

다양한 형상의 Heat Sink 열저항 특성에 관한 실험적 연구

김 중 하[†], 윤 재 호*, 이 창 식**

한양대학교 대학원 기계공학과, *한국생산기술연구원, **한양대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics for Various Types of Heat Sinks

Jong-Ha Kim[†], Jae-Ho Yun*, Chang-Sik Lee**

Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*Advanced Energy & Environment Team, Korea Institute of Industrial Tech, Chonan 330-820, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received May 7, 2002; revision received July 15, 2002)

ABSTRACT: This paper has been made to investigate the thermal performance characteristics for the several types of heat sinks such as extruded heat sink, aluminum foam heat sink, layered heat sink. The various types heat sinks are prepared and tested for natural convection as well as forced convection. The experimental results for natural convection are compared to those for three types of heat sink so that the appropriate heat sink can be designed or chosen according to the heating conditions. The overall heat transfer performances for layered heat sink, extruded heat sink and aluminum foam heat sink are almost comparable to those under natural convection and forced convection. The forced convection of layered heat sink become 1.2 times as high as those of extruded heat sink, and the forced convection of extruded heat sink become 1.2 times as high as those of aluminum foam heat sink. This study shows that bar height, bar distance and number of bar for layered heat sink are important parameters, which have a serious influence on thermal performance for layered heat sinks.

Key words: Heat transfer enhancement(전열촉진), Thermal resistance(열저항), Heat sink(방열기), Aluminum foam(발포 알루미늄).

기 호 설 명

C_p : 공기의 정압비열 [kW/kg · K]

h : 열전달계수 [W/m² · K]

k : 열전도계수 [W/m · K]

l : 두께 [m]

\dot{m} : 시간당 질량유량 [kg/h]

ppi : 기공밀도 [Pores per inch]

\dot{Q} : 시간당 열량 [kW/h]

R : 열저항 [K/W]

ΔT : 공기의 출구와 입구의 온도차 [K]

ΔT_e : 복사율에서 두 물체의 온도차 [K]

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8348; fax: +82-41-589-8330

E-mail address: joungha@kitech.re.kr

그리스 문자

ϵ : 복사율

σ : 스테판-볼츠만 상수

하첨자

air : 공기
m : 평균값
p : 정압비열

1. 서 론

전자기기에는 인공두뇌처럼 작동하는 크고 작은 컴퓨터, 정보를 전달하는 통신기기, 정보 또는 계산결과를 표시하는 프린터 등의 정보단말기가 있으며, 이들 기기에서는 많은 열이 발생한다.

전자기기에 있어서 열발생이 문제가 되는 것은 이것이 기기의 내구성에 큰 영향을 주기 때문이다. 예를 들어 트랜지스터의 접점온도(junction temperature)와 고장률과의 관계는 거의 지수함수의 역수에 비례한다고 알려져 있다. 이와 같이 전자기기에서는 각 부분의 온도를 허용치 이하로 유지하기 위한 방열설계가 매우 중요하다. 방열의 문제가 종래에는 크게 대두되지 않았던 것은 기기의 단위체적당 발열량(발열밀도: kW/m³)이 크지 않았던 것과 사용환경이 크게 나쁘지 않았기 때문이다. 그러나 최근에는 대용량화 및 소형경량화 등의 요구로부터 발열밀도가 크게 증가되었다.

특히 시간이 지남에 따라 컴퓨터 및 전자기기는 대용량화가 이루어지고 있고, 이에 따라 보다 많은 정보를 고속으로 처리하기 위해 전자기기 각각의 구성요소는 발열밀도가 증대되어 이를 냉각시키기 위한 냉각기술개발은 중요한 연구과제의 하나가 되었다. 또한, 많은 전자기기에서는 여러 개의 발열체를 사용하므로 이러한 열원의 배열에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. Morega and Bejan⁽¹⁾은 제한된 체적 내에서 이산화열원을 갖는 보드(board)들 사이의 최적간격을 수치해석으로 구하였다. 또한 Dancer and Pecht⁽²⁾는 강제대류에서 2차원 채널 내에 열소산율이 다른 칩들을 배열하는 문제를 동적계획법을 사용하여 최적화하였다. 국내에서는 전창덕 등⁽³⁾이 터널식 공냉형 히트싱크의 실험에서 발열체의 온도상승인자에 대한 영향을 규명하였다. 또한 Madhusudau and Avram⁽⁴⁾은 핀-핀(pin-fin)의 핀(pin) 직경과

높이에 대한 최적의 설계조건을 제시하였다. 그리고 Tasaka et al.⁽⁵⁾은 파형핀(corrugated-fins)에 대하여 공기 유동면적과 파형핀의 공기유동각의 변화에 대한 실험결과 공기유동각의 변화에 대한 열저항의 변화가 적다는 것을 보여준다.

최근에 히트싱크의 소형화, 경량화를 고려하여 적층형 히트싱크(layered heat sink)가 개발되었다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 컴퓨터는 물론 광통신, 유무선통신기기 및 정밀가공산업에서 사용되고 있는 알루미늄 압출형 히트싱크를 압출방향과 수직으로 여러 개를 절단하여 공기유동을 증가시킨 히트싱크, 알루미늄 다공성 히트싱크, 알루미늄 사각봉을 격자형으로 적층하여 제작한 히트싱크의 열저항 특성을 실험적으로 연구하는 데 그 목적이 있다.

2. 열저항의 개념

전자기기의 설계에 있어서 열저항 $R(K/W)$ 은 매우 중요한 개념이다. 일반적으로 열저항을 R , 온도차를 $\Delta T(K)$ 이라 하면 단위시간당 전열량 $\dot{Q}(W)$ 는 식(1)과 같이 표시된다.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \tag{1}$$

열저항의 종류는 전열형태에 따라 다음 3가지 태로 나누어 생각할 수 있다.

열전도를 고려한 경우 단면적 $A(m^2)$, 길이 $l(m)$, 열전도계수를 $k(W/m \cdot K)$ 라고 하면 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{l}{kA} \tag{2}$$

대류열전달에 동일한 방법으로 열저항 R 를 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{1}{h \cdot A} \tag{3}$$

두 면의 온도를 T_1, T_2 라고 하고 복사열전달량을 \dot{Q} 라고 하며 두 온도의 차이가 크지 않으면 근사적으로 식(4)와 같다. 복사에 의한 열저항은

식(5)으로 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q} = 4\epsilon \cdot \sigma \cdot AT_m^3 \Delta T_\epsilon \quad (4)$$

$$R = \frac{1}{4\epsilon \cdot \sigma \cdot AT_m^3} \quad (5)$$

여기서, T_m 은 두 면의 평균 온도이다. 식(5)에서 보듯이 복사에 의한 열저항은 정수가 아니고 온도의 함수로 되는 것을 알 수가 있다.

본 실험에서 일반적으로 전자기에 사용되는 히트싱크의 경우는 복사에 의한 열전달량이 거의 무시될 수 있을 정도의 열량이므로 히트싱크의 전체 열저항은 식(6)과 같은 식의 개념을 적용하였다.

$$R = \frac{l}{kA} + \frac{1}{h \cdot A} \quad (6)$$

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

현재 일반적으로 사용되는 히트싱크는 팬(fan)을 사용하여 강제대류가 많이 사용되며, 발열량이 적거나 소음문제가 발생하는 곳에서는 자연대류방식의 히트싱크를 적용한다. 이러한 현상을 실험에서 구현하기 위하여 Fig. 1과 같은 시험장치를 제작하였다. 본 실험에 사용한 흡입형 소형풍동은 총 길이 3,000 mm인 직사각형 흡입·개방형 소형 풍동으로 풍동 입구측에 항온항습장치를

설치하여 흡입되는 공기의 상태를 일정하게 유지하도록 하였으며, 항온항습부를 통과한 공기가 250×300 mm의 유동의 안정을 위한 덕트부를 통과하도록 하였으며, 시험용 히트싱크로 공기의 유입속도가 일정하게 유지되도록 하기 위하여 히트싱크의 크기인 50×60 mm인 급축소부를 만들었으며, 급축소부 끝단에 히트싱크를 장착하여 시험을 수행하였다. 또한 히트싱크를 통과한 공기가 유동의 방해받지 않도록 급축대부를 설치하였다. 공기의 유량측정을 위하여 지름이 50 mm 길이 1,200 mm인 아크릴관으로 공기를 유도하여 공기의 유속을 측정하였다. 또한 히트싱크의 강제대류 시험을 위하여 아크릴관 끝단에 0.5 kW의 DC 전동기(3HP, 2극, 3450 RPM) 구동 원심송풍기를 설치하였다. 시험에서 히트싱크를 통과하는 공기의 속도를 1~5 m/s로 변화시켰으며, 속도조절은 출력주파수 범위가 0.5~120 Hz(최대 360 Hz)의 조절범위를 갖는 인버터를 장착하여 팬의 회전수를 조절하였다. 이와 같은 시험으로부터 열저항을 측정하기 위하여 덕트 축소부에 3개의 T-형 열전대를 설치하였으며, 공기의 유속은 핫 와이어형(Hot-wire type) 풍속계(정밀도 ±0.4%)를 설치하였다.

본 실험에서 사용한 발열원으로는 크기가 60 mm×50 mm에 두께 2 mm 알루미늄판에 저항을 부착한 발열체를 제작하였으며, 발열체에 들어가는 전기는 직류 220 V 전압을 공급열량의 변화에 따라 가변할 수 있도록 슬라이드스를 이용하였으며, 발열체에 입력되는 전력량, 전압, 전류를 측정할 수 있는 디지털 멀티미터 이용하여 측정하였다. 또한 발열체의 표면온도를 측정하기 위하여

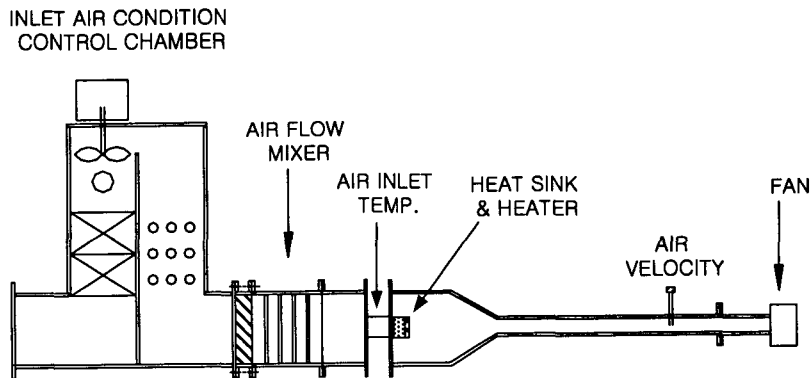


Fig. 1 Schematic of the experiment apparatus.

여 발열체 위에 T-형 열전대를 설치하여 발열체 표면의 온도를 측정하였다. 측정된 온도는 데이터 취득장치 시스템을 이용하여 기록하였다.

3.2 실험방법

본 실험장치 통하여 자연대류와 강제대류에 대한 히트싱크 열저항 시험을 아래와 같은 방법으로 수행하였다.

먼저 자연대류는 공기를 팬으로 순환시키지 않고 히트싱크의 상부가 개방된 상태에서 가열하면 공기의 온도차에 의하여 발생하는 밀도차로 공기가 순환되어 열전달이 일어나는 것을 말한다. 이때 히트싱크는 방향에 따라 성능의 차이를 나타낼 수 있으므로 히트싱크를 수직 및 수평으로 설치하여 열저항을 측정하였다. 자연대류와 강제대류에서의 열저항은 공급열량 측정, 공기의 입구 온도와 히트싱크의 밑판온도를 측정하여 ΔT 을 계산하고 식(1)과 같이 열저항을 계산하여 분석한 데이터로 냉각능력을 평가하였다. 또한 히트싱크와 발열체 사이의 접촉열저항의 차이를 줄이기 위하여 틸 사이에 열전도도가 0.79(W/m·K)인 서멀 그리스(thermal grease)를 얇게 도포하여 접촉열저항을 최소화하였다.

강제대류는 본 연구에서 인버터로 송풍기의 속도를 조절하면서 발열체를 냉각시키도록 하였다. 이때 공기의 속도는 1~5m/s까지 변화시키면서 실험하였으며, 발열체의 온도가 정상상태(steady state)로 되었을 때의 입력된 전력량, 발열체온도, 주위온도 등을 측정하였다.

본 시험에 앞서 강제대류 실험에서 발열체에 가한 전기량을 측정하고 이를 열량으로 환산한 값과 공기의 입출구 온도차 및 유량을 측정하여

공기측 열교환량을 비교하여 에너지 평형을 확인하였으며, 열량비를 오차범위 $\pm 5\%$ 내에 포함되는 데이터를 유효값으로 실험결과를 분석하였으며, 히트싱크에서 공기와 열교환량을 식(7)로 계산하였다.

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (7)$$

3.3 실험에 사용된 히트싱크

Fig. 2와 같이 본 연구에 사용된 3가지 종류 히트싱크 모두 크기가 50×60 mm, 높이 28 mm (base plate 두께 4 mm)로 일정하게 제작하였다. 현재 일반적으로 사용되는 히트싱크는 알루미늄 압출형이 주로 사용되고 있으나, 개선된 형태의 히트싱크인 압출형 히트싱크에 압출방향에 수직으로 절단하여 각각이 핀형상(3 mm×1.5 mm×24 mm)을 이루는 형태로 공기유동 자유로이 하여 압출형 히트싱크(이후 기호 f, 압출형 히트싱크로 기술), 알루미늄판에 알루미늄 다공성 재질을 포밍하여 제작한 다공성 히트싱크(이후 기호 p, 다공성 히트싱크로 기술)는 체적에서 공극이 차지하는 비율인 다공도가 92%, 1인치(inch)당 기공의 수인 기공밀도 10 ppi(pores per inch)인 알루미늄 포밍제품을 사용하였다. 또한 사각봉(단면 1.5×2.5 mm)을 2 mm 간격으로 한 단을 쌓고 엇갈리게 다음 단을 쌓는 형태로 히트싱크를 제작한 적층형 히트싱크(이후 기호 s, 적층형 히트싱크로 기술) 제작하여 시험을 수행하였다. 또한 압출형 히트싱크의 높이에 따른 열저항의 변화를 비교하기 위하여 높이가 28(이후 기호 f), 22(이후 기호 f1), 14(이후 기호 f2)로 핀의 높이를 변화시켜 가면서 실험을 수행하여 핀의 높이에 따



Fig. 2 Schematic diagram of various types of heat sink.

른 열저항의 변화를 수행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 자연대류에 대한 실험

Fig. 3과 Fig. 4는 각 히트싱크에 대한 수직 방향과 수평 방향에 대한 자연대류에 관한 실험을 그래프로 나타낸 것으로 수직방향의 자연대류의 열저항값은 압출형 히트싱크가 가장 우수하며, 다공성 히트싱크와 적층형 히트싱크가 순서로 열저항 성능이 우수하며, 압출형 히트싱크가 다공성 히트싱크와 적층형 히트싱크에 비하여 4~8% 정도 우수한 성능을 나타내고 있다. 또한 수평 방향의 자연대류 시험에서도 수직 방향과 마찬가지로 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크, 적층형 히트싱크의 순서로 방열성능이 나타나고 있으며, 수직 방향 자연대류 실험보다 각각 9~24% 정도의 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 수평 방향 자연대류 실험에서는 밀도차에 의하여 공기의 유동이 발생하는데 이는 적층형의 경우 자연대류에 의한 공기의 유동이 사각 터널을 흐르는 형태로 수평·수직 방향 모두 공기의 유동이 원활하지 못하다. 하지만 압출형의 경우 자연대류의 공기가 흐를 수 있는 유동면적이 넓어서 다른 형태의 히트싱크보다 우수한 성능을 나타내는 것으로 사료된다. 또한 수평 방향의 히트싱크가 수직 방향의 히트싱크보다 좋은 성능을 나타내는 것은 수직 방향의 경우 공기가 하부로부터 히트싱크에서 열을 받으면서 공기의 온도가 올라가

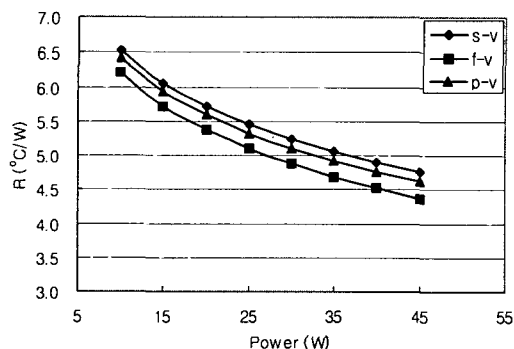


Fig. 3 Comparison of thermal resistance for natural convection of various heat sink with vertical face.

히트싱크와 공기와의 온도차가 적어지고 열교환하는 공기의 유동거리가 수평 방향에 비하여 길어 열교환량이 줄어들기 때문이다. 하지만 수평 방향의 경우 중앙부 공기가 온도상승으로부터 밀도차에 의한 유동으로 사면에서 빠르게 공기가 유입되어 공기 흐름이 원활하게 열전달을 향상시킨다.

따라서 각각의 히트싱크 수직 방향과 수평 방향의 방향 방열성능 비교에서는 적층형 히트싱크는 4% 내외로 크게 변화가 없지만, 다공성 히트싱크는 10~15%, 압출형 히트싱크는 15~22%로 수평 방향의 실험이 수직방향의 실험보다 방열성능이 우수한 것으로 나타나고 있다. 위의 결과는 적층형 히트싱크의 경우 수직·수평 방향 모두 공기의 유동이 사각터널로 공기가 흘러 유동저항이 많이 발생하여 열저항값이 크게 나타나며, 압출형 히트싱크는 하부로부터 공기가 유입되는 수직 방향보다 사면에서 공기의 유입이 원활한 수평 방향이 수직 방향보다 현저히 열저항값이 적다.

따라서 히트싱크의 형상에 따라 수직 방향 및 수평 방향의 특성이 다르므로 방향에 따라 적절한 히트싱크의 종류를 선정이 필요함을 알 수 있다.

4.2 강제대류에 대한 실험

일반적으로 고발열원을 냉각시키는데 사용되는 히트싱크는 주로 강제대류 냉각방식이 이용되는데, 강제대류방식의 히트싱크 실험은 Fig. 5에서 적층형 히트싱크, 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크는 공급열량 변화에 따른 열저항값은 식(6)의 열저항식에서와 같이 열저항은 단면적, 열전도도,

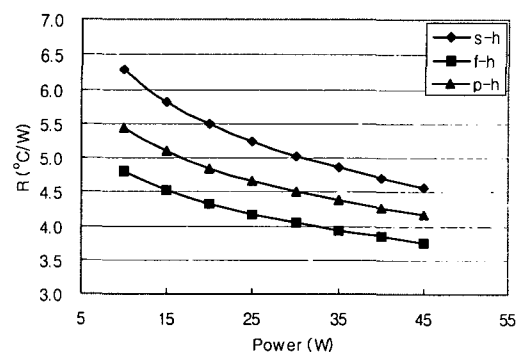


Fig. 4 Comparison of thermal resistance for natural convection of various heat sink with horizontal face.

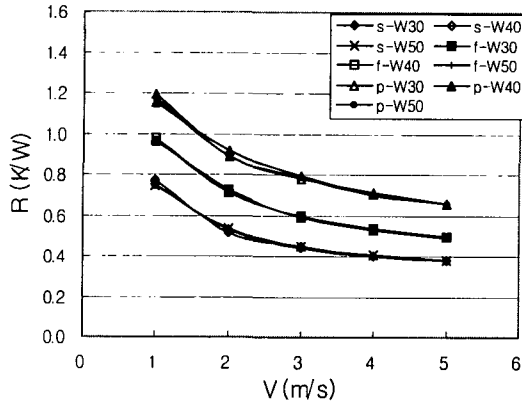


Fig. 5 Comparison of thermal resistance for forced convection of various heat sink.

열교환면적, 열전달계수의 함수이므로 공급열량 변화에 따라 열저항은 변화가 없다는 것을 알 수 있고, 본 실험을 통하여 각 형상에 따른 히트싱크가 공급열량 30 W, 40 W, 50 W로 변화시켜 감에 따라 일정한 열저항 특성을 가지고 있음을 실험을 통하여 다시 한번 검증하였다. 따라서 이는 추후 시험에서 공급열량 변화에 대한 시험을 생략하여도 크게 문제가 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

히트싱크의 각 형상별 방열특성은 적층형 히트싱크, 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크 순서로 각각 대략 23% 정도 성능이 우수한 것으로 나타나고 있다. 기존에 사용되고 있는 압출형 히트싱크보다 적층형 히트싱크가 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 이는 사각봉을 적층함으로 열원으로부터 상부로 열전달할 수 있는 단면적 증가와 수평 방향 및 수직 방향으로의 열전도를 향상시켜서 히트싱크 내부에 열확산을 증대시켜 방열량을 증가시켰다.

4.3 압출형 히트싱크이 높이에 따른 방열특성

Fig. 6과 Fig. 7은 압출형 히트싱크에 대하여 핀의 높이를 28 mm, 22 mm, 14 mm로 절단하면서 공급열량 30 W로 유지하면서 방열특성을 실험한 결과를 나타낸 그래프이다.

자연대류의 경우 히트싱크의 높이가 높을수록 수직 방향 실험에서 11~15% 정도의 열저항 성능이 우수하다는 것을 알 수 있고, 수평 방향의 실험에서는 13~26% 정도의 열저항 성능이 우수함을 알 수 있다. 이는 수직 방향보다는 수평 방

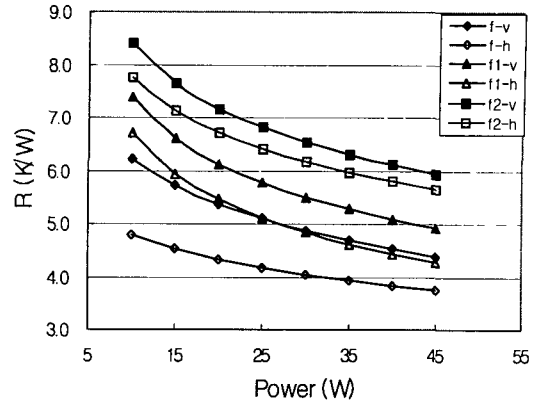


Fig. 6 Comparison of thermal resistance for natural convection of extruded heat sink for horizontal & vertical face.

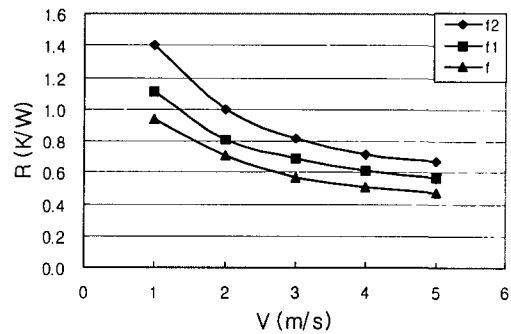


Fig. 7 Comparison of thermal resistance for forced convection of extruded heat sink.

향의 방열량이 크므로 히트싱크의 높이에 따른 열저항 성능의 변화가 크다는 것을 알 수 있다.

강제대류에서는 히트싱크의 높이에 따른 열저항의 변화가 대략 각각 15~20% 정도의 열저항의 변화를 나타내고 있다. 이러한 높이에 따른 방열특성은 히트싱크의 설계시 접촉면도의 제한과 공간적 제한을 고려하여 적절한 선정이 필요함을 알 수 있다.

5. 결 론

체적이 동일하고 본 연구에 사용된 적층형 히트싱크, 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크에 대하여 자연대류 및 강제대류에서의 공급열량과 공기의 유속을 변화하면서 히트싱크의 방열특성을 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

자연대류 실험의 경우 수평 방향이 수직 방향보다 방열성능이 우수하였으며, 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크, 적층형 히트싱크의 순서로 방열성능이 나타내었다.

강제대류의 방열특성은 적층형 히트싱크, 압출형 히트싱크, 다공성 히트싱크 순서로 각각 대략 23% 정도 성능이 우수한 것으로 나타나고 있다.

압출형 히트싱크의 높이 변화에 따른 방열특성은 자연대류의 경우 각각 약 10~25% 정도의 열저항 성능의 변화를 나타내고 있으며, 강제대류의 경우 높이에 따라 각각 15~20% 정도의 열저항의 변화를 나타내고 있다.

앞으로 적층형 히트싱크의 단수나 간격 사각봉이 크기에 따른 방열특성과 다공성 히트싱크의 다공도와 기공밀도에 따른 방열특성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구에 사용된 다공성 히트싱크는 메탈폼코리아의 도움으로 시험하게 되어서 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Morega, A. M. and Bejan, A., 1994, Optimal Spacing of Parallel Boards with Discrete Heat Sources Cooled by Laminar Forced Convection, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 25, pp. 373-392.
2. Dancer, D. and Pecht, M., 1989, Component Placement Optimization for Convectively Cooled Electronics, IEEE Trans. Reliability, Vol. 38, pp. 199-205.
3. Jeon, C. S., Kim, Y. K., Lee, J. Y. and Song, S. H., 1998, Cooling of in-line Array of Heat Sources with Air-Cooled Heat Sink, KSME Proceeding, pp. 229-234.
4. Madhusudau, L. and Avram, B. C., 1998, Optimization of Vertical Pin-Fin Heat Dinks in Natural Convective Heat Transfer, Heat Transfer Proceeding of 11th IHTC, Vol. 3, pp. 501-506.
5. Tasaka, M., Kenjiro, S., Chihiro, H., Shoichi, K. and Ken K., 1998, Cooling Performance of Heat Sinks with Corrugated-fins, Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 104-111.
6. Yun, J. H., Kim, J. H., Kim, J. H. and Park, H. K., 1999, An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics of Brazed Heat Sink, SAREK, pp. 310-315.