

복합형 태양열 가열기의 일일 운전 특성 및 축열 성능에 관한 연구

A Study on Thermal Storage Performance and Characteristics of Daily Operation of a Hybrid Solar Air-Water Heater

최희웅* · 파쿠르 로커만* · 윤정인** · 손창효** · 최광환**†

Choi Hwi-Ung*, Fatkhur Rokhman*, Yoon Jung-In**, Son Chang-Hyo** and Choi Kwang-Hwan**†

(Received 12 June 2015; accepted 29 June 2015)

Abstract : In this study, a thermal storage performance and characteristics of daily operation were investigated when the air and the liquid were heated simultaneously by a hybrid solar air-water heater that can make hot water as well as heated air. The hybrid solar air-water heater is kind of a flat plate solar collector that can make hot water and heated air by installing air channel beneath absorber plate of traditional flat plate solar collector for hot water. As a result of daily operation, maximum water temperature reached in a thermal storage was shown 44°C on 73kg/h of air mass flow rate and about 40°C on 176kg/h of air mass flow rate. Thus, the necessity of heating water in thermal storage by operating only liquid side was confirmed when the temperature of liquid in thermal storage is lower than we need. In case of efficiency investigated on daily operation, the thermal efficiency of the liquid side was decreased with increment of the inlet liquid temperature and decrement of the solar radiation, but efficiency of the air side was increased with increment of inlet liquid temperature difference as the traditional solar air heater. Total thermal efficiency of the collector was shown from 65.85% to 78.23% and it was decreased with increment of the inlet liquid temperature and decrement of solar radiation same as the traditional system.

Key Words : 태양열 시스템(Solar thermal system), 평판형 태양열 집열기(Flat plate solar collector), 복합형 태양열 가열기(Hybrid solar air-water heater), 공기조화(Air conditioning), 급탕(Hot-water supply), 에너지 절약(Energy saving)

**† 최광환: 부경대학교 냉동공조공학과(교신저자)

E-mail: choikh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6179

*최희웅, Fatkhur Rokhman: 부경대학교 냉동공조공학과 대학원

**윤정인, 손창효: 부경대학교 냉동공조공학과

**† Kwang-Hwan Choi(corresponding author) : Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University
E-mail:choikh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6179

*Hwi-Ung Choi, Fatkhur Rokhman: Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.

**Jung-In Yoon, Chang-Hyo Son: Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University

Nomenclature

Q_u	: Useful energy gain	[W]
G	: Intensity of solar radiation	[W/m ²]
A_c	: Area of solar collector	[m ²]
\dot{m}	: Mass flow rate	[kg/s]
C_p	: Specific heat of heating medium	[kJ/kgK]
T	: Temperature	[°C]

Greek symbols

η	: Collector efficiency	[-]
--------	------------------------	-----

Subscripts

I	: Inlet
o	: Outlet
f	: Fluid
air	: Air
L	: Liquid
total	: Total

1. 서 론

근래 신재생에너지원 이용효율 증대를 위한 여러 연구가 진행되고 있으며, 이러한 연구의 일환으로 태양열 에너지원 이용에 있어 공기가열 및 온수제조 모두 가능한 복합형 태양열 가열기에 관한 연구가 수행된 바 있다.

이러한 복합형 태양열 가열기는 겨울철 공조 및 급탕 설비 모두 적용 가능하며, 여름철 과열 방지를 통한 장기 수명화 및 태양열 제습냉방 시스템 효율 향상에 기여할 수 있는 장점이 있다.

종래 연구에서는 온수 제조형 집열기 하단

부 공기 채널 설치 및 공기 가열 성능을 확인하고, 비교적 일정한 일사 조건에서 유량 및 풍량 변화에 따른 집열기 효율 변화 추이 및 전열 성능 등을 평가해보았다[1-2]. 또한 열매체 온도 및 집열기 평균 온도로부터 온수제조 혹은 공기가열만을 수행할 때의 집열기 성능 등을 확인해보았다[3]. 국외에서는 유사한 형태의 집열기에 관한 연구가 수행한바 있으나, 국외 연구에서는 건조 공정 적용 가능성에 주안점을 두고 있는 반면, 본 연구는 고안된 복합형 태양열 가열기 자체의 열적 성능 규명에 주된 목적을 두었다[4].

따라서 본 연구에서는 종래 연구와 달리 집열기에 간이 축열조를 설치하여 일일 일사조건에서 공기와 물이 동시에 가열될 때 축열조 내 열매체 온도 상승 및 최대 도달온도를 확인하고, 액체 측 축열이 진행됨에 따라 보이게 되는 공기 측 및 집열기 전체 열적 성능 변화를 확인해 보았다.

또한 이를 통해 집열기가 실제 건축설비에 적용되었을 시 수행하게 될 일일 운전특성을 파악해서 실제 건축설비 적용 시 운전방식 결정에 참고하고자 하였다.

2. 실험 장비 및 실험 방법

2.1 실험 장비

본 연구에서 사용된 태양열 집열기는 온수제조 및 공기가열 모두 가능하도록 기존 평판형 온수제조 집열기 하단부에 공기 채널을 설치하여 제작하였고 투과유리, 흡수판, 배관, 공기채널, 단열부로 구성되어 있다.

해당 집열기를 순환하면서 가열된 액체는 50L 용량의 간이 축열조 내 열교환기에서 축열조 내 저장된 물에 열을 전달하고, 공기가열과 같은 경우 외기가 도입되어 가열된 후 취출되게

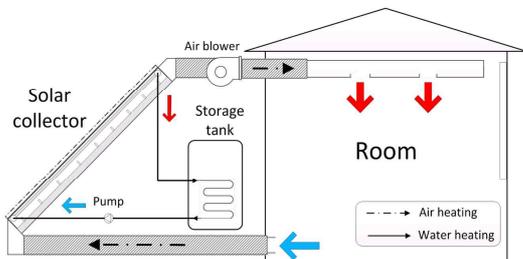
된다. 집열기 순환 액체의 경우 물 60%, MEG 40% 혼합액을 사용하였고, 물성치는 MEGlobal사의 Product Guide를 참고하였다[4].

그림 1에는 실제 집열기와 간이 축열조가 설치된 집열기 운전의 개략적인 모습을 나타내었다.

측정에 있어서는 공기 입·출구 및 외기 온도 측정을 위한 T-type 열전대, 액체 입·출구 및 축열조 내 온도 측정을 위한 PT100, 일사량 측정을 위한 일사계(Solar meter), 풍량 및 유량 측정을 위한 Testo435 및 유량계가 사용되었으며 인버터를 통해 풍량 및 유량을 변경하였다. 측정된 데이터 집록에는 데이터집록기(NetDAQ)가 이용되었으며 표 1에는 실험에 사용된 측정기기 종류 및 용도를 나타내었다.



(a) Actual feature of hybrid solar air-water heater



(b) Schematic view of hybrid solar air-water heater

Fig. 1 Actual feature and schematic view of hybrid solar air-water heater

Table 1. Specifications of measuring devices

Target	Item
Temperature	Thermocouple, PT100
Air velocity	Testo435
Liquid volumetric flow	Blancett B110-750
Solar radiation	MS-801
Data acquisition	NetDAQ, FLUKE (U.S.A)

2.2 실험 방법

본 연구의 목적은 복합형 태양열 가열기를 이용하여 공기와 액체가 가열될 때 축열 성능 및 액체 측 축열에 따른 집열기 성능을 평가해보는 것이다.

Table 2. Experiment conditions

Date	2015. 01. 13	2015. 01. 19
Time	09:00-17:00	09:00-17:00
Operating method	Air heating + Liquid heating	
Air mass flow rate (kg/h)	73	176
Liquid flow rate (L/min)	4	

이를 위해 오전 8시 30분 경부터 오후 5시 30분까지 일정 풍량 및 유량으로 집열기 운전을 수행하며 1분 간격으로 데이터를 집록하였다. 운전이 시작될 때 축열조 내 열매체 온도는 외기와 유사하도록 하였으며, 실험이 수행된 조건을 표 2에 좀 더 구체적으로 나타내었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 온도 변화

그림 2에는 액체 측 유량 4L/min, 공기 풍량 73kg/h로 일일 운전을 수행한 경우 측정된 온도를 나타내었다.

액체 측 온도는 약 23℃ 정도에서 운전을

수행하여 50℃ 정도의 최대 취출 온도를 보였다. 입·출구 온도차는 최대 2.8℃를 보이고, 일사 감소와 함께 점차 감소하다가 오후 4시 정도부터 가열이 이루어지지 않음을 확인할 수 있었다.

축열조 내 열매체 온도는 운전 시작 시 외기온도와 유사한 온도에서 축열이 가장 많이 이루어져 약 44℃ 정도까지 도달하였다. 또한 집열기를 순환하는 액체는 일사량이 최고조에 이른 후 온도가 감소하였으나, 축열조 내 열매체보다 높은 온도를 보이며 순환하는 경우에는 축열조 내 열매체 온도는 좀 더 상승하는 모습을 확인할 수 있었다.

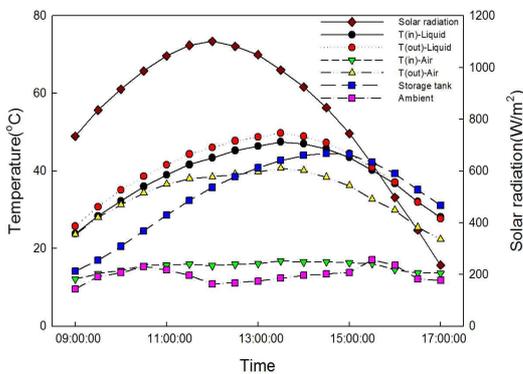


Fig. 2 Temperature profile when the air and liquid were heated simultaneously ($\dot{m}_{air} = 73\text{kg/h}$)

공기 측의 경우, 외기를 도입하여 입구 온도는 12℃에서 17℃ 정도로 큰 변화가 없었으나, 취출 온도는 약 23℃에서 최대 40℃를 보였으며 입·출구 온도차는 8℃에서 24℃로 일사에 따른 큰 차이를 보였다.

그림 3에는 유량 4 L/min, 풍량 176 kg/h로 일일 운전이 수행될 때 각 측정부에서의 온도 값을 일사와 함께 나타내었다.

액체 측 온도는 운전 시작 시 23℃ 정도에서 일사 조건이 좋은 오후 1시경에 약 44℃ 정

도로 최대 온도를 보였고, 입·출구 온도차는 1.6℃에서 2.2℃ 정도까지 증가하다가 충분한 가열이 이루어진 12시 경부터 다시 감소하였다. 게다가 일사량이 급격히 줄어들기 시작한 오후 4시 경부터는 가열이 되지 않음을 확인할 수 있었다.

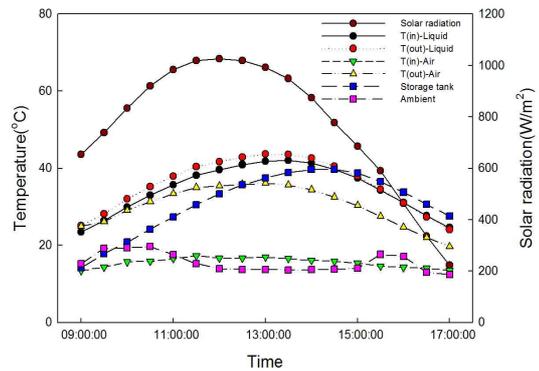


Fig. 3 Temperature profile when the air and liquid were heated simultaneously ($\dot{m}_{air} = 176\text{kg/s}$)

축열조 내 열매체 온도는 외기와 유사한 온도에서 가열이 수행되면서 약 40℃의 최대 온도를 보이고 이후 감소하는 모습을 나타내었다. 위 결과로부터 공기 측 풍량 증가로 집열기 순환 액체 및 축열조 내 열매체 온도상승 정도가 감소함을 확인할 수 있었다.

공기 측의 경우 외기를 유입하여 입구 온도는 13℃에서 19℃, 취출 온도 25℃에서 36℃ 정도를 보였으며, 입·출구 온도차는 6℃에서 19℃ 정도를 나타내 집열기 순환 공기 풍량 증가로 공기 측 입·출구 온도차가 감소함을 확인할 수 있었다.

3.2 집열기 열획득량

그림 4에는 풍량 73kg/h 조건으로 일일 운전이 수행될 때 각 열매체의 획득 열량을 나타내었으며, 액체 측 및 공기 측 획득 열량은

실험으로부터 측정된 온도 및 각 열매체 질량 유량으로부터 아래 식을 이용하여 구하였다.

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (1)$$

액체 측 획득 열량은 운전 시작 시 300W/m² 정도였으며, 일사 증가 및 유입되는 액체 입구 온도가 증가로 인해 비교적 일정한 값을 보인다 점차 감소하며, 공기 측 획득 열량보다 낮은 값을 보였다. 공기 측 획득 열량은 100W/m²에서 일사 증가에 따라 250W/m²정도 까지 증가하다 다시 감소하는 모습을 보였으며, 액체와 순환 공기의 획득 열량을 고려한 집열기 전체 열획득량은 일사 증감과 유사하게 증가하다 감소하는 모습을 보였으며, 일사가 가장 큰 12시에 600W/m²정도의 값을 나타내었다.

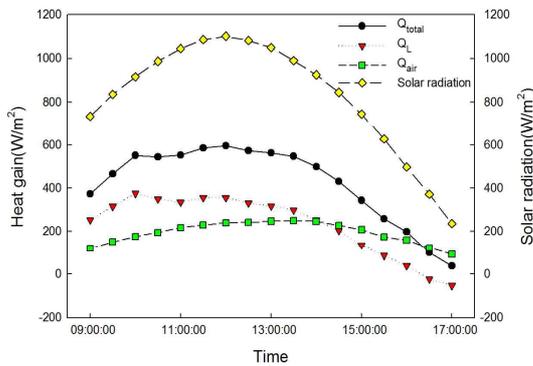


Fig. 4 Heat gain of heating medium when the air and liquid were heated simultaneously($\dot{m}_{air}=73$ kg/h)

반면 그림 5에 나타난 것처럼 순환공기 풍량을 176kg/h로 증가시켜 운전을 수행한 경우, 액체 측 획득 열량은 210W/m²정도로 낮아졌다. 또한 운전이 수행되면서 유입 액체 온도가 상승하여 일사 증가에도 불구하고 액체 측 획득열량은 비교적 일정하다가 이후 감소하는 모습을 보였다.

공기 측 획득 열량은 300W/m²정도로 풍량 증가와 함께 그 값이 더 커지는 것을 확인하였으며 일사 증가와 함께 480W/m²정도 까지 증가하다 다시 감소하는 모습을 나타내었다.

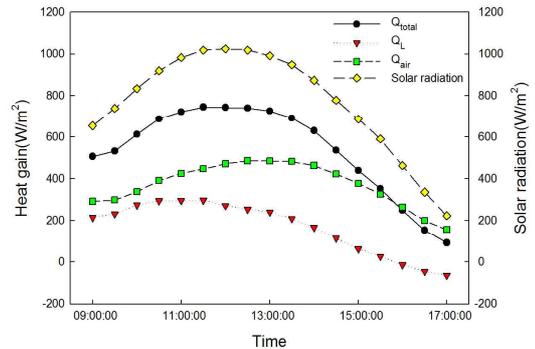


Fig. 5 Heat gain of heating medium when the air and liquid were heated simultaneously($\dot{m}_{air}=176$ kg/s)

집열기 전체 획득열량은 500W/m²에서 최대 740W/m²정도로 동일 유량에서 풍량 증가 시 전체 획득열량이 증가함을 확인할 수 있었으며, 이는 배관에서 유동공기로의 전열량 증가 뿐 아니라 흡수판에서 유동공기로의 전열량 또한 증가하였기 때문으로 판단된다.

3.3 집열기 효율

그림 6에는 집열기 공기 측 순환 풍량 73 kg/h인 경우 일일 운전이 수행되면서 보인 각 열매체 순간 효율을 나타내었으며 각 효율은 획득 열량과 유입된 일사의 비율로, 아래 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$\eta = \frac{Q_u}{Total\ Solar\ E} = \frac{\dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{GA_c} \quad (2)$$

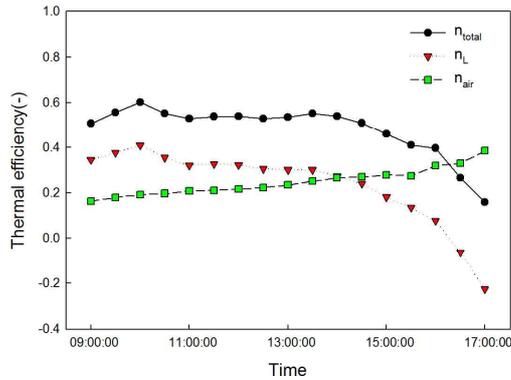


Fig. 6 Thermal efficiency of air and liquid when the air and liquid were heated simultaneously($\dot{m}_{air}=73\text{kg/s}$)

액체 측의 경우 축열이 수행되면서 일사 증가와 함께 액체 측 입구 온도 또한 증가하여 0.4 정도의 비교적 일정한 효율을 보이다가 이후 일사 감소로 인해 그 값이 감소하는 모습을 나타내었다.

반면에 공기 측 효율은 운전 시작 시 0.2 정도의 값을 보이다 점차 증가하는 모습을 나타내었다. 일반적인 태양열 공기가열기에서는 유입 공기 온도와 외기가 동일한 경우 일정한 효율을 나타내게 되나 해당 집열기는 오히려 증가하는 모습을 보였다. 이는 집열기에 유입되는 액체 입구 온도가 증가하면서 액체 측 배관으로부터 유동 공기로의 전열량이 증가하였기 때문으로 판단된다.

두 열매체가 획득한 열량과 일사의 비로 나타낸 전체효율은 0.5에서 0.6사이로 비교적 일정한 값을 보이다가 오후 2시 30분 경부터 차차 감소하는 모습을 확인할 수 있었다.

그림 7은 풍량 176kg/h으로 일일 운전을 수행하였을 때의 각 열매체 효율을 나타낸 것으로 액체 측 효율은 풍량 73kg/h로 운전한 경우보다 좀 더 낮은 값인 0.33정도를 보였으며 운전이 수행되면서 차차 감소하는 모습을 확인할 수 있었다.

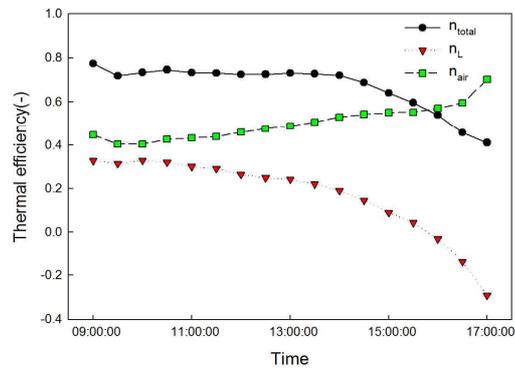


Fig. 7 Thermal efficiency of air and liquid when the air and liquid were heated simultaneously($\dot{m}_{air}=176\text{kg/s}$)

공기 측 효율의 경우 약 0.4정도로 풍량 증가로 인해 그 값이 커짐을 알 수 있었으며, 집열기 운전이 수행되면서 효율이 점점 증가하는 모습을 나타내었다.

전체 효율의 경우 약 0.7 이상의 값을 지속적으로 나타내다가 오후 2시 30분 경부터 점차 감소하는 모습을 보였다.

4. 결 론

금번 실험에서는 복합형 태양열 가열기에서 공기와 액체를 동시에 가열할 때 축열성능 및 액체 측 축열이 진행되면서 나타나는 집열기 일일 운전 특성을 확인하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 축열조 내 액체 온도는 낮중 평균 17°C 정도에서 44°C, 40°C 정도를 나타내었으며, 공기 측 열회수로 인해 다소 낮은 값을 보였고, 풍량 증가 시 최대 도달온도의 감소를 확인할 수 있었다.
- (2) 액체 측 순간 효율은 공기 가열 동시 수행으로 기존 온수제조형 집열기 보다 좀 더 낮은 30%에서 40% 정도의 최대 효율을 나타냈고, 일정한 효율을 보이다 액체 측

유입온도 상승으로 점차 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

- (3) 공기 측 순간 효율은 조건에 따라 20%에서 60%의 효율을 나타냈다. 또한 기존 태양열 공기가열기가 외기만을 도입하는 경우 일정 효율을 보이는 것과 달리 운전 수행에 따라 효율이 점차 증가하는 모습을 보였으며, 이는 집열기 유입 액체 온도가 상승하면서 배관에서 유동 공기로의 전열량이 증가하였기 때문으로 사료된다.
- (4) 집열기 전체 효율은 액체 측 축열 진행에도 비교적 일정한 값을 보이다 차차 감소하는 모습을 나타냈고 조건에 따라 60%에서 70% 이상의 최대 효율을 보였다. 또한 풍량 증가에 따라 전체 효율이 증가하였으며, 이는 흡수판에서 유동 공기로의 전열량이 증가하였기 때문으로 판단된다.
- (5) 액체 측 축열과 공기가열이 동시에 수행될 경우 축열조 내 최대 도달 온도가 낮아져 추후 해당 집열기의 실제 적용을 위해 부하에 따른 제어 및 축열조 내 열매체 가열 후 공기 가열 등의 가변적 운전방식에 대한 고려가 필요함을 확인할 수 있었다.

the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 3, pp. 115-121, 2014.

3. Choi. H. W, Yoon. J. I, Son. C. H and Choi. K. H, Performance Estimation of Hybrid Solar Air-Water Heater on Single Working of Heating Medium, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.34, No.6, pp. 49-56, 2014.
4. Alireza Mohajjer, Omid Nematollahi, Mahmood Mastani Joybari, Seyed Ahmad Hashemi and Mohammad Reza Assari, Experimental investigation of a Hybrid Solar Drier and Water Heater System, Energy conversion and Management, Vol.76, pp. 935-944, December 2013.
5. "Ethylene Glycol Product Guide", MEGlobal, http://www.meglobal.biz/media/product_guides/MEGlobal_MEG.pdf
6. "Flat plate Solar collector 6P catalog", KANGNAM CO., LTD., <http://knsol.co.kr/html/>
7. Duffie JA and Beckman WA, Solar engineering of thermal processes, New york: JOHN WILEY & SONS, INC; 1991

Reference

1. Fatkhur Rokhman, Hong. B. P, You. J. K, Yoon. J. I and Choi. K. W, An Experimental Study on the Characteristic of the Hot Water-Air Heating Generating System with a Solar Collector, Proceedings of the KSES 2012 Spring Annual Conference, pp. 360-363, 2012.
2. Choi K. H, Yoon. J. I, Son. C. H, Choi. H. W and Kim. B. A, Experimental Study for Thermal Performance of Hybrid Air-Water Heater Using Solar Energy during Heating Medium Working Simultaneously, Journal of