

LED 광원을 이용한 마스트 항해등 조명광학계 개발

(Optical Illumination System Design for LED Masthead Navigation Light)

맹필재* · 장재현 · 김근율 · 유영문 · 김종수 · 김종태**

(Pil-Jae Maeng · Jae-Hyeon Jang · Kun-Yul Kim · Young-Moon Yu · Jong-Su Kim · Jong-Tae Kim)

Abstract

This paper dealt with the LED optical illumination system design for the Masthead navigation light to replace halogen lamps. We made Fresnel lens satisfy luminous intensity distribution of "Convention on the International Regulation for Preventing Collisions at Sea(COLREG)". The optical system is designed by classifying three parts: light source, lens, and cut off plate. The source of light has been made to have the uniform horizontal and vertical light distribution by placing 6 LEDs at intervals of 54°, and as the cylindrical Fresnel lens, the lens has been designed to achieve the uniform horizontal and vertical light distribution in the range of plain light. Finally, the cover has been designed to block the light from the outside of plain light and ultimately met the standards for light distribution of navigation lights. In addition, the validity of design has been verified with manufacturing a trial product.

Key Words : LED, Illumination Navigation Light, Masthead Light, COLREG, Fresnel Lens

1. 서 론

1.1 연구 배경

항해등은 선박이 야간에 항해할 때 그 존재 및 진로 방향을 표시하기 위해 점등하여 마스트나 현측 또는 현미 등에 달아 놓은 조명등을 총칭한다. 해상에서 선박은 안전한 항해를 위해 자신의 존재와 상태를 타 선박에 알릴 필요가 있다. 이를 위해 각종 전파 장비와 레이더, 항해등이 사용되고 있으며, 항해등은 교통신호등처럼 필요할 때 언제든지 확인할 수 있기 때문에 가장 쉽고 빈번하게 활용된다. 항해등은 상선뿐만 아니라 어선, 여객선 그리고 군함 등 모든 선박에 예외

* 주저자 : 부경대학교 과학기술융합전문대학원
LED융합공학 전공
** 교신저자 : 부경대학교 이미지시스템 공학과 교수
* Main author : Pukyong National University
Science&Technology Convergence
Specialized Graduate School, LED
Convergence Engineering
** Corresponding author : Pukyong National
University Department of Image Science
and Engineering, Professor
Tel : 051-629-6410, Fax : 051-629-6408
E-mail : jtkim@pknu.ac.kr
접수일자 : 2014년 6월 18일
1차심사 : 2014년 6월 26일, 2차심사 : 2014년 7월 11일
심사완료 : 2014년 7월 16일

없이 적용되며, 어떤 선박이든 커진 등화만 보아도 그 선박의 크기와 진행방향 등을 판단할 수 있어 돌발적인 사고를 예방할 수 있으므로 선박의 안전을 위해 반드시 필요한 조명이다[1].

기존의 항해등은 할로겐램프를 광원으로 하였으며, “COLREG”에서 정하는 배광 규정에 만족하기 위해 프레넬 렌즈를 사용하였다. 기존의 광원인 할로겐램프는 기본적인 수명이 짧을 뿐 아니라 필라멘트를 사용하여 선박의 진동과 파도에 쉽게 단선되어 선박의 환경에는 적합하지 않았다. 반면에 고효율 친환경 신광원인 LED는 타 광원에 비해 기본적인 수명이 약 30,000시간으로 길고, 필라멘트를 사용하지 않아 선박의 진동과 파도의 충격에 매우 높은 신뢰성을 갖기 때문에 선박의 환경에 매우 적합하다[5]. 하지만 LED 광원과 할로겐램프의 배광이 서로 달라 기존의 할로겐램프용으로 사용되던 프레넬 렌즈로는 규정에서 정하는 배광 및 광도조건을 달성할 수 없다. 따라서 항해등의 규정에 적합한 LED 광원과 그 광원에 맞는 특성을 가진 프레넬 렌즈를 설계할 필요가 있다.

1.2 연구 내용

본 논문에서는 해상용 항해등 규정에서 정하는 배광과 광도를 만족시키기 위하여 광원부, 렌즈, 차폐부 등 3가지 주요 요소로 나누어진 조명용 광학계를 설계하고 제작하였다. 광원은 방열부와 PCB(printed circuit board)를 포함하는 모듈로서 광원부의 크기와 LED 배치각을 주요 구성요소로 설계하였고, 렌즈부는 본 설계의 핵심으로서 곡률반경, 단면의 수, 골의 깊이, 후단면의 각 등을 주요 설계요소로 하여 설계하였다. 마지막으로 Cut off sector에서 배광 규격을 만족하기 위한 렌즈 내부의 차폐판(Cut off plate)과 렌즈 외부의 차폐판(Back shield plate)을 설계하였다. 또한 시제품을 제작하여 설계된 조명광학계의 타당성을 검증하였다.

2. 설계 요구 사항

항해등은 선박에 설치하는 장소에 따라 선박의 중심

마스트에는 Masthead light, 우현의 Starboard light, 좌현의 Port light, 선미의 Stern light, Towing light 등으로 구분할 수 있으며 각각의 등은 조명 광원의 색, 사광범위 및 광도에 의한 광달거리 등의 규격이 정해져 있다. 표 1에 설계하고자 하는 Masthead light의 광도 및 배광 규격을 요약하였다[1].

표 1. Masthead light의 색, 사광범위 및 광달거리 규정

Table 1. Regulations of Masthead light of Colors, Required Radiation Sector and Visible Range

Color	Required radiation sector (deg)	Visibility of light (miles)	Minimum luminous intensity (cd)
White	225(-112.5~+112.5)	6	118~257

위의 규격과 더불어 사용 용도에 따른 항해등의 수평 및 수직 광도 분포 또한 엄격히 규정하고 있다. 배광 규격은 Regular sector와 Cut off sector로 나뉘어져 각 Sector별 각도에 따라 규정된 광도의 범위를 만족시켜야 한다. 또한 모든 경우 Regular sector의 최대광도와 최소광도 값의 비율이 1.5를 넘어서지 않아야 한다. 따라서 조명렌즈 설계 시 이러한 배광 규격을 만족하도록 설계하여야 한다. 아래의 표 2는 “COLREG”와 IMO에서 제정한 해설서 “ANNEX 31”, “MSC.1/Circ.1427”에서 규정하고 있는 항해등의 사광범위에 따른 광도 규격을 나타내고 있다[3-4].

표 2. Masthead light의 광도규정

Table 2. Regulations of Luminous intensity of Masthead light

	Angle		Luminous intensity (cd)
	horizontal	Cut off sector	-117.5
-112.5			> 59
Regular sector		-107.5 ~ +107.5	> 118 ($I_{max}/I_{min} < 1.5$)
Cut off sector		+112.5	> 59
		+117.5	$< 0.1 \cdot I_{AVG}$

		Angle	Luminous intensity (cd)
Vertical	Cut off sector	-7.5	> 70.8
	Regular sector	-5 ~ +5	> 118 ($I_{max}/I_{min} < 1.5$)
	Cut off sector	+7.5	> 70.8

3. 조명 광학계 설계

본 LED 항해등 조명 광학계는 그림 1과 같이 중심부에 PCB와 광원이 배치되는 알루미늄 재질의 방열판과 기구부에 부착되는 프레넬 렌즈 그리고 Cut off sector의 광도 규정을 만족하기 위한 내부 차폐판인 Cut off plate와 외부 차폐판인 Back shield plate가 각각 방열판과 렌즈 외부에 부착된 구조로 구성되어 있다.

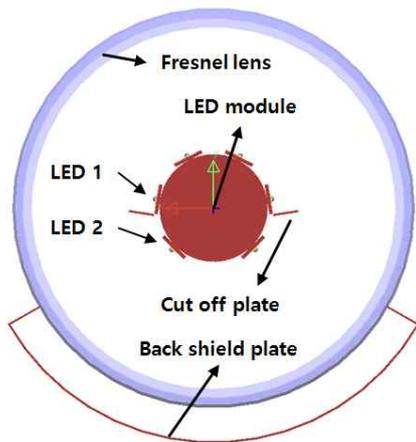


그림 1. LED 항해등의 광학계 모델링
Fig. 1. Modeling of optical system on LED navigation

본 연구에서는 LED 마스트 항해등의 설계 및 제작에 있어서 경제성과 효율성을 확보하기 위하여 렌즈의 외함은 기존에 시판되는 할로겐등 제품의 외함을 사용하였고, 호완성을 확보하기 위해 렌즈의 외경은

91mm로 고정하여야 한다.

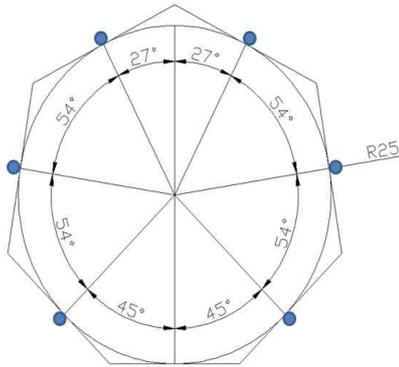
LED 패키지는 전기적, 광학적으로 안정되어 있고, 장등의 광 특성에 적합한 색 좌표 규정에 맞는 백색 LED 패키지를 사용하였으며, 날개의 LED 광원의 배광 특성, 온도에 따른 파장 안정성, 신뢰성 및 광 효율 등을 고려하여 Philips Lumileds사의 Rabel 제품 (LXML-PWC1)을 선택하였다[9].

3.1 LED 광원부 설계

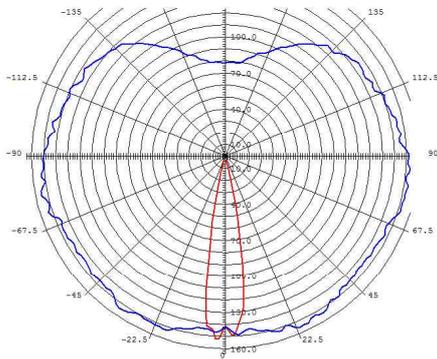
광원부의 설계 시 가장 중요하게 고려하여야 할 부분은 광원부의 크기, 배광특성 및 광도 기준을 모두 만족하도록 LED를 배치하는 것이다. 먼저 LED 배치 각을 결정하는 기준은 광원 모듈의 수평 둘레로 균일한 광도 기준을 갖도록 하는 위하여 대칭성을 고려하여 방열판 주위에 일정한 간격으로 LED 광원을 배치하여 수평광도가 균일한 배광을 갖는 각을 찾아내는 것이다. 안정적인 방열 효과로 성능 저하가 발생하지 않으면서 시스템 구성에 적합한 방열판의 크기는 직경 50mm 내외였다. 이것을 토대로 LED 간의 배치 각을 달리하며 Regular sector -107.5°에서 +107.5° 사이에서 균일한 수평 배광을 가지는 배치 각을 찾았으며, 본 개발품에서는 단품 LED 광원의 배광과 광도를 고려하여 그림 2와 같이 6개의 LED를 54° 간격으로 배치하여 시뮬레이션 한 결과 수평 배광이 가장 균일하게 생성되었다.

다음으로는 광원부의 크기를 결정하여야 하는데 기본적으로 광학 설계 시 광원의 크기는 가급적 작은 것이 유리하다. 이론적으로는 점광원이 광축 상에 있을 때 결상 및 배광 조정이 가장 용이하다. 광원의 크기가 커짐에 따라 비축 상에 광원이 존재하게 되고 이는 렌즈에 대하여 비대칭적인 광선의 존재로 인하여 광선을 제어하기가 어렵게 된다.

LED 광원부는 패키지 장착을 고려한 크기 및 방열 기구로서의 역할을 수행하여야 하기 때문에 일정한 크기를 확보하여야 한다. 이러한 점들을 고려하여 본 연구에서는 LED 광원부의 직경을 50mm로 정하였다.



(a) LED 배치



(b) 배광분포

그림 2. LED 배치 및 배광 시뮬레이션
Fig. 2. Simulation of LED placement and distribution (a) Placement of LEDs, (d) Intensity distribution

3.2 프레넬 렌즈 설계

광원부의 크기와 LED 배치가 고정되면 렌즈 설계를 시작하게 된다. 본 개발품에서는 기구부와의 조합을 위하여 렌즈의 외경 반지름을 91mm로 고정하였다. LED의 위치가 중심으로부터 25mm 인 지점이고 렌즈의 위치가 91mm 지점이므로 렌즈의 곡률반경을 약 39mm로 하면 초점거리가 대략 66mm 정도로 거의 평행광과 가까운 수직 배광을 얻게 될 것이다[7]. 그러나 항해등에서 요구되는 수직배광의 반치폭은 좁긴 하지만 약 15° 정도에 달한다. 따라서 해당하는 발산각이 나오도록 곡률반경과 초점거리를 조정하여야 한다.

해당 발산각을 달성하는 방식은 빛을 렌즈 근처에서 교차시켜 퍼트리려는 수렴형과 바로 퍼트리는 발산형 두 가지가 있을 수 있다.

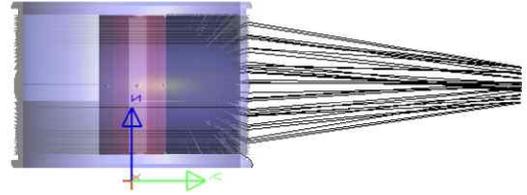
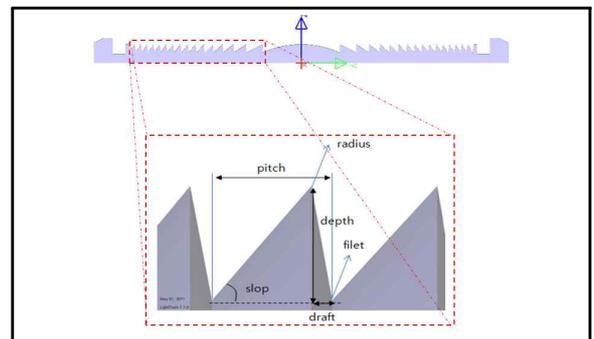


그림 3. 수렴형 프레넬 렌즈의 설계
Fig. 3. Design of the converged fresnel lens

두 유형 모두 원하는 발산각을 만들어 낼 수 있으나, 그림 3과 같은 수렴형의 경우 LED 패키지의 배광 특성이 약간 변하더라도 시스템 전체의 배광 변화가 적게 나타나는 특성을 보여 이번 개발품에는 수렴형 구조가 되도록 설계하였다.

수렴형의 경우에는 렌즈의 초점길이가 66mm보다 작게 하여야 하는데, 본 개발품에서는 수직 배광의 반치폭을 고려하여 약 49mm가 되도록 설계하였다. 이를 위하여 렌즈의 곡률 반경은 29mm로 하였으며 conic 상수는 -1, 렌즈의 두께는 7mm로 하였다[7]. 렌즈의 재질은 내충격성이 강한 폴리카보네이트를 채용하였다. 프레넬 렌즈의 골의 깊이는 2.5mm로 하였으며, 단면의 수는 중심부를 기준으로 좌우측에 각각 16개로 하였다. 표 3에 각 단면의 설계된 상세 치수를 나타내었다.

표 3. 프레넬 렌즈 각 단면의 치수
Table 3. The cross-sectional dimension of the Fresnel lens



	pitch(mm)	slop(deg)	drefl(mm)	depth(mm)
facet1	5.07	26.8	0.12	2.5
facet2	3.96	33.4	0.17	2.5
facet3	3.37	38.3	0.20	2.5
facet4	2.76	42.0	0.24	2.5
facet5	2.58	45.0	0.26	2.5
facet6	2.58	47.5	0.29	2.5
facet7	2.43	49.7	0.31	2.5
facet8	2.32	51.5	0.33	2.5
facet9	2.22	53.2	0.35	2.5
facet10	2.13	54.9	0.37	2.5
facet11	2.08	56.1	0.40	2.5
facet12	2.01	57.4	0.41	2.5
facet13	1.96	58.5	0.43	2.5
facet14	1.92	59.5	0.45	2.5
facet15	1.89	60.4	0.47	2.5
facet16	1.85	61.3	0.48	2.5

3.3 차폐판 설계

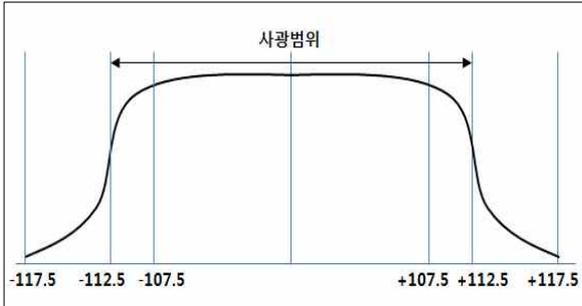
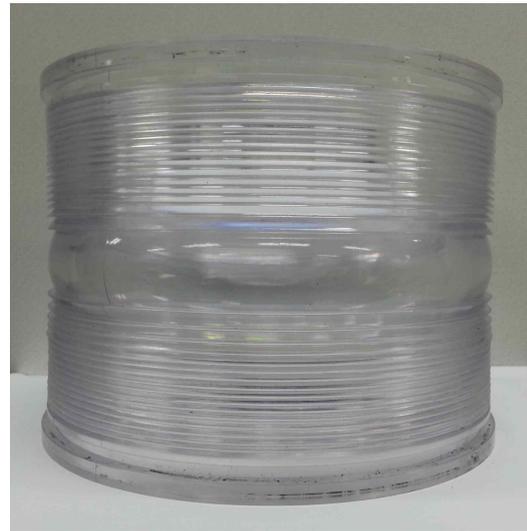


그림 4. Regular sector와 cut off sector
Fig. 4. Regular sector and cut off sector

항해등의 배광 규격을 살펴보면, 위의 그림 4처럼 Regular sector에서는 일정한 광도를 유지하며 Cut off sector에서는 광도가 급격하게 떨어지도록 하여야 한다. 이를 실현하기 위하여 본 개발품에서는 그림 1에 보듯이 두개의 차폐판을 사용하였다. 하나는 렌즈 내부의 Cut off plate 이며, 다른 하나는 렌즈 외부의 Back shield plate이다. Cut off plate는 LED 1로부터 방사된 빔 중 115° 이상의 각을 가지고 뒤쪽으로 향하는 빔을 차단하기 위하여 사용하였으며, Back shield

plate는 LED 2에서 방사되어 뒤쪽으로 향하는 빔을 차단하기 위하여 120°의 각을 가지도록 설계하였다. 배광 규격을 만족시키는 두 Plate의 크기 조합은 다수가 가능하나, 공차 분석을 통하여 가장 공차 마진이 높은 조합을 선택하여 사용하였다. 또한 Plate는 검정색으로 착색하여 표면에서 필요하지 않은 난반사에 의한 빔이 발생하지 않도록 하였다.



(a) 측면도



(b) 상면도

그림 5. 최종 사출된 렌즈
Fig. 5. Final injection of the lens
(a) Side view, (b) Top view

4. 제작 및 측정 결과

4.1 LED 항해등 제작

최종 설계된 LED광원을 이용한 조명용 항해등은 그림 1의 구성도와 같다. 그림 1은 평행광도를 균일하게 하기 위해 일정 각도로 배치된 LED 광원과 프레넬 렌즈, 그리고 Cut off sector에서의 배광 규정을 만족하기 위한 Cut off plate의 배치를 상세하게 볼 수 있다.



id	Name	Measured	Nominal	Deviation	Status	Upper Tolerance	Lower Tolerance
1	D_S_01	152.917	153.200	-0.283	PASS	0.500	-0.500
2	D_S_02	146.704	146.600	0.104	PASS	0.500	-0.500
3	D_S_03	141.790	141.700	0.090	PASS	0.500	-0.500
4	D_S_04	137.978	138.000	-0.022	PASS	0.500	-0.500
5	D_S_05	135.068	135.000	0.068	PASS	0.500	-0.500

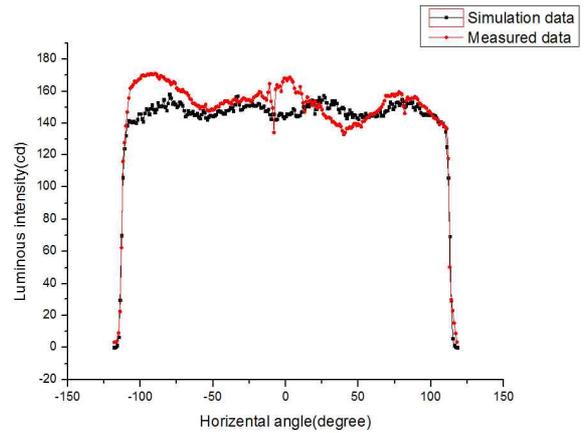
그림 6. 렌즈 형상 측정
Fig. 6. Shape measurement of lens

사출된 항해등 렌즈는 수렴형의 프레넬 렌즈로 제작되었으며, 플라스틱 렌즈에 널리 사용되는 사출 성형 방법을 통하여 제작하였다(그림 5). 제작 후 3차원 형상측정과 각도별 광도분포를 측정해보았다. 아래 그림 6에 3차원 형상 측정 결과를 나타내었다. 형상측정 결과 단면부가 최대 허용공차인 0.5mm 이내로 정밀하게 제작된 것을 확인할 수 있었다.

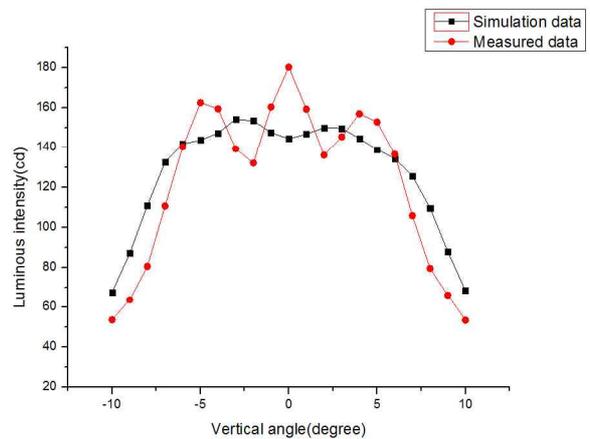
4.2 광도분포 측정 결과

다음으로 그림 7에 시뮬레이션 한 광도분포(그림 2의 직각좌표 표현)와 실제 제작하여 배광각 측정기, Goniophotometer Neo light 9700으로 측정한 광도분

포를 비교하여 나타내었다. (a)의 수평 광도분포는 몇몇 부분을 제외하고는 제품의 광도분포가 시뮬레이션 값과 매우 유사함을 볼 수 있다.



(a) 수평광도



(b) 수직광도

그림 7. Masthead light 각도별 광도분포
Fig. 7. Luminous intensity distribution of masthead light (a) Horizontal luminous intensity, (b) Vertical luminous intensity

(b)의 수직 광도분포는 시뮬레이션 값과 유사하지만 폭이 좁고 균일하지 못한 것을 볼 수 있다.

이런 수평과 수직광도 분포에서 보이는 광도분포 불균일 현상의 원인은 사출과정에서 발생하는 변형에 의한 것으로 사출성형에서 주의해야 할 부분이다.

표 4. Masthead light 측정 결과
Table 4. Measurement result of masthead light

Sector	Angle	Simulation data (cd)	measured data (cd)
Horizontal			
Cut off sector	-117.5	0.1	3.3
	-112.5	87.6	92.1
Regular sector	-107.5~+107.5	Max:158.1 Min:140.2	Max:172.9 Min:133.0
		Max/Min:1.1	Max/Min:1.3
		I _{AVG} :148.1	I _{AVG} :146.5
Cut off sector	+112.5	87.6	84.3
	+117.5	0.1	5.3
Vertical			
Cut off sector	-7.5	121.7	91.2
Regular sector	-5~+5	Max/Min:1.1	Max/Min:1.4
		Min:139.0	Min:129.7
Cut off sector	+7.5	117.6	95.7

위의 표 4는 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 광도 값으로 나타낸 것이다. 이는 앞에서 언급한 표 2의 광도규정에 모두 만족함을 알 수 있다.

수직광도와 수평광도도 모두 규정에서 정하는 Min 값을 만족하였으며, 또한 Max값과 Min값의 비가 1.5 이하로 규격을 만족하였다. Cut off sector에서 요구하는 값 또한 Regular sector의 평균값의 1/10 이내로 규격조건을 만족함을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 할로겐 광원을 대체한 LED 항해등의 조명 광학계를 설계하고 제작하였다.

LED 광학계는 광원부와 렌즈부, 차폐부로 구성되어 있으며, 광원부는 50mm 두께의 방열판과 균일한 수평광도를 만들기 위해 54° 간격으로 배치된 5개의 LED PKG로 구성하였다. LightTools 시뮬레이션 결과 수평광도 균일도 Max/Min 값은 1.1로 균일한 광도

분포를 보였고, 실제 제작한 제품의 측정값에서도 1.3으로 균일한 분포를 보였다.

배광을 제어하는 조명 렌즈부는 프레넬 렌즈 형태를 따랐으며, 그림 3과 같이 빛을 렌즈 근처에서 모아서 퍼트리는 수렴형의 형태로 설계했다. 제작에서 렌즈의 재질은 내충격성이 강한 폴리카보네이트를 사용하였으며, 프레넬 렌즈의 골은 중심을 기점으로 좌우 16개씩 설계하였다. 이때 수평 및 수직 광도의 균일도(Max/Min)는 시뮬레이션 결과 각각 1.1, 1.1로 균일한 광도를 보였고, 제작품의 측정 결과에서도 1.3, 1.4로 균일한 광도로 항해등 규격을 만족하였다.

또한 항해등 배광규격을 만족시키기 위해 렌즈 내부에 설치되는 Cut off plate와 렌즈 외부에 설치되는 Black shield plate서 설계하였으며, 시뮬레이션 및 측정 결과 “COLREG” 배광규격에서 정하는 수평광도와 수직광도 규정을 만족하였다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2013년:과제번호C-D-2013-0484)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] COLREG 1972, “International Regulations for Preventing Collisions at Sea”.
- [2] EN 14744:2005, “Inland navigation vessels and sea-going vessels – Navigation light”.
- [3] ANNEX 31 RESOLUTION MSC.253(83), “ADOPTION OF THE PERFORMANCE STANDARDS FOR NAVIGATION LIGHTS, NAVIGATION LIGHT CONTROLLERS AND ASSOCIATED EQUIPMENT”, adopted on 8 October 2007.
- [4] MSC.1/Circ.1427, “UNIFIED INTERPRETATIONS OF COLREG 1972, AS AMENDED”, 28 May 2012.
- [5] I. K. Kim, D. G. Kim, G. S. Kil, H. G. Cho and K. L. Cho, Design and Fabrication of LED Navigation Lights (Journal of the Korean institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 25, NO. 9, pp. 743~749, september 2012).
- [6] I. K. Kim, A Study on the Optimal Design of LED Navigation Lights, Korea Maritime University, February 2012..
- [7] H. S. Cho and M. S. Manufacture and Illumination simulation of Fresnel Lenses for Marine Signal Lanterns, p. 7-14, Hannam University, Daejeon (2005).

- [8] F. T. S. Yu and I. C. Khoo, Principles of Optical Engineering (John Wiley & Sons, New York, 1990).
- [9] LUXEON Rebel General Purpose White Portfolio, Phillips Lumileds.

◇ 저자소개 ◇



맹필재(孟必在)
 1987년 2월 10일생. 2011년 부경대학교 이미지 시스템 공학과 졸업. 현재 부경대학교 과학기술융합전문대학원 LED 융합공학과정 재학.



장재현(張在現)
 1988년 11월 9일생. 2013년 부경대학교 물리학과 졸업. 현재 부경대학교 과학기술 융합전문대학원 LED 융합공학과정 재학.



김근율(金近律)
 1969년 5월 14일생. 1995년 고려대학교 물리학과 졸업. 현재 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터 책임연구원.



유영문(金永文)
 1955년 4월 6일생. 1994년 고려대학교 재료공학박사. 현재 부경대학교 과학기술 전문대학원 교수.



김종수(金鐘守)
 1968년 7월 2일생. 2003년 연세대학교 물리학과 이학박사. 현재 부경대학교 이미지시스템공학과 교수.



김종태(金鍾太)
 1962년 1월 20일생. 1993년 한국과학기술원 물리학과 이학박사. 현재 부경대학교 이미지시스템공학과 교수.