

자연대류와 강제대류에서 펠티에 소자를 이용한 내부터널 구조를 가지는 히트싱크에 관한 연구

이민¹, 김태완^{*}

¹부경대학교 대학원 기계공학과, ²부경대학교 기계공학과

A Study on the Heat Sink with internal structure using Peltier Module In the Natural and Forced Convection

Min Lee¹, Tae-Wan Kim^{2*}

¹Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

²Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University

요약 펠티에 소자는 전자부품이나 장비에서 발생하는 열을 냉각하기 위한 방법으로 많이 사용되고, 히트싱크는 이러한 열을 외부로 방출하기 위한 방법으로 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 내부터널의 형상을 가지는 히트싱크에 대한 냉각 및 히팅성능을 자연대류와 강제대류 상태에서 열전달 특성에 대하여 고찰하였다. 또한, 시간에 따른 히트싱크의 열전달 특성 및 온도분포의 변화에 따른 실험을 수행하였고, 자연대류와 강제대류에 따른 히트싱크의 열전달 특성, 온도분포의 변화를 실험을 통해 비교 연구 하였다. 냉각 실험에서 A형상 및 B형상 냉각 핀 히트싱크는 자연대류보다는 강제대류에서 온도가 더 감소하는 것을 알 수가 있었고, 강제대류와 자연대류에서 A, B형상 모두 -15°C까지 떨어지는 것을 알 수 있었다. 전압이 증가 할수록 강제대류와 자연대류 상태에서 A, B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 감소하였다. 히팅실험에서 A형상 및 B형상 냉각 핀 히트싱크는 자연대류보다는 강제대류에서 온도가 더 증가하는 것을 알 수가 있었고, 강제대류와 자연대류에서 전압이 13V일 때, A형상 냉각 핀 히트싱크는 전압이 150°C, 강제대류에서 B형상 냉각 핀 히트싱크는 145°C까지 증가 하였다. 전압이 증가할수록 강제대류와 자연대류 상태에서 A, B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 증가하였다.

Abstract The Peltier Module has been used to dissipate the heat from electronic devices and electronic components. In this module, a heat sink is used to release the operating heat into the air outside. This study addressed the heat transfer characteristics for a heat sink with an inner tunnel. Under forced and natural convection conditions, the heat transfer characteristics were different. Therefore, the cooling and heating performances were studied for the heat sink, which has an inner tunnel. The heat transfer conditions were also evaluated by performing an experimental test, which investigated the heat transfer characteristics related to the variance in time and temperature distribution. Experiments on the heat transfer characteristics of the heat sink were conducted based on the forced and natural convection and temperature distribution changes. In the cooling experiment, the A- and B-shaped cooling pin heat sinks decreased the temperature of the forced convection than the temperature of natural convection. In the forced and natural convection, the A- and B-shaped decreased to a minimum of -15°C. Under the forced and natural convection conditions, A- and B-shaped cooling pin heat sinks decreased the temperature when the voltage was increased. In the heating experiment, the A- and B-shaped cooling pin heat sinks increased the temperature of the forced convection than the temperature of natural convection. In forced convection, when the voltage was 15°C, the temperature of the A-shaped cooling pin heat sink increased to 150°C, and the temperature of the B-shaped cooling pin heat sink increased to 145°C. Under forced and natural convection conditions, the A- and B-shaped cooling pin heat sinks showed an increase in temperature with increasing voltage.

Key Words : Cooling Performance, Forced Convection, Heat Sinks, Heating Performance, Internal Structure, Natural Convection, Peltier Module

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Tae-Wan Kim(Pukyong National Univ.)

Tel: +82-51-629-6142 email: tw0826@pknu.ac.kr

Received April 8, 2014

Revised May 15, 2014

Accepted July 10, 2014

1. 서론

열전발전기(Thermoelectric generators)는 반도체 재료에 의해서 열을 전기로 바꾸는 힘의 원천(Power sources)이고, 이러한 원리를 제백효과(Seebeck effect)라 한다[1]. 차량 교류전원에 힘을 올리기 위해 차량배기관에 열전발전기를 사용하고[2], 그리고, 펌프(Pumps), 팬(Fans), 텔레비전(TVs)등에도 많이 사용되고 있다. 전자 장비에서 발생하는 열은 장비의 성능을 저하시키거나 고장을 일으킨다. 전자장비에서 발생하는 열을 냉각하기 위해 P-type와 N-type 반도체 (semiconductors)로 구성된 Thermoelectric devices(TE)장치의 하나인 열전냉각기(thermoelectric coolers)를 사용한다[3-5]. 펠티에 효과(Peltier effect)는 전기를 열에너지로 바꾸고[6-8], 전자 장비에서 발생하는 열을 냉각하기 위한 방법으로 사용된다. 펠티에 효과는 두 개의 서로 다른 도체를 양끝에 접합하고, 회로에 직류 전압을 보내면 한쪽면에서는 가열이 일어나고 다른 한쪽면에는 냉각이 일어나는 히트 펌핑(heat humping)현상을 말한다[9]. 전자 부품에서 발생하는 열은 다른 부품에도 손상을 일으키므로 여기서 발생하는 열을 외부로 방출하는 것이 중요하다.

열을 방출하기 위한 방법으로 발열부의 온도를 제어하기 위해 펠티에 소자와 히트싱크가 사용되는데, 일반적인 평판에 냉각 핀이 부착된 히트싱크가 사용하여 연구를 하거나[10,11], 여러 가지 형상으로 히트싱크를 디자인하고, 이를 바탕으로 해석이나 실험을 수행한 연구들을 하였다[12,13]. 해석과 실험을 통하여 얻은 결과로 최적화된 냉각 핀 형상을 찾고, 냉각 핀 형상이 있는 히트싱크를 자연대류 상태에서 히트싱크의 각도를 바꾸면서 연구를 하였다[14,15]. 강제대류 상태에서 냉각 핀 형상이 있는 히트싱크를 열에 대한 영향을 해석하였고[16,17], 냉각핀의 높이, 지름, 간격이 열전달에 영향을 미친다고 발표하였다[18].

지금까지의 연구는 평판 형태의 히트싱크나 Pin-fin 형태의 히트싱크들에 대한 연구가 있었고, 전자 장비의 열을 외부로 방출하기 위해 자연대류나 강제대류를 이용한 히트싱크에 관한 연구도 많이 수행 되었다. 그러나, 내부터널구조를 가지는 히트싱크에서 자연대류나 강제대류 상태에서 히트싱크를 비교하거나 열전달 특성에 대한 연구는 없었다.

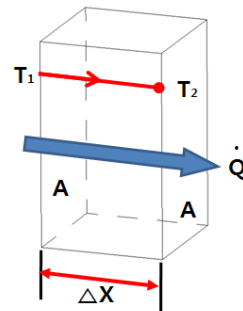
본 연구에서는 강제대류와 자연대류 상태에서 일반적

인 핀 형태의 히트싱크는 외부의 공기와 접촉하는 면적이 넓어 제품에서 발생하는 열을 외부의 대기 중으로 잘 방출하는 구조이지만, 내부터널 구조를 가지는 히트싱크는 외부의 공기와 접촉면적이 적고 내부의 열을 방출하기가 어렵다[19]. 그래서, 자연대류 및 강제대류에서 내부터널 구조를 가지는 히트싱크에 대한 냉각 및 히팅 성능 연구하였고, 시간에 따른 히트싱크의 열전달 특성 및 온도분포의 변화에 따른 실험을 수행하였다. 또한, 자연대류와 강제대류 상태에서 히트싱크의 형상이 온도분포의 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였고, 자연대류와 강제대류에 따른 히트싱크의 열전달 특성, 온도분포의 변화를 실험을 통해 비교 연구 하였다.

2. 열전도 이론

Fig. 1 은 Fourier의 열전도법칙을 나타내었다 [20]. 두께 $\Delta x=L$, 표면적이 A일 때, 평면벽에서 온도차는 $\Delta T= T_1 - T_2$ 이다. 열전달율은 온도차와 열전달 면적에 비례하지만 층의 두께에는 반비례 한다.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{1}$$



[Fig. 1] Heat conduction through a large plane wall of thickness Δx and area A

k 는 비례상수이고, $\Delta x \rightarrow 0$ 인 극한의 경우 식(1)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \tag{2}$$

Newton의 냉각법칙에 의해서 온도가 T_s 인 표면에서

T_{∞} 인 주위 매체로의 열전달률은 다음과 같다[20].

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

히트싱크에 냉각핀이 있을 때, 냉각 핀의 유효성은 히트싱크의 효율성이 증가하도록 커야 하고, 냉각 핀의 유효성은 식(4)에서와 같이 나타낼 수 있다[21].

$$e_{fin} = \frac{Q_{fin}}{Q_{nofin}} = \frac{\sqrt{hpkA_c}(T_b - T_{\infty})}{hA_b(T_b - T_{\infty})} = \sqrt{\frac{kp}{hA_c}} \quad (4)$$

이 논문에서 히트싱크는 냉각 핀 둘레가 대류열전달율(h)과 냉각 핀의 면적(A_c) 보다 클 때 냉각 핀의 효율이 증가하는 이론에 기인해서 설계, 제작 하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 2는 3D 패키지인 Pro-e를 이용하여 내부터널구조를 가지는 2가지 냉각 핀 형상의 히트싱크를 설계 하였다. 재질은 AL 6061이며, 와이어커팅으로 냉각 핀 형상을 가공하여 실험에 사용하였고, 히트싱크의 크기는 73 × 73 × 70 mm이다. Table 1은 히트싱크의 재질인 AL 6061으로 기계적 물성을 나타내었다. 본 연구에 사용된 실험 장치는 Fig. 3과 같다.

Table 2는 펠티에 소자의 사양인 Acetec사의 HM3030을 사용하였다. Table 3은 실험에 사용된 방열 컴파운드로서 GE Toshiba Silicones사의 Silicone Grease YG6111을 사용 하였고, 히트싱크와 펠티에 소자의 열전도율을 높이기 위하여 방열 컴파운드를 도포하였다.

[Table 1] Heat sink properties AL6061

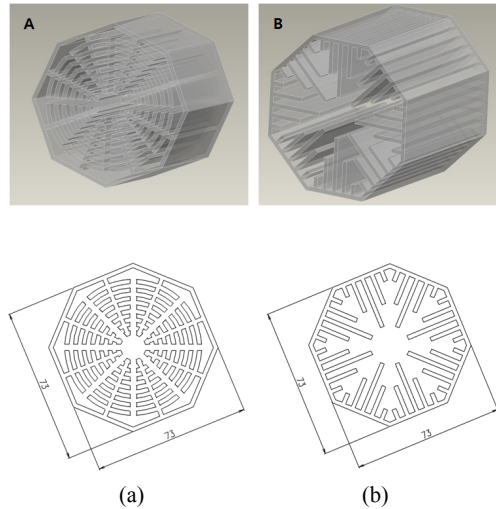
Density (g/cm ³)	Thermal Conductivity (W/m-K)	Specific Heat Capacity (J/g-°C)	Shear Strength (MPa)
2.70	180	0.896	82.7

[Table 2] Experimental specification of thermoelectric module HM3030

I _{max} (A)	T _{max} (°C)	V _{max} (V)	Q _{max} (W)
3.0	70	15	15.4

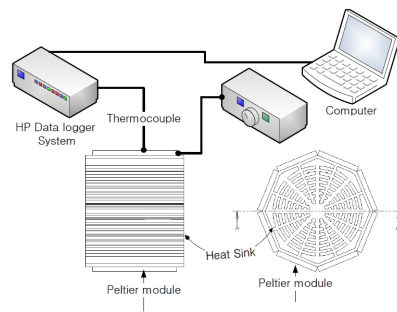
[Table 3] The specification of silicone grease YG6111

Property	Value
Specific gravity (25°C)	2.45
Thermal conductivity W/m-k [cal/cm·sec·°C]	0.84 [2.0 × 10 ⁻³]
Temperature range (°C)	-55 ~ +200



[Fig. 2] The schematic of the two different types of heat sink with internal structure (a) A shape, (b) B shape

펠티에 소자 표면의 온도를 측정하기 위해서는 소자 표면에 K-type Thermocouple을 장착하고, 자연대류와 강제대류 환경에서 온도를 측정하였다. 강제대류 상태에서 실험을 하기 위하여 히트싱크의 정면에 Cone 형상을 설치하여 Compressor에서 들어오는 공기가 주변에서 확산되지 않도록 하였다. 이 때 사용된 공기압은 27 Psi로 공기를 주입하였다. 자연대류 상태에서 공기를 주입하지 않고, 대기중에서 실험을 하였다.



[Fig. 3] Schematic of the experimental setup

3.2 실험방법

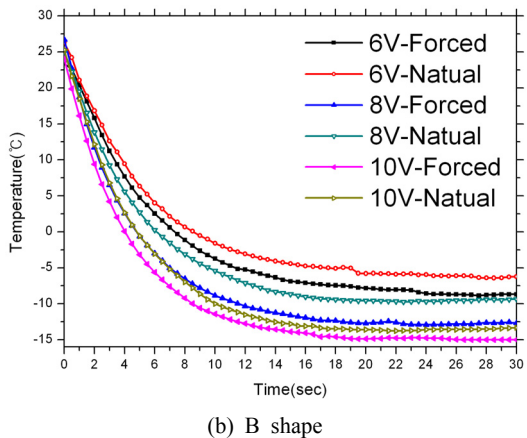
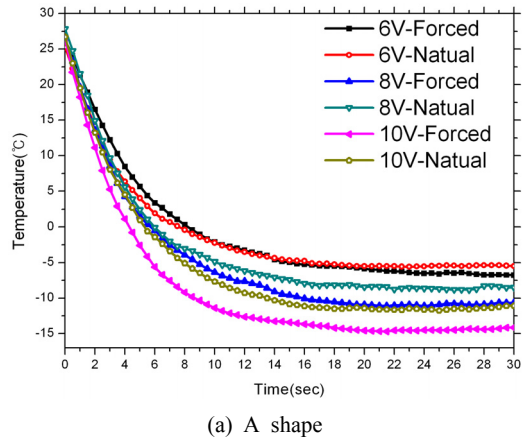
강제대류와 자연대류 상태에서 히팅과 냉각실험을 비교 분석 하였다. 펠티에 소자에 Power supply로 전원을 공급하면 히트싱크가 접촉되어 있는 부분에서는 열이 발생하고 접촉되어 있지 않는 부분은 냉각이 된다. 반대로 전류의 (+)극과 (-)극을 바꾸어 주면 접촉면은 냉각이 되고 반대면은 열이 발생한다. 히팅과 냉각 실험은 Power supply의 전압을 1V~13V로 바꾸고, 시간은 0.5 sec 간격으로 30초 동안 온도변화를 관찰하였다. 강제대류 상태에서 실험을 위하여 Compressor를 작동시켜 Cone입구에 공기가 계속 공급되고 있는 상태에서 펠티에 소자에 전류를 공급한다. K-type Thermocouple을 펠티에 소자의 표면에 연결하여 펠티에 소자의 온도변화를 데이터 로거를 통하여 측정하였다. 또한 자연대류 상태에서 공기를 주입하지 않고, 대기 중에서 실험을 하였다. 2가지 타입의 형상에 대해서 히팅과 냉각 실험을 하고, 자연대류와 강제대류상태의 결과를 각각 비교 분석 및 성능을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 형상에 따른 냉각

Fig. 4(a)는 A형상의 히트싱크에서 전압을 6, 8, 10V으로 바꾸면서 시간에 따른 냉각온도 변화를 자연대류와 강제대류 상태에서 비교 하였다. 실험에서 전압을 6, 8, 10V로 증가 시켰을 때, 냉각온도는 자연대류보다 강제대류 상태에서 최대 -5℃온도가 더 낮게 나타났고, 전압이 10V 일 때, 냉각 온도는 자연대류보다 강제대류 상태에서 최저 -15℃까지 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 온도는 6초 까지 급격히 감소하다가 6초 이후부터 완만하게 떨어지고, 그 이 후 부터는 -15℃로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

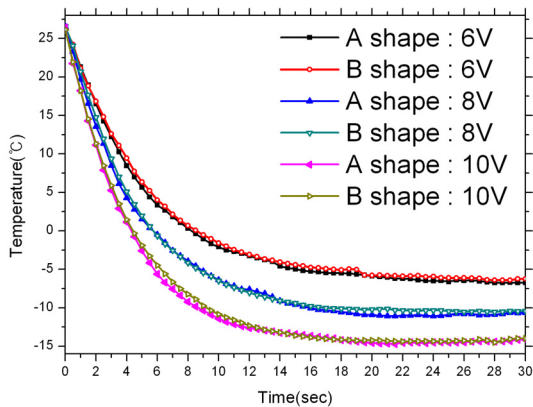
Fig. 4(b)는 B형상의 히트싱크에서 전압을 6, 8, 10V으로 바꾸면서 자연대류와 강제대류 상태에서 비교 실험 하였다. 전압을 6, 8, 10V로 증가 시켰을 때, 냉각온도는 자연대류보다 강제대류 상태에서 최대 -2.5℃온도가 더 낮게 나타났고, 전압이 10V 일 때, 강제대류 상태에서 최저 -15℃까지 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 온도는 8초 까지 급격히 감소하다가 8초 이후부터 완만하게 떨어지고, 그 이 후 부터는 -15℃로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.



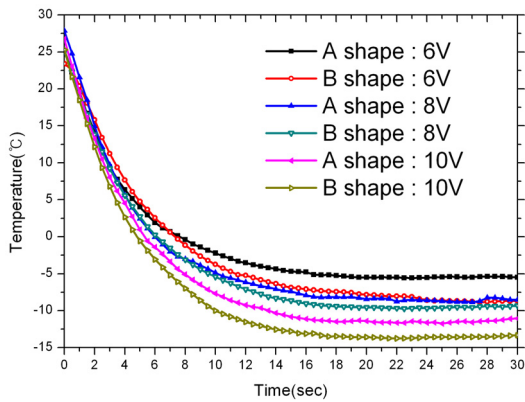
[Fig. 4] Cooling experiment for heat sink of A shape and B shape

자연대류보다 강제대류에서 냉각이 더 잘되는 이유는 펠티에 소자의 열이 히트싱크에 전달되어 핀을 통해 외부로 확산된다. 자연대류에서는 열이 외부로 빨리 빠져나가지 못하고, 외부에서 머무는 시간이 많아져 정체가 된다. 강제대류에서는 히트싱크를 통해 외부로 빠져나온 열이 터널 내부로 부는 공기에 의해서 외부로 빠른 시간에 빠져나가는 것으로 사료된다.

Fig. 5(a)는 강제대류에서 전압이 6, 8, 10V일 때 A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크의 시간에 따른 온도의 변화를 비교하였고, A, B형상 모두 온도가 감소함을 알 수 있었다. 그러나, 형상에 따라서는 온도가 약간의 차이를 보이고 있으나, 그 온도 차이는 거의 없는 것으로 보인다. 따라서 강제대류에서 히트싱크의 형상은 온도에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.



(a) Forced convection



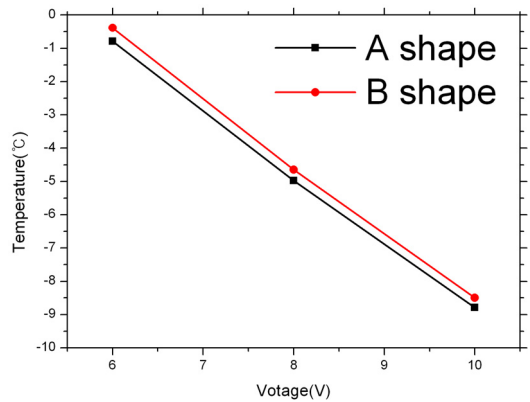
(b) Natural convection

[Fig. 5] Compare cooling experiment for heat sink of A shape and B shape in the forced convection and the natural convection

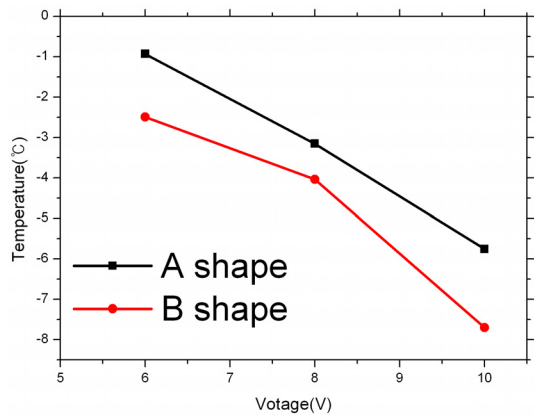
Fig. 5(b)는 자연대류에서 전압이 6, 8, 10V일 때 A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크의 시간에 따른 온도의 변화를 비교하였고, A, B형상 모두 온도가 감소함을 알 수 있었다. A형상의 냉각 핀 히트싱크 보다는 B형상의 냉각 핀 히트싱크 온도가 -2°C 더 감소함을 알 수 있었다. B형상의 냉각 핀 히트싱크가 온도가 낮은 이유는 자연대류에서 A형상은 공기가 외부로 잘 빠져 나가지 못하고 터널 내부에서 정체되어 있는 시간이 많아서이고, B형상은 온도를 외부로 더 잘 전달시키는 것으로 판단된다.

Fig. 6(a)는 강제대류에서 A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크를 전압의 증가에 따른 온도 변화를 나타내었다. A형상과 B형상을 비교해 보면 평균적으로 전압이 증가할수록 온도는 A형상 및 B형상 모두 최대 -9°C 까지 감

소하는 것을 알 수 있고, 앞의 Fig. 5(a)에서 처럼 온도 차이는 거의 없다. Fig. 6(b)는 자연대류에서 A형상과 B형상의 냉각 핀 히트싱크를 전압의 증가에 따른 온도 변화를 비교 나타내었다. 평균적으로 전압이 증가할수록 온도는 A형상 냉각 핀 히트싱크는 최저 -6°C , B형상 냉각 핀 히트싱크는 최저 -8°C 감소하였고, 강제대류에서와는 달리 온도가 A형상보다 B형상 냉각 핀 히트싱크가 최저 -2°C 더 감소하는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 5(b)처럼 B형상 냉각 핀 히트싱크가 온도를 외부로 더 잘 전달시키는 것으로 사료된다.



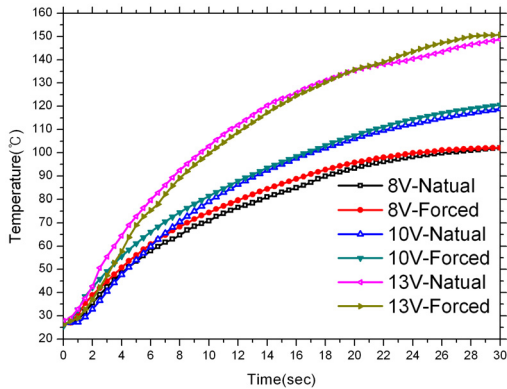
(a) Forced convection



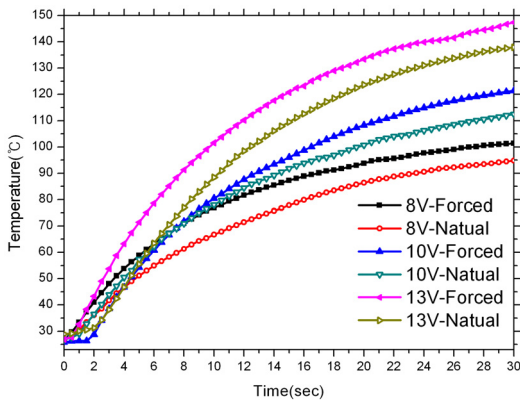
(b) Natural convection

[Fig. 6] When the voltage increase, Compare cooling temperature for heat sink of A shape and B shape in the forced convection and the natural convection

4.2 형상에 따른 가열



(a) A shape



(b) B shape

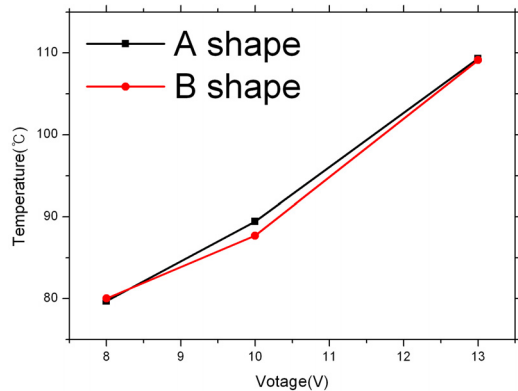
[Fig. 7] Heating experiment for heat sink of A shape and B shape

Fig. 7(a)는 A형상의 냉각 핀 히트싱크에서 전압을 8, 10, 13V로 바꾸면서 시간에 따른 히팅온도 변화를 자연대류와 강제대류 상태에서 비교 하였다. 실험에서 전압을 8, 10, 13V로 증가 시켰을 때, 히팅온도는 자연대류보다 강제대류 상태에서 최고 1°C 정도 더 높게 나타났고, 전압이 13V 일 때, 히팅 온도는 자연대류와 강제대류에서 최고 150°C까지 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 온도는 6초 까지 급격히 증가하다가 6초 이후부터 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다.

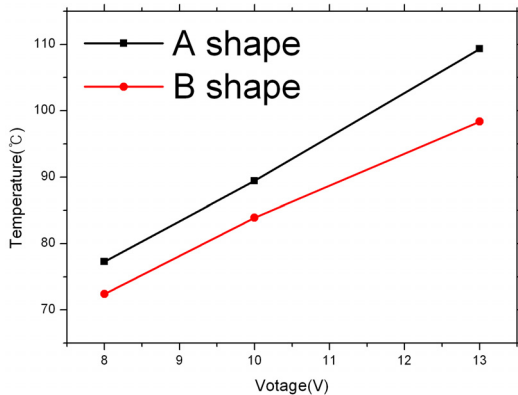
Fig. 7(b)는 B형상의 냉각 핀 히트싱크에서 전압을 8, 10, 13V로 바꾸면서 시간에 따른 히팅온도 변화를 자연대류와 강제대류 상태에서 비교 하였다. A, B형상 모두 온도가 증가함을 알 수 있고, 히팅온도는 자연대류보다 강제대류 상태에서 온도가 최대 10°C 더 높게 나타났

고, 강제대류 상태에서 최고 145°C까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 온도는 8초 까지 급격히 증가하다가 8초 이후부터 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다.

자연대류보다 강제대류에서 온도가 높은 이유는 펠트에 소자의 차가워진 면의 냉기가 히트싱크로 전달되어 내부터널에 부는 공기에 의해서 빠르게 외부로 확산되어 빠져나가고, 자연대류에서는 히트싱크로 전달되어진 냉기가 외부로 빨리 빠져 나가지 못하고, 터널내부에서 머무는 시간이 많아져 정체가 된다. 그래서, 자연대류보다 강제대류에서 온도가 더 높은 것으로 사료된다.



(a) Forced convection



(b) Natural convection

[Fig. 8] When the voltage increase, compare heating experiment for heat sink of A shape and B shape in the forced convection and the natural convection

Fig. 8(a)는 강제대류에서 전압이 8, 10, 13V 일 때, A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크의 시간에 따른 온도 변화를 비교하였다. A, B형상 모두 온도가 증가함을 알 수 있고, A, B형상 냉각 핀 히트싱크에 따라서는 온도 차이는 거의 없는 것으로 보인다. 따라서 강제대류에서 히트싱크의 형상은 온도에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 사료된다.

Fig. 8(b)는 자연대류에서 전압이 8, 10, 13V 일 때, A형상과 B형상의 냉각 핀 히트싱크의 시간에 따른 온도 변화를 비교하였다. A, B형상 모두 온도가 증가함을 알 수 있고, B형상 냉각 핀 히트싱크보다 A형상 냉각 핀 히트싱크의 온도가 10°C 더 높은 것으로 보인다. 이유는 Fig. 5(b)에서 자연대류 상태에서는 B형상 냉각 핀 히트싱크의 온도가 A형상 냉각 핀 히트싱크의 온도보다 더 감소하는 것으로 나타났다. 즉, B형상은 A형상 보다 냉기를 외부로 잘 전달한다는 것을 알 수 있다. 반대로 자연대류 상태의 A형상 냉각 핀 히트싱크는 가열을 할 경우, 냉각 핀 히트싱크를 통해 냉기가 외부로 잘 빠져나가지 못하면 펠티에 소자의 특성[22]에 의해 차가운 면의 반대면은 온도가 증가한다. 그래서, 냉각에서와는 달리 가열을 할 경우, A형상의 냉각 핀 히트싱크의 냉기가 더 이상 빠져나가지 못하고, 펠티에 소자의 온도를 증가시켜 A형상이 B형상 보다 더 온도가 높은 것으로 사료된다.

Fig. 9(a)는 강제대류에서 A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크를 전압의 증가에 따른 온도 변화를 나타내었다. 평균적으로 전압이 증가 할수록 온도는 A형상과 B형상 모두 최대 110°C까지 증가하는 것을 알 수 있고, 온도차는 거의 없었다.

Fig. 9(b)는 자연대류에서 A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크를 전압의 증가에 따른 온도 변화를 나타내었다. 평균적으로 전압이 증가 할수록 온도는 A형상 냉각 핀 히트싱크가 110°C, B형상 냉각 핀 히트싱크는 100°C까지 증가하고, 냉각실험의 자연대류에서와는 달리 온도가 B형상보다 A형상이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 8(b)에서와 같은 이유로 보인다.

5. 결론

본 연구는 펠티에 소자를 이용하여 A형상 냉각 핀 히트싱크를 가지고 자연 대류와 강제대류 상태에서 비교하

였고, B형상 냉각 핀 히트싱크를 가지고 자연 대류와 강제대류 상태에서 비교하여 냉각 및 히팅 성능을 확인 할 수 있었다.

냉각 실험에서 A형상 및 B형상 냉각 핀 히트싱크모두 자연대류보다 강제대류에서 온도가 최저 -15°C 적게 나타났다, A형상 냉각 핀 히트싱크는 온도가 급격히 감소하다가 6초 이후부터 온도가 일정하게 유지되고, B형상 냉각 핀 히트싱크는 급격히 감소하다가 8초 이후부터 온도가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 자연대류에서 보다는 강제대류에서 효율이 더 좋은 것으로 사료된다.

강제대류에서 전압을 6, 8, 10V으로 증가 시켰을 때, A, B형상 냉각 핀 히트싱크는 온도가 모두 감소하고, A, B형상에 따라서는 온도의 변화가 거의 없었다.

자연대류에서 전압을 6, 8, 10V으로 증가 시켰을 때, A, B형상 냉각 핀 히트싱크는 온도가 모두 감소하고, A형상 냉각 핀 히트싱크보다 B형상 냉각 핀 히트싱크의 온도가 -2°C 더 감소하는 것을 알 수 있었다. 자연대류에서는 A형상 냉각 핀 히트싱크 보다 B형상 냉각 핀 히트싱크가 더 효율이 좋은 것으로 사료된다.

강제대류에서 전압을 증가시켰을 때, A, B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 -9°C 감소하는 것을 알 수 있고, A, B형상 냉각 핀 히트싱크 형상에 따라서는 온도 변화가 거의 없었다.

자연대류에서 전압을 증가시켰을 때, A형상 냉각 핀 히트싱크는 최저 -6°C, B형상 냉각 핀 히트싱크는 최저 -8°C 감소하였고, A형상 냉각 핀 히트싱크 보다는 B형상 냉각 핀 히트싱크의 온도가 더 감소하는 것으로 보아 효율이 더 좋은 것으로 사료된다.

히팅 실험에서 A형상 및 B형상 냉각 핀 히트싱크모두 자연대류와 강제대류에서 온도가 증가하였다. 강제대류에서 A형상 냉각 핀 히트싱크는 최고 150°C, B형상 냉각 핀 히트싱크는 최고 145°C까지 증가 하였고, A형상의 냉각 핀 히트싱크는 온도가 6초 까지 급격히 증가하다가 6초 이후부터 완만하게 증가하였다. B형상 냉각 핀 히트싱크는 온도가 8초 까지 급격히 증가하다가 8초 이후부터 완만하게 증가하였다. 자연대류에서 보다는 강제대류에서 효율이 더 좋은 것으로 사료된다.

강제대류에서 전압이 8, 10, 13V 일 때, A, B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 증가하였고, A, B형상에 따라서는 온도 차이는 거의 없었다. 자연대류에서도 A,

B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 증가하였고, B형상 냉각 핀 히트싱크보다 A형상 냉각 핀 히트싱크의 온도가 10℃ 더 높게 나타났다.

강제대류에서 전압을 증가시켰을 때, A형상과 B형상 냉각 핀 히트싱크 모두 온도가 110℃까지 증가하였고, A, B형상에 따라서는 온도의 변화가 거의 없었다. 자연대류에서 A형상 냉각 핀 히트싱크가 110℃, B형상 냉각 핀 히트싱크는 100℃까지 증가하였다.

위의 결과는 제품의 열을 방출하기 위해서 내부터널의 히트싱크를 필요로 하는 제품에 참고 자료로 활용될 것으로 보인다.

References

- [1] Champier D, Bedecarrats JP, Rivaletto M, Strub F, "Thermoelectric power generation from biomass cook stoves", *Energy*, Vol. 35, pp. 935-942, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.015>
- [2] E.F. Thacher, B.T. Helenbrook, M.A. Karri, C.J.Richter, "Testing an automobile thermoelectric exhaust based thermoelectric generator in a light truck", *Proc. IMechE. D: J. Automob. Eng.* Vol. 221, pp. 95-107, 2007.
- [3] Pan Y, Lin B, Chen J., "Performance analysis and parametric optimal design of an irreversible multi-couple thermoelectric refrigerator under various operating conditions", *Appl. Energy*, Vol. 84, pp. 882-892, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.02.008>
- [4] Gurevich YG, Logvinov GN, "Physics of thermoelectric cooling", *Semicond Sci Technol*, Vol. 20, pp. 57-64, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0268-1242/20/12/R01>
- [5] Min Chen, Lasse A. Rosendahl, Thomas Condra, "A three-dimensional numerical model of thermoelectric generators in fluid power systems", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, pp. 345-355, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.08.024>
- [6] Wei-Hsin Chen, Chen-Yeh Liao, Chen-I Hung, "A numerical study on the performance of miniature thermoelectric cooler affected by Thomson effect", *Applied Energy*, Vol. 89, pp. 464-473, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.022>
- [7] Lee KH, Kim OJ, "Analysis on the performance of the thermoelectric microcooler", *Int J Heat Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 1982-1992, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.09.037>
- [8] Luo J, Chen L, Sun F, Wu C, "Optimum allocation of heat transfer surface area for cooling load and COP optimization of a thermoelectric refrigerator", *Energy Convers Manage*, Vol. 44, (2003) pp. 3197-3206, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00107-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00107-9)
- [9] Lee DR, "Investigation of Optimal Cooling Performance Using Peltier Module and Heat Sink", *Journal of the Korea society for power system engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 65-70
- [10] Seung-Hwan Yu, Kwan-Soo Lee, Se-Jin Yook, "Natural convection around a radial heat sink", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, pp. 2935-2938, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.02.032>
- [11] R. Arularasan & R. Velraj, "Modeling and simulation of a parallel plate heat sink using computational fluid dynamics", *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 51, pp. 415-419, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-008-1867-9>
- [12] Bum-Sik Seo, Ki-Joung Lee, Jong-Kyung Yang, Young Seek Cho, and Dae-Hee Park, "Development and Characterization of Optimum Heat Sink for 30 W Chip on Board LED Down-Light", *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, Vol. 13, No. 6, pp. 292-296, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/TEEM.2012.13.6.292>
- [13] Yue-Tzu Yang, Huan-Sen Peng, "Numerical study of pin-fin heat sink with un-uniform fin height design", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 4788-4796, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.02.017>
- [14] Mehdi Mehrtash, Ilker Tari, "A correlation for natural convection heat transfer from inclined plate-finned heat sinks", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 51, pp. 1067-1075, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.10.043>
- [15] Ilker Tari, Mehdi Mehrtash, "Natural convection heat transfer from inclined plate-fin heat sinks", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 56, pp. 574-593, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.08.050>
- [16] P. Teertstra, M.M. Yovanovich, J. R. Culham, "Analytical forced convection modeling plate fin heat sinks", *J. Electronics Manufacturing*, Vol. 10, No. 4, pp. 253-261, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0960313100000320>
- [17] C.T. Chen, H.I. Chen, "Multi-objective optimization design of plate-fin heat sinks using a direction-based genetic algorithm", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 44, pp. 257-265, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2012.11.012>

[18] K.T. Chiang, C.C. Chou, N.M. Liu, "Application of response surface methodology in describing the thermal performances of pin-fin heat sinks", International Journal of Thermal Sciences, Vol. 48, pp. 1196-1205, 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.10.009>

[19] S.F. Hosseinizadeh, F.L. Tan, S.M. Moosania, "Experimental and numerical studies on performance of PCM-based heat sink with different configurations of internal fin", Applied Thermal Engineering, Vol. 31, pp. 3827-3838, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.031>

[20] Y.A. Cengel, "Heat Transfer A Practical Approach 2nd edition", McGraw-Hill, Boston, 2003.

[21] B.S. Seo, K. J. Lee, J.K. Yang, Y. S. Cho, D.H. Park, "Development and characterization of optimum heat sink for 30W chip on board LED down-light", Transactions on electrical and electronic materials, Vol. 13, No. 6 pp. 292-296, 2012.

[22] Huang, B. J. and Chin, C. J. and Duang, C. L., "A design method of thermoelectric cooler", Int. J. of Refrigeration, Vol. 16, No. 1, pp. 208-218, 2000.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007\(99\)00046-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007(99)00046-8)

김 태 완(Tae-Wan Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2003년 8월 ~ 2004년 12월 : 부산대학교 기계기술연구소 전임연구원
- 2005년 1월 ~ 2006년 12월 : 오하이오 주립대학교 방문연구원
- 2007년 1월 ~ 2008년 2월 : 현대자동차 연구소 선임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

트라이볼로지, 구조해석, 자연모사공학

이 민(Min Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 부경대학교 정밀기계공학과 졸업
- 2008년 2월 : 서울과학기술대학교 정밀기계공학과 (기계공학석사)
- 2012년 3월 ~ 2014년 2월 : 부경대학교 대학원 기계공학 (박사과정수료)

<관심분야>

사출금형, 사출금형설계, 성형해석