대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집 pp. 1172 ~ 1176

09-S-207

원형 히트싱크의 자연대류 해석

유 승 환, 이 관 수†

한양대학교 기계공학과

Analysis of Natural Convection around Radial Heat Sink

Seung-Hwan Yu, Kwan-Soo Lee†

School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

ABSTRACT: In the present study, natural convection over a heat sink with a horizontal circular base and rectangular fins was numerically analyzed. To calculate natural convection heat transfer, the assumptions of ideal gas and laminar flow were made for air. Flow patterns around the heat sink were chimney-like. The resultant temperature distribution on the circular base appeared almost uniform. Parametric studies were performed to compare the effects of fin length, fin height, the ideal number of fins, and heat flux on the average temperature of a heat sink and the average heat transfer coefficient from the heat sink array. Correlation to predict the average Nusselt number was presented.

Key words: Natural Convection(자연대류), Heat Sink(히트 싱크), Circular Base(원형 평판)

기 호 설 명

b : 휜 사이 간격 [mm]
c_p : 열용량, J/kgK
H : 휜 높이 [mm]
h : 열전달 계수, W/m^2K
k : 열전도 계수, W/mK
L : 휜 길이 [mm]
M_w : 분자량
Nu : Nusselt Number, hL/k
q : 열유속, W/m^2
R_c : 분자기체상수
Ra^* : 수정 Rayleigh Number, $\frac{\rho^2 g\beta cp\pi(r_o^2 - r_i^2)qL^3}{\mu Lk^2}$
r : 반지름 [mm]
T : 온도 [°C]
t : 휜 두께 [mm]
u : x 성분 속도, m/s
v : y 성분 속도, m/s
w : z 성분 속도, m/s

그리스 문자

β : 열확산 계수, 1/K
μ : 점성 계수, N/m^2s
ρ : 밀도, kg/m^3
Θ : 휜 사이 각도 [°]

하첨자

a : 외부
avg : 평균
f : 유체 (공기)
s : 고체 (히트 싱크)

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2220-0426; fax: +82-2-2295-9021
E-mail address: ksleehy@jhanyang.ac.kr

1. 서 론

최근 전자기기의 소형화 및 고출력화로 인하여 많은 열이 발생하고 있다. 이를 해결하기 위하여 여러 힛싱크가 개발되어 왔고, 그 중에서 자연대류를 이용한 힛싱크는 단순, 저소음, 장수명, 무전력의 장점을 가지고 있다. 자연대류 힛싱크의 일반적인 형태는 사각형 베이스에 휜이 달린 형상이다. 하지만 이러한 사각 힛싱크를 활용하기 위해서는 제품의 모양이 제한될 수 밖에 없다. 따라서 보다 다양한 형태의 제품에 적용하기 위하여 여러 형태의 힛싱크의 연구가 필요한 실정이다.

현재까지 자연대류 힛싱크에 관한 연구를 살펴보면, 대부분의 연구는 사각 베이스에 사각휜 또는 핀휜이 달린 자연대류 힛싱크에 대해 실험[1, 2] 및 수치해석[3]을 통하여 수행되었다. 위 연구들은 사각 힛싱크의 다양한 형상 인자와 온도차이가 평균 열전달 계수에 미치는 영향을 분석하였고, 무차원화된 상관식을 제안하였다. 하지만 위에서 언급한 대부분의 힛싱크 베이스의 모양이 사각 형태로 국한되어있기 때문에 다양한 형상에 적용하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 힛싱크 베이스의 모양이 기존의 사각형상이 아닌 원형 모양의 힛싱크에 대한 자연대류를 연구하고자 한다. 원형 베이스와 사각휜으로 구성된 힛싱크 주위의 자연대류를 수치적으로 해석하였고, 힛싱크 주위에서의 공기의 유동 형태와 온도 분포를 살펴보았다. 휜의 개수, 길이, 높이, 열유속을 인자로 하여 힛싱크의 평균 온도 및 평균 열전달 계수의 변화를 살펴보았다. 마지막으로 힛싱크 형상, 발열량을 이용하여 평균 열전달 계수를 예측할 수 있는 상관식을 제시하였다.

2. 이 론

본 연구의 해석대상은 Fig. 1.과 같이 원형 베이스와 사각 휜으로 구성되었다. 휜은 방사형으로 균일한 각도로 배치되었으며, 힛싱크 베이스는 지면과 수평이다. 작동유체는 공기이며, 힛싱크 재질은 알루미늄이다. 위 두 물성치는 Table 1에 표기 하였다.

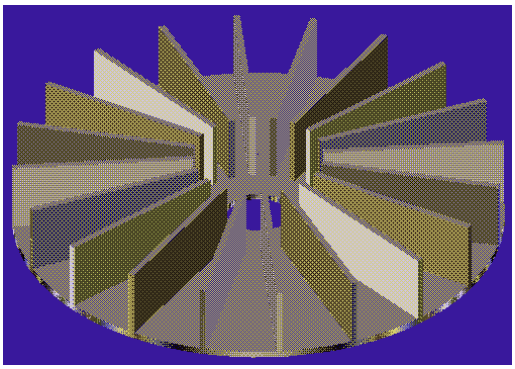


Fig. 1 Schematic of Heat Sink

2.1 지배 방정식

본 연구 대상을 수치해석으로 계산하기 위한 도입한 가정은 다음과 같다.

(1) 외부 공기의 유동은 3차원 정상상태, 층류, 비압축성 유동이다.
(2) 작동 유체 (공기)의 물성치(밀도 제외)는 일정하다.
(3) 공기의 밀도는 이상기체라 가정하고 계산한다.
(4) 힛싱크에서 발생하는 복사 열전달은 무시한다.

수치해석시 이용한 지배방정식은 아래와 같다.

연속 방정식

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

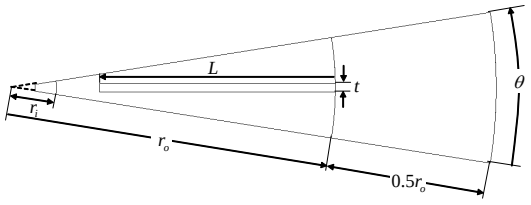
운동량 방정식

$$\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho uv)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho uw)}{\partial z}= -\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \qquad (2)$$

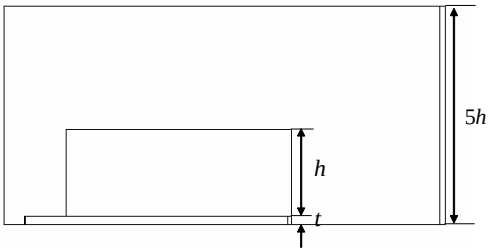
$$\frac{\partial(\rho vu)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho vv)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho vw)}{\partial z}= -\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)+g(\rho-\rho_a) \qquad (3)$$

Table 1 Properties of air and heat sink

Material	c_p	μ	k	ρ
Air	1005.6	1.834×10^{-5}	2.643×10^{-5}	1.164
Heat Sink	2719	-	202.4	891



(a) Top view



(b) Side veiw

Fig. 2 Computational domain and dimensions

$$\frac{\partial(\rho wu)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho wv)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho ww)}{\partial z}= \quad (4)$$
$$-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)$$

2.2 경계 조건

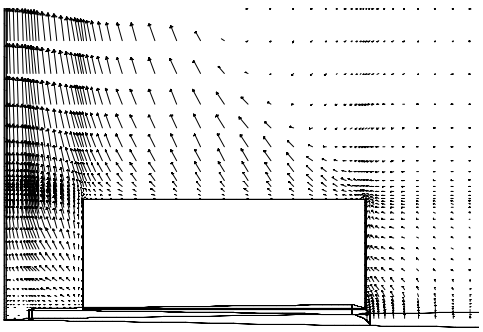
해석 대상은 같은 형상이 반복되기 때문에 격자 수와 계산 시간을 고려하여 Fig. 2.와 같이 전체 힛싱크 형상 (20 개의 휜 모델 기준)의 1/20 ($0^o \le \Theta \le 18^o$)만 계산하였고, 다음과 같은 경계조건을 사용하였다.

(1) 힛싱크 베이스 : 균일 열유속
(2) 대칭 경계면 (fluid) : 주기 조건
(3) 대칭 경계면 (solid) : 대칭 조건
(4) 그외 유체 외곽 면 : 압력 조건
(5) 유체와 고체의 경계면 :

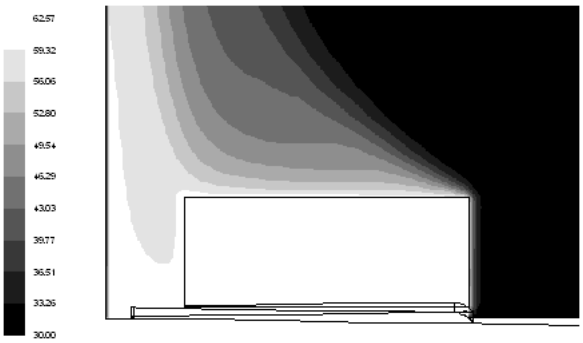
$$T_{f,wall}=T_{s,wall},\ k_f\frac{\partial(T_s)}{\partial\eta}\bigg|_{wall}=k_s\frac{\partial(T_s)}{\partial\eta}\bigg|_{wall} \quad (5)$$

2.3 수치해석 방법

수치해석 시 압력과 속도를 결합하여 유동장을 풀기 위해 SIMPLE 알고리즘을 선택하였다. 각 지배방정식의 대류항과 에너지 방정식은 그 정확도를 높이기 위해 2 계 상류도식을 이용하여 이산화하였다. 반복 계산 시 종속 변수들의 수렴



(a) velocity vector



(b) Temperature contour

Fig. 3 Thermo-flow around the heat sink (Θ=9°, q=700 W/m^2, T_a=30°C)

정도는 종속 변수의 상대 오차의 최대값이 모든 지배방정식의 10^{-5} 이하일 때 수렴된 것으로 판정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

힛싱크 주변의 온도장과 유동장을 수치해석을 통하여 살펴보았고, 휜 길이, 높이, 열 유속, 휜 개수의 변화가 힛싱크 온도에 미치는 영향을 파악하였다. 그리고 열유속, 휜 형상인자로 힛싱크 열전달 계수를 예측할 수 있는 상관식을 제시하였다.

3.1 유동장 및 온도장 분석

Fig. 3.은 휜 개수가 20개, r = 75 mm, L = 55 mm인 힛싱크 주변의 유동장과 온도장을 나타낸 것이다. 전체적인 유동의 흐름은 힛싱크 외곽에서 냉각 공기가 힛싱크 중심으로 유입되고, 힛싱크 안쪽으로 들어온 냉각 공기는 고온의 힛싱크

Table 2 Dimensions of reference model

r_o	r_i	L	t	H	q
70	10	55	2	21.3	700

에 의해서 온도가 상승함에 따라 밀도가 주변 공기보다 낮아져 상승하게 된다. 이러한 유동의 형태는 일반적으로 굴뚝 형태 (chimney pattern)라고 한다.

3.2 인자영향도 분석

힛싱크 휜 개수, 길이, 높이, 방열량에 따라 힛싱크 평균온도와 평균 열전달 계수에 대한 영향력을 파악하였다. 인자 영향도 수행 시 기준 모델의 형상 및 발열량 조건은 Table 2와 같다. 힛싱크의 온도 분포는 알루미늄의 열전도 계수가 크기 때문에 힛싱크 평균 온도를 기준으로 정했다.

Fig. 4.는 휜 개수의 변화에 따른 인자 영향도를 도시한 그림이다. 일반적으로 휜 개수가 증가하면 평균 열전달 계수는 감소한다. 그 이유는 휜의 개수가 증가할수록 냉각공기의 입구 면적이 줄어들어 공기의 유량이 줄어들고, 냉각 공기가 안쪽으로 갈수록 빠르게 온도가 상승하여 휜과 온도차이가 작아져 열전달이 감소하기 때문이다. 하지만 열전달 계수의 감소에 비해 휜 개수가 늘어남에 따라 전열면적의 증가가 더 크기 때문에 휜의 개수가 36개 이하일 때에는 힛싱크의 평균 온도는 감소한다. 하지만 휜 개수가 36개 이상이 되면 방열면적에 비해 열전달 계수가 상대적으로

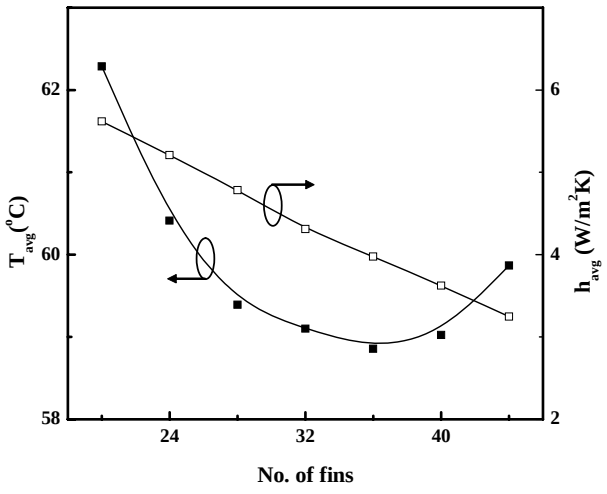


Fig. 4 The effect of number of fin

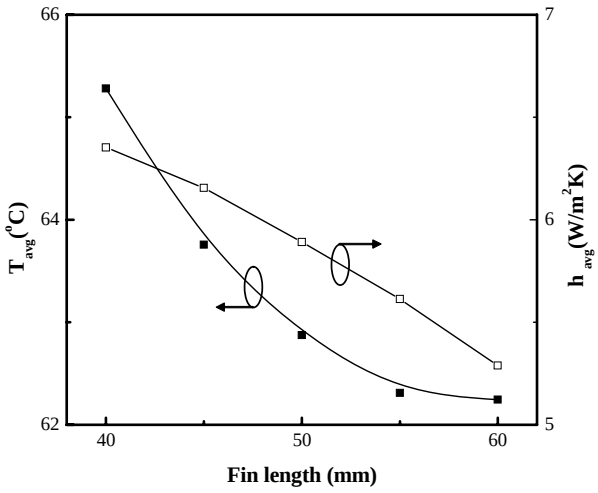


Fig. 5 The effect of fin length

낮아져 힛싱크의 평균온도는 상승하게 된다. 따라서 이러 한 휜 형상에서는 힛싱크의 온도를 낮추기 위한 최적 휜 개수가 존재한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.는 휜 길이에 따른 평균 온도와 열전달 계수의 변화를 나타낸 것이다. 휜 길이가 증가할수록 힛싱크의 평균온도는 감소하게 된다. 하지만 휜 길이가 55mm 이상이 되면 힛싱크의 평균 온도는 더 이상 감소하지 않는다. 그 이유는 힛싱크의 중심부로 갈수록 휜 온도와 공기의 온도가 거의 비슷해지기 때문이다. 따라서 휜 길이가 증가할수록 전열면적은 증가하지만, 총 열전달량은 힛싱크 중심부 쪽에 분포하는 과열 공기에 의해 크게 변화하지 않아서 평균 열전달 계수는 감소하게 된다.

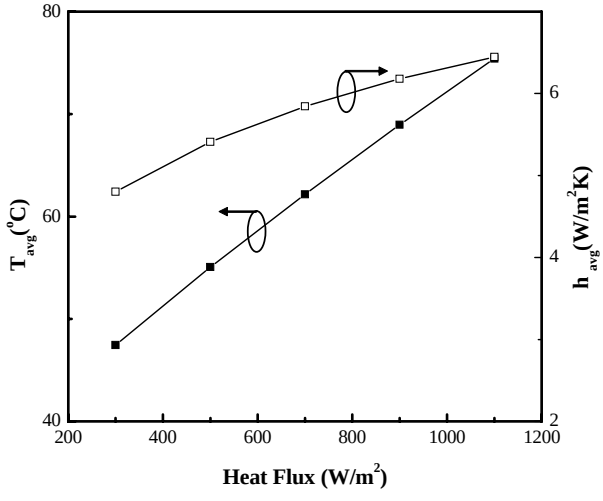


Fig. 6 The effect of heat flux

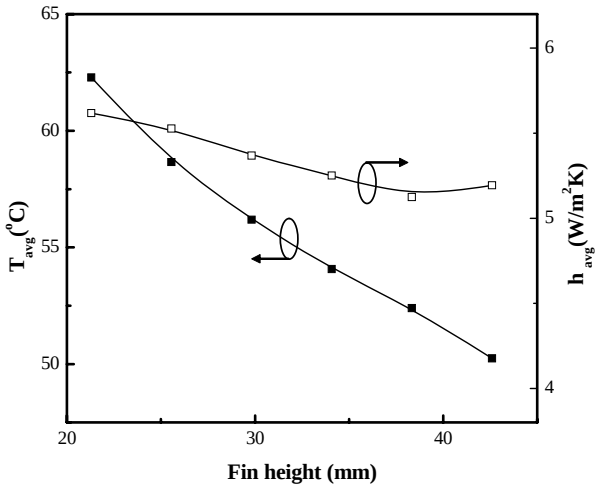


Fig. 7 The effect of fin height

Fig. 6.은 발열량에 따른 변화를 나타낸 그림이다. 발열량이 커질수록 평균온도와 열전달 계수는 선형적으로 증가한다. 공기의 평균 온도의 상승 때문에 힛싱크 윗 부분으로 나가는 공기의 출구 속도는 증가하고, 안쪽의 공기를 채우기 위해서 힛싱크 외곽쪽에서 들어오는 공기의 유량은 증가하게 된다. 따라서 자연대류 효과가 커져 힛싱크의 자연대류 열전달 계수는 증가하게 된다.

마지막으로 Fig. 7.은 휜 높이에 따른 영향을 도시하였다. 전열면적은 휜 높이의 증가에 따라 비례하여 증가한다. 하지만 공기의 유입속도는 크게 변하지 않기 때문에 열전달 계수의 변화는 상대적으로 작게 나타난다. 따라서 휜 높이가 증가할수록 전열면적이 증가함으로 힛싱크 평균온도는 일정하게 감소한다.

3.3 열전달 상관식

인자 영향도 분석 결과 휜 길이, 개수, 발열량이 평균 열전달 계수에 대한 영향력이 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 힛싱크 형상 인자 및 발열량을 인자로 평균 열전달 계수를 계산할 수 있는 상관식을 도출하였다. 각각 인자의 범위는 21.3 mm ≤h≤63.9 mm, t = 2 mm, 20≤n≤40, 0 mm≤Δr≤27 mm, 40 mm≤L≤ mm, 300 W/m^2≤q≤1100 W/m^2 이다.

$$Nu = 0.195 Ra^{*0.263} \left(\frac{n b_{avg}}{H}\right)^{1.35} \left(\frac{r_o}{L}\right)^{0.444} \left(\frac{r_o}{b}\right)^{-0.142} \left(\frac{r_o}{H}\right)^{-1.4} \quad (7)$$

여기서,

$b_{avg} = [(2\pi r_o/n-t)+(2\pi(r_o-L)/n-t)]/2$,

$N = h_{avg} L/k$ 이다.

위 상관식은 수치해석 데이터와 비교하였을 때 오차는 10프로 내외로 열전달 계수를 비교적 정확하게 예측할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 원형 베이스와 사각 휜으로 구성된 힛싱크 주위의 공기의 자연대류 유동을 수치적으로 해석하였다. 일반적인 유동 형태는 힛싱크의 바깥에서 안쪽으로 냉각공기가 유입된 후 고온의 힛싱크에 의하여 가열되어 위로 상승하는 굴뚝 형태를 나타났다. 휜의 개수, 길이, 높이, 열유속을 인자로 하여 힛싱크 평균온도 및 평균 열전달 계수의 변화를 살펴보았다. 휜의 개수, 휜 길이, 휜 높이가 증가할수록 평균 온도 및 열전달 계수는 감소하였고, 열유속이 증가할수록 평균온도와 평균 열전달 계수는 선형적으로 증가하였다. 힛싱크 형상, 열유속을 이용하여 평균 열전달 계수를 본 연구에서 제시한 무차원 상관식을 통하여 계산할 수 있다.

참고문헌

1. Starner, K.E. and McManus, H.N., 1963, An experimental investigation of free convection heat transfer from rectangular fin arrays, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 85, pp. 273-278.
2. Harahap, F. and Rudianto, E., 2005, Measurements of steady-state heat dissipation from miniaturized horizontally-based straight rectangular fin arrays, Heat and Mass Transfer, Vol. 41, pp. 280-288.
3. Dialameh, L., Yaghoubi, M., and Abouali, O., 2008, Natural convection from an array of horizontal rectangular thick fins with short length, Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 2371-2379.