

工學博士 學位論文

LED 항해등의 최적 설계에 관한 연구

A Study on the Optimal Design of LED Navigation Lights

指導教授 吉 璟 碩



2012年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 一 權

本 論文을 金一權의

工學博士 學位論文으로 認准함.

委員長：工學博士 金 潤 植



委 員：工學博士 吉 暻 碩



委 員：工學博士 李 成 根



委 員：工學博士 徐 東 煥



委 員：工學博士 裴 正 哲



2011年 12月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	iii
Abstract	vi
 제 1 장 서 론	 1
 제 2 장 이 론	 4
2.1 국제해상충돌방지규정	4
2.2 항해등의 설치	11
 제 3 장 설계 및 제작	 17
3.1 광학계	17
3.2 전원 및 제어회로	49
 제 4 장 평가 및 분석	 72
4.1 전기, 광학적 특성	72
4.2 온도 특성	84

제 5 장 결 론	86
참 고 문 헌	89



그림 및 표 목차

<그림목차>

그림 2.1 COLREG의 선박 운항 규칙	5
그림 2.2 항해등의 구성 요소	7
그림 2.3 항해등의 설치방법	12
그림 2.4 가시거리의 지구 만곡에 의한 영향	13
그림 3.1 빛의 반사와 굴절	18
그림 3.2 반사 법칙	19
그림 3.3 단순렌즈에 의한 결상	22
그림 3.4 평-볼록형 얇은 렌즈	25
그림 3.5 구면수차	26
그림 3.6 프레넬 렌즈의 원리	27
그림 3.7 조명용 LED 패키지의 종류	28
그림 3.8 이중렌즈형 항해등의 사진	29
그림 3.9 LED 모듈의 사진	30
그림 3.10 항해등의 광학계(A사)	32
그림 3.11 항해등의 광학계(B사)	33
그림 3.12 LED의 수직 배치에 따른 빛의 굴절(A사)	35
그림 3.13 LED의 수평 배치에 따른 빛의 굴절(A사)	36
그림 3.14 LED의 수직 배치에 따른 빛의 굴절(B사)	37
그림 3.15 LED의 수평 배치에 따른 빛의 굴절(B사)	38
그림 3.16 LED 패키지의 열적 특성	40
그림 3.17 시뮬레이션 결과	42
그림 3.18 히트 싱크의 사진	43
그림 3.19 항해등용 컬러 렌즈의 종류	44
그림 3.20 광학측정 시스템	45

그림 3.21	백열전구에 대한 컬러 렌즈의 스펙트럼	46
그림 3.22	LED에 대한 렌즈의 스펙트럼	48
그림 3.23	선박의 전력계통	49
그림 3.24	LED 항해등 전원장치의 블록도	50
그림 3.25	용량성 부하와 저항성 부하의 비교	53
그림 3.26	역률개선회로	55
그림 3.27	AC/DC 컨버터의 구성	56
그림 3.28	AC/DC 컨버터의 사진	59
그림 3.29	AC/DC 컨버터의 입출력 파형	60
그림 3.30	LED 패키지의 V-I 특성	61
그림 3.31	정전류 구동회로	62
그림 3.32	한 주기 동안의 동작 모드	63
그림 3.33	LED 모듈의 전류 파형	64
그림 3.34	펄스 구동회로	66
그림 3.35	시비율에 따른 광도의 변화	68
그림 3.36	주파수에 따른 광도의 변화	68
그림 3.37	LED 모듈 감시회로	71
그림 4.1	광도 측정을 위한 좌표계	73
그림 4.2	배광측정기의 종류	75
그림 4.3	배광측정기	76
그림 4.4	3차원 광도 분포	79
그림 4.5	항해등의 발열성능	84
그림 4.6	시제작 항해등의 열분포	85

<표 목 차>

표 2.1	항해등의 종류 및 특징	10
표 2.2	광달거리 및 광도	16
표 3.1	대표적인 매질의 굴절률	21
표 3.2	LED 패키지의 사양	29
표 3.3	기존 항해등의 광학계	31
표 3.4	히트 싱크의 특성	41
표 4.1	시제작 장등의 광도 분포	80
표 4.2	시제작 선미등의 광도 분포	81
표 4.3	시제작 우현등의 광도 분포	82
표 4.4	시제작 좌현등의 광도 분포	82
표 4.5	시제작 예인등의 광도 분포	83



A Study on the Optimal Design of LED Navigation Lights

by Il Kwon, Kim

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

Abstract

Recently, shipbuilding and marine experts are endeavoring to apply a LED (light emitting diode) to marine industries. The new light source usually has the advantages of cool running, eco-friendly designs, long lifespan, and higher luminous efficiency in comparison to incandescent or halogen lamps. LEDs are definitely not sensitive to vibrations or shocks, and can operate at low temperature in marine environment.

This dissertation described the optimal design of LED navigation lights which can replace the existing ones immediately and overcome disadvantages due to use of conventional lamps. To decide the best arrangement and position of a LED module, optical systems of existing navigation lights were analyzed and refracted routes of rays were simulated in Fresnel lens that was designed for collimation of lights specially. It was more advantageous to

intensify luminous output that the LED module was located near the focus of the lens from the simulation results.

Since the temperature rise in the LED module causes electrical and optical variations to the characteristics of the navigation light, a thermal design technique is required. It was proposed a processing method which can lessen the weight of the heat-sink for LED modules, increase the surface area and improve the heat radiation efficiency by convection. The aluminum heat sink with hollow inside that acts as a support of LED packages and a natural convection type radiator was made a hexagonal pillar has a 12.5 [mm] width.

The filter characteristics against the colors of the lens applied to side lights(green, red) and a towing light(yellow) were analyzed using a spectrum analyzer. An effective method for replacing them with LEDs were derived from the results. It was proposed the method that can minimize the heat generation and advance the visibility by the comparison of constant current driving and pulse current driving circuits. The electrical and optical characteristics of the fabricated LED navigation lights were measured and analyzed with a goniophotometer. To calculate ranges of visibility, the vertical and horizontal luminous intensity distributions were evaluated in accordance with the COLREGs (Convention on the International Regulation for Preventing Collisions at Sea).

When the LED modules failed, the operations that an indicator lamp turned on and a buzzer sounded were the same as existing

system for navigation lights by a circuit with photo-couplers and relays.

From the results, the proposed LED navigation lights showed suitable characteristics for marine environment with the power consumption reduced by 90[%] and the maximum luminous intensity increased by 20[%] compared to the existing navigation lights.



제 1 장 서 론

기후, 환경변화 및 에너지 자원의 고갈로 인하여 전 세계적으로 친환경, 에너지 효율 향상을 위한 산업을 육성하기 위한 다양한 정책을 추진하고 있다. 특히 조명은 전체 전력 소비량의 20 [%] 이상을 차지하는 주요 산업으로 조명효율의 향상은 에너지 절감의 효과적인 대책이다. 국내의 경우, 정부는 “저탄소 녹색성장”이라는 패러다임의 고효율, 친환경 정책을 공표하였으며 LED 산업이 향후 생활혁명을 주도하며 다양한 고부가가치 파생산업을 창출할 것으로 전망하고 있다^[1]. 이에 2015년까지 국내 조명의 30 [%]를 LED 조명으로 대체하는 “LED 조명 15/30 보급 프로젝트”를 추진하는 등 21세기 신성장동력 산업의 일환으로 LED 산업 강국을 실현하고 있다. 그러나 이러한 정부의 시책은 옥상조명에 국한된 것이며 선박에서 사용하는 다양한 조명기구의 개선을 위한 지원, 정책 및 연구는 지극히 미비한 실정이다.

선박에서 주로 사용하는 광원으로는 백열전구와 형광등이 있으며 내부에 필라멘트와 전극을 갖고 있기 때문에 점등 후 고온의 상태가 되면 해양환경에 따른 선박의 진동 및 충격에 의해 쉽게 취성파괴를 일으킨다^{[2]-[4]}. 이로 인하여 선박에서 사용하는 종래의 조명은 일반 옥상조명에 비해 수명이 1/2 ~ 1/5 정도로 단축되며 매 년 수많은 비용이 광원교체로 지출되고 있다. 선박에서 조명기구의 유지, 보수조건은 옥상에 비해 까다로우며 특히 항해등과 같이 안전과 직접적인 장치에 문제가 발생했을 경우 이는 마스트와 같은 높은 곳에 설치되어 있기 때문에 운항 중에 수리 또는 교체가 불가능하며 선박 전체의 안전을 위협한다. 이 때문에 장등,

현등과 같은 주요 항해등은 이중 형태로 제작된 제품을 사용하는 등 보완책을 마련하고 있다. 하지만 선박에는 근본적으로 효율이 높고 친환경적이며, 진동 및 충격에 강한 내구성과 장수명을 보장할 수 있는 광원이 요구되고 있다.

LED 광원은 재래식 광원에 비해 효율이 높고 친환경적이며 진동 및 충격에 대한 강한 내구성과 장수명의 특징이 있다. 따라서 LED는 선박에서 사용하는 조명기구에서 문제가 되고 있는 기존 광원의 단점을 개선할 수 있는 최고의 해결책이다. 이에 따라 최근 LED를 해양산업에 접목하기 위하여 부분적으로 연구가 수행되고 있다^{[5],[6]}.

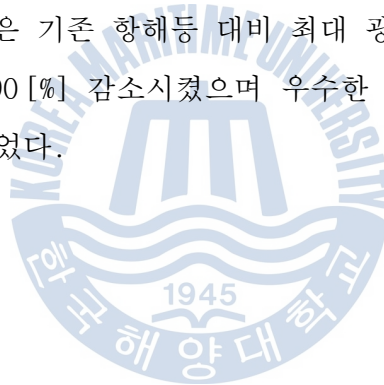
본 논문의 목적은 선박의 운항에 필수 장치이지만 저효율의 백열전구와 할로겐 전구를 사용하는 기존 항해등을 대체할 수 있는 고효율 LED 항해등을 개발하는데 있으며, 기존 항해등 구조를 이용하여 최적의 효과를 얻기 위한 설계 방안에 대하여 연구하였다.

국제해상충돌방지규정(COLREG)의 광학적 요구조건을 만족하기 위하여 국내 주요 항해등 제조사의 제품을 대상으로 항해등용 렌즈의 특성을 분석하였으며 LED로부터 방출되는 빛의 굴절 경로를 계산하여 LED 모듈의 광학적 배치를 결정하였다. 항해등용 광원은 수직축을 중심으로 방사형태로 빛을 방출해야 하므로 이를 구현하기 위한 LED 모듈은 정팔각형과 정육각형의 두 가지 형태로 제작하였다. 정팔각형 모듈에는 다수의 저용량 SMD LED 패키지, 정육각형 모듈에는 소량의 고출력 LED 패키지를 적용하였다. LED 모듈의 온도상승은 항해등의 전기적, 광학적 특성 변화를 일으키기 때문에 이를 최소화하기 위한 방열대책이 필요하다. 본 연구에서는 LED 모듈용 알루미늄 히트 싱크를 적용하였으며 무게를 줄이고, 방열면적을 늘리며 대류현상을 통한 방열효과를 개선할 수 있는 가공방법을 제안하였다.

LED 모듈의 구동회로는 정전류 방식과 펄스구동 방식을 상호 비교함으로써 발열을 최소화하고 시인성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였으며 LED 모듈의 광출력 저하에 대한 감시회로를 설계하였다. 또한 현등 및 예인등에 적용된 렌즈의 색상에 대한 필터 특성을 분석하였으며 이를 LED로 대체하기 위한 효과적인 방법을 도출하였다.

시제작 LED 항해등의 전기적, 광학적 특성을 측정 및 분석하기 위하여 배광측정 실험계를 구성하였으며 COLREG와 유럽의 항해등에 관련된 규격인 EN 14744의 시험규정에 따라 수직, 수평배광에 대한 광도를 측정하였으며 이를 바탕으로 광달거리를 산출하였다.

제안한 LED 항해등은 기존 항해등 대비 최대 광도는 약 20 [%] 향상되었고 소비전력은 약 90 [%] 감소시켰으며 우수한 방열구조로 해양환경에 적합한 특성을 나타내었다.



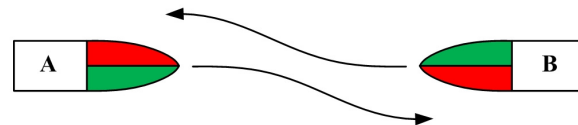
제 2 장 이 론

해운은 육상이나 항공운송에 비하여 저속임에도 불구하고 대량수송과 장거리 운반이 가능하기 때문에 상대적으로 운송비가 저렴하다는 장점이 있다. 선박은 출항이 시작되어 최종 목적지까지 수일~수개월 동안 24시간 쉬지 않고 항해함으로써 느린 속력을 보완하는 것이다. 이와 같이 밤에도 끊임없이 항해하는 선박은 자동차나 열차 등과 같이 앞쪽을 비추는 전조등이 없다. 이는 일반적으로 선박이 상대선박을 발견하고 피항을 하더라도 수 백 미터에서 수 킬로미터의 거리가 필요하므로 단지 몇 십 미터 전방을 비추는 조명은 사실상 의미가 없기 때문이다. 이 때문에 해상의 안전을 위하여 선박에서는 자선의 위치나 크기, 상태 및 진행방향을 상대선박이 판단할 수 있도록 항해등(Navigation light)을 설치한다. 물론 선박에는 레이더를 비롯한 첨단 항해장비를 갖추고 있지만 가장 기본적인 확실한 항해술은 눈으로 직접 보고 확인하는 것이므로 항해등을 안전을 위한 필수 장치로 규정하고 반드시 설치하도록 하고 있다.

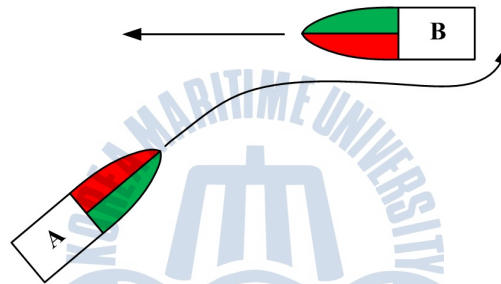
2.1 국제해상충돌방지규정^{[7]-[9]}

선박은 자국의 영해뿐만 아니라 다른 나라의 바다나 공해도 항해하기 때문에 국제적으로 통일된 등화(燈火) 규칙을 사용하고 있다. 항해등은 국제해상충돌방지규정(COLREG ; Convention on the International Regulation for Preventing Collisions at Sea)에 의하여 그 형상과 사양이 정의된다. 이 규칙에 따라 항해사는 상대선박의 항해등을 보고 그 배의 진행방향을 파악하며 항법을 결정하고 그림 2.1에서와 같이 마주침,

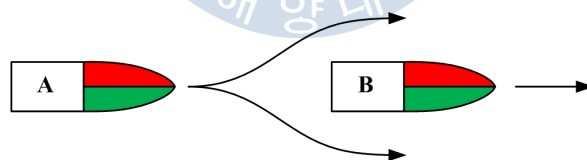
횡단 및 추월의 세 가지 항법 가운데 자선 상태가 어디에 해당하는지 판단하여 그에 맞는 피항법을 선택한다.



(a) 마주침



(b) 횡단



(c) 추월

그림 2.1 COLREG의 선박 운항 규칙

Fig. 2.1 Sailing rules according to COLREG

항해등과 관련한 내용이 명시된 것은 국제해상충돌방지규정이며 이는 UN (United Nations)의 산하기구인 국제해사기구 IMO (International

Maritime Organization)의 협정 (Resolution)의 제 1.05항에 채택되어있다. IMO는 우리나라를 위시한 166개국의 회원국과 3개국의 준회원국이 가입하고 있으며 IMO의 회원국가는 본 규정의 범위를 초과하거나 자국 임의로 그 내용을 변경하여 사용할 수 없다.

국제해상충돌방지규정은 약자로 “COLREG”로 통칭한다. 1972년 협약은 1960년 SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea)와 함께 채택되었던 Collision Regulations를 갱신하여 대체하기 위해 만들어졌다. 1972년 협약의 가장 중요한 내용은 통항분리수역 (Traffic Separation Schemes)이며, Rule 10에서 통항분리수역 내 및 부근에서의 안전속도, 충돌위험과 운항요령 등이 규정되었다. 통항분리수역은 1967년 도버해협에서 처음 제정되었고 처음에는 자발적인 참여형태로 운영되었으나, 1971년 IMO에서 모든 통항분리수역을 필수적으로 준수토록 할 것을 결의하였으며 COLREG에서 이러한 의무를 명확히 하였다. COLREG는 38조항의 규칙을 아래와 같이 5개의 부분으로 나누어 담고 있다.

Part A - General

Part B - Steering and Sailing

Part C - Lights and Shapes

Part D - Sound and Light Signals

Part E - Exemptions

항해등 및 신호등에 관련한 규정은 Part C에 기술되어 있으며 이에 더하여 4개의 부속서에 등과 형상물의 기술적인 요건과 위치, 음향신호기구, 어선의 근접 운항에 대한 추가적인 신호, 국제조난신호 등을 담고 있다.

선박의 등화규정은 해상교통안전법에도 정해져 있는데 선체 길이에 따라 설치하는 등화가 다르다. 각 선등의 광달거리도 선체 길이에 따라 달라지며 당연히 대형 선박의 불빛이 멀리까지 보이도록 되어있다. 또한 항해등은 종류별로 각각의 역할이 정해져 있기 때문에 빛을 비추는 방향과 사광각도 및 색깔이 다르다. 항해등의 성능을 나타내는 광달거리는 국제단위계에는 속하지 않지만 해양 및 항공 분야에서 사용되며, 국제법과 조약 특히 영해를 정하는 데 자주 사용되는 해리 (Nautical Mile, 기호 NM)를 단위로 사용한다. 1929년 모나코의 제1차 국제특수수로학회에서 정의한 1[NM]의 길이는 위도 1'에 해당하는 길이로 1,852 [m]로 환산할 수 있다. 항해등은 그림 2.2에서와 같이 광원, 광원으로부터 방사되는 빛을 평행광으로 굴절시키기 위한 렌즈, 일정한 사광각도를 유지하기 위한 차광판 (Screen) 및 외함으로 구성된다. 용도별 렌즈의 색상 및 사광각도가 결정되면, 선박의 길이에 따라 요구되는 가시거리 성능을 확보하기 위하여 적절한 광원의 용량이 결정된다.

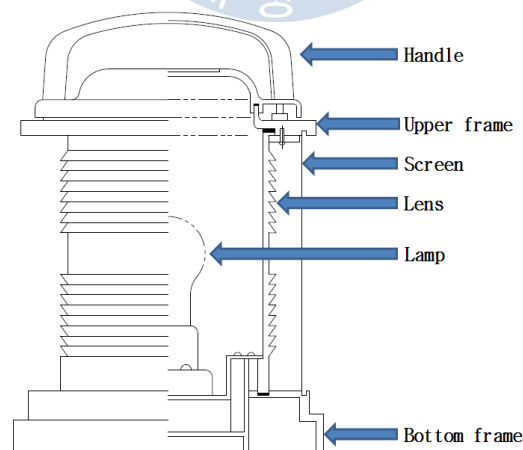


그림 2.2 항해등의 구성 요소

Fig. 2.2 Components of a navigation light

항해등의 역할은 자선의 존재와 동태를 다른 선박에 알리는 것이며 항해등 불빛을 볼 수 있는 최저 광달거리도 관련규정에 정해져 있다. 선박의 위치파악 다음으로 중요한 등화의 역할이 그 배의 움직임 여부와 진행 방향을 인식하는 것이며 항해사는 장등, 현등 및 선미등과 같은 항해등의 위치 및 색상을 통하여 파악할 수 있다.

장등, 또는 마스트 정부등 (Masthead light)은 선박의 마스트에 다는 백색등으로 눈으로 인식할 수 있는 범위의 다른 선박에 대하여 현등 (Side light)의 인식범위보다 더 멀리 자선 (自船)의 존재 및 항해중인 동력선임을 나타내는 역할을 한다. 사광각도는 배의 중심선을 기준으로 좌현 112.5° , 우현 112.5° 로 전체 225° 의 범위를 갖는다. 전장이 50 [m] 이상의 선박의 것은 6 [NM] 이상의 광달거리 성능을 가져야 하며 전장이 20 [m] ~ 50 [m]의 선박은 5 [NM], 전장이 12 [m] ~ 20 [m]의 선박은 3 [NM], 전장이 12 [m] 이하의 극소형 선박인 경우는 2 [NM] 이상의 광달거리를 가져야 한다.

현등은 항해 중인 선박이 야간에 자체 진로를 다른 선박에게 알리기 위하여 배 좌,우현에 설치하는 등으로 일종의 방향 지시등과 같은 역할을 하며 녹색등 (Green light)과 적색등 (Red light) 두 가지가 있다. 배의 측면에 설치하되 적색등은 좌현에, 녹색등은 우현에 설치하며 가능한 시야에 가리지 않도록 배의 높은 곳에 설치한다. 단 장등보다 높이 위치해서는 안된다. 각각은 112.5° 의 사광각도를 갖는데 녹색등은 배의 중심선에 우측으로 112.5° , 적색등은 배의 중심선에 좌측으로 112.5° 를 갖는다. 전장이 50 [m] 이상의 선박의 것은 3 [NM], 전장이 12 [m] ~ 50 [m]인 선박은 2 [NM], 전장이 12 [m] 미만인 극소형선인 경우에는 1 [NM]의 광달거리를 가져야 한다.

선미등 (Stern light)는 정선미 (正船尾) 방향에서 좌우 수평의 호

(弧)를 계속적으로 비치는 등화로 등 1개로 표시하기 때문에 선박의 존재를 나타내고 추월당하는 선박이 추월하고자 하는 다른 선박에 대하여 그의 존재를 표시하기 때문에 추월관계를 명백히 함으로써 추월선의 변형작동을 용이하게 하는 역할을 한다. 이는 배의 중심선을 기준으로 좌우 각 $67.5 [^\circ]$ 즉 $135 [^\circ]$ 의 사광각도를 갖는 백색등으로 전장이 50 [m] 이상의 선박은 3 [NM], 전장이 12 [m] ~ 50 [m]의 선박은 2 [NM], 전장이 12 [m] 이하의 극소형 선박은 1 [NM]의 광달거리를 갖도록 해야 한다.

선미등은 장등과 결합하면 선의 전부를 비추는 백색등의 역할을 하며 실행 가능한 한 선미 가까이에 설치하도록 규정하고 있다. 예인선, 보급선등의 특수한 선박의 경우 설치가 곤란한 점을 고려하여 그러한 규정을 하였다.

예인등 (Towing light)은 어떤 선박이 예인상태에 있음을 알리는 항해등으로 예인을 당하고 있는 배와 예인을 하고 있는 배의 선미에 각각 설치한다. 선미등과 같은 $135 [^\circ]$ 의 사광각도를 가진 황색등 (Yellow light)으로 선미등의 상부에 설치한다. 선미등이 백색등화인 반면에 예인등은 황색등화인 것이 특징이며, 전장이 50 [m] 이상의 선박은 3 [NM], 그 이하의 전장을 갖는 선박을 2 [NM]의 광달거리를 갖는다.

정박등 또는 묘박등 (Anchoring light)는 어떤 선박이 정박상태에 있음을 알리는 역할의 $360 [^\circ]$ 전방위 백색등이다. 정박중인 선박은 조정능력이 없으므로 다가오는 선박에 대하여 본선이 정박중임을 알리고 피해갈 것을 알리는 신호등이다. 전장이 50 [m] 이상인 선박은 3 [NM], 전장이 50 [m] 이하의 선박은 2 [NM]의 광달거리를 가져야 한다.

전방위등 또는 전주등 (AR light ; All Round light)은 $360 [^\circ]$ 에 이르는 수평의 호에 걸쳐서 온전한 불빛을 비추는 등화로 전 주위에서 볼 수 있다. 전주등은 선박이 처하고 있는 상황에 따라 백색, 홍색, 녹색, 황색

등의 등화를 표시하게 되어 있다. 전장이 50 [m] 이상인 선박은 3 [NM], 그 이하의 전장을 갖는 선박을 2 [NM]의 광달거리를 가진다. 항해등의 종류 및 특징을 요약, 정리하면 표 2.1과 같다.

표 2.1 항해등의 종류 및 특징

Table 2.1 Types and characteristics of navigation lights

종 류	색 상	사광각도 [°]	선박의 길이			
			12 [m] 이하	12 [m] ~ 20 [m]	20 [m] ~ 50 [m]	50 [m] 이상
			광달거리[NM]			
장 등 Masthead light	백색	225	2	3	5	6
현 등 Side light	좌:적색 우:녹색	112.5	1	2	2	3
선미등 Stern light	백색	135	1	2	2	3
예인등 Towing light	황색	135	2	2	2	3
정박등 Anchoring light	백색	360	2	2	2	3
전주등 All Round light	백, 적, 녹, 황색	360	2	2	2	3

2.2 항해등의 설치

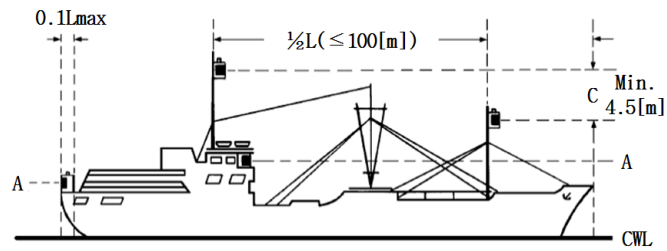
항해등의 역할은 자선의 위치 및 동태를 상대 선박이 육안으로 확인할 수 있도록 하는 것이므로 발하는 빛이 방해받지 않도록 적당한 위치에 설치되어야 한다. 선종에 따라 약간의 차이는 있지만 각 종류별 항해등은 COLREG, 선박설비기준에 따라 설치 위치가 정해져 있으며 관측자는 어둠 속에서 항해등의 색상, 위치 및 간격을 확인함으로써 상대 선박의 진행 방향뿐만 아니라 대략적인 크기 및 선종을 파악할 수 있다^{[7]-[9]}.

광달거리가 가장 먼 장등은 전장이 20 [m] 이상의 선박의 경우 배의 중심선상에 전부장등 (Forward masthead light)과 후부장등 (After masthead light)의 2개를 설치한다. 예외의 규정은 있지만 전부장등 및 후부장등은 다른 어느 선등보다 위쪽에 있어야 하며 전부장등은 후부장등보다 4.5 [m] 이상 아래쪽으로 상갑판상 6 [m] 이상 12 [m] 이하의 높이에 위치한다.

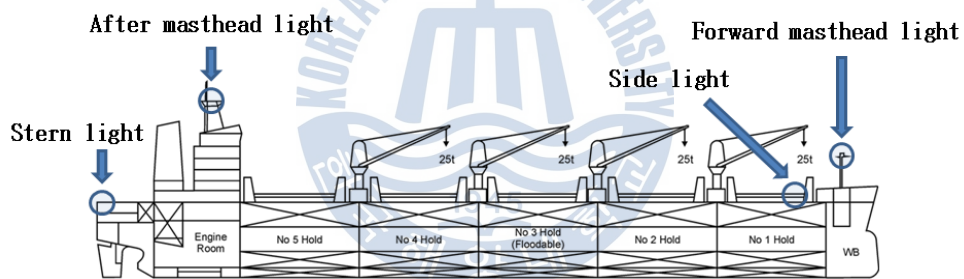
후부장등은 전부장등보다도 위쪽이고 통상의 트림상태에서 선수로부터 1,000 [m] 떨어진 해면에서 보았을 때 전부장등보다 위쪽으로 분리되어 보이는 높이에 설치하여야 한다. 또한 선수로부터 전부장등까지의 수평거리는 당해 선박 전장의 1/4 이하, 전부장등에서 후부장등까지의 수평거리는 당해선박의 전장의 1/2 (전장이 200 [m]를 초과하는 선박에 있어서는 100 [m]) 이상이어야 한다.

현등은 녹색의 우현등, 적색의 좌현등으로 구분하여 가능한 선박의 폭이 가장 넓은 곳에 설치하며 전부장등의 간섭을 피하기 위하여 항상 이보다 뒤쪽에 위치하며 3/4 이상 낮아야 한다.

선미등은 배의 뒤쪽 부근에 설치하는 것으로 높이와 위치에 대한 특별한 규정은 없다. 다만 일반적으로 배의 중심선상에 설치하는 것이 이상적이며 주로 정박등과 같이 설치한다.



(a) 설치 규정



(b) 설치 예(벌크선)

그림 2.3 항해등의 설치방법

Fig. 2.3 Installation method of navigation lights

여기서, A = horizontal plane
 C = vertical distance
 L = length of vessel
 CWL = construction water line

광달거리는 등화로부터 빛이 도달하는 최대거리, 즉 항해자가 항해등의 불빛을 인식할 수 있는 최대거리를 말한다. 이러한 광달거리는 지리학 적 광달거리와 광학적 광달거리로 구분할 수 있으며 광학적 광달거리는 대기의 투과율에 따라 명목적 광달거리로 나눈다.

항해등과 관측자가 양쪽 모두 해수면의 낮은 고도에 있을 때, 빛의 가시성은 지구의 만곡에 의해 제한된다. 지구표면은 볼록한 곡면으로 되어 있으므로 등화의 빛이 직진한다고 하면 관측자가 먼 곳에 위치할 때는 지구표면에 의해 등화가 보이지 않게 되는데 이러한 최대 가시거리를 지리학 적 광달거리 (Geographical range)라고 한다.

지리학 적 광달거리는 등화와 관측자의 수면상 눈의 높이, 지구의 곡률 및 대기굴절에 의해 영향을 받게 된다. 특히 빛이 긴 공간을 진행하는 경우에는 일반적으로 아래쪽으로 구부러져서 활모양으로 진행하기 때문에 직진하는 빛보다 더 먼 거리의 광달거리를 나타낸다.

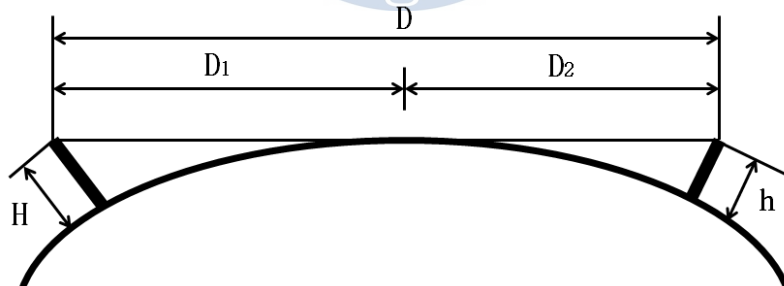


그림 2.4 가시거리의 지구 만곡에 의한 영향

Fig. 2.4 Effect of earth's curvature on visibility

다음 식 2.1은 미해군의 군사교본인 DOD-HDBK-289 (SH)에 기술된 항해 등 및 신호등에 대한 지구 만곡의 영향에 의한 가시성을 계산하는 식이다.

$$D = 1.05(H + h) \quad (2.1)$$

여기서, D = 광달거리[NM]

H = 수면 위의 광원의 높이[ft]

h = 수면 위의 관측자 눈높이[ft]

등화의 빛은 대기에 의해 산란과 흡수에 의해 점차 감소하여 일정한 거리 이상으로는 등화가 보이지 않게 되며 항해자의 눈이 등화를 감지할 수 있는 최소 조도 이상으로 등화의 빛이 항해자의 눈에 비추어야만 등화를 인식할 수 있다.

해양수산부의 고시, 등대표 등에서 취급하는 광학적 광달거리의 산출식은 대기투과율을 0.85(아주 맑은 날씨의 시정)로 하여 계산한 것을 광학적 광달거리(Luminous Range)라고 한다. 광학적 광달거리의 계산식에 대기투과율을 0.74(평균적인 시정 10NM)로 하여 계산한 것을 명목적 광달거리라고 한다. 국제항로표지협회(IALA)와 해양수산부에서는 빛에 의한 광달거리를 주로 평균 시정을 고려한 명목적 광달거리(Nominal Range)를 취급하도록 권고하고 있다.

항해등 및 신호등에서 사용하는 광달거리는 관측자가 야간에 암순응되었을 때에 대한 광학적 광달거리이며, 계산식은 다음과 같다.

$$T = I \cdot \frac{K^D}{(1,852 \cdot D)^2} \quad (2.2)$$

여기서, T = 관측자의 눈에 있어서의 한계조도 (2×10^{-7} [lx])

I = 등화의 광도 [cd]

D = 광학적 광달거리 [NM]

K = 대기투과율 (해리당의 값으로 0.8을 적용)

이 식을 등화의 광도 I 로 표현하면 선박용 항해등 및 신호등 규격에서 언급하고 있는 최소 광도를 계산하는 식이 되며, 항해등이 갖추어야 할 최소의 광학적 성능을 나타낸다.

$$I = 3.43 \times 10^6 \times T \times D^2 \times K^{-D} \quad (2.3)$$

항해등의 광학적 성능 지표는 광달거리로써 나타내며, 식 2.3으로부터 광원에서 방사되는 빛의 세기 즉, 광도를 계측하여 광달거리를 산출함으로써 항해등의 성능을 판단할 수 있다.

I 는 항해등을 실험실에서 정격전압을 인가하여 측정한 광도이다. 그러나 실제 현장에서 운용중인 항해등은 광원의 열화, 광학 시스템의 오염 및 공급 전원의 전압강하 등으로 인하여 최소 20 [%] 이상의 감쇠를 감안하여 설계해야 한다.

표 2.2는 실질적인 광달거리를 산출하기 위해 실험실 상에서 요구되는 최소 및 최대 수평광도를 나타내고 있다.

표 2.2 광달거리 및 광도

Table 2.2 Ranges of visibility and luminous intensities

광달거리	광달거리의 최소값		광달거리의 최대값		광도	최소 수평광도 (실험실)	최대 수평광도 (실험실)
[NM]	[NM]	[km]	[NM]	[km]	[cd]	[cd]	[cd]
1	1	1.85	2	3.7	0.9	1.1	5.4
2	2	3.70	5	9.26	4.3	5.4	65
3	3	5.56	5	9.26	12	15	65
5	5	9.26	7.5	13.9	52	65	257
6	6	11.11	7.5	13.9	94	118	257

제 3 장 설계 및 제작

본 논문에서는 기존의 항해등을 기반으로 LED 모듈의 광학적 배치, 전기적, 광학적 용량 및 구동방법을 제시하였으며 이에 따른 다양한 특성을 분석하였다. 이러한 각각의 데이터를 통하여 구조가 간단하고 전기적, 광학적 성능이 개선된 LED 항해등을 위한 설계 방안을 제안하였다.

항해등 중 가장 장거리의 시인성이 요구되는 선등은 광달거리가 6 [NM]인 갑종 장등이다. 따라서 제안하는 LED 항해등은 6 [NM]의 광달거리를 갖는 갑종 장등의 광학적 성능을 기준으로 설계 및 제작하였다.

3.1 광학계

항해등은 광원인 백열전구 또는 할로젠 전구의 전방위로 방사되는 빛을 평행광으로 굴절시키는 렌즈로 이루어진 단순한 구조이지만 적은 전력으로 먼 거리에 빛을 비추는 등기구의 효율의 관점에서 보면 상당히 정교한 광학계를 갖추고 있다. 이 때문에 기존 항해등의 광원을 LED로 대체하는 것은 LED 자체의 광학적인 성능만 아니라 기구적인 배치 형태도 고려해야 한다.

3.1.1 렌즈

빛은 서로 다른 두 매질의 경계면에서 반사하고 굴절할 때 진행하는 모습이 그림 3.1에서와 같이 입사광선을 따라 들어와서 일부는 반사광선을 따라 반사하고 일부는 직선경로에서 벗어나 약간 굴절된 투과광선을 따라 진행한다. 그림 3.1에서 입사광선이 법선과 만드는 각 θ_1 를 입사각

이라 하고, 반사광선이 법선과 만드는 각 θ_1' 을 반사각이라 하며 투과광선이 법선과 만드는 각 θ_2 를 굴절각이라 한다.

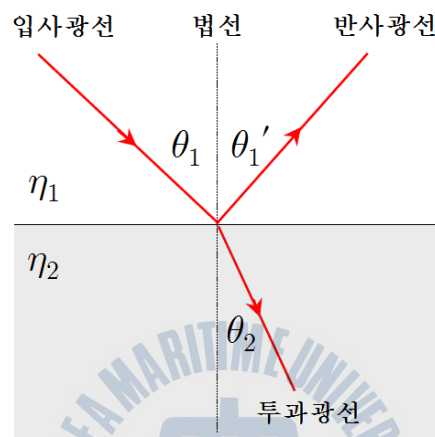


그림 3.1 빛의 반사와 굴절

Fig. 3.1 Reflection and refraction of light

굴절률이 서로 다른 매질의 경계면에 도달한 입사광선이 반사하여 반사광선의 방향으로 나갈 때 입사광선과 반사광선은 반사법칙을 따른다. 첫째 식 3.1과 같이 입사각 θ_1 과 반사각 θ_1' 가 같다.

$$\theta_1 = \theta_1' \quad (3.1)$$

그리고 둘째 반사광선은 입사광선과 법선이 만드는 입사면 내에 위치한다. 그림 3.2에서 보듯이 법선을 축으로 하는 원뿔을 그릴 때 원뿔의 꼭지점에서 출발하여 원뿔면을 따라 그린 직선이 법선과 만나는 각은 모두 원뿔의 꼭지각과 같다.

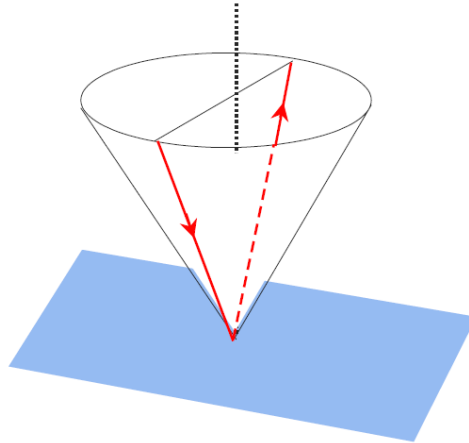


그림 3.2 반사 법칙

Fig. 3.2 Law of reflection

빛이 그림 3.1에서와 같이 다른 매질로 들어갈 때 입사광선과 투과광선 사이에는 스넬의 법칙이 만족된다^{[10],[11]}.

이 법칙도 반사 법칙과 마찬가지로 입사각과 굴절각 사이의 관계와 그리고 투과광선은 입사광선과 법선이 만드는 입사면 내에 위치한다는 두 가지로 되어 있다. 입사각 θ_1 과 굴절각 θ_2 사이의 스넬의 법칙은 식으로

$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2 \quad (3.2)$$

라고 쓸 수 있다. 여기서 η_1 과 η_2 는 각각 입사광선이 지나온 매질과 굴절광선이 지나가는 매질의 굴절률이다. 따라서 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하면 굴절각은 입사각보다 더 커지고 반대로 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 진행하면 굴절각은 입사각보다 더 작아진

다. 그리고 물론 굴절률이 같은 두 매질에서는 입사각과 굴절각이 같다. 다시 말하면 경계면에서 빛의 경로가 굴절되지 않는다.

스넬의 법칙을 적용할 때 매질의 굴절률 η 은 중요한 요소이다. 굴절률은 그 매질에서 빛의 속력이 얼마인지에 따라 결정된다. 진공 중에서 빛의 속력을 c 그리고 매질에서 빛의 속력을 v 라고 하면 그 매질의 굴절률 η 은 식 3.3과 같다.

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (3.3)$$

빛의 속력은 진공 중에서 가장 빠르므로 굴절률 η 은 항상 1보다 더 큰 수이다. 표 3.1은 대표적인 매질의 굴절률을 정리한 것이다. 공기의 굴절률은 1.000293으로 거의 1과 같기 때문에 일반적으로 빛의 매질에 관한한 공기는 진공과 마찬가지로 취급된다.

표 3.1 대표적인 매질의 굴절률

Table 3.1 Refractive index of major materials

매질	굴절률	매질	굴절률
진공	1	벤젠	1.501
헬륨	1.000036	암염	1.516
수소	1.000132	실리콘 기름	1.52045
공기	1.000293	식염	1.544
이산화탄소	1.00045	호박	1.55
얼음	1.31	PET	1.575
물	1.333	PC	1.584 ~ 1.586
테프론	1.35 ~ 1.38	납유리	1.60 ~ 1.62
에탄올	1.36	브롬	1.661
각막	1.373/1.380/1.401	사파이어	1.762 ~ 1.778
수정체	1.386 ~ 1.406	산화아연	2.4
글리세롤	1.4729	다이아몬드	2.419
PMMA	1.4893 ~ 1.4899	GaP	3.5
아크릴 유리	1.490 ~ 1.492	GaAs	3.927
창유리	1.50 ~ 1.54	실리콘	3.96

렌즈는 공통의 광축을 공유하는 두 개 이상의 굴절면들로 이루어진 광학요소로 정의한다. 두 개의 굴절면을 가진 렌즈는 단순렌즈라고 부르고 두 개 또는 그 이상의 단순렌즈를 결합시켜 만들어진 렌즈를 복합렌즈라고 한다.

그림 3.3은 단순렌즈의 결상을 나타내고 있으며 빛은 점 S로부터 방사되어 단순렌즈 L로 입사한다.

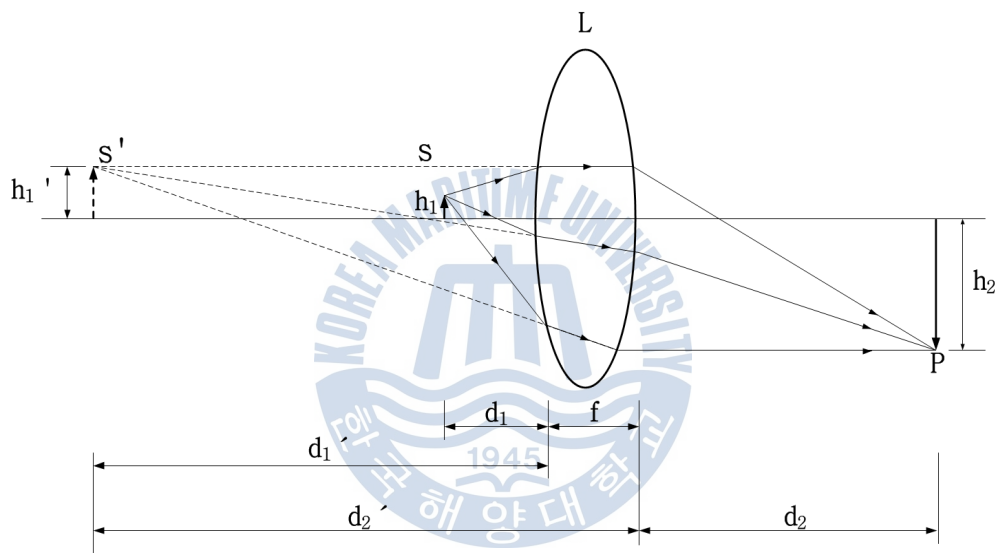


그림 3.3 단순렌즈에 의한 결상

Fig. 3.3 Image formation by a simple lens

여기서, 렌즈의 굴절률은 η 이고 R_1 과 R_2 는 렌즈 표면의 곡률반경이다.

반사와 굴절의 법칙에 의해 렌즈의 첫 번째 표면은 점 S의 뒤인 점 S' 에 허상을 만들어내고 실제의 상은 점 P에 맺힌다.

가우스 공식 (Gaussian formula)을 적용하면 허상의 거리는 다음 식에 의해 결정된다.

$$\frac{1}{d_1} + \frac{\eta}{d_1'} = \frac{\eta - 1}{R_1} \quad (3.4)$$

여기서 d_1 과 d_1' 은 렌즈의 첫 번째 면으로부터 측정한 물체와 허상간의 거리이다.

마찬가지로 두 번째 표면의 실제 상의 거리도 다음 식과 같이 결정된다.

$$\frac{\eta}{d_2'} + \frac{1}{d_2} = \frac{1 - \eta}{R_2} \quad (3.5)$$

여기서 d_2' 과 d_2 는 렌즈의 두 번째 면으로부터 측정한 허상과 실상간의 거리이다.

얇은 렌즈는 평면으로 간주할 수 있기 때문에 렌즈의 한 점에 입사한 빛은 렌즈의 뒤 동일한 지점에 나타난다. 얇은 렌즈에서의 초점을 찾기 위하여, 물체는 렌즈로부터 거리를 두고 위치한다고 하면 실제 상은 $d_2 = \infty$ 로 간주할 수 있으므로 무한히 먼 거리에서 형성된다.

식 3.5로부터 다음 식을 유도하면

$$\frac{\eta}{d_2'} = \frac{1 - \eta}{R_2} \quad (3.6)$$

얇은 렌즈의 두께는 무시할 수 있으므로 $d_1' \approx d_2'$ 로 한다면 식 3.6은 다음과 같다.

$$\frac{\eta}{d_1'} = \frac{1-\eta}{R_2} \quad (3.7)$$

식 3.5에 식 3.7을 치환하면 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{1}{d_1} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.8)$$

여기서, R_1 , R_2 는 렌즈의 첫 번째, 두 번째 곡률반경이고, η 는 렌즈의 굴절률이며, d_1 은 렌즈의 중심과 물체간의 거리이다.

초점거리의 정의로부터 $f_1 = d_1$ 으로 하면, 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{f_1} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.9)$$

동일한 방법으로 두 번째 초점거리도 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{1}{f_2} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.10)$$

따라서 렌즈의 양쪽면의 굴절률이 동일하고 앞과 뒤의 초점거리 또한 같다면 공기중에 얇은 렌즈는 다음 식으로 간략하게 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{f} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.11)$$

그림 3.4와 같이 평-볼록형 얇은 렌즈 (Plano-convex type thin lens)는 $R_1 = \infty$ 로 간주할 수 있으므로 식 3.11은 다음과 같이 쓸 수 있다^[12].

$$\frac{1}{f} = (\eta - 1) \left(\frac{1}{R_2} \right) \quad (3.12)$$

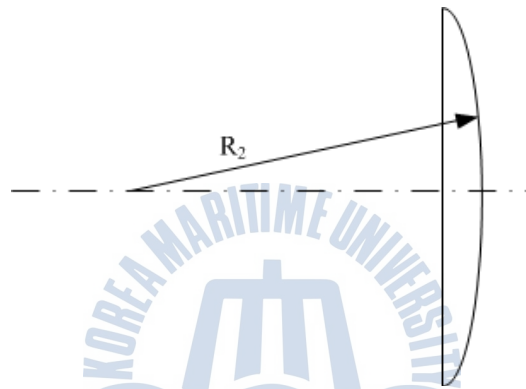


그림 3.4 평-볼록형 얇은 렌즈
Fig. 3.4 Plano-convex type thin lens

일반적으로 렌즈에 관한 공식들은 모든 빛이 광축에 근접해 있는 근축광선으로 간주하여 광축에 대해 아주 작은 각으로 수렴한다고 가정한다. 그러나 실제 대부분의 빛은 광축으로부터 큰 각으로 수렴하게 되며 렌즈의 광축으로부터 멀리 떨어져 있는 빛은 큰 각으로 굴절되어 이론상의 초점거리와는 상이한 지점에 수렴하는 구면수차 (Spherical aberration)를 일으킨다. 실제 렌즈 제조사들은 구면수차의 보정을 위하여 렌즈의 곡률을 위치에 따라 변화도록 비구면으로 제작하지만 간편한 계산을 위해서는 보정 상수 (Corrector factor) C 를 렌즈 공식에 추가하여 식 3.13과 같이 나타내며 구면수차를 보정해준다.

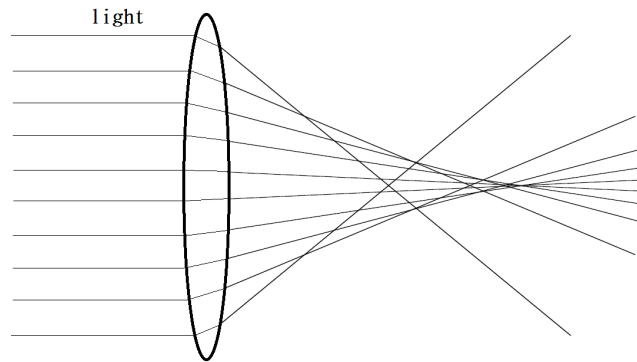


그림 3.5 구면수차

Fig. 3.5 Spherical aberration

$$\frac{1}{f} = C(n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.13)$$

항해등 또는 등명기와 같은 항로표지분야의 구조물은 목적상 광원으로 부터 방사되는 빛을 멀리까지 보내기 위해서는 빛을 적절하게 집광하여 평행광으로 변환시키는 광학계를 사용하며, 이 때의 광학계는 빛의 반사와 굴절을 조합한 방법을 이용한다. 일반적으로 렌즈의 직경은 두께에 비례한다. 렌즈의 직경이 커짐에 따라 렌즈의 두께도 비례적으로 두꺼워지기 때문에 직경이 매우 큰 렌즈를 제작할 시에는 두께도 커지게 되어 전체적인 렌즈의 부피가 증가하게 된다. 이러한 렌즈의 특성에 따라 등대와 같은 대형 렌즈가 요구되는 곳에는 렌즈의 부피 및 무게를 줄일 수 있는 방안을 연구하였다. 대표적인 과학자로 프랑스의 물리학자 오귀스탱 장 프레넬은 일반적인 렌즈들의 경계면에 의해 렌즈의 집속특성이 결정되며 굴절면 사이에 있는 물질의 종류와 두께는 흡수 손실의 변화는 있지만 광

학적 특성에는 영향을 주지 않는다는 것을 발견하였다. 따라서 구면수차를 보정한 비구면 렌즈를 그림 3.6과 같이 동일축을 유지하면서 일정한 두께로 잘라서 평판에 붙이는 방법으로 부피를 줄여도 렌즈의 광학적 특성에는 아무런 영향을 미치지 않는 렌즈를 고안하였다. 이 렌즈를 비구면 프레넬 렌즈라고 하며 일정한 두께로 잘라냈을 때의 원뿔 조각을 그루부(Groove)라고 부른다^{[13]-[16]}. 비구면 프레넬 렌즈에서 각각의 그루부는 빛을 정확히 하나의 초점으로 전달시키는 독립적인 렌즈의 특성을 가지고 있다. 또한 비구면 프레넬 렌즈의 중심 근처에 있는 그루브의 두 경사면 중 렌즈 중심축에 가까운 면이 렌즈 중심축과 이루는 각도가 $0[^\circ]$ 에 가까워서 거의 렌즈의 중심축에 의해서 평행한 평면이지만, 비구면 프레넬 렌즈의 중심축에서 바깥쪽에 배치한 그루부일수록 이 각도가 커진다. 이런 그루부들을 평면 쪽으로 이동시킬 때 이동에 따른 각도보정을 하기 위하여 원래의 비구면 렌즈의 각에서 약간씩 수정한다.

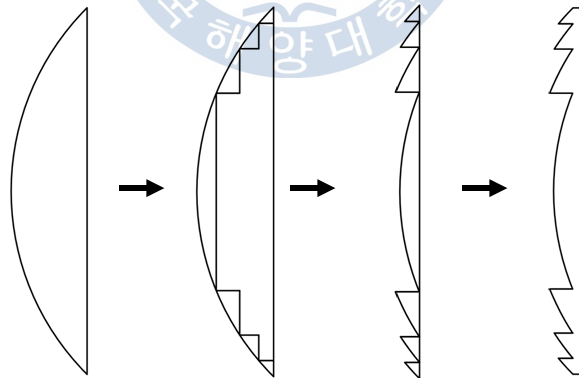


그림 3.6 프레넬 렌즈의 원리

Fig. 3.6 Principle of a Fresnel lens

3.1.2 LED 모듈

일반 조명에 사용되는 LED는 전광판이나 간판용 광원으로 사용되는 램프형(포탄형) LED와는 달리 고용량 및 고출력 특성을 갖기 때문에 방열을 고려한 기구적인 형태를 취하고 있다.

그림 3.7은 조명용 LED 패키지의 종류를 나타낸 것으로 그림 3.7(a)는 실내용 LED 등기구에 주로 사용되는 0.1 [W]~0.2 [W]급의 SMD 패키지이며, 그림 3.7(b)는 주로 고광량이 요구되는 실외용 LED 등기구에 사용되는 고출력 LED 패키지이다.

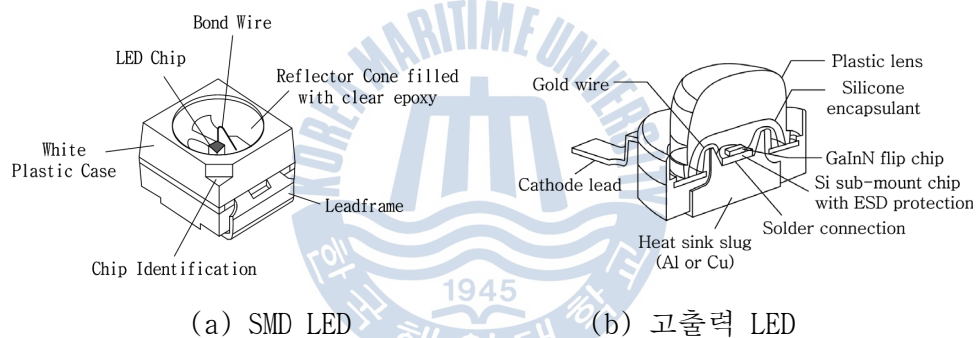


그림 3.7 조명용 LED 패키지의 종류

Fig. 3.7 Types of LED package for illumination

LED 모듈의 구성은 다수의 저출력 LED 패키지를 사용하는 방법과 소수의 고출력 LED 패키지를 사용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 LED 패키지에 따른 각각의 장, 단점을 분석하기 위하여 두 가지 형태의 LED 모듈을 제작하였으며, 이에 따라 0.2 [W]급 SMD LED 패키지와 최대 3 W급의 출력을 갖는 고출력 LED 패키지를 선정하였다. 각각의 사양은 표 3.2와 같다.

표 3.2 LED 패키지의 사양

Table 3.2 Specification of the LED package

패키지 종류	I_f [mA]	V_f [V]		색온도 [K]		광출력	지향각 [°]
		최소	최대	최소	최대		
SMD 패키지	60	2.9	3.5	3,700	8,200	6.3 [cd]	120
고출력 패키지	350	2.8	3.5	2,600	3,200	93.9 [lm]	115

항해등은 야간에 상시 점등이 되어야 하기 때문에 점검시 램프에 이상이 발생하면 즉시 교체하거나 애초에 그림 3.8과 같이 이중렌즈의 항해등을 적용하여 항해등 제어기에서 전기적으로 회로를 자동 전환 되도록 구성하여 사용한다.



그림 3.8 이중렌즈형 항해등의 사진

Fig. 3.8 Photograph of a double lens type navigation light

LED 항해등은 LED 패키지의 크기가 작기 때문에 종래의 항해등처럼 이중렌즈로 구성할 필요가 없이 항해등 내부에 2개의 회로로 제작이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 LED 모듈을 2개의 회로로 구성하여 일반 단일 렌즈 항해등으로 이중렌즈의 항해등처럼 사용할 수 있도록 2개의 회로를 내장하도록 설계하였다.

항해등은 용도상 수평으로 방사되는 배광을 갖는다. 그림 3.9는 방사 형태의 배광을 얻기 위하여 항해등의 중심축을 기준으로 제작한 LED 모듈의 사진이다.

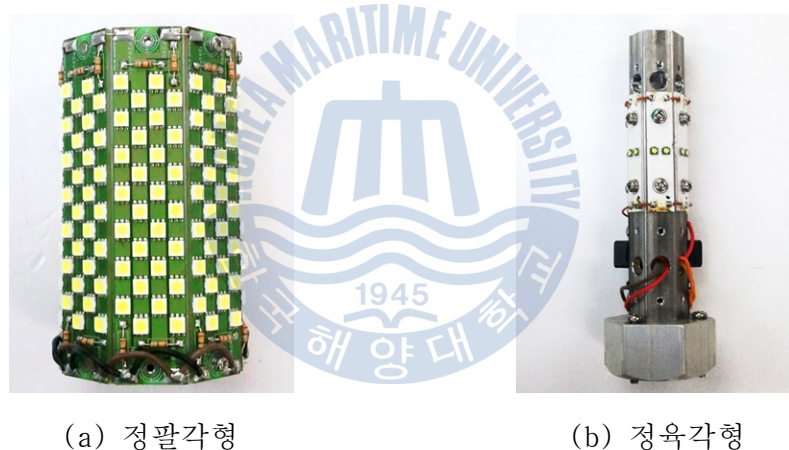


그림 3.9 LED 모듈의 사진

Fig. 3.9 Photographs of the LED module

그림 3.9(a)는 정팔각형으로 LED를 배치한 경우를 나타낸 것으로 폭 25 [mm]의 LED 패키지를 외각 225° 로 배치한 것이며 LED 모듈의 직경은 65 [mm]이다. 이는 광원의 위치를 초점거리에서 수평으로 32.5 [mm] 이동한 형태가 된다.

그림 3.9(b)는 정육각형으로 LED를 배치한 경우이며, LED 패키지의 폭을 최소한으로 구성하여 12 [mm]로 하면 LED 패키지를 외각 240 [°]로 배치할 수 있다. 이는 광원의 위치를 초점거리에서 수평으로 12.5 [mm] 이동한 형태가 된다.

그림 3.10과 그림 3.11은 현재 국내에서 양산, 판매되고 있는 항해등 렌즈의 사진과 광달거리 6 [NM]의 광학적 성능을 갖는 장등의 광학계를 나타내고 있다.

그림에서와 같이 A사의 항해등은 내부 반지름이 65 [mm], 높이 152 [mm]이며, B사의 항해등은 내부 반지름이 70 [mm], 높이 119 [mm]이다. 렌즈의 초점은 광원의 중심에 위치하도록 설계되어 있으므로 렌즈의 형상을 바탕으로 초점거리를 구하면 구면 평-볼록 렌즈로 근사하여 곡률반경을 산출할 수가 있다. 표 3.3는 렌즈의 재질인 PMMA (poly methyl methacrylate)의 굴절률과 구면 보정상수를 적용하여 계산한 항해등의 광학적 특성이다.

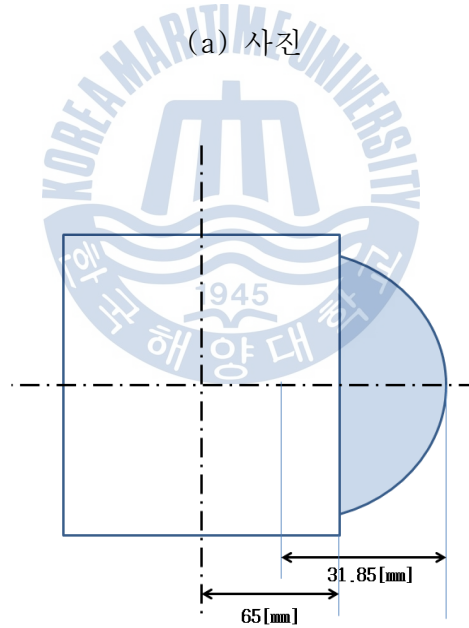
표 3.3 기존 항해등의 광학적 특성

Table 3.3 Optical characteristics of conventional navigation lights

제조사	용도	광달거리 [NM]	렌즈 곡률반경 [mm]	초점거리 [mm]
A사	장등	6	31.85	65
B사	장등	6	34.30	70



(a) 사진



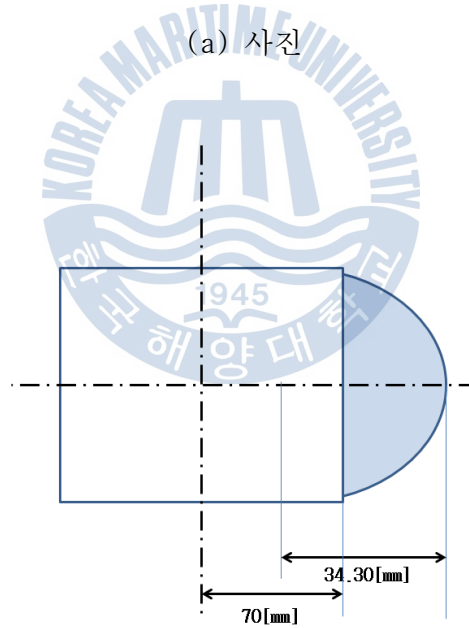
(b) 광학계

그림 3.10 항해등의 광학계 (A사)

Fig. 3.10 Optical system of a navigation light (A Inc.)



(a) 사진



(b) 광학계

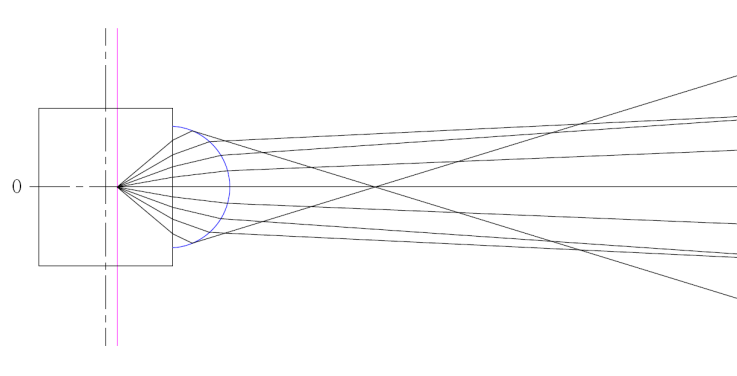
그림 3.11 항해등의 광학계 (B사)

Fig. 3.11 Optical system of a navigation light (B Inc.)

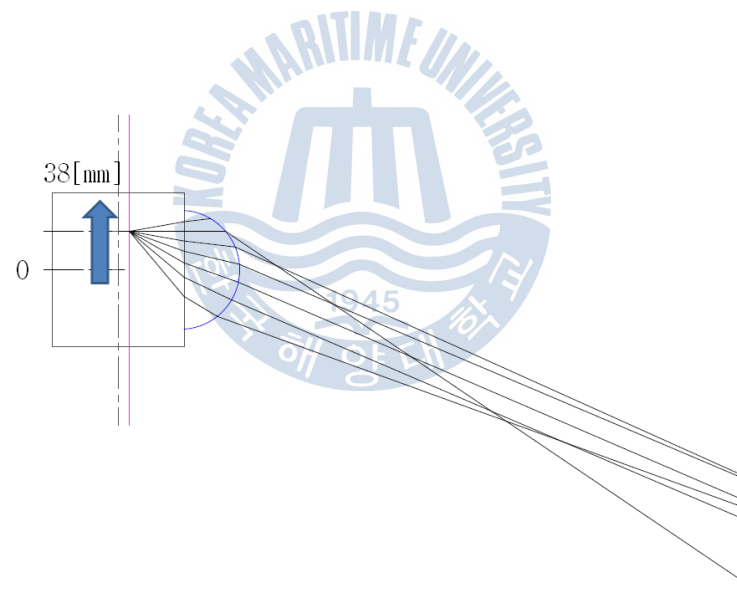
그림 3.12에서 그림 3.15까지는 LED 패키지의 수직, 수평 배치에 따라 렌즈를 통과하는 빛의 굴절 경로를 나타내고 있다.

그림 3.12와 그림 3.14에서 보는 바와 같이 광원의 위치가 렌즈의 중심에서 수직으로 멀어지게 되면 렌즈를 통과하는 빛의 입사각이 커지므로 산란된다. 이는 광원으로부터 발생하는 빛을 모아 먼 거리의 목표지점으로 보내지 못하고 주위의 일정 영역만 환하게 비추는 결과를 초래한다. 또한 그림 3.13과 그림 3.15에서와 같이 광원의 위치가 렌즈의 중심에서 수평으로 멀어지게 되더라도 정도의 차이만 있을 뿐 빛을 집광하지 못하고 산란하게 되는 결과는 마찬가지이다.

따라서 정육각형 기둥에 소수의 고효율 LED를 적용한 LED 모듈이 광원을 렌즈의 초점거리에 가장 근접하게 배치할 수 있으며 광원으로부터 방사되는 빛을 평행하게 이동하도록 굴절시키는데 가장 유리한 방법이다. 그러나 광원이 초점거리에서 분산 배치되더라도 발산되는 빛의 균일도나 광원 자체의 크기도 시인성의 영향을 주는 요소이므로 본 연구에서는 고효율 LED를 초점거리에 가장 근접하게 배치하는 육각형 모듈과 저출력 LED를 분산 배치하여 광원 자체의 크기를 키운 팔각형 모듈 두 가지 형태로 시제작하여 각각의 특성을 비교, 분석하였다.



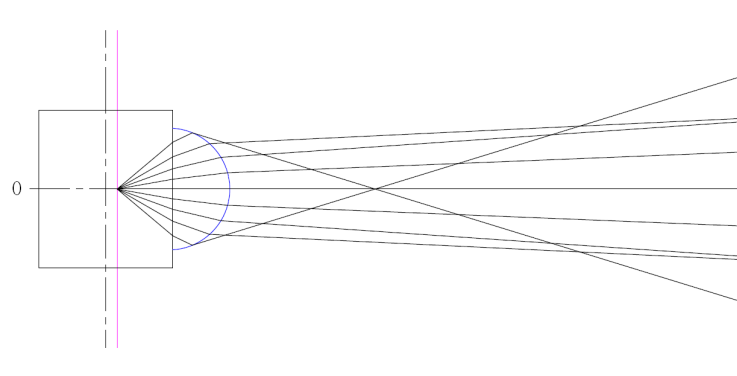
(a) 원점(12.5 [mm], 0 [mm])



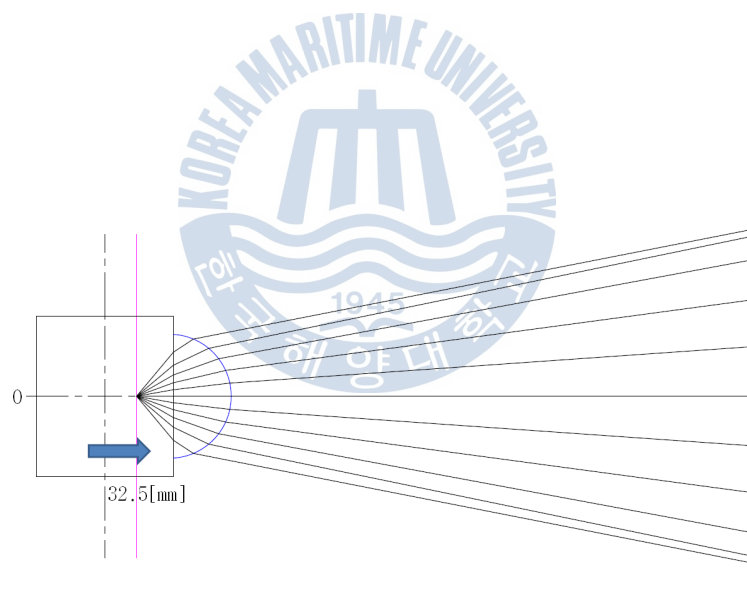
(b) 수직 이동(12.5 [mm], 38 [mm])

그림 3.12 LED의 수직 배치에 따른 빛의 굴절 (A사)

Fig. 3.12 Refraction of light in a vertical arrangement of LED (A Inc.)



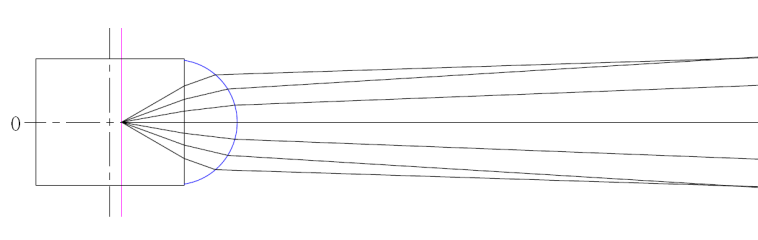
(a) 원점(12.5 [mm], 0 [mm])



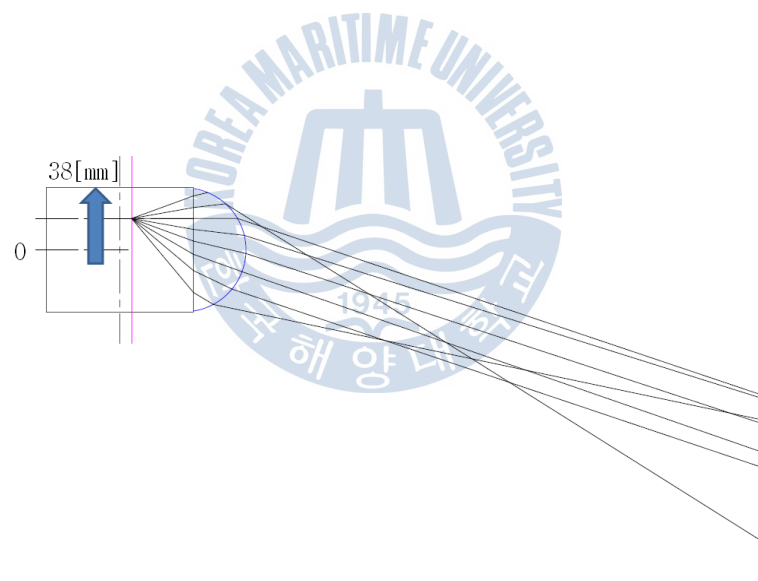
(b) 수평 이동(32.5 [mm], 0 [mm])

그림 3.13 LED의 수평 배치에 따른 빛의 굴절 경로 (A사)

Fig. 3.13 Refraction of light in a horizontal arrangement of LED (A Inc.)



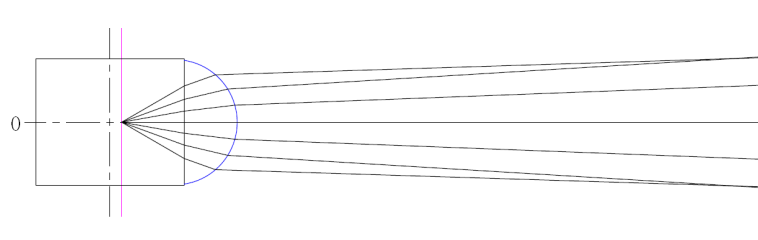
(a) 원점(12.5 [mm], 0 [mm])



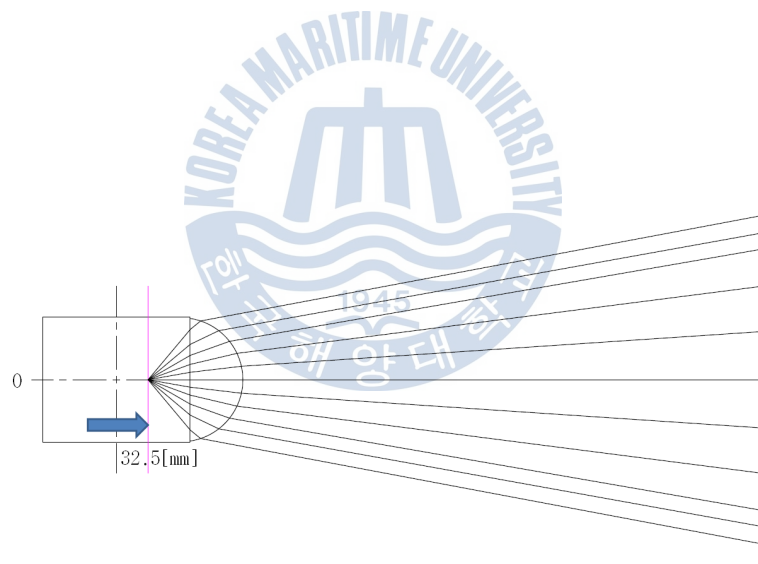
(b) 수직 이동(12.5 [mm], 38 [mm])

그림 3.14 LED의 수직 배치에 따른 빛의 굴절 경로 (B사)

Fig. 3.14 Refraction of light in a vertical arrangement of LED (B Inc.)



(a) 원점(12.5 [mm], 0 [mm])



(b) 수평 이동(32.5 [mm], 0 [mm])

그림 3.15 LED의 수평 배치에 따른 빛의 굴절 (B사)

Fig. 3.15 Refraction of light in a horizontal arrangement of LED (B Inc.)

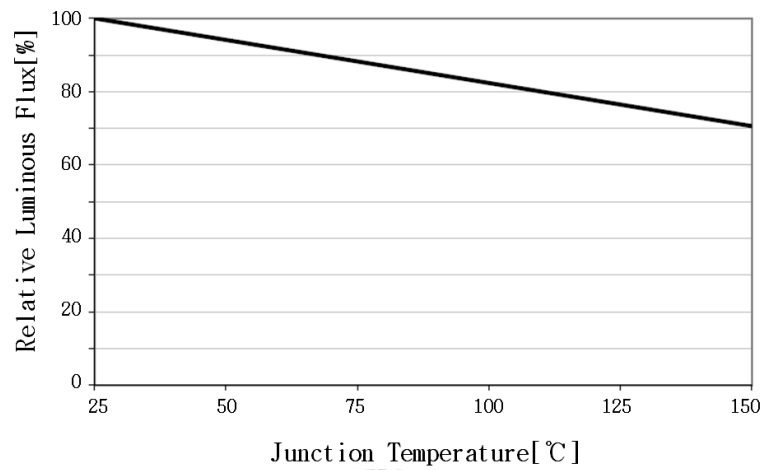
3.1.3 히트 싱크

LED는 순수 점광원으로 간주할 수 있기 때문에 조명설계에 있어 다양한 형태로 집적화와 정교한 디자인이 가능하며, 뛰어난 광변환 효율과 장수명으로 재래조명을 대체할 수 있는 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 LED를 일반 조명에 접목하는데 어렵게 만드는 요인은 용량이 증대됨에 따라 패키지 자체에서 발생하는 열이 비례적으로 상승하는 점과 이로 인한 허용전류, 광출력 및 수명이 감소하는 등 열에 대한 취약성이다.

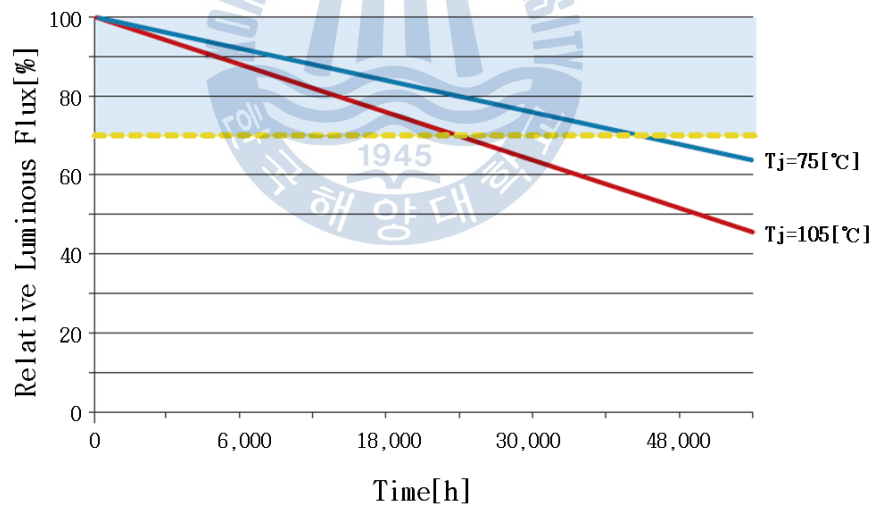
그림 3.16은 제조사에서 제공하는 LED 패키지의 열적 특성을 나타내는 그래프이다. 그림 3.16(a)에서 볼 수 있듯이 접합온도(Junction temperature) 25 [°C]일 때의 광출력을 100 [%]라고 한다면 접합온도가 110 [°C]로 상승하면 광출력은 80 [%]로 감소됨을 알 수 있다. 그림 3.16(b)는 접합온도와 LED 패키지의 수명과의 관계를 나타낸 것으로써 접합온도가 75 [°C]에서 105 [°C]로 상승하게 되면 수명은 33.3 [%] 감소하게 된다.

이처럼 LED를 사용함에 있어 온도제어는 필수적인 사항이며, 적절한 방열설계는 LED 고유의 광출력과 장수명을 보장할 수 있다^{[17]-[29]}.

본 연구에서 제안한 LED 모듈은 LED 패키지의 배치상 수직축을 중심으로 방사형태로 설계가 되어야 하므로 히트 싱크 또한 모듈의 크기에 의해 형상이 제한된다. 제안한 LED 모듈용 히트 싱크는 재질이 알루미늄이며 반경 32.5 [mm], 높이 125 [mm]의 정팔각형 기둥과 반경 12.5 [mm], 높이 125 [mm]의 정육각형 기둥의 형태이다.



(a) 접합온도와 광출력



(b) 접합온도와 수명

그림 3.16 LED 패키지의 열적 특성

Fig. 3.16 Thermal characteristics of a LED package

방열설계는 열저항의 측면에서 보면 LED 패키지에서 항해등 외부 임의의 공간까지의 방열경로를 최대한 작게 만드는 것이다. LED 패키지, 금속 PCB와 접합면에 대한 각 열저항의 요소들은 재질, 결합구조 및 형상에 의해 이미 결정된 상수이므로 제안한 LED 모듈의 방열구조를 개선하는 방법은 결국 히트 싱크의 표면적을 최대한 넓게 구성하는 것이다.

제안한 히트 싱크 중 정팔각형 구조는 LED 패키지의 용량 대비 상대적으로 넓은 방열구조를 갖기 때문에 방열 구조를 개선할 필요가 없다. 그러나 고출력 LED 패키지를 적용한 정육각형 히트 싱크의 경우는 방열 구조를 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 히트 싱크의 내부를 가공하여 방열면적을 늘리고 무게를 감소하도록 개선하였다. 제안한 방법은 히트 싱크의 중앙을 관통하도록 가공을 하고 상부 및 하부에 방사형태로 구멍을 형성하여 가열된 공기가 대류현상에 의해 유통될 수 있도록 하였다.

표 3.4는 히트 싱크의 방열면적 및 무게를 감소시키기 위한 가공처리를 하기 전과 후의 표면적 및 질량의 변화를 나타낸 것이다. 상호 비교하면 가공 후의 표면적은 가공 전에 비해 약 46 [%] 증가하였으며 질량은 30 [%]가 감소되었다.

표 3.4 히트 싱크의 특성

Table 3.4 Characteristics of the heat sink

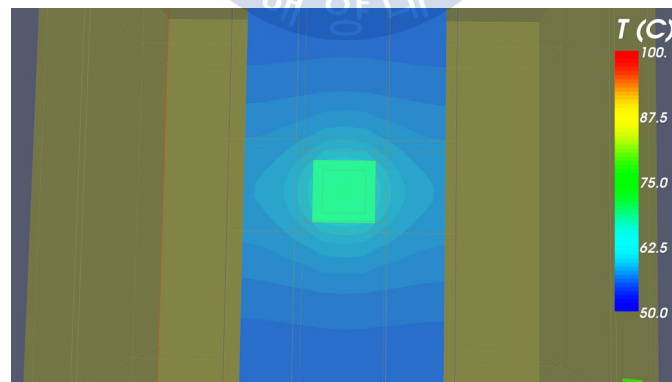
	가공 전	가공 후	비고
표면적[cm ²]	106.3	154.7	↑ 46%
질량[g]	148.2	103.4	↓ 30%

그림 3.17은 Future lighting사의 열해석 시뮬레이션 프로그램인 QLED를 이용하여 가공 전과 가공 후 방열 특성을 시뮬레이션한 결과이다.

실험 결과에서와 같이 히트 싱크의 방열구조를 개선함에 따라 전반적인 온도 분포가 $65[^\circ]$ 에서 $54[^\circ]$ 로 약 $10[^\circ]$ 정도 낮아짐을 알 수 있다. 그림 3.18은 최종 가공된 히트 싱크의 사진이다.



(a) 가공 전



(b) 가공 후

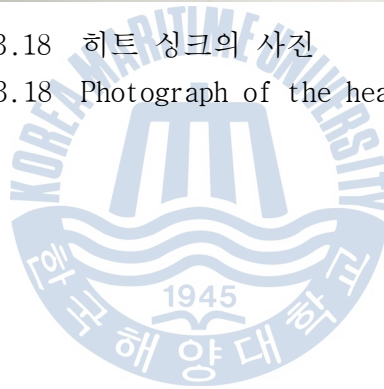
그림 3.17 시뮬레이션 결과

Fig. 3.17 Simulation results



그림 3.18 히트 싱크의 사진

Fig. 3.18 Photograph of the heat sink



3.1.4 컬러 렌즈

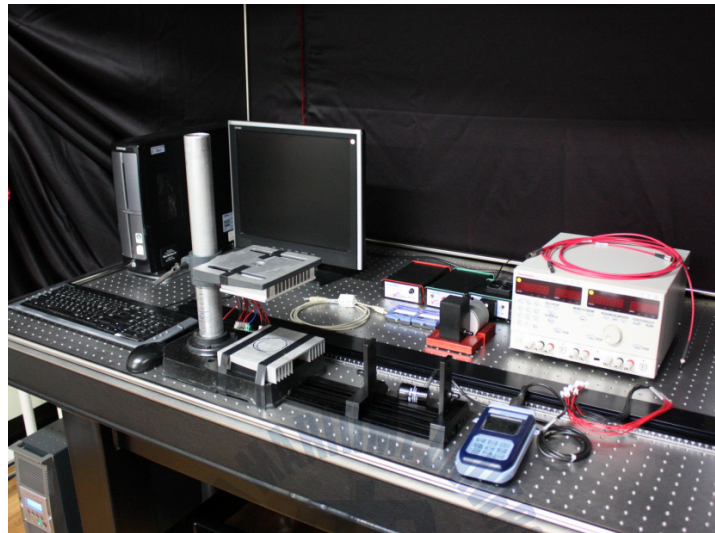
항해등 중 양현등 및 예인등은 각각 녹색, 적색 및 황색의 색상을 띄고 있다. 종래의 항해등은 백열전구 및 할로겐 전구의 색상을 임의적으로 변경할 수 없기 때문에 그림 3.19와 같이 광원으로부터 방출되는 빛을 착색한 렌즈 즉, 컬러 렌즈를 통하여 원하는 색상을 구현하였다. 그러나 LED는 제조시 칩의 성분에 따라 다양한 색상을 얻을 수가 있으며 각 색상 별로 상용, 판매되고 있다. 따라서 LED 항해등은 색상을 구현하기 위하여 종래의 컬러 렌즈를 이용하는 방법뿐만 아니라 LED 모듈을 제작할 때 고유의 파장을 방출하는 컬러 LED를 적용하는 방법이 가능하다.



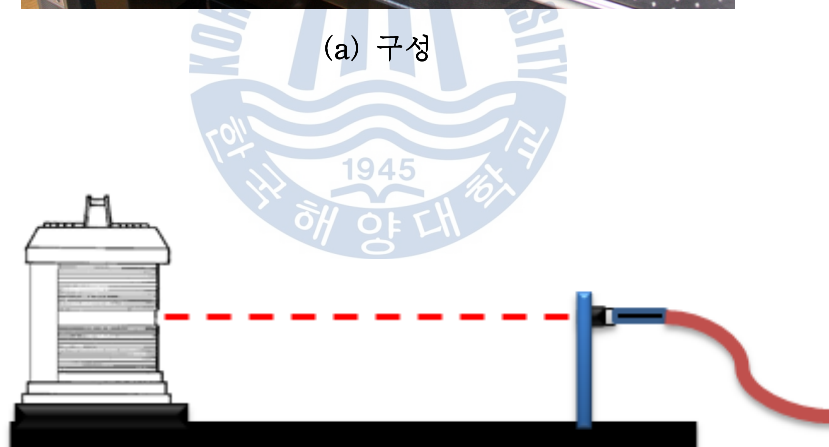
그림 3.19 항해등용 컬러 렌즈의 종류

Fig. 3.19 Types of color lens for navigation lights

컬러 렌즈의 특성을 분석하기 위하여 녹색, 적색 및 황색의 렌즈를 투과하는 빛에 대한 스펙트럼을 측정, 분석하였다. 스펙트럼 분석기는 Avantes사의 Avaspec-3648 모델을 이용하였으며 그림 3.20에 측정 및 분석 시스템의 사진을 나타내었다.



(a) 구성



(b) 실험계

그림 3.20 광학측정 시스템

Fig. 3.20 Optical measurement system

기존의 컬러 렌즈의 특성을 분석하기 위하여 60 [W] 백열전구를 점등했을 때 투명 장등과 녹색 우현등, 적색 좌현등 및 노란색 예인등의 렌즈를 통과한 빛의 스펙트럼을 측정하였다. 측정결과, 그림 3.21에서와 같이 우현등의 녹색 렌즈는 중심파장 510 [nm] 및 730 [nm]의 빛을 통과시키는 일종의 대역통과필터와 같은 특성을 나타내었으며 예인등의 황색 렌즈 역시 중심파장 670 [nm]의 빛을 통과시키고 있다. 또한 적색 렌즈는 650 [nm] 이상의 빛만을 통과시키는 고역통과필터와 같은 특성을 나타내었다.

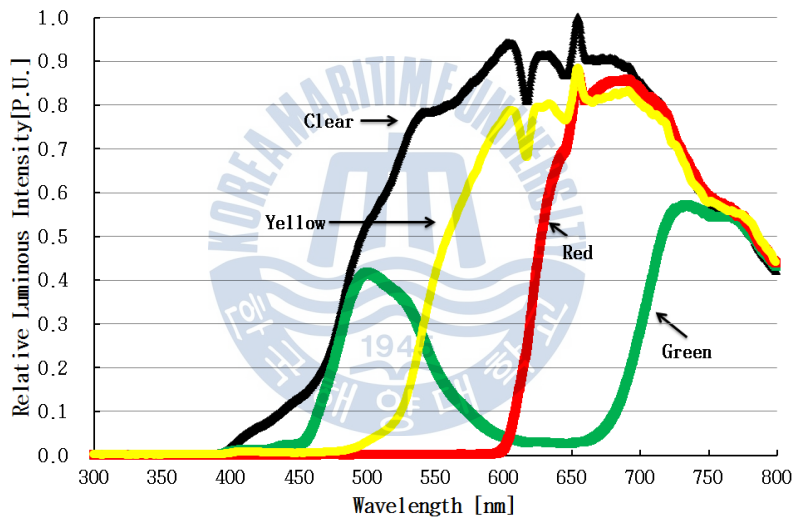
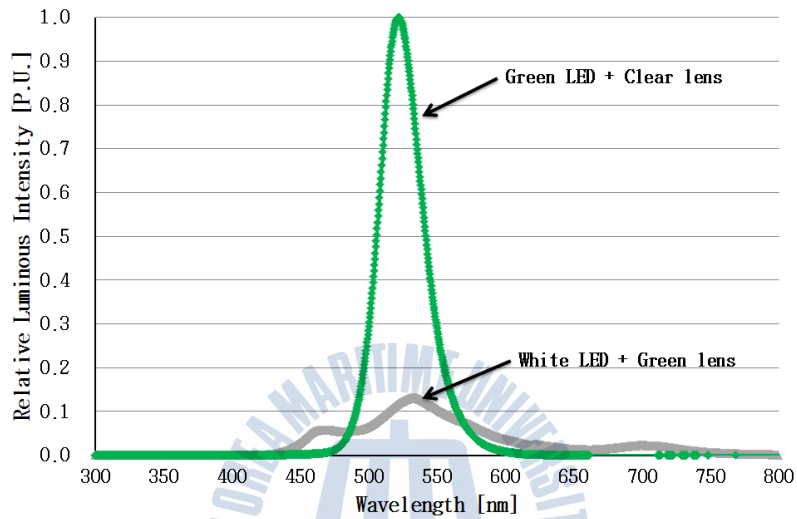


그림 3.21 백열전구에 대한 컬러 렌즈의 스펙트럼

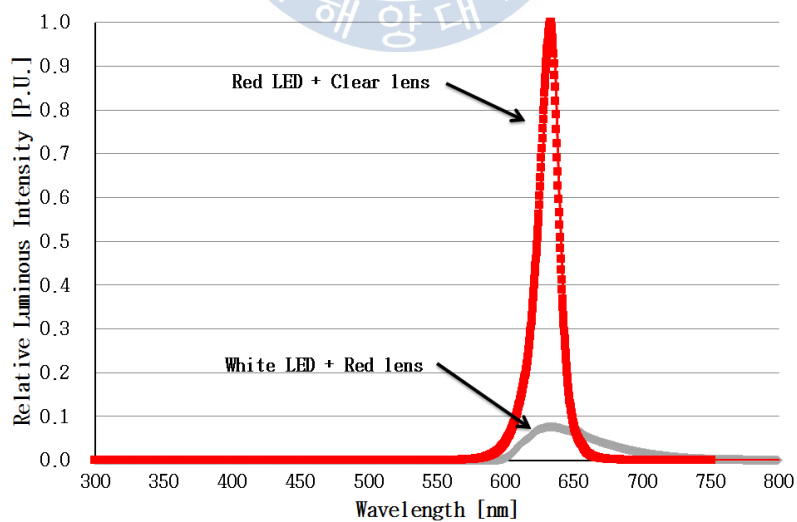
Fig. 3.21 Spectrum of color lens to an incandescent lamp

LED를 이용하여 현등, 예인등의 색상을 구현하기 위해서는 투명 렌즈에 컬러 LED를 적용하는 방법과 컬러 렌즈에 백색 LED를 적용하는 방법이 있다. 위 두 가지의 방법중 색상을 구현하기 위한 효율성을 비교하기 위하여 앞서 백열전구를 적용한 항해등에서와 동일한 스펙트럼 분석을 실시하였다. 그림 3.22는 녹색, 적색 및 황색에 대하여 투명 렌즈에 컬러 LED

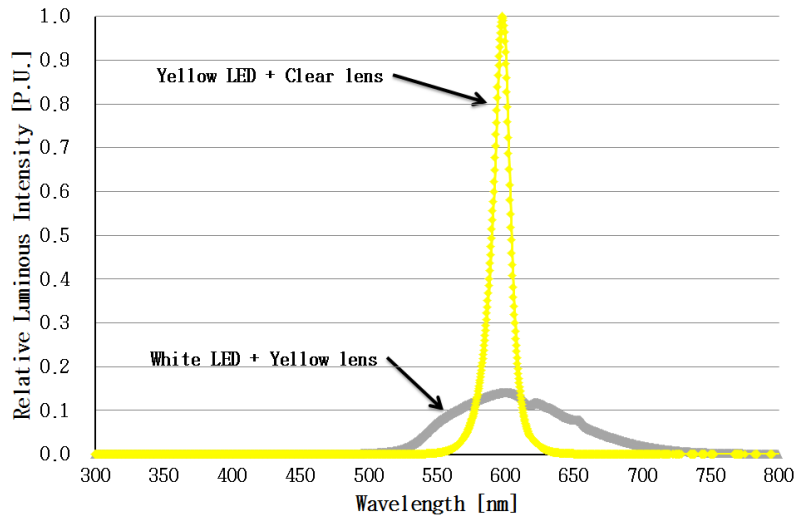
를 적용했을 때와 컬러 렌즈에 백색 LED를 적용했을 때의 방사되는 빛의 스펙트럼을 분석한 결과이다.



(a) 우현등



(b) 좌현등



(c) 예인등

그림 3.22 LED에 대한 렌즈의 스펙트럼

Fig. 3.22 Spectrums of lens to LEDs

분석 결과, 컬러 렌즈에 백색 LED를 적용한 방법은 렌즈의 필터 특성에 의해 통과 영역 이외의 스펙트럼은 모두 걸러지게 되므로 렌즈를 통과한 빛은 상대적으로 급격히 감소하였다. 반면에 투명 렌즈에 컬러 LED를 적용한 방법은 LED로부터 방출되는 고유의 파장이 미소한 감쇄만 있을 뿐 대부분 렌즈를 통과하여 방사되었다.

이처럼 LED 항해등에 색상을 구현하기 위해서는 우현등은 중심파장 520 [nm] ~ 535 [nm]의 녹색 LED를 좌현등은 중심파장 620 [nm] ~ 630 [nm]의 적색 LED를 또한 예인등은 중심파장 585 [nm] ~ 595 [nm]의 황색 LED를 각각 적용하면 종래의 컬러 렌즈를 사용하는 방법보다 광원에 의해 소비되는 전력을 더욱 감소시킬 수가 있음을 확인하였다.

3.2 전원 및 제어회로

선박에 공급되는 주전원은 디젤기관, 터빈 또는 추진기관과 같은 발전기에 의해 구동되며 일반적인 전력계통 이외에 주전원이 상실되는 위급한 상황이 발생했을 때를 대비하여 축전지 및 비상발전기와 같은 비상전원계통을 갖추고 있다. 그림 3.23은 일반적인 선박의 전력계통을 나타낸 것으로 발전기의 전압은 3상 3선식, 440 [V], 60 [Hz]가 기본이며 대용량 전력을 이용하는 기계가 있을 경우는 3.3 [kV] 또는 6.6 [kV]를 사용하기도 하지만 이러한 경우에는 440 [V]의 전압을 승압하여 사용한다.

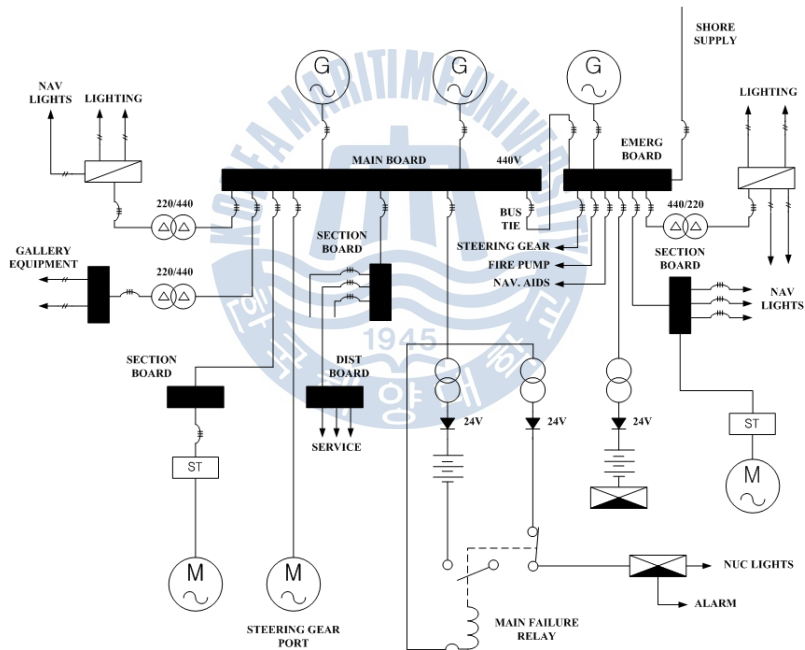


그림 3.23 선박의 전력계통

Fig. 3.23 Electric power system of a vessel

선박은 송전선을 이용하는 육상의 배전방식과 달리 부하로의 급전은 주발전기로부터 직접 전력을 받아 부하에 급전하는 주배전반을 통하여 이

루어지며 비상용 발전기에 급전하는 비상배전반 및 전지의 충전, 방전과 함께 비상용 조명, 통신 항해 장치용 전기를 공급하는 축전지용 배전반 및 선종에 따른 특유의 부하에 공급하기 위한 보조 급전반 등을 병행하여 사용한다. 일반조명이나 선실, 기타 용도의 전력은 440 [V]의 전압을 감압하여 단상 110 [V] 또는 220 [V]를 사용하고 있으며 비상조명, 경보 및 통신장치와 같은 필수 부하에는 주전원에 이상이 발생하였을 때 비상용 발전기를 가동하거나 평상시 배터리에 충전된 DC 24 [V]를 공급하는 체계를 갖추고 있다.

항해등은 일반적으로 AC 220 [V] 전원을 사용하지만 비상시 사용하는 선등의 경우 비상전원에 동작할 수 있도록 DC 24 [V]용 백열전구를 적용한다. 본 연구에서 제안한 LED 항해등은 기존의 항해등과 같이 광원 자체를 AC 220 [V]용 또는 DC 24 [V]용으로 구분하여 사용할 수 없으므로 LED 모듈에 전원을 공급하는 컨버터를 교체, 적용할 수 있도록 구성하였다.

그림 3.24는 본 연구에서 제안한 LED 항해등용 전원회로의 블록도를 나타낸 것이다.

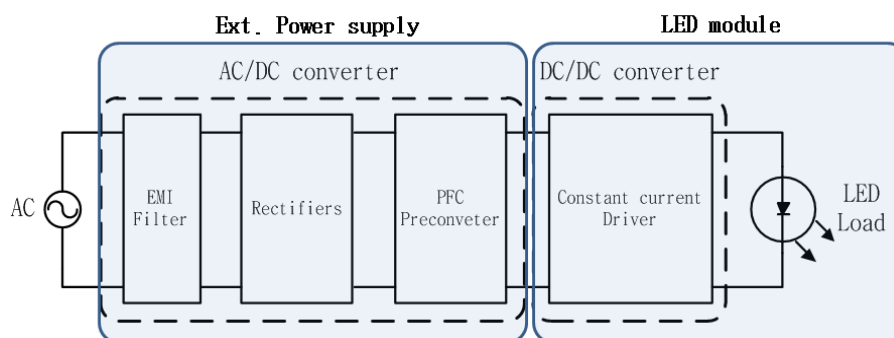


그림 3.24 LED 항해등 전원장치의 블록도

Fig. 3.24 Block diagram of the power supply for the LED navigation light

기본적으로 LED 모듈용 전원장치는 DC 24 [V]를 입력전원으로 사용하는 정전류 방식의 DC/DC 컨버터를 내장하고 있으며, AC 220 [V]에도 적용할 수 있도록 AC/DC 컨버터를 분리 가능하도록 구성하여 병행 사용할 수 있도록 2단으로 설계, 제작하였다. 특히 AC/DC 컨버터는 고효율, 고역률을 구현할 수 있도록 역률보상회로 (Power Factor Correction Circuit)를 적용하였다.

3.2.1 AC/DC 컨버터

AC/DC 컨버터는 상용 라인으로부터 AC 220 [V]를 인가 받아 전파정류와 역률개선을 수행하는 동시에 DC 24 [V]의 정전압을 구현하며, 제2단의 DC/DC 컨버터에 인가된다.

본 연구에서는 입력전류가 연속으로 EMI 필터에 부담을 줄여주고 입력전압의 전영역에서 제어가 가능하며 스위치를 직접 구동 할 수 있는 범용의 승압형 (Boost type) 역률개선회로를 이용하여 AC/DC 컨버터를 구현하였다. 제어회로는 범용의 역률개선험 IC (MC34262, ON Semiconductor사)를 적용하였으며 주파수 제어에 의해 CCM (Continuous Conduction Mode)과 DCM (Discontinuous Conduction Mode)의 경계에서 동작하는 영전류 스위칭 방식인 CRM (Critical Conduction Mode)을 채택한 것이 특징이다.

승압형 CRM 역률개선험로는 CCM 방식에 비해 입력전류의 최대값이 커서 소자의 정격을 고려한 소용량 컨버터에 적합하며 주파수가 부하변동 및 입력전압 변동에 따라 변하므로 변동폭이 크지 않는 어플리케이션에 적합하다. 또 CCM보다 전류 스트레스가 크고 주파수가 변하기 때문에 인덕터를 설계하기 어려운 단점이 있으나 EMI의 대역폭을 넓혀주고, 다이오드의 역회복 문제가 없으며, 제어를 통해 나타나는 약간의 지연을 통하여 영전압 스위칭 (Zero Voltage Switching)도 가능한 장점이 있다.

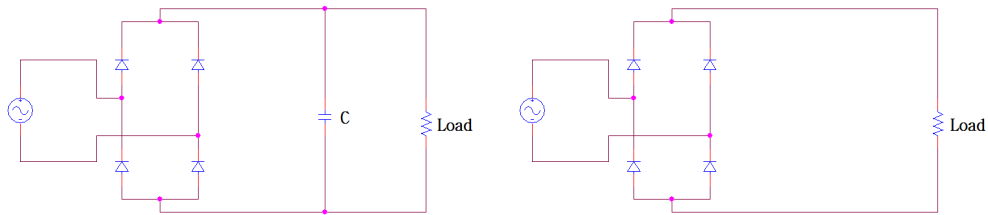
그림 3.25에 용량성 부하와 저항성 부하의 회로가 나타나 있다. 일반적으로 스위칭 전원의 내부에는 교류입력을 직류로 변환하는 정류부와 그 직류입력을 부하변동 및 입력전압의 변화에 대해 안정화시키기 위한 DC/DC 변환부로 나눌 수 있다. 그림 3.25(a)의 정류회로에서 순시정전에 대한 대응이나, DC/DC 변환부의 입력전압 변동을 억제시켜 소자의 부담을 줄이기 위해서는 큰 용량의 캐패시터가 필요하다. 그러나 캐패시터의 용량이 커질수록 그림 3.25(b)에서 보는 바와 같이 용량성 부하를 갖는 정류기의 경우 짧은 시간에 많은 양의 에너지를 충전하기 위해서 큰 전류가 흐르게 되며, 이때 최대값은 실효값의 5~10 배 정도가 된다.

대체로 정류기의 입력전류 형태는 불연속이며, 이에 대한 영향으로 입력전압의 왜곡과 입력전류의 고조파에 의한 주변기기의 영향을 들 수가 있다. 그림 3.25(c)는 입력전류의 고조파 성분을 나타낸 것으로 전류 파형의 형태상 기수 고조파 성분이 대부분인 것을 알 수가 있다. 반면, 저항성 부하 정류기의 경우 전압과 전류의 파형이 동상이며, 전류 파형은 전혀 왜곡이 일어나고 있지 않다. 고조파 성분이 얼마만큼 기본파에 포함되어 있는지를 나타내는 지표는 크게 두 가지로 나눌 수가 있다. 총 고조파 왜율 (THD ; Total harmonic distortion)과 역률 (PF ; Power Factor)이며 다음과 같은 수식으로 간략화 될 수 있다.

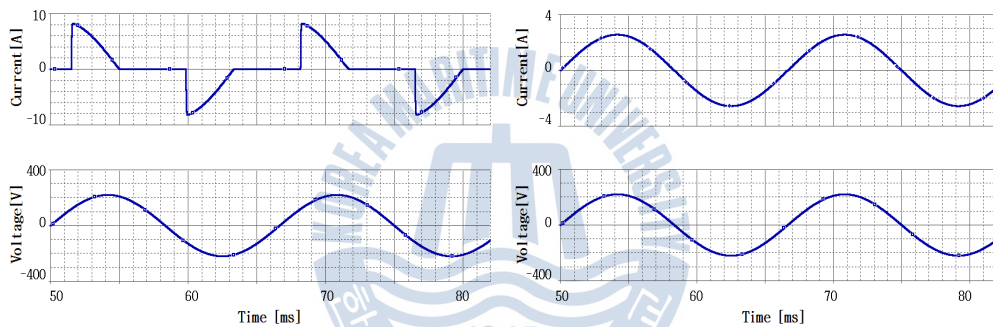
$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \quad (3.14)$$

위 식으로부터 용량성 입력형 정류기인 경우, 총 고조파 왜율이 낮아지면 역률이 좋아짐을 알 수가 있다. 다시 말해 역률개선회로의 궁극적인

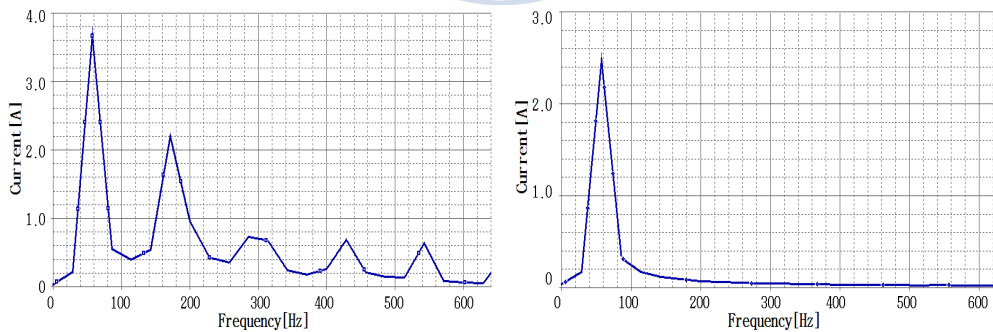
목표는 총 고조파 왜율을 낮게 하는 것이며, 정류기 입력단에서 보면 마치 저항부하인 것처럼 스위칭 전원을 동작시키는 것이다.



(a) 정류회로



(b) 입력 전류와 전압 파형



(c) 입력 전류의 고조파

그림 3.25 용량성 부하와 저항성 부하의 비교

Fig. 3.25 Comparison of a capacitive and a resistive load

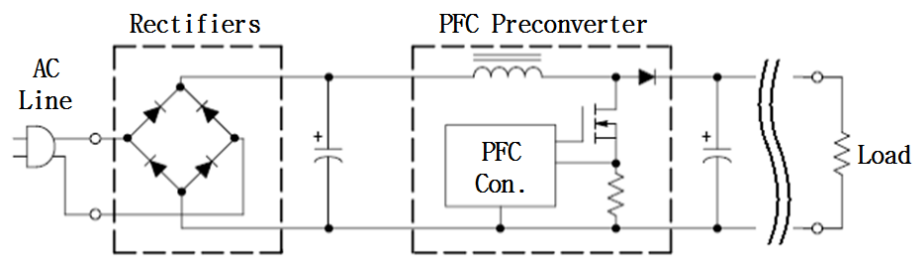
일반적으로 스위칭 전원에서 역률을 개선하기 위한 회로방식은 승압형 컨버터 (Boost type converter)를 기본회로로 하고 있다. 그림 3.26은 역률개선회로의 개념도와 전류 파형을 나타낸다. 이 경우 컨버터의 입력전압은 앞단의 정류부에서 전파 정류된 전압이 인가되고, 출력전압은 비교적 안정된 직류전압이며 스위치는 일정한 스위칭 주파수에서 제어된다. 출력전압을 안정화하기 위해 시비율 (Duty ratio)로 스위치가 제어되며, 인덕터에 흐르는 전류의 최대값은 다음과 같다.

$$i_{in(pk)}^{rec} = \frac{V_{in}^{rec}}{L} = \frac{V_{in} |\sin \omega t|}{L} t_{on} \quad (3.15)$$

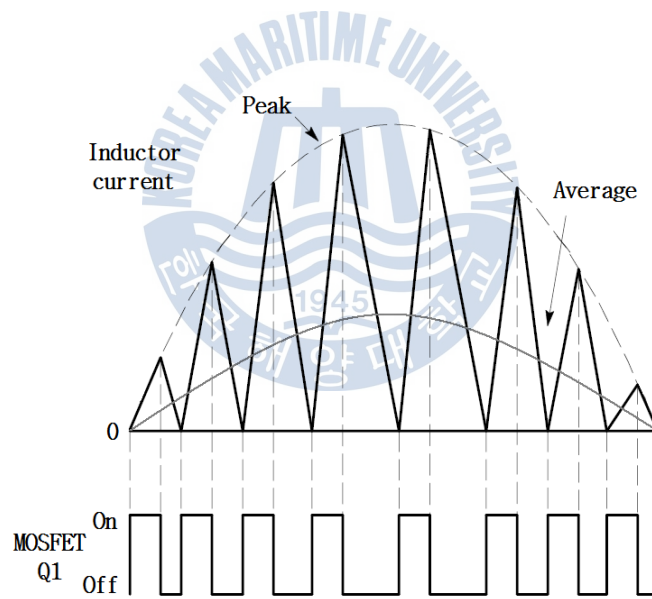
여기서, L = 인덕턴스

t_{on} = 은 스위치의 도통 시간이다.

만약 정상상태에서 스위치의 도통 시간이 시간에 따라 크게 변하지 않는다면 t_{on} 은 일정한 상수로 근사시킬 수가 있고, 이 때 입력전류의 최대값은 입력전압과 주기가 같고 크기가 비례하는 형태이며 결국 인덕터 전류의 평균값은 전압과 동상이 된다. 따라서 컨버터는 높은 역률을 낼 수가 있으며 그만큼의 고조파 성분도 저감시킬 수가 있다.



(a) 구성도



(b) 인덕터 전류 파형

그림 3.26 역률개선회로

Fig. 3.26 PFC circuit

그림 3.27은 제안한 AC/DC 컨버터의 회로도를 개략적으로 나타낸 것으로 능동성 역률개선회로부와 역률개선회로부의 출력전압을 DC 24 [V]로 감압시키는 정전압 회로부로 구성된다.

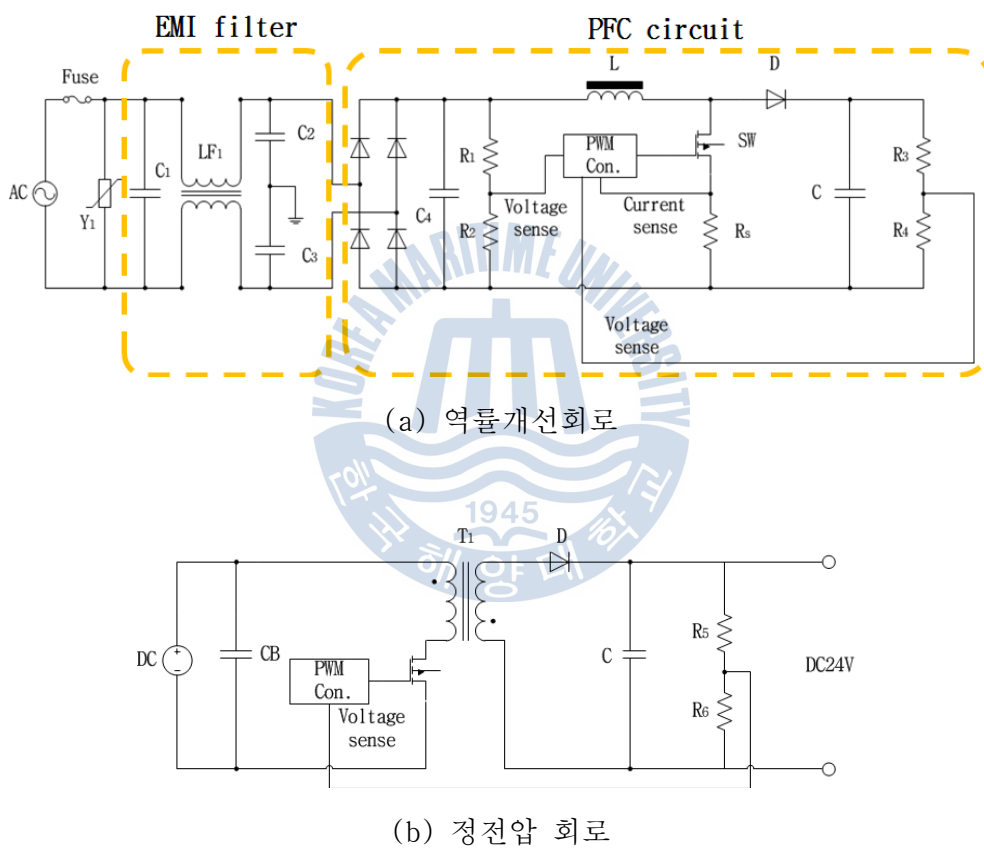


그림 3.27 AC/DC 컨버터의 구성

Fig. 3.27 Configuration of the AC/DC converter

컨버터 회로를 설계함에 있어 중요한 점은 효율이 가장 낮고 입력전류가 가장 높은 부분을 나타내는 최소 입력전압의 설정이다. 최소 입력전압 이상의 입력에 대하여 최소 효율을 92 [%]로 취할 경우, 최대 입력전력은 다음 식 3.16으로 계산할 수 있다.

$$P_{in(max)} = \frac{P_{o(max)}}{\eta_{min}} = \frac{15}{0.92} = 16.3[W] \quad (3.16)$$

위 식을 이용하여 최소 입력전압에서의 최대 전류를 계산하면 다음과 같다.

$$I_{in(s)max} = \frac{P_{o(max)}}{\eta_{min} \cdot V_{in(min)} \cdot PF} = \frac{15}{0.92 \cdot 165 \cdot 0.99} = 99.8[mA] \quad (3.17)$$

이 때 입력전류를 정현파로 가정하면 입력전류의 최대값은 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_{in(pk)max} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_{in(max)}}{V_{in(min)}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 16.3}{165} = 139.7[mA] \quad (3.18)$$

따라서 입력전류를 정현파로 가정하여 평균값은 위 식에서 계산한 입력전류의 최대값을 이용하여 계산한다.

$$I_{in(avg)max} = \frac{2 \cdot I_{in(pk)max}}{\pi} = \frac{2 \cdot 139.7}{\pi} = 88.9[mA] \quad (3.19)$$

입력전압이 최소가 될 경우 전류는 최대가 되기 때문에 스위칭 소자의 시비율을 설정할 때는 최소 입력전압에서 계산해야 한다.

최소 입력전압의 최대값은 입력전압이 정현파이므로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_{in(pk)min} = \sqrt{2} \times V_{in(s)min} = 233[V] \quad (3.20)$$

이 때 시비율은 아래의 식을 이용하여 결정한다.

$$D = \frac{V_{o(PFC)} - V_{in(pk)min}}{V_{o(PFC)}} = \frac{400 - 233}{400} = 0.41 [\%] \quad (3.21)$$

또한 인덕터에 흐르는 전류의 리플을 약 20 [%]로 설계하면 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta I_L = 0.2 \times I_{in(pk)max} = 0.2 \times 139.7 = 27.9 [mA] \quad (3.22)$$

따라서 인덕터에 흐르는 전류의 최대값과 인덕턴스를 계산하면 다음과 같으며 이를 이용하여 인덕터를 설계할 수 있다.

$$I_{L(pk)max} = I_{in(pk)max} + \frac{\Delta I_L}{2} = 139.7 + \frac{27.9}{2} = 153.7 [mA] \quad (3.23)$$

$$L_{BST} = \frac{V_{in(pk)min} \times D}{f_{SW} \times \Delta I_L} = \frac{233 \times 0.41}{80k \times 27.9m} = 42.8 [mH] \quad (3.24)$$

그림 3.28은 시제작한 AC/DC 컨버터의 사진이며, 입출력 파형을 그림 3.29에 나타내었다. 그림 3.29(a)는 입력전압 및 전류의 파형이며 역률개선회로의 스위칭 동작에 의해 전압과 전류의 파형이 동상으로 동작함을 확인할 수 있다. 그림 3.29(b)는 부하를 연결했을 때의 출력전압 파형으로 DC 23.7 [V]로 약 0.3 [V]의 전압강하가 발생하였으며 120 [Hz]의 리플과 스위칭 소자에 의한 고주파 신호가 포함되었다. 그러나 이러한 리플은 후단의 정전류 회로에 의하여 제거되므로 LED 모듈의 출력에는 영향을 미치지 않는다.

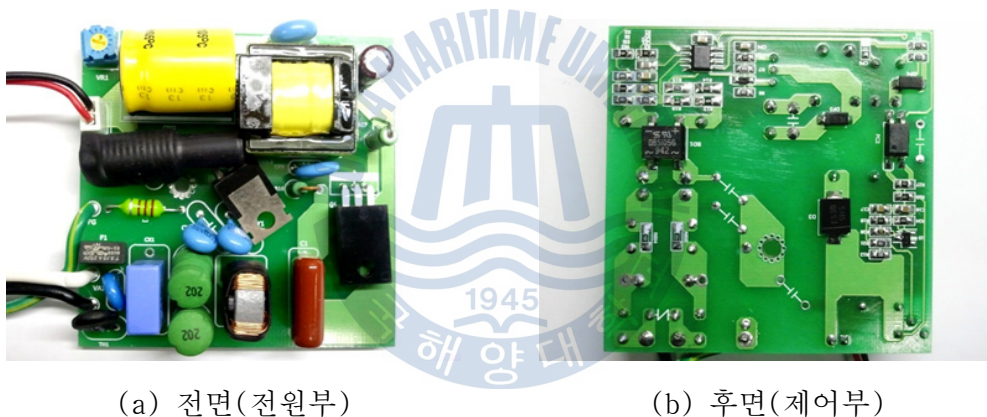
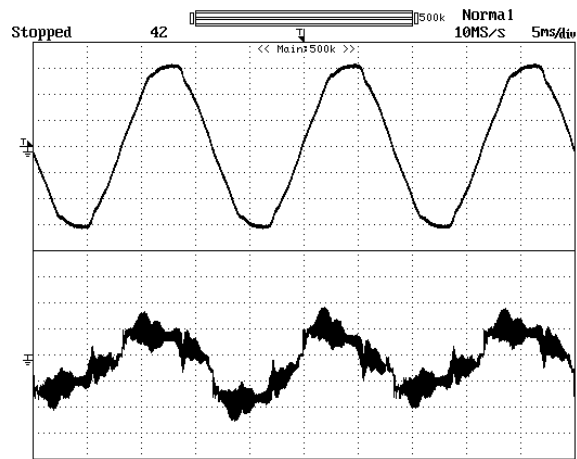


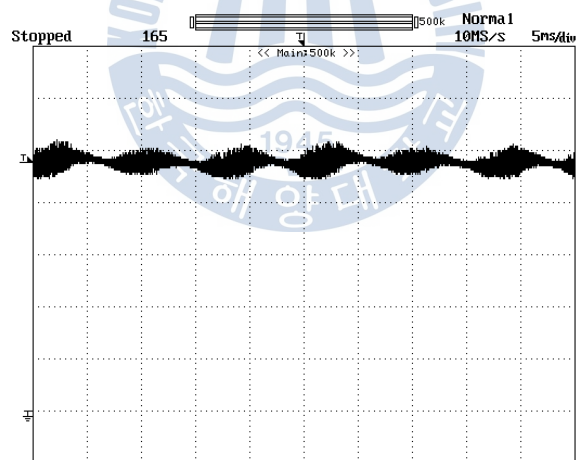
그림 3.28 AC/DC 컨버터의 사진

Fig. 3.28 Photographs of the AC/DC converter



상: 전압 [100V/div, 5ms/div]
하: 전류 [50mA/div, 5ms/div]

(a) 입력 전압 및 전류



[5 V/div, 5 ms/div]

(b) 출력 전압

그림 3.29 AC/DC 컨버터의 입출력 파형

Fig. 3.29 Input and output waveforms of the AC/DC converter

3.2.2 정전류 구동회로

LED의 V-I 특성은 그림 3.30와 같이 순방향 전압 V_f 의 변화에 대해 순방향 전류 I_f 가 급격히 변하는 특성을 갖는다. 또한 V_f 는 접합온도의 상승에 따라 점차 감소하므로 LED 모듈의 안정적인 동작을 위해서는 반드시 전원회로를 정전류로 구동해야한다^{[30]-[32]}.

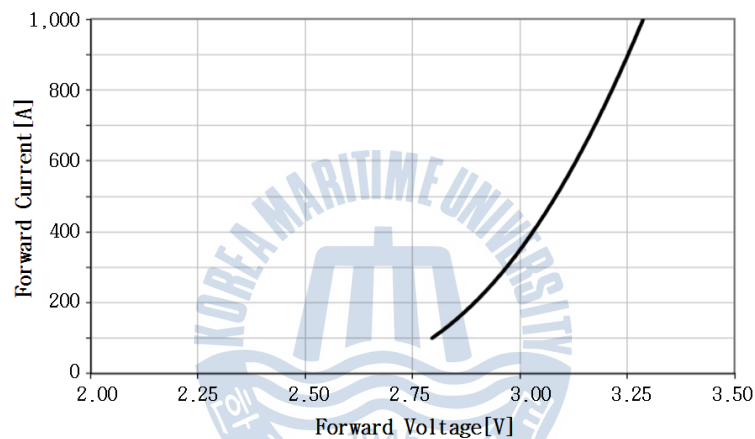


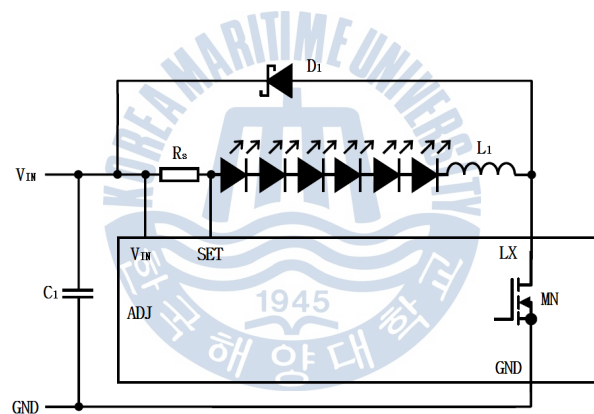
그림 3.30 LED 패키지의 V-I 특성

Fig. 3.30 V-I characteristic of a LED package

그림 3.31은 상용의 LED 드라이버 IC(ZETEX 1362)를 적용한 LED 모듈용 정전류 구동회로이며, 한 주기 동안의 동작은 그림 3.32의 2개 동작모드로 구분된다. 그림 3.32(a)는 IC 내부 스위칭 소자 NMN이 도통되었을 때 전류의 흐름을 나타낸 것이다. IC 내부에 인덕턴스 L_1 과 접지간에 연결된 스위칭 소자 NMN이 도통하면 전원전류는 전류 검출저항 R_s , LED 모듈, 인덕턴스 L_1 및 스위칭 소자 MN을 거쳐 흐르게 되고 이때 L_1 에는 자기 에너지가 축적된다.

스위칭 소자가 개방되면 그림 3.32(b)와 같이 인덕턴스 L_1 에 축적된 자기에너지에 의해 역기전력이 유기되고 다이오드 D_1 를 거쳐 프리휠링되며, 이러한 동작을 주기적으로 반복하면 결국 스위칭 소자의 동작에 의해 일정한 전류로 제한된다.

LED 드라이버 IC내의 제어기는 전류 검출저항 R_s 양단의 전압을 피드백하여 기준 전압과 비교하고 MN의 도통시간을 제어하기 때문에 LED 모듈에 흐르는 전류는 입력전압 V_{IN} 의 크기에 따라 주파수와 스위칭 소자 MN의 도통시간이 결정된다.



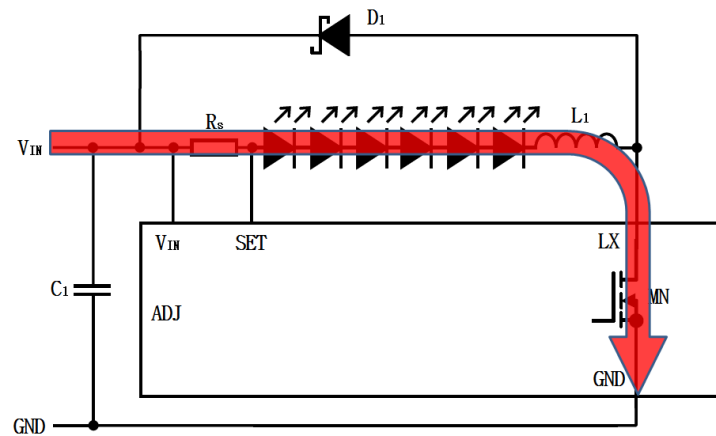
(a) 회로도



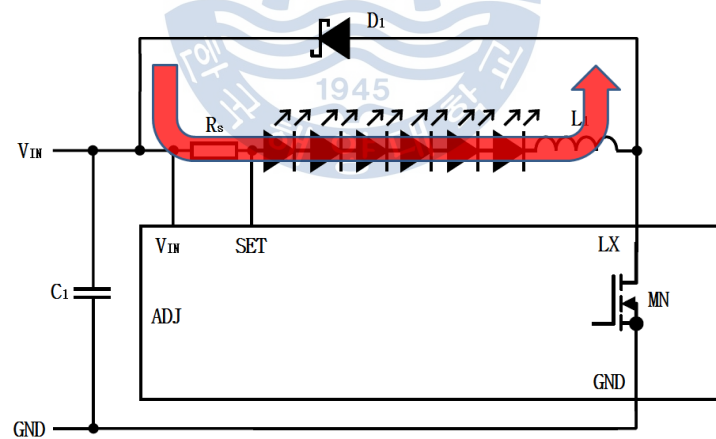
(b) 사진

그림 3.31 정전류 구동회로

Fig. 3.31 Circuit of the constant current driver



(a) 모드 I



(b) 모드 II

그림 3.32 한 주기 동안의 동작 모드

Fig. 3.32 Operation modes in a switching period

LED 모듈은 $360 [^\circ]$ 의 배광을 갖는 전주등을 고려하여 정육각형 전방향에 6개의 LED 패키지를 설치 후 직렬 구성하였다. 특별히 LED를 직렬 구성한 이유는 선박에서 사용하는 직류 24 [V]에 대응하여 순방향 전압을 형성하고 회로를 단일 직렬회로로 단순화하면 LED 패키지에 이상이 발생하여 항해등이 소등될 경우 LED 모듈에 흐르는 전류를 계측하여 이상 유무를 쉽게 판단할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

본 연구에서는 LED 항해등 광도의 최대값을 약 200 [cd]로 설정하기 위하여 LED 모듈의 전류를 350 [mA]로 조정하였다. 그림 3.33은 LED 모듈의 흐르는 전류를 350 [mA]로 조정한 뒤 입력전압 24 [V]를 인가했을 때의 파형을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 정전류 구동을 위한 고주파 스위칭에 의해 약 25 [%]의 리플을 포함하지만 LED 모듈의 순방향 전류 I_f 는 352 [mA], 순방향 전압 V_f 는 18.2로 소비전력은 6.4 [W]임을 나타냈다.

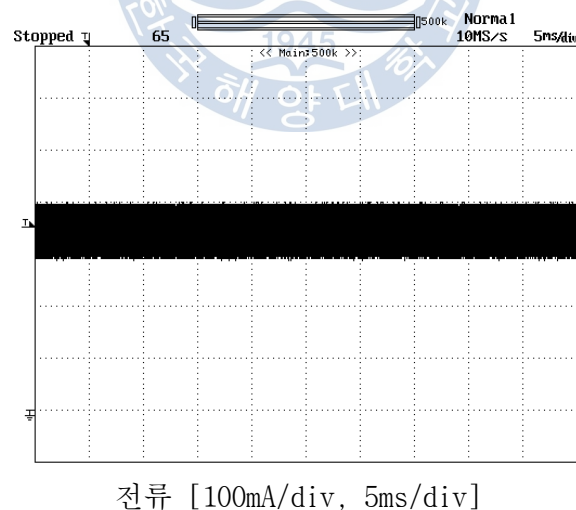


그림 3.33 LED 모듈의 전류 파형

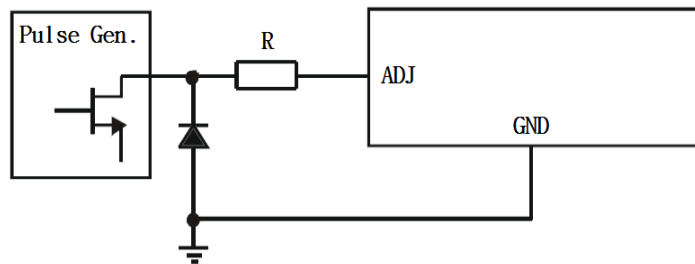
Fig. 3.33 Current waveform of the LED module

3.2.3 펄스 구동회로

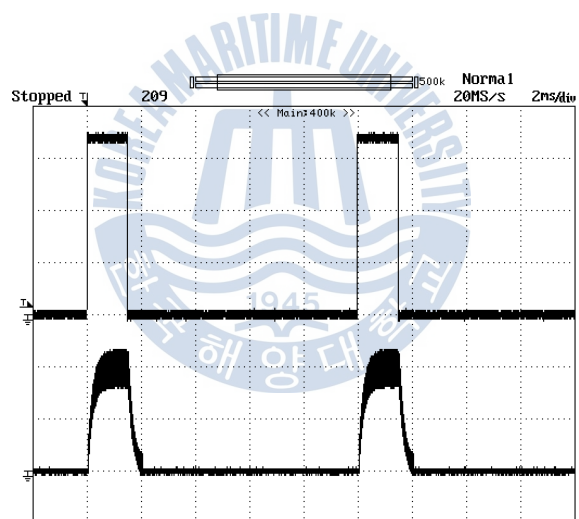
LED를 구동하는 방법에는 DC의 연속전류를 인가하는 정전류 구동방법 외에도 LED에 펄스형 전류를 인가하는 펄스 구동방법이 있다. 이는 LED를 이용한 문자나 표시등의 순시 광출력을 증가시키고 펄스폭을 제어함으로써 광량을 선형적으로 조절할 수 있기 때문에 가시적인 효과를 높이기 위한 간판 및 사인조명에 주로 사용하는 방법이다^{[33]-[35]}.

펄스 구동에 대한 실질적인 예는 통상 광과표지로 활용되는 등대 및 등명기가 있으며 부동광(fixed light)이 아닌 섬광의 형태로 빛을 전송하는 방법을 이용한다. 이는 브로카-술처 효과(Broca-Sulzer effect)를 적용하여 50 [ms] ~ 100 [ms]의 지속시간을 갖는 강한 섬광이 상대적으로 빛의 세기는 작고 긴 지속시간을 갖는 섬광에 비해 더욱 밝게 인식되는 자극의 세기와 시감각의 관계를 이용하는 것이다^{[36]-[37]}.

본 연구에서 제안하는 펄스 구동방식은 이러한 브로커-술처 효과와 플리커(Flicker)를 느끼지 않도록 빠르게 단속되는 빛의 세기는 실효광도가 평균광도로 인식되는 태벗-플래토 법칙(Talbot-Plateau law)을 혼용한 것으로 LED에 정격 이상의 높은 피크전류와 낮은 도통시간의 펄스형 전류를 인가하는 것이다. LED 항해등을 구동하는 방법에 있어 직류 구동과 펄스 구동중 보다 효과적인 방법을 결정하기 위하여 LED 모듈에 인가되는 전류의 크기 및 펄스폭 가변에 따른 광출력을 상호 비교, 분석하였다. 그림 3.34는 펄스 구동을 위한 회로구성을 간략하게 나타낸 것이다. LED 모듈의 정전류 구동을 위한 드라이버 IC의 광출력 조절단자(ADJ pin)에 펄스폭변조(PWM ; Pulse-Width Modulation) 신호를 인가함으로써 구형파 펄스 구동을 구현하였다. 출력전류의 크기는 그림 3.31의 전류 검출저항 R_s 와 광출력 조절단자에 인가되는 전압을 가변함으로써 100 [mA] ~ 2,000 [mA]까지 조절할 수 있다.



(a) 회로도



상: 전압 [1V/div, 2ms/div]
하: 전류 [0.5A/div, 2ms/div]

(b) 출력 파형

그림 3.34 펄스 구동회로

Fig. 3.34 Pulse driving circuit

실험은 정전류 350 [mA]가 흐를 때 광도 200 [cd]를 기준으로 펄스 전류의 최대값을 1,000 [mA]로 고정한 뒤 펄스 전류의 시비율을 5 [%] ~ 50 [%] 가변함에 따른 광도의 변화를 측정하였다. 또한, 펄스 전류의 주파수에 대한 영향도 함께 분석하기 위하여 주파수를 60 [Hz] ~ 1,000 [Hz]로 변화시켰을 때 광출력 특성을 분석하였다. 실험계는 항해등의 수평면으로부터 2 [m] 떨어진 거리에서 조도를 측정한 뒤 광도를 산출하였다.

그림 3.35는 펄스 전류의 시비율에 따른 광도의 변화를 나타낸 그래프로써 순방향 전류와 시비율에 비례하여 광출력이 선형적으로 상승하는 것을 확인할 수 있으며 주파수가 증가함에 따라 출력이 약간의 차이는 있지만 시비율에 따라 광도가 비례적으로 증가하고 있다. 이는 LED 모듈에 전달되는 전력이 비례적으로 상승하는 결과이며, 실질적으로 실효전류 350 [mA]의 전류는 시비율 35 [%]의 펄스 전류로 산출되지만 광도를 실험결과로부터 보간하여 산출하면 약 160 [cd]로 정전류 구동에 비해 펄스 구동 방식의 광출력이 상대적으로 적다는 것을 확인할 수 있다.

그림 3.36은 동일한 실험에 대하여 주파수에 대한 광도의 변화를 나타낸 것으로 시비율 30 [%] 이상의 펄스 전류는 주파수가 증가함에 따라 광도가 미소하게 증가하지만 그 변화폭은 매우 미약하다.

실험 결과, 펄스 구동방식은 정전류 구동방식에 비해 광출력이 낮았다. 이는 선행된 연구와도 일치하는 결과이며 만약 LED 항해등을 5 [Hz] ~ 10 [Hz]의 섬광형태로 구동한다면 사람의 시각특성에 따라 결과는 달라질 수 있겠지만 항해등은 연속적으로 점등하는 부동광으로 점등해야 하므로 LED 항해등의 전원회로는 정전류 방식을 적용하는 것이 바람직하다.

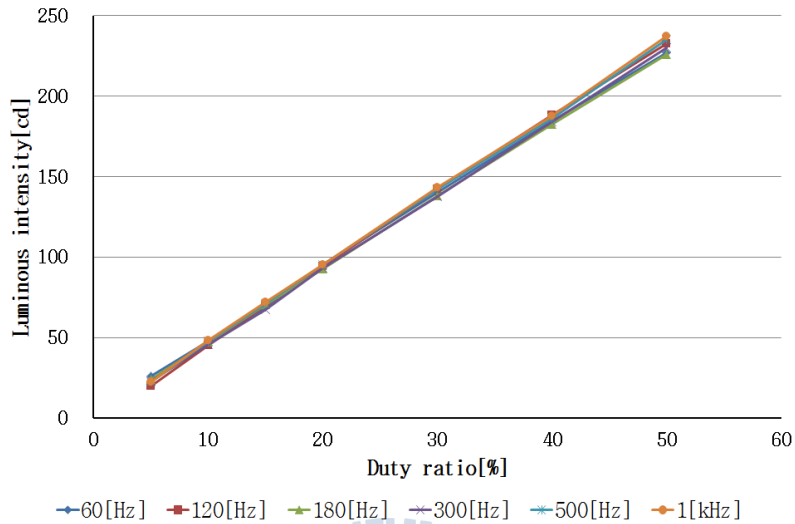


그림 3.35 시비율에 따른 광도의 변화

Fig. 3.35 Changes of luminous intensity depending on duty ratio

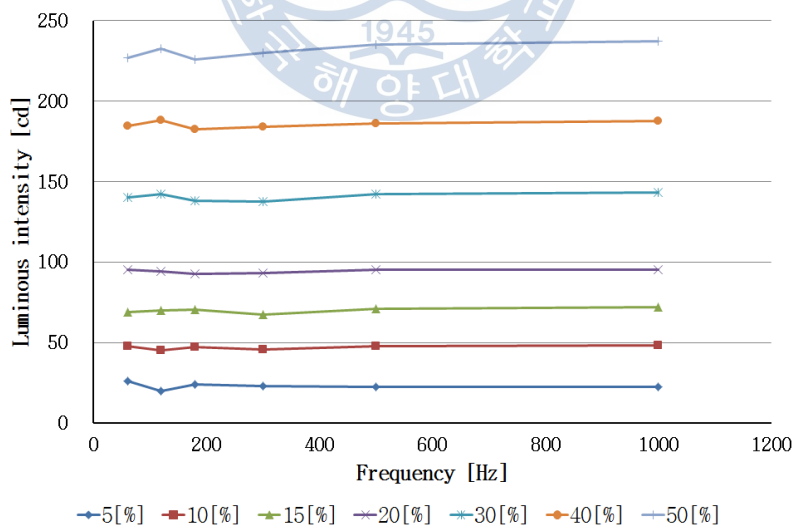


그림 3.36 주파수에 따른 광도의 변화

Fig. 3.36 Changes of luminous intensity depending on frequency

3.2.4 LED 모듈 감시회로

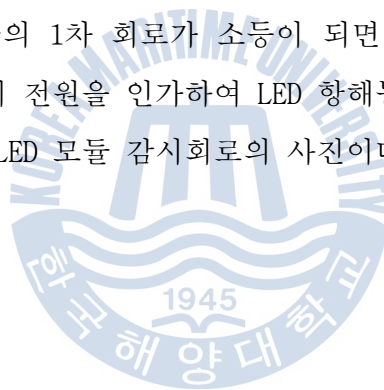
항해등은 선박의 안전을 위한 필수 장비로 하나의 항해등이 고장이 나거나 2차 광원이 작동될 경우 (이중 렌즈 타입의 경우) 반드시 조타실 또는 인접한 구역에 설치된 항해등 제어기를 통하여 경보를 발해야 한다. 모든 항해등의 1차 광원 고장시 그 전원은 자동으로 2차 광원으로 전환되고 제어반의 지시기가 점등되어야 한다. 또한 광원의 이상에 의해 동작된 지시등은 완전히 수리될 때 까지 유지되어야 한다. 이러한 일련의 과정은 항해등 제어기의 릴레이에 의해 동작하며 기존 항해등의 경우 백열전구의 필라멘트가 손상되어 끊어진 경우 회로에 흐르는 전류가 0이 되기 때문에 이를 감지하여 항해등의 이상 유무를 판단 및 제어한다.

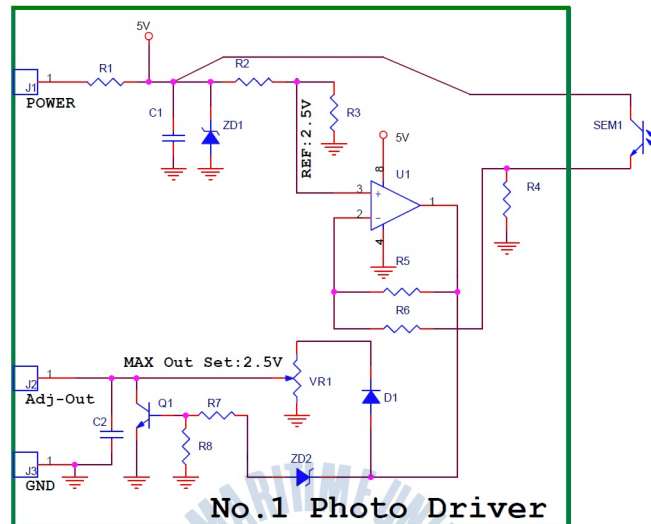
기존의 항해등은 광원을 백열전구 또는 할로겐 전구를 사용하기 때문에 광원의 이상현상은 전구 내부의 필라멘트 단선 밖에 없다. 그러나 LED 광원의 경우 LED 패키지의 고장, 전원장치 및 각종 열화로 인한 광속의 저하등 다양한 고장의 형태가 발생할 수 있다. 이중에 LED 패키지의 고장 및 전원장치의 이상으로 인하여 LED 모듈이 소등이 되면 회로에 흐르는 전류가 0이 되므로 항해등 제어기에서는 항해등의 이상유무를 판단하기가 매우 용이하다. 하지만 열화 또는 기타 이상조건에 따라 LED 모듈의 광속이 규정에서 요구하는 최소의 광달거리를 만족하지 못하는 수준으로 저하되면 기존의 제어방식으로는 확인할 수 있는 방법이 없다.

따라서 국제해사기구 해상안전위원회는 RESOLUTION MSC.253(83) ANNEX 31 4.3항에 LED를 광원으로 하는 항해등에 대하여 특별한 요구사항을 추가하였다. 이는 LED 항해등의 광출력이 저하되었을 경우 제어반에서 이를 인지할 수 있도록 알람 기능을 구비하거나 제조사가 명시하는 수명 이내로 사용하도록 하는 것이다.

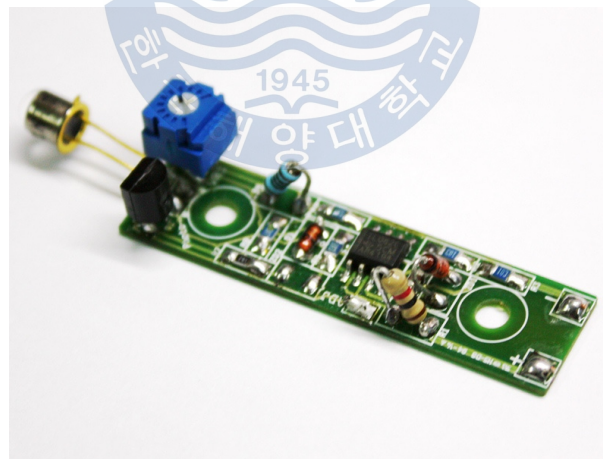
본 연구에서는 그림 3.37과 같이 광센서를 이용하여 LED 모듈의 광출력 저하를 감지할 수 있는 LED 모듈 감시회로를 설계, 제작하였다.

LED 모듈에서 방사되는 빛은 광센서 SEM1에 의해 검출되고 빛의 세기에 반비례하여 $200 [\Omega] \sim 900 [\Omega]$ 의 값으로 가변되며, 저항 R4 양단의 전압은 OP-Amp U1의 반전 입력으로 인가되어 비교회로에 의해 기준전압 ($2.5 [V]$)에 대한 전압차가 출력된다. 이 출력전압은 D1 및 VR1을 거쳐 LED 모듈의 전원회로의 Adj 단자와 연결되어 있다. 따라서 LED 모듈이 열화되어 광출력이 요구되는 최소의 광도 이하로 저하될 경우 LED 모듈은 강제 소등되며, 외부 항해등 제어기는 LED 모듈의 입력측에 연결된 DC 릴레이의 의해 LED 모듈의 1차 회로가 소등이 되면 자동으로 이상 램프를 점등시키고 2차 회로에 전원을 인가하여 LED 항해등을 재점등 시킨다. 그림 3.37(b)는 시제작 LED 모듈 감시회로의 사진이다.





(a) 회로도



(b) 사진

그림 3.37 LED 모듈 감시회로

Fig. 3.37 Monitoring circuit of the LED module

제 4 장 평가 및 분석

4.1 전기, 광학적 특성

배광측정기는 광원의 각 방향에 대한 광도의 분포를 측정하는 장비로 극좌표계를 이용하여 수직 및 수평 배광곡선 또는 직각좌표계를 이용한 배광곡선을 계측한다. LED 등기구에 관한 광출력 및 광효율은 북미조명학회(The Illuminating Engineering Society of North America)의 IESNA LM-79-08(Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products)의 기준에 의거하여 측정하며 배광측정 방법 및 종류는 IESNA LM-75-01(Goniophotometer Types and Photometric Coordinates)에 정의되어 있다.

광원 또는 등기구에 의한 배광분포를 측정하기 위해서는 그림 4.1과 같이 전방사면에 대한 광도를 측정할 수 있는 3차원의 구좌표계가 필요하다. 또한, 광속 Φ [lm]을 측정하기 위해서는 식 4.1과 같이 반지름 r 에 의해 형성되는 구표면적을 통과하는 빛을 계측하여 적분하여 얻을 수 있다. 이러한 측정계에서는 광원 또는 빛을 발산하는 등기구를 점광원으로 근사하기 위하여 광원과 광측정 센서의 거리 r 을 가능한 멀리한다.

$$\Phi = \int_A E(\theta, \phi) dA = r^2 \int_{\phi=0}^{2\pi} E(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (4.1)$$

IESNA LM-75-01은 배광측정을 위한 좌표계를 광원에서 방사되는 빛의 형상에 따라서 세 가지로 분류하고 있으며 그림 4.2는 각 좌표계에 대해서 광측정 센서에서 바라봤을 때 등기구의 회전축을 나타내고 있다.

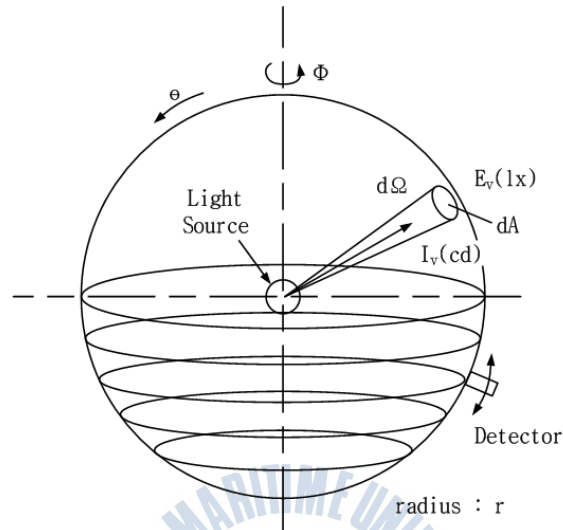
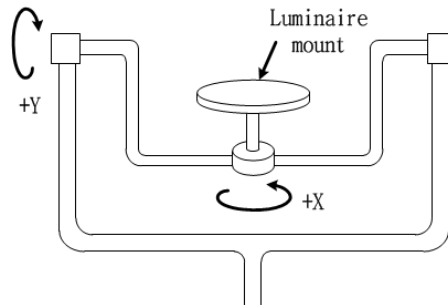


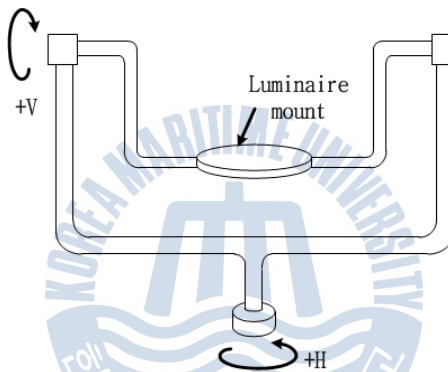
그림 4.1 광도 측정을 위한 좌표계
Fig. 4.1 Coordinate for photometry

여기서, r =반지름 [m], I =광도 [cd], Ω =입체각 [sr]
 E =조도 [lx], A =면적 [m^2]

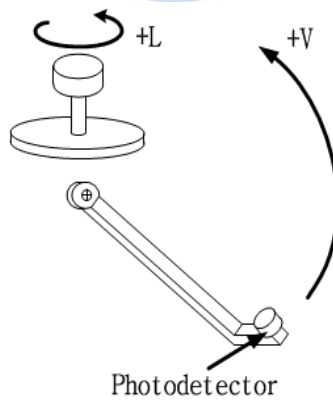
Type A 또는 Type B은 주로 자동차용 전조등, 안전표지판, 등명기 및 항해등과 같이 빛이 협각으로 방사되는 조명기구의 배광분포 측정에 주로 사용되며 Type C (Boom type)은 일반 실내용 소형 조명기구의 광측정에 적용하지만 등기구의 크기, 광출력 및 무게가 클 경우 반사용 거울을 회전시켜 배광특성을 계측하는 회전거울형을 이용한다. 그러나 배광측정기는 광원 또는 등기구의 2개의 축을 중심으로 회전하는 구좌표계를 사용하기 때문에 좌표축만 변환하면 결국은 모두 동일한 계측이 가능하다.



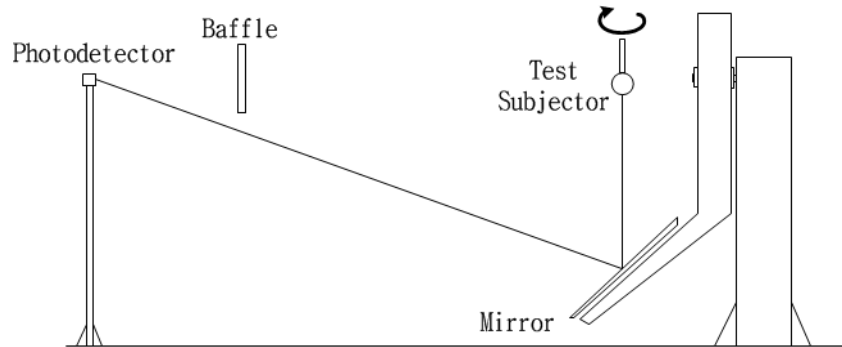
(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C (Boom type)



(d) Type C (Swinging mirror type)

그림 4.2 배광측정기의 종류

Fig. 4.2 Types of goniophotometer

4.1.1 실험계의 구성

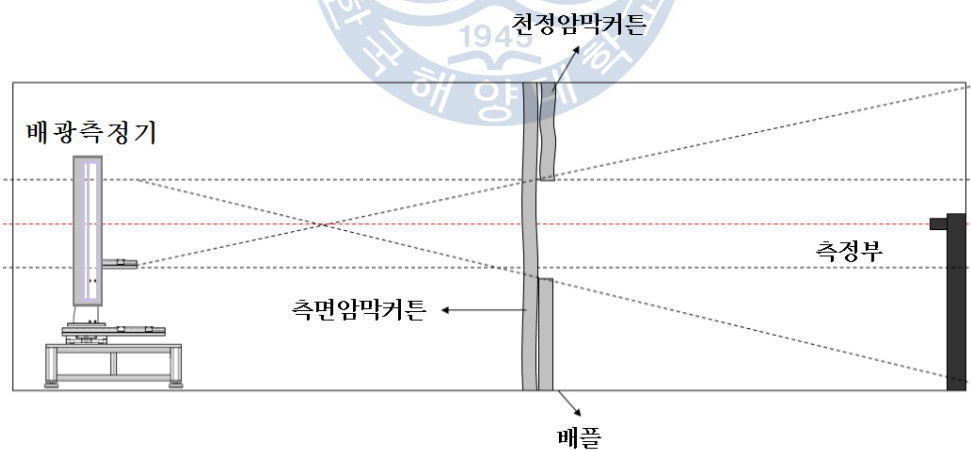
제안한 LED 항해등은 광달거리가 6 [NM]인 장등을 기준으로 설계하였기 때문에 방사되는 빛은 약 11 [km] 이상 도달하게 되며 보다 정밀한 수평 및 수직 배광분포를 측정하기 위해서는 실내조명용 배광측정기 (Type C) 보다 항해등 전용의 배광측정기를 적용하는 것이 바람직하다.

배광측정시스템은 광검출기를 이용하여 조도를 측정한 뒤 광도로 변환하여 각도별 가중치를 적용하게 된다. 이 때 정밀한 광도를 측정하기 위해서는 광원 및 등기구를 점광원으로 근사하여 조도의 역자승 법칙이 적용될 수 있는 충분한 거리가 필요하다. 본 연구에서는 호주 Photometric Solutions International 사의 중형 배광측정기 ASG-3.0을 이용하였다. 암실은 항해등과 측정부간의 거리가 25 [m] 떨어져 있으며 벽면 및 바닥면에 반사된 빛을 차단하기 위한 암막커튼, 배플막이 적용되어있다. 그림 4.3은 배광측정기의 사진 및 암실의 구성을 나타낸 것이다. 또한, 차광막에 의한 항해등의 Cut-off 특성을 정밀하게 분석하기 위하여 PIMACS 사의

NeoLight 8000 모델을 병용하였다. 이 시스템의 광원과 측정부간의 거리는 13 [m]이다.



(a) 사진



(b) 암실

그림 4.3 배광측정기

Fig. 4.3 Goniophotometer

4.1.2 배광 특성

항해등은 광원으로부터 방사되는 빛을 원거리의 관측자가 확인할 수 있도록 하는 것이 목적이므로 성능에 있어 가장 중요한 요소는 수평 및 수직 배광특성이다. COLREG 및 EN 14744에서 규정한 수평 배광 성능은 항해등의 종류에 따라 최소 광달거리가 정해지면 식 2.3에 의해 광도를 산출하며 모든 측정값은 계산한 최소 광도 이상이어야 한다. 그러나 실질적으로는 항해등이 현장에 설치되었을 경우 빛의 감쇄를 감안하여 표 2.2의 광도를 만족하도록 하고 있다.

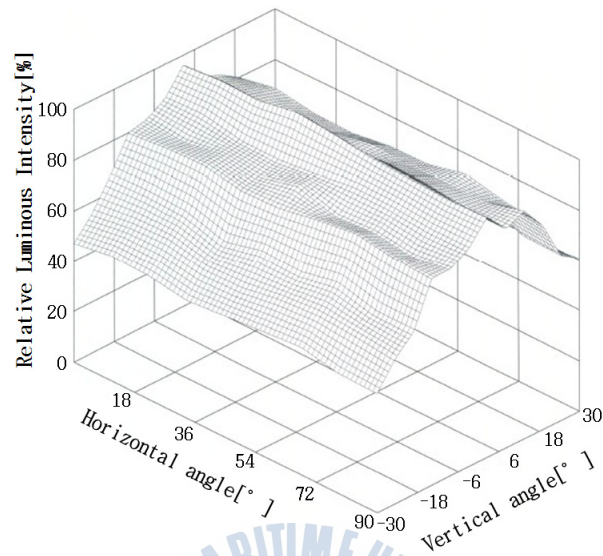
선박에 설치된 현등은 다른 항해등과 달리 정선수방향에 대해서는 요구되는 최소한도의 광도를 가져야 하며 규정되어 있는 사광각도의 외측에서 1° ~ 3° 사이에서 실질적으로 빛이 차단되어야 한다. 선미등, 장등 및 정횡후 22.5° 범위의 현등에서는 요구되는 최소한의 광도를 사광 범위 내부 5° 로부터 규정된 한계선에 달할 때까지 광도는 50 [%] 감소될 수 있다. 이는 점점 감소되어 사광각도 외측 5° 로부터 규정된 한계선에 달할 때까지 광도는 50 [%] 감소될 수 있으며 사광각도 외측 5° 이상에서는 실질적으로 차단되어야 한다.

정박등을 제외한 전주등은 마스트, 톱마스트 또는 구조물에 의하여 6° 를 넘는 범위에서 차단되지 않도록 설치되어야 한다. 그러나 정박등은 선체상 실행 불가능한 높이에까지 달 필요는 없다.

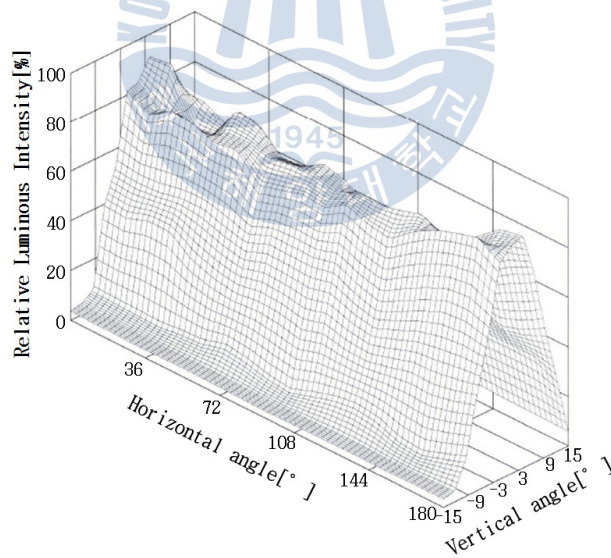
항해중인 범선에 대한 등화를 제외하고 전기적인 설비 등화의 수직 사광 범위는 적어도 요구되는 최소한의 광도를 수평면상 5° 로부터 수평면하 5° 까지 전사광 범위에서 유지해야하며 수평면상 7.5° 로부터 수평면하 7.5° 까지는 최소 광도의 60 [%]를 유지해야한다. 만일 항해중인 범선의 경우는 수평면상 25° 로부터 수평면하 25° 까지 요구되는 최소 광도의 50 [%]를 유지해야 한다.

배광시험방법은 규정에 따라 수평 배광시험과 수직 배광시험으로 나눌 수가 있으며 배광측정기의 회전대 위에 항해등의 광원을 렌즈의 중심에 위치시키고 정격 전압으로 점등하여 측정한다.

그림 4.4는 팔각형 모듈 및 육각형 모듈이 적용된 항해등에 대한 광도 분포를 나타내고 있다. 수평배광측정범위는 $0[^\circ] \sim 90[^\circ]$ 이며 수직배광측정범위는 $-30[^\circ] \sim 30[^\circ]$ 이다. 그림 4.4(a)의 팔각형 모듈을 적용한 LED 항해등은 LED 패키지의 위치가 렌즈의 중심뿐만 아니라 그 외의 전 영역에 분포하므로 배광이 전반적으로 확산됨을 확인할 수 있다. 그림 4.4(b)의 육각형 모듈을 광원으로 제작된 LED 항해등의 배광 분포는 고출력 LED의 지향각 특성으로 인하여 수평배광이 다소 편차가 있지만 수직배광의 경우 LED 광원이 렌즈의 중심에 가깝게 배치되어 있기 때문에 팔각형 모듈과는 달리 집광이 되어 상, 하 $5[^\circ] \sim 7.5[^\circ]$ 의 좁은 각으로 빛이 퍼져나감을 확인할 수 있다. 항해등의 수직배광 특성은 반드시 좁은 각으로 집광되어야 하는 규정은 없기 때문에 규격상의 최소 광달거리를 만족한다면 사용상 문제는 없다. 그러나 항해등의 목적상 상, 하 $5[^\circ] \sim 7.5[^\circ]$ 를 벗어난 배광은 광달거리를 구현하는데 기여하지 못하므로 실질적으로는 손실에 해당한다. 항해등의 용도로는 육각형 모듈이 팔각형 모듈에 비해 광학적 특성이 개선된 것을 확인할 수 있으며 이를 적용한 LED 항해등이 목표 배광을 구현하는데 유리한 것을 확인하였다. 따라서 이후 성능에 대한 평가는 육각형 모듈을 적용한 LED 항해등만을 고려하였다.



(a) 팔각형 모듈



(b) 육각형 모듈

그림 4.4 3차원 광도 분포

Fig. 4.4 3D luminous intensity distribution

표 4.1~4.5는 PIMACS 사의 NeoLight 8000 모델을 이용하여 시제작 LED 항해등의 광도 분포를 측정한 결과이다.

장등은 사광범위가 225 [°]이므로 5개의 백색 LED 패키지를 직렬 1회로 구성하였으며 소비전력을 측정한 결과 5.6 [W]를 나타내었다. 수평 광도는 평균 184.7 [cd]로 최소 광도인 94 [cd]의 약 2배이며 실용상의 기준인 118 [cd] 보다 1.5배 높은 특성을 나타내고 있다. 이는 60 [W] 백열 전구를 사용하는 기존 항해등의 평균 수평광도인 150 [cd]에 비해 약 20 [%] 향상된 결과이며 소비전력은 기존 대비 9.3 [%] 수준으로 90 [%] 이상 감소되었다.

표 4.1 시제작 장등의 광도 분포

Table 4.1 Luminous intensity distribution of the prototype masthead light

종류	소비전력 [W]	방향	일반 범위[°]	차단 범위[°]	
			-107.5 ~ 107.5	외부 5	5 이내
장등 (6 [NM], 225 [°])	5.6	수평	184.7	2.3	74.5 ~ 156.6
		방향	일반 범위[°]	차단범위[°]	
			-5 ~ 5	외부 5 ~ 7.5	
		수직	154.4	90.2	

선미등은 사광범위가 135 [°]이므로 3개의 백색 LED 패키지를 직렬 1회로로 구성하였으며 소비전력을 측정한 결과 2.3 [W]를 나타내었다. 수평 배광특성은 평균 46.9[cd]로 최소 광도인 12 [cd]의 약 3.9배이며 실용상의 기준인 15 [cd] 보다 3.1배 높은 특성을 나타내고 있다. 기존의 선미등은 일반 40 [W] 백열전구를 사용하므로 소비전력은 기존 대비 5.8

[%] 수준으로 이 역시 약 90 [%] 이상 감소되었다.

표 4.2 시제작 선미등의 광도 분포

Table 4.2 Luminous intensity distribution of the prototype stern light

종류	소비전력 [W]	방향	일반 범위[°]	차단 범위	
			-62.5 ~ 62.5	외부 5	5 이내
선미등 (3 [NM], 135 [°])	2.3	수평	46.9	2.8	9.4 ~ 36.7
		방향	일반 범위	차단범위	
			-5 ~ 5	외부 5 ~ 7.5	
		수직	43.7	21.4	

현등은 사광범위가 112.5 [°]로 항해등 중에 가장 좁은 사광범위를 가지고 있지만 선박의 진행방향을 판단할 수 있는 중요한 역할을 하기 때문에 다른 항해등에 비해 보다 엄격한 차단 범위를 갖는다. 따라서 현등용 LED 모듈은 각각 3개의 녹색 및 적색 LED 패키지를 직렬 1회로로 구성하였으며 소비전력을 측정한 결과 우현등은 2.5 [W], 좌현등은 2.9 [W]를 나타내었다. 수평광도는 우현등 및 좌현등이 각각 평균 43.7 [cd], 38.2 [cd]로 최소 광도인 12 [cd]에 비해 약 3배 이상의 높으며 실용상의 최소 광도인 7.5 [cd]에 비해 2.5 ~ 2.9배이다. 또한 현등의 선수방향 외측 3 [°] 이내는 1.5 [cd] ~ 1.8 [cd]로 규정에서 요구하는 차단특성도 만족함을 확인하였다. 이는 60 [W] 백열전구와 컬러 렌즈를 사용하는 기존 항해등과 유사한 광출력 특성이며 소비전력은 기존 대비 약 95 [%] 이상 감소되었다.

표 4.3 시제작 우현등의 광도 분포

Table 4.3 Luminous intensity distribution of the prototype starboard light

종류	소비전력 [W]	방향	일반 범위[°]	차단 범위[°]	
			-51.25 ~ 51.25	외부 3	5 이내
우현등 (3 [NM], 112.5[°])	2.5	수평	43.7	1.8	25.3 ~ 40.0
		방향	일반 범위[°]	차단범위[°]	
			-5 ~ 5	외부 5 ~ 7.5	
		수직	40.1	22.7	

표 4.4 시제작 좌현등의 광도 분포

Table 4.4 Luminous intensity distribution of the prototype port light

종류	소비전력 [W]	방향	일반 범위[°]	차단 범위[°]	
			-51.25 ~ 51.25	외부 3	5 이내
좌현등 (3 [NM], 112.5[°])	2.9	수평	38.2	1.5	25.9 ~ 33.5
		방향	일반 범위[°]	차단범위[°]	
			-5 ~ 5	외부 5 ~ 7.5	
		수직	37.3	24.8	

예인등은 사광범위가 135 [°]이므로 3개의 황색 LED 패키지를 직렬 1 회로로 구성하였으며 소비전력을 측정한 결과 3.5 [W]를 나타내었다. 수평 배광특성은 평균 44.0 [cd]로 최소 광도인 12 [cd]의 약 3.7배이며 실용상의 기준인 15 [cd] 보다 2.9배 높은 특성을 나타내고 있다. 기존의 예인등은 일반 40 [W] 백열전구를 사용하므로 소비전력은 기존 대비 8.8 [%] 수준으로 이 역시 약 90 [%] 이상 감소되었다.

표 4.5 시제작 예인등의 광도 분포

Table 4.5 Luminous intensity distribution of the prototype towing light

종류	소비전력 [W]	방향	일반 범위[°]	차단 범위	
			-62.5 ~ 62.5	외부 5	5 이내
예인등 (3 [NM], 135 [°])	3.5	수평	44.0	1.8	9.6 ~ 33.5
		방향	일반 범위	차단범위	
			-5 ~ 5	외부 5 ~ 7.5	
		수직	44.8	28.5	

본 연구에서 제안한 LED 항해등은 백열전구 및 할로겐 전구를 사용하는 기존 광학계를 이용하기 때문에 상대적으로 작은 LED 광원의 위치에 매우 민감한 특성을 갖는다. 따라서 LED 모듈을 설치할 때 LED의 위치가 균일하게 분포해야하며 수평배광의 Cut-off 특성을 만족하기 위해서는 LED 간의 빛의 간섭을 차단할 수 있도록 별도의 조치가 필요하다.

이처럼 시제작한 LED 항해등에 대한 수직 및 수평 배광특성은 측정, 분석한 결과, 5종의 항해등 모두 관련 규격을 만족하고 있으며 장등의 경우 평균 광도가 기존 백열전구를 광원으로 하는 항해등에 비해 약 20 [%] 이상 향상되었으며 소비전력은 1/10 수준으로 기존 대비 높은 효율을 나타냄을 확인하였다.

4.2 온도 특성

LED 모듈의 발열에 대한 열적 특성을 분석하기 위하여 온도 레코더 TLOG-1100을 이용하여 주위온도 25 [°C]의 실내에서 항해등을 점등시킨 후 LED 패키지와 가장 인접한 부근, 히트 싱크 및 등기구 외함에 대한 온도를 측정하였다. 측정은 70 분 동안 수행되었으며 각 지점의 온도의 변화는 그림 4.5와 같다. 가장 온도가 높은 지점은 발열부인 LED 패키지 부근으로 점등 초기에 급격히 상승하여 약 44 [°C]에 포화되었다. 히트 싱크도 완만하게 상승하지만 약 44 [°C]에서 평탄한 특성을 나타내었으며 외함은 약 33 [°C]에서 포화되었다.

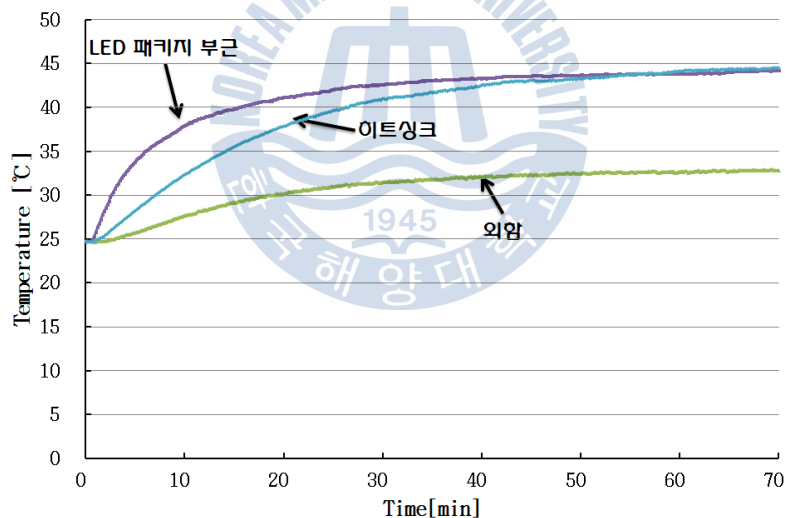


그림 4.5 항해등의 발열성능

Fig. 4.5 Thermal characteristics of the navigation light

그림 4.6은 열 방출특성을 관찰하기 위하여 열화상 카메라 (i50/FLIR)를 이용하여 시제작한 LED 항해등 점등시 발열분포를 측정한 것이다. 그

림에서와 같이 열은 등기구 외함 및 렌즈를 통하여 복사형태로 분산되고 있으며 상부에 온도가 상승되어 있는 부분은 금속으로된 명판으로 실용상 온도 상승에 대한 영향은 없을 것으로 판단된다. 그림 4.6(b)의 LED 모듈의 온도분포는 LED 패키지에 집중되어 있으며 50 [°C] 내외로 발열하고 있지만 히트 싱크의 온도는 20 [°C] ~ 30 [°C]를 유지하며 충분한 방열이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

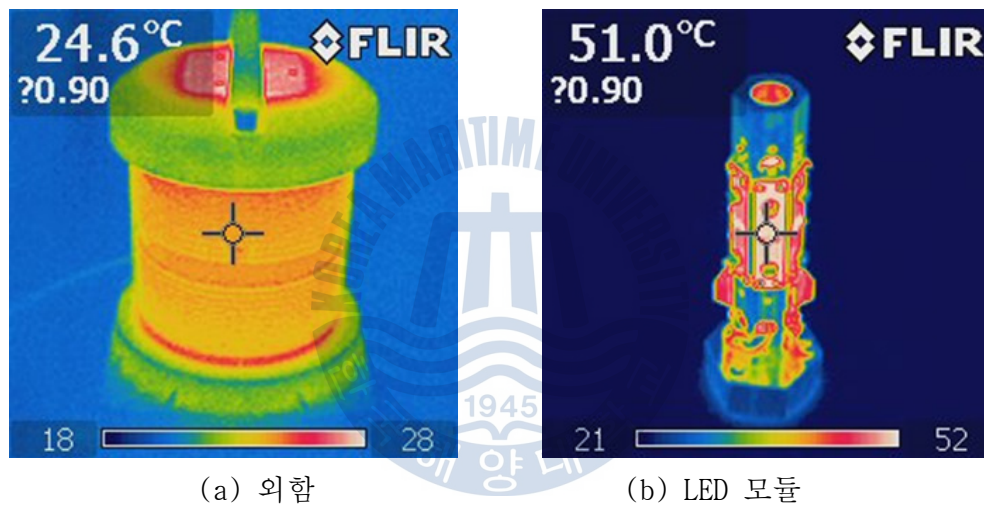


그림 4.6 시제작 항해등의 열분포

Fig. 4.6 Thermal distribution of the prototype navigation light

제 5 장 결 론

본 논문에서는 백열전구 또는 할로겐 전구를 광원으로 사용하는 기존 항해등의 단점을 개선하고 이를 대체할 수 있는 고효율 LED 항해등을 설계 및 제작하였다. 효율이 높고 친환경적이며 강한 내구성과 장수명을 갖는 LED를 항해등에 적용하기 위하여 기존 항해등의 광학계를 분석하고 이를 통하여 LED 모듈의 최적 배치와 등기구를 설계하였다. 또한 LED 모듈을 구동함에 있어 정전류 방식과 펄스 구동방식을 상호 비교, 검토함으로써 항해등에 적합한 구동방안을 제시하였다. 항해등의 종류별 다양한 색상을 구현하기 위한 합리적인 방안과 LED 모듈의 이상유무를 감지할 수 있는 감시회로를 설계하였다. 시제작 LED 항해등의 전기적, 광학적 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 항해등의 광학계는 초점거리가 65 [mm] ~ 70 [mm]인 프레넬 렌즈로 구성되어 있으며 렌즈를 통과하는 빛의 굴절경로를 모의한 결과, LED 광원은 기구의 중심에 위치할수록 집광에 유리하며 많은 수의 저전력 LED를 분산 배치하는 것보다 적은 수의 고효율 LED를 렌즈 초점 부근에 배치해야한다.
2. LED 패키지를 지지하는 동시에 방열기구 역할을 하는 알루미늄 히트싱크는 한 변의 길이가 12.5 [mm]인 정육각형 기둥의 형태로 제작되었고 무게를 감소시키고 방열효과를 개선할 수 있도록 내부를 가공하고 상, 하부에 방사형태로 구멍을 형성하였다. 제안한 히트 싱크는 가공

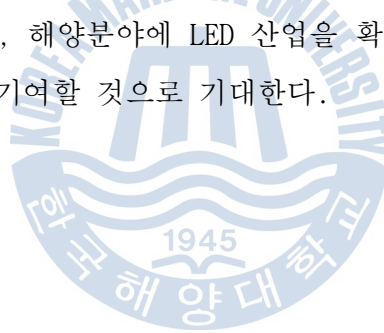
전에 비해 방열 표면적은 46 [%] 상승하고 질량은 30 [%] 감소하였으며 적외선 카메라와 실질적인 방열 실험결과, LED 모듈의 온도는 20 [℃] ~ 30 [℃]를 유지하였다.

3. 양현등 및 예인등의 녹색, 적색 및 황색의 색상 구현을 위하여 컬러 렌즈에 백색 LED 모듈을 적용하는 방법과 투명렌즈에 컬러 LED 모듈을 적용하는 방법을 스펙트럼 분석기를 이용하여 상호 비교, 검토하였다. 분석 결과, 우현등은 중심파장 520 [nm] ~ 535 [nm]의 녹색 LED, 좌현등은 중심파장 620 [nm] ~ 630 [nm]의 적색 LED 및 예인등은 중심파장 585 [nm] ~ 595 [nm]의 황색 LED를 각각 투명렌즈에 적용하는 것이 컬러 렌즈에 백색 LED를 사용하는 방법보다 더 높은 광출력을 나타내었다.
4. 제안한 LED 항해등용 전원장치는 DC 24 [V]의 비상전원 및 AC 220 [V] 상용전원에도 사용이 가능하도록 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터를 분리 가능하도록 설계, 제작하였다. LED 모듈의 구동에 있어 펄스 구동방식과 정전류 구동방식을 비교한 결과, 동일한 전력 대비 정전류 방식이 광출력이 높게 나타났으며 LED 항해등의 전원회로는 정전류 방식이 효율적이다.
5. LED 항해등은 광출력의 저하시 이를 제어반에서 인지 및 2차 광원으로 전환되어야 하므로 광센서를 통하여 LED 모듈의 출력을 실시간 감시할 수 있는 감시회로를 설계, 제작하였다.
6. COREG 및 EN 14744의 규정에 따라 시제작 LED 항해등의 전기적, 광학적 특성을 분석한 결과, 수직 및 수평 배광특성은 관련 규격을 모두

만족하였으며, 장등의 경우 평균 수평광도가 184.7 [cd]로 기존 항해 등 대비 약 20 [%] 향상되었으며 소비전력은 90 [%] 이상 감소되었다.

7. LED 모듈의 발열에 대한 온도 특성을 분석하기 위하여 온도 레코더 및 열화상 카메라를 이용하여 점등시 열분포를 측정하였다. 외함의 온도는 33 [°C]에서 포화되었으며 내부 LED 패키지 부근은 50 [°C] 내외로 발열하고 있지만 히트 싱크의 온도는 20 [°C] ~ 30 [°C]를 유지하였다.

이와 같이 본 논문은 국제적 수준의 LED 항해등을 설계하기 위한 이론과 실질적인 제작 방안을 제시하였다. 종래의 항해등의 고질적인 문제를 해결함과 동시에 조선, 해양분야에 LED 산업을 확대, 보급할 수 있는 기술 및 경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대한다.



참 고 문 헌

- [1] 지식경제부 산업경제 정책과, “녹색성장을 위한 산업발전 전략”, 2008.
- [2] Sun-Jae Kim, Kwang-Seok Jung, Un-Yong Jang, Sung-Ju Park and Gyung-Suk Kil, "Application of High-Brightness LED on a Shipboard Lighting System", 16th International Conference on Electrical Engineering, Jul. 2010.
- [3] 정현정, 김신국, 안홍관, 김재기, “철도차량 LED 실내등 적용 검토”, 한국철도학회 2011년도 춘계학술대회, pp.1457-1465, 2011.
- [4] 최권희, 전성현, 정병호, 이병석, 김국진, “고속전철용 전조등 설계에 관한 연구”, 한국철도학회 2004년도 춘계학술대 논문집, pp. 171-177, 2004.
- [5] 이장원, 임지원, “LED를 이용한 식물 성장 연구”, 201년도 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.121-124, 2010.
- [6] 차상욱, 김선재, 장운용, 길경석, 최철영, “어패류 양식을 위한 LED 광시스템”, 2010년도 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, pp.417-418, 2010.
- [7] 한창용, “선박 항해등의 특성과 관련 법규 및 IP 등급의 해설”, 한국마린엔지니어링학회 2010년도 후기학술대회 논문집, pp.181-182, 2010.
- [8] 윤점동, “1972 국제해상충돌예방규칙에 관한 협약”, 세종출판사, 2008.
- [9] 한국표준협회, KS V 8866 : 선박용 항해등 및 신호등, 2004.
- [10] Ronald N. Helms, "Illumination Engineering", Prentice-Hall Inc., 1980.
- [11] 김성현, 신익태, 양종경, 박대희, “Simulation을 통한 비대칭 배광을 갖는 LED 2차렌즈 설계”, 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.14-16, 2010.
- [12] Francis T.S. Yu and I.C. Khoo, “Principles of Optical Engineering”, John Wiley & Sons, 1990.

- [13] 조현석, “해상용 랜턴으로 사용하는 원통형 프레넬 렌즈 조명 시뮬레이션과 제작”, 한남대학교 대학원 석사학위논문, 2005.
- [14] 조현석, 조재홍, 박승남, 박철웅, 김용완, 김종태, “기울어진 비구면 프레넬 렌즈와 C-8 type 전구를 이용한 해상용 랜턴의 배광곡선 시뮬레이션을 통한 성능평가”, 한국광학회지, 제15권 제6호, pp. 511-518, 2004.
- [15] 강성원, 심상용, 김용환, 김용식, 이후락, 박창대, 정경열, “476배의 집광 비를 갖는 프레넬 렌즈를 이용한 이차 광학계 설계”, 2010년도 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, pp.239-241, 2010.
- [16] 박영덕, 김한필, 조현석, 송민욱, 류우찬, “Fresnel Lens를 활용한 Bulb Type LED Lamp 개발”, 한국조명·전기설비학회 2011 춘계 학술대회 논문집, pp.17-18, 2011.
- [17] 신형원, “Thermal Via에 따른 LED패키지의 열특성 규명에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문, 2010.
- [18] 이승민, 양종경, 조주웅, 이종찬, 박대희, “MCPCB의 온도에 따른 고출력 LED의 광학적, 열적 영향력 분석”, 대한전기학회논문지, Vol.57, No.12, pp.2276-2280, 2008.
- [19] 조현민, “고출력 LED 패키지 기술 개발 동향”, KETI, 2009년 9월호, pp.40-46, 2009.
- [20] 나현욱, “고출력 발광 다이오드 패키지의 열전달 특성에 관한 연구”, 전북대학교 대학원 석사학위논문, 2005.
- [21] S. L. Chuang, "Kinetic model for degradation of light-emitting diodes", IEEE J. Quant. Electron., Vol.33, No.6, pp.970-979, 1997.
- [22] J. Hu, L. Yang, W. J. Hwang and M. W. Shin, "Thermal and mechanical analysis of delamination in GaN-based light-emitting diode package", J. Cryst. Growth, Vol.288, No.1, pp.157-161, 2006.
- [23] 신경호, “렌즈를 이용한 고출력 LED 스포트라이트 설계”, 전남대학교 대학원 석사학위논문, 2005.

- [24] J. Hu, L. Yang and M. W. Shin, "Mechanism and thermal effect of delamination in light-emitting diode package", *Microelectron. J.*, Vol.38, No.2, pp.157-163, 2007.
- [25] N. Narendran and Y. Gu, "Life of LED-based White Light sources", *IEEE/OSA Journal of Display Technology*, Vol.1, No.1, pp.167-170, 2005.
- [26] Xiaobing Luo, Wei Xiong, Ting Cheng, Sheng Liu, "Design and Optimization of Horizontally-located Plate Fin Heat Sink for High Power LED Street Lamps", *Electronic Components and Technology Conference, ECTC 2009. 59th*, pp.854-859, 2009.
- [27] J. H. Yu, Wouter Oepts and Huub Konijn, "PC Board Thermal Management of High Power LEDs", *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium Twenty-fourth Annual IEEE*, 1065-2221, pp.63-67, 2008.
- [28] Young-Woo Kim, Sung-Mo Park, Min-Sung Kim, Jae-Pil Kim, Jae-Bum Kim, Sang-Bin Song and Yeong-Seog Lim, "Optimization of flexible substrate for COF(chip on flexible) LED packaging", *Electronic Components and Technology Conference, 59th*, pp.1953-1960, 2009.
- [29] Zhiling Ma, Xueren Zheng, Weijian Liu, Xiaowei Lin and Wanling Deng, "Fast thermal resistance measurement of high brightness LED", *Electronic Packaging Technology, 2005 6th International Conference*, pp.1-3, 2005.
- [30] 송상빈, "방열특성과 구동방식을 고려한 다운라이트용 LED 전구의 개발", 전남대학교 대학원 박사학위논문, 2006.
- [31] 임성무, 권용석, 송상빈, 여인선, "고출력 발광다이오드의 구동전압 유형에 따른 특성", *한국조명·전기설비학회 2003년도 학술대회 논문집*, pp.169-173, 2003.
- [32] 정지현, 송성근, 박성준, 장영화, 문채주, "Back-Boost 방식 고출력 LED 구동시스템", *전력전자학회논문지*, 제11권 제3호, pp.201-208, 2006.

- [33] 윤영남, 이상현, 조상호, 홍성수, 김창섭, 이효범, 한상규, “LED의 펄스폭 변조를 통한 휘도조절시 과도구간이 존재하지 않는 전류 제어 기법”, 전력전자학회논문지, 제16권 제1호, pp.64-70, 2011.
- [34] 이정호, 남기봉, 고재현, 김중현, “옛지형 LED 백라이트의 균일도 향상을 위한 도광판의 광구조 최적화”, 한국광학회지, 제21권 제2호, pp.61-68, 2010.
- [35] 김병수, 홍원표, “LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지 성능분석”, 한국조명·전기설비학회논문지, 제24권 제5호, pp.77-85, 2010.
- [36] Selig Hecht and Ernst Wolf, "INTERMITTENT STIMULATION BY LIGHT", The Journal of General Physiology, pp.369-389, 1932.
- [37] 해양수산부, 항로표지 업무편람, 1997.



연구논문 발표실적

◎ 국제전문학술지

- (1) "Diagnostic Expert System of Arrester Facilities in GIS-Substations", WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS, Issue 11, Vol.1, pp.1918-1923, Nov. 2006.
- (2) "PD Analyzer for Dielectric Test of Low-Voltage Electrical and Electronic Devices", WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS, Issue 1, Vol.6, pp.137-141, Jan. 2007.
- (3) "Analysis of Partial Discharge in Insulation Oil using Acoustic Signal Detection Method", WSEAS TRANSACTION on POWER SYSTEMS, Issue 3, Vol.3, pp.90-94, Mar. 2008.
- (4) "Measurements and analysis of the acoustic signals produced by partial discharges in insulation oil", Current Applied Physics, ELSERVIER, Issue 3, Vol.3, pp.296-300, Mar. 2009.

◎ 국내전문학술지

- (1) “휴대용 극저주파 전장측정기 개발”, 한국센서학회지, Vol.48, No.7, pp.120-127, 2000. 3.
- (2) “봉상접지극의 과도임피던스특성”, 해양정보통신학회논문지 Vol.5, No.1, pp.133-143, 2001. 3.
- (3) “방사선 펄스의 고안정계측 및 분석기술 개발”, 해양정보통신학회 논문지, Vol.5, No.2, pp.315-320, 2001. 6.
- (4) “대지전장측정에 의한 뇌경보시스템개발에 관한 연구”, 한국센서학회지, Vol.10, No.4, pp.44-52, 2001. 7.

- (5) “강압형 컨버터를 이용한 70W CDM 램프용 전자식 안정기 개발”, 한국해양정보통신학회논문지, 제6권 7호, pp.1055-1061, 2002. 9.
- (6) “방전신호검출에 의한 전기화재 예측”, 한국해양정보통신학회논문지, 제8권 2호, pp.413-419, 2004. 4.
- (7) “저주파 구동형 집어등용 전자식 안정기 개발”, 한국해양정보통신학회논문지, 제9권 5호, pp.1052-1058, 2005. 8.
- (8) “피뢰기 열화진단에 있어 전원고조파의 영향과 보정에 관한 연구”, 대한전기학회논문지, Vol.54C, No.11, pp.493-497, 2005. 11.
- (9) “Short-Arc 램프용 전자식 안정기의 설계 및 제작”, 한국해양정보통신학회논문지, 제10권 4호, pp.652-658, 2006. 4.
- (10) “직류전동차용 피뢰기 진단기술”, 한국철도학회지, 제9권 4호, pp.357-361, 2006. 8.
- (11) “대지전계측정을 위한 필드밀의 설계 및 제작”, 한국조명전기설비학회지, 제21권 1호, pp.52-59, 2007. 1.
- (12) “GIS 피뢰설비 관리를 위한 전문가시스템 구현”, 한국조명전기설비학회지, 제21권, 1호, pp.75-81, 2007. 1.
- (13) “직류전동차 탑재용 피뢰기의 최적선정에 관한 연구”, 한국철도학회지, 제10권 2호, pp.112-116, 2007. 4.
- (14) “애자/피뢰기 모니터링을 위한 유비쿼터스 센서 개발”, 한국철도학회지, 제10권 2호, pp.117-123, 2007. 4.
- (15) “부분방전에 의한 주계전기의 절연성능 평가”, 한국철도학회지, 제10권, 4호, pp.388-392, 2007. 8.
- (16) “부분방전에 의한 음향신호의 검출과 위치추정에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회논문지, 20권 9호, pp.907-911, 2007. 10.
- (17) “뇌방전 위치표정에 관한 연구(I)”, 한국조명전기설비학회지, 제21권 10호, pp.40-45, 2007. 12.

- (18) “가공배전선로의 전력설비 감시를 위한 유비쿼터스 센서”, 한국조명전기설비학회지, 제21권 10호, pp.59-65, 2007. 12.
- (19) “인버터 구동 유도전동기에서 과도전압의 측정과 분석”, 한국철도학회지, 제10권, 6호, pp.645-649, 2007. 8.
- (20) “서지임피던스 측정기의 설계 및 제작”, 한국철도학회지, 제10권, 6호, pp.650-654, 2007. 12.
- (21) “가스절연개폐기에서 용량성 전압프로브를 이용한 부분방전의 측정”, 한국전기전자재료학회논문지, 21권 1호, pp.85-89, 2008. 1.
- (22) “저압배선계통에서 직렬아크의 검출에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회논문지, 21권 2호, pp.182-187, 2008. 2.
- (23) “병렬아크의 고속차단에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회논문지, 22권 12호, pp.111-115, 2008. 12.
- (24) “함정용 노출·방수형 LED 조명기구의 설계 방안”, 한국마린엔지니어링학회지, 제35권 5호, pp.654-660, 2011. 7.

◎ 국제학술회의 발표

- (1) “Design of an Expert System for Arrester Diagnosis in GIS Substation”, International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Changwon, Korea, Apr. 2006.
- (2) “Ubiquitous Sensor for Supervision of Lightning Arresters”, Proceeding of the 6th WSEAS Int. Conf. on Power Systems, Tenerife, Spain, pp.30-33, Dec. 2006.
- (3) “Design and Fabrication of a PD Measurement System for Dielectric Test of Low-voltage Electrical and Electronic Devices”, Proceeding of the 6th WSEAS Int. Conf. on Power Systems, Tenerife, Spain, pp.156-159, Dec. 2006.

- (4) "Detection and Analysis of Series Arc Discharge in Indoor Wiring System, Proceedings of the 7th International Conference on Power Systems, Beijing, China, pp.267-271, Sep. 2007.
- (5) "Design and Fabrication of a Wideband Ground Impedance Meter", Proc. of the 5th Asia Lightning Protection Forum, Korean Agency for Technology and Standards, Jeju, Korea, pp.149-151, Apr. 2008.
- (6) "Detection Algorithm of Series Arc for Electrical Fire Prediction", Proceedings of 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, pp.716-719, Apr. 2008.
- (7) "Analysis of Acoustic Signals Generated by partial Discharges in Insulation Oil", Proceedings of 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing China, pp.525-528, Apr. 2008.
- (8) "Pilot Study on Ballast Water Treatment System Using Ultra-violet LED", Proceedings of The International Conference on Electrical Engineering 2009, Hongkong, pp.165.1-165.4, Jul. 2011.

◎ 대학학술논문지

- (1) "뇌충격전류에 의한 접지극의 과도임피던스 특성에 관한 연구", 한국해양대학교 산업기술연구소, 제18집, pp.67-78, 2001. 1.
- (2) "유중 부분방전에 의한 음향신호의 주파수특성 분석", 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 연구논문집 제25집, pp.71-74, 2008.

◎ 국내학술회의 발표

- (1) “휴대용 극저주파 전장측정기의 개발”, 한국센서학회 ‘99년도 추계종합학술대회 논문집, pp.343-346, 1999. 11.
- (2) “다중뇌충격전류에 의한 피뢰기소자의 전기적 특성변화”, 2000년도 대한전기학회 하계학술발표회 논문집, pp.2035-2037, 2000. 7.
- (3) “봉상접지극의 과도임피던스 특성”, 2000년도 한국해양정보통신학회 추계 학술발표회논문집, Vol.4, No.2, pp.568-572, 2000. 10.
- (4) “방사선 펄스의 고안정계측 및 분석기술 개발”, 2001년도 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회 논문집 Vol.5, No.1, pp.465-468, 2001. 5.
- (5) “스파크신호검출에 의한 전기화재 예측”, 2001년도 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회 논문집, Vol.5, No.1, pp.371-374, 2001. 10.
- (6) “70W 세라믹방전관 메탈할라이드 램프용 전자식안정기 개발에 관한 연구”, 한국해양정보통신학회 춘계학술대회, 제6권 1호, pp.301-304, 2002. 5.
- (7) “PLS용 최적전원장치 개발”, 대한전기학회 하계학술발표대회 특별세션 논문집, 초고주파 신광원시스템, pp.52-56, 2002. 7.
- (8) “마그네트론 구동용 전원장치 설계에 관한 연구”, 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회 논문집, 제6권, 제2호, pp.744-748, 2002. 11.
- (9) “강압형 컨버터를 이용한 70W CDM램프용 전자식 안정기 개발”, 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회 논문집, 제6권, 제2호, pp.435-439, 2002. 11.
- (10) “저주파 구동형 집어등용 전자식 안정기 개발”, 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회 논문집, 제9권, 제1호, pp.273-276, 2005. 5.

- (11) “고휘도 short-arc 램프용 전자식 안정기 설계” , 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp.233-238, 2005. 6.
- (12) “피뢰기 진단을 위한 휴대용 누설전류 검출장치의 개발” , 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.147-152, 2005. 11.
- (13) “GIS용 피뢰설비의 전문가시스템 설계에 관한 연구” 한국전기전자재료학회 추계학술대 논문집, pp.319-320, 2005. 11.
- (14) “Short-Arc 램프용 전자식 안정기의 설계 및 제작” , 한국해양정보통신학회 동계종합학술대회 논문집, pp.46-50, 2006. 1.
- (15) “피뢰기 관리를 위한 서지카운터의 설계 및 제작” , 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.1-5, 2006. 5.
- (16) “GIS Arrester용 서지카운터 설계 및 제작” , 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.39-41, 2006. 6.
- (17) “GIS Arrester 모니터링 시스템 구현” , 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.39-41, 2006. 6.
- (18) “ZnO 피뢰기의 저항분 누설전류와 제3고조파 누설전류의 관계” , 한국전기전자재료학회 하계학술대 논문집, pp.515-516, 2006. 6.
- (19) “피뢰설비 열화진단 전문가시스템의 설계방법론” , 한국마린엔지니어링학회 전기학술대 논문집, pp.69-70, 2006. 6.
- (20) “GIS 피뢰설비용 전문가시스템 구현” , 대한전기학회 하계학술대 논문집, C권, pp.1465-1466, 2006. 7.
- (21) “직류전동차 탑재용 피뢰기의 최적선정에 관한 연구” , 대한전기학회 하계학술대 논문집, C권, pp.1519-1520, 2006. 7.
- (22) “부분방전 측정시스템의 설계 및 제작” , 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회 논문집, 제10권 2호, pp.676-679, 2006. 10.
- (23) “전기철도용 피뢰기 선정에 관한 연구” , 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1-6, 2006. 11.

- (24) “가공배전선로의 전력설비 감시를 위한 유비쿼터스센서”, 대한전기학회 전력IT연구회 춘계학술대회 논문집, pp.88-91, 2007. 5.
- (25) “AE센서를 이용한 유중 부분방전의 음향신호측정 및 분석”, 대한전기학회 송배전설비 연구회 및 고전압방전응용 기술연구회 합동 춘계학술발표회 논문집, pp.2-20-2-22, 2007. 6.
- (26) “유입변압기 진단을 위한 부분방전의 검출방법”, 대한전기학회 송배전설비 연구회 및 고전압방전응용 기술연구회 합동 춘계학술발표회 논문집, pp.2-23-2-26, 2007. 6.
- (27) “낙뢰정보시스템의 설계 및 제작”, 대한전기학회 송배전설비 연구회 및 고전압방전응용 기술연구회 합동 춘계학술발표회 논문집, pp.2-27-2-30, 2007. 6.
- (28) “옥내배선에서의 직렬아크 특성 분석”, 대한전기학회 송배전설비 연구회 및 고전압방전응용 기술연구회 합동 춘계학술발표회 논문집, pp.2-31-2-34, 2007. 6.
- (29) “가스절연개폐기에서 용량성 전압프로브를 이용한 부분방전측정”, 한국전기전자재료학회 추계학술대회논문집, pp.476-477, 2007. 11.
- (30) “병렬아크에 대한 누전차단기의 트립특성분석”, 한국전기전자재료학회 추계학술대회논문집, pp.478-489, 2007. 11.
- (31) “직렬아크 검출알고리즘에 관한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1-5, 2007. 11.
- (32) “인버터구동 유도전동기에서 과도전압의 측정과 분석”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1-6, 2007. 11.
- (33) “저압계통에서 직렬아크신호의 검출”, 2008년 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.1-5, 2008. 6.
- (34) “병렬아크의 고속 차단에 관한 연구”, 2008년 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.1-6, 2008. 6.

- (35) “직렬아크신호의 검출” , 2008년 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp.225-229, 2008. 11.
- (36) “A Study on the Method for Detecting of Leakage Point using Wavelet Transforms” , 대한전기학회 제39회 하계학술대회 논문초록집, pp.45, 2008. 7.
- (37) “A Study on Series Arc Detection Using Band-pass Filters” , 대한전기학회, 대한전기학회 제39회 하계학술대회 논문초록집, pp.360, 2008. 7.
- (38) “A Study on Partial Discharge Diagnosis Using AI Algorithm” , 대한전기학회, 대한전기학회 제39회 하계학술대회 논문초록집, pp.369, 2008. 7.
- (39) “대역통과필터를 이용한 직렬아크 검출에 관한 연구” , 대한전기학회, 2008 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1345-1347, 2008. 7.
- (40) “인공지능 알고리즘을 이용한 부분방전 진단에 관한 연구” , 2008 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1382-1383, 2008. 7.
- (41) “분전반 통합 감시 시스템 개발” , 2009 대한전기학회 제40회 하계학술대회, pp.347-348, 2009. 7.
- (42) “유비쿼터스형 변압기 권선온도 측정장치 개발” , 2009 대한전기학회 제40회 하계학술대회, pp.1427-1428, 2009. 7.
- (43) “수배전반 내 부분방전 및 아크 검출시스템 개발” , 2010 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp.256-257, 2010. 11.
- (44) “빌딩 및 일반 대수용가용 자원관리 시스템 개발” , 2010 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp.293-294, 2010. 11.
- (45) “양방향 원격제어형 MCCB 개발” , 2010 대한전기학회 제41회 하계학술대회, pp.384-385, 2010. 7.

- (46) “ZigBee 무선통신을 이용한 주택 및 상가용 분전반의 재해예방 감시시스템 구현”, 2010 대한전기학회 제41회 하계학술대회, pp.2024- 2025, 2010. 7.
- (47) “함정용 노출·방수형 LED 등기구의 설계방안”, 한국조명전기설비학회 2011 춘계학술대회 논문집, pp.112-113, 2011. 5.
- (48) “함정용 LED 조명기구의 표준화 방안”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.182, 2011. 6.
- (49) “선박용 매입형 형광등기구의 전기·광학적 특성 분석”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.183, 2011. 6.
- (50) “함정용 형광등기구의 전기·광학적 특성”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.184, 2011. 6.
- (51) “함정용 LED 홍등의 설계 방안”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.186, 2011. 6.
- (52) “TiO₂ 광촉매의 해수살균”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.189, 2011. 6.
- (53) “자외선 반응기의 구성에 따른 해수처리”, 2011년 한국마린엔지니어링학회 전기공동학술대회 논문집, p.190, 2011. 6.

◎ 연구보고서

- (1) “70W급 Ceramic Discharge Metal Halide 램프용 전자식 안정기 개발에 관한 연구”, p.50, (주) 태양전자, 2002. 5.
- (2) “무전극 방전등용 고효율 인버터 전원장치 개발”, p.40, LG전자(주), 2002. 12.
- (3) “저주파 구동형 1kW급 집어등용 전자식 안정기 개발”, 2004. 5. 1-2005. 2. 28, 중소기업청.

- (4) “GIS용 피뢰설비의 열화감시시스템 개발” , 2005. 3. 1-2007. 2. 28, p.140, 산업자원부.
- (5) “피뢰기 진단을 위한 정밀 누설전류 검출회로의 설계” , 2005. 11. 1-2006. 2. 28, p.37, 남일엔지니어링.
- (6) “직류 전동차용 피뢰기 검수 및 진단 기술 개발” , 2006. 1. 16-2. 18, p.42, (주) 로템.
- (7) “1.5kW급 집어등용 전자식 안정기 개발” , 2005. 5. 1-2006. 4. 30, 오진산업사.
- (8) “전차선 전압측정 및 분석” , 2006. 4. 1-4. 30, p.52, (주) 로템.
- (9) “뇌운 경보시스템용 일체형 대지전계 측정센서 개발” , 2007. 10. 1-2008. 9. 30, 한국이엠아이테크놀로지(주).
- (10) “특고압 배전선로 관리를 위한 유비쿼터스 전력 센서 개발” , 2007. 4. 1-2008. 1. 31, (주) 효성.
- (11) “극미소 부분방전 검출에 의한 전기전자 기기의 신뢰성 평가기술 개발에 관한 연구” , 2005. 5. 1-2008. 4. 30, 한국산업기술재단.
- (12) “하이브리드차량용 회전기 절연진단기술 개발 및 최적접지방법 연구” , 2007. 6. 1-2008. 7. 31, p.55, 한국철도기술연구원.
- (13) “접지임피던스 및 위험전압 측정기 개발과 이를 이용한 접지시스템 평가기법 연구” , 2007. 8. 1-2008. 7. 31(1차년도), p.30, 지식경제부.
- (14) “빌딩 및 대수용가 통합자원 관리 시스템 개발” , 2008. 10. 1-2010. 9. 30, 산업자원부.
- (15) “RFID형 광온도센서 개발 및 이를 이용한 화재방지용 전력설비 분전함의 유비쿼터스형 진단시스템 개발” , 2007. 3. 1-2010. 2. 28, 산업자원부.
- (16) “전기재해 취약장소를 위한 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 전기안전감시시스템 개발” , 2007. 8. 1-2010. 7. 31, 한국전기안전공사.

- (17) “U-City 환경에 적합한 전기안전관리시스템 개발 및 실증” , 2007.
10. 1-2010. 9. 30, 한국전기안전공사.
- (18) “전자식 액츄에이터 방식의 양방향 원격제어형 MCCB 개발” , 2008.
11. 1-2010. 10. 31, 산업자원부.
- (19) “스마트 배전기기 개발” , 2009. 6. 1-2013. 5. 31, 한국전력공사.
- (20) “한국산업표준(KS) LED 조명규격의 국방규격 대처방안 및 함정용 LED 조명 국방규격(안) 제안” , 2010. 11. 1-2011. 8. 31, 국방기술품질원.

