(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

4㎝

Land Transpot and Maritime R&D Report

하이브리드 담수화 플랜트 기술기획 보고서

국토해양부

한국건설교통기술평가원

5㎝

3㎝

건설교통연구기획사업

[Green-up 30]
하이브리드 담수화 플랜트
기술기획보고서 (총괄)

2012 . 3. 13.

주관연구기관 / 창원대학교
협동연구기관 / (주)에이탑컨설팅

(백색바탕)

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 **"하이브리드 해수담수화플랜트 기술기획"**과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 3. 13

주관연구기관명 : 창원대학교
주관연구책임자 : 서규태 교수
연 구 원 : 이택순 교수
" : 장정욱 교수
" : 송봉근 연구원
" : 변지혜 연구원
공동연구기관명 : (주)에이탑컨설팅
협동연구책임자 : 전현곤 대표이사

요약문

1. 기술의 정의 및 필요성

□ ‘하이브리드 담수화플랜트 기술’의 정의

o “하이브리드 담수화플랜트 기술”은 신개념 탈염기술을 역삼투 공정과 조합함으로써, 역삼투방식의 문제점인 에너지문제와 환경부하 문제를 해결할 수 있는 미래선도형 기술로 기존 해수담수화플랜트 대비 에너지 30% 절감이 가능한 다중 담수방식/에너지원 조합형 하이브리드 담수플랜트 기술임

- 신개념 탈염기술 : 고비용 역삼투법을 대체할 미래기술로서 고기능성 막 소재를 활용한 저비용 탈염기술(정삼투법, 막증발법 등)

o 범위 : 수자원 확보 및 물공급 기술로서 시장지배적 역삼투 해수담수화 공정기술을 탈피한 미래 기술 선도형 해수담수화 플랜트 설계, 시공, 생산 및 유지관리 기술 전반

□ 기획의 필요성

o 해수담수화 시장은 RO중심으로 재편, 발전해 왔으나, 환경문제를 비롯한 다양한 외부요소와 RO방식 기술의 태생적 한계로 새로운 형태의 혁신적인 기술에 대한 요구가 증대되고 있음

- 2000년대 이후 담수화 기술은 MSF(multi-stage flash) 중심에서 RO를 중심으로 한 MD(membrane desalination)방식으로 급격히 전환되어 발전해 왔으나, 현재 물생산단가(경제적 요인)와 환경부하(환경적 요인)의 두 가지 핵심요인으로 인해 혁신적인 기술이 요구되고 있음
- (경제적 요인) RO방식의 기술진보에 따라 물생산 단가가 감소하고 있으나 한계점이 나타남

※ RO방식의 해수담수화플랜트를 통한 물생산 비용에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 크나, 에너지 가격 상승으로 인한 생산단가 감소 비율은 점차 축소되고 있음

※ RO방식의 플랜트 운영, 유지비용 절감에 있어 가장 중요한 요소는 분리막과 에너지 비용임

※ RO방식의 비용을 절감시킬 수 있는 다양한 신기술 개발이 요구됨

- (환경적 요인) 최근 해수담수화 플랜트의 반환경적인 영향을 제한하고 조정하기 위해 국가간 합의를 통한 규제가 만들어지고 있으며, 이러한 환경법규를 통해 플랜트 운영에 대한 허가가 이루어지고 있음

※ 해수담수화플랜트 부산물의 환경부하를 저감을 목적으로 연구 동향을 살펴보면, 회수율 증대를 통한 농축수의 양을 줄이기 위한 기술이 주를 이루고 있으며, 최근에는 유가자원 회수 및 부산물의 자원화(건자재화) 등 농축수 등의 부산물로부터 가치를 창출하는 연구가 이루어지고 있음

※ 따라서, 해수담수화플랜트의 환경부담을 저감시키는 동시에 추가적인 가치를 생산함으로써 기술적, 시장적 경쟁력을 제고할 수 있는 기술의 개발이 최근 요구되고 있음

2. 국내외 동향 및 환경분석

□ 정책동향

o 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

o 해수담수화플랜트 기술 관련 해외 R&D 정책 동향을 살펴보면, 시장선점을 위한 기술개발의 주요 주제로 멤브레인을 기반으로 한 RO방식의 효율향상과 태양열을 활용한 MD방식 및 PRO 기술 등 에너지를 효율적으로 활용한 담수화 공정에 집중하고 있음

o 따라서, 차기 해수담수화플랜트 기술개발과제는 시장선점을 통한 경제적 파급효과를 최대화할 수 있는 기술개발이어야 하며, 그 방향은 담수화플랜트에서 에너지효율을 극대화하는 것임

□ 시장동향

o 현재 세계 담수화시장은 총 68,658,174 m^3/일, 그 중 해수담수화 시장의 규모는 43,167,921 m^3/일로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장

o 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 20 %씩 성장하여 2016년에는 130억 달러에 달할 것으로 예상됨

o 향후, 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면 (운영에 따른 에너지 비용 감소)이 강조되는 방향으로 진행될 것으로 예측됨

o 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

o 현재 시장지배 기술인 RO방식의 해수담수화는 기술적으로 한계에 달해 시장에서 요구하는 에너지저감과 환경문제에 대처하기 어려움

o 이러한 이유로, FO, MD, CDI 등 다양한 신개념 탈염기술들에 대한 연구가 증가하고 있으며, 이러한 신개념 탈염기술과 RO방식의 하이브리드화가 다양한 방식으로 시도되고 있음

o 또한, 해수담수화플랜트에서 에너지를 생산할 수 있는 방법으로 해수의 삼투에너지를 활용하여 에너지를 생산하는 PRO, RED 등의 기술들이 최근 제안, 연구되고 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 하이브리드해수담수화 플랜트 기술 기획 연구 결과 최종적으로 두 개의 연구단이 도출됨

	핵심가치	목표
[연구단 1] 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발연구단	에너지 소비 저감	• 플랜트 에너지 저감 (4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton) • 물생산 단가 저감 (기존사업단 대비 25% 저감)
[연구단 2] MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발연구단	환경부하 저감	• 농축수 30% 저감 방류 • 농축수로부터 5[W/m^2 막면적]의 에너지 회수 • 해수담수화 부산물로부터 200[원/부산물 ton]의 가치생산

나. [연구단 1] 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

□ 비전 및 목표

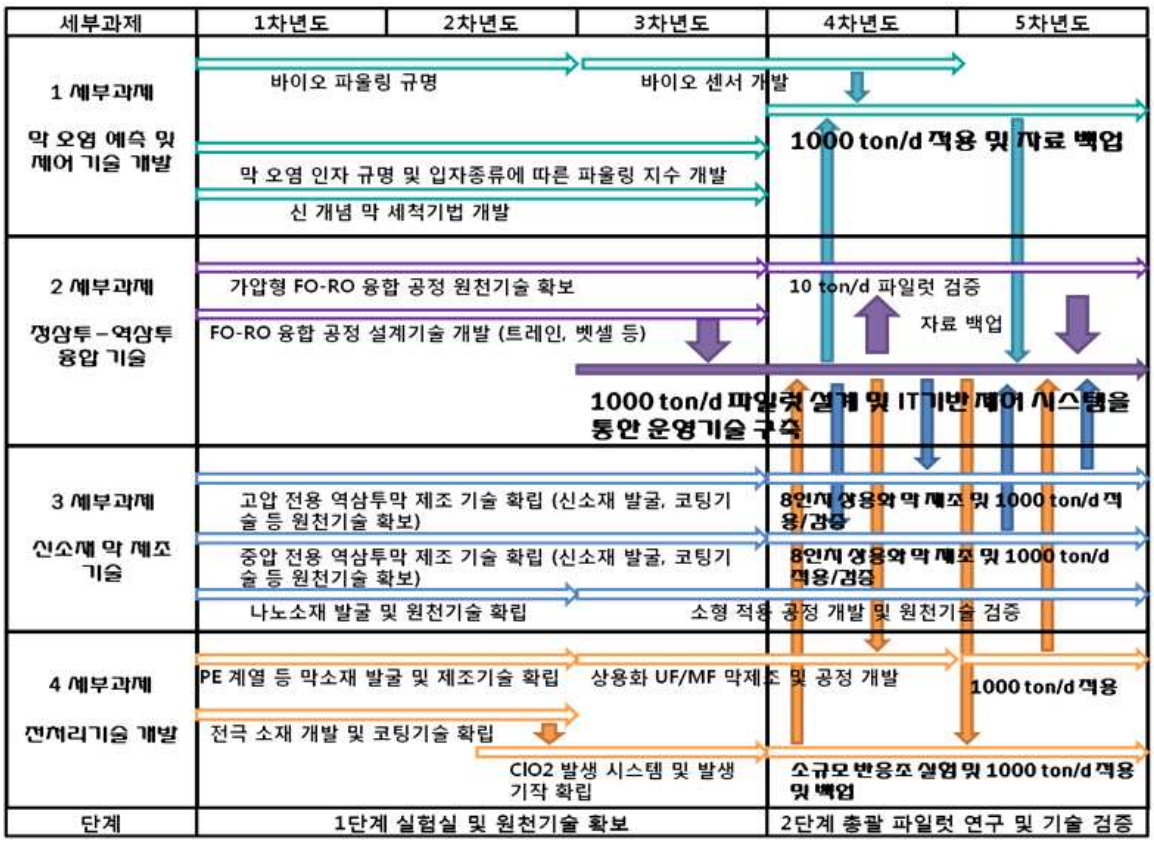
o [비전] 정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을 통한 세계시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발

o [목표] 플랜트 에너지 저감(4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton), 물값저감(25%)

□ 연구개발과제 구성

세부 과제명	세세부 과제명
정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막오염 예측 및 제어기술 개발
	정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발
정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투-역삼투 융합기술개발
	가압형 정삼투-역삼투 융합기술 개발
신소재 정·역삼투 막 제조기술	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술
	나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발
저비용 전처리 기술개발	FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발
	전처리 고효율 소독설비 개발

□ TRM

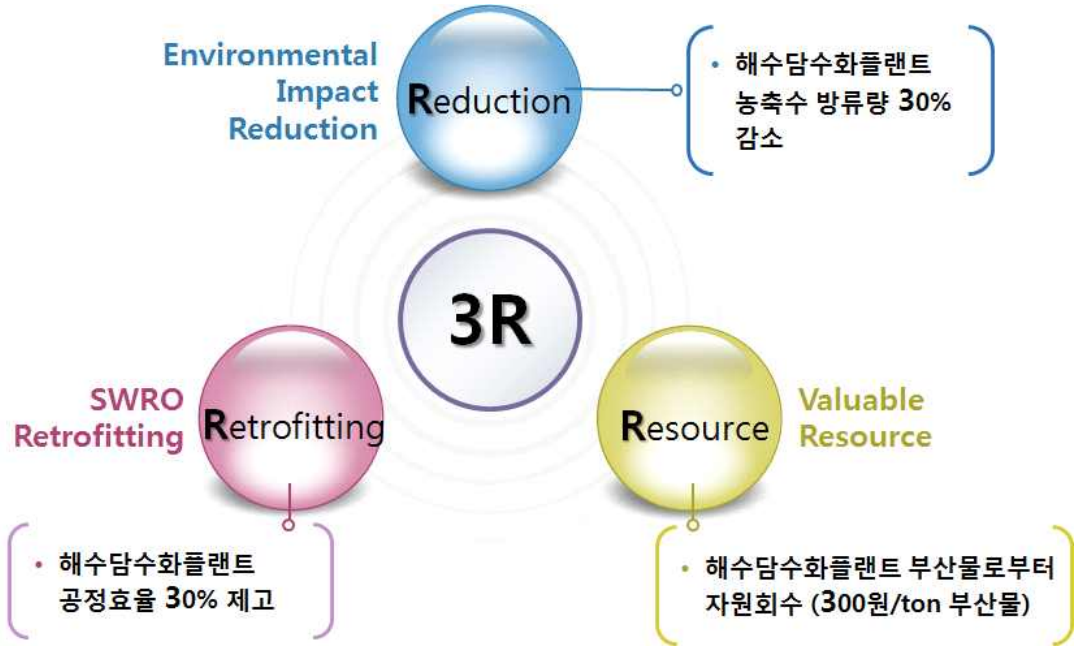


다. [연구단 2] MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

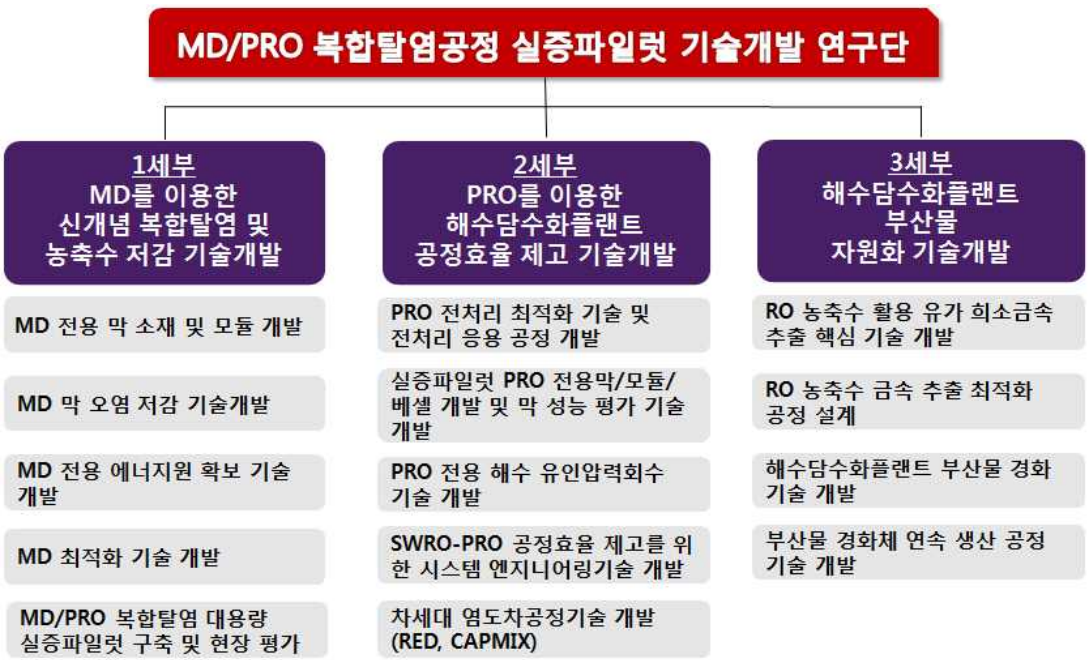
□ 비전 및 목표

o [비전] 세계 시장을 선도할 수 있는 신개념 복합탈염 (MD/PRO) 기술 개발

o [전략목표] 역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성



□ 연구개발과제 구성



□ 세부과제별 TRM

o 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
		에너지 최적화 공정 설계	에너지 최적화 기법 적용 평가		에너지 최적화 운영기술		
	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	

o 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 압력회수장치 개발	PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작		파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증			PRO 전용 해수유인 압력회수장치
			제어 메커니즘 해석 및 회수장치 효율 최적화			시제품 제작 및 성능 검증	
	2-4 SWRO-PRO 공정효율 제고를 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		

o 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발



4. 인력투입 계획 및 소요예산

□ 인력투입계획

(단위 : 명)

	과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1연구단	1세부과제	16	24	40	28	22	130
	2세부과제	24	26	90	86	34	260
	3세부과제	10	26	28	26	20	110
	4세부과제	12	20	26	12	10	80
	소계	62	96	184	152	86	580
2연구단	1세부과제	46	68	60	60	56	235
	2세부과제	28	44	42	36	30	152
	3세부과제	8	24	16	16	16	67
	소계	82	136	118	112	102	454

□ 소요예산 산정

(단위 : 백만원)

과제			1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계
			정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
연구단1	1세부	1-1	300	300	500	500	1,000	1,000	700	700	500	500	6,000
		1-2	300	300	400	400	500	500	400	400	400	400	4,000
		1-3	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
		계	**800**	**800**	**1,200**	**1,200**	**2,000**	**2,000**	**1,400**	**1,400**	**1,100**	**1,100**	**13,000**
	2세부	2-1	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	4,000	4,000	4,000	1,500	1,500	23,000
		2-2	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
		계	**1,200**	**1,200**	**1,300**	**1,300**	**4,500**	**4,500**	**4,300**	**4,300**	**1,700**	**1,700**	**26,000**
	3세부	3-1	300	300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	700	700	8,000
		3-2	200	200	300	300	400	400	300	300	300	300	3,000
		계	**500**	**500**	**1,300**	**1,300**	**1,400**	**1,400**	**1,300**	**1,300**	**1,000**	**1,000**	**11,000**
	4세부	4-1	400	400	600	600	800	800	400	400	300	300	5,000
		4-2	200	200	400	400	500	500	200	200	200	200	3,000
		계	**600**	**600**	**1,000**	**1,000**	**1,300**	**1,300**	**600**	**600**	**500**	**500**	**8,000**
	소계		**3,100**	**3,100**	**4,800**	**4,800**	**9,200**	**9,200**	**7,600**	**7,600**	**4,300**	**4,300**	**58,000**
연구단2	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
		계	**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
		계	**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
		계	**800**	**350**	**800**	**400**	**950**	**500**	**800**	**400**	**700**	**350**	**6,050**
	소계		**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 및 필요성 ····· 1
1. "하이브리드 담수화플랜트 기술"의 정의 ····· 1

제 2 절 기획의 필요성 ····· 1
1. 기획배경 ····· 1
2. 기획 목적 ····· 6

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석 ····· 7

제 1 절 기존 해수담수화플랜트사업단의 성과진단 ····· 7

제 2 절 국내외 정책동향 ····· 12
1. 국내 정책동향 ····· 12
2. 국외 정책동향 ····· 14
3. 시사점 ····· 17

제 3 절 국내외 시장현황 및 전망 ····· 18
1. 국내 시장현황 및 전망 ····· 18
2. 국외 시장현황 및 전망 ····· 19
3. 시사점 ····· 26

제 4 절 기술동향분석 ····· 30
1. 기술동향분석 ····· 30
2. 특허분석 ····· 50
3. 논문분석 ····· 63
4. 시사점 ····· 69

제 3 장 연구개발과제 도출 및 설정 경과 ····· 72

제 1 절 기술개발 방향의 설정 ····· 72
1. 해수담수화플랜트 시장적 이슈 ····· 72
2. 기술개발사업의 범위 ····· 73

제 2 절 후보과제 검토 및 사업추진체계의 결정 ····· 78
1. 기술수요조사 ····· 78
2. 중점추진분야의 도출 ····· 79
3. 후보과제 도출 및 검토 ····· 80
4. 사업추진체계의 결정 ····· 85
5. 최종사업추진 체계 및 SWOT 분석 ····· 88

제 4 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 91

제 1 절 정·역삼투 해수담수화 플랜트 고도화기술 개발 연구단 ····· 91
1. 비전 및 목표 설정 ····· 91
2. 연구개발과제의 구성 및 추진내용 ····· 92
3. 세부과제간 연계성 및 요약 ····· 95
4. 기술개발 TRM ····· 96

제 2 절 MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단 ····· 98
1. 비전 및 목표 설정 ····· 98
2. 기술개발에 따른 미래상 ····· 100
3. 연구개발과제 구성 ····· 102
4. 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 103
5. 세부과제간 연계관계 ····· 118
6. 연구추진체계 제안 ····· 120

제 5 장 사전타당성 검토 ····· 121

제 1 절 정책적 타당성 분석 ····· 121
1. 국가전략적 중요성 ····· 121
2. 상위계획과의 부합성 (정책적 일관성 분석) ····· 124
3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계 (정책적 추진의지 분석) ····· 124
4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안 ····· 125

제 2 절 기술적 타당성 분석 ····· 126
1. 기술개발 계획의 적절성 ····· 126
2. 기술수준 및 성공가능성 ····· 130
3. 기존 사업과의 중복성 ····· 130

제 3 절 경제적 타당성 분석 ····· 132
1. 경제성 분석 ····· 132
2. 과학기술적 파급효과 ····· 133
3. 예산 적정성 분석 ····· 134

제 6 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정 ····· 136

제 1 절 연구일정에 따른 인력계획 ····· 136
1. 연차별 투입연구인력 ····· 136
2. 상세 투입연구인력 ····· 137

제 2 절 소요예산 산정 ····· 138
1. 산정개요 ····· 138
2. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”연구단 소요예산 ····· 139

제 7 장 과제 제안요구서 ····· 140

제 1 절 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 ····· 140
1. 연구단 제안요구서 (RFP) ····· 140
2. 1세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 151
3. 2세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 157
4. 3세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 161
5. 4세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 166

제 2 절 MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단 ····· 170
1. 연구단 제안요구서 (RFP) ····· 170
2. 1세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 175
3. 2세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 178
4. 3세부과제 제안요구서 (RFP) ····· 181

제 3 절 일반과제 ····· 184

표 목 차

<표 2-1> 기술수준이 높게 조사된 핵심기술 리스트 ····· 9
<표 2-2> 기술수준이 낮게 조사된 핵심기술 리스트 ····· 10
<표 2-3> 미국의 해수담수화 연구 방향 및 기술 로드맵 ····· 14
<표 2-4> 미국의 R&D 방향성 ····· 15
<표 2-5> EU의 R&D 방향성 ····· 16
<표 2-6> Al Khaimah SERO 프로젝트 입찰현황, 수주결과 ····· 27
<표 2-7> 2009년 이후 역삼투막 플랜트의 에너지 소비량 ····· 27
<표 2-8> 지역별 해수의 특성 ····· 29
<표 2-9> 주요요소 설비별 에너지 요구량 ····· 30
<표 2-10> 역삼투막 제조회사의 최신 역삼투막 성능 ····· 33
<표 2-11> 후자이라 단순 하이브리드 프로젝트 ····· 36
<표 2-12> 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능(1/2) ····· 39
<표 2-13> 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능(2/2) ····· 40
<표 2-14> 특허검색방법 ····· 50
<표 2-15> 논문 검색 개요 ····· 52
<표 2-16> 기술분류별 특허출원 현황 ····· 53
<표 2-17> 논문검색방법 ····· 63
<표 2-18> 논문 검색 개요 ····· 64
<표 2-19> 현 역삼투방식 해수담수화 기술적 한계상황 ····· 71

<표 3-1> 수요조사 결과 도출된 기술개발 과제 리스트 ····· 78
<표 3-2> 최종후보과제 및 과제 정의 ····· 80
<표 3-3> 후보과제의 기술개발단계 및 국내 기술수준 ····· 82
<표 3-4> 우선순위 도출결과 ····· 83
<표 3-5> 기술특성 분석 결과 ····· 84
<표 3-6> 중점추진분야 및 후보과제 검토 결과 ····· 85
<표 3-7> 연구단과 사업단 추진의 장단점 ····· 86
<표 3-8> 사업추진 체계 최종(안) ····· 88

<표 4-1> 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단의 과제 구성 ····· 92
<표 4-2> 세부과제별 요소기술 ····· 92
<표 4-3> 기존 연구와의 중복성 검토 ····· 110

<표 5-1> 사업추진상의 위험요인 및 대응방안 ····· 125
<표 5-2> 기존 연구와의 차별화 및 연계방안(2세부과제) ····· 131
<표 5-3> 경제성 분석 결과 ····· 133

<표 6-1> 기업부담금 출연기준 ····· 138

그 림 목 차

[그림 1-1] 저농도 용액과 고농도 용액 간 염분농도차에 의해 발생하는 에너지 ····· 5

[그림 2-1] 해수담수화플랜트 사업단의 비전 및 목표 ····· 7
[그림 2-2] 해수담수화플랜트사업단 과제의 기술수준 조사 결과 ····· 9
[그림 2-3] 제 2차 과학기술기본계획 내 해수담수화플랜트의 위치 ····· 12
[그림 2-4] 신성장동력 비전 및 발전전략(고도물처리) ····· 13
[그림 2-5] 해수담수화플랜트 기술과 정부정책의 연관성 ····· 13
[그림 2-6] 국내 해수담수화 누적 용량 ····· 18
[그림 2-7] 국내 누적 해수담수화 플랜트 시설 ····· 18
[그림 2-8] 물의 분포 ····· 19
[그림 2-9] 담수화 공정-증발법과 역삼투법 ····· 19
[그림 2-10] 해수담수화 시장 규모 ····· 20
[그림 2-11] 담수화 수주 용량 (공정별, 연도별) ····· 20
[그림 2-12] 해수담수화 방식별 발주량 예측 ····· 21
[그림 2-13] 담수화 방식별 해수담수화 시장 규모 및 전망 ····· 21
[그림 2-14] 해수담수화 방식별 생산수 ton당 EPC 가격 ····· 22
[그림 2-15] SWRO 방식의 물값변화 ····· 22
[그림 2-16] 해수담수화 방식별 운영비 및 구성요소 별 경제성 ····· 23
[그림 2-17] SWRO 플랜트 톤당 요구되는 전력비 ····· 23
[그림 2-18] 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망 ····· 24
[그림 2-19] RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000～2009) ····· 25
[그림 2-20] 원유가격의 변화 ····· 26
[그림 2-21] 농축수의 농도와 해양생태 영향도 ····· 28
[그림 2-22] 에너지 회수장치의 종류 ····· 30
[그림 2-23] 대표적인 펌프사의 개발전략 ····· 31
[그림 2-24] 역삼투막 모듈별 경제성 평가 ····· 32
[그림 2-25] 역삼투막의 발전방향 ····· 33
[그림 2-26] 새로운 컨셉의 멤브레인 ····· 34
[그림 2-27] MD 공정의 4가지 운전방식 ····· 35
[그림 2-28] FO 공정의 원리 ····· 35
[그림 2-29] 공정강화의 예 (메디나 프로젝트) ····· 37
[그림 2-30] 나권형 모듈의 예 ····· 38
[그림 2-31] ISE의 Solar-MD 설비 ····· 41
[그림 2-32] ISE의 Solar-MD 공정도 ····· 41
[그림 2-33] University of Nevada의 태양열 온수지 시스템 ····· 42
[그림 2-34] New Jersey Institute of Technology Center의 MDMC 시스템 ····· 43
[그림 2-35] MEMSTILL® pilot plant at Senoko Refuse Incineration Plant ····· 43
[그림 2-36] MEMSTILL® 담수생산 단가 비교 ····· 44
[그림 2-37] Automomous Pilot Plant 공정도 및 사진 ····· 44
[그림 2-38] Greenlysys 공정도 및 장치 사진 ····· 45

[그림 2-39] Bench Scale 장치 ····· 46
[그림 2-40] Pilot scale 장치 ····· 47
[그림 2-41] Statkraft 사의 PRO 파일럿 플랜트 전경 (Tofte, Norway) ····· 48
[그림 2-42] 압력지연삼투(PRO)공정의 전력밀도 (INES workshop report, 2010) ····· 48
[그림 2-43] 압력지연삼투(PRO) 플랜트 건설계획 (Statkraft 사, Norway) ····· 49
[그림 2-44] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 특허 동향 ····· 50
[그림 2-45] 기술분야별 담수화플랜트 관련 특허 동향 ····· 51
[그림 2-46] 주요 기관별 특허출원 현황 ····· 51
[그림 2-47] 년도별 특허 출원동향 ····· 52
[그림 2-48] 기술분야별 특허점유 비율 ····· 53
[그림 2-49] 년도별 특허 출원현황 ····· 54
[그림 2-50] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황 ····· 55
[그림 2-51] 국가별 특허출원 현황 ····· 56
[그림 2-52] 주요 출원인별 특허출원 현황 ····· 56
[그림 2-53] 년도별 특허 출원현황 ····· 57
[그림 2-54] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황 ····· 58
[그림 2-55] 국가별 특허출원 현황 ····· 59
[그림 2-56] 주요 출원인별 특허출원 현황 ····· 59
[그림 2-57] 년도별 특허 출원현황 ····· 60
[그림 2-58] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황 ····· 61
[그림 2-59] 국가별 특허출원 현황 ····· 62
[그림 2-60] 주요 출원인별 특허출원 현황 ····· 62
[그림 2-61] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 논문 동향 ····· 63
[그림 2-62] 기술분야별 담수화플랜트 관련 논문 동향 ····· 64
[그림 2-63] 연도별 FO 관련 발표 논문 수 ····· 65
[그림 2-64] 연구 주제별 FO 관련 논문 발표수(2008～2011) ····· 65
[그림 2-65] '막증발법 및 막 결정법 기술' 국가 별 발행 논문 수 ····· 66
[그림 2-66] '막증발법 및 막 결정법 기술' 시대 별 발행 논문 수 ····· 66
[그림 2-67] '압력지연삼투 막 기술' 국가 별 발행 논문 수 ····· 67
[그림 2-68] '압력지연삼투 막 기술' 시대 별 발행 논문 수 ····· 67
[그림 2-69] '해수담수화 농축수 자원화 기술' 국가 별 발행 논문 수 ····· 68
[그림 2-70] '해수담수화 농축수 자원화기술' 시대 별 발행 논문 수 ····· 68
[그림 2-71] 해수담수화 기술의 발전 방향 ····· 69
[그림 2-72] 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 연도별 에너지 소요량 ····· 70
[그림 2-73] 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 용량별 에너지 소요량 (10,000 ton/d 이상) ····· 70

[그림 3-1] 기술개발범위 설정상의 주요 이슈사항 ····· 73
[그림 3-2] RO방식 중심의 기술개발 추진의 필요성 ····· 74
[그림 3-3] 중점추진분야 ····· 79
[그림 3-4] 최종 연구주제 ····· 85
[그림 3-5] 최종 연구주제 도출의 논리적 배경 ····· 86
[그림 3-6] 기술개발사업 형태 결정 프로세스 ····· 87

[그림 3-7] 기술 실증화 추진 전략 및 일정계획 ····· 87

[그림 4-1] 정삼투-역삼투 융합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술의 범위 ····· 93
[그림 4-2] 정삼투-역삼투 융합엔지니어링 기술의 범위 ····· 93
[그림 4-3] 신소재 막 제조기술의 범위 ····· 94
[그림 4-4] 정삼투-역삼투 융합공정에서의 전처리기술의 범위 ····· 94
[그림 4-5] 기술개발 Concept 및 세부과제간 연계성 ····· 95
[그림 4-6] 세부과제간 연계성 ····· 96
[그림 4-7] 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 TRM ····· 96
[그림 4-8] 연구단의 3대 기술목표 : 3R ····· 99
[그림 4-9] 연구단 단계별 추진 전략 ····· 99
[그림 4-10] 기존 역삼투법 해수담수화플랜트와 MD/PRO 복합탈염기술의 연계 ····· 100
[그림 4-11] 연구단에서 추구하는 3R 기술목표 달성 시 기대효과 ····· 101
[그림 4-12] 연구 개발 과제 구성도 ····· 102
[그림 4-13] MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 개발 내용 ····· 105
[그림 4-14] 1세부과제 연구개발 TRM ····· 106
[그림 4-15] 1세부과제 단계별 추진 전략 ····· 106
[그림 4-16] PRO를 이용한 해수담수화플랜트 에너지회수 기술 개발 내용 ····· 111
[그림 4-17] 2세부과제 연구개발 TRM ····· 112
[그림 4-18] 2세부과제 단계별 추진전략 ····· 112
[그림 4-19] 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발 내용 ····· 115
[그림 4-20] 3세부과제 연구개발 TRM ····· 116
[그림 4-21] 3세부과제 단계별 추진 전략 ····· 116
[그림 4-22] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략 ····· 118
[그림 4-23] MD/PRO 파일럿 플랜트의 연구기간 종료 후 활용방안 ····· 120

[그림 5-1] 싱가폴 Hyflux 사의 정부 지원 사례 (환경부, 2010) ····· 122
[그림 5-2] 해수담수화 기술의 발전 방향 ····· 123
[그림 5-3] 해수담수화플랜트 기술과 정부정책의 연관성 ····· 124
[그림 5-4] 연구단 2의 3대 기술목표 : 3R ····· 126
[그림 5-5] 연구단 단계별 추진 전략 예 ····· 127
[그림 5-6] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략 ····· 128
[그림 5-7] 연구단 2의 연차별 연구비 ····· 134
[그림 5-8] 연구단 2의 연차별 연구비 및 연구인력 현황 ····· 135

제 2 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술정의 및 필요성

1. "하이브리드 담수화플랜트 기술"의 정의

□ "하이브리드 담수화플랜트 기술"은 신개념 탈염기술을 역삼투 공정과 조합함으로써, 역삼투방식의 문제점인 에너지문제와 환경부하 문제를 해결할 수 있는 미래선도형 기술로 기존 해수담수화플랜트 대비 에너지 30% 절감이 가능한 다중 담수방식/에너지원 조합형 하이브리드 담수플랜트 기술임

※ 신개념 탈염기술 : 고비용 역삼투법을 대체할 미래기술로서 고기능성 막 소재를 활용한 저비용 탈염기술(정삼투법, 막증발법 등)

o 범위 : 수자원 확보 및 물공급 기술로서 시장지배적 역삼투 해수담수화 공정기술을 탈피한 미래 기술 선도형 해수담수화 플랜트 설계, 시공, 생산 및 유지관리 기술 전반

제 2 절 기획의 필요성

1. 기획배경

가. 해수담수화플랜트 기술의 중요성 증대

□ 새로운 대체 수자원 확보에 대한 요구 증가

o 전 세계적인 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 기존 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상됨

o 2025년이 되면 거의 모든 국가들이 물 부족을 겪게 될 것으로 보이며, 그 중 절반의 국가들은 물자원의 고갈을 맞을 것으로 예견됨

o 해수의 담수화 기술은 해수를 활용하는 가장 적극적인 방법으로 생활용수 및 공업용수 부족으로 야기되는 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술임

- 지구상에 존재하는 전체 물의 양은 약 13억 8,500만 km^3으로 추정되며, 이 중 97%를 해수가 차지하고 있음

o 해수담수화기술을 통한 물 생산량은 1965년부터 지속적으로 성장. 현재 약 4,000만 톤/일을 초과하고 있으며, 앞으로도 연 평균 17%이상 성장할 것으로 예측되고 있음

□ 미래신성장동력산업으로 경제적 중요성 증가

o 해수담수화 시장은 꾸준히 성장하고 있으며, 그 필요성이 증대되고 있어 해수담수화플랜트 산업은 미래 신선장동력 산업으로써 잠재력이 높음

- 현재 담수화 시장은 68.7백만톤/일 규모이며, 이 중 해수담수화 시장은 63%를 차지(43.2백만톤/일)
- 2005년 이후 3.5~5.0백만톤/일의 물량 발생 (60억불/년 이상)
- 중동 중심의 시장에서 미국, 호주, 유럽 등 시장이 다양화 되어 성장
- 2016년 해수담수화플랜트 시장의 규모는 약 190억불로 예상

o 또한, 해수담수화 플랜트 산업은 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

o 정책적인 측면에서, 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치

- 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는 대표적인 R&D 과제임
- 이에 따라, 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 기술의 수준은 선진국 수준에 이르는 것으로 평가되고 있음

나. 혁신적인 신기술 개발의 필요성 증대

□ 해수담수화 시장은 RO중심으로 재편, 발전해 왔으나, 환경문제를 비롯한 다양한 외부요소와 RO방식 기술의 태생적 한계로 새로운 형태의 혁신적인 기술에 대한 요구가 증대되고 있음

o 2000년대 이후 담수화 기술은 MSF(multi-stage flash) 중심에서 RO를 중심으로 한 MD(membrane desalination)방식으로 급격히 전환되어 발전해 왔으나, 현재 물생산단가(경제적 요인)와 환경부하(환경적 요인)의 두 가지 핵심요인으로 인해 혁신적인 기술이 요구되고 있음

o (경제적 요인) RO방식의 기술진보에 따라 물생산 단가가 감소하고 있으나 한계점이 나타남

- RO방식의 해수담수화플랜트를 통한 물생산 비용에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 크나, 에너지 가격 상승으로 인한 생산단가 감소 비율은 점차 축소되고 있음

- RO방식의 플랜트 운영, 유지비용 절감에 있어 가장 중요한 요소는 분리막과 에너지 비용임
- RO방식의 비용을 절감시킬 수 있는 다양한 신기술 개발이 요구됨

o (환경적 요인) 최근 해수담수화 플랜트의 반환경적인 영향을 제한하고 조정하기 위해 국가간 합의를 통한 규제가 만들어지고 있으며, 이러한 환경법규를 통해 플랜트 운영에 대한 허가가 이루어지고 있음

- 해수담수화플랜트 부산물의 환경부하를 저감을 목적으로 연구 동향을 살펴보면, 회수율 증대를 통한 농축수의 양을 줄이기 위한 기술이 주를 이루고 있으며, 최근에는 유가자원 회수 및 부산물의 자원화(건자재화) 등 농축수 등의 부산물로부터 가치를 창출하는 연구가 이루어지고 있음
- 따라서, 해수담수화플랜트의 환경부담을 저감시키는 동시에 추가적인 가치를 생산함으로써 기술적, 시장적 경쟁력을 제고할 수 있는 기술의 개발이 최근 요구되고 있음

□ 기후변화에 따른 친환경 · 고효율 해수담수화 기술 개발 필요

o 기후변화 등으로 인하여 발생하는 물부족 문제를 해결하기 위하여 물부족 국가 및 지역을 중심으로 해수담수화 플랜트의 도입이 확산되고 있으며, 최근 해수담수화 공정 중 발생하는 농축수의 해양 생태계 및 환경 영향에 대한 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 향후 해수담수화 시장에서 친환경 담수화 기술을 확보함으로써 시장경쟁에서 유리한 위치를 차지할 수 있음

o 또한, 기존의 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보가 필요하며, 이를 위하여 농축수 저감 등과 같은 새로운 개념의 담수화 기술 확보 필요

o 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있으며, 농축수 문제는 향후 해수담수화 분야에서 주요 이슈로 부각될 예정이므로 이에 대해서 국가 차원의 대응 기술 확보가 필요함

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

□ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

o 에너지 및 자원 위기에 대응하기 위해 산업 플랜트로부터 발생되는 부산물을 부산물이 아닌 자원으로 간주하고 이를 활용하여 에너지나 재활용품을 생산하려는 기술 개발 시도가 전세계적으로 이루어지고 있음

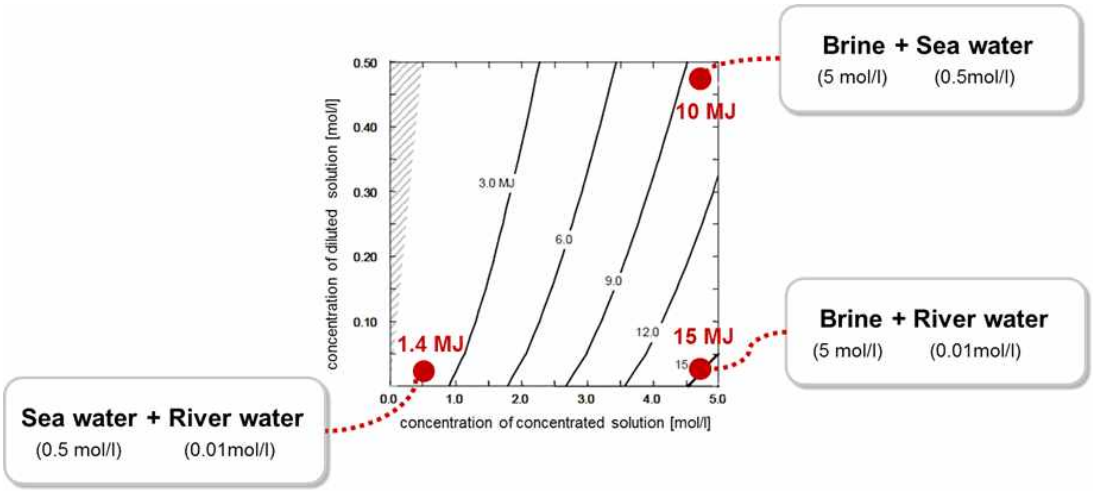
o 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물, 예를 들어 RO농축수, 세정폐액, 슬러지

등의 방류는 이차적인 환경오염을 유발하며 따라서 이를 처리하기 위해 추가적인 처리 비용이 요구됨

- o 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화함으로써 오염물질 무배출 공정을 실현하고, 추가적으로 부가가치를 창출하여 플랜트의 경제성을 향상시킬 필요가 있음
- o 해수담수화플랜트의 폐자원 활용 기술은 전세계적으로도 연구의 초기단계이며 집중 지원을 통해 핵심기술을 선점할 필요가 있음

□ 염분 농도차 기술을 이용한 새로운 에너지원 개발

- o 전세계적으로, 온난화가 가속화됨에 따라 오존층 파괴, 해수면 상승, 이상기후현상 증가, 농작물재배가능지역의 북상현상 등 수많은 문제점이 대두됨
- o 새로운 에너지원의 조건은 재생가능, 환경 친화적인 동시에 각 지역에 특화되어 있어야 함
- o 저염도의 담수가 고염도의 해수와 만날 때 발생하는 에너지의 잠재력은 현재 전세계의 전기 소요량의 80%를 담당할 수 있을 것으로 예측되며, 또한, 온실가스와 관련된 에너지 소모량을 40% 감소시킬 수 있을 것으로 보임
- o 블루 에너지를 이용하면, 일정한 에너지 생산이 가능하고, 생태학 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있으며, 에너지원의 분산화를 통해 비교적 고른 에너지 분배가 가능하다. 또한, 기존의 탈염기술인 전기투석 (ED), CDI 등의 응용기술이기 때문에 상용화까지의 시간을 단축할 수 있음
- o 블루에너지를 이용한 에너지 회수 기술은 삼면이 바다인 국내의 지형적 환경에 매우 유리함
- o $1m^3$의 해수(0.5mol/l NaCl)와 $1m^3$의 담수(0.01 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염분농도차 에너지는 약 1.4 MJ이고, $1m^3$의 농축수(5mol/l NaCl)와 $1m^3$의 해수(0.5 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염분농도차 에너지는 약 10 MJ, $1m^3$의 농축수(5mol/l NaCl)와 $1m^3$의 담수(0.01 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염분농도차 에너지는 15 MJ임



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

※ 출처: J. W. Post, 2009

다. 기 투자된 해수담수화플랜트사업단 성과의 극대화를 위한 추가 기술개발 필요

□ 해수담수화사업단의 성과

o 현 해수담수화 사업단은 2006년 발족 이후 세계 초일류의 해수담수화 플랜트기술 확보를 목표로 2012년까지 추진

o 국내에 보유하지 못한 RO기술기반 해수담수화 기술 및 이와 관련한 부품소재, 장비, 설계, 운영 및 유지기술 등의 국산화를 목표로 함

o 16인치 역삼투막, 펌프 및 에너지회수장치 개발 등의 성과를 바탕으로 현재 부산에 국내형 RO기반 해수담수화플랜트 Test bed를 건설 중에 있음

o 이러한 기술개발은 사우디 라스아주르 해수담수화플랜트 (100만톤/일) 수주 등 해외시장 진출 등 가시적 성과를 거두고 있음

□ 해수담수화플랜트사업단의 한계점

o 현재 사업단의 연구내용은 RO기술에 한정되어 있음

o 기술개발전략이 선진기술 추격형(Catch-up) 방식으로 진행되어 해수담수화 시장에서 새롭게 대두되고 있는 에너지 및 환경문제에 대응하기에는 다소 부족

o 현재 세계시장의 대부분을 점유하고 있는 증발식 및 역삼투방식의 해수담수화 기술은 수자원 확보를 주된 목적으로 하고 있어 에너지 소모율이 높음

o 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 기후변화 문제를 고려할 때, 2020년 이후에는 고효율/저에너지/친환경 방식의 해수담수화기술을 중심으로 시장이 재편될 것으로 예상되므로 이에 대한 대응이 요구됨

□ 현 사업단의 승계를 통한 국가주도형 기술 개발

o 현 사업단의 기술개발 내용을 지속적으로 발전시키는 동시에 미래기술을 선점하여 세계적 경쟁력을 확보, 세계시장을 주도할 수 있도록 하기 위한 차기 해수담수화플랜트 기술개발사업이 필요

- 현 사업단은 세계수준의 RO기술 국산화를 목표로 하였으며, 2012년 종료시점까지 세계 기술과 대등한 수준의 국내기술을 확보할 것으로 예상
- 미래 해수담수화 시장의 선점을 위해서는 진보된 RO기술의 개발이 요구되며, 세계적 기술수준을 뛰어 넘어 RO기술의 우위를 차지할 수 있는 탈추격형 차세대 RO기술의 개발이 필요함
- 차세대 RO기술의 개발을 위해서는 현 해수담수화 사업단의 기술개발 방향과 목표를 승계하여 발전시키는 것이 가장 효과적인 방법임
- 해수담수화플랜트기술은 부품소재개발, 에너지기술, 설계 및 시공기술, IT 기반 운영 및 유지기술 등 플랜트 종합형 기술개발사업이므로 국가주도형 사업추진이 절실히 요구됨

2. 기획 목적

□ 고효율/저에너지/친환경 방식의 해수담수화 기술개발을 통해 세계 해수담수화 분야에서 지속적으로 시장경쟁력을 확보하고 국부를 창출할 수 있는 기술 개발

o 핵심요소기술 개발뿐만 아니라 실용화 가능한 핵심기술의 조기 상용화 및 이를 체계적으로 조합한 공정기술을 통해 수출 동력을 유발할 수 있는 연구

o 산업 환경 분석을 통해 발전전략을 수립하고 기술개발과제를 도출

o 관련 연구기관 및 기업을 육성하고 가시적 성과를 창출할 수 있는 기반구축 및 역량강화

□ 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 부산물을 활용하여 유가 자원을 생산하는 핵심기술 확보

o 신부가가가치 창출을 통한 해수담수화 플랜트의 경제성 제고

o 해수담수화 플랜트 폐자원 활용 핵심기술 선점

□ 에너지 소모량 및 농축수 배출량을 저감할 수 있는 신개념 탈염기술을 역삼투 공정 등과 조합한 하이브리드 해수담수화플랜트 설계, 시공 및 유지관리 기술 확보

o 세계 담수화플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보를 유도

o 세계 물 산업시장 선점 및 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 기술 개발

제 3 장 국내외 동향 및 환경분석

제 1 절 기존 해수담수화플랜트사업단의 성과진단

가. 해수담수화플랜트 사업단 개요

□ 해수담수화플랜트사업단 출범의 배경

o 2006년 해수담수화플랜트사업단 출범 당시 해수담수화플랜트 시장은 RO기술을 중심으로 재편되고 있었으며, 또 RO방식의 담수화플랜트의 경제성 확보를 위해 Unit Capacity의 대형화(4.5MIGD 이상)가 핵심기술로 부각되고 있었음

o 당시, 국내 해수담수화 기술은 MSF를 중심으로 한 증발식 방식이며, 또한 국내 해수담수화 기술은 주로 소규모 시설에 적용하기 위한 것으로 해외진출에 필요한 대용량 담수화 플랜트 기술과는 큰 차이가 있었음

o 향후 시장을 주도할 것으로 예상되는 RO 방식의 플랜트 기술을 빠른 시일내 확보하지 못하는 경우, 국내의 해수담수화 산업은 크게 위축되어 국제시장에서의 위치도 위협받게 될 수도 있는 절박한 상황에서 사업단이 출범

□ 해수담수화플랜트사업단의 비전 및 목표

o 해수담수화플랜트 사업단은 상기와 같은 상황을 타파하기 위해, 세계초일류 해수담수화플랜트 기술확보를 통해 2013년 세계시장 7% 점유 및 해외플랜트 수출 1조원 달성을 목표로 출범

o 기술적 목표로는 Large Scale(8MIGD 이상), Low Energy(4kWh/m^3 이하), Low Fouling(막오염 50% 감소)을 설정



[그림 2-1] 해수담수화플랜트 사업단의 비전 및 목표

나. 해수담수화플랜트사업단의 성과

□ 세계 1위 해수담수화시장의 점유율 유지

o 기존 증발식(MSF) → 현재 증발식(MSF) + 역삼투식(RO)

o 2006년 사업단 이후 총 4건 RO 플랜트 수주

□ 세계 해수담수화시장의 전략적 수출 플랜트 다변화

o 2006년 이전 : MSF, MED

o 2006년 이후 : MSF, MED, RO

□ 세계 해수담수화시장내 국산 기자재 다변화

o 해수담수화용 역삼투막(16인치, 8인치) 세계 3번째 개발 성공 : 5개국 수출

o 고압펌프 개발 : 이란지역 수출

o 에너지회수장치 개발 : 세계 3번째 기술 확보

o 막 전처리 공정개발 : 투르크메니스탄 수출 협의 중

□ 국내 수자원 확보 수단의 다변화 기틀 마련(기후변화 대비 수단 확보)

o 기존 : 강물에 대한 의존도 심화

o 현재 : 기존 지표수 외에 해수담수화 공정에 대한 관심도 집중(부산 기장군, 인천, 강원도 등)

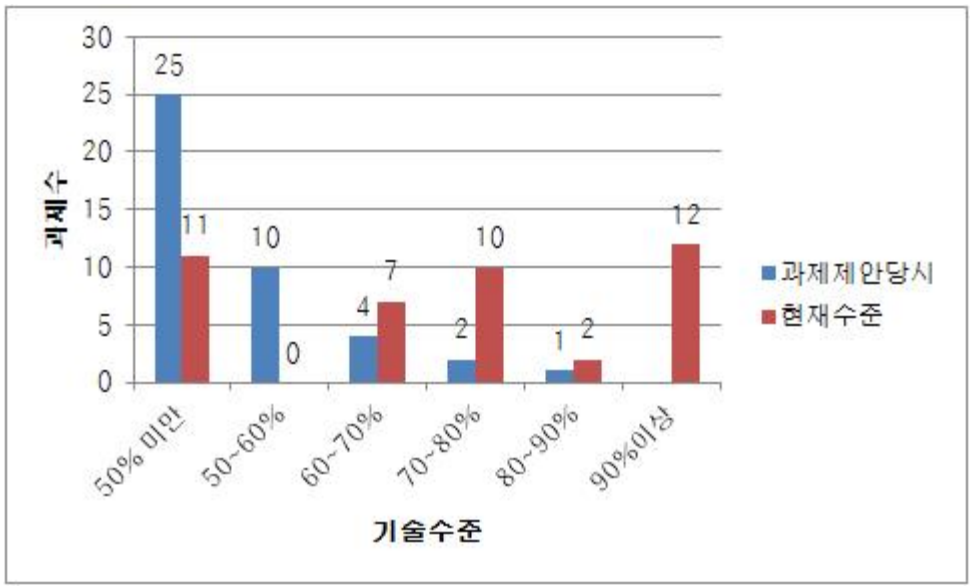
다. 추가적인 기술개발의 필요성

□ 세계최고기술대비 기술격차 존재

o 해수담수화플랜트사업단의 성과로 과제제안 당시에 비해 국내기술수준의 제고는 있었으나, 세계 시장을 선도할 수 있는 수준에 이르지는 못함

- 해수담수화플랜트사업단의 핵심 및 세부과제 책임자를 대상으로 한 과제별 기술수준 조사를 실시함(총 46개 과제)
- 과제 제안 당시 국내 기술기술 수준 50%미만 과제가 25개이며 90%이상인 과제가 없었으나, 현재는 50%미만인 과제가 11개, 90%이상인 과제가 12개로 기술수준의 향상이 있었음
- 중간값[1]을 사용하여 가중평균을 할 경우, 과제제안 당시 기술수준은 48.7%, 현재는 70.4%로 뚜렷한 기술수준 증가가 있었음

1) 50% 미만 구간의 대표값으로 40%를 사용함



[그림 2-2] 해수담수화플랜트사업단 과제의 기술수준 조사 결과

o “RO막 및 모듈기술”, “시스템 설계·시공기술”, “고효율 펌프 및 에너지 저장기기 기술”, “플랜트 운전기술” 등의 RO 플랜트 관련 핵심기술들이 세계최고수준에 근접한 것으로 나타남

- 세계최고 기술 대비 현재 기술수준 90%이상을 기준으로 함

<표 2-1> 기술수준이 높게 조사된 핵심기술 리스트

기술명	기술수준		판단근거
	제안 당시	현재	
차세대 RO막 분석 및 막공정 진단 기술	50%미만	100%	세계 표준화 논의 중
해수담수화 플랜트 국산화 지원을 위한 공정최적화 기술	50%미만	95%	검증 및 보완 단계
공정최적화를 위한 동적 공정모사기 개발 및 테스트베드 적용을 통한 scale-up 기술	50%미만	95%	검증 및 보완 단계
고효율/저에너지 해수담수화 공정 운전최적화 및 Scale-up 기술	50%미만	95%	검증 및 보완 단계
전처리공정 모델 정립 및 공정최적화를 위한 공정 모사기 프로토콜 개발	50%미만	95%	검증 및 보완 단계
폴리아마이드계 고기능성 해수담수화플랜트 건설용 국산막 제조 및 모듈개발	70~80%	90%이상	세계최고의 기술사양은 16인치 모듈사이즈로 99.8% 염제거율과 11000 GPD 투과유량이며, 국내의 기술력은 동등수준의 모듈사이즈의 제조기술과 염제거율 성능은 확보하였으나 투과유량측면에서 선진기술대비 다소 낮은 수준임
고기능성 해수담수화용 역삼투막의	50%미만	90%이상	신기술 개발 및 검증 단계

개질 및 성능평가			
고내구성 차세대 해수담수화플랜트 건설용 국산막 제조 및 모듈개발	60~70%	90%이상	세계 최고 기술의 기술사양은 내화학성이 약한 폴리아마이드계열 역삼투막이며 본 연구에서 개발한 기술은 내염소성이 강하고 내구성이 향상된 역삼투막 제조 기술임
해수담수화플랜트 건설용 저에너지/고효율 대용량 고압펌프 및 에너지 회수장치 개발	80~90%	90%이상	SWRO용 고압펌프의 세계 최고수준의 효율은 85%수준이며, 개발된 펌프의 경우 시험한 결과 목표로 잡은 효율도 85% 수준에 도달하였음 또한, 용적식 에너지회수장치의 세계최고 수준의 효율은 95% 수준이며, 개발된 장치를 Pilot 규모로 제작하여 시험한 결과 96% 수준의 효율에 도달하였음
금속 표면처리 기술의 개발 및 고효율 에너지 저장기기 소재의 개발	50%미만	90%이상	현재 상용화 검토중
대용량 해수 담수화 플랜트 시스템 설계 및 시공 기술 개발	50%미만	100%	현재 수주 중
SWRO 소형 파일럿시스템(50 M3/day)내 전처리 공정최적화를 위한 해수전해시스템의 적용기술개발	60%미만	90%이상	세계최고 기술의 주요 핵심 부분인 설계, 엔지니어링기술, 제작 및 설치 기술에 대하여 해수담수화사업단사업을 통한 개발 및 평가를 통하여 판단

o 이에 반해, 태양열을 활용한 MD공정기술, 정삼투 기술 등 미래기술을 대비한 연구개발 과제들의 성과는 낮게 조사됨

<표 2-2> 기술수준이 낮게 조사된 핵심기술 리스트

기술명	기술수준		판단근거
	제안 당시	현재	
하이브리드 기술개발	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
휴대용 멀티 센서	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
최종 방류수의 생태위해성 평가 및 예측 모델링 기법	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
태양열과 MD공정 Hybrid System	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
신개념 고효율 붕소 흡착제 개발	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
정삼투 기술	50% 미만	50% 미만	실험실 수준
해수담수화 부산물의 생태 위해성 평가	50% 미만	50% 미만	실험실 수준
중동지역 수질 특성에 따른 해수담수화 공정 영향 평가	50% 미만	50% 미만	다양한 지역에 대한 검토 부족(신뢰성 부족)
차세대 대용량 에너지 회수 메커니즘 개발	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
Intake system 성능검증 기술 및 Plant Process의 첨단제어기술 연구개발	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비
대용량 해수 담수화 플랜트의 통합 제어 시스템 구축	50% 미만	50% 미만	개발 기술 미비

□ 이는, 기존 해수담수화플랜트사업단의 목표가 세계 최고기술에 상응하는 기술을 개발하는 추격형 기술개발이며, 현 사업단의 사업기간 중 해수 담수화 기술의 판도 변화 등 다양한 환경적 요인에서 기인함

o 해수담수화플랜트의 경제성 제고를 위한 에너지 소비율 저감 기술 및 환경영향 저감을 위한 농축 관련 기술의 요구 등 환경의 변화로 추가적인 기술개발의 필요성이 증대됨(2장 3절 및 4절 참조)

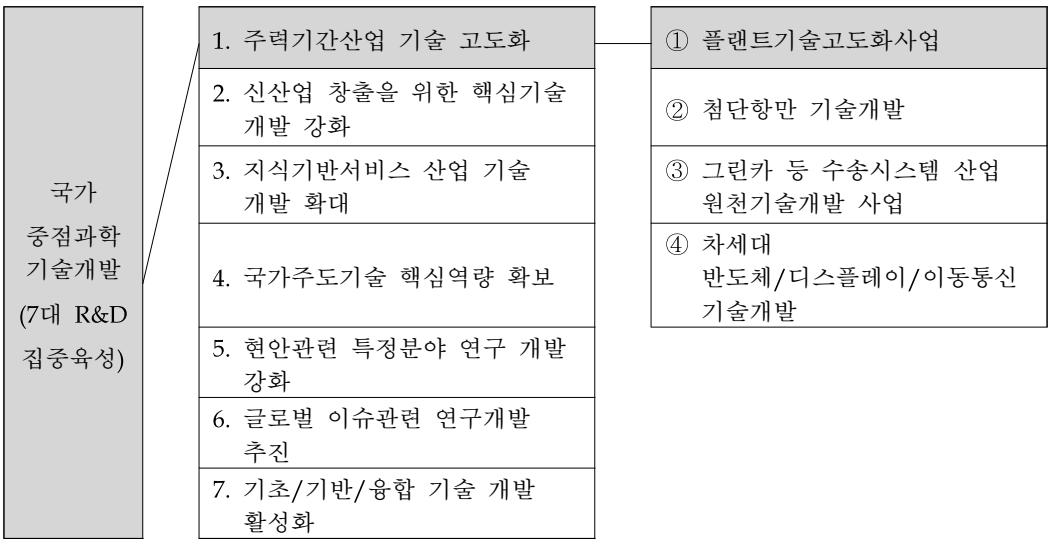
제 2 절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 과학기술기본계획(2008. 8)

□ 정부의 총 R&D 투자비율을 GDP 대비 5% 확대와 동시에 7대 중점분야, 50대 중점육성기술, 40개 중점후보육성기술을 분류 지원

□ 해수담수화플랜트 관련 기술은 7대 중점분야의 주력기간산업 기술고도화에 포함



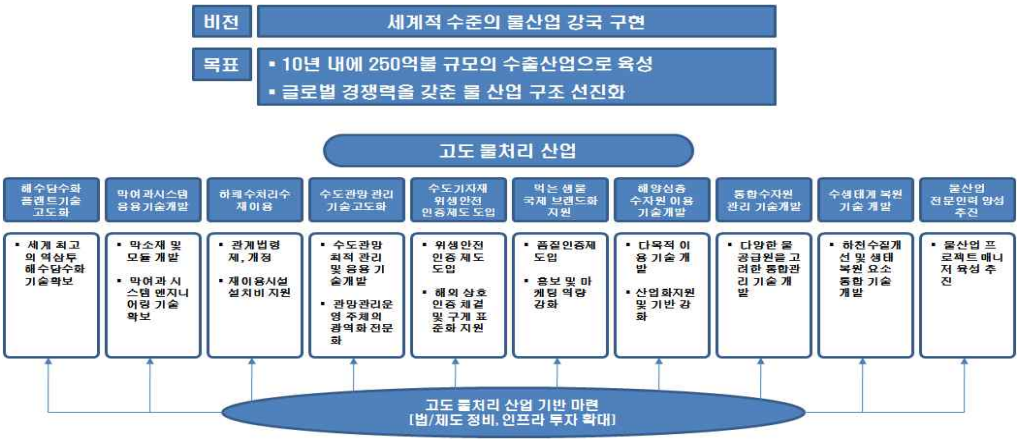
[그림 2-3] 제 2차 과학기술기본계획 내 해수담수화플랜트의 위치

나. 녹색기술 연구개발 종합대책(2009. 1)

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

다. 신성장동력 비전 및 발전 전략('09. 1)

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



[그림 2-4] 신성장동력 비전 및 발전전략(고도물처리)

라. 건설교통 R&D 혁신로드맵(2006.5, 건설교통부)

□ 건설교통 R&D의 중장기적인 방향을 설정한 "건설교통 R&D혁신로드맵"에서는 유망 플랜트의 핵심공정 및 기본설계 패키지 개발과 이의 실증을 통해 플랜트 기술을 고도화하기 위한 플랜트기술고도화사업을 건설교통 7대 연구개발사업군으로 재편하였으며, 세계시장의 경쟁력 유지를 위한 세계 최고수준의 역삼투 방식 담수플랜트 기술개발을 위한 해수담수화플랜트사업단을 중점 프로젝트인 VC-10으로 선정·추진



[그림 2-5] 해수담수화플랜트 기술과 정부정책의 연관성

2. 국외 정책동향

가. 미국

□ 미국은 desalination Roadmap (2003년)을 통해 총 6개의 분야를 도출하였으며, 그 중 막과 관련하여 장기적인 관점에서 중점 연구테마를 O&M과 관련하여 제시

o FO 연구가 예일대학을 중심으로 이루어지며, Nano기술을 이용한 새로운 막개발에 대한 연구가 캘리포니아 대학을 중심으로 이루어짐

o Desalination and Water Purification Technology Roadmap 중심으로 연구가 구성됨

<표 2-3> 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 2-4> 미국의 R&D 방향성

6개 분야의 Keyword	장기적인 막 관련 연구 Keyword
- Membrane technology - Thermal technology - Recycling/reuse technology - Concentrate management technology - Alternative technology - Cross cutting technology	- Smart membrane : 막을 통과하는 오염물 농도의 차이를 감지하여 자동적으로 운전의 performance를 변화 - 센서개발 : 유기물과 바이러스 감지 센서와 Biofouling을 위한 EPC센서 및 입자성 파울링 감지 센서 - Membrane 자체 연구 : 넓은 범위의 pH, 원수의 농도별 제거능력 조절가능, 바이오 필름에 대한 내오염성 강화

나. 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 관련된 단점을 극복하기 위한 연구 중의 하나로 대표적인 프로젝트인 MEDINA 프로젝트가 여기에 속함

o MEDINA 프로젝트는 2006년 10월 15일부터 36개월간 시생된 프로젝트로 총 7개국이 참가하고, 총 6.4 million euro(96억 : 1500원기준)이 투입된 범 국가적인 연구프로젝트로 아래 5개의 중점분야를 중심으로 연구가 수행되고 있음

- 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 연구

도 이루어지고 있음(MEDESOL project)

<표 2-5> EU의 R&D 방향성

4개 분야의 Keyword	Advances in membrane for desalination
- Membrane bioreactor for W/W - Advances in membrane for desalination - Nanotechnologies for water treatment - Process integration and life-cycle management	- 목표 : Desalination의 높은 에너지 요구량 극복 - MEDINA 프로젝트 · 염수들의 특성 파악 · 역삼투막 파울링과 전처리공정 · 새로운 멤브레인 소재와 모듈의 설계 · 역삼투막의 클리닝 효율성 평가 · 농축수 저감과 염의 회수

다. 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

라. 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 추진

o 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

o NeWater 프로젝트는 선진화된 멤브레인 기술(전처리공정-초미세 여과-역삼투압-자외선 살균으로 구성)을 이용하여 하·폐수로부터 식수 및 공업용수를 공급하는 성공적인 수자원 자립 기반 확립하여, 현재 4개 공장에서 하루 2억 900만 리터 생산(전체 물 수요의 15% 차지)하고 있으며 처리수는 산업용수, 조경수 등으로 이용됨

o 또한, 2004년 국가사업으로 수처리 기술 연구개발 R&D센터를 설립, 세계적인 연구소, 대학, 기업들과 협력 강화하고 유치활동을 전개하는 등으로 국제적인 물 산업 허브 육성을 추진

마. 중국

□ 15년 이내에 3-5개의 demonstration areas, 2-4개의 엔지니어링 연구센터, 해수담수를 위한 test site등을 건립할 예정

o 과학기술부처에서 주도적으로 MD공정을 적용한 10 m^3/d demonstration plant를 2010까지 운전하였음

o FO에 대해서는 membrane 막과 draw solute에 대한 연구를 시행중임

3. 시사점

□ 국내 정책 동향을 살펴보면, 해수담수화기술 및 물산업의 시장적 중요성을 인지 다양한 국가R&D정책에 해수담수화플랜트기술을 포함시키고 있음

o 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 기술개발의 주요 주제로 멤브레인을 기반으로 한 RO방식의 효율향상과 태양열을 활용한 MD방식 및 PRO 기술 등 에너지를 효율적으로 활용한 담수화 공정에 집중하고 있음

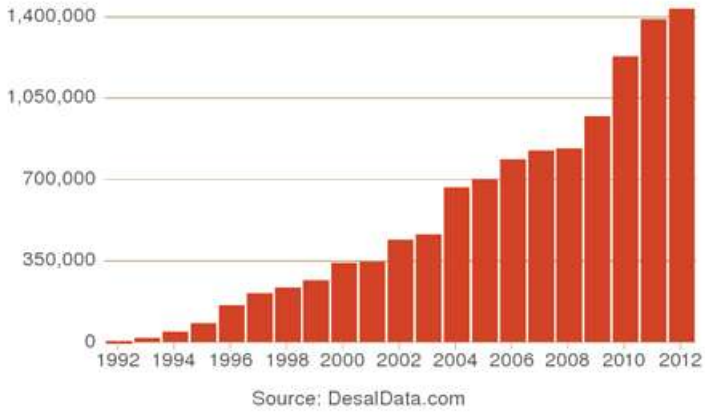
□ 따라서, 차기 해수담수화플랜트 기술개발과제는 시장선점을 통한 경제적 파급효과를 최대화할 수 있는 기술개발이어야 하며, 그 방향은 담수화플랜트에서 에너지효율을 극대화하는 것임

제 3 절 국내외 시장현황 및 전망

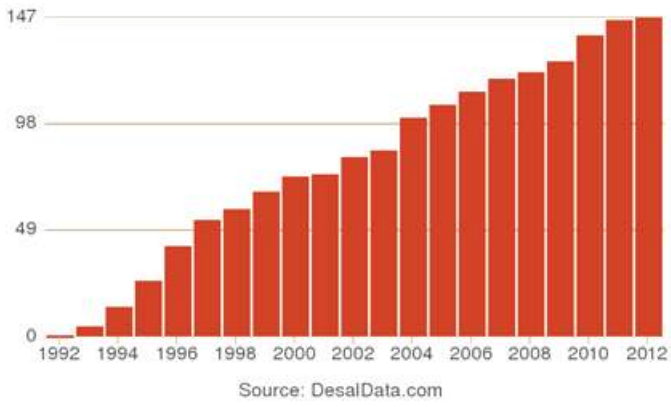
1. 국내 시장현황 및 전망

□ 국내에 가동 중인 해수담수화 시설은 도서지역 식수 해결을 위한 100m^3/일 미만의 소규모 시설이 약 83%로 대부분을 차지하고 있으며, 도서지역 생활 용수 공급을 위한 총 시설 규모는 6,333m^3/일 임

□ 석유화학단지에서 공업용수로 이용하기 위해 기수용 담수화 시설이 사용되고 있으며, 현대석유화학 외 7개사에서 총 137,420m^3/일 규모로 운영하고 있음



[그림 2-6] 국내 해수담수화 누적 용량



[그림 2-7] 국내 누적 해수담수화 플랜트 시설

□ 국내 해수담수화 플랜트 시장규모는 전체 물 시장 규모에 비해 미미하며 주로 해외 시장 확보를 위해 노력하고 있음

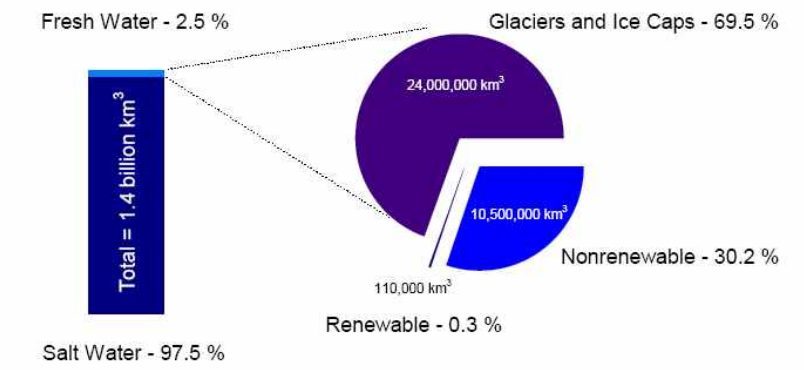
□ 2011년까지 세계시장 7%, 해외 플랜트 수출 누계 금액 1조원 달성 전망

2. 국외 시장현황 및 전망

□ 해수를 이용할 수 있는 담수로 만드는 기술은 전 지구적인 상황에 비추어 중동지역을 중심으로 모든 국가의 관심이 집중되는 분야임

o 향후 전 세계적으로 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상됨

o 현 지구상에 존재하는 물의 양은 약 13억 8,500만 km^3으로 추정되며, 이 수자원 중 97 %를 차지하고 있는 해수로 사용에 대한 제한이 있으며, 나머지 3 %인 민물은 대부분이 빙산, 빙하, 지표수, 지하수, 대기 등에 분포함으로 인해 현재 인류가 사용할 수 있는 민물의 양은 6,500 km^3 불과한 실정임

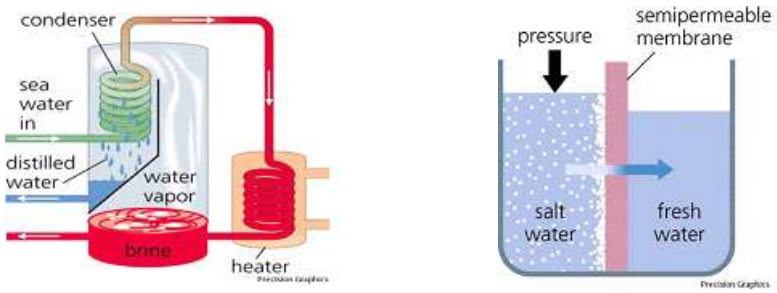


[그림 2-8] 물의 분포

□ 해수담수화에는 증발법, 전기투석법, 역삼투법으로 크게 대변됨

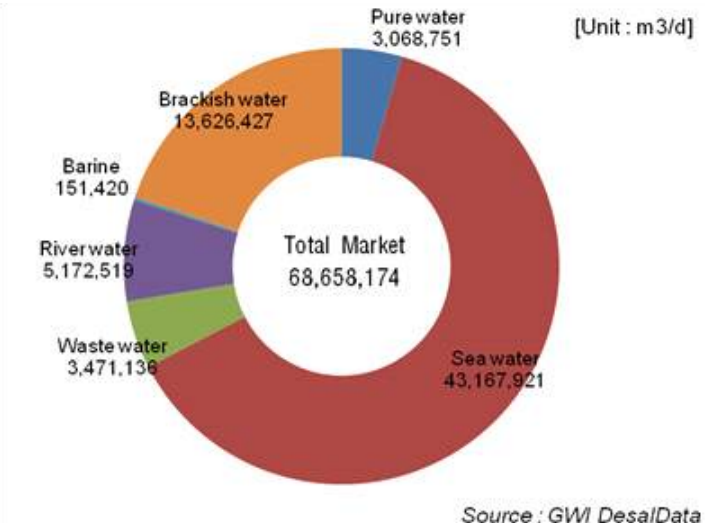
o 증발법은 에너지 가격이 안정되고 값싼 중동지역에 편중되어 있으며, 담수·발전복합플랜트를 이용한 담수화 플랜트의 건설이 시도되고 있음

o 역삼투법은 물은 투과시키지만 용질(이온, 분자)은 거의 투과시키지 않는 성질을 가진 반투막을 이용하는 방식으로 현재 전세계에서 점차 보편화되어 시장지배적인 상황에 있는 방식임



[그림 2-9] 담수화 공정-증발법과 역삼투법

□ 담수화시장은 총 68,658,174 ton/d 이며, 그중 해수담수화 시장의 경우는 43,167,921 ton/d로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장임

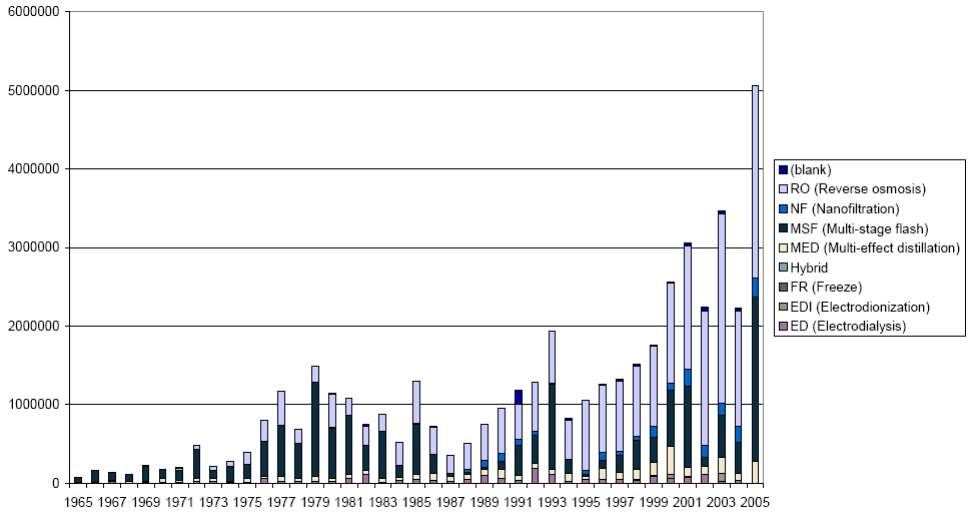


[그림 2-10] 해수담수화 시장 규모

□ 1995년 이전에는 역삼투법보다 증발법의 비중이 컸으나, 1995년 이후 부터는 역삼투법의 성장속도가 빨라짐

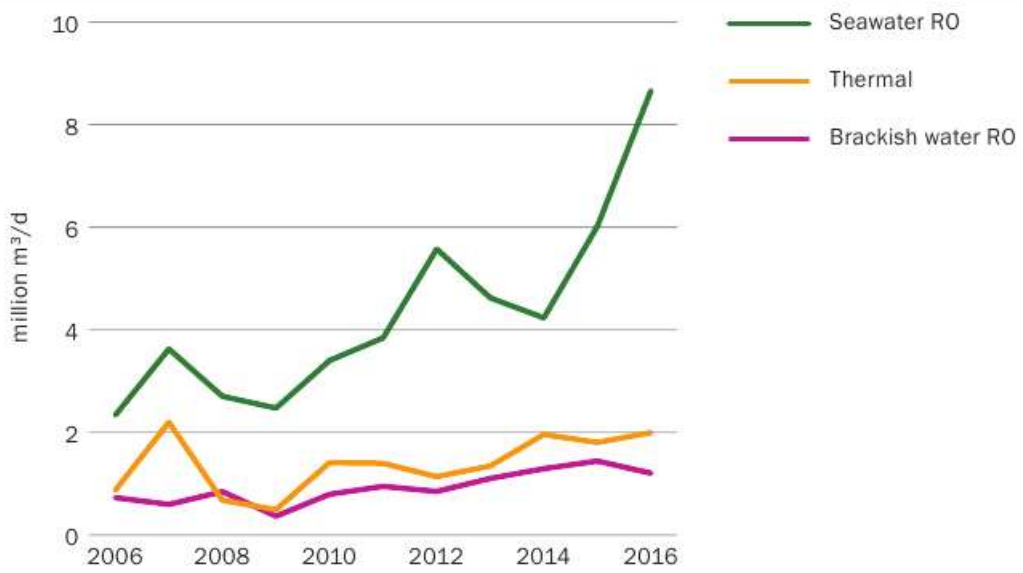
o 2005년에는 역삼투 해수담수화(Seawater Reverse Osmosis (SWRO)) 45%, 증발법 32%(MSF 25% + MED 7%)에 이르러 SWRO를 중심으로 시장이 재편되었음

o 이러한 경향은 지속적으로 진행될 것으로 예상되어, SWRO는 향후 전체 해수담수화 시장의 70%이상을 점유하는 시장 지배적인 기술이 될 것으로 예측됨



[그림 2-11] 담수화 수주 용량 (공정별, 연도별)

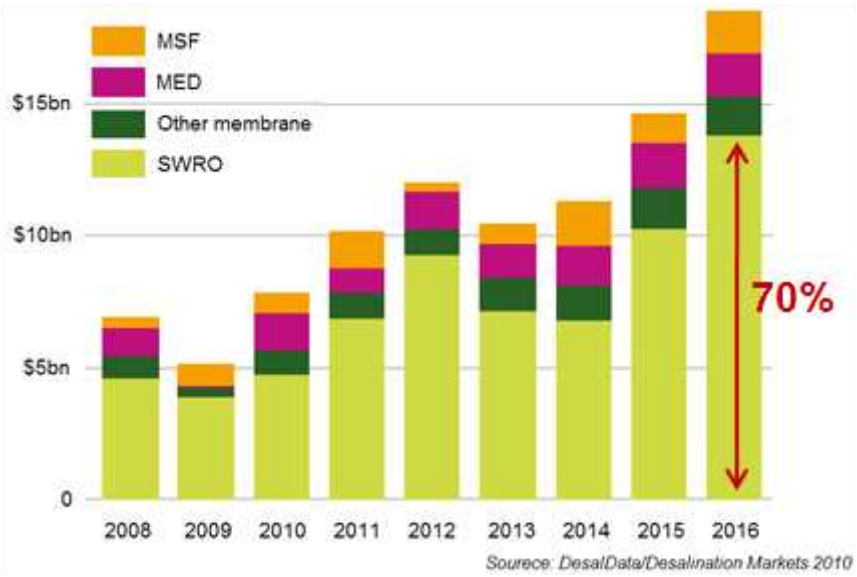
※ 출처 : 해수담수화플랜트 사업단 상세기획연구



[그림 2-12] 해수담수화 방식별 발주량 예측

※ 출처 : GWI DesalData

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

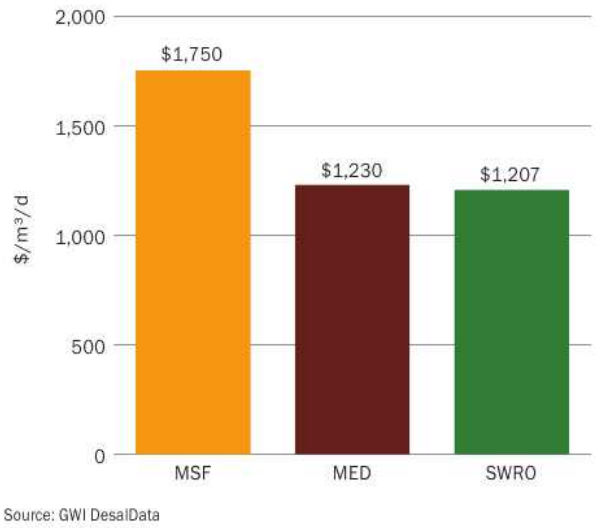


[그림 2-13] 담수화 방식별 해수담수화 시장 규모 및 전망

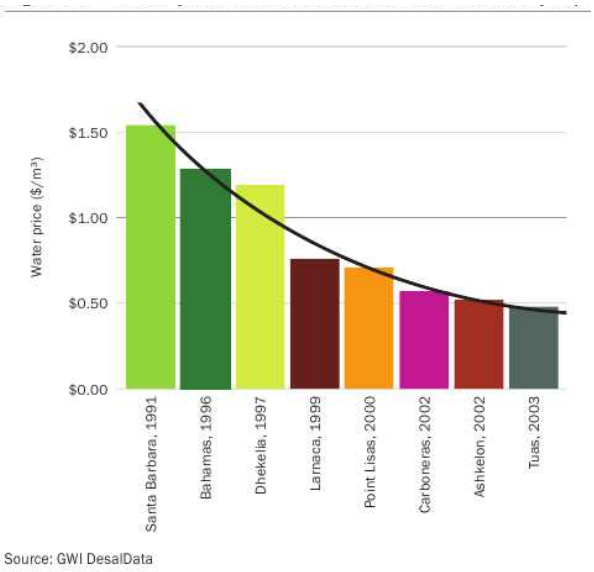
□ 이 같은 시장의 상황변화는 증발식에 비해 시공분야 뿐만 아니라 에너지 분야에서의 역삼투막 공정의 경제성이 증발식보다 우월하기 때문인 것으로 분석됨

o 해수담수화공정에 있어 RO방식과 증발식의 EPC 가격은 10,000 ton/d 대형 플랜트에 있어 RO 방식이 가장 우수

o SWRO의 물값은 90년 이후로 약 30% 수준까지 감소 (Tuas project, 2003년 : 0.48 $/ton (= 552원/ton))



[그림 2-14] 해수담수화 방식별 생산수 ton당 EPC 가격



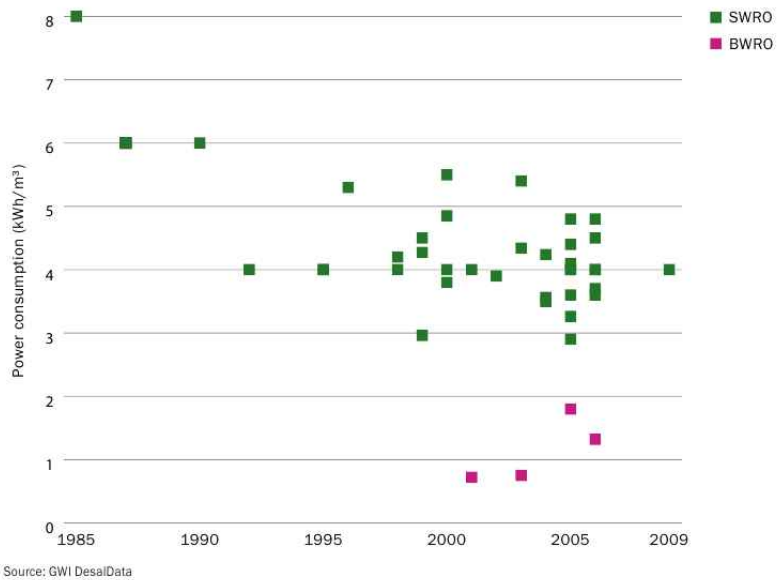
[그림 2-15] SWRO 방식의 물값변화

o SWRO의 운영비는 에너지소요량과 직접적인 관계가 있음

- MSF는 0.51 $/ton, MED는 0.37 $/ton로 RO의 0.24 $/ton보다 높은 것으로 조사되었는데 이는 증발식에 직접적으로 소요되는 열적에너지 요구량으로 인한 것임
- SWRO의 전력소요량은 1985년 이후 50% 이상 급격한 감소추세를 보이며, 현재는 3-5 kWh/ton에서 안정세를 나타내고 있음
- 이러한 추세는 꾸준하게 유지될 것으로 보이나, 향후에는 효율성 증대로 인하여 3-4 kWh/ton의 SWRO 플랜트가 시장주도적이 될 가능성이 높은 것으로 판단됨

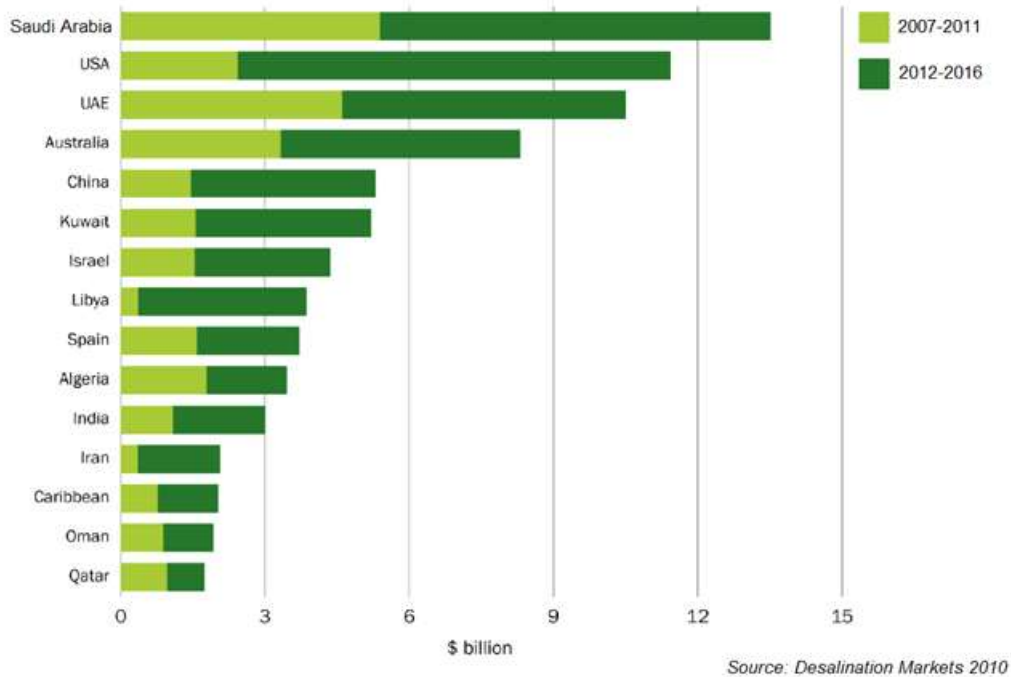


[그림 2-16] 해수담수화 방식별 운영비 및 구성요소 별 경제성



[그림 2-17] SWRO 플랜트 톤당 요구되는 전력비

□ 주요 국가별 담수화 시장규모를 살펴보면, 향후에도 중동지역을 중심으로 시장이 형성될 것으로 예상되며, 또한 미국을 중심으로 한 북미지역의 시장이 급격히 증가할 것으로 예상됨



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 2-18] 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망

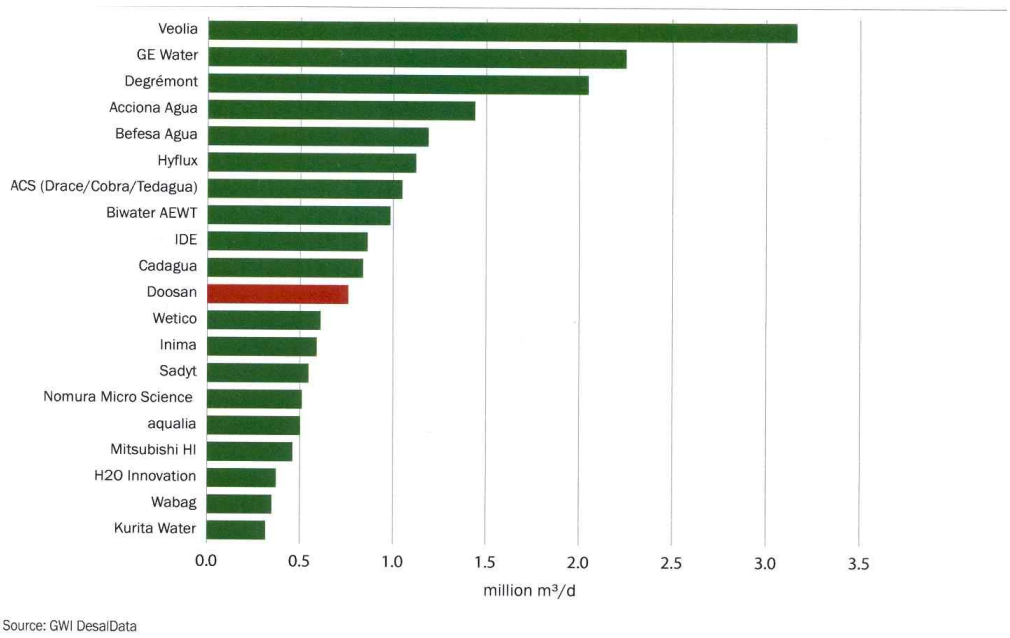
□ 우리나라의 경쟁력 현황

o 국내업체 (두산중공업)의 경우 “해수담수화플랜트 사업단” 연구를 통하여 세계 수준의 EPC 기술 및 주요 요소기술은 확보되었으며, 주요기자재의 국산화에 성공한 것으로 평가될 수 있으나, O&M과 직접적으로 관련된 O&M 측면을 강조한 경험 및 실적 면에서 해수담수화 공정이 보편화된 유럽의 여러 지역의 업체 및 거대 다국적 기업에 비해 절대 열세인 것으로 판단됨

- MSF를 중심으로 하는 증발식에서는 여전히 두산중공업이 자체 경쟁력을 가지고 있

음 (2010년 라스아주르 227MIGD 수주(MSF 160MIGD + RO 67MIGD), 2011년 Yanbu 15 MIGD MED 수주 (단일트레인으로 세계최대))

- 역삼투막 해수담수화 분야에서 2006년 시작된 "해수담수화플랜트 사업단"의 성공적인 수행으로 주요 역삼투막 분야 요소기술 (고압펌프, 16inch 역삼투막, 대형 트레인 설계기술, 에너지 회수장치 등) 확보
- 역삼투막 해수담수화 공정에 대한 전 세계 EPC 업체간 기술력은 평준화에 도달한 것으로 사료되며, 증발식 분야와는 달리 고른 실적을 가지고 있음
- 역삼투방식의 담수화 공정은 1990년대 후반 이후 시장지배적인 공정으로서 뚜렷한 상승세를 보이고 있으나, 국내의 경우, 중동국가를 중심으로 증발식 분야에서 세계 시장 점유 1위인 두산중공업이 역삼투막 공정분야에서는 두각을 나타내지 못하고 있는 상황임 (세계 11위)



[그림 2-19] RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000~2009)

o 향후에도 역삼투막으로 대변되는 해수담수화 시장상황에서 기술적 우월함으로 접근하기에는 기술적 평준화로 인한 가격경쟁력 면에서 그리고 다국적 기업의 규모면에서 열세인 국내업체들이 고전할 것으로 예상됨

o 현 국내 기술은 전력소요량 4 kWh/m^3 내외까지 확보되었으나, 세계 수준인 3.0kWh/m^3의 75% 수준에 불과하여 실질적으로 수주와 연결되기에는 O&M적인 요소 (전력비 저감) 면에서 열세로 인해 증발식에서와 같은 지위를 기대하기에는 무리

3. 시사점

□ 에너지비용 저감형 기술의 중요성 증대

o 향후 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면 (운영에 따른 에너지 비용 감소)이 강조되는 방향으로 진행될 것으로 예측됨

- 이는 [그림 2-21]에서 볼 수 있는 바와 같이 향후 지속적으로 원유의 가격이 증가하여 에너지비용이 물생산 단가에 중요한 요소가 될 것이기 때문임



[그림 2-20] 원유가격의 변화

o 증발식과 역삼투 방식으로 대변되는 해수담수화 시장은 에너지 비용에 특히 민감한 시장으로 향후 O&M에서의 에너지 비용 절감이 강조되는 방향으로 지속될 것으로 예측

- 증발식의 경우 특별한 조건, 즉 중동처럼 발전플랜트 등에 의한 폐열 등이 보조되는 상황이 아닌 일반적인 조건에서는 과다한 에너지비용에 의해 현장적용이 극히 제한적일 것으로 사료됨

- 해수담수화공정이 보편화된 중동지역을 중심으로 현 플랜트 발주 조건에서는 반드시 에너지 소비율이 포함되며, EPC에 비하여 상대적으로 비중이 점차 증대되는 상황임

※ <표 2-7>는 UAE의 15 MIGD Ras Al Khaimah SWRO 프로젝트의 경우로 에너지 소비율 비중을 보여주는 대표적인 예임

<표 2-6> Al Khaimah SERO 프로젝트 입찰현황, 수주결과

순위	업체	입찰가격		에너지 소비율		결과
		USD	1위 대비 비율	kWh/m^3	1위 대비 비율	
1	UTICO	72,247,317	100%	3.3679	107.4%	
…	…	…		…	…	
6	Aquatech	82,152,589	113.7%	3.1370	100.0%	수주
…	…	…		…	…	

1. 평가기준 = 시공입찰가격 + 20년간 전력사용량

2. 평가기준에 따른 UTICO사와 AquaTech사 비교결과

1) UTICO

a) 시공입찰가격 = **72,247,327USD**

b) 20년간 전력사용량 = 68,192m^3/일 X 3.3679kWh/m^3 X 0.4 Dirhams X 345일/year X 20year X 0.27USD / Dirham = **171,145,491USD**

c) a) + b) = **243,392,818 USD**

2) AquaTech

a) 시공입찰가격 = **82,152,589USD**

b) 20년간 전력사용량 = 68,192m^3/일 X 3.137kWh/m^3 X 0.4 Dirhams X 345일/year X 20year X 0.27USD / Dirham = **159,411,920USD**

c) a) + b) = **241,564,509 USD**

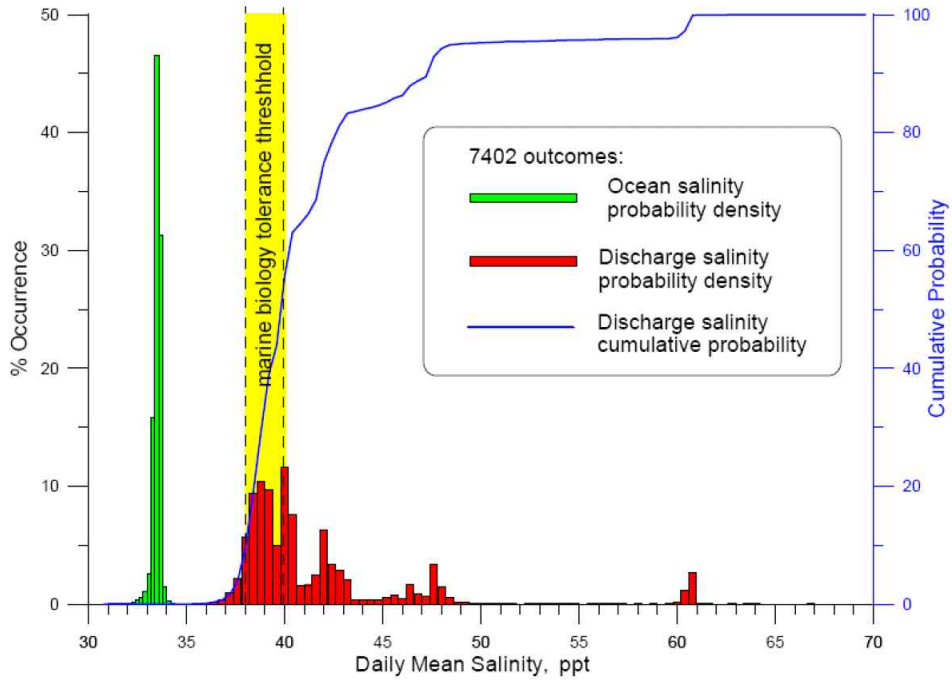
o 이상과 같은 이유로 2009년 이후 주요 건설 중이거나 계획되고 있는 플랜트들의 계획 에너지 소비량은 4 kWh/ton 이하로 나타나고 있음

<표 2-7> 2009년 이후 역삼투막 플랜트의 에너지 소비량

프로젝트 이름	국가	용량	계약일	현재상황	에너지소비 (kWh/m^3)
Palmachim Expansion	이스라엘	40,000	2009	Construction	2.7
Ashkelon Expansion	이스라엘	41,000	2009	Construction	3.8
Caofeidian	중국	50,000	2009	Online	4
Balashi (formerly Bubali)	아루바	24,000	2010	Construction	3.5
Ghalilah, Ras Al Khaimah	아랍	68,100	2011	Construction	3.14
Tuas II	싱가폴	318,500	2011	Construction	4
Agbar project, Copiapo	칠레	86,400	2014	Planned	4

□ 환경부하 저감형 기술의 중요성 증대

o 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 있음



[그림 2-21] 농축수의 농도와 해양생태 영향도

- 지중해 지역

※ 다양한 해양 오염원에 대한 지역적 법률 기준인 LBS (Land-based Source) protocol을 통해, 해수담수화플랜트 농축수에 대한 문제를 제기하고 있음

- 유럽지역

※ EC(유럽연합)는 점오염원의 영향에 의한 유럽국가들 내의 수질을 향상시키기 위한 새로운 Water Framework Directive를 발족하였으며, 유럽연합에 있는 모든 국가들은 점오염원들의 ELV(emission limit values)와 EQS(Environmental Quality Standards)를 충족 시켜야 함

※ 이러한 EC water framework directive는 담수화 처리수의 법적인 문제를 규제하고 있음

- 미국

※ 미국 EPA는 담수화 waste에 대한 구체적인 규제를 만들지 않았지만, 다른 규제를 통해 해수담수화플랜트의 농축수에 대한 규제를 하고 있음

※ 상수 및 지하수의 물질들의 처리에 대한 규제를 담고 있는 CWA (Clean Water Act)에 따르면 미국에 있는 모든 수원으로 방출하는 모든 발전소는 NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System)에 대한 인허가를 반드시 받아야만 함

※ 해수담수화 플랜트 건설을 위해서는 NPDES 허가를 받아야만 함

□ 지역시장의 다변화와 지역 맞춤형 기술 요구 증대

o 주요 국가별 담수화 시장규모를 살펴보면, 향후에도 중동지역을 중심으로 시장이 형성될 것으로 예상되며, 또한 미국을 중심으로 한 북미지역의 시장이 급격히 증가할 것으로 예상됨

o 이와 같이 시장이 다양화됨에 따라, 현지의 수질특성에 부합하~~가~~는 기술 확보가 요구됨

- 담수화 플랜트의 운영에너지에 큰 영향을 주는 원수의 TDS와 수온~~은~~, 수질은 아래 표에서와 같이, 지역에 따라 차이를 보이고 있으며, 주요 수출대상지역인 북아프리카와 중동에서는 국내보다 높은 TDS가 나타남

※ 수출 시장 현지에서는 높은 염농도, 오일, 적조 등에 따른 에너지 소비량 증가, 높은 부식성에 따른 배관 파손 등이 발생할 가능성이 많음

<표 2-8> 지역별 해수의 특성

Seawater Source	Typical TDS Concentration (mg/L)	Temperature (℃)
Pacific/Atlantic Ocean	35,000	9 to 26 (avg. 18)
Caribbean	36,000	16 to 35 (avg. 26)
Mediterranean	38,000	16 to 35 (avg. 26)
Gulf of Oman, Indian Ocean	40,000	22 to 35 (avg. 30)
Red Sea	41,000	24 to 32 (avg. 28)
Arabian Gulf	45,000	16 to 35 (avg. 26)

- 현지의 수질조건에 부합하는 기술을 PQ조건으로 제시되고 있음

※ UAE의 15MIGD SWRO Desalination Plant at Ghalilah에서는 UAE 또는 Gulf 지역 내의 실적만을 인정

제 4 절 기술동향분석

1. 기술동향분석

가. 역삼투 방식의 해수담수화플랜트 공정변화 추세

□ 에너지(전력비) 저감을 위한 회수장치 연구현황

o 역삼투막 방식에 있어 전력비 저감은 에너지 회수장치의 개발과 고압펌프의 효율 향상으로 대변될 수 있음

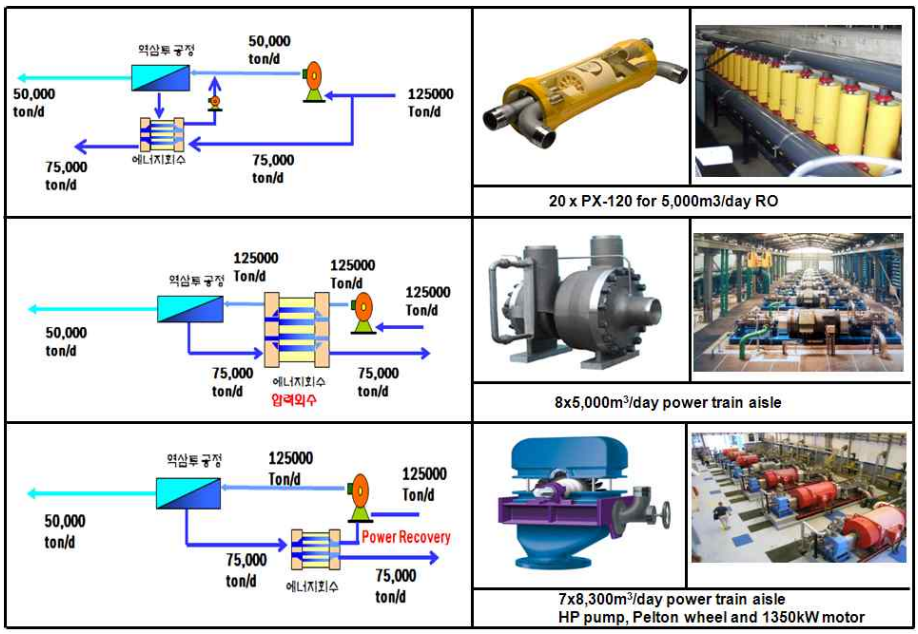
o 에너지회수 장치

- 에너지 회수장치에 따른 에너지 저감은 최대 48%로 가장 획기적인 에너지 저감 방안임

<표 2-9> 주요요소 설비별 에너지 요구량

작동조건	톤당 에너지 소모량
에너지 회수장치가 없는 경우	4.5 kWh/m^3
일반적인 에너지 회수장치	3.2 kWh/m^3
고효율 에너지 회수장치	2.4 kWh/m^3
열역학적 최소 에너지요구량	0.84 kWh/m^3

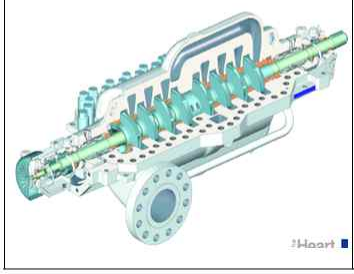
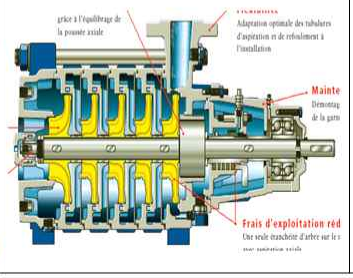
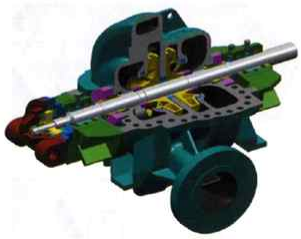
- 현 에너지 회수장치 효율은 Pressure exchanger 타입기준으로 95% 이상으로 극대화된 상황으로 효율성 면에서는 더 이상 증대시킬 방법이 없는 것으로 사료됨



[그림 2-22] 에너지 회수장치의 종류

o 고압펌프

- 고압 펌프의 효율은 펌프의 대형화 정도에 직접적으로 비례하며 따라서 플랜트 전체의 규모에 의해 좌우됨
- 현존하는 가장 높은 효율은 애쉬캘론의 12.5 MIGD 고압펌프로 효율성이 89%에 달함(애쉬캘론 역삼투막 공정은 보기 드물게 건설된 대형 프로젝트이며, 신개념의 트레인 설계로 인하여 역삼투공정 중 세계 최대의 고압펌프가 가능하였음)
- 일반적인 트레인 방식에서 고압펌프는 트레인 규모와 일치하며, 12.5 MIGD규모의 고압펌프를 고려할 경우 기본적인 해수담수화플랜트 규모가 62.5~125 MIGD (280,000~570,000 ton/d) 정도는 되어야 하기 때문에 향후에도 이보다 큰 규모의 고압펌프가 적용될 경우는 많지 않을 것으로 사료됨
- 따라서 고압 펌프의 효율성도 현존하는 방식으로는 극대화 된 것으로 사료됨

스위스 S사	독일 KSB사	일본 Torishima사
대유량 펌프 전략 경쟁사가 보유하고 있지 않은 대용량 펌프 모델 보유	RO 펌프 특화 RO전용의 고압펌프 개발	고압펌프 단수를 작게함 원가절감형 모델 개발을 통한 가격 경쟁력 확보
		

[그림 2-23] 대표적인 펌프사의 개발전략

□ 해수담수화플랜트 대형화 추세

o 대형 플랜트 발주로 인하여 트레인은 지속적으로 대형화하는 추세임

o 현재는 실플랜트로서 칠레 6.8 MIGD 트레인 이후 해수담수화 플랜트 사업단에서 시공중이 8.0 MIGD 트레인이 단일 규모로는 세계 최대임

o 8.0 MIGD 트레인 시공기술로 기본적으로 80 MIGD (360,000 ton/d) 역삼투 해수담수화 플랜트는 건설할 수 있을 것으로 사료됨

□ 역삼투막의 대형화 및 고 플럭스화

o 2007년 이전 역삼투막은 8 inch 모듈이 시장지배적인 상황이었으나, 2010년 들어 싱가포르에서 16 inch 모듈이 파일럿 플랜트에서 검증된 이후로 점차 확대되고 있는 상황임

o 2004년 미국(Filmtec)에서 실시된 역삼투막 모듈 크기에 따른 비교평가 결과에서 해수담수화 조건에서 8인치 역삼투막에 비해 16인치 역삼투막의 경우 24%, 20인치의 경우 28% 의 비용절감이 되는 것으로 평가됨

o 역삼투막의 대형화와 함께 지속적인 개량을 통한 고 플럭스화가 형성되고 있음. 이는 역삼투막의 고 플럭스를 막고 있는 보론 제거율에 대한 국제 규제치가 점차 완화되고 있는 상황이기 때문임

	Installed Cost ($/gpd)		
	8-inch	16-inch	20-inch
Groundwater Trains	0.333	0.217	0.201
Surface Water Trains	0.400	0.284	0.268
Seawater Trains	0.609	0.462	0.440
Notes: 1. Units costs based on permeate flow rate and are applicable to all plant capacities studied (12.5, 25, 50, 100, and 150 mgd) 2. Installation costs assumed to be 20 percent of the uninstalled costs			

[그림 2-24] 역삼투막 모듈별 경제성 평가

※ 출처 : Desalination and water purification research and development report No. 114 USA, 2004

o 2011년 WHO의 먹는물 가이드라인에 따르면, 기존 보론의 농도는 0.5 mg/L에서 2.4 mg/L로 변경이 됨

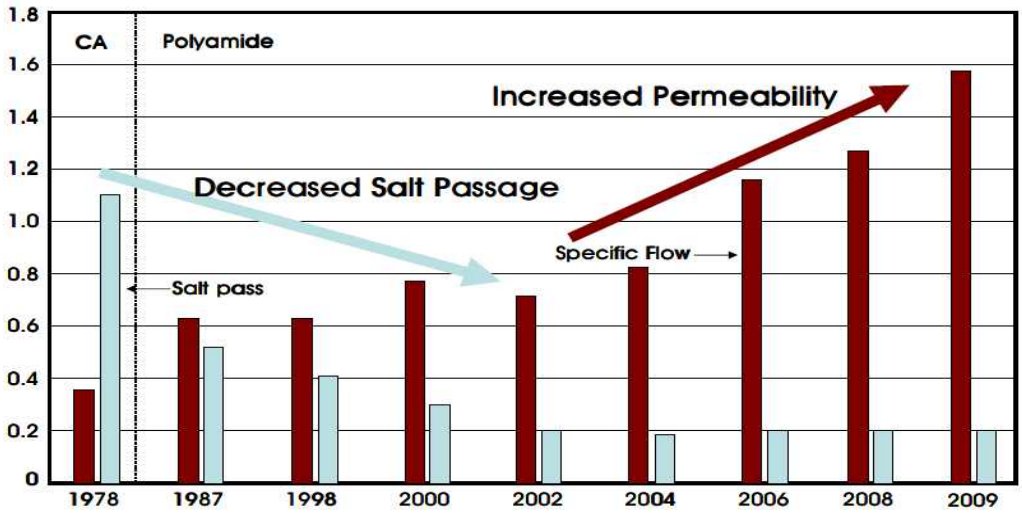
o 이러한 전반적인 환경하에 역삼투막의 발전방향은 [그림 2-26]에 나타난 것처럼 염제거율은 현 수준을 유지 시키면서, 투과율을 높이는 방향으로 진행되고 있음. 현재 최고의 고플럭스 수준은 <표 2-11>에서 보는 것처럼 하이드로노틱스사에서 제시한 12,000 GPD 수준으로 이미 10,000 GPD를 넘는 역삼투막이 다수 제시된 상황임

o 국내 대표적 역삼투막 제작 회사인 웅진케미칼의 경우 기존 “해수담수화플랜트 사업단”의 국가 연구를 통해 고플럭스(11000 GPD)에 대한 제조기술을 확보하고 있는 것으로 조사됨

o 현 PA 계열 역삼투막의 기술적 한계

- 내염소성 : 염소와 열화학 반응에 의한 고분자 결합이 분해되는 특성을 가짐에 따라 이를 방지하기 위한 2차 박막 코팅 기술의 적용이 필수. 이러한 방법은 투과 유량을 감소시키는 문제점이 있음

- 높은 염 배제율과 내화학성을 향상시키기 위해 가교된 구조의 아로마틱 폴리아미드는 물 투과유량을 낮추는 단점이 있어 이를 개선하기 위해 PVA 나 PVP 같은 친수성 그룹을 도입하거나 사이드 체인의 길이를 조절해 유연성이 좋은 가교막을 제조. 이러한 방법은 물 투과 유량을 향상시키지만 염 배제율을 감소시키는 문제를 가지고 있으며 막 수명을 감소시켜 주기적 교체를 필요



[그림 2-25] 역삼투막의 발전방향

※ 출처 : Design advantages for SWRO using advanced membrane technology(Hydranautics) 2009 AWWA-MTCE(Membrane Technology Conference and Exposition)

<표 2-10> 역삼투막 제조회사의 최신 역삼투막 성능

구분		성 능		
		유량 (GPD	Salt Rej. (%)	보론 Rej.(%)
Toray	TM820L-370	9,000	99.70	92
	TM820L-400	10,000	99.70	92
Filmtec	SW30ULE-440i	11,000	99.70	89
Hydranautics	SWC5	9,000	99.80	92
	SWC6	12,000	99.80	91
운전조건		NaCl 32,000 ppm, 압력 800 psi, 온도 25'C, pH 8.0, 5ppm Boron, 가동시간 120분, 회수율 8%		

나. 선진국 차세대 해수담수화 기술의 개발

□ GWI에서는 현재까지의 연구방향을 총 7개의 Key Word로 요약하고 있음

o Scale formation : anti-scalant 개발

o Fouling : 역세척과 화학적 세정에 의해 감소 (운영기술 개발)

o Pretreatment system : RO를 위한 표준 전처리 공정이 없으나, UF 막공정을 표준화하는 경향임

o Hybrid : 단순방식에서 점차 복합방식으로 변화

o Energy Recovery : 에너지에 대한 효율성 증대

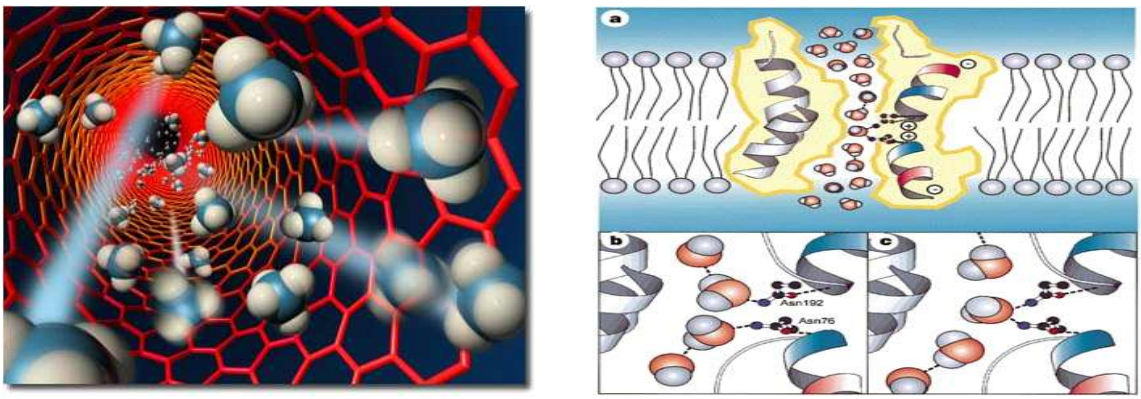
o Large diameter membrane : 16 inch가 곧 시장지배적으로 될 것으로 예상

o Membrane flux rate : 지속적으로 증대 (12000 gpd까지 개발)

□ 위의 7개의 분야중 파울링, 전처리 (UF 전처리), 에너지회수장치, RO 모듈의 대형화, 고 플럭스 RO에 대한 연구는 실질적으로 해수담수화 플랜트에서 수행

□ 담수화 관련 새로운 연구분야

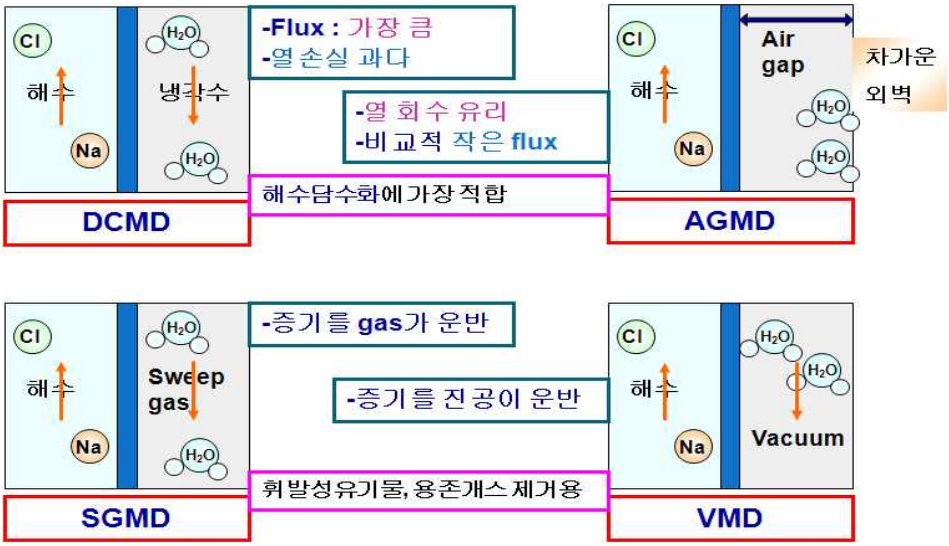
o New 멤브레인 개발 : Nano-engineered membrane, Carbon nanotubes, Aquaporin membrane



Carbon nanotubes membrane　　Aquaporin

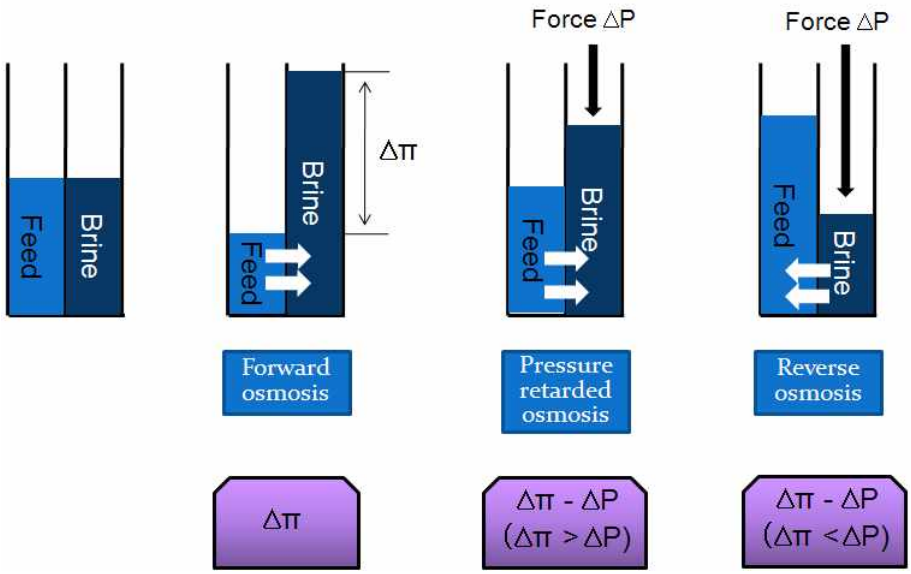
[그림 2-26] 새로운 컨셉의 멤브레인

o Membrane distillation (MD) : Hydropobic membrane과 증발방식을 결합한 담수화 공정으로 1960년대 후반 소개된 이후 꾸준한 연구의 증가세를 나타내고 있음. 현재까지 4가지의 운전 방식이 개발되어 있으며, 운전압력이 작지만 열공급원이 필요하다는 단점이 존재



[그림 2-27] MD 공정의 4가지 운전방식

o Forward Osmosis (FO) : 삼투압을 이용하는 담수화 공정으로 쉽게 분리가 가능한 고농도의 드로우 용액을 투입하여 삼투압만으로 염분을 제거하는 공정임



[그림 2-28] FO 공정의 원리

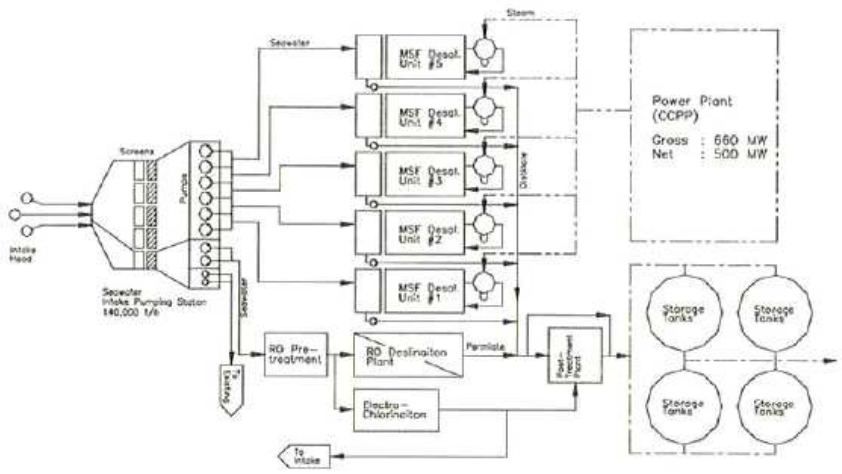
o Hybrid type

- 하이브리드 방식은 같은 장소에 위치한 두 개의 다른 종류를 파워플랜트와 결합한 형태와 기술적으로 연결하거나 방식의 혼합을 통하여 새로운 담수화방식을 만들어 내는 2가지로 크게 나누어 질 수 있음
- 단순조합방식 : 2개의 공정을 병렬로 운영하고 처리수만 혼합하는 형태로 후자이라 프로젝트로 대변됨
- 복합조합방식 : 2개의 공정을 기술적으로 혼합하여 새로운 형태를 만들어낸 것으로 대표적으로 Membrane Distillation 공정이 있음. 2개의 공정을 기술적으로 상호보완하는 공정으로는 MED공정과 TVC 공정을 연결하여 효율성을 증대한 것이 대표적인 것으로 바레인에 설치된 Hidd 프로젝트를 들 수 있음

<표 2-11> 후자이라 단순 하이브리드 프로젝트

	SWRO	MSF
처리용량 (m^3/day)	170,000	284,000
처리수질 (mg/L)	180	< 25
에너지 소요량 (kWh/m^3)	4.8	4.3

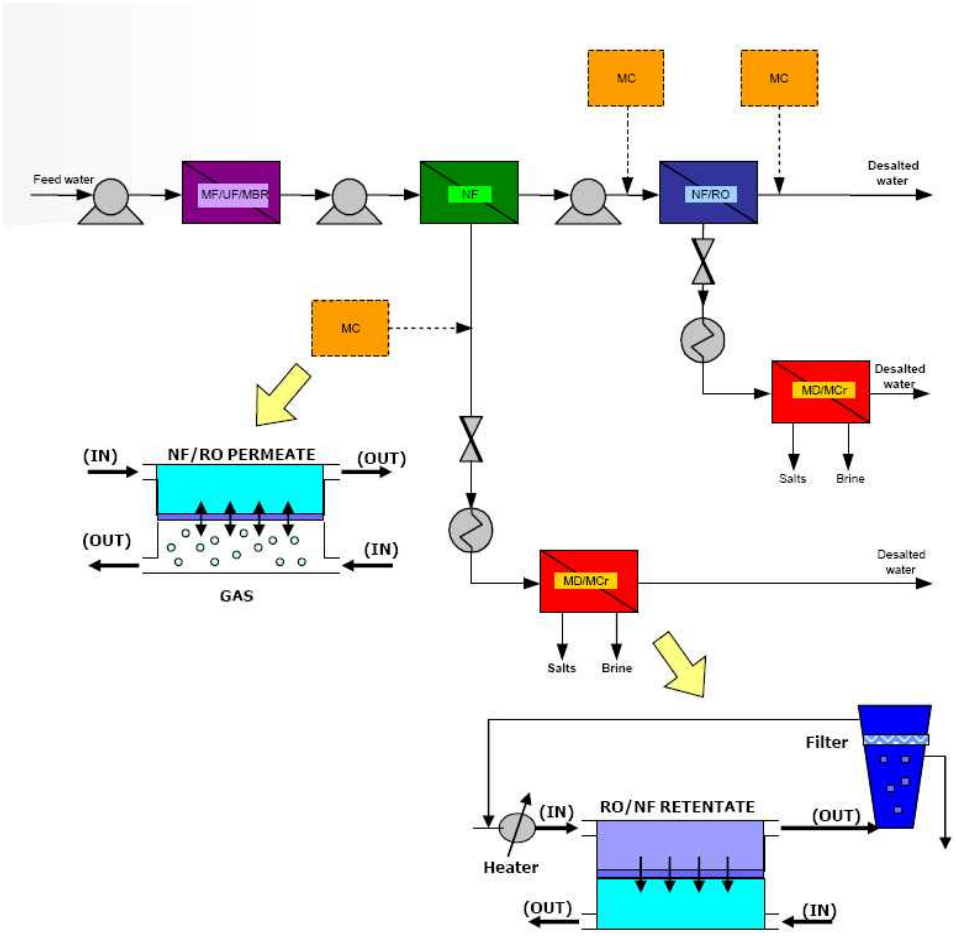
1. 단순혼합방식으로 생산수의 수질에 대한 조절이 용이
2. 운영비 절감
   - MSF만으로 생산할 경우에 비해 연료소모량 절감 (40%)
   - MSF + RO : 115 ton/h 연료소모
   - MSF : 191 ton/h 연료소모 (스팀생산량 증대로 인해)



후자이라 프로젝트의 MSF + RO 하이브리드

o Process intensification

- 전처리공정과 후처리공정에 대하여 재래식전처리가 아닌 막공정 (MF/UF /MBR/ NF/Membrane 공정과 MC/MD)과의 조합을 통해 역삼투막의 파울링 농축수 배출을 억제하거나 저감
- 기본적인 공정강화의 최종 목적은 EPC 비용 증가를 통한 에너지 저하임



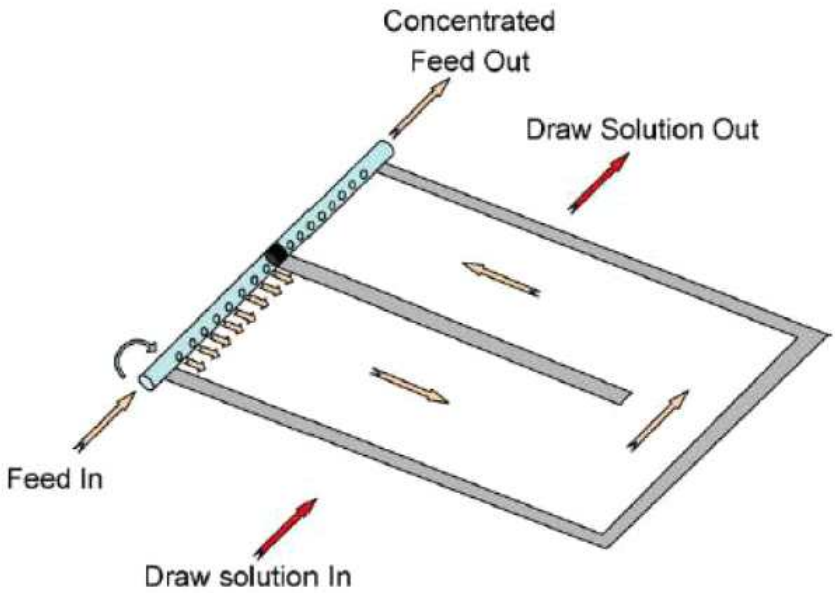
[그림 2-29] 공정강화의 예 (메디나 프로젝트)

다. 주요 기술분야별 연구동향

□ 정삼투 융합 해수담수화 기술

o 막제조 현황

- 정삼투용 분리막의 연구는 1990년 이후 활발하게 진행되었으며, 그 이전에는 셀룰로오스계 통 중공사막과 비셀룰로오스계인 폴리아미이드계의 복합막을 주로 사용하는 공정에 대한 연구수준이었음
- 정삼투는 물이동의 구동력이 유도용액과 해수와 농도차이므로 통상 유도용액의 삼투압을 견디는 방향으로 막을 제조하며 내부 농도분극(concent-ration polarization)을 감소시키는 방향으로 연구
- 역삼투막과 달리 FO 막은 표준화 되지 못하였음. 현재 평막은 상용화에 성공하였으나, 대형화에 있어 한계점을 가지고 있는 것으로 평가됨. 따라서 [그림 2-31]에서 보는 것처럼 최근 FO 평막 제조업체에서 나권형 막을 제조하여 선보이는 등 FO 막도 모듈의 형태가 다양화되기 시작하였으며 특히 최근 2~3년 간 세계 선진 FO 연구그룹들이 앞다투어 중공사 막에 대한 연구 결과를 발표하는 등 FO 막 및 모듈의 성능 개선을 위한 노력들이 지속되고 있음



[그림 2-30] 나권형 모듈의 예

- 현재 정삼투 공정의 막은 평막 (나권형 모듈)과 중공사막의 2가지 흐름을 가지고서 진행이 되고 있으며, 평막 연구는 예일 대학교, 국립 싱가폴 대학교, 싱가폴 난양 공대를 중심으로 이루어 지고 있으며, 중공사막은 NUS와 NTU가 주도적인 역할을 담당하고 있음. <표 2-13~14>은 현재까지 개발된 정삼투 공정 막의 성능을 보여주고

있음

o 유도용액 개발현황

- 정삼투 유도용액(Draw solution)은 생산수 분리와 유도용액의 재농축 용이성을 가지고 있어야 하며, 현재까지 Sodium Chloride, Sulfur Dioxide, Aluminum Sulfate Solution, Glucose Solution, Glucose 와 Fructose 혼합액, Fructose, Potassium Nitrate(KNO_3)와 Sulfur Dioxide(SO_2) 혼합액, Ammonia 와 Carbon Dioxide Gases 혼합액 등이 연구되었으며, Ammonia 와 Carbon Dioxide Gases 혼합액은 가장 큰 가능성을 제시함. 최근에는 Magnetoferritin의 자기장을 통한 분리 가능성을 제시한 바 있음

<표 2-12> 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능(1/2)

Feed	Draw solution	Membrane (평막)	Water flux	Salt flux	Orientation	R	ref	개발그룹
10mM NaCl	0.5 M NaCl	PA TFC	20.5 LMH	5.9 gMH	PRO mode		JMS 372(2011)292-302	NTU
DI	1.5 M NaCl	PA TFC	18.16 LMH	-	PRO mode	97.4	ES&T 44(2010)3812-3817	Yale
DI	1 M NaCl	PA TFC	25.0±4.1 LMH	0.33±0.19 gMH	FO mode	98.6±0.8	JMS 367(2011)340-352	Yale
DI	2 M MgCl2	CA	17.3±0.4 LMH	1.2±0.2 gMH	PRO mode		JMS 360(2010)522-535	NUS
DI	0.5 M $MgCl_2$	PAI	29.65 LMH	-	PRO mode		Desal (2011) in press	NTU
DI	2 M NaCl	TFC (Sulphonated)	33.0 LMH	2.8 gMH	PRO mode	91	JMS 383(2011)214-223	NUS
DI	3 M $MgCl_2$	PAH+PSS (LbL)	105.4 LMH	-	PRO mode		JMS 381(2011)74-80	NTU
DI	3 M NaCl	PES membrane	~30 LMH	~6 gMH	-	94	JMS 375(2011)63-68	KIST
0.6 M NaCl	1.2 M $MgSO_4$	CA	6.5 LMH	-	FO mode	88(Na) 99(Mg)	Desal 273(2011)299-307	ICL (London)
50mM NaCl	4 M NaCl	CTA	37.8 LMH	-	PRO mode		AIChE DOI 10.1002/aic.12635	NUS, KAUST
DI	5 M $MgCl_2$	CA double layer	48.2 LMH	-	-		Chem. Res 49(2010) 4824-4831	NUS

<표 2-13> 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능(2/2)

Feed	Draw solution	Membrane (중공사막)	Water flux	Salt flux	Orientation	R	ref	개발그룹
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	32.2 LMH	0.11 g/L	PRO mode		JMS 355(2010)158-167	NTU
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	42.6 LMH	0.094 g/L	PRO mode		Desal 261(2010)365-372	NTU
DI	5 M $MgCl_2$	PES hollow fiber	33.8 LMH	1.0 gMH 이하	PRO mode		ES&T 43(2009)2800-2805	NUS
DI	1.0 M $MgCl_2$	PAH+PSS (LbL type)	22 LMH	6.66 gMH	FO mode		ES&T 45(2011) 5201-5208	NTU
DI	1.0 M $MgCl_2$	PAI	14.6 LMH	-	PRO mode		JMS 369(2011)196-205	NTU
DI	3.125 M $MgCl_2$	PBI-PES hollow fiber(NF)	17.1 LMH	-	PRO mode	-	S&PT 69(2009)269-274	NUS
DI	2 M $MgCl_2$	CA hollow fiber	30.98 LMH	0.37 gMH	PRO mode		JMS 364(2010)344-353	NUS
DI	2 M $MgCl_2$	CA NF	7.3 LMH	0.53 gMH	PRO mode		JMS 355(2010)36-44	NUS
DI	0.5 M $MgCl_2$	PES hollow fiber	49.0 LMH	4.0 gMH	PRO mode		JMS 382(2011)116-123	NTU
10 mM NaCl	0.5 M NaCl	PA-TFC hollow fiber	40.3 LMH	-	PRO mode		JMS 389 (2012) 25-33	NTU

□ 막 증발법 (Membrane distillation, MD)

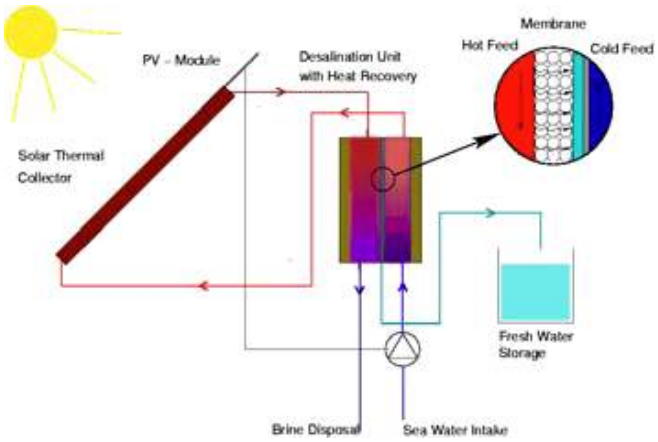
o 프라운호퍼 태양열 에너지 시스템 연구소

- 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 컴팩트 설비는 바닷물이나 기수(brackish water)로부터 일일 12~15 L의 식수를 생산할 수 있음
- 본 시스템은 6 ㎡의 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 쌍대회로 시스템(dual-circuit system)을 고안. 이 시스템은 성능 면에서도 뛰어나서, 일일 수 ㎥의 물

을 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



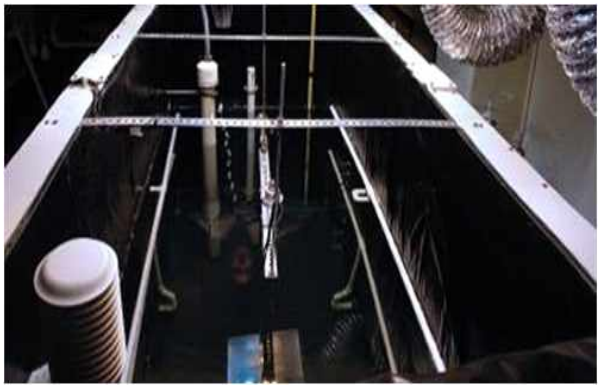
[그림 2-31] ISE의 Solar-MD 설비



[그림 2-32] ISE의 Solar-MD 공정도

o University of Nevada

- 미국 네바다대학에서는 물을 담수화하기 위해 막 증발법과 특성화된 저 비용 태양연못(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 2-33] University of Nevada의 태양열 온수지 시스템

o New Jersey Institute of Technology Center for Membrane Technologies

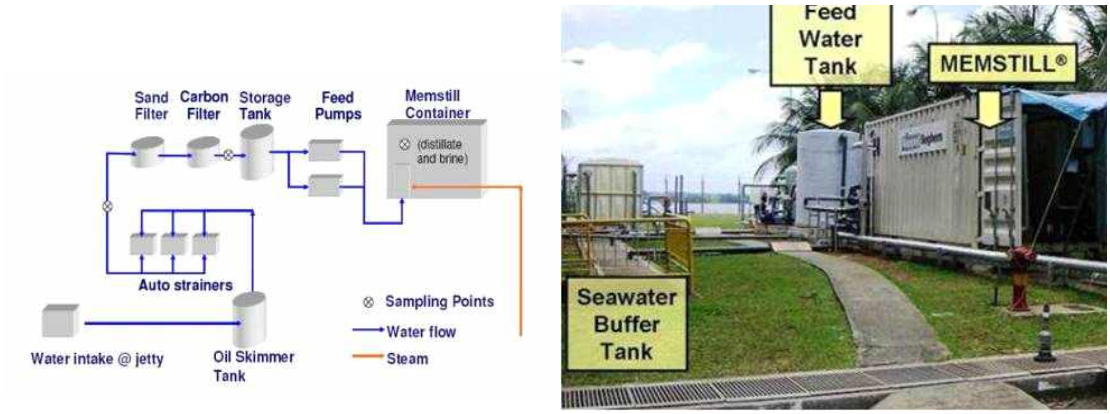
- 담수화를 기반으로 하는 DCMD를 위한 소규모의 파일럿 플랜트가 건설되어 성공적으로 3달 동안 매일 United Technologies Research Center, East Hartford, Connecticut에 의해 운영되었음
- Connecticut의 Long Island Sound로부터 운송해온 바닷물과 3.5%, 6%또는 10% 수준의 염을 함유한 도시폐수를 사용하여 90-93 °C에서 hot brine으로 사용하였고 20-54°C에서 증류를 함
- 1-10개의 수평, crossflow 중공사막 모듈은 2,448 또는 2,652개의 중공사를 가지고 있으며 0.61~0.66㎡의 표면적을 가지고 있으며, 플랜트 성능의 연구를 위해 다양한 형태로 조합 시험됨
- 최대 water vapor flux는 계열 중 2개의 모듈에서 55kg/㎡/h를 보였고, 6-10 모듈로 구성을 하였을 때 15-33kg/㎡/h사이의 변화를 나타내었으며, 최대 처리수 생산량은 2.35 ℓ/min에 달함
- 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 2-34] New Jersey Institute of Technology Center의 MDMC 시스템

o MEMSTILL® Pilot Plant

- MEMSTILL은 Keppel Seghers Belgium N.V.와 TNO가 포함된 컨소시엄 프로젝트로서, 막 증발법을 이용하여 기존 RO 공정을 대체하는 담수화 기술 개발을 목표로 함
- 발전소, 쓰레기 소각장 등 폐열이 발생하는 plant로부터 저급의 에너지를 이용하여 염을 함유한 물을 증발시키고 응축하는 과정을 통해 거의 증류수에 가까운 품질의 생산수를 생산 가능하도록 시스템을 구축
- 첫 시도는 2006년 싱가포르 Senoko refuse incineration plant를 대상으로 3 ㎡의 평막을 이용하여 2 ㎥/day 규모의 막 증발법 장치를 시범운영 하였으며, 막면적을 20배 증가시켜서 테스트를 수행
- 이러한 결과를 바탕으로 네덜란드 EON 파일럿플랜트를 이용하여 1차보다 10배 향상된 기술을 확보하였으며, 싱가포르에 실증플랜트 구축을 진행 중에 있음



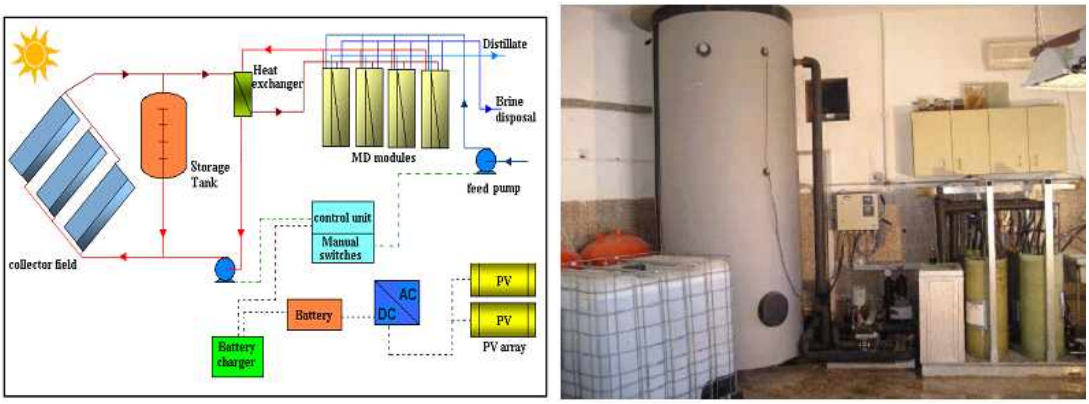
[그림 2-35] MEMSTILL® pilot plant at Senoko Refuse Incineration Plant

	Memstill		Memstill		RO	RO
	Cogeneration LP steam	Cogeneration 85 C	Waste heat		"minimum"	"Wilf"
Energy costs						
Heat (MJ /m³) ***(cost in €/GJ)***	231 ***(2.00)***	231 ***(0.80)***	139 ***(0.80)***	231 ***(0.10)***		
Electricity (kWh /m³)	0.75	0.75	0.75	0.75	2.5	4.5
Heat cost (€ /m³)	0.46	0.19	0.11	0.02		
Electricity cost, 0.07 /kWh (€ /m³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18	0.32
Fixed costs						
Hardware (excl. membranes) (€ per m³-day)	***165***		***165***		***750***	***1000***
Modules/elements (€ per m³-day)	214		233		35	49
Hardware cost (€ /m³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23	0.30
Module cost (€ /m³)	0.11	0.11	0.12	0.12	0.02	0.03
Auxilary: (€/ / m³) 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 2-36] MEMSTILL® 담수생산 단가 비교

o 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 과정없이 사용



[그림 2-37] Automomous Pilot Plant 공정도 및 사진

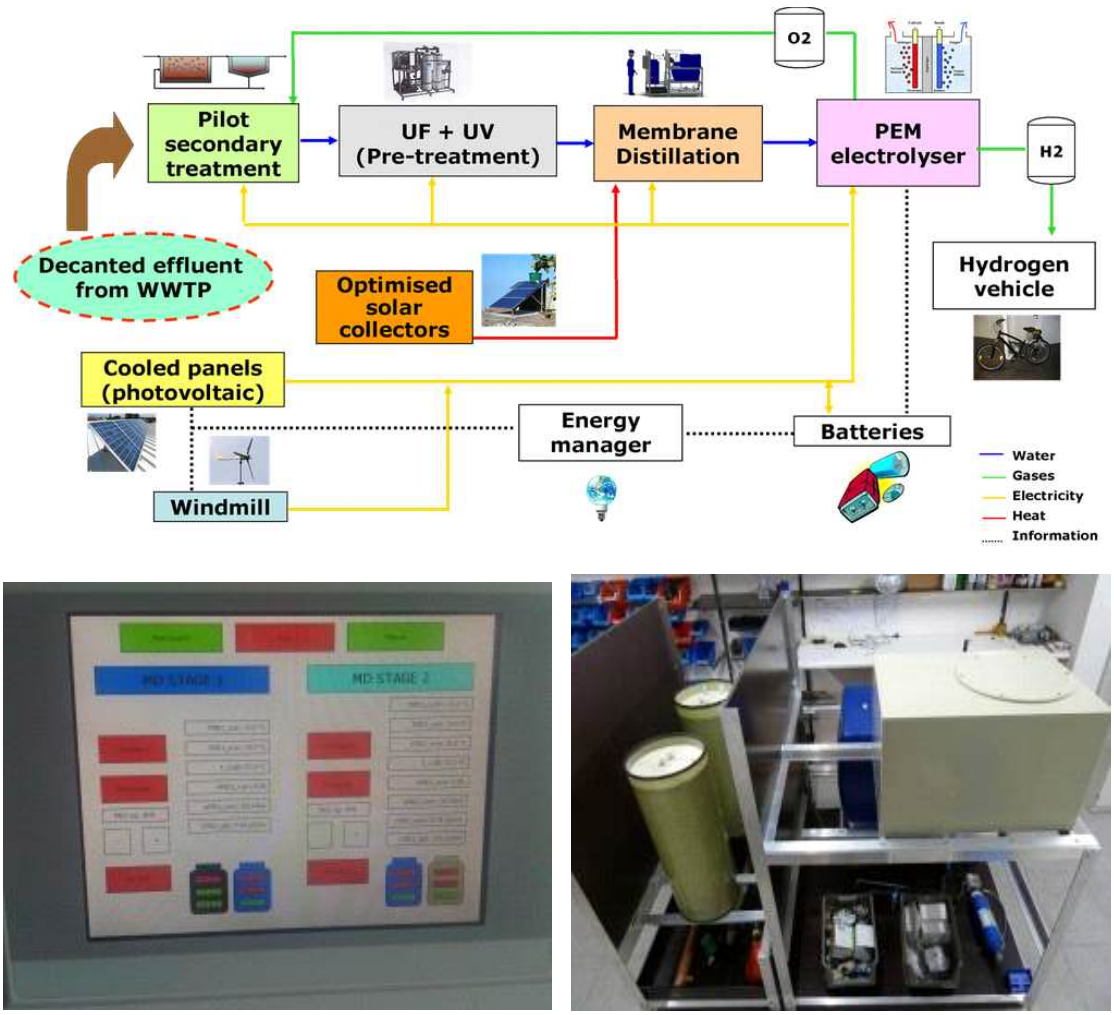
o GREENLYSIS project

- Greenlysis의 설립 이유

※ 유럽연합(European Union, EU)은 계속해서 지구온난화과 에너지 고갈에 대한 문제를 강조하고 있으며, 이런 이유로 EU는 2020년까지 온실가스(greenhouse gases, GHG)를 1990년 대비 20%감소시키고 유럽 전체 에너지 소비의 20%를 대체에너지(renewable energy)로 대체하기로 협의함

※ GREENLYSIS project는 WWTP 관련 연구로 이런 협의를 반영하는 연구의 첫발을 내딛고 있음

※ WWTP는 wastewater treatment plants의 약자로 에너지 효율을 증가시키는 잠재성을 가지고 있을 뿐 아니라 교통수단의 대체연료로 사용가능한 수소를 생산할 수 있으며 대체에너지 생산가능성을 가지고 있음



[그림 2-38] Greenlysys 공정도 및 장치 사진

o Blowdown water and geothermal brine pilot plant

- Bench scale testing

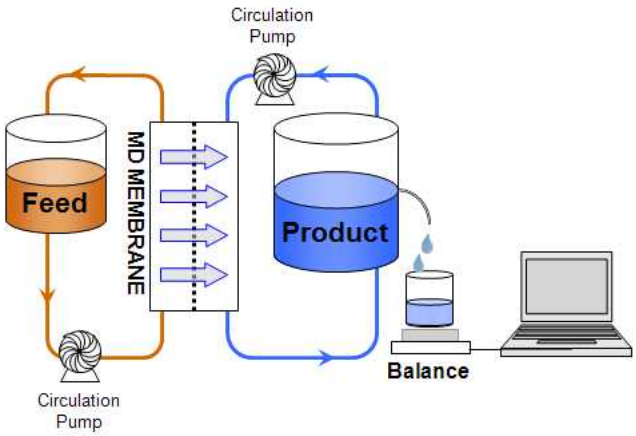
※ water flux, batch recovery, salt rejection을 모니터링

※ mperial 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





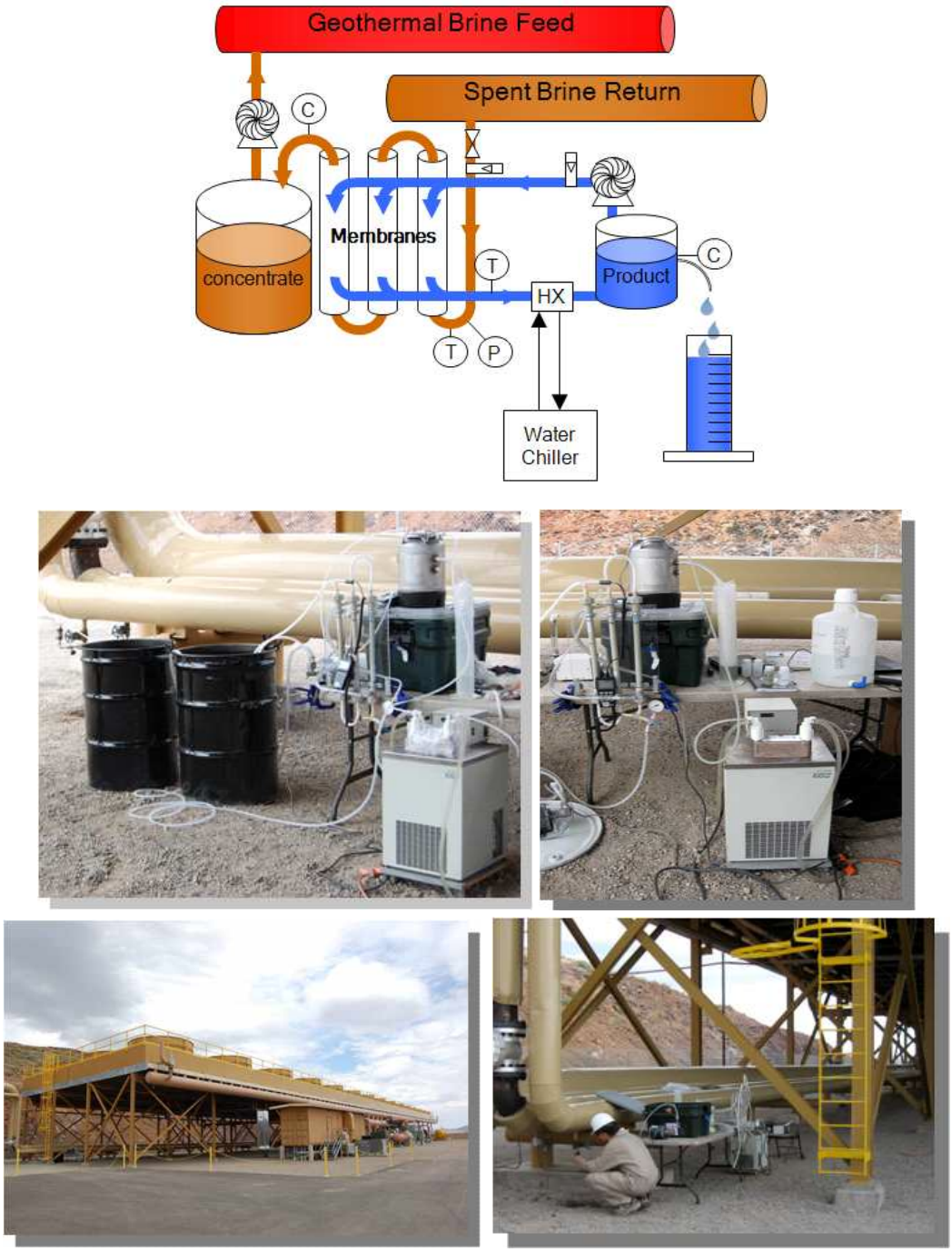
[그림 2-39] Bench Scale 장치

- Pilot scale testing

※ Feed solution으로써 geothermal brine을 처리

※ water flux, system 온도, salt rejection을 모니터링

※ Tubular membrane을 사용



[그림 2-40] Pilot scale 장치

□ 압력지연삼투 (Pressure retarded osmosis, PRO)

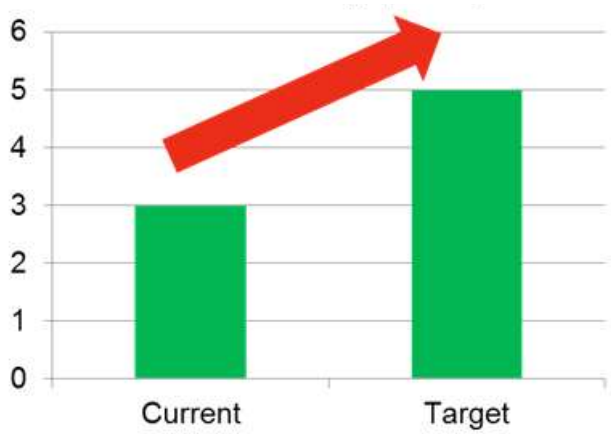
o 압력지연삼투(PRO)의 경우 미국, 유럽, 싱가포르 등지에서 막의 제조 및 막의 성능 평가가 이루어지고 있으나, 정삼투 막 제조에 중점을 두고 만들기 때문에 압력지연삼투공정의 전용막이라고하기에는 역부족이며 또한, 막을 위주로 연구가 진행됨에 따라 전체 공정에서의 성능평가가 이루어지지는 못하고 있는 실정임

o 국내에서도 정삼투막을 개발하면서 압력지연삼투 막에 대한 연구도 이루어지고는 있으나 미비한 실정

o 전 세계적으로 노르웨이의 Statkraft 사만이 파일럿 플랜트를 보유하고 있으며, 현재 파일럿 플랜트의 평균 전력밀도는 3 W/m^2이며, 경제성을 확보하기 위한 목표치는 5 W/m^2임



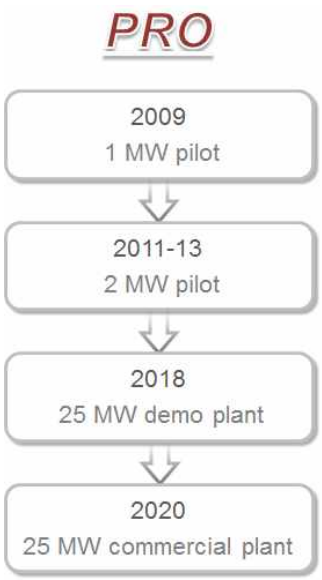
[그림 2-41] Statkraft 사의 PRO 파일럿 플랜트 전경 (Tofte, Norway)



[그림 2-42] 압력지연삼투(PRO)공정의 전력밀도 (INES workshop report, 2010)

o Statkraft 사의 PRO 플랜트 건설계획

- 2009년: 최초의 프로토타입 플랜트 건설
- 2011-13년: 2 MW 파일럿 플랜트 건설예정, 막 면적 200000-400000m^2
- 2018년: 25 MW 데모 플랜트 건설예정, 막 면적 5000000m^2
- 2020년: 25 MW 상업 플랜트 건설예정, 막 면적 5000000m^2
- 2030년: 전 세계에 약 30개의 플랜트 건설 목표



[그림 2-43] 압력지연삼투(PRO) 플랜트 건설계획 (Statkraft 사, Norway)

□ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화

o [국내] 기존 해수담수화 플랜트 사업단에서 일부 기술 개발에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행되고 있음

- 1핵심 4세부과제에서 RO농축수로부터 마그네슘과 천연소금을 회수하는 기술에 관한 연구가 이루어짐

o [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 발생되는 부산물을 활용하여 경화체(벽돌 등)를 제조하는 기술 개발 연구가 진행되고 있음

2. 특허분석

가. 해수담수화 관련 특허 동향

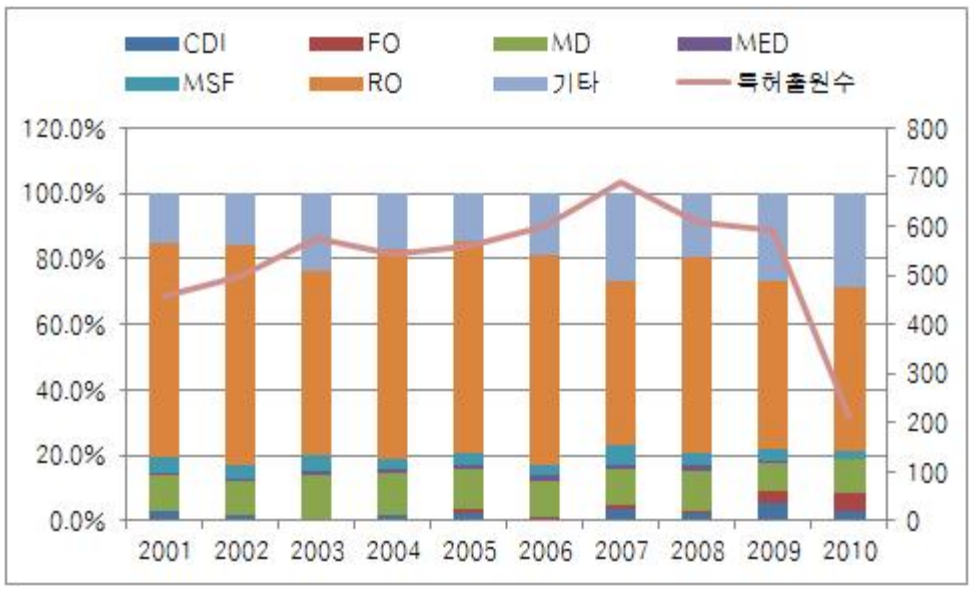
□ 등록된 특허 데이터베이스를 이용하여 2001년 이후 10년간 공개된 특허의 제목과 초록을 대상으로 검색

<표 2-14> 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

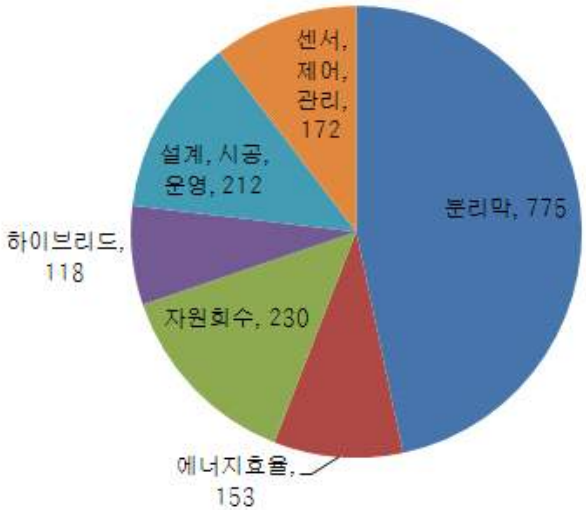
□ 최근 10년간의 특허 분석 결과를 살펴보면, 전반적으로 특허의 수가 증가하고 있는 추세

o RO와 MSF 관련 특허는 그 비율이 감소하고 있음에 반해, 신개념탈염기술의 비율은 증가 (14.8% → 19.2%)



[그림 2-44] 최근 10년간 담수화플랜트 관련 특허 동향

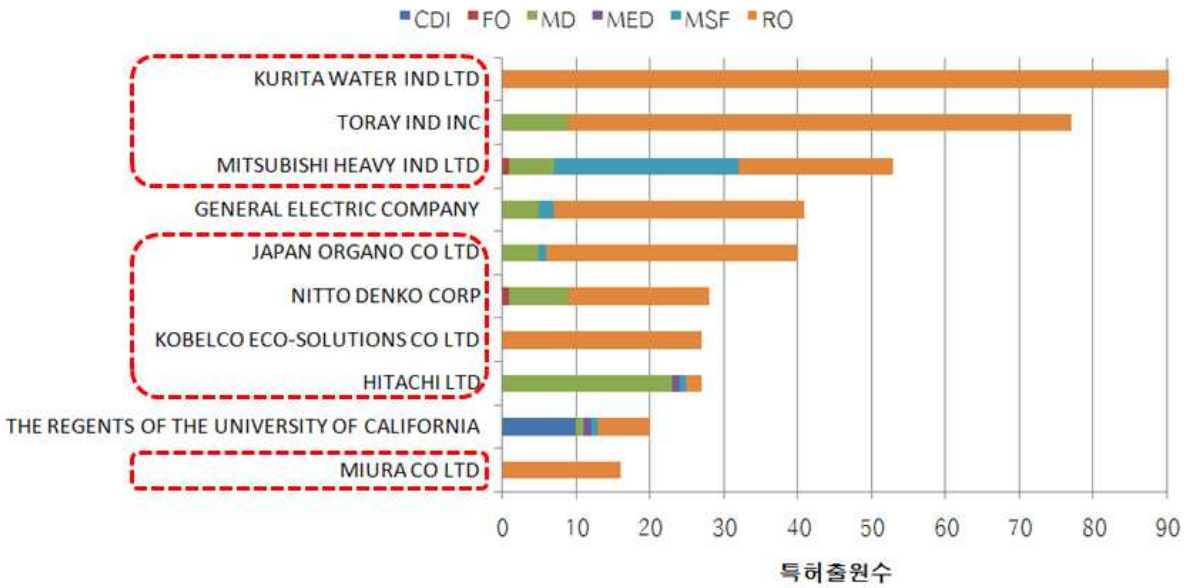
□ 최근 10년간 발표된 특허의 분야를 살펴보면, 분리막 관련 특허가 775건으로 전체의 46.7%를 차지하고 있으며, 자원회수, 설계·시공·운영, 센서·제어·관리 분야가 각각 13.9%, 12.8%, 10.4%로 그 뒤를 따르고 있음



[그림 2-45] 기술분야별 담수화플랜트 관련 특허 동향

□ 기관별 특허 출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 소재기업에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남

o 국내 기관은 10위권 내에 소재하지 않아, 국내기업의 지적재산권을 기반으로 기술 경쟁력은 높지 않은 것으로 판단됨



[그림 2-46] 주요 기관별 특허출원 현황

나. 세부기술분야별 특허동향

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

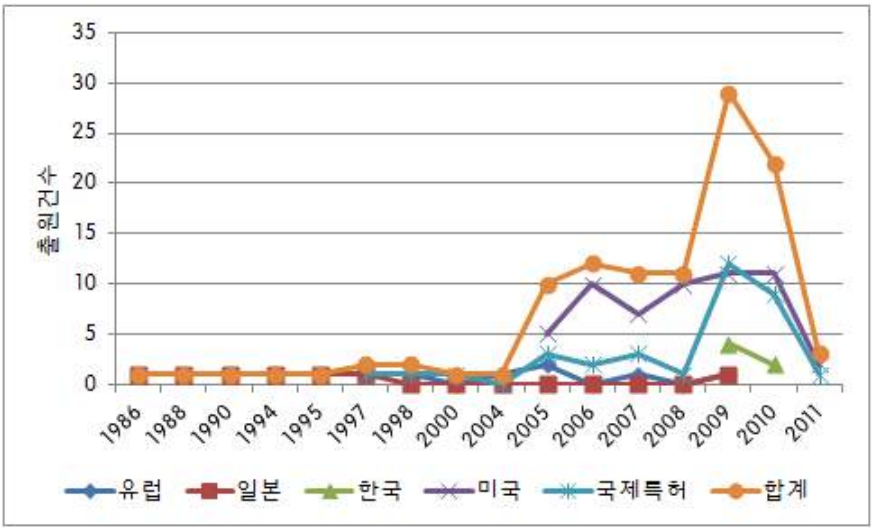
<표 2-15> 논문 검색 개요

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**
정삼투 공정기술	109	FO, Forward Osmosis
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

□ 정삼투방식(FO)의 특허 출원 동향 분석

o 조사결과 총 109건의 특허가 출원되었으며, 연도별로는 2000년대 이후 미국 및 국제특허를 중심으로 출원이 급격히 증가한 상태임

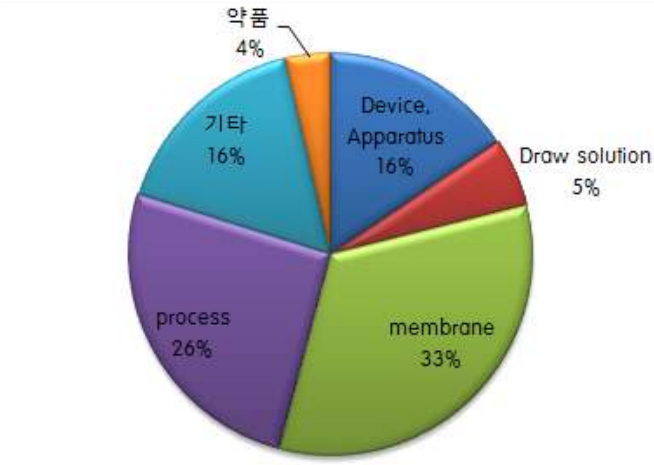
- 미국특허(56건, 51.4%), 국제특허(34건, 31.2%), 일본특허(7건, 6.4%), 한국특허(6건, 5.5%), 유럽특허(6건)
- 한국특허는 총 6건으로 전체의 5.5%이며, 2009년부터 출원이 이루어지고 있음



[그림 2-47] 년도별 특허 출원동향

o 기술분야별로 살펴보면, Membrane(33%) 및 공정(26%)과 관련된 기술분야가 전체의 60% 정도를 차지함

- 기타로 분류된 기술분야는 풍력발전 기술 등 타 기술분야의 특허이나, 청구항에서 정삼투방식의 적용을 언급하고 있는 기술들임



[그림 2-48] 기술분야별 특허점유 비율

o IPC 분류로 살펴보면, B01D분야가 약 53%, C02F 분야가 20%로 대부분을 차지하고 있음

<표 2-16> 기술분류별 특허출원 현황

IPC코드	상세설명	출원건수	점유율
B01D	분리(습식법에 의한 고체와 고체의 분리)	58	53.2%
C02F	물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리	21	19.3%
F03G	스프링, 동력, 관성 또는 비슷한 원동기; 기계적 동력을 발생하는 장치 또는 기구로서, 타류에 속하지 않는 또는 타류에 속하지 않는 에너지원을 사용하는 것	7	6.4%
E21B	지중 또는 암석의 굴착	4	3.7%
A61K	의약용, 치과용 또는 화장용 제제	2	1.8%
F01K	증기기관설비; 증기어큐뮬레이터(accumulator); 달리 분류되지 않는 기관설비; 특수한 작동유체 또는 사이클을 사용한 기관(가스터빈 혹은 제트추진 설비)	2	1.8%
기타	-	15	13.8%
합계		109	100.0%

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

o 년도별 특허 출원 추이

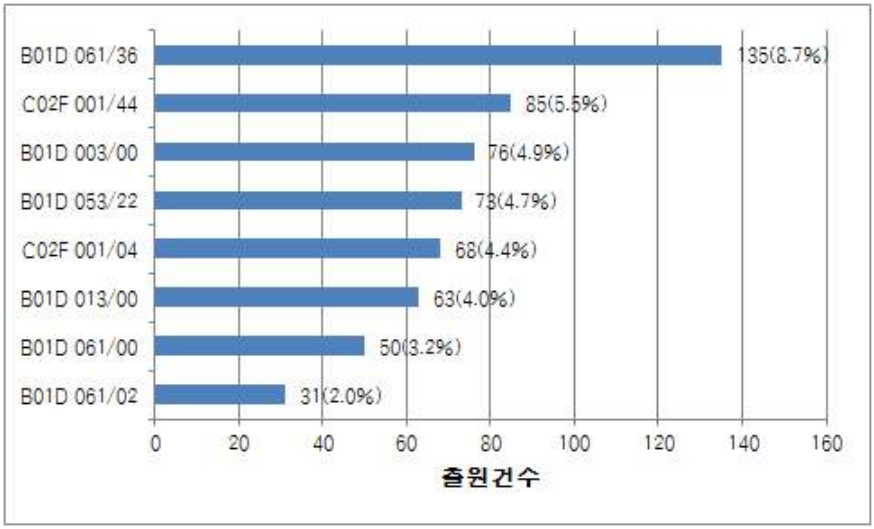
- 2010년까지 막 증발법(MD, Membrane Distillation) 및 막 결정법(MCr, Memebrane Crystallization)과 관련된 특허는 총 1,557건이 출원되고 있음
- 1999년까지 출원된 특허는 473건이며, 이후 1,087건으로 2000년대 급격히 성장하는 발전기에 있음. 2005년 이후는 특허가 감소하는 경향을 보이나 MD 기술개발의 패러다임이 실험실 규모에서 파일럿/현장 규모로 확장되는 과도기로 인한 것으로 판단됨
- 출원된 1,557건의 특허 중 등록된 특허는 총 442건으로 등록율은 28.4%임



[그림 2-49] 년도별 특허 출원현황

o 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(Liguid 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)

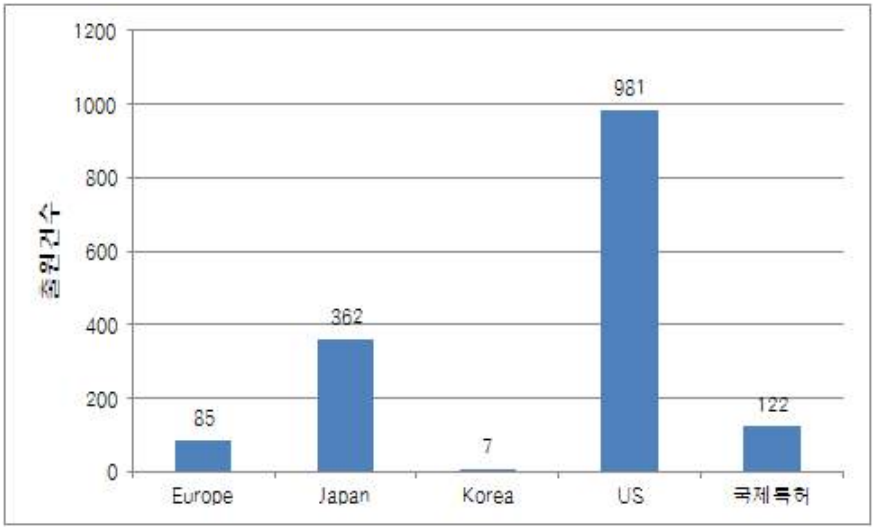
[그림 2-50] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

o 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

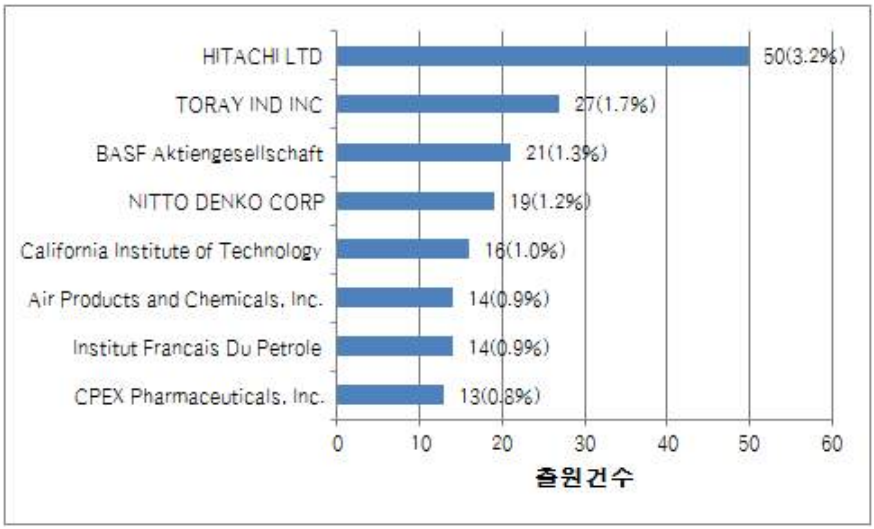


[그림 2-51] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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 2-52] 주요 출원인별 특허출원 현황

□ 압력지연 삼투 기술 관련 특허 분석

o 년도별 특허 출원 추이

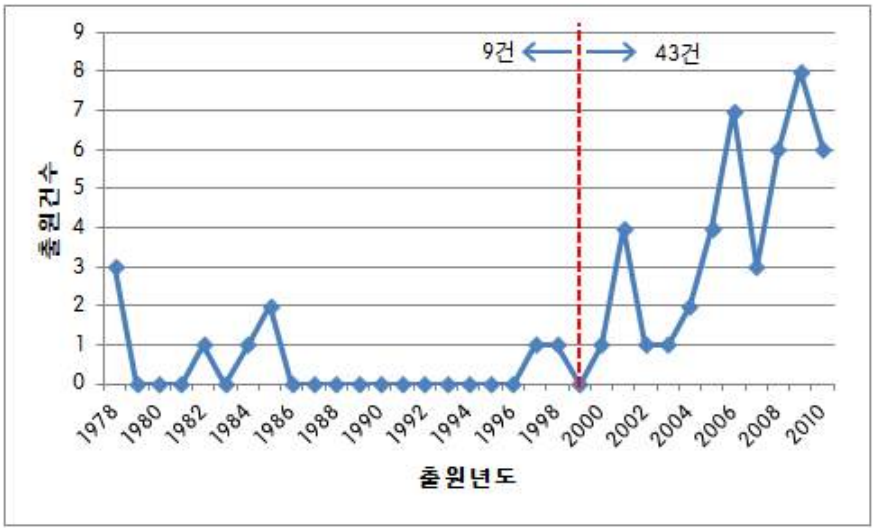
- 2010년까지 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis)와 관련된 특허는 총 52건이 출원되고 있음

  ※ 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

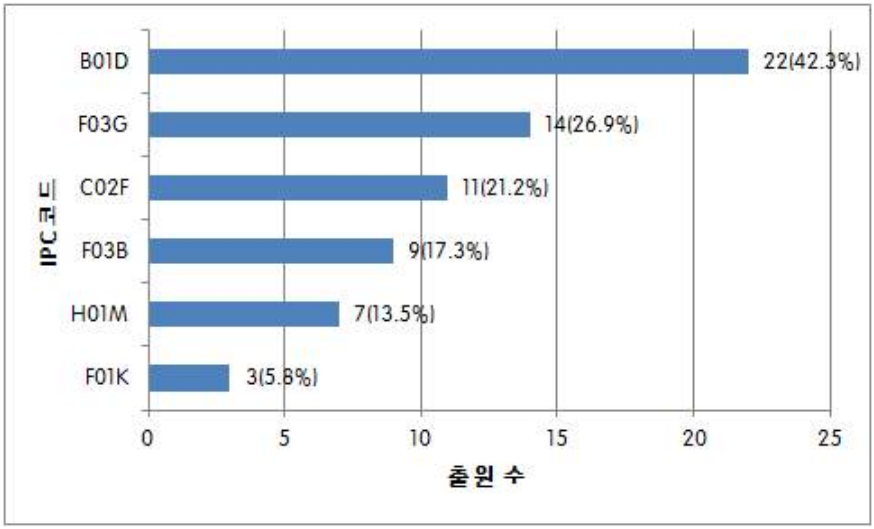


[그림 2-53] 년도별 특허 출원현황

o 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 에너지원을 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

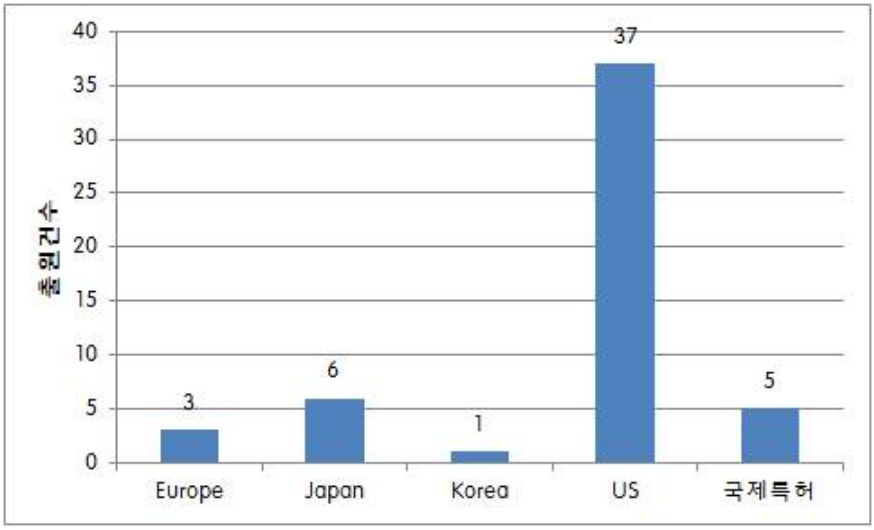
[그림 2-54] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

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

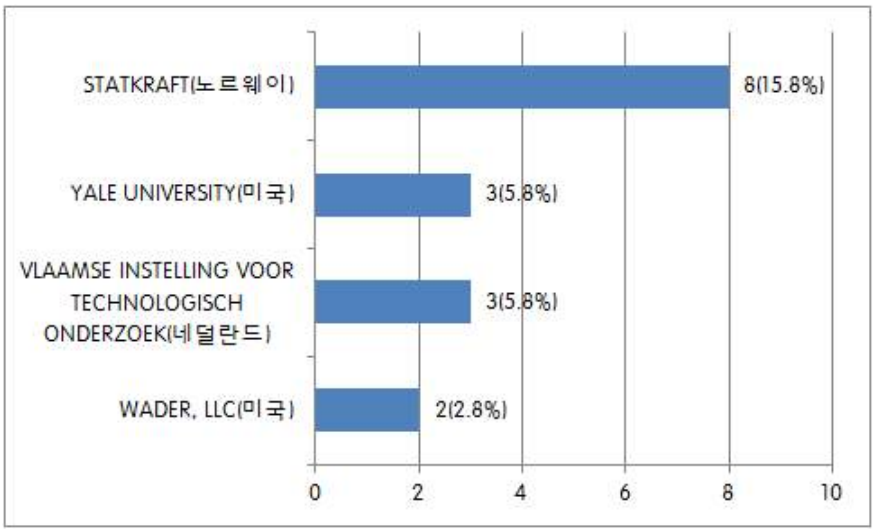
※ 대한민국 특허의 경우, 2006년 노르웨이의 Statkraft사에서 출원한 “압력 지연 삼투를 위해 사용되는 멤브레인 상에서 유지를 수행하기 위한 방법 및 시스템”이 유일함



[그림 2-55] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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 2-56] 주요 출원인별 특허출원 현황

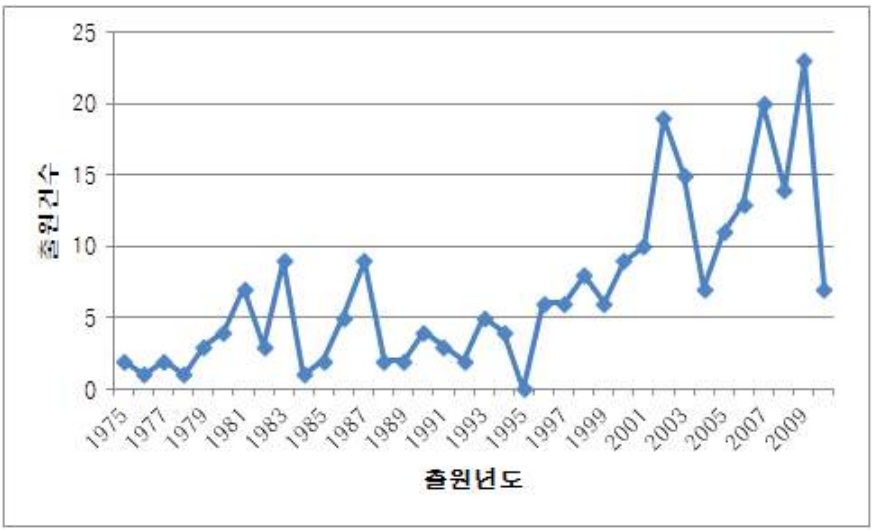
□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 특허 분석

o 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

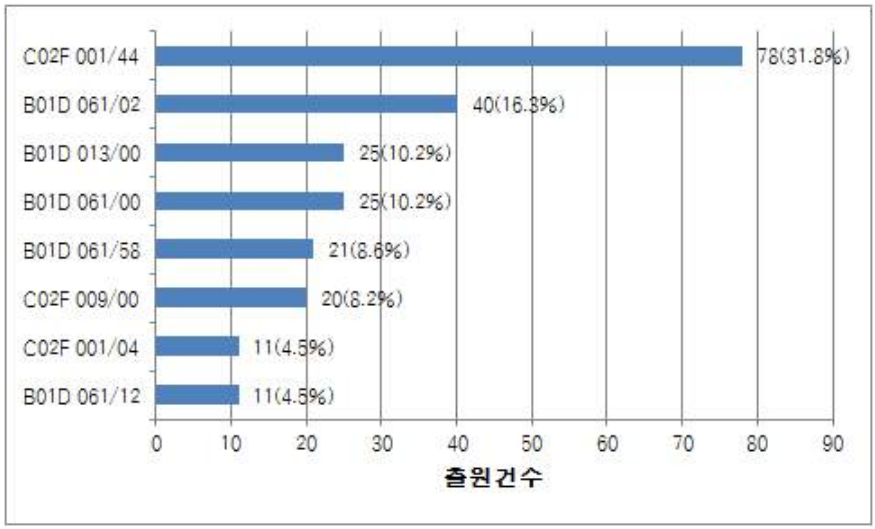
- 출원된 245건의 특허 중 등록된 특허는 총 67건으로 등록율은 27.3%임



[그림 2-57] 년도별 특허 출원현황

o 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



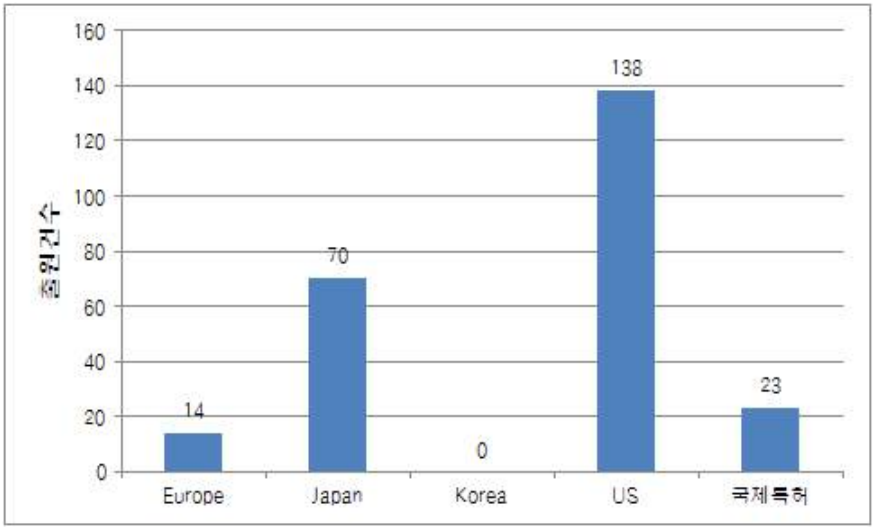
IPC코드,	상세설명
C02F 001/44	- 투석, 삼투 또는 역삼투에 의한 것
B01D 061/02	- 역삼투; 초과여과(hyperfiltration)
B01D 061/00	- 반투막을 이용한 분리공정, 예 투석, 삼투; 또는 한외여과 특별히 만들어진 관련장치, 부속품 및 보조조작
B01D 013/00	-
B01D 061/58	- 다단계 공정
C02F 009/00	- 물, 폐수 또는 하수의 다단계 처리
C02F 001/04	- 증류 또는 증발에 의한 것
B01D 061/12	- 제어 및 조정

[그림 2-58] 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 2-59] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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 2-60] 주요 출원인별 특허출원 현황

3. 논문분석

가. 해수담수화 관련 논문 동향

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

<표 2-17> 논문검색방법

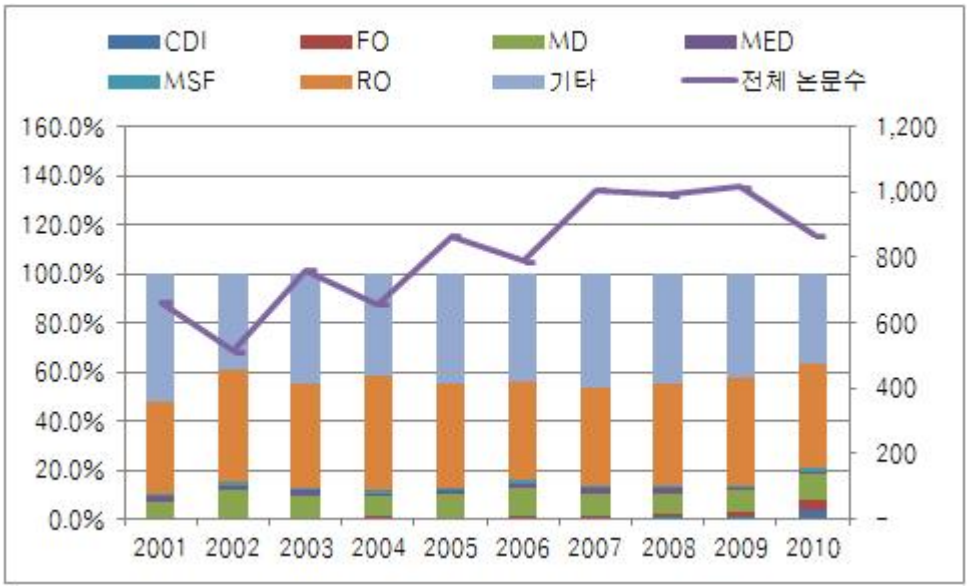
논문 검색 조건	방법
검색 Domain	SCI-Expanded에 발표된 논문
검색 DB	Thomson Scientific사의 Web of Science
검색 기간	2001년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일
검색 범위	주제어

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

o 탈염방식별로는 RO관련 논문의 40%, MSF관련 논문이 1%대로 그 비율이 꾸준히 유지되고 있음. 이는 1995년 이후 시장 지배기술로 자리잡은 RO공정에 대한 기술개발이 활발히 이루어졌음을 의미함

o 2001년을 9.4%에 불과하던 CDI, FO, MD, MED 등의 신개념탈염기술의 비율이 2010년에는 19.6%로 크게 증가함

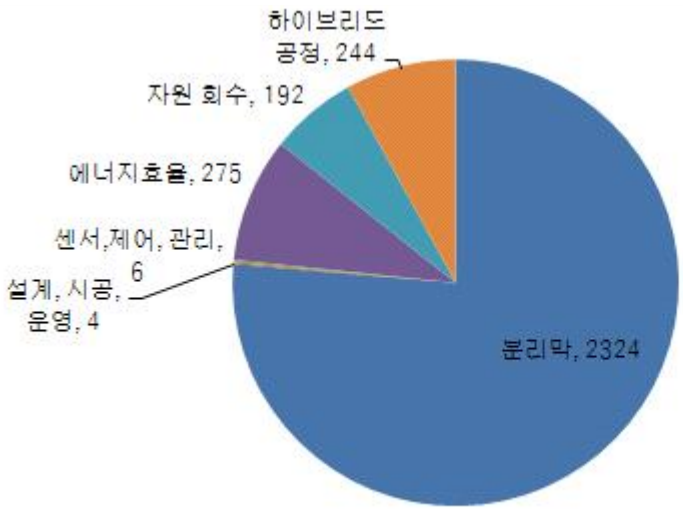
o 최근 RO공정에서 이슈가 되고 있는 에너지관련 문제를 해결하기 위해 신개념탈염기술의 개발이 적극적으로 이루어지고 있음을 시사



[그림 2-61] 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

o 현재 연구자들의 주요관심 분야는 분리막 성능 향상을 통한 RO공정의 효율 강화이나, 에너지 및 자원 회수와 플랜트 설계 기술에 대한 관심도 크게 증대되었음



[그림 2-62] 기술분야별 담수화플랜트 관련 논문 동향

나. 세부기술분야별 논문동향

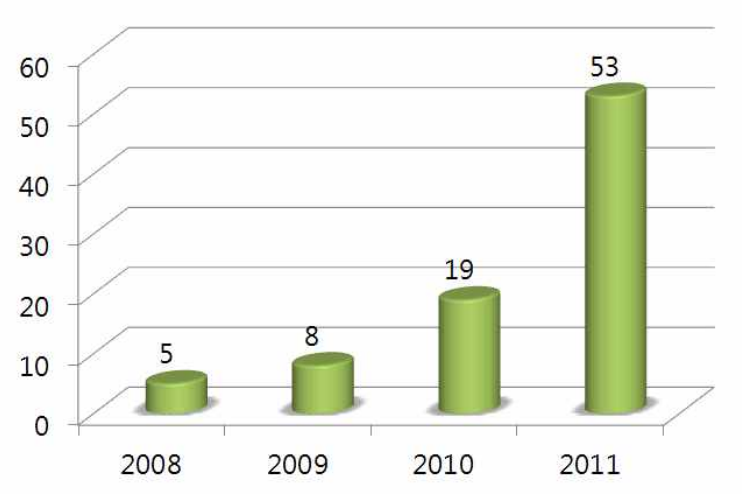
□ 해수담수화 관련 논문 분석을 바탕으로, 압력지연삼투, 역전기투석 및 농축수 자원화 기술에 대한 논문 분석을 실시함

<표 2-18> 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
정삼투 공정기술	94	FO, Forward Osmosis
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

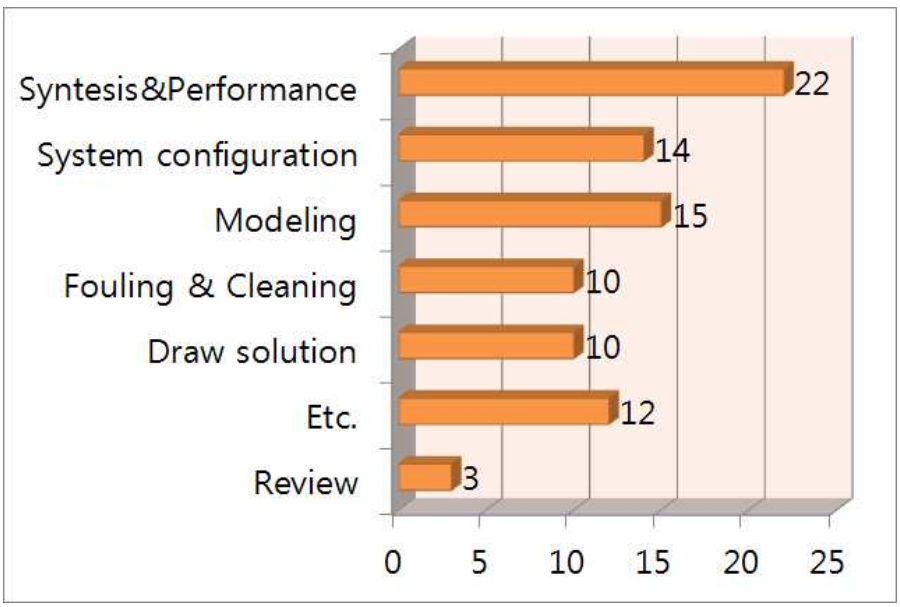
□ 정상투 공정 기술 관련 논문 분석

o FO 공정은 1960년대에 연구가 시작되어 최근 10년간 FO 전용 막의 개발과 다양한 유도 용질 등에 대한 연구가 집중되고 있음. [그림 2-64]은 FO에 대한 연구 증가 경향을 보여주는 것으로, 2011년에 특히 급속한 증가를 보여주고 있음



[그림 2-63] 연도별 FO 관련 발표 논문 수

o [그림 2-65]에서 나타난 바와 같이 FO의 상용화를 위해서 가장 필요로 하는 소재의 개발은 FO 전용 막개발이며, 다음으로 시스템 구성 (특히 RO 공정 또는 기타 가압식 막여과 공정과 결합) 등에 대한 부분임

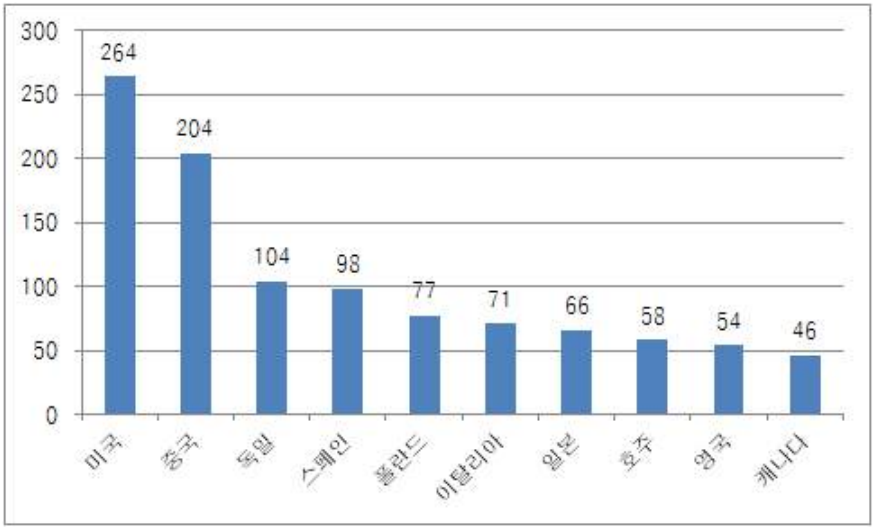


[그림 2-64] 연구 주제별 FO 관련 논문 발표수(2008～2011)

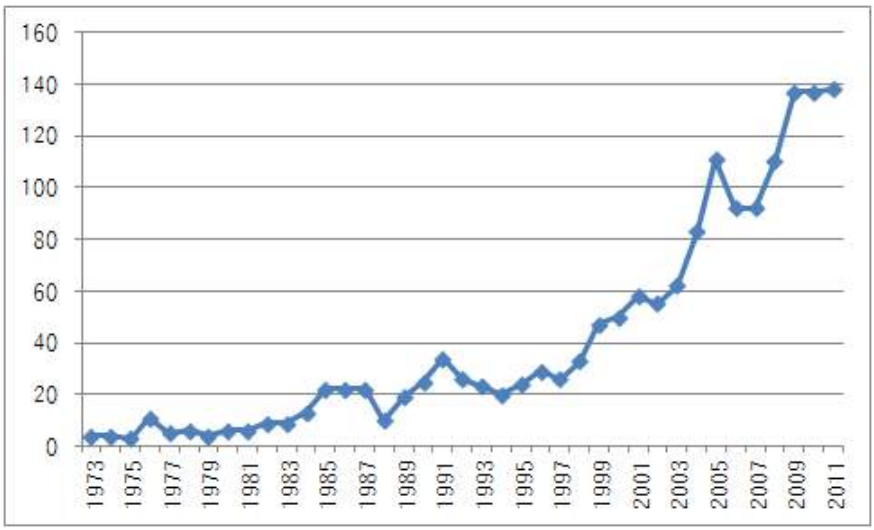
□ 막 증발법(MD) 및 막 결정법(MCr)을 이용한 농축수 저감 기술 관련 논문 분석

o 1970년대에 시작된 막증발법 및 막결정법 기술관련 논문은 주로 미국, 중국 및 유럽 국가들에 의해 주도되어 오고 있음

o 1980년대부터 논문이 증가하기 시작하여 2000년대에 들어 관련 연구가 급증함



[그림 2-65] '막증발법 및 막 결정법 기술' 국가 별 발행 논문 수



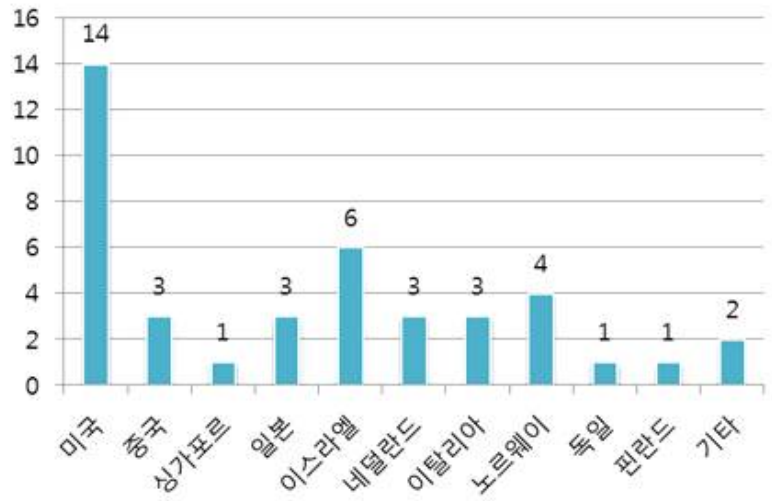
[그림 2-66] '막증발법 및 막 결정법 기술' 시대 별 발행 논문 수

□ 압력지연 삼투 기술 관련 논문 분석

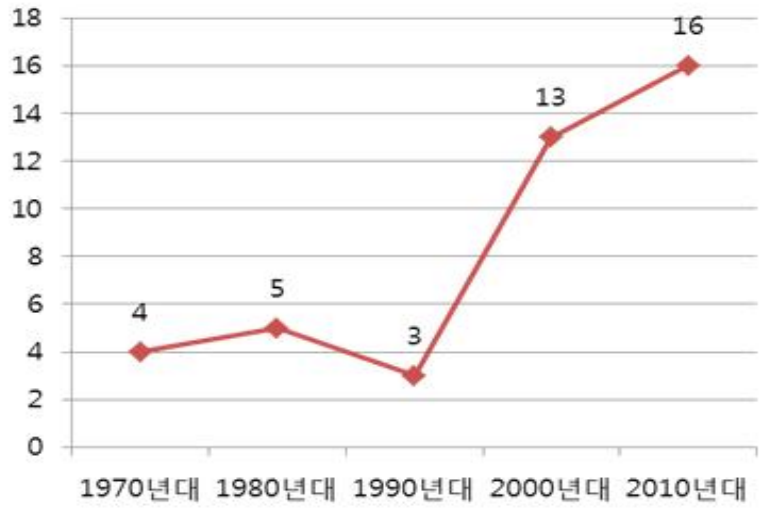
o [그림 2-68]에서 볼 수 있듯이 40년간의 논문 분석 결과, 압력지연삼투 막 관련 논문에 대해 총 41건이 검색됨

o 1970년대를 시작으로 압력지연 삼투에 관한 연구가 시작되어 2000년대에 들어서 관련연구가 급증하기 시작하였고 대부분의 논문은 미국에서 출간됨

o 이어 이스라엘, 노르웨이 등에서 뒤따르고 있지만, 그 양은 미비한 수준으로 압력지연삼투 기술은 기초 연구 시작단계임



[그림 2-67] '압력지연삼투 막 기술' 국가 별 발행 논문 수



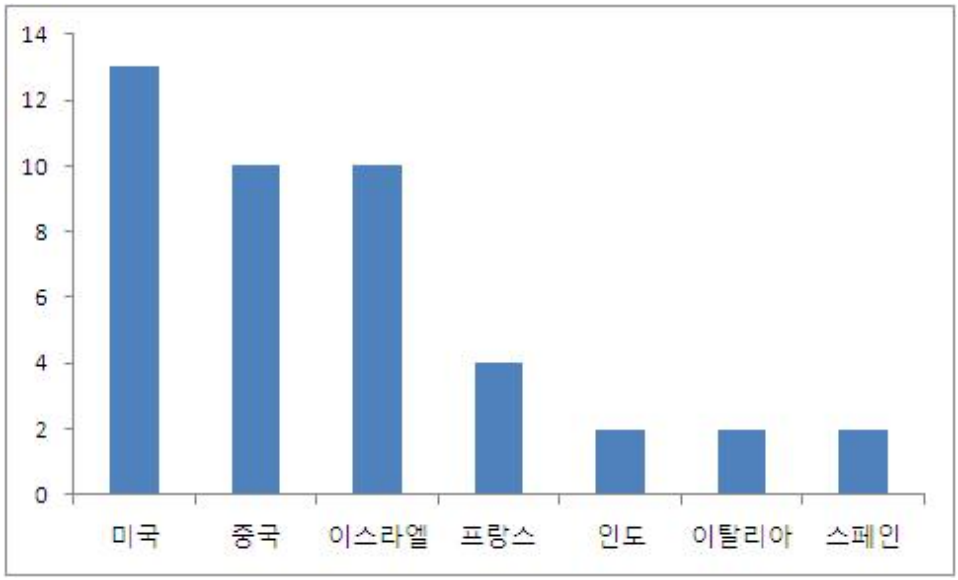
[그림 2-68] '압력지연삼투 막 기술' 시대 별 발행 논문 수

□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 논문 분석

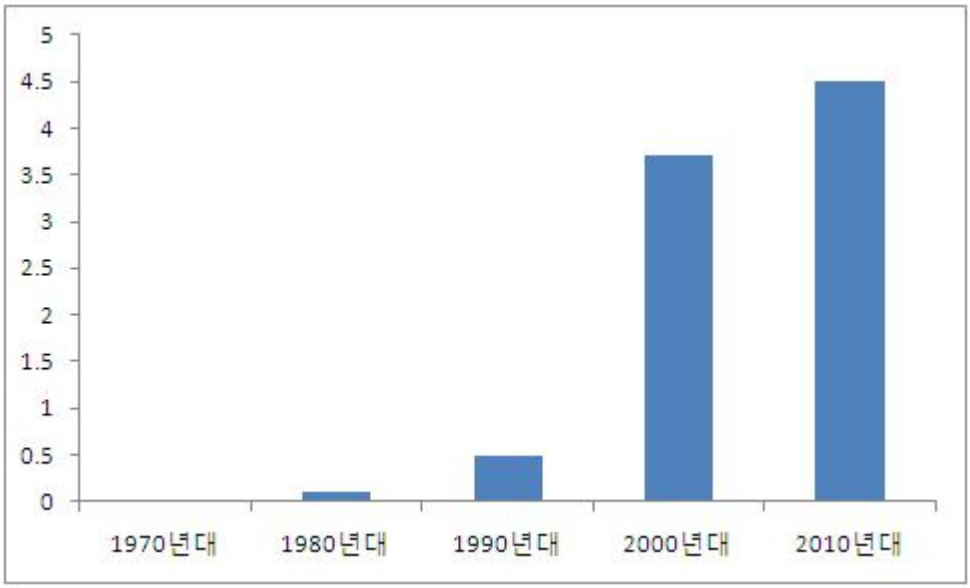
o 농축수 자원화 기술 관련 논문은 주로 미국, 중국, 이스라엘 등을 통해 주도되어 왔음

o 1970년대에 시작된 연구는 2000년대에 이르러 농축수의 환경적 영향 및 자원화를 통한 운전 에너지 절감 등의 이슈와 더불어 관련 연구 또한 급격히 증가

o 유사 기술로서 해수로부터 자원 회수 기술의 경우 일본, 미국 등 선진국들은 2-30년 전부터 활발한 연구를 진행되어 왔음



[그림 2-69] '해수담수화 농축수 자원화 기술' 국가 별 발행 논문 수



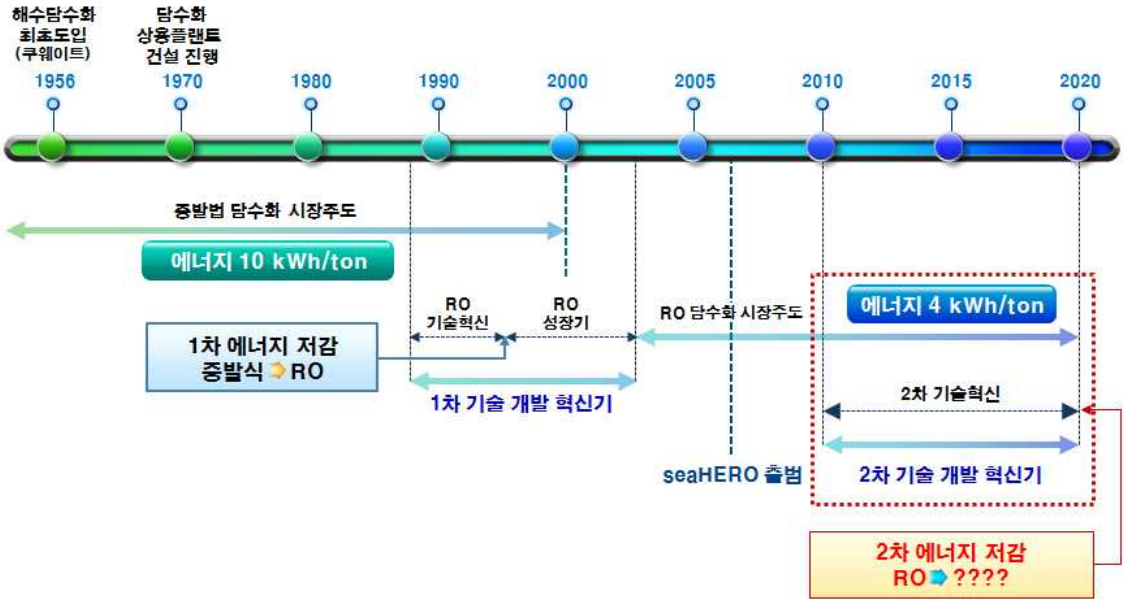
[그림 2-70] '해수담수화 농축수 자원화기술' 시대 별 발행 논문 수

4. 시사점

□ 에너지비용 저감을 위한 기술개발 현황

o 에너지를 중심으로 해수담수화플랜트 기술의 발전역사와 발전방향을 살펴보면, 향후 10년간 에너지비용을 줄이기 위한 기술혁신의 시기가 진행될 것이며, 이 시기 개발된 혁신적인 기술이 차세대 담수화시장의 지배기술로 위치할 것으로 전망됨

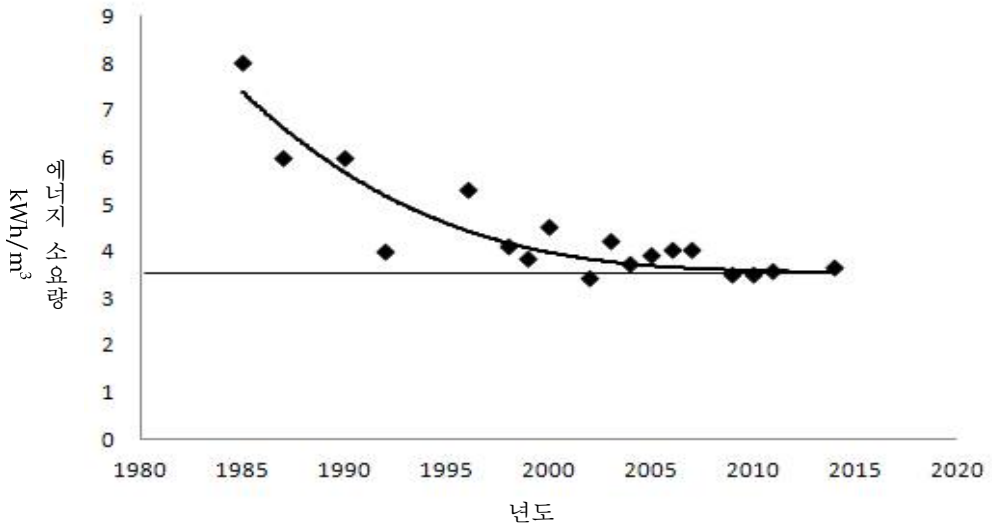
- 1990년대에서 2000년대 초반에 진행된 1차 기술개발 혁신기에서 개발된 RO 방식의 담수화기술이 현재 시장 지배기술로 자리하고 있음



[그림 2-71] 해수담수화 기술의 발전 방향

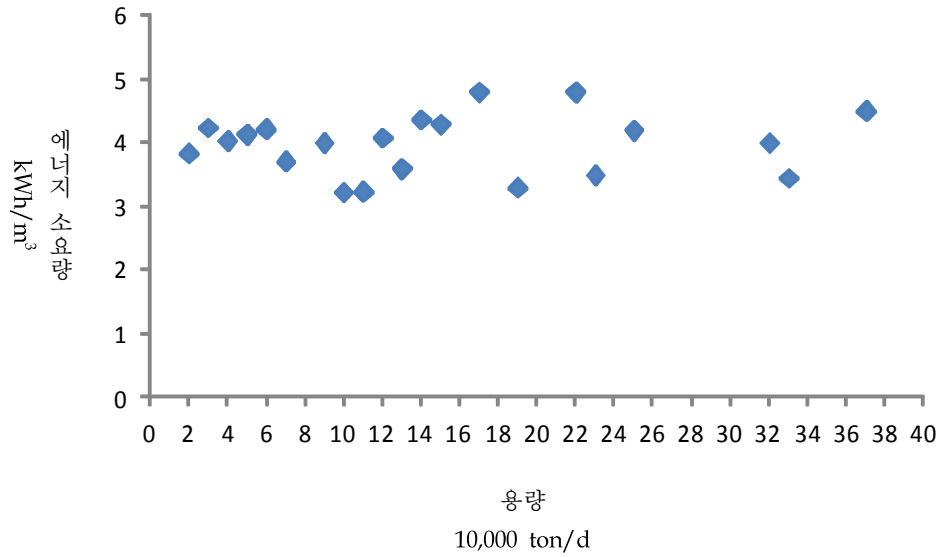
o 하지만 시장의 요구와 달리, 현재 시장 지배기술인 역삼투 방식에서는 기술개발을 통한 에너지비용 절감이 기술적으로 한계점에 달해 있음

- [그림 2-73]는 desaldata에서 제공하는 현재 건설 중이거나 운영 중인 역삼투 공정의 소요 전력량을 분석하여 각 년도별 평균값을 정리한 것으로 에너지 소요량 면에서 2005년 이후 정체되어 있으며, 이는 역삼투 공정의 기술이 정체기에 있음을 간접적으로 시사함



[그림 2-72] 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 연도별 에너지 소요량

- 플랜트 용량의 대형화를 통한 에너지비용 저감효과가 큰 것으로 알려져 있었으나, [그림 2-74]에서 볼 수 있는바와 같이, 10,000 ton/d 이상의 규모에서는 용량의 대형화로 인한 에너지저감효과가 크지 않은 것으로 나타나고 있음



[그림 2-73] 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 용량별 에너지 소요량 (10,000 ton/d 이상)

- 또한, RO방식에서 에너지 소비를 저감하기 위한 요소기술인 고플럭스 막기술, 에너지 회수장치, 고압펌프 및 트레인 설계기술은 기술적으로 한계에 도달한 것으로 나타나고 있어 RO방식의 요소기술개발을 통한 에너지 절감은 기대하기 어려움

<표 2-19> 현 역삼투방식 해수담수화 기술적 한계상황

중점 요소기술	기술적 한계 상황
역삼투막	- 기존 PA계열의 투과율 증대에 있어 기술적 한계치에 도달할 것으로 예측 (2차 박막 코팅기술의 한계 등) - 새로운 신소재에 대한 원천기술 확보를 위한 각 선진국의 R&D 집중
에너지 회수장치	- 현 상업화된 기술은 압력회수 면에서 98% 이상의 효율달성 : 기술적 한계
고압펌프	- 애쉬캘론 플랜트내 고압 펌프의 효율성 89%가 현존하는 기술적 한계로 현재 정체기에 있음
트레인 설계	- 애쉬캘론 및 하데나 플랜트 등 이스라엘에 적용되는 새로운 트레인 방식을 재외하면 구체적인 연구상황이 없음 - 많은 연구가 필요할 것으로 판단

o 이에 따라, 새로운 방식의 기술에 대한 요구가 증대되고 있으며, 다양한 신개념 탈염기술 중 FO방식의 기술에 대한 기대가 큼

- 정삼투공정은 이론적으로 에너지를 2.0 kWh/m^3이하로 낮출 수 있다는 장점으로 인하여 전세계적으로 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 정삼투막의 낮은 플럭스, 모듈의 대형화 미비, 비 경제적인 유도용액 및 분리공정 등으로 인하여 독립적으로 현장적용을 기대하기에는 무리
- 정삼투막의 경우 8인치의 프로토타입 등이 개발되어 연구 중에 있어 근 시일 내에 상용화 가능성이 높아질 것으로 추정되나, 유도용액의 개발과 분리공정 등은 아직 기대에 못 미치고 있음
- 정삼투 융합 공정은 유도용액과 관련한 공정이 필요하지 않기 때문에 독립적인 정삼투 공정에 비하여 현장 적용가능성이 훨씬 높은 것으로 분석됨

□ 환경부하 저감을 위한 기술개발 현황

o 환경부하 저감형 기술은 농축수 저감기술과 플랜트 부산물 자원화기술로 분류됨

- 농축수 저감기술로 가장 기대가 큰 기술은 MD기술로, 신개념 탈염기술 중 최근 10년간 가장 많은 특허와 논문이 발생되고 있음
- 플랜트 부산물 자원화기술은 농축수의 삼투에너지를 활용하여 에너지를 생산하는 기술, 농축수에서 유가자원을 회수하는 기술 및 모든 담수화플랜트의 부산물을 고형화하여 건축자재료 활용하는 기술 등이 개발되고 있으며, 현재 연구 초기 상태에 있음

제 4 장 연구개발과제 도출 및 설정 경과

제 1 절 기술개발 방향의 설정

1. 해수담수화플랜트 시장적 이슈

□ 시장동향 및 기술동향 분석결과 해수담수화플랜트 관련 산업에서의 향후 요구되는 기술적 이슈는 RO방식의 에너지저감과 농축수에 의한 환경부하 저감임

나. 에너지소모량 절감 필요성 증대

o 해수담수화플랜트 기술에 있어 경제성에 관한 문제는 중요한 문제이며, 이로 인해 2000년대 들어 Unit capacity의 대용량화를 통한 건설비용 및 유지/운영비용의 저감이 핵심이슈였음(해수담수화플랜트 상세기획보고서)

o 하지만, 최근의 시장 및 기술 동향을 살펴보면, 물생산 단가의 감소폭은 점점 감소하고 있어, 이를 보상할 수 있는 유지/운영 비용의 절감이 보다 중요한 이슈로 나타나고 있으며, 그 주요 인자는 에너지 소모량임

o 2011년 입찰결과가 발표된 UAE의 15MIGD Ras Al Khaimah SWRO 프로젝트의 경우, 최저 입찰가 대비 113.7% 금액으로 입찰하였으나 에너지 소모량이 작은 것으로 입찰에 참여한 Aquatech가 수주에 성공함

다. 환경부하 대응을 위한 노력 강화

o 최근 해수담수화 플랜트의 반환경적인 영향을 제한하고 조정하기 위해 국가간 합의를 통한 규제가 만들어지고 있으며, 이러한 환경법규를 통해 플랜트 운영에 대한 허가가 이루어지고 있음

라. 지역시장의 다변화와 지역 맞춤형 기술 요구 증대

o 주요 국가별 담수화 시장규모를 살펴보면, 향후에도 중동지역을 중심으로 시장이 형성될 것으로 예상되며, 또한 미국을 중심으로 한 북미지역의 시장이 급격히 증가할 것으로 예상됨

o 이와 같이 시장이 다양화됨에 따라, 현지의 수질특성에 부합하기는 기술 확보가 주요해지고 있음.현지의 수질조건에 부합하는 기술을 PQ조건으로 제시되고 있음

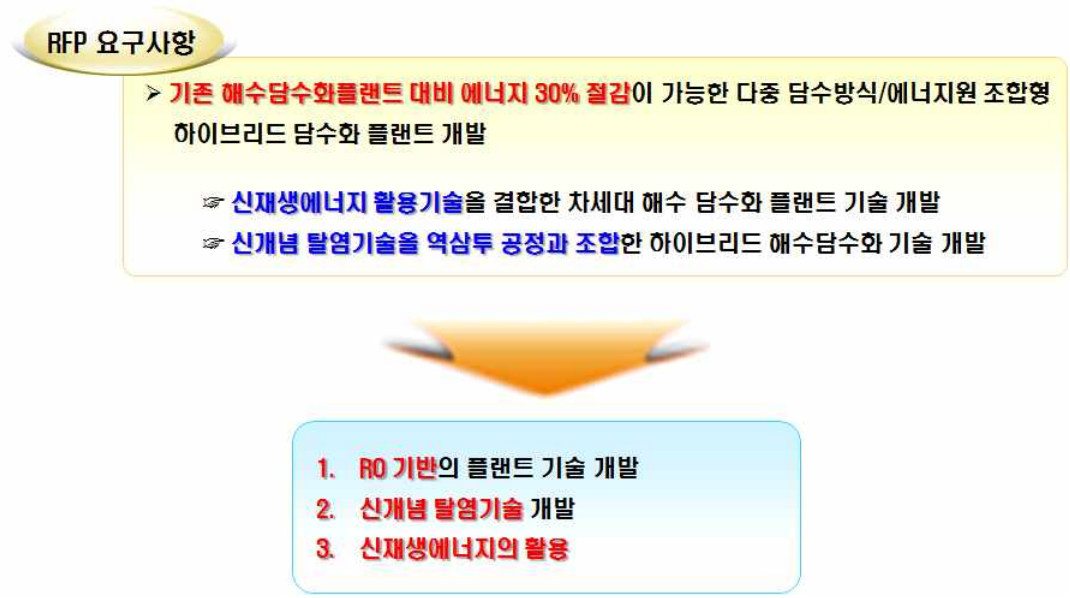
- UAE의 15MIGD SWRO Desalination Plant at Ghalilah에서는 UAE 또는 Gulf 지역 내의 실적만을 인정

2. 기술개발사업의 범위

□ 상기와 같이 도출된 시장적 요구사항을 달성을 위한 기술개발의 범위를 설정하기 위해, 본 기획 대상과제의 조건을 RFP를 중심으로 검토함

o RFP에서 요구하는 기술개발의 내용은 RO기반의 공정기술에 신개념 탈염기술 및 신재생에너지 기술을 복합한 하이브리드 담수화플랜트 기술개발을 통해 기존 해수담수화플랜트사업단의 기술 대비 에너지비용을 30%저감하는 것임

o 따라서 기술적 요구사항인 (1) RO기반 플랜트 기술 중심의 기술개발의 타당성, (2) 신개념탈염기술개발의 타당성, (3) 신재생에너지 활용의 타당성에 대해 환경분석 결과와 전문가 의견수렴을 통해 검토하였음



[그림 3-1] 기술개발범위 설정상의 주요 이슈사항

나. [이슈 1] RO방식 중심의 기술개발사업 추진의 타당성

□ 환경분석 결과에 따른 타당성 검토결과

o 현재 해수담수화플랜트 시장은 RO방식을 중심으로 이루어져 있으며, 시장 전망 역시 RO방식의 담수화 시장이 성장할 것으로 예측하고 있어 RO 방식 중심의 기술개발은 타당성이 있는 것으로 분석됨

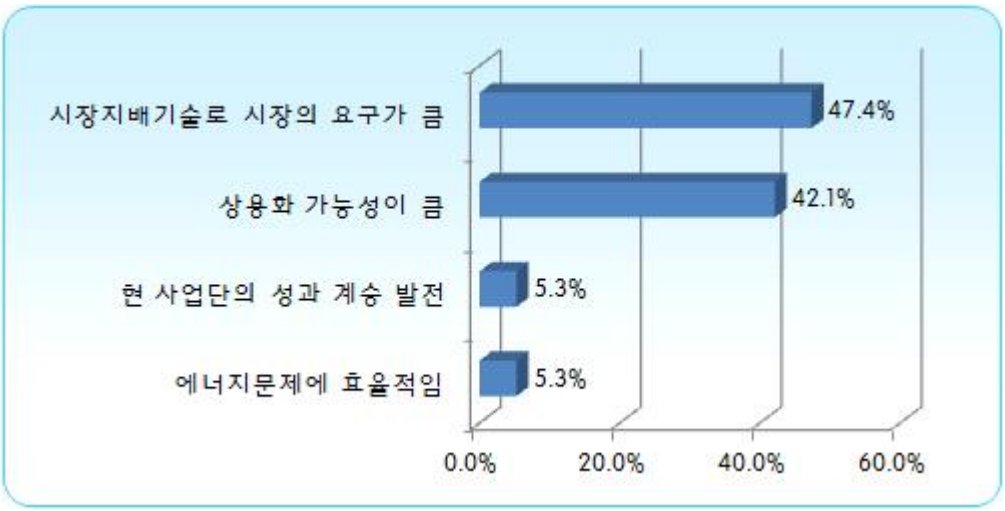
- 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 전체 담수화 시장의 70%정도를 차지하고 있으며, 년평균 20%씩 성장하여 2016년 130억 달러에 달할 것으로 전망되고 있음

□ 전문가 의견수렴을 통한 타당성 검토결과

o 워크샵 참여 전문가 모두 차기사업은 RO방식을 중심으로 추진하여야 한다는 의견을 제시함

o RO중심으로 기술개발을 추진해야 하는 주요이유로 제시된 의견은 아래와 같음

- RO방식의 담수화플랜트 기술은 현재 시장지배 기술로, 향후 10~20년간 시장의 중심이 될 것으로 예상됨
- 국토해양부 R&D의 특성을 고려할 때, 5년 이내 사업화가 가능한 기술은 RO방식임



[그림 3-2] RO방식 중심의 기술개발 추진의 필요성

다. [이슈 2] 신개념탈염기술 개발의 필요성 검토

□ 환경분석 결과에 따른 타당성 검토결과

o 최근 10년간의 특허 및 논문 동향을 살펴보면, RO방식에 대한 연구는 정체된 반면, FO, MD, CDI, MED 등 신개념탈염기술의 비중이 증가하고 있음

o 또한, RO방식의 요소기술 개발을 통한 에너지비용 절감은 기술적으로 한계점에 달한 것으로 분석되고 있음

- RO방식에서 에너지 소비를 저감하기 위한 요소기술인 고플럭스 막기술, 에너지 회수장치, 고압펌프 및 트레인 설계기술은 기술적으로 한계에 도달한 것으로 나타나고 있음 (표 2-19 참조)

□ 전문가 의견수렴을 통한 타당성 검토결과

o 기획 참여 전문가의 87.5%가 신개념 탈염기술개발이 차기 사업에 포함되어야 한다고 의견을 제시하였음

o 신개념탈염기술개발 포함 찬성의 주요 이유로는 아래와 같음

- 과제의 목표(에너지 저감, 농축수 저감) 달성을 위해서 신개념 도입이 필요(기술혁신

의 관점)

- Market share 확대를 위한 미래기술 선점
- 기초기술에 대한 기반 확보
- 단기간 내 상용화 가능성은 다소 낮으나, RO기반의 융합기술로는 가능성이 높음
- 과제의 신규성(기존사업단과의 차별성) 확보를 위해 필요

o 신개념탈염기술개발 포함 반대의 주요 이유는 단기간 상용화 가능성이 낮다는 점임

라. [이슈 3] 신재생에너지 활용공정의 포함 여부

□ 환경분석 결과에 따른 타당성 검토결과

o 신재생에너지를 활용한 해수담수화공정은 태양에너지를 활용한 공정과 해수의 삼투에너지를 활용하는 연구가 대표적임

o 태양에너지를 활용한 공정은 대부분 태양의 열에너지를 활용하는 열적 방식의 담수화방식이며, 현재 Lab Scale의 연구단계로 아직 상용화되어 있지는 않음

- [프라운호퍼 태양열 에너지 시스템 연구소] 태양에너지를 활용한 MD방식의 해수담수화 공정으로 태양열 및 태양광발전을 통해 얻어진 에너지를 열원 및 전력원으로 활용함
- [University of Nevada] 막 증발법과 특성화된 저 비용 태양연못(solar pond)을 접목한 하이브리드 membrane distillation 시스템
- [Autonomous membrane distillation pilot plant] SMADES EC가 후원하는 프로젝트를 통해 solar collector field, heat exchanger, membrane distillation module 3개의 subsystem으로 구성된 태양열 MD units가 요르단의 Aqaba city에 Fraunhofer Institute에 의해 설치됨

o 해수 및 담수화의 부산물인 농축수의 삼투에너지를 활용하여 에너지를 회수하는 공정은 최근 다양한 형태로 제안, 연구되고 있으며, 이러한 공정은 부수적으로 농축수의 염 농도를 저감하는 효과를 얻을 수 있어 환경부하 문제 해결에 잇점이 있음

- [PRO(압력지연삼투]

※ 염도차를 이용한 에너지 생산 기술로 전처리 과정을 거친 저농도 용액이 삼투압 차에 의해 반투막을 통하여 고농도 용액으로 투과되고 이 때 증가한 유량이 터빈을 회전시켜 에너지를 생산하는 막 공정

※ 현재 전세계적으로 노르웨이의 Statkraft 사만이 파일럿 플랜트를 보유하고 있으며, 현재 파일럿 플랜트의 평균 전력밀도는 3 W/m^2임

- [RED(역전전기투석)]

※ 서로 다른 방향으로 흐르는 해수와 담수의 전기-화학적 포텐셜 차이에 의한 구동력을 이용하여 해수의 음이온(Cl^-)과 양이온(Na^+)이온들을 이온교환막으로 각각 투과시켜, 최종적으로 전자가 external electric circuit으로 이동하게 되어 전류(에너지)가 생산되는 기술

※ 미국에서는 1950년대부터 기술개발 시작하였으며, 초기에는 stack의 높은 내부저항 때문에 전력생산 효과가 미비하였으나, 최근 높은 성능을 가진 전기투석 막의 개발 및 stack 디자인 기술 개발 등으로 인해 현재 전력생산 효율이 0.93 W/m^2 까지 증가함

※ 네덜란드에서는 2006년 Harlingen 지역에 50kW급 시스템을 설치하여 양극 및 음극 그리고 막에서의 바이오 막오염 현상 방지에 대한 연구를 진행하였으며, lab-scale에서 전력밀도 2W/m^2 성공했으며, Wetsus의 spin off 회사인 RED Stack에서 파일럿 플랜트 건설 (RED막은 후지필름에서 공급예정)

o 태양에너지 등 신재생에너지를 활용한 해수담수화 공정은 전반적으로 열적방식의 담수화 기술에 집중되어 있으며, 또한 지역적 특성(입지적 조건)에 따른 영향을 많이 받아 일반화된 기술로 적용하기 어려운 문제가 있음

o 따라서, 담수화플랜트의 부산물인 농축수의 삼투에너지를 활용하여 에너지를 회수, 재사용하는 방식을 적용하여 에너지비용을 절감하는 것이 보다 효과적인 접근으로 판단됨

□ 전문가 의견수렴을 통한 타당성 검토결과

o 신재생에너지 활용공정이 차기사업단에 포함되어야 한다고 판단한 전문가가 62.5%로 반대의견(37.5%)보다 높았음

o 찬성의 주요 이유

- 신재생에너지 이용에 대한 시장의 요구가 점점 강화되는 추세임
- 기존 석유 및 석탄에너지만으로는 사업목표인 저에너지화를 달성하는데 한계가 있음
- 경제적인 에너지원 확보가 담수화사업의 핵심일 수 있음

o 반대의 주요이유

- 개발기술이 다양하여 역량 집중에 문제가 있음
- 지경부의 타 과제들과 중복성 문제가 발생할 수 있음
- 연구단차원에서 초기개발연구가 가능하나, 사업단의 관점에서는 부적합함
- 신재생에너지의 활용은 조합만으로도 가능하며, 기술개발 효과가 낮을 것으로 판단됨
- 현재 경제성 있는 신재생에너지 시스템의 활용은 쉽지 않음

- 신재생에너지 자체가 또 하나의 사업단 규모로 추진되어야 할 만큼 큰 이슈임

o 하지만, 신재생에너지 관련 기술개발을 차기사업에 포함시키는 경우 해당 기술개발의 성격은 신재생에너지 기술의 적용방법 개발 및 공정기술로 국한해야 한다는 의견이 지배적으로(전체의 95%) 나타남

마. 이슈 검토 결과에 따른 차기기술개발사업의 방향

□ 상기와 같은 환경분석 결과와 전문가 의견수렴의 결과를 토대로 차기 기술개발사업의 범위를 아래와 같이 설정하고 검토하였음

o RO 기반의 플랜트 기술개발

o 신개념탈염기술을 포함한 플랜트 기술 개발

o 에너지 회수 및 해수에너지를 활용한 공정 기술 개발

제 2 절 후보과제 검토 및 사업추진체계의 결정

1. 기술수요조사

□ 도출된 시장의 요구사항과 차기기술개발사업의 방향에 부합하는 연구과제 도출을 위해 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시하였음

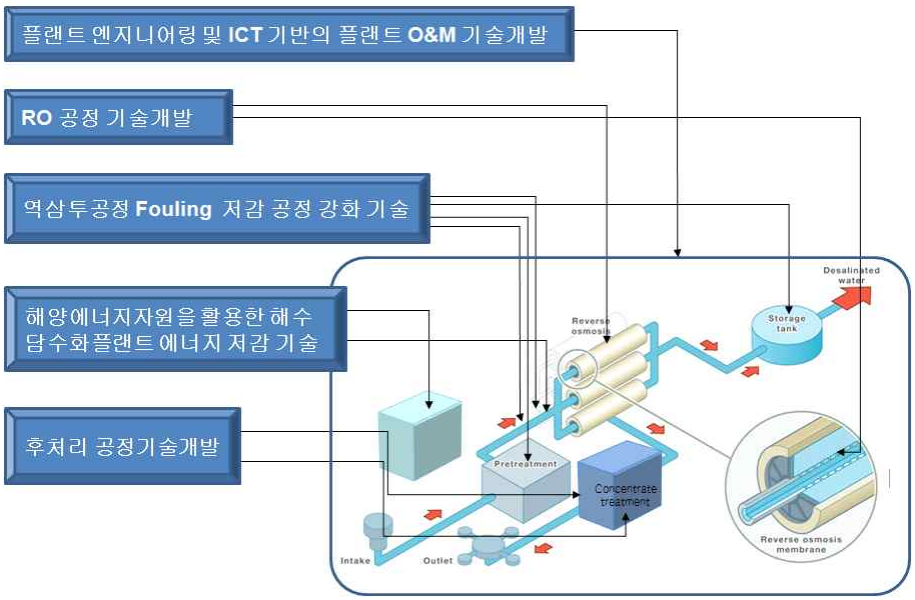
o 차기 기술개발사업에서 개발되어야 할 기술로 총 41개의 기술개발 과제가 도출됨

<표 3-1> 수요조사 결과 도출된 기술개발 과제 리스트

1	Anti-biofouling Control system 개발
2	CDI용 전극 제조 기술개발
3	CIP약품 및 CIP 처리공정 다변화
4	High Flux 멤브레인 소재 개발 및 대형 모듈화(32inch)
5	MD 기술개발
6	MSF 및 MED 복합형 고효율시스템 개발
7	RO공정에서 소요되는 약품 개발
8	RO농축수 고율 회수를 위한 나노물질 기반 막증류 기술 실증
9	Small Scale RO Integrated System(SSIROS) 기술개발
10	고효율 저에너지담수화플랜트 설계 및 운영기술
11	공정기술 측면에서 스마트 운영 제어기술
12	나노 기술기반 저에너지 막 개발
13	농축수 저감 및 다중 에너지원 활용을 위한 하이브리드 담수화 기술
14	농축수로부터 유가자원을 회수하는 기술 개발
15	막 세척 공정기술개발
16	막공정 조합에 의한 하이브리드형(RO+FO) 공정 기술개발
17	분리막의탈부착을 용이하게 할 수 있는 기술개발
18	선박을 이용한 해상이동형 해수담수화 기술 개발
19	스마트그리드 해수담수화 공정
20	신개념 농축수 회수 기술개발
21	신재생에너지결합형(조력, 풍력 등) 기술개발
22	신재생에너지 활용 농축수 배출 저감 기술개발
23	에너지 소모장치의 효율 향상 및 에너지 회수 기술 개발
24	에너지 자립형 공정기술 개발
25	에너지 절감을 위한 신소재 개발
26	에너지 최소화 운영기술개발
27	열펌프를 이용한 에코 하이브리드해수담수화플랜트 개발
28	원수의 취수 안정화 기술개발
29	저가의 저에너지 전처리 막 개발
30	저에너지RO 대체 공정 개발
31	저에너지 고 Flux 타입의 막소재 및 막모듈 개발
32	저탄소 에너지 저감형담수화플랜트 시공기술
33	전처리공정 최적화 기술개발
34	조력, 풍력, 태양광 등 대체 신재생에너지를 활용한 담수화플랜트 설계/시공/운영기술개발
35	지능형 설계 기술개발
36	축전 탈이온화용 탄소/나노 복합전극 개발
37	취수공정 최적화 기술개발
38	탄소저감/부지 저감형 시공기술개발
39	폐열을 이용한 담수화 기술개발(발전소와 하이브리드)
40	하이브리드 공정 개발
41	현지 맞춤형 대체 에너지를 활용한 친환경 해수담수화 플랜트 기술

2. 중점추진분야의 도출

□ 중점추진분야는 후보과제에 대한 검토결과와 기 검토된 시장의 요구사항(기술개발 이슈) 및 차기기술개발사업의 방향을 기준으로, 해수담수화플랜트의 공정흐름에 따라 5개 분야로 설정하였음



[그림 3-3] 중점추진분야

□ [중점추진분야 1] 역삼투 공정 Fouling 저감 공정 강화 기술

o 무약품공정, 소재개발, 막여과 기술 등 다양한 전처리 공정 강화를 통해 전처리 공정에서의 에너지소비율을 0.15kWh/m^3 달성

□ [중점추진분야 2] RO공정 기술개발

o 해수 TDS 35,000ppm, 평균 해수 수온 20℃ 기준으로 단위 생산수당 에너지 사용량 2.0 kWh/m^3 을 가진 역삼투 공정기술 개발

□ [중점추진분야 3] 후처리공정 기술개발

o 농축수로부터 유가자원을 회수하는 방법 및 농축수 저감기술 개발을 통해 농축수 배출 목표 달성

□ [중점추진분야 4] 해양에너지자원을 활용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술

o 해수가 가지고 있는 고염분, 깊이에 따른 수온차를 에너지로 활용하여 해수담수화 플랜트의 에너지를 저감시키는 기술

o 압력지연삼투(Pressure Retarded Osmosis; PRO), 역전기투석(Reverse Electro-Dialysis; RED) 및 온도차를 에너지로 전환하는 개방순환형 해수온도차 발전 및 담수화 기술 등 해수에너지를 활용기술 개발을 통해 에너지소비율 절감 목표 달성

□ [중점추진분야 5] 플랜트엔지니어링 및 ICT 기반의 플랜트 O&M 기술개발

o 비전에서 제시한 시장적 목표 달성을 위해, 현지 수질 특성에 부합하는 플랜트 건설 및 유지운영 기술 개발

3. 후보과제 도출 및 검토

□ 기술수요조사를 통해 도출된 41개의 기술개발 과제에 대해, 도출된 시장의 요구사항과 차기기술개발사업의 방향과의 부합성을 기준으로 한 기획위원회에서 검토한 결과 19개의 과제가 후보과제로 도출됨

<표 3-2> 최종후보과제 및 과제 정의

연번	후보과제명	후보과제 정의
1	무약품 전처리 기술개발	기존 해수담수화 전처리 공정에서 투입되는 소독제 투입량 50% 이상 절감 기술 개발
2	해수담수화 전처리용 신소재 및 공정 운영강화를 통한 SDI 안정화 기술개발	해수담수화 전처리 공정에 적용되는 신소재 개발 및 공정강화를 통한 SDI 3 이하 안정화 기술 개발
3	저에너지·초저가 막여과 전처리 기술개발	해수담수화 전처리 공정에 적용되는 저에너지(0.2 kWh/㎥ 이하)·초저가(5만원/㎥ 이하) 막여과 전처리 기술 개발
4	지역 맞춤형 전처리 패키지 시스템 개발	해수담수화가 필요한 지역별 해수 수질을 DB화하여 표준화하고 이에 따른 패키지 시스템 설계 기술 개발
5	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술	기존 Polyamide 역삼투막의 한계를 극복하기 위한 나노융복합 소재 활용 역삼투막의 제조기술 및 상용화 기술 확보
6	역삼투막의 신개념 세정 기술	최소한의 약품을 이용하여 역삼투막의 막오염을 효율적으로 제어하기 위한 기술로 무약품 세정기술과 삼투역세 기술 및 세정조건 선택의 최적화 기술 등을 포함
7	역삼투/나노막 기반 조합 신개념 탈염기술	역삼투 공정이 가지고 있는 기술적 한계 (에너지 사용량, 막오염)를 극복하기 위한 새로운 나노여과 조합 탈염기술 개발
8	역삼투 공정 FEED 기술	동일한 소재·부품을 이용하는 기존 역삼투 공정설계 기술 대비 15% 이상의 에너지 절감효과를 가지는 역삼투 공정의 기본·개념 설계 기술 개발

연번	후보과제명	후보과제 정의
9	농축수 저감기술 개발	농축수를 50%이상 저감(SWRO공정의 회수율이 40%인 경우 전체 회수율 70%)를 달성함으로써 농축수의 환경영향을 최소화할 수 있는 기술 개발
10	농축수로부터 유가자원 회수 기술개발	SWRO 농축수에 함유된 유가자원 중 3개 이산상의 성분에 대한 회수 기술확보와 기술의 상용화
11	농축수로부터 에너지 회수 기술개발	SWRO 삼투에너지 회수 전용막 개발을 통해 SWRO 공정 효율 30% 증대
12	압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	압력지연삼투(Pressure Retarded Osmosis; PRO) 공정을 역삼투 해수담수화 플랜트 공정에 연계하여 해수담수화 플랜트 운영에너지를 저감하는 기술 개발
13	역전기투석(RED)를 이용한 해수담수화플내트 에너지 저감 기술	역전기투석(Reverse Electro-Dialysis; RED) 공정을 역삼투 해수담수화 플랜트 공정에 연계하여 해수담수화 플랜트 운영에너지를 저감하는 기술개발
14	발전소 배출수를 이용한 개방형 해수온도차 발전 및 담수화 기술	발전소에서 배출된 해수(약 38℃)를 진공 상태에서 플래싱으로 발생한 증기를 터빈으로 팽창시켜 전기를 생산하고, 이 증기를 비교적 수심이 깊은 찬 해수(약 13℃이하)로 응축시켜 담수를 생산하는 기술개발
15	해수담수화플랜트와 연계된 태양광활용 수소에너지 생산기술	해수담수화공정과 연계된 플랫형 광전기화학수소제조 장치 개발
16	차세대 해수 담수화 플랜트 엔지니어링 기술개발	“차세대 해수담수화 플랜트 엔지니어링 기술개발”로 차세대 하이브리드 담수화 플랜트(이하, 테스트베드)의 타당성 조사에서부터, 설계, 구매, 시공까지 EPC 전분야에 대한 과제 차세대 해수 담수화 플랜트는 크게 고효율 SWRO 담수화 플랜트와 타 과제의 기술 개발을 통한 농축수 및 에너지 저감 플랜트의 실증으로 구성
17	담수화플랜트 통합 운전환경 플랫폼 개발	테스트베드의 운영 및 유지관리를 위한 각종 시스템 개발 및 이를 통한 운전환경 최적화
18	테스트베드 적용 및 운전성능 평가	개발된 담수화 플랜트 통합 운전환경 플랫폼을 실제 테스트베드에 적용/진단하고, 운전성능을 평가하고, 지속적인 운전 환경 조성을 위해 웹기반 운전인자 Data-base를 구축
19	친환경적 해수담수화 플랜트의 취수 및 배수 구조물 설계	수치해석 등을 이용한 Intake/Outfall 시설 주변의 수류 분석 및 이에 대한 환경 및 생물영향 평가를 통해 최적 취수 및 배수 구조물 설계를 이룸

나. 기술개발단계 및 국내 기술수준

o 후보과제로 도출된 19개 과제의 현재 기술개발 단계 및 국내기술수준은 아래와 같음

<표 3-3> 후보과제의 기술개발단계 및 국내 기술수준

후보 과제명	기술개발 단계	국내 기술수준
무약품 전처리 기술 개발	응용개발	66.7%
해수담수화 전처리용 신소재 및 공정 운영강화를 통한 SDI 안정화 기술개발	응용개발	70.0%
저에너지·초저가 막여과 전처리기술개발	상용화	85.0%
지역 맞춤형 전처리 패키지 시스템 개발	상용화	70.0%
신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술	응용개발	50.0%
역삼투막의 신개념 세정 기술	기초원천	65.0%
역삼투/나노막 기반 조합 신개념 탈염기술	응용개발	없음
역삼투 공정 FEED 기술	응용개발	50.0%
MD/Mcr를 이용한 농축수 저감기술 개발	응용개발	50.0%
농축수로부터 유가자원 회수 기술개발	응용개발	50.0%
농축수로부터 에너지 회수 기술개발	응용개발	50.0%
압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	응용개발	50.0%
역전기투석(RED)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	기초원천	없음
발전소 배출수를 이용한 개방형 해수온도차 발전 및 담수화 기술	응용개발	54.0%
해수담수화플랜트와 연계된 태양광활용 수소에너지 생산기술	응용개발	65.0%
차세대 하이브리드 담수화 플랜트 엔지니어링 기술개발	상용화	60.0%
담수화플랜트 통합 운전환경 플랫폼 개발	응용개발	60.0%
테스트베드 적용 및 운전성능 평가	상용화	60.0%
친환경적 해수담수화 플랜트의 취수 및 배수 구조물 설계	상용화	60.0%

다. 후보과제 평가 및 우선순위 도출

o 후보과제의 기술중요도와 파급효과 및 기술개발 위험도를 기준으로 산출한 후보과제의 우선순위는 아래와 같음

- "최종점수 = 기술 중요도 + 파급효과 - 위험도"와 같이 산출함

<표 3-4> 우선순위 도출결과

번호	세부과제	중요도	파급효과	위험도	최종점수	순위
1	무약품 전처리 기술 개발	3.5	4	2	5.5	10
2	해수담수화 전처리용 신소재 및 공정 운영강화를 통한 SDI 안정화 기술개발	4	3.5	3	4.5	10
3	저에너지·초저가 막여과 전처리 기술 개발	3.5	4	2	5.5	10
4	지역 맞춤형 전처리 패키지 시스템 개발	3	3	2	4.0	17
5	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술	4.5	4	4	4.5	4
6	역삼투막의 신개념 세정 기술	4.5	4	4.5	4.0	4
7	역삼투/나노막 기반 조합 신개념 탈염기술	3.5	4.5	3	5.0	7
8	역삼투 공정 FEED 기술	4	3.5	3.5	4.0	10
9	MD/Mcr를 이용한 농축수 저감기술 개발	4	5	4.5	4.5	3
10	농축수로부터 유가자원 회수 기술개발	5	4.5	5	4.5	1
11	농축수로부터 에너지 회수 기술개발	4	4.5	3.5	5.0	4
12	압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	4.5	5	2	7.5	1
13	역전기투석(RED)를 이용한 해수담수화플내트 에너지 저감 기술	4	4	4	4.0	7
14	발전소 배출수를 이용한 개방형 해수온도차 발전 및 담수화 기술	3.5	3	4	2.5	16
15	해수담수화플랜트와 연계된 태양광활용 수소에너지 생산기술	3.5	3.5	3.5	3.5	14
16	차세대 하이브리드 담수화 플랜트 엔지니어링 기술개발	3	4	3	4.0	14
17	담수화플랜트 통합 운전환경 플랫폼 개발	3.5	4.5	3	5.0	7
18	테스트베드 적용 및 운전성능 평가	2.5	3	2	3.5	18
19	친환경적 해수담수화 플랜트의 취수 및 배수 구조물 설계	3	2.5	3	2.5	18

라. 후보과제의 기술특성 분석

o 도출된 후보과제의 기술개발 특성을 살펴보면 11개의 과제가 상용화 기술이며, 7개의 과제가 핵심기술의 성격을 나타남

<표 3-5> 기술특성 분석 결과

세부과제	기술의 중요도	파급 효과	R&D 소요기간	기술 성숙도	위험도	소요 연구비	국제 협력성	특성평가
무약품 전처리 기술 개발	3.5	4.0	5	3.5	2.0	50	3.0	상용개발
해수담수화 전처리용 신소재 및 공정 운영강화를 통한 SDI 안정화 기술개발	4.0	3.5	5	4.0	3.0	40	3.5	상용개발
저에너지·초저가 막여과 전처리 기술 개발	3.5	4.0	5	4.5	2.0	60	2.5	상용개발
지역 맞춤형 전처리 패키지 시스템 개발	3.0	3.0	5	4.0	2.0	60	3.0	상용개발
신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술	4.5	4.0	5	3.0	4.0	48	4.0	핵심개발
역삼투막의 신개념 세정 기술	4.5	4.0	5	2.0	4.5	48	4.5	핵심개발
역삼투/나노막 기반 조합 신개념 탈염기술	3.5	4.5	5	4.0	3.0	48	3.5	상용개발
역삼투 공정 FEED 기술	4.0	3.5	5	3.0	3.5	48	4.5	상용개발
MD를 이용한 농축수 저감기술 개발	4.0	5.0	5	2.0	4.5	50	3.0	핵심개발
농축수로부터 유가자원 회수 기술개발	5.0	4.5	5	2.0	5.0	50	3.5	핵심개발
농축수로부터 에너지 회수 기술개발	4.0	4.5	5	2.5	3.5	50	2.5	핵심개발
압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	4.5	5.0	5	2.0	2.0	48	2.0	핵심개발
역전기투석(RED)를 이용한 해수담수화플랜트 에너지 저감 기술	4.0	4.0	5	1.5	4.0	12	3.0	핵심개발
발전소 배출수를 이용한 개방형 해수온도차 발전 및 담수화 기술	3.5	3.0	5	3.0	4.0	50	3.5	상용개발
해수담수화플랜트와 연계된 태양광활용 수소에너지 생산기술	3.5	3.5	5	3.5	3.5	48	4.0	상용개발
차세대 하이브리드 담수화 플랜트 엔지니어링 기술개발	3.0	4.0	5	3.5	3.0	900	4.0	상용개발
담수화플랜트 통합 운전환경 플랫폼 개발	3.5	4.5	5	3.0	3.0	82	3.5	상용개발
테스트베드 적용 및 운전성능 평가	2.5	3.0	2	4.0	2.0	17	4.5	상용개발
친환경적 해수담수화 플랜트의 취수 및 배수 구조물 설계	3.0	2.5	3	3.5	3.0	20	3.5	상용개발

4. 사업추진체계의 결정

가. 연구주제의 확정

o 도출된 19개 후보과제를 중점추진분야로 분류한 후 “후보과제의 기술특성분석” 결과를 살펴보면, 5개의 중점추진분야의 성격은 아래와 같이 정리됨

- 5개의 중점추진분야는 물생산 단가 저감을 목표로 하는 상용기술개발과 환경부하저감을 목표로 하는 핵심기술개발로 분류될 수 있음

<표 3-6> 중점추진분야 및 후보과제 검토 결과

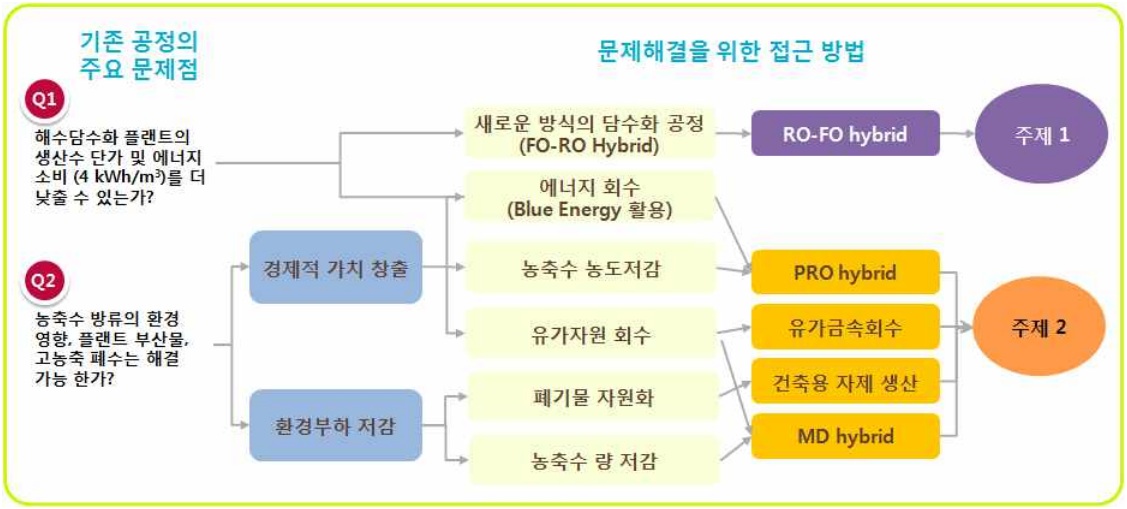
구분	중점추진분야	기술특성	최종목표	후보과제
중점추진분야 1	역삼투공정 Fouling 저감 공정강화 기술개발	상용개발	물생산단가 저감	후보과제 1~4
중점추진분야 2	해수담수화플랜트 역삼투 공정기술 개발	상용개발	물생산단가 저감	후보과제 5~8[2)]
중점추진분야 3	담수화플랜트 농축수 자원화기술 개발	핵심개발	환경부하 저감	후보과제 9~11
중점추진분야 4	해양에너지자원을 활용한 해수담수화플랜트 에너지 저감기술 개발	핵심개발	환경부하 저감	후보과제 12~15
중점추진분야 5	플랜트엔지니어링 및 ICT기반의 플랜트 O&M 기술개발	상용개발	물생산단가 저감	후보과제 16~19

- 따라서 “정삼투 융합공정”과 “에너지/자원 회수형 복합탈염 공정”을 최종 두 개의 연구주제로 도출함



[그림 3-4] 최종 연구주제

2) 후보과제 6(역삼투막의 신개념 세정 기술)은 우선순위가 높으나, 최종연구주제로 도출된 “정삼투융합공정”에 포함될 수 없어, 별도의 일반과제로 도출함.



[그림 3-5] 최종 연구주제 도출의 논리적 배경

나. 기술개발 형태의 결정

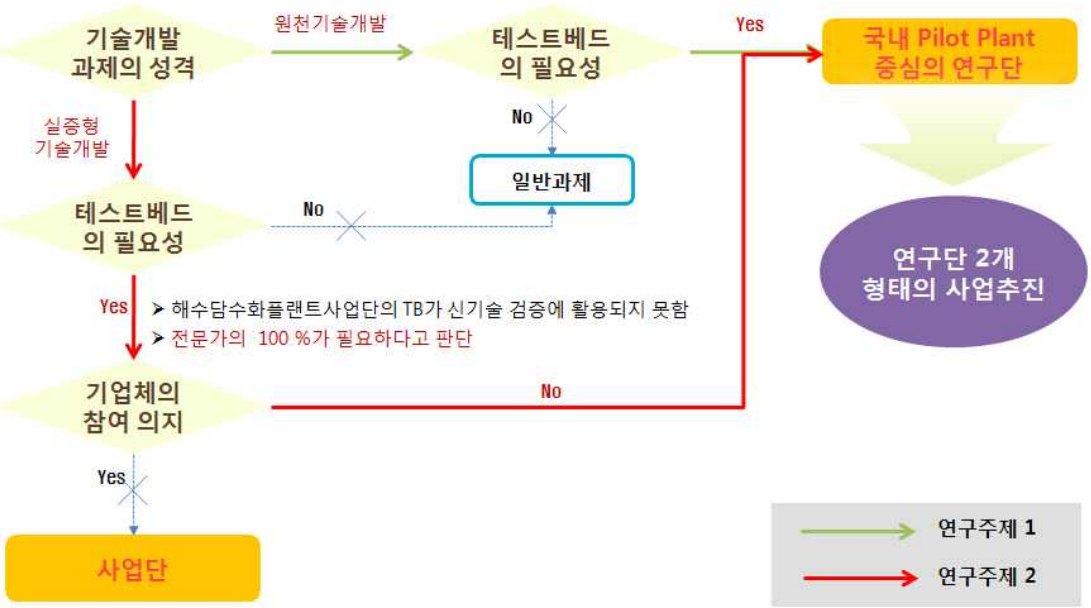
o 기획된 기술개발의 내용은 관련기술이 모두 포함된 형태이므로 기술개발사업의 형태는 연구단 또는 사업단의 형태가 가능함

- O&M과 파급효과를 고려하면 2개의 연구주제가 통합된 하나의 사업단 형태가 적합
- 기술적 발전속도, 시장 현황 및 기업의 관심도를 볼 경우 연구단형태가 적합

<표 3-7> 연구단과 사업단 추진의 장단점

구분	장점	단점
사업단	- 해외 시장의 관심집중 - O&M에 대한 기술개발 용이 - 연구결과의 기술적 검증 가능 - 원천기술부터 검증까지 모든 연구행위의 총결집 - 국가적(국토부)의 R&D영역 확보	- 연구외적 손실발생 (TB부지확보, 민원 등) - 모든 연구를 실시에 대한 시간적 부담 - 연구결과에 대한 부담발생
연구단	- 원천기술연구 확대를 통한 원천기술 확보 용이 - 연구개발 결과에 대한 부담완화 - 기술개발외 테스트베드에 대한 연구외적 손실 최소화	- 실질적인 O&M기술 개발이 힘듬 - 기술적 검증이 없어 원천기술확보에 그칠 수 있음 - 기 실시된 타 부처 사업과의 중복 가능성 - 국내용으로 전락가능(국내 해수담수화시장은 미약)

o 최종결정된 연구주제를 기술개발의 형태, 테스트베드의 필요성, 기업의 적극적 참여의지를 중심으로 검토한 결과 연구단 형태의 추진이 적합한 것으로 검토됨



[그림 3-6] 기술개발사업 형태 결정 프로세스

o 단, 연구주제의 미래지향성에 따른 위험성 때문에 Test bed가 배제된 연구단 형태의 추진체계가 적합한 것으로 결정되었으나, 연구개발의 결과물에 대한 검증 및 실증화는 필요하므로 연구단에서는 pilot 형태의 기술검증을 실시하며, 실증화는 연구단 종료 후 필요성에 따라 추진을 결정하는 것이 적합한 것으로 판단됨

- 따라서, 본 연구개발의 추진형태는 연구단 종료 후를 포함하여 3단계로 추진되는 것이 적합한 것으로 사료됨
- 두 개 연구단의 사업종료 전, 연구결과와 시장현황에 대한 분석결과를 토대로 Test bed형 실증화 연구의 추진 여부를 결정



[그림 3-7] 기술 실증화 추진 전략 및 일정계획

5. 최종사업추진 체계 및 SWOT 분석

가. 최종사업추진체계

□ 본 연구를 통해 기획된 차기 해수담수화플랜트 기술개발사업은 현재 해수담수화플랜트 사업단의 한계를 극복하기 위해 에너지소비 저감을 목표로 하는 “정삼투 융합 해수담수 고도화 연구단”과 해수담수화플랜의 환경부하 저감을 목표로 하는 “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단”으로 구성됨

<표 3-8> 사업추진 체계 최종(안)

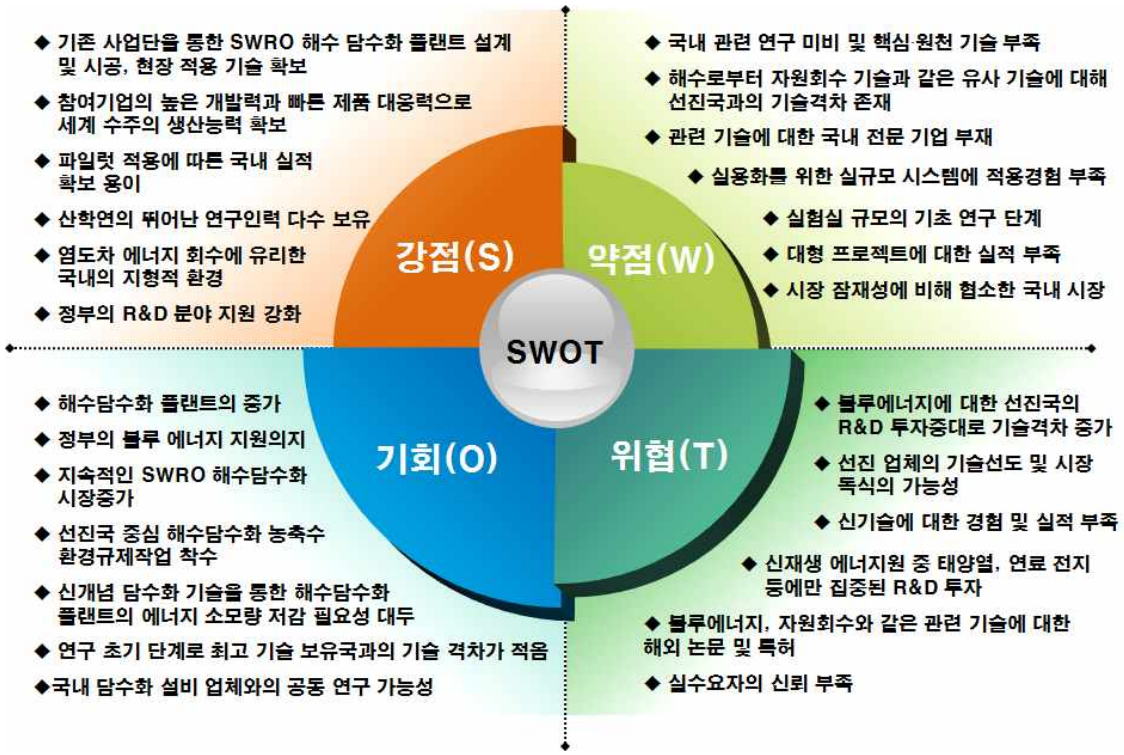
	핵심가치	목표
[연구단 1] 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단	에너지 소비 저감	• 플랜트 에너지 저감 (4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton) • 물생산 단가 저감 (기존사업단 대비 25% 저감)
[연구단 2] MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발연구단	환경부하 저감	• 농축수 30% 저감 방류 • 농축수로부터 5[W/m^2 막면적]의 에너지 회수 • 해수담수화 부산물로부터 200 [원/부산물 ton]의 가치생산

나. 연구단별 SWOT 분석

□ 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

		강점(S)	약점(W)
		· 증발법 등 중동 해수담수화 플랜트분야에서의 시공 경험 풍부 · 연구소 및 대학에서의 막방식 해수담수화 기술 기초연구 풍부 · 기반기술 및 단위 요소기술에 대한 다수의 연구실적 보유	· 엔지니어링 기술 미흡 · 원천기술의 의존도 높음 · 신규개발 기술과 소재의 현장 적용에 진입장벽 존재 · 해수담수화기술에 대한 내수시장의 전무
기회 (O)	· 유가상승에 따른 에너지절약 의식 고조 · 기후변화협약 등 환경보전 관련 국제규범 강화 · 전 세계적인 물부족 심화로 인한 지속적인 글로벌 시장성장	**(SO 전략)** · 정삼투 융합 해수담수화 기술을 국가 대표브랜드 기술로 육성 · 역삼투 기술개발의 경험을 바탕으로 정삼투 융합 기술 개발에 따른 시행착오 감소 및 홍보전략 유리 · 기초기술의 확대 및 테스트베드 적용/실증화를 통해 공정기술의 상용화 · 기반 연구인프라 및 국가연구지원을 통한 담수플랜트 기술력의 증대	**(WO 전략)** · 테스트베드(대용량 플랜트)의 성공적인 건설 및 운영을 통한 EPC와 O&M 기술의 축적 · 사업단 운영 및 국가지원확대를 통한 관련 기술 및 인력 확대 · 실증화 개발을 통한 정삼투 담수화 원천기술의 확보 · 테스트베드를 통한 개발기술의 실증화로 세계시장 진출의 기반 구축
위협 (T)	· 수처리 시설에 대한 기존의 고정관념 · 분야별 설치 및 운영 관련 기존의 인식 및 제도 · 도입단계에서의 이해부족에 따른 초기의 기피현상	**(ST 전략)** · 원천 공정기술의 확보를 통한 기술경쟁력 확보 · 국내외 기업/연구소/대학과의 공동연구를 통한 기술개발 · 관련제도 정비와 병행하여 연구 추진	**(WT 전략)** · 엔지니어링 역량강화를 위한 다양한 기술의 개발 및 통합 · 해외수준의 기술 확보를 위한 교류 강화 · 연구성과의 적극적인 홍보와 사업화 추진 · 원천기술의 지속적 확보 및 사업화

□ MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술 개발 연구단



제 5 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제 1 절 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

1. 비전 및 목표 설정

가. 비전 및 전략목표

o 정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을 통한 세계 시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발

나. 기술적 목표

o 플랜트 에너지 저감 : 4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton

o 물값저감 : 25%

다. 평가지표 및 확인방법

o 기존 방식 대비 해수담수화 탈염공정의 에너지 효율을 1.5kWh/m^3 이하 (플랜트 전체 에너지 효율: 2.5 kWh/m^3)

o 전체 시스템을 통해 만들어진 물값 대비 기존 해수담수화 시스템 비교 (30%저감)

2. 연구개발과제의 구성 및 추진내용

<표 4-1> 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단의 과제 구성

전략프로그램 과제명	세부 과제명	세부과제 정의(Description)
융합형 해수담수 고도화 연구단	정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	파울링 및 바이오파울링의 체계적인 모니터링과 분석방법을 개발하여 안정적인 시스템 운영을 위한 기술개발
	정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투 공정과 하이플럭스 역삼투 공정의 융합을 위한 요소기술개발과 대용량 플랜트를 이용한 검증 프로세서 개발
	신소재 정·역삼투 막 제조기술	역삼투 막에서 PA계열의 한계를 넘기위한 신소재를 활용한 고 플럭스 막 제조기술 개발
	저비용 전처리 기술개발	FO MBR의 원천기술 개발을 통해 기존 하수처리공정과 해수담수를 위한 전처리 공정의 통합공정 방안 제시

<표 4-2> 세부과제별 요소기술

세부 과제명	요소 기술명
정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막오염 예측 및 제어기술 개발
	정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발
정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투-역삼투 융합기술개발
	가압형 정삼투-역삼투 융합기술 개발
신소재 정·역삼투 막 제조기술	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술
	나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발
저비용 전처리 기술개발	FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발
	전처리 고효율 소독설비 개발

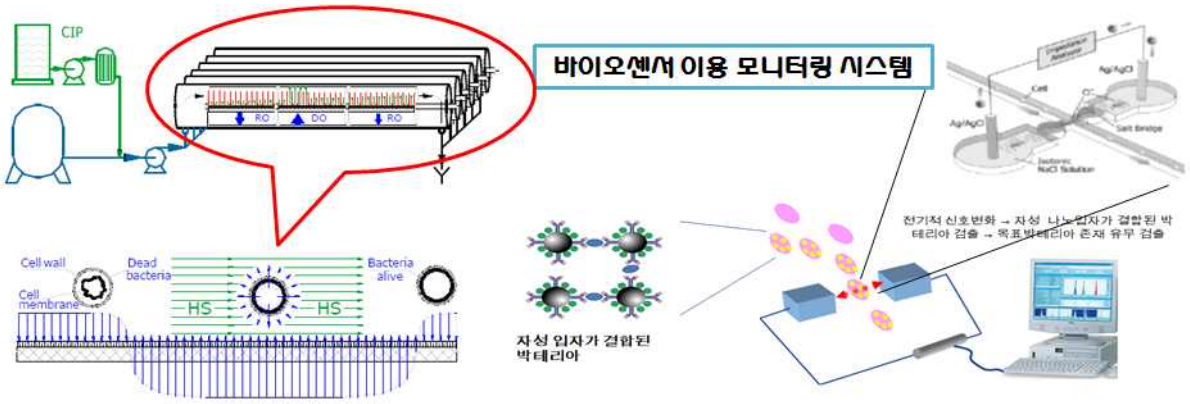
가. 정삼투-역삼투 융합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발

□ 바이오 파울링 규명 및 제어기술 개발 : 미생물 신호체계를 이용한 막오염 센서 개발

□ 막오염 예측 제어기술 개발 : FO-RO 융합 공정용 막오염지수 개발 : 해수담수화플랜트 사업단 개발 MMAS와의 연동

□ 막오염 세척기술 개발 : 막오염 인자별 물리/화학적 세척방식의 적용

□ 모니터링 시스템 개발



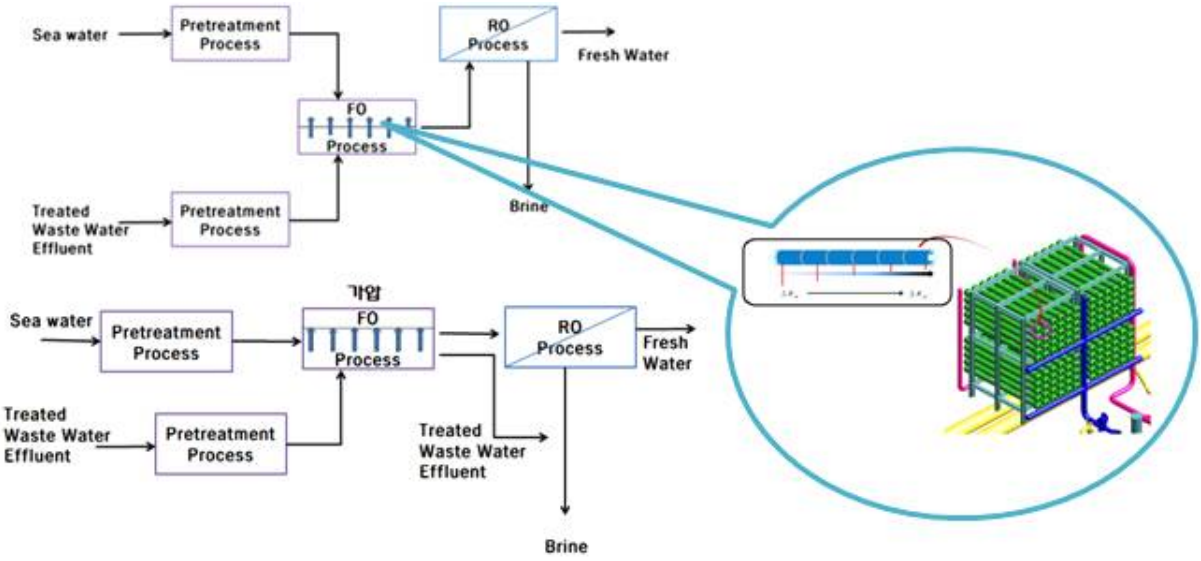
[그림 4-1] 정삼투-역삼투 융합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술의 범위

나. 점삼투-역삼투 융합엔지니어링 기술

□ 정삼투-역삼투 공정 융합 공정 : 고플럭스 역삼투막 + 정삼투 공정의 요소기술 구성 및 배치에 대한 설계 요소

□ 정삼투 융합공정 트레인 설계 기술 : 전체 트레인 설계기술 및 벳셀내 멤브레인 구성 기술 ⇒ 향후 대형 플랜트의 트레인 구성을 위한 가장 기본이 되는 설계요소

□ 해수가압을 위한 정삼투-역삼투 융합 기술 : 농도 저하가 아닌 삼투압을 직접적으로 이용할 수 있는 원천기술 확보



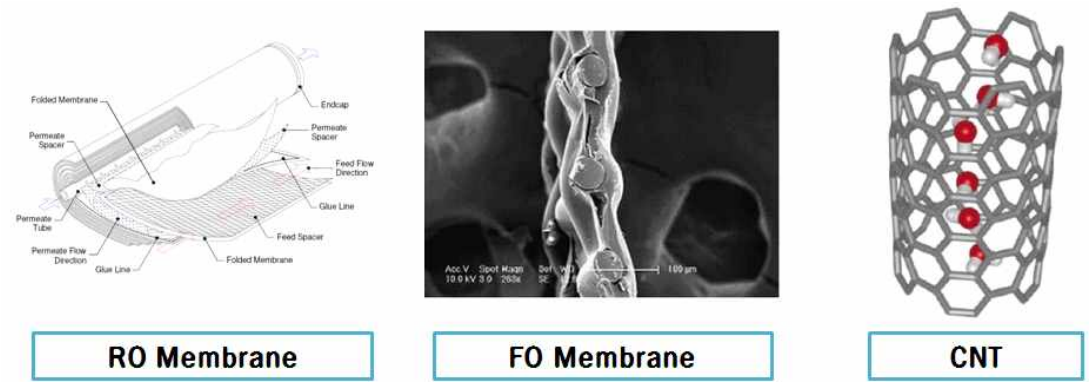
[그림 4-2] 정삼투-역삼투 융합엔지니어링 기술의 범위

다. 신소재 막 제조기술

□ 신소재 고효율 역삼투 막 제조기술 : 고압용 (32,000 mg/L 이상 고염에서) ⇒ 16,000 GPD 이상

□ 중압용 (20,000 mg/L 내외의 중염에서) ⇒ 20,000 GPD 이상

□ 나노소재 기반의 정삼투 막 제조기술 : CNT 및 나노소재 등을 이용하여 미래 정삼투 제조기술 확보 (2 LMH/Bar 이상)



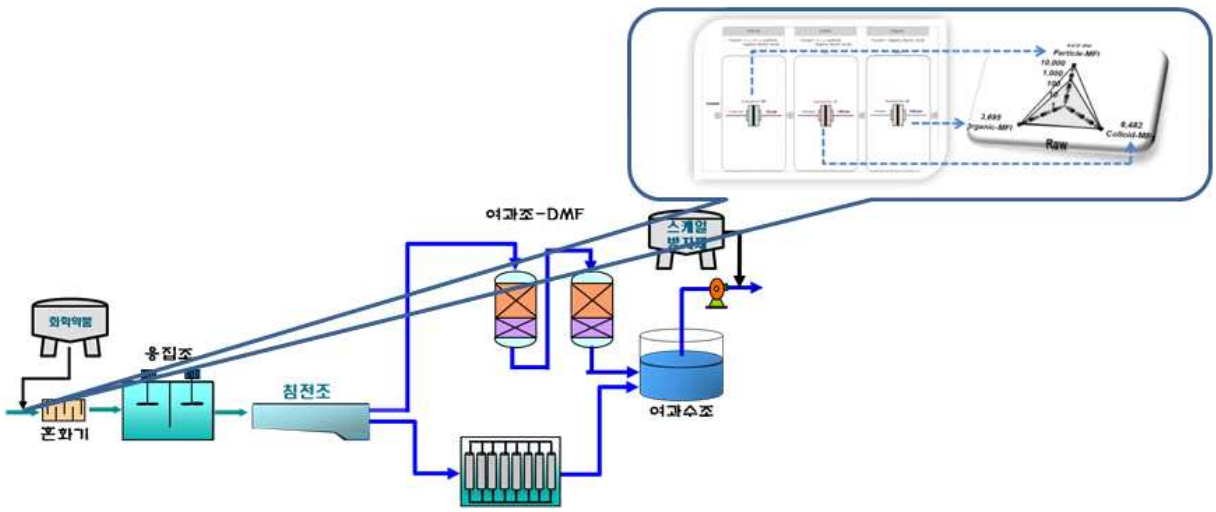
[그림 4-3] 신소재 막 제조기술의 범위

라. 정삼투-역삼투 융합공정에서의 전처리기술 개발

□ 바이오 파울링 제어용 전 소독기술 : 하수 내 파울링 인자 제거

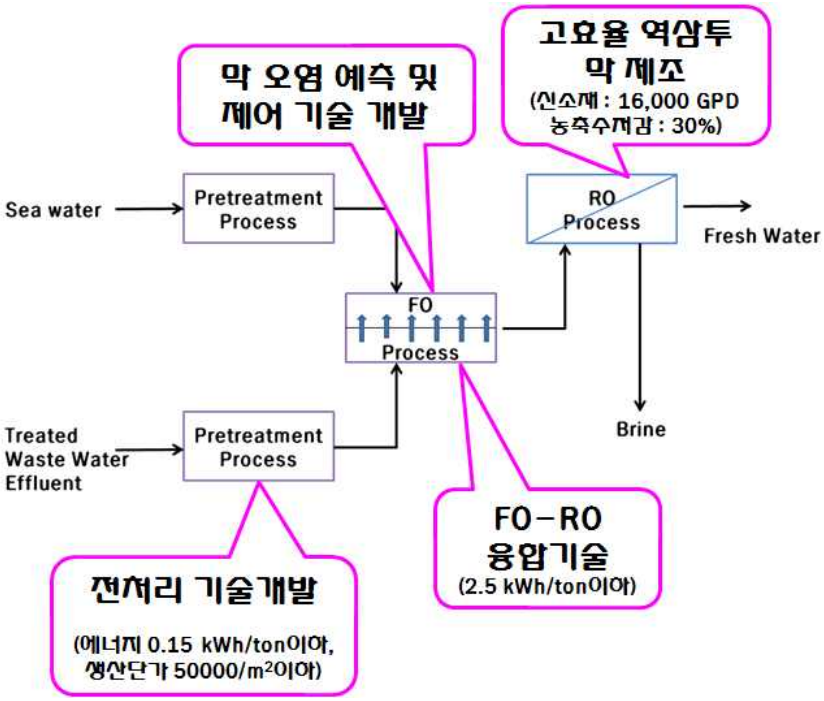
□ 하수-해수통합 전처리 공정 및 제어기술 : FO-RO 융합 공정용 막오염지수와 연동 (MFI 이용 최적 통합 전처리공정)

□ 저에너지 목표 (0.15 kWh/ton이하) : 경제적 막 제조 목표 (5만원 이하/m^2)



[그림 4-4] 정삼투-역삼투 융합공정에서의 전처리기술의 범위

3. 세부과제간 연계성 및 요약



[그림 4-5] 기술개발 Concept 및 세부과제간 연계성

o 총 4개의 세부단위로 구성되며, 모든 기술은 1000 ton/d 대용량 파일럿 플랜트에서 검증되는 것을 원칙으로 함

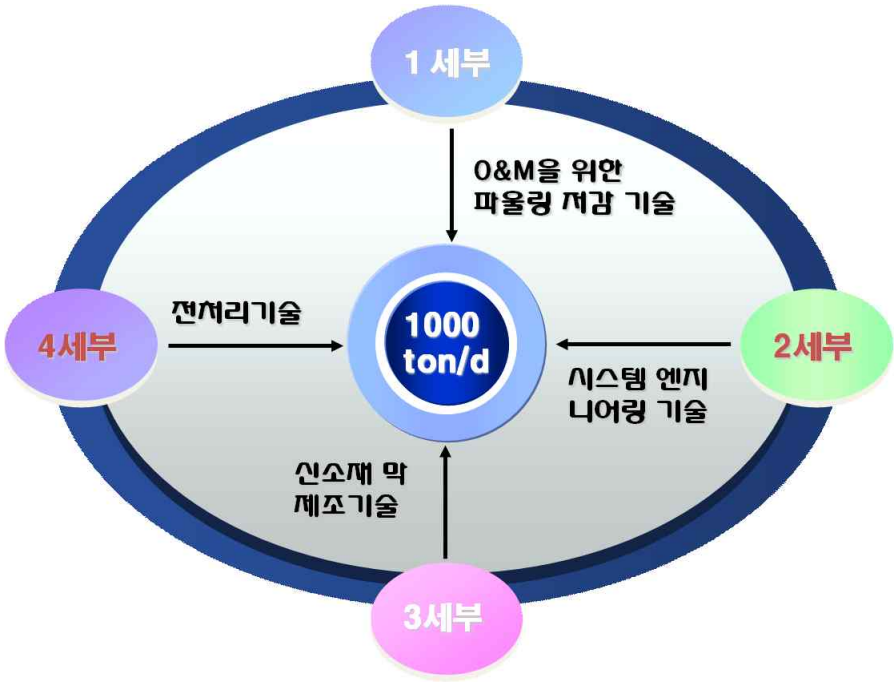
o 각 세부과제는 에너지 저감으로 초점을 맞추어 진행

- 1세부 : O&M을 위한 파울링 저감과 제어수단 개발
- 2세부 : 정삼투-역삼투 엔지니어링 기술
- 3세부 : 막 개발
- 4세부 : 전처리기술개발

o 각 세부과제는 2세부과제의 엔지니어링 기술 개발시 각각의 연구결과를 공유함으로써 연구결과를 반영한 1000 ton/d 대용량 플랜트를 건설하도록 상호간의 협조체계 마련

o 각 세부과제의 파일럿 플랜트 적용

- 연구단장은 세부과제의 결과물의 파일럿 플랜트 적용에 대한 적정성 여부를 위해 외부 평가위원등을 활용하여 성능 검증을 실시한 후 적용여부를 최종 결정하는 방식을 도입
- 연구단장은 2 세부과제와의 긴밀한 협조를 통해 각 세부과제의 결과물 적용여부를 결정하여 2단계 예산 분배 방식을 결정



[그림 4-6] 세부과제간 연계성

4. 기술개발 TRM

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1 세부과제 막 오염 예측 및 제어 기술 개발	바이오 파울링 규명		바이오 센서 개발	1000 ton/d 적용 및 자료 백업	
	막 오염 인자 규명 및 입자종류에 따른 파울링 지수 개발				
	신 개념 막 세척기법 개발				
2 세부과제 정삼투-역삼투 융합 기술	가압형 FO-RO 융합 공정 원천기술 확보			10 ton/d 파일럿 검증	
	FO-RO 융합 공정 설계기술 개발 (트레인, 벳셀 등)			자료 백업	
				1000 ton/d 파일럿 설계 및 IT기반 제어 시스템을 통한 운영기술 구축	
3 세부과제 신소재 막 제조 기술	고압 전용 역삼투막 제조 기술 확립 (신소재 발굴, 코팅기술 등 원천기술 확보)			8인치 상용화 막 제조 및 1000 ton/d 적용/검증	
	중압 전용 역삼투막 제조 기술 확립 (신소재 발굴, 코팅기술 등 원천기술 확보)			8인치 상용화 막 제조 및 1000 ton/d 적용/검증	
	나노소재 발굴 및 원천기술 확립		소형 적용 공정 개발 및 원천기술 검증		
4 세부과제 전처리기술 개발	PE 계열 등 막소재 발굴 및 제조기술 확립		상용화 UF/MF 막제조 및 공정 개발	1000 ton/d 적용	
	전극 소재 개발 및 코팅기술 확립				
		ClO2 발생 시스템 및 발생 기작 확립		소규모 반응조 실험 및 1000 ton/d 적용 및 백업	
단계	1단계 실험실 및 원천기술 확보			2단계 총괄 파일럿 연구 및 기술 검증	

[그림 4-7] 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 TRM

o 1, 2, 3 차년도 : 원천기술 개발

o 4, 5차년도 : 1000 ton/d 파일럿 플랜트를 통한 기술검증

o 세부과제의 결과물은 3차년도이후로 건설되는 1000 ton/d 파일럿플랜트 개발을 위해 필요한 부분을 공유

o 원천과제로 구분되는 세부과제 기술개발물에 대한 부분은 각각의 기술 검증 방법을 제시

제 2 절 MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

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%달성**으로 설정함

o 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

o 선진기술 추격형 기술개발을 목표로 하는 기존의 해수담수화플랜트사업단과 달리, 차기의 미래기술개발은 기술우위를 선점할 수 있는 탈추격형 차세대 RO기반 기술개발이어야함

o 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

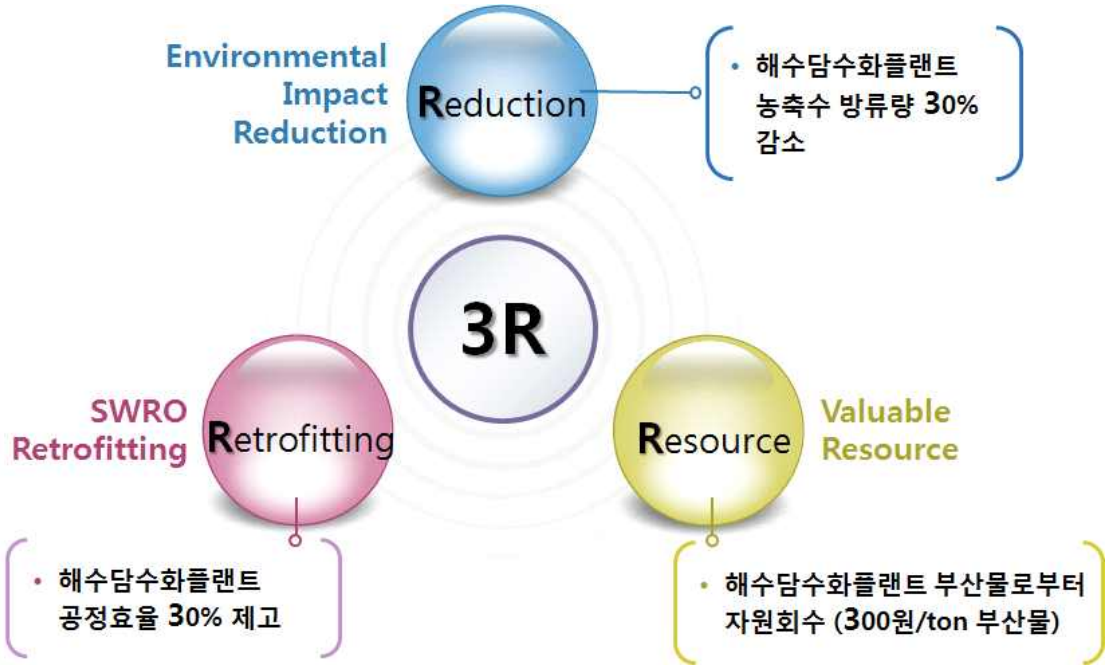
□ 막 증발법(MD)과 압력지연삼투(PRO) 두 가지 핵심공정을 최적 조합하여 세계시장을 선도할 수 있는 MD/PRO 복합탈염 기술 개발을 개발하는 것이 본 연구단의 기술적 목표임

o 정량적 목표

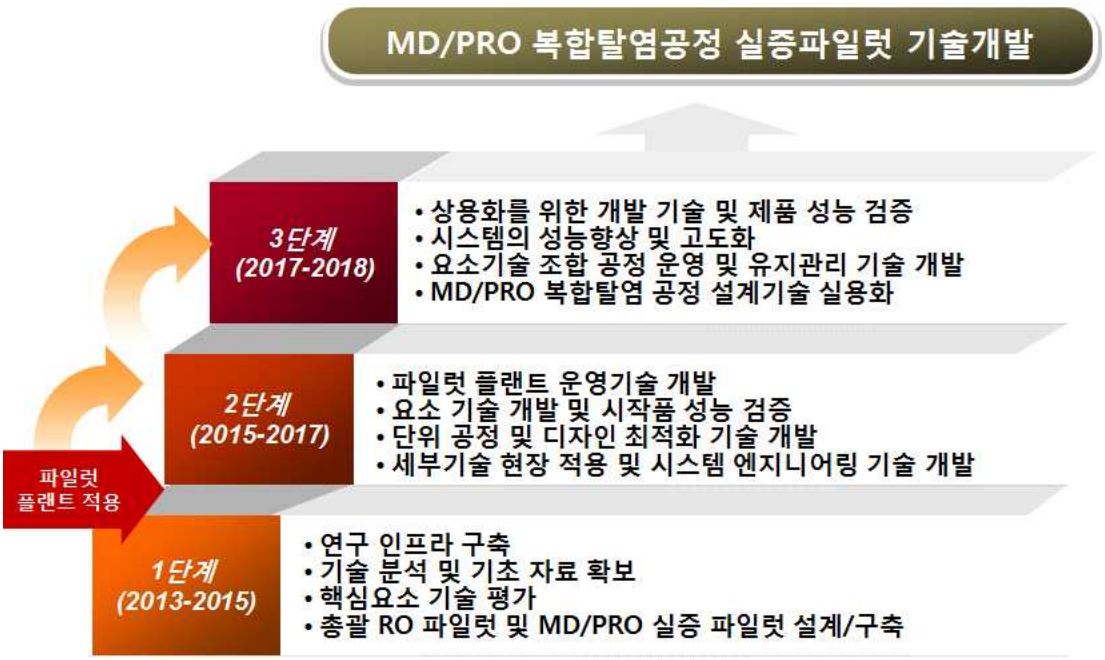
- 해수담수화플랜트 공정효율 30% 제고
- 해수담수화플랜트 농축수 방류량 30% 감소
- 해수담수화플랜트 부산물 자원화 (300원/ton 부산물)

o 정성적 목표

- 국내 기술의 해외시장 진출을 촉진하기 위해 개발기술을 검증할 수 있는 실적 확보를 위한 파일럿 플랜트 구축



[그림 4-8] 연구단의 3대 기술목표 : 3R



[그림 4-9] 연구단 단계별 추진 전략

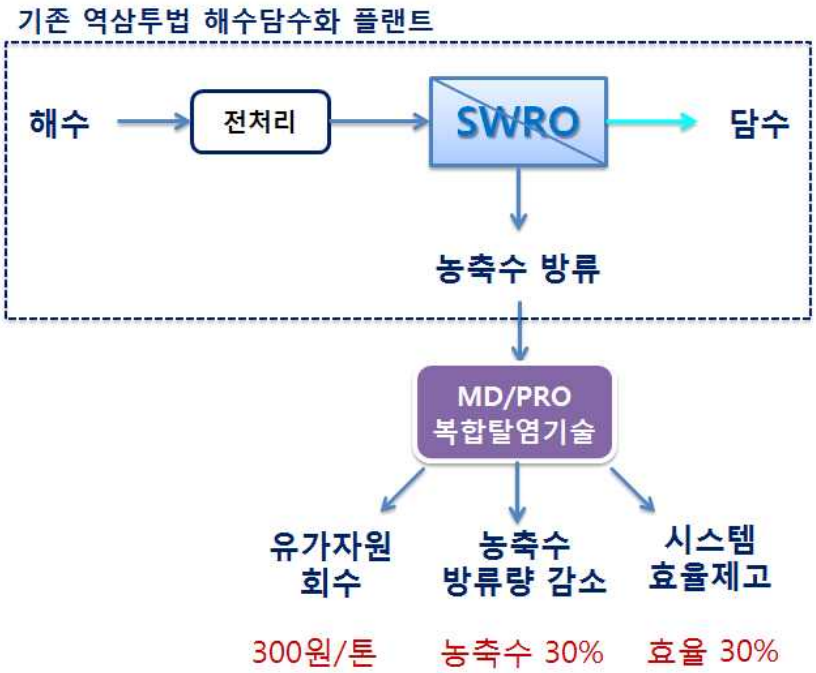
2. 기술개발에 따른 미래상

□ 기술개발을 통한 다양한 시장 공략 가능

o 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.

o 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

o 결론적으로 신규 해수담수화 플랜트 시장 뿐 아니라, 노후화된 기존 해수담수화 플랜트의 개량, 보수에도 적용이 될 수 있으므로 공략 대상 시장의 범위가 넓음



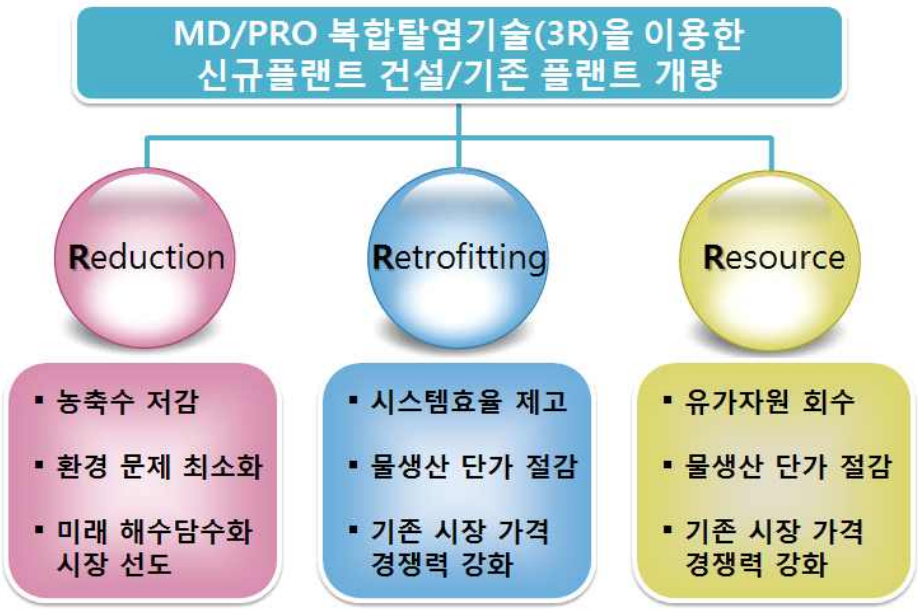
[그림 4-10] 기존 역삼투법 해수담수화플랜트와 MD/PRO 복합탈염기술의 연계

□ 연구단에서 추구하는 3R 달성 시의 기대효과

o Retrofitting: 해수담수화플랜트 공정효율 제고를 위한 융합공정 개발

o Reduction: 농축수 저감을 통한 환경문제 최소화, 향후 미래담수화 시장 선도

o Resource: 플랜트 부산물(농축수, 세정폐액 등)로부터 유가 자원을 회수하여 추가적인 부가가치 창출



[그림 4-11] 연구단에서 추구하는 3R 기술목표 달성 시 기대효과

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

o 탈추격형 RO 선진기술개발로 세계 담수화 플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보

o 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

o 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

o 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

o 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)

o 소비 전력량 저감에 따른 화석 연료 사용 감소

3. 연구개발과제 구성

□ 연구단의 3대 기술목표에 맞춰 3개의 세부과제로 구성

o 1세부 : MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술 개발

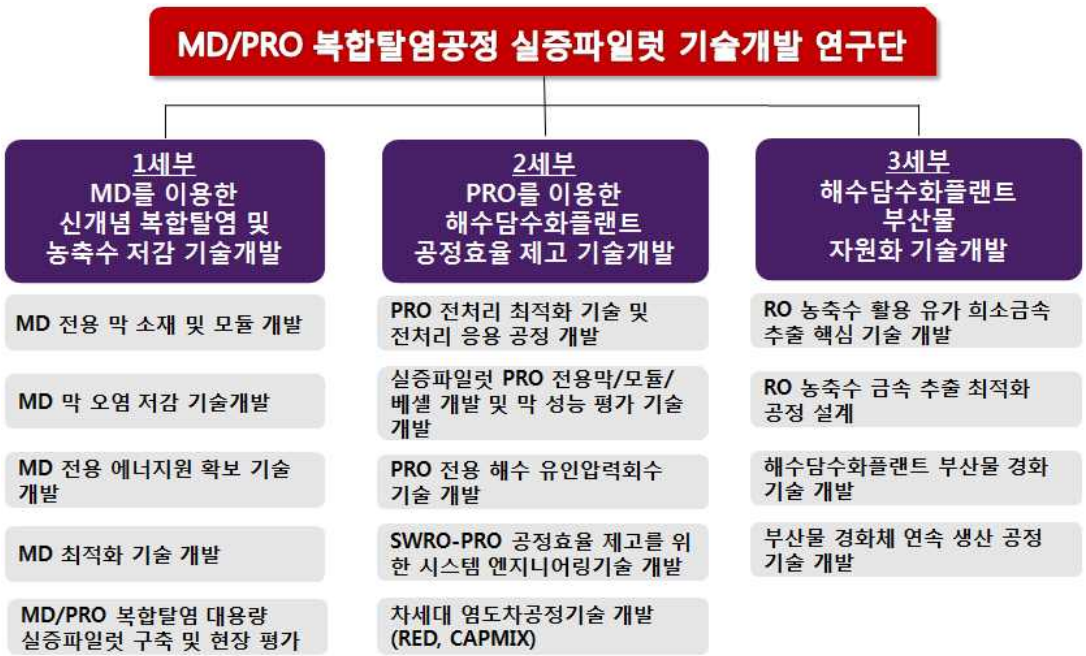
o 2세부 : PRO를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발

o 3세부 : 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

□ 각 세부과제에서 개발된 기술을 테스트하기 위한 파일럿 플랜트 구축

o 1세부과제에서 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축

o 2, 3세부과제에서 개발된 기술을 1세부과제의 대용량 실증 플랜트에 적용



[그림 4-12] 연구 개발 과제 구성도

4. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

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

□ 연구개발의 목표

o 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 ㎥/일 규모 이상의 막 증발법(MD) 적용 신개념 복합탈염 파일럿 플랜트 구축

□ 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

o 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 경향이기 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 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요
- 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음

o 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

□ 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

o 막 증발법(MD) 기술은 국내에서 아직 체계적인 연구가 추진된 바 없음

o 기존 해수담수화 사업단의 역삼투법 해수담수화 모형플랜트 : 기존 시설로부터 생산되는 농축수를 이용할 수 있도록 모형플랜트 시설 설치

o 해수담수화플랜트사업단에서 개발된 농축수 관련기술을 토대로 장단점 분석 후 신기술 적용에 따른 경제성 확보와 상용화 추진

□ 연구개발 주요 내용

o 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

o 막 증발법의 막 오염저감 기술 개발

- 막 오염저감을 위한 공정 설계 기법 개발
- 막 오염저감 운영 기술 개발 및 확보
- 최적 전처리 기술 개발

o 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

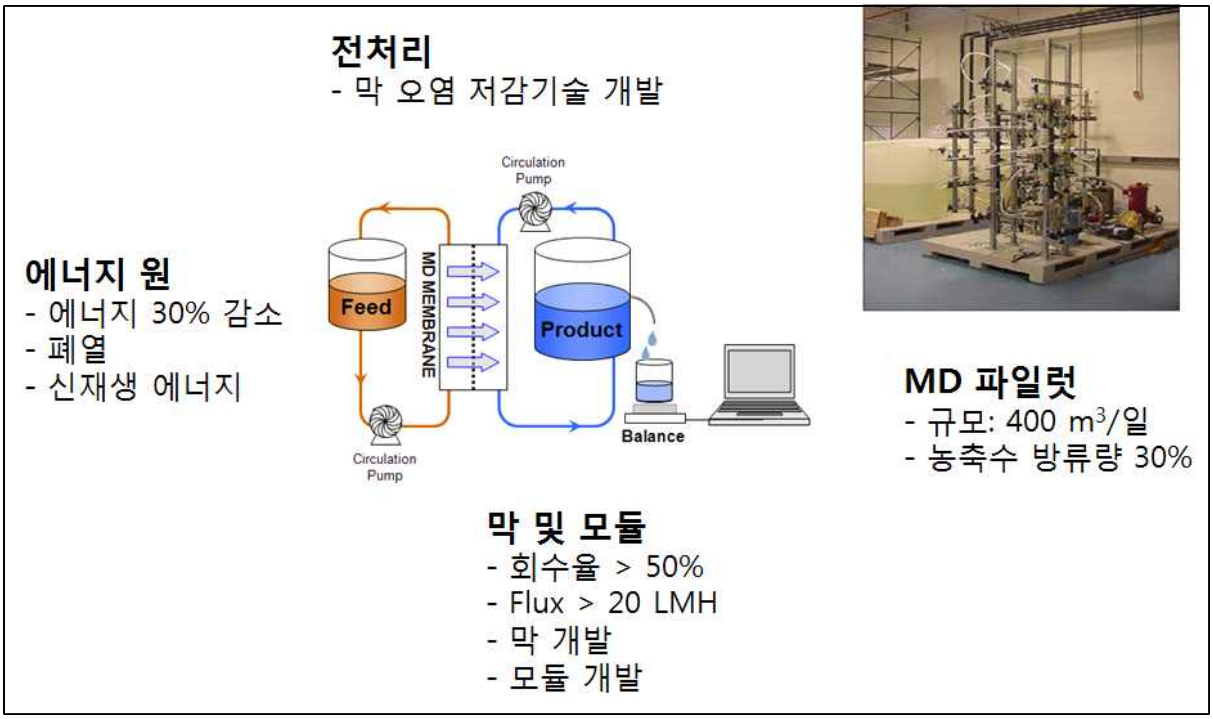
o 막 증발법 최적화 기술 개발

- 막 증발법 파일럿 플랜트 (400 ㎥/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)

o 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

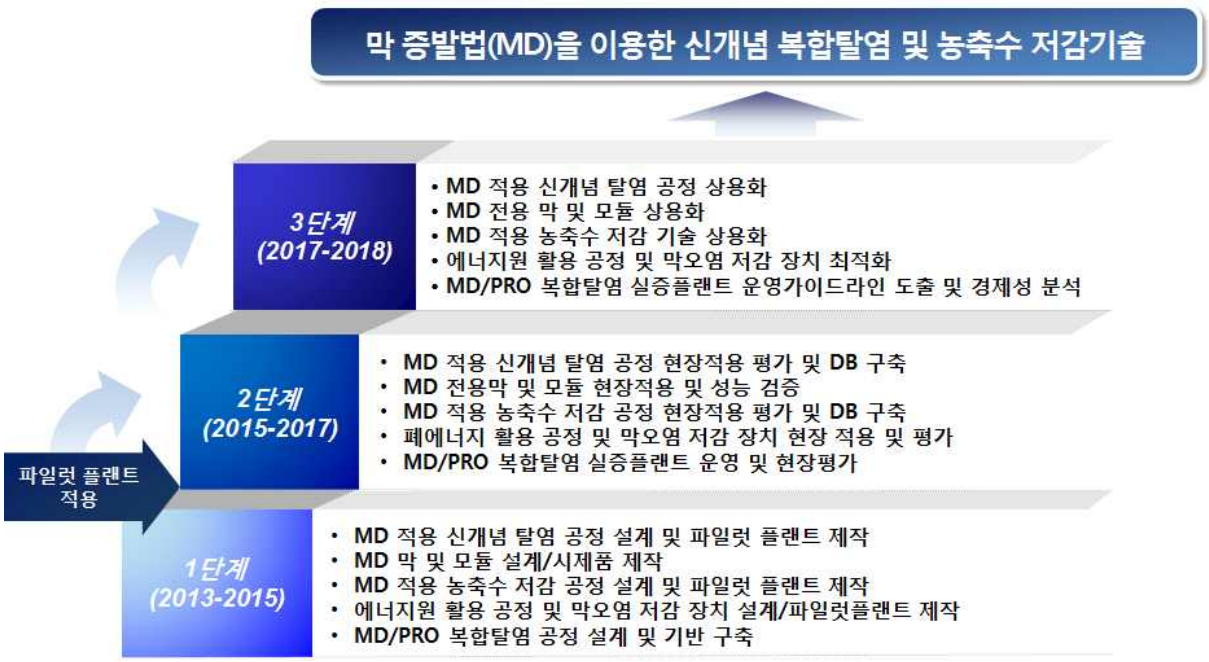


[그림 4-13] MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 개발 내용

나. 연구개발과제 TRM

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
		에너지 최적화 공정 설계	에너지 최적화 기법 적용 평가		에너지 최적화 운영기술		
	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	

[그림 4-14] 1세부과제 연구개발 TRM



[그림 4-15] 1세부과제 단계별 추진 전략

□ 최종성과물 및 성과지표

o 400 ㎥/일 규모의 MD 적용 탈염 파일럿플랜트 구축

o 막오염 절감형 막 증발법(MD) 장치 및 운영 기법개발

o MD 전용막 및 모듈 개발

o 폐에너지를 조합한 MD 공정 적용 복합탈염 기술

o MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 구축 및 운영 가이드라인 도출

□ 성과물 검증방안

o MD 적용 신개념 탈염공정 성능

o MD 전용막을 적용한 농축수 저감율 및 회수율 (농축수 30% 저감)

o MD 전용막의 수투과율 및 염배제율

o 폐에너지를 조합한 에너지 절감율

o MD/PRO 복합 탈염 실증 플랜트 운영 결과

□ 기술수요처 및 사업화 방안

o 국내 막제조사를 통한 제품 개발 및 사업화 추진

o 기존 역삼투 공정을 기반으로 하는 해수담수화 플랜트 개량 사업

o 기존 역삼투 공정을 기반으로 하는 해수담수화 플랜트 농축수 저감 개선 사업

o MD를 적용한 신개념 복합탈염 기술 상용화 및 해외시장 진출

o MD를 이용한 농축수 저감 기술 상용화 및 해외시장 진출

다. '압력지연삼투 (PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 에너지 회수 기술 개발'과제 개요

□ 연구개발의 목표

o 막 면적당 전력생산효율 5W/m^2 이상인 실증파일럿 PRO 전용막 및 모듈 (Spiral wound type, 8인치) 개발

o SWRO-PRO 공정을 통해 최종적으로 생산수 단가를 저감할 수 있는 압력지연삼투 (PRO) 실증파일럿 전용막 개발 및 공정 효율 향상을 위한 시스템 엔지니어링 기술을 개발

o SWRO 공정 농축수 및 MD/MCr 공정 농축수를 사용하는 PRO 실증 파일럿 건설 (막 면적당 평균 전력생산효율 5~7.5W/m^2)

□ 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

o 연구개발 필요성

- 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
- 해수 자원이 풍부한 국내의 경우 무한한 해수자원을 이용할 수 있기 때문에 개발 가능성 높다고 할 수 있음
- 현재 염도차 기술을 이용하는 압력지연삼투(PRO)에 대한 연구는 전 세계적으로 기술개발 초기 단계이므로 조기에 원천기술을 확보한다면 기술선점이 가능할 것으로 보임
- 상용화를 위한 염도차 기술 개발에는 반드시 실험실 규모가 아닌 파일럿 규모의 연구를 진행해야 하며 규모의 경제 실현이 필요
- 압력지연삼투(PRO) 전용막 역시 파일럿 규모의 실증 연구를 통해 목표 성능 개발을 달성할 수 있으며, 이를 통해 전용막과 공정기술의 개발이 동시에 이룰 수 있음
- 현재 노르웨이의 Statkraft 사가 유일하게 실증 PRO 발전 플랜트를 건설하였으며 해당 플랜트를 통해 막 제조회사들이 PRO 전용막의 성능을 검증하고 있는 것으로 확인됨
- 이처럼 국외 파일럿에 전용막 테스트를 의존할 경우, 관련 막 제조 기술 및 공정기술이 국외에 종속될 수 있는 우려가 있기 때문에 국내적으로 PRO 원천기술을 확보해야할 필요성 있음

o 정부지원 필요성

- 국제적으로 심화되고 있는 물 부족 및 에너지 고갈 문제에 대비한 연구가 활발히 진

행되고 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 누출과 미래 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 시장의 기술선도국 독점화가 우려됨
- 현재로써는 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 예상 됨
- 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

□ 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

o 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 시장진출형 기술 개발을 목적으로 함
- 기존 과제는 4 W/m2 PRO 막·모듈 제작 및 5 kW 급 발전용 터빈을 개발하는 것이 목표이나 본 연구단은 PRO 전용 회수장치 개발 및 5 W/m2 (시장진출을 위한 경제성을 갖는 최소전력밀도) 이상의 PRO 막·모듈 및 베셀 개발이 목표라는 차이점이 있음. 기존 과제와의 연계를 통해 목표하는 막 성능에 도달하는 시간을 절약할 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 목표함

o 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 4-3> 기존 연구와의 중복성 검토

<table>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="3">정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발</td></tr>
<tr><td>수행기관</td><td>한국기계연구원</td><td>발주기관</td><td>지식경제부</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td>2009.10 - 2014.09</td><td>연구비 (천원)</td><td>23,965,000
(정출연 12,780,000)</td></tr>
<tr><td>연번</td><td colspan="2">연구 주요 내용</td><td>중복성 검토 및 차별화 방안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td colspan="2" rowspan="2">담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험</td><td>중복없음 | 연계가능 | 지능화 | 중복됨</td></tr>
<tr><td>본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td colspan="2" rowspan="2">실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작
(해수-담수)</td><td>중복없음 | 연계가능 | 지능화 | 중복됨</td></tr>
<tr><td>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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td colspan="2" rowspan="2">회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발</td><td>중복없음 | 연계가능 | 지능화 | 중복됨</td></tr>
<tr><td>본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 해수 유인 압력회수기술을 개발하고자 함.</td></tr>
</table>

□ 연구개발 주요 내용

o PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용공정 개발

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

o 실증파일럿 PRO 전용막 개발 및 막성능 평가기술 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

o PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발

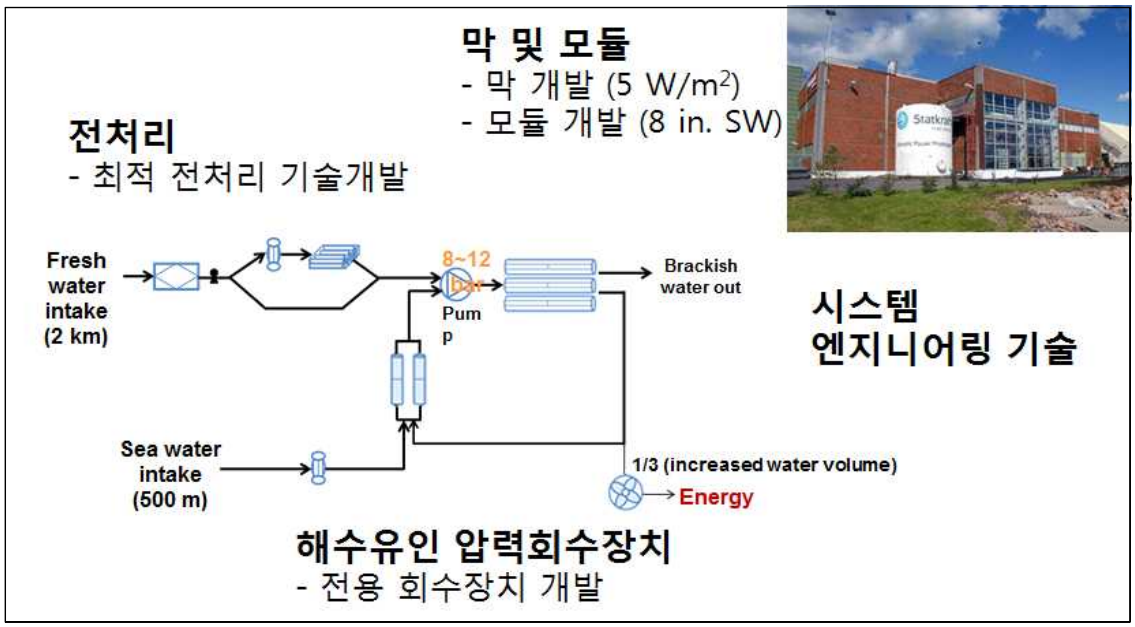
- 저압에서 압력 회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발

o 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

o 차세대 염도차 공정기술 개발 (RED, CAPMIX)

- RED, CAPMIX 전용막 개발
- 저 저항의 셀 및 스택 디자인 기술 개발

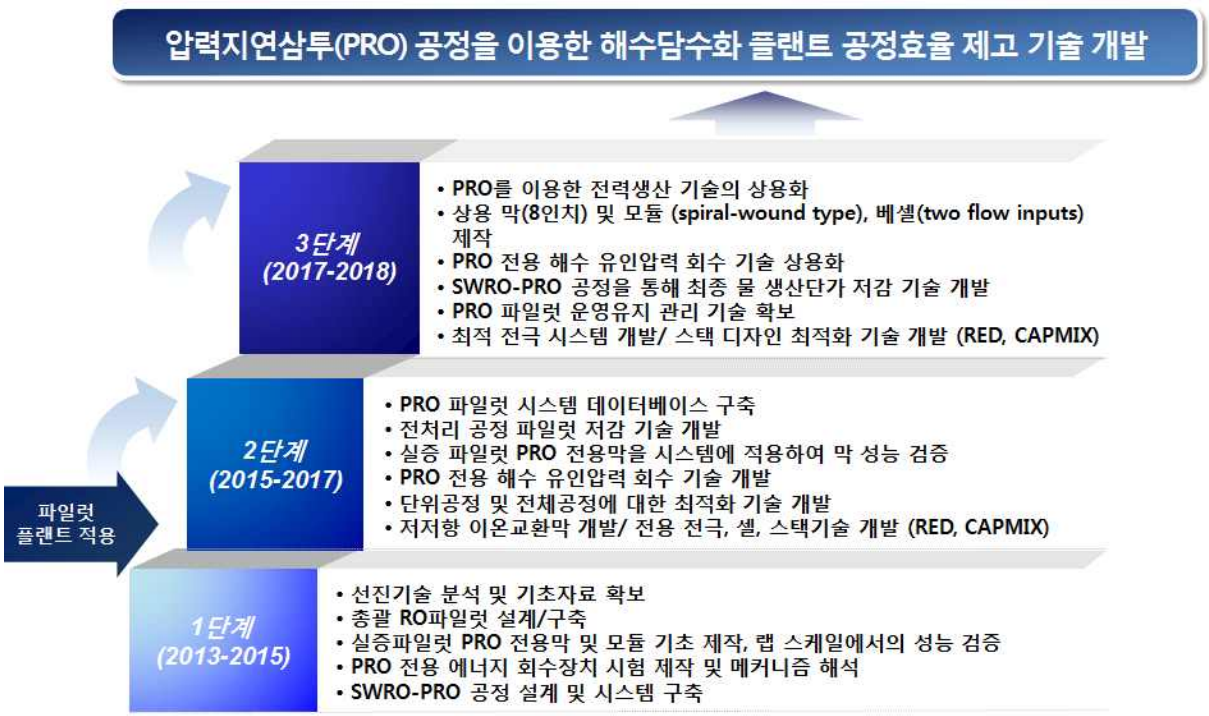


[그림 4-16] PRO를 이용한 해수담수화플랜트 에너지회수 기술 개발 내용

□ 연구개발과제 TRM

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 압력회수장치 개발	PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작		파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증			PRO 전용 해수유인 압력회수장치
			제어 메커니즘 해석 및 회수장치 효율 최적화			시제품 제작 및 성능 검증	
	2-4 SWRO-PRO 공정효율제고를 위한 시스템엔지니어링 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		

[그림 4-17] 2세부과제 연구개발 TRM



[그림 4-18] 2세부과제 단계별 추진 전략

□ 최종성과물 및 성과지표

o 선진국 대비 수투과율이 100% 인 고수투과도 실증파일럿 PRO 전용막 제조

o 막 면적당 전력생산효율이 5W/m2 이상인 실증파일럿 PRO 전용막 시편 제조 및 막모듈 (Spiral wound type, 8인치) 제작

o SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 사용하는 PRO 실증파일럿 최적 공정 조합 기술

o 저압에서 압력회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치

o 단위 공정 및 전체 공정에 대한 PRO 시스템 엔지니어링 기술 및 공정최적화 기술 개발 (선진국 대비 90%)

o RED, CAPMIX 전용 막 및 최적 셀, 스택 설계 기술

□ 성과물 검증방안

o 실증파일럿 PRO 전용막의 수투과율 및 전력밀도

o 실증파일럿 PRO 전용막 및 모듈을 실제 시스템에 적용하여 성능 검증

o SWRO 공정 농축수 및 MD공정 농축수를 사용하는 PRO 실증 파일럿의 전력생산 검증

o PRO 및 SWRO/수처리 조합공정의 물 생산단가

o RED, CAPMIX 전용막의 전력 밀도 및 시스템 적용을 통한 성능 검증

□ 기술수요처 및 사업화 방안

o PRO 상용막 제조기술 및 해외시장 수출

o PRO 시스템을 이용한 전력생산 기술 상용화 및 해외시장 진출

o 고효율 PRO 시스템을 활용한 물 생산단가 저감 기술 확보로 해외시장에서 경쟁력 확보

라. '해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발'개요

□ 연구개발의 목표

- o 기존 해수담수화 플랜트에서 발생하는 RO농축수로부터 유가 희소금속 Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술개발
- o 유가 금속이 회수된 RO농축수와 기타 부산물(세정폐액, 슬러지 등)을 활용하여 강도 100㎏/㎠의 건설재료용 경화체를 제조하는 기술개발
- o 기존 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)을 자원화하여 부가가치를 창출하는 기술 개발(부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치 창출)
- o 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합공정의 설계 핵심기술 개발

□ 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

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

□ 기존연구와의 중복성 및 연계 방안

- o 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
- o 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

□ 연구개발 주요 내용

o RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심기술 개발

- 희소금속 선택적 흡착 소재 개발
- 전기화학적 방법을 적용한 희소금속 추출을 위한 전극 및 전기분해 셀 개발
- 희소금속 탈착 및 분리정제 기술 개발

o RO농축수 활용 유가 희소금속 추출 최적화 공정 설계기술 개발

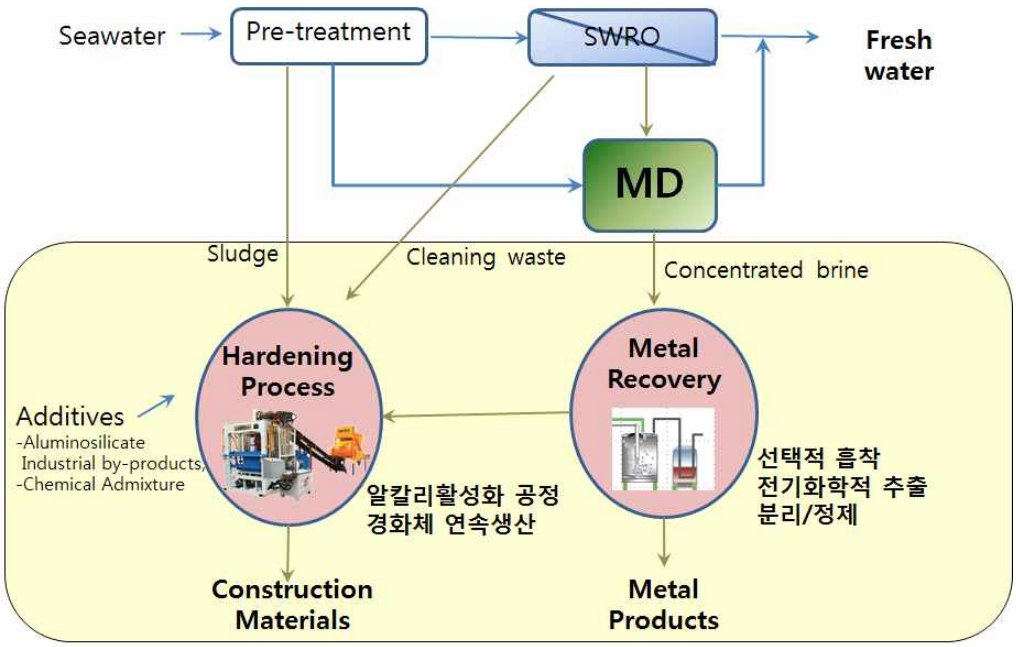
- 희소금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발
- 전기화학적 희소금속 추출 공정 설계기술 개발
- 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화

o 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발

- 해수담수화 플랜트 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)과 알루미노실리케이트계 산업부산물(슬래그, 플라이 애시, 실리카 퓸 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

o 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 4-19] 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발 내용

□ 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
3세부 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 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 금속 추출 기술
	3-2 RO 농축수 금속 추출 최적화 공정 설계		금속 흡.탈착 공정 설계기술 개발	전기화학적 금속 추출공정 설계기술 개발	소형 시스템 구축 및 최적화		• RO 농축수 활용 유가 금속 추출 소형 시스템
	3-3 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술개발	현황 및 자료 분석 부산물 성상 분석	부산물 성상별 경화기술 최적화	경화체 내구성 증진 기술 개발	경화체 유해성 평가		• 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술
	3-4 부산물 경화체 연속 생산 공정 기술 개발		경화체 연속생산 공정 설계 기술 개발	소형 시스템 구축 및 최적화			• 경화체 연속 생산 소형 시스템

[그림 4-20] 3세부과제 연구개발 TRM



[그림 4-21] 3세부과제 단계별 추진 전략

□ 최종성과물 및 성과지표

o 해수담수화 플랜트 부산물 처리 톤당 200원 이상의 부가가치를 창출할 수 있는 부산물 자원화 기술

o RO농축수로부터 유가 희소금속(Li, U, B, Rb, Sr 중 2종 이상)에 대해 회수율 80% 이상의 추출 기술

o 해수담수화 플랜트 부산물로부터 강도 100㎏/㎠의 건설재료용 경화체 제조 기술

o 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 통합 공정 설계 기술(선진국 기술 수준 대비 100%)

o 부산물 자원화 각 단위공정 및 통합공정 소형 시스템 구축(부산물 1톤/일 처리 수준)

□ 성과물 검증방안

o 해수담수화(SWRO)공정과 부산물 자원화 공정 연계를 통한 물 생산단가 감소율

o 소형 시스템 구축을 통한 RO농축수로부터 유가 희소금속 회수율 검증

o 해수담수화 플랜트 부산물로 제조한 경화제의 압축 강도 테스트

o 부산물 자원화 각 단위공정 및 통합공정 소형 시스템의 처리 용량 검증

□ 기술수요처 및 사업화 방안

o 목적별·기관별·사용자별 다양한 이해관계를 반영하여 현재 제도를 분석하고 활용 가능한 연구 성과가 도출될 수 있도록 함

o 폐기물 경화 기술 기술은 개발된 경화체의 안전성과 유해성을 평가한 후 현장에 적용하도록 추진

o 해수담수화플랜트 폐기물 자원화 통합 시스템 기술의 현장 검증 후 해외 수출방안 모색

o 국내외 관련 기술의 미래전망 및 정책동향의 지속적인 파악

o 연차별 연구 목표와 성과물 중심의 기술개발 추진 및 선택과 집중으로 대표 과제에 집중

o 국제기구 및 선진국가의 연구기관과의 네트워크 구축 및 적극적인 국제공동연구 수행

o 기존의 국내외 연구 성과를 최대한 활용하고, 단기간 내에 결과를 확보하기 위해 관련 기관과의 긴밀한 공동연구체계 구축

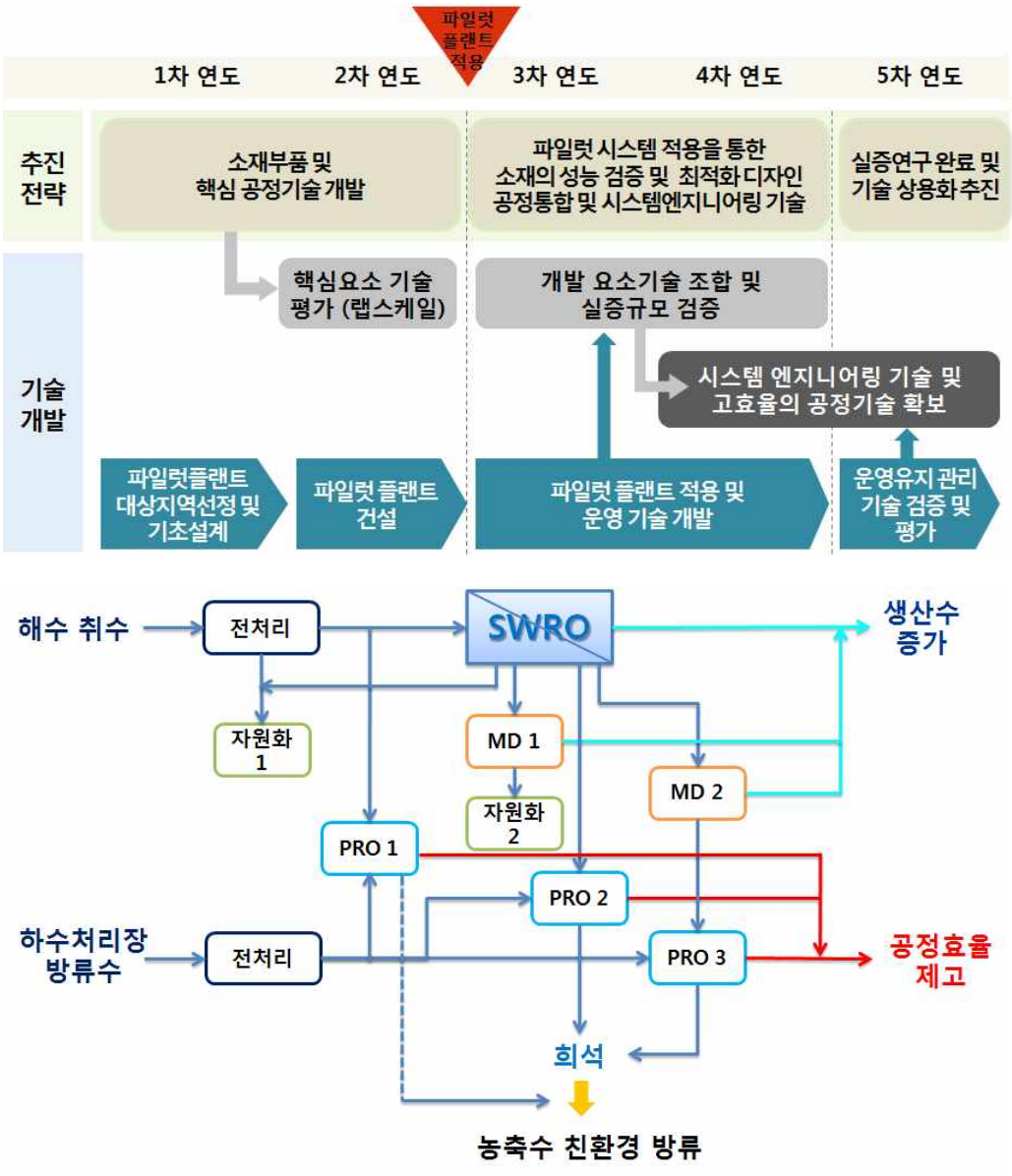
5. 세부과제간 연계관계

□ 핵심 단위기술 - 막 증발법 (MD), 압력지연삼투(PRO) 및 자원 회수 공정-의 복합 탈염 파일럿 플랜트 적용

o SWRO 해수담수화 플랜트에 MD, PRO 및 자원회수 공정 적용

o 파일럿 시스템 적용을 통한 소재의 성능 검증 및 개발 요소 기술의 실증 규모 검증

o MD 공정의 농축수를 이용하여 PRO 공정을 통한 에너지 회수 및 자원화 공정을 통한 자원 공정 구축



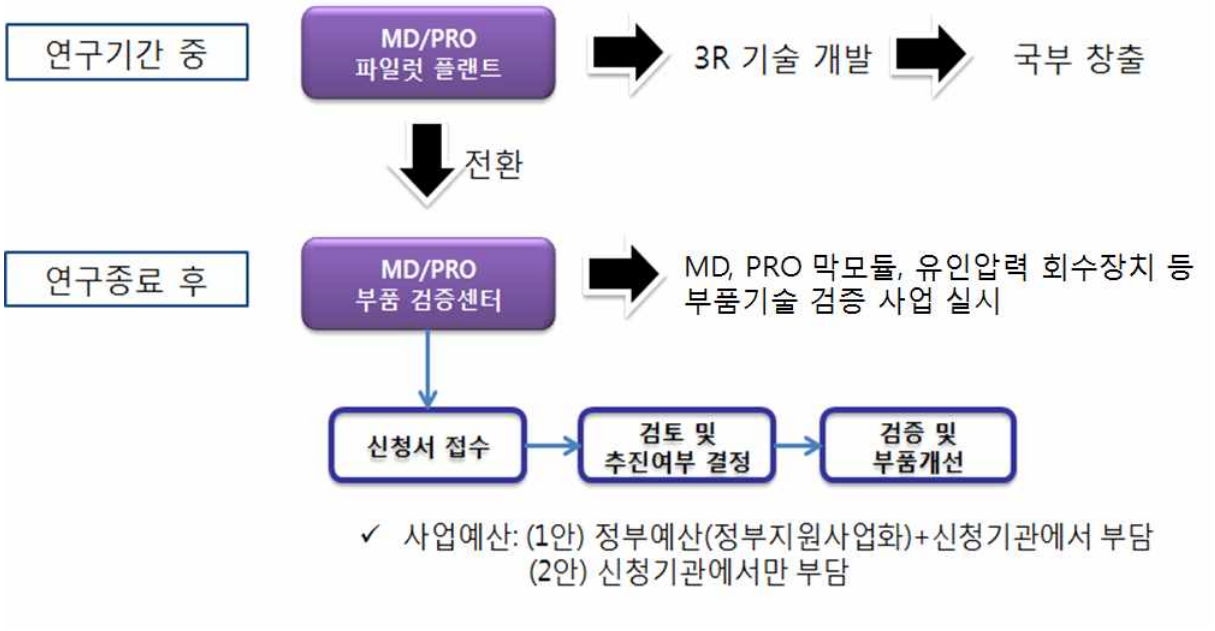
[그림 4-22] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 파일럿 플랜트 적용을 통한 개발 요소기술간 조합 공정 개발

- o MD공정에서 발생하는 농축수를 부산물 자원화 공정의 고농도 용액으로 사용
- o MD공정에서 발생하는 농축수를 PRO 공정에 사용
- o SWRO 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 부산물 (RO농축수, 슬러지, 세정폐액 등)을 부산물 자원화 공정에 사용
- o SWRO 해수담수화 플랜트에서 발생하는 농축수, 생산수를 각각 PRO공정의 고농도, 저농도 용액으로 이용
- o 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)
- o 화력발전소의 폐열을 이용하여 MD 공정의 보조 에너지원으로 사용
- o 기존 증발법 해수담수화 플랜트 성능향상을 위해 MD 공정을 추가할 경우, 증발식 해수담수화 플랜트에서 발생하는 폐열을 MD의 열원으로 활용
- o 그 외 태양열, 지열 등을 MD의 열원으로 활용할 수 있음
- o 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

- o 파일럿 플랜트 구비 시 100억에 가까운 정부 및 민간 예산이 소요될 것으로 예상됨. 따라서, 연구기간 종료 후에도 이를 활용하는 방안을 수립할 필요성이 있음
- o 연구기간이 종료 후에는 파일럿 플랜트 시설을 MD/PRO 관련 부품의 검증 시설로 활용 - MD/PRO 관련 국산 부품기술(막모듈, 에너지 회수장치 등)의 검증에 활용
- o 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(부지비용 및 부대시설 비용이 없음)



[그림 4-23] MD/PRO 파일럿 플랜트의 연구기간 종료 후 활용방안

6. 연구추진체계 제안

□ 'MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 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 6 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

o 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

o 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

□ 해수담수화 관련 미래기술은 RO기술, 부품소재개발, 에너지기술, 설계 및 시공기술, IT 기반 운영 및 유지기술 등 플랜트 종합형 기술개발사업이므로 국가주도형 사업 추진이 절실히 요구됨

o 초기투자비용 및 초기개발 부담이 크나 초기집중 투자시 기술 선점효과나 파급효과가 매우 크며, 중/장기 응용개발 기술이 요구되기 때문에 정부의 정책적 지원이 필요함

o 또한, 대규모 실용화 국가과제를 통한 시장 개척은 기업 측면에서 Risk를 줄일 수 있고, 국가 측면에서도 국가 경쟁력을 제고할 수 있는 기회가 될 것임

□ 전 세계적으로도, 물산업 시장의 경쟁이 심화됨에 따라 각국의 정부의 자국기업 육성을 통한 산업육성을 위한 노력이 다각적으로 이루어지고 있음

o 싱가폴의 하이플럭스사는 정부의 R&D 지원을 통해 성장한 기업의 대표적인 사례임

<성공사례> 싱가폴 하이플럭스(Hyflux)社

◇ 하이플럭스(1989년 설립)는 1999년에 자체 고유기술을 이용한 멤브레인을 개발하였으나 사업경험 미비로 시장에 안착하지 못함

◇ 싱가폴 정부는 심각한 물부족 현상에 대응하고 자국 물산업을 육성하기 위해 세계적 규모의 Newwater 프로젝트를 진행하였으며, 자국 기업의 적극 참여 유도

- Newwater 프로젝트는 물 자급률 90%를 목표 달성을 위한 수자원 활용 효율 극대화를 위해 해수담수화, 하수재처리, 수질개선 및 재이용으로 이루어지는 수자원 순환 핵심사업
- Newwater 프로젝트 예산의 50% 정도를 해수담수화에 투입되었으며, 현재는 해당기술을 이용한 해외진출 활발

◇ 하이플럭스(1989년 설립)는 Newwater 프로젝트 참여를 통해 자체 개발한 멤브레인 전처리(pre-treatment) 시스템을 활용하고, 운영사업까지 경험하고 이를 토대로 중동과 중국 등 해외에서 활발한 사업 전개

- 초기에는 자체적으로 멤브레인을 개발하였으나 현장 적용 사례 부족 등으로 시장안착에 실패
- 싱가폴 정부의 자국 기업의 적극적 참여 유도 정책의 혜택으로 개발 기술을 싱가폴 정부가 기획·발주한 '투아스 플랜트(Tuas Plant)(2003년)' 사업에 적용하여 멤브레인 기반의 담수 플랜트 사업 경험
- 최근에는 멤브레인 기반의 세계 최대 담수시설인 알제리 막타(Mactea) 50만톤 담수 플랜트를 GE 컨소시엄과 경쟁하여 수주

※ Newater 프로젝트

물 자급률 90% 목표 달성을 위해 해수담수화, 하수재처리, 수질개선 및 재이용으로 이루어지는 수자원 순환 핵심사업 프로젝트 예산의 50% 정도가 해수담수화 사업체 투이보디었으며, 현재는 해당기술을 이용한 해외진출 활발히 추진 중

[그림 5-1] 싱가폴 Hyflux 사의 정부 지원 사례 (환경부, 2010)

o 일본정부에서도 2009년부터, 해수담수화 요소기술과 시스템기술 연구개발을 목표로한"Mega-ton Water System"project를 기획/수행하며, 자국기업 (TORAY, HITACHI)을 육성함

□ 따라서, 동 사업은 기대되는 파급효과와 타국의 사례에서 볼 수 있는 산업적 정책측면에서 정부의 지원 타당성이 높은 것으로 판단됨

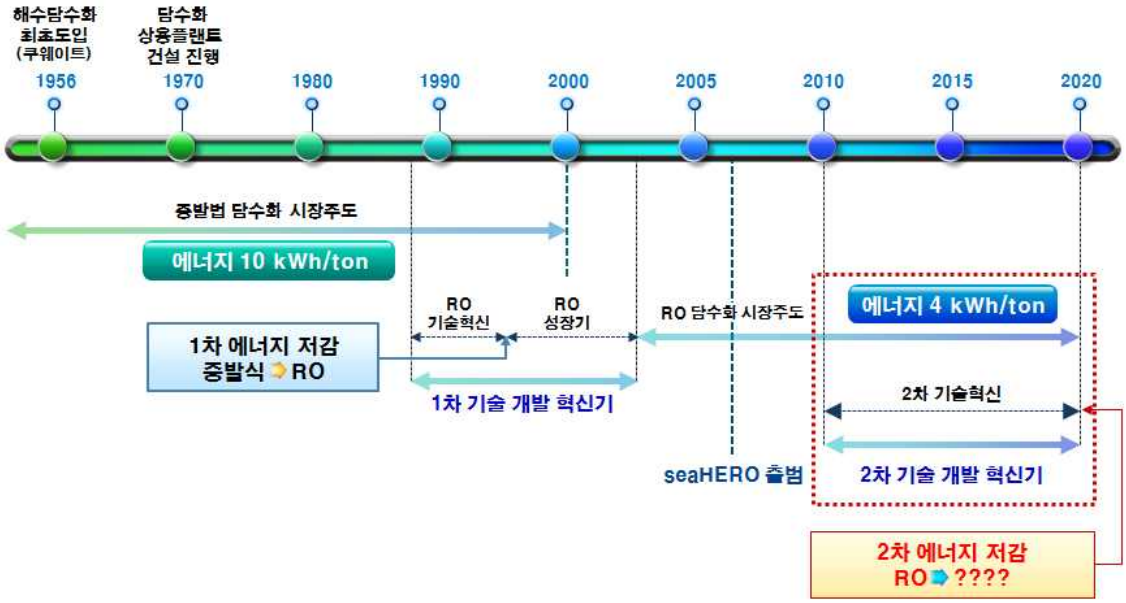
다. 사업추진의 시급성

□ 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

o 현 국내 기술은 전력소요량 4 kWh/m^3 내외까지 확보되었으나, 세계 수준인 3.0kWh/m^3의 75% 수준에 불과하여 실질적으로 수주와 연결되기에는 O&M적인 요소 (전력비 저감) 면에서 열세로 증발식에서와 같은 지위를 기대하기에는 무리

□ 이와 같은 시장경쟁력 열세의 주요원인은 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



[그림 5-2] 해수담수화 기술의 발전 방향

2. 상위계획과의 부합성 (정책적 일관성 분석)

가. 상위 유관계획과의 부합성

□ 본 사업은 “과학기술기본계획(2008. 8)”, “신성장동력비전 및 발전전략(2009. 1)”, “녹색기술연구개발종합대책(2009. 1)” 및 “건설교통 R&D 혁신로드맵(2006. 5)”에 부합됨

o [과학기술기본계획] 해수담수화플랜트 관련 기술은 7대 중점분야의 주력기간산업 기술고도화에 포함

o [녹색기술 연구개발 종합대책] 27대 중점육성 기술 중 “대체수자원 확보 기술” 과 “폐기물 저감, 재활용, 에너지화 기술” 분야와 부합

o [신성장동력 비전 및 발전전략] 녹색기술산업 분야의 고도물처리 분야에 포함됨

o [건설교통 R&D 혁신로드맵] 국토해양부에서는 혁신로드맵에 의거하여, 세계시장의 경쟁력 유지를 위한 세계 최고수준의 역삼투 방식 담수플랜트 기술개발을 위한 해수담수화플랜트사업단을 중점 프로젝트인 VC-10으로 선정・추진



[그림 5-3] 해수담수화플랜트 기술과 정부정책의 연관성

3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계 (정책적 추진의지 분석)

□ 국토해양부의 추진의지

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

4. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

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

<표 5-1> 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	테스트베드 구축이 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

o 두 개의 연구단 모두 사업목표를 구체적으로 제시하고 있음

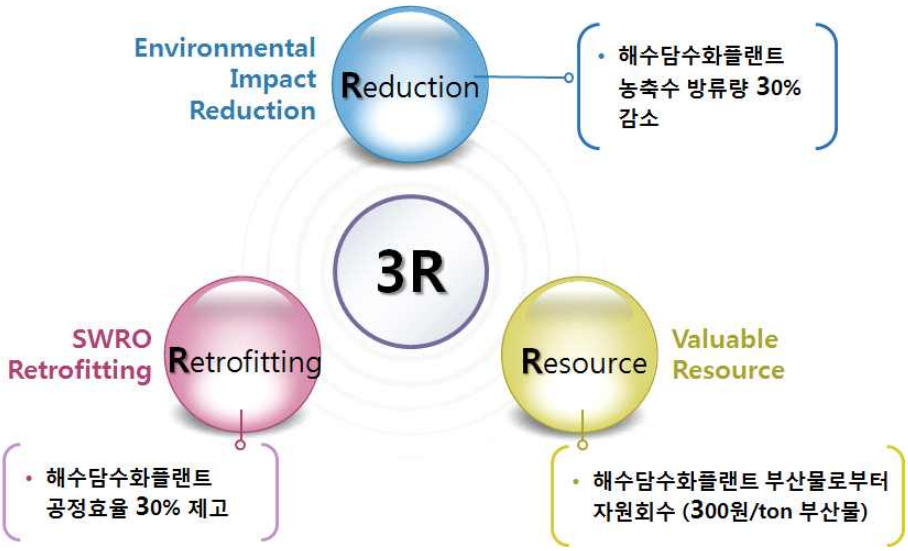
- 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

※ 사업의 비전 및 전략목표를 " 정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을 통한 세계시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발" 및 "플랜트 에너지 저감(4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton), 물값저감(25%)"로 구체적으로 제시하고 있음

- MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

※ 사업의 비전 및 전략목표를 "세계시장선도형 역삼투 해수담수화 기술확보" 및 "역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성"으로 구체성으로 제시하고 있음

※ 비전 및 전략목표에 따른 기술적 목표를 정량적으로 제시하고 있음



[그림 5-4] 연구단 2의 3대 기술목표 : 3R

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

□ 사업내용의 논리성 및 적절성

o 세부과제의 내용, 범위 등이 구체적으로 정의되었음

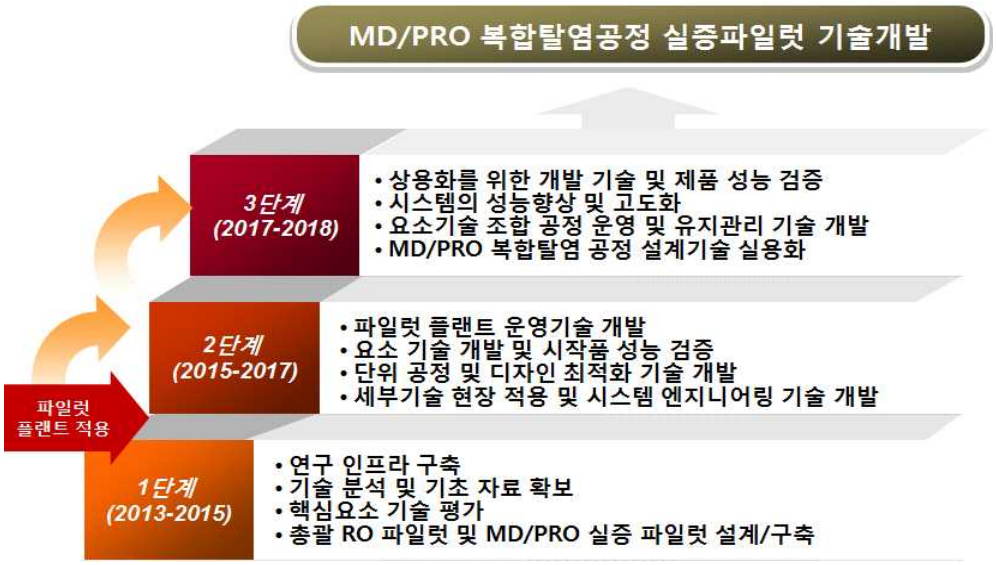
- 세부과제의 범위, 기술개발 목표가 구체적으로 정의되어 있으며 공동과제별 연구내용이 연차별로 서술되어 있음
- 세부과제간 연계관계가 구체적으로 서술되었으며, 각 세부과제간의 역할 및 관계, 공동 과제간의 연계관계가 도식화 되어있어 사업목표를 위한 세부과제 선정의 논리적 근거를 제시함
- 연구개발과제의 도출 프로세스를 제시함으로써 중점추진분야 및 세부과제 도출의 적절성을 제시함

나. 사업추진전략의 적절성

□ 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

o 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



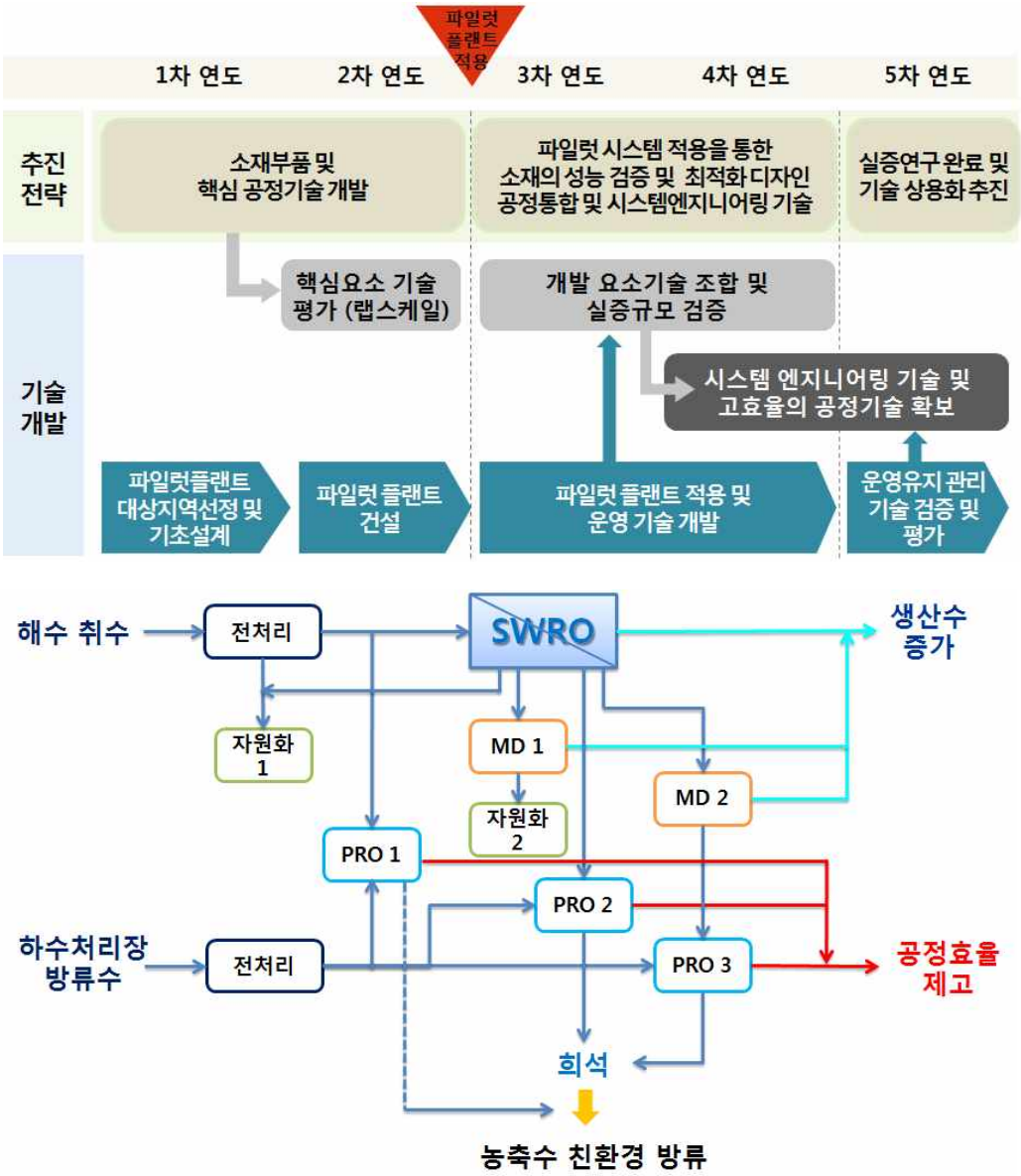
[그림 5-5] 연구단 단계별 추진 전략 예

□ 사업추진체계의 적절성

o 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

o 목표 달성을 위한 세부과제간 연계방안이 아래와 같이 구체적으로 제시됨



[그림 5-6] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 기술개발로드맵의 우수성

o 관련 세부 또는 요소기술별 상세 기술개발계획에 대해 제시하고 있음

- 요소기술이 적절하게 구성되어있고, 요소기술별 개발계획을 연차별로 상세하게 제시함

o 각 세부과제별 기술개발로드맵을 제시하고 있음

o 기술개발로드맵은 국내외 동향 및 환경의 분석결과를 반영하고 있음

- 각 세부과제를 도출하는데 있어서 국내외 동향 및 환경분석, 선행사업의 분석을 반영함

□ 연구개발기간의 적절성

o 연구단 1: 정삼투융합 해수담수화 기술

- 정삼투 융합 해수담수화 기술은 2000년대 초 활발한 연구가 진척되어 현재 활발한 연구개발단계로, 국내에서도 지경부 사업을 통해 연구진행중임
- 현재 전세계에서 연구되고 있는 연구주제는 크게 다음과 같이 요약될 수 있음

1. 정삼투용 막개발
2. 새로운 정삼투용 용액개발
3. 정삼투융합 신공정 개발

- 국내 기술수준 및 해외 기술수준을 종합적으로 고려할 때, 각 연구주제는 독자적으로 진행될 것으로 예상되며, 1번 및 2번 연구성과는 3번연구인 정삼투융합 신공정개발의 효율화에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료됨
- 본 연구단의 경우 주된 연구는 엔지니어링 기술에 대한 것으로 이러한 연구내용은 3년 이내에 검증이 될 가능성이 존재 (단 1000 ton/d 내외의 규모)함
- 하지만 소재적인 측면, 특히 정삼투막 등은 본 연구단 연구 범위가 아니며, 현재 추이로 볼 경우 3년 이내에 상업화 되는 것이 무리인 것으로 판단됨
- 따라서, 3 + 2년의 2단계 사업추진은 적합한 것으로 판단됨

o 연구단 2: MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

- MD/PRO 기술은 관련분야의 기술우위를 차지하기위한 전략적 분야로, 관련기술개발이 완료되지 않은 블루오션분야임
- 현재 연구단 2에서 추진하고자 하는 연구개발은 제시된 기술 중 개발목표를 달성할 수 있는 기술에 대한 경제성 확보 및 기술우위확보가 중심이 되고 있음
- 현재 세계적인 기술수준의 발전속도로 볼 때, 1단계 3년의 시간은 새로운 경쟁기술이 출현하기에는 짧은 시간으로 판단되고, 선행투자를 실시하는 본 연구단에서 새로운 기술을 개발할 가능성이 높음
- 1단계 3년의 연구기간에서 개발된 새로운 기술 및 기존 기술 중 검증된 기술을 대상으로 공정의 안정성을 평가할 파일롯 플랜트의 설치/운영/검증기간으로 2년의 시간은 적절한 것으로 판단됨

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준

□ 기술동향 분석 결과 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 현재 상용화되지 못한 원천기술로 기술경쟁력은 기술을 선도하고 있는 일부 국가 외에는 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 대한예측, 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

□ 지경부 및 환경부에서 진행하고 있는 사업과의 중복성 검토를 통해 증복성이 없음을 제시하고 있음

o 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

- 유사 연구사업으로 지경부 및 환경부에서 진행하고 있는 사업에 대해, 목표 유사점 및 차이점을 검토하여 중복성이 없음을 제시하고 있음(연구단 1보고서 “국내연구상황” 참조)

o MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

- 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 5-2> 기존 연구와의 차별화 및 연계방안(2세부과제)

<table>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="4">정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발</td></tr>
<tr><td>수행기관</td><td>한국기계연구원</td><td>발주기관</td><td colspan="2">지식경제부</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td>2009.10 - 2014.09</td><td>연구비 (천원)</td><td colspan="2">23,965,000
(정출연 12,780,000)</td></tr>
<tr><td>연번</td><td colspan="2">연구 주요 내용</td><td colspan="2">중복성 검토 및 차별화 방안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작
(해수-담수)</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 에너지 회수장치를 개발하고자 함.</td></tr>
</table>

제 3 절 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석

□ 비용/혜택 분석

o 분석대상

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

o 혜택범위

- 역삼투방식의 해수담수화플랜트 시장규모로 설정

o 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산으로 정부출연금과 민간참여금을 합한 금액

o 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

※ 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

o 주어진 가정 하에서 산출된 동 연구개발사업의 NPV(효과)는 3,703.2억원, B/C ratio는 4.7으로 경제성 측면에서 매우 긍정적인 것으로 판단됨

<표 5-3> 경제성 분석 결과

	비용	비용현재가	편익	편익현재가
2013	153.5	147.2		
2014	254.0	233.5		
2015	306.0	269.7		
2016	254.0	214.6		
2017	172.5	139.8		
2018			471.5	366.2
2019			518.7	386.3
2020			570.5	407.4
2021			627.6	429.7
2022			690.3	453.1
2023			759.4	477.9
2024			835.3	504.0
2025			918.8	531.5
2026			1,010.7	560.6
2027			1,111.8	591.2
합계	1,140.0	1,004.7	7,514.6	4,707.9

2. 과학기술적 파급효과

□ 과학기술 수준 증진 효과

o 하이브리드 담수플랜트 연구단에서 개발하는 농축수 에너지 자원화 기술 및 에너지 저감형 플랜트 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

o 기존의 환경공학과나 화학공학과의 학생들이 본 연구에 관심을 갖고 과제를 수행함으로써, 환경, 물, 에너지 등이 융복합된 인력이 탄생하게 됨

o 관련 대학과 연구기관 등도 목적 지향적인 본 사업을 통해 자연스럽게 융복합 인력을 양성할 수 있게 됨

3. 예산 적정성 분석

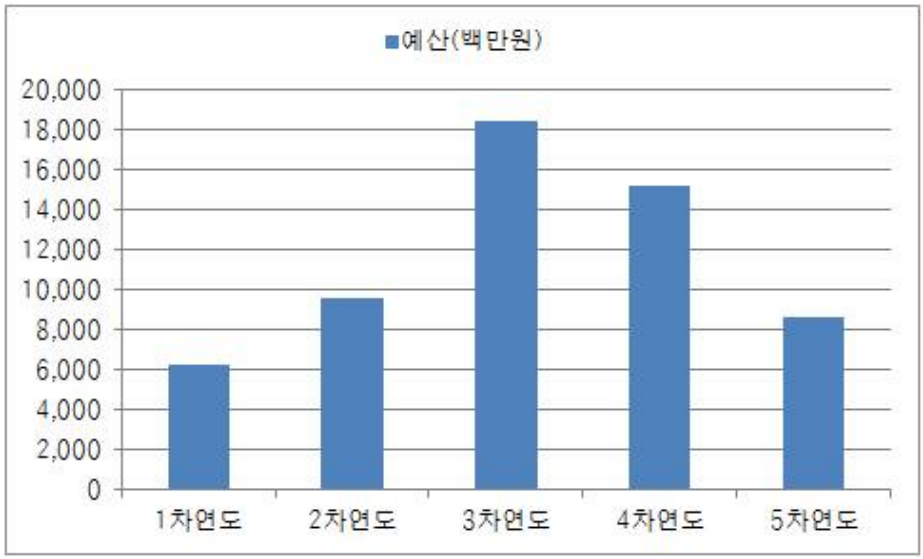
□ 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

o 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함

o 각 세부과제별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분하여 예산을 산정함

- 과제의 성격을 고려하여 모든 세부과제의 참여기업의 형태를 대기업으로 예상 기업부담금을 50%로 산정함

o 파일롯 플랜트 건설이 진행되는 3차년도의 연구비가 높은 것으로 볼 때 연구내용을 고려한 예산의 산정이 이루어졌음



[그림 5-7] 연구단 2의 연차별 연구비

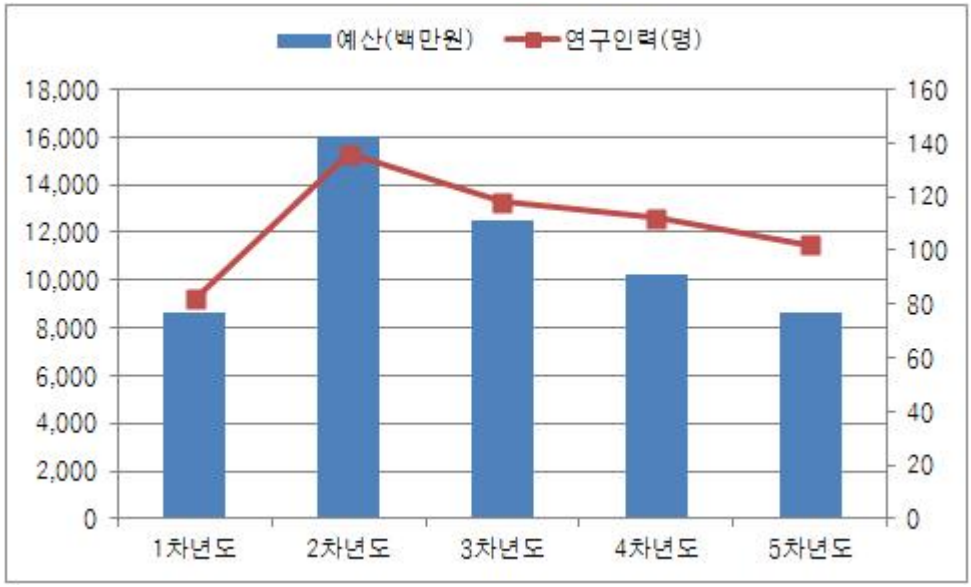
□ MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

o 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함

o 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

o 파일롯 플랜트 건설이 진행되는 2차년도의 연구비 및 연구인력이 높은 것으로 볼 때 연구내용을 고려한 예산의 산정이 이루어졌음



[그림 5-8] 연구단 2의 연차별 연구비 및 연구인력 현황

제 7 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구일정에 따른 인력계획

1. 연차별 투입연구인력

(단위 : 명)

	과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1연구단	1세부과제	16	24	40	28	22	130
	2세부과제	24	26	90	86	34	260
	3세부과제	10	26	28	26	20	110
	4세부과제	12	20	26	12	10	80
	소계	62	96	184	152	86	580
2연구단	1세부과제	46	68	60	60	56	235
	2세부과제	28	44	42	36	30	152
	3세부과제	8	24	16	16	16	67
	소계	82	136	118	112	102	454

2. 상세 투입연구인력

(단위 : 명)

과제			1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
연구단1	1세부	1-1	6	10	20	14	10	60
		1-2	6	8	10	8	8	40
		1-3	4	6	10	6	4	30
		계	16	24	40	28	22	130
	2세부	2-1	20	20	80	80	30	230
		2-2	4	6	10	6	4	30
		계	24	26	90	86	34	260
	3세부	3-1	6	20	20	20	14	80
		3-2	4	6	8	6	6	30
		계	10	26	28	26	20	110
	4세부	4-1	8	12	16	8	6	50
		4-2	4	8	10	4	4	30
		계	12	20	26	12	10	80
연구단2	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
		계	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
		계	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
		계	8	24	16	16	16	80

제 2 절 소요예산 산정

1. 산정개요

□ 세부과제별 기획위원회를 구성, 기획위원에 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 6-1> 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. 소요예산

(단위 : 백만원)

과제			1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계
			정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
연구단1	1세부	1-1	300	300	500	500	1,000	1,000	700	700	500	500	6,000
		1-2	300	300	400	400	500	500	400	400	400	400	4,000
		1-3	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
		계	**800**	**800**	**1,200**	**1,200**	**2,000**	**2,000**	**1,400**	**1,400**	**1,100**	**1,100**	**13,000**
	2세부	2-1	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	4,000	4,000	4,000	1,500	1,500	23,000
		2-2	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
		계	**1,200**	**1,200**	**1,300**	**1,300**	**4,500**	**4,500**	**4,300**	**4,300**	**1,700**	**1,700**	**26,000**
	3세부	3-1	300	300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	700	700	8,000
		3-2	200	200	300	300	400	400	300	300	300	300	3,000
		계	**500**	**500**	**1,300**	**1,300**	**1,400**	**1,400**	**1,300**	**1,300**	**1,000**	**1,000**	**11,000**
	4세부	4-1	400	400	600	600	800	800	400	400	300	300	5,000
		4-2	200	200	400	400	500	500	200	200	200	200	3,000
		계	**600**	**600**	**1,000**	**1,000**	**1,300**	**1,300**	**600**	**600**	**500**	**500**	**8,000**
	소계		**3,100**	**3,100**	**4,800**	**4,800**	**9,200**	**9,200**	**7,600**	**7,600**	**4,300**	**4,300**	**58,000**
연구단2	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
		계	**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
		계	**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
		계	**800**	**350**	**800**	**400**	**950**	**500**	**800**	**400**	**700**	**350**	**6,050**
	소계		**5,000**	**4,150**	**8,000**	**7,800**	**6,200**	**6,000**	**5,300**	**4,900**	**4,500**	**4,150**	**56,000**

※ 연구단 1 및 연구단 2의 1, 2 세부 - 대기업 비율 적용, 연구단 2의 3세부 - 중소기업 비율 적용

제 8 장 과제 제안요구서

제 1 절 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

1. 연구단 제안요구서 (RFP)

세부과제명	정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단
□ 목표 및 내용	
목표	■ [1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술 ❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 해수, 농축수, 하수 조합에 대한 정/역삼투 작동 메카니즘 규명을 통한 해수담수화공정 최적화 기술 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술의 개발 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO/RO 하이브리드 공정에 특화된 막오염 예측/제어 기술 개발을 통한 시장선점 및 표준화 선도 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에 적합한 막오염 규명, 제어 및 세척 기술 개발을 통한 전체 공정의 효율 향상 ■ [2 세부과제] 정 · 역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발 ❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 핵심기술의 개발과 엔지니어링 및 운영관리 기술 확보를 통한 세계시장 진출 기반 마련 ❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 가압형 정삼투 공정을 이용하여 하이브리드 해수담수화 시스템 원천기술의 개발 ■ [3 세부과제] 신소재 정 · 역삼투 막 제조기술 ❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

	- 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.7% (8*40 인치@800PSI, 32,000mg/L NaCl)급 SWRO 해수담수화 모듈 개발 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.6% (8*40 인치@225PSI, 1,500mg/L NaCl)급 BWRO 해수담수화 모듈 개발 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 탄소나노튜브를 포함한 다양한 나노소재를 이용한 고투과성 정삼투 분리막 제조 원천기술 확보 - 제조된 나노소재 기반 정삼투 분리막 활용하는 담수화 공정의 기본개념 확립 (소형 파일럿 플랜트를 통한 검증) - 기존 정삼투 공정 대비 에너지 30% 절감 **[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발** ❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 - 경제적 전처리 막 개발 - FO-RO 조합공정의 저에너지 고효율 전처리를 위한 고도수처리/막여과 공정기술 개발 - 전처리공정 사용량 0.15 kWh/m^3 이하 - 해수담수화 전용 전처리 막 (MF/UF) : 기존 대비 투과율 150% 향상 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - DBP 중 브로메이트 최소화를 위한 소독설비 개발
주요 연구내용	**[1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술** ❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정 - 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 메커니즘 규명 및 예측기술 개발 - 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염지수 개발 및 막오염지수에 의한

설계 및 운영 조건 도출

- 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염 제어 기술 개발

❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발

- 해수/하수를 이용하는 정삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발
- 희석된 해수를 이용한 역삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발
- 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 제어 기술 개발
- 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 모니터링 및 유지관리 기술 개발

[2 세부과제] 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발

❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발

- FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발
- 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 원천기술 개발
- 테스트베드 적용 및 엔지니어링 기술 개발 (1,000톤/일 규모 이상)
- FO/RO 통합 운영 환경 플랫폼 개발

❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발
- 10 톤/일 파일럿 검증

[3 세부과제] 신소재 정·역삼투 막 제조기술

❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

- 고투수/고내구성의 초박막 신소재 기반의 hybrid 역삼투 분리막 개발
- 고투과 역삼투 모듈 개발
- 담수화 공정의 저에너지 고효율을 위한 설계 최적화 기술 개발

❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발

- 1단계 사업 목표 및 내용(1차년도~2차년도)
  - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투/ 분리막 제조 원천기술 개발
- 단계 사업 목표 및 내용(3차년도~5차년도)
  - 개발 소재의 성능향상 및 활용 공정기술 개발

[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발

	❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - 전극 시스템을 이용한 소독 생산 시스템 Lab test - 농도 제어용 모니터링 기술 개발 - 2세부과제 파일럿과 연계를 통한 시스템 검증 • 파일럿 검증을 위한 연동 시스템 개발
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	**[1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술** ❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 본 과제의 효과적인 수행을 위하여, 정삼투 메카니즘 규명팀, 농축수-해수-막 매트릭스 별 정/역삼투 융합공정 전체 효율극대화 설계, 운영 기본인자 제공기술개발팀, 해수, 하수, 농축수, 처리수 고난이 수질분석 팀으로 나누어 파일럿 설계, 운영과 협력하고, 막개발 팀과도 피드백형식의 공동연구를 수행 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 공정에서의 잠재적 막오염 요소에 대한 기초연구를 기반으로 이를 예측할 수 있는 막오염 지수 및 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 해수담수화 공정에서의 공정에 따른 잠재적 막오염요소에 대한 기초연구를 기반으로 막오염을 예측하고 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발 **[2 세부과제] 정・역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발** ❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템의 핵심기술 개발과 동시에 테스트베드 실증을 위해서 해외 Site의 현지조사, 부지선정 및 설계를 진행하고, 테스트베드의 구축/ 장기 운영평가를 통한 엔지니어링 기술 및 최적 운영 환경플랫폼을 개발

❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 역삼투 공정의 전력비 감소를 위한 에너지 회수를 총 2단계로 실시
  - 에너지 회수장치에 의한 직접적인 에너지 회수
  - FO를 이용한 Chemical potential 에너지의 간접적 회수

- 주관과제인 정삼투 융합기술과 협력을 통한 시스템 엔지니어링 확립
  - 1단계 : 운전조건 및 요소기술의 확립 ⇒ 2년
  - 2단계 : 10 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증

[3 세부과제] 신소재 정·역삼투 막 제조기술

❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

- 과제 1차년도
  - 고유량 RO 분리막용 지지체 연속 제조 기술 개발
  - 초박막 계면중합 기술 개발
  - 역삼투 분리막 lab 개발 (염제거율 99.7%, 유량 40GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 40GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl)
  - 막오염 저감소재 발굴

- 과제 2차년도
  - 초친수 나노 소재 hybrid 기술 개발
  - 내오염 평가 기술 개발
  - 친수성 고분자를 활용한 RO 분리막 표면 개질 기술 개발
  - 역삼투 분리막 연속제조 pilot 구축 (염제거율 99.7%, 유량 45GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 45GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl)

- 과제 3차년도
  - 내오염 고분자 코팅 기술 개발
  - 기존 모듈의 종류에 따른 성능 비교 및 분석
  - 유동 해석 및 설계인자 도출
  - 모듈제조 pilot 구축
  - 프로토타입 모듈 제작
  - 내오염 분리막 모듈 pilot 시생산 및 성능 검증 (염제거율 99.7%, 유량 16,000GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 16,000GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl)

- 과제 4차년도
  - 모듈 pilot 제조 및 실증평가

	• 다양한 유기오염 물질 적용 테스트 - 과제 5차년도 • 실증평가 완료 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 1단계 - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투막 및 막증발법 분리막 제조 원천기술 개발 - 2단계 - 개발 소재의 성능향상, 실용화 및 이를 활용한 공정 개발 **[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발** ❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 - 1단계 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 - 2단계 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - 1단계 (원천기술 개발): 전극 시스템 개발과 안정성 확립 ⇒ 3년 • 다양한 종류의 전극 개발 및 그에 따른 시스템 개발 • ClO_2 농도별 모니터링 시스템 - 2단계 : 50 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 ⇒ 2년 • 장기운전을 통한 시스템 엔지니어링 기법 확립 • 시스템의 사업화
기술개발 최종성과물	**[1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술** ❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 정/역삼투 전체 융합 공정의 효율극대화 설계, 운영 기초인자 - 고농도 이온 및 다양한 분자량 유기물질 별 정삼투 메카니즘 이론 정립 - 농축수-해수 Feed-막을 연결하는 최적 조건 도출 기술 - 고난이, 고간섭 농축수, 하수 수질분석 기술 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO 활성층 유기 막오염 지수 - FO 지지층 생물 막오염 평가 프로토콜 - FO 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템 - 내오염성 FO막 및 Spacer 특허 및 reference ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기

술 개발

- 정삼투 막오염 매커니즘 (입자, 무기물, 유기물, 생물 막오염)
- 정삼투에 특화된 막오염 평가 시스템
- 미생물 신호전달 제어를 통한 막오염 저감 기술 및 특허
- 정삼투 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템

[2 세부과제] 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발

❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 고효율 저에너지 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템
- FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 실증 및 핵심 공정 신기술 인증
- 엔지니어링 기술 및 SCADA 시스템과 연계한 최적 운전 환경 플랫폼

❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템
- 핵심 공정 신기술 인증

[3 세부과제] 신소재 정·역삼투 막 제조기술

❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

- 고효율/고내구성의 초박막 나노 소재 hybrid 역삼투 분리막 개발
- 고투수 역삼투 모듈 개발

❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발

- 나노소재를 이용한 정삼투막 : 2L/m^2-hr-bar
- 정삼투 공정 : 기존 정삼투 공정 대비 에너지 소요량 70% 이하
- 최종결과물명 #1: 탄소나노튜브 기반의 정삼투 분리막 소재
- 최종결과물명 #2: 탄소나노튜브 기반의 정삼투막을 이용한 담수화 공정 설계기술

[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발

❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발

- FO-RO 조합공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정기술
- 해수담수화 전처리 전용 MF/UF 막모듈
- Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 전처리 공정 설계기술

❍ 전처리 고효율 소독설비 개발

	- Gas permeable membrane system 및 Un-divided Electrochemical Generation System 개발 및 사업화

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	3,100	4,800	9,200	7,600	4,300	29,000	
	민 간(추정)	3,100	4,800	9,200	7,600	4,300	29,000	
	합 계	6,200	9,600	18,400	15,200	8,600	58,000	

□ 기대효과

기대효과

[1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술

❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
- 차세대 해수담수화 플랜트를 신개념 공정기술로 만들어 냄으로써, 새로운 시장에 대비할 수 있고, 선점할 수 있을 것으로 기대
- 세계 물 시장은 향후, 상수, 하수처리 등이 융합된 형태로 진행될 가능성이 높아 이를 대비할 수 있음
- 정삼투 메카니즘을 새로운 차원으로 재해석함으로써, 파생될 수 있는 공정기술이 본 연구과제를 통하여 나오고 직접 산업화기술로 연결될 것으로 기대

❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발
- FO/RO 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보
- FO 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능
- FO 막오염 지수 및 평가 프로토콜에 대한 다수의 특허 확보
- FO/RO 하이브리드 기술 시장 확대에 기여

❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발
- 친환경적 막오염 제어 기술에 대한 다수의 특허 확보
- 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보
- 정삼투 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능
- 정삼투/역삼투 하이브리드 플랜트 기술 시장 확대에 기여

[2 세부과제] 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발

❍ 기술/ 산업적 효과

- 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보
- 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발
- FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진
- 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보

❍ 경제적 효과

- 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보
- 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출
- FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출

[3 세부과제] 신소재 정·역삼투 막 제조기술

❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

- 새로운 신소재 역삼투막의 시장개척을 통한 새로운 부가가치 창출
- 신기술 시장 선도를 통한 일자리 창출
- 역삼투막 제조의 국산화 선도 및 경쟁유발을 통한 기격인하 효과

❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발

- 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당
- 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과
- 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출
- 담수화 분야의 국내외 시장 진출
- 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상
- 차세대 담수화 기술로 활용 가능
- 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보
- 기타 수처리 분야에도 활용가능

[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발

❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발

- 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당
- 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과
- 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이

	를 통한 부가가치 창출 - 담수화 분야의 국내외 시장 진출 - 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 - 차세대 담수화 기술로 활용 가능 - 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 - 기타 수처리 분야에도 활용가능 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - 국제적으로 문제가 제기되고 있는 해수담수화플랜트의 Bromate 부산물 발생에 대한 해결책을 제시하는 신기술로서 세계시장을 선점하고 주도 함 - 담수화플랜트 뿐만 아니라 해양 및 플랜트분야의 전기화학기술의 적용능력 및 적용 분야의 확대 - 차세대 국가 성장동력인 해수담수화플랜트 및 해양플랜트와 발전플랜트등의 부품/소재 국산화완성으로 인한 부가가치 창출 및 공정최적화에 기여 - 기술의 국산화를 통한 국산제품 신뢰성 증대 - 해수담수화플랜트, 발전플랜트, 해양플랜트 등의 해외 플랜트수주 경쟁력 제고 및 국내 플랜트 기자재의 기술 신뢰성 향상 - 전량 해외기술에 의존하고 있는 현황 타개로, 수입대체효과를 극대화 함 - 세계시장에서 국내기업의 관련 플랜트 수주 경쟁력 제고로 본 개발기술 및 관련 플랜트의 수출증대효과를 기대할 수 있음 - 향후 정수처리, 하수 처리등 일반 수처리 분야에의 본 기술력 적용 및 시장 확대를 비롯한 국제경쟁력 제고 - 국내기술 및 국산 기자재의 국제적 신뢰성 제고
□ 연계・활용 과제 (기술)	
연계・활용 과제 및 기술	■ [1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술 ❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 지경부 고효율/저에너지 사업과 직간접적 연계 가능 - 현재 해수담수화 사업단의 역삼투 막공정기술을 접목가능하고, 한계 극복 가능 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - 現 지경부 고효율/저에너지 FO 전용막 개발을 위한 WMP 사업과 연계협력 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용 - 現 해수담수화 사업단의 막오염 지수 기술 접목 가능 - 내오염성 막 표면 및 Spacer 개질을 위한 나노 코팅 기술 활용

❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발

- 現 해수담수화 사업단의 초정밀 해수분석 기술 및 장비 활용
- 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 막오염 예측 센서 기술 활용
- 내오염성 정삼투막 및 Spacer 개질을 위한 고분자 코팅 기술 활용
- 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용

[2 세부과제] 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발

❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 테스트 베드 Site 선정시 참여기업의 해외 해수담수화 파일럿 혹은 플랜트의 원수/ 설비/ 부지 등 활용
- 現 해수담수화 플랜트 사업단 SWRO 공정 주요 개발 기술 활용
- 기존 RO 해수담수화 플랜트의 SCADA 시스템을 응용한 FO/RO 하이브리드
- 해수담수화 플랜트 적용 및 최적화

❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발

- 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

[3 세부과제] 신소재 정·역삼투 막 제조기술

❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술

- 물재이용 시장과의 연계기술
- 역삼투막 엔지니어링 기술과의 연계 조합
- 2 세부과제 내 대용량 파일럿 플랜트 설계시 연계

❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발

- 성공여부에 따라 후속 차세대 정삼투 공정 연구 연계

[4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발

❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발

- 향후 MBR 공정 및 물재이용 공정에 활용
- 2세부과제와 연계

❍ 전처리 고효율 소독설비 개발

- 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

2. 1세부과제 제안요구서 (RFP)

세부과제명	정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술
□ 목표 및 내용	
목표	■ **정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술** ❍ 해수, 농축수, 하수 조합에 대한 정/역삼투 작동 메카니즘 규명을 통한 해수담수화공정 최적화 기술 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술의 개발 - 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정 - 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정 ■ **정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발** ❍ FO/RO 하이브리드 공정에 특화된 막오염 예측/제어 기술 개발을 통한 시장선점 및 표준화 선도 - FO 전처리/후처리 막오염 지수 개발 - 전처리 및 막의 화학세정에 요구되는 에너지 저감 (1.0 kWh/m^3 --> 0.5 kWh/m^3) ■ **정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발** ❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에 적합한 막오염 규명, 제어 및 세척 기술 개발을 통한 전체 공정의 효율 향상 - 막오염 저감으로 인한 막 성능 향상 및 운영비 절감
주요 연구내용	■ **정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술** ❍ 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 농축수의 염도에 따른 정삼투 공정 이동현상 - 농축수의 이온 구성비(해수 원수 대비)에 따른 정삼투 작동 메카니즘 - 작동메카니즘에 따른 Feed-Forward 식의 역삼투 공정 운영조건 개선기술

- 내부, 외부 농도분극현상 이론 정립; 정삼투 메카니즘과의 관계 규명
- 용매이동, 용질간섭과 정삼투 막 특성 별 작동 메카니즘 규명

❍ 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술

- 하수 Feed 내의 고분자형 하수유기물질 분자량별 정삼투 메카니즘 규명
- 이온과 고분자 유기물질 공존시 발생 가능한 정삼투 이동현상 규명
- 농축수 이온 구성비-해수 유기물질 성상 별 정삼투 메카니즘
- 이온구성, 해수유기물질 매트릭스별 최적 설계, 운영 인자화 기술개발
- 고농축 농축수, 해수 정삼투 전후의 고난이 수질분석(유기물측면) 기술개발

❍ 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계검정

- 역삼투 공정, 정/역삼투 공정의 이온(1가, 2가이온 별도), 해수 및 하수
- 유기물을 연결하는 Feed-back, Feed-forward 수질제어 설계인자 제공기술
- 하수 Feed 내 유기물 분자량에 따른 정삼투 장해요인 최소화 이론, 실험연구
- 온도에 따른 정삼투 장해요인 최소화 통한 최적 설계 조건 제시 연구

❍ 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정

- 다변량 정/역삼투 해수담수공정의 효율극대, 막오염 등 장애요인 최소화기술
- 효율을 예측할 수 있는 경험적 정보시스템 제공, 설계, 운영 기초자료 제공

정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발

❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 메커니즘 규명 및 예측기술 개발

- 하수 수질 특성별 활성층 fouling 평가 및 메커니즘 규명
- 해수/농축수 수질 특성별 지지층 fouling 평가 및 메커니즘 규명
- 해수/농축수 역확산에 의한 활성층 막오염 메커니즘 규명
- 막오염 메커니즘에 따른 막 오염 예측 기술 및 평가 프로토콜 개발

❍ 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염지수 개발 및 막오염지수에 의한 설계 및 운영 조건 도출

- 하수 내 유기물 성분별 막오염과의 상관관계 데이터베이스 구축
- 해수 특성에 따른 막오염 상관관계 데이터베이스 구축
- 정삼투 막 성능 특성 분석 및 데이터베이스 구축/ 정삼투 막 성능에 따른 막 오염 상관관계 분석, 평가
- 정삼투-역삼투 통합 공정 특성을 반영한 신개념 막오염지수 개발

- 신개념 막오염지수에 따른 설계 및 운영 가이드 라인 개발 및 최적 프로토콜 구축

❍ 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염 제어 기술 개발
- 통합 공정에서의 최적 물리적 세척 개술 개발
- 막 오염을 최소화 할 수 있는 공정 운영조건 도출
- 막 오염 제어 효율성 극대화를 위한 막 모듈 디자인 및 설계
- 막오염 제어 및 공정 운영 최적화를 위한 프로토콜 개발
- 막오염 제어 기술 및 최적 운영 프로토콜 현장적용을 통한 실증 데이터 확보

정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발

❍ 해수/하수를 이용하는 정삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발
- 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 정삼투 막오염 매커니즘 연구
  : 원수 (wastewater) 전처리 방법에 따른 정삼투막 막오염 연구
  : 유도용액 (seawater) 역확산으로 인한 정삼투막 활성층의 막오염 매커니즘 연구
  : 유도용액 (seawater) 내 존재하는 막오염원에 의한 정삼투막 지지층의 막오염 연구
  : 막오염 잠재력이 큰 공정수(하수 농축수/역삼투 농축수)를 사용하는 2nd stage 정삼투막에서의 유기/생물학적 막오염 연구
- 정삼투막의 표면특성(활성층/지지층) 및 재질을 고려한 막오염 평가 및 분석 방법 개발
  : 정삼투막을 이루는 활성층/지지층에 대한 막오염 평가 방법 개발
  : 다양한 재질의 정삼투막의 막오염 분석 방법 정립

❍ 희석된 해수를 이용한 역삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발
- 생물학적 막오염 예측을 위한 미생물 검출 바이오센서 시스템 연구
- 정삼투 공정에 의해 희석된 해수 내 존재하는 막오염원에 의한 역삼투막 막오염 연구
- 파괴/비파괴 검사를 통한 과학적인 접근방식을 적용한 막오염 평가 방법 정립

❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 제어 기술 개발
- 미생물 신호전달 조절을 이용한 친환경 생물학적 막오염 제어기술 개발
  : 미생물 신호전달물질 (AHL) 및 세포외 고분자 물질 (EPS) 분해 효소 적용에 의한 친환경적 막오염 제어 기술 연구
  : 자성 나노입자를 사용한 효소 고정 및 자성분리에 의한 재사용성 평가/최적화 (pH, 온도, 효소 농도)
  : 역삼투 공정에 최적화된 주입 및 회수 시스템 구축

	- 정삼투막 표면 개질을 통한 막오염 제어 기술개발 : 생체분자(아미노산, 항균물질) 혹은 나노입자를 이용한 정삼투막의 내오염성 증가 : 정삼투 공정 운전을 통한 증가된 내오염성 평가 ❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 모니터링 및 유지관리 기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 내의 공정수 초정밀 수질분석을 통한 막오염원의 거동 및 막오염 인자 도출 (유,무기/생물학적 막오염원) - 공정운전 인자 조절을 통한 경제적 정삼투막 세척기술 개발 (물리적) : 유입수의 유속조절을 통한 물리적 세척조건 (주기, 시간, 유속) 최적화 : 정삼투막의 투과수 방향 전환을 통한 물리적 세척기술 개발 : 물리적 세척방법에 따른 각 오염물질들의 제거 효율 분석 - 역삼투 공정에서의 유입수 농도 및 막오염원 특성별 (유기, 무기, 나노입자, 미생물) 막오염에 따른 화학 세척조건 최적화 및 세척능 평가(수투과도 비교) - 물리적 & 화학적 세척에 따른 막 손상 예측 및 평가방법 적용(분리막 직접완결성 시험)
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 본 과제의 효과적인 수행을 위하여, 정삼투 메카니즘 규명팀, 농축수-해수-막 매트릭스 별 정/역삼투 융합공정 전체 효율극대화 설계, 운영 기본인자 제공기술개발팀, 해수, 하수, 농축수, 처리수 고난이 수질분석 팀으로 나누어 파일럿 설계, 운영과 협력하고, 막개발 팀과도 피드백형식의 공동연구를 수행 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 공정에서의 잠재적 막오염 요소에 대한 기초연구를 기반으로 이를 예측할 수 있는 막오염 지수 및 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 해수담수화 공정에서의 공정에 따른 잠재적 막오염요소에 대한 기초연구를 기반으로 막오염을 예측하고 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발

기술개발 최종성과물	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 정/역삼투 전체 융합 공정의 효율극대화 설계, 운영 기초인자 - 고농도 이온 및 다양한 분자량 유기물질 별 정삼투 메카니즘 이론 정립 - 농축수-해수 Feed-막을 연결하는 최적 조건 도출 기술 - 고난이, 고간섭 농축수, 하수 수질분석 기술 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO 활성층 유기 막오염 지수 - FO 지지층 생물 막오염 평가 프로토콜 - FO 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템 - 내오염성 FO막 및 Spacer 특허 및 reference ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투 막오염 매커니즘 (입자, 무기물, 유기물, 생물 막오염) - 정삼투에 특화된 막오염 평가 시스템 - 미생물 신호전달 제어를 통한 막오염 저감 기술 및 특허 - 정삼투 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	800	1,200	2,000	1,400	1,100	6,500	
	민 간(추정)	800	1,200	2,000	1,400	1,100	6,500	
	합 계	1,600	2,400	4,000	2,800	2,200	13,000	

□ 기대효과

기대효과	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 차세대 해수담수화 플랜트를 신개념 공정기술로 만들어 냄으로써, 새로운 시장에 대비할 수 있고, 선점할 수 있을 것으로 기대 - 세계 물 시장은 향후, 상수, 하수처리 등이 융합된 형태로 진행될 가능성이 높아 이를 대비할 수 있음 - 정삼투 메카니즘을 새로운 차원으로 재해석함으로써, 파생될 수 있는 공정기술이 본 연구과제를 통하여 나오고 직접 산업화기술로 연결될 것으로 기대 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발

	- FO/RO 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 - FO 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 - FO 막오염 지수 및 평가 프로토콜에 대한 다수의 특허 확보 - FO/RO 하이브리드 기술 시장 확대에 기여 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 친환경적 막오염 제어 기술에 대한 다수의 특허 확보 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 - 정삼투 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 - 정삼투/역삼투 하이브리드 플랜트 기술 시장 확대에 기여
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 지경부 고효율/저에너지 사업과 직간접적 연계 가능 - 현재 해수담수화 사업단의 역삼투 막공정기술을 접목가능하고, 한계 극복 가능 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - 現 지경부 고효율/저에너지 FO 전용막 개발을 위한 WMP 사업과 연계협력 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용 - 現 해수담수화 사업단의 막오염 지수 기술 접목 가능 - 내오염성 막 표면 및 Spacer 개질을 위한 나노 코팅 기술 활용 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 現 해수담수화 사업단의 초정밀 해수분석 기술 및 장비 활용 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 막오염 예측 센서 기술 활용 - 내오염성 정삼투막 및 Spacer 개질을 위한 고분자 코팅 기술 활용 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용

3. 2세부과제 제안요구서 (RFP)

세부과제명	정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발
□ 목표 및 내용	
목표	■ 정삼투-역삼투 융합기술개발 ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 핵심기술의 개발과 엔지니어링 및 운영관리 기술 확보를 통한 세계시장 진출 기반 마련 - 저에너지 : 톤당 전력량 35% 이상 (톤당 전력량 목표 : 2.5 kWh/m3) - 농 축 수 : 수량 20% 이상, 염도 25% 이상 저감 - 톤당 생산단가 : 25% 이상 저감 ■ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 ❍ 가압형 정삼투 공정을 이용하여 하이브리드 해수담수화 시스템 원천기술의 개발 - 압력 10 atm 회수 - 회수율 10% 증대
주요 연구내용	■ 정삼투-역삼투 융합기술개발 ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - FO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution)를 이용한 FO/RO 융합 공정 기술 - 하수(원수) 및 FO 분리막 조건에 적합한 FO/RO 공정 전처리 기술 - 수질안정성 향상 위한 FO/RO 분리막 감시 및 공정 제어 기술 - FO/RO 분리막 파울링 제어 등 최적 유지관리 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 고회수율, 저에너지 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 소규모 파일롯 테스트 및 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 시스템 농축수 배출 공정 기술 ❍ 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 원천기술 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) ❍ 테스트베드 적용 및 엔지니어링 기술 개발 (1,000톤/일 규모 이상)

	- 대상 지역의 현장 조사 및 부지 선정 : 하수처리수 현황, 해수 유입조건, 농축수 처리조건, 관련기관/지자체 협의 - FO/ RO 하이브리드 해수담수화 공정의 중대규모 설계 기술 : FO/RO 분리막 트레인 설계, 전처리 설비 및 펌프, 밸브 최적 구축 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) Intake 위한 기존시설 개량 설계 기술 - 공정별 에너지 소요현황 시뮬레이션 분석과 연계한 최적 공정 설계 기술 - 농축수 최소화 위한 FO/RO 하이브리드 플랜트 설계 기술 ❍ FO/RO 통합 운영 환경 플랫폼 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 통합 운영관리 시스템 : 중앙집중 원격 감시 제어시스템 (SCADA) : 데이터 마이닝 기반 의사결정지원 시스템 : 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) 수질에 따른 회수율 제어 기술 : 해수 및 RO농축수 농도(TDS) 변동에 따른 최적 농축수 순환/제어 기술 : FO/RO 분리막 파울링 방지/ 대응 위한 유지관리 기술 : EMS (Energy Management System) 등 최적 에너지 운영관리 프로그램 ■ **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 농축수 recycle 시스템 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) ❍ 10 톤/일 파일럿 검증 - 설계기술 • 최적 멤브레인 선정, 가압 시스템 업그레이드 엔지니어링 기술 • 해수 및 농축수 이용을 위한 원천기술 시스템 비교 평가 - 50 ton/d 규모의 파일럿을 통한 장기운전
□ **추진계획 및 성과**	
추진계획	■ **정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템의 핵심기술 개발과 동시에 테스트베드 실증을 위해서 해외 Site의 현지조사, 부지선정 및 설계를 진행하고, 테스트베드의 구축/ 장기 운영평가를 통한 엔지니어링 기술 및 최적

	운영 환경플랫폼을 개발 ■ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 ❍ 역삼투 공정의 전력비 감소를 위한 에너지 회수를 총 2단계로 실시 - 에너지 회수장치에 의한 직접적인 에너지 회수 - FO를 이용한 Chemical potential 에너지의 간접적 회수 ❍ 주관과제인 정삼투 융합기술과 협력을 통한 시스템 엔지니어링 확립 - 1단계 : 운전조건 및 요소기술의 확립 ⇒ 2년 • 실험실 조건하에 유입해수의 가압조건 확립 • 파울링 등의 운전조건에 따른 운영조건 모니터링 • 1차 경제성 평가 - 2단계 : 10 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 • 최적 멤브레인 선정 • 시스템 엔지니어링 : 막의 구조에 따른 반응조 형태 확립 • 장기운전을 통한 모니터링 및 운전조건 확립 • 2차 경제성 평가
기술개발 최종성과물	❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 고효율 저에너지 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 실증 및 핵심 공정 신기술 인증 - 엔지니어링 기술 및 SCADA 시스템과 연계한 최적 운전 환경 플랫폼 ❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 - 핵심 공정 신기술 인증

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	1,200	1,300	4,500	4,300	1,700	13,000	
	민 간(추정)	1,200	1,300	4,500	4,300	1,700	13,000	
	합 계	2,400	2,600	9,000	8,600	3,400	26,000	

□ 기대효과

기대효과	■ 정삼투-역삼투 융합기술개발 ❍ 기술/ 산업적 효과

	- 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 ❍ 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출 **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 기술/ 산업적 효과 - 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 ❍ 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출
□ 연계・활용 과제 (기술)	
연계・활용 과제 및 기술	❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 테스트 베드 Site 선정시 참여기업의 해외 해수담수화 파일럿 혹은 플랜트의 원수/ 설비/ 부지 등 활용 - 現 해수담수화 플랜트 사업단 SWRO 공정 주요 개발 기술 활용 - 기존 RO 해수담수화 플랜트의 SCADA 시스템을 응용한 FO/RO 하이브리드 - 해수담수화 플랜트 적용 및 최적화 ❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

4. 3세부과제 제안요구서 (RFP)

세부과제명	신소재 정·역삼투 막 제조기술
□ 목표 및 내용	
목표	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.7% (8*40 인치@800PSI, 32,000mg/L NaCl)급 SWRO 해수담수화 모듈 개발 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.6% (8*40 인치@225PSI, 1,500mg/L NaCl)급 BWRO 해수담수화 모듈 개발 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 탄소나노튜브를 포함한 다양한 나노소재를 이용한 고투과성 정삼투 분리막 제조 원천기술 확보 - 제조된 나노소재 기반 정삼투 분리막 활용하는 담수화 공정의 기본개념 확립 (소형 파일럿 플랜트를 통한 검증) - 기존 정삼투 공정 대비 에너지 30% 절감
주요 연구내용	■ **신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 고투수/고내구성의 초박막 신소재 기반의 hybrid 역삼투 분리막 개발 - Pure water flux >240GFD (@1bar, SD<10)급 역삼투 분리막 지지층 개발 • 지지층 분리막 단계별 제조조건 확립 • 나노 기술 기반의 지지층용 초친수 나노 소재 개발 • 지지층/초친수 소재 hybrid 기술 개발 - 염제거율 >99.7%, 유량 >45GFD (@800PSI, 32,000mg/L NaCl) 및 염제거율 >99.6%, 유량 >45GFD급 (@225PSI, 1,500mg/L NaCl) 역삼투 분리막 활성층 개발 • 나노 구조체의 형상 구조제어기법 연구 • 나노 기술을 이용한 최적의 분리막용 나노 소재 개발 • 나노 기공 구조체를 이용한 고투과성, 고내구성 복합 분리막 개발 • Disruptive technology 기반의 미래 원천 분리막 소재 개발 - J/J0 > 0.85급 (@Casein 100ppm, 5h) 역삼투 분리막 내오염 보호층 개발 • 내오염 기능을 부여하는 친수성 고분자 개발 • 나노 기술 기반의 내오염성 초친수 나노 소재 개발 • 활성층/내오염성 초친수 소재 hybrid 기술 개발 ❍ 고투과 역삼투 모듈 개발 - 16,000GPD급 고투수 모듈 제조 기술 개발

	• 분리막 모듈의 leaf의 수, diameter, area, channel height 등의 설계 인자 도출 및 설계인자 최적화 • CFD를 이용하여 channel에서의 유동 해석 및 spacer 구조 최적화 • 압력강하를 최소화하기 위한 분리막 모듈 엔드캡 구조 최적화 • 분리막 모듈 평가를 위한 모델 개발, 검증 및 분리막 모듈 평가 표준화 프로토콜 확립 - 분리막 성능 및 수명평가 데이터베이스 구축 • 구축된 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용하여 생산된 데이터를 이용하여 분리막 수명 예측 모델을 개발 • 단·장기적 실험을 통해 분리막 성능 및 수명 평가 데이터베이스 구축 ❍ 담수화 공정의 저에너지 고효율을 위한 설계 최적화 기술 개발 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발 - 에너지 효율 향상을 위한 BOP (Balance of Process) superstructure의 최적화 (전/후처리, pump 등) - 에너지 효율 향상을 위한 분리막 모듈의 superstructure 최적화 **■ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 1단계 사업 목표 및 내용(1차년도~2차년도) - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투/ 분리막 제조 원천기술 개발 • 다양한 구조의 탄소나노튜브를 이용한 분리막 제조기술 비교 • 기능 및 안정성 측면에서의 최적 막소재 도출 (정삼투 1종) ❍ 단계 사업 목표 및 내용(3차년도~5차년도) - 개발 소재의 성능향상 및 활용 공정기술 개발 • 개발 막 소재의 성능향상을 위한 표면처리 및 구조변경 기술 개발 • 개발 막 소재를 이용한 Proof-of-concept 장치 개발 • 기존 공정과의 비교 및 효율 검증
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	**■ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 과제 1차년도 - 고유량 RO 분리막용 지지체 연속 제조 기술 개발 - 초박막 계면중합 기술 개발 - 역삼투 분리막 lab 개발 (염제거율 99.7%, 유량 40GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 40GFD @225PSI, 1,500mg/L

	NaCl) - 막오염 저감소재 발굴 ❍ 과제 2차년도 - 초친수 나노 소재 hybrid 기술 개발 - 내오염 평가 기술 개발 - 친수성 고분자를 활용한 RO 분리막 표면 개질 기술 개발 - 역삼투 분리막 연속제조 pilot 구축 (염제거율 99.7%, 유량 45GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 45GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) ❍ 과제 3차년도 - 내오염 고분자 코팅 기술 개발 - 기존 모듈의 종류에 따른 성능 비교 및 분석 - 유동 해석 및 설계인자 도출 - 모듈제조 pilot 구축 - 프로토타입 모듈 제작 - 내오염 분리막 모듈 pilot 시생산 및 성능 검증 (염제거율 99.7%, 유량 16,000GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 16,000GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) ❍ 과제 4차년도 - 모듈 pilot 제조 및 실증평가 - 다양한 유기오염 물질 적용 테스트 ❍ 과제 5차년도 - 실증평가 완료 ■ **나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 1단계 - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투막 및 막증발법 분리막 제조 원천기술 개발 ❍ 2단계 - 개발 소재의 성능향상, 실용화 및 이를 활용한 공정 개발
기술개발 최종성과물	■ **신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 고효율/고내구성의 초박막 나노 소재 hybrid 역삼투 분리막 개발 - Rejection >99.7%, Flux >45 GFD급 SWRO 분리막 개발 - Rejection >99.6%, Flux >45 GFD급 BWRO 분리막 개발

	- Anti-fouling 용 표면 처리 기술 적용 (J/J0 > 0.85) ❍ 고투수 역삼투 모듈 개발 - 기존 SWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발 (Flux >16,000 GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl) - 기존 BWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발 (Flux >16,000 GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) - 분리막 성능 및 수명 평가 system 구축을 통한 평가 DB 구축 및 활용 실적 - 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용한 수명 예측 모델 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발 **나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 나노소재를 이용한 정삼투막 : 2L/m^2-hr-bar ❍ 정삼투 공정 : 기존 정삼투 공정 대비 에너지 소요량 70% 이하 ❍ 최종결과물명 #1: 탄소나노튜브 기반의 정삼투 분리막 소재 ❍ 최종결과물명 #2: 탄소나노튜브 기반의 정삼투막을 이용한 담수화 공정 설계기술

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	500	1,300	1,400	1,300	1,000	5,500	
	민 간(추정)	500	1,300	1,400	1,300	1,000	5,500	
	합 계	1,000	2,600	2,800	2,600	2,000	11,000	

□ 기대효과

기대효과	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 새로운 신소재 역삼투막의 시장개척을 통한 새로운 부가가치 창출 - 신기술 시장 선도를 통한 일자리 창출 - 역삼투막 제조의 국산화 선도 및 경쟁유발을 통한 기격인하 효과 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 - 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 - 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이

	를 통한 부가가치 창출 - 담수화 분야의 국내외 시장 진출 - 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 - 차세대 담수화 기술로 활용 가능 - 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 - 기타 수처리 분야에도 활용가능
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 물재이용 시장과의 연계기술 - 역삼투막 엔지니어링 기술과의 연계 조합 - 2 세부과제 내 대용량 파일럿 플랜트 설계시 연계 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 성공여부에 따라 후속 차세대 정삼투 공정 연구 연계

5. 4세부과제 제안요구서 (RFP)

세부과제명	저비용 전처리 기술개발
□ 목표 및 내용	
목표	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 경제적 전처리 막 개발 ❍ FO-RO 조합공정의 저에너지 고효율 전처리를 위한 고도수처리/막여과 공정기술 개발 ❍ 전처리공정 사용량 0.15 kWh/m^3 이하 ❍ 해수담수화 전용 전처리 막 (MF/UF) : 기존 대비 투과율 150% 향상 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ DBP 중 브로메이트 최소화를 위한 소독설비 개발 - Yeild : 95% 이상 - 순도 : 99% 이상 - 브로메이트 : 생산수내 0.02 mg/L 이하
주요 연구내용	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 - FO-RO 공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정안 도출 - 해수담수화 전용 저에너지 고효율 MF/UF 막모듈 개발 - Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 조합공정을 위한 전처리기술 개발 - 전처리 공정 Unit 설계기술 개발 및 Package화 ❍ 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 - 고도처리/막모듈 특성분석에 기반한 성능향상 연구 - Pilot plant 적용 및 운전특성 분석 - 기존 공정과의 비교 및 효율 검증 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 전극 시스템을 이용한 소독 생산 시스템 Lab test - 문헌 연구/실험실 연구를 통한 소독 시스템의 단/장점 분석 - 브로메이트 최소화를 위한 전극시스템 개발

	- 상업용 전극 시스템 엔지니어링 기술 개발 - 프로토 타입 운전을 통한 시스템 안정화 기술 개발 - 농축수용 및 해수용 다원화 시스템 개발 - 바이오 파울링 저감 능력 검증 - 역삼투막/정삼투막에 미치는 영향 검증 ❍ 농도 제어용 모니터링 기술 개발 - 농도 제어를 위한 모니터링 제어시스템 개발 - 50 톤/일 파일럿 검증 - 시스템 검증을 위한 장기운전 - 기타 DBP 발생 가능성 분석 - 경제성 평가 (농축수용 VS 해수용) - 설계 및 엔지니어링 기법 확립 • 전극시스템 • 반응조 contact 시스템 ❍ 2세부과제 파일럿과 연계를 통한 시스템 검증 - 파일럿 검증을 위한 연동 시스템 개발
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 1단계 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 ❍ 2단계 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 1단계 (원천기술 개발): 전극 시스템 개발과 안정성 확립 ⇒ 3년 - 다양한 종류의 전극 개발 및 그에 따른 시스템 개발 - ClO_2 농도별 모니터링 시스템 ❍ 2단계 : 50 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 ⇒ 2년 - 장기운전을 통한 시스템 엔지니어링 기법 확립 - 시스템의 사업화
기술개발 최종성과물	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ FO-RO 조합공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정기술 ❍ 해수담수화 전처리 전용 MF/UF 막모듈

	❍ Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 전처리 공정 설계기술 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ Gas permeable membrane system 및 Un-divided Electrochemical Generation System 개발 및 사업화 - 해수담수화플랜트 적용 (Bromate등의 DBP 발생 억제기술 확보) - Yield: > 95%, Purity: 99%

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	600	1,000	1,300	600	500	4,000	
	민 간(추정)	600	1,000	1,300	600	500	4,000	
	합 계	1,200	2,000	2,600	1,200	1,000	8,000	

□ 녹색기여도 및 기대효과

기대효과	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 ❍ 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 ❍ 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출 ❍ 담수화 분야의 국내외 시장 진출 ❍ 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 ❍ 차세대 담수화 기술로 활용 가능 ❍ 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 ❍ 기타 수처리 분야에도 활용가능 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 기술적 효과 - 국제적으로 문제가 제기되고 있는 해수담수화플랜트의 Bromate 부산물 발생에 대한 해결책을 제시하는 신기술로서 세계시장을 선점하고 주도 함 - 담수화플랜트 뿐만 아니라 해양 및 플랜트분야의 전기화학기술의 적용능력 및 적용 분야의 확대 - 차세대 국가 성장동력인 해수담수화플랜트 및 해양플랜트와 발전플랜트등

	의 부품/소재 국산화완성으로 인한 부가가치 창출 및 공정최적화에 기여 - 기술의 국산화를 통한 국산제품 신뢰성 증대 - 해수담수화플랜트, 발전플랜트, 해양플랜트 등의 해외 플랜트수주 경쟁력 제고 및 국내 플랜트 기자재의 기술 신뢰성 향상 ❍ 경제적 효과 - 전량 해외기술에 의존하고 있는 현황 타개로, 수입대체효과를 극대화 함 - 세계시장에서 국내기업의 관련 플랜트 수주 경쟁력 제고로 본 개발기술 및 관련 플랜트의 수출증대효과를 기대할 수 있음 - 향후 정수처리, 하수 처리등 일반 수처리 분야에의 본 기술력 적용 및 시장 확대를 비롯한 국제경쟁력 제고 - 국내기술 및 국산 기자재의 국제적 신뢰성 제고
□ 연계・활용 과제 (기술)	
연계・활용 과제 및 기술	❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 - 향후 MBR 공정 및 물재이용 공정에 활용 - 2세부과제와 연계 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

제 2 절 MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

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
- 싱가폴 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음

- 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 농축수를 저감할 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^2의 전력생산효율을 갖고 있고, 다른 신재생에너지와의 경쟁에서 우위를 갖기 위해서는 실증플랜트에서 5 W/m^2의 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 5.3×10^{-12} m/s · Pa으로 이를 PRO 전력량으로 해수의 경우 6.1W/m^2, 해수 농축수의 경우 15.3W/m^2이나, 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 발생되는 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 ㎥/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/㎥ 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/m^2 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 100㎏/㎠의 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 ㎥/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 경향이기 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

	향에 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 미래 해수 담수화 시장에서 유리한 위치를 차지하기 위하여 필수적임 ❍ 그간의 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요 ❍ 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
□ 기술동향	❍ 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 - 싱가폴 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 ㎥/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 ㎥/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 압력지연삼투(PRO) 전용막 개발 및 에너지 생산 효율 향상을 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발 ❍ 막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m^2 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 5.3×10^{-12} m/s·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 3W/m^2 이며, 경제성을 확보하기 위해 5W/m^2 을 목표치로 하고 있음

❍ Statkraft 사와 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/m^2 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 100㎏/㎠이상의 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 알루미노실리케이트계 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 100㎏/㎠의 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	

제 3 절 일반과제

과제명	역삼투식 해수담수화공정 고급세정 실증화 기술
1. 연구개발 목표	
	❍ 전세계적으로 물 부족에 따른 물산업의 급격한 팽창과 해외 진출 전략으로서 최근 해수담수화플랜트분야 사업화에 핵심 공정인 “세정 기술”을 개발하여 실질적인 입찰 및 설계에 반영될 수 있도록 상용 Pilot 규모의 장기 운전 및 처리 성능을 검증하고 최적의 경쟁력 있는 설계인자 도출 ❍ 역삼투(RO) 해수담수화공정에서 기술선도국 수준(100%) 설계 경쟁력 확보 ❍ 해외 턴키(T/K) 및 운영관리(BTO)시장에서 국내기업의 수주 경쟁력 확보
2. 기술개발 및 산업/시장동향	
□ 기술개발의 필요성	❍ 역삼투(RO) 해수담수화공정의 설계 및 운영관리 기술로서 “세정기술”은 핵심 설계요소기술이고, 운영관리 리스크를 최소화할 수 있는 중요한 완충기술이기 때문에 이에 대한 기술력 확보가 필요함 ❍ 물산업은 “설계·구매·건설(EPC) 30%”, “운영관리(BTO) 70%” 비중을 차지하며 그 중 해수담수화플랜트에서 주공정인 역삼투공정의 건설비 비중은 50% 이상 차지하는 상황에서 기술선도국은 최근 무한경쟁 물시장에서 핵심 “설계-구매(EP)”만 수행하므로 역삼투(RO) 해수담수화공정의 설계 및 운영 관리에 세정기술을 적용함으로써 국내 및 세계시장 진출에 교도부 역할을 할 수 있는 기술력 확보가 필요함 ❍ 단기간에 국내 물기업의 해수담수화분야 해외진출을 위한 설계 최적화 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 개발 기술의 실규모 장기 실증을 통한 장기 검증 및 설계 최적화 기술개발 추진이 필요함
□ 기술동향	❍ 해수담수화기술을 통한 물 생산량은 1965년부터 지속적으로 성장하여 현재 약 4,000 만톤/일을 초과하고 있으며, 앞으로도 연평균 17% 이상 성장할 것으로 예측되므로 해수담수화플랜트 산업은 미래 신성장동력 산업으로써 잠재력이 높음

❍ 현재 담수화 시장은 68.7 백만톤/일 규모이며, 이 중 해수담수화 시장은 63 %(43.2 백만톤/일)를 차지하며 중동 중심의 시장에서 미국, 호주, 유럽 등 시장이 다양화되어 성장하여 2016년 해수담수화플랜트 시장의 규모는 약 190 억불로 예상됨

❍ 해수담수화 플랜트 산업은 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

3. 연구개발 내용

❍ 물리세정기술의 중·대용량 해수담수화플랜트 최적 설비구성 도출

❍ 실제 해수에 대한 계절별, 전처리별 장기 Pilot 성능 신뢰성 평가

❍ 세정기술 적용에 따른 8 / 16 인치 RO막 제조사별 성능 신뢰성 평가

❍ 원수수질별, 전처리별, 화학세정제별 평가 및 적용 가이드라인 도출

❍ PFD, P&ID, M/B 등 실제 설계화에 따른 기본설계 경제성(LCC) 분석

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

❍ 1차년도

- 해수 SWRO Pilot Plant 적용 Site 선정 및 수질 조사
- Pilot Plant 초기 적용 운전인자 도출 및 기본 설계
- Pilot Plant 제작 : 실험군 (개발기술) vs 대조군 (종래기술)

❍ 2차년도

- Pilot Plant 시운전
- 해수 SWRO Pilot Plant 장기 실증 결과 도출
- 계절별, 전처리별, RO 제조사별 장기 운전 및 처리성능 평가

❍ 3차년도

- 운전압력, 회수율 등 변화에 따른 장기 운전 및 처리성능 평가
- 물리세정 및 유지화학세정 적용 표준 가이드라인 도출

❍ 4차년도

- 역삼투방식 해수담수화플랜트 원천기술 적용 신기술 인증

	- PFD, P&ID, M/B 등 기본 설계 표준화 및 경제성 (LCC) 분석
□ 추진체계	❍ 연구책임자는 단계별 목표를 수립하고, 이에 적합한 추진전략 및 일정 계획을 수립함 ❍ 연구 주제별 각각의 산/학/연 연구 그룹을 구성하고, 요소기술 및 해당 성과물의 특성에 적합하도록 주도적 역할 할당 ❍ 학연 연계 수행: 기술개발 방향 및 핵심 기술 개발 담당 ❍ 산학연 연계 수행: 개발된 핵심기술의 실용화, 상용화 담당 ❍ 과제 단계별로 조사, 연구와 개발 단계를 구별하여 단계별 적합한 그룹에게 연구의 주도권이 주어지도록 주도적 연구/개발 역할을 배분함 ❍ 신속한 기술 확보를 위하여 참여 연구 기관 및 위탁 기관의 참여 기간을 유동적으로 설정함 ❍ 해외 유수 연구 그룹과 MOU 체결을 통한 국제적 자문 그룹의 활용 및 기술교류를 활성화 함
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	❍ 경쟁력 확보를 위한 세정기술의 실규모 pilot 장기 검증 및 기본설계 최적화 및 활용 가이드라인 도출
6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	❍ **총 연구기간: 4년** ❍ **총 연구비 : 60억원**(정부 45억원, 민간 : 15억원)
6. 기 타	

과제 카드

제 1 절 정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단

세부과제명	정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 - 1 세부 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술
□ 목표 및 내용	
목표	■ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 ❍ 해수, 농축수, 하수 조합에 대한 정/역삼투 작동 메카니즘 규명을 통한 해수담수화공정 최적화 기술 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술의 개발 - 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정 - 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정 ■ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 ❍ FO/RO 하이브리드 공정에 특화된 막오염 예측/제어 기술 개발을 통한 시장선점 및 표준화 선도 - FO 전처리/후처리 막오염 지수 개발 - 전처리 및 막의 화학세정에 요구되는 에너지 저감 (1.0 kWh/m^3 --> 0.5 kWh/m^3) ■ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 ❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에 적합한 막오염 규명, 제어 및 세척 기술 개발을 통한 전체 공정의 효율 향상 - 막오염 저감으로 인한 막 성능 향상 및 운영비 절감
주요 연구내용	■ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 ❍ 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 농축수의 염도에 따른 정삼투 공정 이동현상 - 농축수의 이온 구성비(해수 원수 대비)에 따른 정삼투 작동 메카니즘 - 작동메카니즘에 따른 Feed-Forward 식의 역삼투 공정 운영조건 개선기술 - 내부, 외부 농도분극현상 이론 정립; 정삼투 메카니즘과의 관계 규명 - 용매이동, 용질간섭과 정삼투 막 특성 별 작동 메카니즘 규명 ❍ 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 하수 Feed 내의 고분자형 하수유기물질 분자량별 정삼투 메카니즘 규명 - 이온과 고분자 유기물질 공존시 발생 가능한 정삼투 이동현상 규명 - 농축수 이온 구성비-해수 유기물질 성상 별 정삼투 메카니즘 - 이온구성, 해수유기물질 매트릭스별 최적 설계, 운영 인자화 기술개발 - 고농축 농축수, 해수 정삼투 전후의 고난이 수질분석(유기물측면) 기술개발

❍ 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정
- 역삼투 공정, 정/역삼투 공정의 이온(1가, 2가이온 별도), 해수 및 하수
- 유기물을 연결하는 Feed-back, Feed-forward 수질제어 설계인자 제공기술
- 하수 Feed 내 유기물 분자량에 따른 정삼투 장해요인 최소화 이론, 실험연구
- 온도에 따른 정삼투 장해요인 최소화 통한 최적 설계 조건 제시 연구

❍ 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정
- 다변량 정/역삼투 해수담수공정의 효율극대, 막오염 등 장애요인 최소화기술
- 효율을 예측할 수 있는 경험적 정보시스템 제공, 설계, 운영 기초자료 제공

정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발

❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 메커니즘 규명 및 예측기술 개발
- 하수 수질 특성별 활성층 fouling 평가 및 메커니즘 규명
- 해수/농축수 수질 특성별 지지층 fouling 평가 및 메커니즘 규명
- 해수/농축수 역확산에 의한 활성층 막오염 메커니즘 규명
- 막오염 메커니즘에 따른 막 오염 예측 기술 및 평가 프로토콜 개발

❍ 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염지수 개발 및 막오염지수에 의한 설계 및 운영 조건 도출
- 하수 내 유기물 성분별 막오염과의 상관관계 데이터베이스 구축
- 해수 특성에 따른 막오염 상관관계 데이터베이스 구축
- 정삼투 막 성능 특성 분석 및 데이터베이스 구축/ 정삼투 막 성능에 따른 막 오염 상관관계 분석, 평가
- 정삼투-역삼투 통합 공정 특성을 반영한 신개념 막오염지수 개발
- 신개념 막오염지수에 따른 설계 및 운영 가이드 라인 개발 및 최적 프로토콜 구축

❍ 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염 제어 기술 개발
- 통합 공정에서의 최적 물리적 세척 개술 개발
- 막 오염을 최소화 할 수 있는 공정 운영조건 도출
- 막 오염 제어 효율성 극대화를 위한 막 모듈 디자인 및 설계
- 막오염 제어 및 공정 운영 최적화를 위한 프로토콜 개발
- 막오염 제어 기술 및 최적 운영 프로토콜 현장적용을 통한 실증 데이터 확보

정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발

❍ 해수/하수를 이용하는 정삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발
- 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 정삼투 막오염 매커니즘 연구
  : 원수 (wastewater) 전처리 방법에 따른 정삼투막 막오염 연구
  : 유도용액 (seawater) 역확산으로 인한 정삼투막 활성층의 막오염 매커니즘 연구
  : 유도용액 (seawater) 내 존재하는 막오염원에 의한 정삼투막 지지층의 막오염 연구
  : 막오염 잠재력이 큰 공정수(하수 농축수/역삼투 농축수)를 사용하는 2nd stage 정삼투막에서의 유기/생물학적 막오염 연구
- 정삼투막의 표면특성(활성층/지지층) 및 재질을 고려한 막오염 평가 및 분석 방법 개발
  : 정삼투막을 이루는 활성층/지지층에 대한 막오염 평가 방법 개발
  : 다양한 재질의 정삼투막의 막오염 분석 방법 정립

	❍ 희석된 해수를 이용한 역삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발 - 생물학적 막오염 예측을 위한 미생물 검출 바이오센서 시스템 연구 - 정삼투 공정에 의해 희석된 해수 내 존재하는 막오염원에 의한 역삼투막 막오염 연구 - 파괴/비파괴 검사를 통한 과학적인 접근방식을 적용한 막오염 평가 방법 정립 ❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 제어 기술 개발 - 미생물 신호전달 조절을 이용한 친환경 생물학적 막오염 제어기술 개발 : 미생물 신호전달물질 (AHL) 및 세포외 고분자 물질 (EPS) 분해 효소적용에 의한 친환경적 막오염 제어 기술 연구 : 자성 나노입자를 사용한 효소 고정 및 자성분리에 의한 재사용성 평가/최적화 (pH, 온도, 효소 농도) : 역삼투 공정에 최적화된 주입 및 회수 시스템 구축 - 정삼투막 표면 개질을 통한 막오염 제어 기술개발 : 생체분자(아미노산, 항균물질) 혹은 나노입자를 이용한 정삼투막의 내 오염성 증가 : 정삼투 공정 운전을 통한 증가된 내오염성 평가 ❍ 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 모니터링 및 유지관리 기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 내의 공정수 초정밀 수질분석을 통한 막오염원의 거동 및 막오염 인자 도출 (유,무기/생물학적 막오염원) - 공정운전 인자 조절을 통한 경제적 정삼투막 세척기술 개발 (물리적) : 유입수의 유속조절을 통한 물리적 세척조건 (주기, 시간, 유속) 최적화 : 정삼투막의 투과수 방향 전환을 통한 물리적 세척기술 개발 : 물리적 세척방법에 따른 각 오염물질들의 제거 효율 분석 - 역삼투 공정에서의 유입수 농도 및 막오염원 특성별 (유기, 무기, 나노입자, 미생물) 막오염에 따른 화학 세척조건 최적화 및 세척능 평가(수투과도 비교) - 물리적 & 화학적 세척에 따른 막 손상 예측 및 평가방법 적용(분리막 직접완결성 시험)
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 본 과제의 효과적인 수행을 위하여, 정삼투 메카니즘 규명팀, 농축수-해수-막매트릭스 별 정/역삼투 융합공정 전체 효율극대화 설계, 운영 기본인자 제공기술개발팀, 해수, 하수, 농축수, 처리수 고난이 수질분석 팀으로 나누어 파일럿 설계, 운영과 협력하고, 막개발 팀과도 피드백형식의 공동연구를 수행 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 공정에서의 잠재적 막오염 요소에 대한 기초연구를 기반으로 이를 예측할 수 있는 막오염 지수 및 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 해수담수화 공정에서의 공정에 따른 잠재적 막오염 요소에 대한 기초연구를 기반으로 막오염을 예측하고 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 개발
기술개발 최종성과물	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 정/역삼투 전체 융합 공정의 효율극대화 설계, 운영 기초인자

	- 고농도 이온 및 다양한 분자량 유기물질 별 정삼투 메카니즘 이론 정립 - 농축수-해수 Feed-막을 연결하는 최적 조건 도출 기술 - 고난이, 고간섭 농축수, 하수 수질분석 기술 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO 활성층 유기 막오염 지수 - FO 지지층 생물 막오염 평가 프로토콜 - FO 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템 - 내오염성 FO막 및 Spacer 특허 및 reference ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 정삼투 막오염 매커니즘 (입자, 무기물, 유기물, 생물 막오염) - 정삼투에 특화된 막오염 평가 시스템 - 미생물 신호전달 제어를 통한 막오염 저감 기술 및 특허 - 정삼투 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	800	1,200	2,000	1,400	1,100	6,500	
	민 간(추정)	800	1,200	2,000	1,400	1,100	6,500	
	합 계	1,600	2,400	4,000	2,800	2,200	13,000	

□ 기대효과

기대효과	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 차세대 해수담수화 플랜트를 신개념 공정기술로 만들어 냄으로써, 새로운 시장에 대비할 수 있고, 선점할 수 있을 것으로 기대 - 세계 물 시장은 향후, 상수, 하수처리 등이 융합된 형태로 진행될 가능성이 높아 이를 대비할 수 있음 - 정삼투 메카니즘을 새로운 차원으로 재해석함으로써, 파생될 수 있는 공정기술이 본 연구과제를 통하여 나오고 직접 산업화기술로 연결될 것으로 기대 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - FO/RO 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 - FO 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 - FO 막오염 지수 및 평가 프로토콜에 대한 다수의 특허 확보 - FO/RO 하이브리드 기술 시장 확대에 기여 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 친환경적 막오염 제어 기술에 대한 다수의 특허 확보 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 - 정삼투 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 - 정삼투/역삼투 하이브리드 플랜트 기술 시장 확대에 기여

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	❍ 정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술 - 지경부 고효율/저에너지 사업과 직간접적 연계 가능 - 현재 해수담수화 사업단의 역삼투 막공정기술을 접목가능하고, 한계 극복 가능 ❍ 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발 - 現 지경부 고효율/저에너지 FO 전용막 개발을 위한 WMP 사업과 연계협력 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용 - 現 해수담수화 사업단의 막오염 지수 기술 접목 가능 - 내오염성 막 표면 및 Spacer 개질을 위한 나노 코팅 기술 활용 ❍ 정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발 - 現 해수담수화 사업단의 초정밀 해수분석 기술 및 장비 활용 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 막오염 예측 센서 기술 활용 - 내오염성 정삼투막 및 Spacer 개질을 위한 고분자 코팅 기술 활용 - 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용

세부과제명	정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 - 2 세부 **정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발**
□ 목표 및 내용	
목표	■ **정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 핵심기술의 개발과 엔지니어링 및 운영관리 기술 확보를 통한 세계시장 진출 기반 마련 - 저에너지 : 톤당 전력량 35% 이상 (톤당 전력량 목표 : 2.5 kWh/m3) - 농 축 수 : 수량 20% 이상, 염도 25% 이상 저감 - 톤당 생산단가 : 25% 이상 저감 ■ **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 가압형 정삼투 공정을 이용하여 하이브리드 해수담수화 시스템 원천기술의 개발 - 압력 10 atm 회수 - 회수율 10% 증대
주요 연구내용	■ **정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - FO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution)를 이용한 FO/RO 융합 공정 기술 - 하수(원수) 및 FO 분리막 조건에 적합한 FO/RO 공정 전처리 기술 - 수질안정성 향상 위한 FO/RO 분리막 감시 및 공정 제어 기술 - FO/RO 분리막 파울링 제어 등 최적 유지관리 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 고회수율, 저에너지 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 소규모 파일롯 테스트 및 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 시스템 농축수 배출 공정 기술 ❍ 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 원천기술 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) ❍ 테스트베드 적용 및 엔지니어링 기술 개발 (1,000톤/일 규모 이상) - 대상 지역의 현장 조사 및 부지 선정 : 하수처리수 현황, 해수 유입조건, 농축수 처리조건, 관련기관/지자체 협의 - FO/ RO 하이브리드 해수담수화 공정의 중대규모 설계 기술 : FO/RO 분리막 트레인 설계, 전처리 설비 및 펌프, 밸브 최적 구축 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) Intake 위한 기존시설 개량 설계 기술 - 공정별 에너지 소요현황 시뮬레이션 분석과 연계한 최적 공정 설계 기술 - 농축수 최소화 위한 FO/RO 하이브리드 플랜트 설계 기술 ❍ FO/RO 통합 운영 환경 플랫폼 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 통합 운영관리 시스템 : 중앙집중 원격 감시 제어시스템 (SCADA) : 데이터 마이닝 기반 의사결정지원 시스템

	: 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) 수질에 따른 회수율 제어 기술 : 해수 및 RO농축수 농도(TDS) 변동에 따른 최적 농축수 순환/제어 기술 : FO/RO 분리막 파울링 방지/ 대응 위한 유지관리 기술 : EMS (Energy Management System) 등 최적 에너지 운영관리 프로그램 **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 농축수 recycle 시스템 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) ❍ 10 톤/일 파일럿 검증 - 설계기술 • 최적 멤브레인 선정, 가압 시스템 업그레이드 엔지니어링 기술 • 해수 및 농축수 이용을 위한 원천기술 시스템 비교 평가 - 50 ton/d 규모의 파일럿을 통한 장기운전
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	**정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템의 핵심기술 개발과 동시에 테스트베드 실증을 위해서 해외 Site의 현지조사, 부지선정 및 설계를 진행하고, 테스트베드의 구축/ 장기 운영평가를 통한 엔지니어링 기술 및 최적 운영 환경플랫폼을 개발 **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 역삼투 공정의 전력비 감소를 위한 에너지 회수를 총 2단계로 실시 - 에너지 회수장치에 의한 직접적인 에너지 회수 - FO를 이용한 Chemical potential 에너지의 간접적 회수 ❍ 주관과제인 정삼투 융합기술과 협력을 통한 시스템 엔지니어링 확립 - 1단계 : 운전조건 및 요소기술의 확립 ⇒ 2년 • 실험실 조건하에 유입해수의 가압조건 확립 • 파울링 등의 운전조건에 따른 운영조건 모니터링 • 1차 경제성 평가 - 2단계 : 10 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 • 최적 멤브레인 선정 • 시스템 엔지니어링 : 막의 구조에 따른 반응조 형태 확립 • 장기운전을 통한 모니터링 및 운전조건 확립 • 2차 경제성 평가
기술개발 최종성과물	❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 고효율 저에너지 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 실증 및 핵심 공정 신기술 인증 - 엔지니어링 기술 및 SCADA 시스템과 연계한 최적 운전 환경 플랫폼

	❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 - 핵심 공정 신기술 인증

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	1,200	1,300	4,500	4,300	1,700	13,000	
	민 간(추정)	1,200	1,300	4,500	4,300	1,700	13,000	
	합 계	2,400	2,600	9,000	8,600	3,400	26,000	

□ 기대효과

기대효과	**정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 기술/ 산업적 효과 - 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 ❍ 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출 **가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발** ❍ 기술/ 산업적 효과 - 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 ❍ 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	❍ 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 테스트 베드 Site 선정시 참여기업의 해외 해수담수화 파일럿 혹은 플랜트의 원수/ 설비/ 부지 등 활용 - 現 해수담수화 플랜트 사업단 SWRO 공정 주요 개발 기술 활용 - 기존 RO 해수담수화 플랜트의 SCADA 시스템을 응용한 FO/RO 하이브리드 - 해수담수화 플랜트 적용 및 최적화 ❍ 가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발 - 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

세부과제명	정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 - 3 세부 **신소재 정·역삼투 막 제조기술**
□ 목표 및 내용	
목표	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.7% (8*40 인치@800PSI, 32,000mg/L NaCl)급 SWRO 해수담수화 모듈 개발 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.6% (8*40 인치@225PSI, 1,500mg/L NaCl)급 BWRO 해수담수화 모듈 개발 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 탄소나노튜브를 포함한 다양한 나노소재를 이용한 고투과성 정삼투 분리막 제조 원천기술 확보 - 제조된 나노소재 기반 정삼투 분리막 활용하는 담수화 공정의 기본개념 확립 (소형 파일럿 플랜트를 통한 검증) - 기존 정삼투 공정 대비 에너지 30% 절감
주요 연구내용	■ **신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 고투수/고내구성의 초박막 신소재 기반의 hybrid 역삼투 분리막 개발 - Pure water flux >240GFD (@1bar, SD<10)급 역삼투 분리막 지지층 개발 • 지지층 분리막 단계별 제조조건 확립 • 나노 기술 기반의 지지층용 초친수 나노 소재 개발 • 지지층/초친수 소재 hybrid 기술 개발 - 염제거율 >99.7%, 유량 >45GFD (@800PSI, 32,000mg/L NaCl) 및 염제거율 >99.6%, 유량 >45GFD급 (@225PSI, 1,500mg/L NaCl) 역삼투 분리막 활성층 개발 • 나노 구조체의 형상 구조제어기법 연구 • 나노 기술을 이용한 최적의 분리막용 나노 소재 개발 • 나노 기공 구조체를 이용한 고투과성, 고내구성 복합 분리막 개발 • Disruptive technology 기반의 미래 원천 분리막 소재 개발 - J/J0 > 0.85급 (@Casein 100ppm, 5h) 역삼투 분리막 내오염 보호층 개발 • 내오염 기능을 부여하는 친수성 고분자 개발 • 나노 기술 기반의 내오염성 초친수 나노 소재 개발 • 활성층/내오염성 초친수 소재 hybrid 기술 개발 ❍ 고투과 역삼투 모듈 개발 - 16,000GPD급 고투수 모듈 제조 기술 개발 • 분리막 모듈의 leaf의 수, diameter, area, channel height 등의 설계 인자 도출 및 설계인자 최적화 • CFD를 이용하여 channel에서의 유동 해석 및 spacer 구조 최적화 • 압력강하를 최소화하기 위한 분리막 모듈 엔드캡 구조 최적화 • 분리막 모듈 평가를 위한 모델 개발, 검증 및 분리막 모듈 평가 표준화 프로토콜 확립 - 분리막 성능 및 수명평가 데이터베이스 구축 • 구축된 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용하여 생산된 데이터를 이용하여 분리막 수명 예측 모델을 개발

	• 단·장기적 실험을 통해 분리막 성능 및 수명 평가 데이터베이스 구축 ❍ 담수화 공정의 저에너지 고효율을 위한 설계 최적화 기술 개발 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발 - 에너지 효율 향상을 위한 BOP (Balance of Process) superstructure의 최적화 (전/후처리, pump 등) - 에너지 효율 향상을 위한 분리막 모듈의 superstructure 최적화 **■ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 1단계 사업 목표 및 내용(1차년도~2차년도) - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투/ 분리막 제조 원천기술 개발 • 다양한 구조의 탄소나노튜브를 이용한 분리막 제조기술 비교 • 기능 및 안정성 측면에서의 최적 막소재 도출 (정삼투 1종) ❍ 단계 사업 목표 및 내용(3차년도~5차년도) - 개발 소재의 성능향상 및 활용 공정기술 개발 • 개발 막 소재의 성능향상을 위한 표면처리 및 구조변경 기술 개발 • 개발 막 소재를 이용한 Proof-of-concept 장치 개발 • 기존 공정과의 비교 및 효율 검증
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	**■ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 과제 1차년도 - 고유량 RO 분리막용 지지체 연속 제조 기술 개발 - 초박막 계면중합 기술 개발 - 역삼투 분리막 lab 개발 (염제거율 99.7%, 유량 40GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 40GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) - 막오염 저감소재 발굴 ❍ 과제 2차년도 - 초친수 나노 소재 hybrid 기술 개발 - 내오염 평가 기술 개발 - 친수성 고분자를 활용한 RO 분리막 표면 개질 기술 개발 - 역삼투 분리막 연속제조 pilot 구축 (염제거율 99.7%, 유량 45GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 45GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) ❍ 과제 3차년도 - 내오염 고분자 코팅 기술 개발 - 기존 모듈의 종류에 따른 성능 비교 및 분석 - 유동 해석 및 설계인자 도출 - 모듈제조 pilot 구축 - 프로토타입 모듈 제작 - 내오염 분리막 모듈 pilot 시생산 및 성능 검증 (염제거율 99.7%, 유량 16,000GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 16,000GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl)

	❍ 과제 4차년도 - 모듈 pilot 제조 및 실증평가 - 다양한 유기오염 물질 적용 테스트 ❍ 과제 5차년도 - 실증평가 완료 ■ **나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 1단계 - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투막 및 막증발법 분리막 제조 원천기술 개발 ❍ 2단계 - 개발 소재의 성능향상, 실용화 및 이를 활용한 공정 개발
기술개발 최종성과물	■ **신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술** ❍ 고효율/고내구성의 초박막 나노 소재 hybrid 역삼투 분리막 개발 - Rejection >99.7%, Flux >45 GFD급 SWRO 분리막 개발 - Rejection >99.6%, Flux >45 GFD급 BWRO 분리막 개발 - Anti-fouling 용 표면 처리 기술 적용 (J/J0 > 0.85) ❍ 고투수 역삼투 모듈 개발 - 기존 SWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발 (Flux >16,000 GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl) - 기존 BWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발 (Flux >16,000 GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) - 분리막 성능 및 수명 평가 system 구축을 통한 평가 DB 구축 및 활용 실적 - 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용한 수명 예측 모델 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발 ■ **나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발** ❍ 나노소재를 이용한 정삼투막 : 2L/m^2-hr-bar ❍ 정삼투 공정 : 기존 정삼투 공정 대비 에너지 소요량 70% 이하 ❍ 최종결과물명 #1: 탄소나노튜브 기반의 정삼투 분리막 소재 ❍ 최종결과물명 #2: 탄소나노튜브 기반의 정삼투막을 이용한 담수화 공정 설계기술

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	500	1,300	1,400	1,300	1,000	5,500	
	민 간(추정)	500	1,300	1,400	1,300	1,000	5,500	
	합 계	1,000	2,600	2,800	2,600	2,000	11,000	

□ 기대효과

기대효과	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 새로운 신소재 역삼투막의 시장개척을 통한 새로운 부가가치 창출

	- 신기술 시장 선도를 통한 일자리 창출 - 역삼투막 제조의 국산화 선도 및 경쟁유발을 통한 기격인하 효과 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 - 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 - 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출 - 담수화 분야의 국내외 시장 진출 - 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 - 차세대 담수화 기술로 활용 가능 - 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 - 기타 수처리 분야에도 활용가능
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	❍ 신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술 - 물재이용 시장과의 연계기술 - 역삼투막 엔지니어링 기술과의 연계 조합 - 2 세부과제 내 대용량 파일럿 플랜트 설계시 연계 ❍ 나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발 - 성공여부에 따라 후속 차세대 정삼투 공정 연구 연계

세부과제명	정·역삼투융합 해수담수화플랜트 고도화기술 개발 연구단 - 4 세부 저비용 전처리 기술개발
□ 목표 및 내용	
목표	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 경제적 전처리 막 개발 ❍ FO-RO 조합공정의 저에너지 고효율 전처리를 위한 고도수처리/막여과 공정기술 개발 ❍ 전처리공정 사용량 0.15 kWh/m^3 이하 ❍ 해수담수화 전용 전처리 막 (MF/UF) : 기존 대비 투과율 150% 향상 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ DBP 중 브로메이트 최소화를 위한 소독설비 개발 - Yeild : 95% 이상 - 순도 : 99% 이상 - 브로메이트 : 생산수내 0.02 mg/L 이하
주요 연구내용	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 - FO-RO 공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정안 도출 - 해수담수화 전용 저에너지 고효율 MF/UF 막모듈 개발 - Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 조합공정을 위한 전처리기술 개발 - 전처리 공정 Unit 설계기술 개발 및 Package화 ❍ 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 - 고도처리/막모듈 특성분석에 기반한 성능향상 연구 - Pilot plant 적용 및 운전특성 분석 - 기존 공정과의 비교 및 효율 검증 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 전극 시스템을 이용한 소독 생산 시스템 Lab test - 문헌 연구/실험실 연구를 통한 소독 시스템의 단/장점 분석 - 브로메이트 최소화를 위한 전극시스템 개발 - 상업용 전극 시스템 엔지니어링 기술 개발 - 프로토 타입 운전을 통한 시스템 안정화 기술 개발 - 농축수용 및 해수용 다원화 시스템 개발 - 바이오 파울링 저감 능력 검증 - 역삼투막/정삼투막에 미치는 영향 검증 ❍ 농도 제어용 모니터링 기술 개발 - 농도 제어를 위한 모니터링 제어시스템 개발 - 50 톤/일 파일럿 검증

	- 시스템 검증을 위한 장기운전 - 기타 DBP 발생 가능성 분석 - 경제성 평가 (농축수용 VS 해수용) - 설계 및 엔지니어링 기법 확립 • 전극시스템 • 반응조 contact 시스템 ❍ 2세부과제 파일럿과 연계를 통한 시스템 검증 - 파일럿 검증을 위한 연동 시스템 개발

□ 추진계획 및 성과

추진계획	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 1단계 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 ❍ 2단계 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 1단계 (원천기술 개발): 전극 시스템 개발과 안정성 확립 ⇒ 3년 - 다양한 종류의 전극 개발 및 그에 따른 시스템 개발 - ClO_2 농도별 모니터링 시스템 ❍ 2단계 : 50 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 ⇒ 2년 - 장기운전을 통한 시스템 엔지니어링 기법 확립 - 시스템의 사업화
기술개발 최종성과물	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ FO-RO 조합공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정기술 ❍ 해수담수화 전처리 전용 MF/UF 막모듈 ❍ Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 전처리 공정 설계기술 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ Gas permeable membrane system 및 Un-divided Electrochemical Generation System 개발 및 사업화 - 해수담수화플랜트 적용 (Bromate등의 DBP 발생 억제기술 확보) - Yield: > 95%, Purity: 99%

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	600	1,000	1,300	600	500	4,000	
	민 간(추정)	600	1,000	1,300	600	500	4,000	
	합 계	1,200	2,000	2,600	1,200	1,000	8,000	

□ 녹색기여도 및 기대효과	
기대효과	■ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 ❍ 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 ❍ 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 ❍ 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출 ❍ 담수화 분야의 국내외 시장 진출 ❍ 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 ❍ 차세대 담수화 기술로 활용 가능 ❍ 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 ❍ 기타 수처리 분야에도 활용가능 ■ 전처리 고효율 소독설비 개발 ❍ 기술적 효과 - 국제적으로 문제가 제기되고 있는 해수담수화플랜트의 Bromate 부산물 발생에 대한 해결책을 제시하는 신기술로서 세계시장을 선점하고 주도 함 - 담수화플랜트 뿐만 아니라 해양 및 플랜트분야의 전기화학기술의 적용능력 및 적용 분야의 확대 - 차세대 국가 성장동력인 해수담수화플랜트 및 해양플랜트와 발전플랜트등의 부품/소재 국산화완성으로 인한 부가가치 창출 및 공정최적화에 기여 - 기술의 국산화를 통한 국산제품 신뢰성 증대 - 해수담수화플랜트, 발전플랜트, 해양플랜트 등의 해외 플랜트수주 경쟁력 제고 및 국내 플랜트 기자재의 기술 신뢰성 향상 ❍ 경제적 효과 - 전량 해외기술에 의존하고 있는 현황 타개로, 수입대체효과를 극대화 함 - 세계시장에서 국내기업의 관련 플랜트 수주 경쟁력 제고로 본 개발기술 및 관련 플랜트의 수출증대효과를 기대할 수 있음 - 향후 정수처리, 하수 처리등 일반 수처리 분야에의 본 기술력 적용 및 시장 확대를 비롯한 국제경쟁력 제고 - 국내기술 및 국산 기자재의 국제적 신뢰성 제고
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	❍ FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발 - 향후 MBR 공정 및 물재이용 공정에 활용 - 2세부과제와 연계 ❍ 전처리 고효율 소독설비 개발 - 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

제 2 절 MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

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 ❍ 싱가폴 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음 ❍ 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 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 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
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

<table>
<tr><td></td><td>- 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 ㎥/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
- 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 경제성 분석</td></tr>
<tr><td>7. 정부지원의 타당성</td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>8. 기술확보 전략</td><td>
<table>
<tr><th>기술 분야</th><th>확 보 방 안</th></tr>
<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 연구경험을 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>
</table>
</td></tr>
</table>

9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안

최종성과물	활용방안
400 ㎥/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 저감이므로, 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/MCr 공정 농축수를 이용한 PRO 실증 파일럿 시스템 개발 (막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m^2)
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/m^2의 전력밀도를 얻고 있으며 전력 생산은 약 6 kW 임. 다른 신재생에너지와 비교하여 경제성 면에서 우위를 갖기 위해 5 W/m^2의 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 5.3×10^{-12}m/s · Pa으로 이를 전력생산량으로 환산하면 해수 기준으로 6.1W/m^2, 농축수 기준으로 15.3W/m^2이나, 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	❍ PRO을 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

<table>
<tr><td></td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>7. 정부지원의 타당성</td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>8. 기술확보 전략</td><td>
<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>
</td></tr>
<tr><td>9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>
<table>
<tr><th>최종성과물</th><th>활용방안</th></tr>
<tr><td>고수투과율 PRO 전용막 제조기술</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>
</td></tr>
<tr><td>10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td>
<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="2">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>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 colspan="2">합 계</td><td>3,200</td><td>5,900</td><td>3,950</td><td>3,000</td><td>2,000</td></tr>
<tr><td>총</td><td>정부</td><td colspan="2">9,050</td><td>총</td><td colspan="2">5 년</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

	연구비 (백만원)	민간	9,000	연구기간	
		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 100㎏/㎠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 자원화함으로서, 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 100㎏/㎠의 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

<table>
<tr><td rowspan="6">10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>800</td><td>800</td><td>950</td><td>800</td><td>700</td></tr>
<tr><td>민간 (추정)</td><td>350</td><td>400</td><td>500</td><td>400</td><td>350</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>1,150</td><td>1,200</td><td>1,450</td><td>1,200</td><td>1,050</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">4,050</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">2,000</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">6,050</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">16 명</td></tr>
<tr><td>11. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">❍ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물을 자원화함에 따라 부산물의 추가적인 처리 비용이 필요 없고, 2차적인 환경오염을 방지
❍ 재활용품 생산을 통한 부가가치 창출</td></tr>
</table>

제 3 절 일반과제

1. 과제명	일반과제 역삼투식 해수담수화공정 고급세정 실증화 기술
2. 연구개발목표	❍ 전 세계적으로 물 부족에 따른 물산업의 급격한 팽창과 해외 진출 전략으로서 최근 해수담수화플랜트분야 사업화에 핵심 공정인 “세정 기술”을 개발하여 실질적인 입찰 및 설계에 반영될 수 있도록 상용 Pilot 규모의 장기 운전 및 처리 성능을 검증하고 최적의 경쟁력 있는 설계인자 도출을 연구개발목표로 함
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	❍ 해수담수화기술을 통한 물 생산량은 1965년부터 지속적으로 성장하여 현재 약 4,000 만톤/일을 초과하고 있으며, 앞으로도 연평균 17% 이상 성장할 것으로 예측되므로 해수담수화플랜트 산업은 미래 신성장동력 산업으로써 잠재력이 높음 ❍ 현재 담수화 시장은 68.7 백만톤/일 규모이며, 이 중 해수담수화 시장은 63 %(43.2 백만톤/일)를 차지하며 중동 중심의 시장에서 미국, 호주, 유럽 등 시장이 다양화되어 성장하여 2016년 해수담수화플랜트 시장의 규모는 약 190 억불로 예상됨 ❍ 해수담수화 플랜트 산업은 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
4. 기존기술 활용방안	❍ 해수담수화플랜트사업단(`07 ~ `12)의 1-5에서 개발된 연구 성과물로서 CIP 세정기술 적용
5. 기술개발 필요성	❍ 역삼투(RO) 해수담수화공정의 설계 및 운영관리 기술로서 “세정기술”은 핵심 설계 요소기술이고, 운영관리 리스크를 최소화할 수 있는 중요한 완충기술이기 때문에 이에 대한 기술력 확보가 필요함. ❍ 물산업은 “설계·구매·건설(EPC) 30%”, “운영관리(BTO) 70%” 비중을 차지하며 그 중 해수담수화플랜트에서 주공정인 역삼투공정의 건설비 비중은 50% 이상 차지하는 상황에서 기술선도국은 최근 무한경쟁 물시장에서 핵심 “설계-구매(EP)”만 수행하므로 역삼투(RO) 해수담수화공정의 설계 및 운영관리에 세정기술을 적용함으로써 국내 및 세계시장 진출에 교도부 역할을 할 수 있는 기술력 확보가 필요함. ❍ 단기간에 국내 물기업의 해수담수화분야 해외진출을 위한 설계 최적화 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 개발 기술의 실규모 장기 실증을 통한 검증 및 설계 최적화 기술 개발 추진이 필요함.
6. 주요연구 개발내용	❍ 물리세정기술의 중·대용량 해수담수화플랜트 최적 설비 구성 도출 ❍ 실제 해수에 대한 계절별, 전처리별 장기 Pilot 성능 신뢰성 평가 ❍ 세정기술 적용에 따른 8 / 16 인치 RO막 제조사별 성능 신뢰성 평가 ❍ 원수 수질별, 전처리별, 화학세정제별 평가 및 적용 가이드라인 도출 ❍ PFD, P&ID, M/B 등 실제 설계화에 따른 기본설계 경제성 (LCC) 분석
7. 정부지원의 타당성	❍ 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술 개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치하고, 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는 대표적인 브랜드로 성장할 수 있는 잠재력이 큰 기술이기 때문임 ❍ 국토해양부는 2006년 새롭게 수립한 건설교통 R&D 혁신로드맵의 “미래가치 창출이

<table>
<tr><td></td><td colspan="7">가능한 10대 과제(VC-10)” 중의 하나로 해수담수화플랜트 사업단을 2006년 12월 29일 발족하여 “세계 최고의 역삼투 해수담수화 기술 확보“를 목표로 연구개발을 현재까지 지속적으로 수행해 왔으며, 그 결과 현재 국내 해수담수화플랜트 기술의 수준은 선진국 수준에 이르는 것으로 평가됨. 따라서 미래 선도 기술 개발을 위한 국가의 적극적인 투자가 요구됨
❍ 세정기술의 적용을 통한 설계인자 도출하는 본 과제에서도 정부의 투자가 우선 기반이 되어야 함으로 정부지원 기술개발이 타당함</td></tr>
<tr><td>8. 기술확보 전략</td><td colspan="7">❍ 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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="6">❍ 경쟁력 확보를 위한 세정기술의 실규모 pilot 장기 검증 및 기본설계 최적화 및 활용 가이드라인 도출</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="6">❍ 해외 물산업 진출 국내 대기업이 해수담수화 분야 해외 턴키(T/K) 입찰 및 제안사업 (BTO)의 기본설계시 경쟁력 확보를 통한 공사비 및 운영비 절감으로 해수담수화 플랜트 수주 기여</td></tr>
<tr><td rowspan="6">10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>1,000</td><td>1,500</td><td>1,200</td><td>800</td><td>-</td></tr>
<tr><td>민간 (추정)</td><td>300</td><td>500</td><td>400</td><td>300</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>1,300</td><td>2,000</td><td>1,600</td><td>1,100</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">4,500</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">1,500</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">6,000</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">8 명</td></tr>
<tr><td>11. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">❍ 해수담수화플랜트 세정기술을 설계 반영하여 최적화하고 운영관리에 가이드라인으로 활용
❍ 원천기술을 적용한 상용 Pilot 규모 해수담수화공정의 장기 검증 결과 및 핵심 기본설계 인자 확보를 통해 기술선도국 수준 이상의 설계 능력 확보
❍ 해수담수화 설계기술 우위 및 가격 경쟁력을 바탕으로 한 국내 물기업의 해외 진출의 제안사업의 발판 마련 및 운영관리 리스크 최소화 기술 마련</td></tr>
</table>

(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

4㎝

고효율 정·역삼투 융합 해수담수 플랜트 고도화 보고서

국토해양부 한국건설교통기술평가원

Land Transpot and Maritime R&D Report

5㎝

3㎝

건설교통연구기획사업

[Green-up 30]
(별권 1) 정·역삼투융합 해수담수 플랜트 고도화기술 개발 연구단 기획보고서

2012 . 3. 13.

주관연구기관 / 창원대학교
협동연구기관 / (주)에이탑컨설팅

(백색바탕)

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 **"하이브리드 해수담수화플랜트 기술기획"**과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 3. 13

주관연구기관명 : 창원대학교
주관연구책임자 : 서규태 교수
연 구 원 : 이택순 교수
" : 장정욱 교수
" : 송봉근 연구원
" : 변지혜 연구원
공동연구기관명 : (주)에이탑컨설팅
협동연구책임자 : 전현곤 대표이사

요약문

1. 기술의 정의 및 필요성

□ 전략프로그램 정의

o 범위 : 수자원 확보 및 물공급 기술로서 시장지배적 역삼투 해수담수화 공정 기술 탈피를 통한 **세계시장 다변화** 및 **기술 선도형 정·역삼투 융합 해수담수화 플랜트**의 설계, 시공, 생산 및 유지관리 기술 전반

o 목표 : 시장지배적 역삼투막 공정기술 탈피를 위한 에너지 저감 기술과 O&M 기술의 유기적 조합을 위한 **융합 기술 개발을 통한 한국형 해수담수화 플랜트 기술 개발**

o 수단 : 신소재 역삼투막 개발과 전/후처리 DO (Direct Osmosis) 공정 융합, 효율적인 O&M을 위한 IT 전용기술 및 혁신적인 Train 설계기술

o 효과 : 현 해수담수화 시장의 패러다임 변화, 국가 브랜드 기술 확보, 글로벌 건설플랜트 미래시장 주도권 확보, 담수화 분야의 기술 선도

□ 기획의 필요성

o 해수담수화 시장은 RO중심으로 재편, 발전해 왔으나, 환경문제를 비롯한 다양한 외부요소와 RO방식 기술의 태생적 한계로 새로운 형태의 혁신적인 기술에 대한 요구가 증대되고 있음

- 2000년대 이후 담수화 기술은 MSF(multi-stage flash) 중심에서 RO를 중심으로 한 MD(membrane desalination)방식으로 급격히 전환되어 발전해 왔으나, 현재 물생산단가(경제적 요인)와 환경부하(환경적 요인)의 두 가지 핵심 요인으로 인해 혁신적인 기술이 요구되고 있음

- (경제적 요인) RO방식의 기술진보에 따라 물생산 단가가 감소하고 있으나 한계점이 나타남

  ※ RO방식의 해수담수화플랜트를 통한 물생산 비용에서 에너지가 차지하는 비중이 매우 크나, 에너지 가격 상승으로 인한 생산단가 감소 비율은 점차 축소되고 있음

※ RO방식의 플랜트 운영, 유지비용 절감에 있어 가장 중요한 요소는 분리막과 에너지 비용임

※ RO방식의 비용을 절감시킬 수 있는 다양한 신기술 개발이 요구됨

- (환경적 요인) 최근 해수담수화 플랜트의 반환경적인 영향을 제한하고 조정하기 위해 국가간 합의를 통한 규제가 만들어지고 있으며, 이러한 환경법규를 통해 플랜트 운영에 대한 허가가 이루어지고 있음

※ 해수담수화플랜트 부산물의 환경부하를 저감을 목적으로 연구 동향을 살펴보면, 회수율 증대를 통한 농축수의 양을 줄이기 위한 기술이 주를 이루고 있으며, 최근에는 유가자원 회수 및 부산물의 자원화(건자재화) 등 농축수 등의 부산물로부터 가치를 창출하는 연구가 이루어지고 있음

※ 따라서, 해수담수화플랜트의 환경부담을 저감시키는 동시에 추가적인 가치를 생산함으로써 기술적, 시장적 경쟁력을 제고할 수 있는 기술의 개발이 최근 요구되고 있음

2. 국내외 동향 및 환경분석

□ 정책동향

o 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

o 해수담수화플랜트 기술 관련 해외 R&D 정책 동향을 살펴보면, 시장선점을 위한 기술개발의 주요 주제로 멤브레인을 기반으로 한 RO방식의 효율향상과 태양열을 활용한 MD방식 및 PRO 기술 등 에너지를 효율적으로 활용한 담수화 공정에 집중하고 있음

o 따라서, 차기 해수담수화플랜트 기술개발과제는 시장선점을 통한 경제적 파급효과를 최대화할 수 있는 기술개발이어야 하며, 그 방향은 담수화플랜트에서 에너지효율을 극대화하는 것임

□ 시장동향

o 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

o 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 20 %씩 성장하여 2016년에는 130억 달러에 달할 것으로 예상됨

o 향후, 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면 (운영에 따른 에너지 비용 감소)이 강조되는 방향으로 진행될 것으로 예측됨

o 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

o 현재 시장지배 기술인 RO방식의 해수담수화는 기술적으로 한계에 달해 시장에서 요구하는 에너지저감과 환경문제에 대처하기 어려움

o 이러한 이유로, FO, MD, CDI 등 다양한 신개념 탈염기술들에 대한 연구가 증가하고 있으며, 이러한 신개념 탈염기술과 RO방식의 하이브리드화가 다양한 방식으로 시도되고 있음

o 또한, 해수담수화플랜트에서 에너지를 생산할 수 있는 방법으로 해수의 삼투에너지를 활용하여 에너지를 생산하는 PRO, RED 등의 기술들이 최근 제안, 연구되고 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 비전 및 목표

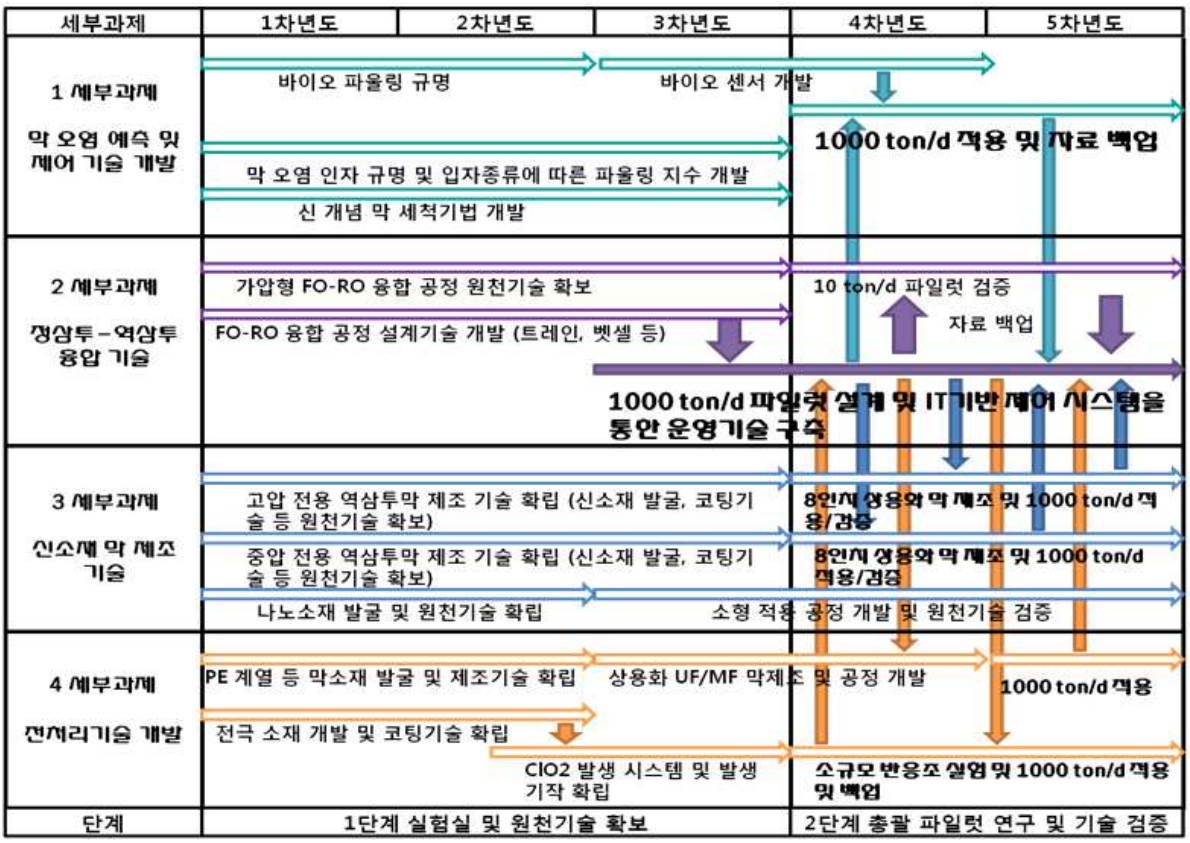
o [비전] 정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을 통한 세계시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발

o [목표] 플랜트 에너지 저감(4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton), 물값저감(25%)

□ 연구개발과제 구성

세부 과제명	세세부 과제명
정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막오염 예측 및 제어기술 개발
	정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발
정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투-역삼투 융합기술개발
	가압형 정삼투-역삼투 융합기술 개발
신소재 정·역삼투 막 제조기술	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술
	나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발
저비용 전처리 기술개발	FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발
	전처리 고효율 소독설비 개발

□ TRM



4. 인력투입 계획 및 소요예산

□ 인력투입계획

(단위 : 명)

과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부과제	16	24	40	28	22	130
2세부과제	24	26	90	86	34	260
3세부과제	10	26	28	26	20	110
4세부과제	12	20	26	12	10	80
소계	62	96	184	152	86	580

□ 소요예산 산정

(단위 : 백만원)

		1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
1세부	1-1	300	300	500	500	1,000	1,000	700	700	500	500	6,000
	1-2	300	300	400	400	500	500	400	400	400	400	4,000
	1-3	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
	계	800	800	1,200	1,200	2,000	2,000	1,400	1,400	1,100	1,100	13,000
2세부	2-1	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	4,000	4,000	4,000	1,500	1,500	23,000
	2-2	200	200	300	300	500	500	300	300	200	200	3,000
	계	1,200	1,200	1,300	1,300	4,500	4,500	4,300	4,300	1,700	1,700	26,000
3세부	3-1	300	300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	700	700	8,000
	3-2	200	200	300	300	400	400	300	300	300	300	3,000
	계	500	500	1,300	1,300	1,400	1,400	1,300	1,300	1,000	1,000	11,000
4세부	4-1	400	400	600	600	800	800	400	400	300	300	5,000
	4-2	200	200	400	400	500	500	200	200	200	200	3,000
	계	600	600	1,000	1,000	1,300	1,300	600	600	500	500	8,000

목 차

1. 전략프로그램 개요 ····· 1
1.1 전략프로그램 정의 ····· 1
1.2 단위 시스템 정의 ····· 1
1.3 과제 추진형태 ····· 1
1.4 기술의 성숙도 ····· 2
1.5 기술개발 완료시 수준 ····· 2
1.6 기술검증 전략 ····· 3

2. 국내외 기술 및 시장 동향 ····· 5
2.1 시장 동향 ····· 5
2.2 기술개발 동향 ····· 11
2.3 해수담수화 시장변화에 대한 대응전략 ····· 23
2.4 정·역삼투 융합 해수담수화플랜트 경제적 타당성 검토 및 전략 검토 ····· 42

3. 연구개발 목표 및 내용 ····· 62
3.1 연구개발 최종목표 ····· 62
3.2 세부과제 내용 ····· 63

4. 전략프로그램 경쟁력 분석 ····· 65
4.1 SWOT 분석 ····· 65
4.2 연구수행을 위한 인프라 및 기반 역량 분석 ····· 66
4.3 경쟁력 분석 ····· 66

5. 세부추진계획 ····· 68
5.1 세부과제별 추진계획 ····· 68
5.2 TRM 전개 ····· 89
5.3 대용량 파일럿 플랜트 건설을 위한 예산 분석 ····· 90
5.4 연구단 이후의 추진계획 ····· 92

6. 정부지원 필요성 ····· 93

7. 기대효과 ····· 93
7.1 녹색성장 및 신성장동력 창출 효과 ····· 93
7.2 경제적 기대효과 ····· 94

표 목 차

표 1. 역삼투막 제조회사의 최신 역삼투막 성능 ····· 15
표 2. 미국의 R&D 방향성 ····· 21
표 3. EU의 R&D 방향성 ····· 21
표 4. Al Khaimah SERO 프로젝트 입찰현황, 수주결과 ····· 26
표 5. 2009년 이후 역삼투막 플랜트의 에너지 소비량 ····· 27
표 6. 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능 ····· 34
표 7. FO 공정기술의 현황 ····· 36
표 8. 모던워터사의 정삼투공정과 역삼투공정 비교 ····· 36
표 9. 정삼투공정 막의 한계점 ····· 37
표 10. 유도용액의 개발 현황과 단점 ····· 38
표 11. FO 하이브리드의 경제성 평가 ····· 41
표 12. 타부처 유사 연구 현황 ····· 50
표 13. 그린 하이브리드 담수플랜트 분야별 기반역량 분석 ····· 66

그 림 목 차

그림 1. 물의 분포 ····· 5
그림 2. 담수화 공정-증발법과 역삼투법 ····· 6
그림 3. 담수화 시장 현황 ····· 6
그림 4. 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망 ····· 7
그림 5. 해수담수화 방식별 생산수 ton당 EPC 가격 ····· 8
그림 6. SWRO 방식의 물값변화 ····· 8
그림 7. 해수담수화 방식별 운영비 및 구성요소 별 경제성 ····· 9
그림 8. SWRO 플랜트 톤당 요구되는 전력비 ····· 9
그림 9. 2016년까지 해수담수화 방식별 발주량 예측 ····· 10
그림 10. 담수화 방식별 해수담수화시장 규모 및 전망 ····· 10
그림 11. 에너지 회수장치의 종류 ····· 12
그림 12. 대표적인 펌프사의 개발전략 ····· 13
그림 13. 역삼투막 모듈별 경제성 평가 ····· 14
그림 14. 역삼투막의 발전방향 ····· 15
그림 15. 각 플랜트 물값의 변동 추이 ····· 15
그림 16. 새로운 컨셉의 멤브레인 ····· 17
그림 17. MD 공정의 4가지 운전방식 ····· 18
그림 18. FO 공정의 원리 ····· 18
그림 19. 공정강화의 예 (메디나 프로젝트) ····· 20
그림 20. RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000～2009) ····· 23
그림 21. RO방식의 물생산 단가 변화 추이 ····· 24
그림 22. 원유가격의 변화 ····· 25
그림 23. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 연도별 에너지 소요량 ····· 28
그림 24. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 용량별 에너지 소요량 (10,000 ton/d 이상) ·· 28
그림 25. FO 공정과 다른 해수담수화 공정과의 비교 ····· 29
그림 25. FO 공정과 다른 해수담수화 공정과의 비교 ····· 29
그림 26. 연도별 FO 관련 발표 논문 수 ····· 31
그림 27. 연구 주제별 FO 관련 논문 발표수(2008～2011) ····· 31
그림 28. 나권형 모듈의 예 ····· 33
그림 29. FO 공정들의 에너지 소요량 비교 ····· 38
그림 30. FO 공정과 FO 하이브리드의 비교 ····· 38
그림 31. 침출수 처리를 위한 정·역삼투 융합공정의 예 ····· 40

그림 32. 우주선내 물 재이용을 위해 제안된 정·역삼투융합공정 ····· 40
그림 33. 고플럭스 막의 장점 ····· 42
그림 34. 유입수 염농도에 따른 전력비 비교 ····· 42
그림 35. 정삼투 공정과의 하이브리드를 통한 에너지 절감 가능성 ····· 43
그림 36. EPC와 O&M과의 관계 ····· 44
그림 37. 정·역삼투 융합 시스템의 개념도 ····· 47
그림 38. 역삼투 공정에서 설계 회수율의 중요성 ····· 48
그림 39. 해수담수화 공정의 트레인 설계 ····· 48
그림 40. 가압형 FO-RO 융합기술 개념도 ····· 49
그림 41. 막개발 전략 및 목표 ····· 50
그림 42. CTN 및 FO 멤브레인 ····· 50
그림 43. 바이오 센서를 이용한 모니터링 시스템 예 ····· 51
그림 44. 전극을 이용한 ClO_2 발생장치 예 ····· 52
그림 45. MMAS를 이용한 전처리 공정 조합의 예 ····· 53

1. 전략프로그램 개요

1.1 전략프로그램 정의

□ 범위 : 수자원 확보 및 물공급 기술로서 시장지배적 역삼투 해수담수화 공정 기술 탈피를 통한 **세계시장 다변화** 및 **기술 선도형 정·역삼투 융합 해수담수화 플랜트**의 설계, 시공, 생산 및 유지관리 기술 전반

□ 목표 : 시장지배적 역삼투막 공정기술 탈피를 위한 에너지 저감 기술과 O&M 기술의 유기적 조합을 위한 **융합 기술 개발을 통한 한국형 해수담수화 플랜트 기술 개발**

□ 수단 : 신소재 역삼투막 개발과 전/후처리 DO (Direct Osmosis) 공정 융합, 효율적인 O&M을 위한 IT 전용기술 및 혁신적인 Train 설계기술

□ 효과 : 현 해수담수화 시장의 패러다임 변화, 국가 브랜드 기술 확보, 글로벌 건설플랜트 미래시장 주도권 확보, 담수화 분야의 기술 선도

□ 융합해수담수 고도화 연구단

1.2 단위 시스템 정의

[Territory]	□ 국토환경	□ 해양환경	■ 국토해양 자원
[City Region]	□ 도시	□ 광역교통	■ 플랜트
[District]	□ 도시교통	■ 주택/빌딩	

1.3 과제 추진형태

■ 사업단 ■ 연구단

구분		장점	단점
1안	사업단	- 해외 시장의 관심집중 - O&M에 대한 기술개발 용이 - 연구결과의 기술적 검증 가능 - 원천기술부터 검증까지 모든 연구 행위의 총결집 - 국가적(국토부)의 R&D영역 확보	- 연구외적 손실발생 (TB부지확보, 민원 등) - 모든 연구를 실시에 대한 시간적 부담 - 연구결과에 대한 부담발생
2안	연구단	- 원천기술연구 확대를 통한 원천기술 확보 용이	- 실질적인 O&M기술 개발이 힘듬 - 기술적 검증이 없어 원천기술확보

		- 연구개발 결과에 대한 부담완화 - 기술개발외 테스트베드에 대한 연구외적 손실 최소화	에 그칠 수 있음 - 기 실시된 타 부처 사업과의 중복 가능성 - 국내용으로 전락가능(국내 해수담수화시장은 미약)

1.4 기술의 성숙도

□ 태동(Embryonic Technology) : 연구개발초기로서 개발의 진보가 필요한 기술
■ 성장(Pacing Technology) : 가까운 장래에 핵심기술이 될 수 있는 장래성 있는 기술
□ 핵심(Key Technology) : 현 시점에서 경쟁우위에 있는 기술
□ 기반(Base Technology) : 반드시 보유해야할 기술로서 표준화되거나 성숙단계에 있는 기술

o 기존 해수담수화 플랜트 기술 (증발법 및 역삼투법)은 기반기술로서 성숙기에 있으나, 차세대 기술인 융합 해수담수 고도화 사업은 성장 초기단계에 있는 미래유망 핵심기술임

o 향후 20년 이내에 해수담수화 기술은 에너지 저감 쪽으로 초점이 맞추어져 세대교체 가능성이 높음

1.5 기술개발 완료시 수준

□ 세계최초 : 연구완료시 세계 최초 개발의 위치가 예상되는 경우
■ 선도적 위치 : 세계최초 성과는 아니나, 개발시기상 선두권 위치 및 시장선점이 가능한 경우
□ 중간 위치 : 시장 선점이 가능하지는 않으나, 시장 진입은 가능한 경우
□ 후발 위치 : 개발 시기상으로 후발권인 경우, 늦은 개발시기로 인해 시장진입이 어려운 경우

o 정·역삼투 융합 해수담수화 기술은 선진국 대비 기술선도를 위한 미래선도기술이며, 성공적으로 개발될 경우 20년 이내에 현 증발법/역삼투 기반 해수담수화 시장의 패러다임을 변화시킬 수 있는 획기적 에너지 저감기술을 기반으로 하는 담수화 기술임

o 현재 해수담수화 플랜트의 에너지 효율의 세계최고 수준은 3.5~4 kWh/m3

이나, 정·역삼투 융합 해수담수화 기술은 이를 2.5 kWh/m3 이하로 낮출수 있는 세계 최고성능의 기술임

1.6 기술검증 전략

o 본 사업에서 개발되는 기술들은 Test-Bed 혹은 파일럿 플랜트를 통하여 적용.테스트베드의 경우 기술 검증 면에서 가장 명확한 방식으로 평가됨. 이에 비해 파일럿플랜트의 경우 기술 검증 측면보다는 원천기술 확인으로서의 의미부여가 될 것으로 판단

o 파일럿 플랜트는 국내의 경우와 국외의 경우를 나누어서 판단할 수 있음

구분		장점	단점
1안	국외	- 전 세계 관련 연구자 및 기업들의 관심이 집중 - 연구결과 홍보전략이 용이 - 담수화 시장에 대한 즉각적인 대응이 가능 - 민원발생에서 자유로울 수 있음 - 제 3국에 대한 지원 등의 국가적 원조 등의 부가적인 홍보효과	- 국내 소재 운반 등 TB 건설상 예기치 못한 사항 발생가능성 농후 - 플랜트 부지선정 및 사후 활용에 부담(국외 기관과의 협력방안 마련 필요) - 연구책임기관의 실질적 관리가 어려움(대외비 유출 등) - 연구결과의 즉각적인 update가 불편함
2안	국내	- 연구결과의 즉각적인 update용이 - 플랜트 부지 선정 및 TB관리가 비교적 용이 - 기술개발에 대한 대외비 등의 기술적 대외비 관리용이 - 사후 활용이 비교적 용이	- 민원발생 가능성에 의한 연구외적 손실 가능성 큼 - 대외적인 관심도가 국외건설시에 비해 미비할 수 있음 - 해외 시장에 대한 즉각적인 대처가 다소 지연될 수 있음

o 테스트베드의 경우 기술검증을 통한 해외홍보 및 시장진출 본연의 목적면에서는 국외 건설이 테스트베드 관리 및 기술개발의 용이성 면에서는 국내 건설이 타당할 것으로 사료됨

o 해수담수화 시장의 경우 국외를 주 대상으로 하기 때문에 국외를 1안으로 고려하나, 국내외 건설시 장단점 비교를 통한 선정이 필요

o 현재 진행중인 “해수담수화 플랜트 사업단” 과제의 종합적인 분석을 통해 후

속 연구과제의 진행방향을 선정하고 사업단을 통해 기 확보된 연구인프라의 활용도를 극대화함으로써 기술검증 과정을 단축하고 투자비용 대비 효율을 향상함

- o 기술검증을 위한 Test-Bed 혹은 대용량 파일럿 플랜트 부지는 국내외 모든 경우에 대하여 기술개발을 하고자하는 연구책임기관에서 컨소시움(consortium) 등의 형태로 지원하는 형태로 추진
- o 연구책임기관의 계획하에 기본적인 사후 활용방안에 대한 검증 및 평가를 통하여 선정하는 것을 원칙으로 함
  - 기존 해수담수화플랜트 사업단에서의 추진상황을 토대로 테스트베드와 총괄기관 및 국토부(건교평)의 사업범위 및 한계를 명확히 추진
  - 기본적인 사후활용방안은 공공성을 목적으로 하며, 사후 관리방안에 대한 컨소시움 기관의 계획평가를 추진
  - 국외의 경우, 공공성을 기본으로 하나, 사후 활용방안시 기술료 등과 연계추진
  - 기본적인 TB에 대한 추진비용은 R&D 결과물에 대한 것은 국가가 그밖의 것에 대해서는 해당 기관 및 컨소시움 기관에서 부담하는 것을 원칙 : 이에 대한 상세한 평가를 토대로 기본 계획 작성
- o 연구단의 경우 대용량 파일럿 플랜트 운영결과를 통하여 향후 실증화 사업과 연계 필요
  - 원천기술의 검증에서 한 단계 발전을 위해 실증화 플랜트가 필요
  - 연구단 종료 후 실증화에 대한 필요성 평가 후 추진

2. 국내외 기술 및 시장 동향

2.1. 시장 동향

□ 해수담수화 시장 현황

❍ 담수화시장은 총 68,658,174 ton/d 이며, 그중 해수담수화 시장의 경우는 43,167,921 ton/d로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장 ❍ 향후 전통적인 중동시장을 중심으로 신흥 북미시장 등이 거대 시장으로 등장 예상

o 향후 전 세계적으로 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상

o 현 지구상에 존재하는 물의 양은 약 13억 8,500만 km^3으로 추정되며, 이 수자원 중 97 %를 차지하고 있는 해수로 사용에 대한 제한이 있으며, 나머지 3 %인 민물은 대부분이 빙산, 빙하, 지표수, 지하수, 대기 등에 분포함으로 인해 현재 인류가 사용할 수 있는 민물의 양은 6,500 km^3 불과한 실정임

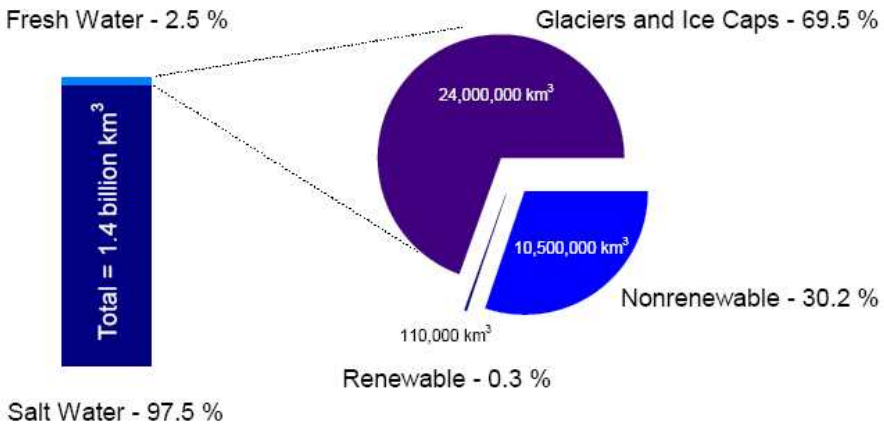


그림 1. 물의 분포

o 해수를 이용할 수 있는 담수로 만드는 기술은 전 지구적인 상황에 비추어 중동지역을 중심으로 모든 국가의 관심이 집중되는 분야임

o 해수담수화에는 증발법, 전기투석법, 역삼투법으로 크게 대변되고 있음. 증발법은 에너지 가격이 안정되고 값싼 중동지역에 편중되어 있으며, 담수·발전복

합플랜트를 이용한 담수화 플랜트의 건설이 시도되고 있음. 역삼투법은 물은 투과시키지만 용질(이온, 분자)은 거의 투과시키지 않는 성질을 가진 반투막을 이용하는 방식으로 현재 전세계에서 점차 보편화되어 시장지배적인 상황에 있는 방식임

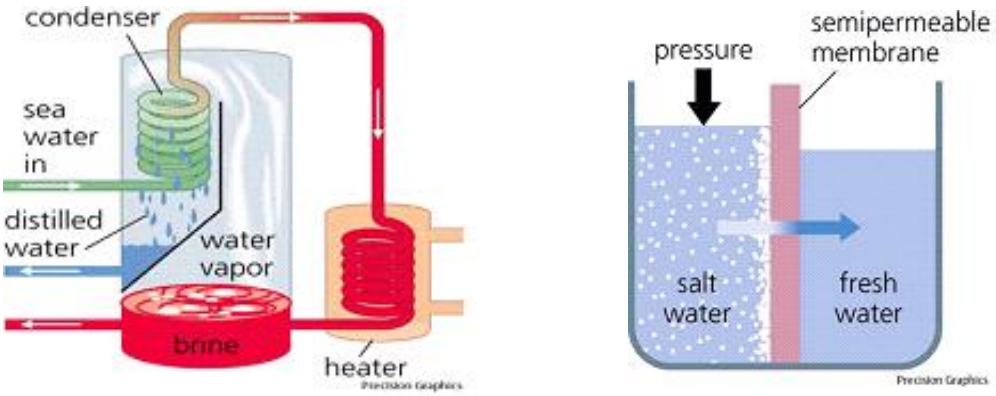


그림 2. 담수화 공정-증발법과 역삼투법

o 담수화시장은 총 68,658,174 ton/d 이며, 그중 해수담수화 시장의 경우는 43,167,921 ton/d로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장임

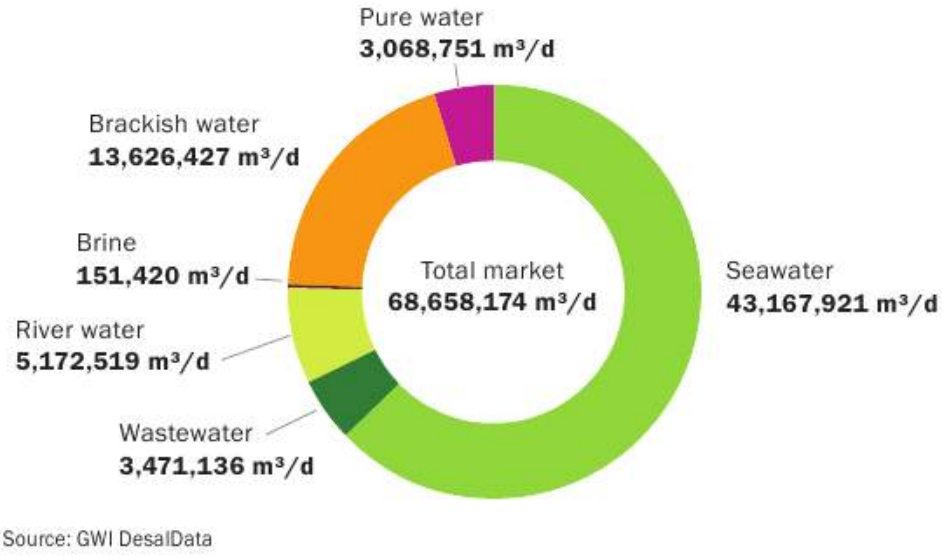
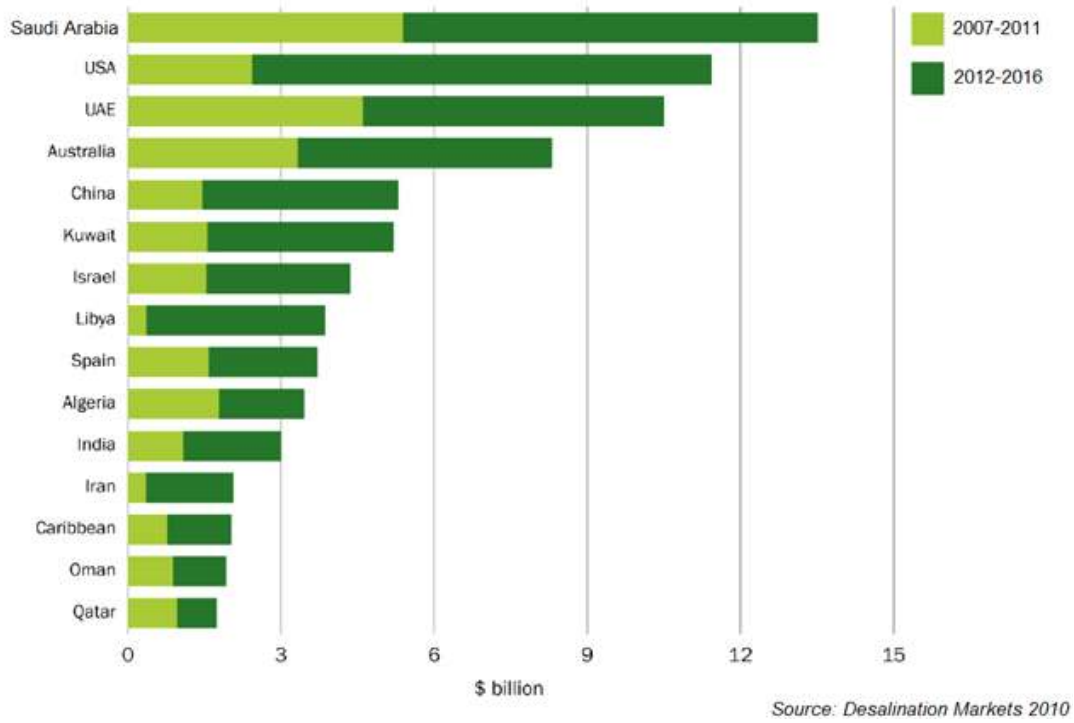


그림 3. 담수화 시장 현황

o 해수담수화 시장의 주요 국가

- 주요 국가별 담수화 시장규모를 살펴보면, 향후에도 중동지역을 중심으로 시장이 형성될 것으로 예상되며, 또한 미국을 중심으로 한 북미지역의 시장이 급격히 증가할 것으로 예상됨
- 이와 같이 시장이 다양화됨에 따라, 현지의 수질특성에 부합하기는 기술 확보가 요구됨 (TDS, 수온 등)



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 4. 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망

□ 향후 해수담수화 시장의 발전 방향 - 역삼투(RO) 방식의 강세

❍ 담수화시장은 EPC 비용 및 에너지 비용 면에서 유리한 RO 방식으로 재편
❍ 현재 해수담수 생산수 가격은 0.48 $/ton (= 552원/ton) 수준으로 감소
❍ 향후 10년은 RO 방식의 해수담수화 공정이 강세일 것으로 예상

o 해수담수화 공정별 수주용량 분포를 살펴보면, 1995년 이전에는 역삼투법보다 증발법의 비중이 컸으나, 1995년 이후 부터는 역삼투법의 성장속도가 빨라져 2005년에는 역삼투 해수담수화(Seawater Reverse Osmosis (SWRO)) 45%, 증발법 32%(MSF 25% + MED 7%)에 이르러 SWRO를 중심으로 시장이 재편됨

o 이 같은 시장의 상황변화는 증발식에 비해 시공분야 뿐만 아니라 에너지 분야에서의 역삼투막 공정의 경제성이 증발식보다 우월하기 때문인 것으로 분석

- 해수담수화공정에 있어 RO방식과 증발식의 EPC 가격은 10,000 ton/d 대형 플랜트에 있어 RO 방식이 가장 우수
- SWRO의 물값은 90년 이후로 약 30% 수준까지 감소 (Tuas project, 2003년 : 0.48 $/ton (= 552원/ton))

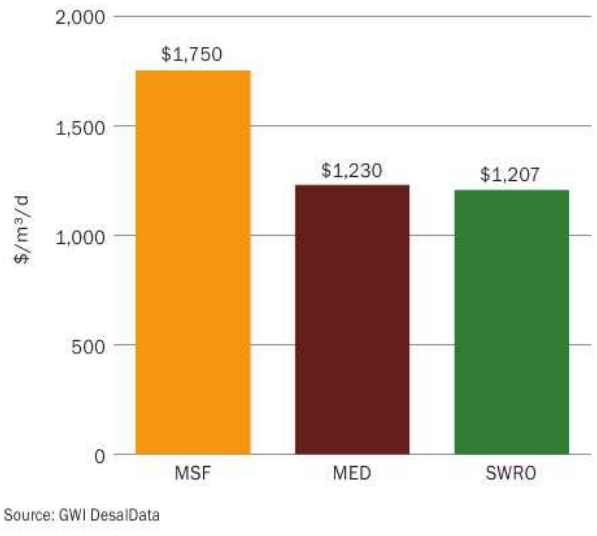


그림 5. 해수담수화 방식별 생산수 ton당 EPC 가격

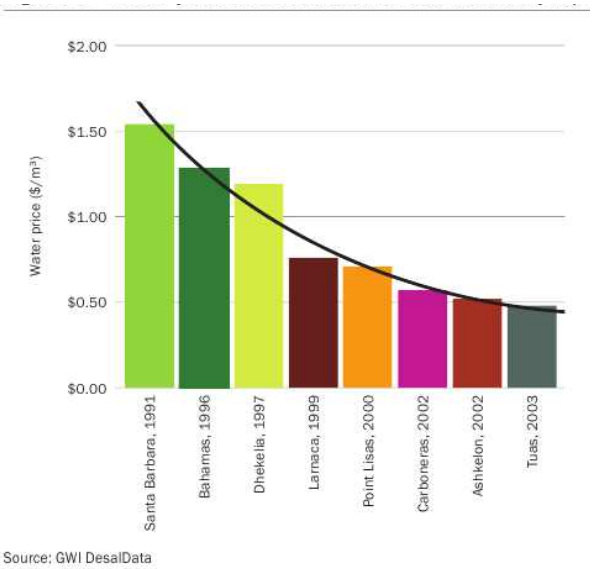


그림 6. SWRO 방식의 물값변화

- SWRO의 운영비는 에너지소요량과 직접적인 관계가 있음. MSF는 0.51 $/ton, MED는 0.37 $/ton로 RO의 0.24 $/ton보다 높은 것으로 조사되었는데 이는 증발식에 직접적으로 소요되는 열적에너지 요구량으로 인한 것임
- SWRO의 전력소요량은 1985년 이후 50% 이상 급격한 감소추세를 보이며, 현재는 3~5 kWh/ton에서 안정세를 나타내고 있음. 이러한 추세는 꾸준하게 유지될 것으로 보이나, 향후에는 효율성 증대로 인하여 3~4 kWh/ton의 SWRO 플랜트가 시장주도적이 될 가능성이 높은 것으로 판단됨

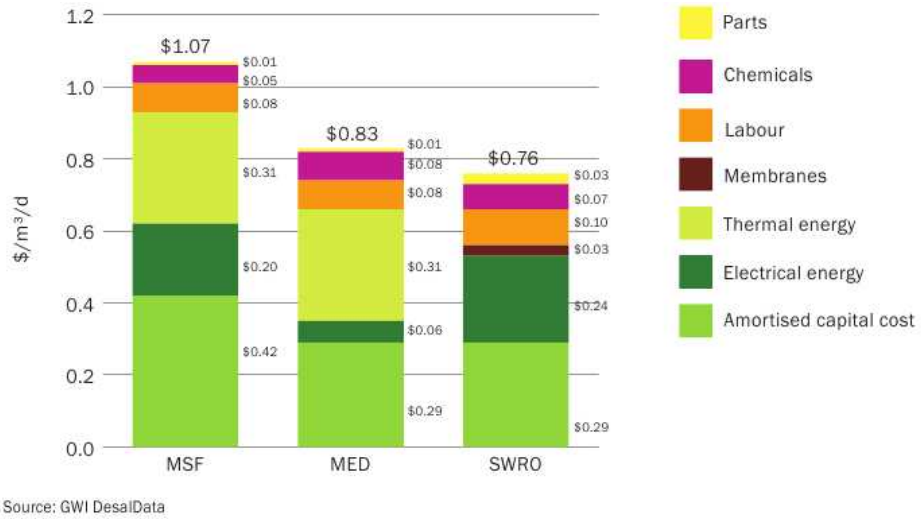


그림 7. 해수담수화 방식별 운영비 및 구성요소 별 경제성

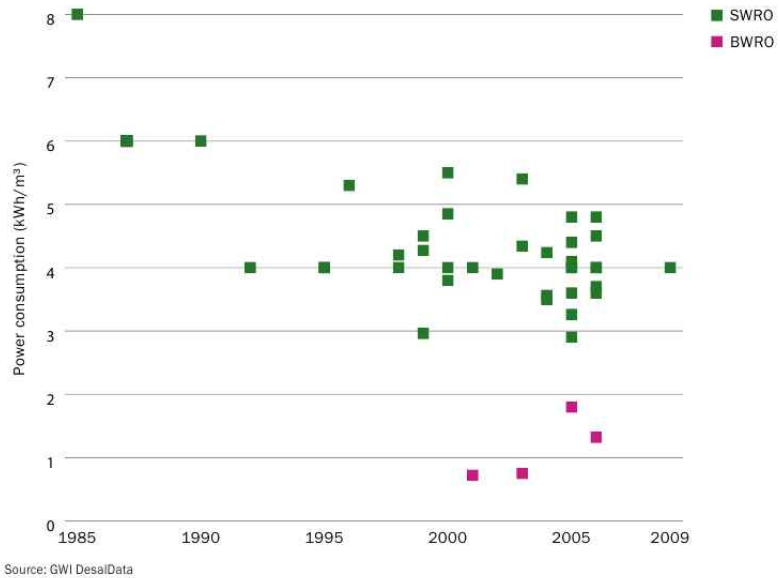


그림 8. SWRO 플랜트 톤당 요구되는 전력비

o 공정별 수주량의 변화 및 발주량의 예측결과는 시장규모에도 그대로 반영되어 2010년 GWI의 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 20%씩 성장하여 2016년에는 130억달러에 달할 것으로 예상됨

o 이와 같은 시장 동향은 지속적으로 진행될 것으로 예상되며, RO방식의 해수담수화 플랜트는 향후 10년이상 전체 해수담수화 시장의 70%이상을 점유하는 시장 지배적인 기술이 될 것으로 예측됨

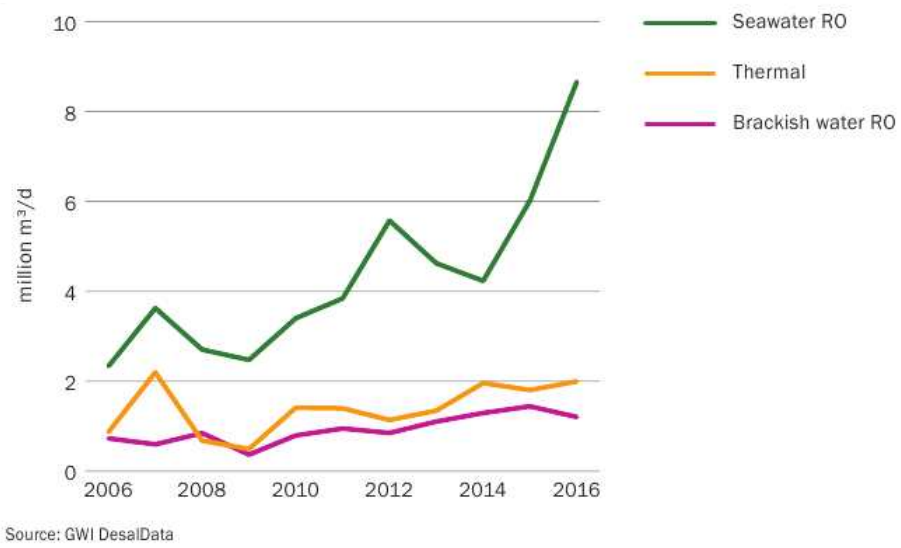


그림 9. 2016년까지 해수담수화 방식별 발주량 예측

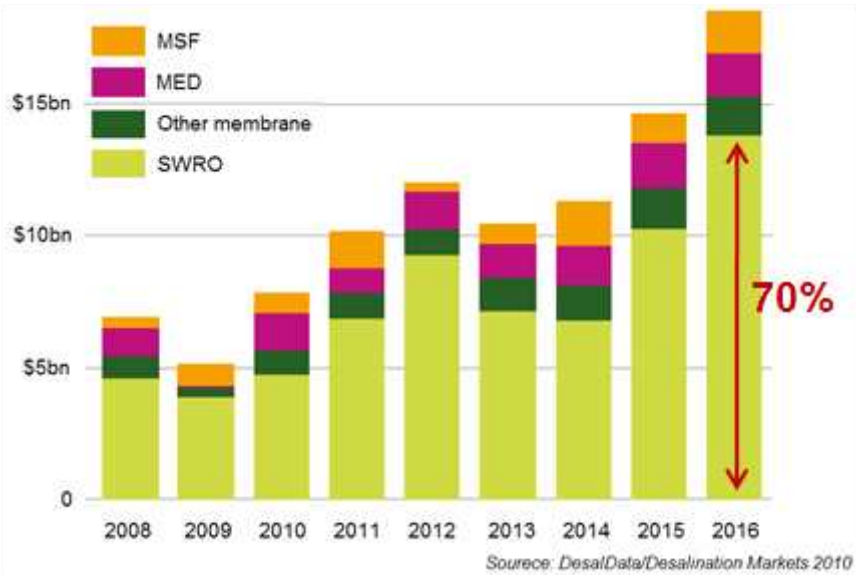


그림 10. 담수화 방식별 해수담수화시장 규모 및 전망

2.2. 기술개발 동향

□ 역삼투 방식의 해수담수화 공정 변화 추세

❍ 역삼투 공정은 역삼투막과 에너지회수장치 및 고압펌프 효율향상에 따라 전력비가 좌우

❍ 에너지 회수장치

- 상용화 시제품의 효율이 95%로 **기술개발 정체**
- 선진국에 대한 **기술 추격형으로 개발**

❍ 고압펌프

- 대형화에 따른 효율향상으로 기술개발 : **대형플랜트 및 트레인 설계기술 부재로 정체**

❍ 역삼투막

- 고플럭스 방향으로 추진
- 현 PA 계열의 한계에 따라 **소재의 다변화쪽으로 연구진행**

❍ 역삼투막 해수담수화 공정의 에너지는 **에너지 저감을 위한 신기술 부재로 인한 정체상태**

❍ **에너지 저감을 위한 신기술에 대한 요구사항 증대**

o 역삼투공정에 있어 생산된 물값은 그림 6에서와 나타난 바와 같이 전력비와 시공비 비중이 69.7%로 이 두 요소에 의해 좌우됨 (0.76$ 중 0.53$)

o 에너지(전력비) 저감

- 역삼투막 방식에 있어 전력비 저감은 **에너지 회수장치의 개발**과 **고압펌프의 효율향상**으로 대변될 수 있음
- 에너지 회수장치에 따른 에너지 저감은 최대 48%로 가장 획기적인 에너지 저감 방안임

작동조건	톤당 에너지 소모량
에너지 회수장치가 없는 경우	4.5 kWh/m^3
일반적인 에너지 회수장치	3.2 kWh/m^3
고효율 에너지 회수장치	2.4 kWh/m^3
열역학적 최소 에너지요구량	0.84 kWh/m^3

- 현 에너지 회수장치 효율은 Pressure exchanger 타입기준으로 95% 이상으로 극대화된 상황으로 효율성 면에서는 더 이상 증대시킬 방법이 없는 것으로 사료됨

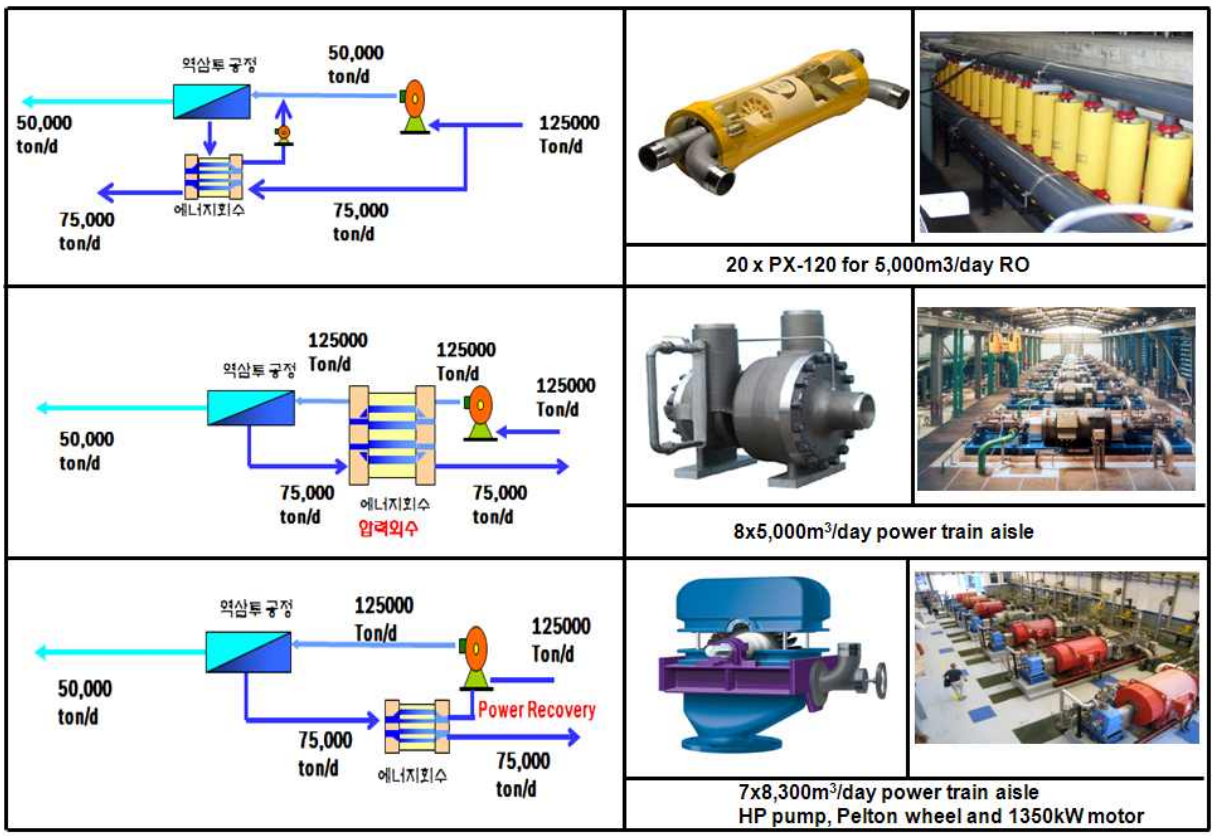


그림 11. 에너지 회수장치의 종류

- 고압 펌프의 효율은 펌프의 대형화 정도에 직접적으로 비례함. 따라서 플랜트 전체의 규모에 의해 좌우됨. 현존하는 가장 높은 효율은 애쉬캘론의 12.5 MIGD 고압펌프로 효율성이 89%에 달함. 애쉬캘론 역삼투막 공정은 보기 드물게 건설된 대형 프로젝트이며, 신개념의 트레인 설계로 인하여 역삼투공정 중 세계 최대의 고압펌프가 가능하였음.
- 일반적인 트레인 방식에서 고압펌프는 트레인 규모와 일치하며, 12.5 MIGD 규모의 고압펌프를 고려할 경우 기본적인 해수담수화플랜트 규모가 62.5 ~ 125 MIGD (280,000 ~ 570,000 ton/d) 정도는 되어야 하기 때문에 향후에도 이보다 큰 규모의 고압펌프가 적용될 경우는 많지 않을 것으로 사료됨.
- 따라서 **고압 펌프의 효율성도 현존하는 방식으로는 극대화 된 것**으로 사료됨

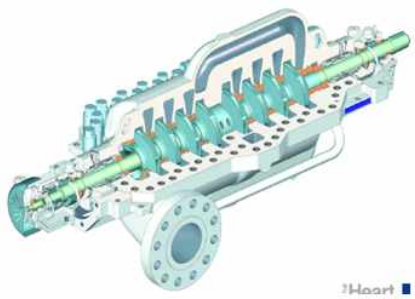
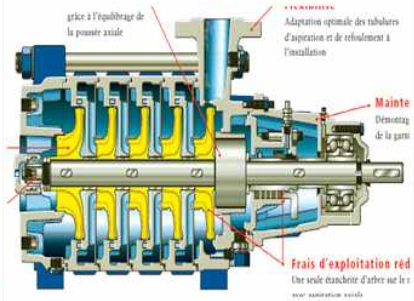
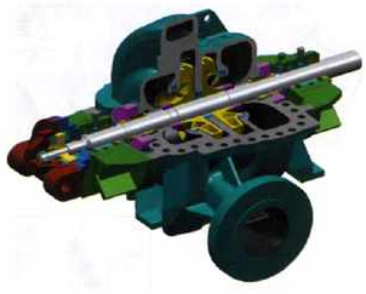
스위스 S사	독일 KSB사	일본 Torishima사
대유량 펌프 전략 경쟁사가 보유하고 있지 않은 대용량 펌프 모델 보유	RO 펌프 특화 RO전용의 고압펌프 개발	고압펌프 단수를 작게함 원가절감형 모델 개발을 통한 가격 경쟁력 확보
		

그림 12. 대표적인 펌프사의 개발전략

o 해수담수화플랜트 대형화 추세

- 대형 플랜트 발주로 인하여 트레인은 지속적으로 대형화하는 추세임.
- 현재는 실플랜트로서 칠레 6.8 MIGD 트레인 이후 해수담수화 플랜트 사업단에서 시공중이 8.0 MIGD 트레인이 단일 규모로는 세계 최대임
- 8.0 MIGD 트레인 시공기술로 기본적으로 80 MIGD (360,000 ton/d) 역삼투 해수담수화 플랜트는 건설할 수 있을 것으로 사료됨

o 역삼투막의 대형화 및 고 플럭스화

- 2007년 이전 역삼투막은 8 inch 모듈이 시장지배적인 상황이었으나, 2010년 들어 싱가포르에서 16 inch 모듈이 파일럿 플랜트에서 검증된 이후로 점차 확대되고 있는 상황임
- 2004년 미국(Filmtec)에서 실시된 역삼투막 모듈 크기에 따른 비교평가 결과에서 해수담수화 조건에서 8인치 역삼투막에 비해 16인치 역삼투막의 경우 24%, 20인치의 경우 28% 의 비용절감이 되는 것으로 평가됨
- 역삼투막의 대형화와 함께 지속적인 개량을 통한 고 플럭스화가 형성되고 있음. 이는 역삼투막의 고 플럭스를 막고 있는 보론 제거율에 대한 국제 규제치가 점차 완화되고 있는 상황이기 때문임

	Installed Cost ($/gpd)		
	8-inch	16-inch	20-inch
Groundwater Trains	0.333	0.217	0.201
Surface Water Trains	0.400	0.284	0.268
Seawater Trains	0.609	0.462	0.440
Notes: 1. Units costs based on permeate flow rate and are applicable to all plant capacities studied (12.5, 25, 50, 100, and 150 mgd) 2. Installation costs assumed to be 20 percent of the uninstalled costs			

그림 13. 역삼투막 모듈별 경제성 평가

※ 출처 : Desalination and water purification research and development report No. 114 USA, 2004

- 2011년 WHO의 먹는물 가이드라인에 따르면, 기존 보론의 농도는 0.5 mg/L 에서 2.4 mg/L로 변경이 됨
- 이러한 전반적인 환경하에 역삼투막의 발전방향은 그림 12에 나타난 것처럼 염 제거율은 현 수준을 유지 시키면서, 투과율을 높이는 방향으로 진행되고 있음. 현재 최고의 고플러스 수준은 표 1에서 보는 것처럼 하이드로노틱스사에서 제시한 12,000 GPD 수준으로 이미 10,000 GPD를 넘는 역삼투막이 다수 제시된 상황임
- 국내 대표적 역삼투막 제작 회사인 웅진케미칼의 경우 기존 “해수담수화플랜트 사업단”의 국가 연구를 통해 고플럭스(11000 GPD)에 대한 제조기술을 확보하고 있는 것으로 조사됨
- 현 PA 계열 역삼투막의 기술적 한계
  - 내염소성 : 염소와 열화학 반응에 의한 고분자 결합이 분해되는 특성을 가짐에 따라 이를 방지하기 위한 **2차 박막 코팅 기술의 적용이 필수. 이러한 방법은 투과 유량을 감소시키는 문제점**이 있음
  - 높은 염 배제율과 내화학성을 향상시키기 위해 가교된 구조의 아로마틱 폴리아미드는 물 투과유량을 낮추는 단점이 있어 이를 개선하기 위해 PVA 나 PVP 같은 친수성 그룹을 도입하거나 사이드 체인의 길이를 조절해 유연성이 좋은 가교막을 제조. 이러한 방법은 물 투과 유량을 향상시키지만 염 배제율을 감소시키는 문제를 가지고 있으며 막 수명을 감소시켜 주기적 교체를 필요

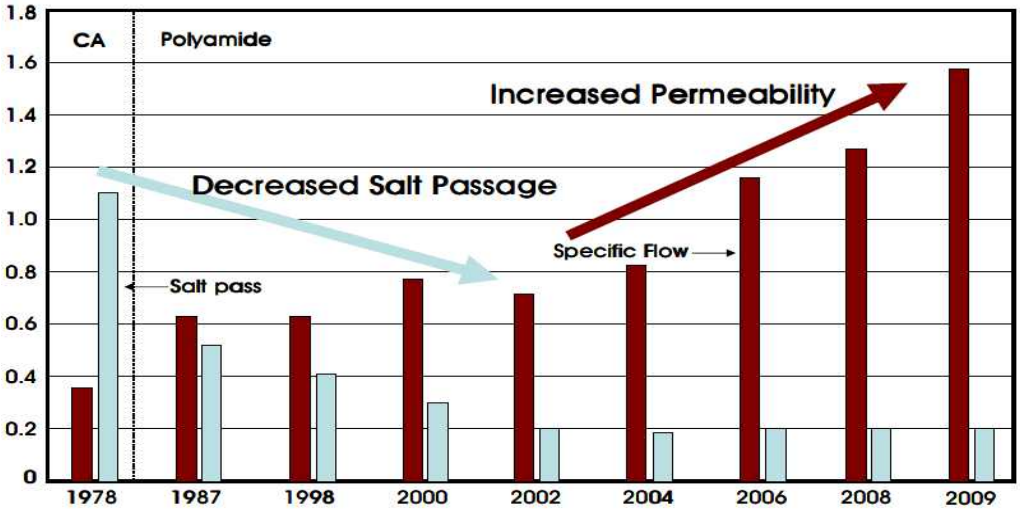


그림 14. 역삼투막의 발전방향

※ 출처 : Design advantages for SWRO using advanced membrane technology(Hydranautics) 2009 AWWA-MTCE(Membrane Technology Conference and Exposition)

표 1. 역삼투막 제조회사의 최신 역삼투막 성능

구분		성 능		
		유량 (GPD	Salt Rej. (%)	보론 Rej.(%)
Toray	TM820L-370	9,000	99.70	92
	TM820L-400	10,000	99.70	92
Filmtec	SW30ULE-440i	11,000	99.70	89
Hydranautics	SWC5	9,000	99.80	92
	SWC6	12,000	99.80	91
운전조건		NaCl 32,000 ppm, 압력 800 psi, 온도 25'C, pH 8.0, 5ppm Boron, 가동시간 120분, 회수율 8%		

o 대표적인 해수담수화 공정의 물값

- 현재 대표적인 역삼투공정에서 가장 생산수 가격이 작은 것은 2005년 건설된 Tuas 플랜트이며, 이후 건설 중인 중/대형 플랜트의 가격은 일반적으로 1$/$m^3$이하임 (단 예외적으로 오스트레일리아의 경우 모든 플랜트에서 생산수 단가가 다른 지역에 비해 높은 것으로 조사됨)

Project	용량 ton/d	물값 $/ton	에너지 kWh/m³	에너지회수 장치	유입수 mg /L	유출수 mg/L	운전압력 (Bar)	건설비 (Million $)
Blue Hill SWRO, Nassau, Bahamas (고압펌프는 디젤엔진에 의해 자체적으로 운전, Filmtec 막)	27,252	1.32	0.72	DWEER (Work exchanger)	37,500	450	56.6 (single)	29.5 (2006)
Dhekelia SWRO, Cyprus (Dupont 막)	40,000	1.19	5.3	Reverse pump	40,000	500	81 (single)	41 (1997)
Larnaca SWRO, Cyprus (Hydranautics 막)	54,000	0.76	4.52	Pelton wheel	54,000	500	70 (Two)	75 (2001)
Perth SWRO, Australia (Filmtec 막)	143,700	1.2	4.0	Pressure exchanger	36,500	30	60 (Two)	60 (2007)
Tempa Bay SWRO, USA (Filmtec 막)	108,820	0.84	2.96	Pelton wheel	16000 – 32000	500	60 (Two)	158 (2007)
Ashkelon SWRO, Israel (Filmtec 막)	326,144	0.53	3.9	DWEER isobaric	40,679	300	69.3 (Two)	212 (2005)
Carboneras SWRO, Spain (Hydranautics 막)	120,000	0.57	4.08	Pelton wheel	39,000	500	65 (Two)	95 (2002)
Fukuoka SWRO, Japan (Toyobo CTA, 60% recovery rate:world best)	50,000	1.84	5.5	Pelton wheel	35,000	200	82 (Two)	(2005)
Point Lisas SWRO, Trinidad (Toray막)	119,000	0.71	3.8 (평균 3.6)	Pelton wheel	29,000	85	60 (Two)	120 (2002)
Tuas (SingSpring) SWRO, Singapore	136,360	0.47	4.34	DWEER isobaric	35,000	250	58 (Two)	116 (2005)
Hamma SWRO, Algeria (Toray막)	200,000	0.82	–	ERI PX	37000 –40000	500	69 (single)	250 (2008)
Palmachim SWRO, Israel (Toray막)	110,000	0.78	3.8	Pelton turbine	40,233	300	67 (Two)	110 (2007)
Skikda SWRO, Algeria (Hydranautics 막)	100,000	0.73	3.56	ERI PX	39,332	450	66.1 (single)	110 (2008)
Barge-Mounted SWRO, Jeddah, Saudi Arabia (Filmtec 막, submerge UF)	26,000	2.27		Pump Eng. Inc	45000	30	67 (two)	108 (2008)

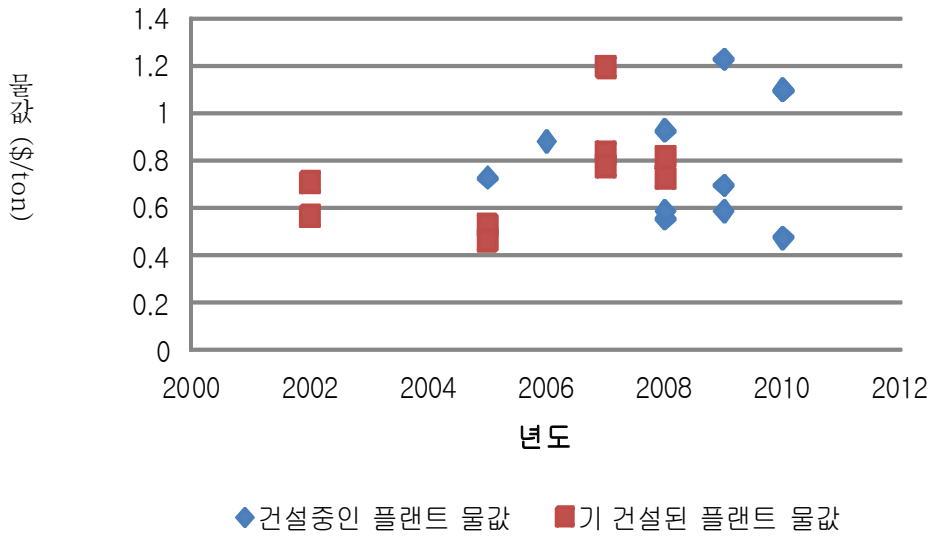


그림 15. 각 플랜트 물값의 변동 추이

- 그림 11에서 나타난 바와 같이 **100,000 ton/d 이상의 역삼투 해수담수화 공정 생산수 단가는 2000년대 들어 큰 차이가 없이 유사**함
- 이러한 생산수 단가 변화추이는 **현 역삼투막 해수담수화 공정의 기술적 완성도가 성숙기를 거쳐 완숙기에 들어섰음**을 의미

□ 선진국 차세대 해수담수화 기술의 개발

❍ 역삼투 공정의 에너지 소모를 위한 기술개발 정체로 인한 대체 멤브레인, FO, MD 등의 차세대 해수담수화 기술 개발에 대한 관심이 급증 ❍ 실질적인 연구의 모든 초점은 에너지 저감과 플럭스 증대로 요약

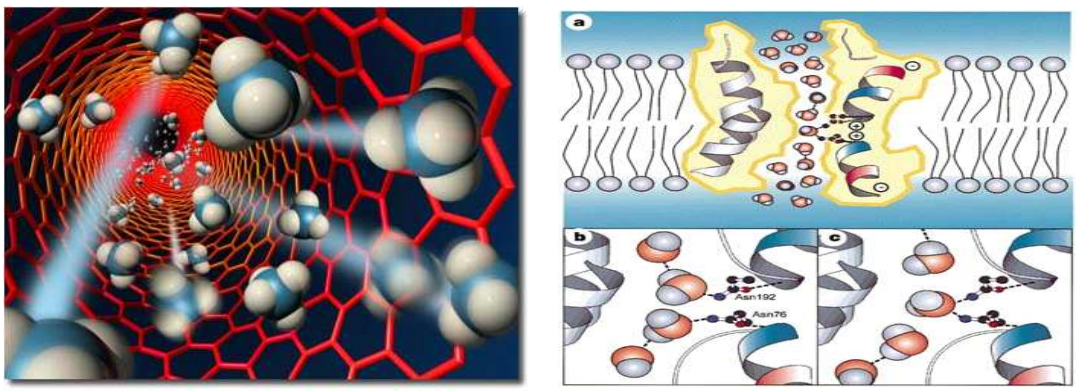
o GWI에서는 현재까지의 연구방향을 총 7개의 Key Word로 요약하고 있음

- Scale formation : anti-scalant 개발
- Fouling : 역세척과 화학적 세정에 의해 감소 (운영기술 개발)
- Pretreatment system : RO를 위한 표준 전처리 공정이 없으나, UF 막공정을 표준화하는 경향임
- Hybrid : 단순방식에서 점차 복합방식으로 변화
- Energy Recovery : 에너지에 대한 효율성 증대
- Large diameter membrane : 16 inch가 곧 시장지배적으로 될 것으로 예상
- Membrane flux rate : 지속적으로 증대 (12000 gpd까지 개발)

o 위의 7개의 분야중 **파울링, 전처리 (UF 전처리), 에너지회수장치, RO 모듈의 대형화, 고 플럭스 RO에 대한 연구는 실질적으로 해수담수화 플랜트에서 수행**

o 담수화 관련 새로운 연구분야

- New 멤브레인 개발 : Nano-engineered membrane, Carbon nanotubes, Aquaporin membrane



Carbon nanotubes membrane　　Aquaporin

그림 15. 새로운 컨셉의 멤브레인

- Membrane distillation (MD) : Hydropobic membrane과 증발방식을 결합한 담수화 공정으로 1960년대 후반 소개된 이후 꾸준한 연구의 증가세를 나타내고 있음. 현재까지 4가지의 운전 방식이 개발되어 있으며, 운전압력이 작지만 열공급원이 필요하다는 단점이 존재함

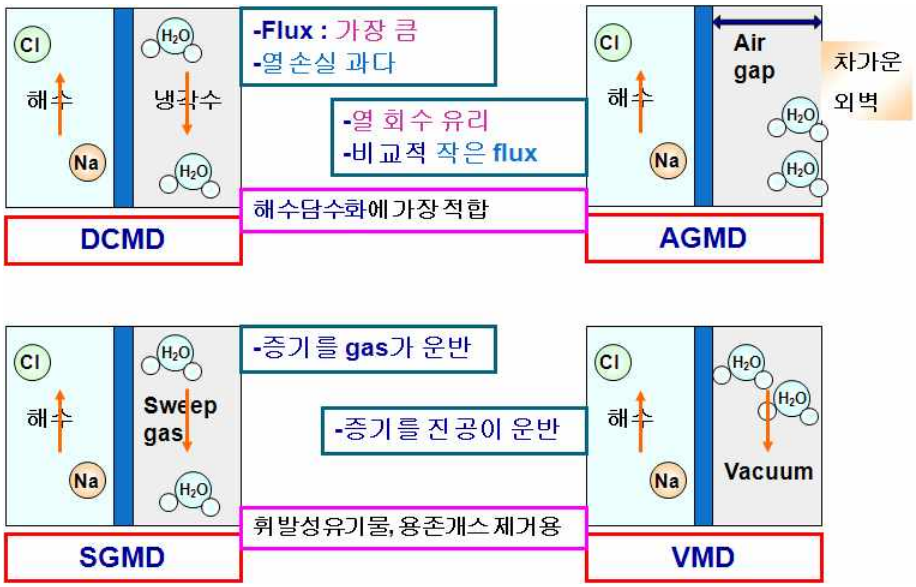


그림 17. MD 공정의 4가지 운전방식

- Forward Osmosis (FO) : 삼투압을 이용하는 담수화 공정으로 쉽게 분리가 가능한 고농도의 드로우 용액을 투입하여 삼투압만으로 염분을 제거하는 공정임

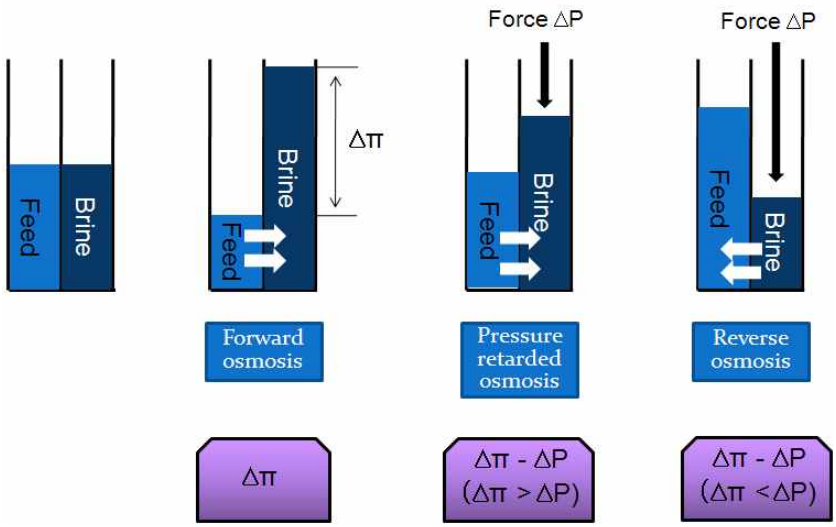


그림 18. FO 공정의 원리

- Hybrid type

• 하이브리드 방식은 같은 장소에 위치한 두 개의 다른 종류를 파워플랜트와 결합한 형태와 기술적으로 연결하거나 방식의 혼합을 통하여 새로운 담수화 방식을 만들어내는 2가지로 크게 나누어 질 수 있음

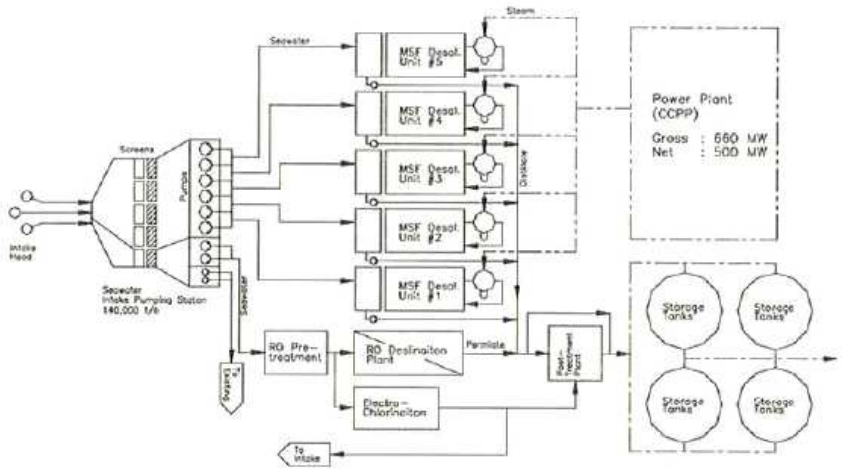
• 단순조합방식 : 2개의 공정을 병렬로 운영하고 처리수만 혼합하는 형태로 후자리라 프로젝트로 대변됨

• 복합조합방식 : 2개의 공정을 기술적으로 혼합하여 새로운 형태를 만들어낸 것으로 대표적으로 Membrane Distillation 공정이 있음. 2개의 공정을 기술적으로 상호보완 하는 공정으로는 MED공정과 TVC 공정을 연결하여 효율성을 증대한 것이 대표적인 것으로 바레인에 설치된 Hidd 프로젝트를 들 수 있음

※ 후자이라 단순 하이브리드 프로젝트

	SWRO	MSF
처리용량 (m^3/day)	170,000	284,000
처리수질 (mg/L)	180	< 25
에너지 소요량 (kWh/m^3)	4.8	4.3

1. 단순혼합방식으로 생산수의 수질에 대한 조절이 용이
2. 운영비 절감
   - MSF만으로 생산할 경우에 비해 연료소모량 절감 (40%)
   - MSF + RO : 115 ton/h 연료소모
   - MSF : 191 ton/h 연료소모 (스팀생산량 증대로 인해)



후자이라 프로젝트의 MSF + RO 하이브리드

- Process intensification

• 전처리공정과 후처리공정에 대하여 재래식전처리가 아닌 막공정 (MF/UF /MBR/NF/Membrane 공정과 MC/MD)과의 조합을 통해 역삼투막의 파울링 농축수 배출을 억제하거나 저감

• 기본적인 공정강화의 최종 목적은 **EPC 비용 증가를 통한 에너지 저하임**

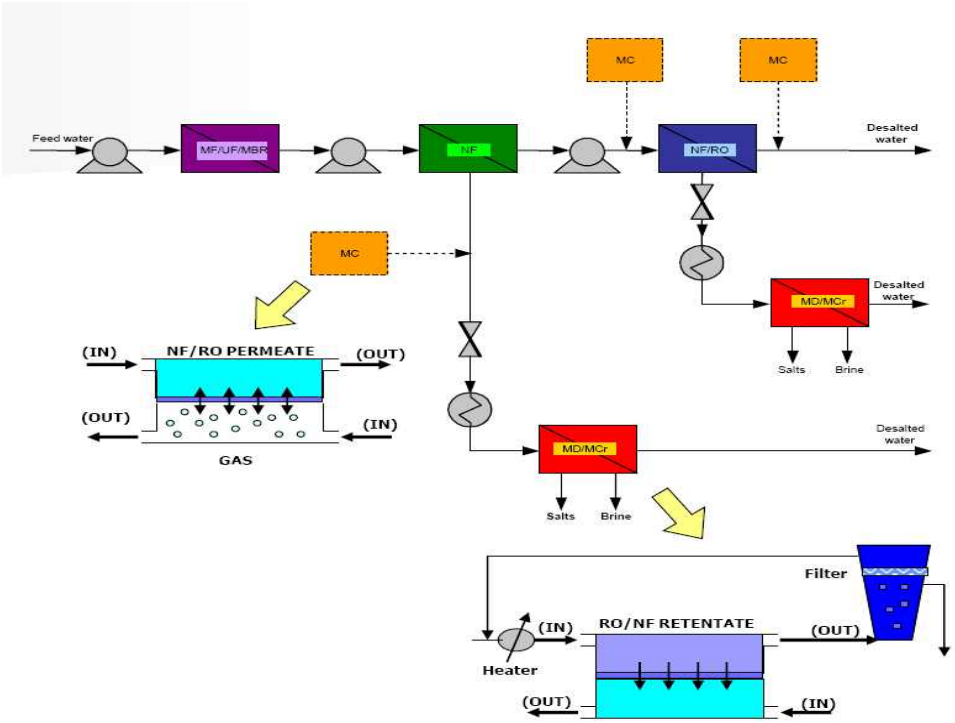


그림 19. 공정강화의 예 (메디나 프로젝트)

o 전 국가적 R&D방향성에 대한 추구 : Key Word는 에너지 저감

- 미국은 desalination Roadmap (2003년)을 통해 총 6개의 분야를 도출하였으며, 그 중 막과 관련하여 장기적인 관점에서 중점 연구테마를 O&M과 관련하여 제시

• **FO 연구가 예일대학을 중심**으로 이루어지며, Nano기술을 이용한 새로운 막 개발에 대한 연구가 캘리포니아 대학을 중심으로 이루어짐

• Desalination and Water Purification Technology Roadmap 중심으로 연구가 구성됨

표 2. 미국의 R&D 방향성

6개 분야의 Keyword	장기적인 막 관련 연구 Keyword
- Membrane technology - Thermal technology - Recycling/reuse technology - Concentrate management technology - Alternative technology - Cross cutting technology	- Smart membrane : 막을 통과하는 오염물 농도의 차이를 감지하여 자동적으로 운전의 performance를 변화 - 센서개발 : 유기물과 바이러스 감지 센서와 Biofouling을 위한 EPC센서 및 입자성 파울링 감지 센서 - Membrane 자체 연구 : 넓은 범위의 pH, 원수의 농도별 제거능력 조절가능, 바이오 필름에 대한 내오염성 강화

- EU는 총 4가지의 분야로 설정을 하였으나 Advances in membrane for desalination으로 막과 관련한 연구에 중점을 두고 있음

• **에너지 측면에서의 접근** : 하이브리드 (역삼투막방식 + 열적방식) 방법에 대한 연구, NF 전처리방법, salinity gradient power (SGP) 생성을 위한 연구 (PRO) 등이 활발함

• **MEDESOL project : MD 기술에 대한 연구로 기존의 에너지 요구량이 많은 MD 기술을 태양에너지를 접목시켜 극복**하고자 연구임

※ MEDINA 프로젝트에서는 신기술 중에서도 MD에 대한 전망이 더욱 좋을 것으로 예측 : 특히 염의 회수와 관련하여 연구가 진행된 바 있음

표 3. EU의 R&D 방향성

4개 분야의 Keyword	Advances in membrane for desalination
- Membrane bioreactor for W/W - Advances in membrane for desalination - Nanotechnologies for water treatment - Process integration and life-cycle management	- 목표 : Desalination의 높은 에너지 요구량 극복 - MEDINA 프로젝트 · 염수들의 특성 파악 · 역삼투막 파울링과 전처리공정 · 새로운 멤브레인 소재와 모듈의 설계 · 역삼투막의 클리닝 효율성 평가 · 농축수 저감과 염의 회수

- Spain에서는 Pridesa, Inima, Befesa, Cadagua, Sadyt, Infilco, Aqualia, Cobra, Grupo, Seta, IsoluxCorsan Corvian 등의 자국 회사와 Canary Islands Institute of Technology (ITC)를 중심으로 **desalination 공정에 소요되는 에너지를 저감**하기위해 초점
  - **태양과 풍력에너지와의 조합을 통하여 에너지 저감** 방안을 강구하며, 주로 소형전기플랜트 (100에서 300 가구공급)를 중심으로 desalination 플랜트와의 직접적인 조합을 위해 연구함

- Australia에서는 CSIRO Flagship Programme을 통해 새로운 막개발을 위해 목적으로 연구를 수행. 연구의 목표는 효율성증가와 경제적 환경적 비용 감소임

- Singapore에서는 현재 Singapore Membrane Technology Centre (Nanyang Technological University 내에)와 Singapore 주립대가 **FO를 keyword로 주도적으로 시행**
  - 싱가포르 정부는 Environment & Water Industry Development Council을 통해서 Seawater Desalination Challenge Call을 설치 : 이 Challenge는 전처리 및 후처리를 포함하여 desalination 에너지 1.5 kWh/m^3이하를 달성하는 새로운 기술 등에 대하여 연구중임 (5년간 10,000,000 싱가포르 $ = 8,700,000,000 원)

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

- 일본은 국가적인 차원에서의 접근보다는 막회사를 중심으로 보론제거율 향상과 전처리효율 향상쪽으로 집중

2.3. 해수담수화 시장 변화에 대한 대응전략

□ 현 해수담수화플랜트 기술변화에 대한 대응전략

○ 국내의 해수담수화시장에 대한 대처현황 및 예측

> ❍ 역삼투막 방식에 있어 기술적 평준화로 인해 다국적 기업에 열세를 지속할 것으로 예측

- MSF를 중심으로 하는 증발식에서는 여전히 두산중공업이 자체 경쟁력을 가지고 있음 (2010년 라스아주르 227MIGD 수주(MSF 160MIGD + RO 67MIGD), 2011년 Yanbu 15 MIGD MED 수주 (단일트레인으로 세계최대))
- 역삼투막 해수담수화 분야에서 **2006년 시작된 "해수담수화플랜트 사업단"의 성공적인 수행으로 주요 역삼투막 분야 요소기술 (고압펌프, 16inch 역삼투막, 대형 트레인 설계기술, 에너지 회수장치 등) 확보**
- 역삼투막 해수담수화 공정에 대한 **전 세계 EPC 업체간 기술력은 평준화에 도달한 것으로 사료**되며, 증발식 분야와는 달리 고른 실적을 가지고 있음
- 역삼투방식의 담수화 공정은 1990년대 후반 이후 시장지배적인 공정으로서 뚜렷한 상승세를 보이고 있으나, 국내의 경우, 중동국가를 중심으로 증발식 분야에서 세계시장 점유 1위인 두산중공업이 역삼투막 공정분야에서는 두각을 나타내지 못하고 있는 상황임 (세계 11위)

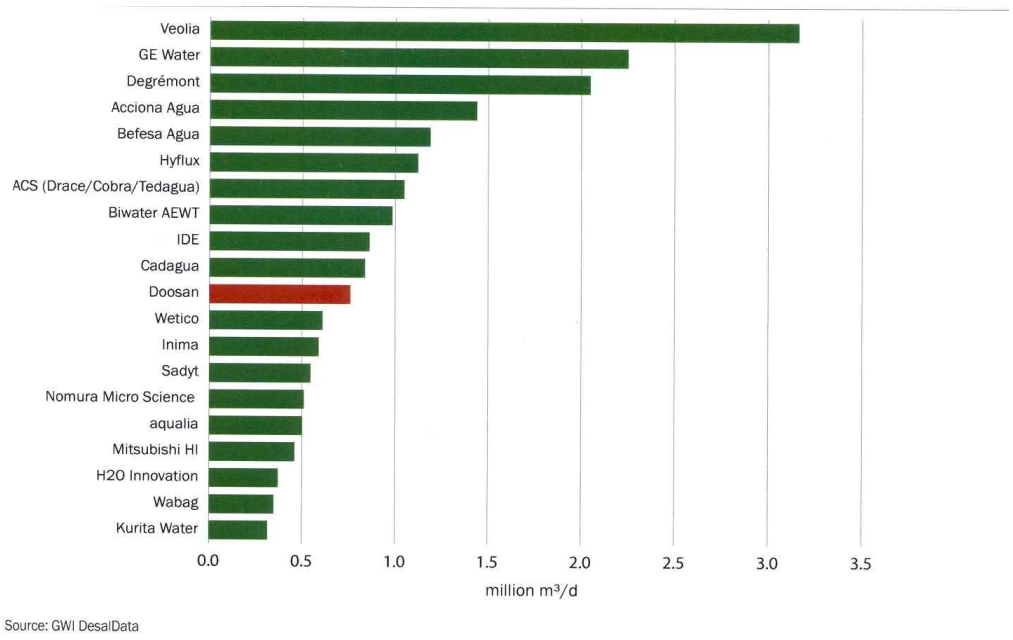


그림 20. RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000~2009)

- 향후 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 **지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면 (운영에 따른 에너지 비용 감소)이 강조되는 방향으로 진행**될 것으로 예측
- 그림 11과 14에서 나타난 바와 같이 물 생산단가 저감을 위한 에너지 비용 절감은 지역 환경에 따라서 일정 부분 감소시킬 여지가 존재하나, 크지 않을 것으로 예상

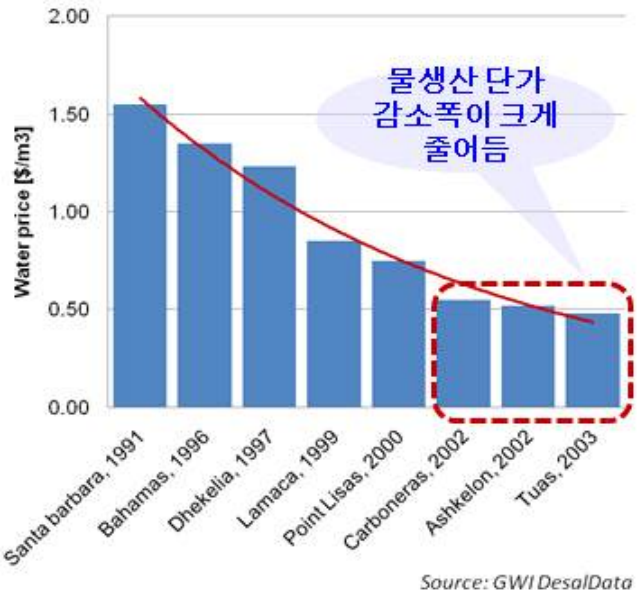


그림 21. RO방식의 물생산 단가 변화 추이

- 국내업체 (두산중공업)의 경우 “해수담수화플랜트 사업단” 연구를 통하여 세계 수준의 EPC 기술 및 주요 요소기술은 확보되었으며, 주요기자재의 국산화에 성공한 것으로 평가될 수 있으나, O&M과 직접적으로 관련된 O&M 측면을 강조한 경험 및 실적 면에서 해수담수화 공정이 보편화된 유럽의 여러 지역의 업체 및 거대 다국적 기업에 비해 절대 열세인 것으로 판단됨
- 향후에도 역삼투막으로 대변되는 해수담수화 시장상황에서 기술적 우월함으로 접근하기에는 **기술적 평준화로 인한 가격경쟁력 면에서 그리고 다국적 기업의 규모면에서 열세인 국내업체들이 고전할 것으로 예상**됨

o 해수담수화 플랜트 시장의 변화

❍ 세계 원유로 대변되는 에너지 가격은 2000년 이후로 급격한 증가세를 보이고 있으며, 이에 따라 해수담수화 시장은 친에너지를 keyword로 변하고 있음

❍ 현재 역삼투 방식 해수담수화 공정 기술의 국산화는 80% 이상으로 **EPC와 관련된 기술력은 세계수준**으로 성장

❍ 현 세계 기술 수준은 **EPC 면에서 평준화** 된 상황으로 분석

❍ 해수담수화 시장이 저 에너지 비용을 강조하는데 반해 현 국내 기술력은 **O&M에 대한 기술 및 경험은 절대 부족**에 의해 **전력비 4 kWh/m^3**수준으로 직접적으로 수주와 연결까지는 어려움이 있을 것으로 예측

- 그림 24는 지난 20년간 원유가격의 변화를 나타낸 것으로 향후 지속적인 증가가 예상됨. 실제 2011년 원유가는 100$를 넘어선 고가의 에너지 상황이 지속되고 있음



그림 22. 원유가격의 변화

- 증발식과 역삼투 방식으로 대변되는 해수담수화 시장은 에너지 비용에 특히 민감한 시장으로 향후 O&M에서의 에너지 비용 절감이 강조되는 방향으로 지속될 것으로 예측
- 증발식의 경우 특별한 조건, 즉 중동처럼 발전플랜트 등에 의한 폐열 등이 보조되는 상황이 아닌 일반적인 조건에서는 과다한 에너지비용에 의해 현장적용이

극히 제한적일 것으로 사료됨

- 해수담수화공정이 보편화된 중동지역을 중심으로 현 플랜트 발주 조건에서는 반드시 에너지 소비율이 포함되며, EPC에 비하여 상대적으로 비중이 점차 증대되는 상황임. 표 2는 UAE의 15MIGD Ras Al Khaimah SWRO 프로젝트의 경우로 에너지 소비율 비중을 보여주는 대표적인 예임

표 4. Al Khaimah SERO 프로젝트 입찰현황, 수주결과

순위	업체	입찰가격		에너지 소비율		결과
		USD	1위 대비 비율	kWh/m^3	1위 대비 비율	
1	UTICO	72,247,317	100%	3.3679	107.4%	
…	…	…		…	…	
6	Aquatech	82,152,589	113.7%	3.1370	100.0%	수주
…	…	…		…	…	

1. 평가기준 = 시공입찰가격 + 20년간 전력사용량

2. 평가기준에 따른 UTICO사와 AquaTech사 비교결과

1) UTICO

a) 시공입찰가격 = **72,247,327USD**

b) 20년간 전력사용량 = 68,192m3/일 X 3.3679kWh/m3 X 0.4 Dirhams X 345일/year X 20year X 0.27USD / Dirham = **171,145,491USD**

c) a) + b) = **243,392,818 USD**

2) AquaTech

a) 시공입찰가격 = **82,152,589USD**

b) 20년간 전력사용량 = 68,192m3/일 X 3.137kWh/m3 X 0.4 Dirhams X 345일/year X 20year X 0.27USD / Dirham = **159,411,920USD**

c) a) + b) = **241,564,509 USD**

- 현 국내 기술은 전력소요량 **4 kWh/m^3 내외까지 확보되었으나, 세계 수준인 3.0kWh/m^3의 75% 수준에 불과하여** 실질적으로 수주와 연결되기에는 O&M 적인 요소 (전력비 저감) 면에서 열세로 인해 증발식에서와 같은 지위를 기대하기에는 무리

- 현 역삼투방식 해수담수화 기술적 한계상황

중점 요소기술	기술적 한계 상황
역삼투막	- 기존 PA계열의 투과율 증대에 있어 기술적 한계치에 도달할 것으로 예측 (2차 박막 코팅기술의 한계 등) - 새로운 신소재에 대한 원천기술 확보를 위한 각 선진국의 R&D 집중
에너지 회수장치	- 현 상업화된 기술은 압력회수 면에서 98% 이상의 효율달성 : 기술적 한계
고압펌프	- 애쉬캘론 플랜트내 고압 펌프의 효율성 89%가 현존하는 기술적 한계로 현재 정체기에 있음
트레인 설계	- 애쉬캘론 및 하데나 플랜트 등 이스라엘에 적용되는 새로운 트레인 방식을 재외하면 구체적인 연구상황이 없음 - 많은 연구가 필요할 것으로 판단

- 현 역삼투방식 에너지 소요량의 한계 : 2009년 이후 주요 건설중이거나 계획되고 있는 플랜트 들의 계획 에너지 소비량은 4 kWh/ton 이하로 나타남.

표 5. 2009년 이후 역삼투막 플랜트의 에너지 소비량

프로젝트 이름	국가	용량	계약일	현재상황	에너지소비 (kWh/m^3)
Palmachim Expansion	**이스라엘**	**40,000**	**2009**	**Construction**	**2.7**
Ashkelon Expansion	이스라엘	41,000	2009	Construction	3.8
Caofeidian	중국	50,000	2009	Online	4
Balashi (formerly Bubali)	**아루바**	**24,000**	**2010**	**Construction**	**3.5**
Ghalilah, Ras Al Khaimah	**아랍**	**68,100**	**2011**	**Construction**	**3.14**
Tuas II	싱가폴	318,500	2011	Construction	4
Agbar project, Copiapo	칠레	86,400	2014	Planned	4

- 그림 23은 desaldata에서 제공하는 현재 건설중이거나 운영중인 역삼투 공정의 소요 전력량을 분석하여 각 년도별 평균값을 정리한 것으로 **에너지 소요량 면에서 2005년 이후 현 역삼투 공정의 기술이 정체기에 있는 것을 간접적으로 시사**

- 그림 24는 10,000 ton/d이상의 역삼투방식 해수담수플랜트에 대한 용량별 플랜트 소요 에너지량을 나타낸 것으로 **용량에 따른 에너지 소요량 면에서 10,000 ton/d 이상의 플랜트에서는 큰 차이가 없는 것**을 시사. 따라서 대형화를 통한 에너지 저감에 대한 방향성은 일정 규모이상에서는 의미가 없는 것으로 판단

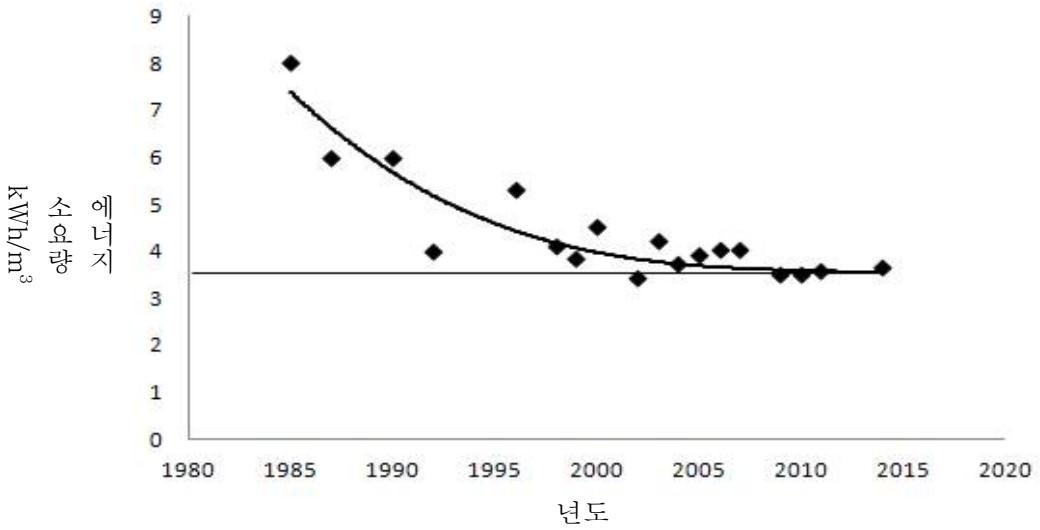


그림 23. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 연도별 에너지 소요량

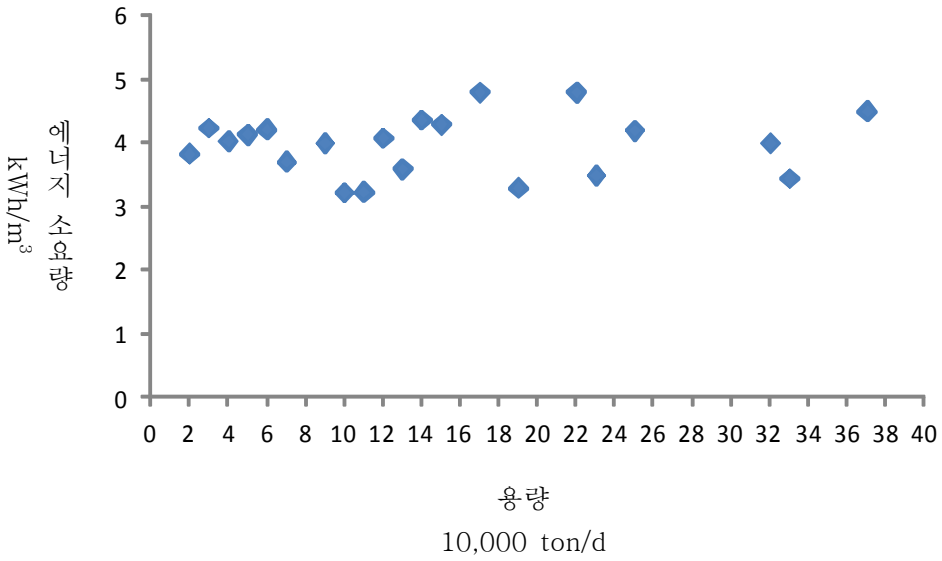


그림 24. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 용량별 에너지 소요량 (10,000 ton/d 이상)

o 해수담수화 시장에 대한 전략적 접근방안

❍ 역삼투 방식의 해수담수화 공정의 **EPC와 관련된 기술적 접근은 시장 흐름에 역행**
❍ O&M을 위한 에너지 저감에 초점을 맞추어 **새로운 기술적 변화를 위한 연구방향**을 추구하는 것이 바람직
❍ **정삼투 방식은 역삼투 방식에 비해 최대 50%까지도 에너지를 절감할 수 있는 새로운 공정으로 세계적 관심**이 집중

- 역삼투 방식 해수담수화 공정의 EPC에 대한 기술적 접근은 현 해수담수화 시장의 변화의 흐름에 역행
- 역삼투 방식 해수담수화 공정기술에 대한 EPC적 개발은 해수담수화 플랜트 사업단에서 성공적으로 국산화함. 이에 비해 에너지 관점에서 해수담수화 기술의 발전은 시장의 변화에 비해 더딘 흐름을 보이고 있음.
- 해수담수화 시장은 EPC적인 요소보다 O&M(에너지)적인 접근을 요구하고 있음. 따라서 현 단계에서 역삼투 공정이 아닌 새로운 기술적 접근이 필요함
- 정삼투 공정은 현 시점에서 역삼투 공정의 에너지 집약적 단점을 개선할 수 있는 공정으로 세계적인 이슈의 중심에 있음. 그림 21은 FO공정의 에너지 요구량을 나타낸 것으로 역삼투 공정에 비해 최대 50% 수준까지 저감이 가능한 것으로 나타남

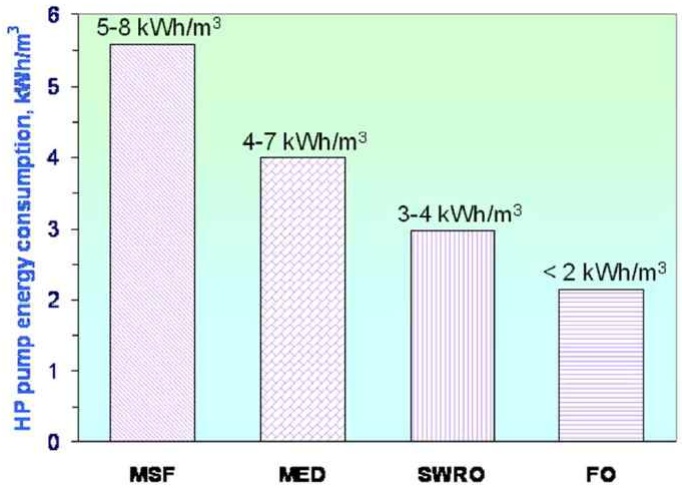


그림 25. FO 공정과 다른 해수담수화 공정과의 비교

※ 단, 유도용액 분리공정 에너지 제외

□ 정·역삼투 융합 해수담수화 기술

❍ 정삼투공정은 이론적으로 에너지를 2.0 kWh/m3이하로 낮출 수 있다는 장점으로 인하여 전세계적으로 많은 연구가 진행되고 있으나, 아직까지 **정삼투막의 낮은 플럭스, 모듈의 대형화 미비, 비 경제적인 유도용액 및 분리공정 등으로 인하여 독립적으로 현장적용을 기대하기에는 무리**
❍ 정삼투막의 경우 8인치의 프로토타입등이 개발되어 연구중에 있어 근 시일내에 상용화 가능성이 높아질 것으로 추정되나, 유도용액의 개발과 분리공정등은 아직 기대에 못 미치고 있음
❍ **정·역삼투 융합 공정은 유도용액과 관련한 공정이 필요하지 않기 때문에 독립적인 정삼투 공정에 비하여 현장 적용가능성이 훨씬 높은 것으로 분석됨**

o 정삼투 (FO) 공정

- 정삼투 공정은 삼투압을 이용하는 담수화 공정으로 쉽게 분리가 가능한 고농도의 드로우 용액을 투입하여 삼투압만으로 염분을 제거하는 공정으로 운전에 필요한 수리학적 압력이 낮거나 적고, 다양한 오염물질을 제거할 수 있으며, 역삼투(RO)에 비하여 막오염이 발생이 적은 것으로 알려짐. 또한 장치가 간단하고 막 지지시설도 비교적 간단함.
- 정삼투 기술은 염 분리시 수리학적인 압력이 필요없어, 에너지 소요비용을 크게 줄일 수 있어 현재 해수담수화 시장에서 가장 주목받고 있는 기술임. 그림 21은 현재 시장지배적인 기술과 FO 공정과의 에너지 소모율을 비교한 것으로 FO공정이 타 공정에 비해 에너지 소모율 면에서 큰 장점이 있다는 것을 알 수 있음 (H.Y. Ng, Forward osmosis process for seawater desalination Challenges and Opportunities. 2009.)
- 현재 FO 공정에 대해서는 FO 막과 모듈의 제조에 있어 가장 활발하게 연구가 진행되고 있으며, 유도용액의 개발이 현재시점에서는 현장적용에 가장 큰 이슈가 되고 있음.

o 정상투 공정에 대한 연구현황

- FO 공정은 1960년대에 연구가 시작되어 최근 10년간 FO 전용 막의 개발과 다양한 유도 용질 등에 대한 연구가 집중되고 있음. 그림 26은 FO에 대한 연구 증가 경향을 보여주는 것으로, 2011년에 특히 급속한 증가를 보여주고 있음

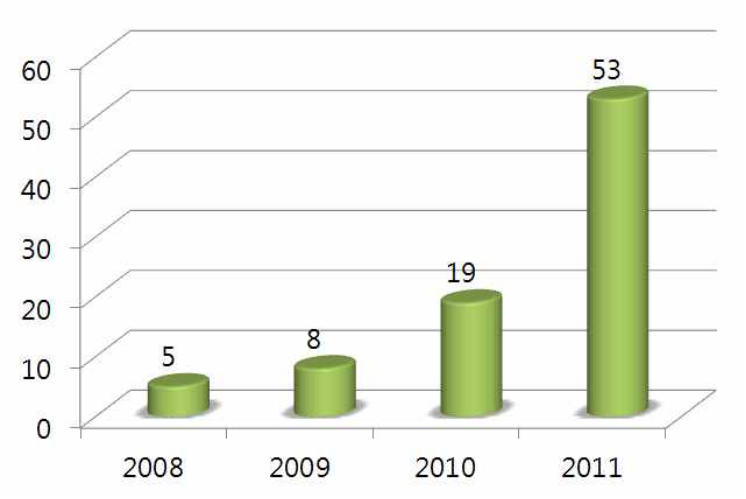


그림 26. 연도별 FO 관련 발표 논문 수

- 그림 27에서 나타난 바와 같이 FO의 상용화를 위해서 가장 필요로 하는 소재의 개발은 FO 전용 막개발이며, 다음으로 시스템 구성 (특히 RO 공정 또는 기타 가압식 막여과 공정과 결합) 등에 대한 부분임

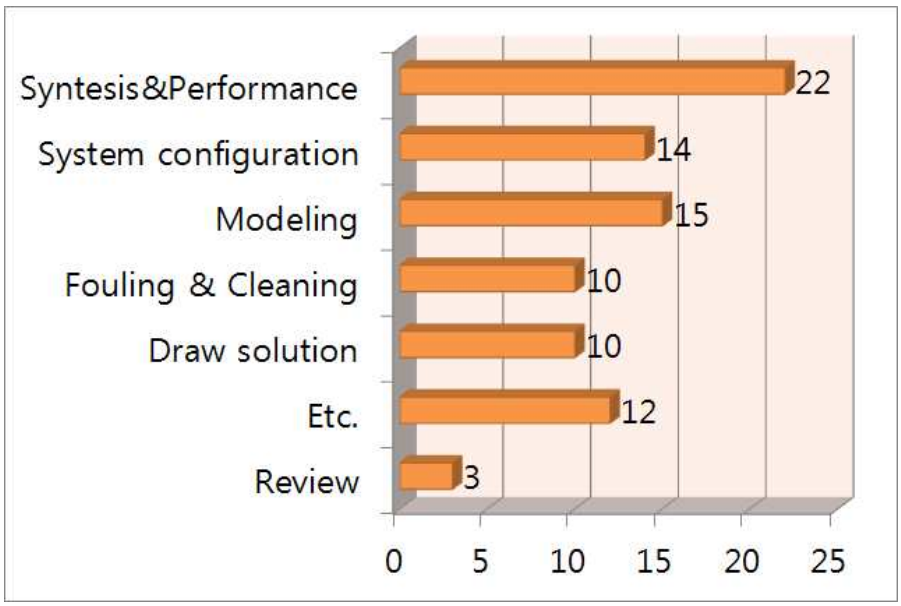


그림 27. 연구 주제별 FO 관련 논문 발표수(2008~2011)

o FO 특허분석



- 국내 특허의 경우 공정과 막 제조에 동일한 비중
- 해외 특허의 경우 공정에 특허 집중
- 전체적으로 정삼투 공정 12건으로 특허 출원
- 역삼투막공정에 비해 전반적으로 원천 기술에 가까운 특허경향을 나타냄
- 막 소재를 제외하고는 요소기술별 특허는 부족한 것으로 평가됨

o 막제조 현황

- 정삼투용 분리막의 연구는 1990년 이후 활발하게 진행되었으며, 그 이전에는셀룰로오스계통 중공사막과 비셀룰로오스계인 폴리아미이드계의 복합막을 주로 사용하는 공정에 대한 연구수준이었음
- 정삼투는 물이동의 구동력이 유도용액과 해수와 농도차이므로 통상 유도용액의 삼투압을 견디는 방향으로 막을 제조하며 내부 농도분극(concent- ration polarization)을 감소시키는 방향으로 연구
- 역삼투막과 달리 FO 막은 표준화 되지 못하였음. 현재 평막은 상용화에 성공하였으나, 대형화에 있어 한계점을 가지고 있는 것으로 평가됨. 따라서 그림 22에서 보는 것처럼 최근 FO 평막 제조업체에서 나권형 막을 제조하여 선보이는 등 FO 막도 모듈의 형태가 다양화되기 시작하였으며 특히 최근 2~3년 간 세계 선진 FO 연구 그룹들이 앞다투어 중공사 막에 대한 연구결과를 발표하는 등 FO 막 및 모듈의 성능 개선을 위한 노력들이 지속되고 있음

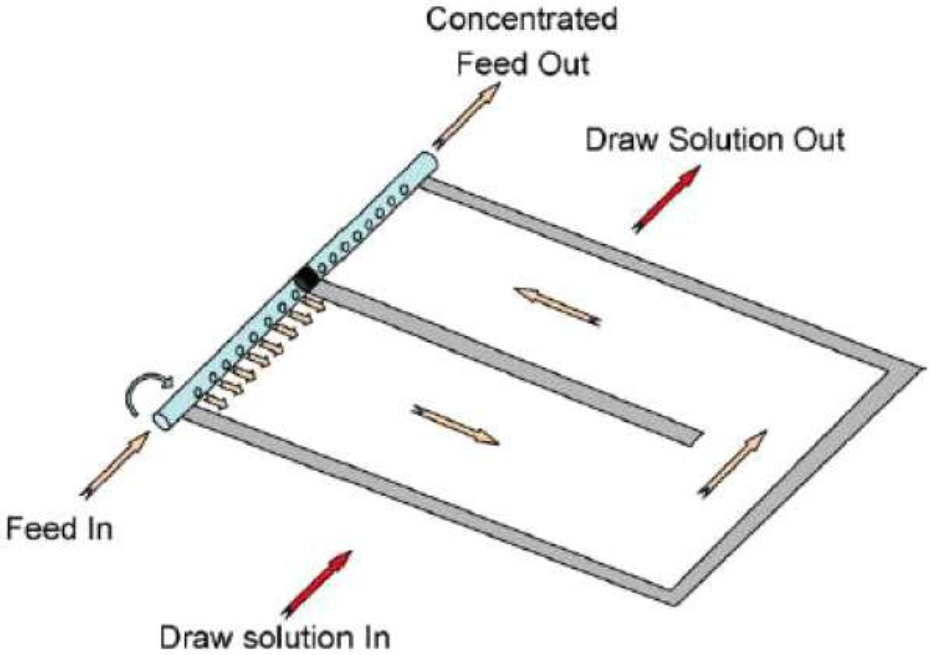


그림 28. 나권형 모듈의 예

- 현재 정삼투 공정의 막은 평막 (나권형 모듈)과 중공사막의 2가지 흐름을 가지고서 진행이 되고 있으며, 평막 연구는 예일 대학교, 국립 싱가폴 대학교, 싱가폴 난양 공대를 중심으로 이루어 지고 있으며, 중공사막은 NUS와 NTU가 주도적인 역할을 담당하고 있음. 표 6은 현재까지 개발된 정삼투 공정 막의 성능을 보여주고 있음

o 유도용액 개발현황

- 정삼투 유도용액(Draw solution)은 생산수 분리와 유도용액의 재농축 용이성을 가지고 있어야 하며, 현재까지 Sodium Chloride, Sulfur Dioxide, Aluminum Sulfate Solution, Glucose Solution, Glucose 와 Fructose 혼합액, Fructose, Potassium Nitrate(KNO_3)와 Sulfur Dioxide(SO_2) 혼합액, Ammonia 와 Carbon Dioxide Gases 혼합액 등이 연구되었으며, Ammonia와 Carbon Dioxide Gases 혼합액은 이 가장 큰 가능성을 제시함. 최근에는 Magnetoferritin의 자기장을 통한 분리 가능성을 제시한 바 있음

표 6. 현재까지 개발된 정삼투 공정 막들의 성능

Feed	Draw solution	Membrane (평막)	Water flux	Salt flux	Orientation	R	ref	개발그룹
10mM NaCl	0.5 M NaCl	PA TFC	20.5 LMH	5.9 gMH	PRO mode		JMS 372(2011)292-302	NTU
DI	1.5 M NaCl	PA TFC	18.16 LMH	-	PRO mode	97.4	ES&T 44(2010)3812-3817	Yale
DI	1 M NaCl	PA TFC	25.0±4.1 LMH	0.33±0.19 gMH	FO mode	98.6±0.8	JMS 367(2011)340-352	Yale
DI	2 M MgCl2	CA	17.3±0.4 LMH	1.2±0.2 gMH	PRO mode		JMS 360(2010)522-535	NUS
DI	0.5 M MgCl2	PAI	29.65 LMH	-	PRO mode		Desal (2011) in press	NTU
DI	2 M NaCl	TFC (Sulphonated)	33.0 LMH	2.8 gMH	PRO mode	91	JMS 383(2011)214-223	NUS
DI	3 M MgCl2	PAH+PSS (LbL)	105.4 LMH	-	PRO mode		JMS 381(2011)74-80	NTU
DI	3 M NaCl	PES membrane	~30 LMH	~6 gMH	-	94	JMS 375(2011)63-68	KIST
0.6 M NaCl	1.2 M MgSO4	CA	6.5 LMH	-	FO mode	88(Na) 99(Mg)	Desal 273(2011)299-307	ICL (London)
50mM NaCl	4 M NaCl	CTA	37.8 LMH	-	PRO mode		AIChE DOI 10.1002/aic.12635	NUS, KAUST
DI	5 M MgCl2	CA double layer	48.2 LMH	-	-		Chem. Res 49(2010) 4824-4831	NUS

Feed	Draw solution	Membrane (중공사막)	Water flux	Salt flux	Orientation	R	ref	개발그룹
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	32.2 LMH	0.11 g/L	PRO mode		JMS 355(2010)158-167	NTU
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	42.6 LMH	0.094 g/L	PRO mode		Desal 261(2010)365-372	NTU
DI	5 M MgCl2	PES hollow fiber	33.8 LMH	1.0 gMH 이하	PRO mode		ES&T 43(2009)2800-2805	NUS
DI	1.0 M MgCl2	PAH+PSS (LbL type)	22 LMH	6.66 gMH	FO mode		ES&T 45(2011) 5201-5208	NTU
DI	1.0 M MgCl2	PAI	14.6 LMH	-	PRO mode		JMS 369(2011)196-205	NTU
DI	3.125 M MgCl2	PBI-PES hollow fiber(NF)	17.1 LMH	-	PRO mode	-	S&PT 69(2009)269-274	NUS
DI	2 M MgCl2	CA hollow fiber	30.98 LMH	0.37 gMH	PRO mode		JMS 364(2010)344-353	NUS
DI	2 M MgCl2	CA NF	7.3 LMH	0.53 gMH	PRO mode		JMS 355(2010)36-44	NUS
DI	0.5 M MgCl2	PES hollow fiber	49.0 LMH	4.0 gMH	PRO mode		JMS 382(2011)116-123	NTU
10 mM NaCl	0.5 M NaCl	PA-TFC hollow fiber	40.3 LMH	-	PRO mode		JMS 389 (2012) 25-33	NTU

o 정삼투 공정의 한계

- FO는 해수담수화 관련하여 역삼투 공정의 후속으로 가장 활발하게 연구되고 있는 기술로 현재까지의 대표적인 상업화 현황과 연구현황을 표 7에 정리하였음

표 7. FO 공정기술의 현황

구분	현상황	연구현황	상업화
FO 막 및 모듈	4인치 모듈 및 벳셀	8인치 프로토타입	○
유도용액	NH4HCO3	다양한 특허	△
FO 설계	100 ton/d	400 ton/d	△
FO O&M	100 ton/d	-	△

- FO 공정은 모던워터사에서 오만지역에 100 ton/d의 FO 공정을 운전하고 있는 상황으로 소규모에 있어서는 상업화에 성공한 대표적인 케이스라 할 수 있음. 모던워터사는 역삼투공정과 비교한 결과 약 50%이상 전기효율성이 좋은 것으로 주장하고 있으나(표 8), 실제 역삼투공정에서 ERD에 대한 효율을 고려하지 않은 상황임. 이를 고려할 경우 에너지 비용이 유사할 것으로 분석됨

표 8. 모던워터사의 정삼투공정과 역삼투공정 비교

구분	역삼투공정	정삼투공정
유입수량 (m^3/h)	11.9	11.9
생산수량 (m^3/h)	3.0	4.2
유도용액 회수 (%)	-	47
전력소모 (kWh/m^3)	8.5	4.9
비고	에너지회수 안함	에너지회수 안함

- 정삼투 공정을 위해 현재까지 개발된 막들은 아직까지 현장적용은 표 7에 요약된 단점들로 인하여 미비하나, 단시간내에 해결될 것으로 기대됨

표 9. 정삼투공정 막의 한계점

	현재 한계점	향후 연구 방향
Water flux	낮은 water flux (50LMH 이상 상용화 가능)	Hydrophilic 한 소재와 water permeability가 높은 구조와의 최적화를 통해 개선 기대
Reverse solute flux	Reverse solute flux 발생 (solute flux 최소화 필요)	Membrane 표면 개질을 통한 fouling 저감 및 rejection 증대
Mechanical strength	Hollow fiber개발로 인해 강도 문제는 일부 해결	Air washing 또는 osmotic back washing에도 견딜 수 있으면서 flux에 영향을 주지 않는 구조 개발 필요

- 정삼투공정의 대형화를 위해서는 8인치 모듈 개발이 필수적이며, 현재 프로토 타입 등이 개발되어 성능평가 중에 있어 근래에 상업화될 가능성 농후
- 정삼투공정의 또다른 경제성 평가를 한 사례는 그림 22에서 보는 것처럼 총 에너지의 85%가 draw solution처리를 위해 소요되며, 실제 draw solution공정을 제외하면, 약 2 kWh/ton정도가 소요되는 것 분석됨
- 이러한 사실들은 FO공정의 상업화를 위한 가장 현실적인 어려운점은 draw solution 분리 공정임을 지적하는 것임
- FO 공정의 현실화에 있어 가장 중요한 것은 경제적인 유도용액의 개발이며, 세계적으로 관심이 집중되고 있는 상황임. 표 6은 현재까지 연구가 진행된 유도용액 현황을 보여주고 있으며, 각각의 유도용액들이 현실화가 어려운 단점들을 가지고 있다는 것을 보여주고 있음

Operation	Estimated energy consumption (KWh/m^3 product)	Remarks
Pretreatment and concentrate disposal	1.7	Pumping. Filtration, etc. Similar to RO plant
Pumping water and draw solutions through the membranes	0.3	
Evaporator distillation energy consumption	3	Electricity charge of 13KWh per ton exhaust steam
Cooling water at the distillation column	3	Pumping energy requirement
Cooling water for adsorbing draw solution gases	4	Pumping energy requirement
Vacuum pump for non condensable gases removal	4	
Credit for cooling water saved in power station for steam supplied to distillation column	-3	Removal of heat from 250kg of steam.
Total	13	±20% error estimate

그림 29. FO 공정들의 에너지 소요량 비교

※ 유도용액의 분리는 열적처리로 가정하였으며, 폐스팀에서 열을 회수하는 것을 가정함, Seminat et al, Energy Aspects in Osmosis Processes, IDS 11th Annual conference, 2011

표 10. 유도용액의 개발 현황과 단점

Reference	Draw Solution	Drawbacks
Batchelder, 1965	SO_2	열에너지 소요
Frank, 1972	Al_2SO_4	침전처리
Yaeli, 1992	Glucose	고압요구
McCutcheon et al., JMS, 2006	NH_3-CO_2	열에너지 소요
Gray et al., Desalination, 2006	NaCl	고압 필요
McCormick et al., JMS, 2008	Ethanol	에탄올의 역 확산
Ming Ming Ling et al., Ind. Eng. Chem. Res., 2010	Highly hydrophilic magnetic nanoparticles	나노 파티클 분리공정 필요

o 정·역삼투 융합 공정

- 정·역삼투 융합 공정은 하수 등 재이용이 가능한 수원을 이용하여 해수의 농도를 희석시켜 처리하는 개념으로 이 경우 별다른 유동용액이 필요없으며, 해수와 하수 등의 농도차이에 의해서 정삼투 현상이 발생하며, 이를 처리하여 생산수를 얻기 때문에 전형적인 FO 공정의 유도용액 분리공정이 필요없음

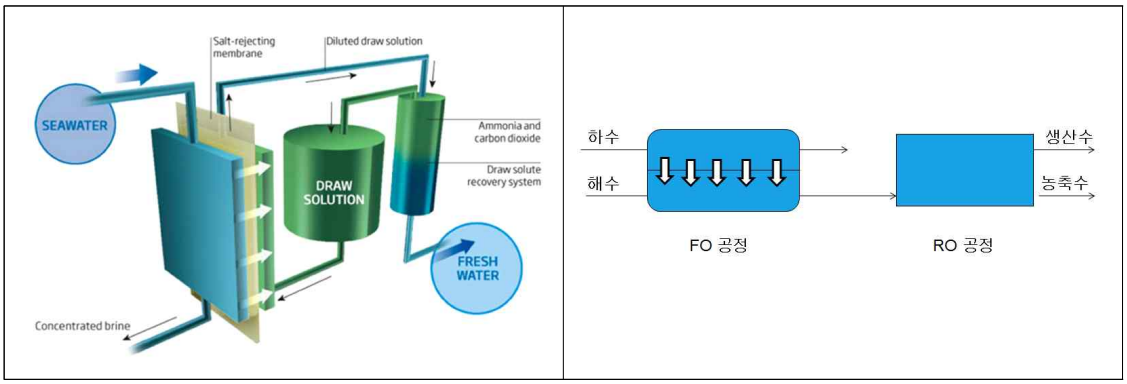


그림 30. FO 공정과 FO 하이브리드의 비교

(좌 : FO, 우 : FO 하이브리드)

- 정삼투 공정의 현실화에 가장 난점은 경제적 유도용액 분리공정의 부재라 할 수 있음. 정·역삼투 융합 공정은 역삼투 공정과의 융합을 통하여 기존 정삼투 공정에서 단점으로 지적되는 유도용액에 대한 공정이 필요하지 않다는 점에 강점이 있음

o 정·역삼투 융합 공정의 현황

- 정·역삼투 융합 공정은 풀 스케일에 대한 연구가 미국에서 실시된 바 있음. 이 연구에서 적용된 정·역삼투 융합 공정은 침출수 처리를 위해 적용되었으며, 하이브리드 공정의 가능성을 보여주었음(York, et al., '99 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, 4-8 October 1999)

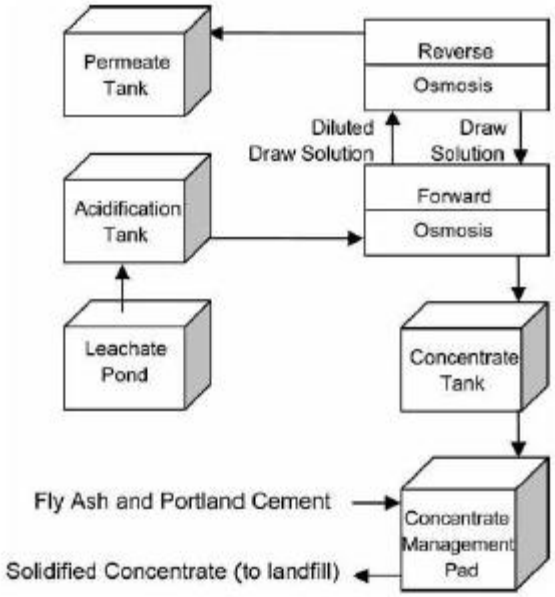
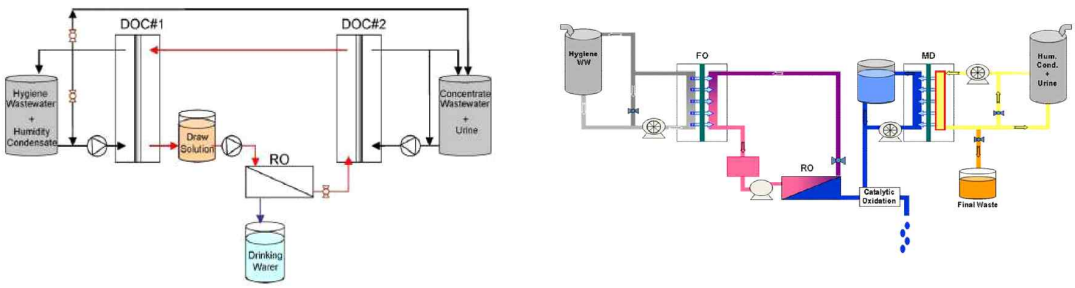


그림 31. 침출수 처리를 위한 정·역삼투 융합공정의 예

※ 출처 : York, et al. 1999

- 미국 NASA는 우주선 내의 물 재이용을 위해 하수를 처리해 음용수로 직접 재이용하는 공정인 Direct Osmotic Concentration(DOC) 시스템을 개발하여 평가함. 이 시스템은 그림 25에 나타난 것처럼 1세대에서 3세대까지 개발되어 평가되었음



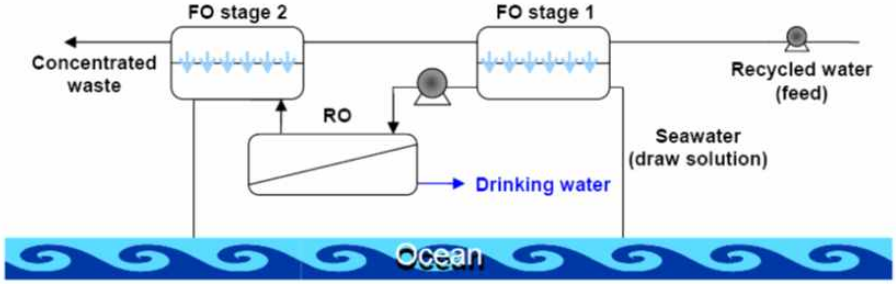
(a) 1세대 정·역삼투 융합공정 (b) 3세대 정·역삼투 융합공정

그림 32. 우주선내 물 재이용을 위해 제안된 정·역삼투융합공정

※ 출처 : T.Y. Cath, A.E. Childress, M. Elimelech, Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. Journal of Membrane Science 281(2006) 70-87.)

- Cath et al은 FO 하이브리드 공정에 대한 Lab scale실험과 경제성 평가에서 표 11에서 가능성을 제시하고 있음 (Cath et al, 2009, A Novel Hybrid Forward Osmosis Process for Drinking Water Augmentation Using Impaired Water and Saline Water Sources)

표 11. FO 하이브리드의 경제성 평가

항목	상황
	
System	FO : 3 ton/d RO : 6.3 ton/d
운전조건	유입수 : 2차처리수, 증류수, 3차처리수 유도용액 : 합성 해수 FO 유량 : 2.4 LPM
운전결과 (플럭스)	일반 해수 (35000 mg/L) : 5.8 LMH 농축수 (70000 mg/L) : 8.4 LMH RO : 21.4 LMH (50%)
경제성	
시뮬레이션 조건	해수 : 100 ton/d (35 g/L) 하수 : 200 ton/d (0.5 g/L) RO 회수율 : 50% 에너지 비용 : 0.3 $/kWh FO 시스템 비용 : 45$/m2 투자회수율 : 2배
결과	FO 하이브리드 공정이 RO 공정과 비교시 38000 $/yr이 경제적임

2.4. 정·역삼투 융합 해수담수플랜트 경제적 타당성 검토 및 전략 검토

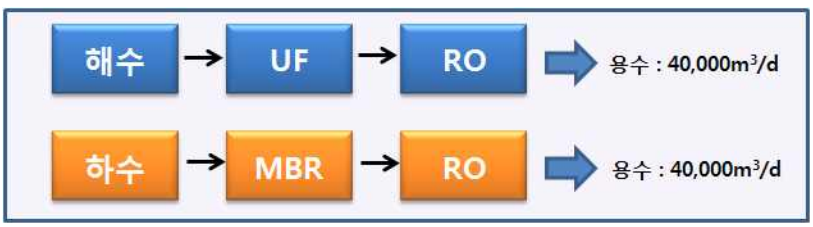
□ 정·역삼투 융합 해수담수 플랜트에 대한 타당성 검토

o 역삼투막 방식 플랜트 적용

- 전 세계 수처리를 위한 막방식의 담수플랜트 적용은 크게 2가지의 경우로 분류할 수 있음
- 해수를 대상으로 하는 역삼투막식 해수담수화 플랜트
  - 중동지역을 중심으로 재이용이 가능한 수자원이 없는 지역에서 주로 이용
  - 현 시점의 해수담수화 플랜트 사업단에서 기술개발 중
  - 중동을 중심으로는 조경용수 등으로 활용하나, 식수로 사용가능
- 기수를 대상으로 하는 역삼투막식 재이용 담수화 플랜트
  - 해수가 아닌 하수 등의 재이용 플랜트. 호주 지역을 중심으로 많은 연구
  - 재이용의 경우는 대부분 식수가 아닌 생활용수, 공업용수 등으로 활용

o 정·역삼투 융합 해수담수고도화 플랜트 적용을 위한 경제성 검토

- 전제조건
  - 한 도시의 총 물사용량 = 100,000 m^3/d
    (식수=20,000 m^3/d, 기타용수(관계용수, 공업용수)=80,000 m^3/d)
  - 하수처리량 = 50,000 m^3/d
    (물 재이용율 80%, 40,000 m^3/d)
  - 유입해수의 TDS농도는 40,000ppm이며 유입 붕소농도는 5ppm
- 비교 공정: 식수의 경우는 해수를 통해 UF, RO공정을 각 타입별로 동일하게 적용함 (20,000m^3/d)
  - A Type

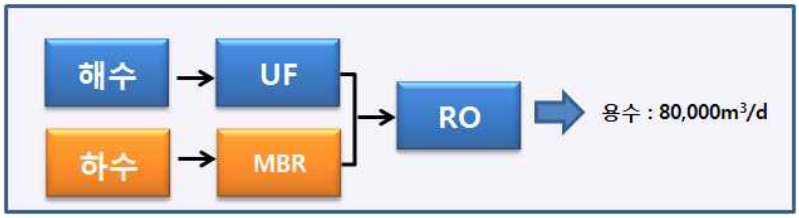


<개념도 ; 해수와 하수 별도 공정>

① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

② MBR전처리(A2O공정)+MBR+BWRO

• B Type

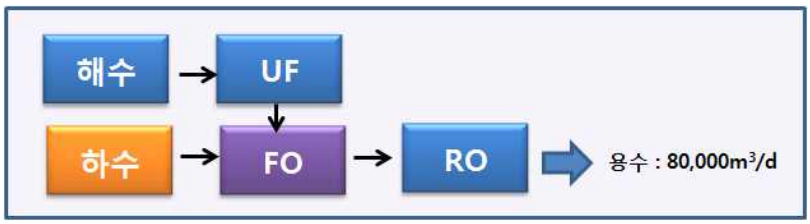


<개념도 ; 해수와 하수 합류 공정>

① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

② MBR전처리(A2O공정)+MBR / 취수+응집/침전+UF + BWRO

• C Type

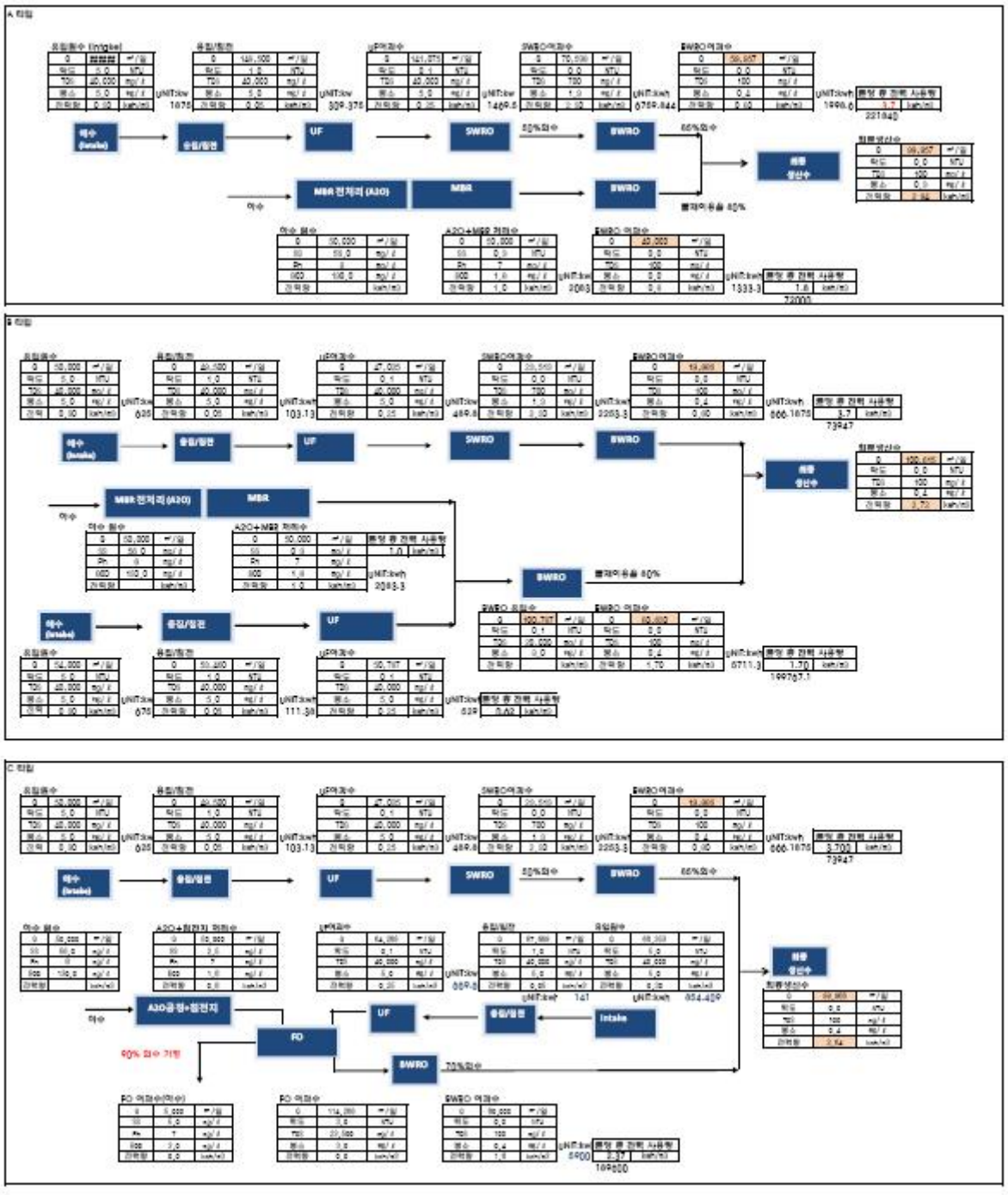


<개념도 ; FO/RO Hybrid 공정>

① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

② FO + BWRO (해수 Draw solution)

- MASS Balance 계산 결과



- 전력비 비교 결과

구분	A Type		B Type		C Type		비고
공정	해수담수화, 물재이용 각각 개별 생산		해수와 하수를 원수로 한 RO 처리 공정		FO/RO 하이브리드 (원수 하수, DS 해수)		
개념 구성	해수담수화	물재이용	해수담수화	해수+하수 RO 처리	해수담수화	하수/해수 FO/RO 처리	
식수 (m^3/d)	20,000	-	20,000	-	20,000	-	
용수 (m^3/d)	40,000	40,000	-	80,000	-	80,000	
총 전력량 (kWh)	221,840	72,000	73,946	266,077	73,946	18,960	
톤당전력량 (kWh/m^3)	3.7	1.8	3.7	1.7	3.7	2.3	
톤당전력량 (kWh/m^3)	2.94		2.72		2.64		

- 각 공정별 전력비 비교 결과 위 생산수 필요 조건에서 C Type 즉, FO/RO Hybrid 공정이 톤당 전력비가 2.64kWh/m^3으로써 A, B Type 대비 각각 10%, 3% 정도의 절감 효과
- 각 공정 타입별 수질의 경우 공통적으로 적용되는 후단 BWRO공정의 유입 수질의 각각 다르므로 최종 생산수의 수질은 TDS기준으로 C Type < A Type < B Type 순
- 총 3가지의 경우를 비교하면 운영비 면에서 하이브리드가 유리한 것은 명백하나, 공정이 건설되는 입지적인 면에서 (특히 배관등) 두 개의 수원에 대한 거리가 멀 경우에는 경제성 검토면에 배관건설비등을 추가해서 재 검토해야할 가능성이 존재함

□ 정·역삼투 융합 해수담수화 기술개발을 위한 전략적 접근

❍ 에너지 소모율을 **2.5 kWh/ton 이하**로 낮추는 것고 이를 통한 **생산수 단가 700 원/ton**의 O&M 기술을 개발하는 것을 궁극적인 목적함 ❍ 역삼투용 **고플럭스의 막**과 **정삼투의 염농도 저하**를 keyword로 이러한 목적에 부합하는 기술개발에 **1차적 전략적인 접근** ❍ 개발된 **저 에너지 기술과 안정적 O&M 기술의 접목을 위한 융합기술 개발** ❍ 기술개발은 사업단과 연구단의 2가지 형태로 분류하되, **사업단 사업을 추천**

o 정·역삼투 융합 해수담수고도화 기술의 최종목적

- 저에너지

• 실질적인 탈염공정의 역할을 담당하는 역삼투 공정에서 고 플럭스를 추구 (같은 플럭스에서 저압을 요구)

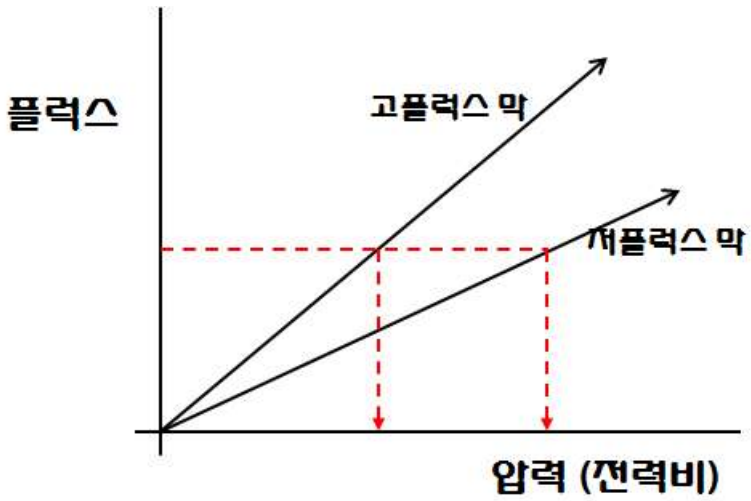


그림 33. 고플럭스 막의 장점

• 전/후 정삼투공정을 통한 유입단계의 염농도 저하를 통한 회수율 증대 및 저에너지 추구

o 기술개발 분야

- 역삼투 공정에서 실질적인 에너지 저감을 위해서는 투과율 증대가 필연적
- 역삼투막의 신소재개발을 통한 8인치 이상의 모듈개발

• 역삼투막은 고플럭스를 목표로 발전하고 있으며, 현 최고 수준인 12,000 GPD (8인치기준)를 뛰어넘는 새로운 신소재의 개발이 필수적임

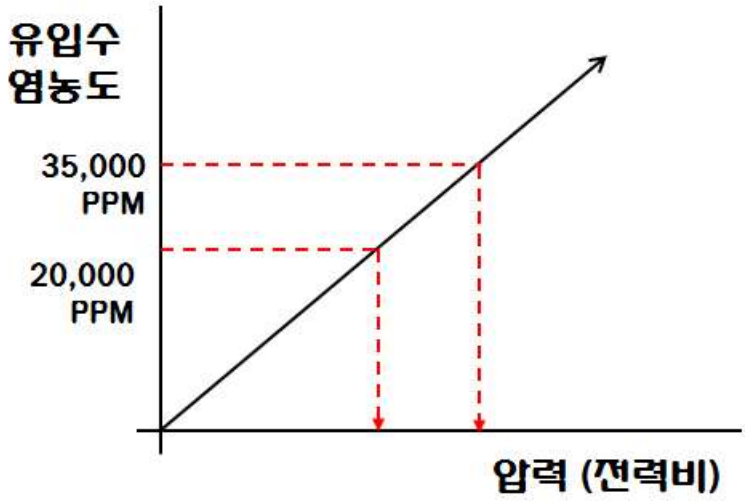


그림 34. 유입수 염농도에 따른 전력비 비교

• 해수담수화 플랜트 사업단의 연구를 통하여 다양한 계열 술폰기, 나노 구조 등에 대한 소재로서의 가능성 확인

- 정삼투 공정에 대한 융합전략 (전/후 정삼투)

• 정삼투 공정에 대한 융합은 현재까지 2가지 계열로 제안되었으나, 이에 대한 표준화는 없는 상태

• 국산화 : 벳셀, 정삼투막, 에너지회수장치, 트레인 엔지니어링 등

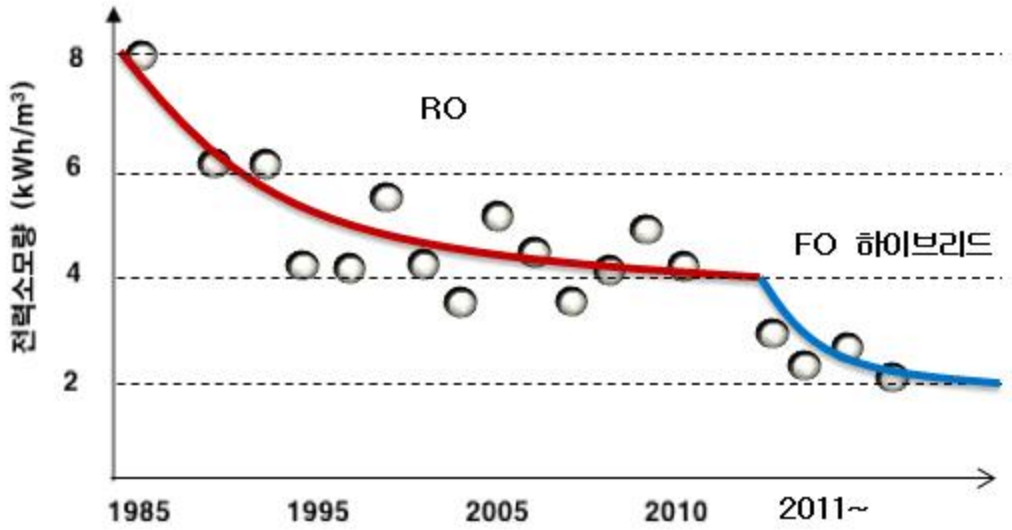


그림 35. 정삼투 공정과의 하이브리드를 통한 에너지 절감 가능성

- O&M 기술개발

• 세계시장의 생산수 가격 700$ 미만으로 접근

• EPC와 운영의 최적점을 조사하여 생산수 가격을 최소화 할 수 있는 방안 모색

• 정삼투에 대한 운영요소를 위한 화학약품 개발 (파울링 저감, 스케일 방지제 등)

• 세계적인 이슈인 브로메이트 최소화를 위한 소독설비

• 해수담수화 플랜트 사업단에서 가능성을 확인한 IT 자동화 제어 시스템의 상용화 형태 개발

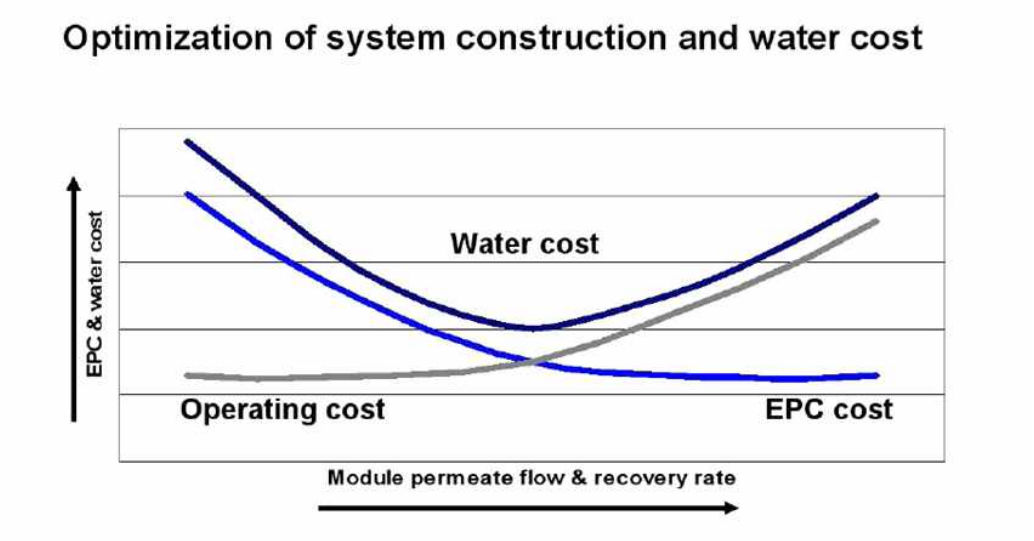


그림 36. EPC와 O&M과의 관계

o 기술개발 형태

- 사업단의 필요성

• 현 정삼투방식 중 막제조 기술은 원천기술확보에서 대형화를 위한 기반기술 확립의 단계로 확대

• 정삼투 공정과의 융합 기반에 있는 역삼투 공정기술은 이미 기 확보되어 있는 상황임

• 유도용액의 경우 아직까지 원천기술확보를 위한 실험실 단계에서 크게 벗어나지 못하였으나, 정·역삼투 융합 공정의 경우 유도용액에 대한 공정이 필요 없음

- 현재 국내해수담수화 기술의 경우 해외시장에서 O&M에 대한 기술이 가장 큰 약점으로 부각되고 있는 상황하에 지속적인 O&M 기술 확보를 위한 실증형 플랜트의 확보의 중요성이 부각
- 기존 해수담수화플랜트 사업단이 세계적인 주목을 받으며, 해외시장 진출면에서 성공을 한 것은 실증을 위한 테스트베드의 확보가 큰 역할을 담당 (IWA의 2012 World Congress시 견학)

- 연구단

- R&D에 대한 위험부담을 최소화 할 수 있는 장점이 존재하나, 세계시장에서의 존재감 미비
- 설계를 위한 엔지니어링 등을 파일럿플랜트 규모로 실현함으로써 안정적인 기술개발이 가능하나, 현 시점의 8인치 정삼투 모듈의 프로토타입 등의 기술개발 상황에 비추어 대형화 시점에 늦을 가능성 존재
- 해수담수화 플랜트에서 가장 필요로 하는 실질적인 엔지니어링 기술의 확보가 힘들 것으로 사료됨
- 현 시점에서 위험부담의 최소화를 위해 연구단으로 갈 경우 향후 실증화 과제를 반드시 고려하여야 함. (연구단 5년 + 실증화 3년이상)
- 국산화 소재에 대한 대형화를 반드시 고려하여 대용량 파일럿 건설이 필수적이며, 규모는 2,000 ton/d 이상이 필요함
- 국내의 정삼투관련 소재연구는 고려대, 화학연구원, 과학기술원에서 활발히 연구되고 있다. 화학연구원과 제일모직의 경우 지식경제부 WPM(World Premium Materials) 사업으로 제막 분야,즉 셀룰로오스계 중공사막과 폴리아마이드계 양쪽에 중점을 둔 프로젝트가 수행되고 있다. 또한고려대학교의 경우 교육과학기술부의 WCU (WorldClass University) 과제로 진행되고 있으며 무기나노 물질을 이용한 차세대 정삼투막을 통해 해수담수화 및 물 재이용 기술을 개발하고 있다.
- 연구단 추진시 중복성 의심 : 최소 2,000 ton/d이상으로 추진

o 국내 연구상황

- 국내의 해수담수담수화 관련 R&D 프로젝트의 현황은 아래 표와 같음

표 12. 타부처 유사연구 현황

<table>
<tr><th>대분류</th><th>중분류</th><th>세분류</th><th>세세분류</th><th>기간</th><th>과제내용</th><th>과제목표</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">신성장동력
스마트
프로젝트
(지경부)</td><td rowspan="2">고도
물처리산업</td><td>상수 관리 최적화 및 선진화</td><td>막여과 시스템 응용기술개발</td><td>'09~'13</td><td>막모듈 제조기술 및 막여과 정수처리기술 사용화 달성을 통한 첨단정수처리 방식의 시스템 구축
- [막여과 정수처리 최적화 기술개발 및 상용화] 친환경 저에너지의 가압식·침지식 막여과 정수처리기술 개발과 하이브리드형 막여과조합공정 및 전·후처리 공정기술개발
- [막여과 시스템 요소·응용기술 개발 및 상용화] 高 투과성 국산 막모듈 제조기술 확보 및 막여과 시스템 최적공정 도출을 위한 자동제어기술 개발
- [수요·공급기반 확대] 국고보조 및 민자유치를 통한 시설투자로 첨단정수처리방식으로 전환 촉진, 내수시장을 확보하고 안정적인 시장 수요·공급 기반 지원</td><td><table><tr><th></th><th>현재('09)</th><th>미래('13)</th></tr><tr><td>국산 멤브레인 보급률
(정수시설 용량기준)</td><td>-</td><td>50%</td></tr><tr><td>막여과 정수시설 설치 확대</td><td>약 4.5천톤
(0.04%)</td><td>약 500천톤
(0.2%)</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>해수담수화플랜트 기술고도화</td><td>증기압축시스템 이용 담수화 기술개발</td><td>'09~'10</td><td>부가가치가 높은 다용도 중·소형 담수장비 개발을 통해 조기 수출 상품화 추진
- 독립형 풍력발전을 이용한 고효율 증기압출(MVC)방식의 해수 담수화 장비 개발
- 핵심부품 및 장비의 완전 국산화 달성, 중소형급 고부가가치물 제조 및 처리 장비의 조기 수출상품화 목표 달성</td><td><table><tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="3">현 수준(2009년)</th><th colspan="2">2010년</th></tr><tr><th>상대수준 (%)</th><th>국내수준</th><th>세계수준/국가</th><th>상대수준 (%)</th><th>목표수준</th></tr><tr><td>담수장비 에너지 효율 (C.O.P)</td><td>30</td><td>5</td><td>15 /일본 Sasakura사</td><td>130</td><td>20</td></tr><tr><td>담수장비 대당 용량 (톤/일/대)</td><td>20</td><td>70</td><td>400 / 스웨덴 Alfa Laval사</td><td>75</td><td>300</td></tr><tr><td>풍력발전 최고효율(%)</td><td>100</td><td>30</td><td>30/ 덴마크 베스타스</td><td>160</td><td>50</td></tr><tr><td>발전 출력 변동율(%)</td><td>100</td><td>20</td><td>20/덴마크 베스타스</td><td>400</td><td>5</td></tr></table></td><td>'09년 신재생 담수플랜트 사업으로 "태양열 다중복합 고효율 담수화시스템 실용화 모델개발(50억원)" 과제 진행</td></tr>
<tr><td rowspan="3">WPM 10
(지경부)</td><td rowspan="3">다기능성
고분자
멤브레인 소재</td><td colspan="2">고유량 정수처리용 멤브레인 소재 개발</td><td>'10~'18</td><td>-</td><td><table><tr><th>항목</th><th>최종목표치</th></tr><tr><td>기공크기</td><td>0.2㎛ 이상</td></tr><tr><td>투수량</td><td>3만 l/m²hr</td></tr><tr><td>사용수명</td><td>DHC 160시간</td></tr><tr><td>내화학성</td><td>pH 2~13</td></tr><tr><td>바이러스 제거율</td><td>99.9% 이상</td></tr><tr><td>철분제거율</td><td>70%이상</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">고강도 친수성 나노급 기공 복합 멤브레인</td><td>'10~'18</td><td>-</td><td><table><tr><th>항목</th><th>최종목표치</th></tr><tr><td>기공크기</td><td>8 nm 이하</td></tr><tr><td>바이러스제거율</td><td>99.999% 이상</td></tr><tr><td>순수 투과유량</td><td>1,000 l/m²hr 이상</td></tr><tr><td>역세주기</td><td>60분 이상</td></tr><tr><td>파단강도</td><td>13 MPa 이상</td></tr><tr><td>모듈 막면적</td><td>100m² 이상(8in ×8in 모듈기준)</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">저에너지 담수화가 가능한 고유량 멤브레인 개발</td><td>'10~'18</td><td>-</td><td><table><tr><th>항목</th><th>최종목표치</th></tr><tr><td>수투과도</td><td>50 LMH 이상</td></tr><tr><td>담수농도</td><td>60ppm 이하(TDS, 염분 32,000ppm 조건)</td></tr><tr><td>에너지 소비율</td><td>1.5 kWh/톤</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>플랜트엔지니어링
원천기술개발사업
(지경부)</td><td colspan="3">정삼투식 다목적 담수화 플랜트 개발</td><td>'09</td><td>o 정삼투식 해수 담수화 플랜트 기술 및 삼투압 발전 플랜트 기술 관련 라이센스 원천 기술개발
- 담수플랜트: 에너지소비율 1kWh/m³ 이하, 물회수율 75%이상, 생산수 내 유도용질 농도 2mg/l 이하
- 정삼투막: 플럭스 15 gfd 이상, 염제거율 99% 이상
- 발전플랜트: 전력밀도 4W/m² 이상, 터빈의 회수효율 80% 이상</td><td></td></tr>
<tr><td>Eco-STAR
(환경부)</td><td>수처리선진화사업단</td><td colspan="2">막분리 고도정수 기술상용화</td><td>'04~'11</td><td>- [정수용 막소재개발] 미래원천기술(단, 3~4 단계는 실용화 기술
- [중대형 막분리 고도정수처리시스템 개발 및 상용화] 실용화 기술</td><td><table><tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">입자성물질</th><th colspan="2">소독부산물</th><th colspan="2">맛, 냄새물질</th><th colspan="2">원생동물</th><th>총괄 지표</th></tr><tr><th>탁도 (NTU)</th><th>입자수 (개/ml)</th><th>TTHMs (mg/L)</th><th>HAA5 (mg/L)</th><th>Geosmin (ng/L)</th><th>2-MIB (ng/L)</th><th>Giardia</th><th>Crypto</th><th>TOC (mg/L)</th></tr><tr><td>수질 기준</td><td>0.3</td><td>-</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>-</td><td>-</td><td>3Log</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>과제 목표</td><td>0.05</td><td>20 (95%)</td><td>0.01 이하</td><td>0.06 이하</td><td>10 이하</td><td>10 이하</td><td colspan="2">4 Log</td><td>0.9 이하</td></tr></table></td><td></td></tr>
</table>

- 본 연구단에서 추진하고자 하는 정·역삼투 방식의 막관련 기술 및 플랜트 기술개발은 지경부에서 추진하고 있는 WPM 10 및 플랜트엔지니어링 원천기술개발사업과 유사성이 존재하나 차별성이 분명함

• 지경부사업과의 가장 큰 차이점은 지경부사업은 담수화방식과 기술의 단계임

☞ 지경부 : 정삼투 방식, 원천기술개발

☞ 동 연구단 : 정·역삼투 융합 방식, 상용화 기술개발

• 이에따라, 기술개발 내용에 있어서도 지경부사업의 경우 정삼투 방식의 주요 기술이슈인 정삼투막, 유도용액 개발 등에 초점을 두고 있으나, 본 연구단은 플랜트기술에 초점을 두고 있음(유도용액 관련 기술은 완전히 배제됨)

과제 제목	목표	유사점	차이점	중복성
WPM 10	-담수용 역삼투막 개발 -새로운 소재 개발 -정삼투용 막 개발	-막소재 개발 -정삼투막 소재 개발 및 모듈개발	-막에 대한 원천기술에 초점	×
정삼투식 다목적 담수화 플랜트 개발	-정삼투를 이용한 플랜트 개발	-정삼투 플랜트 개발	-전형적인 정삼투 공정 -PRO, 유도용액 등 정삼투에 필요한 소재 등에 대한 원천개발	×

□ 정·역삼투 융합 해수담수화 기술개발을 위한 요소기술 발굴

o 정삼투 - 역삼투 공정 융합기술

- 정·역삼투 융합 공정기술

• 기존 정삼투와 역삼투 공정의 융합을 위해 제시되었던 다양한 공정들의 특허 회피전략이 필요하며, 차별화된 공정이 필요함

• 총 2가지의 기술적 분류

1) 해수와 하수의 융합 : 농도희석

2) 농축수와 하수의 융합 : 농도희석

• 전략 : 농도의 희석을 통한 후속 역삼투 공정의 압력 저하

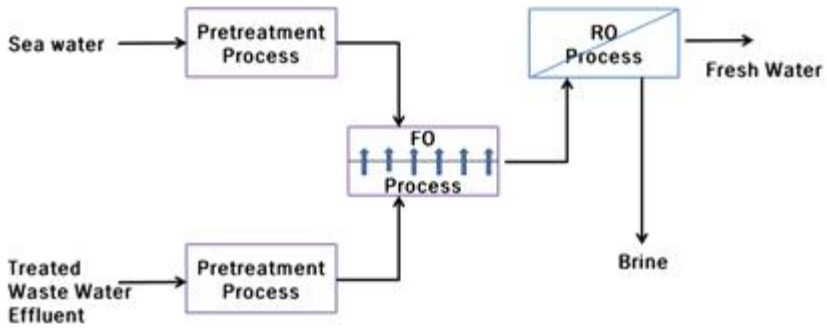


그림 37. 정·역삼투 융합 시스템의 개념도

- 정·역삼투 공정에 대한 트레인 설계기술

• 현재까지 상업적을 규명된 정삼투 공정에 대한 대용량 플랜트는 모던워터사의 100 ton/d의 파일럿 규모로 현 상업화된 정삼투 막이 4인치임을 고려할 경우 트레인의 설계와는 무관하게 벳셀 한 개 혹은 두 개 범위로 구성되었을 것으로 예상

• 대용량을 고려할 경우 정삼투공정에 대한 효율적인 트레인에 대한 고려는 필수적인 상황이며, 이에 대한 표준화가 시급

• 벳셀 내 정삼투 멤브레인에 대한 구성요소는 트레인 표준화를 위한 요소기술로서 대형 플랜트를 위한 가장 기본이 되는 사항임

- 정삼투 공정에 대한 벳셀의 구성

• 벳셀내 멤브레인의 수는 역삼투 공정을 기준으로 7-8개로 표준화됨. 이는 해수를 기준으로 회수율이 40% 내외에서 에너지 밸런스상에서 가장 효율성이 높기 때문임

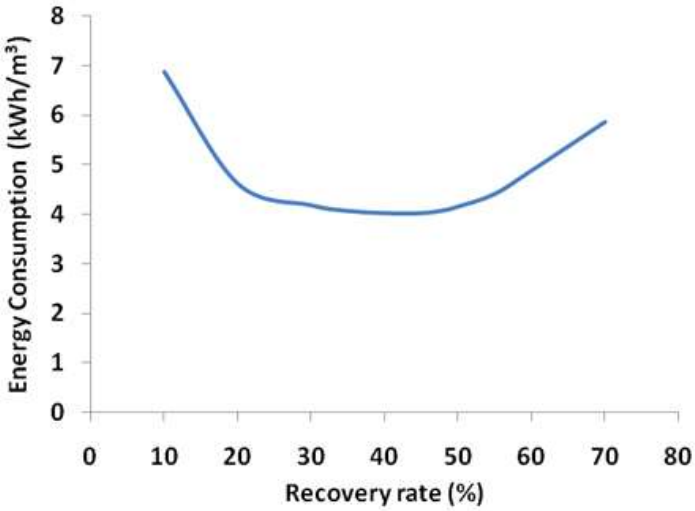


그림 38. 역삼투 공정에서 설계 회수율의 중요성

- 정삼투 공정에 있어 벳셀의 구성면에서는 아직까지 고려된 바가 없으나, 향후 대형 플랜트의 트레인 구성을 위해서는 가장 기본이 되는 설계요소가 되는 연구 사항임

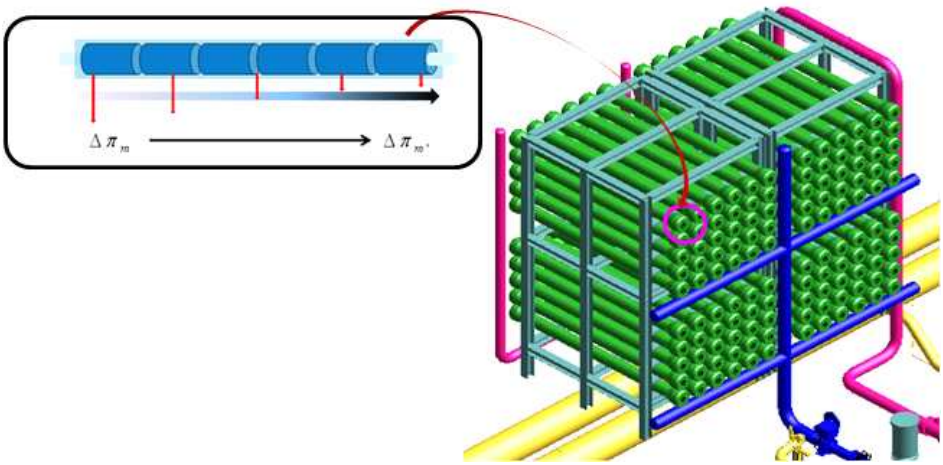


그림 39. 해수담수화 공정의 트레인 설계

- 정삼투 막 종류에 따른 적절한 벳셀의 구성요소가 필요함. 즉 현 정삼투막은 와권형과 중공사형 두 종류로 개발이 되고 있으며, 각각의 장단점으로 인해 아직까지 표준화되지 못한 상황임. 따라서 정삼투 벳셀과 트레인의 설계요소도 개별적인 비교 평가를 통한 각각 적합한 설계 factor를 결정

o 해수가압을 위한 정삼투-역삼투 융합 기술

- PRO 공정은 에너지를 회수하기 위한 공정으로 터빈을 이용하여 직접적인 전력을 생산
- 해수의 가압은 삼투압을 이용하여 해수를 직접적으로 가압하는 형태로 에너지를 회수하는 방식임
- 바닷물의 삼투압인 23 atm을 이용해 직접적인 유입해수의 가압을 할 수 있는 기술에 대한 연구

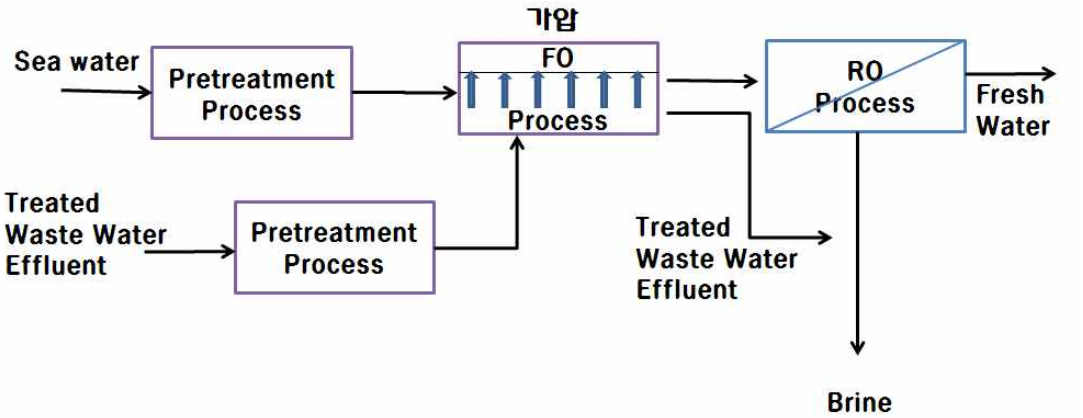


그림 40. 가압형 FO-RO 융합기술 개념도

o 정삼투 - 역삼투 융합 공정 멤브레인 제조기술

- 역삼투 공정의 고플럭스 멤브레인 제조
  - 역삼투 멤브레인은 고플럭스를 키워드로 개발되고 있음.
  - 8인치 기준 최고의 플럭스는 12,000 GPD내외로 이는 현 시점에서 PA소재를 기준으로 하는 최고 성능임. 따라서 고 플럭스를 위해 다양한 소재가 테스트되고 있으며, 이를 통한 16,000 이상의 고플럭스를 개발 할 경우 플랜트 전체적인 에너지 요구량 2.5 kWh/ton 달성에 필수적인 기술로 판단됨

- Mid pressure 역삼투막 제조기술
  - 정삼투-역삼투 융합 공정은 실질적을 주 대상으로 하는 염농도가 20,000 mg/L 내외로 해수와는 거리가 있음
  - 현재 시장에서 역삼투막은 크게 해수용(고압)과 기수용(저압)으로 구분되며, 이때 기수용은 2000 mg/L내외를 대상으로 함. 따라서 정·역삼투 융합 공정에서 대상으로 하는 역삼투막은 중간 범위의 막이며, 이에 대한 개발은 효율적인 공정을 위해 필수적이라 할 수 있음

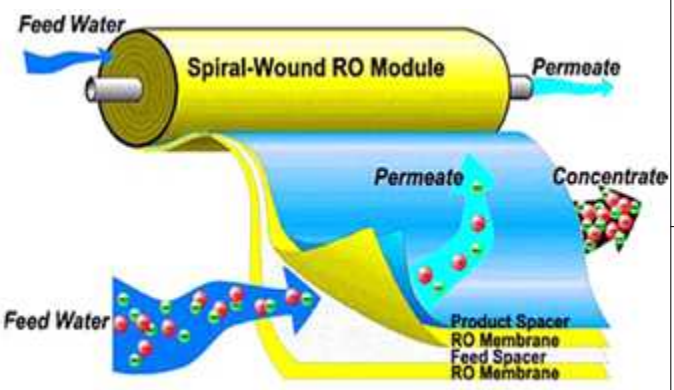
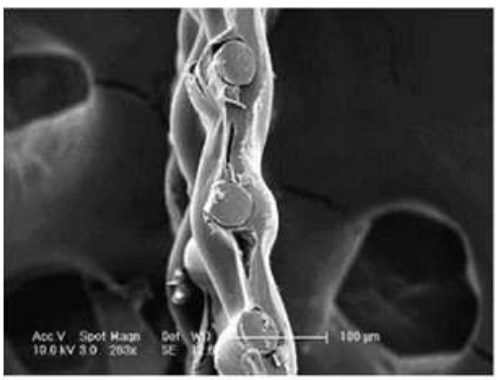
	고압	- 원수 농도 32,000 mg/L - 신소재를 이용 - 16000 GPD이상의 고플럭스
	중압	- 원수 농도 20,000 mg/L - 신소재를 이용 - 20000 GPD이상의 고플럭스

그림 41. 막개발 전략 및 목표

o 나노소재를 이용한 정삼투 멤브레인 제조 및 기반기술

- 탄소나노튜브(Carbon nanotube, CNT) 등의 나노소재는 최근 첨단산업에서 활용되고 있는 소재로 최근 탄소나노튜브를 이용한 분리막 기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 전세계적으로 경쟁적으로 개발
- 현재 다양한 고분자를 중심으로 역삼투막 및 정삼투 막의 연구개발은 활발하나 미래소재 중심으로 된 연구는 미비
- 미래 핵심소재로 대두될 것이 확실한 탄소나노튜브로 대표되는 나노소재기반의 정삼투용 분리막 개발 원천기술을 먼저 확보하는 경우 미래 담수화 시장에서 유리한 위치를 차지할 수 있음
- 본 기술의 경우 원천기술 확보에 주력할 필요성 있음



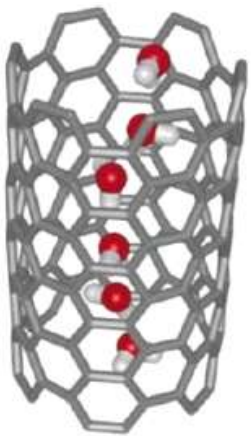


그림 42. CTN 및 FO 멤브레인

o 정삼투-역삼투 융합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발

- 정삼투 및 역삼투 융합공정은 기존의 역삼투막 기반의 해수담수화 공정과는 성상이 다른 원리와 원수를 사용하기 때문에 역삼투 중심으로 개발된 운전기술을 구대로 적용하기에는 무리가 있음
- 하수의 주 구성물 중 하나인 유기물은 바이오 파울링의 주된 원인으로 역삼투막 기반 기술에 비해 융합기술에서 막오염 발생시킬 요인이 훨씬 높은 것으로 평가됨
- 안정적인 운영을 위해 막오염에 대한 조절은 필수적임
- 파울링 및 바이오파울링의 기작에 대한 모니터링과 기존 해수담수화 사업단에서 확립된 새로운 파울링 인덱스를 사용

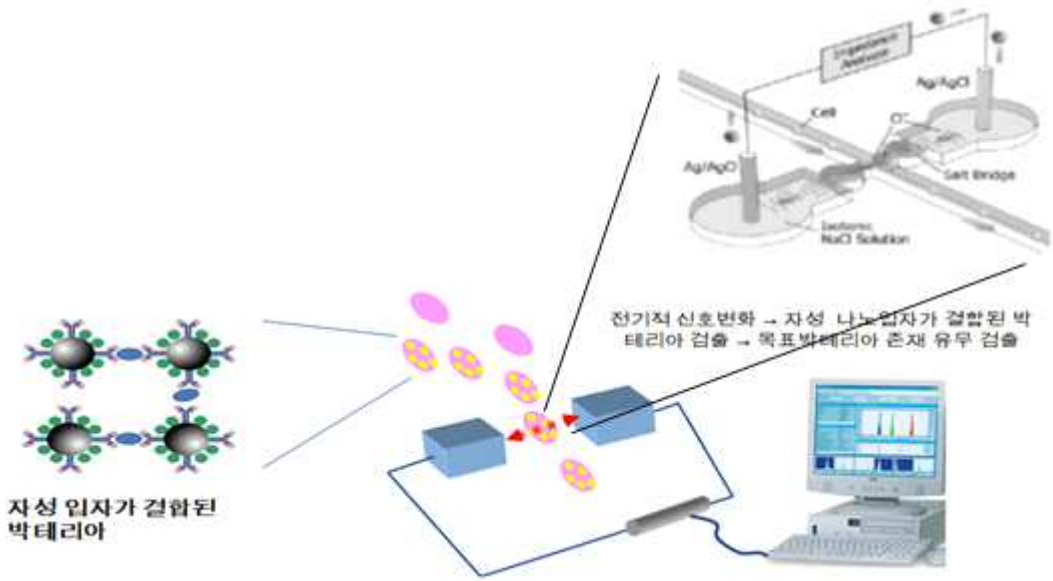
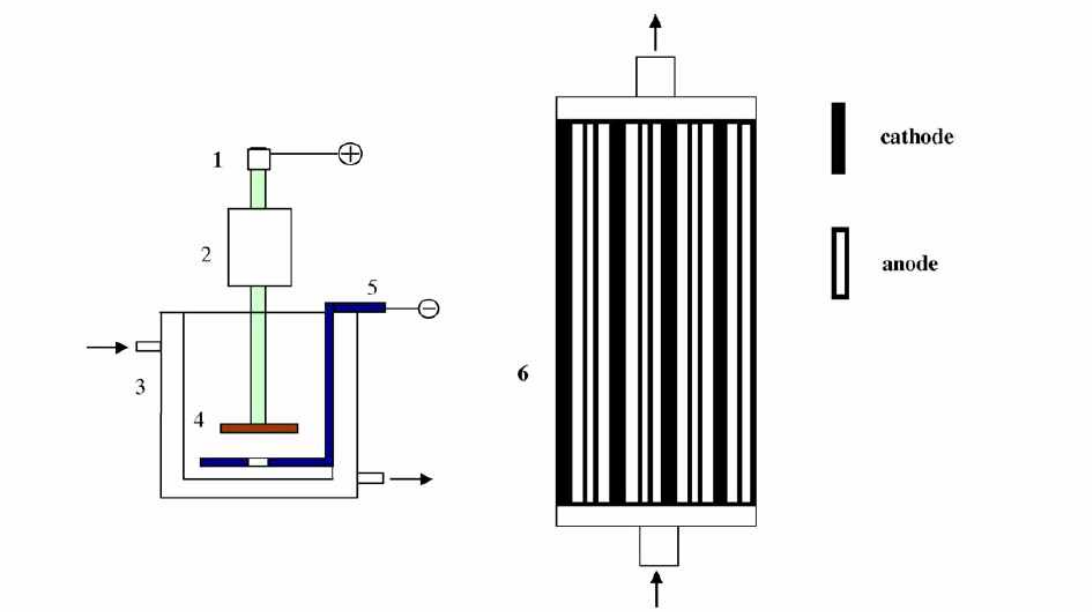


그림 43. 바이오 센서를 이용한 모니터링 시스템 예

o 바이오 파울링 제어를 위한 소독장치 개발

- 일반적으로 해수담수화 공정에서 사용되는 전 소독장치는 NaOCl을 발생시키는 것으로 바닷물을 원료로 전극기술을 이용하여 생성시킴
- 전해질 소독장치는 Bromate를 형성시키는 단점이 있음. Bromate는 WHO에서 0.01 mg/L로 가이드라인을 설정할 만큼 위험한 발암물질로 반드시 처리해야할 필요성이 있음
- 역삼투막 공정은 생성된 Bromate를 99% 제거하는 것으로 알려지나, 항상 위험성을 내재한 상태임을 간과할 수 없음

- ClO_2등 새로운 소독 대체기술은 DBP 생성면에서 위험성이 적은 소독제로서 분류될 수 있으며, 현장 발생장치 개발을 위해 지속적으로 연구가 되고 있는 상황이나, 아직까지 대형화 및 국산화가 미흡한 것으로 조사됨
- 향후 해수담수화 시스템이 지속적으로 보급될 경우 현장에서 DBP면에서 ClO_2장치는 기존의 NaOCl장치를 대체할 것이 확실시 됨



1, rotating contact; 2, electronically controlled stirrer; 3, thermostated baker;
4, plate cathode with central hole, partially substituted by an extended mesh cathode;
6, channel with rectangular cross-section and monopolar electrodes

그림 44. 전극을 이용한 ClO_2 발생장치 예

※ 출처 : H. Bergmann, S. Koparal / Electrochimica Acta 50 (2005)

o 전처리 기술

- FO-RO 조합공정을 적용하는 경우 기존의 RO공정과는 차별화된 전처리가 필요 (재이용수를 유입수로 사용하는 FO의 막오염 억제 등 필요)
- 하수내 주된 오염원으로는 기존 해수내 포함된 오염원외에 미생물과 직접적으로 미생물의 원인이 될 수 있는 유기물의 존재로 인하여 최초 접촉이 예상되는 FO 공정에서의 바이오파울링 급격한 증가가 예상됨
- 따라서 주 전처리 공정에서 재이용수내의 처리되지 못한 유기물의 농도를 낮출 필요성이 큼
- MF/UF 막여과 기반의 전처리 기술에 대한 수요가 증가하고 있으나 상대적으로 높은 에너지비용이 문제로 제기되고 있으며, 해수담수화 전용 전처리막

의 필요성이 제기되고 있음

- 특히 개별적인 소재중에서 PVDF등 일부 소재에 치우쳐 생산되는 경향이 있어 경제적인 소재 개발이 필요함
- 막소재의 개발을 통해 50,000/m^2이하의 생산단가와 0.15 kWh/ton의 에너지 소요량의 경제성을 추구
- 세계적인 추세에 맞추어 현 오염지수로서 SDI가 아닌 MFI(MMAS)를 적용하여 실질적인 오염원 컨트롤을 추구 (해수담수화 플랜트 사업단 결과 연동)

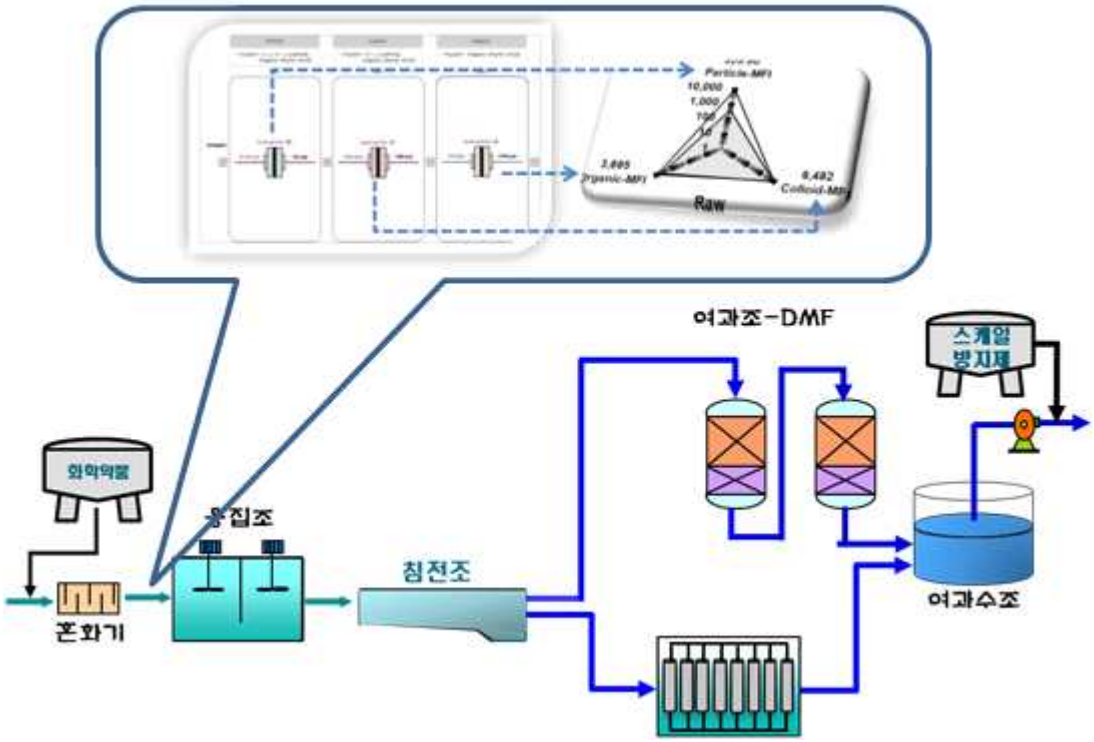


그림 45. MMAS를 이용한 전처리 공정 조합의 예

□ 국내 관련 기술 현황

1) 국내외 최고 기술보유 업체/(연구)기관 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	국적	비고
대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 기술	두 산 중공업	• 국내유일의 자체프로세스 및 EPC / Turnkey 능력 보유업체 • 신기술인 하이브리드식 대형 해수담수화 플랜트를 세계 최초로 중동 UAE 후자이라에 건설함 • 현재 Shuaibah RO 플랜트 건설완료, Shuwaikh RO, Jeddah RO 플랜트 건설 중임	한국	
	Veolia	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	다국적	
	Fista	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	이태리	
	GE	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	다국적	
	Suez	• 수처리 기술 (RO 공정 설계 등)	다국적	
해수담수화 기술(증발법)	현 대 (현대건설, 현대중공업)	• 주로 MSF 방식의 건설부분 수행 • EPC/Turnkey 수행 경험 미보유	한국	
해수담수화 기술(RO)	동 안 엔지니어링	• RO 방식을 주로 사용하여 염수 및 지하수를 이용한 산업용 정수 및 초순수설비임	한국	
해수담수화 멤브레인 제조	웅진케미칼	• 세계 4번째 16인치 역삼투막 개발 • 정삼투막 8 인치 프로토타입 연구	한국	

2) 국내외 전문가 현황

세부기술	전문가	소속기관	기술개발현황	국적	비고
Membrane 제조	홍성표	웅진/팀장	Membrane 제조	한국	
수처리	김충환	수자원공사/수석 연구원	수처리	한국	
수처리	김수한	부경대학교/교수	수처리	한국	
플랜트 설계	박종규	두산중공업/상무	플랜트 설계	한국	
Membrane 제조	신용철	코오롱/부장	Membrane 제조	한국	

Pump 제조	임우섭	효성에바라/상무	Pump 제조	한국	
RO 엔지니어링	황문현	광주과기원/책임연구원	RO 엔지니어링	한국	
플랜트 설계	우성우	두산중공업/차장	플랜트 설계	한국	
막 제조	전재홍	코레드/과장	막 제조	한국	
막 제조	장문석	KMS/대표	막 제조	한국	
RO 기술	김승현	경남대학교/교수	RO 기술	한국	
RO 플랜트	김인수	광주과기원/교수 해수담수화사업단	RO 플랜트전반	한국	
막여과/MBR/Biofouling	이정학	서울대학교/교수	막여과/MBR/Biofouling	한국	
정수처리/막여과	최승일	고려대학교/교수	정수처리/막여과	한국	
정수처리	이석헌	한국과학기술/책임연구원	정수처리	한국	
수처리/막여과	서규태	창원대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/소독	손진식	국민대학교/교수	수처리/소독	한국	
플랜트 기술	조정식	KICT/수석연구원	플랜트 기술	한국	
수처리/막여과	홍승관	고려대학교/부교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	김형수	성균관대/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	김한승	명지대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과	독고석	단국대학교/교수	수처리/막여과	한국	
수처리/막여과/나노소재	이상호	국민대학교/교수	수처리/막여과	한국	
소독	신기하	(주) 유니테크/사장	전해질 소독	한국	
RO 공정	최준석	한국건설기술연구원/ 책임연구원	RO공정	한국	
막여과/광촉매	추광호	경북대학교/교수	막여과/광촉매	한국	
NOM/막여과/습지	조재원	GIST/ 교수	NOM/막여과/습지	한국	
공정모델링	김준하	GIST/부교수	공정모델링	한국	

3) 국내외 기술개발 수준

세부기술	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
정·역삼투 융합 플랜트 설계 및 시공 기술	30	5	도입	100	0	경쟁
해수담수화 기술(RO)	90	3	성숙	100	0	경쟁
정·역삼투 융합공정 요소기술 개발	50	5	도입	100	0	경쟁
신소재 고플럭스 막 개발	60	5	도입	100	0	경쟁
정삼투 해석기술	50	5	도입	100	0	경쟁
O&M 기술	30	10	도입	100	0	경쟁

3. 연구개발 목표 및 내용

3.1 연구개발의 최종목표(연구단)

1) 항목별 연구목표

정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을통한 세계시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발

□ 플랜트 에너지 저감 : 4.0 kWh/ton → 2.5 kWh/ton

- o 현 시점에서 역삼투막 공정의 평균 에너지 소요량은 3.5 ~ 4.0 kWh/ton의 범위에 존재 : 그림 19
- o 그림 19는 과거 5년전부터 역삼투막 해수담수화 공정의 에너지 소요량면에서 큰 차이가 없음을 보여주고 있으며, 이러한 경향은 에너지 저감을 위한 역삼투막 방식의 혁신적 기술 개발이 힘들다는 것을 간접적으로 의미
- o 따라서 이러한 경향은 향후 10년이상 역삼투막 방식의 해수담수화 공정이 에너지 면에서 정체상태에 있을 것으로 예측됨
- o 기술개발이 성공하는 시점(2018년)에서 에너지 2.5 kWh/ton는 역삼투막 공정만으로는 힘들 것으로 예측되며, 정·역삼투 융합공정에 의해 새로운 시장을 창출할 수 있을 것으로 기대됨

□ 물값저감 : 25%

- o 막 방식의 해수담수화 플랜트의 물값은 일반적으로 그림 6에 나타난 것처럼 초기투자비, 전력비 등의 에너지비용, 막대체비용, 기타로 구성됨
- o 정·역삼투 융합공정은 생산수 가격 결정 요소 중에서 초기투자비와 전력비와 밀접한 관계가 있으며, 초기투자비의 증가와 전력비 감소의 이중적인 측면을 가지고 있음
- o 설계 엔지니어링의 최적 조합을 통하여 초기투자비용을 최소화 할 경우 전력비면에서 이론적으로 37.5%의 절감이 가능함.
- o 초기 투자비용의 경우 상대적으로 정삼투 공정이 추가되나, 역삼투막공정이 축소될 수 있으며, 인테이크 시설등도 상대적으로 축소되어 총 증가 비용면에서 10% 이내로 한정지을 수 있을 것으로 예측됨에 따라 최종 물값 저감은 25% 달성이 가능할 것으로 예측됨
- o 연구단의 목표가 달성되는 2018년 역삼투막 방식의 평균 생산수 단가는 0.7

$/ton내외가 될 것으로 예상되며, 정·역삼투 융합공정은 0.5 ~ 0.6$/ton을 달성 할 수 있을 것으로 예상됨

2) 평가지표 및 확인방법

□ 기존 방식 대비 해수담수화 탈염공정의 에너지 효율을 1.5kWh/m^3 이하 (플랜트 전체 에너지 효율: 2.5 kWh/m^3)
□ 전체 시스템을 통해 만들어진 물값 대비 기존 해수담수화 시스템 비교 (30% 저감)

3.2 세부과제 내용 (연구단)

1) 세부과제 구성

전략프로그램 과제명	세부 과제명	세부과제 정의(Description)
융합형 해수담수 고도화 연구단	정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	파울링 및 바이오파울링의 체계적인 모니터링과 분석방법을 개발하여 안정적인 시스템 운영을 위한 기술개발
	정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투 공정과 하이플럭스 역삼투 공정의 융합을 위한 요소기술개발과 대용량 플랜트를 이용한 검증 프로세서 개발
	신소재 정·역삼투 막 제조기술	역삼투 막에서 PA계열의 한계를 넘기위한 신소재를 활용한 고 플럭스 막 제조기술 개발
	저비용 전처리 기술개발	FO MBR의 원천기술 개발을 통해 기존 하수처리공정과 해수담수를 위한 전처리 공정의 통합공정 방안 제시

2) 세부과제별 요소기술

세부 과제명	요 소 기 술 명
정삼투-역삼투 융합공정 고도화기술	정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막오염 예측 및 제어기술 개발
	정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발

정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발	정삼투-역삼투 융합기술개발
	가압형 정삼투-역삼투 융합기술 개발
신소재 정·역삼투 막 제조기술	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술
	나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발
저비용 전처리 기술개발	FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발
	전처리 고효율 소독설비 개발

4. 전략프로그램 경쟁력 분석

4.1 SWOT 분석

		강점(S)	약점(W)
		・증발법 등 중동 해수담수화 플랜트분야에서의 시공경험 풍부 ・연구소 및 대학에서의 막방식 해수담수화 기술 기초연구 풍부 ・기반기술 및 단위 요소기술에 대한 다수의 연구실적 보유	・엔지니어링 기술 미흡 ・원천기술의 의존도 높음 ・신규개발 기술과 소재의 현장적용에 진입장벽 존재 ・해수담수화기술에 대한 내수시장의 전무
기회(O)	・유가상승에 따른 에너지절약 의식 고조 ・기후변화협약 등 환경보전 관련 국제규범 강화 ・전 세계적인 물부족 심화로 인한 지속적인 글로벌 시장성장	(SO 전략) ・정삼투 융합 해수담수화 기술을 국가 대표브랜드 기술로 육성 ・역삼투 기술개발의 경험을 바탕으로 정삼투 융합 기술 개발에 따른 시행착오 감소 및 홍보전략 유리 ・기초기술의 확대 및 테스트베드 적용/실증화를 통해 공정기술의 상용화 ・기반 연구인프라 및 국가연구지원을 통한 담수플랜트 기술력의 증대	(WO 전략) ・테스트베드(대용량 플랜트)의 성공적인 건설 및 운영을 통한 EPC와 O&M 기술의 축적 ・사업단 운영 및 국가지원 확대를 통한 관련 기술 및 인력 확대 ・실증화 개발을 통한 정삼투 담수화 원천기술의 확보 ・테스트베드를 통한 개발기술의 실증화로 세계시장 진출의 기반 구축
위협(T)	・수처리 시설에 대한 기존의 고정관념 ・분야별 설치 및 운영 관련 기존의 인식 및 제도 ・도입단계에서의 이해부족에 따른 초기의 기피현상	(ST 전략) ・원천 공정기술의 확보를 통한 기술경쟁력 확보 ・국내외 기업/연구소/대학과의 공동연구를 통한 기술개발 ・관련제도 정비와 병행하여 연구 추진	(WT 전략) ・엔지니어링 역량강화를 위한 다양한 기술의 개발 및 통합 ・해외수준의 기술 확보를 위한 교류 강화 ・연구성과의 적극적인 홍보와 사업화 추진 ・원천기술의 지속적 확보 및 사업화

4.2 연구수행을 위한 인프라 및 기반 역량 분석

☐ Fully Feasible
■ Possible
☐ Possible through Global Outsourcing
☐ Not Feasible as now

o 판단 근거

- 해수담수화플랜트 사업단을 통하여 축적된 연구경험과 노하우를 가진 국내 연구인력이 풍부하며, 따라서 연구시 발생될 수 있는 시행착오를 최소화 할 수 있음

표 13. 그린 하이브리드 담수플랜트 분야별 기반역량 분석

기술명 항목	인력보유	지원수준	개별인프라	기술수준
기존방식의 담수플랜트 설계	아주 높음	높음	보통	높음
정·역삼투 융합 플랜트 설계	낮음	낮음	아주 낮음	낮음
정·역삼투 요소기술 국산화	비교적 낮음	보통	보통	낮음
플랜트 제어기술	보통	보통	낮음	낮음

4.3 경쟁력 분석

☐ Weak
☐ Tenable
☐ Favorable
■ Strong
☐ Dominant

o 판단 근거

- 기후 변화에 따른 영향으로 물부족 지역은 지속적으로 증가하고 있으며, 에너지 비용 상승으로 담수 생산을 위한 대체 기술의 개발에 대한 필요성이

급증하고 있음

- 전 세계적으로 대체 수자원 확보를 위한 시장 및 기술 확보를 위하여 다국적 기업 주도하에 치열한 경쟁이 가속화되고 있음.
- 국내 기업은 이미 해수담수화(증류법) 분야에서 세계 1위의 기술력을 확보하고 있으며, 관련 사업분야의 개발을 위한 강한 투자 의욕을 가지고 있음 등으로 인하여 인프라 구축이 긍정적임.
- 국내에는 또한 본 사업과 관련된 핵심 기술을 확보하고 있는 인적자원이 풍부하고 국가 정책방향 및 세계시장의 성장 등을 종합적으로 고려할 때 본 기술의 개발을 통해서 세계시장 진출이 가능할 것으로 판단됨.
- 비록 현 국내 해수담수화 시장은 미약하나, 해수담수화플랜트 사업단을 통하여 지속적으로 각 지자체의 관심 증대
- 해수담수화 플랜트 사업단을 통하여 해외시장 진입 경험풍부

5. 세부추진계획

5.1 세부과제별 추진계획

□ [1 세부과제] 정삼투-역삼투 융합공정 고도화 기술

세부과제명	정/역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술
□ 목표 및 내용	
목표	해수, 농축수, 하수 조합에 대한 정/역삼투 작동 메카니즘 규명을 통한 해수담수화 공정 최적화 기술 및 수질제어 운영엔지니어링 고도화기술의 개발 - 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정 - 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정
주요 연구내용	(1) 해수담수공정 농축수 이용 신개념 정/역삼투 메카니즘 규명, 현기술의 한계 극복 - 농축수의 염도에 따른 정삼투 공정 이동현상 - 농축수의 이온 구성비(해수 원수 대비)에 따른 정삼투 작동 메카니즘 - 작동메카니즘에 따른 Feed-Forward 식의 역삼투 공정 운영조건 개선기술 - 내부, 외부 농도분극현상 이론 정립; 정삼투 메카니즘과의 관계 규명 - 용매이동, 용질간섭과 정삼투 막 특성 별 작동 메카니즘 규명 (2) 고분자형태의 유기오염물질 고농도 함유 하수에 대한 고효율 정삼투 공정기술 - 하수 Feed 내의 고분자형 하수유기물질 분자량별 정삼투 메카니즘 규명 - 이온과 고분자 유기물질 공존시 발생 가능한 정삼투 이동현상 규명 - 농축수 이온 구성비-해수 유기물질 성상 별 정삼투 메카니즘 - 이온구성, 해수유기물질 매트릭스별 최적 설계, 운영 인자화 기술개발 - 고농축 농축수, 해수 정삼투 전후의 고난이 수질분석(유기물측면) 기술개발 (3) 해수 농축수-하수 이용 정/역삼투 공정 설계 및 운영인자의 제공, 설계 검정 - 역삼투 공정, 정/역삼투 공정의 이온(1가, 2가이온 별도), 해수 및 하수 유기물을 연결하는 Feed-back, Feed-forward 수질제어 설계인자 제공기술 - 하수 Feed 내 유기물 분자량에 따른 정삼투 장해요인 최소화 이론, 실험연구 - 온도에 따른 정삼투 장해요인 최소화 통한 최적 설계 조건 제시 연구 (4) 농축수, 하수-최적 멤브레인 조합 매트릭스에 대한 효율 예측 정보 제공, 검정 - 다변량 정/역삼투 해수담수공정의 효율극대, 막오염 등 장애요인 최소화기술 - 효율을 예측할 수 있는 경험적 정보시스템 제공, 설계, 운영 기초자료 제공
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	본 과제의 효과적인 수행을 위하여, 정삼투 메카니즘 규명팀, 농축수-해수-막 매트릭스 별 정/역삼투 융합공정 전체 효율극대화 설계, 운영 기본인자 제공기술개발팀, 해수, 하수, 농축수, 처리수 고난이 수질분석 팀으로 나누어 파일럿 설계, 운영과 협력하고, 막개발 팀과도 피드백형식의 공동연구를 수행한다
기술개발	(1) 정/역삼투 전체 융합 공정의 효율극대화 설계, 운영 기초인자 (2) 고농도 이온 및 다양한 분자량 유기물질 별 정삼투 메카니즘 이론 정립

최종성과물	(3) 농축수-해수 Feed-막을 연결하는 최적 조건 도출 기술 (4) 고난이, 고간섭 농축수, 하수 수질분석 기술

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	300	500	1,000	700	500	3,000	
	민 간(추정)	300	500	1,000	700	500	3,000	
	합 계	600	1,000	2,000	1,400	1,000	6,000	

□ 기대효과

기대효과	- 차세대 해수담수화 플랜트를 신개념 공정기술로 만들어 냄으로써, 새로운 시장에 대비할 수 있고, 선점할 수 있을 것으로 기대 - 세계 물 시장은 향후, 상수, 하수처리 등이 융합된 형태로 진행될 가능성이 높아 이를 대비할 수 있음 - 정삼투 메카니즘을 새로운 차원으로 재해석함으로써, 파생될 수 있는 공정기술이 본 연구과제를 통하여 나오고 직접 산업화기술로 연결될 것으로 기대

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	(1) 지경부 고효율/저에너지 사업과 직간접적 연계 가능 (2) 현재 해수담수화 사업단의 역삼투 막공정기술을 접목가능하고, 한계 극복 가능

세부과제명	정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 예측 및 제어 기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	FO/RO 하이브리드 공정에 특화된 막오염 예측/제어 기술 개발을 통한 시장선점 및 표준화 선도 - FO 전처리/후처리 막오염 지수 개발 - 전처리 및 막의 화학세정에 요구되는 에너지 저감 (1.0 kWh/m^3--> 0.5 kWh/m^3)
주요 연구내용	1) 정삼투-역삼투 통합공정에서의 막 오염 메커니즘 규명 및 예측기술 개발 - 하수 수질 특성별 활성층 fouling 평가 및 메커니즘 규명 - 해수/농축수 수질 특성별 지지층 fouling 평가 및 메커니즘 규명 - 해수/농축수 역확산에 의한 활성층 막오염 메커니즘 규명 - 막오염 메커니즘에 따른 막 오염 예측 기술 및 평가 프로토콜 개발 (2) 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염지수 개발 및 막오염지수에 의한 설계 및 운영 조건 도출 - 하수 내 유기물 성분별 막오염과의 상관관계 데이터베이스 구축 - 해수 특성에 따른 막오염 상관관계 데이터베이스 구축 - 정삼투 막 성능 특성 분석 및 데이터베이스 구축/ 정삼투 막 성능에 따른 막오염 상관관계 분석, 평가 - 정삼투-역삼투 통합 공정 특성을 반영한 신개념 막오염지수 개발 - 신개념 막오염지수에 따른 설계 및 운영 가이드 라인 개발 및 최적 프로토콜 구축 (3) 정삼투-역삼투 통합 공정에서의 막오염 제어 기술 개발 - 통합 공정에서의 최적 물리적 세척 개술 개발 - 막 오염을 최소화 할 수 있는 공정 운영조건 도출 - 막 오염 제어 효율성 극대화를 위한 막 모듈 디자인 및 설계 - 막오염 제어 및 공정 운영 최적화를 위한 프로토콜 개발 - 막오염 제어 기술 및 최적 운영 프로토콜 현장적용을 통한 실증 데이터 확보
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	FO/RO 하이브리드 해수담수화 공정에서의 잠재적 막오염 요소에 대한 기초 연구를 기반으로 이를 예측할 수 있는 막오염 지수 및 평가 방법을 개발 하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 제안하고자 함.
기술개발 최종성과물	(1) FO 활성층 유기 막오염 지수 (2) FO 지지층 생물 막오염 평가 프로토콜 (3) FO 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템 (4) 내오염성 FO막 및 Spacer 특허 및 reference

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	300	400	500	400	400	2,000	
	민 간(추정)	300	400	500	400	400	2,000	

	합 계	600	800	1,000	800	800	4,000	

□ 기대효과	
기대효과	(1) FO/RO 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 (2) FO 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 (3) FO 막오염 지수 및 평가 프로토콜에 대한 다수의 특허 확보 (4) FO/RO 하이브리드 기술 시장 확대에 기여

□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	(1) 現 지경부 고효율/저에너지 FO 전용막 개발을 위한 WMP 사업과 연계 협력 (2) 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용 (3) 現 해수담수화 사업단의 막오염 지수 기술 접목 가능 (4) 내오염성 막 표면 및 Spacer 개질을 위한 나노 코팅 기술 활용

세부과제명	정/역삼투 하이브리드 공정에서의 바이오파울링 규명, 제어 및 예측기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	정삼투/역삼투 하이브리드 공정에 적합한 막오염 규명, 제어 및 세척 기술 개발을 통한 전체 공정의 효율 향상 - 막오염 저감으로 인한 막 성능 향상 및 운영비 절감
주요 연구내용	(1) 해수/하수를 이용하는 정삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 정삼투 막오염 매커니즘 연구 : 원수 (wastewater) 전처리 방법에 따른 정삼투막 막오염 연구 : 유도용액 (seawater) 역확산으로 인한 정삼투막 활성층의 막오염 매커니즘 연구 : 유도용액 (seawater) 내 존재하는 막오염원에 의한 정삼투막 지지층의 막오염 연구 : 막오염 잠재력이 큰 공정수(하수 농축수/역삼투 농축수)를 사용하는 2nd stage 정삼투막에서의 유기/생물학적 막오염 연구 - 정삼투막의 표면특성(활성층/지지층) 및 재질을 고려한 막오염 평가 및 분석 방법 개발 : 정삼투막을 이루는 활성층/지지층에 대한 막오염 평가 방법 개발 : 다양한 재질의 정삼투막의 막오염 분석 방법 정립 (2) 희석된 해수를 이용한 역삼투 공정의 막오염 예측 및 평가 기술 개발 - 생물학적 막오염 예측을 위한 미생물 검출 바이오센서 시스템 연구 - 정삼투 공정에 의해 희석된 해수 내 존재하는 막오염원에 의한 역삼투막 막오염 연구 - 파괴 / 비파괴 검사를 통한 과학적인 접근방식을 적용한 막오염 평가 방법 정립 (3) 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 제어 기술 개발 - 미생물 신호전달 조절을 이용한 친환경 생물학적 막오염 제어기술 개발 : 미생물 신호전달물질 (AHL) 및 세포외 고분자 물질 (EPS) 분해 효소 적용에 의한 친환경적 막오염 제어 기술 연구 : 자성 나노입자를 사용한 효소 고정 및 자성분리에 의한 재사용성 평가 / 최적화 (pH, 온도, 효소 농도) : 역삼투 공정에 최적화된 주입 및 회수 시스템 구축 - 정삼투막 표면 개질을 통한 막오염 제어 기술개발 : 생체분자(아미노산, 항균물질) 혹은 나노입자를 이용한 정삼투막의 내오염성 증가 : 정삼투 공정 운전을 통한 증가된 내오염성 평가 (4) 정삼투/역삼투 하이브리드 공정에서의 막오염 모니터링 및 유지관리 기술 개발 - 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 내의 공정수 초정밀 수질분석을 통한 막오염원의 거동 및 막오염 인자 도출 (유,무기/생물학적 막오염원)

	- 공정운전 인자 조절을 통한 경제적 정삼투막 세척기술 개발 (물리적) : 유입수의 유속조절을 통한 물리적 세척조건 (주기, 시간, 유속) 최적화 : 정삼투막의 투과수 방향 전환을 통한 물리적 세척기술 개발 : 물리적 세척방법에 따른 각 오염물질들의 제거 효율 분석 - 역삼투 공정에서의 유입수 농도 및 막오염원 특성별 (유기, 무기, 나노 입자, 미생물) 막오염에 따른 화학 세척조건 최적화 및 세척능 평가 (수투과도 비교) - 물리적 & 화학적 세척에 따른 막 손상 예측 및 평가방법 적용 (분리막 직접완결성 시험)

□ 추진계획 및 성과

추진계획	정삼투/역삼투 하이브리드 해수담수화 공정에서의 공정에 따른 잠재적 막오염 요소에 대한 기초연구를 기반으로 막오염을 예측하고 평가 방법을 개발하고 동시에 이를 효과적으로 제어하는 기술을 제안하고자 함.
기술개발 최종성과물	(1) 정삼투 막오염 매커니즘 (입자, 무기물, 유기물, 생물 막오염) (2) 정삼투에 특화된 막오염 평가 시스템 (3) 미생물 신호전달 제어를 통한 막오염 저감 기술 및 특허 (4) 정삼투 막오염 물리세척 기술 및 막오염 저감 공정 운영 시스템

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	300	500	300	200	1,500	
	민 간(추정)	200	300	500	300	200	1,500	
	합 계	400	600	1,000	600	400	3,000	

□ 녹색기여도 및 기대효과

녹색기여도	(1) 친환경적 생물막 오염 제어 시스템 구축 (2) 막오염 저감으로 인한 막의 물리 & 화학 세정에 필요한 에너지 절감 (3) 막의 화학세정 감축에 따른 환경적 악영향 감소
기대효과	(1) 친환경적 막오염 제어 기술에 대한 다수의 특허 확보 (2) 정삼투/역삼투 하이브리드 공정 운영 및 유지 관리비 절감 기술 확보 (3) 정삼투 막오염 분야 기술선점 및 표준화 선도 가능 (4) 정삼투/역삼투 하이브리드 플랜트 기술 시장 확대에 기여

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	(1) 現 해수담수화 사업단의 초정밀 해수분석 기술 및 장비 활용 (2) 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 막오염 예측 센서 기술 활용 (3) 내오염성 정삼투막 및 Spacer 개질을 위한 고분자 코팅 기술 활용 (4) 現 해수담수화 사업단의 역삼투막 표면 분석 장비 활용

□ [2 세부과제] 정·역삼투 융합 플랜트 엔지니어링 기술개발

세부과제명	정삼투-역삼투 융합기술개발
□ 목표 및 내용	
목표	FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 핵심기술의 개발과 엔지니어링 및 운영관리 기술 확보를 통한 세계시장 진출 기반 마련 * 정량적 목표 (기존 RO 해수담수화 공정 대비) - 저에너지 : 톤당 전력량 35% 이상 (톤당 전력량 목표 : 2.5 kWh/m^3) - 농 축 수 : 수량 20% 이상, 염도 25% 이상 저감 - 톤당 생산단가 : 25% 이상 저감
주요 연구내용	(1) FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - FO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution)를 이용한 FO/RO 융합 공정 기술 - 하수(원수) 및 FO 분리막 조건에 적합한 FO/RO 공정 전처리 기술 - 수질안정성 향상 위한 FO/RO 분리막 감시 및 공정 제어 기술 - FO/RO 분리막 파울링 제어 등 최적 유지관리 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 고회수율, 저에너지 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 공정 소규모 파일롯 테스트 및 공정 기술 - FO/RO 하이브리드 시스템 농축수 배출 공정 기술 (2) 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 원천기술 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) (3) 테스트베드 적용 및 엔지니어링 기술 개발 (1,000톤/일 규모 이상) - 대상 지역의 현장 조사 및 부지 선정 : 하수처리수 현황, 해수 유입조건, 농축수 처리조건, 관련기관/지자체 협의 - FO/ RO 하이브리드 해수담수화 공정의 중대규모 설계 기술 : FO/RO 분리막 트레인 설계, 전처리 설비 및 펌프, 밸브 최적 구축 - 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) Intake 위한 기존시설 개량 설계 기술 - 공정별 에너지 소요현황 시뮬레이션 분석과 연계한 최적 공정 설계 기술 - 농축수 최소화 위한 FO/RO 하이브리드 플랜트 설계 기술 (4) FO/RO 통합 운영 환경 플랫폼 개발 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 통합 운영관리 시스템 : 중앙집중 원격 감시 제어시스템 (SCADA) : 데이터 마이닝 기반 의사결정지원 시스템 : 하수(원수) 및 해수(Draw Solution) 수질에 따른 회수율 제어 기술 : 해수 및 RO농축수 농도(TDS) 변동에 따른 최적 농축수 순환/제어 기술 : FO/RO 분리막 파울링 방지/ 대응 위한 유지관리 기술 : EMS (Energy Management System) 등 최적 에너지 운영관리 프로그램
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템의 핵심기술 개발과 동시에 테스트베드 실증을

	위해서 해외 Site의 현지조사, 부지선정 및 설계를 진행하고, 테스트베드의 구축/ 장기 운영평가를 통한 엔지니어링 기술 및 최적 운영 환경플랫폼을 개발하고자 한다.
기술개발 최종성과물	(1) 고효율 저에너지 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 (2) FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 실증 및 핵심 공정 신기술 인증 (3) 엔지니어링 기술 및 SCADA 시스템과 연계한 최적 운전 환경 플랫폼

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	1,000	1,000	4,000	4,000	1,500	11,500	
	민 간(추정)	1,000	1,000	4,000	4,000	1,500	11,500	
	합 계	2,000	2,000	8,000	8,000	3,000	23,000	

□ 기대효과

기대효과	(1) 기술/ 산업적 효과 - 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 (2) 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	(1) 테스트 베드 Site 선정시 참여기업의 해외 해수담수화 파일럿 혹은 플랜트의 원수 / 설비/ 부지 등 활용 (2) 現 해수담수화 플랜트 사업단 SWRO 공정 주요 개발 기술 활용 (3) 기존 RO 해수담수화 플랜트의 SCADA 시스템을 응용한 FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 적용 및 최적화

세부과제명	가압형 정삼투-역삼투 융합기술개발
□ 목표 및 내용	
목표	가압형 정삼투 공정을 이용하여 하이브리드 해수담수화 시스템 원천기술의 개발 * 정량적 목표 - 압력 10 atm 회수 - 회수율 10% 증대
주요 연구내용	(1) 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 최적 시스템 개발 - PRO/RO 하이브리드 공정 기술 현황 분석 - 해수의 가압조건 확립 - 가압을 위한 시스템 엔지니어링 - 농축수 recycle 시스템 - 경제성 평가 (FO/RO VS 가압형 FO/RO) (2) 10 톤/일 파일럿 검증 - 설계기술 • 최적 멤브레인 선정, 가압 시스템 업그레이드 엔지니어링 기술 • 해수 및 농축수 이용을 위한 원천기술 시스템 비교 평가 - 50 ton/d 규모의 파일럿을 통한 장기운전
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	역삼투 공정의 전력비 감소를 위한 에너지 회수를 총 2단계로 실시 - 에너지 회수장치에 의한 직접적인 에너지 회수 - FO를 이용한 Chemical potential 에너지의 간접적 회수 주관과제인 정삼투 융합기술과 협력을 통한 시스템 엔지니어링 확립 1단계 : 운전조건 및 요소기술의 확립 ⇒ 2년 - 실험실 조건하에 유입해수의 가압조건 확립 - 파울링 등의 운전조건에 따른 운영조건 모니터링 - 1차 경제성 평가 2단계 : 10 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 - 최적 멤브레인 선정 - 시스템 엔지니어링 : 막의 구조에 따른 반응조 형태 확립 - 장기운전을 통한 모니터링 및 운전조건 확립 - 2차 경제성 평가
기술개발 최종성과물	(1) 가압형 FO/RO 하이브리드 해수담수화 시스템 (2) 핵심 공정 신기술 인증

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	300	500	300	200	1,500	
	민 간(추정)	200	300	500	300	200	1,500	
	합 계	400	600	1,000	600	400	3,000	

□ 기대효과	
기대효과	(1) 기술/ 산업적 효과 - 고부가가치의 차세대 하이브리드 해수담수화 공정 핵심 기술 확보 - 해수담수화 플랜트 해외 연구 인프라 확충 및 거점연구소 개발 - FO/RO 분리막 및 핵심공정 설비 관련 기술경쟁력 확보 및 국내산업 촉진 - 해외 물산업 시장 진출 위한 국가 차원의 신성장 동력 확보 (2) 경제적 효과 - 국내기업의 해수담수화 시장 진출위한 가격 경쟁력 확보 - 물산업 시장 진출에 따른 국내 산업 성장 촉진 및 일자리 창출 - FO/RO 하이브리드 해수담수화 플랜트 운영서비스 사업 진출
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	- 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

□ [3 세부과제] 신소재 정· 역삼투 막 제조기술

세부과제명	신소재 기반 저에너지 고투과성 역삼투막 제조기술
□ 목표 및 내용	
목표	- 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.7% (8*40 인치@800PSI, 32,000mg/L NaCl)급 SWRO 해수담수화 모듈 개발 - 신소재 기반의 유량>16,000GPD, 염제거율>99.6% (8*40 인치@225PSI, 1,500mg/L NaCl)급 BWRO 해수담수화 모듈 개발
주요 연구내용	1. 고투수/고내구성의 초박막 신소재 기반의 hybrid 역삼투 분리막 개발 (1) Pure water flux >240GFD (@1bar, SD<10)급 역삼투 분리막 지지층 개발 - 지지층 분리막 단계별 제조조건 확립 - 나노 기술 기반의 지지층용 초친수 나노 소재 개발 - 지지층/초친수 소재 hybrid 기술 개발 (2) 염제거율 >99.7%, 유량 >45GFD (@800PSI, 32,000mg/L NaCl) 및 염제거율 >99.6%, 유량 >45GFD급 (@225PSI, 1,500mg/L NaCl) 역삼투 분리막 활성층 개발 - 나노 구조체의 형상 구조제어기법 연구 - 나노 기술을 이용한 최적의 분리막용 나노 소재 개발 - 나노 기공 구조체를 이용한 고투과성, 고내구성 복합 분리막 개발 - Disruptive technology 기반의 미래 원천 분리막 소재 개발 예) 아쿠아포린 단백질 기반 생체모방형 분리막 개발 (3) J/J_0 > 0.85급 (@Casein 100ppm, 5h) 역삼투 분리막 내오염 보호층 개발 - 내오염 기능을 부여하는 친수성 고분자 개발 - 나노 기술 기반의 내오염성 초친수 나노 소재 개발 - 활성층/내오염성 초친수 소재 hybrid 기술 개발 2. 고투과 역삼투 모듈 개발 (1) 16,000GPD급 고투수 모듈 제조 기술 개발 - 분리막 모듈의 leaf의 수, diameter, area, channel height 등의 설계 인자 도출 및 설계인자 최적화 - CFD를 이용하여 channel에서의 유동 해석 및 spacer 구조 최적화 - 압력강하를 최소화하기 위한 분리막 모듈 엔드캡 구조 최적화 - 분리막 모듈 평가를 위한 모델 개발, 검증 및 분리막 모듈 평가 표준화 프로토콜 확립 (2) 분리막 성능 및 수명평가 데이터베이스 구축 - 구축된 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용하여 생산된 데이터를 이용하여 분리막 수명 예측 모델을 개발 - 단·장기적 실험을 통해 분리막 성능 및 수명 평가 데이터베이스 구축

	(3) 담수화 공정의 저에너지 고효율을 위한 설계 최적화 기술 개발 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발 - 에너지 효율 향상을 위한 BOP (Balance of Process) superstructure의 최적화 (전/후처리, pump 등) - 에너지 효율 향상을 위한 분리막 모듈의 superstructure 최적화
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	(1) 과제 1차년도 - 고유량 RO 분리막용 지지체 연속 제조 기술 개발 - 초박막 계면중합 기술 개발 - 역삼투 분리막 lab 개발 (염제거율 99.7%, 유량 40GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 40GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) - 막오염 저감소재 발굴 (2) 과제 2차년도 - 초친수 나노 소재 hybrid 기술 개발 - 내오염 평가 기술 개발 - 친수성 고분자를 활용한 RO 분리막 표면 개질 기술 개발 - 역삼투 분리막 연속제조 pilot 구축 (염제거율 99.7%, 유량 45GFD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 45GFD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) (3) 과제 3차년도 - 내오염 고분자 코팅 기술 개발 - 기존 모듈의 종류에 따른 성능 비교 및 분석 - 유동 해석 및 설계인자 도출 - 모듈제조 pilot 구축 - 프로토타입 모듈 제작 - 내오염 분리막 모듈 pilot 시생산 및 성능 검증 (염제거율 99.7%, 유량 16,000GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl 및 염제거율 99.6%, 유량 16,000GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) (4) 과제 4차년도 - 모듈 pilot 제조 및 실증평가 - 다양한 유기오염 물질 적용 테스트 (5) 과제 5차년도 - 실증평가 완료
기술개발 최종성과물	1. 고효율/고내구성의 초박막 나노 소재 hybrid 역삼투 분리막 개발 - Rejection >99.7%, Flux >45 GFD급 SWRO 분리막 개발 - Rejection >99.6%, Flux >45 GFD급 BWRO 분리막 개발 - Anti-fouling 용 표면 처리 기술 적용 ($J/J_0 > 0.85$) 2. 고투수 역삼투 모듈 개발 - 기존 SWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발 (Flux >16,000 GPD @800PSI, 32,000mg/L NaCl) - 기존 BWRO대비 25% 이상 수투과율이 향상된 8*40 inches RO 모듈 개발

	(Flux >16,000 GPD @225PSI, 1,500mg/L NaCl) - 분리막 성능 및 수명 평가 system 구축을 통한 평가 DB 구축 및 활용 실적 - 분리막 성능 평가 Lab-scale 시스템을 이용한 수명 예측 모델 - Energy analysis를 통한 공정 설계 최적화 기술 개발

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	300	1,000	1,000	1,000	700	4,000	
	민 간(추정)	300	1,000	1,000	1,000	700	4,000	
	합 계	600	2,000	2,000	2,000	1,400	8,000	

□ 기대효과

기대효과	- 새로운 신소재 역삼투막의 시장개척을 통한 새로운 부가가치 창출 - 신기술 시장 선도를 통한 일자리 창출 - 역삼투막 제조의 국산화 선도 및 경쟁유발을 통한 기격인하 효과

□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	- 물재이용 시장과의 연계기술 - 역삼투막 엔지니어링 기술과의 연계 조합 - 2세부과제내 대용량 파일럿 플랜트 설계시 연계

세부과제명	나노기술 기반의 정삼투막 분리막을 이용한 담수화 기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	O 최종목표 - 탄소나노튜브를 포함한 다양한 나노소재를 이용한 고투과성 정삼투 분리막 제조 원천기술 확보 - 제조된 나노소재 기반 정삼투 분리막 활용하는 담수화 공정의 기본개념 확립 (소형 파일럿 플랜트를 통한 검증) - 기존 정삼투 공정 대비 에너지 30% 절감
주요 연구내용	○ 1단계 사업 목표 및 내용(1차년도~2차년도) - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투/ 분리막 제조 원천기술 개발 ·다양한 구조의 탄소나노튜브를 이용한 분리막 제조기술 비교 ·기능 및 안정성 측면에서의 최적 막소재 도출 (정삼투 1종) ○ 2단계 사업 목표 및 내용(3차년도~5차년도) - 개발 소재의 성능향상 및 활용 공정기술 개발 ·개발 막 소재의 성능향상을 위한 표면처리 및 구조변경 기술 개발 ·개발 막 소재를 이용한 Proof-of-concept 장치 개발 ·기존 공정과의 비교 및 효율 검증
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	: 1단계 - 탄소나노튜브를 이용한 고투과성 정삼투막 및 막증발법 분리막 제조 원천기술 개발 : 2단계 - 개발 소재의 성능향상, 실용화 및 이를 활용한 공정 개발
기술개발 최종성과물	- 나노소재를 이용한 정삼투막 : 2L/m^2-hr-bar - 정삼투 공정 : 기존 정삼투 공정 대비 에너지 소요량 70% 이하 - 최종결과물명 #1: 탄소나노튜브 기반의 정삼투 분리막 소재 - 최종결과물명 #2: 탄소나노튜브 기반의 정삼투막을 이용한 담수화 공정 설계기술
□ 세부과제 예산	

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	200	300	400	300	300	1,500	
	민 간(추정)	200	300	400	300	300	1,500	
	합 계	400	600	800	600	600	1,500	

□ 기대효과

기대효과	- 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 - 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 - 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출 - 담수화 분야의 국내외 시장 진출 - 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 - 차세대 담수화 기술로 활용 가능 - 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 - 기타 수처리 분야에도 활용가능
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	- 성공여부에 따라 후속 차세대 정삼투 공정 연구 연계

□ [4 세부과제] 저비용 전처리 기술개발

세부과제명	FO-RO 조합공정을 위한 에너지 절감형 막 전처리 기술 개발
□ 목표 및 내용	
목표	- 경제적 전처리 막 개발 - FO-RO 조합공정의 저에너지 고효율 전처리를 위한 고도수처리/막여과 공정기술 개발 - 전처리공정 사용량 0.15 kWh/m^3 이하 - 해수담수화 전용 전처리 막 (MF/UF) : 기존 대비 투과율 150% 향상
주요 연구내용	○ 1단계 사업 목표 및 내용 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 ·FO-RO 공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정안 도출 ·해수담수화 전용 저에너지 고효율 MF/UF 막모듈 개발 ·Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 조합공정을 위한 전처리기술 개발 ·전처리 공정 Unit 설계기술 개발 및 Package화 ○ 2단계 사업 목표 및 내용 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화 ·고도처리/막모듈 특성분석에 기반한 성능향상 연구 ·Pilot plant 적용 및 운전특성 분석 ·기존 공정과의 비교 및 효율 검증
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	1단계 - 해수담수화 전용 전처리 막모듈 및 핵심공정 설계기술 개발 2단계 - 개발기술의 성능향상, 실용화 및 운전·유지관리 최적화
기술개발 최종성과물	- FO-RO 조합공정의 각 유입수별 (유입해수, FO유입수, 혼합수 등) 최적 전처리 공정기술 - 해수담수화 전처리 전용 MF/UF 막모듈 - Triple Membrane System (MF(UF)-FO-RO)의 전처리 공정 설계기술

□ 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	400	600	800	400	300	2,500	
	민 간(추정)	400	600	800	400	300	2,500	
	합 계	800	1,200	1,600	800	600	5,000	

□ 녹색기여도 및 기대효과

기대효과	- 지속가능한 수자원 확보와 플랜트 수출을 목적으로 한 수처리 기술로, 신성장동력 산업에 해당 - 담수화의 비용절감 및 탄소발생량 억제 효과 - 기존 소재의 성능한계로 인한 문제를 해결함으로써 새로운 시장개척 및 이를 통한 부가가치 창출 - 담수화 분야의 국내외 시장 진출 - 해당 분야의 연구 및 사업인력 요구에 따른 고용창출이 예상 - 차세대 담수화 기술로 활용 가능 - 담수화 미래기술 분야의 기술적 우위 확보 - 기타 수처리 분야에도 활용가능
□ 연계·활용 과제 (기술)	
연계·활용 과제 및 기술	- 향후 MBR 공정 및 물재이용 공정에 활용 - 2세부과제와 연계

세부과제명	전처리 고효율 소독설비 개발
□ 목표 및 내용	
목표	- DBP 중 브로메이트 최소화를 위한 소독설비 개발 * 기술적 목표 - Yeild : 95% 이상 - 순도 : 99% 이상 - 브로메이트 : 생산수내 0.02 mg/L 이하
주요 연구내용	(1) 전극 시스템을 이용한 소독 생산 시스템 Lab test - 문헌 연구/실험실 연구를 통한 소독 시스템의 단/장점 분석 - 브로메이트 최소화를 위한 전극시스템 개발 - 상업용 전극 시스템 엔지니어링 기술 개발 - 프로토 타입 운전을 통한 시스템 안정화 기술 개발 - 농축수용 및 해수용 다원화 시스템 개발 - 바이오 파울링 저감 능력 검증 - 역삼투막/정삼투막에 미치는 영향 검증 (2) 농도 제어용 모니터링 기술 개발 - 농도 제어를 위한 모니터링 제어시스템 개발 - 50 톤/일 파일럿 검증 - 시스템 검증을 위한 장기운전 - 기타 DBP 발생 가능성 분석 - 경제성 평가 (농축수용 VS 해수용) - 설계 및 엔지니어링 기법 확립 • 전극시스템 • 반응조 contact 시스템 (3) 2세부과제 파일럿과 연계를 통한 시스템 검증 -파일럿 검증을 위한 연동 시스템 개발
□ 추진계획 및 성과	
추진계획	1단계 (원천기술 개발): 전극 시스템 개발과 안정성 확립 ⇒ 3년 - 다양한 종류의 전극 개발 및 그에 따른 시스템 개발 - ClO2 농도별 모니터링 시스템 2단계 : 50 ton/d 규모의 반응조를 통한 검증 ⇒ 2년 - 장기운전을 통한 시스템 엔지니어링 기법 확립 - 시스템의 사업화
기술개발 최종성과물	- Gas permeable membrane system 및 Un-divided Electrochemical Generation System 개발 및 사업화 • 해수담수화플랜트 적용 (Bromate등의 DBP 발생 억제기술 확보) • Yield: > 95%, Purity: 99%
□ 세부과제 예산	

(단위 : 백만원)

구 분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고

연차별 연구비	정 부	200	400	500	200	200	1,500	
	민 간(추정)	200	400	500	200	200	1,500	
	합 계	400	800	1,000	400	400	3,000	

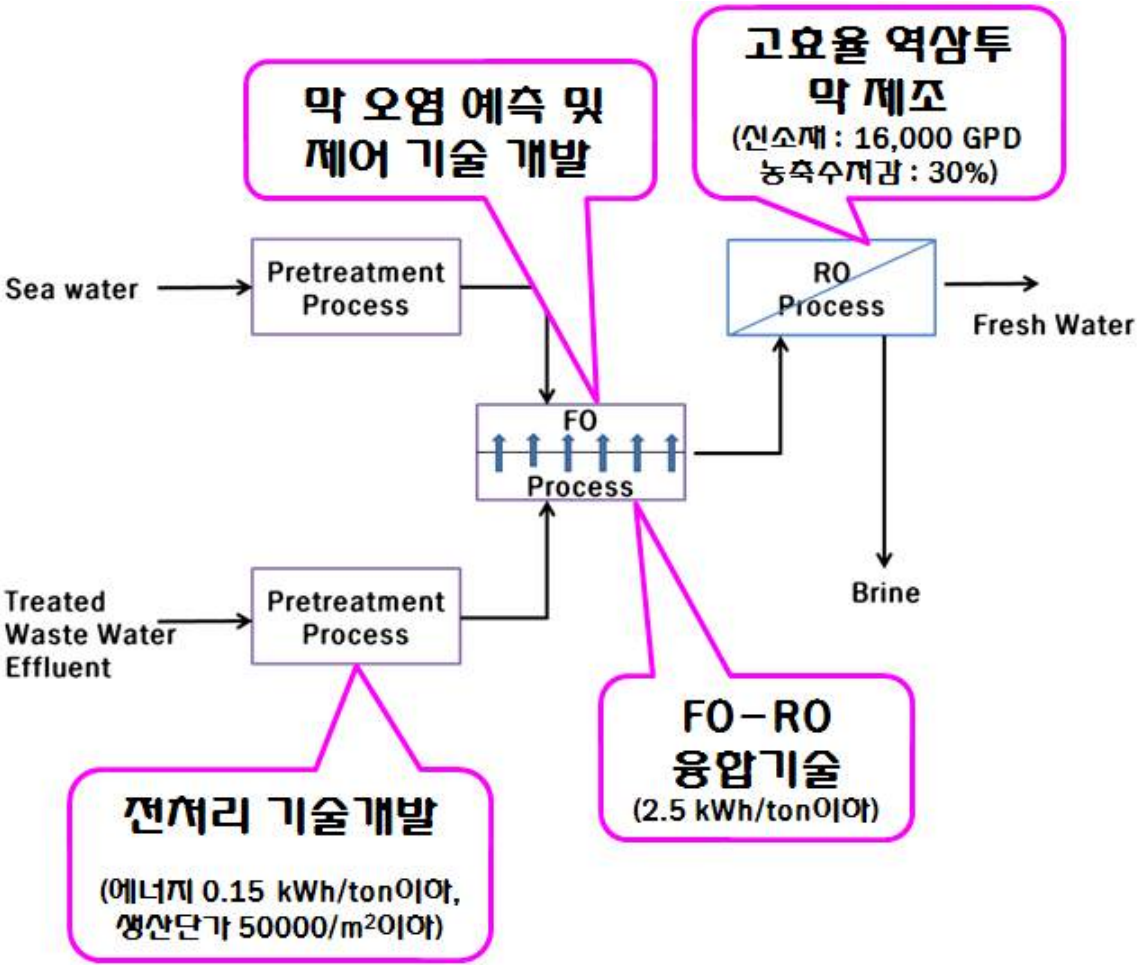
□ 녹색기여도 및 기대효과

기대효과	■ 기술적 효과 o 국제적으로 문제가 제기되고 있는 해수담수화플랜트의 Bromate 부산물 발생에 대한 해결책을 제시하는 신기술로서 세계시장을 선점하고 주도 함 o 담수화플랜트 뿐만 아니라 해양 및 플랜트분야의 전기화학기술의 적용능력 및 적용 분야의 확대 o 차세대 국가 성장동력인 해수담수화플랜트 및 해양플랜트와 발전플랜트등의 부품/소재 국산화완성으로 인한 부가가치 창출 및 공정최적화에 기여 o 기술의 국산화를 통한 국산제품 신뢰성 증대 o 해수담수화플랜트, 발전플랜트, 해양플랜트 등의 해외 플랜트수주 경쟁력 제고 및 국내 플랜트 기자재의 기술 신뢰성 향상 ■ 경제적 효과 o 전량 해외기술에 의존하고 있는 현황 타개로, 수입대체효과를 극대화 함 o 세계시장에서 국내기업의 관련 플랜트 수주 경쟁력 제고로 본 개발기술 및 관련 플랜트의 수출증대효과를 기대할 수 있음 o 향후 정수처리, 하수 처리등 일반 수처리 분야에의 본 기술력 적용 및 시장 확대를 비롯한 국제경쟁력 제고 o 국내기술 및 국산 기자재의 국제적 신뢰성 제고

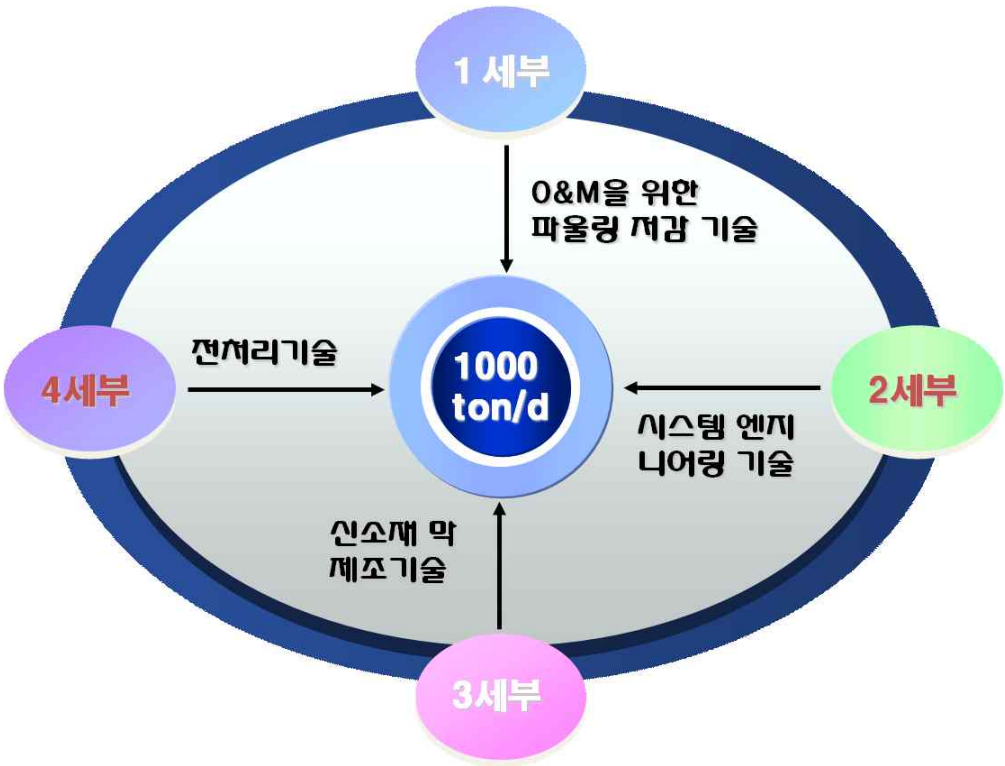
□ 연계·활용 과제 (기술)

연계·활용 과제 및 기술	- 정삼투-역삼투 융합기술개발 과제 협력

o 세부과제간 연계성 및 요약



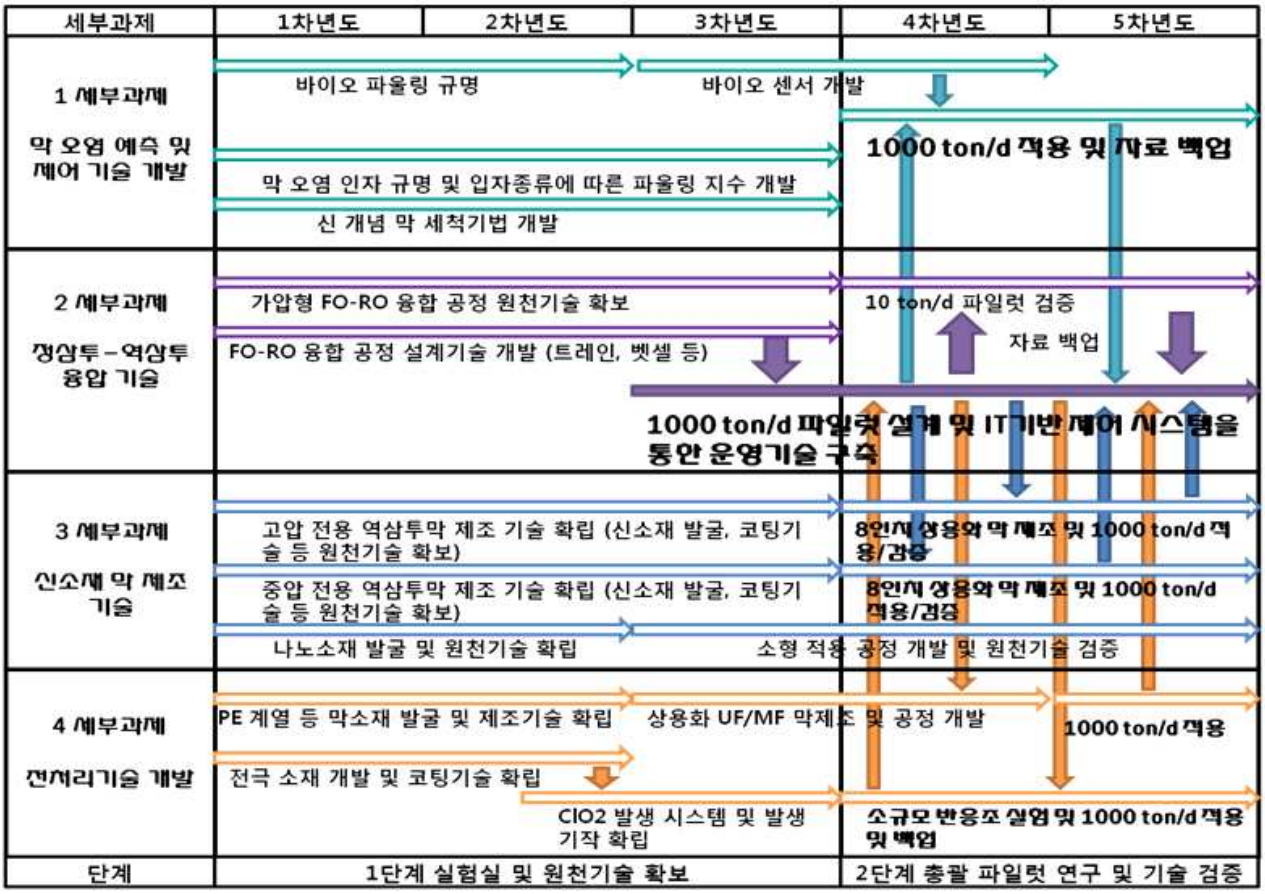
- 총 4개의 세부단위로 구성되며, 모든 기술은 1000 ton/d 대용량 파일럿 플랜트에서 검증되는 것을 원칙으로 함
- 2세부과제 주관기관은 연구단장과의 협력을 통하여 타 세부과제의 결과물 검증을 실시하는데 동참
- 각 세부과제는 에너지 저감으로 초점을 맞추어 진행
  - 1세부 : O&M을 위한 파울링 저감과 제어수단 개발
  - 2세부 : 정삼투-역삼투 엔지니어링 기술
  - 3세부 : 막 개발
  - 4세부 : 전처리기술개발
- 각 세부과제는 2세부과제의 엔지니어링 기술 개발시 각각의 연구결과를 공유함으로써 연구결과를 반영한 1000 ton/d 대용량 플랜트를 건설하도록 상호간의 협조체계 마련



o 각 세부과제의 파일럿 플랜트 적용

- 연구단장은 세부과제의 결과물의 파일럿 플랜트 적용에 대한 적정성 여부를 위해 외부 평가위원등을 활용하여 성능 검증을 실시한 후 적용여부를 최종 결정하는 방식을 도입
- 연구단장은 2 세부과제와의 긴밀한 협조를 통해 각 세부과제의 결과물 적용 여부를 결정하여 2단계 예산 분배 방식을 결정
  - 1안 : 2 세부과제에 세부과제 결과물 도입을 위한 예산을 분배
  - 2안 : 각 세부과제에 결과물 도입을 위한 예산을 분배한 후 2세부과제 주관 책임기관의 협조하에 적용
- 현 RFP에서는 우선적으로 2세부과제에 예산을 제공한 상태이나, 최종적으로 연구단장이 1단계 종료시점에서 예산 방식을 최종 결정 후 재분배

5.2 TRM 전개



- 1, 2, 3 차년도 : 원천기술 개발
- 4, 5차년도 : 1000 ton/d 파일럿 플랜트를 통한 기술검증
- 세부과제의 결과물은 3차년도이후로 건설되는 1000 ton/d 파일럿플랜트 개발을 위해 필요한 부분을 공유
- 원천과제로 구분되는 세부과제 기술개발물에 대한 부분은 각각의 기술 검증 방법을 제시

5.3 대용량 파일럿 플랜트 건설을 위한 예산 분석

o 국내 건설 (시설용량 : 유입수량 기준 2000 ㎥/d)

- 시설비 : 6,400,000천원

품 명	규격	수량	공사비(천원)	비 고
건축/토목	식	1	500,000	- 건축 : 150만원/평X200평=3억 - 토목 : 2억(설비기초 포함)
Intake/Outfall 설비	식	1	400,000	- Intake : 2line×12"×200m - Outfall : 2line×12"×50m
SWRO설비	식	1	1,950,000	- 700m^3/day
FO/RO설비	식	1	3,550,000	- 1300m^3/day
폐수처리시설	식	1	500,000	- 처리용량 : 400m^3/day 기준
합계			6,400,000	

- 시설 부지면적 : 30m × 25m = 약 230평

- 유지관리비(4-5차년도까지 2년간)

구분	금액 (천원)	비 고
인건비	300,000	인당 5,000만원×3명×2년간=300,000천원/2년
전력비	408,800	사용전력비 : 4㎾h/t×70원/㎾h×200t/d×365일/년 × 2년 = 408,800천원/2년
약품비	32,868	FeCl : 월사용량 180kg×사용월 24개월×단가200원/kg = 864천원/2년 Antiscalant : 월사용량 120kg×사용월 24개월×단가 6,000원/kg = 17,280천원/2년 황산 : 월사용량 600kg×사용월 24개월×단가 120원/kg = 1,728천원/2년 유기세정제 : 월사용량 24kg×사용월 24개월×단가 5,000원/kg = 2,880천원/2년 무기세정제 : 월사용량 24kg×사용월 24개월×단가 6,000원/kg = 3,456천원/2년 $NaHSO_4$: 월사용량 555kg×사용월 24개월×단가 500원/kg = 6,660천원/2년
카트리지 필터교체비	5,400	필터 가격 20만원×170개=5,400천원
수선비	236,000	5,900,000천원×0.02×2년=236,000천원/2년(시설비의 2%)
예비비	590,000	5,900,000천원×0.05×2년=590,000천원/2년(시설비의 5%)
합계	1,573,068	2년(4~5차년도)

- 설계비 : 408,000천원

• 산출 근거 : 5,900,000천원 × 0.07 (총 시설비용의 7%) = 413,000천원
인허가비 = 50,000천원 (설계사에서 진행)

따라서, 설계비는 기본설계 + 인허가비 = 463,000천원

o 국외 건설 (시설용량 : 유입수량 기준 2000 ㎥/d)

- 시설비 : 일금 7,600,000천원

품 명	규격	수량	공사비(천원)	비 고
건축/토목	식	1	700,000	- 건축+토목 : 5억(국내공사비)×140%
Intake/Outfall 설비	식	1	600,000	- Intake/Outfall : 4억(국내공사비) × 150%
SWRO설비	식	1	1,950,000	- 700m^3/day
FO/RO설비	식	1	3,550,000	- 1300m^3/day
폐수처리시설	식	1	500,000	- 처리용량 : 400m^3/day 기준
Shipping Fee	회	1	300,000	- 컨테이너 규격
합계			7,600,000	

- 시설 부지면적 : 30m × 25m = 약 230평

- 유지관리비(4-5차년도까지 2년간)

구분	금액 (천원)	비고
인건비	600,000	인당 10,000만원×3명×2년간=600,000천원/2년
전력비	584,000	사용전력비 : 4㎾h/t×100원/㎾h(국내 70원)×200t/d×365일/년×2년 =584,000천원/2년
약품비	32,868	FeCl:월사용량 180kg×사용월 24개월×단가200원/kg= 864천원/2년 Antiscalant:월사용량 120kg×사용월 24개월×단가 6,000원/kg=17,280천원/2년 황산:월사용량 600kg×사용월 24개월×단가 120원/kg=1,728천원/2년 유기세정제:월사용량 24kg×사용월 24개월×단가 5,000원/kg=2,880천원/2년 무기세정제:월사용량 24kg×사용월 24개월×단가 6,000원/kg=3,456천원/2년 $NaHSO_4$:월사용량 555kg×사용월 24개월×단가 500원/kg=6,660천원/2년
카트리지 필터교체비	5,400	필터 가격 20만원×170개
수선비	610,000	6,100,000천원×0.05×2년=460,000천원/2년(시설비의 5%)
예비비	1,220,000	6,100,000천원×0.1×2년=1,220,000천원/2년(시설비의 10%)
합계	3,052,268	2년(4~5차년도)

- 설계비 : 568,000천원

• 산출 근거 : 6,100,000천원 × 0.08 (총 설비비용의 8%) = 488,000천원
인허가비 = 100,000천원 (설계사에서 진행, 국내가격 2배 책정)

따라서, 설계비는 기본설계 + 인허가비 = 588,000천원

5.4 연구단 이후의 추진계획

o 최종 기술개발의 형태

- 연구개발 형태를 기준으로 고려하면 사업단 형태가 바람직하나, **현재의 기술개발 수준과 시장 성숙도 및 기술개발에 대한 위험부담을 고려할 경우 연구단 형태로 추진**
- 연구개발 기간 시장변화와 기술개발 수준을 고려하여 최종적으로 검증된 기술들의 시장진입을 위한 실증화 사업을 고려함

o 실증화 사업 추진계획

- 대용량 파일럿 플랜트 운영을 통한 기술검증 완료시, 대내외적 기술검증 효과와 시장진입의 용이성 등을 위한 실증화 사업을 추진
- 1단계 종료시점에서 실증화 사업 추진을 위한 기획을 시작
  • 연구단장은 연구단 책임자와 외부 전문가를 통한 1단계 종료 시점까지 사업성 평가 보고서를 도출
  • 한국 건설교통평가원은 사업성 평가 보고서를 토대로 실증화 사업의 타당성을 검토한 후 기획시작



6. 정부지원 필요성

o 담수플랜트 분야는 미래 신산업·신수요를 창출하고 생산성을 향상시키는 등 성장 잠재력이 높은 분야이며, 시장경쟁력 확보를 위해서는 빠르게 변화하는 기술혁신에 대응하기 위한 지속적인 연구개발이 필요함

o 담수화 분야의 기술변화에 선제적으로 대응하기 위해서는 국가주도의 대형 연구개발 사업 투자에 의한 핵심기술 선점이 필요함

o 그린 하이브리드 담수화 기술은 소수 민간기업 주도로 추진하기 어려우며, 건설, 환경, IT, 플랜트 등 많은 분야의 산학연 공동체 중심으로 추진하여야 하므로, 민간분야에서 초기단계에서부터 이를 주도하기 어려움. 따라서 초기단계에는 기업주도형보다는 정부주도형의 연구개발이 필요함.

o 그린 하이브리드 담수화 플랜트 기술은 건설플랜트 및 환경산업 전반에 걸쳐 높은 파급효과를 미쳐서 투자대비 높은 편익과 경제적 효과를 기대할 수 있음

o 또한 기후변화에 따른 강우패턴의 변화와 수원의 변동성으로 인하여 수자원의 안정적 확보문제가 대두되고 있으므로, 에너지 비용을 획기적으로 절감하는 그린 하이브리드 담수플랜트 기술은 국내 수자원 부족 문제를 해결하는 방안으로 고려될 수 있음

7. 기대효과

7.1 녹색성장 및 신성장동력 창출 효과

□ 녹색성장 효과

o 에너지와 자원의 절약

- 담수화 에너지 30% 절감(4 kWh/㎥ → 2.5 kWh/㎥) → 담수화 비용 절감
- 설계시공 최적화에 의한 플랜트 건설 기자재 및 자원 효율화
- 해양자원의 회수효율 증가

o 기후변화 대응

- 대체수자원 확보에 따른 기후변화에 의한 물 위기 해소에 기여
- 담수화 에너지 절감에 따른 온실가스 배출량 절감 효과 기대

- 2020년에는 약 14,800만 m^3/d의 물이 담수화에 의하여 생산될 것으로 전망되며, 기존 증발법/역삼투 방식을 그린하이브리드 담수화 기술로 20%만 대체하더라도 전 세계적으로 CO_2 삭감효과는 연간 2.4억톤 이상임. 이는 2008년 우리나라 전체 CO_2 배출량의 35%에 해당하는 값. (우리나라는 세계 7위의 CO_2 배출국가)

o 환경훼손 억제

- 해수의 화학에너지 이용 등에 따른 친환경적 방법의 물 확보
- 담수화 과정의 환경부하 최소화

□ 신성장동력 창출 효과

o 융합 해수담수 고도화 기술로 2020년 이후 세계시장의 10~20%를 점유하는 경우 2020년부터 향후 10년간의 경제적 편익은 5000억에서 1조원 이상으로 추정됨 (계산근거: 2020년 약 150조원 규모의 시장 형성 예상, 연평균 5% 성장, 영업이익율 10% 가정)

o 에너지 이용효율 향상에 따라 기존 방식 대비 이산화탄소 배출량 30% 이상 저감이 가능한 다중담수 복합에너지 플랜트의 개발 및 건설에 따른 고부가가치 플랜트 산업의 신성장동력화

o 에너지·환경 관련 플랜트 건설산업의 선진화 및 국가경쟁력 확보를 통한 국내 건설산업의 세계 플랜트 시장 진출기반 확보

7.2 경제적 기대효과

o 2008년 전 세계 담수화 생산규모는 4,900만 ㎥/일 이었으나, 2020년에는 14,800만 ㎥/일로 증가할 것으로 전망됨 (연평균 시장성장율 : 9.5%)

o 2020년에는 막을 이용한 담수화 방식이 전체 해수담수화 시장의 71%이상을 점유할 것으로 전망되며, 특히 역삼투를 기반으로 한 차세대 하이브리드 기술의 전략적 중요성 증가

o 본 연구 과제를 수행한 결과, 30 MIGD(136,380 ㎥/d)용량 규모의 그린 담수화 플랜트를 2년에 걸쳐 한 개씩만 수주한다고 가정하더라도, 매년 1200억의 수주 효과가 기대됨. 본 연구를 통하여 개발한 기술을 적용하여 약 10%의 원가 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 이 경우 매년 120억원의 경쟁력을 확보하는 것으로 볼 수 있을 것임

(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

4㎝

Land Transpot and Maritime R&D Report

MD/PRO 복합탈염기술개발 연구단 기획보고서

국토해양부 한국건설교통기술평가원

5㎝

3㎝

건설교통연구기획사업

[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

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 **"하이브리드 해수담수화플랜트 기술기획"**과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 3. 13

주관연구기관명 : 창원대학교
주관연구책임자 : 서규태 교수
연 구 원 : 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

o ’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

□ "MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발" 기획의 필요성

o 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 전력 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음

o 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

o 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

o 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

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

□ 시장동향

o 현재 세계 담수화시장은 총 68,658,174 m^3/일, 그 중 해수담수화 시장의 규모는 43,167,921 m^3/일로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장

o 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 20 %씩 성장하여 2016년에는 130억 달러에 달할 것으로 예상됨

o 향후, 해수담수화 플랜트에 대한 시장은 역삼투 공정을 중심으로 EPC적 기술적 우월성이 아닌 지역적 상황에 따른 경제성과 O&M적인 측면이 강조되는 방향으로 진행될 것으로 예측됨

o 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

o 현재 시장지배 기술인 RO방식의 해수담수화는 기술적으로 한계에 달해 시장에서 요구하는 소비 전력 저감과 환경문제에 대처하기 어려움

o 이러한 이유로, FO, MD, CDI 등 다양한 신개념 탈염기술들에 대한 연구가 증가하고 있으며, 이러한 신개념 탈염기술과 RO방식의 하이브리드화가 다양한 방식으로 시도되고 있음

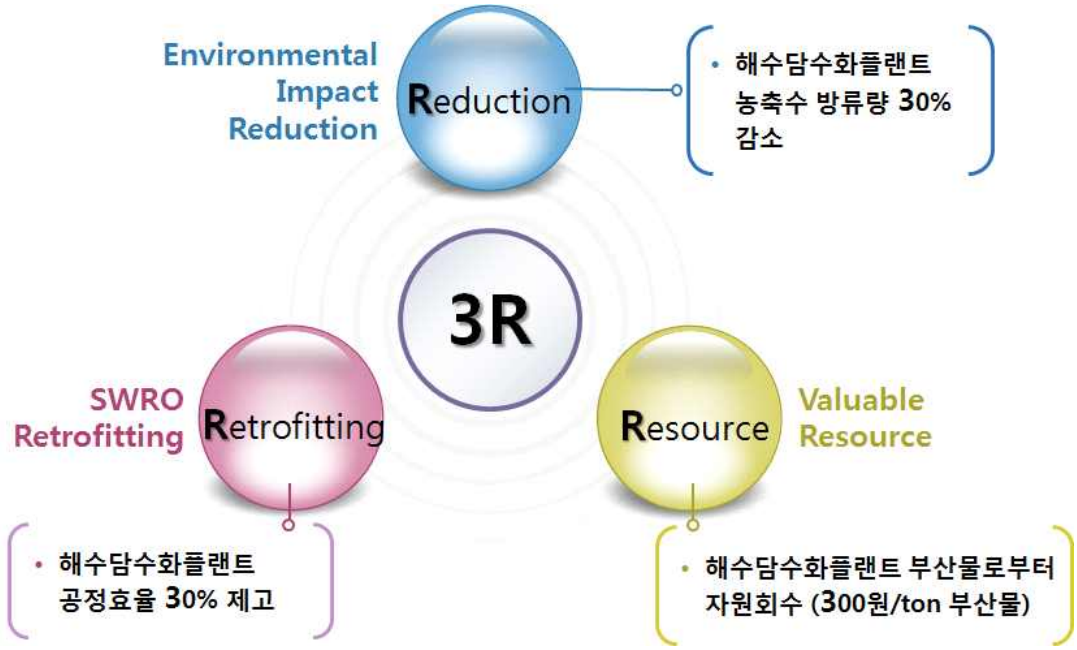
o 또한, 해수담수화플랜트에서 소비 전력을 저감하기 위한 일환으로 해수의 염도차를 활용하여 에너지를 생산하는 PRO, RED 등의 기술들이 최근 제안, 연구되고 있음

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 비전 및 목표

o [비전] 세계 시장을 선도할 수 있는 신개념 복합탈염 (MD/PRO) 기술 개발

o [전략목표] 역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성



□ 연구개발과제 구성

MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발 연구단

1세부 MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술개발	2세부 PRO를 이용한 해수담수화플랜트 공정효율 제고 기술개발	3세부 해수담수화플랜트 부산물 자원화 기술개발
MD 전용 막 소재 및 모듈 개발	PRO 전처리 최적화 기술 및 전처리 응용 공정 개발	RO 농축수 활용 유가 희소금속 추출 핵심 기술 개발
MD 막 오염 저감 기술개발	실증파일럿 PRO 전용막/모듈/베셀 개발 및 막 성능 평가 기술 개발	RO 농축수 금속 추출 최적화 공정 설계
MD 전용 에너지원 확보 기술 개발	PRO 전용 해수 유인압력회수 기술 개발	해수담수화플랜트 부산물 경화 기술 개발
MD 최적화 기술 개발	SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템 엔지니어링기술 개발	부산물 경화체 연속 생산 공정 기술 개발
MD/PRO 복합탈염 대용량 실증파일럿 구축 및 현장 평가	차세대 염도차공정기술 개발 (RED, CAPMIX)	

□ 세부과제별 TRM

o 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
		에너지 최적화 공정 설계		에너지 최적화 기법 적용 평가		에너지 최적화 운영기술	
	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	

o 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 압력회수장치 개발	PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작		파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증			PRO 전용 해수유인 압력회수장치
			제어 메커니즘 해석 및 회수장치 효율 최적화			시제품 제작 및 성능 검증	
	2-4 SWRO-PRO 공정효율제고를 위한 시스템엔지니어링 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		

o 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발



□ 기대효과

o 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

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

- 탈추격형 RO 선진기술개발로 세계 담수화 플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보
- 농축수의 압력를 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

그 림 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 2 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

- o 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 한계를 극복하고자 막 증발법(MD)을 포함한 신개념 탈염기술과 복합공정을 조합하여 기존 플랜트의 성능을 개선시키는 기술
- o 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
- o 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
- o SWRO 공정의 압력을 회수하는 전용막을 개발하여 기존 SWRO 공정의 효율을 제고시키는 역할
- o 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
- o 위의 PRO 또는 RED 공정에 공급되는 저염분 농도 용액으로 하수처리 방류수 또는 재이용수를 사용가능

나. ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발’의 정의

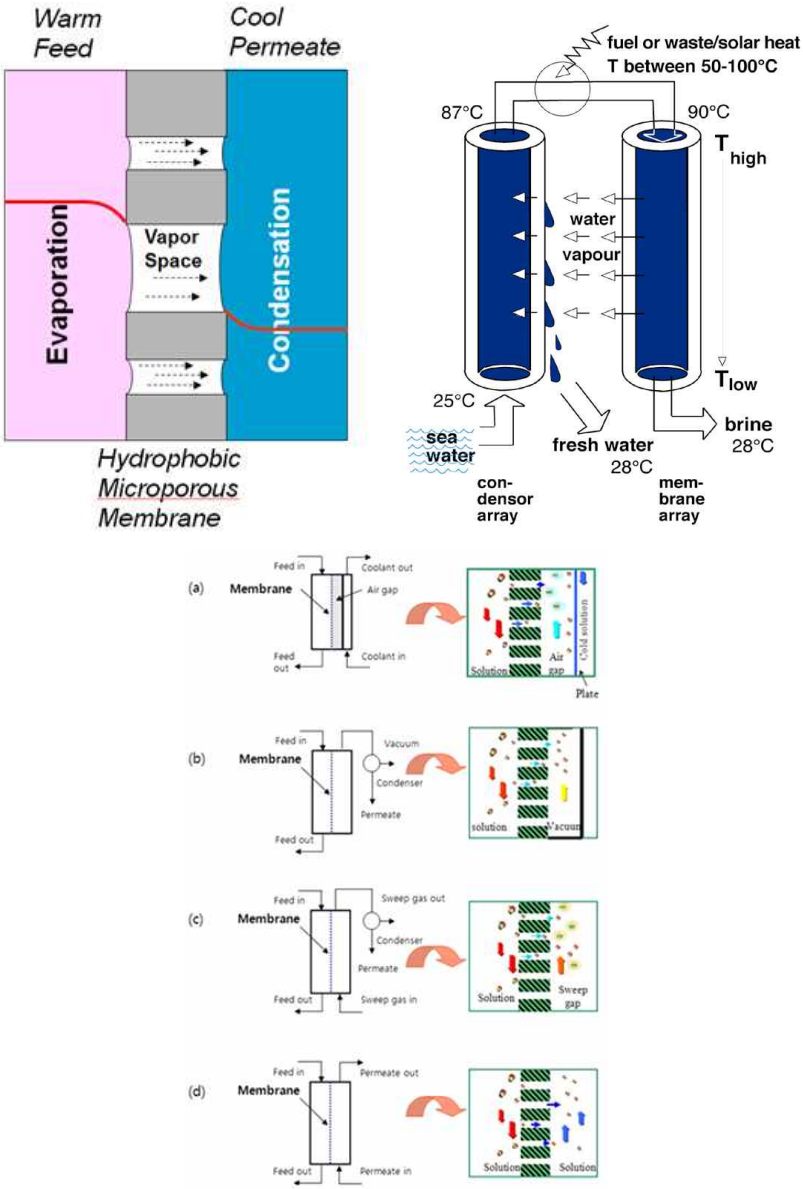
□ ‘MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발’은 기존 해수담수화 플랜트의 성능 향상을 위하여 막 증발법(MD) 및 압력지연삼투(PRO) 기술을 이용하여 새로운 개념의 해수담수화 공정기술 개발 및 실증화 하는 연구로, 소비 전력과 농축수를 저감시킴으로써 환경 영향을 감소시키고 버려지는 자원을 회수하는 복합탈염 공정 개발을 의미함

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

o **막 증발법(Membrane distillation)은 온도차를 구동력으로 하는 기술**로 선택적 투과막의 성질과 증류 현상을 접목하여 낮은 에너지를 이용하여 물을 생산할 수 있다. 담수화 시장 및 초순수 생산 시장에 새로운 기술로 부각되고 있는 기술임

o 막 증발법은 담수를 생산하는 방식에 따라 크게 4가지(AGMD, VMD, SGMD, DCMD) 공정으로 구분됨

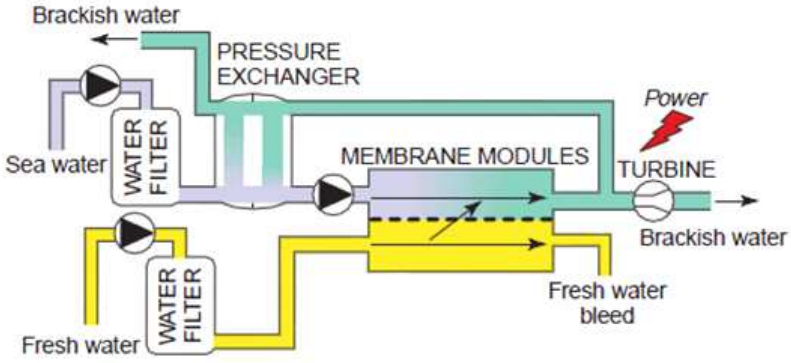
o 막 증발법을 이용하여 해수를 담수화하는 탈염기술 개발과 역삼투 공정에서 배출되는 다량의 농축수를 처리하여 배출량을 감소시킴으로써 전체 해수담수화 공정의 회수율을 높이는 친환경 해수담수화 공정 기술



[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

o **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

o 고농도의 해수담수화 농축수에서 막 결정법을 적용하여 유가자원을 회수함으로써 농축수의 발생량 저감과 함께 경제적인 부가이익을 도출하는 기술

2. “MD/PRO 복합탈염공정 실증파일럿 기술개발”의 기술분류

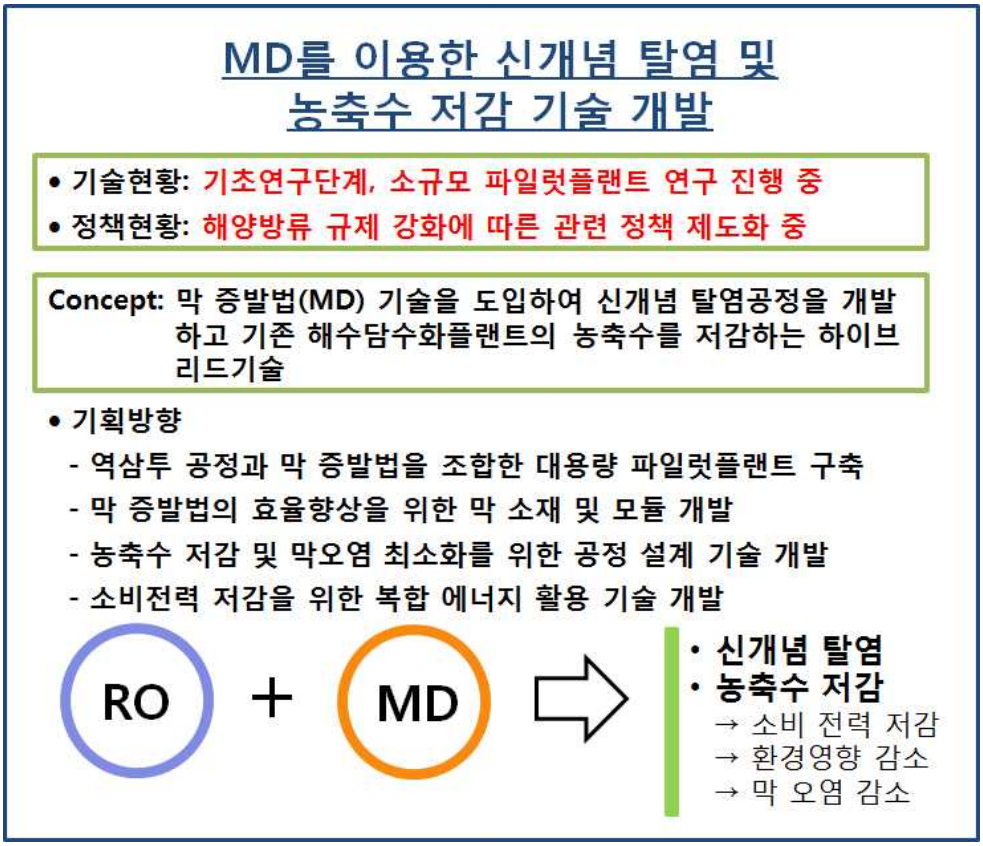
가. ‘막 증발법 (MD)을 이용한 신개념 탈염 및 농축수 저감 기술 개발’ 기술분류

□ 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

o 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 고농축수를 저감시킴으로써 농축수 방류로 인한 해양생태계 파괴 방지 및 농축수 처리 비용 절감 등의 효과를 얻을 것으로 기대됨

o MD 공정을 이용한 해수담수화 및 농축수 저감에 관한 연구는 선진국에서도 기초연구가 진행중인 단계로, 향후 시장 경쟁력 확보를 위해서는 실증화 연구 및 핵심기술 개발이 요구됨

o 기존 역삼투 해수담수화 플랜트와 MD 공정을 조합한 MD/PRO 복합탈염 신공정을 제시함으로써, 플랜트 공정의 성능향상과 음용수의 생산단가를 절감할 수 있음



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

o 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 고농축수를 에너지 생산에 이용함으로써 농축수 방류로 인한 해양생태계 파괴 방지 및 농축수 처리 비용 절감 등의 효과를 얻을 것으로 기대됨

o PRO 공정을 이용한 에너지 생산에 관한 연구는 선진국에서도 기초 연구가 진행중인 단계로, 향후 시장 경쟁력 확보를 위해서는 실증화 연구 및 핵심기술 개발이 요구됨

o 기존 역삼투 해수담수화 플랜트와 PRO 조합공정의 최적화 기술 및 차세대 염도차 공정 설계 기술을 개발함으로써, 에너지 회수 및 음용수의 생산단가를 절감할 수 있음



다. '해수담수화 플랜트 부산물 자원화' 기술분류

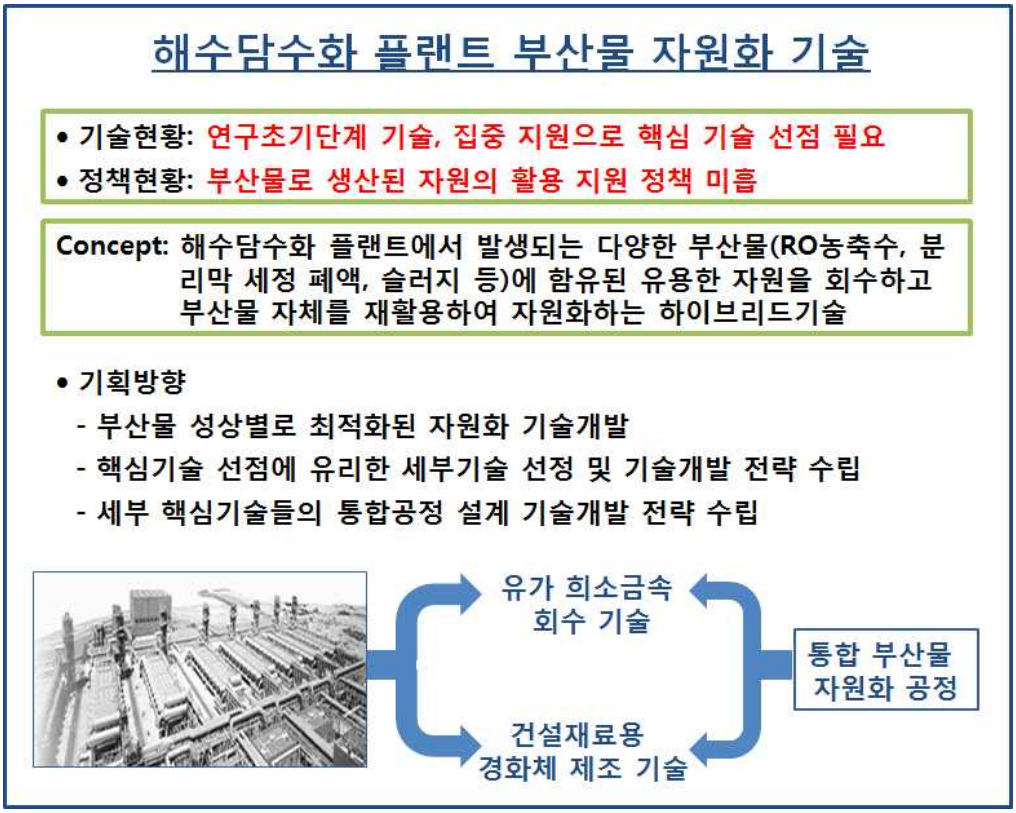
□ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술의 범위는 플랜트에서 발생되는 다양한 부산물(RO농축수, 분리막 세정 폐액, 슬러지 등)에 함유된 유용한 자원을 회수하거나 부산물 자체를 재활용하여 자원화하는 기술을 포함함

o 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 부산물을 자원화함으로써 기존 부산물 방류에 의한 환경오염 방지, 부산물 추가처리비용 절감, 재활용품 생산을 통한 신부가가치 창출 등의 다양한 이익을 얻을 수 있음

o 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화하는 기술은 선진국에서도 연구의 초기단계이므로 핵심기술을 선점하는데 유리한 기술 분야임

o 해수담수화플랜트 부산물의 성상별로 차별화된 자원화 기술 개발 전략을 수립하고 개별 기술들을 하나의 연속 공정으로 효과적으로 통합할 수 있는 설계 기술의 개발이 요구됨

o 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



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 처리문제**에 있음

□ 이에 따라, **2012년 1월 미국 오바마 정부는 해양 챌린지 사업 시행을 통해 해양환경의 중요성과 보호를 위한 계획을 발표**하였으며, 향후 이러한 사업을 바탕으로 **다양한 환경규제 및 개선 프로그램이 추진될 것으로 전망**됨

o 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 선제적 대응이 필요한 실정임

o 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨

o 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

o 전 세계적인 인구증가와 산업의 발달 및 오염의 확산으로 지표수 및 지하수에 의한 기존 용수의 공급은 심각한 위기를 맞을 것으로 예상됨

o 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

o 지구상에 존재하는 전체 물의 양은 약 13억 8,500만 km^3으로 추정되며, 이 중 97%를 해수가 차지하고 있음

o 해수의 담수화 기술은 해수를 활용하는 가장 적극적인 방법으로 생활용수 및 공업용수 부족으로 야기되는 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술

o 해수담수화기술을 통한 물 생산량은 1965년부터 지속적으로 성장. 현재 약 4,000만 톤/일을 초과하고 있으며, 앞으로도 연 평균 17%이상 성장할 것으로 예측되고 있음

o 해수담수화 기술은 미래의 국가 신 성장동력산업

o 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

o 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치

o 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는 대표적인 R&D과제로 여겨짐

o 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

o 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

o 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.

o 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.

o 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

o 역삼투 공정을 적용한 해수담수화 기술의 회수율은 현재 50% 수준으로 취수한 해수의 50%가 다시 농축되어 바다로 배출되고 있음

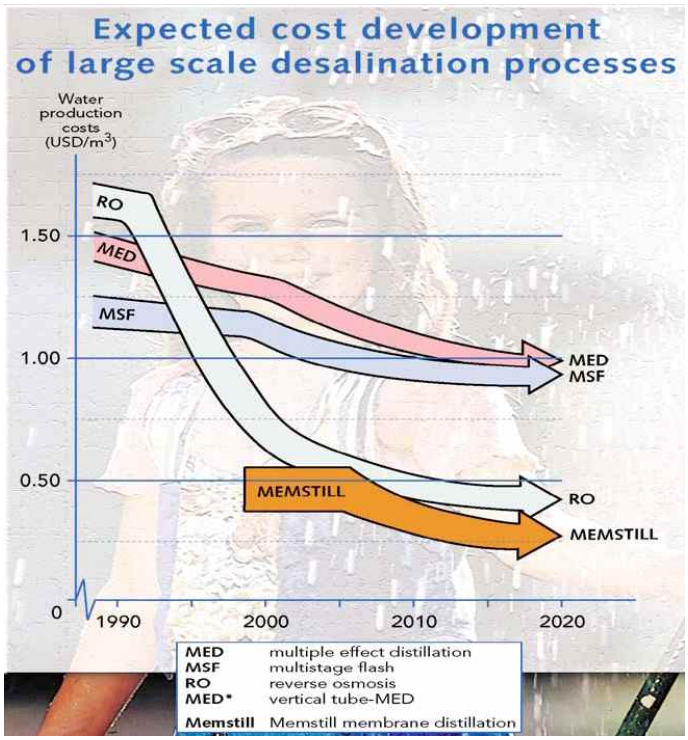
o 또한, 현재까지의 기술적 한계로 인하여 4 kWh/㎥의 에너지 소비를 나타내고 있어서 아직까지 고가의 담수비용이 소요되고 있음

o 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

o 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 꾸준하게 증가되고 있음

o 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

o 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

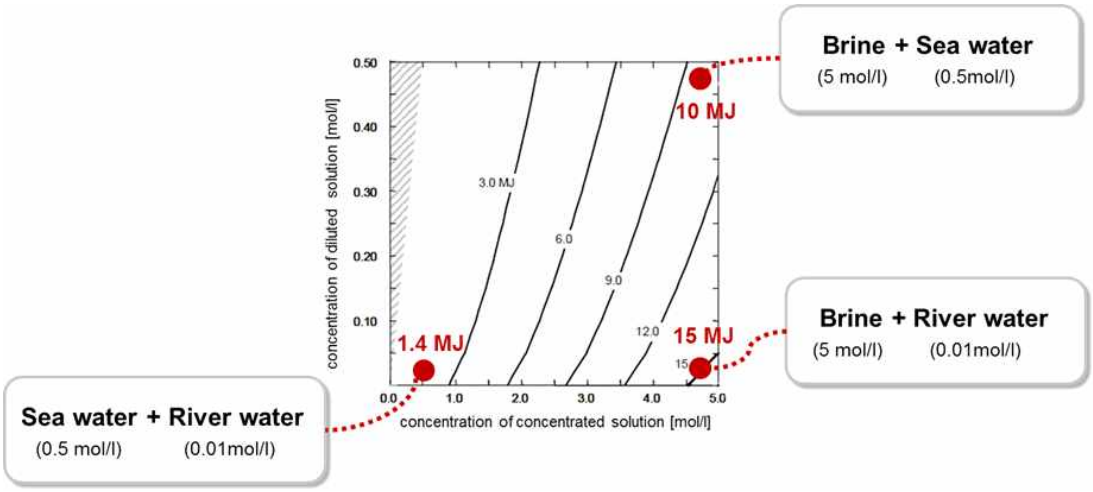
o 전 세계적으로, 온난화가 가속화됨에 따라 오존층 파괴, 해수면 상승, 이상기후현상 증가, 농작물재배가능지역의 북상현상 등 수많은 문제점이 대두됨

o 저염도의 담수가 고염도의 해수와 만날 때 발생하는 염도차 에너지의 잠재력은 현재 전세계의 전기 소요량의 80%를 담당할 수 있을 것으로 예측됨

o 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

o 염도차를 이용한 압력 회수 기술은 삼면이 바다인 국내의 지형적 환경에 매우 유리함

o $1m^3$의 해수(0.5mol/l NaCl)와 $1m^3$의 담수(0.01 mol/l NaCl) 사이에 발생하는 염도차 에너지는 약 1.4 MJ이고, $1m^3$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 MJ임



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

※ 출처: J. W. Post, 2009

□ 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

o 에너지 및 자원 위기에 대응하기 위해 산업 플랜트로부터 발생되는 부산물을 부산물이 아닌 자원으로 간주하고 이를 활용하여 에너지나 재활용품을 생산하려는 기술 개발 시도가 전 세계적으로 이루어지고 있음

o 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물, 예를 들어 RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등의 방류는 이차적인 환경오염을 유발하며 따라서 이를 처리하기 위해 추가적인 처리 비용이 요구됨

o 해수담수화플랜트로부터 발생하는 부산물을 자원화함으로써 오염물질 무배출 공정을 실현하고, 추가적으로 부가가치를 창출하여 플랜트의 경제성을 향상시킬 필요가 있음

o 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

o 핵심요소기술 개발뿐만 아니라 실용화 가능한 핵심기술의 조기 상용화 및 이를 체계적으로 조합한 공정기술을 통해 수출 동력을 유발할 수 있는 연구

o 산업 환경 분석을 통해 발전전략을 수립하고 기술개발과제를 도출

o 관련 연구기관 및 기업을 육성하고 가시적 성과를 창출할 수 있는 기반구축 및 역량강화

□ 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 부산물을 활용하여 유가 자원을 생산하는 핵심 기술 확보

o 신부가가가치 창출을 통한 해수담수화 플랜트의 경제성 제고

o 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

o 세계 담수화플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보를 유도

o 세계 물 산업시장 선도 및 국가 경쟁력을 강화할 수 있는 기술 개발

제 3 장 국내외 동향 및 환경분석

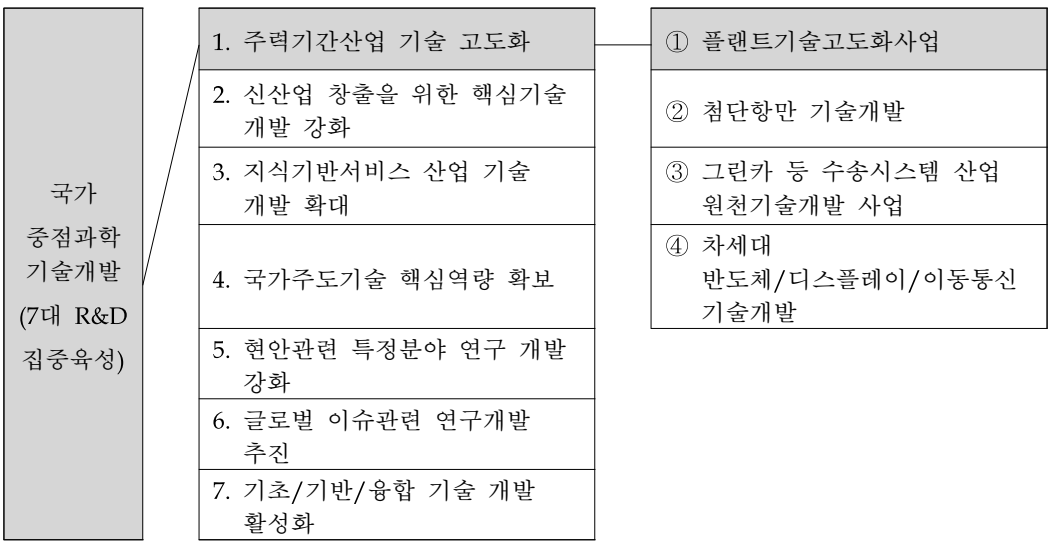
제 1 절 국내외 정책 및 연구

1. 국내 정책동향

□ 과학기술기본계획(2008. 8)

o 정부의 총 R&D 투자비율을 GDP 대비 5% 확대와 동시에 7대 중점분야, 50대 중점육성기술, 40개 중점후보육성기술을 분류 지원

o 해수담수화플랜트 관련 기술은 7대 중점분야의 주력기간산업 기술고도화에 포함



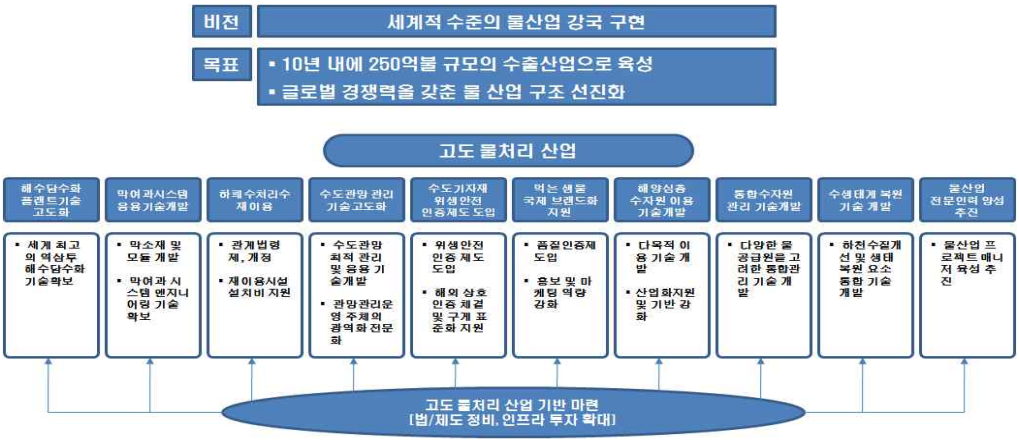
[그림 2-1] 제 2차 과학기술기본계획 내 해수담수화플랜트의 위치

□ 녹색기술 연구개발 종합대책(2009. 1)

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

□ 신성장동력 비전 및 발전 전략('09. 1)

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



[그림 2-2] 신성장동력 비전 및 발전전략(고도물처리)

□ 수자원 장기종합계획('06.6)

o 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

o 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

o NEWater 프로젝트는 선진화된 막여과 기술(전처리공정-초미세 여과-역삼투압-자외선 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

o 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 시생된 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

o 과학기술부처에서 주도적으로 MD공정을 적용한 10 m^3/d demonstration plant를 2010까지 운전하였음

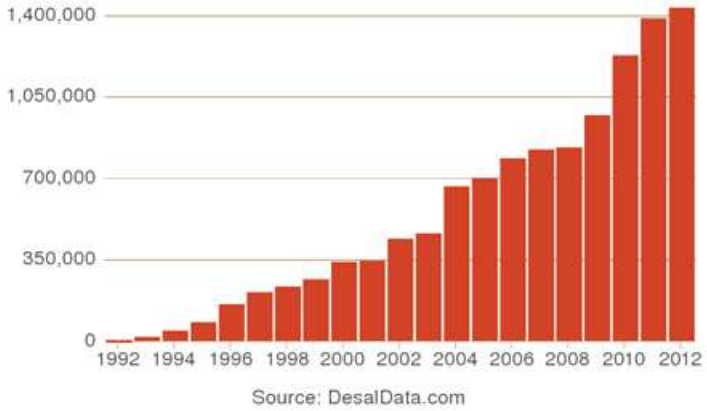
o FO에 대해서는 membrane 막과 draw solute에 대한 연구를 시행중임

제 2 절 국내외 시장현황 및 전망

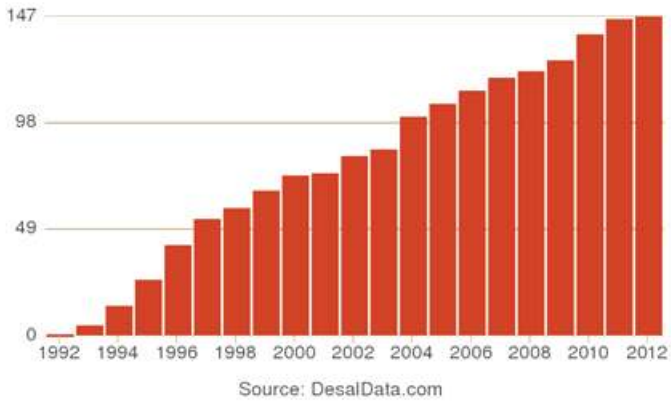
1. 국내 시장현황 및 전망

□ 국내에 가동 중인 해수담수화 시설은 도서지역 식수 해결을 위한 100 m^3/일 미만의 소규모 시설이 약 83 %로 대부분을 차지하고 있으며, 도서지역 생활용수 공급을 위한 총 시설 규모는 6,333 m^3/일 임

□ 석유화학단지에서 공업용수로 이용하기 위해 기수용 담수화 시설이 사용되고 있으며, 현대석유화학 외 7개사에서 총 137,420m^3/일 규모로 운영하고 있음



[그림 2-3] 국내 해수담수화 누적 용량



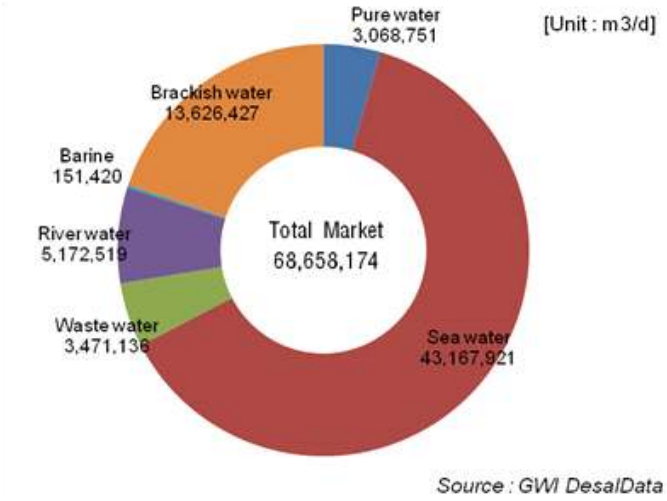
[그림 2-4] 국내 누적 해수담수화 플랜트 시설

□ 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 m^3/일, 그 중 해수담수화 시장의 규모는 43,167,921 m^3/일로 전체 담수화 시장의 약 63%인 거대 시장

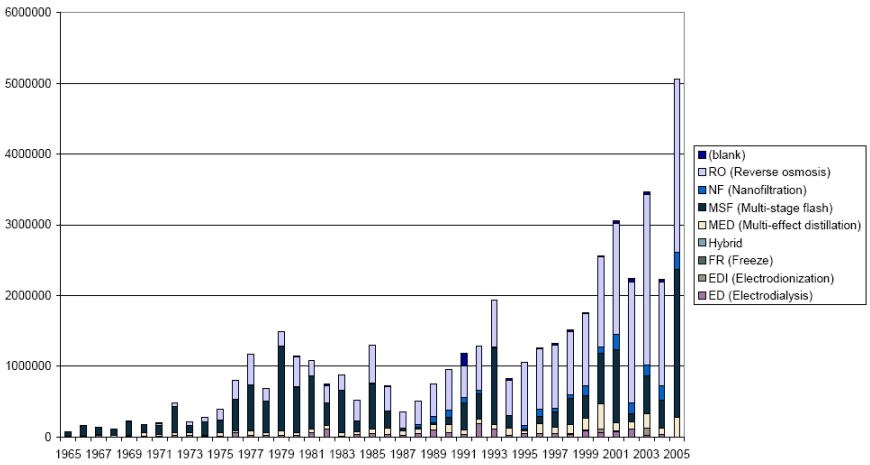


[그림 2-5] 해수담수화 시장 규모

□ 1995년 이전에는 역삼투법보다 증발법의 비중이 컸으나, 1995년 이후 부터는 역삼투법의 성장속도가 빨라짐

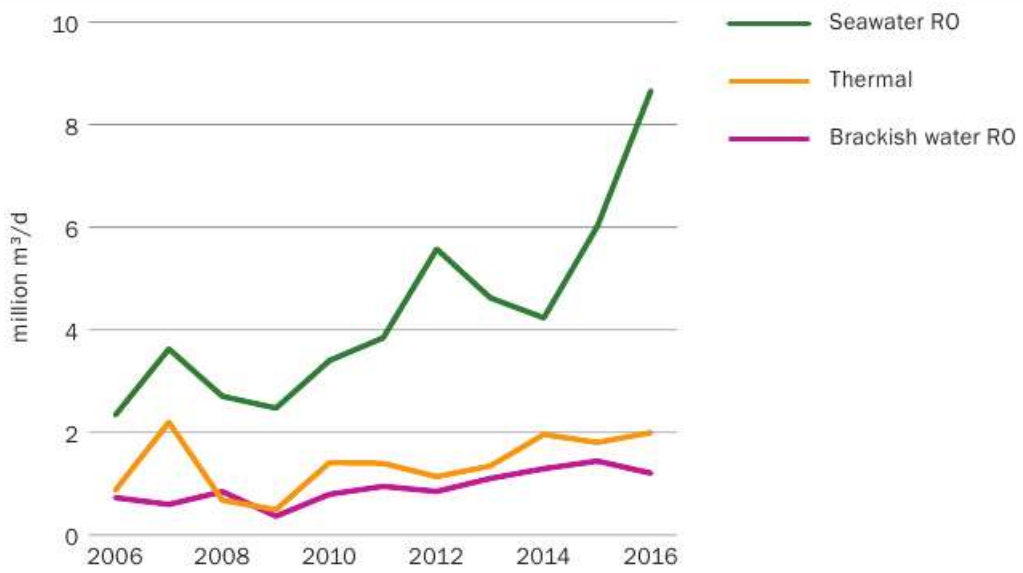
o 2005년에는 역삼투 해수담수화(Seawater Reverse Osmosis (SWRO)) 45 %, 증발법 32%(MSF 25 % + MED 7 %)에 이르러 SWRO를 중심으로 시장이 재편되었음

o 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)

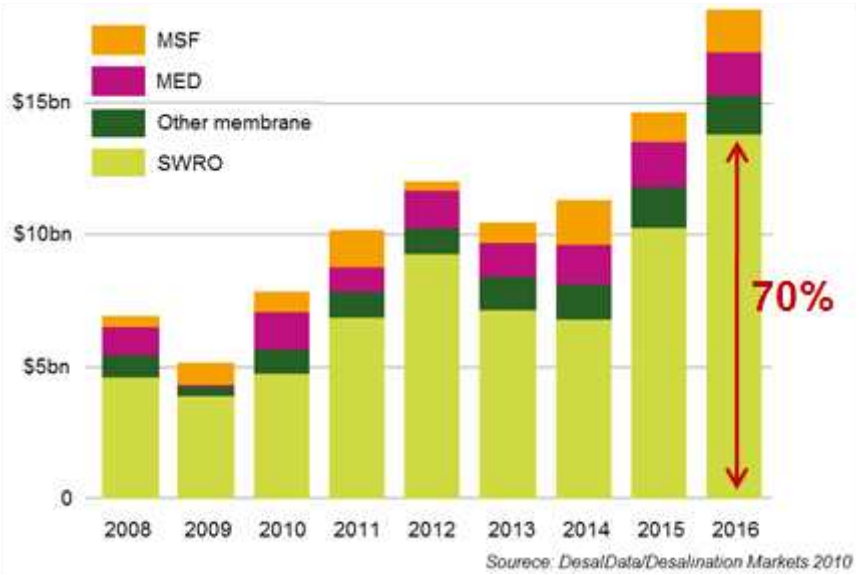
※ 출처 : 해수담수화플랜트 사업단 상세기획연구



[그림 2-7] 해수담수화 방식별 발주량 예측

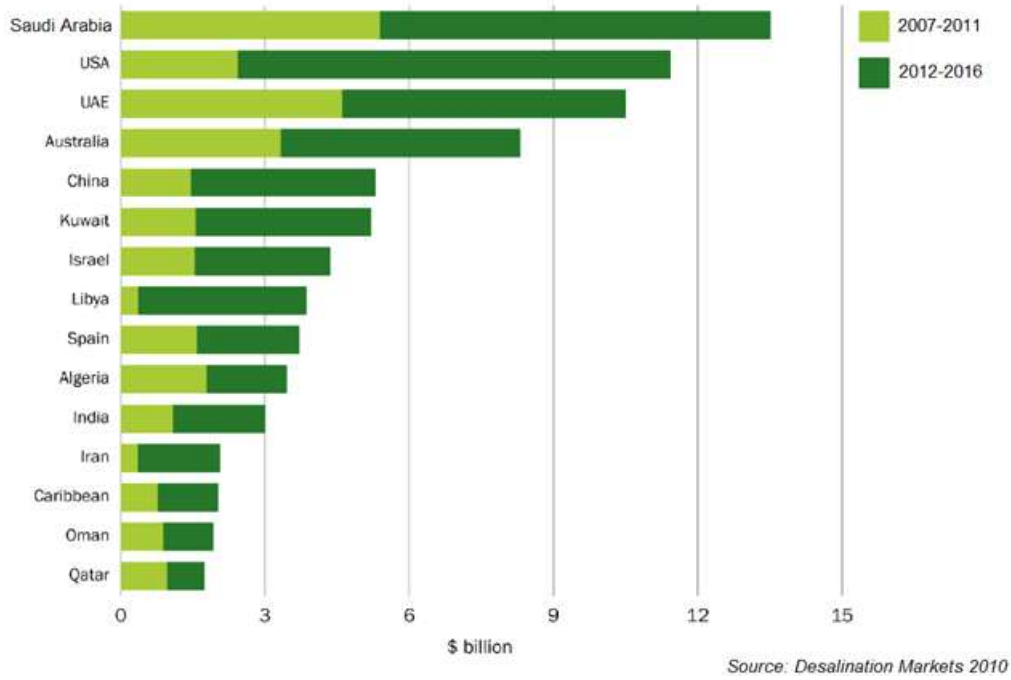
※ 출처 : GWI Desal Data

□ 이와 같은 공정별 수주량의 변화 및 발주량의 예측결과는 시장규모에도 그대로 반영되어 2010년 GWI 시장전망자료에 따르면, SWRO방식의 시장은 년평균 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%

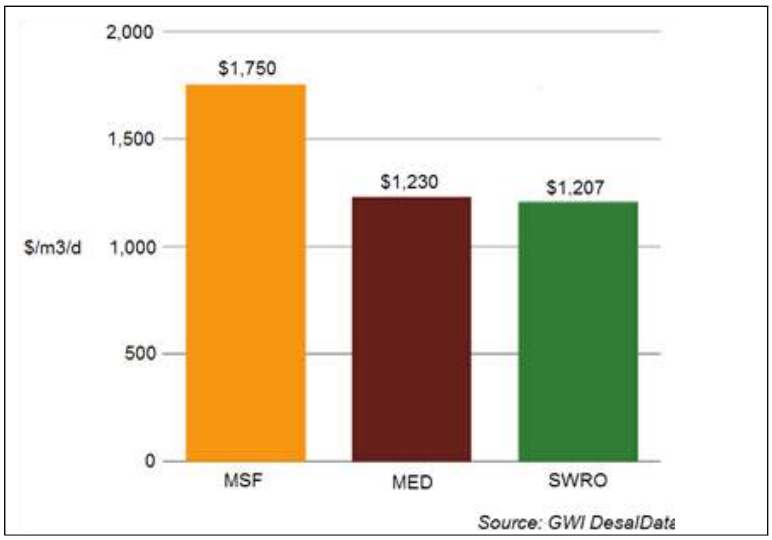
[그림 2-9] 국가별 해수담수화 시장규모 및 전망

3. 시사점

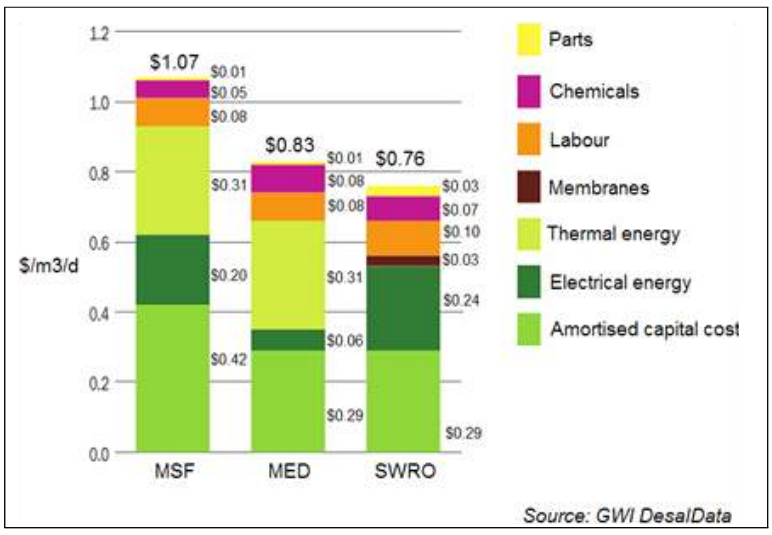
가. RO방식의 해수담수화 플랜트의 강점과 향후 발전 방향

□ 해수담수화플랜트시장이 RO방식을 중심으로 시장이 재편되는 주요한 이유는 경제적인 이유임

o 현재 해수담수화 시장의 주요기술인 MSF, MED, RO방식의 EPC 가격 및 운영비용은 비교하면, RO방식의 EPC 가격 운영비용은 각각 1,207 $/m^3/일, 0.76 $/m^3/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

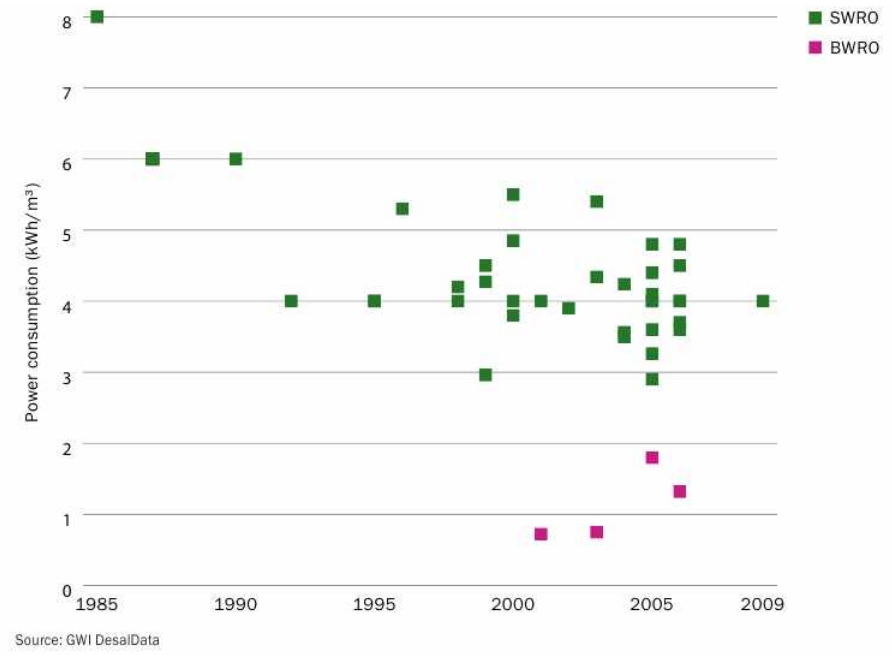
□ RO방식의 해수담수화는 지금까지는 기술개발에 의해 물 생산단가는 지속적으로 감소하였지만 그 감소폭은 점점 감소하고 있어 RO공정의 효율 향상만으로는 그 한계가 있는 것으로 전망됨

o 이는 RO공정 플랜트에서 유지/운영비의 50%정도를 차지하고 있는 에너지비용에서 기인하는 문제로, SWRO의 전력소요량이 1995년 이후 3~5 kWh/m^3으로 1985년 대비 50% 이상 급격한 감소를 이루었으나 현재는 감소폭이 현저하게 줄어들었음

o 따라서, 향후 해수담수화플랜트 기술개발에 있어서는 소비 전력비용 절감이 가장 큰 이슈 로 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

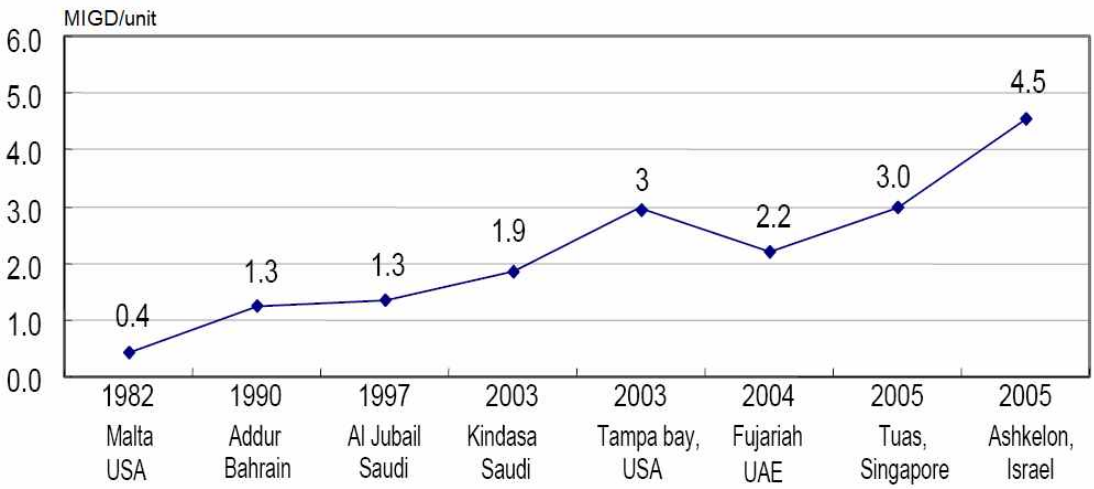
□ RO방식의 해수담수화 프로젝트의 발주 실적을 살펴보면, 50,000 m^3/일 이상 급의 대형위주의 플랜트 방식으로 전환되었으며, RO방식의 해수담수화 시장의 높은 성장률은 대부분 50,000 m^3/일 이상의 대형 플랜트 중심으로 이루어졌음

o 이는 Unit Capacity를 대형화함으로써 전력 소모량을 감소시켜 전체 운전비용을 저감시킬 수 있었기 때문임

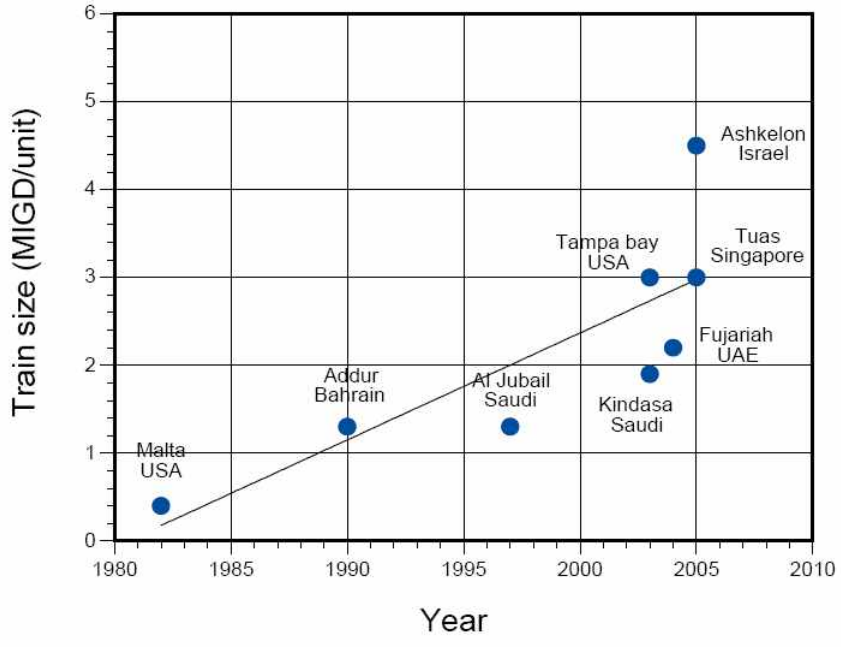
o 현재 전 세계 RO해수담수화 선두업체에서는 Unit size가 3~3.3 MIGD (Million Imperial Gallons per Day) 기술을 보유한 기업이 주도하고 있으며, 국내 선두업체인 두산중공업은 현재 3.3 MIGD까지 설계 능력은 있으나, 플랜트에서 입증되지는 않은 상태임

o 2006년 비올리아에서 공급한 Israel Ashkelon 프로젝트는 4.5 MIGD급으로 진행되었으며, 전체 프로젝트 규모가 73 MIGD에 이르고 있음

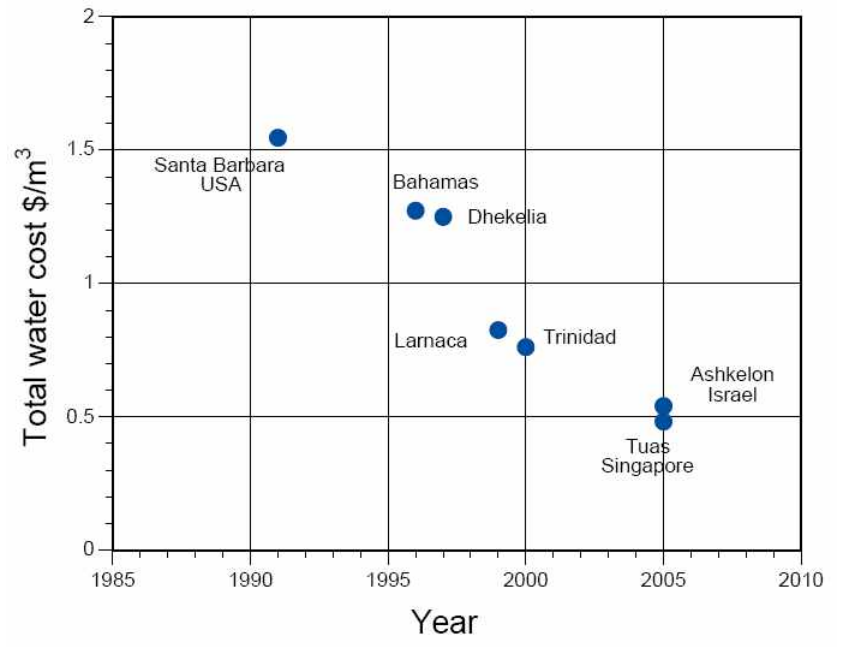
o Unit capacity는 시장점유율과 직접적인 연관이 있어 10 MIGD이상 RO프로젝트 수행업체는 전 세계적으로 24개가 존재하며, 이중 Top 5 업체가 시장의 70 %를 점유함



[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$	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

o 국내업체 중에서 해수담수화 시장에 진입한 기업은 메이저 업체로는 두산중공업과 현대중공업이 대표적이며, 그 밖의 기업은 지역적 소규모 시장이나 혹은 시장진입을 목표로 함

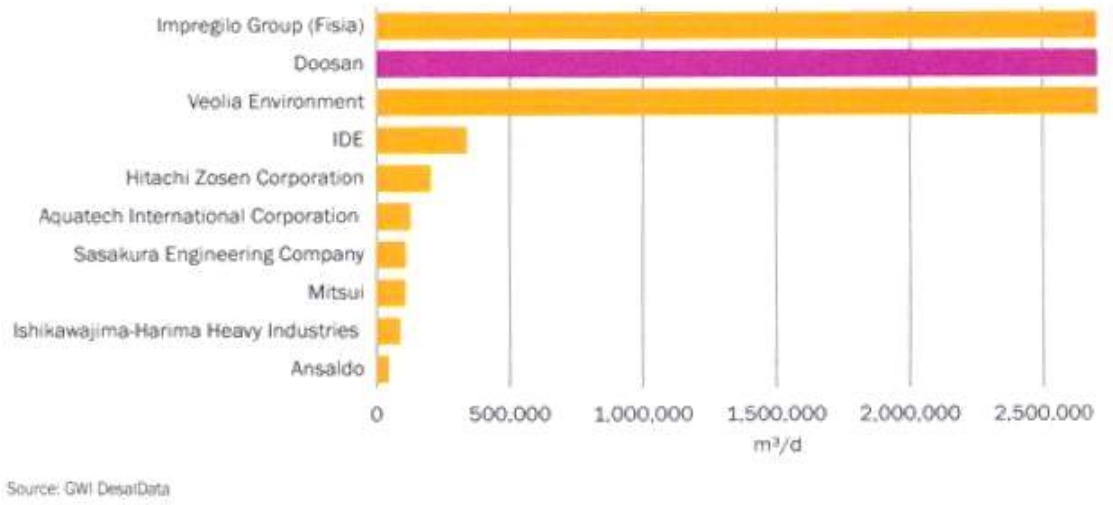
o 2009년 현재 수주물량이 발생한 EPC업체로는 두산중공업이 유일한 것으로 조사되며, 현대중공업의 경우 증발식에 있어 일부 건설부분을 진행

o 증발식에 있어 두산중공업은 세계적인 기업으로 성장하여 세계시장에서 3강에 속하고 있으나, 중동시장에 치우친 시장성과 지속적인 RO중심으로의 시장재편으로

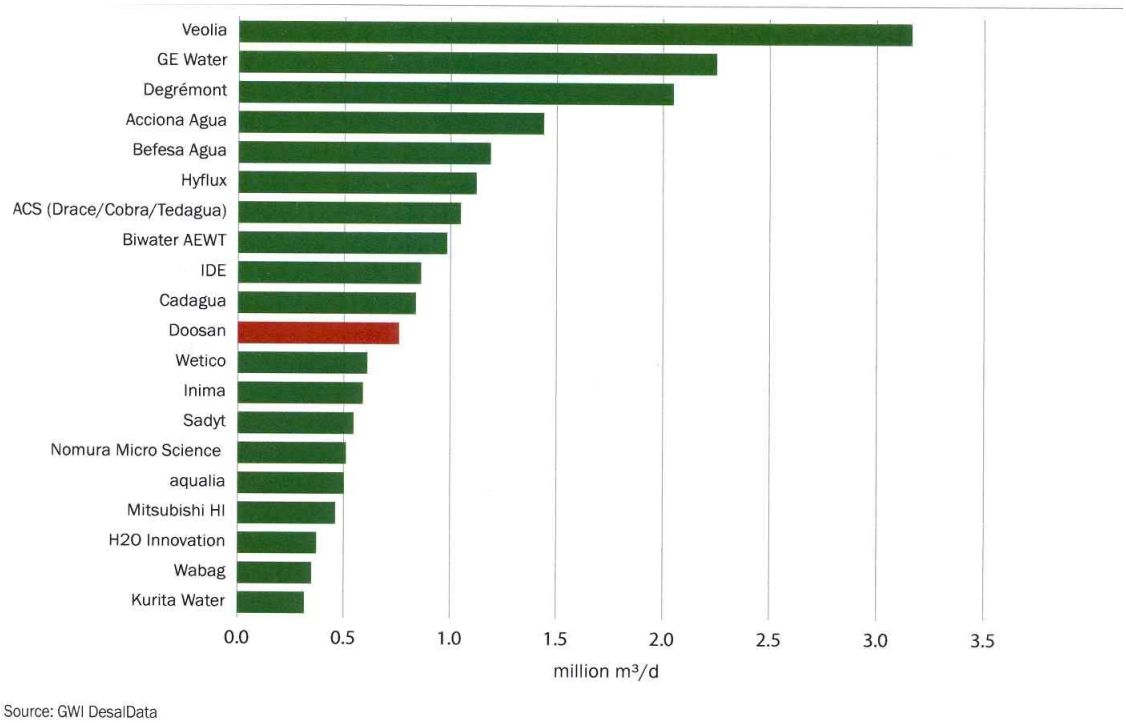
인하여 향후 세계시장에서의 위치를 유지하는데 있어 어려움이 있을 것으로 예상됨

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



(a) 증발법에 있어 두산중공업의 수주량 비교 (2000~2009)



(b) RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000~2009)

[그림 2-16] 해수담수화 방식별 세계 주요업체의 수주량

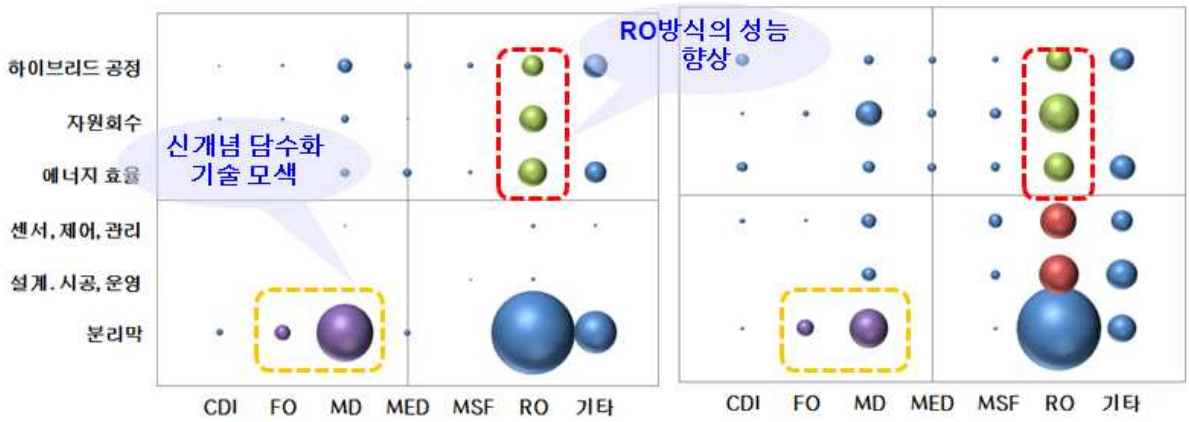
제 3 절 기술동향분석

1. 기술동향분석

□ 논문 및 특허의 기술방식에 따른 분석과 기술분야에 따른 분석결과를 합쳐서 살펴보면, 현재 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야는 RO방식에 사용되는 분리막, MD와 FO를 중심으로 하는 새로운 담수화 기술에 대한 연구와 RO방식의 성능 향상(효율향상, 전력원의 다양화 및 재이용)을 위한 연구가 새로운 트랜드로 나타나고 있음

o 이러한 트랜드는 현재 시장에서 요구되고 있는 농축수 저감 및 에너지 관련 문제에 대처하기 위한 방안으로써 제시되는 것으로 분석됨

o 향후 담수화플랜트기술 및 시장은 RO방식과 신기술이 융합된 형태를 중심으로의 재편이 가속화할 것으로 전망됨



[그림 2-17] 기술분야별 논문 및 특허 포트폴리오 분석

나. 막 증발법 (Membrane distillation, MD)

□ 프라운호퍼 태양열 에너지 시스템 연구소

o 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

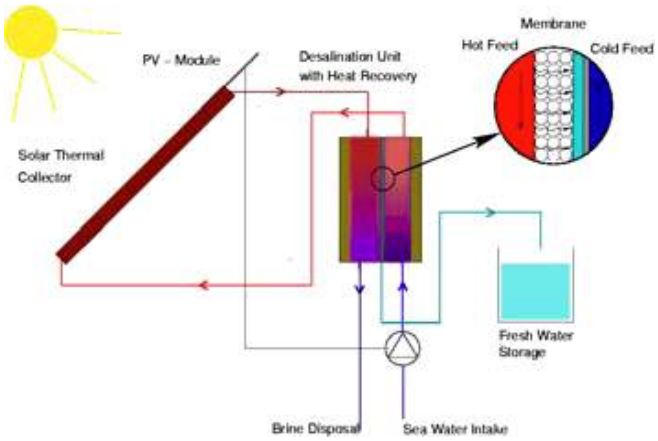
o 유럽연합이 지원하는 두 개의 프로젝트를 통해서 개발된 컴팩트 설비는 바닷물이나 기수(brackish water)로부터 일일 12~15 L의 식수를 생산할 수 있음

o 본 시스템은 6 ㎡의 태양열 집열기(thermal solar collectors), 펌프에 전력을 공급할 수 있게 해 주는 작은 태양광모듈(photovoltaic module)과 담수화 모듈(desalination module)로 구성되어 있음

o 프라운호퍼 연구소의 연구진은 여러 개의 담수화 모듈이 연결되는 쌍대회로 시스템(dual-circuit system)을 고안. 이 시스템은 성능 면에서도 뛰어나서, 일일 수 ㎥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



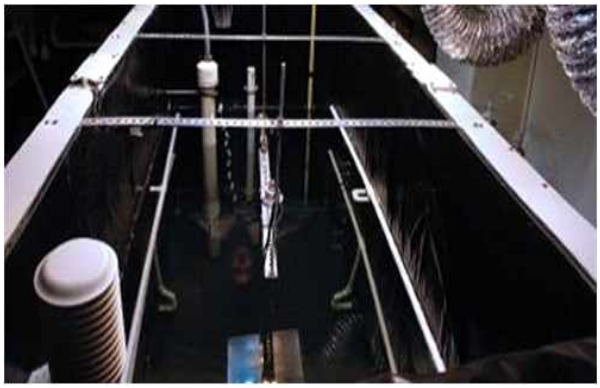
[그림 2-19] ISE의 Solar-MD 공정도

□ University of Nevada

o 미국 네바다대학에서는 물을 담수화하기 위해 막 증발법과 특성화된 저 비용 태양연못(solar pond)을 접목한 하이브리드 membrane distillation 시스템을 구축

o 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

o 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 중공사 막 모듈은 2,448 또는 2,652개의 중공사를 가지고 있으며 0.61~0.66 m^2의 표면적을 가지고 있으며, 플랜트 성능의 연구를 위해 다양한 형태로 조합 시험됨

o 최대 water vapor flux는 계열 중 2개의 모듈에서 55 kg/㎡/h를 보였고, 6-10 모듈로 구성을 하였을 때 15-33 kg/㎡/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

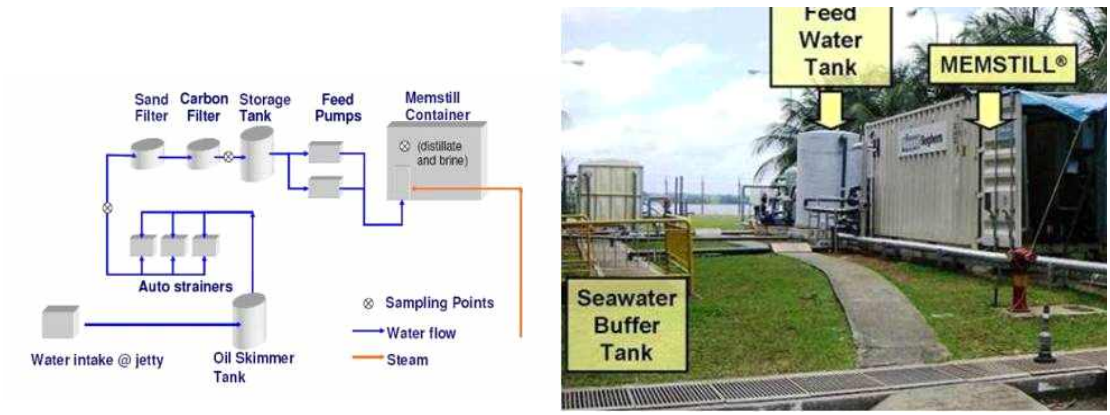
□ MEMSTILL® Pilot Plant

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 ㎡의 평막을 이용하여 2 ㎥/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 /m³) ***(cost in €/GJ)***	231 ***(2.00)***	231 ***(0.80)***	139 ***(0.80)***	231 ***(0.10)***		
Electricity (kWh /m³)	0.75	0.75	0.75	0.75	2.5	4.5
Heat cost (€ /m³)	0.46	0.19	0.11	0.02		
Electricity cost, 0.07 /kWh (€ /m³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18	0.32
Fixed costs						
Hardware (excl. membranes) (€ per m³-day)	***165***		***165***		***750***	***1000***
Modules/elements (€ per m³-day)	214		233		35	49
Hardware cost (€ /m³)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23	0.30
Module cost (€ /m³)	0.11	0.11	0.12	0.12	0.02	0.03
Auxilary: (€/ / m³) 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***

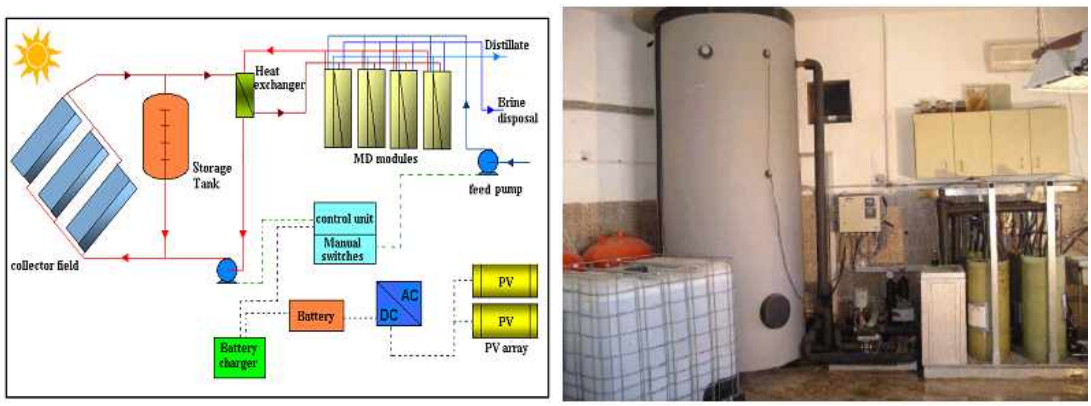
[그림 2-23] MEMSTILL® 담수생산 단가 비교

□ Autonomous membrane distillation pilot plant

o [개요] SMADES EC가 후원하는 프로젝트를 통해 태양열 MD units가 요르단의 Aqaba city에 Fraunhofer Institute에 의해 설치됨

o [장치 구성] 3개의 subsystem으로 구성됨(solar collector field, heat exchanger, membrane distillation module)

- Feed : Red sea의 실제 해수로 전처리 과정 없이 사용

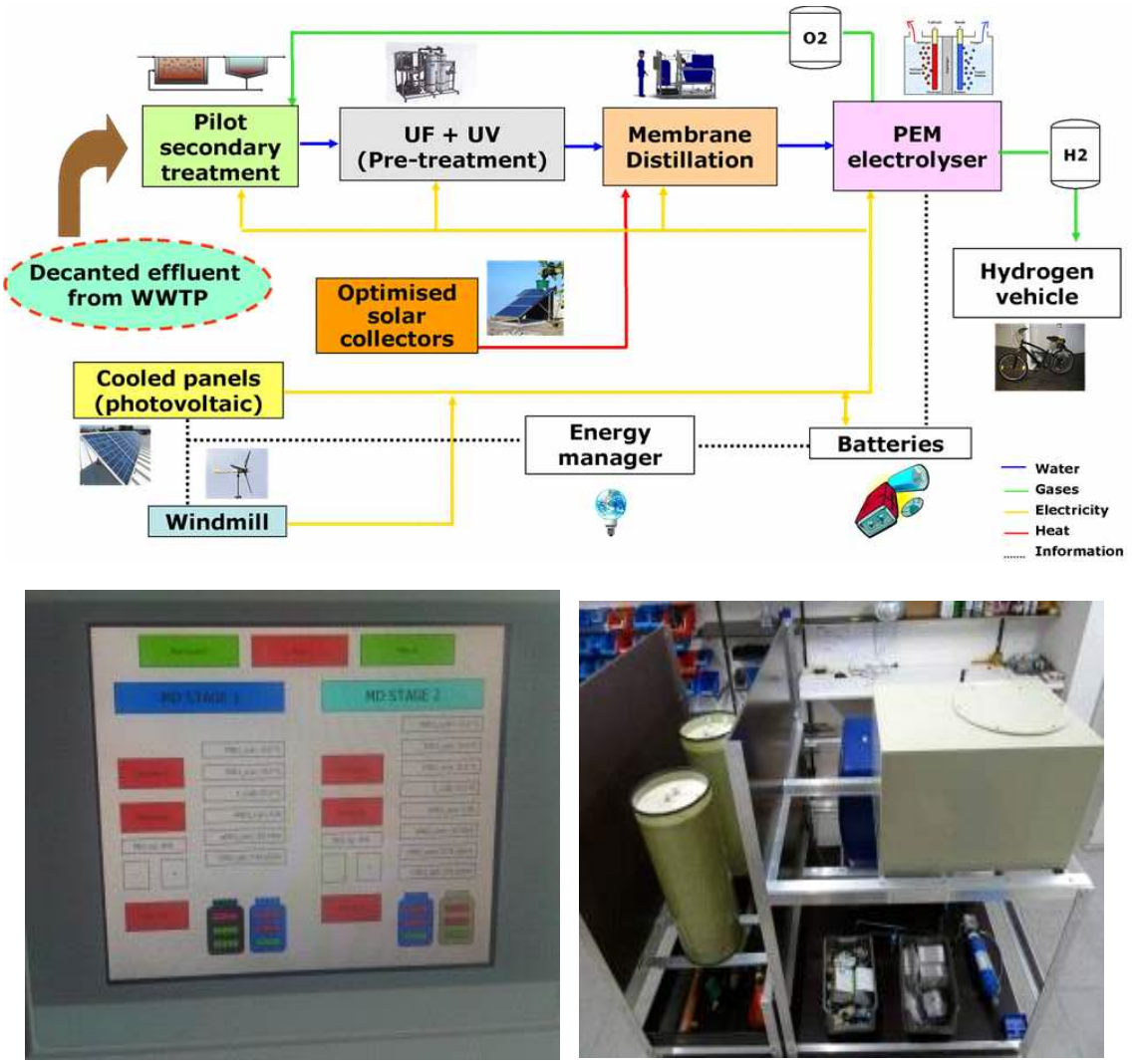


[그림 2-24] Automomous Pilot Plant 공정도 및 사진

□ GREENLYSIS project

o Greenlysis의 설립 이유

- 유럽연합(European Union, EU)은 계속해서 지구온난화과 에너지 고갈에 대한 문제를 강조하고 있으며, 이런 이유로 EU는 2020년까지 온실가스(greenhouse gases, GHG)를 1990대비 20%감소시키고 유럽 전체 에너지 소비의 20%를 대체에너지(renewable energy)로 대체하기로 협의함
- GREENLYSIS project는 WWTP 관련 연구로 이런 협의를 반영하는 연구의 첫발을 내딛고 있음
- WWTP는 wastewater treatment plants의 약자로 에너지 효율을 증가시키는 잠재성을 가지고 있을 뿐 아니라 교통수단의 대체연료로 사용가능한 수소를 생산할 수 있으며 대체에너지 생산가능성을 가지고 있음

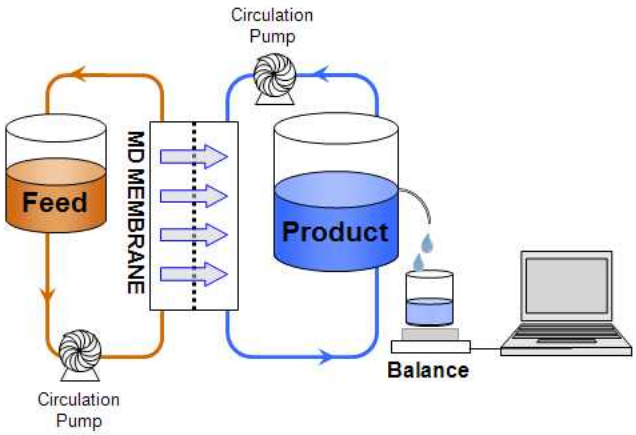


[그림 2-25] Greenlysys 공정도 및 장치 사진

□ 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

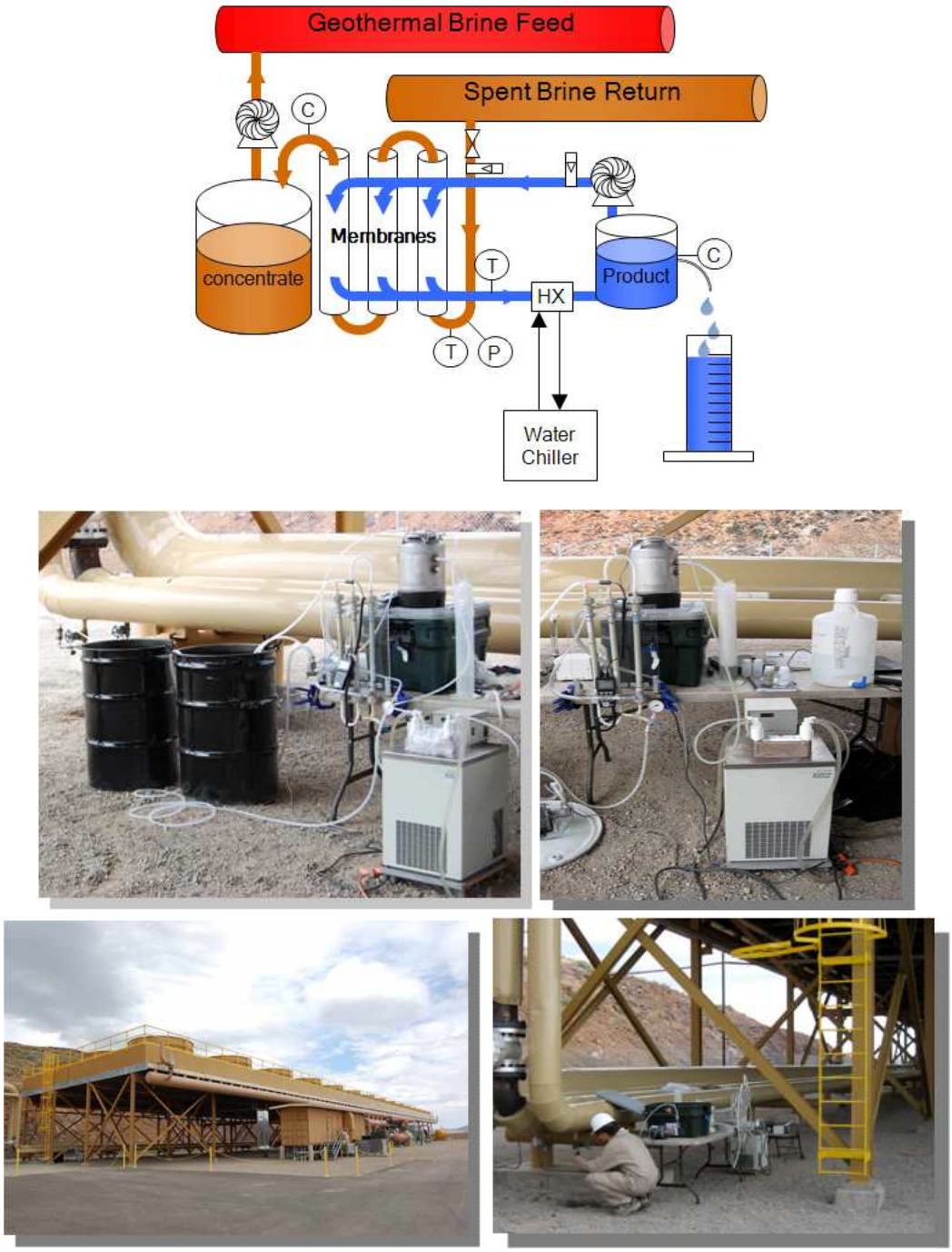




[그림 2-26] Bench Scale 장치

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

다. 압력지연삼투 (Pressure retarded osmosis, PRO)

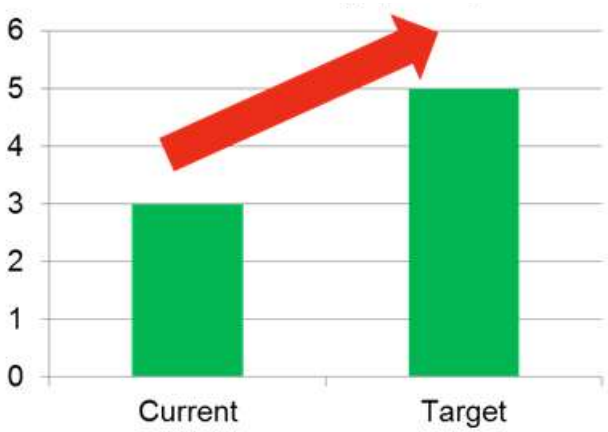
□ 압력지연삼투(PRO)의 경우 미국, 유럽, 싱가포르 등지에서 막의 제조 및 막의 성능 평가가 이루어지고 있으나, 정삼투 막 제조에 중점을 두고 만들기 때문에 압력지연 삼투공정의 전용막이라고하기에는 역부족이며 또한, 막을 위주로 연구가 진행됨에 따라 전체 공정에서의 성능평가가 이루어지지는 못하고 있는 실정임

□ 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^2이며, 경제성을 확보하기 위한 목표치는 5 W/m^2임



[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

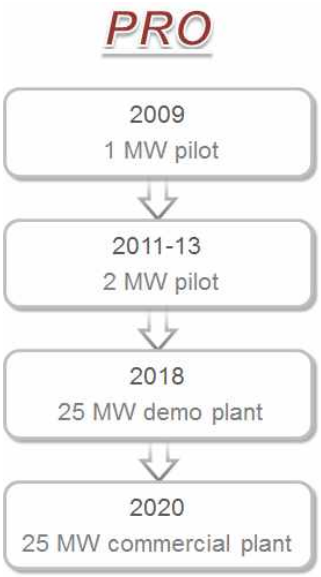
o 2009년: 최초의 프로토타입 플랜트 건설

o 2011-13년: 2 MW 파일럿 플랜트 건설예정, 막 면적 200,000-400,000m^2

o 2018년: 25 MW 데모 플랜트 건설예정, 막 면적 5,000,000m^2

o 2020년: 25 MW 상업 플랜트 건설예정, 막 면적 5,000,000m^2

o 2030년: 전 세계에 약 30개의 플랜트 건설 목표



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

라. 해수담수화 플랜트 부산물 자원화

□ [국내] 기존 해수담수화 플랜트 사업단에서 일부 기술 개발에 관한 연구가 매우 제한적으로 진행되고 있음

o 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

o 미국의 MWH사와 Sandia National Lab에서 2006년부터 현재까지 해수담수화 플랜트로부터 발생하는 RO농축수로부터 유가금속, 산염기, 인, 염소 등의 자원을 회수하는 기술 개발 연구를 다양하게 수행하고 있음

o 호주에서는 2009년부터 운영된 Gold coast 해수담수화 플랜트에서 발생되는 부산물을 활용하여 경화체(벽돌 등)를 제조하는 기술 개발 연구가 진행되고 있음

2. 특허분석

가. 해수담수화 관련 특허 동향

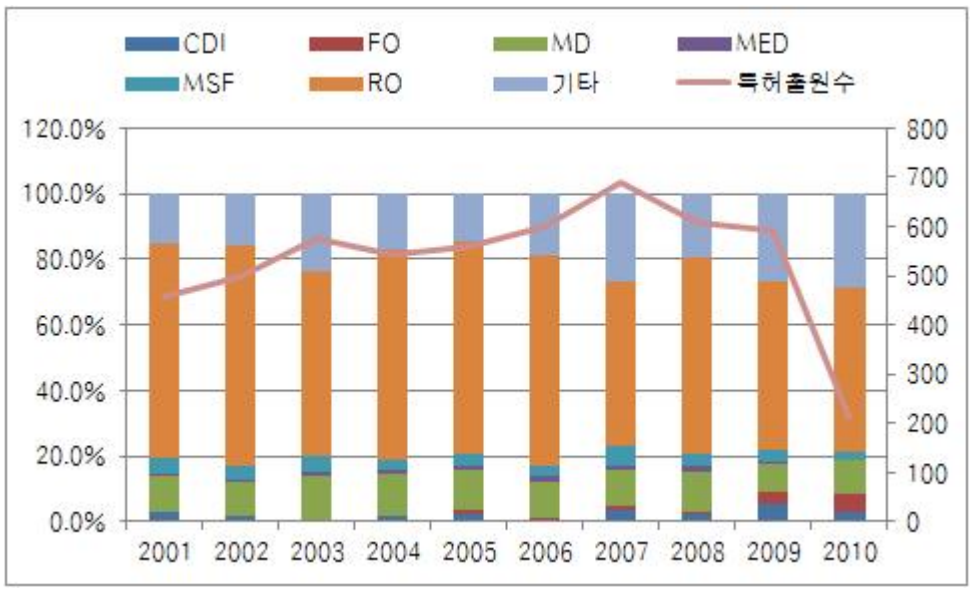
□ 등록된 특허 데이터베이스를 이용하여 2001년 이후 10년간 공개된 특허의 제목과 초록을 대상으로 검색

<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

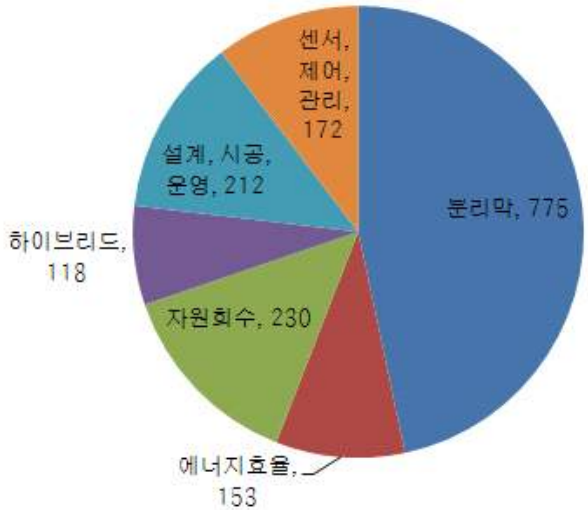
□ 최근 10년간의 특허 분석 결과를 살펴보면, 전반적으로 특허의 수가 증가하고 있는 추세

o 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

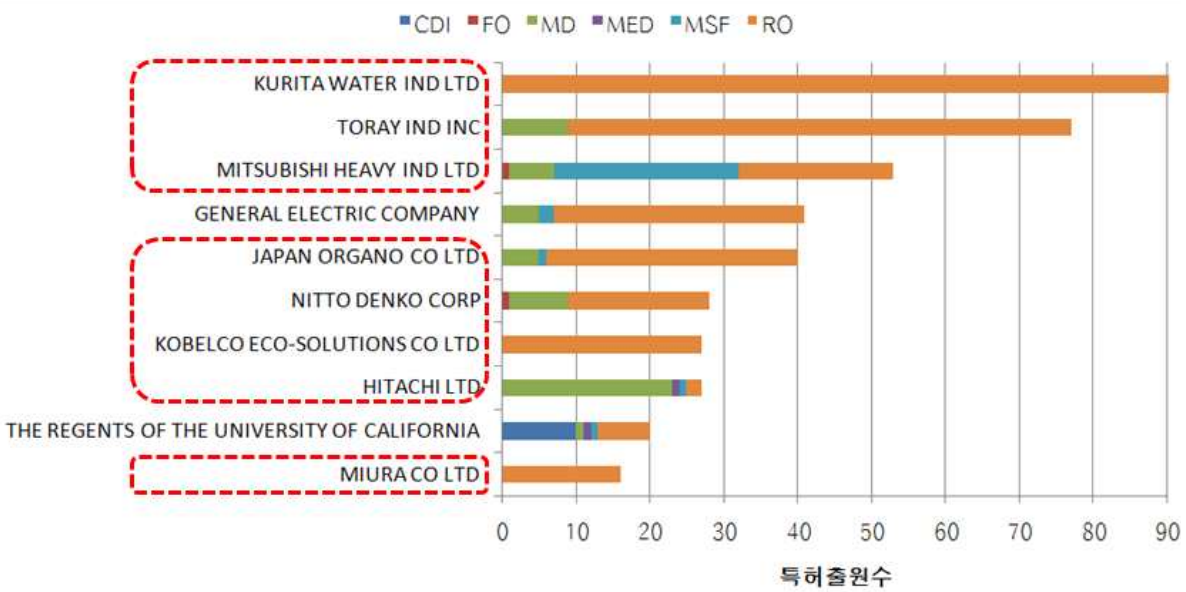
□ 최근 10년간 발표된 특허의 분야를 살펴보면, 분리막 관련 특허가 775건으로 전체의 46.7%를 차지하고 있으며, 자원회수, 설계·시공·운영, 센서·제어·관리 분야가 각각 13.9%, 12.8%, 10.4%로 그 뒤를 따르고 있음



[그림 2-32] 기술분야별 담수화플랜트 관련 특허 동향

□ 기관별 특허 출원 동향을 살펴보면, 전체적으로 일본 소재기업에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남

o 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

o 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

o 년도별 특허 출원 추이

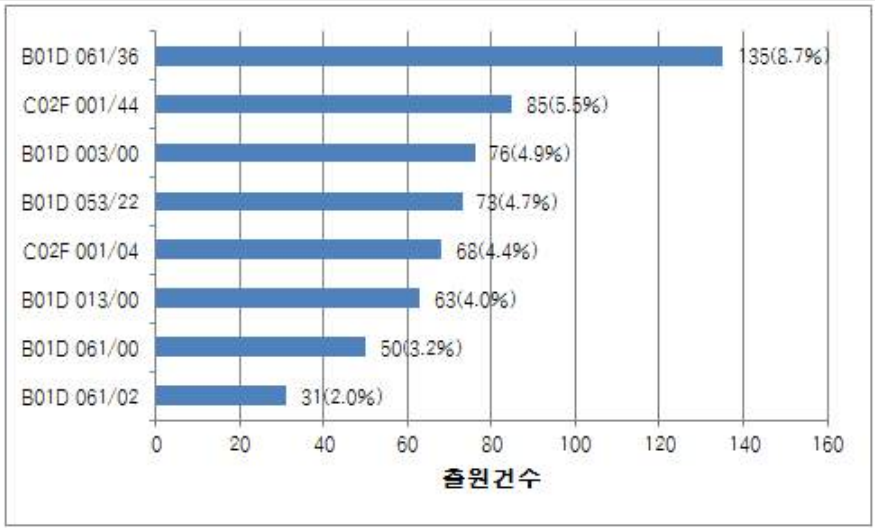
- 2010년까지 막 증발법(MD, Membrane Distillation) 및 막 결정법(MCr, Memebrane Crystallization)과 관련된 특허는 총 1,557건이 출원되고 있음
- 1999년까지 출원된 특허는 473건이며, 이후 1,087건으로 2000년대 급격히 성장하는 발전기에 있음. 2005년 이후는 특허가 감소하는 경향을 보이나 MD 기술개발의 패러다임이 실험실 규모에서 파일럿/현장 규모로 확장되는 과도기로 인한 것으로 판단됨.
- 출원된 1,557건의 특허 중 등록된 특허는 총 442건으로 등록율은 28.4%임



[그림 2-34] 년도별 특허 출원현황

o 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(Liguid 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)

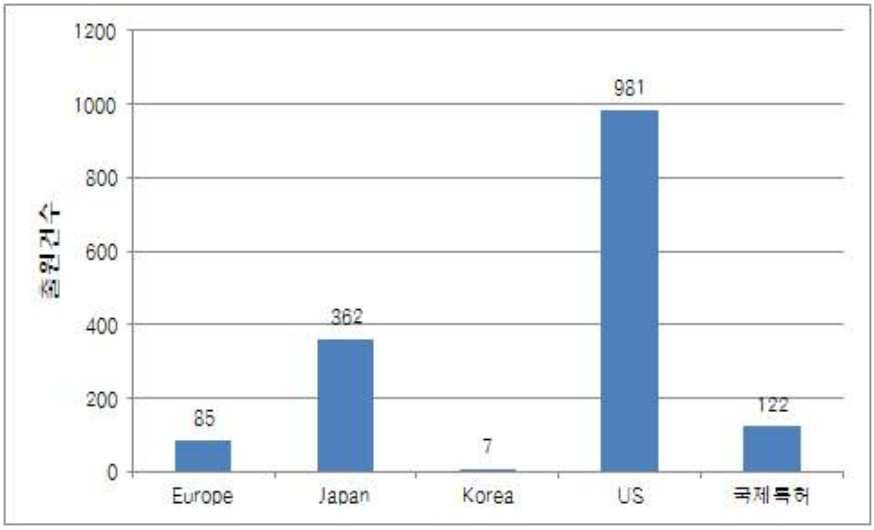
[그림 2-35] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

o 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

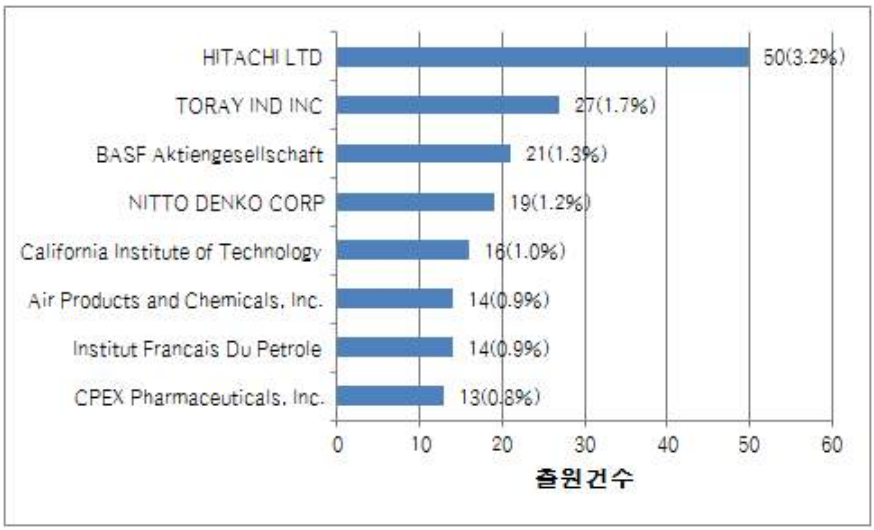


[그림 2-36] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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

o 년도별 특허 출원 추이

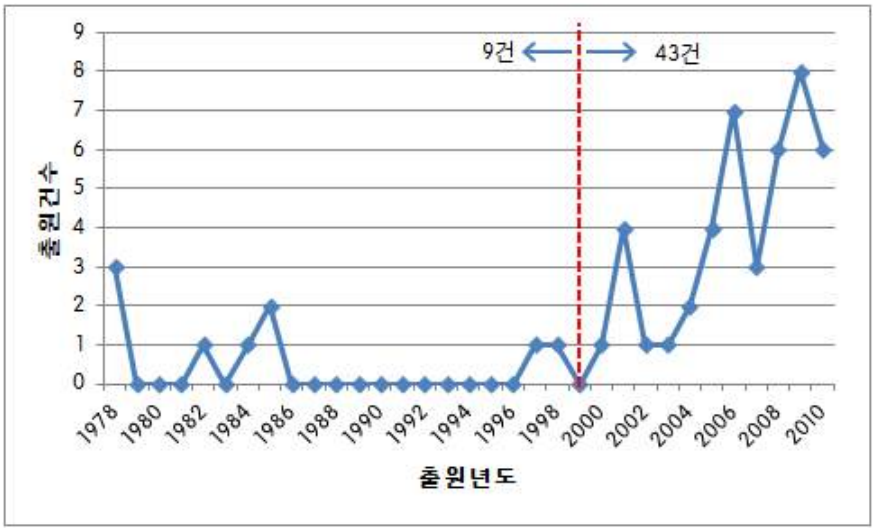
- 2010년까지 압력지연삼투(PRO, Pressure Retarded Osmosis)와 관련된 특허는 총 52건이 출원되고 있음

※ 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

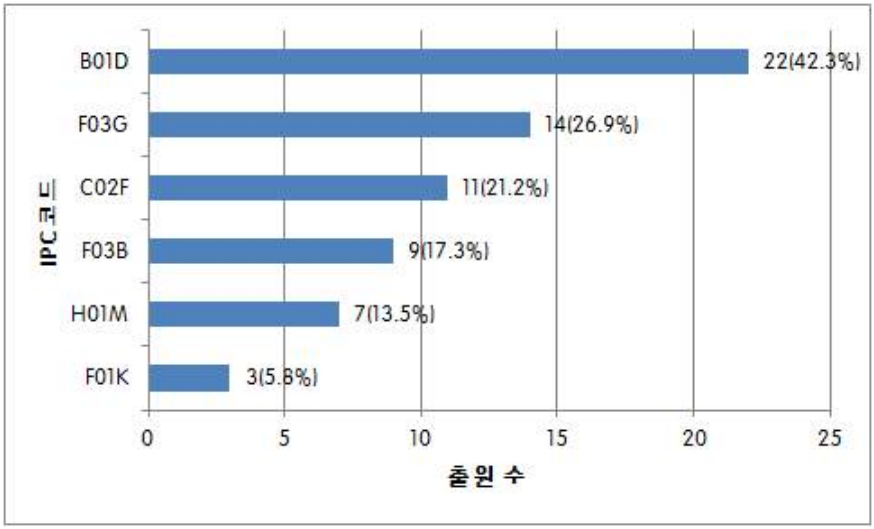


[그림 2-38] 년도별 특허 출원현황

o 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 에너지원을 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

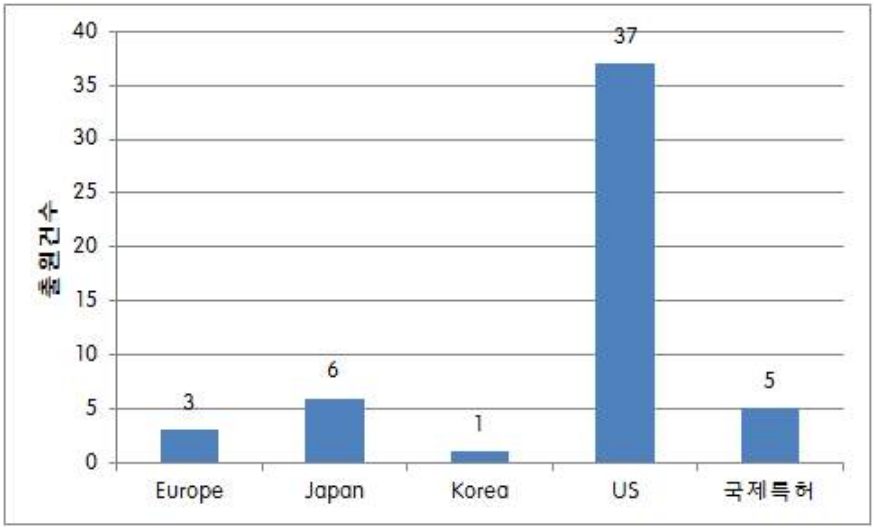
[그림 2-39] IPC코드에 따른 기술분류별 특허출원 현황

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

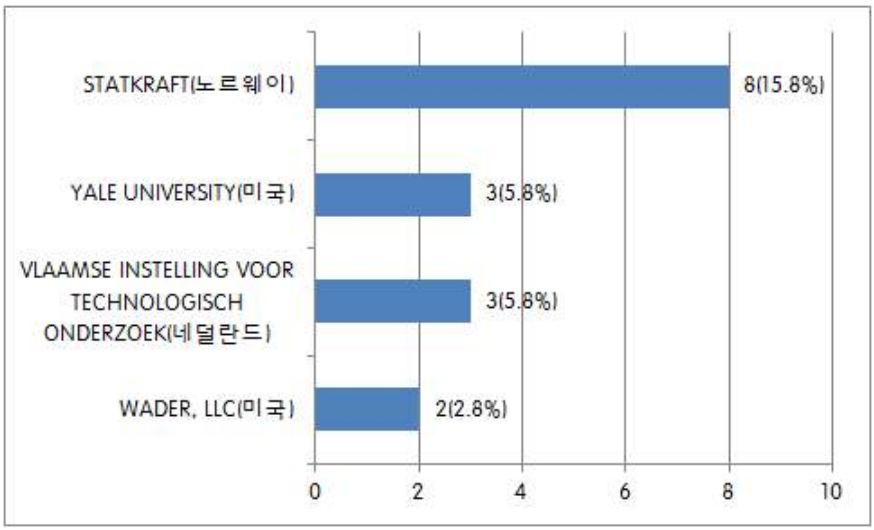
※ 대한민국 특허의 경우, 2006년 노르웨이의 Statkraft사에서 출원한 “압력 지연 삼투를 위해 사용되는 멤브레인 상에서 유지를 수행하기 위한 방법 및 시스템”이 유일함



[그림 2-40] 국가별 특허출원 현황

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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

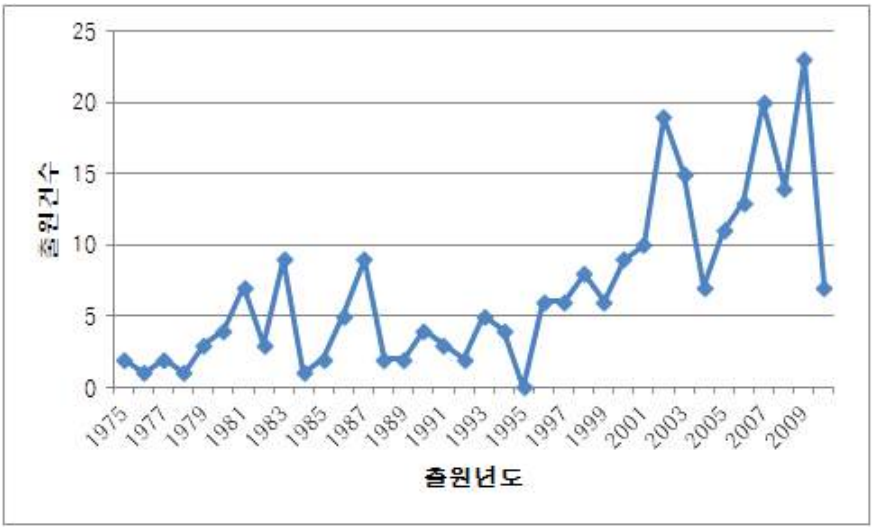
□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 특허 분석

o 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

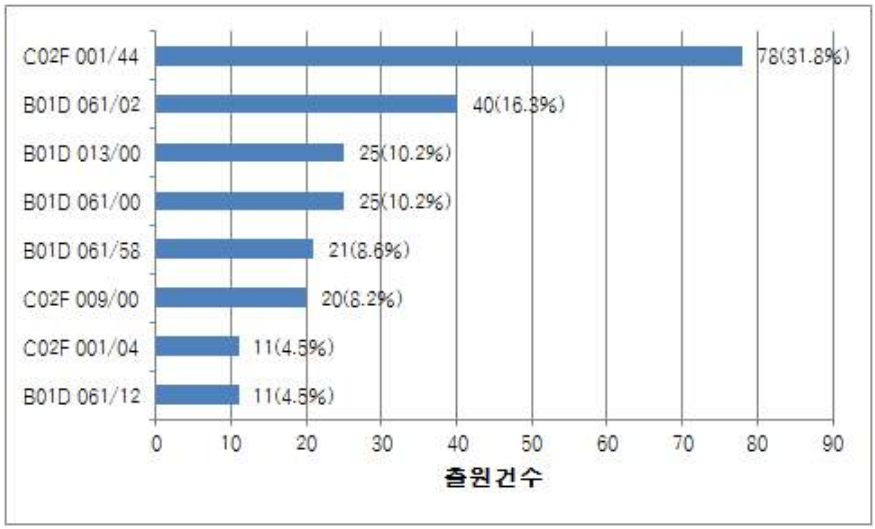
- 출원된 245건의 특허 중 등록된 특허는 총 67건으로 등록율은 27.3%임



[그림 2-42] 년도별 특허 출원현황

o 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



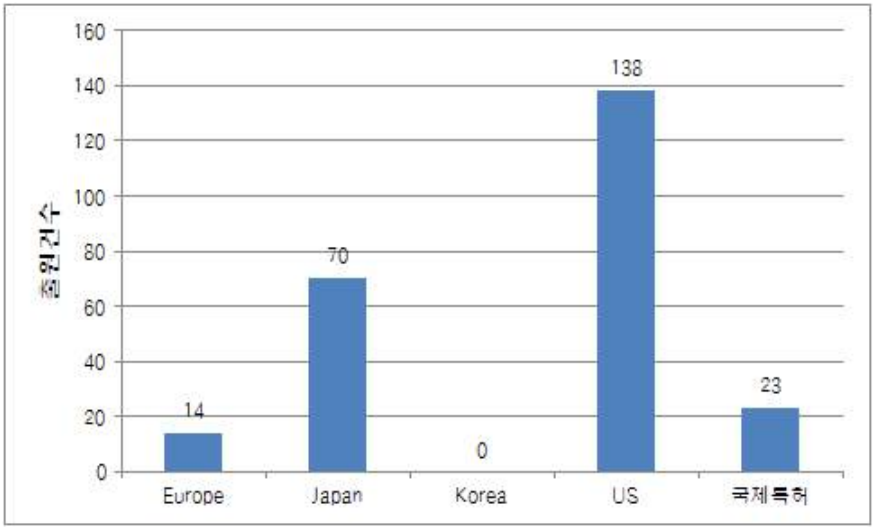
IPC코드,	상세설명
C02F 001/44	- 투석, 삼투 또는 역삼투에 의한 것
B01D 061/02	- 역삼투; 초과여과(hyperfiltration)
B01D 061/00	- 반투막을 이용한 분리공정, 예 투석, 삼투; 또는 한외여과 특별히 만들어진 관련장치, 부속품 및 보조조작
B01D 013/00	-
B01D 061/58	- 다단계 공정
C02F 009/00	- 물, 폐수 또는 하수의 다단계 처리
C02F 001/04	- 증류 또는 증발에 의한 것
B01D 061/12	- 제어 및 조정

[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

o 주요출원인 현황

- 동 기술술분야의 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

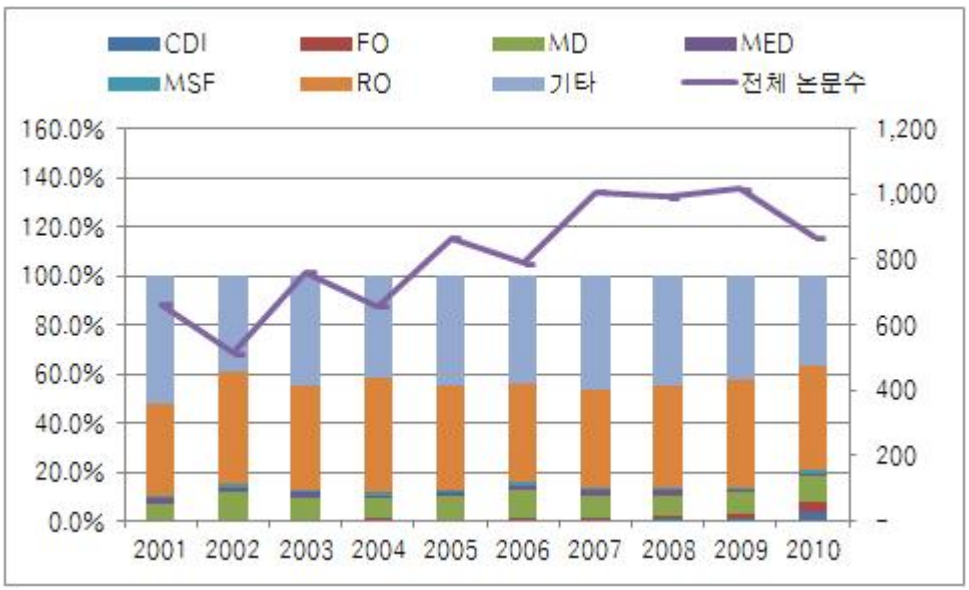
논문 검색 조건	방법
검색 Domain	SCI-Expanded에 발표된 논문
검색 DB	Thomson Scientific사의 Web of Science
검색 기간	2001년 1월 1일 ~ 2010년 12월 31일
검색 범위	주제어

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

o 탈염방식별로는 RO관련 논문의 40%, MSF관련 논문이 1%대로 그 비율이 꾸준히 유지되고 있음. 이는 1995년 이후 시장 지배기술로 자리잡은 RO공정에 대한 기술개발이 활발히 이루어졌음을 의미함

o 2001년을 9.4%에 불과하던 CDI, FO, MD, MED 등의 신개념탈염기술의 비율이 2010년에는 19.6%로 크게 증가함

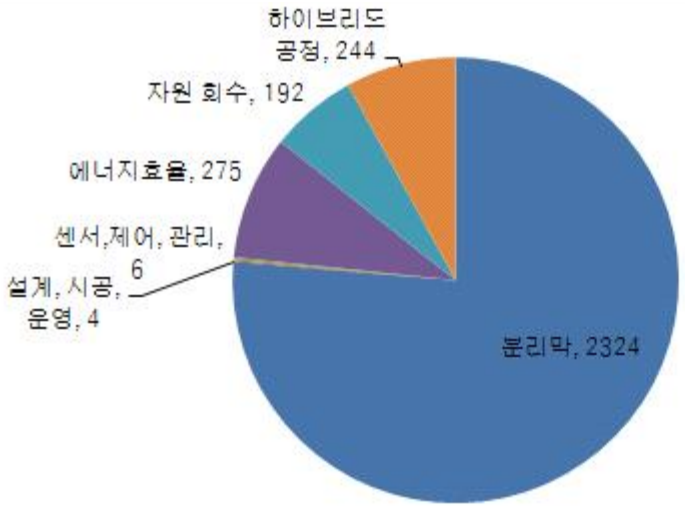
o 최근 RO공정에서 이슈가되고 있는 에너지관련 문제를 해결하기 위해 신개념탈염기술의 개발이 적극적으로 이루어지고 있음을 시사



[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

o 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

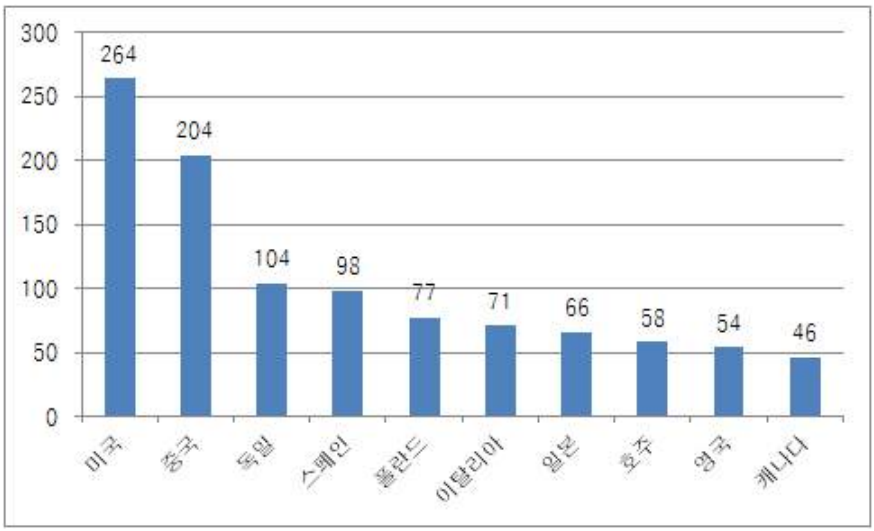
<표 2-6> 논문 검색 개요

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

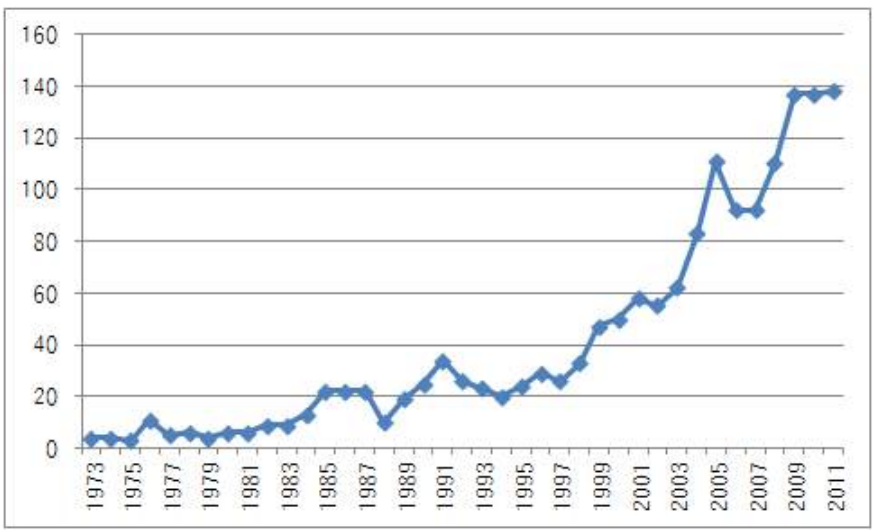
□ 막 증발법(MD) 및 막 결정법(MCr)을 이용한 농축수 저감 기술 관련 논문 분석

o 1970년대에 시작된 막증발법 및 막결정법 기술관련 논문은 주로 미국, 중국 및 유럽 국가들에 의해 주도되어 오고 있음

o 1980년대부터 논문이 증가하기 시작하여 2000년대에 들어 관련 연구가 급증함



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



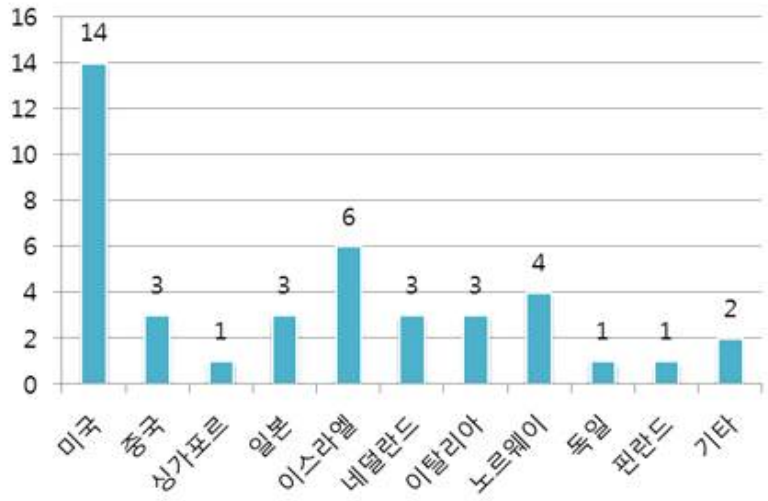
[그림 2-49] '막증발법 및 막 결정법 기술' 시대 별 발행 논문 수

□ 압력지연 삼투 기술 관련 논문 분석

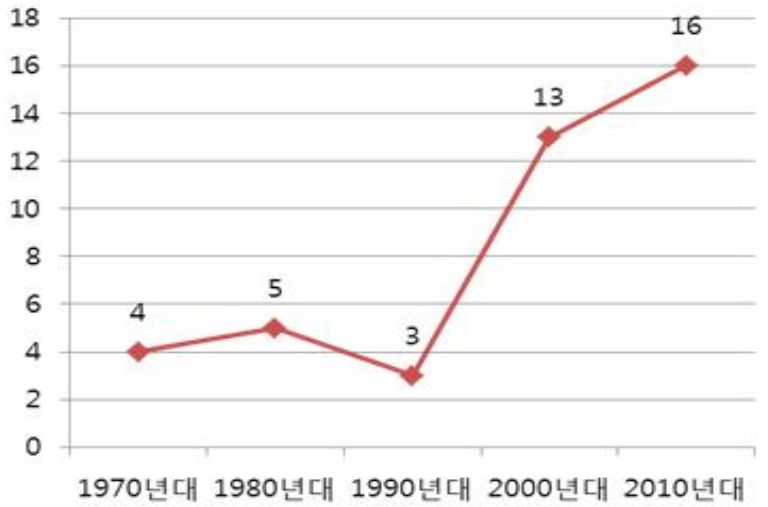
o 그림에서 볼 수 있듯이 40년간의 논문 분석 결과, 압력지연삼투 막 관련 논문에 대해 총 41건이 검색됨

o 1970년대를 시작으로 압력지연 삼투에 관한 연구가 시작되어 2000년대에 들어서 관련연구가 급증하기 시작하였고 대부분의 논문은 미국에서 출간됨

o 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



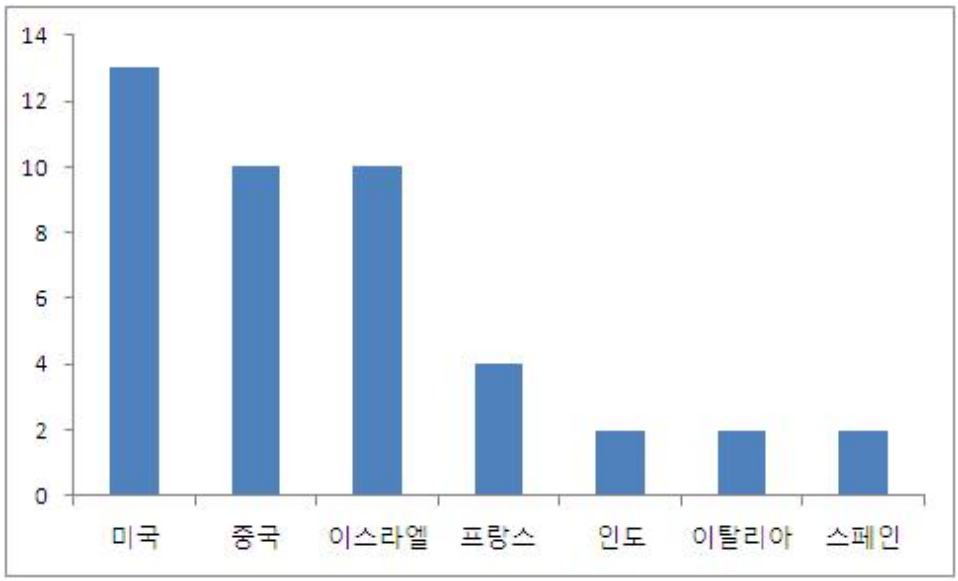
[그림 2-51] '압력지연삼투 막 기술' 시대 별 발행 논문 수

□ 해수담수화 농축수 자원화 기술 관련 논문 분석

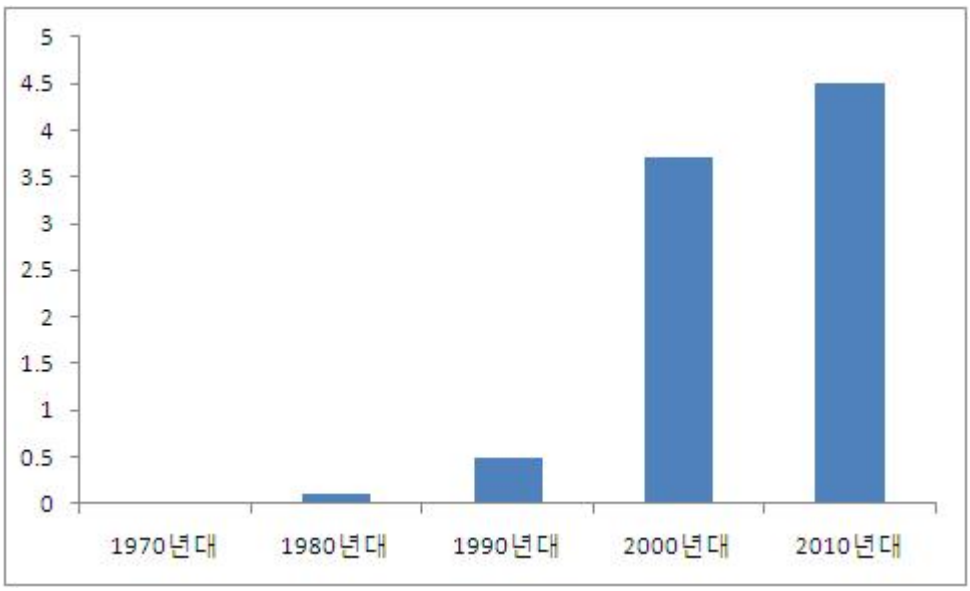
o 농축수 자원화 기술 관련 논문은 주로 미국, 중국, 이스라엘 등을 통해 주도되어 왔음

o 1970년대에 시작된 연구는 2000년대에 이르러 농축수의 환경적 영향 및 자원화를 통한 운전 에너지 절감 등의 이슈와 더불어 관련 연구 또한 급격히 증가

o 유사 기술로서 해수로부터 자원 회수 기술의 경우 일본, 미국 등 선진국들은 2-30년 전부터 활발한 연구를 진행되어 왔음



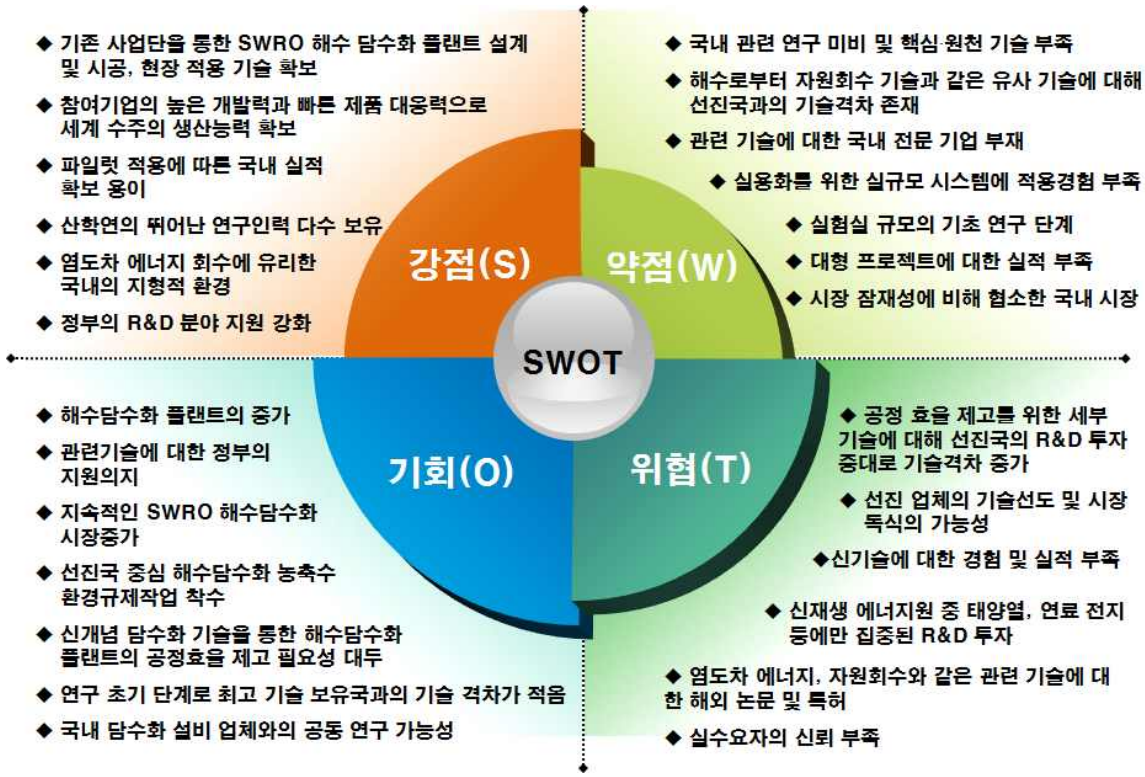
[그림 2-52] '해수담수화 농축수 자원화 기술' 국가 별 발행 논문 수



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

4. 종합분석

가. SWOT 분석



제 4 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%달성**으로 설정함

o 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

o 선진기술 추격형 기술개발을 목표로 하는 기존의 해수담수화플랜트사업단과 달리, 차기의 미래기술개발은 기술우위를 선점할 수 있는 탈추격형 차세대 RO기반 기술개발이어야함

o 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

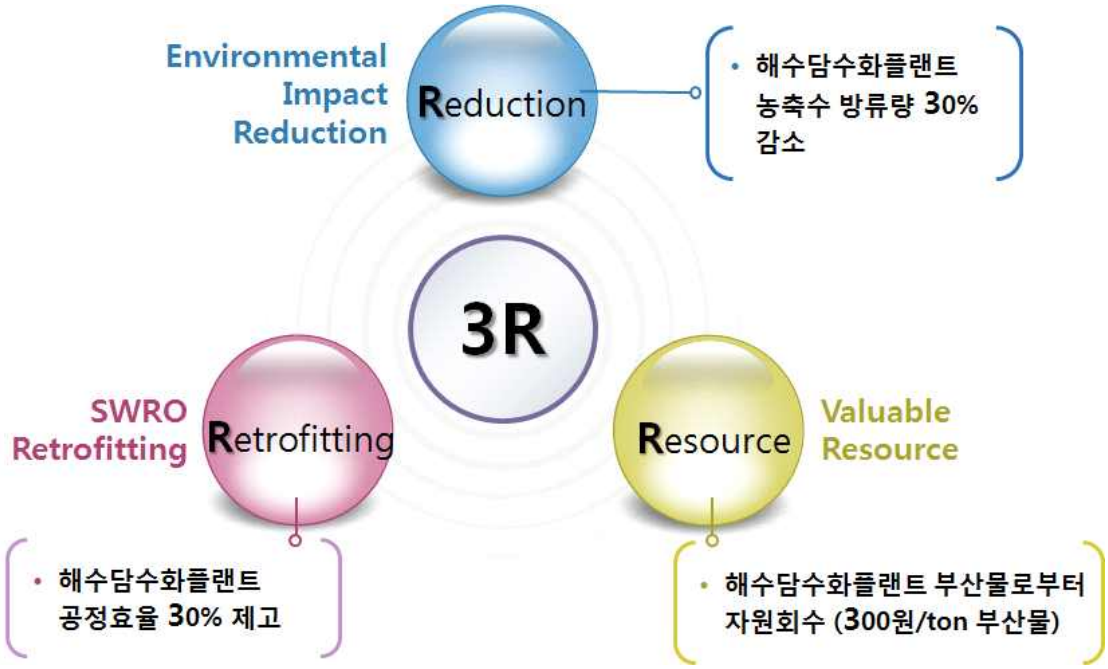
□ 막 증발법(MD)과 압력지연삼투(PRO) 두 가지 핵심공정을 최적 조합하여 세계시장을 선도할 수 있는 MD/PRO 복합탈염 기술 개발을 개발하는 것이 본 연구단의 기술적 목표임

o 정량적 목표

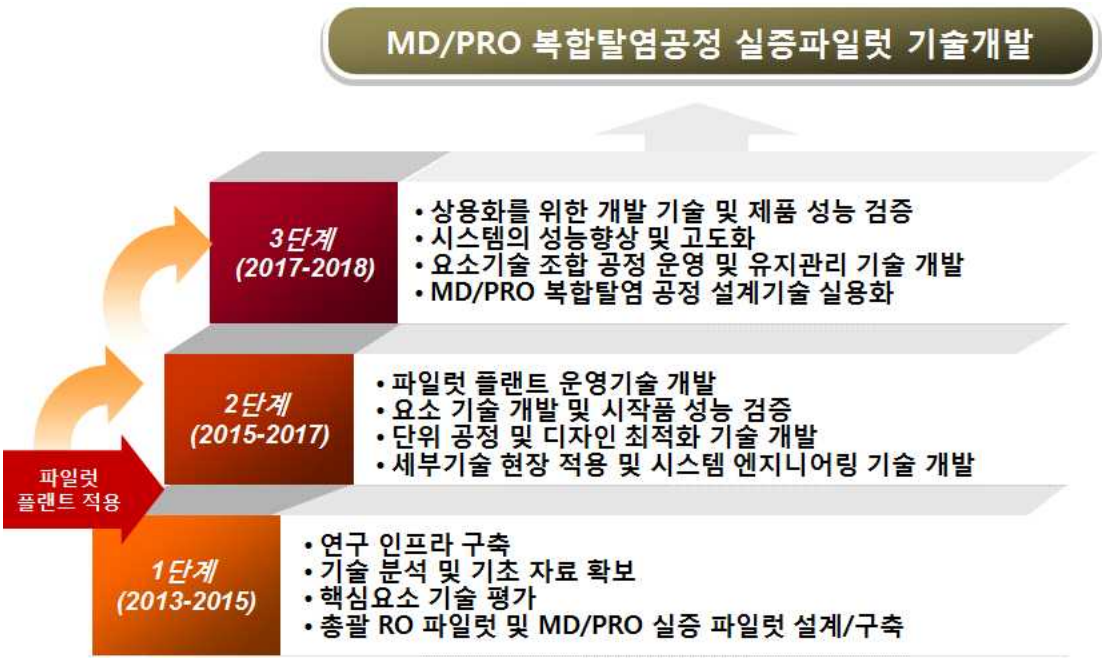
- 해수담수화플랜트 공정효율 30% 제고
- 해수담수화플랜트 농축수 방류량 30% 감소
- 해수담수화플랜트 부산물 자원화 (300원/ton 부산물)

o 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

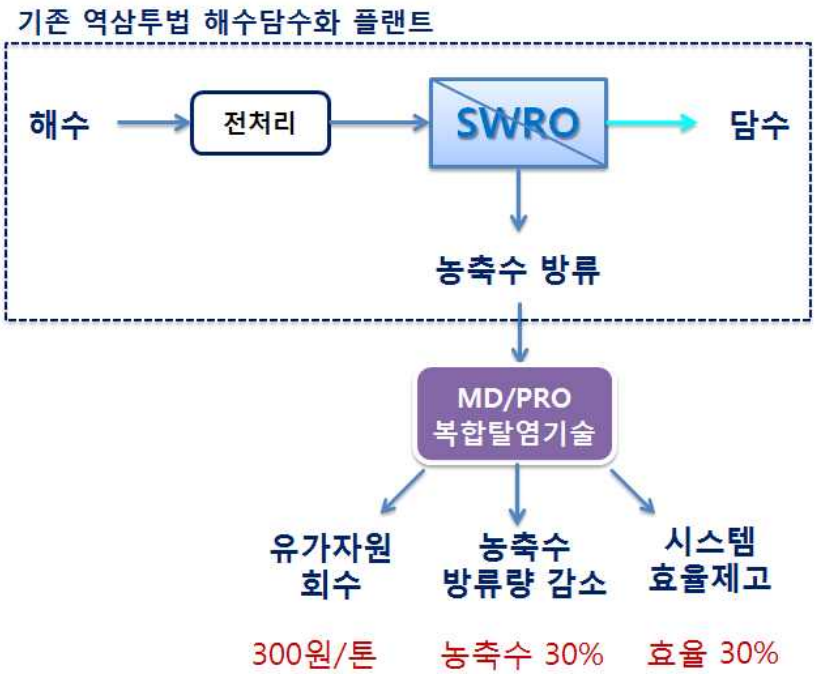
제 2 절 기술개발에 따른 미래상

□ 기술개발을 통한 다양한 시장 공략 가능

o 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.

o 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

o 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

o Retrofitting: 해수담수화플랜트 공정효율 제고를 위한 융합공정 개발

o Reduction: 농축수 저감을 통한 환경문제 최소화, 향후 미래담수화 시장 선도

o 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

o 탈추격형 RO 선진기술개발로 세계 담수화 플랜트 시장을 선도할 수 있는 기술력 확보

o 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

o 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

o 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

o 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)

o 소비 전력량 저감에 따른 화석 연료 사용 감소

제 3 절 연구개발과제 구성

□ 연구단의 3대 기술목표에 맞춰 3개의 세부과제로 구성

o 1세부 : MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감 기술 개발

o 2세부 : PRO를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 제고 기술 개발

o 3세부 : 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발

□ 각 세부과제에서 개발된 기술을 테스트하기 위한 파일럿 플랜트 구축

o 1세부과제에서 복합탈염 대용량 실증 플랜트 구축

o 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)

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

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

□ 연구개발 필요성

- o 기존 역삼투 방식의 해수담수화 기술의 보급에 가장 큰 걸림돌은 낮은 회수율에 따른 처리효율 저하, 전력 비용 상승 및 농축수 처리문제에 있음.
- o 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.
- o 현재는 대부분의 해수담수화 플랜트가 담수화 결과 생산되는 농축수를 다시 해양에 방류하고 있으나, 환경규제가 지속적으로 강화되고 있으므로 이에 대한 대책이 필요한 실정임
- o 지금까지는 해수담수화 플랜트의 규모가 작았기 때문에 농축수의 해양방류가 허용될 수도 있었으나, 최근에는 플랜트의 규모가 커지는 경향이기 때문에 더 이상의 방류가 어려울 것으로 예상됨
- o 농축수를 폐수가 아닌 자원으로 인식하여 전 세계적인 자원고갈 문제에 대응하며, 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
- o 해수담수화 플랜트의 확산에 따라 농축수에 의한 환경에의 악영향에 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 미래 해수담수화 시장에서 유리한 위치를 차지하기 위하여 필수적임
- o 그간의 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요

o 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음

□ 정부지원 필요성

o 플랜트 분야 국제경쟁력 확보를 위하여 미래지향적 기술에 대한 국가 지원 필요

o 신개념 탈염 기술 및 농축수 저감기술의 원천기술이 실용화 단계로 도약하기 위한 플랫폼이 필요

o 기존 기술의 성능개선이 아닌 신개념의 시장창출형 기술개발 투자 필요

o 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

o MD 전용 막 소재 및 모듈 설계 기술 개발

o 1단계에는 실험실 규모 평가 후 2단계부터 파일럿플랜트 현장 적용 평가 수행

□ 막 증발법의 막 오염저감 기술 개발

o 막 오염저감을 위한 공정 설계 기법 개발

o 막 오염저감 운영 기술 개발 및 확보

o 최적 전처리 기술 개발

□ 막 증발법 전용 에너지원 확보 기술 개발

o 막 증발법에 사용되는 신재생에너지 적용 및 설계 기술 개발

o 폐열 적용 최적 설계 및 운영기술 개발

o 에너지 최적화를 위한 운영기술 개발

□ 막 증발법 최적화 기술 개발

o 막 증발법 파일럿 플랜트 (400 ㎥/일) 설계, 제작 및 운영

o 단위공정 및 조합 공정의 최적화 기술 개발

o 최적 플럭스 및 담수화를 위한 고효율 운영 기술 확보

o 플럭스 생산의 지속 가능성을 위한 친수화 방지(De-wetting) 장치 및 운영기술 개발

o 평가기법 개발 (에너지 소모, 막, 모듈 등)

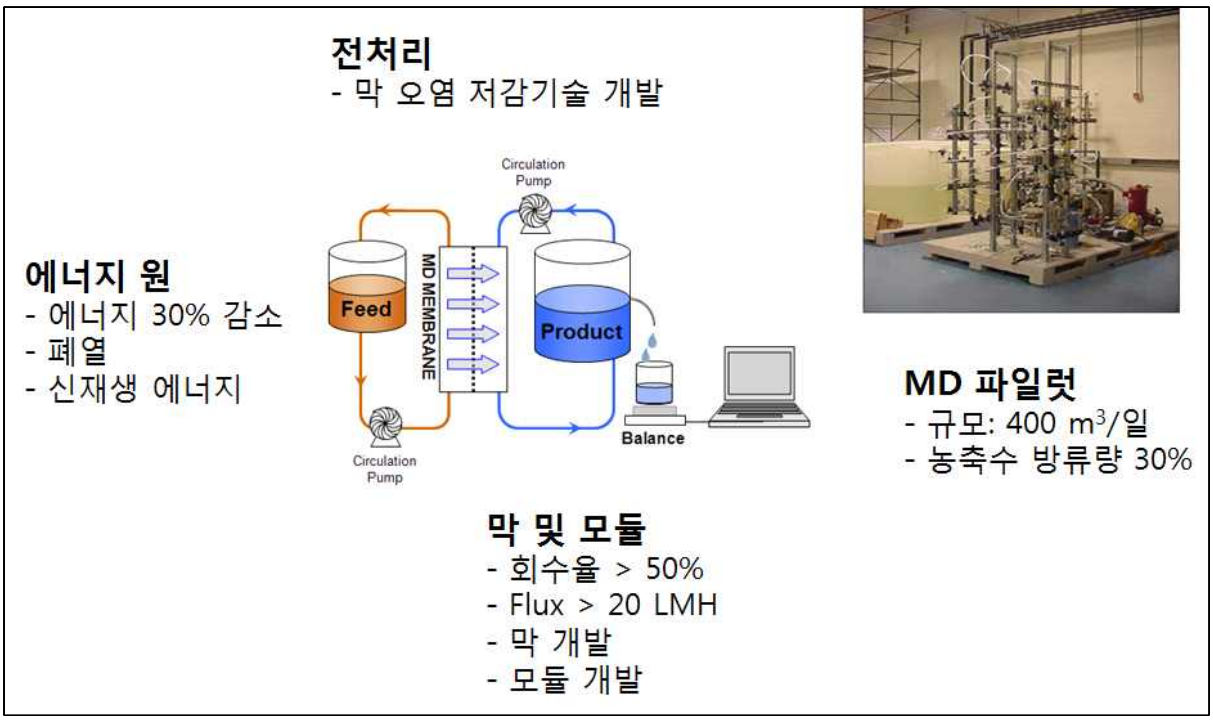
□ MD/PRO 복합탈염 대용량 실증플랜트 구축 및 현장 평가

o 역삼투 공정을 포함한 파일럿플랜트 설계, 제작 및 운영

o MD/PRO 복합탈염 기술 운영 및 유지관리 가이드라인 도출

o MD/PRO 복합탈염 기술 경제성 분석

o 신개념 탈염 기술 개발

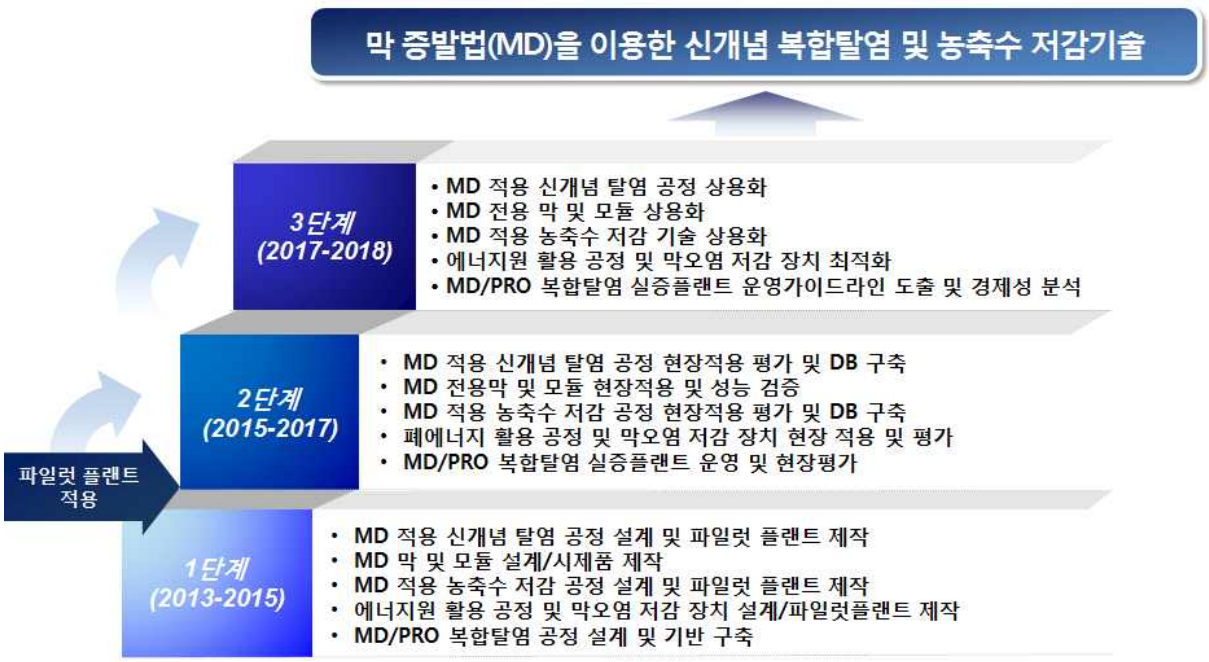


[그림 3-7] MD를 이용한 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
1세부 막 증발법(MD)을 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
		에너지 최적화 공정 설계	에너지 최적화 기법 적용 평가		에너지 최적화 운영기술		
	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	

[그림 3-8] 1세부과제 연구개발 TRM



[그림 3-9] 1세부과제 단계별 추진 전략

바. 최종성과물 및 성과지표

□ 400 ㎥/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 5W/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 5~7.5W/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 확보해야할 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

- o 세계적으로 PRO 실증 파일럿은 네덜란드에 유일하여, 관련 멤브레인 제조사의 개발중인 막의 성능 및 기술을 평가받고 있다. 이는 기 확보된 해수담수화 및 멤브레인 기술의 해외 누출과 미래 해수담수화 플랜트 설계 및 시공 시장의 기술선도국 독점화가 우려됨
- o 현재로써는 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
- o 특히, PRO의 특성상 파일럿 규모의 시스템을 이용하여 실증연구를 하는 것이 경제성 검증에 반드시 필요하며 이는 정부지원을 통해 이루어질 수 있을 것으로 예상 됨
- o PRO 공정 최적화 기술 개발 및 기존 해수담수화 플랜트/수처리 플랜트와 PRO 플랜트 기술의 연계를 통하여 실용화 가능성을 더욱 높일 수 있음
- o 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

- o 기존 과제는 원천기술 개발 형태이나 본 연구단은 실증 파일럿의 적용을 통한 시장진출형 기술 개발을 목적으로 함
- o 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 절약할 수 있을 것으로 기대됨
- o 기존 과제는 정삼투 공정을 이용한 담수/발전 다목적 플랜트 공정 개발을 목표로 하지만, 본 연구단은 역삼투 공정과 PRO 공정을 조합한 응용 공정 개발을 목표함

□ 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

<table>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="4">정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발</td></tr>
<tr><td>수행기관</td><td>한국기계연구원</td><td>발주기관</td><td colspan="2">지식경제부</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td>2009.10 - 2014.09</td><td>연구비 (천원)</td><td colspan="2">23,965,000
(정출연 12,780,000)</td></tr>
<tr><td>연번</td><td colspan="2">연구 주요 내용</td><td colspan="2">중복성 검토 및 차별화 방안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험</td><td>중복없음 / 연계가능 / 지능화 / 중복됨</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작
(해수-담수)</td><td>중복없음 / 연계가능 / 지능화 / 중복됨</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발</td><td>중복없음 / 연계가능 / 지능화 / 중복됨</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 해수 유인 압력회수기술을 개발하고자 함.</td></tr>
</table>

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

o 실증파일럿 PRO 전용막 장기운전 및 막성능 평가기술 개발

□ PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발

o 저압에서 압력 회수가 가능한 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발

□ SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발

o 현장 파일럿 테스트를 통해 에너지생산 효율을 향상시킬 수 있는 단위 공정 및 전체 공정에 대한 최적화 기술 개발

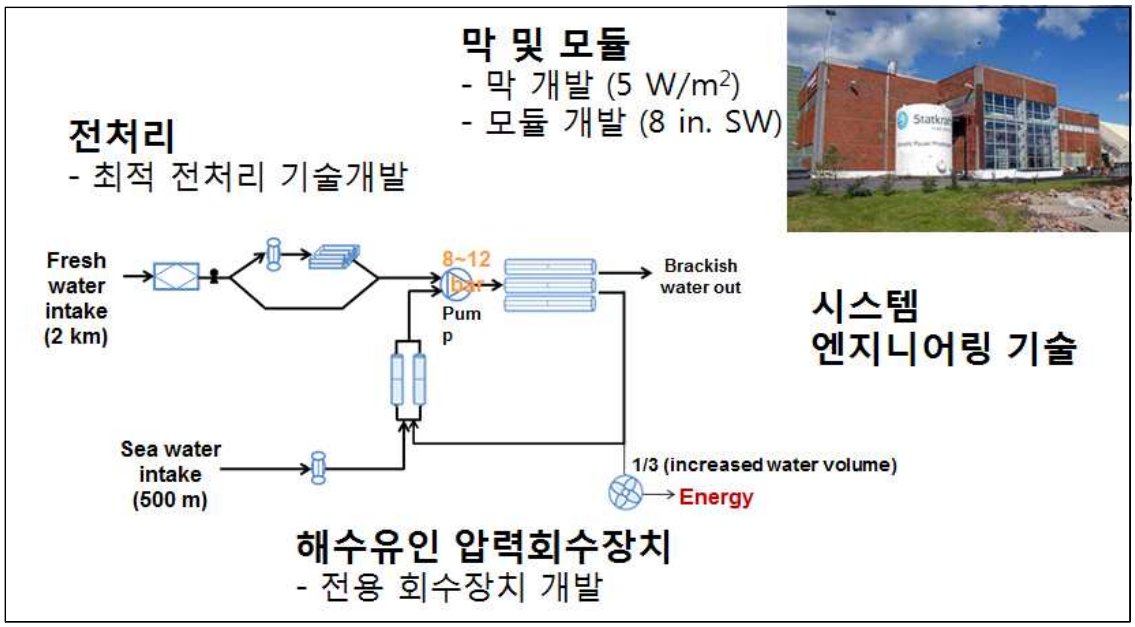
o 전처리 공정에서의 파울링 저감기술 개발

o SWRO-PRO 조합 공정을 통해 물 생산단가를 저감할 수 있는 공정기술 개발

□ 차세대 염도차 공정기술 개발 (RED, CAPMIX)

o RED, CAPMIX 전용막 개발

o 저 저항의 셀 및 스택 디자인 기술 개발

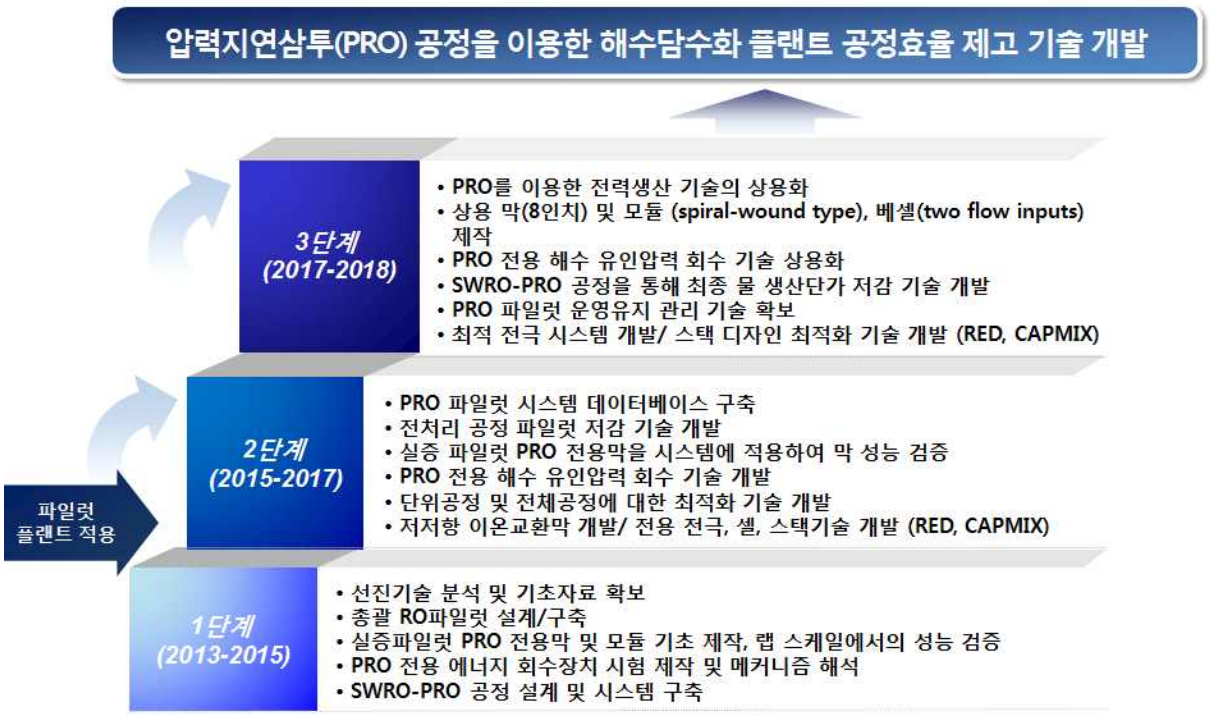


[그림 3-10] PRO를 이용한 해수담수화플랜트 에너지회수 기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
2세부 압력지연삼투(PRO)를 이용한 해수담수화 플랜트 공정효율 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	전처리 공정 최적화 및 파울링 저감 기술 개발		PRO 전처리 공정 최적화 기술
	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	랩 스케일에서의 멤브레인/모듈 성능 검증	상용막/모듈 및 베셀 제작		고투과도 파일럿 시스템 PRO 전용막 및 모듈
	2-3 PRO 전용 해수유인 압력회수장치 개발	PRO 전용 해수유인 압력 회수장치 설계 및 시험 제작	파일럿 적용 및 압력 회수율 성능 검증	제어 메커니즘 해석 및 회수장치 효율 최적화	시제품 제작 및 성능 검증		PRO 전용 해수유인 압력회수장치
	2-4 SWRO-PRO 공정효율 제고를 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발	PRO 파일럿 시스템 설계	파일럿 건설 및 구축 완료	물 생산단가 저감 기술 개발	단위공정 및 전체공정에 대한 최적화 기술 개발 및 운영유지 관리		SWRO-PRO 조합공정 최적화 기술
	2-5 차세대 염도차 공정기술 개발(RED, CAPMIX)	현황 및 자료분석	최적 redox couple 선정	RED 산화-환원 최적 전극 시스템 개발	셀, 스택 디자인 최적화		RED/CAPMIX 전용 막 및 최적 셀, 스택 설계 기술

[그림 3-11] 2세부과제 연구개발 TRM



[그림 3-12] 2세부과제 단계별 추진 전략

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 100㎏/㎠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

o 희소금속 흡·탈착 공정 설계기술 개발

o 전기화학적 희소금속 추출 공정 설계기술 개발

o 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화

□ 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술 개발

o 해수담수화 플랜트 부산물(RO농축수, 세정폐액, 슬러지 등)과 알루미노실리케이트계 산업부산물(슬래그, 플라이 애시, 실리카 퓸 등)의 알칼리 활성화 반응을 활용한 경화기술 개발

o 해수담수화 플랜트 부산물 성상별 경화기술 최적화

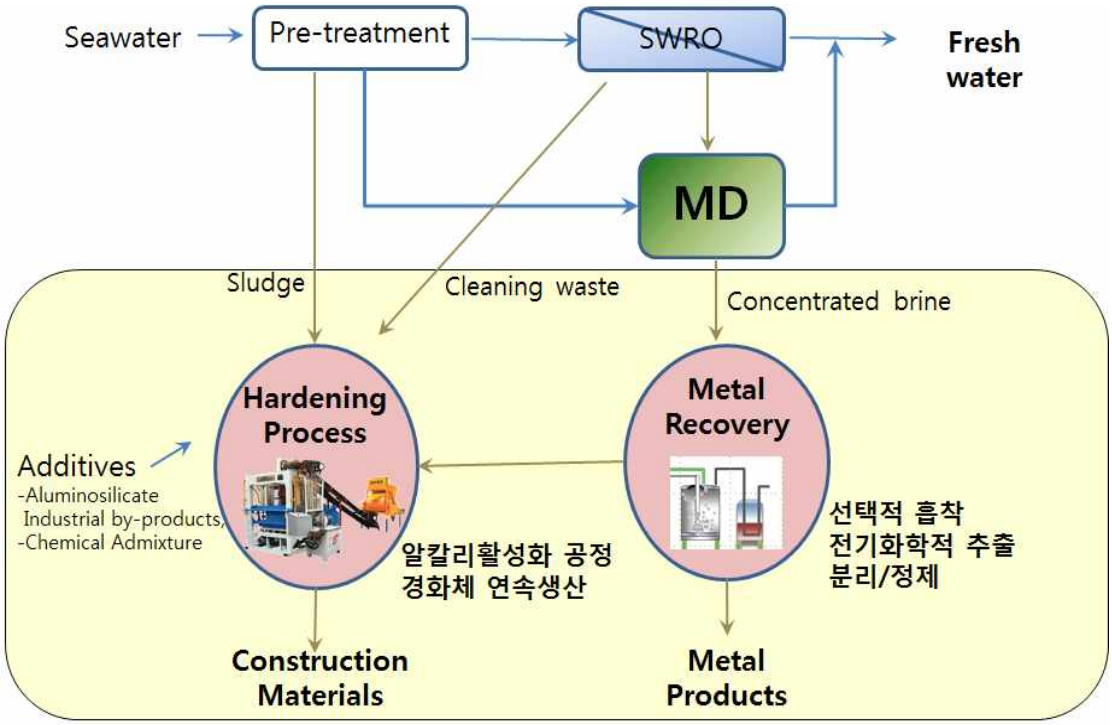
o 경화체 내구성 증진 기술 개발

o 건설재료(벽돌, 보도블럭, 테트라포트 등) 활용을 위한 경화체 유해성 평가

□ 해수담수화 플랜트 부산물 활용 경화체 연속생산 공정 개발

o 경화체 연속 생산 공정 설계기술 개발

o 해수담수화 파일럿 플랜트에 적용 가능한 소형 시스템 구축 및 최적화

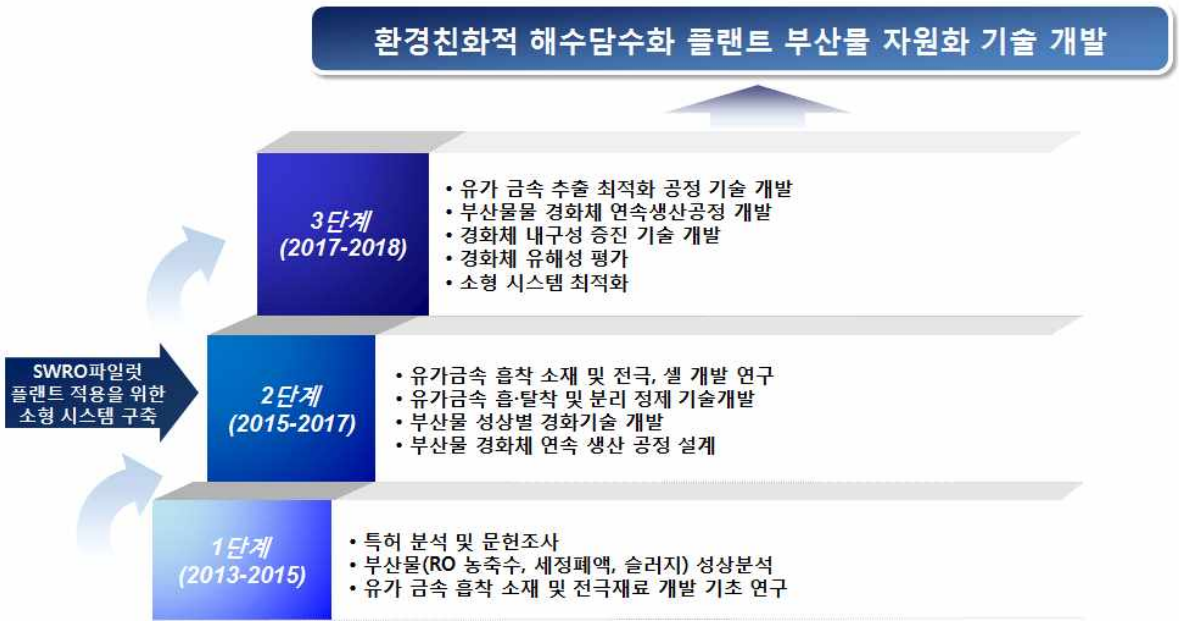


[그림 3-13] 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 개발 내용

마. 연구개발과제 TRM

구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	최종 성과물
3세부 해수담수화 플랜트 부산물 자원화 기술 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 금속 추출 기술
	3-2 RO 농축수 금속 추출 최적화 공정 설계		금속 흡.탈착 공정 설계기술 개발	전기화학적 금속 추출공정 설계기술 개발	소형 시스템 구축 및 최적화		• RO 농축수 활용 유가 금속 추출 소형 시스템
	3-3 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술개발	현황 및 자료 분석 부산물 성상 분석	부산물 성상별 경화기술 최적화	경화체 내구성 증진 기술 개발	경화체 유해성 평가		• 해수담수화 플랜트 부산물 경화 기술
	3-4 부산물 경화체 연속 생산 공정 기술 개발		경화체 연속생산 공정 설계 기술 개발	소형 시스템 구축 및 최적화			• 경화체 연속 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 100㎏/㎠의 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 경화제의 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

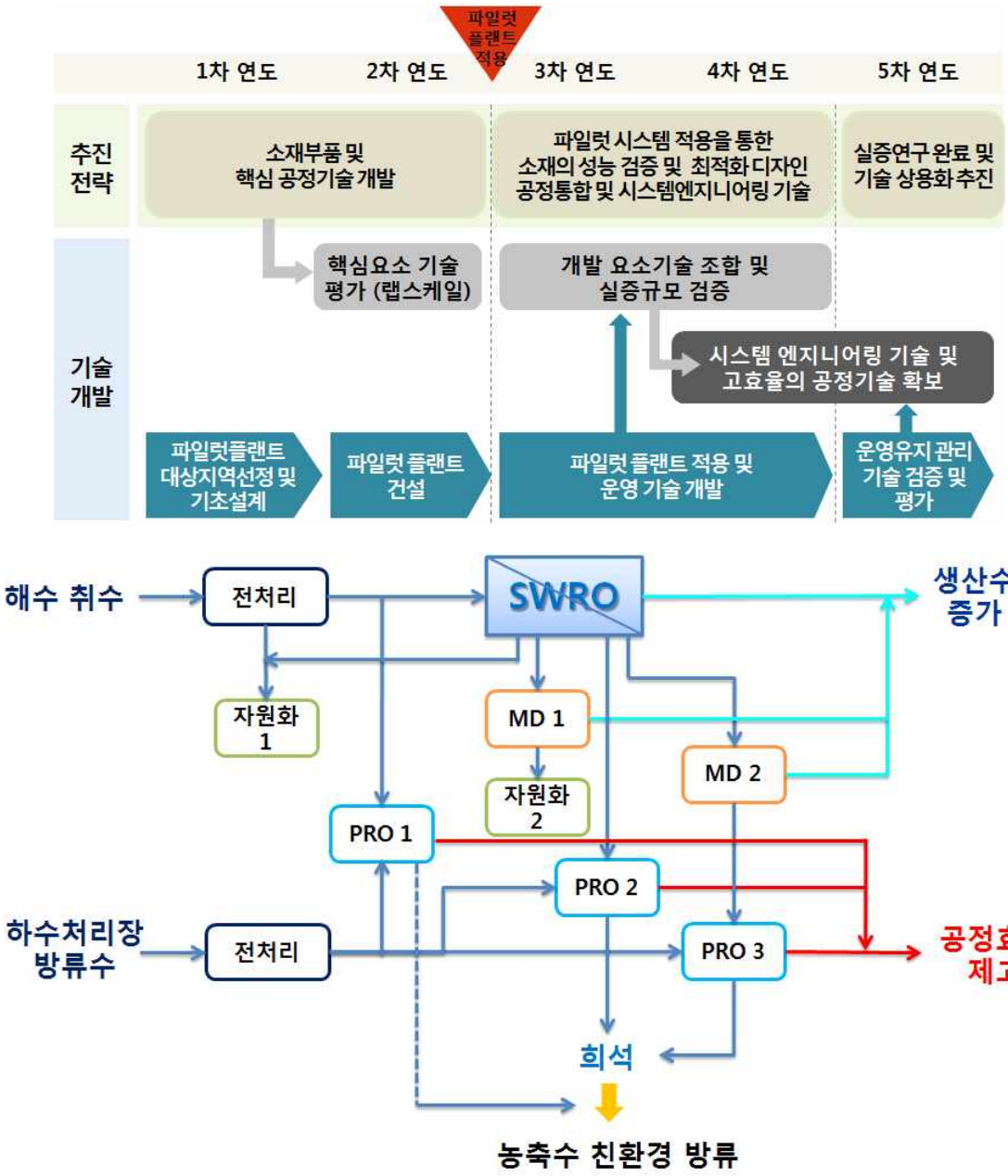
제 5 절 세부과제간 연계관계

□ 핵심 단위기술 - 막 증발법 (MD), 압력지연삼투(PRO) 및 자원 회수 공정-의 복합 탈염 파일럿 플랜트 적용

o SWRO 해수담수화 플랜트에 MD, PRO 및 자원회수 공정 적용

o 파일럿 시스템 적용을 통한 소재의 성능 검증 및 개발 요소 기술의 실증 규모 검증

o MD 공정의 농축수를 이용하여 PRO 공정을 통한 에너지 회수 및 자원화 공정을 통한 자원 공정 구축



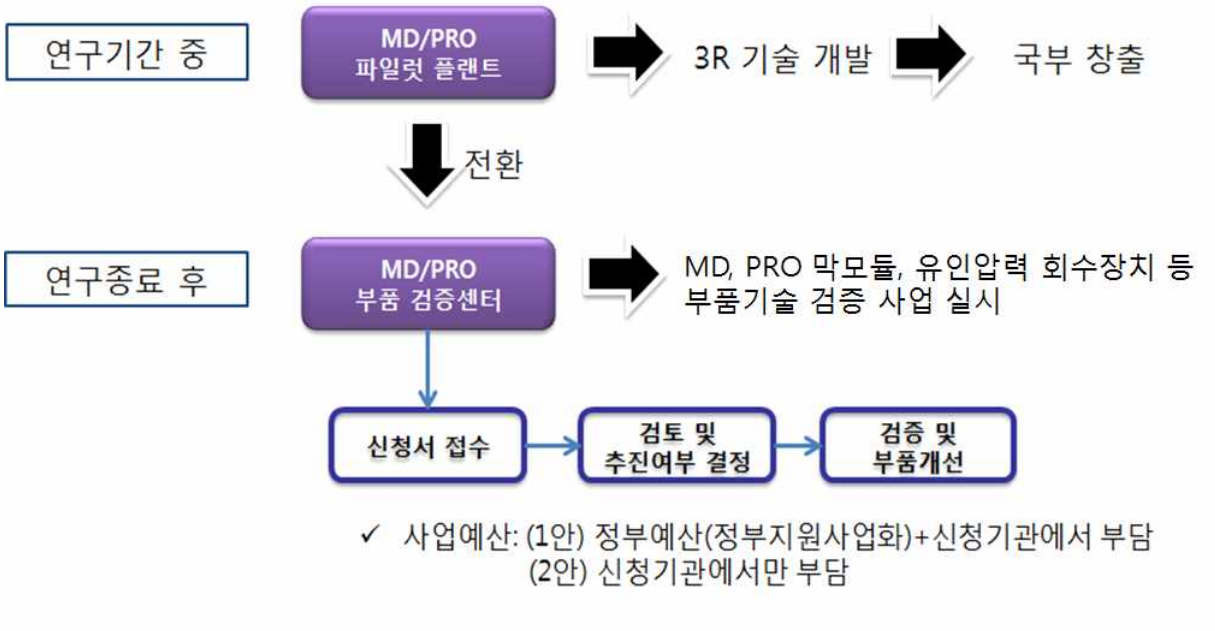
[그림 3-16] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 파일럿 플랜트 적용을 통한 개발 요소기술간 조합 공정 개발

- o MD공정에서 발생하는 농축수를 부산물 자원화 공정의 고농도 용액으로 사용
- o MD공정에서 발생하는 농축수를 PRO 공정에 사용
- o SWRO 해수담수화 플랜트로부터 발생되는 부산물 (RO농축수, 슬러지, 세정폐액 등)을 부산물 자원화 공정에 사용
- o SWRO 해수담수화 플랜트에서 발생하는 농축수, 생산수를 각각 PRO공정의 고농도, 저농도 용액으로 이용
- o 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)
- o 화력발전소의 폐열을 이용하여 MD 공정의 보조 에너지원으로 사용
- o 기존 증발법 해수담수화 플랜트 성능향상을 위해 MD 공정을 추가할 경우, 증발식 해수담수화 플랜트에서 발생하는 폐열을 MD의 열원으로 활용
- o 그 외 태양열, 지열 등을 MD의 열원으로 활용할 수 있음
- o 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

- o 파일럿 플랜트 구비 시 100억에 가까운 정부 및 민간 예산이 소요될 것으로 예상됨. 따라서, 연구기간 종료 후에도 이를 활용하는 방안을 수립할 필요성이 있음
- o 연구기간이 종료 후에는 파일럿 플랜트 시설을 MD/PRO 관련 부품의 검증 시설로 활용 - MD/PRO 관련 국산 부품기술(막모듈, 압력회수장치 등)의 검증에 활용
- o 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(부지비용 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 5 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성 분석

1. 국가전략적 중요성

가. 정책적 중요성

o 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

o 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

o 기술의 해외 수출, 해외 플랜트 수주 등을 사업화 목표로 하여 국가 발전 도모할 수 있음

나. 정부지원의 타당성

o 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

o 해수담수화 관련 미래기술은 RO기술, 부품소재개발, 에너지기술, 설계 및 시공기술, IT 기반 운영 및 유지기술 등 플랜트 종합형 기술개발사업이므로 국가주도형 사업추진이 절실히 요구됨

o 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

o 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/m^3 내외까지 확보되었으나, 세계 수준인 3.0kWh/m^3의 75% 수준에 불과하여 실질적으로 수주와 연결되기에는 O&M적인 요소 (전력비 저감) 면에서 열세로 인해 증발식에서와 같은 지위를 기대하기에는 무리

o 증발식에서 RO방식으로 시장이 재편되는 시기에 현 해수담수화플랜트 사업단을 통한 기술개발을 시작하여 R&D 시기가 늦어진 것이 하나의 원인임

o 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

o 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

o 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.)

o 신재생에너지 R&D 지원과 산업화에 중점을 두고 정책을 추진

o 2030년까지 에너지효율 46% 개선 및 신재생 에너지 보급률 11%까지 증가가 목표

o 본 기술 또한 신재생 에너지원을 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

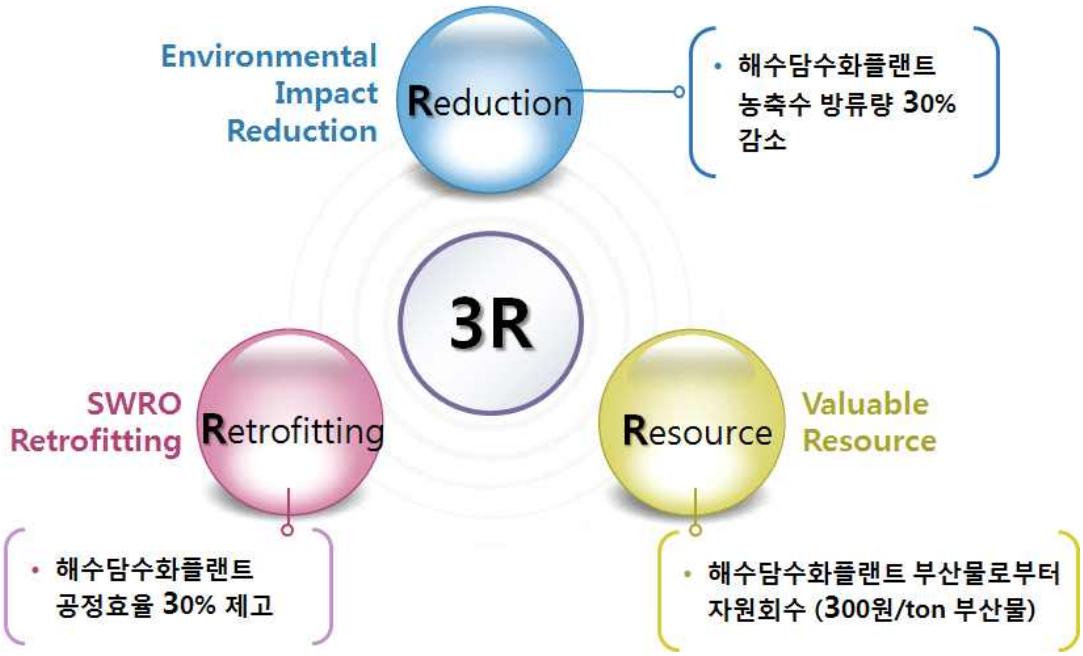
1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 적절성

□ 사업목표의 구체성 분석

o 사업목표를 구체적으로 제시함

- 사업의 비전 및 전략목표를 “세계시장선도형 역삼투 해수담수화 기술확보” 및 “역삼투 해수담수화 시장 점유율 10%달성”으로 구체성으로 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

o 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

o 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

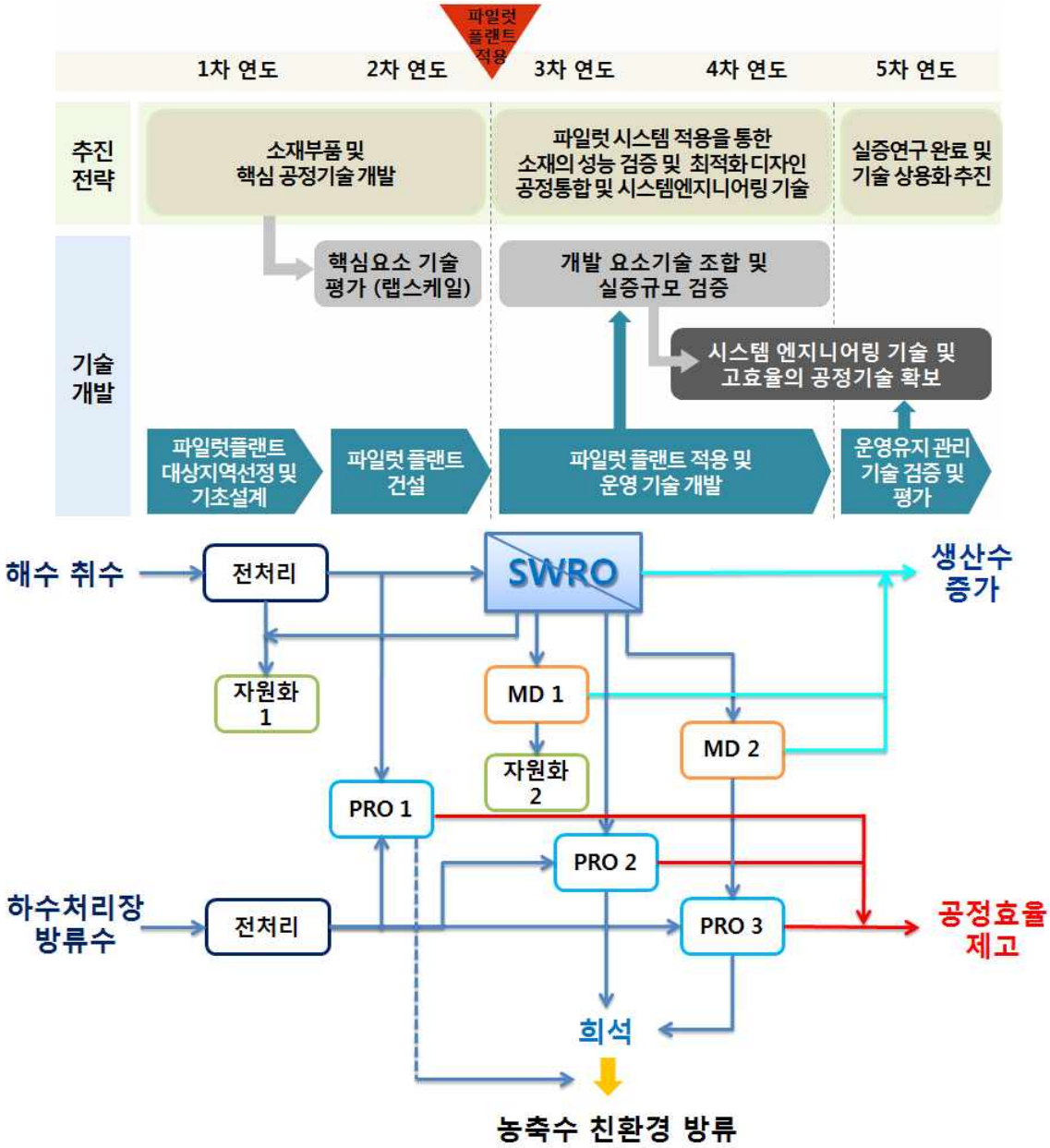
□ 사업추진체계의 적절성

o 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

o 목표 달성을 위한 세부과제간 연계방안이 아래와 같이 구체적으로 제시됨



[그림 4-4] 파일럿 플랜트 적용을 위한 과제 추진 전략

□ 기술개발로드맵의 우수성

o 관련 세부 또는 요소기술별 상세 기술개발계획에 대해 제시하고 있음

- 요소기술이 적절하게 구성되어있고, 요소기술별 개발계획을 연차별로 상세하게 제시함

o 각 세부과제별 기술개발로드맵을 제시하고 있음

o 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 대한예측, 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)

<table>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="4">정삼투식 다목적 해수담수화 플랜트 개발</td></tr>
<tr><td>수행기관</td><td>한국기계연구원</td><td>발주기관</td><td colspan="2">지식경제부</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td>2009.10 - 2014.09</td><td>연구비 (천원)</td><td colspan="2">23,965,000
(정출연 12,780,000)</td></tr>
<tr><td>연번</td><td colspan="2">연구 주요 내용</td><td colspan="2">중복성 검토 및 차별화 방안</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td colspan="2" rowspan="2">담수/발전 다목적 삼투압 발전 플랜트 제작 및 성능 시험</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구단은 지경부과제와 달리, 기존 해수담수화 플랜트 (SWRO)를 이용한 PRO 공정 및 SWRO-MD공정에서 발생하는 농축수를 이용한 복합 탈염 공정 등을 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td colspan="2" rowspan="2">실증파일럿 전용 PRO 막 및 모듈 설계 제작
(해수-담수)</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td colspan="2" rowspan="2">회수효율 80% 이상의 5 kW급 발전용 터빈 관련 원천 기술 개발</td><td>중복없음</td><td>연계가능</td><td>지능화</td><td>중복됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">본 연구단은 저압에서 에너지 회수가 가능한 PRO 전용 에너지 회수장치를 개발하고자 함.</td></tr>
</table>

제 3 절 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석

□ 비용/혜택 분석

o 분석대상

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

o 혜택범위

- 역삼투방식의 해수담수화플랜트 시장규모로 설정

o 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산으로 정부출연금과 민간참여금을 합한 금액

o 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

o 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

o 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

o 기존의 환경공학과, 토목공학과, 화학공학과의 학생들이 본 연구에 관심을 갖고 과제를 수행함으로써, 환경, 물, 에너지 등이 융복합된 인력이 탄생하게 됨

o 관련 대학과 연구기관 등도 목적 지향적인 본 사업을 통해 자연스럽게 융복합 인력을 양성할 수 있게 됨

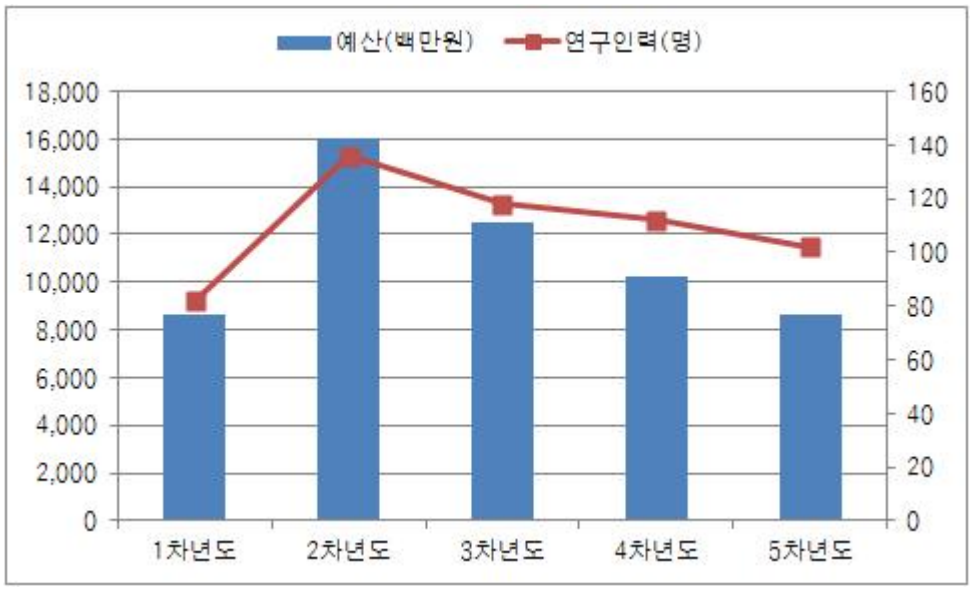
3. 예산 적정성 분석

o 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 공동과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함

o 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

o 파일롯 플랜트 건설이 진행되는 2차년도의 연구비 및 연구인력이 높은 것으로 볼 때 연구내용을 고려한 예산의 산정이 이루어졌음



[그림 4-5] 연차별 연구비 및 연구인력 현황

제 6 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, 기획위원에 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 7 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 - 싱가폴 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음 - 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 농축수를 저감할 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^2의 전력생산효율을 갖고 있고, 다른 신재생에너지와의 경쟁에서 우위를 갖기 위해서는 실증플랜트에서 5 W/m^2의 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 5.3×10^{-12} m/s · Pa으로 이를 PRO 전력량으로 해수의 경우 6.1W/m^2, 해수 농축수의 경우 15.3W/m^2이나, 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 발생되는 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 ㎥/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/㎥ 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/m^2 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 100㎏/㎠의 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 ㎥/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 경향이기 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

	향에 우려가 제기되고 있으므로, 이를 해결하는 것이 미래 해수담수화 시장에서 유리한 위치를 차지하기 위하여 필수적임 ❍ 그간의 추격형 연구형태를 탈피하여 미국, 유럽 등과 동시대 경쟁이 가능한 해수담수화 기술의 확보 필요 ❍ 농축수를 회수함으로써 담수화의 경제성과 지속가능성에 기여할 필요가 있음
□ 기술동향	❍ 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 - 싱가폴 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 ㎥/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 ㎥/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 압력지연삼투(PRO) 전용막 개발 및 에너지 생산 효율 향상을 위한 시스템 엔지니어링 기술 개발 ❍ 막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m^2 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 5.3×10^{-12} m/s·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 3W/m^2 이며, 경제성을 확보하기 위해 5W/m^2 을 목표치로 하고 있음

❍ Statkraft 사와 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/m^2 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 100㎏/㎠이상의 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 알루미노실리케이트계 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 100㎏/㎠의 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 ❍ 싱가폴 PUB는 모형플랜트 연구를 진행하고 있음 ❍ 지속적인 환경규제의 강화로 인하여 농축수의 해양방류가 어렵기 때문에, 시장에서도 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 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
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

<table>
<tr><td></td><td>❍ 막 증발법 최적화 기술 개발
- 막 증발법 파일럿 플랜트 (400 ㎥/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
- 신개념 복합탈염 및 농축수 저감기술 경제성 분석</td></tr>
<tr><td>7. 정부지원의 타당성</td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>8. 기술확보 전략</td><td>
<table>
<tr><th>기술 분야</th><th>확 보 방 안</th></tr>
<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 연구경험을 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>
</table>
</td></tr>
<tr><td>9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>
<table>
<tr><th>최종성과물</th><th>활용방안</th></tr>
<tr><td>400 ㎥/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>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="6">10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>2,500</td><td>4,300</td><td>3,300</td><td>3,000</td><td>2,800</td></tr>
<tr><td>민간 (추정)</td><td>2,300</td><td>4,400</td><td>3,500</td><td>3,000</td><td>2,800</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>4,800</td><td>8,700</td><td>6,800</td><td>6,000</td><td>5,600</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">15,900</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">16,000</td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">58 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">31,900</td></tr>
<tr><td>11. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">❍ 해수담수화 플랜트 보급의 가장 큰 걸림돌은 농축수의 저감이므로, 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</td></tr>
</table>

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/MCr 공정 농축수를 이용한 PRO 실증 파일럿 시스템 개발 (막 면적당 평균 전력생산효율 5 W/m^2)
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/m^2의 전력밀도를 얻고 있으며 전력 생산은 약 6 kW 임. 다른 신재생에너지와 비교하여 경제성 면에서 우위를 갖기 위해 5 W/m^2의 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 $5.3\times10^{-12}m/s \cdot Pa$으로 이를 전력생산량으로 환산하면 해수 기준으로 6.1W/m^2, 농축수 기준으로 15.3W/m^2이나, 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	❍ PRO을 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

<table>
<tr><td></td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>7. 정부지원의 타당성</td><td>❍ 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</td></tr>
<tr><td>8. 기술확보 전략</td><td>
<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>
</td></tr>
<tr><td>9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>
<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>
</td></tr>
<tr><td>10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td>
<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="2">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>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 colspan="2">합 계</td><td>3,200</td><td>5,900</td><td>3,950</td><td>3,000</td><td>2,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">총
연구비
(백만원)</td><td>정부</td><td>9,050</td><td rowspan="2">총
연구기간</td><td rowspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td>9,000</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td>18,050</td><td>연도별
평균소요인력</td><td>36 명</td></tr>
<tr><td>11. 기대효과 및
파급효과</td><td colspan="5">❍ 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</td></tr>
</table>

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 100㎏/㎠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 자원화함으로서, 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 100㎏/㎠의 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

<table>
<tr><td rowspan="6">10. 연구개발 과제의 규모

(50억원 이내)
(연구기간 5년 이내)</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>800</td><td>800</td><td>950</td><td>800</td><td>700</td></tr>
<tr><td>민간 (추정)</td><td>350</td><td>400</td><td>500</td><td>400</td><td>350</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>1,150</td><td>1,200</td><td>1,450</td><td>1,200</td><td>1,050</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">4,050</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">2,000</td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">16 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">6,050</td></tr>
<tr><td>11. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">❍ 해수담수화 플랜트에서 발생하는 부산물을 자원화함에 따라 부산물의 추가적인 처리 비용이 필요 없고, 2차적인 환경오염을 방지
❍ 재활용품 생산을 통한 부가가치 창출</td></tr>
</table>