

뉴 디자인된 히트싱크의 열 유동 현상 컴퓨터 시뮬레이션

임승철 · 최중운 · 강계명[†]
서울산업대학교 신소재공학과

Computational Simulation of Heat flow phenomena in Newly Designed Heat Sinks

Song Chul Lim, Jong Un Choi and Kae Myung Kang[†]

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

(2004년 9월 21일 받음, 2004년 10월 18일 최종수정본 받음)

Abstract For improvement of heat dissipation performance, heat analysis is conducted on the newly designed heat sinks under two convection conditions by using computational fluid dynamics(CFD). Three types of heat sink, plate, wave and top vented wave, are used, and convection conditions are the variations of gravity direction at natural convection and of fan location at forced convection. The results of analysis showed that the heat resistances of top vented wave heat sink were 0.17°C/W(forced convection) and 0.48°C/W(natural convection). In the case of natural convection, gravity direction affected heat flow change, and protection against heat performance was superior in case of z-axis gravity direction. Under the forced convection, all the heat sinks revealed superior thermal characteristics in the fan position of z-axis rather than y-axis. In this study, it was observed that the top vented wave type heat sink showed the best ability of heat radiation comparing with the others.

Key words heat sink, heat conductivity, natural convection, forced convection.

1. 서 론

발열 전기·전자소자로부터 발생하는 열을 외부로 발산시키는 히트싱크의 열 발산능과 열 발산에 관한 열 유동 해석이 전기·전자 제품 성능 평가에 중요한 요소로 자리매김 되었다. 즉 발열되는 열을 받아 히트싱크 자체로 전도되어 이를 주위로 방출시키기 위하여는 히트싱크의 열 발산과 유동 및 자체 열저항이 최소가 되는 조건으로 설계되어야 한다.^{1,2)}

히트싱크는 발열체에 따라 대형, 중형, 소형 히트싱크로 구분하여 제품에 적용되고 있으며, 이들 유형에 따른 히트싱크 방열 소산능력은 제품기능에 주요 변수로 작용하고 있다. 히트싱크의 소재 선택으로부터, 히트싱크의 base부와 핀 형상 및 크기, 위치 등에 따른 다양한 히트싱크의 모델링 연구는 IT 산업에 중요한 부분을 차지하게 되었다. 그러므로 열 발산능이 뛰어난 히트싱크 개발은 히트싱크의 소재의 열 전도성을 향상시켜야 하며, 설계에 따른 핀의 방열 면적과 형상에 따른 열 방사와 공기 순환성에 관한 연구가 중요하게 되었다.^{3,4)}

이에 따라 히트싱크 소재는 경량이며 가공성이 용이한

Al 압출소재가 이용되고 있으며, 방열성 향상을 위하여 핀의 형상 즉, 봉형과 판형 및 삼각핀형 등 다양한 형상의 히트싱크가 설계되고 사용되고 있다. 그러나 아직까지 이들의 형상과 배치에 대한 전산모사를 이용한 열 유동해석연구는 초보단계로 있다. 더욱이 히트싱크의 방열 면적, 공기 순환성 그리고 열전도성을 향상시키기 위한 실장 시험전 열 흐름에 관한 전산모사의 연구는 소수의 연구자에 의해 보고되고 있다.⁵⁻⁷⁾

본 연구에서는 전자 제품의 열 유동 현상을 수치적으로 전산모사하여 새로이 개발 중인 히트싱크 모델에 따른 열 유동현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 해석하였다. 전산모사용 히트싱크 소재는 6063 알루미늄 압출재로 하여 열 유동해석에 적용하였고, 4가지 유형의 새로운 모형의 히트싱크 모델에 열 발산 현상과 공기 순환의 유·무에 따른 열 흐름 해석 및 공기 유동현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 조사하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 히트싱크

열 해석 전산모사용 히트싱크는 핀 끝단부에 vent가 있는 구조와 vent가 없는 웨이브 히트싱크 및 판형 히트

[†]E-Mail : littbird@snut.ac.kr

싱크를 모델링하여 본 연구에 적용하였다. 웨이브형 히트싱크는 판형 히트싱크와 같은 크기의 웨이브형(I)과 vent 유무에 따른 웨이브형으로 구분하여 실험하였다. 각각의 히트싱크 형상을 Fig. 1에 도시하였고, Table 1에 이들 히트싱크 핀수와 치수 및 소재를 나타내었다. 그림과 표에서 알 수 있듯이 히트싱크는 base 부와 핀 부로 구성되며, base 부와 핀 부의 소재는 Al 6063과 Al 1050으로 되어있다.

2.2. 경계조건

Table 2는 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 히트싱크의 열 해석용 초기 경계조건을 나타내고 있다. 공기 유동방식은 자연대류와 강제대류 조건에서 모두 난류(turbulent

Table 2. Experimental condition of the computational simulation.

Heat source	400 watts(60×60×6 mm)
Convection	NaturalForced (3,000 rpm, 0.173 CMM)
Distance between fan and Heat Sink	10 mm
Flow regime	Turbulent flow (zero equation)
Ambient Temp.	20°C
Number of iteration	100
Mesh type	Hexa unstructured
Mesh parameters	Normal
Convergence of parameters	Flow : 1.0 E-3, Energy : 1.0 E-7

flow)모델을 적용하였으며, 난류모델에서도 zero equation 방식으로 앞서 발표한 논문과 같은 조건으로 실험하였다.⁸⁾ Mesh는 normal 상태에서 Hexa unstructured 형태를 사용하였다. 또한 자연대류시 중력방향을 y, z 축으로 변화시켰고, 강제대류시 팬의 위치를 y, z 축에 팬을 부착하여 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 이때 팬 속도는 3,000 rpm, 유량이 0.173 CMM의 공기유량조건으로, 히트싱크로부터 10 mm 떨어진 곳에 위치하도록 하였다. 본 실험의 열 유동 해석은 Fluent사 ver. 4.1.12 ICE PAK 프로그램을 이용하여 실험하였고, 열원으로부터 히트싱크로의 열전달은 100%로 가정하여 변수들의 유동과 수렴기준은 각각 1.0 E-3, 1.0 E-7로 하였다.

특히 히트싱크의 열저항은 전체 열저항 중에서 방열성능에 가장 큰 영향을 미치므로 히트싱크의 열저항만 고려하였고, 열저항측정은 히트싱크내의 최고 온도에서 히트싱크 주변 온도를 뺀 값을 주어진 열원으로 나눈 값으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자연대류조건에서의 열 현상

자연대류에서 중력방향이 y축인 경우 히트싱크의 열 흐름 분포도와 공기흐름을 Fig. 2에 나타내었다. 본 실험에서 3차원 좌표방향의 확인은 못하였으나 모든 히트싱크에서 열의 흐름 방향은 그림상에 나타낸 바와 같이 화살표 방향으로 동일하게 향하고 있음을 알 수 있다. 이는 열전도가 자연대류조건에서 중력방향에 따른 압력변화에 따라 열 발산 현상이 일정 방향으로 자연 방사되

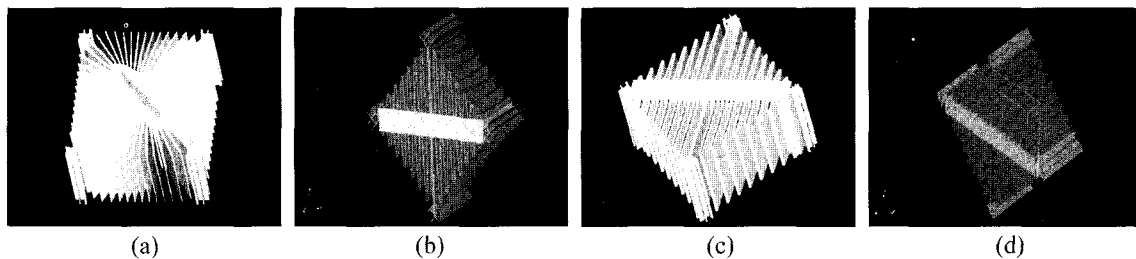


Fig. 1. The newly designed heat sink for computational simulation. (a) Plate type, (b) Wave type(I), (c) Wave type(II), (d) Top vented wave type.

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

Type	Plate	Wave(I)	Wave(II)	Top vented wave
No. of fin(ea)	56	30	34	34
Fin thickness(mm)	1.207	1	1	1
Top vent length(mm)				4.6
The dimension of heat sink a×b×c(height: mm)	119×119×60	119×119×60	162×162×60	162×162×60
Material	base - Al 6063 fin - Al 1050	base - Al 6063 fin - Al 1050	base - Al 6063 fin - Al 1050	base - Al 6063 fin - Al 1050

는 것으로 생각할 수 있다. 본 실험의 경우 히트싱크내의 최고 온도는 판형 히트싱크가 309.637°C, 웨이브형 히트싱크가 305.019°C, vent가 있는 웨이브형 히트싱크가 298.540°C로서 세 가지 유형의 히트싱크 중 vent가 있는 히트싱크가 우수한 방열성능을 나타내었다. 이는 Fig. 2의 3차원 열 분포도에 나타내었듯이 vent가 있는 웨이브 히트싱크가 히트싱크에서 대기로의 열 방출이 더 넓은 면적에 기인한 현상으로 생각할 수 있겠다. 특히 히트싱크 형상(형태와 크기)을 동일하게 한 웨이브 히트싱크(I)의 경우 히트싱크내 최고온도가 403.087°C로서, 방열성능은 방열면적과 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 각 히트싱크의 최대 공기 흐름속도는 판형의 경우

0.368 m/s이고, 웨이브형(I)의 경우 0.487 m/s, 웨이브형(II)의 경우 0.431 m/s, vent가 있는 웨이브형에서는 0.518 m/s로 조사되었다. 이로부터 공기흐름은 판형 보다는 웨이브형이, 웨이브형의 경우에는 vent가 있는 경우가 공기흐름속도가 큰 것을 알 수 있다. 즉 공기 흐름은 공기의 유동공간의 크기와 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다으며, 앞서 열 방사능과도 일치하는 결과를 보였다.

중력방향이 z축의 경우 히트싱크의 열 흐름 분포와 공기흐름을 Fig. 3에 나타내었듯이 판형 히트싱크가 199.820°C로, 웨이브형 히트싱크(218.530°C)보다 최고 온도가 낮은 것으로 조사되었다. 또한 최대 공기유속 역시 판형 히트싱크가 웨이브형 히트싱크보다 높은 결과를 보였다. 이

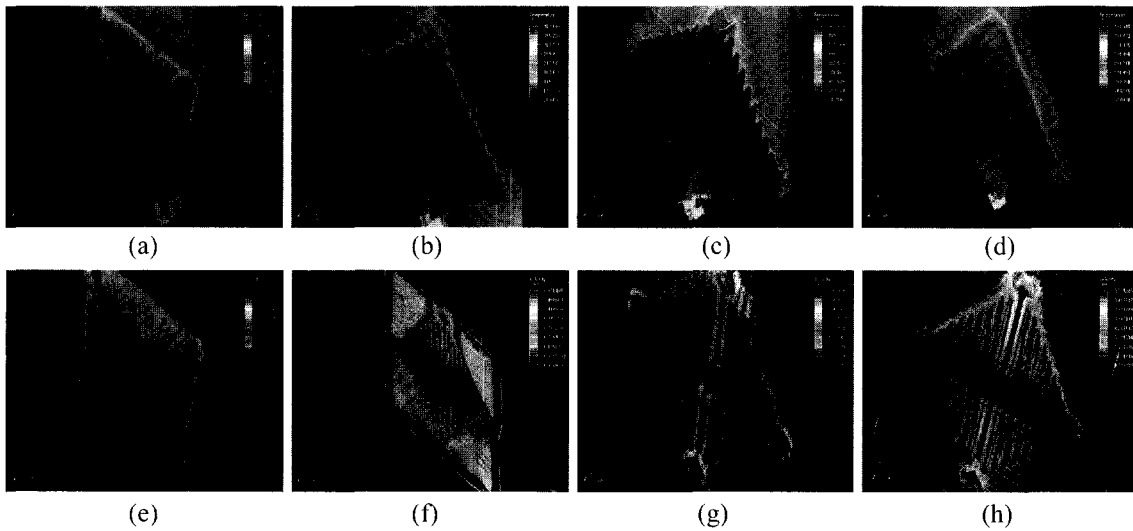


Fig. 2. Distribution diagram of heat flow(a~d) and air flow(e~h) according to y-gravity direction in natural convection. (a), (e) Plate type, (b), (f) Wave type(I), (c), (g) Wave type(II), (d), (h) Top vented wave type

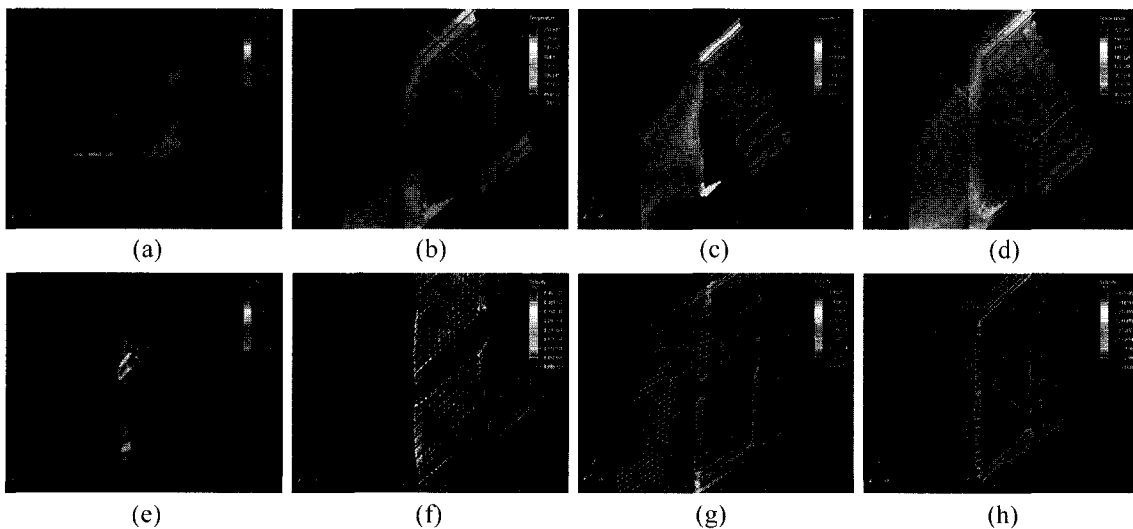


Fig. 3. Distribution diagram of heat flow(a~d) and air flow(e~h) according to z-gravity direction in natural convection. (a), (e) Plate type, (b), (f) Wave type(I), (c), (g) Wave type(II), (d), (h) Top vented wave type

는 앞서 y축 중력방향과 다른 현상으로 생각할 수 있으나, 앞서 지적하였듯이 열과 공기의 흐름방향에 근접된 방향이 z축 방향임을 알 수 있게 한다. 즉 히트싱크의 배치에 따라 열 흐름과 공기 흐름의 속도가 변하는 것을 알 수 있다. 또한 vent가 존재하는 경우 두 조건에서 모두 우수한 방열성능을 보인 것으로 미루어 vent의 존재에 따라 공기 흐름 속도가 열 유동에 효과적임을 알 수 있었다. 이때 vent가 있는 웨이브 히트싱크는 내부로 공기의 순환이 이루어져 더 낮은 온도와 최대 유속 또한 0.518 m/s로 웨이브 히트싱크(II)보다 공기의 순환이 더 좋은 것으로 조사되었다.

한편 히트싱크 내부와 표면부의 온도 분포를 확인하고자 z 축을 기준하여 plane cut하여 내부와 외부의 열 확산의 경향을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 앞서 실험 결과에서 언급하였듯이, 중력방향이 y 축인 경우, 편사이로의 공기유속이 평균 0.071 m/s로 히트싱크내 최소 공

기흐름 유속도를 가져 네가지 유형의 히트싱크 모두에서 내부 열의 방출이 원활하지 못한 것을 알 수 있었다. 또한 중력방향이 z 축인 경우에는 공기 유속이 0.413 m/s로 히트싱크의 최대유속과 비슷한 유속을 나타내어, Fig. 4-(e), (f)에서 zmax 방향의 히트싱크 표면부가 가장 높은 열 저항을 나타내었으며, 히트싱크 내부로 갈수록 온도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이는 자연대류시 히트싱크의 열 확산은 중력방향에 크게 의존하는 열 확산 현상과 공기 유동흐름을 히트싱크의 현상에 의존하는 것으로서, H. Shaukatullah의 열 방사에 관한 보고에서 공기 유동 방향에 따라 히트싱크의 열 성능이 지배되는 것을 알 수 있었다.⁹⁾

3.2 강제대류조건에서의 열 유동 현상

Fig. 5는 강제대류시 팬이 y 축에 위치하였을 경우 각 히트싱크의 열 분포와 공기 흐름을 나타낸 것이다. Vent

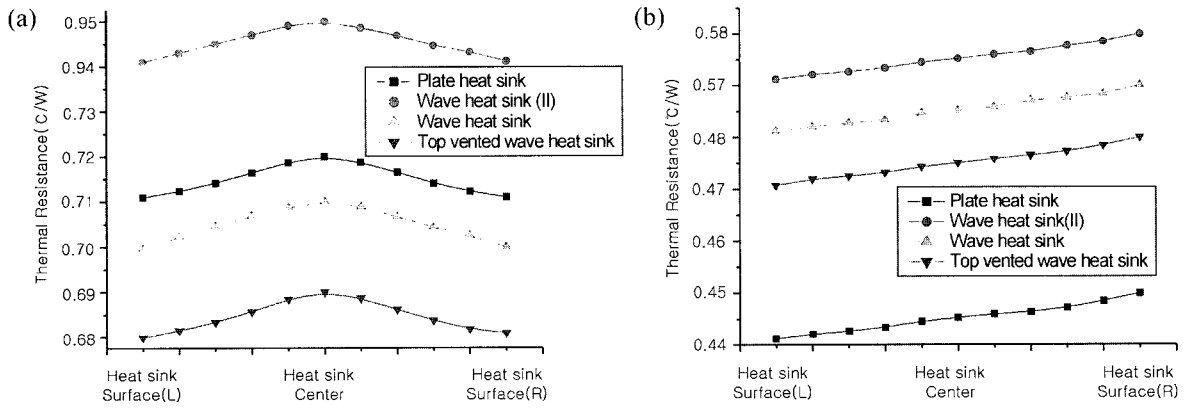


Fig. 4. The thermal resistance of the center and the surface of all heat sinks according to gravity direction at natural convection. (a) y-axis gravity direction, (b) z-axis gravity direction

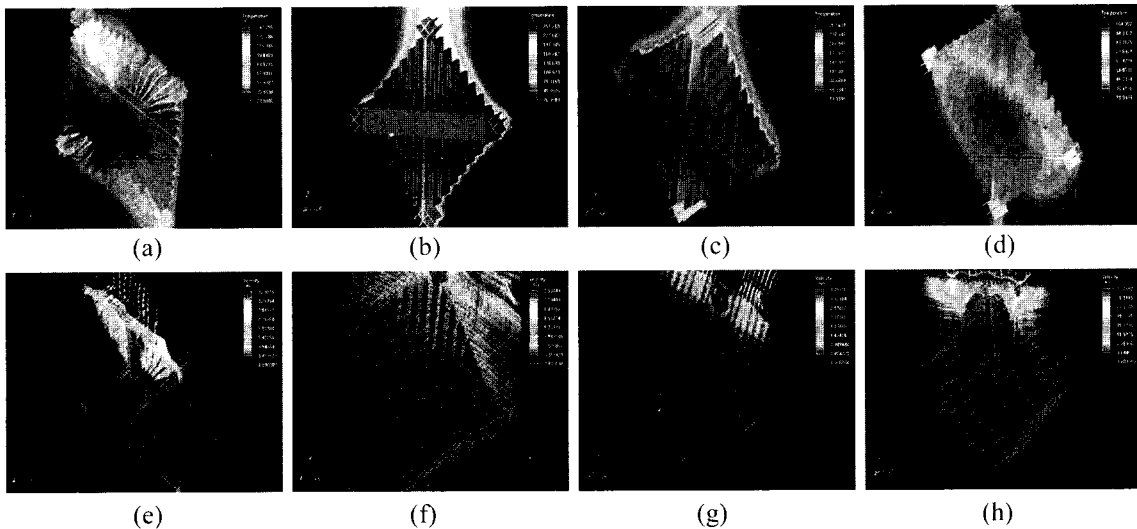


Fig. 5. Distribution diagram of heat flow and air flow according to y-axis fan location in forced convection. (a), (e) Plate type, (b), (f) Wave type(I), (c), (g) Wave type(II), (d), (h) Top vented wave type

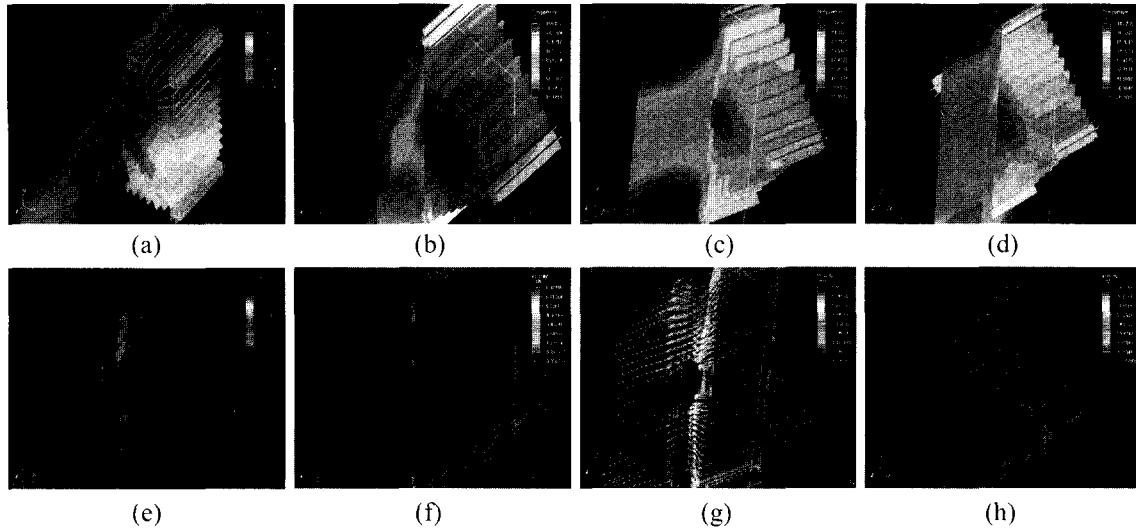


Fig. 6. Distribution diagram of heat flow and air flow according to z-axis fan location in forced convection. (a), (e) Plate type, (b), (f) Wave type(I), (c), (g) Wave type(II), (d), (h) Top vented wave type

가 있는 웨이브 히트싱크의 경우 104.950°C로 가장 우수한 방열성능을 나타내었는데 이는 vent를 통해 웨이브 핀 사이로 공기의 순환이 원활하게 이루어진 결과로 생각할 수 있다. 이는 웨이브 히트싱크(II)의 경우 262.670°C로 높은 온도를 보인 것으로 미루어 웨이브형의 핀 내부에 공기의 흐름이 작은 것이 그 원인으로 공기 흐름 속도 측정 결과 2.374 m/s로 vent가 있는 웨이브 히트싱크(3.689 m/s)보다 낮은 것으로 조사되었다. 이는 타 연구결과에서도 언급하였듯이 강제 대류의 경우 공기 순환성과 냉각공기와의 접촉면적이 방열성능에 주요 변수로 작용한다는 것도 일치하는 결과로 나타났다.¹⁰⁾

팬의 위치가 z 축에 위치하였을 경우 각 히트싱크의 열 분포와 공기흐름을 Fig. 6에 나타내었듯이 히트싱크 최대온도는 각각 102.8°C(판 히트싱크), 159.897°C(웨이브 히트싱크(I)), 104.95°C(웨이브 히트싱크(II)), 103.2°C(vent가 있는 웨이브 히트싱크), 열저항은 0.17°C/W, 0.35°C/W, 0.18°C/W, 0.17°C/W로 측정되었다. 또한 히트싱크 내부의 공기 속도는 앞서 y축에 fan이 위치한 경우와 같은 방향으로 vent가 있는 웨이브 형이 3.564 m/s로 다른 히트싱크보다 더 원활한 공기 유동현상을 보이는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

히트싱크의 열 발산능력은 공기 유동현상과 밀접한 관계를 가지는 것으로 조사되었다. 즉 중력방향에 무관하게 공기 유동속도가 빠를 경우 열 방사능이 우수한 것으로 나타났다. 또한 히트싱크의 열 흐름방향은 중력방

향과 압력변화에 따라 특정방향으로 자연 방사되는 것을 알 수 있었다. 핀부와 베이스부의 공기 접촉면적 즉 방열면적이 히트싱크의 열 유동에 큰 인자임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. H.-C. Chien, M.-H. Tseng, C.-Y. Wang, C.-H. Chu, in Proceedings Seventeenth IEEE SEMI-THERM Symposium (2001 IEEE) p.219.
2. Kamal Karimanal and Rajesh Nair, in Proceedings 2000 Inter Society Conference on Thermal Phenome (2000 IEEE) p.308.
3. R. Chein and G. Huang, Applied Thermal Engineering, **24**(14-15), 2207 (2004).
4. G. Maranzanz, I. Perry, D. Mailliet and S. Rael, International Journal of Thermal Sciences, **43**(1), 21 (2004).
5. M. Nagulapally and K. Karimanal, in Proceedings 2002 Inter Society Conference on Thermal Phenome (2002 IEEE) p.330.
6. R. L. Linton, and D. Agonafer, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology - Part A, **18**(3), 517 (1995).
7. C. W. Leung and S. D. Probert, Int. J. Energy, **62**, 94 (1989).
8. S-C Lim, S-Y Chang, H-T Kim, D-H Lee and K-M Kang, Korean J. of Mater. Research, **14**(7), 522 (2004)
9. 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).
10. S.-C. Lin and C. A. Chou, Applied Thermal Engineering, **24**(16), 2375 (2004)