

태양에너지 해수담수화 시스템 운전 성능

곽희열*, 윤응상**, 주문창***, 주흥진****

*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr), **한국에너지기술연구원(mcjoo@kier.re.kr)

한국에너지기술연구원(mcjoo@kier.re.kr), *인하대학교 대학원(joo@inhaian.net)

Operating performance of desalination system with solar energy

Kwak, Hee-Youl*, Yoon, Eung-Sang**, Joo, Moon-Chang***, Joo, Hong-Jin****

*Korea Institute of Energy Research(hykwak@kier.re.kr)

**Korea Institute of Energy Research(yoon@kier.re.kr)

***Korea Institute of Energy Research(mcjoo@kier.re.kr)

****Dept. of Mechanical Engineering, Inha University(joo@inhaian.net)

Abstract

This study was analyzed the long term performance of the demonstration system for solar energy desalination in Jeju. we used a solar thermal system as heat source of the single-stage fresh water generator with plate-type heat exchangers and a photovoltaic power system as electric source for hydraulic pumps.

The demonstration system was designed and installed at Jeju-island in 2006. The system was comprised of the desalination unit with daily fresh water capacity designed as 2m³, a 120m² evacuated tubular solar collector to supply the heat, a 6m³ heat storage tank, and a 5kW photovoltaic power generation to supply the electricity of hydraulic pumps for the heat medium fluids.

Through the operation during about 3 years, In a clear day more than 400W/m², the daily fresh water showed to produce more than about 500liter, and from January, 2007 to March, 2009 for 3 years, solar irradiance daily averaged was measured 370W/m², the daily fresh water yield showed that can be produced about 330liter.

Keywords : desalination system(해수담수화 시스템), evacuated tubular solar collector(진공관형 태양열 집열기), long-term performance(장기 성능), single stage distillation(1단 담수기)

1. 서 론

유엔 환경 보고서에 따르면 현재 세계 인구 중 3분의 1가량이 심각한 물 부족 상태에 처해 있으면, 안정적인 수자원 확보를 위한 국

가간 물 분쟁도 해가 갈수록 심각한 양상을 보이고 있다. 이러한 물 부족 문제를 해결할 수 있는 방안으로 가장 대두되는 것이 해수를 담수로 바꾸는 해수담수화 기술이다. 해수 담수화 공정에는 역삼투법(reverse

osmosis), 증발법(distillation), 전기투석법(electro dialysis) 등이 사용된다.

표 1 해수담수화 기술별 특성

구분	에너지 소비량 (kWh/m ³)	장단점
역삼투법	7	<ul style="list-style-type: none"> • 최근에 실적이 많음. • 증발법보다 에너지 소비량 적음. • 막의 내구성에 문제가 있음. • 해수 충분한 전처리가 필요함.
증발법	18~25	<ul style="list-style-type: none"> • 소중대규모 장치에 실적 많음. • 생산수의 순도가 높음. • 다중목적의 장치에 유리함. • 에너지 소비량이 많음. • 부식의 방지가 필요함.
전기 투석법	18	<ul style="list-style-type: none"> • 내압용기, 내압배관이 불필요함. • 온도변화에 대응이 용이함. • 에너지 소비량이 많음. • 대규모장치에 실적이 없음. • 해수담수화에 실적이 적음.

그러나 일반적으로 해수담수화 공정에는 많은 양의 에너지(열, 전기)가 염제거 공정에 소요된다. 따라서 해수담수화 공정에 사용된 에너지가 화석연료로부터 얻어진 것이라면 온실가스 배출이 더욱 심화될 것이며, 이에 따른 기후변화는 더 많은 물 부족을 야기하여 악순환이 계속될 것이다.

온실가스 배출 문제 및 물 부족 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법으로 청정 에너지인 태양에너지를 이용한 해수담수화 시스템이 한국에너지기술연구원에서 제안되었다. 태양에너지 해수담수화 시스템은 해수를 가열하는데 필요한 열은 중온용 고효율 진공관형 태양열 집열기로부터 얻고, 순환펌프 및 담수화 시스템에 필요한 전력은 태양광 집광판에 의해 작동된다. 따라서 태양에너지 해수담수화 시스템은 담수화 공정에 필요한 에너지가 화석에너지가 아닌 청정에너지인 태

양에너지만으로 작동됨으로 이산화탄소 배출이 0인 해수담수화 시스템이다.

앞서 언급한 태양에너지 해수담수화 실증 시스템은 한국에너지기술연구원 제주 월정기지에 설치되어 2005년부터 현재까지 가동되고 있다.

본 논문에서는 실증연구를 통하여 국내 최초로 실용화된 중온용 단일 진공관형 태양열 시스템과 태양광 PV 시스템을 이용하여 1단 증발식 해수 담수화 시스템(2톤/일)의 3년간의 장기 운전 성능 결과를 정량적으로 기술하였다.

2. 태양에너지 해수담수화 시스템

2.1 실증시스템

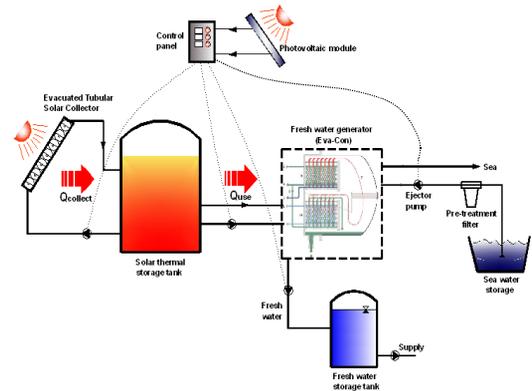


그림 1. 태양에너지 해수담수화 시스템 구성도

표 2 태양에너지 해수담수화 시스템 제원

품목	비고
진공관형 집열기	120m ²
추적식 PV 모듈	5kW
1단 증발식 담수기	관형 증발식 담수기 2 m ³ /day
축열조	5m ³
담수탱크	2m ³

태양에너지 해수담수화 시스템의 구성으로

는 열을 생산하는 태양열시스템(태양열 집열기, 축열조), 전력을 생산하는 태양광 발전시스템(PV array, 인버터, 축전지), 1단 증발식 담수기와 원격제어 및 모니터링 시스템으로 크게 구성되어 있다. 그림 1과 표2는 태양에너지 해수담수화 시스템의 구성도 및 주요 품목을 나타낸 것이다.

2.2 1단 증발식 담수기

태양에너지 해수담수화 시스템에 사용된 1단 증발식 판형 담수기는 진공용기, 증발기, 응축기 그리고 이젝터 등으로 구성되어 있으며, 중 대규모 선박에서 필요한 담수를 직접 생산하기 위하여 널리 보급 되고 있다.

해수담수기는 0-0.2[kg/cm²]의 진공 용기에 해수를 공급한 후 공급된 해수를 50-85℃ 정도의 온도를 가진 가열수로 가열하면 낮은 압력에서 해수가 증발이 되며, 이때에 생기는 증기를 응축시켜 담수를 생산하는 구조로 되어있다.



그림 2. 1단 증발식 판형 담수기

2.3 원격제어 및 모니터링

그림 4는 태양에너지 해수담수화 시스템의 원격제어 및 모니터링 화면을 나타낸 것이다. 개발된 모니터링 프로그램은 진동밸브와 펌프들의 동작 현황을 파악할 수 있도록 만들어 졌다. 그리고 컴퓨터에 의한 제어와 배전반 판넬에 의한 제어가 가능하도록 선택적

으로 제어가 가능한 기능을 가지고 있다. 이는 컴퓨터 제어시에 다운이나 기타 에러가 발생시에 이에 대처하기 위하여 자동으로 배전반 판넬 제어로 전환되게 설계되어 있다. 또한 정확한 태양열 집열량, 담수기 공급열량 및 생산 담수량의 평가를 위하여 유체 흐름부의 입출구 온도와 유량을 정밀하게 측정할 수 있도록 시스템을 설계 제작하였다. 원격 제어모드에서는 태양열 차온기 제어, 방열기 제어, 담수기 펌프제어, 동파방지 제어, 그리고 염도 제어를 쉽게 조절할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

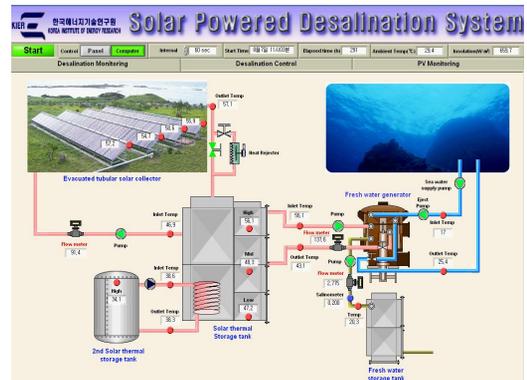


그림 3. 태양에너지 해수담수화 시스템 모니터링

3. 결과 및 고찰

태양에너지로부터 열과 전력을 공급받는 독립형 태양에너지 해수담수화 시스템을 국내 최초로 한국에너지기술연구원 제주 월정기지에 설치하였으며, 약 3년간의 걸친 장기운전을 통하여 천재지변(낙뢰, 태풍 등)에 의한 시스템의 안정성과 내구성 측면에서 제어 시스템이 수정되었고, 해수담수화 시스템의 장기 운전 성능을 분석 하였다.

3.1 해수담수화 시스템 일일 운전 성능

그림 4는 2009년 3월 8일의 제주월정기지에서 측정된 일사량 및 축열조 온도 분포를 나타낸 것이다.

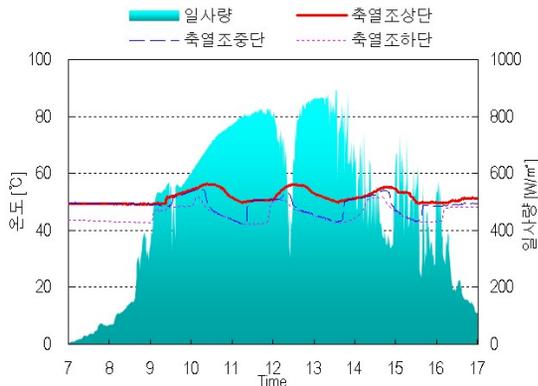


그림 4. 2009년 3월 8일 일사량 및 축열조 온도 분포

2009년 3월 8일의 일일 평균 일사량은 444W/m²으로 비교적 청명한 날이었으며, 외기온도는 28.8℃로 측정되었다. 그림에서 보듯이 일사량이 높아지는 오전 9시부터 축열조의 온도가 높아지며 축열조의 온도가 55℃ 이상 되는 오전 10시 30분부터 축열조의 온도가 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 담수기의 온수 공급 조건으로 축열조의 상부 온도가 55℃ 이상 되면 담수기에 온수를 공급하고 축열조의 중단 온도가 50℃이하로 떨어지면 담수기의 온수 공급이 중단 되도록 제어 조건을 설정하였기 때문이다. 본 논문에서 사용된 일사량 데이터는 담수가 생산된 일자에 대해서 일출에서 일몰까지를 평균하여 얻어진 값들을 사용하였다.

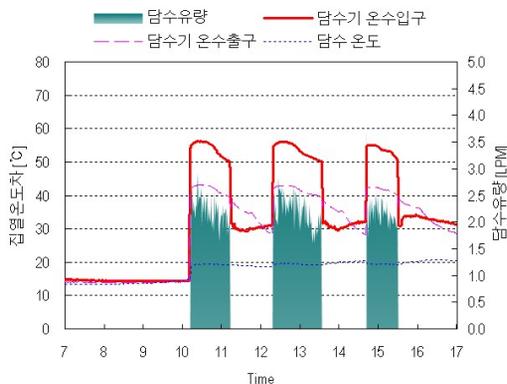


그림 5. 2009년 3월 8일 담수기 운전 성능

그림 5는 2009년 3월 8일의 담수기의 작동 상태를 나타낸 것이다. 앞서 언급한대로 축열조의 상단 온도가 55℃ 이상 되는 시점부터 담수기에 공급되며, 담수기에 55℃의 온수를 공급 하는 순간부터 담수가 생산되는 것을 알 수 있다. 담수기에 공급 되는 온수의 공급 온도가 낮아질수록 담수 생산량이 감소하는 것을 알 수 있다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 담수기의 ON OFF 현상이 발생하는 것은 태양으로부터 에너지를 획득하는 열량보다 담수기에 공급되는 열량이 많기 때문에 축열조 내의 온도가 담수기에 공급 할 수 있는 충분한 온도를 유지 하지 못하기 때문이다. 이러한 문제는 집열면적을 증대 시키면 담수기의 작동을 ON OFF 현상 없이 연속적으로 가동이 가능하다.

2009년 3월 8일 축열조로부터 담수기에 공급된 총 열량은 21,170 kW로 측정 되었다. 담수기에 공급되는 열량은 담수기 온수 공급 유량, 입출구온도와 공급되는 온수의 비열로 계산한 값이다. 3월 8일의 담수기 운전 시간은 총 186분이 가동 되었으며, 평균 1ℓ의 담수를 생산하기 위해 소요된 열량은 52.4 kW로 계산되었으며, 3월 8일의 일일 측정 담수량은 총 402ℓ로 나타났다.

3.2 해수담수화 시스템 장기 운전 성능

한국에너지기술연구원 제주월정기지에 설치된 태양에너지 해수담수화 시스템은 2006년 10월부터 시험 운전을 시작 하였으며, 약 3개월에 걸쳐 시스템의 최적의 제어조건 도출을 위해 안정성 테스트를 위한 시험 가동이 이루어졌으며 2007년 1월부터 태양에너지 해수담수화 시스템의 본격적인 가동이 시작되었다.

그림 6은 2007년 1월부터 2009년 3월 까지 제주월정기지에서 측정된 일사량 데이터 및 태양에너지 해수담수화 시스템에 사용된 단일 진공관형 집열기의 효율을 나타낸 것이다. 약 3년간의 걸친 장기 운전 및 제주도의

지역적 특성상 바람이 심하고 태풍 및 악천후의 영향을 많이 받음에도 불구하고 집열기의 효율은 일정하게 유지하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 약 3년간에 걸쳐 담수가 생산된 날의 평균 집열기 효율은 58%로 나타났다.

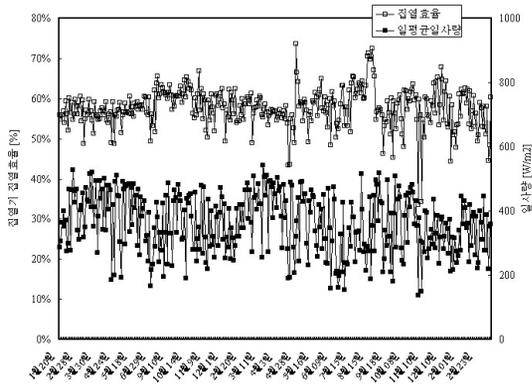


그림 6. 일평균 일사량 및 집열효율

그림 7은 2007년 1월부터 2009년 3월 까지 한국에너지기술원 제주월정기지에서 측정된 일평균 일사량 데이터 및 일일 담수량을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 담수 생산량은 일사량 데이터와 매우 밀접한 관계를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 일사량이 높은 날은 그만큼 집열기로부터 많은 양의 태양에너지를 획득하여 담수기에 공급하는 열량이 많기 때문에 담수 생산량은 많아진다.

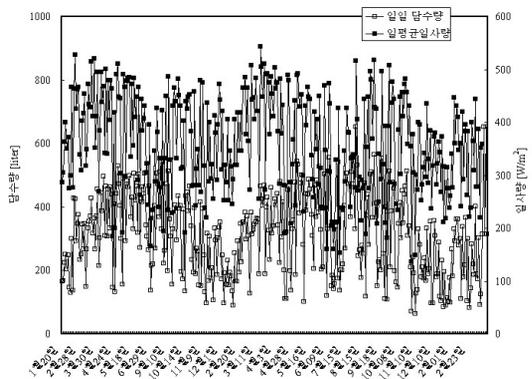


그림 7. 일평균 일사량 및 담수 생산량

3년간의 걸친 태양에너지 해수담수화 시스템의 운전 결과 예상 집열기 설치 면적시 고려한 제주월정기지의 평균 일사량 값인 500 W/m² 보다 제주월정기지의 평균 일사량이 20% 이상이 적은 약 370 W/m²로 낮아 태양에너지 해수담수화 시스템 설치 시 일일 담수 생산량 목표치인 500 ℓ에 못 미치는 평균 약 330 ℓ로 나타났다.

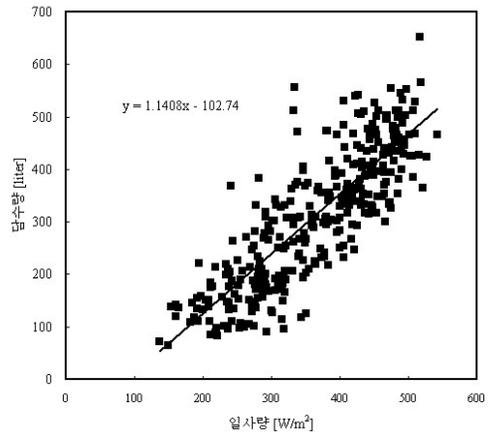


그림 8. 일사량에 따른 담수 생산량 관계식

그림 8은 제주월정기지에 설치된 태양에너지 해수담수화 시스템에 설치된 1단 증발식 실증시스템에 대하여 2007년 1월부터 2009년 3월까지 일사량에 따른 담수량 생산량 관계식을 나타낸 것이다. 일사량과 담수량에 대한 상관식은 $y=1.1408x - 102.74$ 로 나타났다. 그림에 나타낸 바와 같이 일사량이 증가하면 담수량도 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

태양에너지로부터 열과 전력을 공급받는 독립형 태양에너지 해수담수화 시스템을 한국에너지기술연구원 제주 월정기지에 설치하여 장기 운전해 본 결과 시스템 성능에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 국내 처음으로 제주 월정기지에 설치된 태양에너지 해수담수화 실증시스템의 3년간의 걸친 장기 운전 결과를 통하여 태양에너지 해수담수화 시스템에 최적화된 제어 및 설계기술이 확보 되었고, 장기운전을 통하여 시스템의 유용성과 안정성이 검증 되었다.

(2) 일평균 일사량이 400 W/m^2 이상으로 날씨가 화창한 날의 일일 생산 담수량은 약 500ℓ 이상으로 분석되었다.

(3) 2007년 1월부터 2009년 3월까지 약 3년여 간의 장기 운전 성능 결과 일일 담수 생산량은 평균 약 300ℓ 이상으로 나타났다.

(4) 약 3년여 간의 장기 운전 결과 일사량에 따른 담수량 생산량 상관식은 $y=1.1408x - 102.74$ 로 나타났으며, 담수 생산량과 일사량은 일사량이 증가하면 담수량도 비례하여 증가한다.

참 고 문 헌

1. 광희열 외, “태양에너지 해수담수화 시스템 실용화 연구”, 한국에너지기술연구원 보고서 KIER-A52416, 2005.

2. 광희열 외, “Evaluation of seasonal performance for single-stage desalination system with solar energy” SET2008,

3. Kwak, H. Y. et. al. 2007. KSES Fall Conference. pp55-60

4. 김정배 외, “태양에너지 해수담수화 실증”, 한국태양에너지학회 논문집, v.27 n.4 pp. 27-33.