: 정삼투, 담수화, 융합기술, MENA

1. 서 론

해수담수화는 무한한 수자원인 바닷물을 이용하며 기후변화에 의한 영향을 받지 않는 안정적인 물 공급 방안으로 부각되고 있다. 해수담수화 기술은 크게 증발법과 막 분리법이 주로 사용되고 있다. 1990년대까지는 증발법이 해수담수화 시장의 대부분을 차지하였으나, 2000년 이후 에너지 요구량이 적고 대용량 운전이 쉬우며 지역적 제한이 적은 역삼투(Reverse osmosis; RO)

기술을 중심으로 한 막분리 해수담수화 기술에 대한 수요가 크게 증가하고 있다.

역삼투 공정은 현재 해수담수화의 시장 지배적 기술의 위치를 차지하고 있으나, 기술개발 측면에서 보면 기술적 한계에 도달하고 있어 신개념 대안기술의 개발과 도입이 필요한 실정이다. 역삼투 공정에서의 에너지 절감 기술은 성숙기에 들어가 기존의 방식으로는 더 이상의 감소를 기대하기는 어려워 새로운 기술을 통한 저에너지 해수담수화 시스템의 필요성이 대두되고 있다.

정삼투(Forward osmosis; FO) 기술은 높은 압력으로 물과 염을 분리하는 역삼투 기술과는 달리 화학적인

Received 10 August 2016, revised 30 August 2016, accepted 31 August 2016

*Corresponding author: Jinsik Sohn (E-mail: jinsiksohn@kookmin.ac.kr)

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

에너지인 삼투압을 이용하여 담수화를 할 수 있는 미래의 기술이다. 정삼투를 이용한 담수화 공정은 낮은 에너지 요구량 및 운영의 편의성 등 다양한 장점에도 불구하고 사용되는 막의 제한적인 성능, 모듈의 대형화 미비, 비경제적인 유도용액 분리공정 등의 한계로 인하여 현장에서 사용 가능한 경제적으로 실용적인 기술이 개발되지는 않았다.

정삼투·역삼투 융합 기술(이하 하이브리드 기술)은 저염도의 하수처리수에서 뽑아 낸 담수로 해수(유도용액)를 희석시킨 후, 희석된 해수를 역삼투 공정을 통해 다시 처리하는 공정이다. 이 때 가해지는 압력은 기존의 역삼투 공정에서 요구되는 압력보다 훨씬 낮아진다. 하이브리드 기술은 역삼투 방식을 통한 담수화보다 상대적으로 낮은 에너지로 담수를 생산할 수 있으며, 삼투막으로 다중 여과하여 안정성 증대를 기대할 수 있다.

본 논문에서는 하이브리드 기술을 적용할 수 있는 시장과 예상되는 파급효과를 파악하기 위해서 대상이 되는 시장의 현황과 전망에 대하여 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 대상 시장 및 범위

2.1.1 방법 일반

하이브리드 기술이 적용될 대상 시장의 정확한 현황과 전망을 도출하기 위해서 가장 먼저 다루어야 할 사항은 이 기술의 특징과 위상이다. 하이브리드 기술이 어떤 속성을 가지고 있는지, 그리고 이 기술이 단독적으로 적용이 가능한 기술인지 아니면 특정한 조건에 종속되는 기술인지 여부를 먼저 판단해야 한다.

하이브리드 기술의 주요한 특징은 해수담수화 기술에서 파생되었기 때문에 해수담수화 기술과 공정 및 사업 전개에 대한 프레임을 공유한다. 또한 상대적으로 에너지가 많이 소요되고 비싼 기술이기 때문에 적용할 수 있는 범위가 제한적일 수밖에 없다. 또 다른 특성은 해수와 함께 하수처리수를 원수로 사용한다는 사실이다. 하수처리수는 다른 종류의 원수와는 달리 수요자로 하여금 심미적인 거부감을 주는 경우가 많고, 지역에 따라 정도의 차이가 심하게 발생할 수도 있다. 그러므로 상대적으로 비싸다는 경제적인 요소 이외에도 심미적인 측면으로 인하여 용도에 제한적일 수밖에 없는 특성을 가지고 있다.

위의 제한적인 여건을 감안한다면 하이브리드 기술이 적용될 수 있는 시장은 기본적으로 해수담수화 시장이고, 하수처리수 활용으로 인하여 그 시장의 일부분을 차지할 것으로 판단된다. 따라서 이 논문에서 다루는 대상 시장의 현황과 예상은 해수담수화 시장에 대한 현황과 전망을 기본으로 한다. 또한 심미적인 요인으로 인하여 적용할 분야는 주어진 여건에 따라 다를 수 있다는 것이다. 그러므로 하이브리드 기술은 적용되는 시기나 범위도 해수담수화 시장에 가지는 일반적인 특징인 부족한 수자원, 인구의 변화, 원유를 포함한 에너지 가격의 변화에 따라 달라질 수 있다는 가정 하에서 출발한다.

해수담수화 시장의 현황과 전망이 도출되면, 하이브리드 시장의 대상이나 규모는 경제적인 여건과 인문·사회학적 여건 등 제한적인 여건과 기존 시설의 대체에 따르는 기간을 감안하여 단계적으로 적용이 확대되는 패턴을 따를 것으로 판단된다. 따라서 확대 보급 속도는 인구의 변화와 글로벌 경제 상황의 변화에 따라 다르게 나타날 것으로 예상된다.

2.1.2 시장의 범위

해수담수화 시설이 적용 가능한 부문과 조건 중에서 가장 필수적 조건은 수자원 수급상황이다. 해수담수화 시설이 도입되기 위해서는 물이 부족하여야 한다. 물이 부족하다는 말은 강수량이 많은가 혹은 적은가가 아니라, 필요한 양에 비하여 공급되는 양이 충분인가 하는 상대적인 의미이다. 예를 들면, 싱가포르의 연평균 강수량이 2,497mm(World Bank, 2015a)로 다른 어느 나라보다도 비가 많이 오지만 면적에 비하여 인구가 많고(550만명, World Bank, 2015b) 공업용수도 많이 필요하다. 이에 비해 좁은 면적으로 인해 확보 가능한 물이 턱없이 부족하기 때문에 부족한 수자원을 해수담수화와 하수재이용로 확보해야 한다. 반면, 사우디아라비아는 면적은 넓지만 사막 지역이기 때문에 연평균 강수량이 59mm(World Bank, 2015a)에 불과하여 자체적인 강우로는 3,160만 명에 달하는 많은 인구(World Bank, 2015b)에 필요한 생활용수와 공업용수 수요를 충족할 수 없어 해수담수화를 적극적으로 활용하는 실정이다. 따라서 특정한 지역을 떠나 수자원 수급상황이 어려운 지역을 우선적으로 검토하여야 한다.

두 번째는 물이 부족해도 비싼 물 값을 감당할 수 있는 경제력을 지녀야 시설의 설치와 운영이 가능하



다. 중동지역의 예멘은 전형적인 사막지역 기후를 나타내며, 연평균 강수량이 167mm(World Bank, 2015a)로서 물이 매우 부족한 나라이지만, 일인당 GDP가 \$1,408에 불과한(World Bank, 2015c) 가난한 나라이기 때문에 인구 2,670만 명의 인구대국임에도 불구하고 전체 해수담수화 시설의 규모는 58,000 m³/day에 지나지 않는다(Ali and Saleh, 2010). 따라서 예멘과 같은 나라에서는 비싼 해수담수화 시설을 설치하기도 어려울뿐더러 높은 에너지 비용 때문에 유지관리하기도 쉽지 않다.

세 번째는 수질적인 측면을 고려한 용도이다. 하이브리드 기술은 정삼투와 역삼투 기술의 조합이므로 일반적 해수담수화 기술보다도 생산수 수질이 좋다(Cath et al., 2010). 따라서 이런 좋은 수질을 필요로 하고 가격을 감당할 수 있는 산업용수 부문에 대한 수요 판단도 필요하다. 하지만 산업용수 수요를 판단할 때도 유의할 점은, 해수를 원수로 사용하기 때문에 담수를 원수로 사용하는 조건에 비하여 비경제적이라는 사실이다. 따라서 앞서와 같이 지역적 제한 조건을 검토하여야 한다.

산업용수로서의 하이브리드 생산수의 조건은 우선 물이 필요한 공장이나 시설이 위치한 업종, 지역(그 중에서도 물이 부족한 지역) 등이 검토 조건이 될 수 있다. 이런 조건에 맞는 업종은 중동과 북아프리카(Middle East and North Africa; MENA)지역의 공업단지 및 남미와 호주 지역의 광산업종이 대상이 될 수 있다. MENA지역은 업종을 떠나 전반적으로 물이 부족한 지역이므로 경제 발전과 함께 해수담수화에 대한 가능성이 높은 지역이다. 그리고 남미와 호주 지역은 구리와 니켈 등 원자재가 풍부한 지역이지만 물이 부족하여 생산이 제한된 지역이니 만큼, 앞으로도 해수담수화 시설이 추가적으로 필요한 지역이다.

중남미 지역에서 부족한 광산용수로 인한 해수담수화 시장의 규모는 5년(2014-2018년)에 걸쳐 \$1,749백만 정도의 수요가 발생할 것으로 예상된다(GWI, 2014b). 특히 칠레에서는 2014년부터 12,860 m³/day 이상 사용하는 광산에서는 해수담수화공정을 필수적으로 포함하도록 제한하고 있어(Weekly news: GWI, 2014), 부족해지는 지하수로 인하여 해수담수화에 대한 의존은 커질 것으로 보고 있다.

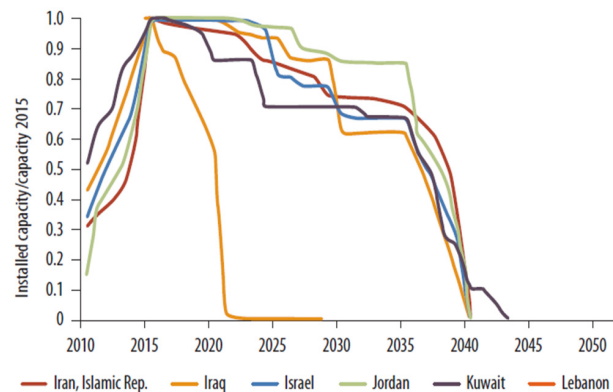
따라서 대상이 되는 시장은 해수담수화 시설에 대한 수요가 가장 활발할 것으로 예상되는 MENA 지역과 광산용수 시장을 대상으로 분석하였다.

2.2 실용화 시기

하이브리드 기술의 실용화 시기 선정은 기술의 경제성 여부에 매우 중요한 요소이다. 신기술은 기술 자체로도 보다 나은 효율성을 제공하여야 하지만, 대부분 기존 기술을 대체하는 특성 때문에 기존 기술의 효용가치가 신기술에 비하여 떨어지는 시점도 검토하여야 한다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 MENA지역의 해수담수화 시설은 대부분 2035년이 지나야 대체 시기가 도래하고 교체에 대한 수요가 발생한다. 따라서 대체 기술의 효율성에 따라 다르겠지만, 일반적인 조건에서는 아직 효용가치가 남아있는 설비를 폐기하고 신기술로 대체하기는 어려울 것으로 판단된다.

또한 기술이 실용화 가능한 시기는 물산업 시장의 특성을 고려하여야 한다. 일반적으로 물산업에서 신기술이 시장에 적용되는 기간은 수도산업이 민영화된 영국의 경우 평균 7년이 소요되고, 그 외 대부분의 국가에서는 10년이 소요된다는 점을 감안하여야 한다(GWI, 2008). 팔라도 2025년 이전에는 실용화가 어렵다고 보이며, 보수적인 물산업 시장 특성을 감안하면 2030년도 그리 보수적인 예측은 아닐 것으로 판단된다.

하지만 해수담수화시장 수요에 대한 예측자료가 2025년 이후는 많지 않고 앞으로 시간이 지날수록 주변기술의 빠른 발전으로 인하여 과거와 같은 실용화 기간을 적용하는 것은 적절하지 못하다고 판단되기 때문에 우선은 2025년부터 산업용수 시장 실용화를 목표로 한다는 점을 기반으로 하였다.



Source: Fichtner and DLR 2011 based on GWI/DesalData

Note: Existing and planned desalination capacity operational in 2015 is represented by 1.0. Decommissioning after 2015 reduces operational capacity. Gaps between curves and 1.0 represent need for new replacement capacity.

Fig. 1. Typical desalination plant life curve in MENA, 2010-2050 (The World Bank, 2012)

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

2.3 시장 영향 요소

실제로 통계에 의하면 해수담수화 시장에 영향을 주는 요소는 부동산주택경기(31%), 유가(25%), 전력생산(20%), 금속가격(구리와 철광석, 18%), 관광(6%) 등의 순이다(GWI, 2013b). 본 논문에서는 이 중에서 가장 중요한 요소인 부동산/주택경기 항목과 유가 및 전력생산에 대하여 검토하였다. 부동산/주택경기는 인구 변화의 결과이고, 유가와 전력생산은 에너지와 깊은 관계를 가지기 때문에 본 논문에서는 효과적인 전망을 위하여 인구와 에너지를 주요 영향 요소로 취급하였다. 특히 MENA 시장에서 하이브리드 기술에 영향을 주는 또 다른 요소는 하수처리수에 대한 인식이다. 이에 대한 영향도 검토하였다.

2.3.1 인구

기본적으로 본 논문에서는 해수담수화 시설의 수요가 인구증가와 함께 지속적으로 발생한다는 원칙에 근거를 두었다. 세계 인구는 2011년 말에 70억 명에 도달했으며 2030년에는 85억 명, 2050년에는 97억 명에 달할 것으로 예측된다(UN, 2015). 또한 신흥국의 경제발전과 더불어 급속하게 진행되는 도시화로 세계 GDP 증가분의 2/3을 600개의 도시가 담당하고, 그 중 423개는 신흥국에서 발생하기 때문에 인구증가와 경제발전이 빠른 속도로 진행되는 지역에서는 전통적인 담수에 의한 용수공급은 점차 힘들어지고 그 차이를 해수담수화가 상당부분 맡게 될 것으로 예측된다(Dobbs, et al., 2012).

MENA지역 중 해수담수화시설에 대한 투자가 가장 활발한 지역인 Gulf Coast Countries(GCC) 지역에서는 1970년대 이후에 대부분의 물량이 발주되었고 이는 지역의 인구 급증과 긴밀한 관계를 나타냈다. GCC 지역에서 가장 인구가 많은 사우디아라비아와 아랍에미레이트연방(UAE)의 경우를 보면, 두 나라 모두 1970년대 이후 인구의 급증하였고 이에 대한 수자원공급 인프라로서 해수담수화 시설의 급격한 증가가 나타난다(Hashemi, et al., 2014).

이런 경향은 GCC국가에서 해수담수화 시설이 수자원 인프라로서 중요한 측면을 고려할 때, 앞으로 해수담수화 시설의 증가는 인구증가에 수반하는 결과라는 것을 예측가능하게 한다. UN 인구 예측결과에 따르면 이 지역은 2050년에는 현재(2010년)에 비하여 약 60%

인구 증가를 나타낼 것으로 예측된다(UN, 2015). 따라서 이 지역에서 해수담수화에 대한 수요는 추가로 발생할 것으로 예측된다.

2.3.2 에너지

역삼투 공정은 관련설비로 인한 다량의 에너지와 숙련된 운영기술이 필요하다. 따라서 인근에 에너지원이 없거나 부족한 지역에서 담수화설비를 건설하려면 추가적인 부담을 져야 한다. 또한 에너지의 효율적 사용을 위해 상당 수준의 운영기술이 필요하기 때문에 운전경험이 많은 사업자가 필요하다. 이러한 특성으로 인해 해수담수화 기술은 개발도상국보다는 선진국이나 고부가가치가 발생하는 산업에 적합한 용수공급 기술이다. 기술 적용 대상지는 앞의 특성과 마찬가지로 선진국, 물이 부족한 산유국, 신흥국이 주요 시장으로 판단된다. 이에 따라 물이 부족하고 에너지가 풍부한 MENA 지역이 해수담수화에 대한 가능성이 가장 클 것으로 예상된다.

또한 유가가 올라가면 상당부분의 산유국이 있는 MENA 지역에서는 용수 수요가 증가한다. 석유개발과 시추에 따른 수요, 정유시설 건설 및 운영에 따른 수요, 그리고 부가 물리는 중동지역으로 인구가 유입됨으로 인하여 도시화에 따른 수요가 증가하기 때문이다. MENA 지역에서는 에너지 생산이 꾸준히 유지될 것으로 전망되기 때문에 인구의 증가와 함께 용수 수요의 증가가 예상된다(BP, 2015).

2.3.3 원자재

원자재 중에서도 금속가격의 상승은 해수담수화 시설의 증가와 방향을 같이한다. 호주와 칠레, 페루에서와 같이 광산용수가 부족한 지역에서는 구리나 철광석의 수요증가가 담수화시설의 증설을 발생시킨다. 또한 금속가격이 상승하는 이유는 주로 공급보다 수요가 늘어나는 것이 원인이며, 수요가 증가하는 것은 대부분 경제호황에 의한 것이기 때문에 글로벌 경제가 활성화된다는 의미를 가지고 있다. 호황에 따른 금속수요의 증가는 이의 생산을 늘리기 위한 해수담수화 시설의 발주로 이어지는 정(正)의 관계를 가진다.

이와 같이 해수담수화시장은 글로벌 경제사정에 매우 민감하게 반응하기 때문에 예측이 매우 어려운 시



장이다. 과거 2007년 글로벌 금융위기 이전에는 모든 수요가 증가하다고만 가정하여 규모의 경제 원리에 따라 많은 기반시설의 건설이 이어졌지만, 금융위기 이후에는 저성장, 저소득, 저금리로 대표되는 뉴노멀의 대두로 글로벌 경제는 과거와는 판이하게 다른 양상을 보이고 있다. 더구나 최근의 유로사태나 지정학적 불안정성은 글로벌 경기를 더욱 예측하기 힘들게 하고 있다.

2.3.4 재이용에 대한 태도

MENA 지역의 수자원 공급상의 문제점은 다음과 같다. 첫 번째는 고갈되는 지하수로서 과도한 지하수 사용으로 인하여 지하수가 빠른 속도로 고갈되고 있다는 사실이다. 이런 상태로 2050년에 도달하면 지하수위는 현재보다 낮아지고 염수화로 인하여 더 이상 경제적으로는 사용할 수 없는 상태로 다다를 것이다. 두 번째는 비효율적인 수자원의 배분의 문제이다. UAE에서는 농업생산액이 GDP의 8%에 불과하지만 수자원은 전체의 80%를 사용하고 있어 가장 생산성이 낮은 부문에서 가장 많은 양의 귀한 물을 사용하고 있는 실정이다(EIU, 2010). 세 번째는 절수에 역행하는 정부의 보조금제도이다. 각 나라에 따라 다르지만 보조금은 최소 물 값의 30%를 넘어서고 있고 심한 경우에는 100%에 이르고 있어 물의 소중함을 느낄 수 없는 상태이다(Saif, 2012). 따라서 물을 아끼는 자세나 태도가 부족하여 물을 낭비하고 있는 실정이다. 네 번째는 높은 누수율이다. 지역에 따라 다르지만 대부분 오래된 도시는 누수율이 40%에 달하고 있어 많은 비용과 에너지를 들여 생산한 물을 아무런 대책 없이 땅속으로 흘러보내고 있는 실정이다(Saif, 2012). 다섯 번째는 하수재이용에 대한 부정적 시각이다. 낙후된 기술적 문제가 종교적인 상태와 맞물려 하수재이용에 대한 불신으로 이어지고 있다.

Alhumoud과 Madzikanda(2010)는 MENA 지역의 대표적인 국가인 쿠웨이트에서 2,000명의 주민에게 재이용에 대한 인식을 조사하였다(응답률 77%). 1,540명의 응답자 중 재이용수의 음용에 반대하는 사람은 78%이고, 단지 17%만이 음용을 고려해 보겠다고 답변하였다. 사람이 직접 먹거나 접촉하는 용도(조리, 샤워 등)로는 대부분 사람들이 반대를 하고 있지만, 접촉 가능성이 낮고 저급한 용도(농업용수, 세차 등)에 사용하는 경우에는 찬성 비율이 높게 나타났다. 재이용

수에 대한 반대이유로서 가장 큰 사유는 건강상 좋지 않을 것 같다는 것이었고, 두 번째는 심리적인 이유가 차지했다. 원수가 하수처리수이니까 더러울 것이라는 생각에서 비롯된 것으로서 가장 보편적인 이유이다. 이러한 이유로 대부분의 MENA 국가에서는 채소와 같이 직접 식용하는 작물에는 재이용수의 사용이 금지되어 있다. 세 번째는 기술적 처리능력에 대한 불신(기술적인 불신과 시설에서 일하는 기술자에 대한 불신을 포함)이었다. MENA지역에서도 소득수준이 상위에 속하는 쿠웨이트에서도 기술적 수준에 대한 불신이 이렇게 높다면 다른 지역은 기술적 처리수준에 대한 불신이 훨씬 더 높을 것으로 추론된다.

그 다음은 종교적 이유인데 사우디 같은 경우에는 목욕과 음용수에 대하여 CLIS(Council of Leading Islamic Scholars)에서 관장한다. 즉, 재이용수를 목욕용도로 사용하려면 이슬람 학자로 구성된 기관의 허가를 받아야 하는 것이다. 전통적으로 종교분야가 보수적인 것을 감안하면, MENA 지역에서 재이용수를 음용이나 목욕용수로 허가 받는 것을 상당히 어렵다는 것을 시사한다.

그러나 MENA 지역의 인구가 폭발적으로 증가하고 글로벌 에너지 공급원의 다변화와 점차 소진되는 석유 부존량으로 인하여 에너지 판매수익의 정체된다면, 제한된 재원으로 늘어나는 인구를 감당하기 위해서는 하수재이용수의 증가와 함께 고급의 수질을 보이는 하이브리드수의 용도가 보다 확대될 것으로 예상할 수 있다.

2.4 조사 방법

전체 해수담수화 시장의 지금까지의 경향을 검토하고, 현재의 글로벌 경제상황을 기초로 한 앞으로 10년 동안의 인구증가와 경제발전속도를 감안하여 미래 성장률이 어느 정도가 될 것인지를 예측하였다. 해수담수화 발주가 과거에 어떤 경향을 보였는지, 해수담수화 사업에 영향을 미치는 현재의 글로벌 경제상황은 어떠한지, 그리고 미래의 경제상황 전개 방향을 중요하게 고려하였다.

조사에 있어서 가장 우선되어야 할 사항은 정확한 자료를 확보하는 일이다. GWI(Global Water Intelligence)와 Visiongain 및 The World Bank 등 전문기관의 자료를 확보한 다음 시기별로 분류하였다. 2008년 글로벌 금융위기 이후 2014년까지는 장기적인 예측이 매년 발

pp. 481-489
pp. 491-500
pp. 501-509
pp. 511-519
pp. 521-532
pp. 533-543
pp. 545-551
pp. 553-559
pp. 561-569
pp. 571-577
pp. 579-586
pp. 587-596
pp. 597-604
pp. 605-612

표될 때마다 희망적인 예측을 내 놓았지만 그 다음 해에는 전년의 전망이 틀렸다는 시행착오가 있었다. 따라서 최근의 자료를 우선적으로 반영하였으며, 과거의 자료는 과거의 실적과 전체적인 경향을 파악하는데 참고 자료로 활용하였다.

확보한 자료가 서로 상충되는 경우에는 제3의 자료를 통하여 어느 자료를 선택할지를 결정하였다. 하지만 선택한 자료나 배제된 자료나 각자의 서로 다른 기준과 근거를 가진 예측자료이기 때문에 무엇이 맞고 틀린 것이 아니라, 하이브리드 기술의 실용화를 위한 대상지역 검토에 있어 논리적인 일관성과 예측 방법 및 기준의 일관성을 가질 수 있는지를 가장 중요한 기준으로 삼았다.

2.4.1 기존 자료의 예측 방법

(1) Desalination forecast methodology (GWI, 2015)

GWI는 과거 실적을 바탕으로 미래 수요를 전망하는 방법을 사용한다. 과거 실적은 IDA와 구축한 Worldwide Desalting Plant Inventory를 통하여 전 세계 500 m³/day 이상의 담수화 시설의 정보를 확보하고 있으며, 앞으로 발주될 300개가 넘는 시설(전체 규모 34 million m³/day)에 대한 정보를 GWI Desalination Tracker를 통해 보유하고 있다.

시장 전망은 이제까지의 담수화시설에 대한 실적(규모, 원수종류, 담수기술) 및 지역적인 변수(인건비, 인허가비용, 인입구와 배출구에 대한 환경비용 등)을 바탕으로 구축한 DesalData 비용산정시스템을 규모에 따라 다르게 적용하여 산정하고 있다. 그리고 최근에는 건설기간에 따른 비용변동 요인을 추가하여 투입되는 자본비용이 적절하게 배분되어 보다 정확한 전망이 이루어지도록 시스템을 구축하였다.

본 논문에서는 2011-2015년의 실적은 26th & 27th GWI/IDA Worldwide Desalting Plant Inventory를 검토하였고, 최근의 실적은 Desalination Markets 2016과 28th GWI/IDA Worldwide Desalting Plant Inventory를 기반으로 작성한 IDA Desalination Yearbook 2015-2016를 기반으로 검토하였다.

(2) Visiongain (Visiongain, 2014)

Visiongain은 시장이 2014년부터 점진적으로 회복되는 것으로 판단하였다. 대부분의 방향과 자료를 Biwater와 별도의 Consulting company의 의견을 상당 부분 따

른 것으로 보인다. 따라서 장기간에 걸쳐 방대한 실적을 관리한 GWI의 DesalData의 품질을 넘어서기는 어려울 것으로 판단되나, 담수화에 대한 또 하나의 시각으로 볼 수 있기 때문에 참조용으로 활용하였다.

3. 결과 분석

3.1 하이브리드 기술 적용 시장 규모 산정

3.1.1 RO 담수화 시장

하이브리드 기술이 적용되는 시장은 기술의 특성상 담수화 공정 중에서도 역삼투공정을 주공정으로 하는 시장이다. 하지만 담수화 시장도 원수 구분에 따라 Table 1과 같이 해수, 기수, 하천수, 하수, 초순수로 나누어져 있다. 이 중에서 해수가 59%로서 가장 큰 부분을 차지하고 있다. 하이브리드 기술은 전적으로 해수를 유도용액(Draw Solution)으로 사용하는 공정이므로 대상 시장은 전체 담수시장의 약 59%가 해당된다고 할 수 있다.

해수를 담수화 시장에서도 많은 기술들이 각각 다른 지분을 차지하고 있다. 2004-2014년에 조사된 결과에 의하면 Table 2에서 보는 바와 같이 역삼투 막기술을 적용한 비율은 73.7%에 해당한다. 하지만 Fig. 2에서 보는 바와 같이 2007년 이후 막기술의 적용 비율은 점차 늘어났으며(GWI, 2010), 막기술의 시장점유율은 앞으로도 계속 증가하여 2025년 이후에는 막기술의 시장점유율이 최소 75% 이상이 될 것으로 예측된다. 하지만 현재의 불확실한 경제상황을 감안하여 보수적으로 접근하여, 2025-2030년 시기의 RO막이 차지하는 시장점유율을 75%로 가정하였다.

Table 1. Online capacity ratio by feedwater type (GWI and IDA, 2015)

Feedwater	Seawater	Brackish water	River	Waste water	UPW
Percentage (%)	59	22	9	6	4

Table 2. Global contracted capacity by technology, 2004-2014 (GWI, 2015)

Technology	RO	MSF	MED	EDI/ED	NF/SR	Other
Percentage (%)	73.7	11.1	8	1.6	4.7	0.9

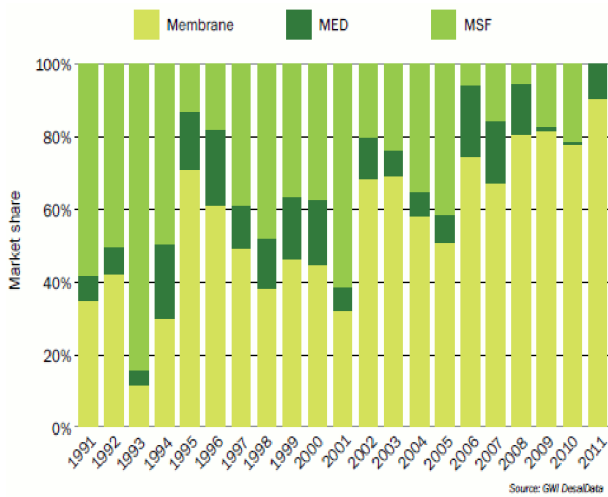


Fig. 2. Market share of seawater desalination technologies (GWI, 2010)

3.1.2 하수처리수 재이용

다음으로 검토해야 하는 전제조건은 하수처리수의 가용 여부이다. 해수를 원수로 하고 RO공정을 주 공정인 해수담수화시설은 당연히 해안에 위치한 도시나 산업단지이다. 따라서 물을 사용하는 수요자가 발생시키는 하수나 폐수는 반드시 존재한다. 하지만 하이브리드 기술의 유도용액으로 사용되는 하수는 TDS 400 mg/L 정도로서 2차나 3차 처리수질에 해당되므로 TDS 농도가 높은 공장폐수는 배제하였다. 또한 담수화된 용수가 필요한 도시와 담수화시설간 거리가 있는 경우 적절한 수질의 하수를 경제적으로 끌어올 수 없기 때문에 해당되는 비율이 줄어든다.

3.1.3 용도별 수요 예측

처리된 담수의 용도를 생활용수와 산업용수로 나누어 검토하였다. 생활용수의 경우 전제조건은 해안에 위치하여야 한다는 점과 동시에 도시 하류지역에 위치하고 있는 하수처리시설이다. 산업용수의 경우에는 고품질의 용수를 필요로 하는 업종으로 제한되고, 사용되는 하수처리수의 TDS가 적정 범위에 있어야 한다는 조건이 맞아야 한다. GWI(2014b)에 따르면 담수화 시설에서 생활용수와 산업용수의 비율은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 약 50:50이다. 2013년까지 과거의 실적도 두 부분이 비슷하게 나타났고, 전망도 비슷한 정도로 예상된다. 따라서 2025-2030년에도 산업용수 Capex 시장은 전체 담수화 시장의 약 50%를 점유한다고

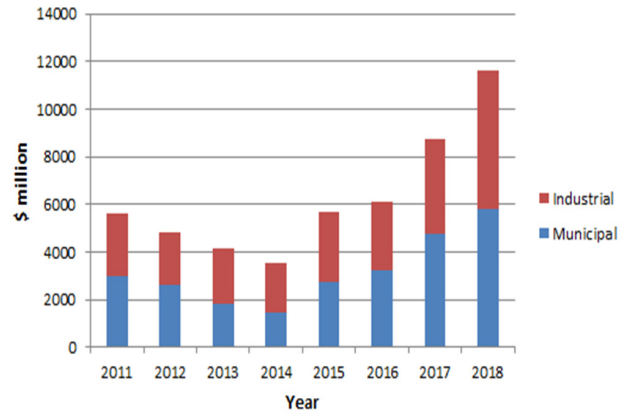


Fig. 3. Global desalination market, 2011-2018 (GWI, 2014b)

가정하고, 이 부분에서 하수처리수를 경제적으로 사용할 수 있는 시장은 고품질 용수에 대한 과거의 수요(GWI, 2014b)를 고려하면 19% 정도로 판단된다. 결과적으로 산업용수 시장에서 하이브리드 기술이 적용 가능한 시장은 전체 담수화 시장의 약 9% 정도이다.

생활용수에 대한 적용성은 산업용수와는 다른 양상으로 나타날 것으로 보인다. 앞으로 10년 후 신규 발주되는 해수담수화 시설은 인구의 증가로 인하여 물이 부족한 도시에서 발생될 것이기 때문에 대부분 시설이 위치할 도시에서는 하수가 발생할 것이다. 앞에서 말한 바와 같이 해수를 원수로 사용하는 비율은 59%이고, 2050년에 도시에 거주하는 인구가 전체인구의 66%에 달하기 때문에(UN, 2014), 전 세계인구의 39%는 하이브리드 시설이 설치 가능한 지역에 살고 있다는 말이다. 다만 하수처리수의 양과 질이 하이브리드 기술 적용이 가능할 정도로 적당한가, 그리고 경제적으로 끌어올 수 있는 위치에 있는가는 검토되어야 한다. 그리고 물이 부족함에도 불구하고 고도로 처리된 하수처리수를 생활용수에 사용하는 것이 얼마나 심미적으로 수용될 수 있는지 여부가 관건이다. 따라서 적용 가능한 지역은 기존 인프라가 충분히 갖추어진 상태에서 여분의 하수가 가용한 지역만 해당된다고 볼 수 있다. 따라서 경제적 하수처리수가 가용한 지역을 50% 정도로 보고, 그 중에서도 RO 기술이 적용된 비율을 감안한다면 신규 생활용수 수요에서 하이브리드 기술의 적용이 가능한 시장은 약 7%(59% × 75% × 50%)로 볼 수 있다.

전체적으로 기술 적용이 가능한 시장은 산업용수 부문에서의 9%와 생활용수 부문에서 7%의 합인 16%가 대상이라고 볼 수 있다.

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

pp. 571-577

pp. 579-586

pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612

3.2 담수화 시장의 장기 수요 예측

3.2.1 수요 예측 영향 요소

해수담수화 시장의 예측은 수요가 언제 어디서 발생하는지를 예측하는 것이다. 해수담수에 대한 수요는 제한적이다. 그 이유는 고가의 시설투자비와 많은 에너지사용에 따른 고가의 운영비 때문이다. 또한 규모의 경제효과를 최대한 활용하여야하기 때문에 사용하는 인구가 밀집된 도시나 고부가가치를 창출할 수 있는 산업에 제한될 수밖에 없다. 따라서 해수담수화 사업을 감당할 수 있는 주체는 선진국, 물이 부족한 산유국, 물이 부족한 자원부국, 빠른 경제발전이 가능한 신흥국, 그리고 고부가가치 산업 등 이다.

제한된 용도와 비싼 비용은 수요예측에 있어서 자체의 수요뿐만 아니라 글로벌 경제의 변화에 상당한 영향을 받는다. 수요에 영향을 주는 요소는 인구, 소득, 기후, 유가, 원자재 가격, 신흥국 성장률, 글로벌 경기 등이다. 미래 수요 예측은 앞에서 거론한 영향요소를 감안하여 거시적인 측면에서 전체 시장에 대한 수요를 예측하고, 해수담수화 사업의 발주가 가능한 지역을 중심으로 지역이나 국가에 대한 수요를 예측한다.

3.2.2 거시적 수요 예측

거시적 측면에서 전체 시장에 대한 예측은 과거와 현재 상황을 근거로 하여 시작한다. 해수담수화에 대한 수요는 갑자기 생겨나는 것이 아니라 이제까지 해수담수화가 필요했던 지역에서 수요가 발생하는 것이 대부분이며, 추가적인 수요는 경제적인 발전에 의해 신규투자가 가능한 지역이나 국가에서 발생하는 것이 일반적이다. 따라서 신규 수요는 과거와 현재를 바탕으로 미래에 대한 수요가 어느 정도로 나타날 것인가를 가늠하는 것이 중요하다. 신규 수요에 대한 성장률은 장기적으로 성장하는 시장에 대하여 평균적으로 매년 얼마나 성장할 것인지 보여주는 연평균 성장률(Compound average growth rate: CAGR)을 지표로 하였다.

현재까지 해수담수화 수요에 대한 자료는 상당히 제한적이다. 과거에는 10년 이후를 예측한 자료도 많았지만 2008년 글로벌 금융위기 이후로는 경제에 대한 불확실성으로 인하여 장기간 예측은 상당한 오류를 낳는 것으로 판명되었다. 실제로 GWI는 2010년 발간된 Global Water Market 2011에서 RO 기술에 의한

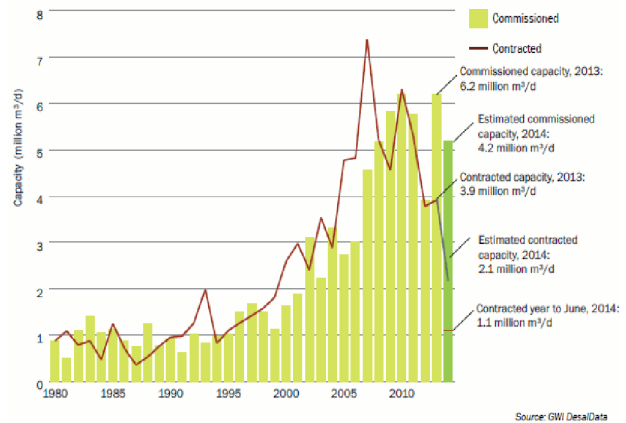


Fig. 4. The 27th worldwide desalting plant inventory (GWI, 2014a)

해수담수화 시장의 연평균 성장률을 약 17%로 제시하여 당시의 폭발적인 해수담수화 시장의 장밋빛 전망을 그대로 보여주었다(GWI, 2010). 이러한 전망에 힘입어 많은 해수담수화 기업들이 2011년까지 신규 시설투자 및 M&A의 돌풍에 휘말리기도 하였다. 하지만 Fig. 4에서 보는 바와 같이 실제로 해수담수화 시장은 2007년을 필두로 점차 하강하여, 2014년에는 2007년의 30%에도 못 미치는 신규 발주 실적을 보여주면서 과거의 예측이 지나치게 낙관적이었다는 것을 보여 주었다(GWI, 2014a). 이와 같은 시행착오에 따라 2012년 이후에는 GWI와 같은 전문기관에서도 5년 이상의 예측은 볼 수 없는 실정이다. 따라서 10년 이상의 예측은 피할 수 없는 오류를 안고 있다고 전제를 하고 보아야 하며, 예측도 중단기적인 예측보다는 장기적이고 거시적인 예측의 틀 속에서 진행하는 것이 타당하다고 본다.

Fig. 5는 해수담수화 시장을 장기적으로 예측한 결과를 보여 준다(GWI, 2013a). 2013년까지의 자료를 근거로 작성된 전망이기 때문에 2007년 이후의 불황은 반영하였지만 2014년까지 지속된 발주 물량의 감소는 제대로 반영되지 못하였다. 하지만 그러한 일시적인 변동이나 불확실성에도 불구하고 1980년부터 시작된 해수담수화 시장에 대한 장기적인 전망을 보여주는 자료 중에서는 가장 최근 자료로서 충분한 신뢰성을 보여줄 수 있다고 본다. 해수담수화 시설이 본격적으로 건설되기 시작한 1990년부터 상승곡선을 타는 마지막이라고 할 수 있는 2010년 까지 연평균성장률은 9.9%이다. 중국의 경제성장률이 10%일 때 경이적인

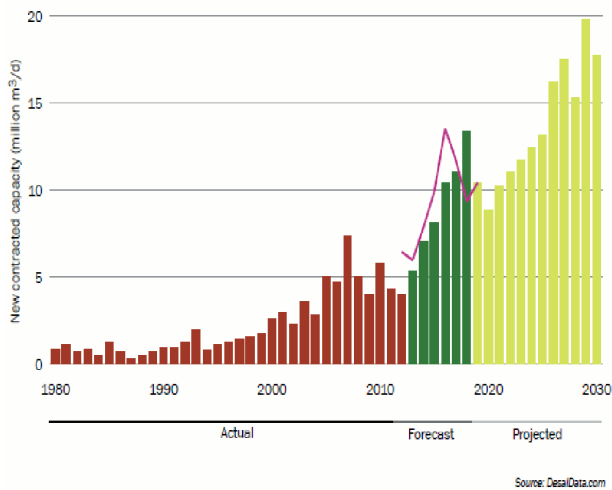


Fig. 5. Global long-range desalination market forecast (GWI, 2013a)

성장률이라고 전 세계가 놀랐다는 점을 감안하면 20 년간에 걸쳐 해수담수화 시장이 얼마나 빠른 속도로 성장했는지 알 수 있다.

GWI(2013a)는 2010년부터 2030년 까지 장기적인 전망을 2008년 글로벌 금융위기 이후의 뉴노멀에 근거를 두고 보수적으로 판단한 결과 6.1%로 제시하고 있다. 그리고 2008년 이후 2013년까지 밀린 수요는 2016년부터 2018년까지에 걸쳐 발생할 것으로 예상하고 있다. 하지만 2013년의 예측은 2014년까지 진행된 물량 감소를 예측하지 못하였고, 최근 저유가가 상당 기간 지속될 것으로 전망되기 때문에 감퇴기 동안 밀린 수요가 발현되는 시기는 2016년을 넘어 설 것으로 예측된다.

따라서 본 논문에서는 목표연도가 2025년과 2030년 등 앞으로 10-15년 이후이기 때문에 자료의 부족과 글로벌 경기의 휘발성으로 인하여 중-단기적인 예측은 가급적 피하고 장기적인 예측을 바탕으로 진행하고자 한다.

3.2.3 담수시장의 장기 연평균 성장률

최근 자료를 활용하여 전문가들이 미래 수요를 어떻게 예측하는지 검토하였다. 사용 자료는 Visiongain의 The Desalination Market Forecast 2014-2024: Future Prospects For Leading Companies (2014)와 GWI의 Global Water Market 2015 (2014), IDA Desalination Yearbook 2015-2016 (2015)와 Desalination Markets 2016 (2015)이다.

Visiongain의 자료는 MENA 지역 수요를 예측한 자료

이며 2024년까지 수요를 예측하였다. GWI는 물산업에 대한 최고의 전문기관이니 만큼 상당한 신뢰도가 있는 자료를 제공하고 있다. 그러나 수요 예측은 보수적으로 2020년까지 되어 있어 본 논문에서 하고자 하는 목표연도에 맞추기에는 부족한 면이 있다. 반면에 Visiongain 자료는 2024년까지 시장 예측을 하였지만 2013년에 대한 각 나라의 발주 금액이 GWI 자료와 다르기 때문에, 자료의 신뢰성 검증을 위해 대표적인 국가를 선정하여 두 자료를 같은 기간(2013-2018)에 걸쳐 비교하였다(Fig. 6 (a), (b)).

Fig. 6 (a)에서 보는 바와 같이 Visiongain은 2014년 수요가 증가하는 것으로 예측하였지만, 실제로는 2007년 이후 최악의 해였던 것을 감안하면 자료에 대한 신뢰성을 부여하기는 어렵다. 따라서 2013년과 2014년 자료 신뢰성은 GWI가 높은 것으로 판단된다. 하지만 GWI의 예측에 대한 우려는 2015년까지 밀렸던 수요가 2016-2018년에 풀리는 것으로 가정하여 폭발적인 수요 증가를 보인다는 점이다(Fig. 6 (b)). 현재 신흥국의 경제성장을 하락과 더불어 불확실한 글로벌 경제 상황을 고려하면 앞으로 2016년부터 폭발적인 수요가 발생한다고 보기에는 좀 더 지켜보아야 한다고 판단된다.

거시적이고 장기적인 예측을 위한 시장의 성장률을 얼마로 선정하는 것과 기준 연도 설정은 정확한 예측에 있어 매우 중요한 요소이다. 과거와 같은 10%대 성장은 재현되기 어렵다고 판단하기 때문에 2010년 이전 자료는 배제하였다. Visiongain 경우 10년간의 연평균성장률은 6.07%이고, GWI는 2010년부터 2030년까지 6.1%를 제시하였다. 상대적으로 높은 수치이지만, 해수담수화시설을 건설하는 국가나 지역이 경제 발전의 수혜를 직접적으로 받는 선진국, 산유국, 그리고 신흥국이라는 측면과 대부분의 인구 증가가 산유국과 신흥국에서 발생한다는 측면, 그리고 장기적으로 글로벌 경제의 발전은 신흥국이 주도한다는 측면을 감안하면 부적절한 숫자는 아니라고 판단된다. 따라서 해수담수화 시장의 연평균성장률은 6.1%로 선정하여 수요 예측에 활용하였다.

가능한 정확한 예측을 위하여 기준 연도를 결정하였다. 기준 연도는 과거 30여 년간 담수화시설에 대한 발주 기록과 이를 활용한 경향 예측방법에 높은 신뢰도를 가진 GWI의 예측 자료 중에서 최종 연도인 2020년으로 선정하였다.

pp. 481-489

pp. 491-500

pp. 501-509

pp. 511-519

pp. 521-532

pp. 533-543

pp. 545-551

pp. 553-559

pp. 561-569

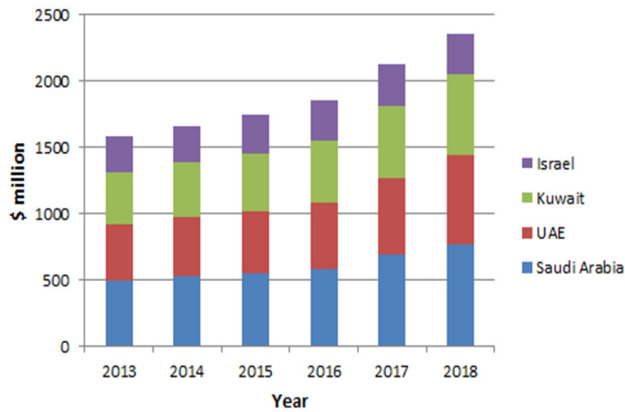
pp. 571-577

pp. 579-586

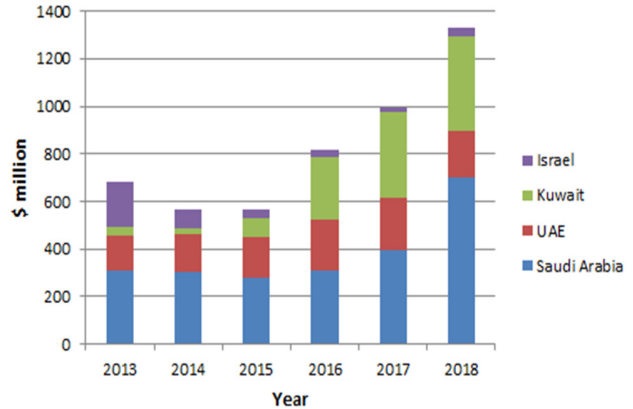
pp. 587-596

pp. 597-604

pp. 605-612



(a) by Visiongain (2014)



(b) by GWI (2015)

Fig. 6. MENA desalination market forecast (a) by Visiongain (2014) (b) by GWI (2015)

3.3 정삼투-역삼투 융합기술 대상시장 전망

해수담수화 시장은 특성상 기후와 지질 및 경제력 등 지역적 여건에 많은 영향을 받는 시장이고, Fig. 7에서 보는 바와 같이 지역별로 큰 차이를 보이기 때문에 각 나라별로 예측하는 것보다는 보다 지역별로 예측하는 것이 보다 설득력이 있을 것으로 판단된다. 따라서 지역별 시장을 근거로 GWI(2015) 자료에 기준 연도 2020년, 연평균성장률 6.1%를 적용하여 향후 글로벌 해수담수화 시장을 지역별로 예측하였다(Fig. 8).

Fig. 8에서 보는 바와 같이 2025년 전 세계 해수담수화 시장 규모는 \$65억이고 2030년에는 \$87억에 달할 것으로 예상된다. 가장 규모가 큰 시장은 MENA 시장이고, 나머지 시장은 비슷한 규모로서 큰 차이를 보이지 않는다.

정삼투-역삼투 융합기술 대상시장은 전체 해수담수화 시장에서 일부분을 차지할 것으로 보인다. 대상시장 조사(3.1절)에서 나타난 바와 같이 2030년경에 대상시장은

전체 시장의 16%를 차지할 것으로 전망된다. 하지만 물산업 시장은 전통적으로 검증과 실적을 요구하는 시장으로서 신기술에 대한 보수적인 태도를 유지하고 있고, 특히 생활용수 시장은 하수 혼합에 대한 거부감 때문에 신기술이 경제적이라고 해서 금방 열릴 수 있는 시장은 아니다. 또한 생활용수 시장에 정삼투-역삼투 융합기술이 적용되기 위해서는 도시계획단계부터 해수담수화시설과 하수처리시설을 동시에 고려하여야 경제성을 충분히 활용할 수 있다. 따라서 기획단계부터 발주단계 까지 소요되는 일반적인 시간을 고려하여 단계적 시장 점유율을 산정하였다.

Table 3에는 용도에 따른 정삼투-역삼투 융합기술 시장 점유율 전망을 나타내었다. 2020년부터는 경제적인 신기술의 진입이 쉬운 산업용수 부문이 대상이 될 수 있을 것으로 보인다. 이때의 시장지분은 산업용수 시장으로 진입의 차원인 1%에서 시작할 것으로

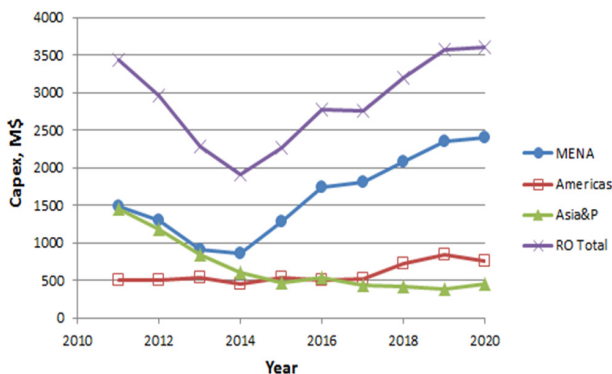


Fig. 7. RO desalination capex (GWI, 2015)

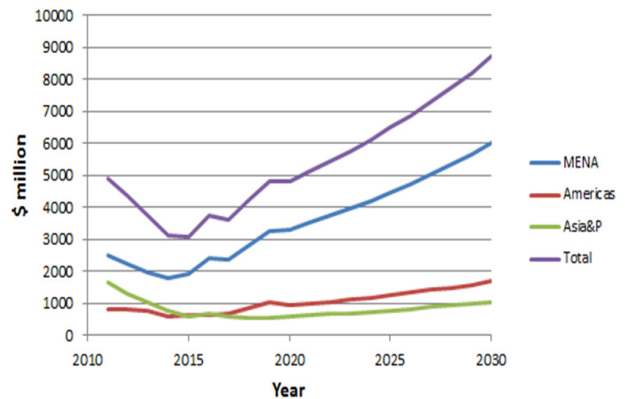


Fig. 8. Global desalination market forecast through 2030 (2011-2030)



Table 3. Market share forecast by water use type

	2020	2025	2030
Industrial	1%	5%	9%
Municipal	-	2%	7%
Total	1%	7%	16%

Table 4. Market forecast for FO/RO hybrid technology (unit: \$ million)

	2020	2025	2030
MENA	33	312	958
Americas	9	86	264
Asia&P	6	54	167
Total	48	452	1,389

Note : Americas includes Spain

보이며, 약 5년간의 검증이 끝나면 산업용수 부문에서 시장이 본격적으로 열릴 것이 예상되므로 전체 시장규모의 5%에 도달할 것으로 전망된다. 그리고 이 시기가 되면 생활용수 시장 중에서 물이 아주 부족한 지역에서는 하수 혼합에 대한 거부감을 극복하고 신기술의 적용을 고려할 것으로 예상된다. 이 경우 생활용수 시장이 점차 열릴 것으로 보이며(전체 시장의 2%), 단계적으로 증가하여 신기술이 성공적으로 검증된 지 11년이 지난 2030년에는 2011년보다 약 17억 명이 증가된 인구에 의해 발생하는 물부족 현상 때문에 생활용수 시장의 14%(전체 시장의 7%)에 달할 것으로 전망된다. 이것을 전체 시장의 점유율로 환산하면 2020년에는 1%, 2025년에는 7%, 2030년에는 16%로 증가할 것으로 전망된다. 이때 증가분은 매년 일정하게 선형으로 증가한다고 가정한다. 따라서 2020년부터 2025년 까지는 매년 1% 이하의 증가를, 2025년부터 2030년 까지는 매년 약 2% 정도의 증가를 보이게 될 것으로 예상된다.

Table 4에는 정삼투-역삼투 융합기술 대상시장 전망을 나타내었다. 정삼투-역삼투 융합기술 대상시장 규모는 2020년에는 48백만 USD, 2025년에는 452백만 USD, 그리고 2030년에는 획기적으로 증가하여 1,389백만 USD에 달할 것으로 전망된다. MENA지역의 비중은 약 70%에 달하여 융합기술에 대한 최대 시장임을 다시 한 번 더 보여준다.

4. 결 론

정삼투-역삼투 융합기술은 역삼투 기술보다 적은 에너지를 사용한다는 장점을 가지고 있기 때문에 앞

으로 물이 부족한 지역에서는 많은 수요가 있을 것으로 예상된다. 하지만 하수처리수를 원수로 사용하기 때문에 발생하는 심미적인 문제는 당분간 극복하기 어려울 것으로 판단된다. 따라서 진입 초기에는 산업용수 부문에서 경제성과 효율성을 검증 받은 후에 인구증가로 인하여 수자원의 부족이 심미적인 한계를 극복하는 티핑 포인트에 도달하면 폭발적인 수요를 발생시킬 것으로 본다.

기본적으로 하이브리드 기술의 기반시장인 담수화 시장은 인구의 변화와 맥을 같이하는 인프라 시장이다. 따라서 지금의 담수화시장은 글로벌 경기 침체로 인하여 2015년까지 저조한 발주실적을 보이고 있지만 글로벌 경제에 대한 불확실성이 줄어들면 그 동안 지연된 수요가 폭발적으로 나타날 것으로 예상된다. 이에 따라 하이브리드 기술에 대한 시장도 인구의 증가에 따른 부족한 수자원으로 인하여 점차 시장성을 획득하리라 예상된다.

MENA 지역의 해수담수화 시설의 수명이 다하는 시점은 2040년 부근이다. 대부분의 담수화시설의 계획과 건설이 소요되는 기간을 5년 정도(GWI, 2014a)라고 하면, 2035년부터는 대규모의 해수담수화 시설이 보다 경제적이고 효율적인 시설로 교체되거나 새로이 건설될 것이 예상된다. 따라서 경제적이고 효율적인 정삼투-역삼투 융합기술의 대상시장은 2030년 이후에 더욱 주목을 받을 것으로 예상된다.

수요가 발생하는 지역은 MENA 지역과 미국, 중국 등이 대규모 발주가 예상되는 단위시장이며, 그 외에도 중·소 규모에 대한 수요는 지역을 가리지 않고 발생될 것으로 판단된다. 단, 중·소규모의 시설은 경제성이 최우선의 관건인 만큼 지속적인 기술개발로 기존 기술인 RO 기술에 대한 차별성을 확보하는 것이 중요하다고 하겠다.

사 사

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16IFIP-B088091-03)에 의해 수행되었습니다.

References

Alhumoud, J.M., and Madzikanda, D. (2010). Public perceptions on water reuse options: the case of Sulaibiya wastewater

pp. 481-489
pp. 491-500
pp. 501-509
pp. 511-519
pp. 521-532
pp. 533-543
pp. 545-551
pp. 553-559
pp. 561-569
pp. 571-577
pp. 579-586
pp. 587-596
pp. 597-604
pp. 605-612

- treatment plant in Kuwait, *The International Business and Economics Research Journal*, 9(1), pp.141-158.
- Ali, M. and Saleh, A.A. (2010). Arab Countries Water Utilities Association, http://www.acwua.org/sites/default/files/3_mokhtar_ali.pdf, Engineering and Solutions to Water Scarcity in Sanaa City, Yemen: The Scarcest Capital City in the world (accessed June. 2016)
- BP. (2015). BP Energy Outlook 2035, BP p.l.c., London, UK, pp.26-27.
- Cath, T.Y., Hancock, N.T., Lundin, C.D., Hoppe-Jones, C., and Drewes, J.E. (2010). A multi-barrier osmotic dilution process for simultaneous desalination and purification of impaired water, *Journal of Membrane Science*, 362(1), pp. 417-426.
- Dobbs, R., Remes, J., Manyika, J., Roxburgh, C., Smit, S. and Schaar, F. (2012). Urban World: Cities and the rise of the consuming class, McKinsey Global Institute, New York, US, pp.18-21.
- Economist Intelligence Unit (EIU). (2010). The GCC in 2020: Resources for the future, Economist Intelligence Unit, London, UK, pp.12-15.
- Global Water Intelligence (GWI), (2008). Scary New Technologies, *Global Water Intelligence Magazine*, 9(3), p.5.
- Global Water Intelligence (GWI). (2010). Global Water Market 2011, Global Water Intelligence, Oxford, UK, pp.115-123.
- Global Water Intelligence (GWI), (2013a). Chart of the month-GWI DesalData's long-range desalination market, *Global Water Intelligence Magazine*, 14(7), p.7.
- Global Water Intelligence (GWI), (2013b). Market Profile: The state of the desal nation, "Where is the desalination market?", *Global Water Intelligence Magazine*, 14(12), pp.35-37.
- Global Water Intelligence (GWI), (2014a). Chart of the month-The 27th Worldwide Desalting Plant Inventory: annual capacity increments, *Global Water Intelligence Magazine*, 14(10), p.7.
- Global Water Intelligence (GWI). (2014b). Global Water Market 2015, Global Water Intelligence, Oxford, UK, pp.5-10, p.43, pp.65-67, p.92.
- Global Water Intelligence (GWI). (2015). Desalination Markets 2016, Global Water Intelligence, Oxford, UK, p.1, pp.22-36, pp.65-309.
- Global Water Intelligence (GWI) and International Desalination Association (IDA). (2015). IDA Desalination Yearbook 2015-2016, Global Water Intelligence, Oxford, UK, p.4.
- Hashemi, R.A., Zarreen, S., Raisi, A.A., Marzooqi, F.A.A., and Hasan, S.W. (2014). A review of desalination trends in Gulf Cooperation Council Countries, *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, 1(2), pp. 72-96.
- Saif, O. (2012). The Future Outlook of Desalination in the Gulf: Challenges & Opportunities faced by Qatar & the UAE, Master's thesis, McMaster University, Canada, pp.21-25.
- The World Bank. (2012). Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa, The World Bank., Washington, D.C., pp.54-55.
- The World Bank. (2015a). <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRCP.MM>, Average precipitation in depth (mm per year) (accessed June 2016)
- The World Bank. (2015b). <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>, Population, total (accessed June 2016)
- The World Bank. (2015c). <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>, GDP per capita (current US\$) (accessed June 2016)
- United Nations (UN). (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, United Nations, New York, pp.1-2.
- United Nations (UN). (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision; Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections, United Nations, New York, pp.3-6.
- Visiongain, (2014). The Desalination Market Forecast 2014-2024: Future Prospects For Leading Companies, Visiongain, London, UK, p.89.
- Weekly news: Global Water Intelligence. (2014). Global Water Intelligence, <https://www.globalwaterintel.com/news/2014/2/chile-debates-compulsory-desalination-mining.html>, Chile debates compulsory desalination for mining (accessed June. 2016)