태양열 공기난방기에서 핀의 형상에 따른 열전달 성능 평가

Research on Thermal Performance by Different Fins in a Solar Air Heater

최휘웅* · 홍부표** · 윤정인*** · 손창효*** · 최광환***

Hwi-Ung Choi*, Boo-Pyo Hong**, Jung-In Yoon***, Chang-Hyo Son***,
Kwang-Hwan Choi***

(Submit date : 2013. 11. 2., Judgment date : 2013. 11. 5., Publication decide date : 2013. 12. 26.)

Abstract : It is essential to reduce the amount of fossil fuel because facing with the natural problem such as a global warming. To achieve this goal, many of interests in the use of renewable energy is growing. Especially, as one of these renewable energy systems, a solar air heater invention has been conducted for enhancing the efficiency of solar air heater. According to this trend, scale-down sized experiment apparatus was constructed and performed for searching a proper fin and confirming the heat transfer performance by fin shape on constant heat condition to enhance efficiency of solar air heater. In this experiment, heat gain, convection heat transfer coefficient, number of transfer units, Nusselt number, Reynold's number, friction factor, performance factor were investigated in order to evaluate the thermal characteristics based on the real data obtained. By comparison with the each fin performance, a zigzag shape keeping a right angle to the plate had the highest value among them.

Key Words : Solar system(태양열 시스템), Fin(핀), Convection heat transfer coefficient(대류 열전달 계수),
Number of transfer unit(전달단위수), Performance factor(성능계수)

*최휘웅 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원
**홍부표 : 한국폴리텍대학 산업설비자동화과
***윤정인 : 부경대학교 냉동공조공학과
***손창효 : 부경대학교 냉동공조공학과
***최광환 : 부경대학교 냉동공조공학과(교신저자)
E-mail : choikh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6179

*Hwi-Ung Choi : Graduate School of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.
**Boo-Pyo Hong: Dept. of Industrial Installation Automation, Korean Polytech I University
***Jung-In Yoon: Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University
***Chang-Hyo son: Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University
***Kwang-Hwan Choi(corresponding author): Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University
E-mail:choikh@pknu.ac.kr

Nomenclature

A	: Area of square duct	$[m^2]$
A_s	: Area of Heat transfer	$[m^2]$
v	: Velocity	$[m/s]$
ρ	: Density	$[kg/m^3]$
$\dot{m}$	: Mass flow	$[kg/s]$
C_p	: Specific heat	$[kJ/kgK]$
T_i	: Temperature of inflow air	$[K]$
T_o	: Temperature of outlet air	$[K]$
T_s	: Temperature of heat plate	$[K]$
T_m	: Mean temperature of air	$[K]$
h	: Convection heat transfer coefficient	$[W/m^2K]$
NTU	: Number of transfer units	$[-]$
Nu	: Nusselt number	$[-]$
f	: Darcy friction factor	$[-]$
Re	: Reynolds number	$[-]$
PF	: Performance factor	$[-]$

1. 서 론

신재생에너지에 관한 관심이 커지고 있는 현재 각 에너지원의 사용 효율 증가에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

이 중 태양열 공기난방기에서는 아무것도 설치되지 않은 공기채널에 유로형성, 핀 설치, 돌출부 설치, 재열 방식 도입 등의 다양한 방식을 통해 내부 유동공기의 난류를 촉진, 열전달 성능을 향상시키고자 하는 연구들이 이루어지고 있다. 또한 태양열 제습냉방 시스템에서 태양열 공기난방기를 사용하여 흡수제의 재생 효율 및 시스템 성능 향상에 대한 연구가 진행 중이며, 특히 공기가열능력과 온도/급탕 제조 능력을 겸비한 복합형 태양열 집열기에 관한 연구 등도 진행 중에 있다.

이러한 태양열 공기난방기의 유용성 및 효

율향상 필요성에 따라 본 실험에서는 태양열 공기난방기의 공기채널과 유사한 실험장비를 제작하여 난류를 촉진하는 여러 형상의 핀을 삽입하였고 핀 형상 및 배치에 따른 열전달 성능을 평가하였다. 이러한 실험을 통해 추후에는 집열성능이 향상된 태양열 공기난방기를 개발하여 적용하고자 한다.

2. 실험장비 및 방법

2.1 실험 장비

금번 실험에서 사용한 장치는 일정열량을 공급하기 위해 제작된 Heat plate, 온도 측정을 위한 열전대, 입출구 풍속 측정을 위한 풍속계, 압력차를 구하기 위한 차압계, 데이터 집록기기, 전력계, 송풍기, 송풍 속도 조절을 위한 AC가변속 드라이브 등으로 구성되어 있다. 그러나 공기채널 길이는 기존 태양열 집열판 길이와 동일한 2m로 제작하였으며, 그 중의 하나의 Path를 모식하여 실험하였다.

아래 Table 1에 실험에 사용된 측정기기 목록을 나타냈으며, Fig. 1에 실제로 실험에 사용된 장치의 전경을 나타내었다. 또한 Table 2에 핀 타입 및 실제의 너비 및 높이를 나타내고 있으며, Fig. 2에 핀의 구체적인 치수 및 형상이 나타나 있다.

Table 1. Measuring equipments

Item	Target
Thermocouple	Temperature
Testo435	Air velocity,
Testo511	Pressure
NetDAQ, FLUKE (U.S.A)	Data acquisition
Power meter HPM-300A	Consuming power

Fig. 1 View of experimental apparatus

2.2 실험방법

본 실험에서는 공기채널에 다양한 형상의 핀을 삽입하여 열전달 성능향상 정도를 확인하고 압력강하를 고려한 핀의 성능계수를 구하고자 하였다. 이를 위해 핀이 설치되지 않은 기존 태양열 공기가열기 온도레벨과 동일한 값을 갖게 되는 1.1kW의 열량을 투입하였다. 또한 공기채널로 취출되는 유입공기의 속도는 기존 태양열 공기난방기에서 최대 효율을 보인 10m/s와 속도 변화 고려를 위한 8m/s, 6m/s 총 세 가지 조건으로 실험을 수행하였다.

Table 2. Height of each fin according to the fin types

Fin type	W(cm)	H(cm)	Fin H Duct H
Type H.x	6	4.5	0.7
Type M.x		3.25	0.5
Type L.x		2	0.3

Fig. 2 Fin shapes used in the experiment

또한, 아래의 Fig. 3에 실험에 사용된 핀 배치 평면도를 나타내었다.

Fig. 3 Arrangement form plan figure according to Fin Type

그리고 Fig. 4에는 실측 위치를 포함한 장치 측면도를 나타내었다.

Fig. 4 A side view of experimental equipment and measurement location

데이터 해석에 있어서는 아래와 같은 식을 사용하였으며, 공기채널로의 열전달량은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$Q = \dot{m} C_p (t_o - t_i) \quad (1)$$

이때, $\dot{m} = \rho A V$ 이다.

한편, 대류 열전달계수는 아래의 식을 이용하였다.

$$\dot{q} = \frac{Q}{A_s} = h(T_s - T_m) \quad (2)$$

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

이 때, 대류 열전달계수의 평균값은 측정점 3곳 각각에서의 대류 열전달계수의 평균값으로 나타내었다.

$$h_m = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \quad (4)$$

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

$$NTU = \frac{h_m A_s}{\dot{m} c_p} \quad (5)$$

마찰인자는 아래와 같은 식을 이용하여 구하였다.

$$f = \frac{\Delta P}{(L/D_h)(1/2)\rho v^2} \quad (6)$$

Nusselt수는 아래의 식을 이용하여 구하였다.

$$Nu = \frac{h_m D_h}{k_f} \quad (7)$$

Reynolds수는 아래 식을 이용하여 구하였고 이때 사용된 평균속도는 덕트 유입공기 속도와 취출공기 속도의 산술평균값을 사용하였다.

$$Re = \frac{\rho V_{avg} L_c}{\mu} \quad (8)$$

열전달 성능 증가와 압력강하의 증가 비를 고려한 핀의 성능계수는 아래의 식을 사용하였다.

$$PF = \frac{Nu/Nu_o}{(f/f_o)^{1/3}} \quad (9)$$

이때, Nu_o 및 f_o 는 핀을 설치하지 않았을 때의 Nusselt number 및 마찰인자를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열전달량

핀이 설치된 공기 채널로의 열전달량 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 핀 설치로 인해 공기

채널로의 열전달량이 증가함을 알 수 있었고, 최대값은 Type H.2에서 핀을 설치하지 않았을 때와 비교 시 약 2.3배 정도 증가한 635W를 보였다. 한편, 최소값은 Type M.1에서 339W로 나왔으며 핀을 설치하지 않았을 때와 비교 시, 약 0.48배가 증가함을 알 수 있었다.

(a) Quantity of heat transfer at the fin type.H

(b) Quantity of heat transfer at the fin type.M

(c) Quantity of heat transfer at the fin type.L

Fig. 5 Quantity of heat transfer according to the inflow air velocity and fin type

3.2 대류열전달계수

핀이 설치된 공기채널 유동공기기의 대류열

전달계수값을 아래 Fig. 6에 나타내었다. 핀 설치 시 핀이 설치되지 않았을 경우에 비해 대류 열전달계수 값이 증가함을 확인할 수 있었다.

(a) Convection heat transfer coefficient at the fin type.H according to inlet air velocity

(b) Convection heat transfer coefficient at the fin type.M according to inlet air velocity

(c) Convection heat transfer coefficient at the fin type.L according to inlet air velocity

Fig. 6 Convection heat transfer coefficient according to the inflow air velocity

금번 실험으로부터 핀의 높이가 높을수록 대류열전달계수 값이 크게 나왔으며, 배치에 따라서는 Type.2, Type.3, Type.1순으로 큰 대류열전달계수 값을 보였다.

3.3 NTU(Number of Transfer Units)

금번 실험으로부터 얻은 결과를 식 (5)를 이용해 구한 NTU값의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. NTU 값 또한 대류열전달계수와 마찬가지로 핀 설치로 인해 증가함을 알 수 있었으며, 핀의 높이가 높을수록 NTU 값이 커졌으며 배치에 따라 Type.2, Type.3, Type.1순으로 큰 값을 가지는 경향을 보였다.

(a) NTU value at the Fin Type.H according to inlet air velocity

(b) NTU value at the Fin Type.M according to inlet air velocity

(c) NTU value at the fin type.L according to inlet air velocity

Fig. 7 NTU value according to the inflow air velocity

3.4 Nusselt Number 및 마찰인자

Nusselt number와 마찰인자 값을 Reynolds 수에 따라 각 핀 형상 및 배치별로 나타내었으며 그 결과를 아래 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다. Nusselt number와 같은 경우, 핀 높이가 높을수록 값이 커짐을 알 수 있었고 배치에 따라서 Type.2, Type.3, Type.1순으로 큰 값을 가졌다.

또한 핀이 높을수록 Reynold's number 증가에 따른 Nusselt number값 증가량이 커짐을 알 수 있다. 이는 높은 핀에서 유동 공기의 난류형성 및 정체영역이 많아진다는 것을 알 수 있게 해준다.

마찰인자의 경우도 핀 높이가 높을수록 값이 증가하며 배치에 따라 Type.2, Type.3, Type.1으로 큰 값을 나타내었다. 이는 열전달 성능이 증가할수록 압력강하 또한 커짐을 보여준다.

Fig. 8 Nusselt number by varying fin types

Fig. 9 Friction factor by varying fin types

3.5 성능계수(Performance factor)

식(9)를 이용하여 각 핀 형상 및 배치별 성능계수를 나타내었고 그 결과는 Fig. 10와 같다.

Fig. 10 Performance factor by varying fin types

대체적으로 Type H.2가 가장 큰 성능계수를 보였으며 Type L.1이 가장 낮은 값을 보였다. 또한

핀 높이가 높을수록 큰 열전달 성능을 보이는 것과는 달리 마찰인자를 고려에 의해 낮은 높이에서도 더 큰 성능계수를 나타낼 수 있음을 확인 할 수 있었다.

4. 결 론

이번 실험에서는 공기채널에 여러 형상의 핀을 설치하여 열전달 시스템 성능 향상 정도를 확인하였고 마찰인자를 고려한 핀의 성능계수를 확인해보았다. 이를 통해 본 실험에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 핀을 삽입함으로써 공기채널 내에 열전달 성능이 향상함을 확인할 수 있었다.
- (2) 열전달 성능은 핀의 높이가 높을수록 증가하는 경향을 보였으며 배치에 따라서는 같은 조건에서 Type.2(핀 배치가 수직이면서 지그재그 형상), Type.3(핀 배치가 수직이면서 일렬 형상), Type.1(핀 배치가

수직이면서 유동공기와 45° 유지 형상) 순으로 큰 값을 나타내었다.

- (3) 열전달 성능과 동일하게 마찰인자 또한 핀의 높이가 높을수록 마찰인자 값이 크게 나타났으며 배치에 따라 Type.2(핀 배치가 수직이면서 지그재그 형상), Type.3(핀 배치가 수직이면서 일렬 형상), Type.1(핀 배치가 수직이면서 유동공기와 45° 유지 형상) 순으로 큰 값을 나타내었다. 이는 열전달 성능의 증가 경향과 같으며 곧, 열전달 성능이 증가 할수록 마찰인자도 같이 증가함을 보여준다.
- (4) 열전달 성능과 마찰인자를 고려한 핀의 성능계수는 Type H.2(핀 높이가 공기층 높이의 0.7이며 수직을 이루면서 지그재그인 형상)에서 가장 큰 값을 보였다.
- (5) 그러나 Type H.2(핀 높이가 공기층 높이의 0.7이며 수직을 이루면서 지그재그인 형상)에서 마찰인자 값이 커서 실제 공기난방기 설치 핀으로서의 적정성 검증을 위해 추후 실제 공기난방기에서의 압력손실에 따른 전력소모량의 확인, 비교 실험이 추가적으로 필요함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김지훈 외 5명, “여러 가지 형태의 립이 설치된 수평채널의 열전달 및 압력강하 특성에 관한 수치해석”, 한국마린엔지니어링학회지 제37권 제1호, pp. 40-46, 2013
2. 김지훈 외 3명, “딴플과 돌출이 설치된 수평채널의 열전달 및 압력강하 특성에 관한 수치해석적 연구”, 한국마린엔지니어링학회지 제36권 제1호, pp. 57-63, 2012
3. 허주녕, 2012, “열전달 향상 장치를 삽입한 평판형 태양열 집열기의 열전달 특성과 압력강하에 관한 수치해석”, 석사학위논문, 동의대학교 대학원
4. 김종렬 외 3명, “태양열 이용 난방용 공기가열기 개발을 위한 기초운전 특성”, 한국태양에너지학회 논문집 제31권 제5호, pp. 87-94, 2012
5. 엄한샘 외 4명, “복합형 태양열 집열기의 공기채널에 있어서의 열적 성능에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 Vol.33, No.1, pp. 150-152, 2013
6. Yunus A. Cengel, “INTRODUCTION TO THERMODYNAMICS AND HEAT TRANSFER, 2nd Edition”, 권오봉 외8명 옮김, McGrawHill, 2010, pp. 290-353