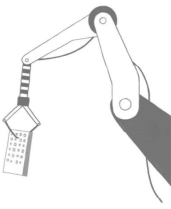
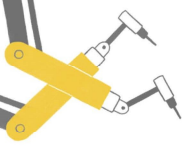


해수담수화

이현경






Contents

 제1장 개요	1
 제2장 기술동향	4
 제3장 산업동향	11
 제4장 정책동향	19
 제5장 R&D 투자동향	23
 제6장 결론	28




제1장 개요

1.1. 작성 배경

 고조되는 기후변화 위기와 산업고도화 및 인구 증가에 따른 물 수요의 증가로 지속 가능한 개발을 위한 물 인프라 개발 및 관리의 중요성이 대두

- 인간이 바로 사용 가능한 형태의 담수 자원은 지구상 수자원의 0.3%에 불과하며, 수자원 분포 및 인구에 따른 수급량은 지역별로 편차가 큰 상황
- UN은 전 세계적으로 물 오염이 심해지고 기후변화 등에 따른 물 부족이 심화되며 2050년에는 세계 인구의 절반이 물 부족 위험에 처할 것으로 전망¹⁾
- 지하수 부족, 하천 유량 감소 등 담수 자원의 고갈에 대한 구체적 자료가 보고되고 수자원 문제가 사회적 분쟁으로 나타나고 있어 물 안보를 위한 물관리 기술의 중요성 대두²⁾
- 우리나라는 높은 인구밀도로 인해 1인당 수자원 부존량은 매우 적은 상황이며, 최근 지역 용수공급이 위태로울 정도의 극한 가뭄이 발생하는 등 물이용 환경의 취약성 증가 추세
 - OECD 2050 환경전망 보고서에 제시된 우리나라 물스트레스지수는 40%로 OECD 국가 가운데에서 가장 크며, '심각한 물 스트레스 국가'로 분류³⁾

 무한한 수자원인 해수를 이용하기 위해 개발된 해수담수화 기술은 소재 및 공정 기술의 발전으로 적용이 확대되어왔으며 현재 세계 음용수의 1%를 생산

- 1956년 쿠웨이트에 건설된 최초의 해수담수화 플랜트를 시작으로, 중동 및 북아프리카 지역, 미국 남부지역, 호주 등을 중심으로 담수화 플랜트 건설 확대
- 해수담수화 시장은 2006년 100억 2,284만 달러에서 2018년 144억 9,518만 달러로 성장 하였으며, 2024년까지 연평균 5.7% 증가하여 202억 5,629억 달러로 성장 전망⁴⁾

1) UN 물·위생 보장을 위한 고위급 회의(21.3.18.)

2) UNESCO, 2019년 세계 물 개발 보고서

3) OECD 2050 환경전망, 2012

☒ 담수화 기술의 시장진입 장벽이었던 ‘높은 물 생산단가’의 큰 폭 하락과 더불어 물 수요는 지속 증가하고 있어 기술 적용 폭이 확대될 전망

- 2016년 이전에 건설된 전세계 해수담수화 플랜트 물 생산단가는 평균 1~1.3 US\$/m³ 수준이었으나⁵⁾, 최근 0.5 US\$/m³ 수준으로 대폭 하락⁶⁾
- 인구 증가에 따른 용수수요 확대, 하·폐수 재이용 강화 및 선진국의 물-에너지 인프라 재투자 등을 계기로 담수화 기술 수요 증가 추세

☒ 본 브리프에서는 해수담수화 기술의 국내외 기술/산업, 정책 및 R&D 투자동향을 확인하고 정책적 시사점을 도출하고자 함

1.2. 기술의 정의 및 범위

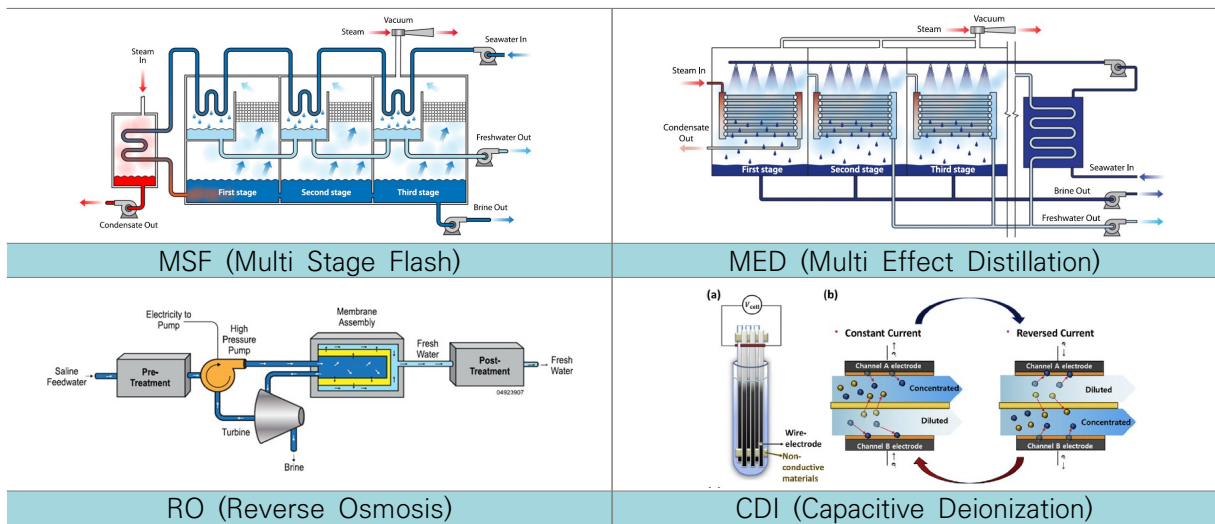
☒ 바닷물을 마실 수 있는 물로 만드는 기술로 널리 이해되고 있는 해수담수화 기술의 핵심은 ‘원수 속 이온성 화합물의 제거·분리’

- ‘담수화(desalination)’의 사전적 의미는 원수 속에 녹아 있는 이온성 오염원(salt)을 제거 (de-)할 수 있는 수처리 기술을 의미하며, 해수뿐만 아니라 지하수, 기수, 하수 등 다양한 원수에 녹아있는 이온성 화합물의 제거 및 분리의 목적으로 활용 가능
- 담수화 기술은 오염원 제거/분리 기작에 따라 크게 증발법, 막여과법, 흡착법으로 구분
 - (증발법) 상변화를 이용하는 방식으로, 열에너지를 가해 물을 증발시켜 염분을 남기고 수 증기는 응축하여 신선한 물을 얻는 기술
 - ※ 다단플래쉬방식 (Multi Stage Flash, MSF), 다중효용방식 (Multi Effect Distillation, MED) 등
 - (막여과법) 물 분자만 통과할 수 있는 수준의 미세공극을 가진 분리막을 이용, 오염원이 녹아 있는 염수에 삼투압 이상의 압력을 가해 물을 생산하는 기술
 - ※ 나노여과(Nanofiltration, NF), 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 등
 - (흡착기반 수처리 기술) 정전기적 인력을 이용하여 물과 오염원을 분리하는 기술
 - ※ 이온교환수지(Ion Exchanger, IX), 축전식 탈염공정(Capacitive Deionization, CDI) 등

4) DesalData, 2018

5) World Bank Group, The role of desalination in an increasingly water-scarce world (2019.3.)

6) GWI Magazine No.10, 2020



[그림 1] 담수화 공정 모식도⁷⁾

해수담수화 기술은 공정설계, 소재·부품·장비 개발, 운영 및 유지보수 등 소프트웨어 부문까지 포함하는 플랜트 엔지니어링 기술

- 협의의 담수화 기술은 이온성 화합물 제거기술(주공정 기술)만을 의미하지만, 실제 담수 생산은 전처리, 운영관리 기술 등 담수화 플랜트 운영에 수반되는 기타 요소 기술들을 모두 포괄

<표 1> 담수화 플랜트를 구성하는 기술의 분류 및 세부내용

분류	세부내용
공정 설계 기술	플랜트 운전 목표, 조건에 따른 공정 구성 및 설계에 관련한 모든 기술
전처리 기술	원수의 입자성 오염원을 분리·제거하는 기술로 응집·침전, 입상여과, 막여과 등의 공정 기술 및 공정을 구성하는 소재 기술
주공정 기술	원수로부터 이온성 화합물을 분리·제거하는 기술로 증발법, 막여과법 등 공정 기술 및 공정 운전을 위해 필수적으로 마련되어야 하는 소재·부품 기술
운영 및 유지관리 기술	플랜트 운전에 따른 모니터링 및 트러블 슈팅, 이벤트 발생 시 매뉴얼 등 유지관리에 필요한 모든 기술
기타	후처리, 농축수 처리 등 플랜트 운영을 위해 수반되어야 하는 기타 모든 기술

본 브리프는 해수담수화 플랜트의 핵심이 되는 주공정 기술을 중심으로 작성하고, 전처리 기술, 운영 및 유지관리 기술 등에 대한 내용은 제외

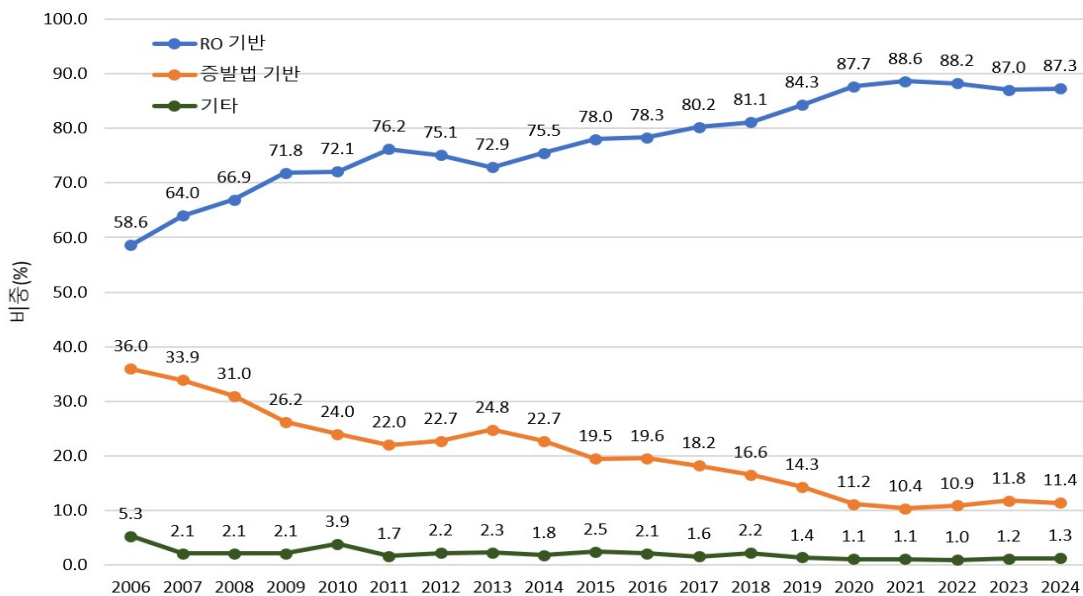
7) Al-Karaghoul, A 외 (Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013), Shu-Yuan Pan 외 (Water Research, 2020)

제2장 기술동향

2.1. 글로벌 기술동향

해수담수화 플랜트는 증발법 위주에서 역삼투법(RO) 중심으로 공정 패러다임이 전환되었으며, 높은 에너지 집약도를 낮추기 위한 기술개발 지속


- 1956년 쿠웨이트에 첫 번째 해수담수화 플랜트가 건설된 이후, 1990년대까지는 주로 열 에너지를 사용하는 증발법 중심의 해수담수화 플랜트 건설
- 1980년대 고성능 RO 분리막(Polyamide 분리막)의 개발과 1990년대 에너지 회수 장비의 개발로 RO 기반 담수화 공정의 에너지 효율이 급격히 향상되었으며, 이를 통해 2000년대 이후 담수화 플랜트 기술의 고도화는 RO 중심으로 전환
- 2014년 이후 신설된 담수화 플랜트의 대부분은 RO 기반으로 건설되었으며, 현재 전 세계 담수화 플랜트의 90% 수준이 RO 방식에 의존



[그림 2] 해수담수화 플랜트의 기술별 점유율 현황 및 전망(2018년 기준)⁸⁾

8) Desal data, 2018

- MSF 방식의 에너지 소모량은 9~25kWh/m³, MED 방식은 7~8kWh/m³이었으나, RO 방식의 에너지 소모량은 3kWh/m³ 수준으로 감소
 - 향후 RO 방식의 담수화 플랜트에서 실현 가능한 최저 소비에너지는 2.0kWh/m³로 전망
- 한편, RO 기술의 성숙에도 전통적 수처리 공정과 비교한 비용 부담은 여전히 큰 편으로, 해수담수화의 고에너지 한계를 극복하기 위한 새로운 기술개발 노력 지속
 - RO 공정의 고도화를 위해 CNT, Graphene 등 신소재를 이용한 분리막 개발, 적조 현상 등에 대비한 전처리 공정, 모듈 최적화, 분리막 세척 기술개발 등이 활발히 연구

 RO 공정의 소비 에너지 한계를 극복하기 위해 정삼투법(FO), 압력지연삼투(PRO), 축전식 탈염공정(CDI), 막증발법(MD) 등 차세대 담수화 기술 발전

* FO(Forward Osmosis), CDI(Capacitive Deionization), MD(Membrane Distillation)

- RO 방식의 높은 에너지 소모의 원인이 되는 가압 방식과 차별화되는 메커니즘에 기반한 차세대 기술들이 제안

〈표 2〉 차세대 담수화 기술(FO, PRO, CDI, MD)의 개요

기술명	메커니즘
정삼투공정 (FO)	높은 삼투압을 가진 유도용액(Draw solution)을 이용, 용액간 삼투압 차이를 이용하여 염분을 거름으로써 비가압 조건에서 담수를 생산하는 막분리 방식
압력지연삼투 (PRO)	염도차에 의해 생기는 삼투압을 이용해 터빈을 돌려 전력을 생산하는 기술로 에너지를 생산과 동시에 물을 생산(고염 원수의 희석)할 수 있는 막분리 방식
축전식 탈염공정 (CDI)	도체에 전하를 일시적으로 저장하는 캐패시터를 원리를 활용하여, 활성탄소 전극에 이온을 흡착시켜 이온성 오염원과 물을 분리해내는 방식
막증발공정 (MD)	원수의 증기압을 이용, 소수성의 정밀 여과막을 이용하여 증기만 통과시킨 후 응축시켜 담수를 생산하는 방식

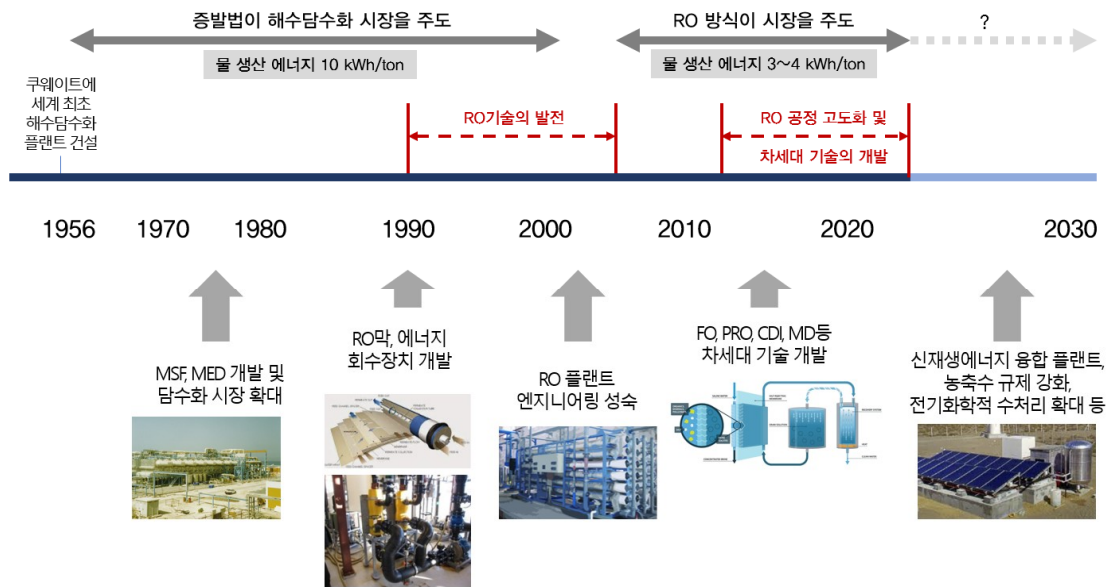
- RO를 대체하는 공정으로 활용되기에는 아직 많은 극복 과제들이 남아있으나 각 기술의 장점에 기반한 적용 영역이 세분화되어 개발되는 추세
- 개별 공정이 가진 장점을 극대화하고 단점을 보완하기 위해 복수의 담수화 공정을 융합한 하이브리드 방식 또한 다양하게 연구
 - (FO-RO/PRO-RO) RO로 유입되는 고염 원수의 농도 희석을 통한 전체 에너지 소비 절감
 - (RO-CDI) RO 처리수를 CDI로 후처리하여 RO 플랜트 생산수의 수질 향상
 - (RO-MD/PRO) RO 후단에 MD공정을 융합하여 전체 공정의 회수율을 향상하거나

PRO공정을 통해 RO농축수로부터 에너지 회수

〈표 3〉 차세대 담수화 기술(FO, PRO, CDI, MD)의 장점, 극복과제, 유망 적용 영역

	장점	극복과제	유망 적용 영역
정삼투공정 (FO)	낮은 에너지 비용 높은 제거율	유도용액 역확산 유도용액의 회수	농축 및 희석
압력지연삼투 (PRO)	삼투압을 신재생에너지로 활용 높은 제거율	PFO용 분리막 에너지 생산효율	고농축 용액으로부터 에너지 회수
축전식 탈염공정 (CDI)	낮은 에너지 비용 높은 제거율·회수율	고농도 용액에 대한 낮은 제거율	저농도 조건 소형 담수화 공정
막증발공정 (MD)	고농도 용액에 대한 적응성	막젖음 현상 휘발성 물질에 대한 낮은 제거율	고농축 공정

- 최근 IT 기술의 발달로 스마트워터그리드, 스마트시티 건설 등 수처리 공정의 분산화가 시도되고 있으며, 이에 따라 제어가 쉽고 소형화에 용이한 전기화학적 담수화 기술이 주목



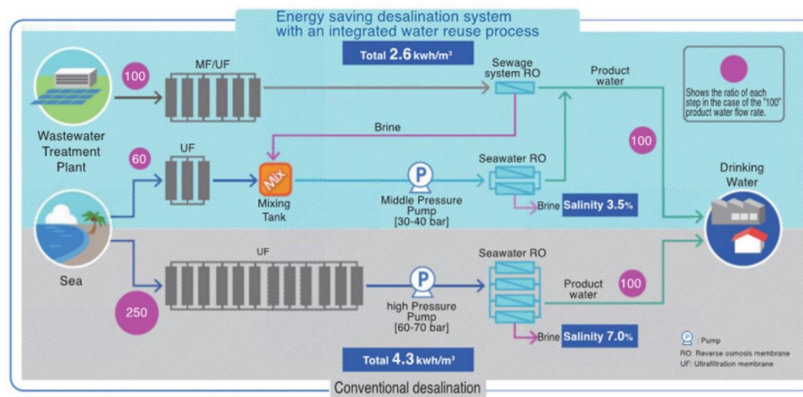
[그림 3] 해수담수화 기술 개발의 흐름

최근 세계 각국의 취수원 다변화 정책 및 기후변화 대응을 위한 에너지 Mix 전환 흐름에 따라 담수화 플랜트의 새로운 접근 대두

- (해수—하·폐수 블렌딩) 해수를 하·폐수와 혼합하여 이온성 화합물 농도를 낮춤으로써 해수담수화 플랜트 에너지의 소비량 절감
 - 해수의 희석을 통해 플랜트 유입수의 염농도가 낮아질 경우, 삼투압 저하 → RO 운전

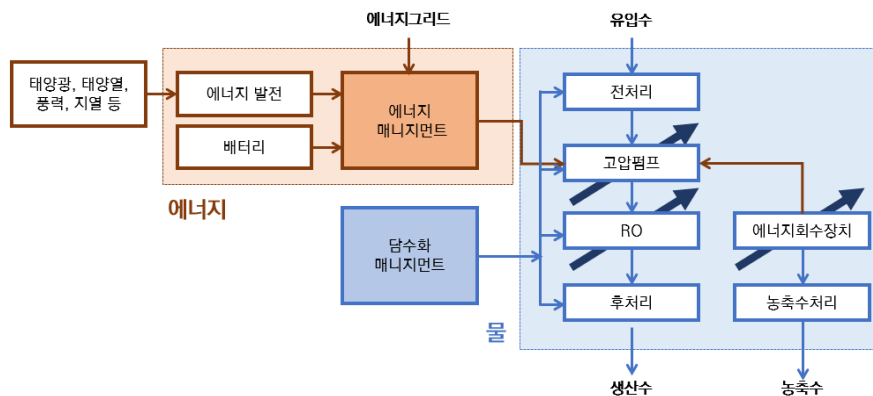
압력 저하 → 고압펌프 운전 에너지 절감을 통해 전체 에너지 소비량 절감 가능

※ 일본의 신에너지산업종합개발기구(NEDO)는 하수재이용을 통해 식수를 얻음과 동시에 하수재이용 농축수로 해수를 희석하여 해수담수화 공정의 소비에너지를 절감



[그림 4] NEDO와 HITACHI가 남아프리카공화국에 건설 중인 하수재이용-해수담수화 모델⁹⁾

- (RO—신재생에너지 융합 플랜트) 해수담수화 플랜트에 태양광, 태양열 등 신재생에너지 발전을 융합하여 담수화 플랜트의 탄소 배출량 감소



[그림 5] 신재생에너지-해수담수화 플랜트 융합 개념¹⁰⁾

한편, 해수담수화 플랜트에서 필연적으로 발생하는 농축수(Brine)에 대한 규제가 강화됨에 따라 농축수 관리기술에 대한 요구 확대

- 해수담수화 플랜트 농축수(Brine)는 고농도의 염과 전처리 시 주입하는 화학약품을 함유하고 있어 해양수질 저하 및 해양생태계 교란 등의 문제를 야기할 가능성
 - 기존에는 별다른 처리없이 농축수를 해양방류하였으나, 플랜트 규모가 확대되고 환경에

9) HITACHI 홈페이지, 2020

10) M. Abdelkareem 외 (2018), Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants, Desalination, Vol.435

대한 인식이 높아지면서 환경영향을 줄일 수 있는 기술 필요성 제기

- 세계 각국에서는 농축수 배출로 인한 염분 상승의 한계로 표현되는 농축수 규제기준을 제시하고 있으며, 이러한 규제는 점차 강화되는 추세¹¹⁾
- 농축수를 희석하여 배출하는 방식과, 농축수의 방류를 최소화하는 고농축 기술 및 농축수로부터 유가자원을 회수하는 기술로 농축수 관리기술이 분화
 - (농축수 희석) 배출구 주변 염분 증가의 정도로 제시되는 농축수 규제를 맞추기 위해, 근처의 하수처리장 폐수와 혼합하거나 해안가로부터 멀리 떨어진 지점에 농축수를 분사하는 등
 - (고농축) 담수화 플랜트의 농축수 발생 자체를 최소화하기 위해 무방류 시스템(zero-liquid discharge, ZLD) 및 고농도 농축 공정의 대용량화 기술개발 추진
 - ※ 농축 공정의 대용량화 및 저에너지화를 위해, 내고압 분리막 개발 및 농축률(회수율) 향상을 위한 운영기술의 개발 등 막 기반 농축기술 연구가 확대
 - (유가자원 회수) 농축수가 가진 가치에 주목하여, 고염 폐수로부터 에너지 및 유가자원을 회수하여 부가가치를 창출하는 기술개발 추진
 - ※ RO 농축수로부터 에너지를 회수하는 RO-PRO 공정 및 마그네슘, 칼슘, 염화나트륨, 브로민, 리튬 등 가치가 있는 자원을 회수하는 기술 연구 확대

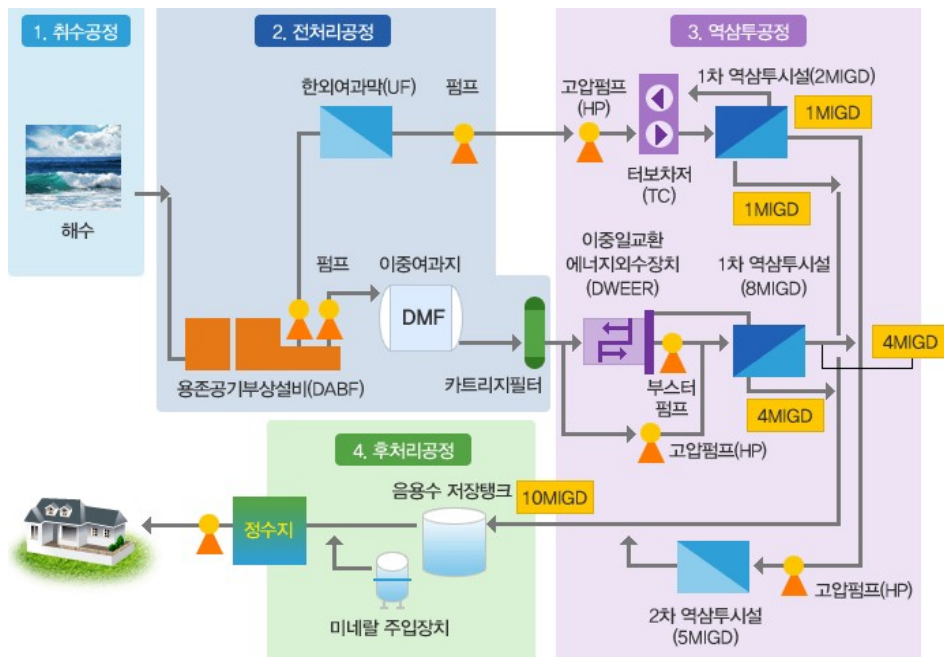
2.2. 국내 기술동향

☞ 국내 담수화 연구는 국토교통부의 해수담수화 플랜트 사업('06)을 기점으로 본격화되었으며, 정부 주도로 차세대 담수화 기술 및 RO 공정 고도화 추진

- 2006년 당시 건설교통부는 중점 R&D 프로젝트로 해수담수화 시스템을 선정, RO 기술을 확보하기 위해 해수담수화플랜트사업단* 발주하여 우수한 성과를 창출¹²⁾
 - * 광주과학기술원(주관) 및 두산중공업, 웅진케미칼, 효성굿스프링스 등 참여
 - 부산 기장군에 테스트베드를 건설하고 소재, 장치 및 설계·운영에 대한 국산 기술을 축적하였으며 칠레의 22만 톤 담수화 플랜트 사업을 수주

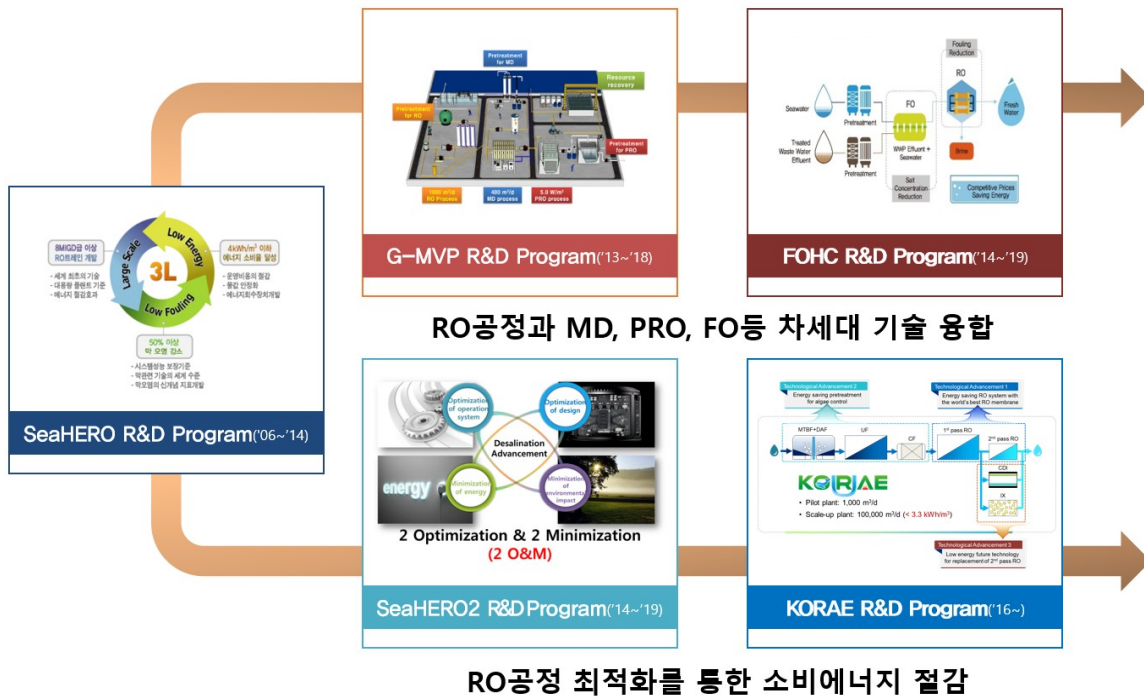
11) 박선영 외, 해수담수화 시설에서 생성된 농축수의 환경적 영향, 환경영향평가, Vol.27, (2018)

12) 건설교통부, 「미래사회 삶의 질 향상을 위한 Value Creator VC-10」, 2006.5.23.

[그림 6] 부산 기장 해수담수화 처리계통도¹³⁾

- 이후, RO 기술의 고도화 뿐만 아니라 차세대 담수화 기술 확보를 위한 융합 공정(FO-RO, RO-MD-PRO) 평가 및 실증기술 확보를 위한 연구 추진
 - (FO-RO) 국민대학교(주관) 및 효림산업, 대림산업 등이 참여하여 해수, 농축수, 하수의 조합을 적용하는 FO-RO 융합공정 실증파일럿 플랜트 기술 확보
 - (RO-MD/PRO) 경남대학교(주관) 및 GS건설, 건설기술연구원 등이 참여하여 MD를 이용한 RO 공정의 농축수 저감기술 및 PRO 기술을 이용한 농축수 에너지 회수기술 등을 확보 하였으며 세계 최초로 중공사 막/모듈에 기반한 MD 시스템을 개발
- 최근에는 RO 공정 고도화 및 실증기술 확보를 위해 국외 테스트베드 건설을 목표로, 중동 지역 맞춤형 해수담수화 플랜트와 신재생에너지 융합형 해수담수화 플랜트 연구 등 추진
 - 환경부는 UAE Masdar city에 1000m³/d 규모의 RO 방식 해수담수화 실증 플랜트를 구축 중*, 산업통상자원부는 쿠웨이트 및 사우디아라비아에 고집광 태양광열 발전 융합 담수화 플랜트(1000m³/d 규모) 구축 등을 목표로 연구개발 추진** 등
 - * 고려대학교(주관), 우진건설, 수자원공사 등 참여 ** 한국기계연구원(주관), 디에코에너지 등 참여

13) 부산광역시 상수도 사업본부 홈페이지



[그림 7] 담수화 분야 국내 연구 발전 흐름¹⁴⁾

☞ 대형 해수담수화 플랜트뿐만 아니라, 다양한 목적으로 활용되는 담수화 공정을 최적화하고 운영하기 위한 기술획득 추진

- 도서 지역의 만성적인 물 부족 및 병입수 의존과 기후변화에 의한 가뭄 등 재난 상황에 대비할 수 있는 해상이동형 해수담수화 기술개발 추진
- 주로 해외 기업에 의존하고 있었던 고순도 공업용수(초순수) 생산공정과 관련 소재·부품을 국산화하기 위한 기술개발 추진
- 하폐수의 재이용을 위한 맞춤형 고도정수처리 기술 및 방사능 폐수 농축을 위한 방사성 물질 제거 기술개발 추진 등

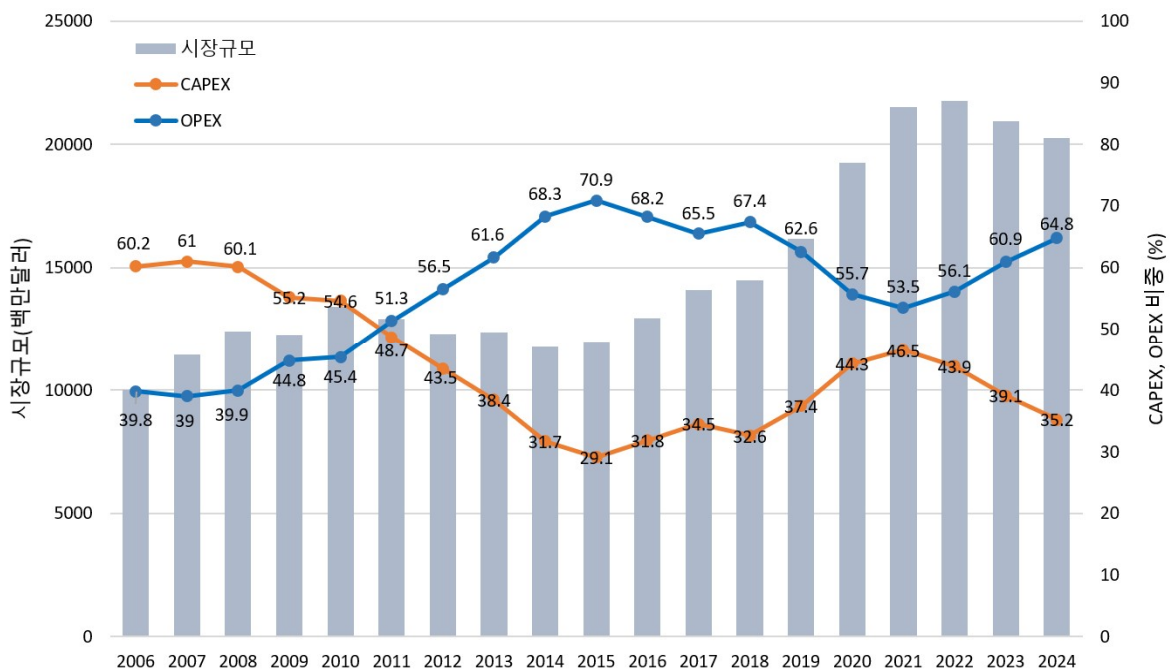
14) 홍승관, 플랜트연구사업 해수담수화분야 통합 워크숍, 2018.6.8.

제3장 산업동향

3.1. 글로벌 산업동향

해수담수화 시장은 '18년 144억 9,518만 달러에서 '24년 202억 5,629만 달러 규모로 연평균 5.7%의 성장이 예상

- 전세계 해수담수화 설비 규모는 '06년 5,227 m³/d에서 연평균 6.4% 성장하여 '18년 기준 1억 965만 m³/d 규모에 달하며, '24년에는 1억 5,126만 m³/d로 성장 예상
- 물 시장의 특성상 설비를 운영하는 데 드는 비용이 설비 구축 비용의 1.5~2배 수준으로 형성
 - '18년 기준 해수담수화 시장은 자본비용(CAPEX) 47.9억 달러, 운영비용(OPEX) 97.7억 달러로 각각 32.6%와 67.4%를 차지하고 있어, 운영 비용이 시장의 중심임을 시사

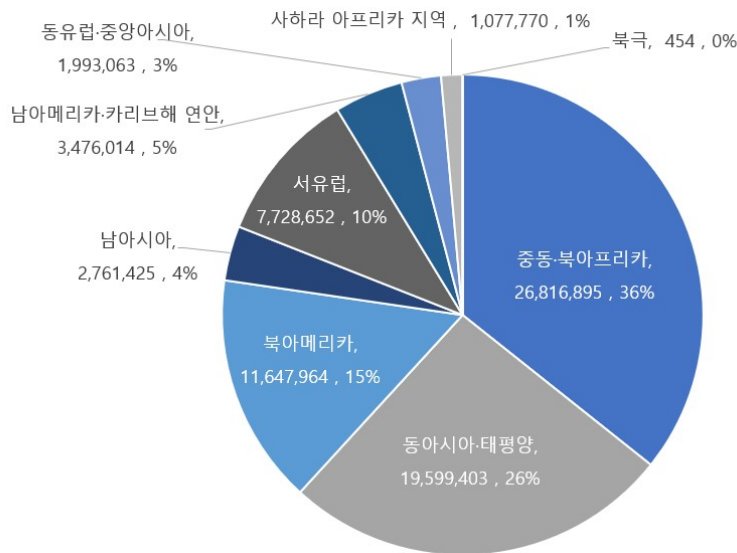


[그림 8] 해수담수화 시장 규모의 현황 및 전망(2018년 기준)¹⁵⁾

15) Desal Data, 2018

전체 해수담수화 설비의 총량 측면에서 가장 큰 시장이 형성되어있는 지역은 중동·북아프리카 지역과 동아시아·태평양 지역

- 2018년 플랜트 용량 기준으로, 전세계 RO 방식 해수담수화 설비의 35.7%는 중동·북아리카 지역에 존재하며 동아시아·태평양 지역은 26.1%, 북미지역에는 15.5% 설치
 - ※ RO 방식은 전체 해수담수화 시장의 81.1%에 해당 (2018년 기준)
 - 2000년대 신규 설비의 경우에도, 중동·북아프리카 지역(37.6%), 동아시아·태평양 지역 (28.2%)를 차지하는 등 두 지역에 집중



* 계열 제목 아래 숫자는 각각 누적 설비 용량(m³/d), 전체 대비 비중(%)을 의미

[그림 9] 2018년 설비용량 기준 RO 해수담수화 설비의 지역별 분포¹⁶⁾

중동·북아프리카는 주로 생활용수 공급 목적으로, 동아시아·태평양 및 북미지역은 주로 산업용수 공급 목적으로 해수담수화 플랜트 활용

<표 4> 지역별 해수담수화 플랜트 생산수의 공급목적 현황(누적설비 총량 기준)

지역	용도			지역	용도		
	생활용수	산업용수	기타		생활용수	산업용수	기타
중동·북아프리카	74.3%	17.5%	8.2%	북아메리카	59.4%	32.7%	8.0%
사하라 아프리카 지역	46.1%	50.6%	3.3%	남아메리카·카리브해 연안	33.2%	61.1%	5.7%
동아시아·태평양	28.3%	70.6%	1.1%	동유럽·중앙아시아	40.1%	57.0%	2.8%
남아시아	26.6%	71.8%	1.6%	서유럽	64.9%	24.6%	10.5%

※ 자료 출처: Desal Data, 2018

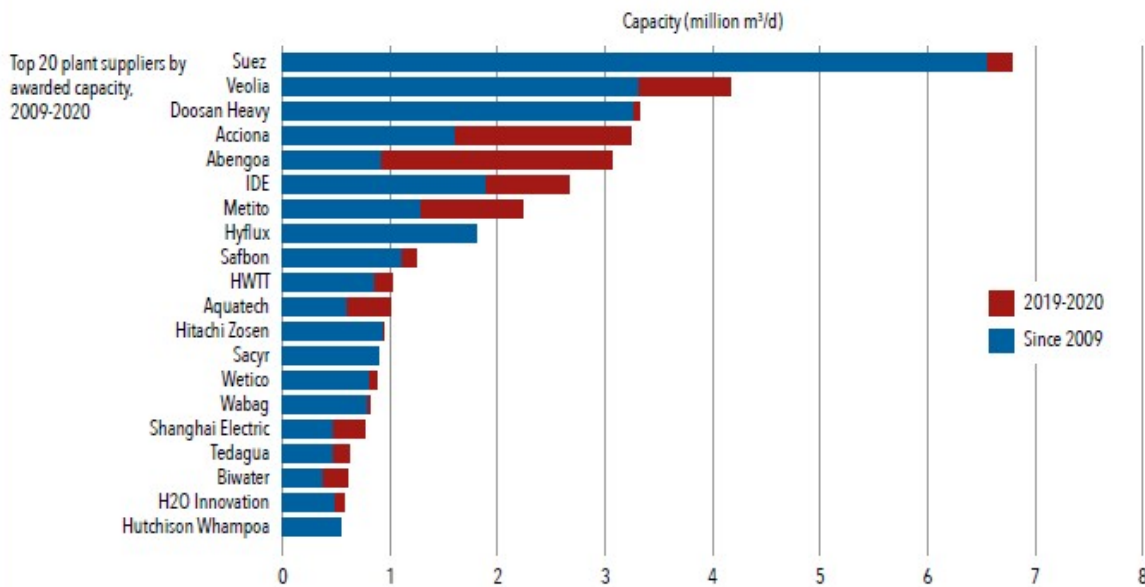
16) Desal Data, 2018

해수담수화 산업은 건설 및 운영의 토털 솔루션을 보유한 물 기업이 크게 성장했으며, RO 플랜트 핵심 소재인 분리막 기술은 일부 제조기업 독과점

- 해수담수화 플랜트 산업은 대형사업 중심의 구조로 인해 자금력과 기술력을 확보한 대기업 중심으로 형성되어 있으며, 소수의 글로벌 기업에 의한 과점 구조 형성

- 세계적 물기업인 Suez, Veolia가 자국에서의 운영 경험을 바탕으로 해외 진출을 추진, 누적 수주실적 1, 2위를 차지하고 있으며, 최근 Acciona, Abengoa 등 스페인 기업이 강세 17)

※ 두산중공업은 3위에 달하는 누적실적을 보유하고 있으나, 최근 해수담수화 시장이 RO 중심으로 전환되며 증발법 방식에 강점을 가진 두산중공업의 신사업 수주가 다소 약세를 보임



[그림 10] 2009-2020년 기업별 해수담수화 플랜트 수주 실적¹⁸⁾

- 담수화 산업 고부가가치 원천기술인 RO 분리막 시장은 Dow Chemical(34%), Nitto Denko(20%), Toray Chemical(18%)의 3개 기업에서 시장의 72%를 점유¹⁹⁾

- RO분리막 시장은 '23년 2.2조 원 → '30년 3.7조 원 수준으로 연평균 7.3% 성장이 전망되는 시장이나, 기술격차가 크고 투자 규모가 커 신규기업의 진입 한계

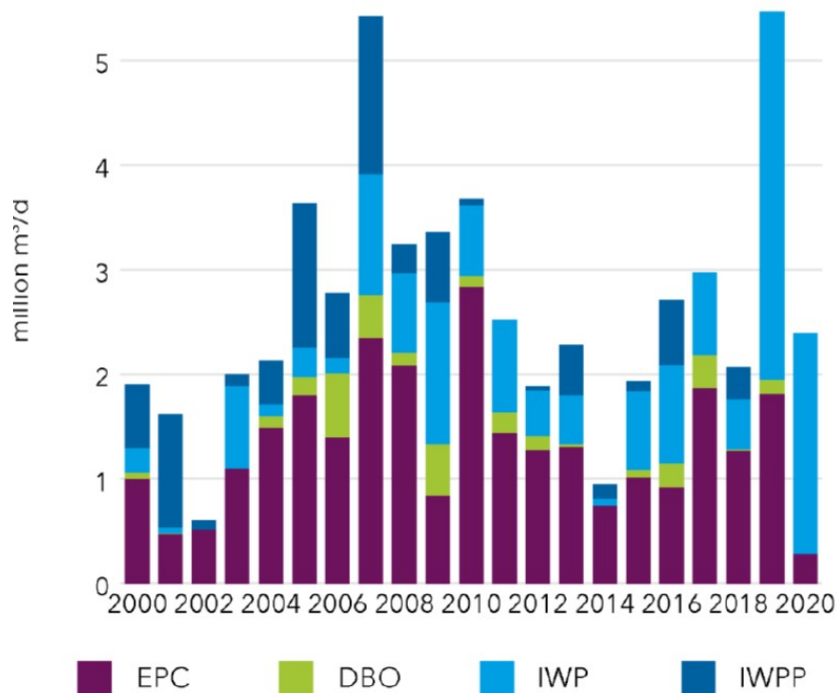
각국 정부에서 플랜트 건설 자금 조달의 부담을 해결하기 위해 민관협력 투자 방식을 확대하고 있어 요소 기술뿐만 아니라 사업모델 개발의 중요성 확대

17) GWI Magazine No.10, 2020

18) IDA Water Security Handbook 2019-2020 (2020)

19) 김종표, 분리막 제조사 관점에서 바라본 막여과 활성화를 위한 제언, 대한상하수도학회-한국물환경학회 공동 추계 포럼(2020)

- 일정기간 용수공급 사업권을 포함하거나(DBO), ‘물 생산단가’를 조건으로 하는 방식(IWP/IWPP)이 확대됨에 따라 금융조달 및 운영·관리(O&M)에 대한 기업의 부담 확대
 - * Engineering-Procurement-Construction(EPC), Design-Build-Operation(DBO), Independent water producer(IWP), Independent water and power producer(IWPP)
- 특히 플랜트의 규모가 커질수록 O&M 계약방식의 비중이 늘어나는 양상을 보이며, O&M을 포함한 계약방식 비중의 증가는 중동·북아프리카 지역에서 뚜렷
- 금융조달 및 사업모델 개발, 해외계약 체결에 대한 기업의 부담 가중되고 있으며, 실적이 있는 기업들의 승자독식 체계가 굳건해지고 있음을 시사



[그림 11] 해수담수화 플랜트 프로젝트 발주형태의 변화²⁰⁾

해수담수화 뿐만 아니라 하수재이용, 농축, 산업용수 처리 등 담수화 기술의 적용시장 확장·세분화

- 해수담수화뿐만 아니라 하수재이용, 농축수 처리 및 산업용수 시장으로 담수화 기술 적용처가 확대되고 있으며, 원수의 성상 및 공정 목적에 따라 기술이 세분화되는 추세
 - RO, 증발법, 전기화학적 수처리 등이 공정의 목적과 규모 등에 맞춤형으로 설계·운영

20) IDA Water Security Handbook 2019-2020 (2020)

〈표 5〉 담수화 기술 및 담수화 시장의 구분

시장	규모 (CAPEX)	시장 영역	주요 기술 및 최근 추세
해수담수화	41억달러	• 공공부문, 중대용량 처리	• MSF, MED, RO 혼재 • 최근 신설되는 대부분의 플랜트는 RO 방식
기수담수화	2.6억달러	• 공공부문, 중대용량 처리	• RO 중심 • 전기화학적 수처리 기술의 적용 증가
하수재이용	24억달러*	• 공공·민간부문, 중대용량 처리	• 생물학적 처리공정 중심(2차 처리) • UV/오존, UF, RO 등을 통한 3차 처리 증가
농축	2.6억달러	• 공공·민간부문, 중소용량 처리	• 증발기 중심 • 농축률 및 처리용량 향상을 위한 RO 적용 증가
산업용수	15억달러	• 민간부문, 중소용량 처리	• IX, RO 중심이며 EDI, CDI, 증발기 등 혼재 • 용수생산, 농축, 폐수처리 등 목적별 맞춤형 선택

※ GWI(2020) 자료 바탕으로 KISTEP 작성, * 하수의 1,2차 처리를 포함한 하수재이용 시장 규모로 추정

- 물 재이용 시장과 농축 시장은 최근 확대되고 있는 시장 영역
 - (물재이용) 하수를 대체 수자원으로 인식하게 됨에 따라 물재이용 시장이 크게 성장
 ※ 미국과 중국을 중심으로 전세계 하수재이용 규모는 '20년 16,000 m³/d에서 '25년 21,000 m³/d로 연평균 5.5% 확대될 전망²¹⁾
 - (농축) 전세계 담수화 플랜트 생산용량이 증가함에 따라 농축수의 배출량이 증가하는 한편, 농축수 배출규제가 강화되고 있어 고농축 기술에 대한 수요 대두
- 물재이용 및 농축시장의 경우, 고농도의 염 제거에 주안점을 두었던 해수담수화 시장과는 달리 고농도의 유기물 제거 및 고염수의 농축율 향상에 목표를 둔 기술 개발 필요
 - (물재이용) 고농도 유기물 제어에 용이한 담수화 기술 개발 확대
 ※ 하수 처리의 기본 공정은 생물학적 처리공정이지만, 재사용 가능한 수준으로 수질을 향상시키고 사용자의 신뢰를 얻기 위해서는 담수화 기술(3차처리)이 필수적으로 적용
 - (농축) 대용량 농축 공정의 저에너지화 및 농축율 향상을 위한 기술 개발 확대
- GWI는 향후 5년간(2021-2025) 해수담수화, 기수담수화 등 전체 담수화 시장의 자본비용 시장의 규모를 약 331억 달러로 전망²²⁾

21) Rory Weaver, Desalination Market Update, GWI Desaldata Market Assessment Webinar (2020.8.)

22) Rory Weaver, Desalination Market Update, GWI Desaldata Market Assessment Webinar (2020.8.)

3.2. 국내 산업동향

☞ 국내 해수담수화 시장은 도서 지역의 소규모 시설 중심으로 제한된 규모의 시장이 형성되어 있으며, 사회적 수용성 문제로 인한 정체 상태

- 국내 중대규모 해수담수화 플랜트의 경우, '21년 기준 운영 중인 곳은 민간기업에서 자체적으로 건설한 POSCO의 광양 플랜트 1곳이 존재
 - 국토교통부 R&D사업을 통해 정부 주도로 부산 기장군에 설치한 테스트베드 1곳 (45,000 m³/d)이 있으나 음용 안정성에 대한 불신으로 가동 중단 상태
 - 정부는 해안지역 산업단지 중심으로 해수담수화 도입을 검토, 충남 서산시 대산임해산업 지역에 공업용수를 공급 목적으로 해수담수화 플랜트(100,000 m³/d) 건설 추진 중
 - 이 외에도 현대석유화학, 삼성 SDI 등에서 담수화 시설 등을 건설하였으나 대부분 소규모 이거나 TDS 1,000 mg/L 이하의 기수를 취수원으로 활용하는 등 해수담수화에 미해당
- 국내 소규모 담수화 시설의 경우, 수원지 개발, 배수지 확충, 지하수 개발 외 수원 확보가 어려운 도서 지역에서 총 109개의 시설 존재(2018.11월 기준, 총 용량 8,333m³/일)
 - 소규모 시설의 81%가 100 m³/d 미만 규모이며, 74개소는 지자체에서 운영하고, 35개소는 한국수자원공사, 5개소는 위탁업체가 수탁 운영

〈표 6〉 국내 해수담수화 시설 현황

구분	중·대규모	소규모
구분기준	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 : 10,000 m³/d 초과 • 중·대규모 : 1,000 ~ 10,000 m³/d 	1,000 m ³ /d 미만
시설현황	<p style="text-align: center;">3개</p> <ul style="list-style-type: none"> • 정부주도 : 부산 기장(중단), 대산산업지역(건설중) • 민간주도 : POSCO 광양제철소 	109개 (2018년 기준)

※ 자료 출처 : 물과 미래 (2020) 물정보포털, 한국수자원공사 해수담수화 수탁운영시설 현황('18.11)

- 국내 담수화 시설은 대부분 도서 지역 소규모 시설이나, 시설의 노후화, 전문성 부족 등으로 인해 지속적 운영에 한계가 발생
 - 도서지역 소규모 담수화 시설은 지자체의 조달구매 혹은 물품구매 등으로 발주되는 등 수도모델의 적정성 평가와 최적 설계가 이루어지지 않는 전문성 결여 문제 존재
 - 또한, 지자체 소규모 담수화 시설은 15~20년 정도된 노후화된 시설이 대부분이며 운영 인력의 기술 부족으로 고장 대응에 한계가 있어 운영중단 사례 빈번

☞ 국내 대형 건설사 중심으로 글로벌 해수담수화 플랜트 건설 및 운영시장 진출, 우리나라 물 산업 수출 실적에서 압도적 비중을 차지

- 국내는 해수담수화 시설의 활용도가 낮으며 내수시장이 활성화되어있지 않으므로, 관련 기업의 대부분은 글로벌 시장 진출을 추진
 - 두산중공업은 1978년 사우디아라비아 파라잔 프로젝트를 시작으로 중동 지역 증발법 기반 담수화 시장에서 높은 점유율을 달성하였으며, 독자적인 설계 기술 및 세계 3위 실적을 보유
 - 해수담수화 시장이 RO 중심으로 전환되며 증발법 방식에 강점을 가진 두산중공업의 신사업 수주가 다소 주춤하였으나, 지속적인 연구개발을 통해 RO 기반 기술력을 확보하며 쿠웨이트('08), 도하('16)에 이어 사우디아라비아의 EPC 방식 RO 프로젝트 수주('21.1.)²³⁾
 - 또한, 최근 화성시 열병합 발전소에 국내 최초, 최대 규모(500t/일)의 CDI 기술 현장 실증에 성공하는 등 전기화학적 처리 기반의 차세대 담수화 기술 확보²⁴⁾
 - GS건설은 1967년 세계 최초로 RO 방식 담수화 플랜트를 시공한 기업으로 꾸준히 프로젝트에 참여하고 있으며, 최근 스페인 수처리기업 이니마(INIMA)를 인수하며 신성장동력 확보
 - GS이니마는 최근 오만의 알 구르바 및 바르카 2곳의 IWP 담수화 프로젝트를 수주('20.11.), 금융조달 및 시공과 함께 20년간 운영 예정²⁵⁾
 - 싱가포르 수자원공사(PUB)의 지원으로 GS건설이 세계최초로 개발한 PRO 기반 해수 및 하수 에너지 회수기술에 실증 프로젝트를 추진하고 있으며²⁶⁾, 국내에서는 해수담수화 기술을 이용한 스마트 양식장을 추진하는 등 사업영역 다각화 중
 - 한국수자원공사는 우리나라 광역상수도 시설의 건설·관리 및 지방 상·하수도 수탁 운영 등 축적된 기술력을 바탕으로 해수담수화 시설 운영 부문에도 진출
 - 도서 지역 해수담수화 시설 32곳('20.10. 기준)을 수탁 운영하고 있으며, 환경부에서 추진 중인 '중동맞춤형 저에너지 해수담수화 플랜트' 국가R&D사업 참여 등
 - ※ UAE의 Masdar City에 시험용 시설을 구축하는 실증연구에 3세부 총괄로 참여

☞ 건설 및 엔지니어링 기술과 달리, 담수화 산업 고부가가치 원천기술인 분리막 및 기자재 부문은 우리나라 경쟁력 취약

23) 두산중공업 홈페이지, 2021.1. 25.

24) 한국지역난방공사 홈페이지, 2021.2.26.

25) 동아일보 (2020). GS건설, 2조3310억원 규모 중동 오만 해수담수화 사업 수주, 2020.11.19.

26) 매일경제 (2020), GS건설·싱가폴 수자원공사, '해수담수화 에너지 기술' 상용화 공동연구, 2020.5.6.

- 수준 높은 건설기술을 보유하고 있음에도 불구하고 핵심 소재 및 부품 기술의 부재로 하이테크 기반 토탈 솔루션 물산업 조직으로의 성장에 한계
 - 글로벌 담수화 시장에서 국내 물기업의 소재·부품 시장 점유율은 미미한 상황으로, 2019년 일본의 수출규제 발생 시, 국내 초순수 생산용 담수화 설비의 핵심 소재·부품 대부분을 일본에 의존하고 있음이 드러나 담수화 기술 핵심 소재 분야의 취약성 드러남 27)
- 물 산업은 제조-건설-운영이 긴밀한 전후방 연관 관계를 형성하고 있어 유기적인 협력체계가 필수적이나, 내수시장의 경직성으로 제조·운영 분야 물 기업 성장 한계²⁸⁾
 - 우리나라 상하수도 서비스 시장은 민간의 시장 참여를 제한하고 있으며, 규모의 경제를 바탕으로 한 원가경쟁력 확보에 초점이 맞추어져 신기술의 도입은 지연되는 경향
 - ※ 정부의 수처리 분리막 기술 육성전략에도 불구하고, '18년 기준 국내 정수장 484곳 중 막여과(MF/UF) 공정을 도입한 곳은 23곳에 불과²⁹⁾
 - 주요 발주처인 지자체의 최저가 낙찰제 관행 및 물산업 총 매출액 중 공공거래가 70%에 달하는 공공발주 중심의 산업구조로 기술혁신 및 기업의 자체역량 확보 동인 부족³⁰⁾
- 일부 대기업에서 미래 성장동력으로 수처리용 분리막을 육성, 자체R&D 및 기업 인수를 통해 기술력을 확보하였으며, 최근 가시적 성과 달성 중
 - LG화학은 미국 수처리 분리막 벤처기업 NanoH2O 인수('14)를 통해 RO막 기술역량 확보, 이집트 최대 담수화 사업인 엘갈라라 지역 해수담수화 시설 RO막 공급('16), 사우디 아라비아 알 호바르 2호 프로젝트 RO막 공급('20) 등 글로벌 입지 형성 중³¹⁾
 - 롯데케미칼은 삼성SDI 수처리 기술 및 제일모직 인수('15) 및 자체 R&D를 통해 중공사형 분리막 생산에 주력, 2018년 대구 물산업 클러스터에 500억 원을 투자하여 국내 최대 규모 수처리용 분리막 생산공장 건설, 중국 시장을 시작으로 수출 본격화³²⁾

27) 권병수 외(2020), 반도체 제조용 초순수 생산기술 동향 및 국산화 필요성, 대한환경공학회지 42(10)

28) 한국물환경학회, 물관리 기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획 수립연구 최종보고서 (2019)

29) 이경혁(2019). 수처리분야 전략물자 대응현황, 2019 물환경학회 공동추계포럼, 2019.10.

30) 환경부, 제1차 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획(안) (2019)

31) <http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=52823>

32) <http://www.watermaeil.com/news/articleView.html?idxno=790>

제4장 정책동향

4.1. 글로벌 정책 동향

☞ 수자원 부족·고갈 문제 해결을 위해 세계 각국에서 담수화 기술의 획득 및 대체 수자원 개발을 위한 정책 추진

- (사우디아라비아) 사우디 해수담수화 공사(Saline Water Conversion Corporation) 설치, 세계 최대 규모의 해수담수화 플랜트 건설 추진, 핵심 기술 개발 및 전문가 양성 노력
- (이스라엘) 정부 차원의 물 확보 기술 적극 개발로 물 산업 선진국으로 도약, '25년까지 용수의 60% 이상을 대체수자원으로 공급하기 위한 정책 검토
- (미국) 가뭄 대응과 대체수자원 활용을 위해 혁신기술 개발을 촉진하는 수자원 개발 법안 제정('16), 국가과학기술위원회(NSTC)는 물 안보를 위한 담수화 기술개발 전략('19) 마련
- (싱가포르) 해수담수화 및 물재이용을 통한 수자원 확보에 국가적 노력을 투입, 2060년까지 전체 물 수요의 80%를 담수 및 재생수로 충당하는 목표로 하는 NEWater 정책 추진
- (중국) 연해 지역 산업용수 및 도시 급수용으로 해수담수화 시설을 적극 활용하고 있으며, 제12차 5개년 발전계획('11)을 통해 해수담수화 부문 기술의 선진 반열을 목표로 제시

☞ 최근 하수를 새로운 수자원으로 인식하게 되며, 물 재이용 위한 정책적 노력 확대

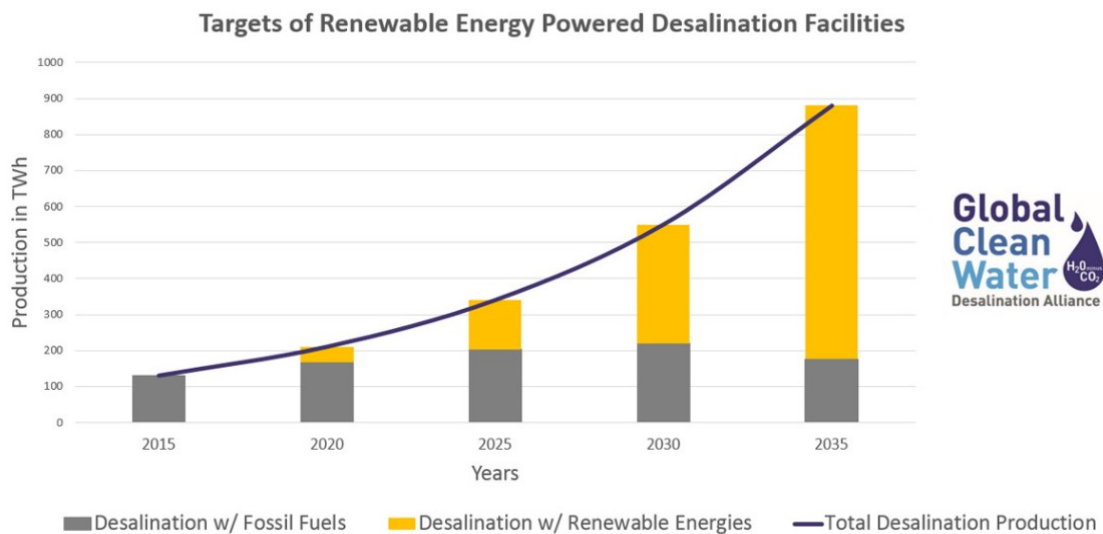
- (미국) 미국 환경보호청(EPA)은 2020년 2월 국가 물 재이용 행동계획을 수립하고, 물 재이용을 국가 수자원 계획의 최우선 과제로 추진
- (유럽) 지중해 연안 국가 중심으로 농업용수 활용을 위한 물 재이용을 적극 검토하고 있으며 2020년 5월 도시폐수의 관개용수 재이용을 위한 EU 차원의 기준 마련³³⁾
- (중국) 물 부족 도시에서 도시폐수의 직접 재이용 비율을 '15년 10% 미만에서 '20년 20% 이상으로 올릴 것을 요구하는 등 중앙정부 차원에서 물 재이용 확대를 강력하게 견인³⁴⁾

33) Europe commission(EC), (2020)

34) 중국의 수자원과 산업용수 이용 현황, EIS CHINA (2017)

☒ 확대되는 물 수요에 대응함과 동시에 물 생산에 소비되는 에너지 절감을 위해 “저에너지·저탄소 해수담수화 기술” 개발을 위한 국제사회의 노력 지속

- 국제사회는 UN-SDG의 하나인 ‘깨끗하고 안전한 식수 및 위생(Clean water and sanitation)’ 달성 및 물 수요-공급 격차 해소를 위한 담수화 기술의 중요성을 인³⁵⁾
- 파리 기후변화협약(COP21) 이후 국제담수화협회(International Desalination Association, IDA)는 저탄소 해수담수화 기술 개발을 위한 Global Clean Water Desalination Alliance (GCWDA) 발족⁽¹⁶⁾
 - IDA GCWDA는 2020-2025년에 발주되는 담수화 프로젝트의 20%를 신재생에너지 융합형 플랜트로 계약 목표 제시³⁶⁾



[그림 12] Global Clean Water의 신재생-담수화 플랜트 비중 확대 계획³⁷⁾

☒ 중동지역의 에너지 다변화 정책은 해수담수화 시장의 새로운 모멘텀으로 작용

- 최근 중동 각국에서 화석연료 중심의 발전구조에서 벗어나 발전원을 다변화하려는 정책 추진
 - 사우디아라비아는 2023년까지 신재생에너지 발전용량 9.5GW 달성 목표, UAE는 ‘50년까지 약 1,635억 달러를 투자하여 발전 부문 탄소발자국을 70% 감축 계획 등³⁸⁾

35) World Bank Group, The role of desalination in an increasingly water-scarce world (2019.3.)

36) Energy Efficient Desalination, International Water Summit, (2018.1.)

37) <https://www.osmosunwater.solutions/en/climate-initiative-for-clean-desalination-technologies/>

38) 이권형 외 (2017), 중동지역의 전력산업 정책과 국내기업 진출 확대방안, KIEP 정책연구 브리핑

- 중동 지역에서는 그간 석유화학발전소의 폐열을 해수담수화 플랜트의 열원으로 사용하며 증발법 기반 담수화 플랜트의 에너지 비용을 절감해왔으나, 에너지 전환 정책에 따라 신규 프로젝트는 RO 기반 및 신재생에너지 융합 방식의 담수화 플랜트로 전환 중
- 사우디아라비아는 포스트-오일 다각화 계획의 대표 프로젝트인 신도시 네옴(NEOM) 건설에 재생에너지만으로 담수를 생산하는 프로젝트를 채택
 - ※ 집광형 태양광 기술을 이용하여 낮 동안 에너지를 저장하고, 밤에는 태양광 돔으로 해수를 퍼올려 가열, 증발 및 응결시켜 담수를 생산하는 Solar Water 사업 추진

4.2. 국내 정책 동향

물관련 상위 법령 및 종합계획에서 해수를 주요 상수원의 하나로 명시하고 대체 수자원 개발 및 물시장 육성을 위한 담수화 기술개발 필요성 인정

- 「수도법」은 상수원의 정의에 해수를 포함하고, 도서 지역 물 문제 해결을 위해 해수담수화에 대한 국고보조금을 지원할 수 있음을 명시(제75조)
- 수자원 분야 최상위 법정계획인 「수자원장기종합계획(2016~2025)」(국토부)은 취수원 다변화 및 수자원 분야 미래산업 육성을 위해 담수화 기술개발계획 제시


다수의 법정계획에서 담수화 기술을 중요하게 다루고 있으나, 대체수자원 개발 및 운영을 위한 법령·제도의 미비로 구체적 용수공급계획으로의 연계는 제한적

- 대체수자원 시설과 관련된 규정은 수요자의 필요에 따라 개별 법령에 분산되어 있으며, 수자원 개발 방법 및 기술 가이드라인에 대한 내용은 부재
- 도서 지역 소규모 담수화 시설의 경우, ‘읍·면’ 단위의 수도정비기본계획에서 공급계획이 마련됨에 따라 용수공급원 선정·분석의 전문성 부족 및 재정 효율성 악화 초래
 - 우리나라 지방 상수도 운영 및 용수공급계획 수립은 지방자치단체 소관으로, 도서 지역의 담수화 건설계획·운영현황을 확인할 수 있는 중앙정부 차원의 계획 및 제도 부재

해수담수화 플랜트 기술은 국토교통부 주도로 육성해왔으나, 물관리 일원화 정책으로 수자원 개발 업무 환경부 소관으로 통합('18년)

- 국토교통부에서는 '16년 해수담수화 기술을 7대 신산업 중 하나로 선정, 물 부족 문제 해결과 신성장동력 산업 발굴을 목적으로 해수담수화 육성 정책 추진

- 해수담수화 강국으로 도약하기 위해 R&D지원 규모를 2배 수준으로 확대하고 국토교통과학기술진흥원에 해수담수화 전담팀을 구성하는 등 적극적인 지원계획 발표('16)
- 국가산업단지가 이상기온 등 기후변화에도 안정적으로 용수를 확보할 수 있도록 전국 임해산업단지의 해수담수화 도입 계획 마련
- 환경부에서는 그간 대체수자원으로서 하폐수의 재이용에 주목, 「물의 재이용 촉진 지원에 관한 법률」을 제정('10.6)하고 관련 계획 수립·법령 개정 등을 추진
 - 「물 재이용 기본계획(2011~2020)」을 통해 빗물, 중수, 하·폐수 재이용을 포함한 친환경 대체용수 확보(25.4억 톤) 및 물 재이용 보급 확대 및 재이용 수요처 발굴 계획 등 제시
 - '18년 7월, 공업용수에 대한 신규 수요가 발생할 경우, 하수처리수 재이용을 우선 검토하도록 「수도정비기본계획수립지침」 개정
- '18년 물관리 일원화 정책 추진에 따라 국토부의 수자원 개발 관련 사업을 환경부로 이관, 해수담수화 및 하·폐수 재이용을 포괄한 대체수자원 개발 업무를 환경부 소관으로 통합

 **최근 환경부는 물관리기본법 및 물산업 진흥계획 등을 수립하며 통합 물관리 개념 확립 및 수자원 개발을 위한 통합 전략을 제시**

- 환경부는 물분야 최상위법인 「물관리기본법」('18.6.) 제정을 통해 통합 물관리 개념 및 대체수 자원 개발 방향 등을 정립하였으며, '21년에는 「국가물관리기본계획」 수립 예정
 - 강물, 지하수, 해수, 하수 등 다양한 취수원을 통합적으로 다루는 최초의 법이자 법정계획으로, 취수원별 분절적 접근이 아닌 통합적 접근이 가능케 하는 취지
- 환경부는 물산업 진흥을 위한 최초의 총괄 전략*을 수립하고, 해수담수화 및 물재이용 활성화 통한 유망 융복합 물산업 육성 전략 제시
 - * 「제1차 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획(물산업진흥계획)」 (19.10.)
 - 신시장 확대 및 해외 진출 활성화를 위해 세계 최고 수준의 저에너지 담수화 기술개발 및 해외 실증을 추진하고 물재이용 활성화로 연관산업 기술혁신 촉진계획 제시
 - 물관리기술 R&D 로드맵에 “저에너지 해수담수화 플랜트”, “스마트 물 재이용” 등 포함

제5장 R&D 투자동향

5.1. 글로벌 R&D 투자동향

 주요국들은 국가전략 프로젝트로 해수담수화 기술개발 프로그램을 추진 중

- (사우디아라비아) 킹 압둘라대학의 WDRC(Water Desalination and Reuse Center)에서 해수담수화 전 영역에 걸친 기술개발 및 혁신 개념의 해수담수화 실증 프로젝트(ACD) 추진
 - 담수화 공정 및 시스템 혁신, 물, 에너지 및 환경을 위한 물질 및 막 개발, 산업 및 농·수 산업 분야의 지속가능한 수자원 기술 등
- (미국) 에너지부는 900만 달러 규모 담수화 기술개발 챌린지 개최(2020년), 국토개발국은 담수화 및 물재이용 연구과제에 580만 달러 지원 등
 - 음용수 생산 목적의 재이용 처리기술 개발(34만7천 달러), 염분 섞인 폐수 처리기술 개발 (22만 5천 달러) 등을 통해 담수화와 재이용수 기술의 광범위한 보급을 지원
- (일본) 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)는 도시화에 따른 백만 톤급 플랜트 수요증가에 대비하여 해수담수화 비용 저감 및 환경문제 해결을 목표로 Megaton water project 추진
 - 에너지사용량 20~30% 저감, 건설비 50% 삭감, 물생산비용 50% 저감, 환경부하 저감 목표
- (EU) Horizon2020 프로그램을 통해 다중 수자원 활용을 위한 물통합관리, 무배출 해수담수화 등 담수화 기술개발 및 적용을 위한 R&D 사업 추진
 - LIFE DREAMER(98만 유로), MIDES(633만 유로), Hydrousa 프로젝트(996만 유로), Zelda 프로젝트(102만 유로) 등 투입하여 담수화 및 물재이용 기술개발 지원
- (중국) 담수화 제12차 발전계획('11-'15)을 통해 해수담수화 프로젝트에 총 200억 위안을 투자하여 1일 담수화 용량 200만~300만톤 수준까지 높일 것으로 목표 제시
 - '17년 기준 136개의 해수담수화 시설을 운영 중이며, 대형 해수담수화 핵심기술, 시스템, 제조 능력 일체에 대한 국산화를 위해 정부 지원 지속

5.2. 국내 R&D 투자동향

가. 해수담수화 플랜트 정부R&D 추진현황

☞ 우리나라는 국토교통부/환경부 중심으로 해수담수화 플랜트 관련 대형 R&D 사업을 추진하고 핵심공정, 기본설계 및 실증 기술개발을 지원³⁹⁾

- 해수담수화 기술 성장기에는 RO 및 RO와 차세대 담수화 기술과의 융합연구 중심으로 투자 되었으며, 2015년 이후에는 국가별 맞춤형·수출형 담수화 플랜트 기술개발에 집중

※ 우리나라 담수화 플랜트 R&D 사업은 국토교통부에서 추진해왔으나 물관리 일원화('18)에 따라 국토교통부의 해수담수화 플랜트연구사업 환경부로 이관

〈표 7〉 국토교통부/환경부의 해수담수화 플랜트 R&D 주요 사업

구분	연구명	연구기간	정부R&D 투자 (억 원)	주요내용	
				담수화 기술요소	기자재
해수담수화 플랜트 연구사업	해수담수화 플랜트사업단 (SEAHERO)	'06.12.~ '14.11.	926	RO개발	RO막,고압펌프, 에너지회수장치
	해수담수화 막여과 시스템의 실용화 및 성능평가 연구센터(GDRC)	'13.12.~ '20.12.	34	인프라지원	
	MD/PRO 복합 탈염공정 실증플랜트 기술 개발연구단(GMVP)	'13.6.~ '18.6.	258	RO+ 타공정융합	MD/PRO 막 PRO 전용 압력 회수장치
	해수담수화 역삼투막 고급세정기술개발 과제(ROOT)	'14.12.~ '17.12.	43	막오염 예측 및 세정 기술	
	FO-RO 하이브리드 해수담수화프로젝트 연구단(FOHC)	'14.12.~ '19.12.	183	RO+ 타공정 융합	
	역삼투압방식 해수담수화플랜트 공정고도화 기술개발 연구단(SEAHERO2)	'14.12.~ '19.12.	93	RO고도화	
성숙기	중동지역 맞춤형 저에너지 해수담수화 플랜트 기술개발 연구단(KORAE)	'16.6.~ '22.12.	193	RO고도화	카트리지 필터, RO막, CDI모듈
	막증발 공정 파일럿 중동 현장적용 및 신재생결합형 해수담수화 무인운영기술 연구단(MD+)	'18.4.~ '21.12.	43	신재생+RO 기반 농축수 처리 공정	
	해상이동형 해수담수화플랜트 기술개발 연구단(DREAM)	'18.4.~ '23.12.	226	담수화선박	

- 유망기술의 국산화·고도화 및 미래에 수요가 높을 것으로 예상되는 신기술 개발 등 정부 R&D 사업을 통해 다양한 분야의 역량 확보

39) 세부사업·내역사업 단위에서 해수담수화 플랜트 기술개발을 목표로 추진된 사업은 상기 국토교통부(환경부) 사업만 해당

- 실증기술 개발을 위해 다수의 사업은 테스트베드 운영을 목표로 추진되었으나, 부지선정 지연에 따라 대부분 시운전만 수행되었다는 한계 존재
 - 정부 R&D 사업을 통해 기장군에 건설한 테스트베드의 경우, 상수도 공급 목적으로 총 1,954억원*을 투자하여 건설되었으나, 원전 근접 취수로 인한 주민들의 우려로 가동 중단
 - * 국비 823억, 시비 424억, 민자 706억
 - ※ 울산 산업단지에 공업용수를 공급하는 수요처 전환을 검토하였으나, 광역상수도 941원/t 대비 높은 생산원가(1,187원/t)로 인한 경제성 논란 발생
 - 수출 관련 제조업체의 실적 확보를 위한 국내 테스트베드 필요성은 높게 인식되나, 사회적 수용성으로 인한 부지·수요처 확보의 어려움은 지속되는 상황

한편, 담수화 플랜트 분야의 효율적인 연구 및 산업경쟁력 강화를 위해 부처간 역할분담과 연계·협력의 중요성이 강조

- 국토교통부는 해수담수화 플랜트 실증 및 시공기술개발을 지원했다면, 산업통상자원부는 담수화 공정의 핵심·원천 소재와 부품·기자재의 국산화를 지원
 - 제조-건설-운영 산업이 긴밀하게 연결된 물산업의 가치사슬을 고려하여, 부처간 역할분담 및 공동기획 등을 통한 성과연계 필요

〈표 8〉 산업통상자원부의 담수화 플랜트엔지니어링 R&D 주요 사업

구분	사업명	연구기간	정부R&D 투자 (억 원)	담수화 기술요소
	무방류 지향형 고효율 하이브리드 담수화 기술 개발	'12.6.~ '17.05.	41	RO모듈최적화,전기투석, MED/MVC
	세일가스전 발생폐수 재이용 및 생산수 처리시스템 엔지니어링 기술개발	'14.6.~ '17.05.	38	FO, MD, MCR
	중동시장 진출을 위한 신재생에너지 해수담수화 융합기술 개발	'18.12.~ '23.9.	250	신재생+RO/MD/MED

나. 담수화 분야 R&D 현황

수처리 기술로서 담수화 분야 전반에 대한 정부 R&D 투자규모는 2019년 기준 1,302억 원으로 정부R&D 예산의 0.63% 차지

※ 해수담수화 플랜트 연구뿐만 아니라, 수처리 메커니즘의 이해를 위한 기초연구, 환경 소재·부품, 전처리용 수처리 기술개발 및 하·폐수 재이용과 환경영향평가 등을 포함하여 광범위하게 집계⁴⁰⁾

40) NTIS에서 과제 키워드에 “담수화, desalination, osmosis, 정삼투, 역삼투, 막여과, 막증발법, 분리막, 수처리”를 포함하여 검색 후, 정성적 판단을 통해 관련 R&D 데이터를 추출(예. 2차전지용 분리막 개발 관련 과제 제외 등)

- 최근 5년간 추이를 보면, 감소하다가 2019년 소폭 상승하였으며 5년간 증가율은 △2.4%
 - 지속 확대되고 있는 정부R&D 규모와 비교할 때, 담수화 분야 R&D 투자비중은 축소 경향

〈표 9〉 담수화 분야 정부R&D 투자 현황

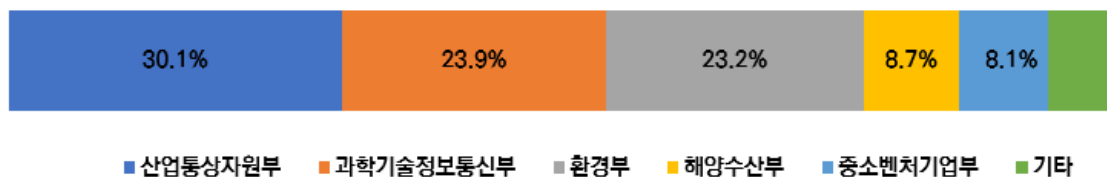
	2015	2016	2017	2018	2019	증가율
담수화 R&D	1,433	1,581	1,287	1,083	1,302	△2.4%
정부 R&D	188,747	190,044	193,927	197,759	205,306	2.1%
비중	0.76%	0.83%	0.66%	0.55%	0.63%	

※ 자료 출처 : NTIS 조사분석데이터를 바탕으로 키워드 검색

해수담수화 플랜트와 더불어 하·폐수처리, 농축 등 다양한 목적으로 총 10개 부처·청에서 담수화 분야 R&D 연구를 지원

- 2019년 기준, 산업통상자원부 30.1%, 과학기술정보통신부 22.9%, 환경부 22.3%를 나타내는 등 3개 부처에서 담수화 분야 R&D 예산의 75.3%를 차지
 - (산업통상자원부) 신재생에너지 융합형 해수담수화 공정, 방사능 오염수 처리 공정, 초순수 생산공정 등의 핵심·원천 소재 개발을 지원
 - (환경부) 해수담수화 플랜트 연구 및 상하수도 처리를 위한 환경 소재·부품 연구 지원⁴¹⁾
 - (과기정통부) 신공정 원천기술 개발 및 메커니즘 규명을 위한 개인기초연구 및 출연연(건기연, 화학연, KIST 등) 연구사업 중심으로 지원
 - (해양수산부) 해수 온도차발전, 선박용 수처리 및 해양심층수 등 미래 해양자원 연구 등
 - 그 외에도 농촌지역 기수담수화 및 스마트팜 활용을 위한 R&D(농림부), 수처리 소재·부품 기술의 사용화 지원을 위한 R&D(중소벤처기업부) 등
- 범부처 사업 형태로는 나노융합2020사업단을 통해 20억여 원이 지원되었으며, 나노기술 기반 흡착소재 개발 및 탄소나노소재를 이용한 고분자 복합막 개발 등을 수행

부처별 R&D 투자비중 (2019년 기준)

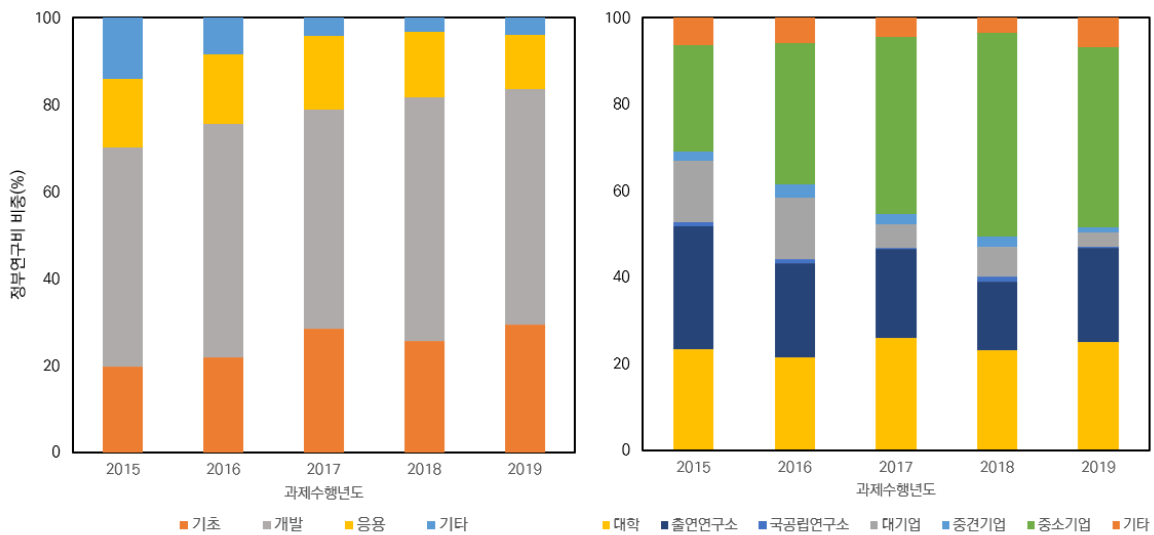


[그림 13] 부처별 R&D 투자 비중

41) 2018년 국토교통부로부터 이관된 해수담수화 플랜트연구사업 지원

연구개발단계의 경우, 기초·개발단계의 R&D 수행이 증가하고 있으며, 연구개발주체의 경우, 대학 및 출연연 중심이나 중소기업 비중 증가 추세

- (연구개발단계) 차세대 수처리 기술의 소재·메커니즘·신적용처 개발을 위한 기초·개발단계 연구 지속 증가 : ('15)70.1% → ('19)81.6%
- (연구개발주체) 최근 5년간 평균 45.5%의 연구비를 대학 및 출연연에서 수주
 - 중소·중견기업의 비중은 ('15)26.8%→ ('19)42.8%로 증가하고 있으나, 대기업 참여 비중은 ('15)14.3%→ ('19)3.3%로 대폭 축소



[그림 14] 연구개발 단계별 (좌) 연구개발 주체별 (우) R&D 수행비중

제6장 결론

6.1. 요약 및 정리

전 세계 물 수요의 지속적인 증가와 가용수자원 고갈의 심화로 물 안보를 위한 대체수자원 개발 및 담수화 기술 확보의 중요성 확대

- 지구상의 무한한 수자원인 해수분만 아니라, 처리 후 하천으로 방류되는 하수의 재이용 등 대체수자원 활용을 위한 담수화 기술 주목
- 인구 증가에 따른 용수수요 확대, 하·폐수 재이용 강화 및 선진국의 물-에너지 인프라 재투자 등을 계기로 수자원 개발을 위한 담수화 기술수요 증가 전망

해수담수화 기술은 핵심 소재와 공정기술의 발전으로 에너지 비용을 획기적으로 감소하였으나, 여전히 높은 에너지 비용이 한계점으로 작용

- 증발법 위주에서 분리막을 이용한 RO 방식으로의 전환과 더불어 차세대 담수화 기술(FO, PRO, CDI, MD) 및 신재생에너지-담수화 융합 플랜트 등 개발 중
- 해수담수화 기술의 시장진입 장벽이었던 높은 에너지 소모량은 대폭 감소하였으나, 여전히 높은 에너지 집약도가 기술 적용의 큰 이슈로 작용

해수담수화 플랜트 시장에서 O&M이 차지하는 비중이 커지고 있으며, 물재이용, 농축수 처리 등 담수화 기술의 적용처 확대·세분화 추세

- 해수담수화 시장의 67.4%를 운영비용(OPEX)이 차지하는 등 O&M의 비중이 커지고 있으며, 건설 및 운영의 토탈 솔루션을 보유한 선진 물 기업들의 높은 점유율 차지
- 대형 플랜트 사업은 정부발주형 위주에서 민간자본을 활용한 투자개발형으로 발주형태가 전환되고 있어, 금융조달 및 플랜트 운영능력을 보유한 기업의 경쟁우위 강화 추세
- 해수담수화뿐만 아니라 하수재이용, 농축수 처리 및 산업용수 시장으로 담수화 기술 적용처가 확대되고 있으며, 공정 목적에 따라 기술이 세분화되는 추세

- 글로벌 담수화 시장의 운영·관리 측면이 강화되고 있는 한편, 국내 시장의 제한적 규모와 수용성 문제는 수출 관련 기업들의 운영실적 확보를 어렵게 하는 요소로 작용
- ▣ 각국에서는 수자원 개발 및 관리의 중요성을 인식하고 저탄소 해수담수화 기술 개발 및 취수원 다각화 정책 추진
 - 국제 사회는 해수담수화 플랜트의 탄소 배출량 감소를 위한 기술협력 도모 및 수자원 다각화 정책을 통해 수자원 개발·관리 노력
 - 국제담수화협회(IDA)는 저탄소 해수담수화 기술 개발을 위한 GCWDA 발족하였으며, 주요 국가에서는 국가전략 프로젝트로 해수담수화 기술개발 프로그램을 추진
 - 우리나라는 물관리 일원화를 통해 통합 물관리 개념을 도입, 해수담수화와 물재이용 활성화 등을 포괄하는 유망 융복합 물산업 육성 전략을 수립
- ▣ 정부는 국토교통부 주도로 RO 기술 고도화 및 차세대 담수화 기술 개발을 위한 해수담수화 플랜트 연구를 지원
 - 정부는 국토교통부('18년 이후, 환경부) 중심으로 해수담수화 플랜트 연구를 지원하였으며, 최근 신재생에너지-해수담수화 융합플랜트 및 선박담수화 기술개발 등 추진 중
 - 해수담수화 플랜트 분야의 효율적인 연구와 및 산업경쟁력 강화를 위해, 물산업 가치사슬을 고려한 부처간 역할 분담과 연계·협력의 중요성이 강조

6.2. 시사점 및 정책제언

- ▣ 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 저탄소 및 친환경 담수화 플랜트 기술에 대한 R&D 투자 필요
 - RO 공정에 더 높은 에너지 효율이 요구되는 한편 신재생에너지 융합에 대한 수요가 증가하고 있으므로, 물-에너지 분야간 기술 협력을 통한 한국형 모델 개발 추진
 - 용수시장의 수요가 다양화 및 세분화되고 있음을 주목하여, 차세대 담수화 기술의 실증화 연구를 지원하고 국내 기업의 새로운 시장 창출 지원
 - 농축수 처리기술은 개발에는 오랜 시간이 걸리지만 기술 획득 시 파급효과가 매우 클 것으로 예상되는 기술로, 한계돌파형 기술개발을 위해 중장기적인 연구 필요

기업들의 운영·관리기술 역량 축적을 위해 정부는 기업의 활동 여건을 조성하고 부담을 줄이는 R&D 지원방안 마련

- 최근 해수담수화 시장은 운영·관리 측면의 엔지니어링 기술이 강조되고 있어 장기간 실적을 확보하고 신기술을 검증할 수 있는 테스트베드 건설·운영 지원 필요
 - 테스트베드 건설 부지 확보 및 수요처 발굴을 위한 정부의 마중물 역할이 요구됨
- 구축된 테스트베드가 지속 운전되어 신기술을 평가·검증할 수 있도록, 담수화 플랜트 물 생산 단가에 대한 보조금 도입 등을 검토할 필요

고부가가치 소재·부품 분야의 국내 물산업 경쟁력 강화 위한 다각적 노력 필요

- 국내 실정에 맞는 상·하수도 사업의 구조 개편을 통해 스마트 물관리 기술 적용, 수처리 신기술 도입 등 내수시장 활성화를 통한 물산업 기반 강화 노력을 병행할 필요
 - R&D로 개발에 성공한 기술을 지자체 및 공공기관의 상·하수도 시설에 도입하여 국내 물관련 기술·제품이 운영 실적을 확보할 수 있도록 지원
- 담수화 분야의 경우, 하수재이용 시장 및 산업용수 시장을 중심으로 중소기업들의 핵심 소재·부품 국산화 R&D를 지원하여 기업들의 역량 확보를 촉진

단순 양적 확보 차원이 아닌 ‘미래 수자원 안정성 확보’라는 인식 전환으로, 국내 용수공급 모델의 다양화를 검토할 필요

- 물 위기를 결정짓는 다양한 요소를 재평가하고 안정적인 용수공급 기술로서의 담수화 기술의 성공모델 개발 및 확산 필요
 - 일부 지역의 만성적 가뭄과 미래의 물 문제 대응을 위해 용수공급 모델을 다양화하여, 담수화 기술을 포함한 수처리 분야 신기술의 시장진입 기회 창출 필요
 - 지역별 사건 발생(인적 오류, 자연재해 등)에 따른 우리나라 수도공급 모델의 회복력을 평가하고, 사회적 갈등을 최소화하는 문제 해결 관점에서 다양한 수처리 모델 평가

참고문헌

해외문헌

- World Bank Group (2019), The role of desalination in an increasingly water-scarce world
- GWI Magazine No.10, 2020
- International Desalination Association (2020), IDA Water Security Handbook 2019-2020
- International Energy Agency (2016), Water Energy Nexus
- Rory Weaver (2020), Desalination Market Update, GWI Desaldata Market Assessment Webinar, 2020.8.
- E Jones et al (2019), The state of desalination and brine production: A global outlook, Science of the Total Environment, Vol.657
- A. Al-Karaghoul et al (2013). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.24
- Nikolay Voutchkov (2018), Energy use for membrane seawater desalination – current status and trends, Desalination, Vol.431
- Shu-Yuan Pan et al (2020), Brackish water desalination using reverse osmosis and capacitivedeionization at the water-energy nexus, Water Research, Vol.183
- M. Abdelkareem 외 (2018), Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants, Desalination, Vol.435
- NSTC (2019), Coordinated Strategic Plan to advance Desalination for Enhanced Water Security, 2019.3.

국내 문헌

- 김종표, 분리막 제조사 관점에서 바라본 막여과 활성화를 위한 제언, 대한상하수도학회-한국물환경학회 공동 추계 포럼(2020)
- 한국물환경학회, 물관리 기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획 수립연구 최종보고서 (2019)
- 이경혁(2019), 수처리 분야 전략물자 대응현황, 2019 물환경학회 공동추계포럼, 2019.10.
- 박선영 외 (2018), 해수담수화 시설에서 생성된 농축수의 환경적 영향, 환경영향평가, Vol.27
- 환경부, 제1차 물관리기술 발전 및 물산업 진흥 기본계획(안) (2019)
- 권병수 외(2020), 반도체 제조용 초순수 생산기술 동향 및 국산화 필요성, 대한환경공학회지 42(10)
- 이권형 외 (2017), 중동지역의 전력산업 정책과 국내기업 진출 확대방안, KIEP 정책연구 브리핑

- 경기연구원 (2017), 물산업 운영·관리 분야의 민간참여 활성화 방안
- 한국지방행정연구원 (2015), 도서지역 해수담수화 시설의 효율적인 운영방안 연구
- 홍승관 (2018), 중동지역 맞춤형 저에너지 해수담수화 플랜트 기술개발 연구단, 플랜트연구사업 해수담수화분야 통합 워크숍, 2018.6.8.
- EIS CHINA (2017) 중국의 수자원과 산업용수 이용 현황
- 김진수 외 (2019), 물관리 일원화에 따른 문 분야 법정계획의 정비 방향, NARS 현안분석
- 환경부 (2012), OECD 2050 환경전망 (번역본)

보도자료

- 동아일보 (2020), GS건설, 2조3310억원 규모 중동 오만 해수담수화 사업 수주, 2020.11.19.
- 매일경제 (2020), GS건설·싱가폴 수자원공사, '해수담수화 에너지 기술' 상용화 공동연구, 2020.5.6.
- 기계설비신문 (2021), [정책인터뷰] 김동진 환경부 수자원정책국장에게 듣는다, 2021.3.22.
- 연합뉴스 (2019), 수원시, 세계 최대 규모 하수처리수 재이용 시설 추진, 2019.12.26.
- Sciencetimes (2017), 사우디 사막에 미래도시 들어선다, 2017.11.7.

사이트

- <http://www.doosanheavy.com/kr/>
- <http://www.kdhc.co.kr>
- <https://www.hitachi.com>
- <http://www.waterjournal.co.kr/>
- <http://www.watermaeil.com/>
- <https://www.waterworld.com/>
- <https://www.osmosunwater.solutions/>
- <http://www.waterindustry.co.kr/>
- <https://www.wateronline.com/>

| KISTEP 기술동향브리프 발간 현황 |

발간호	제목	저자 및 소속
2021-07	해수담수화	이현경(KISTEP)
2021-06	연료전지	이선명(KISTEP)
2021-05	개인용 항공기(PAV)	최충현(KISTEP)
2021-04	스마트 디바이스용 센서	형준혁(KISTEP)·유형정(KISTEP)
2021-03	스마트농업	유거송(KISTEP)·여창민(KISTEP)
2021-02	수소 생산	김기봉(KISTEP)·김태경(KISTEP)
2021-01	대체육(代替肉)	윤성용(KISTEP)·조해주(KISTEP) 이경본(전남대학교)
2020-16	반도체 후공정(패키징)	채명식(KISTEP)·여성울(KISTEP)
2020-15	디지털 치료제 (Digital Therapeutics)	김주원(KISTEP)·장기정(KISTEP) 황은혜(KISTEP)
2020-14	소형위성	이재민(KISTEP)·최충현(KISTEP)
2020-13	스마트 헬스케어	한지아(KISTEP)·김은정(KISTEP)
2020-12	신남방국가 과학기술 정책 동향 -인도, 베트남, 싱가포르-	권장호(KISTEP)
2020-11	핵융합 에너지	여준석(KISTEP)·정예슬(KISTEP)
2020-10	제조용 IoT	나영식(KISTEP)
2020-09	제조용 협동로봇	유형정(KISTEP)·김홍범(KITECH)

| 저자 소개 |

이현경

한국과학기술기획평가원 투자기획조정센터 부연구위원

Tel: 043-750-2589 E-mail: hkleee19@kistep.re.kr

| 편집위원 소개 |

류 영 수 선임연구위원

강현규 연구위원, 김선재 연구위원

김가영 부연구위원

윤성용 연구원

한국과학기술기획평가원 사업조정본부

Tel: 043-750-2591 E-mail: chopper@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

KISTEP 기술동향브리프 | 2021-07호

해수담수화