

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 4, 2007

태양에너지 해수담수화시스템 실증

김정배*, 주흥진**, 윤응상***, 주문창****, 곽희열*****

*한국에너지기술연구원 태양열연구센터(doctorkjb@kier.re.kr), **인하대학교 기계공학과 대학원(20wind20@naver.com),

태양열연구센터(yoon@kier.re.kr), *태양열연구센터(mcjoo@kier.re.kr), *****태양열연구센터(hykwak@kier.re.kr)

Demonstration study on Desalination System using Solar energy

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

*Solar Thermal Research Center, KIER(Korea Institute of Energy Research, doctorkjb@kier.re.kr),

**Mechanical Eng. Dept. Inha University(20wind20@naver.com),

Solar Thermal Research Center, KIER(yoon@kier.re.kr), *Solar Thermal Research Center,

KIER(mcjoo@kier.re.kr), *****Solar Thermal Research Center, KIER(hykwak@kier.re.kr)

Abstract

In this research, to develop the practical application system of fresh water generation system with plate-type fresh water generator using low pressure evaporation method is the main object, and to do that, this study used the evacuated solar collector with operating range of about 50-85°C as thermal energy source and solar photovoltaic as electric energy source.

To achieve that object, this study set up the demo-plant, then estimated and analyzed the usefulness, the safety, and the reliability through pre-tests during short time ahead of the long-time operation.

This study showed that the pumps, which are including sea water supply, ejector, hot water supply, and fresh water pumps, were operated one after another. And, the fresh water yield was closely related with the solar irradiance and lower supply temperature of hot water was revealed more reasonable for the solar energy desalination system. That is due to the insufficient area than the solar collector area being required that was estimated through the performance tests of the fresh water generator.

Keywords : 태양에너지(Solar energy), 진공관형 태양열집열기(Evacuated tubular solar collector), 해수담수(Sea water desalination), 판형해수담수기(Plate type fresh water generator)

접수일자 : 2007년 9월 11일, 심사완료일자:2007년 10월 16일

교신저자 : 곽희열(hykwak@kier.re.kr)

1. 서 론

섬이 많은 서, 남해안 도서지방의 봄 그리고 여름철의 가뭄시기에는 식수 및 생활용수의 부족현상이 극심하고, 수산물의 가공용수도 부족하여 생활의 불편함은 물론 어민의 소득에도 상당한 악영향을 미치고 있다. 가뭄이 장기화될 경우 물 부족현상으로 관공선을 이용하여 물을 수송하고 있으며 제때 공급해주지 못할 경우 어로활동을 해야 할 어선들이 육지로 나가 물을 실어 와야 하는 어려움이 발생하게 된다. 이에 따라 도서지방 주민들의 물부족에 관한 어려움을 해결하고 생활환경 개선과 소득향상을 위해 청수를 저렴하게 생산할 수 있는 해수담수기의 개발이 절실히 요구된다.

해수를 청수로 만드는 방법으로는 최근에 개발되어 많이 보급되고 있는 역삼투식과 냉동법 그리고 증발법이 있는데 역삼투식 담수기는 구조가 복잡하고 운전이 어려우며 제작비가 비싸다. 또한 섬주민의 주거지에서 가까운 해변은 불순물이 많고 탁도가 높아 담수화하려면 삼투막(필터)의 잦은 교체가 요구되는데 필터가 고가이므로 경제성 측면에서 부적당하다. 냉동법은 저온에서 이루어지므로 외부와 열을 차단하여야 하고 얼음에 붙어 있는 해수를 분리하는데 어려움이 있다. 증발법중 상압증발 담수기는 증발온도가 높아 생산된 청수가 소독이 되는 장점은 있으나 연료비가 많이 든다. 그러므로 저압증발식 담수기가 적당한데 지금까지 제품화 상용화된 것은 소형과 대형의 선박에 이용되어 와서 용량이 관계없이 가열열원이 기관의 냉각수를 이용하였으며, 설비되는 장비 구조가 단순하고 운전이 편리하며 경제적이어서 저압증발식 담수기로 청수를 생산하여 왔다. 저압증발법을 이용하는 경우에는 증발속도가 빨라 고성능화가 가능하고 에너지 절약측면에서 경제적이다.

역삼투법, 증류법, 전기투석법 등은 고급에너지인 전기에너지를 이용하여 작동하여야 하므로 대부분 전기 공급이 용이한 장소의 담수화 설비로

적합하다. 반면 전기 공급이 부족하거나 없는 외딴섬, 산간지역, 사막 등에서는 청정하고 양이 풍부한 태양에너지를 이용하여 기존의 저압증발식 담수기에 필요한 열원은 태양열 시스템으로, 전력은 태양광 발전시스템으로, 열 및 전력을 자체 해결할 수 있는 maintenance-free한 소형 담수화 기술 개발 필요성 대두되고 있다.

본 연구에서는 최대 2.0 Ton/day의 용량으로 설계, 제작되어진 이젝터와 이젝터 펌프를 이용하는 판형 방식의 선박용 담수기에 시스템 근처의 바다에서 약 20m 떨어진 곳에서 천공하여 채취하는 해수를, 120m²의 설치면적을 가지는 단일 진공판형 집열기에 의하여 가열되어진 가열수를 해수의 증발을 위한 열원으로, 그리고 펌프들의 구동을 위한 전원을 위하여 설치된 PV셀을 이용하는 태양에너지 해수담수화 시스템의 실증시스템의 장기운전에 앞서 수행된 예비 성능평가 결과를 제시하고자 한다.

2. 실증시스템

2.1 실증시스템 설계 및 설치

본 연구에 적용된 판형 열교환 방식의 해수담수기는 그림 1에서와 같은 구조를 가지고 있다. 담수기 내부에는 두개의 판형 열교환기가 설치되어 있으며, 분리판에 의해 두개의 공간으로 분리되어 있다. 상부의 응축기로의 액체의 유입을 막기 위한 더미스터(Demister)가 설치되어 있으며, 하부의 열교환기는 증발기로 이용된다.

해수는 이젝터 펌프에 의해 응축기로 공급되면서 증기의 응축에 의해 온도가 증가하게 된다. 응축기에서 나오는 해수는 분지관에서 일부는 이젝터로 일부는 증발기로 유입된다. 증발기로 유입되는 해수는 가열수와 열교환하여 일부는 증발하여 증기가 되고 증발되지 못한 일부 해수는 담수기의 바닥에 고이게 된다. 증발된 증기는 더미스터를 거쳐 응축기에서 응축되고 담수 펌프에 의해 외부

로 나오게 된다. 응축기에서 나와서 이젝터로 분배된 해수와, 증발기에서 증발되지 못하고 담수기 바닥에 고인 해수 그리고 담수기의 상부에서 이젝터로 흡입되어 지는 증기가 혼합되어 이젝터를 통과하면서 담수기 내부의 압력이 진공상태를 이루게 된다.

전체 시스템의 설치는 한국에너지기술연구원의 제주분원에 설치하였다. 시작품으로 제작된 담수기의 최대 생산 가능한 담수량은 2.0 Ton/day이었다. 먼저 내부에 측정설비와 실내에서 운전이 필요한 부품들을 가진 기계실을 완성하였고, 중요한 핵심부품인 진공관형 태양열 집열기를 그림 2와 같이 4열로 설치하였다. 총 집열기는 과제 의 최초 목표 사양에는 약 60 % 부족하게 120m²의 집열면적을 설치하였고, 태양열 축열조는 기존의 태양열 축열조 시스템과는 달리 직접가열식(열교환기가 없는 방식)으로 6톤 용량으로 설치하였다.

담수 생산을 위한 해수담수기는 일일 약 최대 2Ton을 생산할 수 있는 판형 열교환방식의 담수기로 선정하였다.

집열기 순환 펌프는 약 100lpm 용량으로, 담수기로 온수를 공급하기 위한 온수공급 펌프는 약 150lpm의 용량으로 설치하였다.

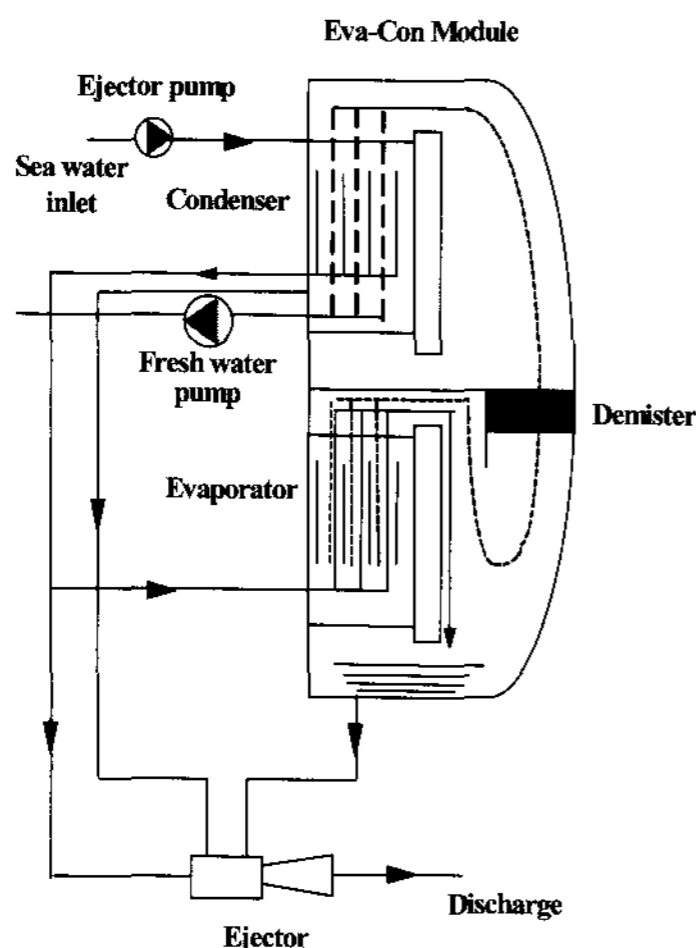


그림 1. 해수담수기의 구조

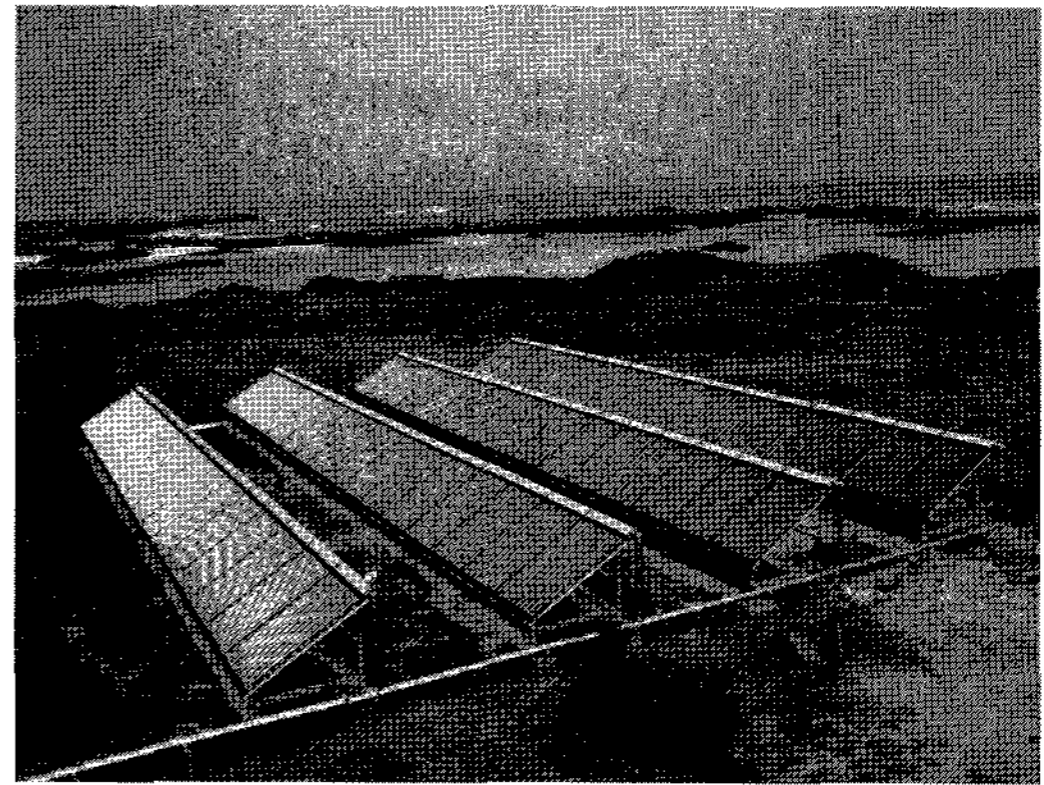


그림 2. 집열기 설치 사진

기계실 내부에는 이젝터 펌프를 제외한 나머지 펌프들과 태양열 축열조를 제외한 나머지 탱크들을 설치 하였고 해수담수기와 담수탱크를 또한 설치하였다.

태양광 PV에서 공급되는 전력은 초기에는 집열기 순환펌프와 온수공급 펌프 만을 고려하였으나, 집열기 측의 과열시 동작을 위한 제어조건을 고려할 때, 집열기 측의 방열기의 운전도 PV에서 공급할 수 있도록 설치하였다. 그리고 제어는 컴퓨터와 배전반에 의해 선택적으로 제어될 수 있도록 설치하였는데, 컴퓨터 전원의 문제시에는 바로 배전반 제어로 전환되도록 설치되었다.

network의 불안정을 해결하기 위하여 LAN선을 컴퓨터에 허브에서 직접 연결하지 않고 공유기를 이용하여 연결하였다.

설치된 태양에너지 해수담수화의 시운전은 먼저 각 구성품들의 운전 특성을 강제적으로 전원을 투입하여 조사하였다. 설비들의 정상 운전 여부를 확인 후에 앞에서 설명한 바와 같이 각각의 제어 모드별로 운전 조건을 설정하여 시운전을 하였다. 구성품들은 그림 3의 계측 및 모니터링 시스템에서 확인할 수 있다.

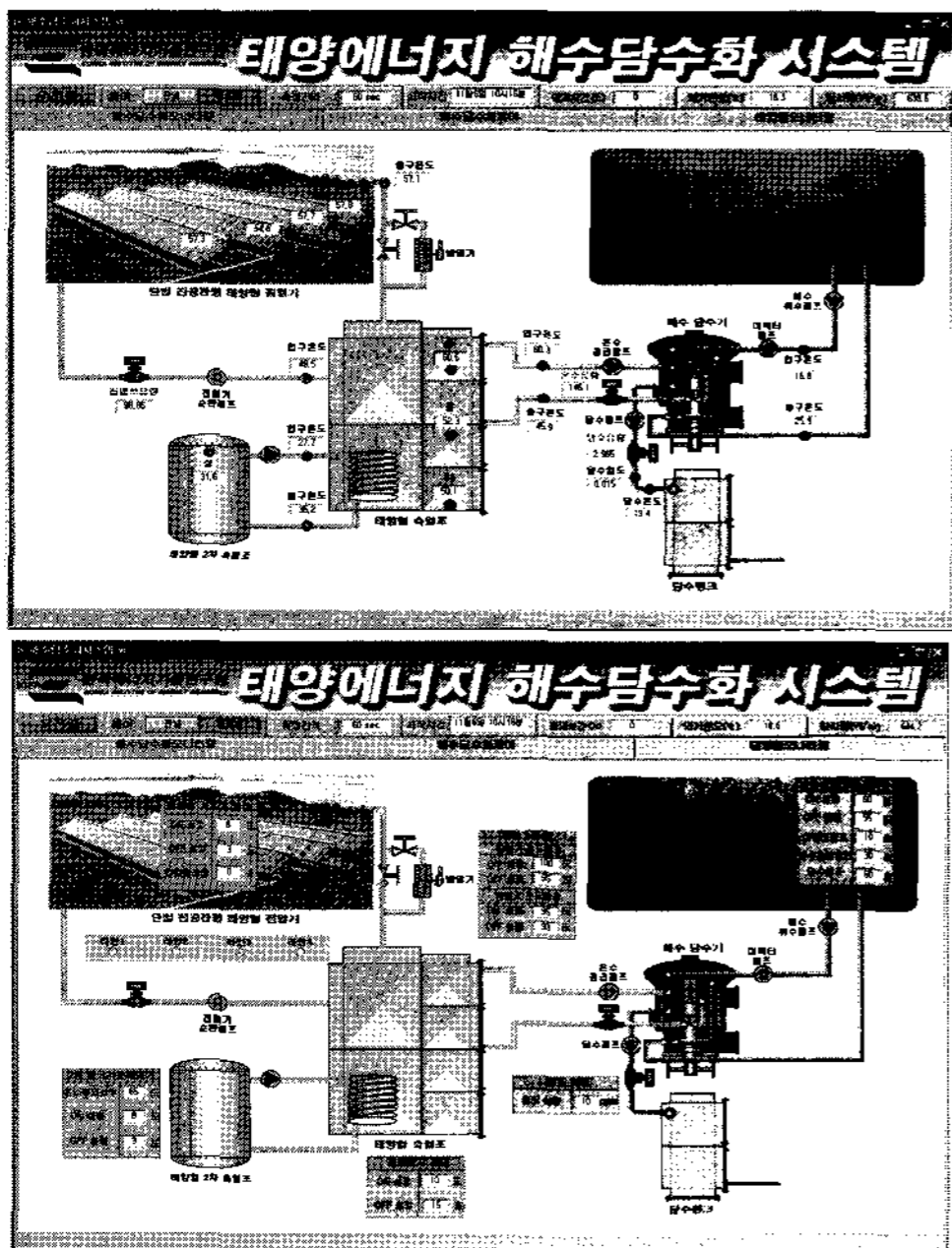


그림 3. 태양에너지 해수담수화 계측 및 제어 프로그램

2.2 실증시스템 계측 및 모니터링 시스템

태양에너지 이용 해수담수화 실증용 시스템의 운전 상태와 성능 측정, 제어 및 모니터링을 위해 열전대와 유량계를 설치하였다. 온도 센서들은 측정과 제어의 정도를 높이기 위하여 4선식 RTD 열전대를 이용하였으며, 유량계는 전자식 질량유량계를 이용하였다.

계측과 제어 프로그램은 그림 3과 같은 기존의 해수담수기 성능측정용 프로그램을 기준으로 하여 태양열 차온제어, 방열기 제어, 동파방지 제어, 담수기 펌프제어 및 염도제어로 적용하는 형태로 이루어졌다. 이를 위한 계측기는 전기적인 노이즈의 문제를 거의 야기하지 않는 YOKOGAWA사의 MX100 시리즈를 이용하였다.

3. 예비실험결과 및 고찰

예비운전은 실증시스템의 설치가 완료된 이후에 실시되었다. 또한 지하 염지하수로부터 취수

되는 해수의 염도는 일반 해수와 동일한 3% 수준이었다.

또한, 태양열시스템에 의해 축열되는 축열조 상단의 온도가 담수기로의 가열수 공급 온도에 도달한 이후에 해수 취수 펌프, 이젝터 펌프, 및 가열수 공급 펌프의 순차운전 시간을 펌프들의 안정적인 운전을 위하여 10초, 20초, 및 30초의 간격으로 순차적으로 펌프들을 운전하였다.

펌프들의 공회전을 방지하기 위하여, 이젝터 펌프가 동작한 이후 60초 경과 후에 시스템의 가열수와 해수 공급라인의 문제가 발생하는 것을 방지하기 위하여 해수 입출구 온도가 4℃ 이상 나지 않는 경우에는 전체 펌프들의 운전을 정지하도록 제어하였다.

일사량이 부족하여 설정된 가열수 공급온도에 도달하지 못하였으나 담수기를 운전할 수 있는 최저온도(혹은 가열수 공급중단 온도)보다 2℃ 이상 높을 경우에는 오후의 일정시간부터 담수를 생산하도록 하여 담수 생산량의 극대화가 가능하도록 제어하였다.

그림 4에서와 같이 먼저 예비시험 기간 동안의 일 평균 일사량과 측정 담수량의 경향은 매우 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 그림 5에서와 같이 나타내면, 일평균 일사량과 담수기에 의해 생산된 담수량은 선형적인 관계를 가지고 있음이 확인되었다. 제주 분원의 일 평균 일사량은 일기가 맑은 날의 경우에도 약 400W/m² 정도인 것으로 나타났다. 이러한 일사량은 설계시에 고려된 평균 일사량보다 약 10% 이상 낮은 수준이다.

담수기의 가열원으로 이용되는 집열기에서의 집열효율은 약 55% 정도인 것으로 나타났으며(그림 6 참조), 집열기에서 집열된 열량에 대한 담수기로 담수생산 시간동안 공급되어진 공급열량과의 비율을 그림 6에 표시하였다. 1보다 큰 값이 나타나는 이유는 운전 조건이 가열수 공급조건에 도달하지 못한 상태로 축열조에 열량이 축적되어 있는

량이 실제 운전일에 추가로 공급되어 진 열량인 것으로 나타났다.

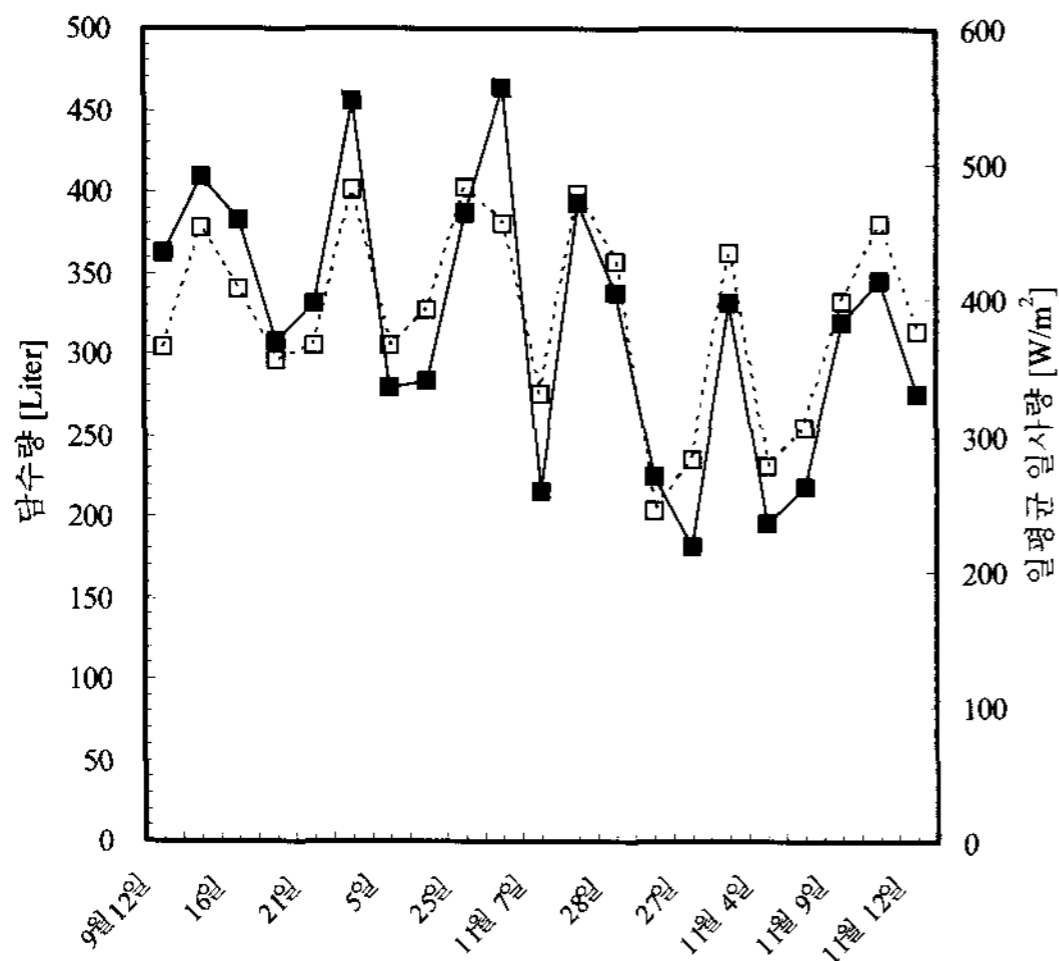


그림 4. 예비시험 기간동안 일사량과 담수량

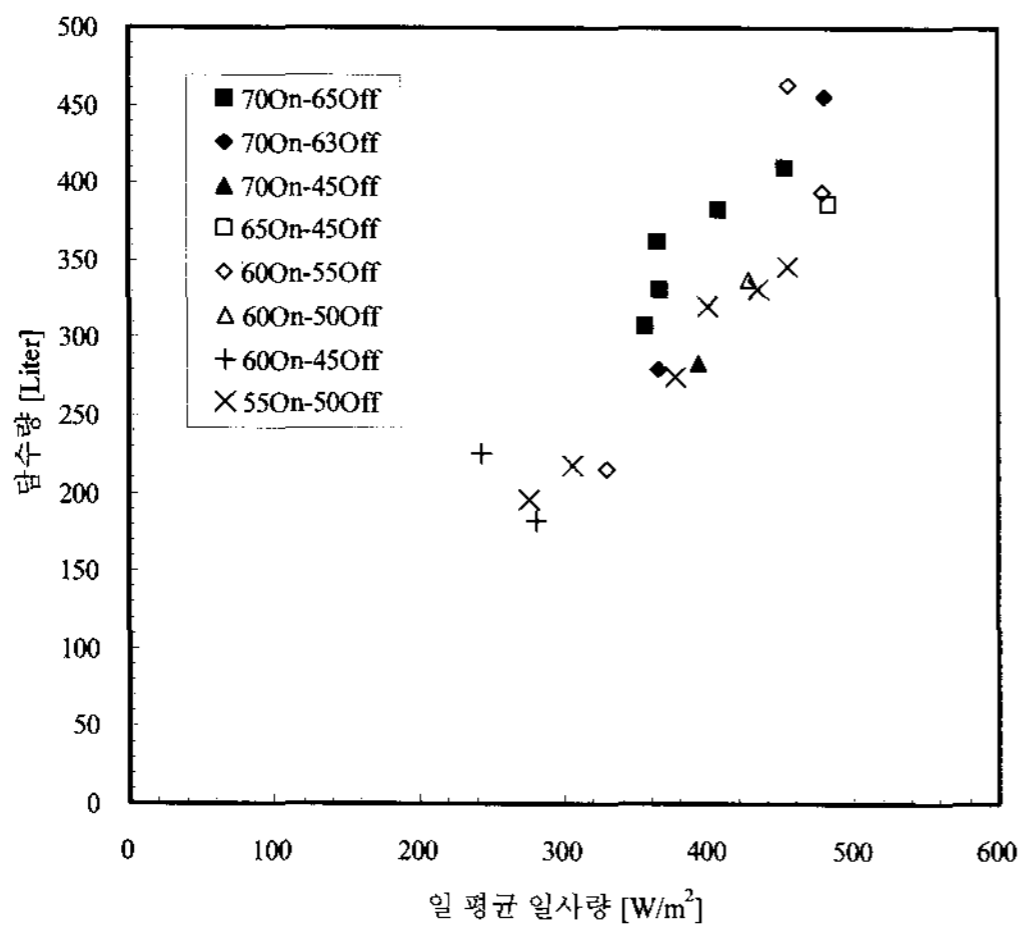


그림 5. 일평균일사량과 담수량의 관계

이와 함께, 다양한 가열수 공급온도와 중단온도 조건에 대하여 예비시험을 수행하여 최적의 가열수 운전 조건을 결정하였다. 그림 7에서와 같이 시간당 측정 담수량과 단위 획득열량에 대한 담수량의 비는 가열수 공급 및 중단 온도와 관련이 없는 것으로 나타난다.

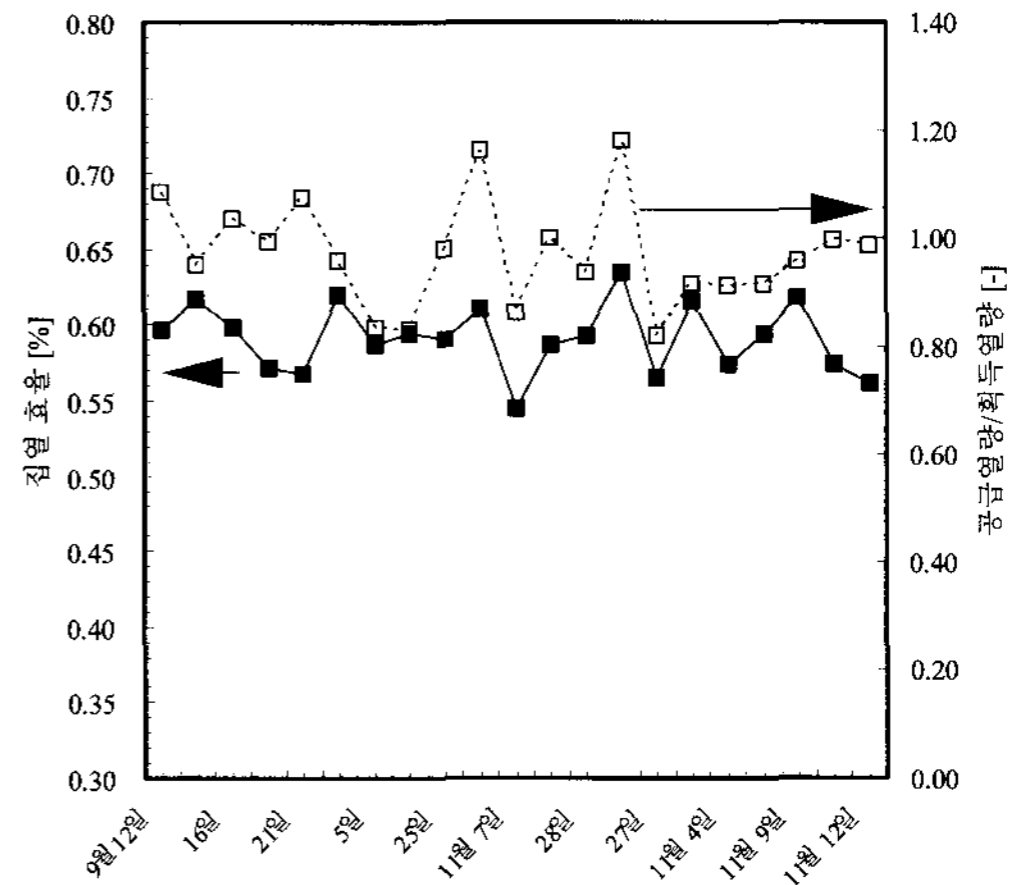


그림 6. 일자별 집열효율과 획득열량에 대한 공급열량의 비

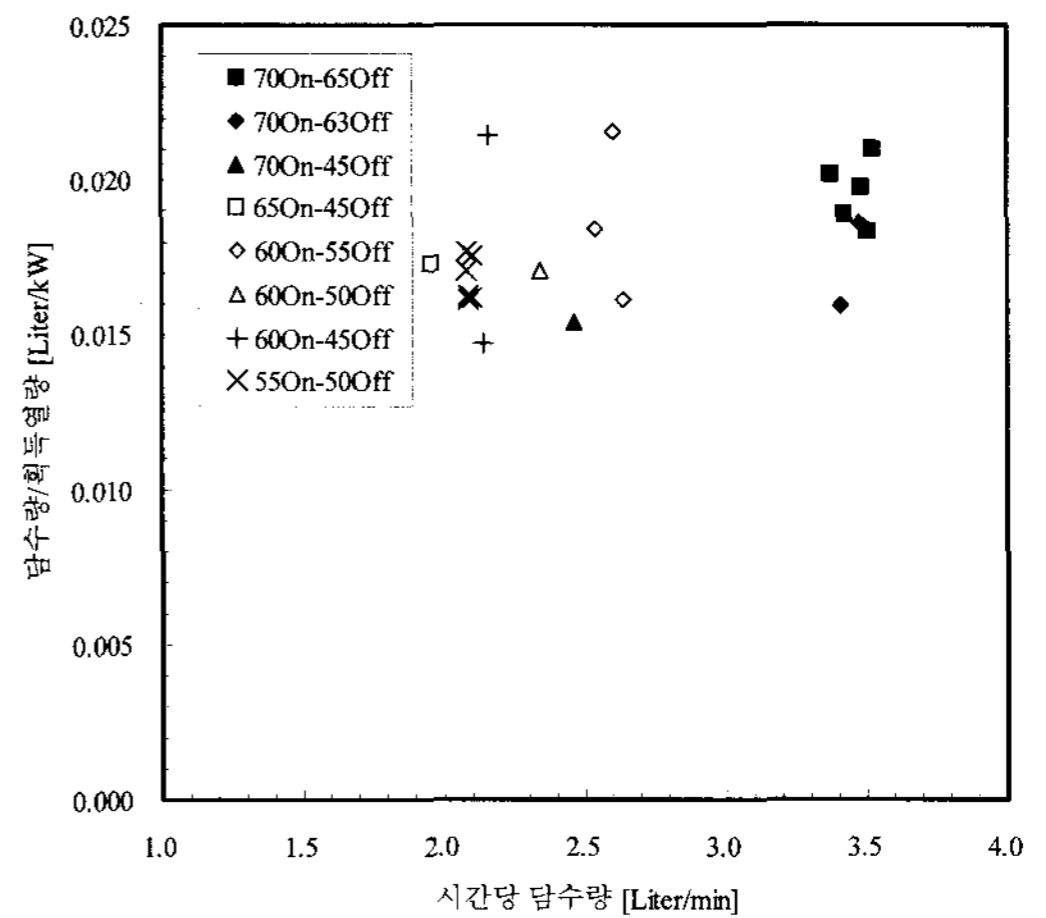


그림 7. 시간당 담수량과 획득열량에 대한 담수량

이러한 이유는 설정된 가열수 공급온도에 도달하지 못하면 가열수가 공급되어지지 않으므로, 담수량에 대한 정량적인 평가는 실제로 공급된 에너지를 기준으로 평가하여야 한다.

따라서, 그림 8에서와 같이 가열수 공급온도가 높은 조건에서 시간당 담수량도 높으며 공급열량에 대한 담수량도 높음을 알 수 있다. 담수량과 열량과의 관계는 잠열 열교환에 의한 것이므로 시험시의 일사량의 차이를 고려하면 선형적인 특성이 나타나고 있다. 가열수 공급에 대한 최적 조건이

공급온도가 높은 조건인 것으로 보이지만, 전체 담수량은 결국 담수기의 운전시간과 관련이 있을 것이다.

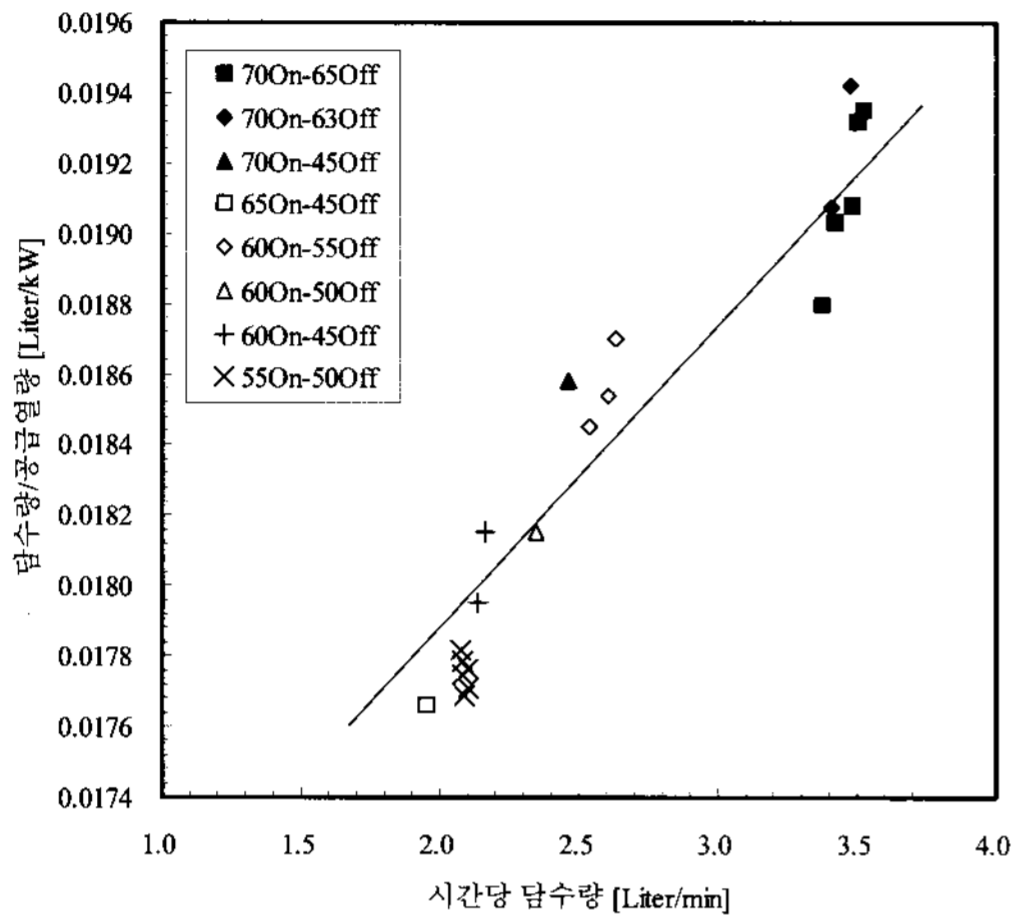


그림 8. 시간당 담수량과 공급열량에 대한 담수량

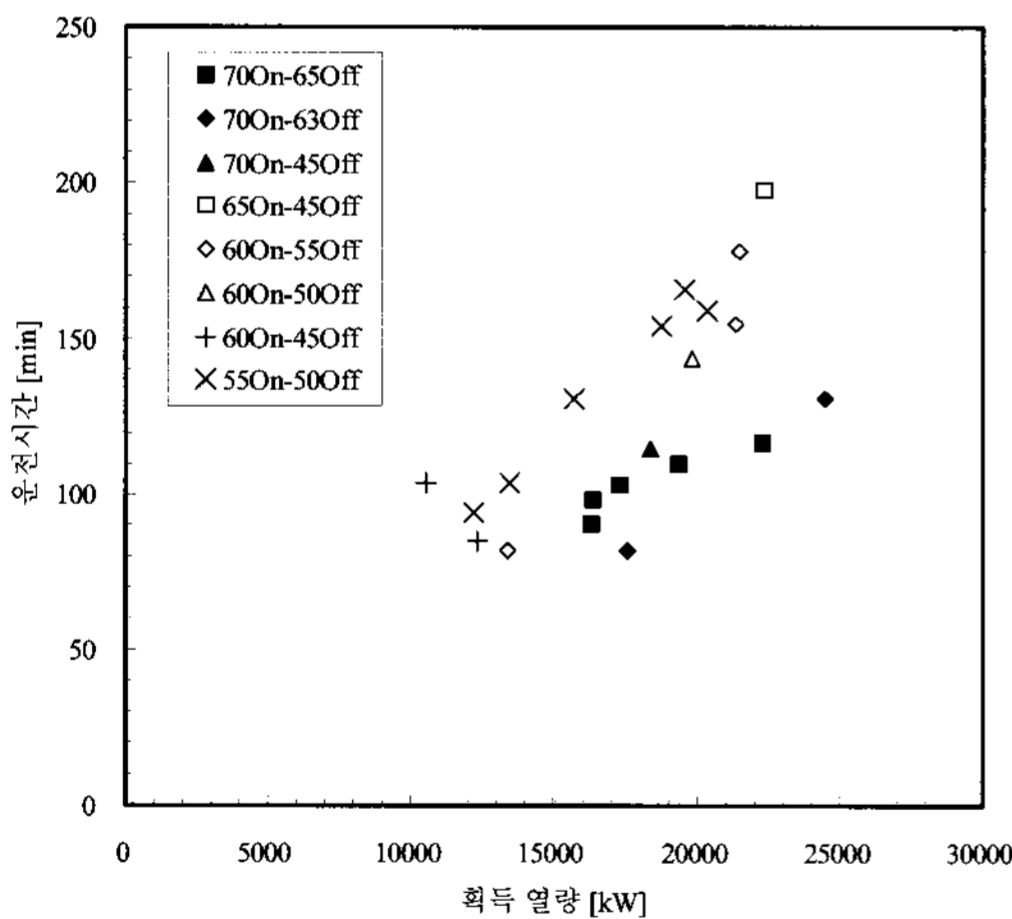


그림 9. 집열기 획득열량과 해수담수기 운전시간

그림 9에서와 같이 획득열량에 대한 담수기 운전시간을 고려하면, 가열수 공급온도가 낮을 수록 운전시간이 길어져서 실제로는 거의 동일한 일사량 조건에서는 거의 동일한 담수량을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

최적조건으로는 일사량이 부족한 날에도 담수기 운전이 가능하도록 가급적 낮은 온도에서 (55℃) 가열수를 공급하고, 가열수 공급의 중단온도는 크게 운전특성에 영향을 미치지 않으므로 최저 담수 생산 가능 온도인 50℃로 설정하면 타당할 것으로 판단된다.

4. 결 론

상용 판형 열교환 방식의 해수담수기와 단일진공관 집열기를 열원으로, 펌프의 전원공급을 위하여 PV 시스템을 이용하는 태양에너지 해수담수화 시스템을 설계하고, 이를 설치한 후 예비시험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 저압증발식 담수화 시스템에 적용되는 단일진공관형 태양열 시스템의 안정적인 열원 공급 특성이 확보될 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 집열기에 의해 집열된 열량을 담수기에 공급하면 담수기로 공급된 열량과 생산된 담수량의 관계는 거의 선형적인 관계로 나타났다.
- (3) 다양한 보호운전 모드와 담수생산 효율을 극대화하기 위한 제어 조건을 고려하여 태양에너지 해수담수화 시스템의 안정적인 운전이 가능함을 확인하였고, 이러한 조건들은 추후 장기 운전 특성 검토에 고려하여야 할 것이다.
- (4) 대규모 태양에너지 담수화 실증시스템의 보급을 위한 기준 모델 시스템으로서의 가능성을 제시하고 있다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기본사업(과제코드 : SA20050006) 연구비지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 최순열, 저압증발형 조수기 개발에 관한 연구, 공업기술연구논문집, 2002, Vol. 2, pp. 493-498
2. 김세현 외 4인, 밀폐용기 내의 물의 저압 증발 최적조건에 관한 실험적 연구, 2004, Vol. 8, pp. 41-47.
3. Voropoulos K., Mathioulakis E., and Belessiotos V., A hybrid solar desalination and water heating system, Desalination, 2004, Vol. 164, pp. 189-195.
4. Joseph J., Saravanan R., and Renganarayaban S., Studies on a single-stage solar desalination system for domestic applications, Desalination, 2004, Vol. 173, pp. 77-82.
5. Philip L., A new concept in marine desalination - The thermal compression distillation plant, Marine Technology, 1990, Vol. 27, pp. 153-161.
6. 문경록, 정형호, 2중효용 담수장치의 시뮬레이션, 2005, 대한기계학회 춘계학술대회, pp. 2184-2189.
7. 김세현 외 5인, 물의 저압 증발 활용을 위한 시스템 최적조건에 관한 실험적 연구, 2003, Vol. 16, pp. 125-132.
8. Duffe J. A. and Beckman W. A., Solar engineering of thermal processes
9. Norton B., Solar energy thermal technology
10. Gordon J., Solar energy - The state of the art
11. Lof G., Active solar system
12. Porteous A., Desalination technology Developments and Practice