

평판형 태양열 집열기의 각도에 따른 집열성능 연구

지명국* · 공태우* · 배철환* · 정효민** · 정한식**

Study on the Heat Collecting Performance of Flat-Plate Solar Collector by the angle

M.K. Ji*, T.W. Kong*, C.W. Bae, H.M. Jeong** and H.S. Chung**

Key Words: Beam or Direct Radiation(직달 일사), Diffuse Radiation(산란 일사), Global Solar Radiation(전 일사), Solar Collector(태양열 집열기)

Abstract

In this study, heat collecting performance was study of flat plate solar collector by the angle. A method of study on were made turn out artificial sun by the angle of 0,15,30 degrees. The heat performances were measured the tube array surface temperature by thermo-couple. The winter season natural condition for 4 times on the angles of various general and emboss glass at optimum distance(0.68m) calculated of between sun and solar collector. To sum up temperature rise is appear more or less that emboss glass is all the better for general glass. The temperature variable at below of 30 degree was appear very less. The maximum performance of this system at that it is tilt angle of 30 with general glass is appear $Q=11.54(\text{kcal}/\text{min})$ and $\Delta T=18.9^\circ\text{C}$.

기호설명

- A : absorber plate area, m^2
 C_p : specific heat of water, $\text{kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
 G : flux, kg
 K : conductivity of the air, $\text{kcal}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
 T : temperature, $^\circ\text{C}$
 η : efficiency, %
 Q : calorie, kcal/min
 T_{fo} : out temperature of absorber plate, $^\circ\text{C}$
 T_{fi} : in temperature of absorber plate, $^\circ\text{C}$
 I : solar radiation, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{s}$

1. 서론

세계적으로 큰 관심을 불러일으키는 잇슈로는 환경 살리기와 대체에너지의 연구이다. 현존하는 화석 및 석유에너지의 문제점은 환경파괴와 에너지원의 고갈에 있다. 이에 대체에너지의 개발은 촉각을 다투어 이루어지고 있다. 최근 대체에너지원으로서 가장 각광을 받고있는 것 중 하나가 태양에너지이다. 이 태양에너지는 현재 여러 분야에서 널리 이용되고 있다. 건물의 냉·난방, 온수 급탕 또는 인공위성의 전력원 등 폭넓게 이용되고 있으며 이들의 효과적인 이용을 위한 꾸준한 연구가 활발히 진행되고 있다.

태양광은 지구의 대기층을 통과하면서 흡수와 산란을 반복하며 지표에 도달하는데 이것의 성분 중에 흡수 또는 산란에 의해 우회하지 않고 직접 지표에 도달하는 일사 성분을 직달 일사라 하고, 산란과 반사에 의한 성분을 산란 일사, 그리고 이 두 성분을 합한 지표 수평면의 일사를 전 일사(Global Solar Radiation)라고 부른다.⁽¹⁾ 태양열을 이용하여 온수를 얻는 방법에는 집광식 집열기⁽²⁾를 사용하는 방법과 평판형 집열기⁽³⁾를 사용하는 방법이 있다.

* 경상대학교 대학원

** 경상대학교 수송기계공학부

발생하는 자연대류⁽⁴⁾ 열 손실 현상을 규명하는 것이다. 집열기로부터 외부로 방출되는 열 손실은 집열판과 덮개사이의 자연 대류에 의한 손실⁽⁵⁾, 그리고 집열기의 측면과 후면을 통한 열전도 손실 등으로 크게 분류 될 수 있다. 그러나 본 실험에서는 각도와 덮개에 따른 집열기의 최적설계를 함이 목적이므로 자연대류에 의한 손실과 열전도 손실등은 부차적인 변수로 잡아 최적의 각도를 선정 후 손실을 줄이는 방향으로 실험을 진행하였다. 따라서, 본 연구에서는 집열기의 각도를 변화시키고 덮개의 가공 조건에 따른 실험을 하여 각 변수에 따른 기본성능을 도출하고자 한다.

2. 이론 해석 및 실험

2.1 이론 해석

태양열 집열기의 순간 효율은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{\text{실제 얻어진 에너지}}{\text{집열기 표면에 떨어진 직달일사량}} \quad (1)$$

실제 동작조건 및 기상조건에 따른 1일 단위의 집열량 및 효율⁽⁶⁾을 산출 할 경우는 다음의 (2)식을 이용하여 구한다.

$$\eta = m C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_{fo} - T_{fi}) dt / \left(\int_{t_1}^{t_2} I dt \right) \quad (2)$$

여기서, t_1 은 시험시작시각, t_2 는 시험종료시각을 의미한다.

2.2.1 열역학적 열량

태양열 집열판에 열역학적 열량을 적용하면

$$Q = GC \cdot \Delta T \quad (3)$$

와 같이 된다.

일사량에 의한 열량을 구하면 다음 식(4)와 같은 형식으로 나타난다.

$$Q = KA(T_1 - T_2) \quad (4)$$

2.2 실험장치 및 방법

Fig.1은 본 실험에 사용된 실험장치의 구조이다. Fig.2는 집열판에 설치된 열전대의 위치를 나타낸다. 집열기는 Fig.3에 그 기본설계를 나타냈고 지관 12개, 덮개의 유리판은 580×1080×40을 사용하고 단열재는 동판을 사용하였다. 상·하부 수평 관의 직경은 Ø15를 사용하였고, 수직

관의 직경은 Ø8을 사용하였다. 인공태양세트는 Fig.4에 나타난 것처럼 규격을 참조하여 최대한 오차가 없도록 제작하였다. 인공태양용 램프는 ULTRA - VITALUX를 사용하였고 이 램프의 특징은 태양 광선과 유사하여 설치가 용이하며 인공환경, 특수기후 등의 조건하에서 기능적 안전성 및 수명변화 확인 등 기후 상황에 따른 재료 및 기기의 검사에 적합⁽⁷⁾하여 본 실험에 사용하였다. 집열판과 인공태양과의 거리는 겨울철의 조건에 맞추어서 얻어진 0.68m로 하였으며, 일사량은 제작 초기의 램프의 일사량을 측정된 값을 사용하였다. 일사량의 측정에는 전천일사계를 이용하였으며 열전대(Thermocouple)는 T-Type을 사용하였다. 열전대의 온도 보정을 위해 집열판에 설치하기 전에 온도측정을 해본 결과 무시할 정도이므로 온도 보정은 하지 않았다.

열교환기는 이중관 열교환기를 사용하였으며 덮개로 사용된 유리는 저 철분 강화유리를 사용하여야하나 국내에서의 구입이 용이하지 못하여 두께가 2mm인 일반 건물용을 사용하였다.

데이터 로고는 상용화된 것을 사용하였으며 1분당 자료를 읽어 컴퓨터로 전송하였다.

실험은 1999년 12월 15일부터 2000년 2월 5일까지 실시하였으며, 유량은 항온 수조측을 1.0ℓ, 열교환기측을 1.8ℓ로 일정하게 유지하여 공급하였다. 그리고 초기에 공급되는 물의 온도는 실험의 균일한 데이터를 얻기 위하여 12℃로 가열하여 일정한 온도로 공급하였다.



Fig.1 Photo of the experimental apparatus.

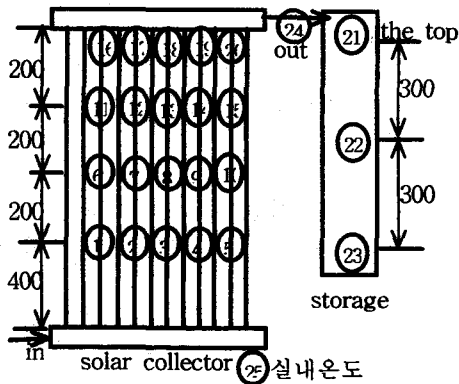


Fig.2 The each position of the thermocouple.

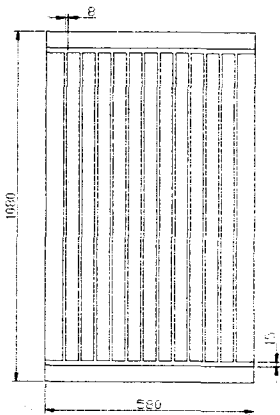


Fig.3 A plan of the flat plate solar collector.

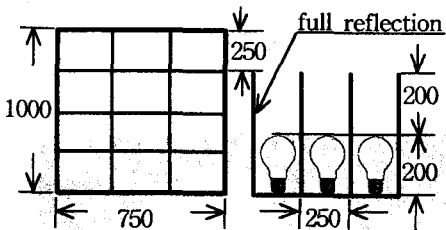


Fig.4 A standard of artificial sun.

3. 실험 결과 고찰

3.1 실험 그래프의 분석

실험은 현재 0°, 15°, 30°까지 진행된 상태이다. 표 1은 집열판에 설치된 열전대의 온도분포를 식별하기 위한 색조표로서 모든 그림에 동일하게 적용된다.

Table 1. Thermocouple point forms and color.

— point 1	----- point 11
— point 2	----- point 12
— point 3	----- point 13
— point 4	----- point 14
— point 5	----- point 15
— point 6	----- point 16
— point 7	----- point 17
— point 8	----- point 18
— point 9	----- point 19
— point 10	----- point 20
a) solar collector.	
----- point 21	----- point 24
----- point 22	----- point 25
----- point 23	
b) storage tank and the interior of the room.	

Fig.5에서 Fig.8에 도시한 그래프는 0°일 때 집열판 온도 상승을 나타낸다. Fig.5와 Fig.6은 엠보싱 유리일 때 Fig.5는 축열조(220ℓ)에 물이 가득 찰 때까지 계속 순환시킨 것으로 22°C 이상은 상승하지 않았고 약 50분이 경과한 후 정상상태에 도달하였다. Fig.6은 축열조에 100ℓ를 기준으로 폐회로를 형성하여 실험한 결과로 28°C의 온도 상승을 보이고 있으며 약 180분이 경과한 후에 정상상태에 도달하였다. Fig.7과 Fig.8은 덮개를 일반유리를 사용하여 실험한 결과로서 Fig.7은 축열조에 물이 가득 찰 때까지 측정된 결과로 약 50분의 경과 후에 정상상태에 도달하고 온도의 상승은 약 22°C였다. Fig.8은 폐회로를 실험한 것으로 약 240분 경과 후에 정상상태에 도달했으며 온도 상승은 약 30°C를 나타냈다.

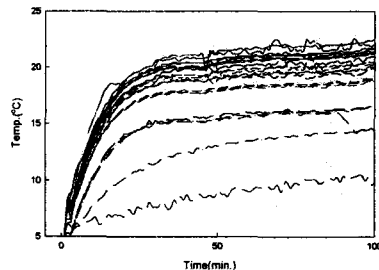


Fig.5 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 0°(emboss glass).

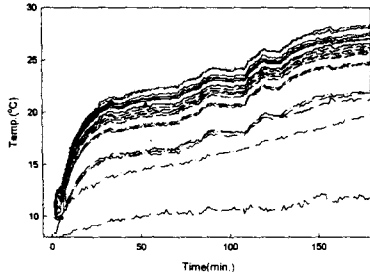


Fig.6 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 0° (emboss glass).

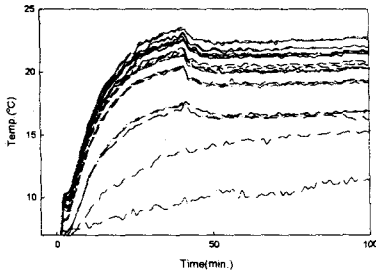


Fig.7 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 0° (general glass).

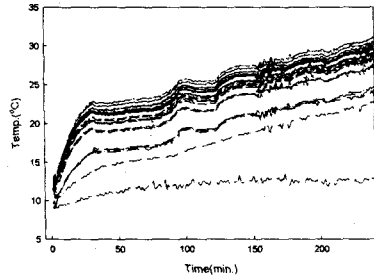


Fig.8 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 0° (general glass).

Fig.9에서 Fig.12까지는 15° 일 때의 측정결과이다. Fig.9와 Fig.10은 엠보싱 유리일 때의 결과로서 Fig.9는 물이 축열조에 가득 찰 때까지 측정 한 결과이고 약 100분이 경과하여 정상상태에 도달하였고 온도의 상승은 약 24°C 정도였다. Fig.10은 100ℓ를 기준으로 폐회로를 형성하여 실험한 결과이고 약 220분의 경과 후 정상상태에 도달하며 온도 상승은 약 25°C 를 보였다. 그리고 Fig.11과 Fig.12는 일반유리의 경우로서 Fig.11은 물이 축열조에 가득 찰 때까지 실험한 결과로서 약 100분의 경과 후 정상상태에 도달하며 약 23°C 의 온도 상승은 보이고 있다. Fig.12는 폐회로의 경우이며 온도상승은 약 23°C 로 나타나고 350분 정도의 시간이 흐른 후에 정상상태에 도달하였다.

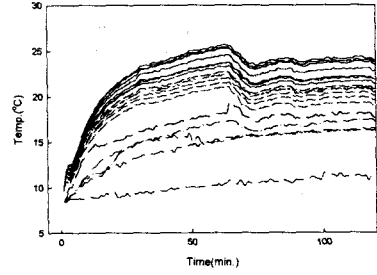


Fig.9 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 15° (emboss glass).

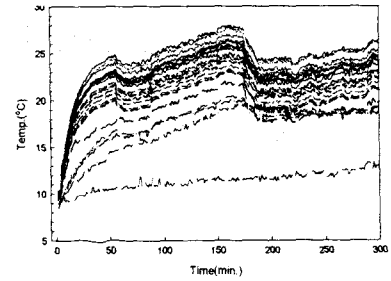


Fig.10 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 15° (emboss glass).

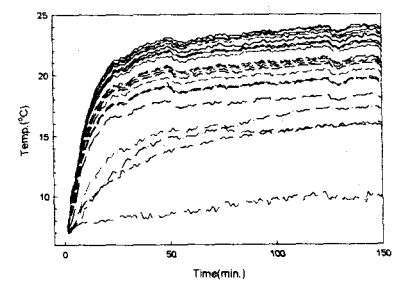


Fig.11 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 15° (general glass).

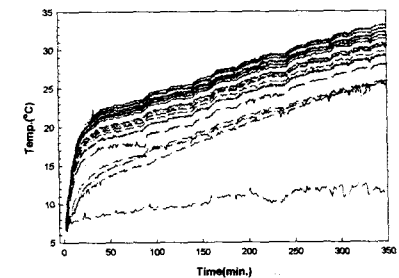


Fig.12 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 15° (general glass).

Fig.13과 Fig.14는 30° 일 때 일반유리로 실험한 결과이다. Fig.13은 자연순환의 경우로 온도상승은 약 23°C 이고 100분 후 정상상태에 도달했다. Fig.14는 폐회로로 약 280분의 경과 후 정상상태에 도달하고 온도는 약 33°C 정도로 상승하였다.

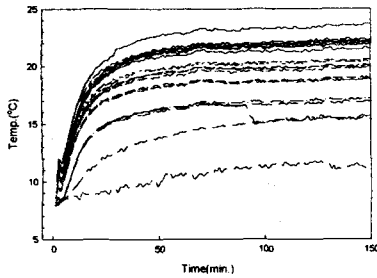


Fig.13 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 30°(general glass).

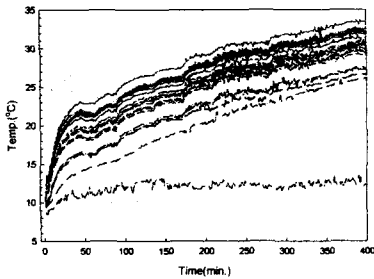


Fig.14 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 30°(general glass).

Fig.15와 Fig.16은 30°일 때 엠보싱유리로 실험한 결과이다. Fig.15는 자연 순환시킨 결과이며, 온도상승은 약 24°C이고 정상상태 도달시간은 약 120분 정도이다. Fig.16은 폐회로의 경우이고 온도상승은 약 32°C이고 정상상태 도달시간은 약 300분이다.

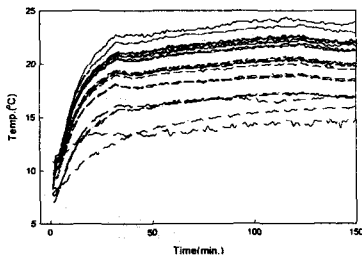


Fig.15 Temperature distribution of opened a circuit at angle of 30°(emboss glass).

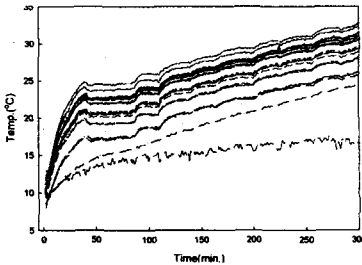


Fig.16 Temperature distribution of closed a circuit at angle of 30°(emboss glass).

Fig.17은 0°일 때 물을 차단하고 공기일 때 집열판 표면의 온도상승을 측정된 것으로 엠보싱유리의 경우이다. 약 100분의 경과 후에 정상상태에 도달했으며 온도상승은 100°C 정도를 보였다.

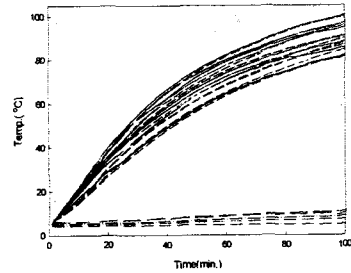


Fig.17 Temperature distribution of the solar collector surface at basic experiment at angle of 0°(emboss glass).

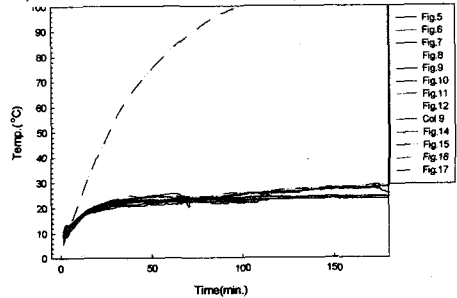


Fig.18 Maximum temperature distribution of each solar collector surface at various conditions.

Fig.18은 각 각도에서의 최고온도를 그래프에 표현함으로써 각각의 각도에서의 온도를 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 30° 엠보싱유리일 때 온도의 상승이 가장 높음을 알 수 있다.

3.2 결과 분석

(1) 열량

이상의 결과를 토대로 기본적인 열역학적 열량을 구하는 (3)식을 이용하여 실험시작 온도는 12°C로 동일하게 하고 실험종료 후의 온도를 point 21, 22, 23을 평균으로 각 조건에서의 열량을 표 2에 나타냈다.

(2) 효율

집열기 효율은 입사되는 태양에너지에 대한 사용할 수 있는 유용한 열에너지의 비로 나타내며, 식(5)에 의해 집열기 순간효율⁽⁸⁾을 계산하였다.

$$\eta = \frac{G C_p \cdot (T_{f0} - T_{fi})}{A \cdot I} \quad (5)$$

본 실험에 사용된 일사량은 인공태양의 일사량으로 실험에 의해 구해진 다음 식을 이용하여 계산된다.

$$\text{Solar Radiation} = 0.0702 \cdot d^{-1.5082} \quad (6)$$

일사량 $I = 0.125 \text{kcal/m}^2 \cdot \text{s}$ 이다. 따라서, 이 값을 이용하여 효율을 구하면 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 2. Calorie value of solar collector.

A circuit	Each variable	Q (kcal/min.)
opened a circuit	0°(emboss glass)	2.65
closed a circuit	0°(emboss glass)	7.1
opened a circuit	0°(general glass)	3.2
closed a circuit	0°(general glass)	9.36
opened a circuit	15°(emboss glass)	5.54
closed a circuit	15°(emboss glass)	3.9
opened a circuit	15°(general glass)	3.43
closed a circuit	15°(general glass)	10.76
opened a circuit	30°(general glass)	3.04
closed a circuit	30°(general glass)	11.54
opened a circuit	30°(emboss glass)	3.67
closed a circuit	30°(emboss glass)	11.47

Table 3. Efficiency value of solar collector.

A circuit	Each variable	η (%)
opened a circuit	0°(emboss glass)	50.8
opened a circuit	0°(general glass)	67.3
opened a circuit	15°(emboss glass)	114.3
opened a circuit	15°(general glass)	76.2
opened a circuit	30°(emboss glass)	76.2
opened a circuit	30°(general glass)	64.8

4. 결론

(1) 엠보싱유리일 때가 일반유리일 때보다 온도의 상승이 다소 높게 나타났다.

(2) 30°이하의 각도에서는 온도의 상승폭이 각각도에 대해서 많은 변화가 보이지 않았다.

(3) 열량은 일반유리가 엠보싱유리보다 다소 높음을 알 수 있었다.

(4) 열량은 30° 일반유리일 때가 가장 높고 온도의 상승은 30° 엠보싱유리일 때가 가장 높게

나타났다.

(5) 효율은 15°일반유리일 때와 30°엠보싱유리일 때 76.2%로 가장 높게 나타났다.

(6) 본 시스템의 최대성능은 집열판 설치각도 30°, 일반 유리일 때로 열량과 온도상승은 각각 $Q = 11.54(\text{kcal/min})$, $\Delta T = 18.9^\circ\text{C}$ 로 나타났다.

후기

본 연구는 해양수산부 '99수산특정 연구과제의 연구비 지원으로 연구된 일부 결과이며, 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) K. Bai, S. H. Cho, S. M. Lee, 1985. "The measurements instaneous efficiency & calculation of all-day efficiency of the concentrating solar collector." Solar Energy vol.5 no.1, pp.22~35.
- (2) T. J. Kim, 1988, "An Experimental study on optimum honeycomb sizes of a flat-plate solar collector." Solar energy vol.8 no.2, pp.22~37.
- (3) 박이준외, 1994, "Stand solar irradiance and light soures for photovoltaic measurements.", Solar Energy vol.14, no.3, pp.88~93.
- (4) 서정윤, 이용화, 1993. "냉동공조공학.", pp.231~239.
- (5) ASHRAE, ASHRAE Standard 93-77, 1997, "Methods of testing to determine the thermal performance of solar collector.", New York.
- (6) 이태식, 이재현, 이준식 "interjunction to heat transfer.". pp.728~738.
- (7) 신재호, 이중섭, 정효민, 정한식. 1999 "진공관식 태양열 집열기에 관한 연구." 대한기계학회1999년도 추계학술대회 논문집 pp.22~26.
- (8) 김철주, 이진성, 1996, "중심부에 열파이프를 갖는 2중 진공관형 태양열 집열기의 열전달특성에 대한 기초연구.", Solar Energy vol. 16, No.1, pp.39~49.