

(뒷면) (옆면)

(앞면)

3cm		4cm	건설교통연구기획사업
	M D / P R O 복합탈염기술개발 연구단 기획보고서	Land Transport and Maritime R&D Report	[Green-up 30] (별권 2) MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단 기획보고서 2012 . 3. 13. 주관연구기관 / 창원대학교 협동연구기관 / (주)에이탑컨설팅 (백색바탕) 국 토 해 양 부 한국건설교통기술평가원
5cm	국 토 해 양 부		
3cm			

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "하이브리드 해수담수화플랜트 기술기획"과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 3. 13

주관연구기관명 : 창원대학교

주관연구책임자 : 서규태 교수

연구원 : 이택순 교수

" : 장정욱 교수

" : 송봉근 연구원

" : 변지혜 연구원

공동연구기관명 : (주)에이탑컨설팅

협동연구책임자 : 전현곤 대표이사

요약문

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 'MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발'의 정의

- 'MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발'은 기존 해수담수화 플랜트의 성능향상을 위하여 막 증발법(MD) 및 압력지연삼투(PRO) 기술을 이용하여 새로운 개념의 해수담수화 공정기술 개발 및 실증화 하는 연구로, 소비 전력과 농축수를 저감시킴으로써 환경 영향을 감소시키고 버려지는 자원을 회수하는 복합탈염 공정개발을 의미함

□ "MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발" 기획의 필요성

- 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 전력 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음
- 이에 따라, 2012년 1월 미국 오바마 정부는 해양 챌린지 사업 시행을 통해 해양환경의 중요성과 보호를 위한 계획을 발표하였으며, 향후 이러한 사업을 바탕으로 다양한 환경규제 및 개선 프로그램이 추진될 것으로 전망됨
- 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임
- 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨
- 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음

2. 국내외 동향 및 환경분석

□ 정책동향

- 국내 정책 동향을 살펴보면, 해수담수화기술 및 물산업의 시장적 중요성을 인지 다양한 국가R&D정책에 해수담수화플랜트기술을 포함시키고 있음
- 해수담수화플랜트 기술과 유관된 상위계획에서 의도하는 바는, 물산업 육성을 통한 신성장동력화와 플랜트산업 육성을 통한 경제적 파급효과 증대임
- 해수담수화플랜트 기술 관련 해외 R&D 정책 동향을 살펴보면, 시장선점을 위한 기

술개발의 주요 주제로 멤브레인을 기반으로 한 RO방식의 효율향상과 태양열을 활용한 MD방식 및 PRO 기술 등을 활용한 담수화 공정 효율 제고에 집중하고 있음

- 따라서, 차기 해수담수화플랜트 기술개발과제는 시장선점을 통한 경제적 파급효과를 최대화할 수 있는 기술개발이어야 하며, 그 방향은 담수화플랜트에서 공정 효율을 극대화하는 것임

□ 시장동향

- 현재 세계 담수화시장은 총 68,658,174 m³/일, 그 중 해수담수화 시장의 규모는 43,167,921 m³/일로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장
- 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 20 %씩 성장하여 2016년에는 130억 달러에 달할 것으로 예상됨
- 향후, 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면이 강조되는 방향으로 진행될 것으로 예측됨
- 또한, 해수담수화플랜트의 농축수에 대한 환경영향성에 대한 보고가 지속적으로 이루어짐에 따라, 해수담수화 플랜트의 반환경적인 영향을 제한하고 조정하기 위해 국가간 합의를 통한 규제가 만들어지고 있으며, 이러한 환경법규를 통해 플랜트 운영에 대한 허가가 이루어지고 있어 이에 대한 대비가 필요함

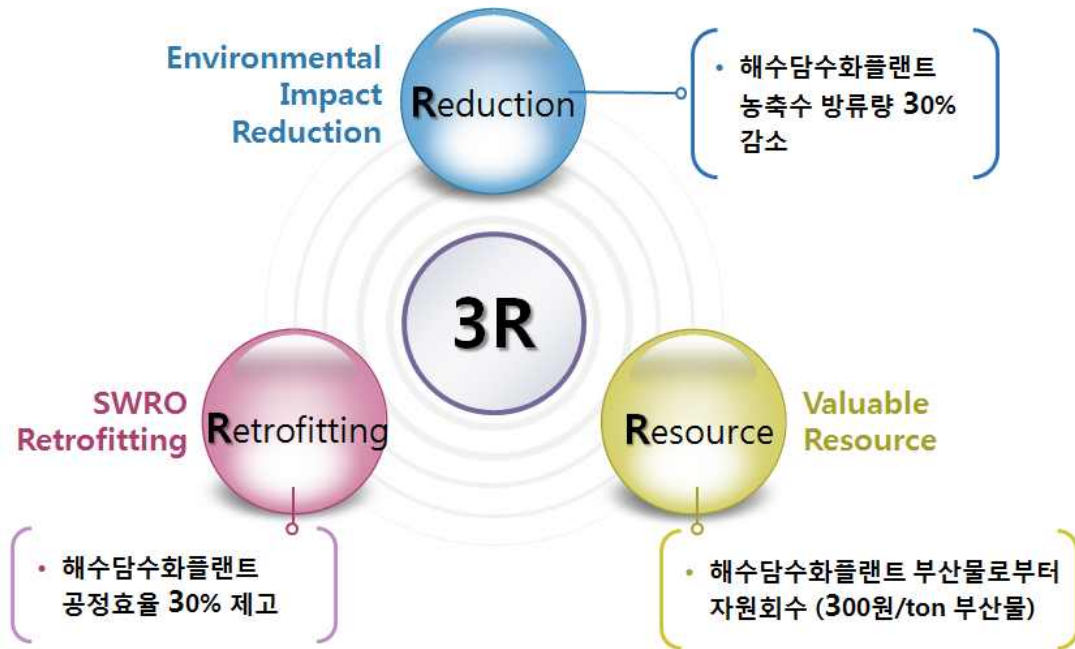
□ 기술동향

- 현재 시장지배 기술인 RO방식의 해수담수화는 기술적으로 한계에 달해 시장에서 요구하는 소비 전력 저감과 환경문제에 대처하기 어려움
- 이러한 이유로, FO, MD, CDI 등 다양한 신개념 탈염기술들에 대한 연구가 증가하고 있으며, 이러한 신개념 탈염기술과 RO방식의 하이브리드화가 다양한 방식으로 시도되고 있음
- 또한, 해수담수화플랜트에서 소비 전력을 저감하기 위한 일환으로 해수의 염도차를 활용하여 에너지를 생산하는 PRO, RED 등의 기술들이 최근 제안, 연구되고 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 비전 및 목표

- [비전] 세계 시장을 선도할 수 있는 신개념 복합탈염 (MD/PRO) 기술 개발
- [전략목표] 역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성



□ 연구개발과제 구성



□ 세부과제별 TRM

○ 막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
1세부 막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술	1-1 MD 전용 막 소재 및 모듈 개발	MD 전용막 제조기술 개발 및 시제품 제작		파일럿 시스템에의 적용 및 성능 검증		상용막 제작	고효율 MD 전용막 및 모듈
		MD 전용모듈 설계 및 시제품 제작		파일럿 시스템에의 적용 및 성능 검증		상용모듈 제작	
	1-2 MD 막오염 저감 기술 개발	공정 설계	파일럿플랜트 제작 및 시운전	막오염 저감공정 현장 적용 및 평가		막오염 저감 공정 운영기술	막오염 저감 전처리 설계 및 운영 기술
		전처리 공정 설계	전처리 공정 제작	전처리 공정 현장평가		전처리 공정 최적화	
	1-4 MD 전용 에너지원 확보기술 개발	폐에너지 활용 공정 설계	랩 스케일 성능 검증	폐에너지 활용기술 파일럿 플랜트 적용 및 최적화			에너지 30% 저감기술
2세부 압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발	1-4 MD 최적화 기술 개발	파일럿플랜트 설계	파일럿플랜트 제작 및 설치	MD 파일럿플랜트 현장 평가		MD 공정 최적화	400 m ³ /d 규모의 MD 파일럿플랜트
		친수화 방지 장치 설계	친수화 방지 장치 제작	친수화 방지장치 현장 평가		친수화 방지 장치 운영기술	
	1-5 MD/PRO 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축 및 현장평가	복합탈염 조합 공정 설계	파일럿플랜트 기반 구축	실증 플랜트 운영 및 성능 검증		운영가이드 라인 도출	MD/PRO 복합 탈염 대용량 실증플랜트
		도입공정 특성 분석	경제성 분석 기법 도출	현장비용 분석		경제성 분석	
		신개념 탈염 공정 설계	신개념 탈염 공정 제작	현장 적용 및 검증		신개념 탈염공정 운영기술	

○ 압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
2세부 압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발	2-1 PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발	전처리 응용공정 설계	파일럿 시스템과 전처리 공정 연계	데이터베이스 구축 및 전처리 비용 절감 기술 개발			PRO 전처리 공정 최적화 기술
			전처리 공정 최적화 및 파울링 저감 기술 개발				
	2-2 실증파일럿 PRO 전용막/모듈/베셀 개발 및 막성능 평가 기술 개발	실증파일럿 PRO 전용막 제조 기술 개발 및 시편, 모듈 제작		파일럿 시스템에의 적용 및 전력밀도 성능 검증			고투과도 파일럿 시스템 PRO 전용막 및 모듈
			랩 스케일에서의 멤브레인/모듈 성능 검증		상용막/모듈 및 베셀 제작		
	2-3 PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작	PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작		파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증			PRO 전용 해수유인 압력회수장치
3세부 전기투석 (ED)을 이용한 농축수 처리 기술 개발		제어 메커니즘 해석 및 회수장치 효율 최적화			시제품 제작 및 성능 검증		
	2-4 SWRO-PRO 공정효율제고를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발	PRO 파일럿 시스템 설계	파일럿 건설 및 구축 완료		물 생산단가 저감 기술 개발		SWRO-PRO 조합공정 최적화 기술
			단위공정 및 전체공정에 대한 최적화 기술 개발 및 운영유지 관리				
	2-5 차세대 염도차 공정기술 개발(RED, CAPMIX)	현황 및 자료분석	최적 redox couple 선정		RED 산화-환원 최적 전극 시스템 개발		RED/CAPMIX 전용 막 및 최적 셀, 스택 설계 기술
			낮은 저항 RED 전용 이온교환막 개발		셀, 스택 디자인 최적화		

○ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
3세부 해수담수화 플랜트 부산 물 자원화 기 술 개발	3-1 RO 농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심 기술 개발	현황 및 자료 분석	유가 금속 흡착소재 연구 전기화학적 금속 회수 기술 개발 금속 탈착 및 분리정제 기술 개발				• RO 농축수 활용 유가 금 속 추출 기술
	3-2 RO 농축 수 금속 추 출 최적화 공정 설계	금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발 전기화학적 금속 추출공정 설계기술 개발 소형 시스템 구축 및 최적화				• RO 농축수 활용 유가 금 속 추출 소형 시스템	
	3-3 해수담수화 플랜트 부 산물 경화 기술개발	현황 및 자료 분석 부산물 성상 분석	부산물 성상별 경화기술 최적화 경화체 내구성 증진 기술 개발 경화체 유해성 평가				• 해수담수화 플랜트 부산 물 경화 기술
	3-4 부산물 경 화체 연속 생산 공정 기술 개발	경화체 연속생산 공정 설계 기술 개발 소형 시스템 구축 및 최적화				• 경화체 연 속 생산 소형 시스템	

□ 기대효과

○ 기술개발을 통한 다양한 시장 공략 가능

- MD/PRO 복합탈염 시스템은 기존의 역삼투법 해수담수화 시설을 유지한 상태에서 추가 설치가 가능한 기술이므로, 기존 해수담수화 플랜트의 성능향상을 위한 개량(Retrofitting)에도 활용될 수 있음. 이는 현재 동시 기획 중인 “고효율 정·역삼투 해수담수 플랜트 고도화” 연구단과의 가장 큰 차별성으로 판단됨.
- 기존 해수담수화 시설의 농축수 라인이 플랜트 외곽에 위치한 점을 고려하면 충분히 실현 가능한 전략임. 즉, 기존의 버려지는 농축수로부터 압력 및 유가자원을 회수하면서, 농축수의 농도 및 총량을 감소시킴으로써 부가가치 창출 및 환경 영향 최소화 가능
- 결론적으로 신규 해수담수화 플랜트 시장 뿐 아니라, 노후화된 기존 해수담수화 플랜트의 개량, 보수에도 적용이 될 수 있으므로 공략 대상 시장의 범위가 넓음

○ 연구단 개발 기술을 활용한 세계 물산업 시장 공략 시 경제적 효과

- 탈추격형 RO 선진기술개발로 세계 담수화 플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보
- 농축수의 압력을 회수하여 이를 다양하게 활용함(일반 전력, 담수생산 보조전력 등)으로써, 궁극적으로 소비 전력을 저감하고, 담수 생산 단가를 절감하여 세계 물산업 시장 선점 가능

- 연구기간이 종료되는 2017년 이후부터 연구단 개발기술을 활용한 매출 발생이 예상됨. 연구단 목표인 역삼투 해수담수화시장 10% 점유율을 달성할 경우 2017년 이후 향후 10년간 2,354억의 편익이 예상됨(2012년 현재가 기준, RND 기여도를 10.9%, 연간 할인율을 4.3%로 가정할 경우). 계산근거는 본 기획보고서의 제 4장에 제시되어 있음
- 연구단에 투입되는 정부 및 민간 예산을 합하면 2012년 현재가 기준으로 496.8억이 투입되는데, 위 편익 기대치를 고려한 B/C 값은 4.7으로 연구단 기술 개발 성공 시의 경제적 편익 효과가 높을 것으로 기대됨

4. 인력투입 계획 및 소요예산

☐ 인력투입계획

(단위 : 명)

과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부과제	46	68	60	60	56	290
2세부과제	28	44	42	36	30	180
3세부과제	8	24	16	16	16	80
합계	82	136	118	112	102	550

☐ 소요예산 산정

(단위 : 백만원)

과제		1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
1세부	1-1	500	500	800	800	600	600	600	600	500	500	6,000
	1-2	400	400	400	400	350	400	400	400	400	400	3,950
	1-3	500	500	800	800	550	600	600	600	500	500	5,950
	1-4	500	400	400	400	400	400	400	400	400	400	4,100
	1-5	500	500	1,900	2,000	1,400	1,500	1,000	1,000	1,000	1,000	11,800
	소계	2,500	2,300	4,300	4,400	3,300	3,500	3,000	3,000	2,800	2,800	31,900
2세부	2-1	200	200	550	600	350	400	200	200	100	100	2,900
	2-2	250	200	550	600	400	400	200	200	100	100	3,000
	2-3	250	200	600	600	400	400	200	200	100	100	3,050
	2-4	550	500	800	800	400	400	500	500	300	300	5,050
	2-5	450	400	400	400	400	400	400	400	400	400	4,050
	소계	1,700	1,500	2,900	3,000	1,950	2,000	1,500	1,500	1,000	1,000	18,050
3세부	3-1	250	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,625
	3-2	200	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,575
	3-3	250	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,625
	3-4	100	50	200	100	200	125	200	100	100	50	1,225
	소계	800	350	800	400	950	500	800	400	700	350	6,050
합계		5,000	4,150	8,000	7,800	6,200	6,000	5,300	4,900	4,500	4,150	56,000

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술정의	1
1. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”정의	1
2. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”의 기술분류	3
3. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발” 기획의 필요성	6
4. 기획배경	7
5. 기획 목적	11
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	12
제 1 절 국내외 정책 및 연구	12
1. 국내 정책동향	12
2. 국외 정책 및 연구동향	14
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	19
1. 국내 시장현황 및 전망	19
2. 국외 시장현황 및 전망	20
3. 시사점	23
제 3 절 기술동향분석	29
1. 기술동향분석	29
2. 특허분석	39
3. 논문분석	50
4. 종합분석	55
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	56
제 1 절 비전 및 목표	56
1. 비전 및 목표 설정	56
제 2 절 기술개발에 따른 미래상	58
제 3 절 연구개발과제 구성	60

제 4 절 세부과제별 주요내용 및 추진전략	61
1. '막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술' 과제 개요	61
2. '압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발'과제 개요	66
3. '해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발'개요	71
제 5 절 세부과제간 연계관계	76
제 6 절 연구추진체계 제안	78
제 4 장 사전타당성 검토	79
제 1 절 정책적 타당성 분석	79
1. 국가전략적 중요성	79
2. 상위계획과의 부합성 (정책적 일관성 분석)	80
3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계 (정책적 추진의지 분석)	81
4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안	82
제 2 절 기술적 타당성 분석	83
1. 기술개발 계획의 적절성	83
2. 기술수준 및 성공가능성	86
3. 기존 사업과의 중복성	86
제 3 절 경제적 타당성 분석	88
1. 경제성 분석	88
2. 과학기술적 파급효과	89
3. 예산 적정성 분석	90
제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정	91
제 1 절 연구일정에 따른 인력계획	91
1. 연차별 투입연구인력	91
2. 상세 투입연구인력	91
제 2 절 소요예산 산정	92
1. 산정개요	92
2. "MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발"연구단 소요예산	93

제 6 장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정 94

제 1 절 과제 제안요구서 (RFP)	94
1. 연구단 제안요구서 (RFP)	94
2. 1세부과제 제안요구서 (RFP)	99
3. 2세부과제 제안요구서 (RFP)	102
4. 3세부과제 제안요구서 (RFP)	105

표 목 차

<표 2-1> 신재생 에너지 보급 연도별 목표치	13
<표 2-2> 주요 국가별 신재생에너지 보급률 및 신재생에너지 구성 비율 (단위 : %)	14
<표 2-3> 미국의 해수담수화 연구 방향 및 기술 로드맵	16
<표 2-4> MIGD 이상 대형 RO 업체 (수행 RO 프로젝트 기준)	27
<표 2-5> 특허검색방법	39
<표 2-6> 논문 검색 개요	41
<표 2-7> 논문검색방법	50
<표 2-8> 논문 검색 개요	51
<표 3-1> 기존 연구와의 중복성 검토	68
<표 4-1> 사업추진상의 위험요인 및 대응방안	82
<표 4-2> 기존 연구와의 차별화 및 연계방안(2세부과제)	87
<표 4-3> 경제성 분석 결과	89
<표 5-1> 기업부담금 출연기준	92

그림 목 차

[그림 1-1] 막 증발법(MD) 개념도 및 종류 ((a) AGMD, (b) VMD, (c) SGMD, (d) DCMD)	2
[그림 1-2] 압력지연삼투 (PRO) 공정 개념도	3
[그림 1-3] ‘막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술개발’ 기술 분류	4
[그림 1-4] ‘압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수’ 기술	5
[그림 1-5] ‘해수담수화 플랜트 부산물 자원화’ 기술	6
[그림 1-6] 막 증발법 개발에 따른 담수비용 비교표	9
[그림 1-7] 저농도 용액과 고농도 용액 간 염분농도차에 의해 발생하는 에너지	10
[그림 2-1] 제 2차 과학기술기본계획 내 해수담수화플랜트의 위치	12
[그림 2-2] 신성장동력 비전 및 발전전략(고도물처리)	13
[그림 2-3] 각국 정부 부문의 에너지 연구개발 투자 현황	14
[그림 2-4] 국내 해수담수화 누적 용량	19
[그림 2-5] 국내 누적 해수담수화 플랜트 시설	19
[그림 2-6] 해수담수화 시장 규모	20
[그림 2-7] 담수화 수주 용량 (공정별, 연도별)	20
[그림 2-8] 해수담수화 방식별 발주량 예측	21
[그림 2-9] 담수화 방식별 해수담수화 시장 규모 및 전망	21
[그림 2-10] 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망	22
[그림 2-11] 담수화 방식별 물 생산 비용	23
[그림 2-12] RO방식의 물 생산 단가 변화 추이	24
[그림 2-13] RO방식 담수화 플랜트의 물 생산 톤당 요구 전력량	24
[그림 2-14] 해수담수화 유닛 용량 (unit capacity)의 변화 추세	25
[그림 2-15] Train size 변화 동향	26
[그림 2-16] 생산비용 단가 동향	26
[그림 2-17] 해수담수화 방식별 세계 주요업체의 수주량	28
[그림 2-18] 기술분야별 논문 및 특허 포트폴리오 분석	29
[그림 2-19] ISE의 Solar-MD 설비	30
[그림 2-20] ISE의 Solar-MD 공정도	30
[그림 2-21] University of Nevada의 태양열 온수지 시스템	31
[그림 2-22] New Jersey Institute of Technology Center의 MDMC 시스템	32
[그림 2-23] MEMSTILL® pilot plant at Senoko Refuse Incineration Plant	32
[그림 2-24] MEMSTILL® 담수생산 단가 비교	33
[그림 2-25] Automomous Pilot Plant 공정도 및 사진	33
[그림 2-26] Greenlysys 공정도 및 장치 사진	34
[그림 2-27] Bench Scale 장치	35
[그림 2-28] Pilot scale 장치	36
[그림 2-29] Statkraft 사의 PRO 파일럿 플랜트 전경 (Tofte, Norway)	37
[그림 2-30] 압력지연삼투(PRO)공정의 전력밀도 (INES workshop report, 2010)	37

[그림 2-31] 압력지연삼투(PRO) 플랜트 건설계획 (Statkraft 사, Norway)	38
[그림 2-32] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 특허 동향	39
[그림 2-33] 기술분야별 담수화플랜트 관련 특허 동향	40
[그림 2-34] 주요 기관별 특허출원 현황	40
[그림 2-35] 년도별 특허 출원현황	41
[그림 2-36] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황	42
[그림 2-37] 국가별 특허출원 현황	43
[그림 2-38] 주요 출원인별 특허출원 현황	43
[그림 2-39] 년도별 특허 출원현황	44
[그림 2-40] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황	45
[그림 2-41] 국가별 특허출원 현황	46
[그림 2-42] 주요 출원인별 특허출원 현황	46
[그림 2-43] 년도별 특허 출원현황	47
[그림 2-44] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황	48
[그림 2-45] 국가별 특허출원 현황	49
[그림 2-46] 주요 출원인별 특허출원 현황	49
[그림 2-47] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 논문 동향	50
[그림 2-48] 기술분야별 담수화플랜트 관련 논문 동향	51
[그림 2-49] ‘막증발법 및 막 결정법 기술’ 국가 별 발행 논문 수	52
[그림 2-50] ‘막증발법 및 막 결정법 기술’ 시대 별 발행 논문 수	52
[그림 2-51] ‘압력지연삼투 막 기술’ 국가 별 발행 논문 수	53
[그림 2-52] ‘압력지연삼투 막 기술’ 시대 별 발행 논문 수	53
[그림 2-53] ‘해수담수화 농축수 자원화 기술’ 국가 별 발행 논문 수	54
[그림 2-54] ‘해수담수화 농축수 자원화기술’ 시대 별 발행 논문 수	54
[그림 2-55] ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증플랜트 기술개발’기술의 SWOT 분석	55
[그림 3-1] 연구단의 3대 기술목표 : 3R	57
[그림 3-2] 연구단 단계별 추진 전략	57
[그림 3-3] 기존 역삼투법 해수담수화플랜트와 MD/PRO 복합탈염공정의 연계	58
[그림 3-4] 연구단에서 추구하는 3R 기술목표 달성 시 기대효과	59
[그림 3-5] 연구 개발 과제 구성도	60
[그림 3-6] MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 개발 내용	63
[그림 3-7] 1세부과제 연구개발 TRM	64
[그림 3-8] 1세부과제 단계별 추진 전략	64
[그림 3-9] PRO를 이용한 해수담수화플랜트 에너지회수 기술 개발 내용	69
[그림 3-10] 2세부과제 연구개발 TRM	70
[그림 3-11] 2세부과제 단계별 추진 전략	70
[그림 3-12] 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발 내용	73
[그림 3-13] 3세부과제 연구개발 TRM	74
[그림 3-14] 3세부과제 단계별 추진 전략	74
[그림 3-15] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략	76
[그림 3-16] MD/PRO 파일럿플랜트 운영안	77

[그림 3-17] MD/PRO 파일럿 플랜트의 연구기간 종료 후 활용방안	78
[그림 4-1] 범부처 물산업 육성 정책 내용	81
[그림 4-3] 연구단 단계별 추진 전략	84
[그림 4-4] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략	85
[그림 4-5] 연차별 연구비 및 연구인력 현황	90

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술정의

1. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”정의

가. 기본개념

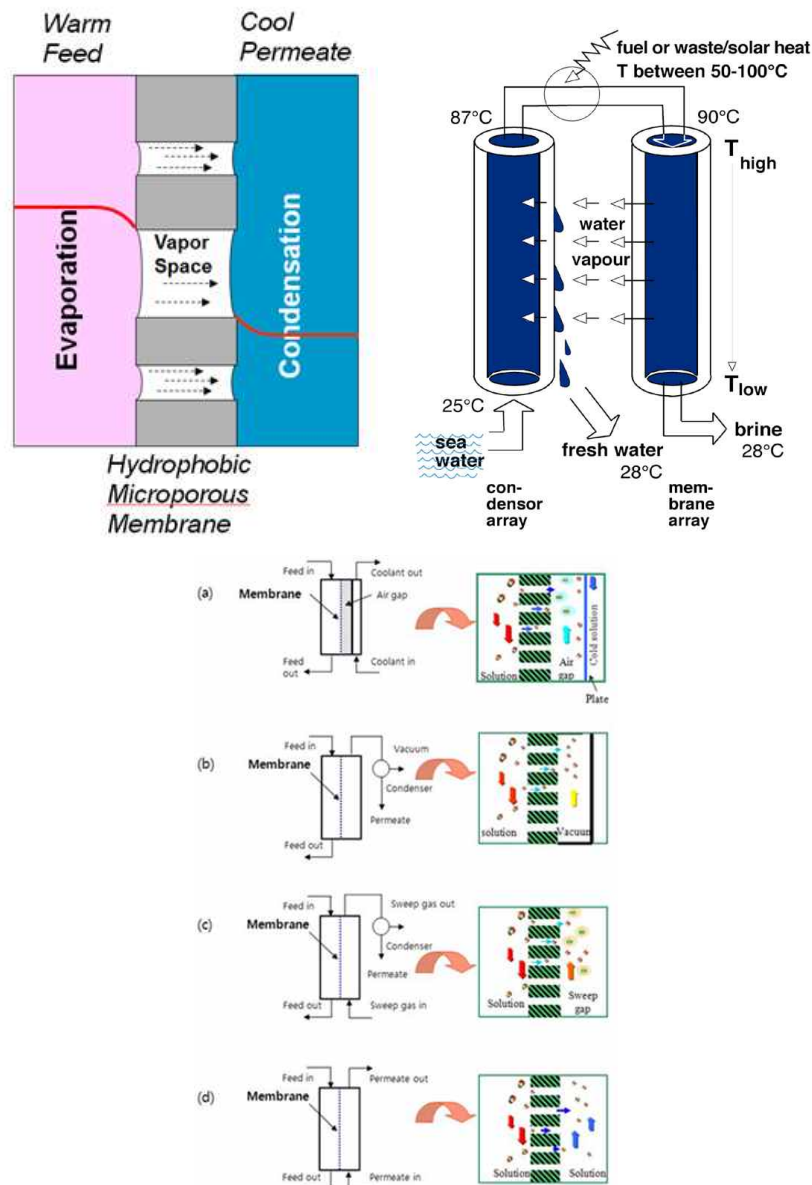
- ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발’은 기존 해수담수화 플랜트의 한계를 극복하고자 하는 차세대 공정 개발 및 이를 실증화하는 연구로서, 막 증발법(MD) 공정을 이용한 신개념 해수담수화 기술 개발과 압력지연삼투(PRO) 공정을 이용한 해수담수화플랜트 소비 전력 저감 기술 개발 및 해양으로 버려지는 농축수를 저감하고 자원을 회수하는 기술을 포함함
- 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 한계를 극복하고자 막 증발법(MD)을 포함한 신개념 탈염기술과 복합공정을 조합하여 기존 플랜트의 성능을 개선시키는 기술
- 신개념 해수담수화 및 농축수의 저감을 위한 막 증발법(MD) 전용막 및 모듈 설계 기술을 개발하여 현재 50%인 역삼투법 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감하고 공 정효율을 30% 증가시키는 환경 친화형 고효율 해수담수화 기술 개발
- 또한, 농축수에서 유가금속을 회수하고 잔류 농축수 및 기타 부산물(슬러지, 세정폐액 등)을 고형화하여 건설재료로 활용함으로써 SWRO플랜트의 부산물 배출량을 최소화함과 동시에 경제적 이익을 도출하는 해수담수화 기술 개발
- SWRO 공정의 압력을 회수하는 전용막을 개발하여 기존 SWRO 공정의 효율을 제고시키는 역할
- 두 용액(고염분 농도용액, 저염분 농도용액)의 염도차를 이용하여 에너지를 생산하는 압력지연삼투(PRO) 공정 혹은 역전기투석 (RED) 공정을 기존의 SWRO 공정에 연결하여 SWRO 공정에서 소모하는 전력을 조달하는 역할
- 위의 PRO 또는 RED 공정에 공급되는 저염분 농도 용액으로 하수처리 방류수 또는 재이용수를 사용가능

나. ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발’의 정의

- ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발’은 기존 해수담수화 플랜트의 성능 향상을 위하여 막 증발법(MD) 및 압력지연삼투(PRO) 기술을 이용하여 새로운 개념의 해수담수화 공정기술 개발 및 실증화 하는 연구로, 소비 전력과 농축수를 저감시킴으로써 환경 영향을 감소시키고 버려지는 자원을 회수하는 복합탈염 공정 개발을 의미함

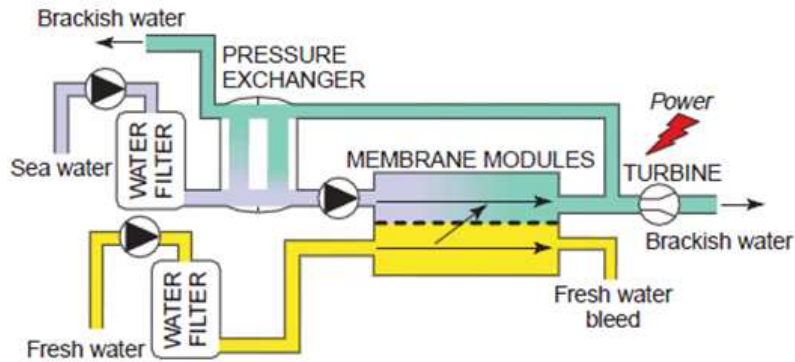
□ '막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 해수담수화 공정 및 농축수 저감 기술 개발' 기술 정의

- 막 증발법(Membrane distillation)은 온도차를 구동력으로 하는 기술로 선택적 투과막의 성질과 증류 현상을 접목하여 낮은 에너지를 이용하여 물을 생산할 수 있다. 담수화 시장 및 초순수 생산 시장에 새로운 기술로 부각되고 있는 기술임
- 막 증발법은 담수를 생산하는 방식에 따라 크게 4가지(AGMD, VMD, SGMD, DCMD) 공정으로 구분됨
- 막 증발법을 이용하여 해수를 담수화하는 탈염기술 개발과 역삼투 공정에서 배출되는 다량의 농축수를 처리하여 배출량을 감소시킴으로써 전체 해수담수화 공정의 회수율을 높이는 친환경 해수담수화 공정 기술



[그림 1-4] 막 증발법(MD) 개념도 및 종류 ((a) AGMD, (b) VMD, (c) SGMD, (d) DCMD)

- ‘압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발’ 기술 정의
 - 압력지연삼투(PRO) 공정은 염도차를 이용한 에너지 생산 기술. 전처리 과정을 거친 저농도 용액이 삼투압 차에 의해 반투막을 통하여 고농도 용액으로 투과되며, 이 때 증가한 유량이 터빈을 회전시켜 에너지를 생산하는 막 공정



[그림 1-5] 압력지연삼투 (PRO) 공정 개념도

- ‘해수담수화 플랜트 부산물 자원화’ 기술 정의
 - 고농도의 해수담수화 농축수에서 막 결정법을 적용하여 유가자원을 회수함으로써 농축수의 발생량 저감과 함께 경제적인 부가이익을 도출하는 기술

2. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”의 기술분류

가. ‘막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술 개발’ 기술분류

- 막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술은 기존 해수담수화 플랜트의 성능향상을 위하여 소수성의 선택적 투과막을 이용하여 담수를 생산하는 기술과 역삼투 공정에서 발생하는 농축수를 처리하여 발생량을 저감시키는 기술을 포함함
 - 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 고농축수를 저감시킴으로써 농축수 방류로 인한 해양생태계 파괴 방지 및 농축수 처리 비용 절감 등의 효과를 얻을 것으로 기대됨
 - MD 공정을 이용한 해수담수화 및 농축수 저감에 관한 연구는 선진국에서도 기초 연구가 진행중인 단계로, 향후 시장 경쟁력 확보를 위해서는 실증화 연구 및 핵심 기술 개발이 요구됨
 - 기존 역삼투 해수담수화 플랜트와 MD 공정을 조합한 MD/PRO 복합탈염 신공정을 제시함으로써, 플랜트 공정의 성능향상과 음용수의 생산단가를 절감할 수 있음

MD를 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술 개발

- 기술현황: 기초연구단계, 소규모 파일럿플랜트 연구 진행 중
- 정책현황: 해양방류 규제 강화에 따른 관련 정책 제도화 중

Concept: 막 증발법(MD) 기술을 도입하여 신개념 탈염공정을 개발하고 기존 해수담수화플랜트의 농축수를 저감하는 하이브리드기술

- 기획방향
 - 역삼투 공정과 막 증발법을 조합한 대용량 파일럿플랜트 구축
 - 막 증발법의 효율향상을 위한 막 소재 및 모듈 개발
 - 농축수 저감 및 막오염 최소화를 위한 공정 설계 기술 개발
 - 소비전력 저감을 위한 복합 에너지 활용 기술 개발



나. ‘압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발’ 기술분류

- 압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 기술은 기존 해수담수화 플랜트에서 발생하는 고농도의 농축수의 삼투에너지를 염도차 에너지 생산 기술인 PRO 공정을 통해 회수하는 기술을 포함함
 - 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 고농축수를 에너지 생산에 이용함으로써 농축수 방류로 인한 해양생태계 파괴 방지 및 농축수 처리 비용 절감 등의 효과를 얻을 것으로 기대됨
 - PRO 공정을 이용한 에너지 생산에 관한 연구는 선진국에서도 기초 연구가 진행중인 단계로, 향후 시장 경쟁력 확보를 위해서는 실증화 연구 및 핵심기술 개발이 요구됨
 - 기존 역삼투 해수담수화 플랜트와 PRO 조합공정의 최적화 기술 및 차세대 염도차 공정 설계 기술을 개발함으로써, 에너지 회수 및 음용수의 생산단가를 절감할 수 있음

압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술

- 기술현황: 기초연구 위주로 진행 중, 실용화 연구 필요
- 정책현황: 핵심기술 확보 정책 미흡

Concept: 압력지연삼투 (PRO) 염도차공정기술을 도입하여 기존 해수담수화플랜트 공정효율을 제고하는 하이브리드 기술

- 기획방향
 - 플랜트효율 극대화를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발
 - SWRO-PRO 조합공정 최적화 기술 개발
 - 고효율의 PRO 전용막 및 전용 해수유인 압력회수장치 개발
 - 차세대 염도차공정 설계기술 개발



다. '해수담수화 플랜트 부산물 자원화' 기술분류

- 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술의 범위는 플랜트에서 발생하는 다양한 부산물(RO농축수, 분리막 세정 폐액, 슬러지 등)에 함유된 유용한 자원을 회수하거나 부산물 자체를 재활용하여 자원화하는 기술을 포함함
 - 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화함으로써 기존 부산물 방류에 의한 환경오염 방지, 부산물 추가처리비용 절감, 재활용품 생산을 통한 신부가가치 창출 등의 다양한 이익을 얻을 수 있음
 - 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화하는 기술은 선진국에서도 연구의 초기단계이므로 핵심기술을 선점하는데 유리한 기술 분야임
 - 해수담수화플랜트 부산물의 성상별로 차별화된 자원화 기술 개발 전략을 수립하고 개별 기술들을 하나의 연속 공정으로 효과적으로 통합할 수 있는 설계 기술의 개발이 요구됨
 - 구체적인 자원화 기술로서 RO농축수로부터의 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr) 회수기술, 세정폐액 및 슬러지 등을 활용한 경화제 제조 기술 등을 전략적으로 개발할 필요성이 있음

해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술

- 기술현황: 연구초기단계 기술, 집중 지원으로 핵심 기술 선점 필요
- 정책현황: 부산물로 생산된 자원의 활용 지원 정책 미흡

Concept: 해수담수화 플랜트에서 발생하는 다양한 부산물(RO농축수, 분리막 세정 폐액, 슬러지 등)에 함유된 유용한 자원을 회수하고 부산물 자체를 재활용하여 자원화하는 하이브리드기술

- 기획방향
 - 부산물 성상별로 최적화된 자원화 기술개발
 - 핵심기술 선점에 유리한 세부기술 선정 및 기술개발 전략 수립
 - 세부 핵심기술들의 통합공정 설계 기술개발 전략 수립



3. "MD/PRO 복합탈염 기술 개발" 기획의 필요성

- ☐ 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 전력 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음
- ☐ 이에 따라, 2012년 1월 미국 오바마 정부는 해양 챌린지 사업 시행을 통해 해양환경의 중요성과 보호를 위한 계획을 발표하였으며, 향후 이러한 사업을 바탕으로 다양한 환경규제 및 개선 프로그램이 추진될 것으로 전망됨
 - 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 선제적 대응이 필요한 실정임
 - 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨
 - 농축수를 폐수가 아닌 재상자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음

4. 기획배경

- ☐ 새로운 대체 수자원 확보 및 에너지원에 대한 요구 증가

- 전 세계적인 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 기존 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상됨
- 2025년이 되면 거의 모든 국가들이 물 부족을 겪게 될 것으로 보이며, 그 중 절반의 국가들은 물자원의 고갈을 맞을 것으로 예견됨

□ 해수의 담수화기술을 통한 수자원 확보

- 지구상에 존재하는 전체 물의 양은 약 13억 8,500만 km^3 으로 추정되며, 이 중 97%를 해수가 차지하고 있음
- 해수의 담수화 기술은 해수를 활용하는 가장 적극적인 방법으로 생활용수 및 공업용수 부족으로 야기되는 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술
- 해수담수화기술을 통한 물 생산량은 1965년부터 지속적으로 성장. 현재 약 4,000만 톤/일을 초과하고 있으며, 앞으로도 연 평균 17%이상 성장할 것으로 예측되고 있음
- 해수담수화 기술은 미래의 국가 신 성장동력산업
- 일반 토목/건축 산업과는 달리 전체 예산의 70%이상을 제품 구매 방식을 통해 매출을 발생시키는 특징이 있으므로, 국내 연관 기업의 기술 및 역량을 제고시킬 수 있는 파급효과를 지님
- 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치
- 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는 대표적인 R&D과제로 여겨짐
- 국토해양부는 2006년 새롭게 수립한 건설교통 R&D 혁신로드맵의 “미래가치 창출이 가능한 10대 과제(VC-10)” 중의 하나로 해수담수화플랜트사업단을 2006년 12월 29일 발족하여 “세계 최고의 역삼투 해수담수화 기술확보”를 목표로 연구개발을 현재까지 지속적으로 수행해 왔으며, 그 결과 현재 국내 해수담수화플랜트 핵심기술수준은 선도국의 90% 정도까지 추격하였음

□ 기후변화에 따른 친환경·고효율 해수담수화 기술 개발 필요

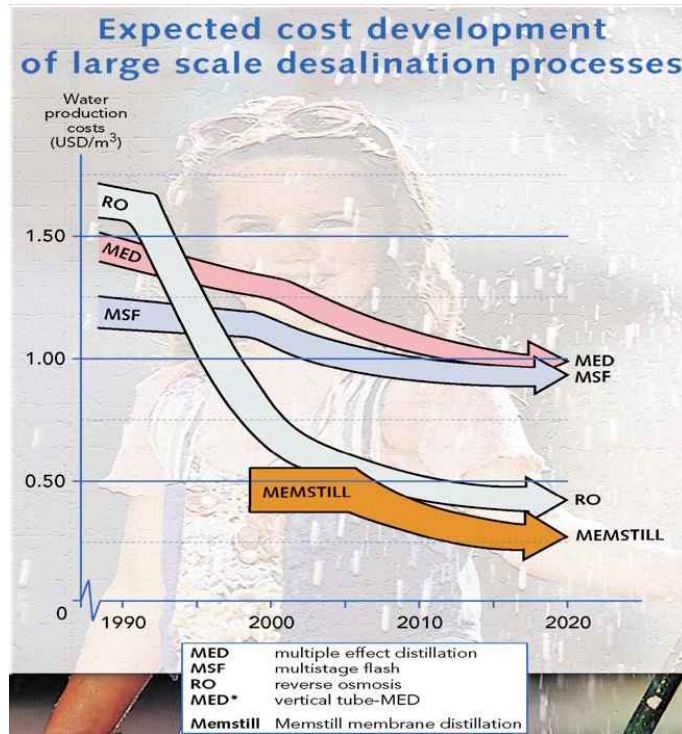
- 기후변화 등으로 인하여 발생하는 물부족 문제를 해결하기 위하여 물부족 국가 및 지역을 중심으로 해수담수화 플랜트의 도입이 확산되고 있음. 최근 해수담수화 공정 중 발생하는 농축수의 해양 생태계 및 환경 영향에 대한 우려가 제기되고 있으므로, 향후 해수담수화 시장에서 친환경 담수화 기술을 확보함으로써 시장경쟁에서 유리한 위치를 차지하기 위해서는 이 문제를 해결할 필요가 있음
- 또한, 기존의 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 선도형 해수담수화 기술의 확보가 필요하며, 이를 위하여 농축수 저감 등과 같은 새로운 개념의 담수화 기술 확보 필요.
- 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있으며, 농

축수 문제는 향후 해수담수화 분야에서 주요 이슈로 부각될 예정이므로 이에 대해서 국가 차원의 대응 기술 확보가 필요함.

- 플랜트 분야 국제경쟁력 확보를 위하여 미래지향적 기술에 대한 국가 지원 필요하며, 농축수 저감을 위해서 적용되는 MD의 경우 근본적으로 소재, 장치 및 설계 기술이 융복합되어야 하므로 원천기술개발과 동시에 이를 상용화하기 위한 현장 중심의 플랫폼이 필요

□ 막 증발법(MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술 개발

- 역삼투 공정을 적용한 해수담수화 기술의 회수율은 현재 50% 수준으로 취수한 해수의 50%가 다시 농축되어 바다로 배출되고 있음
- 또한, 현재까지의 기술적 한계로 인하여 4 kWh/m³의 에너지 소비를 나타내고 있어서 아직까지 고가의 담수비용이 소요되고 있음
- 이러한 문제를 해결하기 위해서는 새로운 개념의 탈염기술에 대한 개발이 필요하며, 특히 기존 해수담수화 플랜트와 조합함으로써 공정의 효율향상과 담수 비용을 절감할 수 있는 기술 개발이 필요함
- 이를 위하여 온도차 구동력을 이용한 막 증발법(MD) 기술에 대한 관심이 전 세계적으로 증대되고 있으며, 활발한 기술개발이 몇몇 국가와 기업 주도로 시도되고 있으며, 기술 개발에 대한 사례가 꾸준히 증가되고 있음
- 따라서 새로운 개념의 탈염기술에 대한 원천기술 확보와 실용화를 위한 소재 개발, 모듈 및 공정 설계 기술에 대한 확보가 시급하며, 이를 통해서 향후 신개념 탈염 시장 선점과 더불어 선진외국 기업과 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상됨
- 또한, 막 증발법의 기술 개발은 국내에 이미 막 소재 개발에 기술적 노하우가 축적되어 있고 국내 기업의 관심도가 증가하고 있는 상황이라서 기술 개발 및 이전에 따른 관련 산업 분야에 큰 시너지 효과를 기대할 수 있음

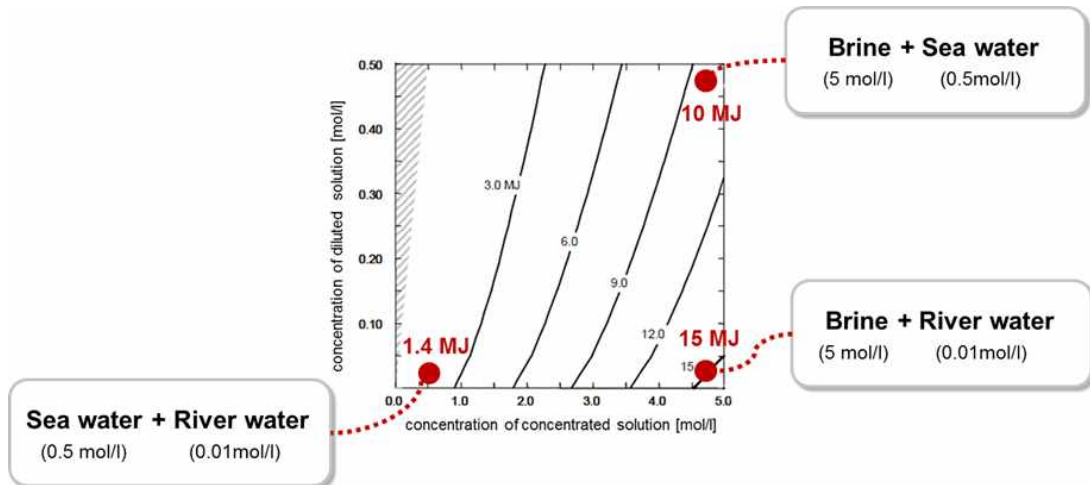


[그림 1-9] 막 증발법 개발에 따른 담수비용 비교표

※ 출처: Seminar: Developing future water technologies - Membranes Dipoli, Espoo, Finland 2011)

□ 염도차 기술을 이용한 해수담수화 공정 효율 제고

- 전 세계적으로, 온난화가 가속화됨에 따라 오존층 파괴, 해수면 상승, 이상기후현상 증가, 농작물재배가능지역의 북상현상 등 수많은 문제점이 대두됨
- 저염도의 담수가 고염도의 해수와 만날 때 발생하는 염도차 에너지의 잠재력은 현재 전세계의 전기 소요량의 80%를 담당할 수 있을 것으로 예측됨
- 염도차 기술은 일정한 전력 생산이 가능하고, 생태학 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 또한, 기존의 탈염기술인 전기투석 (ED), CDI 등의 응용기술이기 때문에 상용화까지의 시간을 단축할 수 있음
- 염도차를 이용한 압력 회수 기술은 삼면이 바다인 국내의 지형적 환경에 매우 유리함
- 1m^3 의 해수(0.5mol/l NaCl)와 1m^3 의 담수(0.01 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염도차 에너지는 약 1.4 MJ 이고, 1m^3 의 농축수(5mol/l NaCl)와 1m^3 의 해수(0.5 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염도차 에너지는 약 10 MJ , 1m^3 의 농축수(5mol/l NaCl)와 1m^3 의 담수(0.01 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염도차 에너지는 15 MJ 임



[그림 1-10] 저농도 용액과 고농도 용액 간 염도차에 의해 발생하는 에너지

※ 출처: J. W. Post, 2009

□ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

- 에너지 및 자원 위기에 대응하기 위해 산업 플랜트로부터 발생하는 부산물을 부산물이 아닌 자원으로 간주하고 이를 활용하여 에너지나 재활용품을 생산하려는 기술 개발 시도가 전 세계적으로 이루어지고 있음
- 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물, 예를 들어 RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등의 방류는 이차적인 환경오염을 유발하며 따라서 이를 처리하기 위해 추가적인 처리 비용이 요구됨
- 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화함으로써 오염물질 무배출 공정을 실현하고, 추가적으로 부가가치를 창출하여 플랜트의 경제성을 향상시킬 필요가 있음
- 해수담수화플랜트의 폐자원 활용 기술은 전 세계적으로도 연구의 초기단계이며 집중 지원을 통해 핵심기술을 선점할 필요가 있음

5. 기획 목적

- 고효율/저에너지/친환경 방식의 해수담수화 기술개발을 통해 세계 해수담수화 분야에서 지속적으로 시장경쟁력을 확보하고 국부를 창출할 수 있는 기술 개발
 - 핵심요소기술 개발뿐만 아니라 실용화 가능한 핵심기술의 조기 상용화 및 이를 체계적으로 조합한 공정기술을 통해 수출 동력을 유발할 수 있는 연구
 - 산업 환경 분석을 통해 발전전략을 수립하고 기술개발과제를 도출
 - 관련 연구기관 및 기업을 육성하고 가시적 성과를 창출할 수 있는 기반구축 및 역량강화

- 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 부산물을 활용하여 유가 자원을 생산하는 핵심 기술 확보
 - 신부가가가치 창출을 통한 해수담수화 플랜트의 경제성 제고
 - 해수담수화 플랜트 폐자원 활용 핵심기술 선점
- 소비 전력량 및 농축수 배출량을 저감할 수 있는 신개념 탈염기술을 역삼투 공정 등과 조합한 하이브리드 해수담수화플랜트 설계, 시공 및 유지관리 기술 확보
 - 세계 담수화플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보를 유도
 - 세계 물 산업시장 선도 및 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 기술 개발

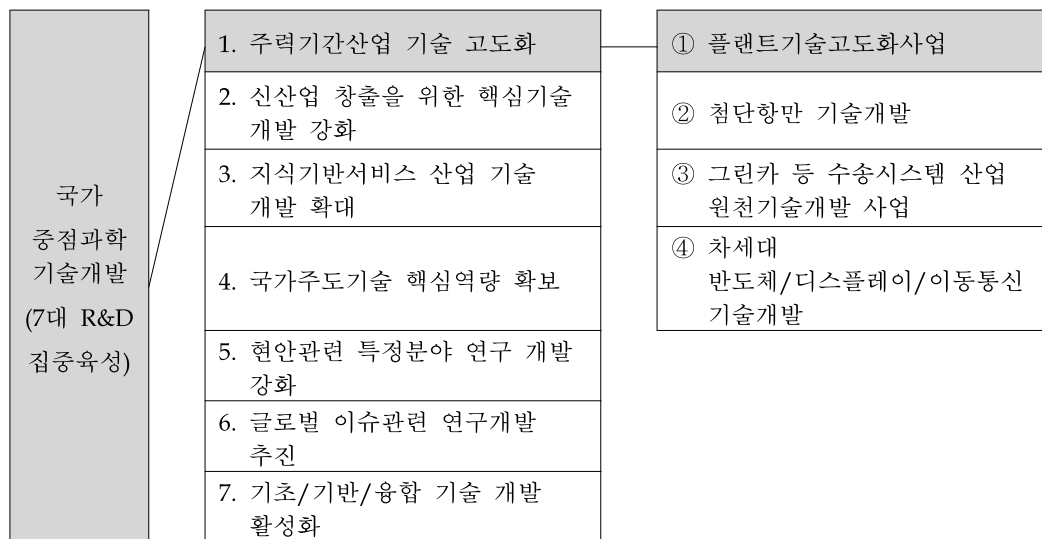
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

제 1 절 국내외 정책 및 연구

1. 국내 정책동향

□ 과학기술기본계획(2008. 8)

- 정부의 총 R&D 투자비율을 GDP 대비 5% 확대와 동시에 7대 중점분야, 50대 중점 육성기술, 40개 중점후보육성기술을 분류 지원
- 해수담수화플랜트 관련 기술은 7대 중점분야의 주력기간산업 기술고도화에 포함



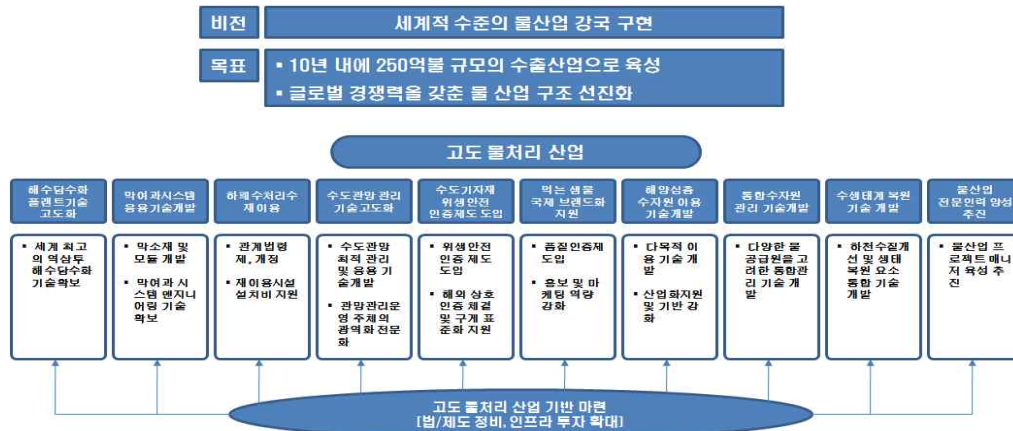
[그림 2-1] 제 2차 과학기술기본계획 내 해수담수화플랜트의 위치

□ 녹색기술 연구개발 종합대책(2009. 1)

- 종합대책에서 다루는 27대 중점육성 기술 중 “대체수자원 확보 기술” 과 “폐기물 저감, 재활용, 에너지화 기술” 분야와 부합

□ 신성장동력 비전 및 발전 전략('09. 1)

- 발굴된 3대 분야 17개 신성장동력사업 중, 녹색성장과의 연관성과 미래시장 유망성을 근거로 선정된 녹색기술산업 분야의 고도물처리 분야에 포함됨



[그림 2-2] 신성장동력 비전 및 발전전략(고도물처리)

□ 수자원 장기종합계획('06.6)

- 2006년 건설교통부의 '수자원 장기종합계획(2006~2020)'에 따르면 국가차원의 잠재적 물 부족 문제 해결을 위해 친환경 중소규모 댐 건설, 농업용 저수지 재개발, 해수담수화를 주된 대안으로 제시하며 확정 발표

2. 국외 정책 및 연구동향

가. 싱가포르

- 싱가포르 정부는 다양한 연구기관 및 기업들과 전략적인 제휴를 통하여 2003년 5억 달러(싱) (GDP의 5%)였던 물 산업을 육성해 2015년 17억 달러(싱) (GDP의 0.6%)의 부가가치와 1만1천개의 일자리 창출하는 것을 목표로 NEWater 프로젝트를 추진하고 있음
- 2007년부터 5년간 수처리기술의 연구개발에 정부가 3.3억 달러(싱)를 투자하고, 미국 Marmon Water (미국 상하수도 기업)는 싱가포르 R&D센터에 5천만 달러(싱) 투자, 싱가포르 기업 Hyflux는 R&D센터 준공에 수백만 달러(싱) 투자하는 등 다양한 지원이 이루어지고 있음
- NEWater 프로젝트는 선진화된 막여과 기술(전처리공정-초미세 여과-역삼투압-자의선 살균으로 구성)을 이용하여 하·폐수로부터 식수 및 공업용수를 공급하는 성공적인 수자원 자립 기반을 확립하여, 현재 4개 공장에서 하루 2억 900만 리터를 생산 (전체 물 수요의 15% 차지)하고 있으며 처리수는 산업용수, 조경수 등으로 이용되고 있음
- 2004년 국가사업으로 수처리 기술 연구개발 R&D센터를 설립, 세계적인 연구소, 대학, 기업들과 협력 강화하고 유치활동을 전개하는 등으로 국제적인 물 산업 허브 육성을 추진

나. 미국

- ☐ 미국은 2003년 자국 내의 핵심목표들을 설정하고, 이에 따른 Desalination Roadmap을 작성하여 연구를 추진하고 있으며, 로드맵을 통해 도출된 주요 기술분야는 다음과 같음
 - o Membrane technology
 - o Thermal technology
 - o Recycling/reuse technology
 - o Concentrate management technology
 - o Alternative technology
 - o Cross cutting technology
- ☐ 장기적인 관점에서 막과 관련한 연구테마는 아래의 3가지임
 - o Smart membrane : 막을 통과하는 오염물 농도의 차이를 감지하여 자동적으로 운전의 성능을 변화
 - o 센서개발 : 유기물과 바이러스 감지 센서와 Biofouling을 위한 센서 및 입자성 파울링 감지 센서
 - o 분리막 자체 연구 : 넓은 범위의 pH, 원수의 농도별 제거능력 조절가능, 바이오 필름에 대한 내오염성 강화

<표 2-1> 미국의 해수담수화 연구 방향 및 기술 로드맵

NATIONAL NEED	Near-term Critical Objectives (2008)	Mid/long-term Critical Objectives (2010/2020)
Provide safe water	• Develop on-demand removal technologies • Remove 60% of synthetics • Microbial removal at 4-6 orders of magnitude (today's removal is 2-3 orders) • Remove endocrine disruptors, MTBE, nitrosamines, perchlorate • Develop true indicators (not just SDI and turbidity) • Surface water and land disposal: Develop science-related concentrate specific regulations related to dispersion modeling of mixing zones and ion imbalance • Subsurface injection: Large scale regional characterization of US subsurface injection capability	• Add all other concentrate specific regulations, refined geographically and addressing cumulative issues. • Demonstrate isolation with hydrologic model of receiving formation and formation scale model of subsurface injection capability of US
Ensure adequate supplies/ensure sustainability	• Decrease cost of reclaimed waters by 20% • Beneficial use: 5% of concentrate • Reduce reject to 15% for non-surface water applications • Maintain stability of reclaimed waters over time	• Decrease cost of reclaimed waters by 50% (Stretch target – 80%) • Beneficial use: 15% of concentrate • Reduce reject to 5% for non-surface water applications
Keep water affordable	• Reduce capital cost by 20% • Increase energy efficiency by 20% • Reduce operating costs by 20% • Reduce cost of ZLD by 20%	• Reduce capital cost by 50% (Stretch target – 80%) • Increase energy efficiency by 50% (Stretch target – 80%) • Reduce operating costs by 50% (Stretch target – 80%) • Reduce cost of ZLD by 50% (Stretch target – 80%)

※ 출처: Desalination Roadmap 2003, USA

※ <표 2-1>에서 알 수 있듯이 미국의 기술로드맵은 해수담수화 결과 발생하는 농축수의 처리와 에너지 효율개선의 중요성을 강조하고 있음

다. EU

- ☐ EU에서 수처리와 관련된 연구는 아래의 총 4가지의 분야로 설명되고 있으나, 해수담수화와 직접적인 관계가 있는 분야는 “Advances in membrane for desalination”임
- o Membrane bioreactor for wastewater treatment
 - o Advances in membrane for desalination
 - o Nanotechnologies for water treatment
 - o Process integration and life-cycle management
- ☐ “Advances in membrane for desalination”은 담수화의 높은 에너지 요구량과 관련

된 단점을 극복하기 위한 연구 중의 하나로 대표적인 프로젝트인 MEDINA 프로젝트가 여기에 속함

- o MEDINA 프로젝트는 2006년 10월 15일부터 36개월간 시행된 프로젝트로 총 7개국이 참가하고, 총 6.4 million euro(96억 : 1500원기준)이 투입된 범 국가적인 연구프로젝트로 아래 5개의 중점분야를 중심으로 연구가 수행되었음
 - 해수의 특성 파악
 - 역삼투막의 파울링에 있어서 전처리공정의 중요성
 - 새로운 막 소재와 모듈의 설계
 - 역삼투막의 세척 방법에 따른 상대적인 효율성 평가
 - 농축수 저감과 염의 회수
- o “Advances in membrane for desalination”에서의 에너지 관련 연구는 하이브리드(역삼투막방식 + 증발식) 방법에 대한 연구, NF 전처리방법, salinity gradient power(SGP) 생성을 위한 연구 (PRO) 등이 활발히 이루어지고 있으며, 또한 에너지 요구량이 많은 MD 기술을 태양에너지를 접목시켜 탄소에너지를 저감시키는 연구도 이루어지고 있음(MEDESOL project)

라. Australia

- ☐ CSIRO Flagship Programme을 통해 새로운 막개발을 목적으로 연구를 수행하고 있으며, 연구의 목표는 효율성증가와 경제적 환경적 비용의 감소임
- ☐ 이외 EU의 MEDINA 프로젝트에 참여하여 RO 전처리공정의 최적화와 새로운 막오염 지표개발 등의 연구가 진행됨
- ☐ 호주 정부는 “Water for the Future” 이라는 장기간 계획의 일환으로 NCED (National Centre of Excellence in Desalination)를 설립, 물 부족과 관련된 기술 중 세계적으로 중요성이 인정되는 기술개발을 목표로 연구를 추진 중
- o 2009년부터 The Murdoch University’s Rockingham campus가 기관의 핵심역할을 맡아서 진행하고 있으며, 초기에 호주 정부로부터 \$20백만의 지원금을 받았으며 또한, 5년간 서부 오스트레일리아 지방 정부로부터 받는 \$3백만의 자금을 재원으로 하고 있음
- o 연구는 태양 및 폐 에너지를 이용한 지하수의 담수화, SWRO(Seawater Reverse Osmosis)가 주변 환경에 미치는 해로운 영향, Forward Osmosis (FO)를 이용한 비료의 동시 생성, membrane biofouling 및 membrane의 코팅에 관한 내용 등 다양한 분야에서 다학제적으로 진행되고 있음

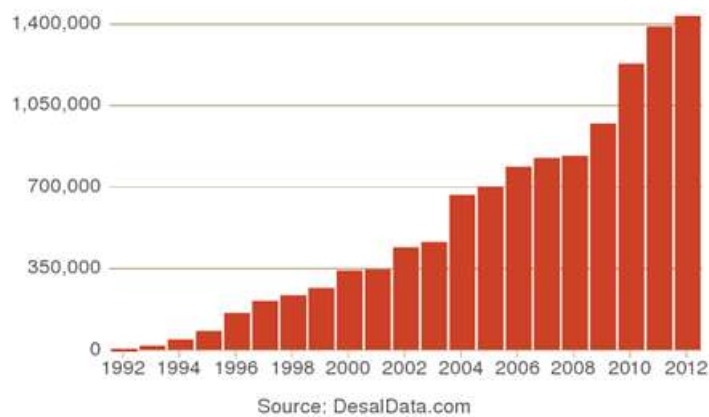
마. 중국

- 15년 이내에 3-5개의 demonstration areas, 2-4개의 엔지니어링 연구센터, 해수담수를 위한 test site등을 건립할 예정
- 과학기술부처에서 주도적으로 MD공정을 적용한 10 m³/d demonstration plant를 2010까지 운전하였음
- FO에 대해서는 membrane 막과 draw solute에 대한 연구를 시행중임

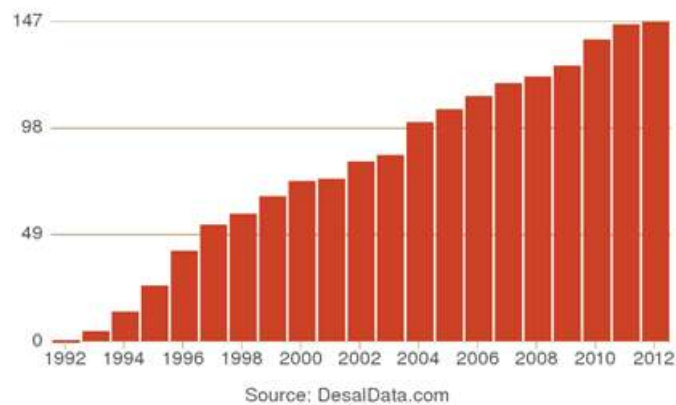
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

- 국내에 가동 중인 해수담수화 시설은 도서지역 식수 해결을 위한 100 m³/일 미만의 소규모 시설이 약 83 %로 대부분을 차지하고 있으며, 도서지역 생활용수 공급을 위한 총 시설 규모는 6,333 m³/일 임
- 석유화학단지에서 공업용수로 이용하기 위해 기수용 담수화 시설이 사용되고 있으며, 현대석유화학 외 7개사에서 총 137,420m³/일 규모로 운영하고 있음



[그림 2-3] 국내 해수담수화 누적 용량

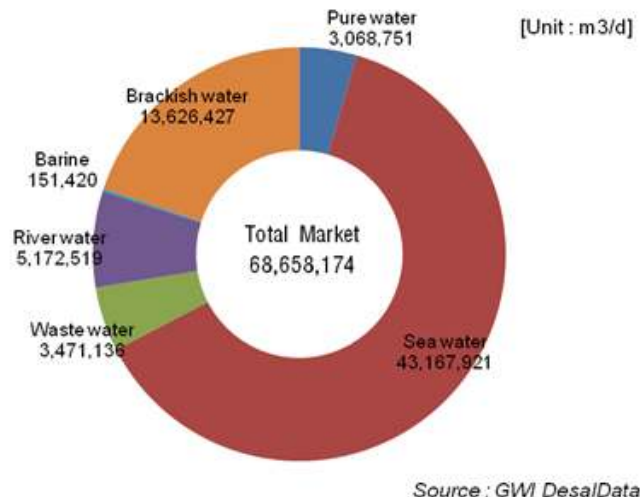


[그림 2-4] 국내 누적 해수담수화 플랜트 시설

- 국내 해수담수화 플랜트 시장규모는 전체 물 시장 규모에 비해 미미하며 주로 해외 시장 확보를 위해 노력하고 있음
- 2011년까지 세계시장 7%, 해외 플랜트 수출 누계 금액 1조원 달성 전망

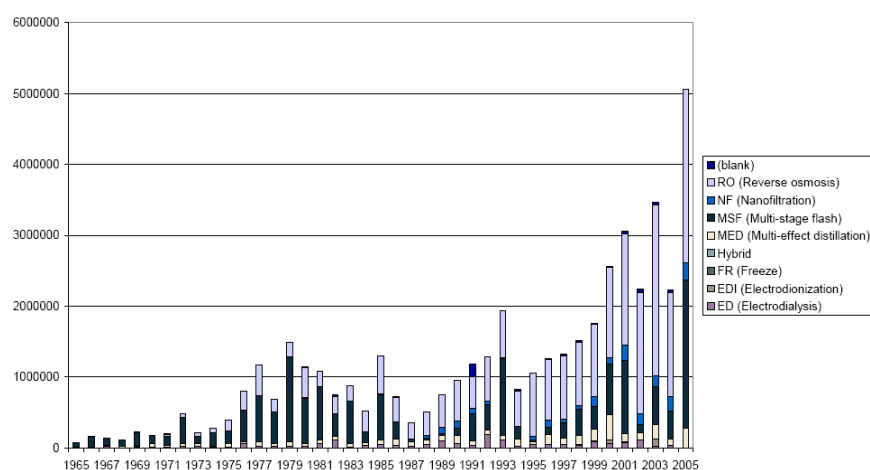
2. 국외 시장현황 및 전망

- 현재 세계 담수화시장은 총 68,658,174 m³/일, 그 중 해수담수화 시장의 규모는 43,167,921 m³/일로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장



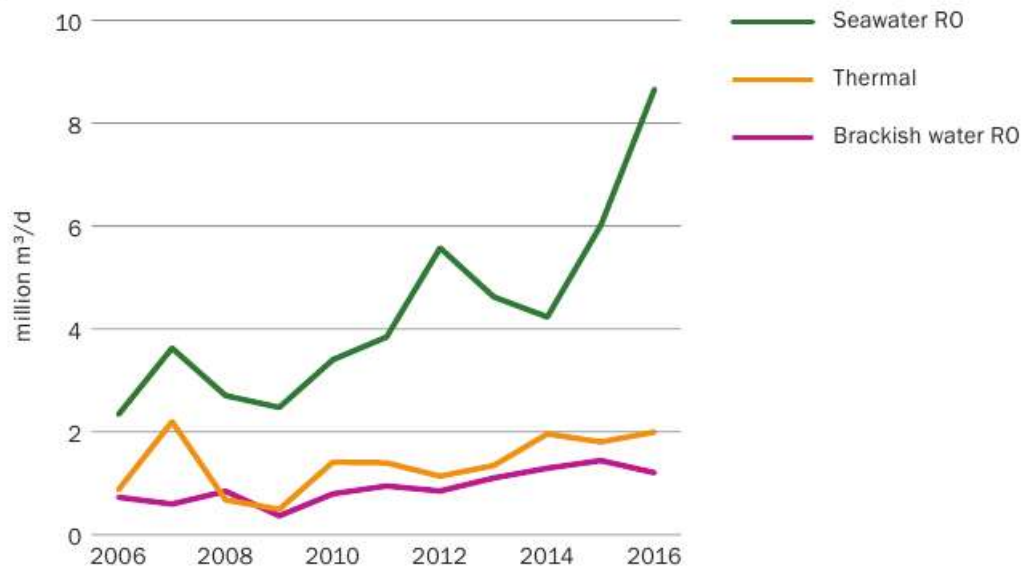
[그림 2-5] 해수담수화 시장 규모

- 1995년 이전에는 역삼투법보다 증발법의 비중이 컸으나, 1995년 이후 부터는 역삼투법의 성장속도가 빨라짐
- 2005년에는 역삼투 해수담수화(Seawater Reverse Osmosis (SWRO)) 45 %, 증발법 32%(MSF 25 % + MED 7 %)에 이르러 SWRO를 중심으로 시장이 재편되었음
 - 이러한 경향은 지속적으로 진행될 것으로 예상되어, SWRO는 향후 전체 해수담수화 시장의 70 %이상을 점유하는 시장 지배적인 기술이 될 것으로 예측됨



[그림 2-6] 담수화 수주 용량 (공정별, 연도별)

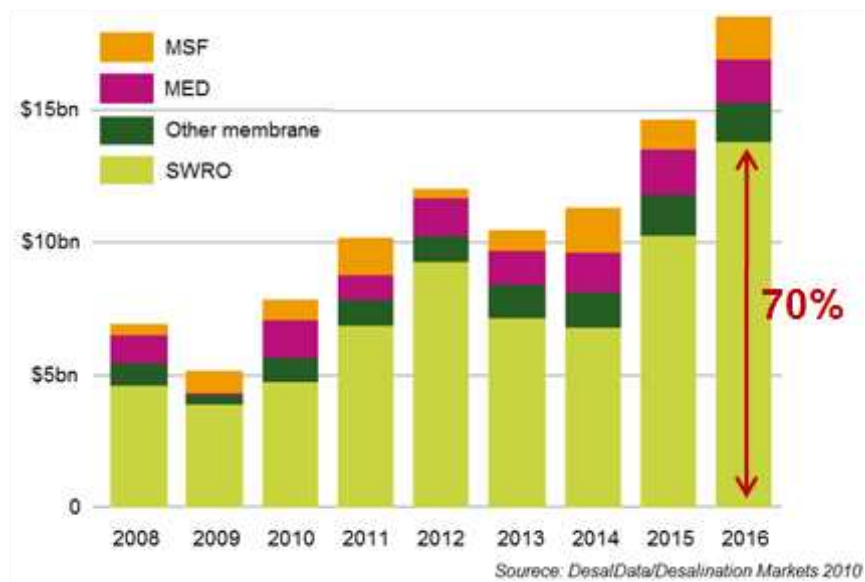
※ 출처 : 해수담수화플랜트 사업단 상세기획연구



[그림 2-7] 해수담수화 방식별 발주량 예측

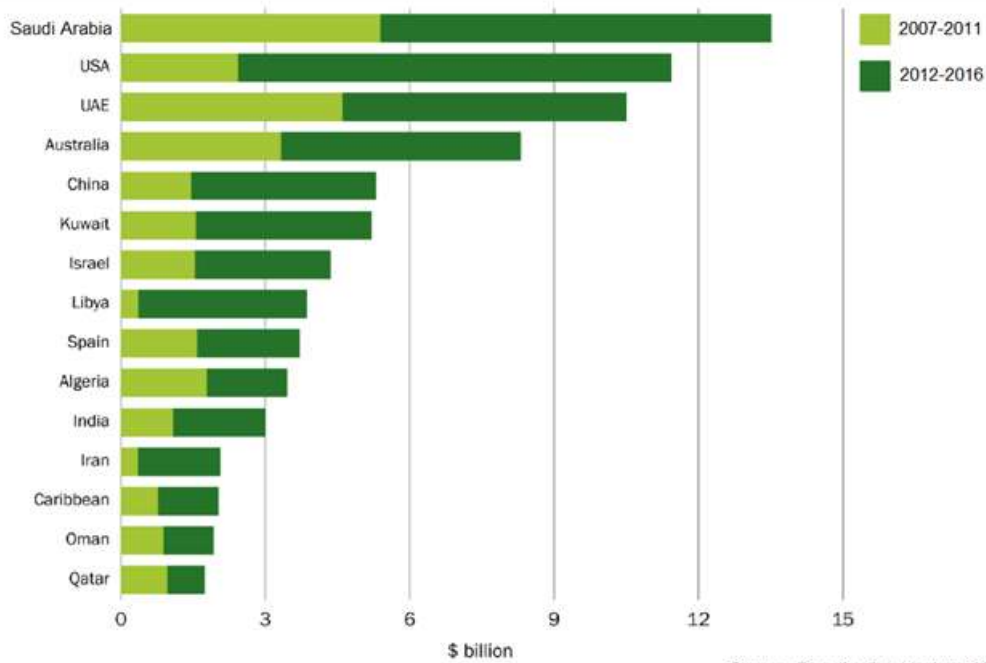
※ 출처 : GWI Desal Data

- 이와 같은 공정별 수주량의 변화 및 발주량의 예측결과는 시장규모에도 그대로 반영되어 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 연평균 20 %씩 성장하여 2016년에는 130억 달러에 달할 것으로 예상됨



[그림 2-8] 담수화 방식별 해수담수화 시장 규모 및 전망

- 주요 국가별 담수화 시장규모를 살펴보면, 향후에도 중동지역을 중심으로 시장이 형성될 것으로 예상되나, 미국을 중심으로 북미지역 및 호주, 중국 등의 시장도 급격히 증가할 것으로 예상되어, 전체적인 시장은 다변화될 것으로 전망됨



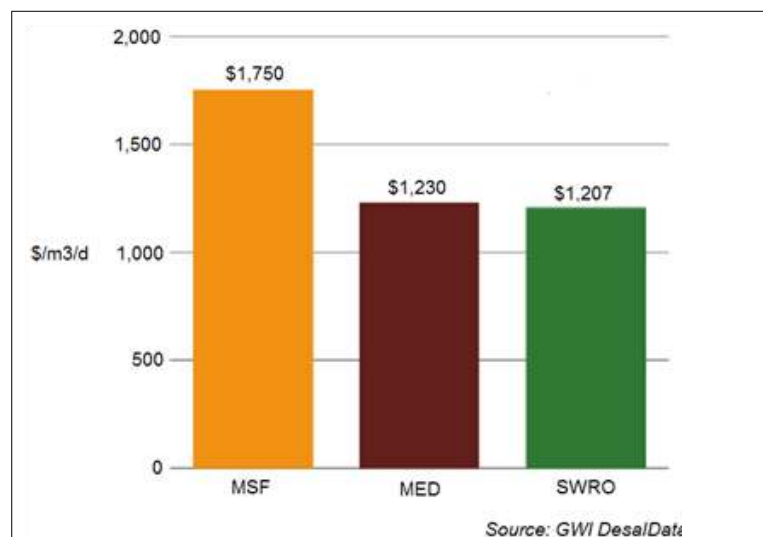
지역	2007~2011년		2012~2016년	
	시장규모 (\$ billion)	점유율(%)	시장규모(\$ billion)	점유율(%)
중동	16.1	54.9%	27.5	53.0%
북미	3.3	11.3%	10.4	20.0%
호주	3.3	11.3%	5.0	9.6%
아시아	2.8	9.6%	5.5	10.6%
북아프리카	1.9	6.5%	1.6	3.1%
유럽	1.8	6.1%	2.0	3.9%
합계	29.3	100.0%	51.9	100.0%

[그림 2-9] 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망

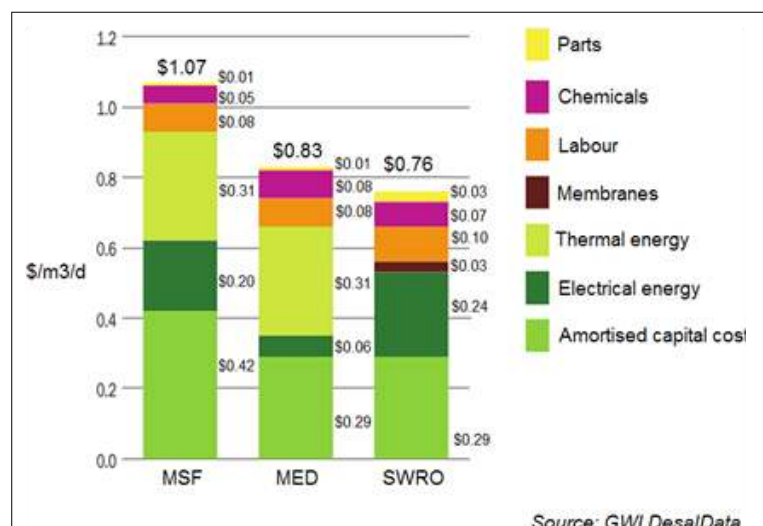
3. 시사점

가. RO방식의 해수담수화 플랜트의 장점과 향후 발전 방향

- 해수담수화플랜트시장이 RO방식을 중심으로 시장이 재편되는 주요한 이유는 경제적인 이유임
- 현재 해수담수화 시장의 주요기술인 MSF, MED, RO방식의 EPC 가격 및 운영비용은 비교하면, RO방식의 EPC 가격 운영비용은 각각 1,207 \$/m³/일, 0.76 \$/m³/일로 기존 MSF 방식에 비해 30 % 가량 낮아 경제성이 매우 높음



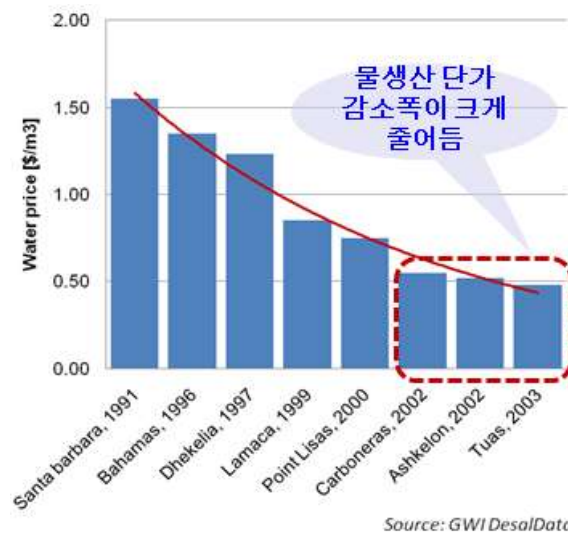
(a) 담수화 방식별 생산수 톤당 EPC 가격



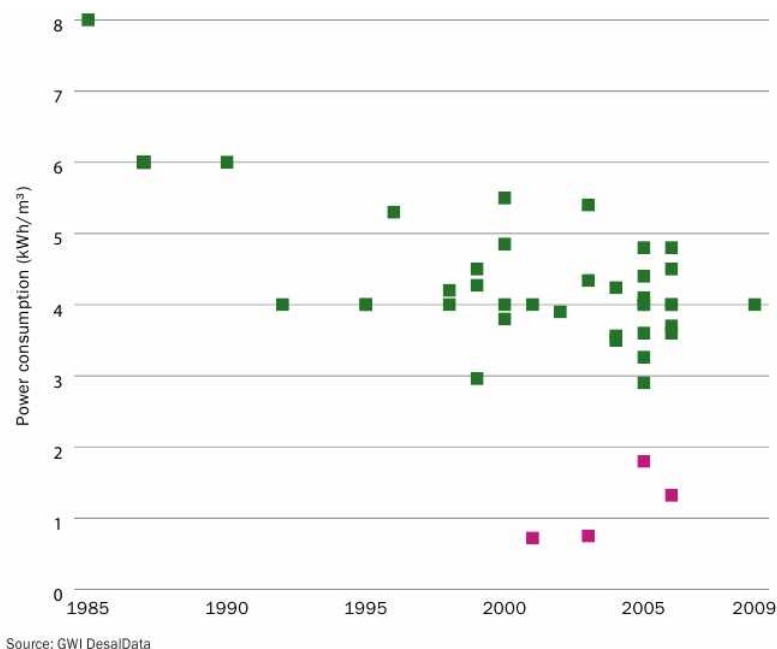
(b) 담수화 방식별 생산수 톤당 운영/유지비용

[그림 2-10] 담수화 방식별 물 생산 비용

- RO방식의 해수담수화는 지금까지는 기술개발에 의해 물 생산단가는 지속적으로 감소하였지만 그 감소폭은 점점 감소하고 있어 RO공정의 효율 향상만으로는 그 한계가 있는 것으로 전망됨
- 이는 RO공정 플랜트에서 유지/운영비의 50%정도를 차지하고 있는 에너지비용에서 기인하는 문제로, SWRO의 전력소요량이 1995년 이후 3~5 kWh/m³으로 1985년 대비 50% 이상 급격한 감소를 이루었으나 현재는 감소폭이 현저하게 줄어들었음
- 따라서, 향후 해수담수화플랜트 기술개발에 있어서는 소비 전력비용 절감이 가장 큰 이슈로 부각될 것으로 예상됨



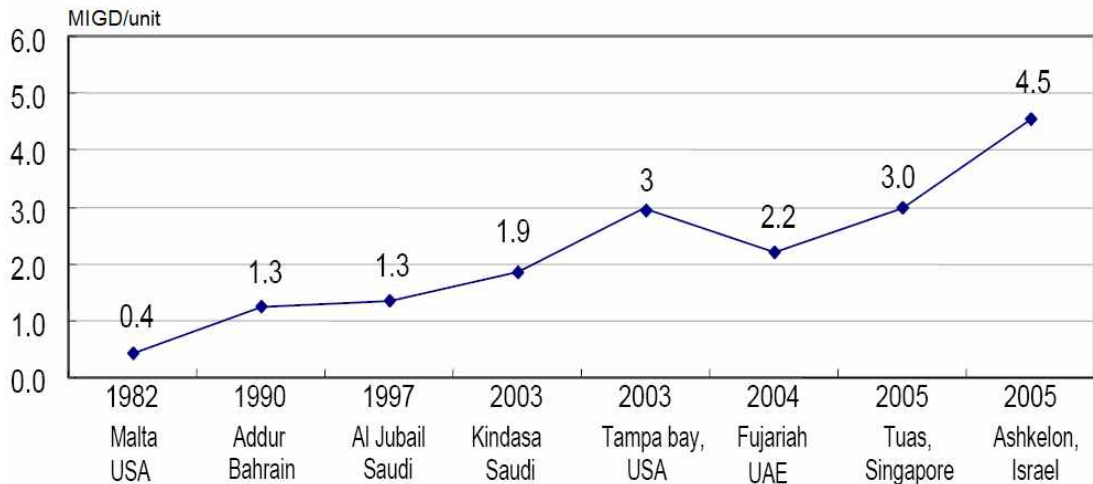
[그림 2-11] RO방식의 물 생산 단가 변화 추이



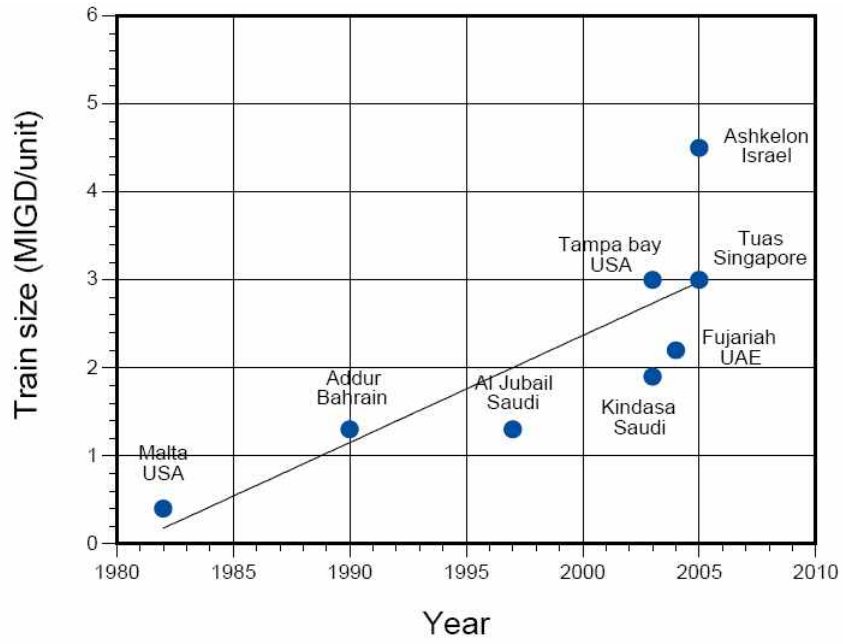
[그림 2-12] RO방식 담수화 플랜트의 물 생산 톤당 요구 전력량

나. 담수화 플랜트의 용량과 경제성

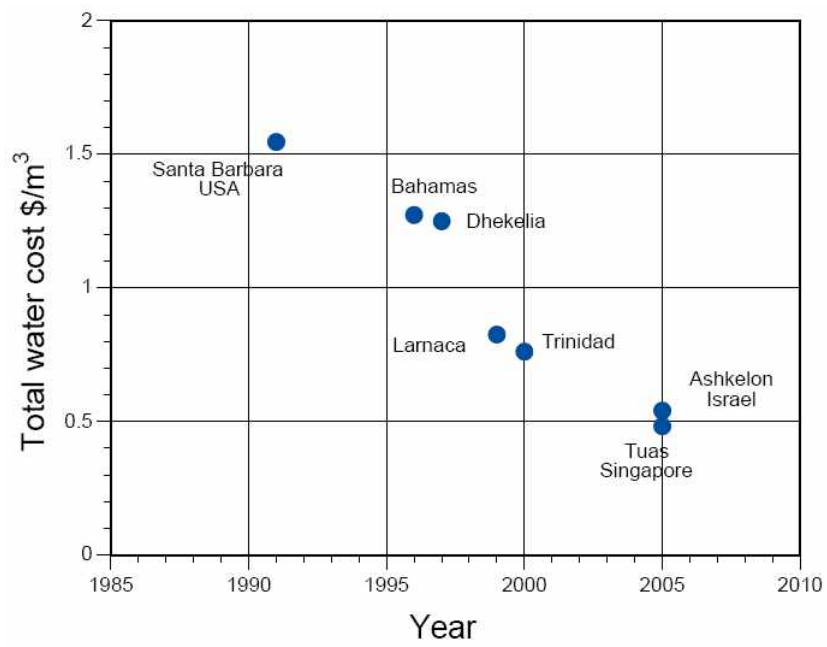
- RO방식의 해수담수화 프로젝트의 발주 실적을 살펴보면, 50,000 m³/일 이상 급의 대형위주의 플랜트 방식으로 전환되었으며, RO방식의 해수담수화 시장의 높은 성장률은 대부분 50,000 m³/일 이상의 대형 플랜트 중심으로 이루어졌음
- 이는 Unit Capacity를 대형화함으로써 전력 소모량을 감소시켜 전체 운전비용을 저감시킬 수 있었기 때문임
- 현재 전 세계 RO해수담수화 선두업체에서는 Unit size가 3~3.3 MIGD (Million Imperial Gallons per Day) 기술을 보유한 기업이 주도하고 있으며, 국내 선두업체인 두산중공업은 현재 3.3 MIGD까지 설계 능력은 있으나, 플랜트에서 입증되지는 않은 상태임
- 2006년 비올리아에서 공급한 Israel Ashkelon 프로젝트는 4.5 MIGD급으로 진행되었으며, 전체 프로젝트 규모가 73 MIGD에 이르고 있음
- Unit capacity는 시장점유율과 직접적인 연관이 있어 10 MIGD이상 RO프로젝트 수행업체는 전 세계적으로 24개가 존재하며, 이중 Top 5 업체가 시장의 70 %를 점유함



[그림 2-13] 해수담수화 유닛 용량 (unit capacity)의 변화 추세



[그림 2-14] Train size 변화 동향



[그림 2-15] 생산비용 단가 동향

<표 2-2> MIGD 이상 대형 RO 업체 (수행 RO 프로젝트 기준)

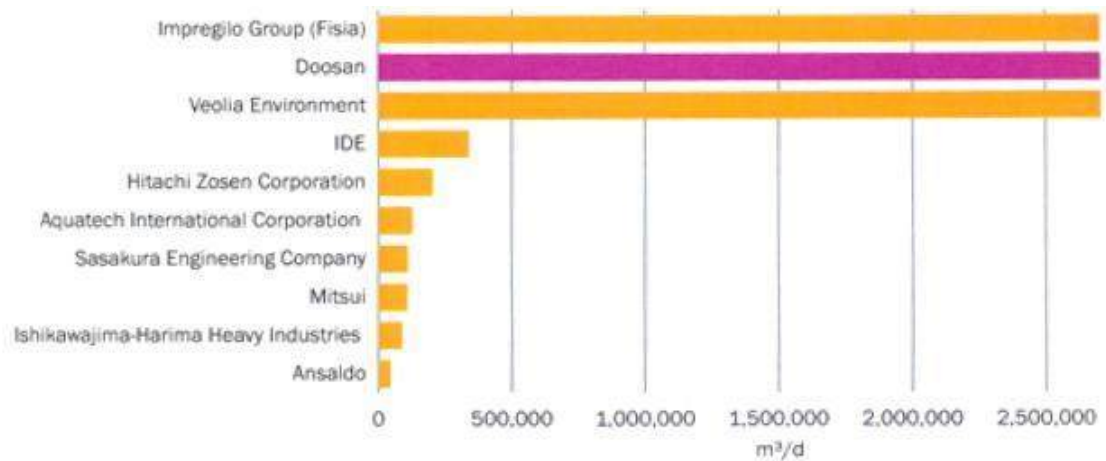
	Company	MIGD	M/S	Number of project	Feed water
1	VEOLIA (FR, OTV, ARABIA, USA)	198	19%	5	SW 79%, BW 5%, River 16%
2	ONDEO(FR, ES)	173	16%	6	SW 42%, BW 58%
3	IDE IL	127	12%	3	SW 100%
4	ADVANCED EWT/ES US	97	9%	5	BW 20%, River 80%
5	IONICS US	91	9%	2	SW 27%, Waste 73%
6	VATECH WABAG AT	83	8%	4	SW 22%, BW78%
7	CADAGUA ES	68	6%	4	SW 100%
8	PRIDESA ES	66	6%	4	SW 100%
9	ABENSUR ES	63	6%	2	SW 42%, BW 58%
10	ABENGOA ES	51	5%	3	SW 100%
11	INIMA ES	42	4%	3	SW 100%
12	HYDROCHEM SG	30	3%	1	SW 100%
13	CAMP DRESSER US	30	3%	1	Waste 100%
14	EMCO US	23	2%	1	BW 100%
15	NOMURA JP	22	2%	2	Pure 100%
16	POSEIDON US	21	2%	1	SW 100%
17	HYDROPRO US	20	2%	2	BW 100%
18	VIAMARIS IL	18	2%	1	SW 100%
19	KYOUWAKIDEN JP	13	1%	1	SW 100%
20	SFA US	12	1%	1	BW 100%
21	INFILCO ES	11	1%	1	SW 100%
22	USF CULLIGAN US	11	1%	1	BW 100%
23	WITTEVEEN NL	11	1%	1	River 100%
24	MEMBRANE SYS US	10	1%	1	River 100%
	Total	1,291	122%	56	

다. 해수담수화 방식별 세계 주요업체의 수주량

- 국내업체 중에서 해수담수화 시장에 진입한 기업은 메이저 업체로는 두산중공업과 현대중공업이 대표적이며, 그 밖의 기업은 지역적 소규모 시장이나 혹은 시장진입을 목표로 함
- 2009년 현재 수주물량이 발생한 EPC업체로는 두산중공업이 유일한 것으로 조사되며, 현대중공업의 경우 증발식에 있어 일부 건설부분을 진행
- 증발식에 있어 두산중공업은 세계적인 기업으로 성장하여 세계시장에서 3강에 속하고 있으나, 중동시장에 치우친 시장성과 지속적인 RO중심으로의 시장재편으로

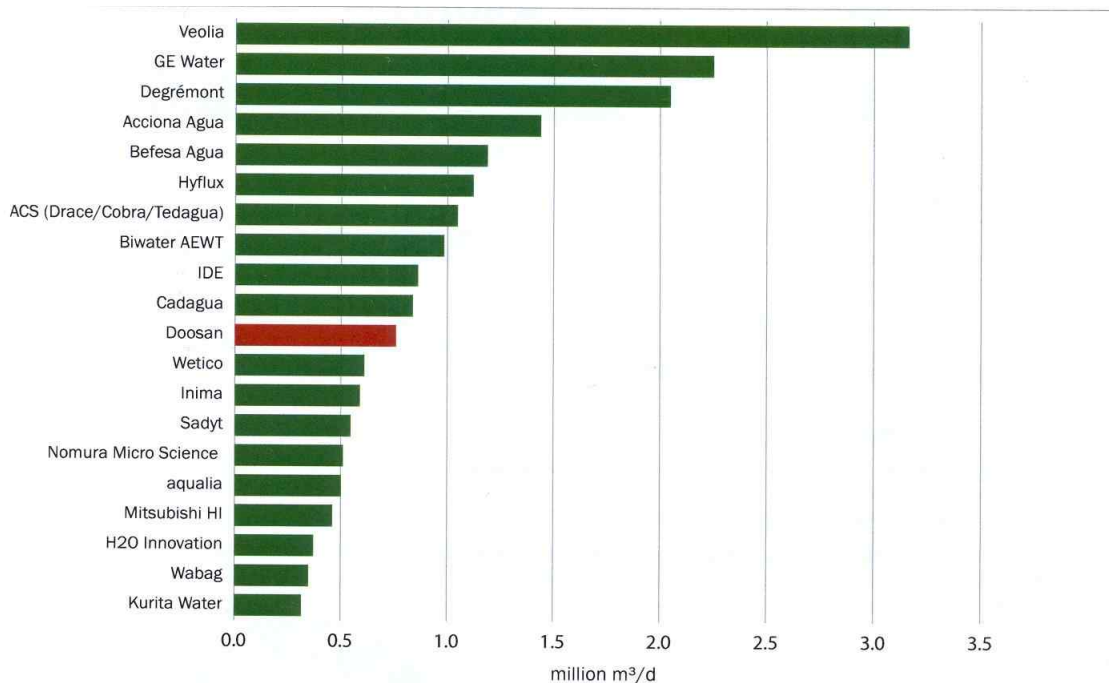
인하여 향후 세계시장에서의 위치를 유지하는데 있어 어려움이 있을 것으로 예상됨

- o RO방식에서는 2009년까지 두산중공업이 유일하게 EPC를 진행하였으나, 세계시장에서 11위에 그치고 있으며, 세계 1위 비올리아에 비하여 20% 수준에 불과하여 시장경쟁력은 높다고 할 수 없음
- o RO 방식에 있어 국내업체의 수주량 부족은 빠르게 급변하는 시장에 대한 대처가 늦어 발주 물량에 빠른 대응이 어려웠음을 간접적으로 시사하고 있음



Source: GWI DesalData

(a) 증발법에 있어 두산중공업의 수주량 비교 (2000~2009)



Source: GWI DesalData

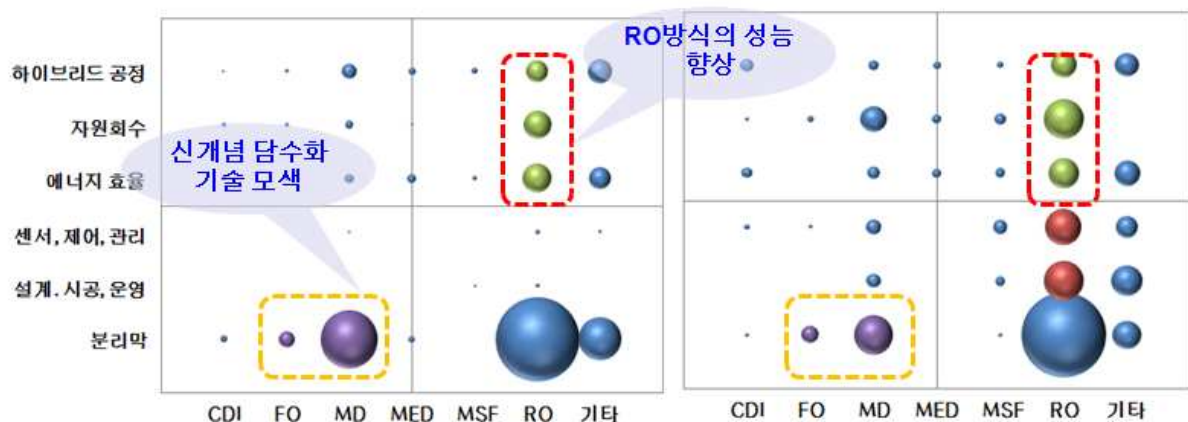
(b) RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000~2009)

[그림 2-16] 해수담수화 방식별 세계 주요업체의 수주량

제 3 절 기술동향분석

1. 기술동향분석

- 논문 및 특허의 기술방식에 따른 분석과 기술분야에 따른 분석결과를 합쳐서 살펴 보면, 현재 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야는 RO방식에 사용되는 분리막, MD와 FO를 중심으로 하는 새로운 담수화 기술에 대한 연구와 RO방식의 성능향상(효율향상, 전력원의 다양화 및 재이용)을 위한 연구가 새로운 트렌드로 나타나고 있음
- 이러한 트렌드는 현재 시장에서 요구되고 있는 농축수 저감 및 에너지 관련 문제에 대처하기 위한 방안으로써 제시되는 것으로 분석됨
- 향후 담수화플랜트기술 및 시장은 RO방식과 신기술이 융합된 형태를 중심으로의 재편이 가속화할 것으로 전망됨



[그림 2-17] 기술분야별 논문 및 특허 포트폴리오 분석

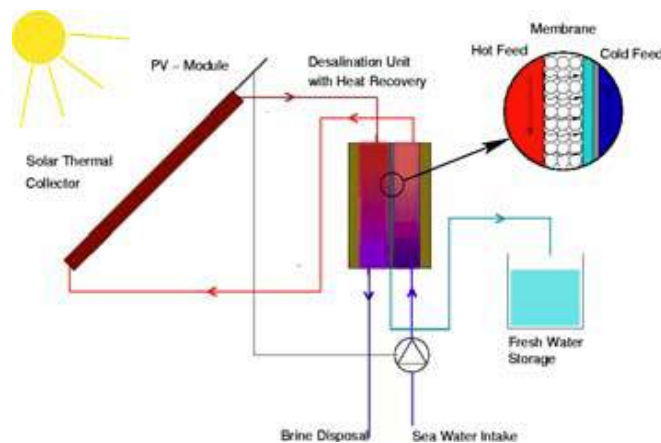
가. 막 증발법 (Membrane distillation, MD)

- 프라운호퍼 태양열 에너지 시스템 연구소
 - 프라운호퍼 태양열 에너지 시스템 연구소(Fraunhofer institute for Solar Energy Systems, ISE)의 연구소에서는 독립적 전력 공급을 통한 분산된 소형 수 처리설비를 개발하여 이에 대한 시험을 성공적으로 마침
 - 유럽연합이 지원하는 두 개의 프로젝트를 통해서 개발된 콤팩트 설비는 바닷물이나 기수(brackish water)로부터 일일 12~15 L의 식수를 생산할 수 있음
 - 본 시스템은 6 m²의 태양열 집열기(thermal solar collectors), 펌프에 전력을 공급할 수 있게 해 주는 작은 태양광모듈(photovoltaic module)과 담수화 모듈(desalination module)로 구성되어 있음

- 프라운호퍼 연구소의 연구진은 여러 개의 담수화 모듈이 연결되는 쌍회로 시스템(dual-circuit system)을 고안. 이 시스템은 성능 면에서도 뛰어나서, 일일 수 m^3 의 물을 생산할 수 있으며, 이 설비가 상업화에 들어가 대량 생산되면, 1000 L의 물 생산가가 10 유로에 근접하게 되어 현재의 물 생산 가격과 비교할 때 단시간 내에 수익성을 얻을 수 있을 것으로 평가됨



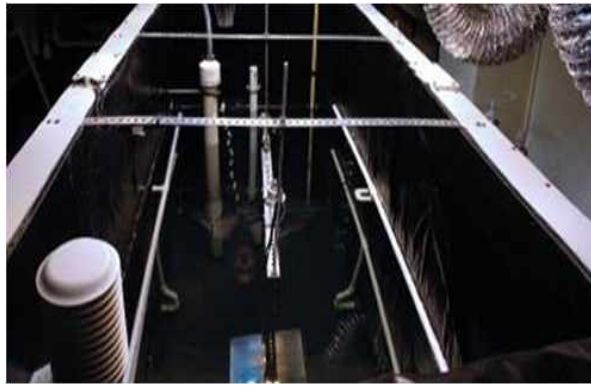
[그림 2-18] ISE의 Solar-MD 설비



[그림 2-19] ISE의 Solar-MD 공정도

□ University of Nevada

- 미국 네바다대학에서는 물을 담수화하기 위해 막 증발법과 특성화된 저 비용 태양 연못(solar pond)을 접목한 하이브리드 membrane distillation 시스템을 구축
- 네바다대학교의 수아레즈(Francisco Suarez)가 개발한 본 시스템은 물의 유출이 없고 높은 강수량을 기록해 무기염류와 염분이 집중되어 있는 폐쇄된 분지 지역 생태계를 지속 가능하게 만드는 데 도움을 주도록 설계되어 있음
- 이 공정은 실험실에서 수행된 400 갤런의 수조를 이용한 작은 규모의 실험에서 성공적임이 입증되었으며, 연구진은 개방된 환경에서 저온 담수화 시스템의 형태로 논증할 수 있는 시범 프로젝트를 구축하여 막 증발 시스템 적용성을 입증함



[그림 2-20] University of Nevada의 태양열 온수지 시스템

□ New Jersey Institute of Technology Center for Membrane Technologies

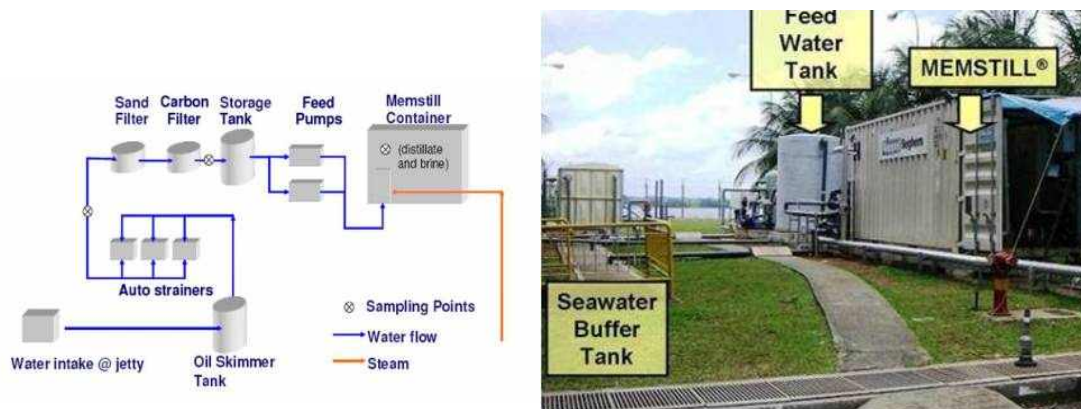
- o 담수화를 기반으로 하는 DCMD를 위한 소규모의 파일럿 플랜트가 건설되어 성공적으로 3달 동안 매일 United Technologies Research Center, East Hartford, Connecticut에 의해 운영되었음
- o Connecticut의 Long Island Sound로부터 운송해온 바닷물과 3.5%, 6%또는 10% 수준의 염을 함유한 도시폐수를 사용하여 90-93 °C에서 hot brine으로 사용하였고 20-54°C에서 증류를 함
- o 1-10개의 수평, crossflow 증공사 막 모듈은 2,448 또는 2,652개의 증공사를 가지고 있으며 0.61~0.66 m²의 표면적을 가지고 있으며, 플랜트 성능의 연구를 위해 다양한 형태로 조합 시험됨
- o 최대 water vapor flux는 계열 중 2개의 모듈에서 55 kg/m²/h를 보였고, 6-10 모듈로 구성을 하였을 때 15-33 kg/m²/h사이의 변화를 나타내었으며, 최대 처리수 생산량은 2.35 L/min에 달함
- o 플랜트는 도시하수 또는 해수로부터 염분 농도가 10 %까지 농축되었을 때 매우 적은 flux 감소를 보이며 성공적으로 운영되었으며, DCMD process에서 물공급 비용은 steam cost에 근거하여 RO 공정에 비해 저렴하여 경쟁적이 있다고 보고됨



[그림 2-21] New Jersey Institute of Technology Center의 MDMC 시스템

□ MEMSTILL® Pilot Plant

- o MEMSTILL은 Keppel Seghers Belgium N.V.와 TNO가 포함된 컨소시엄 프로젝트로서, 막 증발법을 이용하여 기존 RO 공정을 대체하는 담수화 기술을 개발하는 것으로 목표로 함
- o 발전소, 쓰레기 소각장 등 폐열이 발생하는 플랜트로부터 저급의 에너지를 이용하여 염을 함유한 물을 증발시키고 응축하는 과정을 통해 거의 증류수에 가까운 품질의 생산수를 생산 가능하도록 시스템을 구축
- o 첫 시도는 2006년 싱가포르 Senoko refuse incineration plant를 대상으로 3 m³의 평막을 이용하여 2 m³/day 규모의 막 증발법 장치를 시범운영 하였으며, 막면적으로 20배 증가시켜서 테스트를 수행
- o 이러한 결과를 바탕으로 네덜란드 EON 파일럿플랜트를 이용하여 1차보다 10대 향상된 기술을 확보하였으며, 싱가포르에 실증플랜트 구축을 진행 중에 있음



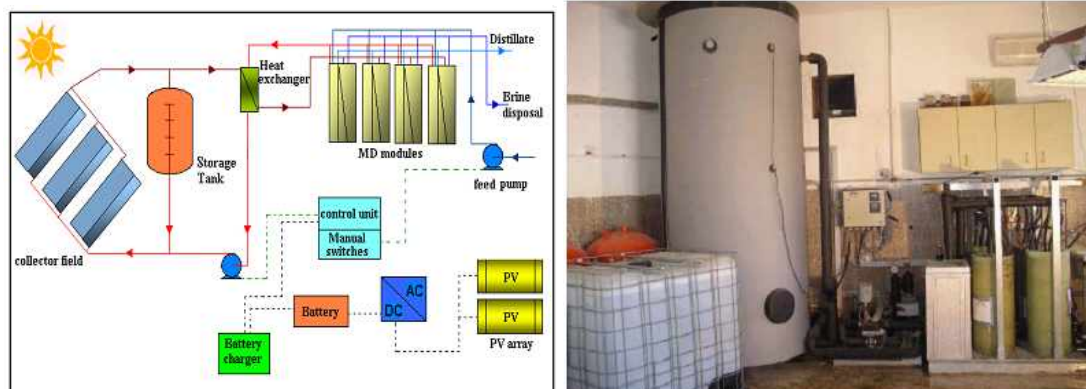
[그림 2-22] MEMSTILL® pilot plant at Senoko Refuse Incineration Plant

	Memstill		Memstill		RO	RO
	Cogeneration LP steam	Cogeneration 85 C	Waste heat		"minimum"	"Wilf"
Energy costs						
Heat (MJ /m ³) (cost in €/GJ)	231 (2.00)	231 (0.80)	139 (0.80)	231 (0.10)		
Electricity (kWh /m ³)	0.75	0.75	0.75	0.75	2.5	4.5
Heat cost (€/m ³)	0.46	0.19	0.11	0.02		
Electricity cost, 0.07 /kWh (€/m ³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18	0.32
Fixed costs						
Hardware (excl. membranes) (€ per m ³ -day)	165		165		750	1000
Modules/elements (€ per m ³ -day)	214		233		35	49
Hardware cost (€/m ³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23	0.30
Module cost (€/m ³)	0.11	0.11	0.12	0.12	0.02	0.03
Auxiliary: (€/m ³) O&M, chemicals., filters etc.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.09	0.09
Water costs-total (€/m³)	0.70	0.43	0.36	0.27	0.52	0.74

[그림 2-23] MEMSTILL® 담수생산 단가 비교

□ Autonomous membrane distillation pilot plant

- [개요] SMADES EC가 후원하는 프로젝트를 통해 태양열 MD units가 요르단의 Aqaba city에 Fraunhofer Institute에 의해 설치됨
- [장치 구성] 3개의 subsystem으로 구성됨(solar collector field, heat exchanger, membrane distillation module)
- Feed : Red sea의 실제 해수로 전처리 과정 없이 사용



[그림 2-24] Automomous Pilot Plant 공정도 및 사진

- o Greenlysis의 설립 이유

-
- The diagram illustrates a decentralized water treatment system for a village. The process begins with 'Decanted effluent from WWTP' (wastewater treatment plant) entering the 'Pilot secondary treatment' stage. This stage feeds into 'UF + UV (Pre-treatment)', which then leads to 'Membrane Distillation'. The output of Membrane Distillation goes to the 'PEM electrolyser', which produces 'O2' and 'H2'. The 'O2' is stored in a tank and fed back into the 'Pilot secondary treatment' stage. The 'H2' is stored in a tank and fed into a 'Hydrogen vehicle'. The 'PEM electrolyser' also feeds into 'Batteries'. The 'Batteries' feed into an 'Energy manager', which then feeds into 'Cooled panels (photovoltaic)' and a 'Windmill'. The 'Cooled panels (photovoltaic)' and 'Windmill' feed into 'Optimised solar collectors', which then feed into the 'PEM electrolyser'. A legend indicates that blue lines represent Water, green lines represent Gases, yellow lines represent Electricity, red lines represent Heat, and dotted lines represent Information.

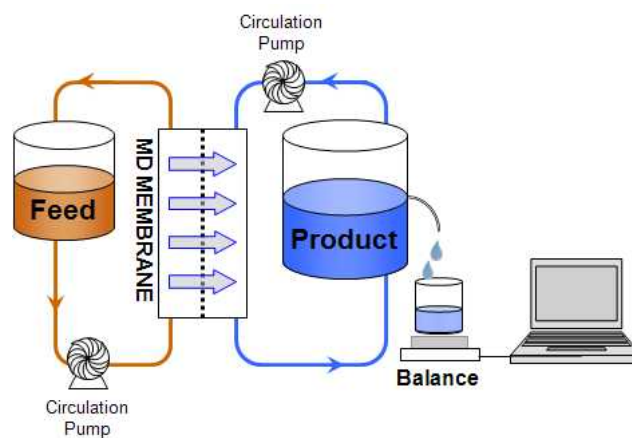


– 33 –

□ Blowdown water and geothermal brine pilot plant

o Bench scale testing

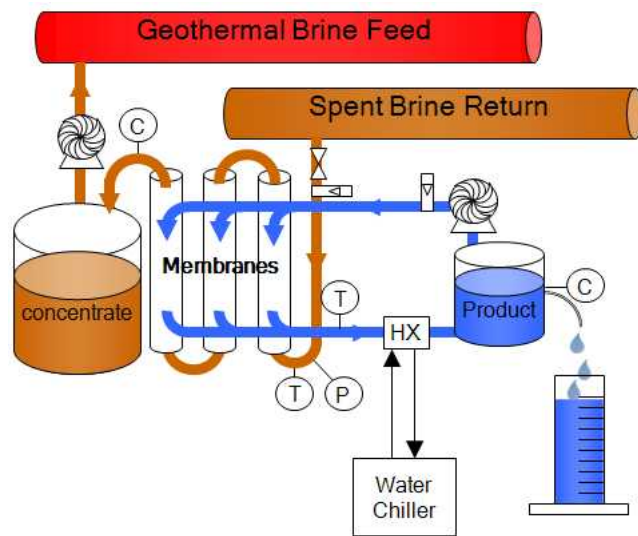
- water flux, batch recovery, salt rejection을 모니터링
- Imperial Valley의 cooling tower로부터 물 공급
- operation cycles의 끝에서 membrane cleaning 테스트 수행
- Degasification 실험
- 장치구성 ① Flat sheet membrane : Polypropylene PTFE (Teflon®)
- ② Tubular membrane



[그림 2-26] Bench Scale 장치

o Pilot scale testing

- Feed solution으로써 geothermal brine을 처리
- water flux, system 온도, salt rejection을 모니터링
- Tubular membrane을 사용



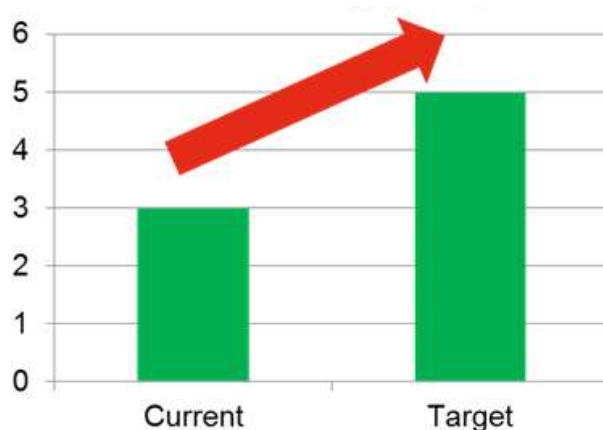
[그림 2-27] Pilot scale 장치

나. 압력지연삼투 (Pressure retarded osmosis, PRO)

- 압력지연삼투(PRO)의 경우 미국, 유럽, 싱가포르 등지에서 막의 제조 및 막의 성능 평가가 이루어지고 있으나, 정삼투 막 제조에 중점을 두고 만들기 때문에 압력지연삼투공정의 전용막이라고하기에는 역부족이며 또한, 막을 위주로 연구가 진행됨에 따라 전체 공정에서의 성능평가가 이루어지지 않는 실정임
- 국내에서도 정삼투막을 개발하면서 압력지연삼투 막에 대한 연구도 이루어지고는 있으나 미비한 실정
- 전 세계적으로 노르웨이의 Statkraft 사만이 파일럿 플랜트를 보유하고 있으며, 현재 파일럿 플랜트의 평균 전력밀도는 3 W/m^2 이며, 경제성을 확보하기 위한 목표치는 5 W/m^2 임



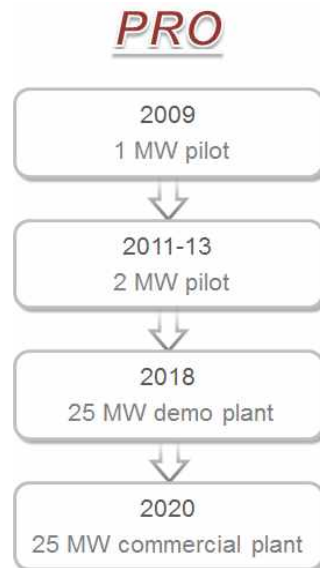
[그림 2-28] Statkraft 사의 PRO 파일럿 플랜트 전경 (Tofte, Norway)



[그림 2-29] 압력지연삼투(PRO)공정의 전력밀도 (INES workshop report, 2010)

□ Statkraft 사의 PRO 플랜트 건설계획

- 2009년: 최초의 프로토타입 플랜트 건설
- 2011-13년: 2 MW 파일럿 플랜트 건설예정, 막 면적 200,000-400,000m²
- 2018년: 25 MW 데모 플랜트 건설예정, 막 면적 5,000,000m²
- 2020년: 25 MW 상업 플랜트 건설예정, 막 면적 5,000,000m²
- 2030년: 전 세계에 약 30개의 플랜트 건설 목표



[그림 2-30] 압력지연삼투(PRO) 플랜트 건설계획 (Statkraft 사, Norway)

다. 해수담수화 플랜트 부산물 자원화

- [국내] 기존 해수담수화 플랜트 사업단에서 일부 기술 개발에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행되고 있음
 - 1핵심 4세부과제에서 RO농축수로부터 마그네슘과 천연소금을 회수하는 기술에 관한 연구가 이루어짐
- [국외] RO 농축수를 비롯한 해수담수화 플랜트 부산물로부터 유가 자원을 생산하는 기술은 미국, 일본, 유럽의 선진국들을 중심으로 산발적으로 연구되고 있음
 - 미국의 MWH사와 Sandia National Lab에서 2006년부터 현재까지 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 RO농축수로부터 유가금속, 산염기, 인, 염소 등의 자원을 회수하는 기술 개발 연구를 다양하게 수행하고 있음
 - 호주에서는 2009년부터 운영된 Gold coast 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물을 활용하여 경화체(벽돌 등)를 제조하는 기술 개발 연구가 진행되고 있음

2. 특허분석

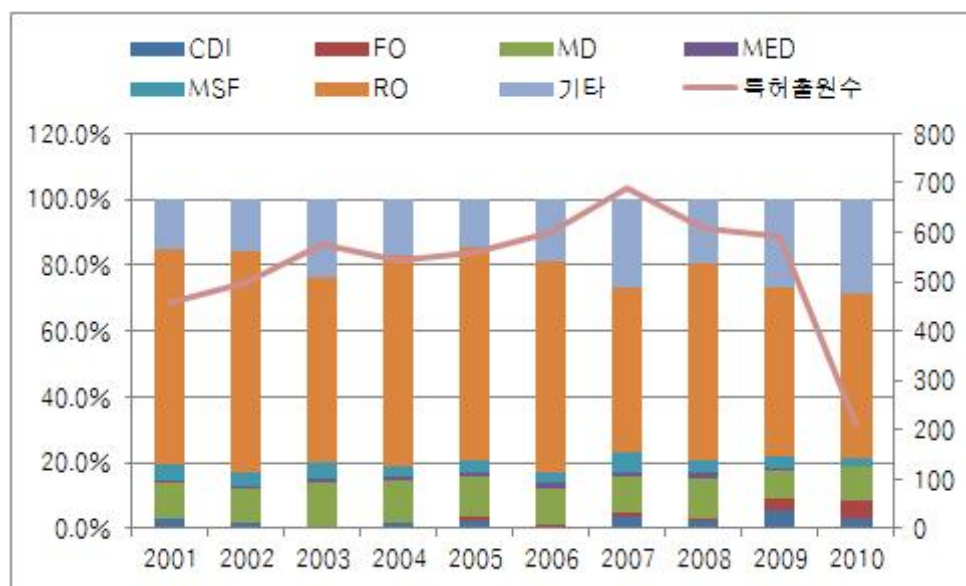
가. 해수담수화 관련 특허 동향

- ☐ 등록된 특허 데이터베이스를 이용하여 2001년 이후 10년간 공개된 특허의 제목과 초록을 대상으로 검색

<표 2-5> 특허검색방법

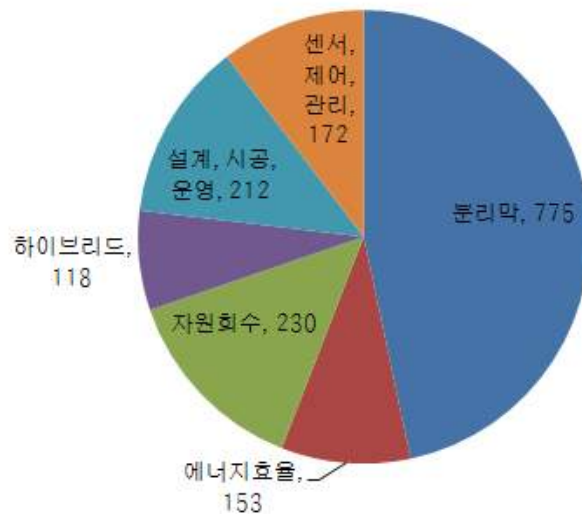
특허 검색 조건	방법
검색 Domain	미국, 일본, 유럽특허청과 PCT 출원·등록 및 공개특허
검색 DB	미국, 일본, 유럽 특허청
검색 기간	2001년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일
검색 범위	제목과 초록
검색 키워드 구성	IPC 분류코드 + 키워드 검색

- ☐ 최근 10년간의 특허 분석 결과를 살펴보면, 전반적으로 특허의 수가 증가하고 있는 추세
- RO와 MSF 관련 특허는 그 비율이 감소하고 있음에 반해, 신개념탈염기술의 비율은 증가 (14.8% → 19.2%)



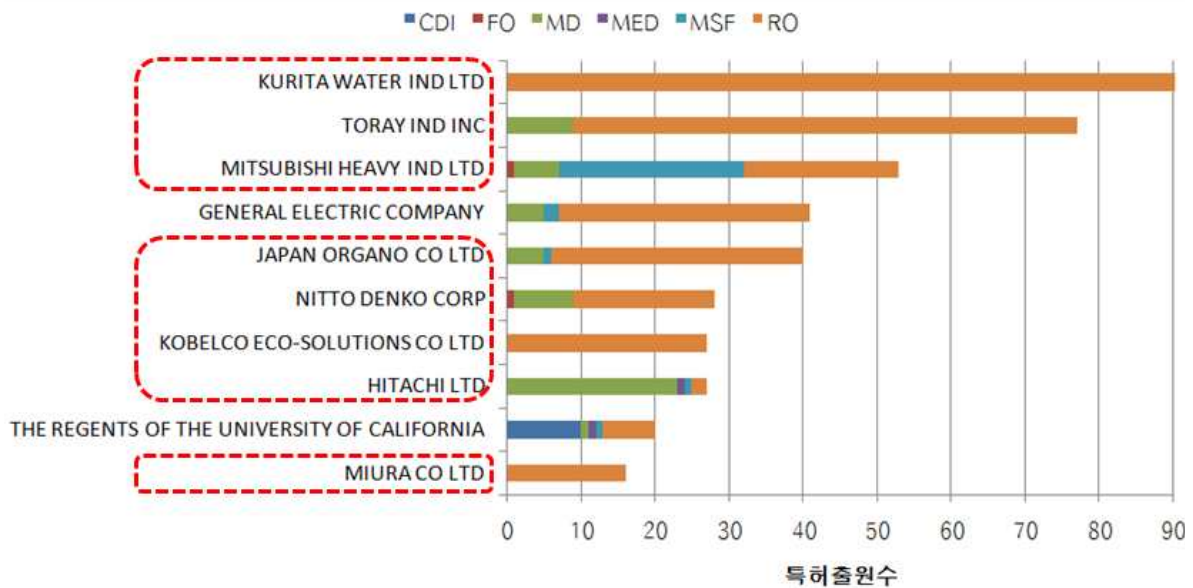
[그림 2-31] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 특허 동향

- ☐ 최근 10년간 발표된 특허의 분야를 살펴보면, 분리막 관련 특허가 775건으로 전체의 46.7%를 차지하고 있으며, 자원회수, 설계·시공·운영, 센서·제어·관리 분야가 각각 13.9%, 12.8%, 10.4%로 그 뒤를 따르고 있음



[그림 2-32] 기술분야별 담수화플랜트 관련 특허 동향

- 기관별 특허 출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 소재기업에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남
 - 국내 기관은 10위권 내에 소재하지 않아, 국내기업의 지적재산권을 기반으로 기술 경쟁력은 높지 않은 것으로 판단됨



[그림 2-33] 주요 기관별 특허출원 현황

나. 세부기술분야별 특허동향

- 해수담수화 관련 특허 분석을 바탕으로, 압력지연삼투, 역전기투석 및 농축수 자원화 기술에 대한 특허 분석을 실시함

<표 2-4> 논문 검색 개요

논문 검색 조건	방법	
검색 Domain	미국, 일본, 유럽특허청과 PCT 출원·등록 및 공개특허	
검색 DB	미국, 일본, 유럽 및 대한민국 특허청 DB	
검색 기간	1970년 1월 1일 ~ 2011년 12월 31일	
검색분류	건수	검색키워드
MD 및 MCr 기술	1,557	Membrane distillation, Membrane Crystallization
압력지연삼투 막 기술	52	pressure retarded osmosis, energy, membrane
농축수 자원화 기술	245	RO concentrate, reuse, recycle

□ 막 증발법(MD) 및 막 결정법(MCr)을 이용한 농축수 저감 기술 관련 특허 분석

○ 년도별 특허 출원 추이

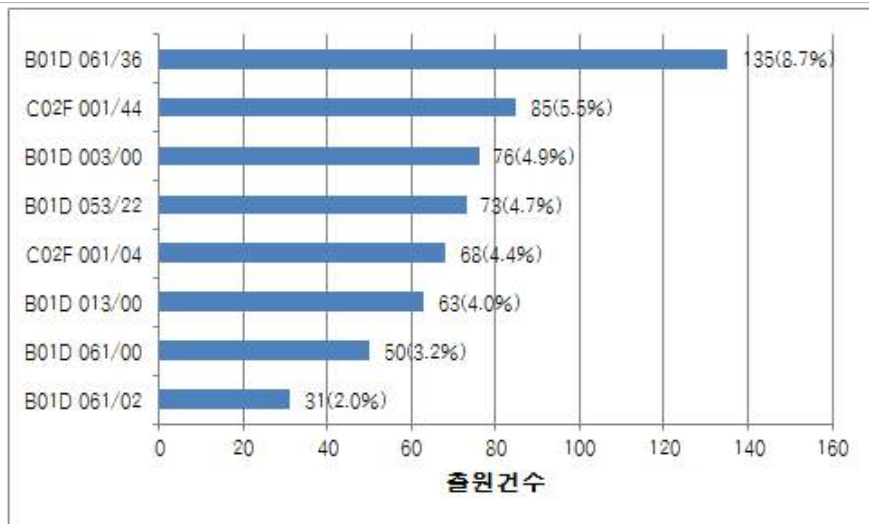
- 2010년까지 막 증발법(MD, Membrane Distillation) 및 막 결정법(MCr, Membrane Crystallization)과 관련된 특허는 총 1,557건이 출원되고 있음
- 1999년까지 출원된 특허는 473건이며, 이후 1,087건으로 2000년대 급격히 성장하는 발전기에 있음. 2005년 이후는 특허가 감소하는 경향을 보이나 MD 기술개발의 패러다임이 실험실 규모에서 파일럿/현장 규모로 확장되는 과도기로 인한 것으로 판단됨.
- 출원된 1,557건의 특허 중 등록된 특허는 총 442건으로 등록율은 28.4%임



[그림 2-34] 년도별 특허 출원현황

○ 기술분야별 현황

- 기술분야별로는 과증발, 막증발 관련특허(B01D 061/36)가 135건으로 가장 많으며, C02F 001/44(투석, 삼투 또는 역삼투에 의한 것, 85건), B01D 003/00(가스상 매질과 접촉한 액체의 증류 또는 관련된 물질교환공정, 76건)으로 그 뒤를 따름

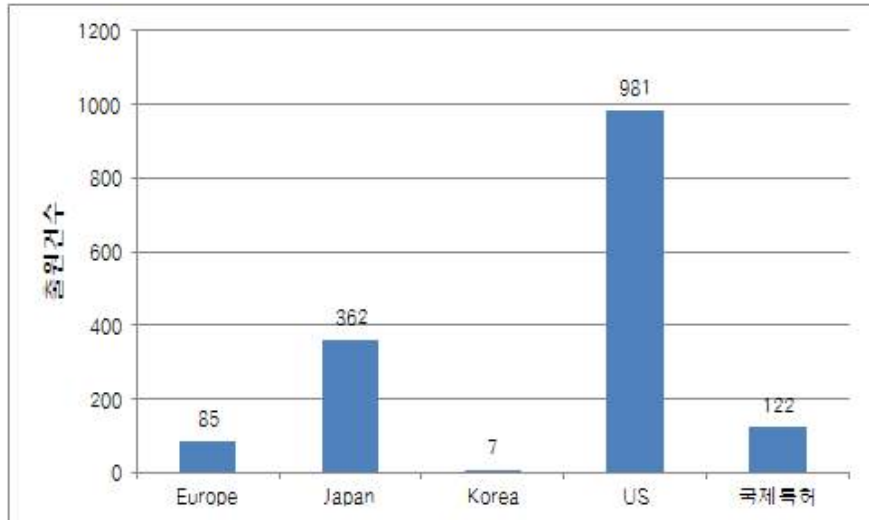


IPC코드,	상세설명
B01D 061/36	- 과증발(Pervaporation), 막증발(Membrane distillation), 액침투(Liquid permeation)
C02F 001/44	- 투석, 삼투 또는 역삼투에 의한 것
B01D 003/00	- 가스상 매질과 접촉한 액체의 증류 또는 관련된 물질교환 공정, 예) 스트리핑 (Stripping)
B01D 053/22	- 확산에 의한 것
C02F 001/04	- 증류 또는 증발에 의한 것
B01D 013/00	-
B01D 061/00	- 반투막을 이용한 분리공정, 예 투석, 삼투; 또는 한외여과 특별히 만들어진 관련장치, 부속품 및 보조조작
B01D 061/02	- 역삼투, 초과여과(hyperfiltration)

[그림 2-35] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

○ 출원국가별 현황

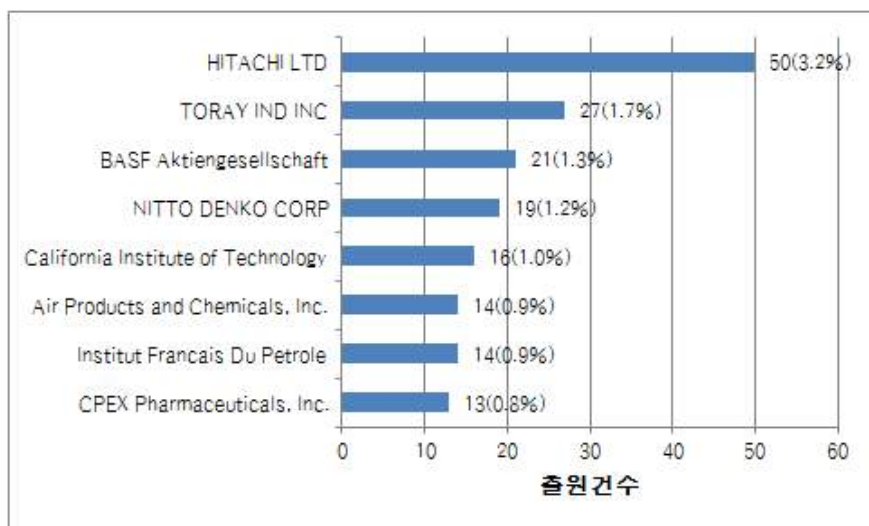
- 출원국가별로는 미국특허에 출원된 건수가 981건(63.0%)로 가장 높으며, 일본특허가 362건(23.2%)으로 그 뒤를 따르고 있음
 - ※ 이는 동 기술분야에서 미국 특허의 영향력이 가장 우세하며, 동 기술분야와 관련된 산업이 가장 발달된 곳이 미국임을 의미함
- 대한민국 특허는 7건(0.4%)로 매우 미약하며, 최초의 특허는 2006년 독일의 Heinzl Wolfgang이 출원한 “멤브레인 증류 프로세스 및 멤브레인 증류 장치”임



[그림 2-36] 국가별 특허출원 현황

○ 주요출원인 현황

- 동 기술분야의 주요 출원인을 살펴보면, Hitachi LTD., Toray Industry Inc., Nitto Denko Corp. 등 일본의 기업들이 상위권을 차지하고 있음
- 전체적으로 상위 5개 출원인의 출원비중이 10%미만으로 나타나고 있어, 다양한 기업들이 기술경쟁을 이루고 있는 것으로 판단됨

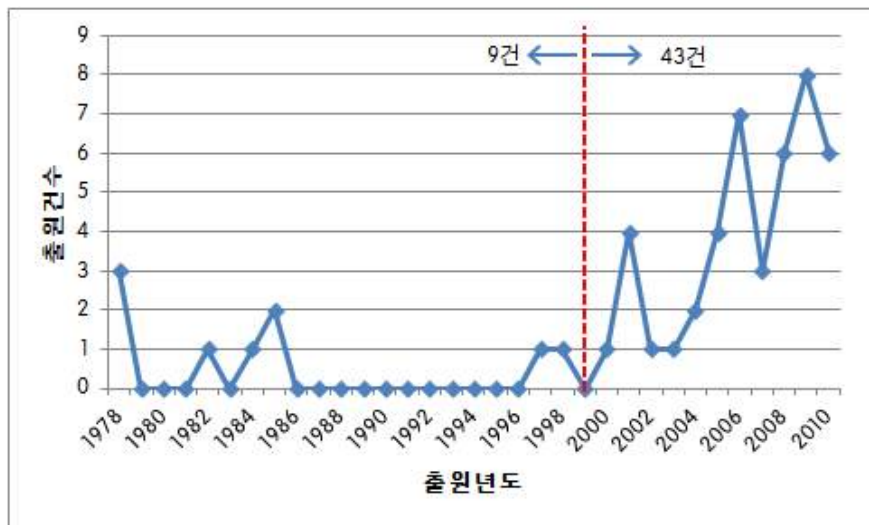


[그림 2-37] 주요 출원인별 특허출원 현황

□ 압력지연 삼투 기술 관련 특허 분석

○ 년도별 특허 출원 추이

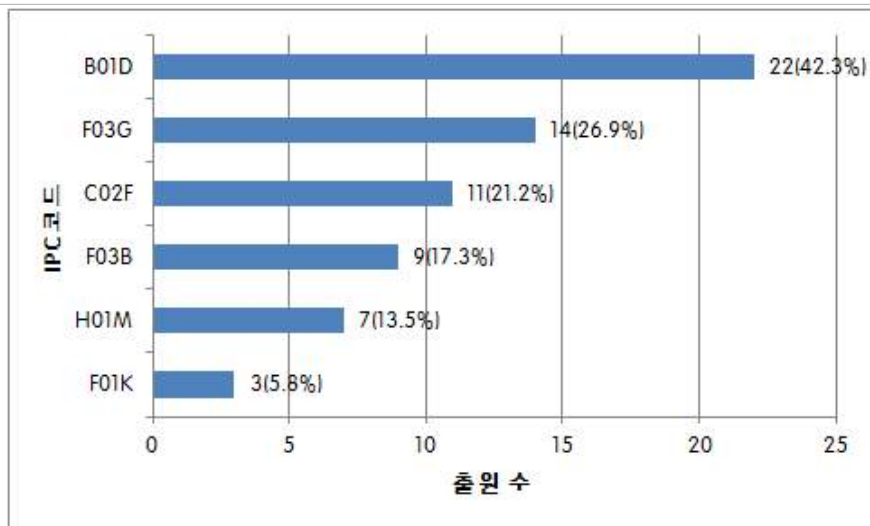
- 2010년까지 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis)와 관련된 특허는 총 52건이 출원되고 있음
 - ※ 1978년 이스라엘의 Ben-Gurion 대학에서 출원한 "Method and Apparatus for Generating Power utilizing Pressure-Retarded Osmosis"가 최초의 특허출원임
 - ※ 이후 1999년까지 출원된 특허는 9건으로 전 세계적으로 활발한 특허활동이 이루어지지 않았으나, 2000년대 들어서면서 특허출원수가 성장하고 있는 추세임
- 출원된 52건의 특허 중 등록된 특허는 총 14건으로 등록율은 26.9%임
 - ※ 특허의 출원이 급속히 증가한 2000년대에 출원된 특허 43건 중 등록된 특허는 6건으로 등록율(13.9%) 자체는 매우 저조함



[그림 2-38] 년도별 특허 출원현황

○ 기술분야별 현황

- 기술분야별로는 분리공정기술 분야인 F01D가 22건으로 가장 많으며, F03G(액체용 기계 또는 기관, 14건), C02F(물, 폐수, 하수 또는 오니의 처리, 11건)으로 그 뒤를 따름
- 에너지 생산 및 회수와 직접적인 연관이 있는 H01M 분야의 특허는 7건임

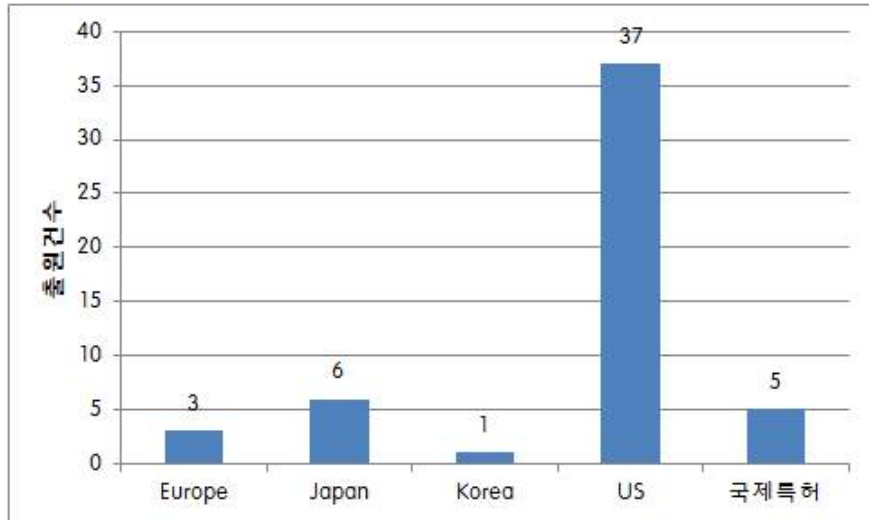


IPC 코드	상세설명
B01D	- 분리(증발, 증류, 정석(晶析), 여과, 분말의 침강, 기체의 세정, 흡수, 흡착)
F03G	- 액체용 기계 또는 기관 - 스프링, 동력, 관성 또는 비슷한 원동기 - 기계적 동력을 발생하는 장치 또는 기구로서, 타류에 속하지 않는 또는 타류에 속하지 않는 에너지를 사용하는 것
C02F	- 물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리
F03B	- 액체용 기계 또는 기관
H01M	- 화학적 에너지 전기적 에너지 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단, (예) 전지
F01K	- 증기기관설비; 증기어큐뮬레이터(accumulator); 달리 분류되지 않는 기관설비; 특수한 작동유체 또는 사이클을 사용한 기관

[그림 2-39] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

o 출원국가별 현황

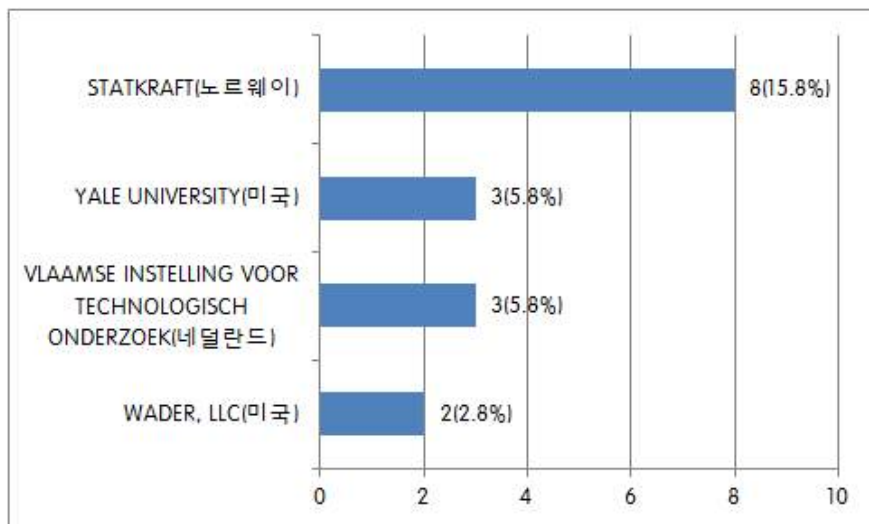
- 출원국가별로는 미국특허에 출원된 건수가 37건(86.0%)로 가장 높으며, 타 국가의 비중은 미미함
- ※ 이는 동 기술분야에서 미국 특허의 영향력이 가장 우세하며, 동 기술분야와 관련된 산업이 가장 발달된 곳이 미국임을 의미함
- ※ 대한민국 특허의 경우, 2006년 노르웨이의 Statkraft사에서 출원한 “압력 지연 삼투를 위해 사용되는 멤브레인 상에서 유지를 수행하기 위한 방법 및 시스템”이 유일함



[그림 2-40] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술분야의 주요 출원인을 살펴보면, 노르웨이의 Statkraft사가 8건(15.8%)으로 가장 많은 특허를 출원하였으며, 미국의 Yale 대학 및 네덜란드의 Vlaamse Instelling Voor Technologisch Onderzoek가 뒤를 따르고 있음

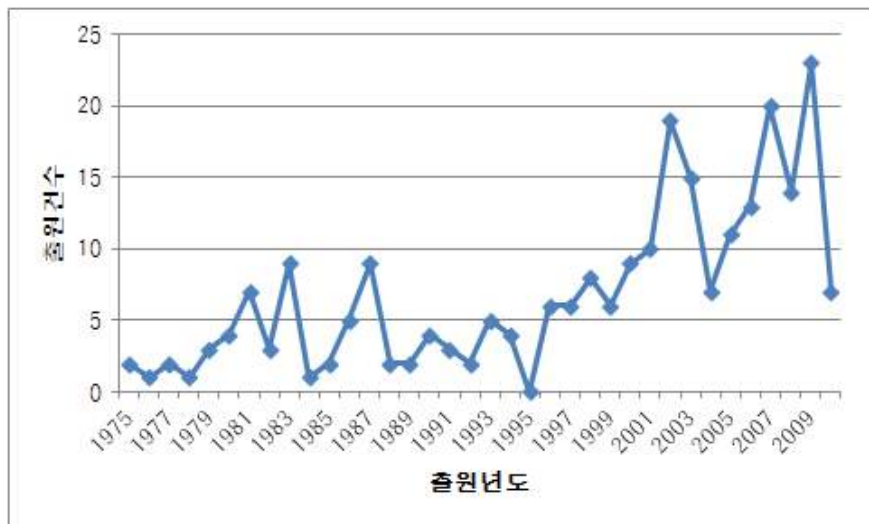


[그림 2-41] 주요 출원인별 특허출원 현황

□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 특허 분석

○ 년도별 특허 출원 추이

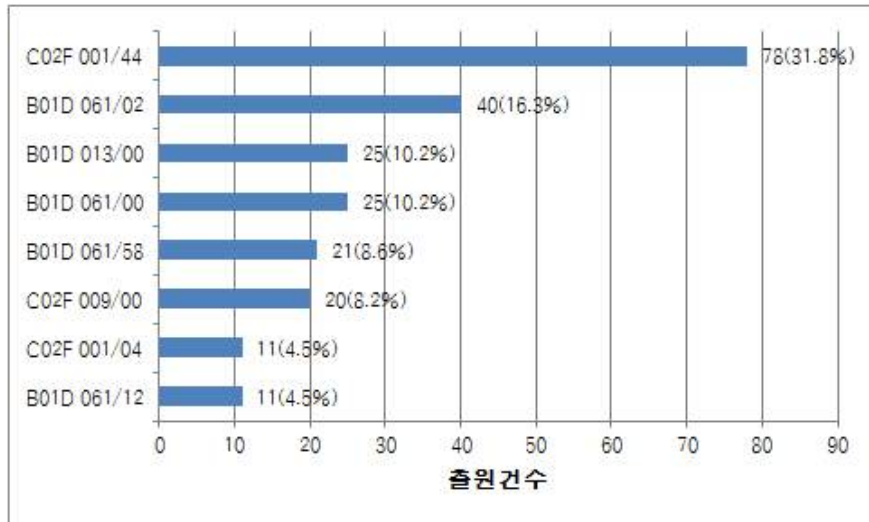
- 2010년까지 해수담수화 농축수 자원화와 관련된 특허는 총 245건이 출원되고 있음
 - ※ 1999년까지 출원된 특허는 97건이며, 이후 2000년대에는 148건이 출원되어 특허의 출원은 점진적으로 성장하고 있음
- 출원된 245건의 특허 중 등록된 특허는 총 67건으로 등록율은 27.3%임



[그림 2-42] 년도별 특허 출원현황

○ 기술분야별 현황

- 기술분야별로는 투석, 삼투 관련특허(C02F 001/44)가 78건으로 가장 많으며, B01D 061/02(역삼투, 초과여과, 40건), B01D 061/00(반투막을 이용한 분리공정, 25건)으로 그 뒤를 따름



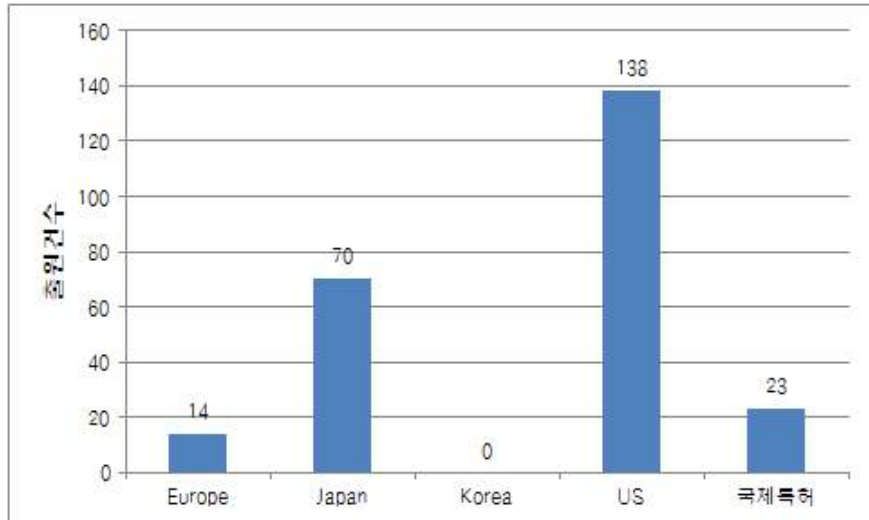
IPC코드,	상세설명
C02F 001/44	- 투석, 삼투 또는 역삼투에 의한 것
B01D 061/02	- 역삼투; 초과여과(hyperfiltration)
B01D 061/00	- 반투막을 이용한 분리공정, 예 투석, 삼투; 또는 한외여과 특별히 만들어진 관련장치, 부속품 및 보조조작
B01D 013/00	-
B01D 061/58	- 다단계 공정
C02F 009/00	- 물, 폐수 또는 하수의 다단계 처리
C02F 001/04	- 증류 또는 증발에 의한 것
B01D 061/12	- 제어 및 조정

[그림 2-43] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

o 출원국가별 현황

- 출원국가별로는 미국특허에 출원된 건수가 138건(56.3%)로 가장 높으며, 일본특허가 70건(28.6%)으로 그 뒤를 따르고 있음

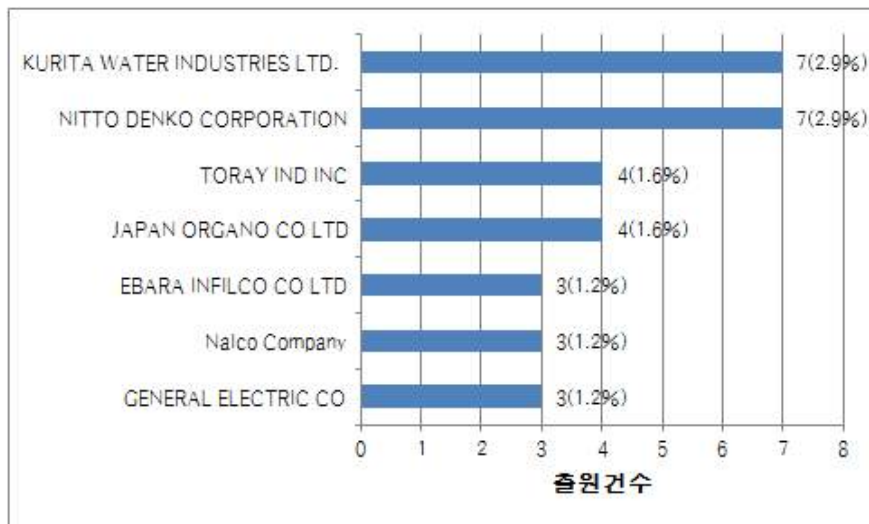
※ 이는 동 기술분야에서 미국 특허의 영향력이 가장 우세하며, 동 기술분야와 관련된 산업이 가장 발달된 곳이 미국임을 의미함



[그림 2-44] 국가별 특허출원 현황

○ 주요출원인 현황

- 동 기술분야의 주요 출원인을 살펴보면, Kurita Water Industries Ltd., Nitto Denko Corp., Toray Industry Inc., Japan Organo Co. LTD. 등 일본의 기업들이 상위권을 차지하고 있음
- 전체적으로 상위 5개 출원인의 출원비중이 10%수준으로 나타나고 있어, 다양한 기업들이 기술경쟁을 이루고 있는 것으로 판단됨



[그림 2-45] 주요 출원인별 특허출원 현황

3. 논문분석

가. 해수담수화 관련 논문 동향

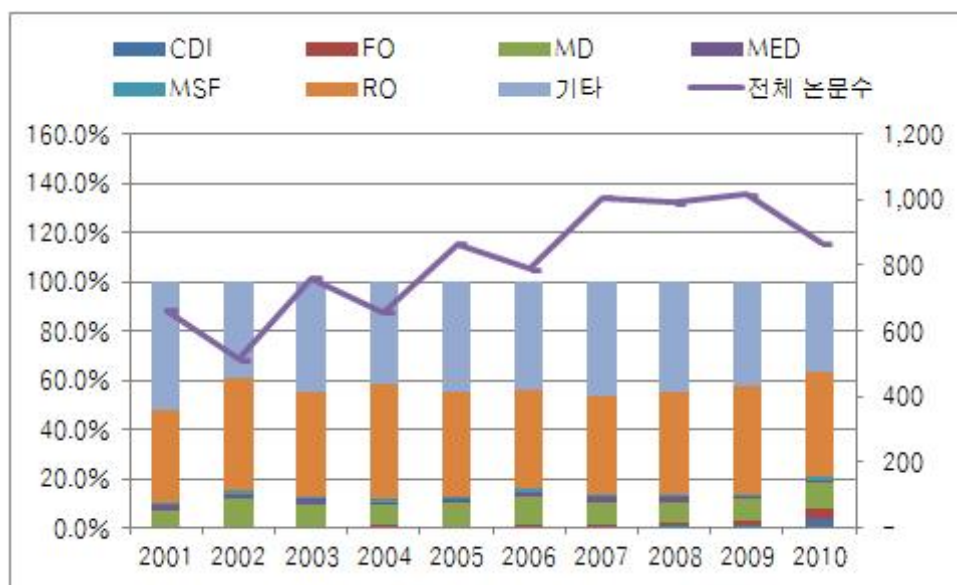
□ 논문분석은 Web of Science를 활용하여 최근 10년간 연구 성과를 조사·분석

<표 2-5> 논문검색방법

논문 검색 조건	방법
검색 Domain	SCI-Expanded에 발표된 논문
검색 DB	Thomson Scientific사의 Web of Science
검색 기간	2001년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일
검색 범위	주제어

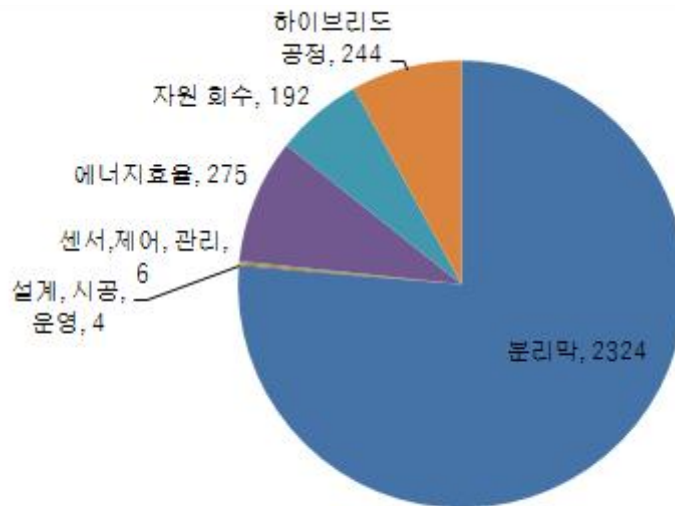
□ 최근 10년간의 해수담수화 관련 논문 발표 동향을 살펴보면, 전반적으로 논문의 수는 증가하는 추세

- 탈염방식별로는 RO관련 논문의 40%, MSF관련 논문이 1%대로 그 비율이 꾸준히 유지되고 있음. 이는 1995년 이후 시장 지배기술로 자리잡은 RO공정에 대한 기술 개발이 활발히 이루어졌음을 의미함
- 2001년을 9.4%에 불과하던 CDI, FO, MD, MED 등의 신개념탈염기술의 비율이 2010년에는 19.6%로 크게 증가함
- 최근 RO공정에서 이슈가되고 있는 에너지관련 문제를 해결하기 위해 신개념탈염 기술의 개발이 적극적으로 이루어지고 있음을 시사



[그림 2-46] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 논문 동향

- 최근 10년간 발표된 논문의 분야를 살펴보면, 분리막 관련 논문이 2,324건으로 전체의 76.3%를 차지하고 있으며, 에너지효율향상, 하이브리드 공정 자원회수가 각각 9.0% 8.0% 6.3%로 그 뒤를 이루고 있음
- 현재 연구자들의 주요관심 분야는 분리막 성능 향상을 통한 RO공정의 효율 강화이나, 에너지 및 자원 회수와 플랜트 설계 기술에 대한 관심도 크게 증대되었음



[그림 2-47] 기술분야별 담수화플랜트 관련 논문 동향

나. 세부기술분야별 논문동향

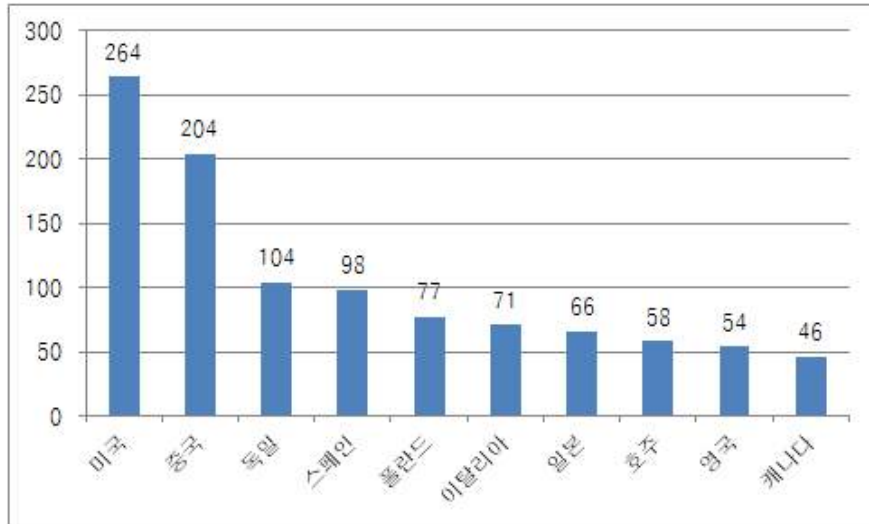
- 해수담수화 관련 논문 분석을 바탕으로, 압력지연삼투, 역전기투석 및 농축수 자원화 기술에 대한 논문 분석을 실시함

<표 2-6> 논문 검색 개요

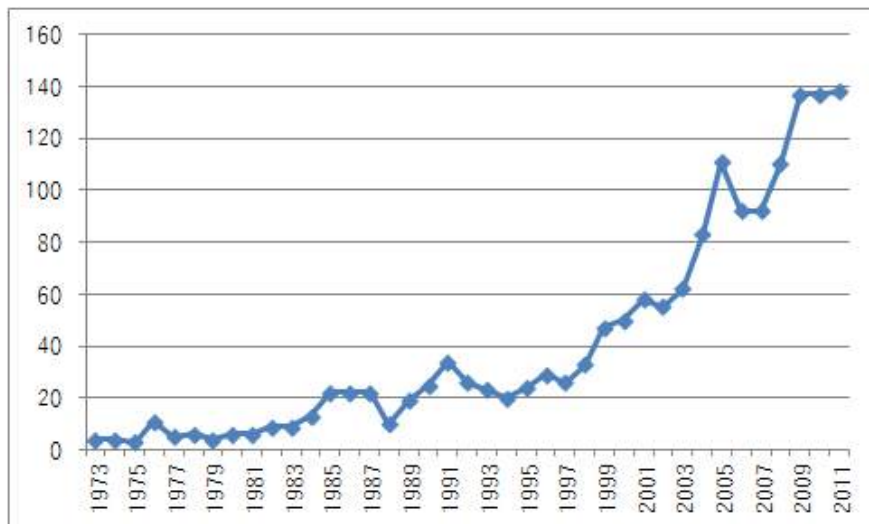
논문 검색 조건	방법	
검색 Domain	SCI-Expanded에 발표된 논문	
검색 DB	Elsevier사의 Scopus	
검색 기간	1970년 1월 1일 ~ 2011년 12월 31일	
검색분류	건수	검색키워드
MD 및 MCr 기술	1,587	Membrane distillation, Membrane Crystallization
압력지연삼투 막 기술	41	pressure retarded osmosis, energy, membrane
농축수 자원화 기술	52	RO concentrate, reuse, recycle

□ 막 증발법(MD) 및 막 결정법(MCr)을 이용한 농축수 저감 기술 관련 논문 분석

- 1970년대에 시작된 막증발법 및 막결정법 기술관련 논문은 주로 미국, 중국 및 유럽 국가들에 의해 주도되어 오고 있음
- 1980년대부터 논문이 증가하기 시작하여 2000년대에 들어 관련 연구가 급증함



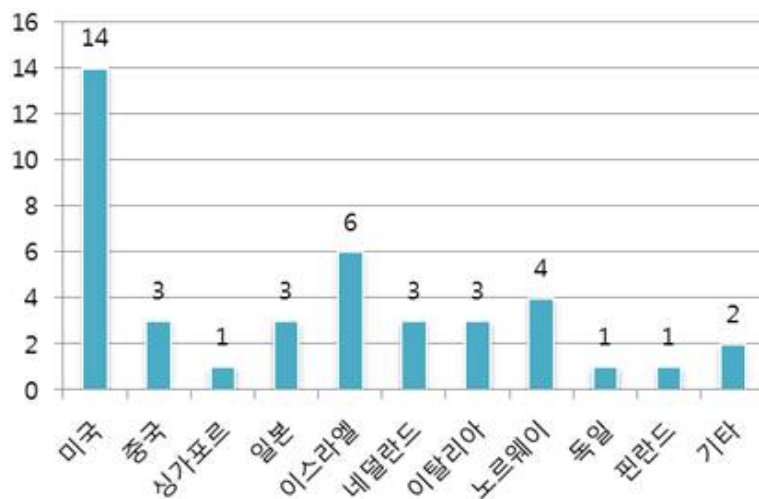
[그림 2-48] ‘막증발법 및 막 결정법 기술’ 국가 별 발행 논문 수



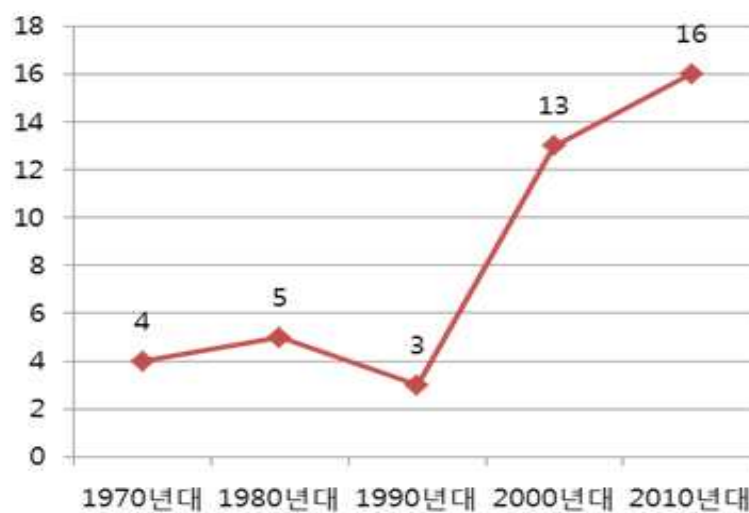
[그림 2-49] ‘막증발법 및 막 결정법 기술’ 시대 별 발행 논문 수

□ 압력지연 삼투 기술 관련 논문 분석

- 그림에서 볼 수 있듯이 40년간의 논문 분석 결과, 압력지연삼투 막 관련 논문에 대해 총 41건이 검색됨
- 1970년대를 시작으로 압력지연 삼투에 관한 연구가 시작되어 2000년대에 들어서 관련연구가 급증하기 시작하였고 대부분의 논문은 미국에서 출간됨
- 이어 이스라엘, 노르웨이 등에서 뒤따르고 있지만, 그 양은 미비한 수준으로 압력지연삼투 기술은 기초 연구 시작단계임



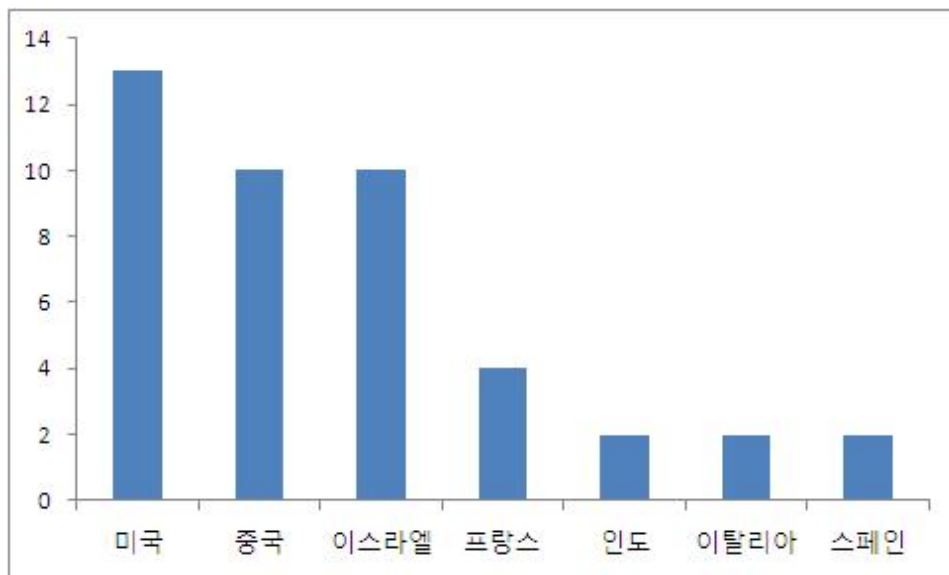
[그림 2-50] ‘압력지연삼투 막 기술’ 국가 별 발행 논문 수



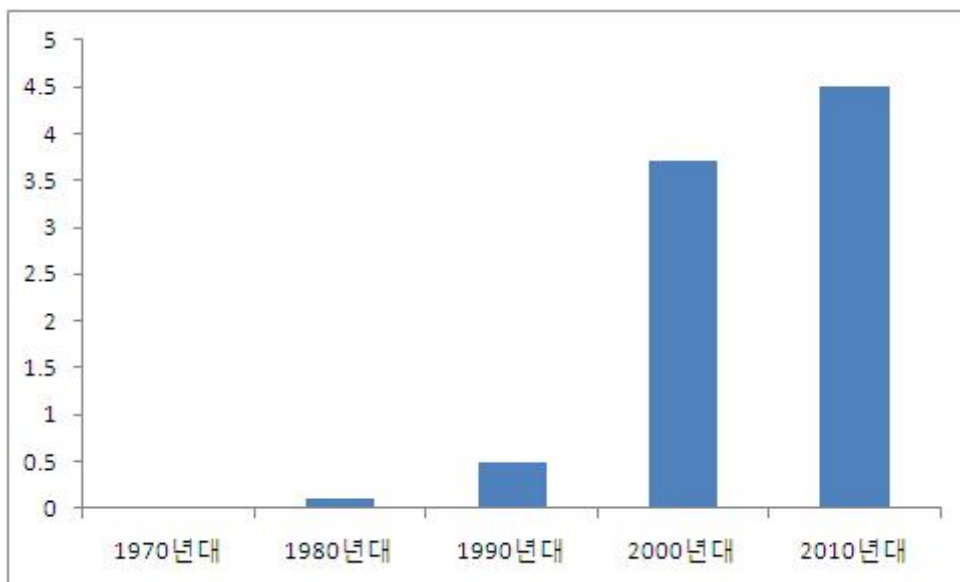
[그림 2-51] ‘압력지연삼투 막 기술’ 시대 별 발행 논문 수

□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 논문 분석

- 농축수 자원화 기술 관련 논문은 주로 미국, 중국, 이스라엘 등을 통해 주도되어 왔음
- 1970년대에 시작된 연구는 2000년대에 이르러 농축수의 환경적 영향 및 자원화를 통한 운전 에너지 절감 등의 이슈와 더불어 관련 연구 또한 급격히 증가
- 유사 기술로서 해수로부터 자원 회수 기술의 경우 일본, 미국 등 선진국들은 2-30년 전부터 활발한 연구를 진행되어 왔음



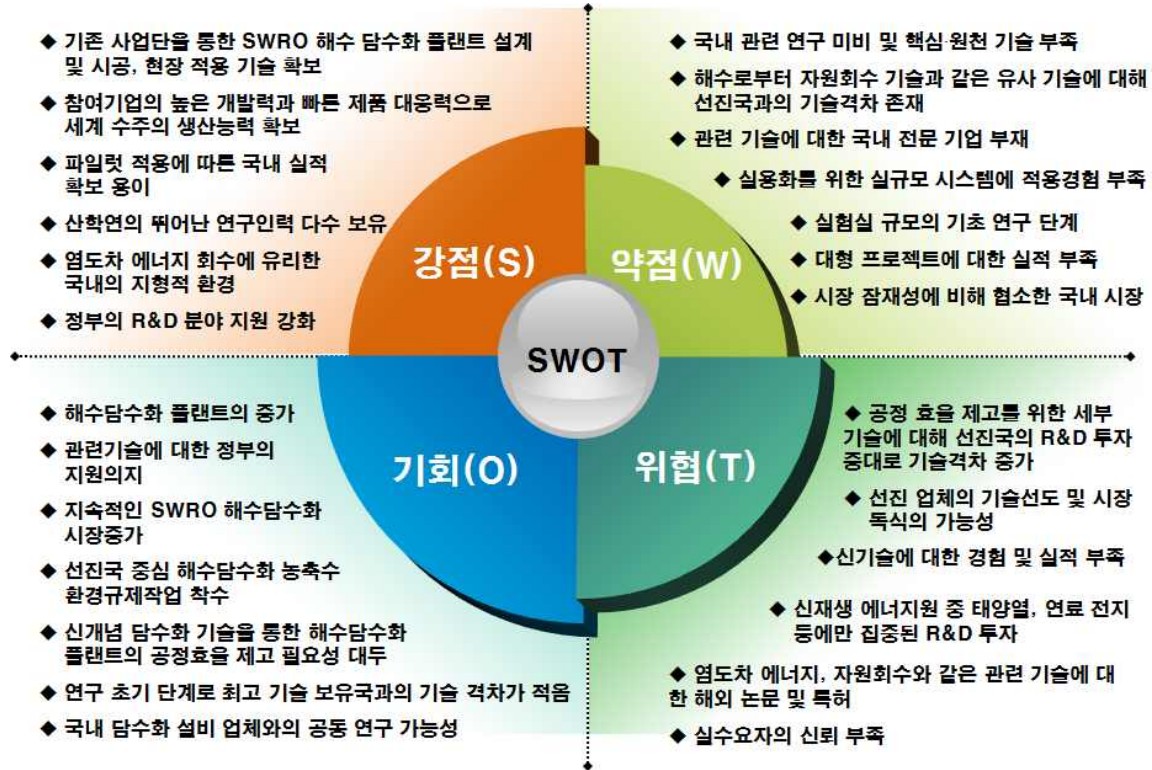
[그림 2-52] ‘해수담수화 농축수 자원화 기술’ 국가 별 발행 논문 수



[그림 2-53] ‘해수담수화 농축수 자원화기술’ 시대 별 발행 논문 수

4. 종합분석

가. SWOT 분석



제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제 1 절 비전 및 목표

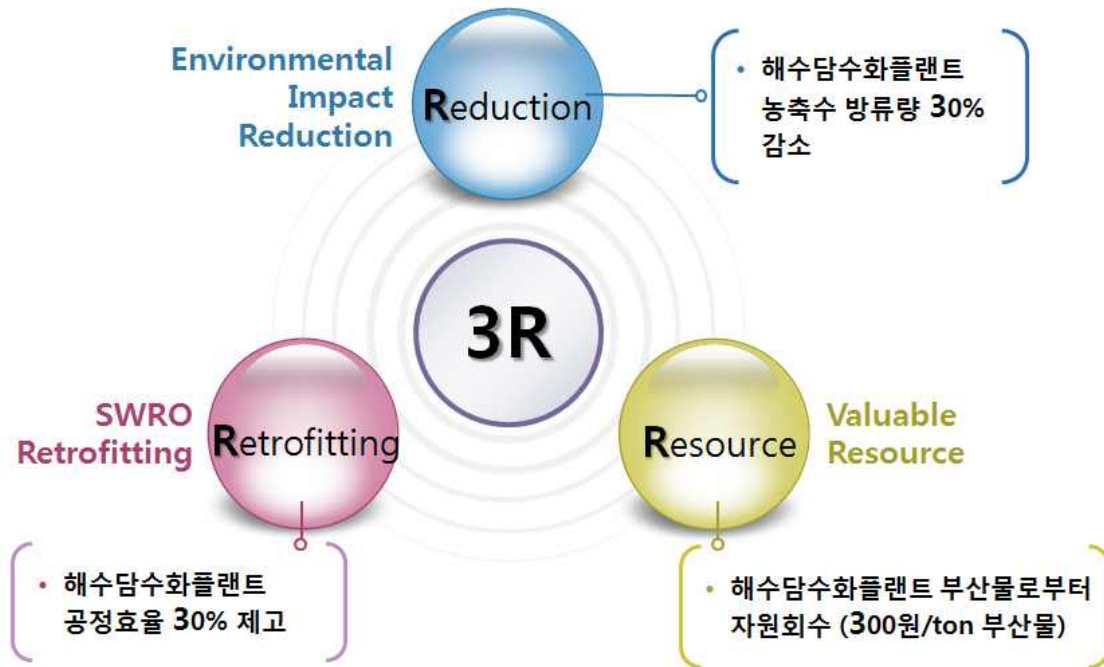
1. 비전 및 목표 설정

가. 비전 및 전략목표

- 본 연구단의 비전(안)은 “세계시장선도형 역삼투 해수담수화 기술확보”로 설정하였으며, 전략목표(안)는 역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성으로 설정함
- 현재 해수담수화플랜트사업단의 비전은 “세계 최고의 역삼투 해수담수 기술확보”이며, 전략목표로 2013년 세계시장의 7% 점유와 해외플랜트수출 1조원 달성을 설정하였음
- 이는 해수담수화플랜트사업단이 출범 당시 국내의 기술경쟁력을 고려하여 선진기술 추격형 기술개발 전략을 수립하였기에 설정된 비전임
- 선진기술 추격형 기술개발을 목표로 하는 기존의 해수담수화플랜트사업단과 달리, 차기의 미래기술개발은 기술우위를 선점할 수 있는 탈추격형 차세대 RO기반 기술 개발이어야함
- 따라서, 본 연구단의 비전(안)은 “세계시장선도형 역삼투 해수담수화 기술확보”로 설정하였으며, 전략목표(안)는 역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성으로 설정함

나. 기술적 목표

- 막 증발법(MD)과 압력지연삼투(PRO) 두 가지 핵심공정을 최적 조합하여 세계시장을 선도할 수 있는 MD/PRO 복합탈염 기술 개발을 개발하는 것이 본 연구단의 기술적 목표임
- 정량적 목표
 - 해수담수화플랜트 공정효율 30% 제고
 - 해수담수화플랜트 농축수 방류량 30% 감소
 - 해수담수화플랜트 부산물 자원화 (300원/ton 부산물)
- 정성적 목표
 - 국내 기술의 해외시장 진출을 촉진하기 위해 개발기술을 검증할 수 있는 실적 확보를 위한 파일럿 플랜트 구축



[그림 3-1] 연구단의 3대 기술목표 : 3R

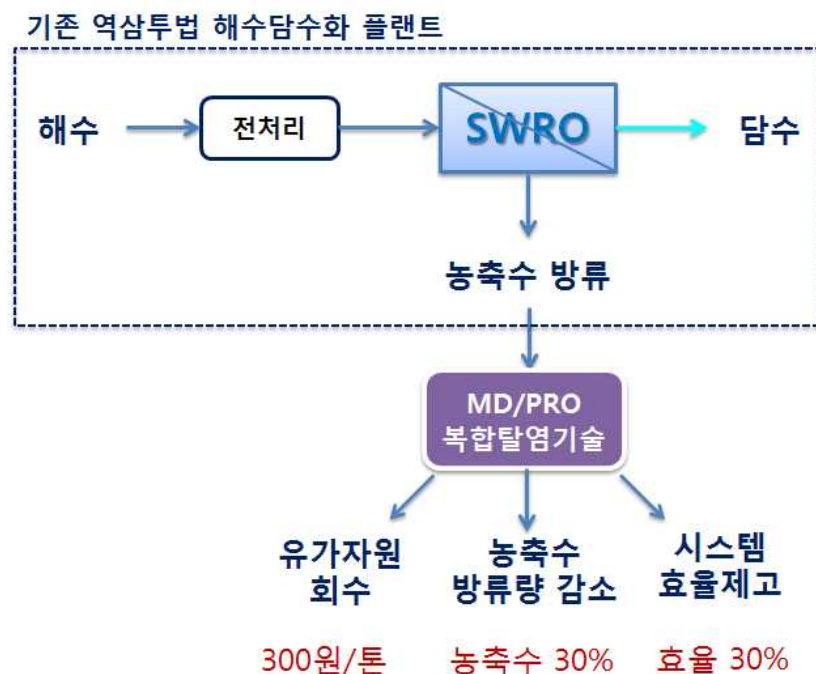


[그림 3-2] 연구단 단계별 추진 전략

제 2 절 기술개발에 따른 미래상

□ 기술개발을 통한 다양한 시장 공략 가능

- MD/PRO 복합탈염 시스템은 기존의 역삼투법 해수담수화 시설을 유지한 상태에서 추가 설치가 가능한 기술이므로, 기존 해수담수화 플랜트의 성능향상을 위한 개량(Retrofitting)에도 활용될 수 있음. 이는 현재 동시 기획 중인 “고효율 정·역삼투 해수담수 플랜트 고도화” 연구단과의 가장 큰 차별성으로 판단됨.
- 기존 해수담수화 시설의 농축수 라인이 플랜트 외곽에 위치한 점을 고려하면 충분히 실현 가능한 전략임. 즉, 기존의 버려지는 농축수로부터 에너지 및 유가자원을 회수하면서, 농축수의 농도 및 총량을 감소시킴으로써 부가가치 창출 및 환경 영향 최소화 가능
- 결론적으로 신규 해수담수화 플랜트 시장 뿐 아니라, 노후화된 기존 해수담수화 플랜트의 개량, 보수에도 적용이 될 수 있으므로 공략 대상 시장의 범위가 넓음



[그림 3-3] 기존 역삼투법 해수담수화플랜트와 MD/PRO 복합탈염기술의 연계

□ 연구단에서 추구하는 3R 달성 시의 기대효과

- Retrofitting: 해수담수화플랜트 공정효율 제고를 위한 융합공정 개발
- Reduction: 농축수 저감을 통한 환경문제 최소화, 향후 미래담수화 시장 선도
- Resource: 플랜트 부산물(농축수, 세정폐액 등)로부터 유가 자원을 회수하여 추가적인 부가가치 창출



[그림 3-5] 연구단에서 추구하는 3R 기술목표 달성 시 기대효과

□ 연구단 개발 기술을 활용한 세계 물산업 시장 공략 시 경제적 효과

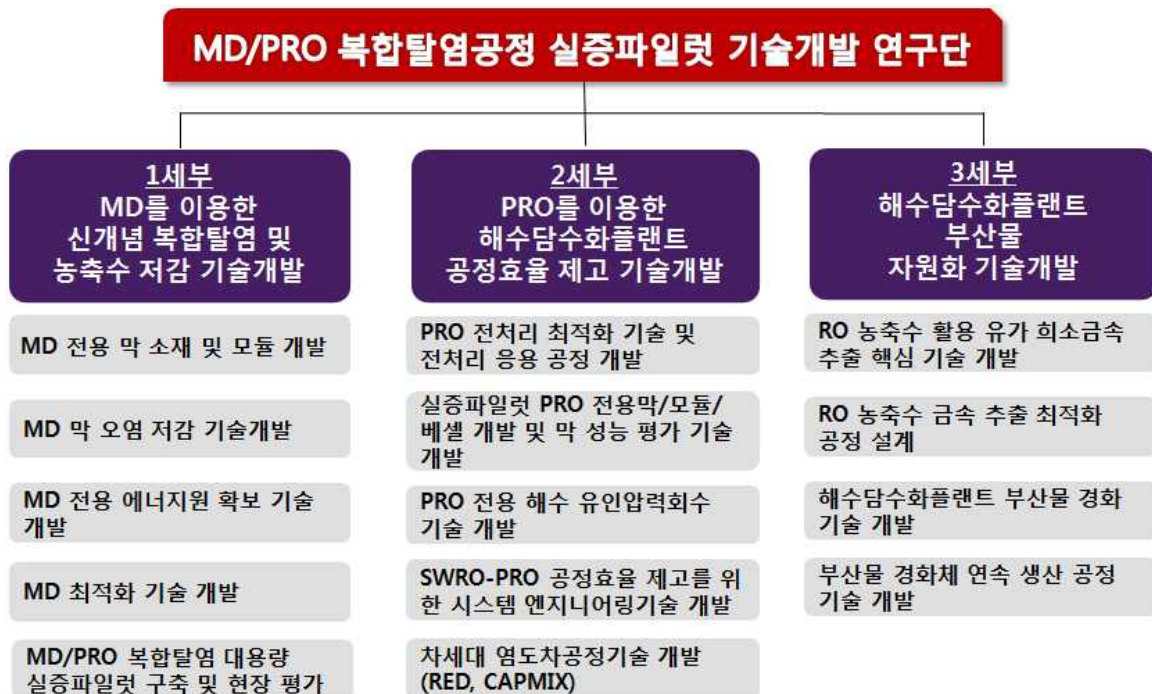
- 탈추격형 RO 선진기술개발로 세계 담수화 플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보
- 농축수의 에너지를 회수하여 이를 다양하게 활용함(일반 전력, 담수생산 보조전력 등)으로써, 궁극적으로 에너지 소모량을 저감하고, 담수 생산 단가를 절감하여 세계 물산업 시장 선점 가능
- 연구기간이 종료되는 2017년 이후부터 연구단 개발기술을 활용한 매출 발생이 예상됨. 연구단 목표인 역삼투 해수담수화시장 10% 점유율을 달성할 경우 2017년 이후 향후 10년간 2,354억의 편익이 예상됨(2012년 현재가 기준, RND 기여도를 10.9%, 연간 할인율을 4.3%로 가정할 경우). 계산근거는 본 기획보고서의 제 4장에 제시되어 있음
- 연구단에 투입되는 정부 및 민간 예산을 합하면 2012년 현재가 기준으로 496억이 투입되는데, 위 편익 기대치를 고려한 B/C 값은 4.2로 연구단 기술 개발 성공 시의 경제적 편익 효과가 높을 것으로 기대됨

□ 주변 환경에 부정적인 영향을 최소화

- 농축수 배출 문제 해결을 통해 기존 RO 공정의 적용성 확대 및 경쟁력 확보 (배출되는 농축수의 농도: 기존 약 70,000 mg/l → 연구단 개발 기술 적용 시 35,000(해수 수준) - 49,000(농도 30% 저감 수준) mg/l)
- 소비 전력량 저감에 따른 화석 연료 사용 감소

제 3 절 연구개발과제 구성

- 연구단의 3대 기술목표에 맞춰 3개의 세부과제로 구성
 - 1세부 : MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술 개발
 - 2세부 : PRO를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발
 - 3세부 : 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발
- 각 세부과제에서 개발된 기술을 테스트하기 위한 파일럿 플랜트 구축
 - 1세부과제에서 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축
 - 2, 3세부과제에서 개발된 기술을 1세부과제의 대용량 실증 플랜트에 적용



[그림 3-6] 연구 개발 과제 구성도

제 4 절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. '막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술' 과제 개요

가. 연구개발의 목표

- 폐 에너지 활용 막 증발법(MD) 신개념 복합탈염 기술 개발 (농축수 30 % 저감)
 - 현재 50%인 역삼투법 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감하고 공정효율을 30% 증가시키는 복합탈염 기술 개발
 - 회수율 50% 이상 및 플럭스 20 LMH 이상의 막 증발법 적용 국산 막소재 및 막모듈 설계 기술 개발
 - 생산수 기준 1000 m³/일 규모 이상의 막 증발법(MD) 적용 신개념 복합탈염 파일럿 플랜트 구축

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- 연구개발 필요성
 - 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 전력 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음.
 - 2012년 1월 미국 오바마 정부는 해양 챌린지 사업 시행을 통해 해양환경의 중요성과 보호를 위한 계획을 발표하였으며, 향후 이러한 사업을 바탕으로 다양한 환경규제 및 개선 프로그램이 추진될 것으로 전망됨.
 - 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임
 - 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수도 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기에 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨
 - 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
 - 해수담수화 플랜트의 확산에 따라 농축수에 의한 환경에의 악영향에 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 미래 해수담수화 시장에서 유리한 위치를 차지하기 위하여 필수적임
 - 그간의 추적형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요

- 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음

☐ 정부지원 필요성

- 플랜트 분야 국제경쟁력 확보를 위하여 미래지향적 기술에 대한 국가 지원 필요
- 신개념 탈염 기술 및 농축수 저감기술의 원천기술이 실용화 단계로 도약하기 위한 플랫폼이 필요
- 기존 기술의 성능개선이 아닌 신개념의 시장창출형 기술개발 투자 필요
- 현재 시장 선점을 위한 선제적 기술개발의 투자가 필요한 단계

다. 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

- ☐ 막 증발법(MD) 기술은 국내에서 아직 체계적인 연구가 추진된 바 없음.
- ☐ 기존 해수담수화 사업단의 역삼투법 해수담수화 모형플랜트 : 기존 시설로부터 생산되는 농축수를 이용할 수 있도록 모형플랜트 시설 설치
- ☐ 해수담수화플랜트사업단에서 개발된 농축수 관련기술을 토대로 장단점 분석 후 신기술 적용에 따른 경제성 확보와 상용화 추진

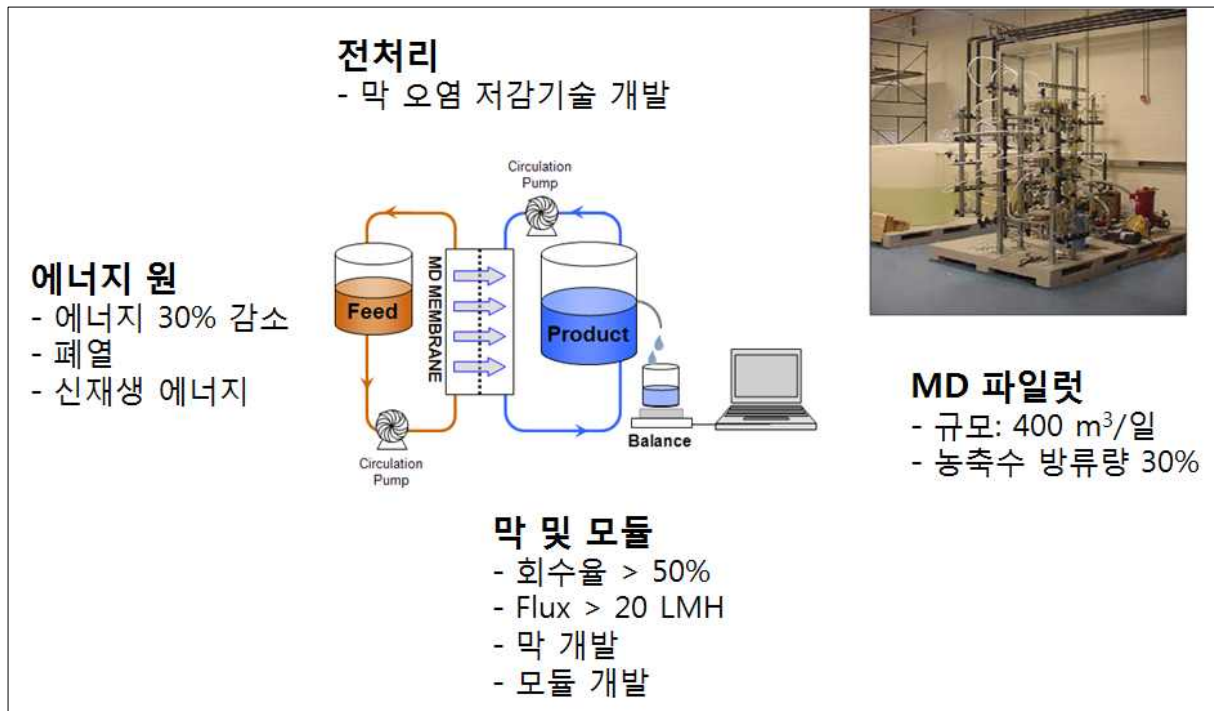
라. 연구개발 주요 내용

- ☐ 막 증발법 소재 및 모듈개발
 - MD 전용 막 소재 및 모듈 설계 기술 개발
 - 1단계에는 실험실 규모 평가 후 2단계부터 파일럿플랜트 현장 적용 평가 수행
- ☐ 막 증발법의 막 오염저감 기술 개발
 - 막 오염저감을 위한 공정 설계 기법 개발
 - 막 오염저감 운영 기술 개발 및 확보
 - 최적 전처리 기술 개발
- ☐ 막 증발법 전용 에너지원 확보 기술 개발
 - 막 증발법에 사용되는 신재생에너지 적용 및 설계 기술 개발
 - 폐열 적용 최적 설계 및 운영기술 개발
 - 에너지 최적화를 위한 운영기술 개발
- ☐ 막 증발법 최적화 기술 개발
 - 막 증발법 파일럿 플랜트 (400 m³/일) 설계, 제작 및 운영

- 단위공정 및 조합 공정의 최적화 기술 개발
- 최적 플럭스 및 담수화를 위한 고효율 운영 기술 확보
- 플럭스 생산의 지속 가능성을 위한 친수화 방지(De-wetting) 장치 및 운영기술 개발
- 평가기법 개발 (에너지 소모, 막, 모듈 등)

□ MD/PRO 복합탈염 대용량 실증플랜트 구축 및 현장 평가

- 역삼투 공정을 포함한 파일럿플랜트 설계, 제작 및 운영
- MD/PRO 복합탈염 기술 운영 및 유지관리 가이드라인 도출
- MD/PRO 복합탈염 기술 경제성 분석
- 신개념 탈염 기술 개발

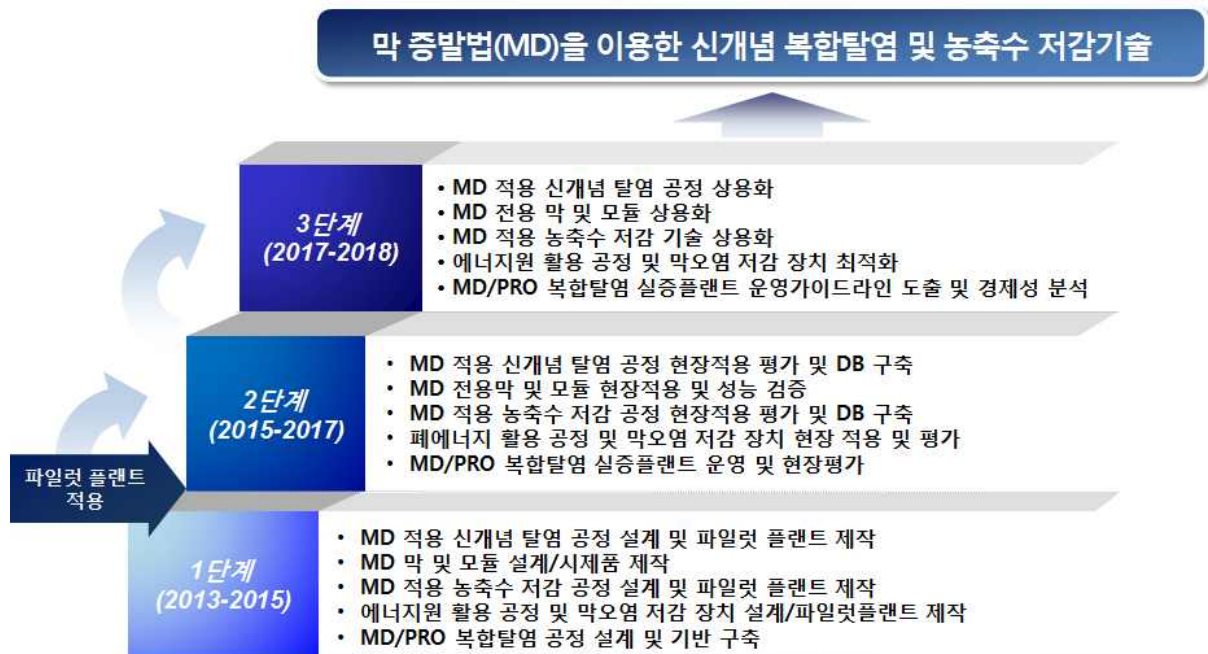


[그림 3-7] MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
1세부 막 증발법 (MD)을 이용 한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술	1-1 MD 전용 막 소재 및 모듈 개발	MD 전용막 제조기술 개발 및 시제품 제작	MD 전용모듈 설계 및 시제품 제작	파일럿 시스템에의 적용 및 성능 검증	파일럿 시스템에의 적용 및 성능 검증	상용막 제작 상용모듈 제작	고효율 MD 전용막 및 모듈
	1-2 MD 막오염 저감 기술 개발	공정 설계 전처리 공정 설계	파일럿플랜트 제작 및 시운전 전처리 공정 제작	막오염 저감공정 현장 적용 및 평가 전처리 공정 현장평가	막오염 저감 공정 운영기술 전처리 공정 최적화		막오염 저감 전처리 설계 및 운영 기술
	1-4 MD 전용 에너지원 확보기술 개발	폐에너지 활용 공정 설계 에너지 최적화 공정 설계	랩 스케일 성능 검증 에너지 최적화 기법 적용 평가	폐에너지 활용기술 파일럿 플랜트 적용 및 최적화	에너지 최적화 운영기술		에너지 30% 저감기술
	1-4 MD 최적화 기술 개발	파일럿플랜트 설계 친수화 방지 장치 설계	파일럿플랜트 제작 및 설치 친수화 방지 장치 제작	MD 파일럿플랜트 현장 평가 친수화 방지장치 현장 평가	MD 공정 최적화 친수화 방지 장 치 운영기술		400 m ³ /d 규모의 MD 파일럿플랜트
	1-5 MD/PRO 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축 및 현장평가	복합탈염 조합 공정 설계 도입공정 특성 분석 신개념 탈염 공정 설계	파일럿플랜트 기반 구축 경제성 분석 기법 도출 신개념 탈염 공정 제작	실증 플랜트 운영 및 성능 검증 현장비용 분석 현장 적용 및 검증	운영가이드 라인 도출 경제성 분석 신개념 탈염공 정 운영기술		MD/PRO 복합 탈염 대용량 실증플랜트

[그림 3-8] 1세부과제 연구개발 TRM



[그림 3-9] 1세부과제 단계별 추진 전략

바. 최종성과물 및 성과지표

- ☐ 400 m³/일 규모의 MD 적용 탈염 파일럿플랜트 구축
- ☐ 막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법개발
- ☐ MD 전용막 및 모듈 개발
- ☐ 폐에너지를 조합한 MD 공정 적용 복합탈염 기술
- ☐ MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 구축 및 운영 가이드라인 도출

사. 성과물 검증방안

- ☐ MD 적용 신개념 탈염공정 성능
- ☐ MD 전용막을 적용한 농축수 저감율 및 회수율 (농축수 30% 저감)
- ☐ MD 전용막의 수투과율 및 염배제율
- ☐ 폐에너지를 조합한 에너지 절감율
- ☐ MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 운영 결과

아. 기술수요처 및 사업화 방안

- ☐ 국내 막제조사를 통한 제품 개발 및 사업화 추진
- ☐ 기존 역삼투 공정을 기반으로 하는 해수담수화 플랜트 개량 사업
- ☐ 기존 역삼투 공정을 기반으로 하는 해수담수화 플랜트 농축수 저감 개선 사업
- ☐ MD를 적용한 신개념 복합탈염 기술 상용화 및 해외시장 진출
- ☐ MD를 이용한 농축수 저감 기술 상용화 및 해외시장 진출

2. '압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발'과제 개요

가. 연구개발의 목표

- ☐ 막 면적당 전력생산효율 $5\text{W}/\text{m}^2$ 이상인 실증파일럿 PRO 전용막 및 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 개발
- ☐ SWRO-PRO 공정을 통해 최종적으로 생산수 단가를 저감할 수 있는 압력지연삼투 (PRO) 실증파일럿 전용막 개발 및 공정 효율 향상을 위한 시스템 엔지니어링 기술을 개발
- ☐ SWRO 공정 농축수 및 MD/MCr 공정 농축수를 사용하는 PRO 실증 파일럿 건설 (막 면적당 평균 전력생산효율 $5\sim 7.5\text{W}/\text{m}^2$)

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- ☐ 연구개발 필요성
 - o 염도차 에너지(SGP: Salinity Gradient Power)의 잠재력은 현재 전 세계 전기 소요량의 80%을 담당할 수 있을 정도로 크다. 계절이나 날씨의 영향을 많이 받는 태양열, 풍력 등의 발전 방식과 달리 날씨에 의존하지 않는 기술임
 - o 해수 자원이 풍부한 국내의 경우 무한한 해수자원을 이용할 수 있기 때문에 개발 가능성 높다고 할 수 있음
 - o 현재 염도차 기술을 이용하는 압력지연삼투(PRO)에 대한 연구는 전 세계적으로 기술개발 초기 단계이므로 조기에 원천기술을 확보한다면 기술선점이 가능할 것으로 보임
 - o 상용화를 위한 염도차 기술 개발에는 반드시 실험실 규모가 아닌 파일럿 규모의 연구를 진행해야 하며 규모의 경제 실현이 필요
 - o 압력지연삼투(PRO) 전용막 역시 파일럿 규모의 실증 연구를 통해 목표 성능 개발을 달성할 수 있으며, 이를 통해 전용막과 공정기술의 개발이 동시에 이룰 수 있음
 - o 현재 노르웨이의 Statkraft 사가 유일하게 실증 PRO 발전 플랜트를 건설하였으며 해당 플랜트를 통해 막 제조회사들이 PRO 전용막의 성능을 검증하고 있는 것으로 확인됨
 - o 이처럼 국외 파일럿에 전용막 테스트를 의존할 경우, 관련 막 제조 기술 및 공정기술이 국외에 종속될 수 있는 우려가 있기 때문에 국내적으로 PRO 원천기술을 확보해야 할 필요성 있음
- ☐ 정부지원 필요성
 - o 국제적으로 심화되고 있는 물 부족 및 에너지 고갈 문제에 대비한 연구가 활발히

진행되고 있다. 염도차를 이용하여 에너지를 회수하는 압력지연삼투(PRO)는 아직 연구 초기단계에 머무르고 있음

- 세계적으로 PRO 실증 파일럿은 네덜란드에 유일하여, 관련 멤브레인 제조사의 개발 중인 막의 성능 및 기술을 평가받고 있다. 이는 기 확보된 해수담수화 및 멤브레인 기술의 해외 수출과 미래 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 시장의 기술선도국 독점화가 우려됨
- 현재로서는 PRO 전용막의 부재, 막에서의 농도분극현상, 전처리 과정에서의 적지 않은 전력 소모 등의 한계점으로 인해 경제성을 보장하기가 어려우며 해당 기술을 상용화하기 위해서는 정부 연구기관 주도의 계획적이고 장기적인 투자가 필요한 실정
- 특히, PRO의 특성상 파일럿 규모의 시스템을 이용하여 실증연구를 하는 것이 경제성 검증에 반드시 필요하며 이는 정부지원을 통해 이루어질 수 있을 것으로 예상됨
- PRO 공정 최적화 기술 개발 및 기존 해수담수화 플랜트/수처리 플랜트와 PRO 플랜트 기술의 연계를 통하여 실용화 가능성을 더욱 높일 수 있음
- 궁극적으로는 공정 효율 제고와 동시에 물 생산단가를 저감할 있는 기술 개발이 가능할 것이며 해외 기술시장 진출에 큰 발판이 될 수 있을 것으로 전망됨

다. 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

- 지식경제부에서 지원하는 국가과제 “정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발”과의 중복성 검토 및 연계 방안
 - 기존 과제는 원천기술 개발 형태이나 본 연구단은 실증 파일럿의 적용을 통한 시장 진출형 기술 개발을 목적으로 함
 - 기존 과제는 4 W/m^2 PRO 막·모듈 제작 및 5 kW 급 발전용 터빈을 개발하는 것이 목표이나 본 연구단은 PRO 전용 회수장치 개발 및 5 W/m^2 (시장진출을 위한 경제성을 갖는 최소전력밀도) 이상의 PRO 막·모듈 및 베셀 개발이 목표라는 차이점이 있음. 기존 과제와의 연계를 통해 목표하는 막 성능에 도달하는 시간을 절감할 수 있을 것으로 기대됨
 - 기존 과제는 정삼투 공정을 이용한 담수/발전 다목적 플랜트 공정 개발을 목표로 하지만, 본 연구단은 역삼투 공정과 PRO 공정을 조합한 응용 공정 개발을 목표로함
- 기존 해수담수화 플랜트 및 수처리 플랜트와 PRO 공정을 결합할 경우 (농축수+전처리 해수 / 농축수+하수처리수(sand filter) / 농축수+물재이용수) 최종적으로 물 생산단가를 저감할 수 있는 기술을 확보할 수 있기 때문에 기존에 설치된 파일럿 플랜트 및 해당 기술을 활용할 수 있을 것으로 판단 됨

<표 3-1> 기존 연구와의 중복성 검토

연구과제명		정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발				
수행기관		한국기계연구원	발주기관		지식경제부	
연구기간		2009.10 - 2014.09	연구비 (천원)		23,965,000 (정출연 12,780,000)	
연번	연구 주요 내용		중복성 검토 및 차별화 방안			
1	담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험		중복없음	연계가능	지능화	중복됨
			본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구			
2	실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작 (해수-담수)		중복없음	연계가능	지능화	중복됨
			본 연구단은 다양한 공정에 대한 전용막/모듈/베셀 제작 및 상용화를 목표로 함. 또한, 본 연구단에서는 실증파일럿 규모에 적용 가능한 PRO 전용막을 설계제작을 목표로 하고 있어, 지경부 과제의 PRO 막과는 적용 시스템의 규모와 목적이 확연히 다름. 지경부 과제는 본 과제의 기초 조사 및 막 제조의 주요자료로 활용될 수 있을 것으로 보임. 공정예시 1) 하수처리장 방류수 전처리수 - SWRO 해수담수화 플랜트 농축수를 이용한 PRO 공정 공정 예시 2) 하수처리장 방류수 전처리수 - MD 농축수를 이용한 PRO 공정			
3	회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발		중복없음	연계가능	지능화	중복됨
			본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 해수 유인 압력회수기술을 개발하고자 함.			

라. 연구개발 주요 내용

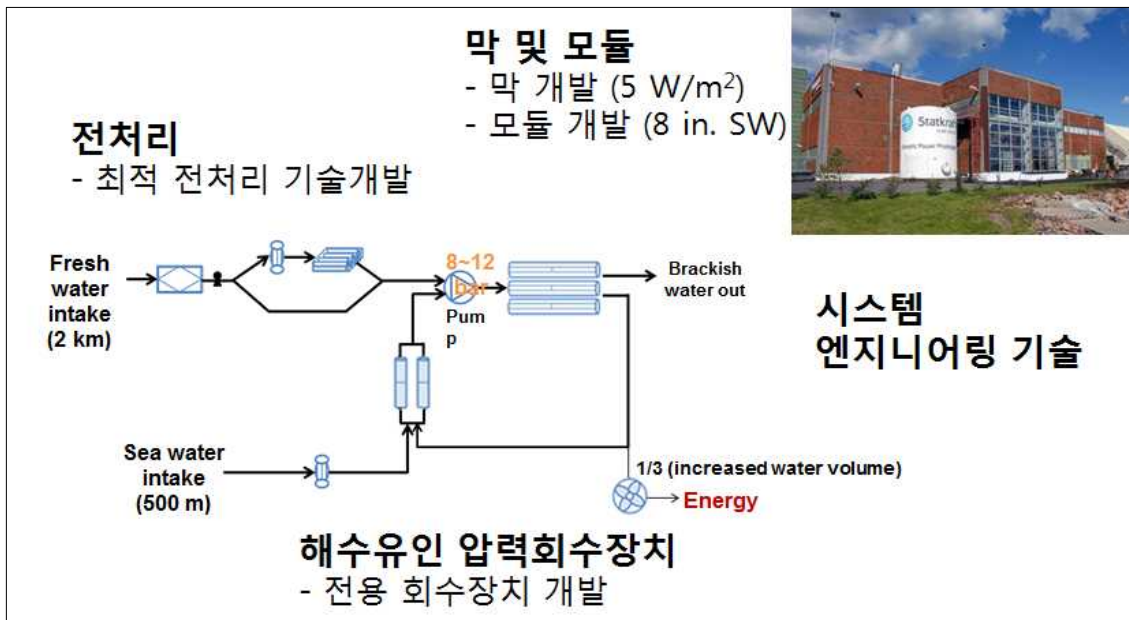
☐ PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발

- o 다양한 지역의 원수 수질에 적합한 전처리 공정 최적화 기술 개발
- o 기존 해수담수화 플랜트(SWRO)와의 공정 조합을 통해 농축수의 삼투에너지를 회수하고 전처리 비용을 절감하는 응용공정 개발
- o 기존 해수담수화 플랜트(SWRO) 및 하수처리수/물재이용수와의 공정 조합을 통해 전처리 비용을 절감하는 응용공정 개발

☐ 실증파일럿 PRO 전용막 개발 및 막성능 평가기술 개발

- o 기존 상용막보다 수투과율이 높은 실증파일럿 PRO 전용막, 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 및 베셀(two flow type)개발
- o 수투과율이 높으며 농도분극을 최소화할 수 있는 막 성능 파라미터 도출

- 실증파일럿 PRO 전용막 장기운전 및 막성능 평가기술 개발
- PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발
 - 저압에서 압력 회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발
- SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발
 - 현장 파일럿 테스트를 통해 에너지생산 효율을 향상시킬 수 있는 단위 공정 및 전체 공정에 대한 최적화 기술 개발
 - 전처리 공정에서의 파울링 저감기술 개발
 - SWRO-PRO 조합 공정을 통해 물 생산단가를 저감할 수 있는 공정기술 개발
- 차세대 염도차 공정기술 개발 (RED, CAPMIX)
 - RED, CAPMIX 전용막 개발
 - 저 저항의 셀 및 스택 디자인 기술 개발

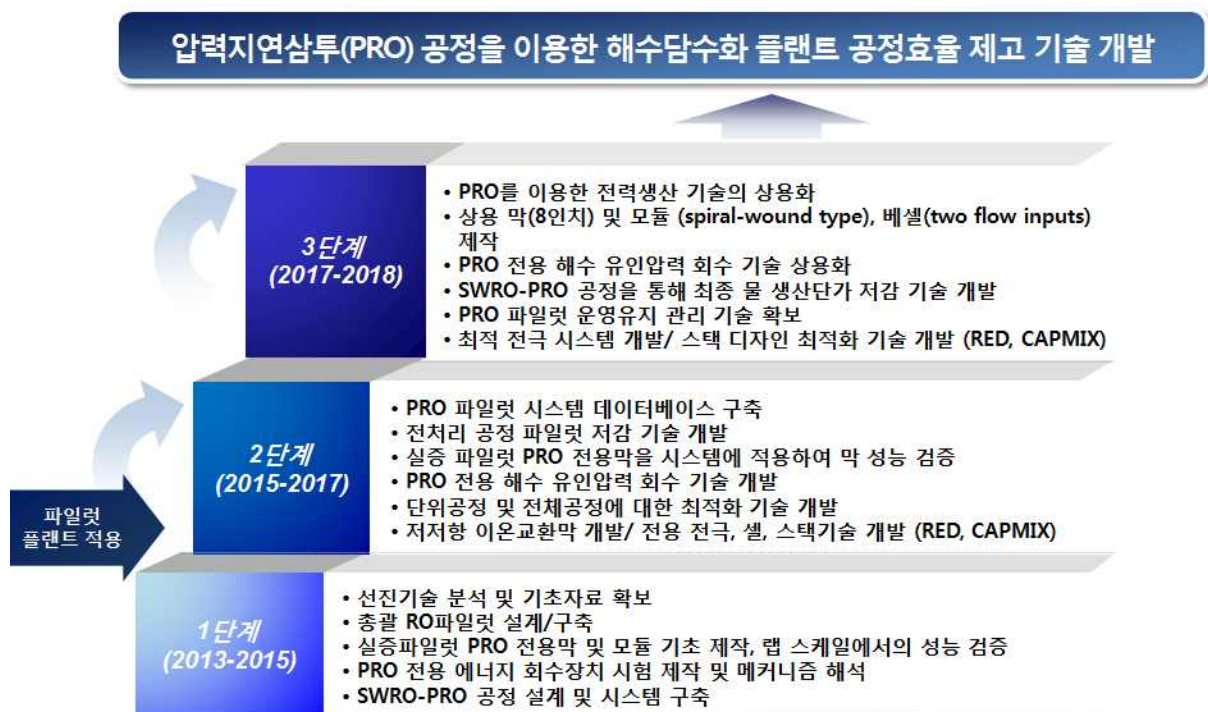


[그림 3-10] PRO를 이용한 해수담수화플랜트 에너지회수 기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
2세부 압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제 고 기술 개발	2-1 PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응 용공정 개발	전처리 응용공정 설계	파일럿 시스템과 전처리 공정 연계	데이터베이스 구축 및 전처리 비용 절감 기술 개발			PRO 전처리 공정 최적화 기술
	2-2 실증파일럿 PRO 전용막/ 모듈/베셀 개 발 및 막성능 평가 기술 개발	실증파일럿 PRO 전용막 제조 기술 개발 및 시편, 모듈 제작	파일럿 시스템에의 적용 및 전력밀도 성능 검증			상용막/모듈 및 베셀 제작	고투과도 파일럿 시스템 PRO 전용막 및 모듈
	2-3 PRO 전용 해수유인 압 력회수장치 개발	PRO 전용 해수유인 압력 회 수장치 설계 및 시험 제작	파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증			시제품 제작 및 성능 검증	PRO 전용 해수유인 압력회수장치
	2-4 SWRO-PRO 공 정효율 제고를 위한 시스템 엔 지니어링 기술 개발	PRO 파일럿 시스템 설계	파일럿 건설 및 구축 완료	물 생산단가 저감 기술 개발			SWRO-PRO 조합공정 최적화 기술
	2-5 차세대 염도 차 공정기술 개발(RED, CAPMIX)	현황 및 자료분석	최적 redox couple 선정	RED 산화-환원 최적 전극 시스템 개발			RED/CAPMIX 전용 막 및 최 적 셀, 스택 설 계 기술

[그림 3-11] 2세부과제 연구개발 TRM



바. 최종성과물 및 성과지표

- ☐ 선진국 대비 수투과율이 100% 인 고수투과도 실증파일럿 PRO 전용막 제조
- ☐ 막 면적당 전력생산효율이 $5W/m^2$ 이상인 실증파일럿 PRO 전용막 시편 제조 및 막 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 제작
- ☐ SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 사용하는 PRO 실증파일럿 최적 공정 조합 기술
- ☐ 저압에서 압력회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치
- ☐ 단위 공정 및 전체 공정에 대한 PRO 시스템 엔지니어링 기술 및 공정최적화 기술 개발 (선진국 대비 90%)
- ☐ RED, CAPMIX 전용 막 및 최적 셀, 스택 설계 기술

사. 성과물 검증방안

- ☐ 실증파일럿 PRO 전용막의 수투과율 및 전력밀도
- ☐ 실증파일럿 PRO 전용막 및 모듈을 실제 시스템에 적용하여 성능 검증
- ☐ SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 사용하는 PRO 실증 파일럿의 전력생산 검증
- ☐ PRO 및 SWRO/수처리 조합공정의 물 생산단가
- ☐ RED, CAPMIX 전용막의 전력 밀도 및 시스템 적용을 통한 성능 검증

아. 기술수요처 및 사업화 방안

- ☐ PRO 상용막 제조기술 및 해외시장 수출
- ☐ PRO 시스템을 이용한 전력생산 기술 상용화 및 해외시장 진출
- ☐ 고효율 PRO 시스템을 활용한 물 생산단가 저감 기술 확보로 해외시장에서 경쟁력 확보

3. '해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발'개요

가. 연구개발의 목표

- ☐ 기존 해수담수화 플랜트에서 발생하는 RO농축수로부터 유가 희소금속 Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술개발
- ☐ 유가 금속이 회수된 RO농축수와 기타 부산물(세정폐액, 슬러지 등)을 활용하여 강도 $100kg/cm^2$ 의 건설재료용 경화체를 제조하는 기술개발

- ☐ 기존 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)을 자원화하여 부가가치를 창출하는 기술 개발(부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치 창출)
- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합공정의 설계 핵심기술 개발

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

- ☐ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물(RO 농축수, 세정폐액, 슬러지 등)의 방류 및 처리는 이차적인 환경오염 및 추가적인 처리비용을 유발하고 있음
- ☐ 특히, RO농축수는 대개 바다로 방류되는데, 이는 해양생태계를 위협하는 요인 중의 하나가 되고 있음
- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물을 자원화 함으로써 오염물질 무 배출 공정을 실현할 수 있으며, 이는 국가적인 흐름인 녹색성장과도 부합함
- ☐ 해수담수화 공정 잔여 부산물의 자원화를 통해 해수담수화 플랜트의 경제성을 향상시킬 수 있음
- ☐ 본 기술은 전 세계적으로 연구 초기단계에 해당하므로 정부의 집중지원을 통해 원천기술을 확보할 필요가 있음
- ☐ 본 기술에 대한 시장형성이 아직 미미함으로, 원천기술 개발로 초기 시장 진입이 가능할 것으로 보임

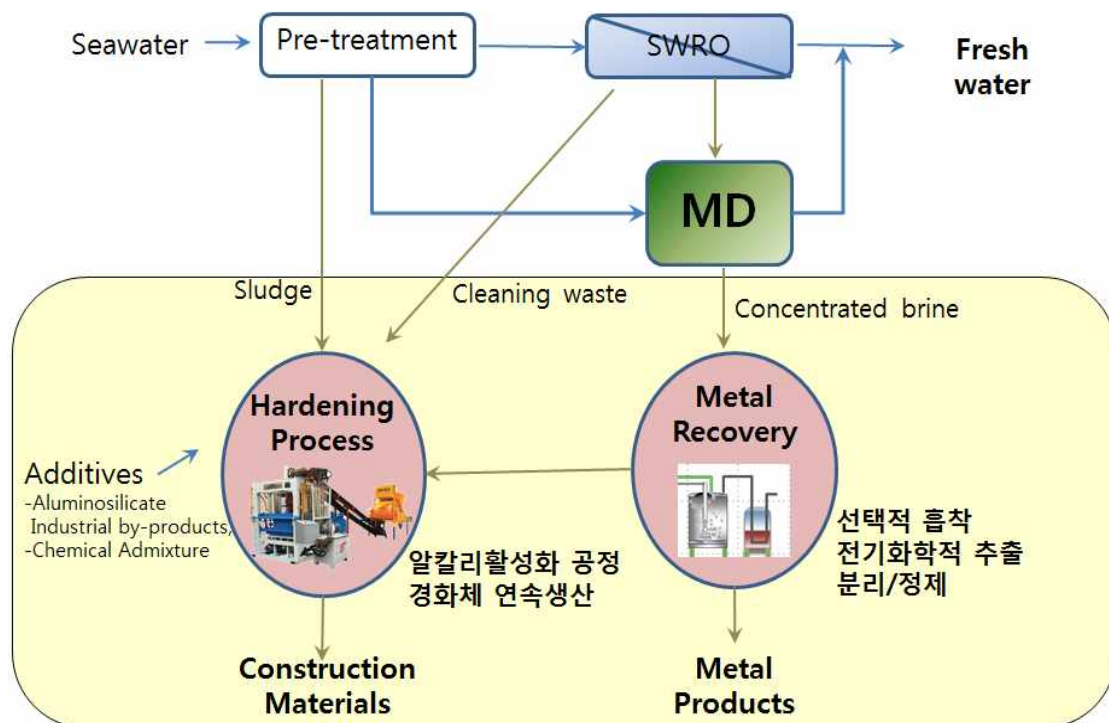
다. 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물의 자원화 기술에 관한 국내 연구 사례는 거의 없음. 단, 기존 해수담수화 플랜트 사업단(1핵심 4세부과제)에서 RO농축수로부터의 마그네슘 및 천연소금 회수에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행된 바 있음
- ☐ 일부 자원 회수 기술들의 경우 적용 분야가 다른 유사 기술(해수로부터 유가 금속 추출 및 소독수 제조)에 대한 연구는 한국지질자원연구원, 포스코 등에서 진행된 사례가 있으므로, 필요하다면 협업을 통해 연구에 소요되는 시간을 단축할 수 있을 것으로 보임

라. 연구개발 주요 내용

- ☐ RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심기술 개발
 - o 희소금속 선택적 흡착 소재 개발
 - o 전기화학적 방법을 적용한 희소금속 추출을 위한 전극 및 전기분해 셀 개발
 - o 희소금속 탈착 및 분리정제 기술 개발

- RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 최적화 공정 설계기술 개발
 - 희소금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발
 - 전기화학적 희소금속 추출 공정 설계기술 개발
 - 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화
- 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발
 - 해수담수화 플랜트 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)과 알루미노실리케이트계 산업부산물(슬래그, 플라이 애시, 실리카 폼 등)의 알칼리 활성화 반응을 활용한 경화기술 개발
 - 해수담수화 플랜트 부산물 성상별 경화기술 최적화
 - 경화체 내구성 증진 기술 개발
 - 건설재료(벽돌, 보도블럭, 테트라포트 등) 활용을 위한 경화체 유해성 평가
- 해수담수화 플랜트 부산물 활용 경화체 연속생산 공정 개발
 - 경화체 연속 생산 공정 설계기술 개발
 - 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화

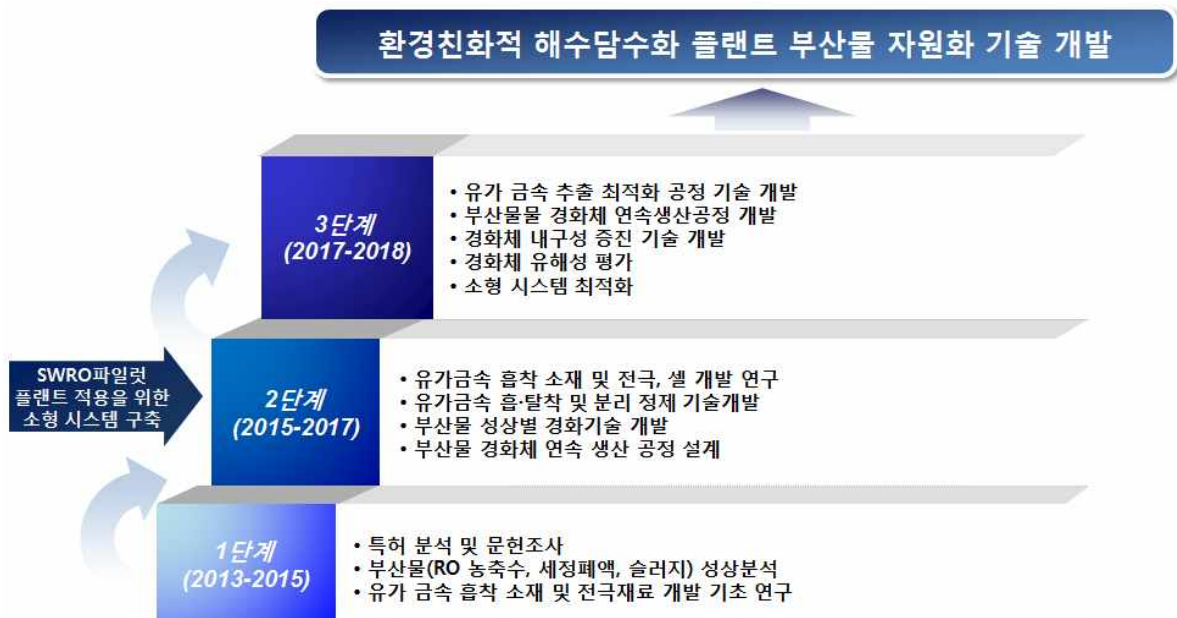


[그림 3-13] 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
3세부 해수담수화 플랜트 부산 물 자원화 기 술 개발	3-1 RO 농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심 기술 개발	현황 및 자료 분석	유가 금속 흡착소재 연구	전기화학적 금속 회수 기술 개발	금속 탈착 및 분리정제 기술 개발	• RO 농축수 활용 유가 금 속 추출 기술
	3-2 RO 농축 수 금속 추 출 최적화 공정 설계		금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발	전기화학적 금속 추출공정 설계기술 개발	소형 시스템 구축 및 최적화	• RO 농축수 활용 유가 금 속 추출 소형 시스템
	3-3 해수담수화 플랜트 부 산물 경화 기술개발	현황 및 자료 분석 부산물 성상 분석	부산물 성상별 경화기술 최적화	경화체 내구성 증진 기술 개발	경화체 유해성 평가	• 해수담수화 플랜트 부 산 물 경화 기술
	3-4 부산물 경 화체 연속 생산 공정 기술 개발		경화체 연속생산 공정 설계 기술 개발		소형 시스템 구축 및 최적화	• 경화체 연 속 생산 소형 시스템

[그림 3-14] 3세부과제 연구개발 TRM



[그림 3-15] 3세부과제 단계별 추진 전략

바. 최종성과물 및 성과지표

- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치를 창출할 수 있는 부산물 자원화 기술
- ☐ RO농축수로부터 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상)에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술
- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물로부터 강도 100kg/cm²의 건설재료용 경화체 제조 기술
- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합 공정 설계 기술(선진국 기술 수준 대비 100%)
- ☐ 부산물 자원화 각 단위공정 및 통합공정 소형 시스템 구축(부산물 1톤/일 처리 수준)

사. 성과물 검증방안

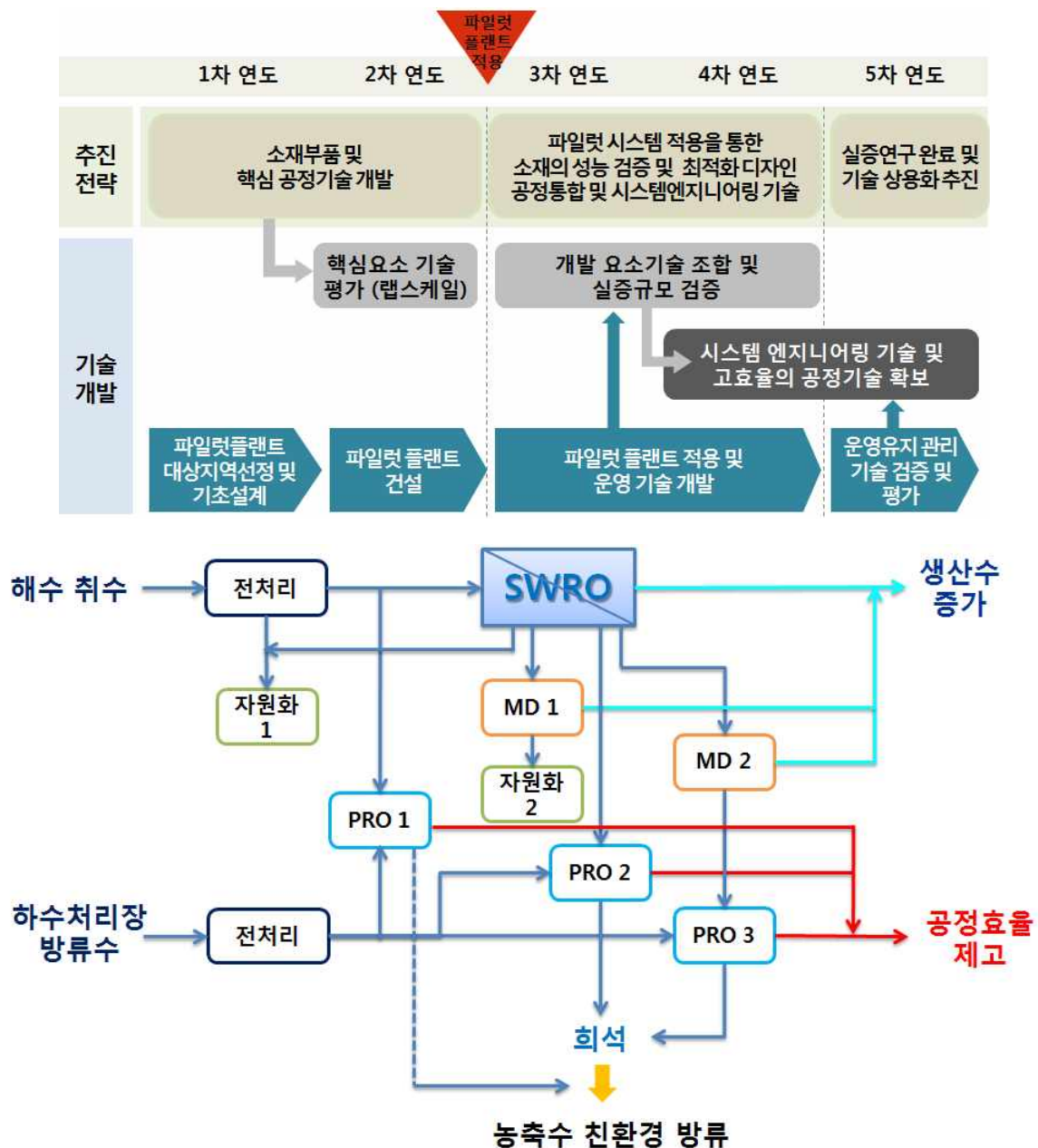
- ☐ 해수담수화(SWRO)공정과 부산물 자원화 공정 연계를 통한 물 생산단가 감소율
- ☐ 소형 시스템 구축을 통한 RO농축수로부터 유가 희소금속 회수율 검증
- ☐ 해수담수화 플랜트 부산물로 제조한 경화체의 압축 강도 테스트
- ☐ 부산물 자원화 각 단위공정 및 통합공정 소형 시스템의 처리 용량 검증

아. 기술수요처 및 사업화 방안

- ☐ 목적별·기관별·사용자별 다양한 이해관계를 반영하여 현재 제도를 분석하고 활용 가능한 연구 성과가 도출될 수 있도록 함
- ☐ 폐기물 경화 기술 기술은 개발된 경화체의 안전성과 유해성을 평가한 후 현장에 적용하도록 추진
- ☐ 해수담수화플랜트 폐기물 자원화 통합 시스템 기술의 현장 검증 후 해외 수출방안 모색
- ☐ 국내외 관련 기술의 미래전망 및 정책동향의 지속적인 파악
- ☐ 연차별 연구 목표와 성과물 중심의 기술개발 추진 및 선택과 집중으로 대표 과제에 집중
- ☐ 국제기구 및 선진국가의 연구기관과의 네트워크 구축 및 적극적인 국제공동연구 수행
- ☐ 기존의 국내외 연구 성과를 최대한 활용하고, 단기간 내에 결과를 확보하기 위해 관련 기관과의 긴밀한 공동연구체계 구축

제 5 절 세부과제간 연계관계

- 핵심 단위기술 - 막 증발법 (MD), 압력지연삼투(PRO) 및 자원 회수 공정-의 복합 탈염 파일럿 플랜트 적용
 - SWRO 해수담수화 플랜트에 MD, PRO 및 자원회수 공정 적용
 - 파일럿 시스템 적용을 통한 소재의 성능 검증 및 개발 요소 기술의 실증 규모 검증
 - MD 공정의 농축수를 이용하여 PRO 공정을 통한 에너지 회수 및 자원화 공정을 통한 자원 공정 구축



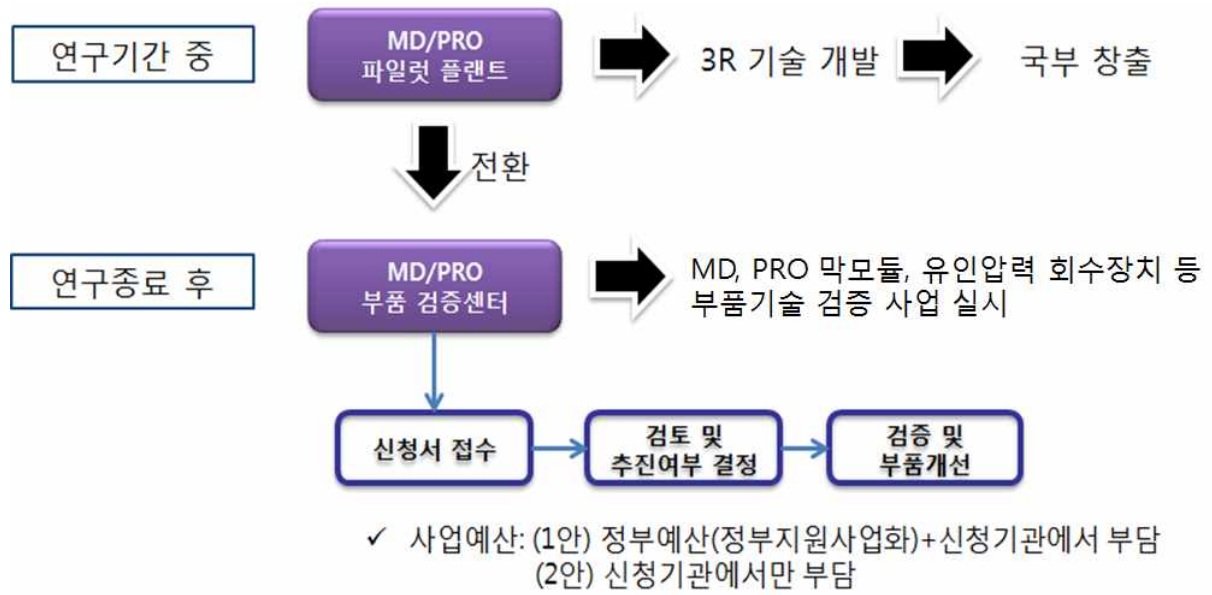
[그림 3-16] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 파일럿 플랜트 적용을 통한 개발 요소기술간 조합 공정 개발

- MD공정에서 발생하는 농축수를 부산물 자원화 공정의 고농도 용액으로 사용
- MD공정에서 발생하는 농축수를 PRO 공정에 사용
- SWRO 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 부산물 (RO농축수, 슬러지, 세정폐액 등)을 부산물 자원화 공정에 사용
- SWRO 해수담수화 플랜트에서 발생하는 농축수, 생산수를 각각 PRO공정의 고농도, 저농도 용액으로 이용
- 하수처리장에서 발생하는 하수 폐열을 활용하여 MD의 열원으로 사용하고 하수처리장 방류수는 PRO 공정의 저농도 용액으로 사용 (국내 하수처리장의 30% 가량이 해안가에 위치하고 있어 신규 해수담수화플랜트에 적용)
- 화력발전소의 폐열을 이용하여 MD 공정의 보조 에너지원으로 사용
- 기존 증발법 해수담수화 플랜트 성능향상을 위해 MD 공정을 추가할 경우, 증발식 해수담수화 플랜트에서 발생하는 폐열을 MD의 열원으로 활용
- 그 외 태양열, 지열 등을 MD의 열원으로 활용할 수 있음
- PRO 공정을 통해 얻은 에너지를 단독전력, MD 보조 전력 및 SWRO 해수담수화 플랜트의 보조 에너지원으로 사용

□ 연구과제 종료 후 파일럿 플랜트 활용(안): MD/PRO 관련 부품의 검증시설로 활용

- 파일럿 플랜트 구비 시 100억에 가까운 정부 및 민간 예산이 소요될 것으로 예상된다. 따라서, 연구기간 종료 후에도 이를 활용하는 방안을 수립할 필요성이 있음
- 연구기간이 종료 후에는 파일럿 플랜트 시설을 MD/PRO 관련 부품의 검증 시설로 활용 - MD/PRO 관련 국산 부품기술(막모듈, 압력회수장치 등)의 검증에 활용
- 검증에 소요되는 비용(설치비, 운영비 등)은 향후 별도의 국가과제 형태로 정부에서 지원할 수도 있고, 해당 부품을 개발한 기관(기업, 연구소 등)에서 자체 부담할 수 있음. 후자의 경우라도 기업 입장에서는 상당한 테스트비용 절감이 가능(부지 비용 및 부대시설 비용이 없음)



[그림 3-18] MD/PRO 파일럿 플랜트의 연구기간 종료 후 활용방안

제 6 절 연구추진체계 제안

- ☐ 'MD/PRO 복합탈염 기술 개발 연구단'은 국토해양부의 과제관리를 받으며, 연구단장 책임 하에 연구단에서 행정을 관리함
- ☐ 3개의 세부과제 아래에는 2~3개의 공동과제를 운영하며, 각 공동과제 담당자는 참여기업과 위탁 연구자와 함께 연구를 수행함

제 4 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성 분석

1. 국가전략적 중요성

가. 정책적 중요성

- 동 사업과 관련된 산업은 국가에서 육성하고자 하는 신성장동력 사업의 하나로 기술개발 완료 후 10년간 경제적 편익이 5,000억원 이상인 매우 중요한 산업임
 - 동 분야는 일반 토목/건축 산업과는 달리 전체 예산의 70%이상을 제품 구매 방식을 통해 매출을 발생시키는 특징이 있으므로, 국내 연관 기업의 기술 및 역량을 제고시킬 수 있는 파급효과를 지님
- 또한, 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치
 - 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는 대표적인 R&D과제로 여겨짐
- 기술의 해외 수출, 해외 플랜트 수주 등을 사업화 목표로 하여 국가 발전 도모할 수 있음

나. 정부지원의 타당성

- 현 사업단은 세계수준의 RO기술 국산화를 목표로 하였으며, 2012년 종료시점까지 세계 기술과 대등한 수준의 국내기술을 확보할 것으로 예상되나, 세계적 기술수준을 뛰어 넘어 RO기술의 우위를 차지할 수 있는 탈추격형 차세대 RO기술의 개발이 필요함
- 해수담수화 관련 미래기술은 RO기술, 부품소재개발, 에너지기술, 설계 및 시공기술, IT 기반 운영 및 유지기술 등 플랜트 종합형 기술개발사업이므로 국가주도형 사업추진이 절실히 요구됨
- 하지만, 초기투자비용 및 초기개발 부담이 크나 초기집중 투자시 기술 선점효과나 파급효과가 매우 크며, 중/장기 응용개발 기술이 요구되기 때문에 정부의 정책적 방향제시가 필요함

다. 사업추진의 시급성

- 현재 해수담수화산업에서의 우리나라의 현황을 살펴보면, 일정수준 이상의 기술을 확보하였으나 역삼투막으로 대변되는 해수담수화 시장상황에서 기술적 우월함으로 접근하기에는 기술적 평준화로 인한 가격경쟁력 면에서 그리고 다국적 기업의 규모면에서 열세인 국내업체들이 고전할 것으로 예상됨
 - 현 국내 기술은 전력소요량 4 kWh/m³ 내외까지 확보되었으나, 세계 수준인 3.0kWh/m³의 75% 수준에 불과하여 실질적으로 수주와 연결되기에는 O&M적인 요소 (전력비 저감) 면에서 열세로 인해 증발식에서와 같은 지위를 기대하기에는 무리
- 증발식에서 RO방식으로 시장이 재편되는 시기에 현 해수담수화플랜트 사업단을 통한 기술개발을 시작하여 R&D 시기가 늦어진 것이 하나의 원인임
- 현재의 시점은 2차적인 기술혁신의 시기로 향후 RO방식에서 다른 방식으로 시장이 재편될 것으로 전망되며, 지금 사업추진이 이루어지지 않는다면 지속적으로 시장을 선도할 수 있는 기술개발은 요원할 것으로 판단됨
- 현재 일부 선진국가에서 미래시장의 선점을 위하여 MD 및 PRO의 연구를 추진하고 있으므로, 지금 사업이 추진되지 않으면 선도기술의 확보가 어려울 것으로 예상됨

2. 상위계획과의 부합성 (정책적 일관성 분석)

가. 상위 유관계획과의 부합성

- ☐ 본 사업은 “범부처 물산업 육성 정책”, “수자원 장기 종합계획” 및 “국가에너지 기본계획에 부합”됨
- ☐ 범부처 물산업 육성 정책
 - 범부처 물산업 육성 정책의 내용 중 하기와 같은 내용과 동 사업은 부합함
 - 범부처적으로 블루골드 시장을 주도할 수 있는 원천 기술을 확보
 - 상용화 기술의 조속한 개발을 위하여 실증공간의 확보를 통한 기술검증을 적극 지원하고자 하며 이를 통해 해외진출의 기반을 조성
 - 물산업 육성을 위해 향후 정부와 민간의 적극적인 협력이 기대됨

원천기술 개발을 통한 경쟁력 강화	블루골드시장 주도 원천기술 개발 신기술 상용화 촉진 : 실증공간 확보
토탈솔루션 역량 확보를 통한 전문 물기업 육성	지방상수도 및 하수도 통합화 · 광역화 민간기업 참여 확대를 통한 물전문 기업 육성
먹는 샘물, 물 재이용 등 연관산업 육성	먹는 샘물 산업 발전 기반 조성 친환경 대체용수산업 육성 상하수도 기자재 산업 경쟁력 강화
해외진출 활성화	지역별 맞춤형 추진전략 수립 해외진출 기반 구축 민관 및 정부간 협력 체계구축

[그림 4-1] 범부처 물산업 육성 정책 내용

□ 국가에너지기본계획 (2008.8.27.)

- 신재생에너지 R&D 지원과 산업화에 중점을 두고 정책을 추진
- 2030년까지 에너지효율 46% 개선 및 신재생 에너지 보급률 11%까지 증가가 목표
- 본 기술 또한 신재생 에너지를 사용한 물생산 공정으로 에너지 효율 개선과 신재생 에너지 보급률에 기여할 수 있음

3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계 (정책적 추진의지 분석)

□ 국토해양부의 추진의지

- 국토해양부에서는 국토해양 R&D 발전전략의 일환으로 미래핵심기술(Greep-up 30)을 설정하였으며, 하이브리드 담수화 플랜트 기술개발이 이에 포함됨

4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

- o 다수의 참여주체가 참여하는 R&D 과제에서 나타날 수 있는 다양한 위험요인을 발굴하여 체계적으로 관리할 계획임

<표 4-1> 사업추진상의 위험요인 및 대응방안

실패위험	세분류	리스크 관리방안
R&D기획	환경변화대응 실패	사전조사 및 검토를 철저히 수행하기 위해 사전기획예산을 별도로 편성하여 Intelligence Analysis Activity 강화
	R&D기획역량 부족	장래 필요한 R&D기획에 대한 경험과 역량이 부족할 수 있음. R&D전략기획을 위한 전문컨설팅을 활용한 기획력 강화
	기획과정 운영실패	기획결과에 대한 부처별 공감대가 부족할 수 있음. 이를 극복하기 위하여 기획 단계에서부터 부처와 연구책임자급들의 참여를 확대
R&D 관리	개방·경쟁 부족	관련분야 우수연구그룹 및 연구자들이 적극적으로 참여할 수 있도록 기술 정보교류의 장을 마련 다부처가 적극 참여할 개방 체제 구축
	시너지 창출 실패	프로젝트 구성에 있어서 상호시너지효과가 높은 융합연구 프로젝트를 추진 주기적인 Conference를 개최하여 연구팀간 시너지효과 창출이 가능토록 제도화
R&D 평가 단계	엄정한 평가 부족	객관적인 평가가 될 수 있도록 성과목표지표를 명확히 설정 왜곡된 평가를 방지하기 위하여 평가공개제도 도입
	평가결과 활용부족	평가결과를 활용하여 프로젝트 보완 계획 수립 평가과정에서 홍보에 필요한 자료를 확보하고 홍보자료로 활용

제 2 절 기술적 타당성 분석

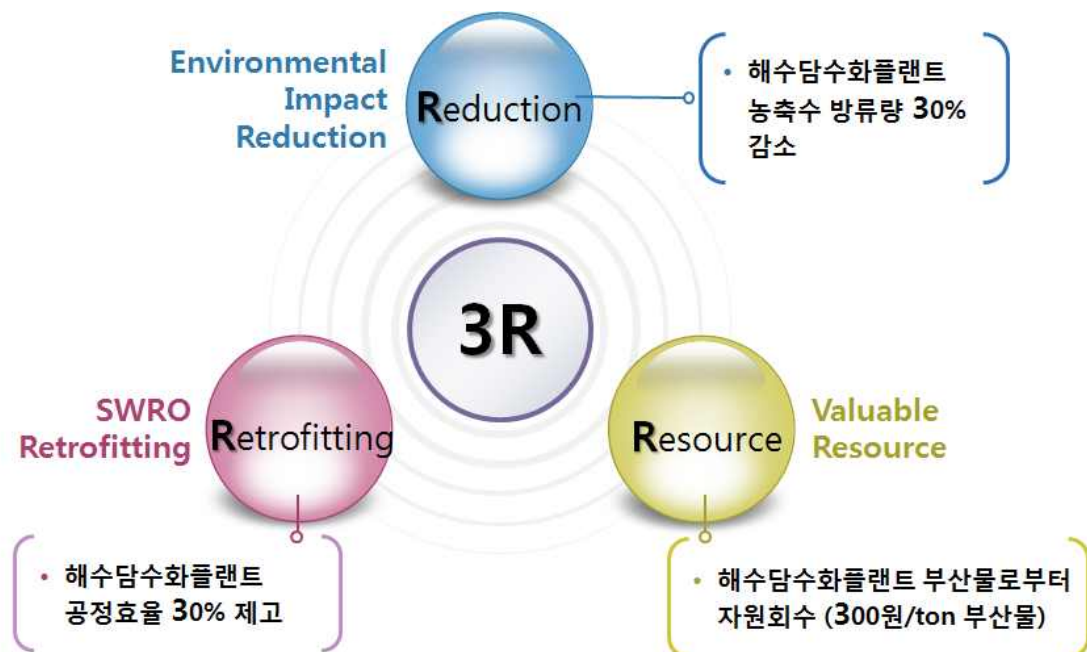
1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 적절성

□ 사업목표의 구체성 분석

○ 사업목표를 구체적으로 제시함

- 사업의 비전 및 전략목표를 “세계시장선도형 역삼투 해수담수화 기술확보” 및 “역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성”으로 구체적으로 제시하고 있음
- 비전 및 전략목표에 따른 기술적 목표를 정량적으로 제시하고 있음



[그림 4-2] 연구단의 3대 기술목표 : 3R

- 모든 세부과제에 대해 목표, 내용, 성과를 명확히 제시함(6장의 RFP 참조)

□ 사업내용의 논리성 및 적절성

○ 세부과제의 내용, 범위 등이 구체적으로 정의되었음

- 세부과제의 범위, 기술개발 목표가 구체적으로 정의되어 있으며 공동과제별 연구내용이 연차별로 서술되어 있음
- 세부과제간 연계관계가 구체적으로 서술되었으며, 각 세부과제간의 역할 및 관계, 공동 과제간의 연계관계가 도식화 되어있어 사업목표를 위한 세부과제 선정의 논리

적 근거를 제시함

- 연구개발과제의 도출 프로세스를 제시함으로써 중점추진분야 및 세부과제 도출의 적절성을 제시함

나. 사업추진전략의 적절성

□ 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

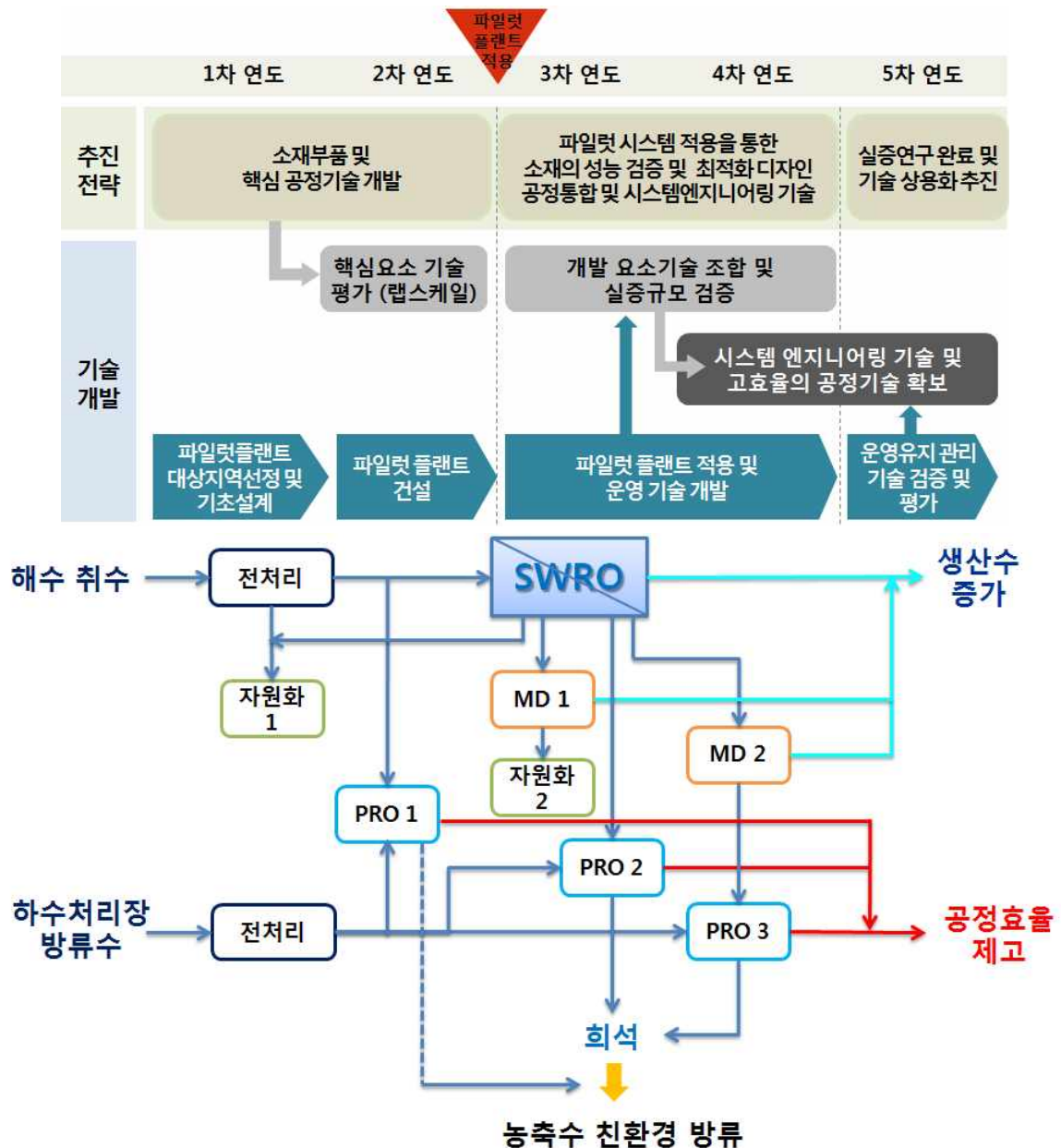
- 사업목표를 계획된 기간내에 효율적으로 달성하기 위한 추진전략 및 도출근거를 제시함
 - SWOT 분석을 통해 내부환경과 외부요인을 명확히 분석하여 전략을 도출함
 - 전체사업추진 전략 및 세부과제에 대한 추진전략을 단계별로 구체적으로 제시함



[그림 4-3] 연구단 단계별 추진 전략

□ 사업추진체계의 적절성

- 사업의 추진체계가 과제의 구성 및 단계별 추진전략의 형태로 구체적으로 제시함
 - 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 미래선도형 기술로 원천기술적 성격을 지니고 있어 사업단 보다는 연구단 수준이 구성이 적합한 것으로 제시되고 있음
 - 또한 세부과제(공동과제)는 상용화 기술과 미래핵심기술이 적절히 융합되어 있는 형태로 구성되어 있음
- 목표 달성을 위한 세부과제간 연계방안이 아래와 같이 구체적으로 제시됨



[그림 4-4] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 기술개발로드맵의 우수성

- 관련 세부 또는 요소기술별 상세 기술개발계획에 대해 제시하고 있음
 - 요소기술이 적절하게 구성되어있고, 요소기술별 개발계획을 연차별로 상세하게 제시함
- 각 세부과제별 기술개발로드맵을 제시하고 있음
- 기술개발로드맵은 국내외 동향 및 환경의 분석결과를 반영하고 있음
 - 각 세부과제를 도출하는데 있어서 국내외 동향 및 환경분석, 선행사업의 분석을 반영함

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준

- ☐ 기술동향 분석 결과 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 현재 상용화되지 못한 원천기술로 기술경쟁력은 기술을 선도하고 있는 일부 국가외에는 비슷한 수준으로 분석됨
- ☐ 우리나라의 경우, 현재 해수담수화 사업단 추진의 성과로 역삼투 방식의 기술에 있어서는 세계수준에 근접하는 기술을 확보한 것으로 판단되어, 동 기술 개발에 필요한 역량(기술력, 인력 등)은 일정수준 이상 확보되어 있는 것으로 판단됨

나. 기술개발의 성공 가능성

- ☐ 기술적 위험요인
 - o SWOT 분석을 통한 기술적 시사점 및 위험요인에 대해 구체적으로 분석함
 - o 연구의 성공적인 수행을 위해서는 새로 발생할 수 있는 기술적 위험요인에 대한 예측, 선행사례 분석, 제도상의 위험요인 및 이에 따른 대응방안 설정에 대해 추후 지속적으로 검토할 필요가 있음
- ☐ 기술개발 성공가능성
 - o 추후 기술수준 및 역량 대비 기술개발의 성공가능성과 시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서의 성공가능성에 대한 검토가 필요함
 - o 사업목표 이외의 부수적으로 예상되는 기대효과로 기술적 기대효과, 환경적 기대효과, 경제적 기대효과로 나누어 서술함

3. 기존 사업과의 중복성

- ☐ 세부과제 단위에서 기술개발 내용의 중복성을 검토한 결과 1세부과제(MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술개발) 및 3세부과제는 우리나라에서 연구사업이 진행된 사례가 없음
- ☐ 2세부과제(PRO를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술개발)의 경우, 유사과제가 존재하나, 세부적으로 살펴볼 때, 대부분 중복성은 없으며 일부기술에 대해서는 연계방안을 통해 기술개발의 효율성을 제고하는 방향으로 사업을 기획하였음

<표 4-2> 기존 연구와의 차별화 및 연계방안(2세부과제)

연구과제명		정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발			
수행기관		한국기계연구원	발주기관		지식경제부
연구기간		2009.10 - 2014.09	연구비 (천원)		23,965,000 (정출연 12,780,000)
연번	연구 주요 내용		중복성 검토 및 차별화 방안		
1	담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험		중복없음	연계가능	지능화
			중복됨		
			본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구		
2	실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작 (해수-담수)		중복없음	연계가능	지능화
			중복됨		
			본 연구단은 다양한 공정에 대한 전용막/모듈/배셀 제작 및 상용화를 목표로 함. 또한, 본 연구단에서는 실증파일럿 규모에 적용 가능한 PRO 전용막을 설계제작을 목표로 하고 있어, 지경부 과제의 PRO 막과는 적용 시스템의 규모와 목적이 확연히 다름. 지경부 과제는 본 과제의 기초 조사 및 막 제조의 주요자료로 활용될 수 있을 것으로 보임. 공정예시 1) 하수처리장 방류수 전처리수 - SWRO 해수담수화 플랜트 농축수를 이용한 PRO 공정 공정 예시 2) 하수처리장 방류수 전처리수 - MD 농축수를 이용한 PRO 공정		
3	회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발		중복없음	연계가능	지능화
			중복됨		
			본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 에너지 회수장치를 개발하고자 함.		

제 3 절 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석

□ 비용/혜택 분석

○ 분석대상

- 역삼투 방식의 해수담수화플랜트 시장에 대해 분석하였으며, 이에 대한 비용/혜택 분석 결과를 도출함

○ 혜택범위

- 역삼투방식의 해수담수화플랜트 시장규모로 설정

○ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산으로 정부출연금과 민간참여금을 합한 금액

○ Benefit 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 시장규모, 시장점유율, 기술기여도, R&D기여도, 할인율을 고려함

※ 시장규모 : 기술개발 과제추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 세계시장 규모 (역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 시장)

※ 시장점유율 : 동 사업의 전략목표인 세계 시장 10%를 설정함(단, 연구단의 목표인 시장 점유율 10% 달성은 동시에 기획 중인 연구단 1의 성과와 더불어 달성되는 것이므로 본 분석에서는 시장점유율 5%로 타당성 분석을 실시함)

※ 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중. 기술기여도에 대해서는 다양한 연구가 존재하나, 일반적으로는 3분법 또는 4분법을 일괄적으로 적용함(본 분석에서는 기술가치 평가에서 사용되는 4분법에 따라 25%를 적용함)

※ R&D 기여도 : 본 연구과제를 통해 달성된 기술개선 비중. KISTEP에서 작성된 “06 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구”의 R&D사업의 효과분석 사례에서 적용한 10.9%를 사용함

※ 할인율 : 할인율은 10년만기 국고채 금리인 4.3%를 적용

□ 경제성 분석 결과

- 주어진 가정하에서 산출된 동 연구개발사업의 NPV는 1,857.3억원, B/C ratio는 4.7로 경제성 측면에서 매우 긍정적인 것으로 판단됨

<표 4-3> 경제성 분석 결과

(단위: 억원)

	비용	비용현재가	편익	편익현재가
2013	91.5	87.7		
2014	158.0	145.2		
2015	122.0	107.5		
2016	102.0	86.2		
2017	86.5	70.1		
2018			235.75	183.1
2019			259.35	193.2
2020			285.25	203.7
2021			313.80	214.8
2022			345.15	226.6
2023			379.70	239.0
2024			417.65	252.0
2025			459.40	265.8
2026			505.35	280.3
2027			555.90	295.6
합계	560.0	496.8	3,757.30	2,354.0

2. 과학기술적 파급효과

☐ 과학기술 수준 증진 효과

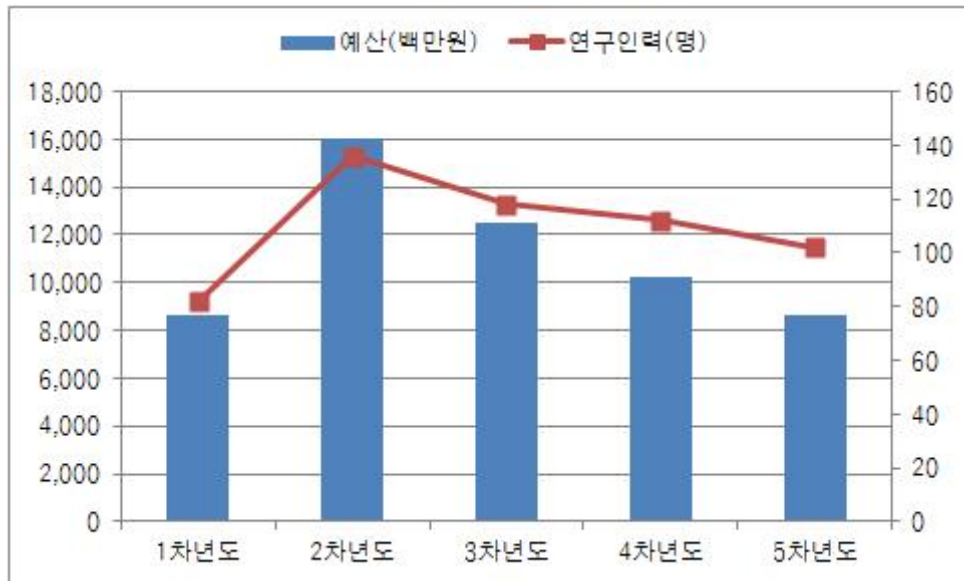
- 본 연구단에서 개발하는 MD/PRO 복합탈염 기술은 다양한 요소 기술이 모여 하나의 거대한 시스템은 이루는 형태로, 개발 요소 기술의 과학기술적인 발전에도 큰 영향을 미치게 됨

☐ 물산업 및 신재생에너지산업 분야 융복합 인력양성

- 기존의 환경공학과, 토목공학과, 화학공학과와 학생들이 본 연구에 관심을 갖고 과제를 수행함으로써, 환경, 물, 에너지 등이 융복합된 인력이 탄생하게 됨
- 관련 대학과 연구기관 등도 목적 지향적인 본 사업을 통해 자연스럽게 융복합 인력을 양성할 수 있게 됨

3. 예산 적정성 분석

- 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함
- 각 세부과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분하여 예산을 산정함
 - 과제의 성격을 고려하여 1, 2세부과제의 경우 참여기업의 형태를 대기업으로 예상 기업부담금을 50%로 산정한 반면, 3세부과제는 중소기업의 참여를 예상 33%를 산정함
- 파일럿 플랜트 건설이 진행되는 2차년도 연구비 및 연구인력이 높은 것으로 볼 때 연구내용을 고려한 예산의 산정이 이루어졌음



[그림 4-5] 연차별 연구비 및 연구인력 현황

제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구일정에 따른 인력계획

1. 연차별 투입연구인력

(단위 : 명)

과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부과제	46	68	60	60	56	290
2세부과제	28	44	42	36	30	180
3세부과제	8	24	16	16	16	80
합계	82	136	118	112	102	550

2. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

과제		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부	1-1	10	16	12	12	10	60
	1-2	8	8	8	8	8	40
	1-3	10	16	12	12	10	60
	1-4	8	8	8	8	8	40
	1-5	10	20	20	20	20	90
	소계	46	68	60	60	56	290
2세부	2-1	4	8	8	6	4	30
	2-2	4	8	8	6	4	30
	2-3	4	8	8	6	4	30
	2-4	8	12	10	10	10	50
	2-5	8	8	8	8	8	40
	소계	28	44	42	36	30	180
3세부	3-1	2	6	4	4	4	20
	3-2	2	6	4	4	4	20
	3-3	2	6	4	4	4	20
	3-4	2	6	4	4	4	20
	소계	8	24	16	16	16	80
합계		82	136	118	112	102	550

제 2 절 소요예산 산정

1. 산정개요

- ☐ 세부과제별 기획위원회를 구성, 기획위원회에 의한 상향식(Bottom up) 방법으로 예산을 산출함
- ☐ 최소 연구단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정비용을 산정하고, 이를 토대로 일반과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정
- ☐ 각 공동과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함. 이때 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준'을 작성기준으로 활용
- ☐ 항목별 예산은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표 2 연구개발비 비목별 계상기준'을 작성기준에 따라 아래와 같이 산정함(기업부담금은 추정치임)

<표 5-1> 기업부담금 출연기준

구분	기업부담금 출연기준 (총 연구개발비 대비)
대기업 참여	50% 이상
중소기업 참여	25% 이상
2개 이상의 참여기업 중 중소기업의 비율이 2/3 이상	25% 이상

2. “MD/PRO 복합탈염 기술 개발”연구단 소요예산

(단위 : 백만원)

과제		1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
1세부	1-1	500	500	800	800	600	600	600	600	500	500	6,000
	1-2	400	400	400	400	350	400	400	400	400	400	3,950
	1-3	500	500	800	800	550	600	600	600	500	500	5,950
	1-4	500	400	400	400	400	400	400	400	400	400	4,100
	1-5	500	500	1,900	2,000	1,400	1,500	1,000	1,000	1,000	1,000	11,800
	소계	2,500	2,300	4,300	4,400	3,300	3,500	3,000	3,000	2,800	2,800	31,900
2세부	2-1	200	200	550	600	350	400	200	200	100	100	2,900
	2-2	250	200	550	600	400	400	200	200	100	100	3,000
	2-3	250	200	600	600	400	400	200	200	100	100	3,050
	2-4	550	500	800	800	400	400	500	500	300	300	5,050
	2-5	450	400	400	400	400	400	400	400	400	400	4,050
	소계	1,700	1,500	2,900	3,000	1,950	2,000	1,500	1,500	1,000	1,000	18,050
3세부	3-1	250	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,625
	3-2	200	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,575
	3-3	250	100	200	100	250	125	200	100	200	100	1,625
	3-4	100	50	200	100	200	125	200	100	100	50	1,225
	소계	800	350	800	400	950	500	800	400	700	350	6,050
합계		5,000	4,150	8,000	7,800	6,200	6,000	5,300	4,900	4,500	4,150	56,000

※ 1, 2 세부 - 대기업 비율 적용, 3세부 - 중소기업 비율 적용

제 6 장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

제 1 절 과제 제안요구서 (RFP)

1. 연구단 제안요구서 (RFP)

과제명	MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단
1. 연구개발 목표	○ 해양자원과 기존 해수담수화 플랜트의 농축수를 이용한 염도차 기술을 통해 농축수 배출량 저감과 전체 플랜트의 공정 효율 제고 - 현재 50%인 역삼투법 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감하고 공정효율을 30% 제고 하는 환경 친화형 고효율 해수담수화 기술 개발 - 농축수의 양을 30% 저감하기 위한 막 증발법 전용막 및 모듈 설계기술 개발 - 또한, 농축수에서 유가자원을 회수함으로써 농축수의 배출량을 최소화함과 동시에 경제적 이익을 도출하는 해수담수화 기술 개발 - 막 면적당 전력생산효율 5 W/m^2 을 가진 Spiral wound형 8인치 실증파일럿 PRO 전용 막 및 모듈 제작 - 생산수량 1,000 톤/일급 MD/PRO 역삼투 해수담수화 하이브리드 실증 플랜트 설계 및 구축 - 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)을 자원화(300 원/톤 부산물)하는 기술 개발
2. 기술개발 및 산업/시장동향	
☐ 기술개발의 필요성	○ 최근 기후변화 등으로 인하여 환경친화적인 해수담수화 기술 개발이 요구되고 있으나, 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 농축수의 처리임 ○ 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 과정에서 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화될 예정이므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임

- 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 크게 영향을 미치지 않았으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기 때문에 농축수 방류에 따른 환경에 대한 영향이 더욱 커질 것으로 예상됨
- 따라서, 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
- 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)의 방류 및 처리는 이차적인 환경오염 및 추가적인 처리 비용을 유발함
- 해수담수화플랜트 부산물을 자원화함으로써 오염물질 무배출 공정을 실현하고 부가가치를 창출하여 플랜트의 경제성을 향상시킬 필요가 있음
- 해양에너지 중 최근 주목받고 있는 담수-해수 염분차에 의한 에너지 회수 기술이 삼면이 바다인 국내의 지형적 환경에 매우 유리함
- 해수담수화플랜트 사업 수주에 가장 큰 영향을 미치는 인자 중 하나는 담수 생산량 당 플랜트 에너지 소모량임. 기후변화, CO2 저감 수요 확산, 화석연료 고갈 등으로 인해 경쟁이 더욱 치열해지고 있는 추세이므로, 소비 전력 저감 기술 개발이 매우 필요함
- 압력지연삼투(PRO) 전용막은 파일럿 규모의 실증 연구를 통해 목표 성능개발을 달성할 수 있으며, 이를 통해 공정기술과 전용막의 개발이 동시에 진행될 수 있음. 국외 파일럿에 전용막 테스트를 의존할 경우 관련 공정기술이 국외에 종속될 수 있음(현재 노르웨이의 Statkraft 사가 유일하게 파일럿 플랜트를 건설하였음)

□ 기술동향

- **막 증발법(MD)을 이용하여 농축수를 저감하고 자원을 회수하는 기술**
 - 막 증발법을 이용한 농축수 처리에 관한 연구는 실험실 규모로는 전세계적으로 활발하게 진행되고 있으나, 아직 실증화 사례는 없는 실정임
 - University of Calabria의 E. Drioli 연구팀이 막 증발법, 막 결정법을 포함한 Integrated Membrane System에 의한 농축수 저감

및 자원회수 연구를 가장 활발하게 실시하였으며, 가장 최근에는 이 주제로 EU의 MEDINA Project를 수행하였음

- 싱가포르 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음
- 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 농축수를 저장할 수 있는 기술을 필요로 하고 있는 단계임

○ 압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 공정효율 제고 기술

- 국내 : PRO 기초 연구 수행 중
- 노르웨이 : Statkraft는 PRO 기술을 상용화시켜 전력을 생산하고 있음. 2009년 기준으로 3 W/m^2 의 전력생산효율을 갖고 있고, 다른 신재생에너지와의 경쟁에서 우위를 갖기 위해서는 실증플랜트에서 5 W/m^2 의 효율을 목표로 하고 있음
- 미국 : PRO 기초 연구 분야의 선두 주자이며, 하수처리수와 해수를 이용한 PRO 시스템에 대한 개념을 제안함. 전력생산효율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 PRO막의 투수율 향상이므로 이 분야에 가장 큰 투자를 하고 있음. 현재 개발된 막의 최고 투수율은 투수율 $5.3 \times 10^{-12} \text{ m/s} \cdot \text{Pa}$ 으로 이를 PRO 전력량으로 해수의 경우 6.1 W/m^2 , 해수 농축수의 경우 15.3 W/m^2 이나, 아직까지 실규모 시스템과는 거리가 있음

○ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술

- 국내: 연구 사례가 거의 없음. 단, 기존 해수담수화 플랜트 사업단(1핵심 4세부과제)에서 마그네슘 및 천연소금 회수 기술에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행됨
- 미국: MWH사와 Sandia National Lab에서 2006년부터 현재까지 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 RO농축수로부터 유가금속, 산염기, 인, 염소 등의 자원을 회수하는 기술 개발 연구를 다양하게 수행하고 있음
- 호주: 2009년부터 운영된 Gold coast 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물을 활용하여 경화체(벽돌 등)를 제조하는 기술 개발 연구가 진행됨

3. 연구개발 내용

○ 1 세부과제

- 막 증발법 전용 소재 및 모듈개발

- 막 증발법의 막 오염저감 기술개발
- 막 증발법에 사용되는 에너지원 확보 기술개발
- 막 증발법 최적화 기술개발
- MD/PRO 복합탈염 대용량 실증플랜트 구축 및 현장 평가

○ 2 세부과제

- PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발
- 실증파일럿 PRO 전용막 개발 및 막성능 평가기술 개발
- PRO 전용 해수유인 압력회수기술 개발
- SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템엔지니어링 기술 개발
- 차세대 염도차 공정기술 개발 (RED, CAPMIX)

○ 3세부과제

- RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심기술 개발
- RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 최적화 공정 설계기술 개발
- 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발
- 해수담수화 플랜트 부산물 활용 경화체 연속생산 공정 개발

4. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

○ 1 세부과제

- 400 m³/일 규모의 MD 적용 탈염 파일럿플랜트 구축
- 막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법개발
- MD 전용막 및 모듈 개발
- 폐에너지를 조합한 MD 공정 적용 3 kWh/m³ 이하 복합탈염 기술
- MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 구축 및 운영 가이드라인 도출

○ 2 세부과제

- 고수투과도 실증파일럿 PRO 전용막 제조 (선진국 대비 100%)
- 막 면적당 전력생산효율이 5W/m² 이상인 실증파일럿 PRO 전용막 시편 제조 및 막모듈 (Spiral wound type, 8인치) 제작
- SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 이용한 PRO 실증 파일럿 시스템 (막 면적당 평균 전력생산효율 5~7.5W/m²) 개발, 건설 및 유지관리
- 8~12 bar 범위에서 에너지 회수가 가능한 해수 유인 압력 회수

기술 개발

- PRO 시스템 엔지니어링 기술 및 공정최적화 기술 개발 (선진국 대비 90%)
- RED, CAPMIX 전용 막, 셀 및 스택 디자인 기술 개발

○ 3 세부과제

- 해수담수화 플랜트 부산물 처리 톤당 300원 이상의 부가가치를 창출할 수 있는 부산물 자원화 기술
- RO농축수로부터 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상)에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술
- 해수담수화 플랜트 부산물로부터 강도 100kg/cm²의 건설재료용 경화체 제조 기술
- 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합 공정 설계 기술(선진국 기술 수준 대비 100%)
- 부산물 1톤/일 처리 수준의 자원화 통합공정 소형 시스템 구축

5. 연구기간 및 지원예산

☐ 전 체

○ 총 연구기간: 5 년

○ 총 연구비: 560억원(정부 290억원, 민간 270억원)

6. 기 타

2. 1세부과제 제안요구서 (RFP)

과제명	막 증발법(MD)을 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 폐 자원 활용 소비전력 30 % 절감의 막 증발법(MD) 신개념 복합탈염 기술 개발 - 현재 50%인 역삼투법 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감하고 공정효율을 30% 제고하는 복합탈염 기술 개발 - 회수율 50% 이상 및 플럭스 20 LMH 이상의 막 증발법 적용 국산 막소재 및 막모듈 설계 기술 개발 - 생산수 기준 4000 m³/일 규모 이상의 막 증발법(MD) 적용 신개념 복합탈염 파일럿플랜트 구축
2. 기술개발 및 산업/시장동향	☐ 기술개발의 필요성 ○ 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 에너지 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음 ○ 2012년 1월 미국 오바마 정부는 해양 챌린지 사업 시행을 통해 해양환경의 중요성과 보호를 위한 계획을 발표하였으며, 향후 이러한 사업을 바탕으로 다양한 환경규제 및 개선 프로그램이 추진될 것으로 전망됨 ○ 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임 ○ 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수도 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기에 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨 ○ 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음 ○ 해수담수화 플랜트의 확산에 따라 농축수에 의한 환경에의 악영

□ 기술동향	향에 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 미래 해수담수화 시장에서 유리한 위치를 차지하기 위하여 필수적임 ○ 그간의 추적형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요 ○ 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음 ○ 국내는 현재 농축수 저감 관련하여 실험실 규모의 기초 연구 수행 중 ○ 막 증발법(MD) 및 막 결정법(MCr)을 이용하여 농축수를 저감하고 자원을 회수하는 기술 - 막 증발법을 이용한 농축수 처리에 관한 연구는 실험실 규모로는 전세계적으로 활발하게 진행되고 있으나, 아직 실증화 사례는 없는 실정임 - University of Calabria의 E. Drioli 연구팀이 막 증발법, 막 결정법을 포함한 Integrated Membrane System에 의한 농축수 저감 및 자원회수 연구를 가장 활발하게 실시하였으며, 가장 최근에는 이 주제로 EU의 MEDINA Project를 수행하였음 - 싱가포르 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음 - 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 농축수를 저감할 수 있는 기술을 필요로 하고 있는 단계임	
	3. 연구개발 내용	
막 증발법(MD)을 이용한 농축수 저감 기술 개발		
	1-1	○ MD 전용 소재 및 모듈 개발 - MD 전용 막 및 모듈 개발 - 실증 플랜트 장기운전을 통한 막 성능평가
	1-2	○ MD 막오염 저감기술 개발 - 막오염 저감을 위한 공정 설계, 운영 기술 개발 - 최적 전처리 기술 개발
	1-3	○ MD 적용 에너지원 확보 기술 개발 - MD에 적용되는 신재생 에너지 및 폐열 적용 설계 기술 개발 - 에너지 최적화를 위한 운영기술 개발

	1-4	○ MD 최적화 기술 개발 - 400 m³/d 규모의 MD 파일럿플랜트 설계, 제작 및 운영 - 친수화 방지 장치 개발 및 운영기술 확보 - 평가기법 개발 (에너지 소모, 막, 모듈 등)
	1-5	○ MD/PRO 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축 및 현장 평가 - MD/PRO 복합탈염 대용량 실증 플랜트 설계, 제작 및 운영 - 경제성 분석 및 신개념 탈염 기술 개발
4. 최종성과물		
☐ 주요 최종성과물		○ 400 m³/일 규모의 MD 적용 탈염 파일럿플랜트 구축 ○ 막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법개발 ○ MD 전용막 및 모듈 개발 ○ 폐에너지를 조합한 MD 공정 적용 복합탈염 기술 ○ MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 구축 및 운영 가이드라인 도출
5. 연구기간 및 지원예산		
☐ 전 체		○ 총 연구기간: 5년 ○ 총 연구비: 319억원(정부 159억원, 민간 160억원)
6. 기 타		

3. 2세부과제 제안요구서 (RFP)

과제명	압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 공정효율 제고 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ SWRO-PRO 조합 공정을 통한 공정 효율 제고, 실증파일럿 압력 지연삼투(PRO) 전용막 개발 및 에너지 생산 효율 향상을 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발 ○ 막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m² 인 실증파일럿 PRO 전용막 · 모듈 (Spiral Wound type, 8인치) 및 베셀 개발 ○ SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 이용한 PRO 실증 파일럿 시스템 개발
2. 기술개발 및 산업/시장동향	☐ 기술개발의 필요성 ○ 미래 에너지 자원으로써 Salinity Gradient Power의 잠재력은 현재 전 세계 전기 소요량의 80%을 담당할 수 있을 정도로 크며, 해수 자원이 풍부한 국내의 경우 개발 가능성 높음 ○ 온실가스와 관련된 에너지 소모량을 40% 감소시킬 수 있을 것으로 보여 친환경적인 대체에너지원으로써의 가능성이 높고, 현재 기술개발 초기 단계이므로 기술선점이 가능함 ○ 염도차 에너지를 상용 가능한 대체에너지원으로써 개발하기 위해서는 반드시 실험실 규모가 아닌 파일럿 규모의 연구를 진행해야 하며 규모의 경제 실현이 필요함 ○ 압력지연삼투(PRO) 전용막은 파일럿 규모의 실증 연구를 통해 목표 성능개발을 달성할 수 있으며, 이를 통해 공정기술과 전용막의 개발이 동시에 진행될 수 있음. 국외 파일럿에 전용막 테스트를 의존할 경우 관련 공정기술이 국외에 종속될 수 있음 (현재 노르웨이의 Statkraft 사가 유일하게 파일럿 플랜트를 건설하였음) ☐ 기술동향 ○ 국내는 현재 PRO 관련하여 실험실 규모의 기초 연구 수행 중 ○ 국외에서는 FO 연구와 함께 PRO 연구를 병행하고 있으며 이론적인 및 실험적인 기초를 확립하고 실용화를 위한 연구가 활발히 진행 중임. 막 개발 및 공정 관련하여 많은 연구가 이루어지

고 있으나 경제성 있는 수준의 전용막은 아직 부재함. 현재 개발된 막의 최고 투수율은 $5.3 \times 10^{-12} \text{ m/s} \cdot \text{Pa}$ 으로 이를 PRO 전력량으로 환산하면 해수 기준으로 6.1 W/m^2 , 해수 농축수 기준으로 15.3 W/m^2 이나, 아직까지 실규모 시스템과는 거리가 있음

- 전세계적으로는 노르웨이의 Statkraft 사가 유일하게 실증파일럿 플랜트 보유하고 있음. 현재 평균 전력밀도는 3 W/m^2 이며, 경제성을 확보하기 위해 5 W/m^2 을 목표치로 하고 있음
- Statkraft사와 막 제조사간의 업무협력을 통해 실규모 시스템에서의 다양한 형태의 PRO 막 연구가 시작됨

3. 연구개발 내용

압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발

	2-1	○ PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발 - 다양한 지역의 원수 수질에 적합한 전처리 공정 최적화 기술 개발 - SWRO 및 하수처리 등 타 공정과의 조합을 통한 전처리 응용공정 개발
	2-2	○ 실증파일럿 PRO 전용막 개발 및 막 성능 평가기술 개발 - 기존 상용막보다 수투과율이 높은 실증파일럿 PRO 전용막, 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 및 베셀 (two flow type) 개발 - 실증파일럿 PRO 전용막 장기운전 및 성능 평가기술 개발
	2-3	○ PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발 - 저압에서의 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발
	2-4	○ SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템엔지니어링 기술 개발 - 현장 파일럿 테스트를 통해 에너지 생산 효율을 향상시키기 위한 공정 최적화 기술 개발 - SWRO-PRO 조합 공정을 통한 시스템 효율 제고를 위한 공정기술 개발
	2-5	○ 차세대 염도차 공정기술 개발 (RED, CAPMIX) - RED, CAPMIX 전용막 개발 - 저 저항의 셀 및 스택 디자인 기술 개발

4. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	○ 고투과도 실증파일럿 PRO 전용막 제조 (선진국 대비 100%) ○ 막 면적당 평균 전력생산효율 5~7.5 W/m² 인 실증파일럿 PRO 전용 막·모듈 (Spiral Wound type, 8인치) 및 베셀 제작 ○ SWRO 공정 농축수 및 MD 공정 농축수를 이용하는 MD/PRO 실증 파일럿 시스템 엔지니어링 기술 개발 ○ 저압에서 압력 회수가 가능한 PRO 전용 해수 유인 압력회수 장치 개발 ○ SWRO-PRO 시스템 엔지니어링 기술 및 공정최적화 기술 개발 (선진국 대비 90%) ○ RED, CAPMIX 전용 막 및 최적 셀, 스택 설계 기술
5. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간: 5 년 ○ 총 연구비: 180.5억원(정부 90.5억원, 민간 90억원)
6. 기 타	

4. 3세부과제 제안요구서 (RFP)

과제명	해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 RO농축수로부터 유가 희소금속 Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술개발 ○ RO농축수와 기타 부산물(세정폐액, 슬러지 등)을 활용한 강도 100kg/cm²이상의 건설재료용 경화체 제조 기술개발 ○ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)의 자원화를 통해 플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치 창출
2. 기술개발 및 산업/시장동향	□ 기술개발의 필요성 ○ 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)의 방류 및 처리는 이차적인 환경오염 및 추가적인 처리 비용을 유발함 ○ 해수담수화플랜트 부산물을 자원화함으로써 오염물질 무배출 공정을 실현하고 부가가치를 창출하여 플랜트의 경제성을 향상시킬 필요가 있음 ○ 해수담수화플랜트 부산물 자원화 기술은 전세계적으로도 연구의 초기단계이므로 집중 지원을 통해 원천기술을 확보할 필요가 있음 □ 기술동향 ○ 국내: 연구 사례가 거의 없음. 단, 기존 해수담수화 플랜트 사업단(1핵심 4세부과제)에서 일부 자원 회수 기술에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행됨. 유사 기술로서 해수로 부터의 유가 금속 추출에 관한 연구가 한국지질자원연구원, 포스코 등에 의해 수행되고 있음 ○ 국외 : RO농축수를 비롯한 해수담수화플랜트 부산물로부터 유가 자원을 생산하는 기술은 미국, 일본, 유럽의 선진국들을 중심으로 부분적으로 연구되고 있음(RO농축수로부터 금속 자원, 인, 산염기, 차아염소산나트륨 회수 기술 등, 미국 MWH, SNL 등).

연구 초기 단계로서 최고 기술 보유국과의 기술 격차가 적으며, 집중투자로 단기간에 세계적 수준의 기술 확보가 가능함. 유사 기술로서 해수로부터 자원 회수 기술의 경우 일본, 미국 등 선진국들의 경우 2~30년 전부터 활발한 연구가 진행됨	
3. 연구개발 내용	
해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술	
	3-1 ○ RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심기술 개발 - 희소금속 선택적 흡착 소재 개발 - 전기화학적 희소금속 추출을 위한 전극 및 전기분해 셀 개발 - 희소금속 탈착 및 분리정제 기술 개발
	3-2 ○ RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 최적화 공정 설계 기술 개발 - 희소금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발 - 전기화학적 희소금속 추출 공정 설계기술 개발 - 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화
	3-3 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발 - 해수담수화 플랜트 부산물과 알루미늄실리케이트계 산업 부산물의 알칼리 활성화 반응을 활용한 경화기술 개발 - 해수담수화 플랜트 부산물 성상별 경화기술 최적화 - 경화체 내구성 증진 기술 개발 - 건설재료(벽돌, 보도블럭, 테트라포트 등) 활용을 위한 경화체 유해성 평가
	3-4 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 활용 경화체 연속생산 공정 개발 - 경화체 연속 생산 공정 설계기술 개발 - 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화
4. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치를 창출할 수 있는 부산물 자원화 기술 ○ RO농축수로부터 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상)에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술	

○ 해수담수화 플랜트 부산물로부터 강도 100kg/cm²의 건설재료용 경화체 제조 기술 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합 공정 설계 기술(선진국 기술 수준 대비 100%) ○ 부산물 1톤/일 처리 수준의 자원화 통합공정 소형 시스템	
5. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체 ○ 총 연구기간: 5 년 ○ 총 연구비: 60.5억원(정부 40.5억원, 민간 20억원)	
6. 기 타	

참고문헌

1. 홍승관 외, '그린 미래를 향한 역삼투 공정의 진화', 공업화학 전망, 제 14권 제 6호, 2011
2. S.E. Skilhagen et al., "Osmotic power - power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients", Desalination 220, 2008
3. J. W. Post, "Blue energy: electricity production from salinity gradient by reverse electrodialysis", Ph.D thesis, 2009
4. 최용규, "신재생에너지산업 육성 국가정책", News & Information for Chemical Engineers, 제 26권 제 5호, 2008
5. IEA, Annual report 2010
6. INES, Workshop report, 2011
7. INES, Workshop report, 2010
8. 한국기계연구원, 지식경제 기술혁신사업 계획서 [Eco-Ener플랜트 경쟁력 확보사업], 정삼투식 다목적 담수화플랜트 개발, 2009
9. Menachem Elimelech, William A. Phillip, The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment, Science 333, 712 (2011)

과제 카드

1. 과제명	MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술 개발 연구단 - 1 세부 막 증발법(MD)을 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술 개발
2. 연구개발 목표	○ 현재 50%인 역삼투법 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감하고 공정효율을 30% 제고하는 환경 친화형 고효율 해수담수화 기술 개발 ○ 또한, 농축수에서 유가자원을 회수함으로써 농축수의 배출량을 최소화함과 동시에 경제적 이익을 도출하는 해수담수화 기술 개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 국내는 현재 농축수 저감 관련하여 실험실 규모의 기초 연구 수행 중 ○ 막 증발법(MD)을 이용하여 농축수를 저감하고 자원을 회수하는 기술 ○ 막 증발법을 이용한 농축수 처리에 관한 연구는 실험실 규모로는 전세계적으로 활발하게 진행되고 있으나, 아직 실증화 사례는 없는 실정임. ○ University of Calabria의 E. Drioli 연구팀이 막 증발법, 막 결정법을 포함한 Integrated Membrane System에 의한 농축수 저감 및 자원회수 연구를 가장 활발하게 실시하였으며, 가장 최근에는 이 주제로 EU의 MEDINA Project를 수행하였음 ○ 싱가포르 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음 ○ 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서 농축수를 저감할 수 있는 기술을 필요로 하고 있는 단계임
4. 기존기술 활용방안	○ 기존 해수담수화 사업단의 역삼투법 해수담수화 모형플랜트: 기존 시설로부터 생산되는 농축수를 이용할 수 있도록 모형플랜트 시설 설치 ○ 해수담수화플랜트사업단에서 개발된 농축수 관련기술을 토대로 강력한 경제성 확보
5. 기술개발 필요성	○ 최근 기후변화 등으로 인하여 환경친화적인 해수담수화 기술 개발이 요구되고 있으나, 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 농축수의 처리임 ○ 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 과정에서 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화될 예정이므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임 ○ 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 크게 영향을 미치지 않았으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기에 때문에 농축수 방류에 따른 환경에 대한 영향이 더욱 커질 것으로 예상됨 ○ 따라서, 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
6. 주요연구 개발내용	○ 막 증발법 소재 및 모듈개발 - MD 전용 막 소재 및 모듈 설계 기술 개발 - 1단계에는 실험실 규모 평가 후 2단계부터 파일럿플랜트 현장 적용 평가 수행 ○ 막 증발법의 막 오염저감 기술 개발 - 막 오염저감을 위한 공정 설계 기법 개발 - 막 오염저감 운영 기술 개발 및 확보 - 최적 전처리 기술 개발 ○ 막 증발법 전용 에너지원 확보 기술 개발 - 막 증발법에 사용되는 신재생에너지 적용 및 설계 기술 개발 - 폐열 적용 최적 설계 및 운영기술 개발 - 에너지 최적화를 위한 운영기술 개발

	○ 막 증발법 최적화 기술 개발 - 막 증발법 파일럿 플랜트 (400 m³/일) 설계, 제작 및 운영 - 단위공정 및 조합 공정의 최적화 기술 개발 - 최적 플렉스 및 담수화를 위한 고효율 운영 기술 확보 - 플렉스 생산의 지속 가능성을 위한 친수화 방지(De-wetting) 장치 및 운영기술 개발 - 평가기법 개발 (에너지 소모, 막, 모듈 등) ○ MD/PRO 복합탈염 대용량 실증플랜트 구축 및 현장 평가 - 역삼투 공정을 포함한 파일럿플랜트 설계, 제작 및 운영 - MD/PRO 복합탈염 기술 운영 및 유지관리 가이드라인 도출 - MD/PRO 복합탈염 기술 경제성 분석 - 신개념 탈염 기술 개발 - 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 경제성 분석												
7. 정부지원의 타당성	○ 담수화 첨단 원천기술이 실용화 단계로 도약하기 위한 플랫폼이 필요 ○ 기존 기술의 성능개선이 아닌 신개념의 시장창출형 기술개발 투자 필요 ○ 현재 시장 선점을 위한 선제적 기술개발의 투자가 필요한 단계												
8. 기술확보 전략	<table border="1"> <thead> <tr> <th>기술 분야</th><th>확 보 방 안</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>소재 및 모듈 개발</td><td> • 소재 및 모듈의 개발과 같이 산업체의 주도적 개입이 필요한 분야에는 산업체를 적극 활용 </td></tr> <tr> <td>파일럿플랜트 현장 평가 및 엔지니어링 기술 개발</td><td> • 막 증발법 개발 및 유가자원 회수와 같은 분야에의 연구 경험을 보유하고 있는 연구기관과 역삼투법 해수담수화 모형플랜트를 운전하고 있거나 경험이 있는 연구기관을 적극 활용 • 모형플랜트 운전을 포함하여 막 증발법, 막 결정법 분야에 연구경험을 보유한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 필요 시 본 연구결과의 해외검증을 위한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 모형플랜트 부지선정에 소요되는 시간을 절약하기 위하여 현재 해수담수화 플랜트사업단이 보유한 모형플랜트를 적극 활용 </td></tr> </tbody> </table>	기술 분야	확 보 방 안	소재 및 모듈 개발	• 소재 및 모듈의 개발과 같이 산업체의 주도적 개입이 필요한 분야에는 산업체를 적극 활용	파일럿플랜트 현장 평가 및 엔지니어링 기술 개발	• 막 증발법 개발 및 유가자원 회수와 같은 분야에의 연구 경험을 보유하고 있는 연구기관과 역삼투법 해수담수화 모형플랜트를 운전하고 있거나 경험이 있는 연구기관을 적극 활용 • 모형플랜트 운전을 포함하여 막 증발법, 막 결정법 분야에 연구경험을 보유한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 필요 시 본 연구결과의 해외검증을 위한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 모형플랜트 부지선정에 소요되는 시간을 절약하기 위하여 현재 해수담수화 플랜트사업단이 보유한 모형플랜트를 적극 활용						
기술 분야	확 보 방 안												
소재 및 모듈 개발	• 소재 및 모듈의 개발과 같이 산업체의 주도적 개입이 필요한 분야에는 산업체를 적극 활용												
파일럿플랜트 현장 평가 및 엔지니어링 기술 개발	• 막 증발법 개발 및 유가자원 회수와 같은 분야에의 연구 경험을 보유하고 있는 연구기관과 역삼투법 해수담수화 모형플랜트를 운전하고 있거나 경험이 있는 연구기관을 적극 활용 • 모형플랜트 운전을 포함하여 막 증발법, 막 결정법 분야에 연구경험을 보유한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 필요 시 본 연구결과의 해외검증을 위한 외국기관과의 국외 공동연구 시도 • 모형플랜트 부지선정에 소요되는 시간을 절약하기 위하여 현재 해수담수화 플랜트사업단이 보유한 모형플랜트를 적극 활용												
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	<table border="1"> <thead> <tr> <th>최종성과물</th><th>활용방안</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>400 m³/일 규모의 MD 적용 파일럿플랜트</td><td>MD 전용 막 및 모듈 현장 적용 평가</td></tr> <tr> <td>막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법</td><td>농축수 저감 시설 최적화</td></tr> <tr> <td>MD 전용막 및 모듈 개발</td><td>국내 막 소재 개발 기업 공동 개발 및 기술 이전</td></tr> <tr> <td>신재생 에너지를 조합한 MD 공정 에너지 저감율 (기존 단독공정 대비 소비 전력 30 % 저감)</td><td>신재생 에너지를 활용한 경제적인 해수담수화 설계 및 운영 기술 확보</td></tr> <tr> <td>MD/PRO 복합탈염 실증플랜트</td><td>MD, PRO 및 자원회수 등 복합탈염 단위공정의 현장평가 및 최적화</td></tr> </tbody> </table>	최종성과물	활용방안	400 m³/일 규모의 MD 적용 파일럿플랜트	MD 전용 막 및 모듈 현장 적용 평가	막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법	농축수 저감 시설 최적화	MD 전용막 및 모듈 개발	국내 막 소재 개발 기업 공동 개발 및 기술 이전	신재생 에너지를 조합한 MD 공정 에너지 저감율 (기존 단독공정 대비 소비 전력 30 % 저감)	신재생 에너지를 활용한 경제적인 해수담수화 설계 및 운영 기술 확보	MD/PRO 복합탈염 실증플랜트	MD, PRO 및 자원회수 등 복합탈염 단위공정의 현장평가 및 최적화
최종성과물	활용방안												
400 m³/일 규모의 MD 적용 파일럿플랜트	MD 전용 막 및 모듈 현장 적용 평가												
막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법	농축수 저감 시설 최적화												
MD 전용막 및 모듈 개발	국내 막 소재 개발 기업 공동 개발 및 기술 이전												
신재생 에너지를 조합한 MD 공정 에너지 저감율 (기존 단독공정 대비 소비 전력 30 % 저감)	신재생 에너지를 활용한 경제적인 해수담수화 설계 및 운영 기술 확보												
MD/PRO 복합탈염 실증플랜트	MD, PRO 및 자원회수 등 복합탈염 단위공정의 현장평가 및 최적화												

10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	2,500	4,300	3,300	3,000	2,800
		민간 (추정)	2,300	4,400	3,500	3,000	2,800
	합 계		4,800	8,700	6,800	6,000	5,600
	총 연구비 (백만원)	정부	15,900		총 연구기간	5 년	
		민간	16,000				
총합계		31,900		연도별 평균소요인력	58 명		

11. 기대효과 및 파급효과	○ 해수담수화 플랜트 보급의 가장 큰 걸림돌은 농축수의 저장이므로, 본 연구가 성공적으로 수행되어 농축수 처리기술을 개발한다면 시장에서 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대됨 ○ 현재 국내 산업체의 역삼투법 해수담수화 플랜트 수주규모를 전체 시장의 7%라 가정한다면, 본 연구결과 10% 이상으로 확대할 수 있을 것으로 기대됨
--------------------	---

1. 과제명	MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술 개발 연구단 - 2 세부 압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발
2. 연구개발 목표	○ 기존 역삼투해수담수화(SWRO)플랜트에 압력지연삼투(PRO)기술을 도입하여 SWRO 플랜트 공정 효율을 제고시킴으로써 최종 물 생산단가를 저감할 수 있는 시스템 엔지니어링 기술 및 PRO 전용 막 개발 ○ SWRO 공정 농축수 및 MD/MCf 공정 농축수를 이용한 PRO 실증 파일럿 시스템 개발 (막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m²)
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 국내 : PRO 관련하여 실험실 규모의 기초 연구 수행 중 ○ 노르웨이 : Statkraft는 세계 최초로 PRO 기술을 상용화하여 전력을 생산하고 있음. 2011년 기준으로 3 W/m²의 전력밀도를 얻고 있으며 전력 생산은 약 6 kW 임. 다른 신재생에너지와 비교하여 경제성 면에서 우위를 갖기 위해 5 W/m²의 효율을 목표로 하고 있음 ○ 미국 : PRO 기초 연구 분야의 선두 주자로 막 제조 및 공정에 관해 활발한 연구가 이루어지고 있으며 하수처리수와 해수를 이용한 PRO 시스템에 대한 개념을 제안함. PRO 막이 경제성을 갖기 위해서는 투수과율 향상이 가장 중요한 인자이므로 이 분야에 가장 큰 투자를 하고 있음. 현재 개발된 막의 최고 투수율은 투수율 $5.3 \times 10^{-12} \text{ m/s} \cdot \text{Pa}$으로 이를 전력생산량으로 환산하면 해수 기준으로 6.1W/m², 농축수 기준으로 15.3W/m²이나, 아직까지 실규모 시스템에서의 검증은 이루어지지 않고 있음
4. 기존기술 활용방안	○ 지식경제부 지원 하에 있는 국가과제에서 PRO 발전 플랜트를 개발하고 있기 때문에 이를 활용하면 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단됨 ○ 기존 해수담수화 플랜트 및 수처리 플랜트와 PRO 공정을 결합할 경우 최종적으로 물 생산단가를 낮출 수 있기 때문에 기존에 설치된 파일럿 플랜트 및 해당 기술을 활용할 수 있을 것으로 판단됨
5. 기술개발 필요성	○ PRO를 이용한 전력생산 기술을 상용화하기 위해서는 반드시 파일럿 규모의 연구를 통해 경제성을 검증하고, 효율 향상을 위한 공정 최적화 및 시스템 엔지니어링 기술의 확보가 중요함 ○ 파일럿 규모의 연구를 통해 PRO 공정 기술은 물론 PRO 전용막 및 에너지회수장치 개발이 동시에 이루어질 수 있음
6. 주요연구 개발내용	○ PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발 - 원수 수질 별 적합한 전처리 공정 최적화 기술 개발 - 기존 해수담수화 플랜트와의 공정 조합을 통해 농축수의 삼투에너지를 회수하고 전처리 비용을 절감하는 응용공정 개발 - 기존 해수담수화 플랜트 및 하수처리수/물재이용수와의 공정 조합을 통해 전처리 비용을 절감하는 응용공정 개발 ○ 실증파일럿 PRO 전용막 개발 및 막성능 평가 기술 개발 - 기존 상용막보다 수투과율이 높은 실증파일럿 PRO 전용막, 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 및 베셀 (two flow type) 개발 - 수투과율이 높으며 농도분극을 최소화할 수 있는 막 성능 파라미터 도출 - 실증파일럿 PRO 전용막 장기운전 및 막성능 평가기술 개발

	○ PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발 - 저압에서 압력 회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발 ○ SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발 - 단위 공정 및 전체 공정에 대한 최적화 기술 개발 - 전처리 공정에서의 파울링 저감기술 개발 - 시스템 효율 제고를 위한 SWRO-PRO 조합 공정 기술 개발 ○ 차세대 에너지 회수기술 개발 - RED, CAPMIX 전용막 개발 - 저저항의 셀 및 스택 디자인 기술 개발																													
7. 정부지원의 타당성	○ PRO를 이용한 전력생산 기술은 파일럿 규모의 시스템 운전을 통해 상용화 기술 개발이 가능하며 이는 정부 주도의 계획적이고 장기적인 투자를 통해 이루어질 수 있음 ○ 국외에 설치된 PRO 파일럿에 의존할 경우 해당 기술이 국외에 종속되는 것은 물론 관련 원천 기술 확보에 어려움이 예상됨																													
8. 기술확보 전략	<table><tr><th>기술 분야</th><th>확 보 방 안</th></tr><tr><td>고수투과율 PRO 전용막 제조기술 및 고효율 PRO 전용 에너지회수장치</td><td> • 기존 RO막 제조기술에 고분자/나노물질 합성기술 등 원천기술이 추가로 필요하므로 산업분야 뿐 아니라 학계, 연구소의 활발한 연구 참여가 필요함 • 기존 RO 에너지회수장치 기술을 바탕으로 산학연 협력을 바탕으로 한 연구가 필요함 </td></tr><tr><td>PRO 시스템 엔지니어링 기술</td><td> • PRO 모듈을 이용한 설계 기술은 원천기술에 가까우므로 학계나 연구소 중심으로 개발이 진행되어야 함 • 고효율 전력생산 및 물 생산단가 저감을 위한 공정기술은 실증연구를 바탕으로 이루어져야 하므로 산학연 협동체제로 연구 • 기존 SWRO 및 타수처리 플랜트의 공정조합을 통한 생산비용 저감기술은 시스템 건설 및 운영에 있어 산업계의 협력이 필요함 </td></tr></table>	기술 분야	확 보 방 안	고수투과율 PRO 전용막 제조기술 및 고효율 PRO 전용 에너지회수장치	• 기존 RO막 제조기술에 고분자/나노물질 합성기술 등 원천기술이 추가로 필요하므로 산업분야 뿐 아니라 학계, 연구소의 활발한 연구 참여가 필요함 • 기존 RO 에너지회수장치 기술을 바탕으로 산학연 협력을 바탕으로 한 연구가 필요함	PRO 시스템 엔지니어링 기술	• PRO 모듈을 이용한 설계 기술은 원천기술에 가까우므로 학계나 연구소 중심으로 개발이 진행되어야 함 • 고효율 전력생산 및 물 생산단가 저감을 위한 공정기술은 실증연구를 바탕으로 이루어져야 하므로 산학연 협동체제로 연구 • 기존 SWRO 및 타수처리 플랜트의 공정조합을 통한 생산비용 저감기술은 시스템 건설 및 운영에 있어 산업계의 협력이 필요함																							
기술 분야	확 보 방 안																													
고수투과율 PRO 전용막 제조기술 및 고효율 PRO 전용 에너지회수장치	• 기존 RO막 제조기술에 고분자/나노물질 합성기술 등 원천기술이 추가로 필요하므로 산업분야 뿐 아니라 학계, 연구소의 활발한 연구 참여가 필요함 • 기존 RO 에너지회수장치 기술을 바탕으로 산학연 협력을 바탕으로 한 연구가 필요함																													
PRO 시스템 엔지니어링 기술	• PRO 모듈을 이용한 설계 기술은 원천기술에 가까우므로 학계나 연구소 중심으로 개발이 진행되어야 함 • 고효율 전력생산 및 물 생산단가 저감을 위한 공정기술은 실증연구를 바탕으로 이루어져야 하므로 산학연 협동체제로 연구 • 기존 SWRO 및 타수처리 플랜트의 공정조합을 통한 생산비용 저감기술은 시스템 건설 및 운영에 있어 산업계의 협력이 필요함																													
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	<table><tr><th>최종성과물</th><th>활용방안</th></tr><tr><td>고수투과율 PRO 전용막 제조 기술</td><td>고유량의 막 성능은 PRO를 이용한 전력생산에서 가장 중요한 원천기술임</td></tr><tr><td>고효율 PRO 전용 해수 유인 압력회수장치</td><td>고효율 PRO막의 시스템화를 위한 기술로 시장경쟁력 확대</td></tr><tr><td>PRO 실증 파일럿 시스템 엔지니어링 기술</td><td>고효율의 전력생산을 위한 최적화 기술 및 시스템 엔지니어링 기술 확보로 해외시장 경쟁력 확대</td></tr></table>	최종성과물	활용방안	고수투과율 PRO 전용막 제조 기술	고유량의 막 성능은 PRO를 이용한 전력생산에서 가장 중요한 원천기술임	고효율 PRO 전용 해수 유인 압력회수장치	고효율 PRO막의 시스템화를 위한 기술로 시장경쟁력 확대	PRO 실증 파일럿 시스템 엔지니어링 기술	고효율의 전력생산을 위한 최적화 기술 및 시스템 엔지니어링 기술 확보로 해외시장 경쟁력 확대																					
최종성과물	활용방안																													
고수투과율 PRO 전용막 제조 기술	고유량의 막 성능은 PRO를 이용한 전력생산에서 가장 중요한 원천기술임																													
고효율 PRO 전용 해수 유인 압력회수장치	고효율 PRO막의 시스템화를 위한 기술로 시장경쟁력 확대																													
PRO 실증 파일럿 시스템 엔지니어링 기술	고효율의 전력생산을 위한 최적화 기술 및 시스템 엔지니어링 기술 확보로 해외시장 경쟁력 확대																													
10. 연구개발 과제의 규모	<table><tr><th colspan="2">구분</th><th>1차연도</th><th>2차연도</th><th>3차연도</th><th>4차연도</th><th>5차연도</th></tr><tr><td rowspan="3">(50억원 이내) (연구기간 5년 이내)</td><td>연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>1,700</td><td>2,900</td><td>1,950</td><td>1,500</td><td>1,000</td></tr><tr><td></td><td>민간 (추정)</td><td>1,500</td><td>3,000</td><td>2,000</td><td>1,500</td><td>1,000</td></tr><tr><td>합 계</td><td></td><td>3,200</td><td>5,900</td><td>3,950</td><td>3,000</td><td>2,000</td></tr></table>	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	(50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,700	2,900	1,950	1,500	1,000		민간 (추정)	1,500	3,000	2,000	1,500	1,000	합 계		3,200	5,900	3,950	3,000	2,000
구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도																								
(50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	연차별 연구비 (백만원)	정부	1,700	2,900	1,950	1,500	1,000																							
		민간 (추정)	1,500	3,000	2,000	1,500	1,000																							
	합 계		3,200	5,900	3,950	3,000	2,000																							

	총 연구비 (백만원)	정부	9,050	총 연구기간	5 년
		민간	9,000		
		총합계	18,050	연도별 평균소요인력	36 명
11. 기대효과 및 파급효과	○ 고수투과율의 PRO 전용막 및 PRO 전용 해수 유인 압력회수장치 원천기술 확보 ○ PRO 시스템을 이용한 전력생산 기술 상용화 가능 ○ PRO 시스템과 해수담수화 플랜트 및 타수처리 공정과 연계가 가능하여 운영비용 절감이 가능하며 원천기술 확보 시 해외시장 진출이 용이함 ○ SWRO-PRO 조합공정을 통해 공정 효율 증가로 물 생산단가 저감에 기여할 수 있음				

1. 과제명	MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술 개발 연구단 - 3 세부 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발
2. 연구개발목표	○ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)을 자원화하여 부가가치를 창출하는 기술 개발(SWRO플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치 창출) ○ RO농축수로부터 유가 희소금속 Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상에 대해 회수율 80% 이상의 추출 및 RO농축수와 기타 부산물(세정폐액, 슬러지 등)을 활용한 강도 100kg/cm² 이상의 건설재료용 경화체 제조 기술개발
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 국내 : RO농축수로부터 마그네슘, 천연소금 회수 기술에 관한 연구 사례를 제외하고는 연구 사례가 거의 없음. 유사 기술로서 해수로 부터의 유가 금속 추출에 관한 연구가 수행된 바 있음 ○ 국외 : RO농축수를 비롯한 해수담수화 플랜트 부산물로부터 유가 자원을 생산하는 기술은 미국, 일본, 유럽의 선진국들을 중심으로 부분적으로 연구되고 있음
4. 기존기술 활용방안	○ RO농축수 금속 자원 회수기술 중 일부는 해수를 대상으로 한 유사 기술의 개선 활용 가능
5. 기술개발 필요성	○ 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 부산물의 방류 및 처리는 2차적인 환경오염 및 추가적인 처리 비용을 유발함 ○ 해수담수화 플랜트 부산물을 자원화함으로써, 오염물질 무배출 공정의 실현 및 부가가치 창출이 가능
6. 주요연구 개발내용	○ RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심기술 개발 ○ RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 최적화 공정 설계기술 개발 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 활용 경화체 연속생산 공정 개발
7. 정부지원의 타당성	○ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술은 전 세계적으로도 연구의 초기단계이므로 집중 투자를 통해 단기간에 세계 수준의 기술 확보가 가능함
8. 기술확보 전략	○ 부산물 자원화 세부 핵심 기술들의 경우 연구의 초기단계로서 대학, 연구소 중심으로 기술개발을 주도할 필요가 있음 ○ 통합 자원화 공정 설계 및 최적화는 실증연구를 바탕으로 이루어져야 하므로 산업체를 중심으로 산학연 협동 체제로 연구 진행이 요구됨
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	○ 해수담수화 플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치를 창출할 수 있는 부산물 자원화 기술 ○ RO농축수로부터 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상)에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술 ○ 해수담수화 플랜트 부산물로부터 강도 100kg/cm²의 건설재료용 경화체 제조 기술 ○ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합 공정 설계 기술(선진국 기술 수준 대비 100%) ○ 부산물 1톤/일 처리 수준의 자원화 통합공정 소형 시스템

10. 연구개발 과제의 규모 (50억원 이내) (연구기간 5년 이내)	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부	800	800	950	800	700
		민간 (추정)	350	400	500	400	350
	합 계		1,150	1,200	1,450	1,200	1,050
	총 연구비 (백만원)	정부	4,050			총 연구기간	5 년
민간		2,000					
총합계		6,050			연도별 평균소요인력	16 명	
11. 기대효과 및 파급효과	○ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물을 자원화함에 따라 부산물의 추가적인 처리 비용이 필요 없고, 2차적인 환경오염을 방지 ○ 재활용품 생산을 통한 부가가치 창출						