

CPU 냉각을 위한 적층형 히트싱크의 방열 특성 연구

이 규 칠, 김 중 하, 윤 재 호, 박 상 일*, 최 윤 호**, 권오경
한국생산기술연구원, *현대파워텍, 아주대**

A Study on the Heat Dissipation Characteristics of Layered Heat Sink for CPU Cooling

Kyu-Chill Lee, Joung-Ha Kim, Jae-Ho Yun, Sang-Il Park*, Yun-Ho Choi**, Oh-Kyung Kwon

ABSTRACT: This research presented the heat resistance characteristics of heat sink which is newly designed through the experiment. For the same volume and base plate of heat sinks, the experiment of heat transfer characteristics was conducted for forced convection of layered type heat sink. The heat transfer and pressure drop characteristics of the layered type heat sink were compared for the various kinds of fin pitches, fin heights and heights of heat sink. The results show that thermal resistance is decreased as the height of heat sink increases and the fin height and fin pitch decrease. From the experimental data of layered type heat sink, the correlation equation of Nusselt number was obtained as follows ;

$$Nu=0.845 \cdot Re^{0.393} \cdot \left(\frac{f_h}{D_h}\right)^{0.160} \cdot \left(\frac{f_p}{D_h}\right)^{0.372} \cdot \left(\frac{H_{hs}}{D_h}\right)^{-0.942}$$

Key words: Layered heat sink(적층형 히트싱크), Thermal resistance(열저항), Pressure drop (압력강하), Forced convection(강제대류), Heat transfer enhancement(열전달촉진)

기 호 설 명

- A : 열전달 면적[m²]
- C_p : 공기의 정압비열[kJ/kg·K]
- f : 핀 높이[m]
- H : 히트싱크 높이[m]
- h : 열전달계수[W/m²·K]
- k : 열전도계수[W/m·K]
- l : 두께[m]
- m : 시간당 질량유량[kg/h]
- Q : 시간당 열량[W]
- R : 열저항[K/W]
- ΔT : 공기의 출구와 입구의 온도차[K]

하첨자

- air : 공기
- h : 높이
- hs : 히트싱크
- m : 평균값
- p : 피치

1. 서 론

최근 전자기기, 컴퓨터 및 통신장비 등은 고성능화, 소형화, 고밀도화 등의 성능향상으로 부품당 소모 전력 밀도가 높아지고, 이에 따라 급격한 열발생률의 증가가 가속화 되고 있다. 이러한 열발생은 기기의 내구성에 큰 영향을 주기 때문에 냉각기술의 개발은 중요한 연구과제의 하나가 되었다. 예를 들어 칩의 경우 작동 온도가 10°C

†Corresponding author

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

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

정도 높아질 때마다 칩의 수명은 50% 이상씩 감소하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾

이러한 온도상승을 방지하기 위하여 히트싱크, 히트파이프 등 다양한 냉각시스템에 대한 연구가 수행되고 있으나, 최근에는 전자기기의 대용량화 및 소형화 경량화 등의 요구로부터 발열밀도 (W/m^3)가 크게 증가 되었다.

이에 따라서 전자기기의 냉각 기술개발은 중요한 과제가 되고 있는 실정이고, 많은 연구자들에 의해 연구들이 진행되고 있다. Dancer and Pecht⁽²⁾는 강제대류에서 2차원 채널 내에 열소산율이 다른 칩들을 배열하는 문제를 동적계획법을 사용하여 최적화 하였고, Madhusudau and Avram⁽³⁾은 핀-핀(pin-fin)의 핀(pin) 직경과 높이에 대한 최적의 설계조건을 제시하였다. 그리고 Tasaka et al.⁽⁴⁾은 파형핀(corrugated-fins)에 대하여 공기 유동면적과 파형핀의 공기 유동각의 변화에 대한 실험결과 공기 유동각의 변화에 대한 열저항의 변화가 적다는 것을 보여주었다. 또한, Sparrow와 Ramsey⁽⁵⁾는 처음으로 일렬 또는 엇갈린 배열에서 원형핀의 열전달 및 압력강하에 대한 연구를 수행하였다.

기존에 주로 사용되는 알루미늄 압출형 히트싱크는 방열능력을 증가시키기 위하여 압출식으로 핀의 높이와 간격 등이 커져야 하므로, 그에 따른 부피, 무게의 증가로 적용에 문제가 있다. 최근에는 히트싱크의 소형화, 경량화를 고려하여 적층형 히트싱크(layered type heat sink)가 연구되고 있다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 적층시킨 히트싱크의 겹침 부분을 제외한 측면부분을 절개시켜 표면적을 증가시키고, 유입 공기의 원활한 흐름이 가능하도록 유로를 확장시켜서, 핀과 공기의 마찰저항을 줄인 새로운 적층형 히트싱크를 고안하여 설계인자 변화에 따른 열저항 특성을 규명 하고자 한다.

2. 열저항 개념

전자기기의 설계에 있어서 열저항 $R(K/W)$ 은 단위시간당 전열량 $Q(W)$ 는 식(1)과 같이 표시된다.

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

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

(1) 열전도에 의한 열저항

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

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

(2) 대류에 의한 열저항

대류열전달의 경우 동일한 방법으로 열저항 R 을 다음의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

(3) 복사에 의한 열저항

두 면의 온도를 T_1, T_2 라고 하고 두 온도의 차이가 크지 않으면 복사에 의한 열저항은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

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

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 온도이므로 히트싱크의 전체 열저항은 다음의 식 (5)을 사용하였다.

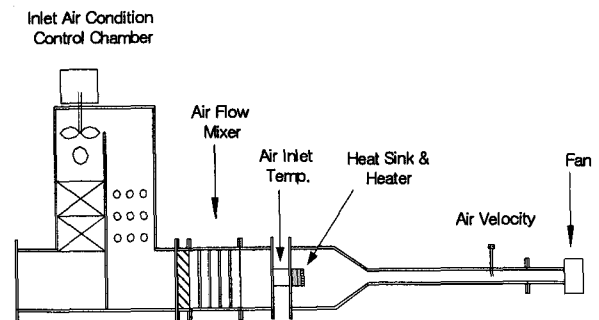


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus.

$$R = \frac{l}{kA} + \frac{1}{h \cdot A} = \frac{\Delta T}{Q} \quad (5)$$

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

현재 일반적으로 사용되는 히트싱크는 쉘을 적용시킨 강제대류 방식이 대부분 사용되고 있다. 이러한 현상을 실험에서 구현하기 위하여 Fig. 1과 같은 시험장치를 제작하였다. 본 실험에 사용한 흡입형 소형풍동은 총 길이 3000 mm인 직사각형 흡입-개방형으로서 풍동 입구측에 항온항습장치를 설치하여 흡입되는 공기를 일정하게 유지하도록 하였으며, 항온항습부를 통과한 공기가 250×300 mm의 유동의 안정을 위한 덕트부를 통과 하도록 하였다. 시험용 히트싱크로 공기의 유입속도가 일정하게 유지되도록 하기 위하여 히트싱크의 크기인 50×50 mm인 급속소부를 만들었으며, 급속소부 끝단에 히트싱크를 장착하여 시험을 수행하였다. 또한 히트싱크를 통과한 공기가 유동의 방해를 받지 않도록 급속대부를 설치하였다. 공기의 유량측정을 위하여 지름이 50 mm 길이 1200 mm인 아크릴 관으로 공기를 유도하여 공기의 유속을 측정하였다. 또한 히트싱크의 강제대류 시험을 위하여 아크릴관 끝단에 0.5 kW의 DC 전동기(3 HP, 2극, 3450 RPM) 구동 원심송풍기를 설치하였고, 히트싱크 전 후단의 압력 강하량을 측정하기 위해 히트싱크가 설치된 급속소부 전단에 정압공 4개와 히트싱크 출구부에 2개의 정압공을 뚫어 압력강하량을 측정하였다. 시험에서 히트싱크를 통과하는 공기의 속도를 변화시켰으며, 속도조절은 출력주파수 범위가 0.5 Hz ~ 120 Hz(최대 360 Hz)의 조절범위를 갖는 인버터를 장착하여 쉘의 회전수를 조절하였다. 시험으로부터 열저항을 측정하기 위하여 덕트 축소부에 3개의 T-형 열전대를 설치하였으며, 공기의 유속은 열선형 풍속계(정밀도 ±0.2%)를 설치하였다.

본 실험에서 사용한 발열원으로는 Fig. 2와 같이 단면 50×50 mm, 두께 2 mm인 구리판에 필름형 저항을 부착하고 구리판과 발열체를 단열재로 발생된 열이 외부로 방출되지 않도록 단열하였다. 발열체에 들어가는 전기는 직류 220 V의 전

기가 발열량의 변화에 따라 가변할 수 있도록 슬라이더를 이용하였으며, 발열체에 입력되는 전력량, 전압, 전류는 디지털 파워미터(Yokogawa, WT130)로 측정하였다. 또한 발열체의 표면온도를 측정하기 위하여 발열체 위에 T-형 열전대를 설치하고, 측정된 온도는 데이터 취득장치 시스템(Yokogawa, DA100)을 이용하여 기록하였다.

3.2 실험방법

본 실험장치는 강제대류는 인버터로 송풍기의 속도를 조절하면서 발열체를 냉각시키고 냉각열량을 측정하여 열저항값을 식 (6)과 같이 계산하여 분석한 데이터로 냉각능력을 평가하였다. 이때 발열체는 40 W의 일정한 전력을 공급하면서, 히트싱크에 공기 속도는 1 ~ 5 m/s까지 변화시키면서 방열능력을 실험하였으며, 발열체의 온도가 정상상태(steady state)로 되었을 때의 입력된 전력량, 발열체 온도, 공기 입구온도, 공기출구온도 등을 측정하였다. 또한 Fig. 2와 같이 히트싱크와 발열체 사이의 접촉열저항을 줄이기 위하여 틸 사이에 열전도도가 0.79(W/m·K) 서멀 그리스(thermal grease)를 도포하였다.

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 ±5%내에 포함되는 데이터를 유효값으로 사용하여 실험결과를 분석하였고, 히트싱크에서 공기와 열교환량을 다음의 식 (7)로 계산하였다.

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

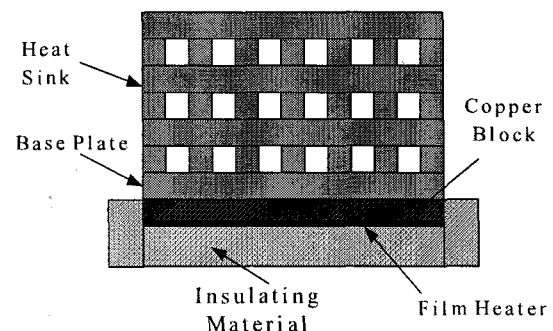


Fig. 2 Sectional view of the tested module assembly

3.3 히트싱크 형상

본 연구에 사용된 적층형 히트싱크는 Fig. 3과 같이 사각으로된 핀을 엇갈리게 적층함으로써 기존의 압출형 히트싱크보다 표면적이 넓어지고, 공기의 유동이 크게 교란되며, 열전도를 향상시켜 기존의 형태보다 방열 능력이 크게 향상시킨 형태이다. 적층형 히트싱크의 방열 특성을 알아보기 위하여 히트싱크 단면의 크기를 50×50 mm로 모두 일정하게 하고, 높이 32 mm, 26 mm, 20mm, 16mm(base plate 두께 2mm)로 제작하였다. 이때 적층하는 사각핀의 크기에 따른 방열 성능을 보기 위하여 각각 1.5×1.5 mm, 1.5×2.0 mm, 1.5×2.5 mm의 사각 단면에 봉의 길이가 50 mm인 사각핀을 핀피치가 2.0 mm가 되도록 엇갈리게 적층하였다. 또한 적층하는 핀피치에 대한 영향을 보기 위하여 1.5×1.5 mm의 사각핀을 핀 피치가 1.5 mm, 2.0 mm, 3.0 mm 되도록 하여 엇갈리게 적층하여 제작하였다.

4. 열성능 실험 결과 및 분석

일반적으로 사용되는 히트싱크는 발열량이 크고, 공간의 여유가 적은 경우 강제대류 냉각방식을 사용한다. 적층형 히트싱크의 강제대류 방열 성능시험 및 분석을 하였다.

Fig. 4~Fig. 7은 강제대류방식의 실험으로부터 구한 각각의 히트싱크 높이에 대한 핀 형상 변화시의 열저항을 나타낸다. 먼저, 히트싱크의 높이가 낮아질수록, 일반적으로 열저항 값이 상승하는 것을 볼 수 있는데, 이는 히트싱크의 높이가 낮아지면서 상부로의 열전달 할 수 있는 표면적이 상대적으로 감소하여, 열저항 값이 상승 하는

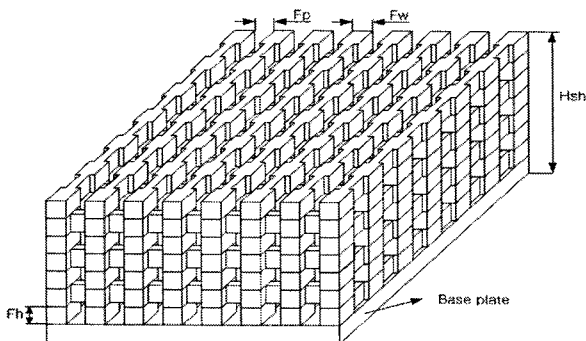


Fig. 3 Geometry of the layered type heat sink

것으로 판단된다. 특히, 32 mm의 적층형 히트싱크의 높이에서 사각단면 1.5×1.5 mm, 핀 피치 1.5 mm인 히트싱크의 열저항 값이 작아 다른 형상의 히트싱크에 비해 11%~28%의 우수한 방열 특성을 나타내는데, 이것은 각각의 핀 크기가 작아 방열할 수 있는 표면적이 넓을 뿐만 아니라, 히트싱크 상부로의 열전달 할 수 있는 핀의 단면적이 넓어 히트싱크의 전체적인 온도분포가 균일하게 유지되어 열전달을 크게 향상 시킨 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5는 히트싱크 높이 26 mm의 열저항 특성을 나타낸 그래프로써, 다른 그래프들의 그림에 비해 열저항 값의 차가 가장 적은 값을 보이며, 열저항값이 7%~15%의 범위의 값을 가지며 다른 높이의 히트싱크에 비해 가장 우수한 방열 성능을 보임을 알 수 있다.

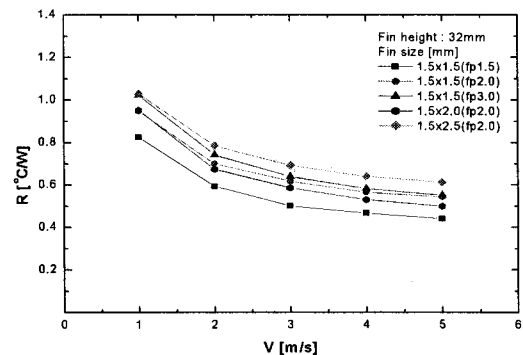


Fig. 4 Comparison of thermal resistance for five kinds of layered type heat sinks at 32 mm height

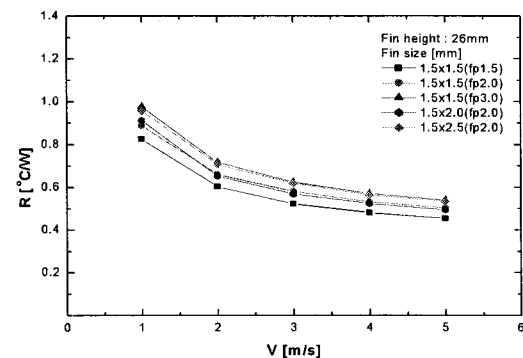


Fig. 5 Comparison of thermal resistance for five kinds of layered type heat sinks at 26 mm height

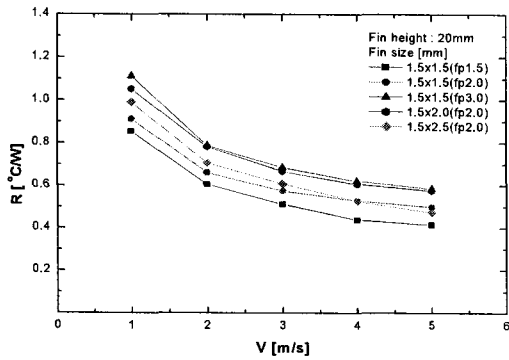


Fig. 6 Comparison of thermal resistance for five kinds of layered type heat sinks at 20 mm height

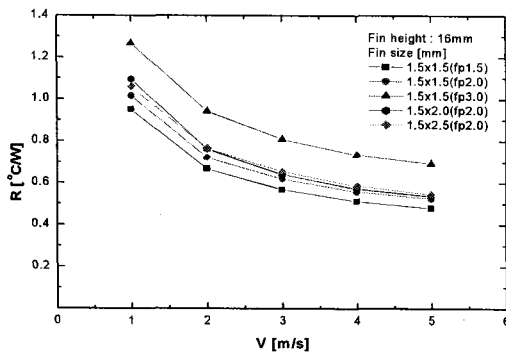


Fig. 7 Comparison of thermal resistance for five kinds of layered type heat sinks at 16 mm height

Fig. 6 과 Fig. 7은 히트싱크의 높이가 점점 더 감소함에 따라서 열저항 값이 상승하여 방열특성이 저하되는 것을 볼 수 있는데, 이는 핀의 높이가 낮아지면서 표면적이 급격히 감소하여 히트싱크보다는 평판에서의 냉각과 같은 현상을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 8 은 1.5×2.0 mm, 핀 피치 2.0 mm 적층형 히트싱크의 높이에 따른 열저항 특성을 나타낸 그래프로, 히트싱크의 높이 20~26 mm에서 열저항 값이 포화 상태에 도달하였다.

Fig. 9 는 히트싱크의 높이 20 mm에서 히트싱크 전 후단의 압력강하량을 측정하여 나타낸 그래프이다. 핀 피치가 넓은 3.0 mm의 히트싱크가 공기의 유로면적이 넓어서 가장 낮은 차압성능을 보이고 있으며, 핀 피치가 좁아질수록 공기의 마찰저항 증대와 단면적 감소로 인해서, 차압이 상

승하는 것을 알 수 있었다. 또한 히트싱크의 높이가 더 낮아질수록 공기가 통과 할 수 있는 단면적이 감소하여 차압은 더욱 상승 하였다.

실험에서 얻어진 결과로부터 적층형 히트싱크의 설계인자인 Reynolds수, 핀 높이, 핀 피치, 히트싱크 높이 변화가 Nusselt 수에 영향을 고려하여 열전달량 대하여 식 (8)과 같이 상관식을 유도하였다.

$$Nu=0.845 \cdot Re^{0.393} \cdot \left(\frac{f_h}{D_h}\right)^{0.150} \cdot \left(\frac{f_p}{D_h}\right)^{0.372} \cdot \left(\frac{H_{hs}}{D_h}\right)^{-0.942} \quad (8)$$

여기서, f_h 은 핀 높이, f_p 은 핀 피치, H_{hs} 은 히트싱크 높이, D_h 은 히트싱크의 수력직경을 나타낸다. 적층형 히트싱크의 열전달 현상을 나타내는 Nusselt 수에 대한 상관 식은 Fig. 4~7의 실험 결과로부터 핀 높이, 핀 피치, 히트싱크 높이의 설계 변수를 수력직경으로 나누어 무차원화하고, 공기속도의 영향에 대하여 Reynolds수를 추가하여 상관식을 도출하였다. 이러한 상관 식을 토대로 Fig. 10은 핀 크기 1.5×1.5 mm, 핀 피치 1.5 mm와 핀 크기 1.5×1.5 mm, 핀 피치 2.0 mm인 히트싱크에서 높이 32 mm, 26 mm, 20 mm, 16 mm로 변화할 때 실험치와 상관식에 의하여 계산한 값을 비교한 그래프이다.

Nusselt수에 대한 상관식이 실험치와 0.5%~11%의 차이로 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

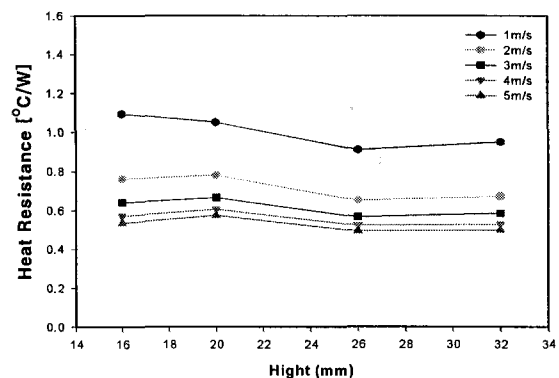


Fig. 8 Thermal resistance versus height of the layered type heat sink with 1.5x2.0 mm (fp=2.0)

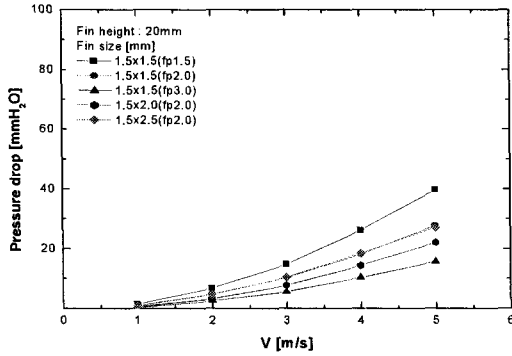


Fig. 9 Effect of fin shape on pressure drop of layered type heat sinks at 20 mm height

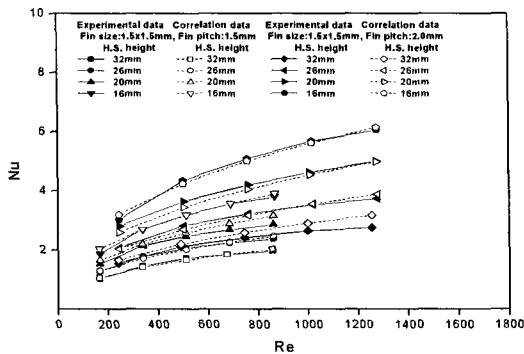


Fig. 10 Comparison of Nusselt number of layered type heat sink between experimental and correlation data

5. 결론

본 연구에서는 새로 고안된 적층형 히트싱크의 방열특성 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 적층형 히트싱크에 대한 강제대류 냉각방법 실험에서 히트싱크 높이 32 mm, 26 mm에서는 열저항 값의 변화가 크지 않았지만, 20 mm이하로 높이가 낮아지면서 열저항 값이 급격히 상승하여 적층형 히트싱크 높이를 20~26 mm 사이가 최적의 열저항 성능을 나타낼 것이다.
2. 적층형 히트싱크 압력강하 특성은 핀 높이

보다는 핀 피치의 영향을 크게 받으며, 핀 피치가 작을수록, 핀 높이가 낮을수록 압력강하량은 증가하였다. 또한 히트싱크 높이가 낮으면 핀 피치와 핀 높이에 대한 영향이 크게 감소하였다.

3. 실험에서 얻어진 결과로부터 적층형 히트싱크의 설계인자인 Reynolds수, 핀 높이, 핀 피치, 히트싱크 높이 변화가 Nusselt수에 미치는 영향을 고려하여 식 (8)과 같은 상관식을 유도하였고, 상관식은 실험치와 0.5%~11%의 차이로 비교적 잘 일치하였다.

후 기

본 연구는 국가과학기술위원회산하 산업기술연구회가 지원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술개발”의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Pecht, M., 1990, "Handbook of Electronics Package Design", Marcel Dekker, Inc., pp. 40-43.
2. Dancer, D. and Pecht, M., 1989, Component Placement Optimization for Convectively Cooled Electronics, IEEE Trans. Reliability, Vol. 38, pp. 199-205.
3. 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.
4. Tasaka, M., et al., 1998, Cooling Performance of Heat Sinks with Corrugated-fins, Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 104-111.
5. Sparrow, E. M., Ramsey, J. W., "Heat transfer and pressure drop for a staggered wall-attached array of cylinders with tip clearance." International journal of heat and mass transfer, No. 21, pp. 1369-1377, 1978.
6. S. I. Park, J. H. Kim, J. H. Yun, C. S. Lee, Y. H. Choi. 2003, "An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics for Layered Heat Sink" Proceedings of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 1166-1171.