

# 자동차 LED Head Lamp의 방열을 위한 Heat Sink의 수치해석적 연구

최병희<sup>1</sup>, 김창오<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>조선이공대학교 자동차과

## A Study on the Numerical Analysis of Heat Sink for Radiant Heat of Automotive LED Head Lamp

Byung-Hui Choi<sup>1</sup> and Chang-Oh Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Automobiles, Chosun College of Science & Technology

**요 약** 본 논문은 자동차 LED head lamp의 방열을 위한 히트싱크(heat sink)의 설계요소를 변화시켜 방열특성을 알아보고자 수치해석을 수행하였다. 수치해석에 적용한 히트싱크는 LED를 광원으로 사용하는 기존제품(Type 1)을 바탕으로 한정된 내부공간에 적합하도록 설계하여 5가지 Type으로 설계하였다. 설계된 히트싱크의 수치해석은 ANSYS CFD V12.1을 사용하여 히트싱크의 변화에 따른 온도분포와 평균온도, 공기유동특성, 열유속 등을 분석하였다. 수치해석을 통하여 방열판의 구조와 흰 형상에 따른 방열특성의 상관관계를 도출할 수 있었으며, 설계된 히트싱크의 온도분포, 공기의 유동특성, 열유속 등을 분석한 결과, 히트싱크 Type 2가 다른 Type들에 비해 LED head lamp의 방열을 위해 적합한 특성을 나타내었다.

**Abstract** This thesis was conducted a numerical analysis on the radiant heat performance according to factors of design of heat sink for cooling of the automotive LED head lamp. The heat sinks were designed with 5 different types to fit the limited internal space by formula based on an existing product (Type 1). Designed heat sinks of five types were analyzed by ANSYS CFD V12.1, and the analysis results were compared with the existing type. The results of simulation were analyzed temperature distribution and average temperature, air flow characteristic, heat flux etc. This thesis was researched on the correlation of the cooling performance according to the heat sink structure and the fin shape. Through numerical analysis, could be confirmed heat sink Type 2 as the best results.

**Key Words** : LED, Head Lamp, Heat Sink, Radiant Heat

### 1. 서론

자동차의 에너지 효율 향상과, 감성디자인에 대한 소비자의 선호를 충족시키기 위한 노력이 자동차부품의 연구개발에도 큰 변화를 주고 있다. 특히, LED(light emitted diode) 조명에 대한 기술개발로 차량 계기판을 비롯하여 실내등, 오디오 등 다양한 응용분야에서 활용되고 있다. 특히 LED는 1990년대부터 단순한 신호용으로 사용된 이후로 자동차의 turn signal, room lamp, rear lamp

와 주간주행등(DRL : Daytime Running Lamp)에 접목되어 보급되었으며, 2000년대 초반부터 자동차 등화장치의 핵심인 전조등(head lamp)에 LED를 적용하고 있다.

LED가 자동차의 전조등에 적용될 수 있는 것은 백색 LED 발광효율이 향상되면서 동일한 칩(chip)의 크기로 밝은 휘도의 백색 LED를 만들 수 있기 때문이다. 특히 최근에는 백색 LED의 성능이 100 lm/W에 이르는 고효율 백색 LED가 개발되고 있어 기존의 어떤 광원보다도 우수한 광 효율을 구현할 수 있게 되었다. 또한, LED 전

\*Corresponding Author : Chang-Oh Kim

Tel: +82-10-4339-4746 email: chohkim@nate.com

접수일 12년 07월 10일

수정일 12년 08월 30일

게재확정일 12년 10월 11일

[표 1] 알루미늄의 열물성  
[Table 1] Thermal properties of Aluminum(Pure)

Ingredient	Melting point (K)	Properties in 300K				Various temperatures (K) in the properties				
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg·K)	$k$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k(W/m·K)/c_p(J/kg·K)$				
						100	200	400	600	800
Aluminum Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218

조등은 할로겐램프에 비해 수명이 길고 친환경적이며, 소비전력이 적어 연비향상과 발전기(alternater)의 소형, 경량화 등으로 이어질 수 있다. 하지만 LED의 작동온도, 단파복사량, 인광체의 위치 등과 같은 작동조건은 성능과 수명에 영향을 미치기 때문에 할로겐램프 및 가스방전식 램프를 대체하기 위한 안정적인 출력과 수명이 보장되어야 한다.

LED의 작동온도는 광량저하 및 색도변화와 전압감소와 전류상승에 영향을 미치게 되며, 특히 높은 작동온도는 전조등의 성능저하와 수명단축의 원인이 될 수 있다. LED는 입력 전력 대비 85%가 열로 변환되는 것으로 알려져 있으며, 소자 자체에서 발생하는 열로 인하여 작동온도가 상승되어 저항 증가로 전류의 흐름이 원활하지 못해 광도 및 색도 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 LED 접합부 온도(junction temperature)가 150℃에 가까울수록 모듈이 고온에 노출되어 칩 단선(chip failure) 현상이 발생하여 그 기능이 완전히 소멸된다. 따라서 LED 전조등은 시스템의 크기가 작고 국소적으로 발생하는 150℃ 가량의 LED 접합부 온도(junction temperature)를 110~130℃이하로 유지 시켜야 성능과 수명이 보장 될 수 있으므로 그 특성에 적합한 방열시스템을 설계하는 것이 필수적이다.

현재 LED 전조등에 적용 가능한 방열시스템은 냉각 방식에 따라, 자연대류에 의한 히트싱크(heat sink)와 냉각팬(cooling fan)에 의한 강제대류 방식, 냉각액을 사용하여 열전달을 증가시킨 수냉식 냉각판(liquid cooled cold plates), 상변화에 의한 내부적인 순환을 이용한 히트 파이프(heat pipe) 등으로 구분할 수 있다. 수냉식 냉각판과 히트 파이프의 경우 자연대류를 이용한 히트싱크나 냉각팬을 이용한 히트싱크에 비하여 방열특성이 우수하지만 시스템을 구성하기 위한 비용이 많이 들고 부가적인 장치를 부착하기 위한 공간을 확보해야 하는 단점이 있어 쉽게 적용되지 않고 있다[1]. 그리고 LED 전조등의 방열을 위해 사용되는 히트싱크는 단순히 금형을 통하여 압출하는 방식으로, 압출한 히트싱크의 측면을 절단하여 공기의 유동과 표면적을 넓히는 방법을 적용하고 있다. 이러한 히트싱크는 방열량을 증가에는 한계가 있어 단위

체적당 방열량을 증가시킬 수 있는 새로운 형상의 히트싱크를 연구하고자 하였다.

LED를 조명기구에 적용하면서 방열에 대한 연구들이 수행되었다. Eo 등[2]은 펠티어 소자를 이용한 LED 조명기구의 방열에 대한 연구를 통하여 방열판의 종류와 체적에 따른 온도변화가 가장 중요한 요소라는 결과를 발표하였다. 그리고 Eo[3-4]는 CF-design과 COMSOL을 이용한 방열해석을 통하여 방열설계의 문제해결 방법을 제시하였다. Lee 등[5]은 LED 패키지 MCPCB 장착 기초실험, 3차원 방열 수치해석 및 시제품에 대한 방열 성능실험을 수행하여 성공적으로 고효율 단일 LED MR16 조명등을 개발하였다. Hwang 등[6]은 10W LED 조명등의 방열성능을 향상시키기 위한 연구에서 수치해석 모델을 이용하여 방열핀 형상, PCB 종류 및 LED 개수 등과 같은 방열 설계 인자들을 최적화 하고 실험으로 검증하였다. Hwang 등[7]은 MR16 LED 조명등을 이용하여 실제 설치조건에 따른 정선온도 변화를 규명하고 이를 통한 정확한 LED 조명등 수명 및 효율 예측에 대한 연구를 수행하였다.

자동차 LED 전조등의 실용화에 대한 연구는 2007년부터 활발히 진행되었으며, Kang 등[8]은 LED 전조등 내부의 한정된 공간에서 허용 할 수 있는 방열시스템으로 히트싱크와 냉각팬을 갖는 간결하며 경량화가 가능한 방열시스템을 연구하면서 추가적으로 시제품 LED 전조등을 제작하여 할로겐 전조등과 비교한 결과 연료소모량과 오염물질 배출량이 적게 배출된다는 연구결과를 내놓았다. Yan Lai 등[9]은 LED를 자동차용 전조등에 적용하기 위한 액체 냉각방식에 대하여 연구를 수행하여, 히트싱크와 냉각 판을 조합한 열교환기에서 펌프를 이용하여 액체를 회전시켜 LED 전조등을 냉각시키는 방법을 제시하였다.

본 논문에서 LED를 광원으로 사용하고 있는 자동차 전조등에 적용된 히트싱크(Type 1)를 바탕으로 한정된 내부공간에 적합하도록 총 5가지 Type으로 설계하여 Type 1~Type 6을 수치해석에 적용하였다. 히트싱크 수치해석은 LED package에서 발생하는 열을 기준으로 접합부의 온도 160℃와 냉각팬을 가동하였을 때의 조건으

로 설계된 히트싱크의 Type별 온도분포와 공기 유동 및 열유속 등을 해석하였다.

## 2. 수치해석

### 2.1 Heat Sink 설계 및 모델링

본 논문은 LED 접합부에서 발생하는 열을 효율적으로 방열시킬 수 있도록 히트싱크를 설계하여 이를 수치해석의 모델링에 적용하였다. 히트싱크 설계는 기존제품 중에서 LED 전조등에 적용된 경우를 바탕으로 흰(fin) 구조와 형상을 변화시켜 CATIA Ver 5.18로 설계였다. 설계된 히트싱크들을 모델링하여 방열성능을 알아보기 위한 수치해석을 ANSYS CFX Ver 12.1에 의해 수행하였다.

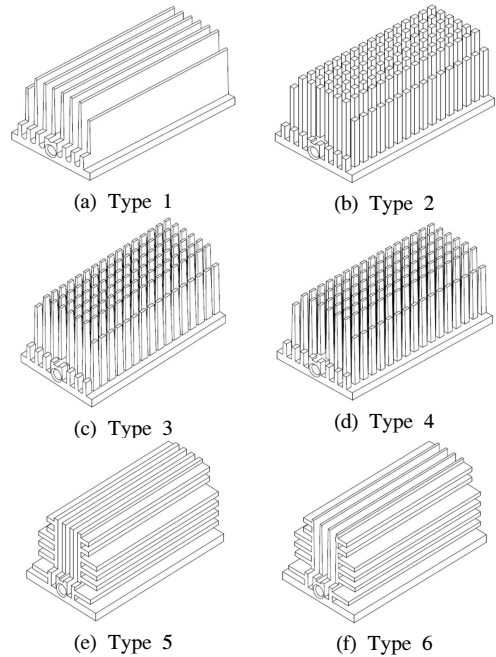
히트싱크를 모델링하기 전, 기존제품의 LED 전조등에 대해 내부가 한정된 공간에서 히트싱크 의한 자연대류 방식과 냉각팬을 설치한 강제대류 방식의 경우에 대한 방열성능을 평가한 결과, LED 접합부의 온도상승으로 인하여 히트싱크에 의한 자연대류만으로는 냉각이 부족함을 알 수 있었다. 따라서 Fig. 1의 (a)와 같은 기존제품을 참고하여 LED 전조등 set의 공간을 기준으로 LED 접합부에서 발생하는 열을 방열할 수 있는 (b)~(f)와 같이 설계된 히트싱크들을 모델링 하였다.

모델링한 히트싱크는 알루미늄을 소재로 하였으며, 열적특성은 Table 1과 같다. LED 접합부의 방열을 위해 형상에 따라 복사열전달, 냉각팬에 의해 유입되는 유동의 영향을 고려하였다. 냉각팬의 회전속도는 6400rpm의 최대허용 범위에 의해 유입되는 유체온도는 27℃로 설정하였으며, 유입 면적에 대해 균일한 유량 25 cfm의 공기로 설정하였다. 그리고 Type별 히트싱크의 방열성능을 비교하기 위하여 heat source 조건을 사용하여 LED package와 히트싱크의 접촉면에 대해 발생하는 열을 160℃로 설정하였다. 또한, 기존제품과 5가지 Type의 복잡한 형상에 대한 정확한 수치해석을 위해 Table 2와 같이 Type별로 격자를 각각 달리하여 해석하였다.

### 2.2 지배방정식

본 논문에서 수치해석은 ANSYS사에서 제공하는 상용 열유동 패키지인 CFX Ver 12.1을 사용하여 수행하였다. 수치해석에 사용된 유체는 공기이며 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 부력에 의해 정의되며, 유체 유동은 정상유동으로 가정하여 해석을 실시하였다. 그리고 유체의 열적 특성과 거동을 모사하는데 널리 쓰이는 유한체적법을 사용하였다.[10]

층류 유동의 계산에는 Simple method를 사용하였으며 대류열전달의 예측을 위하여 1차 Upwind differential scheme이 적용되었다. 직교좌표계의 텐서(cartesian tensor)항으로 나타난 지배방정식은 다음과 같다.



[그림 1] 히트싱크의 Type  
[Fig. 1] Type of heat sink

[표 2] 수치해석을 위한 격자 수  
[Table 2] The number of mesh for analysis

Case	Mesh		
	Solid	Fluid	Total
Type 1	146,820	256,716	403,536
Type 2	127,820	204,174	331,994
Type 3	221,487	523,544	745,031
Type 4	177,880	412,404	590,284
Type 5	137,840	240,710	378,550
Type 6	34,890	704,852	739,742

연속방정식(Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = S_m \quad (1)$$

운동량방정식(Momentum equation)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \quad (2)$$

에너지방정식(Energy equation)

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho H u_j + F_{h,j} - u_i \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial t} + S_i + S_h \quad (3)$$

부력(Buoyant forces)

$$S_i = g_i (\rho - \rho_0) \quad (4)$$

여기서,  $\rho$ 는 공기의 밀도(air density),  $\rho_0$ 는 기준공기의 밀도(reference air density),  $t$ 는 시간,  $u_j$ 는  $x$ 축 방향 요소의 절대유속(Absolute fluid velocity component in direction  $x_i$ ),  $\tau_{ij}$ 는 응력 텐서(stress tensor components),  $H$ 는 엔탈피(total enthalpy),  $F_{h,j}$ 는 확산에너지(diffusion energy flux in direction  $x_j$ ),  $p$ 는 압력(Piezo metric pressure),  $S_i$ 는 운동량(momentum source components),  $S_m$ 은 질량(mass source),  $S_h$ 는 에너지 소스(energy source),  $x_i$ 는 직교좌표(cartesian coordinate),  $g_i$ 는 중력가속도(acceleration of gravity)이다.

LED 전조등 set의 통기구멍(vent hole)을 통해 set 내부로 들어오는 공기의 유속이 매우 작기 때문에 내부 유동에 대한 영향은 미약하다고 할 수 있다. 반면에 히트싱크의 부근에서 유체의 온도가 상승하면서 밀도가 감소하고, 이로 인한 부력의 작용으로 발생하는 자연대류현상이 전조등 set 내부의 유동에 지배적이라고 할 수 있다. 즉 히트싱크와 같은 열원은 LED head lamp 내부의 한정된 공기의 자연대류를 유발한다. 이와 같은 자연대류 현상을 해석하기 위해 운동량 방정식의 부력 항을 고려해야 한다.

열유속(Heat Flux)은 매질 내에서 온도가 변하는 형태 즉 에너지 전달을 뜻하며, 온도분포의 특성이 분명하지 않은 복잡한 형상에서의 과도적인 열유속이 벡터양인 것을 감안하면, 보다 일반적인 전도 전달을 방정식(Fourier의 법칙)의 표현은 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$q'' = -k \nabla T = -k \left( i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

여기서  $\nabla$ 은 3차원 del 연산자(operator)이고,  $T(x, y, z)$ 는 스칼라(scalar) 온도장이다. 식 (5)에는 열유속 벡터가 등온표면에 수직인 방향이라는 사실이 암시되어 있다. 따라서 Fourier의 법칙의 다른 형태는 다음 식과 같다.

$$q_n'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (6)$$

여기서,  $q_n''$ 은 등온선(isotherm)에 수직인  $n$  방향으로의 열유속이다. 열전달은  $n$  방향의 온도구배에 의하여 유지된다. 또한 열유속 벡터를 성분별로 분해할 수 있으며, 직교좌표에서  $q''$ 에 대한 일반식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$q'' = i q_x'' + j q_y'' + k q_z'' \quad (7)$$

여기서 식 (5)로부터  $q''$ 의 각 성분은 다음과 같이 된다.

$$q_x'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad q_y'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad q_z'' = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (8)$$

이들 각각의 식은 표면을 가로지르는 열유속과 표면에 수직인 방향으로 온도구배와의 관계를 나타낸다. 또한 전도가 일어나는 매질을 등방성(isotropic)으로 가정한 사실이 식 (5)에 암시되어 있다. 이러한 매질에 대한 열전도율의 값은 좌표방향에 무관하다.

### 3. 수치해석 결과

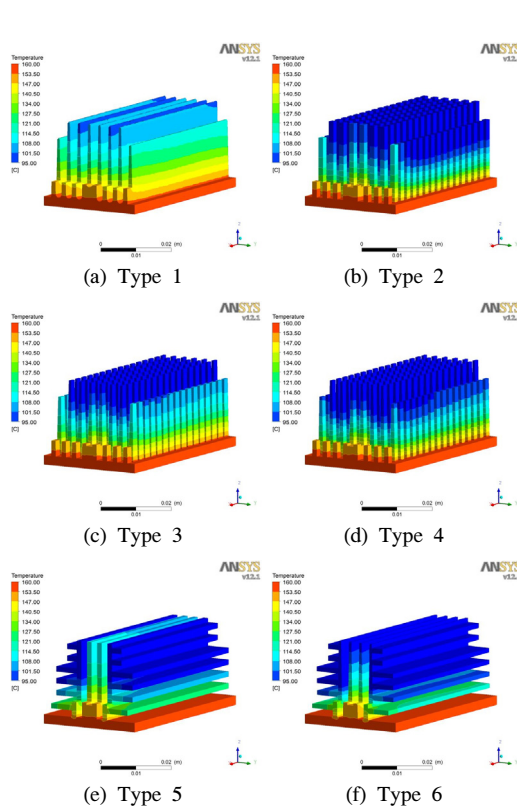
#### 3.1 온도분포

기준제품과 설계된 히트싱크의 Type 별 온도분포는 Fig. 2와 같이 해석되었다.

기존 히트싱크인 Type 1의 온도분포에 따른 평균온도는 125.5℃로서 최대 온도를 나타내었으며, Fig. 2의 (a)와 흰 상부까지 열이 축적되어 있는 온도분포를 확인할 수 있었다. 설계된 히트싱크의 온도분포에 따른 평균온도는 Type 별로 101.9~117.6℃를 나타내었으며, Type 6의 평균온도는 101.9℃로서 최소 온도를 나타내었다. 히트싱크의 평균온도가 비교적 낮은 결과를 나타낸 Type 2와 Type 6의 온도분포는 다른 Type에 비해 흰의 상부로 갈수록 낮은 온도를 나타내었다.

#### 3.2 유동해석

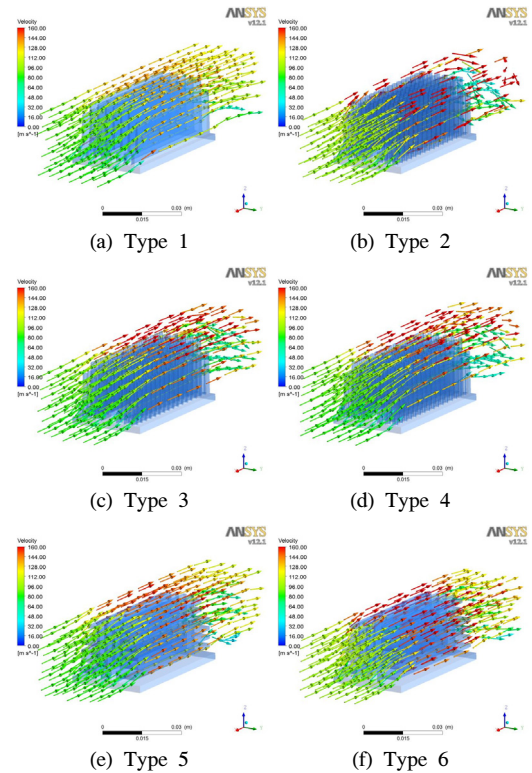
기준제품과 설계된 히트싱크의 Type 별로 유동특성과 속도분포는 Fig. 3과 같이 해석되었다. 각 Type 별 히트싱크의 냉각팬 최대회전속도 6400rpm, 최대공기유량은 25 cfm으로 설정하여 수치해석을 수행하였다.



[그림. 2] 히트싱크의 온도분포  
[Fig. 2] Temperature distribution of heat sink

기존제품인 Type 1은 Fig. 3의 (a)와 같이 공기유동이 히트싱크의 중심부 특히 상부측면을 통하여 다량의공기가 통과하는 유동특성을 나타내었다. 그리고 32~144 m/s의 속도분포를 보였으며 평균유속 100.603 m/s를 나타내었다. Fig. 3의 (b)~(f)와 같이 설계된 히트싱크 중 Type 2와 Type 6의 경우에는 공기유동이 상부를 통과한 공기가 원활하게 하단까지 들어가서 외부로 별다른 저항 없이 유속이 증가하는 유동특성을 나타내었다. 특히 Type 6은 히트싱크의 중앙부를 중심으로 유속이 증가하는 속도분포를 보였으며, 평균유속이 113.983m/s로 최대를 나타내었다. Fig. 3의 (c)~(e)는 평균유속이 각각 97.575, 96.408, 103.363 m/s로서 기존제품의 Type 1보다 늦거나 거의 비슷한 유속을 나타내었고, 히트싱크의 중앙부에서 유속이 증가하는 유동특성과 속도분포를 나타내었다.

이와 같이 Type 1을 통과하는 공기는 열교환에 기여하지 못하고 히트싱크를 통과하기 때문에 이를 개선하는 문제가 방열성능향상을 가지고 올 것으로 판단된다.



[그림. 3] 히트싱크의 유동해석  
[Fig. 3] Flow velocity of heat sink

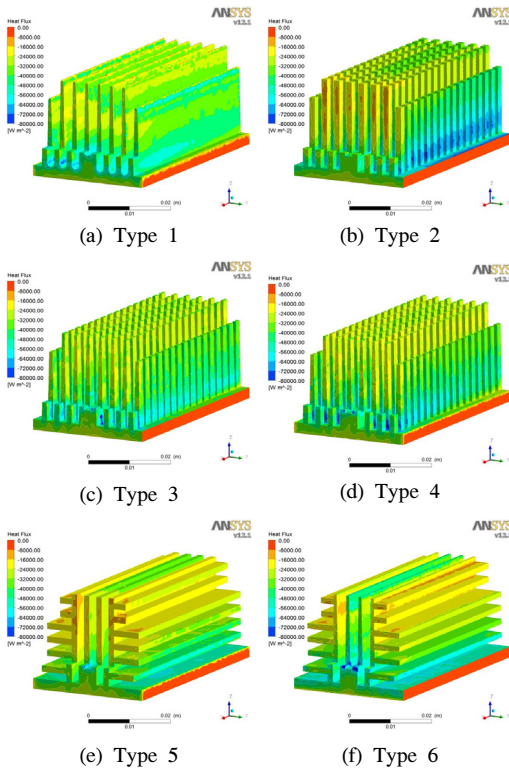
### 3.3 열유속

열유속(Heat flux)은 단위시간당 단위면적을 통하여 이동한 열에너지의 양을 말하며, 정확한 표현은 heat flux density이다. 수치해석은 히트싱크에 냉각팬의 공기유량 조건을 25 cfm으로 설정하여 해석하였다. 기존제품과 설계된 히트싱크의 Type 별 열유속은 Fig. 5와 같이 해석되었다.

기존제품 Type 1의 열유속은 36910 W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, Fig. 5의 (a)와 같이 히트싱크의 흰 상부까지 열이 축적되어 있음을 확인할 수 있었다. 설계된 히트싱크는 Type별로 31750~44430 W/m<sup>2</sup>로 해석되었으며, Fig. 5의 (b)와 같이 Type 2은 44430 W/m<sup>2</sup>로서 최대 열유속이 나타났다.

이와 같은 해석 결과로부터 열전달율(heat transfer rate)을 분석하였다. 설계된 히트싱크 Type 2의 열전달율은 844.170 W로 가장 높았으며, 상대적으로 열전달 면적이 작았던 Type 5는 586.105 W의 가장 낮은 결과를 나타내었다. 기존제품 히트싱크 Type 1은 685.050 W의 열전달율을 나타내었다. 이는 다른 Type의 히트싱크보다 Type

2는 표면에서 공기의 유동속도가 빠르고 온도분포가 흰 끝으로 갈수록 낮은 온도를 나타내어 열유속이 증가하였고, 열전달 면적이 넓어 열전달율이 높은 것으로 사료된다.



[그림 4] 히트싱크의 열유속  
[Fig. 4] Heat Flux of heat sink

#### 4. 결론

본 논문에서는 자동차 LED 전조등의 방열을 위한 히트싱크의 형상에 따른 방열특성을 알아보고자 수치해석을 수행하였다.

(1) 기존제품에서 히트싱크의 온도분포에 따른 평균온도는 125℃로서 최대 온도를 나타내었으며, 방열이 잘 이루어지지 않아 흰 상부까지 열이 축적되어 있는 것으로 해석되었다. 설계된 히트싱크의 평균온도는 Type별로 101.9℃~117.6℃를 나타내었으며, 낮은 평균온도를 나타낸 Type 2와 Type 6의 온도분포는 다른 Type에 비해 흰 상부로 갈수록 낮은 온도분포를 나타내었다.

(2) 기존 heat sink의 공기유동은 중심부 상부의 측면을 통하여 다량의 공기가 통과하는 유동특성을 나타내었으며, 평균유속은 100.603 m/s를 나타내었다. 설계된 Type 2와 Type 6의 경우에는 공기유동이 상부를 통과한 유체가 원활하게 히트싱크의 밑단까지 유동하며 외부로 별다른 저항 없이 유속이 증가하면서 방출되는 유동특성을 나타내었다. 특히 Type 6은 중앙부를 중심으로 유속이 증가하는 속도분포를 보였으며, 평균유속은 113.983m/s로 최대를 나타내었다.

(3) 기존 heat sink의 열유속은 36910W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, 방열이 잘 이루어지지 않아 많은 열이 축적되어 있음을 확인 할 수 있었다. 설계된 히트싱크는 Type별로 31750~44430 W/m<sup>2</sup>로 해석되었으며, 해석된 결과로부터 열전달율을 분석한 결과 설계된 Type 2가 884.170 W로 가장 높은 것으로 분석되었다.

본 논문을 통하여 방열판의 구조 및 흰 형상에 따른 냉각성능의 상관관계를 도출할 수 있었고, 설계된 히트싱크의 온도분포, 공기의 유동특성, 열유속에 대한 수치해석을 통하여 Type 2가 종합적으로 가장 좋은 해석결과를 확인 할 수 있었다.

#### References

- [1] Ko, M S., Lee, J, H., Oh, S, J., Cho, H, S. and Seo, T, B., "Cooling Performance of LED Head Lamp with Heat Sink and Cooling Fan", KSME-B, Vol. 33. No. 12, p. 947, 2009.
- [2] Ik-Soo Eo, Hae-Sool Yang, Se-Il Choi and Seung Hwangbo., "Research on Heat-Sink of 40Watt Lighting using Peltier Module", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 8, No. 4, pp. 733-737, 2007.
- [3] IK-Soo Eo. "Analysis of the Heat Radiation of LED Light Fixture using CF-design", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 9, No. 6, pp. 1565-1568, 2008.
- [4] Ik-Soo 때, "Analysis on Heat-sink of 20Watt Class LED Lamp using COMSOL", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 10, No. 7, pp. 1484-1488, 2009.
- [5] Young Lim Lee and Soon Ho Hwang, "Study on

Thermal Design of a 3W MR16 Light with Single High-Power LED”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 4, pp. 1203-1209, 2010.

- [6] Soon Ho Hwang, Sang Jun Park and Young Lim Lee, “A Study of Optimal Thermal Design for a 10W LED lamp”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 7, pp. 2317-2322, 2010.
- [7] Soon Ho Hwang and Young Lim Lee, “Thermal Design of a MR16 LED Light with the Effects of Ceiling Unit Mount”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 9, pp. 3141-3147, 2010.
- [8] Kang., H., Kang B., Park., K., “A Study on Contact Thermal Resistance of LED and Heat sink from LED HEAD LAMP,” KASE 08-A0351, 2008.
- [9] Yan Lai., Nicolas Cordero., Frand Barthel., Frank Tebbe., Jorg Kuhn and Robert Apfelbeck., “Liquid cooling of bright LEDs for automotive application”, Applied Thermal Engineering, 2009.
- [10] Frank P. Incropera., David p. De Witt., “Introduction to Heat Transer.”, Wiley, pp. 667-673, 2002.

---

**최 병 희**(Byung-Hui Choi)

[정회원]



- 2006년 2월 : 조선대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 조선대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 2009년 4월 ~ 현재 : 조선이공대학교 자동차과 교수

<관심분야>  
기계, 자동차

---

**김 창 오**(Chang-Oh KIm)

[정회원]



- 2000년 2월 : 조선대학교 대학원 기계설계공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 조선대학교 대학원 기계설계공학과(공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 자동차과 교수

<관심분야>  
기계, 자동차