

인공태양에 의한 이중 진공 유리관의 집열특성에 관한 연구

남용한* · 신재호* · 모종근* · 정한식† · 정효민** · 서정세**

A Study on the Collector Characteristics of Evacuated Double Glass Tube by Artificial Sun

Yong-Han Nam*, Jae-Ho Shin*, Joung-Gun Mo*, Han-Shik Chung†, Hyo-Min Jeong** and Jeong-Se Suh**

Key Words: Solar energy(태양 에너지), Artificial sun(인공 태양), Solar collector(태양열 집열기), Vacuum tube collector(진공관 집열기), Double glass tube(이중 유리관)

Abstract

This paper represents the solar collector performance with type of an evacuated double glass, and a copper tube was installed in center of collector to get a solar thermal energy. The one module of solar collector and artificial sun were used in this experiment. The distance between artificial sun and solar collector was fixed at 0.5m, and this experimental condition was focused on winter season. The experiments were carried out three times for getting a accurate data and the heat amount of one module evacuated solar collector was estimated about 48 kcal/hr.

기호설명

A_c : 집열 면적 [m^2]

C_p : 물의 비열 [$kcal/kg \cdot ^\circ C$]

G : 유량 [kg]

I_s : 일사량 [$kcal/hr \cdot m^2$]

Q : 열량 [$kcal/min$]

Q_w : 집열에너지 [$kcal/hr$]

U_t : 열손실 계수 [$kcal/hr \cdot m^2 \cdot ^\circ C$]

t_a : 외기 온도 [$^\circ C$]

t_i : 집열기 입구의 온도 [$^\circ C$]

t_o : 집열기 출구의 온도 [$^\circ C$]

\bar{t}_s : 흡수판 표면의 평균온도 [$^\circ C$]

α : 흡수판 흡수율 [%]

τ : 투명 덮개 투과율 [%]

1. 서론

우리들이 살고 있는 21세기의 지구는 환경문제와 화석에너지를 대신해서 무공해와 무한성이 있는 대체에너지 개발에 주력하고 있다. 대부분의 에너지를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 특히 대체에너지에 대한 연구가 무엇보다도 절실히 요구된다. 이에 대한 한가지 방편으로서 태양열에 대한 연구와 제품개발이 활발하게 진

† 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : hschung@nongae.gsnu.ac.kr

TEL : (055)640-3185 FAX : (055)640-3188

* 경상대학교 대학원

** 경상대학교 기계항공공학부

행되어 오고 있다. 우리나라의 경우 태양열을 이용한 집열시스템은 주로 평판형집열기에 국한되어 연구가 진행되어 왔다. 평판형 태양열 집열기는 비교적 가격이 저렴하고 일사량이 좋은 농촌 지역을 중심으로 일반가정에 주로 사용되어 왔었다. 하지만 겨울철의 동파문제와 유지 보수 문제로 사용자에게 대한 신뢰성 확보에 있어서 미진한 점이 있었다. 이러한 문제점들에 대한 인식을 새로이 하고 집열온도를 높여 중온의 열을 확보하고자 진공 유리관식 태양열 집열기에 대한 연구와 개발이 꾸준히 진행되어 오고 있다.^{(1)~(3)} 진공관형 태양열 집열기는 이중의 유리관으로 구성되어 있으며 그 사이의 밀폐된 공간을 진공 처리하여 집열효율을 높이고자 하였다. 외부 유리관은 투명 유리관으로써 태양으로부터 복사된 에너지를 통과시킨다. 또한, 내부 유리관의 표면은 black-chrome 처리하여 태양의 흡수율을 높이고 동시에 열 에너지의 손실을 줄이는 역할을 한다.^{(4),(5)}

이러한 진공관이 가지는 특성을 이용하여 태양열 집열시스템을 구성할 경우 기존의 평판형 태양열집열기가 가지는 가정용 온수에 사용되는 온수의 사용온도 60 ~ 80℃ 보다는 훨씬 높은 온도인 80 ~ 140℃의 중온의 온도를 획득할 수 있을 것이다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 이중 진공 유리관의 1모듈을 이용하여 집열시스템을 구성하고 인공 태양 하에서 실험을 수행하였으며, 온도분포의 특성과 집열기의 성능을 평가하였다.

2. 이론적 배경 및 실험

2.1 이론적 배경⁽⁷⁾

2.2.1 태양열과 에너지

태양은 3.8×10^{23} kw의 복사 에너지 형태로 동력을 생산하는 하나의 거대한 핵발전소이다. 이 중 극히 일부분(10억분의 1 이하)만이 지구에 비추어지며, 이 작은 부분만 해도 1.8×10^{14} kw에 달한다. 평균적으로 이 에너지량의 60% 정도가 대기층을 뚫고 지구표면에 도달하게 된다. (1.1×10^{14} kw) 이것을 에너지 밀도로 보면 맑은 날의 1㎡당 약 1kw의 에너지가 생성되는 것에 해당한다. 이것은 입사하는 태양광

의 10%만을 이용한다 하더라도 우리나라의 총 발전 설비 용량에 해당하는 엄청난 전력을 얻을 수가 있다.

2.2.2 집열 에너지

집열기로부터 집열된 열의 성능과 효율 등은 집열면의 일사량과 사용된 집열기에 따라서 약간의 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 다음의 수식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 안정된 상태에서 어떤 주어진 시간 동안에 태양열 집열기가 얻은 에너지는, 흡수면에서 흡수한 에너지와 주위로 손실된 에너지와의 차를 말한다. 이와 같은 관계를 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$Q_u = A_c [I_t \tau \alpha - U_L (\bar{t}_p - t_a)] \quad (1)$$

일반적으로 집열판의 성능은 식(1)에서 $I_t \tau \alpha$ 값을 최대로, $U_L (\bar{t}_p - t_a)$ 값을 최소로 하여 설계하는 것이 바람직하다.

2.2.3 집열 성능

태양열 집열기의 성능은 일반적으로 실험을 통하여 획득할 수 있다. 집열기를 통과하는 열 전달 매체의 유량과 집열기 입구와 출구의 온도 차를 구하여 다음의 식(2)를 적용하여 구할 수 있다.

$$Q_u = AGC_p (t_o - t_i) \quad (2)$$

2.2 실험장치 및 방법

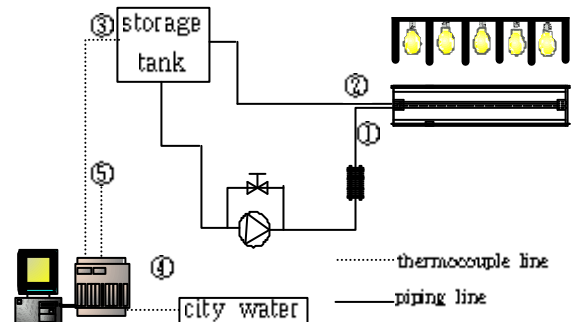


Fig. 1 Schematic diagram of one module evacuated solar collector.

진공관형 태양열 집열기의 1모듈을 제작하여 집열 시스템을 구성하였다. Fig. 1은 본 실험을 수행하기 위하여 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 집열기에 사용된 진공관의 재질은 Borosilicate glass이고 그 길이가 1,250mm이다. 또한, 안지름이 37mm이고 바깥지름은 47mm의 동근 이중 원형관으로서 환상공간 내를 10^{-3} Torr의 진공도를 유지하고 있다. 태양의 흡수율이 93%정도로 Al-N/Al selective surface 구조이다. 인공태양의 집열효과를 높이기 위하여 길이 1,270mm의 반사판(reflector)을 사용하였으며 반사판의 재질은 304BA 경면 스테인리스 판으로 제작하였다.

건물 내에서의 실험이 가능하게 하기 위하여 자연상태의 태양의 성분과 가장 유사하도록 제작된 인공태양을 사용하였다. 인공태양의 램프는 ULTRA-VITALUX를 사용하였고, 인공태양의 형태와 구성은 램프의 간격을 250mm로 500mm × 1,500mm로 구성하였다. 12개의 램프를 설치하여 격판의 두께와 높이가 균일하도록 하였다. 그리고 각 격판의 표면에 알루미늄 박판을 이용하여 전체적으로 균일한 반사가 이루어지도록 하였다. 이상의 실험재료와 방법으로서 Fig. 2와 같은 실험장치의 set를 구성하였다. 작동유체인 물의 용량을 축열조 3ℓ로 동일하게 유지하고 진공관 내에 동관을 부가하여 순환펌프로 강제 순환시켜 실험하였다. 집열기로 유입되는 유량을 0.2 ℓ/min.으로 두고 3회에 걸쳐 반복 실험하였



Fig. 2 Photograph of the experimental apparatus of one module evacuated solar collector.

다. 온도의 측정은 T-type의 열전대를 사용하였으며 data logger와 P/C로 결과 값을 획득하였다. 열전대의 온도 보정은 극히 미소하여 생략하였다. 인공태양과 집열관 사이의 거리(d)에 의해서 사용된 일사량은 실험에 의해 구해진 다음 (3)의 식으로 구할 수 있다.⁽⁸⁾

$$Solar\ Radiation = 0.0702 \cdot d^{-1.5032} \quad (3)$$

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 집열기와 인공태양의 거리에 대한 일사량이 $209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$ 일 때 각 지점의 온도분포 결과이다. Table 1은 실험 당시의 조건과 열량을 나타내고 있다. 실험 시작 시 실내온도는 약 8°C 정도였으며 집열기에 처음 급수된 물의 온도는 4°C이었다. 시간의 흐름에 따라 집열기 입구와 출구의 온도도 상승함을 알 수 있다. 약 75분이 경과되었을 때 집열기 입구의 온도는 약 12°C 출구온도는 16°C로 4°C 정도의 온도 상승이 일어났다. 이때의 온도차가 4°C이므로 축열량은 식(2)에 의해서 48kcal/hr.이었다.

Fig. 4는 인공태양과 집열기의 거리가 0.5m일 때 동일 일사량과 실험조건에 대한 각 온도분포의 두 번째 실험결과이다. 전체 축열조의 용량을 3ℓ, 집열기 입구로 유입되는 유량을 0.2ℓ

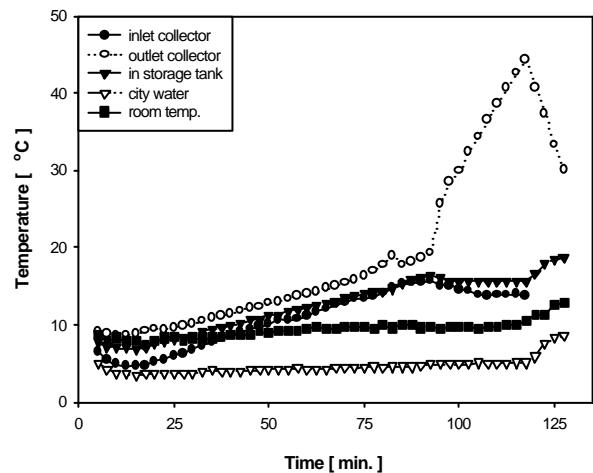


Fig. 3 The temperature distributions of solar collector surface I at $\xi = 209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{s}$

Table 1 Conditions of experiment at fig.3,4,5

conditions	
artificial sun [m]	0.5
radiation [$\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]	209.64×10^{-3}
flow rate to collector [$\ell / \text{min.}$]	0.2
storage tank [ℓ]	3

/min.으로 유지하였다. 실험시작 후의 실내온도는 약 9°C 정도였으며, 집열기에 처음 급수된 물의 온도는 6°C였다. 집열기와 축열조 사이의 온도분포는 앞서 실험한 Fig. 3과 비슷한 양상을 보이고 있다. 시간이 약 75분 경과되었을 때 집열기 입구온도는 약 13°C이고 출구온도는 17°C로 나타났다. 급수온도 6°C에서의 축열량은 48kcal/hr.이었다. 시간이 약 100분 경과된 후에는 집열기 입구 온도가 17°C이고, 출구온도는 24°C였으며 축열조의 온도는 18°C였다. 이때의 축열량은 84kcal/hr.이다.

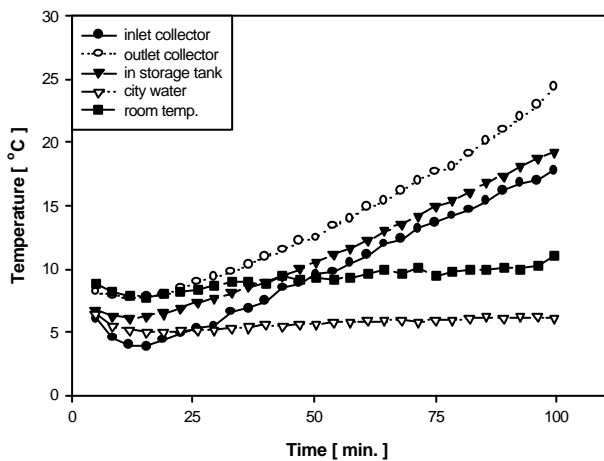


Fig. 4 The temperature distributions of solar collector surface II at $\xi = 209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

Fig. 5는 동일한 일사량 및 실험조건에서 각 지점의 온도분포에 대한 세 번째 실험으로 축열량을 산정하였다. 실험 시작 시 실내온도는 14°C였으며, 급수 온도는 6°C였다. 약 75분 경과

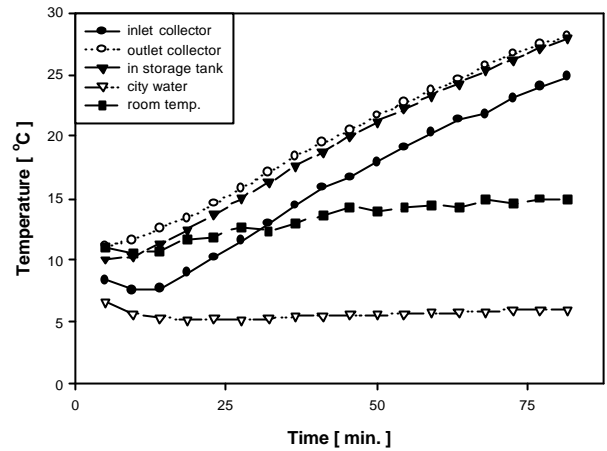


Fig. 5 The temperature distributions of solar collector surface III at $\xi = 209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

후 집열기 입구 온도는 23°C 출구의 온도는 27°C로 4°C 정도의 온도 상승이 일어났다. 이때의 축열량 또한 48kcal/hr.이었다. 이상의 실험에서 알 수 있듯이 동일 조건의 세 번에 걸친 실험 결과 각 지점에서의 온도분포와 축열이 비슷한 양상을 보이고 있으며, 동일 (실험 시작 75분 경과 후)에서 축열량 또한 같은 값들을 가짐으로서 진공관 1모듈에 대한 전체시스템의 구동이 안정적임을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 인공태양과 진공관 집열기의 거리에 대한 일사량이 $209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 이고,

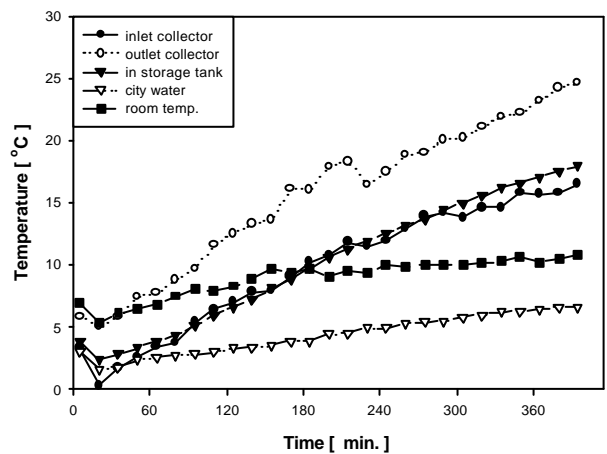


Fig. 6 The temperature distributions of solar collector surface IV at $\xi = 209.64 \times 10^{-3} \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

Table 2 Conditions of experiment at fig.6

conditions	
artificial sun [m]	0.5
radiation [$\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]	209.64×10^{-3}
flow rate to collector [$\ell / \text{min.}$]	0.2
storage tank [ℓ]	8
atmospheric temp. [$^{\circ}\text{C}$]	10
a water temp. [$^{\circ}\text{C}$]	4

집열기의 유입유량을 $0.2 \ell/\text{min}$, 축열조 전체의 용량을 8ℓ 로 두었을 때 온도분포 결과이다. Table 2에서 실험시작 후의 실내온도는 약 10°C 였으며, 시간이 약 75분 경과되었을 때 집열기 입구온도는 4°C 이고 출구온도는 9°C 이다. 이 때의 축열량은 $60\text{kcal}/\text{hr}$ 이었다. 시간이 360분 경과된 후 집열기 입구의 온도는 15°C 이고, 출구온도는 23°C 였으며 축열조의 온도는 16°C 였다. 이때의 축열량은 $96\text{kcal}/\text{hr}$ 이다. 이상의 실험에서도 알 수 있듯이 동일실험 조건 하에 축열조 전체 용량을 2.66배로 증가시켰을 때 동일 시점(실험 시작 75분 경과 후)에서 계산된 축열량은

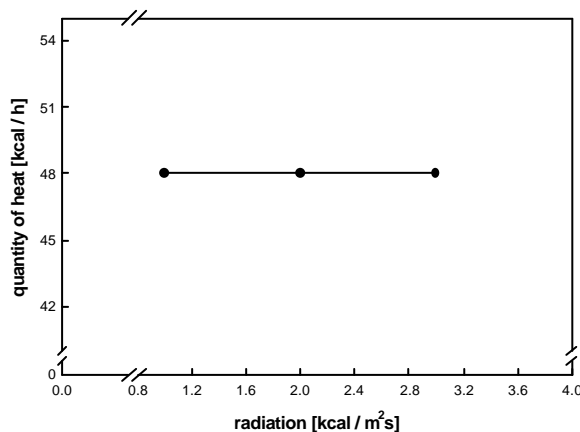


Fig. 7 The quantity of heat about solar radiation

진공관 1모듈 전체 시스템에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다. 전체적으로 인공태양의 동일 일사량에 대한 평가 열량을 Fig. 7에 나타내었다. 전체적으로 집열량은 약 $48\text{kcal}/\text{hr}$ 으로 평가되었다.

4. 결 론

인공 태양에 의한 이중 진공 유리의 열량을 평가하기 위하여 진공관 내에 동관을 설치하여 집열시스템을 구축하였다. 인공 태양 하에서 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인공태양과 진공관 집열관 사이의 거리에 의한 일사량 산출은 실험에 의해 구해진 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{Solar Radiation} = 0.0702 \cdot d^{-1.502}$$

(2) 동일한 실험조건에서 세 번의 실험결과 각 지점에서의 온도분포와 축열이 서로 비슷한 양상을 보였으며, 실험 시작 75분 경과 후의 동일 시점에서 축열량 또한 일정한 범위 내의 값들을 가짐으로서 진공관 1모듈에 대한 전체시스템의 구동이 안정적임을 확인할 수 있었다.

(3) 같은 실험조건 하에서 축열조 전체 용량을 2.66배로 증가시켰을 때, 동일 시점에서 계산된 축열량은 진공관 1모듈 전체 시스템에 미치는 영향이 적음을 알 수 있다.

(4) 인공 태양 하의 이중 진공 유리관의 집열량은 약 $48\text{kcal}/\text{hr}$ 으로 평가되었다.

후 기

본 연구는 해양수산개발원 수산특정과제(No.1998004) 연구 지원과 경상대학교 BK21 지역대학육성사업단 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Kwak, H. Y., 1998, "Status of High-Efficiency Solar Collector for Industrial

Utilization," *Solar Energy*, Vol. 18, No. 2, pp. 22~24.

(2) Kim, C. J., 1992, "A Study on Application of a Heat Pipe to an Evacuated Glass Tube Solar Collector," *Solar Energy*, Vol. 12, No. 2, pp. 10~12.

(3) Duffie, J. A. and Beckman, W. A., 1991, "Solar Engineering of Thermal Process: Second Edition," John Wiley & Sons, INC.

(4) Shin, J. H., Lee, K. S., Nam, Y. H., Chung, H. S., Jeong, H. M., 2002, "A Study on the Evacuated Glass Tubes Solar Thermal Collector with Heat Pipe," *The Journal of KASBIR*, Vol. 2, No. 1, pp. 25~26.

(5) Garrison, J. D., 1988, "An Integrated Solar Thermal Collector System using and Evacuated Glass Solar Collect and Heat Pipe Heat Transfer to Storage," *American Solar Energy Society*, Tech. pp. 264~270.

(6) Baek, N. C., Jeong, S. Y., Sin, W. C., Yoon, E. S., Joo, M. C. and Park, S. L., 1996, "A Study on Solar Absorption Cooling and Heating System using PTC Collector," *Solar Energy*, Vol. 16, No. 3, pp. 4~5.

(7) "The Korean Solar Energy Society," 1991, *Solar Energy Handbook*, pp. 292~295.

(8) Shin, J. H., 2001, "A Study on the Solar Thermal Collector of Evacuated Glass Tubes," *Gyeongsang National University, Master's Thesis*.