(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

4㎝

고효율 정·역삼투 융합 해수담수 플랜트 고도화 보고서

한국건설교통기술평가원

국토해양부

5㎝

3㎝

Land Transpot and Maritime R&D Report

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

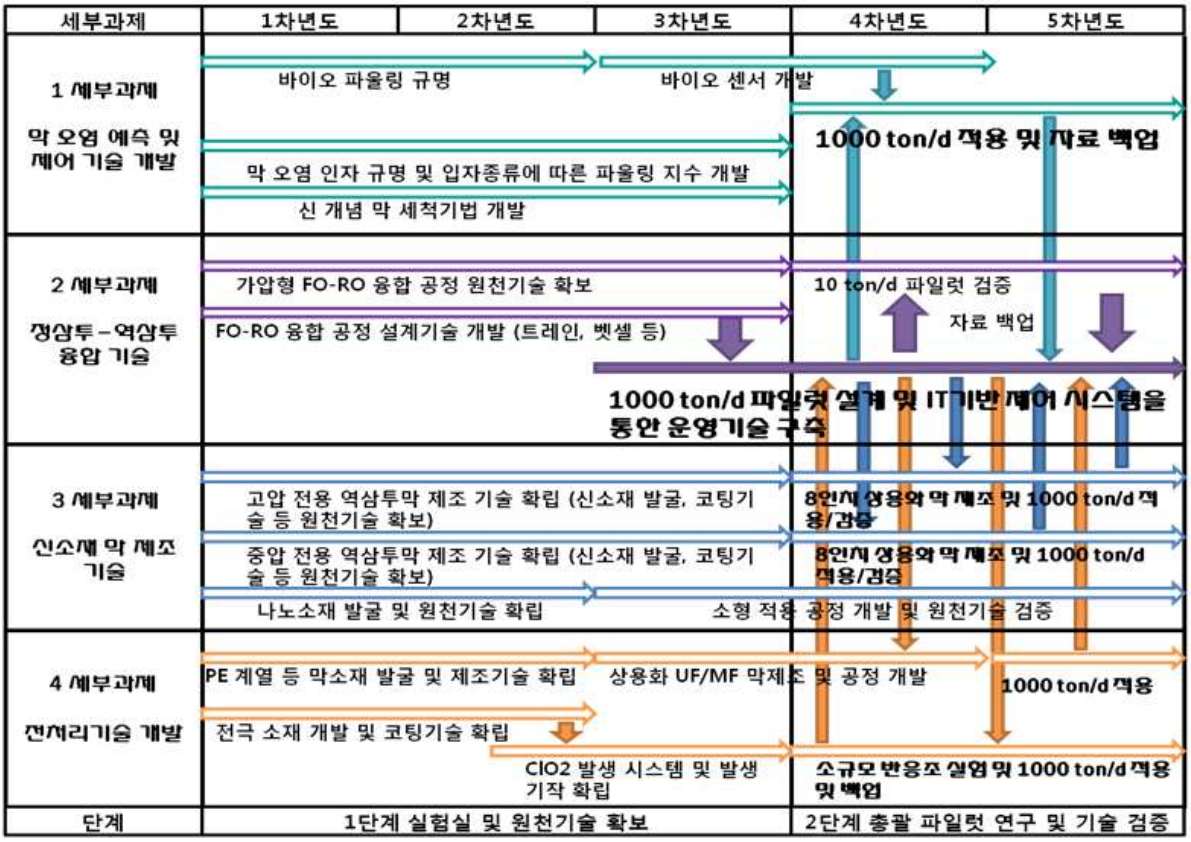
o [비전] 정삼투를 기반으로 하는 에너지 저감 기술과 해수담수화 기술의 융합을 통한 세계시장 주도형 한국형 해수담수 원천기술 개발

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

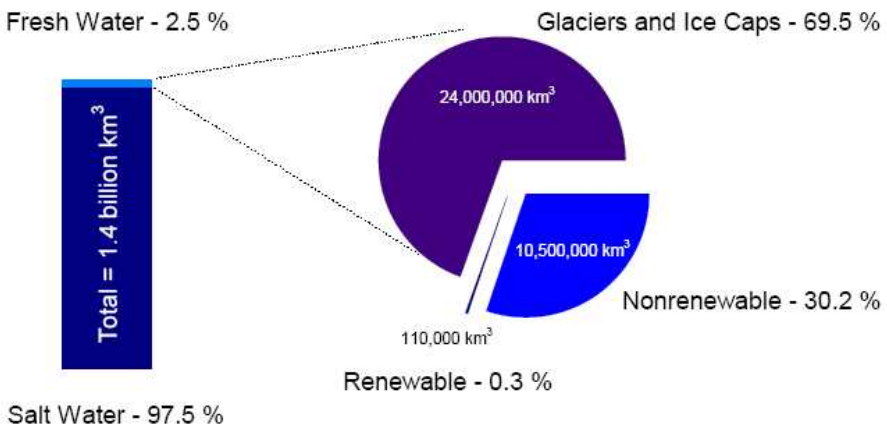


그림 1. 물의 분포

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

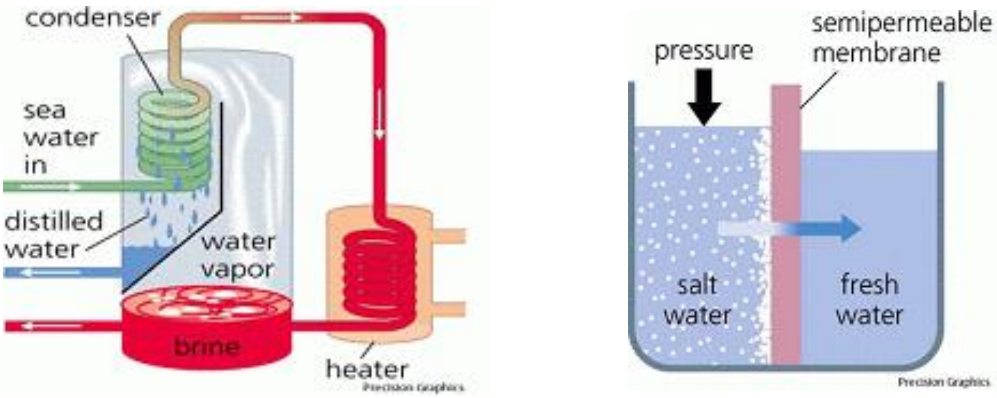


그림 2. 담수화 공정-증발법과 역삼투법

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

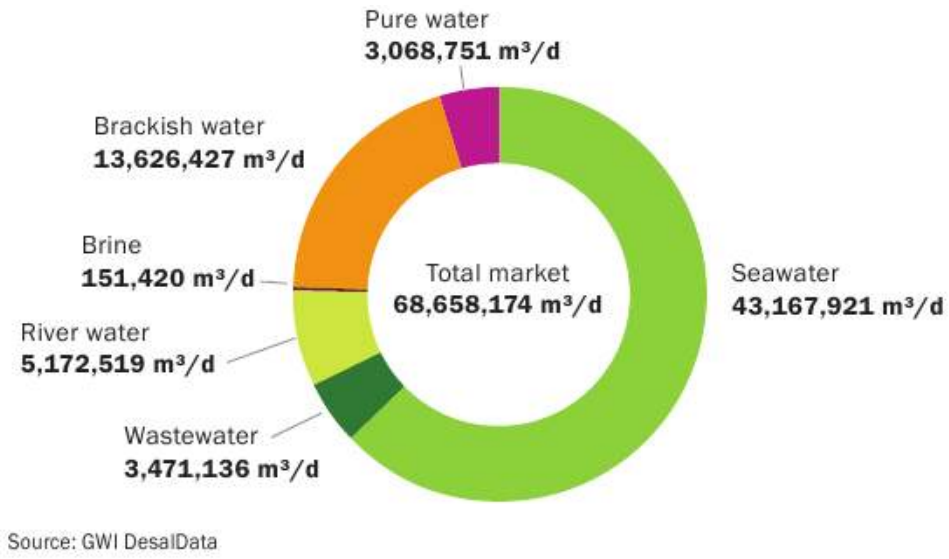
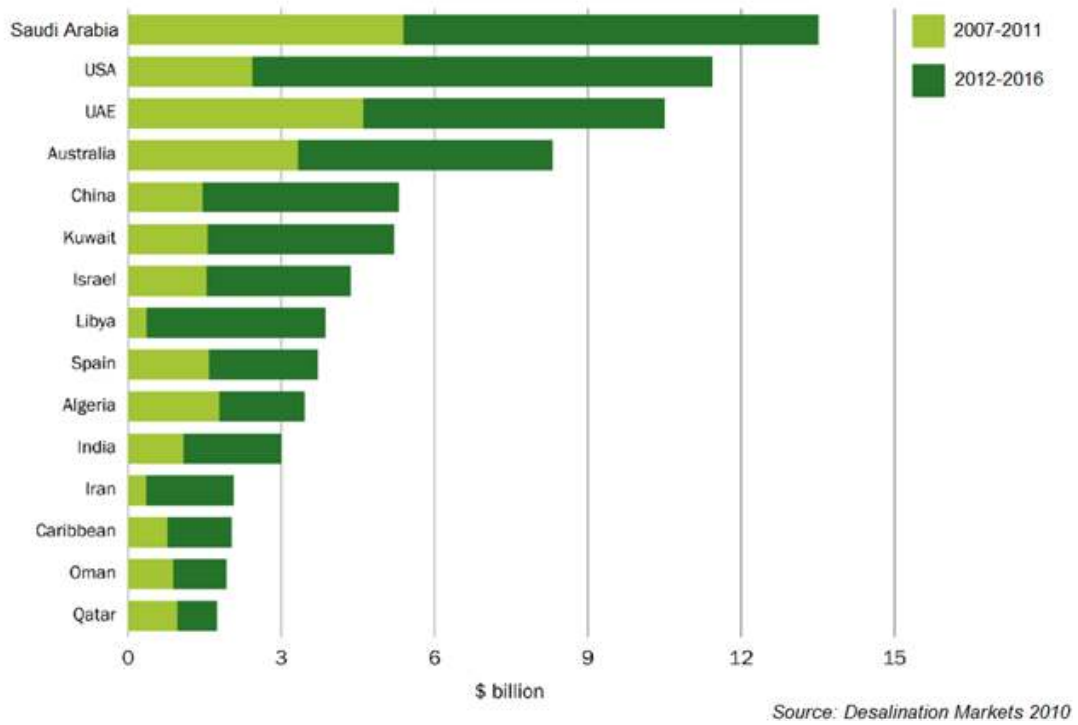


그림 3. 담수화 시장 현황

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))

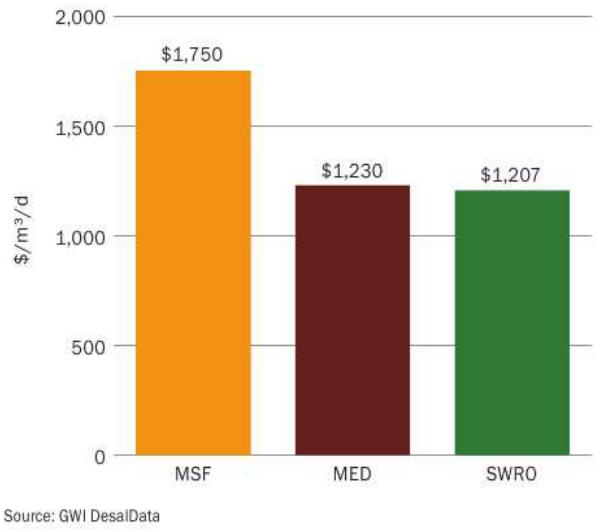


그림 5. 해수담수화 방식별 생산수 ton당 EPC 가격

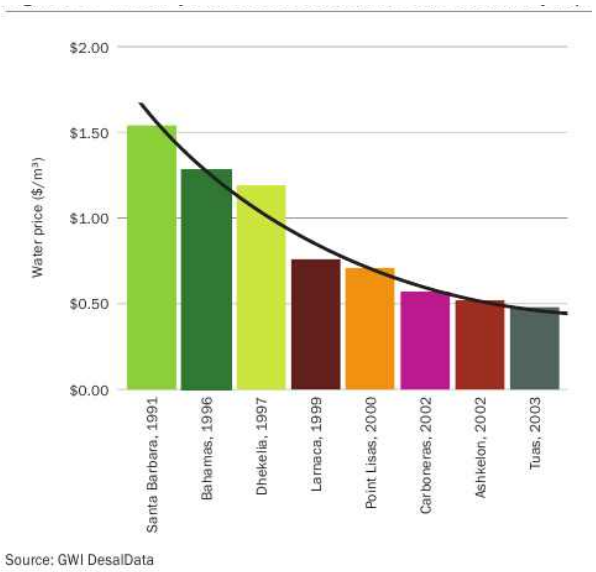


그림 6. SWRO 방식의 물값변화

- 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

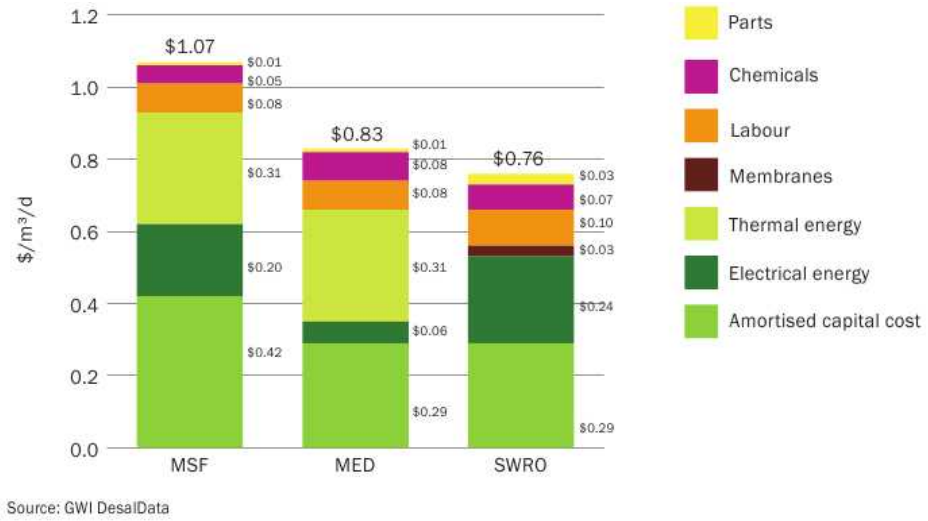


그림 7. 해수담수화 방식별 운영비 및 구성요소 별 경제성

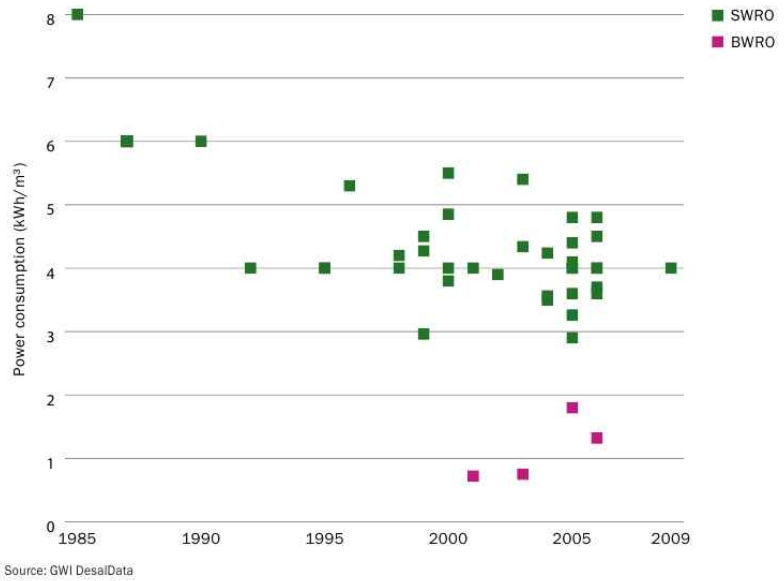


그림 8. SWRO 플랜트 톤당 요구되는 전력비

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

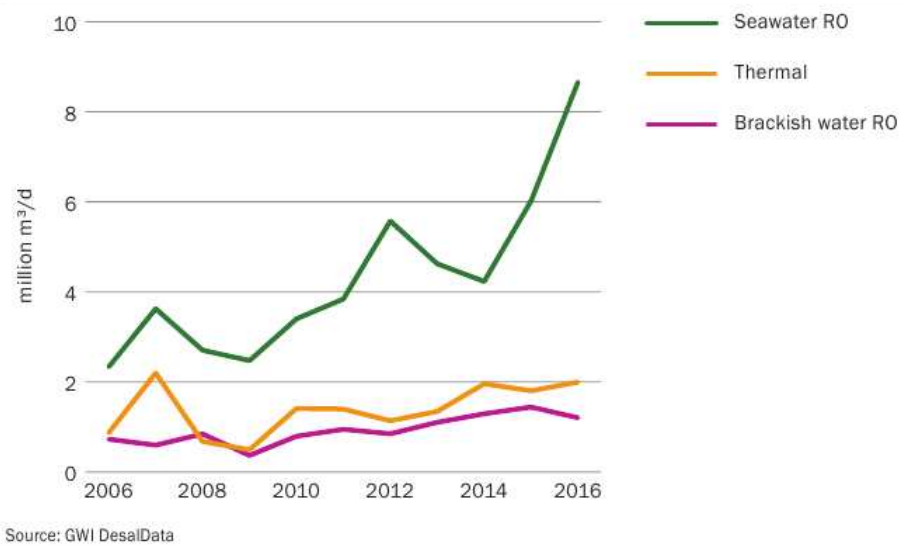


그림 9. 2016년까지 해수담수화 방식별 발주량 예측

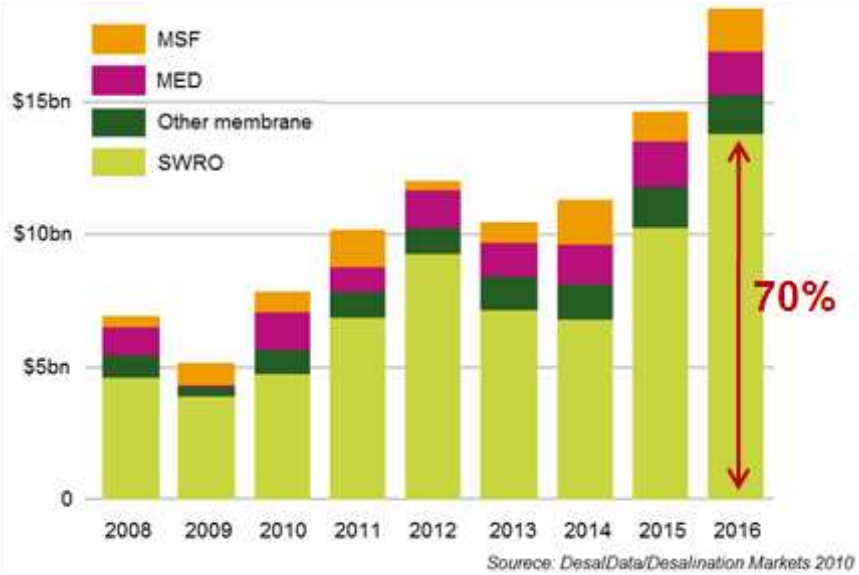


그림 10. 담수화 방식별 해수담수화시장 규모 및 전망

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

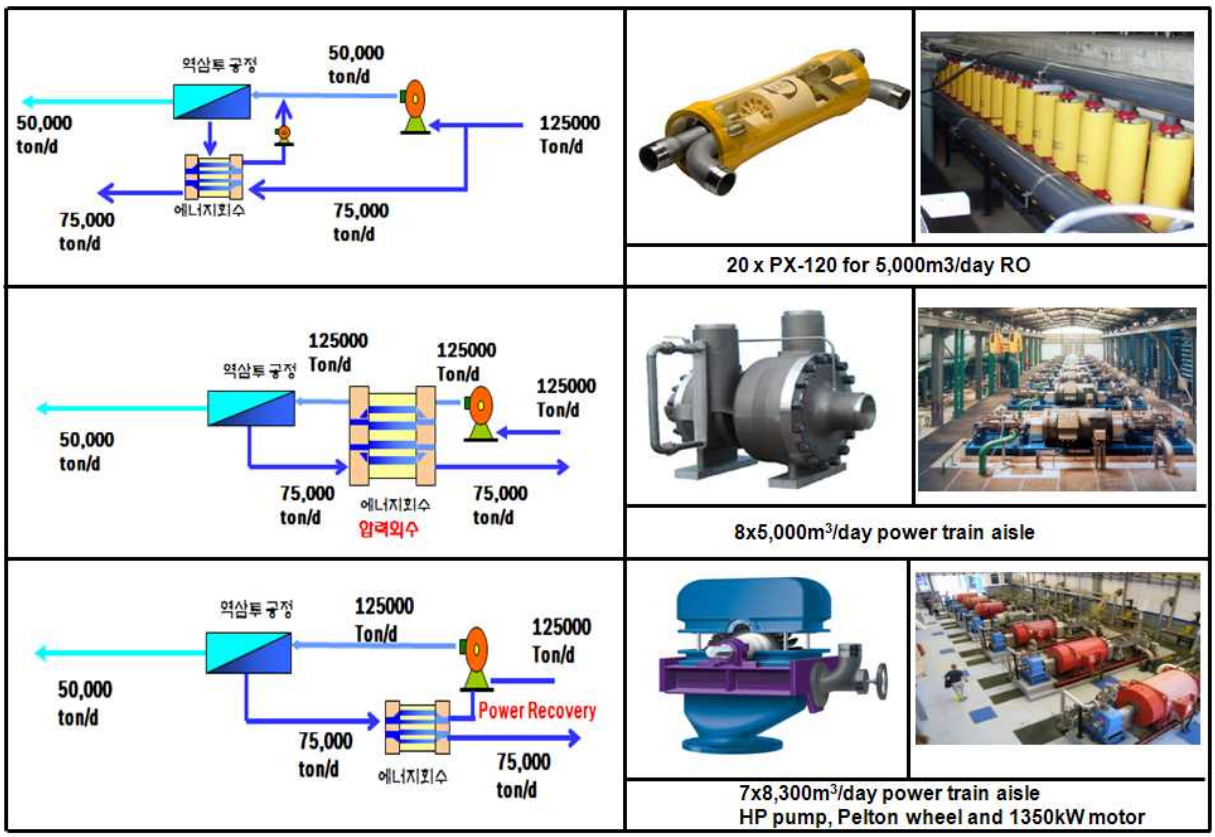


그림 11. 에너지 회수장치의 종류

- 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

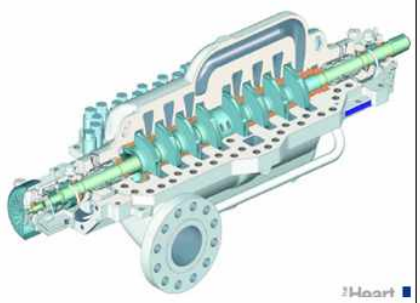
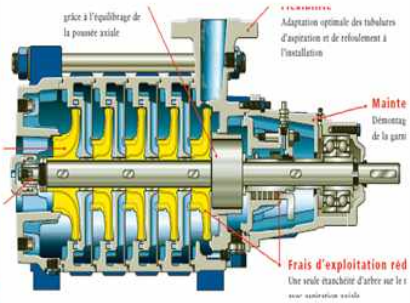
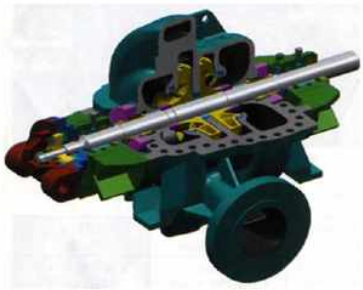
스위스 S사	독일 KSB사	일본 Torishima사
대유량 펌프 전략 경쟁사가 보유하고 있지 않은 대용량 펌프 모델 보유	RO 펌프 특화 RO전용의 고압펌프 개발	고압펌프 단수를 작게함 원가절감형 모델 개발을 통한 가격 경쟁력 확보
		

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/L에서 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

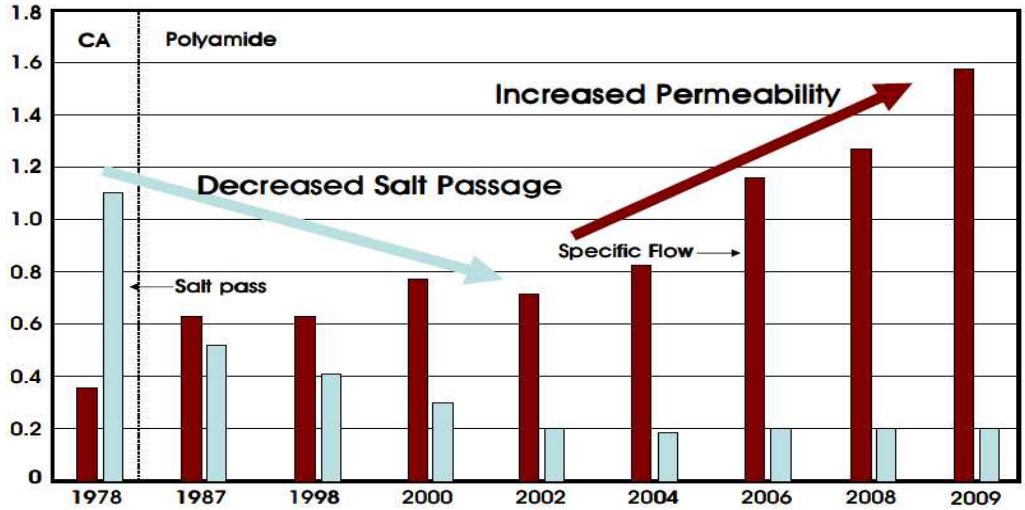


그림 14. 역삼투막의 발전방향

※ 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 exch anger)	37,500	450	56.6 (single)	29.5 (2006)
Dhekelia SWRO, Cyprus (Dupont 막)	40,000	1.19	5.3	Reverse pu mp	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 iso baric	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 –4000 0	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)

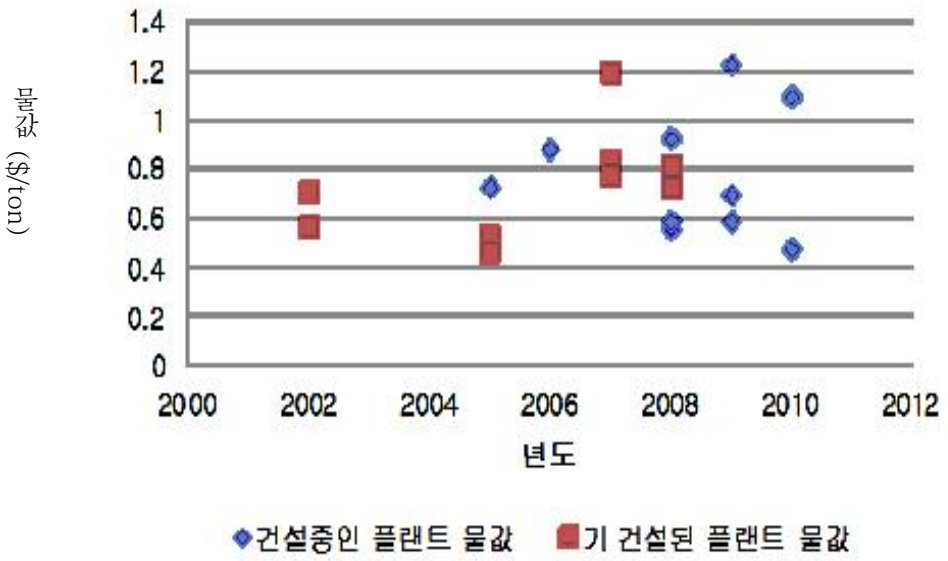


그림 15. 각 플랜트 물값의 변동 추이

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

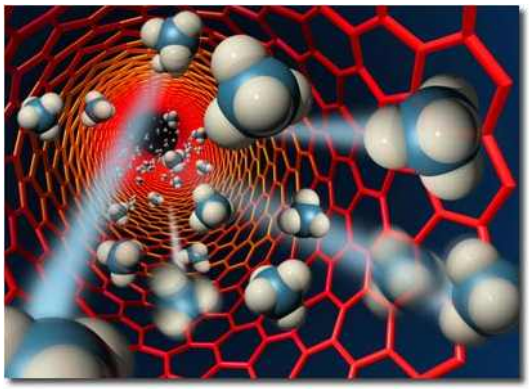
o GWI에서는 현재까지의 연구방향을 총 7개의 Key Word로 요약하고 있음

- 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)

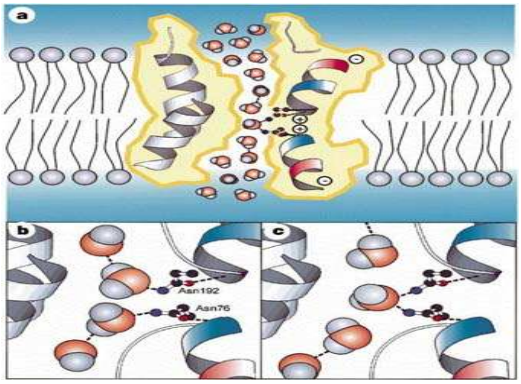
o 위의 7개의 분야중 **파울링, 전처리 (UF 전처리), 에너지회수장치, RO 모듈의 대형화, 고 플럭스 RO에 대한 연구는 실질적으로 해수담수화 플랜트에서 수행**

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

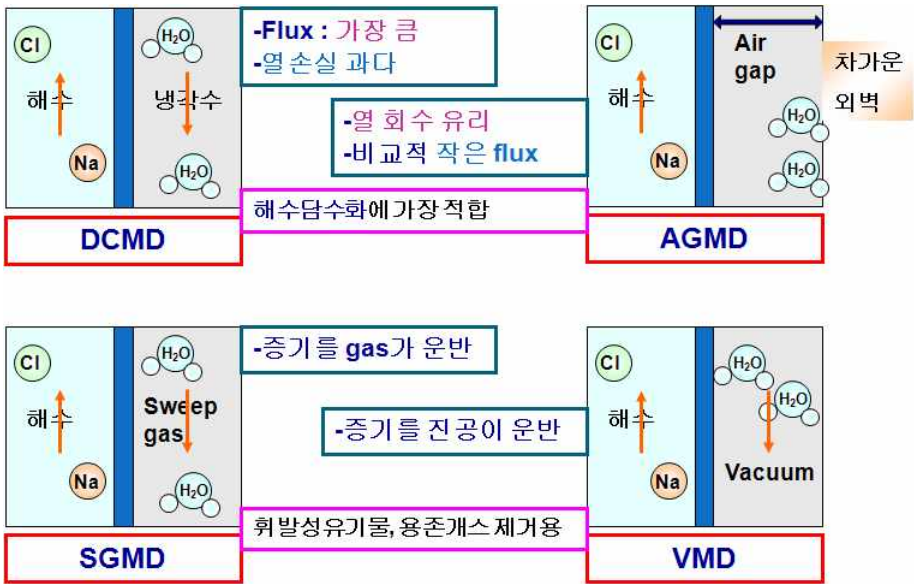


그림 17. MD 공정의 4가지 운전방식

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

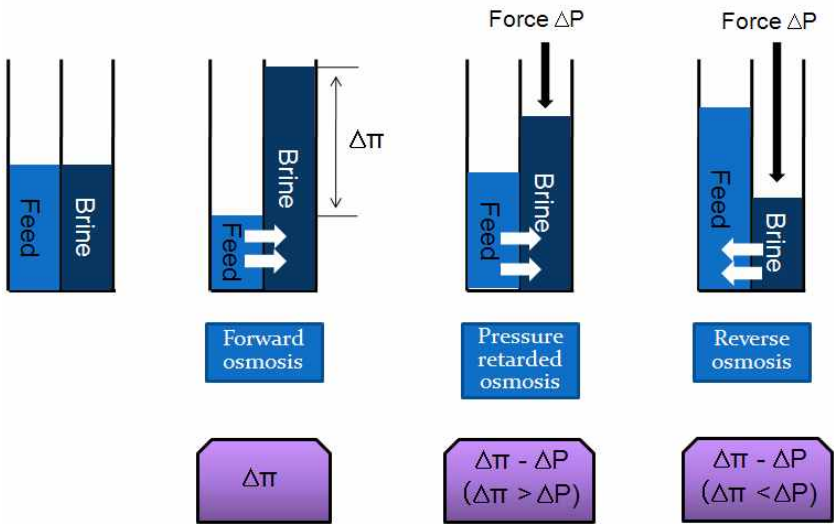


그림 18. FO 공정의 원리

- 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

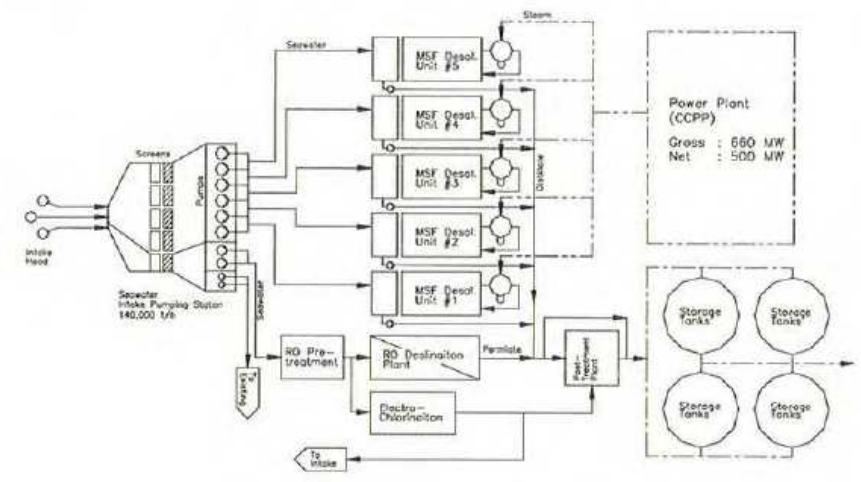
• 단순조합방식 : 2개의 공정을 병렬로 운영하고 처리수만 혼합하는 형태로 후자리라 프로젝트로 대변됨

• 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**

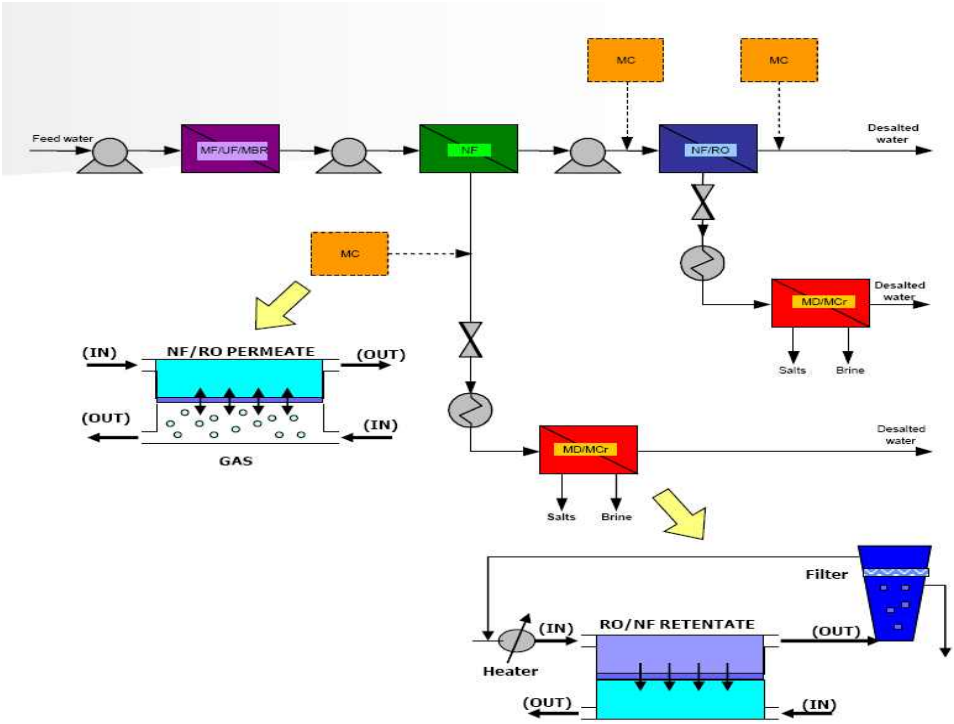


그림 19. 공정강화의 예 (메디나 프로젝트)

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 극복하고자 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)

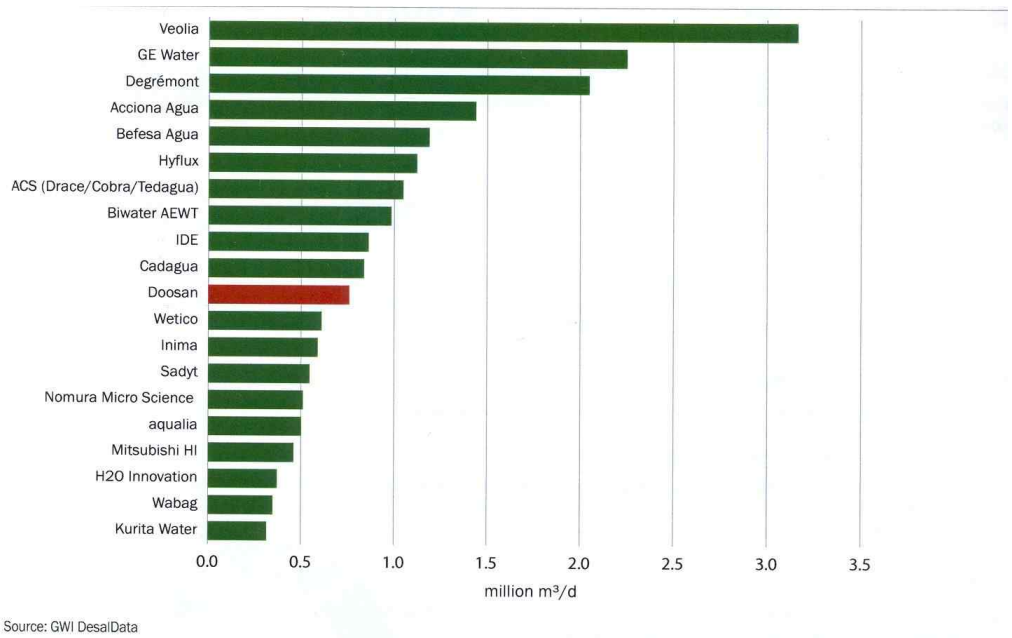


그림 20. RO방식에 있어 두산중공업의 수주량 (2000~2009)

- 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

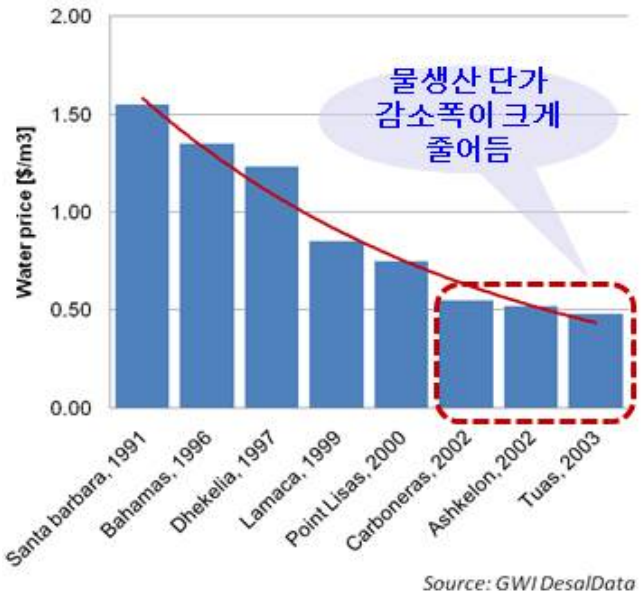


그림 21. RO방식의 물생산 단가 변화 추이

- 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

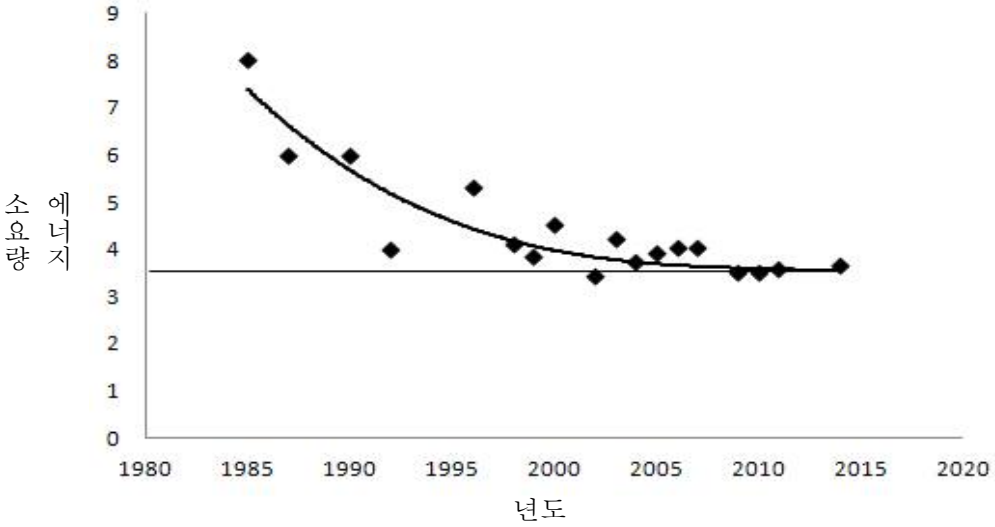


그림 23. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 연도별 에너지 소요량

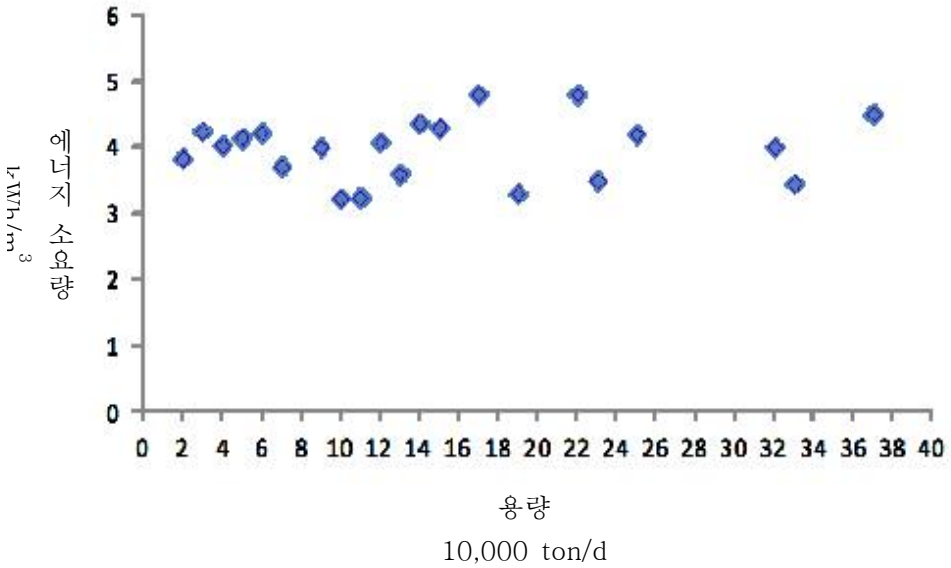


그림 24. 역삼투 방식 해수담수화 플랜트의 용량별 에너지 소요량 (10,000 ton/d 이상)

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

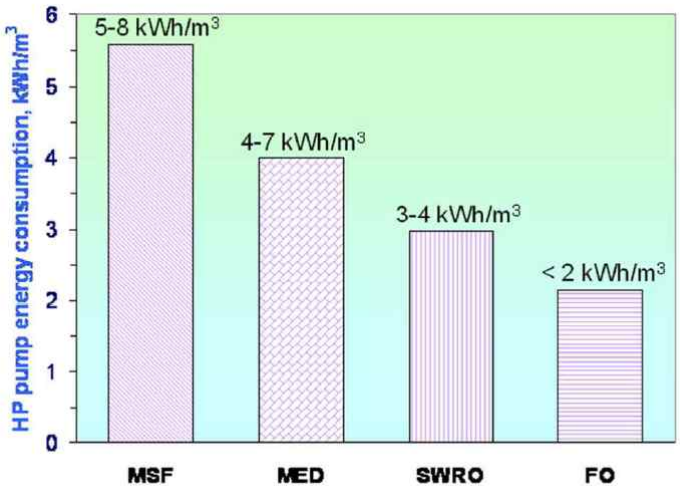


그림 25. FO 공정과 다른 해수담수화 공정과의 비교

※ 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

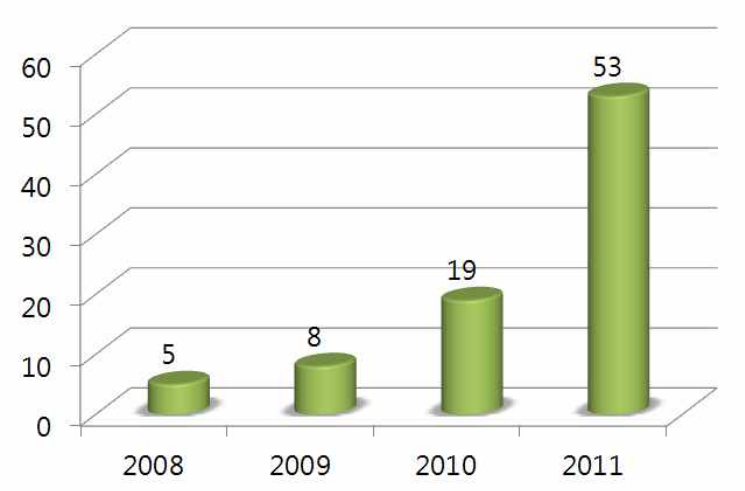


그림 26. 연도별 FO 관련 발표 논문 수

- 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

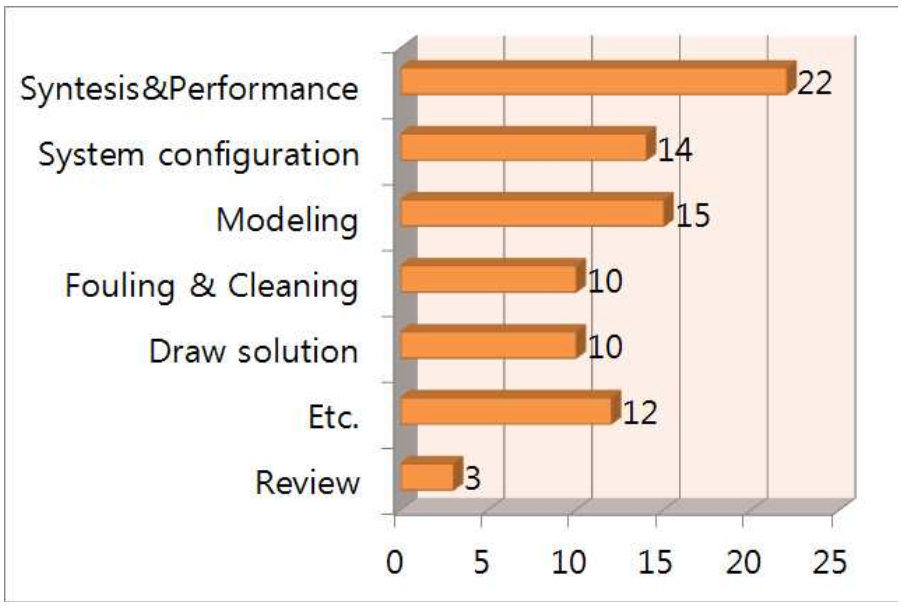
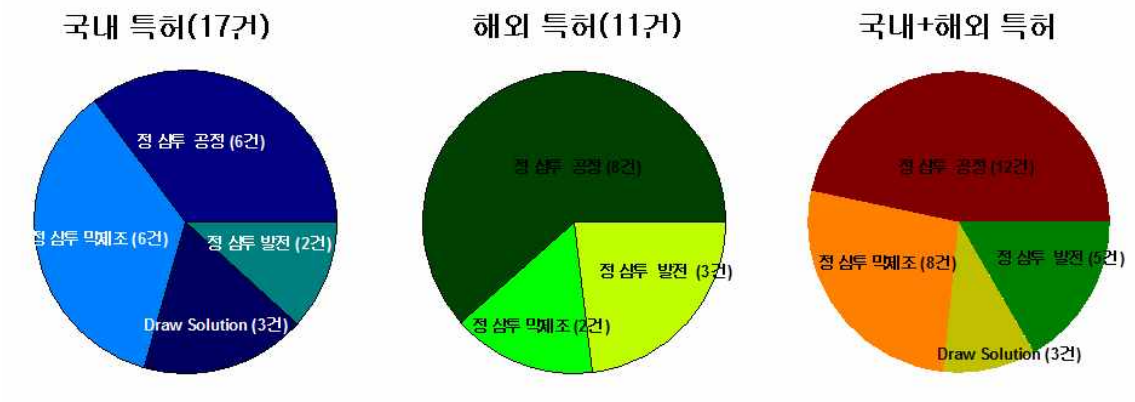


그림 27. 연구 주제별 FO 관련 논문 발표수(2008~2011)

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

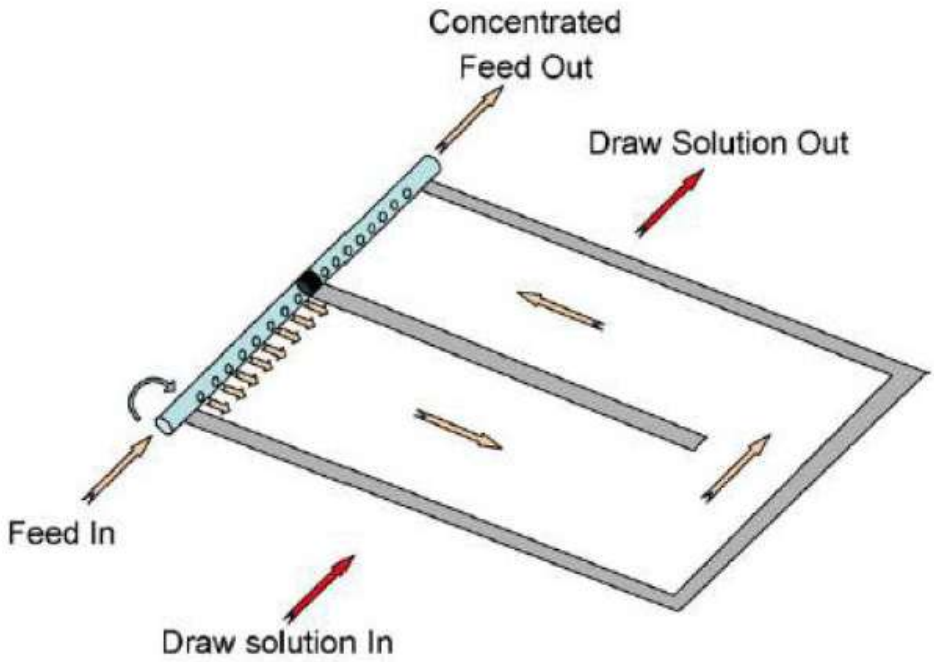


그림 28. 나권형 모듈의 예

- 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, Ammonia 와 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
10mM NaCl	0.5 M NaCl	PA TFC	20.5 LMH	5.9 gMH	PRO mode	
DI	1.5 M NaCl	PA TFC	18.16 LMH	-	PRO mode	97.4
DI	1 M NaCl	PA TFC	25.0±4.1 LMH	0.33±0.19 gMH	FO mode	98.6±0.8
DI	2 M MgCl2	CA	17.3±0.4 LMH	1.2±0.2 gMH	PRO mode	
DI	0.5 M MgCl2	PAI	29.65 LMH	-	PRO mode	
DI	2 M NaCl	TFC (Sulphonated)	33.0 LMH	2.8 gMH	PRO mode	91
DI	3 M MgCl2	PAH+PSS (LbL)	105.4 LMH	-	PRO mode	
DI	3 M NaCl	PES membrane	~30 LMH	~6 gMH	-	94
0.6 M NaCl	1.2 M MgSO4	CA	6.5 LMH	-	FO mode	88(Na) 99(Mg)
50mM NaCl	4 M NaCl	CTA	37.8 LMH	-	PRO mode	
DI	5 M MgCl2	CA double layer	48.2 LMH	-	-	

Feed	Draw solution	Membrane (중공사막)	Water flux	Salt flux	Orientation	R
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	32.2 LMH	0.11 g/L	PRO mode	
DI	0.5 M NaCl	PES hollow fiber	42.6 LMH	0.094 g/L	PRO mode	
DI	5 M MgCl2	PES hollow fiber	33.8 LMH	1.0 gMH 이하	PRO mode	
DI	1.0 M MgCl2	PAH+PSS (LbL type)	22 LMH	6.66 gMH	FO mode	
DI	1.0 M MgCl2	PAI	14.6 LMH	-	PRO mode	
DI	3.125 M MgCl2	PBI-PES hollow fiber(NF)	17.1 LMH	-	PRO mode	-
DI	2 M MgCl2	CA hollow fiber	30.98 LMH	0.37 gMH	PRO mode	
DI	2 M MgCl2	CA NF	7.3 LMH	0.53 gMH	PRO mode	
DI	0.5 M MgCl2	PES hollow fiber	49.0 LMH	4.0 gMH	PRO mode	
10 mM NaCl	0.5 M NaCl	PA-TFC hollow fiber	40.3 LMH	-	PRO mode	

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 perme-ability가 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

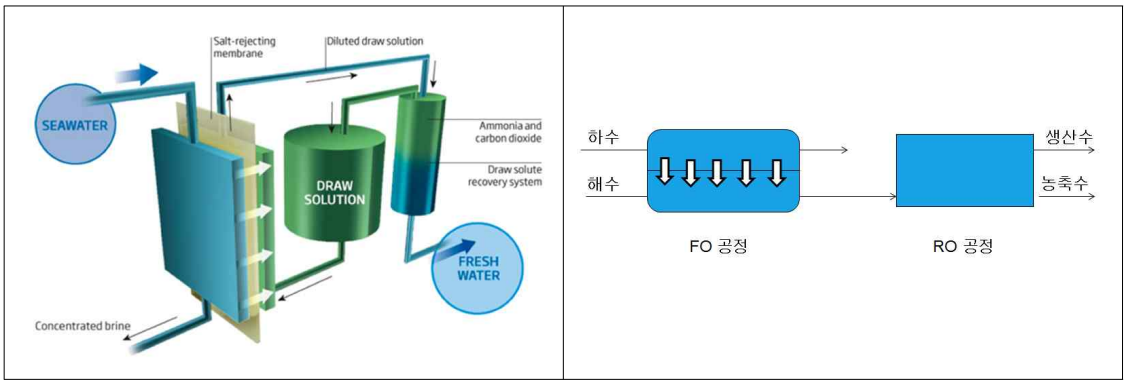


그림 30. FO 공정과 FO 하이브리드의 비교

(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)

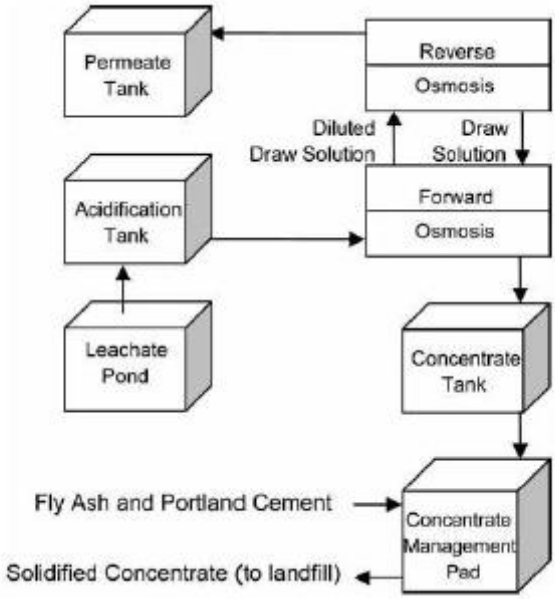
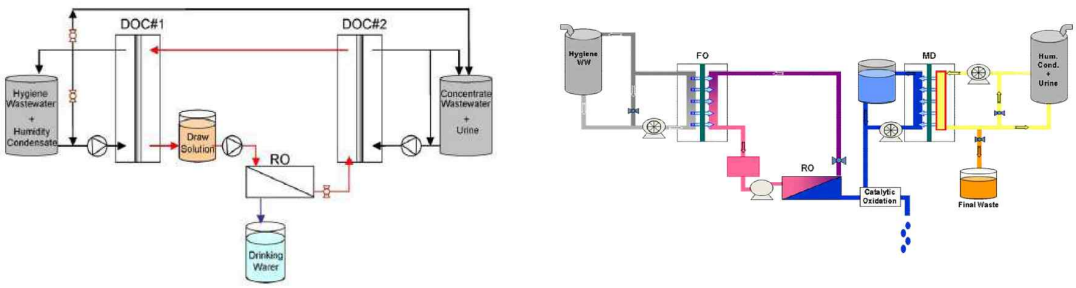


그림 31. 침출수 처리를 위한 정·역삼투 융합공정의 예

※ 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



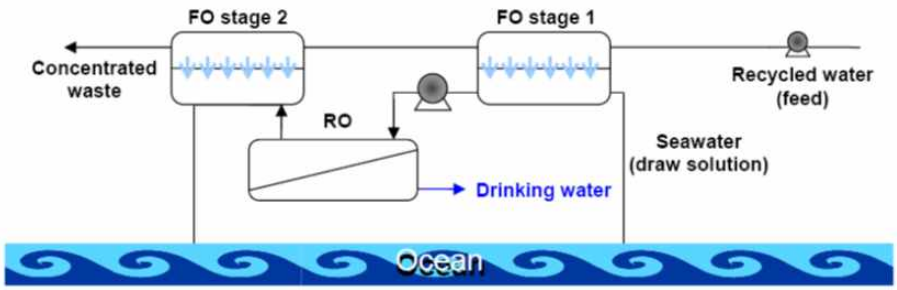
(a) 1세대 정·역삼투 융합공정 (b) 3세대 정·역삼투 융합공정

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

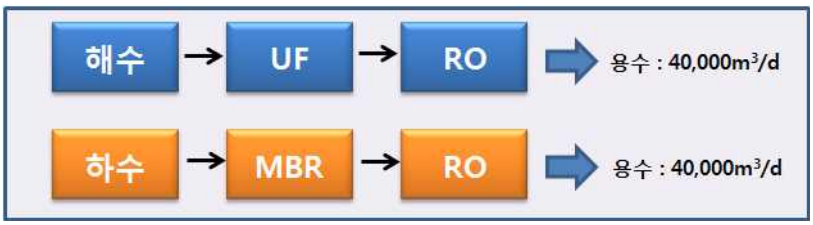
□ 정·역삼투 융합 해수담수 플랜트에 대한 타당성 검토

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

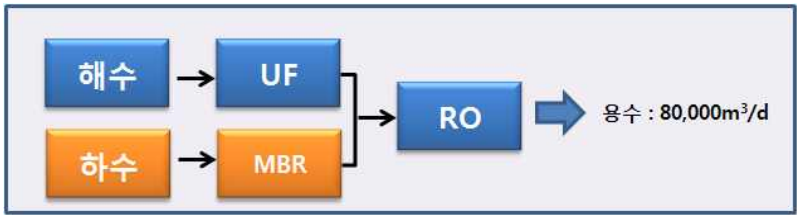


<개념도 ; 해수와 하수 별도 공정>

① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

② MBR전처리(A2O공정)+MBR+BWRO

• B Type

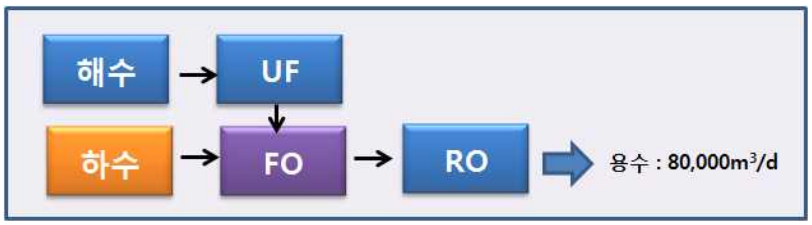


<개념도 ; 해수와 하수 합류 공정>

① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

② MBR전처리(A2O공정)+MBR / 취수+응집/침전+UF + BWRO

• C Type

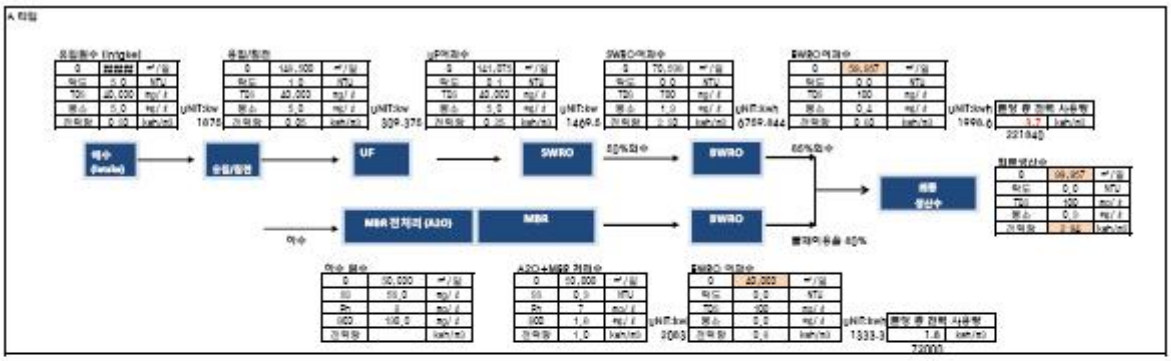


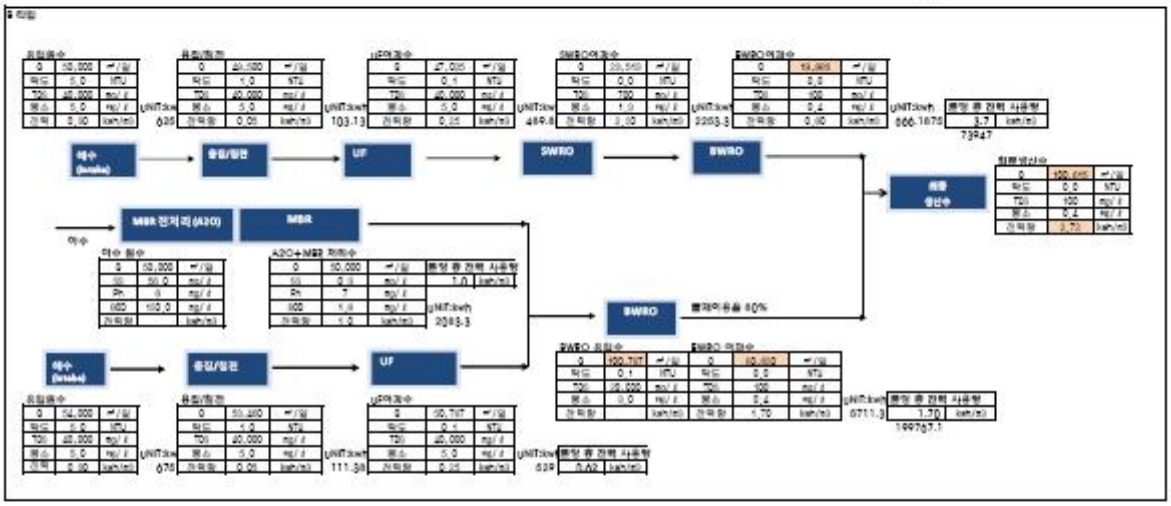
<개념도 ; FO/RO Hybrid 공정>

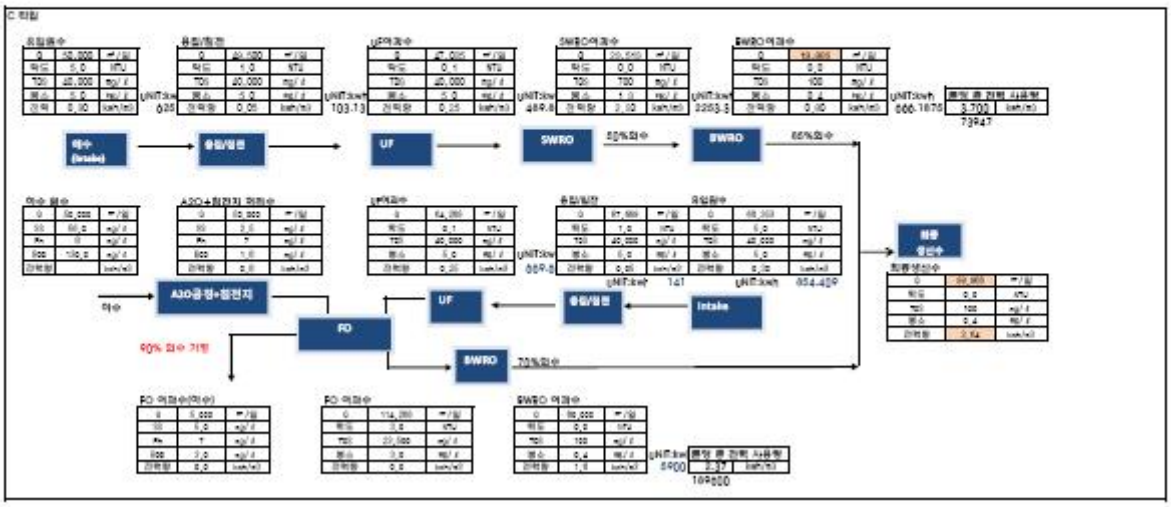
① 취수+응집/침전+UF+SWRO+BWRO

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 이하로 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)

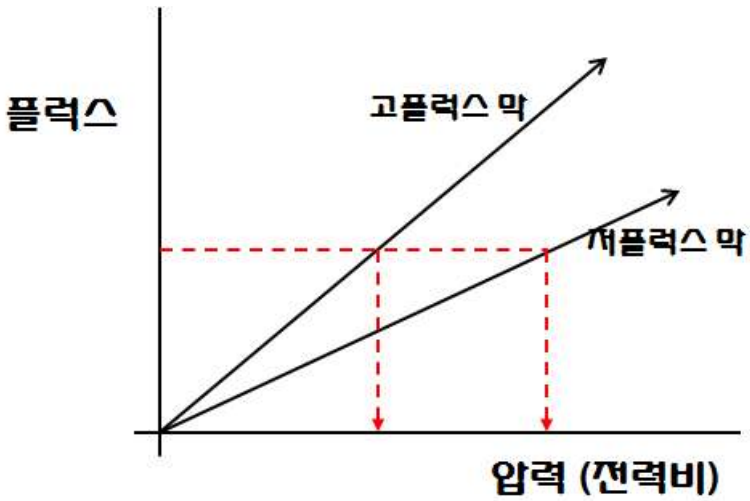


그림 33. 고플럭스 막의 장점

  - 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

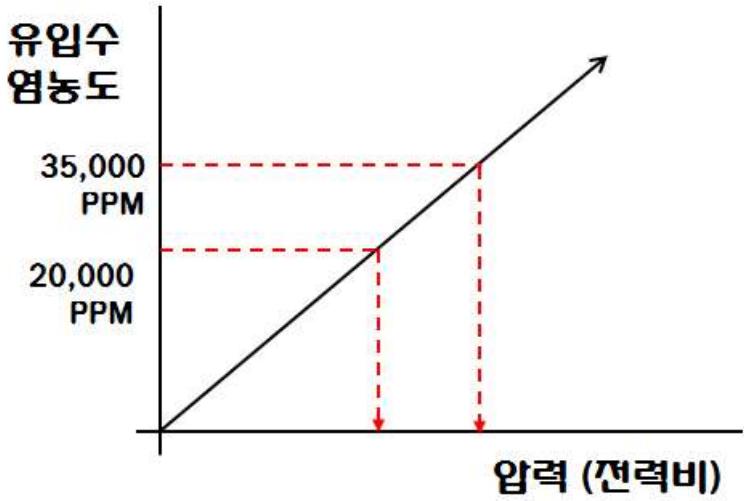


그림 34. 유입수 염농도에 따른 전력비 비교

- 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

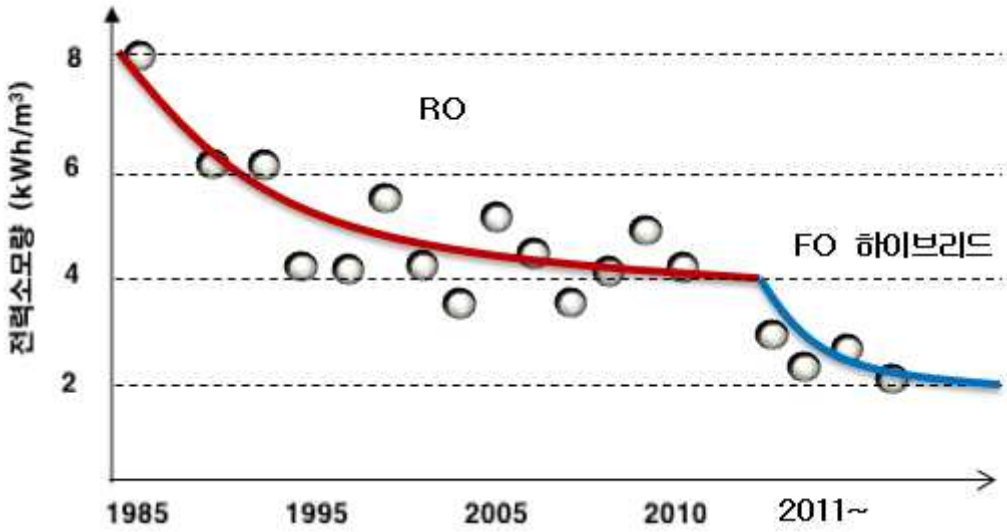


그림 35. 정삼투 공정과의 하이브리드를 통한 에너지 절감 가능성

- 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

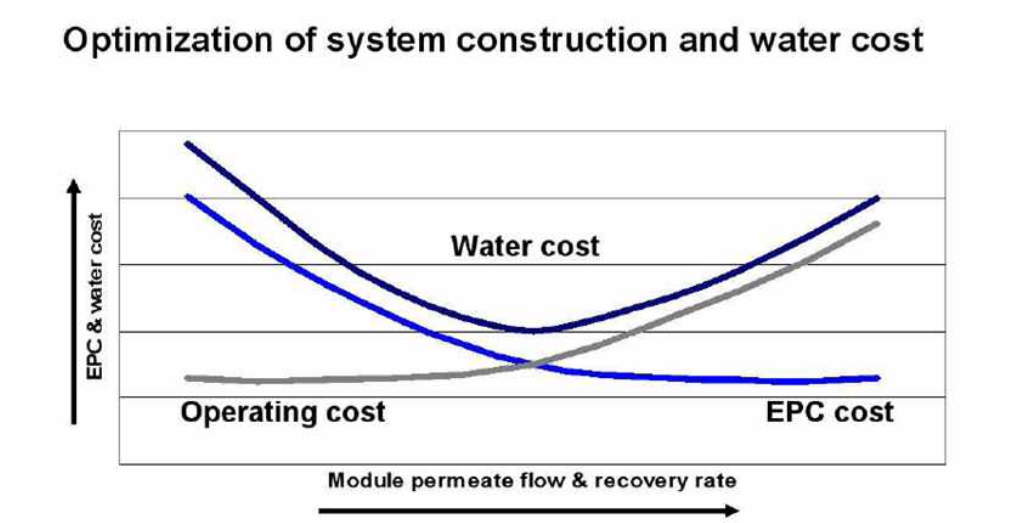


그림 36. EPC와 O&M과의 관계

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

대분류	중분류	세분류	세세분류	기간	과제내용	
신성장동력 스마트 프로젝트 (지경부)	고도 물처리산업	상수 관리 최적화 및 선진화	막여과 시스템 응용기술개발	'09~'13	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 공정 기술개발 - [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	국산 멤브레인 보급률 (정수시설 용량기준) 막여과 정수시설 설치 확대
		해수담수화플랜트 기술고도화	**증기압축시스템 이용 담수화 기술개발**	**'09~'10**	**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**	구 분 / 현 수 / 상대수준 (%) / 국 담수장비 에너지 효율 (C.O.P) / 30 담수장비 대당 용량 (톤/일/대) / 20 풍력발전 최고효율(%) / 100 발전 출력 변동율(%) / 100
WPM 10 (지경부)	다기능성 고분자 멤브레인 소재	고유량 정수처리용 멤브레인 소재 개발		'10~'18	-	항목 기공크기 투수량 사용수명 내화학성 바이러스 제거율 철분제거율
		고강도 친수성 나노급 기공 복합 멤브레인		'10~'18	-	항목 기공크기 바이러스제거율 순수 투과유량 역세주기 파단강도 모듈 막면적
		저에너지 담수화가 가능한 고유량 멤브레인 개발		**'10~'18**	**-**	항목 수투과도 담수농도 에너지 소비율
플랜트엔지니어링 원천기술개발사업 (지경부)	**정삼투식 다목적 담수화 플랜트 개발**			**'09**	**○ 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**	
Eco-STAR (환경부)	수처리선진화사업단	막분리 고도정수 기술상용화		'04~'11	- [정수용 막소재개발] 미래원천기술(단, 3~4 단계는 실용화 기술 - [중대형 막분리 고도정수처리시스템 개발 및 상용화] 실용화 기술	구분 / 입자성물질 / 소독부산물 탁도 (NTU) / 입자수 (개/ml) / TTHMs (mg/L) / HAA (mg/ 수질 기준 / 0.3 / - / 0.1 / 0.1 과제 목표 / 0.05 / 20 (95%) / 0.01 이하 / 0.0 이하

- 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

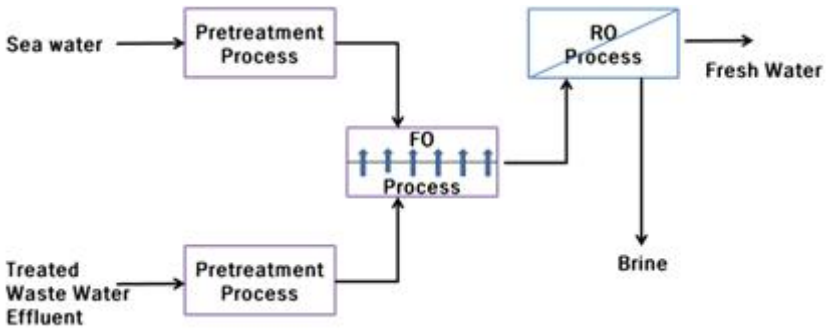


그림 37. 정·역삼투 융합 시스템의 개념도

- 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

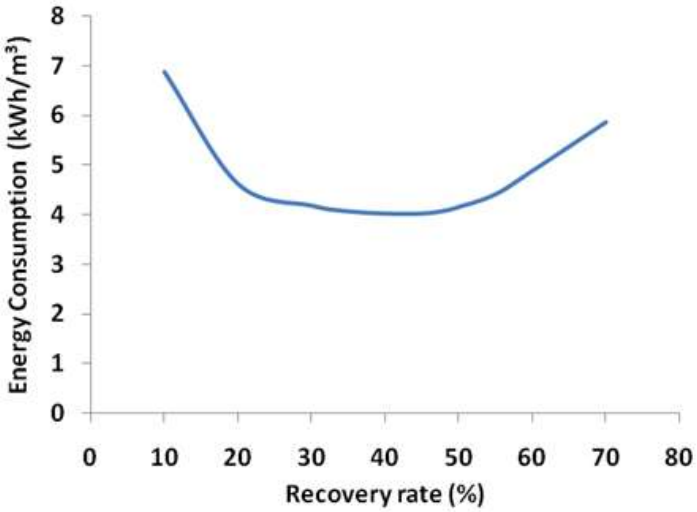


그림 38. 역삼투 공정에서 설계 회수율의 중요성

- 정삼투 공정에 있어 벳셀의 구성면에서는 아직까지 고려된 바가 없으나, 향후 대형 플랜트의 트레인 구성을 위해서는 가장 기본이 되는 설계요소가 되는 연구 사항임

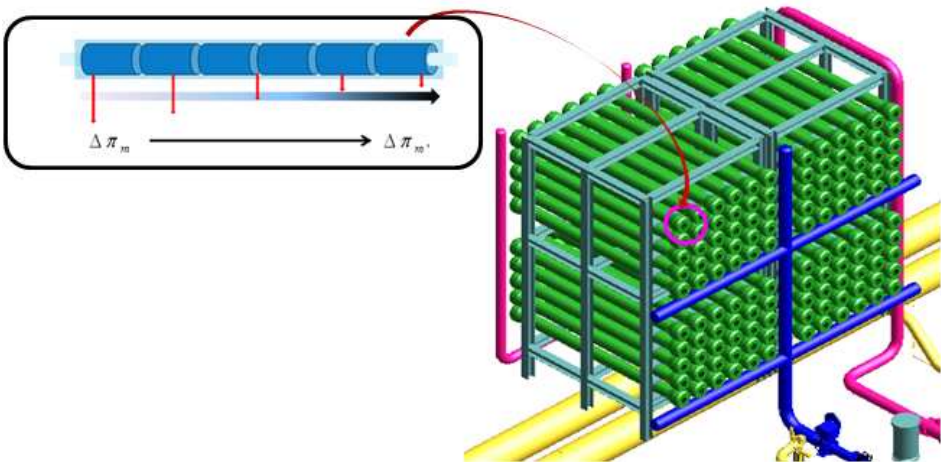


그림 39. 해수담수화 공정의 트레인 설계

- 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

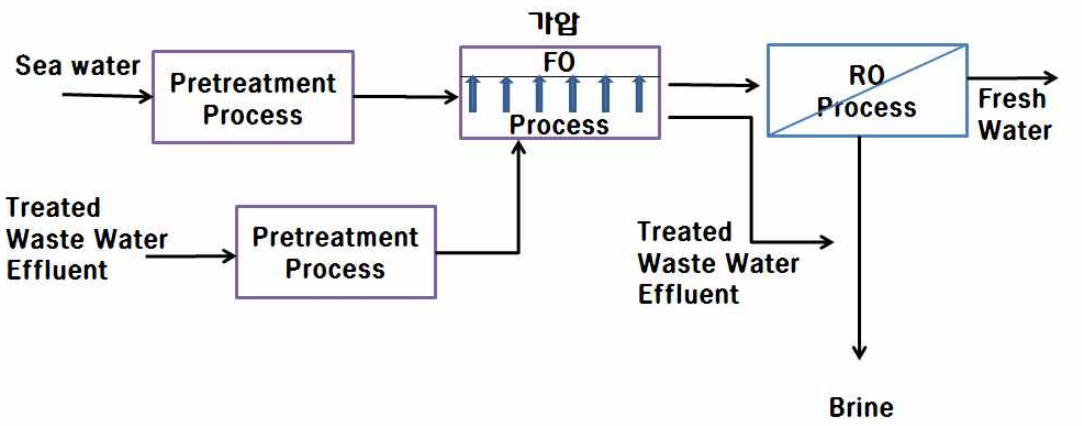


그림 40. 가압형 FO-RO 융합기술 개념도

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

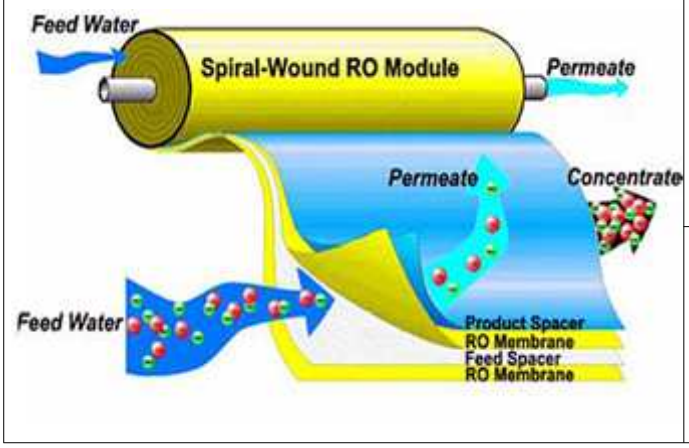
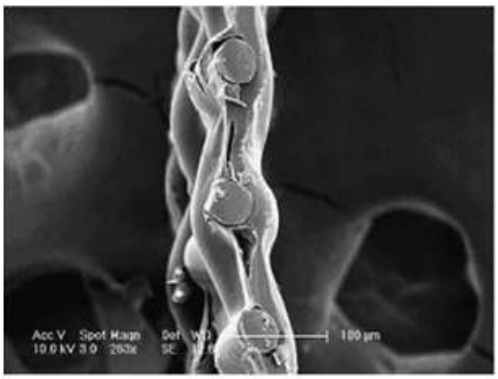
	고압	- 원수 농도 32,000 mg/L - 신소재를 이용 - 16000 GPD이상의 고플럭스
	중압	- 원수 농도 20,000 mg/L - 신소재를 이용 - 20000 GPD이상의 고플럭스

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



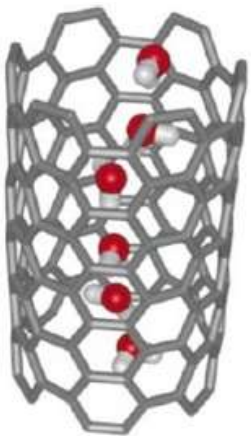


그림 42. CTN 및 FO 멤브레인

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

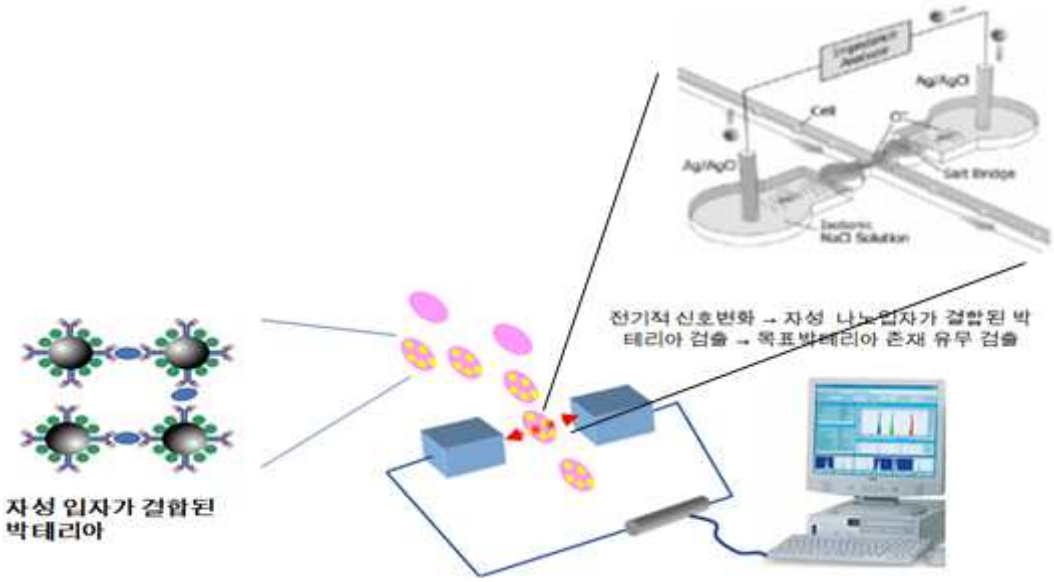
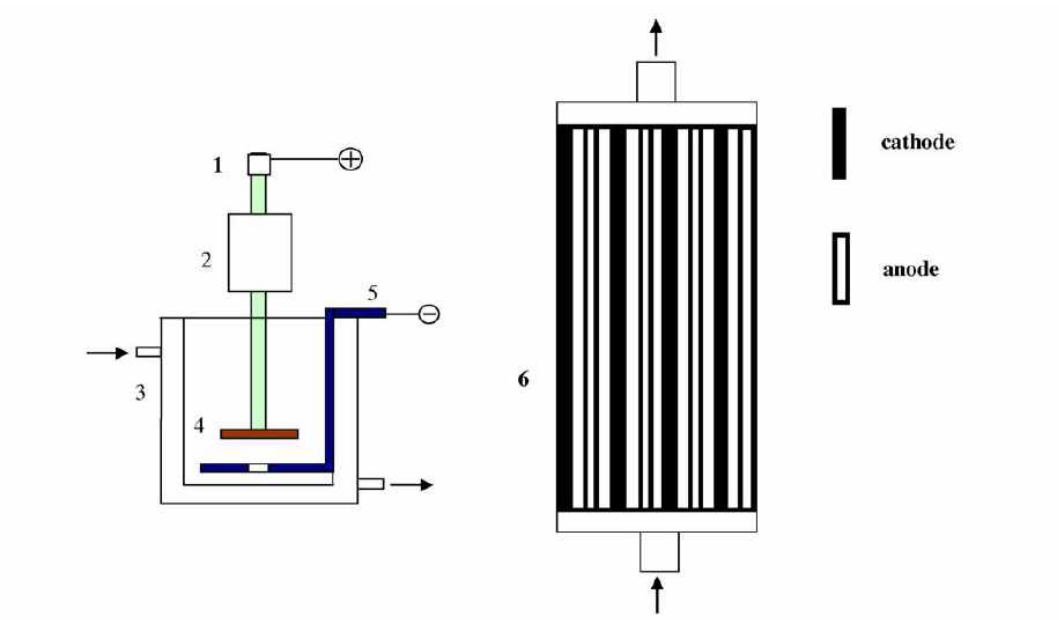


그림 43. 바이오 센서를 이용한 모니터링 시스템 예

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)

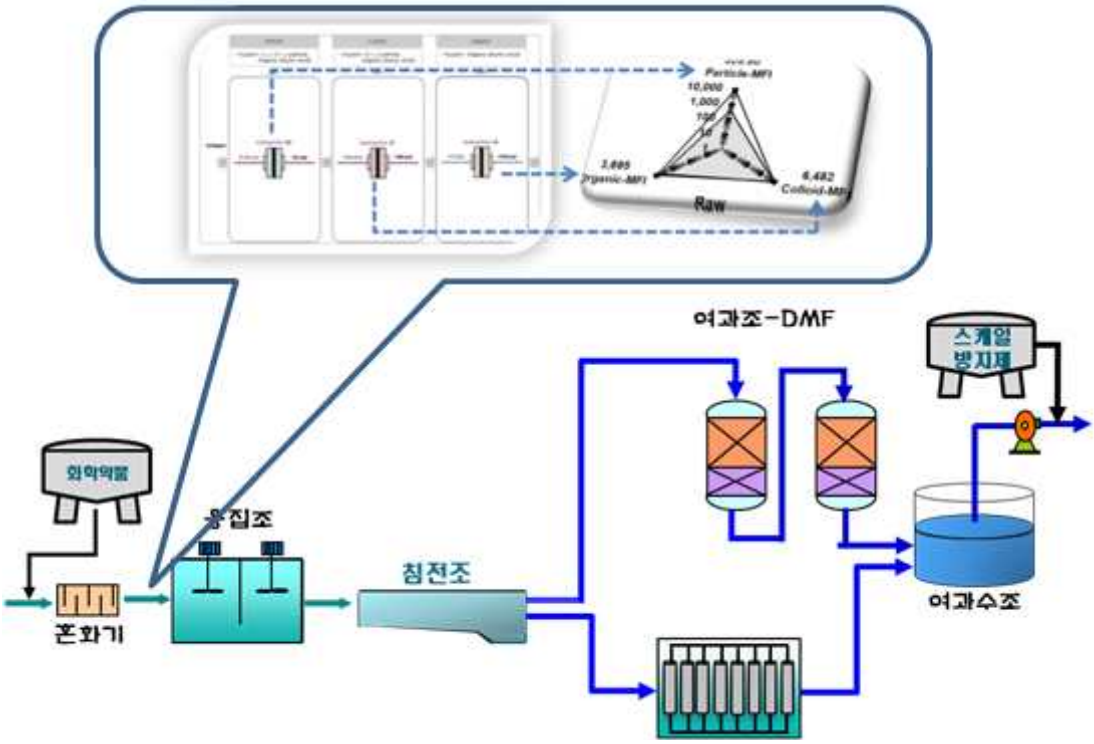


그림 45. MMAS를 이용한 전처리 공정 조합의 예

□ 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)

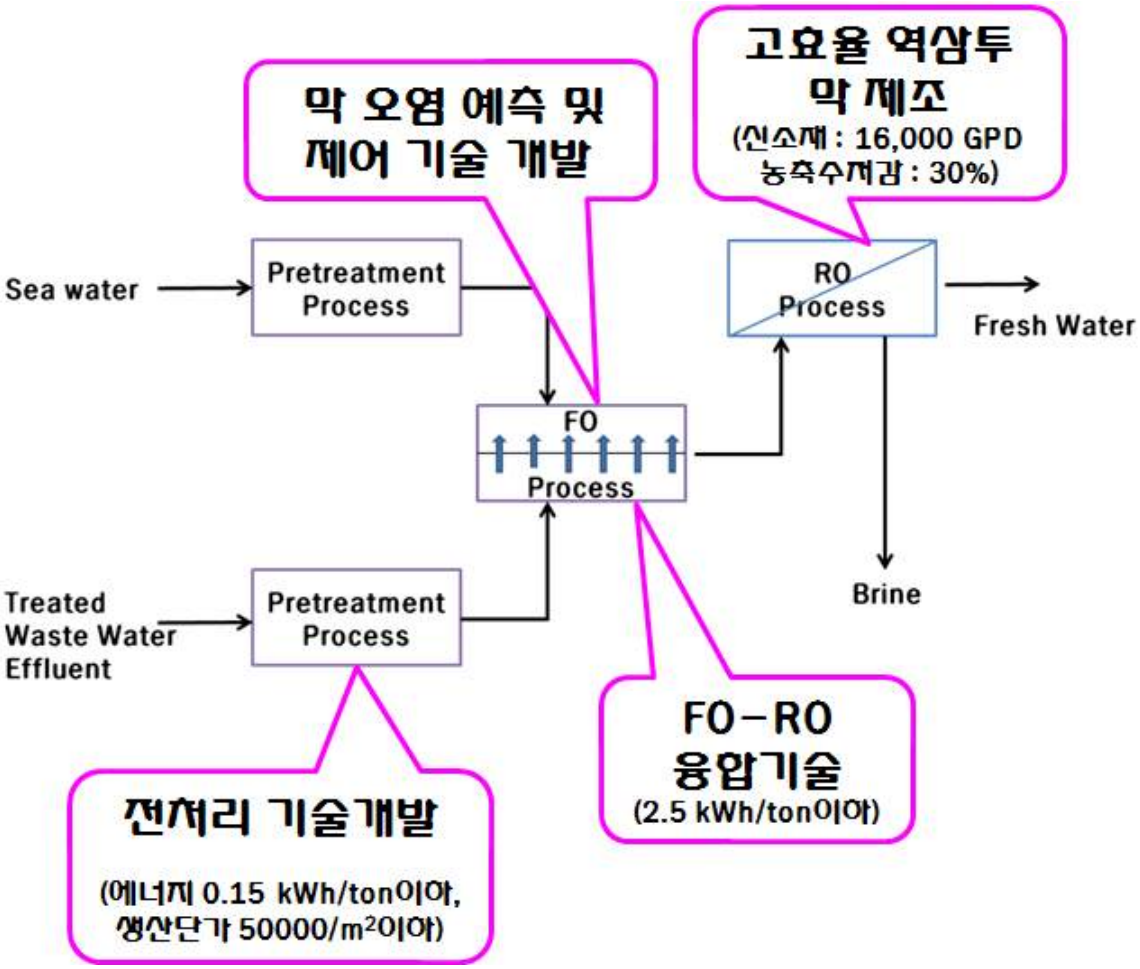
구 분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고

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	

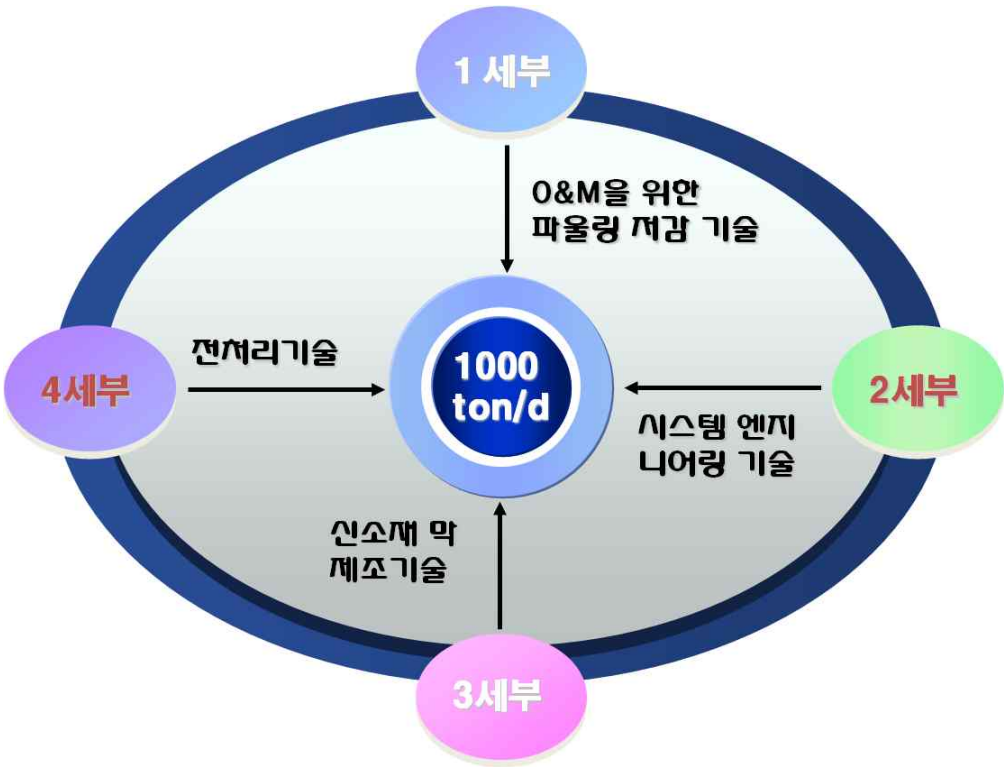
□ 녹색기여도 및 기대효과	
기대효과	■ 기술적 효과 o 국제적으로 문제가 제기되고 있는 해수담수화플랜트의 Bromate 부산물 발생에 대한 해결책을 제시하는 신기술로서 세계시장을 선점하고 주도 함 o 담수화플랜트 뿐만 아니라 해양 및 플랜트분야의 전기화학기술의 적용능력 및 적용 분야의 확대 o 차세대 국가 성장동력인 해수담수화플랜트 및 해양플랜트와 발전플랜트등의 부품/소재 국산화완성으로 인한 부가가치 창출 및 공정최적화에 기여 o 기술의 국산화를 통한 국산제품 신뢰성 증대 o 해수담수화플랜트, 발전플랜트, 해양플랜트 등의 해외 플랜트수주 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



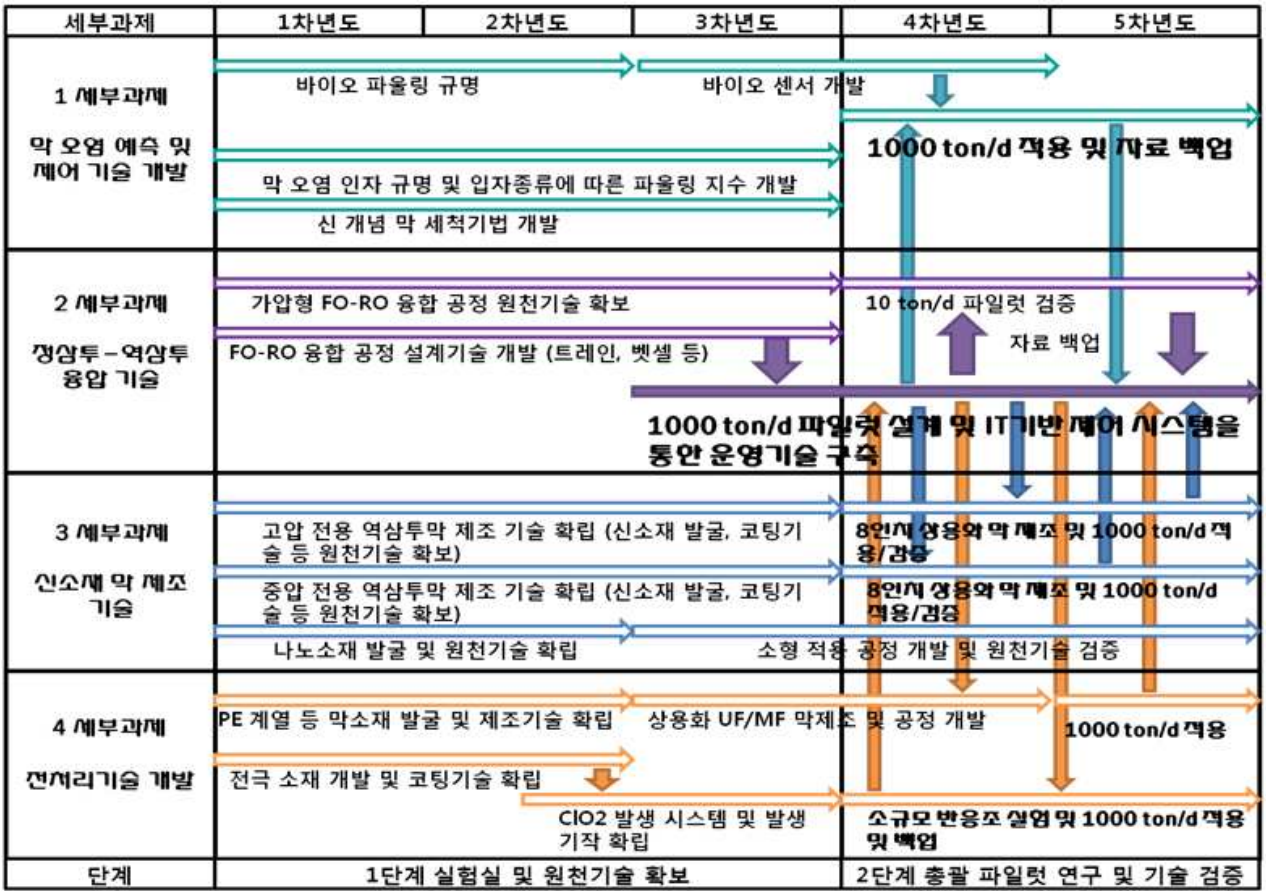
- 총 4개의 세부단위로 구성되며, 모든 기술은 1000 ton/d 대용량 파일럿 플랜트에서 검증되는 것을 원칙으로 함
- 2세부과제 주관기관은 연구단장과의 협력을 통하여 타 세부과제의 결과물 검증을 실시하는데 동참
- 각 세부과제는 에너지 저감으로 초점을 맞추어 진행
  - 1세부 : O&M을 위한 파울링 저감과 제어수단 개발
  - 2세부 : 정삼투-역삼투 엔지니어링 기술
  - 3세부 : 막 개발
  - 4세부 : 전처리기술개발
- 각 세부과제는 2세부과제의 엔지니어링 기술 개발시 각각의 연구결과를 공유함으로써 연구결과를 반영한 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 m^3/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