

## 전산모사에 의한 웨이브 히트싱크의 열유동 특성 해석

이인규<sup>†</sup> · 이상웅 · 강계명\* · 장시영

한국항공대학교 항공재료공학과

\*서울산업대학교 신소재공학과

## Heat Flow Analysis in the Newly Developed Wave Heat Sink by Computational Simulation

In-Gyu Lee<sup>†</sup>, Sang-Woong Lee, Kae-Myung Kang\* and Si-Young Chang

Dept. of Materials Engineering, Hankuk Aviation University, Geonggi-do 412-791, Korea

\*Dept. of Materials Science and Engineering, Seoul Nat. Univ. of Tech., Seoul 139-743, Korea

(2004년 11월 3일 받음, 2004년 12월 1일 최종수정본 받음)

**Abstract** Heat flow characteristics in the newly developed Wave Heat Sink were analyzed under natural and forced convections by Icepak program using the finite volume method. Temperature distribution and thermal resistance of Wave Heat Sink with/without air vent hole on the top of fin were compared with those of a commercial Al extruded heat sink(Intel Heat Sink). Under the natural convection, the maximum temperature was 45.1°C in the air vent hole typed Wave Heat Sink, which was superior to that of Intel Heat Sink. The thermal resistance was 2.51°C/W in the air vent hole typed Wave Heat Sink, and it changed to 2.65°C/W and 2.16°C/W with changes of gravity direction and fin height, respectively. Under the forced convection, the maximum temperature became lower than that under the natural convection. In addition, the thermal resistance lowered in the air vent hole typed Wave Heat Sink with higher fin height and it decreased with increasing the air flux.

**Key words** wave heat sink, natural / forced convection, heat flow, thermal resistance.

### 1. 서 론

최근에 전기전자 제품들은 갈수록 고급화되는 추세에 있으며, 전자부품 및 광통신 부품의 고출력화, 고성능화, 초소형화로 단위 면적당 발열량도 크게 증가하고 있다. 특히, 컴퓨터 CPU와 같은 전자칩의 고속화 및 고용량화 추세에 따라 고용량 전자칩에서 발생하는 높은 발열은 제품의 신뢰성 및 성능을 결정하는 중요한 인자로 작용하게 되었다. 전자칩은 허용온도를 초과할 경우 오작동 및 고장 발생율이 급격히 증가하고 칩의 수명을 감소시켜 제품의 성능에 나쁜 영향을 미친다고 알려져 있다.<sup>1-5)</sup> 이에 따라 고용량의 전자칩을 보다 효율적으로 냉각시킬 수 있는 새로운 형상의 히트싱크 개발이 필수적으로 요구되고 있다.

히트싱크의 냉각 효율을 향상시키기 위해서는 공기 유량과 히트싱크 전체 표면적을 증가시켜야 하고, 열전도율이 뛰어난 재료를 사용해야 한다. 그러나, 전체 표면적을 증가시키면 표면의 접촉저항 증가와 전체 시스템의

무게가 증가하고, 열전도율이 우수한 은이나 구리는 비용이 많이 든다는 단점이 있다.<sup>6)</sup> 현재 가장 널리 사용되고 있는 히트싱크는 알루미늄 압출식 평행핀 형상으로 가격 대비 성능은 우수하지만 제조공정상의 압출한계로 제품 성능 및 제작치수의 한계, 제품 중량 등의 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 방열면적, 공기 순환성 및 열전도성에 관한 열 소산 성능 향상을 고려하여 알루미늄 압출재를 대체할 히트싱크를 개발하기 위한 연구가 신기술 적용 및 형상 설계 변경을 통해 활발히 진행 중에 있다.<sup>7,8)</sup>

이에 본 연구에서는 새로 개발된 웨이브 히트싱크(Wave Heat Sink)의 열 소산 성능을 평가하기 위해 자연대류와 강제대류 조건하에서 열 및 공기 유동 흐름을 전산모사 하였고, 기존의 상용 Al 압출 히트싱크의 열 및 공기 유동 흐름과 비교·분석하였다. 또한, 웨이브 히트싱크의 형상 및 위치 변경에 따른 열유동 특성을 조사하여 최적의 웨이브 히트싱크 제조를 위한 조건을 확립하고자 하였다.

<sup>†</sup>E-Mail : leeig@hau.ac.kr

## 2. 실험 방법

### 2.1 웨이브 히트싱크 형상 및 치수

Fig. 1은 새로 개발된 핀/베이스 구조 웨이브 히트싱크의 접합 형상을 나타낸다. 이 접합방식은 절곡된 금속 박판의 핀과 원하는 두께의 베이스를 별도의 이종소재 없이, 상호 소성변형에 의하여 기계적으로 조립되는 방식이다.

본 연구에서는 웨이브 히트싱크의 핀 끝단부에 벤트가 있는 구조와 벤트가 없는 구조를 모델링 하였으며, 또한 웨이브 히트싱크의 열 분석 결과를 비교하기 위하여 현재 인텔 펜티엄IV 423-핀 패키지(이하 인텔 히트싱크)에 적용된 히트싱크를 모델링하였다. Fig. 2는 사용한 인텔 히트싱크와 두 가지 형태의 웨이브 히트싱크의 형상을 나

타낸다. 각 제품의 치수와 소재는 Table 1과 같다. 웨이브 히트싱크의 경우 베이스재와 핀재료로서 각각 상용 알루미늄합금인 6063과 1050을 사용하였다. 또한, 본 연구에서 기본적으로 사용한 웨이브 히트싱크의 높이를 인텔 히트싱크보다 작게 하여 히트싱크의 소형화와 경량화를 도모하고자 하였다.

### 2.2 유동 해석

히트싱크의 열 및 공기 유동 해석은 Fluent사 version 4.1.12 Icpak프로그램을 이용하였고, 실험은 두 가지 공기 유동방식에서 중력방향과 핀 높이, 형상 변경에 따른 열 및 공기 유동 흐름을 분석하였다. 사용한 경계조건은 Table 2에 나타난 바와 같이, 주변온도는 20°C, 중력벡터는 -9.80665 m/s로 하였으며, 초기조건의 속도벡터 영향

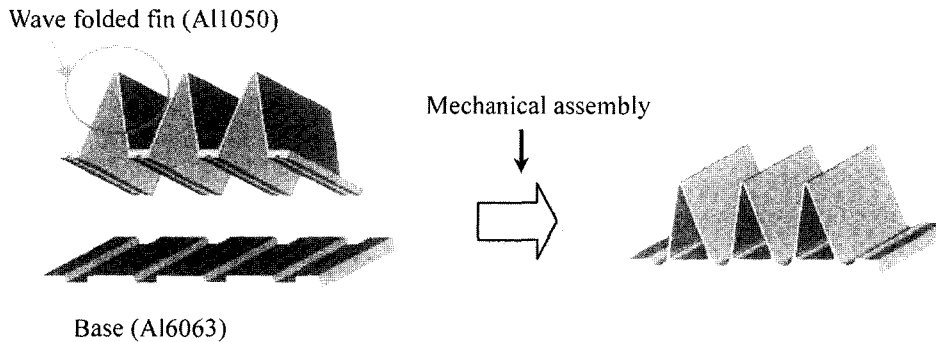


Fig. 1. Joint structure of fin and base in the newly developed Wave Heat Sink

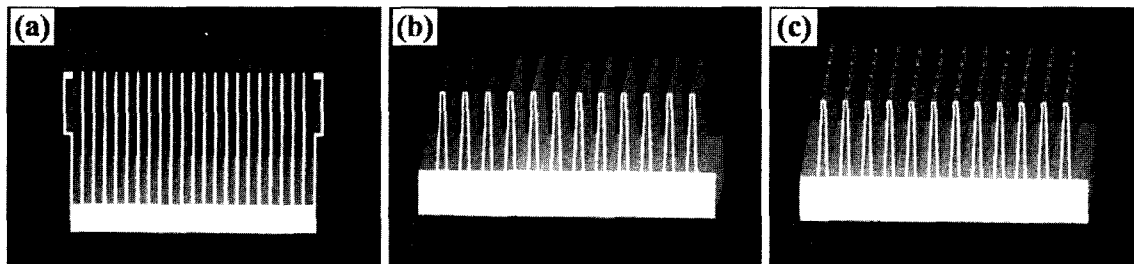


Fig. 2. Schematic diagram of heat sinks ; (a) Intel heat sink, (b) Wave Heat Sink and (c) Wave Heat Sink with air vent

Table 1. Dimensions of heat sinks

|  | Intel Heat Sink | Wave Heat Sink                  | Wave Heat Sinkwith air vent     |
|--|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Number of fin (ea.)                                  | 23              | 12                              | 12                              |
| Fin thickness (mm)                                   | 0.8             | 0.5                             | 0.5                             |
| Fin height (mm)                                      | 36              | 18                              | 18                              |
| Fin pitch (mm)                                       | 2               | 1.8                             | 1.8                             |
| Vent length (mm)                                     |                 |                                 | 10                              |
| Heat sink sizewidth×length×height (mm <sup>3</sup> ) | 68×90×62.4      | 68×90×28.4                      | 68×90×28.4                      |
| Materials  | Al 6063         | base - Al 6063<br>fin - Al 1050 | base - Al 6063<br>fin - Al 1050 |

**Table 2.** Boundary conditions employed in the study.

|                      | Natural convection  | Forced convection         |
|----------------------|---|---------------------------|
| Heat source          | 10W   | 100W                      |
| Flow regime          | Laminar   | Turbulent (zero equation) |
| Ambient temperature  | 20°C  |                           |
| Number of iterations | 100   |                           |
| Mesh type            | Hexa unstructured   |                           |
| Mesh parameters      | Normal  |                           |
| Convergence criteria | Flow: $1.0 \times 10^{-3}$ , Energy: $1.0 \times 10^{-7}$ |                           |

은 고려하지 않았다. 유동방식은 자연대류에서는 층류, 강제대류에서는 난류 모델을 적용하였으며 특히 난류모델은 zero equation방식을 적용하였다. 강제대류에서 팬의 압력과 풍량은 각각  $32.37N/m^2$ , 0.47CMM으로 하였으며, 팬 회전속도는 최근 PC용 히트싱크의 최소 rpm 속도인 3000 rpm을 적용하였다. 프로세서(열원)로부터 히트싱크 바닥으로의 열전달은 100% 이루어진다고 가정하였으며, 모든 변수들의 유동과 에너지의 수렴기준은 각각  $1.0 \times 10^{-3}$ ,  $1.0 \times 10^{-7}$ 으로 하였다. 또한, 팬의 유량에 따른 히트싱크의 열저항 변화를 측정하기 위해 팬 유량을 0.1CMM에서 0.9CMM까지 변화시키면서 측정하였다. 열저항은 히트싱크의 성능을 표시해주는 중요한 인자로서 아래의 식에 의해 구하였다.<sup>9)</sup>

$T_c$ 는 히트싱크 베이스 온도(°C),  $T_a$ 는 주변온도(°C),  $Q$ 는 프로세서의 전력량(W)이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉각방식에 따른 웨이브 히트싱크의 열 유동 특성

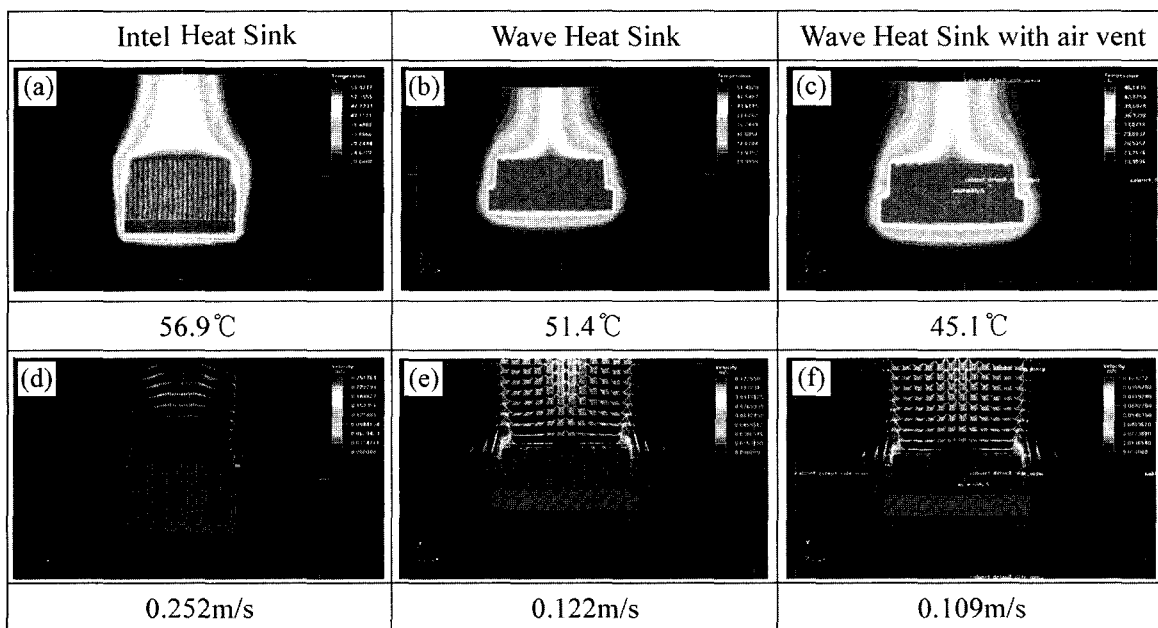
자연대류와 강제대류에서 웨이브 히트싱크의 열 유동 흐름을 알아보기 위해 전산모사를 수행하였다. 중력방향은 모두 Y방향이고 열원은 10 W이었다.

Fig. 3은 자연대류에서 열과 공기의 유동 흐름을 나타낸다. 히트싱크 주변의 온도분포는 웨이브 히트싱크가 인텔 히트싱크(56.9°C)보다 방열효과가 더 우수한 것으로 나타났다. 특히 벤트가 있는 구조에서 45.1°C로 가장 우수한 방열 효과가 나타났다. 비록 공기유동 흐름은 인텔 히트싱크에서 0.252 m/s로 가장 빠르게 나타났지만, 전체 열이 빠져나가는 유량은 웨이브 히트싱크가 더 우수하여 방열 성능은 웨이브 히트싱크가 더 효과적이었다. 또한, Table 3에 나타낸 것처럼 열저항값은 인텔과 벤트형 웨이브 히트싱크에서 각각 3.69°C/W, 2.51°C/W로 나타났다.

강제대류에서의 열 유동 흐름 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 열원은 100W로 설정하였다. 인텔 히트싱크는 베

**Table 3.** Thermal resistance values of heat sinks.

|                    | Intel Heat Sink | Wave Heat Sink | Wave Heat Sink with air vent |
|--------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| Natural convection | 3.69°C/W        | 3.14°C/W       | 2.51°C/W                     |
| Forced convection  | 0.333°C/W       | 0.571°C/W      | 0.521°C/W                    |



**Fig. 3.** Variation of heat flow in natural convection ; (a), (b), (c) temperature contours, (d), (e), (f) air flow rate.

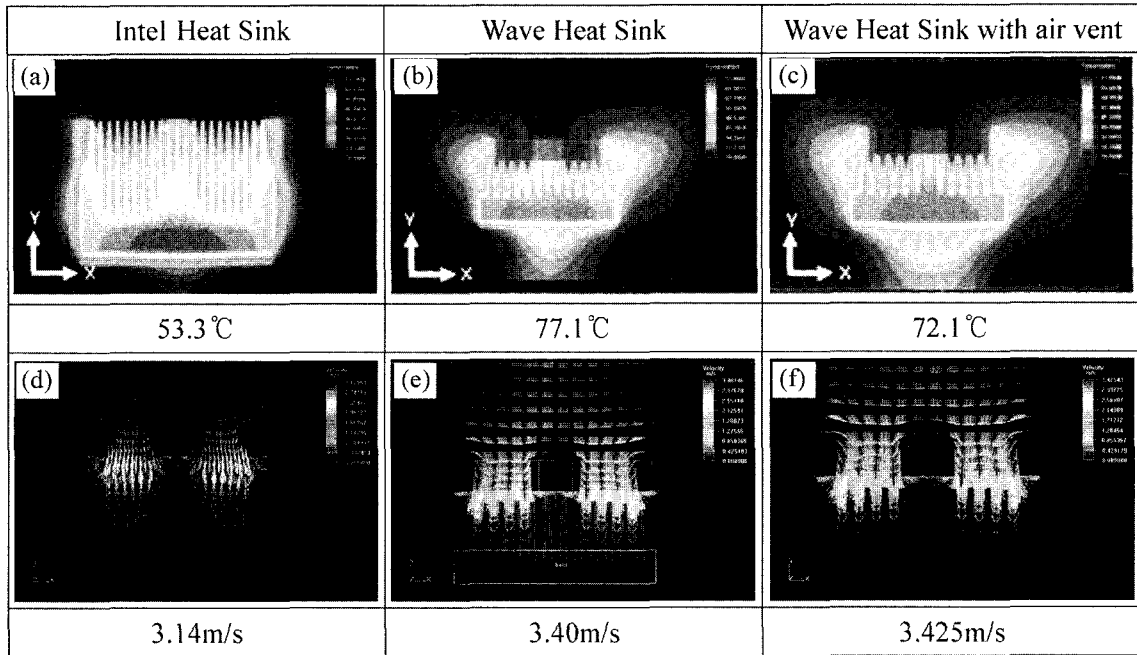


Fig. 4. Variation of heat flow in forced convection ; (a), (b), (c) temperature contours, (d), (e), (f) air flow rate.

이스 바닥면의 최고온도가 53.3°C, 웨이브 히트싱크는 벤트가 없는 구조가 77.1°C, 벤트가 있는 구조가 72.1°C였으며, 각각의 열저항값은 Table 3에서 처럼 각각 0.333°C/W, 0.571°C/W, 0.521°C/W였다. 최대 공기 유동 속도는 각각 3.14 m/s, 3.40 m/s, 3.425 m/s로 인텔 히트싱크에서 가장 느리게 나타났지만, 전체 공기 유동 흐름은 웨이브 히트싱크보다 전반적으로 빠르게 외부로 배출된다. 자연대류와는 달리 인텔 히트싱크의 방열 성능이 웨이브 히트싱크보다 더 우수하였다. 이는 웨이브 히트싱크의 삼각핀 형상은 팬에서 들어오는 냉각 공기의 흐름을 방해하는데 비해 인텔 히트싱크의 핀 형상은 냉각 공기가 베이스 중심부까지 원활하게 흐르기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 5는 강제대류 조건에서 히트싱크의 베이스 바닥면을 수직으로 자른 단면에서의 온도 분포를 나타낸다. 인텔 히트싱크(a)는 중심부에서 멀어질수록 온도가 점점

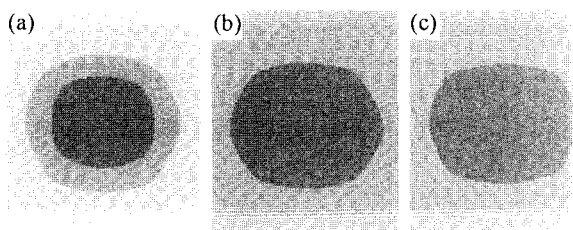


Fig. 5. Temperature contours of the bottom of base in heat sinks ; (a) intel heat sink, (b) wave heat sink and (c) wave heat sink with air vent

낮아지는데 반해 웨이브 히트싱크(b,c)는 중심부와 외곽 지역의 온도차가 적게 나타남을 볼 수 있다. 즉, 웨이브 히트싱크는 인텔 히트싱크보다 팬의 냉각 공기를 베이스 바닥면까지 충분히 전달하지 못한다. 따라서, 이를 개선하기 위해 보다 우수한 방열성능을 보인 웨이브 히트싱크의 형상을 변경하여 그 결과를 비교 ? 분석하였다.

### 3.2 중력방향 및 형상이 벤트형 웨이브 히트싱크의 열 유동 특성에 미치는 영향

Fig. 6은 벤트가 있는 웨이브 히트싱크에서 중력방향, 핀 높이와 팬 위치에 따른 자연대류와 강제대류 환경에서의 온도분포와 공기 유동 속도를 도식화한 그래프이다. 우선 자연대류(a)의 경우, 중력방향을 Y방향에서 Z방향으로 변경(1→2)하여도 온도분포는 45.1°C에서 46.5°C로 큰 변화는 없었다. 핀의 높이를 18 mm에서 36 mm로 변경(2→3)하였을 경우는 히트싱크 표면적의 증가로 온도는 41.6°C로 떨어졌으며, 또한 가장 낮은 열저항값(2.16°C/W)을 나타내었다. 공기의 유동속도는 중력방향이 Z방향(2)일 때 0.159 m/s로 가장 빨랐지만, 온도 방출에 큰 영향을 미치지 못했다. 강제대류(b)의 경우, 팬 방향을 Y축에서 Z축으로 변경(1→2)하였을 때 3.425 m/s에서 5.247 m/s로 유동속도가 급증하였지만, 온도분포는 72.1°C에서 66°C로 온도 방출 효과는 적었다. 그러나 핀의 높이를 18 mm에서 36 mm로 높여준 경우(1→3)에 유동속도는 3.425 m/s에서 3.028 m/s로 약간 감소하였지만, 온도분포는 72.1°C에서 61.7°C로 온도 방출 효과가

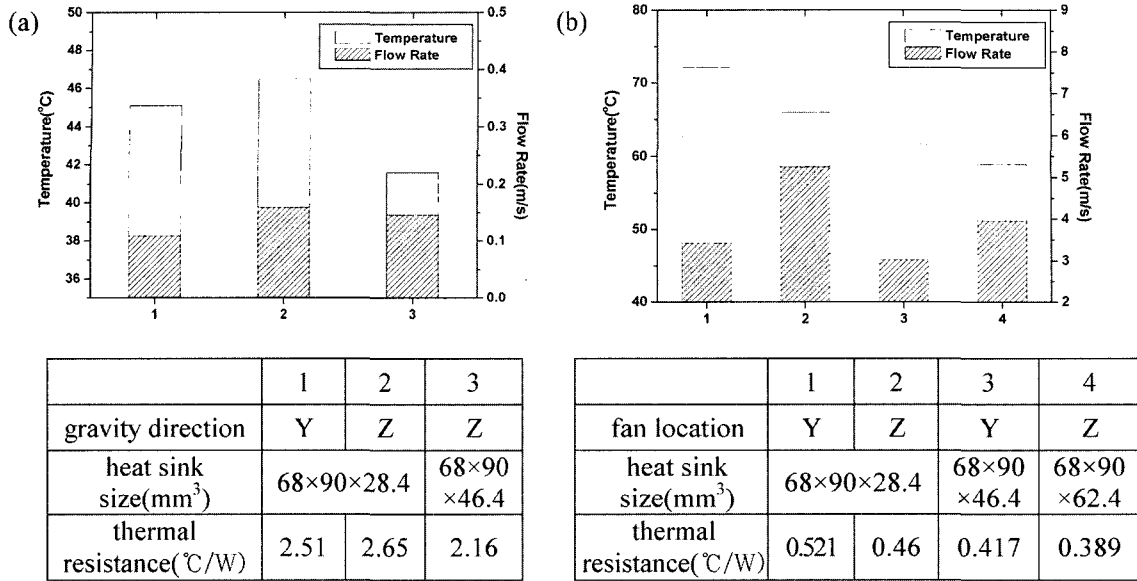


Fig. 6. Variation of heat flow and thermal resistance value with gravity direction, fan location and fin height in Wave Heat Sink with air vent; (a) natural convection and (b) forced convection.

증가하였다. 인텔 히트싱크와 전체 형상치수를 같게 해 준 경우(1→4)는 온도분포가 58.9°C로 가장 낮게 나왔으며 공기 유동 속도도 3.954 m/s로 비교적 빠른 배출 속도가 형성되었다. 한편, 강제대류에서 0.521°C/W 인 웨이브 히트싱크의 열저항값은, 팬 위치(1→2)와 핀 높이(1→3) 변경에 따라 각각 0.46°C/W와 0.417°C/W로 감소하였으며, 또한 웨이브 히트싱크의 전체 형상을 인텔 히트싱크와 같게 설계한 결과(1→4) 0.389°C/W로 보다 감소하였다.

Fig. 7은 강제대류 조건에서 공기 유량에 따른 히트싱크의 열저항 변화를 나타낸다. 웨이브 히트싱크의 열저항은 공기 유량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였

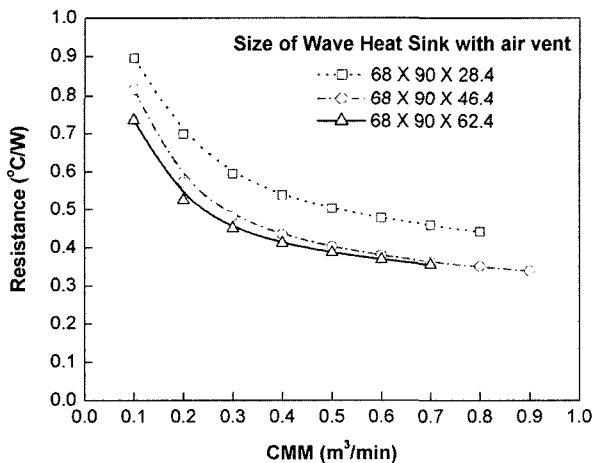


Fig. 7. Thermal resistance change with air flux in the air vent hole typed wave heat sink under the forced convection.

으며, 높은 핀 높이를 갖는 웨이브 히트싱크가 더욱 낮은 열저항값을 나타내었다.

#### 4. 결 론

새로 개발된 웨이브 히트싱크의 열특성을 분석하기 위해 자연대류와 강제대류 조건하에서 유한체적법에 의한 Icepak 프로그램을 사용하여 전산모사를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 자연대류 환경에서는 중력방향에 상관없이 벤트가 있는 웨이브 히트싱크에서 열저항값이 2.51°C/W로 가장 우수한 방열 효과가 나타났고, 핀 높이의 증가에 따라 방열효과도 증가하였다. 강제대류에서는 벤트형 웨이브 히트싱크의 열저항값이 0.521°C/W였고, 팬 위치(Y→Z)와 핀 높이(18 mm→36 mm) 변경에 따라 각각 0.46°C/W와 0.417°C/W로 감소하였다. 또한 벤트형 웨이브 히트싱크의 열저항값은 공기 유량의 증가에 따라 감소하였고, 핀 높이가 높을수록 감소하였다. 공기 유동 흐름은 자연대류와 강제대류 모두 중력방향이 Y축보다 Z축에서 더 빠른 유동 속도가 나타났고, 핀 높이 증가에 따라 유동 속도는 감소하였다.

#### 참 고 문 헌

1. B. Gromoll, IEEE-Proceedings of the Comp. Euro 1992, 304 (1992).
2. G. P. Peterson and A. Ortega, Thermal Control of Electronic Equipment and Devices, Vol. 20, p.181, James P. Hartnett, Academic Press, San Diego, (1990).

3. A. Bar-Cohen and A. D. Kraus, *Advances in Thermal Modeling of Electronic Components and Systems*, Vol. 2, p.41, ASME Press Series, New York, (1990).
4. M. Pecht, *Handbook of Electronic Package Design*, p40, Marcel Dekker, Inc., New York, (1990).
5. S. Y. Yang, *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, **29**(6), 90 (2000).
6. A. Shah, B. Sammakia and H. Srihari, *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, The Eighth Intersociety Conference on Thermal Phenomena, 298 (2002).
7. Y. H. Kim and G. H. Rhee, *J. of the Institute of Information and Technology*, **5**, 8 (2003).
8. M. C. Yang, *Seventeenth Annual IEEE Symposium*, 102 (2001).
9. H-C. Chien, M-H. Tseng, C-Y. Wang and C-H. Chu, *Seventeenth Annual IEEE Symposium*, 20 (2001).