

1단 증발식 해수담수화 시스템의 계절별 성능 평가

곽희열*, 주홍진**, 주문창***, 김정배****

*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr), **한국에너지기술연구원(joo@inhaian.net)
**한국에너지기술연구원(mcjoo@kier.re.kr), **충주대학교 에너지시스템공학과(jeongbae-kim@cjnu.ac.kr)

Evaluation of seasonal performance for single-stage desalination system with solar energy

Kwak, Hee-Youl*, Joo, Hong-Jin**, Joo, Moon-Chang***, Kim, Jung Bae****

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

**Korea Institute of Energy Research(joo@inhain.net)

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

****Department of Energy system engineering, Chungju University(jeongbae-kim@cjnu.ac.kr)

Abstract

This study was carry out evaluation of seasonal performance for the decentralized desalination system with the solar thermal system and the photovoltaic power system.

First operating demonstration system was set up in Cheju in 2006. These system comprises the desalination unit with designed daily fresh water capacity of 2m³ and is supplied by a 120m² evacuated tubular solar collector, a 6m³ heat storage tank, and a 5kW photovoltaic power generation supply the electricity for hydraulic pumps to move the working fluids.

In a spring season day average 392W/m², the daily fresh water showed to produce about 340liter. In a summer season day average 296W/m², the daily fresh water showed to produce about 328liter. In a autumn season day average 349W/m², the daily fresh water showed to produce about 277liter. In a winter season day average 342W/m², the daily fresh water showed to produce about 271liter.

Keywords : esalination system(해수담수화 시스템), evacuated tubular solar collector(진공관형 태양열집열기), seasonal performance(계절별 성능), single stage distillation(1단 증발식)

1. 서 론

이미 전 세계적으로 물 부족현상에 심각성을 느끼고 있고 지속가능한 수자원의 확보가 중요하게 인식되고 있으며 그에 따라 물산업은 21세기의 황금시장으로 인식되고 있는 추

세이다. 그에 대비한 해수담수화 기술은 생활용수 및 공업용수의 부족으로 인하여 야기되는 문제를 해결하기 위한 효과적인 기술이므로 관심을 가지고 연구·개발해야 한다.

담수화란 바닷물에 녹아있는 염분을 제거하여 사람이 먹고 사용할 수 있는 담수로 바

꾸어 주는 기술로, 염분을 제거하여 담수를 얻으므로 해수탈염(海水脫鹽)이라고도 한다. 담수화 공정으로는 역삼투법(reverse osmosis), 증발법(distillation), 전기투석법(electro dialysis) 등이 개발되었으며, 가장 간편하고 오래된 방법은 바닷물을 끓여 생긴 수증기를 응축시켜 담수를 얻는 방법인 증발법이다.

증발법의 기본 사이클은 지구상에서 발생하는 자연 현상을 이용한 것으로 해수면에서 증발한 수증기가 상승하여 대류권 상층부의 저온 분위기 중에서 응축하여 구름이 되고, 다시 비의 형태로 지표 또는 해수면에 떨어지는 현상을 공학적으로 응용한 것이다.(그림 1 참조)

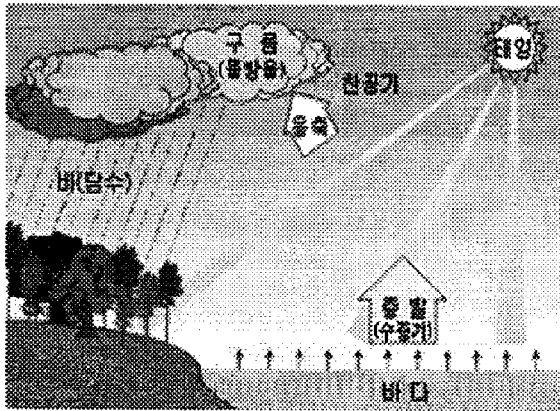


그림 1. 자연에너지를 이용한 해수담수화 공정

일반적으로 증발식 해수담수화 공정은 많은 에너지를 필요로 함에 따라 에너지 소비를 줄이는 것이 최대 관건인데, 해수 담수화 시스템으로 해수를 가열하는데 필요한 열은 중온용 고효율 진공관형 태양열 집열기로부터 얻고, 순환펌프는 태양광 집광판에 의해 작동되는 새로운 태양에너지 해수담수화 시스템이 제안되었다.

태양열 증발법은 해수를 담수화하는데 필요한 에너지를 태양열 집열기로부터 공급받는 친환경적인 담수화 장치로 직접법과 간접법이 있다. 직접법은 태양에너지를 모으는

집열기와 해수 증발기가 하나가 되어 있는 방식이며[그림 2], 간접식은 태양열시스템과 담수화 장치가 분리되어 있는 것으로 태양열 집열기에 모아진 열에너지를 MED나 MSF의 에너지원으로 간접 이용하는 방식이다.

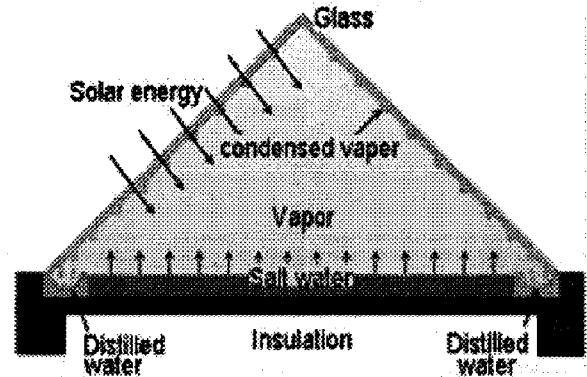


그림 2. 직접 증발식 해수담수화 장치 개념도

본 연구에서는 담수화 설비를 위해 펌프구동은 태양광 발전 시스템에 의존하고, 열원은 태양열 집열기에 의해 100% 공급받는 독립형 태양에너지 해수담수화 시스템 실증연구를 수행하였다. 실증연구를 통하여 국내 최초로 실용화된 중온용 단일 진공관형 태양열 시스템(집열면적 약 120m²)과 태양광 PV 시스템(5kW)을 이용하여 1단 증발식 해수담수화 시스템(2톤/일)에 대한 계절별 장기 운전 성능 결과를 기술하였다.

2. 태양에너지 해수담수화 시스템

태양에너지 해수담수화 시스템은 열을 생산하는 태양열시스템, 전력을 생산하는 태양광 발전시스템, 증발식 담수기와 원격제어 및 모니터링 시스템으로 크게 구성되어있다.

그림 3과 4는 태양에너지 해수담수화 시스템의 원격제어 및 모니터링 화면을 나타낸 것이다. 개발된 모니터링 프로그램은 전동밸브와 펌프들의 동작 현황을 파악할 수 있도록 만들어 졌다. 그리고 컴퓨터에 의한 제어와 배전반 판넬에 의한 제어가 가능하도록

선택적으로 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, 동과방지 제어, 그리고 염도 제어를 쉽게 조절할 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

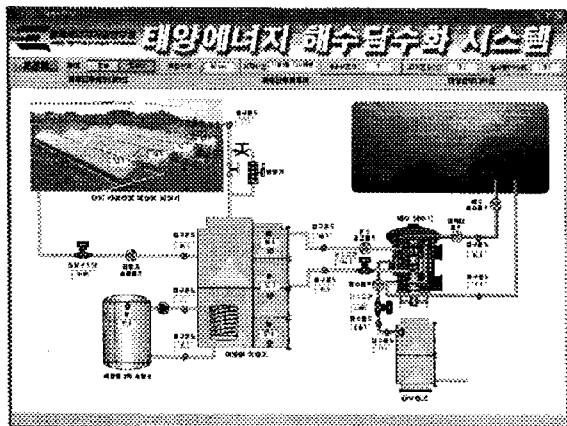


그림 3. 해수담수화 모니터링 화면

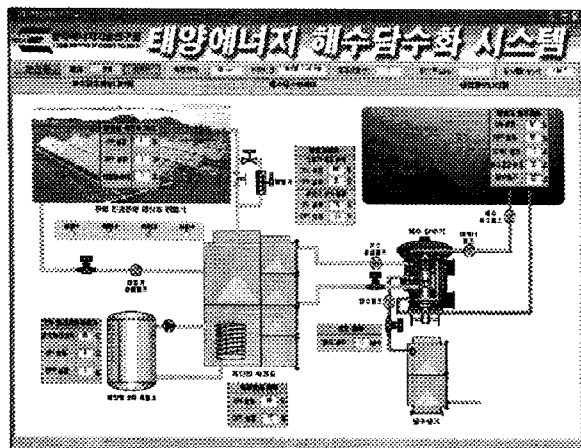


그림 4. 해수담수화 제어화면

3. 결과 및 고찰

3.1 계절별 태양에너지 해수담수화 성능

2006년 9월부터 제주월정 기지에서 운전을 시작한 태양열 해수담수화 시스템에서 2007년 1월 1일부터 2008년 3월 17일까지 계절별 장기 성능 및 결과를 정리하였다. 본 논문에서 사용된 일사량 데이터는 담수가 생산된 일자에 대해서 일출에서 일몰까지를 평균하여 얻어진 값들을 사용하였다.

본 연구에 앞서 태양에너지 해수담수화 시스템에 최적의 제어조건을 도출하기 위한 테스트 운전이 수행되었으며, 테스트 운전으로부터 선정된 가열수 공급온도 55℃, 공급중단 온도 50℃로 제어조건을 확립하여 1년 3개월 동안 실증 운전이 수행되었다.

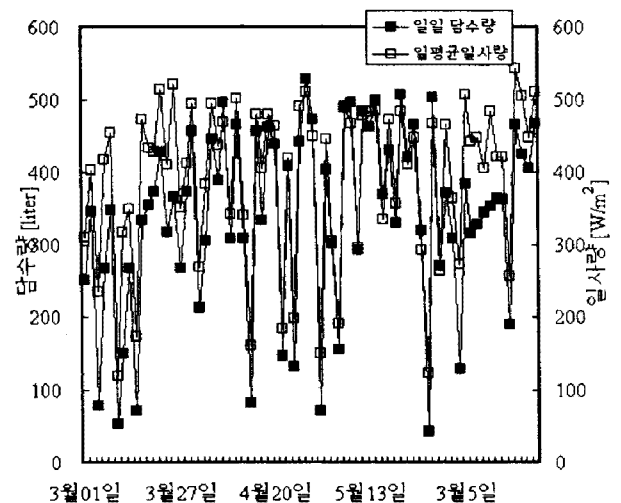


그림 8. 봄철 일일 담수량 및 일사량

그림 6은 2007년 3월 1일부터 5월 30일까지와 2008년 3월 1일부터 3월 17일까지 제주기지에서 측정된 봄철 일평균 일사량, 담수량을 나타낸 것이다. 봄철 제주기지에서 측정된 평균 일사량은 392 W/m² 으로 나타났다. 봄철 평균 일사량이 392 W/m² 일 때 담수 생산량은 약 340 l가 생산되는 것으로 나타났다.

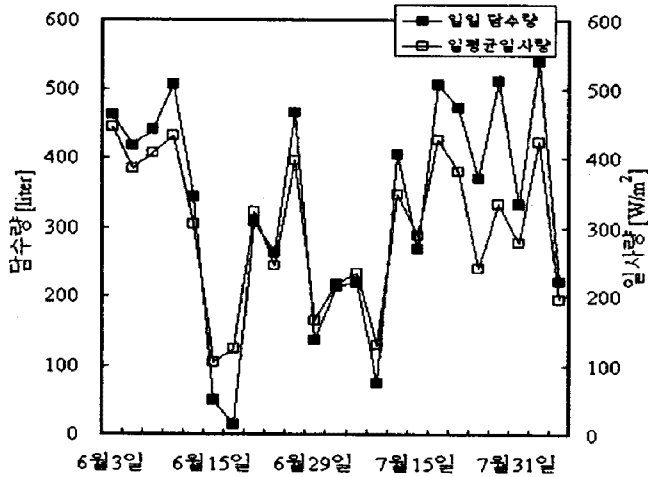


그림 10. 여름철 일사량 및 담수량

그림 7은 2007년 6월 1일부터 8월 30일까지 제주기지에서 측정된 여름철 일평균일사량 및 담수량을 나타낸 것이다. 여름철 제주기지에서 측정된 평균 일사량은 장마의 영향과 일사량계 설치경사각이 집열기 설치 경사각과 동일한 35°로 설치되어 일사량이 봄철 보다 낮은 296 W/m² 으로 나타났다. 여름철 평균 일사량이 296 W/m² 일 때 담수 생산량은 약 328 ℓ가 생산되는 것으로 나타났다. 봄철 보다 일사량이 적은 반면 담수 생산량은 봄철과 비슷하게 나타난 것은 외기 온도가 높아 축열조 및 집열기에서 열손실이 타계절에 비하여 매우 적으며, 또한 해수의 온도가 높기 때문으로 사료된다.

그림 8은 2007년 9월 1일부터 10월 30일까지 제주기지에서 측정된 가을철 일평균일사량 및 담수량을 나타낸 것이다. 가을철 제주기지에서 측정된 평균 일사량은 349 W/m² 으로 나타났으며, 가을철 평균 일사량이 349 W/m² 일 때 담수 생산량은 약 277 ℓ가 생산되는 것으로 나타났다.

태양열 해수담수화가 설치된 제주도의 경우 2007년 가을철의 경우 비교적 일사량이 높지 않아 담수 생산량이 봄철 보다 낮게 나타났다.

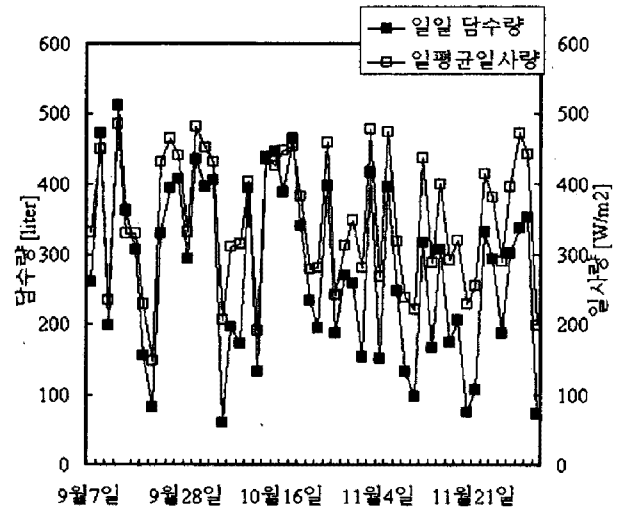


그림 12. 가을철 일사량 및 담수량

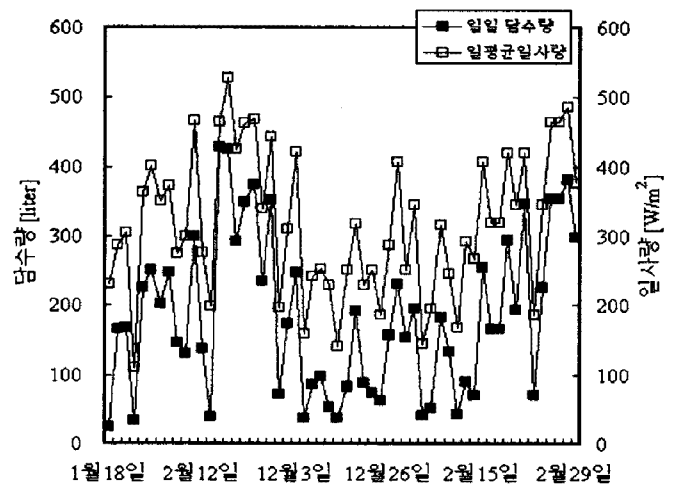


그림 13. 겨울철 일사량 및 담수량

그림 9는 2007년 1월 1일부터 2월 28, 2007년 12월1일부터 2008년 2월29일 까지 제주기지에서 측정된 겨울철 일평균일사량 및 담수량을 나타낸 것이다. 겨울철 제주기지에서 측정된 평균 일사량은 342 W/m² 이며, 겨울철 평균 일사량이 342 W/m² 일 때 담수 생산량은 약 271 ℓ가 생산되는 것으로 나타났다. 가을철과 겨울철의 경우 일사량은 여름철에 비해서 높은 반면 담수 생산량이 적게 나타난 것은 외기 온도가 낮아 축열조 및 집열기에서 열손실이 많으며, 해수의 온도가

낮기 때문에 사료된다.

표 1은 계절별 일사량에 따른 담수생산량을 관계식으로 나타낸 것이다. 표 1에서 Y값은 담수량이며, X값은 일사량을 나타낸다. 표 2는 관계식을 사용하여 계절별 일사량에 따른 담수량을 나타낸 표이다.

표 1. 계절별 일사량과 담수량 관계식

계절	관계식
봄	$y = 1.062x - 76.81$
여름	$y = 1.3966x - 86.126$
가을	$y = 1.2088x - 144.99$
겨울	$y = 1.0601x - 151.83$

표 2. 계절별 관계식에 의한 일사량별 담수 생산량

계절	일사량			
	200 W/m ²	300 W/m ²	400 W/m ²	500 W/m ²
담수량				
봄	136 ℓ	242 ℓ	348 ℓ	454 ℓ
여름	193 ℓ	333 ℓ	472 ℓ	612 ℓ
가을	97 ℓ	218 ℓ	339 ℓ	459 ℓ
겨울	60 ℓ	166 ℓ	272 ℓ	378 ℓ

3.2 연간 태양에너지 해수담수화 성능

그림 10은 2007년 1월부터 2008년 3월 17일까지 제주기지에서 측정된 일평균 일사량 및 담수량을 나타낸 것이다. 앞서 언급한대로 일사량 측정은 담수가 생산된 일자에 대해서 일출에서 일몰까지를 평균하여 얻어진 값들이다. 제주기지에서 측정된 연평균 일사량은 355 W/m²이며, 그에 따른 담수 생산량은 312 ℓ로 나타났다.

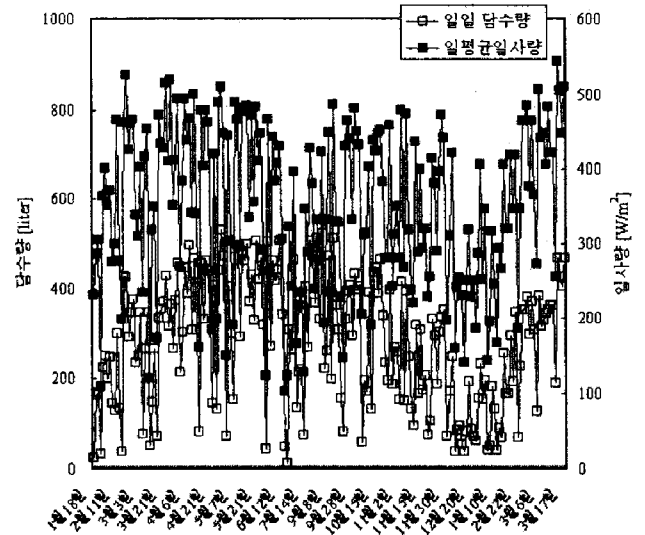


그림 15. 연간 일평균 일사량 및 일일 담수량

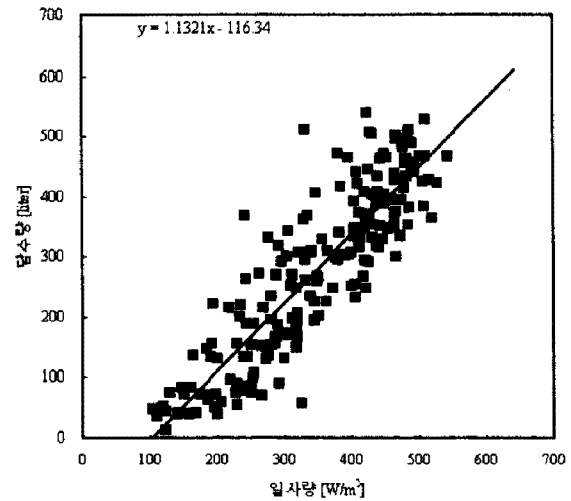


그림 16. 연간 일사량 및 담수량 관계식

제주기지에 설치된 예상 집열기 면적시 고려한 평균 일사량 500 W/m² 보다 제주 기지의 평균 일사량이 20% 이상이 적은 연평균 약 355 W/m²로 낮게 나타나므로, 담수 생산량은 목표치 보다 낮게 나타났다. 그림 11은 연간 일사량에 따른 담수 생산량 관계식이며, 설치된 1단 증발식 실증시스템에 대하여 일사량에 따른 담수화 시스템에서 측정된 담수량의 관계를 나타낸 것이다. 일사량과 담수량에 대한 관계식은 $y=1.1321x - 116.34$ 로 나타났다. 그림 11에 나타낸 바와 같이 일사

량이 증가하면 담수량도 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

표 3은 1단 증발식 담수기에 의한 연평균 일사량별 담수 생산량을 나타낸 표이다.

표 3. 관계식에 의한 연평균 일사량별 담수 생산량

일사량	200W/m ²	300W/m ²	400W/m ²	500W/m ²
담수량	136 ℓ	241 ℓ	348 ℓ	450 ℓ

4. 결론

태양에너지로부터 열과 전력을 공급받는 독립형 태양에너지 해수담수화 시스템을 한국에너지기술연구원 제주 월정기지에 설치하여 2007년 1월 1일부터 2008년 3월17일 까지 장기간 운전해 본 결과 시스템 성능에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 연평균 일사량이 355 W/m²일 때 담수 생산량은 312 ℓ로 나타났다.

- 계절별 담수생산량은 여름철의 경우 장마의 영향으로 일사량이 다른 계절에 비하여 적은 반면 담수 생산량은 외기온 및 해수의 수온이 높아 일사량에 따른 담수 생산량이 가장 높게 나타났다.

- 설치된 1단 증발식 태양에너지 해수담수화 시스템에서 일사량과 생산된 담수량에 대한 관계식은 $y=1.1321x - 116.34$ 로 나타났다.

참고문헌

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

2. 곽희열 외, “태양에너지 해수담수화 시스템의 장기성능 평가”, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 55-60, 2007

3. 김정배, 곽희열, “관형과 쉘튜브형 해수담수기의 열적 성능에 관한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회 2006.

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