



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](#)

工學碩士 學位論文

고출력 LED 탐조등의 설계에 관한 연구

A Study on the Design of a High Power LED Searchlight

指導教授 吉 暻 碩



2014年 02月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 世 振

本 論文을 金世振의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長：工學博士 張 樂 元 ①

委 員：工學博士 吉 暻 碩 ①

委 員：工學博士 朱 良 翊 ①



2013年 12月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 世 振

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	iii
Abstract	v
제 1 장 서 론	1
제 2 장 이 론	4
2.1 탐조등	4
2.2 성능 및 요구사항	7
제 3 장 설계 및 제작	11
3.1 광원부	11
3.1.1 광학계	12
3.1.2 방열부	20
3.2 전원부 및 기구부	26
제 4 장 평가 및 분석	28
4.1 전기적 특성	28

4.2 광학적 특성	29
4.3 환경적 특성	34
제 5 장 결 론	36
참 고 문 헌	38



그림 및 표 목차

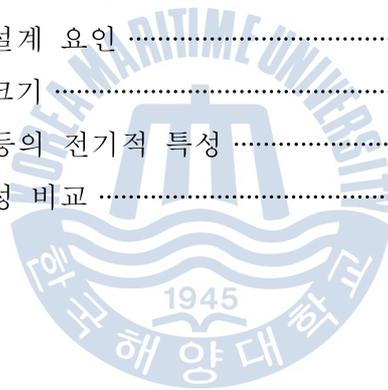
<그림 목차>

그림 1.1	LED 조명산업 동향	2
그림 2.1	할로겐 램프 탐조등	4
그림 2.2	제논 램프 탐조등	5
그림 3.1	반사각의 종류	12
그림 3.2	렌즈의 종류	12
그림 3.3	LED 입체각의 원리	14
그림 3.4	LED 패키지의 구조	16
그림 3.5	LED 탐조등 렌즈	17
그림 3.6	렌즈의 배광 분포	17
그림 3.7	LED 패키지의 전류-광출력 곡선	19
그림 3.8	LED 패키지의 전압-전류 곡선	19
그림 3.9	LED 패키지의 온도-광출력 곡선	20
그림 3.10	모델 1의 디자인	23
그림 3.11	모델 2의 디자인	23
그림 3.12	모델 1의 시뮬레이션	24
그림 3.13	모델 2의 시뮬레이션	24
그림 3.14	방열판의 사진	25
그림 3.15	SMPS 블록선도	26
그림 3.16	시제작 LED 탐조등의 사진	27
그림 4.1	배광측정 시스템	30
그림 4.2	탐조등의 광도 분포	31
그림 4.3	배광 분포	32
그림 4.4	광속 다이어그램	32

그림 4.5	실험계의 구성	34
그림 4.6	온도실험 결과	35

<표 목차>

표 2.1	광원별 성능비교	6
표 2.2	탐조등의 종류	7
표 2.3	탐조등의 사양	9
표 2.4	탐조등의 성능비교	9
표 2.5	배광 측정 거리	10
표 3.1	LED 패키지의 사양	16
표 3.2	방열판의 설계 요인	22
표 3.3	방열판의 크기	22
표 4.1	LED 탐조등의 전기적 특성	28
표 4.2	광학적 특성 비교	33



A Study on the Design of a High Power LED Searchlight

by Se-Jin, Kim

Department of Electrical & Electronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime and Ocean University
Busan, Republic of Korea

Abstract

This thesis dealt with the design of a high power LED searchlight to replace a conventional searchlight with 1kW halogen lamps. The design specification follows KDS 6230-1046-1 and KS V 8469. An LED package and a lens with the beam angle of 6° were used to meet the center luminous intensity of 800,000 cd specified in KS V standard.

Heat sink was selected by a simulation because the optical power and the life span of LED changes depending on the heat amount. The heat dissipation of a prototype LED searchlight improved the durability as it is made with air cooling type using natural convection instead of using the fan or heat-pipe.

As a result of the test, the power consumption of a prototype LED searchlight (150W) was saved by 85% compared to the halogen lamp searchlight (1kW). The center luminous intensity was 945,000 cd,

satisfying KS V 8469 and the luminous efficacy was improved by 4.7 times compared to that of conventional searchlights.

Also, the beam angle, the color temperature, and the color rendering were measured 5.4°, 5,500 K, and 70, respectively. The surface temperature of a prototype LED searchlight (below 60°C) and the surrounding temperature of the SMPS (below 50°C) satisfied KS C IEC 60092-306.



제 1 장 서 론

최근 세계 각국에서 극심한 기후변화와 함께 환경오염 및 천연자원의 고갈이라는 현상에 대응하기 위하여 신재생 에너지 개발과 효율개선을 통한 국가 에너지 절약 등 다양한 정책들을 시행하고 있다. 그리하여 지난 2007년 8개국 정상회담(G8)에서 에너지절약정책이 결의된 이후, 각 국에서 백열전구의 단계적 퇴출이 진행 중에 있다^[1]. 백열전구는 약 130년간 생활 속에서 사용되었지만, 저효율 조명기기로서 호주에서는 2010년부터 백열전구의 생산 및 판매를 금지시켰으며, 유럽의 각 국가에서도 2012년 9월부터 판매가 전면 금지되고 있다. 그 외 미국, 중국, 일본 등 각 국에서 백열전구 퇴출 정책을 시행하고 있다^{[2],[3]}.

이에 따라 친환경 고효율 광원인 LED(Light Emitting Diode)가 기존 광원을 대체하는 것에 관심이 증가하고 있다. LED의 장점은 기존 광원 대비 수명(35,000 시간)이 길고 전류에 의해 빛을 내는 반도체 소자이므로 수은 등 환경오염의 물질이 함유되어 있지 않다. 또한, 소비전력이 백열전구 대비 20%, 형광등 대비 40%를 사용함으로써 에너지 절감효과를 기대할 수 있다. 국내에서도 2008년 12월에 발표한 백열전구 퇴출 계획, 2014년부터 생산, 판매 및 수입을 전면 금지하기로 하였다. 또한, 2020년까지 LED 조명 보급을 60% 달성하여 500 MW의 에너지 절감을 위한 'LED 조명 20/60 프로젝트' 정책을 발표하였으며 LED 산업 육성과 조명보급 활성화를 위하여 2011년에 'LED 조명·융합 산업'이라는 정책을 발표하였다^[4-10]. 장기적으로 신성장 동력 산업군인 LED 조명시장은 향후 3~5년 동안 최소 50~150%의 성장을 보일 것이라 전망되고 있다.

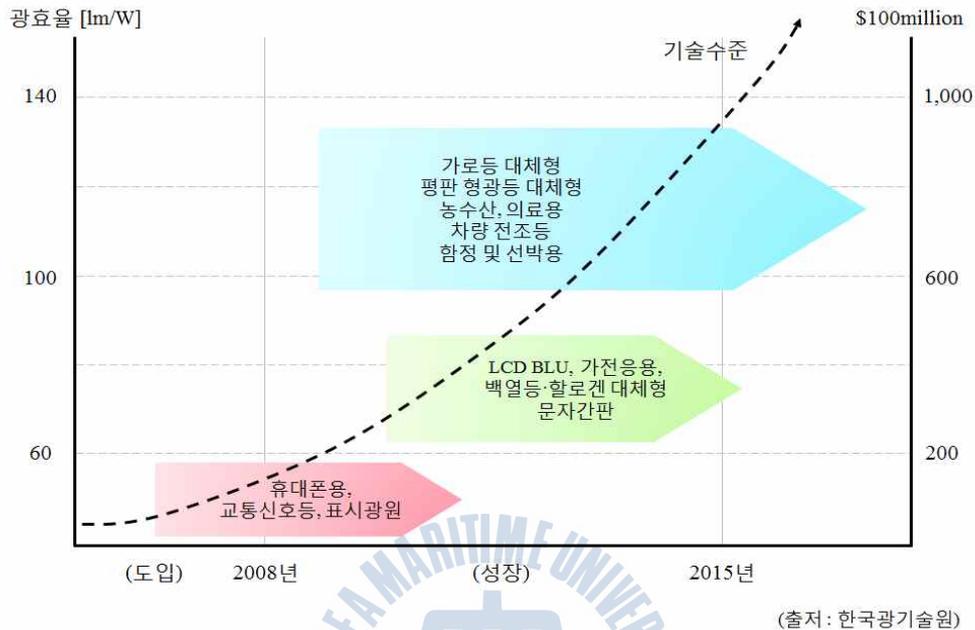


그림 1.1 LED 조명산업 동향

Fig. 1.1 Trend of LED lighting industry

그림 1.1과 같이 LED 조명은 가파른 성장과 함께 보급률이 높아질 것이다. 이러한 LED 산업의 성장과 함께 관련 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 조선해양분야에서도 최근에 관심이 증가되고 있다. 국제해사기구(IMO)는 현존선 에너지효율지수 EEOI(Energy Efficiency Operational Indicator) 및 신조선 에너지설계효율지수 EEDI(Energy Efficiency Design Index) 등 선박환경규제협약을 정함으로써 친환경 고효율 선박에 대한 관심이 급증함에 따라 선박용 및 함정용 LED 조명을 적용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지난 2012년, 국내기술로 제작한 ATS-2(수상함구조함)에 LED 조명이 최초로 적용되었으며, 민군규격통일화사업을 비롯한 다양한 정책을 통해 LED 조명의 적용 범위를 확대해 나가고 있다^{[11],[12]}.

따라서 본 논문에서는 기존 광원의 짧은 수명과 약한 내구성 등의 문제점을 보완하기 위하여 고효율 LED 광원을 적용한 LED 탐조등을 설계 및 제작하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 KS V 8469, KDS 6230-1046-1에 명시되어 있는 광학적, 전기적 요구사항을 기준으로 목표 설계사양을 선정하였다. 제 3장에서는 목표사양을 만족하기 위한 광원부 및 전원부, 기구부를 설계 및 제작하였다. 제 4장에서는 시제작 LED 탐조등의 전기적, 광학적 및 환경적 특성에 대한 측정을 수행하여 관련 규격의 요구사항과 비교하였다.



제 2 장 이 론

2.1 탐조등

선박에 사용되는 조명기구(燈)는 육상과는 달리, 진동 및 충격에 대한 내구성이 높아야 한다. 선박조명은 신호용으로 쓰이는 항해등, 선내·외에 사용되는 일반조명 및 투광등, 탐조등 등의 특수조명이 있다. 항해등의 경우 선종, 선박의 크기 및 용도에 따라 다양하게 적용되며 일반조명의 경우, 선박의 각 구역 및 선외 등 파손될 수 있는 장소에 등기구를 보호하는 구조로 설계 및 제작되어야 한다^[13]. 탐조등(Searchlight)의 경우, 난파 및 익사사고와 같은 특수한 상황일 때 사용되는 것으로서 필요에 따라 불규칙적으로 사용되기 때문에 긴급상황 시 원활하게 동작될 수 있도록 내구성이 높아야 한다. 기존 탐조등의 광원부는 빛을 집광시키는 구조이며, 어떠한 방향의 원하는 곳을 조사하기 위하여 수면을 비추는 등기구로 브릿지윙(Bridge wing)에 설치된다. 그림 2.1과 그림 2.2는 현재 사용되고 있는 탐조등으로 광원은 할로젠 램프(Halogen lamp)와 제논 램프(Xenon lamp)가 많이 사용되고 있다.



그림 2.1 할로젠 램프 탐조등

Fig. 2.1 Searchlight of halogen lamp



그림 2.2 제논 램프 탐조등

Fig. 2.2 Searchlight of xenon lamp

기존의 광원들은 전방향으로 빛을 방사하기 때문에 규격에 명시된 광학적 성능을 만족시키기 위해서 광손실이 큰 반사판을 사용하여야 한다. 또한, 탐조등은 1~5kW 이상의 높은 소비전력을 필요하며 에너지 효율이 매우 낮은 단점이 있다. 뿐만 아니라 필라멘트와 유리구를 사용하기 때문에 선박에서 발생하는 진동과 충격에 대하여 상당히 취약하여 잦은 교체로 인한 유지보수비가 높다. 또한, 이들 광원은 빛을 내기 위해 유리구 내부에 가스를 주입하여 사용하기 때문에 환경오염의 원인이 되며, 사고가 발생되면 가스가 폭발하여 인명 및 재산피해의 원인이 된다.

그러나 LED는 고체광원으로써 필라멘트나 가스로 구성되지 않고 전기 에너지를 빛에너지로 전환하는 반도체 소자이다. 기존 광원들과 비교하였을 때 낮은 소비전력으로 향상된 광학적 특성을 가지며 수명은 증가하게 되었다. 다음 표 2.1에 여러 광원의 성능을 비교하였다^{[14],[15]}.

표 2.1 광원별 성능비교

Table 2.1 Performance comparison of light sources

	소비전력 [W] (800 [lm] 기준)	광효율 [lm/W]	연색성 (CRI)	수명 [hrs]
Incandescent lamp	114	15	100	1,000
Halogen	57	30	90	3,000
Xenon	40	30	90	2,000
LED	10.5	100	80	35,000

표에서 알 수 있듯이 LED의 수명은 백열전구에 비해 35배 이상 길며, 탐조등의 광원으로 많이 사용되고 있는 할로겐 램프에 비해 약 12배 길다. 또한, 조명의 성능지표 중 하나인 광효율은 백열전구의 6.6배, 할로겐 램프의 3.3배로써 뛰어난 성능을 보여준다. CRI(연색지수 : Color Rendering Index)는 인공광원이 색을 표현할 때 태양광과 흡사한 정도를 숫자로 나타낸 지표로 CRI 100은 태양광을 기준으로 표시한다. 특히, 최근 개발된 LED의 경우 80 이상으로써 지속적인 연구·개발로 개선되고 있는 중이다. 즉, 기존의 함정용 및 선박용 등기구에 사용되고 있는 광원을 LED로 대체할 경우, 기존 광원의 문제점은 보완할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 향상된 광학적 성능을 바탕으로 기술적, 경제적 효과를 기대할 수 있다.

본 논문에서는 기존 광원을 사용하는 1 kW 할로겐 램프 탐조등을 대체하기 위하여 고출력 LED 탐조등 설계에 관한 연구를 수행하였으며 목표설계사양을 선정하기 위해 기존에 적용되고 있는 탐조등의 규격을 기준으로 하였다.

2.2 성능 및 요구사항

현재 LED 탐조등에 관한 규격이 제정되어 있지 않기 때문에 관련 규격들을 비교하여 목표설계사양을 선정하였다. 기존 탐조등에 적용되고 있는 규격에는 KDS 6230-1046-1 1kW 할로젠 램프 12인치 탐조등과 KS V 8469 선박용 백열전구형 탐조등이 있다^{[16],[17]}. 관련 규격에 명시되어 있는 탐조등의 종류를 표 2.2에 나타내었다. 국방규격의 12인치 함정용 탐조등의 경우, 정격소비전력 1kW 할로젠 램프를 사용한다. 또한, 그 외의 등기구의 규정하지 않는 성능 및 일반사항들은 KS V 8469를 따른다.

표 2.2 탐조등의 종류
Table 2.2 Types of searchlight

종 류	형 식	용 량 [W]	정격전압 [V]
C종	20형	500	100, 110, 115, 120 220 또는 440
D종	30형	1,000	
E종	40형	1,000 또는	
또는	50형	2,000	
X종	60형	3,000	

표 2.3에 한국산업규격과 국방규격의 탐조등의 요구사항을 나타내었다. 탐조등의 종류에 따라 중심광도와 작동 성능이 서로 다르게 규정되어 있다. 시제작 고출력 LED 탐조등의 설계 기준은 KS에 제시된 1kW 탐조

등으로 중심광도 800,000 cd(500,000 cd in KDS)를 만족하여야 한다. 여기서 지향각은 중심조도의 10% 즉, 720,000 cd (450,000 cd in KDS)에서 두 지점과 탐조등과의 사이각을 말한다. 또한, 탐조등의 외함보호등급(International Protection=IP)은 IP56으로 명시되어 있다. 외함보호등급이란 기기와 그 내부의 직접 접촉은 물론 먼지 또는 물, 단단한 외부 물체의 침투로부터 보호하는 등급을 말한다. 이와 관련하여, 외함의 보호등급(IP)은 주어진 작동 및 작업 조건아래에 기기가 스트레스 및 부하에 저항하는 능력을 규정하고 있다. 첫 번째 숫자는 고체물질의 침입이나 먼지의 침입에 대한 보호등급을 나타내는 것으로 '5'는 먼지의 침투가 거의 없으며 기기 및 장치의 작동과 안전에는 영향을 주지 않은 수준을 의미한다. 두 번째 숫자는 물의 침투에 대한 보호등급을 나타내는 것으로 '6'은 어떠한 방향에서 물을 강력히 분사하더라도 기기 및 장치에 해가 미치지 않는 수준을 의미한다. 탐조등의 경우, 실외에 설치되며 해수의 염분이나 파도, 해무 등의 환경에 노출되기 때문에 IP56을 만족하여야 한다^{[18],[19]}.

부양 및 선회각은 등기구의 상하 및 좌우조작이 가능한 각을 의미한다. 탐조등의 경우 주로 탐색용으로 많이 쓰이기 때문에 회전가능한 각은 작업의 효율성을 높이는데 기여한다.

표 2.4에 기존 탐조등의 성능을 나타내었다. 표 2.3에서 살펴본 규격의 중심광도와 보호성능을 만족하고 있다. 하지만 표 2.1과 같이 기존 광원에서는 LED와 비교하였을 때 소비전력이 높고 광효율이 현저히 낮은 것을 확인할 수 있다.

표 2.3 탐조등의 사양

Table 2.3 Specification of searchlight

항 목	성 능 기 준	
최대 중심광도 (0° 지점)	500 W	2.5×10^5 cd
	1 kW	8.0×10^5 cd (KDS 5.0×10^5 cd)
	1 k 또는 2 kW	1.8×10^6 cd
	3 kW	4.0×10^6 cd
보호성능	IP56	
부양 및 선회각	부(俯)각도 45° 이상, 양(仰)각도 30° 이상 선회각도 좌우 180° 이상	

표 2.4 탐조등의 성능비교

Table 2.4 Performance comparison of searchlight

항 목	할로겐 램프	제논 램프
소비전력	1 kW	1 kW
최대 중심광도 (0° 지점)	1.0×10^6 cd	50×10^6 cd
광효율	30 lm/W	35 lm/W
보호성능	IP56	
연색성	90	

또한, KS V 8469 규격에서 지향각에 대한 것은 탐조등 최대 조도의 10% 조도를 가지는 두 지점과 탐조등과의 각을 나타내는 것으로써 배광 측정 거리는 표 2.5와 같다.

표 2.5 배광 측정 거리
Table 2.5 Measurement distance of illumination

형 식	거 리 [m]
20형	10 이상
30형	15 이상
40형 및 60형	20 이상
X종 50형	70 이상

따라서 본 논문의 시제작 LED 탐조등은 KS V 8469의 30형에 명시된 최대 중심광도 및 보호성능, 부앙 및 선회각을 만족하여야 하고, 추가적으로 KS C IEC 61000-3-2의 고조파 함유율 시험과 광속 유지율, 개폐시험이 추가적으로 수행되어야 한다.

제 3 장 설계 및 제작

앞서 살펴본 규격을 바탕으로 하여 고효율 LED 탐조등을 제작하기 위하여 광학적 성능을 결정하는 광원부, 전원부와 기구부로 나누어 연구를 수행하였다.

3.1 광원부

조명에 있어서 광원부는 등기구의 성능 및 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. 특히, 조명의 성능지표는 광학적 특성을 첫 번째 기준으로 정하여 조명을 설계한다. 조명의 광원부는 크게 2가지로 구성된다.

- 1) 1차 광학계(First optic system) : 할로겐 램프, 제논 램프, LED
- 2) 2차 광학계(Secondary optic system) : 반사판, 반사각, 렌즈

이러한 광학계는 모든 조명설계 시 목표사양 및 용도를 반드시 고려해야 한다. 본 논문에서 다루고 있는 탐조등의 경우, 기존 광원은 할로겐 램프 또는 제논 램프이다. 전방위로 방사되는 빛에 대하여 반사판을 이용하여 초점을 집중시키는 구조이다. 또한, 먼 거리에 빛을 비추는 등기구로써 일정거리에서 향상된 배광특성을 갖기 위해서는 반사판을 이용하여 지향각을 조절할 수 있다. 하지만 LED의 경우 지향각을 조절하기 위해서는 그림 3.1, 그림 3.2와 같은 2차 광학계가 필수적이다. 이는 조명의 사용 용도에 따라 광손실을 최소화하고 지향각을 조절함으로써 다양한 분야에 LED를 적용할 수 있기 때문이다.



그림 3.1 반사갓의 종류

Fig. 3.1 Types of reflector



그림 3.2 렌즈의 종류

Fig. 3.2 Types of lens

3.1.1 광학계

탐조등은 일정한 피조면에 빛을 집광구조를 통하여 방사해야하기 때문에 광학계 설계가 무엇보다 중요하다. 광학계를 구성하는 요소로는 1차 광학계, 2차 광학계, 방열부 등이 있으며, 이들은 서로 밀접한 상관관계를 갖고 있다.

광원은 등기구 전체의 광학적 성능을 결정하는 요소로써 등기구 제작에 앞서 사용자가 요구하는 사양에 적합한 LED 패키지를 설계자가 선정

하는 것이 가장 중요하다. 기존 광원을 대체할 수 있는 탐조등을 설계하기 위해서 표 2.3에 명시된 것과 같이 탐조등의 성능을 만족하여야 한다. 탐조등 성능의 중요한 부분 중 하나인 광도는 광원으로부터 단위거리 r 만큼 떨어진 곳에서 빛의 방향에 수직으로 놓인 단위면적 r^2 을 단위시간 s 동안 통과하는 빛의 양을 말한다. 즉, 단위 입체각인 $1sr$ (스테라디안)당 지나는 총 광속을 측정한 값이다. 하지만, LED 패키지의 사양은 총 광속을 나타내는 지표인 lm (루멘)으로 명시되어 있다. 이 지표들은 직접적인 비교가 불가능하기 때문에 상대적인 비교를 위하여 단위 환산이 필요하다. 광속은 앞에서 언급한 광도의 개념으로부터 살펴보면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi = I \cdot \omega \quad (3.1)$$

Φ 는 총 광속, I 는 광도, ω 는 입체각을 나타낸다. 즉, 백열전구와 같이 전 방향으로 방사하는 형태의 광원일 경우 하나의 구로 가정할 수 있으므로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = 4\pi I \quad (3.2)$$

하지만, LED 패키지의 경우 전방향으로 방사하지 않을 뿐만 아니라 제조사와 모델에 따라 방사되는 각이 다르기 때문에 위의 공식을 그대로 적용할 수 없다. 따라서 LED 광원에 적용할 수 있는 공식을 광학적 이론을 이용하였다. 그림 3.3과 같이 LED 광원이 방사된다고 가정한다.

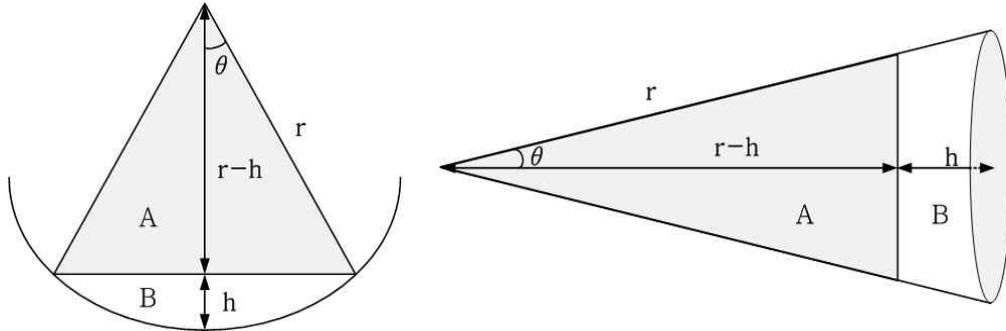


그림 3.3 LED 입체각의 원리

Fig. 3.3 Principle of LED solid angle

면적 B는 앞서 광도의 개념에서 언급한 것처럼 r^2 이 된다. 이는 다음 식 (3.3)으로 다시 표현할 수 있다.

$$B = 2\pi rh \Rightarrow \frac{h}{r} = \frac{1}{2\pi} \quad (3.3)$$

어떠한 입체각을 가지는 중심축 사이의 절반각을 θ 이라고 한다면, 식 (3.4)와 같이 정리할 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{r-h}{r} \quad (3.4)$$

여기서, 어떠한 지향각 2θ 를 구하기 위해 양변을 정리하고, 식 (3.3)을 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
\theta &= \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) & (3.5) \\
&= \cos^{-1}\left(1 - \frac{h}{r}\right) \\
&= \cos^{-1}\left(1 - \frac{1}{2\pi}\right)
\end{aligned}$$

최종적으로 입체각 ω 를 지향각 2θ 에 관한 함수로 정리하게 되면 식 (3.6)과 같다.

$$w = 2\pi(1 - \cos\theta) \quad (3.6)$$

이를 식 (3.1)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = I \cdot 2\pi(1 - \cos\theta) \quad (3.7)$$

결론적으로 위의 식을 통해 목표로 하는 광원의 총 광속 Φ 와 지향각 2θ 를 알고 있다면 이에 대응하는 본 연구에서의 목표 중심광도 I 를 구할 수 있다^[20]. 따라서 LED 패키지 선정에 있어서, 목표광도인 800,000 cd와 지향각 6° 를 대입하면 약 6,888 lm의 총 광속을 만족해야 한다. 이를 기준으로 하여 1차 광학계 및 2차 광학계의 광손실을 고려하여 LED 탐조등에 사용할 LED 패키지 사양을 선정하였고, 충분한 광학적 특성을 얻기 위해 31개의 패키지를 모두 직렬로 연결하였다. 선정된 패키지의 사양은 표 3.1과 같다.

표 3.1 LED 패키지 사양

Table 3.1 Specification of LED package

모델명	색온도 [K]	연색성 (CRI)	광속 [lm]	V_f [V]	지향각 [°]
			@ 1A(1.5A)		
XLAMP XP-G2	5,000	70	338(458)	3.05(3.10)	115 (FWHM)

선정된 LED 패키지는 색온도 5,000 K 이상, 연색성 70, 광속 458 lm(1,500 mA)이며 지향각은 FWHM일 때 115°의 특성을 갖는다. FWHM(Full width at half maximum)이란 배광각 국제기준으로 측정방법은 최대광도의 50%가 되는 지점을 전체 범위로 연결하여 교차되는 중심점으로부터 측정하는 방법이다. LED는 SMD형태이며 패키지 바닥부에는 방열패드가 존재하여 동작 시 발생하는 열을 PCB로 빠르게 전달할 수 있도록 하여 효율적인 방열설계에 적합한 구조를 갖고 있다. 그림 3.4에 LED 패키지를 나타내었다.

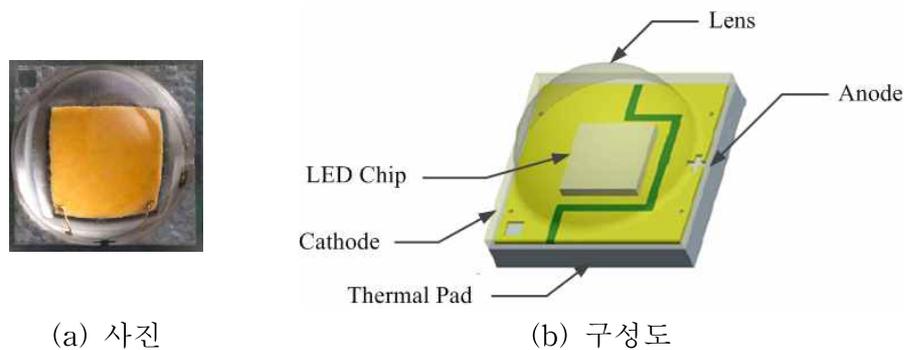


그림 3.4 LED 패키지의 구조

Fig. 3.4 Structure of the LED package

기존 광원 탐조등은 할로겐 램프 및 제논 램프에서 사용되는 저효율 반사판을 사용하여야 한다. 반면, LED 패키지의 경우, 크기가 매우 작기 때문에 반사판을 사용하지 않고 LED 패키지와 규격에 명시된 광도를 만족시키기 위해서 적절한 렌즈를 통하여 총 광속인 6,888 lm과 KS규격의 최대 중심광도 800,000 cd를 만족시키기 위한 지향각 6°의 특성을 갖는 렌즈를 적용하였으며, 외형 및 배광분포는 그림 3.5, 그림 3.6과 같다.



그림 3.5 LED 탐조등 렌즈

Fig. 3.5 Lens for LED searchlight

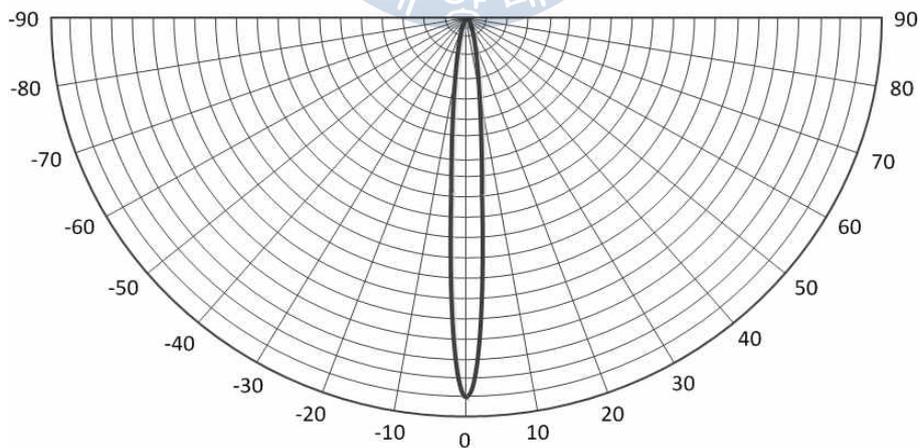


그림 3.6 렌즈의 배광 분포

Fig. 3.6 Luminous distribution of the lens

LED는 전류구동 소자로서 전류에 따라 빛의 밝기가 달라진다. 따라서 전류를 조절할 수 있는 구동 방식을 필요로 하는데 이는 정전압 구동 방식(Constant voltage driving type)와 정전류 구동 방식(Constant current driving type)이 있다. 정전압 구동 방식의 경우, 온도와 같은 주변 환경에 대한 전압의 영향을 적게 받지만 LED 조명에서 많이 사용되지 않고 있다. LED는 전류를 인가시킨 후, 시간이 경과할수록 LED 패키지에서 발생한 열로 인해 패키지의 온도가 상승하게 되는데, 이 때 순방향 전압이 감소하면서 순방향 전류는 역시 감소하게 된다. 이로 인하여 회로에서의 온도상승은 LED의 광출력 저하와 수명 단축으로 이어져 신뢰성을 떨어뜨린다. 또한, 전류에 의해 광출력이 변하는 LED의 특성상 각 패키지에 인가되는 전류의 값이 일정하지 않게 되면 일정한 광출력을 얻지 못한다. LED 패키지의 전류(I)에 따른 광출력(P_o) 특성과 전압(V)에 따른 전류특성을 그림 3.7과 그림 3.8에 나타내었다.

LED 탐조등에 사용된 LED 패키지 총 31개를 직렬회로로 구성하였다. 이러한 이유는 앞서 언급한 구동 방식에 따른 LED의 광출력 특성을 고려하여 정전류 방식을 이용하였다. 1개의 LED 패키지 순방향 전류가 700 mA일 때 2.9 V이며, 1,400 mA일 때 전압은 3.1 V이다. LED 패키지 31개를 직렬로 구성하면 약 96 V의 전압을 필요로 하므로 3.2절에 언급할 전원부의 직류 출력전압은 100 V 이상 만족하여야 한다. 그림 3.7에 따르면 전류증가로 인한 광속의 증가비율이 감소하지만, 최대 중심광도를 얻기 위하여 그림 3.8과 같이 순방향 전류를 1,400 mA로 설계하였다.

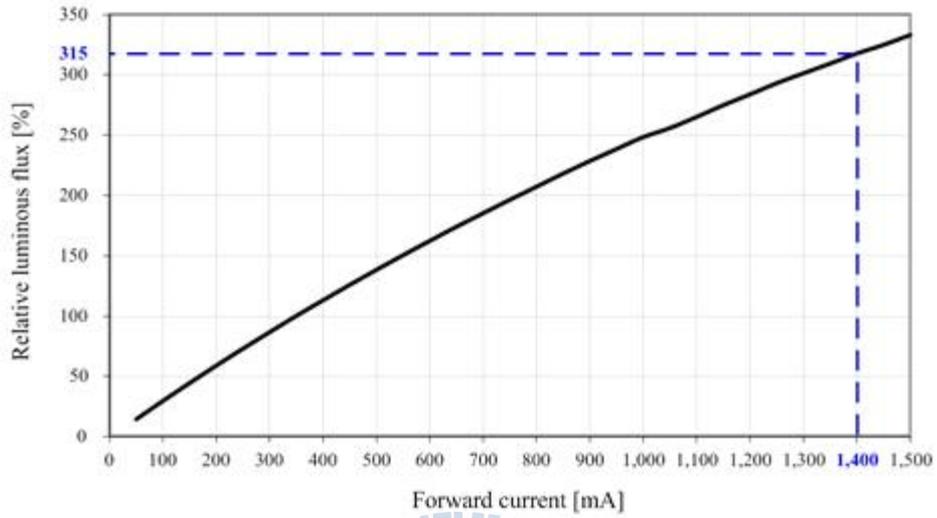


그림 3.7 LED 패키지의 전류-광출력 곡선

Fig. 3.7 I-P_o curve of the LED package

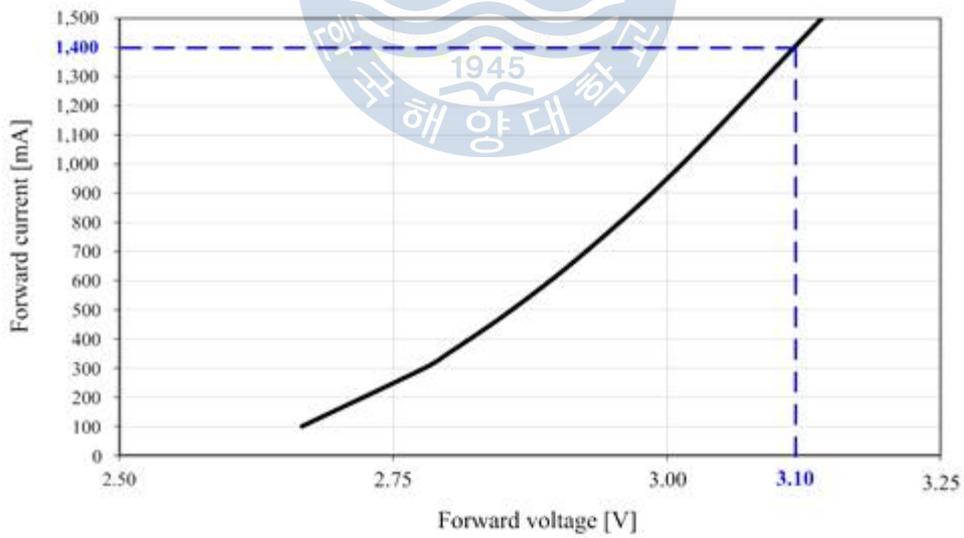


그림 3.8 LED 패키지의 전압-전류 곡선

Fig. 3.8 I-V curve of the LED package

3.1.2 방열부

LED는 고효율과 장수명, 디자인의 소형화 등 여러 가지 장점이 있지만, 기존 조명을 대체하는데 있어서 용량이 증대됨에 따른 열이 상승하며 이에 따라 광출력 저하 및 수명의 감소 등 취약한 단점이 있다. LED 패키지의 온도에 따른 광출력은 그림 3.9와 같다.

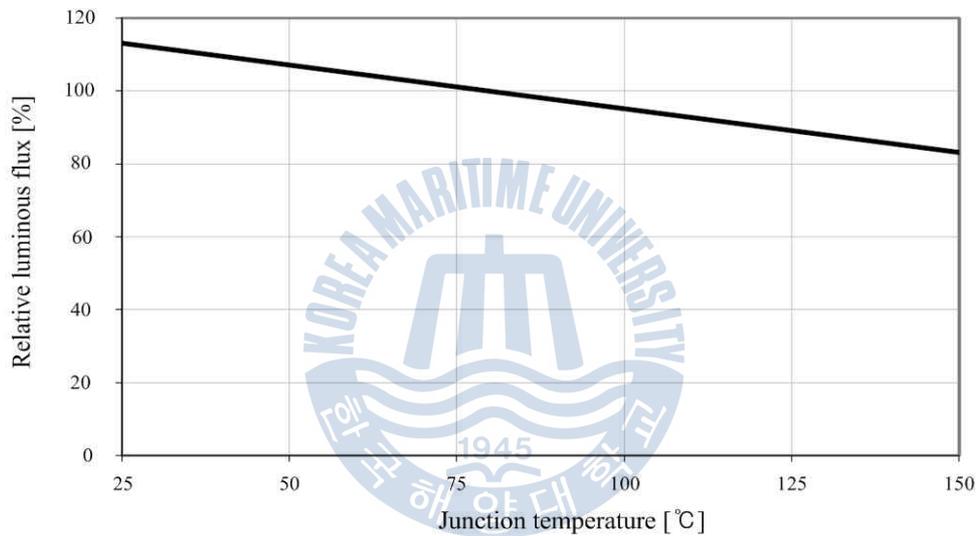


그림 3.9 LED 패키지의 온도-광출력 곡선

Fig. 3.9 T-P_o curve of the LED package

방열부는 LED의 온도에 따른 광특성 변화에 대한 부분에서 중요한 요소 중 하나이다. 온도가 상승함에 따라 광출력은 저하되기 때문에 적절한 방열설계를 통해 LED 패키지의 수명과 광출력을 보장하고 전체적으로는 LED 조명의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 현재, LED 조명에 적용되고 있는 방열 방식은 크게 3가지로 분류할 수 있다.

- 1) 공랭식(Air cooling type) : 자연대류, 강제대류
- 2) 수랭식(Water cooling type) : 자연순환, 강제순환
- 3) 히트파이프, 열전소자

시제작 LED 탐조등에서의 방열 방식은 공랭식 중 공기의 자연적인 흐름을 이용한 자연대류를 이용하였다. 공기의 대류 현상을 이용하는 자연대류 방식은 아래의 식 (3.8) 로 나타낼 수 있다^[21].

$$Q = hA(T_{surface} - T_{ambient}) \quad (3.8)$$

여기서, h 는 열전달계수, A 는 전면적, $T_{surface}$ 는 표면온도 그리고 $T_{ambient}$ 는 표면으로부터 충분히 떨어진 주위온도를 나타낸다. 공기의 경우, 대류 열전달 계수가 매우 낮기 때문에 열전달률을 높이기 위해서는 표면적을 넓히거나 강제대류를 이용하여야 한다. 수랭식의 경우, 방열성능은 3가지 방식 중에서 효과가 뛰어나지만 별도의 순환경로와 펌프가 필요하기 때문에 상대적으로 부피가 크고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 최근에는 히트파이프와 냉장고에 주로 사용되고 있는 열전소자를 적용한 등기구 개발도 이루어지고 있다^[22]. 이러한 것과 같이 추가적인 장치를 설치하는 것은 기존 방열방식에 비해 열전도율을 획기적으로 개선시켰지만, 아직은 높은 가격과 제조의 어려움이 있어 LED 조명에 적용하기에는 효율성이 떨어진다는^{[23],[24]}. 일반적으로 LED 광원의 수명인 35,000 시간을 유지하기 위해서는 LED 패키지의 접합온도를 80℃ 이하로 유지해야 한다. KS C 60092-306에서 선박용 조명기기의 온도는 광학적 성능에 영향을 미치지 않는 범위에 있어야 하며, 외함은 60℃이하, 전원장치 부근은 50℃이하로 규정하고 있다. 따라서 방열부는 효율적인 방열설계가 필요하다. 그리하여 시뮬레이

션을 수행하기 위해 설계요인을 표 3.2와 같이 재질 및 크기를 설정하였으며, 표 3.3과 같이 온도변화를 알아보기 위하여 방열판 구조의 크기를 설정하였다.

표 3.2 방열판의 설계 요인

Table 3.2 Design factors of the heat sink

재 료	열전도율 [W/m·k]	치 수 [mm] <L × W × H>
알루미늄 원형판	100	323.0 × 323.0 × 3.0
방열판	100	210.0 × 210.0 × 45.0
PCB	105	305.0 × 305.0 × 2.5
LED (Solder)	65	3.3 × 1.3 × 0.18

외부 대기온도는 25℃이며 자유 대류계수는 5 W/m²으로 설정하였다. 대류열전달에 의해 방열부의 판과 공기와 닿는 면적에 의해 방열되며, 내부에서 발생한 열을 등기구 외부로 직접 방출되어야 한다. 최적의 방열 성능을 가진 방열판을 선정하기 위해 표 3.3과 같이 방열판의 높이는 동일하고 두께 및 거리를 다르게 설정하여 온도분포를 확인하였다. 또한, 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 설계요인에 따라 디자인하여야 한다. Geometry를 통하여 방열부 모델 1과 2를 설계한 후, 시뮬레이션 결과를 그림 3.10~그림 3.13에 나타내었다.

표 3.3 방열판의 크기

Table 3.3 Size of the heat sink

재 료	높 이 [mm]	판 두께 [mm]	판 간격 [mm]
모델 1	45	5	15
모델 2	45	3	10

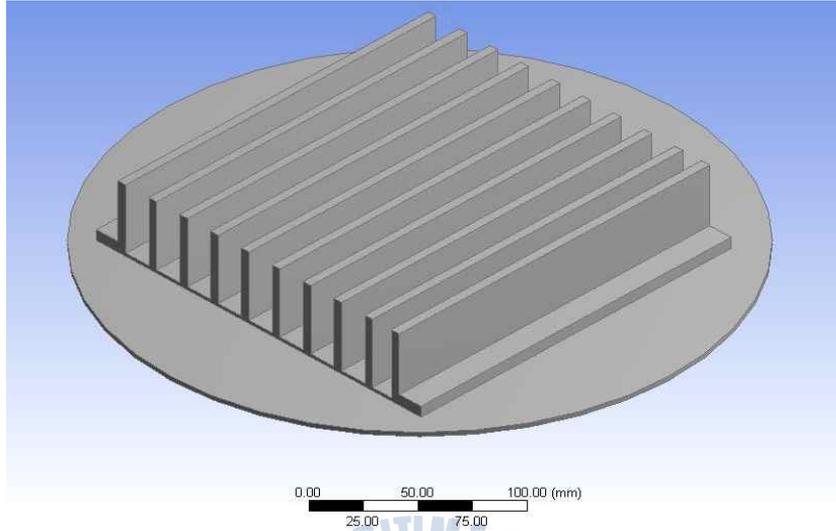


그림 3.10 모델 1의 디자인

Fig. 3.10 Design of model 1

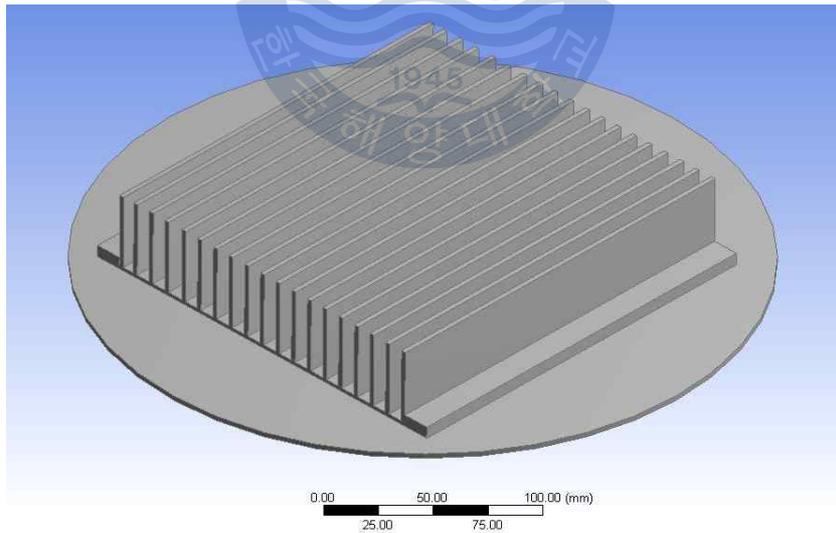


그림 3.11 모델 2의 디자인

Fig. 3.11 Design of model 2

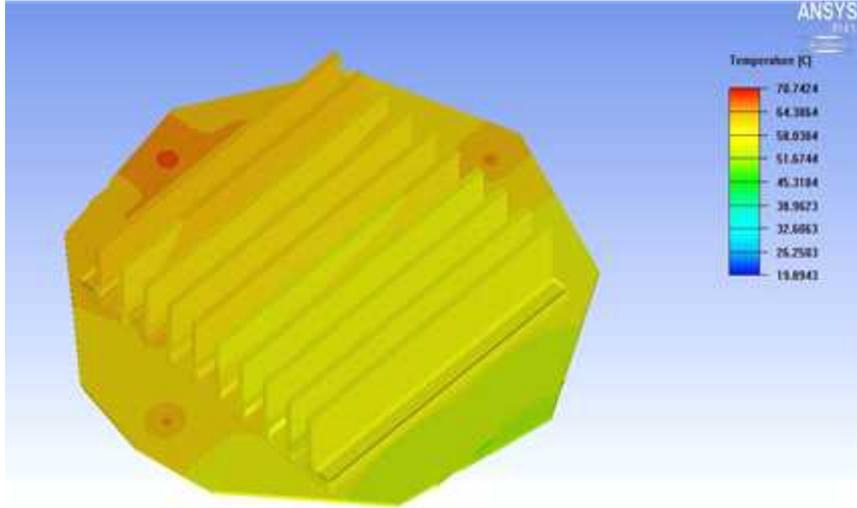


그림 3.12 모델 1의 시뮬레이션
 Fig. 3.12 Simulation of model 1

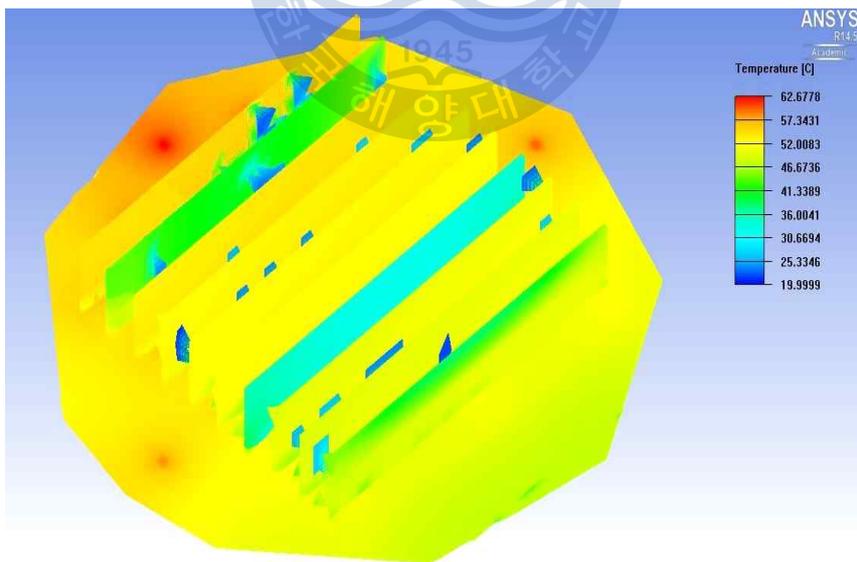


그림 3.13 모델 2의 시뮬레이션
 Fig. 3.13 Simulation of model 2

시뮬레이션을 수행한 결과, 모델 1의 최고온도는 접합부에서 70.7℃, 최저온도는 원형 알루미늄판에서 45.3℃로 나타났으며, 모델 2의 최고온도는 접합부에서 62.6℃, 최저온도는 방열판에서 33.4℃이다. 모델 1보다 8.1~11.9℃ 낮아진 값으로 모델 2의 표면적이 넓으며 판의 개수가 많으므로 방열판 전체의 열전도율이 높아져 효율적인 방열효과를 나타낸다. 그러므로 시뮬레이션 결과에 따라 LED 탐조등에 효과적인 방열성능을 갖는 모델 2의 방열판을 선정하였다.

본 논문에서 시제작한 고출력 LED 탐조등의 방열부는 열전도율이 100 W/m·k 이상 높은 알루미늄을 사용하였으며, 방열 그리스(Thermal grease)를 이용하여 PCB와 방열판을 접합시켰다.

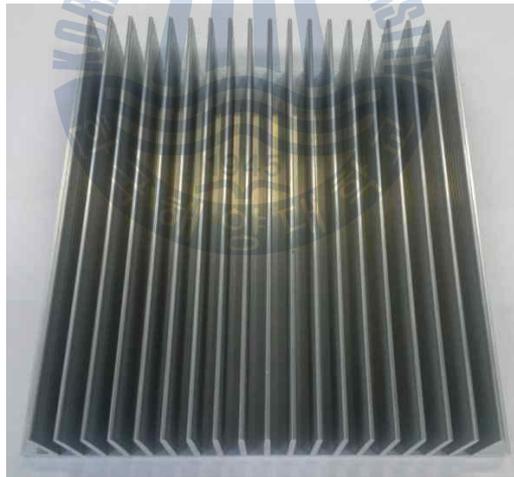


그림 3.14 방열판의 사진

Fig. 3.14 Photograph of the heat sink

3.2 전원부 및 기구부

광원부의 구동회로는 정전류 방식으로 구성하였다. 3.1.1에서 언급한 정전류 방식의 장점으로 LED 패키지의 수명과 신뢰성을 향상시킬 수 있다^[25]. 앞서 언급한 LED 패키지는 31개가 직렬로 연결되어있기 때문에 동일한 전류를 가지므로 균일한 광특성을 가질 수 있다. 전원장치는 정전류 방식의 SMPS (Switching mode power supply)를 사용하였으며 입력전압은 100 ~ 277 V_{AC}, 출력전압 142 V_{DC}, 출력전류는 1,400 mA의 특성을 갖는다.

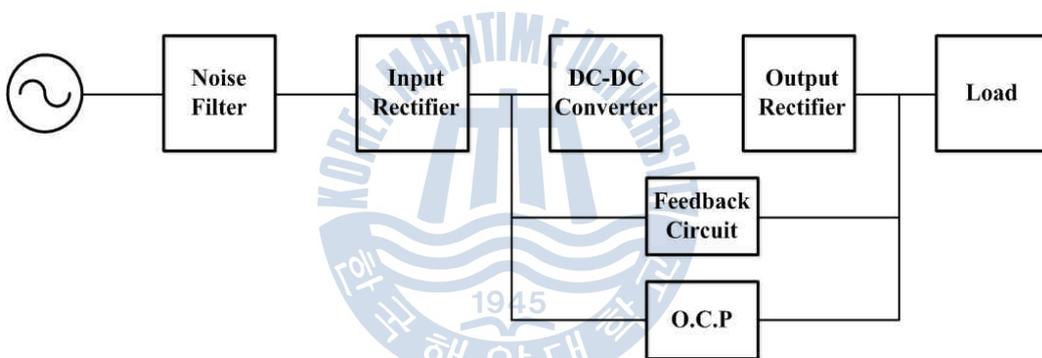


그림 3.15 SMPS 블록선도

Fig. 3.15 Block diagram of the SMPS

탐조등의 기구부는 기존 1 kW 선박용 탐조등기구를 적용하였다. 광원부와 전원부는 기구부에 탈부착 가능한 구조로 제작하였기 때문에 즉시 교체가 가능하여 별도로 구조를 변경하거나 추가할 필요가 없어 설치비용을 줄일 수 있도록 하였다. SMPS는 등기구 내부에 설치함으로써 외부의 영향을 최소화 시켰다.

그림 3.16은 본 논문에서 시제작 고출력 LED 탐조등을 나타내었다.



그림 3.16 시제작 LED 탐조등의 사진

Fig. 3.16 Photograph of the prototype LED searchlight

제 4 장 평가 및 분석

시제작 고출력 LED 탐조등의 성능을 확인하기 위하여 해당 규격에 명시된 조건 및 시험방법에 따라 전기적, 광학적 및 환경적 측정을 수행하였다. 시험은 선박관련 인증기관의 도움을 받아 한국인정기구(KOLAS)에서 교정 받은 기구를 이용하여 측정하였으며, 각 특성에 대한 결과는 다음과 같다.

4.1 전기적 특성

시제작 LED 탐조등의 출력, 소비전력 및 역률 등 전기적 특성은 표 4.1과 같이 측정되었다. 입력은 전압 219.9 V_{AC}와 전류 707 mA이며 출력은 전압 96.7 V_{DC} 와 전류 1,400 mA로 측정되었다. 소비전력은 148.1 W로써 기존 1 kW 할로겐 램프 탐조등보다 85.1% 감소하였다.

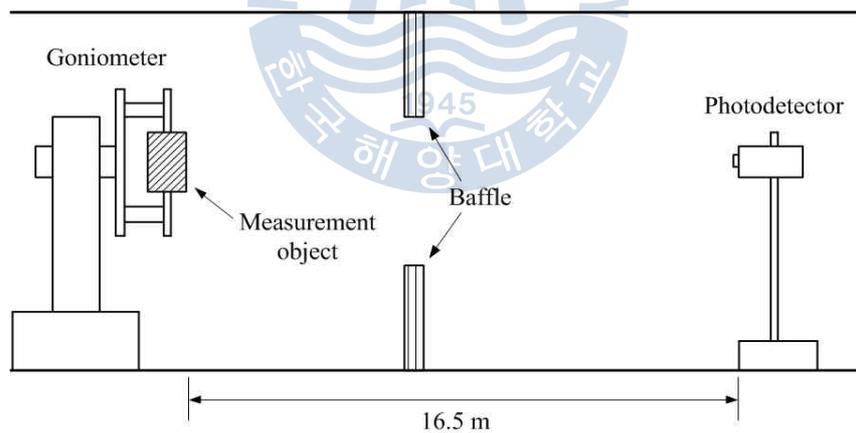
표 4.1 LED 탐조등의 전기적 특성

Table 4.1 Electrical characteristics of the LED searchlight

품 명	출 력		출 력		소비전력 [W]	역 률
	전 압 [V]	전 류 [mA]	전 압 [V]	전 류 [mA]		
LED 탐조등	219.9	707	96.7	1,400	148.1	0.95

4.2 광학적 특성

KS V 8469와 KDS 6230-1046-1에 명시된 광학적 성능을 만족하는지 확인하기 위하여 연색성, 지향각, 색온도 및 광효율을 측정하였으며, 기존 1 kW 선박용 탐조등과 성능을 비교하였다. 광학적 측정을 위한 배광측정기는 x, y, z 축에 대하여 r, θ, ϕ 의 극좌표계나 x, y, z 의 직각좌표계를 이용하여 광원에서 방사되는 광도를 측정하는 장비로써 등기구에서 방사되는 빛의 분포를 확인할 수 있다. 그림 4.1에 측정시스템의 구성을 나타내었다. 배광측정에 사용된 장비는 0.01° 의 수평 및 수직 분해능을 가졌으며, 원격제어가 가능하다^[26]. 측정간격은 θ 는 5° , ϕ 는 10° 로 설정하였으며, 에이징을 포함하여 2시간 동안 측정하였다.



(a) 구성도



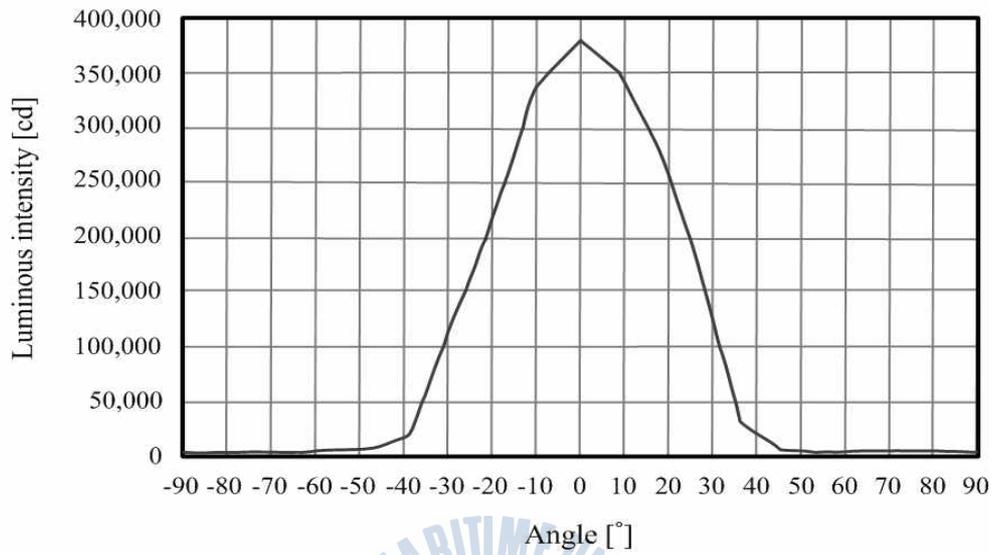
(b) 사진

그림 4.1 배광측정 시스템

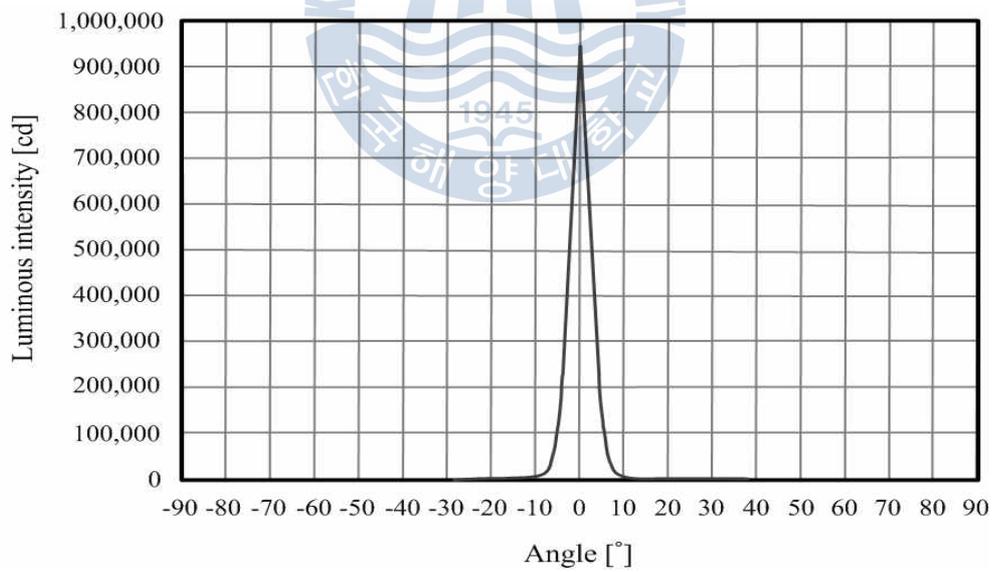
Fig. 4.1 Goniophotometer system

그림 4.2 (a)는 기존 1kW 할로겐 램프 탐조등의 광도분포를 보여주고 있다. 최대 중심광도는 약 390,000 cd로 측정되었다. 이는 기존 KS 8469에서 규정한 800,000 cd의 약 50% 수준으로 현재 사용되고 있는 탐조등은 KS규격에 명시된 광학적 성능을 전혀 만족시키지 못하는 것을 확인할 수 있었다.

광도분포는 그림 4.2 (b)와 같이 시제작 LED 탐조등의 경우, 최대 중심광도는 약 945,000 cd로 KS규격에서 규정하고 있는 광도보다 약 14% 향상된 수치를 나타냈다. 또한, 할로겐 램프의 경우 중심에서 멀어질수록 광도가 서서히 감소하는 반면 LED는 5.4°에서 광도가 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 기존 할로겐 램프 탐조등에 비해 효율적인 집광구조를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 그림 4.3은 배광분포를 나타내었으며, 그림 4.4을 통하여 각도에 따른 광출력의 비율을 알 수 있다.



(a) 할로겐 램프



(b) LED

그림 4.2 탐조등의 광도 분포

Fig. 4.2 Illumination distribution of searchlights

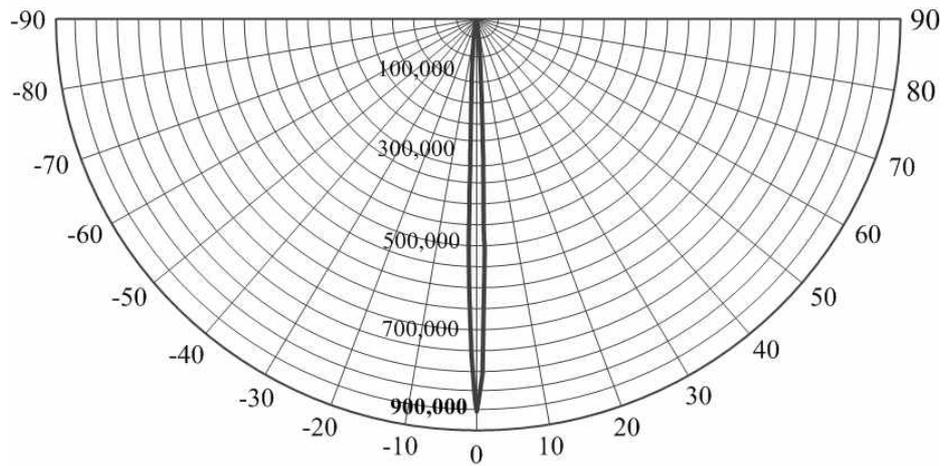


그림 4.3 배광 분포

Fig. 4.3 Luminous distribution

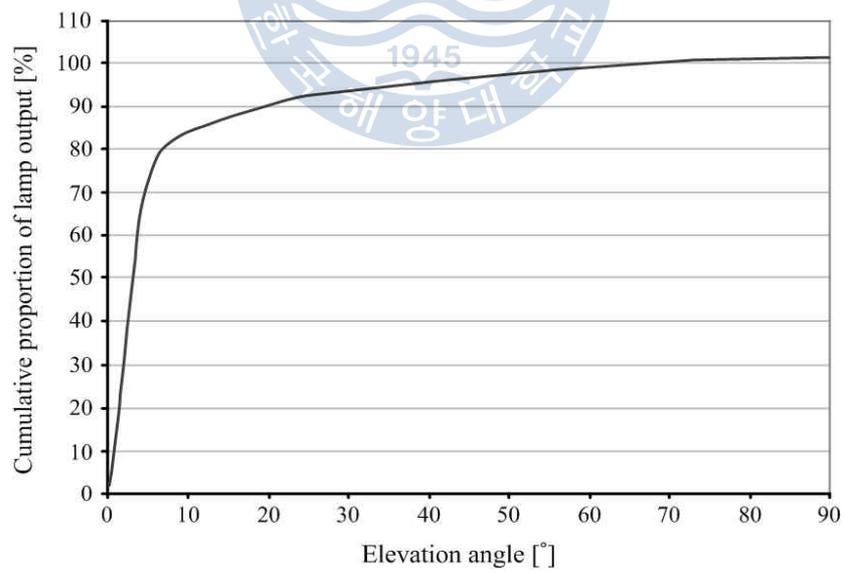


그림 4.4 광속 다이어그램

Fig. 4.4 Flux diagram

표 4.2 광학적 특성 비교

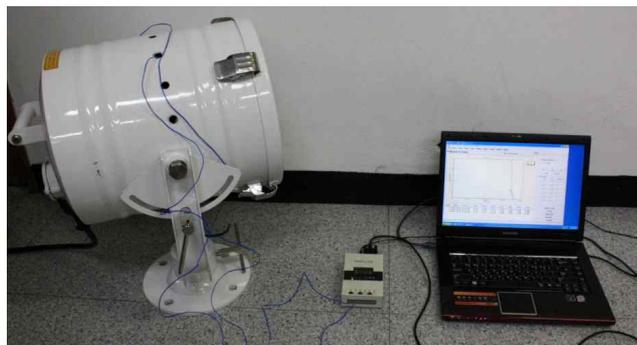
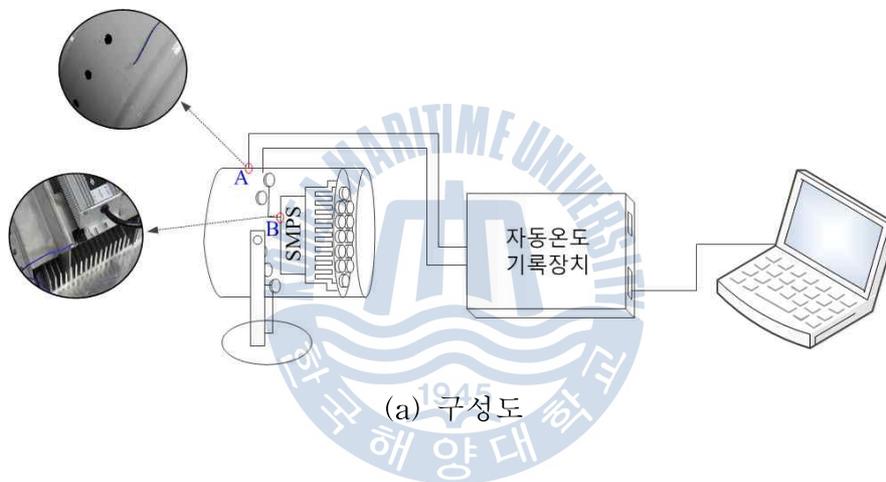
Table 4.2 Comparison of optical characteristics

항 목	규 격	할로젠 램프	LED
중심광도 [cd]	800,000 (KDS 500,000)	390,000	945,000
총 광속 [lm]	-	18,300	12,877
광효율 [lm/W]	-	18.3	86.9
빔각 [°]	6	가로 12 세로 8	5.4
색온도 [K]	-	3,000	5,500
연색성	-	99	70

표 4.2에 각 탐조등의 광학적 측정결과를 나타내었다. 시제작 LED 탐조등의 최대 중심광도는 약 945,000 cd로 규정된 기준보다 18% 향상된 성능으로 기존 탐조등에 비해 약 2.4배 향상된 광도를 가진다. 지향각 5.4°, 색온도 5,500 K이며, 총 광속 12,877 lm, 광효율 86.9 lm/W로 기존 탐조등에 비해 68.6 lm/W 향상된 광효율을 확인할 수 있다. 연색성 70으로 나타났다. 역률은 0.95로 측정되어 한국산업규격, 국방규격에 규정된 광학적 기준을 대부분 만족시켰다.

4.3 환경적 특성

KS C IEC 60092-306에 명시된 LED 등기구의 온도특성은 정상 점등 시 외함의 온도가 60℃를 넘지 않아야 하며, SMPS 주위온도는 50℃이하 이어야 한다. 측정은 K타입 열전대(Thermocouple)와 자동온도기록장치(Thermocouple data logger)를 사용하였으며, 실험구성도 및 장치를 그림 4.5에 나타내었다.



(b) 사진

그림 4.5 실험계의 구성

Fig. 4.5 Experimental system

측정은 5분 간격으로 2시간동안 수행하였으며, 시제작 LED 투광등 외함의 최고온도 48,3 °C, SMPS 부근의 최고온도 34.1 °C로써 KS C IEC 60092-306의 온도특성을 만족함을 그림 4.6과 같이 확인할 수 있다.

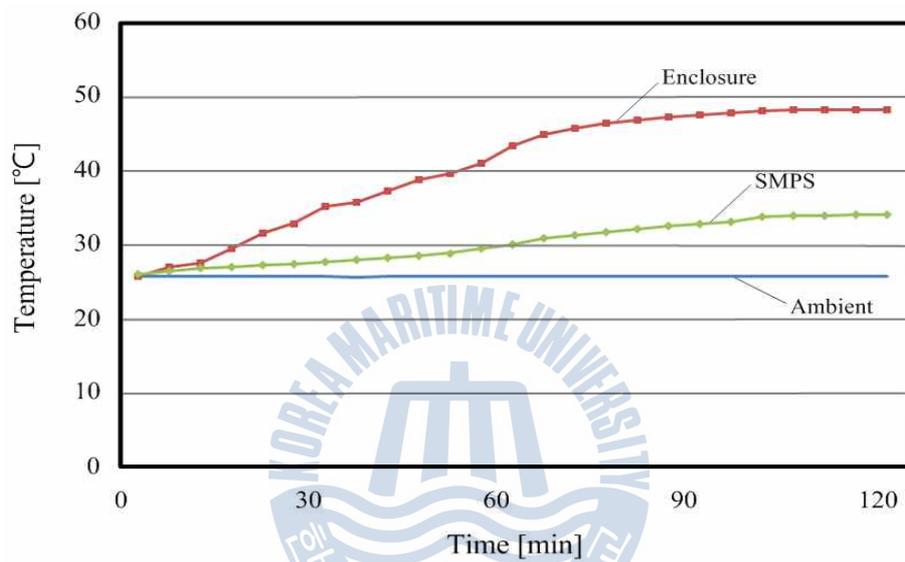


그림 4.6 온도실험 결과

Fig. 4.6 The result of thermal test

제 5 장 결 론

본 논문에서는 할로겐 램프를 광원으로 사용하고 있는 기존 1kW 탐조등의 단점을 보완하고 이를 대체할 수 있는 고출력 LED 탐조등 설계에 관한 연구를 진행하였다. LED 탐조등의 목표사양을 선정하기 위하여 기존에 적용되고 있는 탐조등에 관한 규격을 분석하였다. LED 탐조등의 최대 중심광도를 얻기 위한 광원부를 제작하였으며, LED의 효율적인 방열효과를 위해 시뮬레이션을 통하여 방열판을 설계 및 제작하였다. 또한, 이를 구동하기 위해 정전류 방식의 전원부를 적용하였으며, 기존 탐조등과 대체를 용이하게 하기 위해 동일한 외함을 사용하였다.

시제작 고출력 LED 탐조등의 성능을 알아보기 위하여 한국산업규격과 국방규격에 따라 전기적, 광학적, 환경적 특성에 관한 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

1. 고출력 LED 탐조등의 소비전력은 148.1 W로 기존 1kW 할로겐 램프 탐조등에 비해 약 85% 감소되었다.

2. 기존 탐조등은 규격에 명시된 중심광도의 약 49% 수준이었지만, LED 탐조등은 중심광도 945,000 cd로 KS 8469에 명시된 중심광도를 만족하고 기존 탐조등 대비 2.4배 및 광효율 86.9 lm/W로 기존 탐조등 대비 4.7배 향상되었다. 또한, 지향각 5.4°, 색온도 5,500 K 및 연색성 70으로 측정되었다.

3. 등기구 외함의 온도는 48.3 ℃, SMPS 주변 외함의 온도는 34.1 ℃로써 KS C IEC 60092-306을 만족하였다.

상기와 같은 시험결과를 통해 기존 탐조등의 광원을 할로겐 램프에서 LED로 교체하면 약 85%의 에너지 절감과 4.7배 향상된 광효율을 얻을 수 있다. 또한, 할로겐 램프와 비교하였을 때, LED 탐조등의 방열판으로 인한 무게가 증가하지만 동일한 효과에서 방열판의 경량화에 대한 연구와 IP56을 만족하는 연구를 통하여 기존 탐조등에서 LED 탐조등으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.



참 고 문 헌

- [1] 문태원, “한국의 LED 조명 보급지원 정책 현황 및 대응 방안”, 에너지 관리공단, 2012
- [2] 이두희, 광대중, 홍진기, 김동수, “주요 녹색산업의 지역별 발전전략”, 산업연구원, 2010
- [3] 유영문, “LED기술 개발 동향”, 한국광기술원, 2009
- [4] “백열전구 퇴출”, 산업통산자원부 에너지관리과, pp.1-3, 2013
- [5] 주대영, “녹색성장의 총아인 LED조명산업 발전전략”, KIET 산업경제, 2009
- [6] “LED 기술 및 특허동향”, 전자부품연구원 국제협력실, 2012
- [7] 문태원, “한국의 LED 조명 보급지원 정책 현황 및 대응 방안”, 에너지 관리공단, 2008
- [8] 김상현, 고창두, “친환경 선박의 개념과 개발 동향”, 대한조선학회지, Vol.136, pp.75-84, 2003.
- [9] 조규용, “함정용 LED 등기구 기술동향”, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집, pp.3-9, 2012.
- [10] “LED 발전 및 보급 정책 이행점검 및 향후대책”, 지식경제부, 2012
- [11] 최장봉, “ESCO 사업동향 및 발전방향”, 에너지관리공단, 2000
- [12] 김우선, “IMO의 온실가스 배출규제 동향”, 해양물류연구, Vol.6, pp.107-109, 2010
- [13] 변정근, 조성훈, “선박용 LED 조명 표준화 및 선급인증 동향”, 한국 전기전자재료학회지, Vol.7, pp.22-24, 2012
- [14] Y.K. Cheng, K.W.E. Cheng, “General study for using LED to replace traditional lighting devices”, '06 2nd International Conference on

- Power Electronics System and Applications(ICPESA), pp.174-175, 2006
- [15] 이세현, 황명근, 신상욱, 노재엽, 권기태, 최석준, 이정근, 이규승, 장혁진, “신광원 솔라 시뮬레이터 기술에 대한 고찰”, 한국조명·전기설비학회지, Vol.5, p.89, 2010
- [16] KS V 8469 선박용 백열전구형 탐조등, 한국산업표준, 2004
- [17] KDS 6230-1046-1 탐조등, 할로겐 램프, 12인치 신호용, 국방규격, 2010
- [18] KS C IEC 60092-306 선박용 전기설비-제306부 : 장비-조명기기 및 조명 부속품, 한국산업표준, 2012
- [19] KS C IEC 605299 외곽의 방진 보호 및 방수 보호 등급(IP 코드), 한국산업표준, 2006
- [20] 김동건, “함정용 LED 투광등 개발에 관한 연구”, 석사학위논문, 한국해양대학교대학원, pp.13-15, 2012
- [21] Kraus, Allan D. and Bar-Cohen, Avram, “Design and analysis of heat sinks”, Wiley, p.64, 2005
- [22] 한국과학기술정보연구원, “소형 전자장치의 냉각에 대한 기본기술 III”, SMT-PACKING Focus, pp.91-96, 2010
- [23] Yu Jianzhu, “Thermal design and analysis techniques of electronic equipment”, Chemical Industry Press, p.193-219, 2001
- [24] 유재형, 이진환, 조미령, “8W급 Light engine module 제작 및 분석”, 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, p.77-78, 2012
- [25] “정전류방식 LED 구동 드라이버 개발”, 전기의 세계, Vol.58-1, 대한전기학회, pp.26-27, 2009
- [26] 김일권, “LED 항해등의 최적 설계에 관한 연구”, 박사학위논문, 한국해양대학교대학원, pp.75-80, 2012