

## CPU 냉각을 위한 환-발포알루미늄 방열기 조합의 열전달 특성

이명호\* · 백진욱\*\* · 김서영<sup>†</sup> · 이관수\*\*\*  
(2001년 4월 19일 접수, 2001년 12월 7일 심사완료)

### Heat Transfer from a Fan-Aluminum Foam Heat Sink Assembly for CPU Cooling

Myoung Ho Lee, Jin Wook Paek, Seo Young Kim and Kwan Soo Lee

**Key Words:** Electronics Cooling(전자장비냉각), Aluminum Foam(발포알루미늄), Heat Sink(방열기), Cooling Fan(냉각 환), Heat Transfer Enhancement(전열촉진)

#### Abstract

The experiments have been carried out to evaluate the cooling performance of a fan-aluminum foam heat sink assembly in comparison with a conventional CPU cooler. In terms of the dimensionless surface temperature of the heater, the cooling performance of the aluminum foam heat sink is similar to that of the conventional one with much reduced weight. The optimum fin height is found to be strongly dependent on the fin height of the heat sink and flow characteristics of the cooling fan.

#### 기호설명

<p><math>h</math> : 핀 높이 [m]</p> <p><math>\bar{h}</math> : 평균 대류열전달 계수 [ <math>W/m^2 K</math> ]</p> <p><math>k</math> : 열전도도 [<math>W/(m K)</math>]</p> <p><math>k_e</math> : 유효열전도도 [<math>W/(m K)</math>]</p> <p><math>L</math> : 방열기의 길이 [m]</p> <p><math>q''</math> : 열유속 [ <math>w/m^2</math> ]</p> <p><math>S</math> : 지붕과 발포알루미늄 사이의 간격 [m]</p> <p><math>S/V</math> : 방열기의 단위부피당 표면적 [<math>m^{-1}</math>]</p> <p><math>t</math> : 알루미늄 판 두께 [m]</p> <p><math>t_b</math> : 방열기 베이스 두께 [m]</p> <p><math>T_o</math> : 주위 공기온도</p> <p><math>T_w</math> : 열원 표면온도</p>	<p><math>W</math> : 방열기의 폭 [m]</p> <p><math>X</math> : 특성길이</p> <p style="text-align: center;">그리스문자</p> <p><math>\beta</math> : 기공밀도</p> <p><math>\epsilon</math> : 다공도</p> <p><math>\theta_w</math> : 무차원 표면 온도</p>
--	---

#### 1. 서론

최신 전자장비의 소형화와 고성능화로 전자장비내의 효율적인 냉각이 장비의 설계와 운용에 매우 중요한 문제로 등장하였다.<sup>(1,2)</sup> 현재 사용되고 있는 대부분의 냉각 방법은 외부의 낮은 온도의 공기를 이용한 대류열전달 방법이며, 고온 열원의 보다 효율적인 냉각을 위해 전열면적을 확장한 핀형 방열기를 냉각 환과 결합하여 사용하고 있다.

\* 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\* KIST 열유동제어연구센터

\*\*\* 회원, 한양대학교 기계공학과

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, KIST 열유동제어연구센터

Email : seoykim@kist.re.kr

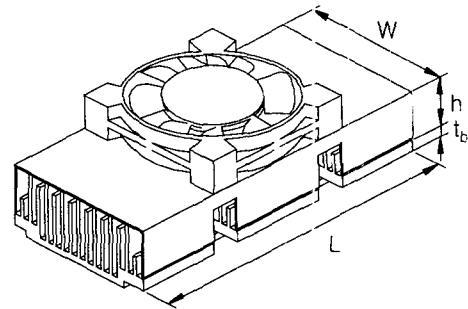
TEL : (02)958-5683 FAX : (02)958-5689

전자장비의 냉각에 사용되는 현용 방열기와 냉각 팬의 조합이 Fig. 1에 나타나 있다. 이와 같은 편형 방열기는 현재 개인용 컴퓨터(PC)의 중앙처리장치(CPU) 냉각에 사용되는 것으로 형상에 따라 크게 SECC(single edge contact cartridge)용 Fig. 1(a)와 PGA(pin grid array)용 Fig. 1(b)의 두 가지로 구분할 수 있다. Fig. 1(a)의 경우 가로와 세로의 길이가 같지 않은 직사각형 밑면을 가지고 있으며 전열면의 형상은 사각 직선형(rectangular straight fin)으로 길이가 긴 방향으로 나열되어 있다. 또한 방열기 전체에 덮개가 설치되어 있어 중심부에 위치한 냉각 팬에서 발생한 하강 수직 유동이 핀 사이와 덮개를 따라 형성된 채널을 따라 흐르도록 되어 있다. Fig. 1(b)의 방열기는 가로와 세로의 길이가 같은 정사각형 밑면을 가지고 있으며 전열면의 형상은 사각 편형(pin fin)이고 밑면적과 거의 동일한 크기의 냉각 팬이 위 부분에 장착되어 있다.

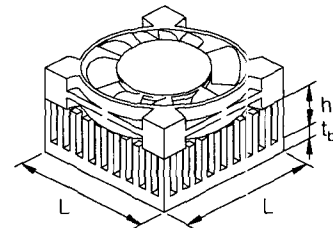
이와 같이 확장된 표면에 의한 대류 열전달 성능의 향상을 위해서는 단위부피당 높은 표면적비와 유동의 효율적인 조합이 중요한 요소임이 알려져 있다.<sup>(3)</sup> 그러나 PC의 CPU의 냉각과 같은 제한된 공간에서 사용되는 방열기의 전열면적을 증가시키기 위해서는 핀 두께와 핀 간격을 줄여야 하며 이것은 제작비의 급격한 상승과 기계적인 강도의 저하를 초래하게 된다.

최근에 개발된 발포 알루미늄은 단위부피당 매우 큰 표면적과 높은 기계적 강도와 가공성을 가지고 있으며 매우 가볍기 때문에 밀집형 전자장비의 냉각에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>(4,5)</sup> 이에 따라 최근 발포알루미늄을 전자장비의 냉각에 적용하려는 시도가 활발히 진행되고 있으며 충돌제트와 채널유동에서 전자장비 냉각을 위한 발포알루미늄 방열기의 적용 가능성이 확인되고 있다.<sup>(6,7)</sup>

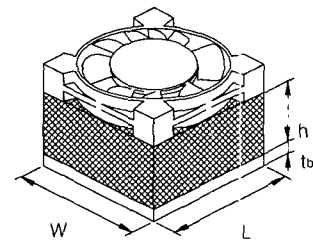
따라서 본 연구에서는 기존의 연구결과를 바탕으로 발포알루미늄을 PC의 CPU의 냉각에 적용하기 위해 실제 CPU 냉각에 사용되고 있는 냉각 팬과 발포알루미늄 방열기를 조합하여 다양한 유동조건에서 팬-발포알루미늄 방열기 조합의 방열 성능을 실험을 통해 측정하였다. 또한 기존의 상용 방열기의 냉각특성과 비교하여 팬-발포알루미늄 방열기 조합의 방열성능 최적화에 대한 자료



(a) Rectangular straight type fin



(b) Pin type fin



(c) Aluminum foam

Fig. 1 Heat sinks for cooling CPU

를 확보하고자 한다. 이를 위해 발포알루미늄 방열기의 높이( $h$ ), 베이스 판의 두께( $t$ )와 냉각 팬과 발포알루미늄 사이의 간격( $S$ )이 방열성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구의 목적을 위해 전자장비내의 CPU 냉각장치를 묘사한 Fig. 2와 같은 실험장치를 구성하였다.<sup>(7)</sup>

열원과 방열기가 설치된 시험부는 50 mm(가로) x 50 mm(세로) x 10 mm(높이)의 크기를 가진 블록형상으로 단열성과 내열성을 위해 MC

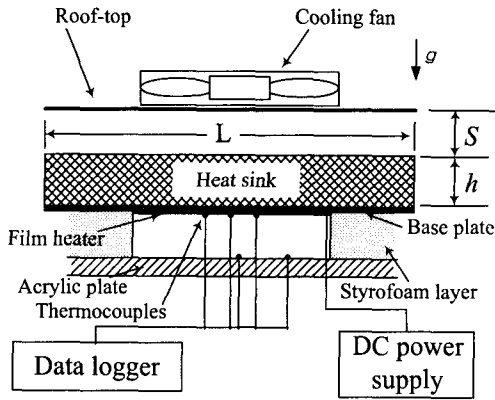


Fig. 2 Experimental setup for the SECC cooler

(monomer cast)나일론으로 제작되었다. 등열유속 조건을 제공하기 위해 한쪽 면에 매우 얇은 두께의 금이 균일하게 코팅된 두께 약 0.18 mm의 폴리에스터 필름 히터를 사용하였다. 이 필름 히터의 크기는 50 mm x 50 mm으로 MC나일론 블록의 상면에 부착되며 MC나일론 블록 옆면에는 열손실량을 최소화하기 위해 주위에 스티로폼 단열재를 부착하였다. MC나일론 블록 상하면에 각각 3개와 2개의 T-type 열전대를 설치하여 열원의 온도와 외부로의 열손실량을 측정하였다.

본 연구에 사용된 방열기는 소형볼트를 사용하여 MC나일론 블록에 고정되었고 방열기와 필름 히터와의 접촉 열저항을 줄이기 위해 열그리스(0.7 W/m·K)를 사용하였다. 열전대를 통해 측정된 온도가 열적으로 정상상태에 도달한 것을 확인한 후 데이터 로거(Yokogawa DR230)로 외부공기의 온도, 히터의 표면온도와 MC나일론 블록 밀면 온도를 기록하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

열원 표면에서의 대류열전달 계수는 다음과 같이 표현된다.

$$q'' = \overline{h}(T_w - T_\infty) \quad (1)$$

여기서  $q''$ 는 열원에서의 열유속,  $\overline{h}$ 는 평균 대류열전달 계수,  $T_w$ 와  $T_\infty$ 는 각각 열원 표면의 평균온도와 외부 공기의 온도이다. 외부 공기

Table 1 Particulars of the heat sinks

	Sample 1	Foam 1
$W \times L \times h$ [mm]	55 x 125 x 15	55 x 125 x 15
$\epsilon$	0.75	0.92
$S/V$ [ $m^{-1}$ ]	480	790
$t_b$ [mm]	1.5	1.5
$\beta$ [PPI]	-	10

Table 2 Particulars of the fan

	Hub diameter (mm)	Blade-shroud diameter (mm)	Rated Voltage (V)	Speed (rpm)	Max Air Flow ( $m^3/min$ )
Fan 1	30	55	12	2900	0.35
Fan 2	25	40	12	4500	0.15

온도는 Intel의 시험규격<sup>(8)</sup>에 따라 팬 중앙부 위 0.76 mm(0.3")지점에서 측정하였다. 3개의 열전대에서 측정된 열원 표면의 온도는 각각의 온도 차이가 작았기 때문에 평균값을 취하였다.

전자장비 냉각의 목적은 전자부품소자의 효율적인 작동을 보장하는 온도이하로 전자부품의 온도를 낮추는 것이므로 열원표면의 온도는 방열기 설계의 주요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 방열기의 냉각성능을 열원의 표면온도의 관점에서 평가하였으며 실험여건에 따라 발생하는 외부공기의 온도변화와 히터의 열유속의 변화를 보정하기 위해 다음과 같은 무차원 표면온도를 정의하였다.<sup>(9)</sup>

$$\theta_w = \frac{T_w - T_\infty}{q''X/k} \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 공기의 열전도도이다. 본 연구의 목적은 냉각 팬에 의한 실제 열원표면의 온도 변화를 측정하여 방열기의 냉각특성을 평가하는 것이므로 특성길이  $X$ 는 필름 히터의 크기 50 mm로 정하였다.

본 연구에서 사용한 발포알루미늄 방열기(Foam 1)와 상용방열기(Sample 1) 그리고 냉각 팬에 관한 데이터는 Table 1과 2에 각각 나타나 있다.<sup>(10,11)</sup> 사용된 상용방열기(Sample 1)는 실제 PC의 CPU의 냉각에 사용되는 SECC용으로 형상은

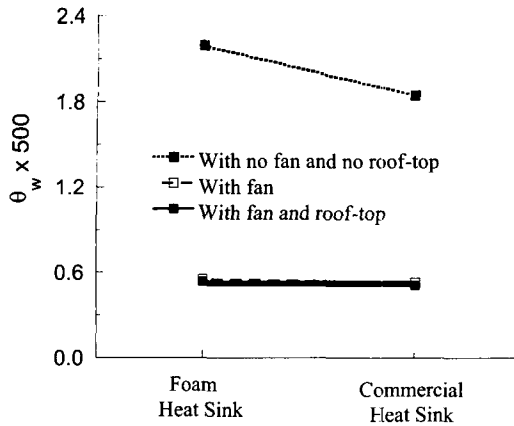


Fig. 3 Cooling performance of aluminum foam heat sink in various flow condition

Fig. 1(a)와 동일하다. Sample 1과 동일한 크기를 가지는 발포알루미늄 방열기(Foam 1)를 제작하여 동일한 냉각 팬(Fan 1)에 의한 열전달 성능을 측정 비교하였다. 다양한 유동조건에서의 방열성을 고찰하기 위해 냉각 팬과 덮개가 모두 없는 경우, 덮개 없이 냉각 팬만 가동되는 경우, 그리고 덮개와 냉각 팬이 모두 있는 경우의 열전달 특성을 측정하였다. 위의 세 가지 실험 조건에서 방열기의 베이스 두께는 3.5 mm이다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 자연대류(즉, 냉각 팬과 덮개가 모두 장착되지 않은 경우) 열전달만에 의한 발포알루미늄 방열기(Foam 1)의 표면온도는 기존의 상용방열기(Sample 1)에 비해 약 20% 정도 높게 나타나고 있다. 이것은 발포알루미늄의 높은 압력손실로 인하여 외부로부터의 찬 공기의 유입량(entrainment)이 적기 때문이다. 냉각 팬이 작동하는 경우 표면온도는 상용 방열기와 거의 유사한 방열성을 보이고 있다. 또한 덮개로 인한 방열기 내부의 유동강화로 표면온도는 약간 더 낮아지고 있다.

방열기의 베이스는 전자부품에서 국부적으로 불균일하게 발생하는 열을 전도에 의해 방열핀으로 균일하게 분산시키는 역할과 방열기 전체의 형태와 강도를 유지시키는 역할을 수행한다. 그러나 발포알루미늄 방열기의 경우 발포알루미늄 자체의 기계적인 강도가 충분하므로 베이스의 역할은 열의 분산에 국한된다. 따라서 베이스의 두께에 따른 방열성능의 변화를 Fig. 4에서 고찰하였다. 그래프의 가로축은 방열기 베이스의 두께

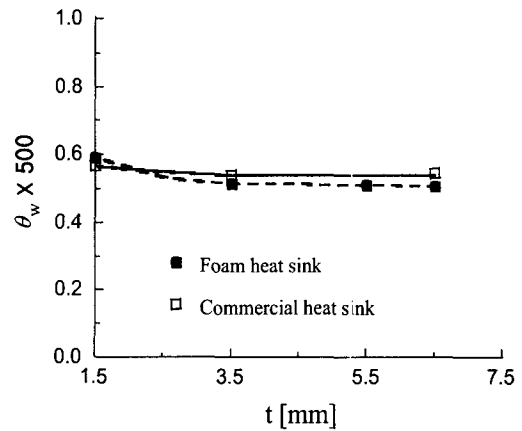


Fig. 4 Effect of base plate thickness  $t$  on the cooling performance

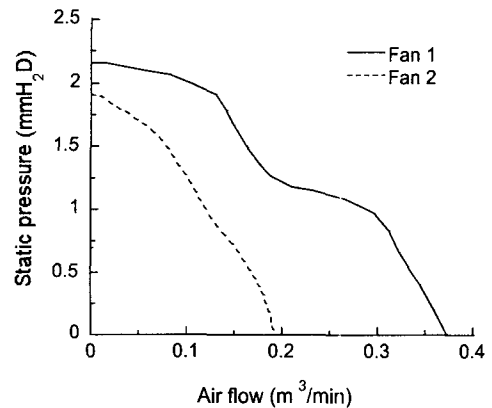


Fig. 5 Characteristics of static pressure and air flow for fan 1 and fan 2

의 변화를 나타내며 그림에서 볼 수 있듯이 덮개와 냉각 팬이 장착된 경우에 두 방열기의 방열성능은  $t > 3.5$  mm에서는 베이스 두께의 영향을 받지 않았다. 즉, 베이스 두께 3.5 mm 이상에서는 덮개의 표면 온도가 일정한 값에 도달하였다.

방열기에 부착되는 냉각 팬의 유량은 Fig. 5에서 나타나 있듯이 팬에 가해지는 정압(static pressure)의 차이에 따라 변화하며 정압차가 커질수록 거의 단조적으로 감소한다.<sup>(11)</sup> 발포알루미늄은 구조상 높은 유동저항에 의한 압력손실이 크기 때문에 냉각 팬의 유량도 상대적으로 감소하게 된다. 이 경우 냉각 팬이 장착된 덮개와 발포알루미늄 사이의 간격( $S$ )을 변화시키면 팬에 가해지는 압력부하가 감소하여 냉각 팬에서 발생하는

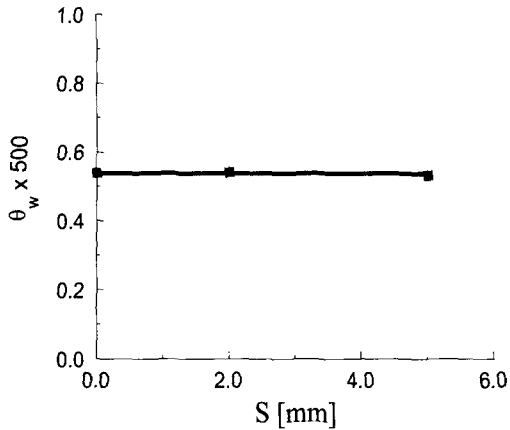


Fig. 6 Effect of gap height S on the cooling performance

유량은 증가하게 된다.

Fig. 6에서 간격 S의 변화에 따른 발포알루미늄 방열기의 방열성능을 고찰하였다. 이 경우 베이스 두께는  $t=3.5$  mm이다. 그림에서 알 수 있듯이 덮개와 발포알루미늄사이의 간격 S의 변화에도 불구하고 열원 표면의 온도는 거의 변하지 않고 있다. 이것은 S의 증가에 따른 압력부하의 감소로 팬에 의한 유량이 증가하지만 발포알루미늄을 통과하지 않고 간격(S)을 통해 직접 외부로 빠져나가는 유량이 증가하기 때문에 방열성능에는 거의 영향이 나타나지 않는 것으로 판단된다.

충돌공기제트에 관한 기존의 연구결과<sup>(7)</sup>에 의하면 발포알루미늄의 열전달 특성은 표면적의 차이보다는 통과유량의 강도차이에 크게 영향을 받고 있다. 전자장비의 냉각과 같은 냉각 팬에 의한 대류열전달 현상에서는 발포알루미늄 방열기의 높이 감소는 냉각 팬에 가해지는 압력부하의 감소를 의미하므로 통과유량의 증가를 유발할 수 있다. 따라서 이에 대한 고찰을 위해 Fig. 1(c)와 같은 가로(L), 세로(W), 각각 40 mm의 밑면적을 가진 높이  $h=30$  mm의 PGA용 발포알루미늄 방열기에 블레이드의 직경이 40 mm인 냉각 팬(Table 2의 Fan 2)을 부착하여 높이 h에 따른 방열성능의 변화를 측정하였다. Fig. 7은 발포알루미늄 방열기의 높이 h의 변화가 열원의 표면온도에 미치는 영향을 분명하게 보여주고 있다.

높이(h)가 감소하면 발포알루미늄 방열기의 전 열면적은 선형적으로 감소하지만 특정 높이( $h=9$

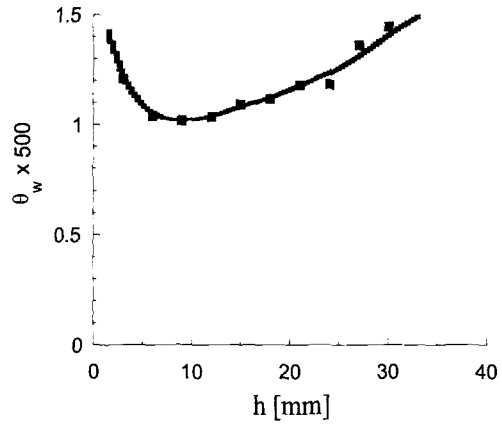


Fig. 7 Effect of PGA foam height h on the cooling performance

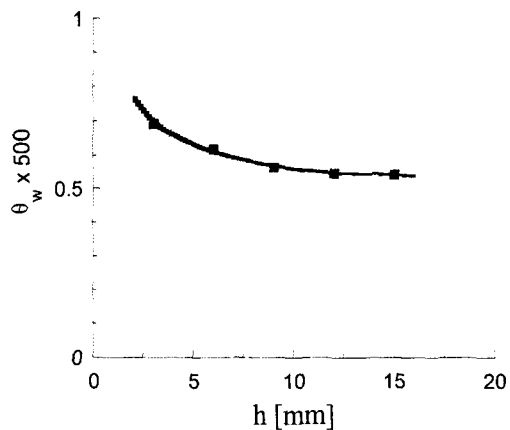


Fig. 8 Effect of SECC foam height h on the cooling performance of Foam 1

mm)에 이르기까지 열전달 성능은 오히려 향상되고 있다.  $9 \text{ mm} < h < 30 \text{ mm}$  범위에서는 높이가 감소하면 발포알루미늄에 의한 유동저항이 감소하게 되는데 이는 Fig. 5에서 알 수 있듯이 팬 유량을 증가시켜 전열면적의 감소에도 불구하고 방열 성능을 향상시킨다.  $h=9$  mm에서 열원의 표면 온도는 최저가 되므로 방열성능은 최고에 도달한다. 한편  $h < 9$  mm의 영역에서는 통과유량의 증가보다는 전열면적의 감소로 인한 영향이 보다 크게 나타나서 방열성능이 저하됨을 보이고 있다.

그러나 방열성능이 극대화되는 발포알루미늄의 최적 높이는 냉각 팬의 압력-유량특성과 발포알루미늄의 열전달 특성에 의해 각각의 방열기 조

합에 따라 변화할 것으로 예상된다. 따라서 SECC용 CPU 방열기와 같은 형태인 발포알루미늄 방열기 (Foam 1)에 대해서도 방열기의 높이가 냉각 성능에 미치는 영향을 측정하였다. Fig. 8에 의하면, 방열기의 높이  $h$ 가 감소함에 따라 유량의 증가 효과보다는 열전달 면적의 감소 효과가 커서 방열 성능도 전반적으로 저하될 수 있다. 그러나  $h \approx 15$  mm인 영역에서는  $h$ 의 변화가 표면온도의 변화에 미치는 영향이 미미하고 또한 방열 성능의 변화 경향을 볼 때 최적의 방열 성능을 보이는 높이는  $h \geq 15$  mm에서 나타날 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

발포알루미늄 방열기와 냉각 팬의 조합을 실제 전자장비의 냉각에 적용하기 위해 다양한 유동 조건과 방열기의 높이 변화에 따른 열전달 성능을 실험적으로 측정하고 기존 CPU 냉각용 방열기의 냉각 성능과의 비교를 수행하였다.

발포알루미늄 방열기와 냉각 팬의 조합은 현용 CPU 냉각용 방열기와 거의 유사한 방열 성능을 보이며, 무게는 약 1/3정도로 매우 작아 경량화에 유리한 장점을 확인하였다. 방열기 베이스 두께는 약 3.5 mm 이상에서는 충분한 열확산도에 의해 열원의 표면온도가 일정한 값에 도달하였다. PGA용 발포알루미늄 방열기와 Fan 2의 방열기 조합은 핀 높이  $h \approx 9$  mm에서 최적의 방열 성능을 나타내었으며 SECC용 발포알루미늄 방열기와 Fan 1의 방열기 조합은 핀 높이  $h \geq 15$  mm에서 방열 성능이 최대가 되는 높이가 존재함을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(기계설비요소기술개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

#### 참고문헌

- (1) Kang, B. H., Jaluria, Y. and Tewari, S. S., 1990, "Mixed Convection Transport from an Isolate Heat Source Module on a Horizontal Plate," *J. Heat Transfer*, Vol. 112, pp. 653-661.
- (2) Kim, S. Y., Sung, H. J., Hyun, J. M., 1992, "Mixed Convection from Multi-Layered Boards with Cross-Streamwise Periodic Boundary Conditions," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 35, pp. 2941-2952.
- (3) Webb, R. L., 1994, *Principles of Enhanced Heat Transfer*, John Wiley & Sons, Inc.
- (4) Paek, J. W., Kang, B. H., Kim, S. Y. and Hyun, J. M., 2000, "Effective Thermal Conductivity and Permeability of Aluminum Foam Material," *Int. J. Thermophysics*, Vol. 21, pp. 453-464.
- (5) Gibson, L. J. and Ashby, M. F., 1997, *Cellular Solids*, Cambridge University Press, Cambridge.
- (6) Paek, J. W., Kim, S. Y. and Kang, B. H., 2003, "Heat Transfer from an Aluminum Foam Heat Sink for Electronics Cooling," *Proceedings of the 4th JSME-KSME Thermal engineering Conf., Kobe, Japan*, pp. 635(2)-640(2).
- (7) 백진욱, 김서영, 강병하, 2001, "충돌공기제트에서의 다공성 방열기의 열전달 특성," 설비 공학 논문집, Vol. 13, pp. 73-79.
- (8) <http://support.intel.com/support/processors/pentiumiii/thermal.html>.
- (9) Martin, H., 1977, "Heat and Mass Transfer between Impinging Gas Jet and Solid Surface," *Advances in Heat Transfer*, Vol. 13, pp. 1-60.
- (10) ERG Duocel Aluminum Foam Catalog, 1995, Energy Research and Generation Inc., Oakland, CA.
- (11) Orient Fan Catalog, 1999, Orient Co. Ltd, Korea.