[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 26, No. 1, 2006

Dish형 태양열 집광시스템 실증연구를 위한 집열성능 특성 분석

강명철*, 강용혁*, 윤환기*, 유성연**

* 한국에너지기술연구원 고온태양열연구센터(mckang21@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr, hkyoon@kier.re.kr)
** 충남대학교 기계설계공학과(syyooh@cnu.ac.kr)

A Characteristic Analysis on the Thermal Performance of the Dish Type Solar Concentrating System

Kang, Myeong-Cheol*, Kang, Yong-Heack*, Yoon, Hwan-Ki*, Yoo, Seong-Yeon**

* Advanced Solar Thermal Research Center, Korea Institute of Energy Research
(mckang21@kier.re.kr, yhkang@kier.re.kr, hkyoon@kier.re.kr)
** Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University(syyooh@cnu.ac.kr)

Abstract

The dish type solar thermal concentrating system can collect the solar energy above 800℃. It has a concentration ratio of 800 and total reflector area of 49㎡. To operate solar receivers at high temperature, the optimum aperture size is obtained from a comparison between maximizing absorbed energy and minimizing thermal losses.

The system efficiency is defined as the absorbed energy by working fluid in receiver divided by the energy coming from the concentrator. We find that system efficiency is stable in case of flow rate of above 6lpm. The system efficiency are 64.9% and 65.7% in flow rate of 6lpm and 8lpm, respectively. The thermal performance showed that the maximum efficiency and the factor of thermal loss in flow rate of 8lpm are 68% and 0.0508.

Keywards : 태양열 집광시스템(Solar thermal Concentrating system), 열성능(Thermal Performance)
태양열 흡수기(solar absorber/receiver)

접수일자:2005년 11월 24일, 심사완료일자:2006년 2월 21일

1. 서 론

우리나라에서의 태양열 이용보급은 기존의 평판형 집열기를 중심으로 이루어지고 있으며 중온이하의 온도를 얻는 가정용 온수급탕이나 난방보조 열원등에 활용되고 있는 실정이다. 그러나 냉방이나 산업공정열에 이용하기 위해서는 중온이상 즉, 100℃이상의 온도를 필요로 한다. 평판형 집열기로는 넓은 열손실 면적으로 인하여 효율이 급격히 떨어지는 단점 때문에 중온이상의 온도를 얻을 수 없다.

그런 반면에 집광형 집열기는 반사경 면적과 흡수기 면적비 즉, 집광비로서 필요한 온도를 집광할 수 있다. 집광형 집열기의 열성능은 평판형 집열기와 마찬가지로 열효율로 정의되며, 집광기의 열효율은 집열기 수광면을 통과한 총 태양에너지에 대한 유효에너지의 비로써 나타낸다.

현재 세계적인 태양열 고집광 관련 기술은 기술적인 면에서 매우 빠른 성장기에 있으며, 향후 중장기적 관점에서 태양열이용 극대화를 달성하기 위해서는 보다 새로운 개념의 고효율 집광기술 개발과 설계 그리고 중고온 이용기술의 최적화가 필요하다.

또한 집광형 집열기에서 핵심 부분인 흡수기의 설계 기술은 선진국에 비해 미흡하다고 볼 수 있으며 태양열 발전의 상용화를 위해서는 흡수기 설계 기술의 개발 및 성능 향상이 필요하다 그러므로 본 논문은 태양열 집광기의 효율 및 열성능 해석을 위해 흡수기에서의 집열성능을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 실험방법

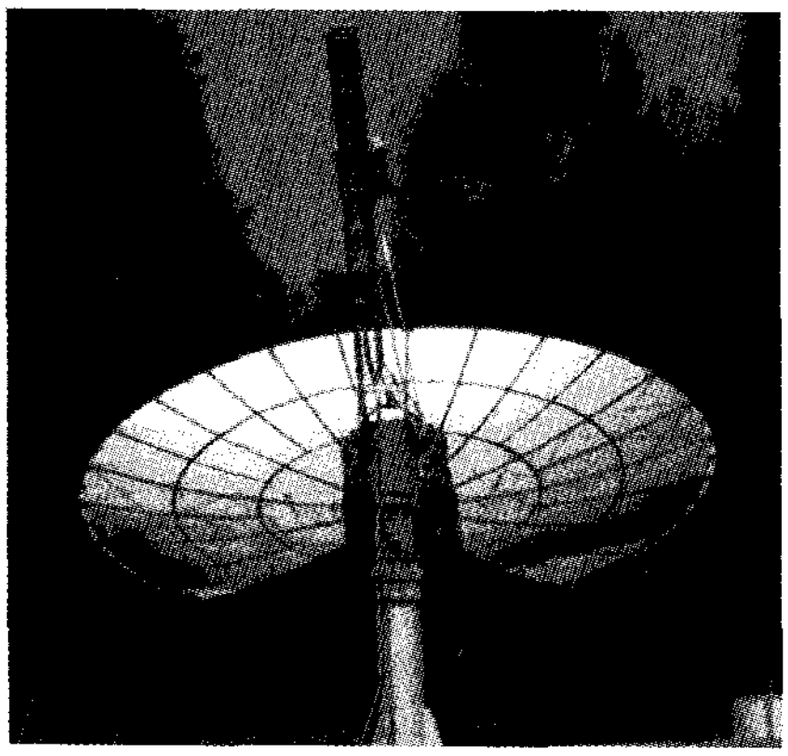
2.1 실험장치

Dish형 집광시스템의 집열 성능실험을 위한 실험장치는 배관내에 흐르는 열매체의 온도가 고온이므로 온도와 압력에 충분히 견디는 스텐레스 재질의 배관을 이용하였다. 또한 태양이 집광되어 모이는 흡수기 쪽에는 배관에 걸리는 압력을 모든 배관에 일정하게 분산시키기 위해 펌프를 2단으로 설치하고 펌프 사이에는 팽창 탱크를 두었다. 열매체로는 고온이 되어도 압력이 급격히 상승되지 않는 실리콘유를 사용하였다.

실험장치는 크게 흡수기에 공급되는 열매체의 온도를 일정하게 유지시켜 주기 위한 2개의 관형 순간 전기히터, 흡수기에서 얻은 열을 이용하여 증기를 발생시키기 위한 증기 발생장치, 일정온도의 열매체를 공급하기 위한 냉각시스템, 그리고 열매체를 일정하게 배관내를 흐르게 하기 위한 펌프들로 구성되어 있다. 그리고 여러 가지 변수들의 측정을 위해 압력계, 유량계, 공기변을 설치하였다. 순간 전기히터는 개별적으로 용량을 조절할 수 있게 2단으로 되어 있고 1단에 6 kW, 2단 12 kW로 총 18 kW가 들어가게 하였다. 그러나 동시에 2단으로 사용하지 못하게 하여 과전력으로 인해 전원이 차단되는 것을 방지하였다. 냉각시스템은 전동식 혼합밸브를 이용하여 자동적으로 흡수기에서 들어온 열매체와 냉각시스템에 의해 온도가 낮춰진 열매체의 양을 조절하여 두 가지를 혼합한 열매체의 온도가 실험하고자 원하는 온도가 되어 흡수기 입구쪽으로 흐르게 하였다. 냉각시스템은 Chiller와 열교환기로 이루어져 있으며 열교환기 내에 흐르는 열매체는 물과 부동액을 50%씩 혼합하여 사용하였다. 또한 모든 실험이 고온에서 이루어져야 함으로 모든 배관은 암면으로 된 100mm 원통형 단열재로 단열하여 길어진 배관에 의한 열손실을 줄였다. 설치된 집광시스템의 실험장치는 **그림** 1과 같다.

2.2 실험방법

집광시스템의 집열 성능실험을 하기 위해서는 흡수기를 구성하고 있는 부분에 대한 많은 열해석을 필요로 하므로 제작된 흡수기는 단열을 하기 전에 K-type 온도센서를 표면에 붙이고, 단열을 한 후 알루미늄으로 커버를 만들어 제작하였다.



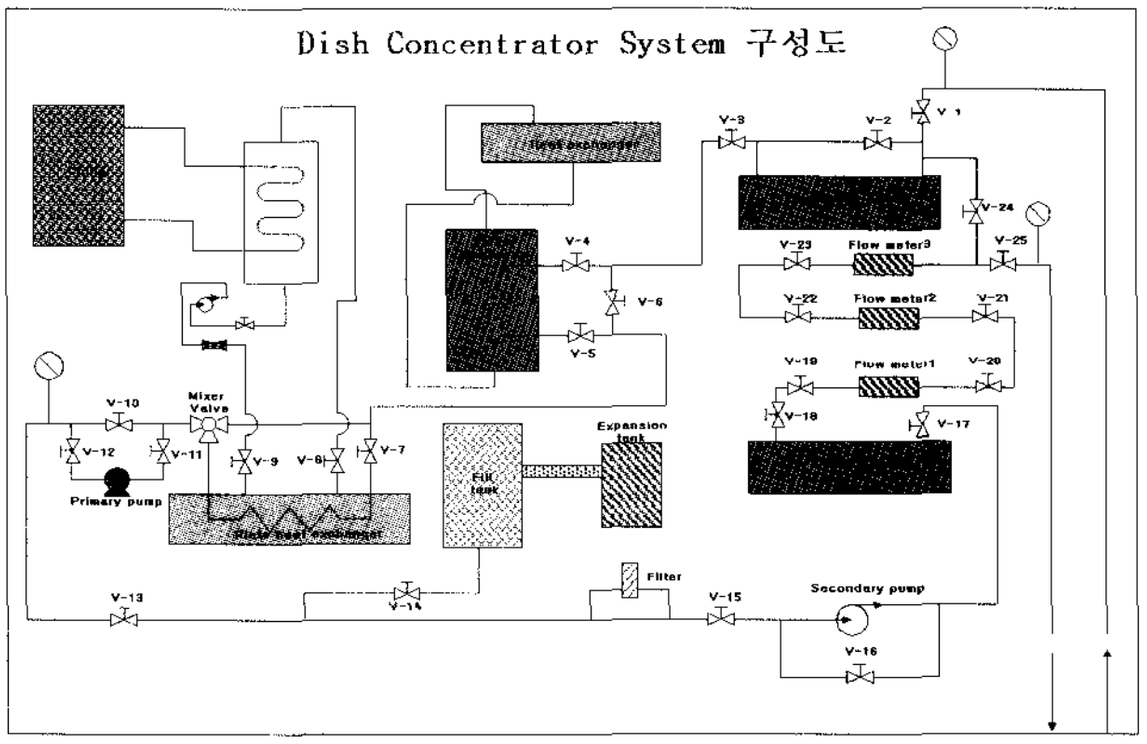


그림 1. Dish형 집광기와 실험장치 개략도

흡수기 표면으로 열이 방출되는 정도를 측정하기 위해 온도센서를 알루미늄 커버 위에도 여러군데 부착하였다.

실험에 들어가기 전에 배관내에 들어있는 열매체의 온도를 실험하고자 하는 온도로 올린다. 먼저 실험장치 내에 들어있는 열매체만 온도를 올리고 열매체가 흡수기로 공급되는 것을 막기 위해 바이패스 밸브만 열고 순환펌프를 작동시킨다. 순간 전기히터를 두 개 모두 작동시켜 배관내의 열매체의 온도가 어느 정도 올라간 다음에는 압력계와 유량계를 보며 배관내의 압력이 많이 걸리거나 또는 유량이 급격히 떨어지지 않도록 바이패스 밸브를 서서히 닫으면서 흡수기쪽으로 조금씩 열매체가 흐르도록 한다. 적정온도가 되었으면 바이패스 밸브를 완전히 닫아 흡수기쪽으로 열매체가 완전히 흐르도록 하고 집광시스템을 작동시켜 흡수기의 입구로 공급되는 열매체의 온도와 출구의 온도를 측정한다.

측정장치로는 Fluke사의 NetDaq을 사용하였다. 이 측정장치는 network으로 연결되어 멀리 떨어져 있는 곳에서도 network이 설치되어 있는 컴퓨터를 사용하여 그 즉시 측정 데이터를 받아볼 수 있다. 실험을 하기 위해 측정장치는 NetDaq 4대를 묶어서 사용하였으며, 측정지점을 기상데이터, 흡수기와 그 주변, 그리고 실험장치 등 세 부분으로 나누어 집광장치 콘트롤을 용이하게 하고, 데이터 분석을 할 때에도 필요한 부분만 사용할 수 있게 하였다.

3. 결과 및 고찰

집열성능 분석을 위한 실험은 흡수기로 공급되는 열매체의 온도를 80~160℃ 범위의 온도내에서 20℃ 간격으로 증가시키고 유량은 4ℓ에서 8ℓ까지 증가하였다.

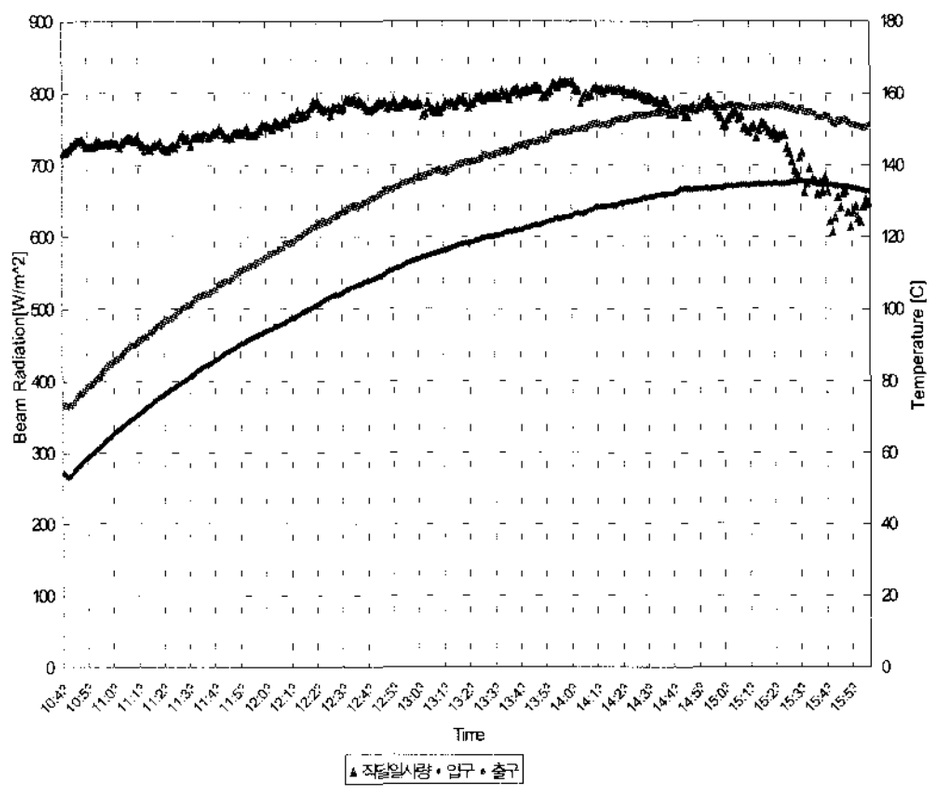


그림 2. 하루중 입출구온도와 직달일사량

집광형 집열기에서는 전일사량을 이용하는 평

판형과는 달리 반사판에 도달하는 일사량 중 직달 성분만을 사용할 수 있고 산란 성분은 난반사에 의해 성능에는 거의 영향을 미치지 않는다. 우리나라의 연평균 법선면 직달일사량은 4,600kcal/㎡로 수평면 전일사량에 비해 높을 뿐만 아니라 계절에 관계없이 거의 일정하다. **그림 2**는 하루 중 흡수기의 입출구온도와 직달일사량의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 일정 시간에서의 직달 일사량은 거의 일정한 비율로 조사된다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 흡수기에서의 열손실을 측정하기 위해 흡수기를 각도에 따라 측정된 입.출구 온도차를 보여주는 그림이다.

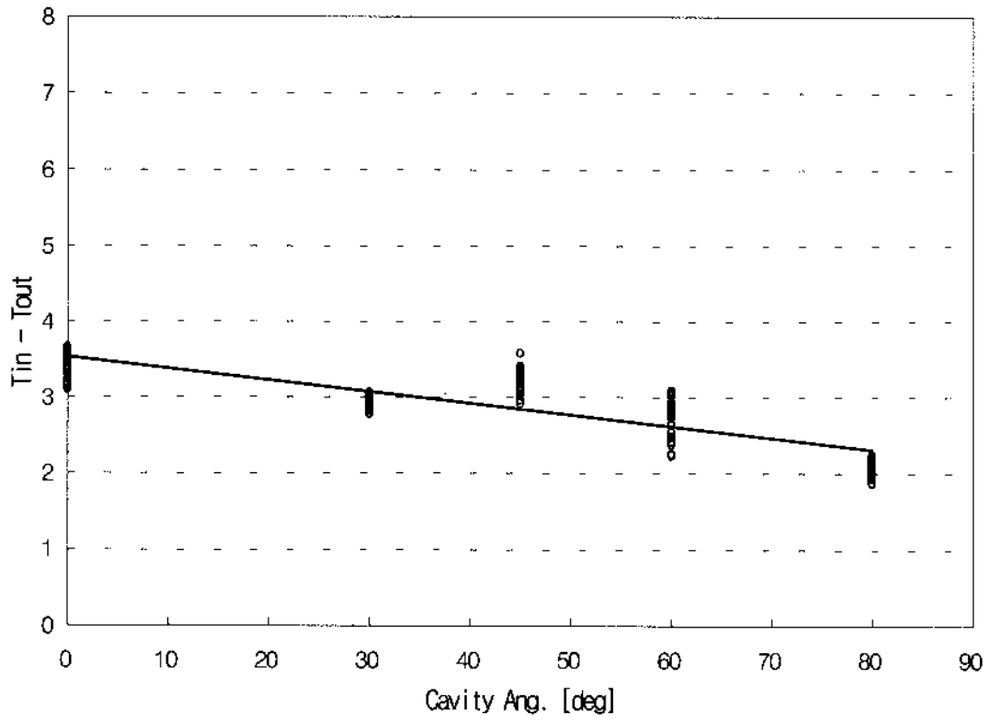


그림 3. 흡수기 각도에 따른 흡수기 입출구 온도차

그림 4는 유량에 따른 집광시스템 효율식을 구한 것이다. 시스템 효율곡선은 일사량과 외기의 변화에 대하여 일반적인 특성을 나타낼 수 있는 시스템 효율(η)과 (Tr - Ta) / Ia 의 상관관계로 나타내어진다. 여기서 Tr은 입, 출구온도의 평균이며, Ta는 외기온, Ia는 직달일사량을 나타낸다. 8ℓ인 경우에는 최고 효율이 68 %이고 열손실 계수가 0.05로 나타나 역시 최적 유량인 8ℓ로 유량을 맞춰 시스템 운전을 하는 것이 높은 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 각 유량별 작동온도에 따른 시스템의 효율변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 시스템내에 흐르는 열매체의 유량을 최소 6ℓ 이상은 유지되도록 하여야 모든 작동온도에 대하여 효율이 안정적임을 알 수 있다.

그림 6과 7은 유량를 변화시켰을 때 작동온도에 따라 반사판에 의해 집광되어진 에너지량(Qin)과 열매체가 흡수기를 통과하면서 얻어진 에너지량(Qnet)을 계산한 그림이다. **그림 6**과 7을 보면 4ℓ인 경우에는 집광되어진 에너지량의 약 55%, 6ℓ인 경우에는 64.9%, 8ℓ인 경우에는 65.7%를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 현재의 시스템에서는 유량 8ℓ인 경우가 획득에너지가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

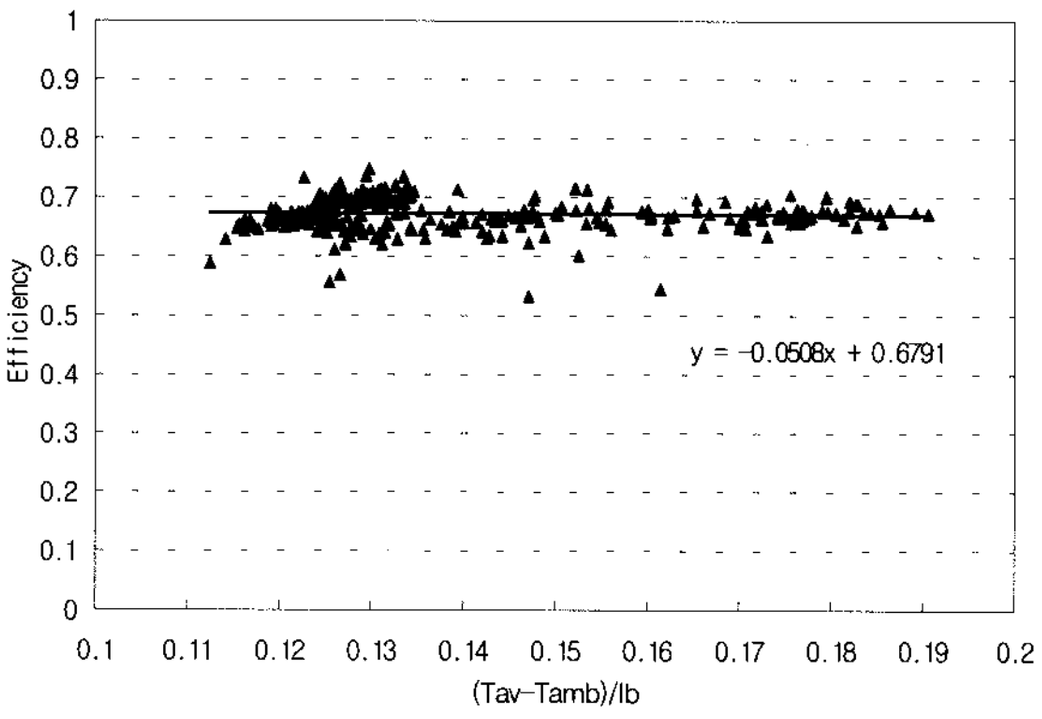


그림 4. 유량에 따른 시스템 효율식 (8ℓ)

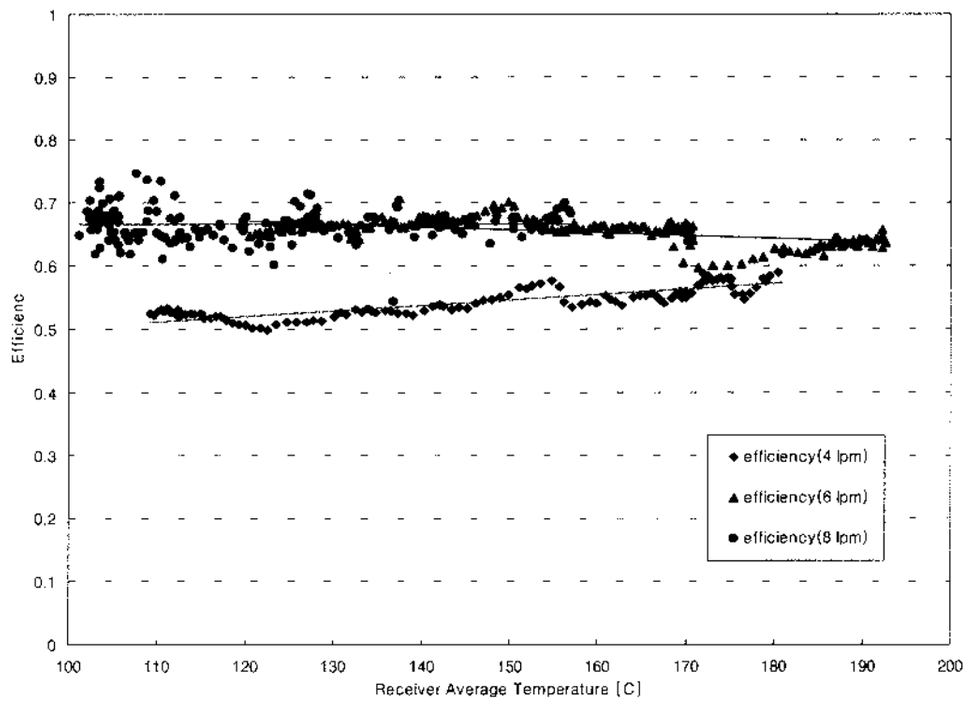


그림 5. 유량별 작동온도에 따른 효율 변화

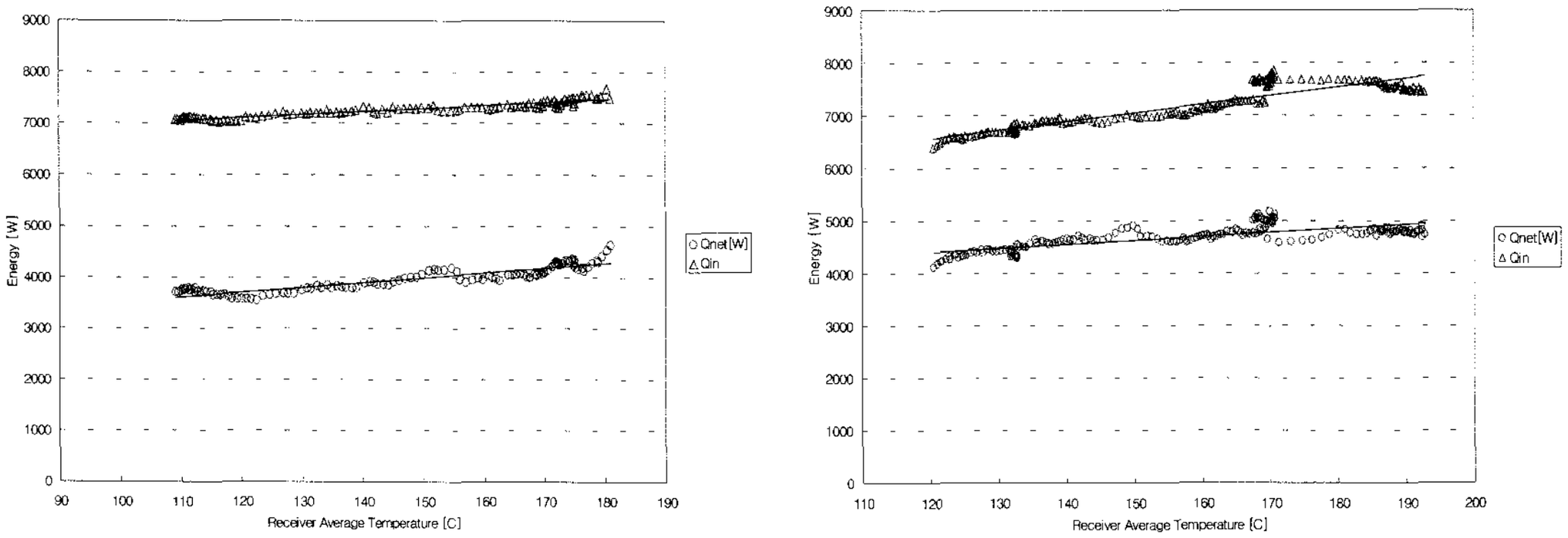


그림 6. 작동온도에 따른 흡수기 획득에너지(4ℓ,6ℓ)

4. 결 론

중.고온 집광시스템은 법선면 직달일사량을 이용할 수 있어 겨울철 획득열량이 평판형에 비해 높고 고온의 열을 생산할 수 있을 뿐만 아니라 년중 높은 집열효율을 유지할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 4계절 내내 같은 부하의 공급이 이루어져 태양열시스템이 갖고 있는 단점을 극복할 수 있는 대안이 되고 있다.

본 실험에서는 개발된 집광형 태양열 시스템의 성능분석을 위하여 흡수기에서의 집열된 획득에 지와 효율식(y=-0.0508x+0.679)을 도출하였다.

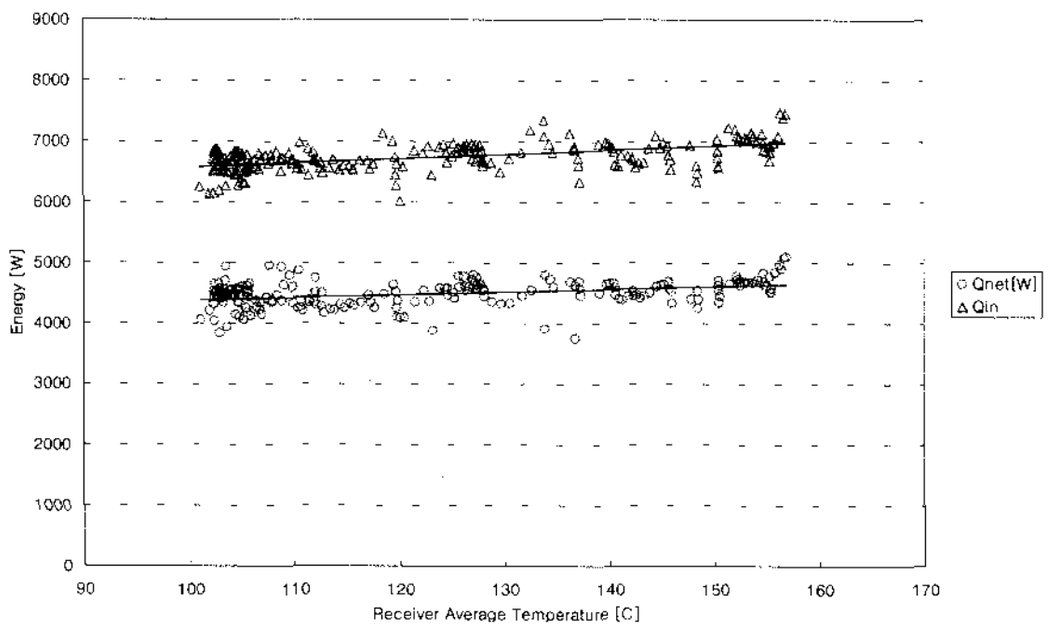


그림 7. 작동온도에 따른 흡수기 획득에너지(유량 8ℓ)

① 흡수기 효율은 유량을 4ℓ, 6ℓ, 8ℓ로 변화하여 측정한 결과 8ℓ인 경우 최고효율이 68%이고 열손실 계수가 0.05로 나타나 작동유체의 유량을 8ℓ로 시스템을 운전 하는 것이 높은 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

② 유량별 작동온도에 따른 시스템의 효율변화를 살펴본 결과 시스템내에 흐르는 열매체의 유량을 최소 6ℓ 이상은 유지되도록 하여야 모든 작동온도에 대하여 효율이 안정적임을 알 수 있었다.

③ 작동온도에 따라 반사판에 의해 집광되어진 에너지량(Qin)과 열매체를 흡수기로 흘려 얻어진 에너지량(Qnet)을 계산하면 4ℓ인 경우에는 집광되어진 에너지량의 약 55%, 6ℓ인 경우에는 64.9 %, 8ℓ인 경우에는 65.7%를 얻었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2003-N-SO11-P-01)

참 고 문 헌

1. 강용혁 외, "Dish형 태양열 집광시스템 개발", 한국에너지기술연구소 최종보고서, KIER-

994601, 1999.
2. ASHRAE95-1987, "Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Domestic Water Heating System".
3. I. F. Mayer, "Developmental Solar Thermal Receiver Studies for the White Cliffs Solar Thermal Power Plant", Journal of Solar Energy Engineering, 1997, Vol. 119, pp. 61-67.
4. Clausing A., "An Analysis of Convective Losses From Cavity Solar Central Receivers", Solar Energy, 1981, Vol.27, No.4, pp. 295-300.
5. R. E. Hogan, R. B. Diver and Stine W., "Comparison of a Cavity Solar Receiver Numerical Model and Experimental Data", ASME J. Solar Energy Engineering, 1990, Vol.112, pp.183-190.
6. James A. Harris, "Thermal Performance of Solar Concentrator/Cavity Receiver Systems", Solar Energy, 1985, Vol. 34, No. 2, pp.135-142.
7. A. Steinfeld, "Optimum Aperture Size and Operating Temperature of a Solar Cavity-Receiver", Solar Energy, 1993, Vol. 50, No. 1, pp19-25.
8. 강명철 외, "KIERDISH II 태양열 집광시스템의 플럭스밀도 분포", 한국태양에너지학회 논문집, 2004, Vol. 24, No. 4, pp. 11-18.