



국내외 해수담수화 운영과 기술개발 현황

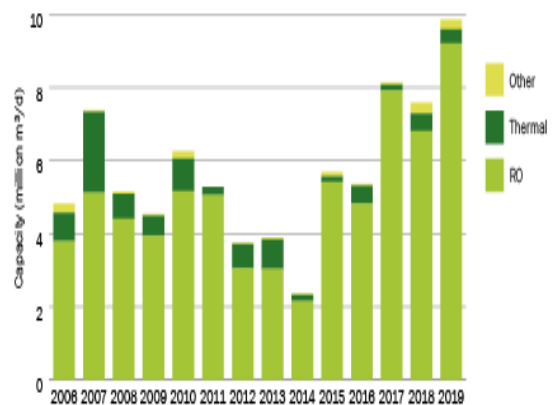
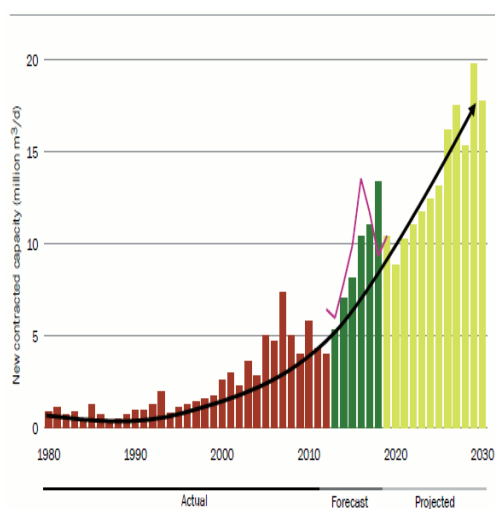
광주과학기술원 글로벌 담수화 연구센터
김인수

INDEX

1. 세계 담수화 기술 현황
2. 국내 기술 현황
3. 선진국과 비교

1. 세계 담수화기술 현황

담수화 시장 예상



Global Water Market 2011, GWI

- 2030년 기준으로 담수화 시장은 약 2,000만 m³/일로 증가할 것으로 예측

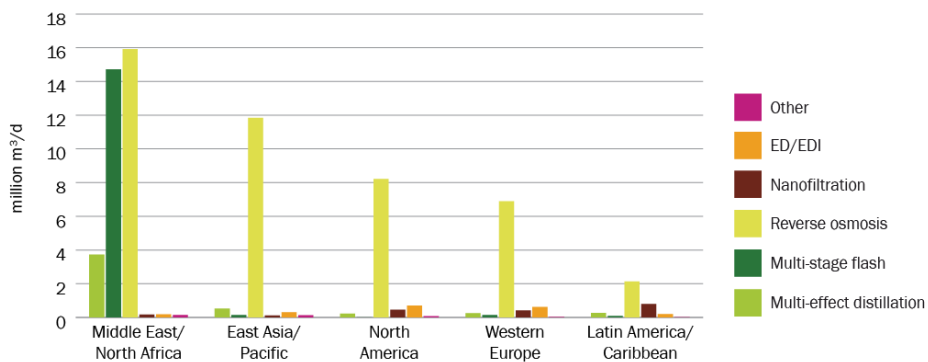
세계 담수화 시장 현황

Desaldata.com 참조



유입수별 담수화 공정 용량

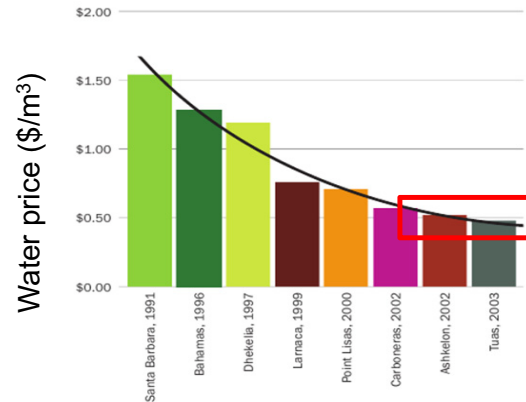
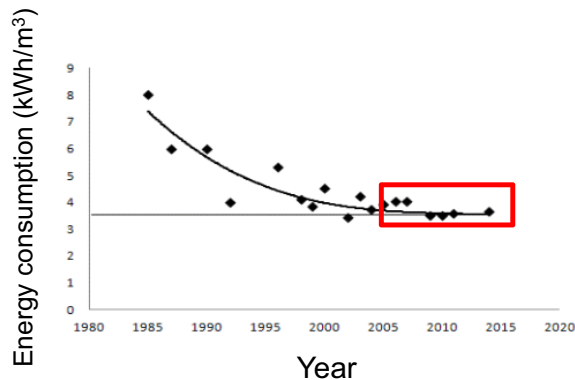
해수담수화 주요 시장 및 시장 선도 기술



지역별 담수화 기술 적용

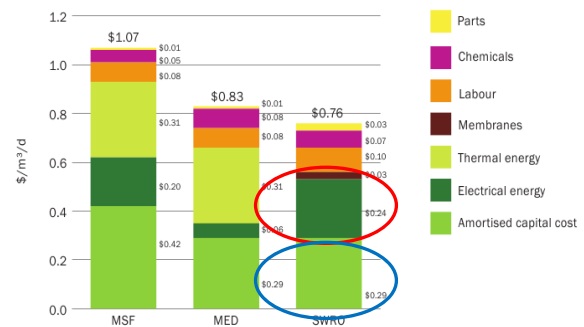
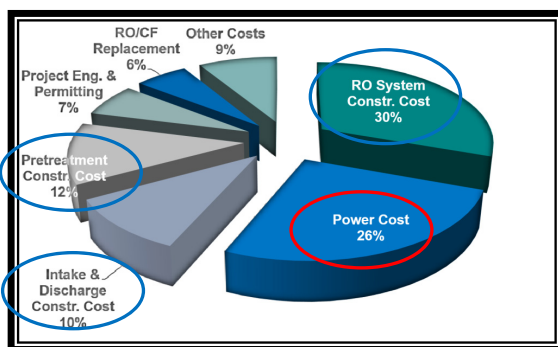
- **중동 및 북아프리카** 담수용량이 전체의 **약 50% 정도**
- **중동 및 북아프리카** 지역에서만 **증발식 발주**
- 세계와의 기술경쟁을 위해서는 **역삼투 공정기술이 필수**

평균 에너지사용량 및 세계 생산단가 변화 추이



- 에너지 소모율은 현재 3.5 kWh/m³ 까지 저감
- 유명 담수플랜트 생산수 단가 범위 : 0.5-0.75 \$/m³
- 0.48 \$/m³ 까지 저감

생산수 단가에 대한 O&M (에 너지) VS EPC



Source: GWI DesalData

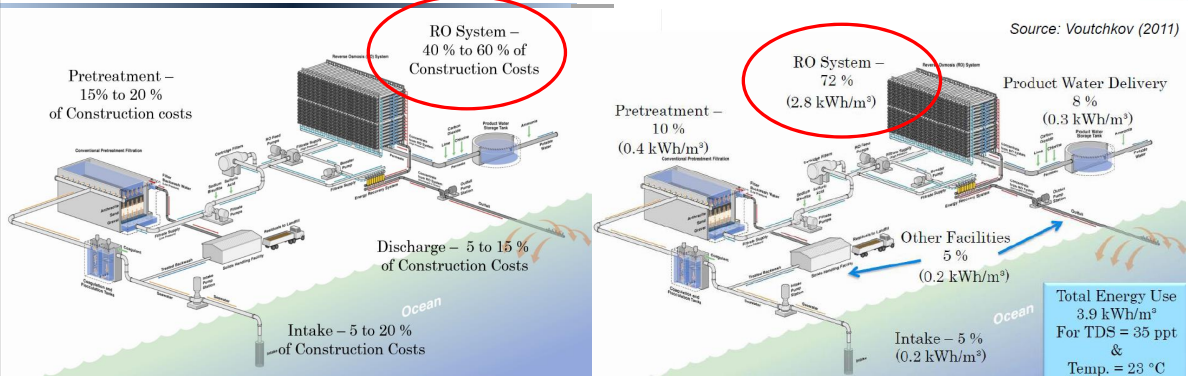
EPC : Power = 52 : 26

EPC : Power = 38.2 : 31.6

Voutchkov, N., How Much Does Seawater Desalination cost?,
Texas Innovative Water 2010, 참조

- 생산수 단가에 대한 에너지 비용과 EPC 비용 비교시 EPC와 에너지비용은 유사하거나 EPC 비용이 조금 더 비쌈

생산수 단가 저감을 위한 포인트



건설비의 구성

에너지 비용의 구성

- 역삼투 전체 공정에서 **역삼투막 트레인 단위공정**은 건설비용과 에너지비용의 **절대적 비중**
- 역삼투 트레인의 **건설비와 에너지 비용**은 트레인 설계 변화를 통해 절감가능

에너지 비용 절감을 위한 기술개발 방향

Design Parameter

Direction

1. High flux Membrane
 - Thin film
 - Large diameter
 - Nanocomposite

1. High flux Membrane
 - 17000 GPD
 - 16 inch & 18 inch (Koch)
 - NanoH2O (more than 13700 GPD)

2. New Membrane
 - CNT
 - Graphene
 - Aquaporin

2. New Membrane
 - Future oriented research

3. ISD design
 - Lowfouling & High-productivity

3. ISD design
 - Multi-membrane type

4. RO train unit
 - ERD
 - Split partial design
 - Pressure vessel with 8 elements

4. RO train unit
 - Max efficiency (↑ 98%)
 - reducing 2nd pass scale
 - increase of Recovery rate

2. 국내 기술 현황

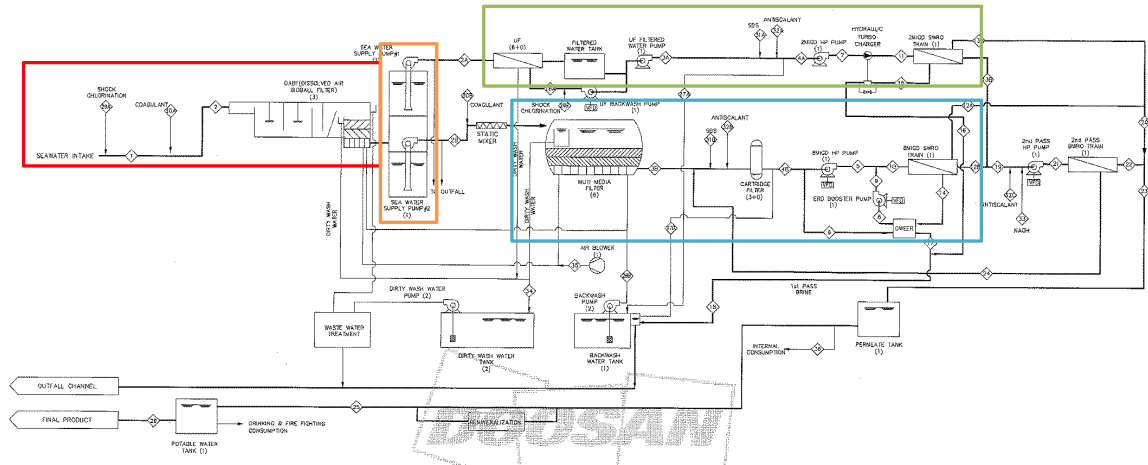
현재 국내 기술 수준 (부품효율성)

국내 기술력 (EPC 부품) - 해수담수화 플랜트 사업단

- 역삼투 공정의 기술력 (에너지) - 역삼투막, 고압펌프, 에너지 회수장치, 트레인 엔지니어링
- 역삼투막 : 9,000 GPD (8인치 기준, 세계 최고 9,900 GPD)
13,700 GPD (8인치 기준, 세계최고 17,000 GPD)
- 고압펌프 : 8.4 MIGD, 65 bar, 효율 85% 이상 (세계 최고 수준)
- 에너지 회수장치 : 효율 95% 프로토 타입

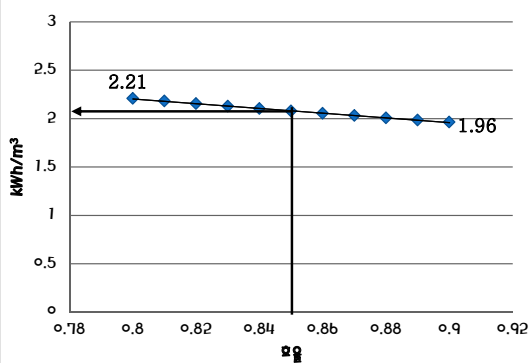


국내 기술 현황 기장 플랜트 P&ID 및 특성



- 자연유하식 인테이크
- 대형 펌프 적용으로 효율 극대화 (VFD 적용)
- 첫번째 계열 (DMF-DWEER-8 MIGD 고압펌프(VFD)- 트레인) : 에너지 최소화
- 두번째 계열 (UF-Turbocharger-4MIGD급 펌프-트레인) : ISOBARIC 으로 적용
에너지 효율성 개선 여지 있음

8 MIGD 트레인 에너지소모율 추정



효율 1% 추가 달성시 약
0.025 kWh/m³ 감소

가정 1. 펌프효율이 모터동력까지 모두 포함된 모든 효율의 합
가정 2. 유량 8MIGD, 압력 65bar의 고압펌프 (해수담수화플랜트 사업단)

- 85% 효율시 2.085 kWh/m³
- DWEER 효율 95%, 회수율 48% : 4 bar 추가 필요
Booster Pump 효율 83% 가정 : 0.146 kWh/m³

- 이론적 8 MIGD RO 트레인의 에너지 소모 : 약 2.231 kWh/m³

2 MIGD & 취수펌프 에너지 소모율 추정

- 일반적인 펌프 공식을 적용하여 계산 : 4 MIGD 급 83% 효율 가정
- 터보차저의 효율을 75%로 가정 할 경우
- 이론적 2 MIGD 트레인의 에너지 소모 : 약 3.5 kWh/m³

- 총 2대가 운영: 17.29, 4.2 MIGD 83% 효율, 양정 30 m가정
(지하 15 m 이하에서 급수, UF와 MMF는 고려안함)
- 17.29 MIGD: 322.24 kW
- 4.2 MIGD: 78.28 kW

- 해수 공급펌프 전력 소모율: 약 0.21 kWh/m³

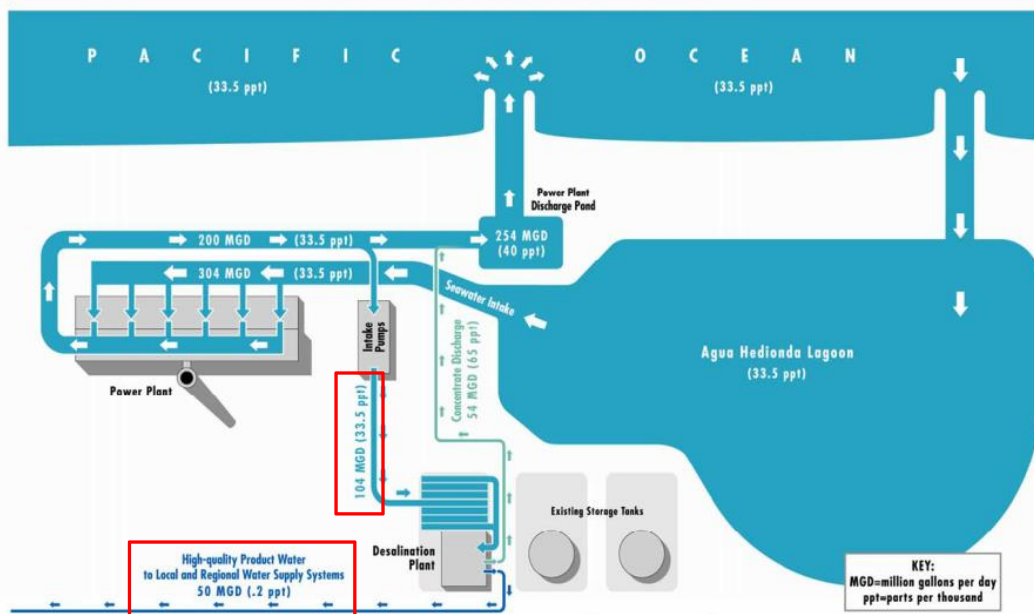
- 현재 기장플랜트의 경우 행정동 운영까지 포함된 모든 전력을 포함하여 3.7 kWh/m³ 내외임.
- 대략 기본적인 해수농도 33,000 mg/L 범위에서 3.5 kWh/m³이 현재의 설계 능력으로 판단



- 1,000 원/m³ 내외 (0.83 \$/m³, 1,200원/\$ 기준)

3. 선진국과 비교

칼스바드 설계조건



칼스바드 플랜트 펌프 목록 및 설계목표

Unit	Baseline Design - Power Use			High Efficiency Design - Power Use			Additional Costs for Premium Efficiency Equipment (US\$2008)
	(Hp)	Equipment Efficiency	Equipment Type	(Hp)	Equipment Efficiency	Equipment Type	
Key Treatment Process Pumps							
Power Plant Intake Pumps (Stand-Alone Operation)	3,750	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	3,750	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Seawater Intake Pumps	2,100	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	1,838	80%	Premium Efficiency Motors - VFDs	US\$0.7 MM
Reverse Osmosis Pumps	30,100	82%	Premium Efficiency Motors - No VFDs	30,100	82%	Premium Efficiency Motors - No VFDs	None
Energy Recovery System - Power Reduction	(7,550)	-25.1%	Pelton Wheels	(10,200)	-33.9%	Pressure Exchangers	US\$5.0 MM
Product Water Transfer Pumps	10,680	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	9,350	80%	Premium Efficiency Motors & VFDs	US\$3.4 MM
Pretreatment Filter Service Equipment							
Microscreen Pumps	150	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	150	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Ultrafiltration Vacuum Pumps	780	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	680	80%	Premium Efficiency Motors - with VFDs	US\$0.3 MM
Filter Backwash Blowers	400	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	400	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Backwash Pumps	160	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	160	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Backwash Equalization Basin Blowers	80	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	80	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
UF and RO Membrane Cleaning Systems							
Membrane Cleaning Pumps	30	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	30	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Scavenger Tank Mixing System	50	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	50	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Flush Pumps	150	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	150	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Cleaning Chemicals System	15	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	15	70%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Sewer System Transfer Pumps	15	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	15	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Chemical Feed Equipment							
Polymer Feed System	15	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	15	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Ammonia Feed System	30	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	30	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Lime Feed System	200	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	200	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Carbon Dioxide Feed System	30	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	30	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Sodium Hypochlorite Feed System	40	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	40	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Other Chemical Feed Systems	10	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	10	65%	High Efficiency Motors - No VFDs	None
Service Facilities							
HVAC	260	80%	High Efficiency Equipment	250	80%	High Efficiency Equipment	None
Lighting	120	80%	High Efficiency Equipment	120	80%	High Efficiency Equipment	None
Controls and Automation	40	80%	High Efficiency Equipment	40	80%	High Efficiency Equipment	None
Air Compressors	100	80%	High Efficiency Equipment	100	80%	High Efficiency Equipment	None
Other Miscellaneous Power Uses	250	80%	High Efficiency Equipment	250	80%	High Efficiency Equipment	None
TOTAL DESALINATION PLANT POWER USE	42,005			37,653			

GDRC Global Desalination
Research Center

EMBL
Environmental Membrane
Biotechnology Laboratory

칼스바드 플랜트 전력효율

- 펌프의 효율화 : 해수유입펌프, 생산수 송수펌프, UF 펌프 → VFD 설치
- ERD 효율화 : Pelton Wheels → Pressure Exchanger

- 기본설계 에너지 소모율 : 약 15.02 kWh/kgal (3.97 kWh/m³)



설계 효율화

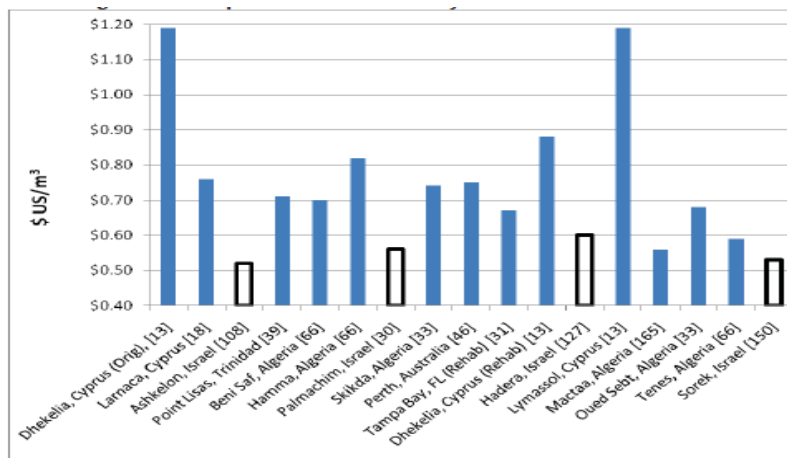
- 고효율 설계 에너지 소모율 : 약 13.49 kWh/kgal (3.56 kWh/m³)

- 트레인 설계 에너지 목표에 따르면, 2nd pass를 제외시 약 1.88 kWh/m³ 수준
- 2nd pass 포함하여 2.38 kWh/m³ 수준일 것으로 예상

GDRC Global Desalination
Research Center

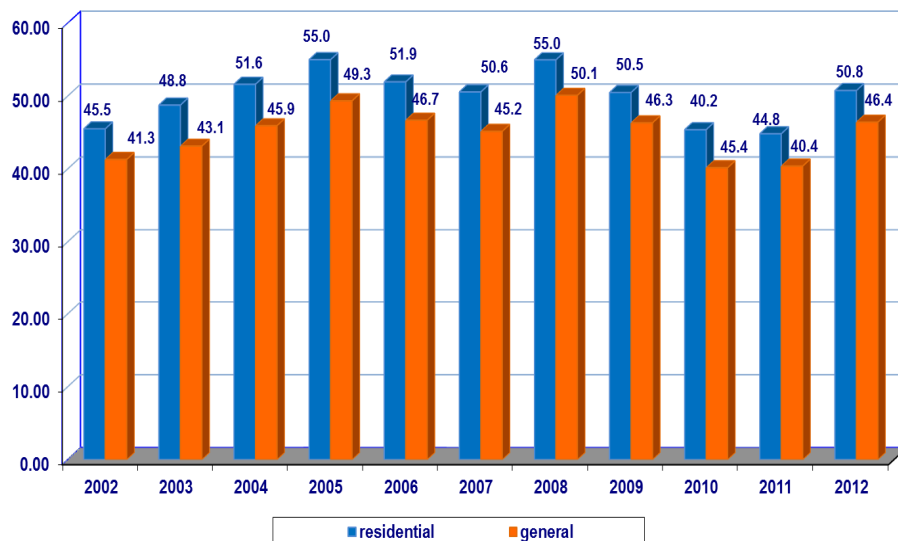
EMBL
Environmental Membrane
Biotechnology Laboratory

이스라엘 플랜트들의 생산수 단가비교



0.5 – 0.6 \$/m³ 범위로 세계 최고수준

이스라엘 전력비

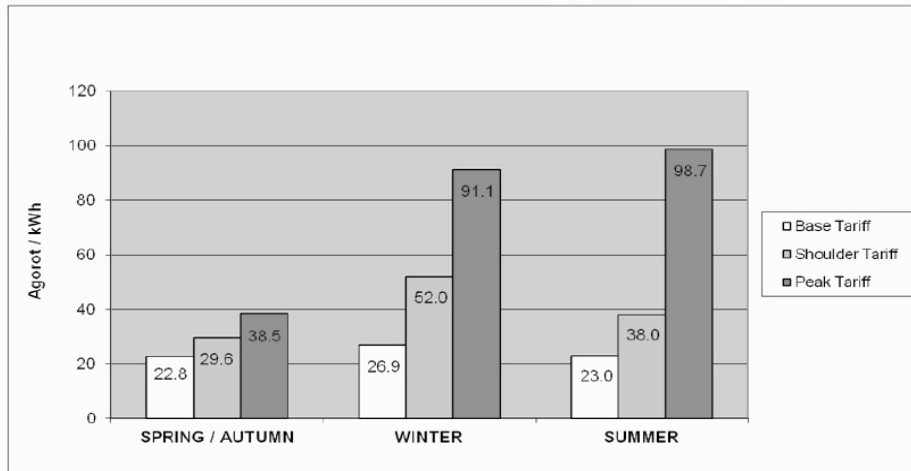


전기세 비교 (2007년 기준 환율 : 1 셰켈 = 220원, 2012, 13년 기준 환율 : 1셰켈 = 300원)

-한국 : 2007년 기준 57원/kWh, 2012년 기준 107원/kWh

-이스라엘 : 2007년 0.452 셰켈 (99.44원/kWh), 2012년 0.464 셰켈 (139.2원/kWh)

이스라엘 플랜트용 실전력비



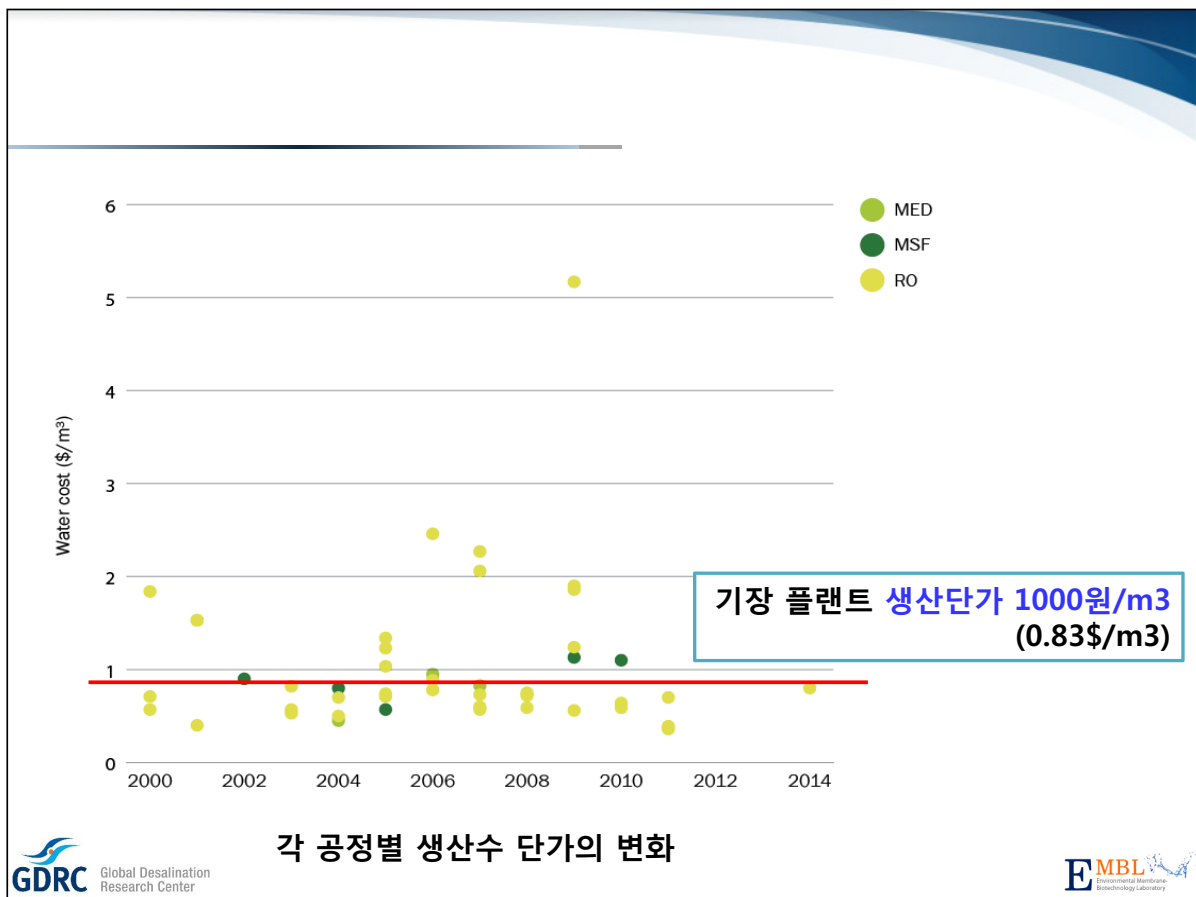
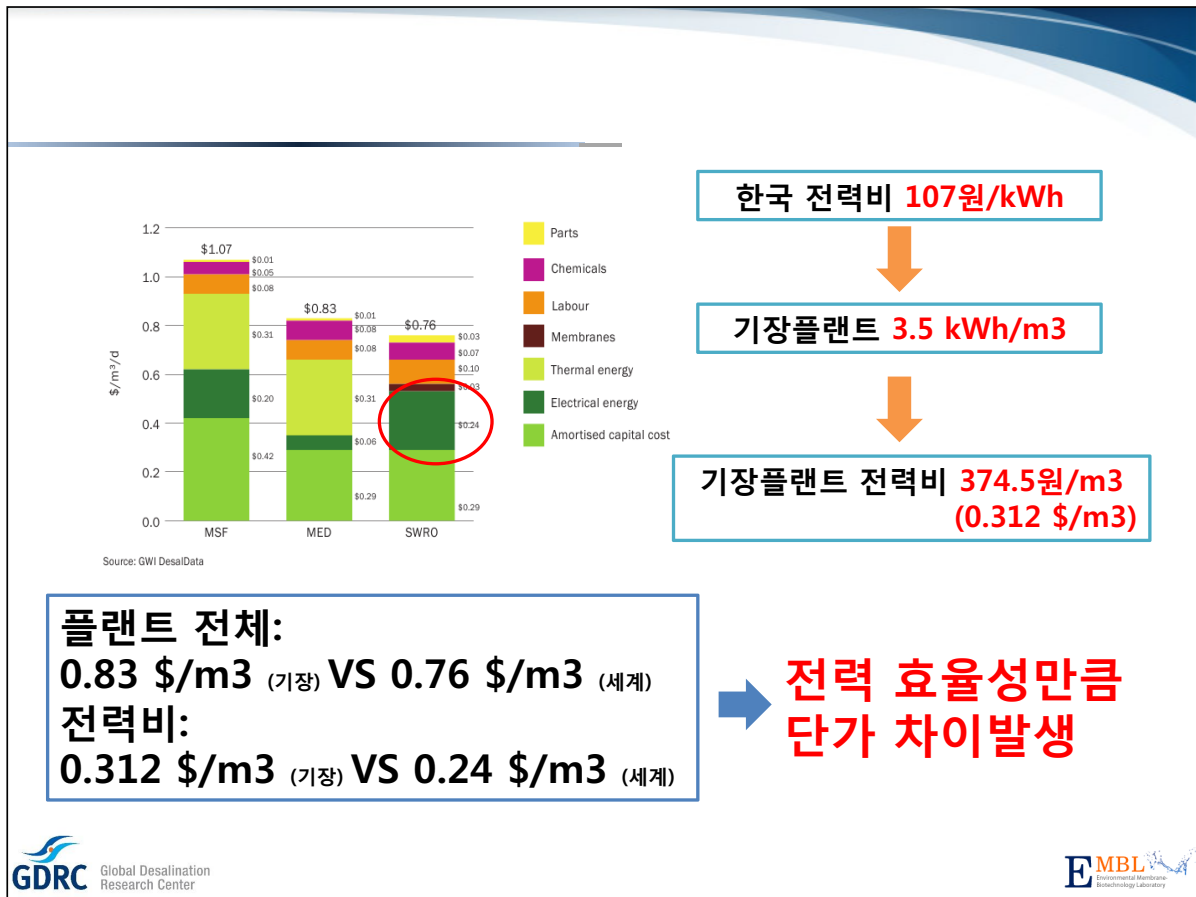
- During Peak Tariff at summer & winter:
Electricity cost per m³ > Income per m³

Yaran, E., "Operational experience at varying production capacities in the Hadera Desalination Plant", OMIS Water 발표자료 참조

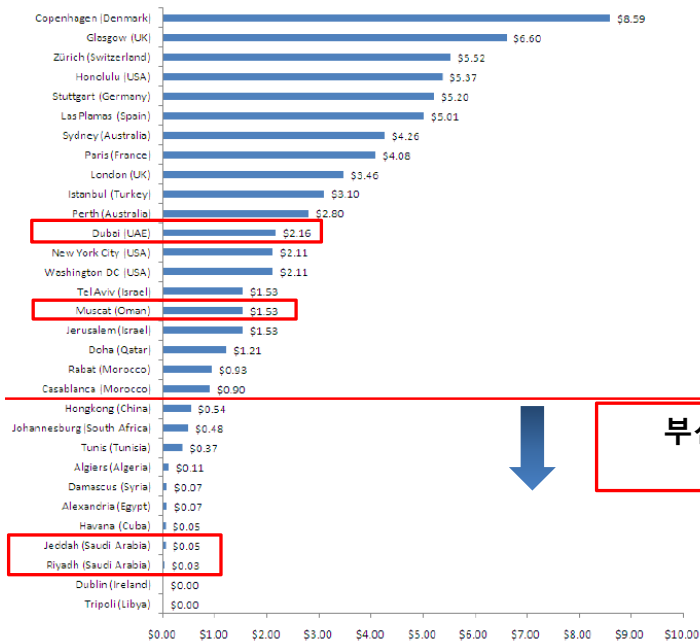
Mode Type	High Production Mode	Low Production Mode
When	Base & Shoulder Tariff Hours	Peak Tariff Hours
Production Flow Rate	19,500 m ³ /hr	7,500 m ³ /hr
Main Equipment in Operation	8 HP Pumps	2 HP Pumps (different types)
Operation Parameters	~70 bar RO Pressure ~50% Recovery	Low RO Pressure Low Recovery

생산수 단가를 줄이기 위한 노력

- 탄력적 운전 (전력비가 낮을 때 2.6배 생산)
- 펌프를 2개만 가동
- 회수율 50%로 증대
- 이것이 가능한 이유는 새로운 형태의 트레인 설계로 인한 것임 : 재래식 설계시 펌프 작동이 중지될 경우 물을 생산하는 것이 불가능



수돗물 값



부산 기준 생산단가 940원/m³
(0.78\$/m³)

Figure 6-10: Excerpt of global water tariffs, including water and wastewater tariffs
[GWI 2009 Water Tariff Survey]



감사합니다