creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265387

2016년 2월

석사학위 논문

승용 LED 전조등 방열판의 냉각특성

조선대학교 산업융합기술대학원

융합자동차공학과

유 재 용

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

승용 LED 전조등 방열판의 냉각특성

Cooling Characteristics of a Heat Sink for LED Headlight used in Passenger Cars

2016 년 2 월 일

조선대학교 산업융합기술대학원

융합자동차공학과

유 재 용

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

승용 LED 전조등 방열판의 냉각특성

지도교수 양 세 문

이 논문을 공학석사학위 신청 논문으로 제출함

2015 년 10 월

조선대학교 산업기술융합대학원

융합자동차공학과

유 재 용

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

유재용의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	박 설 현 (인)
위 원	조선대학교	교수	윤 성 운 (인)
위 원	조선대학교 LINC사업단	교수	양 세 문 (인)

2015 년 11 월

조선대학교 산업기술융합대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

LIST OF TABLES ..... Ⅰ
LIST OF FIGURES ..... Ⅱ
NOMENCLATURE ..... Ⅳ
ABSTRACT ..... Ⅴ

1. 서론 1

1. 연구 목적 1

2. 실험 및 수치 해석방법 5

2.1 실험장치 및 방법

(1) 실험장치의 구성 5

(2) 실험방법 9

2.2 수치해석 방법 및 조건

(1) 수치해석 방법 및 지배방정식 12

(2) 히트싱크 모델링 및 수치해석 조건 14

Ⅲ. 실험/수치해석 결과 및 고찰 18

1. 자연대류에 의한 히트싱크의 냉각 특성 18

2. 강제대류에 의한 히트싱크의 냉각 특성 27

Ⅳ. 결론 33

【참고문헌】 34

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF TABLES

Table 2.1 Thermal properties of aluminum used for the heat sink ····· 16
Table 3.1 Summary of average temperature of the heat sink for applied voltages ····· 20

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF FIGURES

Figure 1.1 LED lamps first adopted on BMW 750i ····· 2
Figure 1.2 Main components of AFLS ····· 3
Figure 2.1 Images of a headlight assembly and a heat sink used in this study ····· 5
Figure 2.2 Dimension of a heat sink used in this study (unit: mm) ····· 6
Figure 2.3 Schematics of experimental apparatus used to evaluate the cooling performance of heat sink ····· 7
Figure 2.4 Location of thermocouples attached to the heat sink ····· 8
Figure 2.5 Measured temperature of the heated surface on a thermoelectric generator as a function of time ····· 9
Figure 2.6 Air flow control through the DC-motor PWM ····· 11
Figure 2.7 Measured temperature of the heated surface on a thermoelectric generator with air flow with respect to time 12
Figure 2.8 Meshed domain and heat sink for numerical analysis ····· 14
Figure 2.9 Measured heat transfer rates as a function of time ····· 16
Figure 2.10 Boundary condition given at the bottom of the heat sink ····· 17
Figure 3.1 Measured temperatures at pre-selected location on the heat sink ····· 19
Figure 3.2 Computed temperature distributions of the heat sink with 12 volts applied ····· 21
Figure 3.3 Computed temperature distributions of the heat sink with 9 volts applied ····· 22
Figure 3.4 Computed temperature distributions of the heat sink with 6 volts applied ····· 23
Figure 3.5 Surface temperature contours and streamlines for all given conditions ····· 24

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Figure 3.6 Convective heat transfer coefficient plotted as a function of heat flow ····· 26
Figure 3.7 Measured temperatures at pre-selected location on the heat sink ····· 28
Figure 3.8 Computed temperature distributions of the heat sink with air flow applied ····· 30
Figure 3.9 Surface temperature contours and streamlines for all given conditions ····· 31
Figure 3.10 Convective heat transfer coefficient plotted as a function of air flow ····· 32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

NOMENCLATURE

ρ	:	Air density [kg/m^3]
ρ_0	:	Reference air density [kg/m^3]
u_j	:	Absolute fluid velocity component in direction x_i [m/s]
τ_{ij}	:	Stress tensor components
t	:	Time [sec]
H	:	Total enthalpy [J]
$F_{h,j}$	:	Diffusion energy flux in direction x_j
p	:	Piezometric pressure [N/m]
S_i	:	Momentum source [kg·m/s]
S_m	:	Mass source
S_h	:	Energy source
x_i	:	Cartesian coordinate
g_i	:	Acceleration of gravity [m/s^2]
L	:	length of the feature [m]
Ra_L	:	Rayleigh Number
Gr	:	Grashof Number
Pr	:	Prandtl Number
g	:	Gravitational acceleration [m/s^2]
β	:	cubical expansion coefficient
T_s	:	Surface temperature of fin
T_∞	:	Temperature of fluid to stay off the fin
ν	:	coefficient of kinematic viscosity [m^2/s]
h	:	convective heat transfer coefficient
Nu_L	:	Nusselt number

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Cooling Characteristics of a Heat Sink for LED Headlight used in Passenger Cars

Yu, Jae Yong
Advisor : Prof. Yang, Seemoon
Department of Automotive Engineering
Graduate School of Industrial Technology

Heat sinks are the commonly used devices for enhancing heat transfer in electronic components. An optimal of design of heat sinks is influenced by various geometrical parameters such as fin length, fin thickness, number of fins, base plate thickness, space between fins, fin shape etc. Also, the design of an optimal heat sink requires a complete knowledge of all heat transfer characteristics between the heat source and the ambient air and thus it is essential to fully understand the effects of given boundary conditions such as applied heat fluxes and approach air velocities on cooling characteristics of the heat sink. The objective of this thesis is to investigate the cooling characteristics of a heat sink for LED headlight used in passenger cars. To this end, this thesis deals with the experimental and numerical analysis of the heat sink heated at constant heat fluxes with/without air flow applied.

In the experiments, heat was transferred at a constant heat flux (ranging from 9974 W/m^2 to 16860 W/m^2) through the bottom of a heat sink for natural convection mode. For forced convection mode, the bottom of the heat sink was heated at fixed heat flux of 16860 W/m^2 while air flow velocity ranging from 2 m/s to 6 m/s was applied around the heat sink. Measured temperature on pre-selected locations of the

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

heat sink was in good agrement with numerically predicted one. Experimental and numerical results indicate that the convective heat transfer coefficient for natural convection mode was decreased with increasing the heat flux applied to the bottom of heat sink, lowering the cooling capabilities. On the other hand, the convective heat transfer coefficient was found to significantly increase with air flow velocities, enhancing the cooling capabilities.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

1880년대 후반, 첫 자동차가 등장하면서 그 부속품인 전조등도 함께 발전 해 나가기 시작했다. 당시의 전조등은 불꽃이 쉽게 꺼지지 않는 아세틸렌이나 오일을 사용한 등잔을 이용해 빛을 밝혔는데, 전기로 작동하는 전구도 있었지만 충격과 내구성이 약해 자동차에는 사용할 수 없었다. 아세틸렌 전구는 오늘날 사용하는 전조등처럼 빛의 직진성이 없이 주변만 비춰주는 정도였다. 그 후, 최초의 전기식 전조등이 등장한 때는 1898년 이었다. 필라멘트를 이용한 백열전구를 주로 사용했었으나 항상 움직이는 자동차의 특성으로 인해 수명이 짧고 휘도가 낮아 전조등으로서는 한계가 있었다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 여러 단계를 거쳐 현재에도 전조등의 광원으로서 가장 많이 사용되고 있는 '할로겐램프'가 개발 되었다. 할로겐 가스를 충전하여 백열전구에 비해 텅스텐증발을 더욱 억제한 이 램프는, 빛의 확산 각이 넓고 시야 확보가 용이하며 [1], 소형화가 가능해 편의성도 향상 되었다.

전조등의 발전은 여기서 멈추지 않고 형광등과 같은 원리인 고압 전조등 HID(High intensity discharge) 램프가 개발되었다. 기존 할로겐 램프와는 달리 필라멘트가 들어있지 않고 형광등과 같은 구조인 HID 전조등은 그림 1.1에서 보이는 1991년 BMW 7시리즈에 처음 적용되었으며, 그 후 급격하게 보급되었다. HID 램프는 기존 35W수준의 할로겐 램프보다 3배 이상 밝고, 소비전력도 30% 정도 감소되며, 수명 또한 5배 이상 길다 [2]. 전조등의 발전은 여기서 멈추지 않고 최근에는, 에너지 소비규제와 관련된 대책에 따라 LED(light emitted diode)조명을 차량에 적용할 수 있는 기술이 개발되어 전조등에 LED를 장착할 수 있게 되었다. 아세틸렌 등에서 시작된 전조등은 할로겐, 제논 등을 지나 이제 LED로 향하고 있다. 하지만 우리나라의 전조등 같은 경우 상향등은 전방 100m를 비출 수 있어야 하고 하향은 전방 40m를 비춰야하기에 너무 어두워서도, 밝아서도 안 된다 [3]. 따라서 미래의 전조등 시장은 밝기의 경쟁에서 카메라 및 센서 등을 이용하여 시인성을 높이고, 높이고, 자동차의 방향보다는 운전자의 시각 에 초점을 맞추어지는 기술 등을 실현하기 위한 지능형 전조등(AFLS, Adaptive Front Lighting System)의 개발이 시장을 지배하고 있다[4].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Figure 1.1 LED lamps first adopted on BMW 750i

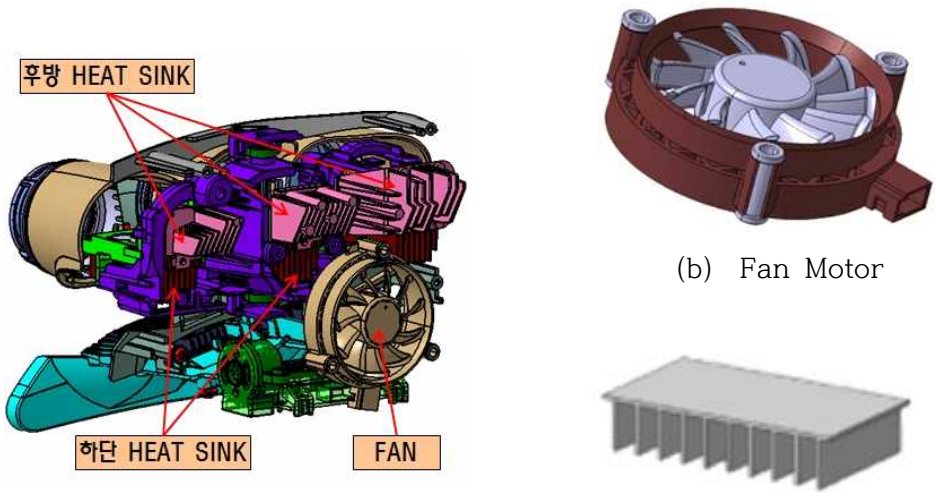
국내의 지능형 전조등 시스템의 차량 제어는 ECU(Electronic Control Unit)로부터 주행정보를 받아 처리하며 전조등에 장착된 구동장치를 통해 램프를 상하좌우로 구동하고, 벌브 쉴드 구동장치를 통하여 상황에 맞는 빛의 형태로 조절하는 시스템이다. 적응형 전조등 시스템(AFLS)은 스티어링의 각도에 따라 전조등이 움직이는 좌우회전(Swiveling) 기능과 오토레벨링 센서가 차량의 가감속, 승차인원, 적재량 등에 따라 전조등의 조사각도를 일정하게 유지시키는 상하 오토레벨링 기능에 의해서 구현된다 [4, 5]. 그림 1.2는 국내 H社 적용된 AFLS의 램프의 구성이다. AFLS 램프의 구성요소 중, 첫 번째로 FAN MOTOR는 밀폐된 전조등 안에서 LED 램프가 발광 시 발생되는 열로 인하여 LED 램프 주변의 온도가 집중적으로 상승을 할 때 cooling fan을 이용하여 내부 공기를 순환시킴으로써 집중적으로 온도가 상승되는 부분의 냉각작용을 통해 LED 전조등의 수명과 성능을 유지시켜주기 위한 장치다. 두 번째로 히트 싱크 (Heat Sink)는 LED와 같은 발열체에서 발생하는 열을 확산, 배출 시켜주는 구조물로 일반적으로 히트싱크의 핀(fin) 길이 및 두께, 거리 등이 주요 성능을 결정하는 요소이며 주로 알루미늄 재질로 제작된다.

AFLS와 같이 전조등의 성능이 개선됨에 따라, 광원으로 쓰이며 큰 비중을 차지하는 LED 조명은 입력된 전압이 에너지로 변환되는 과정에서 빛 에너지가 20%,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

열에너지가 80%인 형태로 방출하게 된다. 이때, LED의 온도가 일정 이상이 되면 점차 수명이 줄어들어 140 ℃ 이상이 되면 작동을 하지 않는다. 이러한 이유로 LED의 온도상승은 수명 및 효율을 감소시키며 광 출력의 불안정성을 초래하기 때문에 LED의 방열성능을 향상시키기 위한 방안과 그 대책이 필요하다. 아울러 기존에 쓰이던 할로겐 램프나 HID 방식의 램프와 동등 혹은 그 이상의 광량이 유지되어야 하기 때문에 고출력 LED 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고출력 LED 반도체의 특성상 LED 패키지 내 칩 자체의 열 발생이 필연적이며 이로 인해 패키지 전체, 소자, 접합부의 온도가 상승하게 된다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 LED 전조등의 효율 및 수명을 떨어트리는 뿐만 아니라 운전 중 오작동을 유발 할 수 있는 잠재적 위험요소를 가지고 있기 때문에 이를 제거 및 신뢰 향상 시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다. 따라서 이러한 LED 램프의 특성에 의해 야기되어지는 문제를 해결하기 위해서는 LED 패키지 내의 방열 시스템 구성이 필수적이다.



(a) AFLS

(b) Fan Motor

(c) Heat sink

Figure 1.2 Main components of AFLS

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

고효율 LED 조명을 위한 방열문제의 해결책으로 현재 LED 전조등에 적용중인 방열 시스템은 냉각 방식에 따라 자연 대류를 이용한 히트싱크[6]와 냉각팬을 이용한 히트싱크[7], 냉각액을 사용하여 열전달을 증가시킨 수냉식 냉각판 (liquid cooled cold plates) 그리고 상변화에 의한 내부적인 순환을 이용한 히트 파이프(heat pipe)등과 같이 구분된다[8]. 수냉식 냉각판과 히트 파이프의 경우에는 자연대류 혹은 냉각팬을 이용한 히트싱크 형식에 비하여 냉각성능이 뛰어 나지만 시스템을 구성하기 위한 비용이 부담이 크고, 부가적인 장치를 부착하기 위한 공간을 확보해야 하는 단점이 있어 쉽게 적용되지 않고 있다. 특히 자동차용 LED 전조등의 경우 공간이 협소하여 위와 같은 방열 시스템의 사용에 있어 제한적이다.

LED 전구의 표준화 동향에 따라, LED를 전조등의 광원으로 쓰기 위해 요구되는 LED 전조등의 방열 시스템 중 히트싱크의 방열 성능에 영향을 미치는 요소로는 히트싱크 휜(pin)의 높이, 형상, 넓이 와 base의 두께 등의 설계요소 들이 있다. 일반적으로 핀에 공기가 닿는 면적이 클수록 방열 성능이 뛰어나지만 이러한 이유로 핀을 지나치게 촘촘히 설계 할 경우, 리사이클(Recycle) 현상이 일어나 오히려 공기로 전도된 열이 다시 히트싱크를 거쳐 내부로 전달될 우려가 있기 때문에 핀의 간격 뿐 아니라 두께 높이 등을 적절히 조율하며 설계해야 한다. 아울러 LED 조명의 발열부의 면적 및 발열량을 고려하여 종합적으로 형상이 결정되어야 한다.

본 논문에서는 LED 전조등 내부의 협소한 공간에 장착되어 있는 히트싱크의 성능을 분석해보기 H社 E모델에 장착되어 있는 히트싱크를 탈거하여 자연대류와 강제대류상태에서 열전달 특성을 고찰해 보고자 하였다. 즉 형상이 결정되어 양산 차에 적용되어 있는 히트싱크에 임의의 열유속만 가한 자연대류상태와 임의의 열유속과 공기유속이 동시에 인가된 강제대류상태에서 히트싱크과 주위와의 열전달 특성을 고찰해 보았다. 히트싱크과 주위와의 열전달 특성을 파악하기 위해서 열유속이 인가된 히트싱크의 주요 지점에서 온도를 먼저 실험적으로 측정한 뒤, 수치해석 결과와 비교하여 검증하였다. 온도측정결과와 시뮬레이션 결과를 자연대류상태와 강제대류 상태의 (대류)열전달계수를 계산하여 열전달 특성을 파악해 보았다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 실험 및 수치 해석방법

2.1 실험장치 및 방법

2.1.1 실험장치의 구성

이 장에서는 앞서 기술한 것처럼 히트싱크가 장착된 가열표면의 열전달율 변화에 따른 온도 변화와 히트싱크 주위의 공기 유속이 달라짐에 따라 변하는 히트싱크의 냉각 성능을 비교· 분석하기 본 연구를 통해 제작된 실험 장치의 구성에 대해서 기술하였다. 실험에 사용된 히트싱크는 그림 2.1에 제시되어 있는 H社 E모델 전조등에 적용된 알루미늄 재질의 압출 성형품이며, 표면은 무광 에노다징(anodizing) 처리가 되어있다.

Figure 2.1 Images of a headlight assembly and a heat sink used in this study

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

자세한 크기와 형상은 그림 2.2에 제시하였다. 우선, LED 램프의 작동 시 열전도로 인해 히트싱크가 가열되는 현상을 모사하기 위해서 인가전압의 크기조절을 통해 가열 표면의 온도 제어가 가능한 열전 소자(thermoelectric generator)를 사용하였다. 또 팬의 작동 유무에 따라 변하는 히트싱크의 온도분포를 관찰하기 위해서 펄스폭변조(pulse width modulation, PWM) 제어신호를 받는 DC 팬을 통해 주위의 공기유속을 조절하였다.

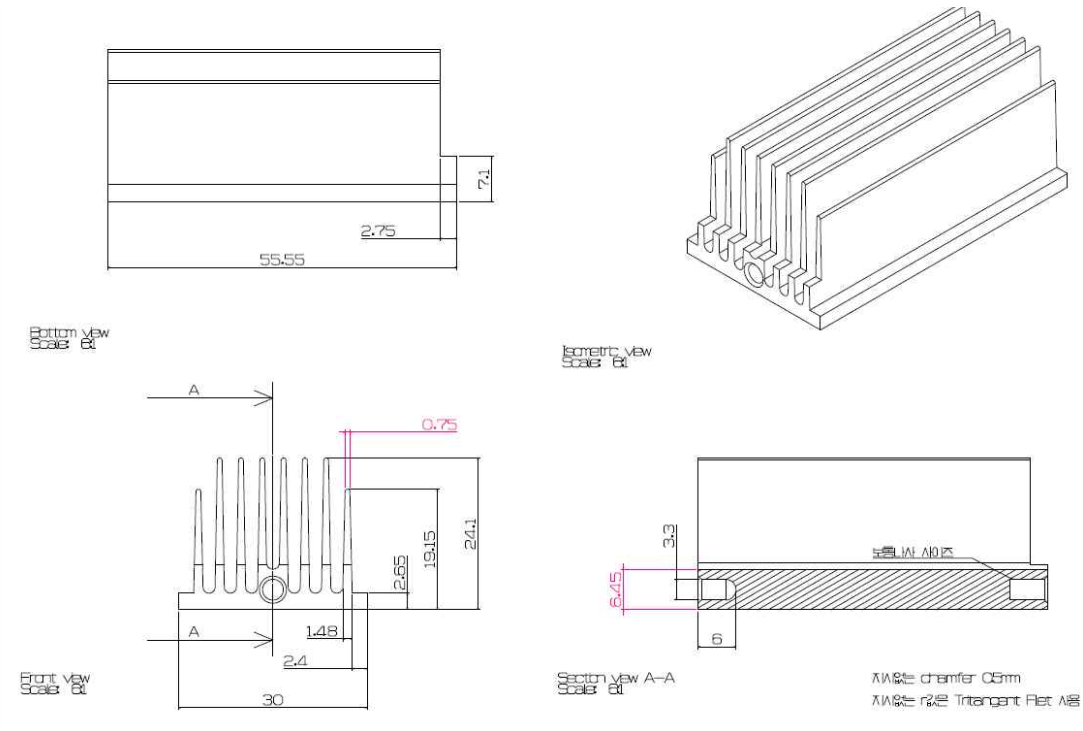


Figure 2.2 Dimension of a heat sink used in this study (unit: mm)

그림 2.3는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 히트싱크는 열전소자 에셈블리의 정중앙에 설치되어 있으며 실험에 사용된 히트싱크에는 3쌍의 K타입 열전쌍이 설치하여 실험이 진행되는 동안 데이터 수집 장치 (data acquisition device, DAQ)를 통해 열전쌍이 설치된 위치의 온도 정보를

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

실시간으로 PC에 기록하였다. 열전쌍은 히트싱크의 상단부에 3쌍을 각각 설치하였으며 자세한 위치는 그림 2.4 (a)와 (b)에 표시되어있다. 히트싱크가 장착된 표면을 가열하기 위해 사용된 열전소자는 가열표면의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 (열전소자의 가열면의) 반대면 편인 냉각표면에 (가열표면에 장착된 히트싱크에 비해) 상대적으로 부피가 히트싱크와 팬을 장착하였다. 또한 가열된 표면에 장착된 히트싱크의 앞·뒷면과 좌·우면은 베이크라이트(bakelite)로 단열 처리하였다. 히트싱크를 통해 전달된 열전달율(heat transfer rate)을 측정하기 위해 전력량계(power meter)를 설치하고 전압과 전류를 실시간으로 기록하였다.

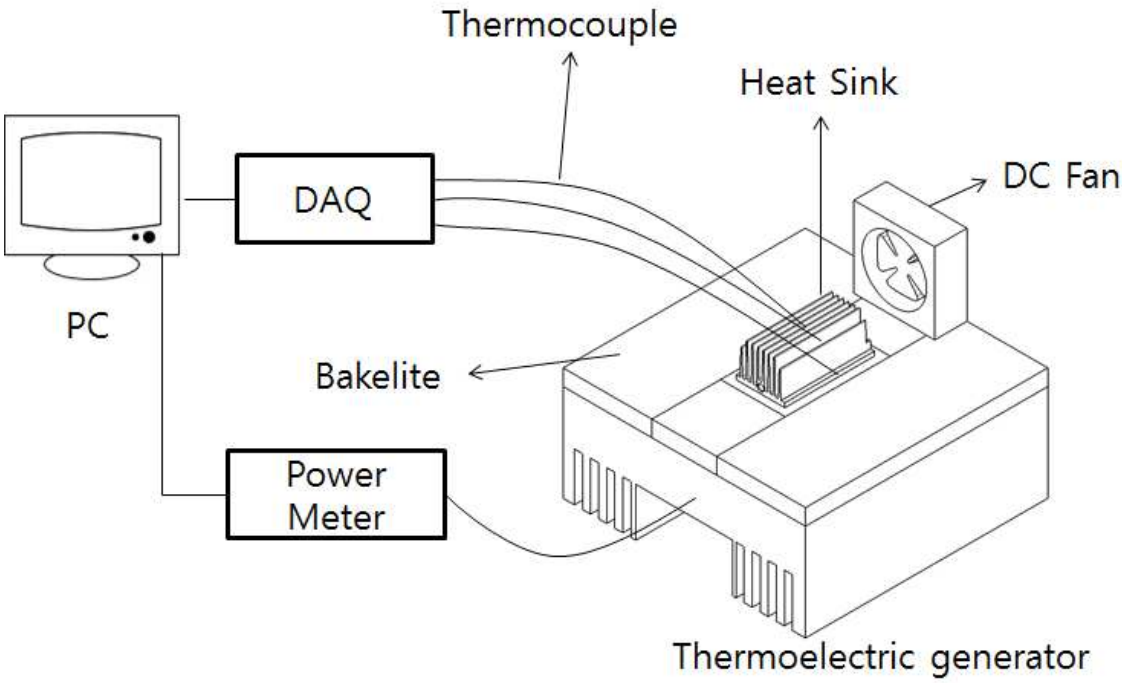
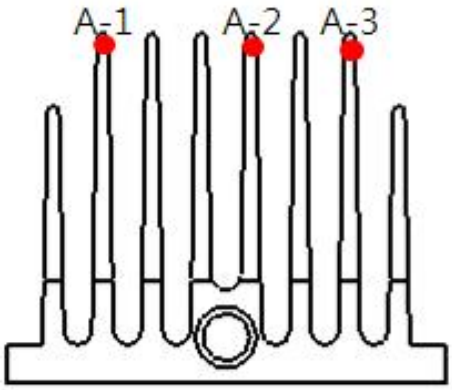


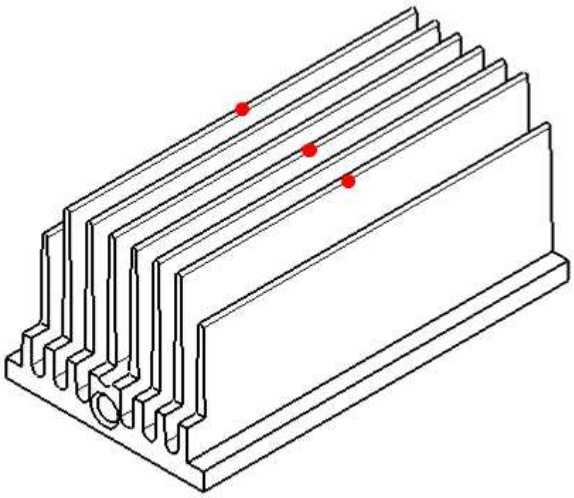
Figure 2.3 Schematics of experimental apparatus used to evaluate the cooling performance of heat sink

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Cross-sectional view of the heat sink



(b) Perspective view of the heat sink

Figure 2.4 Location of thermocouples attached to the heat sink

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1.2 실험방법

앞서 기술한 것처럼, 히트싱크를 가열하기 위해 본 연구에서는 열전소자를 사용하였고 가열된 표면의 온도는 열전소자에 인가된 전압에 비례하여 증가하였다. 본 실험에서는 6~12 volt 사이의 직류 전압을 인가하였고 인가된 전압의 크기 따라 증가하는 열전소자의 표면의 온도를 그림 2.5에 도시하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 인가된 전압의 크기가 증가함에 따라 표면의 온도도 비례하여 증가함을 관찰할 수 있다. 전압을 인가한 초기에는 표면의 온도가 급격히 증가하지만 모든 실험조건(6V, 9V, 12V)에서 10분이 지나면서 표면의 온도는 각각 약 58℃, 84℃, 101℃ 로 일정하게 유지됨을 확인하였다.

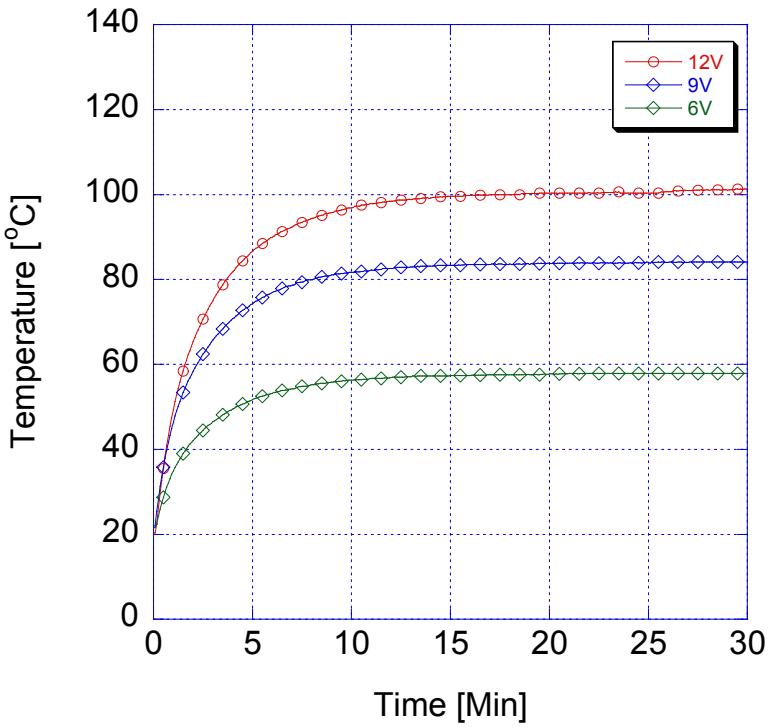
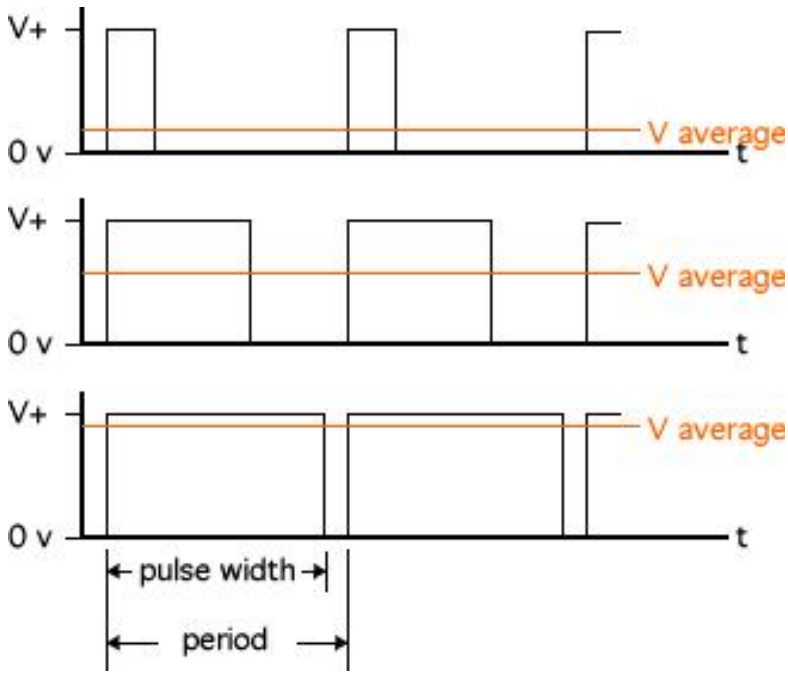


Figure 2.5 Measured temperature of the heated surface on a thermoelectric generator as a function of time

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

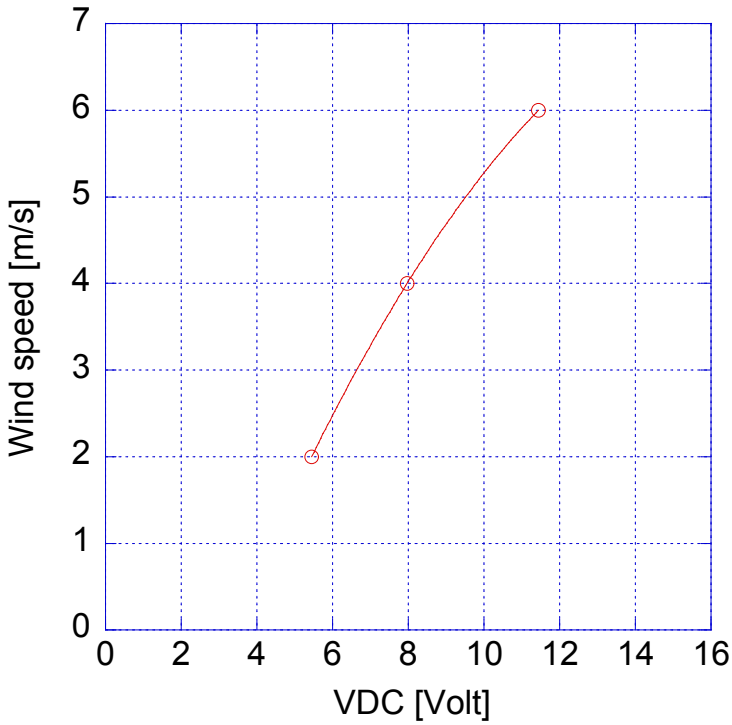
앞서 기술한 바와 같이 본 연구에서는 히트싱크가 자연대류에 의해 냉각되는 경우는 물론 강제대류에 의해 냉각되는 경우의 열전달 현상을 고찰해 보고자 하였고, 이를 위해서 히크싱크 전방 4.5 cm에 펄스폭 변조방식으로 제어되는 DC 팬을 설치하였다. 그림 2.6 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 펄스폭 변조 제어방식은 인가된 전압의 펄스의 폭을 빠르게 변화시킴으로써 평균 전압의 양을 조절하여 아날로그 출력을 만들어 내는 방식이다. 그림 2.6 (b)에서 보이는 바와 같이 인가된 평균 전압 5.5 V ~ 11.4 V로 증가함에 따라 팬으로부터 생성되는 유속은 2 m/s ~ 6 m/s으로 증가하였다.



(a) Example of pulse width modulation (PWM) control

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) Variations in the air flow with voltage

Figure 2.6 Air flow control through the DC-motor PWM

강제대류에 의한 히트싱크의 냉각성능을 조사해보기 위해서 본 실험에서는 열전소자에 12 V를 인가하여 가열표면의 온도가 약 101 ℃에 도달하여 (가열표면의) 온도가 정상 상태(steady state)가 유지되면 팬을 작동시켜 히트싱크 주위에 각각 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s 의 유속을 가하여 실험을 진행하였다. 해당 유속이 주어졌을 때 열전소자 가열표면의 온도변화는 그림 2.7에 도시되어 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 유속이 주어지면서 표면의 온도는 급격히 감소하여 일정하게 유지되며 유속이 6 m/s 일 때 가열표면의 온도가 약 68 ℃ 가장 낮고 유속이 2 m/s 일 때 가열표면의 온도가 약 81 ℃ 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

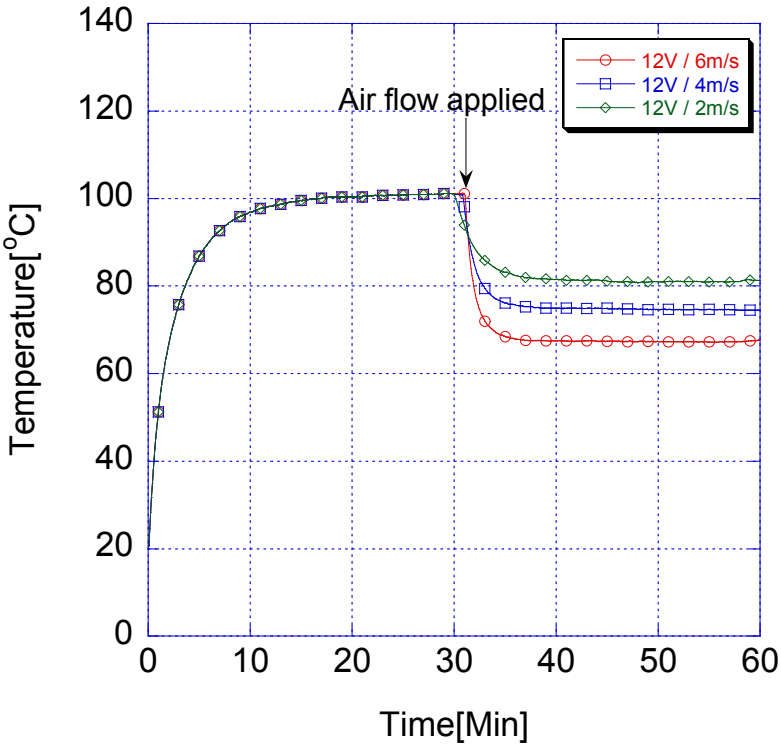


Figure 2.7 Measured temperature of the heated surface on a thermoelectric generator with air flow with respect to time

2.2 수치해석 방법 및 조건

2.2.1 수치해석 방법 및 지배방정식

본 연구에서 수치해석은 ANSYS社에서 제공하는 상용 열유체 코드인 Fluent를 사용하였다. 수치해석에 사용된 유체는 공기이며 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 부력에 의해 정의되며, 유체유동은 정상유동으로 가정하여 해석을 실시하였다. Fluent는 유체의 열적 특성과 거동을 모사하는데 널리 쓰이는 유한체적법을 사용하며 대류열전달의 예측을 위하여 1차 Upwind differential scheme이 적용되었다. 직교좌표계의 텐서(cartesian tensor)항으로 나타낸 지배방정식은 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

연속방정식(Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial}(\rho u_j) = S_m \tag{2.1}$$

운동량방정식(Momentum equation)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \tag{2.2}$$

에너지방정식(Energy equation)

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho H u_j + F_{h,j} - u_i \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial t} + S_i + S_h \tag{2.3}$$

부력(Buoyant forces)

$$S_i = g_i(\rho - \rho_0) \tag{2.4}$$

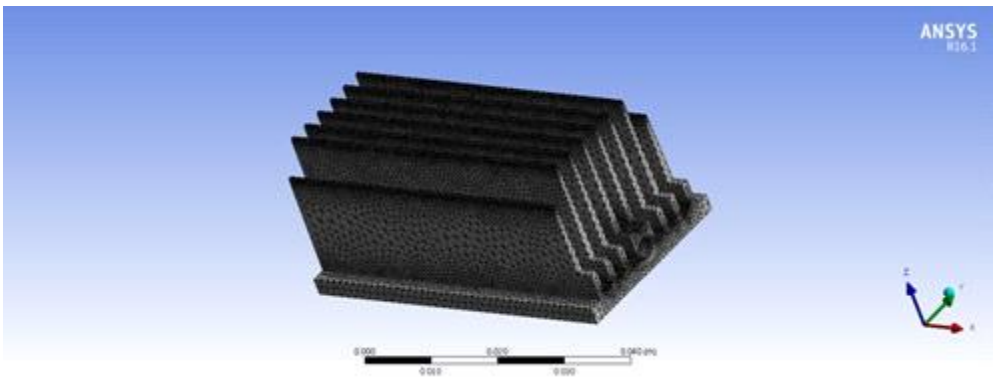
여기서, ρ는 공기의 밀도(Air density), ρ_0는 기준공기의 밀도(Reference air density), t는 시간, u_j는 x축 방향요소의 절대유속(Absolute fluid velocity component in direction x_i), τ_{ij}는 응력 텐서(Stress tensor components), H는 엔탈피(Total enthalpy), $F_{h,j}$는 확산에너지(Diffusion energy flux in direction x_j), p는 압력(Piezometric pressure), S_i는 운동량(Momentum source), S_m은 질량 소스(Mass source), S_h는 에너지 소스(Energy source), x_i는 직교좌표(Cartesian coordinate), g_i는 중력가속도(Acceleration of gravity)이다.

Collection @ chosun

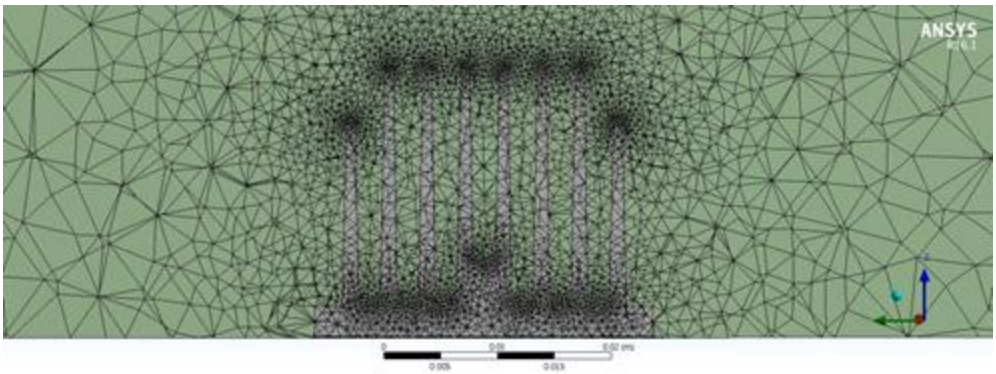
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.2 히트싱크 모델링 및 수치해석 조건

히트싱크 모델링은 CATIA를 이용하였고 ANSYS Workbench를 이용하여 그림 2.8과 같이 격자를 생성하였다. 해석 영역 (domain)의 절점(node) 수는 539,975개, 히트싱크 상의 총 절점(node)는 175,307개이다. 해석에 사용된 히트싱크의 알루미늄의 열물성치는 Table 2와 같다.



(a) Heat sink



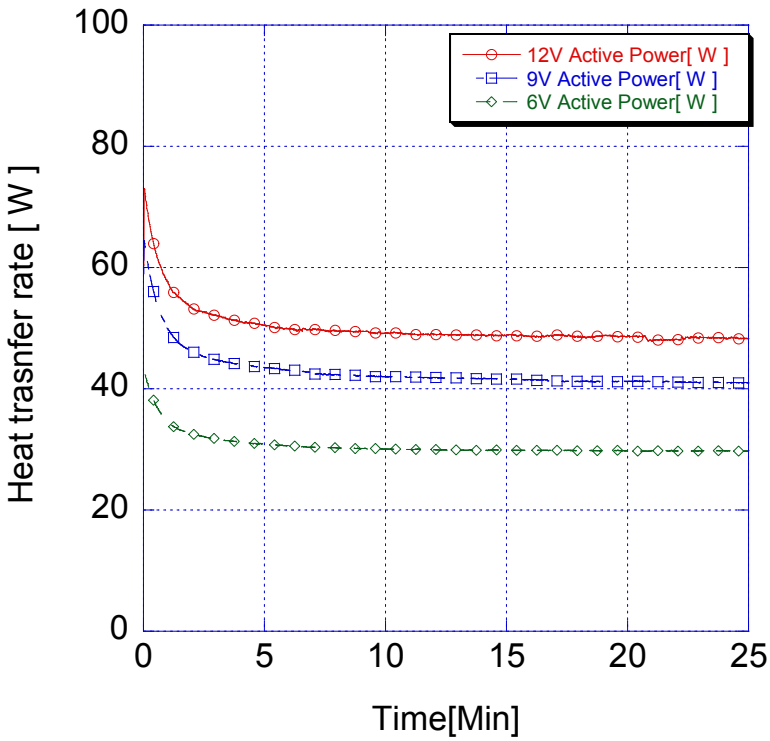
(b) Analysis domain

Figure 2.8 Meshed domain and heat sink for numerical analysis

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

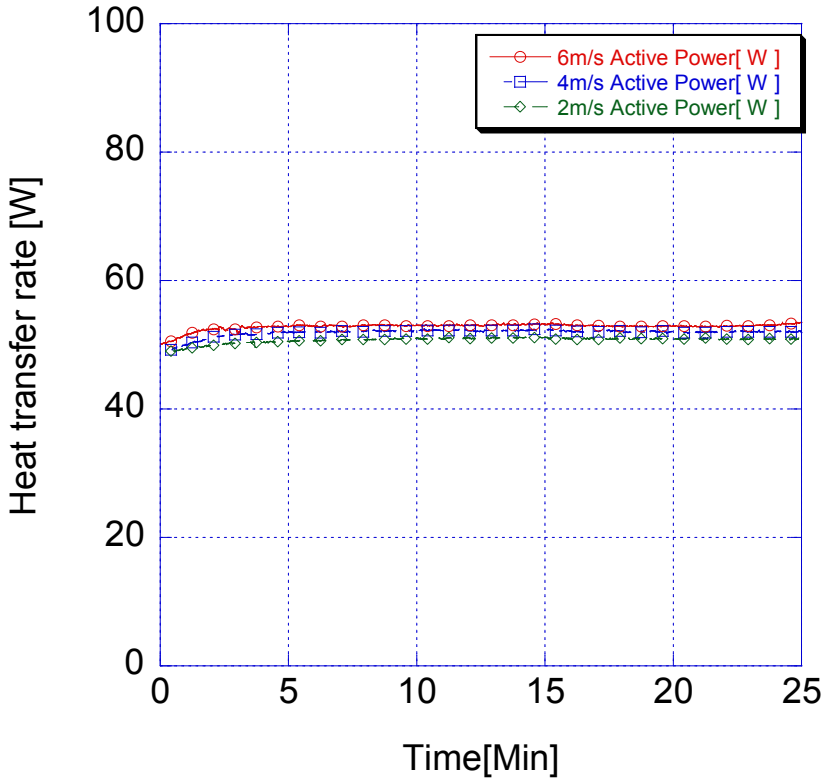
히트싱크 접합부 및 히트싱크에서 발생하는 온도 그리고 히트싱크의 방열성능을 비교하기 위하여 히트싱크 바닥면에 일정한 열유속(constant heat flux)을 열하중 조건을 설정하였으며 바닥면을 가로지르는 열유속과 표면에 수직인 방향이고 전도가 일어나는 매질을 등방성(isotropic)으로 가정하였다. 그림 2.5와 2.7에 주어진 조건 별 열유속은 전량계에서 측정된 열전달율(그림 2.9)을 히트싱크의 바닥 단면적으로 나누어서 결정하였으며 그림 2.10에 제시된 열유속을 경계조건으로 적용하였다.



(a) heat transfer rate with voltages

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) heat transfer rate with air flows

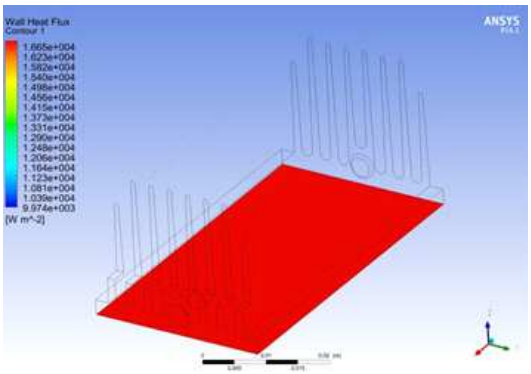
Figure 2.9 Measured heat transfer rates as a function of time

Table 2.1 Thermal properties of aluminum used for the heat sink [9]

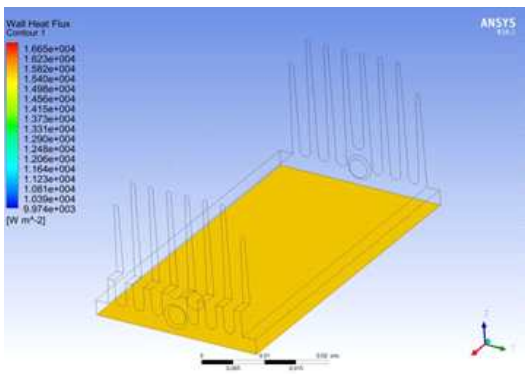
Properties in 300K			
ρ (kg/m^3)	c_P (J/kg.K)	k (W/m.K)	α .10^6 (m^2/s)
2702	903	237	97.1

Collection @ chosun

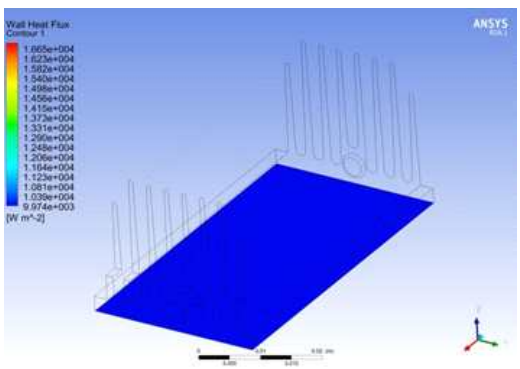
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a)



(b)



(c)

Figure 2.10 Boundary condition given at the bottom of the heat sink

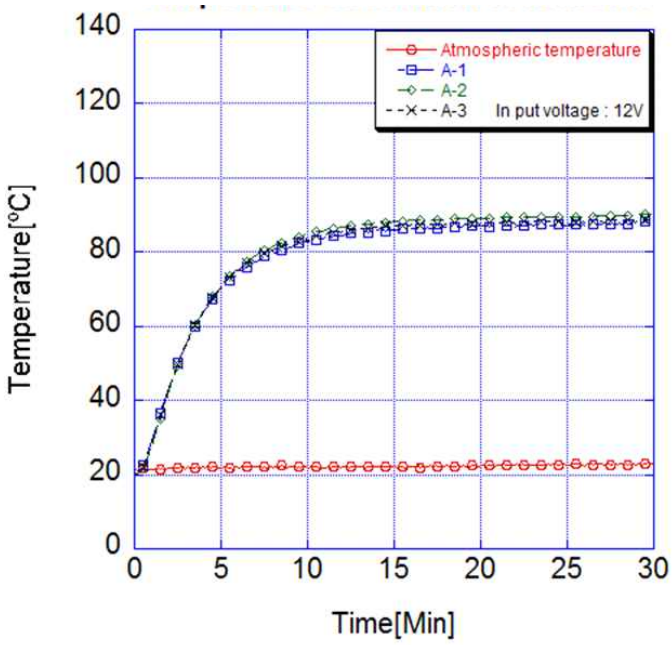
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 실험/수치해석 결과 및 고찰

3.1 자연대류에 의한 히트싱크의 냉각 특성

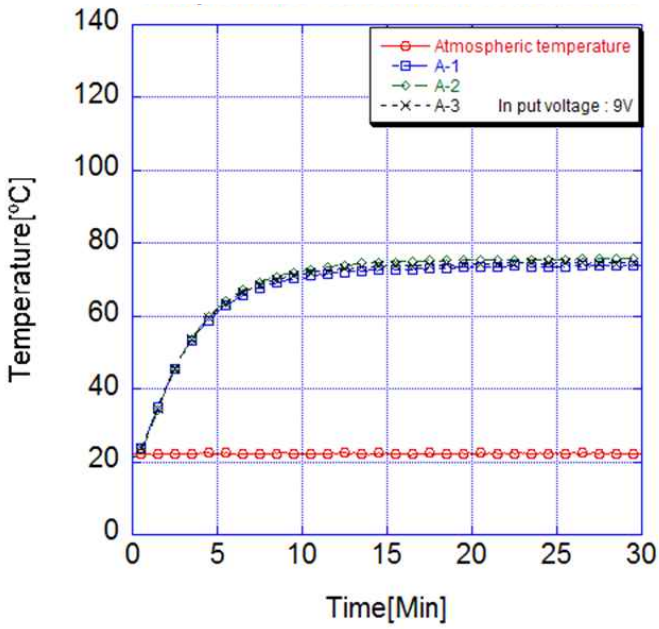
그림 3.1은 가열표면에서 히트싱크 바닥면을 통해 열전도로 인해 가열된 히트싱크의 표면 중 그림 2.4에 표시된 흰 지점의 온도를 열전소자에 인가된 전압 별로 나타낸 그래프이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 인가전압이 6V에서 12V로 증가함에 따라 측정 지점의 온도는 약 53℃에서 89℃로 증가하였으며 모든 경우에서 측정 지점 3곳 간의 온도 편차는 ± 1.5℃ 이내 였다. 그림 3.2(b)에서 3.4(b)를 통해 볼 수 있는 바와 같이 수치해석을 통해 계산된 히트 싱크의 온도도 그림 3.1에 제시된 실험결과와 잘 일치하고 있어 수치해석 결과의 타당성을 확보했다고 할 수 있다.



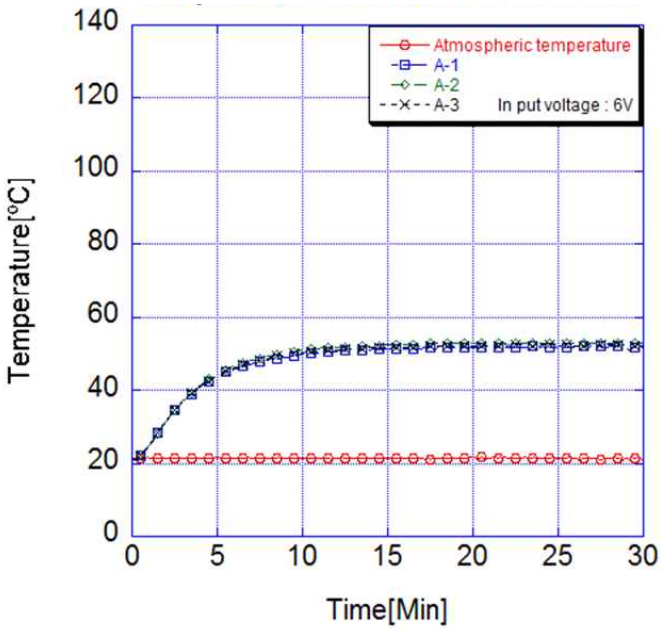
(a) with 12 volts applied

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) with 9 volts applied



(c) with 6 volts applied

Figure 3.1 Measured temperatures at pre-selected location on the heat sink

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

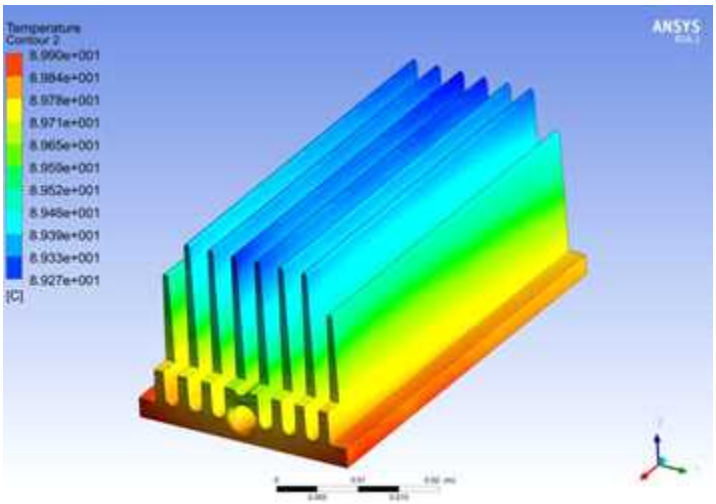
또한 그림 3.2 (a)에서 3.4(a)를 살펴보면, 인가된 전압의 크기와 상관없이 히트싱크에서 최고 온도부인 바닥면과 최저 온도부인 히트싱크 상단면의 온도 차는 약 2℃ 이내로 정상상태에 이르면 거의 열평형이 되어가는 것을 알 수 있다. 다만 인가된 전압의 크기에 따라 차이는 있지만 히트싱크의 표면적이 상대적으로 줄어드는 좌우 측면과 전면의 온도가 그림 3.5 (a)에 제시된 히트싱크의 전체 온도의 평균값(표 3.1)보다 높은 것을 알 수 있다.

Table 3.1 Summary of average temperature of the heat sink for applied voltages

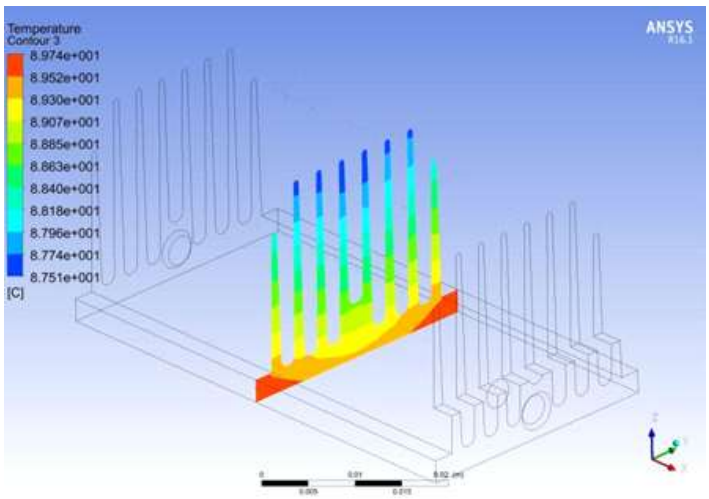
Applied voltages [V]	Average Temperature [℃]
6	56.6
9	83.6
12	88.9

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Perspective view of temperature distributions for heat sink

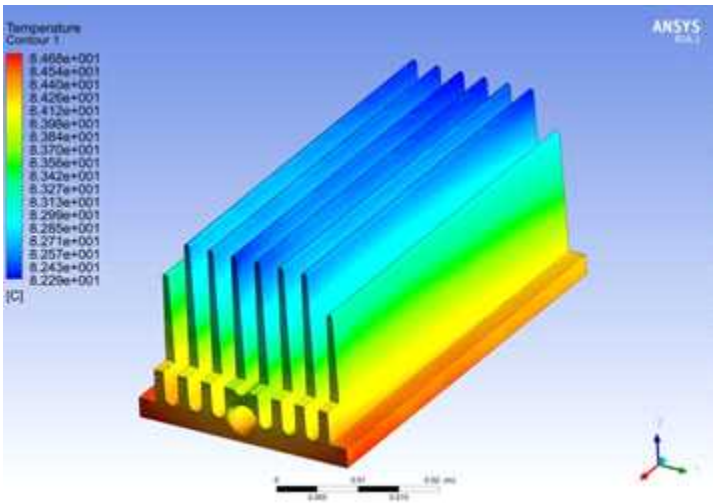


(b) Perspective view of temperature distributions for heat sink

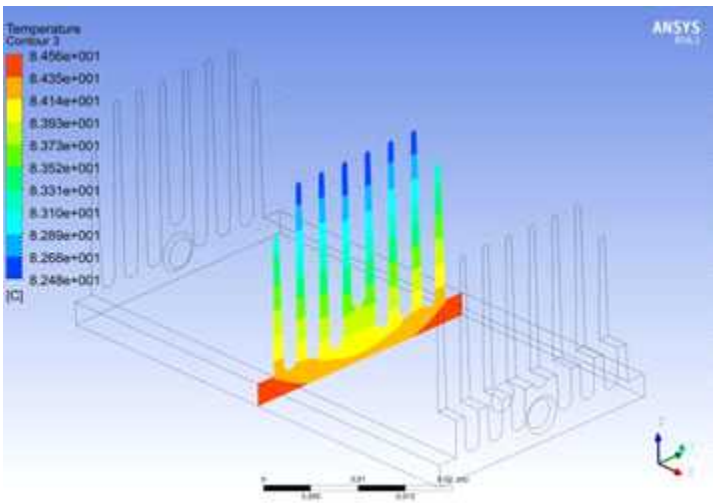
Figure 3.2 Computed temperature distributions of the heat sink with 12 volts applied

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Perspective view of temperature distributions for heat sink

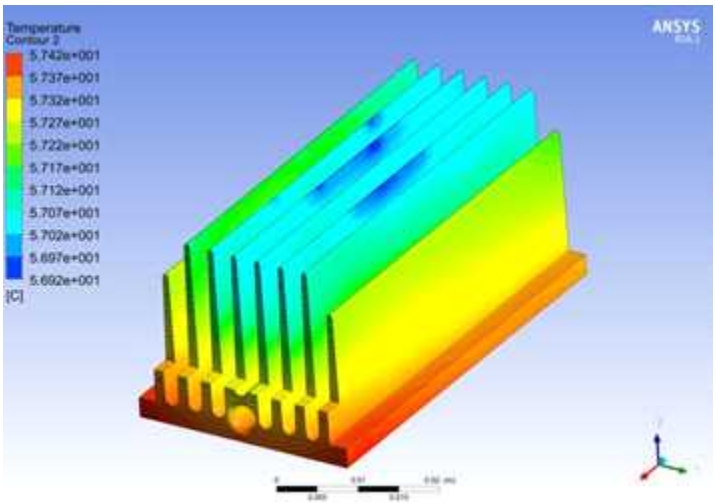


(b) Perspective view of temperature distributions for heat sink

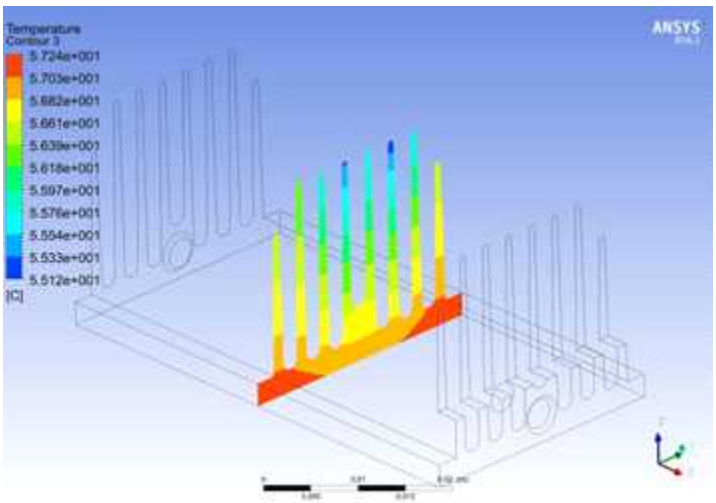
Figure 3.3 Computed temperature distributions of the heat sink with 9 volts applied

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Perspective view of temperature distributions for heat sink

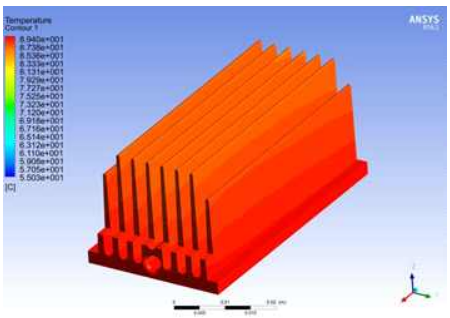


(b) Perspective view of temperature distributions for heat sink

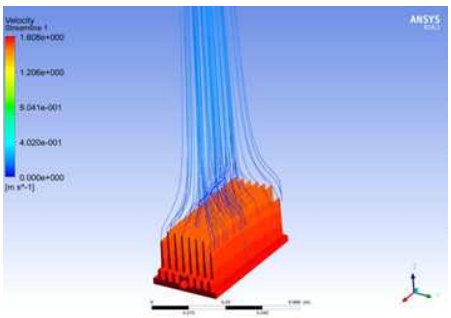
Figure 3.4 Computed temperature distributions of the heat sink with 6 volts applied

Collection @ chosun

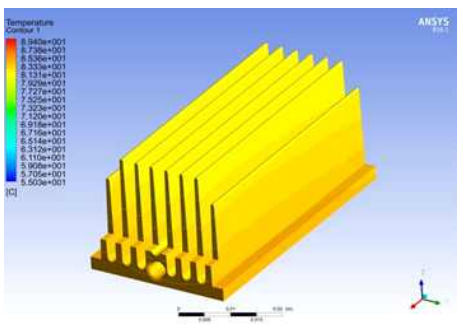
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



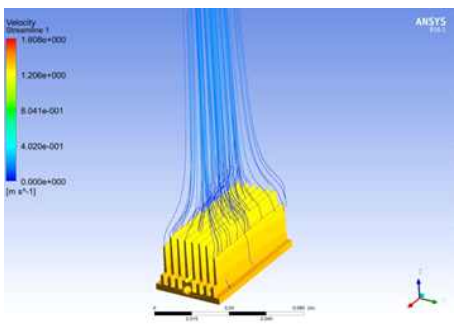
(a) Temperature contour with 12 V applied



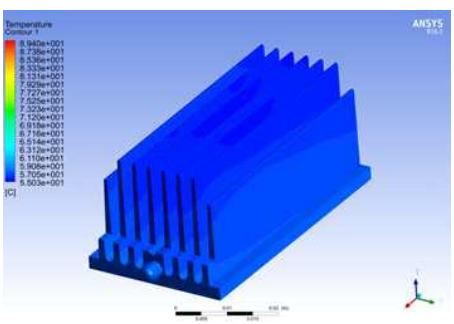
(b) streamline with 12 V applied



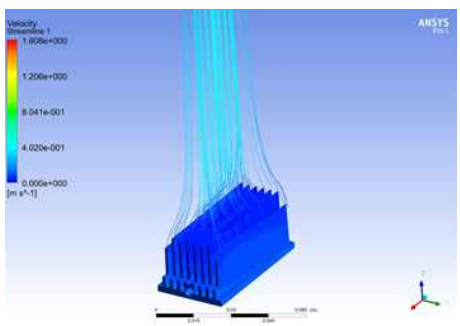
(a) Temperature contour with 9 V applied



(b) streamline with 9 V applied



(a) Temperature contour with 6 V applied



(b) streamline with 6 V applied

Figure 3.5 Surface temperature contours and streamlines for all given conditions

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

히트싱크 부근에 유체의 온도가 상승하면서 밀도가 감소하고, 이로 인한 부력의 작용으로 발생하는 자연대류현상이 그림 3.5 (b)에 제시되어 있는 바와 같이 전조등의 내부 유동에 지배적이라고 할 수 있다. 즉 히트싱크와 같은 열원은 LED 전조등 내부의 한정된 공기의 자연대류를 유발할 수 있으며 이와 같은 자연대류 현상을 해석하기 위해서는 부력의 영향을 식(3.1)을 이용하여 고려해야 된다 [10].

$$Ra_L = Gr \times \mathrm{Pr} = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \times \mathrm{Pr} \tag{3.1}$$

L은 형상의 특성 길이(m), Ra_L는 Rayleigh 수, Gr은 Grashof 수, Pr은 Prandtl 수, g는 중력가속도, β는 체적팽창계수, T_s는 휜의 표면온도, T_∞는 휜 면에서 멀리 떨어진 유체의 온도, ν는 유체의 동점성계수이다.

한편 히트싱크는 주어진 바탕면적에서 조밀하게 배열된 휜과 넓게 배열된 휜이 사용될 수 있다. 조밀하게 배열된 휜을 갖은 히트싱크는 넓은 열전달면적을 갖지만 휜 사이를 통과하는 유체에 추가적인 저항이 생기므로 열전달 계수가 낮아진다. 반면 넓게 배열된 휜을 갖은 히트싱크의 열전달 계수는 높지만 열전달 면적이 좁아진다. 이러한 영향은 Nusselt 수 (Nu_L)와 Rayleigh 수의 상관관계를 통해 도출된 대류열전달계수, h (convective heat transfer coefficient)를 통해 살펴 볼 수 있다 [10, 11].

$$h = \frac{Nu_L k}{L} \tag{3.2}$$

$$Nu_L = 0.68 + \frac{0.67 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0.492/\mathrm{Pr})^{1/16}\right]^{4/9}} \tag{3.3}$$

한편 주어진 열전달율과 히트싱크의 표면적, 온도차를 알 수 있는 경우, 대류열전달계수는 식(3.4)에 의해서도 구할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$h = \frac{\dot{Q}}{A \triangle T} \tag{3.4}$$

그림 3.6은 열전소자에서 (인가된 전압의 크기에 따라) 히트싱크로 전달되는 열전달에 의해 발생하는 자유대류의 대류열전달계수를 도시한 그래프이다. 결과에서처럼 히트싱크로 유입되는 열량이 증가할수록 대류열전달계수는 작아진다. 즉, 열전소자의 인가전압 크기가 증가하여 히트싱크로 유입되는 열량이 증가하는 경우, 주어진 조건에서 자연대류에 의한 냉각성능이 저하됨을 의미한다.

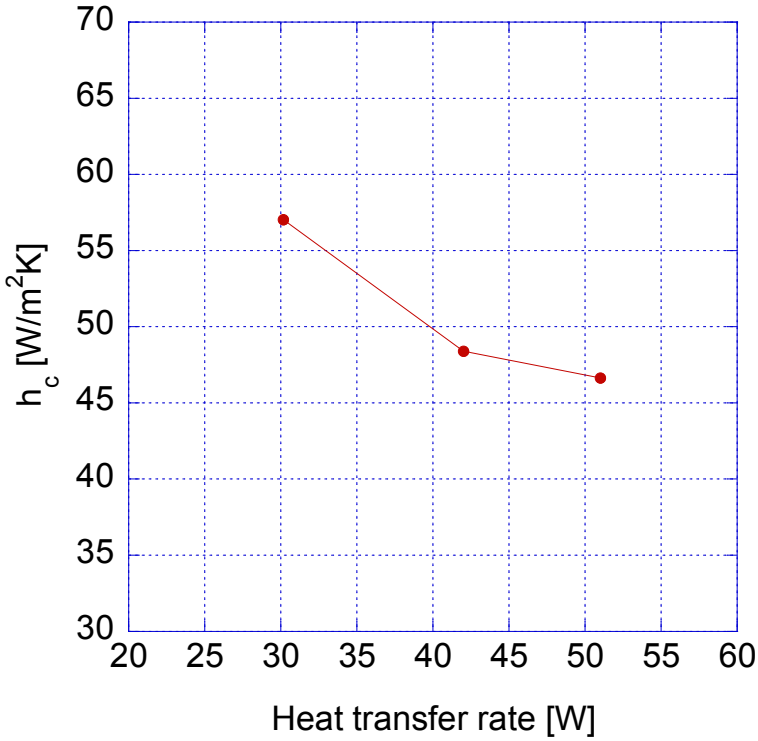


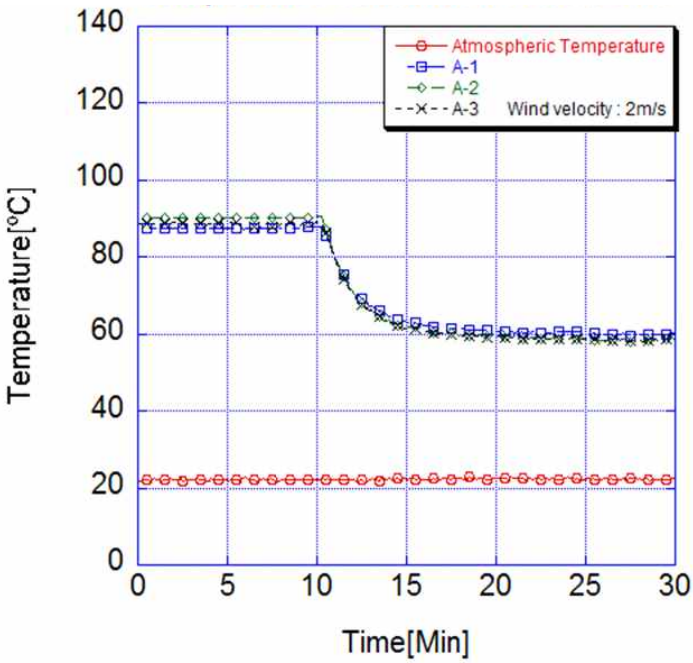
Figure 3.6 Convective heat transfer coefficient plotted as a function of heat flow

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 강제대류에 의한 히트싱크의 냉각 특성

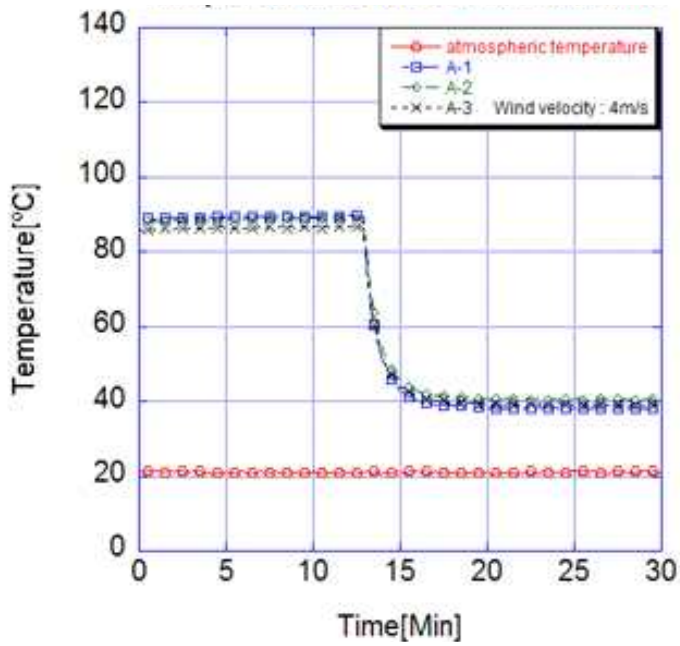
강제대류 시 히트싱크의 냉각 특성을 살펴보기 위해서 열전소자에 12 V의 전압이 인가되어 히트싱크가 가열되고 그림 2.4에 표시된 휜 지점의 온도가 일정하게 유지되면 팬을 통해 휜 주위에 공기유속을 가하였다. 그림 3.7은 히트싱크 휜 주위에 공기유속이 존재하는 경우 그림 2.4에 표시된 휜 지점의 온도를 시간에 따라 도시한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 공기의 유속이 2 m/s에서 6 m/s로 증가함 따라 휜의 온도는 약 59 ℃에서 32 ℃로 감소하였으며 측정 휜 3곳간의 온도 편차는 ± 1 ℃ 이내였다. 그림 3.8에서 제시되어 있는 것 같이 수치해석을 통해 계산된 히트 싱크의 휜 온도 역시 그림 3.7의 실험 결과와 잘 일치하고 있다.



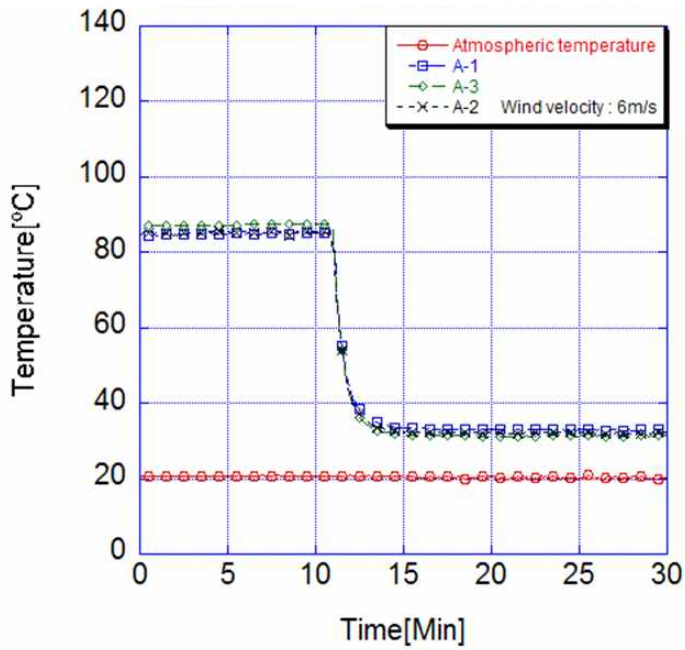
(a) with 2 m/s applied

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) with 4 m/s applied



(c) with 6 m/s applied

Figure 3.7 Measured temperatures at pre-selected location on the heat sink

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

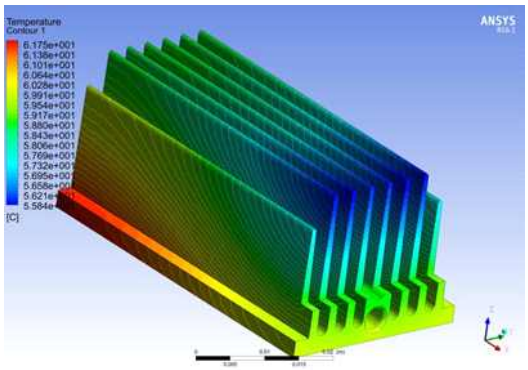
그림 3.8와 그림 3.9의 결과를 통해 알 수 있는 바와 같이 공기 유속이 존재하는 경우(강제대류) 그렇지 않은 경우(자연대류)에 비해 히트싱크에서 최고 온도부인 후단 바닥면과 최저 온도 부인 히트싱크 휜의 전면 상단면의 온도 차는 약 5℃로 커지는 것을 알 수 있다. 아울러 강제대류의 영향이 커질수록 히트싱크의 평균 온도도 2 m/s 일 때 약 60 ℃에서 6 m/s 일 때 31 ℃로 급격히 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 강제대류 현상이 발생하는 경우 식 (3.3)의 Nusselt 수가 식 (3.5)에서 볼 수 있는 바와 같이 Reynolds 수와의 상관성이 두드러지기 때문이다.

$$Nu_L = 0.664 Re_L^{1/2} \mathrm{Pr}^{1/3} \tag{3.5}$$

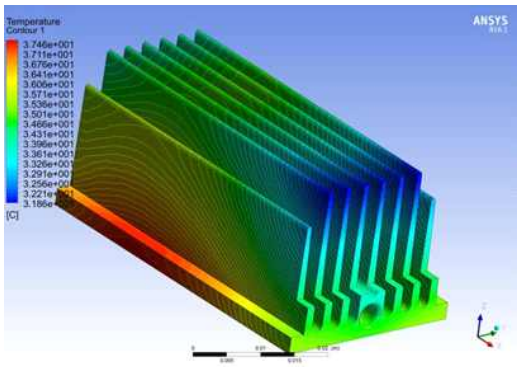
그림 3.10은 열전소자에서 인가된 전압의 크기가 12 V로 일정하게 유지될 때 히트싱크 휜 주위에 공기유속이 증가함에 따라 발생하는 열전달 현상의 해석에 필요한 강제 대류 열전달계수를 도시한 그래프이다. 결과에서 볼 수 있는 것처럼 히트싱크 휜 주위의공기유속이 증가할수록 대류열전달계수는 그에 비례해서 증가한다. 즉, 히트싱크 휜 주위의 공기유속이 증가하는 경우, 주어진 조건에서 강제 대류에 의한 냉각성능이 크게 개선됨을 의미한다.

Collection @ chosun

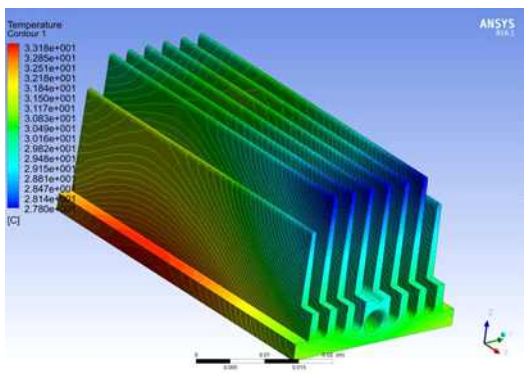
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 2 m/s



(b) 4 m/s

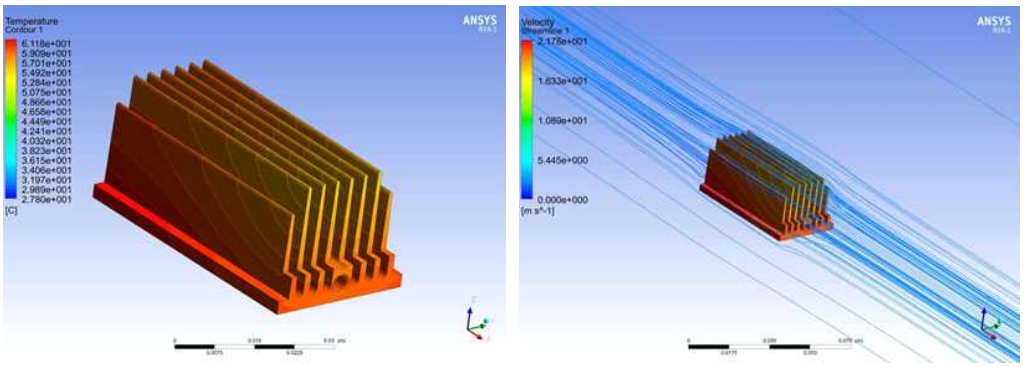


(c) 6 m/s

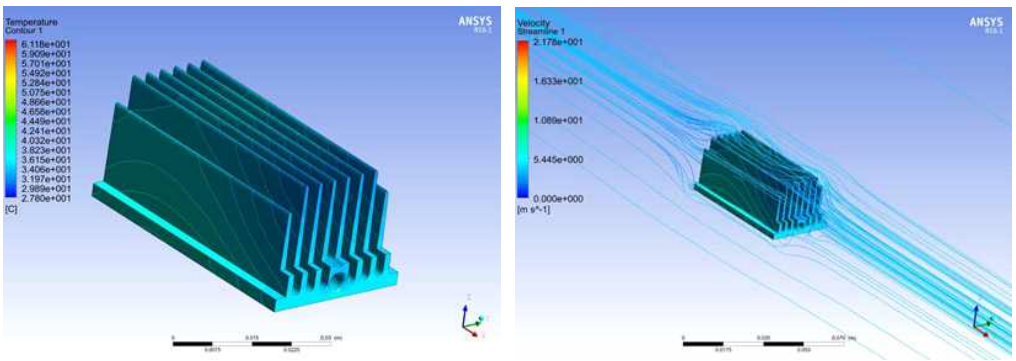
Figure 3.8 Computed temperature distributions of the heat sink with air flow applied

Collection @ chosun

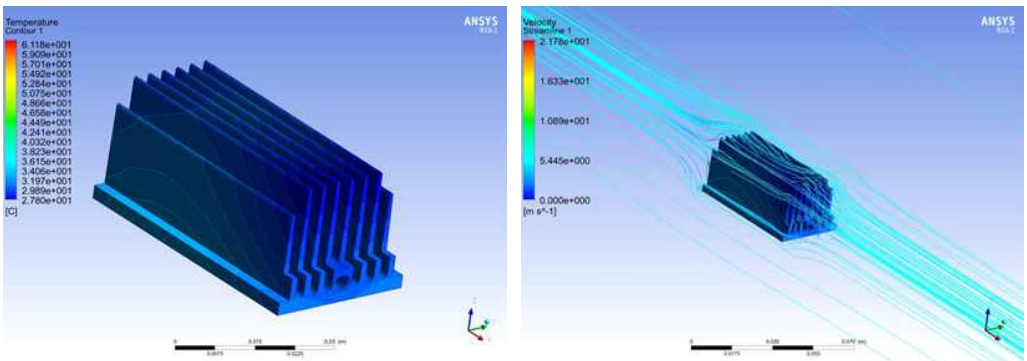
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a)



(b)



)c)

Figure 3.9 Surface temperature contours and streamlines for all given conditions

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

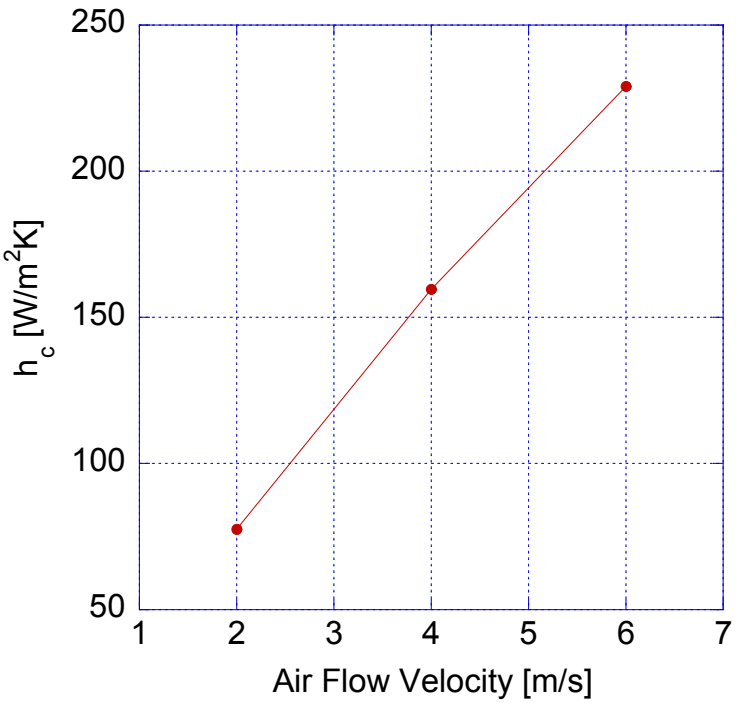


Figure 3.10 Convective heat transfer coefficient plotted as a function of air flow

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 결 론

본 연구에서는 승용 LED 전조등의 냉각을 위해 적용된 히트싱크의 방열 성능 알아보고자 실험과 수치해석을 수행하였다. 실험과 수치해석을 위해 사용된 히트싱크는 H社 E모델에 적용된 제품을 사용하였다. 히트싱크 주위에 공기유속이 가해지지 않고 전체 바닥면을 통해 9974 W/m^2 ~ 16860 W/m^{2}의 열유속이 가해진 자연대류 상태와 16860 W/m^{2}의 열유속 조건에서 2 m/s ~ 6 m/s의 공기유속이 가해진 강제대류 상태에 대해 실험을 실시하였다. 아울러 동일한 조건에서 Fluent 6.1을 사용하여 수치해석을 실시하였으며 실험결과와 비교·분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

1) 열전소자를 이용하여 가열된 히트싱크의 온도는 주위에 공기의 유속이 없는 경우 인가된 전압의 크기, 즉 열전달율이 증가할수록 히트싱크의 평균온도가 높았으며, 최고 온도와 최저 온도의 차이는 약 2°C 이내로 정상상태를 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.
2) 또한 주위에 공기의 유속이 없는 경우 히트싱크의 온도 분포는 휜의 형상(단면적)에 의해서 영향을 받는 것을 확인하였다. 즉 휜의 길이가 짧은 히트싱크의 선단부와 외측면부의 온도분포가 다른 지점에 비해 다소 높은 것을 확인할 수 있었다.
3) 주위에 공기의 유속이 없는 경우 히트싱크의 바닥면을 통해 인가된 열유속의 크기(열전달율)가 증가할수록 대류열전달계수가 작아져 냉각효율이 떨어짐을 확인하였다.
4) 히트싱크의 주위의 공기유속이 빨라짐에 따라 히크싱크의 평균온도가 그렇지 않은 경우에 비해 더 낮아졌으며, 공기유속에 의해 냉각온도 및 냉각부의 위치가 영향을 받는 것을 확인하였다.
5) 히트싱크의 공기유속이 증가함에 따라 대류열전달계수가 크게 증가하여 냉각효과가 개선됨을 확인할 수 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1] 정해림, 김재중, 송윤흡 (2010) “자동차용 할로겐램프의 광원인 텅스텐 필라멘트의 열화분석”, 대한기계학회 춘추학술대회, pp. 2143-2148.

[2] 강병도, 이호상, 김정기 (2006) “LED Headlamp의 국내 적용에 관한 연구”, 한국자동차공학회 Symposium, pp. 177-183.

[3] 도로교통공단 (2015) 도로교통안전 종합정보지 422, pp.31

[4] 이호상, 강병도, 김형구, 최영태, 황재형 (2006) “도로곡률에 따른 AFLS 전조등 최적 회전각도에 관한 연구” 한국자동차공학회 춘 추계 학술대회 논문집, pp1434-1439.

[5] Doohyun Kim (2012) “Study of Optimized Tuning in Full AFLS Head Lamps” Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress, 196, pp. 1719-1731.

[6] 정태성, 강환국 (2013) “히트싱크의 자연대류 열유동 특성 분석” 대한기계학회 논문집 B권, 37(1), pp. 27-33.

[7] 이준성, 장현석, 박동근, 홍희록 (2012) “냉각시스템을 적용한 LED전구의 히트싱크 열해석” 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 669-670.

[8] 황순호, 이영림 (2011) “히트 파이프를 이용한 다중 LED 패키지의 방열 성능 연구” 대한기계학회 논문집 B권, 35 (6), pp. 569-575.

[9] 정현오 (2011) “자동차 LED Head Lamp 방열을 위한 히트싱크의 수치해석에 관한 연구” 조선대학교 공학석사 학위논문

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

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

[11] Yan Lai., Nicolas Cordero., Frand Barthel., Frank Tebbe., Jorg Kuhn and Robert Apfelbeck., “Liquid cooling of bright LEDs for automotive application”, Applied Thermal Enginering, 2009

Collection @ chosun