

해양교통학석사 학위논문

해상용 고휘도 LED 등명기의 방열 시스템  
개발에 관한 연구

A Study on the Thermal Management System of Marine LED Lamp  
with High Brightness



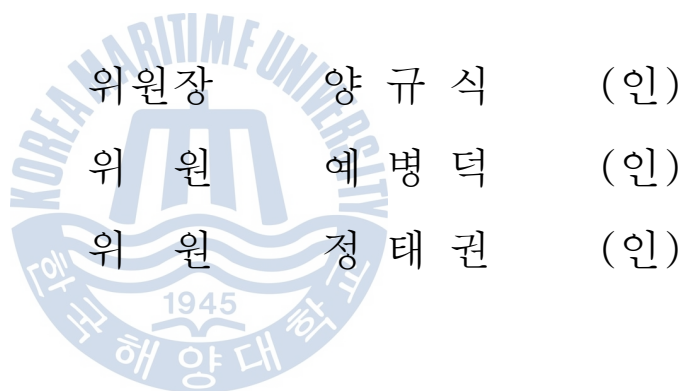
2013년 7월

한국해양대학교 해사산업대학원

해양교통학과

임민석

본 논문을 임민석의 해양교통학석사  
학위논문으로 인준함.



2013년 6월 14일

한국해양대학교 해사산업대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	v
Abstract .....	vii

## 제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 관련 연구 및 연구방법 .....	2
1.2.1 관련 연구 .....	2
1.2.2 연구 방법 .....	3
1.3 연구의 한계와 내용 .....	3

## 제 2 장 고휘도 LED 모듈의 제작 및 방열기술

2.1 고휘도 LED 등명기의 정의 .....	5
2.2 개발 대상 등명기의 선정 및 목표 광도값의 설정 .....	5
2.3 발열현상과 방열 목표의 설정 .....	6
2.4 고휘도 LED 모듈의 설계 및 제작 .....	6
2.5 방열기술 .....	7
2.5.1 기존 LED 방열기술 .....	8
2.5.2 고휘도 LED 등명기의 방열기술 .....	11
2.5.3 해상용 등명기용 고휘도 LED 모듈에 대하여 본 연구에서 채택한 방열 기술 .....	11

### 제 3 장 고휘도 LED 등명기용 히트 싱크의 제작 및 방열해석

3.1 히트싱크의 제작 .....	13
3.1.1 히트싱크 설계시 고려요소 .....	14
3.1.2 히트싱크의 형상 .....	16
3.2 고휘도 LED모듈용 히트 싱크의 방열에 관한 시뮬레이션 검토 ...	17
3.2.1 시뮬레이션 준비 .....	17
3.2.2 고휘도 LED모듈용 히트 싱크의 방열에 관한 시뮬레이션 결과 ...	18
3.3 고휘도 LED모듈의 히트싱크에 의한 방열 실험 .....	22
3.3.1 접합부 온도 측정 원리 .....	22
3.3.2 방열 실험 .....	24
3.4 고휘도 LED모듈의 히트싱크에 의한 방열 실험 결과 고찰 .....	26

### 제 4 장 냉각팬을 이용한 고휘도 LED 등명기의 방열

4.1 냉각팬을 이용한 강제대류 방식의 방열 .....	29
4.2 냉각팬 설치에 따른 고휘도 LED 모듈의 설계 .....	30
4.2.1 고휘도 LED모듈의 조립구조 설계 .....	30
4.2.2 LED모듈 지지대의 구조설계 .....	31
4.2.3 냉각팬 제어 시스템의 설계 .....	33
4.3 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열에 관한 시뮬레이션 검토 .....	35
4.3.1 냉각팬 방열 시뮬레이션 준비 .....	35
4.3.2 냉각팬 방열 시뮬레이션 결과 .....	35
4.4 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 실험 검토 .....	37
4.5 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 실험 결과 및 고찰 .....	42
4.5.1 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 온도 측정 결과 .....	42
4.5.2 고휘도 LED 모듈의 광도변화 측정 결과 .....	43
4.5.3 고휘도 LED 모듈의 방열 실험 결과 고찰 .....	44

### 제 5 장 결론

감사의 글 ..... 48

참고문헌 ..... 49



## List of Tables

<b>Table 1</b> Thermal Conductivity .....	14
<b>Table 2</b> Measured Temperature of LED Module .....	27
<b>Table 3</b> Comparative Table of Result Analysis .....	44



## List of Figures

<b>Fig. 1</b> Consist of LED module .....	6
<b>Fig. 2</b> Prototype of High Brightness LED Module .....	7
<b>Fig. 3</b> Various Heat Sink system of Marine Lantern .....	11
<b>Fig. 4</b> The Heat sink Modeling .....	16
<b>Fig. 5</b> Simplified Modeling for Thermal Simulation .....	17
<b>Fig. 6</b> Mesh Generation for Thermal Simulation .....	18
<b>Fig. 7</b> Result of Thermal Analysis for LED Module .....	19
<b>Fig. 8</b> Result of Thermal Analysis for Metal PCB Support .....	19
<b>Fig. 9</b> Basic Model Fluid Temperature and Velocity .....	20
<b>Fig. 10</b> Predicted Thermal Flow of LED Module .....	20
<b>Fig. 11</b> Applied Heat pipe for LED Module Model .....	21
<b>Fig. 12</b> Climatic Chamber .....	25
<b>Fig. 13</b> Location of Multi-Data Aquisition Point .....	25
<b>Fig. 14</b> Thermocouple Location of LED Module .....	26
<b>Fig. 15</b> Distribution of LED Module Temperature .....	27
<b>Fig. 16</b> Structure of LED Module for Forced Convection .....	30
<b>Fig. 17</b> LED Module supporter .....	31
<b>Fig. 18</b> The Thermal Flow for LED Module .....	32
<b>Fig. 19</b> Assembly view LED Module inside the Marine Lantern .....	32
<b>Fig. 20</b> Location of Temperature sensor .....	34
<b>Fig. 21</b> Schematic Diagram of Temperature control circuit .....	34
<b>Fig. 22</b> Thermal Analysis of Marine Lantern .....	36
<b>Fig. 23</b> Temperature Variation of Marine Lantern .....	37
<b>Fig. 24</b> Measurement location of Temperature for LED Module .....	39
<b>Fig. 25</b> Digital Tester .....	40

**Fig. 26** Illuminance Meter ..... 41  
**Fig. 27** Surface Thermometer ..... 41  
**Fig. 28** Comparison of Temperature Variation for Controlled Cooling Fan ..... 42  
**Fig. 29** Comparison of Luminous Intensity for Controlled Cooling Fan ..... 43





# A Study on the Thermal Management System of Marine LED Lamp with High Brightness

Lim, Min Seok

Department of Maritime Traffic Science  
Graduate School of Maritime Industry, Korea Maritime University



## Abstract

In the Korean coast and approaches many types of light aids to navigation have been installed and been operated to guide vessels into fairways, channels, or harbours safely and to identify the hazards to navigation. Because the aids to navigation lights give the information of their position, the lamps of them are not heavy and driven with a low electric power and their luminous intensity has to be more than the given value.

In the past the electric bulbs were used as the sources of light. The disadvantage of them is that they have are usually replaced by new ones frequently and also need a high electric power. Because of this the LEDs have been introduced and have the advantage of a long life and low power. The problem is that they are not suitable for the lamps with a high luminous intensity. Nowadays the aids to navigation lights need

LED lamps with a high luminous intensity of more than 1 W. The demerit of the high intensity LED is that it consumes a high power and also radiates a high heat which drops its intensity and reduces its lifespan.

This paper is to develop the thermal management or cooling system in the LED lamp with high luminous intensity of more than 1 W to solve the problem of high heat, The target of the system is to maintain the temperature of less than 50 °C and the luminous intensity of 1500 cd. The high temperature of more than 50°C causes the deterioration of luminous intensity and the reduction of the lifetime of LED lights. The procedure of developing the system is done as follows. Firstly, this paper is to develop two types of heat sink, considering the enclosed structure of the main lamp, limited supply of electric power, weight and size. The heat radiations of the two heat sinks are examined by simulation respectively. And then through experimental test they are investigated again. The result shows a temperature of 62.2 °C in the junction of the LED.

Secondly, to drop the temperature the cooling fan is added to the heat sink. The heat radiation of the cooling system by a fan is examined through simulation as similarly as in the heat sink. And also the experimental test is carried out. The result shows that the LED light keeps temperature of some 34 °C and works satisfactorily. However the cooling system has a disadvantage of additional power for driving the cooling fan. To minimize the consumption of power the control circuit of on-off method is devised.

The paper is to limit the heat sink, only two types of it and the material of aluminum. It means that the thermal management is not

sufficient. We can consider the heat pipe instead of heat sink, various types heat sink of different fin intervals, and other material like copper. These will be dealt with in the future study.

**KEY WORDS** : thermal management system; cooling system by electric fan, heat sink; LED lamp with high luminous intensity; heat radiation; control circuit of on-off method.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

해안이나 항만 근처의 해상에는 선박의 항로를 안전하게 유도하고 해상의 위험요소를 식별토록 하기 위하여 다양한 종류의 항로표지가 설치되어 운용되고 있다.

해상의 항로표지 즉, 등부표에 장착되는 등명기는 광원에서 조사되는 빛을 이용하여 자신의 위치정보를 제공함으로써 선박 등의 안전운항을 돕는 표지이기 때문에 광도가 일정 수준 이상이 되어야 하며, 저전력으로 구동이 가능하고 무게가 가벼워야 한다.(해양수산부,2006)

종래의 해상용등명기는 전구를 광원으로 하였는데, 이는 교체시기가 짧고 상대적으로 전력소모가 심하다는 문제가 있었다. 이에 LED광원이 도입 되었으며 국내의 경우 해상용 등명기 기술은 2000년대에 접어들어 전구식에서 LED 등명기로의 전환이 이루어지기 시작했다. 당시에는 저휘도 리드타입 LED(일명 “포탄형 LED”)를 사용하여 소형 해상용등명기를 제작하였다. 이런 초기의 포탄형 저휘도 LED램프는 수명이 길고 저전력이며 또 발열이 크지 않았기 때문에 국내 생산업체 대부분이 등명기 제작시 방열기술에 대한 관심은 거의 없었다.

그러나 저휘도 리드 타입 등명기는 고휘도의 등명기에 이용할 수 없다. 이에 외국에서는 개당 소비전력이  $1[W]$  이상인 고휘도 LED를 광원으로 채택하는 등명기가 개발되기 시작하였고, 최근에는 국내에서도 많은 제품이 개발되고 있는 실정이다. 고휘도 LED에서는 발열문제, 안정화문제와 함께 부동광도 측정시 LED모듈의 방열이 제대로 이루어지지 않아 측정하는 동안 지속적으로 광도가 감소함에 따라 측정 기준을 정하기가 모호한 상태이다(Ando Koushi, 2011). 이것은 고휘도 LED는 종래의 포탄형 LED에 비하여 광도는 매우 높으나 소비

전력이 상대적으로 매우 높고 또 인가되는 전력의 10 ~ 30 [%] 정도만 광에너지로 발산하고 나머지는 열에너지로 발산하는 특성으로 인해 발열현상이 발생하기 때문이다. 이로 인하여 LED 소자가 열화하여 등명기의 광도가 감소하며 또 LED소자의 수명이 짧게 된다. 이에 고휘도 파워 LED를 채용하여 등명기를 개발하는 경우에는 반드시 방열 문제를 고려해야 한다.

따라서 이 연구에서는 1 [W] 이상의 고휘도 LED에서 발생하는 방열문제를 해소하기 위한 시스템을 개발하여 향후 해상용 등명기의 설계 및 제작에 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 1.2 관련 연구 및 연구방법

### 1.2.1 관련 연구

LED 등명기에 관한 연구는 2000년대 중 후반들어 비교적 활발하게 이루어져 왔다. 정학근 등 (2006)은 중소형 해상용 등명기 대체용 LED 광원 설계에 대한 연구를 수행 하였고, 김종태 등 (2006)은 해상용 등명기를 위한 Fresnel Lens의 설계 및 제작에 관한 연구를 진행 하였다. 또한, 정재훈 등 (2008, 2009)은 해상용 LED 등명기의 수명 특성에 관한 연구와 해상용 등명기의 색도에 관한 연구를 수행하였다.

이상과 같이 LED 등명기에 관한 연구는 주로 광학 분야에 집중되어 왔다. LED 등명기를 대상으로 한 방열기술에 관한 연구는 찾기가 어려웠고 유사한 분야의 LED 광원의 방열기술에 관한 연구는 다음과 같다.

강창수 (2011)는 고효율 LED방열효과 증대를 위한 융합형 Heat Sink 장치 방열해석에 관한 연구를 수행하였고, 이미영 등 (2005)은 열화특성을 고려한 LED조명의 구동회로 설계에 관한 연구를 수행하였다. 김향곤 (2009)은 LED가 로등의 방열패턴 및 전류특성에 관한 연구를 진행하였다.

LED의 방열기술은 다양한 방식으로 접근할 수 있다. LED소자자체의 패키지 레벨단계의 연구에서 부터 보드레벨, 시스템 레벨 등으로 접근할 수 있는데, LED 자체의 방열기술만 해도 칩본딩 설계기술, 세라믹패키지 방열기술, 멀티칩

방열기술 등이 있고 시스템레벨의 방열방식도 수냉식, 공랭식, TEC 냉각, 히트파이프(heat pipe)를 이용한 전도방식 등으로 다양하다.

### 1.2.2 연구 방법

이 연구에서는 히트싱크와 냉각팬을 이용한 자연/강제대류방식의 방열기술을 이용하여 고휘도 LED 등명기의 발열문제를 해결하고자 한다. 이를 위하여 발열체인 LED 등명기 모듈을 실제로 제작하고, 방열을 위해 히트싱크를 고안하였다. 이렇게 고안된 히트싱크는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 통한 열해석으로 1차 검증은 하고, 실제 실험을 통해 재검증을 하는 순서로 연구를 진행하였다. 그 다음 냉각팬을 사용해 열을 전달하는 강제대류방식을 추가하였다. 이에 대한 검증도 히트싱크와 마찬가지로 시뮬레이션과 실험을 통해 이루어졌다. 또 냉각팬을 사용할 시에는 이를 구동하는 별도의 소비전력이 필요하게 되어 소비전력이 상승하는 단점을 가지고 있기 때문에 이 연구에서는 온도센서의 온도 변화에 따라 냉각팬을 ON/OFF 제어함으로써 소비전력을 최소화하는 제어회로를 구성하였다.

### 1.3 연구의 한계와 내용

해상용 등명기용 고휘도 LED 섬광기의 방열시스템의 제작에는 등명기 자체의 제한된 구조와 전원 공급상의 어려움이 있기 때문에 이를 실제적으로 다 고려하는 것에는 다소 무리가 있다. 예를 들어 제한된 크기의 등명기에 적절한 크기의 히트싱크이나 실험에 있어서 충분한 시간 등이 다소 어려운 점이 있으나 이 연구에서는 실험은 3시간 정도로 하는 것으로 하였다. 또 등명기의 크기 때문에 강제대류방식인 팬방식을 고려한 점이 한계로 보인다. 또 히트싱크도 2가지만을 다루었는데 다른 형태의 히트싱크라든지 또 히트파이프 등의 고려는 이 연구에서는 하지 않았다.

연구 내용으로는 제2장에서 고휘도 LED등명기의 발열현상을 파악하기 위한 샘플 제작 및 이의 방열을 위한 일반적인 방법의 소개를 하고 제3장에서는 보다 구체적으로 히트싱크를 적용한 자연대류방식의 방열해석과 실제실험과정 및 결과를 기술하고 제4장에서는 냉각팬을 이용한 강제대류방식의 방열시스템을

기술한다. 또한, 히트싱크를 이용한 방식과 연구결과를 비교하여 제시하였다.  
제5장은 이 연구에 대한 결론으로 구성한다.



## 제 2 장 고휘도 LED 모듈의 제작 및 방열기술

이 장에서는 고휘도 LED 등명기의 방열 현상을 파악하고 아울러 효과적인 방열장치를 고안하기 위하여 먼저 고휘도 LED 모듈의 제작하기로 한다. 이를 위하여 먼저 고휘도 LED 등명기를 정의한다. 또 이 고휘도 LED 모듈의 작동상의 온도 및 광도의 목표치를 제안하고 이에 근거하여 이 연구에서 개발할 방열장치를 검증하려고 한다.

### 2.1 고휘도 LED 등명기의 정의

이 연구에서 정의한 고휘도 LED 등명기는 “고휘도 LED”를 광원으로 하는 해상용 등명기를 말한다. 여기서 “고휘도 LED”란 대략 10 [mm] 정도의 크기에 표면실장형태로 1 [W] 이상의 소비전력으로 50 ~ 150 [lm]의 광속이 나오는 것을 말한다. 이 고휘도 LED는 소자의 소형화, 고광력화를 추구하면서 개발되었으며 방열현상이 심하다는 단점을 가진다.

이에 비해 “저휘도 LED”는 대략 3 ~ 5 [mm] 정도의 포탄형 모양의 리드를 가진 형태의 LED 소자이며 20 ~ 30 [mA]의 전류로 1 ~ 2 [lm]의 광속이 나온다. 고휘도 LED에 비하여 상대적으로 적은 전력으로 구동되므로 방열이 심각하지 않다.

### 2.2 개발 대상 등명기의 선정 및 목표 광도값의 설정

해양수산부(2012, 2013)에서 관할하고 있는 국내 해상용 등명기의 표준규격 중에서 LED가 적용되는 등명기는 2013년 2월 현재 “일체형-LED”, “LED-200”, “LED-200HI” 3종의 소형 등명기로 제한되어 있고 250 [mm] 이상의 중대형 등명기는 전구를 사용하도록 표준규격화 되어 있다. LED 등명기의 광도는 저휘도 포탄형 LED로 구현이 가능한 LED-200HI(녹색)의 900 [cd]가 최고 광도값이다.



외국의 경우에는 2,000 [cd] 이상의 광도를 요하는 300 [mm]이상의 중형급 등명기에도 LED를 광원으로 사용하고 있는데 여기에는 대부분 고휘도의 LED가 사용되고 있다.

이에 본 연구에서는 "LED-200HI"보다 한 단계 상위의 규격인 전구식 250 [mm] 등명기에 고휘도 LED를 광원으로 적용하여 1500 [cd] 수준의 광도값을 내도록 개발하는 것을 목표로 하였다. 참고로 현재 전구식 250 [mm] 등명기의 기준광도는 700 [cd]에 불과하다.

### 2.3 발열현상과 방열 목표의 설정

보통 LED소자는 온도가 대략 50°C를 넘어가면 열화현상에 의한 광도저하, 소자 수명 단축 등 제품의 신뢰성을 보장하기 어렵게 된다. 이 연구에서 개발할 고휘도 LED모듈은 높은 수준의 발열로 인해 측정된 광도값을 신뢰할 수 없게 된다. 이에 방열 방법을 고안하기로 하고 우선적으로 방열목표를 환경온도를 26°로 감안하여 온도차 24° 이내 즉, 50° 이내를 목표로 설정하였다.

### 2.4 고휘도 LED 모듈의 설계 및 제작

Fig.1은 고휘도 LED 모듈의 형상을 모델링한 것이다. 1 [W] 고휘도 LED 12개(12W급)를 메탈 PCB에 부착하고, 메탈 PCB 지지대는 알루미늄 소재를 12각으로 형상화하고 LED가 붙어있는 메탈 PCB를 부착 하였다.

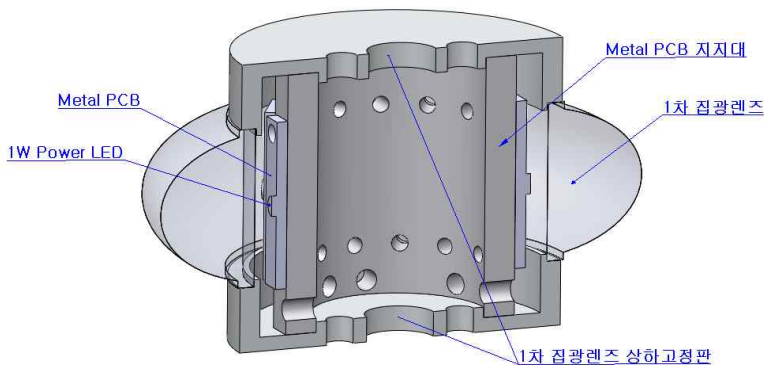


Fig. 1 Consist of LED module

1차 집광렌즈는 PMMA 소재의 투명 플라스틱이며 열전도도는  $0.06 [W/mK]$ 이다. 또 1차 집광렌즈 상하고정판 역시 알루미늄 소재를 가공하여 제작한다.

고휘도 LED 모듈의 형상을 모델링 후에 광학적 해석을 통하여 LED의 수량과 배치, 그리고 집광렌즈의 설계를 하고 이를 기준으로 하여 Fig.2와 같이 1W 파워 LED램프 12개를 연결한 12W LED 모듈의 시제품을 제작하였다.



Fig. 2 Prototype of High Brightness LED Module

## 2.5 방열기술

전류와 전압을 인가하여 필요로 하는 특성을 내는 LED소자는 인가되는 전력을 열로 소비하는 특성을 가지고 있다. 또한 LED소자에 인가되는 전력이 높을수록 소자에서 발생하는 열은 더 높아진다. 다시 말해 열을 잘 방출시킬 수 있다면 더 높은 전력을 사용할 수 있고, 이는 소자의 광효율을 늘리는 결과로 귀결된다.

앞에서 제작한 LED 모듈에서 발생된 열을 효율적으로 관리하는 문제는 등명기 제품전체의 전기적, 광학적 특성을 향상시킬 뿐 아니라 제품의 수명, 신뢰성, 제조 원가 등에도 영향을 미치는 요인이 된다.

이제 열을 효율적으로 관리하는 문제 즉, 방열기술에 대해 기존의 일반적인 사항을 먼저 기술하고 계속해서 등명기에 적용해서 살펴보겠다.

## 2.5.1 기존 LED 방열기술

기본적으로 LED모듈은 위쪽부터 아래쪽으로 순서대로 LED 칩, 패키지, PCB(Printed Circuit Board), TIM(Thermal Interface Material), 히트싱크(Heat sink)로 구성되어 있으며, LED칩에서 발생된 열은 위쪽으로는 방출할 수 없고, 대부분 칩 아래 방향으로 전달되어 빠져나가는 열 경로(Thermal Path)를 가지고 있다. 열이 전달되는 주요 메커니즘은 패키지로부터 히트싱크까지는 열전도에 의해, 그 후에는 대류와 복사 현상에 의해 대기 중으로 열을 방출하게 된다.

칩이 내부에 포함된 LED 패키지는 LED 시스템을 구성하기 위한 기본 단위 소자로 사용되며 PCB상에 놓인다. 이 PCB는 방열테이프(Thermal Tape)나 방열그리스(Thermal Grease)와 같은 열전달 물질을 통해 히트싱크에 부착된다.

LED에 있어 방열 설계는 LED 성능 및 신뢰성을 확보하는 매우 중요한 요소로서 LED 칩으로부터 발생된 열을 신속하게 외부로 내보내어 정크션(Junction) 온도를 낮은 수준으로 관리하는 것이다.

LED 칩에서 발생된 열은 대부분 칩 아래 방향으로 전달된다. 칩 위쪽으로는 빛이 방출되어야 하므로 가능한 한 칩 아랫 방향으로 열이 방출되도록 구조 및 소재를 이용하여 대책을 세워야 한다. 이러한 LED 방열 기술은 크게 4가지로 나눌 수 있다.

이하에 LED 방열기술에 대하여 기술하기로 한다.

### (1) 칩 본딩 방열 기술

칩 본딩에 따른 방열 기술은 칩 레벨에서의 열 방출 경로를 조절하여 LED 패키지의 열 방출을 최대화 하는 것이다. 칩의 형태에 따라 epi-up 방식의 논플립칩(non-flip chip)과 epi-down 방식의 플립칩(flip chip)으로 나누어 방열 설계가 진행되며 각각 Au 범프와 패드를 칩의 실장에 따라 디자인하여 열 설계를 할 수 있다.

는 플립칩은 기판의 취약한 방열특성이 전체 패키지의 열 특성에 영향을 미친다. 이에 반해 플립칩의 경우 칩들이 각각 열전도도를 갖는 열접착 물질(Ag paste)을 통해 알루미늄 금속 기판 위에 직접 실장 되기 때문에 알루미늄 금속 기판은 칩에서 발생한 열의 방출을 위한 방열판 역할과 외부 전극과의 연결을 위한 chip on board 역할을 한다. 따라서, 논 플립칩의 경우 플립칩에 비하여 접합온도가 높게 나타나고 있다.

## (2) 패키지 방열 기술

최근 패키지 방열기술은 기존 PPA를 대신하여 세라믹 패키지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 세라믹 패키지의 장점은 기존 PPA에 비하여 열전도도가 6배 정도 우수하며 열팽창계수가 LED 칩과 유사하다.

세라믹 패키지의 경우, 소재의 종류에 따라 HTCC(High Temperature Co-fired Ceramics)와 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) 패키지로 나눌 수 있다. LTCC는 alumina 등을 주성분으로 하는 종래의 세라믹 다층기판 (HTCC)이 약 1,500℃ 이상의 소성온도를 필요로 하는데 반해, glass계 재료를 첨가함으로써 1,000℃ 이하에서의 '저온'소성을 가능하게 한 것이다. 따라서, 낮은 유리 열전도도로 인해 LTCC의 열전도도 역시 낮은 수준이다. HTCC의 경우, 높은 열전도도를 바탕으로 고출력 패키지용 소재로서 사용되고 있다.

## (3) 멀티칩 방열기술

멀티칩 패키지를 위한 방열 기술은 LED 동일 패키지 내에 많은 수의 칩을 집적하여 보다 고출력을 얻기 위한 연구의 일환으로 최근 많은 연구가 진행 중이다. 그러나 멀티 칩 열 설계를 위해서 단일 칩 패키지에서는 고려하지 않았던 다양한 변수에 대한 연구가 필요하며 이에 따라 칩의 수, 칩의 배열, 칩의 크기 등 다양한 요소들에 대해서 연구가 이루어지고 있다. 칩의 개수에 따라 정션 온도가 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 고출력 멀티칩 열 설계를 위해서 다양한 연구가 진행되고 있으며 앞으로도 보다 많은 연구가 필요하다.

#### (4) LED 방열설계기술

주변 환경 및 구동 조건에 따른 LED 시스템 방열 설계이다. LED 패키지는 경우에 따라 여러가지 주변 환경에서 작동한다. 그러므로 방열 설계 시 미리 주변 환경이 LED 패키지에 주는 영향을 파악해야 한다. LED 패키지에 영향을 주는 주변 환경은 주변 온도, 냉각 방식, 계면 물질(TIM)과 압력 등이 있다. 냉각 방식에 따라서는 대표적으로 수냉식, 팬, 히트싱크 (heat sink)를 이용한 강제/자연 대류 방식, TEC (Thermal Electric Cooler) 냉각, heat pipe를 이용한 전도 등이 있다. 현재 업계에서는 열전도성과 내구성이 높은 세라믹, CNT를 이용한 전도 방식을 많이 채택하고 있으나 비용에서 현실적인 문제가 대두되고 있다.

냉각 방식에 따른 연구는 일정 수준 정립되어 있다. 자연 대류를 인가하는 방식은 JEDEC 51-2에 규정되어 있다. 주변 온도 및 계면 물질과 압력 등도 LED 패키지의 열 특성에 미치는 영향이 크기 때문에 앞으로 연구가 더욱 필요한 분야이다. 주변 환경과 함께 LED 패키지에 인가되는 구동 환경 역시 LED 패키지의 열특성을 좌우하는 중요한 요소이다.

지금까지의 LED패키지는 직류(DC)에서 구동되어 왔다. 하지만 LED의 응용 분야가 넓어짐에 따라 교류(AC)에서 동작되는 교류 전원용 LED(AC LED)패키지의 연구가 활발하다. 교류 전원용LED(AC LED)는 여러 개의 소형 발광 셀을 단일 칩에 모아 수십 개의 LED에 버금가는 밝기를 구현한 것으로, LED소자를 쌍방향으로 배열해 일반 AC 전원에서도 작동할 수 있다. 이러한 교류전원용 LED는 응용분야 확대뿐만 아니라 LED 패키지의 열 설계에 있어서도 매우 중요한 계기가 되고 있다. LED에서 열이 발생하는 원인인 전력을 조절함으로써 보다 효율적인 방열 설계가 가능하기 때문이다.

## 2.5.2 고휘도 LED 등명기의 방열기술

국의 선진국에서도 “고휘도 LED”를 사용함에 따라 등명기 제작에 있어 여러 가지 방열기술을 적용하고 있다. 그 방법의 예로 해상용등명기의 몸체를 알루미늄이나 황동으로 제작하는 방법, LED가 부착되는 히트싱크의 다양한 형상 등이 적용되고 있다. Fig. 3은 국내외 다양한 형태의 방열 시스템을 나타내었다. 고휘도의 파워 LED를 광원으로 채택한 섬광기가 해상용등명기에 다양한 형태로 적용되고 있는데 좌측과 중앙의 그림에서 보듯이 4개에서 8개의 LED 소자를 사용하고 방열은 알루미늄재질의 메탈PCB와 냉각판(Heat Sink)를 이용하고 있음을 알 수 있다. 특히 좌측그림은 ‘Tideland’사의 제품인데 동일한 섬광기를 200mm급 소형등명기와 300mm급 중형등명기에 같이 적용하고 있다. 또한 방열시스템은 8개의 1W급 LED소자를 메탈PCB에 부착하여 1차로 방열설계를 하였고, 원형의 알루미늄재질로 된 히트싱크를 2차로 설계하였는데, 방열핀을 별도로 구성하지 않고 내부를 빈공간으로 하여 공기유동에 의한 자연대류 효과를 극대화 하고 있다.

우측의 그림은 각 각 사빅사와 카마나사의 제품사진으로 고휘도 등명기와 전원일체형 등명기의 형태이다.



Fig. 3 Various Heat Sink system of Marine Lantern

## 2.5.3 해상용 등명기용 고휘도 LED 모듈에 대하여 본 연구에서 채택한 방열 기술

언급한 바와 같이 LED방열기술은 다양하다. 이 연구에서는 일단 자연대류방식 및 강제대류방식으로 접근하기로 한다. 이를 위하여 먼저 고휘도 LED 등명



기의 선풍모듈을 사용되는 범위에 따라서 패키지 레벨, 보드레벨, 시스템 레벨 등으로 적용할 수 있다. 현재 각각의 레벨에서 여러 가지 해결 방법을 통해 LED칩의 온도를 낮추는데 노력하고 있는 실정이나 이 논문에서는 시스템 레벨에 한정하여 연구를 진행하였다.

시스템이라 하더라도 일반적인 방열방법은 히트싱크나 냉각팬, 히트파이프 등을 사용할 수 있다. 특히 해상용등명기는 렌즈내의 밀폐구조나 제한된 전원 공급 등의 열악한 조건으로 인해 더욱더 별도의 구동장치를 요하지 않는 방식과 제작되는 시스템의 비용적인 측면을 고려할 수밖에 없다. 이렇게 볼 때 가장 대표적으로 사용되는 방열의 기술인 방열판(Heat sink)과 냉각팬(Fan)을 적용하기로 한다.

이 점을 감안하여 이 논문에서는 히트 싱크를 적용한 자연대류방식에 의한 방열기술을 먼저 적용하여 열해석을 하고 그 결과에 따라 필요할 경우 냉각팬에 의한 강제대류방식을 적용하기로 한다.



## 제 3 장 고휘도 LED 등명기용 히트 싱크의 제작 및 방열해석

여기서는 해상용 항로표지인 등부표에 장착되는 등명기에 대한 여러 가지 환경 요건을 고려하여 2장에서 개발한 고휘도 LED 모듈에 히트 싱크(heat sink)에 의한 자연대류방식을 적용하여 열해석을 하고자 한다. 이를 위하여 히트 싱크를 제작하고 고휘도 LED 모듈의 온도가 목표치인 50° 이하에서 안정화 되는지 조사한다.

### 3.1 히트싱크의 제작

방열의 형태는 정지된 매체 내에 존재하는 온도차에 의하여 매체를 통해 일어나는 전도(Conduction), 운동하는 매체의 질량에 실려서 에너지가 전달되는 대류(Convection), 중간에 매체없이 서로 다른 온도를 갖는 물체사이에서 일어날 수 있는 복사(Radiation) 등으로 구분할 수 있다.

주로 패키지에서 히트싱크까지는 열전도에 의해, 그 후에는 대류와 복사 현상에 의해 대기 중으로 열을 방출하게 된다. 이와 같은 방열의 형태, 즉 열전달의 경로는 패키지의 형태와 외부 방열 환경(예; Heat Pipe, Fan 등)에 따라 달라질 수 있지만 고휘도 Power LED의 경우에는 60~85%정도가 전도의 형태로 열이 방출된다.

전도 형태에서 가장 큰 영향을 미치는 요소는 방열판 재료의 열 전도도(Thermal Conductivity)와 방열면적, 두께, 접촉방법 및 상태, 크기, 핀(Fin)의 구성 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 별도의 구동회로 및 소모전력이 필요 없이 전도 및 자연대류 방식으로 열전달을 하는 히트싱크를 제작하기로 한다. 이 히트싱크의 방열효과는 사용 재료, 면적, 핀 간격 등에 큰 영향을 받으므로 이들에 대한 상세한 검토가 필요하다.



### 3.1.1 히트싱크 설계시 고려요소

#### (1) 히트싱크 재질

물질의 열전도율은 Table 1과 같다(황명근 등, 2011). 전도율이 최대인 재질은 다이아몬드로서 그 전도율은  $401 [W/mK]$ 이고 은이  $429 [W/mK]$ , 구리는  $237 [W/mK]$ , 알루미늄은  $401 [W/mK]$  등으로 되어 있다. 방열효과를 높이기 위해서는 전도율이 큰 재료를 사용하여야 하지만 비용이 크게 되어 경제성이 떨어진다. 따라서 이 논문에서는 방열판(Heat sink)의 재질로 열전도효율과 비용 등을 고려하여 알루미늄 (AL6061)으로 선정하여 제작한다.

**Table 1** Thermal Conductivity

물 질	열전도율 $W/(m \cdot K)$	물 질	열전도율 $W/(m \cdot K)$
Dimond	2,300	Water	0.613
Silver	429	Human Skin	0.37
Copper	401	Wood(oak)	0.17
Gold	317	Helium	0.152
Aluminum	237	Soft rubber	0.13
Iron	80.2	Refrigerant-12	0.072
Mercury	8.54	Glass fiber	0.043
Glass	0.78	Air	0.026
Brick	0.72	Urethane, rigid foam	0.026

#### (2) 히트싱크의 면적

히트싱크에서 대류 표면적  $A_{fm}$ 이 증가하면 열전달량이 증가한다. 히트 싱크의 열전달량  $Q$ 는 식 3.1과 같이 표시된다.

$$Q = h A_{fin} (T_w - T_\infty) \quad (3.1)$$

여기서  $h$ 는 대류 열전달계수이고,  $T_w$ 는 표면온도이다. 또  $T_\infty$ 은 자유흐름 온도이다.

히트 싱크에 핀(Fin)이 있는 경우에는 핀의 효율을 증가시키기 위해서는 핀의 유효도를 크게 하여야 한다. 핀의 유효도  $E_{fin}$ 는 식 3.2와 같다.

$$E_{fin} = \frac{Q_{fin}}{Q_{nofin}} = \frac{\sqrt{h p k A_C} (T_b - T_\infty)}{h A_C (T_b - T_\infty)} = \sqrt{\frac{k p}{h A_C}} \quad (3.2)$$

여기서  $Q_{fin}$ 은 핀이 있을 때의 열량이고  $Q_{nofin}$ 은 핀이 없을 때의 열량이다.  $h$ 는 대류 열전달계수이고  $k$ 는 열전도계수이다.  $A_C$ 는 핀의 단면적이고  $p$ 는 핀의 접수둘레이다. 그리고  $T_b$ 는 표면온도이다.

식 3.2에서 알 수 있는 바와 같이 핀의 유효도  $E_{fin}$ 을 증가시키기 위해서는 열전도 계수  $k$ 와 핀의 접수 둘레  $p$ 가 클수록 좋고 대류 열전달 계수  $h$ 와 핀의 단면적  $A_C$ 는 작을수록 좋다. 열전도 계수  $k$ 와 대류 열전달 계수  $h$ 를 일정한 값으로 하면 핀의 단면적  $A_C$ 에 비하여 핀 접수둘레  $p$ 를 크게 하여야 핀의 유효도가 증가한다.

본 연구에서는 히트싱크의 대류 표면적을 크게 하면 방열 성능이 더욱 향상된다는 이론적 배경에 근거하여 LED 모듈용 방열 시스템 즉, 히트 싱크를 설계한다.

### (3) 히트싱크 핀(Fin) 간격

조밀하게 배열된 핀을 가진 방열판은 넓은 열전달 면적을 갖지만 핀사이를 통과하는 유체에 추가적인 저항이 발생하기 때문에 열전달계수가 낮아진다. 반면에 넓게 배열된 핀을 갖는 방열판은 열전달 계수는 높지만 열전달 면적이 작아지게 된다. 따라서 자연대류 열전달을 최대로 하는 최적 간격이 존재하게 되는데, 핀은 등온이고 핀 두께  $t$ 가 간격  $S$ 에 비해 상대적으로 작은 방열판에 대하여 Bar-Cohen과 Rohsenow에 의해 제안된 최적 핀 간격  $S_{opt}$ 를 구하는 식

은 식 3.3과 같다.(황명근 등, 2011)

$$S_{opt} = 2.714 \frac{L}{Ra^{1/4}} \quad (3.3)$$

여기에서  $L$ 은 수직방향의 핀길이이고  $R_a$ 은 Rayleigh 수로 Grashof 수와 Prandtl 수의 곱이다.

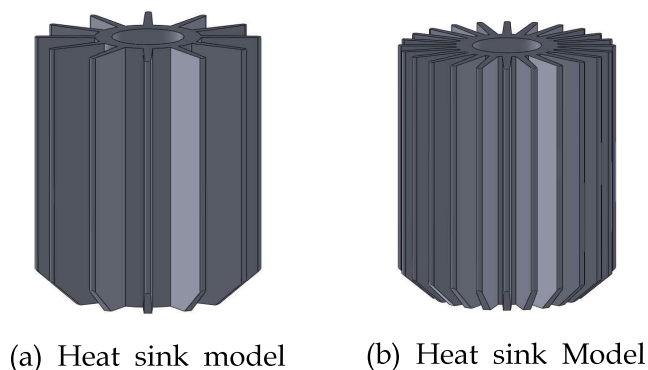
이 논문에서는 식 3.3을 이용하여 간격을  $1.2[mm]$ 로 하였다.

### 3.1.2 히트싱크의 형상

이미 기술한 대로 방열은 방열판의 표면적이 넓을수록 냉각효율은 올라가지만 자연대류 냉각방식일 경우 조밀한 방열판 구조로 하면 오히려 냉각효율이 떨어질 수 있다. 이를 감안하여 적절한 크기의 방열판, 구조, 핀의 수 조정이 필요하다.

또 생산성 및 제조단가 등도 중요하게 고려되어야 할 사항이다. 이에 LED에서 발생하는 열을 효과적으로 방열하고 LED 모듈과의 조립 편의성을 고려하여 Fig. 4와 같이 2가지 방열판 형상을 구상하였다.

(a)와 (b)는 모두 알루미늄을 소재로 하여 LED 모듈의 지지대 구조에 적합하게 설계하였고, 핀 간격 및 핀 면적을 달리하여 보다 효율적인 것을 실험적으로 선택하고자 하였다. (a)는 (b)에 비해 핀의 간격을 넓게하고 면적을 크게 하였고, (b)는 핀의 간격은 조밀하고 면적을 작게하였다.



**Fig. 4** The Heat sink Modeling

### 3.2 고휘도 LED모듈용 히트 싱크의 방열에 관한 시뮬레이션 검토

히트 싱크를 제작하기 전에 먼저 시뮬레이션에 의하여 LED 모듈의 방열해석을 할 필요가 있다. 앞에서 제시한 히트 싱크 형상 중에서 12[W]급의 발열을 고려하여 방열 표면적이 넓은 Fig. 4 모델 (B)를 선정하여 방열 해석하기로 한다.

이 연구에서 사용한 열 해석 프로그램은 SDRS사의 I-DEAS ESC 프로그램인데 이 프로그램은 전자장비 내에서의 열전달 및 유체의 유동 문제를 해석하는데 유용하다(황명근, 2011).

#### 3.2.1 시뮬레이션 준비

방열해석 절차는 히트 싱크에 대한 3D 모델링, 메쉬 생성, 경계조건 설정, 해석 등의 순서로 진행한다.

Fig. 5는 방열해석을 위하여 히트 싱크의 형상을 단순화 된 모델이다. 특히, 모델의 형상이 등방성이므로 해석의 효율화를 위하여 1/4부분만을 모델에 적용하고 이를 확장하는 것으로 한다. 또 열 혹은 유동에 영향이 있는 부품은 단순화하여 모델링하였다.

그림에서 상부의 노란색으로 표시된 부분은 히트싱크이고, 하부의 녹색 부분이 LED 모듈 및 렌즈 부를 표시하고 있다.

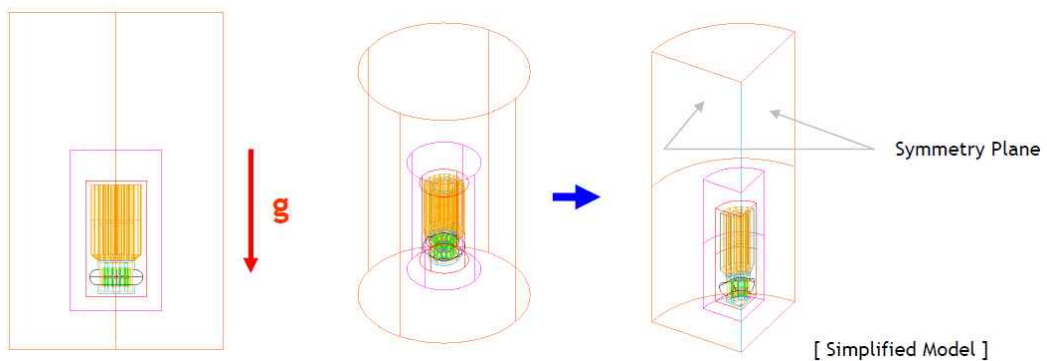


Fig. 5 Simplified Modeling for Thermal Simulation

Fig. 6은 방열 성능을 분석하기 위하여 메쉬를 생성한 모델의 형상이다. 이때 생성한 유한요소의 수 즉, 메쉬는 485,499개이다.

이 유한요소모델은 'Mapped Mesh'와 'Free Mesh'로 구성되어있는데, 우측 그림의 파란색으로 표시된 부분이 'Mapped Mesh'이며, 주황색으로 표시된 부분이 'Free Mesh'이다.

경계조건에서 1차 집광렌즈 소재인 PMMA 플라스틱 열전도도는  $0.06 [W/mK]$ 로 설정하고 메탈 PCB 지지대 및 1차 집광렌즈의 상하 고정판 등의 소재는 알루미늄(AL6061)로 하고 이것의 열전도도는  $167 [W/mK]$ 로 설정한다. 또한 주위의 온도 즉, 공기온도는  $26^{\circ}C$ 로 설정한다.

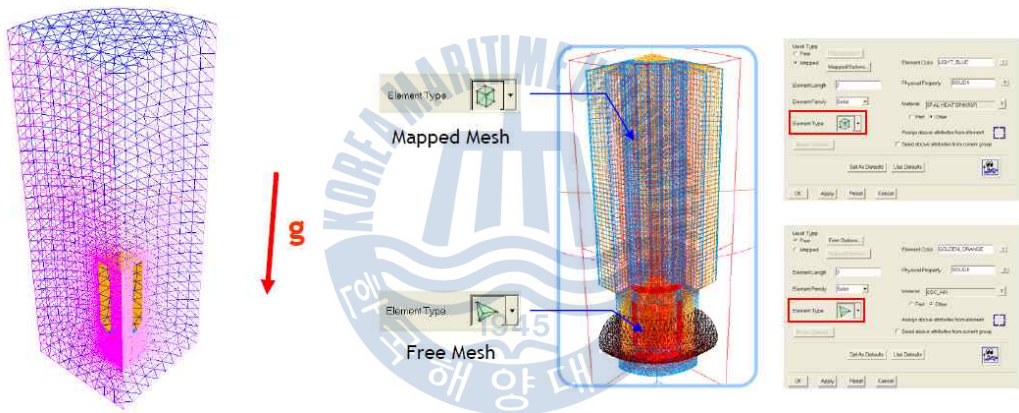


Fig. 6 Mesh Generation for Thermal Simulation

### 3.2.2 고휘도 LED모듈용 히트 싱크의 방열에 관한 시뮬레이션 결과

Fig. 7에서 보는 바와 같이 단순화한 LED 모듈 모델의 최대 온도는  $62.2^{\circ}C$ 가 된다. 이것은 목표 온도  $50^{\circ}C$ 를 넘는 것이다.

그림에서 종축은 온도를 나타내는데 파란색에서 붉은색으로 갈수록 온도가 높아지는 것을 표시하고 있다. 우측 그림에서 붉은색으로 표시된 부분이 LED 소자가 부착된 부분으로 가장 높은 온도를 보이고 있다. 상부의 히트싱크는 파

란색으로 표시되어 낮은 온도를 보이고 있다. 이는 열전달이 제대로 이루어지지 않아 발열부의 온도를 낮추지 못하고 있음을 알 수 있다.

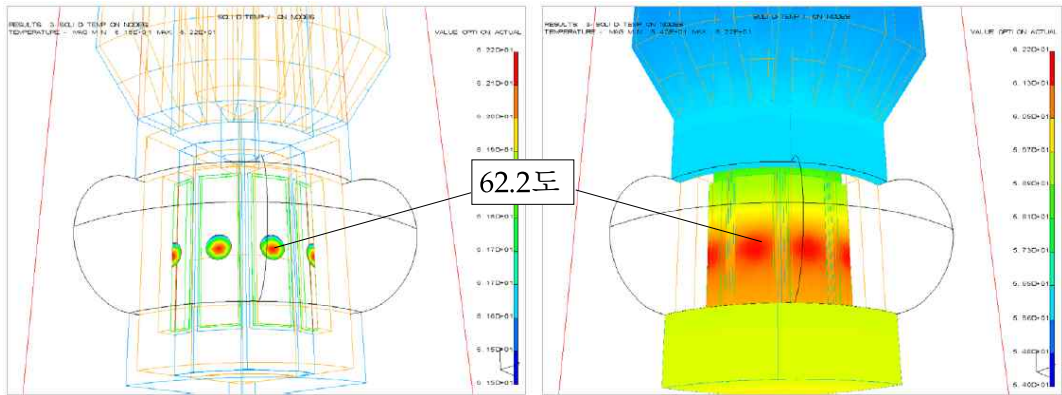


Fig. 7 Result of Thermal Analysis for LED Module

Fig. 8은 메탈 PCB 지지대의 온도 분포이다. 중심부분의 붉게 표시된 부분이 LED 소자이며, 주변의 주황색과 연두색이 메탈 PCB이다. 파란색이 히트싱크를 나타낸다. 이는 발열부인 LED 소자에서 PCB까지는 어느정도 열전달이 이루어지고 있으나, 히트싱크로의 열전달이 원활치 않음을 나타내고 있다.

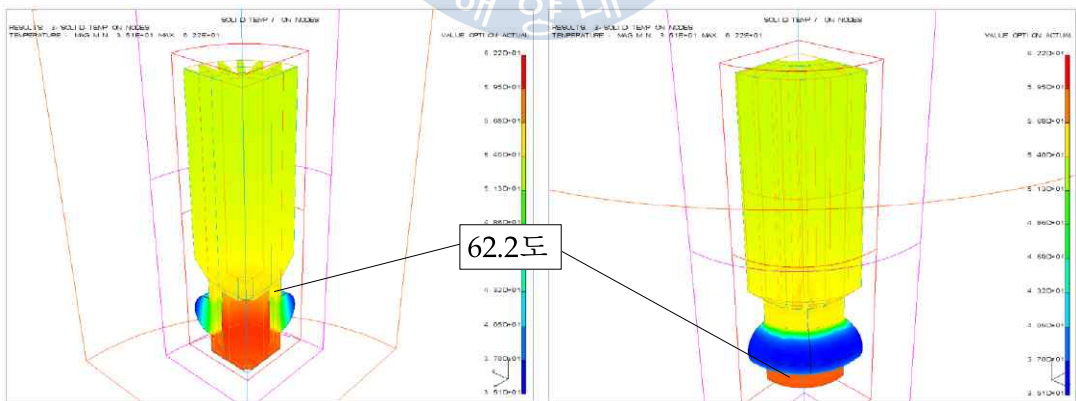


Fig. 8 Result of Thermal Analysis for Metal PCB Support



Fig. 9는 LED 모듈의 열 흐름 상태와 속도를 나타낸 것이다.

왼편의 투명한 부분이 LED소자이며 주황색이 메탈 PCB이다. 우측 그림에서 보면 LED가 부착된 METAL PCB BLOCK의 내부에서 공기유동이 활발하게 이루어지다가 상부의 히트싱크로 가면서는 공기유동이 원활치 않음을 알 수 있다.

즉, 자연대류에 의한 방열이 효과적으로 이루어지지 않는 것이다.

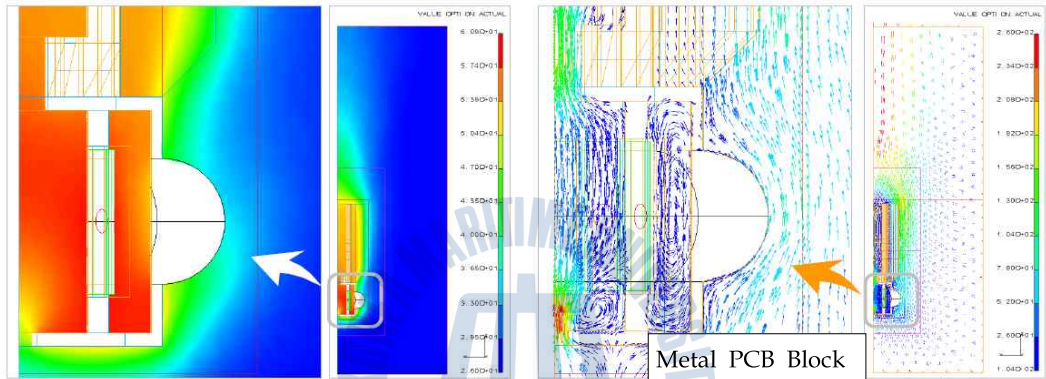


Fig. 9 Basic Model Fluid Temperature and Velocity

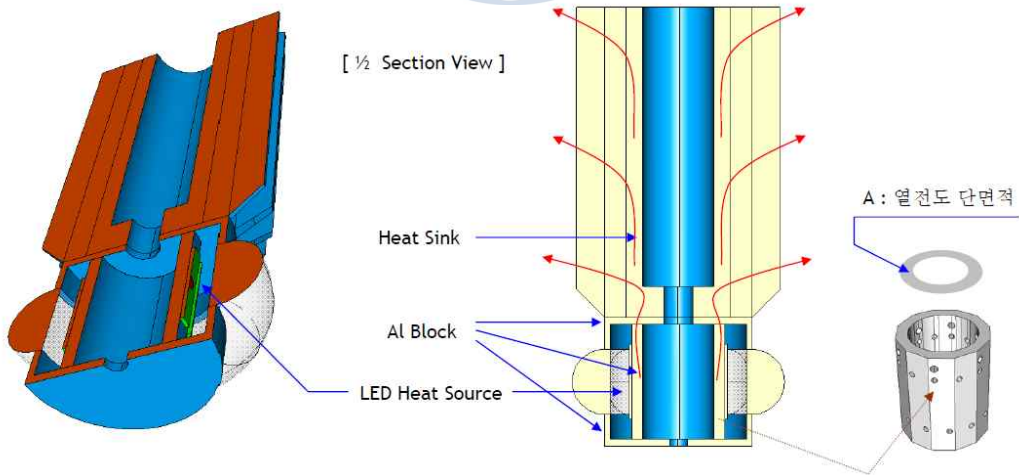


Fig. 10 Predicted Thermal Flow of LED Module

히트싱크를 적용한 고휘도 LED모듈의 방열 시뮬레이션 결과를 보면 62도이상으로 목표로 하는 방열수준에 미달하고 있다. Fig.10에서 보면 LED소자가 부착되는 메탈 PCB의 상부와 히트싱크의 하부 접촉면 'A'가 협소하다는 것을 알 수 있다. 이는 등명기의 구조상 LED모듈의 구조를 조립을 고려하여 제작함에 따라 방열에는 효과적이지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 11의 A, B 부분을 알루미늄(AL Solid)으로 처리하여 접촉면을 높이고 또 A와 B 사이에도 열전도도가 높은 히트 파이프(Heat Pipe)를 삽입하여 A에서 B로의 열전달률을 높일 필요가 있다. 아울러 알루미늄보다 열전도도가 높은 소재, 예를 들면 구리(Cu-388W/mK)를 히트 싱크의 재료로 사용하는 것도 검토할 필요가 있다.

그러나 이러한 사항들은 높은 비용과 중량 및 부피를 수반하므로 협소하고 밀폐된 등명기라는 공간과 해상환경이라는 열악한 환경을 고려할 때 바람직한 방법이 되기 어렵다.

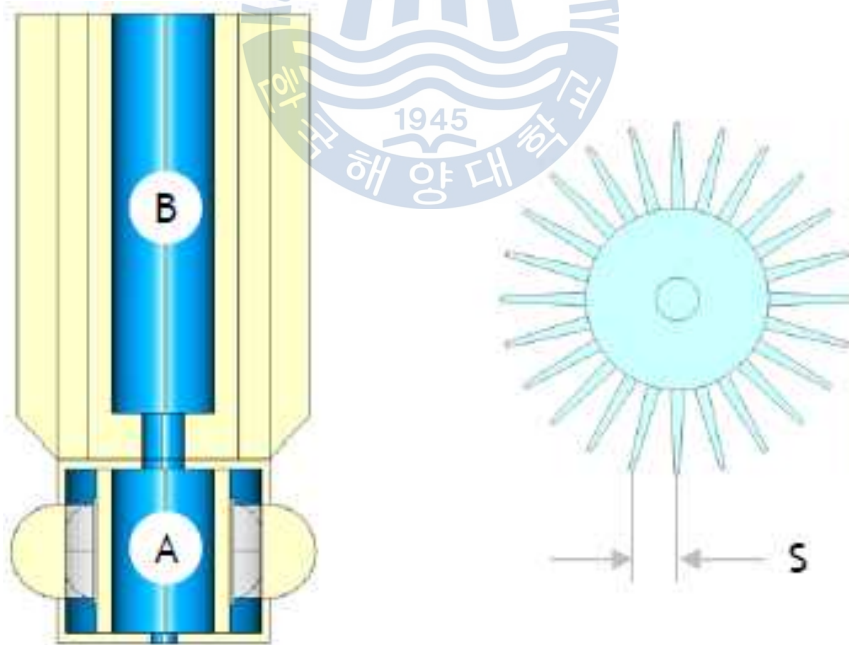


Fig. 11 Applied Heat pipe for LED Module Model



실제 해상용 LED 등명기에 이 고휘도 LED 모듈 히트 싱크를 적용하면 이 LED모듈은 등명기의 밀폐된 공간 내에서 동작된다. 이 경우 자연대류에 의한 방열효율은 방열 시뮬레이션 결과보다 더 나쁠 수가 있으며, 시뮬레이션결과를 전적으로 신뢰할 수 없으므로, 이것은 다음과 같이 실험을 통하여 재확인 하였다.

### 3.3 고휘도 LED모듈의 히트싱크에 의한 방열 실험

고휘도 LED 모듈의 방열 시뮬레이션 결과에 따라 히트 싱크를 접촉면을 넓히고 실제의 시험을 통하여 히트 싱크의 방열 효율을 검토하기로 한다.

#### 3.3.1 접합부 온도 측정 원리

LED의 방열능력을 나타내는 것으로 가장 널리 사용되는 지수중에 열저항이라는 개념이 있다.

이 열저항은 패키지에서 발생한 열을 얼마나 외부로 잘 방출시키는지의 지수로 나타낸 것이다. 열저항이 낮은 제품일수록 전력을 높게 소비할 수 있고 접합부(Junction) 온도를 낮게 사용할 수 있다. 따라서 열저항의 값은 낮을수록 좋다. 이 열저항  $R_{jx}$ 은 식 3.4와 같이 정의할 수 있다.

$$R_{jx} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{T_j - T_x}{P} \quad (3.4)$$

여기서  $T_j$ 는 접합부에서 발생한 열의 온도이고  $T_x$ 는 외부의 임의 기준점에서 발생한 열의 온도이다.  $P$ 는 패키지에 인가된 전력이다.

식 3.4에서 보듯이 열저항  $R_{jx}$ 는 접합부에서 발생한 열  $T_j$ 가 외부의 임의의 기준점(Reference)에서 열  $T_x$ 가 방출될 때 이 방출되는 열량의 흐름을 방해하는 것이며 단위는 [ $^{\circ}C/W$ ]이다.

열저항의 단위를 살펴보면 이 개념은 전력당 온도의 변화량임을 알 수있다. 이 식에서  $P$ 는 패키지의 디바이스(device)에 인가된 전류와 전압의 곱으로 멀

티미터(Multimeter)로 측정할 수 있다.(황명근 등, 2011)

앞서 언급하였듯이  $T_j$ 는 접합부의 온도를 나타낸다. 접합부는 LED 디바이스 내의 PN접합을 말하는 것이며 광자가 생성되는 칩의 영역이다. 이는 보통 디바이스 전체 두께에서 표면 쪽에 존재하므로 접합부 온도는 보통 디바이스 칩(chip) 표면의 온도를 말한다. 그런데 눈에 보이지 않는 접합부의 온도를 측정하는 법은 파라미터를 이용한 ETM<sup>1)</sup> 또는 TSP<sup>2)</sup> 방법이 있다.(황명근 등, 2011)

$T_x$ 는 기준이 되는 임의의 지점의 온도를 말하며 열전기쌍(Thermocouple)을 사용하여 측정할 수 있다. 이 측정점인  $T_x$ 를 기준점으로 접합부까지의 패키지에 존재하는 열경로(Heat Path)를 열저항으로 표시할 수 있다.

패키지의 형태에 따라 다르지만 주위 환경까지의 열저항  $R_{ja}$ <sup>3)</sup>는 수천초 정도면 측정을 완료할 수 있다. 즉, 수천초 정도의 시간이면 추가적인 전력의 변동이 없다면 방열 환경으로 열이 모두 빠져나가 정상상태에 도달할 수 있다는 말이다. 반면에  $R_{jc}$ <sup>4)</sup>는 빠르면 수초 정도 아무리 늦어도 수십초 정도면 모두 측정할 수 있다. 이렇게 전력이 인가되기 전에 안정적인 정상상태로부터 전력이 인가되면 그 인가된 전력이 소비되면서 열이 발생한다. 그 열은 방열환경을 통해 빠져나가면서 또 다른 정상상태에 도달한다. 이 정상상태에 도달하는데 수초에서 수천초 정도의 시간이 필요하다.

열저항은 이렇게 초기 또는 마지막 정상상태 즉, 열적으로 평행한 상태에 도달하는 정상상태에서 안정적인 값이 되므로 인가 전력을 온오프(on/off)시키고 전력이 오프된 시간 동안 접합부의 온도를 측정하는 것이다.

LED 자체는 접합부 온도  $T_j$ 의 80 ~ 100 [ $^{\circ}C$ ]까지 견딜 수 있으므로 설치하는 기기와 방열판의 온도 즉,  $T_a$ 가 50 [ $^{\circ}C$ ] 이하로 유지하고 있으면 문제없이 사용할 수 있다.

---

1) Electrical Test Method  
2) Temperature Sensitive Parameter Method  
3) Junction-Ambient Thermal Resistance  
4) Junction-Case Thermal Resistance

### 3.3.2 방열 실험

히트싱크를 통한 전도 및 자연대류 열전달방식의 방열실험은 항온 체임버에서 실시한다. 초기에 10.7[W]의 입력으로 LED 모듈을 구동하고 환경온도는 26[°C]로 설정한다. 실험에서는 2초당 1개씩 총 3시간동안 5400개의 데이터를 샘플링하였다. 정상상태로 안정화되는 조건을 미국국립표준기술연구소(NIST) 표준에 따라 2분간  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 오차범위 내에 머무를 때로 하였다.

실험 종료시의 입력은 13.3[W]가 되었는데 이는 발열로 인하여 소비전력이 증가하였기 때문이다. 정상상태로의 수렴이 고온에서 이루어졌기 때문에 광도의 측정은 별도로 하지 않았다.

#### (1) 실험조건

##### ① 입력전력량

○ 초기 조건 : 전류 1.55[A], 전압 6.9[V], 전력 10.7[W]

○ 최종 조건 : 전류 1.94[A], 전압 6.9[V], 전력 13.3[W]

② 항온 체임버 사용시 환경온도 : 26°C

③ 실험시간 : 3시간

④ 실험 데이터 샘플링 시간 : 1개/2초당 (총수 :5,400개)

⑤ 정상 상태 조건 실험 :  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/2\text{min}$ (NIST Standard).

#### (2) 실험장치

실험에 사용된 장치는 아래와 같다.

##### ① 항온 체임버

Fig.12는 JSR사에서 제작한 항온체임버이다. 이 장비는  $-20^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 까지 온도설정을 할수 있는데 강화유리 창문으로 테스트 진행 상황을 관측할 수 있

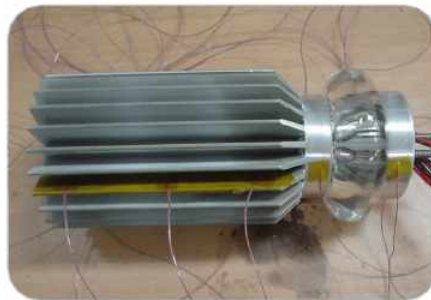
다. 또한 PC에서 RS-485 통신을 이용하여 장비를 연결하여 제어 할 수 있어, 실시간으로 온도 습도 및 그래프 모니터링이 가능했다.



**Fig. 12** Climatic Chamber

② 다기능 데이터 측정시스템

Fig.13의 데이터 측정시스템은 IOTHCH사의 PDAQ56 장비를 이용해 LED모듈에 부착된 Thermocouple로 온도정보를 수집하는 것이다. LED모듈과 히트싱크에 8개의 측정포인트를 설정하여 각 각의 온도 데이터를 수집한다.



1. Thermocouple : T- type
2. PDAQ56 (Ch.10, 16비트) [제조사: IOTech]
3. Display Program : DASYPALB 7.5

**Fig. 13** Location of Multi-Data Acquisition Point

### 3.4 고휘도 LED모듈의 히트싱크에 의한 방열 실험 결과 고찰

Fig. 14는 히트 싱크의 온도 측정점을 표시하고 있다.

LED모듈의 발열부에서부터 방열판까지 온도가 높게 발생될 것으로 예상되는 순서로 측정점을 구성하였다. T/C #1에서부터 T/C #8까지 차례로 LED소자와 메탈 PCB의 납땀부위, 전원연결부, 메탈PCB, LED모듈 커버 상, 하, 히트싱크의 상, 중, 하부이다. T, 환경온도

T/C #1과 #2는 어느 부분이 높게 나올지 알 수 없었는데 실제 측정결과 T/C #2가 더 높게 형성되었고 이 부분이 Junction온도에 가장 근접하다고 볼 수 있다.

Fig. 15를 보면 고휘도 LED 모듈의 온도는 약 1시간 반이 지나면 안정화되고 있음을 알 수 있다. 이 안정화된 상태에서 각 측정포인트의 온도는 Table 2와 같다. 이 표에서 보듯이 환경 온도(26℃)와 T/C#2(61.9℃)의 온도차는 35.9℃로 썩 큰 폭의 온도차를 나타내고 있다. 이것은 높은 온도 범위에서 LED모듈의 온도 안정화가 이루어진다는 의미이며 이 온도에서 사용하면 LED의 수명은 짧아지고 광효율은 낮아지게 된다.

T/C#3(Metal PCB 지지대)과 T/C#5(1차 집광렌즈 상부커버)의 측정부위는 서로 접촉해 있지만 접촉 면적이 작아 열전달이 잘 이루어지지 못하고 있기 때문에 온도차이가 약 12.8℃이다. 이상과 같이 방열판을 적용한 자연냉각방식의 방열기술은 일정한 한계를 가지고 있어 보완이 필요하다.

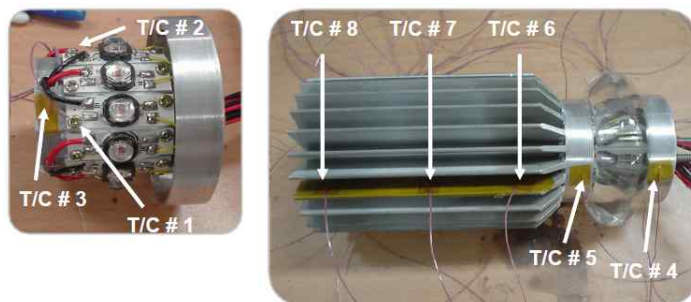


Fig. 14 Thermocouple Location of LED Module

Table 2 Measured Temperature of LED Module

T/C (Thermocouple) Temperature [°C]							
LED Metal PCB 부		LED 인접 Block 부		Heat Sink 부		환경 온도	
T/C # 1	61.3	T/C # 3	56.7	T/C # 6	42.2	T/C # 9	25.9
T/C # 2	61.9	T/C # 4	57.5	T/C # 7	41.3		
		T/C # 5	43.9	T/C # 8	38.9		

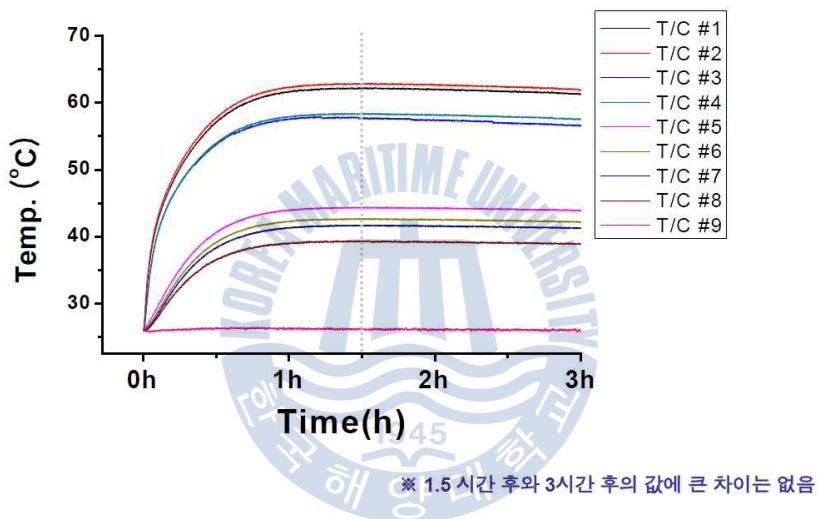


Fig. 15 Distribution of LED Module Temperature

위와 같은 자연 냉각 방식을 이용한 방열판의 실험결과 LED접점(Junction)과 근접한 부분의 온도는 61.9°C를 나타내고 있다. 보통 LED소자의 경우 대략 50°C를 넘어가면 열화현상에 의한 광도저하, 소자 수명단축 등 제품의 신뢰성을 보장하기 어렵게 된다.

이를 개선하기 위한 방법으로 알루미늄보다 열전도율이 우수한 구리(Cu)와 같은 소재를 사용하거나 핀 간격을 최적화하고, 방열판의 크기와 표면적을 키우는 방법 등을 우선 생각할 수 있다. 또한 히트파이프(Heat Pipe)를 적용하는

방법 등도 택할 수 있다.

하지만, 히트파이프의 접목은 LED모듈구조형상 제한으로 접목이 어려우며, 방열판의 크기와 표면적을 키우는 방법은 중량증가로 인하여 해상용등명기의 현장설치 작업 및 유지보수 작업 등에 불리한 조건으로 다가오게 된다. 이에 냉각팬을 사용해 열을 전달하는 강제대류 방열방식을 대체기술로 생각할 수 있다. 따라서 제4장에서와 같이 냉각팬에 의한 강제대류방식을 제안한다.





## 제 4 장 냉각팬을 이용한 고휘도 LED등명기의 방열

### 4.1 냉각팬을 이용한 강제대류 방식의 방열

LED모듈에 히트 싱크를 적용한 시뮬레이션 및 실험한 결과는 높은 온도에서 안정화가 이루어져 고휘도 LED 모듈을 이용하기에는 문제가 있다. LED모듈의 구조와 밀폐형의 등명기 구조 특성으로 LED모듈에서 발생하는 열의 냉각에 한계를 보인 것이다. 일반적으로 이를 개선하기 위해 히트파이프 등과 같은 소재를 사용한 열전달을 개선이나 방열판의 크기와 표면적을 키우는 방법을 택하게 된다. 하지만, 히트파이프의 접목은 LED모듈의 구조형상 제한으로 접목이 어려우며, 방열판의 크기와 표면적을 키우는 방법은 중량 증가로 인하여 해상용 등명기의 현장설치 작업 및 유지보수 작업 등에 불리하다고 볼 수 있다(국토해양부 예규, 항로표지시설 관리지침). 따라서 등명기의 중량 감소와 LED 수명과 광효율을 배가시킬 수 있는 강제대류 방식의 냉각기술을 이 장에서는 제안한다.

강제대류 방열방식에는 주로 냉각팬(Fan)이나 쿨러, 펌프 등을 사용하는데, 여기서는 일반적으로 사용되고 있는 냉각팬을 이용한다.

중력장에서 유체의 온도구배가 존재하면 자연대류 흐름이 발생하므로 강제대류는 항상 자연대류를 수반하게 된다. 자연대류나 강제대류에서 열전달은 유체의 속도에 의존하므로 통상적으로 강제대류가 있는 경우 자연대류를 고려하지 않는 경향이 있으므로 여기서는 냉각팬을 이용한 냉각방식을 강제대류 방열방식으로 구분하였다.



## 4.2 냉각팬 설치에 따른 고휘도 LED 모듈의 설계

### 4.2.1 고휘도 LED모듈의 조립구조 설계

Fig.16은 강제대류방식의 냉각팬으로 방열설계를 하면서 고안된 모듈의 형상을 나타낸다.

냉각팬을 LED모듈 상부에 설치하기 위해 별도의 “냉각팬 부착용 히트싱크”를 알루미늄 소재로 제작하고 “집광렌즈 부착용 히트싱크” 3중 중 집광렌즈 상부 히트싱크에는 냉각팬에서 발생하는 공기가 LED모듈 내부로 통할 수 있도록 공기통로를 제작하였다

또한 LED모듈 조립의 편리성을 위해 2개의 LED모듈 결합 볼트로 한번에 조립될 수 있도록 하였다.



Fig. 16 Structure of LED Module for Forced Convection

#### 4.2.2 LED모듈 지지대의 구조설계

냉각팬을 장착한 LED모듈의 설계 후에는 다시 Fig.17과 같이 LED모듈을 지지할 수 있는 지지대의 설계가 별도로 이루어졌다. 해상용등명기의 프레넬렌즈는 그 중심점에 광원이 존재해야 하므로 높이를 보정하기 위해서는 별도의 지지대가 필요하다. 이 지지대는 LED모듈과 연계하여 방열에 효율적이 되도록 고안하였다. 알루미늄을 소재로 하여 제작하였고 LED모듈에서 발생하는 열을 방열하는 방열판의 역할을 함과 동시에 냉각팬이 조립된 LED모듈을 등명기에 부착하기 위한 기구물 부품으로 설계하였다.

LED모듈지지대는 무게와 부피를 줄이기 위해 간단한 형태로 제작하여 최대한의 열전달 면적을 확보하기 위해 핀 배열을 상하부로 나누어 면적을 확보하였다. 또한 Fig.18과 같이 냉각팬이 구동시에는 LED모듈의 외부뿐만 아니라 내부로도 공기유동이 이루어질 수 있도록 설계하였다.

Fig.19는 냉각팬을 장착한 LED모듈이 실제 해상용등명기에 조립된 형상을 그림으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 해상용등명기의 프레넬렌즈는 중심부에 광원이 위치해야 한다.

이러한 조건이 조립구조를 고려한 방열설계에 영향을 주게 된다.

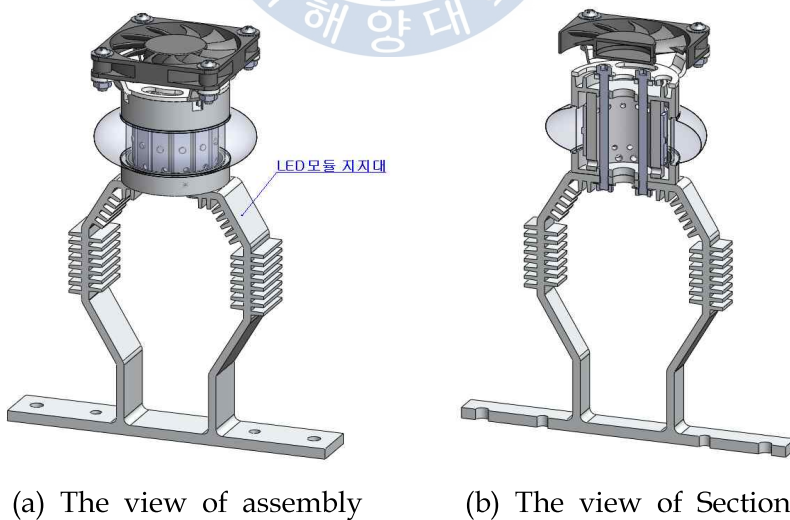


Fig. 17 LED Module supporter

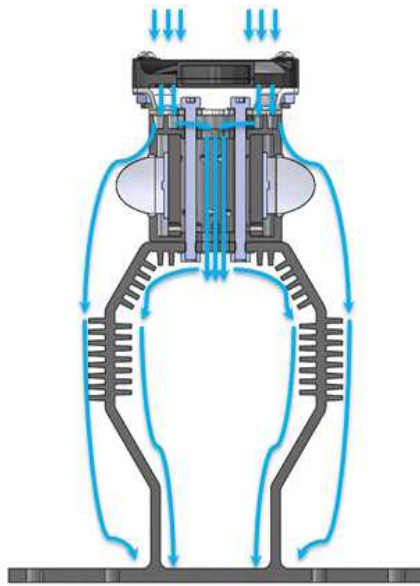


Fig. 18 The Thermal Flow for LED Module



Fig. 19 Assembly view LED Module inside the Marine Lantern

### 4.2.3 냉각팬 제어 시스템의 설계

냉각팬을 구동하여 냉각하는 강제대류 냉각방식은 LED모듈을 점등하는데 소비되는 전력 이외에 냉각팬을 구동하는 별도의 소비전력이 필요하게 되어 소비전력이 상승하는 단점을 가지고 있다. 이 단점을 보완하기 위해서 온도센서를 이용하여 온도변화에 따라 냉각팬을 자동으로 온오프 하게하는 제어장치를 개발하여 소비전력을 최소화한다.

#### (1) 실시간 온도감응 냉각팬 자동 제어

LED 모듈에 Fig.20과 같이 온도 센서를 부착하여 내부 온도를 실시간 감응하여 내부 온도가 항상 저온의 상태를 유지 할 수 있도록 한다. 이때 온도 센서가 부착된 위치는 LED 등명기를 구동할 때 열에 취약한 지점이나 방열판과 닿는 열전달 접촉 단면적이 적어 내부 온도 상승률이 가장 높은 지점이다.

내부 온도를 측정하기 위해 부착한 온도센서의 실시간 측정데이터를 이용하여 LED 등명기 내부에 설치한 냉각팬을 온오프 제어한다. 냉각팬의 동작은 LED 등명기의 구동과 동시에 동작하는 것이 아니라, 온도센서의 온도변화에 따라 냉각팬의 전원을 제어하여 LED 등명기 소비전류 감소와 소음 및 진동을 최소화 하며, 냉각팬의 수명 또한 연장시켜주는 효과가 있다.

특히, 해상용 등명기의 경우 겨울철과 같이 일조량이 부족하여 전원공급이 원활하지 못한 반면 기온이 낮아 냉각팬을 구동할 필요가 없을 경우에 더욱 유효하다.

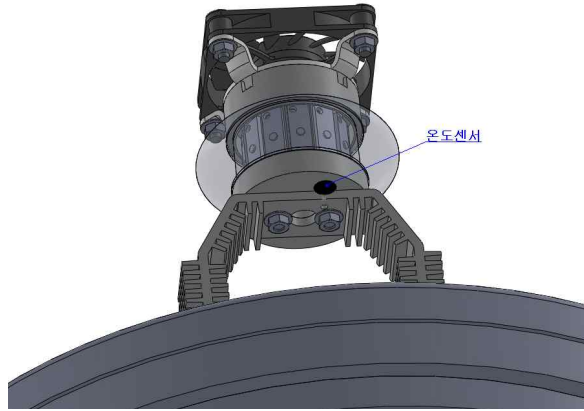


Fig. 20 Location of Temperature sensor

(2) 냉각팬 제어회로

Fig.21은 냉각팬의 제어회로를 나타낸 것이다.

최 우측이 최대 12V 220mA의 전류로 4800RPM의 회전속도를 내는 냉각팬이고, 최 좌측의 온도센서는 저항값을 이용해 25도이상이 되면 냉각팬이 자동으로 구동되도록 하고 있다.

냉각팬 제어부는 LED 방열판 쪽의 온도를 감지하여 팬을 제어한다. 온도에 따라 팬의 속도는 자동으로 제어되며, MCU에서 팬을 ON/OFF제어도 한다.

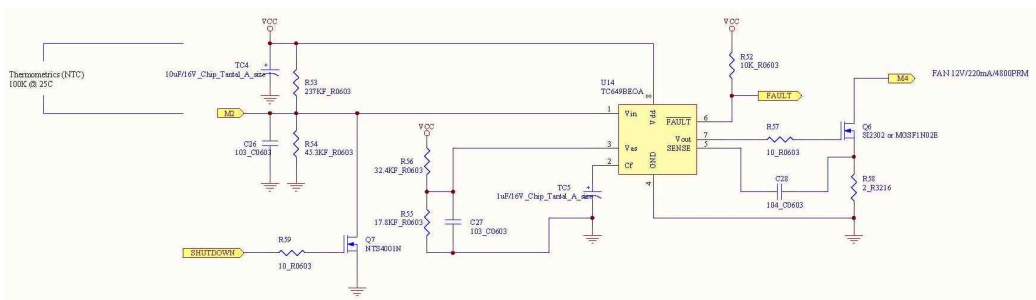


Fig. 21 Schematic Diagram of Temperature control circuit

## 4.3 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열에 관한 시뮬레이션 검토

### 4.3.1 냉각팬 방열 시뮬레이션 준비

냉각팬 방열 시뮬레이션에는 옵티스사의 OPTISWORKS 프로그램을 사용하였다.(OPTISWORKS, 2010) 이 프로그램의 특징은 3D CAD로 제품 디자인을 하고 이를 별도의 디버깅없이 통합하여 적용하여 광학 시뮬레이션이 가능한 프로그램으로 실제 등명기의 디자인을 포함하여 열해석을 할 수 있는 장점이 있다.

이 “OPTISWORKS PROGRAM”을 이용하여 강제대류 냉각 기술이 적용된 해상용등명기의 방열해석을 실시한다. 제3장의 히트싱크에 의한 방열 해석과 동일한 해석의 절차로 진행되었다. 열해석 수행을 위한 조건 설정은 모델의 형상이 등방성이므로 해석의 효율화를 위하여 1/4부분만 모델을 적용하여 확장하는 것으로 하고, 열 및 유동에 영향이 있는 부품을 단순화하여 모델링하였다. 1차 집광렌즈 소재인 PMMA 플라스틱 열전도도는 0.06W/mK로 가정하였고, 메탈 PCB 지지대 및 1차 집광렌즈 상하고정판 등의 소재인 알루미늄(AL6061)로 설정하였으며, 열전도도는 167W/mK로 가정하였다. 또한, 환경온도 즉, 공기온도는 26℃로 설정하였다.

온도 측정 장소는 LED모듈 하단부로 LED와 가장 근접된 곳으로 실제 방열 실험시 온도측정이 가능한 부위로 선정하였다.

### 4.3.2 냉각팬 방열 시뮬레이션 결과

냉각팬을 적용한 방열시스템의 시뮬레이션결과는 Fig. 22와 Fig. 23에서 보는 바와 같다. Fig. 22에서 짙은 파란색으로 표시된 등명기의 몸체 부분이 최저온도인 22.89도이고 짙은 붉은색으로 표시된 LED모듈의 접합부 측정부위가 34.22도를 보이고 있다.

또한 가운데 붉은색으로 표시된 부분을 보면, LED모듈 뿐만 아니라 지지하고 있는 지지대 까지 고르게 열전달이 되고 있는 모습을 확인할 수 있다. 냉각팬을 구동하여 강제대류에 의한 방열시스템을 적용할 때는 히트싱크만을 적용했을 때와는 달리 등명기 내부의 온도차도 크지 않고 열전달도 원활하게 되고

있음을 알 수 있다.

Fig. 23은 온도 안정화과정을 보여주고 있는데 횡축은 회수, 종축은 온도를 나타낸다. 즉, 실험을 무한히 반복할 때 34°수준에서 온도 안정화가 이루어지고 있다.

시뮬레이션 결과는 냉각팬을 적용하여 방열을 할 때 이 실험의 목표였던 50° 이내에서의 온도 안정화가 가능하다는 것을 확인할 수 있었고 이 결과는 실제 실험을 통해 다시 검증하였다.

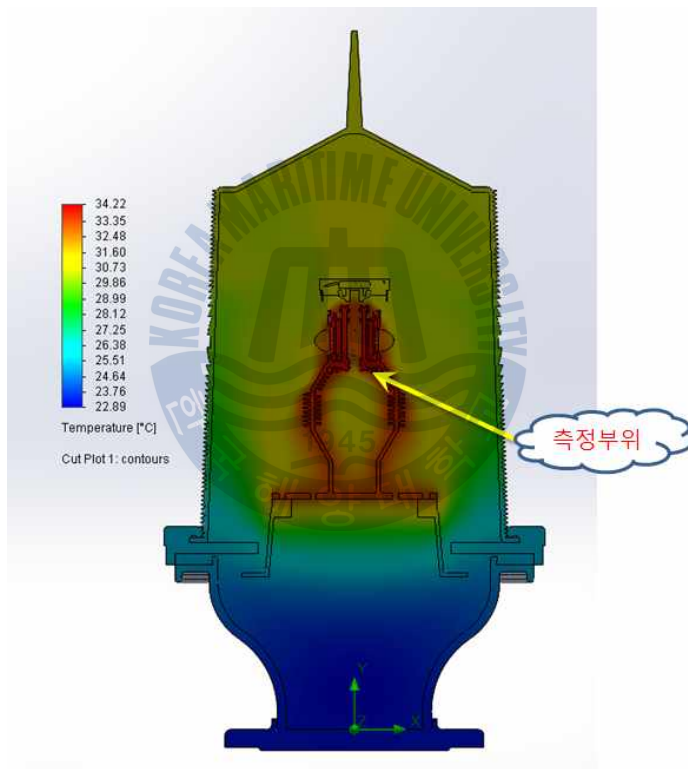


Fig. 22 Thermal Analysis of Marine Lantern



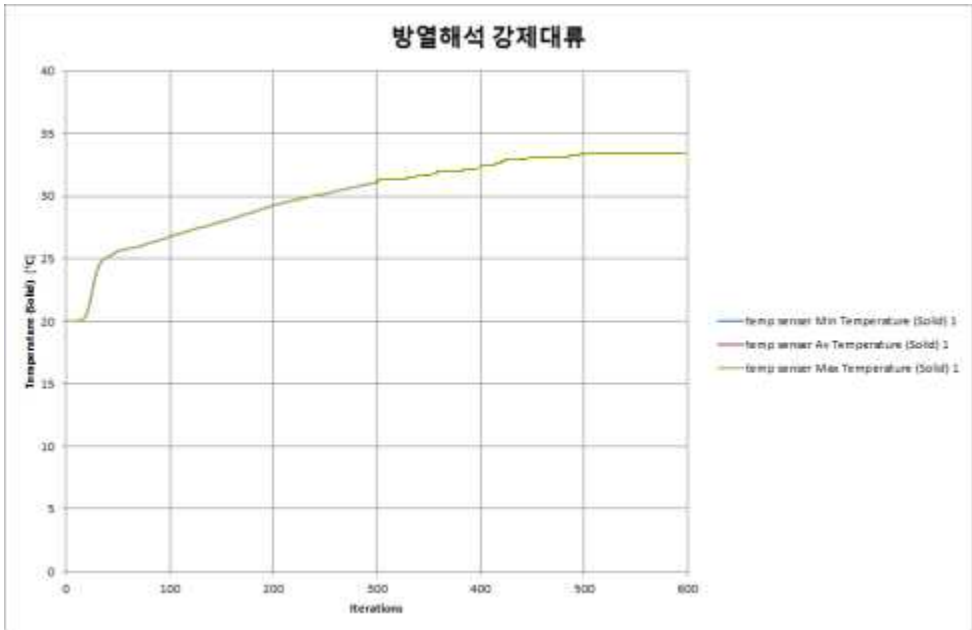


Fig. 23 Temperature Variation of Marine Lantern

#### 4.4 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 실험 검토

강제대류 방식의 방열은 냉각팬이 설정온도 25°C에서 자동으로 구동되도록 하였다.

실험은 암실에서 진행하였고, 초기에 15.84W의 입력으로 LED 모듈을 구동하였다. 이는 방열팬이 구동되어 발열이 진행된 후 정상상태로 안정화된 상태를 구현한 것이다.

환경온도는 26°C로 설정하였다. 실험은 10분당 1개씩 총 3시간 10분동안 20개의 데이터를 샘플링하였다. 실험 종료시에 입력은 14.88W를 보였는데, 이는 방열로 인해 소비전력이 감소한 때문이다.

특히, 광도의 측정에 조도계를 사용하였는데 식에 의하여 환산하였다.

거리는 암실의 거리인 3.3M이고,  $E$ 는 평균조도,  $L$ 는 광도를 나타낸다.

$$E = \frac{I}{D^2}$$

열전자쌍(Thermocouple) T/C#1을 LED모듈이 조립된 상태에서 LED와 가장 근접한 곳에 설치하고 LED모듈 및 제어기판이 조립되어 있는 박스를 등명기 내부의 외곽렌즈 초점 중심부에 맞추어 고정하여 시간에 따른 온도와 광도변화 추이를 측정 및 기록하였다. 또한, 냉각팬이 있을 때와 없을 때 온도와 광도변화를 비교분석 실험을 하였다.

또한, 앞서 항온챔버에서 실험한 것과는 달리 실제 등명기 내부에 LED모듈 및 각종 제어기판(LED모듈 정전류제어, 온도제어 등)이 들어있는 박스를 설치하여 실험을 함으로써 신뢰성을 한층 더 높였다.

Fig.24는 LED모듈을 장착한 섬광기의 실제 시제품에 온도측정을 위한 Thermocouple을 부착한 사진이다. 시뮬레이션에서와 같은 측정부위에 온도센서를 부착하였다. 섬광기하부의 박스내에는 섬광기를 제어하기 위한 각종 회로기판이 있는데 냉각팬제어를 위한 기판도 포함되어 있다. 상부는 냉각팬을 장착한 LED모듈 및 온도센서가 부착된 것이고, 아래는 제어기판이 탑재된 섬광기 박스이다. 아래의 사진은 실제 등명기를 암실에서 테스트하는 것인데 LED모듈 및 섬광기가 등명기 내부에 장착되어 있는 상태이다.



Fig. 24 Measurement location of Temperature for LED Module

(1) 실험조건

① 입력전력량

- 초기 조건 : 전류 1.32 [A], 전압 12 [V], 전력 15.84 [W]
- 최종 조건 : 전류 1.24 [A], 전압 12 [V], 전력 14.88 [W]

- ② 암실의 환경온도 : 26℃
- ③ 실험시간 : 3시간 10분
- ④ 실험 데이터 샘플링 시간 : 1개/10분 (총수 : 20개)
- ⑤ 정상 상태 조건 실험 :  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}/2\text{min}$ (NIST Standard)

## (2) 실험장치

실험에 사용된 장치는 아래와 같으며, 특히 광도를 측정하기 위해 조도계를 사용하였는데 이때 조도값을 광도값으로 환산하는데 쓰인 수식은 아래와 같다.

- ① 정류기 : 12V, 4.3A

등명기는 DC로 구동하는 것이 표준으로 되어있다. 따라서 실험을 위해 AC 전원을 DC전환하기 위한 장비로 정류기를 구비한다.

- ② 전압/전류측정기

Fig. 25는 실험에 사용된 디지털 전압/전류측정기의 사진이다.

DC/AC측정이 가능한 전압계와 전류계, 저항계로 구성되어 있다.



**Fig. 25** Digital Tester

### ③ 조명도계

Fig.26은 MINOLTA사의 T-10제품의 사진이다.

실리콘 포토셀을 수광센서로 사용하고, 조도 측정범위는 0.01~299,000lx이다. 전원 스위치를 ON로 하는 것만으로 자동적으로 제로 조정(캡 불필요)하기 때문에 바로 조도 측정을 할 수 있다.



Fig. 26 Illuminance Meter

### ④ 표면온도계

Fig.27은 CENTER TECHNOLOGY사의 CENTER 309 제품의 사진이다.

4개 측정점의 온도를 동시에 측정할 수 있고, 측정범위는 -200℃~1370℃까지로 넓은 편이다.

우측 사진은 표면온도계를 설치하여 실험하는 과정이다. 온도 측정점은 LED 모듈의 Junction에 가장 근접한 발열부에 설치하였다.

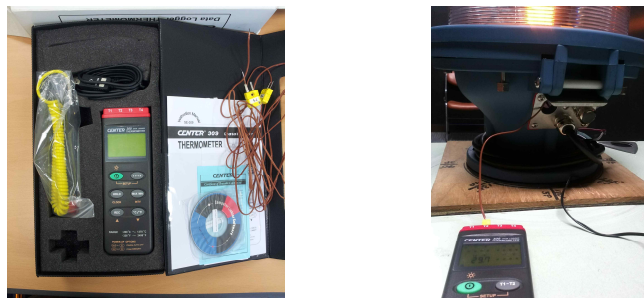


Fig. 27 Surface Thermometer

## 4.5 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 실험 결과 및 고찰

### 4.5.1 고휘도 LED 모듈용 냉각팬의 방열 온도 측정 결과

온도변화는 최초시작부터 10분 간격으로 190분 동안 20회 측정을 실시하였다.

앞서 히트싱크만을 사용하여 3시간동안 방열실험을 거쳤을 때 T/C #4(냉각팬 적용시의 온도측정부위와 근접한 위치)의 온도는 약 57.5℃로 높은 온도에서 유지됨을 알 수 있었다. 그리고 일정온도로 안정화되는 데는 약 1시간 이상이 소요되었다.

냉각팬을 사용하여 측정한 결과 실험 30분 경과에서부터 약 40~43℃의 일정 온도범위 내를 유지하였다.

본 실험에서는 추가적으로 냉각팬의 사용효과를 확인하기위해 냉각팬의 전원 선을 제거하여 동작을 멈춰놓고 똑같이 최초시작부터 10분 간격으로 190분 동안 20회 측정을 실시하였다. Fig. 28에서 보듯이 안정화되는데 100분이상이 소요되었으며 안정화 온도범위 또한 61.5~63.5℃로 상당히 높았다.

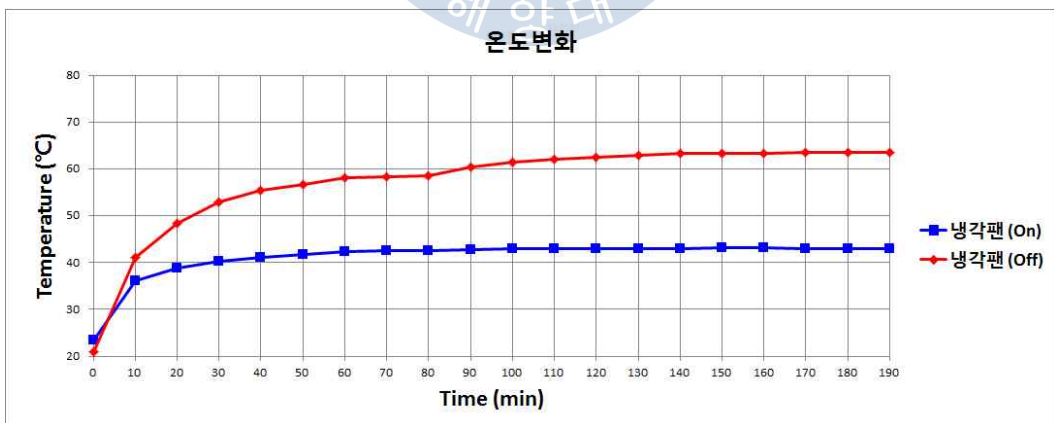


Fig. 28 Comparison of Temperature Variation for Controlled Cooling Fan



#### 4.5.2 고휘도 LED 모듈의 광도변화 측정 결과

본 실험은 등명기에 직접 조립하여 실험을 거쳤으므로 부가적으로 암실에서 조명도계를 활용하여 광도변화를 측정할 수 있다. LED 모듈의 광효율은 온도 변화에 따라 달라지고 있음을 확연히 확인할 수 있다. 실험 최초 30분 동안은 상대적으로 많은 전력이 소비되는 고휘도 LED소자의 특성에 따라 다소 변화폭이 발생되었으나 일정온도를 유지한 30분 이후에는 일정한 광도를 유지하고 있으며, 냉각팬을 오프시켰을 경우에는 190분 이후에도 지속적으로 광도가 내려가고 있음을 알 수 있다.

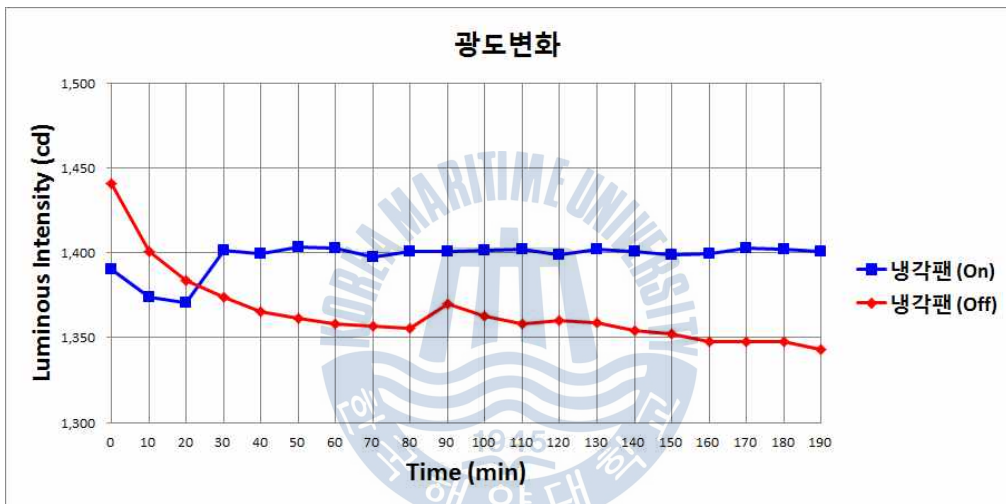


Fig. 29 Comparison of Luminous Intensity for Controlled Cooling Fan



### 4.5.3 고휘도 LED 모듈의 방열 실험 결과 고찰

이에 본 연구에서는 제3장에서 개발한 방열판에 강제 대류 방식의 냉각 시스템을 적용하여 열해석과 실험을 통하여 다음 Table 3과 같은 결론을 얻었다.

Table 3 Comparative Table of Result Analysis

구 분		자연냉각 방열방식 (히트싱크 적용)	강제대류 방열방식 (팬 적용)
온 도	열해석결과	62.2℃	34℃
	실험 결과	57.5℃	43℃
안정화소요시간		110분	30분
광 도		1340cd	1400cd
소 비 전 력		13.3W	14.88W

위 결과표는 다음과 같은 사항을 시사하고 있다.

#### 1) 열전달계수 및 냉각 효율 개선 효과

방열판에 냉각팬을 추가적으로 부착함으로써 강제대류를 통해 열전달계수를 늘릴 수 있었다. 또한, LED가 부착되어있는 내부 방열판과 외부 방열판을 동시에 냉각팬에 의한 강제대류로 냉각함에 따라 냉각 효율을 높일 수 있었다.

#### 2) 광효율 개선 효과

LED 등명기 내부 온도상승을 최소화하여 온도상승에 따른 LED 등명기의 광도 감소를 최소화한다.

### 3) LED 등명기 수명연장 효과

모든 LED 등명기에서 발생하는 높은 온도는 LED의 수명에 영향을 주기 때문에 온도를 감소시킴으로써 수명을 연장할 수 있다.

### 4) 소비전력 절감 효과

내부 온도가 상승할수록 LED 등명기의 광도는 감소하므로 원하는 LED 등명기의 광도를 얻기 위해 LED에 인가되는 전류값 상승으로 이어진다. 이로 인해 LED 등명기의 구동전류의 증가로 소비전력이 증가한다. 그러므로 LED 등명기 내부 온도감소는 소비전력을 절감할 수 있는 효과를 가지고 있다.

### 5) 축전지 수명연장 효과

LED 등명기를 태양전지, 축전지, 충방전 제어장치를 결합한 자가발전시스템을 사용하여 구동할 경우에 LED 등명기의 낮은 소비전력은 축전지 수명연장에 매우 높은 효과를 준다. 축전지의 소비전류가 커 방전량이 많을 경우 충전하여 사용할 수 있는 횟수가 줄어들며, 충전 시 충전량이 커짐으로 축전지 내부 온도의 상승을 일으켜 축전지의 수명을 단축시키는 요인이 된다. LED 등명기에서 발생하는 열을 감소시키기 위해 방열판에만 의존하지 않고, 센서를 활용한 내부 온도 감지 기술을 통해 냉각팬을 자동으로 동작시켜 최적화되고 컴팩트하게 설계된 방열 채널을 통하여 강제대류가 이루어지도록 함으로써 방열효율을 극대화시킬 수 있다.

## 제 5 장 결론

이 연구에서는 고휘도 LED모듈의 방열방법에 대한 일환으로 해상용등명기의 렌즈 내 밀폐된 구조, 해상환경에서 제한된 전원공급 및 과도한 무게 및 부피의 지양 등을 감안하여 가장 일반적인 냉각방식인 자연냉각방식의 방열판(Heat Sink)을 고안하여 제시하고 이를 시뮬레이션에 의하여 1차적으로 검증하였다. 그 다음 방열실험으로 2차 검증을 실시하였다.

또 이 히트 싱크만으로는 안정화되는 온도가 62℃로 높기 때문에 냉각팬에 의한 방열방식을 고안하였다. 검증 방식은 히트싱크와 같이 동일한 방법으로 진행하였다.

냉각팬에 의한 방열방식에서 온도안정화는 측정부위 기준으로 약 34℃에서 수렴하는 것으로 만족스러운 결과를 나타내었다. 한편, 냉각팬을 구동하여 냉각하는 강제대류 냉각방식은 LED모듈을 점등하는데 소비되는 전력 이외에 냉각팬을 구동하는 별도의 소비전력이 필요하게 되어 소비전력이 상승하는 단점을 가지고 있었다. 이 단점을 보완하고자 온도센서의 온도변화에 따라 냉각팬을 ON/OFF 제어함으로써 소비전력을 최소화하는 자동제어회로를 개발하였다.

이와 같은 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 방열판에 냉각팬을 추가적으로 부착함으로써 강제대류를 통해 열전달계수를 늘릴 수 있었다. 또한, LED가 부착되어있는 내부 방열판과 외부 방열판을 동시에 냉각팬에 의한 강제대류로 냉각함에 따라 냉각 효율을 높일 수 있었다.
- ② LED 등명기 내부 온도상승을 최소화하여 온도상승에 따른 LED 등명기

의 광도 감소를 최소화한다.

- ③ 모든 LED 등명기에서 발생하는 높은 온도는 LED의 수명에 영향을 주기 때문에 온도를 감소시킴으로써 수명을 연장할 수 있다.
- ④ 내부 온도가 상승할수록 LED 등명기의 광도는 감소하므로 원하는 LED 등명기의 광도를 얻기 위해 LED에 인가되는 전류값 상승으로 이어진다. 이로 인해 LED 등명기의 구동전류의 증가로 소비전력이 증가한다. 그러므로 LED 등명기 내부 온도감소는 소비전력을 절감할 수 있는 효과를 가지고 있다.
- ⑤ LED 등명기를 태양전지, 축전지, 충방전 제어장치를 결합한 자가발전시스템을 사용하여 구동할 경우에 LED 등명기의 낮은 소비전력은 축전지 수명연장에 매우 높은 효과를 준다. 축전지의 소비전류가 커서 방전량이 많으면 충전하여 사용할 수 있는 횟수가 줄어든다. 또 충전 시 충전량이 커짐으로 축전지 내부 온도의 상승을 일으켜 축전지의 수명을 단축시키는 요인이 된다. LED 등명기에서 발생하는 열을 감소시키기 위해 방열판에만 의존하지 않고, 센서를 활용한 내부 온도 감지 기술을 통해 냉각팬을 자동으로 동작시켜 최적화되고 컴팩트하게 설계된 방열 채널을 통하여 강제대류가 이루어지도록 함으로써 방열효율을 극대화시킬 수 있다.

본 연구에서는 고휘도 LED섬광기를 적용한 해상용등명기의 방열 문제를 해결하기 위한 다양한 방법들 중에서 간단하고 접근성이 용이한 히트 싱크를 이용한 자연냉각 방식과 냉각팬을 이용한 강제대류방식의 냉각기술을 검토하였다.

연구결과에서 보듯이 냉각팬을 이용한 강제대류 방식은 센서를 활용한 냉각팬 제어로 인한 전력소비의 단점에도 불구하고 히트 싱크만의 방열보다 효과적인 것을 알 수 있었다. 따라서 히트 싱크만으로 방열하고자 할 때에는 보다 신중한 설계가 필요할 것으로 판단된다.

향후의 연구에서는 방열판의 재질을 변경하거나 면적을 크게 하는 것은 중량이 크고 구조가 복잡해져서 효과적이지 않기 때문에 열전도 단면적을 높일 수 있는 구조의 개발이나 구리와 같은 재료의 적용을 할 것이며 아울러 히트 파이프를 적용하여 열전도 효율을 높이는 방안도 검토할 것이다.



## 감사의 글

해양교통 전문인력 양성과정으로 시작한 이 과정이 벌써 2년이 지나 어느덧 졸업을 앞두고 있습니다. 금방 지나간 것 같은데도 많은 일들이 생각납니다.

함께 했던 동료들과 교수님들, 열정적인 강의와 많은 만남의 시간들, 레포트, 종합시험, 그리고 논문에 이르기까지.

부족한 제가 이 과정을 잘 마치고 또 이 감사의 글을 적을 수 있게 해주신 모든 분들에게 지면으로나마 감사의 뜻을 전하고자 합니다.

우선, 이 논문을 쓸 수 있도록 지도해 주시고 격려해 주신 정태권 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 바쁘신 일정에도 불구하고 논문심사를 맡아주신 양규식 교수님과 예병덕 교수님께 감사드립니다.

강의해주신 국승기 교수님, 박진수 교수님, 송재욱 교수님께도 감사드립니다.

논문작성과 발표에 많은 도움을 주신 김인관 이사님, 김춘호 소장님께 감사의 마음을 전합니다. 그리고, 이 과정을 시작할 수 있게 기회를 주신 해양수산부 관계자분께도 감사드립니다.

끝으로 만삭의 몸으로 주말마다 홀로 어린 두 딸 돌보느라 힘들었을 사랑하는 아내와 지금의 제가 있도록 길러주시고, 지켜봐 주신 부모님께 이 작은 결실을 드립니다.

## 참고문헌

- [1] 강창수, 2011. 고효율 LED방열효과 증대를 위한 융합형 Heat Sink 장치 방열해석. 대한전자공학회.
- [2] 국토해양부, 2012, 항로표지시설 관리지침.
- [3] 국토해양부, 2013. 해상용등명기(전구/LED-250)표준규격서.
- [4] 국토해양부, 2012. 해상용등명기(LED-200HI)표준규격서.
- [5] 김종태, 박승남, 박철웅, 2006. 해상용 등명기를 위한 Fresnel Lens의 설계 및 제작에 관한 연구. 한국물리학회 논문집, 53, pp.483-488.
- [6] 김향근, 2009. LED가로등의 방열패턴 및 전류특성에 관한 연구. 대한전기학회.
- [7] 이미영 등, 2005. 열화특성을 고려한 LED조명의 구동회로 설계. 전력전자학회.
- [8] 정재훈, 유충현, 김현조, 김종국, 안종렬, 2009. 해상용 LED 등명기의 수명 특성. 한국조명·전기설비학회 2009 춘계학술대회 논문집, pp.5-7.
- [9] 정재훈, 유충현, 김현조, 김동현, 2008. 해상용 LED 등명기의 색도 측정. 한국조명·전기설비학회 2008 춘계학술대회 논문집, pp.8-9.
- [10] 정학근, 정봉만, 한수빈, 박석인, 김훈, 2006. 중소형 해상용등명기 대체용 LED 광원설계에 대한 연구. 조명·전기설비학회 논문지, 20(1), pp.1-6.
- [11] 황명근, 서영배, 김영길, 서원배, 김규형, 2011. LED방열 설계와 측정기술. 한맥출판사.
- [12] 황명근, 조현민, 노재엽, 2010. LED 패키지와 방열. 도서출판 아진.



- [13] 해양수산부, 2006. 항로표지 업무편람.
- [14] Ando Koushi, 2011. LED발광다이오드. 성안당.
- [15] F. Incropera, D. Dewitt et al., 2008. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th edition Jhone Wiley & Sons, Inc.
- [16] IALA, 1998. For rhythmic characters of lights on aids to navigation, IALA Recommendation.
- [17] IALA. 2005. Guideline No. 1004 on Levels of Service.
- [18] IALA. 2004. Guideline No. 1043 on Light Sources used in Visual Aids to navigation.
- [19] IALA. 2004. Guideline No. 1042 On Power Sources for Aids to Navigation.
- [20] IALA. 2005. Guideline No. 1048 On Led Technologies and their use in Signal Lights.
- [21] IALA. 2007 Guideline No. 1049 On the Use of Modern Lights Sources in Traditional Lighthouse Optics.
- [22] IALA. 2009 Guideline No. 1064 On Integrated Power Systems Lanterns.
- [23] IALA. 2008 Recommendations No. E200-0 On Marine Signal Lights - Overview.
- [24] IALA. 2008 Recommendations No. E200-1 On Marine Signal Lights - Colours.
- [25] IALA. 2008 Recommendations No. E200-2 On Marine Signal Lights - Calculation, Definition and 19. Notation of Luminous angle.
- [26] IALA. 2008 Recommendations No. E200-3 On Marine Signal Lights - Measurements.
- [27] IALA. 2008 Recommendations No. E200-4 On Marine Signal Lights - Determination and Calculation of Effective Intensity.

[28] Optisworks, 2010, Optisworks 2010 Light Modeling User Guide.

[29] Warren J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd ed. (McGraw Hill, New York, 2000), pp. 312-317.

