

전산모사를 이용한 히트싱크의 열 유동 해석

임송철 · 장시영* · 김현태** · 이동현** · 강계명†

서울산업대학교 신소재공학과

*한국항공대학교 항공재료공학과

**(주) 아이메탈아이

Heat flow Analysis of Heat Sink Using the Computational Simulation

Song Chul Lim, Si Young Chang*, Hyon Tae Kim**, Dong Heon Lee** and Kae Myung Kang†

Dept. Materials Science and Eng., Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

*Dept. of Materials Eng., Hankuk Aviation University, Gyunggi-do 412-791, Korea

**International Metal Institute Inc., Gyunggi-do 437-801, Korea

(2004년 7월 5일 받음, 2004년 7월 16일 최종수정본 받음)

Abstract Heat analysis of the plate type and wave type heat sink were carried out by using computational simulation. The heat resistance and air flow of two heat sink models were analysed according to natural and forced convection condition and positions of fan. When a fan was at the position of z-axis and y-axis in forced convection, the heat resistances of plate type heat sink were 0.17°C/W, and 0.28°C/W respectively. In the case of wave type heat sink, they were 0.18°C/W and 0.53°C/W. As the air flow velocities were averagely 0.386 m/s~3.269 m/s, air flow velocity of plate type heat sink was faster than that of wave type. In this experiment, it was observed that the plate type heat sink showed a good ability of heat radiation comparing with wave type one.

Key words Heat sink, computational simulation, convection, heat resistance

1. 서 론

전자회로 및 부품 기술의 발달은 전자부품 및 광통신 부품의 고출력화와 고주파화 및 고효율화를 가능하게 하였다. 즉 다양한 기능을 갖는 관련부품소자를 작은 공간에 체계적으로 통합하는 기술(패키징 및 모듈화)도 발전하여, 회로 집적도의 단일 chip상에 실장되는 개별 소자의 수가 급격히 증가하게 되었다. 이에 따라 단위 면적당 발열량도 극적으로 증가하게 되고, 이들 발생하는 열로 인하여 모듈소자들이 손상되거나 오작동이 나타나는 근본적 원인이 되고 있다. 이에 열을 방출시키기 위한 히트싱크(Heat Sink)는 필수 불가결한 부품소자가 되고 있다.

히트싱크는 점차 고출력화, 고성능화되는 전기, 전자제품에서 발생하는 열을 외부로 효과적으로 전달 제거하는 기능을 수행하는 부품으로 있다. 일례로 컴퓨터내 CPU 성능은 히트싱크 성능의 열 발산능력에 그 판단기준을 둔다고 하여도 과언이 아니다. 발열되는 열을 받아 히트싱크 자체로 전도되고, 이를 주위로 방출시키기 위하여는

히트싱크의 열저항을 최소화할 수 있도록 최적조건의 히트싱크 설계가 전기·전자제품의 전체 성능 향상에 중요한 변수로 작용하게 되었다.

그러므로 히트싱크의 방열 면적, 공기 순환성 및 열전도성에 관한 열 소산 성능의 향상이 주요 연구의 대상으로 부각되었다. 이들 연구로는 히트싱크의 소재특성에 관한 연구, 히트싱크의 형상에 따른 열 유동해석 및 히트싱크의 핀과 base의 제조공법에 관한 연구 등에 관한 것으로 있다.¹⁻³⁾ 아울러 개발 중인 히트싱크의 실장 시험에 의한 열 유동해석과 공기 흐름에 관한 전산모사는 필수적 연구가 되고 있다.^{4,5)}

본 연구에서는 열유동 현상을 전산모사할 수 있는 Fluent사의 ICE PAK(ver.4.1.12) 해석 프로그램을 이용하여, 새로이 설계된 히트싱크의 모델 유형에 따른 열 유동현상을 해석하고자 하였다. 이를 위하여 열 유동 해석은 자연대류와 강제대류로 하여 zero equation의 난류모델을 적용하여 열분석하였다. 또한 열원의 위치에 따라 나타나는 히트싱크의 열 분포와 공기 유동을 전산모사하였다.

†E-Mail : littbird@snut.ac.kr

2. 실험 방법

2.1. 히트싱크

열 해석 전산모사에 적용될 히트싱크의 소재와 개발중인 두 유형의 히트싱크의 규격과 형상을 Table 1과 Fig. 1에 각각 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 히트싱크는 Al 압출소재로 base부와 핀 부로 각각 Al 1050과 Al 6063으로 구성되어 있다. Fig. 1은 핀 유형에 따라 판형과 웨이브형으로 분류하여 설계된 히트싱크 형상으로서, 핀 개수와 핀 형태는 다르지만, 본 실험에 적용된 열원은 두 모델 모두 중앙부에 열원이 삽입되는 형태이다. 이때 열원의 크기는 400 W이고, 그 규격은 60×60×6 mm로 하였다.

2.2. 열 유동 해석

두 모델 히트싱크의 열 유동 해석은 Fluent사 version 4.1.12 ICE PAK 프로그램을 이용하였다.⁶⁾ 전산모사용 해석 프로그램을 적용하기 위한 실험조건은 두 가지 공기 대류방식과 y축과 z축을 중력방향으로 히트싱크를 배치하는 방법으로 축변화에 따른 열 흐름과 공기 유동으로 열 유동을 해석하였다.

본 실험에 적용된 공기 유동방식은 자연대류와 강제대류의 두 방식으로, 두 방식 모두 zero equation 방식의 난류(turbulent flow)모델을 적용하였다. 히트싱크와 주위 경계부의 열 해석을 위한 mesh 설정은 ICE PAK 프로그램 지원의 normal mesh 상태에서 hexa unstructured 형태를 사용하였다.⁷⁾ 자연대류시 중력방향을 y, z 축으로 변화를 주었으며, 강제대류의 경우에는 팬의 위치를

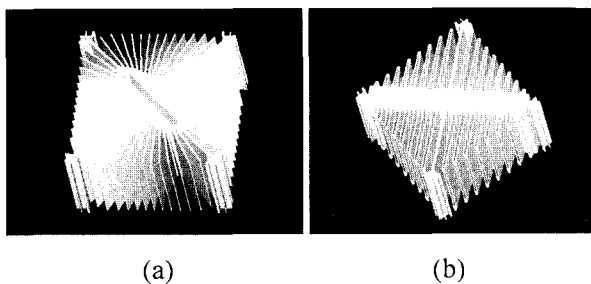


Fig. 1. Two models of newly designed heat sinks. (a) plate type and (b) wave type

Table 1. The shape dimension of newly designed heat sink and their materials

Fin type	Plate	Wave
No. of fin(ea)	56	34
Fin thickness(mm)	1.207	1
The dimension of heat sinka×b×c(height : mm)	119×119×60	162×162×60
Surface area of heat sink(m ²)	0.371	0.412
Material	base - Al 6063fin - Al 1050	base - Al 6063fin - Al 1050

y, z 축으로 변화시켜 열해석하였다. 이때 팬은 3,000 rpm, 0.173 CMM의 공기유량조건으로, 히트싱크로부터 10 mm 떨어진 곳에 위치하도록 하였다. 또한 팬의 유량에 따른 히트싱크의 열저항 변화를 구하였으며, 또한 공기 유량 조건을 0.1 CMM에서 0.7 CMM까지 변화하여 실험하였다. 이들의 실험조건을 Table 2에 나타내었다. 한편 공기 흐름속도는 열 흐름에 따른 공기 흐름속도 벡터로부터 구하여 두 히트싱크의 공기 흐름을 조사하였다. 공기 흐름의 현상을 보다 명확히 설정하기 위하여 실험조건별 히트싱크의 단면을 절단하여 핀의 위치에 따른 공기 흐름속도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열 유동 해석

히트싱크의 성능은 열 저항으로 표시되므로 열 저항값이 작을수록 좋은 히트싱크라 할 수 있다. Fig. 2는 히트싱크의 열 저항 발생 모식도이다. 열 저항값은 아래의 식으로부터 구할 수 있다.⁸⁾ 히트싱크의 열 저항이 전체 열 저항중 방열성능에 가장 큰 인자임으로, 본 실험에서는 히트싱크의 열 저항에 대해서만 고려하였다.

$$R_{CA} = \frac{(T_{CASE} - T_{LA})}{P_D}$$

$$R_{CA} = R_{TIM} + R_{SA}$$

여기서, R_{CA} = 케이스와 주변온도 사이의 열 저항 (°C/W)

Table 2. Experimental condition of heat sink

Heat source	400 watts(60×60×6 mm)
Convection	NaturalForced (3,000 rpm, 0.173CMM)
Distance between fan and Heat Sink	10 mm
Flow regime	Turbulent flow (zero equation)
Ambient Temp.	20°C
Mesh type	Hexa unstructured
Mesh parameters	Normal
Convergence of parameters	10 E-3

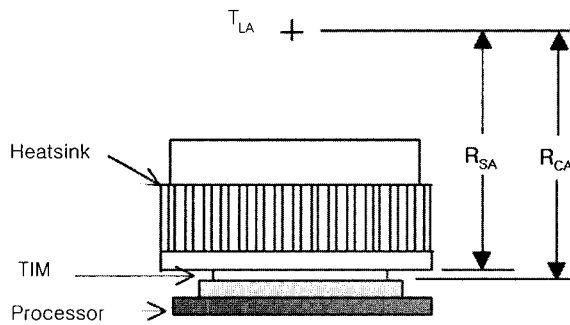


Fig. 2. The measurement of heat sink resistance.

- T_{CASE} = 프로세서 케이스 온도 ($^{\circ}C$)
- i = 프로세서 주변의 대기온도 ($^{\circ}C$)
- P_D = 프로세서 전력량 (W)
- R_{TIM} = 열 계면재료의 열 저항 ($^{\circ}C/W$)
- R_{SA} = 히트싱크와 주변온도 사이의 열 저항 ($^{\circ}C/W$)

열 계면재료의 열 저항(R_{TIM})은 재료에 따라 다르지만, thermal grease (약 $0.15^{\circ}C/W$)를 사용하므로, 히트싱크의 열 저항(R_{SA})은 케이스-주변온도 열 저항(R_{CA})에 의해 영향을 받는다. 이에 본 실험에서는 히트싱크와 케이스 공

간내의 온도 분포를 도식적으로 나타냄으로서 이를 보완하였다.

먼저 자연대류조건에서 y축 방향과 z축 방향의 중력방향에 따른 두 가지 형태 히트싱크의 열 흐름 분포도를 Fig. 3에 나타내었다. 중력방향이 y축 방향인 경우 최고 온도는 판형 히트싱크가 $309.637^{\circ}C$, 웨이브형 히트싱크가 $305.019^{\circ}C$ 로 웨이브형이 판형보다 나은 방열성능을 보였다. 그림에서 나타낸 바와 같이 히트싱크로부터 외부로 열의 확산은 웨이브형이 판형보다 더 넓은 면적으로 열이 방출되어지는 형상으로 조사되었다. 이때 열 저항은 판형이 $0.72^{\circ}C/W$, 웨이브형이 $0.71^{\circ}C/W$ 로 각각 나타났다. 중력방향이 z축인 경우 히트싱크의 최고 온도는 판형이 $199.820^{\circ}C$, 웨이브형이 $218.530^{\circ}C$ 로 판형이 웨이브형보다 나은 방열성능을 나타냈다. 각 히트싱크의 열 저항은 판형이 $0.45^{\circ}C/W$, 웨이브형이 $0.49^{\circ}C/W$ 로 조사되었다.

자연대류시 중력방향에 따른 히트싱크의 방열성능은 모두 z 축 방향에서 우수한 것으로 조사되었으며, 특히 z 축 중력방향에서 판 히트싱크의 열 방출 능력이 뛰어난 것을 알 수가 있었다. 중력방향에 따른 히트싱크의 온도 차이는 약 $100^{\circ}C$ 이내로 열 방출 능력은 중력방향에 따라 크게 영향을 받는 것으로 조사되었다. 또한 자연대류에서 열은 중력방향과 같은 방향으로 방출되어지는 것으

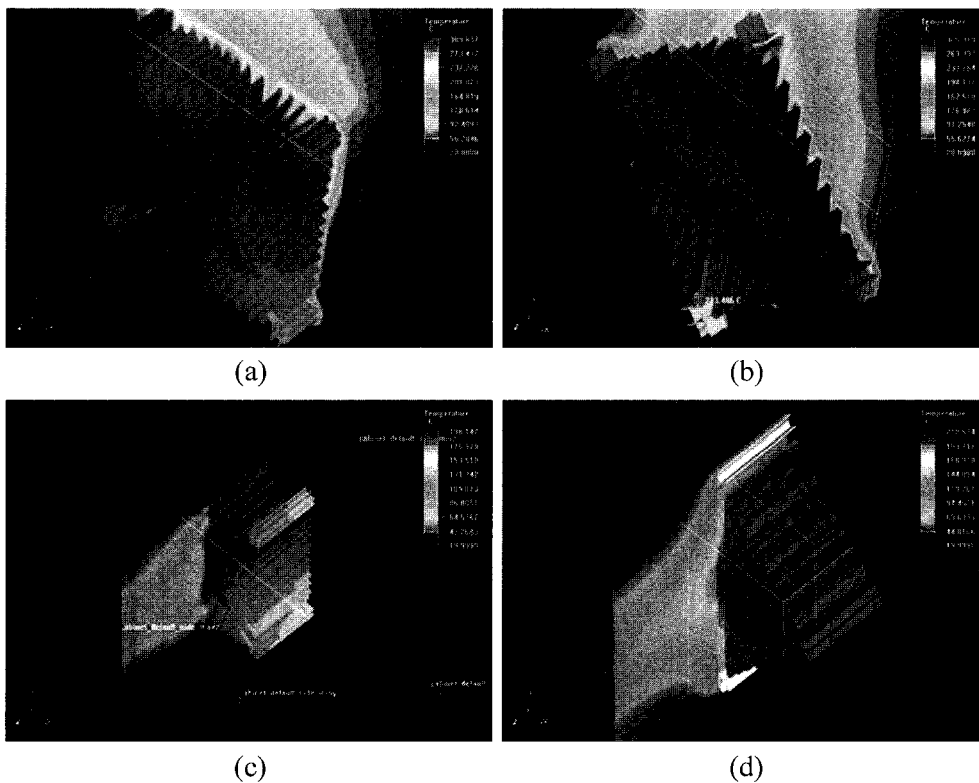


Fig. 3. Temperature distribution diagram of heat flow according to gravity direction in natural convection. (a), (b) Temperature contours in y-axis gravity direction, (c), (d) Temperature contours in z-axis gravity direction, (a), (c) Plate type, (b), (d) Wave type

로 나타났다.

Fig. 4는 강제대류조건에서 팬이 y축 방향과 z축 방향에 위치하였을때 두 가지 형태 히트싱크의 열 흐름 분포도를 나타낸 것이다. 강제대류시 팬이 y 축에 위치하였을 경우 히트싱크의 최대 온도는 판형이 147.750°C, 웨이브형이 262.670°C로 조사되었다. 또한 히트싱크의 열저항은 각각 0.28°C/W, 0.53°C/W로 나타났다. 팬의 위치가 z 축인 경우 히트싱크 최대온도는 각각 102.8°C, 104.95°C이었고, 열저항은 0.17°C/W, 0.18°C/W, 나타났다.

강제대류시 팬의 위치에 따른 히트싱크의 방열성능은 자연대류인 경우와 마찬가지로 z축 방향에서 우수한 것으로 조사되었다. 팬이 y축에 위치한 경우 두 히트싱크의 온도차가 114.92°C로 큰 차이를 보였는데, 이는 웨이브형 히트싱크의 경우 핀 사이의 온도가 판형보다 높게 분포되어 핀 사이의 열 방출이 이루어지지 않은 것으로 여겨진다.

3.2. 공기 유동 해석

자연대류조건에서 y축 방향과 z축 방향의 중력방향에 따른 두 가지 형태 히트싱크의 공기 흐름을 Fig. 5에 나타내었다. 중력방향이 y축인 경우 히트싱크의 전체 공기 유동은 중력방향으로만 공기의 흐름이 집중되어 있는 반

면, z축인 경우는 히트싱크 전체로 공기의 흐름이 나타나는 것으로 나타났다. 이때 중력방향이 y축인 경우 히트싱크의 최대 유속은 판형이 0.386 m/s, 웨이브형이 0.431 m/s이고, z축인 경우 각각 0.562 m/s, 0.498 m/s로 중력방향이 z축인 경우가 y축인 경우보다 공기의 유속이 빠르게 나타났다.

Fig. 6은 강제대류조건에서 팬이 y축 방향과 z축 방향에 위치하였을때 두 가지 형태 히트싱크의 공기 흐름을 나타낸 것이다. 팬이 y축에 위치한 경우 판형 히트싱크와는 달리 웨이브형 히트싱크의 경우 핀 사이와 웨이브 내로 공기의 흐름이 거의 나타나지 않았다. 이로 인하여 앞의 Fig. 4에 나타난 바와 같이 두 히트싱크의 온도차가 크게 나는 것을 알 수 있었다. 최대 유속은 y축에 팬이 위치한 경우 판형이 2.841 m/s, 웨이브형이 2.374 m/s, z축인 경우 각각 3.269 m/s, 1.989 m/s로 나타났다. 여기서 웨이브형 히트싱크의 경우 팬이 z축에 위치한 경우가 최대 유속이 더 낮게 나타났지만, 공기가 히트싱크 내부로 골고루 순환되어 더 나은 방열성능을 나타내었다.

강제대류시 팬의 위치와 팬의 유량에 따른 히트싱크 열저항을 Fig. 7에 나타내었다. 팬의 성능 곡선에서 공기의 유량을 0.1~0.7 CMM으로 변화시 팬의 위치에 따른

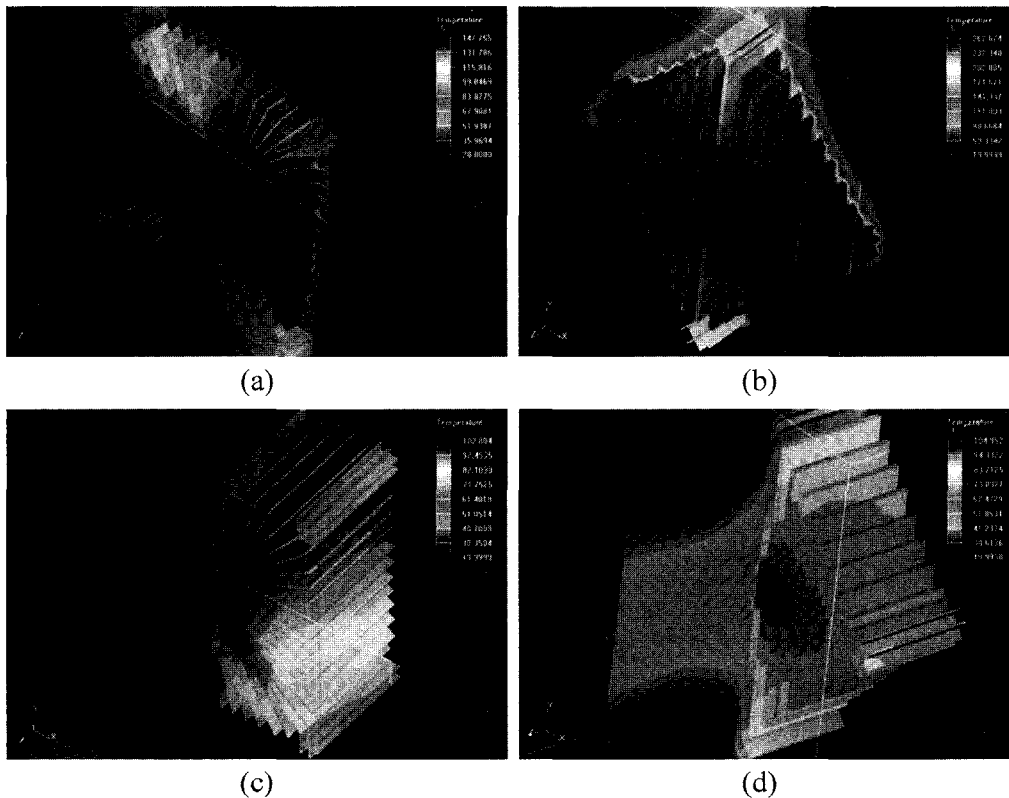


Fig. 4. Temperature distribution diagram of heat flow according to fan location in forced convection. (a), (b) Temperature contours in y-axis fan location, (c), (d) Temperature contours in z-axis fan location, (a), (c) Plate type, (b), (d) Wave type

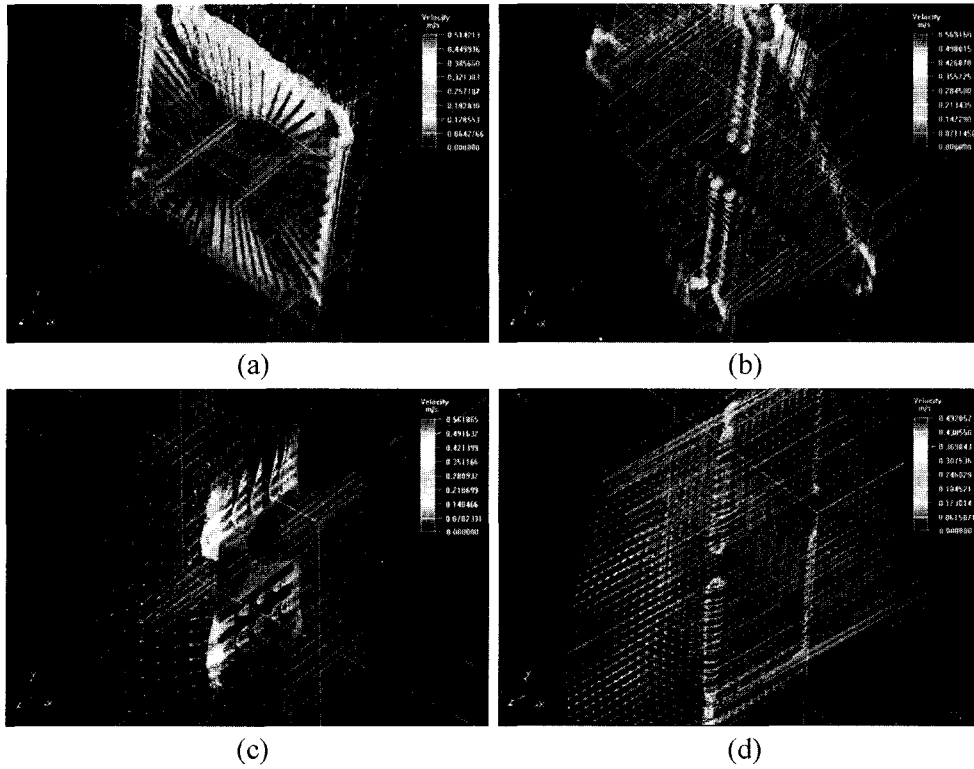


Fig. 5. Distribution diagram of air flow according to gravity direction in natural convection. (a), (b) Air flow in y-axis gravity direction, (c), (d) Air flow in z-axis gravity direction (a), (c) Plate type, (b), (d) Wave type

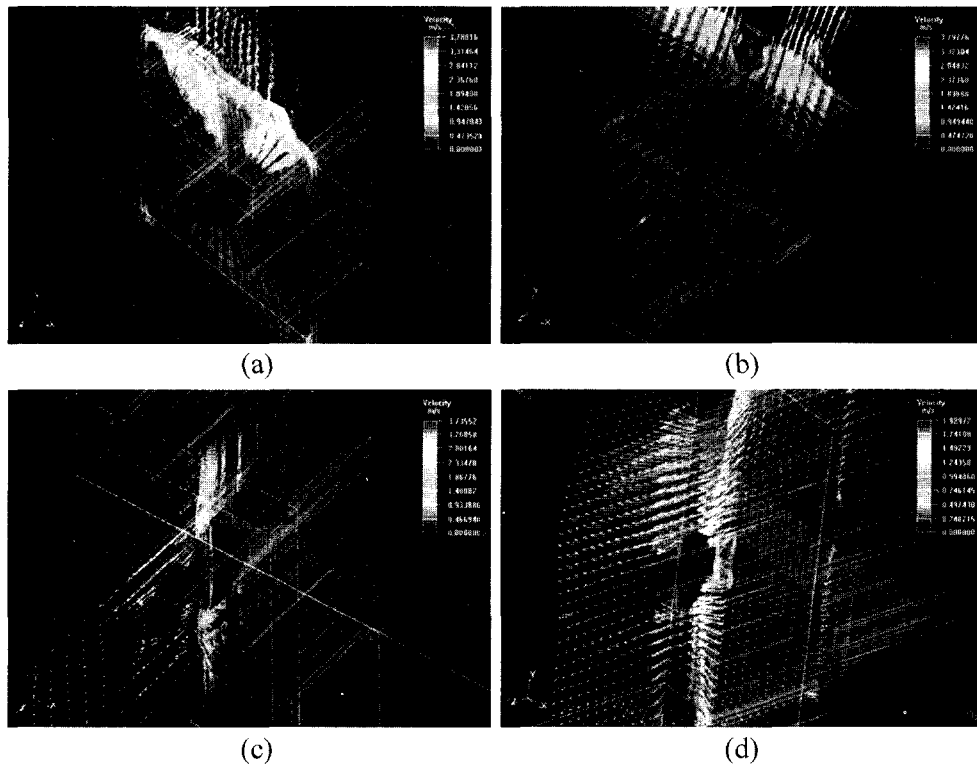


Fig. 6. Distribution diagram of air flow according to fan location in forced convection. (a), (b) Air flow in y-axis fan location, (c), (d) Air flow in z-axis fan location (a), (c) Plate type, (b), (d) Wave type

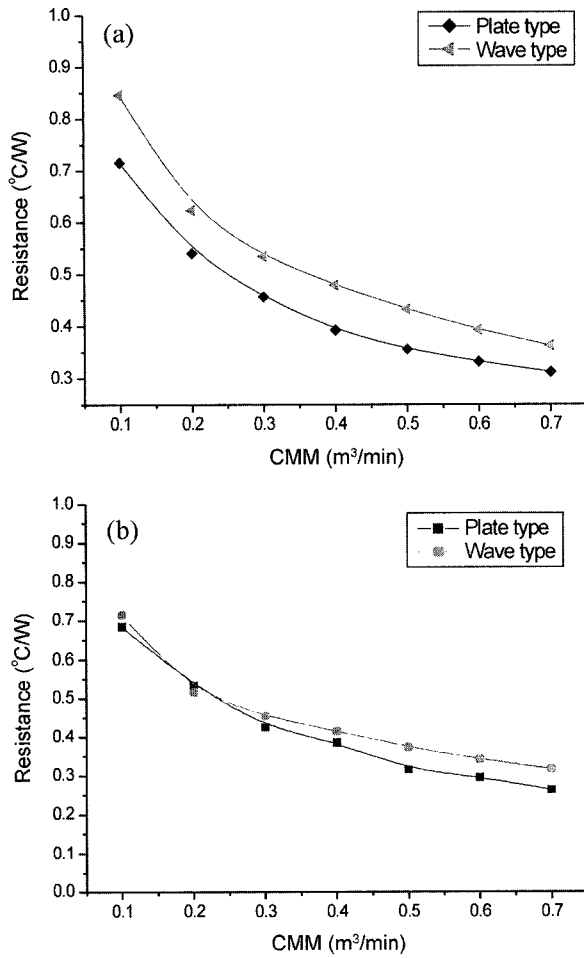


Fig. 7. Distribution of thermal resistance according to CMM. (a) y-axis fan location and (b) z-axis fan location

판형과 웨이브형 히트싱크의 열저항을 나타낸 그래프이다. 유량이 0.1 CMM에서 팬의 위치가 y축일 경우 팬이 z축에 위치했을때보다 더 높은 열저항을 보였고, 점차 유량이 증가 할수록 팬의 위치에 상관없이 열 저항은 감소하여, 0.7 CMM의 유량에서는 비슷한 열 저항값을 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 앞의 Fig. 3에서 나타낸 열 분포를 히트싱크 표면과 중앙부, 그리고 그 사이 중심부로 절단하여 온도 분포를 나타낸 그림이다. 중력방향이 y축인 경우, 각 히트싱크는 중앙부에서 가장 높은 온도 분포로 나타났다. 히트싱크 중앙부로 갈수록 핀과 핀 사이의 온도가 높아지는 것을 알 수가 있었다. 이는 중앙부로 갈수록 핀 사이에 공기 순환이 원활이 이루어지지 못하여 열의 발산이 안되는 것으로 조사되었고, 내부의 온도가 표면 온도보다 더 높게 조사되었다.

중력방향을 z축으로 한 경우에는 z_{max} 방향의 히트싱크 표면부가 가장 높은 온도를 나타내었으며, 히트싱크 내부로 갈수록 온도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이로 인해 자연대류시 히트싱크의 열 확산은 중력방향과 같은 방향으로 확산이 일어나는 것으로 조사되었다.

4. 결 론

새롭게 디자인된 판형과 웨이브형의 히트싱크의 대류 조건에 따른 열 유동 해석의 전산모사에 의하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 대류조건에 따른 히트싱크 열 분포에서 강제대류시 팬이 z축에 위치한 경우가 가장 낮은 온도분포를 나타냈으며, 그 중 판형이 102.8°C로 열 방

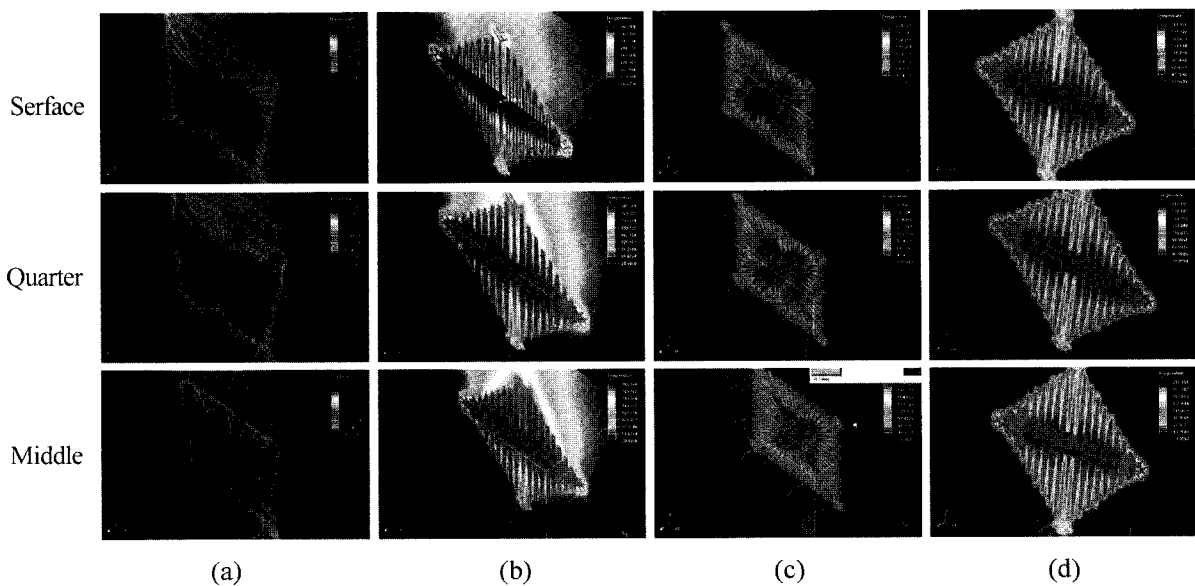


Fig. 8. Heat Flow of cutting plane according to gravity direction, (a) Temperature contours in y-axis, (b) Temperature contours in y-axis, (c) Temperature contours in z-axis and (d) Temperature contours in z-axis (a), (c) Plate type, (b), (d) Wave type.

출능력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 공기흐름 방향이 y축인 경우 z축 보다 최대 온도 및 열 저항이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 히트싱크의 핀사이의 공기의 순환능력에 따른 것으로, 핀내부로 공기흐름이 웨이브형이 관형보다 적은 것에 기인한 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 공통핵심기술개발사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H.-C. Chien, M.-H. Tseng, C.-Y. Wang, C.-H. Chu , in Proceedings Seventeenth IEEE SEMI-THERM Sympo-
sium, IEEE, p.219 (2001).
2. H. Shankatullah, Wayne R. Storr, Bernt J. Hansen and Michal A. Gaynes, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology-Part A, **19**(4), 486 (1996).
3. Kamal Karimanal and Rajesh Nair, in Proceedings 2000 Inter Society Conferer on Thermal Phenome, IEEE, p.308, (2000).
4. Manoj Nagulapally and Kamal Karimanal, in Proceedings 2002 Inter Society Conference on Thermal Phenome, IEEE, p.330 (2002).
5. Linton, R. L. and Agonafer, D., IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology - Part A, **18**(3), (1995).
6. Shri Sridhar, IEEE, p.876 (1995).
7. C-W Tu and R. L. Webb, in Proceedings Seventeenth IEEE SEMI-THERM Symposium, IEEE, p.18 (2001).
8. Icepak 4.1 user's guide. Lebanon, NH : Fluent Inc., (2003).