

(가칭)해수담수화플랜트 사업단
사전기획

(최종보고서)

2006. 11. 27

건설교통기술평가원

이 보고서는 건설교통기술연구개발사업에서 시행한
(가칭)해수담수화플랜트 사업단의 사전기획연구 최종
보고서입니다.

해수담수화플랜트
사업단

건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통기술평가원장 귀 하

본 보고서를 보고서는 건설교통기술연구개발사업에서 시행한 “(가칭)해수담수화 플랜트 사업단”의 사전기획보고서로 제출합니다.

2006. 11. 27.

연구책임자 : 이 상 호
연 구 원 : 김 광 수
연 구 원 : 지 재 성
연 구 원 : 오 현 제
연 구 원 : 김 이 호
연 구 원 : 이 태 윤
연 구 원 : 최 준 석
연 구 원 : 황 태 문
연 구 원 : 김 수 귀
연 구 원 : 황 인 주
연 구 원 : 손 병 후

목 차

1. 서론	1
1.1 기획의 범위 및 세부내용	1
1.2 추진체계	8
1.3 방법론	10
1.4 추진일정	22
2. 기술·산업환경 분석	23
2.1 기술동향	23
가. 국내 기술개발 동향	23
나. 선진국의 기술개발 동향	26
다. 국내외 사례조사	34
라. 국내외 특허조사	53
마. 논문분석	74
바. Technology Pool 작성	82
2.2 시장환경 분석	83
2.3 연구개발 인프라 분석	96
2.4 향후 산업동향과 정책방향	102
2.5 핵심기술 선정기준	104
3. 추진계획	120
3.1 추진 전략	120
3.2 단계별 추진대상과제	126
3.3 예산소요계획	127
3.4 인력투입계획	130
3.5 사업화(테스트베드형 등) 추진 전략 및 계획	130
4. 기술개발 효과	133
4.1 기술적 효과	133
4.2 사회·경제적 효과	133
4.3 전략적 효과·정책적 기대효과	134
5. 결론	135

5.1 핵심 과제선정 논리	135
5.2 공고내용 작성	136
가. 핵심과제의 최종기술개발일정(안)	136
나. 핵심과제의 목표 및 내용	137
 6. 기획위원회 명단	 141
 7. 참고문헌	 142

1. 서론

1.1 기획의 범위 및 세부내용

가. 배경 및 필요성

□ 연구배경

해수담수화 플랜트 기술은 수출지향적인 대규모 실용화 기술이며, 현재 그 기술의 전환점을 맞이하고 있기 때문에 국가주도의 대형연구개발사업이 시급하게 요구됨

- 세계적으로 물부족 문제가 대두되고 있으며 이에 따라서 지속가능한 수자원의 확보가 중요하게 인식되고 있음. 해수담수화 기술은 생활용수 및 공업용수의 부족으로 인하여 야기되는 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술임.
- 해수담수화 플랜트 기술은 국가 산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 실용화 기술 중심이라는 정부의 R&D 추진방향과 일치하며, 더 나아가 통합적이고 전략적인 기술을 개발함으로써 해외시장을 개척할 수 있는, 즉 상용화를 통한 가치창출이 가능한 대표적 R&D 과제임.
- 플랜트 산업은 일반 토목/건축 산업과는 달리 전체 예산의 70%이상을 제품 구매방식을 통해 매출을 발생시키는 특징이 있는 바, 국내 연관 (중소) 기업의 기술 및 역량을 동시에 제고시킬 수 있는 파급효과를 기대할 수 있음. 특히 RO 해수담수화 시장의 특성상 연관기업의 독자적인 세계 시장 진출도 가능하기에 국가적 차원의 중소기업 육성 정책과도 일치하고 있음
- 국내 시장을 노리고 이미 국내에 진입해 있거나(예, 프랑스의 베올리아), 향후 진출을 도모하고 있는 세계적인 물관련 기업에 필적할 만한 국내 기술 수준을 높여서 국부 유출을 사전에 방지할 수 있음.
- 이미 중동지역에서 한국에 대한 이미지를 제고시키고 있는 국내 플랜트 업체의 사례에서 알 수 있듯이, 플랜트 업체의 해외 진출은 전 세계를 대상으로 국가 인지도를 크게 향상시킴으로써, 유사 플랜트 산업의 해외진출 가능성 또한 높일 수 있다. 또한 1개의 단위 프로젝트 규모가 평균 수익

달러에 이르므로 외화획득의 중요한 수단이며, 이를 통해 국내 산업의 활성화에도 기여할 수 있음.

- 본 프로젝트의 상용화를 통하여 국내 물부족 지역(강릉권, 부산권 등)에 대한 대체 수자원으로서의 기술적용이 가능하며, 특히 댐 공사를 대체함으로써 비용 및 환경적 문제를 개선할 수 있음.

□ 사업단 과제의 필요성

해수담수화 플랜트 기술은 집중적인 연구개발이 필요한 시점이며 기술 개발에 따른 경제적, 산업적, 기술적 효과가 매우 큼. 따라서 해수담수화 플랜트 기술에 대한 정부주도의 대규모 연구개발사업을 추진해야 하며 이를 위한 체계적이고 철저한 목표지향적인 사업계획 및 추진 전략의 수립이 필요함

- 현재 Thermal 방식에서 성공을 거두고 있는 국내 해수담수화 플랜트 기술을 지속적으로 발전시키기 위해서는 Mechanical 방식의 대용량 RO플랜트 기술에 대한 연구개발이 필요함. RO방식의 해수담수화 플랜트 기술의 개발은 우리나라가 세계 해수담수화 시장을 석권할 수 있는 가능성이 높을 뿐 아니라 또한 중동 위주의 플랜트 해외진출도 다원화가 가능하여 지속적인 시장창출을 가능하게 하기 위한 원동력임. 또한 첨단 플랜트 건설기술 수출을 통해 국제적 위상을 높일 수 있음.
- 해수담수화 플랜트 기술은 토목건설, 환경, 화학공학, 기계, 소재 등의 전반에 관한 종합기술이며 Energy-sensitive한 특성을 가지고 있으므로 수처리 회사에서 단독으로 접근하기 어렵다. 국내의 해수담수화 산업 발전 및 해외진출 과정을 보면 국내업체에서는 수처리 분야 뿐 아니라 발전분야의 기술기반을 가지고 있었기 때문에 빠른 성장 및 시장진출이 가능하였음. 따라서 해수담수화 플랜트 기술에 대한 국내산업의 인프라는 구축되어 있으며 기술적 경쟁력만 갖춘다면 향후에도 지속적으로 성장이 가능한 분야라고 판단됨. 또한 해수담수화 플랜트 기술의 종합학문이므로 기술개발에 따른 타 산업에의 파급효과 및 기술수준 향상효과가 매우 큰 것으로 나타나고 있음
- 세계적으로 RO 분리막 및 모듈을 생산하는 국가는 3개, 업체는 6~7개이며, 이 중에는 국내기업도 상위권에 있음. 즉 RO 분리막의 소재기술은 선진국 수준에 접근하고 있으므로 국내 RO 산업의 활성화가 이루어진다면 소재산업과 플랜트 산업의 발전에 있어서 시너지 효과를 기대할 수 있음.
- 현재 중국 등에서는 분리막 및 플랜트 사업에 집중적인 투자를 하고 있으며 기술의 발전속도가 매우 빠름. 따라서 현 시점에서 체계적인 기술개발을 추진하지 않으면 후발국가인 중국 등에 해수담수화 시장과 분리막 시장을 넘겨주게 될 것임.

- 선진국의 해수담수화 및 수처리 관련 엔지니어링 회사에서는 막 제조 회사를 인수하는 등 공격적인 기술개발 전략을 선택하고 있으므로, 국내에서도 이를 대항하기 위한 체계적인 대규모 R&D 프로젝트의 추진이 이루어져야 함. 그러나 Plant 사업의 특성상 기업단독으로 대규모의 R&D 투자를 하기 어렵기 때문에 정부주도의 연구개발사업이 선행되어야 함.
- 해수담수화 플랜트 연구개발사업은 본질적으로 국가적 차원의 대규모 사업단 과제이므로 사전에 체계적으로 철저한 목표지향적인 사업계획 및 추진전략의 수립이 필요함. 사전연구기획은 연구투자의 효율성 향상, 합리적인 연구성과 관리, 사업단 과제의 조기 추진을 위해 필수적임.
- 해수담수화 플랜트 사업단 기획연구에서는 앞서 제시한 사항들 외에도 해수담수화 기술 및 시장동향, 배경 등을 철저히 분석하여 현 시점과 향후에 가장 필요한 기술을 체계적으로 개발하고 실용화하기 위한 초석을 마련하고자 함.

나. 기획연구의 목표 및 범위

● 해수 담수화 기술 사업단의 연구목표 및 연구내용, 추진전략 수립

- 사업단의 추진방안, 연구성과 달성방안 및 계획수립
- 테스트베드 등 사업화 방안 제시
- 사업단장 공모 RFP 작성 및 평가기준 설정

● 핵심과제 연구단별 연구개발사업 제안서(RFP) 제시

- 주요 핵심과제 대상 도출
- 우선순위 선정을 통한 핵심과제 선정
- 개발목표 설정, 추진전략, 연구수행방법, 주요 연구내용, 연구성과의 활용방안 및 기대효과 등 제시

□ 연구목표별 세부내용

- 해수담수화 플랜트사업의 배경 및 기술동향 분석
 - 해수담수화 플랜트사업의 연구개발의 배경과 국내외 기술동향 및 사례를 분석하여 새로운 개념의 해수담수화 플랜트사업건설을 위한 복합 건설기술에 관한 동향 분석
- 해수담수화 플랜트사업단 과제의 최종 연구목표 및 범위 설정
 - 환경분석을 토대로 과제의 최종 연구목표 및 성과물 제시하고 과제의 연구범위 설정하는데, 이는 직접적으로 적용될 수 있는 기술을 중심으로 구체적이고 현실 가능하도록 목표와 범위를 설정하도록 함.
- 해수담수화 플랜트사업 핵심과제와 연구목표 달성을 위한 세부기술 도출
 - 위에서 도출된 해수담수화 플랜트사업을 위해 주요 핵심과제를 도출하고, 세부기술을 우선순위별로 선정하고, 핵심과제간의 연계성과 통합성을 검토하여 현장가능성이 높은 실용화 기술을 도출함
- 국내외 정책/기술/인프라/시장/R&D 투자현황 등 환경분석
 - 국내외 정책·시장현황 및 전망, 관련 인프라 및 R&D 투자현황, 정책/시장/인프라 등의 현황 분석에 기반한 SWOT 분석, 기존 연구개발과제 분석(연계성, 중복성, 차별성)은 위에서 고찰된 세부기술(연구단)와 핵심과제(연구팀)별로 국내외 환경을 분석함.
- 연구 추진전략 수립
 - 핵심과제(연구단)와 세부기술(연구팀)별로 분석된 국내외 환경을 토대로 하여, 사업단 컨소시엄 형태 등 추진체계, 국제 공동연구 등 연구역량 확보 방안 제시, 시범사업(Test Bed 구축) 등 사업화 방안 제시, 기타 추진시 고려사항 등을 수립함.
- 사업단장 공모 RFP 작성 및 평가기준 설정
 - 향후 사업단을 이끌어가는 사업단장 자격 요건, 사업단장 평가기준, 사업단장의 책임과 권한 등을 정량적으로 평가·관리할 수 있는 지표를 제시함.

□ 연구단계별 연구내용 및 범위

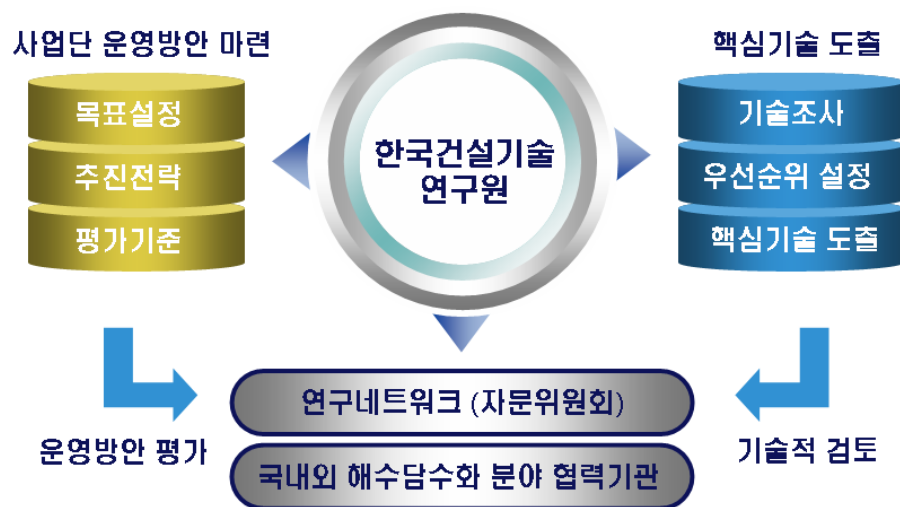
단계	연구내용	연구범위
1 단계	▪ 특허분석 ▪ 학술자료 분석 ▪ 시장분석 ▪ 연구동향 분석	▪ 국내특허 및 US, JP, WO Patents 분석 (300건 이상) ▪ 1995~2006년 사이의 SCI급 학술자료 분석 (400건 이상) ▪ 1994~2006년 시장조사 및 전망자료 분석 ▪ 국내외 전문가 대상 자문회의 실시 미국, 일본, 유럽의 관련 연구프로젝트 추진사례 분석
2 단계	▪ 사업단의 최종목표 설정	▪ 최종연구목표의 정량화 지표 제시 ▪ 핵심과제 연구목표 정량화 지표 제시
3 단계	▪ 사업단의 추진전략	▪ 사업단 컨소시엄 구성방법 도출 ▪ 사업단 운영방안 도출 ▪ 개발지표와 추진전략 수립 ▪ Test bed의 구체적 추진방안 제시 (규모 및 대상지역 등) ▪ 분야별 및 항목별 기술개발 우선순위 설정
4 단계	▪ 주요 핵심연구사업의 기술개발 내용 제시	▪ 핵심과제 및 세부과제 RFP 작성 ▪ 과제별 평가방법 및 평가항목 제시 ▪ 과제 우선순위에 근거한 사업별 소요예산 제시 ▪ 분야별 기술 로드맵 및 특허맵 작성
5 단계	▪ 연구성과물 활용방안 및 기대효과 작성 ▪ 사업단장 공모 관련 연구	▪ 가시적인 예상성과물의 제시 ▪ 활용방안 및 Spin-off 전략 제시 ▪ 사업단장 공모 RFP 작성 ▪ 사업단장 평가기준 등 설정 및 검토 (자격요건, 평가항목 및 가중치, 책임 및 권한)



<그림 1.1.1> 비전

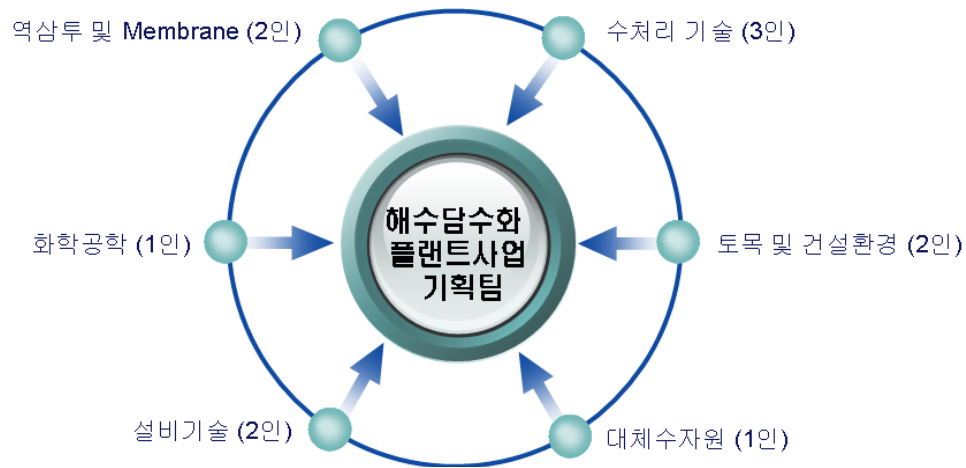
1.2 추진체계

- 주관연구기관은 연구의 전반적인 기획과 핵심기술 및 세부기술별로 주어진 요소기술에 관한 기획연구, 그리고 테스트베드에 대한 구축방안에 관한 연구를 수행하였음.
- 주관연구기관 내부적으로 기술팀과 운영팀을 구성하여 각각 해수담수화 핵심기술 도출 및 사업단 운영방안 수립에 관한 연구를 수행하였음.
- 주관기관은 국내외 전문가들로 구성되어 있는 자문위원 Pool을 최대한 활용하여 세부기술별 요소기술을 실제 Test Bed에 적용하는데 필요한 체계적인 프로그램을 구성하며, 연구가 상호 기술 간의 연관성을 갖고 개발될 수 있도록 전체적으로 조율하고 실제 적용할 수 있도록 유기적이고 통합적인 연구추진체계를 구축하였음.



<그림 1.2.1> 연구추진체계

- 핵심기술의 분류체계 및 기술구성 등에 대해서는 연구기술동향자료 및 특허맵, 기술로드맵 등의 자료와 전문가 회의를 거쳐서 확정하였음.



<그림 1.2.2> 연구팀 분야별 구성체계

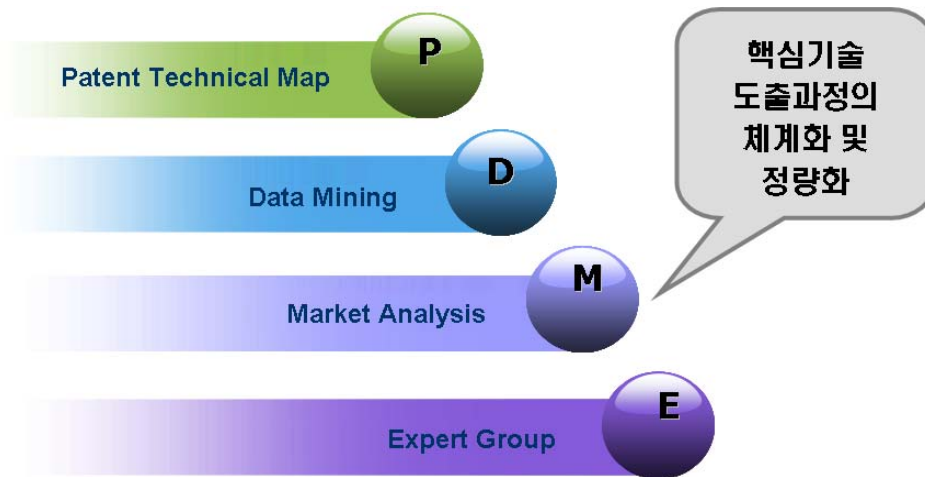
<표 1.2.1> 추진조직 구성원 현황 및 연구경력

성명	소속/직위	최종 학력	세부전공	연구경력	기획 관리경력
이상호	KICT/선임연구원	박사	공업화학		
김광수	KICT/수석연구원	박사	환경공학		
지재성	KICT/연구위원	박사	환경공학		
오현제	KICT/수석연구원	석사	토목환경		
김이호	KICT/수석연구원	박사	환경공학		
이태윤	KICT/선임연구원	박사	토목환경		
황태문	KICT/연구원	석사	환경공학		
최준석	KICT/연구원	석사	환경공학		
김수귀	KICT/연구원	학사	환경공학		
황인주	KICT/선임연구원	박사	기계공학		
손병후	KICT/연구원	박사	열공학		

1.3 방법론

가. 총괄 계획

일련 번호	연구내용	세부추진 계획	수행 기간 (주)
1	해수담수화 플랜트사업의 배경 및 기술동향 분석	- 해수담수화 플랜트사업의 연구개발의 배경과 국내외 기술동향 및 사례를 분석 - 새로운 개념의 해수담수화 플랜트사업을 위한 복합 건설기술에 관한 동향 분석	0.5
2	사업단 과제의 최종 연구목표 및 범위 설정	- 문헌조사를 통한 과제의 최종 연구목표 및 범위 설정 - 전문가 회의를 통한 최종 연구목표 및 범위 설정 - 다른 세부기술 간의 토의분석을 통한 최종 연구목표 및 범위 설정	0.5
3	해수담수화 플랜트사업 연구목표 달성을 위한 핵심과제 및 세부기술 도출	- 특허맵, TRIZ, TAV 등 다양한 조사방법 적용 - 기술개발 핵심 과제 도출 - 여타 세부기술을 단위건축물, 단지, 도시 차원의 연계할 수 있는 세부기술 과제 도출	1
4	국내외 정책/기술/인프라/시장/R&D 투자현황 등 환경분석	- 문헌조사를 통한 연구 및 기술개발 환경분석 - 전문가 면담을 통한 연구 및 기술개발 환경분석 - 시장조사를 통한 연구 및 기술개발 환경분석 - 조사자료분석을 통한 연구 및 기술개발 환경분석	1
5	연구 추진전략 수립	- 문헌조사를 통한 사업단 연구추진전략 수립 - 전문가 면담을 통한 연구 추진전략 수립 - 외국기관과의 네트워크 구축방안 수립 - 실용화 및 test bed 적용을 위한 구체적인 추진 전략 수립 - test bed 사업지간의 여건 분석을 통한 조기 시범사업 유도	1
6	사업단장 공모 RFP 작성 및 평가기준 설정	- 기반기술, 설계기술, 유지관리기술 등의 연계를 위한 연구총괄 부문에서의 사업단장의 역할 및 기준 설정 - 실용화 및 test bed 적용을 위한 사업단장의 역할 및 기준 설정	0.5
7	종합보고서 작성	- 총괄과제 성공을 위한 종합적 분석을 기초로 한 보고서 작성	0.5



<그림 1.3.1> 연구수행 방법론

나. 세부추진 방법

Part 1 : 해수담수화 플랜트 사업의 배경 및 기술동향 분석

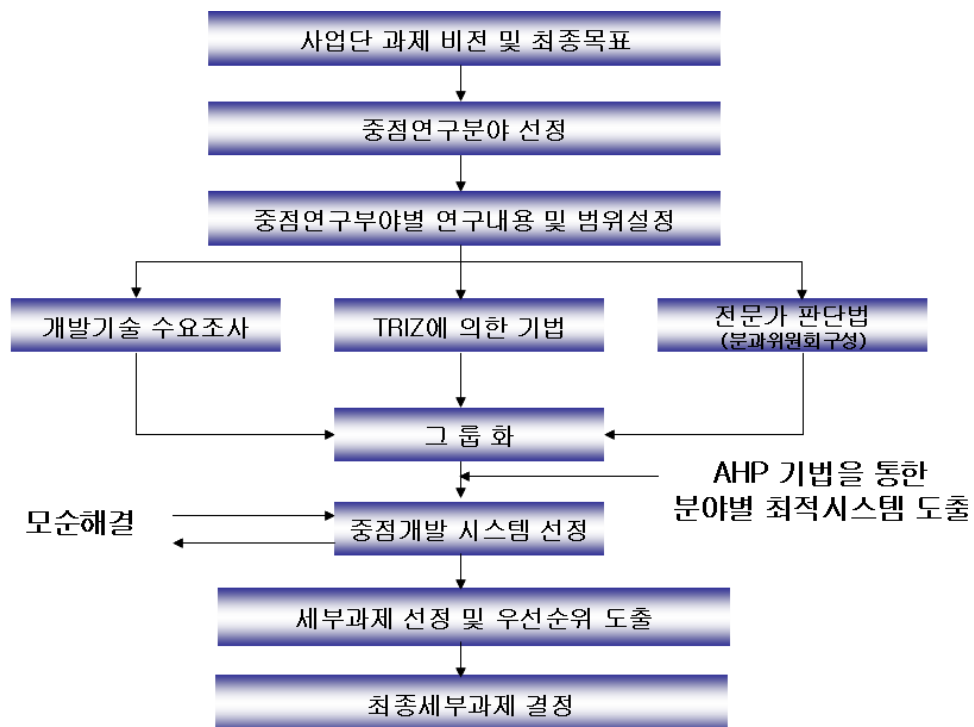
- 기술동향조사의 범위
 - 기술동향조사대상의 범위는 사전기획연구결과 도출된 해수담수화 관련 핵심기술을 조사대상 범위로 하되, 전문가의 의견을 수렴하여 최종 확정
 - 해수담수화 관련분야 분석, 기술특성 정의 및 세부항목 내용을 바탕으로 범위 설정
- 조사대상 국가 범위
 - 기술개발국 : 미국, 일본, EU, 영국 등 주요 선진국을 대상으로 조사
 - 기술적용국 : 중동 지역을 대상으로 조사

**Part 2 : 해수담수화 플랜트 사업 연구목표 달성을 위한 핵심과제 및
세부기술 도출**

○ 핵심과제 및 세부기술 도출 방법론

- 중점 연구 분야별 핵심과제 및 세부기술 도출은 설정된 사업 목표와 기술 개발 내용 및 범위를 충족시키기 위하여 과학적이고 합리적인 다양한 방법들을 고려
- 각계각층의 관련분야 일반전문가들의 의견 수렴을 위한 개발기술의 수요조사를 실시하였고, 중점분야의 전문가로 구성된 분과위원회에 의한 전문가 판단법으로 과제의 도출을 시도
- 또한, 국내외에서 문제해결의 혁신적인 기법으로 알려져 있는 TRIZ 기법 등 3가지 기법을 적용하여 비교분석 후, 핵심기술을 선정하고 세부과제를 도출
- 분야별 세부과제의 도출과정은 최종목표와 비전을 달성하기 위한 기본 목표(초기투자비, 저에너지, 안정성, 시장성)를 설정하고 각각의 가중치를 결정
- 설정된 중점 연구 분야별 개발필요 핵심기술들은 수요조사법과 전문가 판단법 및 TRIZ 기법에 의해 도출하고, 핵심기술들을 중심으로 그룹화하여 개발 시스템을 구성
- 도출된 대안 시스템들은 AHP 기법으로 최적 시스템을 도출하였고, 선정된 최적 시스템의 완성을 위한 세부과제의 선정과 개발 우선순위를 결정
- 세부과제 도출과정
 - ① 해수담수화 사업단 비전 및 최종목표 설정
 - ② AHP 기법에 의한 기본목표의 가중치 산정
 - ③ 중점 연구분야 설정
 - ④ 중점 연구분야별 연구내용 및 범위 설정
 - ⑤ 개발기술 수요조사에 의한 세부과제 도출
 - ⑥ 조기 상용화를 가능하게 하는 요건 파악
 - ⑦ 전문가판단법에 의한 세부과제 도출
 - ⑧ TRIZ 기법에 의한 세부과제 도출
 - ⑨ AHP 기법에 의한 분야별 최적기술 및 시스템 도출

- ⑩ 중점 개발 시스템 선정
- ⑪ 세부과제 선정 및 우선순위 도출
- ⑫ 최종 세부과제 결정

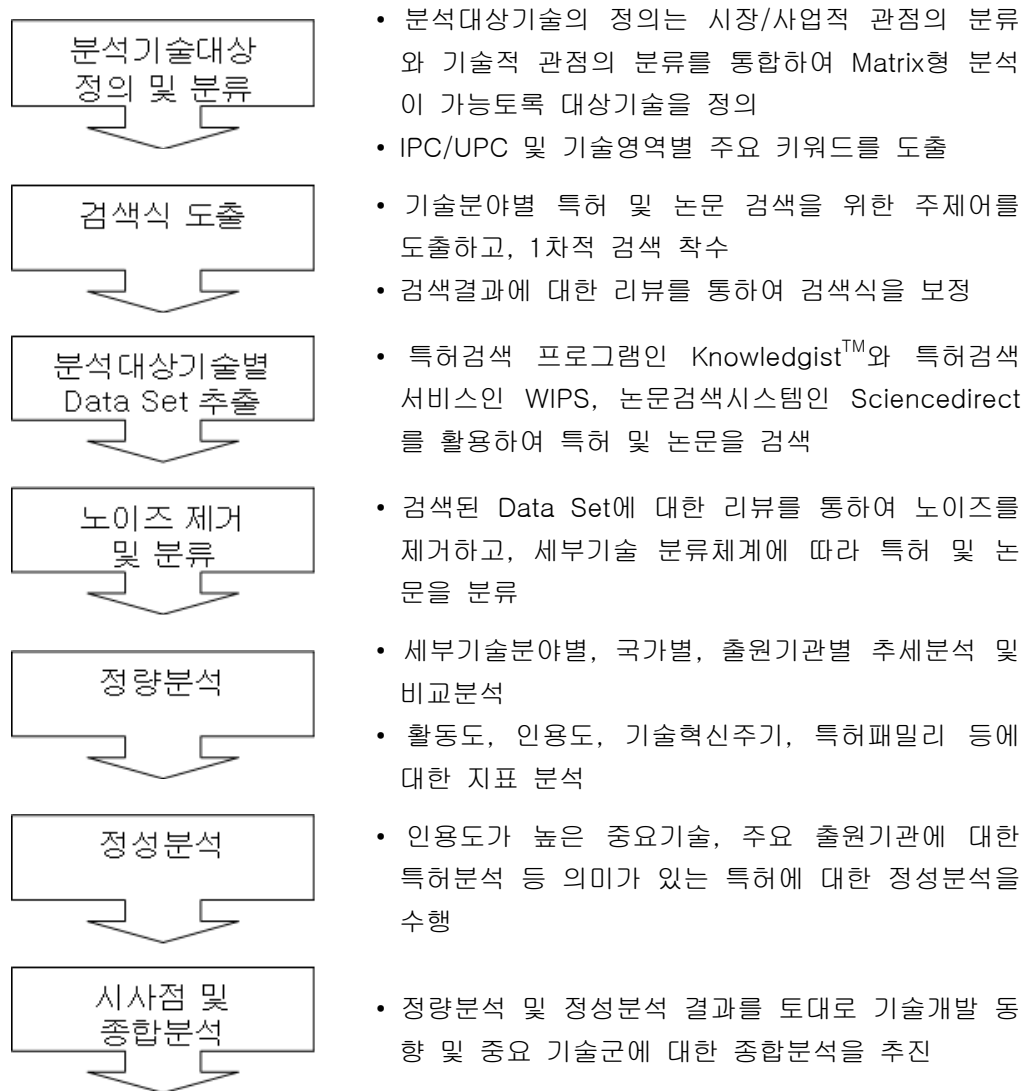


<그림 1.3.2> 핵심과제 및 세부기술 도출과정

Part 3 : 국내외 정책/기술/인프라/시장/R&D 투자현황 등 환경분석

○ 특허동향조사 분석 방법

▷ 특허/논문 분석 Work Flow



<그림 1.3.3> 특허/논문 분석 Flow

▷ 특허/논문 분석 대상 범위 및 분류

- 대상영역 : 시장/사업적 관점의 분류와 기술적 관점의 분류를 혼합하여 매트릭스형 분석 대상 범위 및 분류 도출
- 대상국가 : 미국, 일본, EP
- 대상기간 : 최근 20년간을 기본으로 하되, 첨단기술 등과 같은 분류는 최근 10년 이내로 적용할 수도 있음.

▷ 특허 및 논문검색을 위한 주요 키워드

- 건설교통기술분야는 복합기술분야로 IPC/UPC 분류만으로는 특허문헌에 대한 정확한 검색이 불가능한 경우가 많음. 따라서 키워드 검색이 불가피하고, 적절한 검색식의 활용이 절대적으로 중요함.
- 건설교통기술분야의 특허 및 논문 검색을 위한 검색식 구성 예시 : 기술분야별로 같은 용어에 대해 다양한 용어가 혼용되므로 검색식 구성을 위한 다양한 키워드에 대한 검색을 선행함.

▷ 건설교통기술분야 세부 분야에 대한 Data Set 추출

- 분석 대상 전체 Data Set을 대상으로 키워드 또는 IPC/UPC를 이용하여 Data Set 내에서 세부 기술 분야별 Data Set을 추출함.

▷ 특허 정량분석방법 : 다양한 방법을 이용하여 정량분석을 추진할 수 있는데, 대표적으로 많이 활용하는 특허분석지표는 다음과 같음.

<표 1.3.1> 특허분석지표 종류

지수명	정의	의미/해석
특허활동지수 (Activity Index)	특정기술분야의 특정 출원인건수/ 특정기술분야전체 출원건수 특정출원인총건수/ 전체 총건수	- 특정 특허주체의 특정 분야에서의 활동력을 나타냄 - AI가 높을수록 다른 분야에 비해 해당 특허주체의 특허활동이 상대적으로 왕성함을 의미
인용도지수 (Cities Per Patent)	피인용수/특허건수	- 보유 특허당 평균 인용건수를 나타냄 - CPP가 높을수록 해당 특허주체의 타특허 주체로의 영향력이 큼을 의미
영향력지수 (Patent Impact Index)	해당주체의 피인용비/전체피인 용비	- CPP의 상대적 크기를 의미함 - CPP가 높을수록 타특허주체에 비해 상대적 인 영향력이 큼을 의미
기술력지수 (Technology Strength)	특허건수×영향력 지수	- 특허건수와 CPP를 조합한 지수 개념임 - TS가 높을수록 기술력이 높음을 의미
시장확보지수 (Family Patent Size)	해당주체 평균 특허 Family 수/전체 평균 특허 Family 수	- 보유 특허당 평균 패밀리 사이즈의 상대적 크기를 의미 - PFS가 클수록 특허를 통해 확보가능한 시장의 크기가 큼을 의미
과학연계지수 (Science Linkage)	인용된 비특허 문헌수/특허건수	- 특허당 인용한 비특허문헌의 평균 개수를 의미함 - SL이 클수록 기초과학과의 연계성이 높다는 것을 의미함

○ 사업단 과제를 위한 특허맵 작성

▷ 특허맵 작성목적

- 건설기술의 동향분석 및 신기술의 개발 현황을 관련업체에 제공하여 건설기술의 개발 활성화 및 산업부흥에 이바지 하는 것에 목적을 둠

- 특정 기술분야 또는 최근 권리침해로 인해 사용이 어려운 기술에 대한 특허맵을 작성함으로써 대체기술이나 공백기술 분야를 제시 하여 건설강국의 이미지를 제고하기 위한 활발한 연구개발을 유도하고 적극 R&D를 지원하여 국내 건설업계의 기술력 강화 및 경쟁력 확보에 이바지 하는 효과를 추구함
- 권리확보에 소극적으로 대처함으로써 특허권 획득에 실패하는 사례를 사전에 방지하기 위해 특허맵 작성을 진행하여 공백출원 분야를 검토하고 특허출원을 독려하여 특허권 확보를 통한 국제경쟁력 강화 및 라이선스 수익을 창출함에 기여
- 연구개발 분야의 효과적인 운영을 위해 특허맵 작성을 통한 연구개발 분야의 중복여부를 간접적으로 사전에 확인함으로써 예산의 효율적 운영을 도모 함

▷ 특허맵 작성방법

◆ 1단계 (사전 정보조사)

- 연구과제 혹은 관련업계의 연구분야의 특허맵 작성대상 주제 선정
- 특허정보검색 이전에 해당기술분야의 시장정보, 경쟁구조, 국제관계, 수출입 및 기초통계자료, 관련 법률정보 등을 검토하여 시대흐름을 정확히 파악하고 기술분야를 이해하기 위한 기초데이터를 수집/분석함

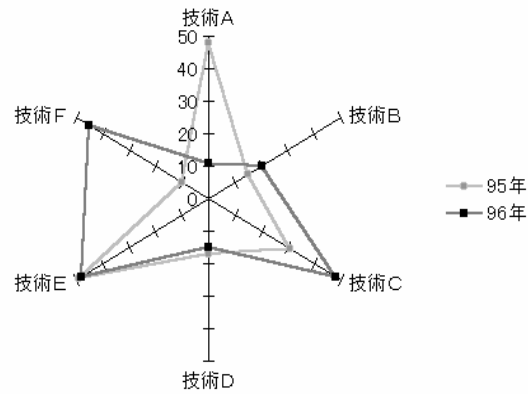
◆ 2단계 (특허정보검색)

- 한국, 일본, 미국, 유럽 등을 중심으로 검색하여 국제적 특허기술의 현황을 파악
- 정량적 통계분석결과는 사업단 과제의 기초자료로 활용 가능
- 정성적 분석결과를 통한 특허권 구축 현황을 파악하여 권리저촉가능 기술분야를 공지하여 불필요한 특허권침해소송을 미연에 방지할 수 있도록 할 수 있음.
- 국제적 특허동향 분석을 통해 건설관련 기업 및 국가들의 연구개발 동향을 파악함으로써 향후 연구추진분야 및 대응전략수립이 용이해짐.

◆ 3단계 (기술분류)

- 기술의 구성, 목적, 효과 측면 등을 고려하여 관련 건설기술의 분류를 진행함으로써 기술분야별 해당업체에게 특허분석결과 정보를 제공할 수 있으며, 필요시 기술분류별로 결과정보를 재편집 가공하여 2차적 파생 연구보고서를 작성할 수 있는 기초자료로 활용이 가능함.

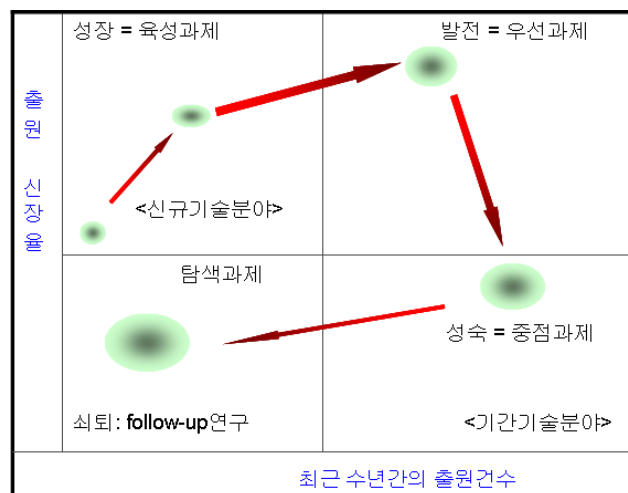
- 기술분류를 통해 유사 관련 기술의 출원인(기업)의 군집형성이 가능하며, 향후 공동 과제 추진 및 공동연구과제를 기획할 수 있는 기초자료로 활용이 가능함.
- ◆ 4단계 (정보 필터링)
 - 단순 정보필터링이 아닌 확산가능 기술분야 및 전용기술 분야를 고려한 필터링 작업을 진행
 - 협소한 기술분야의 특허분석이 아닌 폭넓고 현장에서 활용가능한 특허맵을 제공함으로써 특허맵 작성 사업의 효용성과 당위성을 제공함.
- ◆ 5단계 (정보가공)
 - 특허전문가 그룹의 작업을 통해 정확한 특허정보가공을 진행하여 결과도출의 신뢰성을 확보함.
- ◆ 6단계 (중요특허 선별)
 - 특허권 확보현황을 분석하여 권리존속기간이 남아있는 중요특허를 제시
 - 기술리더의 동향 및 보유기술을 인지시켜주고 이들의 향후 연구개발 분야 및 관심분야의 변동추이를 예측하여 제공함으로써 기업측면에서 대응 전략 수립을 할 수 있는 가이드라인을 제시함
- ◆ 7단계 (정량적 분석)
 - 각종 특허정보들을 일목요연하게 도표화하여 제공함으로써 쉽게 기술분야의 트렌드를 파악할 수 있도록 함.



<그림 1.3.4> 특허 정량분석 예시

◆ 8단계 (정성적 분석)

- 특허명세서의 면밀한 내용분석과 다양한 특허지수들을 활용한 분석결과를 토대로 시대흐름을 파악하고 미래 기술흐름을 예측하여 해수담수화 연구개발의 전략적 방향을 제시함.



<그림 1.3.5> 특허 정성분석의 예시

◆ 9단계 (개발대상 기술 도출)

- 특허의 흐름 및 중요성 등을 고려하여 해수담수화 관련 핵심기술을 도출하고 개발을 위한 우선순위를 선정함.

○ 시장 및 산업동향 조사 및 분석 방법

◆ 문헌조사 및 분석

- “Desalination Markets: 2005-2015”, “Desalination and Water Purification Technology Roadmap”등의 문헌을 조사하여 시장 및 산업동향을 파악

◆ 협력업체 자료 활용

- 해수 담수화 관련업체 시장동향 조사자료를 제공받아 이를 분석함으로써 세계 해수담수화 시장의 방향 및 전망을 예측.

◆ 외국 전문가 초청 및 자문

- 해수 담수화 분야의 20년 이상 경험을 가지는 외국의 권위있는 엔지니어 및 전문가를 초청하여 활용함으로써 시장 및 산업동향에 대한 자문.

Part 5 : 연구 추진전략 수립

○ Test bed 추진전략 수립방법

◆ Test bed 규모 및 방법 선정

- “수출지향적인 대규모 RO 해수담수화 기술 개발”의 목표를 달성하기 위해서는 다음과 같은 기본방향을 유지하였음.
 - ▷ 일정규모 이상 (예: 50,000 톤/일)의 시범 플랜트 설치 및 운영
 - ▷ 일정규모 이상의 Train을 가지는 (예: 4.5 MIGD) RO 방식의 해수담수화 플랜트 선택
 - ▷ 국내에서 Test bed를 운영하되 해외에서도 개발기술이 적용가능하게 하기 위해서는, Test bed에 국내원수와 타 국가의 원수의 차이를 분석할 수 있는 국외연구기관의 참여가 필요함.
- 최종적인 Test bed 추진방법은 기획연구를 통하여 결정하였음.

◆ Test bed 조건 결정

- Test bed 사업의 지연요인 중 한 가지는 사업지 선정에 많은 시간과 노력이 소요되기 때문임. 이에 따라서 연구진행이 지연되거나 실용화 및 사업화가 미뤄지는 등 많은 어려움이 있음.
- 본 기획연구에서는 Test bed의 조기 구축을 위하여 테스트베드의 목적 및 조건을 명확하게 결정하고자 하였음.

1.4 추진일정

일 련 번 호	연구내용	추진일정(주)															비중 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	사업동향 및 기술동향 조사분석																5
2	사업단 과제의 최종 연구목표 및 범위 설정																5
3	해수담수화 플랜트사업 연구목표 달성을 위한 핵심과제 및 세부기술 도출																20
4	국내외 정책/기술/인프 라/시장/R&D 투자현황 등 환경분석																20
5	연구 추진전략 수립																30
6	사업단장 공모 RFP 작성 및 평가기준 설정																20

2. 기술 · 산업 환경 분석

2.1 기술동향

□ 기술동향 분석의 목표

- 관련기술의 세계 최고수준 파악
- 해외 사례에 대한 벤치마킹
- 기술개발의 전체적인 경향 분석
- 필요기술과 취약기술 파악 → 핵심과제 및 세부과제 도출의 기본자료 (Technology pool) 구축
- 특허기술 조사 및 연구개발의 중복성 회피

가. 국내 기술개발 동향

(1) 국내 기술 및 산업 동향

국내의 해수담수화 기술은 주로 MSF 방식이므로 RO 방식의 대용량 해수담수화 플랜트 기술 개발이 시급한 실정이다.

- 해수담수화 기술은 기술별로 분류할 때 크게 Thermal Energy, Mechanical Energy 그리고 Electrical Energy로 분류 할 수 있음.
- 해수담수화 분야는 현재 국내기업이 세계시장에서 1위를 차지하고 있으며 해외로 진출하고 있는 수출중심의 성장동력산업임.
- 현재 국내업체에서 중동의 Thermal 방식인 MSF 해수담수화시장에서 전체 시장의 40%이상을 차지하고 있으며 설계, 시공 능력 및 프로젝트 일정을 최단기간에 공급할 수 있는 능력을 보유하고 있음.
- 그러나 해수담수화 기술은 Thermal Energy를 이용하는 MSF 방식이며 향후 시장을 주도하게 될 RO 방식의 플랜트 기술은 부족한 실정임. 따라서 현 시점에서 해수담수화를 위한 RO 기술을 개발하지 못하는 경우 국내의 해수담수화 산업은 크게 위축되어 국제시장에서의 위치도 위협받게 될 것으로 판단됨.

- 우리나라에서 해수담수화는 가뭄과 더불어 지형여건상 수자원 확보의 어려움 때문에 만성적인 용수 부족현상을 나타내고 있는 일부 도서지역에 항구적인 용수공급 방안의 하나로 추진되고 있다. 상대적으로 높은 처리단가에도 불구하고 해수담수화는 장래 물 부족에 대비하여 대체 수자원으로 개발이 계속되고 있으며 단가도 점차 낮아지는 추세임. 우리나라는 1989년 후반 보령화력에 담수화 설비를 설치, 실험적으로 운영하였고, 2005년말 현재 우리나라에는 총 48여 개소(약 12만 $\text{m}^3/\text{일}$)의 담수화설비가 설치·운영중에 있으며 담수화를 이용한 생활용수 확보는 도서지역 44개소 2,352 $\text{m}^3/\text{일}$, 공업용수의 경우 4개 공장에서 115,800 $\text{m}^3/\text{일}$ 의 담수화 플랜트 운영 중. 공업용수는 해수보다는 염수, 지하수, 공장폐수 등을 일정수준의 수질로 개선하여 공업용수로 사용하는 담수화 플랜트가 주류임
- 또한 기존의 국내 해수담수화 기술은 주로 소규모 시설에 적용하기 위한 것으로 해외진출에 필요한 대용량 담수화 플랜트 기술과는 큰 차이가 있음. 표 1에 나와있는 생활용수를 목적으로 하는 국내 해수담수화 시설의 평균용량은 불과 62 $\text{m}^3/\text{일}$ 이며 이는 0.014 MIGD에 불과함. 2004년 기준으로 5 MIGD 이상 RO 해수담수화 플랜트가 65%이며 최근에는 구성단위의 하나인 Train의 크기를 3~4 MIGD 이상으로 하는 추세인 점을 감안하면 국내의 소규모 해수담수화 기술과 대용량 담수화 플랜트 기술은 거의 별개의 기술이라고 할 수 있음.
- 담수화사업에 대한 경제성 분석은 담수화 방법, 설비의 생산규모, 시설의 위치 및 입지조건, 사용 에너지의 단가, 원수의 청정도와 염분 농도, 생산담수의 요구농도 등에 따라 경제성이 크게 달라짐 광역상수도의 생활용수와 일반적인 역삼투막법(시설용량 100 $\text{m}^3/\text{일}$)의 담수 생산단가를 비교할 때 역삼투막법이 광역상수도보다 4~5배, 공업용수(시설용량 1만 $\text{m}^3/\text{일}$ 기준)는 약 2배 정도 비싸 현재로서는 경제성이 낮은 실정임
- 추진실적 및 계획
 - '97. 6. 12 전남 신안군 흑산면 홍도에 100 $\text{m}^3/\text{일}$ 용량의 시범플랜트 설치
 - '00.12 해수담수화 중장기계획 수립
 - 해수담수화 현황조사
 - 담수화사업 후보지역 선정 및 현지조사
 - 담수화 개발 기본계획 수립
 - 중장기 개발계획 수립 및 관련법규 정비

<표 2.1.1> 국내 해수담수화 시설 설치지역, 용량 및 급수인구.

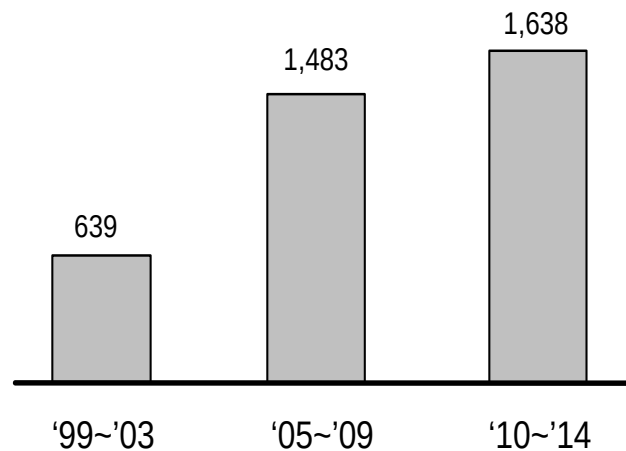
지 역	대상 도서지역 수	용량(m ³ /일)	급수인구(명)
충청남도	보령시 고대도등 22곳	648	3,956
전라북도	군산시 어청도 등 5곳	163	1,138
전라남도	여수시 송도 등 26곳	1,375	4,559
경상북도	울릉군 독도(1곳)	32	40
경상남도	통영시 곤리도 등 20곳	430	2,545
제주도	북제주군 추자도등 4곳	2,200	5,766
계	78개소	4,848	18,004

나. 선진국의 기술개발 동향

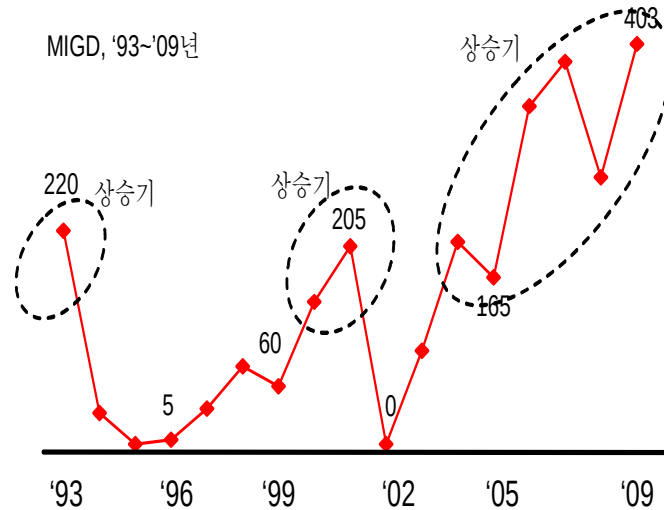
RO 방식의 해수 담수화기술 시장이 빠른 속도로 발전해 나가고 있으며, Unit Capacity의 대형화(4.5 MIGD 이상)가 핵심기술로서 부각되고 있다.

- 세계 해수담수화시장에서 Thermal 방식이 45%, Mechanical 방식이 50%이며, Electrical 방식이 5%를 차지하고 있음. (2004년 실적 기준)
- MSF방식은 증기를 필요로 하기 때문에 발전소와 같이 건설되며, 대부분 중동지역에 집중되어 있는데, 중동의 오일머니 영향으로 지난 5년간 급속한 발주물량 증가 추세를 보여 왔다.

MIGD, '99~'14년



<그림 2.1.1> 중동 MSF Cyclicity

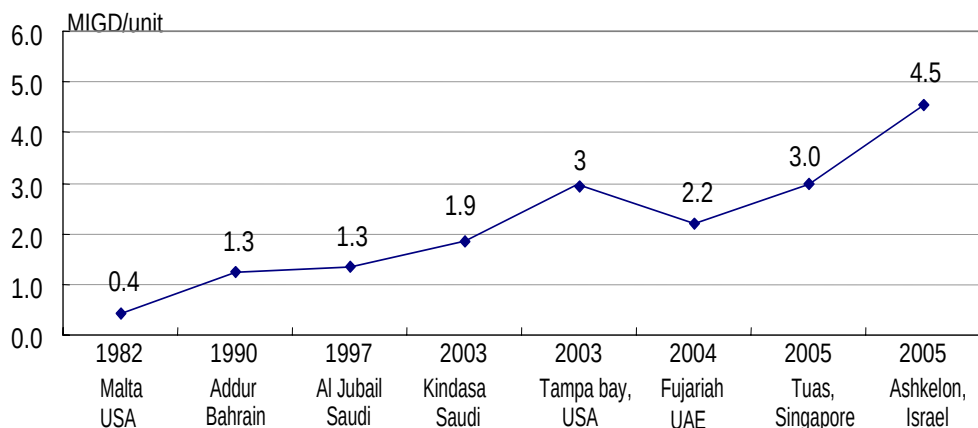


<그림 2.1.2> 중동 MSF Growth potential

- MSF방식과 달리 새로운 기술인 RO 해수담수 발주 시장은 전 세계에 걸쳐 있으며, 그 규모 및 지역별 발주 실적 또한 연평균 16%이상의 성장이 예상되고 있다. 따라서 국내기업의 조기 기술 도입과 진입이 요구되며 시장 확보와 국부 창출을 위해서 국가적 차원에서의 적극적 지원이 요구되고 있다.
- 그러나 세계 담수시장은 현재 MSF방식과 더불어 Mechanical Energy방식인 RO(역삼투압)방식도 급격하게 성장하고 있다. 전체 담수시장의 분포에서 알 수 있듯이, MSF보다 RO시장이 대형화와 발주건수의 증가로 인해 더욱 큰 폭으로 발전해 나가고 있으며, 지난 5년간 계약된 실적을 기술별로 나눠보면 전 세계 담수시장의 49%가 RO방식으로 체결되었음을 알 수 있다.
- 전체 RO방식의 해수담수화 프로젝트의 발주 실적을 살펴볼 때 50,000 톤 이상급의 대형 위주의 플랜트 방식으로 전환되고 있음을 볼 수 있다. RO방식의 해수담수화 시장이 연평균 17%의 성장률을 보이고 있으며, 이것은 대부분 50,000 톤 이상의 대형 플랜트 중심으로 성장세를 보이고 있다고 할 수 있음.
- 1982년부터 Unit capacity가 대형화되고 있는 추세이다. 이는 Unit

capacity를 대형화함으로써 에너지 소모량을 감소시켜서 전체 운전비용을 감소를 유도할 수 있기 때문. 따라서 Unit capacity를 대형화할 수 있는 기술이야말로 세계시장을 석권하기 위한 핵심기술임.

- 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 않았음. 최근 비올리아에서 공급한 Israel Ashkelon 프로젝트는 4.5 MIGD급으로 공급되었으며, 전체 프로젝트 규모가 73 MIGD로 공급됨.
- Unit capacity는 시장점유율과 직접 연관되어 있다. 10 MIGD 이상 RO 프로젝트 수행업체는 전 세계적으로 24개가 존재하며, 이 중에서 Top 5 업체가 시장의 70%를 점유하고 있음

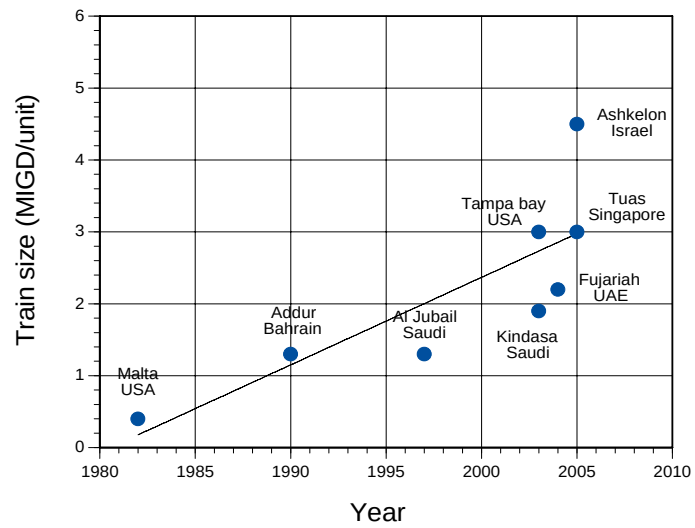


<그림 2.1.3> 해수 담수화 유닛 용량(Unit capacity)의 변화추세

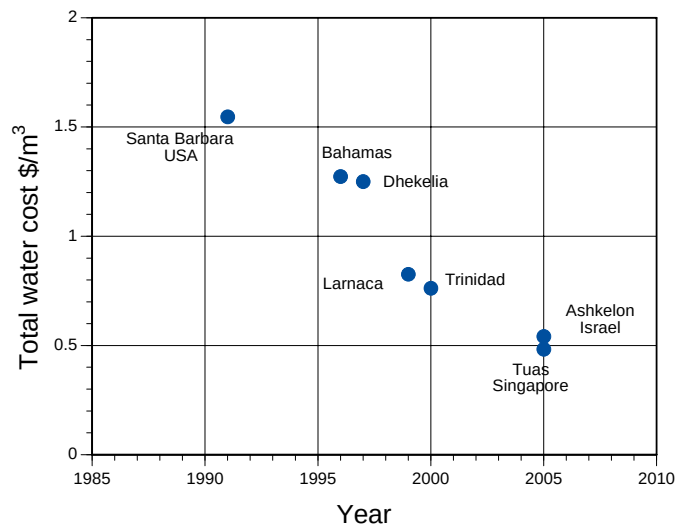
<표 2.1.2> MIGD 이상 대형 RO 업체 ('94 ~ '03년 수행 RO 프로젝트 기준)

	Company	MIGD	M/S	Number of project	Feed water
1	VEOLIA (FR,OTV,ARABIA, USA)	198	19%	5	SW 79%, BW 5%, River 16%
2	ONDEO (FR,ES)	173	16%	6	SW 42%, BW 58%
3	IDE IL	127	12%	3	SW 100%
4	ADVANCED EWT/ES US	97	9%	5	BW 20%, River 80%
5	IONICS US	91	9%	2	SW 27%, Waste 73%
6	VATECH WABAG AT	83	8%	4	SW 22%, BW 78%
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%
11	ABENGOA ES	51	5%	3	SW 100%
10	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	1291	122%	49	

- 결론적으로 최근의 기술경향은 Unit capacity가 대형화가 중요하며 선두업체들은 단위 용량을 최대화해서 경쟁력 있는 건설비용과 전체 운전비용을 절감하고 관리를 효율적으로 할 수 있는 기술을 제공하므로 고객으로부터 호평받고 있음.



<그림 2.1.4> Train size 변화 동향



<그림 2.1.5> 생산비용 단가 동향

- 해수담수화에서 가장 큰 문제가 되고 있는 것은 에너지 소모량임. 해수담수화에 필요한 에너지를 절감하기 위해서는 다음과 같은 접근방법들이 제안되고 있음.

<표 2.1.3> 해수담수화 에너지 관련 인자 및 에너지 절감을 위한 접근방법

영향을 주는 인자	에너지 절감을 위한 접근방법	에너지 절감 가능성
원수 염도	염도가 낮은 원수 사용 혹은 혼합 (Blend)	1.5 ~ 5 배
원수 온도	온도가 높은 원수 사용	5 ~ 15 %
막의 특성	높은 생산성을 가지는 막 사용	5 ~ 10 %
공급 펌프의 효율	펌프와 모터 효율 최대화	3 ~ 5 %
농축수로부터 에너지 회수	Isobaric chamber 기술 이용	5 ~ 15 %

- 해수담수화 비용은 유입수의 염도에 크게 영향을 받으나 실제로 해수를 사용하는 경우 염도를 조절할 수 있는 방안이 많지는 않음.
- 실제로 고성능의 역삼투막 및 에너지회수장치의 개발 등으로 인하여 해수담수화를 위한 에너지 소모량은 지속적으로 감소하고 있음. 해수담수화 자체만을 위한 에너지 소모량은 1985년 당시 8 kWh/m³ 수준이었는데 반하여 현재에는 2 kWh/m³ 이하의 수준까지 낮아지고 있음.

<표 2.1.4> 염도와 처리용량에 따른 설비비 계산의 예

Product water flow rate	5 kL/day	15 kL/day	50 kL/day
Feed salinity=2000 mg/L TDS	\$5,000	\$13,000	\$35,000
Feed salinity=10000 mg/L TDS	\$7,000	\$17,500	\$44,000
Feed salinity=35000 mg/L TDS	\$12,000	\$27,000	\$85,000

Assumptions:

Electrical power supply available

Basis Pre-filtration included

Costs quoted are for plant only - i.e. no civil works, external tanks, pipe work

<표 2.1.5> 염도와 처리용량에 따른 운영비 계산의 예

Product water flow rate	5 kL/day	15 kL/day	50 kL/day
Feed salinity=2000 mg/L TDS	\$1.0	\$0.9	\$0.65
Feed salinity=10000 mg/L TDS	\$1.5	\$1.3	\$0.93
Feed salinity=35000 mg/L TDS	\$2.2	\$2.00	\$1.89

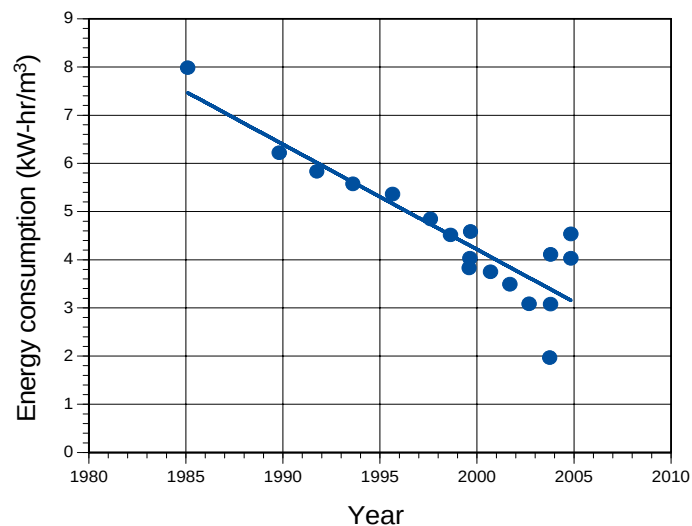
Assumptions:

Electrical power cost = A\$0.14/kW.hr

Cost to desalinate water only - does not include cost to deliver water to and from desalination plant

Operating cost assumes basic pre-filtration sufficient for purpose

Operating costs were calculated and averaged over the typical RO expected plant life



<그림 2.1.6> 에너지 사용량 변화 동향

- 에너지 회수장치의 유무 및 성능에 따라서 에너지 소모량은 최대 48%까지 달라질 수 있음. 실제로 전체 플랜트에서의 에너지 소모량을 살펴보면 대규모 해수담수화 플랜트의 경우 약 4~6 kWh/m³의 값을 나타냄.

<표 2.1.6> 회수장치 유무에 따른 에너지 소모량

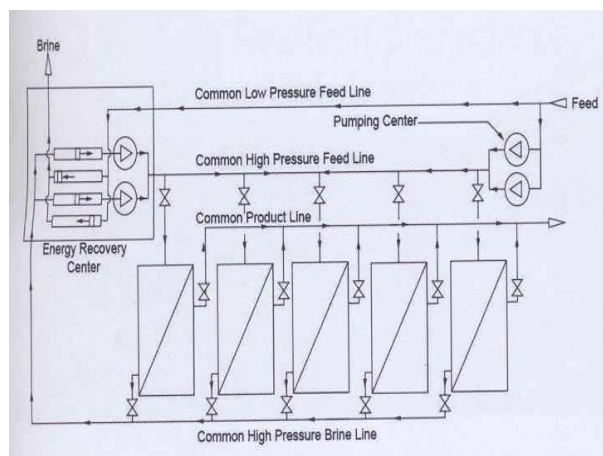
작동조건	톤당 에너지 소모량
에너지 회수장치가 없는 경우	4.5 kWh/m ³
일반적인 에너지 회수장치를 사용하는 경우	3.2 kWh/m ³
매우 높은 효율의 에너지 회수장치를 사용하는 경우	2.4 kWh/m ³
열역학적 최소 에너지 소모량	0.84 kWh/m ³

다. 국내외 사례조사

- 핵심기술의 개발방향 도출 및 국내외 기술수준 파악을 위하여 국내외 해수담수화 플랜트 기술의 대표적인 사례를 조사하였음.

(1) Ashkelon SWRO Project-Israel

- Ashkelon은 현재까지 건설되어 운전되고 있는 역삼투를 이용한 해수담수화 플랜트 중에서는 가장 대규모이며 (32만 톤/일), 유니트의 크기도 가장 대형임 (4.5 MIGD).
- 처리수 톤당 에너지 소모량도 낮으며 (3.9 kWh/m^3) 이는 대형 플랜트이기 때문에 효율적인 생산이 가능하기 때문임 (규모의 경제)



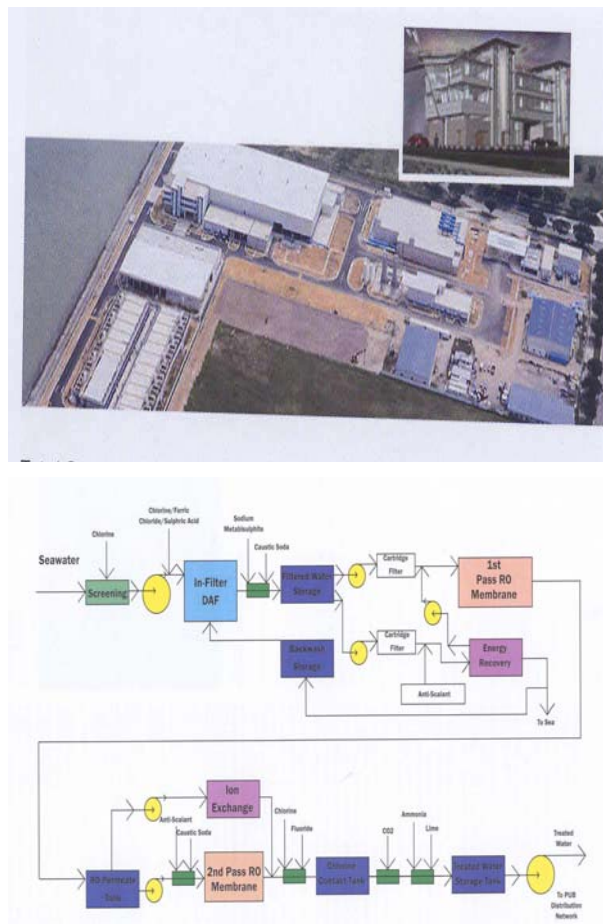
<그림 2.1.7> 플랜트 사진 및 공정구성

<표 2.1.7> 공정특징

Total Capacity	326,144 m ³ /d
Date commissioned	July/December 2005
Product recovery	40.7%
Feedwater TDS	40,679 ng/L (design)
Product water TDS	300 mg/L
Feedwater Temperature	27 °C
RO process description	4-stage, partial 2-pass
Number of trains	32
Operating pressure	69.3 bar@27 °C
Energy consumption	3.9 kWh/m ³
Energy recovery device	DWEER Isobaric
Seawater intake	700m, offshore submerged
Pretreatment system	FeCl ₃ - coagulation - dual media gravity filters
Post-treatment system	Lime stabilization
Concentrate disposal	Return to sea
EPC	IDE/Veolia
Project consultant	Adan Technical &Economic Svs
Capital cost	\$ 212 million
Total water cost, tariff	\$ 0.53/m ³

(2) Tuas (SingSpring) SWRO Project-Singapore

- Tuas는 현재 가동되고 있는 해수담수화 플랜트 중에서 가장 낮은 단가로 물을 생산하는 것으로 보고되고 있음 (\$ 0.47/m³)
- 그러나 실제로 용수 생산단가는 같은 플랜트라고 해도 국가별로 상황에 따라 크게 변화할 수 있으므로 플랜트 성능의 절대적인 기준은 될 수 없음.
- 실제로 Tuas는 Ashkelon보다는 에너지 소모량이 다소 큰 편임 (4.34 kWh/m³).



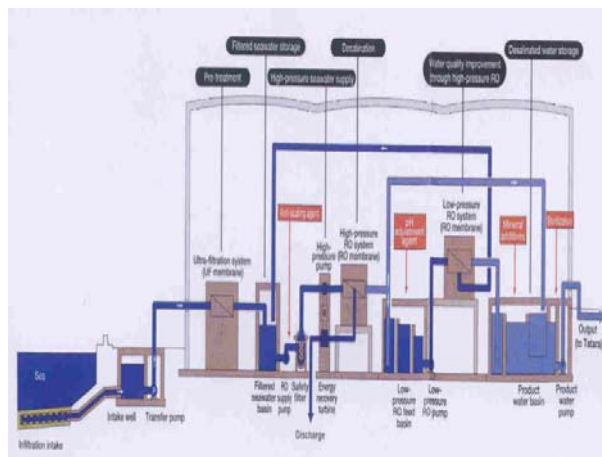
<그림 2.1.8> 플랜트 사진 및 공정구성

<표 2.1.8> 공정특징

Total Capacity	136,360 m ³ /d
Date commissioned	September 2005
Product recovery	38.5%
Feedwater TDS	35,000 ng/L (design)
Product water TDS	<250 mg/L
Feedwater Temperature	23-32 °C
RO process description	2-pass
Number of trains	10
Operating pressure	58 bar
Energy consumption	4.34 kWh/m ³
Energy recovery device	DWEER Isobaric
Seawater intake	Open sea offshore submerged
Pretreatment system	FeCl ₃ - coagulation - DAF - dual media gravity filters
Post-treatment system	Lime stabilization, CO ₂
Concentrate disposal	Return to sea
Equipment supplier	Hyflux
Capital cost	\$ 116 million
Total water cost, tariff	\$ 0.47/m ³ (first year tariff)

(3) Fukuoka SWRO Desalination Project - Japan

- Fukuoka는 일본 최대의 해수담수화 플랜트이며 2005년 6월부터 정상 가동됨
- 중동에 설치된 플랜트와는 달리 수온이 낮으며 (10~30℃), 상대적으로 고압까지 운전할 수 있도록 설계되어 있어, 에너지 소모량도 약간 큰 편임 (5.5 kWh/m³)
- 전처리 공정으로서 UF(한외여과)를 적용하였으며 저압 RO를 이용한 부분 2단여과 방식을 채택하고 있으며, 높은 회수율(60%)로 운전할 수 있도록 설계되는 등 여러 가지 새로운 기술이 적용되어 있음.



<그림 2.1.9> 플랜트 사진 및 공정구성

<표 2.1.9> 공정특징

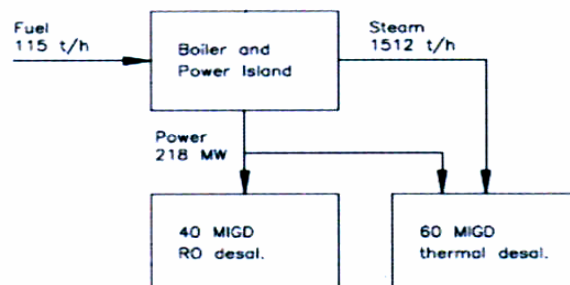
Total Capacity	50,000 m ³ /d
Date commissioned	May, 2005
Product recovery	60%
Feedwater TDS	35,000 mg/L (design)
Product water TDS	<200 mg/L
Feedwater Temperature	10-30 °C
RO process description	partial 2-pass
Number of trains	5
Operating pressure	최대 82 bar
Energy consumption	5.5 kWh/m ³
Energy recovery device	Pelton wheel
Seawater intake	Infiltration gallery
Pretreatment system	Spiral wound UF system
Post-treatment system	Lime stabilization
Concentrate disposal	Blended 1:1 with treated wastewater
Equipment supplier	Obayashi
Membrane supplier	Toyobo CTA

(4) Fujairah Desalination Project- United Arab Emirates: Largest hybrid

- Fujairah는 증발법과 역삼투법을 병행하여 운전하는 하이브리드 형태의 해수담수화 플랜트로서 세계 최대 규모임 (14만 톤/일).
- 하이브리드 방식은 증발법과 역삼투법의 장점을 조합할 수 있기 때문에 향후에 그 도입이 활성화 될 것으로 예상됨.



HYBRID



<그림 2.1.10> 플랜트 사진 및 공정구성

<표 2.1.10> 공정특징

Total electrical production, gross.net		660/500 MW	
Desalination plant commissioned		2003	
Design seawater TDS		40,000 mg/L	
Design seawater temperature		33 °C	
Seawater SDI		10-20	
Total seawater intake flow		140,000 m³/d	
Total concentrate discharge		117,100 m³/d	
Desal/Power plant capital cost		\$804 million	
Blended product water TDS, pH		200 mg/L @8.0 pH	
MSF Plant		SWRO	
Total capacity	284,000 m³/d	Total capacity	170,000 m³/d
Units/capacity	5@56,800 m³/d	SWRO supplier	Doosan
Performance ration	8.0	Pretreatment	Dual media filter
MSF supplier	Doosan	Energy recovery	Pelton wheel
Top brine temperature	109 °C	1st pass trains @ recovery	18@43%
Steam supply pressure	3.3 bar a	1st pass product TDS	590 mg/L
Steam flow	302 ton/h/unit	2nd pass tranis @ recovery	8@90%
Distillate TDS	<25 mg/L	2nd pass product TDS	180 mg
Specific Energy Consumption	4.3 kWh/m³	Specific Energy Consumption	4.8 kwh/m³

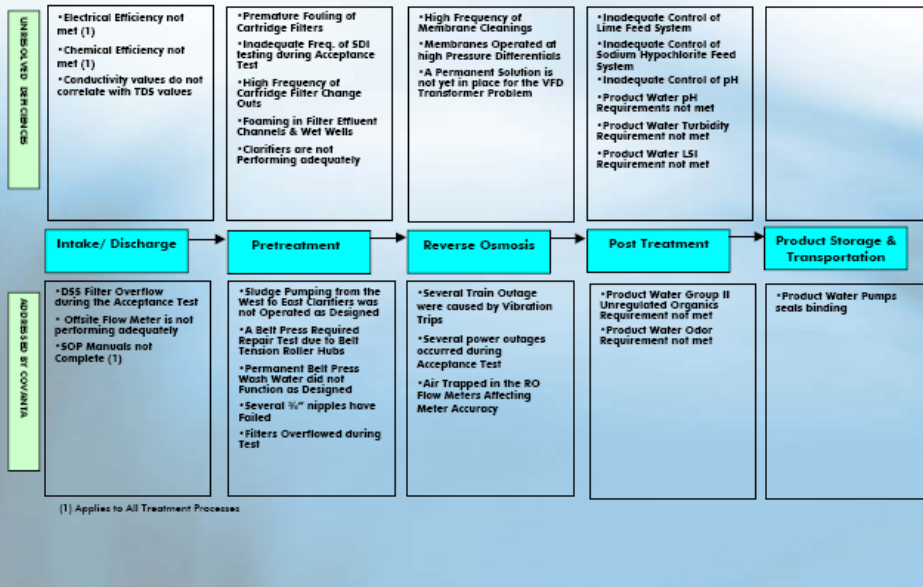
(5) Tampa Bay, Florida: Troubled

- Tampa bay의 해수담수화 플랜트는 당시(1999년) 미국 내에서는 최초의 대형 해수담수화 프로젝트였으며 설계용량은 13만 톤/일이고, 플로리다 지역의 용수문제 해결을 위하여 건설되었음.
- 시공사의 도산과 여러 가지 문제가 발생하여 공사가 원활하게 진행되지 못했으며, 또한 여러 가지 기술적인 문제들이 발생하여, 2003년 5월 Acceptance test를 통과하는데 실패함.
- 플랜트 운전시에 발생한 문제들은 카트리지 필터의 Fouling 및 잦은 교체, SDI 조건 불만족, 전처리 공정의 낮은 효율, RO 막의 잦은 세정, 차압 상승, 진동, 처리수의 수질조정 실패 등이었음.



<그림 2.1.11> 플랜트 사진 및 공정구성

Plant Performance Deficiencies



- 2004년에 2년 계획의 유지보수공사가 시작되었으며 그 결과 총 예산은 \$110,000,000 에서 \$150,000,000으로 상승하였고 플랜트 정상가동 시기는 6년이나 미뤄짐.
- Tampa bay의 예에서 나타난 바와 같이 해수담수화 플랜트의 성공적인 건설 및 운영을 위해서는 i) 유입수 수질에 맞는 전처리 공정의 설계시공 기술, ii) 최적의 역삼투막 선정기술, iii) 역삼투 공정의 효율적인 운영기술, iv) Pilot plant 운영에 의한 scale-up 인자의 정확한 도출기술 등의 기반기술이 반드시 확보되어야 함.

(6) 거문도 해수담수화 시설

○ 시설사양

- 공법: 역삼투법
- 규모: 800 m³/일 (400 m³/일×2계열 (전처리동일))
- 취수원: 지하잔물
- 설계원수(취수원): 해수
- 공정: 원수→원수펌프→(NaClO, FeCl₃) 공급펌프→(H₂SO₄, NaHSO₃)
→고압펌프→역삼투막→(에너지회수)역삼투막→소독→정수
※ 2단 RO (1단 벡셀 3열(5모듈/1열), 2단 벡셀 2열)

○ 검토사항

- 설계: 시설전체는 용역업체에서 설계하였으나 역삼투설비는 설비설치업체에 의뢰
- 시공: 역삼투설비에 대해서는 6개업체에 분리발주시공(역삼투장치, 배관 등 등)
- 운영: 여수시 소속의 운영요원 2명이 교대로 관리
- 설비: 벡셀, 역삼투막, 고압펌프, 수질계측기기는 수입품

○ 문제점 및 대책

- 설계기술은 일본 Toray社 기술 수입으로 독자적인 설계기술 확보 필요
- 시공은 국내업체가 실시하였으나 시공품질 저조하여 책임감리 필요
- 여수시에서 운영하고 있으나 기술부족으로 애로발생, 전문운영요원의 채용 필요

○ 거문도 해수담수화시설 사양

번호	품명	규격	수량	단위
취수 설비	1 취수펌프	깊은우물용, 24.3 m ³ /시	대	3
	2 담수취수펌프	깊은우물용, 2.4 m ³ /시	대	2
	3 담수필터	마이크로필터, 2.4 m ³ /시	대	1
정수 처리 설비	1 원수탱크	입형원통형, FRP제, 50 m ³	대	1
	2 원수펌프	입형원심펌프, 48.6 m ³ /시	대	2
	3 다층여과기	압력식사여과기, 48.6 m ³ /시 내부분기관재질:STS316	대	2
	4 전처리여과기	카트리리지식, 48.6 m ³ /시	대	2
	5 R/O설비(고회수)	2단 역삼투, 14.6 m ³ /시	식	1
	6 차아염탱크	입형원통형, PE제, 1.5 m ³	대	1
	7 전처리 차아염펌프	다이하프램펌프, 40 mL/분	대	2
	8 음용수 차아염펌프	다이하프램펌프, 20 mL/분	대	2
	9 염화철탱크	입형원통형, PE제, 1 m ³	대	1
	10 염화철펌프	다이하프램펌프, 20 mL/분	대	2
	11 가성소다탱크	입형원통형, PE제, 1 m ³	대	1
	12 가성소다펌프	다이하프램펌프, 2 mL/분	대	2
	13 역세송풍기	루츠블로워, 3.7 m ³ /분	대	2
	14 역세척탱크	입형원통형, FRP제, 50 m ³	대	1
	15 역세펌프	입형원심펌프, 1.25 m ³ /분	대	3
	16 황산탱크	입형원통형, PE제, 3 m ³	대	1
	17 황산주입펌프	다이하프램펌프, 150 cc/분	대	2
	18 화학세정탱크	입형원통형, PE제, 1.5 m ³	대	1
	19 화학세정펌프	입형원심펌프, 27 m ³ /시	대	1
	20 화학세정여과기	카트리리지식, 27 m ³ /시	대	1
	21 환원제용해탱크	원통형, 교반기, PE제, 1.5 m ³	대	1
	22 환원제이송펌프	다이하프램펌프, 8 L/분	대	2
	23 환원제탱크	입형원통형, PE제, 0.5 m ³	대	1
	24 환원제펌프	다이하프램펌프, 50 mL/분	대	2
	25 세정수펌프	입형원심펌프, 24.3 m ³ /시	대	2
	26 공기압축설비	왕복동형, 0.2 m ³ /분	식	1
	27 배수펌프	수중모터, 0.3 m ³ /분×10mH	대	2
	28 조정조	입형원통형, FRP제, 3 m ³	대	1
	29 가성소다주입펌프	다이하프램펌프, 150 mL/분	대	2
	30 역세수철염제거장치	중력식사여과기, 50 m ³ /시	대	1
	31 라인믹서	100A	대	1
	32 유량계	차압면적식유량계, 80 A	대	1
	33 유량계	차압면적식유량계, 100 A	대	1

○ 해수담수화 시설모습



전처리설비



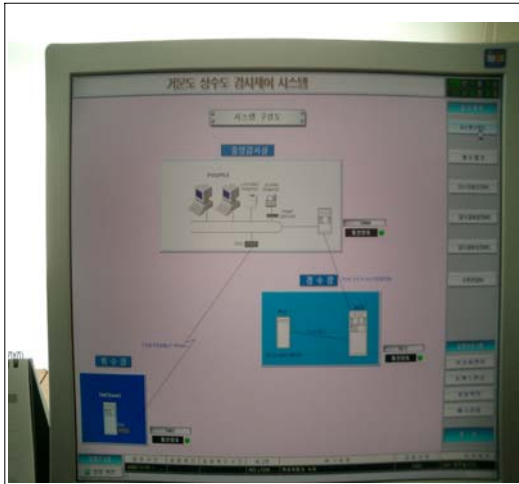
RO설비



건물전경



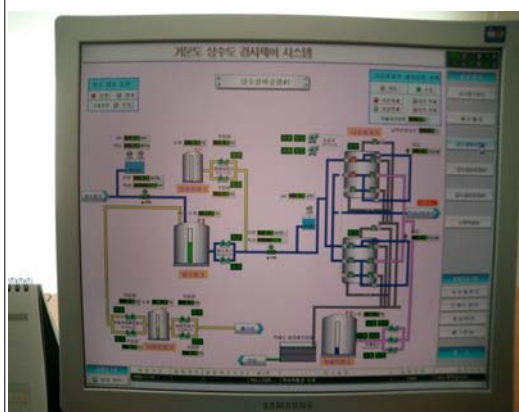
수질계측기기



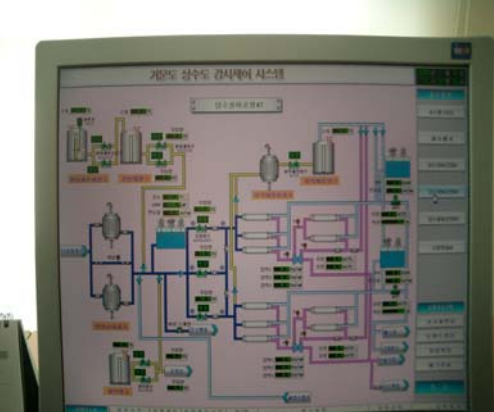
감시제어시스템(시스템구성도)



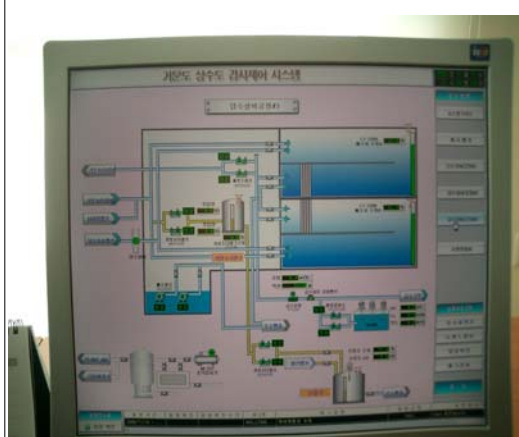
감시제어시스템(취수펌프)



감시제어시스템(전처리설비)



감시제어시스템(RO설비)



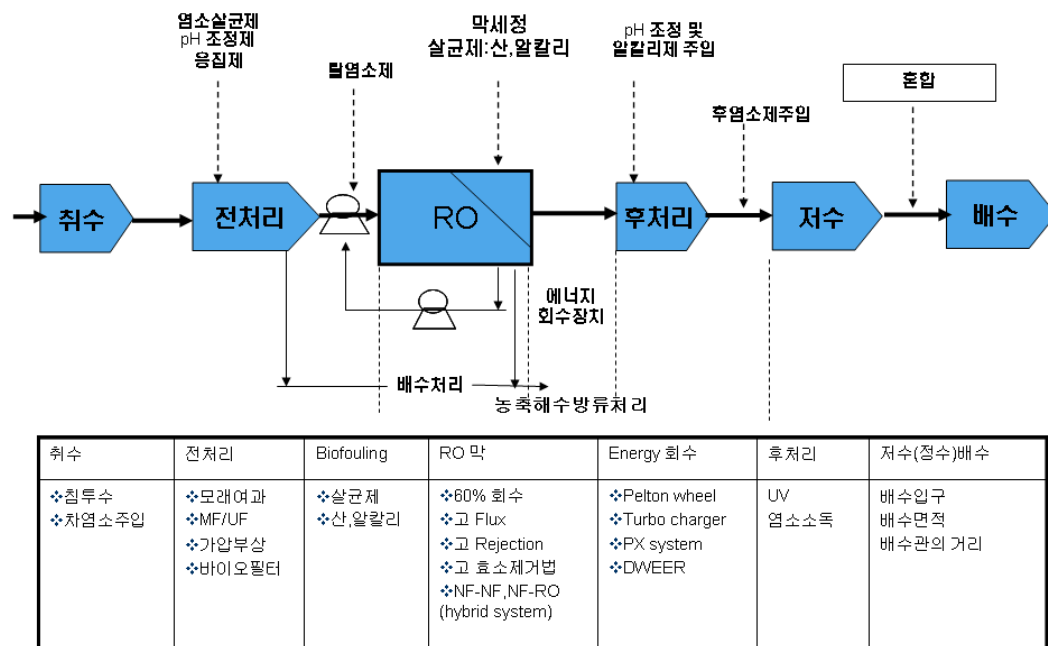
감시제어시스템(약품주입설비)



감시제어실

(7) 역삼투 해수담수화 플랜트 관련 국외기술의 예

- 국외에서는 해수담수화 플랜트 각 요소별로 다양한 기술이 개발되어왔음.



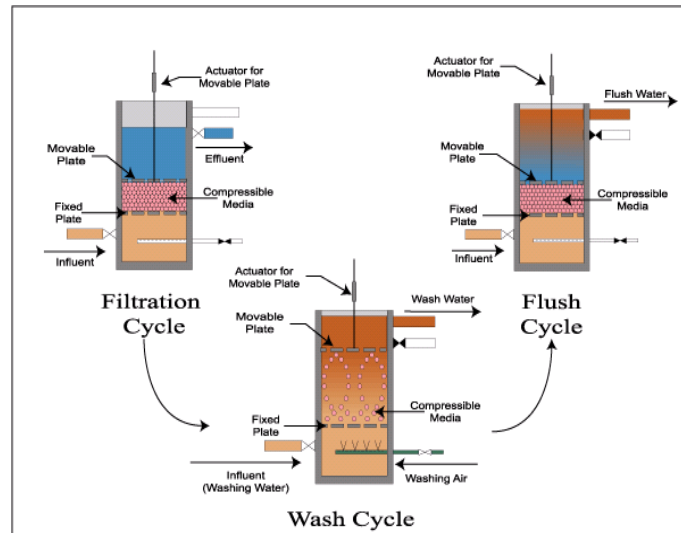
<그림 2.1.12> 국내외 기술동향 분석 : 단위공정별 핵심기술 분야

- 해수담수화 관련 상용화된 해외 신기술의 예를 제시하였음
 - 전처리 기술: MF/UF membrane



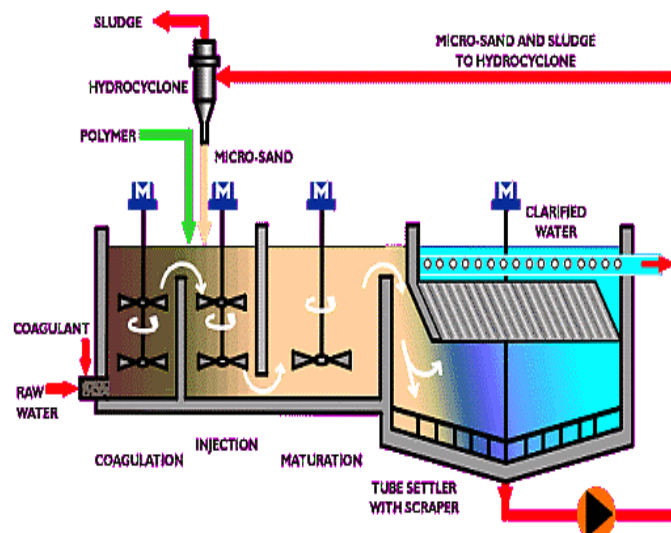
<그림 2.1.13> MF/UF 적용예

- 전처리 기술: Fuzzy filter



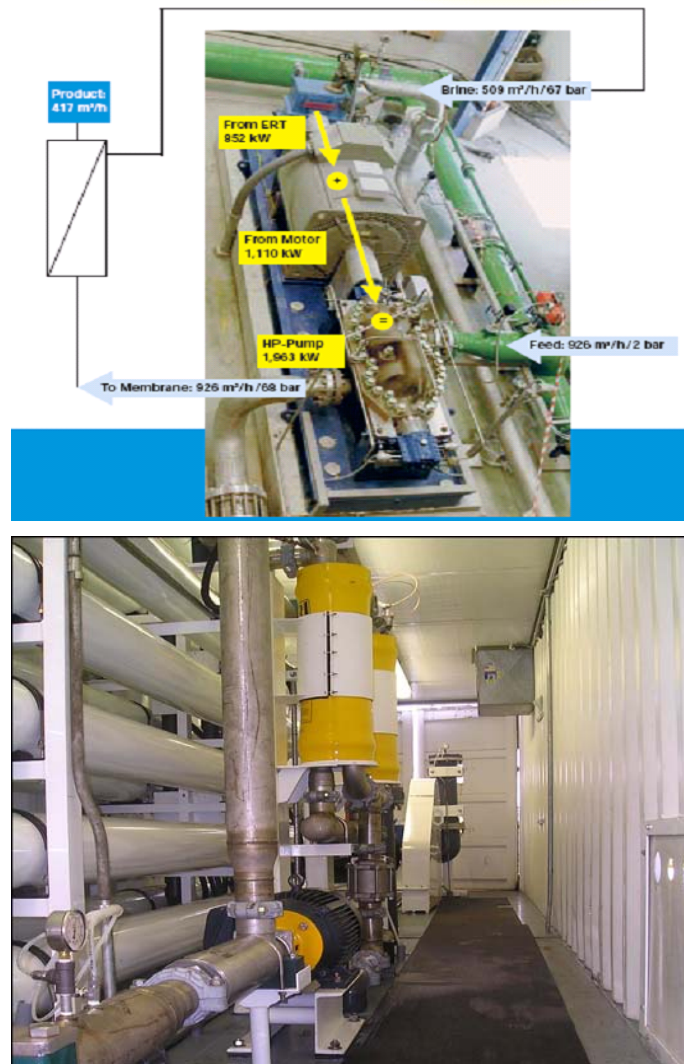
<그림 2.1.14> Fuzzy filter 적용예

- 전처리 기술: Ballasted sand (Actiflo)



<그림 2.1.15> Ballasted sand 적용예

- 에너지 회수: Calder ERT



<그림 2.1.16> Calder ETR 적용예

- 에너지 회수: Hydraulic Turbocharger



<그림 2.1.17> Hydraulic Turbocharger

- 막오염 실시간 모니터링: RO-EYE



<그림 2.1.18> RO-EYE 장치

라. 국내외 특허조사

□ 특허조사

- 특허조사는 플랜트기술 전반에 관한 포괄적 특허조사와 핵심요소기술에 대한 세부기술 특허조사로 구분하여 수행함.

□ 포괄적 특허조사

○ 개요

- 해수담수화 역삼투 플랜트 기술 전반에 관한 특허조사
- 국내외 관련 핵심 기술의 특허추세화 동향 분석을 통한 대상 기술의 개발 방향과 연구개발 성과 목표를 설정함

○ 분석방법

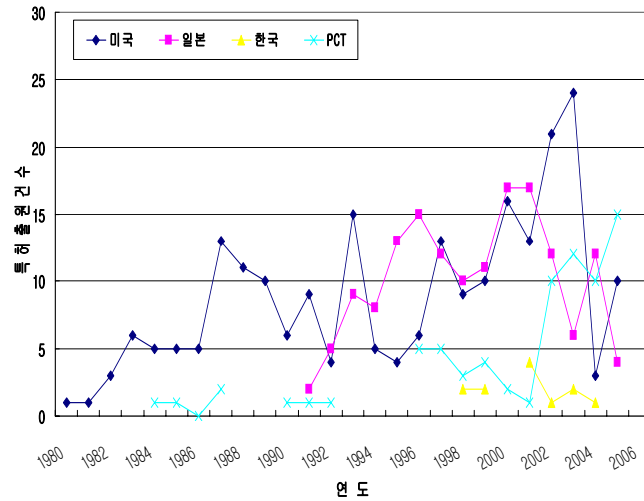
- 해수/담수/RO와 관련된 다양한 키워드를 우선 선정하고, 기존 개발과 앞으로 개발할 대상기술을 분류하여 분야별 특허 검색 핵심어 추출
- 검색엔진 : WIPS
- 특허 분석범위 및 기간, 해당국가

구분	탐재기간
한국공개특실	1983. 3.25 ~ 2006.10.20
한국등록특실	1979. 7.12 ~ 2006.10.20
일본공개특허	1989. 1.01 ~ 2006.10.19
미국등록특허	1976. 1.06 ~ 2006.10.19
PCT공개특허	1978.10.19 ~ 2006.09.28

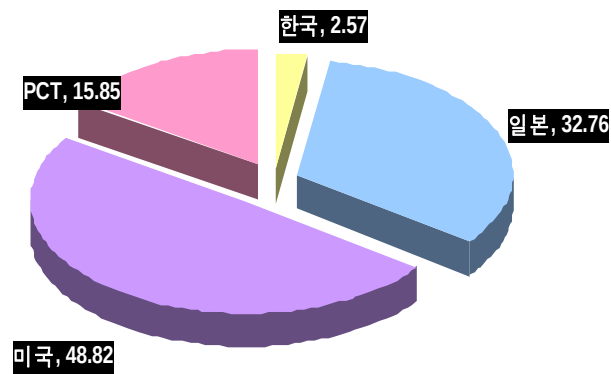
○ 각국의 특허 점유율

- 분석대상 기간 내 해수/담수/RO 관련 전체 출원건은 467건으로 이중 미국 출원건수가 228건으로 전체의 49%를 점유하고, 이어서 일본은 153건으로 33%, PCT는 74건으로 16%,그리고 한국은 12건으로 3%점유하고 있음.
- 전체 출원량 중 미국과 일본의 출원량이 전체의 83%로 대부분을 차지함

구분	한국 공개	일본 공개	미국		PCT 공개	합계
			등록	공개		
분석대상 유효 특허수	12	153	228	26	74	467
점유율	3%	33%	49%		16%	100%



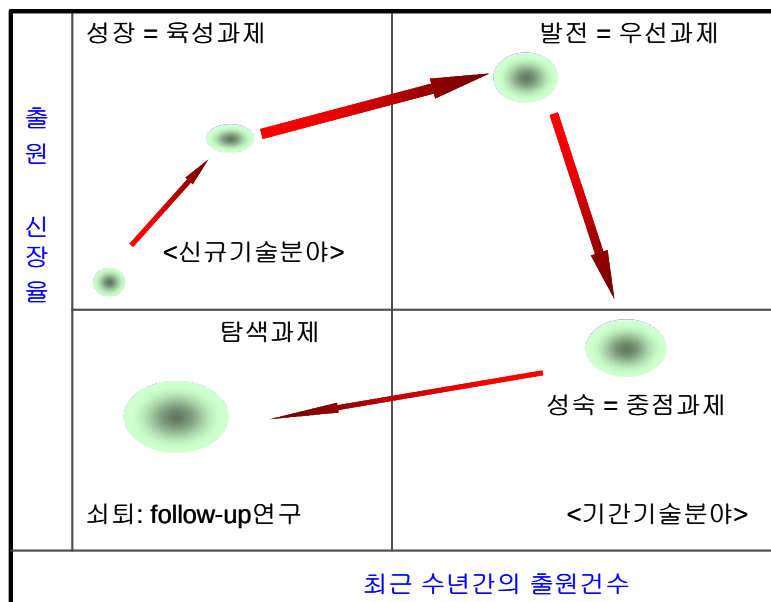
<그림 2.1.19> 각국의 해수/담수화 기술 출원 동향



<그림 2.1.20> 국가별 출원 점유율

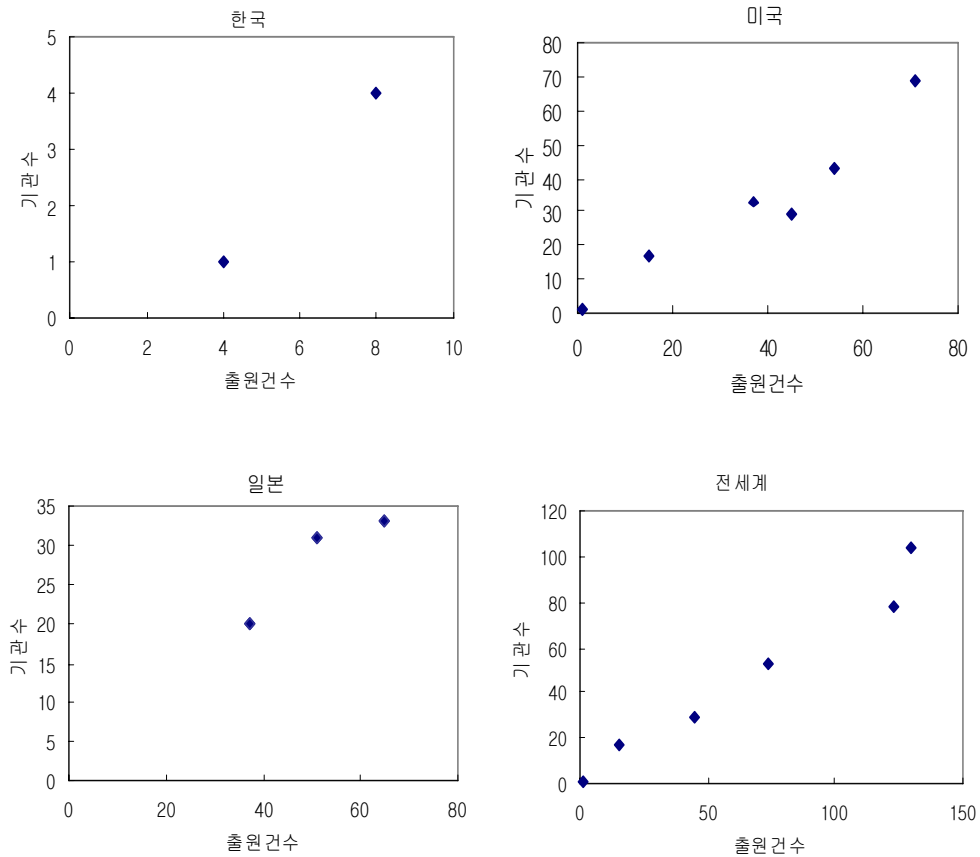
○ 기술발전 위치

- 포트폴리오 분석은 최근 수년간의 특허출원건수와 특허 출원 신장율과의 관계를 통해서 해당 기술분야가 성장단계인지, 발전단계인지, 성숙단계인지 쇠퇴단계인지 파악하는 것을 목적으로 함.
- 성장단계의 기술에 대해서는 집중적인 육성이 필요하며 발전단계의 기술에 대해서는 연구개발의 우선순위를 높일 필요가 있으며 성숙단계의 경우 기간기술분야로서 발전시켜야 하며 쇠퇴단계의 경우는 주로 Follow-up 연구를 수행하도록 전략을 수립함.



<그림 2.1.21> 관련특허 출원 분석에

- 해수담수화 플랜트 기술분야에 대하여 포트폴리오 분석을 한 결과 선진국 및 전세계적으로는 발전 단계에 있으나 우리나라는 아직까지 성장단계에 머무르고 있는 것으로 나타남.



<그림 2.1.22> 해수/담수/RO 분야의 포트폴리오

※ 분석구간: ~80(1구간), 81~85(2구간), 86~90(3구간), 91~95(4구간),
96~2000(5구간), 2001~2006(6구간)

○ 각국의 특허 출원 동향

- 미국에서 출원이 1980년에 최초로 나타나며, 그 뒤를 이어 PCT에서 출원이 1984년에 나타나고, 일본은 1991년, 한국은 1998년에 최초 출원이 나타나므로 출원시점을 기준으로 보면 한국의 선진국 대비 해수/담수화 기술에 대한 특허기술은 15~18년 뒤쳐짐.
- 한국의 특허점유율도 3%로 원천기술의 개발이 시급하게 요구됨
- 기술발전 단계상 선진국은 성장 및 발전단계이며, 반면에 한국은 아직 초

기 성장단계임.

○ 특허전략

- 특허점유율 향상을 위한 다양한 미래원천기술의 개발 필요
- 미래기반기술의 확보 없이는 플랜트 실용화 기술의 발전이 지연

□ 세부기술 특허조사

○ 개요

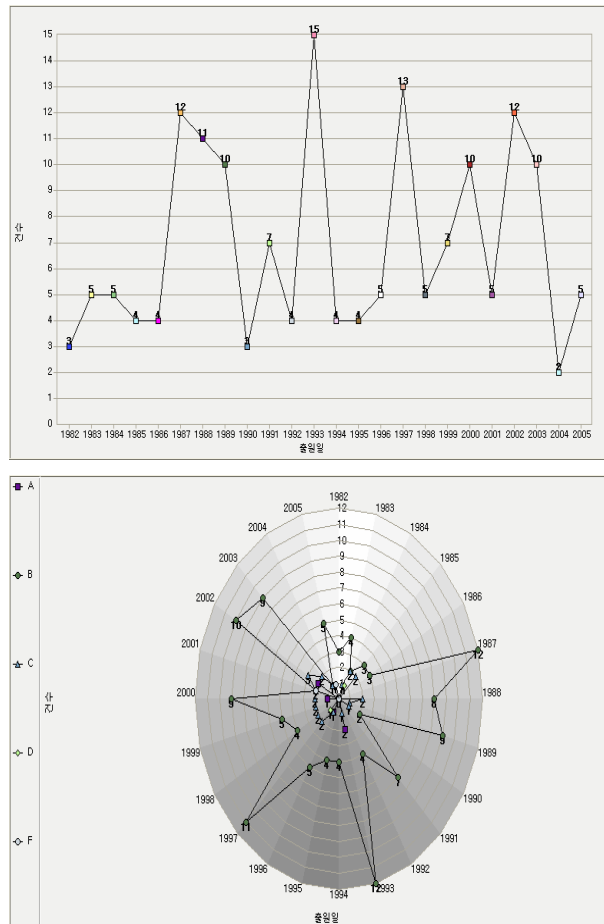
- 해수담수화 역삼투 플랜트 관련 세부기술분야별 특허조사
- 조사대상 세부기술 리스트
 - ▷ 해수담수화 공정 미래핵심요소기술 (막오염 지수, 생물막오염, 에너지효율 등)
 - ▷ 해수담수화 유입수질 제어기술
 - ▷ 최신막 효율성 검증 및 선정 기술
 - ▷ 처리수 용도별 수질조정 기술
 - ▷ 처리수 용도별 수질조정 기술
 - ▷ 해수담수화 플랜트 설계 및 운전 최적화 기술
 - ▷ 대용량 RO train 설계기술
 - ▷ 하이브리드 담수화 공정기술
 - ▷ 시스템 운전기술
 - ▷ 시스템 유지관리기술

○ 조사결과

- 해수담수화 공정 미래핵심요소기술 (막오염 지수, 생물막오염, 에너지효율 등)

▷ 미래핵심요소기술 분야는 해수담수화 플랜트 기술의 기반이 되는 막오염 원인분석, 예측, 에너지효율 향상기술 등을 포함하는 포괄적인 분야임.

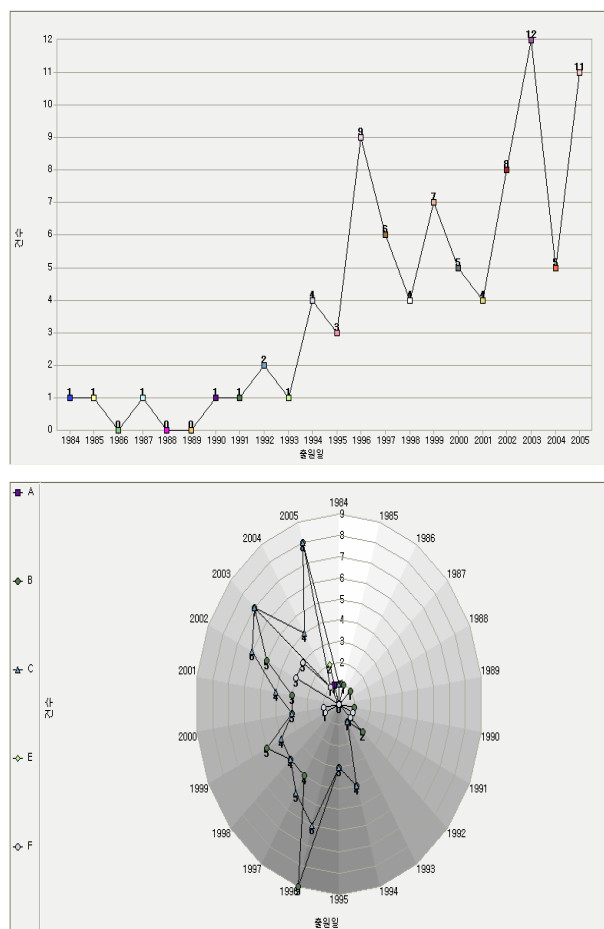
▷ 1980년대 중반부터 꾸준히 특허가 출원되고 있으며 지속적인 연구개발이 필요한 분야임을 알 수 있음.



<그림 2.1.23> 관련 특허분석 결과

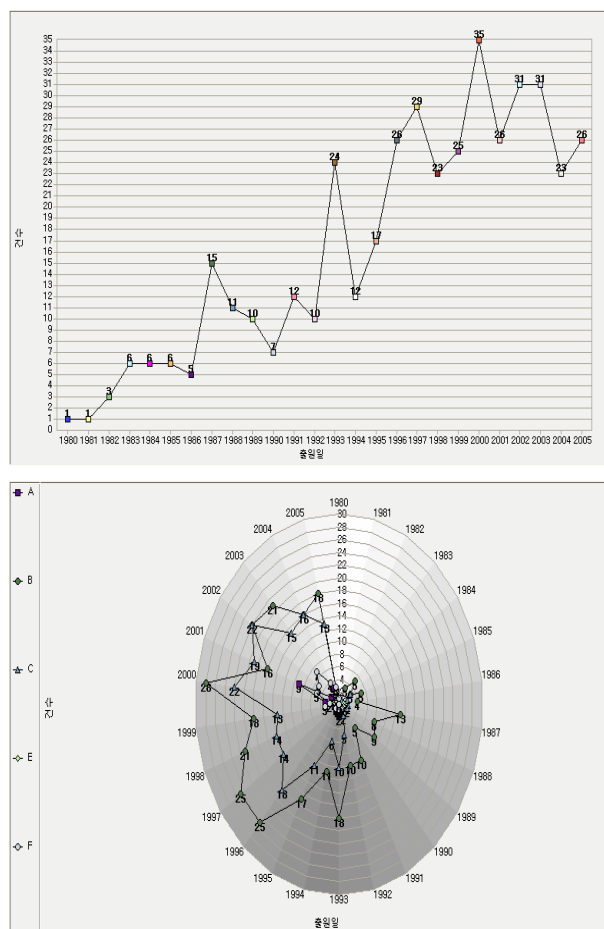
- 해수담수화 유입수질 제어기술

- ▷ 해수담수화 유입수질 제어기술은 주로 역삼투 공정의 전처리관련 신기술에 초점을 맞추어서 특허를 조사하였음.
- ▷ 1990년대 중반부터 특허출원이 비약적으로 성장하는 추세에 있으며 이는 해당분야의 중요성을 나타냄.
- ▷ 따라서 유입수질 제어기술 분야의 원천기술 개발 및 특허 확보전략이 필요함



<그림 2.1.24> 관련 특허분석 결과

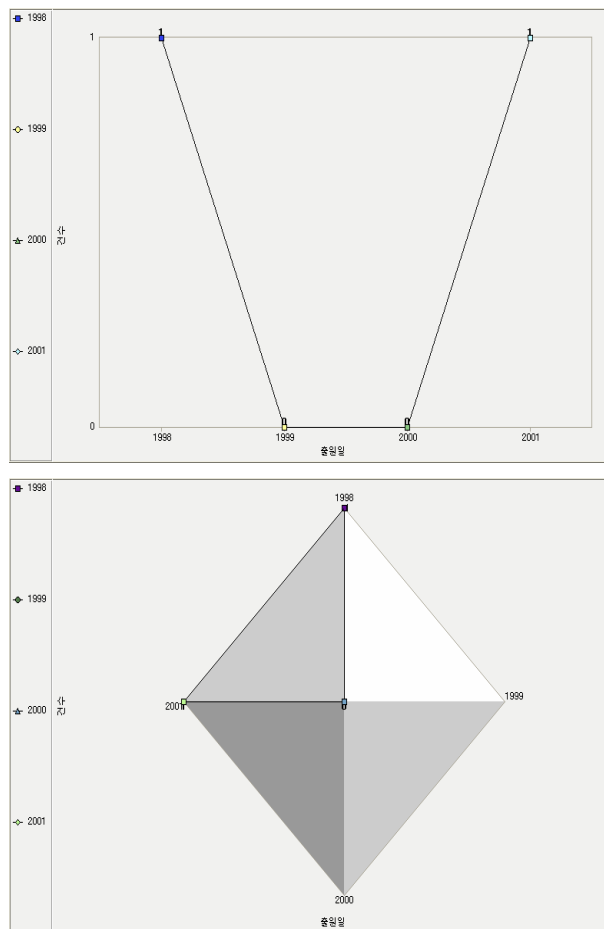
- 해수담수화용 역삼투막 개발 및 분석/선정기술
 - ▷ 해수담수화용 역삼투 관련 연구로서 역삼투막 관련 제조, 분석, 성능예측 기술분야를 포함하여 조사하였음.
 - ▷ 1990년 이후부터 특허출원이 급격하게 증가하여 2000년대 들어서는 특허출원이 계속 높게 유지되고 있음.
 - ▷ 관련기술의 성숙기로 판단되며 기존의 기술보다 성능이 업그레이드된 신기술의 개발을 통해 차별성을 부각하는 전략이 필요함.



<그림 2.1.25> 관련 특허분석 결과

- 처리수 용도별 수질조정 기술

- ▷ 해수담수화의 처리수에 대한 후처리 기술을 조사하였음.
- ▷ 후처리 기술 단독으로는 특허출원이 미미함. 따라서 이 분야에 대해서는 단독적인 연구보다는 전후처리 및 역삼투 공정과 연계한 시스템 기술로서 접근이 필요함.

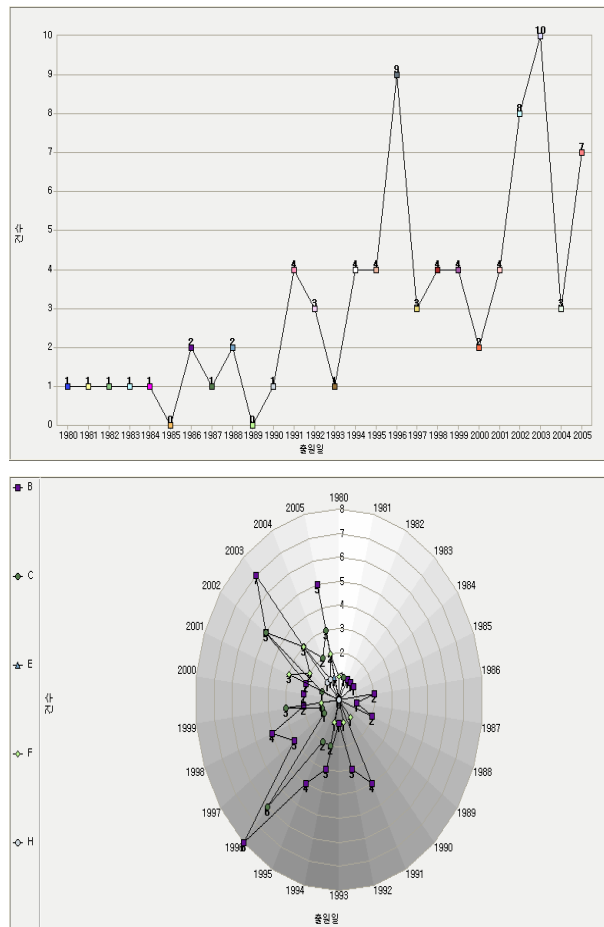


<그림 2.1.26> 관련 특허분석 결과

- 해수담수화 플랜트 설계 및 운전 최적화 기술

▷ 해수담수화 플랜트의 설계기술 및 운전 최적화 기술에 대하여 조사하였음.

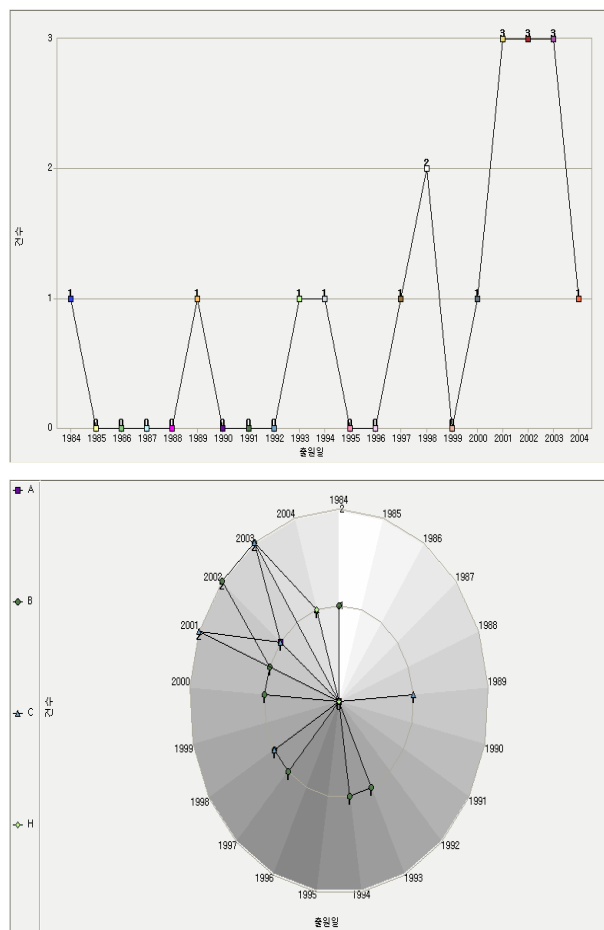
▷ 1990년대 중반부터 특허출원이 증가하며 이는 설계기술의 중요성이 점점 높아지는 추세에 있는 것과 상관관계가 있는 것으로 판단됨.



<그림 2.1.27> 관련 특허분석 결과

- 대용량 RO train 설계기술

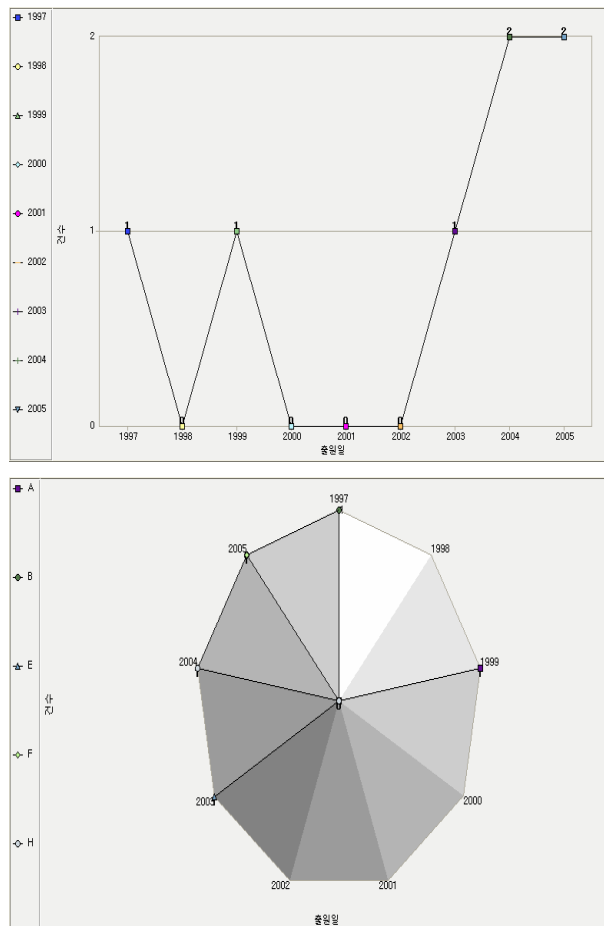
- ▷ 대용량 RO train 관련 기술에 대하여 조사하였음.
- ▷ RO train 설계기술은 특허기술이라기보다는 각 회사가 가지고 있는 노하우 및 엔지니어링 기술이기 때문에 특허출원이 많지 않음.
- ▷ 특허의 성격상 기술의 일부가 공개되기 때문에 기술보유자가 특허출원을 기피하고 있는 것으로 생각됨.



<그림 2.1.28> 관련 특허분석 결과

- 하이브리드 담수화 공정기술

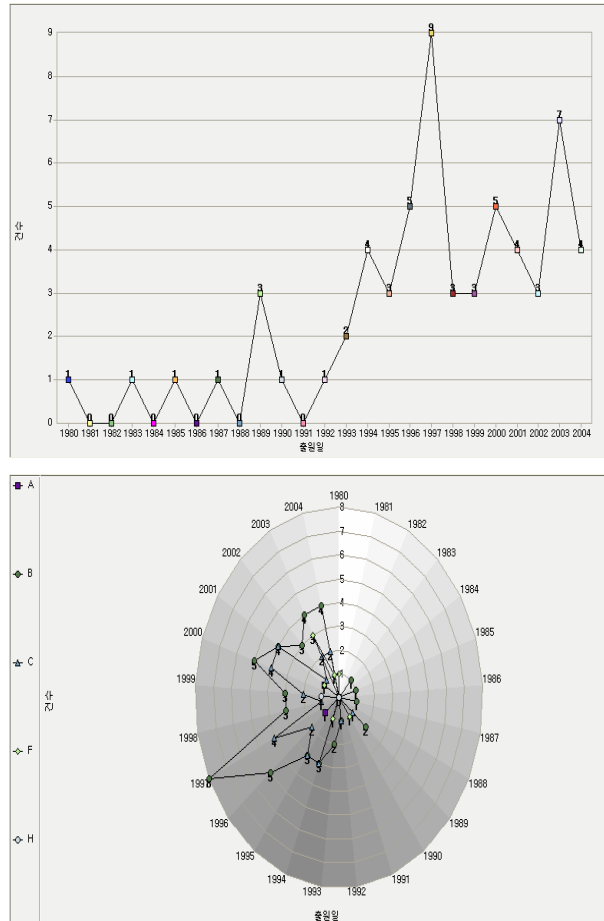
- ▷ 증발법과 역삼투법을 조합한 하이브리드 담수화 공정기술 관련 특허를 조사하였음.
- ▷ 하이브리드 담수화 공정에만 적용되는 기술이 많지 않기 때문에 상대적으로 특허출원도 적음.
- ▷ 하이브리드 담수화 공정 관련 원천기술이 개발된다면 이 분야에 대하여 특허출원을 집중하여 관련기술분야의 특허를 선점할 수 있는 가능성이 있음.



<그림 2.1.29> 관련 특허분석 결과

- 시스템 운전기술

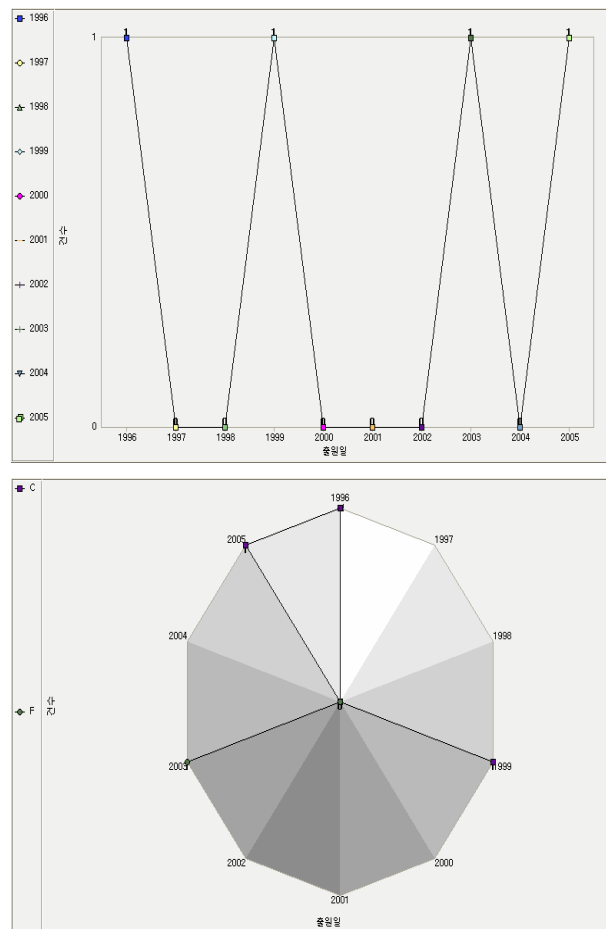
- ▷ 해수담수화 시스템 기술 관련 특허를 조사하였음.
- ▷ 90년대 중반부터 특허출원의 신장율이 높게 나타남.



<그림 2.1.30> 관련 특허분석 결과

- 시스템 유지관리기술

- ▷ 해수담수화 시스템 유지관리 기술 관련 특허를 조사하였음.
- ▷ 시스템 유지관리 기술 자체는 특허기술로 분류하기 어려우며
관련기술개발 전략도 원천기술 확보 보다는 노하우 축적 및
운영데이터 확보에 중점을 둘 필요가 있음.



<그림 2.1.31> 관련 특허분석 결과

□ 경쟁사 특허출원 동향 조사

○ 개요

- 해수담수화 분야 주요 경쟁사의 특허출원 경향을 조사함.
- 검색방법: (desalination or (reverse and osmosis)) AND (hitachi or ionics or IDE or Ondeo or Doosan or Fisia or Toyobo or Dow or Toray or hydranautics or (Mott Macdonald) or (PB power) or (Black and Veatch))
- 총 43개의 PCT 특허가 검색됨

○ 조사내용 요약

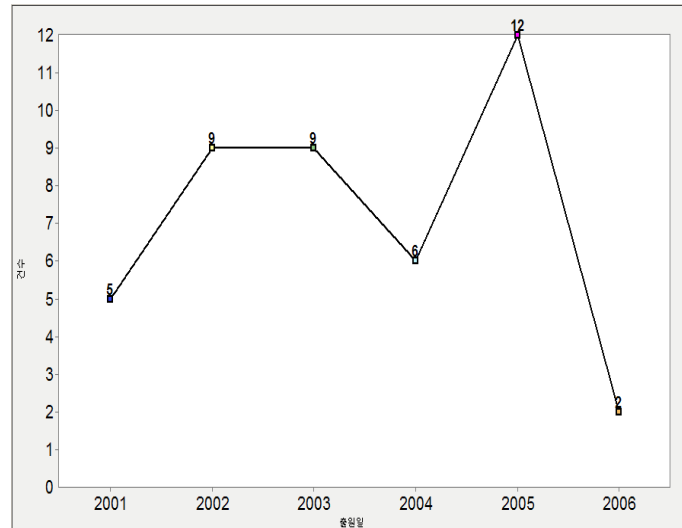
- IPC 분류에 따른 분류에 의하면 주로 B(처리조작, 운수)와 C(화학,야금) 분야의 특허가 주종을 이루고 있음. 또한 F(기계공학 등)에 대한 특허도 있으나 E(토목,건축)에 대한 특허는 없음. 따라서 해당분야의 주요 기업들이 가지고 있는 특허기술은 토목 기술보다는 처리조작이나 화학 관련기술에 근접한다고 볼 수 있음.

<표 2.1.11> IPC 섹션별 개술 매트릭스

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
A		PCT/JP02/03296				
B	PCT/US01/11265	PCT/US02/22523 PCT/JP02/01127 PCT/US02/35352 PCT/US02/31645 PCT/JP02/03296 PCT/IL02/00146	PCT/ES03/00335 PCT/DE03/01124 PCT/JP03/00406	PCT/US04/40230 PCT/JP04/07163	PCT/JP05/06341 PCT/JP05/03861 PCT/US05/47077 PCT/US05/35260 PCT/GB05/03329 PCT/FR05/01000 PCT/US05/06224	PCT/US06/13145
C	PCT/EP01/14986 PCT/US01/26764 PCT/US01/25131 PCT/US01/11265	PCT/IB02/05606 PCT/US02/40499 PCT/JP02/01127 PCT/US02/35352 PCT/US02/31645 PCT/JP02/03296 PCT/IL02/00146	PCT/JP03/07263 PCT/US03/26726 PCT/IL03/00650 PCT/US03/20942 PCT/US03/18689 PCT/DE03/01124 PCT/JP03/00406	PCT/US04/38535 PCT/ZA04/00084 PCT/JP04/07163	PCT/JP05/06341 PCT/JP05/03861 PCT/JP05/21455 PCT/JP05/17258 PCT/GB05/03329	PCT/US06/13145 PCT/EP06/00506
F	PCT/US01/25885	PCT/IB02/05606 PCT/US02/40499 PCT/US02/17487		PCT/SG04/00105 PCT/IN04/00359 PCT/ZA04/00084		
G			PCT/CN03/00006	PCT/JP04/07163	PCT/US05/47077	

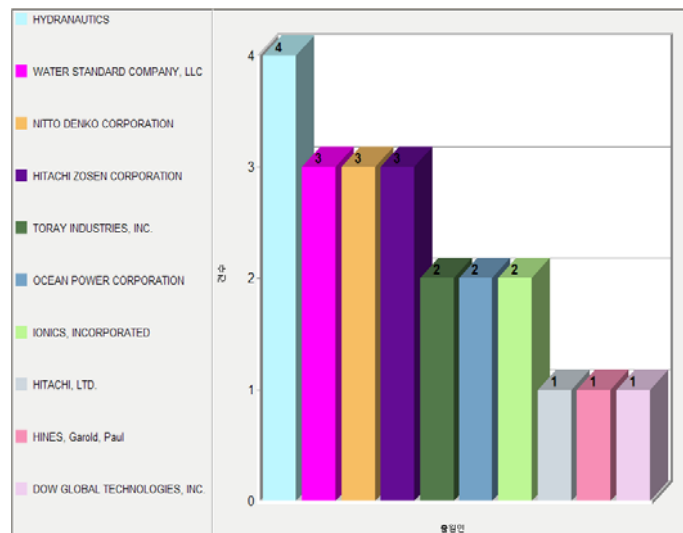
- 주요 경쟁사의 특허출원은 연간 5~12건 수준으로 플랜트 기술의 특성상 특허출원개수가 회사의 경쟁력과 직접적으로 연관되어 있지는 않음

보여줌.

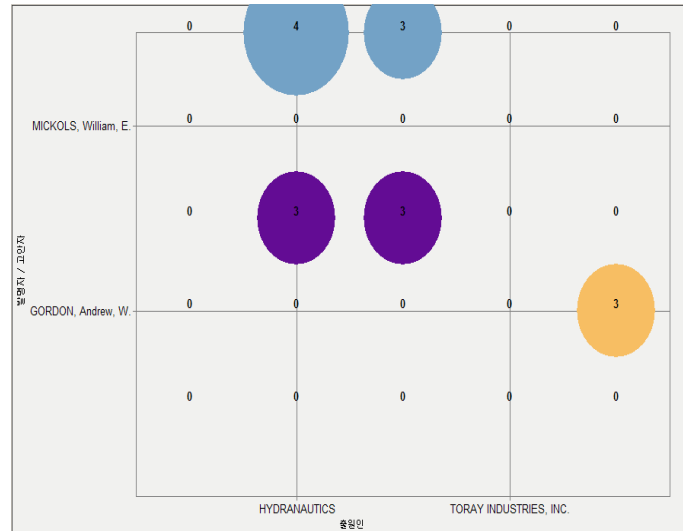


<그림 2.1.32> 주요 경쟁사의 연도별 특허출원 경향 분석

- 회사별 특허점유율을 보면 RO 제조사인 Hydranautics와 MSF/RO 시공사인 Hitach사가 가장 많았으며, 연간 1건 수준이었음.



<그림 2.1.33> 주요 경쟁사의 해수담수화 플랜트 관련 특허출원 랭킹분석



<그림 2.1.34> 발명자 출원인 상관 맵

- 경쟁사 주요 특허를 검토한 결과 일부 특허에 대해서는 중복성에 대한 사항을 면밀하게 검토한 후 연구를 추진해야 할 것으로 판단되었음.

<표 2.1.12> 경쟁사 주요 특허 리스트

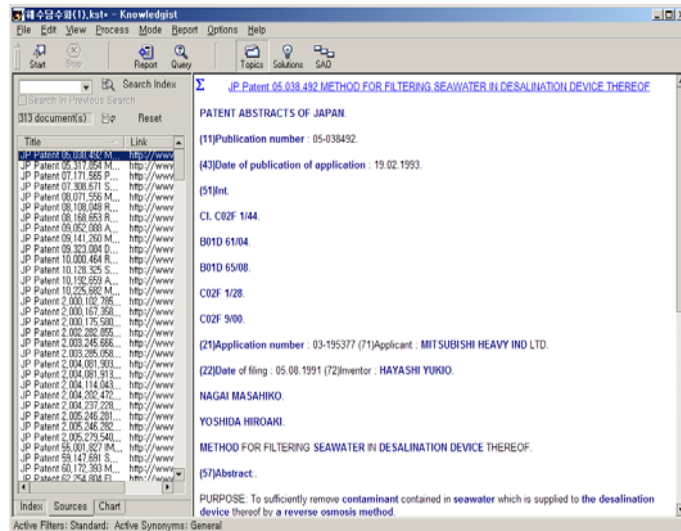
출원번호	명칭	출원인
PCT/US01/11265	COMPOSITE MEMBRANE AND METHOD FOR MAKING THE SAME	THE DOW CHEMICAL COMPANY(US)
PCT/US01/25885	HIGH EFFICIENCY STEAM EJECTOR FOR DESALINATION APPLICATIONS	OCEAN POWER CORPORATION(US)
PCT/US01/26764	METHOD FOR PRETREATING WATER FOR DESALINATION	OCEAN POWER CORPORATION(US)
PCT/IL02/00146	METHOD OF BORON REMOVAL IN PRESENCE OF MAGNESIUM IONS	I.D.E. TECHNOLOGIES LTD.(IL)
PCT/JP02/01127	WATER TREATMENT APPARATUS	NITTO DENKO CORPORATION(JP) HYDRANAUTICS(US)
PCT/JP02/03296	BACTERICIDE FOR USE IN WATER TREATMENT, METHOD FOR WATER TREATMENT AND APPARATUS FOR WATER TREATMENT	TORAY INDUSTRIES, INC.(JP)
PCT/US02/17487	METHOD OF AND APPARATUS FOR PRODUCING POWER AND DESALINATED	ORMAT INDUSTRIES LTD.(IL) SANTUCCI, Lawrence(US)
PCT/US02/31645	CONTROL OF WATER TREATMENT SYSTEM WITH LOW LEVEL BORON DETECTION	IONICS, INCORPORATED(US)
PCT/US02/35352	BRANCHED FLOW FILTRATION AND SYSTEM	IONICS, INCORPORATED(US)
PCT/DE03/01124	EVAPORATOR TUBE FOR A SEA WATER DESALINATION PLANT	WME GESELLSCHAFT
PCT/IL03/00650	WATER-DESALTING PLANT	TARAN, David(IL)
PCT/JP03/00406	METHOD OF GENERATING FRESH WATER AND FRESH-WATER GENERATOR	TORAY INDUSTRIES, INC.(JP)
PCT/JP03/07263	NOVEL FUEL PRODUCTION PLANT AND SEAWATER DESALINATION SYSTEM FOR USE THEREIN	HITACHI, LTD.(JP) JFE HOLDINGS, INC.(JP)
PCT/US03/18689	METHODS FOR REDUCING BORON CONCENTRATION IN HIGH SALINITY LIQUID	HYDRANAUTICS(US) NITTO DENKO CORPORATION(JP)
PCT/US03/20942	MOBILE DESALINATION PLANTS AND METHODS FOR PRODUCING DESALINATED WATER	WATER STANDARD COMPANY, LLC(US)
PCT/JP04/07163	METHOD AND APPARATUS FOR DESALINATING CONDENSED WATER	EBARA CORPORATION(JP)
PCT/SG04/00105	STRUCTURE AND METHODS USING MULTI-SYSTEMS FOR ELECTRICITY GENERATION AND WATER DESALINATION	MSC POWER (S) PTE LTD(SG)
PCT/US04/40230	METHODS FOR REDUCING BORON CONCENTRATION IN HIGH SALINITY LIQUID USING COMBINED REVERSE OSMOSIS AND ION EXCHANGE	HYDRANAUTICS(US) NITTO DENKO CORPORATION(JP)
PCT/ZA04/00084	DESALINATION OF SEA WATER	WIENAND, Henry, Lemont(ZA)
PCT/FR05/01000	SEA-WATER DESALINATION METHOD AND FACILITY USING MULTIPLE EFFECT DISTILLATION WITH MECHANICAL AND THERMAL VAPOUR COMPRESSION	SOCIETE INTERNATIONALE DE DESSALEMENT - SIDEM(FR)
PCT/GB05/03329	MSF DISTILLATE DRIVEN DESALINATION PROCESS AND APPARATUS	O.H.D.L. OPTIMISED HYBRID DESALINATION LIMITED(GB)

출원번호	명칭	출원인
PCT/JP05/03861	MULTI-STAGE FLUSH TYPE DESALINATION SYSTEM	HITACHI ZOSEN CORPORATION(JP)
PCT/JP05/06341	MULTI-STAGE FLASH EVAPORATOR	HITACHI ZOSEN CORPORATION(JP)
PCT/JP05/21455	SEAWATER DESALINATION APPARATUS USING REVERSE OSMOTIC MEMBRANE METHOD	HITACHI ZOSEN CORPORATION(JP)
PCT/US05/06224	APPARATUS FOR TREATING SOLUTIONS OF HIGH OSMOTIC STRENGTH	DOW GLOBAL TECHNOLOGIES, INC.(US)
PCT/US05/06945	FILTRATION DEVICES WITH EMBEDDED RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION (RFID) TAGS	HYDRANAUTICS(US)
PCT/US05/35260	HYBRID REVERSE OSMOSIS WATER DESALINIZATION APPARATUS AND METHOD WITH ENERGY RECUPERATION ASSEMBLY	SISYAN, R.L. DE C.V.(MX)
PCT/US05/47077	CONDUCTIVITY MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM FOR A FLUID TREATMENT SYSTEM	3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY(US)
PCT/EP06/00506	SYSTEM AND METHOD FOR PLANNING THE OPERATION OF MONITORING PROCESSES IN, SIMULATING, AND OPTIMIZING A COMBINED POWER GENERATION AND WATER DESALINATION PLANT	ABB RESEARCH LTD.(CH)
PCT/US06/13145	ALKALINE REGENERATION OF N-METHYL-D-GLUCAMINE FUNCTIONAL RESINS	DOW GLOBAL TECHNOLOGIES INC.(US)

□ 특허 패턴 조사

○ 개요

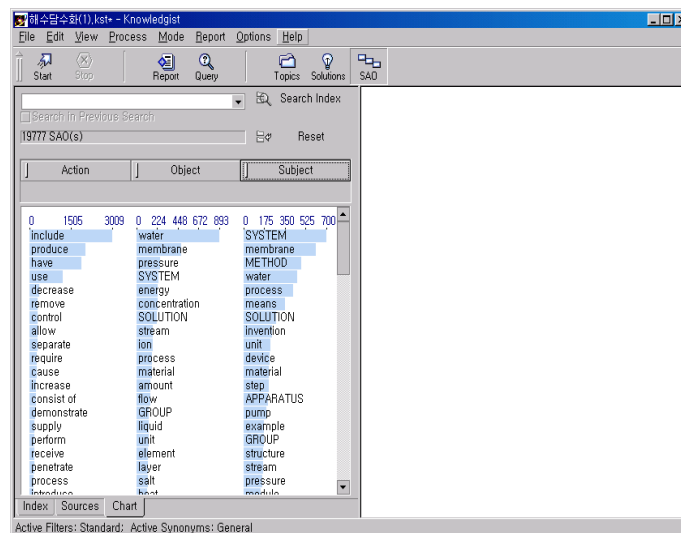
- TRIZ 소프트웨어인 Knowledgist를 이용한 특허분석
- 특허에서 해결하고자 하는 문제의 유형 및 해답유형에 대한 분석데이터 제공
- 의미처리 엔진을 이용하여 다수의 특허에 대한 요약자료 제시
- 총 313개의 일본, 미국 및 PCT 특허에 대하여 조사



<그림 2.1.35> Triz 특허분석 예

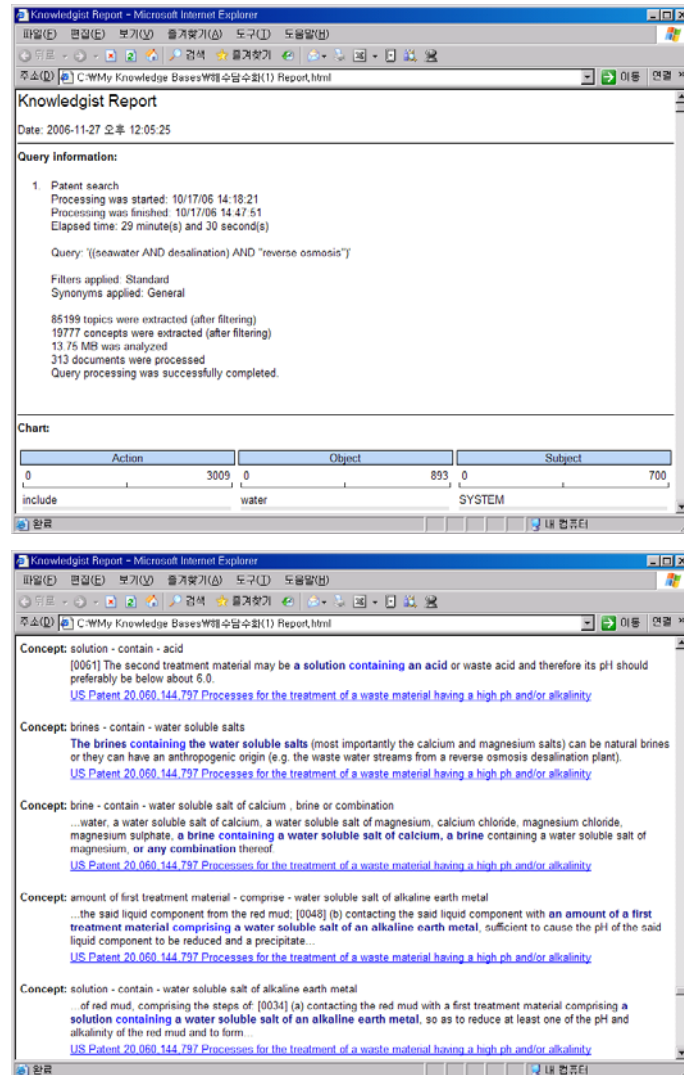
○ 조사결과

- 관련특허 데이터베이스 구축: 85199개의 주제에 대한 자동정리 및 요약
- HTML 파일 형태로 연구자에게 제공 예정



<그림 2.1.36> Triz 특허분석 결과 예

- 관련특허에 대한 조사보고서 및 개념별 특허정보의 요약



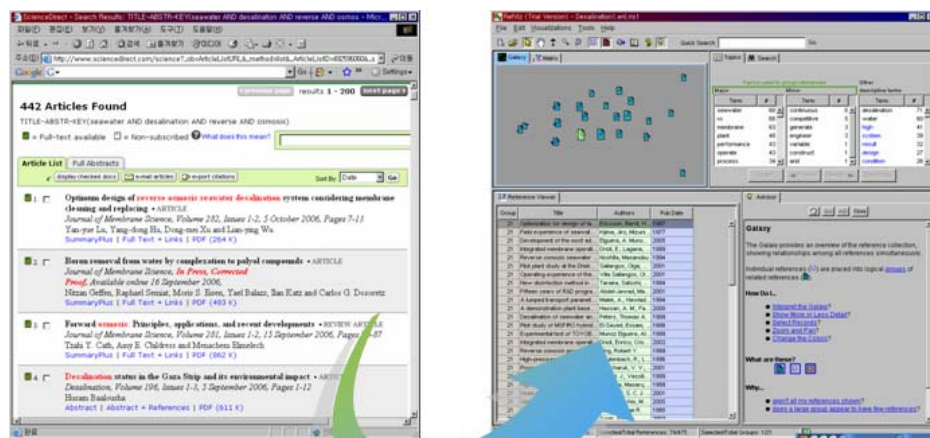
<그림 2.1.37> Triz 특허분석 결과 예

마. 논문분석

□ 논문분석 과정

○ 개요

- 분석순서: 자료검색 → 자료처리 소프트웨어(Refviz)에 의한 자동분석 → Grouping and visualization → Group별 주요논문 Mapping
- 총 470여개 논문 분석 (데이터마이닝 기법을 이용하여 10분 이내에 분석)



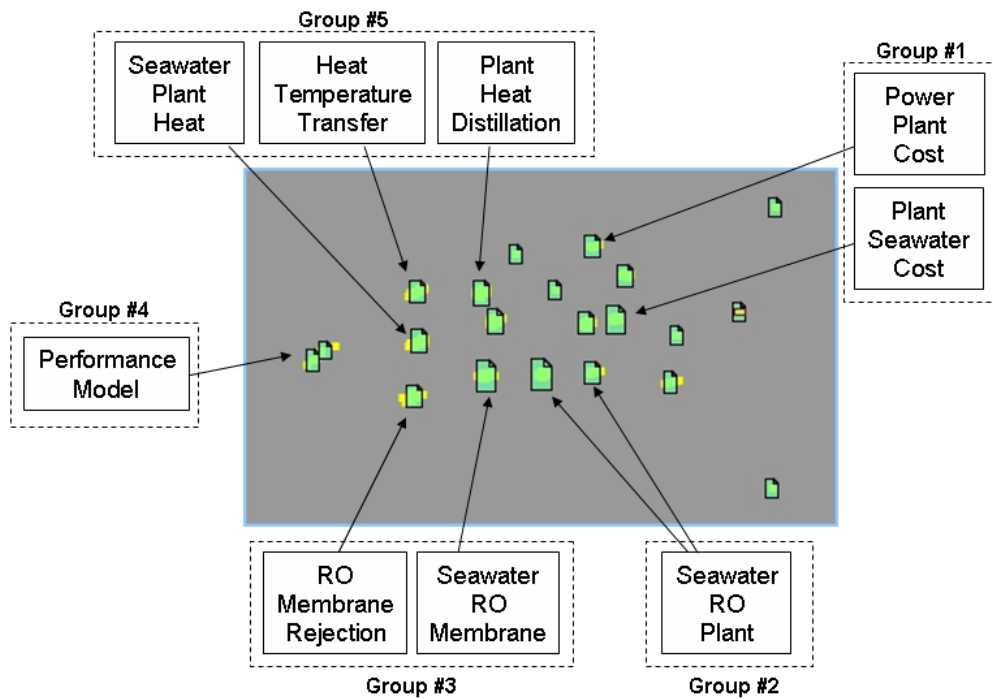
Grouping and visualization

<그림 2.1.38> 논문검색 예시

○ Grouping

- 분석결과 크게 1970년대부터 현재까지 발표된 SCI 논문을 크게 다음의 5개의 그룹으로 분류할 수 있었음.
 - ▷ Group 1: 해수담수화 플랜트의 비용문제 관련 연구
 - ▷ Group 2: 해수담수화 역삼투 플랜트 관련 연구
 - ▷ Group 3: 해수담수화를 위한 역삼투 막 제조 및 특성분석에 관한 연구
 - ▷ Group 4: 해수담수화 공정 성능예측 및 모델링 관련 연구
 - ▷ Group 5: 증발법을 이용한 해수담수화 관련 연구
- 연구경향 분석
 - ▷ 해수담수화 연구는 다원화됨 (An oval shape in galaxy map)
 - ▷ 1980년대부터 RO plant 설계 및 운영에 관한 연구 활성화

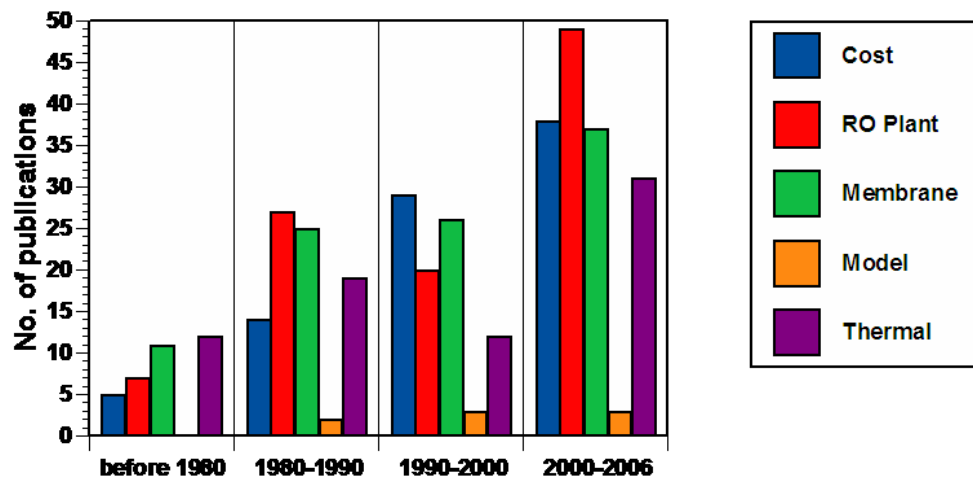
- ▷ Thermal 방식에 대한 연구는 상대적으로 비중이 낮아지는 추세
- ▷ 1990년대 이후에는 담수화 비용 및 RO막 연구가 활발하게 진행됨



<그림 2.1.39> 논문맵

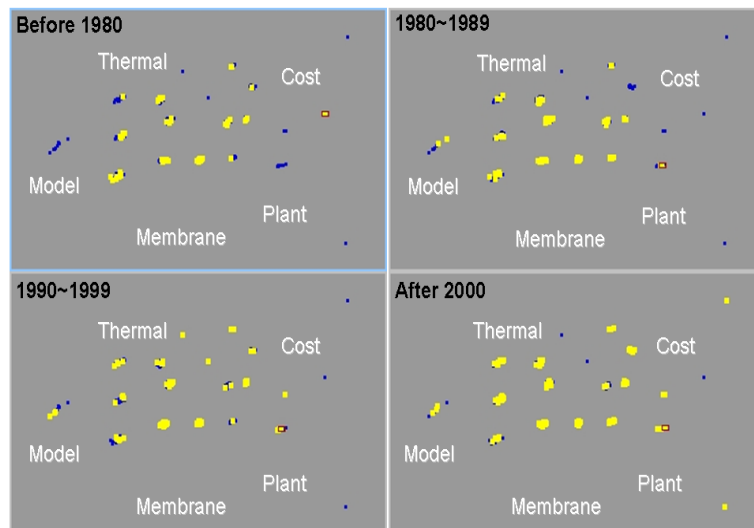
□ 분야별 논문발표 경향의 변화

- RO 플랜트 기술에 관한 논문의 비중이 점차 높아지고 있음.
- 공정모사와 성능예측에 관한 논문도 80년대 이후에 나타남.
- 증발법에 관한 논문의 비중은 상대적으로 낮아지는 추세임.



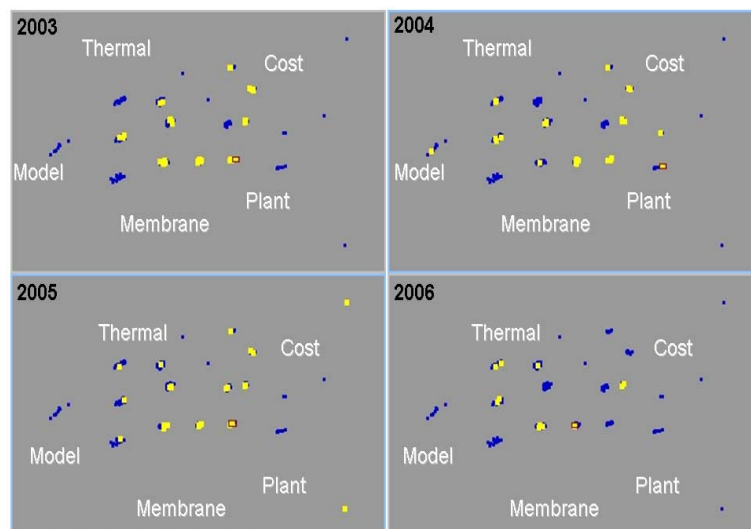
<그림 2.1.40> 논문발표 경향

□ Galaxy view (1970~2006)



<그림 2.1.41> Galaxy view 분석 결과 (1970~2006)

□ Galaxy view (2003~2006)



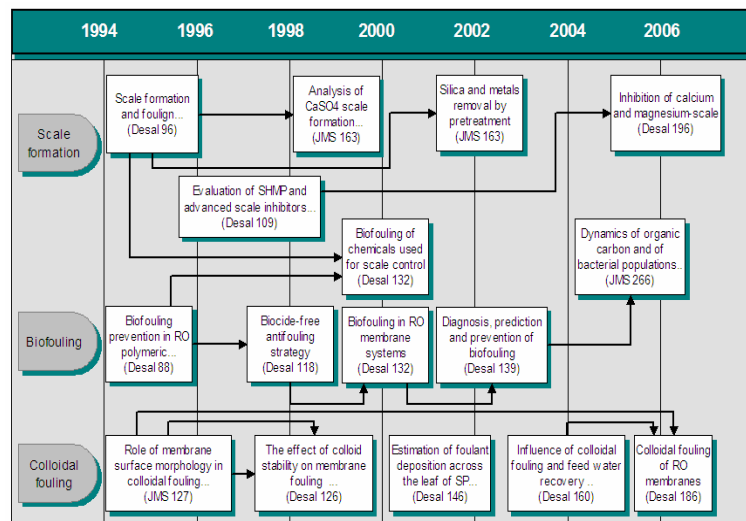
<그림 2.1.42> Galaxy view 분석결과 (2003~2006)

□ 해수담수화 플랜트기술 기술지도

- 인용횟수 및 출현시기 등의 자료를 바탕으로 각 연구분야별 대표논문들을 선정하고 이를 바탕으로 기술지도 작성

○ 막오염 분야 논문 기술지도

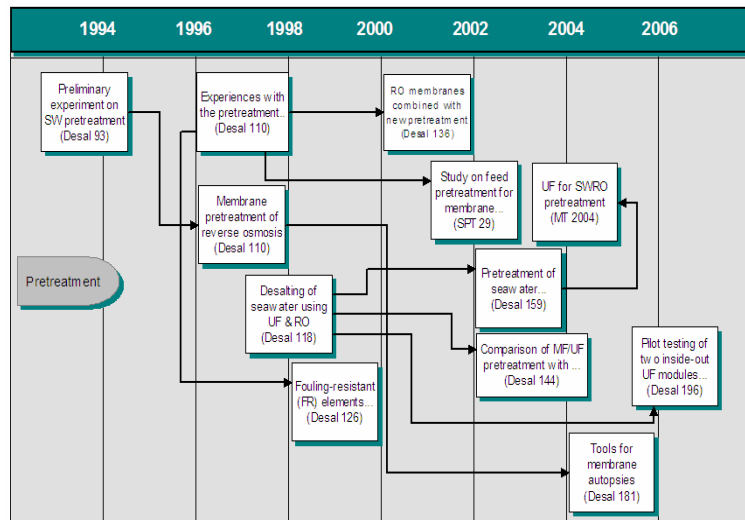
- Control 위주의 연구에서 초정밀 분석을 통한 Mechanism 규명 연구(2002년)로 발전



<그림 2.1.43> 해수담수화 플랜트기술 논문맵 (Fouling)

○ 전처리 분야 논문 기술지도

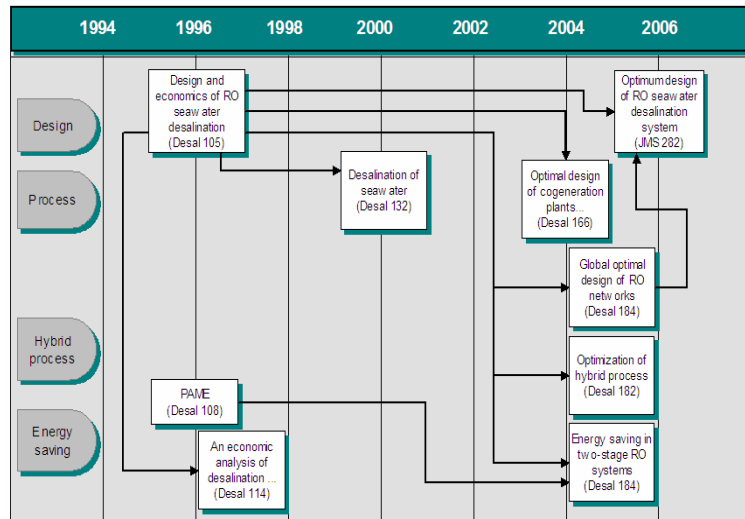
- MF/UF 이용기술이 테스트 단계(1993년)에서 현장이용기술(1997년 이후)로 발전



<그림 2.1.44> 해수담수화 플랜트기술 논문맵 (Pretreatment)

○ 공정 및 에너지 분야 논문 기술지도

- 모델을 이용한 설계 및 비용 최적화 기법 연구 (2004년 이후)



<그림 2.1.45> 해수담수화 플랜트기술 논문맵 (Process & Energy)

□ 국가별 논문 현황

- 2000년 이후 발표논문에 대한 국가별 논문 게재현황 및 점유율 분석
- 미국과 독일, 쿠웨이트 등에서 많은 논문들이 발표됨
- 국내논문의 점유율은 10위권 밖으로 낮은 상황임.

VIEW RECORDS	Field: Country/Territory	Record Count	% of 161	Bar Chart	SAVE ANALYSIS DATA TO FILE
☐	USA	19	11.8012 %		
☐	GERMANY	17	10.5590 %		
☐	KUWAIT	11	6.8323 %		
☐	PEOPLES R CHINA	11	6.8323 %		
☐	JAPAN	9	5.5901 %		
☐	ENGLAND	8	4.9689 %		
☐	ITALY	8	4.9689 %		
☐	SAUDI ARABIA	8	4.9689 %		
☐	ISRAEL	7	4.3478 %		
☐	SPAIN	6	3.7267 %		
VIEW RECORDS					SAVE ANALYSIS DATA TO FILE

ISI Web of KnowledgeSM (2000~2006)

<그림 2.1.46> 국가별 관련논문 현황

□ 연도별 논문 현황

- 2000년 이후 발표논문에 대한 연도별 논문 게재현황 및 점유율 분석
- 매년 6~36편의 논문이 발표되고 있음

VIEW RECORDS	Field: Publication Year	Record Count	% of 161	Bar Chart	SAVE ANALYSIS DATA TO FILE
☐	2001	36	22.3602 %		
☐	2003	35	21.7391 %		
☐	2005	32	19.8758 %		
☐	2004	20	12.4224 %		
☐	2006	18	11.1801 %		
☐	2000	13	8.0745 %		
☐	2002	6	3.7267 %		
VIEW RECORDS					SAVE ANALYSIS DATA TO FILE

ISI Web of KnowledgeSM (2000~2006)

<그림 2.1.47> 연도별 관련논문 현황

□ 기관별 논문 현황

- 2000년 이후 발표논문에 대한 연구기관별 논문 게재현황 및 점유율 분석

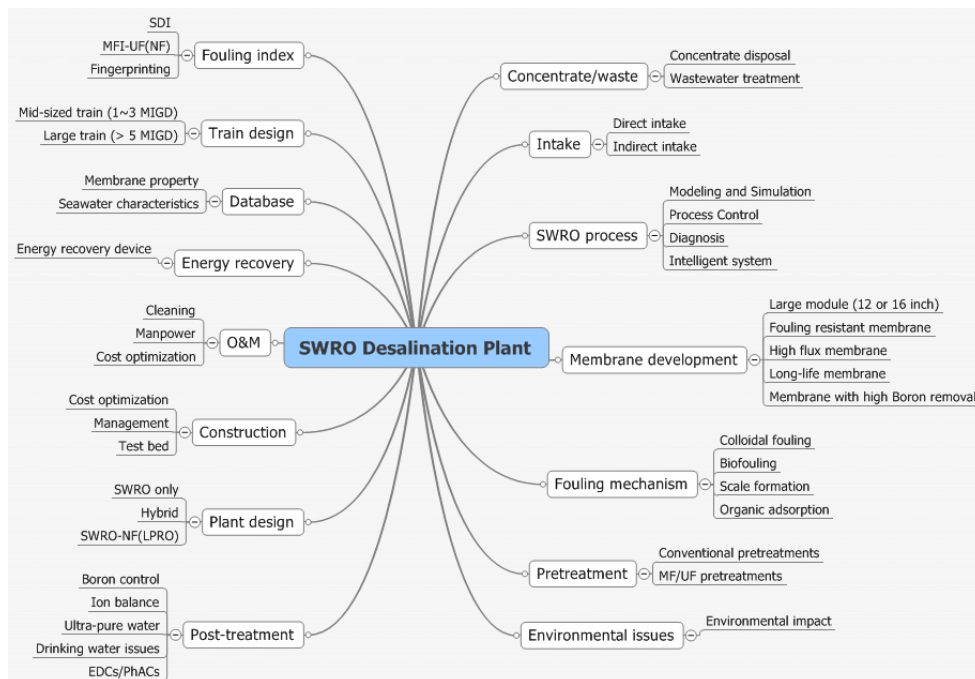
VIEW RECORDS	Field: Institution Name	Record Count	% of 161	Bar Chart	SAVE ANALYSIS DATA TO FILE
☐	KUWAIT INST SCI RES	6	3.7267 %		
☐	KUWAIT UNIV	5	3.1056 %		
☐	ADWEA	4	2.4845 %		
☐	NATL RES CTR	4	2.4845 %		
☐	NATL UNIV SINGAPORE	4	2.4845 %		
☐	BEN GURION UNIV NEGEV	3	1.8634 %		
☐	KOGAKUIN UNIV	3	1.8634 %		
☐	NUCL MAT CORP	3	1.8634 %		
☐	RENSSELAER POLYTECH INST	3	1.8634 %		
☐	SILESIA TECH UNIV	3	1.8634 %		
VIEW RECORDS					SAVE ANALYSIS DATA TO FILE

ISI Web of KnowledgeSM (2000~2006)

<그림 2.1.48> 기관별 관련논문 현황

바. Technology pool 작성

- 특허조사 및 논문조사 결과를 바탕으로 각 연구분야별로 개발대상 기술을 도출하여 Technology pool 구축
- 기술개발 전략 및 세부과제 선정을 위한 기초자료로 활용



<그림 2.1.49> Technology Pool

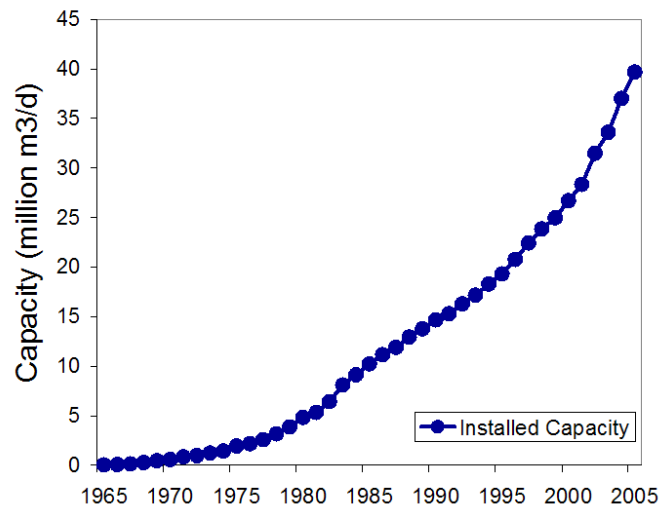
2.2 시장환경 분석

□ 개요

- 연도별 시장 동향 자료 수집 및 분석
 - 1994~2003 해수담수화 플랜트 규모, 비용 및 세부내역
 - 2004~2008 계약 및 발주계획 프로젝트 내역
 - 해수담수화 분야 선진기업 (Ondeo, Veolia 등) 활동 내역
 - Desalination Markets 2005-2015: A Global Assessment & Forecast
 - IDA desalination yearbook 2006~2007
 - U.S. Desalination Pretreatment Market
 - Water Treatment Equipment and Supplies - Global Strategic Business Report
 - Major Reverse Osmosis System Components for Water Treatment: The Global Market
- 분석의 주안점
 - 세계 해수담수화 시장의 현황 및 전망
 - 개별 기술별 발전 전망

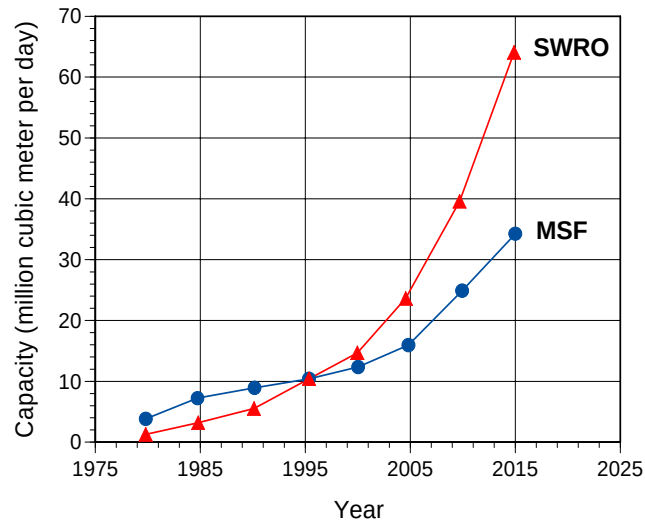
□ 해수담수화 시장의 특성

- 해수담수화 플랜트의 총 규모는 1965년부터 지속적으로 성장하여 현재 약 4000만 톤/일 규모임.



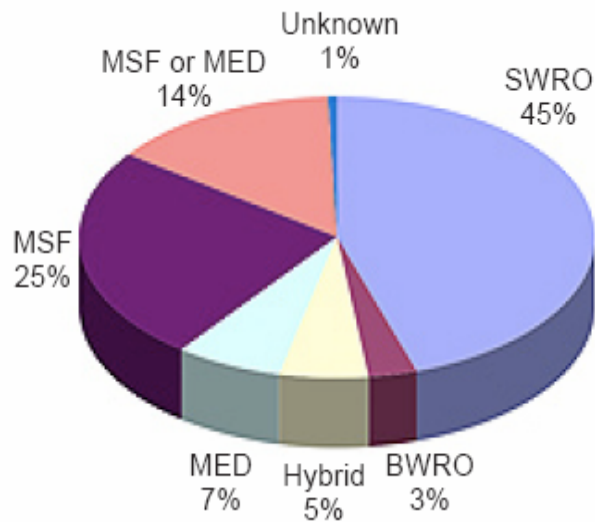
<그림 2.2.1> 해수담수화 플랜트 용량 변화 추이

- 2005년 기준으로 해수담수화 플랜트 중에서 역삼투 방식이 45%를 차지하고 있으나 2015년에는 전체의 61%를 차지할 것으로 예상되고 있음. 특히 유가상승에 따라서 상대적으로 에너지 소모량이 적은 역삼투 방식에의 선호도가 높아지고 있음.
- GWI의 시장예측 자료에 의하면 1995년 이전에는 역삼투법보다 증발법의 비중이 컸으나 1995년 이후부터는 역삼투법의 시장성장속도가 빨라져서 2015년에는 약 2배까지 성장할 것으로 예상됨.

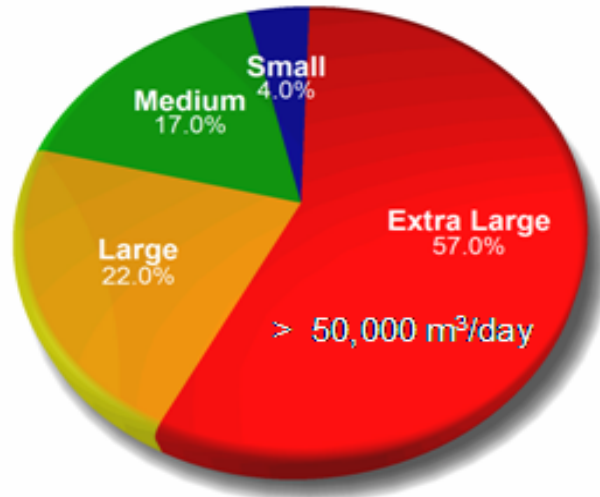


<그림 2.2.2> MSF와 SWRO의 시장전망

- 역삼투 방식의 해수담수화의 경우에 대형화되는 추세에 있으며 현재 10,000 톤/일 이상 규모의 플랜트가 전체의 80%를 차지하고 50,000 톤/일 이상 규모의 플랜트가 57%를 차지하고 있음. 따라서 향후 시장성을 고려할 때 대규모 역삼투 플랜트 기술을 개발하는 것이 바람직한 것으로 판단됨.

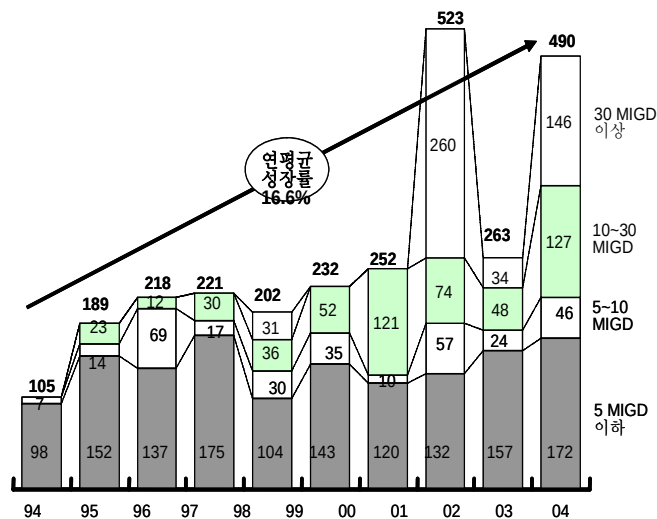


<그림 2.2.3> 해수담수화 용량 분포



<그림 2.2.4> 해수담수화 용량 분포

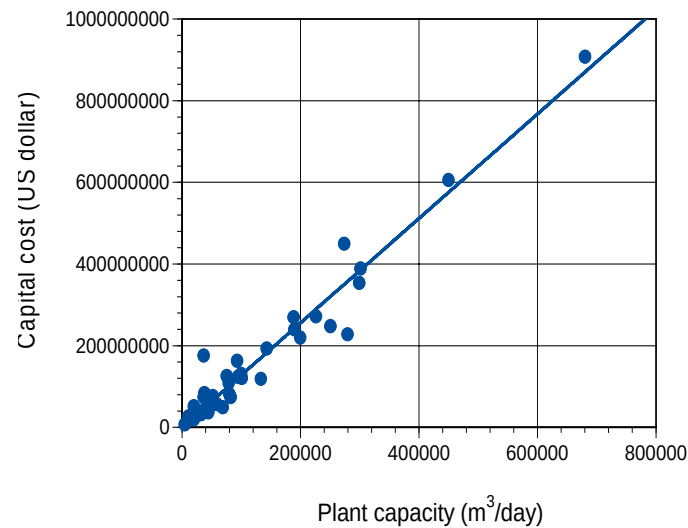
- 역삼투 방식의 해수담수화 시장의 연평균 성장률은 16.6%이며 2000년 이후부터는 대규모 플랜트 위주로 건설되고 있음.



<그림 2.2.5> RO 용량별 발주 트렌드

□ 해수담수화 플랜트 건설비용 분석

- 현재 가동중인 해수담수화 플랜트의 규모와 건설비와의 상관관계 도식
- 해수담수화 시설의 용량에 따라서 건설비는 선형적으로 증가하는 경향을 보임.
- 약 1,000 m³/day의 시설을 설치하기 위해서는 \$1,200,000의 건설비가 필요함.

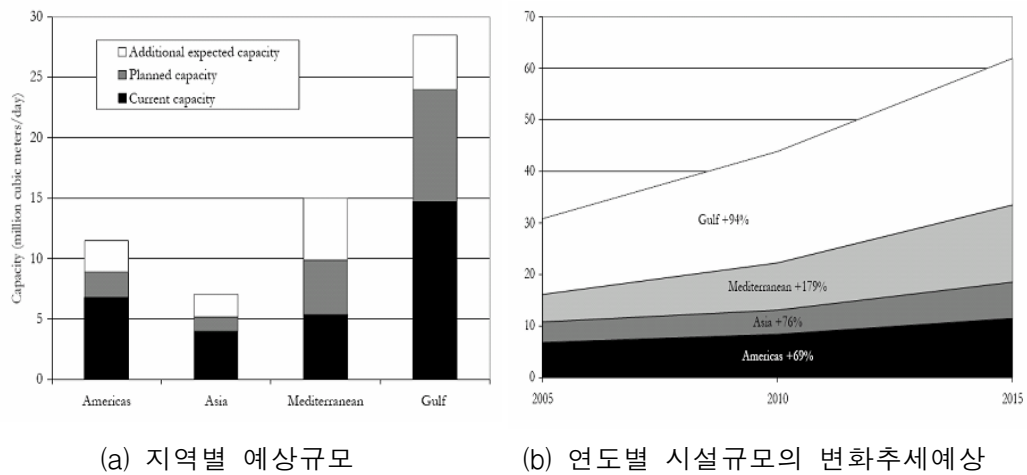


<그림 2.2.6> 플랜트 생산용량과 건설비와의 관계

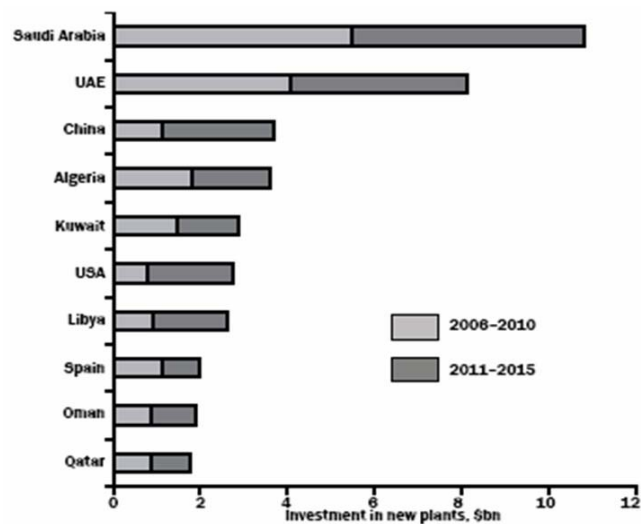
- 역삼투 방식의 경우 Plant capacity가 1,000 톤/일인 경우 톤당 건설비용이 \$2500이나 되지만 40,000 톤/일 이상인 경우 톤당 건설비용이 \$800 정도까지 낮아짐. 따라서 대규모 플랜트에서의 경쟁력이 높음.

□ 국가별 시장예측 (2005~2015)

- 중동의 비중이 여전히 클 것으로 예상됨.
- 2015년까지 지역별로 69~179%까지 성장이 예상됨.



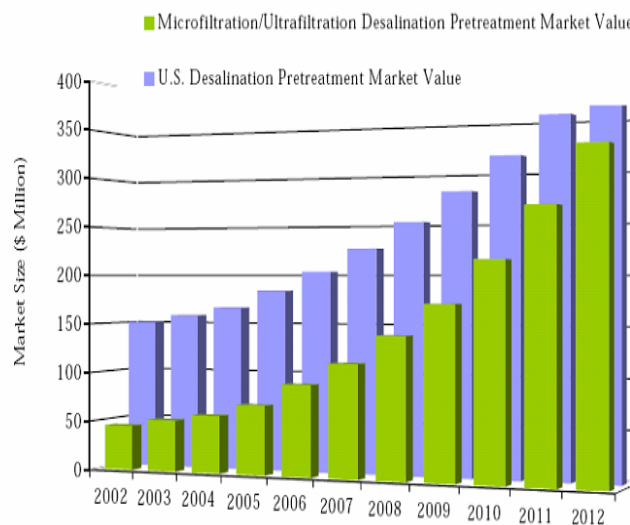
<그림 2.2.7> 해수담수화 시장예측



<그림 2.2.8> 국가별 해수담수화 시장예측

□ 전처리 시장

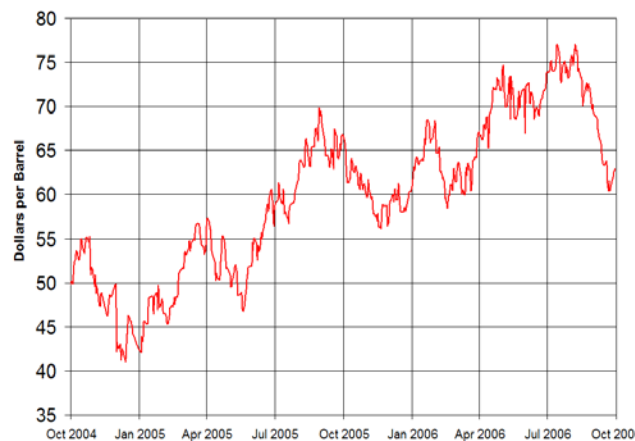
- 전처리 공정기술은 Tampa bay의 예에서 나타난 바와 같이 역삼투 방식의 해수담수화의 성패를 좌우할 수 있기 때문에 그 중요도가 높아지고 있음.
- “Total desalination pretreatment market (U.S.) 2002-2012”에 의하면 미국 내에서의 전처리 시장은 2012년까지 연평균 11.7 %의 성장을 보일 것으로 예상됨.
- 특히 정밀여과나 한외여과를 이용하는 전처리 공법의 비중이 증가할 것으로 예상되고 있으며 2012년에는 80% 이상을 대체할 것으로 예상됨.
- 따라서 전처리 공정, 특히 MF나 UF를 이용한 전처리 공정기술에 대한 연구투자 및 실용화 기술 확보가 중요함.



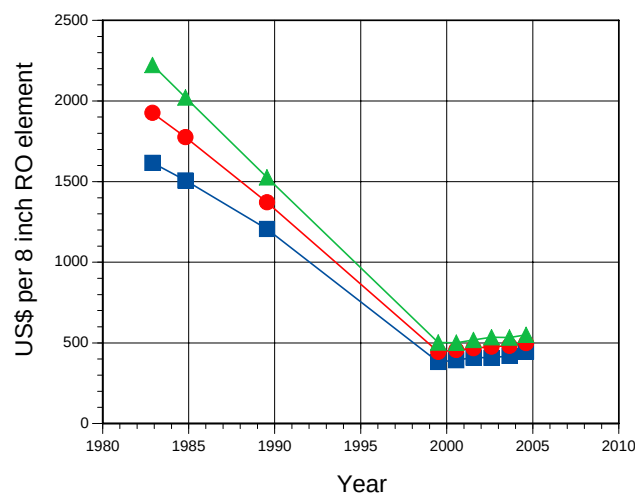
<그림 2.2.9> 해수담수화 역삼투 전처리 관련 미국의 시장변화 추세

□ 비용상승 요인

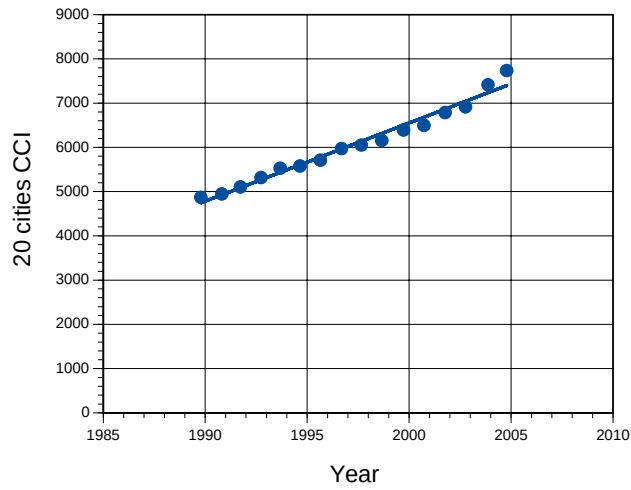
- 해수담수화 시장은 지속적으로 증가하는 추세이나 이러한 증가추세를 둔화시킬 수 있는 장애요인들이 있음.
- 고유가 및 원자재 비용 상승으로 인한 비용상승 요인이 발생하고 있으며 이에 따라서 해수담수화 플랜트 건설이 제한될 수 있음.
- 또한 전문인력의 인건비는 지속적으로 상승하고 있어 운영비에 악영향을 미치고 있음.



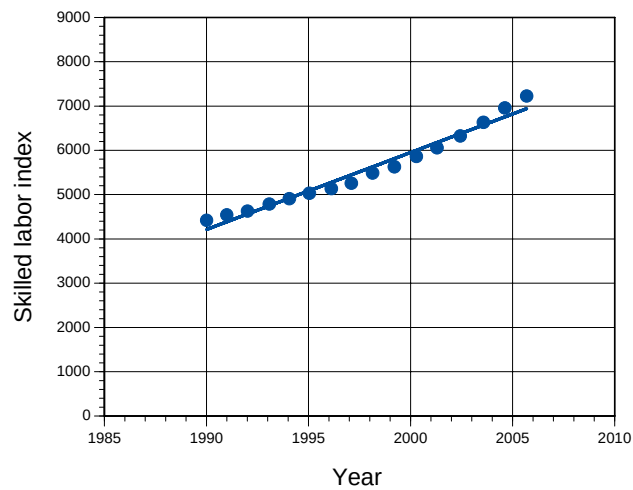
(a) 원유가격



(b) 8인치 모듈 가격

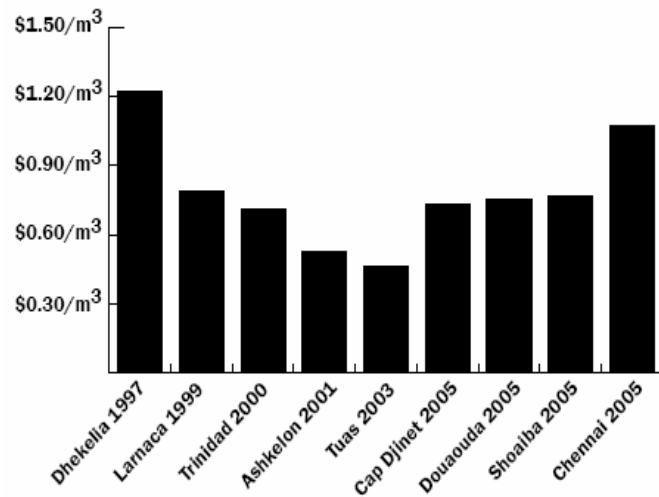


(c) 건설비 인덱스 (U.S.)



(d) 인건비 인덱스 (U.S.)

<그림 2.2.10> 유가 및 건설비용의 증가추세



<그림 2.2.11> 해수담수화 처리비용의 변화추세 (1997~2005)

- 실제로 최근의 경향을 살펴보면 규모에 따른 영향도 있지만 2005년 이후에는 톤당 처리단가가 높아지는 현상이 나타남. 따라서 기술혁신을 통한 단가 상승이 시장을 주도하기 위한 필수조건으로 부각되고 있음.

□ 각 분야별 선두그룹의 기업 리스트

- 해수담수화 시장을 주도하고 있는 대표적인 기업의 리스트를 조사하고 발전 전략을 조사.
- MSF 분야의 경우 국내기업이 선두를 차지하고 있으나 역삼투 분야의 경우 외국기업이 시장을 선점하고 있음.
- 특히 역삼투 분야의 대표기업인 Ionics와 Suez 그룹의 경우 기본적인 사업 전략의 차이가 있었으나 최근에는 모두 대규모 역삼투 해수담수화 시장에 주력하고 있음.

분야	회사명
MSF 분야 3대 기업	• Fisia Italmimpianti • Doosan Heavy Industries • Hitachi Zosen
해수담수화 역삼투 분야 3대 기업	• Ionics • IDE Technologies • Ondeo Degrémont
컨설팅 분야 3대 기업	• Mott MacDonald • PB Power • Black & Veatch
해수용 역삼투막 분야 3대 기업	• Toyobo • Dow • Toray
염수용 역삼투막 분야 3대 기업	• Dow • Hydranautics • Toray

□ Strategy of leading companies

	Ionics	Suez/Ondeo Degrémont
특징	-3,000개 이상의 담수화 플랜트 건설 -Skid형 RO 및 EDR 공급	-담수화 뿐 아니라 상하수도 처리 등에 다양한 기술 보유 -세계적으로 250개 이상의 RO 담수화 시설 설계 및 건설 -IWPP 시장의 8%, RO 담수화 시장의 13% 차지
전략	-Caribbean지역의 소규모 플랜트 (< 5,000 m³/d) 위주 사업 추진 -200,000 m³/d의 대규모 중동지역 사업에도 진출 -Trinidad (2002) 등 건설	-RO 담수화 플랜트에 대한 수요증가로 많은 이익을 가져옴 -중동 뿐 아니라 북미지역의 수주도 활발 -싱가폴, 네덜란드, UAE, 스페인, Canary Island 등에 건설실적 보유

□ 결론

○ 시장전망

- 향후 10년 이상 중동이 가장 큰 해수담수화 플랜트 시장을 유지할 것으로 예상됨
- 북미, 아시아 및 유럽의 해수담수화 시장의 성장속도는 빠른 편임
- RO방식의 비중은 향후 10년이상 꾸준히 늘어갈 것임
- 북미지역의 경우 2006년 40% 이하인 MF/UF 전처리의 비중이 2012년에는 90%까지 증가할 것으로 예상됨
- 유가폭등 및 원자재 가격 인상에 의한 건설비 및 운전비의 상승은 향후 시장에 악영향을 끼칠 가능성도 있음.

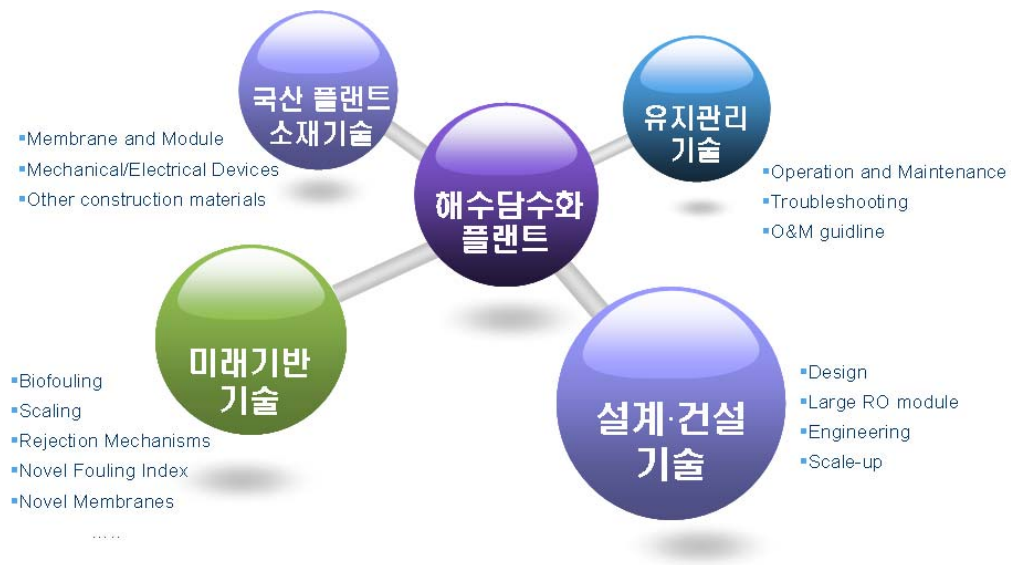
○ 미래시장 대응전략

- 단기적으로는 중동시장을 위한 역삼투 방식의 해수담수화 플랜트 사업에 중점을 둬.
- 장기적으로는 시장확대가 필요하며 이를 위해서는 북미 등 기타지역을 위한 강화된 전처리 기술이 필요 (특히 MF/UF 방식에 대한 연구 필요)

- 건설비 및 운전비 절감을 위한 기술개발이 미래시장 공략을 위한 핵심요건으로 부각되고 있음

2.3 연구개발 인프라 분석

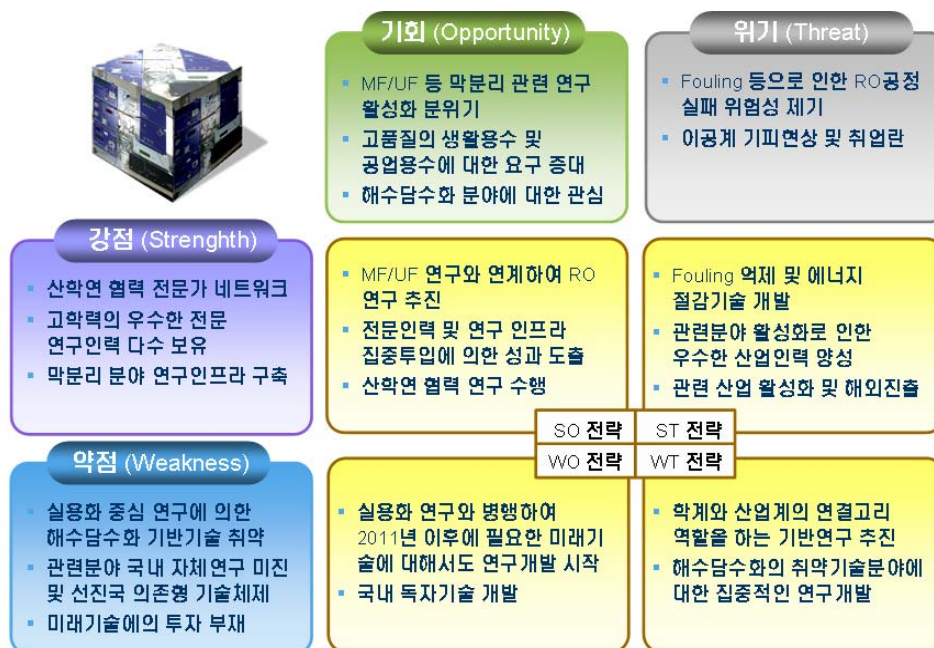
- 연구개발 인프라 분석은 4대 핵심기술 분야인 미래기반기술, 국산 플랜트 소재기술, 설계·건설 기술, 유지관리 기술의 각각에 대하여 수행하였음.



□ SWOT 분석

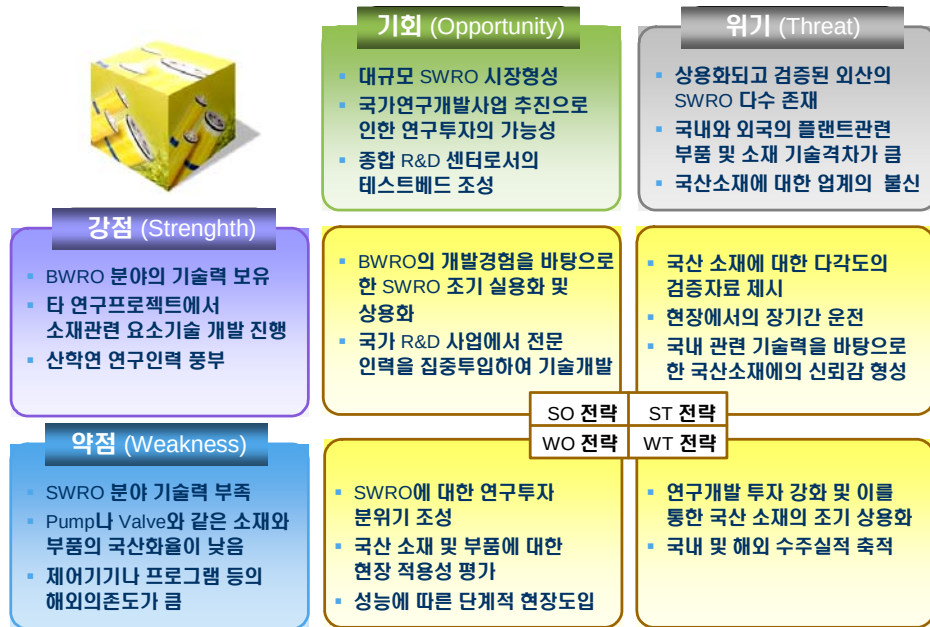
- 국내외의 기술개발 및 시장환경 분석 및 인프라 구축 정도 등의 결과에 따라서 핵심과제별로 SWOT 분석을 수행하였음.

○ 미래기반기술 분야



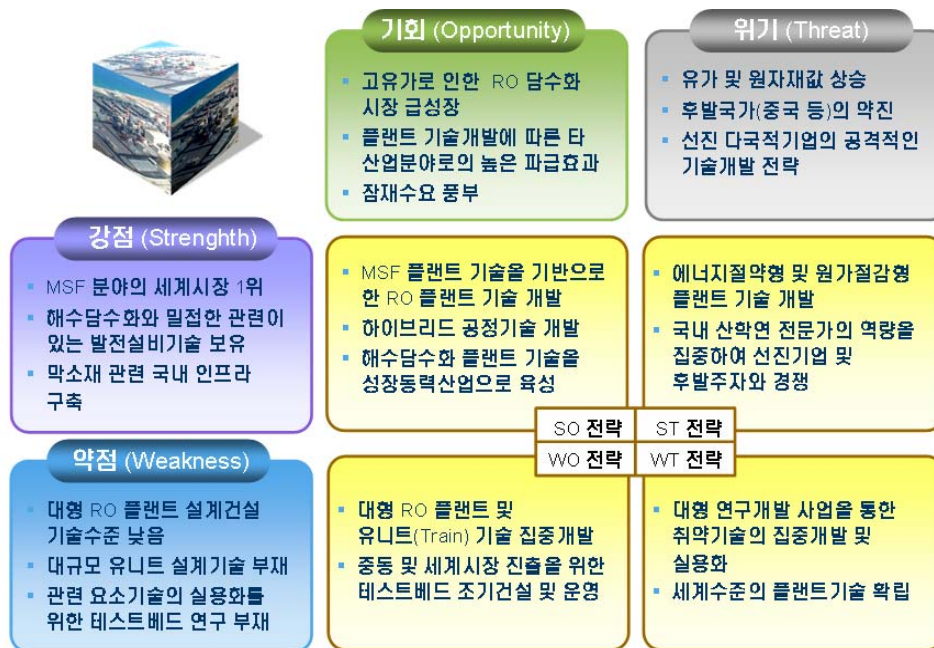
<그림 2.3.1> SWOT 분석결과 : 미래기반기술 분야

○ 플랜트 건설소재 국산화 분야



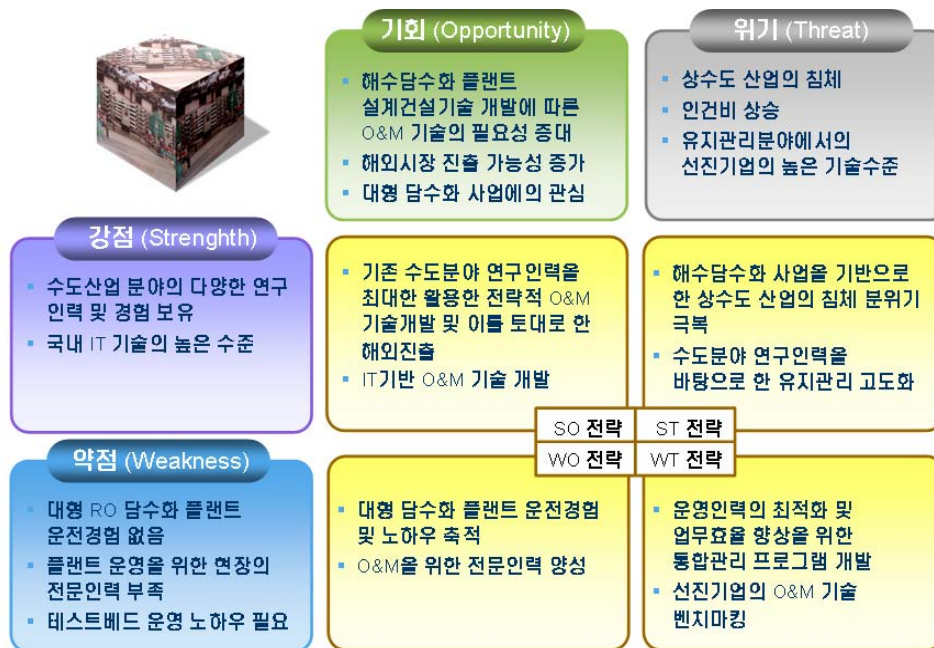
<그림 2.3.2> SWOT 분석결과 : 플랜트 건설소재 국산화 분야

○ 대형 해수담수화 플랜트 설계·건설기술 분야



<그림 2.3.3> SWOT 분석결과 : 설계·건설기술 분야

○ 유지관리 기술 분야



<그림 2.3.4> SWOT 분석결과 : 유지관리기술 분야

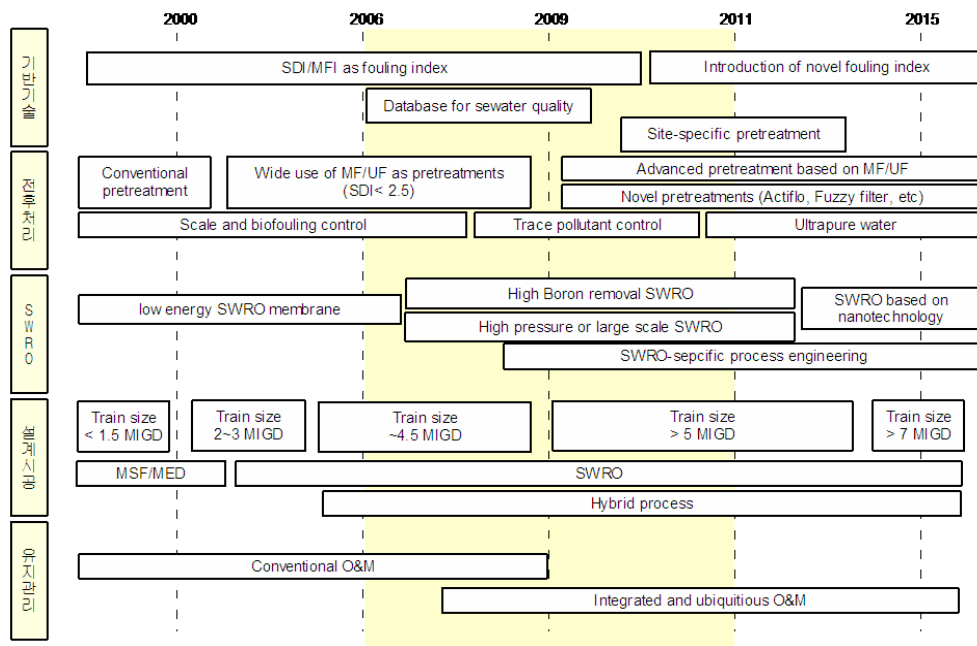
□ 기술수준 분석

- 분야별 국내외 기술격차를 분석하면 다음과 같음.
- 미래기반기술 분야의 경우 국내외 기술격차가 가장 크며 소재국산화나 대형 플랜트 설계건설 기술, 유지관리기술 분야도 기술차가 큰 편으로 나타남.

핵심 기술	기술수준				기술격차	
	현재		2011 목표		(년)	
	최고 보유국	우리 나라	최고 보유국	목표	현재	2011
해수담수화 미래기반기술	미국, 일본, 유럽	20%	미국, 일본, 유럽	100%	6	0
플랜트 건설소재 국산화 기술	미국, 일본	30%	미국, 일본	100%	5	0
대형 플랜트 설계건설기술	미국, 일본, 프랑스	30%	미국, 일본, 프랑스	100%	5	0
운영 및 유지관리 기술	미국, 일본 프랑스	50%	미국, 일본 프랑스	100%	3	0

2.4 향후 산업동향과 정책방향

□ 해수담수화 플랜트 기술 TRM



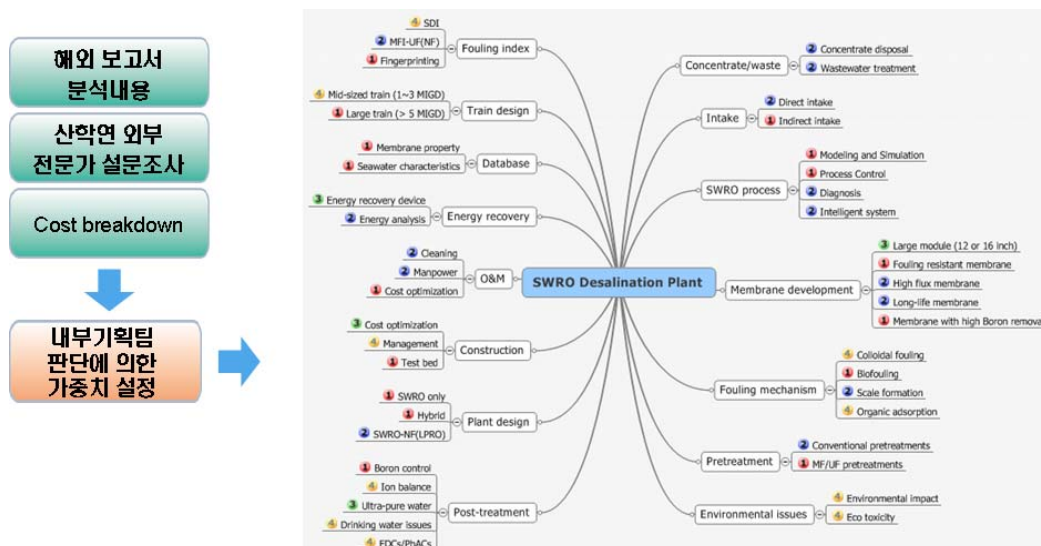
□ 정책방향

- 해수담수화 기술은 그 개발목표가 해외시장 진출이므로 기술개발 전략 및 정책이 이를 지원할 수 있도록 수립되어야 함.
- 해수담수화 플랜트 기술에 있어서 국산화율을 향상시키는 것은 중요하나 “해외진출을 위한 기술개발”이라는 기본적인 사업목표에 영향을 주지 않도록 단계적으로 개발되고 적용되어야 함. 초기단계부터 현장적용성을 고려하지 않고 무리하게 국산화율을 높이는 것은 전체 플랜트 기술개발에 악영향을 미칠 수 있으므로, 국산소재 기술의 현장적용성에 대한 검증이 먼저 이루어져야 하며 이를 바탕으로 대규모 테스트베드에 적용하여야 함.
- 기술혁신으로 인하여 해수담수화의 경제성이 향상되고 있으므로, 점차 국내에서도 물부족 지역을 중심으로 대체수자원 확보를 위한 해수담수화 플랜트의 도입이 검토되고 있음. 국내의 대규모 해수담수화 플랜트는 주로 공업용수 공급을 위한 목적으로 도입될 것으로 예상되나 처리한 해수를 먹는물로 활용하기 위한 제도적인 방안이 마련되는 것이 향후에는 필요할 것으로 판단됨.

2.5 핵심기술 선정기준

□ 핵심기술 선정방법

- 논문조사와 특허조사 등으로 도출된 Technology Pool로부터 개발 필요성이 높고 투자대비 효과가 큰 기술을 선정하여 우선순위를 정함.
- 우선순위 선정을 위한 기본자료로서 해외 동향보고서에서 제시된 미래기술의 발전방향 분석, 산학연 전문가의 설문조사, 해수담수화 비용구조 분석 등의 자료를 구축하였으며 이를 바탕으로 기획팀 회의를 거쳐 개발 우선순위를 결정함.



<그림 2.5.1> 핵심기술 선정방법

□ 해외 보고서 분석

- 해외 기술보고서에서 제시하는 미래 해수담수화 기술분야를 조사
- Desalination Roadmap에서는 향후 5년간 비용을 20% 절감하기위한 기술로서 개발되거나 개발이 검토될 기술들의 리스트는 표 13과 같이 제안되고 있음. 이 외에도 수질특성에 따른 최적 전처리 공정기술 선택기술, 막오염 인자를 통한 예측기술, 스케일 형성 및 생물막 형성 방지기술 등을 비용절감을 위한 기반기술로서 제시하고 있음.

- Desalination Markets 2005-2015에서는 비용절감을 위한 기술로서 <표 2.5.1>과 같은 사항들을 제시하고 있음.

<표 2.5.1> Desalination Technology Development Area

An Increase in the efficiency of Membrane Element

- Larger Active Membrane Surface Area
- Larger Membrane Spacer
- Improved Salt Rejection
- Larger Membrane RO Elements (16" Diameter)

Fouling Control and Longer Lifetime of Membrane

- Smooth Membrane Surface
- Increased Membrane Material Longevity
- Use of Systems for Continuous RO Membrane Cleaning
- UF/MF Membrane Pretreatment

Wider Use of Pressure Exchanger Type Energy Recovery System

Co-Location With Power Plants

Regional Desalination and Concentrate Disposal

Larger RO Trains and Equipment

Full Automation of All Treatment Processes.

<표 2.5.2> Technologies that have resulted in the "total water cost" of desalinated water.

RO process

- Design technology that reduces capital cost (1980년에 비해 같은 투자비용으로 27배의 물을 더 생산함)
- Efficient membrane (더 향상된 성능의 막을 저렴한 비용으로 생산함.)

Pretreatment

- The most critical aspect in the success of an RO system (전처리가 RO 성능에 미치는 영향은 매우 큼)
- Technology of pilot test (적절한 전처리 공정의 선정을 위한 Pilot test 기술개발 필요)
- "Dual membrane" (RO의 전단계로서 MF나 UF 혹은 NF를 적용함)

Energy Cost reduction

- New energy recovery devices (에너지 요구량을 10~50%까지 줄일 수 있음)
- "Staged operation" (에너지 및 회수율 최적화를 위한 다단계과방식 적용)

Plant Size

- Economies-of-scale (대용량의 시설이 더욱 효율적임)
- Larger pumps and energy recovery devices (대용량 시설에 적합한 펌프와 에너지 회수장치 등의 개발 필요)

Plant Sitting

- Co-sitting (발전설비와 같이 설치하는 경우 효율을 높이고 비용을 줄일 수 있음)
- Combined discharge (냉각수와 RO 농축수를 혼합하여 방류)

Hybrid Plants

- Integrated use of both thermal and membrane processes with an electric generating station

- 최근 발표된 “Desalination Technology 2006” 연구발표에서는 다음과 같은 사항들이 최신의 연구주제로서 제시되었음.

<표 2.5.3> Technologies that have resulted in the “total water cost” of desalinated water.

단기 개발과제

- BIG membrane elements: 16×40 membrane elements: 16×40 inch, 18×61 inch inch, 18×61 inch
- BIG pressure vessels (BW and SW) pressure vessels (BW and SW)
- BIG energy recovery turbines: 1500 energy recovery turbines: 1500. 4000 gpm

최근의 주목할만한 연구

- Return of cellulose triacetate hollow fibers fibers
- ERI ERI vs vs DWEER DWEER vs vs large turbo large turbo chargers chargers
- Affordable Desalination Consortium Affordable Desalination Consortium demonstrates 1.6 kwh/m demonstrates 1.6 kwh/m³

해결해야 할 숙제

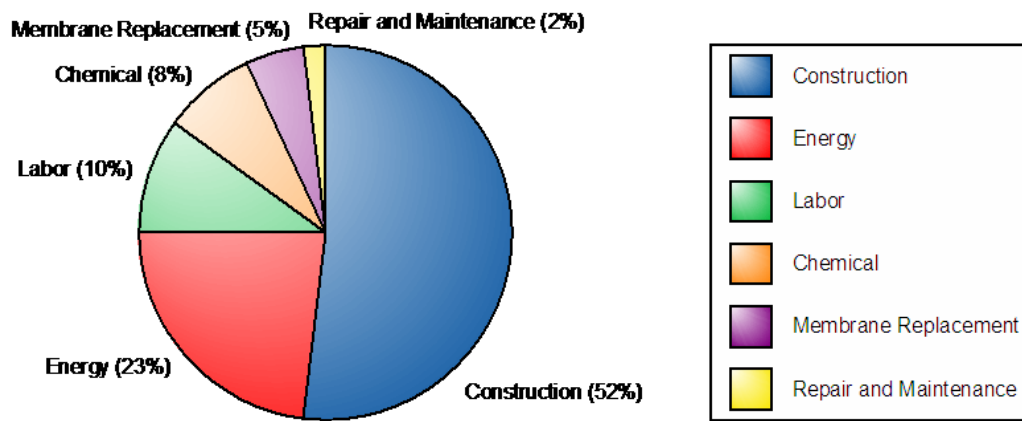
- Boron and bromide removal
 - High rejection membranes
 - Two stage reverse osmosis
 - Single stage RO plus ion exchange
 - Lower process recovery
- Emerging contaminants
 - EDCs and PhACs
- Ocean Intake
 - Sub ocean floor: Ranney Wells, Beach wells, Slant drilling, Horizontal drilling
 - Open Ocean
- Ocean Discharge
- Entrainment and Impingement
 - Sub-floor intakes
 - Minimize intake velocity, specialized screen systems to remove marine life
 - Marine life exclusion systems

새로운 개념의 기술

- NF + MSF
- NF + NF
- sub-seafloor seawater intakes
- Ceramic membrane distillation
- Capacitive deionization with spirally designed electrodes

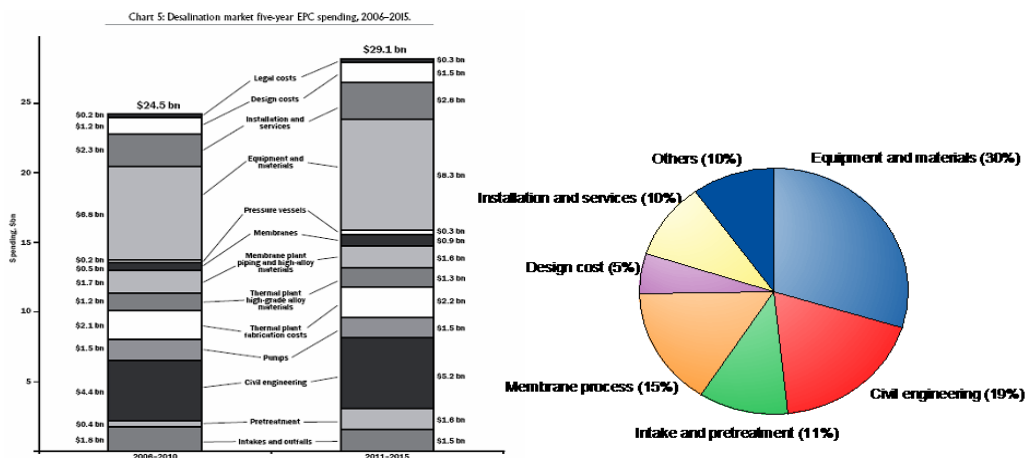
□ 비용분석

- 비용분석은 해수담수화의 각 요소가 전체 비용에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법임.
- 20년 기준으로 볼때 해수 담수화 전체 비용구조는 다음과 같음. 약 52%가 건설비이며 23%가 에너지 비용, 10%가 인건비로 나타남.



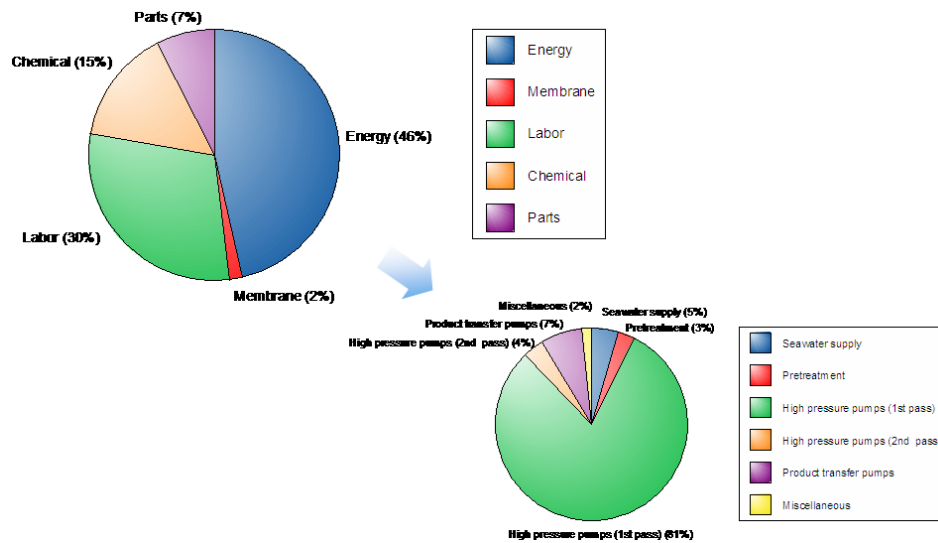
<그림 2.5.2> 해수담수화 전체 비용구조 (20년 기준)

- 건설비를 분석해보면 장치와 소재가 30%, 토목이 19%, 취수와 전처리가 11%, 역삼투 공정이 15% 등을 차지함. 특히 설계비용도 5%나 차지하는 등 중요한 비중을 가지고 있음.



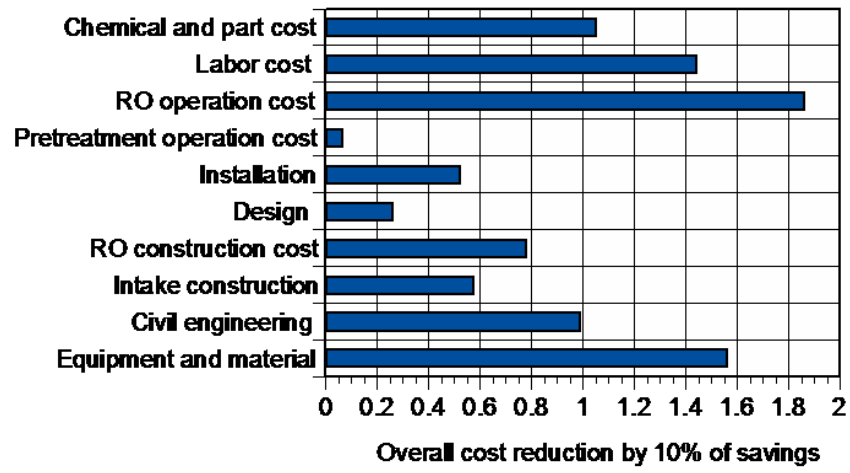
<그림 2.5.3> 해수담수화 플랜트 건설비용 구조

- 운영비를 분석해보면, 전체의 46%가 에너지 비용이며 30%가 인건비임. 특히 에너지 비용에 대하여 세분하여 보면 고압펌프에 의한 에너지 소모가 전체의 81%를 차지하고 있음. 이는 역삼투 공정의 효율 및 안정적인 운전이 전체 운영비에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 나타내고 있음.



<그림 2.5.4> 해수담수화 운전비용 구조

- 비용분석을 통해서 각 요소별로 기술의 발전이 비용절감에 미치는 민감도를 분석함. 즉, 각 부문별로 기술개발 결과 10%의 효율향상 혹은 비용절감 효과가 발생하는 경우 전체 비용에 미치는 영향을 계산함. 그 결과 안정적인 운전 및 에너지 회수로 인한 RO의 운전비용 절감의 경우 1.85%, 효율적 설계로 인한 기기 및 재료비 절감이 1.55%를 나타내는 등 기술개발에 따른 비용절감 효과가 높은 것으로 나타남. 반면에 전처리 공정의 경우 자체로는 비용절감 효과가 높지 않으나 전처리의 효율이 역삼투 공정의 효율과 직접적인 연관성을 가진다는 점을 고려하면 연구개발에서 중요하게 다루어져야 할 항목으로 판단됨.



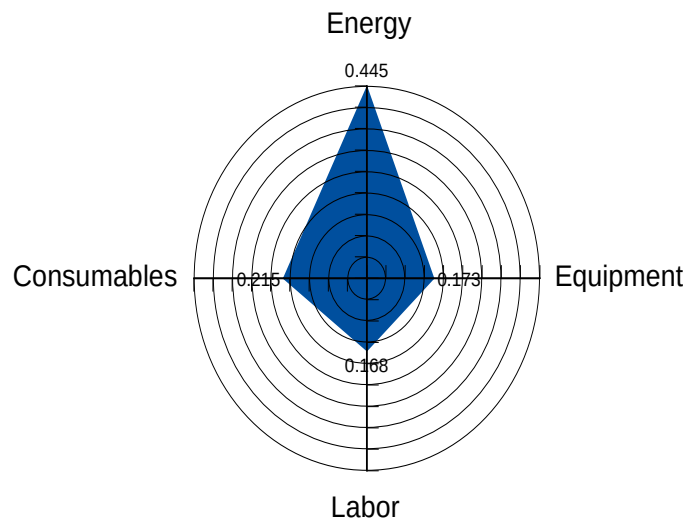
<그림 2.5.5> 각 요소별 비용절감효과

□ AHP

- 산업체, 연구계, 학계 및 해외전문가 집단으로부터 무작위로 20인을 추출하여 설문조사를 실시.
- 각 설문조사 항목 및 조사결과는 다음과 같음.
- Which one is more effective to reduce 20 year SWRO desalination plant costs? (해수역삼투 담수화 플랜트 비용을 절감하기 위하여 어떤 항목을 줄이는 것이 더 효과적인가?)

Fill the form considering comparative importance between two items

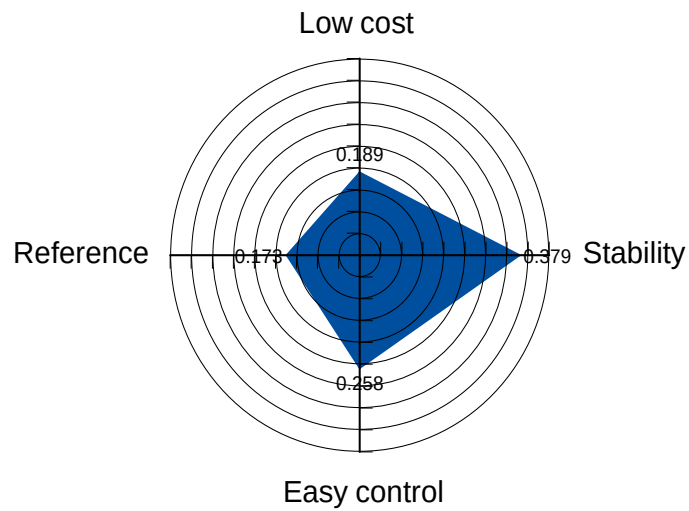
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Energy										Equipment
Energy										Labor and maintenance cost
Energy										Consumables & membrane replacement
Equipment										Labor and maintenance cost
Equipment										Consumables & membrane replacement
Labor and maintenance cost										Consumables & membrane replacement



- Which property is more important to sell SWRO desalination plants in the world market? (SWRO 담수화 플랜트를 세계시장에서 판매하기 위해서는 어떤 것이 필요한가?)

Fill the form considering comparative importance between two items

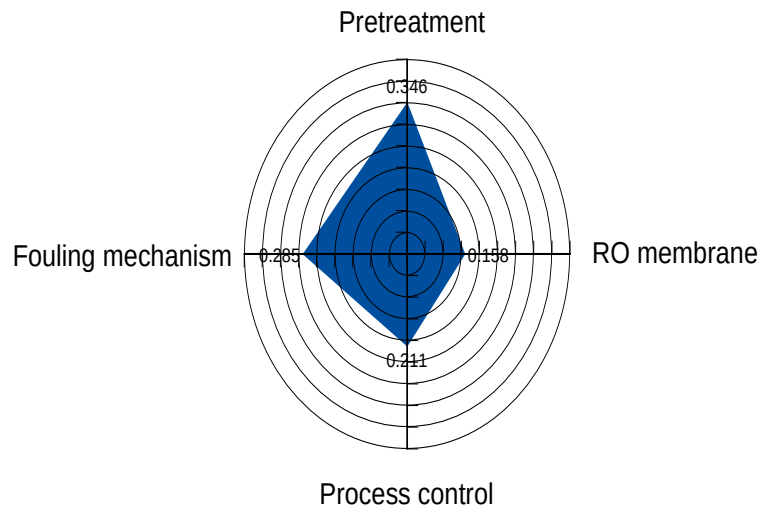
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Low cost										Process stability (i.e. slow fouling)
Low cost										Easy control and maintenance
Low cost										Reference
Process stability (i.e. slow fouling)										Easy control and maintenance
Process stability (i.e. slow fouling)										Reference
Easy control and maintenance										Reference



- Which research area is more important in SWRO desalination?
(해수역삼투 담수화에서 어떤 연구영역이 더 중요한가)

Fill the form considering comparative importance between two items

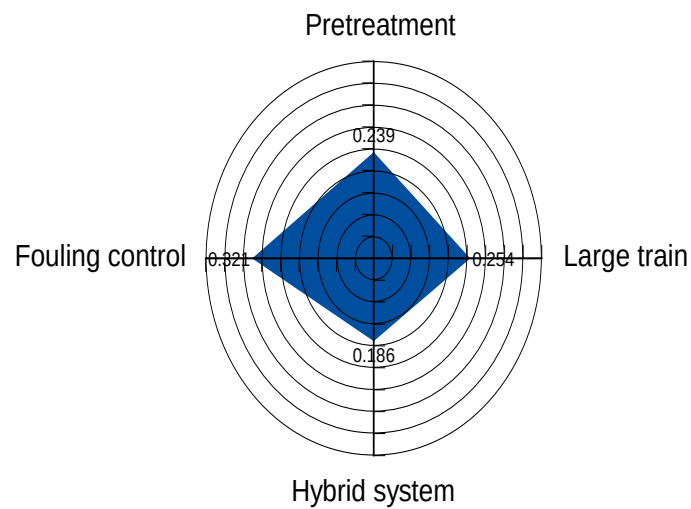
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Low cost										Process stability (i.e. slow fouling)
Low cost										Easy control and maintenance
Low cost										Reference
Process stability (i.e. slow fouling)										Easy control and maintenance
Process stability (i.e. slow fouling)										Reference
Easy control and maintenance										Reference



- Which technology is more important for building a 50,000 m³/day SWRO plant? (50,000 m³/day SWRO 플랜트 건설을 위해서 어떤 기술이 더욱 시급하게 필요한가?)

Fill the form considering comparative importance between two items

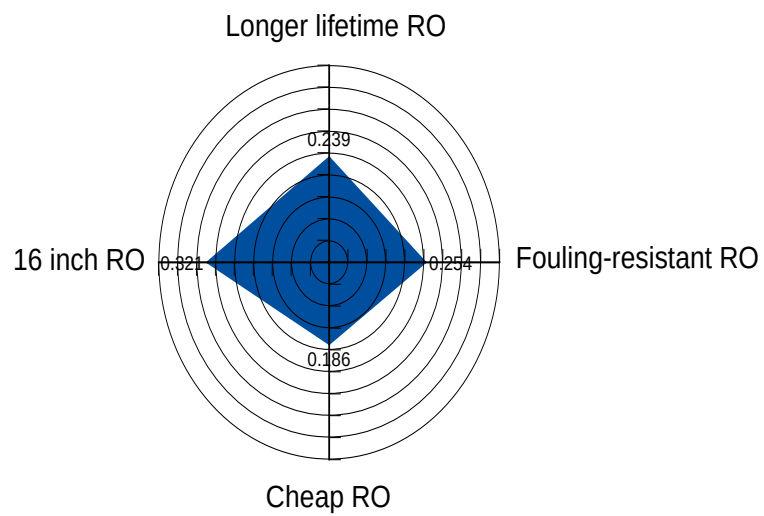
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Pretreatment & post-treatment										Large-scale train
Pretreatment & post-treatment										Hybrid technology
Pretreatment & post-treatment										Fouling control
Large-scale train										Hybrid technology
Large-scale train										Fouling control
Hybrid technology										Fouling control



- Which kind of membrane is required in the field? (현장에서는 어떤 종류의 막이 요구되는가)

Fill the form considering comparative importance between two items

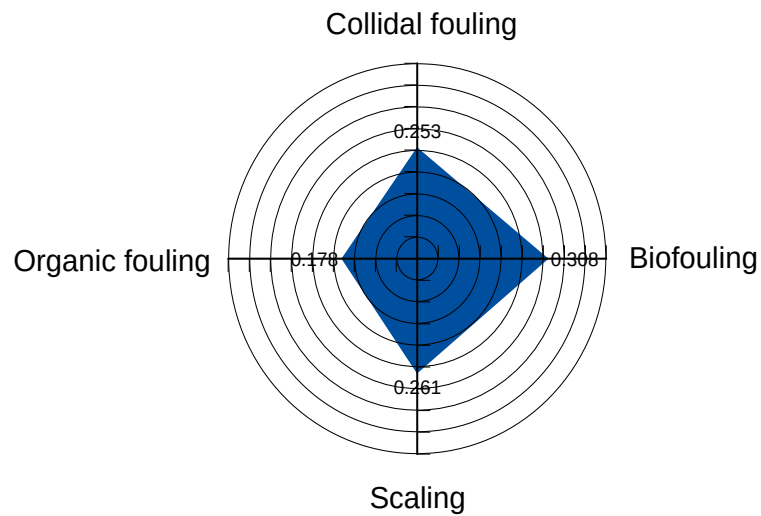
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Membrane having a longer lifetime										Fouling-resistant membrane
Membrane having a longer lifetime										Cheap membrane
Membrane having a longer lifetime										16 inch module
Fouling-resistant membrane										Cheap membrane
Fouling-resistant membrane										16 inch module
Cheap membrane										16 inch module



- Which kind of membrane fouling is more serious in SWRO desalination?
(based on your experience) (현장에서 느끼기에 어떤 막오염이 더
심각한가?)

Fill the form considering comparative importance between two items

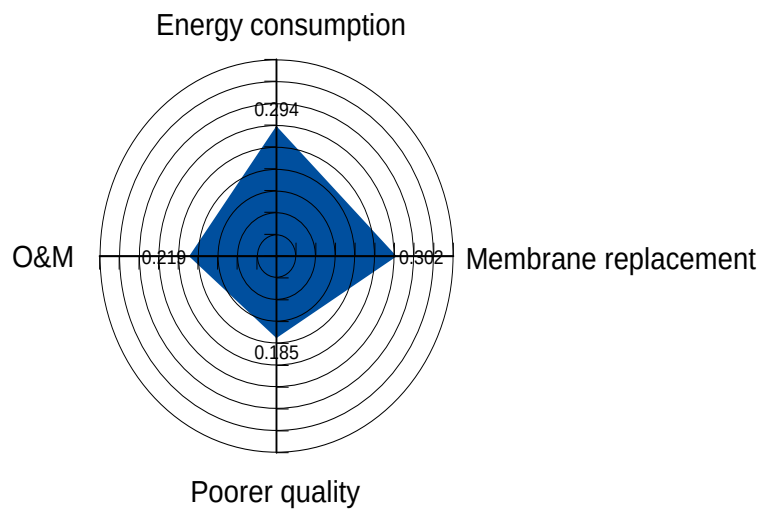
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Colloidal fouling										Biofouling
Colloidal fouling										Scale formation
Colloidal fouling										Organic fouling
Biofouling										Scale formation
Biofouling										Organic fouling
Scale formation										Organic fouling



- Which one is more serious bottleneck of SWRO desalination compared to MSF/MED? (MSF/MED에 비해 SWRO에서는 어떤 것이 더 심각한 문제인가?)

Fill the form considering comparative importance between two items

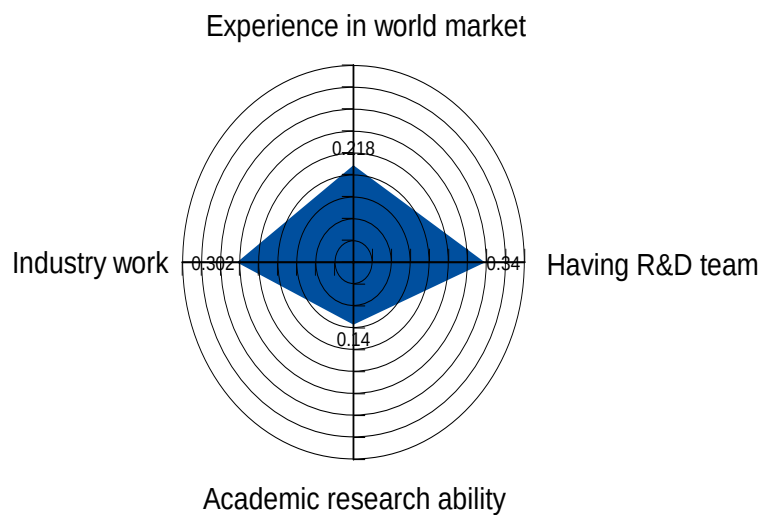
Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Energy consumption										Membrane replacement
Energy consumption										Poor quality of product water
Energy consumption										Operation & maintenance
Membrane replacement										Poor quality of product water
Membrane replacement										Operation & maintenance
Poor quality of product water										Operation & maintenance



- What kind of person should be the principle investigator of the MOCT desalination project? (어떤 자격을 갖춘 사람이 MOCT 해수담수화 프로젝트의 연구책임자가 되어야 하나?)

Fill the form considering comparative importance between two items

Item	Totally important (1)	Very important (2)	Important (3)	A little bit important (4)	Equally important (5)	A little bit important (6)	Important (7)	Very important (8)	Totally important (9)	Item
Person who has enough experience in industry										Person who has a strong team for R&D
Person who has enough experience in industry										Person who has great achievement in academic research
Person who has enough experience in industry										Person who is working in the world market
Person who has a strong team for R&D										Person who has great achievement in academic research
Person who has a strong team for R&D										Person who is working in the world market
Person who has great achievement in academic research										Person who is working in the world market



□ 우선순위 결정

- 앞서 설명한 세 가지 분석자료를 바탕으로 하여 연구팀 및 외부 전문위원회 자문을 거쳐 최종적인 개발대상 기술을 선정하고 핵심과제 및 세부과제를 구성하였음.
- 도출된 과제에 대한 자세한 내용은 다음 장에 설명하였음.

3. 추진계획

3.1 추진전략

□ 기술개발 목표 수립

- 국제시장에서 경쟁할수 있는 최고수준의 해수담수화 플랜트 기술개발을 위하여 다음과 같은 3L 전략을 수립함
- 정량적 목표 수립에 있어서도 기술조사 내용을 바탕으로 세계최고 수준인 5 MIGD의 Train로 구성된 플랜트를 설계하고 건설하여 안정적으로 운전할 수 있는 기술을 보유하는 것을 목표로 함.
- 추가적으로 에너지소모량 $4\sim5 \text{ kWh/m}^3$ 의 조건을 만족할 수 있는 플랜트 기술을 개발하는 것을 목표로 함. (여기서 에너지소모량의 기준은 IDA Yearbook 등에서 제시된 값과 준하는 방법에 근거하여, 50,000 톤/일 이상 규모의 대규모 해수담수화 플랜트에서 중동의 해수조건을 기준으로 산출한 값임.) 그러나 에너지소모량의 경우 국가별로 다르며 각 Site 별로도 다르게 나타나는 값이므로 절대적인 기준은 아니고 플랜트 성능의 상대적인 척도로서 이해되어야 함.



<그림 3.1.1> 추진전략

□ 중점기술 개발분야



<그림 3.1.2> 중점기술 개발분야

- 중점기술 개발분야는 크게 미래기반기술, 국산소재기술, 설계건설 기술, 유지관리 기술 등의 4대 분야로 분류하고 각 중점기술별로 개발 우선순위가 높은 세부기술을 개발하도록 함.
- 각 분야별 목표는 다음과 같음
 - 미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술
2011년 이후에 세계 해수담수화 시장을 주도할 차세대 핵심 요소기술 개발
 - 해수담수화 플랜트 건설소재의 국산화 및 현장적용 기술
해수담수화 플랜트의 핵심소재 및 기기에 대한 국산화율 향상 및 현장적용기술 개발
 - 대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술
5 MIGD이상의 Train으로 구성된 대용량 해수담수화 플랜트의 설계 및 건설기술 확보
 - 해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술
대용량 플랜트를 위한 최적운전기술 및 유지관리기술 개발

□ 핵심과제별 세부기술 내용

- 중점기술 개발분야는 크게 미래기반기술, 국산소재기술, 설계건설 기술, 유지관리 기술 등의 4대 분야로 분류하고 각 중점기술별로 개발 우선순위가 높은 세부기술을 개발하도록 함.

핵심 과제	세부과제	연구내용
미래형 해수담 수화 플랜트 기반 기술	해수담수화 제도적/기술 적 기반확보 및 미래 핵심요소·통 합기술 개발	• 해외 담수화 시장관련 제도적/기술적 기반 기술 개발 • 해수 담수화 통합기술 개발 • 상용화 및 미래시장 확대를 위한 제도적/기술적/경제적 전략수립
	해수담수화 공정 유입수질 제어기술 개발	• Intake 공정 최적화 기술 개발 • MF/UF 기반 전처리 공정기술 개발 • 응집기반 고효율 전처리 공정기술 개발 • 개발기술의 Pilot test 및 성능비교를 통한 최적공정 도출
	해수담수화 최적막 선정을 위한 막 특성, 효율 정밀평가기 술	• 신개념 막 선택 지표개발 • 막 효율 검정 및 최적막 선택을 위한 초정밀 분석기술 개발 • 해수수질, 효율별 후보막 "Global Map" 작성 • 막, 해수수질 특성 차세대 초정밀 분석기술 개발
	역삼투법 해수담수화 플랜트 처리수 수질조정 및 폐수처리 기술	• 처리수의 먹은물 활용을 위한 경제적 후처리 기술 개발 • 처리수의 공업용수 활용을 위한 경제적 후처리 기술 개발 • 발생폐수의 처리기술 개발
	해수담수화 역삼투 플랜트 해석·제어기 술 개발	• 역삼투 공정모사 및 성능예측기술 개발 • 차세대 지능형 공정제어기술 기술 개발 • 에너지 사용량 최적화 기술 개발

핵심 과제	세부과제	연구내용
해수담수화 플랜트 건설소재의 국산화 및 현장 적용 기술	대용량 해수담수화 국산막 제조 및 생산기술 개발	- 대규모 해수담수화 플랜트를 위한 8 inch 이상의 대구경 엘리먼트 및 모듈 개발 - Type-1: Boron 제거율 강화막 개발 - Type-2: 초고압 해수담수용 역삼투막 개발 - Type-3: 초저압 해수담수용 역삼투막 개발
	플랜트 구성 기기 및 소재 국산화 기술 개발	- 플랜트 기반 기기 및 장치 국산화 기술 개발 - 플랜트용 소모품 및 화학약품 국산화 기술 개발
	국산화 소재 및 기기 현장적용성 검증 및 국산공정기술 개발	- 국산화 소재 및 기기 현장평가를 위한 Pilot plant 구축 - 국산 개발제품의 성능 및 현장적용성 평가 - 개발기술의 적용시기 및 범위 결정
대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설 기술	대용량 시스템 설계기술	- 대용량 시스템 구성기술 - 대형 RO train 설계기술 - 대형 시스템 효율 향상기술
	Hybrid 담수화 공정기술	- 생산수 구성 비율 최적화 기술 - 고온 냉각수 재이용 기술 - NF 이용 공정 조합 기술
	해수담수화 시스템 상용화 기술	- 시장 환경 정보 분석기술 - 현장 적용 설계자료 구축 - 시스템 설계 모듈화
해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술	시스템 운전기술	- 통합운영기술 - 수량관리 (회수율 60%) - 수질관리 (공정운영 수질: SDI < 4)
	시스템 유지관리 기술	- 시설관리 기술 개발 (장치 부식관리, RO 세정관리, 시설관리) - 해수담수화 시설 운전/유지관리 매뉴얼 작성
	플랜트 성능진단 및 문제해결 기술	운전 및 진단 프로그램 개발

□ 핵심과제별 추진체계 및 전략

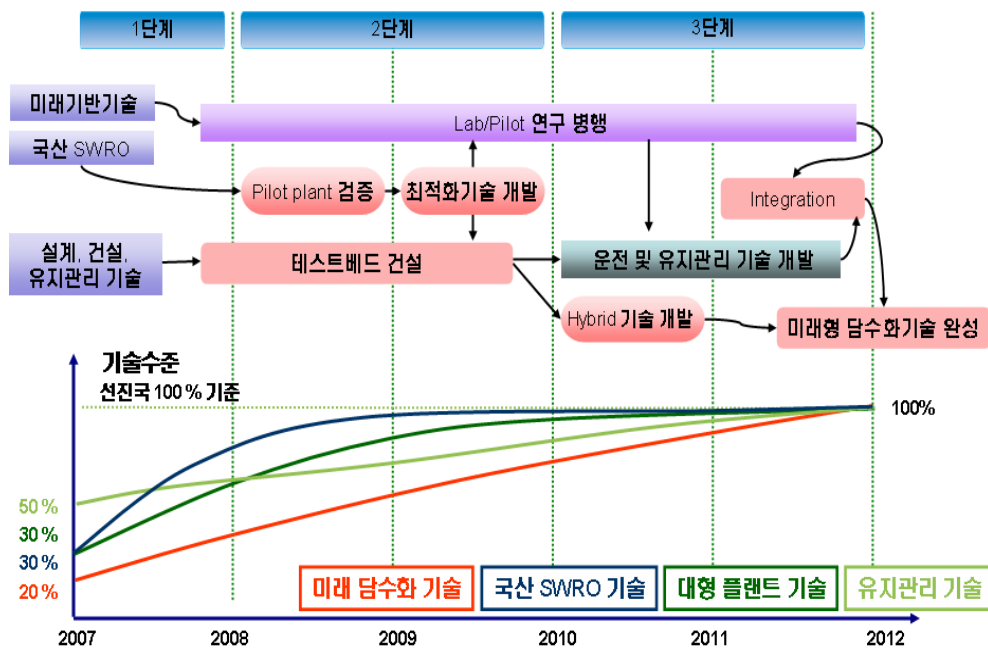
- 각 핵심과제별로 목표 및 성격이 상이하기 때문에 각각의 과제추진에 적합한 추진체계를 구성하여야 함.
- 각 핵심과제별 추진체계를 다음과 같이 제안함.



<그림 3.1.3> 핵심과제별 추진체계 및 전략

□ 기술발전 시나리오

- 해수담수화 플랜트 사업의 성공적인 추진을 위한 기술발전 시나리오는 다음과 같음.
- 1단계에는 주로 기술개발 기반을 구축하고 테스트베드의 선정 및 기초공사 관련 연구를 수행함.
- 2단계에서는 본격적인 핵심요소기술의 개발 및 테스트베드의 설계·건설에 관한 연구를 수행함.
- 3차년도에는 완성된 테스트베드에서 장기간에 걸쳐 해수담수화 설비를 운영함으로써 운전기술을 확보하고 성능을 향상시킴과 동시에 개발된 미래기반 기술과 국산소재 기술을 단계적으로 평가하면서 적용성을 검증함.
- 미래기반기술과 국산소재기술은 2단계에서는 실험실 혹은 현장의 Pilot plant에서 주로 테스트되며 3단계에 실용화 및 현장적용 연구가 진행되도록 함.

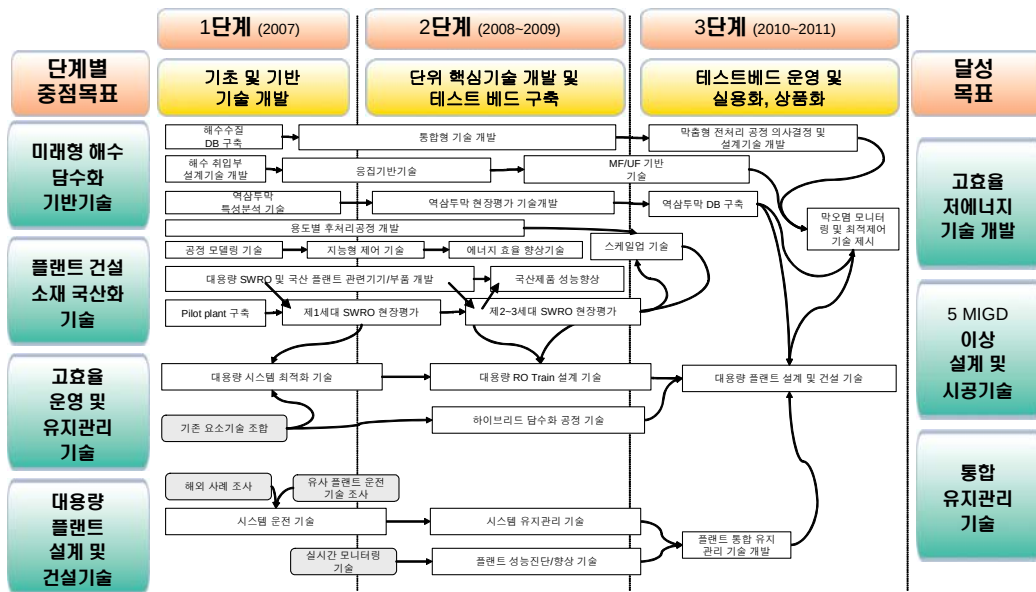


<그림 3.1.4> 기술발전 시나리오

3.2 단계별 추진대상과제

□ 사업추진을 위한 총괄 TRM

- 각 핵심과제별 기술로드맵은 다음과 같음.



<그림 3.2.1> 총괄 TRM

순 서	추진대상과제	단계별 추진일정					비고
		1 단계	2단계		3단계		
		1년	2년	3년	4년	5년	
1	미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술						
2	해수담수화 플랜트 건설소재의 국산화 및 현장적용 기술						
3	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술						
4	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술						

3.3 예산소요계획

가. 총 소요 예산

예산 소요예산은 전체 연구비의 규모에 따라서 1안과 2안으로 나누어서 대략적으로 제시하였으나, 사업단의 효율적인 연구수행을 위해서는 상세계획을 통해서 전체 예산계획을 재검토하여 다시 수립해야 할 것으로 판단된다.

□ 1안

- 해수담수화 플랜트 기술개발을 위한 총 소요예산은 정부출연금 1430억, 민간투자분 467억 등 1900억 원이 필요할 것으로 추정됨.
- 1단계(2007년)는 기술개발의 기반구축을 위한 단계로서 73억 원이 필요하며, 국산기술의 효율적인 개발을 위해서는 해당분야에 대한 추가적인 연구비 투자가 요구됨.
- 2단계(2008~2009년)는 테스트베드의 건설을 위해서 집중적인 연구비의 투자가 필요하며 전체 예산은 약 1300억이 필요함.
- 3단계(2010~2011년)에는 테스트베드에서의 현장적용성 평가 및 성능향상이 이루어지는 단계로서 약 520억의 연구투자가 필요함.

(단위 : 백만원)

구분	소요금액	자 금 형 태			비고
		출연금	융자금	민간	
2007년	7,300	5,300	0	2,000	
2008년	67,500	51,000	0	16,500	
2009년	63,000	47,500	0	15,500	
2010년	28,100	21,500	0	6,600	
2011년	22,200	17,500	0	6,000	
합계	189,400	142,800	0	46,600	

□ 2안

- 해수담수화 플랜트 기술개발을 위한 총 소요예산은 정부출연금 693억, 민간투자분 228억 등 920억 원이 필요할 것으로 추정됨.
- 1단계(2007년)는 기술개발의 기반구축을 위한 단계로서 73억 원이 필요하며, 국산기술의 효율적인 개발을 위해서는 해당분야에 대한 추가적인 연구비 투자가 요구됨.
- 2단계(2008~2009년)는 테스트베드의 건설을 위해서 집중적인 연구비의 투자가 필요하며 전체 예산은 약 670억이 필요함.
- 3단계(2010~2011년)에는 테스트베드에서의 현장적용성 평가 및 성능향상이 이루어지는 단계로서 약 160억의 연구투자가 필요함.

(단위 : 백만원)

구분	소요금액	자 금 형 태			비고
		출연금	융자	민간	
2007년	7,300	5,300	0	2,000	
2008년	34,423	26,009	0	8,415	
2009년	33,329	25,129	0	8,200	
2010년	9,081	6,948	0	2,133	
2011년	7,940	5,913	0	2,027	
합계	92,074	69,299	0	22,763	

나. 핵심과제별 소요예산

☐ 1안

(단위 : 백만원)

일련 번호	핵심과제명	추진일정					비고
		1단계	2단계		3단계		
		1년	2년	3년	4년	5년	
1	미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술	2,500	10,600	11,300	12,600	8,300	정부 366 억 민간 87 억
2	해수담수화 플랜트 건설소재 의 국산화 및 현장적용 기술	400	1,900	1,900	1,900	1,200	정부 57 억 민간 16 억
3	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술	4,400	54,300	48,500	3,900	3,000	정부 835 억 민간 305 억
4	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술	-	700	1,300	9,700	11,000	정부 170 억 민간 57 억

☐ 2안

(단위 : 백만원)

일련 번호	핵심과제명	추진일정					비고
		1단계	2단계		3단계		
		1년	2년	3년	4년	5년	
1	미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술	2,500	5,203	5,749	5,850	3,300	정부 183억 민간 43억
2	해수담수화 플랜트 건설소재 의 국산화 및 현장적용 기술	400	960	970	850	500	정부 29억 민간 8억
3	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술	4,400	27,900	25,960	1,000	950	정부 439억 민간 163억
4	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술		360	650	1,380	3,200	정부 42억 민간 14억

3.4 인력투입계획

- ☐ 해수담수화 플랜트 기술은 다양한 요소기술 및 실용화 기술로 구성되어 있으므로 산·학·연의 다양한 연구인력이 참여하여야 함.
- ☐ 인력투입은 각 핵심과제별로 적절하게 배분하여 운영함. 미래기술분야의 인력은 2단계와 3단계에 좀 더 비중을 두어 투입하며 설계건설 분야는 2단계에, 유지관리 분야는 3단계에 인력을 집중 투입함.

3.5 사업화(테스트베드형 등) 추진 전략 및 계획

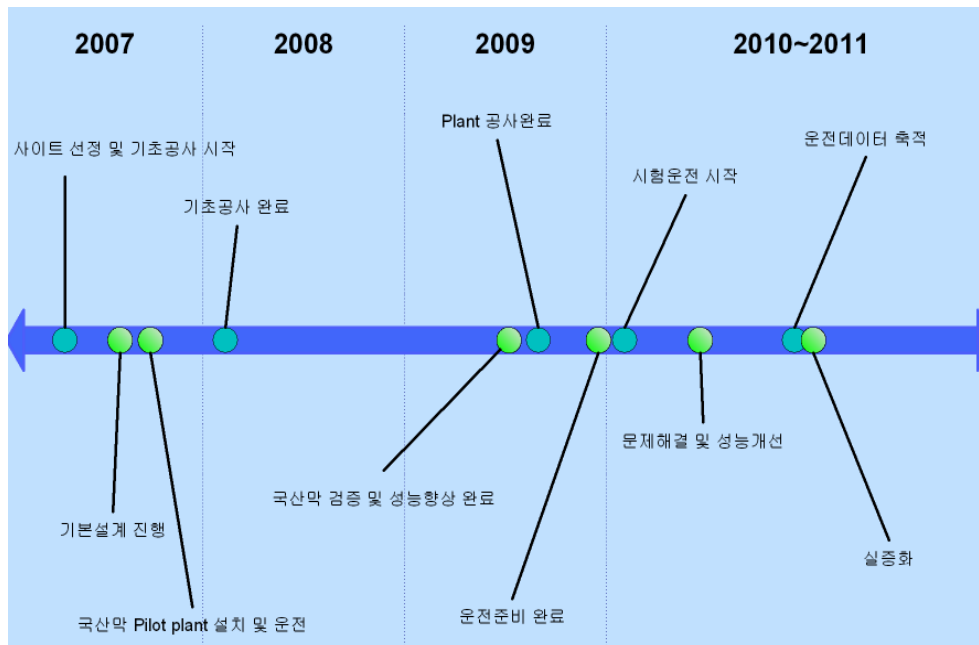
- ☐ 개발기술의 실용화 및 실증화는 테스트베드를 중심으로 추진되도록 함.
- ☐ 테스트베드는 해수담수화 기술개발을 위한 종합 R&D 센터이며, 해외진출의 기반을 위한 시범시설로서 사업목표를 달성하기 위한 기능을 보유하여 개발되는 기술의 조기 실용화 및 사업화를 유도할 수 있어야 함.
- ☐ 이를 위해서는 다음과 같은 기본조건을 갖추고 있어야 함.

항목	기본조건	내용 및 배경
기능	종합 R&D 센터로서의 기능 보유	대용량 RO 시스템에 대한 실증실험 뿐 아니라 개발되는 실용화 기술과 국산화 기술 및 미래원천기술에 대한 현장적용성을 검증할 수 있는 기능을 보유하여야 함. 이를 위해서는 테스트베드는 단순한 사업장이 아닌 실험시설 및 종합연구센터로서 조성되어야 함.
용도	공업용수	국내 여건을 조사해본 결과 현재 먹는물 공급을 위해 대규모의 해수담수화 시설을 설치할 수 있는 적합한 사이트를 찾을 수 없었으며 일부 지역에서는 먹는물 공급을 위해서는 가능한한 해수보다는 담수를 사용하는 것이 바람직한 것으로 조사되었음.

		또한 현재 법적 제도적인 측면에서도 해수를 먹는물로 사용하는 경우 많은 어려움이 예상됨. 따라서 현 단계에서는 용도를 공업용수로 한정지어서 테스트베드를 구성하되 후처리 관련연구 및 법/제도 연구를 통해 사업단 과제 종료시점까지 해수를 먹는물로 사용할 수 있도록 하는 기술 및 제도를 준비하는 것이 바람직함.
유입수의 종류	반드시 해수를 이용	사업단 기술개발의 목표가 세계진출을 위한 해수담수화 플랜트 기술 확보에 있으므로 주요 시장인 중동지역에서 대상으로 하는 해수를 유입수로 사용하여 기술을 개발하는 것이 필수적임. 또한 해수담수화 기술을 확보하면 이를 응용하여 염수 담수화에 적용하기 용이하기 때문에 해수담수에 초점을 맞추어 연구개발을 추진하는 것이 바람직함. 국가예산의 효율성 측면에서도 굳이 해수를 사용하지 않고 염수를 사용할 수 있는데 해수를 이용하도록 하는 것은 바람직하지 않으며 테스트베드의 사이트 선정에 있어서도 이러한 측면이 고려되어 야할 것임. 즉, 해수만을 사용할 수 있는 지역을 테스트베드의 대상지역으로 하는 것이 바람직함.
규모	최소 5 MIGD 이상 (10 MIGD가 바람직함)	사업단 기술개발 목표가 5 MIGD 이상의 Train 혹은 유닛을 설계 및 건설할 수 있는 플랜트 기술의 확보이므로 공장의 규모는 이를 초과하여야 하며 연구목적을 충분히 달성하기 위해서는 10 MIGD가 바람직함. 단, 10 MIGD 규모인 경우에도 테스트베드에서 굳이 5 MIGD이상의 초대형 Train을 2개 이상 설치할 필요는 없으며 대용량 기술 검증을 위한 Train 1개와 기타 3 MIGD 이하의 train을 2-3개 설치하여 다양한 기술이 개발될 수 있도록 하는

		것이 바람직함.
추진일정	초기 3년간 건설완료 후 2년간 운전자료 축적	플랜트 기술의 충분한 검증을 위해서는 최소 2년 이상의 운전이 필요하며 이를 위 해서는 초기 3년 이내에 플랜트가 건설되 어야 함.
실현가능성	국내 인프라 및 기술수준을 고려하여 실현가능한 계획하에 추진되어야 함	개발기술은 Pilot test 혹은 소규모 Train 을 이용한 현장에서의 실규모 테스트를 거친 후에 검증된 기술만이 실제 테스트 베드의 기본공정에 반영되어야 함. 기술적 인 성숙도가 높지 않은 기술을 무리하게 도입하게 되면 최종적으로는 사업단 목표 인 세계시장 진출을 위한 플랜트 기술개 발을 달성하기 어려움. 미래기술 및 국산 화에 대해서도 단계적인 도입을 원칙으로 하여야 할 것임.

□ 테스트베드 추진일정(안)



<그림 3.5.1> 테스트베드 추진일정 (안)

4. 기술개발 효과

4.1 기술적 효과

- ☐ 차세대 해수담수화 기술인 대규모 역삼투 플랜트 기술 확보하고 실용화함으로써 국제경쟁력을 갖추고, 해외 기술시장 진출의 기반을 구축
- ☐ 현재 국내에서 출원한 해수담수화 분야의 특허는 양적인 측면에서 볼 때 미국이나 일본, 유럽 등에서의 특허의 3% 이하의 수준이며 원천기술의 확보수준도 미비함. 따라서 국내 해수담수화 플랜트 사업은 국내 고유기술의 개발을 통해 특허점유율을 향상시키고 기술자립도 및 경쟁력을 높이는 데 크게 기여할 것으로 판단됨.
- ☐ 현재 국내에서 출원한 해수담수화 분야의 특허는 양적인 측면에서 볼 때 미국이나 일본, 유럽 등에서의 특허의 3% 이하의 수준이며 원천기술의 확보수준도 미비함. 따라서 국내 해수담수화 플랜트 사업은 국내 고유기술의 개발을 통해 특허점유율을 향상시키고 기술자립도 및 경쟁력을 높이는 데 크게 기여할 것으로 판단됨.
- ☐ 해수담수화 플랜트 기술은 통합기술의 성격을 가지고 있으므로 다양한 분야의 기술을 동시에 개발하는 효과를 가져옴으로써 국내 산·학·연의 관련분야 기술수준을 비약적으로 향상시킬 것으로 판단됨

4.2 사회·경제적 효과

- ☐ 개발하는 해수담수화 플랜트 기술을 바탕으로 해외에 플랜트를 건설하고 중동 뿐 아니라 북미나 아시아, 유럽 등의 새로운 시장을 개척함.
- ☐ 해수담수화 미래기반 기술개발 성과와 테스트베드 중심의 실증화 기술개발 성과간의 시너지효과를 발생시켜 관련 산업 활성화 및 신규 수요창출에 기여.
- ☐ 현재 증발법 분야에서 세계시장을 점유하고 있는 국내기업들의 기술경쟁력을 강화함으로써 수출을 촉진함.

- 새로운 분야의 산업을 활성화시킴으로써 전문인력을 양성하고 신규 일자리를 창출함으로써 국가산업을 활성화함.
- 해수를 이용하여 안정적으로 용수를 공급할 수 있는 담수화 기술을 확보함으로써 국내 물부족 지역 및 공업용수가 대량으로 필요한 산업단지 등에서 용수수급 문제를 해결함.
- 지난 30년간 해수담수화 분야의 시장확대는 기술혁신에 의하여 주도되어 왔음. 즉, 처리수 생산비용 및 에너지 소모비용, 핵심요소인 역삼투 분리막의 단가 하락 등으로 인하여 해수 담수화의 경제성은 지속적으로 향상되고 있으며 이에 따라서 적용범위 및 시장이 확대되고 있음. 향후에도 해수담수화의 기술혁신은 국내 해수담수화의 적용대상을 증가시킴으로써 국내 수요를 증가시키는 효과를 가져올 것으로 예상할 수 있음.

4.3 전략적 효과 · 정책적 기대효과

- 해수담수화 플랜트 기술은 수출위주의 성장동력산업이므로 국가적으로 육성해야할 중요한 분야임. 따라서 기술개발을 통해 국가경쟁력을 강화시키고 국가위상을 향상시키는 효과를 기대.
- 증발법 위주의 해수담수화 기술이 역삼투법으로 전환되고 있는 중요한 시점에 와 있기 때문에 현 시점에서 기술이 확보되지 않으면 세계시장에서 경쟁력을 잃게 될 위기에 있음.
- 수에즈나 비벤디와 같은 다국적 기업은 막대한 연구예산을 투입하여 세계 최고수준의 기술을 개발하고 이를 바탕으로 세계시장의 선두에 서기 위한 노력을 경주하고 있음. 국내의 경우 국가주도의 연구개발사업을 추진하여 국내 기업들의 기술력을 향상시키지 않는 한 이러한 다국적 기업과의 경쟁에서 살아남을 수 없음. 특히 국가주도의 연구개발사업은 민간연구와 달리 특정기업이 아닌 여러 기업들의 기술력을 동시에 향상시켜 국가산업 발전에 기여할 수 있는 장점이 있음.

5. 결론

5.1 핵심과제선정 논리

- 해수담수화 플랜트 기술은 다양한 분야의 기술이 융합된 통합기술이므로 기반기술, 국산화 기술, 설계·건설기술, 유지관리기술 등 다분야에 대한 전반적인 연구개발이 필요함.
- 2011년 이후의 시장 및 기술변화에 대응하기 위해서는 현 시점에서 미래형 해수담수화 기술에 대한 연구개발이 추진되어야 함. 특히 미래형 기반기술에의 연구투자는 기존의 해수담수화 기술의 한계를 극복하고 성능을 비약적으로 향상시킬 수 있는 가능성을 가지고 있음. 또한 국가 성장동력산업으로 부각되고 있는 해수담수화 분야의 전문인력을 양성하고 신규고용을 창출하는 효과도 가지고 있음.
- 해수담수화 플랜트의 핵심요소가 되는 해수용 역삼투막과 기반설비 및 소재에 대한 국산화 연구가 진행되어야 하며 국산기술의 개발수준에 맞추어 단계적으로 현장에 적용되어야 함. 국산화 기술의 개발은 국내 관련업체들의 기술력을 향상시키고 타 산업으로의 파급효과를 극대화하는 기능도 가지고 있음.
- 국제 경쟁력을 가진 해수담수화 건설기술을 확보하기 위해서는 세계적인 추세인 대형 RO 담수화 플랜트 기술의 개발이 시급하며 조기에 테스트베드를 구축하여 설계 및 건설기술을 실용화 및 상용화시켜야 함.
- 해수담수화 플랜트에 대한 운전 및 유지관리기술의 국내수준은 높지 않으며 특히 개발하고자 하는 대형 RO 담수화 플랜트에 대한 운전경험은 미비함. 따라서 테스트베드를 통해 운전 및 유지관리기술을 개발하여 세계진출을 위한 초석으로 삼아야 함.

5.2 공고내용 작성

가. 핵심과제의 최종기술개발일정(안)

☐ 1안

일련 번호	핵심과제명	추진일정					비고
		1단계	2단계		3단계		
		1년	2년	3년	4년	5년	
1	미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술						정부 366 억 민간 87 억
2	해수담수화 플랜트 건설 소재의 국산화 및 현장 적용 기술						정부 57 억 민간 16 억
3	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술						정부 835 억 민간 305 억
4	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술						정부 170 억 민간 57 억

☐ 2안

일련 번호	핵심과제명	추진일정					비고
		1단계	2단계		3단계		
		1년	2년	3년	4년	5년	
1	미래형 해수담수화 플랜트 기반 기술						정부 183 억 민간 43 억
2	해수담수화 플랜트 건설 소재의 국산화 및 현장 적용 기술						정부 29 억 민간 8 억
3	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술						정부 439 억 민간 163 억
4	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술						정부 42 억 민간 14 억

나. 핵심과제의 목표 및 내용

핵심과제명	미래형 해수담수화 플랜트 기반기술			
총개발기간	5년 (2007년 ~ 2011년)			
1단계개발기간	1년 (2007년)			
총사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	366	87	453
	2안	183	43	226
1단계사업비(억원)	구분	정부	민간	계
	1안	20	5	25
	2안	20	5	25
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	해수담수화 플랜트 분야 차세대 핵심기술 개발			
1단계 목표	미래형 해수담수화 플랜트 기술 개발을 위한 기반구축			
2단계 목표	미래형 해수담수화 플랜트 기반 요소기술 개발			
3단계 목표	미래형 해수담수화 플랜트 기반 요소기술 통합			
2. 연구과제의 주요내용(1단계)				
○ 해수담수화 제도적/기술적 기반확보 및 미래 핵심요소·통합기술 개발 - 해외 담수화 시장관련 제도적/기술적 기반 연구 - 해수 담수화 통합기술 개발 기반 구축 - 상용화 및 미래시장 확대를 위한 제도적/기술적/경제적 전략 준비 ○ 해수담수화 공정 유입수질 제어기술 개발 - Intake 공정 비교 및 장단점 도출 - MF/UF 기반 전처리 공정 Prototype 선정 - 응집/오존 등을 이용한 고효율 전처리 공정 Prototype 선정 ○ 해수담수화 최적막 선정을 위한 막 특성, 효율 정밀평가기술 - 새로운 막 선택 지표 개발을 연구기반 구축 - 막 효율 검증 및 최적막 선택을 위한 초정밀 분석기술 개발 ○ 역삼투법 해수담수화 플랜트 처리수 수질조정 및 폐수처리 기술 - 용도별 후처리 기술 조사 및 비교 - 해수담수화 플랜트에서의 발생폐수 처리를 위한 Prototype 공정 선정 ○ 해수담수화 역삼투 플랜트 해석·제어기술 개발 - 해수담수화 역삼투 공정모사 모델 개발 - 개발기술의 현장검증을 위한 Pilot plant 설계 및 제작				

핵심과제명	해수담수화 플랜트 건설소재의 국산화 및 현장적용 기술			
총개발기간	5년 (2007년 ~ 2011년)			
1단계개발기간	1년 (2007년)			
총사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	57	16	73
	2안	29	8	37
1단계사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	3	1	4
	2안	3	1	4
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	해수담수화 플랜트 핵심 건설소재 및 기기의 국산화			
1단계 목표	해수담수화 플랜트 건설소재/기기 국산화 기반구축			
2단계 목표	해수담수화 플랜트 핵심 건설소재/기기 국산화 기술개발			
3단계 목표	개발 소재 및 기기의 현장적용 및 성능향상			
2. 연구과제의 주요내용(1단계)				
○ 대용량 해수담수화 국산막 제조 및 생산기술 개발 - 8 inch 이상의 해수담수화용 대형 엘리먼트 Prototype 개발 Type-1: Boron 제거율 강화막 개발 Type-2: 초고압 해수담수용 역삼투막 개발 Type-3: 초저압 해수담수용 역삼투막 개발 ○ 플랜트 구성 기기 및 소재 국산화 기술 개발 - 국내 플랜트 기반 기기 및 장치 기술수준 조사 - 플랜트용 소모품 및 화학약품 관련 선진국과의 기술격차 조사 - 소재 및 기기 국산화 전략 도출 ○ 국산화 소재 및 기기 현장적용성 검증 및 국산공정기술 개발 - 국산화 소재 및 기기 현장적용성 평가를 위한 Pilot plant 설계 및 설치				

핵심과제명	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술			
총개발기간	5년 (2007년 ~ 2011년)			
1단계개발기간	1년 (2007년)			
총사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	835	305	1,140
	2안	439	163	602
1단계사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	30	14	44
	2안	30	14	44
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	국제경쟁력을 갖는 대용량 해수담수화 플랜트의 설계 및 건설기술 확보			
1단계 목표	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설을 위한 기반기술 개발			
2단계 목표	대용량 해수담수화 플랜트 설계 및 건설기술 실용화를 위한 테스트베드 구축			
3단계 목표	대용량 해수담수화 플랜트 성능향상을 위한 설계 및 건설기술 최적화			
2. 연구과제의 주요내용(1단계)				
○ 대용량 시스템 설계기술 개발 - 테스트베드 선정 및 설계/시공 - 대형 RO train 설계기술 개발을 위한 기반연구 - 대형 RO train 구성을 위한 수리학적 효율 분석 및 성능모의기술 개발 - 대구경 RO 모듈의 적용가능성 평가 및 다양한 멤브레인 vessel에 대한 최적 설계기술 개발 - 대용량 시스템 설계 및 건설을 위한 핵심 요소기술 도출 및 개발 ○ Hybrid 담수화 공정기술 개발 - 다양한 Hybrid 시스템의 조합에 대한 현장적용성 비교 및 개발대상 공정 Prototype 선정 - Hybrid 담수화 공정에서 생산수 구성 비율의 최적화 기술 개발 - MSF+RO Hybrid 공정을 위한 고온 냉각수 재이용 시설 설계인자 도출 - NF 이용 공정 조합 기술의 적용가능성 검토 및 기본 설계인자 도출 ○ 해수담수화 시스템(설계특성) 상용화 기술 개발 - 시장 환경 정보 분석기술 개발을 위한 자료수집 - 사례조사 및 데이터 수집에 의한 현장 적용 설계자료 구축 - 국가별 및 시장별 해수담수화 시스템의 특성분석 및 진출전략 수립				

핵심과제명	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술			
총개발기간	4년 (2008년 ~ 2011년)			
1단계개발기간	-			
총사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	170	57	227
	2안	42	14	56
1단계사업비 (억원)	구분	정부	민간	계
	1안	-	-	-
	2안	-	-	-
1. 연구과제의 목표				
총개발목표	해수담수화 플랜트 고효율 운영 및 유지관리 기술 개발 및 해외진출 기반확보			
1단계 목표	해수담수화 플랜트의 최적운영방안 도출 및 평가방법 확립			
2단계 목표	테스트베드를 통한 고효율 운전기술 및 관리기법 개발			
3단계 목표	해수담수화 플랜트 운전기술 및 통합 유지관리기술 확립			
2. 연구과제의 주요내용(1단계)				
해당없음				

6. 기획위원회 명단

No	소속기관	직급	성명	전문분야
1	건설교통부	건설지원팀 사무관	이백연	산업설비건설
2	건설교통부	수자원정책팀 사무관	김구범	수자원정보화
3	국민대학교	건설시스템공학부 교수	손진식	수처리(소독)
4	한국수자원공사	수자원연구원 수석연구원	김충환	막여과정수처리
5	한국해양연구원	해양시스템안전연구소 책임연구원	김현주	해수(심층수)자원이용
6	건설기술연구원	화재 및 설비연구부 수석연구원	조정식	설비 및 플랜트
7	포항산업과학연구원	광양환경연구실 책임연구원	강신경	수처리
8	코오롱화학연구소	MBR 연구실 부장	신용철	분리막(UF/RO)
9	삼성엔지니어링	과장	박재형	환경공학
10	두산중공업	RO/수처리사업 상무	이동훈	담수플랜트
11	성균관대학교	토목환경공학과 교수	김형수	막여과정수처리
12	고려대학교	사회환경시스템공학부 교수	홍승관	수처리(막공정)
13	과학기술연구원	환경·공정연구부 책임연구원	이석현	고도수처리,수질감시
14	명지대학교	환경생명공학부 교수	김한승	상하수도
15	광주과학기술원	환경공학과 교수	조재원	환경공학
16	성균관대학교	토목환경공학과 교수	이용훈	물리화학적 수처리

7. 참고문헌

- Abdel-Jawad, M., E. E. F. El-Sayed, et al. (2001). "Fifteen years of R&D program in seawater desalination at KISR part II. RO system performance." *Desalination* 135(1-3): 155-167.
- Ali El-Saie, M. H., Y. M. H. Ali El-Saie, et al. (2001). "Experimental RO facility to study the heating effect of raw water on the varying main parameters." *Desalination* 134(1-3): 63-76.
- Article editors (2003). "DEGRaMONT TO DESIGN-BUILD CURACAO DESAL PLANT." *Pump Industry Analyst* 2003(11): 2-2.
- Article editors (2003). "Degremont to design-build Curacao Desal plant." *Filtration Industry Analyst* 2003(11): 2-2.
- Article editors (2003). "Upgraded desalination RO elements offer higher flow rates." *Filtration & Separation* 40(7): 17-17.
- Article editors (2005). "Degremont to build desal plant in Chile." *Pump Industry Analyst* 2005(2): 2-2.
- Article editors (2005). "Degremont wins 25-year Australian desal contract." *Pump Industry Analyst* 2005(4): 3-3.
- Baalousha, H. (2006). "Desalination status in the Gaza Strip and its environmental impact." *Desalination* 196(1-3): 1-12.
- Bullock, D. C. (1976). "Design of reverse osmosis systems for commercial seawater desalination." *Desalination* 19(1-3): 397-404.
- Burashid, K. and A. R. Hussain (2004). "Seawater RO plant operation and maintenance experience: addur desalination plant operation assessment." *Desalination* 165: 11-22.
- Dababneh, A. J. and M. A. Al-Nimr (2003). "A reverse osmosis desalination unit." *Desalination* 153(1-3): 265-272.

- Darwish, M. A. and N. Al-Najem (2005). "The water problem in Kuwait." Desalination 177(1-3): 167-177.
- Ebrahim, S. and M. Abdel-Jawad (1994). "Economics of seawater desalination by reverse osmosis." Desalination 99(1): 39-55.
- El-Azizi, I. M. and A. A. M. Omran (2003). "Design criteria of 10,000 m³/d SWRO desalination plant of Tajura, Libya." Desalination 153(1-3): 273-279.
- El-Manharawy, S. and A. Hafez (2001). "Water type and guidelines for RO system design." Desalination 139(1-3): 97-113.
- El-Sayed, E., S. Ebrahim, et al. (1998). "Pilot study of MSF/RO hybrid systems." Desalination 120(1-2): 121-128.
- Elguera, A. M. and S. O. Perez Baez (2005). "Development of the most adequate pre-treatment for high capacity seawater desalination plants with open intake." Desalination 184(1-3): 173-183.
- Frost & Sullivan (2006) "U.S. Desalination Pretreatment Market" research report.
- Furukawa, D.H. (2006) "Desalination Technology 2006".
- Glueckstern, P. and M. Priel (1998). "A hybrid SWRO/BWRO desalination plant." Desalination 115(2): 203-209.
- Godfrey, J. W. J. (1977). "Membrane performance reports on reverse osmosis plants using permasep(R) permeators since 1972." Desalination 22(1-3): 435-443.
- GWI (2004) "Desalination Markets: 2005-2015", research report.
- IDA (2006) "19th IDA Worldwide Desalting Inventory".
- Jawad, M. A. (1989). "Future for desalination by reverse osmosis." Desalination 72(1-2): 23-28.

- Laborde, H. M., K. B. Franca, et al. (2001). "Optimization strategy for a small-scale reverse osmosis water desalination system based on solar energy." *Desalination* 133(1): 1-12.
- Leitner, G. F. (1987). "Economic feasibility of the reverse osmosis process for seawater desalination." *Desalination* 63: 135-142.
- Lu, Y.-y., Y.-d. Hu, et al. (2006). "Optimum design of reverse osmosis seawater desalination system considering membrane cleaning and replacing." *Journal of Membrane Science* 282(1-2): 7-13.
- Ludwig, H. (2003). "Hybrid systems in seawater desalination—practical design aspects, status and development perspectives." *Desalination* 157(1-3): 31-32.
- Ludwig, H. (2004). "Hybrid systems in seawater desalination—practical design aspects, present status and development perspectives." *Desalination* 164(1): 1-18.
- Marsh, N., J. Howard, et al. (1999). "SWRO – the largest plant in British waters." *Desalination* 125(1-3): 25-36.
- Matsuura, T. (2001). "Progress in membrane science and technology for seawater desalination – a review." *Desalination* 134(1-3): 47-54.
- Mehdizadeh, H. (2006). "Membrane desalination plants from an energy-exergy viewpoint." *Desalination* 191(1-3): 200-209.
- Morton, A. J., I. K. Callister, et al. (1997). "Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes." *Desalination* 108(1-3): 1-10.
- Muirhead, A., S. Beardsley, et al. (1982). "Performance of the 12,000 m³/d seawater reverse osmosis desalination plant at Jeddah, Saudi Arabia January 1979 through January 1981." *Desalination* 42(2): 115-128.
- Nordin, S., B. Ericsson, et al. (1985). "Optimization of high pressure piping in reverse osmosis plants." *Desalination* 55: 247-259.

- Olsson, J. (2005). "Stainless steels for desalination plants." *Desalination* 183(1-3): 217-225.
- Park, M.-H., N.-S. Park, et al. (1997). "An economic analysis of desalination for potential application in Korea." *Desalination* 114(3): 209-221.
- Peters, T. A. (1999). "Desalination of seawater and brackish water with reverse osmosis and the disc tube module DT." *Desalination* 123(2-3): 149-155.
- Pohland, H. W. (1980). "Seawater desalination and reverse osmosis plant design." *Desalination* 32: 157-167.
- Romero-Ternero, V., L. Garcia-Rodriguez, et al. (2005). "Energy analysis of a seawater reverse osmosis plant." *Desalination* 175(2): 197-207.
- Sadhwani, J. J. and J. M. Veza (2001). "Cleaning tests for seawater reverse osmosis membranes." *Desalination* 139(1-3): 177-182.
- Sadhwani, J. J., J. M. Veza, et al. (2005). "Case studies on environmental impact of seawater desalination." *Desalination* 185(1-3): 1-8.
- Saltonstall, J. C. W. (1977). "Progress in membrane development for reverse Osmosis." *Desalination* 22(1-3): 229-234.
- See, H. J., V. S. Vassiliadis, et al. (1999). "Optimisation of membrane regeneration scheduling in reverse osmosis networks for seawater desalination." *Desalination* 125(1-3): 37-54.
- Semiat, R. (2000) "Desalination: Present and Future", *Water International*, 25(1), 54-65.
- Teuler, A., K. Glucina, et al. (1999). "Assessment of UF pretreatment prior RO membranes for seawater desalination." *Desalination* 125(1-3): 89-96.
- Turek, M. and P. Dydo (2003). "Hybrid membrane-thermal versus simple membrane systems." *Desalination* 157(1-3): 51-56.

- Voros, N., Z. B. Maroulis, et al. (1996). "Optimization of reverse osmosis networks for seawater desalination." *Computers & Chemical Engineering* 20(Supplement 1): S345-S350.
- Wolf, P. H., S. Sivers, et al. (2005). "UF membranes for RO desalination pretreatment." *Desalination* 182(1-3): 293-300.
- Zhang, J. D., Y. W. Liu, et al. (2006). "Pilot testing of outside-in UF pretreatment prior to RO for high turbidity seawater desalination." *Desalination* 189(1-3): 269-277.
- Zhang, L., L. Xie, et al. (2005). "Progress and prospects of seawater desalination in China." *Desalination* 182(1-3): 13-18.
- Zidouri, H. (2000). "Desalination of Morocco and presentation of design and operation of the Laayoune seawater reverse osmosis plant." *Desalination* 131(1-3): 137-145.
- 강연웅 외 (2001) "중동지역 산업설비 확충계획과 수주증대 방안" 한국건설기술연구원.
- 고석문 외 (1985) "담수화기술" 한국건설기술연구원.
- 김승현, 한성대, 윤조희, 문성용 (2000) "역삼투막법을 이용한 해수담수화" 경남대학교 환경연구 23(5-19).
- 김충환 (2000) "역삼투법 해수담수화" 아카데미서적.
- 박광규 외 (2005) "고효율 저에너지 담수화 시스템 개발" 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 연차요약보고서.
- 윤종섭, 김승현, 문성용, 김건태 (2005) "회수율 증가를 통한 해수담수화 장치 에너지 절감" 대한환경공학회 춘계학술발표회.
- 이승복, 윤승환 (2006) "대체수자원 확보에 관한 연구" 건설교통부