R&D / 17RDPP-C136106-01

국토교통 R&D Report

통합대체수자원 확보를 위한 역삼투 기반 압력지연삼투 공정 및 고도 막증발법 해수담수화 플랜트 기술개발 기획

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통연구기획사업 최종 보고서

R&D / 17RDPP-C136106-01

통합대체수자원 확보를 위한 역삼투 기반 압력지연 공정 및 고도 막증발법 해수담수화 플랜트 기술개발 기획

최종보고서

2018. 8. 7.

주관 / 경남대학교 산학협력단

공동 / GS건설㈜

㈜테크노베이션파트너스

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “ 통합대체수자원 확보를 위한 역삼투 기반 압력지연 공정 및 고도 막증발법 해수담수화 플랜트 기술개발 기획“ 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018 년 8 월 7 일

주관연구기관명: 경남대학교 산학협력단
주관연구책임자: 김승현
연구원: 이태민

공동연구기관명: GS건설㈜
공동연구책임자: 박용균
부장: 박태신
과장: 여인호
과장: 이원일
대리: 서선근

공동연구기관명: ㈜테크노베이션파트너스
공동연구책임자: 현재호
책임 연구원: 조경민
선임 연구원: 한승진
전임 연구원: 이지우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>17RDPP-C136106-01</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>‘17.9.15.~’
18.5.14</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부 사업명</td><td colspan="4">대체수자원 기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">해당 없음</td></tr>
<tr><td>세부 과제명</td><td colspan="4">통합대체수자원 확보를 위한 역삼투 기반 압력지연
공정 및 고도 막증발법 해수담수화 플랜트 기술개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">김승현</td><td>해당단계
참 여
연구원 수</td><td>총: 11 명
내부: 11 명
외부: 0 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부: 96,000천원
민간: 천원
계: 96,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참 여
연구원 수</td><td>총: 11 명
내부: 11 명
외부: 0 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 96,000천원
민간: 천원
계: 96,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">경남대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명</td><td></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td><td></td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">■연구개발 목표 :
- 차세대 융·복합 해수담수화 공정인 압력지연삼투 및 막증발 공정의 실증기술을 확보하기 위한 과제 기획
■연구개발내용 :
- (PRO) “담수화 농축수 활용 친환경 플랜트 기술개발” 연구단 과제 기획
- (MCr) “농축수 발생량 저감을 위한 MCr 시스템 엔지니어링 기술개발” 일반과제 기획
- (사업화) 개발기술의 실증 및 사업화 전략 기획
■연구개발성과 :
- 기획연구 최종 보고서 : 핵심과제 공모를 위한 과제제안 요구서(RFP) 포함
- 차세대 담수기술인 압력지연삼투 및 막증발법 관련 기술 선도 및 기술적 우위 확보전략 수립
-핵심기술 확보를 위한 연구기간, 투입인력, 장비, 실증단지 등을 고려하여 연구개발 예산 산출</td><td colspan="2">보고서 면수 310</td></tr>
</table>

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	통 합 대 체 수 자 원 , 해 수 담 수 화 , 압 력 지 연 삼 투 , 막 증 발 , 테 스 트 베 드
	영 어	Integrated alternative water resources, Seawater Desalination, Pressure Retarded Osmosis, Membrane Distillation, Test-Bed

요 약 문

Ⅰ. 제 목

통합대체수자원 확보를 위한 역삼투 기반 압력지연공정 및 고도 막증발법 해수담수화 플랜트 기술개발 기획

Ⅱ. 기 술 의 정 의 및 연 구 의 필 요 성

최근에는 국내도 물 부족 문제로부터 자유롭지 못하다. 기후변화 등의 이유로 국지적인 가뭄이 지속적으로 발생하고 있으므로, 물 부족 문제를 해결하기 위하여 해수담수화를 적극 활용할 필요가 있다. 특히 물 부족 피해가 심각한 임해산업단지의 안정적 용수공급을 위하여 해수담수화의 개발이 시급하다.

최근 친환경 해수담수화 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 에너지를 과다하게 소비하고, 고염분의 농축수를 바다로 방류하여 해양환경오염을 야기할 수 있는 해수담수화 공정을 환경친화적으로 전환시킬 수 있는 기술이 높은 관심을 받고 있다. 국내 연구진은 선행연구를 통해서 농축수를 희석하여 환경오염 문제를 해결하고 동시에 농축수에 함유된 염도차에너지의 회수를 통하여 해수담수화 에너지 소비량을 절감시킬 수 있는 “압력지연삼투(pressure retarded osmosis, PRO)의 실증파일럿 기술을 개발하였다. 또한 농축수 방류량을 감소시킬 수 있는 신개념 복합탈염기술인 막증발법(membrane distillation, MD)의 실증파일럿 기술을 개발하였다. MD 기술은 해수 내지는 농축수에 함유된 유가자원을 회수할 수 있는 막결정법(membrane crystallization, MCr) 기술과 연계되어 있다.

본 기획과제에서는 2가지 다른 성격의 기술들을(PRO, MCr) 대상으로 각각의 연구과제를 제안하였다. 선행연구를 통하여 시스템 원천기술을 확보하고 기술적으로 실용화에 근접한 PRO 기술은 세계 최초로 트레인 규모의 실증플랜트를 구축하고 운영하는 내용의 연구단 과제를 제안하였다. 한편 개발 초기 단계인 MCr 기술은 기초 기술을 개발하는 일반과제를 제안하였다.

Ⅲ. 국내외 동향 및 환경 분석

국내외 정책, 시장, 산업생태계, 기술동향, 논문 및 특허, 연구개발 인프라를 분석하고 유사과제 및 기존기술과의 차별성을 검토하였다. PRO 및 MCr 기술에 모두 해당되는 주요 분석내용을 요약하면, 해수담수화는 국내의 다양한 물산업 육성 정책에 언급되고 있으며 국토교통부의 7대 신사업에 선정되었다. 해외에서는 걸프지역의 중동국가 외에 이스라엘과 싱가포르가 해수담수화를 수자원의 일환으로 적극 활용하고 있었다. 즉, 국내외 모두 물부족 해결을 위한 해수담수화 기술의 정책적 중요성이 높았다. 또한 해수담수화플랜트 시장은 지속적인 성장이 전망되었다. 시장의 확장성도 높아서 중동 외 남미, 아시아, 아프리카 지역으로도 시장이 새롭게 형성될 것으로 전망되었다. 반면 기존 담수화 기술은 선진국 글로벌 기업과의 경쟁이 치열하기 때문에, 국내 기업이 시장경쟁의 우위를 점하기 위해서는 친환경 해수담수화 기술의 개발이 필요하였다.

PRO 기술에 해당되는 주요 분석결과는 아래와 같음

- 해수담수화플랜트의 농축수 영향의 저감과 관련한 기존 기술의 효과는 제한적임
- 농축수로부터 염도차에너지를 회수하는 PRO 기술은 실용화 초기 단계임
- 실증 초기단계인 국내 PRO 기술은 해외 대비 경쟁력을 보유함
- 신기술의 시장 진입을 위해서는 일정 규모 이상의 실적과 경험이 필수적임
- PRO 기술은 실증사례가 부족함

MCr 기술에 해당되는 주요 분석결과는 아래와 같음

- 해수내 유가자원 회수기술 개발이 진행 중임
- 농축수로부터 유가자원을 회수하는 MCr 기술은 아직 초기단계임

- 국내 MD/MCr 기술은 해외 대비 경쟁력 보유함

IV. PRO 연구개발과제 구성 및 추진전략

환경분석을 통하여 도출된 이슈에 근거하여 “친환경 해수담수화 기술의 선제적 확보”라는 비전과 “농축수 영향 저감과 에너지 사용량 절감을 위한 염도차에너지 회수형 담수화플랜트 엔지니어링 기술개발”이라는 목표를 설정하였다. 정량적 목표치는 농축수 염농도 증가율의 경우 현재 수준인 160%에서 110%까지 낮추고, 에너지 회수량은 현재 수준인 0.5 KWh/m3에서 0.8 KWh/m3으로 높이고, PRO 분리막의 에너지 밀도는 현재 수준인 7.5 W/m2에서 10 W/m2으로 높이도록 설정하였다.

기술동향 분석, 기획팀 제안, 산학연 수요조사 등의 방법을 통하여 26개의 후보기술을 도출하였다. 우선순위 평가들을 거친 후, PRO 연구개발과제는 아래와 같이 4개의 세부과제로 구성하였다.

- 압력지연삼투(PRO) 연구단 과제 구성

1세부과제: PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치개발

2세부과제: SWRO-PRO 트레인 설계 및 구축 기술개발

3세부과제: SWRO-PRO 트레인 운영 기술개발

4세부과제: 해외 맞춤형 실증화 기술개발

V. PRO 사전타당성 검토

1). 정책적 타당성

- 해수담수화는 국내 상위계획을 통해서 기술개발 추진 방향성이 제시되었음
- 해수담수화 배출수 관리는 해수담수화 도입을 위하여 국가가 반드시 확보해야 하는 기술임
- 해수담수화 국내 도입을 위해서는 개발 중인 혁신기술의 실증이 필요하나 민간 독자 추진시 추자위험이 커 정부차원의 기술개발의 추진이 필요한 것으로 판단됨

2). 기술적 타당성

- 해양생태계 보전을 위한 배출수 처리기술의 개발 및 실용화가 필요함
- 선행투자를 통해 국내 SWRO-PRO 기술의 시스템 원천기술이 확보되었으며, 연계 후속기술의 개발을 통한 실용화가 필요한 단계로 기술적 타당성이 있는 것으로 판단됨

3). 경제적 타당성

- 해양생태계 훼손에 대한 사회적 비용 발생 방지, 해수담수화플랜트 적기 도입(주민 반발에 의한 개발 지연 방지), 담수 생산비용 저감 편익, 기술우위에 따른 해외시장 수주 증대로 구분하여 편익을 계산한 결과 B/C가 1보다 크게 산출되어 경제적 타당성이 있는 것으로 판단됨

VI. PRO 연구개발과제 소요예산 산정 및 과제공모 방안

- 4개의 세부과제 5년 합산 940명의 인력투입이 필요할 것으로 예상됨
- 5년간 정부출연금 290억원과 민간 97억원, 총 387억원의 예산을 투입하여 추진할 예정
- 년차별로는 1차년도 44억원(정부 33억원, 민간 11억원), 2차년도 101.33억원(정부 76억원,민간 25.33억원), 3차년도 121.33억원(정부 91억원, 민간 30.33억원), 4차년도 68억원(정부 51억원, 민간 17억원), 5차년도 52억원(정부 39억원, 민간 13억원)이 필요함

VII. MCr 연구개발과제 구성 및 추진전략

환경분석을 통하여 도출된 이슈에 근거하여 “brine mining을 위한 저탄소 MCr 시스템 엔지니어링 기술 확보”라는 비전과 “해수기반 저방류, 저탄소, 자원생산 복합 플랜트 기술개발”이라는 목표를 설정하였다. 정량적 목표치는 해수내 미네랄 회수율의 경우 현재 수준이 없으므로 50%로 설정하였고, 농축수 방류량은 현재 수준인 60%를 30%까지 낮추고, 물 회수율은 현재 수준인 30%를 60%까지 높이도록 설정하였다.

기술동향 분석, 기획팀 제안, 산학연 수요조사 등의 방법을 통하여 23개의 후보기술을 도출하

였다. 우선순위 평가들을 거친 후, PRO 연구개발과제는 아래와 같은 공동과제로 구성하였다.

공동과제 1: 담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 공정 기반 농축수 저방류 기술개발

공동과제 2: 고회수율/저오염의 MCr 전용 분리막 모듈 및 공정 기술개발

공동과제 3: MCr 공정 기반 자원회수 및 결정화 기술개발

VIII. MCr 사전타당성 검토

- 정책적 및 기술적 타당성은 PRO 연구과제와 동일함
- 경제적 가치 상승, 기술적 가치 상승, 사회적 가치 상승으로 구분하여 편익을 계산한 결과 B/C가 1보다 크게 산출되어 경제적 타당성이 있는 것으로 판단

IX. MCr 연구개발과제 소요예산 산정 및 과제공모 방안

- 4년 동안 114명의 인력투입이 필요할 것으로 예상됨
- 4년간 정부출연금 100억원과 민간 30억원, 총 130억원의 예산을 투입하여 추진할 예정
- 년차별로는 1차년도 22.1억원(정부 17억원, 민간 5.1억원), 2차년도 32.5억원(정부 25억원,민간 7.5억원), 3차년도 35.1억원(정부 27억원, 민간 8.1억원), 4차년도 40.3억원(정부 31억원, 민간 9.3억원)이 필요함

목차

제1장 기술의 정의 및 기술 분류 1

1절. 기술의 정의 1

1. 기술의 정의 및 필요성 1

2절. 기술 분류 및 내용 10

1. 기술 분류 체계도 10
2. 기술 분류별 기술내용 15

제2장 국내외 동향 및 환경 분석 29

1절. 국내외 정책동향 및 분석 29

1. 국내 수자원 개발 정책 동향 29
2. 국외 수자원 개발 정책 동향 34

2절. 국내외 시장현황 및 전망 42

1. 해수담수화 산업시장 동향 42

3절. 해수담수화 산업생태계 분석 50

1. 해수담수화 산업 구성 및 특징 50
2. PRO 및 MD(/MCr) 밸류체인별 특성 및 주요 플레이어 53

4절. 국내외 기술동향 및 분석 75

1. 해수담수화 기술 동향 75
2. 해수담수화 신기술 동향 91

5절. 논문 및 특허 분석 113

1. 국제학회 동향 113
2. 기술 특허분석 117

6절. 연구개발 인프라 분석 132

1. 국토교통부 연구단 (GMVP) 132
2. 정부출연연구소 135
3. 해수담수화 관련 센터 139
4. 국내전문가 현황 140
5. 국내 R&D 추진현황 143

7절. 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성 ····· 144
1. 유사 중복성 검토 및 기존 연구와의 차별성 ····· 144
8절. 종합 분석 ····· 154
1. 종합 시사점 ····· 154
2. 이슈 ····· 157

제3장 압력지연삼투(PRO) 연구개발과제 구성 및 추진 전략 ·· 158
1절. 비전 및 목표 ····· 158
1. 비전 및 설정 근거 ····· 158
2. 목표 및 설정근거 ····· 159
2절. 핵심요소기술(CTE) 선정 ····· 162
1. 후보과제 도출 ····· 162
2. 우선순위 선정 ····· 164
3절. 연구개발 과제 구성 ····· 171
1. 과제 구성 ····· 171
4절. 과제별 주요 내용 및 추진전략 ····· 174
1. 과제별 주요 내용 ····· 174
2. 최종 성과 및 대표기술 ····· 175
5절. 과제간 연계관계 ····· 176
1. 압력지연삼투(PRO) ····· 176
6절. 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 177
1. 기술로드맵 ····· 177
2. 성과로드맵 ····· 178
7절. 경쟁기술 분석 ····· 180
1. PRO 경쟁기술 분석 ····· 180
8절. 연구과정상 위험요소 및 대응방안 ····· 182
1. PRO 플랜트 실증화 기술의 SWOT 분석 ····· 182
2. PRO 기술개발 위험요인 ····· 182
9절. 성과활용 및 사업화전략(비지니스 모델 등) ····· 185
1. 성과활용 ····· 185
2. 사업화 전략 ····· 186

제4장 압력지연삼투(PRO) 사전타당성 검토 191
1절. 논리모형(Logic Model) 191
2절. 정책적 타당성 194
3절. 기술적 타당성 199
4절. 경제적 타당성 201
1. PRO 기술 201

제5장 압력지연삼투(PRO) 소요예산 산정 220
1절 연구일정에 따른 인력투입 계획 220
1. 전체사업 인력투입 계획 220
2절 소요예산 산정 222
1. 압력지연삼투 공정 소요예산 산정 222

제6장 과제공모 방안 227
1절 과제제안 요구서(RFP) 227
1. 압력지연삼투(PRO) 과제 제안 요구서 227
2절 연구단계별 평가기준(안) 239

제7장 막결정(MCr) 연구개발과제 구성 및 추진전략 240
1절. 비전 및 목표 240
1. 비전 및 설정 근거 240
2. 목표 및 설정근거 241
2절. 핵심요소기술(CTE) 선정 242
1. 후보과제 도출 242
2. 우선순위 선정 244
3절. 연구개발 과제 구성 251
1. 과제 구성 251
4절. 과제별 주요 내용 및 추진전략 254
1. 과제별 주요 내용 254
2. 최종 성과 및 대표기술 255
5절. 과제간 연계관계 256

1. 막결정 기반 농축수 저방류(MCr 저방류) 256
6절. 기술로드맵 및 성과로드맵 257
1. 기술로드맵 257
2. 성과로드맵 258
7절. 경쟁기술 분석(MCr) 259
1. 경쟁기술 259
8절. 연구과정상 위험요소 및 대응방안 260
1. SWOT 분석 260
2. MCr 기술개발 위험요인 260
9절 성과활용 및 사업화전략(비지니스 모델 등) 265
1. 성과활용 265
2. 사업화 전략 267
제8장 막결정(MCr) 사전타당성 검토 271
1절. 논리모형(Logic Model) 271
2절. 정책적 타당성 274
3절. 기술적 타당성 279
4절. 경제적 타당성 281
1. 유가자원의 회수측면에서의 경제성 분석 281
2. MCr 기술적인 측면에서의 경제성 분석 285
3. MCr 기술 편익분석 286
제9장 막결정(MCr) 소요예산 산정 295
1절 연구일정에 따른 인력투입 계획 295
1. 전체사업 인력투입 계획 295
2절 소요예산 산정 297
1. 막 결정 공정 소요예산 산정 297
제10장 막결정(MCr) 과제공모 방안 300
1절 과제제안 요구서(RFP) 300
1. 막결정(MCr) 과제 제안 요구서 300
2절 연구단계별 평가기준(안) 310

그림차례

그림 1-1. 압력지연삼투법(Pressure Retarded Osmosis, PRO) 개념도 ····2
그림 1-2. SWRO-PRO hybrid desalination system (a) turbine process, (b) 2PX process ····3
그림 1-3. 막 증발법(Membrane Distillation, MD) 개념도 ····4
그림 1-4. 막 결정법(Membrane Crystallization, MCr) 개념도 ····5
그림 1-5. 기획대상 기술(PRO/MCr) 연구개발의 필요성 ····9
그림 2-1. 국토교통부 7대 신사업 ····30
그림 2-2. 국내 물 시장 규모 ····43
그림 2-3. 국내 물 산업 관련 제조업의 주요 업종별 사업체 수 ····43
그림 2-4. 물 산업 관련 제조업의 주요 업종별 수출액 ····43
그림 2-5. 세계 해수·기수 담수화 시장 규모 및 추이 (GWI 2017) ····44
그림 2-6. 전체 담수화 시설 규모 전망 (GWI 2016) ····44
그림 2-7. 중동국가별 해수담수화 시장 규모 현황 및 전망 (GWI 2015) ····45
그림 2-8. SWRO Cost Trends ····49
그림 2-9. 해수담수화 산업의 구성 ····50
그림 2-10. 도레이케미칼 RO 막 ····54
그림 2-11. Aquaver 공정 ····55
그림 2-12. Aquaver사의 WTS-40 시스템을 사용한 서로 다른 농도수준의 바닷물 처리 ····56
그림 2-13. Memstill ® 프로세스 원리 도식(좌) 및 Memstill ® 모듈(우) ····57
그림 2-14. LG화학 RO 막 ····57
그림 2-15. 에코니티 산업용 수처리 분리막 ····58
그림 2-16. 필로스의 주요 생산 막 시스템 ····58
그림 2-17. 세프라텍의 주요 생산·제작 제품 ····59
그림 2-18. 해수담수화 플랜트 사업 구조 ····60
그림 2-19. 해수담수화 플랜트 시장의 주요 플레이어 (’06~’12) ····62
그림 2-20. Veolia 주요 수처리 사업 및 기술 영역 ····63
그림 2-21. IDE 주요 수처리 사업 및 기술 영역 ····63
그림 2-22. Hyflux의 주요 수처리 사업 및 기술 영역 ····64
그림 2-23. 두산중공업 RO 플랜트 ····64
그림 2-24. GS건설 SWRO-PRO 플랜트 ····65
그림 2-25. 포스코 광양 해수담수화 플랜트 ····66
그림 2-26. LG-히타치 MF/UF 멤브레인 ····67
그림 2-27. 효림산업 해수담수화 분야 주요 사업 및 기술 영역 ····68
그림 2-28. the ratio of EPC and EPC + O&M ····69
그림 2-29. 하루 32만 톤의 식수를 생산할 수 있는 투아스프링 해수담수화 플랜트 ····70
그림 2-30. 담수방법별 시설 규모 (GWI 2016) ····75
그림 2-31. Statkraft사의 PRO 발전 파일럿 플랜트 전경 ····91

그림 2-32. KAUST PRO 파일럿 플랜트 개념도 ····· 93
그림 2-33. GMVP 연구단 연구 개념도 ····· 99
그림 2-34. (A) 실증 플랜트 (240 m3/d), (B) 파일럿 플랜트 (20 m3/d) ····· 99
그림 2-35. 해수담수화 기술 논문 발표 동향 분석 ····· 115
그림 2-36. 압력지연삼투 기술 논문 발표 동향 분석 ····· 116
그림 2-37. 막증발 기술 논문 발표 동향 분석 ····· 116
그림 2-38. 해수담수화 기술 특허출원 동향 ····· 117
그림 2-39. 해수담수화 기술 국가별 특허출원 동향 ····· 117
그림 2-40. 해수담수화 기술 세부분류별 특허출원 동향 ····· 118
그림 2-41. 해수담수화 기술 세분류별 특허출원 동향 ····· 118
그림 2-42. 해수담수화 기술 특허출원 분석 ····· 119
그림 2-43. 국가별 특허 출원건수 ····· 120
그림 2-44. 연도별 특허 출원건수 ····· 121
그림 2-45. 압력지연삼투(PRO) 상위출원인 TOP 7 ····· 122
그림 2-46. IPC 코드 분류별 출원현황 ····· 124
그림 2-47. 압력지연삼투 기술 분야 부상성 평가 ····· 125
그림 2-48. 국가별 특허 출원건수 ····· 126
그림 2-49. 국가별-연도별 특허 출원건수 ····· 127
그림 2-50. 막증발법 상위출원인 TOP 7 ····· 128
그림 2-51. IPC 코드 분류별 출원현황 ····· 130
그림 2-52. 막증발법 기술 분야 부상성 평가 ····· 131
그림 2-55. KORAE 연구단 구성 ····· 135
그림 2-56. 농도와 가격으로 평가한 해수 내 자원회수의 경제적 타당성 평가 ····· 153
그림 3-1. PRO 연구개발의 비전 및 성과목표 ····· 158
그림 3-2. SWRO-PRO 실증파일럿 플랜트 조감도 (예시) ····· 159
그림 3-3. PRO 연구개발사업의 정량적인 성과목표 ····· 160
그림 3-4. 기술수요조사 방법 ····· 162
그림 3-5. 중점추진분야 수립절차 ····· 163
그림 3-6. PRO 수요조사서(과제카드) 양식 ····· 164
그림 3-7. 우선순위 선정방법 ····· 166
그림 3-8. PRO 과제 후보기술(안) ····· 167
그림 3-9. 연구개발과제의 우선순위 도출 프로세스 ····· 168
그림 3-10. 평가지표 설계 프로세스 ····· 169
그림 3-11. PRO 추진과제 도출 ····· 171
그림 3-12. PRO 기술로드맵 ····· 177
그림 3-13. PRO 개발기술간 연계성 ····· 178
그림 3-14. PRO 성과로드맵 ····· 178
그림 3-15. PRO 기술 주요 TRM ····· 179
그림 3-16. RED 기술이 개략적인 모식도 ····· 180
그림 3-17. RED 기술 발전의 역사 ····· 181

그림 3-18. PRO 공정 비즈니스 모델 캔버스 ·····187
그림 3-19. SWRO-PRO 복합 해수담수화 플랜트 개념도 ·····189
그림 3-20. SWRO-PRO 복합 해수담수화 플랜트 기술개발과 서비스 모델 ·····190
그림 4-1. 논리모형의 기본구조 ·····191
그림 4-2. 압력지연삼투(PRO) 연구개발 논리모형 ·····192
그림 4-3. 플랜트 기술 실증연구의 특징 ·····198
그림 4-4. 해수담수화 플랜트 반대 시위_미국 ·····199
그림 4-5. 국내 해수담수화플랜트 적기 도입에 따른 조기 편익 창출 효과 ·····209
그림 4-6. 역삼투(RO) 방식 해수담수화 프로세스의 생산 단가의 구성 ·····212
그림 4-7. 세계 해수담수화 플랜트 시장규모 예측 ·····217
그림 6-1. 연구개발 목표 ·····228
그림 6-2. PRO 공정에 관한 연구개발 기술 로드맵 ·····234
그림 6-3. 연구과제 성과물 (수정) ·····235
그림 7-1. 기술수요조사 방법 ·····242
그림 7-2. 중점추진분야 수립절차 ·····243
그림 7-3. MCr 수요조사서(과제카드) 양식 ·····244
그림 7-4. 우선순위 선정방법 ·····246
그림 7-5. MCr 과제 후보기술(안) ·····247
그림 7-6. 연구개발과제의 우선순위 도출 프로세스 ·····248
그림 7-7. 평가지표 설계 프로세스 ·····249
그림 7-8. MCr 추진과제 도출 ·····251
그림 7-9. MCr 기술로드맵 ·····257
그림 7-10. MCr 성과로드맵 ·····258
그림 7-11. 진공 증발 농축공정 모식도 ·····259
그림 7-12. MCr 기술의 위험요인 및 대응방안 ·····261
그림 7-13. 막 젖음의 분류: (a) 정상 상태, (b) 표면 젖음, (c) 부분 젖음, (d) 완전 젖음 ·····262
그림 7-14. MD 공정에서 오염 물질에 따른 fouling 메커니즘(좌측)과 fouling에 영향을 미치는 주요 요인(우측) ·····263
그림 7-15. 성과 활용 및 사업화 전략 ·····265
그림 7-16. MCr 공정 비즈니스 모델 캔버스 ·····267
그림 7-17. MCr 공정 플랜트 실증화 기술의 비즈니스 모델 ·····268
그림 7-18. SWRO-MCr 복합 해수담수화 플랜트 기술개발과 서비스 모델 ·····270
그림 8-1. 논리모형의 기본구조 ·····271
그림 8-2. 막 결정(MCr) 연구개발 논리모형 ·····272
그림 8-3. 플랜트 기술 실증연구의 특징 ·····278
그림 8-4. 해수담수화 플랜트 반대 시위_미국 ·····279
그림 8-5. (위) 희귀 원소 별 매장량과 해양용존량의 비율, (아래) 희귀 원소 별 연간 채굴량(2015년) 과 해양용존량의 비율 ···283
그림 8-6. 막결정 공정 프로세스 개념도 ·····286

표차례

표 2-1. 이스라엘의 대규모 해수담수화 플랜트 현황 ····35
표 2-2. 싱가포르의 수원 : ‘Four National Taps’ ····36
표 2-3. 해수담수화 18개 시장 ····46
표 2-4. 중대형 프로젝트 담수화 비용_최고수준 및 전망 ····49
표 2-5. 국내 물 산업 부품·소재시장 현황 및 전망 (단위 m$) ····53
표 2-6. 국내 기업 수주 주요 담수화 플랜트 프로젝트 ····61
표 2-7. 해수담수화 분야 전문가 센터 목록 ····72
표 2-8. 메가톤 프로젝트의 목표 ····80
표 2-9. 기존 RO 방식과 저압 2단 RO 방식의 비교 ····80
표 2-10. 고효율 에너지 회수장치 ····81
표 2-11. 메가톤 프로젝트의 하수처리 시스템 ····81
표 2-12. 해수담수화 농축수 배출에 대한 규제기준 ····88
표 2-13. 농축수 처리 건설비용 ····90
표 2-14. 메가톤 프로젝트의 PRO 효율 ····92
표 2-15. KAUST와 GS Inima의 파일럿 플랜트 비교 ····93
표 2-16. 개발된 PRO 막의 성능비교 ····95
표 2-17. MD 기술보유 기업 및 현황 ····96
표 2-18. 일본의 고염분 농축수의 막 탈염 기술 ····97
표 2-19. 해수담수화 관련 국제 학술발표회의 주제 ····113
표 2-20. 빅데이터 등 지능화 기술 활용 해수담수화 연구 논문 ····114
표 2-21. 상위출원인 TOP 7 주요 출원국가 출원비율 ····123
표 2-22. 상위출원인 TOP 7 주요 출원국가 출원비율 ····129
표 2-23. PRO 연구의 차별성 ····145
표 2-24. PRO 관련 국내연구현황 ····146
표 2-25. 기존 기술과의 차별성 ····149
표 2-26. MD 관련 기존 국내연구 현황 ····150
표 3-1. PRO 연구과제의 목표 및 성과지표 ····161
표 3-2. 기술수요조사 개요 ····163
표 3-3. 기술수요조사 발송 및 응답 개요 ····164
표 3-4. 우선순위 평가항목 및 비중 ····166
표 3-5. 우선순위 평가항목 및 정의 ····169
표 3-6. PRO 기술개발 세부 및 공동과제 ····173
표 4-1. 제 4차 수자원 장기종합계획 제 3차 수정계획 중 해수담수화 전략_발췌 ····195
표 4-2. 주요 수자원 확보 대안의 특징 및 한계 ····197
표 4-3. 국내·외 해수담수화 도입 시 반대 사례_이슈별 ····199

표 4-4. PRO 과제 성과목표 달성에 따른 편익유형 ····202
표 4-5. 개발 가능지점 해수담수화 사업 개발계획 (국토교통부, 2017) ····203
표 4-6. [참고] 환경피해액 추정 사례_허베이스피릿호 유류사고 관련 ····204
표 4-7. 1인당 '생태계복원협력금' 평균 지불 의사액 ····206
표 4-8. 해수담수화 해양생태계 훼손(피해) 방지 편익추정을 위한 가정 ····207
표 4-9. 해수담수화 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적 비용(총 7기) ····208
표 4-10. 해수담수화 적기도입 편익추정을 위한 가정 ····210
표 4-11. 해수담수화 플랜트 적기 도입 편익(총 7기) ····211
표 4-12. 담수 생산비용 저감 편익 산정을 위한 가정 ····214
표 4-13. PRO 기술 도입에 따른 담수 생산비용 저감 편익(총 7기) ····214
표 4-14. PRO 기술 도입에 따른 시설비 증가(총 7기) ····215
표 4-15. 편익도출 지표 요율 종합 ····216
표 4-16. PRO 과제 편익 도출결과 요약 ····219
표 4-17. PRO 과제 B/C Ratio ····219
표 7-1. MCr 연구과제의 목표 및 성과지표 ····241
표 7-2. 기술수요조사 개요 ····243
표 7-3. 기술수요조사 발송 및 응답 개요 ····244
표 7-4. 우선순위 평가항목 및 비중 ····246
표 7-5. 우선순위 평가항목 및 정의 ····249
표 7-6. MCr 기술 개발 세부 및 공동과제 ····253
표 8-1. 제 4차 수자원 장기종합계획 제 3차 수정계획 중 해수담수화 전략_발췌 ····275
표 8-2. 주요 수자원 확보 대안의 특징 및 한계 ····277
표 8-3. 국내·외 해수담수화 도입 시 반대 사례_이슈별 ····279
표 8-4. 주요 희소 원소 매장량, 연간 생산량 및 해수 용존량 산정 ····281
표 8-5. 주요 원소 별 해수 내 용존 농도 및 시장가격 비교 ····284
표 8-6. MCr 과제 성과목표 달성에 따른 편익유형 ····288
표 8-7. 편익도출 지표 요율 종합 ····289
표 8-8. 연구의 생산성 증대 효과 ····291
표 8-9. 편익도출 지표 요율 종합 ····292
표 8-10. MCr 기술 확보에 따른 국내 해수담수화 플랜트 도입량 증대 효과(총 2기) ····293
표 8-11. MCr 과제 과제 편익 도출결과 요약 ····294
표 8-12. MCr 과제 B/C Ratio ····294

제1장. 기술의 정의 및 기술 분류

1절. 기술의 정의

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 기술의 정의

□ “통합대체수자원”의 정의

○ “수자원”의 정의

- [수자원의 조사·계획 및 관례에 관한 법률] 제2조(정의)는 수자원을 “인간의 생활이나 경제활동 및 자연환경 유지 등을 하는데 이용할 수 있는 자원으로서의 물”로 정의함

○ “대체수자원”의 정의

- 대체수자원에 대한 별도의 정의는 없으나 [수자원의 조사·계획 및 관례에 관한 법률] 제23조(대체·보조 수자원의 개발·활용)에서 바닷물의 민물화, 즉 해수담수화를 지하수의 인공함양 및 빗물 활용 등과 함께 대체·보조수자원으로 언급함

○ “물재이용”의 정의

- [물 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률] 제2조(정의)에서 물 재이용을 빗물, 오수, 하수처리수, 폐수처리수 및 발전소 온배수를 물 재이용시설을 이용하여 처리하고, 그 처리된 물(이하 “처리수”라 한다)을 생활, 공업, 농업, 조경, 하천유지 등의 용도로 이용하는 것으로 정의함

○ “통합대체수자원”의 정의

- “통합대체수자원”은 다양한 형태의 대체수자원이 통합된 수자원으로 정의함

□ “압력지연삼투”와 “막 증발법”의 정의

○ “압력지연삼투(pressure retarded osmosis, PRO)”의 정의

- “압력지연삼투”는 염분농도가 다른 두 용액을 반투막 양측에 각각 배치하여 삼투현상을 이용하여 두 용액 간의 염도차 에너지를 기계적인 에너지로 변환시키는

기술로 정의 (그림 1-1 참조)

- PRO 공정을 역삼투 해수담수화(seawater reverse osmosis, SWRO) 공정과 결합한 SWRO-PRO 공정의 경우 SWRO 농축수(고염분 농도용액)와 하수처리장 방류수(저염분 농도용액) 사이의 염도차 에너지의 회수를 통해 해수담수화 플랜트의 전체 에너지소모량을 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 고염도 농축수의 희석·방류를 통해 해양생태계의 영향을 최소화할 수 있는 친환경 해수담수화 기술임

  • 저염도 담수는 하수처리장 방류수, 우수 배출수, 하수담수화 농축수 등과 같이 버려지는 물을 통상적으로 사용

  • 농축수의 희석·방류하면 농축수 배출시설의 건설비 및 운영비 저감도 가능

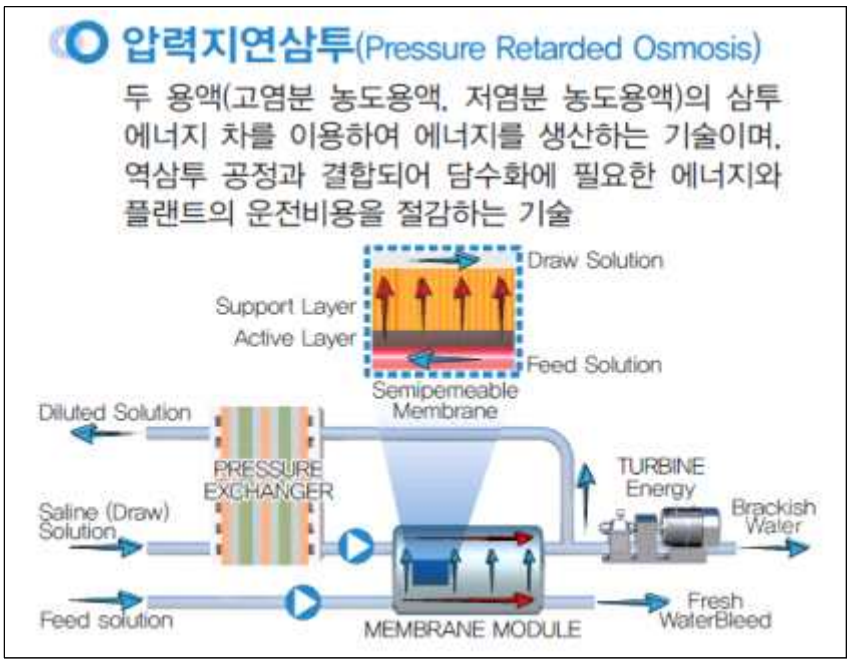


그림 1-1. 압력지연삼투법(Pressure Retarded Osmosis, PRO) 개념도

- SWRO 농축수가 함유한 염도차 에너지(salinity gradient energy)는 터빈을 적용하여 전기를 생산하거나 에너지 회수장치(energy recovery device, ERD)를 이용하여 해수담수화 플랜트의 전체 에너지 소모량을 절감시킬 수 있음 (그림 1-2 참조)

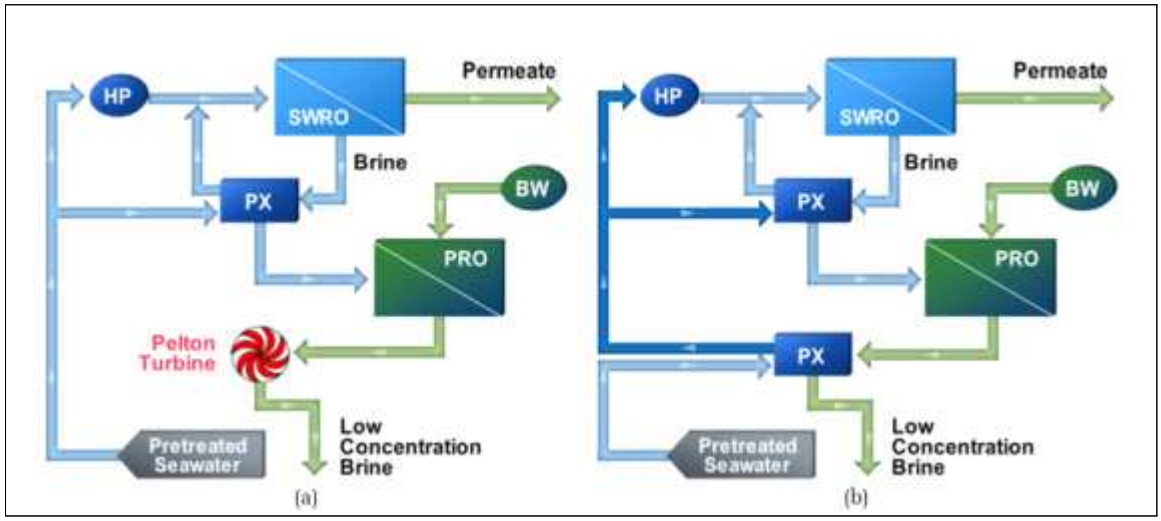


그림 1-2. SWRO-PRO hybrid desalination system (a) turbine process, (b) 2PX process

○ “막 증발법(membrane distillation, MD)” 의 정의

- “막 증발법” 은 다른 온도의 유체를 소수성 막의 양측에 각각 배치하여 두 유체의 증기압 차이를 이용하여 물이 아닌 증기를 통과시켜 담수를 생산하는 신개념 탈염기술로 정의 (그림 1-3 참조)

- 막 증발법은 막여과와 증발법의 혼용으로 삼투압의 영향을 받지 않으므로 막여과와 비교하여 막오염이 적고 운전압력을 상당히 줄일 수 있는 장점을 보유하고 있으며, 막에서 증발이 일어나므로 증발법과 비교하여 부지면적을 줄일 수 있는 장점이 있음

- 막 증발법은 원수농도의 영향을 적게 받기 때문에 높은 염분농도의 해수담수화 농축수에 적용이 가능한 기술임

- 소수성 막 양편에 온도 차이를 유발시키기 위한 열에너지 적용이라는 문제점을 해결하기 위하여 폐열 내지는 신재생 에너지와의 결합을 통하여 열에너지 의존도를 줄이려고 함

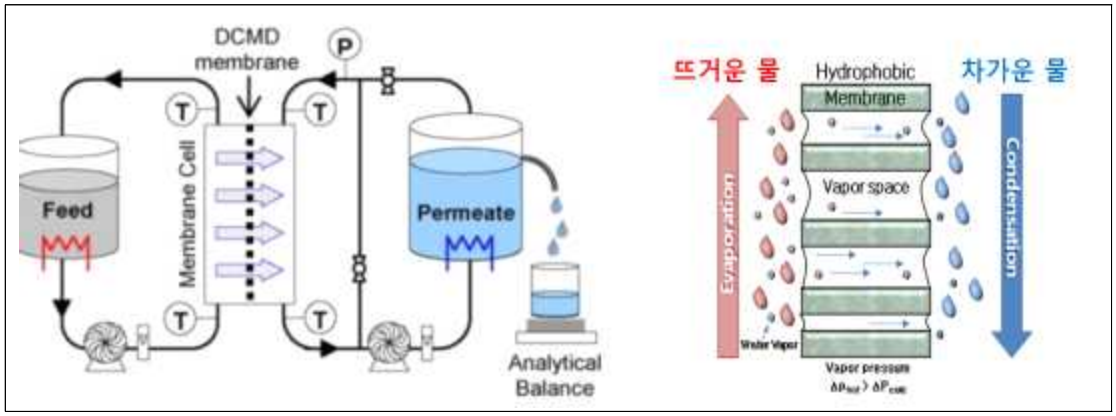


그림 1-3. 막 증발법(Membrane Distillation, MD) 개념도

○ “막 결정법(membrane crystallization, MCr)” 의 정의

- “막 결정법”은 막분리 기술을 결정화 공정에 적용함으로써 유입수 중에 용존형태로 존재하는 유가자원을 결정(고체)의 형태로 석출하여 분리하는 공정으로 정의(그림 1-4 참조)

- 막 결정법은 막증발과 마찬가지로 유입수 농축이 가능하므로 유가자원의 회수만을 목적으로 적용하거나 물과 유가자원을 동시에 생산하기 위해서 적용할 수 있음

- 막 결정법은 기존 결정화 방법에 비교하여 다음의 장점을 가짐

  • 과포화도 조절을 통한 결정의 핵화(nucleation)와 성장의 제어가 용이

  • 결정화 속도 단축이 가능

  • 결정의 선택적 생성과 분리

- 막 결정법은 통상 유입수를 농축하기 위한 막분리 공정과 농축된 유입수에서 석출된 결정을 분리·회수하기 위한 결정화 공정으로 구성되나, 막 모듈이 농축과 결정분리의 2가지 기능을 모두 하는 경우에는 막분리 공정 1개로 구성하기도 함

- 회수하고자 하는 물질의 용해도가 온도에 따라 변하는 경우 온도차를 이용하여 결정을 석출하는 방법을 사용하기도 함

- 막 결정법은 회수하고자 하는 유가자원을 용해도 이상으로 농축하여 석출시킬 수 있는 막분리 공정을 필요로 함

  • 용해도가 낮은 물질의 경우는 기존의 역삼투 공정 등을 이용하는 것도 가능하나, 해수나 역삼투 공정의 농축수 안의 유가자원을 농축하기 위해서는 삼투압의 영향을 적게 받는 막 증발 공정을 사용하고 있음

- 따라서 해수담수화 분야에서 막 결정법이라 할 때는 막 증발 공정을 기반으로 한 막 결정법을 의미함

- 막 결정법은 담수 생산만을 목적으로 하는 막 증발법 단독에 비하여 높은 회수율로 운전되어야 하며 결정 석출과 회수를 위한 장치를 포함한다는 점에서 차이점을 보임

- 막 결정법에서도 소수성 막 양편에 온도 차이를 유발시키기 위한 열에너지 적용이라는 문제점을 해결하기 위하여 폐열 내지는 신재생 에너지와의 결합을 통하여 열에너지 의존도를 줄일 수 있음

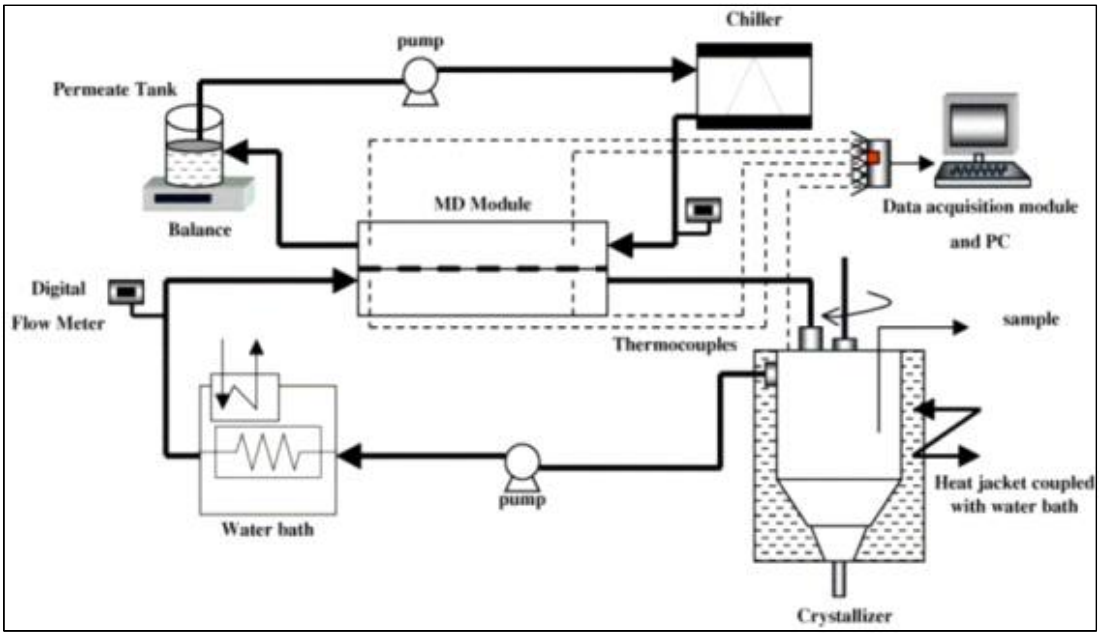


그림 1-4. 막 결정법(Membrane Crystallization, MCr) 개념도

나. 기획과제의 필요성

□ 기획연구의 필요성

○ 최근 기후변화로 인하여 지역적·계절적으로 지속적인 물 부족 문제 발생

- 강수량이 지역별로 편중되면서 국지적 가뭄이 지속적으로 발생하고 있으며, 시기적으로도 6월에 농업용수의 수요가 집중됨

  - 대구와 경북주민들에게 식수를 제공하는 운문댐은 준공된 이래 저수율이 가장 낮아서 대구는 물 공급 중단을 고려 (2018. 1. 6, JTBC)

  - 몇 달째 이어지는 가뭄으로 충남 대산산업단지 등에 용수공급을 담당하는 당진

대호호가 바닥을 들어냄 (2017. 6. 12, 중앙일보)

- 전국이 가뭄으로 타들어가, 특히 경기·강원 등 중부 내륙지방은 그 정도가 심각, 저수지가 바닥을 드러내고 지하수가 고갈되면서 가뭄피해가 속출하고 있음 (2015. 6. 12)

- 생활용수와 공업용수의 수요는 연중 일정하지만, 농업용수는 6~8월까지 수요가 많으며, 특히 6월에 최대 수요가 발생

- 그러므로, 안정적인 용수공급을 위해서는 지속가능한 대체수자원의 확보가 필요함

○ 물 부족으로 인한 피해 심각

- 석유화학단지에 물이 부족하여 공장가동이 중지되면 재가동까지 최소 1주일 이상이 소요되면서 피해규모가 큼

- 2011년 1월 여수산업단지는 22분간 정전으로 인해 26개 기업의 공장이 가동 중지 되면서 총 피해규모 670억 원 피해 발생 (화학업계 2011년 10대 뉴스, EBN)

- 2011년 12월 울산석유화학공단은 정전 이후 정상 가동까지 일주일이 소요되었으며, 135개 업체가 1,000억 원 수준의 피해 발생 (자가 열병합발전, 이티뉴스)

- 2014년 7월 울산석유화학공단은 낙뢰로 인해 14개 업체가 정전을 겪었으며, 피해 규모는 150억 원으로 추정 (낙뢰 정전 울산석유화학업체 속속 정상화, 연합뉴스)

- 산업단지의 경우 용수공급 중단으로 인한 피해가 특히 심각하므로, 공업용수의 안정적 공급 방안이 필요함

○ 해외는 물 부족 문제를 해결하기 위한 수단으로 해수담수화를 적극 활용

- 이스라엘의 2050 물 기본계획에 의하면, 2020년 용수공급에서 대체 수자원인 담수화와 하수재이용이 차지하는 비중이 각각 30%, 21%임 (해수담수화로 해결한 이스라엘 물 부족 문제, 2018)

- 해수담수화를 통해서 생산된 용수 7.5억톤은 생활용수, 공업용수, 지하수 충진 등의 목적으로 사용되며, 하수재이용수는 농업용수로 사용

- 싱가포르의 경우 대체수자원인 해수담수화와 재생수(NEWater)가 용수 공급에서 차지하는 비중이 현재의 40%에서 2060년에는 85%까지 증가할 것으로 전망

- 현재의 용수수요 400 mgd(million gallon per day, 3,785 m^3/일) 중 해수담수화 생산수(10%)와 NEWater(30%)로 160 mgd 공급

- 2060년에는 NEWater와 해수담수화의 비중이 55%와 30%로 각각 증가하여, 전체 용수수요 800 mgd 중 680 mgd를 대체수자원으로 충당 전망

○ 지금까지 해수담수화가 당면한 가장 큰 기술적 문제는 에너지 과다 소비임

- 지금까지 분리막 기술의 발전 및 에너지 회수장치의 도입 등으로 해수담수화의 에너지 소비량을 상당한 폭으로 감소시켰으나, 기존 기술에 의한 개선은 한계에 도달한 실정

  - 지속적인 기술혁신으로 역삼투법 해수담수화 공정의 에너지 소비량을 3.0 kWh/㎥ 수준까지 저감시켰으나, 그 이상의 개선에 어려움을 겪고 있는 실정

  - 그러므로, 지금의 한계를 넘어서기 위해서는 기존 기술과는 다른 방식의 신기술 개발이 필요함

○ 에너지 소비보다 더 중요한 문제는 해수담수화 부산물인 농축수의 해양방류로 인한 환경오염에 대한 우려의 증가임

- 지금까지는 모든 해수담수화 플랜트가 농축수를 해양으로 그대로 방류되고 있음

  - 해수담수화 플랜트는 통상 취수량의 50% 이상을 농축수 형태로 바다로 방류하는데, 농축수의 높은 염분농도가 해양생태계(특히 저상 해양생태계)에 미치는 영향에 대한 우려가 지속적으로 증가하고 있음

- 최근 플랜트 규모가 커지고 주민들의 환경인식이 높아지면서 농축수의 해양방류로 인한 해양환경오염에 대한 우려가 증가하고 있으며, 농축수 관리기술에 대한 관심도 함께 증가하고 있음

  - 최근 선진국 중심으로 농축수의 해양방류가 규제되고 있으므로, 농축수의 환경영향을 줄일 수 있는 농축수 관리기술의 개발이 필요함

  - 해수담수화 기술과 달리 농축수 관리기술은 미개척 분야로, 이에 대비하여 기술을 개발하면 선도적 경쟁력 확보가 가능함

○ 해수담수화 플랜트의 농축수 관리는 2가지 방식이 있음

- 농축수가 해양환경에 미치는 영향은 고염분 농도에 기인하므로, 농도를 희석하면 농축수 문제의 해결이 가능함

  - 농축수 희석에 사용되는 담수는 하수처리장 처리수, 우수 배출수와 같이 다른 용도로 사용되지 않고 그대로 바다로 방류되는 담수를 사용함

  - 희석시 PRO 기술을 적용하면, 농축수와 담수 사이의 염도차 에너지를 기계 에너지로 전환하여 해수담수화에 소요되는 에너지를 절감할 수 있음

  - SWRO-PRO 기술은 해수담수화의 환경오염 문제를 해결할 뿐 아니라 에너지

절감도 가능한 친환경 해수담수화 기술임

- 농축수의 해양 방류가 문제라면 해양으로 방류하지 않도록 처리하면(zero liquid discharge, ZLD, 무방류) 문제해결이 가능함; 이는 농축수의 재농축을 의미하므로 위에서 언급한 희석과는 반대되는 접근 방법임

  • 농축수 무방류에는 상당한 에너지가 필요하므로 대부분 농축수의 재농축을 통하여 방류량을 줄이려고(near ZLD) 시도함

  • 해수담수화 과정에서 발생하는 농축수는 70,000 mg/L 이상의 염분 농도를 포함하고 있어서 기존의 막 여과 기술로는 처리에 한계가 있음

  • 기존의 막 여과 기술과 달리 막 증발법은 농축수 처리에 사용이 가능함

  • 막 증발법 처리 이후에 발생하는 농축수는 SWRO 농축수보다 농도가 높으므로, 유가자원 회수에 유리함

○ 국내 연구진은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 선행 연구를 통하여 해수담수화 플랜트를 친환경 플랜트로 전환시킬 수 있는 “압력지연삼투”와 “막 증발법” 시스템 원천기술을 확보함

- 파일럿 플랜트 구축을 통하여 SWRO-PRO 시스템 원천기술을 확보하였으며 향후 실증플랜트 검증과 운영기술을 확보하면 세계 최초의 상용화가 가능함

  • PRO 시스템 연구를 수행한 기관은 노르웨이의 에너지 회사 Statkraft가 있으며, SWRO-PRO 시스템 연구를 수행한 기관은 일본의 메가톤 연구그룹과 국내 GMVP 연구그룹이 있음

  • 이 기관들중 가장 최근에 연구를 수행한 GMVP 연구그룹이 SWRO-PRO 기술의 상용화에 가장 근접함

  • 실증플랜트 규모의 기술검증과 운영기술을 확보하면 이 기술의 상용화 및 이 분야의 선도적 경쟁력 유지가 가능함

- 파일럿 플랜트를 활용하여 복합탈염 기술인 MD 시스템 원천기술을 확보함

  • 국내 연구진 (GMVP 연구그룹)은 세계 최대 규모(400 m3/일)의 MD 파일럿 플랜트를 구축하고 이를 통하여 MD 시스템 원천기술을 확보함

  • 이들은 MD 전용 중공사 막모듈을 개발하였으며, 평막을 사용하는 기존의 상용화 장치와는 다르게 중공사 기반의 MD 파일럿 플랜트를 구축함

  • 농축수의 방류량을 줄이면 농축수에 함유된 미네랄 농도가 높아지므로 유가자원 회수에 유리해짐

  • 인구 증가, 산업 발달 등으로 인하여 자원의 수요는 지속적으로 증가하나 육상

에서의 자원개발이 환경오염 등의 이유로 점차 어려워지고 있으므로 해상으로부터의 유가자원을 회수할 수 있는 기술의 개발이 중요해짐

- 해수나 농축수로부터의 유가자원 회수를 위해서는 농축수 방류량 감소 외에 자원회수도 가능한 막 결정화(MCr) 기술이 적합함
- 막 증발과 자원회수가 결합된 막 결정화 기술은 아직 실험실 규모의 초기 단계임
- 국내 연구진인 선행 연구를 통하여 막 증발 기술의 시스템 원천기술을 확보하고 있으므로, 막 결정화 기술 개발을 통하여 농축수로부터의 유가자원 회수 분야의 선도적 경쟁력 확보가 가능함 (그림 1-5 참조)

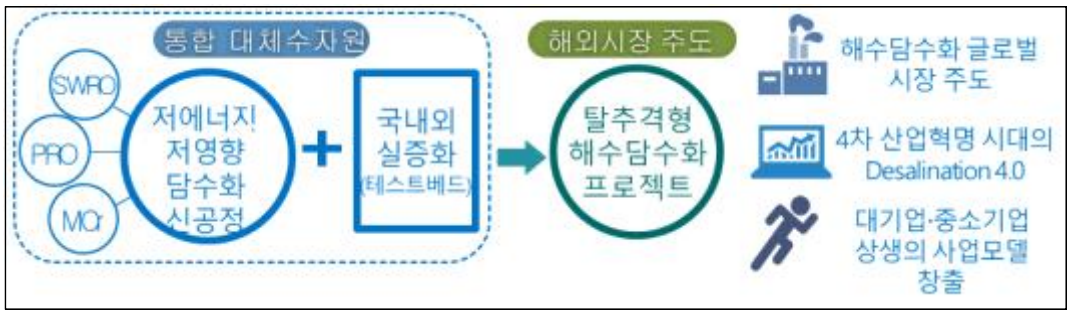


그림 1-5. 기획대상 기술(PRO/MCr) 연구개발의 필요성

□ 기획연구과제의 구성

○ 본 기획과제에서는 2개의 다른 성격의 연구과제(PRO, MCr)를 기획하여 제안

- PRO 기술은 선행연구를 통하여 시스템 원천기술을 확보하였으므로, 상용화를 위하여 트레인 규모의 실증플랜트를 구축하고 운영하는 내용의 과제로 연구단 규모로 제안

- 선행연구에서 시스템 원천기술을 확보한 막 증발법 기술에 유가자원 회수가 추가된 막 결정화 기술은 개발 초기 단계이므로, 일반과제 규모로 제안

2절. 기술 분류 및 내용

1. 기술 분류 체계도

가. 압력지연삼투 기술 분류 체계도

대분류	중분류	소분류
엔지니어링 기술	취/배수 설비 기술	• 직/간접 취수시스템, 배수 시스템
	PRO 전처리 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
	SWRO-PRO 주 공정 기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
	PRO 후처리 기술	• 배출수 처리 및 회수시스템
	설계 모의 및 성능평가 기술	• 공정설계 모의, CFD, 환경영향평가
	기타 기술	• 스케일업, 플랜트 개량
핵심소재 기술	취·배수 시스템 기자재 기술	• 펌프, 파이프, 디퓨저
	SWRO-PRO 전처리 모듈 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
	SWRO-PRO 공정 모듈 기술	• PRO 막모듈, 압력베셀, 고압펌프
	SWRO-PRO ERD 소재 기술	• 에너지 회수장치
	PRO 후처리 모듈 기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
	기타 기자재	• 센서, 파이프
시공 기술	취·배수 시스템 시공 기술	• 직/간접 취수 시스템, 배수 시스템
	PRO 전처리 시스템 제작 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
	SWRO-PRO 시스템 제작 기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
	PRO 후처리 시스템 시공기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
운영 기술	취·배수 시스템 운영기술	• 직/간접 취수 시스템, 배수 시스템
	PRO 전처리 시스템 운영 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
	SWRO-PRO 시스템 운영기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
	PRO 후처리 시스템 운영기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
	스마트 운영기술	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템
기타 기술	신재생 에너지 융합 기술	• 에너지 저장 및 변환, 현지 맞춤형, 신재생에너지 설비 연계
	PRO 발전 기술	• 고염도 해수/호소수 PRO 발전
	그 외 PRO 적용 기술	• 산업폐수 처리, 오일/가스 폐수 처리

나. 막 증발법 기술 분류 체계도

대분류	중분류	소분류
엔지니어링 기술	취배수 공정	• 직접취수 시스템 • 간접취수 시스템 등
	전처리 공정	• Roughing filter 시스템 설계 기술 • MF/UF 시스템 설계 기술 등
	주공정	• MD 모듈 설계 기술 • MD 스키드 설계 기술 등
	MD 후처리 공정	• MD 처리수 배출 시스템 설계 기술 • 농축수 배출 시스템 설계 기술 등
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 설계 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술 등
		• 신재생 연계 열에너지 믹스 설계 기술 • 저에너지 시스템 설계 기술
	기타 (주제 제안)	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계와 성능 예측을 위한 범용 프로그램 개발
핵심자재 기술	취배수 공정	• 직접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 • 간접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 등
	전처리 공정	• Roughing filter 시스템 소재 및 장치 기술 • MF/UF 시스템 소재 및 장치 기술 등
	주공정	• 기존 MD 모듈 개발 기술 • 기존 MD 스키드 개발 기술 등
		• 파울링 및 스케일링을 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 및 공정 개발(기존 DCMD, VMD, AGMD, LGMD 제외)
	MD 후처리 공정	• MD 처리수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 • 농축수 배출 시스템 소재 및 장치 기술
		• 무방류를 위한 MD 배출수의 처리 기술 및 복합공정 개발 등
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술

		• 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 등
		• MD, 열에너지 소비율 저감 기술 • 에너지 믹스 열 공급 기술
	기타 (주제 제안)	• 기타 MD 핵심기자재 기술
시공 기술	취배수 공정	• 직접 취수 시스템 시공 기술 • 간접 취수 시스템 시공 기술 등
	전처리 공정	• Roughing filter 시스템 시공 기술 • MF/UF 시스템 시공 기술 등
	주공정	• MD 모듈 및 나야 시공 기술 • MD 공정 배관 시공 등
	MD 후처리 공정	• MD 처리수 배출 시스템 시공 기술 • 농축수 배출 시스템 시공 기술 등
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 시공 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 등
	기타 (주제제안)	• 기타 MD 시공 기술
운영 기술	취배수 공정	• 직접 취수 시스템 운영 기술 • 간접 취수 시스템 운영 기술 등
	전처리 공정	• Roughing filter 시스템 운영 기술 • MF/UF 시스템 운영 기술 등
	주공정	• MD 모듈 및 스키드 운영 기술 • MD 공정 배관 운영 등
	MD 후처리 공정	• MD 처리수 배출 시스템 운영 기술 • 농축수 배출 시스템 운영 기술 등
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 운영 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 등
		• 원격모니터링을 통한 자동운전 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술
	기타 (주제 제안)	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발
기타 기술	농축수 환경영향 평가 기술	• 농축수 환경영향 평가 기술
	이동형 MD 개발 기술	• 가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 개발
	MD 특허 상품화 기술	• VMD 모듈을 이용한 담수화 장치

		• 지능형 모듈 및 이를 포함하는 담수화 장치 • DCMD 모듈을 이용한 담수화 장치 • 기타 모듈을 이용한 담수화 장치
	MD 응용 기술	• 석유, 가스 폐수 처리 기술 개발
	해외 인증 기술	• 국가 별 해외 인증 획득 기술
	기타 (주제 제안)	• 기타 운영 기술

다. MCr 기술 분류 체계도

대분류	중분류	소분류
엔지니어링 기술	주 공정 기술	• MCr 모듈 설계 기술 • MCr 스키드 설계 기술
	결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 설계 기술
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 설계 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 설계 기술 • 저에너지 시스템 설계 기술
	기타 기술	• 기타 MCr 설계 기술
핵심소재 기술	주 공정 기술	• MCr 모듈 개발 기술 • MCr 스키드 개발 기술
	결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 개발 기술
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 소재 및 장치 기술 • 저에너지 시스템 소재 및 장치 기술
	기타 기술	• 기타 MCr 핵심지자재 기술
시공 기술	주 공정 기술	• MCr 모듈 시공 기술 • MCr 스키드 시공 기술
	결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 시공 기술
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 시공 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 시공 기술 • 저에너지 시스템 시공 기술
	기타 기술	• 기타 MCr 시공 기술
운영 기술	주 공정 기술	• MCr 모듈 운영 기술 • MCr 스키드 운영 기술
	결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 운영 기술
	에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 운영 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 운영 기술 • 저에너지 시스템 운영 기술
	스마트 운영기술	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템
기타 기술	기타 기술 무방류 기술	• 기타 MCr 기술 • 무방류 기술

2. 기술 분류별 기술내용

가. 압력지연삼투 공정 기술

□ 반투막 양단에 염분 농도가 다른 두 용액이 위치할 때 발생하는 삼투현상을 이용해 염도차 에너지를 기계적 에너지로 변환 시키는 기술

(1) 엔지니어링 기술

중분류	소분류
취/배수 설비 기술	• 직/간접 취수시스템, 배수 시스템
PRO 전처리 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
SWRO-PRO 주공정기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
PRO 후처리기술	• 배출수 처리 및 회수시스템
설계 모의 및 성능평가 기술	• 공정설계 모의, CFD, 환경영향평가
기타 기술	• 스케일업, 플랜트 개량

중분류	소분류	기술 내용
취/배수 설비 기술	직/간접 취수시스템, 배수 시스템	• 직/간접 취수/배수 시스템 기술개발
PRO 전처리 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR	• MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 기술개발
SWRO-PRO 주공정기술	하이브리드 공정, 트레인 시스템	• 하이브리드 공정 및 트레인 시스템 기술개발
PRO 후처리기술	배출수 처리 및 회수 시스템	• 배출수 처리 및 회수시스템 기술개발
설계 모의 및 성능평가 기술	공정설계 모의, CFD, 환경영향평가	• 공정설계 모의 및 CFD, 환경영향평가 기술개발
기타 기술	스케일업, 플랜트 개량	• 스케일업 및 플랜트 개량 기술개발

(2) 핵심기자재 기술

중분류	소분류
취・배수 시스템 기자재 기술	• 펌프, 파이프, 디퓨저
SWRO-PRO 전처리 모듈 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
SWRO-PRO 공정 모듈 기술	• PRO 막모듈, 압력베셀, 고압펌프
SWRO-PRO ERD 소재 기술	• 에너지 회수장치
PRO 후처리 모듈 기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
기타 기자재	• 센서, 파이프

중분류	소분류	기술 내용
취・배수 시스템 기자재 기술	펌프, 파이프, 디퓨저	• 펌프, 파이프, 디퓨저 소재 기술 개발
SWRO-PRO 전처리 모듈 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR	• MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 소재 기술 개발
SWRO-PRO 공정 모듈 기술	PRO 막모듈, 압력베셀, 고압펌프	• PRO 막모듈, 압력베셀, 고압펌프 소재 기술 개발
SWRO-PRO ERD 소재 기술	에너지 회수장치	• 에너지 회수장치 소재 기술 개발
PRO 후처리 모듈 기술	배출수 처리 및 회수 시스템	• 배출수 처리 및 회수 시스템 소재 기술 개발
기타 기자재	센서, 파이프	• 센서, 파이프 소재 기술 개발

(3) 시공 기술

중분류	소분류
취・배수 시스템 시공 기술	• 직/간접 취수 시스템, 배수 시스템
PRO 전처리 시스템 제작 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
SWRO/PRO 시스템 제작기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
PRO 후처리 시스템 시공기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
PRO 후처리 모듈 기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템

중분류	소분류	기술 내용
취・배수 시스템 시공 기술	직/간접 취수 시스템, 배수 시스템	• 직/간접 취수/배수 시스템 시공 기술 개발
PRO 전처리 시스템 제작 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR	• MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 시공 기술 개발
SWRO/PRO 시스템 제작 기술	하이브리드 공정, 트레인 시스템	• 하이브리드 공정 및 트레인 시스템 시공 기술 개발
PRO 후처리 시스템 시공 기술	배출수 처리 및 회수 시스템	• 배출수 처리 및 회수 시스템 시공 기술 개발
PRO 후처리 모듈 기술	배출수 처리 및 회수 시스템	• 배출수 처리 및 회수 시스템 시공 기술 개발

(4) 운영 기술

중분류	소분류
취·배수 시스템 운영 기술	• 직/간접 취수 시스템, 배수 시스템
PRO 전처리 시스템 운영 기술	• 전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR
SWRO/PRO 시스템 운영 기술	• 하이브리드 공정, 트레인 시스템
PRO 후처리 시스템 운영 기술	• 배출수 처리 및 회수 시스템
스마트 운영기술	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템

중분류	소분류	기술 내용
취·배수 시스템 운영 기술	직/간접 취수 시스템, 배수 시스템	• 직/간접 취수/배수 시스템 운영 기술 개발
PRO 전처리 시스템 운영 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR	• MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 운영 기술 개발
SWRO-PRO 시스템 운영 기술	하이브리드 공정, 트레인 시스템	• 하이브리드 공정 및 트레인 시스템 운영 기술 개발
PRO 후처리 시스템 운영 기술	배출수 처리 및 회수 시스템	• 배출수 처리 및 회수 시스템 운영 기술 개발
스마트 운영 기술	ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템 운영 기술 개발

(5) 기타 기술

중분류	소분류
신재생 에너지 융합 기술	• 에너지 저장 및 변환, 현지 맞춤형, 신재생 에너지 설비 연계
PRO 발전 기술	• 고염도 해수/호소수 PRO 발전
그 외 PRO 적용 기술	• 산업폐수 처리, 오일/가스 폐수 처리

중분류	소분류	기술 내용
신재생 에너지 융합 기술	에너지 저장 및 변환, 현지 맞춤형, 신재생 에너지 설비 연계	• 에너지 저장 및 변환, 현지 맞춤형, 신재생 에너지 설비 연계 기술개발
PRO 발전 기술	고염도 해수/호소수 PRO 발전	• 고염도 해수/호소수 PRO 발전 기술 모색
그 외 PRO 적용 기술	산업폐수 처리, 오일/가스 폐수 처리	• 산업폐수 처리, 오일/가스 폐수 처리 기술 개발

나. 막 증발(MD) 공정 기술

□ 소수성 막 양단에 온도가 다른 두 용액에 의해 발생된 증기압차를 이용하여 증기만 막을 통과 시켜 담수를 생산하는 기술

(1) 엔지니어링 기술

중분류	소분류
취/배수 공정	• 직/간접 취수 시스템 기술 개발
전처리 공정	• Roughing filter 및 MF/UF 시스템 설계 기술 개발
주공정	• MD 모듈 및 스키드 설계 기술 개발
MD 후처리 공정	• MD 처리수 및 농축수 배출 시스템 설계 기술 개발
에너지 공급 기술	• 폐열 및 신재생 에너지를 이용한 저에너지 시스템 설계 기술 개발
기타 (주제 제안)	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발 기술

중분류	소분류	기술 내용
취/배수 공정	직접 취수 시스템	• 직접 취수 시스템 기술 개발
	간접 취수 시스템	• 간접 취수 시스템 기술 개발
전처리 공정	Roughing filter 시스템 설계 기술	• Roughing filter 시스템 설계 기술 개발
	MF/UF 시스템 설계 기술	• MF/UF 시스템 설계 기술 개발
주공정	MD 모듈 설계 기술	• MD 모듈 설계 기술 개발
	MD 스키드 설계 기술	• MD 스키드 설계 기술 개발
MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 설계 기술	• MD 처리수 배출 시스템 설계 기술 개발
	농축수 배출 시스템 설계 기술	• 농축수 배출 시스템 설계 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 설계 기술	• 폐열 연계 시스템 설계 기술 개발
	신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술	• 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술
	신재생 연계 열에너지 믹스 설계 기술	• 신재생 연계 열에너지 믹스 설계 기술 개발
	저에너지 시스템 설계 기술	• 저에너지 시스템 설계 기술 개발
기타 (주제 제안)	폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계 기술 개발
	MD 플랜트 성능 예측을 위한 범용 프로그램 개발	• MD 플랜트 성능 예측을 위한 범용 프로그램 개발 기술

(2) 핵심기자재 기술

중분류	소분류
취/배수 공정	• 직/간접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 개발
전처리 공정	• Roughing filter 및 MF/UF 시스템 소재 기술개발
주공정	• 기존 MD 모듈 및 스키드 개발 기술과 막오염 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 공정 기술 개발
MD 후처리 공정	• MD 처리수 및 배출수 시스템 소재 및 장치 기술 개발과 무방류를 위한 MD 배출수
에너지 공급 기술	• 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 개발 기술과 MD 열에너지 소비율 저감 기술 개발
기타 (주제제안)	• 기타 MD 핵심기자재 기술

중분류	소분류	기술 내용
취/배수 공정	직접 취수 시스템 소재 및 장치 기술	• 직접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	간접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 등	• 간접 취수 시스템 소재 및 장치 기술 개발
전처리 공정	Roughing filter 시스템 소재 및 장치 기술	• Roughing filter 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	MF/UF 시스템 소재 및 장치 기술	• MF/UF 시스템 소재 및 장치 기술 개발
주공정	기존 MD 모듈 개발 기술	• 기존 MD 모듈 개발 기술 개발
	기존 MD 스키드 개발 기술	• 기존 MD 스키드 개발 기술 개발
	파울링 및 스케일을 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 및 공정 개발	• 파울링 및 스케일을 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 및 공정 개발
MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 소재 및 장치 기술	• MD 처리수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	농축수 배출 시스템 소재 및 장치 기술	• 농축수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	무방류를 위한 MD 배출수의 처리 기술 및 복합공정 개발	• 무방류를 위한 MD 배출수의 처리 기술 및 복합공정 개발
에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술	• 폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술	• 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발
	MD 열에너지 소비율 저감 기술	• MD 열에너지 소비율 저감 기술 개발
	에너지 믹스 열 공급 기술	• 에너지 믹스 열 공급 기술 개발
기타 (주제 제안)	기타 MD 핵심기자재 기술	• 기타 MD 핵심기자재 기술 개발

(3) 시공 기술

중분류	소분류
취배수 공정	• 직/간접 취수 시스템 시공기술
전처리 공정	• Roughing filter 및 MF/UF 시스템 시공기술
주공정	• MD 모듈 및 스키드 그리고 배관 시공기술
MD 후처리 공정	• MD 처리수 및 농축수 배출 시스템 시공 기술 개발
에너지 공급 기술	• 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술
기타 (주제 제안)	• 기타 MD 시공 기술

중분류	소분류	기술 내용
취배수 공정	직접 취수 시스템 시공 기술	• 직접 취수 시스템 시공 기술 개발
	간접 취수 시스템 시공 기술	• 간접 취수 시스템 시공 기술 개발
전처리 공정	Roughing filter 시스템 시공 기술	• Roughing filter 시스템 시공 기술 개발
	MF/UF 시스템 시공 기술 등	• MF/UF 시스템 시공 기술 개발
주공정	MD 모듈 및 스키드 시공 기술	• MD 모듈 및 스키드 시공 기술 개발
	MD 공정 배관 시공 기술	• MD 공정 배관 시공 기술 개발
MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 시공 기술	• MD 처리수 배출 시스템 시공 기술 개발
	농축수 배출 시스템 시공 기술	• 농축수 배출 시스템 시공 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 시공 기술	• 폐열 연계 시스템 시공 기술 개발
	신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술	• 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 개발
기타 (주제 제안)	기타 MD 시공 기술	• 기타 MD 시공 기술 개발

(4) 운영 기술

중분류	소분류
취배수 공정	• 직/간접 취수 시스템 운영기술
전처리 공정	• Roughing filter 및 MF/UF 시스템 운영 기술
주공정	• MD 모듈 및 스키드 그리고 배관 운연 기술
MD 후처리 공정	• MD 처리수 및 농축수 배출 시스템 운영기술
에너지 공급 기술	• 폐열 및 신재생 에너지 연계시스템 운영 기술과 원격 모니터링을 통한 자동운전 기술
기타 (주제 제안)	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발

중분류	소분류	기술 내용
취배수 공정	직접 취수 시스템 운영 기술	• 직접 취수 시스템 운영 기술 개발
	간접 취수 시스템 운영 기술	• 간접 취수 시스템 운영 기술 개발
전처리 공정	Roughing filter 시스템 운영 기술	• Roughing filter 시스템 운영 기술 개발
	MF/UF 시스템 운영 기술	• MF/UF 시스템 운영 기술 개발
주공정	MD 모듈 및 스키드 운영 기술	• MD 모듈 및 스키드 운영 기술 개발
	MD 공정 배관 운영 기술	• MD 공정 배관 운영 기술 개발
MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 운영 기술	• MD 처리수 배출 시스템 운영 기술 개발
	농축수 배출 시스템 운영 기술	• 농축수 배출 시스템 운영 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 운영 기술	• 폐열 연계 시스템 운영 기술개발
	신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술	• 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술개발
	원격모니터링을 통한 자동운전 기술	• 원격 모니터링을 통한 자동운전 기술개발
	신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술	• 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술개발
기타 (주제 제안)	폐열 및 신재생에너지 기반 MD 플랜트 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발	• 폐열 및 신재생 에너지 기반 MD 플랜트 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발 기술

(5) 기타 기술

중분류	소분류
농축수 환경영향 평가 기술	• 농축수 환경영향 평가 기술
이동형 MD 개발 기술	• 가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 개발
MD 특허 상품화 기술	• VMD 모듈을 이용한 담수화 장치 및 지능형 VMD 모듈 및 이를 포함하는 담수화 장치 • DCMD 모듈을 이용한 담수화 장치 • 기타 MD 모듈을 이용한 담수화 장치
MD 응용 기술	• 석유, 가스 폐수처리 기술
해외 인증 기술	• 해외 인증 기술
기타 (주제제안)	• 기타 MD 기술

중분류	소분류	기술 내용
농축수 환경 영향 평가 기술	농축수 환경영향 평가 기술	• 농축수가 해양환경에 미치는 영향 평가 기술 개발
이동형 MD 개발 기술	가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 개발	• 가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 기술 개발
MD 특허 상품화 기술	VMD 모듈을 이용한 담수화 장치 기술	• VMD 모듈을 이용한 담수화 장치 기술 개발
	지능형 VMD 모듈 및 이를 포함하는 담수화 장치 개발 DCMD 모듈을 이용한 담수화 장치 기타 MD 모듈을 이용한 담수화 장치	• 지능형 VMD 모듈 및 이를 포함하는 담수화 장치 개발 • DCMD 모듈을 이용한 담수화 장치 기술 개발 • 기타 MD 모듈을 이용한 담수화 장치 기술 개발
MD 응용 기술	석유, 가스 폐수처리 기술	• MD 장치를 이용한 석유, 가스 폐수처리 기술 개발
해외 인증 기술	해외 인증 기술	• 국가별 해외 인증 획득 기술 개발
기타 (주제 제안)	기타 MD 기술	• 기타 MD 기술 개발

다. 막 결정화(MCr) 공정 기술

□ 막분리 기술을 결정화 공정에 적용함으로써 유입수 중에 용존 형태로 존재하는 유가자원을 결정(고체)의 형태로 석출하여 분리하는 기술

(1) 엔지니어링 기술

중분류	소분류
주 공정 기술	• MCr 모듈 설계 기술 • MCr 스키드 설계 기술
결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 설계 기술
에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 설계 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 설계 기술 • 저에너지 시스템 설계 기술
기타 기술	• 기타 MCr 설계 기술

중분류	소분류	기술 내용
주 공정 기술	MCr 모듈 설계 기술 MCr 스키드 설계 기술	• MCr 모듈 설계 기술 개발 • MCr 스키드 설계 기술 개발
결정 석출 및 회수 기술	결정 석출 및 회수 반응조 설계 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 설계 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열, 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 설계 기술 저에너지 시스템 설계 기술	• 폐열 연계 시스템 설계 기술 개발 • 신재생 에너지 연계 시스템 설계 기술 개발 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 설계 기술 개발 • 저에너지 시스템 설계 기술 개발
기타 기술	기타 MCr 설계 기술	• 기타 MCr 설계 기술 개발

(2) 핵심기자재 기술

중분류	소분류
주 공정 기술	• MCr 모듈 개발 기술 • MCr 스키드 개발 기술
결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 개발 기술
에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 에너지 믹스 소재 및 장치 기술 • 저에너지 시스템 소재 및 장치 기술
기타 기자재	• 기타 MCr 핵심 기자재 기술

중분류	소분류	기술 내용
주 공정 기술	MCr 모듈 개발 기술 MCr 스키드 개발 기술	• MCr 모듈 기술 개발 • MCr 스키드 기술 개발
결정 석출 및 회수 기술	결정 석출 및 회수 반응조 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열, 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 소재 및 장치 기술 저에너지 시스템 소재 및 장치 기술	• 폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발 • 신재생 에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 소재 및 장치 기술 개발 • 저에너지 시스템 소재 및 장치 기술 개발
기타 기자재	기타 기자재 기술	• 기타 MCr 소재 및 장치 기술 개발

(3) 시공 기술

중분류	소분류
주 공정 기술	• MCr 모듈 시공 기술 • MCr 스키드 시공 기술
결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 시공 기술
에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 시공 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 시공 기술 • 저에너지 시스템 시공 기술
기타 기술	• 기타 MCr 시공 기술

중분류	소분류	기술 내용
주 공정 기술	MCr 모듈 시공 기술 MCr 스키들 시공 기술	• MCr 모듈 시공 기술 개발 • MCr 스키드 시공 기술 개발
결정 석출 및 회수 기술	결정 석출 및 회수 반응조 시공 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 시공 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열, 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 시공 기술 저에너지 시스템 시공 기술	• 폐열 연계 시스템 시공 기술 개발 • 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 개발 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 시공 기술 개발 • 저에너지 시스템 시공 기술 개발
기타 기술	기타 MCr 시공 기술	• 기타 MCr 시공 기술 개발

(4) 운영 기술

중분류	소분류
주 공정 기술	• MCr 모듈 운영 기술 • MCr 스키드 운영 기술
결정 석출 및 회수 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 운영 기술
에너지 공급 기술	• 폐열 연계 시스템 운영 기술 • 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 • 저에너지 시스템 운영 기술
스마트 운영기술	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템

중분류	소분류	기술 내용
주 공정 기술	MCr 모듈 운영 기술 MCr 스키드 운영 기술	• MCr 모듈 운영 기술 개발 • MCr 스키드 운영 기술 개발
결정 석출 및 회수 기술	결정 석출 및 회수 반응조 운영 기술	• 결정 석출 및 회수 반응조 운영 기술 개발
에너지 공급 기술	폐열, 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 운영 기술 저에너지 시스템 운영 기술	• 폐열 연계 시스템 운영 기술 개발 • 신재생 에너지 연계 시스템 운영 기술 개발 • 폐열 및 신재생 에너지 연계 시스템 에너지 믹스 기술 개발 • 저에너지 시스템 운영 기술 개발
스마트 운영 기술	ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템	• ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템 운영 기술 개발

(5) 기타 기술

중분류	소분류
기타 기술	• 기타 MCr 기술
무방류 기술	• 무방류 기술

중분류	소분류	기술 내용
기타 기술	기타 MCr 기술	• 기타 MCr 기술 개발
무방류 기술	무방류 기술	• 무방류 관련 기술 개발

제2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책동향 및 분석

1. 국내 수자원 개발 정책 동향

가. 국내 물 산업 육성정책

○ 정부는 물 산업 강국의 구현을 위하여 2006년부터 물 산업 육성계획을 수립하고 이를 보완하였으며, 해수담수화는 물 산업 육성계획의 일환으로 언급됨

○ 물 재이용 촉진 및 지원을 위하여 “물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률”을 제정함

나. 2025 수도정비기본계획('15)

□ 수도정비기본계획은 수도의 정비에 관한 종합적인 기본계획으로 광역상수도 및 공업용 수도에 관한 국가 최상위 계획으로 국민행복과 국가발전에 기여하는 광역수도시스템 구축을 비전으로 수립

○ 수도법 제4조(수도정비기본계획의 수립)에 준해서 국토교통부 장관은 10년마다 국가나 한국수자원공사가 설치·관리하는 광역상수도 및 공업용 수도를 적정하고 합리적으로 설치·관리하기 위하여 10년마다 수도정비기본계획을 수립

○ 상수도 수요관리계획 중 해외 해수담수화 시장의 선점을 위하여 글로벌 기업과의 네트워크 강화, 정부·산업·학계와의 협력관계 구축, 관련기술 개발을 통한 핵심기술 확보 등의 내용 포함

○ 에너지 및 물 부족 미래트랜드에 걸맞는 연구과제인 ‘저에너지 고효율 해수담수화 신기술’을 제시함

- 신소재 활용 공정기술, 저에너지 고효율설계·운영기술, 하이브리드 공정 기술 등이 요구사항임

○ 광양Ⅳ단계 공업용 수도사업 내용에 여수 해수담수화 개발을 통한 대체수자원 확보 계획 포함

다. 수자원장기종합계획('11)

□ 1965년 수자원종합개발계획 수립 이후 지난 40여 년간 미래 수자원 목표 및 추진 전략 제시로 국가 경제발전과 국민복지 향상에 기여한 국가최상위 수자원 계획임

○ 사람과 자연에 맑고 충분한 물 공급, 기후변화에 안전한 국토기반 구축, 생명이 살아있는 물 환경 조성, 물 관련 기술의 선진화, 수자원 미래과제 선제 대응을 위한 5개의 계획·전략을 제시

○ 물 부족 지역별 맞춤형 대체수원 개발을 통한 수원 다변화를 위해 해수담수화 대규모 시설의 경우 실용화 기술 확보 후 경제성 및 수용성 등을 고려하여 단계별 개발하고, 도서·해안지역의 안정적인 식수원 확보를 위한 소규모 시설은 차질 없이 계획에 따라 지속 추진하는 방안을 제시

라. "해수담수화" 국토교통부 7대 신사업에 포함

□ 국토교통부는 해수담수화를 7대 신사업으로 선정 (그림 2-1 참조)

□ 기후변화에도 안정적인 용수공급이 가능하도록 바닷가 근처의 산업단지에 중대형 해수담수화 플랜트를 선도적으로 설치하고, 경쟁력 확보를 위해 해수담수화 R&D 지원규모를 현재의 2배 수준으로 확대

□ 해수담수화 전담팀을 구성하여 중동, 아프리카 등 해외시장 진출을 적극 도모

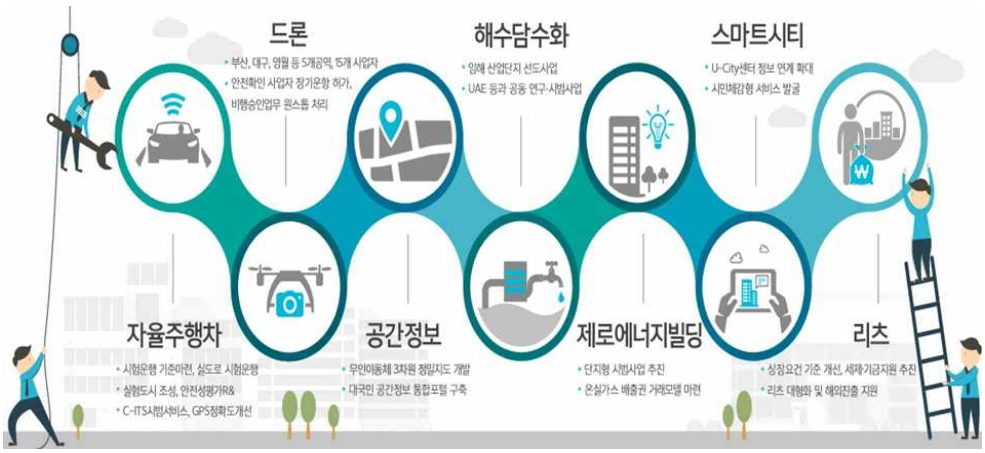


그림 2-1. 국토교통부 7대 신사업

마. 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 제정('10)

□ 본 법률은 2011년에 시행되었으며, 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고 수질에 미치는 해로운 영향을 줄임으로써 물 자원의 지속 가능한 이용을 도모하고 국민의 삶의 질을 높이는 것을 목적으로 함

○ 제5조(물 재이용 기본계획의 수립)에 환경부 장관은 물의 재이용을 촉진하고 관련 기술의 체계적 발전을 위하여 10년마다 제7조(물 재이용 정책위원회의 설치 등)에 따른 물 재이용 정책위원회의 심의를 거쳐 물의 재이용 촉진에 관한 종합적인 기본계획을 수립·시행해야 한다고 명시됨

○ 물 재이용 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 함

- 물의 재이용 여건에 관한 사항
- 처리수의 수요 전망 및 공급 목표에 관한 사항
- 물의 재이용 시책의 기본방향 및 추진전략 등에 관한 사항
- 물의 재이용 관련 기술의 개발 및 보급계획
- 물의 재이용 사업에 드는 비용의 산정 및 재원조달계획에 관한 사항
- 그 밖에 물의 재이용 촉진에 관한 사항으로서 대통령령으로 정하는 사항

○ 환경부장관은 물 재이용 기본계획이 수립된 날부터 5년이 지나면 그 타당성을 다시 검토하고 필요하면 이를 변경해야 한다고 명시됨

바. 물 재이용 기본계획('11)

□ 본 계획은 지속가능한 물 재이용 활성화로 친환경 대체용수 확보 및 수자원 보호, 기후변화 대비, 친환경 물순환 회복을 목표로 정책 비전, 지표, 정책 방향, 주요 정책 과제를 제시함

○ 수질환경 개선과 지속가능한 대체용수 확보로 깨끗하고 풍부한 물환경 구축, 건전한 물순환계 회복과 합리적 물이용을 통한 순환형 물환경 미래도시 건설 기여, 절수와 재이용 이미지 홍보를 통한 물자원을 아껴 쓰고 다시 쓰는 사회시스템 구축, 물 재이용 기술을 제3의 물산업으로 육성하여 녹색성장을 선도하는 물 재이용 산업 강국으로의 도약을 정책 비전으로 수립

○ 전국의 빗물사용량, 중수도 사용량, 하수처리수 사용량, 폐수처리수 재이용량을 지표로 활용함

사. 물 산업 육성 5개년 추진계획 (‘06)

□ 본 계획은 물 산업 강국 구현을 위해 단기·중장기 목표를 수립하고 비전 및 목표 달성을 위한 전략 및 중점과제를 도출함

○ 10년내에 20조원 규모의 산업으로 육성하고 글로벌 수준의 스타 기업군 육성을 목표로 함

○ 경영체계혁신, 제도혁신, 기술혁신의 전략을 토대로 상하수도 서비스업의 구조개편 추진, 상하수도 인프라 확충을 통한 경쟁력 강화, 기술고도화, 우수인력 양성, 수출역량 강화, 먹는 샘물의 세계적 브랜드 육성을 중점 과제로 수립함

- 상수도 인프라 투자확대를 위한, 대체수원 개발투자 확대 추진 과제에 경남 한산도 일대의 해수담수화 개발투자 확대 내용이 포함됨 (1,500억원 / 2,235 m^3/일)

아. 물 산업 육성과 해외 진출 활성화 계획(‘09)

□ 본 계획은 녹색성장 5개년 계획(‘09.7)의 안정적인 수자원 관리능력 강화를 위한 세부내용으로 두 가지 목표로 구성

□ 하나는 고도 물 처리, 해수담수화 등의 물 산업을 육성하고 및 이들의 해외진출을 활성화하는 것이고, 다른 하나의 목표는 먹는 샘물의 국제브랜드화 및 이를 통한 수출의 확대임

자. 물 산업 육성전략(‘10)

□ 본 내용은 물 산업 강국으로의 도약과 내수규모 확대, 일자리 창출 증가, 세계적 물 기업으로의 도약 등의 목표 달성을 위해 물 재이용을 포함한 4개의 핵심전략을 수립함

○ 원천기술 개발을 통한 경쟁력 강화, 토탈솔루션 역량 확보를 통한 전문 물 기업 육성, 먹는 샘물, 물 재이용 등 연관 산업 육성, 해외진출 활성화의 핵심전략에 따른 10개의 정책과제 수립

○ 원천기술 개발을 통한 경쟁력 확보를 위한 중점 기술 중 역삼투 해수담수화 기술이 포함됨

- 향후 해수담수화 시장의 60%를 차지할 역삼투 방식에 대한 기술개발을 추진함

차. 물 산업 육성 및 해외 진출 활성화 방안 이행점검 결과 및 향후대책('12)

□ '09.7월 녹색성장 5개년 계획에 포함된 물 산업 육성과 해외진출 활성화 계획과 '10.10월 물 산업육성과 해외진출활성화 방안 보고 과제를 중심으로 3개 분야인 원천기술개발 및 연관 산업 육성(6개 과제), 물 전문기업 및 물 산업 육성기반 구축(4개 과제), 물 산업 해외진출 활성화(3개 과제)에 대하여 추진상황을 점검

○ 총 13개 과제 중 원천기술개발 및 상용화, 상하수도 통합·광역화 등 10개 과제는 정상 추진 중이나 해외시장 경쟁력 확보를 위한 민간기업 운영실적 확보, 물 산업 해외진출 지원 네트워크 구축 등 3개 과제에 대한 보완점 시사

- 해외진출 기반강화와 전략적 진출을 위한 물 산업 전문펀드(Asia Water Fund) 조성 방안에 해수담수화 해외투자 개발형 사업에 지분 투자 내용 포함

카. 스마트 물산업 육성전략('16)

□ 과거에 추진한 '물산업 육성전략' ('06, ' 10, '12)의 법·제도적 기반미비(입법 실패, 전담조직 부재), 新사업 창출 및 맞춤형 실증인프라 미흡 등으로 인한 단점을 극복하고자 본 전략이 추진됨

○ 국민 물 복지증진, 물관리 효율화, 물 산업 관련 일자리 창출 및 경제활성화에 기여

- 재이용 활성화 등으로 27억톤/년의 대체 용수 확보와 물 산업 일자리를 12.4만명에서 20만명으로 확대를 목표로 함

○ 물 기업 기술경쟁력 강화 및 해외진출 지원시스템 구축을 위한 기술혁신 중점 분야에 Eco-efficiency 기술로써 재이용·해수담수화 등의 저에너지 고효율화 내용이 포함됨

○ 지속가능한 물이용 기반구축을 위한 물 신시장 창출을 위한 유역 내 이용, 물 재이용, 해수담수화 이용, 유역간 물 이동 등의 물이용 방법을 해당 유역의 특성을 고려해 우선순위 설정·운영하는 원칙을 정립함

○ 해수담수화를 통해 물 부족 문제를 해결하는 한편, 수출전략산업으로 육성하여 글로벌 물 시장 선도하는 계획을 수립함

2. 국외 수자원 개발 정책 동향

해외 물 부족 국가는 수자원 확보 방안으로 대체수자원인 하수재이용과 해수담수화에 의존하고 있으며, 해수담수화는 지표수가 부족하고 기후변화의 영향을 크게 받는 지역에서 각광받고 있음

가. 이스라엘

□ 이스라엘의 물 부족 및 관리 현황

○ 이스라엘은 국토의 60%가 사막으로 이뤄져 있고, 연간 강수량이 한국의 절반 수준(500~750㎜)에 못 미치는 전형적인 물 부족 국가

- 이스라엘은 1967년 6월 이스라엘 식수의 약 30%를 공급하는 골란고원을 점령하기 위해 시리아와 전쟁을 벌이기도 함

○ 이스라엘 정부는 물 확보를 위한 기술을 적극적으로 개발, 이를 토대로 물 산업 선진국으로 도약함

- 1948년 독립 이전인 1937년 수자원회사(Mekorot)를 설립하고, 1965년까지 남북을 연결하는 “National Water Carrier”를 중심으로 전국적인 수도망을 구축

- 2009년 대규모 담수화 시설을 연결하고 동서 연결망을 강화함으로써 새로운 수도 체계를 완성함

- 이스라엘 정부는 물 확보 기술 관련 기업을 집중 육성했고, 현재 관련 기업 수는 250여 개에 달함

□ 중장기 물 관리 정책 (2010-2050)

○ 이스라엘은 2050년의 예측 인구인 1천 5백만 명을 기준으로 공급량을 늘릴 계획이며 수자원 사용량의 2배 증가를 예상하여 물 공급 전략을 수립

- 하수 재처리 및 농업용수 활용

  • 1969년 텔아비브 남부지역에 Shafdan 하수처리장을 건설하여 인근도시 주민 200만명의 가정하수 1.3억톤을 재처리한 다음, 90 Km 떨어진 네게브 사막 농업단지에 공급

  • 1970년 불법적인 하수 사용에 따른 콜레라 발생을 계기로 하수재처리 및 활용을 위한 전국 하수처리 계획을 수립·시행하여, Kishon 하수처리장(연간 20백만톤 처리), Haifa 하수처리장(37백만톤), Jerusalem Soreq 하수처리장(23백만톤)

과 같은 대규모 처리장과 함께 100여개 소규모 처리장을 건설함

- Mekorot이 운영하는 대규모 하수처리장 이외에 Aqwise, Elcon과 같이 고도 산업폐수를 처리하는 민간 업체들이 다수 운영 중
- 현재 이스라엘에서 재처리된 하수 5.5억톤중 4.8억톤이 농업용수로 사용되고 있어서 전체 농업용수 중 재처리된 하수의 비중이 약45%에 이름

- 해수담수화 기술의 상용화

- 담수의 연간 가용량이 급격히 감소한 반면 (17억톤에서 12억톤으로), 총 수요량은 크게 증가하자 (21억톤) 해수담수화를 통해 부족분 충당
- 1997년 이스라엘 남단 Eilat에 역삼투 방식의 담수화 시설을 처음 건설, 2002년 수년간 지속된 최악의 가뭄을 계기로 지중해 연안 Ashkelon, Palmahim, Hadera, Ashdod, Soreq에 역삼투 방식의 5개 대규모 담수화 시설과 수개의 소규모 담수화 시설을 단계적으로 건설 중
- 담수화 시설들은 현재 연간 4.5억톤의 음용수를 생산하여 전체 수돗물의 약 60%를 공급 (표 2-1 참조)

표 2-1. 이스라엘의 대규모 해수담수화 플랜트 현황

플랜트	용량, m^3/일	계약방식	계약년도
Soreq	540,000	BOT*	2010(2013)***
Hadera	456,000	BOT*	2007(2009)***
Ashkelon	392,000	BOT*	2003(2005)***
Ashdod	320,000	BOT*	2009(2015)***
Palmachim	271,190	BOO**	2003(2007)***

* BOT: build-own-transfer; **BOO: build-own-operate; ***(운영 시작년도)

나. 싱가포르

□ 싱가포르의 수원 현황

○ 싱가포르의 물 자급률은 60% 수준으로, 한 사람당 가용 수자원량은 연간 121㎥로 세계평균(6,383㎥/년)의 53분의 1 수준에 불과

- 강수량이 연평균 2,300㎜로 풍부함에도 불구하고 국토 내에 강과 호수, 하천이 많지 않고 빗물 집수 공간도 적어 자체적으로 빗물을 모아 확보할 수 있는 수자원량은 전체 물 수요의 20%에 불과

- 세계자원연구소(World Resources Institute)는 2015년 8월에 발표한 “Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings”라는 보고서에서 현재와 같이 물 사용

을 지속할 경우 2040년 물 부족 국가 순위에 싱가포르, 바레인, 쿠웨이트, 카타르, 산 마리노, 아랍에미레이트, 팔레스타인을 공동 1위로 지정

○ 만성적 물 부족이라는 악조건의 극복을 위해 1970년대부터 국가적인 차원에서 물 자원 확보방안을 연구하여 ‘Four National Taps’ 전략을 개발 (표 2-2 참조)

표 2-2. 싱가포르의 수원 : ‘Four National Taps’

	수원	분담 비율	내용
1	빗물	20%	배수구, 수로, 강, 연못, 저수지 등을 통해 모은 빗물을 정제과정을 거친 후 식수로 공급
2	수입	40%	말레이시아의 조호르 주에서 수입(최초 계약은 2011년 8월 만료되었고, 두 번째 계약은 2061년에 만료 예정)
3	재생수 (NEWater)	30%	각종 여과 기술과 자외선 소독을 이용해 안전하고 깨끗하게 마실 수 있는 물로 재사용
4	담수화	10%	하루 1억 갤런의 담수화된 물을 생산하는 대규모 해수담수화 시설을 갖추고 있음.

□ 해수담수화 산업 확대 계획 발표 (2015)

○ 싱가포르는 물 수요 증가 및 공급 한계에 대한 대책으로 해수담수화 산업의 확대를 추진

- 2014년부터 심각한 가뭄의 연속, 특히 2014년 2월에는 150년만의 최저 강수량 기록하여 빗물을 통한 수자원 조달 한계

- 말레이시아와의 물 공급 계약이 2061년 만료 예정이나, 물 안보 확보를 위해 싱가포르 정부는 물 공급 관련 말레이시아의 영향력을 줄이기 위한 지속적 노력 추진

- 현재 싱가포르 국민이 하루 동안 쓰는 가정용 물의 양은 4억 갤런이며 2060년에는 두 배 이상 늘어날 것으로 예측

○ Tuas 지역에 세 번째 해수담수화 단지 건설 계획 발표 (2015. 03.)

- 2015년 3월 부처 예산안 발표에서 환경부장관은 늘어나는 물 수요를 감당할 목적으로 Tuas 지역에 추가적인 해수담수화 시설 건설 계획 발표

○ Marina East 지역에 네 번째 해수담수화 시설 구축 계획 발표 (2015. 09.)

- 싱가포르 수자원공사(Public Utilities Board, PUB)는 Marina East 지역에 네 번째

해수담수화 시설의 설치 계획을 발표함

- 2015년 3월 세 번째 해수담수화 시설 개발 계획 발표 후 6개월 만에 추가 개발 계획 발표

- 하루 3,000만 갤런의 해수 및 근처 Marina Reservoir의 수처리 예정

- 다른 시설과 달리 도심에 가까이 위치해 있는 만큼 도심에서 발생하는 물 수요에 잘 대응할 수 있을 것으로 전망

- 민간투자 (Design-Build-Own-Operate, DBOO) 방식으로 개발될 예정

○ 수자원 확보를 위하여 싱가포르는 추가적인 수자원 인프라 개발 계획을 지속적으로 추진

- 싱가포르의 부총리는 2015년 3월 세계 물의 날 기념 연설에서 수처리 관련 인프라 투자 확대 약속

- 싱가포르 정부는 해안지역 5곳을 해수담수화 설비 추가 설치 후보 장소로 선정했으며, 이를 통해 하루 100만㎥의 생산 목표 설정

- PUB는 용수수요가 2배 이상으로 증가하는 2060년에도 용수수요의 25%를 담당하는 해수담수화 비중을 지금 수준으로 (25%)로 유지하는 것을 목표로 하고 있음

- 2030년까지 동쪽 Changi 지역, 서쪽 Tuas 지역, 북쪽 Kranji 간척지역에 물 재이용 회사들이 모여 있는 통합 설비 산업단지 건설 예정

○ 담수화산업 등 수자원 관련 산업에 대한 정부의 관심과 투자가 지속될 전망

- 싱가포르 정부는 2060년까지 전체 물 수요의 80%를 해수담수화 및 재생수(NEWater)로 충당하는 것을 목표로 하고 있음

- 2060년도에는 물 수요가 현재(하루 4억 갤런)의 2배로 증가할 것으로 예상되므로, 해수담수화 및 정수 시설 확대를 위한 투자는 계속 증가할 것으로 전망

다. 중국

□ 중국 물 부족 현황

○ 중국은 세계 최대 물 부족 국가 중 하나로, 중국 전체의 1인당 평균 수자원 점유량은 2,100㎥로 전 세계 평균의 4분의 1밖에 되지 않음

- 중국은 661개 주요 도시 중 420개 이상의 도시가 수자원 부족에 시달리고 있으며, UN에서 수자원이 가장 부족한 13개 국가 중 하나로 지정됨

- 중국은 강과 하천의 58%가 음용수로 이용하기에 부적합하고 28%가 산업용 및 농업용으로 이용하기 부적합한 것으로 분석됨
- 도시지역 지하수의 90%가 오염되어 있고 호수의 25%만 음용수로 이용 가능한 것으로 조사됨 (Asian Wall Street Journal)
- 중국인의 40% 이상이 생활 과정에서 물 부족 현상을 겪고 있으며 400여개 도시에서 물 부족 현상이 심각 (연합뉴스, 2014. 5. 14)

- 중국의 심각한 물 부족 현상은 가뭄 등 자연재해, 심각한 누수율, 수자원 재활용 시스템이 제대로 작동하지 않기 때문이라고 분석됨 (중국의 공업용수 재이용률은 60~65% 수준이며, 전국 600여개 도시의 수도 누수율은 15~70%임)

□ 해수이용 전문 계획 (’ 05)

○ 2005년 7월 발전개발위원회, 국가해양국, 재정부가 “해수이용 전문 계획”을 발표하였으며 2010년과 2020년의 해수이용 목표가 명시되어 있음

- 2010년까지 중국의 해수담수화 능력을 80만㎥~100만㎥/일 수준으로 높이고, 해수의 연간 직접 이용량을 550억㎥로 확대

- 담수가 부족한 중국 임해지역 물부족 문제 해결에 대한 기여율을 16.5~24%로 높일 계획

- 2020년 해수담수화 설비 국산화 비율을 90% 이상이 되도록 추진 (당시 60% 미만)

□ 해수담수화 제 12차 5년 발전계획 (’ 11)

○ 12차 5개년 계획기간(2011~2015년) 중 해수담수화 프로젝트에 총 200억 위안을 투자해 1일 담수화 능력을 200만~300만톤 수준까지 끌어올릴 계획

- 2015년 구체화된 시설 설치 계획에 따라 중국 정부가 단기간에 투자해야 하는 비용만 약 210억 위안(약 3조9천억 원)에 이를 것으로 추산됨

- 해수담수화 사업 관련 설비, 핵심 기술, 시스템, 제조능력 일체에 대한 기술력의 국산화와 동시에 해수담수화 기술의 선진화를 목표로 제시

○ 중국은 해수담수화를 도시 생활용수 공급 및 전력 산업에 적극적으로 활용

- 해수담수화 공정시설 중 36곳은 도시의 급수 시스템에 사용되며 전체 공정 수의 55%(313,534 ㎥/일, 40%)의 생산능력 보유

- 전력 산업은 해수담수화 기술이 가장 많이 응용되는 산업으로, 19곳의 해수담수화

시설에서 305,840 ㎥/일(39%)를 생산

- 임해 지역에 건설된 발전소는 해수담수화나 해수를 직접 이용하는 기술로 발전소에 필요한 용수를 해결하라는 정부의 지시에서 기인
- 중국은 임해지역에 담수 수원을 많이 사용하는 사업의 건설을 엄격하게 제한하는 한편, 화력발전, 석유화학, 화공, 철강 등의 산업에는 해수 사용을 장려

라. 미국 캘리포니아 주

□ 미 캘리포니아 주의 극한 가뭄 (2011~2015)

○ 미 서부 캘리포니아 주(3,820만명 거주)에서 4년 연속 가뭄(1,200년 만의 최악의 가뭄)이 발생

- 직접적인 경제적 피해액 22억달러에 이르는 손실이 발생하였으며 농업분야에 관련된 17천개 이상의 일자리가 줄어들 것으로 추산됨
  - 가뭄에 따른 휴경농지는 1,619㎢에 달하였으며 벼농사 면적의 약 25%가 감소함
  - 캘리포니아 산림에서 1,250만 그루의 나무가 고사, 말라서 쓰러진 나무와 수풀이 쌓이면서 2015년 8월 23건의 대형 산불이 동시 발생하는 등 극한 가뭄으로 인한 피해 증대됨

□ 긴급 수자원활용 법안 (’15)

○ 캘리포니아 주 정부는 극심한 가뭄이 5년째 이어지자 2015년 167년 만에 처음으로 강제 절수명령을 발동

- 제리 브라운 캘리포니아 주지사는 1일(현지시간) 주 산하의 모든 기초자치 단체의 물 사용량을 25% 이상 감축하도록 강제하는 행정명령을 내림
  - 골프장처럼 대규모 잔디밭이 있는 시설은 의무적으로 절수 대책을 마련해야 하며, 물 사용량이 많은 농장이나 목장은 주 관계기관에 매달 물 사용량을 주기적으로 보고할 의무
  - 각 가정의 물 사용을 줄이기 위해 물 소비량에 따라 요금을 차등하는 수도요금 누진제 도입을 추진하고 에너지 사용량이 줄어드는 가전제품으로 교체하는 가정에는 리베이트를 책정

○ 절수령 발표 사흘 전 해수담수화 시설 신축 예산으로 10억 달러 편성

- 샌디에이고에 있는 칼스배드 시의 해수담수화 시설 신축에 10억 달러에 달하는 예산이 투입됨

- 캘리포니아주 산타바바라 시는 담수화 플랜트(1992년 3개월 운영 뒤 폐쇄) 재가동을 위해 4,000만 달러의 예산을 투입

- 이 외에도 캘리포니아 주에는 20개 이상의 담수화 설비가 설치되어 있고 앞으로 16개 담수화 시설 건설을 검토하거나 건설을 진행 중

□ 물 재이용 강화사업 (’16)

○ 2009년 카멜 강(Carmel River) 취수 정지 명령으로 인해 본격 시행

○ 몬테레이 반도 카멜 강의 과도한 취수로 염수침입을 우려한 캘리포니아 수자원 통제위원회(State Water Resources Control Board, SWRCB)는 2016년까지 취수량을 70% 줄이라고 명령함

- 취수 정지 명령으로 약 4만 명의 물 대체재를 찾아야 했던 캘리포니아 아메리칸 워터(California American Water, CAW)는 몬테레이 반도 물 공급계획(Monterey Peninsula Water Supply Project, MPWSP)을 발표

- CAW와 몬테레이 반도 수질관리구역(Monterey Peninsula Water Management District, MPWMD), 몬테레이 지역 수질오염 통제국(Monterey Regional Water Pollution Control Agency, MRWPCA)이 공동으로 사업을 추진

- 지하수 보충을 목적으로 하는 물 재사용사업 MPWSP는 2019년에 완성될 것으로 보이며, 취수 정지 명령의 기한을 2020년으로 연장 신청해 승인을 기다리고 있음

○ 몬테레이 반도 물 공급계획은 3가지 세부 구성안으로 구성

- 몬테레이 지하수 프로젝트(Ground water Replenishment, GWR)

  • GWR의 주목적은 다양한 자원으로부터 축적되고 재사용된 고품질의 물을 매년 3,500 acre-feet(400만㎥)을 생산해 해변유역의 대수층을 보충하고 CAW에게 음용 가능한 물을 제공하는 것

  • MPWMD와 MRWPCA는 최근 이 사업의 의무 환경 연구를 완료함.

  • GWR는 대형 담수화 시설과 효과가 비슷하고, 소비자 부담 비용 또한 동일하거나 미미하게 높을 것으로 분석됨

  • CAW는 California Public Utilities Commission(CPUC)와 연간 약 3,500 acre-feet

의 처리회수수를 구매하는 계약 체결을 앞두고 있으며, 올해 안에 진행될 것으로 전망됨

- 이 계약이 체결되면 담수화 시설 크기를 3,500 acre-feet만큼 줄일 수 있을 것으로 예상되며, 지하수 과잉채수와 염수침입의 문제점을 해소할 것으로 전망됨

- 해수담수화 시설

- CAW에서 계획하고 있는 해수담수화 시설의 목적은, 해변에 밀접하면서 대각선 각도로 굴착된 지표 아래의 유입정으로 해수를 모아 음용 가능한 물을 생산해 몬테레이에 제공하는 데 있음

- 지표 아래의 유입은 파이프라인 개방과 다르게 해양생물에 부정적인 영향을 주지 않아 규제기관과 환경단체가 선호하는 기술

- GWR의 연간 3,500 acre-feet 계약 체결 여부에 따라 해수담수화 시설 크기가 9,750 acre-feet 또는 6,250 acre-feet으로 결정

- 현재 약 60%의 디자인이 완성됐으며, 환경영향보고서(Environmental Impact Report)의 최종승인을 기다리고 있음

- 대수층 저장 및 복구(Aquifer Storage and Recovery, ASR)

- 건기 내 원활한 용수 공급을 위해 겨울이나 우기에 취수 처리된 잉여 용수를 지하에 저장하는 수자원 관리 사업

- 현재 진행되고 있는 ASR 프로젝트는 카멜 강에 서식하고 있는 무지개 송어(steelhead trout)에게 위협이 되지 않는 한도까지 취수 허용

- CAW는 추가적으로 2개의 ASR 유입정을 설치해 프로젝트를 확대할 계획

○ 캘리포니아 주는 카멜 강의 취수 정지 명령에 따른 물의 수요를 대체수자원으로 충족하려 함

- GWR와 ASR 프로젝트의 확대로, 해수담수화 시설에 들어가는 건설비 및 환경 발자국을 저감할 수 있을 것으로 예상

- MPWSP는 지역 통합 해결책으로서 캘리포니아 내 여타 지역에 물 재사용 모형을 제공할 것으로 전망됨

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 해수담수화 산업시장 동향

가. 물 시장

□ 글로벌 물 시장 규모는 2016년 기준 약 7,139억 달러(약 798조원)으로, 연평균 3% 내외 성장률을 기록

○ 세계 물 수요는 인구 증가, 도시화, 생활수준 향상 등에 따라 계속 증가할 전망

- UN 등에 따르면 물 사용량이 인구보다 1.5배 빨리 증가할 전망

- 연평균 증가율('07년~' 25년) 전망 : 세계 인구 1.0%, 도시 인구 1.9%, 연간 취수량 1.5%

○ 국제 유가 하락 및 경기 둔화로 인해 최근 글로벌 물 시장 성장률은 2% 초반에 불과하지만, 향후 지속적 성장 전망

- 지역적으로 선진국은 노후시설 개량, 개도국은 상하수도 인프라 확충, 중동은 해수담수화·재이용 수요가 물 시장 성장을 견인하는 것으로 조사됨

- 특히 중국, 인도, 중동 등 고도의 경제성장과 도시화가 예상되는 지역에서 물 수요가 크게 증가할 것으로 전망됨

□ 물 산업은 크게 분야별로 수자원, 상수도, 하수도, 산업수처리의 4개 부문으로 구분할 수 있으며 각각의 사업별 하드웨어(건설, 제조 등), 소프트웨어(엔지니어링 등) 및 운영관리 부문으로 구분

○ 상·하수도 부문이 가장 많은 규모를 차지하며 해수담수화를 비롯한 수자원 부분은 약 2%를 차지

○ 물 시장의 기술 패러다임은 스마트관리(ICT 융합), 고도처리(분리막·UV 등)로 변화하고 있으며 관련 분야는 연평균 15% 이상 급성장

□ 국내 물 시장 규모는 125억$(약 14조, 2016년 기준)이며, 시설비(CAPEX) 52% 및 운영비(OPEX) 42%로 구성 (그림 2-2~4 참조)

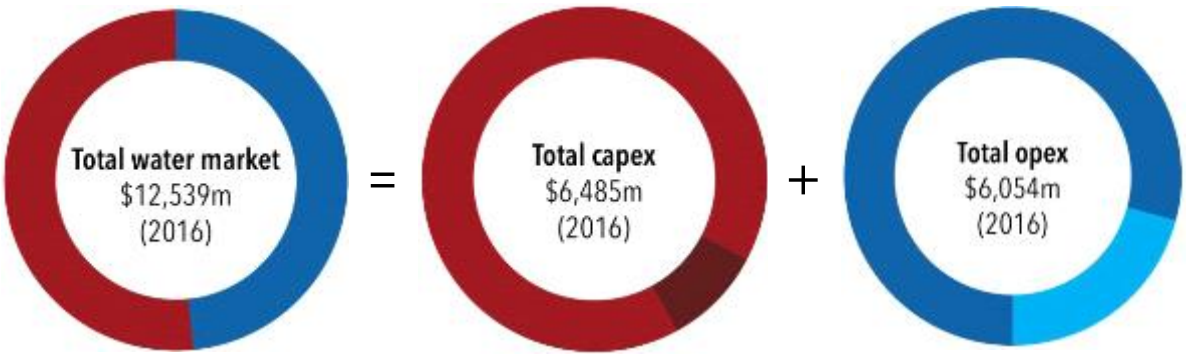


그림 2-2. 국내 물 시장 규모

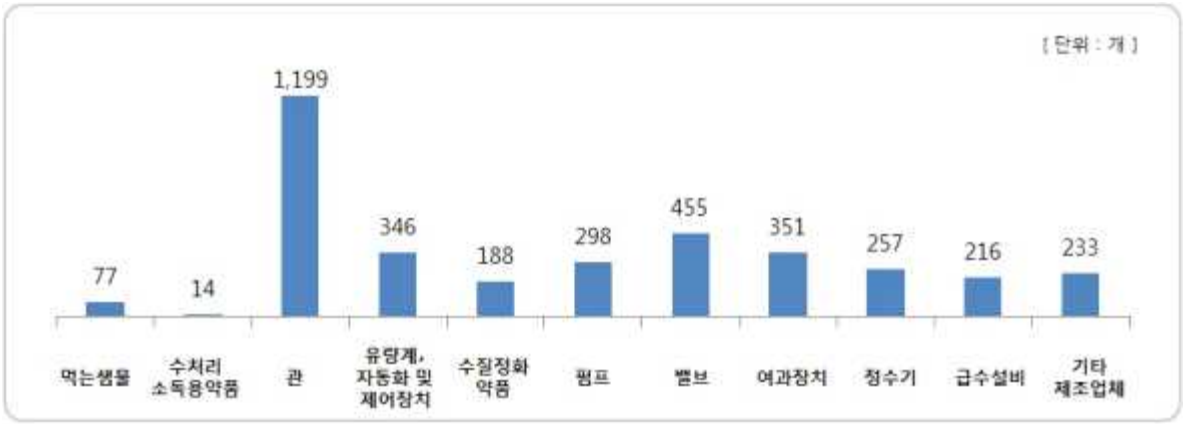


그림 2-3. 국내 물 산업 관련 제조업의 주요 업종별 사업체 수

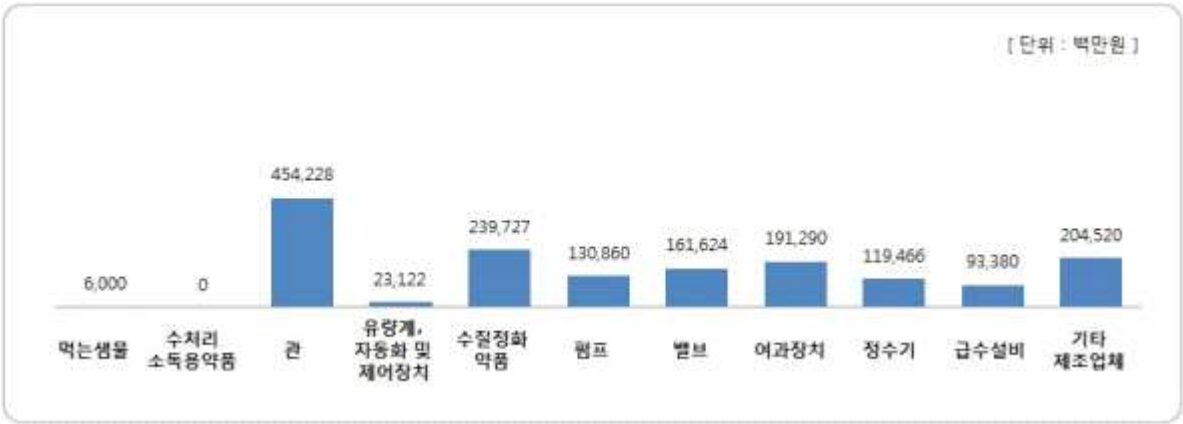


그림 2-4. 물 산업 관련 제조업의 주요 업종별 수출액

나. 해수담수화 시장

□ 전 세계 담수처리 설비 시장 규모는 2016년 30억달러 정도로 추산되며 향후 8년간 연평균 9.1% 성장할 것으로 전망됨 (그림 2-5 참조)

○ 현재 해수담수화 시장은 전체 물 시장 대비 2% 수준으로 비교적 낮은 점유율을 차지하고 있으나 급속한 성장세가 전망되기 때문에 향후 물 시장에서 중요한 위치를 차지하게 될 것으로 전망됨

○ 단기적으로는 유가의 하락 등의 요인으로 성장률이 둔화되었지만 장기적으로는 지속적 인구 증가, 도시화, 기후변화 등에 따라 담수화 시설에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

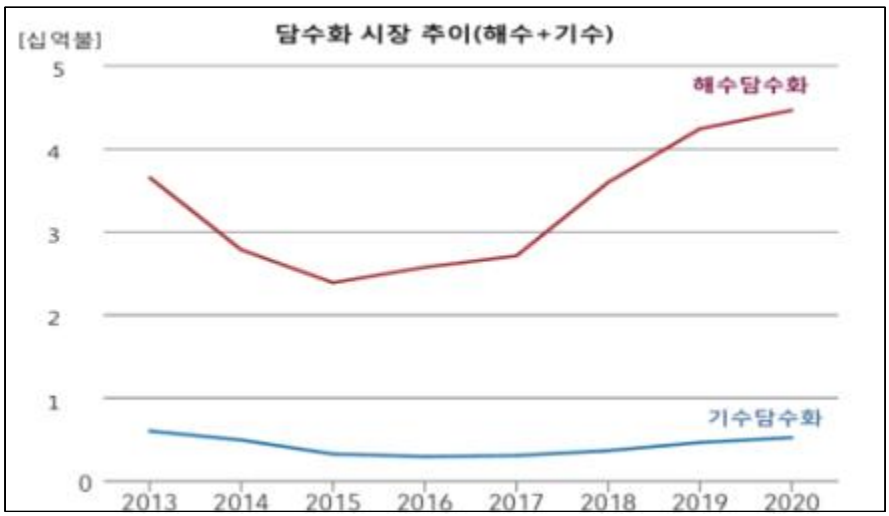


그림 2-5. 세계 해수·기수 담수화 시장 규모 및 추이 (GWI 2017)

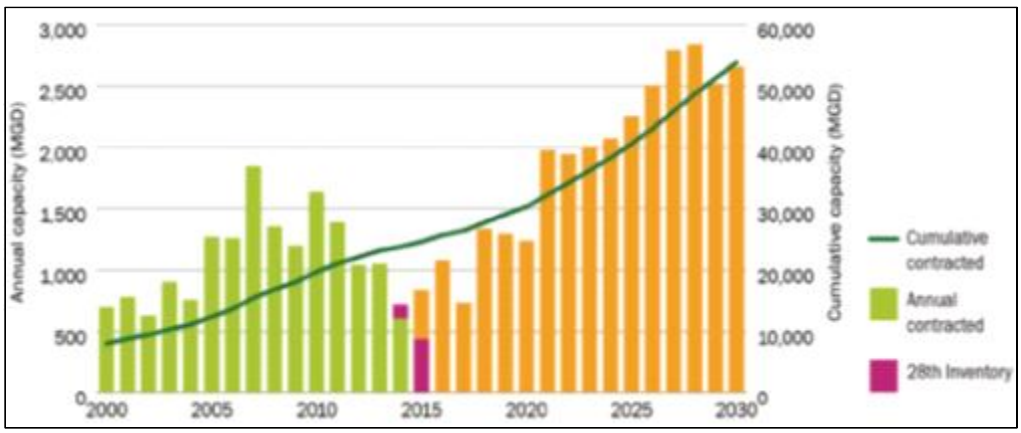


그림 2-6. 전체 담수화 시설 규모 전망 (GWI 2016)

□ 2017년 현재 150개국, 19,372개, 9,980만m^3/일 규모의 해수담수화 시설이 설치되어 있으며 시장은 지속적으로 성장하고 있는 것으로 조사됨 (그림 2-6 참조)

○ 2000년대 중반의 침체 이후 4 년째 해수담수화 시장이 연속적으로 증가한 것으로 조사됨(GWI DesalData & IDA Desalting Inventory)

○ 중동 및 아프리카, 아시아태평양 지역이 수처리 설비 시장의 신규 수요를 주도할 것으로 예상되며, 남아메리카 지역에서도 효율적 상·하수 유통을 위해 설비 수요가 증가할 것으로 전망됨

다. 지역별 시장 현황

□ 해수담수화 시장은 중동지역을 중심으로 형성될 것으로 예상되며, 미국을 중심으로 한 북미 지역과 인도, 중국 등의 아시아 시장이 증가할 것으로 전망 (그림 2-7, 표 2-3 참조)

○ 중동은 가장 중요한 시장이며, 물 부족이 심각한 사우디아라비아, UAE, 쿠웨이트, 이스라엘, 카타르 등을 중심으로 투자가 지속될 것으로 예상됨

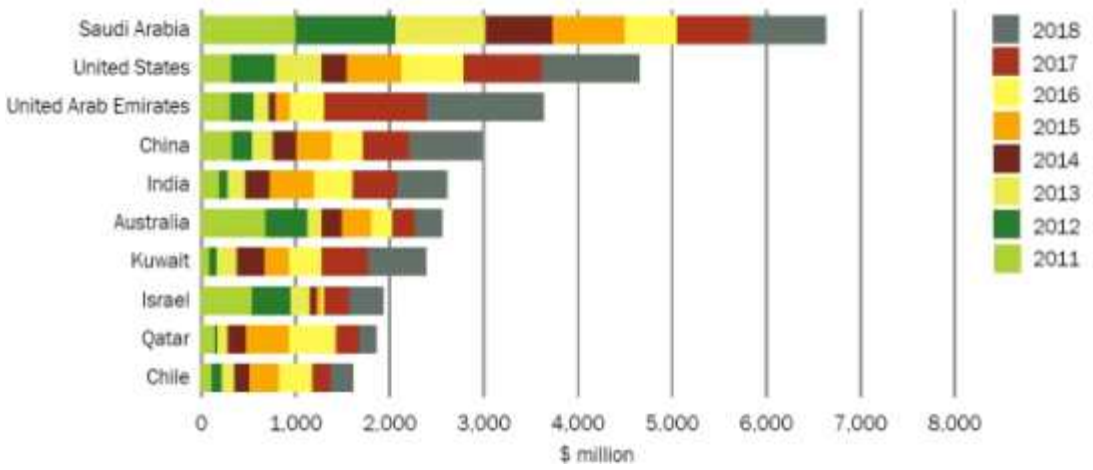


그림 2-7. 중동국가별 해수담수화 시장 규모 현황 및 전망 (GWI 2015)

표 2-3. 해수담수화 18개 시장

Country	2011-15	2016-20	2011-20	Note
Saudi Arabia	4,386	5,152	9,538	MiddleEast
United States	1,920	2,005	3,925	NorthAmerica
Kuwait	871	2,111	2,982	MiddleEast
China	1,943	950	2,893	Asia
India	1,392	1,428	2,820	Asia
UAE	1,217	1,572	2,789	MiddleEast
Oman	1,033	1,336	2,369	MiddleEast
Qatar	628	1,684	2,312	MiddleEast
Chile	829	1,216	2,045	SouthAmerica
Australia	1,384	258	1,642	Oceania
Israel	1,230	212	1,443	MiddleEast
Iran	275	976	1,251	MiddleEast
Algeria	427	690	1,117	NorthAfrica
Singapore	594	247	841	Asia
Morocco	310	459	770	NorthAfrica
Mexico	171	470	641	NorthAmerica
Spain	303	319	622	Europe
Caribbean	274	86	360	CentralAmerica

○ 세계 1위의 해수담수화 생산능력을 보유한 나라는 사우디아라비아로, 충분한 재정을 바탕으로 해수담수화 중심의 상수원 개발에 지속적으로 투자

- 에너지 효율을 고려하여 기존의 열공정에서 막공정의 해수담수화에 광범위한 투자 계획을 보유

- 2012~2022년 175억 USD에 달하는 설비 투자를 계획하고 있음

○ 아랍에미리트는 외국기업과의 협력을 통해 저에너지형 해수담수화 기술 도입을 추진 중이며, 다양한 신재생 에너지 융합 해수담수화 플랜트 기술 개발을 진행

- 아부다비와 두바이를 중심으로 담수 프로젝트가 계획되고 있으며 증가하는 담수 수요를 대응하기 위해 2020년까지 총 400억 달러 규모의 해수담수화 시설을 계획

- 전체 공급용수의 약 30%를 해수담수화로 공급하고 있으며, 기존 증발식 플랜트를 에너지 효율이 좋은 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트로 변경할 계획

- 2002년부터 원유 고갈 이후를 대비하여 자국 내의 모든 시설에 신재생 에너지 사용을 근간으로 하는 저에너지 정책을 적용하고, 해수담수화 사업도 저에너지 사용을 전제 조건으로 추진

- 2013년 마스다르가 Innovation Desalination Technology와 Advanced Desalination Technology를 개발하는 파일럿 실증과제를 추진

○ 쿠웨이트는 풍부한 재정여건에 의해 담수화 중심의 상수 보급률이 100%에 이르며, 부품소재, 운영시장 등이 확대될 것으로 전망되고 있음

○ 요르단 또한 물 사용량 증가로 상수원 개발 및 담수화 부분의 시장이 확대될 것으로 전망

○ 오만은 해수담수화 시장규모가 2018년 3억 달러 이상으로 전망되며, 높은 시장개방 정책으로 프로젝트 개발에서 운영까지 외국 기업의 참여가 활발

□ 신흥개발국의 산업화에 따른 물 수요 증가로 신흥 시장이 확대될 것이며, 미국, 호주, 유럽 등의 선진국과 물이 부족한 북아프리카 등의 수요도 지속적으로 증가할 전망

○ 중국은 급격한 도시화 및 경제성장이 이루어지고 있으나 열악한 수자원 환경을 가진 국가로, 12차 5개년 계획(2012~2017)에 따라 2015년까지 200만m^3/일 규모의 담수화 프로젝트를 계획 (설비 중 70% 이상을 국산화하는 목표 수립)

○ 인도는 2005년 이후 많은 외국 기업들에게 참여 기회 제공을 통해 자국 내 불안정한 수자원 인프라를 개선하고 있음

○ 호주는 가뭄으로 인한 상수원 부족 문제를 해결하기 위하여 해수담수화 시설을 도입하였으나, 이후 충분한 강우로 물 부족 문제가 해결되자 경제성을 이유로 서부지역을 제외하고는 시설을 운영하지 않고 있음

○ 칠레는 광산회사가 해수담수화를 통한 용수 사용을 의무화하는 법안을 제정하여 추진하였으며, 2020년에는 구리광산용으로 1억 7천만m^3의 용수가 추가적으로 필요할 것으로 예상됨

○ 멕시코는 해수담수화 사업의 64%를 민간기업이 수행하고 있으며, 역삼투 방식의 해수담수화 시설의 경우 94%를 민간이 담당, 멕시코 정부는 운영을 포함한 PPP(Public Private Partnership) 형태로 민간 참여를 장려하고 있음

○ 아프리카 지역은 오랜 유럽의 영향으로 Suez, Agbar 등의 기업이 지배적으로 시장을 확장하고 있으며, 자국 내 경제적 여건에 따라 점진적 해수담수화 인프라 확장이 예상됨

○ 자국 내 물 시장이 포화되어 있는 유럽은 세계적인 기술력을 지닌 물 기업을 앞장세워 적극적인 해외 진출을 추진하고 있음

- 스페인은 대부분의 해수담수화 시설이 소규모로 민간기업이 소유하고 있으며, 950

여개 플랜트 중 절반이 500m^3/일 이하를 생산하고 7%만이 2만 m^3/일 생산

□ 미국 등은 노후화로 인한 개량시점이 도래하여 대규모 자본조달의 필요성이 발생하여, 점차 담수화 부문의 민간기업의 자본 참여·개방이 확대될 것으로 전망됨

라. 시장 전망

□ 인구 증가, 기후변화에 따른 가뭄 증가 및 지표수 부족 등 세계적 물 스트레스 증가가 전망되는 바, 해수담수화는 가뭄에 대응할 수 있는 안정적인 대체수자원으로 무한한 잠재적 시장을 보유

○ 인류가 가용할 수 있는 수자원 중 담수 비율은 2.75%이나 이 중 94.9%는 만년설과 빙하에 해당하여 실제 활용 가능한 담수자원 양은 매우 적음

○ 바닷물인 염수는 가용 수자원의 97.25%를 차지하므로, 해수 담수화는 만성적 물 부족과 극한 가뭄 등의 재난성 물 부족에 대응하기 위한 가장 근본적인 대안임

□ 물 수요 증가에 따라 해수담수화 시설의 도입 필요성이 증가할 것으로 예상됨

○ 물 수요는 1950년~1990년 사이에 3배나 증가했고, 앞으로 35년 이내에 현재보다 2배나 증가할 것으로 전망됨

○ 담수 공급이 한계에 다다른 곳, 물 공급을 외국에 의존하고 있는 곳, 강우량이 불안정하거나 불충분한 곳, 인구가 급격히 증가하고 있는 곳 등이 해수담수화 도입 적지가 될 것으로 예상

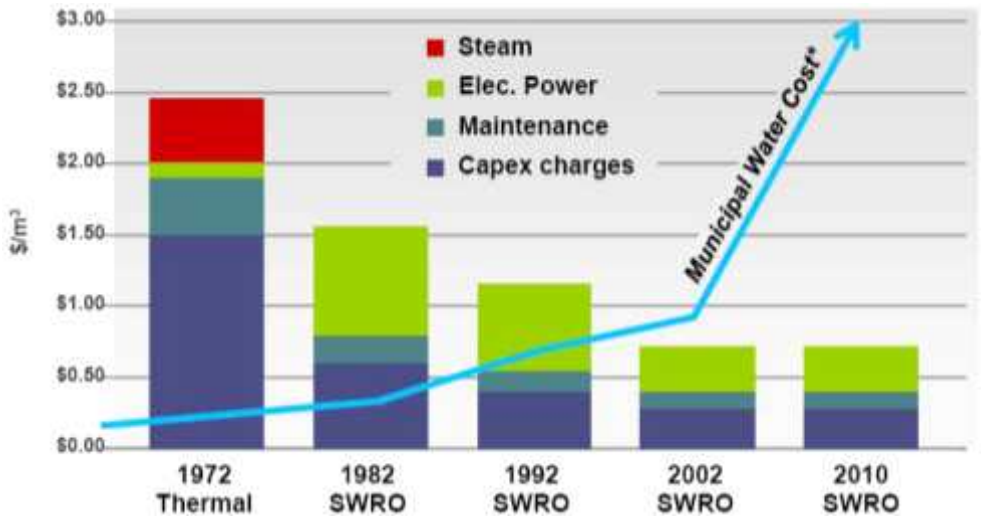
□ 해수담수화 기술 진보로 향후 5년간 생산비용을 20%, 20년 동안 최대 60%까지 감소시킬 것으로 예상 (표 2-4 참조)

표 2-4. 중대형 프로젝트 담수화 비용_최고수준 및 전망

	2016년	5년 이내	20년 이내
물 생산 비용 (US$/$m^3$)	0.8-1.2	0.6 - 1.0	0.3 - 0.5
건설 비용 (US$/MLD)	1.2 - 2.2	1.0 - 1.8	0.5 - 0.9
전기 에너지 사용량 (kWh/m^3)	3.5 - 4.0	2.8 - 3.2	2.1 - 2.4
막 생산성 (m^3/모듈)	28 - 47	35 - 55	95 - 120

자료 : Desalination - Past, Present and Future, IWA (2016)

○ 실제로 해수담수화 공정의 단가는 지난 30년 동안 상당히 하락하여 왔으며 또한 플랜트 용량 증가에 따른 단위 건설비용 감소의 효과도 존재함 (그림 2-8 참조)



자료 : Seawater Desalination Costs, WATEREUSE association, (2012)

그림 2-8. SWRO Cost Trends

3절. 해수담수화 산업생태계 분석

1. 해수담수화 산업 구성 및 특징

가. 해수담수화 산업의 구성

※ PRO 기술과 MD(/MCr) 기술은 해수담수화 기술로, 해수담수화 산업생태계에 포함, 전체 산업 구성 측면에서의 구조는 해수담수화 산업과 동일한 것으로 간주함

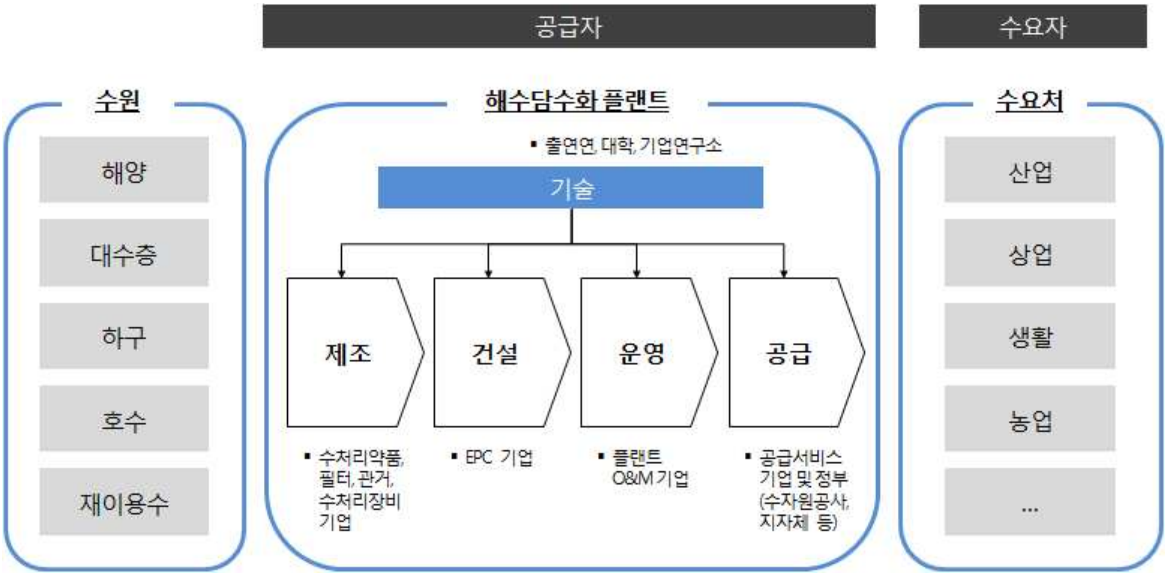


그림 2-9. 해수담수화 산업의 구성

□ 해수담수화 산업은 가치사슬에 따라 제조, 건설, 운영 서비스업으로 구분되며, 각 부문간 상호 긴밀히 연계되어 있는 특징을 가짐 (그림 2-9 참조)

○ 제조업에는 수처리 약품, 필터(막), 관거, 수처리 장비 등의 분야가 있음

○ 건설업에는 해수담수화 플랜트 프로젝트 개발을 위한 컨설팅, 설계 및 건설 포함

- 제조 및 건설업의 경우 민간 경쟁 시장으로 신규업체의 진입이 비교적 용이

○ 운영 및 공급 서비스업에는 해수담수화플랜트의 운영·관리(O&M)과 공공 및 민간 상·하수 시설과 연계한 운영 및 관리를 포함함

- 정부 또는 수요기업과 장기 운영 계약을 통해 수처리 및 관리를 수행

○ 해수담수화를 위하여 다양한 분야의 지식의 연계 및 통합이 중요하며 이를 위한 산·학·연에서의 다양한 지식 공급이 필요

- 물의 취수, 처리, 공급과 관련한 소재 및 기자재, 설비 제조, 엔지니어링, 운영, 건

실시공 등 다양한 분야의 기술의 집약이 필요함

- IT, BT, NT 등 연관기술 발달에 의해 고부가가치 첨단기술 산업으로 발전될 가능성이 높음

- 기술뿐 아니라 국가별, 지역별 다양한 법·제도적 규제와 사회, 환경, 경제적 요건을 충족시켜야 하는 난이도가 높은 산업

나. 해수담수화 산업의 특징

※ 한국수출입은행, '국내 물 산업의 해외진출 전략(2014. 2.)', KISTEP '창조경제와 물 산업(2013. 7.)' 참조

□ 해수담수화 산업은 물 전문 대기업과 이를 중심으로 중소·벤처기업들이 유기적으로 연계되는 산업조직이 경쟁력을 보유

○ 해수담수화를 포함한 물 산업은 전 세계적으로 공공부문이 사업을 주도하고, 민간부문이 제조·건설 등 연관 사업을 담당하는 이원적 산업구조를 형성하며 성장·발전

○ 국가, 지자체, 공기업 등 공공부문이 해수담수화 플랜트 건설을 주도하며, 민간 연고나 산업으로부터 사업 수행에 필요한 제조 및 건설 부문을 아웃소싱함

○ 민간부문에서도 종합 응용산업이라는 물산업 특성상 대기업이 종합적 역할을 수행

○ 기술·부품·소재·기자재·서비스 등 산업의 핵심 부가가치는 중소·벤처기업의 영역에서 다수 창출됨

□ 구조적으로 독과점적 성격이 강한 특성을 지님

○ 물 사업은 공공적 성격이 강하여 프로젝트 발주 및 운영 측면에서 공공기관의 주도성이 강하여 제조분야 측면에서는 수요 독점성이 매우 큰 산업

○ 대형 사업 중심 구조로 인하여 제조·건설분야에서 자금력과 기술력을 보유한 소수의 세계적 기술기업에 의한 과점 구조를 형성하고 있음

- 해수담수화 분야 해외 선도 기업들은 M&A 등을 통해 사업영역 다각화, 수직계열화를 통하여 경쟁력을 강화하여 글로벌 시장 진출 확대를 도모

□ 플랜트 산업이자 기술 중심의 고부가가치 산업으로, 초기 설비투자가 요구되나 궁극적으로는 선도 기술의 보유여부에 따라 업체간 성과 편차가 큰 산업

○ 해수담수화 분야는 특히 엔지니어링 기술력을 중심으로 하며, 기술의 신뢰도가 중요한 영역 (실적 필요)

※ 투자에 따른 기술 혁신 영향력이 평균 10년 이상 지속되는 분야

○ 기술개발~현장 적용에 이르기까지 최소 5년 이상의 기간이 필요하여 기술적 진입 장벽이 높은 편

□ 기후변화, 도시와, 자원 및 에너지 고갈, 인구 증가 증 물 문제 심화에 따라 시장에서의 기회가 증가하고 있으나 한계 존재

○ 기회 증가에 따라 다수 기업들이 참여하고 있으나, 경쟁의 심화, EPC 중심의 단기적 접근, 대기업 위주의 사업추진, 국내 시장의 한계 등에 직면하고 있음

□ 물 시장에서 글로벌 선진 기업들은 자국에서의 오랜 운영 경험을 바탕으로 운영사업 중심의 해외진출 전략을 추진하고 있으며, 제조업에서는 점차 철수하는 추세

○ 동 분야 세계 선도 기업인 Veolia, SUEZ 는 M&A 등을 통해 제조·시공 부문에 진출하였으나 부문간 시너지 미흡, 재정 악화 등을 이유로 철수하고 운영 사업에 집중

○ Veolia는 US Filter를 인수하여 제조 부문에 진출하였으나, 2004년 동 사업에서 철수, 2003년 시공부문에서도 사업 수익 저조로 철수

○ SUEZ는 Nalco, Calgon 등의 인수를 통해 제조사업에 진출하였으나 매각하였고, 현재는 매출의 86% 이상을 운영 부문에서 발생

○ 국내 기업도 다수의 해외 EPC 수주 경험을 바탕으로 투자 및 운영관리가 포함된 BOT(Build-Operate-Transfer) 사업 진출 등 고부가가치 사업의 수주를 위해 많은 노력을 기울이고 있음

□ 해수담수화는 우리나라 물 시장의 해외진출 실적에서 압도적 비중을 차지

○ 2001~2010년 113억 달러의 수주 실적을 살펴보면 해수담수화 시설부문이 66.7%, 상하수도가 23.3%, 댐 건설, 하·폐수 처리시설, 용역부문은 각각 4.4%, 5.5%, 0.2% 차지

2. PRO 및 MD(/MCr) 밸류체인별 특성 및 주요 플레이어

가. 제조 분야

□ 제조분야 특성

○ 표 2-5에 글로벌 기업들이 세계 시장을 선도하는 국내 물 산업 부품, 소재 시장의 현황 및 전망이 제시됨

- 신소재 막 등의 물산업 고부가가치 원천기술 및 기자재 부문에서는 국내 경쟁력이 취약한 수준으로 평가됨

- 국내 기업의 막 오염 저감 기술과 관련 핵심기술(막 표면 개질 및 코팅 기술, 막 오염 센서 기술 등)은 선진 기업 대비 경쟁력이 약함

○ 국내 고부가가치 막 소재 제조 기업에는 LG화학, LG전자, 롯데케미컬, 에코니티, 필로스, 퓨어엔비텍, 세프라텍 등이 있으며 막 시스템 제작 및 EPC 기업으로는 KROSYS, KSYS, RED, 경일, 한경글로벌, 아쿠아텍, 대한환경, 이엔테크, 에보쿠아, 효림, 대림, 두산 등이 있음

- 차세대 담수화 기술은 신소재 적용 및 차별화된 솔루션 적용에 따른 생산성 차이가 크게 날 것으로 예상됨에 따라 부품 및 솔루션의 중요성이 대두, 수처리 기업의 기술개발이 활발하게 진행되고 있음

표 2-5. 국내 물 산업 부품・소재시장 현황 및 전망 (단위 m$)

Equipment (utility and industrial)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Pipes	445.0	449.1	454.0	467.8	482.6	496.5	507.3	519.6
Pumps	256.7	257.1	267.0	275.8	288.2	299.2	307.8	317.7
Valves/fittings	171.7	170.9	174.6	179.3	184.8	189.5	193.1	197.5
Screening / grit removal	70.6	67.5	70.9	72.7	75.7	77.3	78.1	79.0
Agitation / mixing / settling	96.3	98.4	106.4	113.1	121.2	128.2	133.7	140.5
Aeration / flotation	117.3	121.0	132.9	144.3	156.5	168.2	176.5	185.8
Non membrane filtration	58.4	58.3	61.9	63.7	67.2	69.2	71.3	74.4
Disinfection	66.2	65.8	69.7	72.8	76.4	79.6	81.6	84.3
Chemical feed systems	50.2	49.6	53.2	55.7	59.1	61.7	63.8	66.3
Automation and control	175.2	175.8	187.1	196.7	208.7	218.8	227.5	237.5
Test	59.5	58.6	63.7	67.8	72.8	77.1	80.6	87.6
Meters	31.2	30.8	30.8	30.7	30.6	30.3	30.0	30.2
MF / UF	4.1	3.8	4.4	5.1	5.8	6.5	7.1	7.6
RO / NF	18.8	13.5	15.2	15.8	17.4	18.3	20.3	21.7
Thermal process equipment	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ion exchange / EDI / adsorption	24.6	23.8	28.1	28.9	32.5	34.0	36.4	39.7
Sludge thickening / dewatering	62.5	67.8	73.0	76.8	84.6	93.8	98.7	104.3
Anaerobic digestion	20.8	22.3	25.8	28.7	33.3	37.3	42.5	46.6
Sludge drying / thermal processes	35.3	38.3	42.5	44.8	51.2	57.2	60.0	64.2
Other sludge stabilisation	24.9	26.3	31.1	33.4	38.6	42.3	45.1	49.9
Other equipment	352.7	343.4	356.9	369.3	385.5	399.1	409.4	417.7
Total equipment	**2,142.0**	**2,142.1**	**2,249.1**	**2,343.4**	**2,472.8**	**2,584.2**	**2,670.9**	**2,772.3**

□ 주요 플레이어 현황

○ (Dow Chemical) 시장점유율 약 40%에 달하는 세계 최대 규모의 분리막 제조회사로, RO 및 NF, UF 막 관련 우수한 기술력을 확보하고 있음

○ (Hydranautics) 분리막 제조 기업인 Hydranautics는 기수용 역삼투막에 강점을 보유하고 있으며 현재까지 공개된 최고수준의 플럭스 12,000 GPD (gallons per day) 분리막 기술 보유하고 있으며, Statkraft의 PRO 파일럿플랜트에 막을 공급한 실적이 있음



그림 2-10. 도레이케미칼 RO 막

○ (도레이케미칼) 도레이케미칼(舊웅진케미칼)은 일본 도레이의 분리막 기술을 도입해 필터류 생산과 해수담수화 등 수처리 사업에 진출

- 미국과 일본에 이어 1994년 국내 최초로 역삼투 막을 개발하였으며 현재 국내 1위의 수처리용 역삼투막을 생산 중 (그림 2-10 참조)

- RO막, NF막, UF막, MF, 저압용/초순수용 분리막 생산이 가능하며 특히 염 제거율이 높은 막 제조기술을 보유하고 있음

• 2014년 부산 기장플랜트 주공정 멤브레인 개발하여 납품한 이력 보유

○ (GE) 수처리 분리막 제조, 화학물질 제조, Mobile Water, 분석 서비스, 수처리 Total Solution을 제공

- 적극적 M&A를 통해 물 산업 제조·건설 부문에서의 경쟁력을 구축한 GE는 물 산업에 뛰어든 후 프랑스 대표 기업들과 경쟁하기 위해 기술력과 운영능력이 뛰어난 민간 기업들을 차례로 인수함

• 1999년 캐나다 공업용수 업체인 Glegg를 인수한 후, 2002년 수처리 약품업체 BetsDearborm, 2003년에는 NF/RO막 제조 업체인 Osmonics를 인수하여 Water&Process Technologies를 설립함

• 2005년에는 해수담수화 장치기업 Ionics, 2006년에는 UF 막 및 MBR 사업체인 Zenon 등을 차례로 매입하였으나, 2017년 Suez에 수처리 사업을 매각함

○ (Siemens) MF 막 및 UF 막, MBR 등 물 산업 제조부문의 수직계열화 구축

- 2004년 Veolia로부터 분리막 제조업체인 US Filter사를 매입

- 2014년 Evoqua에 수처리 사업을 매각함

○ (Memsys) MD 기술을 보유하고 있으며, 소규모 MD 장치를 실제 해수담수화 플랜트에 적용하고 있는 글로벌 기술기업

- 2014년 2월 몰디브의 Gulhi 지역의 쓰레기 소각장과 병합된 발전소에서 생산되는 폐열을 MD 시스템에 적용하여 하루 6,500 ~ 8,000L의 해수담수화 공정을 운전, 하루 10 m3 담수 생산하는 프로젝트 수행 (공급가 7 cents/L)

  • 당시 몰디브 Gulhi 상황: 2004년 쓰나미 이후 담수에 해수가 섞이고, 하수처리 시스템의 부재로 인해 수인성 질병 빈발하여 주민들의 고통 가중

– 최근에는 AIRCON(Liquid desiccant air-conditioning(LDAC)) 프로젝트를 통해 막의 새로운 에어컨디션닝 기술개발 착수

  • 프로젝트 목표 : absorption air-conditioning and dehumidification system using renewable energy(solar thermal) or waste heat

○ (Aquaver) 네덜란드의 수처리 기술 기업으로 세계 최초로 상업화된 MD 장치를 개발 (그림 2-11 참조)

- 다단계 VMEMD(Vacuum Membrane Distillation) 기술에 근거, 열에너지를 이용해 유입수의 수질에 관계없이 높은 에너지 효율로 양질의 물을 생산하는 시스템 (그림 2-12 참조)

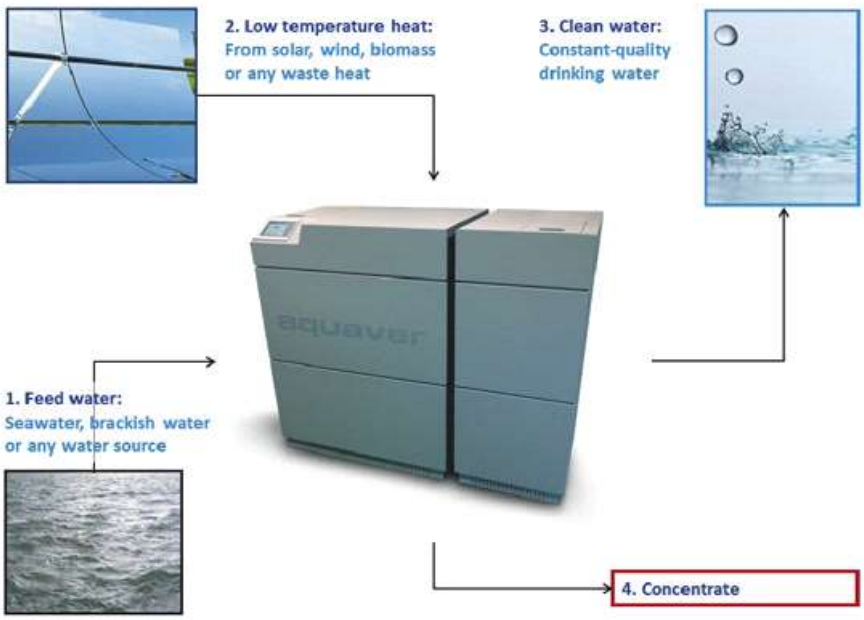


그림 2-11. Aquaver 공정

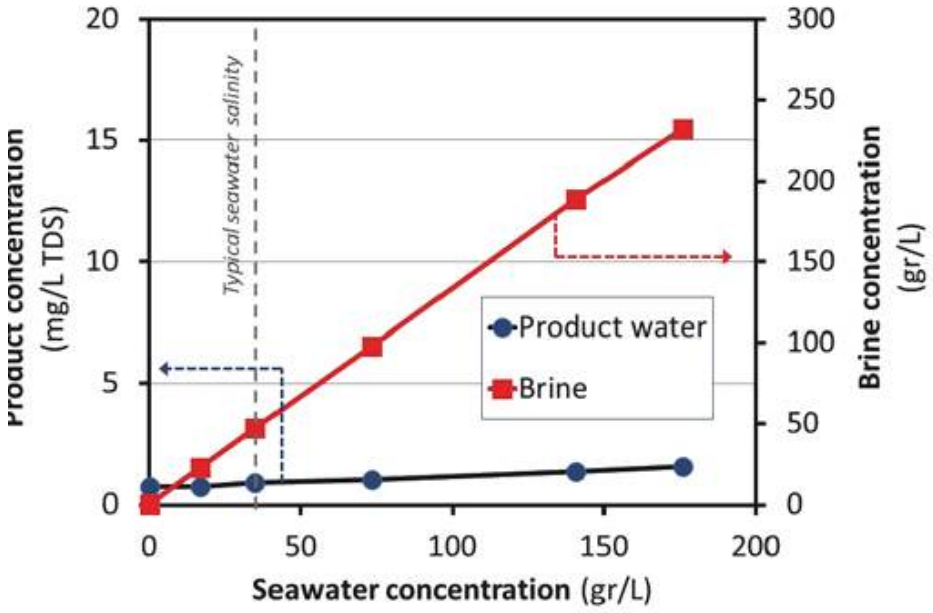


그림 2-12. Aquaver사의 WTS-40 시스템을 사용한 서로 다른 농도수준의 바닷물 처리

○ (Memstill consortium) 네덜란드의 9개 기관으로 컨소시엄을 구성, 프로세스 컨셉에서 파일럿까지의 기술 개발, 단일 막 모듈에서 물의 증발과 응축을 결합한 Memstill® 특허 확보 (그림 2-13 참조)

- 생태 관리 재단, TNO 아펠 도른(응용 과학 학회 네덜란드 연구기구), 트벤테 대학교, 워터 테크놀로지 네덜란드, Seghers Keppel 기술 그룹, E.on 베네룩스, 하이네켄, 암스테르담 시, Europort Water Board로 구성

- Memstill® 기술은 낮은 에너지 소비량, 태양전지 등 품질이 낮은 에너지 활용 가능, 조립식 모듈 기반의 간단한 구성, 기존 기술보다 저렴한 가격 등을 장점으로 내세우고 있음

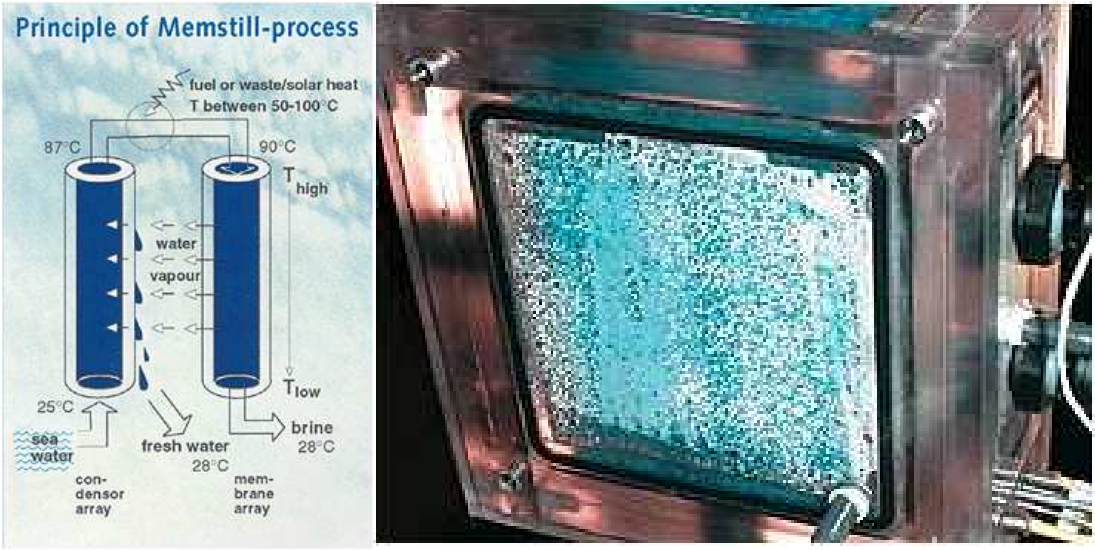


그림 2-13. Memstill ® 프로세스 원리 도식(좌) 및 Memstill ® 모듈(우)



그림 2-14. LG화학 RO 막

○ **(LG화학)** 청주공장에서 생산된 해수담수화 RO 막 17,000여 개를 2016년 말 이집트 등의 5개국, 8개의 해수담수화 프로젝트에 공급 (그림 2-14 참조)

- 청주공장 2호 라인을 2016년 말부터 본격 가동하여 생산규모를 기존 대비 3배 이상으로 확대 하였으며 사우디, UAE, 스페인, 싱가포르 등 다양한 국가의 추가 수주를 기대 중임

○ **(시노펙스)** 물 분석 원천기술과 핵심 소재 및 모듈, 시스템 패키지 기술을 보유한 수처리 솔루션 전문기업으로 각종 오·폐수, 물 재이용, 해수담수화 등의 다양한 용도로 사용가능한 분리막 필터를 생산

- 시노펙스 포항사업장은 마이크로급에서 나노급까지 다양한 종류의 분리막 필터를 하루 3,000여 개를 생산

○ **(크로시스)** 국내 역삼투 해수담수화 장비와 조선해양기자재 회사로, 선박용 조수기, 이동형 정수장비, 수처리 플랜트 등의 역삼투 해수담수화 장비와 워터제트 추진시스템, 선박평형수 처리장치(BWMS), 함안정기 등의 조선기자재를 설계 · 생산 · 판매하고, 해양플랜트 엔지니어링 서비스를 제공

○ **(에코니티)** HDPE (High-density polyethylene)를 이용한 침지형 하폐수 처리용 막, PVDF(Polyvinylidene fluoride)를 이용한 가압형 정수용 막 등을 개발하여 수처리 장에 공급・설치・운영하는 기업 (그림 2-15 참조)

- 2013년 8월 국토교통부 지원의 GMVP 연구단에 참여하여 ‘MD 전용 고투과성 분리막 및 모듈개발’ 과제를 5년 동안 수행하였으며, 이 과제를 통하여 MD 전용 중공사 막모듈을 개발함



그림 2-15. 에코니티 산업용 수처리 분리막

○ **(필로스)** UF(한외여과막), MF(정밀여과막), RO(역삼투막), GS(기체분리막)에 관련된 20년 이상의 전문 기술을 토대로 다양한 분리막과 관련 막 시스템을 생산, 판매 (그림 2-16 참조)



- UF / MF / RO Membrane System
- 순수, 무균수, 주사제용수, 기능수 제조 장치
- 식품 바이오 및 화학약품 농축 정제용 UF / MF / RO Sanitary System
- 침지형 및 외부순환형 MBR (Membrane Bio-reactor) System
- 간편형 이동식 Membrane System (비상급수, 이동형 Membrane System, Pilot test 장치 등)
- 중수도 처리용 UF / RO 및 i-MBR System
- 각종 산업 공정에서 배출된 폐수 재이용 및 유가물질 회수용 RO / NF / UF 시스템
- 기체분리 System (고농도 N2 생산 및 Purge System, 제습 장치, O2 발생장치)
- Membrane 탈기 및 주기 System
- 해수 담수화 UF + RO System
- 초순수 제조 UF + RO + EDI Polishing System
- 마을상수도, 하수도 System
- 연마폐수, 미립자 나노 입자 물질, 클로렐라 등 미세입자 농축용 침지형 Membrane System
- 탈지액 재이용 및 유수 분리용 Membrane System

그림 2-16. 필로스의 주요 생산 막 시스템

○ **(웰크론한텍)** 극세사 섬유 제조기술에 나노기술을 접목한 나노섬유를 생산하는 기업으

로 2011년 국내 최초로 고성능 첨단 필터 PTFE(Polytetrafluoroethylene) 중공사막 필터 개발에 성공하여 중금속 등 오염물질을 거르는 수처리 작업에 사용

○ **(KSYS)** 국내 종합 수처리 설비 설계/제작 전문 회사로, 다목적 패키지 정수장치, 이동식 정수장치, TMP 폐수처리 시스템 등을 개발・제작

○ **(제일모직)** 2010년 3월 분리막을 활용한 친환경 수처리 사업에 진출함을 공표하고 경기도 의왕 연구개발센터에 멤브레인 관련 설비를 구축하였으나 2015년 수처리 사업을 롯데케미칼에 매각함

○ **(세프라텍)** 국내 분리막 제조 및 분리막 공정 전문회사로, 기술집약적 연구개발을 바탕으로 분리생산성의 증대를 위한 고성능 분리막 제품 및 분리막 응용분야를 제공 (그림 2-17 참조)



(분리막) 부가 고분자 섬유와 금속사로 편조되어 보강구조를 가지고 있어 우수한 내압성과 고온에서 유기용매에 대한 구조 안정성 보유



(분리막 모듈) 고유 제조법으로 구성된 분리막모듈의 포팅부분은 100 °C에서도 유기 용매에 대한 안정성을 제공



(분리막 공정) 세프라텍 투과증발 시스템은 알코올 및 다른 유기용매 등의 휘발성 유기물의 고온 운전에 사용 될 수 있도록 설계



(분리막 설비) 세프라텍이 보유한 TIPS 공정은 다양한 공극율을 갖는 중공사 분리막을 생산 가능

그림 2-17. 세프라텍의 주요 생산・제작 제품

나. 건설 분야 (설계 및 시공)

□ 건설 분야 특성

○ 해수담수화를 비롯한 물 산업은 공공사업 영역에서 벗어나 민간사업 영역으로 확장되면서 보다 경쟁이 가속화되고 있음

- 2000년대 후반부터 싱가포르, 일본, 한국 등 신흥 아시아 기업이 시장 점유율을 확보하기 시작하여 유럽계 물 메이저 기업들의 시장 점유율이 하락하는 추세

- 자국 물 산업 육성을 위한 보호주의 정책 확대, 전후방 산업간 수직 통합 경향, 기술 및 사업운영 노하우의 일반화, 정부·지자체 주도 하의 집중적 투자 등이 변수로 작용

- 수처리 플랜트사업에 경쟁력을 갖춘 해외 선진 대기업들은 계열사들을 통해 소재 개발·공급·시공·운영까지 수직계열화하면서 시너지 창출을 추구 (그림 2-18 참조)

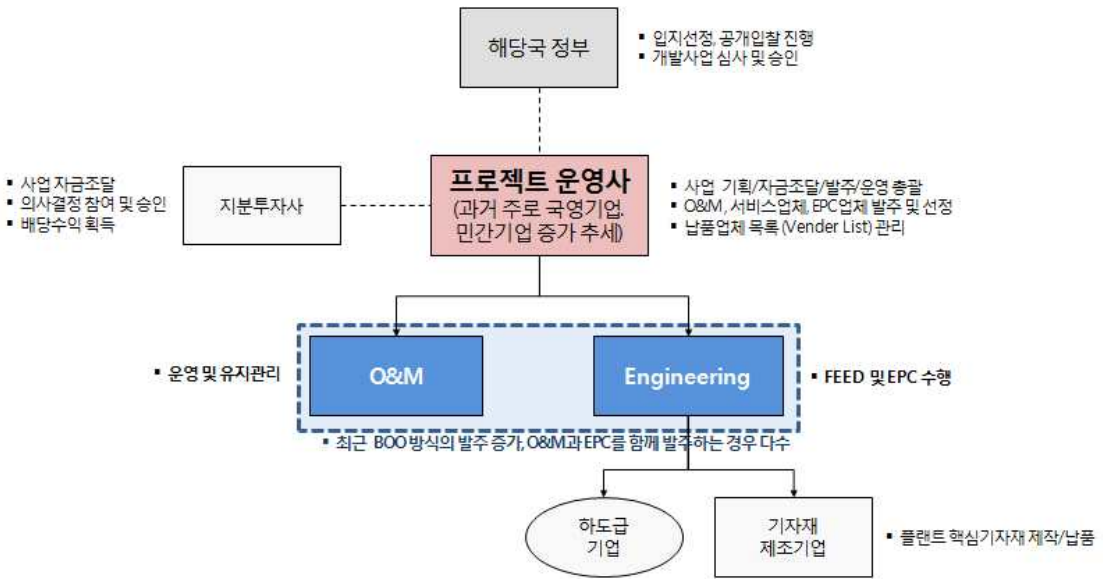


그림 2-18. 해수담수화 플랜트 사업 구조

○ 해수담수화 관련 분야의 EPC 업체들 간에 시장주도를 위한 경쟁이 점점 치열해지고 있는 추세

- 특히 EPC 분야는 설계 표준화로 인해 기술적 격차가 거의 없어졌으며 가격 경쟁이 심화되고 있는 상황 (표 2-6 참조)

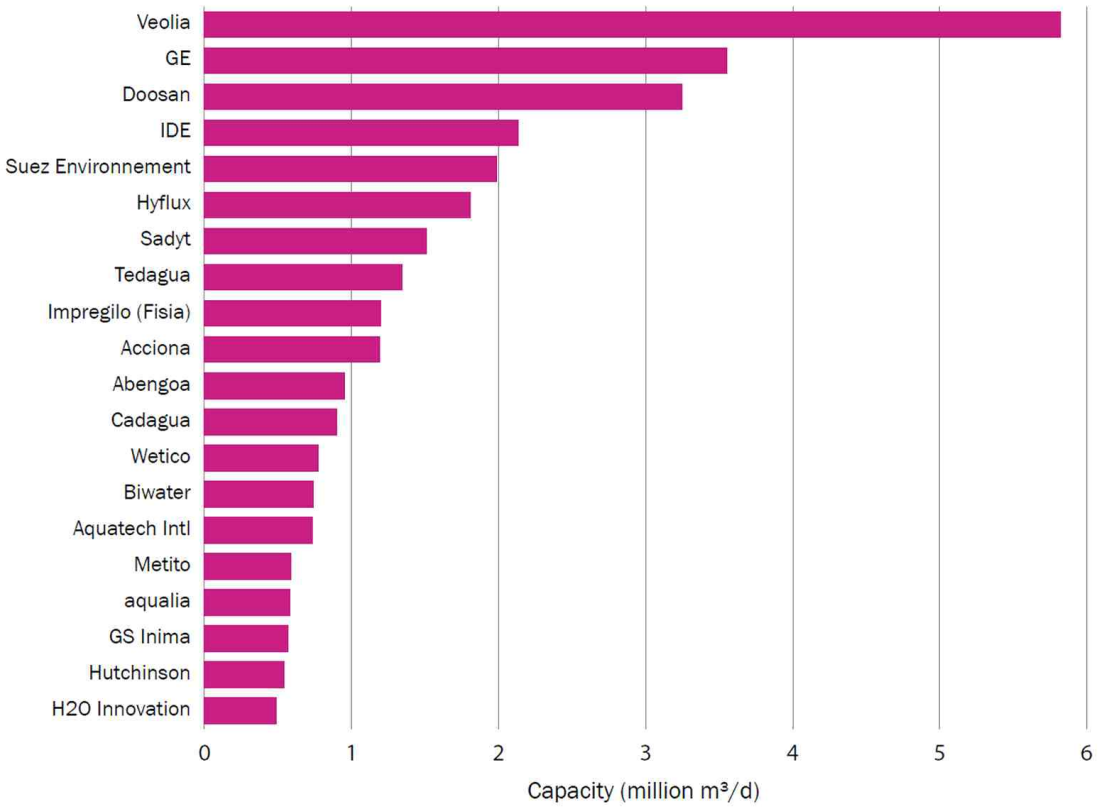
- 각 기업들은 장기적이고 안정적인 수익 확보를 위해 O&M을 포함한 공정 최적화 분야에 많은 기술력 확보에 주력

표 2-6. 국내 기업 수주 주요 담수화 플랜트 프로젝트

연도	기업	국가	프로젝트명	공사금액 (천불)	공종비율
2005	두산 중공업	쿠웨이트	사비야 3단계 담수공사 (Sabiya Stage 3 Desalination Project)	260,868	담수 40% 기타토목 30% 공장 10%
		카타르	라스라판 IWPP 2단계 공사(Ras LAffan IWPP Ph-II (Desalination Plant))	266,534	담수 100%
	현대 건설	U.A.E	제벨알리 발전 담수 L-2단계 공사 (Jebel Ali Power and Desalination Station L Phase 2)	676,831	기계설치 70% 송전시설 14% 기타토목 10% 기타 6%
2006	두산 중공업	사우디	쇼아이바 담수 발전 3단계 프로젝트 (Shoaiba Phase 3 Independent Water & Power Project)	848,750	담수 100%
2007	두산 중공업	사우디	슈아이바 확장공사-RO(Shuaibah Expansion RO Project) (Electromechanical)	182,200	담수 64% 기타토목 14% 기타건축 12%
		U.A.E	제벨알리 M 담수발전 공사 (Jebel Ali Power & Desalination Station M(1,330MW Power Plant Project)	1,689,080	발전소 87% 기타건축 5% 기타토목 5% 기타 3%
		오만	바르카 2단계/ 루사일 발전담수 공사 (Barka Ph.2/Rusail IWPP PJ)	515,100	발전소 44% 발전소 33% 기타건축 12% 기타 11%
	현대 중공업	사우디	마라피고 담수발전 공사 (Marafiq IWPP)	1,063,056	담수화시설47% 기타토목 23% 기타30%
	현대 건설	쿠웨이트	슈아이바 북부 발전담수 공사 (Shuaiba North Co-Generation (Power&Desalination)Plant)	710,559	발전소 100%
2008	두산 중공업	사우디	젯다 RO 3단계 프로젝트(Jeddah RO Phase 3 Project)	196,278	담수 43% 단지조성 30% 기타전기 27%
		오만	소하르 발전/담수설비 건설공사 (Oman Sohar Power&Desalination Project)	407,852	담수 76% 기타토목 12% 기타전기 5%
		쿠웨이트	슈웨이크 역삼투압방식 담수설비 설치공사(Shuwaikh RO Desalination Project)	324,467	담수100%
2009	두산 중공업	카타르	라스라판 IWPP 2단계 공사 (Ras Laffan IWPP Ph-2 Desalination)	288,800	담수 100%
	대림 산업	쿠웨이트	기존 GC-15 Desaliter Train 및 부대설비 추가설치(Upgrading of Desalter/ Dehydration Plant at GC-15)	23,838	담수100%
2010	두산 중공업	사우디	라스 아주르 담수 플랜트(Ras Az Zawr Power and Desalination Phase 1)	1,456,838	담수 65% 기타건축 20% 기타토목 10% 기타전기 5%
		사우디	슈아이바 확장 공사-RO(Shuailbah Expansion RO Project	184,200	담수 64% 기타토목14% 기타건축 12% 기타 10%
		쿠웨이트	쿠웨이트 슈와이바 담수설비 개보수 공사 (Life Expansion for Shuaiba South Power&Water Distillation Station)	66,269	담수 100%

※자료 : 해외건설협회

□ 주요 플레이어 현황



자료 : 글로벌 해수담수화 동향과 시사점, K-water (2016)

그림 2-19. 해수담수화 플랜트 시장의 주요 플레이어 (’ 06~’ 12)

○ (Veolia) Veolia는 세계 1위의 물 기업으로 지하수, 지표수, 기수, 해수, 하폐수 등 모든 물 관련 total soluton을 제공하는 기술을 보유하고 있으며, 세계 담수화 플랜트 시장에서도 1위를 차지하고 있음 (그림 2-19, 2-20 참조)

- (해수담수화 플랜트) ‘09년 Veolia는 호주 Gold Coast 공항에 인접한 Tugun 플랜트는 시공

  • 36MGD 규모로 공사가 완료됐으며 16마일의 파이프라인을 통하여 퀸즈랜드 water grid에 공급 (133ML/일, 665,000 명의 주민에게 담수 공급)

- (하수관리 시스템) ’ 17.10 일본 하마마츠시는 하수 관리를 위해 Veolia의 하수 관리 원격 모니터링 시스템을 도입함

  • 2018년 4월부터 200,000m3/일 규모의 하수를 처리할 것으로 전망

- (폐수처리 시스템) 보유한 폐수처리 기술을 활용하여 ’ 17.10 프랑스 라쇼비니에 흐시의 폐수처리 공장을 운영

  • 이산화탄소를 중탄산나트륨으로 전환하는 기술, 농업에서 수요가 많은 인을 추출하는 기술, 하수 슬러지로부터 바이오 가스를 생산하는 혐기성 소화 설비 등


해수담수화 플랜트


하수관리 시스템


폐수처리 시스템

그림 2-20. Veolia 주요 수처리 사업 및 기술 영역

○ **(IDE)** IDE는 이스라엘의 한정된 수자원 문제를 해결하기 위해 오래전부터 담수화에 주력하여 왔으며 현재 세계 최고 수준의 역삼투압 방식 해수담수화 기술 보유기업 (그림 2-21 참조)

- (붕소 제거 시스템) ’17.6 대만기업인 FPCC(Formosa Petrochemical Corporation)의 SWRO 담수화 플랜트에 IDE의 붕소 제거 시스템을 도입, 0.01ppm 이하 농도가 목표

- (SWRO 플랜트) ’17.5 캘리포니아주 산타 바바라시의 SWRO 시설 재가동

  • 산타 바바라시의 물 수요의 30% 충족을 목표로 하루 100만 갤런의 담수 생산

  • 미사, 조류, 박테리아, 플랑크톤과 같이 해수에서 발생하는 부유물질 및 콜로이드를 걸러내는 전처리 시스템 구축

- (모듈형 RO 시스템) ’17.1 러시아 흑해 근처 석탄 먼지 억제를 위한 소규모 담수화 플랜트 설치

  • 바람에 의한 석탄 먼지 확산을 막기 위해 흑해로부터 1,1000 m3/일 규모의 음용수 생산

  • 화학 물질 없이 담수를 생산하는 모듈형 RO 시스템


붕소제거 시스템 도입 SWRO 플랜트


SWRO 플랜트


모듈형 RO 시스템

그림 2-21. IDE 주요 수처리 사업 및 기술 영역

○ **(Hyflux)** 싱가포르의 해수담수화 분야 첨단기술을 보유하고 있는 업체로 세계 최대 해수담수화 공정(2008년)과 중국 내 최대 담수화공정(2003년), 인도 최대 담수화 공장(2012년) 등을 수주하였고, 분리막 기술에서도 세계 최고 수준 (그림 2-22 참조)

- 싱가포르 투아스프링(Tua Spring) 해수담수화 플랜트를 운영・관리 중

- 투아스프링 해수담수화 플랜트는 2011년 7월부터 ‘설계, 시공, 소유 및 운영 조건’인 DBOO(Design, Build, Own, and Operate) 모델로 Hyflux에 의해 추진, 담수화 물은 25년간 싱가포르 PUB(수자원공사)에 공급



그림 2-22. Hyflux의 주요 수처리 사업 및 기술 영역

○ **(Aqualyng)** 노르웨이의 역삼투에 근거한 해수 담수화 플랜트 제조업체

○ **(두산중공업)** 두산중공업은 1978년 사우디아라비아 파라잔 프로젝트를 시작으로 1980~1990년대 사우디아라비아, UAE 시장에서 해수담수화 프로젝트를 본격적으로 수행하였으며, 미국, 유럽 및 일본 등의 일부 업체가 독점해 오던 담수 설비의 설계 기술을 자체 개발하는데 성공함 (그림 2-23 참조)



그림 2-23. 두산중공업 RO 플랜트

- 현재 해수담수화 분야에서 세계 3위 기업으로 사우디아라비아, UAE, 쿠웨이트, 오만, 카타르 등 중동 전역에서 27개의 프로젝트를 진행 중이며 담수 생산 용량은 640만 m3/일의 규모임 (하루에 2,200만 명이 마실 수 있는 양)

- 현재까지의 경쟁력을 바탕으로 수처리 사업에 진출하는 등 물 사업을 확대할 계

획이며 경남 창원, 미국 탬파, UAE 두바이에 R&D 센터를 설립하여 다양한 물 관련 연구를 수행 중

○ **(GS건설)** GS건설은 스페인 물 전문기업 이니마(INIMA)를 인수하여 기술 교류 및 협업체계를 구축함으로서 SWRO 프로젝트 수주 및 컨세션 사업 참여를 추진 중

- GS건설은 이니마를 통해 신성장 동력 확보 및 현재 중동과 아시아에 편중된 수주 시장을 미주, 유럽, 아프리카 등으로 넓혀 해외 수주시장의 다변화를 추진 중

- GS INIMA는 GS건설이 100% 지분을 가진 자회사로 세계 10위권의 RO 방식 해수담수화 기술을 보유하고 있으며, 1957년 세계 최초로 담수화플랜트 시공을 한 후 현재까지 세계 200개 이상의 수처리 플랜트 시공 실적을 보유

  • 2012년 알제리에서 세계 최대 규모인 20만 m^3/일 규모의 RO 플랜트를 준공하였으며, 유럽 최대 규모인 384 m^3/일 규모의 슬러지 건조 플랜트 시공 및 운영기술을 가지고 있음

- 기술 공급 부문에서도 국토교통부로부터 70억 원의 연구과제비를 지원받아 차세대 해수담수화 기술인 SWRO-PRO 복합해수담수화 기술개발을 수행 중이며 에너지 소모량을 25% 줄이는 해수담수화 공정기술을 개발하고 있음 (그림 2-24 참조)



그림 2-24. GS건설 SWRO-PRO 플랜트

○ **(현대건설)** 탄소나노튜브 역삼투막 방식(CNT RO)을 활용한 해수담수화 공정 설계 패키지 기술 연구를 한국수자원공사, 도레이케미칼과 공동으로 진행 중

- CNT RO 기술은 나노 물질(초미세 물질)인 CNT를 RO 막에 코팅하여 막을 통과하는 물의 속도를 높여 담수 생산량을 증가시키는 기술로 기존 RO 막 기술과 비교하여 물 투과량을 30%이상 향상시킬 것을 예상

- 한국수자원공사와 공동으로 시화호 인근 부지에 200 m^3/일의 규모로 CNT RO 기반 해수담수화 실증플랜트 설치를 진행 중이며, 2016년 3월까지 국내에서 플랜트 운전을 마무리한 후 중동과 북아프리카 지역을 대상으로 사업화할 계획임

○ **(포스코건설)** 2012년부터 광양에 규모 30,000 m^3/일 규모의 해수담수화 플랜트를 운영 중이며 기본 설계 인자 도출을 위해 사업부지 옆 100 m^3/일 규모의 담수시설을 함께 가동 중임 (그림 2-25 참조)

- 본 사업은 산업용수 생산이 목적인 PF 사업으로 사업비는 약 550억 원이며 SPC (특수목적법인)를 설립하고 EPC와 30년의 O&M을 계획하였음

- 포스코건설은 또한 2013년 7월에 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 추진하는 스마트워터그리드(Smart Water Grid) 연구를 통해 발전소에서 나오는 온배수를 재이용하는 해수담수화 플랜트 건설을 착수함

  • 온배수 문제를 해결하기 위한 해수담수화 시설은 해외에선 이미 상용화되어있으며 국내에서는 2013년 1월부터 건설한 전남 광양 동호안 현장이 국내최초의 온배수 재이용 해수담수화 플랜트로 광양제철소 내 발전소에서 배출되는 온배수를 담수화하여 공업용수로 다시 제철소로 공급함

※ 온배수는 발전소에서 발생하는 폐열을 흡수하는 냉각수로 활용된 뒤 다시 바다로 배출되는 해수임



그림 2-25. 포스코 광양 해수담수화 플랜트

○ **(대우건설)** '저에너지 정삼투 해수담수화 기술 실용화('11.1~13.12)' 연구 과제를 자체적으로 수행하여 정삼투 기반 역삼투 공정 농축수 처리 요소기술 정량화 및 산업재산권 등을 확보함

- 10 m^3/일 규모의 정삼투 파일럿 플랜트 설계・시공・운전을 통하여 100 m^3/일 규모 이상의 설계 및 시공기술을 확보함

- 기존 역삼투 공정 강화를 위해 나노막 공정을 접목하여 경제성 향상 공법을 확보함

○ **(코오롱)** 코오롱FM(소재분야), 코오롱생명과학(수처리제사업), 코오롱환경서비스, 코오롱인더스트리(멤브레인사업), 코오롱건설(수처리 설비건설) 등 자회사를 통해 물 산업 관련 소재・시공・운영 등 수처리통합 솔루션을 구축함

○ **(삼성엔지니어링)** 하・폐수, 정수 처리사업에서 초순수, 해수담수화 사업까지 확대하였고, 계열사인 제일모직은 올해 초 의왕 연구개발(R&D)센터에 분리막 파일럿 생산설비를 구축함으로써 소재 사업에도 진출

- 2011년 2월 아부다비 투자공사(Invest AD), 영국 유나이티드 유틸리티스(United Utilities)와 공동으로 바레인 건설부 (Ministry of Works : MoW)로부터 5억5천만 달러 규모의 하수처리 사업을 수주・계약

○ **(LG전자)** LG하우시스, LG전자 홈엔터테인먼트(HE)사업본부 등 LG 각 계열사에서 개별적으로 진행하던 관련 사업을 LG전자 홈어플라이언스(HA)사업본부 내로 한데 모아 시너지를 높일 예정 (그림 2-26 참조)



그림 2-26. LG-히타치 MF/UF 멤브레인

- 2020년까지 글로벌 수처리 시장에서 7조원의 매출을 올려 글로벌 톱10 종합 수처리 전문기업을 목표로 향후 10년간 5,000억원 이상을 투자할 계획

- 2012년 일본의 히타치사와 LG-히타치 워터 솔루션을 출범하여 산업용 수처리, 상하수도 분야, 하수 재이용 및 해수담수화 등의 수처리 사업을 수행 중

  • RO 전처리 공정에 MF/UF 막을 적용하여 박테리아, 바이러스, 부유물질 등을 제거하는 기술을 보유

○ **(이노메디텍)** Membrane을 통한 환경 친화적 공정 개발 및 시스템 공급 전문 회사

○ **(효림산업)** 하,폐수 처리장과 해수담수화의 수처리 시스템 개발 회사 (그림 2-27 참조)



- 전처리 여과설비(PFS)
- 해수용 역삼투막 설비(SWRO)
- 에너지 회수설비(ERS)
- 생산수 처리설비(PWRO)
- 약품주입설비

그림 2-27. 효림산업 해수담수화 분야 주요 사업 및 기술 영역

다. 운영 부문

□ **운영 부문 특성**

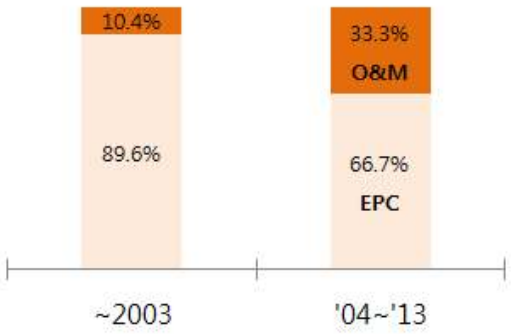
○ 해수담수화 O&M (Operation and Maintenance, 운영 및 유지관리) 중요성이 부각되고 있으나 국내 해수담수화 플랜트의 지능형 운영·관리 기술에서는 경쟁력이 미흡한 수준

- 국내 기업의 O&M Track Record 부재로 인한 수주 실적 감소 (2012년 25.5억에서 2014년 8억 USD 수준으로 감소)

- 특히 EPC 분야는 설계 표준화로 인해 기술적 격차가 거의 없어졌으며 가격 경쟁이 심화되고 있는 상황

- 각 기업들은 장기적이고 안정적인 수익 확보를 위해 O&M을 포함한 공정 최적화 분야에 많은 기술력 확보에 주력

- ICT 기술의 적용과 Data 분석을 통해 역삼투막 등 부품 교체 주기 최적화, 멤브레인 세정기술, 약품 사용량 등 다양한 O&M 분야의 경쟁력 확보를 위해 노력



- 과거 EPC에 국한하여 해수담수화 플랜트 발주가 이루어졌다면, 2000년대 이후 O&M 방식의 플랜트 발주가 확대되는 경향 (그림 2-28 참조)

• 에너지효율화, 수요대응, 신재생에너지 연계를 위한 유연(Flexible) 운전 기술 등 지능화를 위한 O&M 부분의 집중 R&D 요구되고 있음

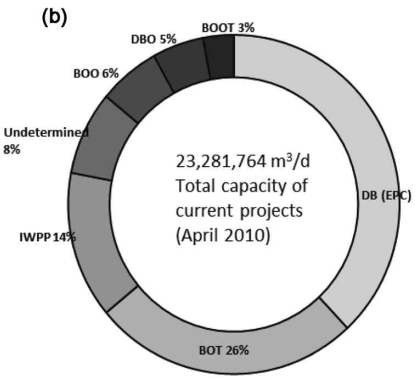


그림 2-28 the ratio of EPC and EPC + O&M

• desalination market 2010에 나타난 Engineering Procurement Construction (EPC, Design Build(DB))와 EPC + O&M (BOT (Build Operate Transfer), BOO(Build Own Operate), DBO (Design Build Operate, BOOT(Build Own Operate Transfer))의 비율 (38%와 40%)

• 이것은 실제 해수담수화 플랜트 수주를 위해서는 반드시 O&M 경험을 필요로 한다는 것을 의미

□ **주요 플레이어 현황**

○ **(Veolia)** Veolia는 운영부문에도 선두를 유지하고 있음

○ **(Hyflux)** 싱가포르 최초의 담수화 플랜트인 SingSpring 플랜트를 운영 및 싱가포르 투아스프링(Tuaspring) 해수담수화 플랜트를 운영·관리 중 (그림 2-29 참조)

- 투아스프링 해수담수화 플랜트는 2011년 7월부터 '설계, 시공, 소유 및 운영 조건'인 DBOO(Design, Build, Own, and Operate) 모델로 생산수는 25년간 PUB에 공급



그림 2-29. 하루 32만 톤의 식수를 생산할 수 있는 투아스프링 해수담수화 플랜트

○ **(PUB, Public Utilities Board)** 싱가포르 환경부 산하의 수자원 관리 공기업으로서 싱가포르 내 상하수도, 물 재생시설 등을 총괄하는 물 전문 기관

- 1972년부터는 사용된 물(하수)을 음용수로 정화하는 수처리 시설(NEWater)을 개발해 싱가포르 전체 음용수의 30%를 공급하고 있음

- 싱가포르는 현재 물 수요의 25 %를 충족시킬 수 있는 100 mgd의 용량을 갖춘 2개의 담수화 플랜트를 보유

- 2020 년까지 세 개의 담수화 설비가 추가로 구축될 것이며, 해수담수를 통해 2060년까지 싱가포르의 향후 물 수요의 30 %를 충족

○ **(두산중공업)** 두산중공업은 글로벌 시장에서 설계에서부터 기자재 공급 및 유지보수까지를 일괄 수행하는 사업을 수주하여 진행 중

- 이란 남부 호르무즈간 주 반다르아바스 지역에 해수담수화 플랜트(광산용 담수 생산, 하루 담수생산량 약 20만톤)의 건설 예정이며 2018년 10월 준공하여 12년간 유지보수를 담당

- 2008년 쿠웨이트 슈웨이크 역삼투압 해수담수화 플랜트 수주 이후 현재까지 유지보수를 수행하고 있음

○ **(한국수자원공사)** 수자원의 종합적 이용・개발을 위한 시설의 건설 및 운영관리, 광역상수도 (공업용수도 포함) 시설의 건설・관리, 산업단지 및 특수지역 개발, 지방 상・하수도 수탁 운영, 신재생에너지 설비의 설치・운영관리 등의 임무를 수행

- 상하수도에서 축적된 기술력을 바탕으로 해수담수화 시설을 전국 72개소 (17개 지방자치단체)에서 수탁운영 하고 있음

- 국내 빈번한 가뭄 현상으로 인한 수자원 다변화를 목적으로 충청도에 규모 약 100,000 m^3/일 규모의 해수담수화 플랜트를 계획하여 공업용수 및 주민들에게 필요한 용수를 공급할 계획임

○ **(LG산전)** 수처리분야에서 물관리 솔루션 개발 및 공급기술을 확보, 시장 진출

- 기존 수처리 솔루션에 스마트 운영 플랫폼(ICT 기반 빅데이터, 기계학습 시스템 적용한 '상수관망 에너지 최적운영, 회수 및 지능형 플랫폼')을 적용해 물 관리 시스템을 업그레이드, 기존 솔루션 대비 에너지 비용 15% 저감 효과

라. 기술개발(R&D)

□ 주요 플레이어 현황

○ 여기서는 해외 플레이어만을 소개하고, 국내 플레이어는 6절(연구 인프라 분석)에서 소개함

□ 국내외 해수담수화 전문가 센터 (표 7 참조)

※ 자료 : 글로벌담수화연구센터(GDRC) 담수화 아카이브

표 2-7. 해수담수화 분야 전문가 센터 목록

국내	막여과해수담수화연구센터
	Global MVP 연구단
	첨단막 분석 & 공정 연구센터
	해양환경관리공단
	국립수산과학원 한국해양자료센터
국외	Water Desalination and Reuse Center(WDRC), KAUST, Saudi Arabia
	National Centre of Excellence in Desalination Australia(NCEDA), Australia
	Middle East Desalination Research Center(MEDRC), Oman
	UCLA Water Technology Research Center, UCLA
	Singapore Membrane Technology Center, Singapore
	Center for Inland Desalination systems, Texas
	Center of Excellence in Desalination Technology (CEDT), Saudi Arabia
	Center of Membrane Technologies, New York
	Center for Biofilm Engineering (CBE), Montana State University
	UNESCO Centre for Membrane Science and Technology, University of New South Wales, Sydney, Australia

○ **(Water Desalination and Reuse Center(WDRC), KAUST, Saudi Arabia)** 막을 기반으로 하는 담수화 및 물 재이용 분야에 중점을 두고 연구 진행하며 Membrane Distillation(MD)와 Forward Osmosis(FO)를 위한 신소재 막 개발 연구도 진행

- 사우디아라비아의 전폭적인 연구비 지원으로 심도있는 연구 진행, CIAP, SAP와 같은 전 세계 우수 전문가 그룹을 확보, 다양한 분야의 워크숍을 주관

- 물 산업의 전세계 주도형 연구를 통한 기술개발, 기술 이전 및 노하우 확산, 전세계 물 산업 예측 및 산업 주도형 기술 개발, 전문 기업 및 전문가 그룹 구성, 워크숍 및 컨퍼런스 개최

○ (National Centre of Excellence in Desalination Australia(NCEDA), Australia) 호주 정부 지원으로 설립, 14개의 참여 기관과 90개 이상의 주정부/물관련시설/산업체와의 협력 연구 수행

- 연구 : 전처리, 역삼투 해수담수화, 담수 신기술, 농축수 관리, 사회/경제/환경적 문제 해결

- 조직 : NCEDA 위원회(7명), 연구자문위원회(7명), 전문가 그룹(35명), 대학 혹은 연구소(25개), 물관련 시설 연구기관(12개), 정부 연구기관(7개), 기업 연구소(35개)

- 학자금 지원 사업 : 센터에 등록된 대학에 진학한 35명 지원

- 교육프로그램 : 현장 위주의 교육(RO Design andn Operation Training)과 초중고, 대학까지의 학생들을 대상으로 한 해수담수화 교육 프로그램(Desal Descovery Centre)운영 중

○ (Middle East Desalination Research Center(MEDRC), Oman) MEDRC는 전 세계적·중동지역 물 문제를 해결하기 위해 설립된 센터로, 약 140개의 연구기관과 함께 75개 이상의 연구 프로젝트를 수행, 담수화 시설 현장 운영 교육 프로그램을 운영

- 해수담수화 분야 신기술 개발 및 환경 영향성 평가 등 연구와 UNESCO-IHE Institute등과의 협력 연구

- 교육 프로그램 : SWRO 설계/현장운영/전처리 기술

- 인증프로그램 : 요소기술, 시스템, 운전 및 관리 등에 대한 기준을 정립하여 개발된 기술의 성능을 인증

○ (UCLA Water Technology Research Center, UCLA) 음용수, 관개 및 소모적인 물 사용의 새로운 경제적인 대체가능한 자원을 개발하기 위한 물 생산 기술 진보를 목적으로 과학 기반 혁신, 기술 평가, 고급 교육, 정보보급의 활동

- 연구 : 수처리 및 담수화, 멤브레인 파울링과 미네랄스케일링, 고성능 나노 구조멤브레인, UF, 투과증발

- 서비스 활동 : 담수화 및 수처리 공정 진단 평가, 스케일방지제 효율성 평가, 멤브레인 RO 공정 분석, 공정모델링 및 파일럿 실험 분석, Evaluation of residuals minimization, treatment, and disposal strategies, 멤브레인 특성화 및 최적화 (Membrane characterization and selection for targeted applications), 스케일링 및 파울링에 대한 진단 테스트 및 저감 공정 개발

○ (Singapore Membrane Technology Center, Singapore) 싱가포르의 Nanyang Technological University의 Nanyang Environment & Water Research Institute 내

설립된 센터로 membrane science & technology, chemical & environmental engineering process에 기반을 두고 forward osmosis (FO)/pressure retarded osmosis (PRO) hollow fiber membranes, biomimetic membranes, low pressure nanofiltration (NF) membranes 등 새로운 다양한 멤브레인 개발 및 멤브레인 표면 개질 등의 연구를 수행

○ (Center for Inland Desalination systems, Texas) UTEP(University of Texas at El Paso) 대학교의 지질 및 화학, 토목 등의 교수진들로 구성되어 있으며 내륙지역의 담수화와 관련된 이슈들에 중점을 두고 연구를 수행

- 지하수 활용에 있어 필요 기술 제공, 기수 담수화 기술에 있어 상용화 강화, 고도 정수기술에 대한 실무 경험을 제공

○ (Center of Excellence in Desalination Technology (CEDT), Saudi Arabia) CEDT(Center of Excellence in Desalination Technology)는 사우디아라비아의 King Abdulaziz University(KAU)내 설립된 연구센터로 사우디아라비아 정부의 국가적 전략 프로그램으로 선정되어 운영

- 담수화 다양한 담수화 기술의 증진과 개발을 통해 담수화의 경제성을 개선시키고 혁신적인 연구 및 기술 이전을 통해 해수담수화 기술을 토착화시키는 것 등이 목적으로, 막관련 담수화, 막전처리 및 멤브레인 파울링, Thermal Prosesses, 태양광 구동형 담수화

○ (Center of Membrane Technologies, New York) 멤브레인 기반 처리시스템 및 소재에 대한 평가와 개발을 촉진하는 것을 목표로 Clarkson 대학과, 뉴욕 주 오염 방지 연구소(Rochester Institiue of Technology), 뉴욕주립대학, Syracuse 대학의 센터가 연구에 참여

- 멤브레인 기반 수처리시스템과 물질평가 및 개발

○ (Center for Biofilm Engineering (CBE), Montana State University) 국립과학재단 공학 연구센터로 1990년 몬테나 주립대학, 보즈에 설립되어 20년 이상의 바이오필름 분야를 연구해오고 있으며 바이오필름 공정을 이해하고, 제어 및 활용하기 위해 기초적인 지식과 기술 배양 그리고 교육 활동을 추진

- 바이오필름 관련 연구 프로젝트, 교육 프로그램 진행, 바이오 필름 관련 자료 제공, 학회 및 워크숍 개체

○ (UNESCO Centre for Membrane Science and Technology, University of New South Wales, Sydney, Australia) 뉴 사우스 웨일즈 대학의 멤브레인 과학 기술 센터는 1987년 설립되어 웨일즈 대학과 호주 내 다른 대학과 다양한 연구그룹 및 정부 연구기관을 포함하여 기술연계와 협력 네트워크를 구축하여 운영 중

- 연구 분야 : 멤브레인 물질 개발, 수처리, 하수처리, 멤브레인 시스템 컨트롤 등

4절. 국내외 기술동향 및 분석

1. 해수담수화 기술 동향

가. 기술개발 현황

□ 해수담수화 기술이 당면한 문제는 과다 에너지 소비와 농축수 방류로 인한 해양환경오염에 대한 우려임

□ 에너지 문제

○ 해수담수화를 이용한 담수생산에는 에너지 소비량이 과다하게 소요되므로, 지금까지의 기술개발은 에너지 소비량 감소에 중점을 두었음

○ 시간에 따른 담수 기술의 변화를 나타낸 아래 그림에서 알 수 있듯이, 2000년 이후 해수담수화 시장에서는 다단증발(MSF), 다중효용(MED) 등의 증발법 대신 에너지 소비량이 적은 역삼투 방식의 시설이 급격하게 증가하고 있음 (그림 2-30 참조)

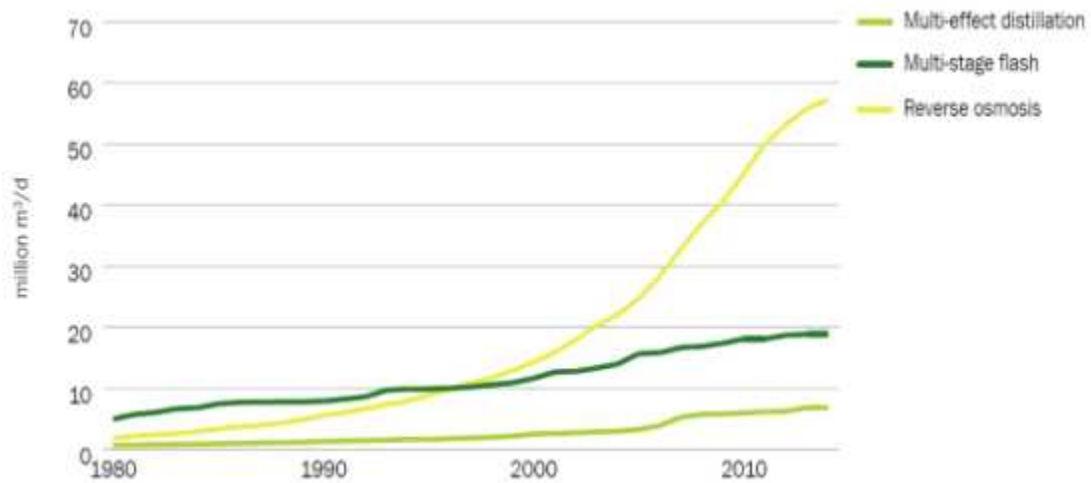


그림 2-30. 담수방법별 시설 규모 (GWI 2016)

○ 심지어 중동의 산유국도 에너지 소비에 민감하여, UAE는 해수담수화 사업을 저에너지 사용을 전제 조건으로 추진하고 있으며, 이는 2013년 신재생 에너지 결합 해수담수화 기술과 저에너지 해수담수화 기술 개발을 목표로 진행한 마스다르 파일럿 사업에(사업목표: 에너지 소비량 3.6 KWh/m^3) 잘 나타남

○ 사우디아라비아 해수담수화청 (Saline Water Conversion Corporation, SWCC) 연구소의 (Desalination Technologies Research Institute, DTRI) 소장인 Amoudi 박사는

SWCC가 보유한 Jeddah 지역의 한 해수담수화 시설은 에너지 소비량을 2.9 KWh/m^3까지 저감하였다고 주장함

○ 싱가포르 PUB는 궁극적으로 해수담수화 시설의 에너지 소비량을 1.5 KWh/m^3까지 저감하는 것을 목표로 연구개발을 실시하고 있음

□ 친환경 기술

○ 해수담수화는 필연적으로 농축수를 생산하고 지금까지 농축수는 별다른 처리 없이 그대로 바다로 방류되고 있었으나, 최근 선진국을 중심으로 농축수 방류로 인한 해양환경오염에 대한 우려가 높아지고 있음

○ 미국 캘리포니아주에는 해수담수화 부산물인 농축수의 해양방류에 대한 규제 움직임이 있음

○ 호주의 해수담수화 시설 EPC 비용이 가장 높은 이유는 농축수의 해양환경영향을 최소화하려는 시도 때문임

○ 그러므로, 농축수의 염분농도를 희석하는 기술과 농축수 방류를 최소화(무방류)하는 농축수 관리기술의 개발이 필요함

○ 대부분의 기술개발이 에너지 저감에 초점을 맞추고 있으나 에너지 소비는 이산화탄소 배출에 영향을 미칠 뿐 아니라 지구온난화를 방지하기 인하여 이산화탄소 배출감소가 중요하므로, 이산화탄소 배출을 감소할 수 있는 방향으로의 기술개발도 필요함

□ 신기술

○ 최근 해수담수화 신기술로 각광을 받고 있는 막 증발법, 압력지연삼투, 정삼투 등은 아직 경제성이 확보되지 않아 상용화에 어려움을 겪고 있지만, 신재생에너지 융합, 열에너지 활용, 효율개선 등을 통하여 상용화에 성공할 경우 향후 시장을 선점할 수 있음

○ 최근 과학기술계의 화두인 인공지능(artificial intelligence, AI)을 활용하여 해수담수화 시설을 운영하거나, VR(virtual reality)을 이용하여 플랜트를 가상현실 공간에 놓고 운영하거나 혹은 이를 교육에 활용하는 기술개발도 필요함

□ 전망

○ 아직은 하수재이용이 해수담수화에 비하여 비용적으로 우위에 있으나 기술혁신에

따라 생산비용이 저감될 경우 해수담수화는 수자원 확보를 위한 우선적 국가 전략으로 추진되기에 적절함

○ 연구개발 및 실증에 대한 집중적 투자를 통해 기술혁신을 달성하고 상용화 및 시장의 확대가 촉진될 수 있는 환경과 여건을 조성하는 것이 필요함

나. 국외 기술개발 현황

□ 선진국은 기존 기술에 혁신적인 아이디어 적용, 미래 유망 기술 확보, 운영자료 분석 및 최적화 시뮬레이션을 통해 목적을 달성하려함

□ 생산 단가 저감, 효율적인 에너지 활용, 환경부하 감소, 다양한 분야의 해수담수화 기술 확보를 목적으로 기술개발을 수행

1) 미국

□ NCBI, Desalination and Water Purification Technology Roadmap (2003)

○ 미국이 직면한 물 수급 문제에 대한 기술적 해결책 제시

- 주기적으로 업데이트 되며, 다음과 같은 계획을 포함

- 2020년까지 담수화 및 정수 기술이 미국에 안전하고 지속 가능하며 합리적인 물 공급을 보장하는 데 크게 기여할 것이라는 비전을 제시함

○ 비용절감・효율성・배출수저감이라는 목표를 달성하도록 다양한 기술을 조합

○ 해당 기술로드맵은 (1) 담수공급의 안정성 확보, (2) 담수의 적절한 공급 및 지속가능성 확보, (3) 담수 비용 유지 부문에서의 목표를 단기와 중장기로 구분하여 기술적 전략을 제시함

□ DOE water & energy nexus (2014)

○ 미국 DOE 는 ‘수자원에너지 넥서스: 도전 과제 및 기회 (2014)’ 로드맵을 바탕으로 water & energy nexus 에 대한 연구 프로그램을 진행 중

- 소재 (고분자에 기반한 높은 열효율, 높은 내구성의 열 교환기) 개발

- 지열 담수화 및 공정 프로토 타입 개발

- 담수화를 위한 저온 태양광 발전

- 농축수 추출 저장 테스트

□ SBIR・SBTR의 해수담수화 지원 과제

○ SBIR(Small Business Innovative Researh)・SBTR(Small Business Technology Transfer)

- 3단계로 나누어 연구비를 지원하는 중소기업 대상 사업

  • 1단계: 실행 가능한 과학적/기술적 연구 지원(6개월, $150,000)

  • 2단계: 1단계의 연구를 주제로 전체적인 R&D 연구(2년, 총 $1,000,000)

  • 3단계: 사업화(지원금 없음)

○ 기술 리스트(2016년 기준)

- PEM based Vacuum Desalination System; PEM(연료전지)를 이용한 진공 해수담수화 기술의 실현 가능성을 시험하기 위한 시스템을 구축하고 진공도에 따른 수율 최적값을 구하고 프로토타입으로 스케일업하기 위한 자료를 확보함

- Solar Thermal Assisted Vacuum Freezing Desalination of Seawater at the Triple Point; 저에너지-저비용 담수화 기술 구현을 위한 목적으로 태양열 에너지를 이용한 비산 진공 냉각 담수화 기술을 실험실에서 입증하고 적합한 응집제(nucleating agent)를 개발함

- Renewable Energy Forward Osmosis Desalination System; 10kW 규모의 태양에너지 발전소에서 남는 열을 활용한 정삼투 해수담수화 기술의 가능성을 시험

- High efficiency condenser with compressor for multi-effect solar desalination; 태양열을 이용한 다단효용증발법을 이용해 1 $/톤의 단가(에너지 사용 2 kWh/톤 이하)로 해수(35,000ppm)에서 담수(500ppm 이하)를 1,000톤/일 규모로 생산 할 수 있는 시스템 구축

- Solar Powered Dew-vaporation Desalination System; 태양열을 이용한 Dewvaporation 방식의 해수담수화 기술을 실험실에서 실현 가능성을 점검하고, 프로토타입을 설계하기 위한 자료 확보

- Nanophotonics Enhanced Direct Solar Membrane Distillation Process for Desalination of Water; 태양 직사광선을 이용한 NE-DSMD(nanophotonics enhanced direct solar membrane distillation)의 파일럿 실증이 가능한 수준으로 기술 수준을 올리고 기획하기 위한 연구개발

□ US-Israel Desalination Challenge

○ 에너지-담수화 융합시스템을 연구하기 위해 미국의 DOE (Department of Energy)와 이스라엘의 MIEW (Ministry of National Infrastructure, Energy and Water Resources)가 협력하여 진보된 해수담수화 시스템을 구축

- 2017년 6월 5일 연구팀을 선정하면서 본격적인 연구가 시작됨

- ORNL(Oak Ridge National Laboratory)이 연구를 주관하며, Columbia University(미국, 대학), Hazen and Sawyer DPC(미국, 수처리 기업), and Brookhaven National Laboratory(미국, 국립 연구소)가 협력연구기관으로 속해 있음

○ 전력 상황에 따라 유동적인 운영이 가능한 해수담수화 시스템 개발로 전력망의 과부하를 줄이고, 생산수의 가격을 낮춤

- 저염부터 고염수까지 다양한 원수에 최적화된 해수담수화 기술, 신재생에너지발전, 양수발전(PHS: pumped-hydro energy storage), 전력 피크타임에 활용하기 위한 보조 전력 등을 적용하여 전력상황에 따라 에너지 소모를 직접적으로 조절하는 해수담수화 시설을 개발

- 전력 상황, 취수 조건과 생산수의 수요에 따라 최적화된 운영을 통해 가격 경쟁력 극대화

2) 일본

□ 워터플라자 연구사업 (해수・하수 재이용 통합 시스템)

- 하수처리 시설과 해수담수화 시설을 융합하여, 에너지 비용(전력비용 40% 저감)과 환경 부담을 저감하는 기술 개발

  • 1차적으로 하수처리한 배출수를 해수에 혼합하여 염분농도를 낮추고 비교적 낮은 압력(저에너지)에서 해수담수화를 가능하게 함

  • 하수처리한 배출수를 혼합하여 해수담수화 플랜트의 최종 배출수 농도를 절반(3.5%)으로 줄여 환경부하를 저감함

□ 메가톤 연구사업

○ 목표

- 해수담수화 시설의 대용량화에 대비하여 에너지 절약, 환경 부담 저감, 저비용 수처리 핵심 기술 개발 (표 2-8 참조)

표 2-8. 메가톤 프로젝트의 목표

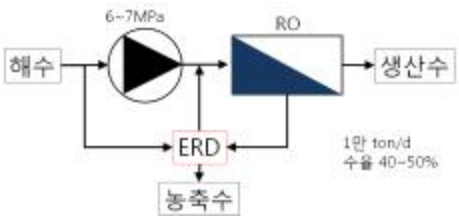
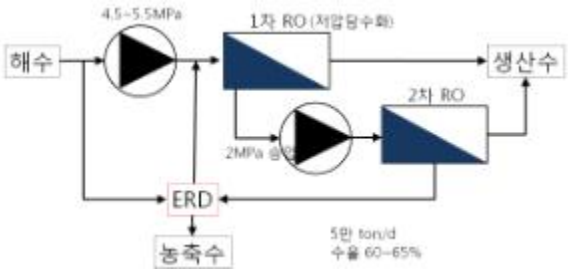
	기존 방법	메가톤 프로젝트	
		대형화	고성능화
규모	10만톤/일	100만톤/일	100만톤/일
수율	45%	45%	65%
시설비(CAPEX)	1,500 USD/톤/일	1,050 USD/톤/일	750 USD/톤/일
담수화 비용	1 USD/톤	0.7 USD/톤	0.5 USD/톤
에너지 소비 (TDS 3.5% 기준)	3.8 kWh/톤	3.8 kWh/톤	3.0 kWh/톤 이하 (20% 이상 저감)

○ 적용 기술

- 저압 해수담수화 막 : 고성능(에너지 절약 30 %) 제막 기술 확보

  • 저압 담수화 방식을 통해 에너지 소모를 줄이고, 2단 방식을 통해 수율 증대 (표 2-9 참조)

표 2-9. 기존 RO 방식과 저압 2단 RO 방식의 비교

기존 RO 방식	저압 2단 RO 방식
	

- 고효율 에너지 회수장치: 성능 입증 및 장비 신뢰성 확인 (표 2-10 참조)

  • 피스톤이 없는 챔버 구조

  • 내부 누수로 인한 오염 요인 제거

  • 농축수와 전처리수의 낮은 혼합율

  • 상황에 따라 유동적인 운영 가능

  • 저소음

표 2-10. 고효율 에너지 회수장치

	이상적인 ERD	차세대 ERD	기존 ERD	
			오버플래시가 있을 경우	오버플래시가 없을 경우
회수 효율	100%	98.3%	96.4%	96.4%
농축수 혼합율	0.0%	1.3%	2.5%	6.0%
오버 플래시	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%
소요 에너지 (이상적인 ERD의 값=1)	1	1.025	1.059	1.069
기준	RO 회수율 45%, 해수 농도 TDS 4%			

- 저비용 고내구성 수지배관 : 고압내구성·내식성 플라스틱 배관 실증 시험 및 비용 추산

- 지능형 메가 플랜트 : 해수담수화 시스템 대용량화·공간절약·저비용화

- 에너지 창출형 자원 회수 하수 처리 : 자원회수 시스템 설계에 필요한 자료 획득, 사업화 가능성 평가와 에너지 비용 계산 (표 2-11 참조)

표 2-11. 메가톤 프로젝트의 하수처리 시스템

	기존 시스템	메가톤 시스템
처리 방법	하수 1차 침전지 반응조 (폭기조) 최종 침전지 / 슬러지 처리 하수 처리수	하수 슬러지 생산 모듈 (초소형 membrane bioreactor, MBR) / 발전 및 물 생산 하이브리드 멤브레인 프로세스 에너지 생산 및 자원 회수 유해 물질 고정화 모듈 (수열 가스화 프로세스) 에너지 창출 유가물 회수 / 재생수
에너지 소모	0.75 kWh/m^3 소비	0.3~0.4 kWh/m^3 창출

□ 미래 기술 전략(요소 기술 개발)

○ 다양한 수원에 대응 가능한 RO/NF막 개발

- RO/NF막을 이용한 수처리 시스템에서 막 오염 문제가 부각됨에 따라, 오염을 억제하고 전처리를 간소화 시킬 수 있는 기술을 개발

  • 기존 분리막은 염소, 고온에 약하고, 막의 직접 세척이 불가능함

  • 유무기 하이브리드 실리카, 내염소성 막 등을 개발 및 실증하고, 오염 제어에 효과적인 세정 조건을 연구함

3) EU

○ 유럽의 경우 주로 분산형 해수담수화 기술에 집중적으로 투자하고 있었으며, 소규모 해수담수화 기술과 신재생에너지 활용 해수담수화 기술의 개발이 활발

- 원자력 해수담수화 플랜트, 무배출 해수담수화 플랜트(그린 해수담수화) 등을 포함한 신개념 혁신형 해수담수화 기술 개발이 이루어지고 있음

- 중소기업 주도 기술사업화가 활발하며, 농수산식품산업, 관광산업용 시장을 대상으로 기술개발이 진행되고 있음

□ Roadmap for the development of desalination powered by renewable energy

○ 신재생에너지를 활용한 해수담수화 기술의 장애요인을 식별하고, 극복하기 위한 전략 및 대안을 제시하기 위해 전력기술기업인 Intelligent Energy가 EU의 지원을 받아 세운 로드맵

□ MIDES(MIcrobial DESalination) 프로젝트

○ FCC Aqualia가 주관하여 전처리 기술인 MDC(Microbial Desalination Cells)을 활용하여 전공정 해수담수화 비용을 낮추기 위한 프로젝트

○ 세부 과제

- Nanostructured electrodes: MDC에 사용되는 전극의 성능 향상

- IE membranes: MDC에 적합한 막을 평가하고, 운전 환경 최적화

○ 스케일업, O&M 기술 개발

- MDC 성능 평가: MDC 기술을 스케일업하기 위한 주요 변수 분석

- Process integration and pre-pilot validation: 세라믹 막 기술을 시험해보고, 전반적인 프로세스의 통합, 입증, 최적화

- Process Simulation & Analysis, Automation and Control: 성능 자료를 취합하고 전체 시스템의 모니터링, 평가하고 운영 모델을 만들어 시뮬레이션을 통해 변수에 따라 최적화된 운전 환경을 도출

- 파일럿 플랜트 설계 및 구축: 파일럿 플랜트 규모로 스케일업하기 위한 설계, 건설 기술 개발

- 파일럿 플랜트 장기 운전: 장시간 운전 시 막, 전극의 성능의 신뢰도, 다양한 수원에서 담수화 성능, 데모 사이트의 자동화 시스템 검증

○ R&D, 비즈니스 관리

- Dissemination & Exploitation: public acceptance; 문제 해결 및 협력 연구기관, 업체들 사이에 정보 교류 활성화, 주요 지식재산 보호, 개발 및 비즈니스 계획 수립

- Coordination & Management; 연구 목표 달성을 위한 인력 자원, 물적 자원의 효율적인 활용 계획 수립

□ NAWADES 프로젝트

○ 장기간 운전이 가능한 비오염 분리막(나노티타늄디옥사이드 코팅, 3배 수명증가)을 개발하여, 에너지 저감과 화학약품 미사용을 통한 유지관리비를 줄임

○ 물 생산비용을 20%줄여서 톤당 0.3유로 수준으로 낮출 수 있을 것으로 기대

□ WATER4FOOD 프로젝트

○ 세계 물 수요는 2000년 대비 35-60%, 2050년까지 2배로 증가할 것으로 전망

- 유럽의 지중해 지역은 물 수요의 80%를 차지하는 농식품 분야의 물 부족이 심화

- 세계 담수화플랜트 시장은 11% 성장할 것으로 전망

○ WTS는 분산형 해수담수화 기술을 개발함 (고품질 친환경 휴대형이자 스케일러블 저비용 고성능 열교환 기술 활용)

□ WaterGate 프로젝트

○ 2012년 기준 년간 5억4천만유로 규모의 해수담수화 시설시장이 연평균 10% 성장할 것으로 전망 (관광산업 분야의 수요가 1/3 차지)

○ 2018년까지 중규모 해수담수화 기술을 시장에 도입하는 것을 목표로 하고 있으며 기술개발 목표로는 물 공급 가격을 톤당 2유로로 낮추는 것으로 설정

- 2017년에 50톤/일 규모의 파일럿 플랜트 설치

- 연구 사업을 통하여 2020년 매출 400억원, 신규고용 21명 기대

□ DeSol 프로젝트

○ micro desalination 프로젝트로 분산형 물 생산시스템 (가정용, 캠팽사이트, 호텔, 리조트, 중소기업 등)으로 활용하기 위한 저비용, 저에너지 해수담수화 기술

- 폐열, 태양에너지(태양열 또는 태양전지)를 활용

□ ADU-RES 프로젝트

○ 컨소시엄 프로젝트로 진행되며, 자동화된 해수담수화 플랜트 개발을 목표로 함

4) 카타르

□ 고온 배출수를 이용한 에너지 절약・저 환경부하형 조수 시스템 실증사업(카타르)

○ 카타르 공업 지대에서 냉각수로 사용하기 위해 해수를 취수・방수하는 시설을 활용하는 담수화 기술의 실증으로 2017년 2월~2018년 1월 라스라판 산업도시(RLIC)에서 시행

- 냉각수로 활용된 고온 배출수를 재사용하여 역삼투 해수담수화 시설과 공통 방수로를 활용함으로 건설비용을 줄이고 해양 환경 부하를 저감 가능

- 카타르의 수질 기준에 만족하는 품질로 연속 3개월간 생산 수량 1,500 톤/일을 목표로 시스템 운영(260억 원 규모)

○ 시스템에 실증한 기술 및 특징

- 무화학약품 전처리 개발 : 모래 여과지에 고온 배출수를 통과시켜 미립자・유기물 등을 제거하는 기술로 본 기술은 모래에 미생물 막의 형성을 유도하여 미생물 막이 미립자・유기물을 제거하는 기술을 개발

  • 탁도가 높고, 유기물 농도가 높은 아라비안 걸프 해수에서도 안정적 전처리가 가능한 것을 확인함

- 고온용 역삼투막 실증 : 기존의 분리막은 40℃ 이상에서 장기 성능이 보장되어 있지 않으므로, 고온·고압 내구성을 갖고 있는 해수담수화용 RO막을 실증함

- 신규 막 오염 지표 : 역삼투 분리막 표면에 발생하는 바이오 파울링을 감지하기 위한 지표 (mBFR, modified Biofilm Formation Rate)를 개발함

  • 기존 지표(SDI, Silt Density Index)는 막오염 평가에 한계가 있음

- 기존 취수 및 배수 설비의 활용 : 산업 분야의 발전 설비 등에 사용된 고온 해수(최고 45℃)를 재사용한 뒤, 해당 방수로에 배출하도록 시설 설비 개발

  • 취수, 배수 설비로 인한 해양 공사를 줄일 수 있어 인허가 취득이 간소화되고, 플랜트 건설 기간 및 비용 단축이 가능함

5) 사우디아라비아

□ WDRC(Water Desalination and Reuse Center)

○ KAUST(King Abdullah University of Science and Technology)의 WDRC(Water Desalination and Reuse Center)는 담수화와 물 재이용에 관한 연구를 수행 중

○ 담수화 공정 및 시스템 혁신, 폐수 재사용을 위한 생명공학, 물, 에너지 및 환경을 위한 물질·막 개발, 수문학 시스템의 모니터링, 감지 및 모델링, 산업 및 농·수산업 분야의 지속 가능한 수자원 기술 등을 연구함

- (담수화 공정 및 시스템 혁신 연구 분야) MD, FO-MD 및 adsorption desalination (AD)를 이용한 AD-MED, AD-MD 등의 하이브리드 시스템과 RO 프로세스에서 생물학적 파울링 방지와 생물 오염 완화 전략을 개발하는 데 중점을 두고 있음

- (폐수 재사용을 위한 생명공학) 물 재이용 및 에너지 생산을 위한 생물학적 폐수 처리 기술 개발에 초점을 두고 있으며, 막 기술과 결합 된 혐기성 공정 연구 수행

- (물, 에너지 및 환경을 위한 물질·막 개발) 수질 정화, 담수화 및 재이용을 위해 신소재 합성 및 활용, 막 기술, 다 기능성 표면에 관한 연구 수행

- (수문학 시스템의 모니터링, 감지 및 모델링) 사우디아라비아의 수자원을 관찰 및 모델링할 뿐만 아니라 식량 및 수자원의 안전성 확보를 위해 농업 시스템의 용수 사용 및 생산성 특성화에 중점을 두고 있음

- (산업 및 농·수산업 분야의 지속 가능한 수자원 기술) 석유 및 가스, 제조업 등을 통해 배출된 산업 폐수의 처리 및 재사용을 위한 첨단 수처리 기술 설계·구현과 농·수산업 분야의 수질 보전 및 하이브리드 수처리 기법을 연구

6) 이스라엘

□ Sorek 담수화 플랜트(IDE사 시공)

○ 2013년 준공한 세계에서 가장 큰 담수화 플랜트로, 하루 1,600만 갤런(약 6십만톤) 생산이 가능

- 이스라엘 물소비량의 19%에 해당하는 물을 Sorek에서 생산

○ 대형 모듈(16 “)의 수직구조화 기술로 투자비용, 부지면적(기존대비 50% 절감)을 대폭 절감하고, 대형화 및 에너지 효율을 높이는 설계 및 설비를 통해 생산단가가 톤당 0.68달러(783.9원)로 세계에서 가장 저렴한 것으로 보고됨 (자료: EDF, 2017, lowering desalination’s energy footprint: lessons from Israel)

- 기존과 달리 압력베셀을 일렬로 수직 구조화하여, 부품의 수량 및 관련 배관 소요 수량을 감소시켰으며 유지보수 작업의 효율성도 개선함

  • 세정공정에서 발생하는 세정거품을 제거하기 위해 소요되는 많은 시간과 잦은 세정주기 등 유지보수에서 나타난 문제점을 수직구조화를 통해 개선함

  • 국제담수화협회(IDA)는 수직구조가 설치면적 감소, 고압용 파이프 배관의 수량 절감 및 더 작은 파이프 사용, 모듈 장착 및 탈착 작업의 개선, 유입수 처리 용량 증가로 분리막 오염 발생 및 농도분극 현상을 감소시켰다고 설명함

  • 수직구조 특허 보유사인 IDE사는 수직구조와 관련된 모든 공정의 특허를 통해 타 회사의 사용을 금지하는 보호조치를 취하고 있음

- 16“(BEL사 제품) 모듈을 적용으로 8“ 모듈에 비하여 생산수량을 4.3배 증가시켰고, 모든 단계에 에너지 복구 시스템을 적용하여 에너지 효율을 극대화시킴

- 천연가스 발전소가 인근에 있어 송전으로 인한 전력소모를 최소화하고, 전력상황에 따라 30~120%까지 5분 안에 전환이 가능하여, 전력부하를 줄이고, 전기를 저렴하게 사용할 수 있도록 함

다. 에너지 회수 기술 현황

○ 에너지 회수장치(energy recovery device, ERD)는 역삼투 해수담수화 결과 부산물로 생산되는 농축수가 보유한 기계 에너지를 회수하여 고압펌프 운전에 필요한 에너지를 감소시키기 위한 장치임

○ 현재 해수담수화 플랜트에서 사용되는 에너지 회수장치에는 다음과 같은 종류가

있음

- 압력교환장치(pressure exchanger, PX) : 농축수가 함유한 높은 압력을 로토(rotor)나 피스톤을 이용하여 유입수에 전달하는 용적형(positive displacement) 장치로 현재 사용되고 있는 에너지 회수장치들 중 에너지 전달효율이 가장 높음(>90%)
  - Flowserve회사의 Calder DWEER는 피스톤 타입
  - Energy Recovery 회사의 PX는 로토 타입
- 터보장치(turbocharger) : 농축수의 높은 압력을 이용하여 고압펌프에 연결된 터빈을 회전시켜서 고압펌프의 용량을 감소시키는 장치로 에너지 전달효율은 압력교환장치보다 낮음(50~70%)
  - 터보장치를 공급하는 주요 회사로는 FEDECO와 Energy Recovery가 있음
- 기타(원심 장치) : 작동원리는 터보장치와 유사하며 에너지 전달효율은 가장 낮음
  - Pelton Wheel과 Francis Turbine

○ 현재 해수담수화 플랜트의 에너지 회수장치 시장을 주도하는 세 회사는 Energy Recovery(61%), Flowserve/Calder(28%), FEDECO(10%)임

- 그 외 Aqualying, Danfoss, Isobarix, OSMOREC, Ebara, KSB 등이 있음

라. 해수담수화 농축수 규제 및 처리 기술 현황

○ 해수담수화 농축수 해양생태계 영향 및 규제 현황

- 해수담수화 농축수에는 농축된 염 이외에도 다양한 종류의 화학물질들이 함께 존재함. 예를 들어, 스케일 방지제인 antiscalants, 염소와 같은 antifoulants 그리고 독성을 가지는 다양한 소독 부산물들이 함께 존재함. 해수담수화 농축수는 위의 화학물질들이 혼합되어 농축된 형태이기 때문에 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있음.

- 대부분의 경우 농축수의 농도는 50-75 g/L로 해수에 비해 높은 밀도를 가지기 때문에 방류 배출구가 위치한 해수의 바닥 부분에 높은 염농도를 가지는 층을 형성하여 해저에 확산됨. 따라서 해조류 및 해초류, 저서생물 군집들은 높은 염분농도의 배출수에 피해를 입을 수 있음.

- 따라서 농축수의 처리방안이 중요한 사안이지만, 해수담수화 시설의 농축수 배출 현황을 공개하는 경우는 매우 드물어서 관련 자료를 찾기 어려운 실정임. 국내의 경우 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 농축수 처리는 현행법 (「수도법」, 「수

질 환경보전법」)상 기준이 정해져 있지 않음.

- 전 세계적으로도 농축수 배출에 대한 규제, 기준, 지침은 부족하지만 일부 지역에서는 농축수 배출에 대한 규제기준을 제시하고 있음 (표 2-12 참조). 제시된 규정들은 염분 한계 (Salinity Limit)와 배출구에서의 거리로 표현되는 준수 지점 (Compliance Point)으로 구분하여 표시하고 있음. 염분 한계는 주변 환경과 비교하여 1-4 psu (practical salinity unit) 증가한 염분으로 나타내고 있으며 준수 지점은 보통 배출구에서 50-300m 범위의 거리를 기준으로 정하고 있음(해수담수화 시설에서 생성된 농축수의 환경적 영향, 환경정책평가연구원, 2018)

표 2-12. 해수담수화 농축수 배출에 대한 규제기준

Region/Authority	Salinity Limit	Compliance Point (relative to discharge)	Source
US EPA	Increment ≤ 4 psu		City of Carlsbad and Poseidon Resources (2005)
Carlsbad, CA	Absolute ≤ 40 psu	1,000ft (304.8 m)	California Regional Water Quality Control Board (2006)
Huntington Beach, CA	Absolute ≤ 40 psu salinity (expressed as discharge dilution ration of 7.5:1)	1,000ft (304.8 m)	Watereuse Association (2011)
California EPA	Increment ≤ 2 psu	328ft (100 m)	California Water Boards (2015)
Western Australia guidelines	Increment ≤ 5%		Bleninger et al. (2010)
Oakajee Port, Western Australia	Increment ≤ 1 psu		Jenkins et al. (2012)
Perth, Australia/ Western Australia EPA	Increment ≤ 1.2 psu at 50 m, ≤ 0.8 psu at 1,000m	50 m and 1,000 m	WEC (2002)
Sydney, Australia	Increment ≤ 1 psu	50-75 m	ANZECC (2000)
Gold Coast, Australia	Increment ≤ 2 psu	120 m	GCD Alliance (2006)
Okinawa, Japan	Increment ≤ 1 psu	Mixing zone boundary	Okinawa Bureau for Enterprises (1997)
Abu Dhabi	Increment ≤ 5%	Mixing zone boundary	Kastner (2009)
Oman	Increment ≤ 2 psu	300 m	Sultanate of Oman (2005)

- California water boards에서는 일일 최대 염분농도가 배출구 주변 100 m 이내에서 주변 염분농도보다 2 psu를 초과하지 못하도록 규정개정을 실시함.

- 미국 환경청 (Environmental Protection Agency, EPA)는 13.5-35 psu의 환경에서 영구적으로 식물이 서식하고 지역에 대해 농축수 배출로 인한 염분 증가가 4 psu를 초과하지 않도록 권고하고 있음.

- California의 Carlsbad 시설에 대한 장기 염분 내성 및 독성실험은 해양생물 18종과 지표종 3종에 대해 수행되었으며, 각각 36 psu(5개월)와 37-40 pus(19일)에 노출시킨 결과 모두 정상적인 활동을 보임. 배출구에서 300 m 떨어진 거리의 저층 염분은 평균 34.4 psu, 최고 염분은 40.1 psu로 예측되어 Carlsbad에서는 절대 염분농도가 40 psu를 넘기지 않기를 권고하고 있음.

- Huntington Beach 해수담수화 시설은 염분에 대한 수치적인 제한은 없으나 담수

화 시설의 일일 배출량과 농축수를 희석시킬 수 있는 발전소, 냉각수의 비율을 1:7:5로 관리하며 염분 배출농도를 40 psu로 제한하고 있음.

- California에서는 일일 최대 염분농도가 배출구 주변 100 m 이내에서 주변 염분농도보다 2 psu를 초과하지 못하도록 2015년에 규정을 개정하였음.

- Western Australia는 염분 농도의 중앙값이 배경농도로부터 5%이내가 되도록 권장하고 있으며, 이는 2 psu의 범위이내에 해당됨.

- Perth 해수담수화 시설은 농축수의 배출기준을 배출구로부터의 거리에 따라 규정하고 있음. 농축수 배출로 인한 염분 증가는 배출구로부터 50m 이내에는 배경농도의 1.2 psu 이내, 1,000 m 이내에는 배경농도의 0.8 psu 이내가 되도록 권고하고 있음.

- Sydney 해수담수화 시설은 호주 및 뉴질랜드의 담수 및 해양수질 지침 (ANZECC 2000)의 관련 지표를 사용하여 기준을 제시함. 배출구로부터 50-75 m 범위의 구역은 근접 혼합구역 (near-field mixing zone)으로 설정하였고, 모델링 연구에서 이 구역의 염분농도는 약 36 psu로 배경 해수염분농도 (34-36 psu)에서 1 psu 이상 증가하지 않도록 권고하고 있음.

- Gold Coast 해수담수화 프로젝트는 모델링을 통해 근접 혼화구역이 폭이 약 120 m, 길이가 225 m가 될 것으로 예측하였으며, 혼화구역의 경계에 있는 저층의 염분은 배경염분 (35.5 psu)과 비교하여 2 psu를 초과하지 않을 것으로 예상함.

- 일본 오키나와의 해수담수화 시설은 배출된 농축수의 염분농도가 혼합구역에서 최대 38 psu, 해저면과 만나는 경계에서 주변 농도와 비교하여 1 psu 이상 증가하지 않아야 한다고 권고함. 이는 배경농도에서 약 2.6% 증가된 기준에 해당됨.

- Abu Dhabi에서는 혼합구역의 가장자리의 염분농도는 배경농도의 5%를 초과해서는 안된다고 권고하고 있음.

- Oman의 규정에 따르면 해양환경으로 액체폐기물을 배출시 배출지점으로부터 주변 300 m 이내에서는 주변 염분농도로부터 2 psu 이상 벗어나지 않도록 권고하고 있음.

○ 해수담수화 농축수 처리 기술 현황 (표 2-13 참조)

- 해양방류(ocean discharge, surface water discharge) : 농축수를 바다로 방류

  • 터널, 파이프 등을 이용하여 방류

  • 건설비는 환경규제의 영향을 받음

- 지표 방류(surface discharge) : 농축수를 염분농도가 낮은 담수와 혼합

  • 하수처리장 방류수 등과 같이 버려지는 담수와 혼합해서 농축수를 희석

- 지하 방류(subsurface disposal) : 농축수를 지하에 방류

  • 지하수 오염을 방지하기 위한 모니터링이 필요함

- 하수처리장 처리(treatment at wastewater facility) : 농축수를 하수 내지는 폐수와 혼합하고 하수처리장에서 처리

- 육상 살포(land application) : 육상에 살포

  • 고염분 환경에서도 성장이 가능한 작물에 적용

  • 먼지 제어, 양식장, 습지 복원 등에 사용

- 증발(evaporation) : 태양열을 사용하여 농축수 내 수분을 증발시킴

  • 적합한 기후와 부지 확보가 가능한 경우에는 증발을 통해서 농축수 부피 감소 가능

- 열증발(thermal evaporation) : 증발장치를 사용하여 농축수 내 수분을 증발시킴

  • thermal brine concentrator(열농축 장치)와 thermal crystallizer(열결정화 장치)가 있음

○ 미국 재이용 부처(Bureau of Reclamation)에서 2000년도 건설된 203개의 담수화 플랜트(RO, NF, ED/EDR)를 대상으로 조사한 결과에 의하면, 대부분의 플랜트는 농축수를 해양방류(45%) 하거나 하수처리장 방류(42%)를 하고 있음

- 지하수 방류(9%), 증발(2%), 관개용수에 사용(2%)

표 2-13. 농축수 처리 건설비용

Concentrate disposal method	Construction cost(USD/m^3/d)
New surface water discharg	30~200
Co-location of desalination plant and power plant discharge	5~20
Co-disposal with wastewater treatment plant discharge	20~120
Sanitary sewer discharge	5~60
Deep/beach well injection	150~350
Evaporation ponds	200~650
Spray irrigation	350~850
Zero liquid discharge	900~2,000

2. 해수담수화 신기술 동향

가. 국외 PRO, FO, MD 기술 동향

□ 노르웨이 Statkraft

○ 1970년대 Sidney Loeb에 의해 PRO라는 명칭이 정식으로 소개되었으나, 에너지 생산량보다는 소모량이 많아서 실제로 사용되지 못함

○ 분리막 기술의 발전 및 공정의 개발과 더불어 PRO를 통한 에너지 생산 가능성이 높아지면서, 노르웨이의 에너지 회사인 Statkraft가 2009년 11월 세계 최초로 프로토타입 PRO 발전 플랜트를 건설하고 이를 계기로 PRO 연구가 본격적으로 시작 (그림 2-31 참조)

- 프로토타입 플랜트에 설치된 막 면적은 2,000 m^2, 전력밀도는 1 W/m^2 정도로 실제 전력 생산량은 2~4 kW (2009년) 정도

- 공정 성능 보완을 마친 2011년도에는 막의 전력밀도가 3 W/m^2에 도달해 전력 생산량을 6 kW 정도까지 향상시켰으나 당초 목표에 미달함

- 그 당시는 PRO 발전공정이 경제성을 갖기 위해서 필요한 막의 전력밀도는 4~6 W/m^2의 범위로 추정



그림 2-31. Statkraft사의 PRO 발전 파일럿 플랜트 전경

○ Statkraft사의 PRO 발전 플랜트 건설계획

- 2009년: 프로토타입 발전 플랜트 건설

- 2011-13년: 2 MW 파일럿 발전 플랜트 건설 (막 면적 200,000~400,000 m^2)
- 2018년: 25 MW 데모 발전 플랜트 건설 (막 면적 500,000 m^2)
- 2020년: 25 MW 상업 발전 플랜트 건설 (막 면적 500,000 m^2)
- 2030년: 전 세계 약 30개 발전 플랜트 건설 목표

□ 일본 메가톤 연구사업

○ 메가톤 사업의 목표 중 하나인 농축수 환경영향을 저감시킬 수 있는 방안으로 SWRO-PRO 연구를 수행

○ SWRO 농축수와 하수처리장 2차 처리수 사이의 염도차 에너지를 회수하여 에너지 10% 절감을 목표 (표 2-14 참조)

- 연구사업의 일환으로 SWRO-PRO 파일럿 플랜트를 건설하고, 중공사형 PRO 전용막을 개발
- 파일럿 플랜트에 에너지 회수장치는 설치하지 않음

표 2-14. 메가톤 프로젝트의 PRO 효율

프로세스 (수율)	취수하는 해수 농도	농축 해수 농도	소모 전력(kWh/m^3)		
			PRO 없음	PRO 있음	에너지 절감률
기존 방식 (45%)	3.5%	6.4%	3.75	-	-
메가톤 방식 (65%)		10%	3	2.7	10%

□ 사우디아라비라 WDRC (Water Desalination and Reuse Center)

○ 사우디아라비아의 KAUST(King Abdullah University of Science and Technology) 내의 WDRC가 압력지연삼투 및 정삼투 연구를 주도적으로 수행

- 담수화 플랜트의 농축수 규제 강화에 대비하여 담수화 플랜트의 농축수에서 에너지를 회수하거나 생산할 수 있는 PRO 공정을 적용하여 전체적인 담수화 플랜트의 에너지 절약을 목표로 함 (그림 2-32, 표 2-15 참조)
- PRO 파일럿 플랜트 (1 m^3/일)가 구축하였으며, HTI PRO 평막을 적용하여 막 표면

에서의 바이오 파울링 및 유기물 막 오염 제어기술 개발

- 비료 살포에 정삼투 기술을 이용한 (fertilizer driven forward osmosis) 연구도 함께 수행

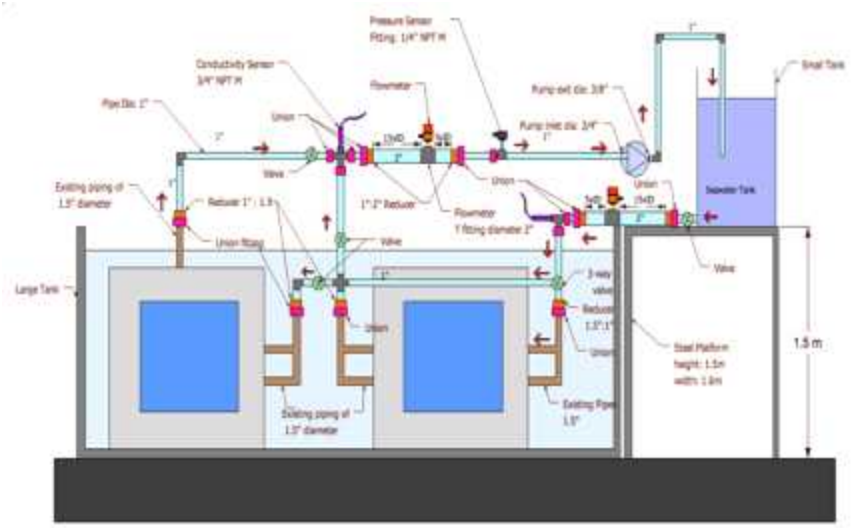


그림 2-32. KAUST PRO 파일럿 플랜트 개념도

표 2-15. KAUST와 GS Inima의 파일럿 플랜트 비교

	KAUST	INIMA
		
전력량	1.3~1.5 kWh/m3 (예상)	1.9~2.1 kWh/m3
FLUX	5.2LMH	8~10LMH
막형태	평막, 침지식	나권형, 가압식(RO)
원수	하수 2,000ppm 해수 35,000ppm	하수 2,000ppm 해수 60,000ppm (농축수)
세정	Flux 20%감소시 cleaning	Cleaning없이 CIP(1달 주기)
문제점	-	Biofouling(해수)

□ 미국

○ 예일 대학의 Menachim Elimelech 교수와 남부캘리포니아 대학의 Amy Childress 교수가 PRO 공정에 대한 연구를 주도적으로 수행

- 현재 많은 연구기관과 업체들은 막 오염 문제 때문에 평막 기반 PRO 모듈을 집중 개발하고 있으며, 평막의 성능을 개선하기 위한 연구 수행

  • 기존 폴리아마이드계 역삼투막 제조기술을 바탕으로 지지층 구조만을 변화시켜 농도분극을 최소화하는 연구를 수행한 결과 지상구조와 스폰지 형태의 구조를 적절히 조합할 때 최적의 PRO 성능이 얻어짐을 밝힘

- 중공사형 PRO 모듈은 자체 지지가 가능하여 높은 수압에 견딜 수 있고 큰 베셀 안에 많은 다발을 채울 수 있고 두꺼운 지지층이 필요 없어 내부 농도분극을 줄일 수 있는 반면 중공사막 내부에서는 층류만 일어나기 때문에 외부 농도분극으로 인한 막 오염에 취약한 단점이 있으므로 이를 개선하기 위한 연구 수행

  • PRO 중공사막의 단면 이중구조에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며, 중공사막이 PRO에 적용되는 경우 유도용액과 처리수의 흐름이 양쪽에서 발생하므로 양방향에 모두 표층(skin layer)을 두면 내오염성이 개선되는 결과를 보임

□ 싱가포르

○ 싱가포르 정부는 NEWater project에 PRO 기술을 접목하여 하수재이용에서 발생되는 농축수와 해수담수화의 농축수를 활용하여 에너지 저감 기술 과제를 기획하여 싱가포르 물관련 토탈솔루션의 구축 예정임

○ 난양공대 (NTU)의 Rong Wang 교수 및 싱가포르국립대 (NUS)의 Neal Chung 교수 주도로 PRO 전용 중공사막 기반의 모듈 개발 진행 중

- 표 16은 싱가포르 대학(NUS, NTU), 미국 예일 대학, 사우디아라비아 KAUST 대학들이 실험실에서 개발한 PRO 전용 막의 성능을 비교한 결과

표 2-16. 개발된 PRO 막의 성능비교

Feed solution	Draw solution	Membrane	Water flux (LMH)	Salt flux (gMH)	Orientation	Rejection	개발그룹
10mM NaCl	0.5 M NaCl	PA TFC	20.5	5.9	PRO mode		NTU
DI	1.5 M NaCl	PA TFC	18.16	-	PRO mode	97.4	Yale
DI	1 M NaCl	PA TFC	25.0	0.33	FO mode	98.6	Yale
DI	2 M MgCl2	CA	17.3	1.2±0.2	PRO mode		NUS
DI	0.5 M MgCl2	PAI	29.65	-	PRO mode		NTU
DI	2 M NaCl	TFC (Sulphonated)	33.0	2.8	PRO mode	91	NUS
DI	3 M MgCl2	PAH+PSS (LbL)	105.4	-	PRO mode		NTU
DI	3 M NaCl	PES membrane	~30	~6	-	94	KIST
0.6 M NaCl	1.2 M MgSO4	CA	6.5	-	FO mode	88(Na) 99(Mg)	ICL (London)
50mM NaCl	4 M NaCl	CTA	37.8	-	PRO mode		NUS, KAUST
DI	5 M MgCl2	CA double layer	48.2	-	-		NUS
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	32.2	0.11	PRO mode		NTU
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	42.6	0.094	PRO mode		NTU
DI	5 M MgCl2	PES hollow fiber	33.8	1.0 이하	PRO mode		NUS
DI	1.0 M MgCl2	PAH+PSS (LbL type)	22	6.66	FO mode		NTU
DI	1.0 M MgCl2	PAI	14.6	-	PRO mode		NTU
DI	3.125 M MgCl2	PBI-PES hollow fiber(NF)	17.1	-	PRO mode	-	NUS
DI	2 M MgCl2	CA hollow fiber	30.98	0.37	PRO mode		NUS
DI	2 M MgCl2	CA NF	7.3	0.53	PRO mode		NUS
DI	0.5 M MgCl2	PES hollow fiber	49.0	4.0	PRO mode		NTU
10 mM NaCl	0.5 M NaCl	PA-TFC hollow fiber	40.3	-	PRO mode		NTU

□ 막 증발법(membrane distillation, MD) 기술개발

○ 막 증발 기술은 1963년 Bodell의 특허에서 소개된 이후 별다른 기술개발이 이루어지지 않았으나, 1980년대 초반 분리막 제조기술이 발달하면서 다시 관심을 받음

○ 그러나 낮은 열전달율, 전용 막/모듈의 부재 등으로 인해 기술이 보유한 매력에도 불구하고 아직까지 경쟁력 있는 기술발전이 이루어지지 않은 실정

○ 막 증발 기술은 막 여과와 증발기술의 혼용으로 액체가 아닌 증기가 막을 통과하기 때문에 막 여과와 비교하여 막 오염이 적고, 삼투압의 영향을 받지 않으므로 운전압력을 상당히 줄일 수 있는 장점을 보유하고 있으며, 증발기가 아닌 분리막에서 증발이 일어나므로 일반 증발법과 비교하여 면적을 줄일 수 있는 장점이 있음

○ 2000년대 초반 이후 유럽을 중심으로 막 증발 연구를 활발히 수행한 결과 아래 표와 같이 MD 모듈 및 시스템 공급이 가능한 기업 창출 (표 2-17 참조)

- 이 기업들은 모두 평막 기반의 MD 시스템을 공급하고 있음

표 2-17. MD 기술보유 기업 및 현황

회사	Memsys (GERMANY)	Aquaver (NETHERLANDS)	Aquastill (NETHERLANDS)	Solar spring (GERMANY)	GMVP
Type (module)	V-MEMD (PTFE fleet sheet)	V-MEMD (PTFE fleet sheet)	AGMD (spiral wound 1~120 m2/module)	AGMD (spiral wound)	VMD (Hollow fiber)
System	• memDist 4-6.4 - 생산량 0.5~1 m3/d - GOR : 2.5~3.2 - Recovery 45% - PTFE flat sheet • memDist 6-52 - GOR : 4~6 	• MDS 1000 - memDist 6-52 모듈사용 - 생산량 24 m3/d • MDS 500 - memDist 6-52 모듈사용 - 생산량 12 m3/d • MDS 40 - memDist 6-52 모듈사용 - 생산량 1.5 m3/d 	• AQA FLEX 25 - Acids, brine solution 처리용 - 생산량 4.8 m3/d • AQA FLEX 25 - 생산량 4.8~24 m3/d • AQA FLEX 150R - AQA FLEX 100의 확장 모델 	• MMD - Module Membrane Distillation - 생산량 1~10 m3/d • ORYX - Stand-alone system for solar PV 	- MA 10m2 - PE, PVDF 
현황	• Aquaver와 System 공유	• World's first desalination unit utilizing waste heat on Maldives(2014) - 생산량 : 10 m3/d - 디젤발전기 폐열 이용	• 건설기술연구원 AQUA FLEX 100 구매(3m3/일 규모)	• MMD(5m3/d) - Drinkin water in Namibia - Process water in Pantelleria • ORYX - Medical clinic in remote fishing village in Tunisia - Research : Germany, Spain and Italy research groups	• 파일럿 플랜트 구축 중 

□ GREEN Desalination(EU)

○ 해수담수화 기술에 있어서 물 생산과 함께 자원회수가 가능한 무방류(zero liquid discharge) 시스템을 구현하는 친환경 기술개발로 MD, MCr 기술 적용

○ 파일럿 플랜트를 통하여 개념검증을 완료하는 타당성 연구의 목적

- 시장성 검증
- 목표시장을 식별하고, 명확하게 정의
- 상용화 가능성을 평가
- 현금흐름, 수익, 비용, 손익분기점, ROI등을 결정
- 시장진출전략 개발

○ 중소기업 주도의 기술개발 프로젝트

□ 일본

○ 차세대 고염분 농축수의 탈염 기술 (표 2-18 참조)

- 고염분의 농축수에서 수자원을 추출하는 새로운 공정기술을 개발

표 2-18. 일본의 고염분 농축수의 막 탈염 기술

항목	막 증발법 (MD: Membrane distillation)	정삼투 (FO: Forward Osmosis)	용매추출법 (Super Saturation Crystallization)
유입수 염분농도	10,000~100,000mg/l	10,000~100,000mg/l	50,000~300,000mg/l
배출수 염분농도	최대 300,000mg/l	최대 300,000mg/l	배출수 없음
분리막 사양	PTFE, PP 필름 (공경 0.2~1um)	CTA, PA 막 (공경: RO막과 동일)	MF/UF/NF/RO막 (용매 회수용)
개발 단계 (2015년 기준)	파일럿	개발 중	파일럿

출처: 일본 기업의 글로벌 물 시장 노력과 기술 전략(GWRA)

나. 국내 신기술 동향

□ GMVP 연구단

○ 2013년 6월부터 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 지원의 국책연구사업인 MD/PRO 복합탈염공정 실증플랜트 기술개발 연구단(GMVP연구단, 연구단장 김승현)을 통해 MD, PRO, 유가자원회수 핵심 및 실증 기술 개발을 2018년까지 5년간 진행 중 (그림 2-33 참조)

○ 해수담수화 플랜트의 에너지 소모량 25% 절감을 목표로 농축수로부터의 염도차 에너지를 회수할 수 있는 PRO 기술을 개발하고 있으며, 개발된 기술의 파일럿 검증을 위하여 20 m^3/일 규모의 파일럿 플랜트와 240 m^3/일 규모의 실증파일럿을 구축 (그림 2-34 참조)

- SWRO-PRO 복합탈염기술개발을 통해 해수담수화 플랜트의 고농도 농축수와 하수 방류수의 염도차 에너지를 압력교환장치를 이용하여 회수하거나, PRO 전용 펠톤 터빈을 이용하여 전기 생산 (일반 역삼투 해수담수화 대비 25% 이상 전력비 절감 및 물 생산단가 10% 이상 절감)

- 파일럿 플랜트는 실증파일럿 구축을 위한 설계인자 도출에 활용하였으며, 2015년부터 일산하수처리장에서 PRO 유입수의 전처리 시스템 개발 및 PRO 전용 막/모듈의 세정 및 막오염 저감 기술의 개발을 위하여 운전 중임

- 부산시 남부하수처리장에 구축된 실증 파일럿은 부산시 용호만 해수와 남부하수처리장 방류수를 대상으로 대규모 플랜트(10 만톤/일)의 설계 패키지 도출 및 최적 운영기술 확보를 위해 운전 중임

○ GMVP 연구단은 해수담수화 농축수 방류량의 30% 저감과 회수율 30% 증가를 목표로 농축수에 적용이 가능한 막 증발법 기술을 개발하고 있으며, 개발된 기술의 파일럿 규모 검증을 위하여 10 m^3/일 규모의 파일럿 플랜트와 400 m^3/일 규모의 실증 파일럿을 구축

- 안동 한국건설기술연구원 하천연구소 부지에 구축된 파일럿 플랜트는 실증파일럿의 설계인자 도출 및 실증파일럿에 장착될 MD 전용 막/모듈의 성능평가에 활용하였으며, 현재는 태양열과 결합한 MD 기술 개발을 위하여 활용 중

- 실증파일럿은 기장 부경대학교 수산과학연구소 부지에 구축 됨

- 기존 MD 장치는 모두 평막에 기반하고 있는 것과 대비하여, GMVP 연구단은 세계 최초로 중공사 막/모듈에 기반한 MD 시스템을 개발하고 있음



그림 2-33. GMVP 연구단 연구 개념도



그림 2-34. (A) 실증 플랜트 (240 m^3/d), (B) 파일럿 플랜트 (20 m^3/d)

다. 극복해야 할 문제

□ MD

○ 막젖음

- MD 공정은 막 재질의 소수성 특성을 이용하여 담수를 생산하는 공정이라서 막의 소수성을 유지하는 것이 매우 중요함

- 그러나 MD 공정의 운영 과정에서 막의 세공에 증기가 통과하면서 세공이 젖는 현상(wetting)이 발생할 수 있으며, 막젖음 현상이 발생하면 막의 특성이 소수성에서 친수성으로 변하여 생산수 쪽으로 염이온이 이동하는 현상이 발생하는 기술적 한계성을 가지고 있음

- 따라서 MD 공정에서 막젖음 현상을 사전에 방지하고 관리하는 기술은 매우 중요한 기술임

- 이러한 막젖음 현상을 사전에 방지하기 위한 전처리 기술에 대한 연구가 다양한 그룹에서 추진되었으며, 막젖음 현상이 발생한 후에 이를 회복하는 기술에 대한 연구도 다양하게 진행되고 있음

○ 모듈개발

- MD 모듈은 다양한 형태로 개발되고 있는데, 대부분 평막 기반의 모듈이 개발되고 있으며, 선행 연구를 수행한 GMVP 연구단은 중공사 형태으ㄴ 막모듈을 개발함

- 평막 형태의 모듈은 에너지 손실이 적고 운영이 간단하다는 장점이 있으나, 집적도가 낮은 기술적 단점을 가지고 있으며, 중공사 형태의 모듈은 집적도가 높으나 에너지 손실이 큰 단점을 가지고 있음

- 따라서 MD 공정에 적합한 최적의 모듈 개발을 위하여 다양한 연구 그룹 및 기업에서 지속적으로 개발이 추진되고 있음

라. 국내외 기술수준 분석

1) 기술수준 조사양식 및 설명서

(1) 조사 형태

① 최고기술보유기관

- ‘17년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술 보유국과 해당국 기관명을 기입해

주십시오. (복수로 제시가능)

② 국내기술수준

- ‘17년 현재 시점에서 최고기술 대비 국내 기술수준을 작성해주십시오.
- 국내 기술수준은 아래 제시된 표의 기술수준 구간별 설명을 참조하셔서 ‘정수’로 평가해주십시오.

기술수준	설명
100% 이상	독보적 세계 최고
81% ~ 99%	기술 분야를 선도
61% ~ 80%	선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	연구개발능력이 취약
0%	우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

③ 기술격차

- 우리나라 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위 : 년)을 기입해 주십시오.

④ 기술격차추세

- 세계 최고기술과 우리나라의 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지 아래 제시된 표를 참조하여 5점 척도로 작성해 주십시오.

구분	설명
5	최고기술과 기술격차가 *“빠르게 확대 중”*
4	최고기술과 기술격차가 *“확대 중”*
3	최고기술과 기술격차가 *“유지되고 있음”*
2	최고기술과 기술격차가 *“축소 중”*
1	최고기술과 기술격차가 *“빠르게 축소 중”*

⑤ TRL(기술성숙도) 단계

- 아래 기술성숙도 단계별 설명을 참조하여 분류별로 국내외 기술성숙도 단계를 평가해주십시오.

기술성숙도 단계	설명
1단계	기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이루어지는 단계
8단계	시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	사업화가 완료된 단계

⑥ 기술적 중요도

- 해당 기술이 ‘MD 공정개발 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도를 아래 표를 참조하여 5점 척도로 작성해 주십시오.

구분	설명
5	해당기술이 ‘통합 대체수자원 플랜트 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 ***매우 높음***
4	해당기술이 ‘통합 대체수자원 플랜트 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 ***높음***
3	해당기술이 ‘통합 대체수자원 플랜트 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 ***보통임***
2	해당기술이 ‘통합 대체수자원 플랜트 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 ***낮음***
1	해당기술이 ‘통합 대체수자원 플랜트 기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 ***매우 낮음***

⑦ 시급성

- 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 아래 표를 참조하여 5점 척도로 작성해 주십시오.

구분	설명
5	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 ***매우 시급함***
4	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 ***시급함***
3	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 ***시급한 정도가 보통임***
2	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 ***시급하지 않음***
1	적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 ***전혀 시급하지 않음***

⑧ 파급효과

- 해당 기술이 과학기술 발전에 미치는 영향력을 아래 표를 참조하여 5점 척도로 작성해 주십시오.

구분	설명
5	과학기술 발전에 미치는 영향력이 매우 높음
4	과학기술 발전에 미치는 영향력이 높음
3	과학기술 발전에 미치는 영향력이 보통임
2	과학기술 발전에 미치는 영향력이 낮음
1	과학기술 발전에 미치는 영향력이 매우 낮음

2) 기술수준 분석결과

(1) 압력지연삼투(PRO) 기술수준 분석결과

① 엔지니어링 기술

중점 추진분야	세부 사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
1. 엔지니어링 기술	1.1 취/배수 설계 기술	직/간접 취수 시스템, 배수 시스템		80	3	3	9	8	3	3	3
	1.2 PRO 전처리 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR		90	3	2	9	8	5	4	4
	1.3 SWRO/PRO 주공정 기술	하이브리드 공정, Train/시스템		90	3	2	6	6	5	5	5
	1.4 PRO 후처리 기술	배출수 처리 및 회수 시스템		90	3	3	6	6	4	5	5
	1.5 설계 모의 및 성능 평가 기술	공정설계 모의, CFD, 환경영향평가		85	3	3	7	6	4	5	5
	1.6 기타 기술	Scale-up, 플랜트 계량		90	3	2	7	7	5	5	5

② 핵심기자재 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
2. 핵심기자재	2.1 취·배수 시스템 기자재 기술	Pump, Pipe, Diffuser		90	3	3	9	8	3	2	2
	2.2 SWRO/PRO 전처리 모듈 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR		85	3	3	9	8	5	4	4
	2.3 SWRO/PRO 공정 모듈 기술	PRO 막모듈, Pressure Vessel, High Pressure Pump		70	3	3	6	6	5	5	5
	2.4 SWRO/PRO ERD 소재 기술	Energy Recover Device		50	7	4	8	5	5	5	5
	2.5 PRO 후처리 모듈 기술	배출수 처리 및 회수 시스템		90	3	3	9	8	4	5	5
	2.6 기타 기자재	Sensor, Pipe		80	5	4	9	7	3	3	3

③ 시공 기술

중점추진분야	세부 사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
3. 시공 기술	3.1 취·배수 시스템 시공 기술	직/간접 취수 시스템, 배수 시스템		85	3	3	9	8	3	2	2
	3.2 PRO 전처리 시스템 제작 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR		95	1	2	9	9	5	3	4
	3.3 SWRO/PRO 시스템 제작 기술	하이브리드 공정, Train/시스템		90	3	3	7	7	5	5	5
	3.4 PRO 후처리 시스템 시공 기술	배출수 처리 및 회수 시스템		90	3	3	8	8	5	5	4

④ 운영 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
4. 운영기술	4.1 취·배수 시스템 운영 기술	직/간접 취수 시스템, 배수 시스템		85	3	3	9	8	3	5	5
	4.2 PRO 전처리 시스템 운영 기술	전전처리, MMF, MF, UF, NF, MBR		90	3	3	9	8	5	4	4
	4.3 SWRO/PRO 시스템 운영 기술	하이브리드 공정, Train		65	5	3	6	6	5	5	5
	4.4 PRO 후처리 시스템 운영 기술	배출수 처리 및 회수 시스템		90	5	3	9	7	5	5	5
	4.5 스마트 운영 기술	ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막오염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템		70	3	2	8	6	5	5	5

⑤ 기타 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
5. 기타 기술	5.1 신재생에너지 융합 기술	에너지 저장 및 변환, 현지 맞춤형, 신재생에너지 설비 연계		80	3	3	8	7	5	5	5
	5.2 PRO 발전 기술	고염도 해수/호소수 PRO 발전		60	3	3	6	6	5	5	5
	5.3 그 외 PRO 적용 기술	산업폐수 처리, Produced Water 처리		50	3	3	5	5	4	3	3

(2) 막증발법(MD) 기술수준 분석결과

① 엔지니어링 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술수준 (%)	기술격차 (년)	기술격차 추세	TRL단계(1-9)		기술적중요도 (5점척도)	시급성	파급효과
							최고기술	국내			
1. 엔지니어링 기술	1.1 취배수 공정	직접취수 시스템 간접취수 시스템 등		65	3	3	9	6	4	3	3
	1.2 전처리 공정	Roughing filter 시스템 설계 기술 MF/UF 시스템 설계 기술 등		65	3	3	9	5	3	3	3
	1.3 주공정	MD 모듈 설계 기술 MD Skid 설계 기술 등		65	3	2	9	6	4	4	3
	1.4 MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 설계 기술 농축수 배출 시스템 설계 기술 등		60	3	3	9	5	3	3	3
	1.5 에너지공급 기술	폐열 연계 시스템 설계 기술 신재생에너지 연계 시스템 설계 기술 등		60	4	3	9	5	4	4	3
		신재생 연계 열에너지 믹스 설계 기술 저에너지 시스템 설계 기술	독일 (FSI)	70	2	4	7	6	4	4	3
	1.6 기타 (주제제안)	폐열 및 신재생에너지 기반 MD plant의 설계와 성능 예측을 위한 범용 프로그램 개발	네덜란드 독일 미국	80	3	2	6	4	4	4	5

②핵심기자재 기술

중점추진분야	세부 사업 영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급 효과
							최고 기술	국내			
2. 핵심기자재	2.1 취배수 공정	직접취수 시스템 소재 및 장치 기술 간접취수 시스템 소재 및 장치 기술 등		70	3	3	9	5	3	3	3
	2.2 전처리 공정	Roughing filter 시스템 소재 및 장치 기술 MF/UF 시스템 소재 및 장치 기술 등		60	3	3	9	4	3	3	3
	2.3 주공정	기존 MD 모듈 개발 기술 기존 MD Skid 개발 기술 등		70	3	3	9	4	3	4	3
		Fouling 및 scaling을 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 및 공정 개발(기존 DCMD, VMD, AGMD, LGMD 제외)	네덜란드 독일 미국	60	3	3	3	2	4	4	5
	2.4 MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 농축수 배출 시스템 소재 및 장치 기술		60	3	3	9	5	3	3	3
		ZLD를 위한 MD 배출수의 처리 기술 및 복합공정 개발 등	네덜란드 독일 미국	70	3	3	6	4	4	4	5
	2.5 에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 신재생에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 등		70	3	3	9	4	3	4	3
		MD, 열에너지 소비율(kW/㎥) 저감 기술 에너지 믹스(Energy Mix)열 공급 기술	독일 (FSI)	70	2	4	7	5	4	4	4
	2.6 기타 (주제제안)										

③ 시공 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적중 요도 (5점 척도)	시급성	파급효과
							최고 기술	국내			
3. 시공기술	3.1 취배수 공정	직접취수 시스템 시공 기술 간접취수 시스템 시공 기술 등		60	3	3	9	5	4	3	3
	3.2 전처리 공정	Roughing filter 시스템 시공 기술 MF/UF 시스템 시공 기술 등		60	3	3	9	5	3	3	3
	3.3 주공정	MD 모듈 및 나야 시공 기술 MD 공정 배관 시공 등		60	3	3	9	5	4	4	3
	3.4 MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 시공 기술 농축수 배출 시스템 시공 기술 등		60	3	3	9	5	4	3	3
	3.5 에너지 공급 기술	폐열 연계 시스템 시공 기술 신재생에너지 연계 시스템 시공 기술 등		50	5	4	9	4	4	3	3
	3.6 기타 (주제제안)										

④ 운영 기술

중점추진분야	세부사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술 적증 요도 (5점 척도)	시급성	파급효과
							최고 기술	국내			
4. 운영기술	4.1 취배수 공정	직접취수 시스템 운영 기술 간접취수 시스템 운영 기술 등		70	2	2	9	8	3	3	3
	4.2 전처리 공정	Roughing filter 시스템 운영 기술 MF/UF 시스템 운영 기술 등		60	2	2	9	6	3	3	3
	4.3 주공정	MD 모듈 및 Skid 운영 기술 MD 공정 배관 운영 등		60	3	2	9	6	4	4	3
	4.4 MD 후처리 공정	MD 처리수 배출 시스템 운영 기술 농축수 배출 시스템 운영 기술 등		60	3	2	9	6	3	3	3
	4.5 에너지공급 기술	폐열 연계 시스템 운영 기술 신재생에너지 연계 시스템 운영 기술 등		30	5	4	9	5	4	4	3
		원격모니터링을 통한 자동운전 기술 신재생에너지 연계 시스템 운영 기술	독일	70	2	4	7	6	4	4	3
	4.6 기타 (주제제안)	폐열 및 신재생에너지 기반 MD plant의 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발	네덜란드 독일 미국	80	3	2	6	4	4	4	5

⑤기타 기술

중점추진분야	세부 사업영역	내용	최고기술 보유국 및 기관	국내 기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 격차 추세	TRL단계(1-9)		기술적 중요도 (5점 척도)	시급성	파급효과
							최고기술	국내			
<예시>			*미국 (LBNL)*	*60*	*3*	*4*	*7*	*5*	*4*	*3*	*3*
5. 기타기술	5.1 농축수 환영 영향 평가 기술			50	3	3	8	2	3	3	3
	5.2 이동형 MD 개발 기술	가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 개발		60	2	3	8	6	3	3	2
	5.3 MD 특허 상품화 기술	VMD 모듈을 이용한 해수담수화 장치 지능형 VMD 모듈 및 이를 포함하는 해수담수화 장치	신기술	70	3	4	7	6	5	4	4
	5.4 MD 응용 기술			40	2	2	8	6	3	3	3
	5.5 해외 인증 기술			40	2	3	8	2	2	2	2
	5.6 기타 (주제제안)										

※ 전문조사기관 또는 국내외 DB 활용한 특허 및 논문 동향 분석, 연구개발과제 관련 요소기술 조사 결과 포함

5절. 논문 및 특허 분석

1. 국제학회 동향

가. 해수담수화 논문발표 동향

□ 해수담수화 관련 학술발표회의 주요 이슈를 분석한 결과 신기술(electrodialysis, MD, PRO, FO 등), 신소재 막, 신재생 에너지 융합, 농축수 처리 등이 새롭게 부각되고 있으며, 해수담수화 플랜트의 에너지 저감, 막오염, 등은 지속적인 관심을 유지하고 있음 (표 2-19 참조)

표 2-19. 해수담수화 관련 국제 학술발표회의 주제

학회명	주제
International Conference on Desalination using Membrane Technology 1st(2013, Spain), 2nd(2015, Singapore), 3rd(2017, Spain)	· Reverse osmosis · Nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration · Aquaporin membranes · Electrodialysis · Pre-treatment and post-treatment processes · Novel desalination technologies: Membrane distillation, New membrane types, Forward osmosis, Pressure-retarded osmosis, Other technologies · Membrane systems: Hybrid systems, Module design, Novel membrane systems and configurations · Brine/concentrate disposal and waste management · Energy and sustainability · Economics, Case studies
Desalination for Clean Water and Energy Cooperation around the World(2017, Israel)	· Water demand and supply/Desalination and the environment · Desalination and water purification processes · Seawater thermal and membrane processes · Brackish water desalination/Wastewater treatment · Desalination and water resource management/Energy recovery technology

	· Renewable energy for desalination : Solar, wind, wave, osmotic power · Pre-treatment and post-treatment/Post-treatment of desalinated water · Brine disposal and removal of specific compounds · Fouling and scaling and material selection · Financing - public and private / Modeling · Electrodialysis/Energy reduction
International Conference on Desalination and Membrane Technology (2015, UAE, 2016, France, 2017, France)	· Innovative startups · Desalination and Membrane Technology · Reverse osmosis · Nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration · Pre-treatment and post-treatment processes · Novel desalination technologies · Membrane distillation · New membrane types · Forward osmosis/Membrane systems · Hybrid systems/Module design

□ 최근 해수담수화와 관련하여 빅데이터, 딥러닝 등 지능화 기술을 도입·활용하는 연구논문 발표도 증가 추세임 (표 2-20 참조)

표 2-20. 빅데이터 등 지능화 기술 활용 해수담수화 연구 논문

학회명	주제
Big data, Machine learning, AI 관련 연구	· Big data analysis of hollow fiber direct contact membrane distillation (HFDCMD) for simulation-based empirical analysis, University of Hawaii(USA) · Utliization of AI in the water sector: Case Study of Converting Operating history Data to Values, Hitachi(Japan) · Water Desalination Fault Detection Using Machine Learning

	Approaches: A Comparative Study, King Abdulaziz University(Saudi Arabia) · IMPROVED FAULT DETECTION IN WATER DESALINATION SYSTEMS USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES, Unité De Recherché Modelisation(Tunisie) · Improved Fault Detection in Water Desalination Systems using Machine Learning Techniques, University of Gabès(Tunisie) · Prediction of membrane fouling in the pilot-scale microfiltration system using genetic programming, KIST(Korea)

□ 해수담수화 논문발표 동향

- 주요 저널에 개제된 해수담수 기술에 관련 논문발표 동향을 분석한 결과 최근 4년(2014-2017) 동안 발표된 논문수가 기존 발표 보다 15.0%의 비율로 증가하고 있으며, 누적 발표수는 약 18.5%의 비율로 급격히 증가하는 추세임 (그림 2-35 참조)

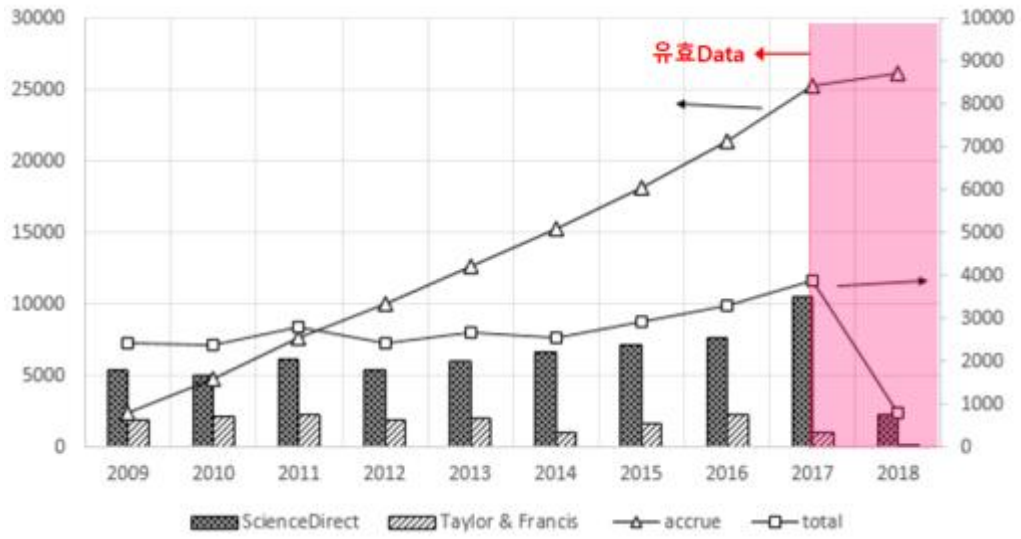


그림 2-35. 해수담수화 기술 논문 발표 동향 분석

나. 압력지연삼투(PRO) 논문발표 동향

□ 주요 저널에 개제된 압력지연삼투(PRO) 기술에 관련 논문발표 동향을 분석한 결과 최근 9년(2009-2017) 동안 발표된 논문수가 44.6%의 비율로 급격히 증가하고 있으며, 누적 발표수는 약 57.5%의 비율로 급격히 증가하는 추세임 (그림 2-36 참조)

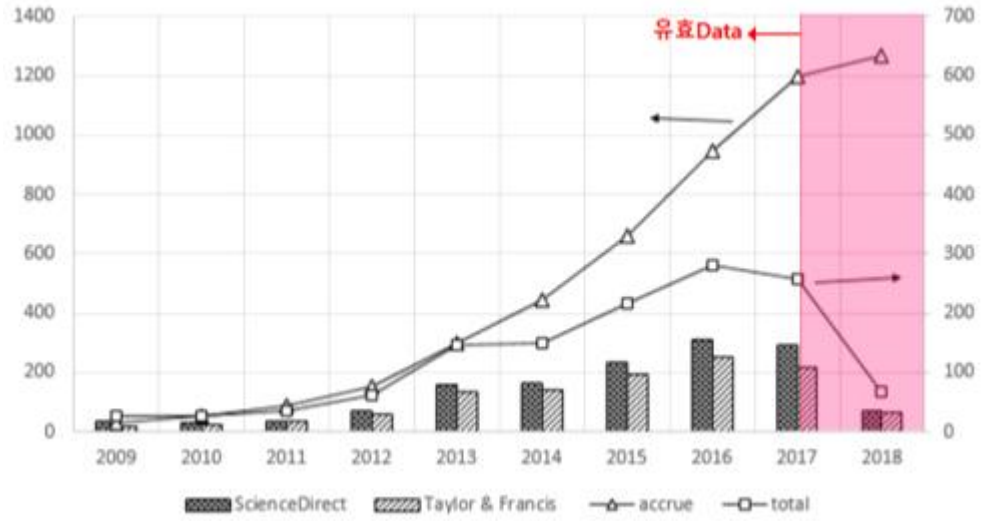


그림 2-36. 압력지연삼투 기술 논문 발표 동향 분석

다. 막 증발(MD) 논문발표 동향

□ 주요 저널에 개제된 막 증발(MD) 기술에 관련 논문발표 동향을 분석한 결과 최근 (2009-2017) 동안 발표된 논문수가 16.1%의 비율로 증가하고 있으며, 누적 발표수는 약 33.6%의 비율로 급격히 증가하는 추세임 (그림 2-37 참조)

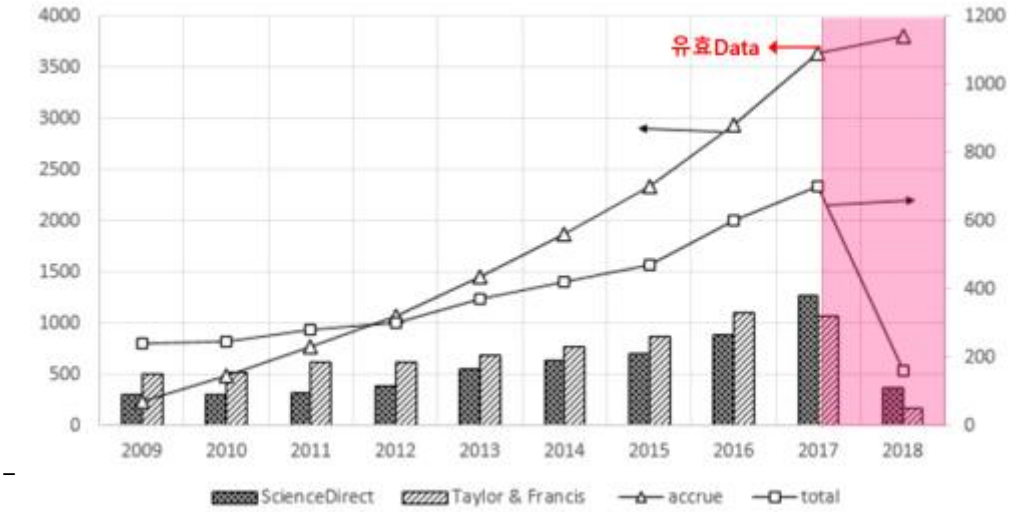


그림 2-37. 막증발 기술 논문 발표 동향 분석

2. 기술 특허분석

가. 해수담수화 기술 동향

□ 해수담수화 기술에 대한 특허 출원은 1930년부터 시작하여 최근(2002-2011)에는 14.6%로 급속히 증가하는 추세임 (그림 2-38 참조)

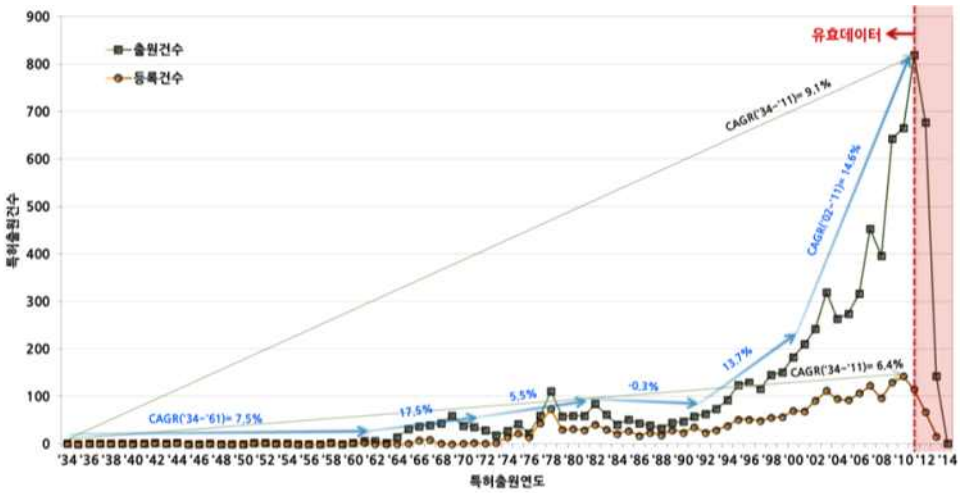


그림 2-38. 해수담수화 기술 특허출원 동향

□ 국가별 특허 출원 동향을 살펴보면, 최근 중국특허 출원이 급증하여 점유율 1위를 나타냈으며, 한국, 미국, WO, EP, 일본 등 주요국 출원이 모두 증가 추세에 있는 것으로 나타나고 있음 (그림 2-39 참조)

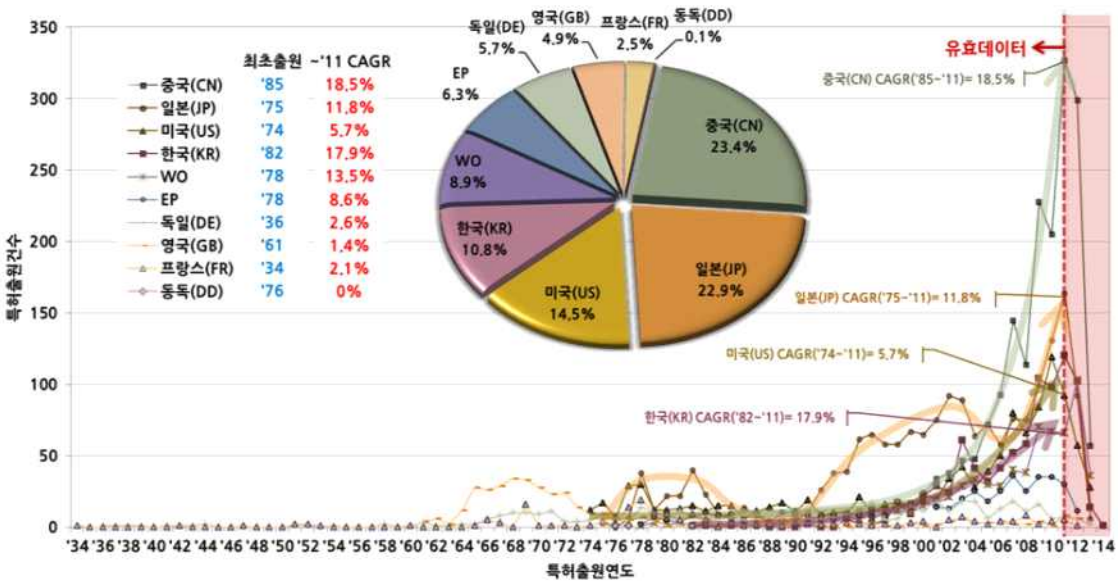


그림 2-39. 해수담수화 기술 국가별 특허출원 동향

□ 세분류별 특허 출원 동향에 대한 통계분석을 실시한 결과 증발법, 역삼투막법이 가장 많고 최근까지 증가 추세이고, 역삼투막법-증발법 하이브리드, 정삼투막법, 막증발법에 대한 특허 출원은 아직 본격화되지 않은 것으로 판단됨 (그림 2-40 참조)

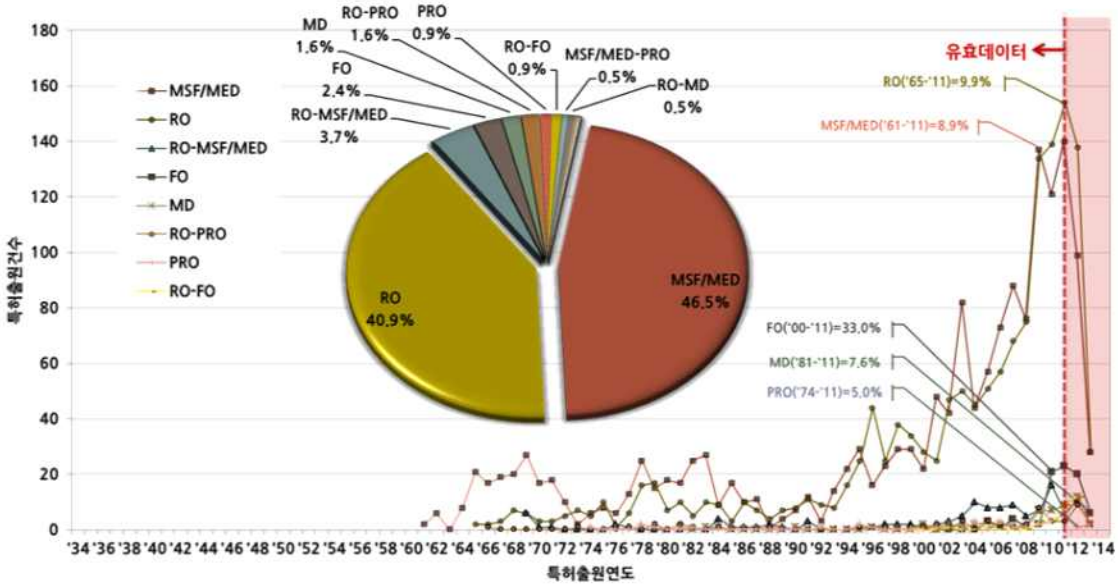


그림 2-40. 해수담수화 기술 세부분류별 특허출원 동향

□ 세분류별 특허 출원 동향에 대한 점유율 분석결과 정삼투막, 막증발법 기술은 특허 출원 점유율은 낮으나 특허 출원 증가율이 높아, 해수 담수화 기술 중 발전 가능성(혁신 기술 출현 가능성)이 가장 높은 것으로 나타나고 있음 (그림 2-41 참조)

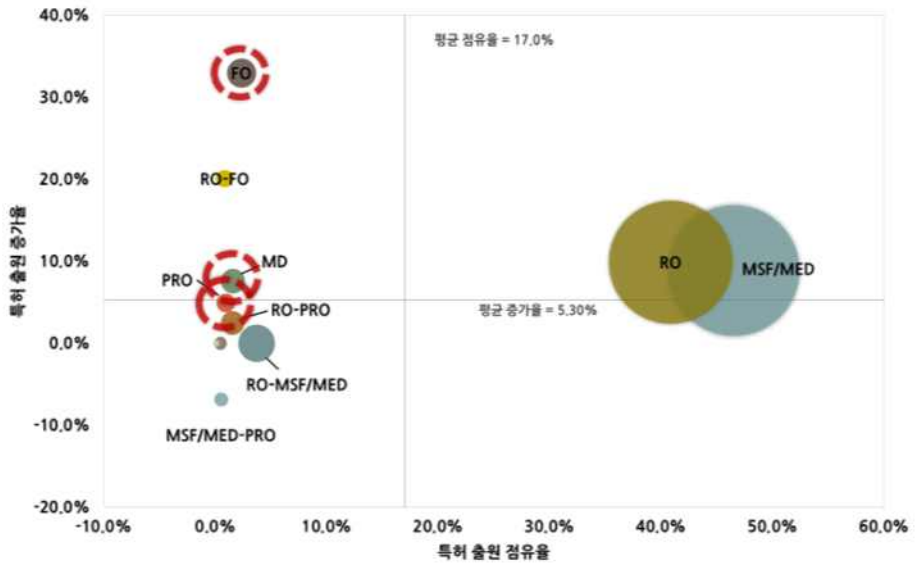


그림 2-41. 해수담수화 기술 세분류별 특허출원 동향

□ 특허 출원인에 대한 통계분석 결과 대부분의 일본, 한국, 중국 출원인은 자국 출원

에 치중하였으나, Toray, GE, IDE 등은 미국, 중국, 유럽까지 특허 포트폴리오를 확장하고 있는 것으로 나타나고 있음 (그림 2-42 참조)

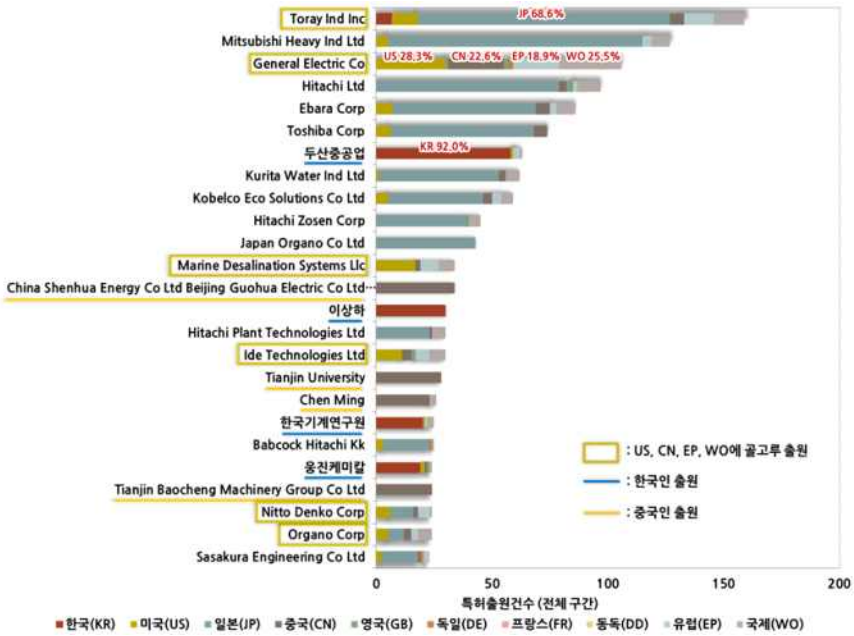


그림 2-42. 해수담수화 기술 특허출원 분석

□ 특허 출원인에 대한 버블 분석 결과 과거에 해수담수화 특허 출원을 주도했던 일본 대기업들의 특허 입지가 약화되고 있었으며, 2000년 전후로 한국, 미국, 독일, 중국 기업들이 대거 진입하여 경쟁이 심화되고 있는 것으로 분석됨

나. 압력지연삼투(PRO) 기술개발 현황

1) 국가별 특허출원동향

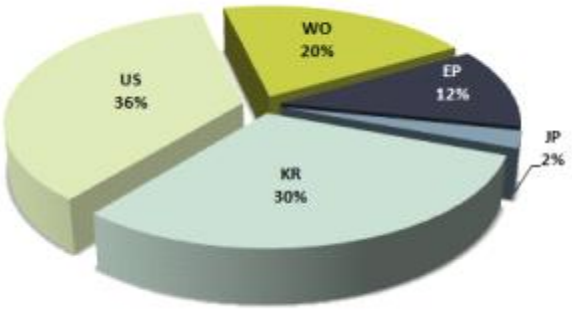


그림 2-43. 국가별 특허 출원건수

□ 전체 국가별 출원 점유율을 살펴보면 미국이 36%(58건)으로 가장 큰 점유율을 차지하고 있으며, 그 다음으로 한국 30%(49건), 국제 20%(33건), 유럽 12%(19건), 일본 2%(4건)의 순으로 나타남 (그림 2-43 참조)

□ 미국은 타국에 비해 높은 점유율을 차지하고 있어, 미국이 가진 기술 장벽이 높을 것으로 보이며, 특히 상위 출원인이 집중되어 있어 기술경쟁력이 있을 것으로 판단됨

□ 한국의 경우, 미국 다음으로 높은 출원 점유율을 나타내고 있으며, 이는 압력지연삼투법(PRO)과 유사한 막원리를 이용하는 정삼투(FO) 분리막 기술의 출원이 많아 영향을 받은 것으로 판단됨

□ 앞서 살펴본 연도별 전체 기술동향과 접목해 보았을 때, 미국은 압력지연삼투법(PRO) 기술 시장규모가 가장 크고 성장률도 높은 것으로 판단되며, 한국도 앞으로의 성장률이 높아질 것으로 보임

□ 유럽 및 일본의 경우, 압력지연삼투법(PRO) 기술분야에 있어서 특허 출원이 저조한 것으로 나타남

2) 연도별 특허출원동향

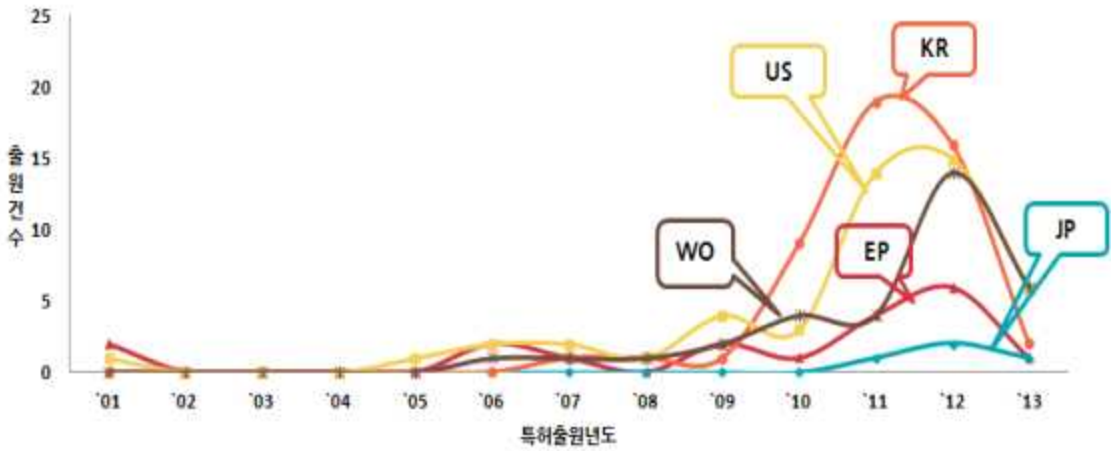


그림 2-44. 연도별 특허 출원건수

□ 압력지연삼투(PRO) 기술분야에 대한 각국의 연도별 특허동향을 살펴보면, 2000년대 초반부터 출원이 시작되었으며, 한국을 포함한 모든 국가가 2010년 이후로 출원이 증가하는 것으로 나타남 (그림 2-44 참조)

□ 주요 시장국 중에서 한국이 가장 활발한 출원활동이 이루어지고 있으며, 미국의 출원경향도 이와 비슷한 출원추세를 나타내는 것으로 보임

□ 앞서 국가별 특허 출원건수에서는 미국이 한국보다 시장이 더 큰 것으로 나타났으나, 연도별로 분석한 결과 2011년에 미국보다 출원 건수가 더 많은 것으로 나타남

□ 이는 한국의 주요 출원인인 웅진케미칼(KR)과 삼성전자(KR)에서 정삼투(FO) 분리막 기술의 출원이 두드러짐으로써 발생된 결과라고 판단됨

□ 이와 더불어 국제 출원도 비슷한 출원 경향을 보이고 있으나, 일본 및 유럽의 경우 큰 증가세 없는 출원 추세를 나타내고 있음

□ 전체적으로 압력지연삼투(PRO) 기술분야의 기술개발 및 출원이 최근 급격히 증가하고 있으며, 이에 따른 각 국가의 시장이 커지고 있음을 알 수 있음

3) 상위출원인 TOP 7

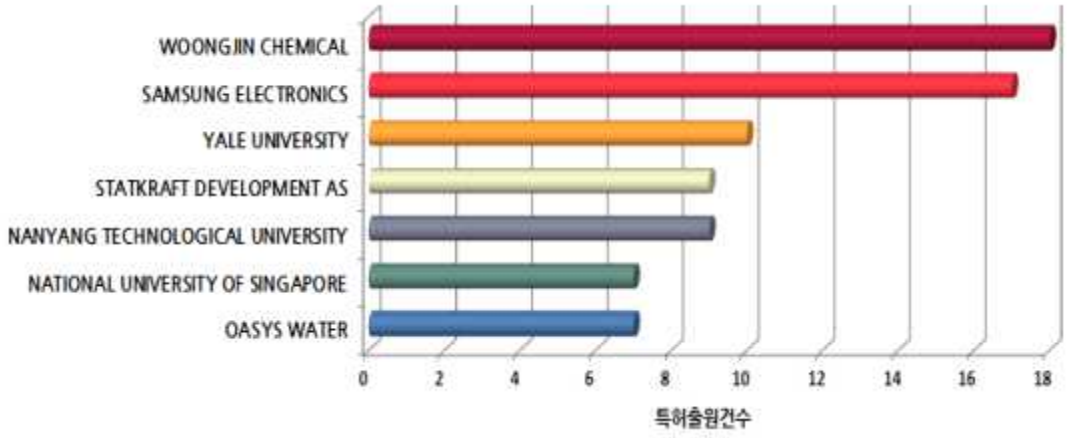


그림 2-45. 압력지연삼투(PRO) 상위출원인 TOP 7

□ 압력지연삼투(PRO) 기술분야에서 가장 많은 특허를 출원한 출원인은 한국의 웅진케미칼로 총 18건을 출원하였음 (그림 2-45 참조)

□ 웅진케미칼은 정삼투(FO) 기술의 분리막 소재 개발을 진행하는 등의 기술 개발에 따른 영향으로 상위 출원인에 영향을 주었을 것으로 판단됨

□ 그 뒤를 이어 삼성전자, 미국 예일 대학, 노르웨이 Statkraft, 싱가포르 난양공과대학과 싱가포르국립대학, 미국 Oasys Water의 순으로 나타남

□ 이때, 삼성전자는 수처리용 정삼투(FO) 분리막 기술 분야에 다수의 특허를 출원한 것으로 인해 상위 출원인에 영향을 주었을 것으로 판단됨

□ 삼성전자를 제외한 그 외 출원인은 미국 또는 유럽 기업으로 이들 기업이 미국과 유럽의 기술 개발을 선도하고 있는 것으로 판단됨

□ 미국의 경우, 예일 대학은 정삼투(FO) 및 압력지연삼투(PRO) 분야의 권위자인 Elimelech 교수가 있는 곳으로 소재부터 공정까지 다양한 연구를 수행하고 있어 상위출원인에 포함된 것으로 보임

4) 상위출원인 출원 현황

표 2-21. 상위출원인 TOP 7 주요 출원국가 출원비율

분석 항목 / 출원인	출원인 국적	주요 출원국가(건수,%)					총합계
		한국 KIPO	일본 JPO	미국 USPTO	유럽 EPO	국제 PCT	
WOONGJIN CHEMICAL	KR	17 (14%)	0 (0%)	1 (29%)	0 (36%)	0 (21%)	18
SAMSUNG ELECTRONICS	KR	9 (0%)	2 (0%)	4 (50%)	2 (50%)	0 (0%)	18
YALE UNIVERSITY	US	2 (0%)	0 (0%)	3 (0%)	2 (0%)	4 (0%)	11
STATKRAFT DEVELOPMENT	NO	1 (0%)	0 (0%)	3 (15%)	3 (0%)	2 (85%)	9
NANYANG TECHNOLOGY UNIVERSITY	SG	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	1 (0%)	4 (0%)	9
UNIVERSITY OF SINGAPORE	SG	0 (0%)	0 (0%)	1 (15%)	0 (0%)	6 (85%)	7
OASYS WATER	US	1 (0%)	0 (0%)	2 (33%)	1 (17%)	2 (50%)	6

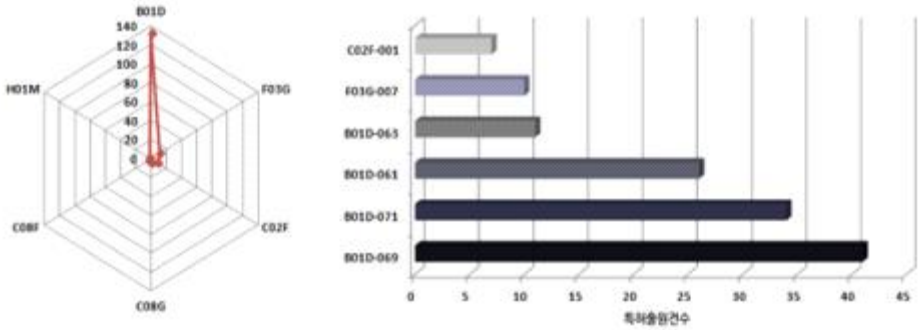
□ 한국을 제외한 해외 상위출원인 대부분 자국 출원뿐만 아니라 국제 출원비율도 높은 것으로 나타남 (표 2-21 참조)

□ 한국 출원인의 경우, 자국 출원율이 매우 높고 상대적으로 해외출원비율이 낮은 것으로 보아 자국 시장을 타겟으로 기술개발을 하고 있음을 알 수 있음

5) IPC 분류별 출원 현황

□ IPC 분류별로 특허 출원현황을 살펴본 결과, 물리적 방법, 화학적 방법 또는 장치 일반(B01D) 기술에 해당하는 분야의 특허 출원이 많이 이루어지는 것으로 나타남

□ 그 중에서도 형상, 구조 또는 특성에 의해 특징지어지는 분리공정 또는 장치를 위한 반투막; 이를 위해 특별히 적합한 생산공정(B01D-069)과 관련한 기술이 41건으로 가장 많이 출원됨 (그림 2-46 참조)



IPC 코드	설명	건수
B01D-069	형상, 구조 또는 특성에 의해 특징지어지는 분리공정 또는 장치를 위한 반투막; 이를 위해 특별히 적합한 생산공정	41
B01D-071	재료에 의해 특징지어지는 분리공정 또는 장치를 위한 반투막; 이를 위해 특별히 적합한 생산공정	34
B01D-061	반투막을 이용하는 분리공정, 투석, 삼투; 또는 한외여과; 특히 그를 위하여 적용되는 장치; 반투막과 그의 제조방법	26
B01D-063	반투막을 이용한 분리공정에 일반적으로 사용되는 장치	11
F03G-007	기계적동력을 발생하는 장치 또는 기구로서, 타류에 속하지 않는 것 또는 타류에 속하지 않는 에너지원을 사용하는 것	10
C02F-001	물, 폐수 또는 하수의 처리	7

그림 2-46. IPC 코드 분류별 출원현황

6) 기술발전단계

□ 최근 4년간의 출원 추세 및 출원 점유율을 살펴볼 때 10년간 출원율보다 모두 증가한 것으로 나타났으며, 이는 압력지연삼투(PRO) 기술 분야가 최근 들어 시작되어 급격한 출원 증가로 인한 영향을 받은 것으로 판단됨 (그림 2-47 참조)

□ 10년 대비 최근 4년간 주요 시장국에서 외국인 출원 비율을 살펴본 결과, 압력지연삼투(PRO) 기술과 관련된 유럽 시장이 커지고 있으며, 영향력이 클 것으로 판단됨

□ 또한, 구간별 특허 출원동향을 통한 기술의 발전 단계를 분석한 결과, 출원인 수와 출원 건수가 계속 증가하는 성장 초기인 것으로 판단됨

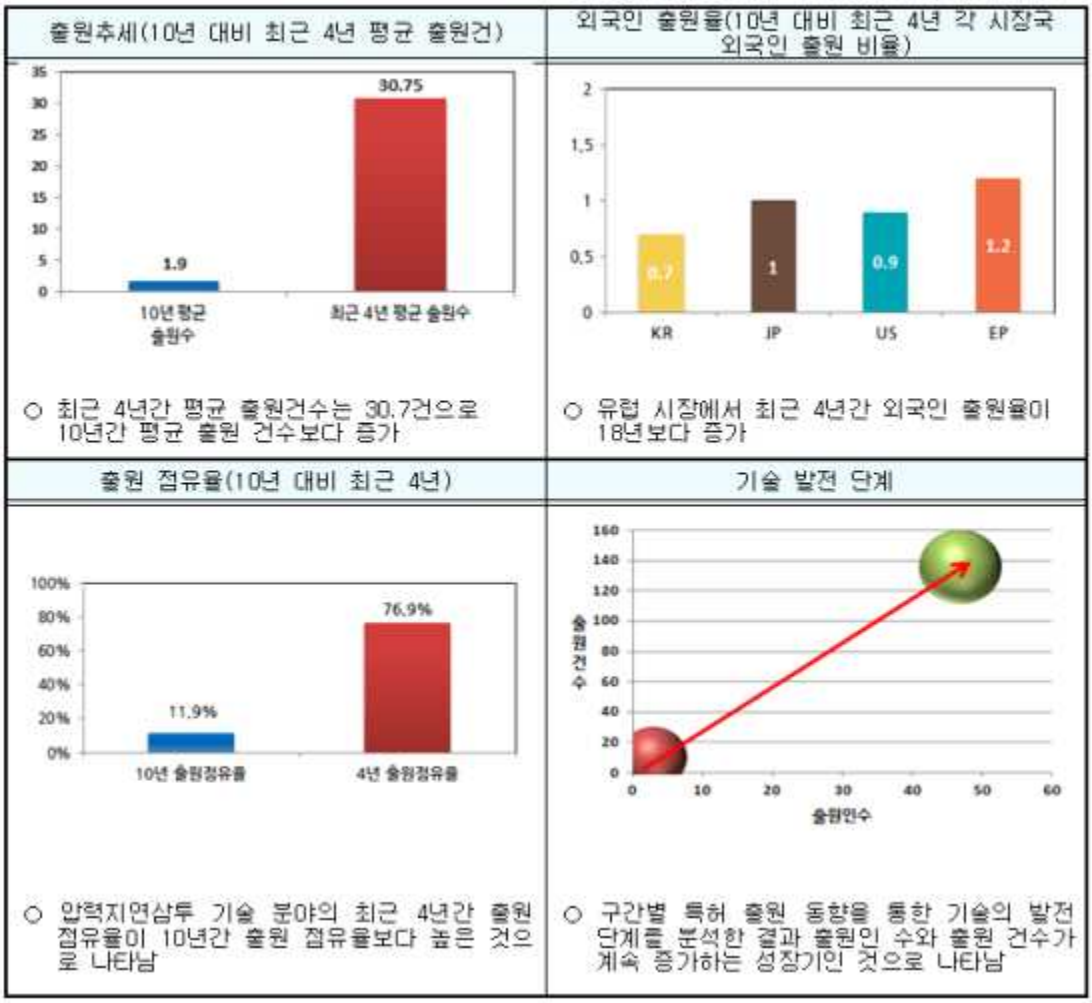


그림 2-47. 압력지연삼투 기술 분야 부상성 평가

다. 막 증발(MD) 기술개발 현황

1) 국가별 특허출원동향

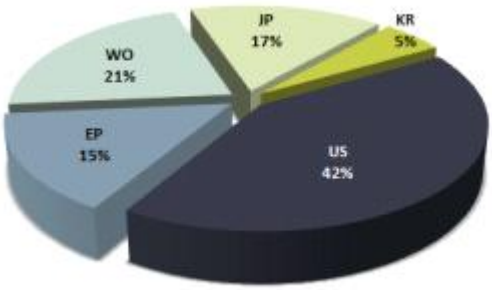


그림 2-48. 국가별 특허 출원건수

□ 전체 국가별 출원 점유율을 살펴보면 미국이 42%(104건)으로 가장 큰 점유율을 차지하고 있으며, 그 다음으로 국제 21%(53건), 일본 17%(41건), 유럽 15%(37건), 한국 5%(13건)의 순으로 나타남 (그림 2-48 참조)

□ 미국은 전체 기술시장의 절반에 가까운 출원 점유율을 차지하고 있어, 미국이 가진 기술 장벽이 높을 것으로 보이며, 특히 상위 출원인이 집중되어 있어 기술경쟁력이 있을 것으로 판단됨

□ 앞서 살펴본 연도별 동향과 접목해 보았을 때, 미국은 막 증발법(MD) 기술 시장규모가 가장 크고, 더불어 현재 성장률도 높은 것으로 판단됨

□ 또한, 미국 다음으로 시장규모가 큰 유럽의 경우에도 TNO(응용과학연구소) 및 막 모듈 개발업체(SCARAB DEVELOPMENT AB)가 상위 출원인에 포함되어 있어 앞으로의 성장률이 증가할 것으로 판단됨

2) 연도별 특허출원동향

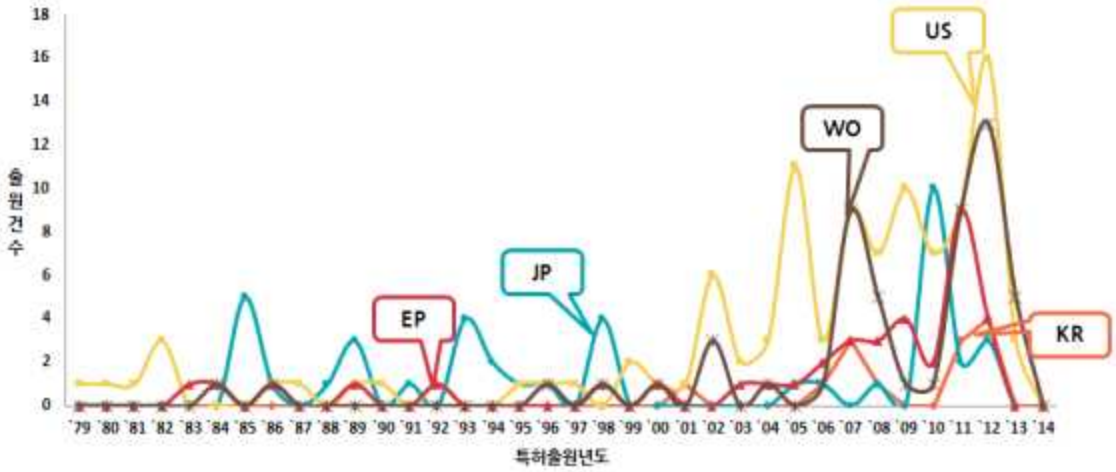


그림 2-49. 국가별-연도별 특허 출원건수

□ 막 증발법(MD) 기술분야에 대한 각국의 연도별 특허동향을 살펴보면, 미국을 포함한 모든 국가가 증감을 반복하면서 출원이 증가하는 것으로 나타남 (그림 2-49 참조)

□ 기술 시장이 가장 큰 미국에서 가장 활발한 출원활동이 이루어지고 있으며, 국제출원건수 또한 미국의 출원경향과 비슷한 출원추세를 나타내는 것으로 보임

□ 일본 및 유럽의 경우 큰 증가세 또는 감소세 없이 꾸준한 출원을 보이다가 2010년 이후 급격한 증가세를 보여 각각 2010년, 2011년에 피크치를 갖는 것으로 나타나고 있음

□ 반면, 한국의 경우 타국에 비해 막 증발법(MD) 기술분야에 관련하여 특허 출원율이 저조한 상태이나 2011년 이후 증가하고 있음

□ 전체적으로 막 증발법(MD) 기술분야의 기술개발 및 출원이 최근 급격히 증가하고 있으며, 이에 따른 각 국가의 시장이 커지고 있음을 알 수 있음

3) 상위출원인 TOP 7

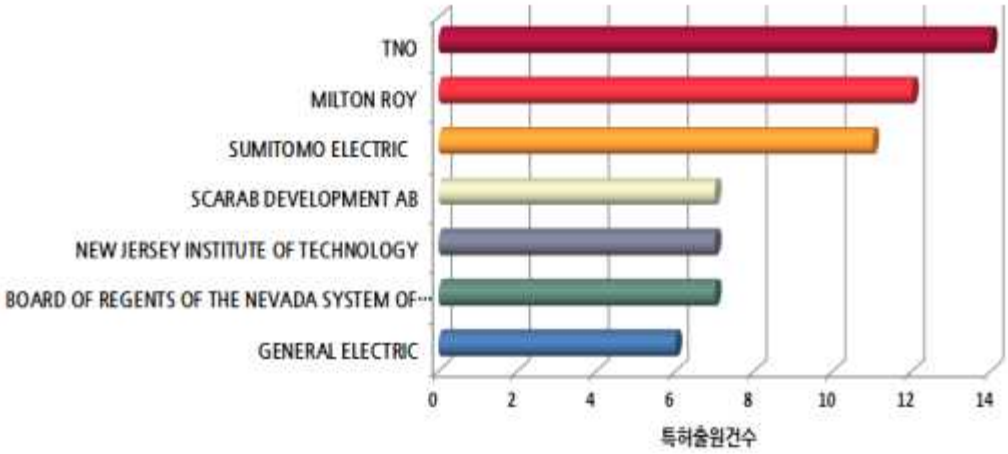


그림 2-50. 막증발법 상위출원인 TOP 7

□ 막 증발 기술분야에서 가장 많은 특허를 출원한 출원인은 네덜란드의 TNO로 총 14건을 출원하였음 (그림 2-50 참조)

□ 네덜란드의 TNO는 응용과학연구소로 막 모듈 개발업체인 Memstill과 함께 막 증발 기술 개발을 진행하는 등의 기술 개발에 따른 영향으로 상위 출원인에 영향을 주었을 것으로 판단됨

□ 그 뒤를 이어 미국의 Milton Roy, 일본의 Sumitomo Electric, 스웨덴의 Scarab Development AB, 미국의 New Jersey Institute of Technology, Board of Regents of the Nevada System of Higher Education(NSHE), GE의 순으로 나타남

□ Sumitomo Electric를 제외한 모든 출원인은 미국 또는 유럽 기업으로 이들 기업이 막 증발법 기술 개발 시장을 주도하고 있는 것으로 보임

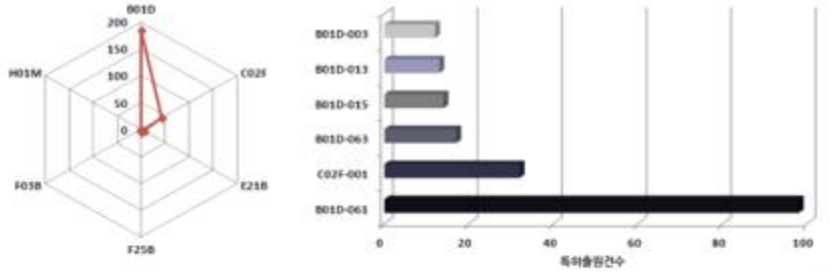
4) 상위출원인 출원 현황

표 2-22. 상위출원인 TOP 7 주요 출원국가 출원비율

분석 항목 / 출원인	출원인 국적	주요 출원국가(건수,%)					총합계
		한국 KIPO	일본 JPO	미국 USPTO	유럽 EPO	국제 PCT	
TNO	NL	2 (14%)	0 (0%)	4 (29%)	5 (36%)	3 (21%)	14
MILTON ROY	US	0 (0%)	0 (0%)	6 (50%)	6 (50%)	0 (0%)	12
SUMITOMO ELECTRIC	JP	0 (0%)	11 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	11
SCARAB DEVELOPMENT	SE	0 (0%)	0 (0%)	1 (15%)	0 (0%)	6 (85%)	7
NEW JERSEY INSTITUTE OF TECHNOLOGY	US	0 (0%)	0 (0%)	7 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	7
NSHE	US	0 (0%)	0 (0%)	1 (15%)	0 (0%)	6 (85%)	7
GENERAL ELECTRIC	US	0 (0%)	0 (0%)	2 (33%)	1 (17%)	3 (50%)	6

□ 상위출원인 모두 자국 출원비율이 높았으며, 상대적으로 해외출원비율이 낮아 대부분 자국 시장을 타겟으로 기술개발을 하고 있음을 알 수 있음 (표 2-22 참조)

5) IPC 분류별 출원 현황



IPC 코드	설명	건수
B01D-061	반투막을 이용하는 분리공정, 예. 투석, 삼투; 또는 한외여과; 특히 그를 위하여 적용되는 장치; 반투막과 그의 제조방법	98
C02F-001	물, 폐수 또는 하수의 처리, 증류 또는 증발에 의한 것(C02F-001/04)	32
B01D-063	반투막을 이용한 분리공정에 일반적으로 사용되는 장치	17
B01D-015	사이즈 선택적 분리, 예.사이즈 배제 크로마토그래피 ; 겔 여과 ; 침투(B01D-015/34)	14
B01D-013	-	13
B01D-003	가스상 매질과 접촉한 액체의 증류 또는 관련된 물질교환 공정	12

그림 2-51. IPC 코드 분류별 출원현황

□ IPC 분류별로 특허 출원현황을 살펴본 결과, 물리적 방법, 화학적 방법 또는 장치 일반(B01D) 기술에 해당하는 분야의 특허 출원이 많이 이루어지는 것으로 나타남 (그림 2-51 참조)

□ 그 중, 반투막을 이용하는 분리공정, 투석, 삼투; 또는 한외여과; 특히 그를 위하여 적용되는 장치; 반투막과 그의 제조방법(B01D-061)과 관련한 기술이 가장 많이 출원됨

6) 기술발전단계

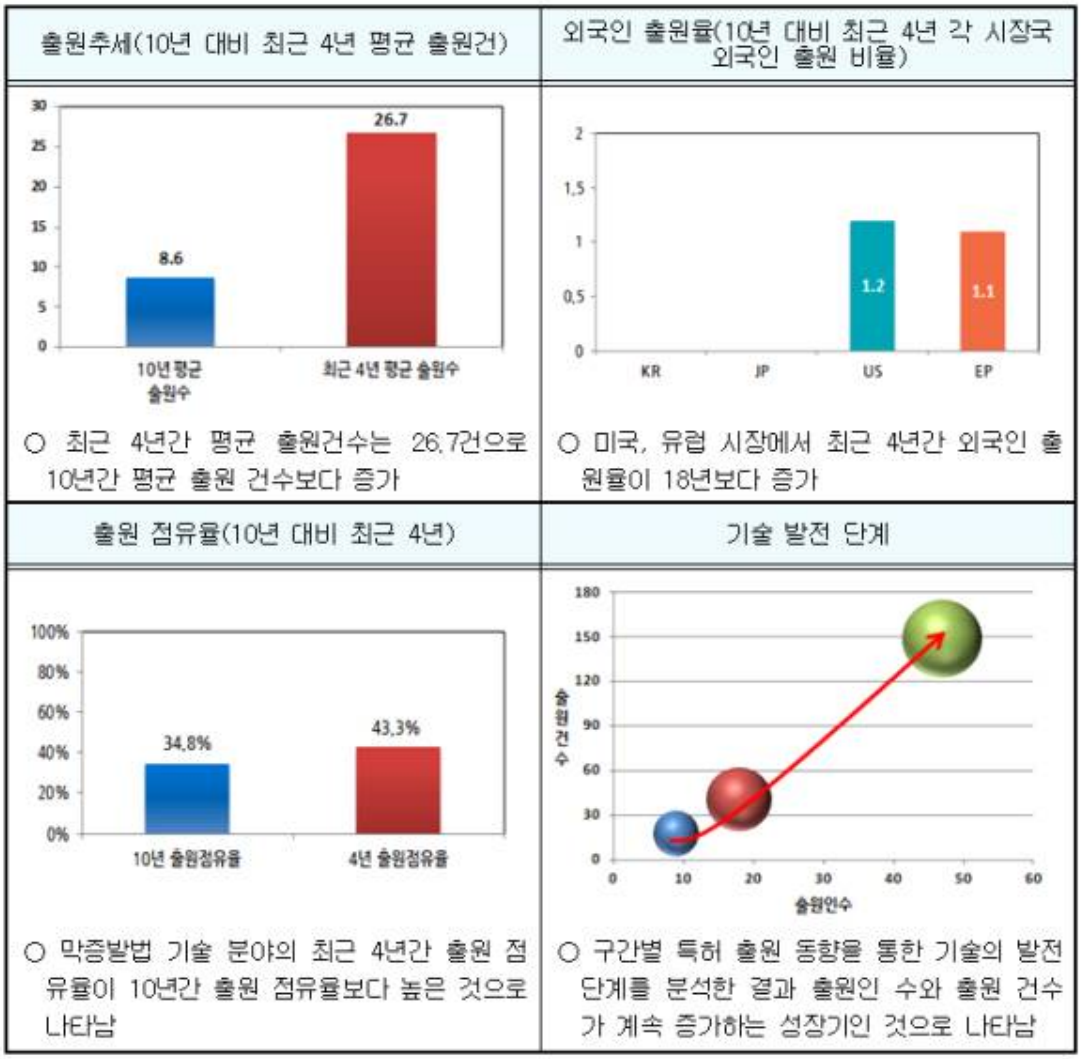


그림 2-52. 막증발법 기술 분야 부상성 평가

□ 최근 4년간의 출원 추세 및 출원 점유율을 살펴볼 때 10년간 출원율보다 모두 증가한 것으로 나타났으며, 이는 막증발법(MD) 기술 분야가 최근 들어 시작되어 급격한 출원 증가로 인한 영향을 받은 것으로 판단됨 (그림 2-52 참조)

□ 10년 대비 최근 4년간 주요 시장국에서 외국인 출원 비율을 살펴본 결과, 한국 및 일본 시장에서 외국인 출원이 없는 것으로 나타나 한국 및 일본의 시장이 크지 않은 것으로 보임

□ 이에 반해 미국 및 유럽 시장에서 외국인 출원 비율이 1 이상으로 기술 시장이 크고, 영향력이 클 것으로 판단됨

□ 또한, 구간별 특허 출원 동향을 통한 기술의 발전 단계를 분석한 결과, 출원인 수와 출원 건수가 계속 증가하는 성장기인 것으로 나타남

6절. 연구개발 인프라 분석

1. 국토교통부 연구단 (GMVP)

가. GMVP 연구단

□ 해수담수화 미래기술인 막 증발법과 압력지연삼투 및 자원회수의 시스템 원천기술을 개발하는 연구단(연구책임자 경남대학교 김승현, 그림 2-53 참조)

□ 2013년 6월부터 2018년 6월까지 5년 동안 수행

○ 1세부 : 한국건설기술연구원 주관으로 MD 시스템 원천기술 개발(농축수 방류량 30% 절감)

- 공동연구기관

  • 에코니티 : 중공사형 MD 전용 막/모듈 개발

  • 한국과학기술연구원 : MD 전처리 기술 개발

  • 한국에너지기술연구원 : MD 에너지 공급(신재생 에너지 포함) 기술 개발

  • 국민대학교 : MD 파일럿 설계 및 제작

  • 한국건설기술연구원 : MD 파일럿 설치 및 운영

○ 2세부 : GS 건설 주관으로 PRO 시스템 원천기술 개발(에너지 소비량 25% 절감)

- 공동연구기관

  • 한국건설기술연구원 : SWRO-PRO 전처리 기술 개발

  • 도레이케미칼 : PRO 전용 막/모듈 개발

  • 한국과학기술연구원 : PRO 전용 에너지 회수장치 개발

  • GS 건설 : SWRO-PRO 파일럿 설계, 구축 및 운영

○ 3세부 : 서울대학교 주관으로 농축수 내 유가자원 회수 기술 개발(300원/톤)

- 공동연구기관

  • 포항산업기술연구원 : Sr 회수 기술 개발

  • 서울대학교 : Li 회수 기술 개발

- 한양대학교 : 전기분해를 이용한 염기 생산 기술 개발
- 애니텍 : 경화체 장치 기술 개발



그림 2-53. GMVP 연구단 구성

나. FOHC 연구단

□ 정삼투와 역삼투 융·복합 공정 실증파일럿 플랜트를 구축하는 연구단(연구책임자 국민대학교 손진식, 그림 2-54 참조)

□ 2014년 12월부터 시작하여 2019년 12월까지 총 5년간 수행 예정임

○ 정삼투-역삼투 융합 공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 : 정삼투-역삼투 융합 공정에서의 작동 메카니즘 규명 및 운영 엔지니어링 고도화기술, 막오염 예측 · 제어기술, 막오염 세척기술, 모니터링 시스템 개발

○ 정삼투-역삼투 융합 공정 엔지니어링 기술 : 정삼투-역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술, 정삼투 융합공정 트레인 설계 기술, 가압형 정삼투-역삼투 융합 공정 설계 · 운영 기술 개발

○ 정삼투-역삼투 융합 공정에서의 전처리기술 개발 : 하수/해수 저에너지 · 고효율의 전처리기술, 브로메이트 최소화를 위한 전극소독설비 개발

○ 정삼투-역삼투 융합 플랜트 성능평가 및 체계화 : 정삼투-역삼투 융합 파일럿 공정 성능평가 및 사업화 기반구축을 위한 전략수립



그림 2-54. FOHC 연구단 구성

다. KORAE 연구단

○ 세계 최대 물시장 중 하나인 중동지역 진출을 염두에 두고 '중동지역 맞춤형 저에너지 해수담수화 플랜트' 관련 기술개발하는 연구단(연구책임자 고려대학교 홍승관, 그림 2-55 참조)

○ 세계 최고수준의 에너지 효율성 (3.3kWh/m^3) 목표

○ 2016년 6월부터 2020년 6월까지 총 4년 동안 수행 예정임

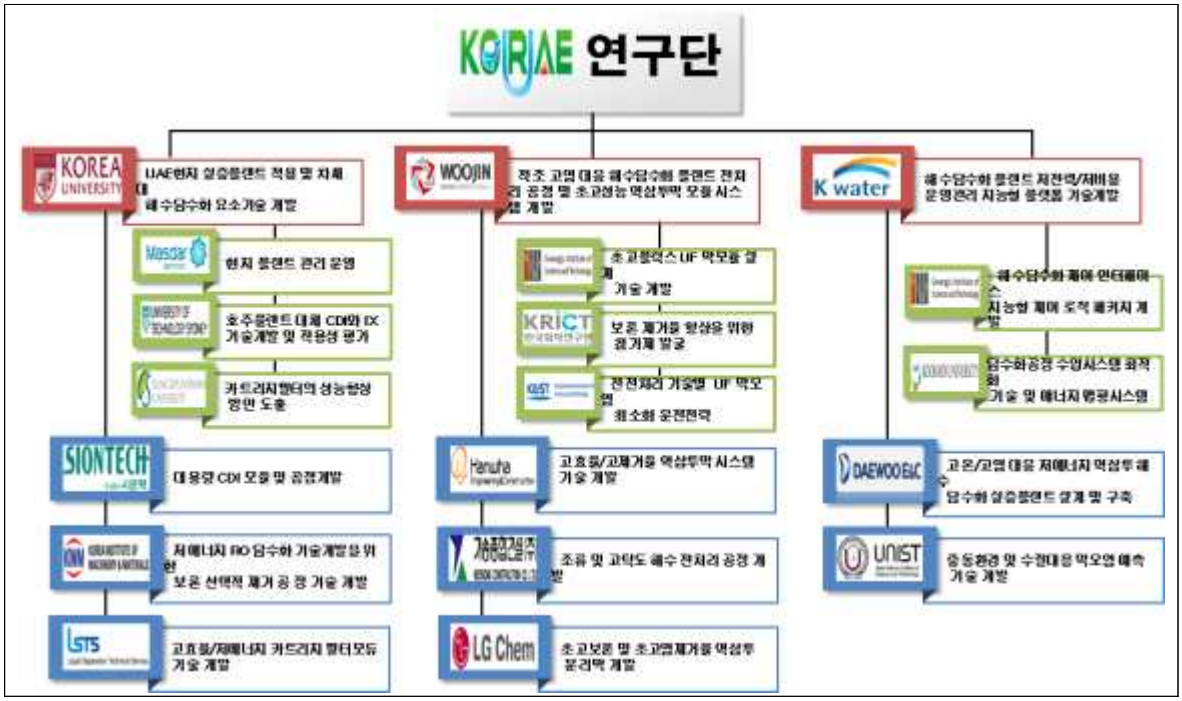


그림 2-53. KORAE 연구단 구성

2. 정부출연연구소

가. 한국건설기술연구원

□ 환경플랜트 연구소에서 해수담수화 관련 연구를 담당하고 있으며, 다음과 같은 시스템을 확보하고 있음

- 세계 최고 수준의 실증실험 연구 인프라 보유
- 해수담수화 원수 및 처리수 수질 평가를 위한 환경정밀분석센터 보유
- 실증규모 플랜트 모니터링 시스템 보유
- 플랜트 자동화 설비 보유
- 해수담수화 분양 국제 공동 연구 기관 보유

□ 호주 CSIRO, 사우디 아라비아 KAUST, 오만 MEDRC, 브루나이 공화국, 이란엔지니어링 협회 등과 MOU 협약 체결

	
<호주 CSIRO와 MOU 체결>	<사우디 KAUST와 MOU 체결>

□ 해수담수화 관련 보유 인프라

① 부산 기장 SWRO 파일럿 플랜트

- SWRO 1,000 m3/일 : 국내 최대규모
- 국내최초 16인치 RO 모듈 평가

② 부산 기장 MD 파일럿 플랜트

- 복합탈염 파일럿 플랜트
- MD 400 m^3/일 : 세계 최대규모
- 국내최초 복합탈염 실증 평가

	
<부산 기장 SWRO 파일럿 플랜트>	<안동 하천실험센터 MD 파일럿 플랜트>

나. 한국과학기술연구원

□ 녹색도시기술연구소 산하에 국내 최대 물자원순환연구단 운영

- 총연구원 약 80 명 (선책임급 연구원 13명)

- 해수담수화 과제 참여 인원 (선책임급 3명) : 경력 10-25년

□ 수행 과제

- 국토부: Seahero 사업단 및 GMVP 연구단 참여 경력

- 환경부: ERL (FO, MD) 기술 개발

다. 한국기계연구원

□ 환경기계연구실에서 수처리 설비와 관련된 연구 진행

□ 주요 담당 분야

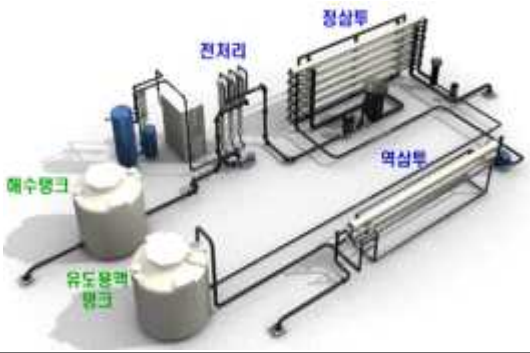
- 해수담수화/ 염도차 발전기술

- RO/FO/PRO 공정 시스템 설계 기술

- 수처리 시스템 설계 기술

- 에너지 변환 및 회수기술

- 세일가스전 발생폐수 재이용 및 생산수 처리 시스템 엔지니어링 기술 개발

	
<정삼투-역삼투 (FO-RO) 적용 해수담수화 플랜트 >	<정삼투-역삼투 (FO-RO) 적용 해수담수화 파일럿 플랜트>

라. 한국화학연구원

□ 그린화학소재 연구본부에서 분리막 연구센터(센터장 남승은 책임)를 운영 중임

□ 주요 과제 : 수자원/신재생 에너지 확보를 위한 분리막 소재 및 공정 개발

- 상·하폐수 처리용(MF/UF) 고분자 및 세라믹 분리막 기술 개발

- 해수담수화용(RO, MD, FO, PRO, RED) 분리막 기술 개발

□ 한국화학연구원에서 보유하고 있는 분리막 요소기술과 소재 기술개발 성과를 향상시키기 위하여 K-water 연구원과 막여과 분야 공동기술개발을 위한 MOU 체결 후 공동연구 수행

□ 이탈리아 Institute on Membrane Technology (ITM)-CNR과의 기술분야 관련 분리막 연구협력을 강화 목적 MOU를 체결

- 연구자 교류 및 국제공동연구 수행

- 한국-이탈리아 분리막 워크숍 개최



<제 10차 한-이탈리아 분리막 워크샵 포스터>



<마르코 델라세타 주한 이탈리아대사 환영사>

3. 해수담수화 관련 센터

○ **(막여과 해수담수화 연구센터)** 비영리 민간단체로 2002년 해수담수화에 대한 기술 교류를 위해 구축, 운영되고 있으며 해수담수화와 막여과 등에 대한 수처리 기술 및 물산업에 대한 정보·자료를 공유 교류하는 사이버연구센터

- 전문가 네트워크 조직 및 활동, 해수담수화 및 막여과 등 수처리 기술 및 물산업 정보·자료 공유

○ **(첨단막 분석 & 공정 연구센터)** 시노펙스와 고려대학교 홍승관 교수팀과 기술협력을 통해 설립되었으며 고려대학교 자연계캠퍼스 산학과에 위치하고 있으며 막 분석 및 막여과 공정에 대한 분석 업무를 서비스

- 표면 전하 분석, 입자 크기 분포 분석, 표면 morphology 분석, 용액 내 유기물 성상 분석, 분리막 재질 정성 분석, 표면 동접촉각 분석, 용액 내 유기물 정량 분석

○ **(해양환경관리공단)** 대한민국 해양수산부 산하 공기업으로 해양환경의 보전·관리·개선 및 해양오염방제 등을 효율적으로 추진함으로써 깨끗하고 풍요로운 해양환경을 조성하여 미래 녹색실현을 기여함을 목적으로 함

- 주요 사업으로 해양환경 보전 및 개선, 해양오염 방제, 해양사업, 교육훈련 및 연구개발, 국제협력 사업 등을 하고 있으며 해양환경 보전을 위해 해양수질 모니터링을 전국연안 417개 정점의 해양환경측정망과 14개소의 해양수질자동측정소와 정기운항 선박을 활용한 Ferry Box시스템을 운영함으로써 실시간으로 수질을 측정

○ **(국립수산과학원 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center))** 1981년 국립수산과학원으로 업무가 이관이 되어 활동을 시작하였으며 IOC/IODE 및 ICSU(국제과학연합위원회)의 산하조직인 책임해양자료센터(지역 및 기능 RNODC) 및 세계해양자료센터(WDC)와 서로 연계되어 있으며, 한국해양과학위원회(KOC) 관련 국내 5개 기관(국립수산과학원, 국립해양조사원, 해양경찰청, 한국해양연구원, 한국지질자원연구원) 등의 국가 해양조사계획(NOP), 해양조사요약보고(CSR/ROSCOP- III), 해양조사자료(IGOSS/ TESAC) 등을 수집하여 국제해양자료교환(IODE) 실무위원회를 통해 해양과학정보의 국제교류 활동 추진

- 주요 사업으로 해양환경 보전 및 개선, 해양오염 방제, 해양사업, 교육훈련 및 연구개발, 국제협력 사업 등

- 해양환경 보전을 위해 해양수질 모니터링을 전국연안 417개 정점의 해양환경측정망과 14개소의 해양수질자동측정소와 정기운항 선박을 활용한 Ferry Box시스템을 운영함으로써 실시간으로 수질을 측정

4. 국내전문가 현황

세부기술	전문가	소속기관	기술개발현황	국적
Membrane 제조	홍성표	도레이케미칼/팀장	Membrane 제조	한국
수처리	김충환	수자원공사/수석연구원	수처리	한국
수처리	김수한	부경대학교/교수	수처리	한국
플랜트 설계	조임현	두산중공업/상무	플랜트 설계	한국
Membrane 제조	신용철	코오롱/부장	Membrane 제조	한국
Pump 제조	임우섭	효성굿스프링스/사장	Pump 제조	한국
RO 엔지니어링	황문현	광주과기원/책임연구원	RO 엔지니어링	한국
플랜트 설계	우성우	두산중공업/부장	플랜트 설계	한국
막 제조	전재홍	코레드/과장	막 제조	한국
막 제조	장문석	에코니티/대표이사	막 제조	한국
MD 기술	김승현	경남대학교/교수	MD 기술	한국
RO-FO 플랜트	김인수	광주과기원/교수	RO-FO 플랜트	한국
막여과/ MBR/Biofouling	이정학	서울대학교/교수	막여과/MBR/Biofouling	한국
막여과/ MBR/Biofouling	최장규	광주과기원/선임연구원	막여과/MBR/Biofouling	한국
정수처리/막여과	최승일	고려대학교/교수	정수처리/막여과	한국
정수처리	이석헌	한국과학기술/책임연구원	정수처리	한국
수처리/막여과	서규태	창원대학교/교수	수처리/막여과	한국
수처리/소독	손진식	국민대학교/교수	수처리/소독	한국
수처리/막여과	홍승관	고려대학교/부교수	수처리/막여과	한국
수처리/막여과	김형수	성균관대/교수	수처리/막여과	한국
수처리/막여과	김한승	명지대학교/교수	수처리/막여과	한국
수처리/막여과	독고석	단국대학교/교수	수처리/막여과	한국
수처리/막여과	이상호	국민대학교/교수	수처리/막여과/나노소재	한국
소독	신기하	㈜유니테크/사장	소독	한국
RO 공정	최준석	한국건설기술연구원/ 수석연구원	RO 공정	한국
막여과/광촉매	추광호	경북대학교/교수	막여과/광촉매	한국
NOM/막여과/습지	조재원	UNIST/교수	NOM/막여과/습지	한국
공정모델링	김준하	GIST/교수	공정모델링	한국
막공정	강석태	KAIST/교수	공정개발	한국
MD/PRO	김승현	경남대학교/교수	공정개발	한국
막공정	손호경	University of Technology Sydney/교수	공정개발	호주
수처리	김영득	한양대학교/교수	공정개발	한국
수처리	이창규	주식회사 알이디 (R.E.D Inc.)/대표	공정개발	한국
수처리	박민수	주식회사 에코니티/팀장	공정개발	한국
수처리	이석헌	한국과학기술연구원(KIST)/ 소장	공정개발	한국
수처리	곽희열	한국에너지기술연구원/책임 연구원	공정개발	한국
수처리	이상호	국민대학교/교수	공정개발	한국
수처리	박태신	지에스건설(주)/담당	공정개발	한국
수처리	강임석	부경대학교/교수	공정개발	한국
수처리	박희등	고려대학교/교수	공정개발	한국
수처리	황태문	한국건설기술연구원/연구위 원	공정개발	한국
수처리	이종화	도레이케미칼 주식회사/팀 장	공정개발	한국

수처리	신유환	한국과학기술연구원(KIST)/책임연구원	공정개발	한국
수처리	윤제용	서울대학교/교수	공정개발	한국
수처리	문정기	포항산업과학연구원/책임연구원	공정개발	한국
수처리	박주양	한양대학교/교수	공정개발	한국
수처리	박병현	㈜애니텍/팀장	공정개발	한국
수처리	김준하	광주과학기술원/교수	공정개발	한국
수처리	김형수	성균관대학교/교수	공정개발	한국
수처리	정종호	주식회사 블루오앤엠(BLUE O&M CO. LTD)	공정개발	한국
수처리	권대영	인제대학교/교수	공정개발	한국
수처리	이창하	울산과학기술원/교수	공정개발	한국
수처리	강신경	포항산업과학연구원/책임연구원	공정개발	한국
수처리	장규만	(주)퓨어엔비텍	공정개발	한국
수처리	손진식	국민대학교/교수	공정개발	한국
수처리	장암	성균관대학교/교수	공정개발	한국
수처리	윤여민	University of South Carolina(USC)	공정개발	한국
수처리	홍승관	고려대학교/교수	공정개발	한국
수처리	강석태	한국과학기술원/교수	공정개발	한국
수처리	최준영	효림산업 ㈜/상무	공정개발	한국
수처리	김수한	부경대학교/교수	공정개발	한국
수처리	김인수	광주과학기술원/교수	공정개발	한국
수처리	강기훈	대림산업 주식회사/팀장	공정개발	한국
수처리	신기하	유니테크 주식회사/대표	공정개발	한국
수처리	조임현	두산중공업	공정개발	한국
수처리	김용수	경기대학교/교수	공정개발	한국
수처리	황문현	고려대학교/연구교수	공정개발	한국
수처리	Hassan Arafat	Masdar Institute of Science and Technology/교수	공정개발	U.A.E.
수처리	김태일	(주) 시온텍/전무	공정개발	한국
수처리	김유창	한국기계연구원/책임연구원	공정개발	한국
수처리	박상광	(주) 엘에스티에스	공정개발	한국
수처리	박지웅	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	김인철	한국화학연구원	공정개발	한국
수처리	박승국	(주)한화건설	공정개발	한국
수처리	김광세	거송종합건설 (주)	공정개발	한국
수처리	박태신	GS건설	공정개발	한국
수처리	신정규	엘지화학	공정개발	한국
수처리	임재림	한국수자원공사	공정개발	한국
수처리	박기호	(주)대우건설	공정개발	한국
수처리	조경화	울산과학기술원	공정개발	한국
수처리	양정석	국민대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	양대륙	고려대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	홍성표	도레이케미칼 주식회사	공정개발	한국
수처리	임우섭	효성굿스프링스 (주)	공정개발	한국
수처리	전갑진	두산중공업	공정개발	한국
수처리	김경진	두산중공업	공정개발	한국
수처리	김종락	(주)팬지아이십일	공정개발	한국
수처리	장경호	중앙대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	김석화	해외건설협회	공정개발	한국

수처리	김한승	명지대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	임혁	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	박경수	안양대학교산학협력단	공정개발	한국
수처리	박기홍	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	탁태문	서울대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	김성현	고려대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	정성호	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	백영진	두산중공업	공정개발	한국
수처리	최중인	가천대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	박창대	한국기계연구원	공정개발	한국
수처리	김건하	한남대학교	공정개발	한국
수처리	김영모	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	홍석원	한국과학기술연구원(KIST)	공정개발	한국
수처리	최재우	한국과학기술연구원(KIST)	공정개발	한국
수처리	김동진	한림대학교	공정개발	한국
수처리	김은식	전남대학교	공정개발	한국
수처리	박용균	GS건설	공정개발	한국
수처리	박찬규	한국산업기술시험원	공정개발	한국
수처리	박찬혁	한국과학기술연구원(KIST)	공정개발	한국
수처리	배성준	건국대학교	공정개발	한국
수처리	배효관	부산대학교	공정개발	한국
수처리	신승구	경남과학기술대학교	공정개발	한국
수처리	이윤호	광주과학기술원	공정개발	한국
수처리	이창하	울산과학기술원	공정개발	한국
수처리	정성필	한국과학기술연구원(KIST)	공정개발	한국
수처리	조강우	포항공과대학교	공정개발	한국
수처리	여인호	GS건설	공정개발	한국
수처리	조경화	울산과학기술원	공정개발	한국
수처리	조민	전북대학교	공정개발	한국
수처리	조시경	동국대학교	공정개발	한국
수처리	조은혜	한국외국어대학교	공정개발	한국
수처리	조진우	세종대학교	공정개발	한국
수처리	최수훈	고려대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	최정권	서울대학교 산학협력단	공정개발	한국
수처리	최정동	한국교통대학교	공정개발	한국
수처리	최태호	한국수자원공사	공정개발	한국
수처리	황명구	금호건설	공정개발	한국
수처리	이원일	GS건설	공정개발	한국

5. 국내 R&D 추진현황

가. 해수담수화 R&D 추진현황

1) 2007년부터 현재까지 다양한 해수담수화 관련 연구가 진행되었음



2) 다양한 해수담수화 분야 연구 추진을 통해 물적·인적 인프라 축적

3) 해수담수화 연구추진을 위한 파일럿 플랜트 시설 (10~1,000 m^3/day) 구축

7절. 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

1. 유사 중복성 검토 및 기존 연구와의 차별성

가. PRO 연구과제

□ 국내에서 파일럿 규모의 PRO 연구를 수행한 연구그룹은 Global MVP(GMVP) 연구단이 유일하므로, GMVP 연구단이 수행한 1세대 PRO 과제를 이번 기획과제를 통하여 도출하고자 하는 2세대 PRO 과제와 비교함 (표 2-23 참조)

□ PRO 시스템 연구의 핵심 기술은 “시스템 원천기술”과 “PRO 전용 막/모듈”인데, GMVP 연구단이 선행 연구를 통해서 SWRO-PRO 시스템 원천기술을 확보하고 8인치 PRO 전용 막/모듈을 개발함

○ 이와 유사한 기술을 확보한 기관은 전 세계에서 일본 메가톤 연구그룹과 노르웨이 Statkraft가 유일하고, 현재 싱가포르의 PUB가 PRO 시스템 원천기술을 확보하기 위한 연구과제를 계획 중

○ 일본의 Toyobo는 메가톤 연구과제를 통해서 중공사형 PRO 전용 막/모듈을 개발하였으며, Statkraft는 프로토타입 파일럿 플랜트에 Hydraunatics 나권형 모듈을 사용

□ 비록 SWRO-PRO 공정이 많은 장점을 보유하고 있으나, 아직 시장에서 검증되지 않은 기술이기 때문에 상용화를 위해서는 트레인 규모의 테스트베드 실증이 반드시 필요함

○ 1세대와 2세대 PRO 연구과제의 가장 큰 차이는 “상용화”임(표 15 참조)

- 상용화를 위해서는 테스트베드 실증과 함께 운영기술의 확보 그리고 SWRO-PRO 시스템 기술의 고도화가 필요함

- 그러므로, 2세대 PRO 연구과제는 트레인 규모의 실증 테스트베드(TB)를 세계 최초로 구축하고 운전하여 SWRO-PRO 플랜트의 설계, 구축, 및 운영기술을 확보하고 검증하는 것이 목표

- SWRO-PRO 실증 테스트베드는 향후 사업화 실적이 됨

○ SWRO-PRO 시스템 기술의 고도화의 목표는 에너지 소비량 절감과 막/모듈의 성능개선이고, 이러한 목표 달성을 통하여 PRO 시설투자비를 15년에서 10년으로 앞당길 수 있을 것으로 전망

- 해수담수화 플랜트 에너지 소비량 2.8 KWh/m^3

- PRO 전용 막/모듈 전력밀도 10 W/m^2

표 2-23. PRO 연구의 차별성

구분	1세대 PRO 과제	2세대 PRO 과제
과제	· PRO를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지회수 기술 개발	· 담수화 농축수 영향저감을 위한 SWRO-PRO 플랜트 실증화 기술개발
개요	· SWRO-PRO 파일럿 플랜트 구축	· SWRO-PRO 실증플랜트 구축 및 운영기술 확보
목표	· SWRO-PRO 파일럿 플랜트 구축 (240 m^3/일) 및 시스템 원천기술 개발 · 농축수 염농도 증가율(약 160%) · 농축수 염도차 에너지 회수기술 개발(에너지 회수량, 0.5 KWh/m^3)	· SWRO-PRO 실증플랜트 구축 (1 MIGD급 규모) 및 운영기술 확보 · 농축수 염농도 증가율 (110% 이하) · 농축수 염도차 에너지 회수기술 고도화 (에너지 회수량, 0.8 KWh/m^3 이상)
PRO 막 모듈	· 8인치 PRO 막모듈 개발 (전력밀도 7.5 W/m^2)	· 10인치 이상 PRO 막모듈 개발 (전력밀도 10 W/m^2 이상)
비고	· TRL 5~7단계 (SWRO-PRO 파일럿 구축 및 시스템 원천기술 확보)	· TRL 7~9단계 (SWRO-PRO 공정 현장 적용 및 사업화)

□ GMVP 연구단에서 수행한 PRO 과제 이외 국내에서 수행되었거나 수행중인 연구과제 현황은 다음과 같음 (표 2-24 참조)

표 2-24. PRO 관련 국내연구현황

과제명	기간	사업명	수행기관	연구목표 및 내용
고효율 생물막 저해제를 이용한 압력지연삼투 공정의 바이오파울링 저감 기술 개발	2010-2014	교육부 / 이공학학술연구기반구축	고려대학교	• 생물막 저해제를 이용하여 압력지연삼투 공정의 바이오파울링을 효과적으로 저감하기 위한 공학적 솔루션을 제공하는 목적 • 압력지연삼투 공정의 유입수 내에 바이오파울링 오염유발 물질규명 및 생물막 저해제 후보물질 선정, • 생물막 저해제들의 바이오파울링 제어 효과 평가 및 조합 생물막 저해제의 시너지 효과 평가 • 압력지연삼투 모듈에 직접 주입 가능한 고효율의 조합 생물막 저해제 운영 프로토콜 평가
지지체-프리 계면중합법을 이용한 복합분리막 개발	2014-2017	미래창조과학부 / 신진연구자지원	고려대학교	• 지지체-프리 계면중합법을 기반으로 하는 새로운 복합분리막 제조기술 개발 • 기존의 계면중합법으로는 구현이 어려웠던 선택층과 지지체 구조의 독립적 제어 및 조합을 통해서 다양한 구조와 물성사양(성능과 내구성)을 갖는 복합분리막을 개발하는 것이 목적 • 개발된 분리막을 수자원 생산용 역삼투/정삼투 분리막 및 신재생에너지 생산용 압력지연삼투 분리막으로 응용
해수담수용 하이브리드 비공극 고분자 박막 소재개발	2012-2015	미래창조과학부 / 중견연구자지원	광주과학기술원	• 해수담수용 나노복합 초박형 고분자박막 소재 개발 및 해수담수화 연계공정 개발 • 나노복합 초박형 고분자박막의 표면 개질 및 특성변화와 나노소재가 접목된 나노복합 초박형 고분자박막 소재개발 그리고 나노복합 초박형 고분자박막 소재 기반 해수담수화 연계공정 개발하는 것을 목적으로 함

식물공장의 액상비료 및 에너지 생산을 위한 FD-PRO 해수담수화 융합공정 연구	2014	한국생산기술연구원 연구운영비지원	한국생산기술연구원	• 기존 물생산 위주의 중동지역 해수담수화 시장에서, 식량안보를 동시에 해결할 수 있는 해수담수화 기술로 부상 가능 • 사우디아라비아 등 오일 경제 위주의 국가에서 본 기술을 국가적 R&D 및 실용화 과제로의 적용 가능성을 확인하고 PRO(고품질 액상비료 및 에너지생산), 식물공장과 연계한 응용공정 기술의 조기 특허출원 및 등록으로 원천 및 응용기술을 확보
에너지 하베스팅용 고분자 분리막 원천소재 기술 개발	2012-2017	나노·소재기술개발	한양대학교	• 전 세계적 이슈인 기상 이변과 그 원인이 되는 온실가스 및 화석 연료의 고갈 등의 문제 해결을 위하여 버려지는 에너지를 회수하여 신규 에너지원으로 사용함으로써 기후변화 및 에너지 위기에 대응하고자 함 • 이를 위하여 본 과제에서는 해수/담수 처리 과정에서 버려지는 에너지를 회수하여 에너지를 생산하기 위한 나노 다공성 및 나노 이온전달 채널을 갖는 신규 고분자 분리막 원천소재를 개발
막여과 기반 Watergy 시스템의 스케일업 기술	2011-2014	신진연구지원사업(연구장비지원)	부경대학교	• 효율적인 담수 생산 및 에너지 생산을 위한 역삼투, 정삼투, 압력지연삼투 등의 막여과 단위기술 및 그 조합기술(이를 막여과 기반 Watergy 시스템이라 정의)을 실제 규모로 스케일업하기 위한 기술적 고려사항을 연구실 규모 실험과 수학적 모델링을 통해 도출 • 막여과 기반 Watergy 시스템의 실제 현장 적용 가능성과 현재 기술의 한계점, 한계 극복을 위한 단위기술(막재료 개발 등) 발전 방향을 도출
정삼투 분리막 및 모듈 개발	2010-2014	Eco-Ener플랜트경쟁력확보사업(지식경제부	웅진케미칼(주)	• 정삼투 분리막 및 모듈 개발을 목표로 FO 막 및 모듈 기술 개발을 통한 최적화된 FO 막 및 다양한 구조를 가진 나권형 및 관형모듈의 성능평가 및 파일럿 실증평가

삼투압을 이용한 발전시스템 개발	2009-2014	Eco-Ener플랜트경쟁력확보사업(지식경제부	(주)금성이앤씨	• 에너지 생산을 위한 차세대 기술인 바닷물과 강물의 “염도차를 이용하는 삼투압발전 기술”을 개발하기 위하여 중요한 핵심 요소기술인 발전용 터빈 등을 개발

나. MCr 연구과제

□ 국내에서 파일럿 규모의 MD 연구를 수행한 연구그룹은 GMVP 연구단이 유일하므로, GMVP 연구단이 수행한 1세대 MD 과제를 2세대 MD 과제(중동지역 맞춤형 MD 현장적용), 그리고 이번 기획과제를 통하여 도출하고자 하는 MCr 연구과제와 비교함 (표 2-25 참조)

표 2-25. 기존 기술과의 차별성

구분	MD		MCr
	1세대	2세대	
과제	Global MVP 연구단	중동지역 맞춤형 MD 현장적용 과제	MCr 기술 개발
개요	• MD 전용 중공사 막모듈 국산화 • MD 파일럿 플랜트 설계 기술개발	• MD 공정 최적화 • 상용화를 위한 해외 현장 기술 검증	• 해수담수화 발생 농축수의 고도 농축을 위한 MCr 공정 및 자원화 기술 개발
목표	• 해수담수화(SWRO) 플랜트 농축수 30% 절감 • MD 막모듈 성능 평가 및 MD 실증파일럿 구축	• 상용화를 위한 고집적, 저에너지 MD 제작기술 확보 • 중동지역 기술 검증 • MD 전용 막모듈 최적화	• 농축수 60% 이상 절감 • MCr 설계, 제작 및 운전 기술 확보 • 염분 주요 성분 (Mg, Na 등) 50% 회수
모듈	• 1세대 MD 모듈 개발 (모듈당 막면적 10 m^2) • 중공사 • 가압식	• 2세대 MD 모듈 개발 (모듈당 막면적 20 m^2) • 중공사 또는 평막 • 가압식	• MCr 전용 모듈 개발 • 중공사 또는 평막 • 가압식 또는 침지식
공정	• 1단 MD 공정	• 2단 이상 MD 공정	• 2단 이상 MCr 공정
비고	• TRL 6단계 (MD 설계 기술 확보) • 세계 최초 중공사 MD 모듈 개발	• TRL 7~8단계 (MD 기술 검증) • 사우디아라비아 발주처(SWCC)와의 공동연구 추진	• TRL 6단계 (MCr 설계 기술 확보) • 자원화 및 저탄소 배출 기술 개발

□ 상기 1, 2세대 MD 과제를 제외한 국내에서 수행된 MD 관련 기존 연구는 대부분 실험실 규모의 원천기술 개발이 대부분임(표 2-26 참조)

표 2-26. MD 관련 기존 국내연구 현황

과제명	기간	사업명	수행 기관	연구목표 및 내용
분산형 용수공급을 위한 다층박막광흡수발열소재 이용 막증류 정수처리 기술 개발	2016-2019	국토교통기술촉진연구(국토교통부)	한국과학기술연구원(KIST)	• 열흡수율이 높은 새로운 광흡수발열소재인 다층박막광흡수발열소재를 적용하여 태양광을 열로 전환하여 막증류(MD)를 위한 열원으로 사용하는 융합형 막증류 정수기술을 개발하는 것으로 프로토타입 막증류 장치의 현장 성능평가를 통하여 적용가능성 확보 • 다양한 원수(지표수, 지하수 등)에 적용 가능한 고효율의 막증류용 모듈을 설계하고 이를 통하여 0.5 m3/일 규모의 프로토타입 막증류 정수처리 시스템에 적용가능한 프로토타입 막증류 장치(플럭스: T=50℃에서 5LMH)를 개발 • 다층박막광흡수발열소재 기술을 이용하여 태양열 집열 성능을 향상시키고 막증류 공정에 적합하도록 고안한 태양에너지 흡수체를 개발하고 이를 이용하여 프로토타입 막증류 정수처리 시스템에 적합한 막증류용 고성능 태양에너지 집열기(흡수파장 영역대: 0.2-3㎛, 흡수도: 90% 이상, 온도: 집광 시 80℃ 이상)를 개발 • 최종적으로 개발된 막증류용 고성능 태양에너지 집열기 기술 및 프로토타입 막증류 스텍을 결합하여, 1 m3/일 규모의의 프로토타입 다층박막광흡수발열소재 이용 막증류 정수처리 시스템의 파일럿 플랜트를 제작하고 실제 환경에서 운전, 성능 평가를 통한 실용화 가능성을 검증

해양선박용 삼투에너지 구동 담수화 시스템 개발	2013-2015	미래해양산업기술개발(해수부)	한국건설기술연구원	• 폐열활용 가능 해양선박용 전용의 담수화 패키지 실용화 • 정량적 목표: 소비전력 < 4 kWh/㎥, 보론 농도 < 1.0 ㎎/L, 염 농도 < 500 ㎎/L - 실 모듈 타입의 폐열 활용 가능 담수화장치 설계 및 제작 • 평판형 FO, MD 담수화 장치를 통한 운전조건 최적화 도출 - FO+MD 결합시스템 구축 및 24시간 이상 연속데이타 DB 확보 - 막오염 및 막젖음 현상 제어 • 선박담수화 장치 최적화 및 스케일업을 위한 모델링해석 • 막증류 전용 국산 모듈 개발 - FO+MD 결합시스템 및 MD 단독시스템 경제성 분석
삼투/증류 막 기반 하폐수 고도처리 원천 기술 개발	2011-2016	환경정책기반공공기술개발(환경부)	한국과학기술연구원	• 분리, 흡착, 산화 처리 공정을 구현하기 위한 다양한 처리 기술에서 정상투, 막증류 (분리); 나노물질 기반 흡착(흡착); 광기반 고도산화 공정 (산화) 운전 메커니즘의 이해와 나노기반 공정 소재 개발을 통해 기술 원천성 확보 및 환경산업에 광범위하게 활용될 수준의 선도 기술 개발 • 현행 기술의 한계성 보완 및 처리 효율의 시너지적 상승을 달성할 수 있도록 원천 기술 개발
수처리용 막증발(MD)시스템의 성능평가방법 및 모듈 표준화 연구	2014-2018	산업기술표준화및인증지원(산업통상자원부)	한국산업기술시험원	• 1차 성능평가(안) 작성 - 용어 정의 및 개념 정의 • 시험평가 방법 및 평가인자 등 국제표준화 현황분석 및 향후 전망 파악 • ISO/TC 224 등 자료수집 및 현황분석(2015.04.1.13~17, 체코) • ISO/TC 활동 및 멤버등록 막 증발 모듈 시험평가 사례수집 네트워크 구성 및 포럼 개최 MD 시험평가 인자 도출 • 연구실 규모의 시험 평가장치 구성 (DCMD, VMD) • 막 증발법 시험평가 인자 선정 (여과성능, 염화나트륨 제거성능, 내압성 등) • 기본 운전온도 설정

고품질 담수생산을 위한 그래핀 MD 핵심기술 개발	2013-2016	중견연구자지원(미래창조과학부)	울산과학기술대학교	• 고품질 담수생산을 위한 그래핀 MD 핵심기술 개발 • 초고도 소수성과 우수한 기계적 강도를 갖는 대면적 다공성 그래핀 형성법을 확보하고 이를 고강도 박판형 고분자막에 결합한 그래핀 응용 MD용 분리막을 개발 • 확산이용형성법(DAS) 혹은 RTA법을 이용한 초고도 소수성 및 고강도를 갖는 대면적 그래핀막 획득 • 분자동력학 모사를 이용한 최적 그래핀 공극 형성 조건 확보 및 에칭기술 등을 이용한 그래핀 공극 제조 기술 확보 • MD용 대면적 그래핀 응용막 특성평가 기술개발 • 그래핀 MD막 기반의 VMD 시스템 평가 및 에너지 효율 극대화 운전방안 제시
초순수 생산을 위한 MD-CDI 하이브리드 공정 개발	2014-2017	개인연구지원(미래창조과학부)	한양대학교(ERICA 캠퍼스)	• 해수로부터 초순수를 생산하는 기존 RO-EDI(reverse osmosis and electrodeionization) 복합공정의 한계 극복기술의 기술선점을 위한 MD-CDI(membrane distillation and capacitive deionization) 복합공정의 개발 • 기존 RO-EDI 복합공정은 높은 에너지 소비, 낮은 회수율, 보론 제거, 농축수 처리의 문제점을 가지고 있지만, 본 연구에서 제안한 MD-CDI 복합공정은 낮은 에너지 소비, 높은 회수율, 높은 불순물 제거율, 농축수의 친환경적인 처리의 장점을 가지고 있기 때문에 기 개발된 RO-EDI 복합공정이 가진 단점을 보완 및 향상 • 공정성능 평가를 위해 실험실 규모의 MD-CDI 복합공정을 개발하고 다양한 운전조건에서 실험을 수행하고, 이를 통해 얻은 실험결과를 이용해서 해석모델을 개발 • 개발한 해석모델은 대용량 초순수 생산을 위한 MD-CDI 복합공정 플랜트의 설계 자료로 활용

□ MD 시스템 연구의 핵심 기술은 “시스템 원천기술”과 “MD 전용 막/모듈” 인데, GMVP 연구단이 선행 연구를 통해서 SWRO-MD 시스템 원천기술을 확보하고 중공사형 MD 전용 막/모듈을 개발함

○ 세계적으로 이와 유사한 기술을 확보한 기관은 유럽의 Aquastill, Memsys, SolarSprings가 유일함

○ 이들은 모두 평막 기반의 시스템을 보유하고 있으며, 중공사형 기반의 MD 시스템은 GMVP 연구단이 유일함

□ 기획과제의 대상인 MCr 기술은 해수나 농축수에 함유된 유가자원을 회수할 수 있는 기술로, 해수담수화 플랜트의 고부가가치화를 목표로 함

□ MCr 주제의 실험실 규모의 연구는 일부 있으나, 시스템 연구는 전혀 없는 실정

○ MCr 공정은 MD 공정에 결정 석출과 회수 장치를 포함하기 때문에 MD의 시스템 원천기술을 확보한 연구진이 MCr 기술 개발에 유리한 입장

○ 담수 생산과 유가자원 회수를 목적으로 하는 MCr은 담수 생산만을 목적으로 하는 MD 보다 높은 회수율로 운전됨

○ 농축수의 유가자원은 자원회수의 경제적 타당성이 높은 자원을 대상으로 선정(그림 56 참조)

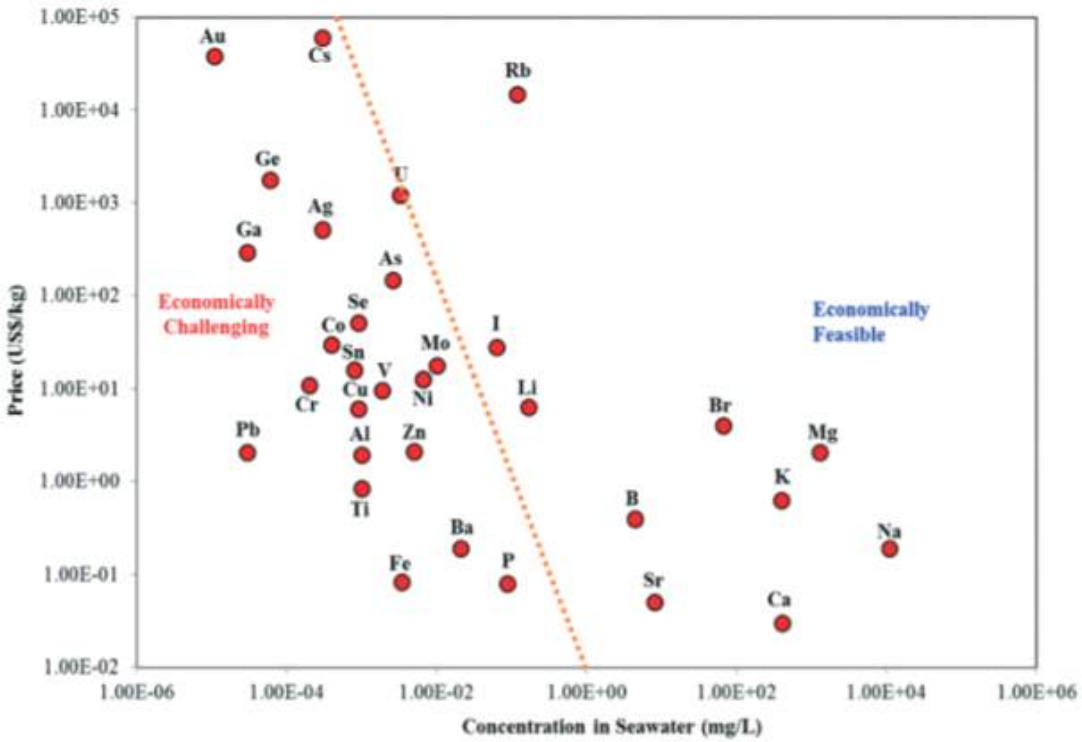


그림 2-54. 농도와 가격으로 평가한 해수 내 자원회수의 경제적 타당성 평가

8절. 종합 분석

1. 종합 시사점

국내외 정책동향 분석, 국내외 시장현황 및 전망, 국내외 기술동향 분석, 특허 및 논문 분석, 연구 인프라 분석을 통해서 PRO 연구과제와 MCr 연구과제의 종합 시사점을 다음과 같이 도출함

가. PRO 연구과제

□ 국내외 물부족 해결을 위한 담수화 기술의 정책적 중요성 높음

□ 전 세계적으로 담수화 플랜트 시장은 지속적인 성장이 전망됨

□ 중동 외 남미, 아시아, 아프리카 지역 등 담수화 신시장 성장 가능성 높음

□ 플랜트 기자재 국산화를 통해서 국내 신규 고용창출 효과를 기대할 수 있음

□ 국내 중소중견기업의 담수화 시장 참여 기회는 제한적임

□ 담수화 플랜트 농축수의 해양 환경오염 우려가 높아지고 있음

□ 기존 담수화 기술의 경우 선진국 글로벌 기업과의 경쟁이 심화됨

□ 기존 역삼투 기반 담수화 기술로 달성할 수 있는 에너지 절감의 한계 노출

□ 저에너지 담수화 기술에 대해서 다양항 연구개발이 진행 중임

□ 담수화 플랜트 농축수 영향 저감가 관련한 기존 기술의 효과는 제한적임

□ 농축수로부터 에너지를 회수하는 PRO 기술은 실용화 초기 단계임

□ 실증 초기 단계인 국내 PRO 기술은 해외 대비 경쟁력 보유함

□ 신기술의 시장 진입을 위해서는 일정 규모 이상의 실적과 경험이 필수적임

□ PRO 기술은 실증연구 적용사례가 부족함

나. MCr 연구과제

□ 국내외 물부족 해결을 위한 담수화 기술의 정책적 중요성 높음

□ 전 세계적으로 담수화 플랜트 시장은 지속적인 성장이 전망됨

□ 중동 외 남미, 아시아, 아프리카 지역 등 담수화 신시장 성장 가능성 높음

□ 플랜트 기자재 국산화를 통해서 국내 신규 고용창출 효과를 기대할 수 있음

□ 국내 중소중견기업의 담수화 시장 참여 기회는 제한적임

□ 담수화 플랜트 농축수의 해양 환경오염 우려가 높아지고 있음

□ 기존 담수화 기술의 경우 선진국 글로벌 기업과의 경쟁이 심화됨

□ 담수화 플랜트 농축수 영향 저감과 관련한 기존 기술의 효과는 제한적임

□ 해수내 유가자원 회수기술 개발이 진행 중임

□ 농축수로부터 유가자원을 회수하는 MD/MCr 기술은 아직 초기 단계임

□ 국내 MD 기술은 해외 대비 경쟁력 보유함

□ 신기술의 시장 진입을 위해서는 일정 규모 이상의 실적과 경험이 필수적임

□ MD/MCr 기술은 실증연구 적용사례가 부족함

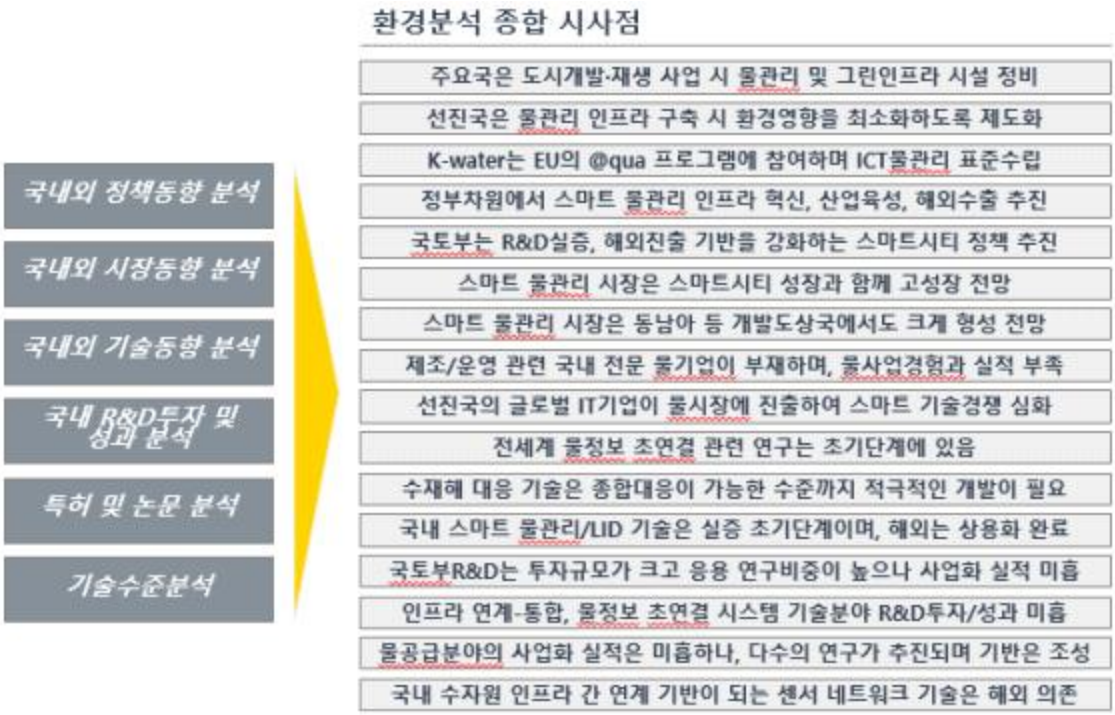
다. 환경분석 종합 시사점

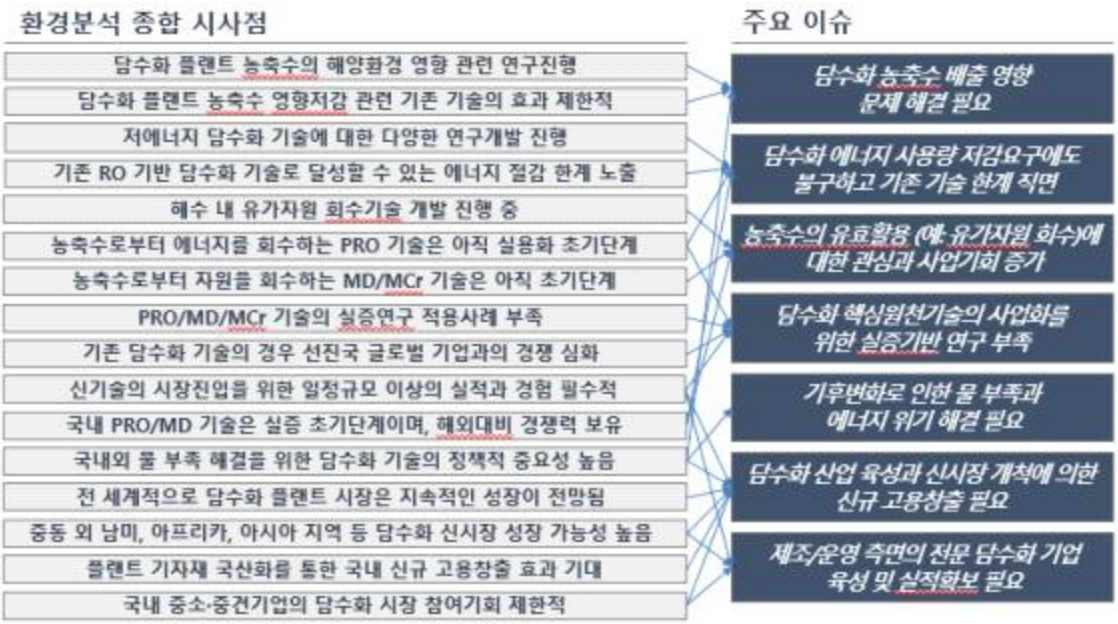
○ 해수담수화 농축수 발생 규제 가능성의 증가로 인하여 새로운 농축수 저감 기술에 대한 수요 증가

○ 농축수 저감 기술을 바탕으로 고효율 파일럿 플랜트 구축 기술 및 친환경 플랜트 운영 기술 개발을 통한 물기업 해외 진출 확대

○ 저에너지 담수화 플랜트를 통하여 농축수 영향을 저감하고, 유가자원을 회수하여 핵심 요소기술의 실증화를 증명함으로써 해외 신시장 개척 및 선점

○ 물 공급 분야의 설계, 구축, 운영 및 핵심 기술을 통합 관리하여 기술 고도화를 증명하고, 비즈니스 모델을 개발하여 제시함으로써 글로벌 기술경쟁력 강화


국내외 정책동향 분석
국내외 시장동향 분석
국내외 기술동향 분석
국내 R&D투자 및 성과 분석
특허 및 논문 분석
기술수준분석
환경분석 종합 시사점
주요국은 도시개발·재생 사업 시 물관리 및 그린인프라 시설 정비
선진국은 물관리 인프라 구축 시 환경영향을 최소화하도록 제도화
K-water는 EU의 @qua 프로그램에 참여하며 ICT물관리 표준수립
정부차원에서 스마트 물관리 인프라 혁신, 산업육성, 해외수출 추진
국토부는 R&D실증, 해외진출 기반을 강화하는 스마트시티 정책 추진
스마트 물관리 시장은 스마트시티 성장과 함께 고성장 전망
스마트 물관리 시장은 동남아 등 개발도상국에서도 크게 형성 전망
제조/운영 관련 국내 전문 물기업이 부재하며, 물사업경험과 실적 부족
선진국의 글로벌 IT기업이 물시장에 진출하여 스마트 기술경쟁 심화
전세계 물정보 초연결 관련 연구는 초기단계에 있음
수재해 대응 기술은 종합대응이 가능한 수준까지 적극적인 개발이 필요
국내 스마트 물관리/LID 기술은 실증 초기단계이며, 해외는 상용화 완료
국토부R&D는 투자규모가 크고 응용 연구비중이 높으나 사업화 실적 미흡
인프라 연계-통합, 물정보 초연결 시스템 기술분야 R&D투자/성과 미흡
물공급분야의 사업화 실적은 미흡하나, 다수의 연구가 추진되며 기반은 조성
국내 수자원 인프라 간 연계 기반이 되는 센서 네트워크 기술은 해외 의존


환경분석 종합 시사점
담수화 플랜트 농축수의 해양환경 영향 관련 연구진행
담수화 플랜트 농축수 영향저감 관련 기존 기술의 효과 제한적
저에너지 담수화 기술에 대한 다양한 연구개발 진행
기존 RO 기반 담수화 기술로 달성할 수 있는 에너지 절감 한계 노출
해수 내 유가자원 회수기술 개발 진행 중
농축수로부터 에너지를 회수하는 PRO 기술은 아직 실용화 초기단계
농축수로부터 자원을 회수하는 MD/MCr 기술은 아직 초기단계
PRO/MD/MCr 기술의 실증연구 적용사례 부족
기존 담수화 기술의 경우 선진국 글로벌 기업과의 경쟁 심화
신기술의 시장진입을 위한 일정규모 이상의 실적과 경험 필수적
국내 PRO/MD 기술은 실증 초기단계이며, 해외대비 경쟁력 보유
국내외 물 부족 해결을 위한 담수화 기술의 정책적 중요성 높음
전 세계적으로 담수화 플랜트 시장은 지속적인 성장이 전망됨
중동 외 남미, 아프리카, 아시아 지역 등 담수화 신시장 성장 가능성 높음
플랜트 기자재 국산화를 통한 국내 신규 고용창출 효과 기대
국내 중소·중견기업의 담수화 시장 참여기회 제한적
주요 이슈
담수화 농축수 배출 영향 문제 해결 필요
담수화 에너지 사용량 저감요구에도 불구하고 기존 기술 한계 직면
농축수의 유효활용 (예: 유가자원 회수)에 대한 관심과 사업기회 증가
담수화 핵심원천기술의 사업화를 위한 실증기반 연구 부족
기후변화로 인한 물 부족과 에너지 위기 해결 필요
담수화 산업 육성과 신시장 개척에 의한 신규 고용창출 필요
제조/운영 측면의 전문 담수화 기업 육성 및 실적확보 필요

2. 이슈

종합 시사점의 분석을 통하여 PRO 연구과제와 MCr 연구과제의 주요 이슈를 다음과 같이 도출함

가. PRO 연구과제

□ 기후변화로 인한 물 부족과 에너지 위기 해결이 필요함

□ 담수화 농축수 배출 영향 문제의 해결이 필요함

□ 담수화 에너지 사용량 저감 요구에도 불구하고 기존 기술은 한계에 직면함

□ 담수화 핵심 원천기술의 사업화를 위한 실증 기반 연구가 부족함

□ 담수화 산업 육성과 신시장 개척에 의한 신규 고용 창출이 필요함

□ 제조/운영 측면의 전문 담수화 기업 육성 및 실적 확보가 필요

나. MCr 연구과제

□ 기후변화로 인한 물 부족과 에너지 위기 해결이 필요함

□ 담수화 농축수 배출 영향 문제의 해결이 필요함

□ 농축수로부터의 유가자원 회수와 같은 농축수의 유효 활용에 대한 관심과 사업기회가 증가함

□ 담수화 핵심 원천기술의 사업화를 위한 실증 기반 연구가 부족함

□ 담수화 산업 육성과 신시장 개척에 의한 신규 고용 창출이 필요함

□ 제조/운영 측면의 전문 담수화 기업 육성 및 실적 확보가 필요

제3장 압력지연삼투(PRO) 연구개발과제 구성 및 추진 전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 설정 근거

가. 압력지연삼투(PRO) 기술개발 연구과제

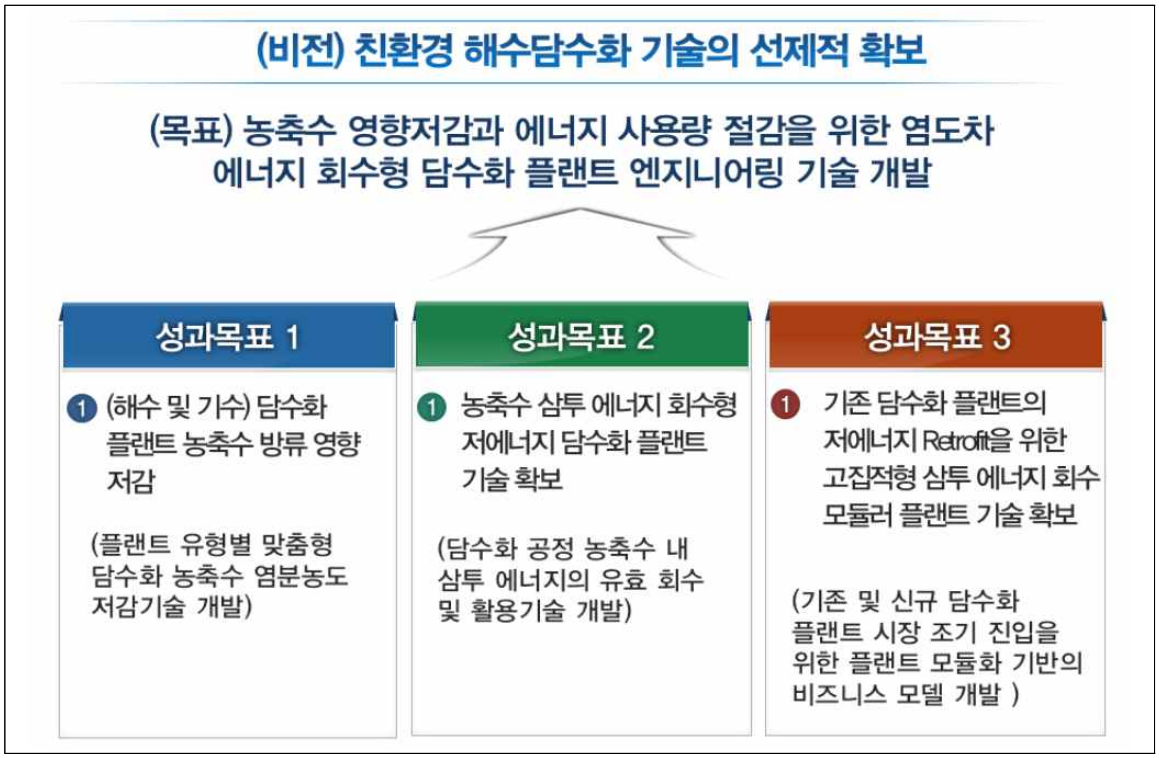


그림 3-1. PRO 연구개발의 비전 및 성과목표

□ **(비전)** 신기후 체제 대응 친환경 담수화 기술 선제적 확보

□ 비전 설정 근거

○ 기후변화로 인하여 지구온난화의 주요 원인으로 인식되는 온실가스 (이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화항) 감축에 대한 세계적 공감대 형성

○ 해수담수화 플랜트 운전결과 발생하는 농축수는 현재 바다로 방류되고 있는데, 고염으로 인한 해양환경오염에 대한 우려가 증가하고 있음

○ 세계적으로 환경에 대한 인식이 지속적으로 증가하면서 친환경 기술에 대한 수요

가 높아지고 있음

○ 지금까지의 해수담수화 플랜트는 온실가스 발생량도 많고 에너지 소비도 과다한 환경파괴적 기술의 집약체로 인식되었으나, 향후에는 신기후 체제에 순응하는 환경친화적 기술의 적용이 중요해질 것으로 전망



그림 3-2. SWRO-PRO 실증파일럿 플랜트 조감도 (예시)

2. 목표 및 설정근거

가. 압력지연삼투(PRO) 기술개발 연구과제

□ 최종 목표

○ **(최종 목표)** 농축수 영향 저감과 에너지 사용량 절감을 위한 삼투 에너지 회수형 담수화 플랜트 엔지니어링 기술 개발

○ 최종 목표는 다음과 같은 요소로 구성

- **(친환경)** 담수화 플랜트의 농축수 방류로 인한 해양환경영향을 저감시킬 수 있는 기술 확보

- **(에너지)** 농축수의 삼투에너지 회수를 통한 담수화 플랜트 에너지 소비량 절감 기술 확보

- **(모듈러)** 플랜트 모듈화 및 설계, 구축, 요소, 운영 기술의 고도화를 통한 SWRO-PRO 시설비 저감 기술 확보

□ 목표 설정 근거

○ “신기후 체제 대응 친환경 담수화 기술 선제적 확보”라는 비전을 달성하기 위하여 아래와 같이 최종 목표를 설정

- 담수화 플랜트 운전결과 발생하는 농축수의 해양방류로 인한 해양환경영향을 줄여서 해수담수화 플랜트를 환경친화적으로 전환시킬 수 있는 기술 확보

- 농축수에 함유된 삼투 에너지 회수를 통하여 담수화 플랜트의 에너지 소비량을 절감하여 신기후 체제에 대응이 가능한 기술 확보

- 모듈러 플랜트 기술을 확보하여 SWRO-PRO 시설비 감소

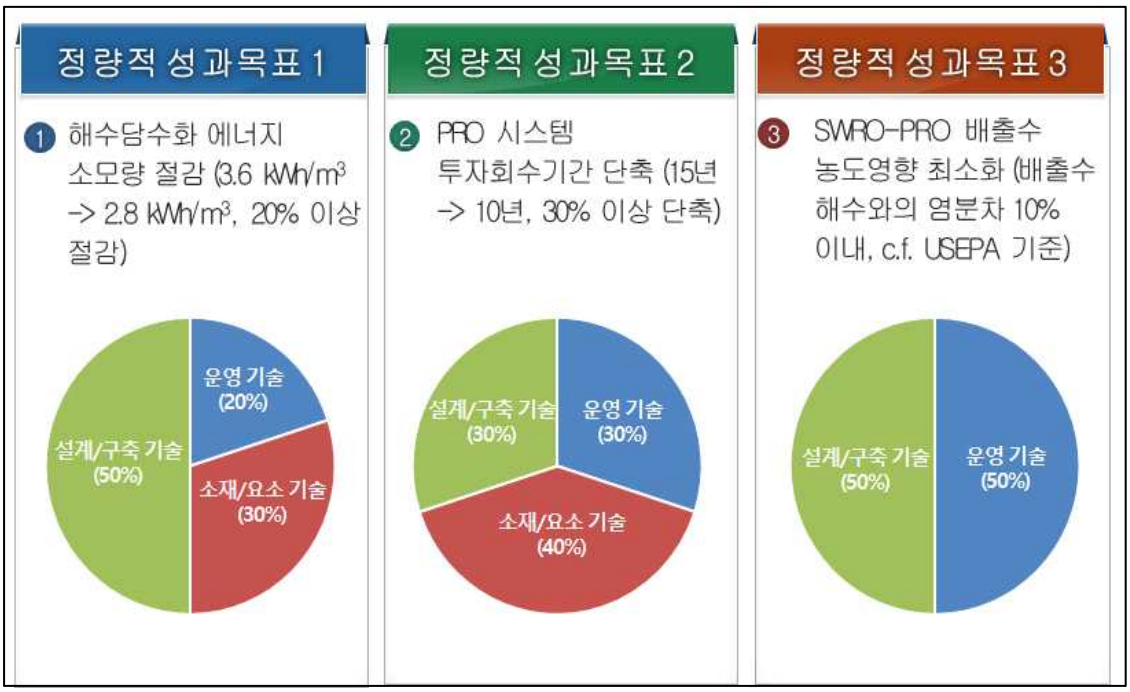


그림 3-3. PRO 연구개발사업의 정량적인 성과목표

표 3-1. PRO 연구과제의 목표 및 성과지표

성과목표	성과지표	현재 수준	목표치	목표치 설정 근거 및 달성의 의미
(해수 및 기수) 담수화 플랜트 농축수 방류 영향 저감	농축수 염농도 증가율	약 160 %	110 % 이하	농축수 내 염분 농도 희석에 의한 해양환경 영향 저감 및 이를 통한 지속가능한 담수화 플랜트 건설 가능
농축수 삼투에너지 회수형 저에너지 담수화 플랜트 기술 확보	에너지 회수량	0.5 kWh/m^3	0.8 kWh/m^3	농축수 내 삼투에너지의 담수화 공정 전달을 통한 물 생산 에너지 저감 및 담수화 단가 감소
농축수 내 삼투에너지의 담수화 공정 전달을 통한 물 생산 에너지 저감 및 담수화 단가 감소	에너지 밀도 (Power Density)	7.5 W/m^2	10.0 W/m^2 이상	에너지 밀도 증가를 통한 플랜트 고집적화 및 이에 의한 Retrofit 적용성 향상
	모듈러 플랜트 국산화율	관련 장치와 핵심 기술의 국산화율 미비	단일 모듈 <1 MIGD> 국산화율 80% 이상	국내 중소·중견기업의 신규시장 진입 지원

※ 해수담수화 농축수의 염농도(TDS) 70,000 mg/L 이상, 하수처리수 배출수 염농도(TDS) 1,000 mg/L 이하, 해수 온도 30 ℃ 기준

2절. 핵심요소기술(CTE) 선정

1. 후보과제 도출

□ 과제구성 방법론

○ 연구개발 과제 도출을 위한 프로세스는 아래 그림에 나타나 있는 바와 같이 진행하였음

- 1단계 (유망기술 후보군 도출) : 산·학·연 전문가 자문과 기술동향 분석을 통하여 기술수요 기초자료 확보

- 2단계 (스크리닝) : 전문가 및 기획팀 회의를 통하여 조사된 기술수요에 대한 분석 수행

- 3단계 (최종 후보과제 도출) : 기술분야별 최종 후보과제 도출

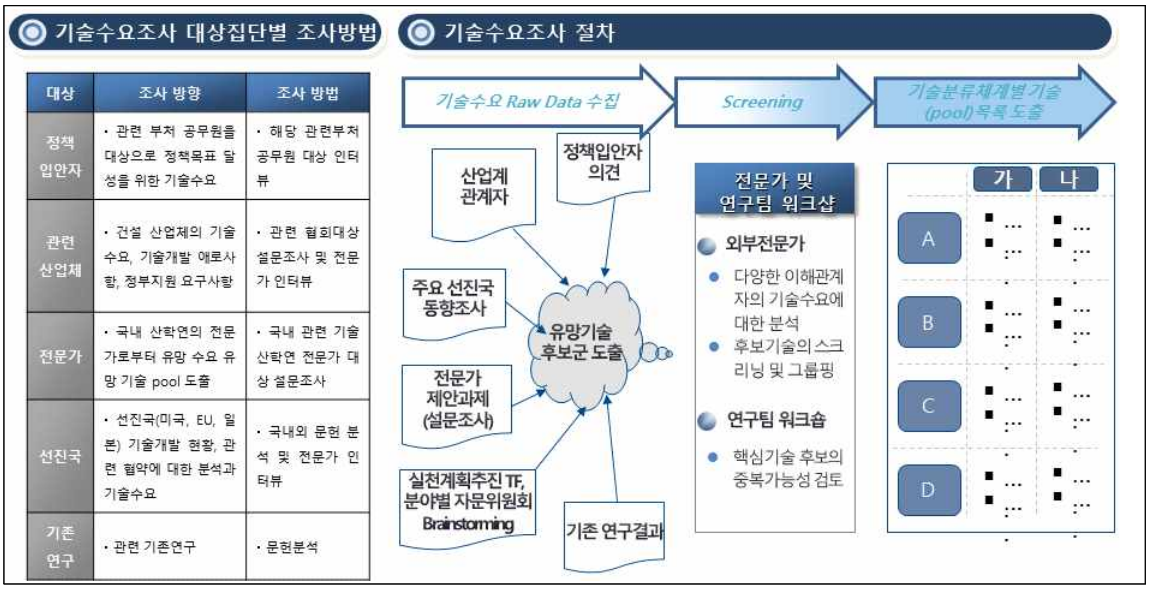


그림 3-4. 기술수요조사 방법

○ 다양한 이해관계자로부터 동 과제와 관련하여 필요한 기술수요를 조사하고, 이를 통해 수집된 자료를 내부 및 외부 전문가들의 의견수렴을 통해 분류



그림 3-5. 중점추진분야 수립절차

○ 기술수요조사 대상 집단별 조사방법

표 3-2. 기술수요조사 개요

대상	조사방향	조사방법
정책 입안자	■ 관련 부처 공무원을 대상으로 정책목표 달성을 위한 의견 수렴	■ 기획타당성 회의
관련 산업체	■ 플랜트 산업체의 기술수요, 기술개발 애로사항, 정부지원 요구사항	■ 전문가 대상 설문조사 및 전문가 인터뷰
전문가	■ 국내 산학연의 전문가로부터 유망 수요 기술 pool 도출	■ 국내 관련 기술 산학연 전문가 대상 설문조사
선진국	■ 선진국 기술개발 현황 분석과 기술수요	■ 국내외 문헌 분석 및 전문가 인터뷰
기존 연구	■ 관련 기존연구	■ 문헌분석

2. 우선순위 선정

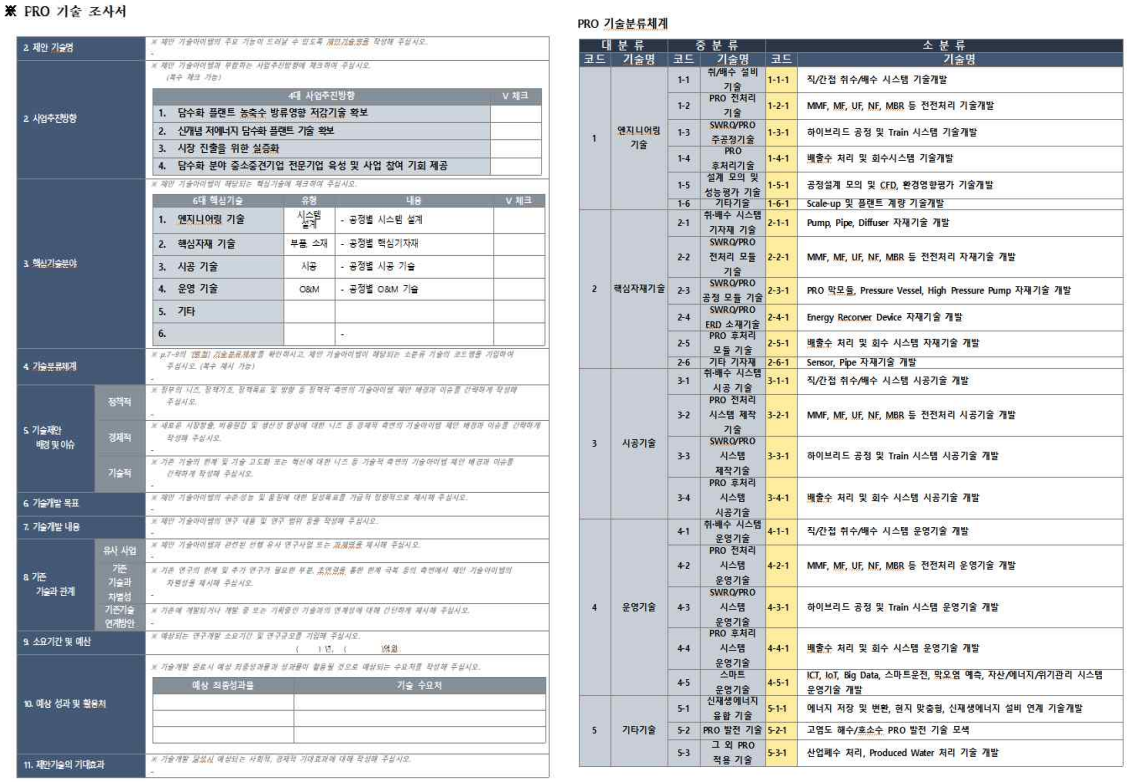
가. 후보과제 및 우선순위 선정

□ 본 과제 도출을 위해 실시한 수요조사는 국내 학회와 담수화 분야 연구단 등을 통하여 200여명의 해수담수화 전문가 및 수처리 전문가를 대상으로 이메일을 통해 조사하였음.

표 3-3. 기술수요조사 발송 및 응답 개요

구분	내용
조사기간	2018년 2월 7일 ~ 2월 20일(2주간)
조사대상	국내 해수담수화 및 수처리 전문가
조사방법	이메일을 통한 설문조사

□ 다음과 같은 수요조사서 양식을 이용하여 PRO 기술에 대한 과제를 제안 받음



※ PRO 기술 조사서

2. 제안 기술명		※ 제안 기술아이템의 주요 기능이 드러날 수 있도록 개념기술로명 작성해 주십시오.
2. 사업추진방향		※ 제안 기술아이템과 유관하는 사업추진방향에 체크하여 주십시오. (복수 체크 가능)

4대 사업추진방향	V 체크
1. 담수화 플랜트 농축수 방류영향 저감기술 확보	
2. 신개념 저에너지 담수화 플랜트 기술 확보	
3. 사장 진출을 위한 실증화	
4. 담수화 분야 중소중견기업 전문기업 육성 및 사업 참여 기회 제공	

3. 핵심기술분야	※ 제안 기술아이템이 해당되는 핵심기술에 체크하여 주십시오.

6대 핵심기술	유형	내용	V 체크
1. 앤지니어링 기술	시스템 설계	- 공정별 시스템 설계	
2. 핵심자재 기술	부품 소재	- 공정별 핵심기자재	
3. 사공 기술	시공	- 공정별 시공 기술	
4. 운영 기술	O&M	- 공정별 O&M 기술	
5. 기타			
6.		-	

4. 기술분류체계		※ p.7-9의 '별표2' 기술분류체계를 확인하시고, 제안 기술아이템이 해당되는 소분류 기술의 코드명을 기입하여 주십시오. (복수 제시 가능)
5. 기술제안 배경 및 이슈	정책적	※ 정부의 니즈, 정책기조, 정책목표 및 방향 등 정책적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
	경제적	※ 세부적 시장분할, 비용절감 및 생산성 향상에 대한 니즈 등 경제적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
	기술적	※ 기존 기술의 한계 및 기술 고도화 또는 혁신에 대한 니즈 등 기술적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
6. 기술개발 목표		※ 제안 기술아이템의 수준·성능 및 품질에 대한 달성목표를 가급적 정량적으로 제시해 주십시오.
7. 기술개발 내용		※ 제안 기술아이템의 연구 내용 및 연구 범위 공통 작성해 주십시오.
8. 기존 기술과 관계	유사 사업	※ 제안 기술아이템과 관련된 선행 유사 연구사업 또는 과제명을 제시해 주십시오.
	기존 기술과 차별성	※ 기존 연구의 한계 및 추가 연구가 필요한 부분, 최대성과 등 한계 극복 등의 측면에서 제안 기술아이템의 차별성을 제시해 주십시오.
	기존기술 연계방안	※ 기존에 개발되거나 개발 중 또는 기획중인 기술과의 연계성에 대해 간단하게 제시해 주십시오.
9. 소요기간 및 예산		※ 예상되는 연구개발 소요기간 및 연구규모를 기입해 주십시오. (1년, (원)
10. 예상 성과 및 활용처		※ 기술개발 완료시 예상 최종성과물과 성과활용 방안으로 예상되는 수요처를 작성해 주십시오.

예상 최종성과물	기술 수요처

11. 제안기술의 기대효과	※ 기술개발 완료시 예상되는 사회적, 경제적 기대효과에 대해 작성해 주십시오.

PRO 기술분류체계

대 분 류		중 분 류		소 분 류	
코드	기술명	코드	기술명	코드	기술명
1	앤지니어링 기술	1-1	취/해수 설비 기술	1-1-1	직/간접 취수/해수 시스템 기술개발
		1-2	PRO 전처리 기술	1-2-1	MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 기술개발
		1-3	SWRO/PRO 주공정기술	1-3-1	하이브리드 공정 및 Train 시스템 기술개발
		1-4	PRO 후처리기술	1-4-1	배출수 처리 및 회수시스템 기술개발
		1-5	설계 모의 및 성능평가 기술	1-5-1	공정설계 모의 및 CFD, 환경영향평가 기술개발
		1-6	기타기술	1-6-1	Scale-up 및 플랜트 계량 기술개발
2	핵심자재기술	2-1	취/해수 시스템 기자재 기술	2-1-1	Pump, Pipe, Diffuser 자재기술 개발
		2-2	SWRO/PRO 전처리 모듈 기술	2-2-1	MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 자재기술 개발
		2-3	SWRO/PRO 공정 모듈 기술	2-3-1	PRO 막모듈, Pressure Vessel, High Pressure Pump 자재기술 개발
		2-4	SWRO/PRO ERD 소재기술	2-4-1	Energy Recorver Device 자재기술 개발
		2-5	PRO 후처리 모듈 기술	2-5-1	배출수 처리 및 회수 시스템 자재기술 개발
		2-6	기타 기자재	2-6-1	Sensor, Pipe 자재기술 개발
3	시공기술	3-1	취/해수 시스템 시공 기술	3-1-1	직/간접 취수/해수 시스템 시공기술 개발
		3-2	PRO 전처리 시스템 제작 기술	3-2-1	MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 시공기술 개발
		3-3	SWRO/PRO 시스템 제작기술	3-3-1	하이브리드 공정 및 Train 시스템 시공기술 개발
		3-4	PRO 후처리 시스템 시공기술	3-4-1	배출수 처리 및 회수 시스템 시공기술 개발
4	운영기술	4-1	취/해수 시스템 운영기술	4-1-1	직/간접 취수/해수 시스템 운영기술 개발
		4-2	PRO 전처리 시스템 운영기술	4-2-1	MMF, MF, UF, NF, MBR 등 전전처리 운영기술 개발
		4-3	SWRO/PRO 시스템 운영기술	4-3-1	하이브리드 공정 및 Train 시스템 운영기술 개발
		4-4	PRO 후처리 시스템 운영기술	4-4-1	배출수 처리 및 회수 시스템 운영기술 개발
		4-5	스마트 운영기술	4-5-1	ICT, IoT, Big Data, 스마트운전, 막모염 예측, 자산/에너지/위기관리 시스템 운영기술 개발
5	기타기술	5-1	신재생에너지 융합 기술	5-1-1	에너지 저장 및 변환, 원지 맞춤형, 신재생에너지 설비 연계 기술개발
		5-2	PRO 발전 기술	5-2-1	고압도 해수/호소수 PRO 발전 기술 모색
		5-3	그 외 PRO 적용 기술	5-3-1	산업폐수 처리, Produced Water 처리 기술 개발

그림 3-6. PRO 수요조사서(과제카드) 양식

○ 기술동향 분석, 기획팀 제안(Top-down), 산학연 수요조사 (Bottom-up) 등의 방법으로 총 52개의 후보기술 도출

- 산학연 수요조사 : PRO - 16개, MD - 12개
- 기획팀 제안 : PRO - 5개, MD - 6개
- 기술동향 및 특허분석 결과 : PRO - 5개, MD - 5개

나. PRO 과제 수요조사 결과

□ 기술동향 분석, 기획팀 제안 (Top-down), 산학연 수요조사 (Bottom-up) 등의 방법으로 총 26개의 후보기술 도출

기술분야	수요조사 과제
엔지니어링 기술	• 저에너지 고효율 PRO 공정 전전처리 기술 개발 • SWRO/PRO 공정 후 생산된 전기 에너지 및 해수 농축수를 이용한 전기화학적 반응 기반 리튬 이온 선택적 회수를 위한 멤브레인 전극 및 회수 시스템 개발 • 전기화학적 방법을 이용한 해수 담수화 농축수에서의 유가자원 회수 및 활용 기술 개발 • 미세조류 광생물막 반응기를 이용한 방류수 처리 및 영양염류 회수기술 • PRO를 활용한 전기 에너지 생산 및 농축수 처리 기술 실증 • 하폐수 처리수를 원수로 한 최적 PRO 전처리 공정 기술 • Brine 방류 영향 최소화 기술 개발 • PRO를 이용한 해수담수화 에너지 회수기술 개발
핵심 자재/요소 기술	• PRO공정 특화 비가역적 막오염 제어 세정제 및 세정 기법 개발 • SWRO/PRO 공정 후 생산된 전기 에너지 및 해수 농축수를 이용한 전기화학적 반응 기반 리튬 이온 선택적 회수를 위한 멤브레인 전극 및 회수 시스템 개발 • 100 kW급 PRO 발전/저장 및 활용 통합 스마트 시스템 기술 개발 • 막오염 저감을 위한 PRO막 개질 • PRO를 활용한 전기 에너지 생산 및 농축수 처리 기술 실증 • 고성능 PRO 막 개발 • 하폐수 처리수를 원수로한 최적 PRO 전처리 공정 기술 • Brine 방류 영향 최소화 기술 개발
플랜트 설계/시공기술	• 하폐수 처리수를 원수로 한 최적 PRO 전처리 공정 기술
운영기술	• 저에너지 고효율 PRO 공정 전전처리 기술 개발 • PRO공정 특화 비가역적 막오염 제어 세정제 및 세정 기법 개발 • 전기화학적 방법을 이용한 해수 담수화 농축수에서의 유가자원 회수 및 활용 기술 개발 • 신재생 에너지 융합형 에너지 소비 제로 PRO 유입수 내 무기막오염 원인 물질 제거기술 개발 • 미세조류 광생물막 반응기를 이용한 방류수 처리 및 영양염류 회수기술 • PRO를 활용한 전기 에너지 생산 및 농축수 처리 기술 실증 • 하폐수 처리수를 원수로 한 최적 PRO 전처리 공정 기술 • PRO를 이용한 해수담수화 에너지 회수기술 개발 • SWRO/ED/PRO 연계 공정 적용 농축수량 저감 및 회수율 증대 기술 개발



그림 3-7. 우선순위 선정방법

표 3-4. 우선순위 평가항목 및 비중

평가항목	비중	정의
핵심성	0.3	해당과제가 전체 목표달성에 기여하는 정도
기술수준	0.2	연구기간 내 자체개발이 가능한 정도의 기술수준 보유여부
지원필요성	0.3	정부투자의 필요성 (공공성, 파급성, 시급성 등)
중복성	0.2	기존 국가 R&D 수행내용과의 중복여부

라. 후보과제 선정

○ 후보과제 우선순위 항목은 핵심성, 기술수준, 지원필요성, 중복성의 4개 항목에 대하여 기획팀과 외부전문가가 같이 참여하여 평가하였음

○ 그 결과 우선추진 과제로 선정된 과제에 대한 결과는 다음과 같음

PRO의 경우에는 기술의 조속한 상용화를 위하여, 트레인 규모의 실증플랜트를 설계 및 구축하고 이를 운영하는 실증기술이 높은 우선순위를 가지는 것으로 평가되었음



그림 3-8. PRO 과제 후보기술(안)

< 참 고: 연구개발후보과제 우선순위 도출 프로세스>

□ 연구개발 후보과제의 우선순위 도출 프로세스

○ 연구개발후보과제의 기술특성을 평가하여 우선순위를 도출함

○ (Track 1) 연구개발후보과제의 우선순위 설정을 위한 평가항목을 개발하고 AHP분석을 통해 평가항목간 가중치를 도출함(A)

○ 평가항목은 벤치마킹과 전문가 자문을 통해 본 연구과제의 비전 및 미션에 부합하는 평가항목을 수립하고 기획위원의 검토의견을 수렴하여 최종 평가항목을 설정함

○ 8명의 기획위원을 대상으로 가중치 설문조사(AHP)를 진행하여 항목간 가중치 도출

○ (Track 2) 평가항목별로 연구개발후보과제에 점수를 산정하여 과제별 특성을 평가하여 연구개발 후보과제의 우선순위를 도출함(A × B)

- 11명의 전문가 설문조사를 통해 점수를 산정함

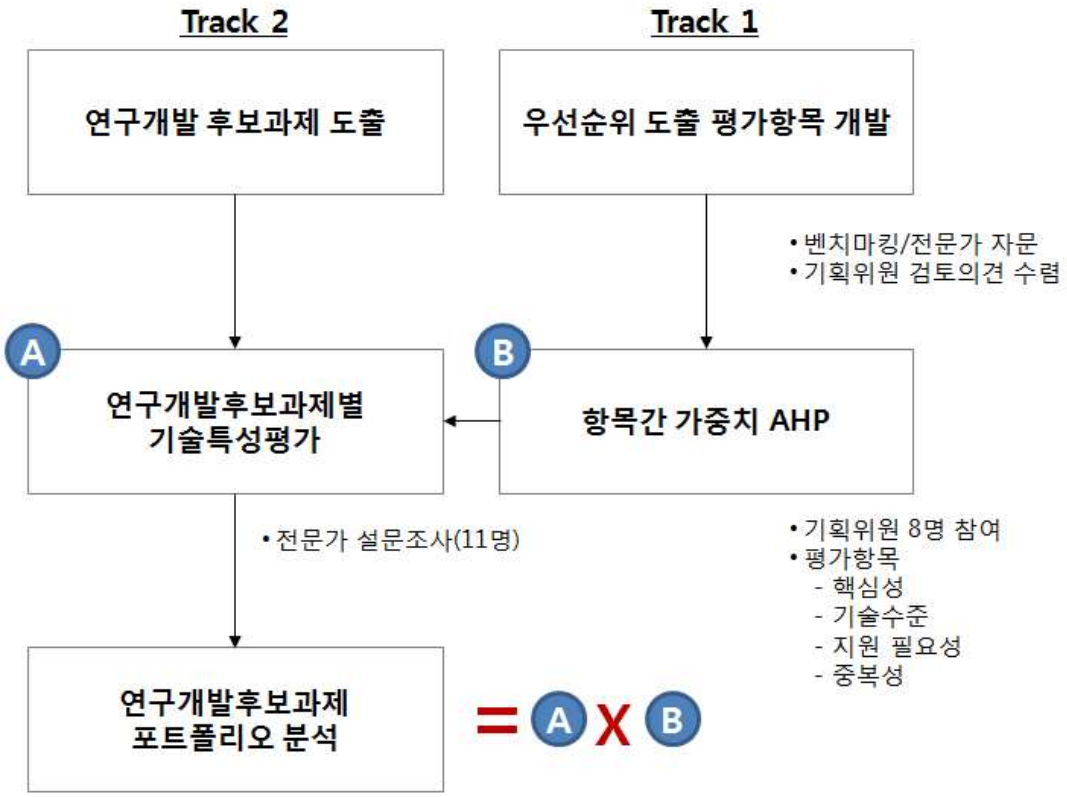


그림 3-9. 연구개발과제의 우선순위 도출 프로세스

< 참 고: 연구개발후보과제 우선순위 도출 프로세스>

(1) 기술성 평가항목과 항목별 가중치 도출(Track 1)

○ 연구개발후보과제에 대한 평가 지표를 다음과 같은 단계로 수립함

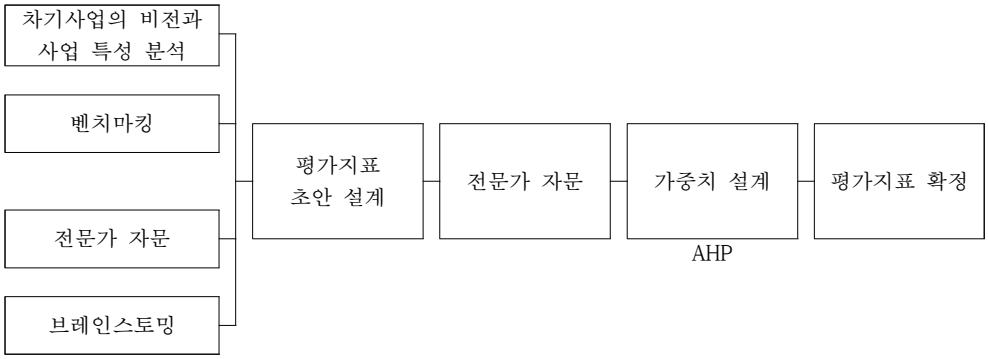


그림 3-10. 평가지표 설계 프로세스

○ 타 연구사업 등 평가지표 벤치마킹 자료를 바탕으로 전문가를 포함한 기획팀이 브레인스토밍을 통해 차기사업 특성을 고려한 평가지표 초안을 도출함

- 연구개발후보과제를 핵심성, 기술수준, 지원필요성 및 중복성으로 평가함
- 각 평가항목을 정확하게 평가하기 위해 각 평가항목에 대한 정의를 작성한 후 전문가의 동의를 얻음으로써 각 항목에 대한 평가자별 공통적 관점에서 각 과제에 대한 평가가 이루어질 수 있도록 함
- 자문회의를 통해 평가지표에 대한 추가 전문가 의견을 반영하여 평가지표 초안에 대한 적절성을 평가하고 수정, 아래와 같은 최종안을 도출함
- 전문가들의 직관적 판단을 바탕으로 각 평가지표를 상대 비교하는 AHP 설문조사를 실시하고 기획위원이 결과값을 검토함

표 3-5. 우선순위 평가항목 및 정의

평가항목	정의	AHP 설문결과	최종확정 가중치
핵심성	해당과제가 전체 목표달성에 기여하는 정도 - 중점추진분야별 목표 달성에 핵심적 역할을 하는 기술인가? - 후보과제가 비전과 목표에 부합하는가?	29%	30%
기술 수준	연구기간 내 자체개발이 가능한 정도의 기술수준 보유여부 - 후보과제를 계획된 기간 내에 자체개발이 가능한 정도의 기술수준을 보유하고 있는가?	22%	20%
지원 필요성	정부투자의 필요성 (공공성, 파급성, 시급성 등) - 후보과제가 국토교통부의 연구개발 사업으로 추진되는 것이 바람직한가?	32%	30%
중복성	기존 국가 R&D 수행내용과의 중복여부 - 후보과제간 또는 기 추진된 과제들과 중복성이 높지는 않은가?	17%	20%

(2) 연구개발후보과제별 특성평가(Track 2)

○ 확정된 평가항목을 토대로 기획팀과 외부전문가로 구성된 기획위원 11명을 대상으로 설문을 실시, 결과를 취합하고 통계분석하여 연구개발후보과제의 평가점수를 도출, 70점 미만의 과제를 우선적으로 제외함

구분	연구개발후보과제	핵심성	기술수준	지원필요성	중복성	총점	비고
PRO	저에너지 고효율 PRO 공정 전전처리 기술 개발	22	15	15	18	70	
	SWRO/PRO 공정 후 생산된 전기 에너지 및 해수 농축수를 이용한 전기화학적 반응 기반 리튬 이온 선택적 회수를 위한 멤브레인 전극 및 회수 시스템 개발	24	11	10	10	55	제외
	전기화학적 방법을 이용한 해수 담수화 농축수에서의 유가자원 회수 및 활용 기술 개발	25	15	26	20	86	
	기존 SWRO 플랜트 리모델링을 위한 PRO 플랜트 모듈화 기술	20	15	17	8	60	제외
	미세조류 광생물막 반응기를 이용한 방류수 처리 및 영양염류 회수기술	25	18	15	19	77	
	하폐수 처리수를 원수로 한 최적 PRO 전처리 공정 기술	22	18	23	11	74	
	Brine 방류 영향 최소화 기술 개발	25	17	25	11	78	
	PRO를 이용한 해수담수화 에너지 회수기술 개발	22	16	28	11	77	
	PRO공정 특화 비가역적 막오염 제어 세정제 및 세정 기법 개발	20	17	25	8	70	
	100 kW급 PRO 발전/저장 및 활용 통합 스마트 시스템 기술 개발	15	17	16	10	58	제외
	막오염 저감을 위한 PRO막 개질	25	16	24	8	73	
	PRO를 활용한 전기 에너지 생산 및 농축수 처리 기술 실증	25	18	25	9	77	
	고성능 PRO 막 개발	22	15	26	9	72	
	Brine 방류 영향 최소화 기술 개발	28	14	25	10	77	
	하폐수 처리수를 원수로 한 최적 PRO 전처리 공정 기술	25	15	27	11	78	
	저에너지 고효율 PRO 공정 전전처리 기술 개발	22	15	15	18	70	
	ICT 기반의 SWRO-PRO 스마트 운영기술 개발	28	16	25	13	82	
	PRO공정 특화 비가역적 막오염 제어 세정제 및 세정 기법 개발	20	17	23	10	70	
	전기화학적 방법을 이용한 해수 담수화 농축수에서의 유가자원 회수 및 활용 기술 개발	25	15	26	20	86	
	신재생 에너지 융합형 에너지 소비 제로 PRO 유입수 내 무기막오염 원인 물질 제거기술 개발	25	10	27	15	77	
	미세조류 광생물막 반응기를 이용한 방류수 처리 및 영양염류 회수기술	20	13	25	20	78	
	PRO를 활용한 전기 에너지 생산 및 농축수 처리 기술 실증	25	18	25	9	77	
	SWRO/ED/PRO 연계 공정 적용 농축수량 저감 및 회수율 증대 기술	18	15	12	10	55	제외

주: 평가항목의 가중치를 곱한 수치

3절. 연구개발 과제 구성

1. 과제 구성

가. 과제 도출

□ 기술 수요조사 및 기술 수준분석을 통해 제안된 과제의 우선순위 도출과 현 과제의 최종 목표와의 부합성 검토를 통해 PRO 4개 분야 31개 과제를 도출하여 구성하였음



그림 3-11. PRO 추진과제 도출

나. 세부 및 공동과제

1) 압력지연삼투 기술 개발 과제

□ 과제의 성격과 역할에 따라 공통 핵심기술과 세부기술로 구성됨

○ 공통 핵심기술 : 담수화 플랜트 농축수 방류 영향 저감 기술, 신개념 저에너지 담수화 플랜트 기술, 시장진출을 위한 국내외 실증화, 담수화분야 중소·중견 전문기업 육성 및 사업 참여 기회 제공

○ 세부기술 : 친환경 고효율 SWRO-PRO 실증플랜트 설계 및 구축, 운영, 핵심 소재 및 요소기술과 해외시장 맞춤형 최적 설계 및 최적 운영기술 개발

○ 세부과제 구성

- **(1 세부과제)** PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치개발
- **(2 세부과제)** SWRO-PRO 트레인 설계 및 구축 기술개발
- **(3 세부과제)** SWRO-PRO 트레인 운영 기술개발
- **(4 세부과제)** 해외 맞춤형 실증화 기술개발

○ 1 세부과제(PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치개발)는 2개의 공동과제로 구성

- 10 W/m^2급 고회수율 고에너지밀도 PRO 막모듈
- PRO 복합 막오염 억제를 위한 저에너지 하이브리드 전처리 공정

○ 2 세부과제(SWRO-PRO 트레인 설계 및 구축 기술개발)는 2개의 공동과제로 구성

- SWRO-PRO 트레인 스케일업 설계 및 구축 기술
- PRO 전용 동적 공정모사 및 배출수 환경 영향 저감 공정 설계기술

○ 3 세부과제(SWRO-PRO 트레인 운영 기술개발)는 3개의 공동과제로 구성

- 배출수 영향저감 및 에너지 회수 극대화를 위한 SWRO-PRO 운영관리 기술
- SWRO-PRO 플랜트 배출수 영향 실시간 관리 및 수용성 향상 기술
- 스마트 운영/모니터링 기술

○ 4 세부과제(해외 맞춤형 실증화 기술 개발)는 1개의 과제로 구성

- 하수재이용 플랜트 농축수를 활용한 SWRO-PRO 파일럿플랜트 해외 실증화

표 3-6. PRO 기술개발 세부 및 공동과제

세부과제	공동과제
PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치개발	- 10 W/m^2급 고회수율 고에너지밀도 PRO 막모듈
	- PRO 복합 막오염 억제를 위한 저에너지 하이브리드 전처리 공정
SWRO-PRO 트레인 설계 및 구축 기술개발	- SWRO-PRO 트레인 스케일업 설계 및 구축 기술
	- PRO 전용 동적 공정모사 및 배출수 환경영향 저감 공정 설계기술
SWRO-PRO 트레인 운영 기술개발	- 배출수 영향저감 및 에너지 회수 극대화를 위한 SWRO-PRO 운영관리 기술
	- SWRO-PRO 플랜트 배출수 영향 실시간 관리 기술 - 스마트 운영/모니터링 기술
해외 맞춤형 실증화 기술개발	- 하수재이용 플랜트 농축수를 활용한 SWRO-PRO 파일럿플랜트 해외 실증화

4절. 과제별 주요 내용 및 추진전략

1. 과제별 주요 내용

□ PRO 과제의 내용은 아래와 같음

○ 압력지연삼투 공정의 조속한 상용화를 위하여 트레인 규모의 실증플랜트 설계 및 구축 기술, 운영기술, 핵심소재 및 요소 평가기술을 확보하고, 동시에 해외시장 진출을 위한 해외 실증화를 주요 내용으로 하고 있음

세부과제	세세부과제	목표
PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치개발	- 10 W/m^2급 고회수율 고에너지밀도 PRO 막모듈	- 전력밀도 10 W/m^2 이상 - 막모듈 회수 10% 이상
	- PRO 복합 막오염 억제를 위한 저에너지 하이브리드 전처리 공정	- SEC 0.15 kWh/m^3 이하 - PRO 막오염 30% 저감
SWRO-PRO 트레인 설계 및 구축 기술 개발	- SWRO-PRO 트레인 스케일업 설계 및 구축 기술	- 스케일업 기술개발(20배) - 1 MIGD 유닛 트레인 제작
	- PRO 전용 동적 공정모사 및 배출수 환경영향 저감 공정 설계기술	- 성능예측 정확도 90% 이상 - 방류수 수질 TDS 증가 110% 이하
SWRO-PRO 트레인 운영 기술 개발	- 배출수 영향저감 및 에너지 회수 극대화를 위한 SWRO-PRO 운영관리 기술	- 6개월 이상 배출수 농도 유지(TDS 증가 110% 이하)
	- SWRO-PRO 플랜트 배출수 영향 실시간 관리 기술 - 스마트 운영/모니터링 기술	- 배출수 영향 모니터링(10개 지점) - IoT기술을 적용한 스마트 운영/모니터링 기술 개발
해외 맞춤형 실증화 기술 개발	- 하수재이용 플랜트 농축수를 활용한 SWRO-PRO 파일럿플랜트 해외 실증화	- 해외 구축 파일럿플랜트(200m^3/일) 6개월 이상 운전 - 평균 0.6 kWh/m^3 에너지 절감

2. 최종 성과 및 대표기술

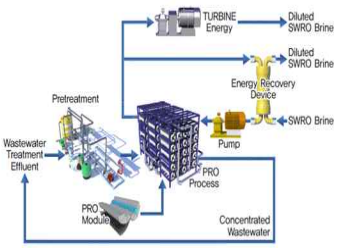
□ PRO 최종 성과 및 대표기술



○ 5대 핵심기술

- 엔지니어링 시스템 - 핵심 기자재 - 플랜트 시공 - O&M 시스템 - 에너지 및 환경 등 압력지연삼투 공정에 대한 핵심기술 도출

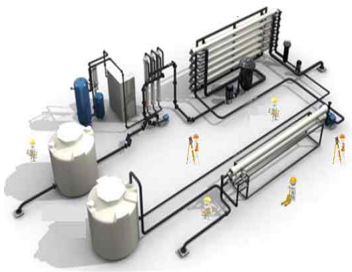
○ 핵심기술 세부사항



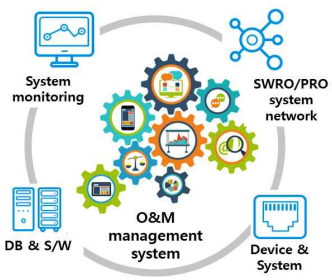
<SWRO-PRO 시스템>



<핵심 기자재>



<플랜트 시공>



<O&M 시스템>

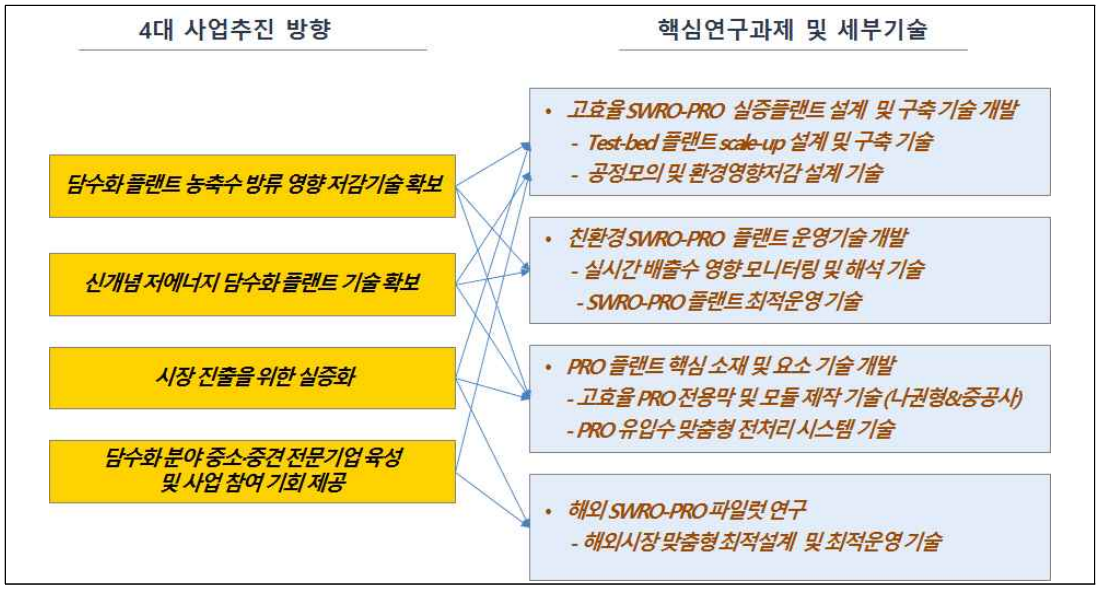


<에너지 & 환경>

5절. 과제간 연계관계

1. 압력지연삼투(PRO)

□ 압력지연삼투 공정기술의 사업추진방향과 핵심 연구과제 및 세부기술의 연계성



6절. 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술로드맵

가. 압력지연삼투(PRO) 기술로드맵

□ 전체 연구기간인 5년에 대하여 3단계로 구분하여 추진전략을 수립하였음
(핵심기술 개발 및 실증플랜트 설계 → 핵심기술 고도화 및 실증 플랜트 구축 및 운영 → 비즈니스 모델 및 상용화)



그림 3-12. PRO 기술로드맵

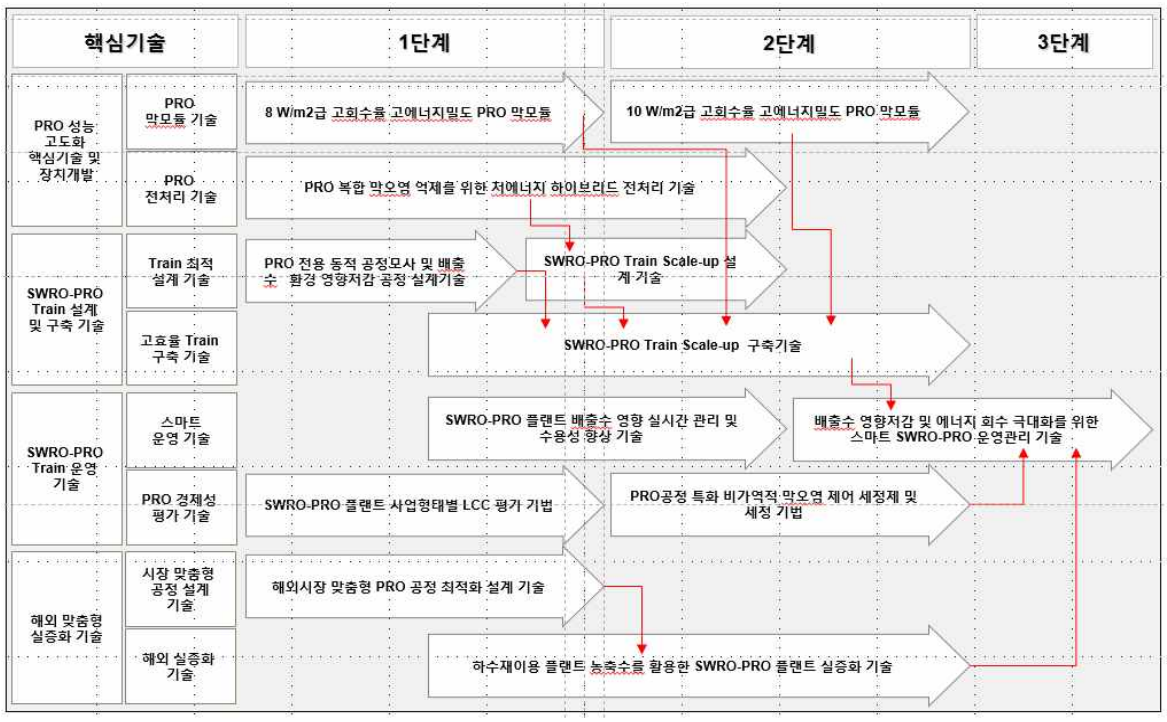


그림 3-13. PRO 개발기술간 연계성

2. 성과로드맵

□ 압력지연삼투 성과로드맵



그림 3-14. PRO 성과로드맵

- 5년간 논문 29편, 특허 19편, SW 8건, 시제품 9건 등

- 실증시설 설계와 제작, 운영의 비중이 높으므로 산출물도 특허, SW, 시제품 등에 대한 비중을 상향조정함



그림 3-15. PRO 기술 주요 TRM

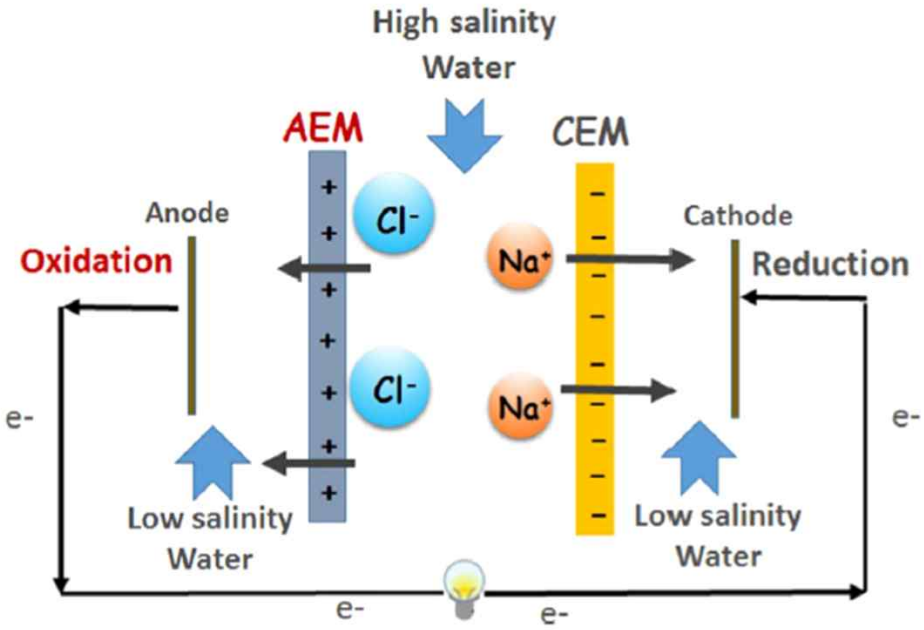
7절. 경쟁기술 분석

1. PRO 경쟁기술 분석

□ 역전기투석 해수담수화 (Reverse electrodialysis desalination, RED) 기술

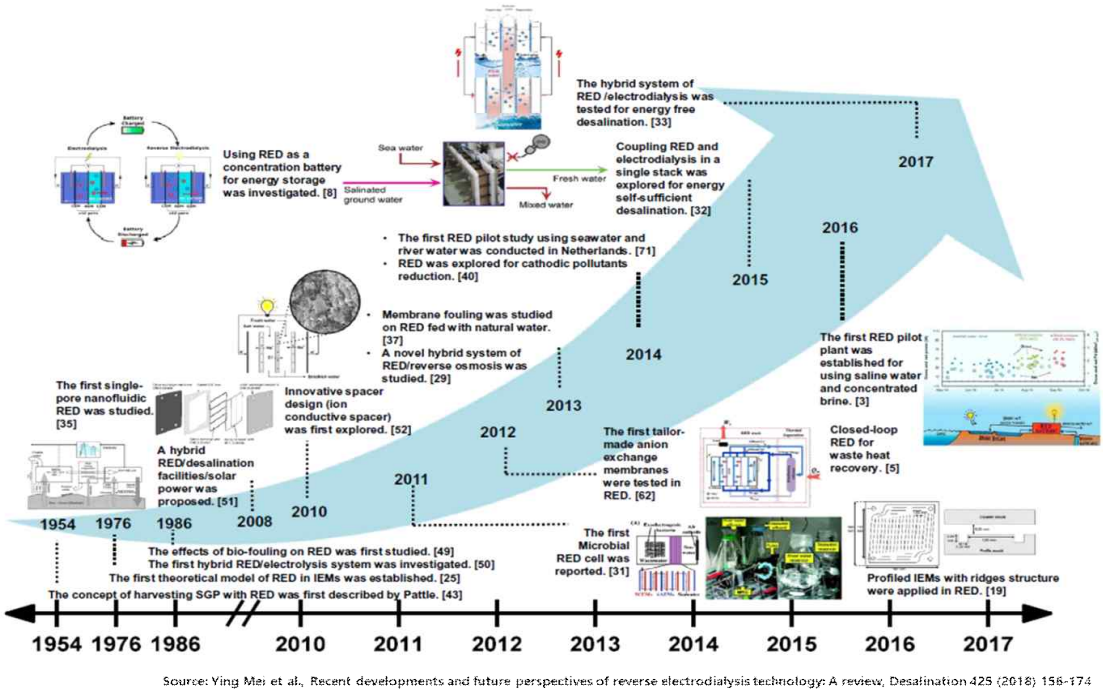
○ 다양한 해수담수화 공정 중 PRO 기술의 대표적인 경쟁기술로는 역전기투석 해수담수화 (Reverse electrodialysis desalination, RED) 기술이 있음

○ RED 기술은 염수와 담수 (해수와 강물 등)의 염도 차에 의해서 이온이 이온교환막을 통해 이동하도록 유도하여 탈염을 시도하며, 음극과 양극에서 발생하는 산화/환원을 통한 전자의 이동으로 전기를 생산하는 기술임. 1950년대에 처음으로 개념이 도입되어 지금까지 공정의 최적화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재는 PRO 기술과 함께 분리막 기반-염도차 에너지 발전의 주요 기술로 여겨지고 있음.



Source: Vaselbehagh et al., Biofouling phenomena on anion exchange membrane under the reverse electrodialysis process, J. Membr. Sci, 530 (2017) 232-239

그림 3-16. RED 기술이 개략적인 모식도



Source: Ying Mei et al., Recent developments and future perspectives of reverse electrodialysis technology: A review, Desalination 425 (2018) 156-174

그림 3-17. RED 기술 발전의 역사

○ 에너지를 생산하는 능력 이외에도 RED는 RO의 전처리 공정으로의 활용, 다른 담수화 공정과의 조합 (RO-RED, MD-RED, FO-RED, Microbial desalination cell 등)에 의한 효율 향상, 고농도의 염수 처리가 가능, 고압 펌프나 터빈의 불필요 등의 이점이 있음.

○ 에너지 효율과 에너지 밀도의 향상을 위한 연구가 진행되었지만 이들 대부분은 실험실 규모로 제한되어 있으며, RED 공정 modeling 연구의 범위는 효율 또는 에너지 밀도에 대해서 단편적이며 좁은 범위로 수행되는 등 상용화를 위해서 더욱 심도 있는 연구가 필요한 상황임.

○ 지금까지 RED 파일럿 플랜트에 대한 연구 또한 매우 적은 상황임. 이탈리아에 건설된 파일럿 플랜트의 에너지 밀도는 0.8 W/m^2로 보고되었으며, 막 면적 400 m^2로 scale-up 하였지만 약 0.83 W/m^2의 에너지 밀도를 생산하였음. 현재 RED 파일럿 플랜트의 에너지 밀도는 1 W/m^2이하로 PRO에 비해 상당히 낮은 수준임.

○ 반투과성 막을 사용하는 PRO와 비교했을 때, 현재 사용 가능한 이온교환막은 전기 투석(Electrodialysis, ED)을 위해 개발된 막이기 때문에 RED 적용을 위해 상업적으로 개발되거나 최적화된 막이 없는 상황임. 또한 현재 이온교환막의 비용은 RO 막에 비해 2-3배 비싸기 때문에 RED에 적용하기 위한 이온교환막의 개발이 필요함.

8절. 연구과정상 위험요소 및 대응방안

1. PRO 플랜트 실증화 기술의 SWOT 분석

강점 (S)	기회 (O)
• PRO 선행연구를 통한 고도 기술 보유 • SWRO-PRO 최적 설계, 구축, 운영, 소재 등의 주요 핵심 요소 기술 확보 가능 • 기후 변화 대응 가능한 지속적인 대체에너지 생산 가능 • 꾸준한 국제 협력 등을 통한 관련 분야 네트워크 기반 확보	• 대용량 PRO 막 및 모듈개발을 통한 공정 효율 개선 가능성 높음 • 해수담수화 공정 중 발생 농축수 규제 및 관리에 대한 국제적 관심도 증가 • 전세계적인 PRO 공정 관심 및 투자 증가 • 해외 실증화를 통한 해외시장 선점 및 진출 가능성 높음
약점 (W)	**위협 (T)**
• 국내 핵심 소재 관련 기업의 기술 및 투자 환경 열악 • SWRO-PRO 설계, 구축, 운영, 소재 등 관련 기술에 대한 국내 전문 기업 부족 • 기존 해수담수화 관련 사업의 부정적 시각 존재 • SWRO-PRO 기술 상용화를 위한 실규모 적용 경험 부족	• 높은 SWRO-PRO 공정 효율을 가진 선진 업체의 지속적인 R&D 투자 증대 • 개발된 원천기술의 사업화/실증화 경험 부족 • 해외 선진 업체와의 스마트 기술 경쟁 심화 • 해외 시장 진입을 위한 신규 개발 기술의 진입 장벽이 높음

2. PRO 기술개발 위험요인

□ 세계 선도형 PRO 연구

○ 세계적 관심 증대 및 연구개발 투자에 따른 지속적 리더십 유지의 어려움

○ 선행 연구 및 참고 자료의 부족

○ 전문 엔지니어링 인력의 부족

□ 핵심 요소 기술의 부재

○ PRO 공정의 막, 모듈, 소재, 기계 설비에 관한 소재 기술의 부재

○ 유사 공정에 병용할 수 있는 핵심 요소 기술들에 관한 인식 부재

○ 1MIGD 규모의 실증 플랜트 기술 검증 및 구축을 위한 부지확보의 어려움

□ 농축수 환경 영향 문제

○ 농축수 처리 기술의 부족

○ 해외 선진국들의 농축수 배출 기준 확립 및 규제 강화

○ 국내 해수담수화 농축수 배출 기준 및 관련 법령 부재

□ 시장의 불확실성

○ 대규모 실증 시설 설비 구축 및 운영 사례 부재

○ 해외 시장 진출을 위한 모델 및 경제성 분석 부재

○ 중동에 편중된 해수담수화 시장

□ PRO 위험요소별 대응방안



01. 세계 선도형 PRO 연구

위험요소	대응방안
• 세계적 관심 증대 및 각 국가별 R&D 투자 확대에 따른 지속적인 리더쉽 유지의 어려움 • 선행연구 및 참고 자료의 부족 • 전문 엔지니어링 인력의 부족	• 차세대 PRO 공정의 실증화 및 운영에 관한 연구 사업 추진 • PRO 공정에 관한 R&D 투자 활성화 및 정부 차원의 연구 사업 지원 • 해수담수화 관련 연구 및 GMVP 연구단의 선행 연구 자료 활용 • 담수화 공정의 핵심요소 기술을 참고하여 PRO 공정에 적합한 요소 기술 선정 및 기존 설비와 병합 가능한 연구 기술 개발 • 차세대 연구 사업을 통한 SWRO-PRO 하이브리드 시스템의 설계 및 운영에 관한 전문 인력 양성 • PRO 공정에 관한 유능한 인재 양성을 위해 기업, 연구소, 학계가 연계된 통합 네트워크 시스템 구축 • 연구과제 추진과정에서 전문 인력 양성 프로그램 운영

02. 핵심요소 기술의 부재

위험요소	대응방안
• PRO 공정의 막 / 약품 / 소재 / 기술 설비에 관한 핵심 요소 기술의 부재 • 유사 공정에 병용할 수 있는 핵심 요소 기술에 대한 인식 부족 • 국내 1MIGD 규모의 실증플랜트 구축 및 기술 검증을 위한 부지확보의 어려움	• PRO 공정 선을 상의 한계 극복 및 에너지 효율 향상을 위한 전용 분리막과 모듈 기술의 개발 • 연구 사업을 통한 PRO 핵심 전처리 기술 및 전전처리 기술 개발 • 기존 해수담수화 기술과 병용할 수 있는 새로운 형태의 세정 기술 개발 • 기존 PRO 기술의 고도화 및 선행 개발 기술의 개선 • 기존 해수담수화 공정에서 유사 소재 및 약품 처리를 병용할 수 있는 핵심요소 기술 도입 • 국내 해수담수화 사업 추진/검토 중인 대산 산업단지 및 부산 등을 고려

03. 농축수 환경 영향 문제

위험요소	대응방안
• 농축수 처리 기술의 부재 및 농축수 배출 기준 확립	• 차세대 연구 사업을 통한 해외 선진국 수준의 농죽수 배출 기준에 부합하는 공정 설계 및 기술개발 • 단계적인 농축술 배출 농도 저감 및 선진국 수준의 배출 허용 기준에 부합하는 기술력 확보

04. 시장의 불확실성

위험요소	대응방안
• 대규모 실증 PRO 설비 구축 및 운영 사례와 부재 • 선행 연구 및 참고 자료의 부족 • 전문 엔지니어링 인력의 부족	• 연구 사업을 통한 PRO 공정의 대용량 실증 설비 구축 및 운영 기술 확보 • 대규모 PRO 실증화 설비 구축을 위한 단계적 규모 확대 • 국내 대규모 PRO 실증화 설비 구축 및 운영 사례를 활용한 선도적 해외 시장 진출 • 차세대 연구 사업에서 비즈니스 모데 가발 및 경제성 분석 수행 • 기존 해수담수화 공정의 노후화 시설 교체 시 Retrofitting 제시 • PRO 공정을 접목한 저에너지 해수담수화 기술을 이용하여 중동을 비롯한 아시아, 남미, 아프리카 지역 등 새로운 시장 개척

9절. 성과활용 및 사업화전략(비지니스 모델 등)

1. 성과활용

□ MD/PRO연구단* 성과로서 세계 최고 효율의 SWRO-PRO 시스템 원천기술 및 핵심 소재인 나권형 PRO 전용막 및 모듈(8 인치)을 개발하였고, 국내에서 성능평가를 위한 파일럿 연구를 수행 중이며, 연구 개발된 주요 핵심요소기술들의 고도화를 통해 상용화 기술 확보 가능

※ MD/PRO 복합탈염공정 해수담수화플랜트 기술 개발, '13~'18, 총 정출금 26,955백만원

□ 중동, 싱가포르*, 일본 등 물부족 국가 및 해수담수화 기술 선도국가에서 플랜트 건설에 따른 국가 에너지 수요 증가를 최소화하기 위해 농축수 삼투에너지 회수기술에 대한 대규모 R&D와 상용화 기술 확보에 적극적으로 투자 중임

□ 그러므로, 글로벌 해수담수화 기술선도와 신시장 개척을 위해서는 실증 규모의 SWRO-PRO 해수담수화 플랜트 기술개발을 통한 track-record 확보가 필요함

※ 국제해수담수화 심포지엄(2ISIDT) 발표 "Singapore's Water Roadmap and Interest in PRO" (경주, 2017)

□ PRO 단계별(단기, 중기, 장기) 성과활용 방안



2. 사업화 전략

□ PRO 해수담수화 플랜트 기술의 비즈니스 모델

○ 비즈니스 모델 분석을 고객, 상품, 협력자, 수익모델 측면에서 분석

○ 기술의 주요 고객: 국내 지자체, 중동지역, 아메리카, 동남아시아 등으로 나타남

○ 주요 상품: PRO 기반 해수담수화 플랜트, PRO 기반 복합 수처리 플랜트, PRO 기반 신재생에너지 플랜트

○ PRO 기반 해수담수화 플랜트의 설계, 제작, 운영기술임

○ 협력자: 기술 활용처인 국내기업과 해외기업을 선정하였음

○ 수익모델: 기존 EPC 수익모델 외에도 PRO 기반 해수담수화의 경우에는 다양한 모델 적용가능

- 장치/시설 제작 및 판매: 장치 또는 플랜트를 제작 판매하여 수익을 얻는 기존의 방식으로, 장치산업의 특성을 가지고 있으며 단기간에 많은 수익을 올릴 수 있는 가능성이 있으나, 수주건수에 따라 수입의 변동 폭이 큰 단점을 가짐

- 원천기술 확보 후 라이센싱: 핵심기술을 특허나 설계기술로 확보한 후 이를 기술 활용수요자에게 판매 혹은 대여하는 방식으로, 선진국에서 선호하는 방식이나 이를 위해서는 시장이 어느 정도 성숙되어 있어야 하며, 기술의 독점적 위치에 오르기까지 시간이 필요함

- 렌탈/리스: 장치 또는 플랜트를 제작한 후 소유권을 유지하면서 대여하는 방식으로 운영권을 가지지 않는 대신 일정한 임대수입을 얻는 것으로, 수입구조가 안정적인 반면에 기술개발을 통해 추가적인 수입을 얻기는 적합하지 않은 방식

- 물 공급 서비스 제공: 장치 또는 플랜트를 제작한 후 소유권을 유지한 채로 운영을 통해서 초기 투자비를 회수하는 방식으로, 기술개발 수준에 따라 수입률의 변동이 있음

○ 시장진입 초기에는 장치/시설 제작판매를 주력으로 하는 사업추진이 바람직하나, 중장기적 관점에서는 라이센싱, 렌탈, 혹은 서비스 제공과 같은 안정적인 수입구조를 확보하는 것이 필요함

○ 또한 사업 확대와 조기 상용화를 위해서는 공공분야 뿐 아니라 민간부문에서도 투자를 하는 방식이 고려되어야 함



그림 3-18. PRO 공정 비즈니스 모델 캔버스

□ 전략 1 - 해수담수화 외 다양한 사업화 분야 개척



□ 전략 2 - 국내 해수담수화 사업화를 위한 기술경쟁력 확보

과거 최대 가뭄발생 재현 시 연 4.0억톤 부족

'20년 가뭄 정도에 따른 권역별 물 부족량 전망
(수자원 장기종합대책 '11-'20)



주) 수급 전망은 중권역내 모든 수량을 전량 이용할 수 있다고 가정하므로, 실제 추정된 양의 물 공급을 위해서는 보, 관로, 배수지 등 추가 건설 필요

생활용수 및 공업용수에서 2030년 연 72천톤 부족

2030년 지역별 수요 대비 공급역량 부족
(2025 수도정비 기본계획)

권역	시설명	2030년 수요량 (천톤/일)	2030년 시설용량 (천톤/일)	부족분 (천톤/일)	용도
한강하류권	충주	257	250	7	생활용수 (총 113.9 톤/일)
금강북부권	대청(I,II)	1036	1010	26	
	대청(III)	627.9	606	21.9	
	충남서부권	104.5	100	4.5	
금강남부권	금강	191.6	170	21.6	
	부안	96.5	87	9.5	
영산강권	주암(I,II)	511.5	493.3	18.2	
	전남남부	201.8	200	1.8	
낙동강중부권	구미(I,II)	368.7	367	1.7	
남강권	남강(I,II)	345.7	344	1.7	
한강하류권	아산(I,II)	573.8	570	3.8	공업용수 (총 83.4 톤/일)
금강남부권	군산(II)	9.4	6	3.4	
섬진강권	광양(IV)	168.3	103	65.3	
낙동강중부권	포항	305.9	295	10.9	
합계		**4798.6**	**4601.3**	**197.3**	

자료: 수자원장기종합대책 '11-'20(국토교통부), 2025 수도정비 기본계획(광역상수도 및 공업용수도) 변경(국토교통부, 2015), 전국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 요약보고서(국토교통부, 2017), 테크노베이션 정리

□ 전략 3 - 해외 시장 맞춤형 기술 개발을 통한 사업화

중동 (Middle East)

- 저에너지 SWRO-PRO 해수담수화 기술 실증 및 사업화 추진



아시아 (Asia)

- 싱가포르 PUB 등 국제공동연구를 통한 PRO 기반 복합수처리 플랜트 구축 사업 추진



아메리카 (America)

- 농축수 해양생태계 영향 최소화 기술을 통한 친환경 해수담수화 플랜트 사업 발굴



유럽 (Europe)

- PRO 기반 신재생에너지 플랜트 신규 사업 발굴



□ 전략 4 - 국제공동연구 수행 및 사업 타당성 조사를 통한 사업 발굴



□ 전략 5 - 국내 실증플랜트 연구를 통한 track-record 조기 확보와 차세대 해수담수화 시장 선점



그림 3-19. SWRO-PRO 복합 해수담수화 플랜트 개념도

□ 서비스 모델

○ 서비스 삼각모델

- 본 연구 과제에서 개발된 기술을 통해 얻은 이익을 국민들에게 제공하기 위함
- 제공되는 서비스를 효율적으로 관리하고 국민 중심의 사고 및 이익 창출 서비스를 제공하는 시스템

○ 서비스 마케팅 삼각모델

- 국민과의 약속을 실현시키기 위한 관계마케팅 서비스 분야
- 내부마케팅(국민-정부) : 국민과 정부의 약속에 따라 PRO 기술 개발을 통해 얻어진 이익을 국민들에게 제공하기 위한 서비스
- 외부마케팅(정부-기업) : 정부가 기업에게 기대할 수 있는 서비스로 PRO 기술을 개발함으로써 기업이 국가와 국민에게 제공할 수 있는 서비스에 대한 약속
- 상호작용마케팅(국민-기업) : 국민과 기업의 약속관계로 기업이 PRO 기술 개발을 통해 국민의 관점에서 국민에 대한 편익과 만족을 결정적 순간에 가장 중요한 것으로 제공

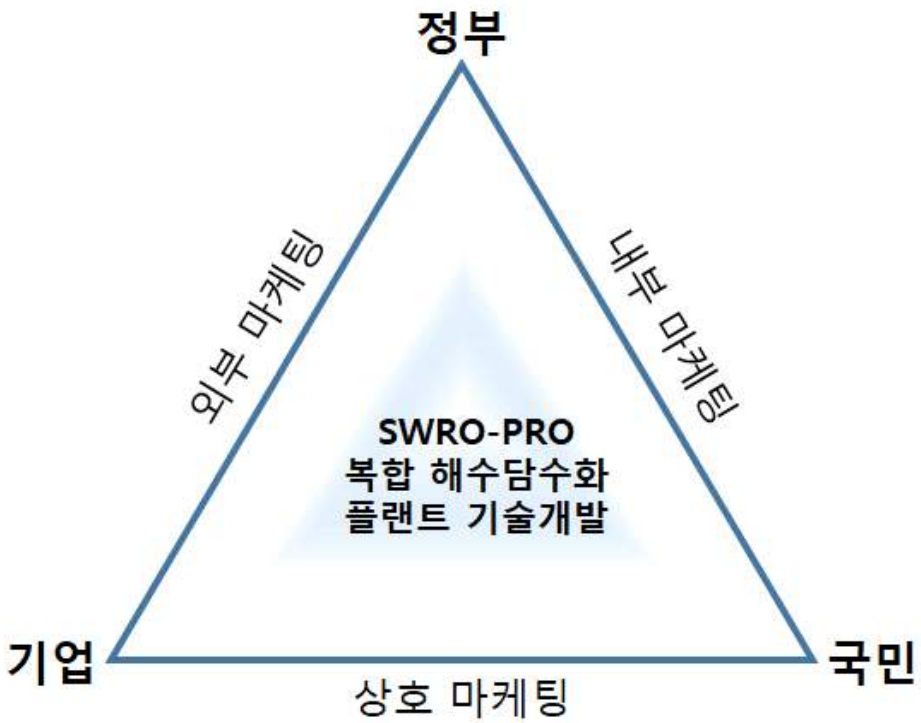


그림 3-20. SWRO-PRO 복합 해수담수화 플랜트 기술개발과 서비스 모델

제4장 압력지연삼투(PRO) 사전타당성 검토

1절. 논리모형(Logic Model)

가. 사업추진논리

○ 국내외 동향과 사업추진 여건 및 수요에 대한 조사분석 결과를 토대로 논리모형을 활용하여 사업 내용을 설계함

※ 국가연구개발사업의 기획 및 사전평가에 유용한 논리모형, KISTEP, 2016

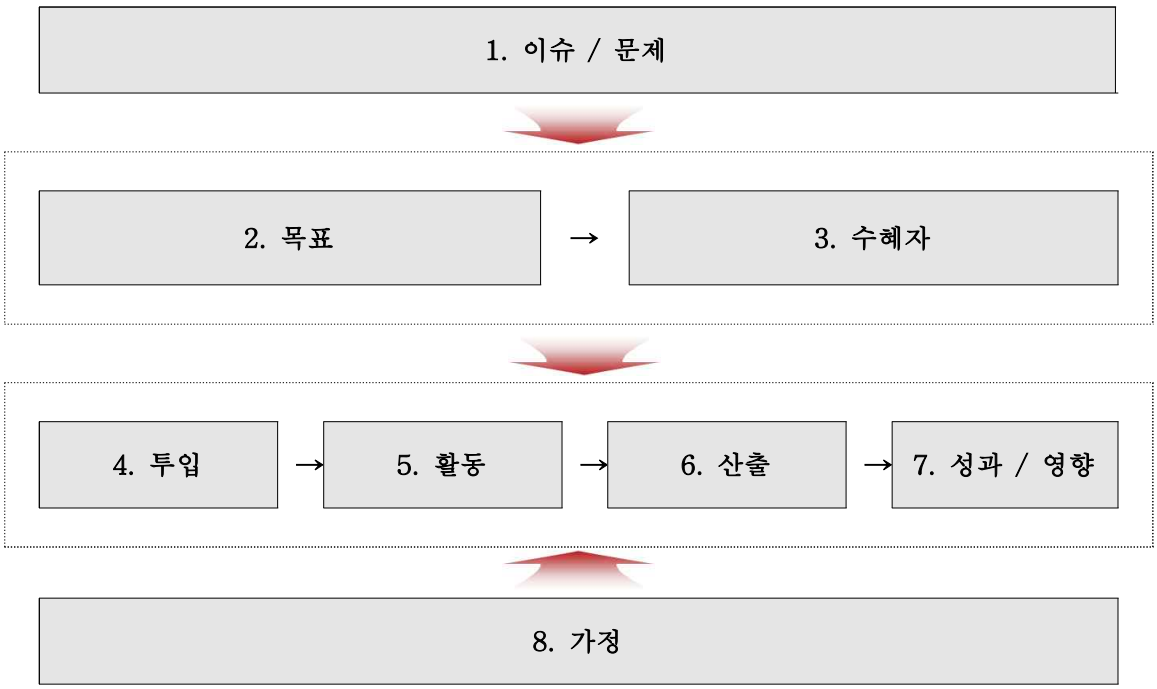


그림 4-1. 논리모형의 기본구조

○ 논리모형에 따라 주요이슈와 해결하고자 하는 문제를 정의하고, 문제가 해결되었을 경우 달성할 수 있는 사업의 목표와 문제해결의 수혜자를 정의하였음

- SWOT 분석을 통해 전략적 대안을 도출하고, 전략적 대안의 검토를 통해 기본전략방향을 도출하였음

- 전략방향에 따라 사업의 내용을 구성하고, 예산투입규모를 확정하고 구체적인 사업의 성과목표를 도출함

□ 압력지연삼투(PRO) 연구개발 추진논리(Logic model)

1. 이슈 / 문제

- 해수담수화 공정 배출수는 해수 대비 고염, 고온이며 화학물질 포함 우려가 존재하여 해양생태계 교란 가능성에 대한 논란이 해소되지 않고 있음
- 미국, 일본 등에서는 해양 생태계 논란으로 인한 주민 반대가 심하며 근래에는 중동까지도 해양 생태계 영향에 대한 요구수준을 높게 제시, 농축수의 해양환경영향 최소화에 대한 요구수준이 세계적으로 높아지고 있음
- 우리나라의 경우 해수담수화의 환경영향 안전성이 보장되지 않을 경우 사회적 소요가 예상되며, 사회적 수용성이 확보되지 않으면 해수담수화는 국가적 수자원 확보 전략으로 활용되기 어려움
- 현 기술 수준에서 해수담수화 환경영향이 없는 배출수 처리·관리 기술 및 환경영향 관련 가이드라인 미확보
- 선행연구로 진행된 'MD/PRO 복합탈염공정 실증플랜트 기술개발' 과제에서 농축수 회수와 에너지·비용 저감을 위한 SWRO-PRO는 원천기술 확보 후 파일럿 규모의 성능평가 단계까지 수행, 시장 진입을 위한 성능 검증 이전
- PRO 기술의 실용화를 위해 상용 규모의 실증 플랜트를 통한 기술의 우수성 검증 및 운영 데이터 확보 필요

2. 목표

- (비전) 국내 및 세계 물 문제를 해결하는 해수담수화 기술 강국 도약
- (사업목적) 해수담수화 환경적 안전성 확보를 통한 국내 정책적 도입
- (사업목표) 농축수 영향 제로화 PRO 기술 상용규모 실증을 통한 실용화

→

3. 수혜자

- (국민) 해수담수화 플랜트 환경적 안전성 보장을 통한 대체 수자원 활용기회 증대
- (기업) 세계 선도 배출수 영향저감 기술 확보를 통한 글로벌 해수담수화 시장 확대
- (정부) 해수담수화의 효율적·정책적 활용 가능, 국가적 물 안보 역량 제고

4. 투입

- 연구비
- 사업기간
- 참여연구인력
- 참여기관

→

5. 활동

- PRO 성능 고도화 및 핵심기술 장치개발
- SWRO-PRO 1MIIGD 트레인 설계 및 구축
- SWRO-PRO 실증플랜트 운영
- 해외 맞춤형 실증화 기술개발

→

6. 산출

- SWRO 1MIGD 실증플랜트
- PRO 전용 막 모듈
- SWRO-PRO 운영기술 (성능목표 달성)
- 논문(5), 특허(2) SW(1), 시제품(1)
- SWRO-PRO 설계·구축·운영 트랙레코드

→

7. 성과 / 영향

- 해수담수화 사회적 수용성 확보
- 국내 해수담수화 도입 사례 증가, 국가 물 위기 대응 역량 확보
- 세계 해수담수화 시장 확대 및 선도

8. 가정

- 해수담수화는 만성적 물 부족, 극한 가뭄 등 재난성 물 부족에 대응하기 위한 근본적인 대안
- 국내 임해·도서지역의 간헐적 물 부족에 따른 해수담수화 도입 수요가 높지만, 생산단가가 높고, 해수담수화의 환경적 안전성 미확보로 인한 사회적 수용성이 낮아 정책적 접근성이 떨어지고 있음
- 해수담수화 플랜트 배출수의 환경영향 제로화가 달성되면 해수담수화의 국내 도입이 원활하게 추진될 것이며, 해당 기술을 통한 세계 시장의 진출이 용이해질 것

그림 4-2. 압력지연삼투(PRO) 연구개발 논리모형

나. 해결하고자 하는 문제

○ **(해수담수화 배출수 환경영향의 제로화)** 해수담수화 국내 도입을 위해 배출수의 환경영향을 원천적으로 제거하는 기술 및 친환경성(환경 무영향)에 대한 높은 수준의 근거가 필요

- 해수담수화 플랜트 배출수는 해수 대비 상대적으로 고염, 고온의 특성을 가지며, 전처리 공정에서 포함되는 화학약품이 포함될 가능성 등 해양 배출 시 해양생태계에 끼치는 영향에 대한 우려가 존재

- 현재 배출수 처리 및 관리기술 역량, 환경영향 분석기술 및 근거의 수준은 미확보 상태이며 또한 해수담수화의 친환경성에 대한 사회적 동의가 확보되지 않은 상태

- 기존 기술로는 해양환경 생태계 훼손 문제에서 자유롭지 않아 국가 정책적인 물 문제 해결 수단으로서의 접근성이 낮음, 국내 도입 시 사회적 비용 발생이 불가피

- MCr 및 PRO, 환경영향 평가기술 등 배출수 처리·관리 기술의 완성을 통하여 국내 해수담수화 플랜트의 정책적 활용을 가능하게 할 필요

○ **(해수담수화 환경영향 최소화를 위한 관리 체계 마련)** 국내 해수담수화 도입 시 해양생태계 영향을 최소화하기 위한 가이드라인을 마련하여 국내 해수담수화 플랜트 건설의 환경적 안전성을 보장, 국내 시장 확장과 정책적 활용 가능성 제고

- 취수 기술, 부지 선정, 설계 요건, 염수 수질 목표, 배출수 영향 평가 방식 등 해수담수화 플랜트가 국내 해양 환경에 영향을 미치지 않도록 하는 규정을 마련

○ **(친환경 해수담수화플랜트 세계 시장 선도)** 중동, 미국 등 세계시장은 해수담수화 플랜트의 저에너지화 요구와 더불어 배출수로 인한 해양환경오염 우려를 불식시키기 위한 기술적 요구 수준을 높여가고 있어, 국내 뿐 아니라 세계 시장 선도를 위해 해수담수화 배출수의 친환경성 확보가 필수적

- 세계 시장에서 해수담수화 농축수 및 하수 재처리후 배출수 등 수처리 하·폐수의 처리기술이 중요해지고 있으며, 시장 선도를 위해 PRO 혁신기술을 바탕으로 배출수 처리·관리 및 환경 무해성을 확보하는 기술 역량을 확보할 예정

- 본 연구개발을 통해 세계최고 수준의 선도적·혁신적 배출수 관리 기술력을 확보함으로써 글로벌 시장을 선도하고자 함

2절. 정책적 타당성

가. 국내 상위계획을 통한 해수담수화 기술개발 추진 방향성 제시

○ **국가 물 안보(수자원 확보, 가뭄대응 등)**를 위한 다수의 상위계획에서 **해수담수화 기술 개발** 및 해수담수화의 도입을 시사

- **가뭄대응 종합대책 (2017. 8.)**에서는 용수공급을 주도(56%)해온 댐 등 전통적 수자원 개발이 한계에 이르렀고, 대체수자원 활용은 미흡(5%)했던 문제를 제기, 새로운 물자원의 조기 확보를 추진하고자 하였으며 가뭄 상습지역의 광역상수도 사업 조속 추진과 함께 ’20년 이후 해수담수화 13개소 구축 계획을 제시

- **제 4차 수자원 장기종합계획(2001-2020)** 제 3차 수정계획에서는 해수담수화를 통한 수자원 확보, 물 분야 미래산업 육성 전략을 제시함

  • 첫 번째 목표로 ‘맑은 물의 안정적 공급’을 설정하고 있으며, 이를 위해 다양한 대체 수자원 적용·확대를 위해 ‘해수담수화를 통한 물 공급 확대’ 전략을 제시

  • 네 번째 목표인 ‘수자원 기술개발 및 산업육성’에서는 물 분야 미래산업 육성 분야로 위한 해수담수화의 전략적 육성을 제시함

- **2025 수도정비 기본계획(’09.12.)**에서는 수도사업의 효율성 증대와 수요관리 강화를 통해 수자원의 활용도를 제고하고, 열악해지는 물 환경을 고려한 효과적 수요관리계획을 수립하고자 하였으며, 이를 위해 광역상수도·공업용수도의 유수율 향상, 중수도 이용 등과 함께 해수담수화 계획을 제시하며 기술개발 필요성 강조

- **제 4차 과학기술 기본계획 (2018. 2.)**에서는 쾌적하고 편안한 생활환경 조성을 위해 기후변화 예측 및 국가적 대응역량 제고를 위해 안정적 수자원 확보 및 용수수급 기술 개발을 추진하며, 중점과학기술 목록으로 수자원 확보·관리 기술을 꼽고 있어, 수자원 확보 기술로서 해수담수화 기술개발 필요성 확보

- **국토교통부 7대 신사업**에 해수담수화가 포함되었으며, 현재 세계 수준과 5년의 격차를 보이고 있는 해수담수화 기술력을 2020년까지 최고 수준으로 향상시킨다는 목표를 수립, 경쟁력 확보를 위해 해수담수화 R&D 지원규모를 현재의 2배 수준으로 확대하겠다는 부처 차원의 기술개발 추진의지 확보

< 수도정비 기본계획 중 '해수담수화' 추진 방향>

※ 2025 수도정비기본계획 제 9장 상수도수요관리계획 중 8.0 해수담수화 계획 발췌

과거 해수담수화기술은 고비용 문제로 현실성이 낮은 기술로 평가받기도 했으나, 수년간의 기술개발로 생산비용을 줄이게 됨에 따라 **해외 담수화시장의 선점을 위한 글로벌 기업과의 네트워크 강화, 정부. 산업계 및 학계와의 협력관계 구축, 해수담수화 관련 적극적인 기술 개발을 통하여 핵심기술 확보하는 등 다양한 방안을 추진할 필요가 있다.**

광역상수도 및 공업용수도는 도서지역 주민들이 먹는 물 혜택을 골고루 받을 수 있도록 해수담수화시설을 수탁하여 공익목적으로 운영(2014년 42개 도서 2,205㎥/일) 중에 있으나 2019년 수탁운영이 종료됨에 따라 해수담수화시설의 국고지원에 대한 검토도 필요하다.

또한 소규모 해수담수화 관련기술 개발 및 효율적인 운영관리시스템 확보가 필요하며, 해수담수화시설을 도서지역 뿐만 아니라 산업단지가 발달한 해안지역을 중심으로 추진할 필요가 있다

표 4-1. 제 4차 수자원 장기종합계획 제 3차 수정계획 중 해수담수화 전략_발췌

1.1 저영향 맞춤형 수자원 확보	**세부과제 1.1.3 다양한 대체 수자원 적용·확대** ○ 해수담수화를 통한 물 공급 확대 - 현재 담수화 기술은 에너지 비용 절감 기술개발을 통한 생산단가 감소로 중요한 대체수자원으로 적용 가능 ※ 해수담수화 m^3 당 생산단가는 10USD('90) → 0.76USD('15)로 지속적 하락 - 추가 용수수요가 필요한 임해산업단지와 지표수가 부족한 섬 지역 등에 R&D와 연계 해수담수화 실증플랜트 도입 추진 산업단지, 섬지역, 빈번한 급수제한 지역 등을 대상으로 해수담수화 도입 검토 충남 서산의 대산임해산업단지는 '19년부터 수요증가로 물 부족이 예상되므로 (△88천m^3/일) 해수담수화 도입 추진
4.2 수자원 산업 육성 기반 마련	**세부과제 4.2.2 물분야 미래산업 육성** ○ 해수담수화 전략적 육성 - 주요 산업단지가 밀집해 있는 임해지역과 단선용수로 공급하는 섬 지역 등은 관계부처와 협력으로 안정적 공급방안 마련 필요 ※ ※ 산업단지, 섬지역, 빈번한 급수제한 지역 등을 대상으로 종합계획 수립

○ 물의 재이용 활성화, 물 산업 육성과 관련한 다수 상위계획에서 **국내 수자원의 효율적 이용 기술 확보의 필요성을 제시**

- **물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 (2010년 제정)**은 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고 수질에 미치는 해로운 영향을 줄임으로써 물 자원의 지속가능한 이용을 도모하고 국민 삶의 질을 높이는 것을 목적으로 함

  • 물 재이용 기본계획에 물의 재이용 관련 기술의 개발 및 보급계획을 포함하도록 하여, 하수 활용을 통한 해수담수 생산기술(PRO) 개발의 목적성과 부합

- **물 재이용 기본계획 (2011. 9.)**은 하·폐수 처리수 등 물 재이용을 통해 기후변화로 인한 지역적 물 수급 불균형 문제를 해소하고자 하며, 하·폐수 처리수 재이용 사업 확대 추진을 통한 친환경 대체용수 확보, 정책 방향으로 물 재이용 산업육성과 기술개발을 통한 국제 경쟁력을 강화를 제시함으로써 하·폐수를 활용하는 PRO 기술과 MD 기술개발 추진 방향성을 시사

- **물 산업 육성 5개년 추진계획(2006.)** 물 산업 강국 구현을 위해 단기·중장기 목표를 수립하고 비전 및 목표 달성을 위한 전략 및 중점과제를 도출하였으며, 특히 상수도 인프라 투자확대를 위한, 대체수원 개발투자 확대 추진 과제에 경남 한산도 일대의 해수담수화 개발투자 확대 내용이 포함됨 (1,500억원 / 2,235 m3/일)

- **물 산업 육성 5개년 세부추진계획(2007. 7.)**은 지속적 시설투자 및 제도개선을 위해 장래 물 부족에 대비한 강변 여과수, 해수담수화 등 대체수자원 개발투자를 제시

- **물 산업 육성전략(2010. 7.)**은 물 산업 강국으로의 도약과 내수규모 확대, 일자리 창출 증가, 세계적 물 기업으로의 도약 등의 목표 달성을 위해 물 재이용을 포함한 4개의 핵심전략을 수립하고 있으며, 원천기술 개발을 통한 경재력 확보를 위한 중점 기술에 역삼투 해수담수화 기술이 포함

  • 향후 해수담수화 시장의 60%를 차지할 역삼투 방식에 대한 기술개발 추진이 명시됨

- **스마트 물산업 육성전략(2016. 11.)**에서는 2030년 기준 물 복지 증진(기후변화 대비, 지속가능한 물 공급·이용체계 구축), 물기업 매출액 50조원 달성, 수출액 비중 20% 달성을 목표로 추진되며 이 중 지속가능한 물 이용 기반구축을 위해 물 재이용과 함께 해수담수화의 단계적 확보 및 기술개발 전략 제시

나. 해수담수화 배출수 관리기술은 국가 물 안보 전략 하 해수담수화 도입을 위하여 국가가 반드시 확보해야 하는 수요기술

○ 해수담수화는 수자원 확보 대안 중 임해지역의 심각한 물 부족 문제 해결을 위해 국가적으로 추진하여야 하는 장기적이고 근본적 수자원 확보 방안이나, 도입을 위해서는 우선적으로 환경적 안전성이 확보되어야 할 필요

- 담수자원 총량이 부족한 임해지역의 심화되는 가뭄 해결을 위한 근본적 대안은 해수담수화 기술로, 국가 상위계획 상에서 해수담수화 기술 개발 및 해수담수화의 도입을 추진하고 있어 이에 대한 기술적 역량을 국가적으로 확보해야 함

- 특히 해수담수화 기술의 국내 전략적 활용을 위해서는 도입 시 환경적 안전성을 보장하기 위한 기술 역량이 확보되어야 하며, 이를 통해 사회적 수용성도 확보할 수 있음

- 해수담수화의 국가적 해수담수화의 배출수 관리 기술과 함께 환경영향을 제대로 평가하고 이를 최소화할 수 있는 국가적 가이드라인을 확립하는 것이 우선되어야 함

표 4-2. 주요 수자원 확보 대안의 특징 및 한계

수자원 확보 대안	특징 및 한계
댐 등 물 저장 시설의 확충	• 대규모 건설 비용 및 환경비용 소요 • 하천수 부족 지역은 활용 불가 • 환경생태계 이슈로 인하여 추가건설이 어려움
지하수 개발 및 확충	• 지하수 자원이 풍부한 지역에 한정하여 이용 가능 • 가뭄 지역의 경우 상당 부분 지하수 개발이 진행되어 추가 개발에 한계
하수 재이용	• 적극 추진 가능하나 음용수나 생활용수로 활용 곤란 (농업용수, 청소, 조경, 하천유지용으로 활용)
해수담수화	• 안정적 수자원 공급이 가능하나 고비용 • 생활용수, 음용수, 공업용수 공급 가능 • 도서 및 임해지역에 적용 가능

다. **해수담수화 국내 도입을 위해서는 개발 중인 혁신 기술의 실증이 필요하나, 민간 독자 추진 시 투자위험이 커 정부 차원의 기술개발 추진 필요**

○ 국내 도입을 위한 해수담수화 기술은 경제적·환경적·사회적 측면의 제약 극복을 위해 도전적 목표를 달성하여야 하는 바, **기술개발 난이도가 높은 혁신기술의 개발이 필요하며, 이에 따른 기술개발의 투자 위험이 큼**

- 국내 도입을 위해서는 중·소규모 해수담수화 플랜트의 높은 건설·운영 비용으로 인한 낮은 경제성, 생산원가 이하로 공급되는 국내의 낮은 상수도 가격, 서해안의 높은 해수 탁도, 낮은 사회적 수용성 등을 극복해야 함

- 다수의 제약조건들을 극복하기 위한 혁신기술의 개발 및 실용화가 필요한 시점

  • 해수담수화 분야에서 기술의 진보를 통해 경제성 측면에서의 효율이 높아지고 있으나, 기존 기술에 의한 개선은 한계에 도달하였으며, 특히 배출수 관리를 통한 환경적 안전성 측면에서는 아직 미흡한 수준

  • 해수담수화 배출수의 환경 무영향/안전성 확보를 위해서는 혁신적 방식의 신기술 개발 및 개발 중인 신기술의 상용화를 위한 신뢰도 확보가 필요

- SWRO-PRO, MD 등 배출수 처리·관리를 위한 혁신기술은 **상용 실증을 앞두고 있어 민간 독자 추진의 위험이 크므로, 국가적 차원의 역량을 결집하여 산·학·연 기관이 협력하여 추진해야할 필요**

- PRO, MD 등 혁신기술은 추가로 획득하여야 할 기술의 난이도가 높고, 내수시장 규모가 적어 민간이 독자적으로 투자할 동인이 낮은 편

- 또한 해수담수화 기술은 대형 장치산업의 속성을 갖는 플랜트 기술로, 현재의 연구단계는 실증연구를 통해 트랙 레코드*를 확보하여야 하는 시점

※ 개발품이 실제 환경에서 운용되어 주기적으로 축적된 기록 및 실적으로, 제품의 안전성과 성능을 증명하는 역할

  • **실증연구는 장기간·고비용의 투자가 필요, 정부의 투자지원이 필요한 시스템 실패(system failure)의 영역에 해당**

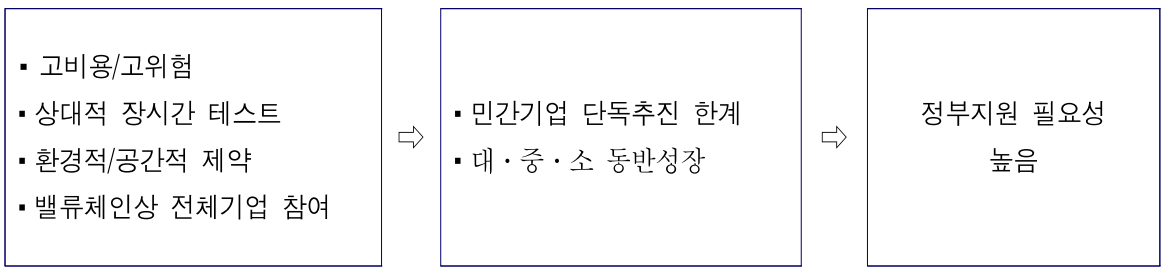


그림 4-3. 플랜트 기술 실증연구의 특징

3절. 기술적 타당성

가. 해양생태계 보전을 위한 배출수 처리 기술의 개발 및 실용화 필요

○ 해수담수화 기술의 국내 도입을 위해 배출수의 환경영향을 원천적으로 제거하는 기술이 필요하나 배출수 처리 및 관리기술 역량, 환경영향 분석기술 및 근거의 수준은 미확보 상태

- 해수담수화 기술의 국내 도입을 위해 MCr, PRO 등 해수담수화 배출수 처리기술 개발을 통해 해수담수화 기술의 친환경성을 보장하여 사회적 동의를 확보하기 위한 기술의 추가 개발과 실용화가 필요한 시점



그림 4-4. 해수담수화 플랜트 반대 시위_미국

- 특히 현 시점에서 해수담수화 플랜트의 배출수 처리 기술이 개발되지 않는다면, 배출수 환경영향 안전성 미확보, 사회적 수용성 미확보로 인해 해수담수화의 국내 전략적 도입이 원천적으로 불가능해질 우려 존재

표 4-3. 국내·외 해수담수화 도입 시 반대 사례_이슈별

이슈	사례
높은 생산비용	• (호주) 지난 1997~2009년 대가뭄을 겪은 담수화 플랜트를 대거 건설했지만, 연료비 부담 때문에 가동을 포기한 사례 有 • (미 캘리포니아) 산타바바라 시는 지난 1992년 담수화플랜트 완공 후 거액의 운영비용 때문에 가동하지 않았음 (2017년 재가동) • (미 플로리다) 탬파베이시는 담수화 시설로 하루 최대 9만5,000톤의 물을 생산 가능하나 비싼 가격으로 구입자가 적어 공장 가동률 낮음
해양 생태계 교란	• (미 캘리포니아) 담수화 공정에서 발생하는 고염 농축수의 방류로 인한 해양 생태계 교란 및 설비 건설에 따른 해안가 난개발 논란 • (일본 오키나와) 정수 후 나오는 농축수가 주위 바다의 백화현상을 초래하고있다는 주장 (입증되지 않음)
음용 안전성에 대한 불신	• (부산 기장 플랜트) 고리 원자력발전소와 11.3㎞ 근접한 해수 취수로 음용 안정성 논란 • (미 캘리포니아) 해수담수화 설비의 구조상 취수구와 배수구가 근접 배치되고, 염수 특성으로 설비의 빠른 부식이 일어나 음용상 안전성 이슈 제기됨

다. 선행투자를 통해 국내 SWRO-PRO과 MD기술의 원천기술이 확보되었으며, 연계·후속 기술개발을 통한 실용화가 필요한 단계

○ PRO는 높은 염분농도의 해수담수화 농축수와 담수 사이의 염도차 에너지를 회수할 수 있는 기술로, 선행 연구에서 파일럿 플랜트를 활용하여 SWRO-PRO 시스템 원천기술을 확보

- 상용규모 실증을 통한 대용량 검증(경제성 확인)과 운영기술을 확보하면 세계 최초의 상용화가 가능함

○ 대형 장치산업인 플랜트 기술의 특성을 고려할 때 현 단계에서 PRO와 MD 기술개발을 중단할 경우 상용화 불가능

- 개발된 기술의 우수성을 증명할 기회를 얻지 못할 경우 상용화가 불가능하며, 시장진입 지체로 현재까지 투입된 정부 R&D 예산의 효과가 사장될 수 있음

○ 실증 규모의 현장적용 및 기술검증을 통해 현재 TRL 6단계에 이른 MD 및 PRO 기술의 기술완성도를 TRL 8단계 이상으로 향상시켜 기술 실용화를 추진해야 함

- 궁극적으로는 MCr과 PRO의 복합생산을 통한 물・자원・에너지의 대량 생산이 목표



4절. 경제적 타당성

1. PRO 기술

가. PRO 과제의 비용구성

□ PRO 과제의 비용구조는 4개 세부과제의 연구비로 구성함

○ PRO 과제는 5년(’19~’23)간 정부 출연금 290억원과 민간 96.67억원, 총 386.67억의 예산을 투입하여 추진할 예정

○ 사업의 경제성 분석을 위해 연도별 비용을 4.5%의 할인율로 현재가치화 할 경우, 총 254.98억원으로 계산됨

※ 기획재정부 예비타당성 조사 운용지침을 준용하여 할인율을 4.5% 적용하고, 기준년도는 분석이 수행되는 현재시점인 2018년으로 함

[백만원]

	세부과제	구분	2019	2020	2021	2022	2023	총계	총합
1세부	PRO 막모듈기술	정부	800	1,000	1,200	1,200	800	5,000	6,667
		민간	267	333	400	400	267	1,667	
	PRO 전처리 기술	정부	300	1,000	1,800	500	400	4,000	5,333
		민간	100	333	600	167	133	1,333	
	소계	정부	1,100	2,000	3,000	1,700	1,200	9,000	12,000
		민간	367	667	1,000	567	400	3,000	
2세부	Train 최적 설계 기술	정부	300	700	500	300	200	2,000	2,667
		민간	100	233	167	100	67	667	
	저비용 Train 구축 기술	정부	800	3,000	3,500	1,000	700	9,000	12,000
		민간	267	1,000	1,167	333	233	3,000	
	소계	정부	1,100	3,700	4,000	1,300	900	11,000	14,667
		민간	367	1,233	1,333	433	300	3,667	
3세부	스마트 운영 기술	정부	600	600	900	1,200	1,200	4,500	6,000
		민간	200	200	300	400	400	1,500	
	PRO 경제성 평가 기술	정부	200	200	500	400	200	1,500	2,000
		민간	67	67	167	133	67	500	
	소계	정부	800	800	1,400	1,600	1,400	6,000	8,000
		민간	267	267	467	533	467	2,000	
4세부	시장 맞춤형 공정 설계 기술	정부	100	300	300	200	100	1,000	1,333
		민간	33	100	100	67	33	333	
	해외 실증화 기술	정부	200	800	400	300	300	2,000	2,667
		민간	67	267	133	100	100	667	
	소계	정부	300	1,100	700	500	400	3,000	4,000
		민간	100	367	233	167	133	1,000	
총계		정부	3,300	7,600	9,100	5,100	3,900	29,000	38,667
		민간	1,100	2,533	3,033	1,700	1,300	9,667	
2018년 현재가치		정부	3,300	7,600	9,100	5,100	3,900	29,000	38,667
		민간	1,100	2,533	3,033	1,700	1,300	9,667	

나. PRO 과제 편익 구조

□ 과제 성과목표에 따른 시나리오를 중심으로 편익을 도출하였으며, (1)국내 생·공용수 공급비용 저감효과와 (2)해외진출 증대효과, (3)투자에 따른 효과로 구분하여 도출함

○ **(국내 생·공용수 공급비용 저감효과)** PRO 기술 상용화에 따라 해수담수화 플랜트 국내 도입 시 줄일 수 있는 생·공용수 공급비용의 저감 효과를 담수화플랜트 배출수 환경영향 제로화 및 공정에너지 저감기술 상용화를 통해 고려하며, 수자원공사에서 수립한 중·장기 해수담수화 플랜트 도입(총 13기) 개발계획에 대입하여 추정함

○ **(해외진출 증대효과)** PRO 기술 상용화에 따라 혁신기술 우선 확보에 따른 세계 해수담수화 시장에서의 플랜트 수주율 증대를 시나리오 기법을 통해 고려하되, PRO 기술의 기여분만을 편익으로 추정함

표 4-4. PRO 과제 성과목표 달성에 따른 편익유형

<table>
<tr><th>구분</th><th>성과목표</th><th>편익</th><th>연번</th><th>도입 시장규모 (시나리오)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">국내 생·공용수 공급 비용저감 효과</td><td rowspan="2">[성과목표 1]
담수화플랜트 농축수 환경영향 제로화</td><td>• 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적비용 발생 방지 편익
(수혜자 : 국가)</td><td>(1)</td><td rowspan="3">총 13기 건설계획 중 7기* 도입
(k-water계획, 중 장기도입 수요만 고려)</td></tr>
<tr><td>• 해담플랜트 적기 도입(주민반발에 의한 개발 지연 방지) 편익
(수혜자 : 소비자)</td><td>(2)</td></tr>
<tr><td>[성과목표 2]
에너지회수기술 확보·상용화</td><td>• 담수 생산 비용 저감 편익 (3.6kWh/m^3 기준 0.8 kWh/m^3 회수)
(수혜자 : 생산자)</td><td>(3)</td></tr>
<tr><td>해외진출 증대효과</td><td>[성과목표 3]
삼투에너지 회수 모듈러 플랜트 기술 확보</td><td>• 기술우위에 따른 해외 시장 해수담수화 플랜트 수주 증대 (PRO 기여분만 고려)
(수혜자 : 생산자)</td><td>(4)</td><td>시장점유율 3.75% -> 5%</td></tr>
</table>

□ 본 분석에서 국내 도입 시장규모는 국토교통부의 ‘전 국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 요약보고서(2017)’를 통해 도출된 해수담수화플랜트 사업 개발계획을 통해 추정함

○ 해당 개발계획은 승인단계라 볼 수는 없으나, 본 사례의 경우 연구개발 이후를 가정하므로 잠정적으로 수립된 장기 계획을 통해 추정함

※「예비타당성조사 수행 총괄지침」에 따르면, 경제성 분석의 수요 추정 시 장래 개발계획의 반영기준은 실시계획 승인에 준하는 단계 이상인 경우를 원칙으로 함

표 4-5. 개발 가능지점 해수담수화 사업 개발계획 (국토교통부, 2017)

구분	대상지	시설규모 (천톤/일)	수요처	사업시기
생활용수	금강북부권	50	당진시, 서산시, 예산군, 홍성군	장기
	영산강권	20.3	해남군, 진도군	장기
	속초시	14	속초시, 양양군	중기
	태안군	30.8	태안화력발전소	장기
공업용수	반월국가산업단기	17	공업용수이용업체	장기
	군산국가산업단지	30	공업용수이용업체	중기
	광양국가산업단지	60	포스코	중기
	대불국가산업단지	6	공업용수이용업체	장기
	울산국가산업단지	130	공업용수이용업체	장기
	온산국가산업단지	50	공업용수이용업체	장기
	창원국가산업단지	18	공업용수이용업체	장기
	여수국가산업단지	66	공업용수이용업체	중기
	포항국가산업단지	72	포스코	중기

자료: 전국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 요약보고서 (국토교통부, 2017)

○ 장기로 계획된 해수담수화 플랜트는 총 316.1 천톤/일 (31만 6천톤/일) 규모

1) 국내 생·공용수 공급 비용저감

□ **해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적 비용발생 방지 편익**

○ **(편익 개념)** PRO 기술이 확보되어 해수담수화의 해양환경영향이 제로라고 가정할 경우, PRO 기술이 없을 때에 비하여 **국내 해수담수화 플랜트 도입 시 발생 가능한 해양환경의 피해가 발생하지 않음으로써 방지되는 사회적 비용**을 편익으로 간주하여 추정함

○ **(편익 도출을 위한 가정)** 해수담수화플랜트 도입 시 배출수에 따른 해양생태계 피해의 경제적 가치를 사회적비용으로 설정하여 추정하되, 사회적비용을 산출하기 위한 환경가치평가 모형인 조건부 가치평가모형(CVM)을 준용함

- 해수담수화 플랜트 배출수의 해양생태계 피해의 사회적 비용은 연안 공공시설 도입 시 발생하는 해양생태계 환경영향의 사회적 비용 추정과 관련한 유사 사례*를 참고하여 도출함

표 4-6. [참고] 환경피해액 추정 사례_허베이스피릿호 유류사고 관련

연 구 기 관	환경피해액	산정방법	비고
충남발전연구원 정종관 / '11. 4	**5,090억원**	씨프린스호 사고 비교	기존 환경피해액 산정방법 적용 - '08 전국가구수× 지불 의사액 × 0.75 × 2 × 1 .8 (15,880천 가구) (11,850원) (표명비율) (조정계수) (단리)
경기개발연구원 유영성 외 / '08. 4	**6,884억원**	조건부 가치 측정법	경제규모를 반영한 환경피해액 추정 - 경제활동인구 × 추가 세금부담액 (24,495천명) (10년간, 28,105원)
한국해양수산개발원 신철오 외 / '08.12	**5,010억원**	"	권역별 환경피해액 추정 - 비시장가치 피해액× 영향 기간 (약 630억원) (10년,할인율5.5% 적용)
경북대학교 한상열 / '09. 3	**3,629억원**	"	가구별 환경부담금 지불의사액 추정 - '08 전국가구수× 지불 의사액 (15,880천 가구) (22,854원)
국토해양부 한국해양연구원 권석재 / '10. 3	**12,665억원**	"	가구별 환경부담금 지불의사액 추정 - '05 전국가구수× 지불 의사액 × 영향기간 (15,988천 가구) (7,921.7원) (10년)
평균	**6,656억원**		

자료: HS호 유류오염사고 환경피해 추정액,
해양수산부 폼페이지(http://www.mof.go.kr/content/view.do?menuKey=447&contentKey=72)

- 본 연구에서는 해수담수화 플랜트 배출수의 해양생태계 피해에 대한 지불의사액을 직접적으로 추정하지 못한 바, 경기연구원에서 수행된 '조력발전의 사회적비용 추정 및 과세화 연구(2017)' 에서 도출된 1인당 연평균 지불의사액 값을 활용하여 추정함

  • '조력발전의 사회적비용 추정 및 과세화 연구(2017)' 에 따르면 시화조력발전소의 총 사회적비용은 수도권의 경우 20,555.14억원으로 추정되었으며, 경기도의 경우 15,741억 원으로 추정됨

< * 참고 : 조력발전의 해양생태계 피해>

[해양생태계의 변화 특징]

방조제 건설에 따른 해양생태계 변화는 다음과 같은 특징을 보입니다.

· 방조제 건설을 통해 조력발전이 가능하지만 방조제 건설은 수질악화, 저서생물 변화, 종다양성 변화, 갯벌면적 감소, 해수교환율 감소, 해수면 높이 변화 등의 환경변화를 발생시킨다. 이들은 해양생태계의 속성상 서로 연관되어 복합적으로 영향을 주고받으며 작용한다.

① 해수면 높이 변화는 해수면의 간만조 수위차를 감소시키고 이는 조간대 면적을 감소시켜 결과적으로 갯벌면적의 감소를 가져온다.

② 갯벌은 그 자체로 수질정화 효과와 해양생물의 산란과 서식지로 이용되기 때문에 갯벌 면적의 감소는 어족자원의 감소로 이어지게 된다.

③ 해수 유통율 변화는 조수압력 저하로 조지 내 염도의 변화를 발생시켜 생물상의 변화를 가져오고 조지내 유입되는 오염물질의 배출을 저하시켜 수질을 악화시키고 오염물질 퇴적에 따른 부영양화를 일으키게 된다.

④ 궁극적으로 해수면 높이 변화와 해수 유통율 변화, 갯벌면적 감소는 모두 어족자원의 감소와 생물다양성의 감소를 가져오게 된다

  • 해당 연구에서는상기 피해 관련 설명을 제시한 후, 아래 질문을 통해 응담자의 지불의사(WTP)를 추정하였으며, 향후 5년간 매월 1,000원, 4,000원, 7,000원, 10,000원 중 하나를 선택하게끔 하였음

"만일 시화호 조력발전에 따른 해양생태계 피해를 제거하기 위해 정부(지방자치단체)가 귀하에게 향후 5년 동안 '생태계복원협력금' 으로 매월 ( )원을 징수한다면 귀하는 이를 지불하시겠습니까?"

※ 지불의사 질문에서 '아니오'라고 답변한 경우 부담금 지불의사가 0 원인지 확인하고 지불의사가 0원이라고 답변할 경우 그 이유를 물어보고, 이 중 비경제적인 이유로 지불의사가 없음을 밝힌 경우 저항응답(protest bid)으로 분류하고 이를 사후적으로 유효표본에서 제외

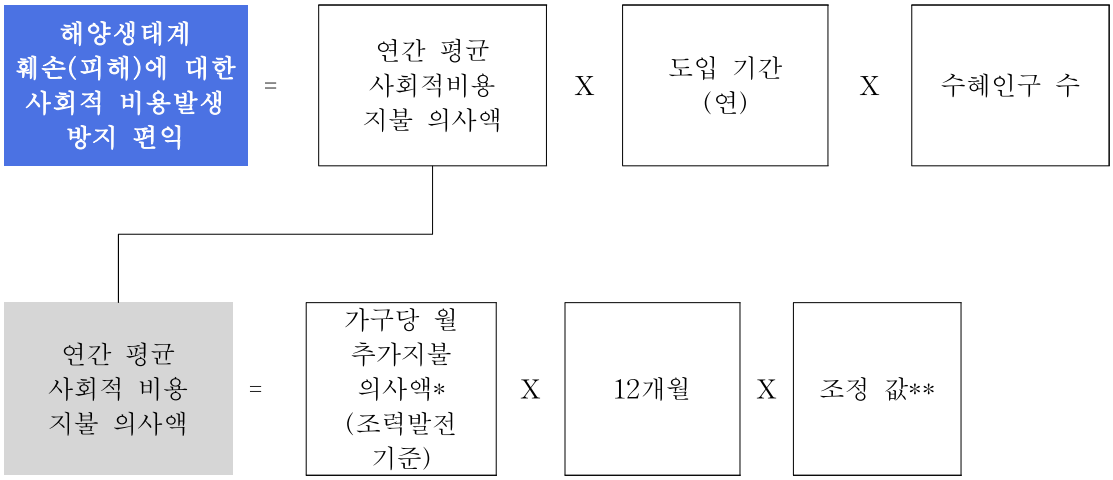
표 4-7. 1인당 ‘생태계복원협력금’ 평균 지불 의사액

구분	1인당 평균 지불 의사액 (월별, 원)	1인당 평균 지불 의사액 (연간, 원)
수도권	1335.5	16026.3
경기도	2050.3	24603.6

자료 : 조력발전의 사회적 비용 추정 및 과세화 연구(2017), 경기연구원

○ **(편익 도출식)** 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적 비용 방지 편익은, 환경 훼손에 대한 국민의 사회적 비용 지불 의사액과 도입기간, 수혜인구 수의 곱을 통하여 추정하였으며, 관련한 도출 식과 가정은 아래와 같음

＊ 플랜트별



* 현재가치로 환원하여 적용하였으며, 할인율 4.5% 적용

** 본 분석에서는 해수담수화플랜트의 해수담수화배출수의 피해 규모를 해당 사례의 50%로 가정하여 산정하였으며, 직접수혜인구 규모가 사회적 비용을 지불한다고 가정함

표 4-8. 해수담수화 해양생태계 훼손(피해) 방지 편익추정을 위한 가정

가정 1.	연간 평균 사회적비용(해양 생태계 훼손) 지불 의사액	• 해수담수화 배출수로 인한 해양생태계 훼손에 대한 사회적 비용을 조력발전 사례에서 조사된 지불 의사액을 통해 추정 • 해당 연구에서 조사된 평균 지불 의사액 중 수도권 주민의 응답 값을 적용 (월 평균 1,336원)
가정 2.		• 해수담수화배출수의 피해 규모를 조력발전 사례의 50%로 가정하여 산정 • 조정 값 50% 적용
가정 3.	해수담수화 플랜트 도입 시기	• 총 7기 해수담수화 플랜트를 모두 2028년에 도입한다고 가정 • '예비타당성조사 수행 총괄지침'에서 수자원 관련 사업의 경우에는 개발계획 반영기준을 개발계획 승인으로 하여야 하나 본 사례의 경우 연구개발 이후를 가정하므로 잠정적으로 수립된 장기 계획을 통해 추정함
가정 4.	편익 회임기간 및 발생 기간	• 편익 회임기간은 5년으로 설정 • 편익 발생기간은 해수담수화플랜트 시설의 수명주기를 고려하여 30년으로 추정함 (2028년-2057년)
가정 5.	수혜 인구	• 계획된 해수담수화 플랜트 시설규모(톤/일)를 인당 하루 물 소비량으로 나누어 도출 • 인당 하루 물 소비량은 0.54톤으로 가정함 (부산 기장플랜트 기준, 45천톤/일 규모를 83천명에 공급) • 생활용수 및 공업용수 공통으로 적용함
가정 6.	사회적 할인율	• 4.5% (「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」에서 제시하는 사회적 할인율 적용(2018.4.17 개정안 적용))

○ **(편익 추정 결과)** 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적 비용 방지 편익은 아래와 같이 총 514억원으로 추정됨

표 4-9. 해수담수화 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적 비용(총 7기)

구분	연번	대상지	시설규모 (천톤/일)	수혜인구 (명)	수요처	사업시기	사회적 비용 (원)
생활용수	(1)	금강 북부권	50	92,593	당진시, 서산시, 예산군, 홍성군	장기	8,132,528,898
	(2)	영산강권	20.3	37,593	해남군, 진도군	장기	3,301,827,988
	(3)	태안군	30.8	57,037	태안화력발전소	장기	5,009,612,506
공업용수	(4)	반월국가 산업단지	17	31,481	공업용수 이용업체	장기	2,765,005,370
	(5)	울산국가 산업단지	130	240,741	공업용수 이용업체	장기	21,144,504,870
	(6)	온산국가 산업단지	50	92,593	공업용수 이용업체	장기	8,132,528,898
	(7)	창원국가 산업단지	18	33,333	공업용수 이용업체	장기	2,927,668,244
총 합계			311.6	585,370			**51,413,676,773 (약 514억 원)**

- 현재 가정에서 국토교통부의 장기로 예정된 7기의 해수담수화 플랜트가 일괄적으로 2028년 도입되고 여기에 모두 PRO 기술이 도입된다는 가정은 매우 거친 가정이며, 본 편익이 크게 추정되도록 하는 요소가 될 수 있음

  • 향후 국가적으로 구체적 개발계획이 수립된 이후 해당 계획에 근거하여 다시 편익을 추정할 필요

- 수혜인구 역시 계획된 해수담수화 플랜트의 시설 규모를 토대로 추정하였으나, 해양 생태계 훼손(피해)에 영향을 받는 인구는 해수담수화 플랜트 수혜인구와 다른 범주와 규모가 될 수 있어, 향후 정교한 편익 도출이 필요할 시 이해관계자의 정의를 면밀하게 수행하여 보완할 필요

- 본 분석에서 해수담수화배출수의 피해 규모를 조력발전 사례의 50%로 가정하여 산정하였으나, 향후 해수담수화배출수의 환경영향이 과학적으로 도출된 후 동 가정 역시 수정되어야 하며, 이에 따르는 사회적 비용도 별도 연구를 통해 도출될 필요

□ **해수담수화 플랜트 적기 도입(주민 반대에 의한 개발지연 방지)에 따른 편익**

○ **(편익 개념)** PRO 기술이 확보되어 해수담수화의 해양환경영향이 제로라고 가정할 경우, PRO 기술이 없을 때에 비하여 국내 해수담수화 플랜트 도입 시 **주민의 저항요소가 사라져 해수담수화플랜트 적기 도입효과를 창출(주민반대에 따른 지연 방지)하며, 조기에 편익을 창출하는 효과**를 달성할 수 있음

- PRO 기술 확보를 통해 주민 기간을 단축함으로써 해수담수화 적기도입에 따른 운영기간(the period of operation) 확장의 사회적 편익*으로 추정함

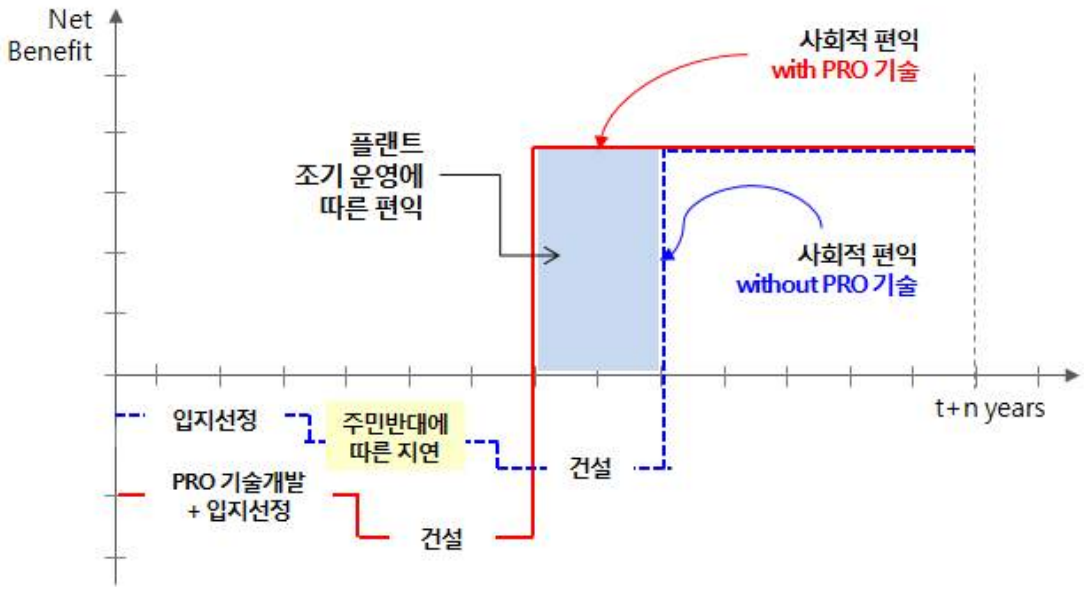
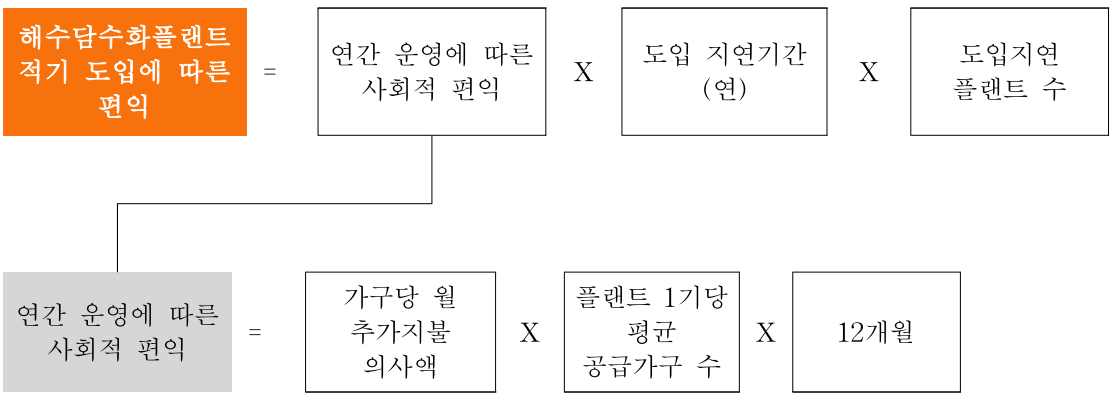


그림 4-5. 국내 해수담수화플랜트 적기 도입에 따른 조기 편익 창출 효과

○ **(편익 도출식)** 해수담수화플랜트 적기 도입 편익은 수혜인구가 연간 운영을 통해 얻는 사회적 편익을 도입 지연기간으로 곱하여 도출



○ **(편익 도출을 위한 가정)** 해수담수화플랜트의 운영의 사회적 편익*은 조건부 가치측정법**에 따라 도출된 가구당 월 지불 의사액을 통해 추정하며, 연간 지불의사는 변하지 않는다고 가정함

- **(해수담수화 운영의 사회적 편익)** '광역상수도의 사회적 편익 추정 연구(2011)'에서 조건부 가치측정법으로 도출된, 가구당 월 추가 지불 의사액을 통해 추정***

  • 해수담수화플랜트의 운영의 사회적 편익은 지방상수도 대비 광역상수도의 사회적 편익*과 같다고 가정함

< * 참고 : 해수담수화플랜트 운영의 사회적 편익>

※ '광역상수도의 사회적 편익 추정 연구(2011)'에서 조건부 가치측정법을 사용하기 위해 설문에 활용한 편익 (지방상수도 대비 광역상수도의 편익)

첫째, 지방상수도에 비해 가뭄시 안정적인 수돗물을 공급할 수 있다.
둘째, 지역간 요금편차를 제거하여 수도요금의 지역간 형평성을 고려할 수 있다.
셋째, 지방상수원보호구역의 해제로 인한 지역개발을 활성화 시킬 수 있다.
넷째, 국가차원에서도 물관리의 효율성을 증대시킬 수 있다.

표 4-10. 해수담수화 적기도입 편익추정을 위한 가정

가정 1.	연간 평균 해수담수화 운영 편익 추가 지불 의사액	• 해수담수화 운영의 사회적 편익은 지방상수도 대비 광역상수도의 사회적 편익과 같다고 가정하여, '광역상수도의 사회적 편익 추정 연구(2011)'에서 조건부 가치측정법으로 도출된, 가구당 월 추가 지불 의사액을 통해 추정 • 해당 연구에서 조사된 월 평균 추가 지불 의사액은 5,796원
가정 2.	해수담수화 플랜트 도입 시기	• 총 7기 해수담수화 플랜트를 모두 2028년에 도입한다고 가정 • '예비타당성조사 수행 총괄지침'에서 수자원 관련 사업의 경우에는 개발계획 반영기준을 개발계획 승인으로 하여야 하나 본 사례의 경우 연구개발 이후를 가정하므로 잠정적으로 수립된 장기 계획을 통해 추정함
가정 3.	편익 회임기간 및 발생 기간	• 편익 회임기간은 5년으로 설정 • 편익 발생기간은 해수담수화플랜트 시설의 수명주기를 고려하여 30년으로 추정함 (2028년-2057년),
가정 4.	수혜 인구	• 계획된 해수담수화 플랜트 시설규모(톤/일)를 인당 하루 물 소비량으로 나누어 도출 • 인당 하루 물 소비량은 0.54톤으로 가정함 (부산 기장플랜트 기준, 45천톤/일 규모를 83천명에 공급) • 생활용수 및 공업용수 공통으로 적용함
가정 5.	사회적 할인율	• 4.5% (「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」에서 제시하는 사회적 할인율 적용(2018.4.17 개정안 적용))

○ **(편익 추정 결과)** 해수담수화 적기 도입을 통한 편익 추정 결과, 총 7기의 해수담수화 플랜트 모두 1년씩 지연될 경우 10.4억, 모두 2년씩 지연될 경우 20.3억, 모두 3년씩 지연된다고 가정할 경우 29.8억 원의 사회적 편익이 발생함

표 4-11. 해수담수화 플랜트 적기 도입 편익(총 7기)

연도	인당 연간 추가지불 의사액	NPV	총 수혜인구	당해연도 운영편익(원)	지연 기간	누적 운영 편익(억원)
2028	27,491	17702.21591	585,370	10,362,346,125	**1년**	**10.4억**
2029		16939.91953		9,916,120,694	**2년**	**20.3억**
2030		16210.44931		9,489,110,712	**3년**	**29.8억**

- 현재 가정에서 국토교통부의 장기로 예정된 7기의 해수담수화 플랜트가 일괄적으로 2028년 도입되고 여기에 모두 PRO 기술이 도입된다는 가정은 매우 거친 가정이며, 또한 이 모든 계획에서 주민반대에 부딪혀 건설이 지연된다는 가정은 편익이 크게 추정되도록 하는 요소가 될 수 있음

  • 향후 국가적으로 구체적 개발계획이 수립된 이후 방법론의 정비를 통한 정교한 재 도출이 필요하며, 또한 생활용수 공급 플랜트를 중심으로 주민 반대가 제기될 사례의 비율과 이로 인한 지연 기간을 다시 도출할 필요

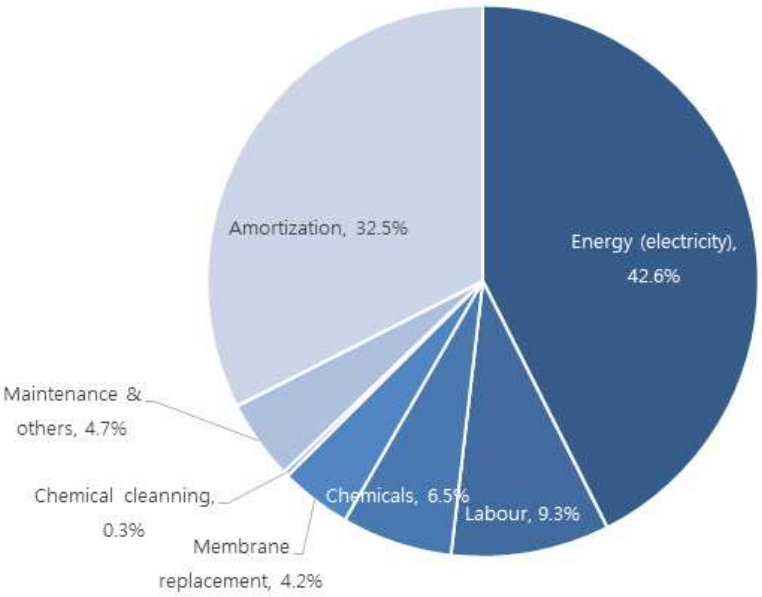
- 본 분석에서 해수담수화배출수의 피해 규모를 조력발전 사례의 50%로 가정하여 산정하였으나, 향후 해수담수화배출수의 환경영향이 과학적으로 도출된 후 동 가정 역시 수정되어야 하며, 이에 따르는 사회적 비용도 별도 연구를 통해 도출될 필요

□ **담수 생산비용 저감 효과**

○ **(편익 개념)** 일반적으로 해수담수화플랜트에서 담수를 생산할 때 에너지비용이 30% 이상으로 매우 큰 비중을 차지하는 바, PRO 기술 확보에 따라 에너지비용이 절감됨에 따라 국내 도입된 해수담수화플랜트 담수 생산비용의 저감 효과를 편익으로 산정함 (건설비용 증가분 산입하여 추정)

○ **(편익 도출을 위한 가정)** 동 분석에서는 SWRO 방식의 해수담수화플랜트를 통해 담수 생산 시와 PRO 기술을 도입하였을 경우(SWRO-PRO) 운영비용에서의 저감분과 시설비용에서의 증분을 모두 합하여 총 비용저감 편익을 산출함

- (해수담수화 생산단가의 구성) 역삼투압 방식의 해수담수화 생산단가는 대략 30~40% 정도의 초기투자비와 60~70% 정도의 운영비로 구성되며 운영비의 경우 에너지 비용(주로 전력비)이 40% 이상을 차지, 본 분석에서는 42.6%를 적용



항목	비율
Energy (electricity)	42.6%
Labour	9.3%
Chemicals	6.5%
Membrane replacement	4.2%
Chemical cleanning	0.3%
Maintenance & others	4.7%
Amortization	32.5%
합계	**100%**

자료 : AEDyR(2009), Ponencias del curso Desalacion

그림 4-6. 역삼투(RO) 방식 해수담수화 프로세스의 생산 단가의 구성

- (SWRO-PRO 기술을 통한 에너지 저감 효과) SWRO 운영비용 중 에너지비용이 22% 저감된다고 가정함 (3.6kwh/ton에서 0.8kwh/ton 저감)

- (SWRO-PRO 기술 도입 시 시설비의 증가) 초기 시설비용이 PRO 기술 도입에 따라 25% 증가한다고 가정함 (기존 설비 비용은 천톤당 11억원으로 가정)

○ **(편익 도출식)** PRO 기술 도입에 따른 담수 생산비용 저감 편익은 생산단가 중 운영기간 동안의 총 에너지비용의 저감분을 통하여 추정하되, PRO 기술 도입 시 추가로 발생하는 설비비용의 증가분을 제외하여 도출함

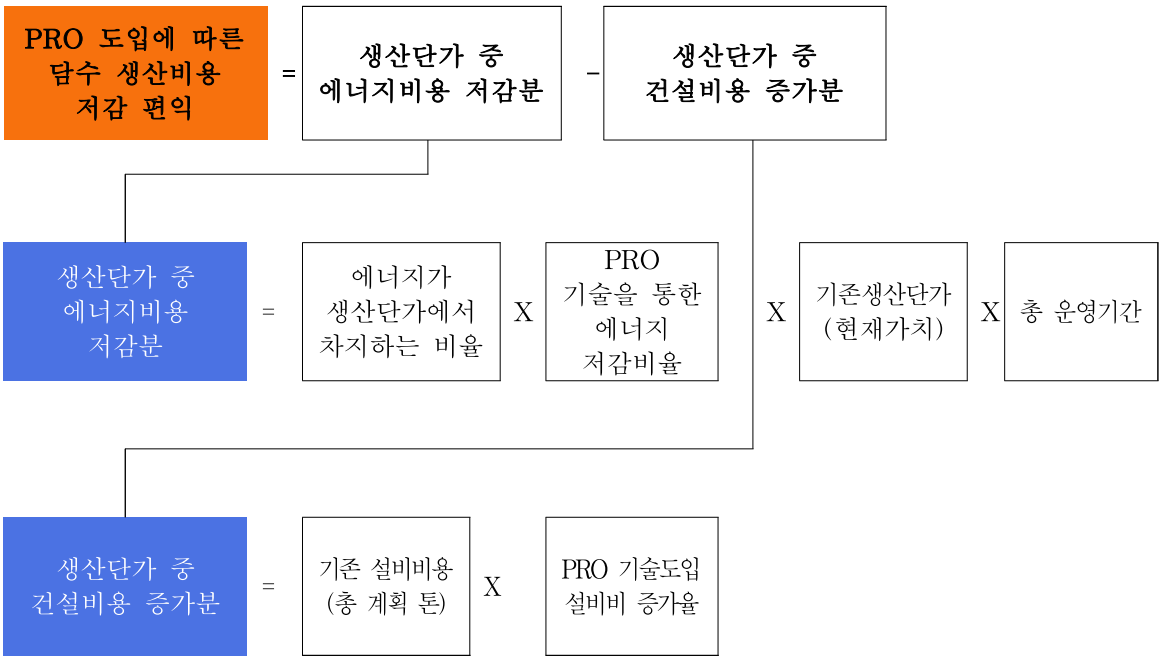


표 4-12. 담수 생산비용 저감 편익 산정을 위한 가정

가정 1.	SWRO-PRO 기술을 통한 에너지 저감 효과		• SWRO 운영비용 중 에너지비용이 22% 저감된다고 가정
가정 2.	생산단가 중 에너지비용 비중		• 42.6% (AEDyR(2009), Ponencias del curso Desalacion)
가정 3.	SWRO-PRO 기술 도입 시 시설비 증가분		• 초기 시설비용이 PRO 기술 도입에 따라 25% 증가한다고 가정
가정 4.	기존 단위 시설 용량당 설비비용		• 10만톤당 1.1억불(천톤당 11억원) (GS 건설 추정)
가정 5.	해수담수화 플랜트 도입 시기		• 총 7기 해수담수화 플랜트를 모두 2028년에 도입한다고 가정 • '예비타당성조사 수행 총괄지침'에서 수자원 관련 사업의 경우에는 개발계획 반영기준을 개발계획 승인으로 하여야 하나 본 사례의 경우 연구개발 이후를 가정하므로 잠정적으로 수립된 장기 계획을 통해 추정함
가정 6.	추정 기간	운영 비용	• 해수담수화플랜트 시설의 수명주기를 고려하여 운영 기간을 30년으로 추정함 (2028년-2057년)
가정 7.		설비 비용	• 설비비용은 초기 1회만 고려함
가정 8.	기타 운영비용		• 기타 유지관리 비용은 고려하지 않음
가정 9.	사회적 할인율		• 4.5% (「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침」에서 제시하는 사회적 할인율 적용(2018.4.17 개정안 적용))

○ **(편익 추정 결과)** 해수담수화 플랜트를 SWRO로 건설할 경우에 대비하여 SWRO-PRO 방식으로 건설할 경우 생산비용 저감 측면에서의 편익은 총 743.7억원으로 추정됨

표 4-13. PRO 기술 도입에 따른 담수 생산비용 저감 편익(총 7기)

(억원, 현재가치)

	SWRO	SWRO-PRO	차이
설비비용	2239.0	2798.8	-559.8
운영비용 (30년간)	13910.9	12607.4	1303.5
총계	16149.9	15406.2	743.7

- (참고 1)SWRO-PRO 기술 도입 시 시설비의 증가 : 총 559.75억원 증가

표 4-14. PRO 기술 도입에 따른 시설비 증가(총 7기)

구분	기준 연도	시설규모 (총 7기, 천톤)	설비 단가 (천톤당, 억원)	설비비 총액 (억원)	NPV (2018년 기준)
+ PRO	2028	316.1	13.75	4346.375	2798.75
SWRO	2028	316.1	11	3477.1	2239.00
					559.75

- SWRO-PRO 기술을 통한 에너지 비용 저감 효과 : 총 1303억원 저감

구분	생산단가 (원/톤, 기장플랜트 기준)	총 생산 톤 (연간)	연간 총 생산 가격 (원)	30년 누적 생산가격 (NPV 적용, 2018년 기준)
+ PRO	996.93 (90.6%)	115,376,500	1.15022E+11	1,260,743,863,892
SWRO	1100 (100%)		1.26914E+11	1,391,088,893,183
				- 130,345,029,291

2) 해외진출 증대 효과

□ 기술우위에 따른 해외 시장 해수담수화 플랜트 수주 증대

○ **(편익 개념)** PRO 기술 확보에 따라 세계시장에서 국내 해수담수화 플랜트 수주 증대 효과를 시나리오법으로 추정하여 편익을 도출함

해외 시장 해수담수화 플랜트 수주 증대 효과 = **해수담수화플랜트 세계시장규모** × **시장점유율 (시나리오)** × **R&D 사업화 성공률** × **부가가치율** × **R&D 기여율** × **사업기여율**

○ (편익 도출을 위한 가정)

표 4-15. 편익도출 지표 요율 종합

구분	적용 값	비고
미래시장규모	시장자료 및 로지스틱모형으로 해수담수화 미래시장 예측	보수적 추정을 위해 세계 물시장의 CAGR(2%)을 적용하여 예측
시장점유율	세계시장 5% (현재 3.75%)	세계시장 점유율 목표 설정 값 (기획위원회 의견을 반영)
사업기여율	7.4% (290억(금번사업) / {2,445억(08-17년) + 1,500억(20-25년)})	유관 R&D 투자 규모를 파악하여 산출 ('08-'27 국가 전체 해수담수화 투입 예산 중 RPO 과제 투입예산의 비율)
부가가치율	18.2%	국세청, 2016년 제2기의 전기·가스·수도업 기준
R&D기여율	35.4%	연구개발부문 예비타당성조사 표준지침 내용 반영
R&D 사업화성공률	80%	TRL 6 단계 연구의 경우 사업화 성공률
편익발생기간	30년	수처리플랜트 기술수명주기 적용
할인율	4.5%	예비타당성조사 지침(KDI) 내용 준용
회임기간	3년	연구개발부문 예비타당성조사 표준지침 내용을 반영 및 해수담수화플랜트의 특성을 고려하여 회임기간 설정

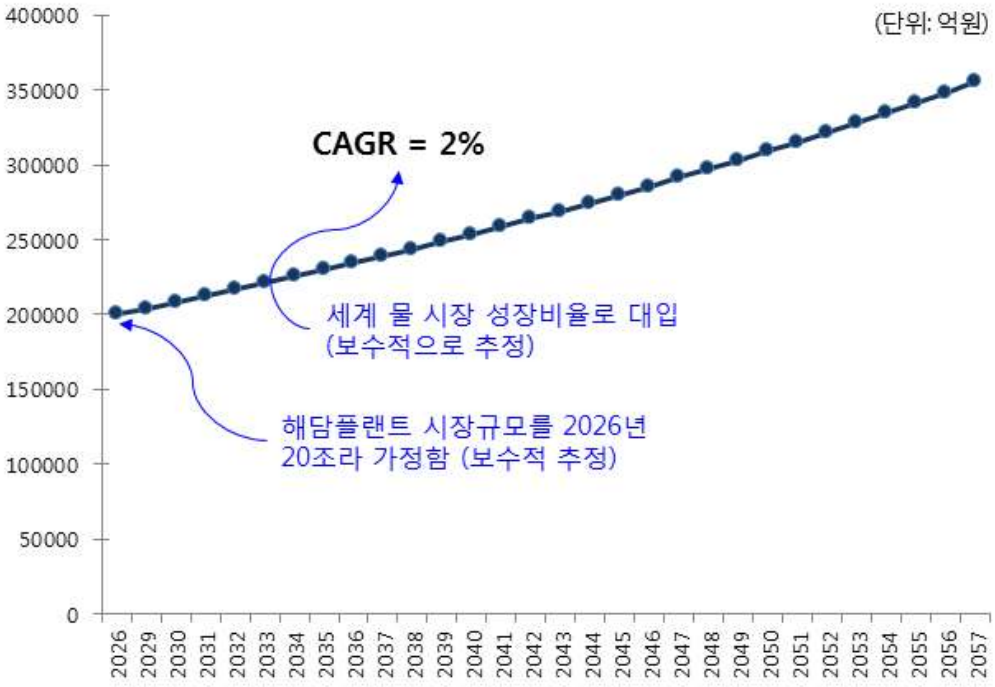


그림 4-7. 세계 해수담수화 플랜트 시장규모 예측

○ 세계시장자료 출처

- Global Water Institute(2017) 자료 활용

- GWI Q4 Desalination Market Review and Forecast Points to Some Improvement in Contracted Capacity, 자료 활용

○ 세계시장 점유율

- 세계시장을 도출 한 후 최종 편익 대상 규모를 산정하기 위해서는 향후 시장에서 점유할 수 있는 비율을 기반으로 시장 점유 목표를 설정해야 함

- 연도별 세계시장 점유율을 산정하는 방식에 있어서 사업별 종료 후 3년 후(회임기간)부터 기존 3.75%를 기준으로 중립적으로는 4.4%, 낙관적으로는 5%로 성장하는 것을 목표로 설정

※ 국내업체(두산중공업)의 해수담수화플랜트 '14년 글로벌 시장점유율 3.75%를 기록해 글로벌 5위 수준

- 본 사업의 결과물(SWRO-PRO 실용화)을 고려한 전문가 논의 결과를 반영하여 5% 수준까지 성장하는 것으로 산정함

○ (편익 추정 결과) PRO 기술 도입에 따른 해외 해수담수화 플랜트 수주 증대에 따른 편익(증대 효과)는 중립적으로 추정하였을 때 71억원, 낙관적으로 추정하였을 때 137억 원으로 추정됨

연도	시장 규모 CAGR 연간 2%)	R&D 사업화성공률	R&D 기여율	부가가치율	사업기여율	편익, 억원			현재가치 (NPV, 억원)		
(2026-2055,30년)	(억원)	80%	35.4%	18.2%	7.35%	보수적	중립적	낙관적	보수적	중립적	낙관적
						3.75%	4.40%	5.00%	3.75%	4.40%	5.00%
2026	200000	80%	35.4%	18.2%	7.35%	28.4	33.3	37.9	20.0	23.4	26.6
2029	204000	80%	35.4%	18.2%	7.35%	29.0	34.0	38.6	19.5	22.9	26.0
2030	208080	80%	35.4%	18.2%	7.35%	29.6	34.7	39.4	19.0	22.3	25.4
2031	212241.6	80%	35.4%	18.2%	7.35%	30.2	35.4	40.2	18.6	21.8	24.8
2032	216486.432	80%	35.4%	18.2%	7.35%	30.8	36.1	41.0	18.1	21.3	24.2
2033	220816.1606	80%	35.4%	18.2%	7.35%	31.4	36.8	41.8	17.7	20.8	23.6
2034	225232.4839	80%	35.4%	18.2%	7.35%	32.0	37.5	42.7	17.3	20.3	23.0
2035	229737.1335	80%	35.4%	18.2%	7.35%	32.6	38.3	43.5	16.9	19.8	22.5
2036	234331.8762	80%	35.4%	18.2%	7.35%	33.3	39.1	44.4	16.5	19.3	22.0
2037	239018.5137	80%	35.4%	18.2%	7.35%	34.0	39.8	45.3	16.1	18.9	21.4
2038	243798.884	80%	35.4%	18.2%	7.35%	34.6	40.6	46.2	15.7	18.4	20.9
2039	248674.8617	80%	35.4%	18.2%	7.35%	35.3	41.5	47.1	15.3	18.0	20.4
2040	253648.3589	80%	35.4%	18.2%	7.35%	36.0	42.3	48.1	14.9	17.5	19.9
2041	258721.3261	80%	35.4%	18.2%	7.35%	36.8	43.1	49.0	14.6	17.1	19.4
2042	263895.7526	80%	35.4%	18.2%	7.35%	37.5	44.0	50.0	14.2	16.7	19.0
2043	269173.6677	80%	35.4%	18.2%	7.35%	38.2	44.9	51.0	13.9	16.3	18.5
2044	274557.141	80%	35.4%	18.2%	7.35%	39.0	45.8	52.0	13.6	15.9	18.1
2045	280048.2838	80%	35.4%	18.2%	7.35%	39.8	46.7	53.1	13.2	15.5	17.7
2046	285649.2495	80%	35.4%	18.2%	7.35%	40.6	47.6	54.1	12.9	15.2	17.2
2047	291362.2345	80%	35.4%	18.2%	7.35%	41.4	48.6	55.2	12.6	14.8	16.8
2048	297189.4792	80%	35.4%	18.2%	7.35%	42.2	49.5	56.3	12.3	14.4	16.4
2049	303133.2688	80%	35.4%	18.2%	7.35%	43.1	50.5	57.4	12.0	14.1	16.0
2050	309195.9342	80%	35.4%	18.2%	7.35%	43.9	51.5	58.6	11.7	13.8	15.6
2051	315379.8528	80%	35.4%	18.2%	7.35%	44.8	52.6	59.7	11.4	13.4	15.3
2052	321687.4499	80%	35.4%	18.2%	7.35%	45.7	53.6	60.9	11.2	13.1	14.9
2053	328121.1989	80%	35.4%	18.2%	7.35%	46.6	54.7	62.2	10.9	12.8	14.5
2054	334683.6229	80%	35.4%	18.2%	7.35%	47.6	55.8	63.4	10.6	12.5	14.2
2055	341377.2953	80%	35.4%	18.2%	7.35%	48.5	56.9	64.7	10.4	12.2	13.9
						1052.9	1235.4	1403.8	411.3	482.5	548.3
증가분						(기준)	182.5	351.0	(기준)	71.3	137.1

다. PRO 기술 편익분석 결과(종합)

□ B/C Ratio 산출 결과

○ PRO 기술로부터 기대되는 편익을 모두 합하여 사업 전체의 편익을 계산하고, 동 사업의 예산을 통해 비용을 추정한 후 B/C Ratio를 산출

○ B/C ratio가 1보다 크게 산출되어 본 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 판단할 수 있음

표 4-16. PRO 과제 편익 도출결과 요약

구분	성과목표	편익	값
국내 생·공용수 공급 비용저감 효과	**[성과목표 1]** 담수화플랜트 농축수 환경영향 제로화	- 해양생태계 훼손(피해)에 대한 사회적비용 발생 방지 편익	**514억**
		- 해담플랜트 적기 도입(주민 반발에 의한 개발 지연 방지) 편익 (2년일 경우)	**20.3억**
	[성과목표 2] 에너지회수기술 확보·상용화	- 담수 생산 비용 저감 편익 (3.6kWh/m^3 기준 0.8 kWh/m^3 회수)	**743.7억**
해외진출 증대효과	**[성과목표 3]** 삼투에너지 회수 모듈러 플랜트 기술 확보	- 기술우위에 따른 해외 시장 해수담수화 플랜트 수주 증대 (PRO 기여분만 고려) (중립적 시나리오)	**71억**

표 4-17. PRO 과제 B/C Ratio

구분	비용현가(억 원)	편익현가(억 원)	B/C Ratio
B/C	339.97	1,349	**3.97**

제5장 압력지연삼투(PRO) 소요예산 산정

1절 연구일정에 따른 인력투입 계획

1. 전체사업 인력투입 계획

가. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
총괄		6	6	6	6	6	30
중점 추진 분야 1 (PRO)	1세부과제	50	50	50	50	50	250
	2세부과제	45	45	45	45	45	225
	3세부과제	49	49	49	49	49	245
	4세부과제	44	44	44	44	44	220

나. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력 (명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	18	18	18	18	18	90	
연구원	60	60	60	60	60	300	
연구보조원	80	80	80	80	80	400	
보조원	30	30	30	30	30	150	
합계	188	188	188	188	188	940	

2. 중점추진분야별 인력투입계획

가. 중점추진분야(PRO)

(단위 : 명)

분류		총 개발인력 (명)						비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	18	18	18	18	18	90	
	연구원	60	60	60	60	60	300	
	연구보조원	80	80	80	80	80	400	
	보조원	30	30	30	30	30	150	
	합계	188	188	188	188	188	940	
1 세부 기술	책임연구원	5	5	5	5	5	25	
	연구원	15	15	15	15	15	75	
	연구보조원	25	25	25	25	25	125	
	보조원	5	5	5	5	5	25	
	합계	50	50	50	50	50	250	
2 세부 기술	책임연구원	4	4	4	4	4	20	
	연구원	16	16	16	16	16	80	
	연구보조원	20	20	20	20	20	100	
	보조원	5	5	5	5	5	25	
	합계	45	45	45	45	45	225	
3 세부 기술	책임연구원	5	5	5	5	5	25	
	연구원	14	14	14	14	14	70	
	연구보조원	20	20	20	20	20	100	
	보조원	10	10	10	10	10	50	
	합계	49	49	49	49	49	245	
4 세부 기술	책임연구원	4	4	4	4	4	20	
	연구원	15	15	15	15	15	75	
	연구보조원	15	15	15	15	15	75	
	보조원	10	10	10	10	10	50	
	합계	44	44	44	44	44	220	

2절 소요예산 산정

1. 압력지연삼투 공정 소요예산 산정

가. 압력지연삼투 공정 핵심기술 확보 계획 및 예산

□ 예산 구성 (안)

- 총 정부출연금 29,000 백만원/5년, 총 민간부담금(추정) 9,667 백만원/5년으로 구성함

□ 세부별과제별 예산 (1안)

- 총 연구비는 1세부 12,000 백만원, 2세부 14,667 백만원, 3세부 8,000 백만원, 4세부 4,000 백만원으로 구성함
- 실증화와 사업화를 위한 2세부 과제의 예산비중을 약 38%로 설정함 (실증시설 구축비용 120억원, PRO 전처리 시설 및 전용막 1세부연구과제 제공), 운영비용 15억/2년 (3세부과제) 포함)
- 기업체 참여를 고려하여 민간부담금 비율을 설정 (본 과제 추진시 민간부담금은 중소기업 기준)

[백만원]

세부과제	구분	예산	총계	비율
(1세부) PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치 개발	정부	9,000	12,000	0.31
	민간	3,000		
(2세부) SWRO-PRO Train 설계 및 구축 기술	정부	11,000	14,667	0.38
	민간	3,667		
(3세부) SWRO-PRO Train 운영 기술	정부	6,000	8,000	0.21
	민간	2,000		
(4세부) 해외 맞춤형 실증화 기술	정부	3,000	4,000	0.10
	민간	1,000		
총계	정부	29,000	38,667	1.00
	민간	9,667		

□ 예산도출 근거 및 세세부 과제별 예산 (1안)

- 세세부 과제별 예산은 각 연구개발 내용별 소요예산을 산출하고 이를 합산하여 산출함

[백만원]

	세부과제	구분	예산	총계
1세부	PRO 막모듈기술	정부	5,000	6,667
		민간	1,667	
	PRO 전처리 기술	정부	4,000	5,333
		민간	1,333	
2세부	Train 최적 설계 기술	정부	2,000	2,667
		민간	667	
	고효율 Train 구축 기술	정부	9,000	12,000
		민간	3,000	
3세부	스마트 운영 기술	정부	4,500	6,000
		민간	1,500	
	PRO 경제성 평가 기술	정부	1,500	2,000
		민간	500	
4세부	시장 맞춤형 공정 설계 기술	정부	1,000	1,333
		민간	333	
	해외 실증화 기술	정부	2,000	2,667
		민간	667	
총계		정부	29,000	38,667
		민간	9,667	

□ 세부별과제별 예산 (2안)

- 총 정부출연금 28,000 백만원/5년, 총 민간부담금(추정) 9,333 백만원/5년으로 구성함

□ 세부별과제별 예산 (1안)

- 총 연구비는 1세부 11,333 백만원, 2세부 14,667 백만원, 3세부 7,333 백만원, 4세부 4,000 백만원으로 구성함

- 실증화와 사업화를 위한 2세부 과제의 예산비중을 약 39%로 설정함 (실증시설 구축비용 120억원, PRO 전처리 시설 및 전용막 1세부연구과제 제공), 운영비용 15억/2년 (3세부과제) 포함)

- 기업체 참여를 고려하여 민간부담금 비율을 설정 (본 과제 추진시 민간부담금은 중소기업 기준)

[백만원]

세부과제	구분	예산	총계	비율
(1세부) PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치 개발	정부	8,500	11,333	0.30
	민간	2,833		
(2세부) SWRO-PRO Train 설계 및 구축 기술	정부	11,000	14,667	0.39
	민간	3,667		
(3세부) SWRO-PRO Train 운영 기술	정부	5,500	7,333	0.20
	민간	1,833		
(4세부) 해외 맞춤형 실증화 기술	정부	3,000	4,000	0.11
	민간	1,000		
총계	정부	28,000	37,333	1.00
	민간	9,333		

□ 예산도출 근거 및 세세부 과제별 예산 (2안)

[백만원]

	세부과제	구분	예산	총계
1세부	PRO 막 모듈 기술	정부	4,500	6,000
		민간	1,500	
	PRO 전처리 기술	정부	4,000	5,333
		민간	1,333	
2세부	Train 최적 설계 기술	정부	2,000	2,667
		민간	667	
	고효율 Train 구축 기술	정부	9,000	12,000
		민간	3,000	
3세부	스마트 운영 기술	정부	4,000	5,333
		민간	1,333	
	PRO 경제성 평가 기술	정부	1,500	2,000
		민간	500	
4세부	시장 맞춤형 공정 설계 기술	정부	1,000	1,333
		민간	333	
	해외 실증화 기술	정부	2,000	2,667
		민간	667	
총계		정부	28,000	37,333
		민간	9,000	

나. 연차별 예산(안)

□ 마일스톤 달성시기를 고려하여 각 과제별 예산계획을 수립하였으며, 이는 다음과 같음

□ 세부과제별 연차별 예산 (1안)

[백만원]

	세부과제	구분	2019	2020	2021	2022	2023	총계
1세부	PRO 막모듈기술	정부	800	1,000	1,200	1,200	800	5,000
		민간	267	333	400	400	267	1,667
	PRO 전처리 기술	정부	300	1,000	1,800	500	400	4,000
		민간	100	333	600	167	133	1,333
	소계	정부	1,100	2,000	3,000	1,700	1,200	9,000
		민간	367	667	1,000	567	400	3,000
2세부	Train 최적 설계 기술	정부	300	700	500	300	200	2,000
		민간	100	233	167	100	67	667
	고효율 Train 구축 기술	정부	800	3,000	3,500	1,000	700	9,000
		민간	267	1,000	1,167	333	233	3,000
	소계	정부	1,100	3,700	4,000	1,300	900	11,000
		민간	367	1,233	1,333	433	300	3,667
3세부	스마트 운영 기술	정부	600	600	900	1,200	1,200	4,500
		민간	200	200	300	400	400	1,500
	PRO 경제성 평가 기술	정부	200	200	500	400	200	1,500
		민간	67	67	167	133	67	500
	소계	정부	800	800	1,400	1,600	1,400	6,000
		민간	267	267	467	533	467	2,000
4세부	시장 맞춤형 공정 설계 기술	정부	100	300	300	200	100	1,000
		민간	33	100	100	67	33	333
	해외 실증화 기술	정부	200	800	400	300	300	2,000
		민간	67	267	133	100	100	667
	소계	정부	300	1,100	700	500	400	3,000
		민간	100	367	233	167	133	1,000
총계		정부	3,300	7,600	9,100	5,100	3,900	29,000
		민간	1,100	2,533	3,033	1,700	1,300	9,667

□ 세부과제별 연차별 예산 (2안)

[백만원]

	세부과제	구분	2019	2020	2021	2022	2023	총계
1세부	PRO 막모듈기술	정부	700	800	1,200	1,100	700	4,500
		민간	233	267	400	367	233	1,500
	PRO 전처리 기술	정부	300	1,000	1,800	500	400	4,000
		민간	100	333	600	167	133	1,333
	소계	정부	1,000	1,800	3,000	1,600	1,100	8,500
		민간	333	600	1,000	533	367	2,833
2세부	Train 최적 설계 기술	정부	300	700	500	300	200	2,000
		민간	100	233	167	100	67	667
	고효율 Train 구축 기술	정부	800	3,000	3,500	1,000	700	9,000
		민간	267	1,000	1,167	333	233	3,000
	소계	정부	1,100	3,700	4,000	1,300	900	11,000
		민간	367	1,233	1,333	433	300	3,667
3세부	스마트 운영 기술	정부	500	500	800	1,200	1,000	4,000
		민간	167	167	267	400	333	1,333
	PRO 경제성 평가 기술	정부	200	200	500	400	200	1,500
		민간	67	67	167	133	67	500
	소계	정부	700	700	1,300	1,600	1,200	5,500
		민간	233	233	433	533	400	1,833
4세부	시장 맞춤형 공정 설계 기술	정부	100	300	300	200	100	1,000
		민간	33	100	100	67	33	333
	해외 실증화 기술	정부	200	800	400	300	300	2,000
		민간	67	267	133	100	100	667
	소계	정부	300	1,100	700	500	400	3,000
		민간	100	367	233	167	133	1,000
총계		정부	3,100	7,300	9,000	5,000	3,600	28,000
		민간	1,033	2,433	3,000	1,667	1,200	9,333

제6장 과제공모 방안

1절 과제제안 요구서(RFP)

1. 압력지연삼투(PRO) 과제 제안 요구서 : 총 정부출연금 29,000 백만원 기준

가. 과제제안 요구서 1안

연구개발과제명	담수화 농축수 활용 친환경 플랜트 기술개발
1. 연구개발 목표	농축수 환경 영향 저감과 에너지 사용량 절감을 위한 삼투 에너지 회수형 담수화 플랜트 엔지니어링 기술 개발
○ 고효율 삼투 에너지 회수형 담수화 플랜트 핵심 소재 및 요소기술 - 압력지연삼투 (PRO) 전용 막소재 및 모듈 확보, PRO 특화형 전처리 핵심기술 확보를 통하여 에너지 회수량을 0.5 kWh/m^3 에서 0.8 kWh/m^3 으로 향상 - 고효율의 삼투 에너지 회수를 위해 PRO 모듈의 운전 성능 유지 및 전용 막의 오염물질(유기·무기· 바이오파울링 등)을 효과적으로 제어하기 위한 핵심적인 PRO 전처리 기술 개발 - 농축수 내 삼투 에너지의 담수화 공정 전달을 통한 물 생산 에너지 저감 및 담수화 단가 감소 ○ 농축수 환경 영향 저감과 저에너지 담수화를 위한 플랜트 설계 및 운영 기술 개발 - 플랜트 유형별 맞춤형 담수화 농축수 염분 농도 저감기술 개발 • 해수 담수화 플랜트 배출수 (농축수)의 염농도를 유입수 대비 현재 약 200%에서 110% 이하로 감소 - 해수담수화 에너지 소모량 절감 • 3.1 kWh/m^3 에서 2.8 kWh/m^3 으로 에너지 소비 절감 기술의 고도화 - 농축수 내 염분 농도 희석에 의한 해양환경 영향 저감 및 지속가능한 담수화 플랜트 건설 가능	

○ 유형별 맞춤형 고집적 삼투 에너지 회수 플랜트 모듈화 기반의 비즈니스 모델 개발

- 기존 및 신규 담수화 플랜트 시장 조기 진입을 위한 플랜트 모듈화 기반의 비즈니스 모델 개발
- 에너지 밀도 (Power Density)를 7.5 W/m^2 수준에서 10 W/m^2 이상으로 향상
- 기수 및 해수 등의 원수 성상에 따른 RO 농축수 처리에 대한 유형별 맞춤형 환경 영향 저감 운영 기술 개발
- 에너지 밀도 증가를 통한 플랜트 고집적화 및 이에 의한 Retrofit 적용성 향상
- 모듈러 플랜트의 단일 모듈 (1 MIGD급)의 국산화율 80% 이상으로 증가시켜 국내 중소 및 중견 기업의 신규시장 진입 지원

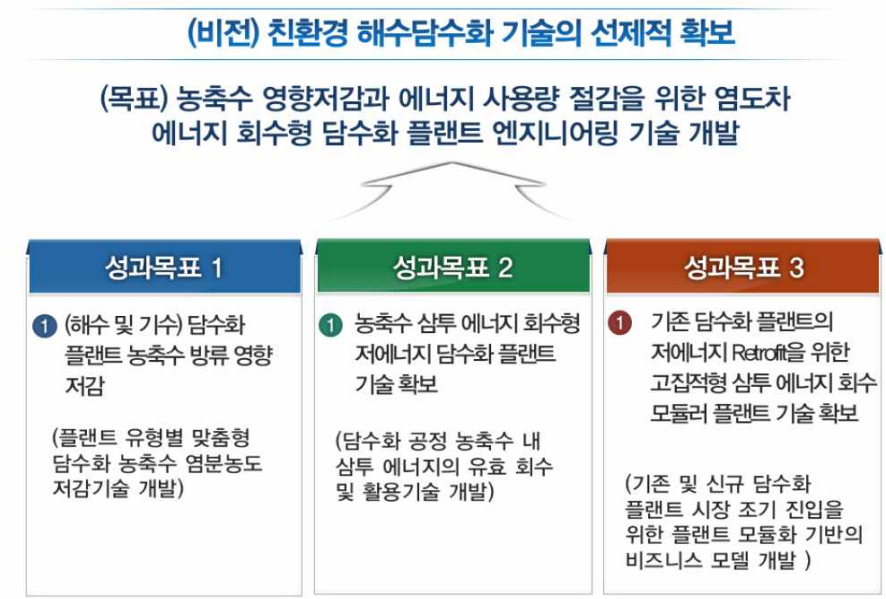


그림 6-1. 연구개발 목표

2. 연구개발의 필요성 및 기술동향

□ 연구개발의 필요성

○ 기후변화로 인하여 지역적·계절적으로 지속적인 물 부족 문제 발생 및 대체수자원 확보의 필요성 증가

- 국내에서 생활용수 및 공업용수 안정화를 위해 약 70 만톤/일의 해수담수화 플랜트 사업* 추진 검토

* 전국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 보고서 (국토교통부, 2017)

	○ 해외 물 부족 문제를 해결하기 위한 수단으로 해수담수화 적극 활용 - 전 세계 담수처리 설비 시장 규모는 2016년 115억 8,000만 달러로 추산되며 향후 8년간 연평균 9.1% 성장할 것으로 전망됨 ○ 해수담수화의 당면 과제는 기술적 문제로 에너지 과다 소비와 농축수 방류로 인한 환경 영향임 - 지속적인 기술개발로 역삼투 해수담수 공정의 에너지 소비량은 3.0 kWh/d급 수준까지 저감 되었으나 기존 기술로는 에너지 소비량을 저감하기 어려우며, 새로운 접근 방식의 에너지 저감 기술 필요 - 해수담수화 플랜트의 농축수 해양 방류에 대한 규제*가 선진국을 중심으로 논의되고 있으며 해수담수화 시장 개척을 위해서 농축수 배출에 관한 관리 기술개발 필요 * 미국 캘리포니아 지역은 심각한 물 부족에도 불구하고 농축수 환경 영향 문제로 해수담수화 플랜트 도입이 지연되었으며, 국내에서도 유사한 문제 발생 가능 ○ 농축수 환경 영향 저감 및 해수담수화 에너지 비용 절감을 위한 융복합 담수화 플랜트 건설을 통해 국내 해수담수화 도입 활성화 및 이를 통한 임해 지역의 가뭄과 물 부족 문제 해결 가능 ○ 그림 2와 같이 기존의 해수담수화 플랜트에 압력지연삼투 공정을 도입하여 저에너지, 환경 저영향, 해수담수화 신공정 개발로 해수담수화 글로벌 시장 주도
□ 기술동향	○ 해수담수화 기술의 당면 문제는 에너지 과다 소비와 농축수 방류로 인한 해양환경오염에 대한 우려 - 해수담수화 기술의 변화는 2000년 이후 다단증발(MSF), 다중효용(MED) 등의 증발법보다는 에너지 소비량이 적은 역삼투 방식의 시설이 급격히 증가 - 싱가포르 PUB는 궁극적으로 해수담수화 시설의 에너지 소비량을 1.5 KWh/m^3까지 저감하는 것을 목표로 연구 개발 실시 ○ 압력지연삼투 공정의 국외 신기술 동향 - 분리막 기술의 발전 및 공정의 개발과 더불어 PRO를 통한 에

너지 생산 가능성이 높아지면서, 노르웨이의 에너지 회사인 Statkraft가 2009년 11월 세계 최초로 프로토타입 PRO 발전 플랜트를 건설하고 이를 계기로 PRO 연구가 본격적으로 시작

- 일본의 메가톤 연구사업은 SWRO 농축수 환경 영향을 저감시킬 수 있는 방안으로 SWRO-PRO 연구를 수행하였으며, 중공사형 PRO 전용막 개발 (염도차 에너지를 회수하여 에너지 10% 절감을 목표로 함)

- 미국 예일 대학의 Menachim Elimelech 교수와 남부캘리포니아 대학의 Amy Childress 교수가 PRO 공정에 대한 연구를 주도적으로 수행

- 싱가포르 정부는 NEWater project에 PRO 기술을 접목하여 하수재이용에서 발생되는 농축수와 해수담수화의 농축수를 활용하여 에너지 저감기술 과제를 기획하여 싱가포르 물 관련 토탈솔루션의 구축 예정이며, 난양공대 (NTU)의 Rong Wang 교수 및 싱가포르국립대 (NUS)의 Neal Chung 교수 주도로 PRO 전용 중공사막 기반의 모듈 개발 진행

○ 압력지연삼투 공정의 국내 신기술 동향

- 2013년 6월부터 2018년 6월까지 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 지원의 국책연구사업인 MD/PRO 복합탈염공정 실증플랜트 기술개발 연구단 (GMVP연구단)을 통해 PRO, MD, 유가자원회수 핵심 및 실증 기술 개발을 진행

- 해수담수화 플랜트의 에너지 소모량 25% 절감을 목표로 농축수로부터의 염도차 에너지를 회수할 수 있는 PRO 기술을 개발하고 있으며, 개발된 기술의 파일럿 검증을 위하여 20 m^3/일 규모의 파일럿 플랜트와 240 m^3/일 규모의 실증파일럿을 구축

- SWRO-PRO 복합탈염기술개발을 통해 해수담수화 플랜트의 고농도 농축수와 하수방류수의 염도차 에너지를 압력교환장치를 이용하여 회수하거나, PRO 전용 펠톤터빈을 이용하여 전기 생산

  • 일반 역삼투 해수담수화 대비 25% 이상 전력비 절감 및 물 생산단가 10% 이상 절감

3. 연구개발내용	

□ 세부과제별 연구내용	[1세부과제] PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치 개발 ○ 고효율 PRO 전용막 및 모듈 (나권형 & 중공사) 제작 기술과 PRO 유입수 맞춤형 전처리 시스템 개발 ○ PRO 성능 고도화 핵심기술 및 장치 개발 - PRO 막모듈 기술 • 고성능 나권형 PRO 막 개발 • 대용량 나권형 PRO 막모듈 개발 • 고성능 중공사형 PRO 막모듈 개발 • 대용량 중공사형 PRO 막모듈 개발 • 막오염 저감을 위한 PRO 막 개질 및 모듈 개발 • 신소재 PRO 막모듈 개발 - PRO 전처리 기술 • 저에너지 고효율 PRO 공정 전전처리 기술 개발 * 유입수 수질 (난분해성 및 미생물 유래물질 등) 특성 DB 구축 * PRO 공정 전처리 (UF) 막오염 발생 특성 평가 및 메커니즘 규명 * 난분해성 및 미생물 유래물질 제거 효율 향상을 위한 전전처리 기술 개발 * PRO 전전처리 기술 최적화 및 운영 패키지화 • 하폐수 처리수를 대상으로 최적 PRO 전처리 공정 기술 • PRO 유입수 맞춤형 전처리 기술 • 신재생 에너지 융합형 에너지 소비제로 PRO 유입수 내 무기 막오염 원인물질 제거 기술 개발 [2세부과제] SWRO-PRO Train 최적 설계 및 구축 기술 ○ 1 MIGD급 실증플랜트 train 설계 및 구축기술과 공정 모의 및 환

경 영향 저감 설계 기술 개발

○ SWRO-PRO Train 최적 설계 구축 기술 개발

- Train 최적 설계 기술

• 농축수 방류에 의한 해양생태계 영향 최소화 기술 개발

• BIM (Building information modeling) 기반의 SWRO-PRO 플랜트 전산 설계 기술 개발

• PRO 공정 모사 및 상용화급 Train 설계 기술 개발

• 20 MIGD급 기본 & FEED 설계기술 개발

- 저비용 Train 구축 기술

• PRO를 활용한 전기에너지 생산 및 농축수 처리기술 실증

• 건설비용 절감을 위한 PRO Train 시공기술 개발

• 1 MIGD급 PRO 실증 플랜트 시공기술 개발 및 고도화

[3세부과제] SWRO-PRO Train 최적 운영기술개발

○ 실시간 배출수 영향 모니터링 및 해석기술과 SWRO-PRO 플랜트 최적 운영기술 개발

• PRO 공정 특화 비가역적 막오염 제어 세정제 및 세정 기법 개발

* 전처리수 특성에 따른 PRO 공정 막오염 발생 메커니즘 규명

* PRO 전용 비가역적 막오염 제어용 화학적 세정제 및 기법 개발

* PRO 공정 막 세정 조건 최적화 및 실증화

- 스마트 운영기술

• 실시간 배출수 영향 모니터링을 위한 센서 네트워크 기반 운영기술 개발

• ICT 기반의 SWRO-PRO 스마트 운영기술 개발

- PRO 경제성 평가 기술

• PRO 해수담수화 및 발전 플랜트 비즈니스 모델 개발

• SWRO-PRO 플랜트 사업형태별 LCC 평가 기법 개발

• 농축수 해양방류 영향평가 기술 개발

• 농축수 해양방류 기준 및 정책방안 도출

[4세부과제] 해외 맞춤형 실증화 기술

○ 해외시장 맞춤형 최적 설계기술 개발

- 시장 맞춤형 공정 설계기술

• 해외시장 맞춤형 PRO 공정 최적화 설계기술 개발

• BWRO 농축수 처리를 위한 PRO 공정기술 개발

• SWRO 방류수 배출에 대한 해외기준 준수를 위한 환경 영향 저감 설계기술 개발

- 해외 실증화 기술

• 원수 성상에 따른 SWRO-PRO 공정 실증화 기술 개발

• MBR을 이용한 BWRO 농축수에서의 유기물 처리기술 개발

• 해외지역 여건에 최적화된 PRO 공정 운영기술 개발



그림 6-2. PRO 공정에 관한 연구개발 기술 로드맵

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략 ○ 연구개발 추진전략은 총 3단계로 구성되었으며 1단계 핵심기술 개발 및 실증 플랜트 설계 (2년), 2단계 핵심기술 고도화 및 실증 플랜트 구축 및 운영 (2년), 3단계 상용화 (1년) 순으로 진행

- 기간: 2019년 – 2023년 (총 3 단계, 5년)

- 배출수내 염농도는 유입해수 기준 현재 200% 수준에서 110% 이하로 희석

- 에너지 회수량을 현재 0.5 kWh/m^3 에서 0.8 kWh/m^3 로 순차적으로 향상 시킴

- PRO 막모듈의 에너지 밀도는 7.5 W/m^2 에서 10.0 W/m^2 이상으로 성능 향상

- 1단계 연구개발 내용에서는 파일럿 플랜트 규모는 0.05 MIGD 급으로 운영하고 2단계와 3단계는 실증플랜트 규모의 1 MIGD 급 SWRO-PRO 플랜트를 운영할 계획임

○ 국내·외에서 축적된 참여 기업의 설계 시공 기술, 연구진의 연구역량과 인프라 등을 최대한 활용하여 농축수 방류로 인한 환경영향 저감과 에너지 회수 기술을 개발하고 시장개척 기반 마련

○ 기존의 타 연구단의 연구성과와 실증연구시설 및 기존 구축 시설 등을 활용하여 연구비 투자 대비 성과 극대화

○ 실증시설 운영과 유지관리를 통해 개발기술의 검증뿐 아니라, 향후 사업화로 연계시킬 수 있는 기반 마련

□ 추진체계

○ 해외 물시장에 직접 활용 가능한 설계-구축-운영 기술 개발을 목표로 정부・지자체・연구기관・학계・산업계의 공조체제를 유지하며 연구개발 추진이 필요 (특히, GMVP 연구단의 SWRO-PRO 선행연구 성과와 연계 필요)

○ 본 과제를 통해 개발된 성과물들은 해외 물 산업 시장진출을 위해 성과를 즉각적으로 실용화할 수 있도록 관계 정부 부처 및 공공 기관과의 긴밀한 협조 체계 구축 필요

○ SWRO-PRO 실증화 장치의 해외 물시장 조기 진입을 위해 기업의 해외시장 진출 지원 및 해외 관련기관과의 긴밀한 협조 체계 구축 필요

5. 최종성과물

○ 연구 과제 성과물은 연구 결과 보고서를 비롯하여 그림 3와 같이 논문, 특허, SW, 시제품 제작 등과 같이 다양한 분야의 성과물들을 만들 것으로 기대

- 연구 결과 보고서
- 논문 게재 29건
- 특허출원 및 등록 19건
- 시제품 제작 9건
- SW 8건

상품/기술 분류	2019	2020	2021	2022	2023
OUTCOME	논문 : 3, 특허 : 2 SW : 1, 시제품 : 1	논문 : 5, 특허 : 5 SW : 2, 시제품 : 2	논문 : 8, 특허 : 5 SW : 2, 시제품 : 3	논문 : 8, 특허 : 5 SW : 2, 시제품 : 2	논문 : 5, 특허 : 2 SW : 1, 시제품 : 1

그림 6-3. 연구과제 성과물 (수정)

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 중동, 싱가포르*, 일본 등 물 부족 국가와 해수담수화 기술 선도 국가에서 플랜트 건설에 따른 에너지 소비량 증가를 최소화하기 위해 농축수 삼투 에너지 회수기술에 대한 대규모 R&D와 상용화

기술 확보에 적극적으로 투자 중임. 이에, 글로벌 해수담수화 기술선도와 신시장 개척을 위해 국내 기술의 SWRO-PRO 해수담수화 플랜트의 조기 상용화를 통한 track-record 확보가 필요하고, 사업화를 위한 국제공동 실증화 연구추진 가능

* 국제해수담수화 심포지엄(2ISIDT) 발표 “Singapore’s Water Roadmap and Interest in PRO” (경주, 2017)

○ 국토교통부 연구 지원 과제로써 농축수 염분 농도 저감 및 삼투 에너지 회수형 담수화 플랜트 산업의 독창적이고 대표적인 기술력 확보를 통해 홍보 효과 및 관련 기술 보유기업, 대학, 연구기관 등에 연구 지원으로 산업 경쟁력 제고

○ 농축수 염분 농도 저감기술 및 삼투 에너지 회수형 저에너지 담수화 플랜트 기술을 확보하여 환경 및 에너지 문제를 극복하는 토탈 솔루션 패키지 기술 제공

○ 융복합 기술을 활용하여 수자원 산업 기반 육성과 국내·외 연구진, 전문기업 육성에 기여

○ 해외 실증연구와 국제 협력을 통해 해외시장 진출 및 해외 관련 기관과의 협의를 통하여 실제로 국외 담수화 시설에 Retrofit을 위한 활용 기술로써 설계 반영을 통한 사업화 연계 가능

□ 기대효과

(기술적 효과)

- 일반적인 SWRO 해수담수화 기술의 한계 수준인 에너지 소모량 3 kWh/m^3 미만의 혁신 기술 개발 및 실증화 시스템 구축·운영을 통해 세계 해수담수화 플랜트 선도 국가 입지 확립

- 해수담수화 기술 패러다임 변화(친환경, 융복합 & 스마트운영)에 선제적으로 대응할 수 있는 기술 확보 및 인프라 구축 가능

(사회경제적 효과)

- 기후변화(가뭄)에 따른 국가 물안보 및 물복지 취약성 극복을 위한 저에너지 해수담수화 플랜트 구축 기반 마련과 친환경 농축수 처리 기술개발을 통한 잠재적 해양생태계 영향 저감 방안 마련

(정책적 효과)

- 해수담수화 플랜트의 경제성 제고를 통한 국내 해수담수화 사업 확대 기반 마련과 Value Chain 별 국내 중소·중견 담수화 전문기업 육성 및 고용 창출을 통한 글로벌 플랜트 산업경쟁력 강화

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2019 ~ 2023 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2019. ~ 2020. (12 개월)

○ 총 정부출연금 : 29,000 백만원 기준

- 1차년도 정부출연금 : 3,300 백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

(연구과제 공모 방안 및 관리계획)

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공, 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 추후 연구개발 계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구 기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련 기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

2절 연구단계별 평가기준(안)

□ 선정평가 방법 : 신규과제 선정, 성과평가 등 연구관리는 국토교통과학기술진흥원의 일반적인 연구개발과제 관리기준에 따름

평가기준	세부항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 명확성・타당성	10
	연차별 성과지표의 목표 적정성	5
	RFP 연구목표와의 부합성	5
연구개발 내용 (20점)	연구개발 내용의 목표실현 가능성	15
	연구개발 내용의 독창성 및 차별성	5
추진전략 및 계획 (25점)	연구추진 전략 및 체계의 적정성 (관련 전문기관이 각 세부별로 참여하는지 평가, 실용화를 위한 연구추진체계의 적정성	15
	연구 사이트 확보방안의 적절성	5
	연구기간 및 연구개발비의 적절성	5
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성가능성 (25점)	연구성과물의 활용계획 및 방안의 구체성	15
	연구성과물의 기대효과 (정책적, 사회적, 경제적 파급효과)	10
연구진 구성의 전문성 (10점)	연구진의 전문성 및 구성의 적정성	10

제7장 막결정(MCr) 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 설정 근거

가. 막 결정(MCr) 기술개발 연구과제



□ **(비전)** 2025년까지 세계 최고 수준의 Brine Mining 기술 확보

□ 비전 설정 근거

○ 인구 증가로 지구상 자원이 고갈되는 반면 산업화로 자원의 수요가 높아지면서 국가 간 자원 확보 경쟁이 심화되고 있음

○ 육지가 아닌 해수로부터의 자원회수에 대한 관심이 높아짐

○ 향후 해수담수화 플랜트의 기능은 담수 생산에 국한되지 않고 자원회수도 포함하는 형태로 넓어질 것으로 전망

- 담수 생산 보다 자원회수를 통해서 더 높은 부가가치의 창출이 가능할 수 있음

2. 목표 및 설정근거

가. 막 결정(MCr) 기술개발 연구과제

□ 최종 목표

○ **(최종 목표)** 해수기반 저방류, 저탄소, 자원생산 복합 플랜트 기술개발

○ 최종 목표는 다음과 같은 요소로 구성

- 농축수 재농축에 의한 담수화 플랜트 방류수량 감소
- 해수 내 염분 및 미네랄 회수 및 분리정제에 의한 부가가치 창출
- 농축수를 이용한 이산화탄소 및 플랜트 저탄소화 엔지니어링 기술 확보

□ 목표 설정 근거

○ “2025년까지 세계 최고 수준의 Brine Mining 기술 확보”라는 비전을 달성하기 위하여 담수화 플랜트 담수수량 감소, 담수화 플랜트의 부가가치를 높일 수 있는 해수 내 미네랄 회수 및 분리정제 기술 확보, 플랜트 저탄소화 기술개발이라는 최종 목표를 설정

표 7-1. MCr 연구과제의 목표 및 성과지표

성과목표	성과지표	현재 수준	목표치	목표치 설정 근거 및 달성의 의미
해수 내 미네랄 회수 및 유가금속 분리정제	해수 내 미네랄 회수율	0%	50% 이상	농축수 내 미네랄 회수에 의한 부가가치 창출 및 자원의 육상 의존도 감소
MCr 기반 농축수 저방류 엔지니어링	농축수 방류량	60%	30%	해수 복합플랜트(물-자원 생산)의 농축수 무방류 기반기수 확보에 따른 신규 사업 기회 창출
MCr 기반 담수화 플랜트 방류수 고농축	물 회수율	30%	60%	농축수 고농축 및 이를 통한 지속가능한 친환경 담수화 플랜트 건설 가능

※ 해수담수화 농축수의 염농도(TDS) 70,000 mg/L 이상, 막증발법(MD)을 이용한 해수 농축 농도는 염농도(TDS) 14,000 mg/L 이상 농축(해수(TDS 35,000 mg/L)기준 4배 이상 농축)

2절. 핵심요소기술(CTE) 선정

1. 후보과제 도출

□ 과제구성 방법론

○ 연구개발 과제 도출을 위한 프로세스는 아래 그림에 나타나 있는 바와 같이 진행하였음

- 1단계 (유망기술 후보군 도출) : 산·학·연 전문가 자문과 기술동향 분석을 통하여 기술수요 기초자료 확보)

- 2단계 (스크리닝) : 전문가 및 기획팀 회의를 통하여 조사된 기술수요에 대한 분석 수행

- 3단계 (최종 후보과제 도출) : 기술분야별 최종 후보과제 도출

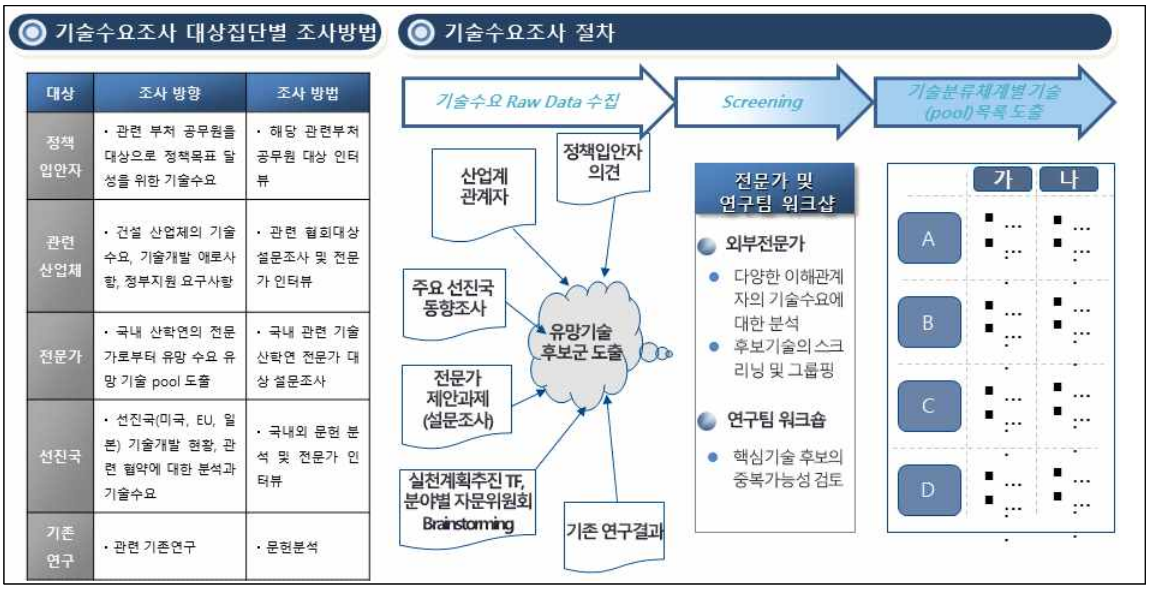


그림 7-1. 기술수요조사 방법

○ 다양한 이해관계자로부터 동 과제와 관련하여 필요한 기술수요를 조사하고, 이를 통해 수집된 자료를 내부 및 외부 전문가들의 의견수렴을 통해 분류



그림 7-2. 중점추진분야 수립절차

○ 기술수요조사 대상 집단별 조사방법

표 7-2. 기술수요조사 개요

대상	조사방향	조사방법
정책 입안자	■ 관련 부처 공무원을 대상으로 정책목표 달성을 위한 의견 수렴	■ 기획타당성 회의
관련 산업체	■ 플랜트 산업체의 기술수요, 기술개발 애로사항, 정부지원 요구사항	■ 전문가 대상 설문조사 및 전문가 인터뷰
전문가	■ 국내 산학연의 전문가로부터 유망 수요 유망 기술 pool 도출	■ 국내 관련 기술 산학연 전문가 대상 설문조사
선진국	■ 선진국 기술개발 현황 분석과 기술수요	■ 국내외 문헌 분석 및 전문가 인터뷰
기존 연구	■ 관련 기존연구	■ 문헌분석

2. 우선순위 선정

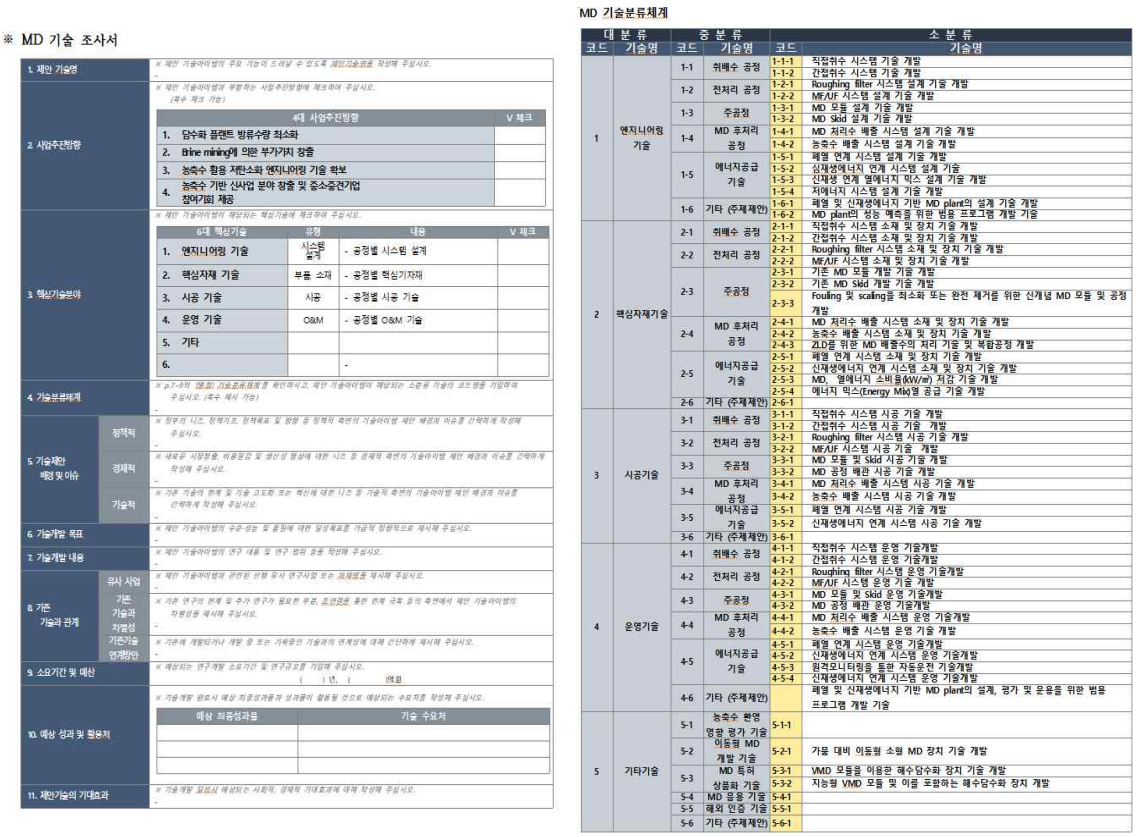
가. 후보과제 및 우선순위 선정

□ 본 과제 도출을 위해 실시한 수요조사는 국내 학회와 담수화 분야 연구단 등을 통하여 200여명의 해수담수화 전문가 및 수처리 전문가를 대상으로 이메일을 통해 조사하였음.

표 7-3. 기술수요조사 발송 및 응답 개요

구분	내용
조사기간	2018년 2월 7일 ~ 2월 20일(2주간)
조사대상	국내 해수담수화 및 수처리 전문가
조사방법	이메일을 통한 설문조사

□ 다음과 같은 수요조사서 양식을 이용하여 MCr 기술에 대한 과제를 제안 받음


※ MD 기술 조사서

1. 제안 기술명	※ 제안 기술아이템의 주요 기능이 드러날 수 있도록 제안기술명을 작성해 주십시오.
2. 사업추진방향	※ 제안 기술아이템과 부합하는 사업추진방향에 체크하여 주십시오. (복수 체크 가능)

4대 사업추진방향	V 체크
1. 담수화 플랜트 방류수량 최소화	
2. Brine mining에 의한 부가가치 창출	
3. 농축수 활용 저탄소화 엔지니어링 기술 확보	
4. 농축수 기반 신사업 분야 창출 및 중소·중견기업 참여기회 제공	

3. 핵심기술분야	※ 제안 기술아이템이 해당되는 핵심기술에 체크하여 주십시오.

6대 핵심기술	유형	내용	V 체크
1. 엔지니어링 기술	시스템 설계	- 공정별 시스템 설계	
2. 핵심자재 기술	부품 소재	- 공정별 핵심기자재	
3. 시공 기술	시공	- 공정별 시공 기술	
4. 운영 기술	O&M	- 공정별 O&M 기술	
5. 기타			
6.		-	

4. 기술분류체계		※ p.7-3의 '[붙임] 기술분류체계'를 확인하시고, 제안 기술아이템이 해당되는 소분류 기술의 코드명을 기입하여 주십시오. (복수 체크 가능)
5. 기술제안 배경 및 이슈	정책적	※ 정부의 니즈, 정책기조, 정책목표 및 방향 등 정책적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
	경제적	※ 새로운 시장창출, 비즈니스 및 생산성 향상에 대한 니즈 등 경제적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
	기술적	※ 기존 기술의 한계 및 기술 고도화 또는 혁신에 대한 니즈 등 기술적 측면의 기술아이템 제안 배경과 이슈를 간략하게 작성해 주십시오.
6. 기술개발 목표		※ 제안 기술아이템의 수준·성능 및 품질에 대한 달성목표를 가급적 정량적으로 제시해 주십시오.
7. 기술개발 내용		※ 제안 기술아이템의 연구 내용 및 연구 범위 등을 작성해 주십시오.
8. 기존 기술과 한계	유사 사업	※ 제안 기술아이템과 관련된 선행 유사 연구사업 또는 개발제품을 제시해 주십시오.
	기존 기술과 차별성	※ 기존 연구의 한계 및 추가 연구가 필요한 부분, 조성효과 등은 현재 국내 동의 측면에서 제안 기술아이템의 차별성을 제시해 주십시오.
	기존기술 업계현황	※ 기존에 개발되거나 개발 중 또는 기획중인 기술과의 연계성에 대해 간단하게 제시해 주십시오.
9. 소요기간 및 예산		※ 예상되는 연구개발 소요기간 및 연구규모를 기입해 주십시오. ( )년, ( )억원
10. 예상 성과 및 활용처		※ 기술개발 완료시 예상 최종성과물과 성과물이 활용될 것으로 예상되는 수요처를 작성해 주십시오.

예상 최종성과물	기술 수요처

11. 제안기술의 기대효과	※ 기술개발 완료시 예상되는 사회적, 경제적 기대효과에 대해 작성해 주십시오.

MD 기술분류체계

대 분 류		중 분 류		소 분 류	
코드	기술명	코드	기술명	코드	기술명
1	엔지니어링 기술	1-1	취배수 공정	1-1-1	직접취수 시스템 기술 개발
				1-1-2	간접취수 시스템 기술 개발
		1-2	전처리 공정	1-2-1	Roughing filter 시스템 설계 기술 개발
				1-2-2	MF/UF 시스템 설계 기술 개발
		1-3	주공정	1-3-1	MD 모듈 설계 기술 개발
				1-3-2	MD Skid 설계 기술 개발
		1-4	MD 후처리 공정	1-4-1	MD 처리수 배출 시스템 설계 기술 개발
				1-4-2	농축수 배출 시스템 설계 기술 개발
		1-5	에너지공급 기술	1-5-1	폐열 연계 시스템 설계 기술 개발
				1-5-2	신재생에너지 연계 시스템 설계 기술
				1-5-3	신재생 연계 엘에너지 믹스 설계 기술 개발
				1-5-4	저에너지 시스템 설계 기술 개발
		1-6	기타 (주제제안)	1-6-1	폐열 및 신재생에너지 기반 MD plant의 설계 기술 개발
				1-6-2	MD plant의 성능 예측을 위한 범용 프로그램 개발 기술
2	핵심자재기술	2-1	취배수 공정	2-1-1	직접취수 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-1-2	간접취수 시스템 소재 및 장치 기술 개발
		2-2	전처리 공정	2-2-1	Roughing filter 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-2-2	MF/UF 시스템 소재 및 장치 기술 개발
		2-3	주공정	2-3-1	기존 MD 모듈 개발 기술 개발
				2-3-2	기존 MD Skid 개발 기술 개발
				2-3-3	Fouling 및 scaling을 최소화 또는 완전 제거를 위한 신개념 MD 모듈 및 공정 개발
		2-4	MD 후처리 공정	2-4-1	MD 처리수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-4-2	농축수 배출 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-4-3	ZLD를 위한 MD 배출수의 처리 기술 및 복합공정 개발
		2-5	에너지공급 기술	2-5-1	폐열 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-5-2	신재생에너지 연계 시스템 소재 및 장치 기술 개발
				2-5-3	MD, 엘에너지 소비율(kW/㎥) 저감 기술 개발
				2-5-4	에너지 믹스(Energy Mix)별 공급 기술 개발
		2-6	기타 (주제제안)	2-6-1	
3	시공기술	3-1	취배수 공정	3-1-1	직접취수 시스템 시공 기술 개발
				3-1-2	간접취수 시스템 시공 기술 개발
		3-2	전처리 공정	3-2-1	Roughing filter 시스템 시공 기술 개발
				3-2-2	MF/UF 시스템 시공 기술 개발
		3-3	주공정	3-3-1	MD 모듈 및 Skid 시공 기술 개발
				3-3-2	MD 공정 배관 시공 기술 개발
		3-4	MD 후처리 공정	3-4-1	MD 처리수 배출 시스템 시공 기술 개발
				3-4-2	농축수 배출 시스템 시공 기술 개발
		3-5	에너지공급 기술	3-5-1	폐열 연계 시스템 시공 기술 개발
				3-5-2	신재생에너지 연계 시스템 시공 기술 개발
		3-6	기타 (주제제안)	3-6-1	
4	운영기술	4-1	취배수 공정	4-1-1	직접취수 시스템 운영 기술개발
				4-1-2	간접취수 시스템 운영 기술개발
		4-2	전처리 공정	4-2-1	Roughing filter 시스템 운영 기술개발
				4-2-2	MF/UF 시스템 운영 기술 개발
		4-3	주공정	4-3-1	MD 모듈 및 Skid 운영 기술개발
				4-3-2	MD 공정 배관 운영 기술개발
		4-4	MD 후처리 공정	4-4-1	MD 처리수 배출 시스템 운영 기술개발
				4-4-2	농축수 배출 시스템 운영 기술 개발
		4-5	에너지공급 기술	4-5-1	폐열 연계 시스템 운영 기술개발
				4-5-2	신재생에너지 연계 시스템 운영 기술개발
				4-5-3	원격모니터링을 통한 자동운전 기술개발
				4-5-4	신재생에너지 연계 시스템 운영 기술개발
		4-6	기타 (주제제안)		폐열 및 신재생에너지 기반 MD plant의 설계, 평가 및 운용을 위한 범용 프로그램 개발 기술
5	기타기술	5-1	농축수 환영 영향 평가 기술	5-1-1	
		5-2	이동형 MD 개발 기술	5-2-1	가뭄 대비 이동형 소형 MD 장치 기술 개발
		5-3	MD 특허 성장화 기술	5-3-1	VMD 모듈을 이용한 해수담수화 장치 기술 개발
				5-3-2	지능형 VMD 모듈 및 이를 포함하는 해수담수화 장치 개발
		5-4	MD 응용 기술	5-4-1	
		5-5	해외 인증 기술	5-5-1	
		5-6	기타 (주제제안)	5-6-1	

그림 7-3. MCr 수요조사서(과제카드) 양식

○ 기술동향 분석, 기획팀 제안(Top-down), 산학연 수요조사 (Bottom-up) 등의 방법으로 총 52개의 후보기술 도출

- 산학연 수요조사 : MD - 12개
- 기획팀 제안 : MD - 6개
- 기술동향 및 특허분석 결과 : MD - 5개

다. MCr 과제 수요조사 결과

□ 기술동향 분석, 기획팀 제안 (Top-down), 산학연 수요조사 (Bottom-up) 등의 방법으로 총 23개의 후보기술 도출

기술분야	수요조사 과제
엔지니어링 기술	• 전기화학적 반응 기반 MD 농축수 내 리튬 이온 선택적 회수를 위한 멤브레인 전극 및 회수 시스템 개발 • 고효율 하이브리드 열공정기반 농축결정화 플랜트 개발 • 지능형 VMD 및 신재생 융복합 열공급 시스템 개발 • 태양열을 활용한 MD 담수화 기술 실증 • SWRO/MD 농축수를 이용한 CO2 포집기술 개발 • MCr 공정모사 기술개발 • MD 농축수내 Mg, K, B 회수기술 개발 • MCr을 위한 결정화조 최적설계 기술 개발 • MCr 공정 후처리(분리정제) 기술 개발 • MD 농축수 내 루비듐 회수기술 개발
핵심 자재/요소 기술	• 고효율 하이브리드 열공정기반 농축결정화 플랜트 개발 • 다단 침지식 MCr 분리막 모듈 개발 • 유가금속별 선택적 흡착제 개발 • 천연물 기반의 이용한 유가금속 흡착 및 회수분리 소재개발
플랜트 설계/시공기술	• 지능형 VMD 및 신재생 융복합 열공급 시스템 개발 • 해수담수화 플랜트 방류수 내 단계적 유가 금속 회수 기술 • High PR MD 공정 개발 • MD 공정 리모델링에 의한 MCr시스템 구축을 위한 시공기술개발 • MCr 기반의 Near-ZLD 플랜트 시공기술 개발
운영기술	• 고효율 하이브리드 열공정 기반 농축결정화 플랜트 개발 • 지능형 VMD 및 신재생 융복합 열공급 시스템 개발 • 막증발(MD) 공정의 장기 운영을 고려한 전처리 및 막세척 기술 개발 • 해수담수화 플랜트 방류수 내 단계적 유가 금속 회수 기술

○ 기획 연구팀과 전문가의 검토를 거쳐서 목적이 유사하거나 통합될 수 있는 과제를 그룹으로 만들어서 새로운 과제를 도출하였음

○ 실증시설 설계와 제작을 위한 과제를 도출하여 우선순위 평가단계에 포함시켰음

○ 도출된 후보과제를 대상으로 핵심성, 기술수준, 지원 필요성, 중복성 등을 고려한 우선순위를 기획연구팀과 외부 전문가들이 참여한 기획회의를 통하여 평가하였음



그림 7-4. 우선순위 선정방법

표 7-4. 우선순위 평가항목 및 비중

평가항목	비중	정의
핵심성	0.3	해당과제가 전체 목표달성에 기여하는 정도
기술수준	0.2	연구기간 내 자체개발이 가능한 정도의 기술수준 보유여부
지원필요성	0.3	정부투자의 필요성 (공공성, 파급성, 시급성 등)
중복성	0.2	기존 국가 R&D 수행내용과의 중복여부

라. 후보과제 선정

○ 후보과제 우선순위 항목은 핵심성, 기술수준, 지원필요성, 중복성의 4개 항목에 대하여 기획팀과 외부전문가가 같이 참여하여 평가하였음

○ MD의 경우, MD와 자원회수를 결합한 형태인 MCr 기술개발로 변경하였음

○ 그 결과 우선추진 과제로 선정된 과제에 대한 결과는 다음과 같음

- MCr 보다는 상용화에 근접한 PRO의 경우에는 기술의 조속한 상용화를 위하여, 트레인 규모의 실증플랜트를 설계 및 구축하고 이를 운영하는 실증기술이 높은 우선순위를 가지는 것으로 평가되었음

- MCr의 경우에는 저탄소 엔지니어링 기술, MCr 기술의 구현에 가장 적합하다고 고려되는 침지식 중공사형 막모듈 기술, 미네랄 회수 및 분리정제 기술이 높은 우선순위를 가지는 것으로 평가되었음



그림 7-5. MCr 과제 후보기술(안)

< 참 고: 연구개발후보과제 우선순위 도출 프로세스>

□ 연구개발 후보과제의 우선순위 도출 프로세스

○ 연구개발후보과제의 기술특성을 평가하여 연구개발후보과제의 우선순위를 도출함

○ (Track 1) 연구개발후보과제의 우선순위 설정을 위한 평가항목을 개발하고 AHP분석을 통해 평가항목간 가중치를 도출함(A)

○ 평가항목은 벤치마킹과 전문가 자문을 통해 본 연구과제의 비전 미션에 부합한 평가항목을 수립하고 기획위원의 검토의견을 수렴하여 최종 평가항목을 설정함

○ 8명의 기획위원을 대상으로 가중치 설문조사(AHP)를 진행하여 항목간 가중치 도출

○ (Track 2) 평가항목별로 연구개발후보과제에 점수를 산정하여 과제별 특성을 평가하여 연구개발 후보과제의 우선순위를 도출함(A × B)

- 11명의 전문가 설문조사를 통해 점수를 산정함

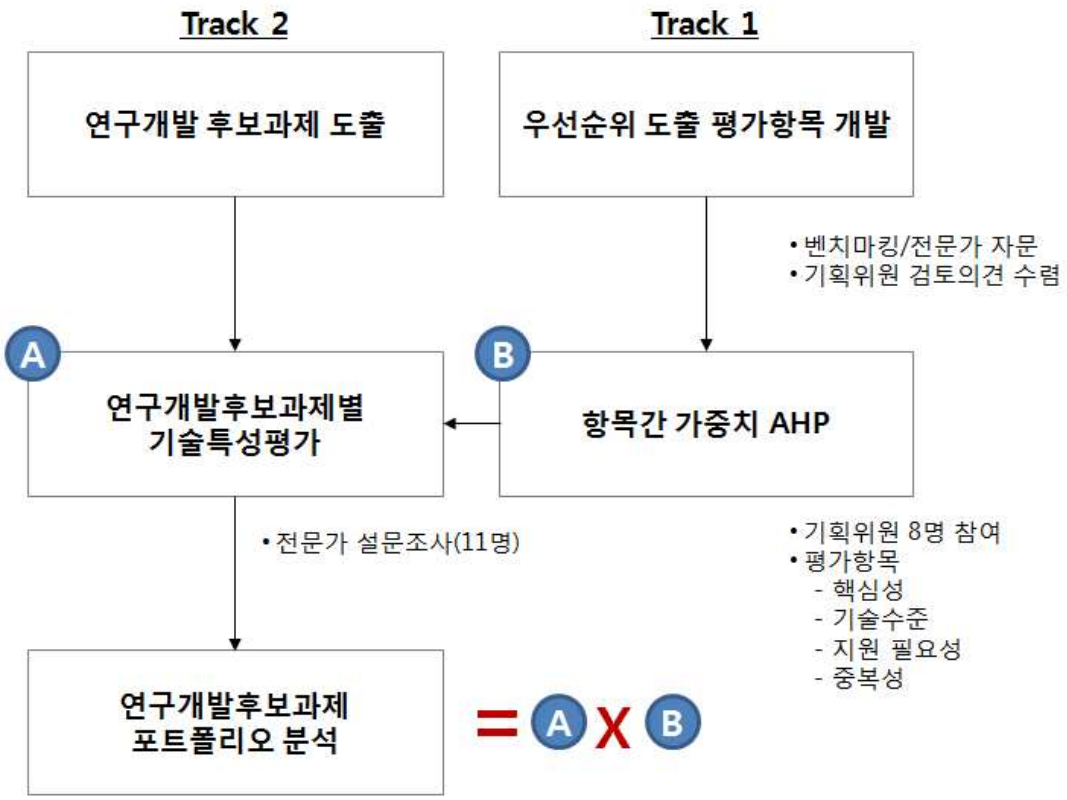


그림 7-6. 연구개발과제의 우선순위 도출 프로세스

< 참 고: 연구개발후보과제 우선순위 도출 프로세스>

(1) 기술성 평가항목과 항목별 가중치 도출(Track 1)

○ 연구개발후보과제에 대한 평가 지표를 다음과 같은 단계로 수립함

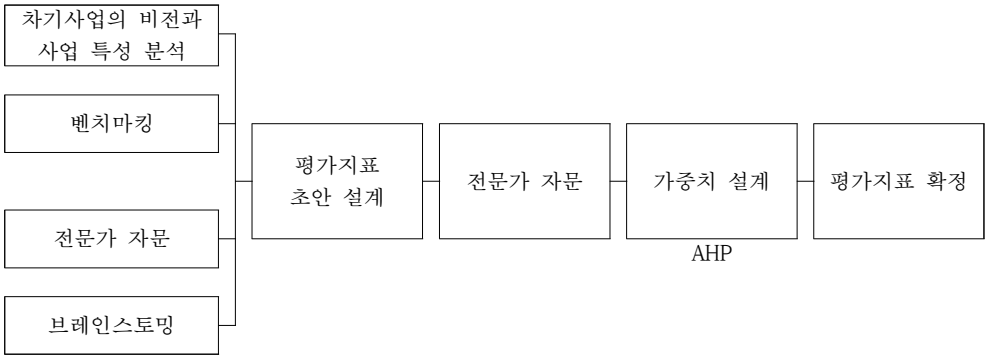


그림 7-7. 평가지표 설계 프로세스

○ 타 연구사업 등 평가지표 벤치마킹 자료를 바탕으로 전문가를 포함한 기획팀이 브레인스토밍을 통해 차기사업 특성을 고려한 평가지표 초안을 도출함

- 연구개발후보과제를 핵심성, 기술수준, 지원필요성 및 중복성으로 평가함
- 각 평가항목을 정확하게 평가하기 위해 각 평가항목에 대한 정의를 작성한 후 전문가의 동의를 얻음으로써 각 항목에 대한 평가자별 공통적 관점에서 각 과제에 대한 평가가 이루어질 수 있도록 함
- 자문회의를 통해 평가지표에 대한 추가 전문가 의견을 반영하여 평가지표 초안에 대한 적절성을 평가하고 수정, 아래와 같은 최종안을 도출함
- 전문가들의 직관적 판단을 바탕으로 각 평가지표를 쌍대 비교하는 AHP 설문조사를 실시하고 기획위원이 결과값을 검토함

표 7-5. 우선순위 평가항목 및 정의

평가항목	정의	AHP 설문결과	최종확정 가중치
핵심성	해당과제가 전체 목표달성에 기여하는 정도 - 중점추진분야별 목표 달성에 핵심적 역할을 하는 기술인가? - 후보과제가 비전과 목표에 부합하는가?	29%	30%
기술수준	연구기간 내 자체개발이 가능한 정도의 기술수준 보유여부 - 후보과제를 계획된 기간 내에 자체개발이 가능한 정도의 기술수준을 보유하고 있는가?	22%	20%
지원필요성	정부투자의 필요성 (공공성, 파급성, 시급성 등) - 후보과제가 국토교통부의 연구개발 사업으로 추진되는 것이 바람직한가?	32%	30%
중복성	기존 국가 R&D 수행내용과의 중복여부 - 후보과제간 또는 기 추진된 과제들과 중복성이 높지는 않은가?	17%	20%

(2) 연구개발후보과제별 특성평가(Track 2)

○ 확정된 평가항목을 토대로 기획팀과 외부전문가로 구성된 기획위원 11명을 대상으로 설문을 실시, 결과를 취합하고 통계분석하여 연구개발후보과제의 평가점수를 도출, 70점 미만의 과제를 우선적으로 제외함

구분	연구개발후보과제	핵심성	기술수준	지원필요성	중복성	총점	비고
MCr	전기화학적 반응 기반 MD 농축수 내 리튬 이온 선택적 회수를 위한 멤브레인 전극 및 회수 시스템 개발	25	13	23	16	77	
	해양심층 에너지를 활용한 MD/PRO 에너지 생산 및 고부가 유가자원 회수 연계 시스템 개발	26	15	24	13	78	
	고효율 하이브리드 열공정기반 농축결정화 플랜트 개발	18	8	20	12	58	제외
	지능형 VMD 및 신재생 융복합 열공급 시스템 개발	22	16	26	16	80	
	태양열을 활용한 MD 담수화 기술 실증	25	12	25	17	79	
	SWRO/MD 농축수를 이용한 CO2 포집기술 개발	26	12	24	13	75	
	MCr 공정모사 기술개발	20	18	21	11	70	
	MD 농축수내 Mg, K, B 회수기술 개발	25	12	23	14	74	
	MCr을 위한 결정화조 최적설계 기술 개발	28	13	23	9	73	
	MCr 공정 후처리(분리정제) 기술 개발	25	12	19	14	70	
	MD 농축수 내 루비듐 회수기술 개발	22	12	18	18	70	
	고효율 하이브리드 열공정기반 농축결정화 플랜트 개발	23	15	20	18	76	
	다단 침지식 MCr 분리막 모듈 개발	24	16	23	11	74	
	유가금속별 선택적 흡착제 개발	28	13	20	9	70	
	천연물 기반의 이용한 유가금속 흡착 및 회수분리 소재개발	18	11	15	9	53	제외
	지능형 VMD 및 신재생 융복합 열공급 시스템 개발	22	16	26	16	80	
	해수담수화 플랜트 방류수 내 단계적 유가 금속 회수 기술	28	11	22	10	71	
	High PR MD 공정 개발	26	13	23	11	73	
	MD 공정 리모델링에 의한 MCr시스템 구축을 위한 시공기술개발	24	17	20	17	78	
	MCr 기반의 Near-ZLD 플랜트 시공기술 개발	28	16	25	8	77	
	고효율 하이브리드 열공정 기반 농축결정화 플랜트 개발	23	18	25	10	76	
	막증발(MD) 공정의 장기 운영을 고려한 전처리 및 막세척 기술 개발	22	16	20	12	70	

주: 평가항목의 가중치를 곱한 수치

3절. 연구개발 과제 구성

1. 과제 구성

가. 과제 도출

□ 기술 수요조사 및 기술 수준분석을 통해 제안된 과제의 우선순위 도출과 현 과제의 최종 목표와의 부합성 검토를 통해 MCr 분야 총 23개 과제를 도출하여 구성하였음



그림 7-8. MCr 추진과제 도출

나. 세부 및 공동과제

1) 막 결정 기술개발 연구과제

□ 과제의 성격과 역할에 따라 공통 핵심기술 및 세부기술로 구성됨

○ 공통핵심기술 : 담수화 플랜트 농축수 고농축 기술, Brine Mining에 의한 부가가치 창출, 농축수 저방류 엔지니어링 기술, 농축수 기반 신사업 분야 창출 및 중소·중견기업 참여기회 제공

○ 세부기술 : 분리막 기반 RO 농축수 고효율 회수와 이를 통한 유가자원(미네랄 및 유가금속) 회수기술 그리고 이를 통합한 고효율, 고성능, 친환경의 MCr 기반 농축수 저방류 시스템 엔지니어링 기술 개발

○ 아래와 같은 공동과제로 구성

- 담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 공정 기반 농축수 저방류 기술 개발

(담수 생산량: 10 m^3/일 이상, 물 회수율: 60% 이상, 미네랄 회수율: 50% 이상)

- 폐열 및 신재생에너지 기반 에너지 공급시스템 적용 기술 개발
- MCr 공정을 위한 전처리 최적화 기술 개발
- MCr 공정 적용 저방류 플랜트 공정모사 기술 개발
- 소형 저방류 파일럿 플랜트(전처리-농축-회수/분리-결정화 통합공정) 설계/구축/성능 평가

- 고회수율/저오염의 MCr 전용 분리막 모듈 및 공정 기술

(물 회수율: 60% 이상)

- 고회수율 저오염의 MCr 분리막 모듈 및 공정 개발
- MCr 공정의 장기 운영을 위한 세정 기술 개발
- MCr 공정의 설계 최적화 기술 개발

- MCr 공정 기반 자원회수 및 결정화 기술 개발

(미네랄 회수율: 50% 이상)

- MCr 고농축수 내 미네랄(칼슘, 마그네슘, 칼륨) 회수기술 개발
- MCr 고농축수 내 유가금속(루비듐) 회수(선택적 흡착제 개발) 및 설계 기술 개발

- 열공정 기반 고효율 결정화기의 최적설계 기술 개발
- 저방류 시스템 구축을 위한 자원회수-결정화 후처리 공정 최적화

표 7-6. MCr 기술 개발 세부 및 공동과제

세부과제	공동과제
담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발	담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발
	고회수율/저오염의 중공사형 MCr 전용 막 모듈 및 공정 기술 개발
	고농도 농축수 내 미네랄 회수 및 유가금속 분리/정제 기술 개발

4절. 과제별 주요 내용 및 추진전략

1. 과제별 주요 내용

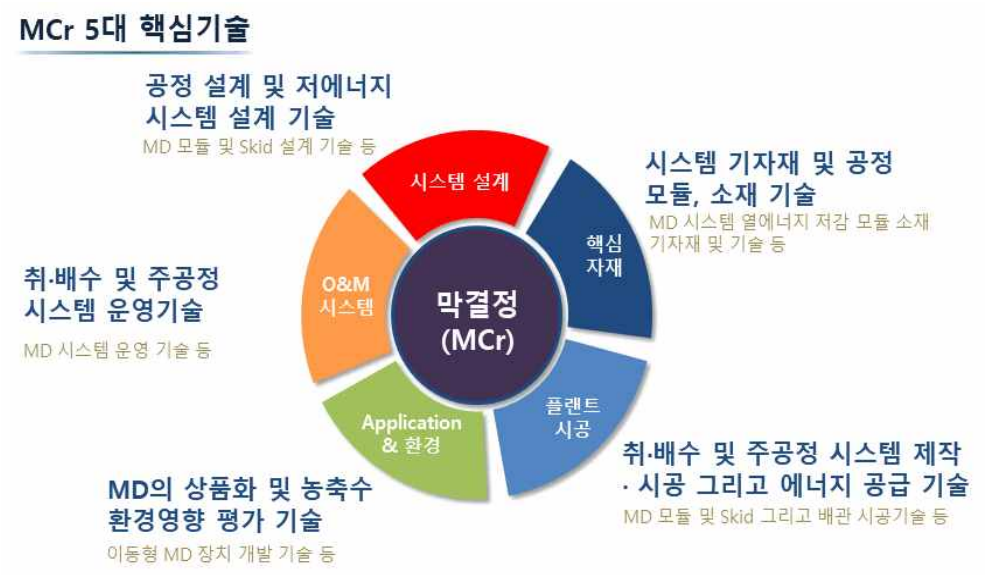
□ MCr 과제의 내용은 아래와 같음

○ 막결정 기반 농축수 저방류 시스템의 핵심기술 확보를 위하여, 농축수 저방류 엔지니어링 기술, 막결정 기술의 구현에 적합한 중공사형 막모듈 및 공정 기술, 농축수에 함유된 미네랄과 주요 유가금속을 회수하고 이를 분리/정제할 수 있는 기술의 개발을 주요 내용으로 하고 있음

세부과제	공동과제	내용	목표
담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발	담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발(농축수 저방류 시스템 설계 및 운영 기술)	- 폐열 및 신재생에너지 기반 에너지 공급시스템 적용 기술 개발 - MCr 공정을 위한 전처리 최적화 기술 개발 - MCr 공정 적용 저방류 플랜트 공정모사 기술 개발 - 소형 저방류 파일럿 플랜트(전처리-농축-회수/분리-결정화 통합공정) 설계/구축/성능 평가	- 담수 생산량 10 m^3/일 이상 - 물 회수율 60% 이상 - 미네랄 회수율 50% 이상 - 플랜트 스케일업 기술 개발
	고회수율/저오염의 MCr 전용 모듈 및 공정 기술 개발(농축 기술)	- 고회수율 저오염의 MCr 분리막 모듈 및 공정 개발 - MCr 공정의 장기 운영을 위한 세정 기술 개발 - MCr 공정의 설계 최적화 기술 개발	- 물 회수율 60% 이상 - 막오염 저감 20% 이상
	고농도 농축수 내 미네랄 회수 및 유가금속 분리/정제 기술 개발(자원회수/결정화 기술)	- MCr 고농축수 내 미네랄(칼슘, 마그네슘, 칼륨) 회수기술 개발 - MCr 고농축수 내 유가금속(루비듐) 회수(선택적 흡착제 개발) 및 설계 기술 개발 - 열공정 기반 고효율 결정화기의 최적설계 기술 개발 - 저방류 시스템 구축을 위한 자원회수-결정화 후처리 공정 최적화	- 미네랄 회수율 50% 이상 - 특정 유가금속 회수 원천기술 확보

2. 최종 성과 및 대표기술

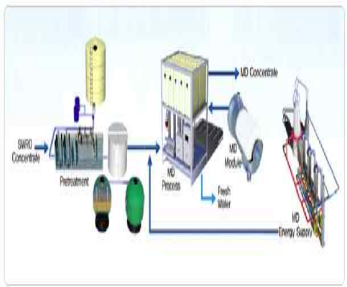
□ MCr 최종 성과 및 대표기술



○ 5대 핵심기술

- 엔지니어링 시스템 - 핵심 기자재 - 플랜트 시공 - O&M 시스템 - Application 및 환경 등 막결정 기반 농축수 저방류 시스템에 대한 핵심기술 도출

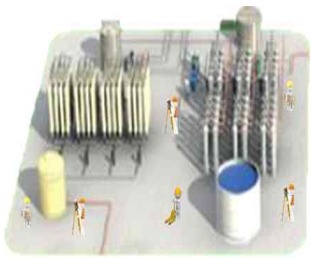
○ 핵심기술 세부사항



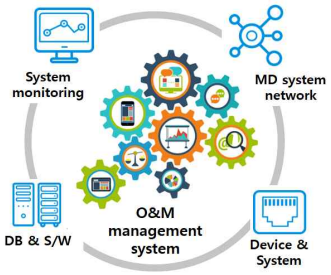
<MCr 기반 저방류 시스템>



<핵심 기자재>



<플랜트 시공>



<O&M 시스템>

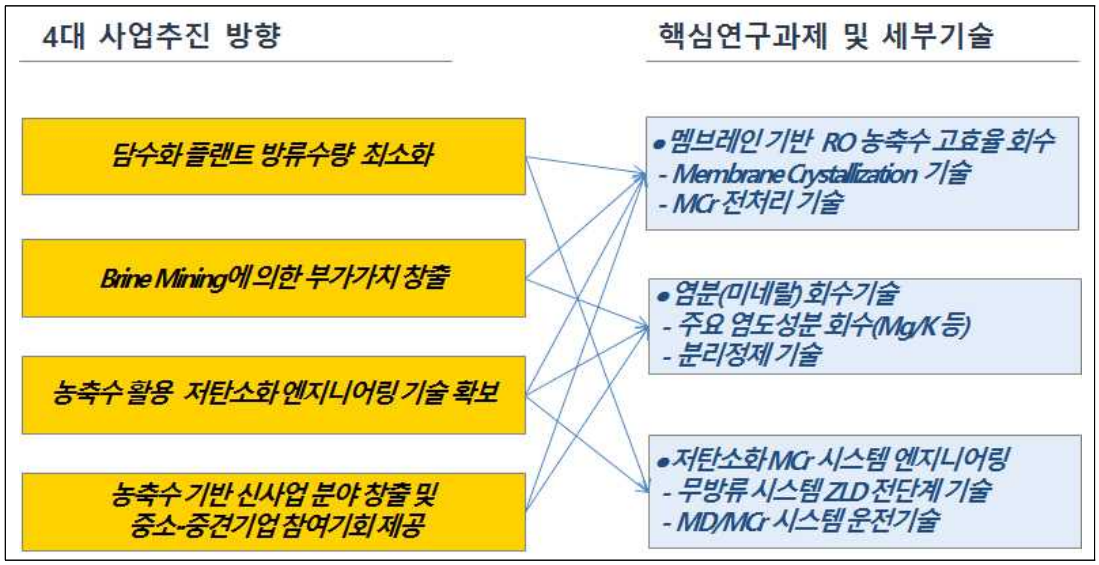


<Application & 환경>

5절. 과제간 연계관계

1. 막결정 기반 농축수 저방류(MCr 저방류)

□ 막결정 공정기술의 사업추진방향과 핵심 연구과제 및 세부기술의 연계성



6절. 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 기술로드맵

가. 막 결정(MCr) 기술로드맵

□ 전체 연구기간인 4년에 대하여 2단계로 구분하여 추진전략을 수립하였음
(요소기술 연구 및 원천기술 확보 → 공정 최적화 및 파일럿 설계/구축 → 파일럿 성능 평가/최적화 및 MCr 기반 저방류 시스템 설계)

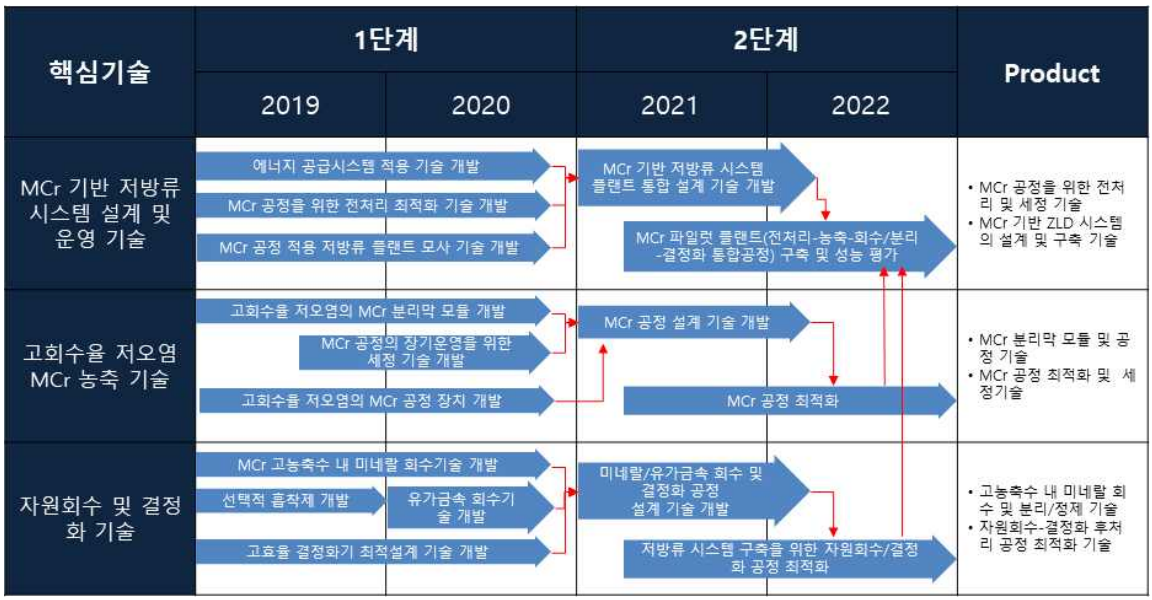


그림 7-9. MCr 기술로드맵

2. 성과로드맵

□ 막 결정 성과로드맵

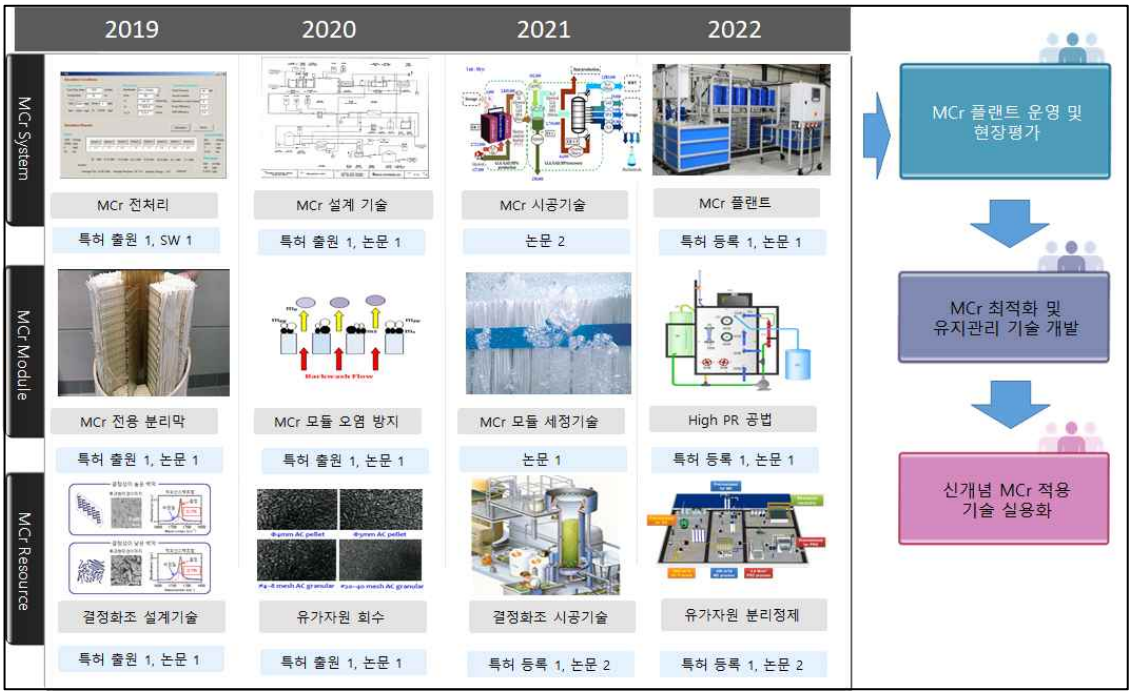


그림 7-10. MCr 성과로드맵

- 4년간 논문 14편, 특허출원 6건, 특허등록 4건 SW 1건 등

- MCr 플랜트 운영 및 최적화, 유지관리 기술 등 신개념 공정 실용화영의 비중이 높으므로 산출물도 논문 및 특허, SW 등에 대한 비중을 상향조정함

7절. 경쟁기술 분석(MCr)

1. 경쟁기술

□ 진공 증발 농축법 (Vacuum evaporation concentration)

○ 대기압 이하로 감압해서 실행하는 증발을 진공 증발 또는 감압 증발이라고 한다. 압력의 감소에 의해 끓는점이 저하하고 열원과의 온도차가 증가해 증발 능력을 더하며, 고온에서는 분해와 변질을 발생시킬 우려가 있는 물질을 저온에서 처리할 수가 있으므로 저압의 폐기압을 열원으로 사용할 수가 있음

○ 장치로는 증발기, 응축기, 진공 펌프 등이 설치된다. 폐산과 폐알칼리의 저농도 회수액을 농축해 재이용할 때 사용

○ 일반적으로 농축 결정공정에서 많이 적용되고 있으나, 결정화를 제어하기 어렵고 전처리 공정, 진공 펌프 등이 사용되어 운전이 복잡하고, 많은 에너지가 소모되는 단점이 있음

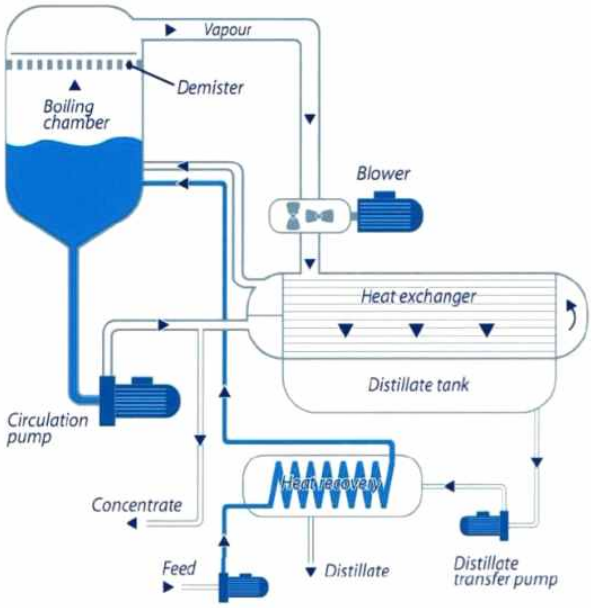


그림 7-11. 진공 증발 농축공정 모식도

8절. 연구과정상 위험요소 및 대응방안

1. SWOT 분석

가. MCr 플랜트 실증화 기술의 SWOT 분석

강점 (S)	기회 (O)
• 정부차원의 해수담수화 분야에 대한 육성 전략 및 지원 의지 높음 • 선행 연구를 통한 MD 관련 원천 기술 확보 • 설계, 구축, 운영, 핵심 소재 등의 주요 핵심 요소 기술 확보 가능 • 관련 분야 전문가 확보 및 다양한 연구 경험 보유 • 국제 협력 등을 통한 관련 분야 네트워크 기반 확보	• 기후변화에 따른 물 부족 문제를 해결하기 위한 해수담수화 등의 대체수자원 확보 기술 수요 증가 • 지속적인 해수담수화 플랜트 및 시장 증가에 따른 공정 효율 제고 필요성 대두 • 해수담수화 공정 중 발생 농축수 규제 및 관리에 대한 국제적 관심도 증가
약점 (W)	**위협 (T)**
• 국내 핵심 소재 관련 기업의 기술 및 투자 환경 기반 취약 • 설계, 구축, 운영, 핵심 소재 등 관련 기술에 대한 전문 기업 부재 • 기존 해수담수화 관련 사업의 부정적 시각 존재 • 기술 상용화를 위한 실규모 적용 경험 부족	• 높은 공정 효율을 가진 선진 외국 기업의 지속적인 R&D 투자 증대 • 해외 시장 진입을 위한 신규 개발 기술의 진입 장벽이 높음 • 해수담수화 이외의 대체수자원 확보 기술 개발 촉진

2. MCr 기술개발 위험요인

가. 위험요인

□ 기술 실현 - 실증화 기술의 실현과 최적 성능을 위해서는 MCr 전용 분리막, 모듈 및 시스템의 개발이 필요함

□ 또한 국내 관련 연구는 실험실 규모의 기초연구 단계이고, 핵심 기술 및 원천 기술 정보가 부족하며, 기술 잠재성에 비해 국내 시장은 협소하고, MCr 전용 분리막 제작관련 선진기술과 관련 기술의 국내 전문 기업이 부족한 실정임

□ 입지조건, 부지선정 - 플랜트의 설치와 관련해서 취수와 배수를 할 수 있는 시설

이 갖추어져야 하고, 연구의 목적상 하수와 해수를 사용할 수 있는 부지가 선정되어야 함

□ 인허가 문제, 환경영향성 (법, 제도) - 방류수와 관련된 문제 발생에 우려한 환경 위해도와 관련한 법과 제도에 의해 인허가가 어려울 경우가 있음

□ 목표달성이 실패하거나, 중도 탈락하는 기관이 발생할 경우가 있음

나. 대응방안

□ 기존 해수담수화 사업단 과제를 통한 플랜트 관련 노하우를 보유하고 있다. 기 구축된 장비와 기술들과 결합을 통한 높은 활용 가능성이 있음

□ 파일럿 연구와 적용을 통한 국내 실적 확보 및 해외 수주를 위한 모델 제시

□ 해외 전문가 및 연구기관과의 활발한 공동 연구

□ 국내에도 산학연의 뛰어난 연구 인력들과 협력

□ 기존 해수담수화 사업단에서 사용했던 부지의 재사용이나, 친환경적인 신개념 기술의 도입으로 방류를 최소화함으로써 부지에 대한 제한 가능성을 감소시킴

□ MCr의 기술의 도입을 통해 연구에서 같이 고려될 방류수량과 위해도 저감기술의 개발을 통해 환경 영향성을 소진시킬 수 있음

□ 계획했던 목표에 도달하지 못하거나 중도 탈락하는 기관이 발생할 경우에 대비해서 연구단의 총괄기관에서는 위기관리 매뉴얼을 제작하여 다양한 시뮬레이션을 통해서 대응할 수 있는 방안들을 준비

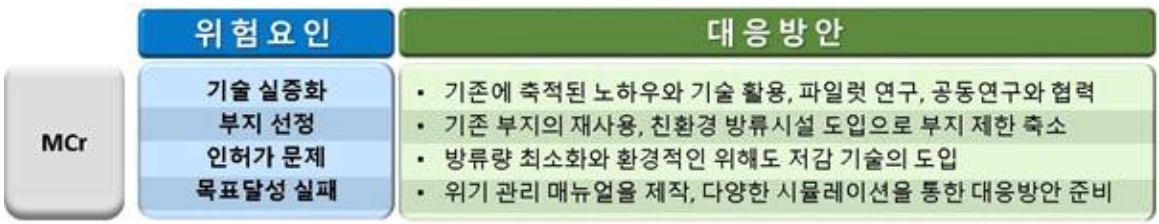


그림 7-12. MCr 기술의 위험요인 및 대응방안

다. 플랜트 후보지역

□ MCr 공정의 경우 플랜트 규모가 크지 않아서 기존 SWRO 플랜트와 연계하는 법과 신규로 SWRO-MCr 공정을 구축하는 방안 모색

□ 이를 위하여 향후 과제 수행 시 국내 SWRO 설치 플랜트 및 PRO 공정 설치 지역과 연계를 고려

라. 막 젖음 현상 및 fouling 대안

□ 막 젖음은 소수성 고분자막 기공에 액체가 차는 현상

○ 막 표면에서 증기와 액체간의 표면장력이 저하됨에 따라 막 기공에 물이 유입되기 때문에 발생됨.

○ 이때 액체가 막을 투과할 수 있는 임계압력(LEP)은 막의 표면 에너지, 유입 또는 투과수의 표면장력 그리고 막 기공의 크기와 형상에 크게 영향을 받음

○ 막 젖음 현상은 막 젖음의 정도에 따라 크게 4 가지로 분류됨(그림 69 참조)

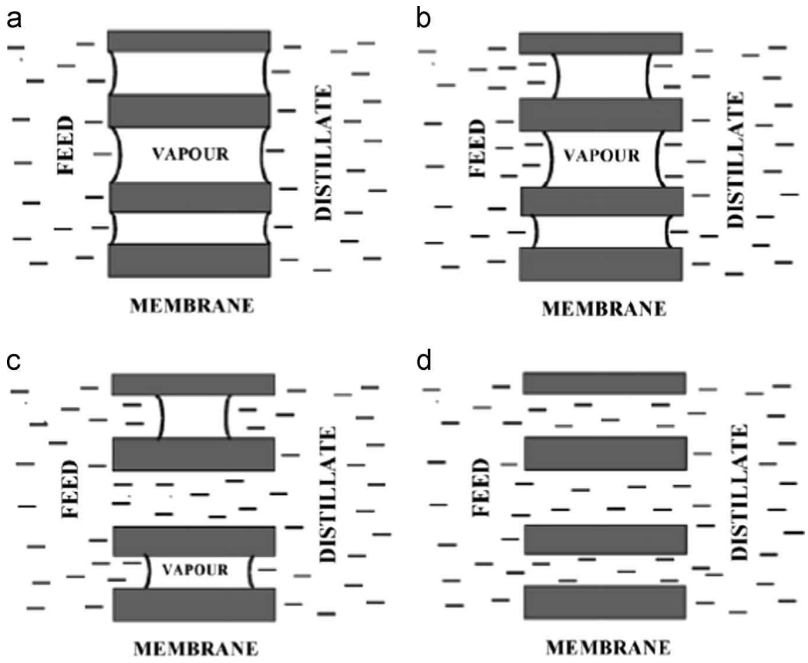


그림 7-13. 막 젖음의 분류: (a) 정상 상태, (b) 표면 젖음, (c) 부분 젖음, (d) 완전 젖음

○ MD 공정에서 막 표면 또는 기공에 fouling 물질의 축적은 막 젖음 현상을 가속시키며, 투과도의 감소, 막 소수성의 감소, 투과수질의 악화 등은 막 젖음 현상을 모니터링 하는 요소임.

○ 기존 연구들에 의하면, 실제 MD 공정에서 fouling은 무기물, 유기물, 미생물과 같은 서로 다른 fouling 메커니즘의 조합으로 발생되기 때문에 매우 복잡하며(그림 70의 좌측 참조), fouling 물질의 특성(농도, 분자 크기, 용해도, 확산도, 소수성, 전하 등), 막의 특성(소수성, 표면 거칠기, 기공 크기 및 PSD, 표면 전하 등), 작동조건(투과유속, 용액 온도 및 유속 등) 그리고 유입수의 특성(화학적 성질, pH, 이온 강도, 유기 및 무기물의 존재 등)(그림 70의 우측 참조)

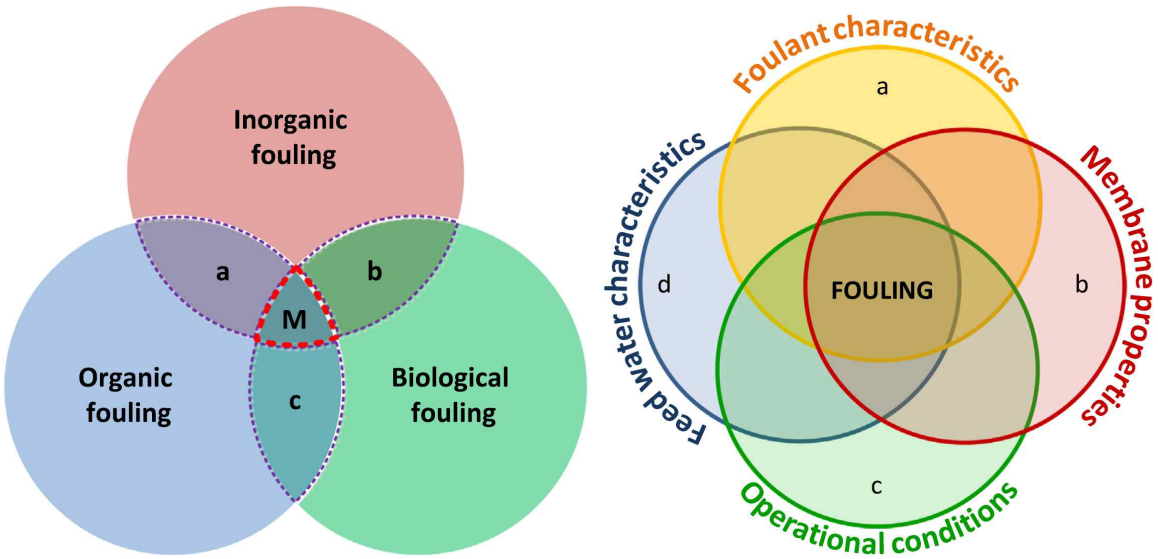


그림 7-14. MD 공정에서 오염 물질에 따른 fouling 메커니즘(좌측)과 fouling에 영향을 미치는 주요 요인(우측)

□ MCr 공정은 막여과 공정을 기본으로 하고, MD 공정을 응용한 공정이기 때문에 막 젖음 현상과 운영과정에서 fouling의 발생 가능성이 다소 높으며, 이로 인한 막 젖음 현상을 줄이기 위한 기존 fouling 제어 기술은 다음과 같음

○ 막 세정: 막에 유기물 오염이나 스케일링이 발생할 경우에 간단한 물에 의한 세척은 대부분 약하게 쌓여 있는 오염 물질의 제거만 가능하며, 이와 더불어 MQ 수와 가스 버블링에 의한 세척, 초음파 주사법 등과 같은 물리적 세정과 NaOH, HCl, EDTA, Citric Acid 등을 이용한 화학적 세정과 같이 다양한 세정 방법이 있음

○ 전처리: 원수에 수질에 따른 적당한 전처리는 공정의 향상을 가져오고, 막 젖음 현상 없이 장기적인 운전이 가능하지만, 오염물질에 따라 다른 전처리 방법이 사용되어야 함

○ 스케일 억제제: 기존 MD 공정에서 스케일 억제제의 사용은 무기 스케일의 형성을 줄임으로써 막 젖음 현상을 줄일 수 있으나, MD와 같은 열을 사용하는 공정에 적당하지 않은 스케일 억제제도 존재함

○ 새로운 막과 모듈/공정: 새로운 MCr 공정에 적용 타당한 새로운 막과 모듈 및 공정의 개발은 막 젖음 현상을 줄임과 동시에 공정 효율을 상승시키는 요인이 됨

□ 이러한 막 젖음 현상을 방지하기 위해서는 고농축수로부터 추출하고자 하는 미네랄 및 유가금속의 용해도를 이용하여 최적의 온도와 농축비로 운전할 수 있는 운영기술을 개발

□ 막 젖음 현상을 방지하기 위하여 전처리 공정의 온도를 제어하거나, MCr 공정에 적용 타당한 전용 물리적·화학적 세정방법의 개발을 통해 막 젖음 현상을 최소화

함

□ 또한 막 운영 과정에서 fouling 발생 시 최적의 세정 조건을 도출하여 막을 초기 상태로 복원할 수 있는 기술의 개발 또는 fouling 발생을 원천 차단할 수 있는 새로운 개념의 모듈 및 공정을 개발함

□ 이를 위해서 막 젖음 현상을 사전에 감지할 수 있는 모니터링 기술과 새로운 개념의 막 젖음 인자를 도출하여 MCr 공정의 운전 최적화를 수행함

9절 성과활용 및 사업화전략(비지니스 모델 등)

1. 성과활용



그림 7-15. 성과 활용 및 사업화 전략

□ 본 연구를 통한 개발 기술 이용 전후방 분야에서 활용

- 폐열 및 신재생 에너지 기반 에너지 공급 시스템이 적용된 설계 기술 확보
- 소형 저방류 파일럿 플랜트 설계도 활용 가능
- MCr 기술 상용화 및 농축수의 환경 영향 평가 기술 국내 적용
- MCr 모듈 및 배관 시공기술을 통한 주공정 시스템 제작 기술
- 전처리-농축-회수/분리-결정화 통합공정 구축 기술
- 정부의 물 산업 육성 전략 및 세계시장 진출을 위한 개발 기술의 지원 유도 및 관련 정부 지침 확립 도모
- 특허 출원 및 등록, 시제품 개발, 기술이전 등을 거쳐 상용제품 생산 등 활용방안 추진
- 수자원 및 환경공학을 토대로 하여 화학공학/기계공학/신뢰성공학 등의 학제간/기술간 통합연구에 본 연구에서 개발할 요소기술들의 통합된 기술발전을 도모할 수 있음

□ 신규 고용창출효과

- 5대 핵심기술인 시스템 엔지니어링, 핵심 기자재, 플랜트 시공, O&M, 시스템 적용 및 환경 등으로 이루어진 공정을 제3의 물 산업(The Third Water Industry)으로 집중 육성함으로써 직간접적인 고용창출 효과를 유발함

□ 현장 적용 및 사업화

- MCr 공정을 위한 전처리 및 세정 공정기술 현장 적용
- MCr 전용 분리막, 모듈 및 시스템의 개발 및 실증화 기술의 실현과 최적 성능을 위해 현장 운전 경험 축적
- 국내 실적을 바탕으로 주변 개발도상국 및 해외 MCr 시장 진출 도모
- 참여기업과의 기술교류를 통한 사업화 적극 추진
- 고회수율 저오염의 MCr 전용 분리막 모듈 및 공정 개발
- 공정 최적화를 위한 공정모사 기술 개발 및 기술의 실증화 플랜트 공정 최적화에 적용
- 미네랄 회수 및 분리정제에 의한 부가가치 창출로 사업화 가능성 증대
- 농축수의 환경 영향 평가 기준을 확립하여 국내·외 기업 및 연구소나 중앙정부 및 지자체에 대하여 홍보 및 기술을 지도하고 관련 기술을 확산시켜 지속적인 기술수요 유도
- 최근에는 저에너지(저탄소화) 담수화 기술을 적용하는 기술 개발이 세계적인 트랜드로 발전함에 따라 기술 사업화에 이점을 지닐 수 있음
- 개발된 기술의 현지 실증을 통해 현지 여러 국가와 MOU 체결, 인증 추진 후 활용 가능한 사업 발굴
- 담수화플랜트 기술을 연구·개발하고자 하는 세계 여러 나라들과의 공동연구가 가능할 것임

2. 사업화 전략

가. 비즈니스 모델

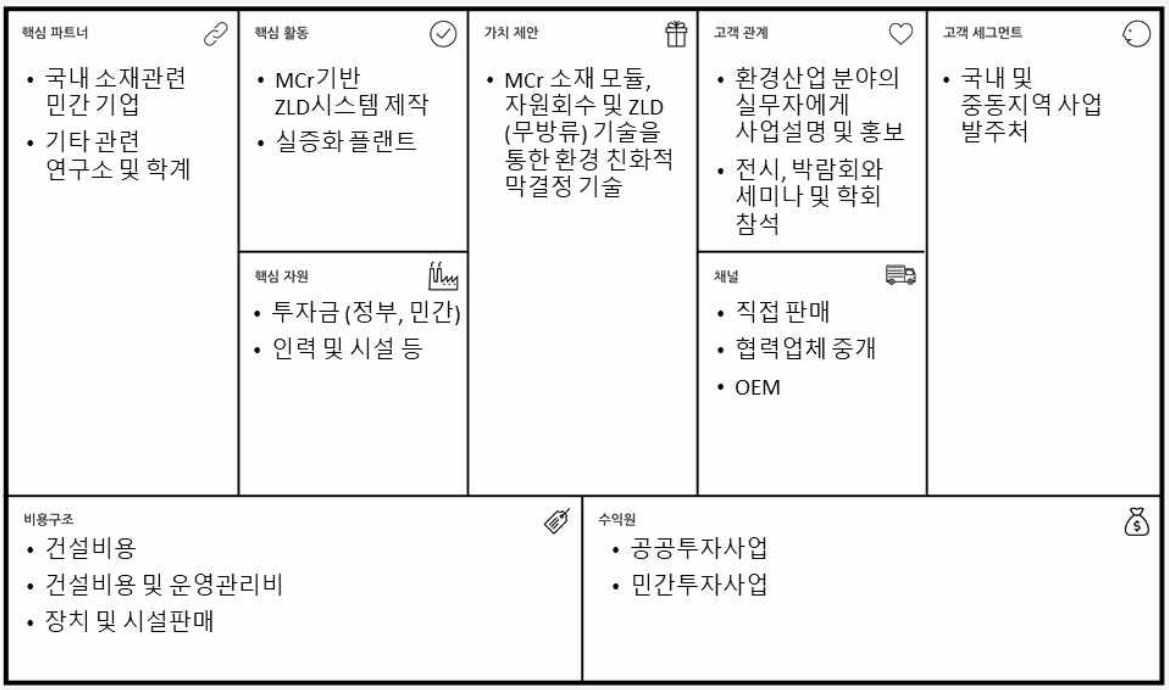


그림 7-16. MCr 공정 비즈니스 모델 캔버스

□ 비즈니스 모델 분석을 고객, 상품, 협력자, 수익모델 측면에서 분석

□ 비즈니스 모델 수립

- 대상기술의 기술적, 사업적 현황 분석을 통해 최우선적으로 추진가능한 비즈니스 모델을 정립

- 시장세분화, 대상시장 분석 등을 통해 대상 수요자를 명확히 하고, 대상 수요자 중심의 비즈니스 포인트를 구체화

□ 수익모델 수립

- 적정 가격, 수익률, 매출구조 등을 검토하여 수익모델을 수립

□ 마케팅 메시지 작성

- 기술의 혜택이 드러나는 수요자 지향형 마케팅 메시지 작성

□ 비즈니스 시뮬레이션

- 비즈니스 관점에서의 기술 이해와 해석을 바탕으로, 상용화 성공 가능성을 예측함

□ BM에 대한 전문가 평가

- 비즈니스 모델의 시장매력도 측정을 위해 마케팅 컨셉에 대한 전문가 평가를 실시하고 보완사항을 도출

□ 매출액 예측

- 기술의 제품/서비스에서 발생할 수 있는 연간 판매규모를 다양한 시나리오에 근거하여 예측

- 시나리오별 매출액 추정을 통해 기술의 사업성을 구체화하고, 사업화 추진 방향성을 모색

□ 비즈니스 모델 캔버스

- 비즈니스에 포함되어야 하는 9개의 주요 사업 요소를 한눈에 볼 수 있도록 마든 그래픽 템플릿으로 주요 사업 요소를 평가해 가치제안과 가치생산 파악하기 위한 도구임

□ MCr 플랜트 실증화 기술의 비즈니스 모델 (택1)

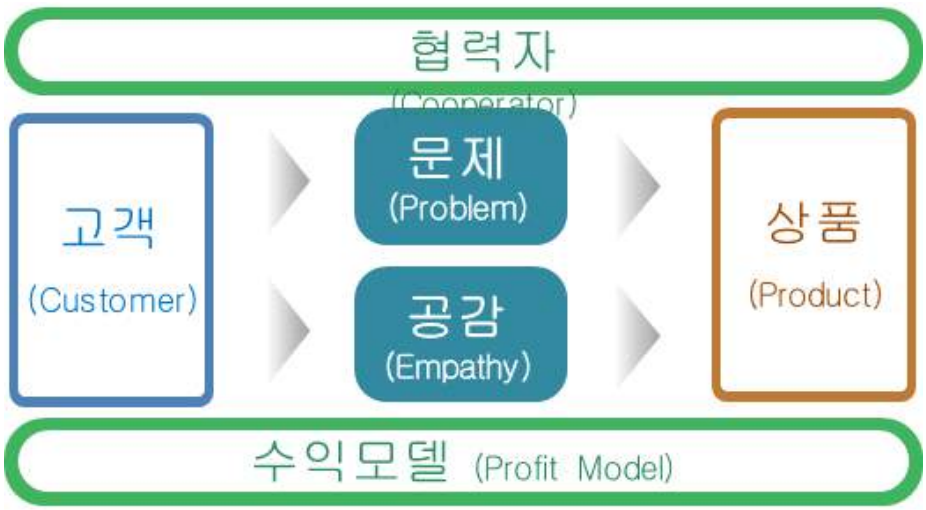


그림 7-17. MCr 공정 플랜트 실증화 기술의 비즈니스 모델

□ 대상고객 확보

- 해수담수화 시설 운영사 : 기술 및 구매협약 등을 통한 안정적인 공급처 확보

- 기타 수처리 필요시설 : 기술개발을 통한 사용처 확대를 통한 고객확보

□ 핵심 경쟁 요인

- 가격측면 : 개발 목표 제품의 판매 목표 가격이 상용화된 제품보다 판매가격이 낮음

- 기술측면 : 플랜트 제조뿐만 아니라, 운전에 필요한 유지·보수에 대한 매뉴얼 확보가 주요 쟁점

□ 서비스 모델

○ 서비스 삼각모델

- 본 연구 과제에서 개발된 기술을 통해 얻은 이익을 국민들에게 제공하기 위함

- 제공되는 서비스를 효율적으로 관리하고 국민 중심의 사고 및 이익 창출 서비스를 제공하는 시스템

○ 서비스 마케팅 삼각모델

- 국민과의 약속을 실현시키기 위한 관계마케팅 서비스 분야

- 내부마케팅(국민-정부) : 국민과 정부의 약속에 따라 MCr기술 개발을 통해 얻어진 이익을 국민들에게 제공하기 위한 서비스

- 외부마케팅(정부-기업) : 정부가 기업에게 기대할 수 있는 서비스로 MCr 기술을 개발함으로써 기업이 국가와 국민에게 제공할 수 있는 서비스에 대한 약속

- 상호작용마케팅(국민-기업) : 국민과 기업의 약속관계로 기업이 MCr 기술 개발을 통해 국민의 관점에서 국민에 대한 편익과 만족을 결정적 순간에 가장 중요한 것으로 제공

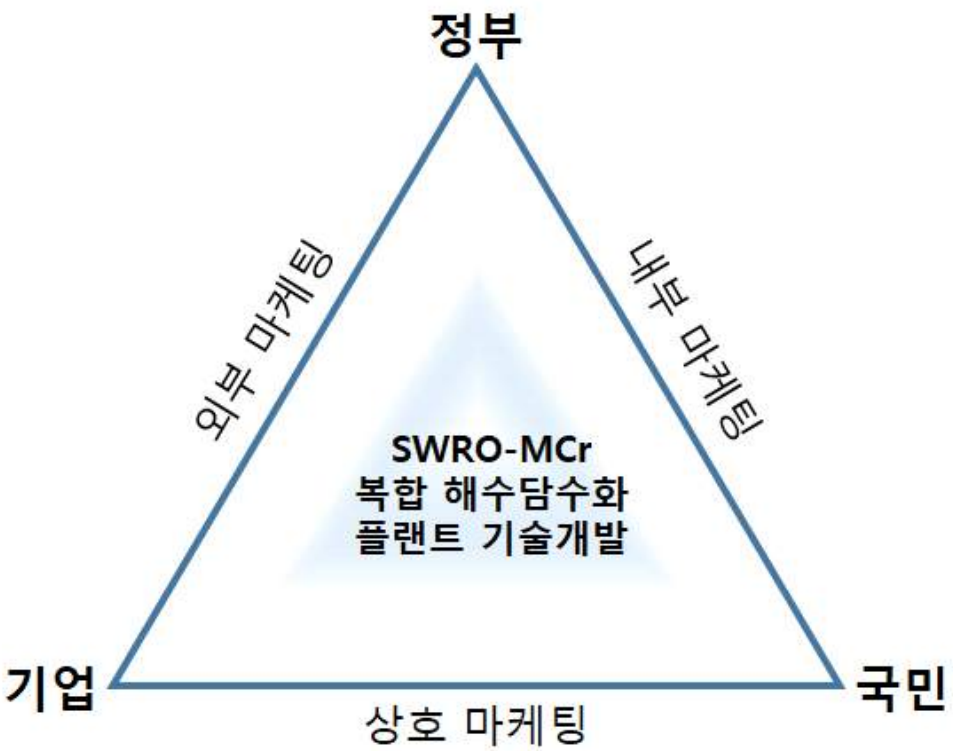


그림 7-18. SWRO-MCr 복합 해수담수화 플랜트 기술개발과 서비스 모델

제8장 막결정(MCr) 사전타당성 검토

1절. 논리모형(Logic Model)

가. 사업추진논리

○ 국내외 동향과 사업추진 여건 및 수요에 대한 조사분석 결과를 토대로 논리모형을 활용하여 사업 내용을 설계함

※ 국가연구개발사업의 기획 및 사전평가에 유용한 논리모형, KISTEP, 2016

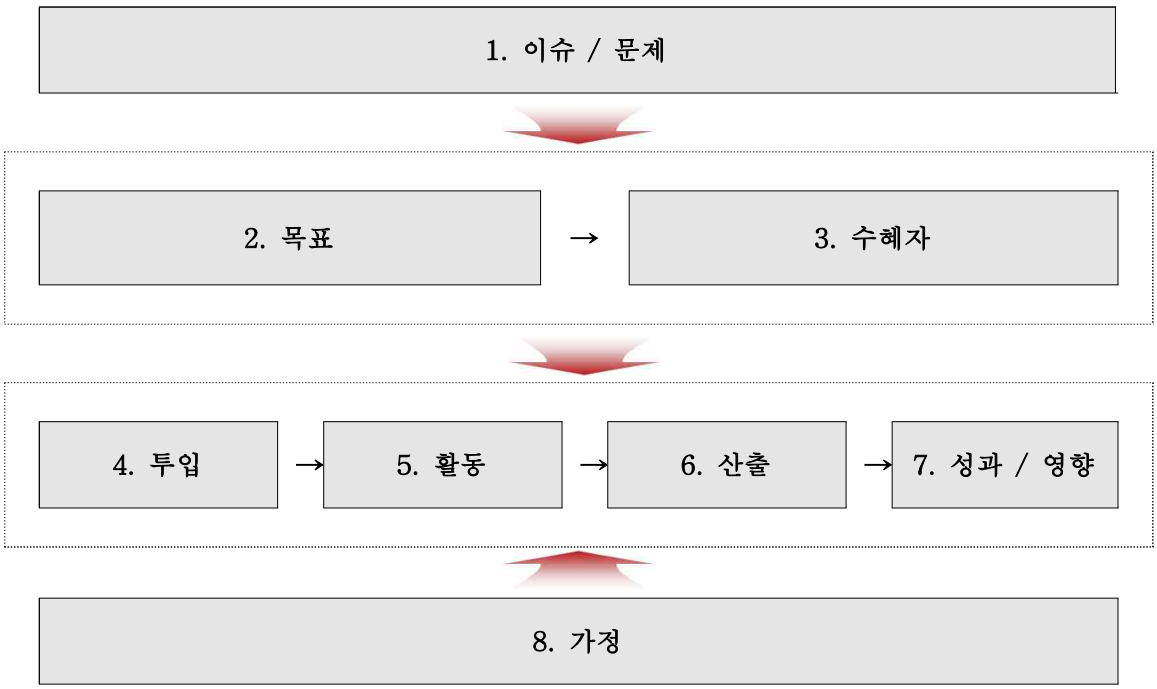


그림 8-1. 논리모형의 기본구조

○ 논리모형에 따라 주요이슈와 해결하고자 하는 문제를 정의하고, 문제가 해결되었을 경우 달성할 수 있는 사업의 목표와 문제해결의 수혜자를 정의하였음

- SWOT 분석을 통해 전략적 대안을 도출하고, 전략적 대안의 검토를 통해 기본전략방향을 도출하였음

- 전략방향에 따라 사업의 내용을 구성하고, 예산투입규모를 확정하고 구체적인 사업의 성과목표를 도출함

□ 막 결정(MCr)기술 연구개발 사업추진논리(Logic model)

1. 이슈 / 문제

- 인구 증가 및 산업화로 지구상 자원이 고갈되는 반면 자원의 수요가 높아지면서 국가 간 자원 확보 경쟁이 심화되고 있음
- 경제성 감소 및 환경오염에 대한 우려 등으로 광산을 통한 자원회수가 점차 어려워지면서 해수로부터의 자원회수에 대한 관심이 높아짐
- 현 기술 수준에서 해수담수화를 이용한 담수생산은 배출수의 해양환경 오염 우려가 존재하여 배출수의 환경영향 안전성 확보를 위한 기술 확보 필수적
- 농축수 처리를 통해 환경영향을 최소화하면서 생산 담수량을 최대화하기 위해 ZLD 등 농축수 양을 0에 가깝게 만드는 기술이 세계적으로 부상
- 선행연구로 진행된 'MD/PRO 복합탈염공정 실증플랜트 기술개발' 과제에서 세계 최초의 대용량 중공사 MD 핵심 원천기술 개발이 진행, 파일럿 규모(300톤/일)의 성능평가 단계까지 수행, 시장 진입을 위한 성능 검증 이전

2. 목표

- **(비전)** 국내 및 세계 물 문제를 해결하는 해수담수화 기술 강국 도약
- **(사업목적)** 해수담수화 배출수 환경영향 최소화통한 국내 정책적 도입
- **(사업목표)** Brine Mining을 위한 저탄소 MCr 시스템 엔지니어링 기술 확보와 이를 통한 해수담수화 배출수량 최소화

→

3. 수혜자

- **(국민)** 해수담수화 플랜트 환경적 안전성 보장을 통한 대체 수자원 활용기회 증대
- **(기업)** 세계 선도 배출수 영향저감 기술 확보를 통한 글로벌 해수담수화 시장 확대
- **(정부)** 해수담수화의 효율적·정책적 활용 가능, 국가적 물 안보 역량 제고

4. 투입

- 연구비
- 사업기간
- 참여연구인력
- 참여기관

→

5. 활동

- 물·자원 동시 회수를 위한 탄소·저에너지 MCr시스템 기술개발
- 침지식 중공사형 고회수율 저오염 MCr 전용 막모듈 개발
- 고농도 농축수 내 미네랄 회수 및 분리정제 기술개발

→

6. 산출

- MCr 50㎥/d Pilot Plant (MCr 시스템)
- MCr 모듈 (분리막, 오염방지, 세정기술)
- 결정화시스템
- 논문(14), 특허(10) SW(1)

→

7. 성과 / 영향

- 해수담수화 사회적 수용성 확보
- 국내 해수담수화 도입 사례 증가, 국가 물 위기 대응 역량 확보
- 세계 해수담수화 시장 확대 및 선도

8. 가정

- 향후 해수담수화 플랜트의 기능이 담수 생산에 국한되지 않고 자원회수까지 포함하는 형태로 넓어지면 담수 생산 보다 자원회수를 통해서 더 높은 부가가치의 창출이 가능할 수 있음
- 해수담수화의 경제성이 제고되고 배출수의 환경영향 제로화가 달성되면 해수담수화의 국내 도입이 원활하게 추진될 것이며, 해당 기술을 통한 세계 시장의 진출이 용이해질 것

그림 8-2. 막 결정(MCr) 연구개발 논리모형

나. 해결하고자 하는 문제

○ **(해수담수화 배출수 환경영향의 제로화)** 해수담수화 국내 도입을 위해 배출수의 환경영향을 원천적으로 제거하는 기술 및 친환경성(환경 무영향)에 대한 높은 수준의 근거가 필요

- 해수담수화 플랜트 배출수는 해수 대비 상대적으로 고염, 고온의 특성을 가지며, 전처리 공정에서 포함되는 화학약품이 포함될 가능성 등 해양 배출 시 해양생태계에 끼치는 영향에 대한 우려가 존재

- 현재 배출수 처리 및 관리기술 역량, 환경영향 분석기술 및 근거의 수준은 미확보 상태이며 또한 해수담수화의 친환경성에 대한 사회적 동의가 확보되지 않은 상태

- 기존 기술로는 해양환경 생태계 훼손 문제에서 자유롭지 않아 국가 정책적인 물 문제 해결 수단으로서의 접근성이 낮음, 국내 도입 시 사회적 비용 발생이 불가피

- MCr 및 PRO, 환경영향 평가기술 등 배출수 처리·관리 기술의 완성을 통하여 국내 해수담수화 플랜트의 정책적 활용을 가능하게 할 필요

○ **(해수담수화 환경영향 최소화를 위한 관리 체계 마련)** 국내 해수담수화 도입 시 해양생태계 영향을 최소화하기 위한 가이드라인을 마련하여 국내 해수담수화 플랜트 건설의 환경적 안전성을 보장, 국내 시장 확장과 정책적 활용 가능성 제고

- 취수 기술, 부지 선정, 설계 요건, 염수 수질 목표, 배출수 영향 평가 방식 등 해수담수화 플랜트가 국내 해양 환경에 영향을 미치지 않도록 하는 규정을 마련

○ **(친환경 해수담수화플랜트 세계 시장 선도)** 중동, 미국 등 세계시장은 해수담수화 플랜트의 저에너지화 요구와 더불어 배출수로 인한 해양환경오염 우려를 불식시키기 위한 기술적 요구 수준을 높여가고 있어, 국내 뿐 아니라 세계 시장 선도를 위해 해수담수화 배출수의 친환경성 확보가 필수적

- 세계 시장에서 해수담수화 농축수 및 하수 재처리후 배출수 등 수처리 하·폐수의 처리기술이 중요해지고 있으며, 시장 선도를 위해 MD 및 PRO 혁신기술을 바탕으로 배출수 처리·관리 및 환경 무해성을 확보하는 기술 역량을 확보할 예정

- 본 연구개발을 통해 세계최고 수준의 선도적·혁신적 배출수 관리 기술력을 확보함으로써 글로벌 시장을 선도하고자 함

2절. 정책적 타당성

가. 국내 상위계획을 통한 해수담수화 기술개발 추진 방향성 제시

○ **국가 물 안보(수자원 확보, 가뭄대응 등)**를 위한 다수의 상위계획에서 **해수담수화 기술 개발** 및 해수담수화의 도입을 시사

- **가뭄대응 종합대책 (2017. 8.)**에서는 용수공급을 주도(56%)해온 댐 등 전통적 수자원 개발이 한계에 이르렀고, 대체수자원 활용은 미흡(5%)했던 문제를 제기, 새로운 물자원의 조기 확보를 추진하고자 하였으며 가뭄 상습지역의 광역상수도 사업 조속 추진과 함께 ’20년 이후 해수담수화 13개소 구축 계획을 제시

- **제 4차 수자원 장기종합계획(2001-2020)** 제 3차 수정계획에서는 해수담수화를 통한 수자원 확보, 물 분야 미래산업 육성 전략을 제시함

  • 첫 번째 목표로 ‘맑은 물의 안정적 공급’을 설정하고 있으며, 이를 위해 다양한 대체 수자원 적용·확대를 위해 ‘해수담수화를 통한 물 공급 확대’ 전략을 제시

  • 네 번째 목표인 ‘수자원 기술개발 및 산업육성’에서는 물 분야 미래산업 육성 분야로 위한 해수담수화의 전략적 육성을 제시함

- **2025 수도정비 기본계획(’09.12.)**에서는 수도사업의 효율성 증대와 수요관리 강화를 통해 수자원의 활용도를 제고하고, 열악해지는 물 환경을 고려한 효과적 수요관리계획을 수립하고자 하였으며, 이를 위해 광역상수도·공업용수도의 유수율 향상, 중수도 이용 등과 함께 해수담수화 계획을 제시하며 기술개발 필요성 강조

- **제 4차 과학기술 기본계획 (2018. 2.)**에서는 쾌적하고 편안한 생활환경 조성을 위해 기후변화 예측 및 국가적 대응역량 제고를 위해 안정적 수자원 확보 및 용수수급 기술 개발을 추진하며, 중점과학기술 목록으로 수자원 확보·관리 기술을 꼽고 있어, 수자원 확보 기술로서 해수담수화 기술개발 필요성 확보

- **국토교통부 7대 신사업**에 해수담수화가 포함되었으며, 현재 세계 수준과 5년의 격차를 보이고 있는 해수담수화 기술력을 2020년까지 최고 수준으로 향상시킨다는 목표를 수립, 경쟁력 확보를 위해 해수담수화 R&D 지원규모를 현재의 2배 수준으로 확대하겠다는 부처 차원의 기술개발 추진의지 확보

< 수도정비 기본계획 중 '해수담수화' 추진 방향>

※ 2025 수도정비기본계획 제 9장 상수도수요관리계획 중 8.0 해수담수화 계획 발췌

과거 해수담수화기술은 고비용 문제로 현실성이 낮은 기술로 평가받기도 했으나, 수년간의 기술개발로 생산비용을 줄이게 됨에 따라 **해외 담수화시장의 선점을 위한 글로벌 기업과의 네트워크 강화, 정부. 산업계 및 학계와의 협력관계 구축, 해수담수화 관련 적극적인 기술 개발을 통하여 핵심기술 확보하는 등 다양한 방안을 추진할 필요가 있다.**

광역상수도 및 공업용수도는 도서지역 주민들이 먹는 물 혜택을 골고루 받을 수 있도록 해수담수화시설을 수탁하여 공익목적으로 운영(2014년 42개 도서 2,205㎥/일) 중에 있으나 2019년 수탁운영이 종료됨에 따라 해수담수화시설의 국고지원에 대한 검토도 필요하다.

또한 소규모 해수담수화 관련기술 개발 및 효율적인 운영관리시스템 확보가 필요하며, 해수담수화시설을 도서지역 뿐만 아니라 산업단지가 발달한 해안지역을 중심으로 추진할 필요가 있다

표 8-1. 제 4차 수자원 장기종합계획 제 3차 수정계획 중 해수담수화 전략_발췌

1.1 저영향 맞춤형 수자원 확보	**세부과제 1.1.3 다양한 대체 수자원 적용·확대** ○ 해수담수화를 통한 물 공급 확대 - 현재 담수화 기술은 에너지 비용 절감 기술개발을 통한 생산단가 감소로 중요한 대체수자원으로 적용 가능 ※ 해수담수화 m^3 당 생산단가는 10USD('90) → 0.76USD('15)로 지속적 하락 - 추가 용수수요가 필요한 임해산업단지와 지표수가 부족한 섬 지역 등에 R&D와 연계 해수담수화 실증플랜트 도입 추진 산업단지, 섬지역, 빈번한 급수제한 지역 등을 대상으로 해수담수화 도입 검토 충남 서산의 대산임해산업단지는 '19년부터 수요증가로 물 부족이 예상되므로 (△88천m^3/일) 해수담수화 도입 추진
4.2 수자원 산업 육성 기반 마련	**세부과제 4.2.2 물분야 미래산업 육성** ○ 해수담수화 전략적 유성 - 주요 산업단지가 밀집해 있는 임해지역과 단선용수로 공급하는 섬 지역 등은 관계부처와 협력으로 안정적 공급방안 마련 필요 ※ 산업단지, 섬지역, 빈번한 급수제한 지역 등을 대상으로 종합계획 수립

○ 물의 재이용 활성화, 물 산업 육성과 관련한 다수 상위계획에서 **국내 수자원의 효율적 이용 기술 확보의 필요성을 제시**

- **물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 (2010년 제정)**은 물의 재이용을 촉진하여 물 자원을 효율적으로 활용하고 수질에 미치는 해로운 영향을 줄임으로써 물 자원의 지속가능한 이용을 도모하고 국민 삶의 질을 높이는 것을 목적으로 함

  • 물 재이용 기본계획에 물의 재이용 관련 기술의 개발 및 보급계획을 포함하도록 하여, 하수 활용을 통한 해수담수 생산기술(PRO) 개발의 목적성과 부합

- **물 재이용 기본계획 (2011. 9.)**은 하·폐수 처리수 등 물 재이용을 통해 기후변화로 인한 지역적 물 수급 불균형 문제를 해소하고자 하며, 하·폐수 처리수 재이용 사업 확대 추진을 통한 친환경 대체용수 확보, 정책 방향으로 물 재이용 산업육성과 기술개발을 통한 국제 경쟁력을 강화를 제시함으로써 하·폐수를 활용하는 PRO 기술과 MD 기술개발 추진 방향성을 시사

- **물 산업 육성 5개년 추진계획(2006.)** 물 산업 강국 구현을 위해 단기·중장기 목표를 수립하고 비전 및 목표 달성을 위한 전략 및 중점과제를 도출하였으며, 특히 상수도 인프라 투자확대를 위한, 대체수원 개발투자 확대 추진 과제에 경남 한산도 일대의 해수담수화 개발투자 확대 내용이 포함됨 (1,500억원 / 2,235 m3/일)

- **물 산업 육성 5개년 세부추진계획(2007. 7.)**은 지속적 시설투자 및 제도개선을 위해 장래 물 부족에 대비한 강변 여과수, 해수담수화 등 대체수자원 개발투자를 제시

- **물 산업 육성전략(2010. 7.)**은 물 산업 강국으로의 도약과 내수규모 확대, 일자리 창출 증가, 세계적 물 기업으로의 도약 등의 목표 달성을 위해 물 재이용을 포함한 4개의 핵심전략을 수립하고 있으며, 원천기술 개발을 통한 경재력 확보를 위한 중점 기술에 역삼투 해수담수화 기술이 포함

  • 향후 해수담수화 시장의 60%를 차지할 역삼투 방식에 대한 기술개발 추진이 명시됨

- **스마트 물산업 육성전략(2016. 11.)**에서는 2030년 기준 물 복지 증진(기후변화 대비, 지속가능한 물 공급·이용체계 구축), 물기업 매출액 50조원 달성, 수출액 비중 20% 달성을 목표로 추진되며 이 중 지속가능한 물 이용 기반구축을 위해 물 재이용과 함께 해수담수화의 단계적 확보 및 기술개발 전략 제시

나. 해수담수화 배출수 관리기술은 국가 물 안보 전략 하 해수담수화 도입을 위하여 국가가 반드시 확보해야 하는 수요기술

○ 해수담수화는 수자원 확보 대안 중 임해지역의 심각한 물 부족 문제 해결을 위해 국가적으로 추진하여야 하는 장기적이고 근본적 수자원 확보 방안이나, 도입을 위해서는 우선적으로 환경적 안전성이 확보되어야 할 필요

- 담수자원 총량이 부족한 임해지역의 심화되는 가뭄 해결을 위한 근본적 대안은 해수담수화 기술로, 국가 상위계획 상에서 해수담수화 기술 개발 및 해수담수화의 도입을 추진하고 있어 이에 대한 기술적 역량을 국가적으로 확보해야 함

- 특히 해수담수화 기술의 국내 전략적 활용을 위해서는 도입 시 환경적 안전성을 보장하기 위한 기술 역량이 확보되어야 하며, 이를 통해 사회적 수용성도 확보할 수 있음

- 해수담수화의 국가적 해수담수화의 배출수 관리 기술과 함께 환경영향을 제대로 평가하고 이를 최소화할 수 있는 국가적 가이드라인을 확립하는 것이 우선되어야 함

표 8-2. 주요 수자원 확보 대안의 특징 및 한계

수자원 확보 대안	특징 및 한계
댐 등 물 저장 시설의 확충	• 대규모 건설 비용 및 환경비용 소요 • 하천수 부족 지역은 활용 불가 • 환경생태계 이슈로 인하여 추가건설이 어려움
지하수 개발 및 확충	• 지하수 자원이 풍부한 지역에 한정하여 이용 가능 • 가뭄 지역의 경우 상당 부분 지하수 개발이 진행되어 추가 개발에 한계
하수 재이용	• 적극 추진 가능하나 음용수나 생활용수로 활용 곤란 (농업용수, 청소, 조경, 하천유지용으로 활용)
해수담수화	• 안정적 수자원 공급이 가능하나 고비용 • 생활용수, 음용수, 공업용수 공급 가능 • 도서 및 임해지역에 적용 가능

다. **해수담수화 국내 도입을 위해서는 개발 중인 혁신 기술의 실증이 필요하나, 민간 독자 추진 시 투자위험이 커 정부 차원의 기술개발 추진 필요**

○ 국내 도입을 위한 해수담수화 기술은 경제적·환경적·사회적 측면의 제약 극복을 위해 도전적 목표를 달성하여야 하는 바, **기술개발 난이도가 높은 혁신기술의 개발을 필요로 기술개발의 투자 위험이 큼**

- 국내 도입을 위해서는 중·소규모 해수담수화 플랜트의 높은 건설·운영 비용으로 인한 낮은 경제성, 생산원가 이하로 공급되는 국내의 낮은 상수도 가격, 서해안의 높은 해수 탁도, 낮은 사회적 수용성 등을 극복해야 함

- 다수의 제약조건들을 극복하기 위한 혁신기술의 개발 및 실용화가 필요한 시점

  • 해수담수화 분야에서 기술의 진보를 통해 경제성 측면에서의 효율이 높아지고 있으나, 기존 기술에 의한 개선은 한계에 도달하였으며, 특히 배출수 관리를 통한 환경적 안전성 측면에서는 아직 미흡한 수준

  • 해수담수화 배출수의 환경 무영향/안전성 확보를 위해서는 혁신적 방식의 신기술 개발 및 개발 중인 신기술의 상용화를 위한 신뢰도 확보가 필요

- SWRO-PRO, MD 등 배출수 처리·관리를 위한 혁신기술은 **상용 실증을 앞두고 있어 민간 독자 추진의 위험이 크므로, 국가적 차원의 역량을 결집하여 산·학·연 기관이 협력하여 추진해야할 필요**

- PRO, MD 등 혁신기술은 추가로 획득하여야 할 기술의 난이도가 높고, 내수시장 규모가 적어 민간이 독자적으로 투자할 동인이 낮은 편

- 또한 해수담수화 기술은 대형 장치산업의 속성을 갖는 플랜트 기술로, 현재의 연구단계는 실증연구를 통해 트랙 레코드*를 확보하여야 하는 시점

※ 개발품이 실제 환경에서 운용되어 주기적으로 축적된 기록 및 실적으로, 제품의 안전성과 성능을 증명하는 역할

  • **실증연구는 장기간·고비용의 투자가 필요, 정부의 투자지원이 필요한 시스템 실패(system failure)의 영역에 해당**

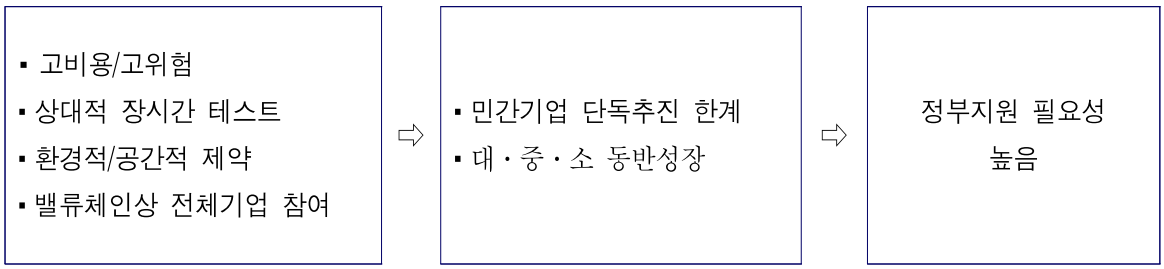


그림 8-3. 플랜트 기술 실증연구의 특징

3절. 기술적 타당성

가. 해양생태계 보전을 위한 배출수 처리 기술의 개발 및 실용화 필요

○ 해수담수화 기술의 국내 도입을 위해 배출수의 환경영향을 원천적으로 제거하는 기술이 필요하나 배출수 처리 및 관리기술 역량, 환경영향 분석기술 및 근거의 수준은 미확보 상태

- 해수담수화 기술의 국내 도입을 위해 MCr, PRO 등 해수담수화 배출수 처리기술 개발을 통해 해수담수화 기술의 친환경성을 보장하여 사회적 동의를 확보하기 위한 기술의 추가 개발과 실용화가 필요한 시점



그림 8-4. 해수담수화 플랜트 반대 시위_미국

- 특히 현 시점에서 해수담수화 플랜트의 배출수 처리 기술이 개발되지 않는다면, 배출수 환경영향 안전성 미확보, 사회적 수용성 미확보로 인해 해수담수화의 국내 전략적 도입이 원천적으로 불가능해질 우려 존재

표 8-3. 국내・외 해수담수화 도입 시 반대 사례_이슈별

이슈	사례
높은 생산비용	• (호주) 지난 1997~2009년 대가뭄을 겪은 담수화 플랜트를 대거 건설했지만, 연료비 부담 때문에 가동을 포기한 사례 有 • (미 캘리포니아) 산타바바라 시는 지난 1992년 담수화플랜트 완공 후 거액의 운영비용 때문에 가동하지 않았음 (2017년 재가동) • (미 플로리다) 탬파베이시는 담수화 시설로 하루 최대 9만5,000톤의 물을 생산 가능하나 비싼 가격으로 구입자가 적어 공장 가동률 낮음
해양 생태계 교란	• (미 캘리포니아) 담수화 공정에서 발생하는 고염 농축수의 방류로 인한 해양 생태계 교란 및 설비 건설에 따른 해안가 난개발 논란 • (일본 오키나와) 정수 후 나오는 농축수가 주위 바다의 백화현상을 초래하고있다는 주장 (입증되지 않음)
음용 안전성에 대한 불신	• (부산 기장 플랜트) 고리 원자력발전소와 11.3㎞ 근접한 해수 취수로 음용 안정성 논란 • (미 캘리포니아) 해수담수화 설비의 구조상 취수구와 배수구가 근접 배치되고, 염수 특성으로 설비의 빠른 부식이 일어나 음용상 안전성 이슈 제기됨

다. 선행투자를 통해 국내 SWRO-PRO과 MD기술의 원천기술이 확보되었으며, 연계·후속 기술개발을 통한 실용화가 필요한 단계

○ MD는 높은 염분농도의 해수담수화 농축수의 방류량을 절감시키고 담수생산량을 증가시킬 수 있는 기술로 자원회수의 사전 단계로 활용될 수 있으며, 선행 연구에서 파일럿 플랜트 설계 및 구축기술을 개발

- MD 기술을 바탕으로 자원을 회수하고, 궁극적으로 무배출(Zero liquid Discharge)을 목표로 공정 고도화와 운영기술을 확보하여 상용화를 추진해야 하는 시점

○ 대형 장치산업인 플랜트 기술의 특성을 고려할 때 현 단계에서 PRO와 MD 기술 개발을 중단할 경우 상용화 불가능

- 개발된 기술의 우수성을 증명할 기회를 얻지 못할 경우 상용화가 불가능하며, 시장진입 지체로 현재까지 투입된 정부 R&D 예산의 효과가 사장될 수 있음

○ 실증 규모의 현장적용 및 기술검증을 통해 현재 TRL 6단계에 이른 MD 및 PRO 기술의 기술완성도를 TRL 8단계 이상으로 향상시켜 기술 실용화를 추진해야 함

- 궁극적으로는 MCr과 PRO의 복합생산을 통한 물・자원・에너지의 대량 생산이 목표



4절. 경제적 타당성

1. 유가자원의 회수측면에서의 경제성 분석

□ 해수담수화 농축수 (SWRO brine) 내의 함유량과 내륙의 매장량 (reserve)의 비교: 내륙의 매장량과 현재의 사용량 (또는 생산량)을 비교하였을 경우 내륙 자원의 고갈속도 및 사용 가능한 연도 도출

□ 유가자원의 시장 가격: 시장 가격은 채굴 및 처리 비용, 수요 그리고 재이용 가능 정도에 의해서 결정되며, 미래 수요 예측도 중요한 시장 가격의 결정 요인이 됨

□ 해수나 농축수에서의 자원회수의 경우 비용적인 측면에서는 내륙에서 채굴하는 비용보다는 적게 드나, 농도가 낮은 점이 문제가 되므로 MCr 기술에 의한 농축이 필요

표 8-4. 주요 희소 원소 매장량, 연간 생산량 및 해수 용존량 산정

element	[a]terrestrial reserves ($\times 10^6$ tonnes)	[a]2013 world production ($\times 10^6$ tonnes)	[b]2013 reserve supply ratio (years)	[c]CCZ nodules ($\times 10^6$ tonnes)	[d]seawater concentration (mg/L)	[e]dissolved metals in seawate ($\times 10^6$ tonnes)
Cu	690	17.9	38	226	0.0009	1170
Ni	74	2.49	30	274	0.0066	8580
V	14	0.076	184	9.4	0.0019	2470
Mo	11	0.27	41	12	0.010	13 000
Li	13	0.035	371	2.8	0.178	231 400
Co	7.2	0.12	60	44	0.00039	507
Nb	4.3	0.051	84	0.46	0.000015	1.3
Ag	0.52	0.026	20	[f]NA	0.00028	364
Au	0.054	0.00277	19	[f]NA	0.000011	14.3
U	[g]5.9025	[h]0.05937	99	[f]NA	0.0033	4290

□ 해수에서의 자원 채굴 (mining)은 여러 가지 이점이 있음.

- 많은 나라에서의 깨끗한 물의 수요 증가는 해수담수화의 비용 감소의 필요성을 가지게 해왔음
- 해수담수화의 농축수에 함유되어 있는 유가자원의 회수로부터 추가적인 수입이 가능하다면 해수담수화 비용의 감소가 가능
- 개발도상국의 경우에는 상업적으로 이용 가능한 비료보다 더 풍부하고 가치 있는 비료 자원 (K, Mg, Ca, S, 그리고 B)를 얻을 수 있음
- 쉽게 채굴할 수 있는 지역에 매장되어 있는 높은 품질의 미네랄 광석은 고갈이 되고 있고, 점차적으로 채굴이 어렵고 비용이 많이 드는 지하에 남아 있음
- 이러한 경우에는 채굴을 위한 물의 사용이나 에너지의 사용이 증가하여 채굴 비용의 증가함
- 몇몇의 나라에는 희소자원의 보호를 위해 채굴을 제한하고 있으며, 그에 반해 해

수에서의 자원 채굴의 장점은 해수에는 균일하고 상당히 높은 품질의 자원이 함유되어 있고 추출이나 회수를 위한 에너지와 비용이 적게 듬

- 내륙에서의 채굴의 경우에는 발생되는 오염원에 의한 환경적인 오염을 가져오고 채굴자의 건강을 위협하고 있으므로 향후 내륙에서의 채굴의 경우 정부의 엄격한 규제가 시행될 가능성이 있음

- 계속되는 기술의 발전은 해수로부터의 유가자원의 회수가 가능하게 할 것임.

□ 해수에서의 자원의 양: 바다는 지구 면적의 약 4분의3을 차지하며, 1.3 × 1018톤의 물을 가지고 있음

□ 이중에서 96.7%는 물이고 3.3%는 용존 되어있는 salt이므로 약 5 × 1016톤의 자원이 포함되어 있고 이는 내륙에 있는 자원보다 많은 양으로 최근 해수에서의 자원의 채굴이 증가하고 있는 추세임

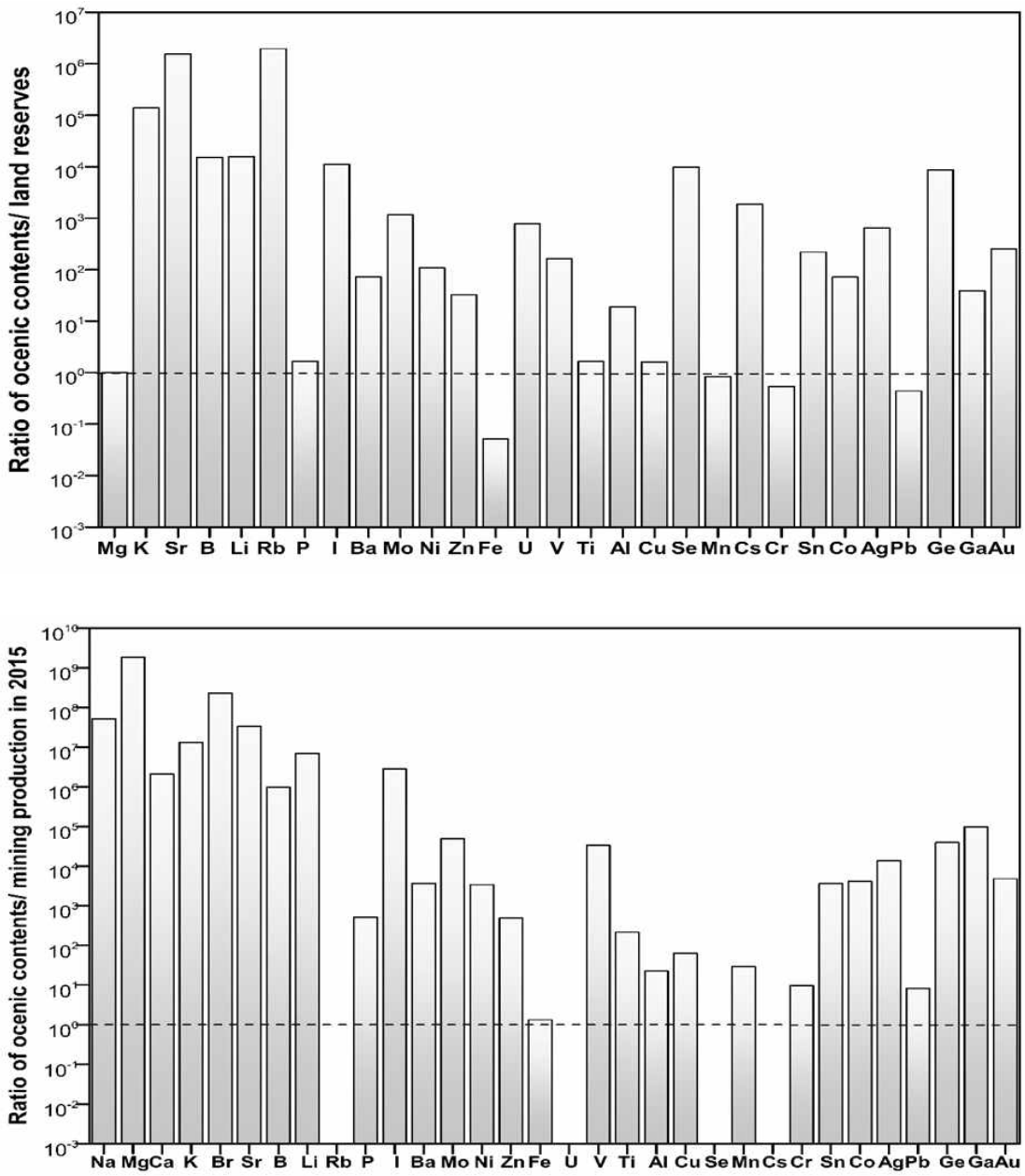


그림 8-5. (위) 희귀 원소 별 매장량과 해양용존량의 비율, (아래) 희귀 원소 별 연간 채굴량(2015년) 과 해양용존량의 비율

□ 시장의 가격은 앞서 말한 고려사항 (채굴비용, 수요, 재생가능성 등등)을 대변하기 때문에 채굴에 대한 경제성은 시장 가격과 해수내의 함유량을 곱한 값을 경제적 가중치로 계산이 가능할 것으로 생각됨

□ 경제적으로 가치 있는 유가자원은 Rb, Mg, Cs이며, 도전적으로 해볼 가능성이 있는 유가자원은 U, Ga, Ag, Au이 있음

표 8-5. 주요 원소 별 해수 내 용존 농도 및 시장가격 비교

ELEMENT	분자량 (g/mol)	해수내의 농도 (mg/L)	몰농도	시장가격 (USD/kg)	가중치 (농도 X가격)
Chloride	35.4	18980	0.536158		0.0
Sodium	23	10561	0.459174	0.4	4656.5
Magnesium	24.3	1272	0.052346	4.7	6029.1
Sulfur	32	884	0.027625		0.0
Calcium	40	400	0.01	4.9	1944.3
Potassium	39.1	380	0.009719	0.2	85.5
Bromine	79.9	65	0.000814	5.4	351.0
Carbon(inorganic)	12	28	0.002333		0.0
Strontium	87.6	13	0.000148	0.1	0.9
Boron	10.8	4.6	0.000426	0.5	2.3
Silicon	28.1	4	0.000142	2.4	9.7
Carbon (organic)	12	3	0.00025		0.0
Aluminum	27	1.9	0.00007	2.2	4.1
Fluorine	19	1.4	0.000074		0.0
N as nitrate	14	0.7	0.00005		0.0
Nitrogen (organic)	14	0.2	0.000014		0.0
Rubidium	85	0.2	0.0000024	82700.0	16540.0
Lithium	6.9	0.1	0.000015	13.9	1.4
P as Phosphate	31	0.1	0.0000032		0.0
Copper	63.5	0.09	0.0000014	0.6	0.1
Barium	137	0.05	0.00000037		0.0
Iodine	126.9	0.05	0.00000039	20.0	1.0
N as nitrite	14	0.05	0.0000036		0.0
N as ammonia	14	0.05	0.0000036		0.0
Arsenic	74.9	0.024	0.00000032	2.0	0.0
Iron	55.8	0.02	0.00000036	0.1	0.0
P as organic	31	0.016	0.00000052		0.0
Zinc	65.4	0.014	0.00000021	3.0	0.0
Manganese	54.9	0.01	0.00000018	0.0	0.0
Lead	207.2	0.005	0.000000024	2.3	0.0
Selenium	79	0.004	0.000000051	23.8	0.1
Tin	118.7	0.003	0.000000025		0.0
Cesium	132.9	0.002	0.000000015	76000.0	152.0
Molybdenum	95.9	0.002	0.000000021	18.0	0.0
Uranium	238	0.0016	6.7E-09	75.5	0.1
Gallium	69.7	0.0005	7.2E-09	445.0	0.2

Nickel	58.7	0.0005	8.5E-09	13.3	0.0
Thorium	232	0.0005	2.2E-09	73.0	0.0
Cerium	140	0.0004	2.9E-09	3.0	0.0
Vanadium	50.9	0.0003	5.9E-09	35.2	0.0
Lanthanum	139.9	0.0003	2.2E-09	3.0	0.0
Yttrium	88.9	0.0003	3.4E-09	35.0	0.0
Mercury	200.6	0.0003	1.5E-09	29.0	0.0
Silver	107.9	0.0003	2.8E-09	553.0	0.2
Bismuth	209	0.0002	9.6E-10	10.6	0.0
Cobalt	58.9	0.0001	1.7E-09	55.1	0.0
Gold	197	0.000008	4E-11	40509.9	0.3

2. MCr 기술적인 측면에서의 경제성 분석

□ 유가자원 회수를 통한 부가가치 창출이나, 해수담수화 또는 MCr 장치의 운전 비용 상쇄가 가능

□ 회수율을 증가시켜, 추가적인 물 생산이 가능하고, 또한 방류수량을 감소시켜 방류수 처리 비용의 감소 및 환경적인 영향의 감소시킬 수 있음

□ MCr의 경우에는 물의 회수율을 약 88%까지 증가시킬 수 있음 (RO 단독의 경우, 약 40%).

□ Capital cost의 경우에는 MCr을 포함할 경우, 분리막만을 고려했을 경우 거의 같으며, 에너지 적인 측면에서는 약 2배가 필요할 것으로 예측되나 증가하는 물의 회수율과 자원의 회수 방류수 처리 비용을 고려했을 때는 MCr의 사용이 더 경제적인 것으로 계산됨

□ 해수와 하수 모두에 적용할 수 있는 공정이므로 무방류를 가능하게 하는 공정

□ 환경 및 국가적인 정책의 경우, 국가적 차원에서의 해수 담수화 플랜트 투자를 위한 방해요인으로서 배출수 (방류수)의 문제가 있는데 이를 해결하기 위한 공정으로서 MCr의 도입의 국가적인 기술의 발전 저해 요인을 해결할 수 있고, 새로운 기술로서의 페러다임을 통한 가치를 상승시키고 물산업의 발전 및 일자리 창출의 기대효과를 가져올 것으로 기대

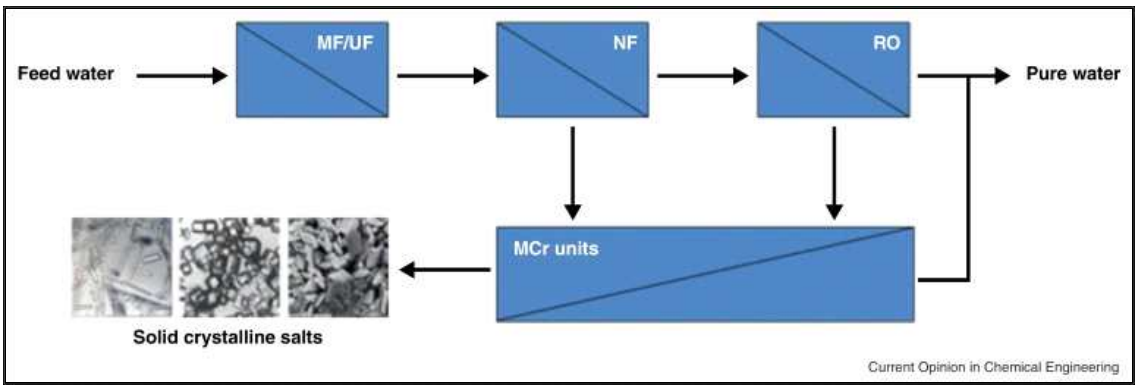


그림 8-6. 막결정 공정 프로세스 개념도

가. 유가자원 회수 기술의 제시

□ MCr의 경우에는 높은 농도의 해수 농축수의 높은 삼투압에 영향을 받지 않으므로 회수율이 증가하거나 농축수에서의 자원회수에 적용할 수 있는 공정임.

□ 현재 다양한 MCr 기술들이 제시, 연구 그리고 테스트 중에 있음

3. MCr 기술 편익분석

가. MCr 과제의 비용구성

○ MCr 과제의 비용구조는 4개 세부과제의 연구비로 구성함

- MCr 과제는 5년(’19~’23)간 정부 출연금 100억원과 민간 30억원, 총 130억의 예산을 투입하여 추진할 예정

- 사업의 경제성 분석을 위해 연도별 비용을 4.5%의 할인율로 현재가치화 할 경우, 총 115.5억원으로 계산됨

※ 기획재정부 예비타당성 조사 운용지침을 준용하여 할인율을 4.5% 적용하고, 기준년도는 분석이 수행되는 현재시점인 2018년으로 함

[백만원]

	세부과제	구분	2019	2020	2021	2022	총계	총합
1세부	MCr 전처리 및 모사기술	정부	200	500	500	500	1,700	2,210
		민간	60	150	150	150	510	
	MCr 설계 및 구축기술	정부	500	800	1000	1000	3,300	4,290
		민간	150	240	300	300	990	
	소계	정부	700	1300	1500	1500	5,000	6,500
		민간	210	390	450	450	1,500	
2세부	MCr 모듈 개발	정부	300	400	400	400	1,500	1,950
		민간	90	120	120	120	450	
	MCr 공정 최적화	정부	300	400	400	400	1,500	1,950
		민간	90	120	120	120	450	
	소계	정부	600	800	800	800	3,000	3,900
		민간	180	240	240	240	900	
3세부	유가자원 및 미네랄 회수	정부	200	200	200	400	1,000	1,300
		민간	60	60	60	120	300	
	결정화 후처리 기술	정부	200	200	200	400	1,000	1,300
		민간	60	60	60	120	300	
	소계	정부	400	400	400	800	2,000	2,600
		민간	120	120	120	240	600	
총계		정부	1,700	2,500	2,700	3,100	10,000	13,000
		민간	510	750	810	930	3,000	
2018년 현재가치		정부	1,627	2,289	2,366	2,600	**8,882**	**11,546**
		민간	488	687	710	780	**2,664**	

나. MCr 과제 편익 구조

○ 과제 성과목표에 따른 시나리오를 중심으로 편익을 도출하였으며, 해수담수화 공정의 (1) 경제적 가치 상승 (2) 기술적 가치 상승 (3) 사회적 가치 상승효과로 구분하여 도출

- **(해수담수화 공정 경제적 가치 상승)** MCr 기술로 자원회수 및 결정화 기술이 확보됨으로써 해수담수화 플랜트 배출수의 부가가치 창출을 통한 전체 공정의 경제적 가치를 향상시키는 효과를 산출 (시설비 증가분 고려)

- **(해수담수화 공정 기술적 가치 상승)** ZLD(Zero liquid discharge) 실현 가능성에 따라 후속연구(ZLD 기술개발)가 활성화 되고, 연관 R&D 규모가 증대될 것을 예상할 수 있고, 또한 해양심층수, 용암해수 등 국내 해수추출 미네랄 이용 산업시장 규모도 증대될 것으로 기대할 수 있음 (시나리오 기법을 통해 고려)

- **(해수담수화 공정 사회적 가치 상승)** MCr 기반 친환경 농축수 무방류 Eng. 기술 확보에 따라 '청정 기술'로서의 해수담수화 기술의 브랜드 이미지 제고가 가능하고, 이를 통해 국내 해수담수화 플랜트 도입량 증대 시나리오를 가정하여 추정 (시나리오 기법을 통해 고려)

표 8-6. MCr 과제 성과목표 달성에 따른 편익유형

구분	성과목표	편익	연번	도입 시장규모 (시나리오)
해수 담수화 공정 경제적 가치 상승	**[성과목표 1]** 배출수로부터 자원회수 및 결정화 기술 확보	- 해수담수화 배출수 자원회수 및 활용을 통한 부가가치 창출 (수혜자 : 공급자)	(1)	해양심층수 연관 시장 기준, 점유율 5% (시나리오, 전문가 도출)
해수 담수화 공정 기술적 가치 상승	**[성과목표 2]** 담수화플랜트 방류수 최소화	- 후속연구(ZLD 기술개발) 활성화, 연관 R&D 규모 증대 (수혜자 : 공급자)	(2)	배출수/산업폐수 관련 후속R&D 규모 (시나리오, 전문가 도출)
해수 담수화 공정 사회적 가치 상승	**[성과목표 3]** MCr 기반 친환경 농축수 무방류 Eng. 기술 확보	- 청정 기술로서의 해수담수화 기술의 브랜드 이미지 제고를 통한 국내 도입량 증대 (수혜자 : 공급자)	(4)	도입계획 총 2기 증가 (13기 -> 15기) (시나리오, 전문가 도출)

□ **해수담수화 공정 경제적 가치 상승**

○ **해수담수화 배출수 자원회수 및 활용을 통한 부가가치 창출**

- **(편익 개념)** MCr기술이 확보되어 해수담수화 배출수의 활용 가치가 상승됨으로써 창출되는 부가가치의 양을 측정



- **(편익 도출을 위한 가정)** 해수담수화플랜트에 MCr 기술 도입하고 배출수에서 회수되는 자원을 미네랄 혼합조성물의 형태로 판매하는 경우를 가정함

  • 해수담수화 플랜트 배출수에서 회수되는 미네랄 혼합조성물의 시장 가치는 국내 해양심층수의 시장규모 및 매출액을 유사 사례로 참고하여 도출함

표 8-7. 편익도출 지표 요율 종합

구분	적용 값	비고
미래시장규모	시장자료 및 로지스틱모형으로 해수담수화 미래시장 예측	미네랄 혼합조성물의 가치, 유사사례로 국내 해양심층수 연관산업 시장규모를 적용하여 예측
시장점유율	국내시장 5% 점유한다고 가정 (현재 0%)	국내 시장 점유율 목표 설정 값 (기획위원회 의견을 반영)
사업기여율	18.52% (130억(금번사업) / {282억(1차) + 420억(2차)})	MDPRO 연구단의 2차 투입액(MCr분)을 1,2차 투입액 합산으로 나눔
부가가치율	76.9%	산업연관표의 '수도, 폐기물 및 재활용서비스' 항목의 부가가치율 활용
R&D기여율	35.4%	연구개발부문 예비타당성조사 표준지침 내용 반영
R&D 사업화성공률	52%	사업화 성공률, 평균의 경우 (자료: S.K. Markham & Hyunjung Lee, Product Development and Management Association's 2012 Comparative Performance Assessment Study)
편익발생기간	30년	수처리플랜트/기술의 수명주기 적용
할인율	4.5%	예비타당성조사 지침(KDI) 내용 준용
회임기간	5년	연구개발부문 예비타당성조사 표준지침 내용 반영, 원천연구의 특성 고려

○ **(편익 추정 결과)** MCr 기술 개발에 따른 해수담수화 배출수 부가가치 창출효과는 약 18.4억 원으로 추정(시장점유율 5%일 경우)

연도	시장규모	R&D 사업화성공률	R&D 기여율	부가가치율	사업기여율	편익, 억원			현재가치 (NPV, 억원)		
(2028-2057,30년)	(CAGR 3%, 2015년 850억원)	52%	35.4%	76.9%	18.5%	보수적	중립적	낙관적	보수적	중립적	낙관적
						3%	5%	10%	3%	5%	10%
2028	850.0	52%	35.4%	0.769	0.185	0.67	1.11	2.23	0.45	0.75	1.50
2029	875.5	52%	35.4%	0.769	0.185	0.69	1.15	2.30	0.44	0.74	1.48
2030	901.8	52%	35.4%	0.769	0.185	0.71	1.18	2.37	0.44	0.73	1.46
2031	928.8	52%	35.4%	0.769	0.185	0.73	1.22	2.44	0.43	0.72	1.44
2032	956.7	52%	35.4%	0.769	0.185	0.75	1.25	2.51	0.42	0.71	1.42
2033	985.4	52%	35.4%	0.769	0.185	0.78	1.29	2.58	0.42	0.70	1.40
2034	1014.9	52%	35.4%	0.769	0.185	0.80	1.33	2.66	0.41	0.69	1.38
2035	1045.4	52%	35.4%	0.769	0.185	0.82	1.37	2.74	0.41	0.68	1.36
2036	1076.8	52%	35.4%	0.769	0.185	0.85	1.41	2.82	0.40	0.67	1.34
2037	1109.1	52%	35.4%	0.769	0.185	0.87	1.45	2.91	0.40	0.66	1.32
2038	1142.3	52%	35.4%	0.769	0.185	0.90	1.50	3.00	0.39	0.65	1.30
2039	1176.6	52%	35.4%	0.769	0.185	0.93	1.54	3.09	0.38	0.64	1.28
2040	1211.9	52%	35.4%	0.769	0.185	0.95	1.59	3.18	0.38	0.63	1.26
2041	1248.3	52%	35.4%	0.769	0.185	0.98	1.64	3.27	0.37	0.62	1.24
2042	1285.7	52%	35.4%	0.769	0.185	1.01	1.69	3.37	0.37	0.61	1.23
2043	1324.3	52%	35.4%	0.769	0.185	1.04	1.74	3.47	0.36	0.60	1.21
2044	1364.0	52%	35.4%	0.769	0.185	1.07	1.79	3.58	0.36	0.60	1.19
2045	1404.9	52%	35.4%	0.769	0.185	1.11	1.84	3.69	0.35	0.59	1.17
2046	1447.1	52%	35.4%	0.769	0.185	1.14	1.90	3.80	0.35	0.58	1.16
2047	1490.5	52%	35.4%	0.769	0.185	1.17	1.95	3.91	0.34	0.57	1.14
2048	1535.2	52%	35.4%	0.769	0.185	1.21	2.01	4.03	0.34	0.56	1.12
2049	1581.3	52%	35.4%	0.769	0.185	1.24	2.07	4.15	0.33	0.55	1.11
2050	1628.7	52%	35.4%	0.769	0.185	1.28	2.14	4.27	0.33	0.55	1.09
2051	1677.5	52%	35.4%	0.769	0.185	1.32	2.20	4.40	0.32	0.54	1.08
2052	1727.9	52%	35.4%	0.769	0.185	1.36	2.27	4.53	0.32	0.53	1.06
2053	1779.7	52%	35.4%	0.769	0.185	1.40	2.33	4.67	0.31	0.52	1.05
2054	1833.1	52%	35.4%	0.769	0.185	1.44	2.40	4.81	0.31	0.52	1.03
2055	1888.1	52%	35.4%	0.769	0.185	1.49	2.48	4.95	0.30	0.51	1.02
2056	1944.7	52%	35.4%	0.769	0.185	1.53	2.55	5.10	0.30	0.50	1.00
2057	2003.1	52%	35.4%	0.769	0.185	1.58	2.63	5.25	0.30	0.49	0.99
						31.82	53.04	106.08	**11.04**	**18.39**	**36.79**

□ **해수담수화 공정 기술적 가치 상승**

○ **후속연구(ZLD 기술개발) 활성화 : 후속 R&D 규모 증대를 통한 연구생산성 향상**

- **(편익 개념)** MCr기술은 궁극적으로는 해수담수화 플랜트 배출수를 제로화 하기 위한 중간 단계로서의 기술로 포지셔닝 할 수 있는 바, ZLD(Zero-Liquid Discharge) 기술의 완성을 위한 지속적 R&D 규모 확보에 기여하고 이를 통한 해당 분야 연구생산성 향상 효과를 편익으로 가정하여 도출

- **(편익 도출을 위한 가정)** 금번 연구개발을 통해 MCr 기술의 핵심 원천기술이 확보되고 100톤 규모 파일럿플랜트가 구축됨으로써 ZLD 기술과 관련된 후속 연구를 촉진하고 연구 생산성이 제고될 것으로 가정

  • 건설교통 R&D 및 해수담수화 분야의 과거 투자실적과 중장기 R&D 계획에 대한 분석을 토대로 후속연구의 투자 규모를 예측하고, 국가연구개발사업의 평균 연구생산성과 파일럿 플랜트를 통한 연구생산성 증대분을 도출함으로서 후속 R&D의 연구 생산성 향상효과를 정량적으로 산출

  ① ZLD 분야 후속 R&D 예상 투자규모('24~'33): 1,204억 (현재가치)
  ② 국가연구개발사업의 평균 연구생산성: 0.498 또는 0.382
  ③ 동 사업 기여도: 32% (최대 50%, 최소 20%)

후속 R&D의 연구 생산성 향상 효과	=	① 후속 R&D 투자규모	×	② 국가연구개발사업의 평균 연구생산성	×	③ 동 사업 기여도
		R&D 투자실적 및 예산증감율을 고려하여 ZLD 분야의 후속 투자규모를 예측 (NTIS 활용)		국가연구개발사업의 평균 투입 대비 성과의 비율값을 인용		후속연구에 파일럿 플랜트시설을 활용함에 따라 기대되는 후속연구의 생산성 향상정도를 설문을 통해 도출

  • 동 연구 종료 후 '24년부터 향후 10년간의 R&D 생산성 증가분을 현재가치화 하면, 국가연구개발사업의 평균 연구생산성 기준치와 동 사업의 기여정도 변수에 따라 최소 57억원에서 최대 180억원의 값을 나타냄

표 8-8. 연구의 생산성 증대 효과

(단위: 억원)

ZLD 후속 R&D 투자규모	연구생산성	동 연구개발에 의한 연구생산성 향상 정도		
		30% (낙관적)	20% (중립적)	10% (보수적)
(1,204) 억원 (동 분야 R&D예산 일정)	0.498	179.82	119.88	59.94
	0.382	137.93	91.96	45.98
(1,487) 억원 (R&D예산 연 5%증가)	0.498	222.21	148.14	74.07
	0.382	170.45	113.63	56.82

□ **해수담수화 공정 기술적 가치 상승**

○ **청정 기술로서의 해수담수화 기술의 브랜드 이미지 제고를 통한 국내 도입량 증대 효과**

- **(편익 개념)** MCr기술이 시장에 진입하기 위해서는 해수담수화 플랜트 유래 미네랄의 청정함과 동시에 해수담수화 플랜트 배출수 양을 감소시키는 효과를 홍보하게 되는 바, 국내에서 해수담수화 기술 브랜드 이미지를 향상시킴으로써 국내 해수담수화 플랜트 도입량을 증대시키는 효과를 경제적으로 추정함

- **(편익 도출을 위한 가정)** 금번 연구개발을 통해 MCr 기술의 핵심 원천기술이 확보되고 해수담수화 배출수의 미네랄이 청청한 식·의약품 원료로 활용되고, 해수담수화 배출수 영향 감소를 통해 해수담수화에 대한 대 국민 의식이 제고된다 가정함

  • 궁극적으로는 대 국민의식 제고를 통해 해수담수화 플랜트의 국내 도입량이 늘어나게 된다고 가정하며, 이러한 시나리오에 본 연구가 기여하는 바를 통해 편익을 도출

① 해수담수화 도입 증가 시나리오('29~'38): 기존 13기에서 15기로 증가*
(* 전문가 FGI를 통해 도출, 기술 회임기간 5년, 2030년 1기, 2035년 1기 추가 건설되는 시나리오)

해담 배출수 부가가치 창출 = **해담플랜트 건설 매출액 (1기당)** × **2대 증가 (시나리오)** × **R&D 사업화 성공률** × **부가가치율** × **R&D 기여율** × **사업기여율**

표 8-9. 편익도출 지표 요율 종합

구분	적용 값	비고
해담플랜트 매출액/1기	5만톤 기준, 각 2,000억원(미래가)	기장 해담플랜트 사업비(1,954억원) 기준
사업기여율	18.52% (130억(금번사업) / {282억(1차) + 420억(2차)})	MDPRO 연구단의 2차 투입액(MCr분)을 1,2차 투입액 합산으로 나눔
부가가치율	18.2 %	국세청, 2016년 제2기의 전기·가스·수도업 기준
R&D기여율	35.4%	연구개발부문 예비타당성조사 표준지침 내용 반영
R&D 사업화성공률	80%	TRL 6 단계 연구의 경우 사업화 성공률 (기존 해수담수화 기술 수준 기준)
할인율	4.5%	예비타당성조사 지침(KDI) 내용 준용

○ **(편익 추정 결과)** MCr 기술의 확보로 인해 청정 기술로서의 해수담수화 기술의 브랜드 이미지 제고를 통한 국내 해수담수화 플랜트 도입량 증대 효과 편익은 총 22.1억 원으로 추정됨

표 8-10. MCr 기술 확보에 따른 국내 해수담수화 플랜트 도입량 증대 효과(총 2기)

(억원)

연도	2기 증설, 각 5만톤	R&D 사업화성공률	R&D 기여율	부가가치율	사업기여율	편익	NPV
2030년 1기, 2035년 1기 추가 건설, 각 2,000억원		80%	35.4%	18.20%	18.5%		
2030	2,000	80%	35.4%	18.20%	18.5%	19.1	12.3
2035	2,000	80%	35.4%	18.20%	18.5%	19.1	**9.9**
						38.1	**22.1**

다. MCr 기술 편익분석 결과(종합)

□ B/C Ratio 산출 결과

○ MCr 기술로부터 기대되는 편익을 모두 합하여 사업 전체의 편익을 계산하고, 동 사업의 예산을 통해 비용을 추정한 후 B/C Ratio를 산출

○ B/C ratio가 1보다 크게 산출되어 본 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 판단할 수 있음

표 8-11. MCr 과제 과제 편익 도출결과 요약

구분	성과목표	편익	편익
해수 담수화 공정 경제적 가치 상승	[성과목표 1] 배출수로부터 자원회수 및 결정화 기술 확보	해수담수화 배출수 자원회수 및 활용을 통한 부가가치 창출 (중립적 시나리오, 시장점유율 5%일 경우)	18.4억 원
해수 담수화 공정 기술적 가치 상승	[성과목표 2] 담수화플랜트 방류수 최소화	후속연구(ZLD 기술개발) 활성화, 연관 R&D 규모 증대 (중립적 시나리오, 국가 R&D 생산성 0.498, R&D 투자 일정할 경우로 가정)	119.9억원
해수 담수화 공정 사회적 가치 상승	[성과목표 3] MCr 기반 친환경 농축수 무방류 Eng. 기술 확보	청정 기술로서의 해수담수화 기술의 브랜드 이미지 제고를 통한 국내 도입량 증대 (수혜자 : 공급자)	22.1억 원

표 8-12. MCr 과제 B/C Ratio

구분	비용현가(억 원)	편익현가(억 원)	B/C Ratio
B/C	115.5	160.4	**1.39**

제9장 막결정(MCr) 소요예산 산정

1절 연구일정에 따른 인력투입 계획

1. 전체사업 인력투입 계획

가. 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
중점 추진 분야 (MCr)	1세부과제	11	13	13	14		51
	2세부과제	9	8	8	10		35
	3세부과제	4	8	8	8		28

나. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

분류	총 개발인력 (명)						비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	4	4	4	4		16	
연구원	7	12	12	14		45	
연구보조원	10	10	10	11		41	
보조원	3	3	3	3		12	
합계	24	29	29	32		114	

2. 중점추진분야별 인력투입계획

가. 중점추진분야(MCr)

(단위 : 명)

분류		총 개발인력 (명)					비고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
계	책임연구원	4	4	4	4	16	
	연구원	7	12	12	14	45	
	연구보조원	10	10	10	11	41	
	보조원	3	3	3	3	12	
	합계	24	29	29	32	114	
1 세부 기술	책임연구원	2	2	2	2	8	
	연구원	3	5	5	6	19	
	연구보조원	4	4	4	4	16	
	보조원	2	2	2	2	8	
	합계	11	13	13	14	51	
2 세부 기술	책임연구원	1	1	1	1	4	
	연구원	3	3	3	4	13	
	연구보조원	4	3	3	4	14	
	보조원	1	1	1	1	4	
	합계	9	8	8	10	35	
3 세부 기술	책임연구원	1	1	1	1	4	
	연구원	1	4	4	4	13	
	연구보조원	2	3	3	3	11	
	보조원	0	0	0	0	0	
	합계	4	8	8	8	28	

2절 소요예산 산정

1. 막 결정 공정 소요예산 산정

가. 예산 산정방법

□ 각 세부과제별로 제안된 과제 카드상의 소요 예산을 근거로 기획위원의 의견을 수렴하여 예산을 산출함

○ 본 기획에서 추구하는 본 과제의 최종목표 및 각 세부과제별 연구목표 달성을 위해 필요한 각 세부과제 연구개발내용을 수행하기 위해 소용되는 연구개발 예산을 추정

○ 1차년은 연구의 준비단계로 고려하고, 2차년 및 3차년이 현장의 연구시설구축 및 실용화 기술을 집중 개발하는 것으로 계획하였으며, 4차년도에는 기술의 검증 및 평가 과정으로 간주하여 적절히 배분하였음.

나. 사업 소요예산

□ 세부과제별 소요예산

○ 총 연구비는 1과제 2,000 백만원, 2과제 1,500 백남원, 3과제 1,000 백만원으로 구성함.

○ 담수 및 유가자원 회수 플랜트 구축을 위하여 1과제 비중을 44% 절성함.

○ 기업체 참여를 고려하여 민감부담금 비율을 설정

[백만원]

과제	구분	예산	총계	비율
(1과제) 담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발	정부	5,000	6,500	0.50
	민간	1,500		
(2과제) 고회수율/저오염의 MCr 전용 모듈 및 공정 기술 개발	정부	3,000	3,900	0.30
	민간	900		
(3과제) 고농도 농축수 내 미네랄 회수 및 유가금속 분리/정제 기술 개발	정부	2,000	2,600	0.20
	민간	600		
총계	정부	10,000	13,000	1
	민간	3,000		

다. 연차별 예산(안)

□ 마일스톤 달성시기를 고려하여 각 과제별 예산계획을 수립하였으며, 이는 다음과 같음

□ 세부과제별 연차별 예산 (1안)

[백만원]

	소과제	구분	2019	2020	2021	2022	총계
1과제	MCr 전처리 및 모사기술	정부	200	500	500	500	1,700
		민간	60	150	150	150	510
	MCr 설계 및 구축기술	정부	500	800	1000	1000	3,300
		민간	150	240	300	300	990
	소계	정부	700	1300	1500	1500	5,000
		민간	210	390	450	450	1,500
2과제	MCr 모듈 개발	정부	300	400	400	400	1,500
		민간	90	120	120	120	450
	MCr 공정 최적화	정부	300	400	400	400	1,500
		민간	90	120	120	120	450
	소계	정부	600	800	800	800	3,000
		민간	180	240	240	240	900
3과제	유가자원 및 미네랄 회수	정부	200	200	200	400	1,000
		민간	60	60	60	120	300
	결정화 후처리 기술	정부	200	200	200	400	1,000
		민간	60	60	60	120	300
	소계	정부	400	400	400	800	2,000
		민간	120	120	120	240	600
총계		정부	1,700	2,500	2,700	3,100	10,000
		민간	510	750	810	930	3,000

□ 막증발법 핵심기술 확보 계획 및 예산

기술분야	핵심연구과제	세부기술	연구기간(연차)				예산 (총100억원)
			1	2	3	4	
설계/구축 기술	담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr기반 농축수 저방류 플랜트 기술 개발	MCr 전처리 및 모사기술					20
		MCr 설계 및 구축 기술					30
소재/요소 기술	고회수율/저오염의 MCr 전용 모듈 및 공정 기술 개발	MCr 모듈 개발					20
		MCr 공정 최적화					10
공정 기술	고농도 농축수 내 미네랄 회수 및 유가금속 분리/정제 기술 개발	유가자원 및 미네랄 회수					10
		결정화 후처리 기술					10

제10장 막결정(MCr) 과제공모 방안

1절 과제제안 요구서(RFP)

1. 막결정(MCr) 과제 제안 요구서 : 총 정부출연금 10,000 백만원 기준

가. 과제제안 요구서 1안

연구개발과제명	농축수 발생량 저감을 위한 MCr 시스템 엔지니어링 기술 개발
1. 연구개발 목표	농축수 무방류 기술 확보를 위한 막결정 기반 플랜트 기술 개발

○ 담수/유가자원 동시 회수를 위한 MCr 공정 기반 농축수 저방류 기술 개발

- 담수 생산량: 50 ㎥/일 이상, 물 회수율: 60% 이상, 미네랄 회수율: 50% 이상
- 폐열 및 신재생에너지 기반 에너지 공급시스템 적용 기술 개발
- MCr 공정을 위한 전처리 최적화 기술 개발
- MCr 공정 적용 저방류 플랜트 공정모사 기술 개발
- 소형 저방류 파일럿 플랜트(전처리-농축-회수/분리-결정화 통합 공정) 설계/구축/성능 평가

○ 고회수율/저오염의 MCr 전용 분리막 모듈 및 공정 기술

- 물 회수율: 60% 이상
- 고회수율 저오염의 MCr 분리막 모듈 및 공정 개발
- MCr 공정의 장기 운영을 위한 세정 기술 개발
- MCr 공정의 설계 최적화 기술 개발

○ MCr 공정 기반 자원회수 및 결정화 기술 개발

- 미네랄 회수율: 50% 이상

- MCr 고농축수 내 미네랄(칼슘, 마그네슘, 칼륨) 회수기술 개발
- MCr 고농축수 내 유가금속(루비듐) 회수(선택적 흡착제 개발) 및 설계 기술 개발
- 열공정 기반 고효율 결정화기의 최적설계 기술 개발
- 저방류 시스템 구축을 위한 자원회수-결정화 후처리 공정 최적화



2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 기후변화로 인하여 지역적·계절적으로 지속적인 물 부족 문제 발생 및 대체수자원 확보의 필요성 증가

- 국내에서 생활용수 및 공업용수 안정화를 위해 약 70 만톤/일의 해수담수화 플랜트 사업* 추진 검토

  * 전국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 보고서 (국토교통부, 2017)

○ 해외 물 부족 문제를 해결하기 위한 수단으로 해수담수화 적극 활용

- 글로벌 해수담수화 시장은 2016년 기준 약 2.8 조원 규모이며, 2020년까지 5조원 규모로 성장 전망

○ 해수담수화의 당면 과제는 기술적 문제로 에너지 과다 소비와 농

	축수 방류로 인한 환경 영향임 - 지속적인 기술개발로 역삼투 해수담수 공정의 에너지 소비량은 3.0 kWh/d급 수준까지 저감 되었으나 기존 기술로는 에너지 소비량을 저감하기 어려우며, 새로운 접근 방식의 에너지 저감 기술 필요 - 해수담수화 플랜트의 농축수 해양 방류에 대한 규제*가 선진국을 중심으로 논의되고 있으며 해수담수화 시장 개척을 위해서 농축수 배출에 관한 관리 기술개발 필요 * 미국 캘리포니아 지역은 심각한 물 부족에도 불구하고 농축수 환경 영향 문제로 해수담수화 플랜트 도입이 지연되었으며, 국내에서도 유사한 문제 발생 가능 ○ 농축수 환경 영향 저감을 위한 융복합 담수화 플랜트 건설을 통해 국내 해수담수화 도입 활성화 및 이를 통한 임해 지역의 가뭄과 물 부족 문제 해결 가능
□ 기술동향	○ 해수담수화 친환경 기술 개발 지향 - 해수담수화는 필연적으로 농축수를 생산하고 지금까지 농축수는 별다른 처리 없이 그대로 바다로 방류되고 있었으나, 최근 선진국을 중심으로 농축수 방류로 인한 해양환경오염에 대한 우려가 높아지고 있음 - 미국 캘리포니아주에는 해수담수화 부산물인 농축수의 해양방류에 대한 규제 움직임이 있음 - 호주의 해수담수화 시설 EPC 비용이 가장 높은 이유는 농축수의 해양환경영향을 최소화하려는 시도 때문임 - 그러므로, 농축수의 염분농도를 희석하는 기술과 농축수 방류를 최소화(무방류)하는 농축수 관리기술의 개발이 필요함 ○ 농축수 처리 기술 동향 - 해양방류(ocean discharge, surface water discharge) : 농축수를 바다로 방류 * 터널, 파이프 등을 이용하여 방류 * 건설비는 환경규제의 영향을 받음

- 지표 방류(surface discharge) : 농축수를 염분농도가 낮은 담수와 혼합

  * 하수처리장 방류수 등과 같이 버려지는 담수와 혼합해서 농축수를 희석

- 지하 방류(subsurface disposal) : 농축수를 지하에 방류

  * 지하수 오염을 방지하기 위한 모니터링이 필요함

- 하수처리장 처리(treatment at wastewater facility) : 농축수를 하수 내지는 폐수와 혼합하고 하수처리장에서 처리

- 육상 살포(land application) : 육상에 살포

  * 고염분 환경에서도 성장이 가능한 작물에 적용

  * 먼지 제어, 양식장, 습지 복원 등에 사용

- 증발(evaporation) : 태양열을 사용하여 농축수 내 수분을 증발시킴

  * 적합한 기후와 부지 확보가 가능한 경우에는 증발을 통해서 농축수 부피 감소 가능

- 열증발(thermal evaporation) : 증발장치를 사용하여 농축수 내 수분을 증발시킴

  * thermal brine concentrator(열농축 장치)와 thermal crystallizer(열결정화 장치)가 있음

- 미국 재이용 부처(Bureau of Reclamation)에서 2000년도 건설된 203개의 담수화 플랜트(RO, NF, ED/EDR)를 대상으로 조사한 결과에 의하면, 대부분의 플랜트는 농축수를 해양방류(45%) 하거나 하수처리장 방류(42%)를 하고 있음

  * 지하수 방류(9%), 증발(2%), 관개용수에 사용(2%)

3. 연구개발내용	
□ 세부과제별 연구내용	[1세부과제] MCr 기반 농축수 무방류 플랜트 기술 개발 ○ MCr 에너지 공급 시스템 적용 기술 개발

○ MCr 공정을 위한 전처리 최적화 기술 개발

○ MCr 공정 적용 무방류 플랜트 공정 모사 기술 개발

○ MCr 기반 무방류 시스템 통합 설계기술 개발

○ MCr 파일럿 플랜트 구축 및 성능 평가

[2세부과제] 고회수율/저오염의 중공사형 MCr 전용 막모듈 및 공정 기술 개발

○ 고회수율 저오염의 MCr 전용 분리막 모듈 개발

○ MCr 공정의 장기운영을 위한 세정기술 개발

○ 고회수율 저오염의 MCr 공정 장치 개발

○ MCr 공정 설계 기술 개발

○ MCr 공정 최적화

[3세부과제] 고농도 농축수 내 미네랄 분리/정제 기술 개발

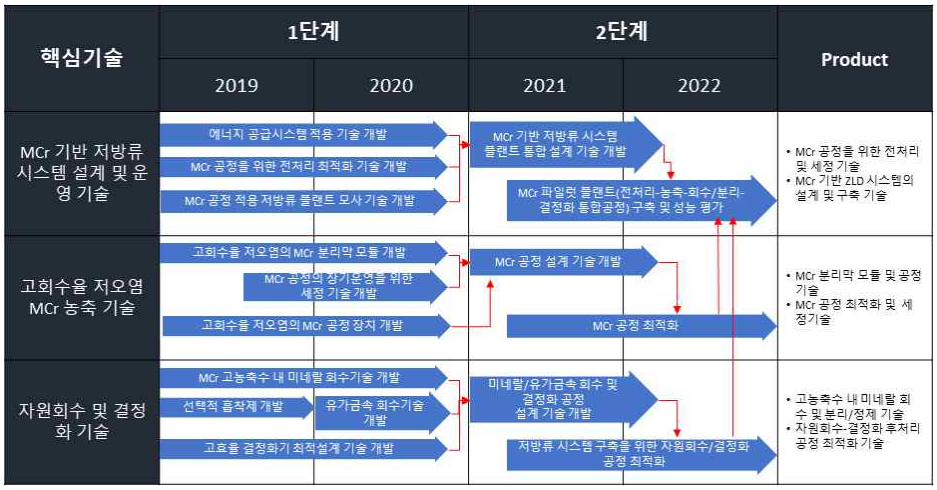
○ MCr 고농축수 내 미네랄 회수 기술 개발

○ 선택적 흡착제 유가금속 회수 기술 개발

○ 고효율 결정화기 최적설계 기술 개발

○ 미네랄/유가금속 분리정제 기술 개발

○ 무방류 시스템 구축을 위한 분리/회수 및 정제기술 공정 최적화



4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 연구개발 추진전략은 총 2단계로 구성되었으며 1단계 핵심기술 개발 및 실증 플랜트 설계 (2년), 2단계 핵심기술 고도화 및 파일럿 플랜트 구축 및 운영 (2년)

- 기간: 2019년 - 2022년 (총 2 단계, 4년)

- 농축수 배출량 60% 이상 감소

- MCr 전용 분리막 모듈 개발

- 파일럿 플랜트 규모는 50 ㎥/일 규모로 구축 및 운영

○ 국내·외에서 축적된 참여 기업의 설계 시공 기술, 연구진의 연구역량과 인프라 등을 최대한 활용하여 농축수 방류로 인한 환경영향 저감 기술을 개발하고 시장개척 기반 마련

○ 기존의 타 연구단의 연구성과와 실증연구시설 및 기존 구축 시설 등을 활용하여 연구비 투자 대비 성과 극대화

○ 실증시설 운영과 유지관리를 통해 개발기술의 검증뿐 아니라, 향후 사업화로 연계시킬 수 있는 기반 마련

□ 추진체계

○ 해외 물시장에 직접 활용 가능한 설계-구축-운영 기술 개발을 목표로 정부·지자체·연구기관·학계·산업계의 공조체제를 유지하며 연구개발 추진이 필요

○ 본 과제를 통해 개발된 성과물들은 해외 물 산업 시장진출을 위해 성과를 즉각적으로 실용화할 수 있도록 관계 정부 부처 및 공공 기관과의 긴밀한 협조 체계 구축 필요

5. 최종성과물

○ 연구 과제 성과물은 연구 결과 보고서를 비롯하여 그림 3와 같이 논문, 특허, SW, 시제품 제작 등과 같이 다양한 분야의 성과물들을 만들 것으로 기대

- 연구 결과 보고서
- 논문 게재 14건
- 특허출원 및 등록 10건
- 시제품 제작 2건
- SW 1건

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 국토교통부 연구 지원 과제로써 농축수 저감 담수화 플랜트 산업의 독창적이고 대표적인 기술력 확보를 통해 홍보 효과 및 관련 기술 보유기업, 대학, 연구기관 등에 연구 지원으로 산업 경쟁력 제고

○ 농축수 무방류 담수화 플랜트 기술을 확보하여 환경 및 에너지 문제를 극복하는 토탈 솔루션 패키지 기술 제공

○ 융복합 기술을 활용하여 수자원 산업 기반 육성과 국내·외 연구진, 전문기업 육성에 기여

○ 해외 실증연구와 국제 협력을 통해 해외시장 진출 및 해외 관련 기관과의 협의를 통하여 실제로 국외 담수화 시설에 Retrofit을 위한 활용 기술로써 설계 반영을 통한 사업화 연계 가능

□ 기대효과 (기술적 효과)

- 농축수 무방류 플랜트 구축 기술 확보를 위한 혁신 기술 개발 및 시스템 구축·운영을 통해 세계 해수담수화 플랜트 선도국가 입지 확립

- 해수담수화 기술 패러다임 변화(친환경, 융복합 & 스마트운영)에 선제적으로 대응할 수 있는 기술 확보 및 인프라 구축 가능

(사회경제적 효과)

- 기후변화(가뭄)에 따른 국가 물안보 및 물복지 취약성 극복을 위한 농축수 무방류해수담수화 플랜트 구축 기반 마련과 친환경 농축수 처리 기술개발을 통한 잠재적 해양생태계 영향 저감 방안 마련

(정책적 효과)

- 해수담수화 플랜트의 경제성 제고를 통한 국내 해수담수화 사업 확대 기반 마련과 Value Chain 별 국내 중소·중견 담수화 전문기업 육성 및 고용 창출을 통한 글로벌 플랜트 산업경쟁력 강화

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2019 ~ 2022 (년 개월)
- 1차년도 연구개발기간 : 2019. ~ 2020. (개월)

○ 총 정부출연금 : 10,000 백만원 기준

- 1차년도 정부출연금 : 백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

(연구과제 공모 방안 및 관리계획)

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표 수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공, 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 추후 연구개발 계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구 기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐

연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련 기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

2절 연구단계별 평가기준(안)

□ 선정평가 방법 : 신규과제 선정, 성과평가 등 연구관리는 국토교통과학기술진흥원의 일반적인 연구개발과제 관리기준에 따름

평가기준	세부항목	배점
연구개발 목표 (20점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 명확성・타당성	10
	연차별 성과지표의 목표 적정성	5
	RFP 연구목표와의 부합성	5
연구개발 내용 (20점)	연구개발 내용의 목표실현 가능성	15
	연구개발 내용의 독창성 및 차별성	5
추진전략 및 계획 (25점)	연구추진 전략 및 체계의 적정성 (관련 전문기관이 각 세부별로 참여하는지 평가, 실용화를 위한 연구추진체계의 적정성	15
	연구 사이트 확보방안의 적절성	5
	연구기간 및 연구개발비의 적절성	5
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성가능성 (25점)	연구성과물의 활용계획 및 방안의 구체성	15
	연구성과물의 기대효과 (정책적, 사회적, 경제적 파급효과)	10
연구진 구성의 전문성 (10점)	연구진의 전문성 및 구성의 적정성	10

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.