



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011년 2월
석사학위 논문

자동차 LED Head Lamp
방열을 위한 히트싱크의
수치해석에 관한 연구

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 현 호

2011년 2월
석사학위 논문

자동차 LED Head Lamp
방열을 위한 히트싱크의
수치해석에 관한 연구

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 현 호

자동차 LED Head Lamp
방열을 위한 히트싱크의
수치해석에 관한 연구

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

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 현 호

자동차 LED Head Lamp
방열을 위한 히트싱크의
수치해석에 관한 연구

지도교수 정낙규

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 10월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 현 호

정현호의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 나기대 ㉠

위 원 조선대학교 교수 양인영 ㉠

위 원 조선대학교 교수 정낙규 ㉠

2010년 11월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLES	I
LIST OF FIGURES	II
NOMENCLATURE	IV
SUBSCRIPTS	VI
ABSTRACT	VII

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구동향	3
3. 연구내용	7

II. 연구이론

1. 확장표면	8
2. LED의 구조와 발광원리	13
3. LED package	15
4. LED package 접합부온도	17

III. 수치해석

1. Heat Sink 모델링	19
2. Heat Sink 수치해석	31

2.1 지배방정식	31
2.2 열유속	33
3. Heat Sink 수치해석 결과	34
3.1 온도분포	34
3.2 유동해석	39
3.3 열유속 해석	44
IV. 결 론	50

참 고 문 헌

감사의 글

LIST OF TABLES

Table 1	Efficiency of common fin shapes	12
Table 2	Thermal properties of aluminum(pure)	21
Table 3	The number of mesh for simulation	21
Table 4	Computational method	25
Table 5	Boundary condition	26
Table 6	The area of heat sink for simulation	30
Table 7	The average temperature of heat sink for simulation	38
Table 8	The Flow velocity of heat sink for simulation	43
Table 9	The Heat flux of heat sink for simulation	48
Table 10	The Heat transfer rate of heat sink for simulation	49

LIST OF FIGURES

Fig. 1	LED head lamp of Toyota	6
Fig. 2	LED head lamp of automobiles	6
Fig. 3	Use of fins to enhance heat transfer from a plane wall	12
Fig. 4	LED operating principles	14
Fig. 5	Structure of LED package	15
Fig. 6	Thermal circuit of LED package	16
Fig. 7	LED junction temperature rise of heat sink	20
Fig. 8	Type 1 of heat sink	22
Fig. 9	Type 2 of heat sink	22
Fig. 10	Type 3 of heat sink	23
Fig. 11	Type 4 of heat sink	23
Fig. 12	Type 5 of heat sink	24
Fig. 13	Type 6 of heat sink	24
Fig. 14	Heat sink area of type 1	28
Fig. 15	Heat sink area of type 2	28
Fig. 16	Heat sink area of type 3	28
Fig. 17	Heat sink area of type 4	29
Fig. 18	Heat sink area of type 5	29
Fig. 19	Heat sink area of type 6	29
Fig. 20	Average area of heat sink	30
Fig. 21	Temperature distribution of heat sink type 1	35
Fig. 22	Temperature distribution of heat sink type 2	35
Fig. 23	Temperature distribution of heat sink type 3	36
Fig. 24	Temperature distribution of heat sink type 4	36
Fig. 25	Temperature distribution of heat sink type 5	37
Fig. 26	Temperature distribution of heat sink type 6	37
Fig. 27	Average temperature of heat sink	38

Fig. 28	Flow velocity of type 1 heat sink	40
Fig. 29	Flow velocity of type 2 heat sink	40
Fig. 30	Flow velocity of type 3 heat sink	41
Fig. 31	Flow velocity of type 4 heat sink	41
Fig. 32	Flow velocity of type 5 heat sink	42
Fig. 33	Flow velocity of type 6 heat sink	42
Fig. 34	Average flow velocity of heat sink	43
Fig. 35	Heat flux of type 1 heat sink	45
Fig. 36	Heat flux of type 2 heat sink	45
Fig. 37	Heat flux of type 3 heat sink	46
Fig. 38	Heat flux of type 4 heat sink	46
Fig. 39	Heat flux of type 5 heat sink	47
Fig. 40	Heat flux of type 6 heat sink	47
Fig. 41	Heat flux of heat sink	48
Fig. 42	Heat transfer rate of heat sink	49

NOMENCLATURE

A	:	Area [m ²]
A_f	:	Area of fin [m ²]
A_p	:	Fin profile area [m ²]
α	:	Motor load margin
β	:	Coefficient of cubical expansion
c_p	:	Specific heat at constant pressure [kJ/kgK]
$F_{h,j}$:	Diffusion energy flux in direction x_j
Gr	:	Grashof number
g	:	Acceleration of gravity [m/s ²]
g_i	:	Acceleration of gravity [m/s ²]
H	:	Total enthalpy [J]
h	:	Convective heat transfer coefficient [W/m ²]
h_{HS}	:	Convective heat transfer coefficient [W/m ²]
k	:	Thermal conductivity [W]
L	:	Vertical of fin length [m]
L_C	:	Fin of correction length [m]
L_{fin}	:	Horizontal length of fin [m]
m	:	Mass [kg]
N	:	Number of fin
η	:	Efficiency
η_f	:	Efficiency of fin
p	:	Piezo metric pressure [kg/m ²]
P_D	:	Dynamolectric Power [W]
Pr	:	Prandtl number
ρ	:	Air density [kg/m ³]
ρ_0	:	Reference air density [kg/m ³]
\dot{Q}	:	Heat transfer rate [W]
\dot{Q}_{fin}	:	Heat transfer rate of fin [W]

\dot{Q}_{finmax}	:	Maximum heat transfer rate of fin [W]
q	:	Heat transfer rate [W]
q''	:	Heat flux [W/m ²]
R	:	Resistance [Ω]
Ra	:	Rayleigh number
S_h	:	Energy source
S_i	:	Momentum source components
S_m	:	Mass source [kg]
S_{opt}	:	Optimum spacing of fin
T_A	:	Temperature of air [$^{\circ}\text{C}$]
T_B	:	Temperature of board [$^{\circ}\text{C}$]
T_f	:	Film temperature [$^{\circ}\text{C}$]
T_J	:	Temperature of junction [$^{\circ}\text{C}$]
T_s	:	Temperature of fin surface [$^{\circ}\text{C}$]
T_{∞}	:	Temperature of fluid far from fin surface [$^{\circ}\text{C}$]
t	:	Time [sec]
t_{fin}	:	Thickness of fin [mm]
τ_{ij}	:	Stress tensor components
u_i	:	Absolute fluid velocity component in direction x_i
u_j	:	Absolute fluid velocity component in direction x_j
V	:	Volume [m ³]
V_F	:	Rated voltage
ν	:	Kinematic viscosity [m ² /s]
w	:	Wight of a vehicle
x_i	:	Cartesian coordinate

SUBSCRIPTS

<i>s</i>	:	Surface
<i>f</i>	:	Film
<i>m</i>	:	Mass
<i>h</i>	:	Enthalpy
<i>p</i>	:	Fin profile, Power
<i>c</i>	:	Correction
<i>B</i>	:	Board
<i>J</i>	:	Junction
<i>A</i>	:	Air
<i>S</i>	:	Slug
<i>D</i>	:	Dynamoelectric

ABSTRACT

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

Jung Hyeon-Ho

Advisor : Prof. Nak-kyu Chung, Ph.D.

Dept. of Advanced Parts and Materials Engineering

Graduate School of Chosun University

This thesis was conducted a simulation 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 conditions of simulation were applied junction temperature of 160°C and cooling fan operation. The results of simulation were analyzed temperature distribution and average temperature, air flow characteristic, heat flux etc. Through these analyses were obtained following conclusion.

1. The temperature distribution of existing heat sink (Type 1) was showed the thermal accumulation to the top of the fin and it was the maximum average temperature of 125°C according to the temperature distribution. Designed Type 2 showed the low-temperature distribution toward the top of heat sink and it was the minimum average temperature of 101.9°C.

2. Air flow of the existing Type 1 was passed rapidly in the middle of heat sink, and the average velocity of fluid was 100.603 m/s. Designed Type 6 was increased in flow speed at the central, and the average velocity was 113.983 m/s as the maximum.
3. The design type of Type 2 was heat flux of the maximum as 44430 W/m², and the thermal conductivity was showed highest 884.170 W.

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. In addition, by this study in regard to the heat radiant and flow characteristics of LED head lamp at the limited internal space is thought possible to optimal heat sink design and production.

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

어두운 저녁 자동차의 앞길을 비춰주는 전조등, 1887년 프랑스의 알베르 드 디옹 (Albert de Dion)이 전조등이라는 명칭을 처음 사용하였고, ‘자동차의 앞을 비추었다’는 의미로 명명되었다. 전조등은 아세틸렌 전조등을 시작으로 1890년대 미국의 콜롬비아 자동차 회사에서 전기를 이용한 램프가 개발 되어 1910년대부터 일반화되기 시작하였다. 이후 전기 및 전구기술의 발전으로 백열전구(R2형식), 할로겐 램프(H4형식), 가스방전식램프(DIS형식), LED(light emitted diode) 등을 자동차 전조등에 적용하고 있다.

최근 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 응용분야에서의 폭넓은 활용이 가능하게 되었다. 또한, LED는 1990년대부터 단순한 신호용으로 사용된 이후로 최근에는 자동차의 turn signal, room lamp, rear lamp 와 주간주행등(DRL : Daytime Running Lamp)에 접목되어 보급화가 진행 중에 있으며, 2000년대 초반부터는 자동차 등화장치의 핵심인 전조등 개발이 국내외에서 활발하게 연구되고 있다. 그리고 2002년 3월 제네바 모터쇼⁽¹⁾에서 Fig. 1과 같이 일본의 토요다 자동차가 L자 형식의 LED 전조등을 중소형 SUV 컨셉트카 「UUV」 모델 자동차에 장착함으로써 전조등에 사용될 수 있다는 가능성을 보여주었다.

이와 같이 LED가 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 전조등은 할로겐램프에 비해 수명이 길고 친환경적이며, 소비전력이 적어 연비향상과 발전기(alternater)의 소형, 경량화 등으로 이어질 수 있다. 하지만 LED

(1) Geneve Motor Show 2002

의 작동온도, 단파복사량, 인광체의 위치 등과 같은 작동조건은 성능과 수명에 영향을 미치기 때문에 할로겐램프 및 가스방전식 램프를 대체하기 위한 안정적인 출력과 수명이 보장되어야한다.

LED는 입력 전력 대비 85%가 열로 변환되는 것으로 알려져 있으며, 소자 자체에서 발생하는 열로 인하여 저항의 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 방열 시스템을 설계하는 것이 필수적이다. 방열설계 시 고려되어야 할 사항은 차량 엔진룸 온도의 영향이다. 고온의 엔진룸 온도가 전조등에 직접적으로 영향을 주며 특히 고속 주행 후 정차 조건의 경우 최대 lamp 주위 온도는 95℃~100℃ 정도이다.

현재 LED 전조등에 적용 가능한 방열시스템⁽²⁾은 냉각 방식에 따라, 자연대류를 이용한 히트싱크와 냉각팬을 이용한 히트싱크, 냉각액을 사용하여 열전달을 증가시킨 수냉식 냉각판(liquid cooled cold plates), 상변화에 의한 내부적인 순환을 이용한 히트파이프(heat pipe) 등으로 구분할 수 있다. 수냉식 냉각판과 히트 파이프의 경우 자연대류를 이용한 히트싱크와 냉각팬을 이용한 heat sink에 비하여 능력이 뛰어나지만 시스템을 구성하기 위한 비용이 많이 들고 부가적인 장치를 부착하기 위한 공간을 확보해야 하는 단점이 있어 쉽게 적용되지 않고 있다. 상대적으로 간편하고 저렴하게 방열 시스템을 구성할 수 있는 자연대류를 이용한 히트싱크와 냉각팬을 이용한 히트싱크의 방열 성능에 대한 연구가 우선시 되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 LED 전조등 내부의 한정된 공간에 사용할 수 있는 방열 시스템으로서, 먼저 자연대류형 히트싱크의 적용 가능성을 알아보기 위하여, 기준 모델에서 냉각팬을 제거하고 히트싱크의 방열면적 및 핀(fin) 형태를 변화시켜 그에 따른 온도변화에 대하여 평가하였고, 다음으로 냉각팬을 설치하여 히트싱크의 방열성능 평가를 실시하여 그에 따른 LED 접합부 온도의 변화를 살펴보면서 간결하고 경량화가 가능한 방열시스템에 대하여 연구하였다.

(2) Ko, M S., Lee, J, H., Oh, S, J., Cho, H, S. and Seo, T, B., 2009, "Cooling Performance of LED Head Lamp with Heat Sink and Cooling Fan", KSME-B.2009.33.12.947p

2. 연구동향

LED의 가장 큰 장점으로서는 낮은 소비전력과 긴 수명이다. 최근 흔하게 볼 수 있는 예로, 휴대폰의 액정 표시 장치(LCD)와 키패드용 백라이트(backlight)를 들 수 있으며, 그밖에 교통신호등, 노트북, 전자제품, 기계장치 등과 같이 다양한 디스플레이로 사용되고 있다. 차량용 LED 전조등은 광학구조, 렌즈기술, 방열시스템, 반도체 소자 등 다양한 핵심기술이 포함된 첨단기술이다. 자동차에 LED가 처음 장착되기 시작한 것은 차량 내부의 계기 및 오디오등의 표시등이었으나 LED 휘도가 개선되면서 현재는 전조등을 제외한 계기판 백라이트, 실내등, 제동등, 미등 등 광량이 적게 소요되는 것에서 모든 램프가 LED로 대체 가능하게 되었다. 최근에는 자동차 전조등, 안개등과 같은 자동차의 등화 장치에 적용하려는 노력이 활발히 진행되고 있으며, 전조등에 LED를 적용하려고 하는 노력은 여러 국내외 연구자들로 부터 제시 되고 있다.

2000년 이후부터 국내외 연구동향을 살펴보면, 2002년 John S. Van Derlofske⁽³⁾는 자동차 전조등용으로 백색 LED에 대한 연구를 통하여 백색 LED기술 적용에 대한 향후 발전방향을 제시하였다. 2004년 Kelvin Shih⁽⁴⁾는 LED에서 히트싱크의 유·무 및 주위 온도에 따라 밝기를 비교한 결과 히트싱크가 있는 경우, 히트싱크가 없는 경우보다 상대적으로 밝기가 높게 측정되어 LED에서 방열시스템은 매우 중요한 요소임을 주장하였다. 2005년 Kazushige Kikuchi⁽⁵⁾는 알루미늄 판, 흰(fin)과 핀(pin) 형태로 제작된 히트싱크에 강제대류 또는 자연대류 조건으로 LED의 접합부 온도(junction temperature)를 측정한 결과 핀 형식이 흰 형식보다 동일한 크기에서 더 우수한 결과를 얻을 수 있었다고 분석하였다.

2007년부터는 LED 전조등의 실용화를 위한 실질적인 연구가 많이 진행되었는데 Kang B⁽⁶⁾, ⁽⁷⁾, ⁽⁸⁾는 LED 전조등을 이용하여 야간도로의 조명을 최적으로 구현하

(3) Joh F. Van Derlofske., Michele McColgan., "White LED sources for vehicle forward lighting", SPIE, Vol. 4776, 195, DOI : 10.1117/12.452569, 2002.

(4) Kelvin Shih., "LED Junction Temperature Measurement and its Applications to automotive Lamp Design", SAE 2004-01-0224, 2004.

(5) Kazushige Kikuchi., "An Approach to Predicting Led Junction Temperatures with Fluid and Thermal Analysis", SAE 2005-01-0864, 2005.

(6) H Lee., B Kang., H Kim., Y Choi., J Hwang., "A Study on Optimum Swivel Angle of AFLS Headlamps Considering Various Road Curvatures", KSAE 06-F0224

기 위한 조명가변형전조등시스템(AFLS : Adaptive Front Lighting System)에 대해 연구 하였다. AFLS란 주행범이 도로 및 사용조건에 따라 전조등에서 조사되는 빛을 자동적으로 변환시킬 수 있는 전방조명 시스템으로서, 일반변환빔, 시가지, 고속도로, 젖은 도로, 곡선로 등 모드(mode)기능을 포함한 시스템을 Full AFLS라 한다. 이 연구는 시제품으로 제작된 시스템을 이용하여 비교실험을 실시하였고, LED 전조등의 광도, 색도, 노면조도, 눈부심, 시인성 등 다양한 실험을 통하여 LED lamp 조명성능이 기존 할로겐램프보다 우수한 반면 눈부심을 유발할 가능성이 있고, 도로환경조건에 따른 많은 연구가 필요하다고 주장하였다.

Fig. 2와 같이 2008년 세계 최초로 일본의 Toyota 고급모델 Lexus LS 600h / LS 600h L시리즈에 자동차 LED 전조등을 적용 하였으며, 이후 독일의 아우디 (Audi) R8 5.2 FSI 쿼트로와 미국 GM(General Motors)의 캐딜락 에스칼레이드 (Cadillac escalade)에도 LED 전조등이 적용되었다. 캐딜락 에스칼레이드(Cadillac escalade)는 SUV 자동차에 세계 최초로 full LED 전조등이 적용되었고, 아우디 (Audi) R8 5.2 FSI 쿼트로에 장착된 LED 전조등은 lower beam과 high beam 모두 LED를 적용한 세계 최초의 LED 전조등이며, 엔진이 자동차의 뒷면에 설치되어 있는 구조(RR : Rear engine Rear drive)로 엔진룸이 앞에 있는 일반 자동차에 비해 엔진룸 온도 영향을 덜 받는 특징이 있으며, 방열시스템은 히트싱크와 냉각팬을 사용하였다. LED 전조등 기술은 할로겐램프와 가스방전식램프의 중간 수준의 성능을 보이며, 현재는 높은 단가 때문에 고급 세단 위주로 적용하고 있다.

국내 차량으로는 H사의 EQQUS VL500에 적용되었다. EQQUS VL500에 장착된 LED 전조등의 특징은 히트싱크와 냉각팬을 사용하여 방열시스템을 구성하고, 8W 급 LED모듈로 총 5개의 시스템으로 구성되어있다. 당초 독일 O사와 일본 N사 LED 공급을 두고 치열하게 경쟁하였으나 최종적으로 일본 N사의 LED 모듈이 사용되고 있다.

2009년 Kang⁽⁹⁾은 LED 전조등 내부의 한정된 공간에서 허용 할 수 있는 방열시스템으로 히트싱크와 냉각팬을 갖는 간결하며 경량화가 가능한 방열시스템을 연구

(7) Kang B., Park K., Yong B., Kim H., "Application of LED Headlamps in S. Korea", SAE 2007-01-3516, 2007.
 (8) B Kang., K Park., B Yong., H Lee., H Kim., "The Evaluation Performance on LED Headlamps", KSAE 08-A0343.
 (9) Kang B., "Heat Dispassion System of automotive LED Headlamps with heat sink and Cooling fan" Ph. D. Theisis, 2009.

하면서 추가적으로 시제품 LED 전조등을 제작하여 할로겐 전조등과 비교한 결과 연료소모량과 오염물질 배출량이 적게 배출된다는 연구결과를 제시하였다. 또한, Yan Lai⁽¹⁰⁾는 LED를 자동차용 전조등에 적용하기 위하여 히트싱크와 냉각 판을 조합한 열교환기에서 pump를 이용하여 액체를 회전시켜 LED 전조등을 냉각시키는 방법을 연구하였다.

또한, LED 전조등의 표준화 동향⁽¹¹⁾을 살펴보면, LED 전조등에 대한 표준은 현재 UNECE에서 주도적으로 접근하고 있으나, 진행은 점진적으로 이루어지고 있는 상황이다. 미국 Price Daniel이 1961년 처음 제안한 주간주행등(DRL : Daytime Running Lamp) 적용이 최근 사고를 크게 감소시키고 있다는 보고가 있으며, 2011년 이 후 유럽지역에서도 차량의 DRL 탑재를 의무화하는 규정을 추진중이며, 국내에서도 2009년 6월 18일 ‘자동차 안전기준에 관한 규칙’ 개정령이 공포 시행되고 있으며, 기존의 안전성 문제로 불법으로 규정되었던 LED 전조등의 장착이 가능해졌다. LED 전조등을 도입하기 위해서는 기존 할로겐램프 및 가스방전식램프와 동등이상의 내구성이 유지되어야 하고, LED chip 자체의 열 발생으로 인한 소자 자체 및 구동부의 열화는 운전 중 오작동을 일으킬 수 있는 잠재적인 위험요소를 신뢰향상 및 제거 시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다.

(10) 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.

(11) M R Cho., S K Jeon., H Y Lee., D H Kim., J H Na., S Y Yang., “The Analysis on National and International Standards of LED Headlamp for automobile”, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers, 2010 춘계학술대회, pp. 142~143.



Fig. 1 LED head lamp of Toyota



Fig. 2 LED head lamp of general automobiles

3. 연구내용

LED의 경우 열에 의해 광량저하, LED 전압 감소 및 전류 상승, LED 색도변화, LED 수명 등 다양한 특성변화를 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 LED 방열 시스템이 필수적이다. 방열성능에 영향⁽¹²⁾을 미치는 요소로는 히트싱크의 fin 높이, fin 형상, fin pitch, base 두께 등의 히트싱크 설계요소들이 있으며, LED와 히트싱크의 접촉열저항과 체결력의 관계를 들 수 있다. 따라서 LED 전조등의 성능향상을 위한 방열시스템의 성능분석과 엔진룸 온도에 따른 LED 전조등 광도성능과 온도를 중심으로 연구하였다. LED 전조등의 LED 발광효율 개선과 수명연장을 위해서는 모듈에서 발생하는 고열을 효과적으로 외부로 방열시키는 것이다. 그리고 LED 전조등의 열은 LED 자체열과 주변에서 발생하는 열로 나눌 수 있으며, 이 열원은 엔진룸의 온도, LED 자체온도, 그리고 여러 가지 1, 2차적인 열원 등이 있다.

LED를 광원으로 사용하는 기존 히트싱크는 단순히 금형을 통하여 압출하는 방식으로 압출한 히트싱크를 측면을 절단하여 공기의 유동과 표면적을 넓히는 방법을 적용하고 있다. 이러한 기존 히트싱크는 방열량을 증가에는 한계가 있어 단위체적당 방열량을 증가시킨 새로운 형상의 고효율 히트싱크를 연구하고자 한다.

또한, LED 자체에서 발생하는 열은 LED package의 접합부에서 발생하는 열저항이며, 이를 효과적으로 방열시키기 위한 히트싱크 설계가 중요하다. 따라서 본 논문에서는 히트싱크의 설계요소에 대한 수치해석의 가능성을 규명하고, 향후 수치해석을 통하여 보다 성능이 우수한 히트싱크의 개발 방안을 제시하는데 목적을 두고, 방열성능을 알아보하고자 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에 적용한 히트싱크는 LED를 광원으로 사용하는 기존제품을 바탕으로 한정된 내부공간에 적합하도록 계산식에 근거하여 총 6가지 종류를 설계하였다. 히트싱크의 시뮬레이션은 LED package에서 발생하는 열을 기준으로 접합부의 온도 160°C와 냉각팬을 가동하였을 때, 히트싱크의 변화에 따른 평균온도와 유동, 열유속 등을 분석하였다.

(12) Kang., H., Kang B., Park., K., "A Study on Contact Thermal Resistance of LED and Heat sink from LED HEAD LAMP", KASE 08-A0351.

II. 연구이론

자동차 LED 전조등에 대하여 히트싱크는 높은 열전도율의 재질(일반적으로 알루미늄)로 제조되며, 작동온도를 감소시키기 위하여 칩에 부착되어 있다. 히트싱크에 강제대류를 유도하기 위하여 작은 팬(fan)을 사용하여 열전도율을 증가시키기도 한다.

1. 확장표면(Extended surface)

히트싱크의 확장표면(extended surface)이란 일반적으로 고체 내에서 전도에 의한 열전달과 고체의 경계로부터 대류 및 복사에 의한 열전달을 포함하는 특별한 경우를 표현하는데 사용된다. 지금까지 고체의 경계로부터의 열전달은 고체 내에서 전도에 의한 열전달과 같은 방향이라고 생각해 왔다. 대조적으로 확장표면에 대해서는 강제(鋼製)로부터의 열전달 방향은 고체 내에서 열전달의 주방향에 수직이 된다.

전도와 대류가 결합된 효과를 포함하는 다른 경우가 많이 있지만, 가장 흔한 응용은 고체와 이에 인접한 유체 사이에서 열전달율을 증가시키기 위하여 특별히 확장표면을 사용하는 것이다. 이러한 확장표면을 흰(fin)이라 한다.

Fig. 3과 같이, 만일 표면온도 T_s 가 고정되어 있다면, 열전달율을 증가시킬 수 있는 방법에는 두 가지가 있다. 유체속도를 증가시킴으로서 대류열전달계수 h 를 증가시킬 수 있는 것과 또한 유체온도 T_∞ 를 낮출 수 있는 것이다. 그러나 h 를 가능한 최댓값으로 증가시키는 것으로는 원하는 열전달율을 얻는데 불충분하거나, 부수된 비용이 너무 비싼 것 등 여러 상황이 있을 수 있다. 이러한 비용은 유체운동을 증가시키는 데 필요한 송풍기나 펌프 구동력 요구와 관련된다. 또한 T_∞ 를 감소시키는 두 번째의 방법은 비현실적인 경우가 많다. 세 번째 방법은, 대류가 일어나는 표면적을 증가시켜 열전달율을 증가시킬 수 있다. 이를 위하여 벽으로부터 주위 유체로 확장된 흰(extended fin)을 사용한다. 흰 재료의 열전도율은 흰의 온도분포에 큰 영향을 주므로, 열전달율이 증가되는 정도에 영향을 미친다. 이상적으로 흰 재

료의 열전도율은 흰 바탕으로부터 흰 끝까지의 온도변화를 최소로 하기 위하여 커야 한다. 극단적으로 열전도율이 무한대로 클 때 흰 전체의 온도는 흰 바탕 표면온도와 같게 되므로 열전달이 가능한 최대로 증가된다.

흰의 횡단면이 균일하지 않다면 흰의 열적 거동을 해석하는 것은 더 복잡하게 된다. 여러 가지 일반적인 흰 형태에 대한 흰 효율식과 표면적이 Table 1에 요약되어 있다. 비록 두께나 지름이 균일하지 않은 흰에 대한 결과는 흰 끝이 단열되었다고 가정하여 구하지만, 대류의 효과는 수정된 길이나 수정된 반지름을 사용함으로써 반영할 수 있다. 삼각형 흰과 포물선형 흰은 흰 끝 두께가 0으로 줄어드는 균일하지 않은 흰이다.

흰의 종단면적 A_p 또는 체적 V 에 대한 식은 Table 1과 같이 정의할 수 있다. 직선형 흰의 체적은 단순히 흰의 폭과 종단면적의 곱 $V = wA_p$ 이 된다.(13)

히트싱크는 주어진 바탕면적에서 조밀하게 배열된 흰과 넓게 배열된 흰이 사용될 수 있다. 조밀하게 배열된 흰을 갖은 히트싱크는 넓은 열전달면적을 갖지만 흰 사이를 통과하는 유체에 추가적인 저항이 생기므로 열전달 계수가 낮아진다. 반면 넓게 배열된 흰을 갖은 히트싱크의 열전달 계수는 높지만 열전달면적이 좁아진다. 따라서 자연 대류열전달을 최대로 하는 최적의 간격은 흰이 등온이고 흰의 두께가 흰 사이의 간격에 비해서 상대적으로 작을 때 최적 흰 간격을 구하는 아래의 식(1)이 Ber-cohen과 Rohsenow에 의해 히트싱크의 설계 이론으로 제안되었다.

$$S_{opt} = 2.714 \frac{L}{Ra^{1/4}} \quad (1)$$

대기온도를 300K, 대기압은 1기압으로 가정한다.

$$Ra = Gr \times Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_{fm}^3}{\nu^2} \times Pr \quad (2)$$

여기서 S_{opt} 는 최적 흰 간격, L 은 수직방향의 특성길이, L_{fm} 은 형상의 특성 길이

(13) Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, "INTRODUCTION TO HEAT TRANSFER, FIFTH EDITION", WILEY, pp. 95-169, 2007.

(m), Ra 는 레일리(Rayleigh) 수, Gr 은 그라스호프(Grashof) 수, Pr 은 프란틀(Prandtl) 수, g 는 중력가속도(m/s^2), β 는 체적팽창계수, T_s 는 흰의 표면온도($^{\circ}C$), T_{∞} 는 흰 면에서 멀리 떨어진 유체의 온도, ν 는 유체의 동점성계수이다.

LED전조등과 같이 밀폐된 시스템에서 처음 설계를 하는 경우에는 우선 목표 열 특성을 성질하고, 목표 열전달 계수에 맞는 유량을 산출할 수 있다.

한편 경막온도(T_f : Film temperature) 333K에서 유체인 공기의 물성값이라고 가정할 때, 평판에서는

Prandtl number, $Pr = 0.708$

Kinematic viscosity, $\nu = 1.89 \times 10^{-5} m^2/s$

Thermal conductivity, $k = 0.0285 W/m \cdot ^{\circ}C$

Aluminum (pure)의 thermal conductivity $k = 237 W/m \cdot K$

여기서, 방열판의 최적 간격의 경우에 열전달 계수(h_{HS})는 아래 식 (3)과 같다.

$$h_{HS} = 1.31 \frac{k}{S_{opt}} \quad (3)$$

그리고 흰으로 부터 자연대류에 의한 열전달율(\dot{Q})은 Newton의 냉각법칙으로 표현되는 아래 식 (4)와 같다.

$$\dot{Q} = h_{HS}(2NL_{fin}L)(T_s - T_{\infty}) \quad (4)$$

여기서, N 은 흰의 개수, L 은 수직방향의 흰의 길이이다.

대기특성은 막온도를 사용하여 식 (5) 및 식 (6)과 같이 구한다.

$$T_f = \frac{(T_s - T_{\infty})}{2} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (6)$$

이와 같은 식들은 바탕으로 흰으로 부터의 열전달은 표면적에 비례하고 끝의 면적은 전체 열전달 면적에 비해 매우 작으므로 흰 끝에서의 열전달은 무시된다.

이때 열효율은 식 (7)과 같다.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{fin}}{\dot{Q}_{finmax}} = \frac{\tan a L_{fin}}{a L_{fin}} \quad (7)$$

여기서, a 는 히트싱크의 세로 환에 대한 매개변수이고,

$$a = \sqrt{\frac{2h_{HS}}{kt_{fin}}}$$

이다. 여기서, t_{fin} 은 환의 두께이다.⁽⁹⁾

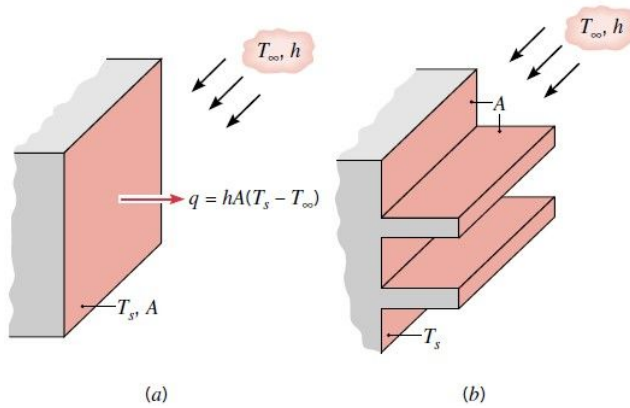


Fig. 3 Use of fins to enhance heat transfer from a plane wall
 (a) Bare surface. (b) Finned surface.

Table 1 Efficiency of common fin shapes

Straight Fins		
Rectangular^a $A_f = 2wL_c$ $L_c = L + (t/2)$ $A_p = iL$		$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$
Triangular^a $A_f = 2w[L^2 + (t/2)^2]^{1/2}$ $A_p = (t/2)L$		$\eta_f = \frac{1}{mL} \frac{I_1(2mL)}{I_0(2mL)}$
Parabolic^a $A_f = w[C_1L + (L^2/t)\ln(tL + C_1)]$ $C_1 = [1 + (t/L)^2]^{1/2}$ $A_p = (t/3)L$		$\eta_f = \frac{2}{[4(mL)^2 + 1]^{1/2} + 1}$

2. LED의 구조와 발광원리

LED는 일반적으로 기판(substrate) 위에 N형 반도체, P형 반도체, 그리고 반투명의 P-metal 등의 순서로 형성되는 3층의 박막과 N전극 층을 포함하는 총 4종의 주요박막 층으로 이루어지며, 대부분의 LED는 기판위에 N형 반도체 층을 먼저 성장 시키고 그 다음 P형 반도체 층을 성장시켜 만들어진다.

LED의 발광원리는 P형과 N형 반도체의 접합으로 이루어져 있으며, 전압을 인가하면 전자와 정공의 결합으로 반도체의 에너지 대역에 해당하는 에너지를 빛의 형태로 방출하는 PN-JUNCTION 다이오드이다. 따라서 방출되는 광자 에너지는 에너지 대역(Energy gap)과 같다.⁽¹⁴⁾

LED에서 방출하는 빛의 색깔은 반도체 칩 구성원소의 배합에 따라 파장을 만들며 이러한 파장이 빛의 색깔을 결정짓는다. 현재 고휘도 LED에 주로 사용하는 Aluminium Gallium Indium Phosphide (AlGalnp) 칩에서는 Red부터 Amber까지, Indium Gallium Nitride (InGaN) 칩에서는 Blue와 Green칩에 Phosphor 기술을 접목하여 White LED를 가능하게 하였다.

Fig. 4는 LED의 동작원리를 나타낸 것이다. LED의 동작원리는 LED의 전극에 순방향 전압을 인가하여 P형의 다수 캐리어인 정공은 N영역으로, N형의 다수캐리어인 전자는 P영역으로 주입되어 서로 확산하게 된다. 이때 전자와 정공의 접합면 근처에서 서로 재결합하여 결합하는 전자와 정공의 에너지 갭에 해당하는 만큼의 파장을 갖는 빛을 방출하게 된다.

(14) Oh C., "Analysis on radiation of heat for the life improvement of Light Emitting Diode lighting" Master, 2010.

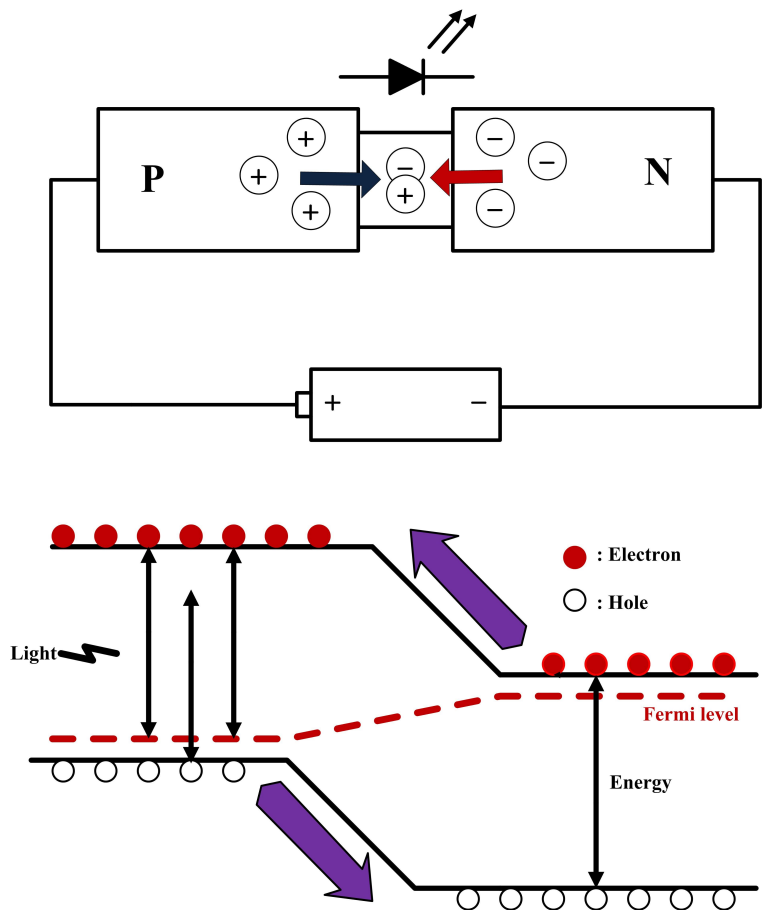


Fig. 4 LED operating principles

3. LED Package

LED package에서의 열 저항은 P-N 접합부(junction)와 heat spreader(레진, slug, housing 등)사이 존재합니다. 이 열 저항 값은 package의 구조, 재질, chip size와 LED에 사용된 물질의 특성에 의하여 결정된다. Fig. 5와 같이, LED package의 경우 열 저항($R_{\theta SA}$)은 solder pad 디자인, 부품의 위치, PCB(Printed Circuit Board)재질, PCB의 구조 등 많은 인자에 의해서 영향을 받는다. 열 저항 $R_{\theta BA}$ 는 PCB 및 면에서 열이 전달되지 않는 임의의 공간까지의 열 저항을 나타낸다. $R_{\theta JS}$ 는 chip의 접합부로부터 slug까지의 열 저항이고, $R_{\theta SB}$ 는 slug에서 metal PCB의 밑면까지 이다.

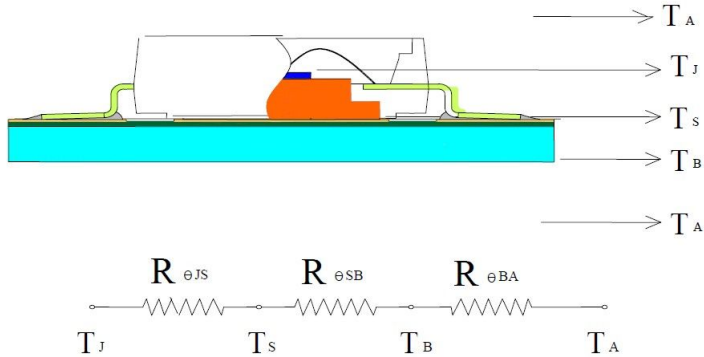


Fig. 5 Structure of LED package

LED package의 열 저항을 구하기 위해 사용되는 식은 다음과 같다.

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JS} + R_{\theta SB} + R_{\theta BA} \quad (8)$$

$$R_{\theta JB} = R_{\theta JS} + R_{\theta SB} \quad (9)$$

$$T_J = R_{\theta JB} \cdot P_D + T_B \quad (10)$$

여기에서 P_D 는 전기적 Power($V \cdot I$), T_B 는 Metal PCB 밑면온도이며, 식 (8), (9), (10)은 “Thermal Ohm’s law”로부터 계산할 수 있다.

Fig. 6과 같은 LED package의 열회로와 같이 병렬로 연결되어진 plastic housing의 열 저항은 resistance network 접근방법에 의해 무시한다면, 주위로부터 수지를 통한 접합부까지의 열 저항 값 $R_{\theta AJ}$ 과 빛으로 빠져나가는 열 저항 $R_{\theta J}$ 를 무시할 수 있다.

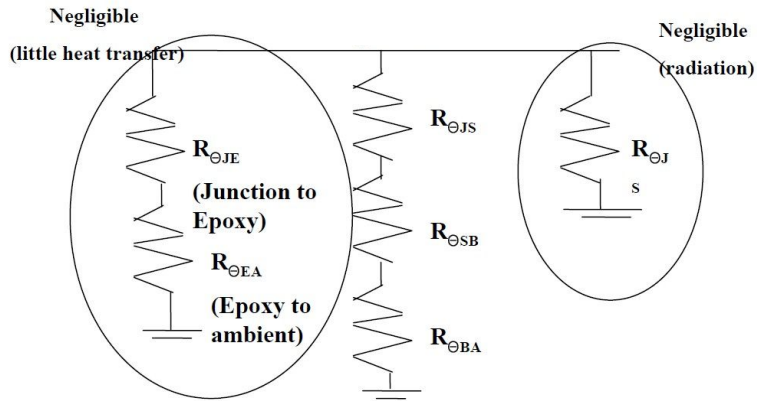


Fig. 6 Thermal circuit of LED package

LED package의 열 저항 $R_{\theta JB}$ 는 식 (10)의 접합부 온도 T_J 측정 식에서 얻을 수 있고, 열 저항도 package의 디자인이나 칩의 종류에 따라 다르다. 예를 들어 LED package의 디자인이 끝난 후 $R_{\theta JS}$ 와 $R_{\theta SB}$ 의 합은 변하지 않는다.(15)

(15) (주) 서울 시뮬레이터, “Thermal Management Guide”, 2005.

4. LED Package 접합부 온도

T_J 값을 구하는 방법에는 여러 가지가 있는데 그 중 저 전류에서 정격전압(V_F)을 측정해서 T_J 값을 구하는 V_F 법이 LED package 회사에서 일반적으로 사용하고 있다. 일반적으로 V_F 는 온도에 의해서 값이 변하며, 전류를 흘렸을 때 칩의 온도는 올라가고 전압은 떨어진다. 그리고 아주 작은 전력에 의해 칩이 구동 될 경우 접합부에서는 열 발생이 최소화되기 때문에 T_J 와 주위온도 T_A 는 같게 된다.

만약 낮은 전류에서 T_A 와 V_F 의 관계를 파악한다면 T_J 을 간접적으로 측정이 가능하고 식 (10)에 의해서 인가된 전력에 대한 열 저항($R_{\theta JB}$)을 얻을 수 있다. T_J 를 측정에 앞서 몇 가지 가정이 필요하다.

- i) 인가되는 모든 전력은 열로 전환한다.
- ii) 낮은 전류 인가 시 LED 접합부에서는 열이 발생하지 않는다.
- iii) LED에서 V_F 는 T_J 와 반비례한다.

V_F 와 T_J 의 상관관계에 의하여 LED에 정격 전류를 흐르게 하고 puls 1 mA로 정격전압을 측정한다. 이때 puls time은 매우 짧은 시간이기 때문에 열이 LED에서 방출되지 않는다. LED가 열 발생에 의해서 포화온도까지 더 이상 온도가 올라가지 않을 때의 puls 1 mA의 V_{F1} 을 측정하고 Off시키면서 LED가 주의 온도와 같아질 때까지 방열 시키면서 puls 1 mA로 V_{F2} 를 측정한다. 이때 1 mA는 아주 작은 전력에도 온도상승에 영향을 주지 않는다. 즉 LED의 On과 Off의 접합부 온도 차는 V_{F1} 와 V_{F2} 의 차와 관계가 있다. 이 관계식에 의해서 ΔT_J 를 구할 수 있고, T_A 와 ΔT_J 의 합에 의해서 T_J 를 구할 수 있다.

LED package의 효율을 높이기 위해서는 LED에서 나오는 열을 외부로 잘 빼주어야 한다. 열을 잘 빼주기 위해서는 LED package 내부의 방열 경로와 LED package에서 임의 공간까지의 방열설계를 잘 해야 한다. 이 때 임의 공간의 온도가 매우 중요하며, 임의 공간의 온도가 높게 되면 방열이 잘 이루어지지 않기 때문에 LED의 접합부온도도 상승하게 된다.

LED package에서 임의 공간까지의 열관리에는 냉각방법이 정해진 후 냉각시스템이 설계될 수 있으며, 열 저항 $R_{\theta JB}$ 와 $R_{\theta BA}$ 는 응용에 따라 최적화 되어야 한다. 그러나 앞서 말한 $R_{\theta JB}$ 는 변하지 않기 때문에 $R_{\theta BA}$ 을 최소화 하는 것이 중요하다.

일반적으로 LED package의 접합부 온도는 허용 최대온도 이하로 유지되어야 한

다. LED의 수명은 접합부 온도 및 외부환경에 따라 달라지며, 일반적으로 높은 접합부 온도에 의해서 수명이 감소된다.

Ⅲ. 수치해석

1. Heat Sink 모델링

본 논문은 LED 전조등의 LED 접합부에서 발생하는 열을 효율적으로 방열시킬 수 있도록 히트싱크를 설계하여 수치해석 모델링에 이용하였다. 히트싱크 설계는 기존제품의 LED 전조등에 적용된 히트싱크를 기준으로 흰 구조와 형상을 변화시켜 CATIA Ver 5.18로 설계였다. 이와 같이 설계된 히트싱크들을 모델링하여 방열 성능을 알아보기 위한 수치해석을 ANSYS Ver 12.1에 의해 수행하였다.

히트싱크를 모델링하기 전, 기존제품의 LED 전조등에 대한 방열성능 실험을 수행하였다. 내부가 한정된 공간으로 제작된 전조등 set에 히트싱크에 의한 자연대류 방식과 냉각팬을 설치한 강제대류 방식의 경우에 대하여 방열성능을 평가한 결과, Fig. 7과 같이 LED 접합부의 온도상승으로 인하여 히트싱크만으로는 냉각이 부족함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 기존제품을 참고하여 LED 전조등 set의 공간과 Fig. 7과 같은 히트싱크를 기준으로 LED 접합부에서 발생하는 열을 방열할 수 있는 Fig. 8~Fig. 13과 같이 설계된 히트싱크를 모델링 하였다. 모델링 한 히트싱크는 알루미늄을 소재로 하였으며, LED 접합부에서 발생하는 온도는 160℃로 설정하여 일정한 거리에 위치한 냉각팬에 의해 강제유동을 모사하였다. 히트싱크의 소재인 알루미늄의 열물성치는 Table 2와 같다.

LED 전조등의 냉각을 위한 히트싱크의 형상에 따라 복사열전달, 냉각팬에 의해 유입되는 유동의 영향을 고려하였고, 냉각팬의 회전속도는 6400rpm의 최대허용 범위에 의해 유입되는 유체온도는 27℃로 설정하였으며, 유입 면적에 대해 균일한 유량 25 cfm의 공기로 설정하였다. 그리고 히트싱크의 Type별 방열성능을 비교하기 위하여 heat source 조건을 사용하여 LED package와 히트싱크의 접촉면에 대해 발생하는 열을 160℃로 설정하였다. 또한, 기존제품 LED 전조등의 히트싱크와 5가지 Type 히트싱크의 복잡한 형상에 대한 정확한 수치해석을 위해 Table 3과 같이 Type별로 격자를 각각 달리하여 해석하였다. 이와 같이 수치해석에 사용된 방법과 조건은 Table 4 와 Table 5에 정리하였다.

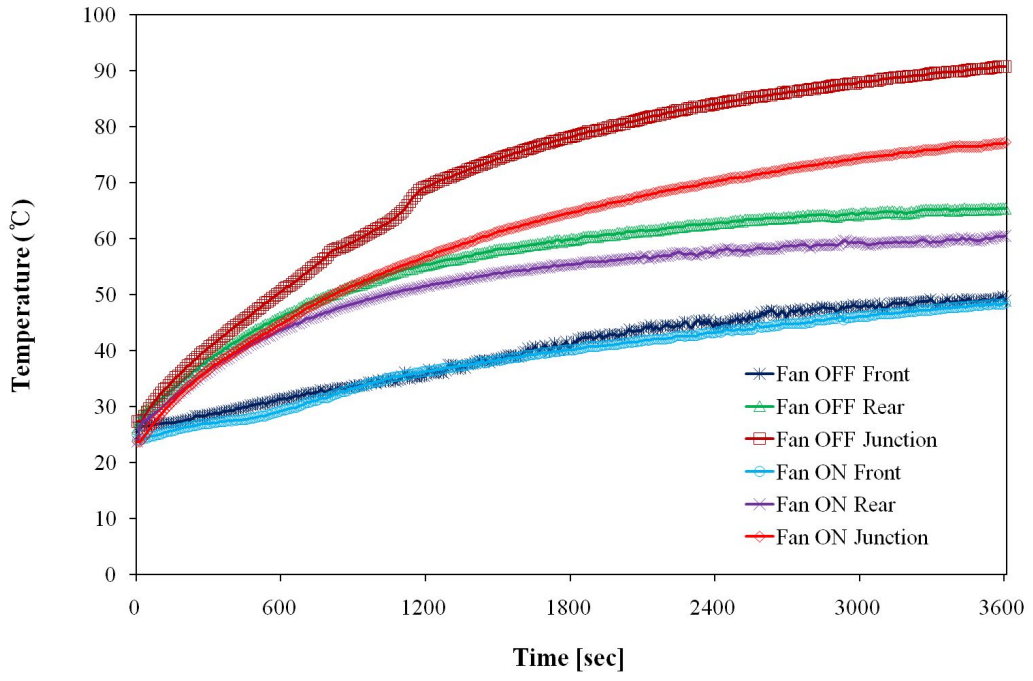


Fig. 7 LED junction temperature rise of heat sink

Table 2 Thermal properties of Aluminum(Pure)

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

Table 3 The number of mesh for simulation

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

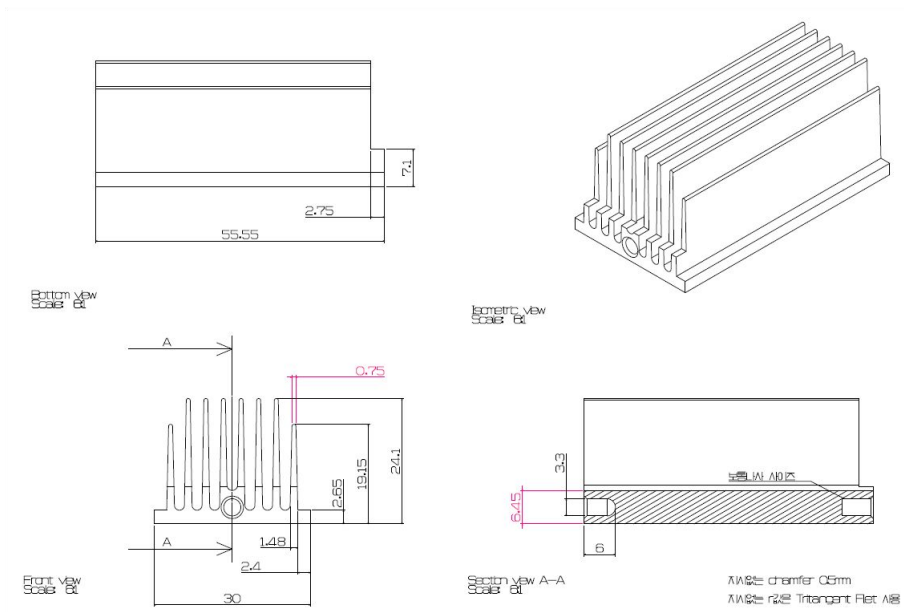


Fig. 8 Type 1 of heat sink

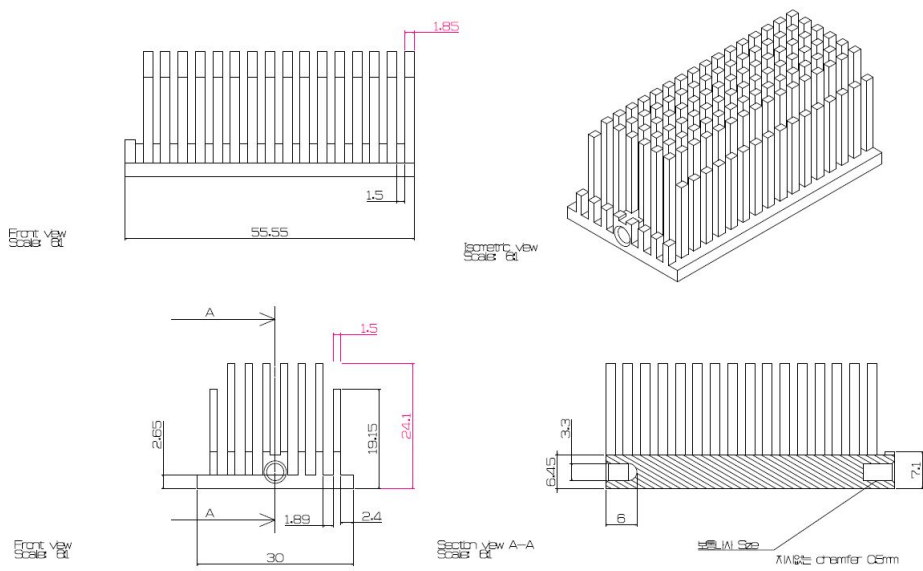


Fig. 9 Type 2 of heat sink

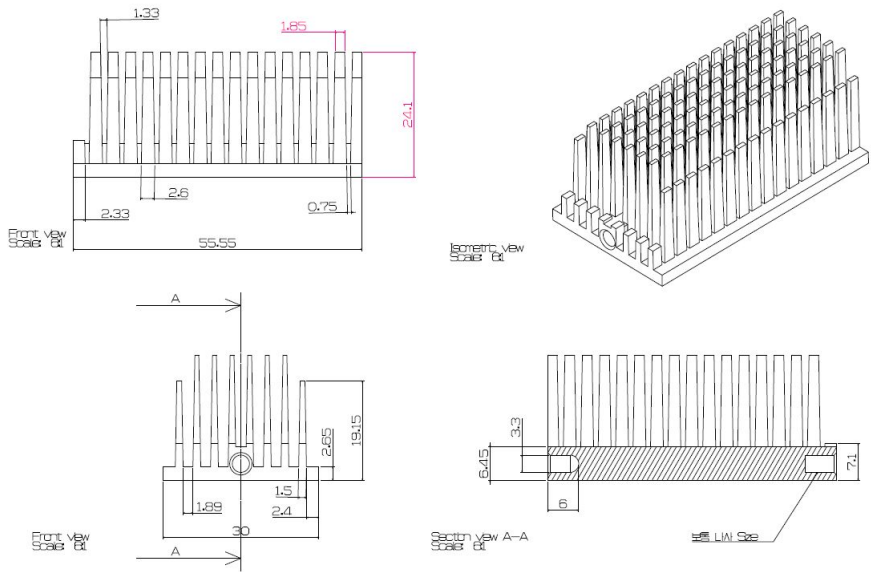


Fig. 10 Type 3 of heat sink

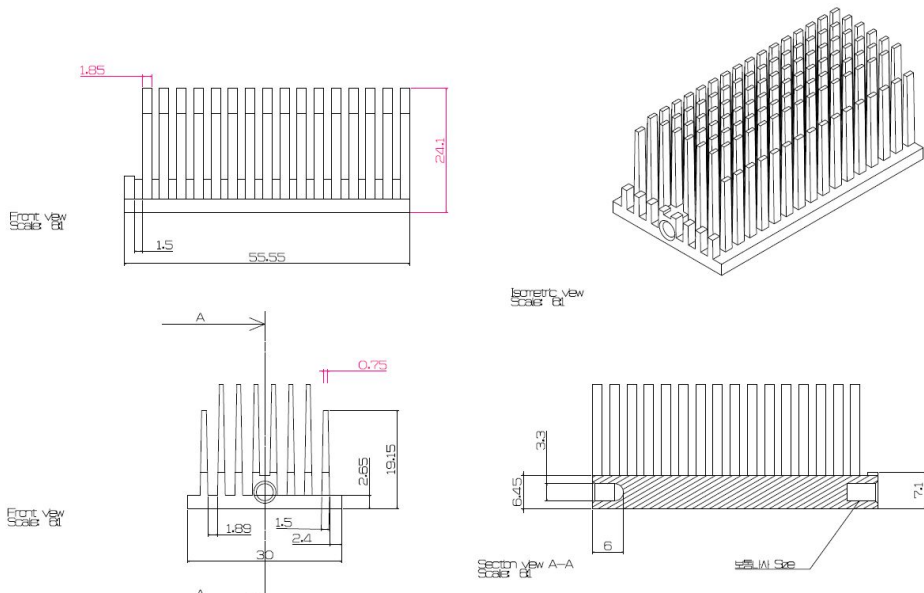


Fig. 11 Type 4 of heat sink

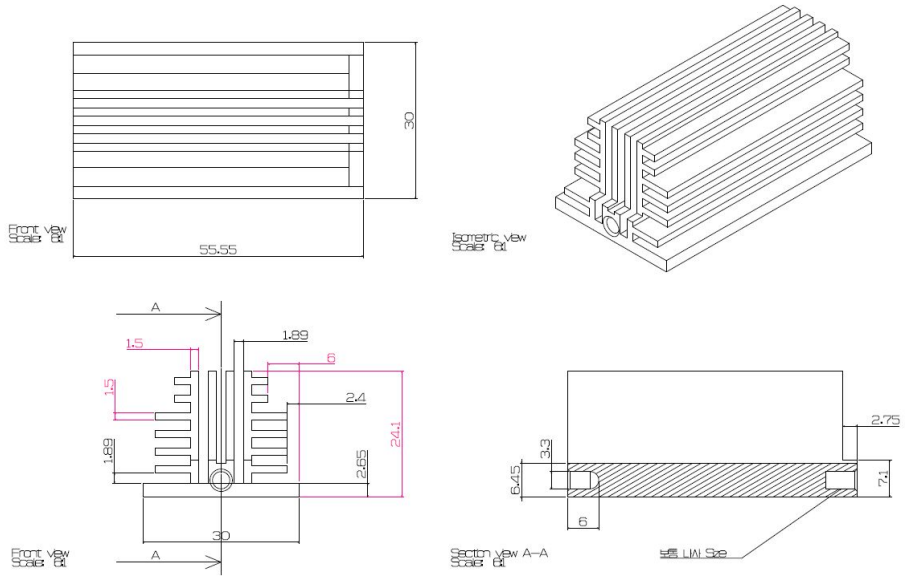


Fig. 12 Type 5 of heat sink

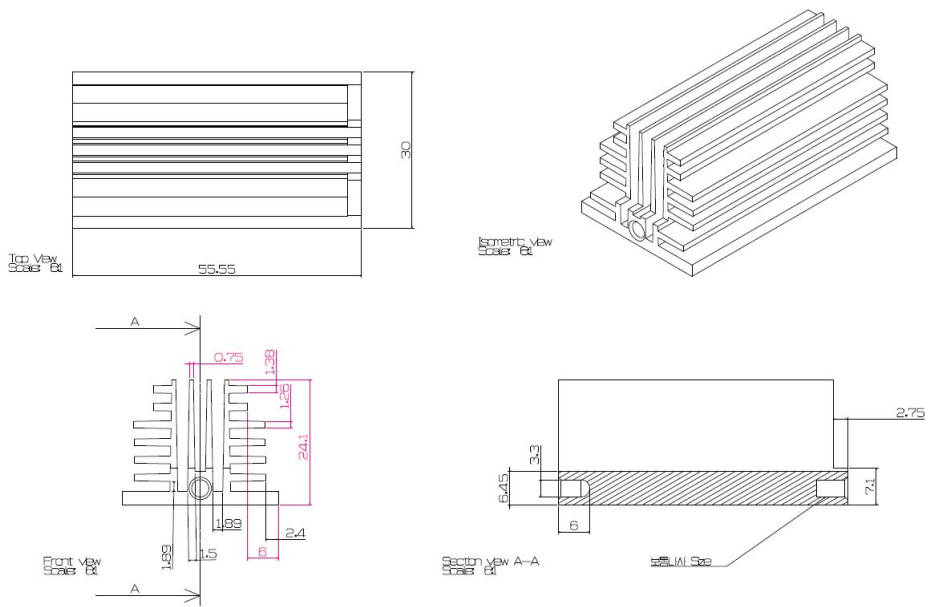


Fig. 13 Type 6 of heat sink

Table 4 Computational method

CFD Software	ANSYS CFX Ver 12.1
Solution algorithm	Continuity equation Momentum equation Energy equation Buoyant forces
Convection term	1st order upwind differencing scheme
Radiation	Discrete ordinates method
Buoyant Force	Consider

Table 5 Boundary condition

Junction temperature	160°C
Heat source	Constant heat flux
External temperature	27°C
Flow amount of air	$Q = 25$ cfm

Heat Sink Area

기존 히트싱크는 주어진 바탕면적에 넓게 배열된 흰이 사용되었으며, Fig. 14는 기존 히트싱크의 종단면과 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 15~Fig. 19는 설계된 히트싱크의 종단면과 온도분포로서, 주어진 바탕면적에 조밀하게 배열된 흰과 기존 히트싱크의 형상을 변화시켜 한정된 내부공간에 적합하도록 계산식에 근거하여 총 5가지 종류를 설계하여 수치해석에 의해 나타낸 종단면과 온도분포이다. 히트싱크의 단면적은 Type별로 Table 6과 Fig. 20에 나타내었다.

기존제품의 히트싱크는 $271.137 \times 10^6 \text{ m}^2$ 로서 최소단면적이며, Type 2는 $329.187 \times 10^6 \text{ m}^2$ 로서 최대 단면적이다. 기존의 히트싱크인 Type 1은 일정한 바탕면적에 넓게 배열되어 있는 사다리꼴에 가까운 종단면을 가지고 있으며, Type 2는 균일한 직사각형 단면으로서 다른 Type에 비해 넓은 단면적을 나타내었다.

편형 흰은 단면적이 일정할 수도 있고, 일정하지 않을 수도 있다. 어떤 작용에 있어서 특별한 흰 형태의 선택은 흰이 표면대류열전달계수를 감소시키는 정도와 흰을 통과하는 흐름과 연관된 압력강하를 증가시키기도 하며, 공간, 무게, 제작, 그리고 비용 등의 조건들에 따라 지배될 수 있다.

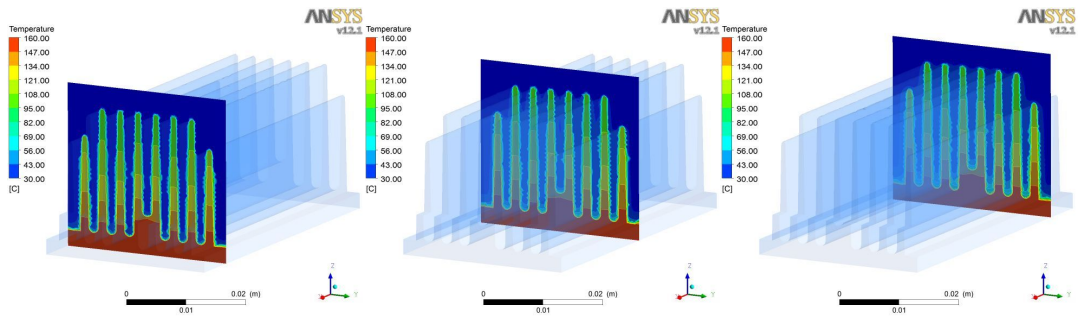


Fig. 14 Heat sink area of Type 1

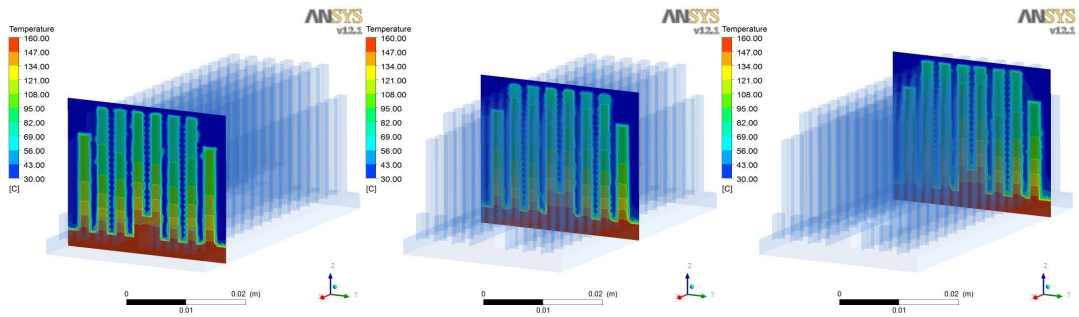


Fig. 15 Heat sink area of Type 2

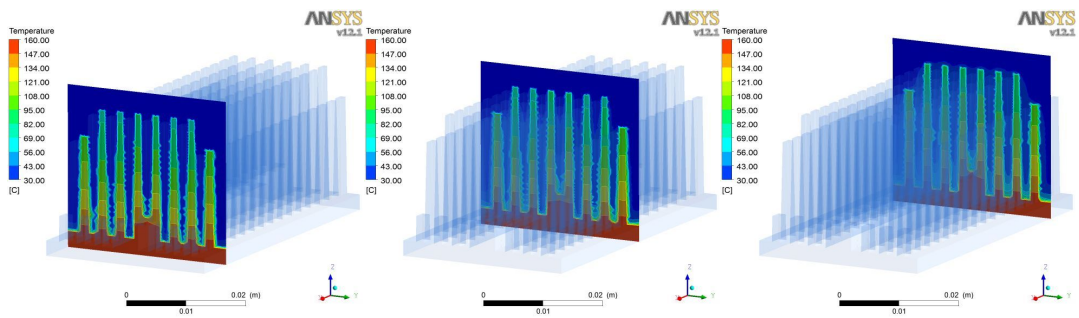


Fig. 16 Heat sink area of Type 3

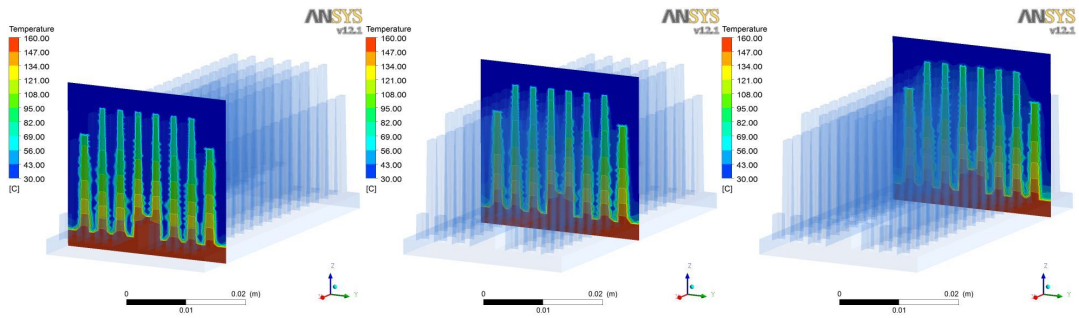


Fig. 17 Heat sink area of Type 4

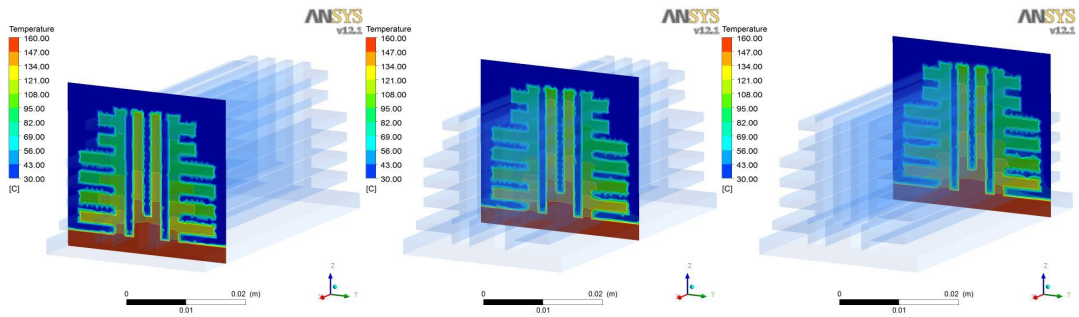


Fig. 18 Heat sink area of Type 5

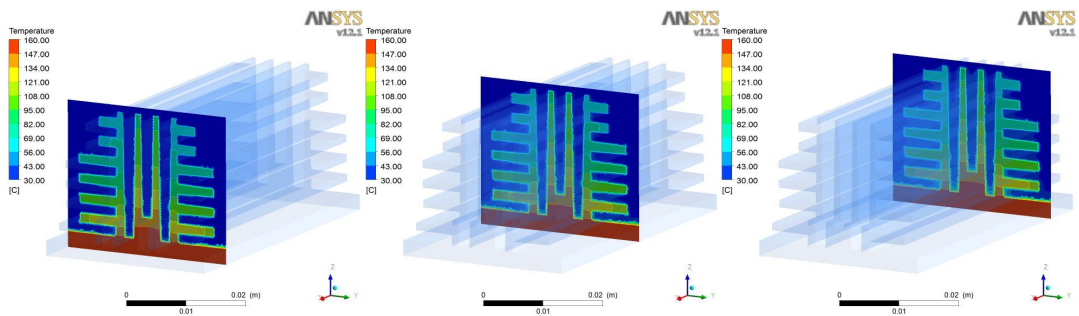


Fig. 19 Heat sink area of Type 6

Table 6 The area of heat sink for simulation

Case	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Heat sink area (10^6 m^2)	271.137	329.187	271.686	271.669	315.645	280.162

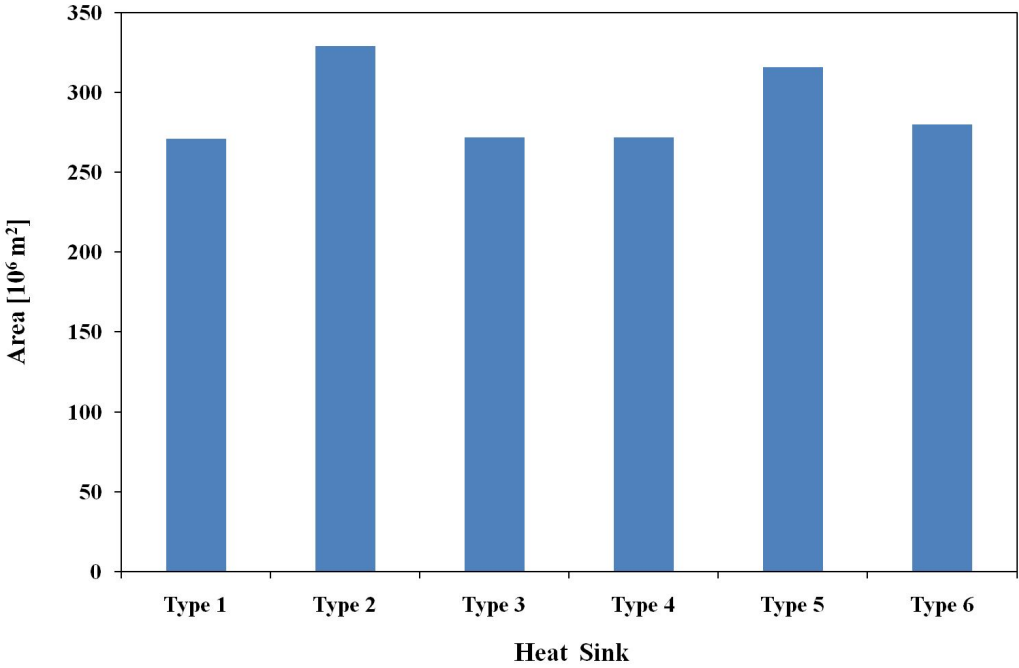


Fig. 20 Average area of heat sink

2. Heat sink 수치해석

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, 유체유동은 정상유동으로 가정하여 해석을 실시하였다.

2.1 지배방정식

지배방정식인 편미분방정식은 연속적인 물리현상을 그대로 표현하고 있어 일종의 아날로그 형태의 방정식이므로 아날로그 컴퓨터의 출현 없이는 곧바로 적분하여 해를 구하기가 불가능하다. 그러므로 현재의 디지털 컴퓨터에서 아날로그 형태의 편미분 지배방정식을 풀기 위해서는 아날로그 문제를 현재의 디지털 컴퓨터가 이해할 수 있게 이산화(Discretization) 절차가 필요하다. 이산화 방법은 유한차분법(Finite Difference Method), 유한체적법(Finite Volume Method), 유한요소법(Finite Element Method)등이 있으나, 본 논문에서는 유체의 열적 특성과 거동을 모사하는데 널리 쓰이는 유한체적법을 사용하였다.

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

연속방정식(Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial}(\rho u_j) = S_m \quad (11)$$

운동량방정식(Momentum equation)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \quad (12)$$

에너지 방정식(Energy equation)

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho H u_j + F_{h,j} - u_i \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial t} + S_i + S_h \quad (13)$$

부력(Buoyant forces)

$$S_i = g_i (\rho - \rho_0) \quad (14)$$

여기서, ρ 는 공기의 밀도(Air density), ρ_0 는 기준공기의 밀도(Reference air density), t 는 시간, u_j 는 x 축 방향요소의 절대유속(Absolute fluid velocity component in direction x_i), τ_{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 전조등의 통기구멍(Vent hole)을 통해 전조등의 내부로 들어오는 공기의 유속이 매우 작기 때문에 내부 유동에 대한 영향은 미약하다고 할 수 있다. 반면에 히트싱크 부근에 유체의 온도가 상승하면서 밀도가 감소하고, 이로 인한 부력의 작용으로 발생하는 자연대류현상이 전조등의 내부 유동에 지배적이라고 할 수 있다. 즉 히트싱크와 같은 열원은 LED 전조등 내부의 한정된 공기의 자연대류를 유발한다. 이와 같은 자연대류 현상을 해석하기 위해 운동량 방정식의 부력 항을 고려해야 한다.(16)

(16) Frank P. Incropera., David p. De Witt., "Introduction to Heat Transer.", 4th Edition., Wiley, pp.673~667, 2002.

2.2 열유속

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.

$$q'' = -k \nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (15)$$

여기서 ∇ 은 3차원 del 연산자(operator)이고, $T(x, y, z)$ 는 스칼라(scalar) 온도장이다. 식 (15)에는 열유속 벡터가 등온표면에 수직인 방향이라는 사실이 암시되어 있다. 따라서 Fourier의 법칙의 다른 형태는 다음 식과 같다.

$$q_n'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (16)$$

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.

$$q'' = i q_x'' + j q_y'' + k q_z'' \quad (17)$$

여기서 식 (15)로부터 q'' 의 각 성분은 다음과 같이 된다.

$$q_x'' = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad q_y'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad q_z'' = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (18)$$

이들 각각의 식은 표면을 가로지르는 열유속과 표면에 수직인 방향으로 온도구배와의 관계를 나타낸다. 또한 전도가 일어나는 매질을 등방성(isotropic)으로 가정한 사실이 식 (15)에 암시되어 있다. 이러한 매질에 대한 열전도율의 값은 좌표방향에 무관하다.

3. Heat sink 수치해석 결과

수치해석 프로그램인 ANSYS의 상용 열유동 패키지인 CFX Ver 12.1을 사용하여, 기존 히트싱크와 개선된 히트싱크의 전도 및 대류에 의한 방열특성을 분석하였다.

3.1 온도분포

기존제품의 히트싱크와 설계된 히트싱크의 Type 별 온도분포는 Fig. 21~Fig. 26과 같이 나타났으며, 각 Type 별 히트싱크의 온도분포에 따른 평균온도는 Table 7과 Fig. 27에 나타내었다.

기존 히트싱크인 Type 1의 온도분포에 따른 평균온도는 125.5°C로서 최대 온도를 나타내었으며, Fig. 21과 같이 방열이 잘 이루어지지 않아 히트싱크의 흰 상부까지 열이 축적되어 있는 온도분포를 확인할 수 있었다. 설계된 히트싱크의 온도분포에 따른 평균온도는 Type 1 125.5°C, Type 2 105.3°C, Type 3 117.6°C, Type 4 113.5°C, Type 5 110.0°C를 나타내었으며, Type 6은 101.9°C로서 최소온도를 나타내었다. 히트싱크의 온도분포에 따른 평균온도가 낮은 결과를 나타낸 Type 2와 Type 6의 온도분포는 다른 Type에 비해 흰 상부로 갈수록 낮은 온도분포를 나타내었다.

열전도 해석의 주목적은 매질의 경계에 부과된 조건들로부터 초래되는 매질 내의 온도장(temperature field)을 결정하는 것이다. 즉, 매질 내의 위치에 따라 온도가 어떻게 변화하는가를 나타내는 온도분포(temperature distribution)를 알고자 하는 것이다. 이러한 온도분포에 의하여 Fourier의 법칙으로부터 매질 내의 임의점에 서나 매질 표면상에서의 전도 열유속을 계산할 수 있으며, 알고자 하는 다른 중요한 양들을 결정할 수 있다. 고체에서는 온도분포에 의하여 열응력, 팽창 및 처짐의 크기를 알 수 있으므로, 구조적인 완전성을 확인할 수 있다.

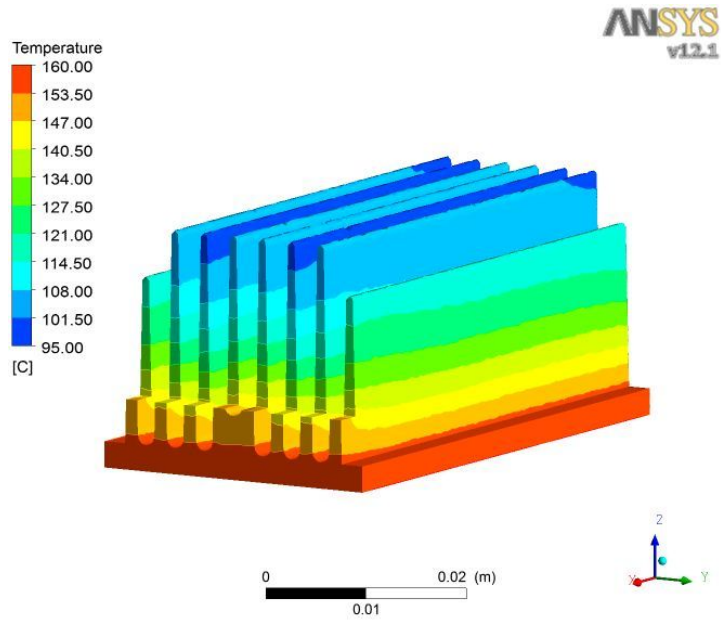


Fig. 21 Temperature distribution of heat sink Type 1

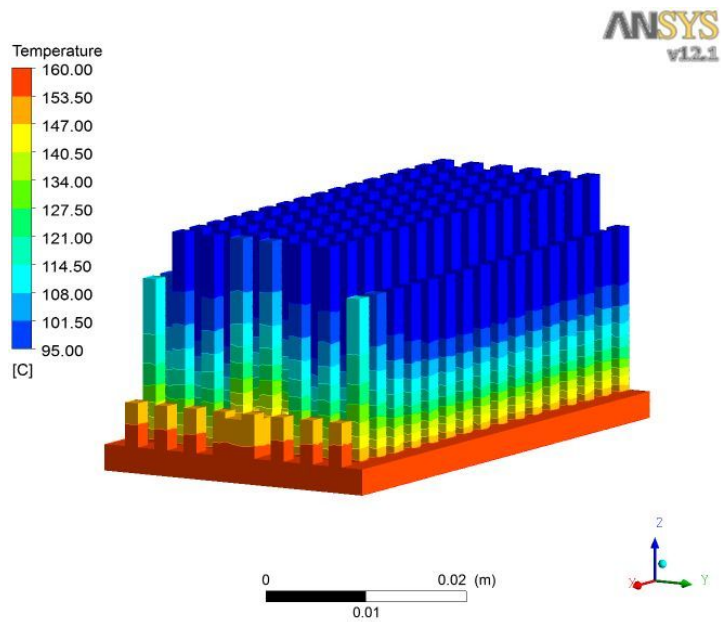


Fig. 22 Temperature distribution of heat sink Type 2

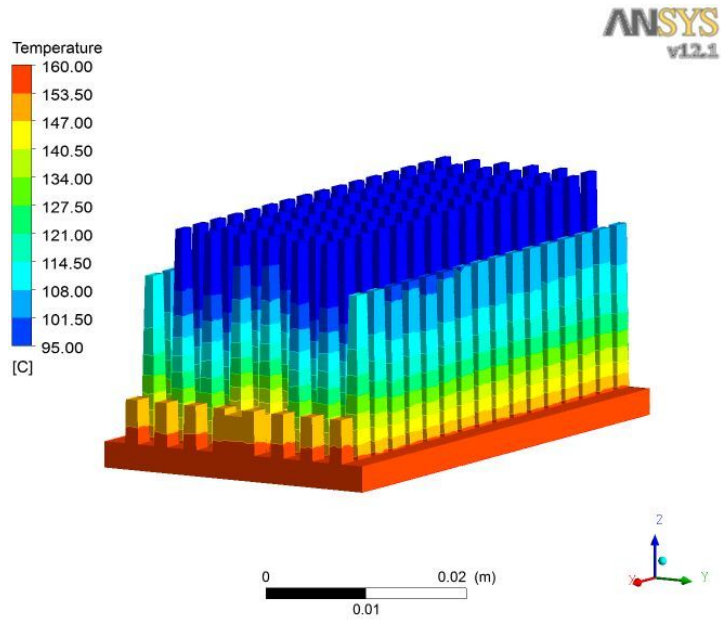


Fig. 23 Temperature distribution of heat sink Type 3

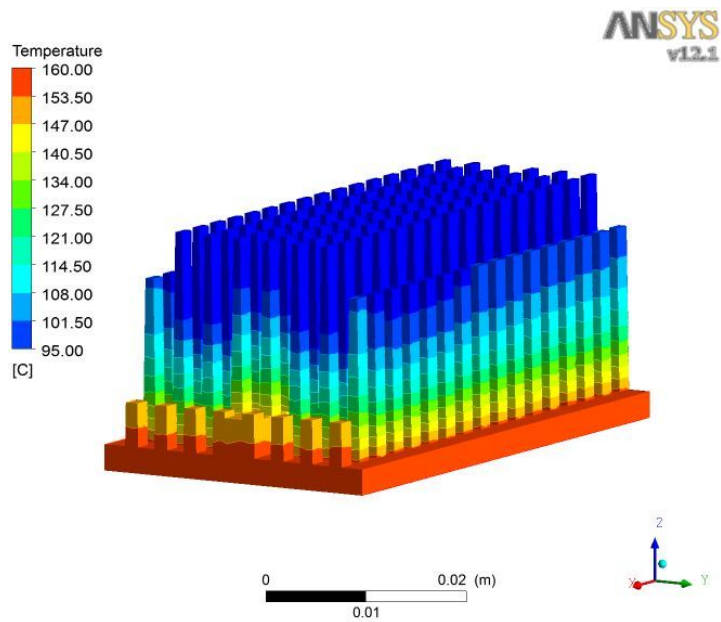


Fig. 24 Temperature distribution of heat sink Type 4

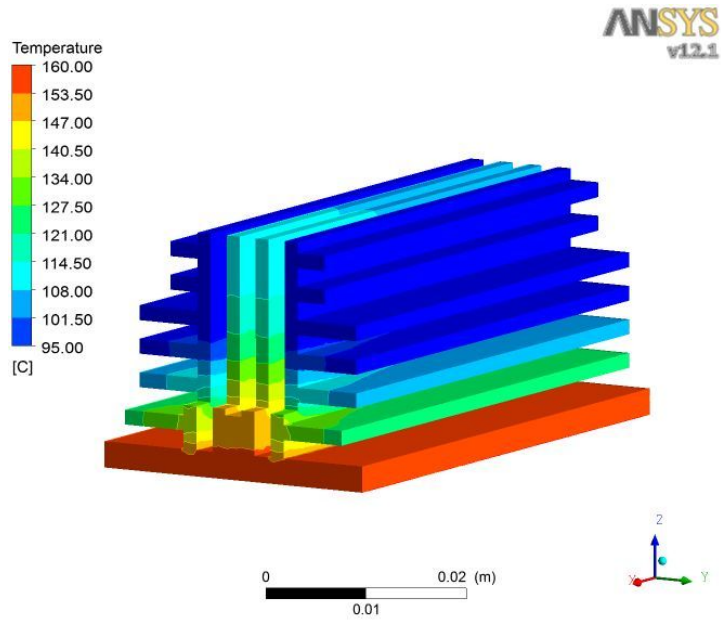


Fig. 25 Temperature distribution of heat sink Type 5

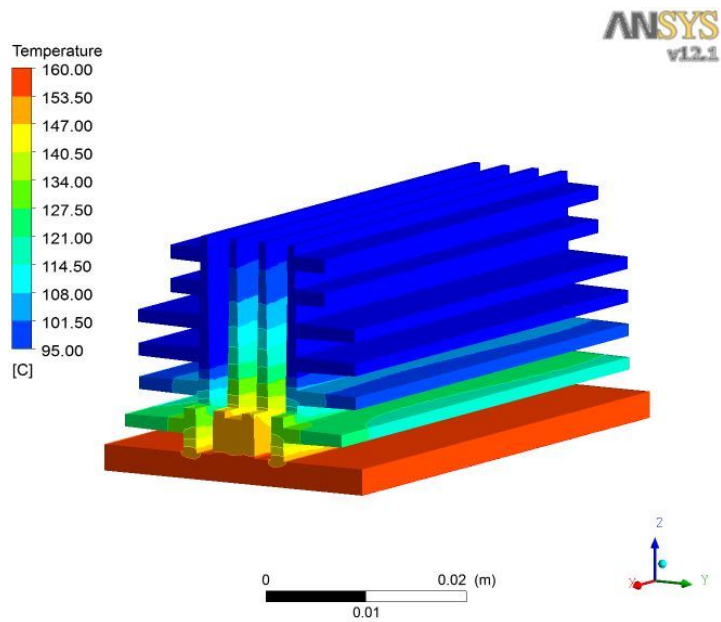


Fig. 26 Temperature distribution of heat sink Type 6

Table 7 The average temperature of heat sink for simulation

Case	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
average temperature (°C)	125.5	105.3	117.6	113.5	110.0	101.9

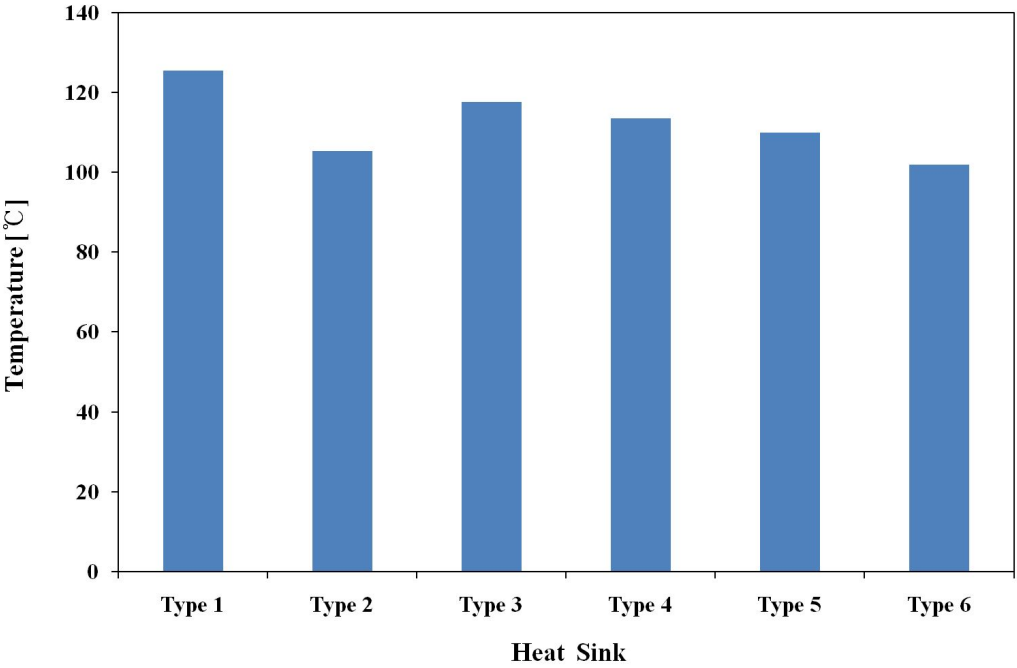


Fig. 27 Average temperature of heat sink

3.2 유동해석

유체 내의 미소 검사체적에 적용되는 에너지 보존은 유동대류가 검사체적의 표면을 통과하는 에너지의 전달에 미치는 영향이 전도와 더불어 고려되어야 한다. 온도분포를 예측할 수 있는 기초 미분방정식은 결과적으로 질량보존과 Newton의 제2운동법칙(가속도의 법칙)을 미소 검사체적에 적용하여 유도되는 속도분포를 먼저 요구된다. 열전달이 동시에 이루어지는 점성유체의 유동에 대한 조건들을 고려하여, Cartesian 좌표계 x 와 y 방향 내에서 일정한 물성치를 가진 비압축성 유체의 정상상태, 2차원 유동에 국한하고, 유체 내의 속도, 온도분포 등을 예측하는데 이용되는 미분방정식 등으로 설명될 수 있다. 이러한 방정식들은 Newton의 제2운동법칙과 질량 및 에너지 보존식을 미소검사체적에 적용함으로써 유도할 수 있다.

본 논문에서는 기존제품과 설계된 히트싱크의 Type 별 유동특성과 속도분포를 Fig. 28~Fig. 33에 나타내었으며, 평균유속을 Table 8과 Fig. 34에 나타내었다. 각 Type 별 히트싱크의 냉각팬 최대회전속도 6400rpm, 최대공기유량은 25 cfm으로 설정하여 수치해석을 수행하였다.

기존제품인 Type 1의 히트싱크는 Fig. 28과 같이 공기유동이 히트싱크 중심부 특히 히트싱크 상부의 측면을 통하여 다량의 공기가 통과하는 유동특성을 나타내었다. 그리고 32~144 m/s의 속도분포를 보였으며 평균 유속 100.603 m/s를 나타내었다. Fig. 29~Fig. 33과 같이 설계된 히트싱크 중 Type 2와 Type 6의 경우에는 공기유동이 상부를 통과한 공기가 원활하게 히트싱크 밑단 까지 들어가서 외부로 별다른 저항 없이 유속이 증가하면서 방출되는 유동특성을 나타내었다. Fig. 30, Fig. 31, Fig. 32와 같이 설계된 히트싱크 Type 3, Type 4, Type 5의 평균유속은 97.575, 96.408, 103.363 m/s로서 기존제품의 히트싱크 Type 1보다 늦거나 거의 비슷한 유속을 나타내었으나, 히트싱크 중앙부에서 유속이 증가하는 유동특성과 속도분포를 나타내었다.

이와 같이 기존제품의 히트싱크 Type 1을 통과하는 공기는 열교환에 기여하지 못하고 히트싱크를 통과하기 때문에 이를 개선하는 문제가 방열성능향상을 가지고 있을 것으로 판단된다. 설계된 히트싱크 Type 2와 Type 6을 통과하는 공기는 히트싱크의 방열특성에 큰 기여하고 외부로 빠져나가기 때문에 동일 체적의 히트싱크의 열저항 값과 비교해 보면 성능이 기존 히트싱크보다 향상됨을 알 수 있다.

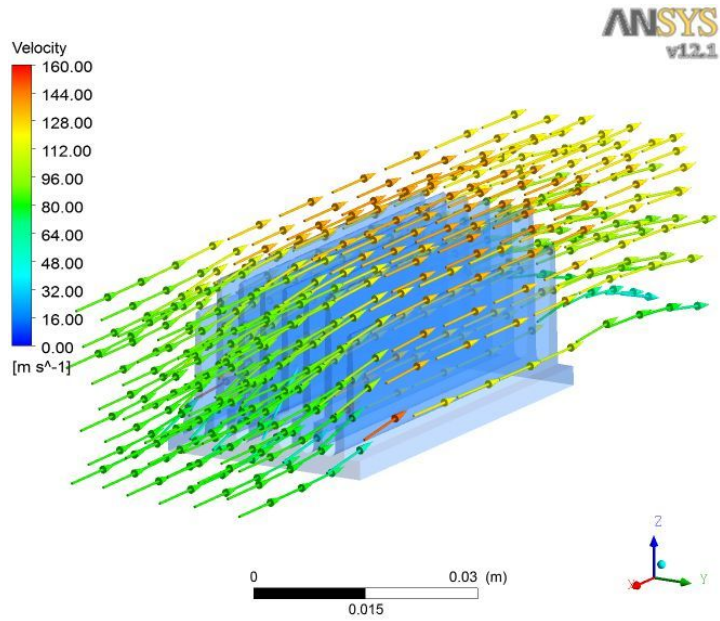


Fig. 28 Flow velocity of Type 1 heat sink

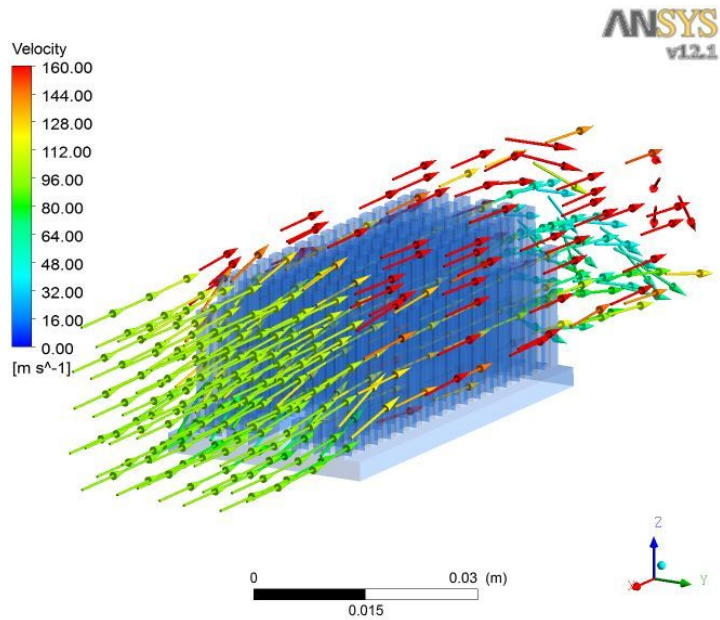


Fig. 29 Flow velocity of Type 2 heat sink

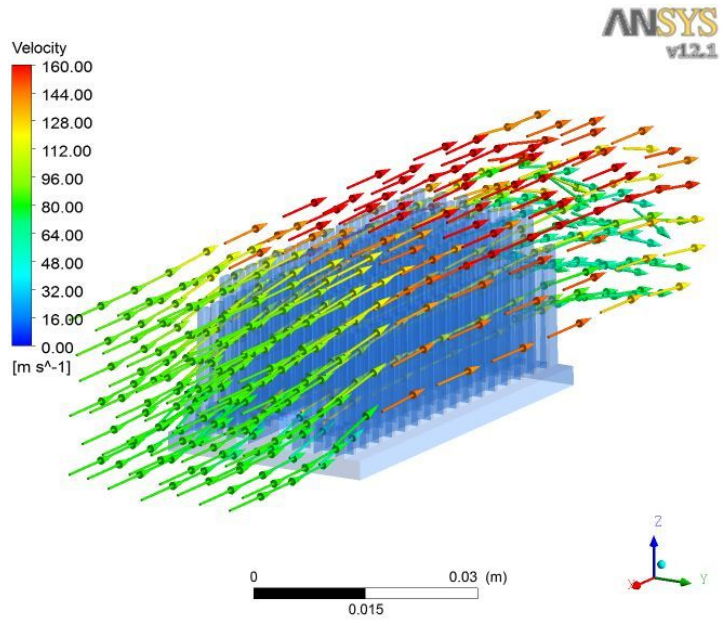


Fig. 30 Flow velocity of Type 3 heat sink

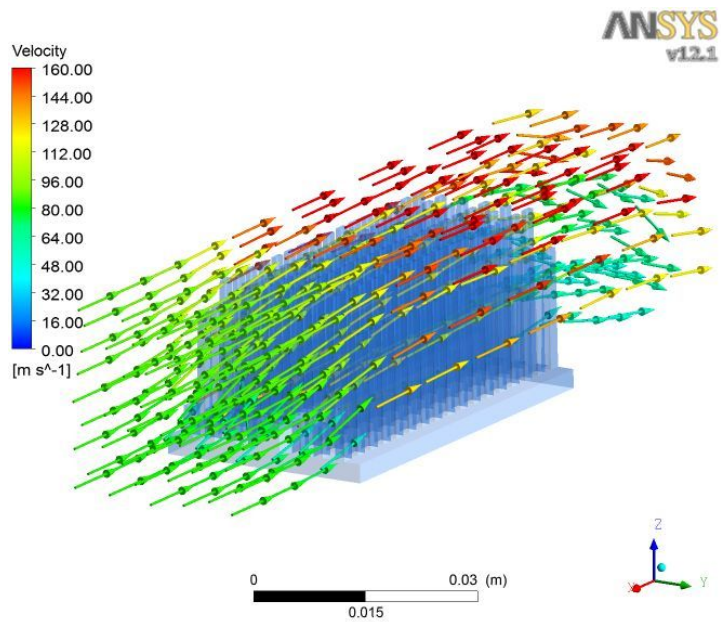


Fig. 31 Flow velocity of Type 4 heat sink

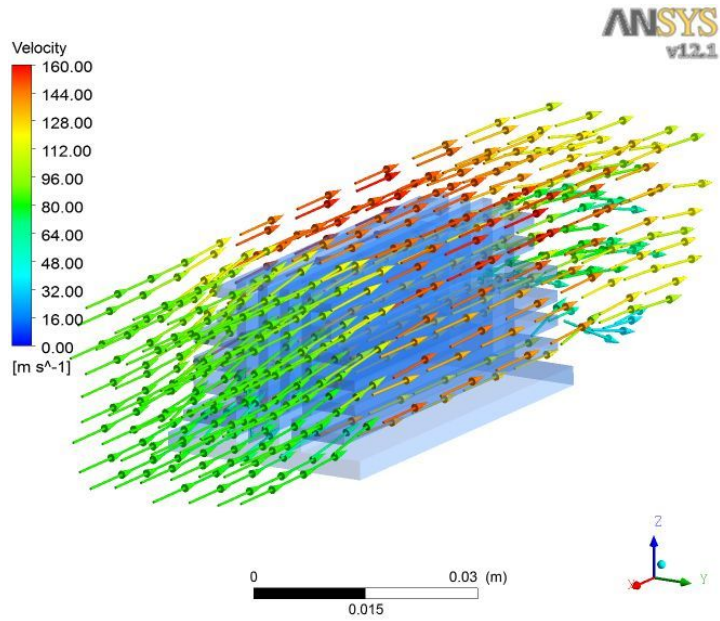


Fig. 32 Flow velocity of Type 5 heat sink

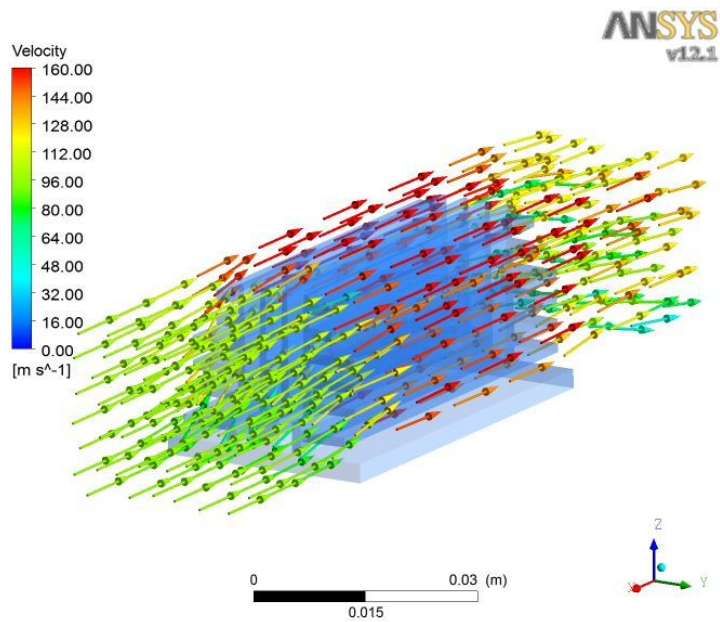


Fig. 33 Flow velocity of Type 6 heat sink

Table 8 The Flow velocity of heat sink for simulation

Case	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Flow velocity (m/s)	100.603	112.045	97.575	96.408	103.363	113.983

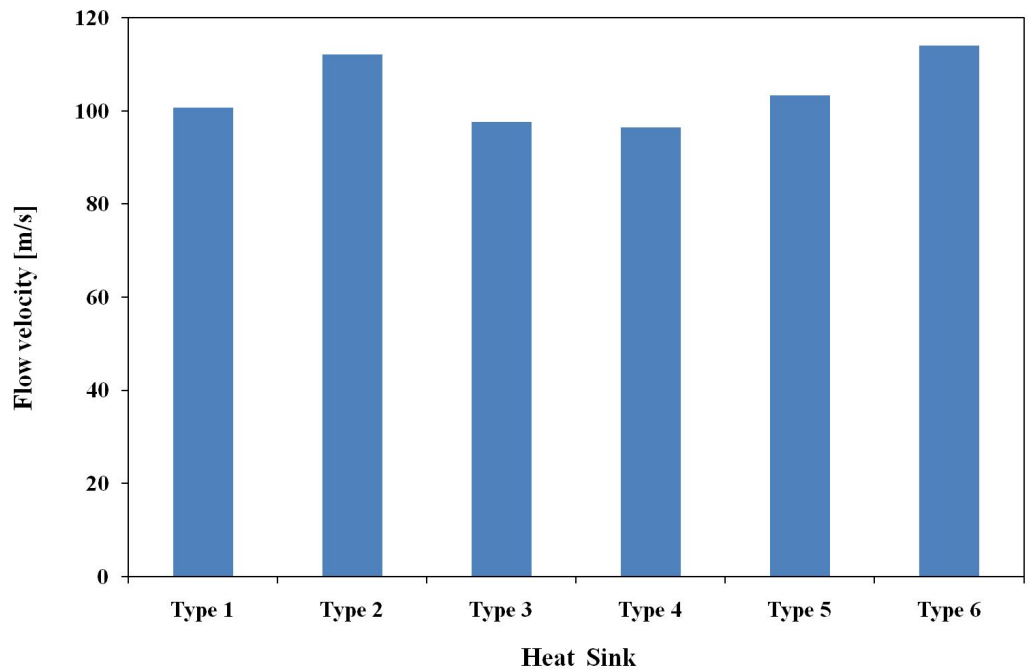


Fig. 34 Average Flow velocity of heat sink

3.3 열유속 해석

열유속(Heat flux)은 단위시간당 단위면적을 통하여 이동한 열에너지의 양을 말하며, 정확한 표현은 heat flux density이다. 수치해석은 히트싱크에 냉각팬의 공기 유량 조건을 25 cfm으로 설정하여 분석하였다. 기존제품의 히트싱크와 설계된 히트싱크의 Type 별 열유속은 Fig. 35~Fig. 40과 같이 해석되었으며, 각 Type 별 히트싱크의 열유속은 Table 9와 Fig. 41에 나타내었다.

기존제품 히트싱크 Type 1의 열유속은 36910 W/m^2 로 나타났으며, Fig. 35와 같이 방열이 잘 이루어지지 않아 히트싱크의 흰 상부까지 열이 축적되어 있음을 확인할 수 있었다. 설계된 히트싱크는 Type 2 44430 W/m^2 , Type 3 37910 W/m^2 , Type 4 37690 W/m^2 , Type 5 31750 W/m^2 , Type 6 33780 W/m^2 로 해석되었으며, Fig. 36과 같이 설계된 히트싱크 Type 2의 열유속은 44430 W/m^2 , Fig. 39의 Type 5는 31750 W/m^2 로 나타났다.

이와 같은 결과로부터 열전달율(heat transfer rate)은 Table 10과 Fig. 42에 나타내었다. 분석 결과 설계된 히트싱크 Type 2가 844.170 W 로 가장 높았으며, 상대적으로 단면적이 작았던 Type 5의 열전달율이 586.105 W 의 가장 낮은 결과를 나타내었다. 기존제품 히트싱크 Type 1은 685.050 W 의 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 판단된다.

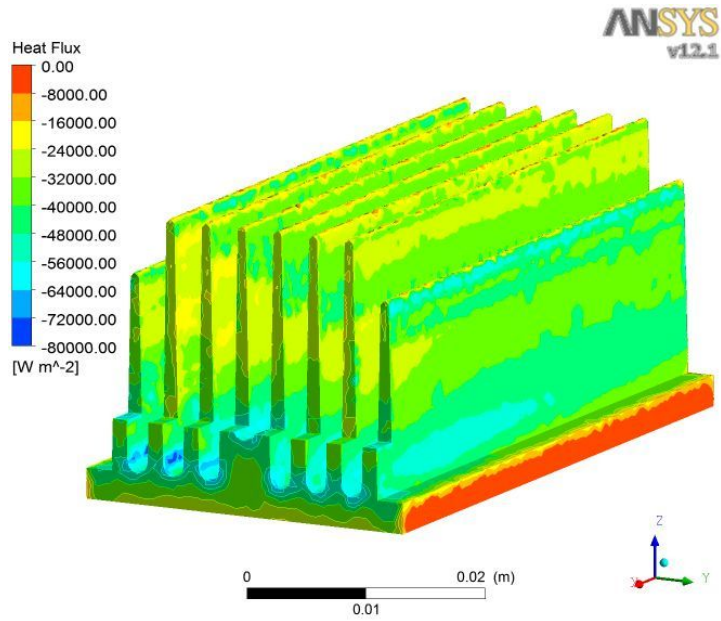


Fig. 35 Heat Flux of Type 1 heat sink

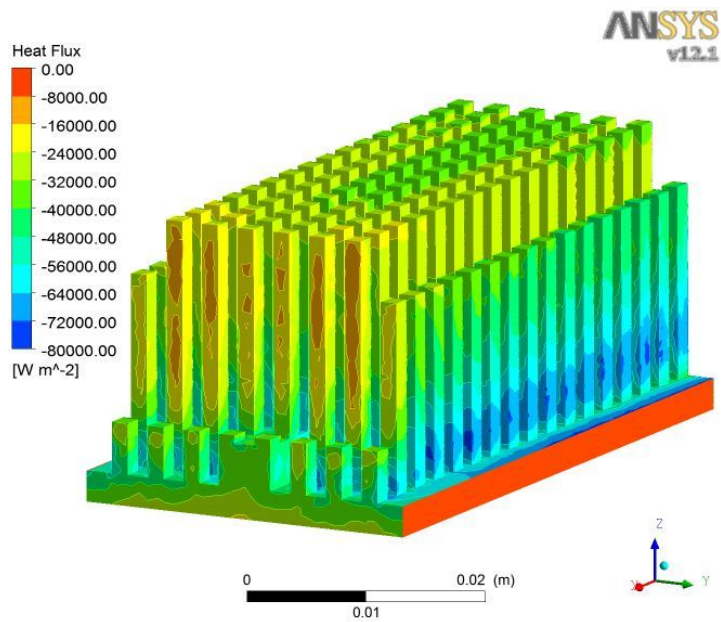


Fig. 36 Heat Flux of Type 2 heat sink

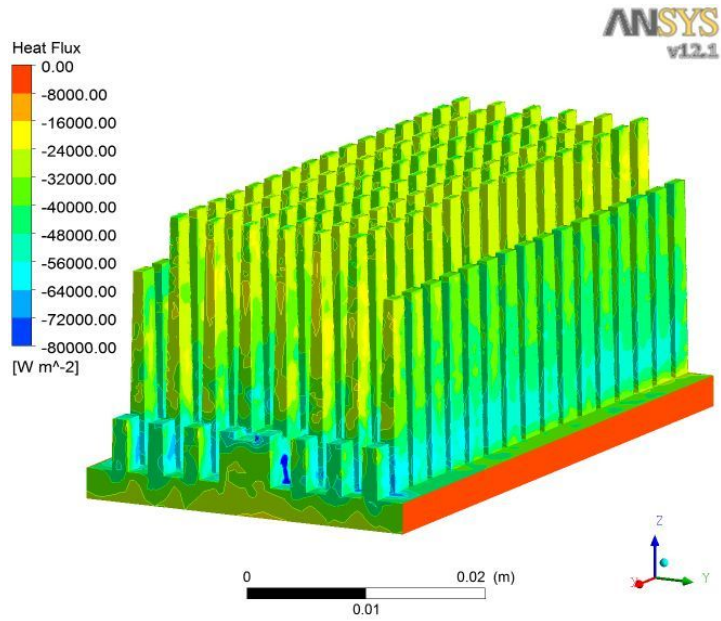


Fig. 37 Heat Flux of Type 3 heat sink

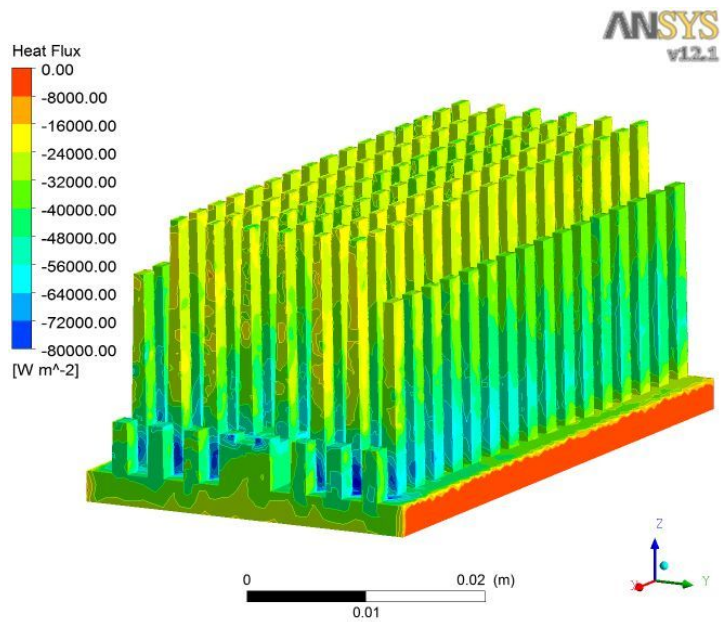


Fig. 38 Heat Flux of Type 4 heat sink

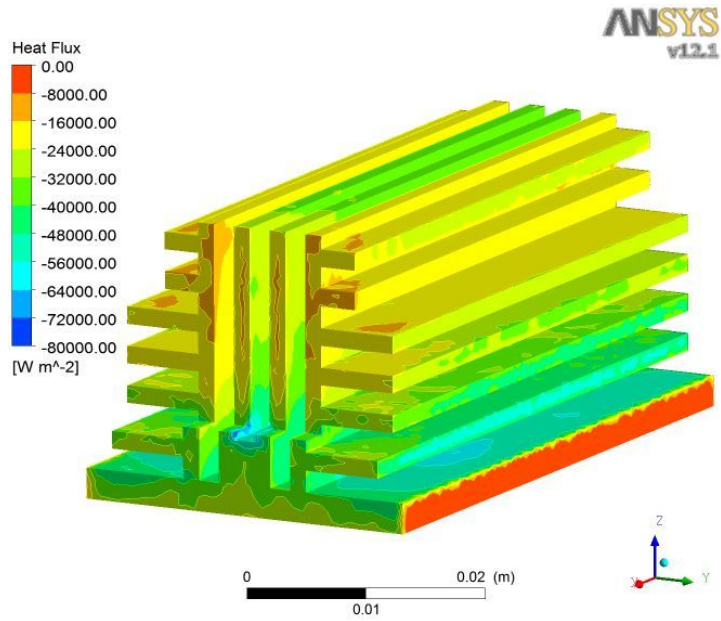


Fig. 39 Heat Flux of Type 5 heat sink

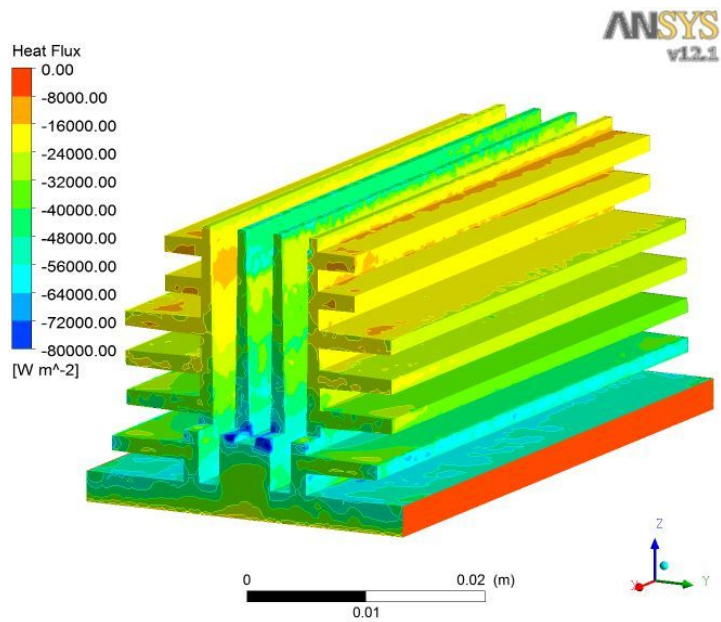


Fig. 40 Heat Flux of Type 6 heat sink

Table 9 The Heat Flux of heat sink for simulation

Case	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Heat Flux (W/m ²)	36910	44430	37910	37690	31750	33780

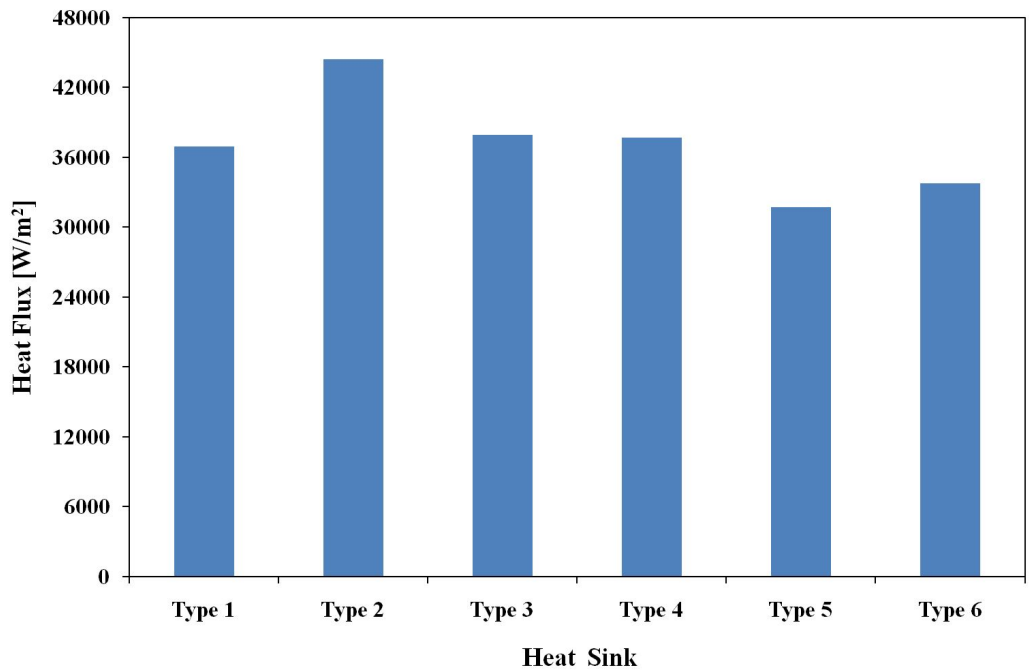


Fig. 41 Heat Flux of heat sink

Table 10 The Heat transfer rate of heat sink for simulation

Case	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Heat transfer rate (W)	685.050	844.170	708.917	651.660	586.105	610.742

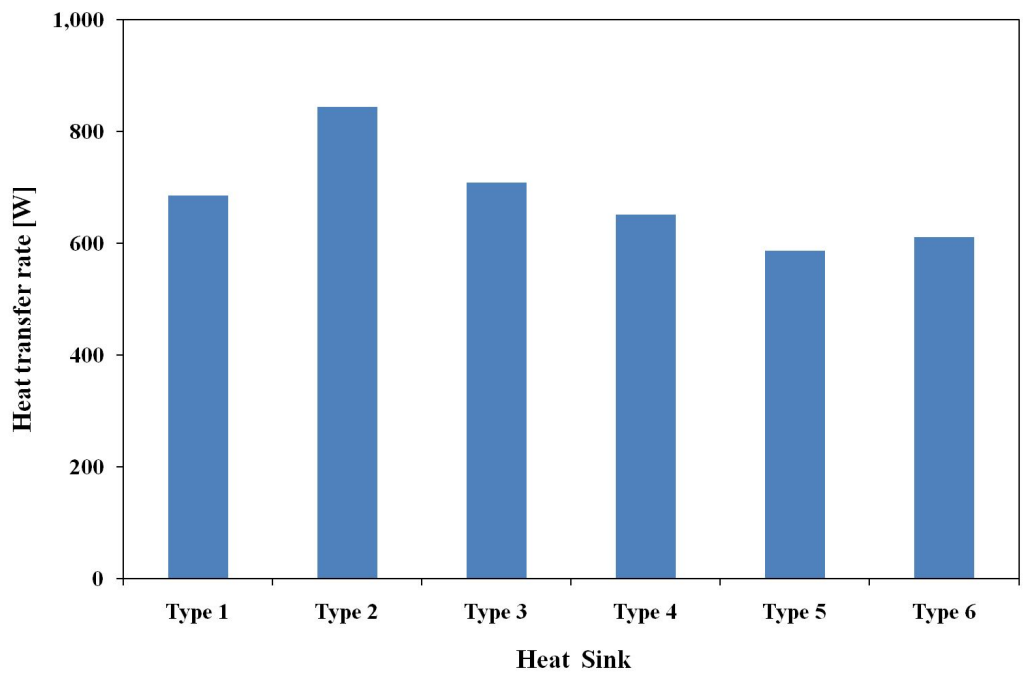


Fig. 42 Heat transfer rate of heat sink

IV. 결 론

본 논문에서는 LED 전조등의 냉각을 위한 히트싱크의 설계요소를 변화시켜 방열성능을 알아보고자 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 적용한 히트싱크는 LED를 광원으로 사용하는 기존제품을 바탕으로 한정된 내부공간에 적합하도록 계산식에 의해 설계하여 총 6가지 종류에 대한 수치해석을 수행하였다. 히트싱크의 시뮬레이션은 LED package에서 발생하는 열을 기준으로, 접합부의 온도 160°C와 냉각팬을 적용하였다. 시뮬레이션 결과는 히트싱크의 변화에 따른 온도분포와 평균 온도, 공기의 유동특성, 열유속 등을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 히트싱크의 온도분포는 방열이 잘 이루어지지 않아 히트싱크의 흰 상부까지 열이 축적되어 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 평균온도는 125°C로서 최대 온도를 나타내었다. 설계된 히트싱크 중 Type 2는 다른 Type에 비해 흰 상부로 갈수록 낮은 온도분포를 나타내었으며, Type 6은 평균온도가 101.9°C로 최소온도를 나타내었다.
2. 기존 히트싱크의 공기유동은 중간부분에서 유속이 증가하여 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 히트싱크 밑단까지 들어가서 외부로 별다른 저항 없이 유속이 증가하면서 통과하는 유동특성을 나타내었다. 특히 Type 6은 중앙부를 중심으로 유속이 증가하는 속도분포를 보였으며, 평균유속은 113.983m/s로 최대를 나타내었다.
3. 기존 히트싱크의 열유속은 36910 W/m²로 나타났으며, 방열이 잘 이루어지지 않아 많은 열이 축적되어 있음을 확인 할 수 있었다. 설계된 히트싱크 중 Type 2의 열유속은 44430 W/m²이었으며, 해석된 결과로부터 열전달율을 분석한 결과 884.170 W로 가장 높은 결과를 나타내었다.

본 논문을 통하여 방열판의 구조 및 흰 형상에 따른 냉각성능의 상관관계를 도출할 수 있었고, 설계된 히트싱크의 온도분포, 공기의 유동특성, 열유속에 대한 수치해석을 통하여 히트싱크 Type 2가 종합적으로 가장 좋은 결과를 확인 할 수 있었다. 또한, LED 전조등의 한정된 공간에서의 냉각특성 및 유동특성을 수치해석에 의해 분석함으로써 냉각시스템의 최적설계와 제작이 가능 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. H Lee., B Kang., H Kim., Y Choi., J Hwang., “A Study on Optimum Swivel Angle of AFLS Headlamps Considering Various Road Curvatures”, KSAE 06-F0224.
2. Kang B., Park K., Yong B., Kim H., “Application of LED Headlamps in S. Korea”, SAE 2007-01-3516, 2007.
3. B Kang., K Park., B Yong., H Lee., H Kim., “The Evaluation Performance on LED Headlamps”, KSAE 08-A0343.
4. Kang., H., Kang B., Park., K., “A Study on Contact Thermal Resistance of LED and Heat sink from LED HEAD LAMP”, KASE 08-A0351.
5. Kang B., “Heat Dispersion System of automotive LED Headlamps with heat sink and Cooling fan”, Ph. D. Thesis, 2009.
6. Ko, M S., Lee, J, H., Oh, S, J., Cho, H, S. and Seo, T, B., 2009, “Cooling Performance of LED Head Lamp with Heat Sink and Cooling Fan”, KSME-B.2009.33.12.947p.
7. M R Cho., S K Jeon., H Y Lee., D H Kim., J H Na., S Y Yang., “The Analysis on National and International Standards of LED Headlamp for automobile”, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers, 2010 춘계학술대회, pp. 142-143.
8. Oh C., “Analysis on radiation of heat for the life improvement of Light Emitting Diode lighting” Master, 2010.
9. Joh F. Van Derlofske., Michele McColgan., “White LED sources for vehicle forward lighting”, SPIE, Vol. 4776, 195, DOI : 10.1117/12.452569, 2002.
10. Kelvin Shih., “LED Junction Temperature Measurement and its Applications to automotive Lamp Design”, SAE 2004-01-0224, 2004.
11. Kazushige Kikuchi., “An Approach to Predicting Led Junction Temperatures with Fluid and Thermal Analysis”, SAE 2005-01-0864, 2005.

12. 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.
13. Geneve Motor Show 2002.
14. (주) 서울 시뮬레이터, "Thermal Management Guide", 2005.
15. Frank P. Incropera., David p. De Witt., "Introduction to Heat Transer.", 4th Edition., Wiley, pp.673~667, 2002.
16. Frank P. Incropera, David P. De Witt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, "INTRODUCTION TO HEAT TRANSFER, FIFTH EDTION", WILEY, pp. 95-169, 2007.

감사의 글

대학원 석사과정에 입학하려고 마음먹고 첫 수업부터 쉬운 일이 아닐 것이라 생각했던 지난 2년을 훌쩍 보내고, 학위의 마지막인 논문을 마침과 동시에 감사의 글을 쓰고 있는 이 시점에 와서는 왜 조금 더 열심히 학업에 정진하지 못했을까 하는 아쉬움도 남지만, 무언가를 이루어 내었다는 나름의 자부심도 가져 보고 지난 2년간 느꼈던 기쁨들에 대한 추억도 가져봅니다. 여러 가지 면에서 많은 배려를 해주신 주위의 분들께 감사한 마음을 갖고 있으면서도 이를 전할 기회가 없었던 것이 안타깝고, 그럼에도 불구하고 나를 있게 해준 모든 분들에게 글로서는 차마 표현할 수 없는 감사의 인사를 드리려 합니다.

먼저, 많은 부분에서 여러모로 부족한 저를 이끌어주시고 대학원이라는 인생의 한 조각을 완성할 수 있도록 많은 지도를 베풀어주신 정낙규 교수님께 진심어린 감사의 인사를 드립니다. 그리고 논문 심사를 위해 시간을 내어 주신 나기대 교수님, 양인영 교수님께도 감사의 인사를 올립니다. 대학원 2년의 길다면 긴 시간동안 늘 배움의 즐거움을 느낄 수 있도록 많은 가르침을 주셨던 김창오 교수님, 졸업논문과 대학원 생활에 아낌없는 지도와 도움을 주신 김지훈 교수님, 이길성 박사님, 이승철 박사님, 같이 웃고 같이 고민했던 강덕윤에게 감사한 마음을 전합니다. 졸업이 배움의 끝이 아니라 새로운 배움의 장으로 도약하는 첫걸음이라 생각하며, 앞으로도 많은 가르침을 부탁드립니다.

또한, 조선이공대학 자동차과 차량관리사로서 직장생활을 하면서 물심양면으로 지원해주시고, 바쁜 업무에도 불구하고 학업에 정진할 수 있도록 배려하여 주신 전성태 교수님, 이재득 교수님, 이종인 교수님, 이윤기 교수님, 명광재 교수님, 최병희 교수님께 감사드립니다.

끝으로, 늘 저를 걱정하시며 헌신적인 사랑으로 보살펴주시고 위로와 격려를 아끼지 않으신 부모님과 보잘 것 없는 저에게 딸을 내어주시고, 믿어주신 장모님께도 감사 인사를 올립니다. 어려운 형편 속에서 남편의 일이라면 항상 최선을 다하여 도와주고, 이제 또 다른 나를 위해 잠시 쉬어가라고 위로하며 별 말없이 묵묵히 지켜봐주는 아내 최수영에게 고마운 마음과 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다. 이제 곧 태어날 우리 이쁜 딸에게도 사랑한다는 말을 전하며 이 글을 마칩니다.

2010년 11월 정 현 호 드림

저작물 이용 허락서

학 과	첨단부품 소재공학과	학 번	20097309	과 정	석사
성 명	한글: 정 현 호 한문: 鄭 現 豪 영문: Jung Hyeon Ho				
주 소	광주광역시 북구 양산동 동남A 101동 502호				
연락처	E-MAIL : blackox2@hanmail.net				
논문제목	한글 : 자동차 LED head lamp 방열을 위한 히트싱크의 수치해석에 관한 연구 영어 : A Study on the numerical analysis of heat sink for radiant heat of Automotive LED head lamp				
<p>본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.</p> <p style="text-align: center;">- 다 음 -</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함. <p style="text-align: center;">동의여부 : 동의(<input checked="" type="radio"/>) 반대(<input type="radio"/>)</p> <p style="text-align: center;">2010년 12월 10일</p> <p style="text-align: center;">저작자: 정 현 호 (서명 또는 인)</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">조선대학교 총장 귀하</p>					