

적층형 Heat Sink의 열저항 특성에 관한 실험적 연구

· 김 중 하[†], 윤 재 호*, 권 오 경*, 이 창 식**
 한양대학교 대학원 기계공학과, *한국생산기술연구원, **한양대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics of Layered Heat Sink

Joung-Ha Kim[†], Jae-Ho Yun*, Oh-Kyung Kwon*, Chang-Sik Lee**
 Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
 *Air-Conditioning and Refrigerating Research Team, Korea Institute of Industrial Technology,
 Chonan 330-820, Korea

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

(Received September 7, 2000; revision received December 30, 2000)

ABSTRACT: This paper has been made to investigate the thermal performance characteristics for the several types of layered aluminum heat sinks with offset-strip fin. Heat sinks with different fin height, fin length, number of fin layer and slanted fin are prepared and tested for natural convection as well as forced convection. The experimental results for layered heat sink (LHS) are compared to those for advanced pin fin heat sink (PHS) so that the appropriate heat sink can be designed or chosen according to the heating conditions. The overall heat transfer performances for LHS are almost comparable to those of PHS under natural convection, and become 1.2~1.5 times as high as those of PHS under forced convection situation. This study shows that fin height and number of fin layer are important parameters, which have a serious influence on thermal performance for layered heat sinks.

Key words: Layered heat sink(적층형 히트싱크), Thermal resistance(열저항), Pin fin(핀-핀), Offset-strip fin(오프셋스트립 핀).

기 호 설 명

\dot{Q} : 시간당 열량 [kcal/h]
 \dot{m} : 시간당 질량유량 [kg/h]
 C_p : 공기의 정압비열 [kcal/kg · °C]
 ΔT : 공기의 출구와 입구의 온도차 [°C]

ΔT_ϵ : 복사열에서 두 물체의 온도차 [°C]
 h : 열전달계수 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]
 k : 열전도계수 [$W/m \cdot ^\circ C$]
 l : 두께 [m]
 R : 열저항 [°C/W]

그리스 문자

ϵ : 복사율
 σ : 스테판-볼츠만 상수

[†] Corresponding author
 Tel.: +82-41-589-8348; fax: +82-41-589-8330
 E-mail address: joungha@kitech.re.kr

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 것을 기기의 단위체적당 발열량(발열밀도: kJcal/m^3)이 크지 않았던 것과 사용환경이 크게 나쁘지 않았기 때문이다. 그러나 최근에는 대용량화 및 소형경량화 등의 요구로부터 발열밀도가 크게 증가되었다.

특히 컴퓨터에 대한 대용량화의 요구에는 한계가 없다. 보다 많은 정보를 보다 고속으로 처리하는 요구가 발열밀도의 증대를 피하여 냉각기술 개발은 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 체적내에서 이산화열원을 갖는 보드(board)들 사이의 최적간격을 수치해석으로 구하였다. 또한 Dancer and Pecht⁽²⁾는 강제대류에서 2차원 채널내에 열소산율이 다른 칩들을 배열하는 문제를 동적계획법을 사용하여 최적화하였다. 국내에서는 진창덕⁽³⁾ 등이 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 공기 유동각의 변화에 대한

실험결과 공기 유동각의 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 사용이 기대되는 알루미늄 브레이징 히트싱크의 열저항 특성을 실험적으로 연구하는 데 그 목적이 있다.

2. 열저항의 개념

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

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (1)$$

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

(1) 열전도에 의한 열저항

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

$$R = \frac{l}{kA} \quad (2)$$

(2) 대류에 의한 열저항

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

$$R = \frac{1}{h \cdot A} \quad (3)$$

(3) 복사예 의한 열저항

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.

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

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

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

본 실험에서 일반적으로 전자기기에 사용되는 히트싱크의 경우는 복사에 의한 열전달량이 거의 무시될 수 있을 정도의 열량이므로 히트싱크의 전체 열저항은 식(6)과 같은 식을 사용하였다.

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

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

히트싱크의 열전달량을 측정하기 Fig. 1은 본 실험에 사용한 흡입형 소형풍동을 나타낸 것이다. 300 mm×300 mm, 길이 4500 mm의 것을 사용하였다.

소형풍동 내의 실험영역은 히트싱크의 높이에 따라 동일한 실험조건을 맞추기 위하여 길이 400 mm, 폭 80 mm에서 높이가 16 mm, 21 mm, 30 mm인 3개의 터널을 제작하여 핀의 높이에 따라 사용할 수 있도록 하였으며, 각각의 터널은 전단에 1개 후단에 3개의 K-type 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 강제대류 실험을 위하여 송풍기는 AC 모터 구동 터보 팬(2 HP, 3극, 3450 RPM)을 사용하였고 인버터를 이용하여 공기의 유량을 조절하였다. 시험부는 히트싱크 전단면적에 히트싱크 상부와 좌우측면에서 10 mm 간격을

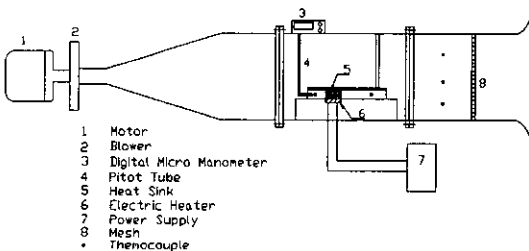


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus.

두어 실제 사용시 조건을 모사하였다.

본 실험에서 사용한 발열원으로는 크기가 60 mm×40 mm에 두께 2 mm 알루미늄판에 저항이 180 Ω, 단면적 2.76 cm²인 저항체를 제작하였다. 발열체에 들어가는 전기는 220 V의 전기가 일정하게 공급되도록 슬라이다스를 이용하였으며 입력되는 전압, 전류, 전력량을 측정하였다. 또한 발열체의 표면온도를 측정하기 위하여 발열체 위에 K-type 열전대를 설치하여 발열체 표면의 온도를 측정하였다. 측정된 온도는 데이터 취득장치 시스템(Yogogawa, HR2300)을 이용하여 기록하였다. 공기의 유량은 히트싱크 후단에 피토투브를 설치하고, 차압은 디지털 마이크로 미터로 측정하였으며, 5개 이상의 지점에서 차압을 측정하여 평균속도를 계산하였다. 발열체에 입력되는 전력량, 전압, 전류는 디지털 파워미터(Yogogawa, WT1030)로 측정하였다.

3.2 실험방법

히트싱크의 실험으로는 자연대류와 강제대류에 의한 실험방법이 있다.

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 열저항값을 측정하였다. 또한 히트싱크와 발열체 사이의 접촉열저항의 차이를 줄이기 위하여 틈 사이에 열전도도가 0.79(W/m·°C)인 서멀그리스(thermal grease)를 얇게 도포하여 접촉열저항을 최소화하였다.

강제대류는 본 연구에서 인버터로 송풍기의 속도를 조절하면서 발열체를 냉각시키고 냉각열량을 측정하여 열저항값을 식(6)과 같이 계산하여 분석한 데이터로 냉각능력을 평가하였다. 이때 공기의 속도는 1~5 m/s까지 변화시키면서 실험하였으며, 발열체의 온도가 정상상태(steady state)로 되었을 때의 입력된 전력량, 발열체온도, 주위 온도 등을 측정하였다.

본 시험에 앞서 강제대류 실험에서 발열체가 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 실험조건

실제 여러 개의 전자기기 부품이 있는 곳에서는 전자기기 사이의 간격이 있어 전체적인 유동을 고려한 전자기기의 배열을 이루도록 되어 있다. 따라서 본 실험에서는 히트싱크가 실제로 전자기기에 사용되는 유사한 상황을 만들기 위하여 히트싱크의 상부와 좌우측 부분이 10mm의 간격을 유지하도록 하였다. 또한 히트싱크와 상부, 좌우측의 간격이 없이 실험한 데이터는 각각의 히트싱크에 팬이 부착된 경우로 가정하고 실험하였다.

또한 본 연구에서 사용된 히트싱크의 종류로는 Fig. 2의 도면과 같이 읍셋스트립 핀의 높이와 길이의 비가 1 : 1인 표준형 핀(S형)을 기준으로 읍셋의 길이 방향이 2배인 핀(L형), 핀의 높이가 2배인 핀(H형), 핀의 형상이 각 도를 가지는 핀

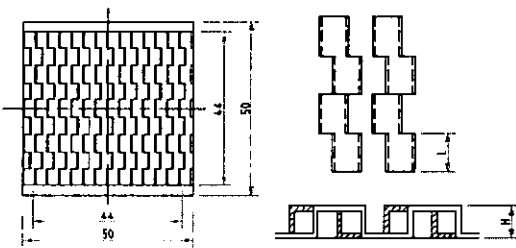


Fig. 2 Schematic diagram of S-type heat sink.

Table 1 Dimensions of heat sinks (mm)

Fin type	Size (W×H×D)	Fin-height (mm)	Fin-length (mm)	Fin-thickness (mm)
S-type	50×50×12	2.35	5	0.35
H-type	50×50×12	4.35	5	0.35
L-type	50×50×12	2.35	10	0.35
A-type	50×50×12	2.35	3.87	0.35

(A형) 모두 4가지 종류를 제작하였으며, 각각의 핀의 종류에 따라 핀의 적층수가 2단, 4단, 6단의 총 11가지의 실험용 샘플을 만들었다(단 높이가 2배인 핀은 핀의 단수가 6단인 샘플은 제작하지 않았음). Table 1은 4단을 기준으로 하는 히트싱크의 치수이다. 또한 일본에서 최근에 제작된 핀의 지름 1.5mm, 핀 간격 1.5mm인 S형 4단과 동일한 크기의 최신형 핀-핀(pin-fin)과의 성능을 비교하였다. 그리고 모든 샘플 각각에 대하여 수평방향과 수직방향의 자연대류에 따른 변화를 측정하였다.

4. 실험결과 분석

풍동을 이용한 히트싱크 열전달 성능시험은 열전달 능력을 열저항 개념을 도입하여 비교 분석할 수 있다. 전자기기에서 실제로 발생하는 총열량을 알고 있다면, 실험결과를 토대로 그에 적합한 히트싱크를 선정하여 사용할 수 있을 것이다.

4.1 단수에 의한 열성능 비교

본 실험에 사용된 4가지(S형, A형, L형, H형) 종류의 핀에 대하여 각각 2단, 4단, 6단 모두에서 공기유동 속도가 증가함에 따라 열저항값이 줄어들었다. Fig. 3에서 보듯이 2단에서는 핀의 형상별로 속도의 변화에 따라 열저항의 차이는 매우 적었다. 이는 히트싱크의 크기가 적으므로 핀의 형상에 따른 열저항값의 변화를 반영하지 못한 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 4, Fig. 5에서와 같

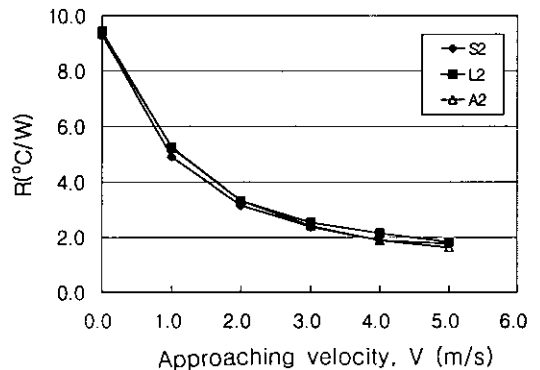


Fig. 3 Comparison of thermal resistance for offset-strip fin with 2 layers.

이 핀의 단수가 4단, 6단으로 증가하면서 핀의 형상에 따른 열저항값의 차이를 나타낸다.

또한 H형 핀은 공기의 밀도차에 의한 자연대류의 유동이 발생할 때 유동에 따른 저항이 적으므로 자연대류에서 낮은 열저항값을 나타내며, 공기의 유속이 증가하면서 핀에 A형 히트싱크와 비슷한 값을 나타낸다. L형 히트싱크는 열저항이 가장 높은 값을 나타내는데 이는 열경계층의 발달로 열전달계수가 감소하여 높은 열저항값을 나타내는 것으로 판단된다.

자연대류에서 핀-핀은 S형(4단) 읍셋스트립 핀보다 20% 가량 성능이 높게 나타났으며, 읍셋스트립 핀이 6단으로 높아지면 비슷한 열저항값을 나타내고 있다. 또한 강제대류에서도 S형 읍셋스트립 핀보다 4~13% 정도의 높은 값을 나타내고 있다. 이 경우 공기의 접근속도는 실제로 핀 사

이를 통과할 때의 공기유속과 상이하므로 필요에 따라서는 실제 공기의 통과속도에 대한 열성능을 측정하여야 할 것이다.

4.2 동일한 핀형상의 단수에 대한 열저항값의 비교

Fig. 6~Fig. 9에서 동일한 핀 형상에서 핀의 단수에 따른 열저항은 핀의 단수가 증가하면 열저항은 감소하고 2단과 4단의 열저항의 감소율보다는 4단과 6단의 열저항 감소율이 적게 나타났다. 이는 핀의 체적이 증가하면 자연대류의 영향이 핀의 체적이 증가하는 것보다 작은 것으로 나타나고 있다. 또한 자연대류에서의 열저항값 차

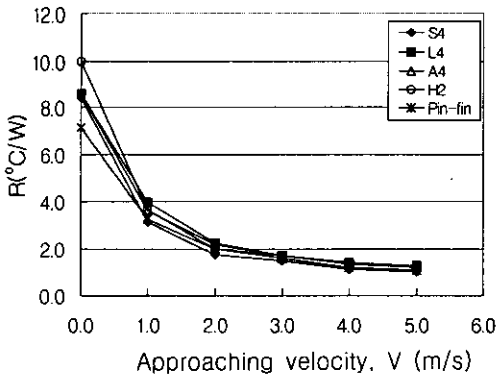


Fig. 4 Comparison of thermal resistance for offset-strip fin with 4 layers.

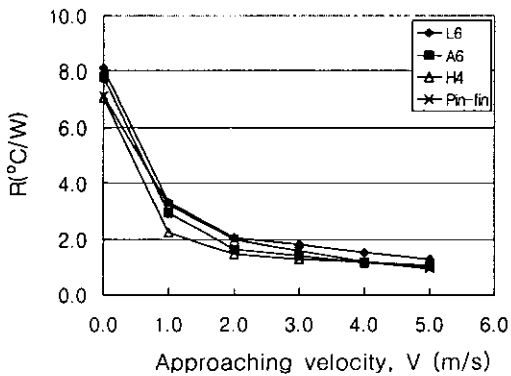


Fig. 5 Comparison of thermal resistance for offset-strip fin with 6 layers.

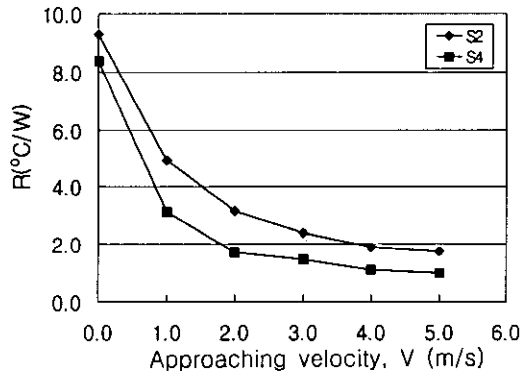


Fig. 6 Effect of approaching velocity on thermal resistance according to no. of fin layers (S-type).

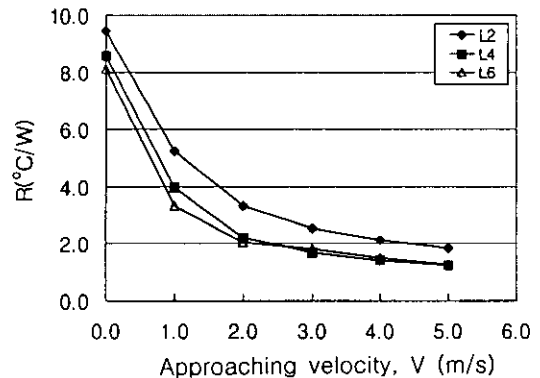


Fig. 7 Effect of approaching velocity on thermal resistance according to no. of fin layers (L-type).

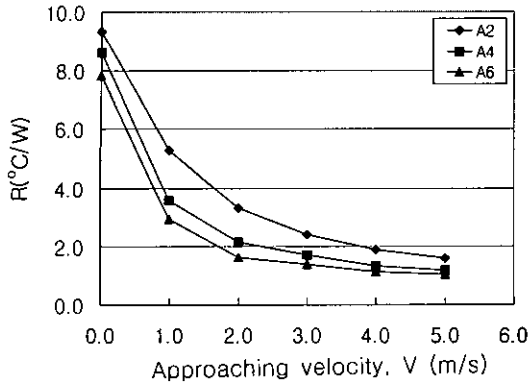


Fig. 8 Effect of approaching velocity on thermal resistance according to no. of fin layers (A-type).

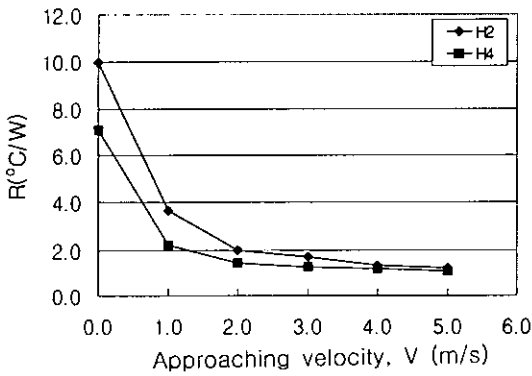


Fig. 9 Effect of approaching velocity on thermal resistance according to no. of fin layers (H-type).

이보다 공기의 유동속도가 증가하면 동일한 핀형상에 대해서 열저항값의 차이가 줄어들음을 알 수 있다. 이러한 결과는 핀의 종류와 상관없이 모두 비슷한 결과를 나타내는데 이것은 핀의 단수와 공기의 속도는 열저항을 감소시키는 데 한계가 있다는 것을 나타낸다. 이것은 핀의 단수가 증가하면 그에 따라 열전달면적은 증가하나, 열전도에 의한 열저항이 증대되기 때문으로 판단된다.

4.3 동일한 핀형상에서의 공기속도에 대한 열저항값 비교

Fig. 10~Fig. 13은 동일한 핀형상에서의 공기 속도에 대한 열저항값을 비교한 것으로 동일한

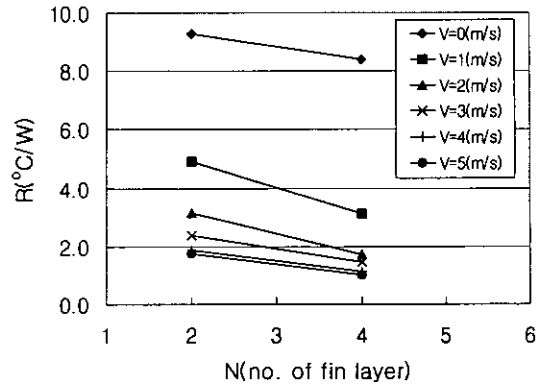


Fig. 10 Comparison of thermal resistance for no. of fin layers according to approaching velocity (S-type).

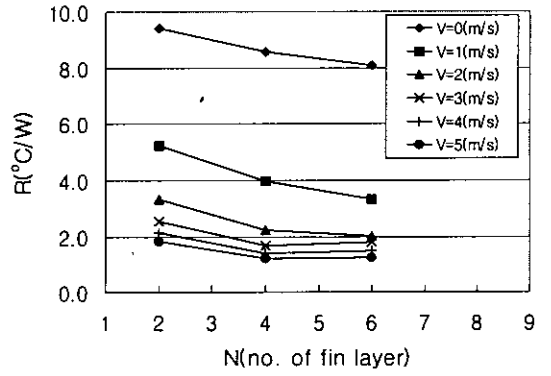


Fig. 11 Comparison of thermal resistance for no. of fin layers according to approaching velocity (L-type).

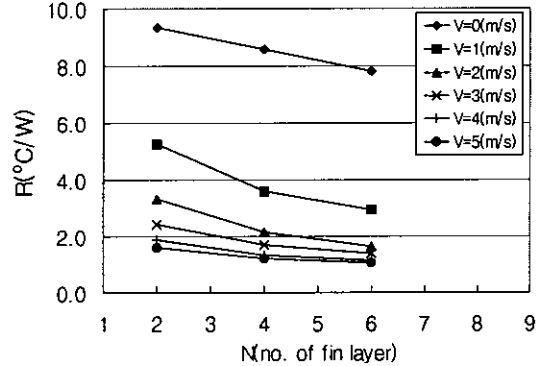


Fig. 12 Comparison of thermal resistance for no. of fin layers according to approaching velocity (A-type).

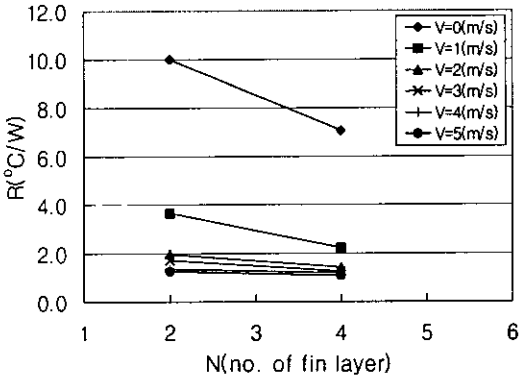


Fig. 13 Comparison of thermal resistance for no. of fin layers according to approaching velocity (H-type).

핀형상, 동일한 공기의 속도에서 핀의 단수가 증가함에 따라 열저항이 감소함을 나타낸다. 그리고 공기의 속도가 증가하면 열저항 감소폭이 줄어들음을 알 수 있다. 이러한 결과는 전자기기의 냉각에 있어서 공간적 제약, 또는 송풍능력 등을 고려하여 적절한 히트싱크의 열전달 능력과 크기를 선정에 기준이 될 것이다.

4.4 수평형과 수직형의 자연대류의 비교

강제대류의 경우 공기유동이 핀으로부터 발생하기 때문에 히트싱크를 수직이나 수평으로 놓아도 크게 영향을 받지 않는다. 하지만 자연대류에서는 수직이나 수평으로 놓으면 열전달의 변화가

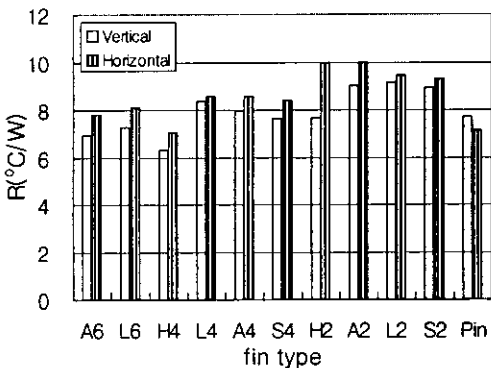


Fig. 14 Comparison of thermal resistance of natural convection according to vertical and horizontal position.

발생한다. Fig. 14에서 보듯이 육셋스트립 핀을 히트싱크의 경우는 수평방향보다 수직방향의 열저항값이 3~15% 정도 낮게 나타났다. 그러나 핀-핀인 경우 수평방향보다 수직방향이 대략 8% 정도 열저항값이 높게 나타났다. 이러한 결과는 수직방향에서 육셋스트립 핀은 공기의 밀도차에 의한 자연대류가 잘되도록 공기의 유로를 형성하나, 핀-핀인 경우 수평방향 및 수직방향 모두 유동저항(flow resistance)이 적으며, 수직방향의 경우 하단에서 온도가 상승된 공기가 상단까지 연속으로 흐르기 때문에 열저항이 크게 나타난다.

또한 전체적으로 핀-핀이 육셋스트립 핀보다 약 10% 정도 낮게 나타나고 있다. 이는 핀-핀이 자연대류에서 유동이 용이하도록 되어 있기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서 히트싱크의 자연대류 및 강제대류의 열저항 실험에서 핀의 단수에 의한 영향, 공기의 접근속도변화, 수직 및 수평방향의 자연대류, 핀 통과 공기속도에 대한 성능시험을 수행하였다. 그 결과 핀의 단수가 증가할수록 열저항값이 감소하였다. 핀-핀과 S형 4단 육셋스트립 핀을 비교하면 자연대류의 경우 핀-핀이 육셋스트립 핀보다 수직일 경우 약 10%, 수평일 때 20% 낮게 나타났으나, 강제대류의 경우는 공기의 접근속도가 증가함에 따라 14~23% 높게 나타났다.

또한 자연대류에서 육셋스트립 핀의 경우 수평보다는 수직으로 놓았을 때 5~15% 정도 좋은 열성능을 나타냈으며, 핀-핀인 경우는 반대로 나타남을 알 수 있다.

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 Sinks in Natural Convective Heat Transfer, Heat Transfer Proceeding of 11th IHTC, Vol. 3, pp. 501-506.
5. Tasaka, M., et al., 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.