

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.5.339>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

천공과 유동 가이드를 활용한 방사형 히트싱크의 자연대류 열전달 향상에 관한 연구

전소라* · 이 빈* · 변 찬*†

* 영남대학교 기계공학부

Study on the Natural Convection Heat-Transfer Enhancement in Radial Heat Sink Using the Perforation and Flow Guide

Sora Jeon*, Bin Li* and Chan Byon*†

* School of Mechanical and Engineering, Yeungnam Univ.

(Received January 4, 2016; Revised March 11, 2016; Accepted March 20, 2016)

Key Words: Chimney(침니), Flow Guide(유동 가이드), Natural Convection(자연 대류), Perforation(천공), Radial Heat Sink(방사형 히트싱크)

초록: 본 연구에서는 천공과 유동 가이드를 활용한 방사형 히트싱크의 자연대류 열전달 향상에 관해 수치적으로 탐구하였다. 천공과 침니 기반의 유동 가이드를 활용한 개선된 형상의 방사형 히트싱크의 성능을 평가하고, 기존의 방사형 히트싱크와 열 성능을 비교하였다. 연구 결과, 천공형 히트싱크는 연구 범위 내에서 천공의 개수와 직경이 클수록 열 성능이 좋아짐을 알 수 있었다. 침니 기반의 유동 가이드를 활용한 히트싱크에 대해서는, 핀의 개수, 침니와 바닥면 사이의 거리의 영향을 분석하였다. 그 결과 핀의 개수와 침니와 바닥면 사이의 거리에 최적화된 값이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 히트싱크의 방향이 상 방향(0°)에서 최고의 열 성능을, 측 방향(90°)일 때 최악의 열 성능이 나타나는 것을 알 수 있었다. 천공형 히트싱크와 최적의 구조를 갖는 유동 가이드를 갖는 히트싱크는 기존의 방사형 히트싱크와 비교하였을 때, 각각 최대 17%, 20% 개선된 열 성능을 가짐을 알 수 있었다. 본 논문은 공학과 관련한 획기적인 아이디어를 제시함으로써 창업기술개발, 벤처 및 기업가정신 함양에도 중요한 의미를 지닐 수 있다.

Abstract: In this study, we numerically investigate the thermal performance of an enhanced radial heat sink with a perforation and chimney structure. We estimate the thermal performance of the enhanced radial heat sink, and compared it with that of a conventional radial heat sink. The results show that the radial heat sink with perforation has a higher thermal performance when either of the diameter and the number of perforations is high. With regards to the radial heat sink with a chimney structure, we investigate primarily the effect of the fin number, and the spacing between the chimney and the base plate on the thermal performance. The results show that there are optimal values for the fin number and the spacing between chimney and base plate. In addition, the enhanced radial heat sinks have maximum thermal performance when facing upward (0°), while it has worst performance when facing sideward (90°). The perforation and chimney are shown to cause thermal performance enhancements of 17% and 20%, respectively, compared with a conventional radial heat sink. The proposed method is useful for starting business, and is useful in terms of venture and entrepreneurship.

- 기호설명 -

D : 천공의 직경 (mm)

H : 핀의 높이(mm)

H_c : 침니와 바닥면 사이 거리 (mm)

N : 핀의 개수 (-)

N_f : 천공의 개수 (-)

Q : 열전달 양 (W)

R : 전체 반경 반지름(mm)

† Corresponding Author, cbyon@ynu.ac.kr

© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

- l : 핀의 길이(mm)
- l_f : 천공의 길이(mm)
- t_c : 칩니의 두께(mm)

1. 서 론

전자 장비 냉각에서 히트싱크는 광범위하게 사용되어왔다.⁽¹⁾ 현대 기술의 급격한 발전은 전자 장비의 소형화를 불러왔고 기존의 히트싱크인 판-핀 히트싱크 등은 더 이상 효율적인 냉각 장치로써 이용하기에는 무리가 있다.^(2,3) 따라서 여러가지 새로운 형상의 히트싱크들이 냉각 및 열 방출 효율을 개선하기 위해 개발 되어왔다. 특히 최근 몇 년 간 급격히 증가하는 LED(Light Emitting Diode) 산업으로 인해 방사형 히트싱크에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. LED조명으로 사용되는 경우 조명의 설치 환경에 따라 중력을 기준으로 한 히트싱크 배열 방향이 다양해지게 되며, 이러한 설치방향이 히트싱크 방열성능에 미치는 영향이 상당하므로, 배열 방향에 대한 연구가 중요하게 취급되어야 한다.

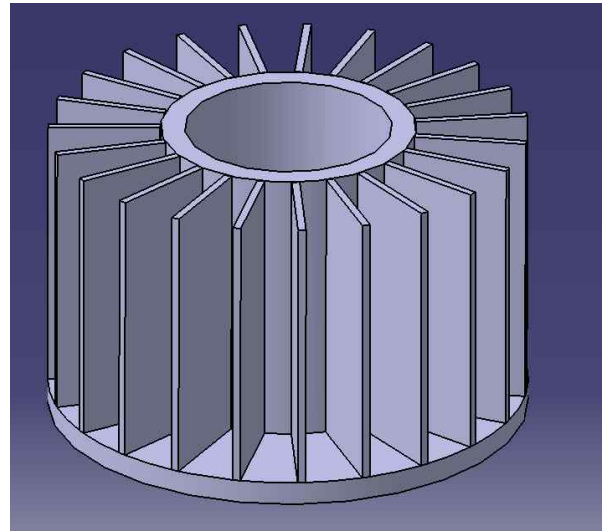
한편 일반적인 방사형 히트싱크의 성능을 개선하기 위해 제안된 천공형 히트싱크 및 칩니 기반의 유동 가이드를 활용한 히트싱크는 높은 자연대류 전열성능을 갖는 것으로 알려져 있다. 또한 천공형 히트싱크는 다른 방사형 히트싱크들과 비교하였을 때, 무게가 적기 때문에 경제적인 측면에서도 더 나은 효과를 볼 수 있다. 이전에 연구 되어 온 실린더를 설치 한 방사형 히트싱크의 경우도 열 성능을 크게 향상 시킬 수 있다.⁽⁴⁻⁶⁾ 하지만 실린더의 크기가 매우 커 실제LED 제품에 적용 시키는데에는 한계가 있다.

언급한 연구 배경과 현행 연구의 한계점에 의거하여, 본 연구에서는 큰 실린더를 설치하지 않고도 전열 성능을 향상 시킬 수 있는 칩니 기반의 히트싱크와 천공형 히트싱크의 전열성능에 대해 수치적 및 실험적으로 연구하였다. 본 논문에서는, 언급한 방법들을 이용하여 기존 방사형 히트싱크의 자연대류 전열성능을 얼마나 개선시킬 수 있는지를 분석하였다. 또한 히트싱크 배열 방향(각도)과, 핀의 개수, 천공의 직경과 길이, 칩니와 바닥면 사이의 거리, 열 유속의 영향을 검토하였다.

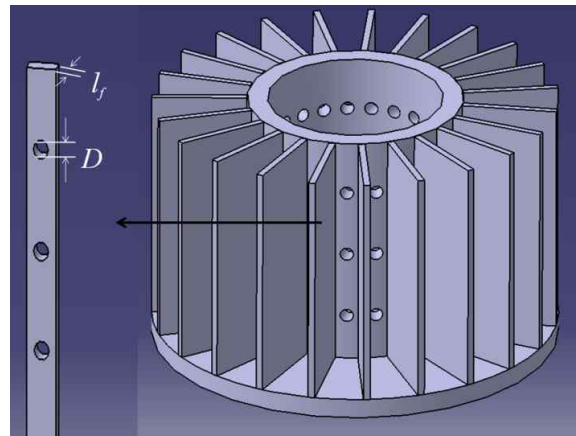
2. 수치 해석

2.1 수치 해석 모델

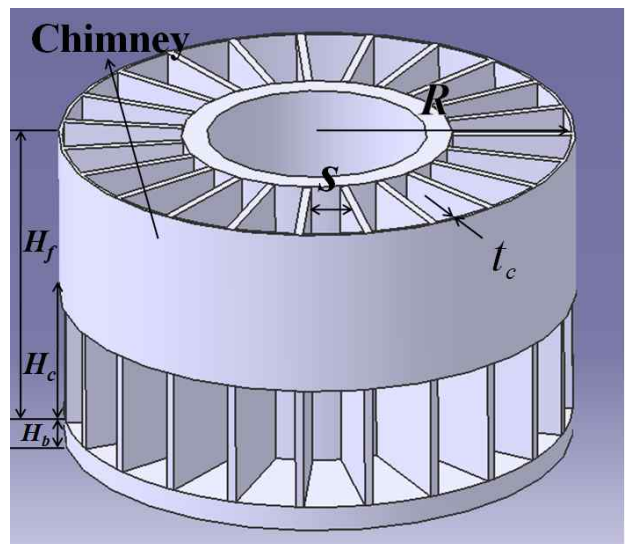
본 연구에서는 자연대류 열전달 성능을 높일 수



(a) Conventional heat sink



(b) Perforation heat sink



(c) Chimney-based heat sink

Fig. 1 Conventional radial heat sink and two kinds of enhanced radial heat sink

있는 천공과 유동 가이드를 활용한 방사형 히트싱크에 대한 수치 모델을 도출하였다. 방사형 히트싱크는 Fig. 1과 같이 원형바닥, 동심 링, 방사형으로 배열된 직사각형 핀으로 이루어져 있다. 전체 반경 및 높이 등의 치수는 현재 판매되고 있는 시제품의 일반적인 형상에 기초하였다. 따라서 히트싱크의 반경은 30 mm, 높이는 38 mm로 고정하였다. 핀의 높이는 35 mm이므로, 히트싱크의 베이스 플레이트 높이가 3 mm에 해당된다. 그 외 핀의 두께는 1 mm, 핀의 길이는 14 mm, 동심 링의 외경은 16 mm로 두었다. Fig. 1(a)는 종래의 방사형 히트싱크를 보여주고 있다. 천공형 히트싱크의 형상은 Fig. 1(b)에 묘사되어 있다. 천공은 동심 링에 뚫려져 있다. 본 연구에서는 한 채널당 천공의 수 (N_f)를 0 ~ 6개로 변화시키면서 영향을 살펴보고, 직경(D)의 경우 0~3 mm 범위 내에서 변화시키면서 열성능에 대한 영향을 살펴보았다. 천공의 길이(l_f)는 1.5~6 mm이다. 만약 천공의 수가 0 인 경우라면 천공이 없는 일반적인 방사형 히트싱크를 의미한다. Fig. 1(c)는 유동 가이드 활용을 위해 핀의 끝 부분에 침니를 부착시킨 침니 기반의 히트싱크이다. 모든 종류의 히트싱크에 대해 핀은 일정한 간격을 유지하면서 원주 방향으로 배치된다. 핀의 개수는 11 ~ 30개이고 침니와 바닥면 사이의 거리 (H_c)는 2 ~ 35mm이다. 만약 $H_c = 35$ mm일 경우는 침니가 부착 되지 않음을 의미한다. 두 가지 유형의 히트싱크는 모두 6061 T6 알루미늄 합금으로 제조되며 열전도도는 167W/mK이다. 형상 변수를 나타내는 symbol의 의미는 Fig. 1(c)에 묘사되어 있다.

2.2 수치해석 방법

본 수치 연구에서는, 공기는 비압축성이라 가정되며, 3차원 정상상태 층류 유동을 고려한다. 일반적인 LED 히트싱크의 작동 온도를 고려하여, 복사 열전달의 영향은 무시하였다. 히트싱크의 바닥면에는 등열유속 조건을 인가하였다. 수치해석 도메인은 실제 설치 환경을 모방하여 압력은 대기압 (= 1 atm)이고, 온도는 20°C로 설정하였다.

수치 해석은 유한 체적 법(Finite Volume Method)에 기초한 소프트웨어인 ANSYS ICEPAK으로 수행하였다. ICEPAK은 계산에 고려하는 형상이 단순할 때 자연대류 유동 및 열전달 현상에 대해 정확한 솔루션을 제시하는 것으로 알려져 있다. 또한 ANSYS ICEPAK은 질량보존, 운동량, 에너지 방정식을 적은 computational load로 동시에 해석할 수 있다. 계산 결과의 정확성을 도모하기 위해, 도메

인의 크기가 계산 결과에 미치는 영향을 검토하였고, 결과 도메인의 크기가 히트싱크보다 4배 이상 클 경우 산출된 히트싱크의 평균온도가 1% 이하의 변화를 보임을 파악하였다. 따라서 본 연구에서는 도메인의 크기를 히트싱크의 크기보다 6배 크게 설정하였다. 계산의 정확도를 높이기 위해 Hex-Dominant Mesh를 이용하였다. 격자의 수도 10,000 ~ 140,000으로 증가시키면서 해석을 수행하여 계산 결과에 미치는 영향을 살펴보고, 격자의 수가 96,000이상일 때 평균온도가 0.5% 미만의 변화를 가져왔기 때문에 이 값을 계산 격자의 수로 세팅하여 활용하였다.

2.3 매개 변수 정의

형상변수가 히트싱크의 전열 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대한 매개 변수 연구를 수행하였다. 매개 변수 연구의 보편성 있는 기술을 위해 관련 변수들을 다음과 같이 무차원화 하였다.

$$H_c^* = \frac{H_c - H_{c,\min}}{H_{c,\max} - H_{c,\min}} \quad (1)$$

$$N^* = \frac{N - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} \quad (2)$$

위 식에서 H_c 는 Fig. 1(c)에 묘사된 바닥면과 침니 사이의 거리이고, N 은 핀의 개수이다. 따라서 H_c^* 와 N^* 는 각각 무차원 바닥면-침니 사이의 거리 및 무차원 핀 개수가 되며, 그 크기 범위가 0에서 1 사이에 위치하도록 정규화된 무차원 변수이다. 즉, 식 (1)에서 $H_{c,\min}$ 은 본 연구에서 다룬 H_c 값의 최소값이고 $H_{c,\max}$ 는 최대값에 해당된다. 무차원 변수는 차원 변수가 최소일 때 0이 되고, 최대일 때 1이 되도록 설정하였다. 본 연구에서 다룬 변수들의 범위는 다음과 같다.

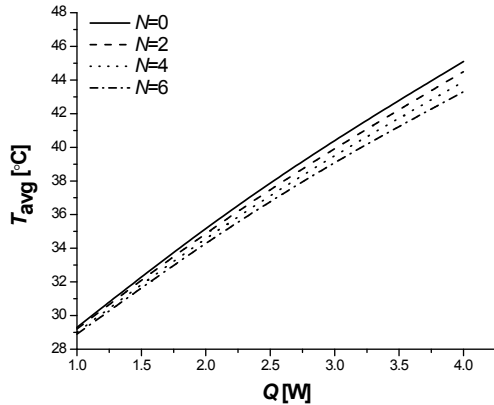
$$2 \text{ mm} \leq H_c \leq 35 \text{ mm} \quad (3)$$

$$11 \leq N \leq 30 \quad (4)$$

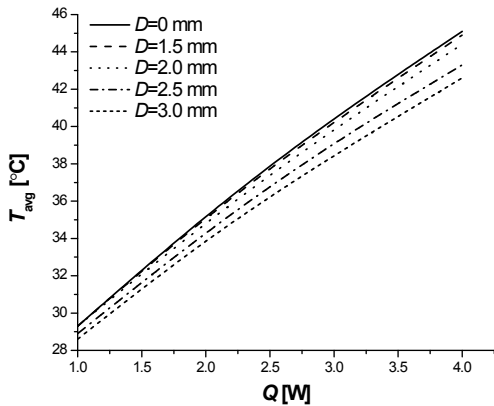
즉 예를 들면, N 이 30일 때, N^* 는 1이 된다. 한편, 다음과 같이 무차원 온도를 정의하였다.

$$T^* = k \frac{(T_{\text{avg}} - T_{\infty})}{q_w R} \quad (5)$$

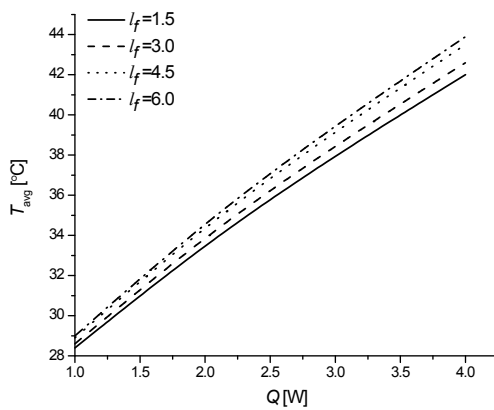
위 식에서 k 는 히트싱크의 열전도도, T_{avg} 는 바닥면 평균온도, T_{∞} 는 외기온도, q_w 는 바닥면 열유속, R 은 히트싱크의 외관 반경이다.



(a) Effect of number



(b) Effect of diameter



(c) Effect of length

Fig. 2 The effects of perforation geometric variables on the average temperature

3. 결과

3.1 천공형 히트싱크

Fig. 2는 천공형 히트싱크의 각 형상 조건에 따른 바닥면 평균 온도 값을 도시하고 있다. 모든 경우에 대해 등열유속 조건을 인가하였으므로, 평균 온도가 낮을수록 히트싱크의 열성능이 좋음을

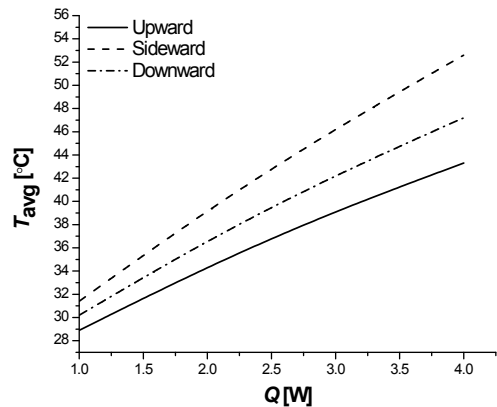


Fig. 3 Effect of orientation and heat dissipation rate on the average temperature

나타낸다.

Fig. 2(a)에서 볼 수 있듯이 모든 종류의 천공형 히트싱크는 천공이 없는($N = 0$) 히트싱크 보다 더 높은 열 성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 천공의 수가(최대 10개까지) 증가할수록 히트싱크의 바닥면 평균 온도가 감소하고, 열성능이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 평균온도에 천공 직경이 미치는 영향을 보여주고 있다. 이 그림에서 보듯이, 천공이 직경이 증가할수록 방사형 히트싱크의 열성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 이는 천공의 직경이 큰 경우 유동이 동심링을 통과하면서 열교환이 더 잘 이루어지는 것으로 풀이된다. 한편, Fig. 2(c)에서 보듯이 천공 길이는 작아질수록 평균 온도 값이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 히트싱크의 세 가지 배열방향(Upward, Sideward and Downward)에 따른 평균 온도를 나타낸다. 그래프를 보면 히트싱크는 상방향(Upward, $\theta=0^\circ$)으로 배열되어 있을 때 가장 좋은 열 성능을 보임을 알 수 있고 측방향(Sideward, $\theta=90^\circ$)일 때 최악의 열 성능이 나타남을 볼 수 있다. 그리고 하방향(Downward, $\theta=180^\circ$)일 때 중간 정도의 열 성능을 보임을 알 수 있다. 그리고 방열량이 클수록 각 방향에서의 평균온도 차이가 더 커지는 것을 확인할 수 있다.

천공이 가져오는 열성능 향상의 요인과 배열방향에 따른 열성능 변화의 원인을 확인하기 위하여 수치해석을 통한 유동장을 분석하였다. Fig. 4는 그 결과를 보여주고 있다. 이 그림은 히트싱크 주변의 공기 흐름의 양 및 방향을 vector contour로 보여주고 있으며, 채널당 6개의 천공을 갖는 히트싱크와 천공이 없는 히트싱크를 비교하고 있다.

위 그림에서 살펴보면 천공이 없는 경우 유동

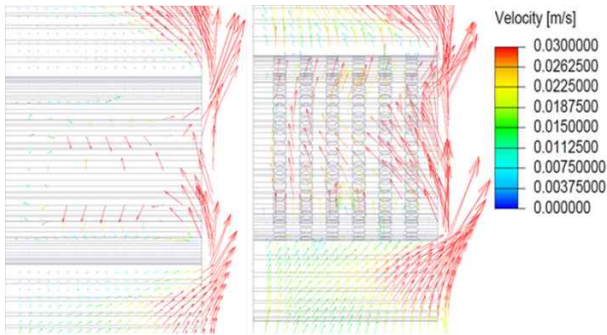
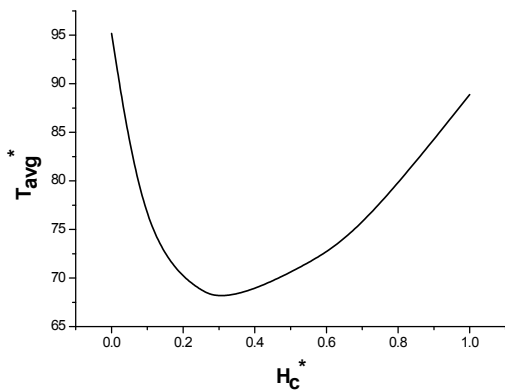
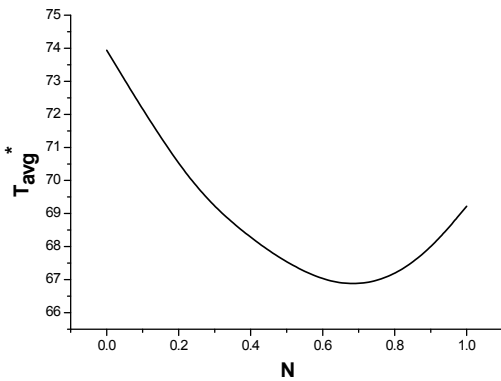


Fig. 4 Air flow field around radial heat sinks with imperforated ring and perforated ring



(a) Effect of H_c^*



(b) Effect of N

Fig. 5 Thermal performance enhancement of chimney-based heat sink with variation of H_c^* and N

이 측방향으로 배열된 히트싱크에서 동심 링을 통과하여 위로 흐를 수가 없다. 따라서 Fig. 3에서 도시한 결과대로, 측방향 배열된 히트싱크의 열성능이 최악으로 됨을 알 수 있다. 반면에 천공이 있는 히트싱크의 경우 유동이 천공을 통과하여 원활히 잘 흐름을 볼 수 있다. 이처럼 천공은 유체 역학적으로 자연대류 유동이 잘 흐르기 힘든 상황에서, 원활한 유동을 위한 가이드 역할을 하기 때

문에, 기존의 방사형 히트싱크의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 천공의 개수가 많을수록, 그리고 천공이 직경이 클수록 히트싱크의 열성능이 좋아지는 이유 또한 여기에서 찾을 수 있다.

3.2 침니를 갖는 히트싱크

침니를 갖는 히트싱크의 경우, 중요한 매개변수는 앞 절에서 도시한 대로 H_c 와 N이다. 수치 해석 결과의 보편적인 도시를 위해 본 변수들을 무차원화하여 이들 무차원 변수가 무차원 온도에 미치는 영향을 히트싱크 바닥면에 열유속 10 W를 인가하여 탐구하였다.

위 그림을 보면, 침니와 바닥면 사이의 거리 및 핀의 개수에 최적값이 존재하는 것을 알 수 있다. 즉 침니와 바닥면 사이의 거리 또는 핀의 개수가 매우 크거나 매우 작으면 방열이 잘 되지 않는다. 언급하였듯이 H_c 가 1인 경우는 침니가 없는 종래의 방사형 히트싱크에 해당되므로, 침니가 있는 경우 없는 경우와 견주어 방사형 히트싱크의 열성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 핀의 개수보다는 침니와 바닥면 사이의 거리가 방열 성능에 미치는 영향이 보다 두드러짐을 알 수 있다. 이로써 침니가 방사형 히트싱크의 자연대류 유동에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 두 가지 무차원 변수의 영향을 고려하여 최적화 된 침니 기반 방사형 히트싱크가 있다는 것을 유추할 수 있다.

침니가 히트싱크의 열 성능을 향상시킬 수 있는 물리적인 근원을 파악하기 위해, 수치해석을 통한 유동가시화를 수행하였다. Fig. 6은 히트싱크 주변 공기 유동장을 vector contour로 모식하고 있다. H_c^* 이 0인 경우($H_c=2$ mm) 자연대류 유동은 핀의 바닥면과 침니 사이의 좁은 입구를 통해 빠른 속도로 유입되는 것을 볼 수 있다. H_c^* 값이 더 커지게 되면 유동저항이 줄어들면서 채널 내부의 공기 속도가 조금 더 빨라지는 것을 확인할 수 있다. H_c^* 이 1인 경우($H_c=35$ mm)는 침니가 없는 방사형 히트싱크에 해당된다. 이 경우 자연대류 유동이 핀 바깥으로 우회(bypass) 하면서 핀과 핀 사이의 채널 안의 유동은 속도가 다소 줄어들게 되는 것을 알 수 있다. M_1 이 5 mm인 경우($H_c=5$ mm)는 반대로 핀 내부의 공기 유량이 크게 증가한다. 주변 공기가 신속하게 입구를 통과해서 들어온 뒤 동심 링을 따라 유동이 흐르게 되어, 전열 성능이 증가할 수 있다.

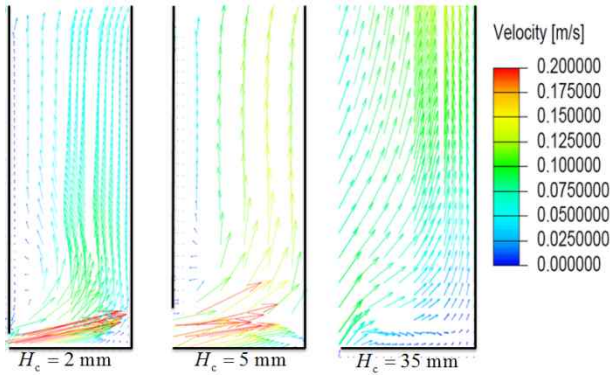
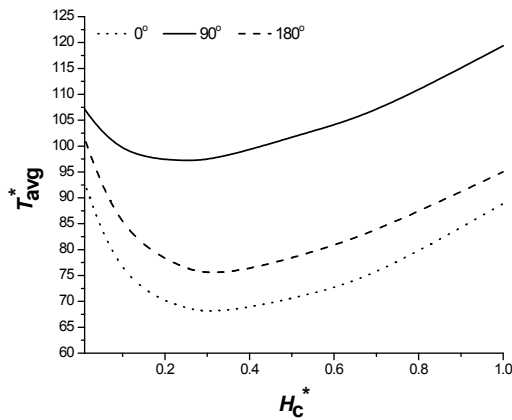
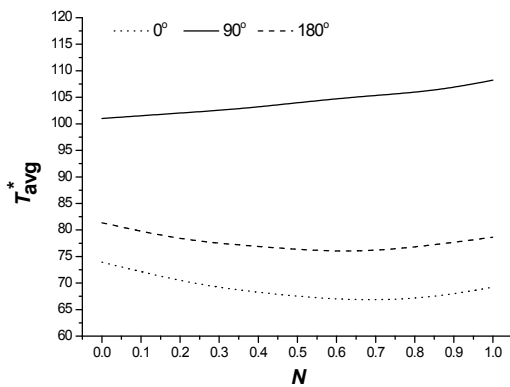


Fig. 6 Air flow field around the radial heat sink with chimney for various H_c values



(a) T^* versus H_c^*



(b) T^* versus N

Fig. 7 The effect of dimensionless parameters on the dimensionless temperature

위의 결과에 근거하여 침니 기반의 방사형 히트싱크는 대략적으로 H_c^* 가 0.3, N 이 0.7일 때 최적의 열 성능을 가짐을 알 수 있다. 위 최적값은 본 연구에서 선택한 형상에 국한되는 값이기는 하나, 가장 전형적인 방사형 히트싱크 형상에 대해 연구하였으므로, 대부분의 LED 히트싱크의 설계에 유용한 설계 가이드라인으로 작용할 수 있을 것이다.

침니 기반 히트싱크의 배열 방향에 따른 열 성능을 알아보았다. Fig. 7은 히트싱크의 배열 방향에 따른 바닥면 평균 온도를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이, 침니 기반 방사형 히트싱크는 천공형 히트싱크와 마찬가지로 배열 방향이 상방향(0°)일 때 최고의 열 성능을 나타낼 수 있다. 또한 침니가 측방향(90°)일 경우는 최악의 열 성능이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 히트싱크가 측방향 배열되었을 시 동심 링이 유동저항으로 작용하여 침니 입구 사이로 들어가는 공기가 줄어들게 되기 때문이다. 또한 무차원 변수들의 히트싱크 배열 방향에 따른 효과 차이가 현저하게 나타나는 것으로 보아 방사형 히트싱크의 열 성능에 상당한 영향을 미치는 것으로 확인할 수 있다.

본 연구에서 다룬 천공형 히트싱크와 최적의 구조를 갖는 침니 기반 히트싱크는 기존의 방사형 히트싱크와 비교하여 각각 최대 17% 혹은 20% 열 성능을 향상시키는 것으로 파악되었다. 따라서 이들 형상은 기존의 LED 히트싱크의 성능을 획기적으로 증가시키며, 또한 천공형 히트싱크의 경우 히트싱크의 경량화에도 이바지할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 천공과 유동 가이드를 활용한 방사형 히트싱크의 자연대류 열전달 향상에 관해 다루었다. 천공형 히트싱크와 유동 가이드를 활용한 침니 기반의 개선된 형상의 방사형 히트싱크를 기존의 히트싱크와 함께 열 성능을 비교했다. 천공형 히트싱크는 천공의 개수와 직경이 커질수록 열 성능이 좋아짐을 알 수 있었다. 침니 기반의 히트싱크는 핀의 개수($11 \leq N \leq 30$), 침니와 바닥면 사이의 거리($2 \text{ mm} \leq H_c \leq 35 \text{ mm}$)의 영향을 분석하였다. 그 결과 침니와 바닥 사이의 거리(H_c)와 핀의 개수(N)에 최적화된 수치가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 히트싱크의 방향이 상방향(0°)에서 최고의 열 성능을, 측방향(90°)일 때 최악의 열 성능이 나타나는 것을 알 수 있다. 천공형 히트싱크와 최적의 구조를 갖는 침니 기반 히트싱크는 기존의 방사형 히트싱크와 비교하여 각각 최대 17% 혹은 20% 열 성능을 향상시키는 것으로 파악되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 대학기업가센터 지원사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

(References)

- (1) Kim, T. H., Do, K. H. and Kim, D. K., 2011, "Closed form Correlations for Thermal Optimization of Plated-fin Heat Sinks Under Natural Convection," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, pp. 1210~1216.
- (2) Pakrouh, P., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A. and Bahrapoury, R., 2015, "A Numerical Method for PCM-based Pin Fin Heat Sinks Optimization," *Energy Conversion and Management*, Vol. 103, pp. 542~552.
- (3) Li, X., Feng, J., Feng, Q. and Wang, Q., 2005, "Development of a Plate-pin Fin Heat Sink and its Performance Comparisons with a Plate Fin Heat Sink," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp. 173~182.
- (4) Yu, S. H., Lee, K. S. and Yook, S. J., 2010, "Natural Convection Around a Radial Heat Sink," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, pp. 2935~2938.
- (5) Jang, D., Lee, K. S. and Yook, S. J., 2014, "Optimum Design of a Radial Heat Sink with a Fin-height Profile for High-power LED Lighting Applications," *Applied Energy*, Vol. 116, pp. 260~268.
- (6) Jung, T. S. and Kang, H. K., 2013, "Investigation of Natural Convective Heat Flow Characteristics of Heat Sink," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 37, No. 1, pp. 27~33.