

태양열 공기-물 가열기의 공기 가열 성능 평가 및 열적 성능 개선을 위한 실험적 연구

최휘웅* · 김영복** · 윤정인*** · 손창효*** · 최광환****

*부경대학교 냉동공조공학과 대학원

**부경대학교 기계시스템공학과

***부경대학교 냉동공조공학과

Experimental Study for Estimation of Air Heating Performance and Improvement of Thermal Performance of Hybrid Solar Air-water Heater

Choi Hwi-Ung* · Kim Young-Bok** · Yoon Jung-In*** · Son Chang-Hyo** · Choi Kwang-Hwan***

*Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University

**Dept. of Mechanical System Engineering, Pukyong National University

***Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University

†Corresponding author: choikh@pknu.ac.kr

Abstract

Solar energy is one of the important renewable energy resources. It can be used for air heating, hot water supply, heat source of desiccant cooling system and so on. And many researches for enhancing efficiency have been conducted because of these various uses of solar thermal energy. This study was performed to investigate the air heating performance of hybrid solar air-water heater that can heat air and liquid respectively or simultaneously and finding method for improving thermal performance of this collector. This collector has both liquid pipe and air channel different with the traditional solar water and air heater. Fins were installed in the air channel for enhancing the air heating performance of collector. Also air inlet & outlet temperature, ambient temperature and solar collector's inner part temperature were confirmed with different air velocity on similar solar irradiance. As a result, temperature of heated air was shown about 43°C to 60°C on the 30°C of ambient temperature and thermal efficiency of solar collector was shown 28% to 73% with respect to air velocity. Also, possibility of improvement of thermal performance of this collector could be ascertained from the heat transfer coefficient calculated from this experiment. Thus, it is considered that the research for finding optimal structure of hybrid solar air-water heater for enhancing thermal performance might be needed to conduct as further study based on the method for improving air heating performance confirmed in this study.

Keywords: 태양열 시스템(Solar thermal system), 태양열 공기-물 가열기(Solar air-water heater), 태양열 공기 가열기(Solar air heater), 제습냉방 시스템(Desiccant cooling system), 에너지 절감(Energy saving)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.37, No.1, pp.47-57, February 2017
<https://doi.org/10.7836/kjes.2017.37.1.047>

pISSN : 1598-6411
eISSN : 2508-3562

Received: 09 12 2016

Revised: 09 02 2017

Accepted: 10 February 2016

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기호설명

- A_C : Area of solar collector [m^2]
 I_o : Solar radiation [W/m^2]
 V : air velocity [m/s]
 \dot{m} : Mass flow rate [kg/s]
 C_p : Specific heat of air [kJ/kgK]
 T_s : Temperature of absorber plate [K]
 T_m : Mean temperature of air [K]
 $T_{f,i}$: Inlet temperature of air [K]
 $T_{f,o}$: Outlet temperature of air [K]
 h : Convection heat transfer coefficient [W/m^2K]
 NTU : Number of transfer units [-]

그리스 문자

- η : Collector efficiency [%]

1. 서론

현재 전 세계적으로 화석연료 고갈 및 환경문제에 대한 우려가 대두되면서 신재생에너지에 관한 관심이 크게 증가하고 있으며, 다양한 에너지원의 사용 효율 증대에 관한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 경향의 일환으로 태양열 에너지 이용에 있어서는 태양열 에너지 사용 효율을 증대시키고자 공기난방 및 온수 제조가 가능한 태양열 공기-물 가열기에 관한 연구가 일부 진행된 바 있다¹⁻⁴.

이러한 태양열 공기-물 가열기는 겨울철 공조 및 급탕을 위한 공기난방, 온수제조가 가능할 뿐 아니라, 여름철 태양열 제습냉방 시스템 재생열원으로 가열된 비교적 높은 온도대의 공기를 이용하여 제습 냉방 시스템 전체 효율을 증가시킬 수 있는 장점 등을 가질 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는, 이러한 태양열 공기-물 가열기에서 공기 가열기로서의 성능을 향상시키고자 공기채널과 수배관을 1대 1 대응시키고 내부 공기채널 하부 단열재 위에 핀을 설치한 집열기의 공기 가열 성능을 확인해 보았다.

또한 위와 같이 구조를 개선한 태양열 가열기를 이용해 여름철 일사조건 하에서 성능 평가를 실시 후 태양열 제습냉방 시스템의 재생열원으로써 가열 공기 이용 가능성을 확인하고, 더 나은 성능을 위한 구조 개발 방법을 모색함으로써 추후 태양열 이용 효율 증대를 위한 태양열 공기-물 가열기 공기 가열 성능 관련 기초 데이터를 제공하는 데에 본 연구의 목적을 두었다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 태양열 공기-물 가열기는 일반적 사이즈인 2m×1m의 크기이며 Fig. 1에 실제 실험에 사용된 집열기의 모습을 나타내었다.

본 집열기는 수배관과 공기채널을 1대 1 대응시키고 공기채널 내 핀을 설치함으로써 흡수판에서 유동 공기로의 전열 성능을 향상시키고자 하였으며, Fig. 2에 이러한 집열기의 전면 모습을 개략적으로 나타내었다.

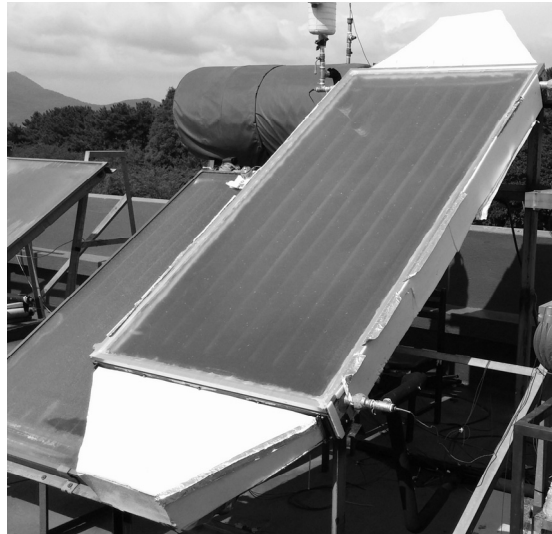


Fig. 1 Actual view of hybrid solar air-water heater

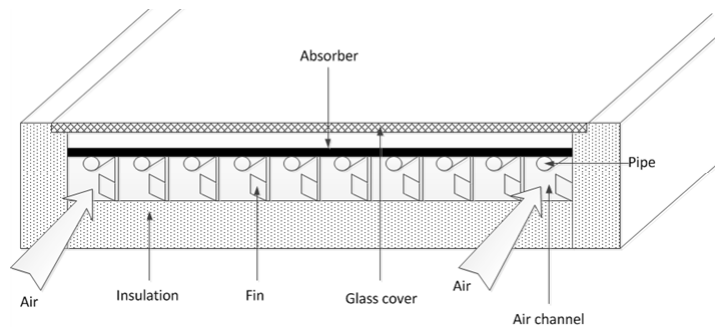


Fig. 2 Cross-section of front side of hybrid solar air-water heater

2.2 실험방법

실험은 일사가 유사한 정오시간에 인버터가 연결된 송풍기(정격전력 80 W)를 이용해 특정 풍속에서 온도대가 비교적 일정하였을 때 약 10분간에 걸쳐서 데이터를 집록하여 수행하였고, 이후 풍속 조건을 변경하여 다시 온도대가 일정한 상태에 도달하였을 때의 데이터를 측정하여 해석에 사용하였다.

위와 같은 방법을 반복하여 일정 일사조건에서 10가지 풍속조건으로 실험을 수행하였고, 외기온도, 순환공기 입·출구 온도 및 집열판 내부온도를 측정하였다. 이때 집열기에서 측정된 온도 측정위치는 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

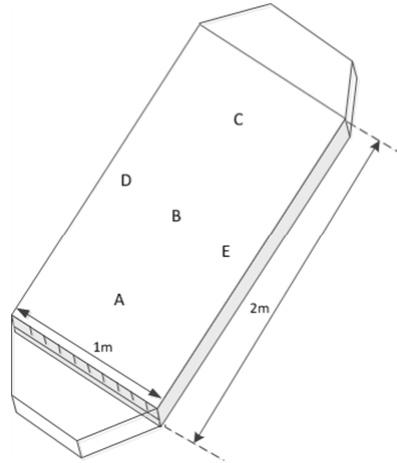


Fig. 3 Schematic view and measuring points of hybrid solar air-water heater

측정위치는 크게 5가지 지점으로 A, B, C와 같은 경우, 각각 집열기 중앙 공기채널에서의 하부(공기 유입부에서 0.3 m), 중간점(공기 유입부에서 1 m), 상부지점(공기 유입부에서 1.7 m)이며 D, E는 집열기 측면의 공기채널 중앙 부분에 위치해있다.

A, B, C, D, E 각 지점에서의 온도 측정은 흡수판, 공기채널 상부, 중간지점, 바닥 4 지점으로 수행하였으며, 외기 및 공기 입·출구를 포함해 총 23개의 측정 지점에서 데이터가 기록되었다. Fig. 4에는 집열기 측면부에서 본 공기채널로 공기채널 내부 각 지점에서의 온도 측정 위치가 나타나있다.

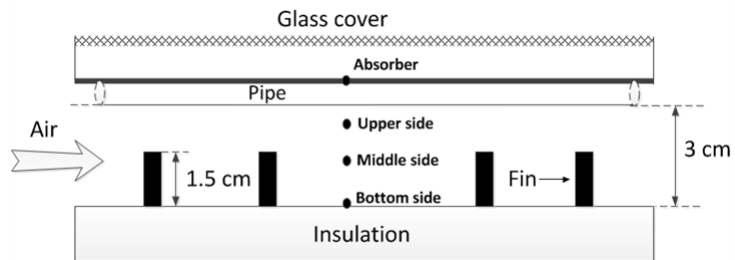


Fig. 4 Temperature measurement position in air channel of side view of hybrid solar air-water heater

실측 후에 실제 데이터 해석을 하는데 있어서는 다음과 같은 식들이 사용되었으며, 공기채널로의 열획득량 및 열효율은 아래 식을 이용해 구하였다.

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

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

집열기 흡수판에서 공기채널 유동공기로의 대류열전달계수는 다음 식을 이용하였다.

$$h = \frac{Q}{A_c (T_s - T_m)} \quad (3)$$

또한 NTU (Number of transfer unit)값은 아래와 같은 식을 이용해 구하였다.

$$NTU = \frac{h A_c}{\dot{m} c_p} \quad (4)$$

3. 실험 결과

3.1 입·출구 온도차

Fig. 5에는 유사 일사조건에서 풍속을 변경시켜가며 실험을 수행하였을 때 나타난 집열기 입·출구 온도이며, 외기온도 30°C에서 공기 취출 속도에 따라 최소 40°C에서 최대 60°C정도의 취출 온도를 보였다.

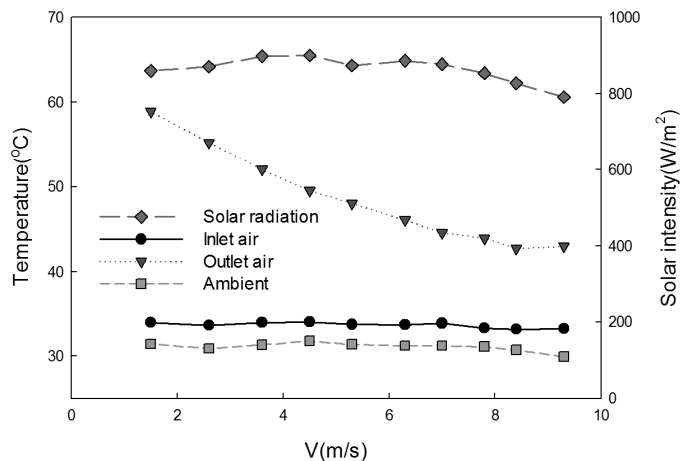


Fig. 5 Inlet and outlet temperature of hybrid solar air-water heater with respect to air velocity

이때 풍속 증가에 따라 집열기 흡수판에서 유동공기로의 전열시간 감소로 인해 온도대가 낮아지는 경향을 확인할 수

있었다.

또한 기존 태양열 제습냉방 시스템과 같은 경우, 여름철 외기를 도입해 흡수제의 재생을 수행 하였으나, 위와 같이 가열되어 온도대가 높아진 공기를 이용할 때에는 종래 연구의 결과를 토대로 보다 더 높은 재생량을 확보할 수 있을 것으로 사료되었다⁵⁻⁷⁾.

3.2 공기가열기 내 온도분포

Fig. 6에는 A지점(집열기 중앙 공기채널 하부)에서 측정된 온도를 나타내었다.

집열기 흡수판 온도는 50°C에서 60°C 정도를 보였으며, 공기채널의 상부, 중앙, 바닥온도는 비슷한 값을 보였다. 이는 A지점이 공기채널 입구 측에 가까워 아직 유동공기로 열전달이 충분히 일어나지 않았기 때문으로 판단되었다.

Fig. 7은 B지점(집열기 중앙 공기채널 중간지점)에서 측정된 온도를 나타내었으며 집열기 내에서 공기가 유동하며 공기채널 내부의 상부, 중앙, 하부의 온도차가 증가함을 알 수 있었다. 또한 집열기 흡수판 온도는 최대 80°C로 하단부에서의 온도보다 좀 더 상승함을 확인할 수 있었다.

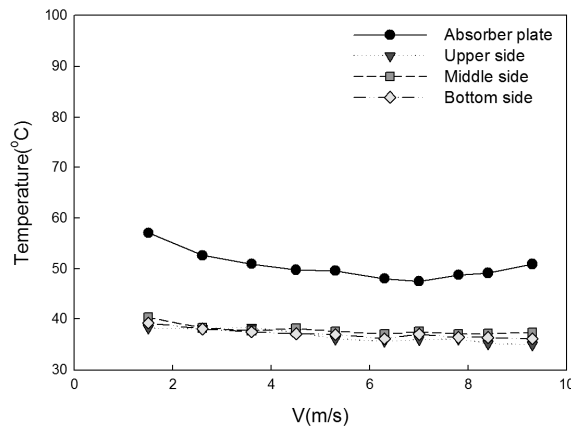


Fig. 6 Temperature profile of A point with respect to air velocity

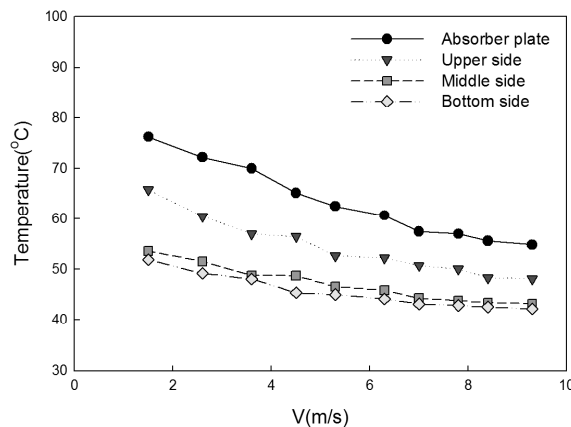


Fig. 7 Temperature profile of B point with respect to air velocity

Fig. 8에는 C지점(집열기 중앙 공기채널 상부)에서의 온도분포를 나타내고, 집열기 내 유동 공기가 상부에 도달할 때 공기채널 내 상, 중, 하 위치에서의 온도차가 좀 더 커짐을 알 수 있었으며, 하부와 상부 공기 온도가 최소 6°C에서 최대 17°C 정도의 차이가 나 상하 유동 공기의 혼합이 잘 일어나지 않았던 것으로 사료되었다. 집열기 흡수판 온도의 경우 풍속에 따라 60°C에서 90°C의 값을 보였다.

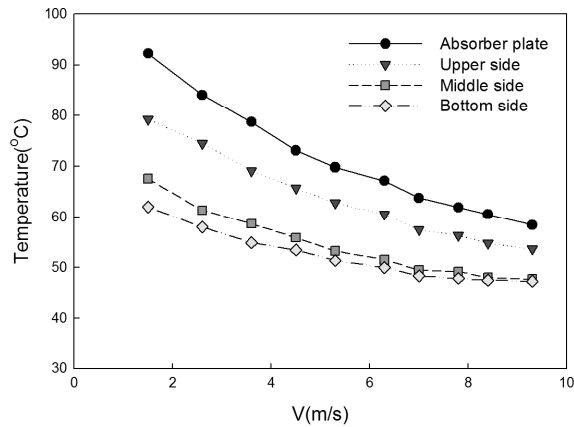


Fig. 8 Temperature profile of C point with respect to air velocity

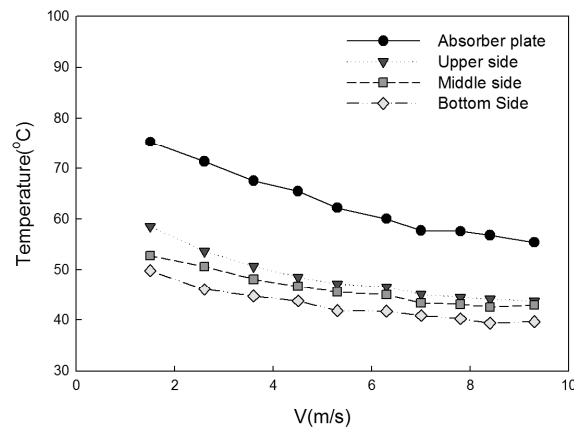


Fig. 9 Temperature profile of D point with respect to air velocity

위에서 볼 수 있듯이, 일정 일사조건에서 집열기 흡수판 온도는 집열기 상부로 갈수록 증가하는 모습을 보였으며, 내부 유동하는 유체가 나타내게 되는 경향과 유사함을 알 수 있었다. 또한 풍속 증가 시 집열기 흡수판과 공기채널 유동공기의 온도차가 감소해 풍속 증가에 따라 집열기 흡수판에서 유동 공기로의 전열량이 증가한 것으로 판단되었다.

Fig. 9와 Fig. 10에는 D, E지점(집열기 측면 공기채널 중간지점)에서 측정된 온도를 나타내었다.

해당 위치에서 집열기 흡수판 온도는 B지점(집열기 중앙 공기채널 중간지점)과 유사하나, 내부 유동공기 온도는 다소 낮은 값을 보였다.

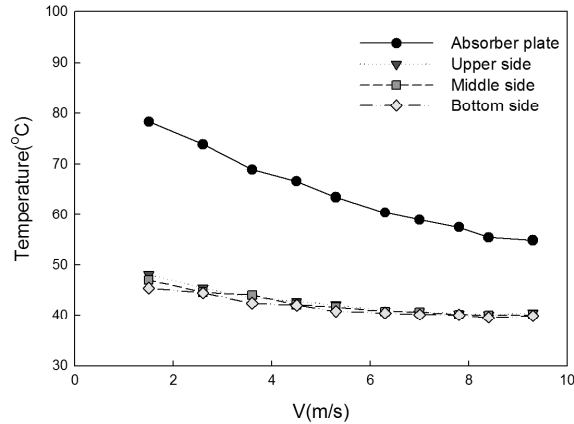


Fig. 10 Temperature profile of E point with respect to air velocity

이는 해당 지점의 공기채널이 외부와 맞닿아 있어 다른 공기채널보다 열손실이 좀 더 컸기 때문으로 사료되었으며, 이를 통해 집열기 측면의 단열 보강이 필요함을 확인할 수 있었다.

Fig. 11에는 집열기 길이에 따른 공기 입-출구 및 A, B, C점에서의 유동 공기 평균 온도를 나타내었다.

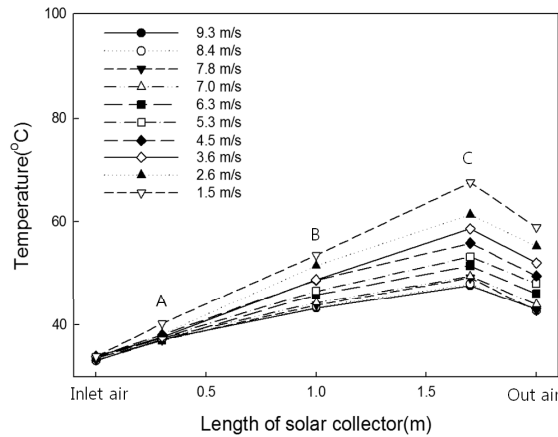


Fig. 11 Average temperature of flow air with respect to length of hybrid solar air-water heater and air velocity

공기온도는 집열기 상부로 갈수록 높아졌으며 풍속이 증가할수록 온도상승 정도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 C지점 이후 취출구 측에서 공기온도가 감소하는 모습을 보였으며, 이는 측면 공기채널의 공기가 취출부에서 혼합되었기 때문으로 사료되어 측면 단열 보강의 필요성을 다시 확인할 수 있었다.

Fig. 12에는 집열기 길이에 따른 집열기 흡수판 온도를 나타내었으며, 유동 공기와 마찬가지로 집열기 상부로 갈수록 온도가 상승하였고, 풍속이 증가할수록 감소하는 모습을 나타내었다.

이때 집열기 상부 흡수판 온도와 취출 공기 온도차는 최소 15°C에서 35°C의 값을 보였다. 즉, 흡수판과 취출 공기 온도차가 크게 나서 단열 보강 및 핀 형상 변경 등을 통해 취출 공기 온도가 좀 더 높아질 수 있을 것으로 사료되었다.

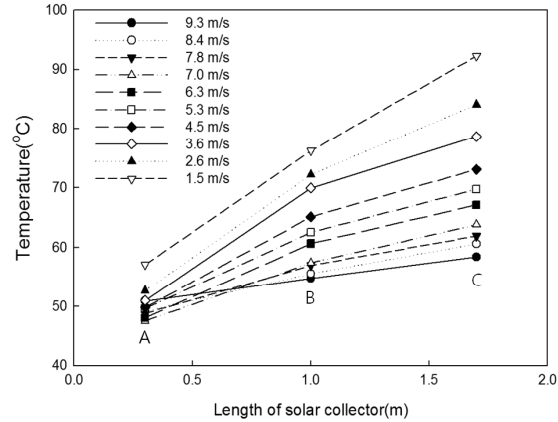


Fig. 12 Temperature profile of absorber plate with respect to length of hybrid solar air-water heater and air velocity

3.3 열획득량 및 효율

Fig. 13에는 식(1), (2)와 Fig. 5에 나타난 실측값을 이용하여 구한 공기 열획득량 및 집열기 열효율을 나타내었다.

공기가 획득한 열에너지는 최소 232 W/m^2 에서 최대 585 W/m^2 정도의 값을 보였으며, 풍속 증가에 따라 증가하는 모습을 나타내었다. 송풍기 정격전력이 80 W (40 W/m^2)임을 감안하였을 때 동일한 소모전력의 전기히터를 이용한 경우와 단순 비교 시 최대 약 13배 이상의 열에너지를 추가로 획득한 것을 알 수 있다. 또한 열효율의 경우, 풍속에 따라 최소 25%에서 최대 73% 정도의 값을 보였으며 열획득량과 마찬가지로 풍속이 증가할수록 그 값이 증가하는 경향을 보였다.

이는 앞서 온도분포에서 확인한 바와 같이 풍속증가에 따라 집열기 흡수판에서 유동 공기로의 전열량이 증가하였기 때문으로 판단되었으며, 풍속 증가에 따른 온도 감소보다 풍량 증가가 열획득량에 좀 더 많은 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다.

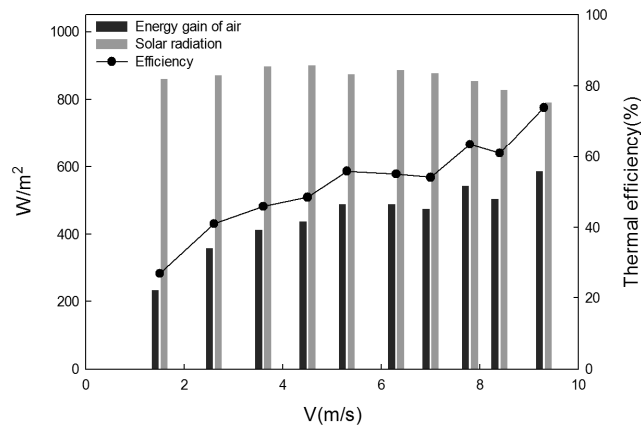


Fig. 13 Energy gain of air and thermal efficiency of hybrid solar air-water heater with respect to air velocity

3.4 열적성능

Fig. 14에는 식(3) 및 (4)를 이용해 구한 대류열전달계수 및 전달단위수를 나타내었다.

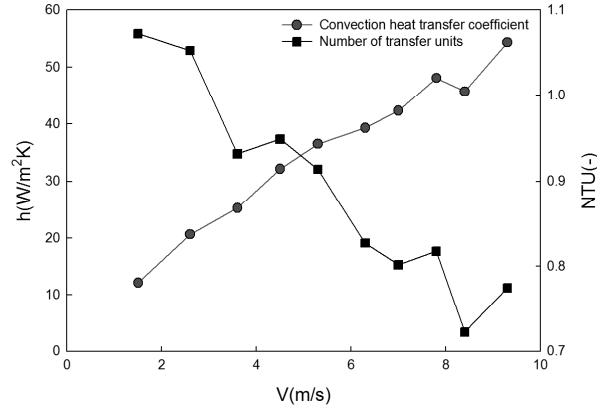


Fig. 14 Convection heat transfer coefficient and number of transfer units of air

실험 결과로부터 내부강제대류에서 유동 유체의 유속 증가에 따라 대류열전달계수가 증가하는 것과 마찬가지로, 태양 열 공기-물 가열기 공기채널에서의 풍속 증가에 따라서도 집열기 흡수판에서 유동공기로의 열전달 계수가 증가함을 알 수 있었다.

또한 위와 같은 결과는 이전의 핀 형상에 따른 열전달 성능 평가 실험과 유사한 결과를 보임을 알 수 있었으며⁸⁾, 이를 통해 핀 변경을 통한 대류열전달계수 및 전달단위수 증가로 해당 집열기의 공기 가열 성능의 개선이 가능함을 확인할 수 있었다.

다만, 개선 시에는 필요 이상의 열전달 성능 증가 및 이로 인한 압력강하와 과대 팬동력 상승 등의 문제가 야기될 수 있으므로 어느 정도의 성능 향상을 수행할지에 대한 추가적인 고려가 필요함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 여름철 일사 조건하에서 태양열 공기-물 가열기의 공기 가열 성능 평가를 통해 가열된 공기의 태양열 제습냉방 시스템 흡수제 재생열원으로써의 이용 가능성 확인 및 열적 성능 향상을 위한 추가적인 개선 방법을 모색해보고자 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 정오시간의 유사한 일사조건하에서 외기온도 30°C일 때 집열기 취출 공기 온도는 최소 40°C에서 60°C정도를 보였으며, 이를 통해 가열된 공기의 여름철 제습냉방 시스템 흡수제 재생 열원으로써의 사용 가능성을 확인할 수 있었다.
- (2) 열효율과 같은 경우는 최소 25%에서 73%정도를 보였으며 풍속 증가에 따라 그 값이 커져 풍속이 증가할수록 집열기 에너지 획득 측면에서 좀 더 유리함을 알 수 있었다. 또한 확인된 대류열전달계수 및 전달단위수와 이전 연구의 결과로부터 내부 핀 형상 변경 등을 통해 집열기 성능 개선이 가능할 수 있을 것으로 사료되었다.

- (3) 태양열 공기-물 가열기가 공기 가열을 수행하는 동안의 집열기 내부 온도를 확인해본 결과, 측면 공기 채널에서 유동 공기 평균 온도가 중앙부 공기 채널의 온도보다 좀 더 낮게 나와 측면 부 단열 보완이 필요함을 알 수 있었다.
- (4) 집열기에서 공기 가열이 수행되는 동안 전열부인 집열기 흡수판 온도와 유동 공기 평균 온도를 비교해 보았을 때, 15°C에서 35°C 정도의 차이를 보여 집열기 내부 형상 구조 변경 등을 통한 취출 공기 온도 상승의 개선 여지가 있음을 알 수 있었다.
- (5) 추후 본 연구에서 확인된 공기 가열 성능 개선 방안을 토대로 겨울철 공조 및 여름철 제습냉방 시스템 열원 모두에 사용 적합한 더 나은 성능을 갖는 집열기 구조 모색을 수행해 나갈 예정이다.

후기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었음

REFERENCE

1. Fatkhur, R., Hong, B. P., You, J. K., Yoon, J. I., and Choi, K. H., 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. U., and Kim, B. A., Experimental Study for Thermal Performance of Hybrid Air-Water Heater Using Solar Energy during Heating Medium Working Simultaneously, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 3, pp. 115-121, 2014.
3. Choi, H. U., 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. Choi, H. U., Rokhman, F., Yoon, J. I., Son, C. H., and Choi, K. H., A Study on Thermal Storage Performance and Characteristics of Daily Operation of a Hybrid Soalr Air-Water Heater, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 35, No. 3, pp. 73-79, 2015.
5. Kim, J. R., Choi, K. H., Yoon, J. I., Kim, J. D., and Woo, J. S., Research on the Performance of Regenerator using Hot Air from Air Heating Solar Collector(1st paper: On the Effect of Hot Air Temperature to Regeneration Rate), Proceedings of the KSES Autumn Annual Conference, pp. 18-26, 2001.
6. Kim, B. C., Choi, K. H., Kum, J. S., Yoon, J. I. and Chung, Y. H., Research on the Performance of Regenerator using Hot Air From air Heating Solar Collector(2nd paper: On the Analysis of Source Effect by Experimental Desing), Proceedings of the KSES Autumn Annual Conference, pp. 27-32, 2001.
7. Kim, D. E., Choi, K. H., Yoon, J. I., Kin, Y. J., and Kim, B. C., Optimum Operating Condition of Regenerator Using Air Heating Solar Collector, Proceedings of the KSES Spring Annual Conference, pp. 102-107, 2002.
8. Choi, H. U., Hong, B. P., Yoon, J. I., Son, C. H., and Choi, K. H., Research on Thermal Performance by Different Fins in a Solar Air Heater, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 6, pp. 85-91, 2013.