

충청남도 수자원관리 토론회('16.3.29)

수원다변화와 해수담수화



K water 상하수도연구소
임 재 림

말씀 드리는 순서

Contents



- I** 국내 해수담수화 필요성
- II** 해수담수화 기술 및 시장 전망
- III** 국내 해수담수화 추진 방향

대체수자원 필요성

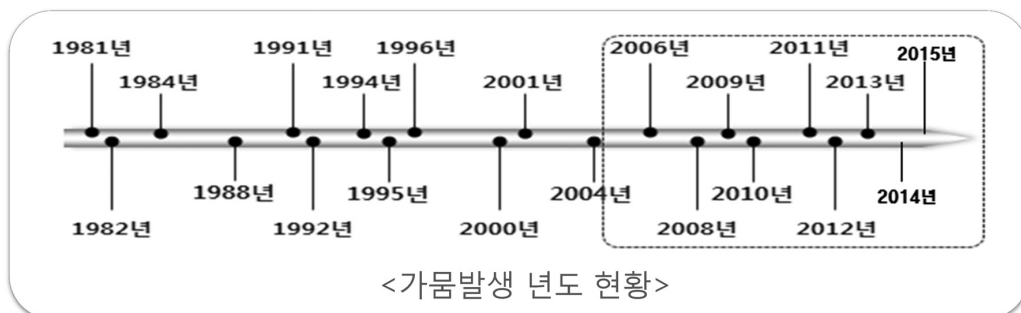
기후 변화 등의 영향으로 2000년대 극한가뭄 발생 빈도 증가



가뭄재해

● 국내 발생현황

- 기후변화의 영향으로 2~3년에 한번 크고 작은 가뭄이 발생
- '08년 이후로는 매년 가뭄 발생 추세

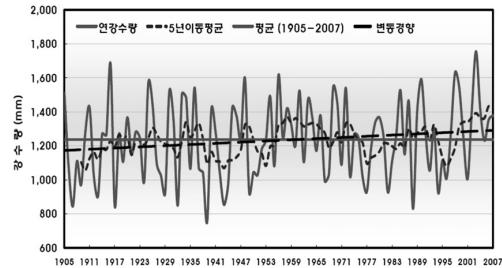


● 가뭄 피해 대상

- 미급수, 극한가뭄 발생 지역 283만명 물 혜택 미수여
(산간, 도서지역 220만명, 극한 가뭄지역 61만명)

● 시기·연도·지역별 강수량 변동폭이 커서 물 관리에 매우 불리

- 연평균 홍수기에 강수량 2/3가 집중
- 연간 유량변동계수가 90~270으로 외국과 비교하여 상당히 큼 → 연중 가뭄과 홍수가 무한 반복
- 연도별 강수량의 변화폭도 커서, 주기적 극한 가뭄과 홍수 발생



● UN 등 국제기구에서도 우리나라를 물관리에 취약한 국가로 평가

- 물빈곤지수(Water Poverty Index, UN WWP) : 62.4→전체 147개국 중 43위 (OECD 국가 평균 : 67)
- 물자급률(UNESCO-IHE) : 평가대상 100개국 중 15번째로 낮음
 - 국제적인 식량 및 에너지 정책 흐름에 따라 국내 자급을 위해서는 현 수준 사용량의 1.4배에 해당되는 물의 양이 더 필요

해수담수화의 필요성

Speech of Kennedy



If we could produce fresh water from salt water at a low cost, that would indeed be a great service to humanity and would dwarf other scientific accomplishment.

“만약에 우리가 바닷물로부터 저렴한 비용으로 맑은 물을 생산할 수 있다면, 이는 인류를 위한 위대한 공헌이 될 것이며 다른 과학적 성취를 뛰어넘는 업적으로 남을 것입니다.”

John F. Kennedy 前 미국 대통령, 1962

■ 용수공급 안정성

구 분	물공급 안정성	순위
해수담수화	무한 공급	1
다목적댐	20~30년 빈도	2
생공용수댐	10년 빈도	3
농업용 저수지	5~10년 빈도	3
지하수댐	5~10년 빈도	3
강변여과수	하천수 유량에 의존	6
하수처리수 재이용	하수처리수 방류량에 의존	7
빗물 이용	강우 의존도 높아 보조 수원으로 활용	8

■ 국내 해수담수화 도입 필요성



극심한 가뭄으로 안정적 물 공급에 대한 국가적 관심이 집중
→ 무한 자원인 해수 활용 필요성 증대

- ✓ 신규댐 건설 제약으로 담수자원 제한
- ✓ 물 안보 확보 차원에서 대체 수자원 개발 절실



중동 지역 등을 중심으로 해수담수화 시장 급성장 전망

- ✓ 국내 수요 한계로 기자재 등 관련 산업육성 및 실적축적 어려움 → 해외시장 진출 활성화 및 물산업을 새로운 성장동력화 하는 계기



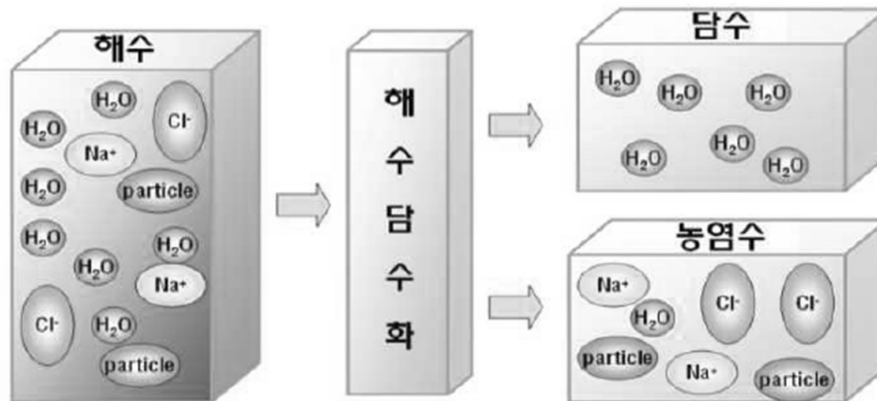
해수담수화는 수처리 기술이 집약된 성장성, 시장성을 갖춘 대표적인 高부가가치 사업

- ✓ 에너지 사용량을 획기적으로 저감할 수 있는 신기술 개발을 통한 기술 선도 기회

해수담수화 기술

■ 해수 담수화란(Sea Water Desalination)?

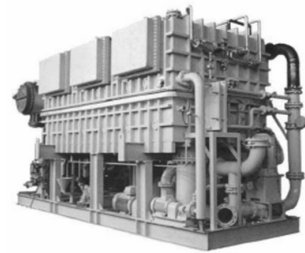
바닷물에서 불순물(입자, 염분, 기타 이온성분 등)을 제거하여
담수를 생산 (Desalination)



담수화 기술 종류

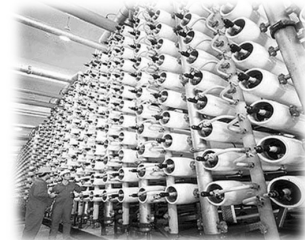
● 열(Thermal) 담수화 기술: 끓이기

- 다단 플래시 증류법(Multi-Stage Flash, **MSF**)
- 다중 효용 증류법(Multiple Effect Distillation, **MED**)



● 막(Membrane) 담수화 기술: 거르기

- 역삼투(Reverse Osmosis, **RO**) 막공정
- 나노여과(Nanofiltration, **NF**) 막공정



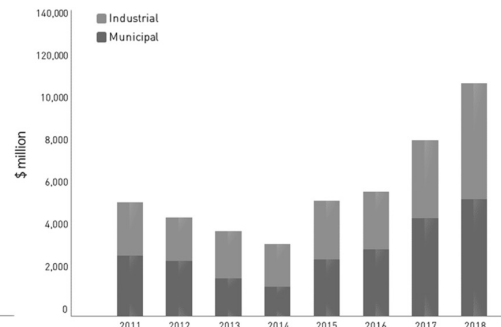
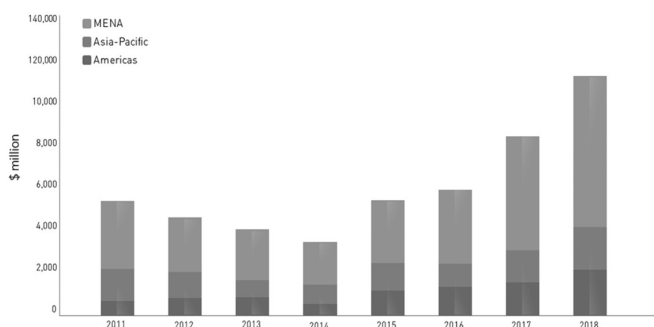
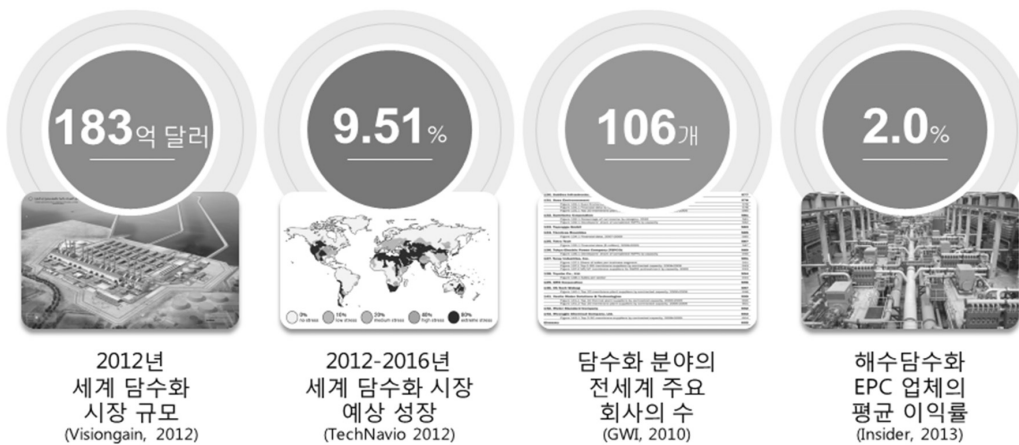
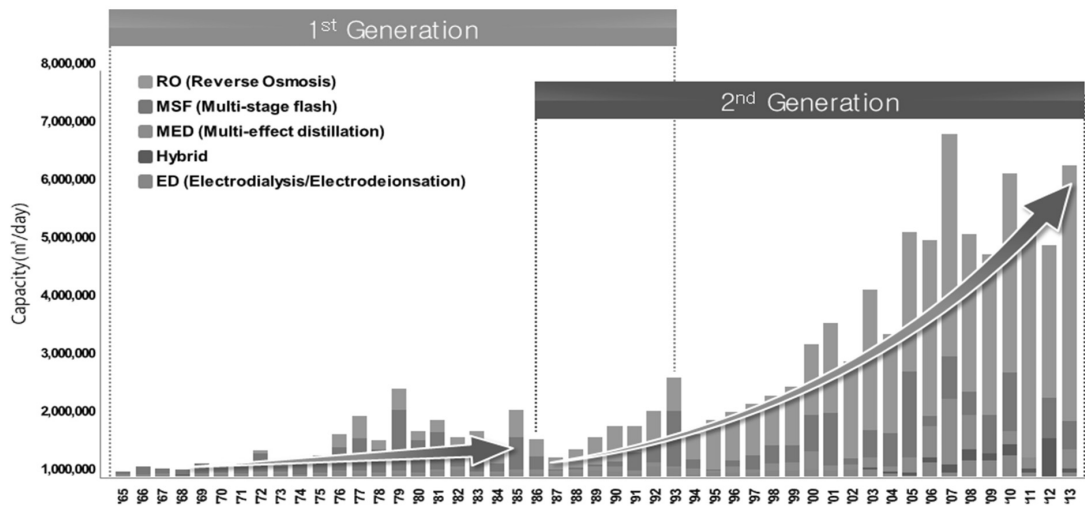
● 이온교환(Ion Exchange) 기술: 골라내기

- 이온교환 수지(Ion Exchange Resin, **IX**)
- 전기 탈염(Electrodialysis, **EDI**)



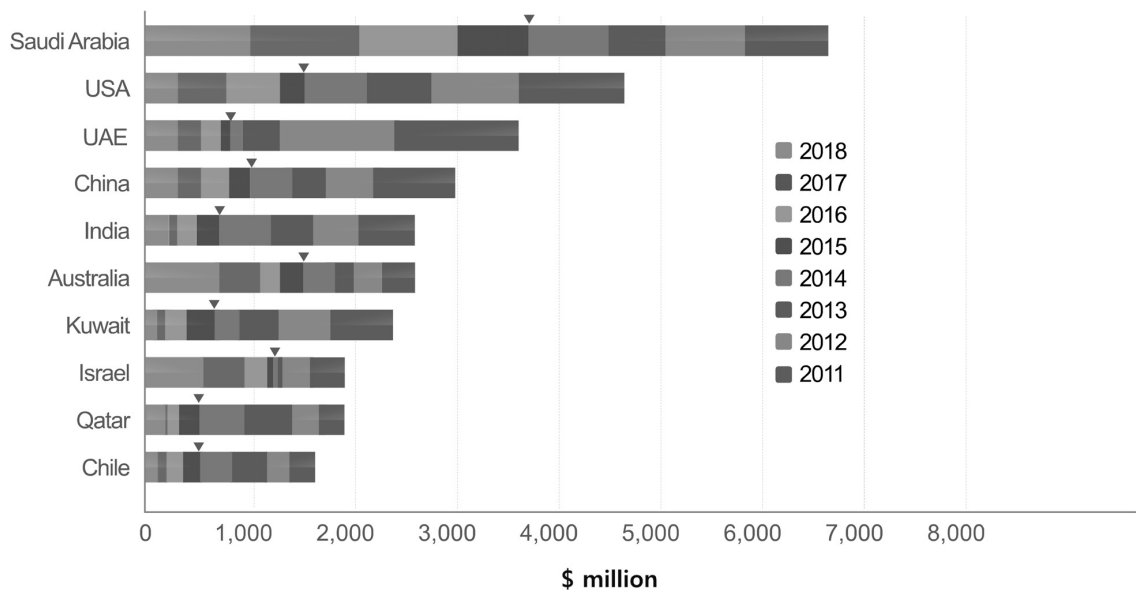
해수담수화 시장 규모 및 전망

- 세계 물 시장에 대해 해수담수화 시장은 2016년 약 8% 수준이며, 향후 시장 규모는 지속적으로 확대가 예상됨
- 담수화 시장 중 해수담수화 시장의 경우 전체 담수화 시장의 약 63%를 차지
- 2030년 기준으로 담수화 시장은 약 2,000만톤/일로 증가할 것으로 예측



자료: GS 건설

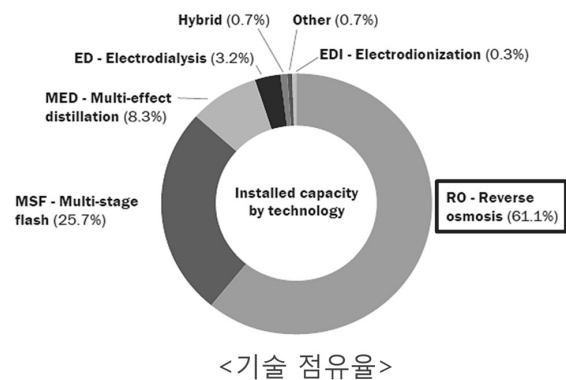
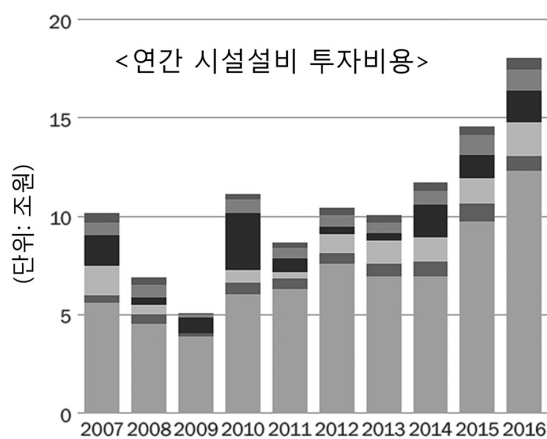
국가별 담수화 시장



담수화 시장 동향

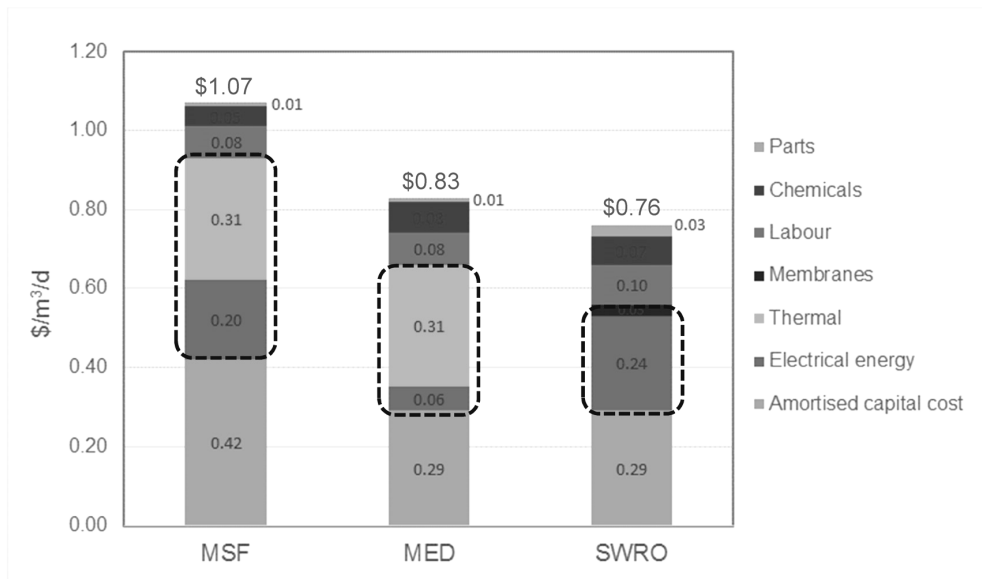
담수화 기술 점유율 · 전망

- MSF 중심 → RO 중심 시장 형성
- 2016년 약 13조원 예상



- 기타 해수담수화 플랜트
- 소규모 증류(MED/MSF) 플랜트
- 다단플래쉬(MSF) 플랜트
- 다중효용증류(MED) 플랜트
- 저염수 역삼투(BWRO) 플랜트
- 해수 역삼투(SWRO) 플랜트

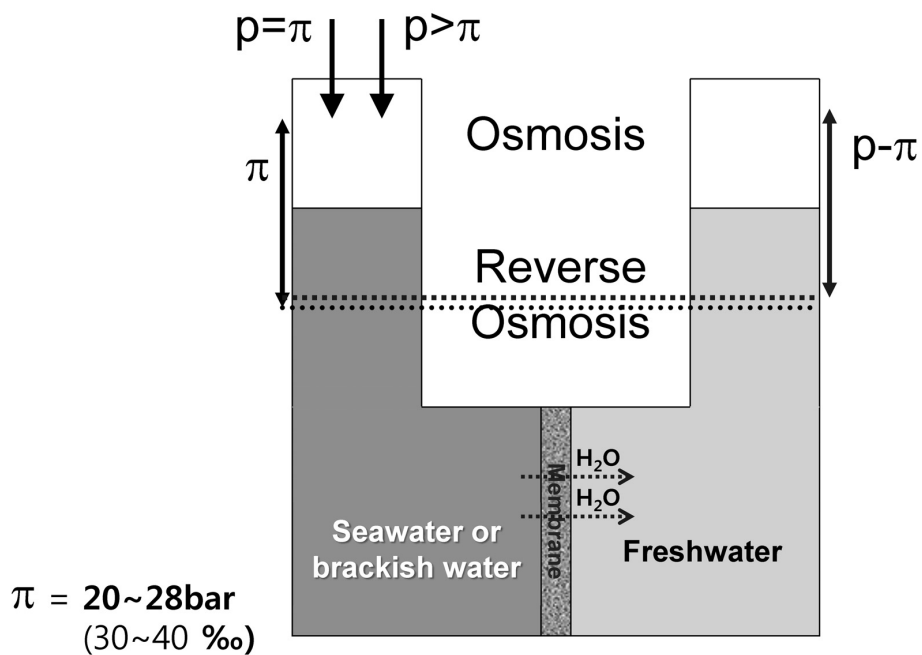
출처: GWI, Desal. Data



< 해수담수화 플랜트별 생산단가 구성(2011) >

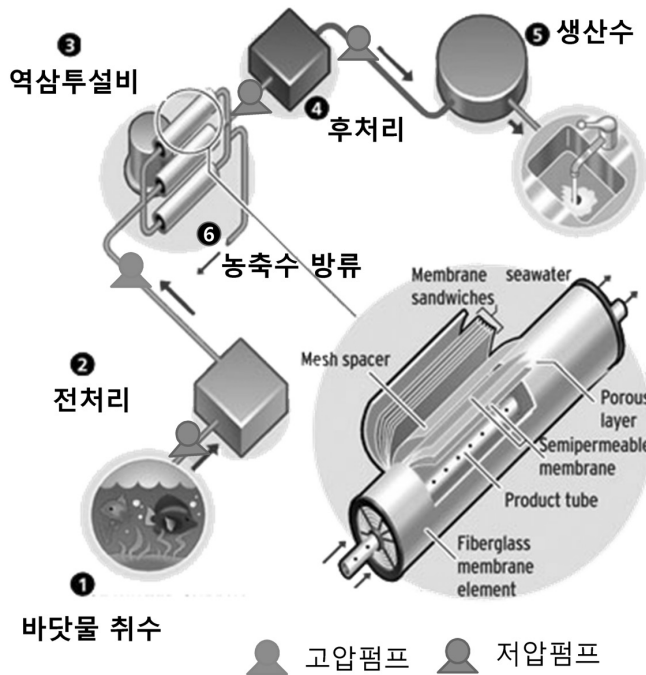
자료: GWI DesalData, 2012

역삼투 공정 원리

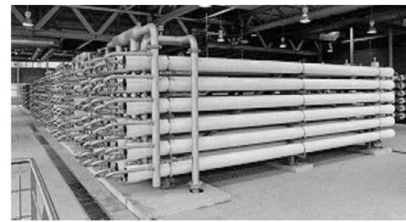


$$J_w = A(\Delta p - \Delta \pi)$$

SWRO 시스템



항목	소모 에너지 구성
Intake	5~8%
Pre-treatment	10~11%
RO system	70~72%
Post-treatment	5~8%
Other Facility	5~8%



Ashkelon SWRO Plant, 이스라엘
(320,000m³/day)

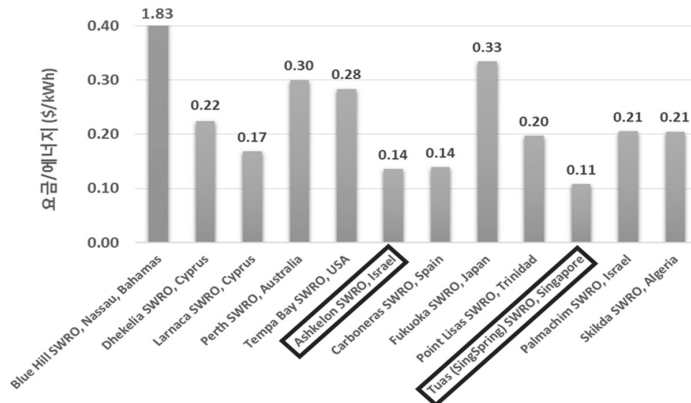
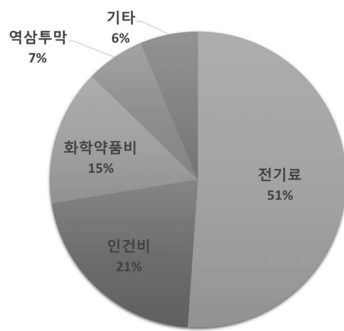
주요 SWRO 플랜트 운영현황 및 시사점

Project	용량 (m ³ /day)	물값 (\$/m ³)	에너지 (kWh/m ³)	유입수 (mg/L)	유출수 (mg/L)	운전압력 (Bar)	건설비 (Million \$)
Dhekelia SWRO, Cyprus	40,000	1.19	5.3	40,000	500	81 (single stage)	41 (1997)
Larnaca SWRO, Cyprus	54,000	0.76	4.52	54,000	500	70 (Two stage)	75 (2001)
Perth SWRO, Australia	143,700	1.2	4	36,500	30	60 (Two stage)	60 (2007)
Tempa Bay SWRO, USA	108,820	0.84	2.96	16000 - 32000	500	60 (Two stage)	158 (2007)
Ashkelon SWRO, Israel	326,144	0.53	3.9	40,679	300	69.3 (Two stage)	212 (2005)
Carboneras SWRO, Spain	120,000	0.57	4.08	39,000	500	65 (Two stage)	95 (2002)
Fukuoka SWRO, Japan	50,000	1.84	5.5	35,000	200	82 (Two stage)	110 (2005)
Point Lisas SWRO, Trinidad	119,000	0.71	3.6	29,000	85	60 (Two stage)	120 (2002)
Tuas (SingSpring) SWRO, Singapore	136,360	0.47	4.34	35,000	250	58 (Two stage)	116 (2005)
Hamma SWRO, Algeria	200,000	0.82	-	37000 - 40000	500	69 (single stage)	250 (2008)
Palmachim SWRO, Israel	110,000	0.78	3.8	40,233	300	67 (Two stage)	110 (2007)
Skikda SWRO, Algeria	100,000	0.73	3.56	39,332	450	66.1 (single stage)	110 (2008)
Barge-Mounted SWRO, Jeddah, Saudi Arabia	26,000	2.27	-	45000	30	67 (Two stage)	108 (2008)

해외 주요 해수담수화 플랜트에서 생산되는 물의 공급 가격은 다양한 건설/운영 조건 및 해당 지역의 지원 정책에 따라 결정

자료: 고려대 홍승관 교수

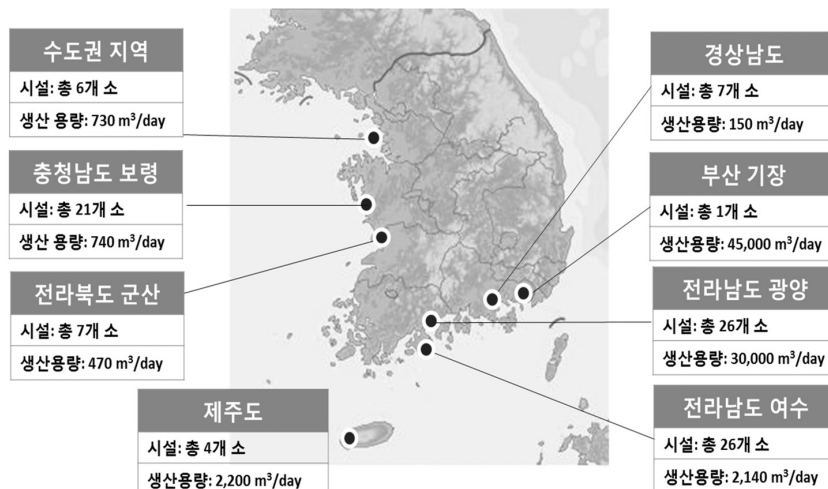
SWRO 비용분석 및 생산수 요금



- O&M 비용 중 전력비가 전체의 절반 차지 → 생산 원가가 소비 전력 비용에 큰 영향을 받게 되는 구조
- 생산요금 대비 에너지 비율이 특정 국가 (이스라엘, 싱가포르)에서 매우 낮게 나타남
→ 물안보 확립을 위해 전력단가를 낮게 계약하는 등의 정책적 지원을 통하여 생산단가를 낮추는 방식 선택

자료: 고려대 홍승관 교수

국내 SWRO 시설 현황



- 『(도서지역) 농어촌·도서지역 식수원 개발사업』으로 도서지역에 해수담수화시설 건설 지원
 - 전국 22개 지자체 101개소(Q=7,906m³/일)
 - 39개소 K-water 수탁운영 중 (Q=1,915m³/일)

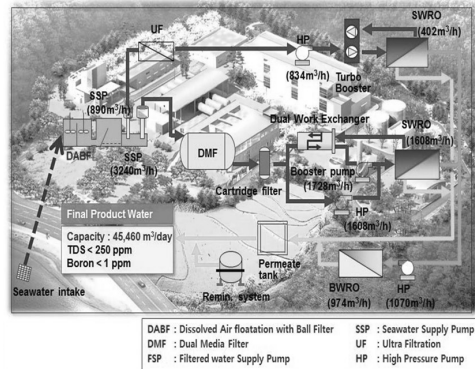
● (민간시설) 광양 동호안 해수담수 플랜트

- 사업비: 약 550억원
- 시설용량: 30,000m³/일
- 생산원가: 약 1,100원/ m³
- 사업형태: 민간투자사업(주관: 포스코 건설),
- SPC: 포스코 광양제철소와 용수공급 계약



● (R&D) 부산 기장 해수담수 플랜트

- 목적: 국토교통부 해수담수 테스트베드
(기장군 지역 생활용수 공급)
- 시설용량 45,000m³/일
- 기술개발 특징(총 연구비: 1,969억원)
 - ✓ 세계 최대 드레인 8MIGD급
 - ✓ VFD를 통한 기온차 극복 전략 수립
 - ✓ 펌프효율 85% 이상(세계 2위)
 - ✓ 16in, 36,000GPD 적용, RO 벅셀의 스플릿 파샬 설계 → 에너지 효율화



국내 해수담수화 추진방향

■ 해수담수화 도입 시급성

- 2020년 기준 용수부족이 예상되는 지자체는 전국 65개 지자체(생활용수 부족 50개, 공업용수 부족 26개, 이 중 11개 지자체는 생·공업용수 모두 부족)
 - ✓ 임해지역에 위치한 지자체는 31개로 전체의 48%를 차지
 - ✓ 산간지역에 위치한 지자체가 8개, 내륙 지역은 26개 지자체
- 용수부족은 점차 심화되어 2025년에는 전국 74개 지자체(생활용수 부족 60개, 공업용수 부족 32개, 18개 지자체는 생·공업용수 모두 부족)에서 용수부족이 발생할 것으로 전망

임해지역 용수부족지역
전망(2020년)



자료: 2025년 수도정비기본계획

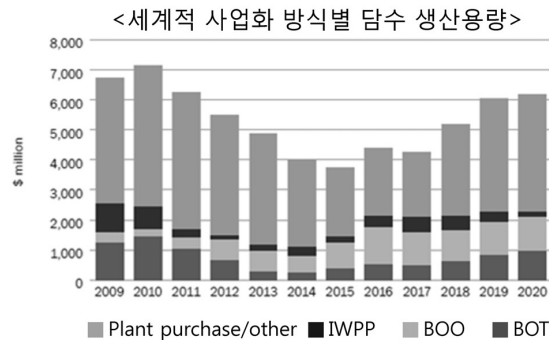
해수담수화 검토대상

● 검토대상 지역

- 수원이 없는 도서지역과 상습 가뭄 지역
- 물 사용량이 많은 임해산업단지
- 비상용수 확보와 시설확장으로 인하여 추가 용수공급이 필요한 지역
- 수도정비기본계획에 미반영된 신규 개발 가능지역

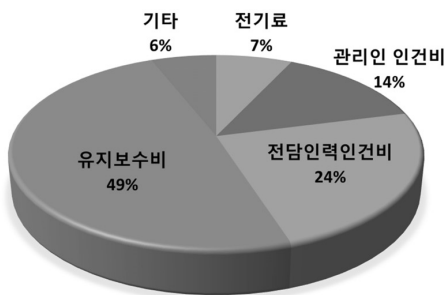
● 사업방식

- **재정사업**: 공공/민간 자본에 의한 시설 건설, 직접/위탁 운영(DBO, EPC, O&M 등)
- **민간협력사업**(Public Private Partnership, PPP) : BOT, BOO, IWPP* 등



* Independent Water & Power Plant(IWPP) : 민자발전 및 담수 플랜트

□ 도서지역 해수담수화 시설 운영 효율화



<소규모 담수화 시설 운영관리비 항목>

에너지원	MSF	MED	RO
태양열	○	○	
태양광			○
풍력			○
지열	○	○	○

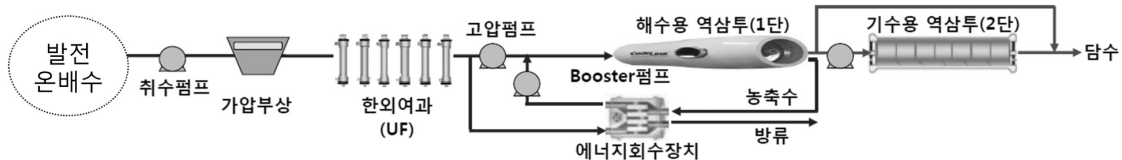
<활용가능 신재생 에너지원 및 담수화 기술 적용성>

- 현재 국내에 적용중인 소규모 해수담수화 시설의 생산원가는 지역에 따라 8,800원/m³에 달하는데, 인건비 및 유지보수비 항목이 73%를 차지.
→ IT기술을 통한 원격제어 및 자동화기술의 개발·적용을 통한 운영비 절감
- 지형적 특이성을 반영한 신재생 에너지를 이용하는 에너지 독립형, 송전망(그리드) 연계 최적화 해수담수화 시설 개발이 필요.

■ 비상용수 확보와 시설확장으로 인하여 추가 용수공급이 필요한 지역 – 발전소와 연계 가능지역

● 포스코 광양 해수담수화플랜트

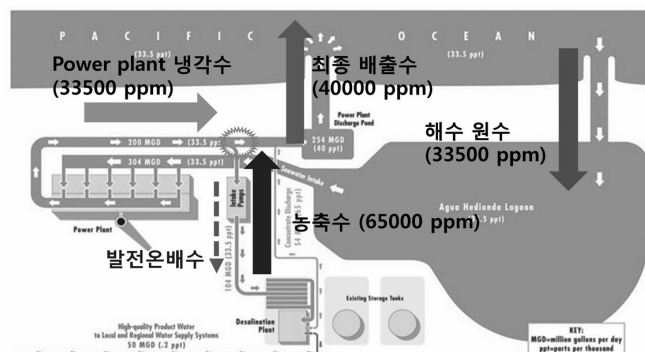
- 사 업 명 : 광양 동호안 해수담수화 용수공급사업
- 사업목적: 광양제철소 용수공급
- 시 공 사 : (주)포스코건설(O&M : 포스코건설 자회사 Blue)
- 사업방식: 민간투자사업(자체 PF사업) → 운영기간 30년
- 시설용량: 30,000m³/일(회수율 50~55%)
- 사 업 비 : 약 550억원(생산원가 약 1,100원/m³)
- 사업특징: SK E&S 발전소 온배수를 원수로 활용 → 건설비, 운영비 절감(에너지 사용량 0.2~0.3kWh/m³ 감소)
- 기술적용 : ISD 설계, Direct coupling



■ 기존 화력발전소 인근 지역

● 미국 캘리포니아 Carlsbad 해수담수화 플랜트

- San Diego에 위치한 미국 내 최대규모의 역삼투 해수담수화 공정 플랜트
- 처리용량: 380,000m³ 까지 식수 생산 가능
- 원수로 발전 온배수 사용, 저류조를 활용 → 원수수질 양호
- 발전소 냉각수와 RO 농축수를 5:1로 희석 배출 → 1.2배 수준으로 낮춰 해양 방류



● 국내 적용방안

- 가뭄심각지역인 충남서부권에 위치한 보령, 태안 화력발전소 등의 용수공급 용으로 적용
- 온배수 활용시 생활용수로는 공급 불가 → 공업용수만으로 사용
- 해수담수화 시설 도입에 따른 추가 취, 방류 영향평가 불필요

■ 신규 발전소 건설시

● 싱가포르 Tuaspring 해수담수화 플랜트

- 시설용량 320,000m³/일
- 아시아 최초로 가스터빈 화력발전소를 건설, 전력을 충당하는 방식으로 원가 절감을 추진 (IWPP 사업) → 해담플랜트 전력사용량 4.34kWh/m³, 물값 0.47\$/m³

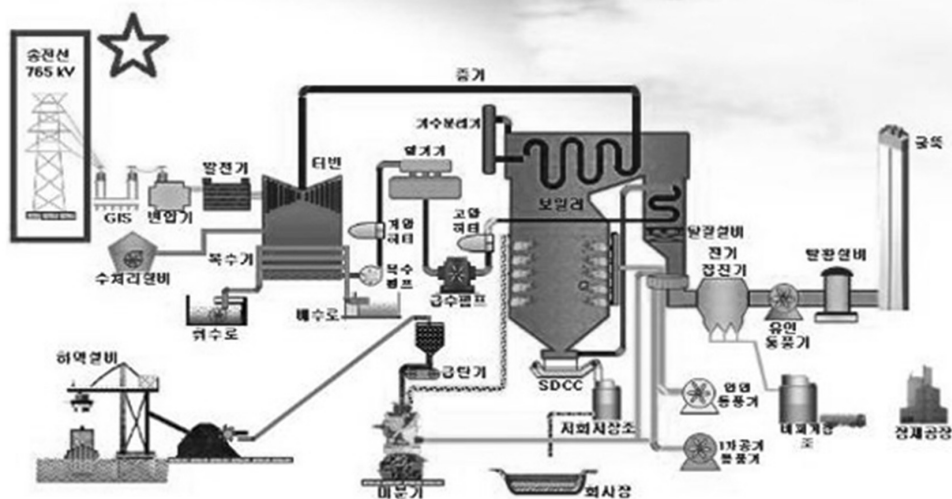


● 국내 적용방안

- 전력수급기본계획에 따라 건설계획이 수립된 화력발전소 대상(용수공급계획이 미수립되었거나 원활하지 못한 곳)
- 건설단계부터 RO 시설 운영전력량을 고려, 온배수 활용 → 운영비, 건설비 절감 가능
- 또는 전기 대신 증기사용계획을 반영시 RO 보다 MED 방법을 도입 가능 → 발전소 용수 중 약 25%를 차지하는 순수처리비용 절감 가능



● 화력발전 설비 계통도와 용수사용

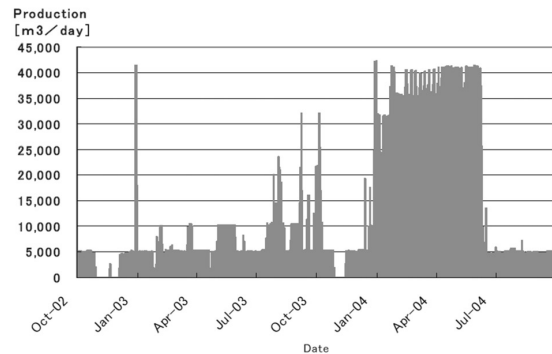


발전소	발전용량 (MW)	취수량	용수사용 비율(%)				사용량 (m ³ /일)
			순수	소내용수	살수	탈황	
A	4,000	15,026	24.0	20.8	4.2	50.9	13,968
B	4,000	14,952	22.4	14.5	6.5	56.6	14,943

가뭄 취약지역

일본 오키나와 해수담수화 플랜트

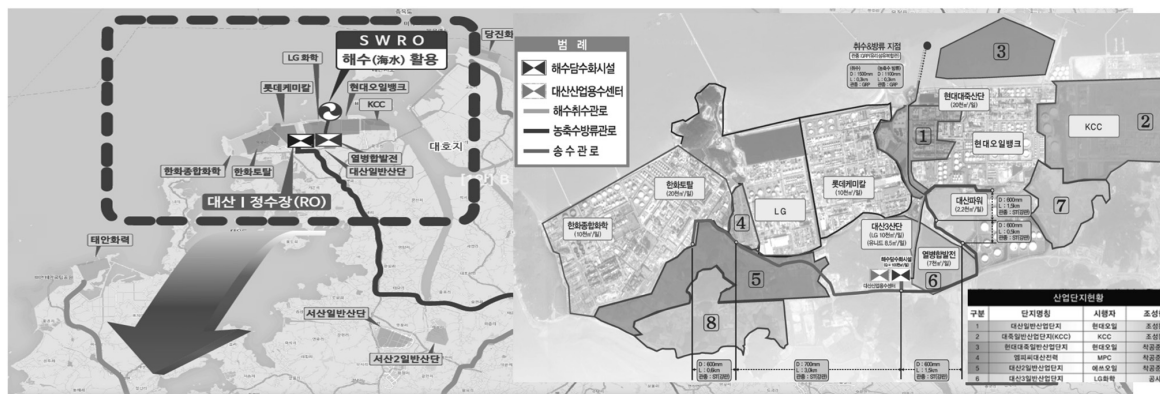
- 시설용량: 40,000m³/일
- 도입배경: 1972~1994년까지 23년간 14년에 걸쳐 1,130일의 급수제한
- 가동방법: 5,000~40,000m³/일로 계절적으로 가변운전
- 공급방식: 기존 정수 생산수와 블렌딩하여 공급
- 공정구성: 해수 → 침사지 → 압력식 모래여과 → RO(8기) → 배수지



국내 적용방안

- 대상지역: 강원도 속초 등 상습 가뭄취약 지역
- 가동방법: 갈수기인 2~4월 부족용량 기준 해수담수화 시설 설치 및 가동, 평상시에는 최소량 가동 또는 시설 운휴
- 처리공정: 강원도 지역의 경우 염지하수 취수시(TDS 5,000~20,000mg/L) → 전처리 설치비용 절감, RO 시설 운영비 절감 가능

K-water 해수담수화 사업 개발 계획



10만톤/일 공급 시설(2019년 공급 개시, 총사업비)

- 요구수질: 염소이온(10mg/L), TDS(100mg/L)
- 수 요 처 : 한화토탈, 한화종합, 롯데케미칼, LG화학, 대산 파워

사업 추진계획

국토부 방침(2월)

국고지원 Vs. PF(3월)

예타면제

타당성 조사 및
실시설계

물공급 안정화 확대대책

● 권역별 대규모 해수담수화 사업 MP 수립

- 무한 자원 해수 이용 권역별 광역상수도 공급량의 일정 비율 공급
- 충남 서북부 지역 공업용수 우선 추진

● 전국토 물공급 안정화 사업 기본조사 착수('16년 3월)

- 해수담수화 개발방안 검토 및 개발지역·물량 선정
- 공정계획 등 개발계획 수립 및 경제성 확보 가능한 사업모델 개발
- 원가절감 등 담수화 기술력 확보방안, 법·제도적 개선방안 검토



해수담수화 사업 주민 수용성 강화 방안[안]

■ 해수담수화 추진 사례 분석

● [Category I] 수자원량 절대 부족 지역

- (사우디아라비아) Ras al-Khair 시설(페르시아만), Jubail 등 27개 시설
- 생활용수의 50% 이상 해수담수로 충당
- (UAE) Abu Dhabi 등 8개 시설(해수담수화 시설 도입률 세계 2위)
- 생활용수의 90% 이상 해수담수로 충당
- (키프러스) Dhekelia, Larnaca 등 2개 영구적 시설 및 2개 부유상태의 시설
- 생활용수의 약 20% 충당, '16년까지 50% 충당 예정
- (싱가폴) Singspring, TuaSpring
- 담수, 재이용수, 해수담수화를 혼합이용, 해수담수화 용수수요 약 20% 충당

● 시사점

- 물 절대 부족으로 해수담수화 시설이 유일한 생활용수 급수 대안 → 주민 수용성이 매우 높음

● **[Category Ⅱ] 기후변화, 가뭄으로 수자원량이 부족한 지역**

- **(호주) 커널(Kernel) - 실패**
 - Energy Intensive, 환경파괴 / 재이용수 및 수자원 보존으로 선회
- **(영국) 벡톤(Beckton) - 성공**
 - 용수수요 증가 해수담수화 시행 / 바이오연료 사용, 가뭄시 가동 전제로 승인
- **(일본) 오키나와현, 후쿠오카 - 대안 시행**
 - 수년간 제한급수 등 수자원 부족 경험, 댐 건설시까지 해수담수화 대안 시행
- **(미국) 캘리포니아 해수담수화 플랜트 사업 - 성공**
 - 사업기획 ~ 가동까지 18년 소요 (사업전반 사전 협의 후 시행)

● **시사점**

- 사업 추진과정에 이해관계자 참여, 양방향소통, 투명한 정보공개 등 정책 결정의 투명성 및 Social trust하에 해수담수화 사업 성공적 추진 → 영국, 일본, 미국

■ **해수담수화 사업 주민 수용성 강화 방안(안)**

- **주민 참여방안 및 의사반영 계획 수립**
 - 지역주민 인식도 조사
 - 시민패널, 컨퍼런스 등
- **대체수자원 활용 가능여부 검토, 사업 관련자료 투명공개**
 - 수자원현황 및 신규수자원 확보 방안 검토
 - 해수담수화사업 추진 장·단점 및 현안이슈 등
- **정부, 관련 지방자치단체 등 관련부서 사전협의 계획 수립**
- **예비타당성 조사 및 환경영향평가 시행**
- **교육 및 홍보 방안**
 - 주부, 학생 등 맞춤형 교육 커리큘럼 개발, 시행
 - 홍보 리플렛 및 해수담수화 바로알기 Q&A 발간, 배포
 - 블로그, SNS, My Water 등 웹 기반 신속, 정확한 정보공개
 - 언론매체를 통한 적극적 홍보 및 긍정적 여론형성 노력

결론

- 우리나라의 기존 해수담수화 관련 정책은 기술개발 및 산업육성을 통한 해외 물산업진출에 초점을 맞춘 방향으로 추진.
- 기후변화로 인해 가속화되는 자연재해의 극복을 위하여 물안보적 측면에서 해수담수화 기술을 이용한 안정적인 수자원 공급이 전세계적으로 요구.
- 해외 물부족국가에서는 운영보조금의 지원, 담수화 생산수의 우선적 공급, 시설의 사용 전력에 대한 전략적 저가 공급 등의 정책으로 해수담수화를 통한 수자원의 확보에 총력.
- 국내에서도 극한 가뭄에 대비한 물안보측면에서 해수담수화시설에 대한 다각적인 검토 및 적극적인 도입이 필요하며 지속적인 연구투자 와 기술혁신으로 해수담수화비용 저감 및 이를 통한 해외 물산업 진출의 교두보를 확보.
- 담수화 시설 생산수의 사용자와의 공청회, 수질분석 강화 및 정보 공개 등의 소통을 통하여 주민 수용성 확보 노력 필요.



감사합니다