복합형 태양열 가열기 열매체 동시운전시의 열적 성능에 관한 실험적 연구

Experimental Study for Thermal Performance of Hybrid Air-Water Heater Using Solar Energy during Heating Medium Working Simultaneously

(Submit date : 2014. 5. 16., Judgment date : 2014. 5. 17., Publication decide date : 2014. 6. 26)

최광환* · 윤정인* · 손창효* · 최휘웅** · 김부안***†

Kwang-Hwan Choi*, Jung-In Yoon*, Chang-Hyo Son*, Hwi-Ung Choi**,
Bu-Ahn Kim***†

Abstract : With increment on interesting about improving renewable energy efficiency, many research have been conducted and the research about hybrid air-water heater using solar energy that can make heating air and hot water has been conducted also. In this experiment, the temperature difference and thermal efficiency were investigated when two heating medium(air and liquid) was working simultaneously. As a result, thermal efficiency showed 44% to 88% when these heating medium was working simultaneously depending on operation condition and it is better than traditional solar collector. Also possibility of application into building equipment also was confirmed based on temperature and thermal efficiency. But necessity of additional studies about proper operation condition according to purpose of use and heat load was confirmed because change of thermal efficiency by air velocity and flux of liquid was shown a huge difference.

Key Words : Solar thermal system(태양열 시스템), Hybrid air-water heater using solar energy(복합형 태양열 가열기), Air conditioning(공기조화), Hot-water supply(급탕), Energy saving(에너지절약)

***† 김부안: 부경대학교 재료공학과(교신저자)

E-mail : kimba@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6363

*최광환, 윤정인, 손창효 : 부경대학교 냉동공조공학과
재료공학과

**최휘웅 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원

***† Bu-Ahn Kim : Dept. of Materials Science and Engineering,
Pukyong National University

E-mail: kimba@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6363

*Kwang-Hwan Choi, Jung-In Yoon, Chang-Hyo Son : Dept.
of Materials Science and Engineering, Pukyong National
University

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

Nomenclature

A_c	: Area of solar collector	$[m^2]$
I_o	: Solar radiation	$[W/m^2]$
V	: Outlet air velocity	$[m/s]$
$\dot{m}$	: Mass flow rate	$[kg/s]$
C_p	: Specific heat	$[kJ/kgK]$
$t_{f,i}$	: Input temperature of fluid	$[^\circ C]$
$t_{f,e}$	: Output temperature of fluid	$[^\circ C]$
t_s	: Temperature of absorber plate	$[K]$
t_m	: Mean temperature of air	$[K]$
h	: Convection heat transfer coefficient	$[W/m^2K]$
k	: Thermal conductivity	$[W/mK]$
D_h	: Hydraulic diameter of air channel	$[m]$
NTU	: Number of transfer units	$[-]$
Nu	: Nusselt number	$[-]$
Re	: Reynolds number	$[-]$

Greek symbols

ρ	: Density	$[kg/m^3]$
μ	: Coefficient of viscosity	$[kg \cdot s/m^2]$
η	: Collector efficiency	$[\%]$

Subscripts

a	: Air
L	: Liquid
avg	: Average

1. 서 론

최근 들어, 신재생에너지의 효율 향상에 대한 관심이 커지면서, 태양열을 이용하여 공기난방 및 온수제조가 가능한 복합형 태양열

가열기 개발에 관한 연구가 진행되고 있다.

이는 공조 및 급탕에 모두 이용할 수 있을 뿐 아니라 여름철 가열된 공기를 이용하여 태양열제습냉방 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 겨울철 일사조건에서 이러한 복합형 태양열 가열기의 열매체 동시 운전시 풍량 및 유량에 따른 공기난방과 온수제조 성능 및 변화 추이를 온도, 전열 성능, 열효율 등의 열적성능을 통해 평가하였다.

또한 이러한 열적성능의 평가를 통해 기존 태양열 집열기의 성능과 비교하고 및 더 나은 성능을 위한 추가적인 개선사항을 파악하고자 하였다.

2. 실험장비 및 방법

2.1 실험 장비

본 실험에서 사용된 집열판은 공기난방과 온수제조를 동시에 할 수 있는 복합형 태양열 가열기이며, 실제 실험에서 사용된 집열판의 모습을 Fig. 1에 나타내었고 Fig. 2에는 실험에서 사용된 복합형 태양열 가열기의 시스템 모습을 나타내었다.

실험에서 사용된 장치는 공기 및 유체의 온도 측정을 위한 T-type 열전대와 PT100, 덕트에

Fig. 1 Actual feature of hybrid air-water heater system using solar energy for experiment

Fig. 2 Schematics of hybrid air-water heater system using solar energy

서의 취출 풍속을 구하기 위한 Testo 435, 일사량을 조사하기 위한 일사계(Solar meter), 풍속 및 유량을 제어하기 위한 인버터 그리고 데이터 측정 및 기록을 위한 데이터집록기(NetDAQ)가 사용되었다. 아래 Table 1에 실험에서 사용된 측정기기 종류 및 용도를 나타내었다.

Table 1. Specifications of measuring devices

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

2.2 실험방법

본 연구의 목적은 열매체 동시 운전시 풍량 및 유량에 따른 열적성능 및 변화 추이를 평가해보는 것이다.

이를 위해 해당 실험에서는 일사가 비교적 일정한 정오시간대에 인버터가 설치된 송풍기 및 펌프를 이용, 취출공기량 및 유체의 유량을 제어하였으며 각 운전조건에 따른 열적성능을 파악하였다.

각 유량조건에서 조사된 풍량 패턴은 10가지이며, 총 5가지 유량조건에서 위와 같은 실험

험을 수행하였다. 아래 Table 2에는 실험 장소 및 실험 수행 조건 등을 나타내었다.

Table 2. Experiment condition

Date	2014. 01. 04 - 2014. 01. 09	
Time	11:00 - 13:00	
Location	Pukyong National University YongDang campus 35°6.98 ' N latitude 129°5.39 ' E longitude	
Collect or	Collecting method	Flat plate
	Size	2000mm(L)□1000mm(W)□140mm(H)
	Install Direction	Azimuth angle 171° Installation angle 33°
Range of variations of air flow rate(kg/s)		0.02 - 0.13
Liquid flow rate (l/min)		2, 4, 6, 8, 10

유량 및 풍량에 따른 각 열매체에서의 열획득량 및 열효율은 아래 식을 이용하여 구하였다.

$$Q = \dot{m} C_p (t_{f,e} - t_{f,i}) \quad (1)$$

$$\eta = \frac{Q}{Total\ Solar\ E} = \frac{\dot{m} C_p (t_{f,e} - t_{f,i})}{I_o A_c} \quad (2)$$

집열판에서 공기채널로의 대류열전달계수 및 NTU값은 아래 식을 이용하여 구하였다.

$$h = \frac{Q_a}{A_c (t_s - t_m)} \quad (3)$$

$$NTU = \frac{h A_c}{\dot{m}_a C_p} = \frac{t_{f,e} - t_{f,i}}{t_s - t_m} \quad (4)$$

Nusselt number(Nu)와 Reynolds number(Re)은 다음과 같은 방정식을 이용하였다.

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho_a V_{avg} D_h}{\mu_a} \quad (6)$$

Fig. 3은 각각의 풍량 및 유량 조건에서 실험하였을 때, 측정된 일사량 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 일사량의 증감이 다소 있었으나, 대체적으로 동일한 일사조건에서 실험되었음을 알 수 있다. 또한 실험결과에 나타난 식(2)에서의 투입 일사량은 Fig. 3에 표시된 일사량을 이용하였다.

Fig. 3 Variation of solar radiation value for various experiment conditions

3. 실험결과 및 고찰

3.1 순환공기 및 액체의 입·출구 온도차

Fig. 4는 다양한 풍량 및 유량조건에서 집열판 내 공기채널 순환공기 입·출구온도차를 나타낸 것으로, 최소 7°C에서 최대 15°C 정도의 값을 보였으며 풍량이 증가할수록 집열판에서 유동 공기로의 전열시간 감소로 인해 온도차 값이 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 5에는 순환 액체의 입·출구 온도차를 나타내었으며 가장 낮은 유량인 2l/min에서

가장 큰 값을 보였고 유량 증가에 따라 순환 액체로의 전열시간 감소로 인해 온도차가 감소함을 확인할 수 있었다.

또한 풍량 증가에 따라 입구·출구 온도차가 적어지는 것을 알 수 있는데, 이는 순환 파이프에서 공기채널로의 대류열전달계수가 풍량 증가에 따라 증가하면서 배관에서의 열손실이 커졌음을 알 수 있게 해준다.

Fig. 4 Temperature difference between inlet and outlet air

Fig. 5 Temperature difference between inlet and outlet liquid

3.2 전열 성능

전열성능에 있어서는 식(3)을 이용해 흡수판에서 공기채널로의 대류열전달계수 값을 구하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

대류열전달계수는 최소 20W/m²K에서

최대 $140\text{W/m}^2\text{K}$ 를 보였으며 풍량 증가에 따른 공기 측 열획득량 상승과 액체 측 열획득량 감소를 통해 예상한 바와 같이 풍량 증가에 따라 값이 증가함을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에는 식(4)을 통해 구한 NTU값의 결과를 나타내었으며 최소 0.93에서 최대 4.9의 값을 나타내었다.

Fig. 6 Convection heat transfer coefficient with respect to mass flow rate of air and liquid

Fig. 7 Number of transfer units with respect to mass flow rate of air and liquid

이 때, 낮은 풍량조건에서 NTU 값이 급격히 감소하다가 특정 풍량(0.05kg/s) 이상에서는 비교적 변화가 적은 경향을 보였다. 이 결과로부터 풍량 증가 대비 대류열전달계수의 증가가 적었음을 알 수 있었다. 이는 공기채널

내부 핀 변경 등을 통한 집열기의 개선여부가 충분히 있음을 알 수 있게 해주며 열매체 동시 운전에서 공기 측 취출 온도가 좀 더 높아질 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 8에는 공기채널에서 Reynolds number에 따른 Nusselt number의 값을 풍량 및 유량에 따라 나타내었다. Nusselt number는 최소 32에서 174의 값을 보였으며 Reynolds number 증가에 따라 증가하는 모습을 보였다.

이 때, 유량별로 증가 경향이 다름을 알 수 있었으며, 유체측이 4l/min 으로 순환하고 있을 때 증가의 정도가 가장 컸다.

이와 같이 특정 유량에서 열전달계수가 크게 증가하는 이유에 대해서는 좀 더 추가적인 실험 및 고찰이 필요함을 확인할 수 있었다.

Fig. 8 Nusselt number with respect to Reynolds number

3.3 열효율

본 연구에서는 식(2)를 이용해 투입 일사량과 획득열량의 비로써 열효율을 나타내었으며 각 유량 및 풍량조건에 따른 공기측, 액체측 열효율을 아래 Fig. 9와 10에 나타내었다.

실험 조건에서 공기 측 열효율은 최소 15%에서 최대 69%의 값을 보였으며 풍량 증가에

따라 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 9 Thermal efficiency of air side with respect to mass flow rate of air and liquid

이는 앞서 본 풍량 증가에 따른 열전달계수 증가를 통해 설명이 가능하다.

액체측 열효율과 같은 경우 유량에 따라 최소 16%에서 최대 50%정도를 보였으며, 풍량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

이는 앞에서 확인한 바와 같이 풍량 증가에 따른 액체 순환 파이프와 공기채널 사이의 대류열전달 증가로 인해 순환액체의 열획득량이 감소하기 때문임을 알 수 있다.

Fig. 10 Thermal efficiency of liquid side with respect to mass flow rate of air and liquid

위와 같은 결과를 통해 풍량이 증가할수록 공기 측 열효율은 증가하나 순환 액체측 열효율은 감소한다는 사실을 확인할 수 있다.

Fig. 11에는 이러한 두 유체 측에서의 열효율을 고려한 시스템 전체 열효율을 나타내었다.

복합형 태양열 가열기에서 유체로의 전체 열효율은 일정 유량조건에서 풍량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 11 Total efficiency of solar air-water heater with respect to mass flow rate of air and liquid

이를 통해 풍량이 증가할 때 배관에서 공기채널로 전달되는 열량 외에 추가적으로 획득한 열이 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로는 풍량 증가에 따른 공기채널로의 대류열전달계수 증가로 배관뿐만 아니라 흡수판에서의 전열량도 증가하였기 때문이다. 풍량조건이 같은 경우에는 유량 4l/min에서 대체적으로 가장 큰 효율은 나타내었다.

이상의 결과로부터 특정 유량에서 공기측 운전을 실시해야 기기에서 큰 효율을 얻을 수 있으며, 이는 큰 열용량을 가진 액체의 열획득량이 적은 열용량을 가진 공기보다 전체 시스템 효율에 더 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공기난방 및 온수제조가 가능한 복합형 태양열 가열기에서의 유량 및 풍량에 따른 열적성능 평가 및 변화 추이를 확인하였고 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 열매체 동시 운전 시 공기가열기 측에서의 열효율은 풍량 증가에 따라 흡수판 및 배관에서의 전열량 증가로 커지는 경향을 보였으며 최소 15%에서 최대 70% 정도의 값을 보였다.
- (2) 액체 측에서의 열효율은 풍량이 증가할수록 배관에서 공기채널로의 전열량 증가로 인해 감소하는 경향을 보였으며 본 연구에서는 최소 15%에서 최대 50%정도를 보였다.
- (3) 시스템 전체 열효율은 유량 및 풍량에 따라 최저 45%에서 최대 88%정도 까지 나와 운전 조건에 따라 기존 집열판보다 더 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었으며 대체로 액체 측이 유량 4l/min으로 순환하고 있을 때 높은 값을 보였다.
- (4) 전달단위수 확인을 통해 풍량 증가 대비 대류열전달계수의 증가가 낮음을 확인할 수 있었고 이를 통해 공기채널 내부 편변경 등을 통한 개선의 여지가 있음을 알 수 있었다. 또한 위와 같은 사항의 개선을 통해 공기 측 취출온도를 좀 더 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.
- (5) 이후 일사량, 외기조건, 열매체 입구온도 등에 의한 영향을 고려하여 각 인자에 따른 운전성능에 관한 연구를 수행할 예정이다.
- (6) 본 연구는 집열판 자체에 대한 평가이므로, 추후 실제 건물 적용을 위한 추가적인 연구가 필요함을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2011학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2011-2-25)

Reference

1. Han-Seom Eum et al., "Research on Thermal Performance in the Air Channel of a Combined Solar Collector", Proceedings of the KSES Spring Annual Conference, pp. 150-152, 2013
2. F. Cha bane, N. Moummi, S. Benramache, "Experimental Study on Heat Transfer For a Solar Air Heater and Contribution the Fins to Improve the Thermal Efficiency", INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RENEWABLE ENERGY RESEARCH, Vol. 1, Issue 9, pp. 487-494, 2012
3. D. Bhandari, S. Singh, "PERFORMANCE ANALYSIS OF FLAT PLATE SOLAR AIR COLLECTORS WITH AND WITHOUT FINs", International Journal of Engineering Research & Technology(IJERT), Vol. 1, Issue 6, p. 5, 2012
4. D. E. Kim, G. D. Paek, K. H. Choi, N. J. Ryu, "Comparison of Performance of Heating Systems with a Solar Collector", Proceedings of the KSES Autumn Annual Conference, pp. 31-36, 2005
5. G. W. Kim, G. D. Paek, D. E. Kim, Eflita Yohana, K. H. Choi, "Research on Air Heating Conditioning System with a Solar Collector", Proceedings of the KSES Autumn Annual Conference, pp. 37-42, 2005
6. Seung-Hee Lee, Jeong-Bin Choi, Yun-Sung Kim, Dae-Hyun Euh, "The Performance and Efficiency Analysis of a PVT System Compared with a PV module and a Solar collector", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No.2, pp. 1-10, 2012