

# 자연대류상의 하이브리드 흰 히트싱크의 열특성에 대한 수치적 연구

김경준<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2012년 11월 16일, 원고접수일 : 2012년 12월 13일, 심사완료일 : 2012년 12월 31일)

## Numerical study on the thermal behavior of a natural convection hybrid fin heat sink

Kyoung Joon Kim<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문은 자연대류상에서 냉각되는 하이브리드 흰 히트싱크(Hybrid Fin Heat Sink, HFH)의 열특성에 대한 수치연구결과를 보고한다. HFH는 평판흰이 결합된 내부유로가 있는 핀 흰으로 이루어진 하이브리드 흰으로 구성된다. HFH의 열성능은 상용 CFD 소프트웨어를 이용하여 수치적으로 연구되었고 핀 흰 히트싱크(Pin Fin Heat Sink, PFH)의 열성능과 비교되었다. 수치연구결과를 통해 HFH의 베이스면적기반, 질량기반 열전달계수가 PFH 보다 각각 12%, 37% 우수함을 발견했다. 증대된 표면적과 가벼운 무게는 PFH보다 우수한 HFH의 열성능을 설명할 수 있다.

**주제어:** 하이브리드 흰 히트싱크, 경량, 자연대류, 열성능

**Abstract:** This paper reports numerical study results with respect to the thermal behavior of a natural convection cooled hybrid fin heat sink (HFH). The HFH consists of hybrid fins, hollow pin fins integrated with plate fins. The thermal performance of the HFH was numerically investigated by employing a commercial CFD software package and compared with that of the pin fin heat sink (PFH). Numerical study has found that array-based and mass-based heat transfer coefficients of the HFH are 12% and 37% greater than those of the PFH, respectively. Extended surface area and lighter weight may explain the better thermal performance of the HFH than the PFH.

**Keywords:** Hybrid fin heat sink, Light weight, Natural convection, Thermal performance

### 1. 서론

자연대류상에서 열성능이 우수한 전자 및 광전 장치 냉각용 히트싱크를 개발하고자 다수의 연구가 이루어졌다. 대표적인 연구로 고전적 흰 형태를 갖는 플레이트 흰, 핀 흰 히트싱크의 열성능을 최적화하는 방안에 대한 연구가 있었지만[1][2], 다른 형상의 흰들로 이루어져 각각의 장점을 접목할 수 있는 복합 흰 형태의 히트싱크에 대해 보고된 연구결과는 발견하기가 곤란하다.

히트싱크의 무게가 증가할수록 히트싱크 제조에 소모되는 소재량은 증가하고, 제조와 운용상에서 에너지소비는 증가하게 되어, 냉각에 요구되는 자본비용과 운영비용이 모두 증가하게 된다[3]. 따라서 자연대류상의 수동적 냉각조건에선 히트싱크의 무게가 가벼울수록 바람직하다. 최근에 가벼운 히트싱크 개발에 대한 연구가 다수 보고되었고 연구에 대한 관심도가 증가하고 있다[3]-[5].

본 연구에선 가볍고, 자연대류상에서 열성능이

<sup>†</sup> 교신저자:(608-739) 부산광역시 남구 신선로 365,  
부경대학교 기계자동차공학부, E-mail: kjkim@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6168

우수하고, 에너지 효율적인 히트싱크 개발 목적으로 고안된 하이브리드 핀 히트싱크의 (Hybrid Fin Heat Sink, HFH) 열성능에 대한 수치적 연구가 수행되었다. 하이브리드 핀(HF) 플레이트 핀들과 내부유로가 존재하는 핀 환이 결합된 이중 환이고 HFH는 HF들의 배열로 구성된다.

본 논문에서는 HFH의 물리적 구조에 대해서 설명하고, HFH의 CFD 모델과 해석 방법에 대해서 논하며, CFD 분석으로 예측된 HFH와 핀 환 히트싱크의(Pin Fin Heat Sink, PFH) 열성능을 히트싱크 베이스면적기준 열전달계수(array-based heat transfer coefficient)와 질량기준 열전달계수(mass-based heat transfer coefficient)로 나타내어 비교 분석하고, HF의 열성능에 대한 경사각 효과의 분석 결과에 대해 논한다.

## 2. 하이브리드 핀 히트싱크

Figure 1이 보여주고 있는 것처럼 HFH는 내부 유로가 있는 핀 환에 플레이트 환이 결합된 HF의

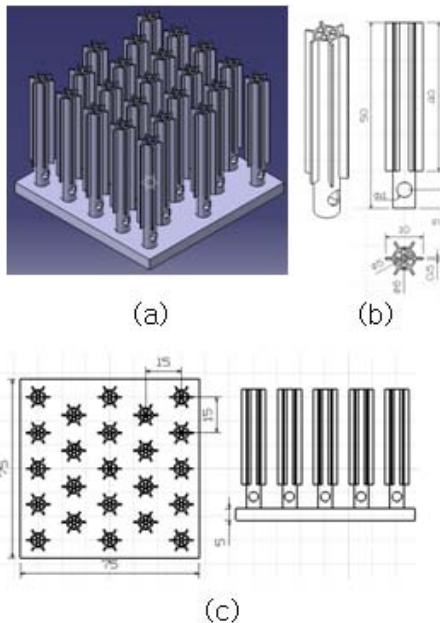


Figure 1: (a) a 3-D schematic of a HFH (b) a schematic of a HF (c) a 2-D schematic of a HFH

배열로 구성된다. HF의 길이는 50mm, 내부직경은

5mm, 환 두께는 0.5mm, 플레이트 환의 길이와 폭은 각각 40mm,10mm 이다. 환 공간은 15mm이고, 히트싱크 베이스 면적은 75mm × 75mm이며, 히트싱크 베이스 두께는 5mm이다. 비교대상인 PFH의 물리적 구조는 선행 연구논문[6]에서 참조할 수 있다.

## 3. CFD 모델

HFH의 열특성을 분석하기 위해 상용코드인 ANSYS CFX를 사용하여 HFH의 CFD모델이 개발되었고, 모델에는 약 120만개의 격자가 포함되었다. 공기유동은 비압축, 정상유동으로 가정되었고, 이때 모델의 지배방정식은 연속방정식 (1), 운동량 방정식 (2),에너지 방정식 (3)으로 다음과 같다[7].

$$\frac{\partial u_k}{\partial x_k} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ -p\delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \rho u_j \left( h + \frac{1}{2} u_i^2 \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = 0 \tag{3}$$

여기서  $u_k$ 는 속도 (m/s),  $x_k$ 는 직각좌표계에서의 방향(m),  $\rho$ 는 밀도( $\text{kg/m}^3$ ),  $p$ 는 압력(Pa),  $\delta_{ij}$ 는  $i=j$ 이면 1이고 그 외엔 0,  $\mu$ 는 점성계수( $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ),  $g_i$ 는 중력가속도( $\text{m/s}^2$ ),  $h$ 는 엔탈피( $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ),  $k$ 는 열전도율( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ),  $T$ 는 온도(K)를 지칭한다.

CFD 모델의 경계조건은 Figure 2에서 보여지는

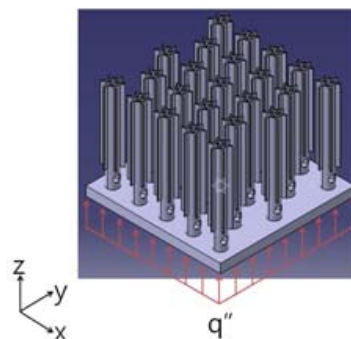


Figure 2: Boundary conditions of a CFD model

것처럼 히트싱크 베이스 아랫면에서 균일 열유속으로 간단명료하고, 중력의 방향은 음의 Z 방향이다. CFD 모델에 대해 더 상세한 설명은 선행연구 논문에서[4] 참조할 수 있다.

## 4. 열성능

### 4.1 온도장

Figure 3은 열율이 30W이고 공기온도가 25°C 일 때 CFD 모델에 의해 계산된 HFH와 PFH의 온도장을 보여주고 있다. HFH의 최대온도가 PFH의 최대온도보다 7% (7.2°C) 낮음을 보여주는데 이는 기본구조에서 HFH의 열성능이 PFH보다 우수함을 의미한다.

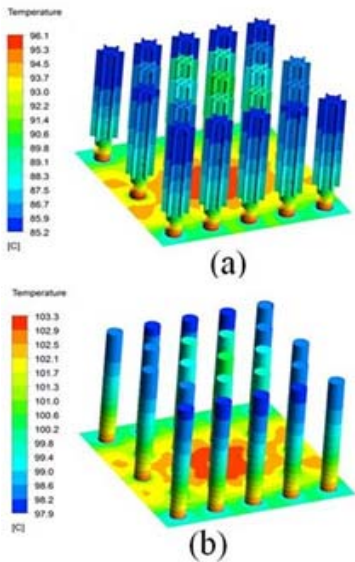


Figure 3: Temperature fields of (a) a HFH and (b) a PFH

### 4.2 열전달계수

HFH의 열성능을 다수의 열율에 대해서 계산하였고 PFH의 계산된 열성능과 비교하였다. 열성능 해석을 위하여 열전달계수를 사용하였는데  $h_a$ 는 히트싱크 베이스 면적에 기반한 열전달계수,  $h_m$ 은 히트싱크 질량에 기반한 열전달계수이고 다음의 두 식으로 정의된다.

$$h_a = \frac{q}{A_b(T_b - T_{air})} \quad (4)$$

$$h_m = \frac{q}{m(T_b - T_{air})} \quad (5)$$

여기서  $q$ 는 열율(W),  $A_b$ 는 히트싱크 베이스 면적( $m^2$ ),  $T_b$ 는 히트싱크 베이스 온도(K),  $T_{air}$ 는 공기온도(K),  $m$ 은 히트싱크의 질량(kg)이다.

Figure 4와 5는 자연대류상에서 다양한 열율에 대하여 CFD 모델을 적용하여 계산된 HFH와 PFH의  $h_a$ 와  $h_m$ 과 Aihara 상관식을[1] 적용하여 예측된 PFH의  $h_a$ 와  $h_m$ 을 보여준다.

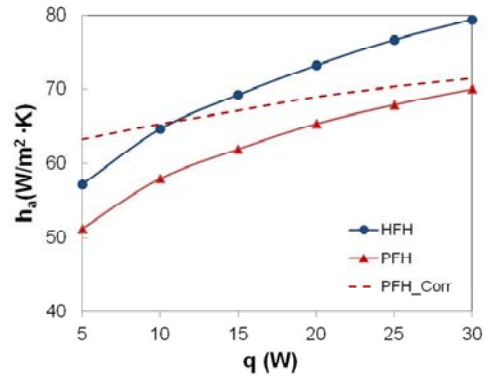


Figure 4: Predicted array-based heat transfer coefficient,  $h_a$ , of a HFH and a PFH as a function of heat rates,  $q$

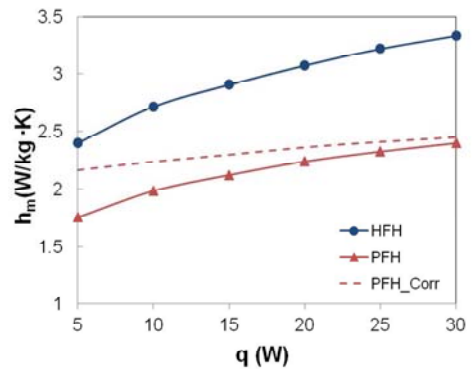


Figure 5: Predicted mass-based heat transfer coefficient,  $h_m$ , of a HFH and a PFH as a function of heat rates,  $q$

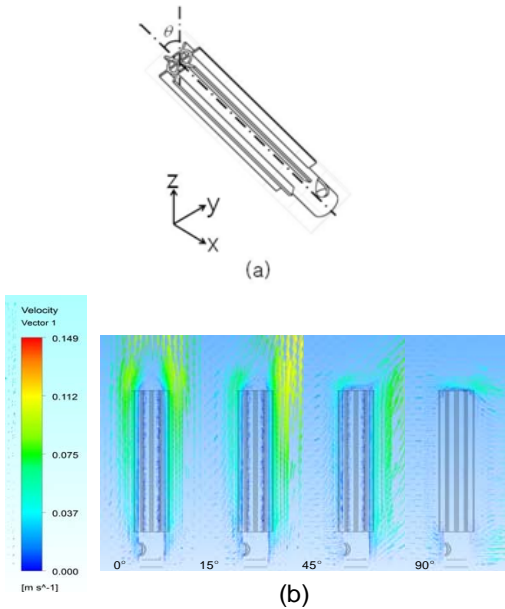
CFD 해석에 의해 예측된 HFH와 PFH의  $h_a$ 는 각

각  $57.2 \sim 79.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ,  $51.2 \sim 70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 이고  $h_m$ 은 각각  $2.4 \sim 3.3 \text{ W/kg} \cdot \text{K}$ ,  $1.8 \sim 2.4 \text{ W/kg} \cdot \text{K}$ 이다. CFD 해석에 의해 예측된 PFH의  $h_a$ ,  $h_m$  값은 Aihara 상관식에 의한 예측 값보다 평균 9.3% 작지만, CFD 와 상관식 결과는 유사한 경향을 보인다.

열율이 증가할수록  $h_a$  값은 증가하는데 열율증가에 의한 히트싱크 주변 공기온도의 증가에 따른 부력효과의 증대에 기인한다. HFH의  $h_a$  와  $h_m$  값은 PFH보다 약 12%, 37% 크다. HFH의 내부유로와 장착된 평판 환에 의한 표면적 증대와 무게감소는 HFH의 열성능이 PFH보다 우수함을 설명할 수 있는 인자이다. 본 연구의 분석 대상인 HFH는  $0.134 \text{ kg}$ , PFH 는  $0.164 \text{ kg}$  으로 HFH가 18.3% 가볍다. PFH 대비 HFH 의 무게감소는 내부 유로를 갖고 있는 HF의 특수한 구조에 기인하며 이는 Figure 1에 잘 나타나 있다.

### 4.3 경사각 효과

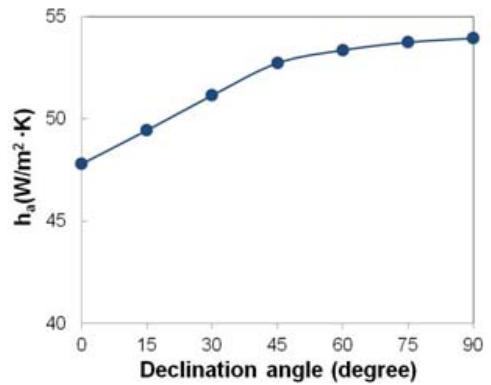
Figure 6은 HF의 경사각정의와 HF에서의 공기유동의 속도장에 대한 경사각 영향을 보여준다.



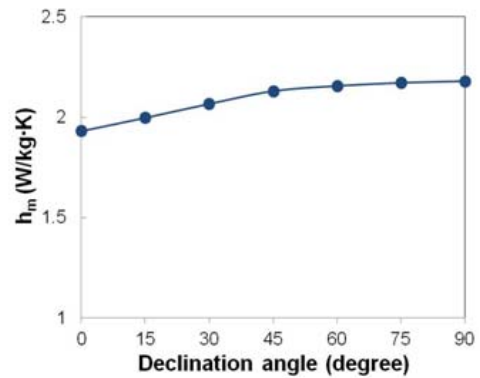
**Figure 6:** (a) A declination angle of a HF between the symmetry axis of the fin and the axis of the gravity (b) velocity fields of the air flow in a HF at various declination angles

여기에서 경사각은 HF의 중심축이 중력축과 이루는 각을 지칭하며  $90^\circ$ 의 경사각은 HF가 지면과 평행하게 놓인 상태를 의미한다.

Figure 7과 8은 CFD 모델을 적용하여 예측한  $h_a$  와  $h_m$ 을 경사각의 함수로 보여준다. 경사각의 증가에 따라  $h_a$ 는  $47.8$  부터  $53.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  까지,  $h_m$  은  $1.9$  부터  $2.2 \text{ W/kg} \cdot \text{K}$  까지 변한다.



**Figure 7:** Predicted array-based heat transfer coefficients,  $h_a$ , of a HF as a function of declination angles



**Figure 8:** Predicted mass-based heat transfer coefficients,  $h_m$ , of a HF as a function of declination angles

경사각의 증가에 따라  $h_a$ 와  $h_m$ 은 증가하여 각각 경사각이  $90^\circ$ 일 때  $0^\circ$ 일 때 보다 약 13%, 16% 더 크다. 경사각의 증가에 따르는  $h_a$ 와  $h_m$ 의 증대는 경사각이 커질수록 공기 plume의 형성이 HF의 외부 표면적으로부터 방출되는 열율을 증가시키도록 이

루어지기 때문으로 보인다.

## 5. 결 론

본 논문은 내부유로가 있는 핀 흰과 평판 흰으로 구성되는 하이브리드 흰 히트싱크(HFH)에 대한 자연대류상의 열성능을 CFD 모델로 해석한 결과에 대해 논한다. 다양한 열율에 대한 HFH의 열성능을 히트싱크 베이스 면적과 히트싱크 질량에 대한 열전달계수인  $h_a$ ,  $h_m$ 으로 분석하였고 핀 흰 히트싱크(PFH)와 비교하였다. 또한 경사각이 하이브리드 흰의  $h_a$ ,  $h_m$ 에 미치는 영향도 분석하였다.

분석결과는 자연대류상에서 열율의 증가에 따른 공기필름온도의 증가로 인한 부력효과의 증대로  $h_a$ ,  $h_m$ 은 열율에 따라 증가함을 보여준다. HFH의  $h_a$  와  $h_m$  값은 PFH보다 약 12%, 37% 우수함을 분석결과는 보여주는데, 내부유로와 장착된 평판 흰에 의한 표면적 증대와 무게감소가 PFH보다 우수한 열성능을 설명할 수 있다. 경사각의 증가에 따라  $h_a$ 와  $h_m$ 은 증가하는데, 이는 경사각이 커질수록 공기 plume이 HF의 외부표면적으로부터 방출되는 열율을 증가시키기 적합한 형태로 형성되기 때문으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 2011년 부경대학교 신입교수 연구력 강화 지원 사업으로 수행된 연구결과이다.

## 참고문헌

- [1] T. Aihara and S. Maruyama, "Free convective/radiative heat transfer from pin-fin arrays with a vertical base plate (general representation of heat transfer performance)", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 33, no. 6, pp. 1223-1232, 1990.
- [2] W. A. Khan, J. R. Culham, and M. M. Yovanovich, "Optimization of pin-fin heat sinks using entropy generation minimization", *Proceedings of the 9th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermo*

*Mechanical Phenomena in Electronic Systems*, pp. 259-267, 2004.

- [3] R. Bahadur and A. Bar-Cohen, "Thermal design and optimization of natural convection polymer pin fin heat sinks", *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 28, no. 2, pp. 238-246, 2005.
- [4] E. A. M. Elshafei, "Natural convection heat transfer from a heat sink with hollow / perforated circular pin fins", *Energy*, vol. 35, no. 7, pp. 2870-2877, 2010.
- [5] T. Icoz and M. Mehmet, "Light weight high performance thermal management with advanced heat sinks and extended surfaces," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 33, no. 1, pp. 161-166, 2010.
- [6] H. Kim, K. J. Kim, and Y. Lee, "Thermal performance of smart heat sinks for cooling high power LED modules", *Proceedings of the 13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, pp. 62-67, 2012.
- [7] K. A. Hoffmann and S. T. Chiang, *Computational Fluid Dynamics Volume I*, (3rd ed.), Engineering Education System, 1998.