

## 이중진공관형 태양열 집열기의 연간 집열효율에 관한 연구

김기철\*, 팽진기\*\*, 윤영환\*\*\*

\*창원대학교 기계공학과(dls1mak4@changwon.ac.kr), \*\*창원대학교 기계공학과(gjpaeng@changwon.ac.kr)  
\*\*\*창원대학교 기계공학과(yhyoon@changwon.ac.kr)

### A Study on the Annual Storage Efficiency of Concentric Evacuated Tube Solar Energy Collector System

Kim, Ki-Chul\*, Paeng, Jin-Gi\*\*, Yoon, Young-Hwan\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University(dls1mak4@changwon.ac.kr)  
\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University(gjpaeng@changwon.ac.kr)  
\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University(yhyoon@changwon.ac.kr)

#### Abstract

The Storage efficiency of concentric evacuated tube solar collector is tested for one year from January 1st to December 31st under the real sun condition. The testing equipment is operated continuously for three days without cooling the storage tank. Daily storage efficiency is obtained from dividing stored energy in the storage tank by solar insolation on the solar collector for each day. Daily averaged temperature of the storage tank is lowest in January and highest in August. Monthly averaged storage efficiency is also lowest in November and highest in June. Therefore, it can be said that the storage temperature and the storage efficiency are roughly proportional to outdoor temperature. Furthermore, the daily storage efficiency is reversely proportional to  $(T_s - T_a)/I_c$ , where  $T_s$  and  $T_a$  are daily averaged storage temperature and outdoor temperature from sunrise to sunset, and  $I_c$  is total insolation on the solar collector for a day.

Keywords : 진공관형 태양열 집열기(Evacuated tube solar energy collector), 실외 성능시험(Performance test under real sun), 연간 집열효율(Annual storage efficiency), 월 평균 일사 에너지(Monthly averaged insolation)

#### 1. 서 론

현재 우리가 사용하고 있는 에너지는 석탄, 석유, 천연가스, 및 원자력에너지 등 일명 화석에너지를 사용하고 있다. 그러나 인구의 증가와 산

업의 발달로 이러한 에너지는 점점 고갈 되어가고 그 가격이 올라가고 있다. 따라서 태양열 온수 집열기, 태양광 에너지, 수소에너지, 및 풍력 에너지 등 대체 에너지에 대한 관심이 높아지고 있다.

투고일자 : 2008년 6월 25일, 심사일자 : 2008년 7월 7일, 게재확정일자 : 2008년 8월 21일  
교신저자 : 김기철(dls1mak4@changwon.ac.kr)

그 중 태양열 온수 집열기는 그 구조가 비교적 간단하고 직접 열원을 이용 할 수 있는 이점이 있으므로 많이 연구가 이루어져서 실생활에 이용 되고 있다.

태양열 온수 집열기의 연구 중 성능시험에 관한 연구는 태양열이 아닌 다른 열원을 사용하거나 실제 태양열(Real sun)으로 시험 하더라도 단 시간에 걸친 성능시험에 대한 문헌이 많다. H.S. Chung et al<sup>1)</sup>은 태양열 시스템용 2중관 열교환기의 성능에 관한 연구에서 열원으로 전기 가열기를 사용하여 성능 시험을 하였으며, C.J. Kim and K.B. Yin<sup>2)</sup>은 평판형 태양열 집열기의 열전달 특성에 대한 실험적 고찰에서 실제 태양열을 열원으로 사용하였으나 시험기간이 약 30분 동안으로 한정하였다. T.Y. Bong et al<sup>3)</sup>은 평판 열 파이프 태양열 집열기에서 이론적 모델은 실험으로 증명하면서 약 10분간 실제 태양열에서 시험하여 열효율을  $(T_i - T_a)/I_c$  인자로 제시 하였다. E.H. Amer et al<sup>4)</sup>은 평판형 태양열 집열기의 비정상상태 성능시험에서 오전 10시부터 15시까지 시험하였다. 또한 S. B. Youn<sup>5)</sup>은 평판형 태양열 집열기의 성능시험 표준화 연구에서 실제 태양열 아래 약 5분간 성능시험을 하였다. 다만 K.S. Chang and M.S. Kim<sup>6)</sup>의 평면식 태양열 성능에 관한 연구에서 연간 태양열 일사량으로서 대전 지방의 5년간 평균값을 사용하였다.

태양열 온수 집열기는 연간 사용하는 장치이나 연간 성능시험에 관한 문헌은 매우 부족하다. 따라서 본 논문은 경남 창원 지역의 건물 옥상에 태양열 온수 집열기를 설치하고 실험실에 온수 저장탱크를 설치하여 2007년 1월 1일부터 12월 31일까지 연중 저장 탱크 속의 열저장량 및 집열 효율을 측정 하였다.

## 2. 계산식

하루 동안 태양으로부터 집열된 열량이 실내에 설치된 태양열 저장조에 저장되는 효율을 구

하기 위해 다음과 같은 계산을 하였다.

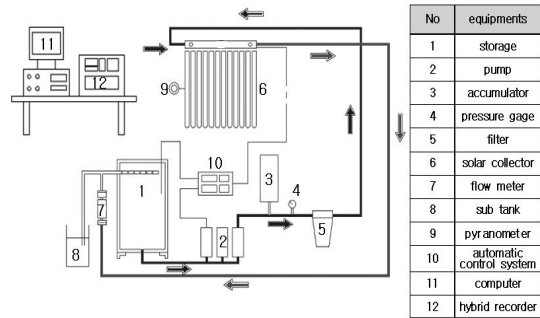


그림 1. Schematic diagram of the testing apparatus for concentric evacuated tube solar thermal system

먼저 하루 동안 집열판이 태양으로부터 얻은 복사 에너지량은 다음 (1)식과 같이 계산하였다.

$$Q_{solar} = \int_{t_1}^{t_2} I_c A_c dt \quad (1)$$

위 식에서  $I_c$ 는 집열판의 단위 면적당 일사량이며 일사계에 의한 시간별 측정값이고,  $A_c$ 는 집열판의 면적이며,  $t_1$  및  $t_2$ 은 각각 일출시간과 일몰시간이다.

그리고 실내에 있는 열저장조는 원통형 수조로써 다음 식(2)와 같이 물을 가열한다.

$$\Delta Q_{storage} = m_{storage} C_p (T_2 - T_1) \quad (2)$$

위 식에서  $m_{storage}$ 는 열저장조속에 물의 질량,  $C_p$ 는 물의 비열이며  $T_1$ 과  $T_2$ 는 각각 일출 및 일몰 시간에 수조내의 물의 온도이다.

마지막 하루 동안 열저장조의 집열효율은 식 (1)과 식(2)의 비로서 다음과 같다.

$$\eta = \frac{Q_{storage}}{Q_{solar}} \times 100 \quad (3)$$

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험장치

이중진공관형 태양열 집열관의 하루 동안 집열효율을 구하기 위한 성능시험장치의 전체적 개략도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보면 ①번의 열저장 수조는 실험실 내에 위치해 있고 ⑥번은 집열관으로 옥상에 설치되어 있어 열저장조로부터 펌프로 동작유체인 물은 옥상에 있는 집열관까지 압송하여 집열관에서 동작유체가 열을 얻어서 다시 열저장조로 돌아오면 열저장조안의 동작유체인 물의 온도가 상승한다.

그림 2는 실험실에 설치된 열저장조의 도면으로서 원통형 수조이며 그림 3은 옥상에 설치된 이중진공관형 태양열 집열관의 도면으로서 정남으로 경사각 35°로 설치하였다.

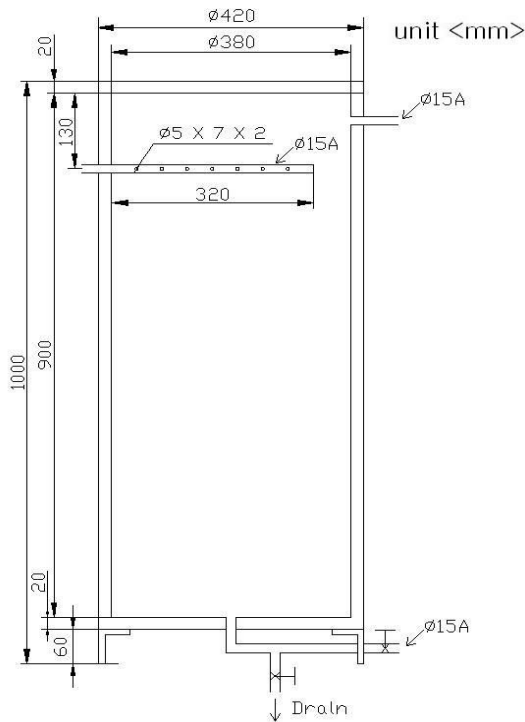


그림 2. Thermal storage tank

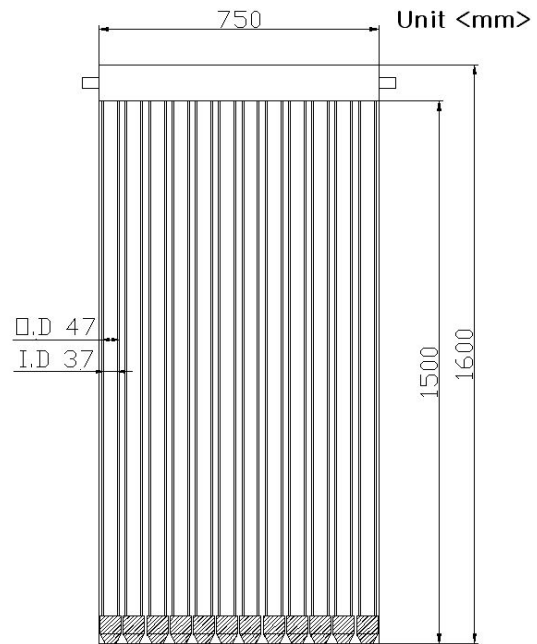


그림 3. The dual-tube type evacuated solar collector

실험에 사용된 태양열 집열관은 태양열 집열관 제조업체에서 성능시험 하고자하는 표본(sample) 장치로서 열저장조의 용량은 최대 일사량 및 최대 열효율에서 열저장조의 온도가 특정온도(60°C)를 넘지 않도록 설계 하였다. 그리고 본 장치는 자동제어장치에 의해 태양열 집열관 입구의 온도와 열저장조에 물의 온도를 비교하여 태양열 집열관 입구 온도가 열저장조의 물의 온도 보다 높으면 pump가 작동하여 동작유체가 순환되고 반대로 열저장조의 온도가 태양열 집열관의 온도 보다 높으면 동작유체의 순환이 중단된다.

#### 3.2 실험방법

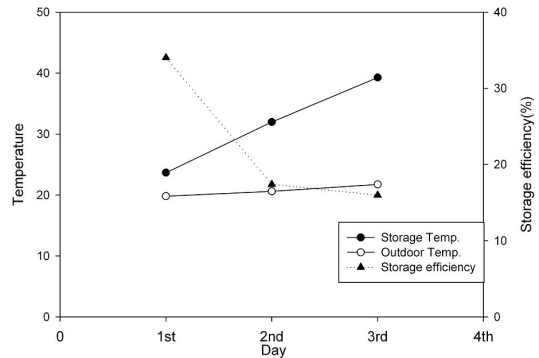
본 실험의 측정조건은 태양열 집열관을 옥상에 설치하고 열저장조 및 측정 장치들은 실험실 내에 설치하여 측정기간은 1월 1일부터 12월 31일까지 일출 시간부터 일몰 시간까지 시스템을 가동하였다. 그리고 측정 첫째 날부터 3일간 열저장조를 냉각하지 않고 연속 운전하였으며 제 3일 날 일몰 이후 열저장조의 온도를 당일 수돗물

온도까지 냉각하여 초기화하고 다시 이와 같이 반복하는 방법으로 실험하였다.

온도 측정 지점은 열저장조 내의 동작유체의 온도, 태양열 집열기의 입구 및 출구 지점의 온도, 및 외기 온도 등이다. 그리고 일사계로 일사량을 측정 했으며 동작유체의 순환 유량은 전자유량계로 측정하였다. 그리하여 모든 데이터가 Hybrid Recorder에서 매분마다 측정되어 컴퓨터에 저장한다.

#### 4. 실험결과

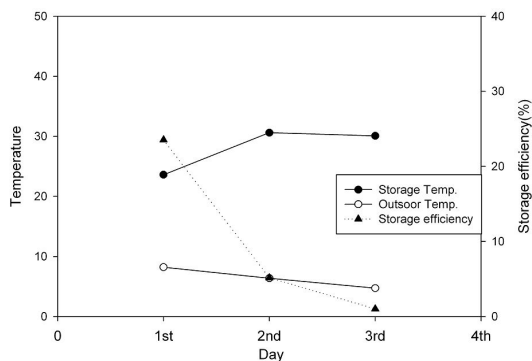
그림 4의 (a), (b) 및 (c)는 1월, 6월, 10월 중 동작유체의 중간 냉각 없이 3일간 연속 운전하였을 때 하루 평균 열저장조 내의 작동유체온도, 외기 온도 및 집열효율을 나타낸 것이다. 그림에서 보



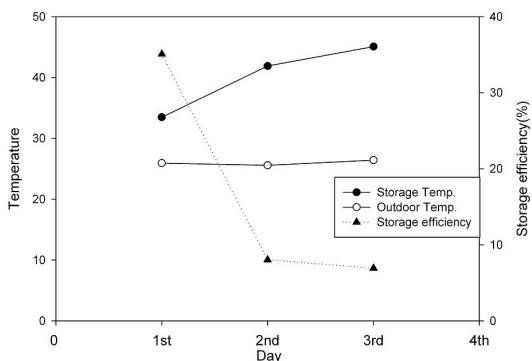
(C) October 12th, 13th, 14th

그림 4. Daily averaged storage temperature, outdoor temperature and storage efficiency for 3 consecutive days

면 3일 연속 운전하여 열저장조 내의 동작유체의 온도는 올라가지만 집열효율은 낮아짐을 볼 수 있고 열저장조 내의 온도가 계절에 따라 차이가 있음을 볼 수 있다.



(a) January 24th, 25th, 26th



(b) June 4th, 5th, 6th

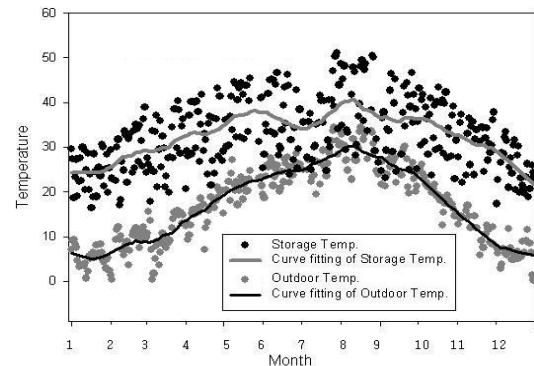


그림 5. Daily averaged storage temperature and outdoor temperature

그림 5는 연간 외기온도와 열저장조 내의 동작유체의 하루 평균 온도를 나타낸 것인데 회색 점은 외기온도를 나타낸 것이고 검은 선은 최소자승법에 의한 외기온도분포의 추세선을 나타낸 것이며 검은 점은 열저장조 온도를 나타낸 것이고 회색 선은 최소자승법에 의한 열저장조 온도 분포의 추세선이다. 따라서 각 점들은 일출시간

에서 일몰시간까지 평균온도이다. 그림에서 보면 열저장조의 하루 동안 평균온도는 겨울철 최저 20℃에서 하절기 최고 52℃까지 상승하며 외기 온도의 변화에 따라 열저장조 온도가 변함을 볼 있다.

다음 그림 6에서 긴 막대는 월별 하루 동안 평균 일사량으로서, 즉 태양열 집열판에 입사되는 복사 에너지를 매일 일출 시간부터 일몰시간까지 적분하고 매달 일수로 나눈 값이다. 그리고 긴 막대속의 짧은 막대는 열저장조의 일 일 집열량을 월별 평균한 값이다.

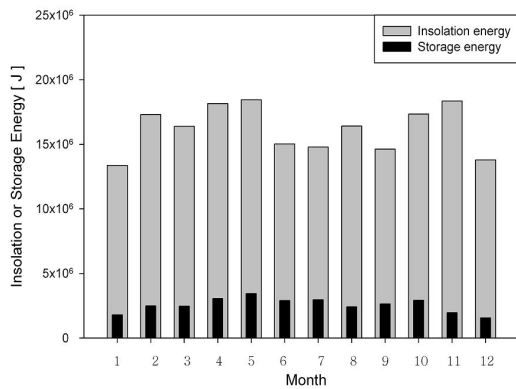


그림 6. Monthly averaged solar insolation and storage energy

그림에서 보면 먼저 겨울철 보다 봄철에 하루 평균 일사량은 겨울철에서 봄철로 가면서 증가하다가 하절기에 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 하절기에 비오는 날이 많았기 때문이며 다시 가을에 맑은 날이 많아 일사량이 증가하다가 12월에 다시 감소함을 보여주고 있다.

그림 7은 식(3)에 의한 열저장조의 일일 집열 효율을 월 평균한 값이다. 그림에서 우천 시와 같이 일사량이 거의 없는 날은 월 평균 계산에서 제외하였다. 태양열 저장조의 집열효율은 동절기 11%이하로 낮으며 하절기는 최고 23%까지 올라간다. 이는 동절기에 외부온도가 낮아서 태양열 집열판 및 외부에 노출된 배관으로부터 열손실이 커서 생긴 것으로 보이며 하절기에는 상대적

으로 열손실이 적어서 열효율이 올라간 것으로 생각된다.

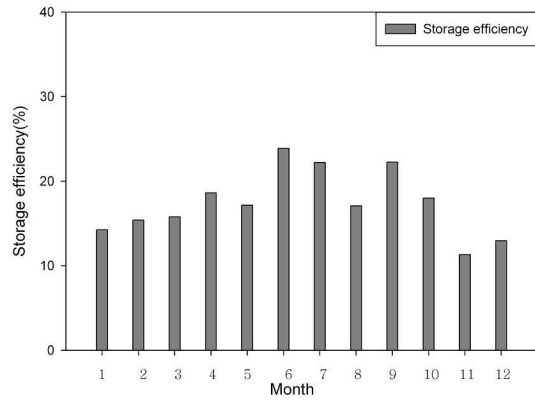


그림 7. Monthly averaged storage efficiency

그림 8은 365일 동안(우천 시 제외) 일일 평균 외기온도  $T_a$ , 일일 평균 열저장조 온도  $T_s$  및 일일 태양열 집열판에 입사되는 복사 에너지  $I_c$ 를 구하여  $(T_s - T_a)/I_c$ 에 대한 열저장조 집열효율을 도시한 것이다. 집열효율은 조건에 따라 거의 0%에서 최고 48%까지 분포하여 열저장조 온도와 외기온도의 차이가 적을수록 집열효율이 커지며 일사량이 클수록 집열효율이 좋아짐을 보여준다.

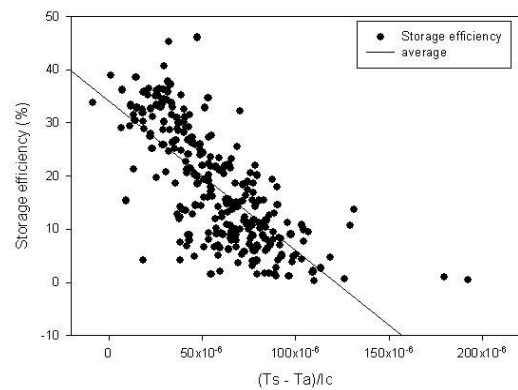


그림 8. Daily averaged storage efficiency according to  $(T_s - T_a)/I_c$

## 5. 결 론

태양열 집열관을 옥상에 설치하고 실내에 있는 열 저장조의 집열효율을 측정하기 위해 1월 1일부터 12월 31일까지 3일 연속 운전 후 열저장조를 냉각하여 초기화 한 후 다시 3일 연속 운전하는 방법으로 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 열저장조의 저장온도는 외기온도에 따라 비례하여 1월에는 최저 20℃에서 8월 최고 52℃까지 변화 하였다.
- (2) 열저장조의 열 저장량은 12월이 일 일 평균 1455.4kJ로 최소이었으며 5월이 3321.6kJ로 최대이었다. 다만 하절기는 우천 관계로 열 저장량이 이에 미치지 못하였다.
- (3) 열저장조의 일 일 집열효율은 11월에서 11.3%로 최소이었으며 6월중에 23.9%로 최대이었다.
- (4) 따라서 동절기 즉 외기온도가 낮을 때 열 저장조 온도, 열저장량, 및 집열효율이 모두 낮게 나타나고 날씨가 좋은 달, 즉 6월과 9월에 열저장조 온도, 열저장량 및 집열 효율이 높게 나타났다.
- (5) 일일 평균 열저장조 온도  $T_s$ , 외기온도  $T_a$ , 및 일사량  $I_c$ 로 구성된  $(T_s - T_a)/I_c$  인자에 대한 열저장조의 집열효율을 구한 결과 서로 반비례하여  $(T_s - T_a)$ 가 적고  $I_c$ 가 클수록 집열효율이 높게 나타났다.

## 후 기

이 논문은 2007년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. H.S. Chung, H.M. Jeong and S.S. Kwon, *A Study on the Performance of Two Piping Coiling Heat Exchanger for Solar Heating System*, *Proceeding of the SAREK*, 1998.
2. C.J. Kim and K.B. Yin, *An Experimental Study on the Heat Transfer Characteristics for a Flat Plate Solar Collector with a Heat Pipe*, *Transaction of KSME*, vol.17, No.5, pp.1237-1245, 1993.
3. T.Y. Bong, K.C. NG and H. Bao, *Thermal Performance of a Flat-Plate Heat-Pipe Collector Array*, *Solar Energy*, Vol.50, No.6, pp.491-488, 1993.
4. E.H. Amer, J.K. Nayak and G.K. Sharma, *Transient Test Methods for Flat-Plate Collectors: Review and Experimental Evaluation*, *Solar Energy*, Vol.60, No.5, pp.229-243, 1997.
5. S.B. Youn, *A Study on the Standardization of Test Method of Flat-Plate Liquid-Heating Solar Collectors*, *J. of Korean Industries Safety*, Vol.5, No.3, 1990.
6. K. S. Chang and M. S. Kim, *Study on the Performance of The Flat-Plate Solar Collectors*, *J. of Agricultural Mechanical Engineers Society*, Vol.2, No.2, 1977.
1. H.S. Chung, H.M. Jeong and S.S. Kwon, *A Study on the Performance of Two Piping Coiling Heat Exchanger for Solar Heating*