

히트 스프레더가 탑재된 노트북 PC 의 냉각특성연구

노홍구* · 임경빈** · 박만홍***

Cooling Characteristics of a Notebook PC Mounted with Heat Spreader

Hong-Koo Noh* · Kyung Bin Lim** · Man Heung Park***

Key Words : Notebook PC(노트북 컴퓨터), Heat Spreader(히트 스프레더), Cooling Characteristic(냉각특성)

Abstract

Parametric study for the cooling characteristic investigation of a notebook PC mounted with heat spreader has been numerically performed. Two cases of air-blowing and air-exhaust at inlet were tested. The cooling effect on parameters such as, velocities of air-blowing and air-exhaust, materials of heat spreader, and CPU powers were simulated for two cases. Cooling performance in the case of air-blowing was better than the case of air-exhaust.

1. 서 론

휴대용 컴퓨터인 노트북 PC(Personal Computer)의 이용이 최근 수년간 점차적으로 증가되면서 노트북 PC(이후로 노트북이라 약칭함.)의 성능이 빠른 속도로 발전되고 있다. 노트북의 성능 증가에 비례하여 CPU(Central Processing Unit)의 발열량이 꾸준히 증가 되어, 과거의 66 MHz 486 급 노트북 일 경우에 CPU 발열량은 4 W 정도 였으나 현재의 300~330 MHz Pentium 급의 경우에 13~15 W, 수 년이내의 400~600 MHz 급의 경우에는 16~28 W 정도에 달할 전망이다.⁽¹⁾ 이에 반해 노트북의 크기는 점점 더 작아지는 추세이므로 CPU 의 열적 환경은 아주 열악한 상황에 처하게 되어, 여타의 부품 온도에 비해 CPU 의 온도가 상당히 높아지는 CPU 의 고온화(일명 '핫스팟'(hot-spot)이라 함.) 문제가 발생되고 있다. 노트북의 CPU 허용표면온도(limit case temperature), $T_{CPU, limit}$ 는 대략 85°C 이며⁽²⁾

이보다 낮은 온도를 유지하기 위해 CPU 의 열을 효율적으로 방열하는 방안에 대한 연구가 필요하게 되었다.

노트북과 같은 좁은 공간에서는 히트 스프레더(heat spreader)가 방열모듈로서 효율적이기 때문에, 이를 탑재하는 노트북이 늘어나고 있다. 노트북의 CPU 방열에 대한 기존연구⁽²⁻⁶⁾를 살펴보면, 히트 스프레더 탑재 노트북에 관한 연구가 아직 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 수치해석적 방법을 이용하여 히트 스프레더가 탑재된 노트북에 관하여 유입구에서의 공기유입(air-blowing) 및 공기배출(air-exhaust) 속도의 크기, 히트 스프레더 재질종류, 그리고 CPU 발열량 등의 파라메타들을 변화시켜 노트북의 냉각성능 증진방안을 모색코자 하였다.

2. 노트북의 수치모델설정

본 연구의 목적이 기존 노트북의 냉각성능개선에 관한 것이므로, 최근의 기존 상업용 노트북에서 액정화면부분을 제외하고 냉각에 관련된 본체 부분과 유사한 형태로, 본 연구의 노트북 수치모

* 한국전자통신연구원

** 대전산업대학교 기계공학부

*** 한국전력기술(주)

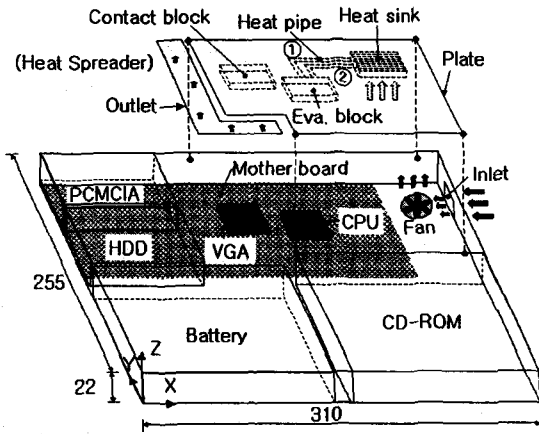


Fig. 1 Numerical model of notebook PC(unit: mm).

델을 선정하였으며, 이를 Fig.1 에 도시하였다. 노트북 모델을 둘러싸고 있는 표면 전체 크기는 Fig. 1의 좌표를 참조하여, 310 mm(가로 x 방향) × 255 mm(세로 y 방향) × 22 mm(높이 z 방향)이다. 노트북 내부에 Battery, CD-ROM, HDD, PCMCIA 보드, Mother 보드, VGA 칩, CPU, 그리고 fan 등이 Fig. 1과 같이 구성되어 있으며 이들 부품들의 크기, 열전도계수 및 발열량⁽⁵⁾을 Table 1에 나타내었다. Table 1에 보이는 바와 같이 VGA 칩 및 CPU는 작은 체적에 비해 발열량이 크므로 핫스팟의 가능성이 있으며 이를 제어하기 위해 열확산모듈인 히트 스프레더가 사용된다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 히트 스프레더(spreader)는 노트북의 상부표면에 위치되는 알루미늄 플레이트(plate)의 아래면에 접촉블럭(contact block), 증발블럭(evaporator block), 2개 히트파이프(heat pipe), 그리고 히트싱크(heat sink)가 각각 부착되는 등 총 6개의 구성요소로 이루어져 있으며 이들의 크기, 재료 및 열전도계수를 Table 2에 자세히 나타내었다. 접촉블럭은 VGA 칩을 플레이트에 접촉시켜 칩의 열을 플레이트에 전달시키는 역할을 한다. 증발블럭은 CPU를 히트파이프의 증발부에 접촉시켜 CPU의 열을 히트파이프들에 전달하는 역할을 한다. 여기서의 히트파이프는 작동액체가 상변화하는 실제 히트파이프와 동일한 열전도계수를 갖는 고체 파이프로 간주되었다. 히트파이프들을 거친 열은 히트싱크 및 플레이트에 확산된다. 히트싱크에 확산된 열은 히

트싱크 바로 아래에 설치된 팬(fan)에 의해 유입구(inlet)로부터 유입된 냉각공기에 의해 제거되어 유출구(outlet)로 최종 유출된다. 플레이트에 확산된 열은 자연대류에 의해 대기로 전달된다. 여기서의 유입구란, 얇은 박스형태인 팬에서의 외부로 개방된 한 면을 의미하며, 따라서 유입구로부터 유입된 냉각공기는 모두 팬으로 흘러 들어가고 이어서 히트싱크 분사 및 기타 노트북 내부로 흐른다. 또한 팬을 뒤집어서 설치하면 노트북 내의 공기가 팬으로 흡입된 후 대기로 배출된다. 전자를 공기유입(air-blowing)의 경우라 하고, 후자를 공기배출(air-exhaust)의 경우로 정하였다.

Table 1 Summary of the data for the components.

Component	Dimension (mm×mm×mm)	Thermal Conductivity (W/m-K)	Power (W)
Battery	158×95×22	90	5
CD-ROM	145×115×22	204	5
HDD	105×70×20	204	5
PCMCIA	105×80×20	204	5
Mother	250×135×2	25	5
VGA	33×33×10	18	4
CPU	33×33×10	18	13
Fan	30×30×6	-	-

Table 2 Summary of the data for the heat spreader.

Element	Dimension (mm×mm×mm)	Material	Thermal Conductivity (W/m-K)
Plate	171×66×1+131×49×1	Al	204
Contact block	33×33×9	Al	204
Eva. Block	33×33×9	Al	204
Heat pipes	①: 60×4×2 ②: 50×4×2	Cu	5000*
Heat sink	60×40×9	Al	204

*The value was calculated from experimental data.

3. 수치 계산 방법

본 연구에서 설정한 노트북 수치모델에서 유입구와 팬 주변에는 유입구 폭을 특성길이로 하는 Reynolds 수가 3000 정도로서 난류 유동에 속하며

난류 모델로서 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델이 도입되었다. 유동장 내의 밀도변화에 대해 Boussinesq approximation 을 사용하는 비압축성 정상상태 3 차원 난류혼합대류유동의 지배 방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지소산율방정식 및 에너지방정식 등 다음의 (1)-(7)식과 같이 구성되었다.

$$\frac{\partial u}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \mu_t \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right\} + g_i \beta \rho (T - T_o) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} + G - \rho \epsilon - g_j \beta \frac{\mu_t}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + (C_1 G - C_2 \rho \epsilon - C_3 g_j \beta \frac{\mu_t}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial x_j}) \frac{\epsilon}{k} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho u_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right\} + S \quad (5)$$

여기서,

$$\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$G = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

상기식들에서의 기호 선정은 일반적인 교과서에서의 예를 따랐다. 각 난류 상수는 $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_3=0.7$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.0$ 및 $\sigma_\epsilon=1.3$ 값을 사용 하였다. 식 (2)와 (5)에서 T_o 와 S 는 각각 기준온도와 부품의 단위체적당 발열량을 의

미한다.

경계 조건으로서, 유입구의 속도 및 온도조건은 실제 노트북에서의 통상적인 값(공기유입의 경우; 1.2 m/s 및 24°C, 공기배출의 경우; 1.2 m/s 및 42°C 정도)을 사용하였다. 유입구 난류운동에너지의 값은 속도의 제곱에 대한 2.5%로 주었고, 난류운동에너지 소산율의 값은 유입구 단면 폭의 절반(20 mm)을 특성길이 λ 로 사용하여 주었다. 유출구에서는 압력경계조건을 부여하였으며 유출구 단면을 따라 균일하게 0 Pa 의 값으로 주었다. 노트북의 모든 표면과 외부 대기사이의 열경계조건은 자연대류에 의한 것으로 모델링하였으며 표면의 열전달계수 h 는 =10 W/m-K, 그리고 대기온도 T_a 는 통상적인 온도인 24°C 의 값을 사용하였다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 PHOENICS V.3.2 를 이용하여 수치해석 하였다. PHOENICS⁽⁸⁾는 유한체적법(finite volume method)에 근간을 둔 Navier-Stokes 방정식 풀이용 상용 프로그램이며 엇갈림(staggered) 격자 방식을 채용하고 있다. 본 연구의 격자 분포는 39(x)×34(y)×15(z)=19890 개의 격자를 분포 시켰다. 위의 격자 수보다 적은 경우인 30×26×10=7800 개, 그리고 많은 경우인 50×45×17=38250 개의 격자 수에 대해 수치 계산을 각각 수행하였으며 격자 분포의 변화에 따른 수치 계산 결과의 변화가 거의 나타나지 않음을 확인하였다. 반복 계산시 속도, 압력, 난류 및 온도 변수의 이완 계수 값은 각각 0.1, 0.3, 0.3 및 0.5 정도를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 설정한 수치계산방법의 타당성 검증을 위해, 수치모델과 유사한 실제 노트북에 대해 온도 실측이 선행되어 수치계산 값과 실험 값을 비교하였으며, 두 값의 오차가 5%이내로서 오차정도가 작아 수치해석의 결과를 신뢰할 수 있었다. 노트북에서 냉각특성에 영향을 미치는 요소들은 여러가지일 것이다. Fig. 1 과 같은 노트북모델의 본 연구에서는 유입구에서의 공기유입 및 공기배출 속도의 크기, 히트 스프레더 재질종류, 그리고 CPU 발열량 등의 변화에 관한 파라메타를

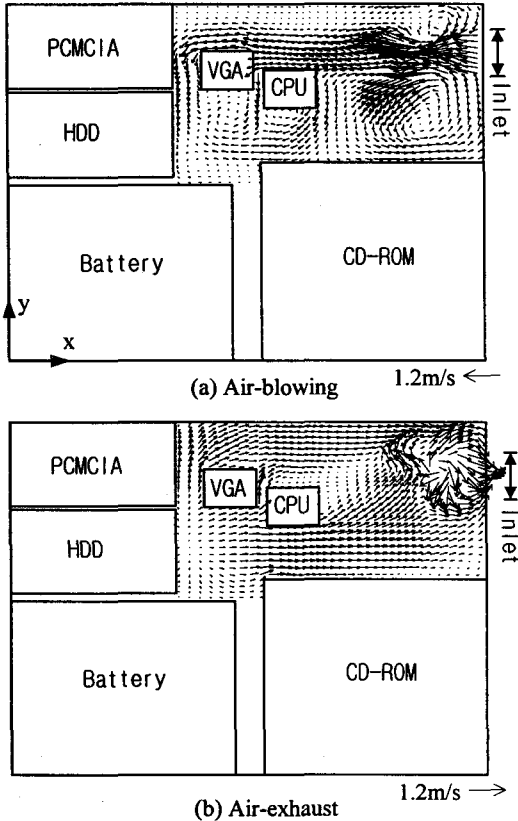


Fig. 2 Air-flows in notebook($u_{in}=1.2$ m/s and $z=5.5$ mm).

수치계산조건으로 선정하였으며, 이러한 조건들은 기존 노트북에서 현실적으로 수용가능한 정도에서 선택된 것들로서 전자적으로 영향을 줄 수 있는 심한 구조변화 등의 조건들은 가급적 피하였다. 유입구에서의 공기유입 및 공기배출속도의 크기는 0.6~2.4 m/s 범위내에서 감소하거나 증가시켰다. 히트 스프레더의 재질종류의 변화로서, 2 절에서 서술된 히트 스프레더의 6 개요소 중 재질변경이 어려운 히트파이프를 제외한 나머지 요소들을 기존의 알루미늄에서 구리 및 마그네슘의 재질로 변화 시켜보았다. CPU의 열량 변화는 13~28 W 범위에서 변화시켰으며 이 열량변화에 따른 CPU의 온도 및 냉각성능 등을 조사하였다.

노트북 내에서의 공기의 흐름을 살펴보는 것은 노트북 냉각특성의 경향 파악에 도움이 될 것이다. 이를 위해, 공기유입의 경우 및 공기배출의 경우에 대해 각각의 유동분포를 Fig. 2 에 나타내었다.

이 때의 유입구 속도 u_{in} 은 두가지 경우 모두 1.2 m/s 크기이며, $z=5.5$ mm 인 x-y 평면에서의 속도벡터 분포를 그림에 표시하였다. 그림의 (a)공기유입의 경우를 살펴보면 유입구로부터 유입된 공기가 유입구에 인접한 팬 영역으로 빨려 들어가는 강한 기류를 형성하는 것을 볼 수 있다. 이 기류는 기류 상부에 위치한 히트싱크로 분사되게 되므로 히트싱크의 냉각에 기여하게 되며 이는 결국 CPU의 냉각에 상당한 도움을 줄 것으로 판단된다. 이후, 공기는 평균 0.9 m/s 크기의 유출구를 향해 흘러가는 유동이 주류를 이루고 있으나 CD-ROM 주변은 재순환 유동을 이룬다. 이 재순환 유동은 노트북 내부의 열방출에 불리하며 이는 유출구의 위치를 적절하게 조절함으로써 다소 해소될 수 있을 것이다. 그림의 (b)공기배출의 경우에는 (a)공기유입의 경우와 반대의 흐름이 주류를 이루고 있으며 크기는 평균 0.8 m/s 정도이다. 팬이 있는 곳에서는 와류가 발생하면서 유입구를 통해 공기가 배출된다. 이 경우에는 노트북 내부의 공기가 팬이 있는 곳으로 흘러드는 유동을 가지므로 팬의 상부에 있는 히트 싱크에 분사되는 기류를 형성하지 못하며 따라서 (a)공기유입의 경우보다는 CPU의 냉각에 불리하게 됨을 짐작할 수 있다.

유입구에서의 유입 및 배출 속도 크기변화에 따른 냉각특성 데이터는 노트북 설계시에 팬의 소비동력 선정자료로서 이용될 수 있다. 이를 위해, 속도 크기변화에 따른 CPU의 온도변화를 Fig. 3 에 나타내었다. 본 연구에서 거론될 CPU의 온도, T_{CPU} 는 CPU 전체체적에 분포하는 각 국부온도들의 평균값을 의미한다. 그림의 공기유입의 경우에는 0.6~2.4 m/s 범위에서 속도 크기가 증가할수록 T_{CPU} 는 65.7~58.5 °C 범위에서 선형적인 비율로 감소하였으며, 공기배출의 경우에서도 67.7~62.1 °C 범위에서 선형적인 비율로 감소하였다. 공기유입의 경우가 공기배출의 경우보다 CPU의 온도가 2.0~3.6 °C 정도 낮고 속도증가에 따른 T_{CPU} 의 감소의 폭도 점차 늘어남을 볼 수 있다. 그러므로 공기유입의 경우가 CPU의 냉각에 더 유리하며 속도의 크기를 증가할수록 CPU의 냉각이 우수해진다고 말할 수 있다. 아래식과 같이 열저항을 정의

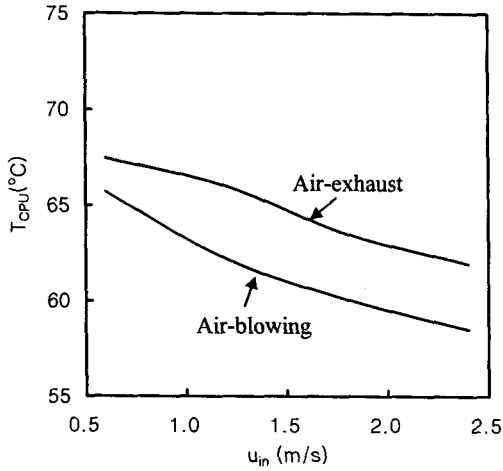


Fig. 3 CPU temperatures for various inlet velocity in two cases.

Table 3 Thermal resistances for various inlet velocity in two cases.

Case		u_{in} (m/s)				Average
		0.6	1.2	1.8	2.4	
R_{CPU} (°C/W)	Air-blowing	3.2	2.9	2.8	2.7	2.9
	Air-exhaust	3.3	3.2	3.0	2.9	3.1

하여⁹⁾ CPU의 냉각성능을 Table 3에서 정량적으로 논의 하였다.

$$R_{CPU} = (T_{CPU} - T_a) / Q_{CPU} \quad (8)$$

여기서 R_{CPU} , T_a 및 Q_{CPU} 는 각각 CPU 열저항, 대기온도 및 CPU 열량을 의미한다. 열저항과 냉각성능은 서로 상반된 관계에 있으므로 CPU 열저항이 낮을수록 CPU의 냉각성능이 우수해진다. Table 3에서 속도가 증가할수록 열저항값이 감소하며 공기흡입의 경우가 공기배출의 경우보다 평균 7%정도 열저항이 작으므로 공기흡입의 경우가 냉각성능이 다소 우수하며 유입속도의 크기를 증가시키므로써 성능이 증대된다고 말할 수 있다.

히트 스프레더의 재질변화에 따른 냉각특성을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림을 살펴보면,

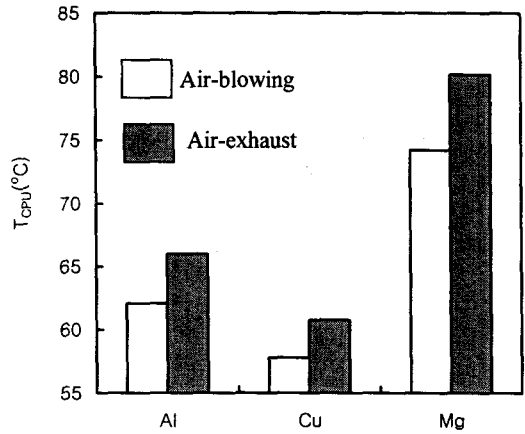


Fig. 4 Comparison of CPU temperatures for various materials of heat spreader.

Table 4 Thermal resistances for various materials of heat spreader.

Case		Materials of heat spreader			Average
		Al	Cu	Mg	
R_{CPU} (°C/W)	Air-blowing	2.9	2.6	3.9	3.1
	Air-exhaust	3.2	2.8	4.3	3.5

구리재질의 히트 스프레더가 CPU의 냉각에 가장 유리함을 볼 수 있다. 이와 관련한 CPU의 열저항값을 Table 4에 표시하였다. 공기유입의 경우, 알루미늄재질, 구리재질 및 마그네슘재질의 히트 스프레더가 각각 2.9, 2.6 및 3.9의 열저항값을 가지며 세가지 재질의 평균값은 3.1 정도이다. 알루미늄재질과 구리재질의 히트 스프레더는 평균값보다 낮으며 마그네슘재질은 평균값보다 높아짐을 알 수 있다. 따라서 CPU 냉각성능증진의 측면에서 히트 스프레더의 재질로서 알루미늄 혹은 구리를 이용하는 방안이 추천되고 마그네슘은 피하는 것이 좋다. 나아가 상기의 열저항값들을 정량적으로 계산해 볼 때, 구리를 사용하는 것이 알루미늄을 사용하는 것보다 약 12% 정도의 냉각성능을 촉진시킬 수 있음을 알 수 있다. 표의 공기배출의 경우에서, 재질변화에 따른

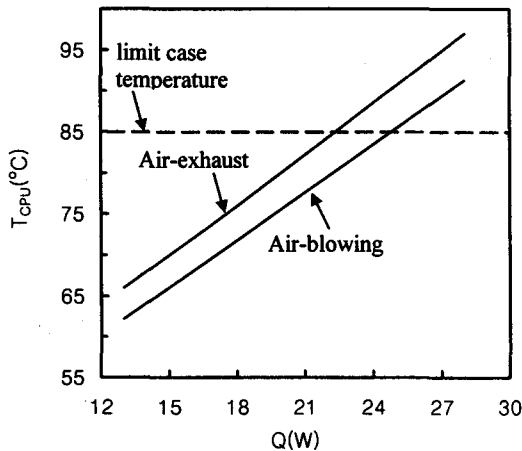


Fig. 5 CPU temperatures for increase of CPU power.

열저항의 크기들은 공기유입의 경우보다 다소 크나 열저항의 감소경향은 유사하다.

본 연구의 노트북 모델과 같이 CPU의 냉각모듈로써 히트 스프레더가 사용될 때에 어느 정도의 CPU 열량까지 CPU가 열적으로 안정하게 동작될 수 있는가를 조사하여 Fig. 5에 나타내었다. CPU가 열적으로 안정하게 동작될 수 있는 판별기준은 노트북의 CPU 허용표면온도(limit case temperature), $T_{CPU, limit}$ (대략 85°C)로 하였다. 그림을 살펴보면, 공기유입의 경우에는 CPU 발열량이 최대 25 W까지 가능하며 공기배출의 경우에는 최대 22 W까지 가능하다.

5. 결론

노트북 내에서, 히트 스프레더가 이용될 때, 공기유입의 경우와 공기배출의 경우 등 두 경우에 대하여 유입 및 배출속도의 크기, 히트 스프레더 재질, 그리고 CPU 발열량 등이 변화함에 따라 CPU의 냉각 성능 등을 조사하는 파라메트릭한 연구가 수행되었으며 이에 대한 연구결과의 요약은 다음과 같다.

(1) 공기유입의 경우에는 히트싱크로 분사되는 기류가 형성되므로, 이 경우가 공기배출의 경우보다 상대적으로 CPU의 냉각에 유리한 유동장을 형성한다.

(2) 공기유입의 경우가 배출의 경우보다 대략 7%정도 더 우수한 CPU의 냉각성능을 갖으며 유입속도의 크기를 증가시킴으로써 성능이 증대된다.

(3) 히트 스프레더의 재질로서 통상적으로 사용하는 알루미늄을 구리로 대체하면 약 12%의 냉각성능을 더 촉진시킬 수 있다.

(4) 알루미늄 스프레더 및 1.2 m/s의 속도크기에 대해, CPU의 최대가능발열량은 공기유입의 경우에 25 W, 공기배출의 경우에는 22 W 정도이다.

참고문헌

- (1) Azar, K., 1999, "The history of power dissipation," *Electronics Cooling*, Vol. 6, No. 1, pp. 42-50, 2000.
- (2) Chapman, C., "Beat the heat in notebooks," *articles of Aavid Thermal Products, Inc.*
- (3) Goto, K., Mochizuki, M., Saito, Y. and Nguyen, T., 1996, "CPU Cooling by using hinge heat pipe," *33rd National Heat Transfer Symposium of Japan.*
- (4) Xie, H., Aghazadeh, M., Lui, W., and Haley, K., 1995, "Thermal solutions to Pentium processor in TCP in notebooks and sub-notebooks," *the 45th ECTC*, Las Vegas, Nevada.
- (5) Neelakantan, S., and Addison, S., 1999, "Modeling the effect of a table," *FLOTHERM User News.*
- (6) 白土 清, 1998, "노트북 PC에 대한 열대책, 월간전자기술," pp. 150-153.
- (7) 이회진, 박현섭, 김찬중, 1999, "열전냉각기를 이용한 광통신 모듈의 냉각성능해석", 대한기계학회추계학술대회논문집 B, pp. 309-315.
- (8) Rosten, H. I. And Spalding, D. B., 1990, *Phoenics training course notes CHAM TR/300*, CHAM.
- (9) 노홍구, 이재현, 1998, "히트싱크부착 전자부품을 가진 통신시스템의 냉각성능연구," 대한기계학회논문집 B 권, 제 22 권 제 2 호, pp.253~266.