

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 18, No. 4, 1998

비동파 직접식 온수 급탕 시스템의 열성능에 관한 연구

천원기*, 김형택**

* 제주대학교 에너지 공학과

** 정회원, 아주대학교 에너지학과

An Experimental Study on the Performance of a Freeze-Protected Direct Solar Water Heating System

W. G. Chun^{*}, H. T. Kim^{**}

* *Department of Energy Engineering, Cheju National University, Cheju, 690-756*

** *Dept. of Energy, Ajou University*

ABSTRACT

This paper reports the experimental results concerning the thermal performance of a freeze-protected direct solar water heating system. The direct system tested has been manufactured to prevent any breakage during harsh wintry conditions by specially designed riser and downcomer headers capable of relieving extra pressure due to freezing of water. The direct system tested has shown 10% improvement in its efficiency over that of a indirect type system using antifreeze as the heat transfer medium. It is felt that any direct system of its kind could galvanize the whole solar industry if further improvements are made to ensure its durability.

1. 서 론

태양열 온수 급탕 기술은 현재 국내에서 가장 많이 보급되어 그 실용성과 타당성이 입증된 기술이다. 특히 평판형 태양열 집열기를 이용한 급탕 기술은 태양열의 저온 활용 분야(40~80℃)의 기술로 그 경제성과 효율성이 높아 다른 어떤 태양열 이용 분야보다 실용화 측면에서 기술적 우위를 확보하고 있다.

평판형 태양열 집열기를 이용한 태양열 온수 급탕 시스템(태양열 온수기)은 일반적으로 작동유체의 열전달 매커니즘에 따라 간접식과 직접식으로 나누어 진다. 간접식은 작동유체에 부동액을 첨가하여 사용함으로써 겨울철 빙점이하의 기온에서도 집열기가 동파되지 않도록 설계된 시스템이다. 그러나, 이 시스템은 직접식에 비해 그 열효율이 떨어지며 부동액 유출시 환경오염의 문제를 유발할 수도 있다. 한편, 직접식 시스템의 경우에는 시스템의 열효율은 높으나 동절기 혹한시 기온이 빙점 이하로 떨어질 경우를 대비하여 집열기의 동파 방지에 대한 대책을 세워야 하는 번거로움이 있다.

물의 결빙시 동파 방지를 위한 방법으로는 물이 얼어버릴 가능성이 높거나 일정 기간 사용하지 않을 때 집열기 내의 물을 빼어 버리도록 설계하는 것과 집열기 내에 물이 얼어 팽창하더라도 이를 흡수하거나 견딜 수 있도록 제작하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 후자의 방법론을 적용하여 혹한기에도 물을 배수하지 않아도 집열기의 동파 염려가 없는 직접식 시스템을 설계·제작하고 그 열성능을 분석하였다.

또한, 기존의 히이트 파이프식 태양열 온수 급탕 시스템과 그 열적 성능을 비교하여 직접식 온수 급탕 시스템의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 시스템 설계·제작 및 실험

본 시스템의 집열기는 기온이 빙점이하로 떨어져 물이 얼 경우 Riser와 Downcomer Header 내의 결빙으로 인한 압력 상승을 흡수할 수 있도록 특수 설계되었다. 즉, 겨울철에 물을 집열기로부터 배수시키지 않아도 동파되지 않도록 제작된 것이다. 이와같은 특수 설계의 핵심은 집열기 내의 물의 결빙시 태양열 흡열판이 핀의 역할을 하는 것을 역으로 이용하는 것과 국부적인 물의 결빙시 이를 효율적으로 흡수하는 데에 있다. 이 기술은 태양열 분야에서는 처음 시도되는 기술로 향후 이의 보급 및 실용화가 상당히 기대되며 현재 국내에 특허 4건이 이와 관련하여 출원 중이며 국제 특허도 곧 출원될 예정이다.

Fig. 1은 본 논문에서 소개하고자 하는 직접식 태양열 시스템의 개략도를 나타내고 있는 것으로

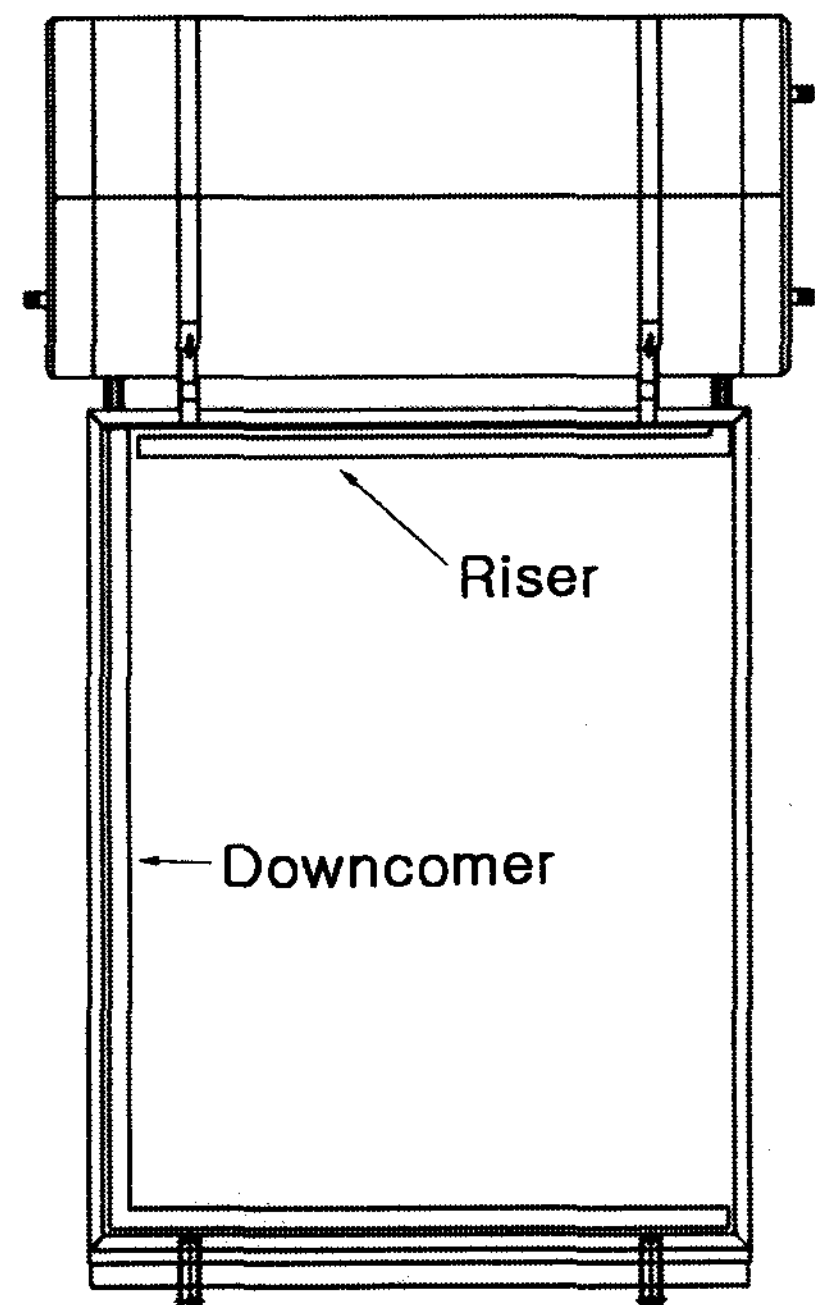


Fig. 1. Schematic diagram of the "Direct System" developed

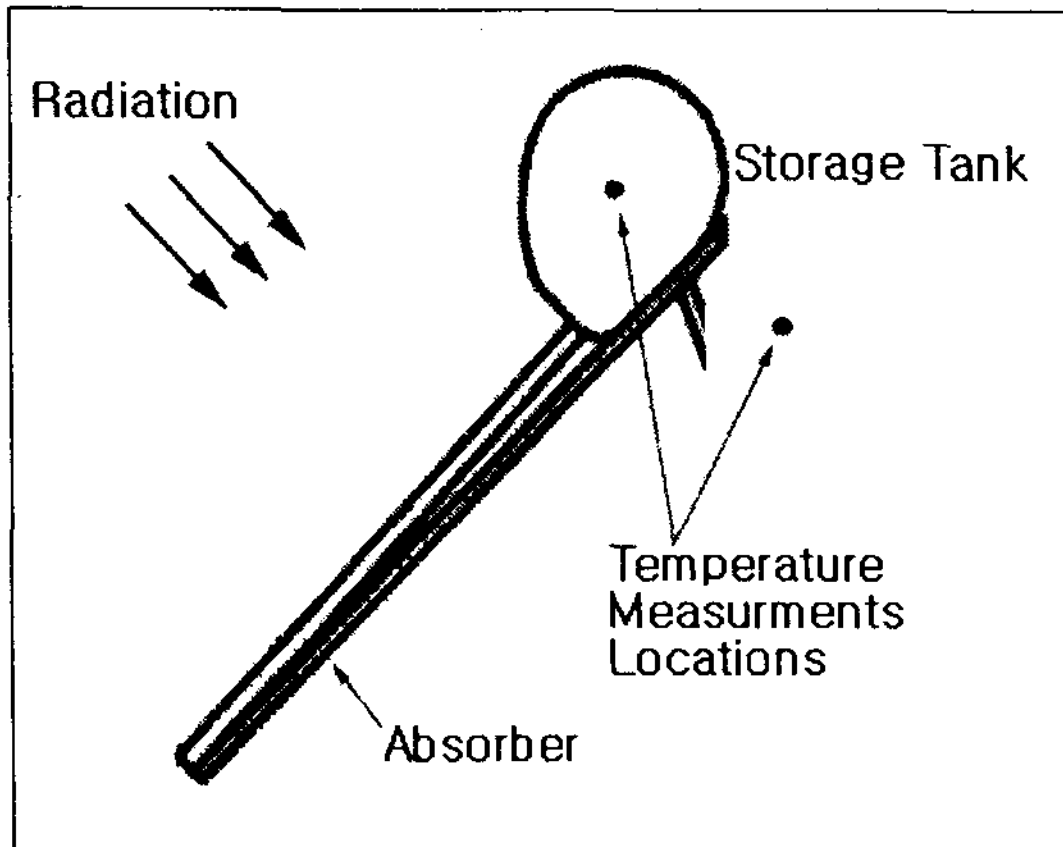


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental apparatus

Downcomer 헤더 부분이 집열기 내에 설치되어 있다. 이는 외관상의 이유 뿐아니라 동절기 집열기의 결빙시 헤더를 보호하고 아울러 신속하게 헤더 내의 물을 집열기의 열로써 녹이기 위함이다. 물론, 집열기 내에 Downcomer 헤더가 존재함으로써 역부압이 걸려 효율에 다소의 영향은 미치지만 축열조 내에 별도의 열교환 장치가 필요없는 직접식 시스템의 장점이 이를 충분히 보상하고 있다.

본 연구에서는 제작된 시스템에 대하여 여러번에 걸친 동파실험을 통해서 그 내구성을 시험하였는데, 동파실험은 영하 20℃ 그리고 영하 30℃ 하에서 12시간 이상을 두는 냉동과정과 다시 12시간을 실온에 두는 해빙과정을 반복하였다. 냉동 실험에서는 집열기 내의 물이 완전히 얼은 것을 확인하였으며 아울러 집열기나 그 밖의 시스템의 다른 구성 요소의 동파 등은 목격되지 않았다.

한편, 시스템의 옥외 열성능 실험은 하절기에 동파 실험과 번갈아가며 수행하였는데 이는 두 가지의 극한 조건(동절기의 혹한 조건, 하절기의 혹서 조건)을 시스템이 짧은 기간에 경험할 경우 시스템의 내구성을 설계 조건하에서 시험하기 위함이다. 옥외 실험은 일사 조건이 양호한 탁트인 건물 옥상을 사용하였고, 대지면 각도 30도

Table 1. Absorber specifications

Item	Specification
Overall Dimension	1200×1800×80mm
Absorber Surface Treatment	Black-Cr Coating
Absorber Plate	Aluminium 0.3mm
Header Tube	Copper, 25mm
Riser Tube	Copper
Case	Al
Glazing	Single Tempered Glass
Insulation	Polyurethan Form

로 남측을 향해 집열기를 설치하였다. Fig. 1은 열성능 실험을 위한 실험장치의 개략도이다. 온도 계측를 위해 열전대를, 일사량은 직달일사량 일사량계(Pyranometer)를 각각 설치하였다. 측정 데이터는 매1분 간격으로 획득장치(HYDRA, FLUKE)를 이용하여 저장하였다.

총 집열기 유효 집열 면적은 1.83m², 축열조 용량은 140ℓ이다. 시험 집열기 사양은 Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 태양열 온수 시스템의 열성능 실험은 다수의 일일 측정 데이터의 산술 평균을 근거로 장기 외삽을 예측하는 방법론을 택하였다. Fig. 3 와 Fig. 4은 각각 6월과 9월의 비교적 일사 조건이 양호한 날에 실시한 실험 데이터를 도식한 것이다.

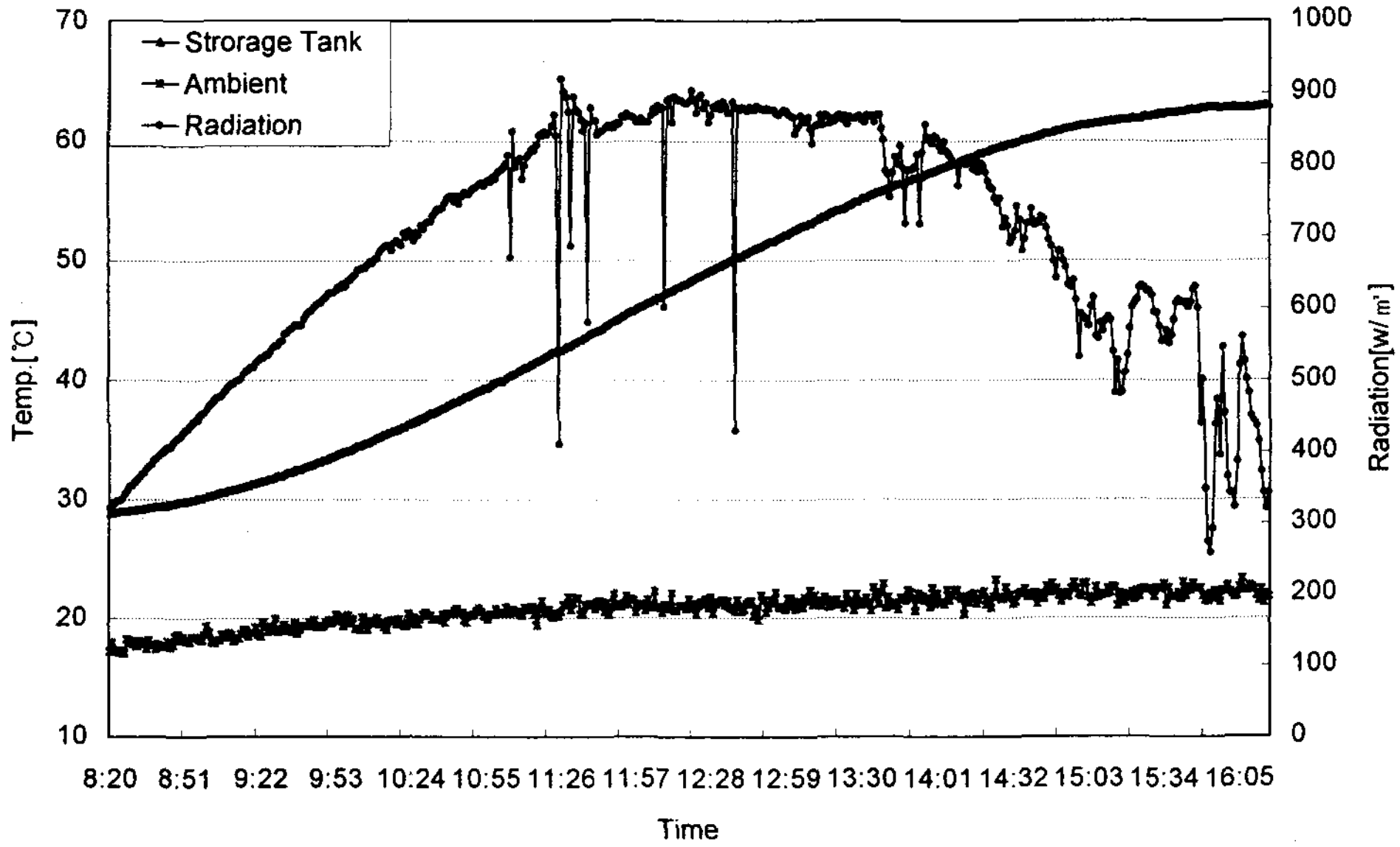


Fig. 3. Results of an experiment (June)

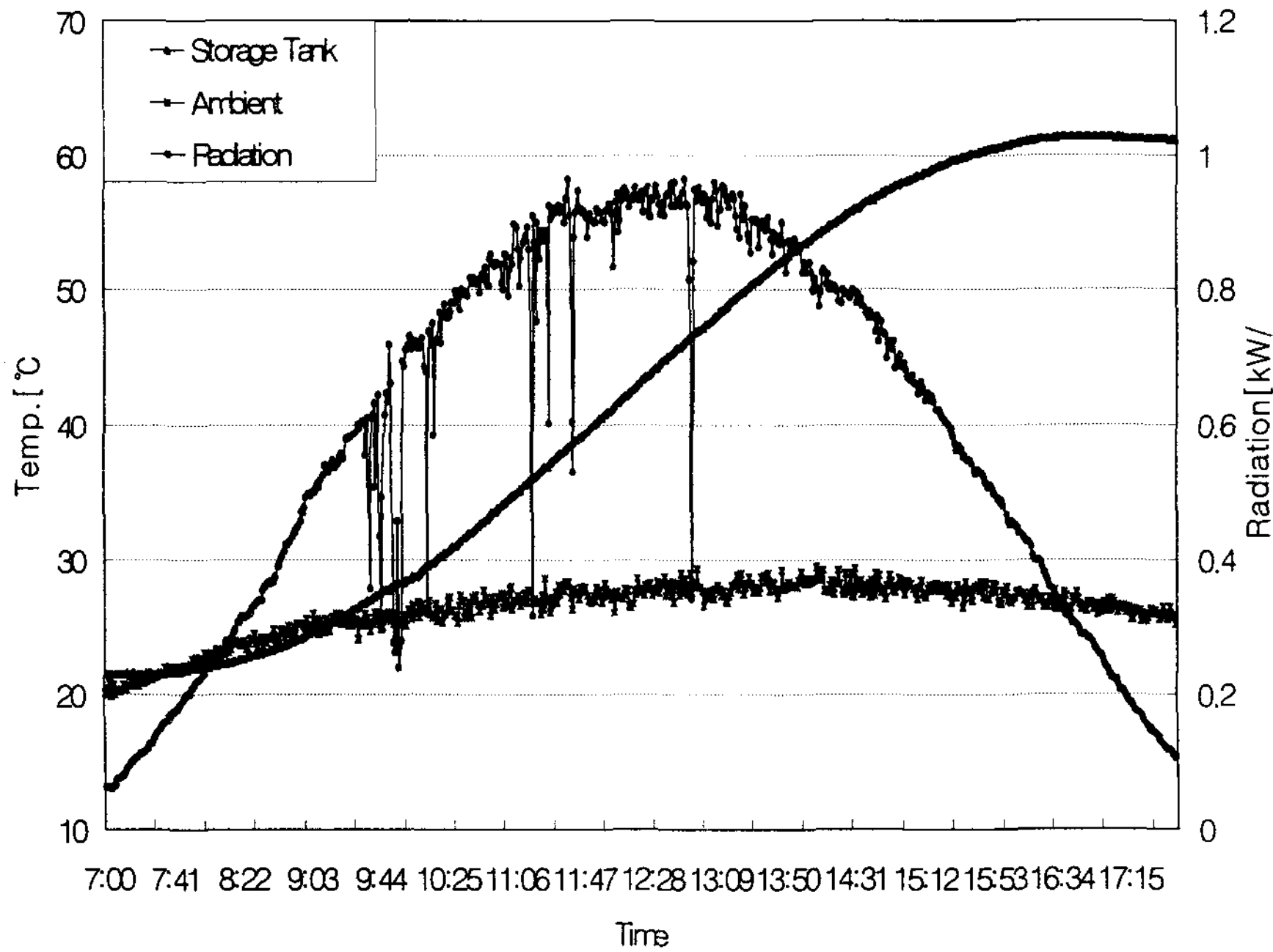


Fig. 4. Results of an experiment (September)

누적 일사량은 시험 시간에 따라 적분을 수행하여 얻었고 각각 4310 kcal/m^2 , 4717 kcal/m^2 으로 열성능 평가를 위한 기준 일사량 4000 kcal/m^2 를 초과하였다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 축열조내의 수온은 초기의 시수 온도로부터 지속적으

로 상승하여 8시간에 걸친 가열 후에는 약 30°C 이상의 변화를 보였으며 이와같은 축열조 내의 수온 상승은 바로 높은 시스템 열성능 효율로 나타났다.

집열량(S)은 집열이 끝난 후 펌프를 이용하여

저장탱크와 집열기 내의 물을 충분히 순환시킨후, 온수의 온도를 측정하여 계산하였으며 이를 토대로 시스템의 열성능을 산출하였다.

$$S = \frac{5000 \times (T_n - T_w) \times V}{A_c I} \text{ (kcal/m}^2\text{)} \quad (1)$$

- 여기서 T_n : 탱크 중앙부 온도(°C)
- T_w : 시수 온도(°C)
- V : 저장탱크 내의 용수 용량(kg)
- I : 1일 집열면 일사량(kcal/m²)

식(1)를 이용하여 6월과 9월 실험의 집열량 및 열효율을 계산하면 Table 2와 같다.

Fig. 5는 본 연구에서 설계·제작한 비동과 직접식 태양열 온수 급탕 시스템(Solar 1)과 히이트 파이프를 이용한 태양열 온수 급탕 시스템과의 열성능을 비교한 것이다. 히이트 파이프 시스템의

Table 2. Thermal performance of the freeze-protected direct solar water heating system

	'98. 6. 7	'98. 9. 7
Thermal Performance (5,000 kcal/m ²)	2,908.0 kcal/m ²	2,894.6 kcal/m ²
Efficiency	58.2 %	57.9 %

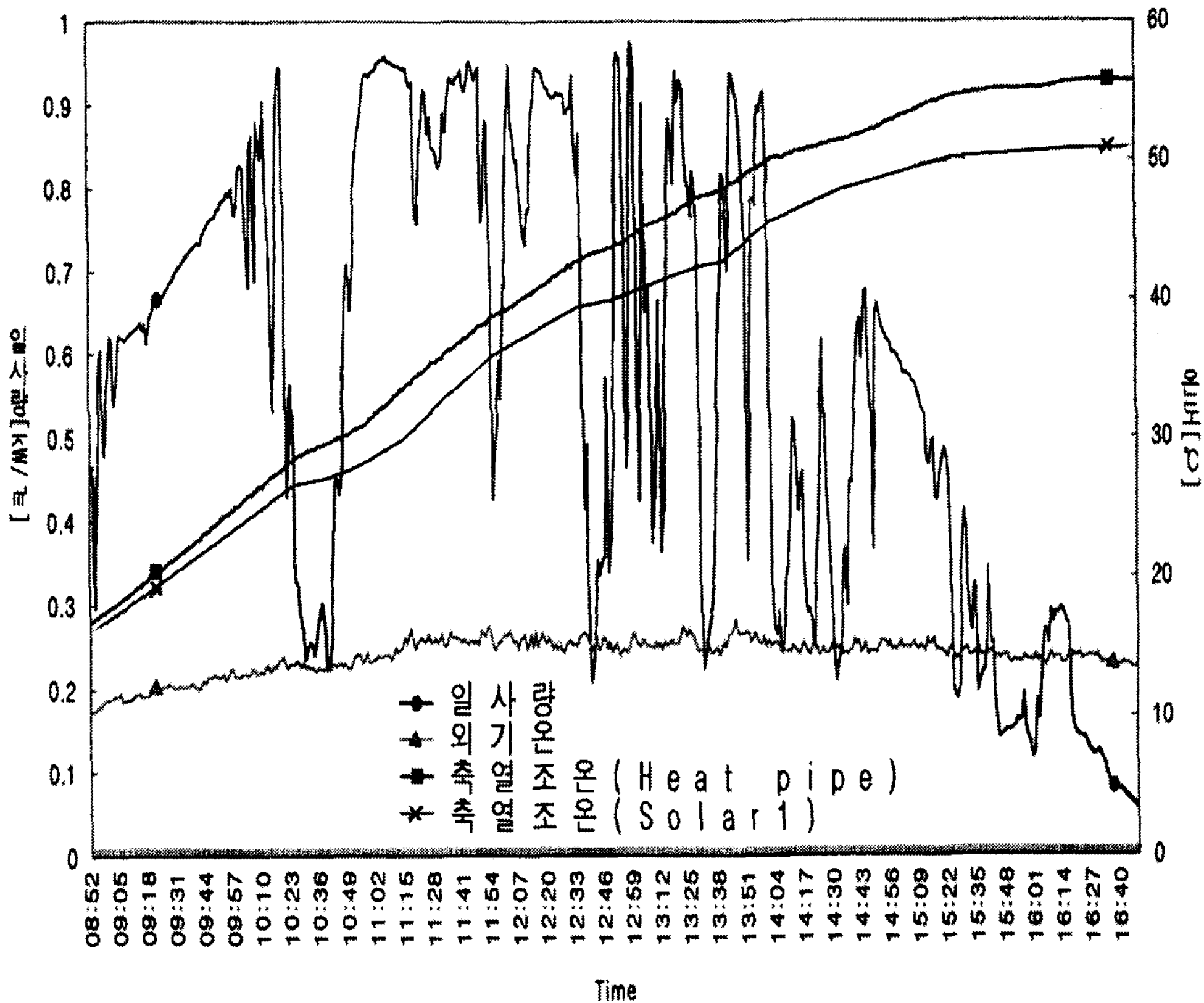


Fig. 5. Comparative analysis of the direct system with the heat pipe system.

경우, 축열조 내에 장입된 그 응축부를 제외하고는 모두 진공 처리된 유리 튜브 안에 들어 있어 대류에 의한 열손실은 거의 무시할 수 있다. 이 그림에서 보면 알 수 있듯이, 히이트 파이프를 이용한 태양열 온수 급탕 시스템은 축열조 내의 물의 용량이 67ℓ로 비동파식(120ℓ)의 약 1/2 정도 밖에 안돼 빠른 속도로 수온이 상승하는 것을 알 수 있다. 한편, 시스템의 열효율을 계산하여 보면 히이트 파이프 시스템은 62.1% 그리고 직접식 시스템은 57.8%로 비교적 작은 차이를 보여주고 있다. 히이트 파이프 시스템이 평판형의 그것에 비해 일반적으로 고가인 점을 감안하면 직접식 시스템은 경제적인 시각에서 뿐 아니라 에너지 효율 측면에서 상당히 가능성이 있는 것으로 판단된다. 물론, 이는 전술했듯이 혹한기의 동파 문제를 완전히 해결하고 그 내구성 또한 기존 시스템 이상의 성능을 보여주어야 한다는 전제 조건이 충족되어야 한다.

4. 결 론

본 논문은 새로운 개념의 비동파 직접식 태양열 온수 급탕 시스템의 설계 및 제작에 대한 내용을 소개하고 있으며 아울러 이의 열성능에 대한 기본적인 데이터를 제시하고 있다. 소개된 비동파 직접식 태양열 시스템은 그 구조가 단순하고 제작도 용이하여 향후 보급 전망이 비교적 높을 것으로 판단되며 직접식이라 그 효율도 기존 시스템에 비해 상당히 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 실제의 실험 결과, 직접식 시스템은 평균

58%의 열효율을 보였고, 이는 기존 간접식 시스템에 비해 10%이상 높은 수치이다. 아직 직접식 시스템의 실제 장기간에 걸친 데이터가 모니터링 안돼 그 장기간에 걸친 내구성에 대해서는 선부른 결론을 언급할 수 없지만, 반복되는 열적 피로에 대한 내구성만 확보된다면 그 실용화 전망은 아주 밝다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 제주대학교 산업기술연구소와 (주)신우 GE와의 산학협동연구과제로 수행되었으며, 관련 제위께 깊은 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. ASHRAE95-1987, "Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Domestic Water Heating Systems".
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Domestic Water Heating Systems", ASHRAE, Atlanta, GA, 1985.
3. ANSI/ASHRAE93-1986, "Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors".