해상용 LED(Light Emitting Diode) 등명기 연구개발

(A Study on the Marine Lattern Development using Light Emitting Diodes)

정학근* · 정봉만* · 한수빈* · 유승원* · 김 훈**

(Hak-Geun Jeong, Bong-Man Jung, Su-Bin Han, Seong-Won Yu, Hoon-Kim)

Abstract

A high light lantern system using LEDs is composed of power supply, flash controller, and daylight controller and proper case considering work condition. The performance of developed LED lantern is better than that of the existing marine lantern using an incandescent electric lamp and that of foreign products(Vega LED lantern made in New Zealand, Tideland system made in America). The electric consumption of our products is 30% compared with that of existing marine lantern using an incandescent electric lamp, and the luminous intensity of them is 200% to 400% compared with that of existing marine lantern and foreign LED lantern. In addition, our LED lantern system is easy to repairing something wrong and changing the LED module and other controllers on the sea when they are in accident.

1. 서 론

선박이 안전한 항해를 하기 위해서는 항상 기회가 있을 때마다 선박의 위치를 확인할 필요가 있다. 그래서 선박의 교통량이 많은 곳에서는 선박의 운항을 돕기 위한 인공적인 시설을 필요로 하게 되며 이러한 목적을 달성하기 위하여 설치된 시설을 항로표지라고 한다. 항로표지에 있어서, 특히 해상의 등부표에 장착된 등명기는 그 현지의 운영 환경이 무인으로 운영되고 지리학적 요인으로 관리가 용이하지 않기 때문에 전원의 안정적인 공급 및 정기적인 유지보수가 가장 큰 문제점으로 대두되어 있다. 또한 현재 등명기의 광원으로 사용되고 있는 필라멘트식의 광원은 전원의 비효율적 사용으로 인해 잦은 전원부의 정기 점검과 보수를 요하고 있으며, 또한 축전지의 내구년한 단축으로 관리자 측에서는 잦은 점검을 요하고 있다.

20세기 말 반도체 기술의 급신장으로 실용화되고 있는 고휘도 LED 광원의 경우 백열전구에 비해 유리나 필라멘트를 사용하지 않아 충격에 매우 견고하고, 저소비 전력으로 동일한 광도를 출력하는 높은 유효 발광효율, 수십 배 이상의 장수명과 양호한 충격, 진동 및 점소등 특성 등으로 해상용 등명기의 대체 광원으로 매우 혁신적인 기술이라 할 수 있다. PCB 기판에 다수의 고휘도 LED(반도체 발광 다이오드, Light Emitting Diode)와 구동회로로 구성되는 해상용 등명기는 특정 파장대의 단색광을 발광하므로 착색렌즈 사용에 따른 빛 손실이 없고, 저전력 소모로 태양전지 및 축전지의 소용량화로 제작 비용의 절감은 물론 장수명으로 인해 유지보수비용의 절감 등 그 효과는 상당할 것으로 기대된다.

따라서 본 논문에서는 고휘도 LED 광원을 이용한 고광도 등명기 설계, 고휘도 LED용 전원부, 섬광기, 제어부의 연구, 고휘도 LED 등명기의 실효광도 측정 분석시험, 색도별 분석 성능시험 및 해양파고의 영향에 의한 성능 적응 분석시험 등이 수행되었다.

2. 등명기의 광학모듈 설계

해상용 등명기 광학모듈에 적합한 렌즈를 최적화하기 위한 과정에서, 발광부와 렌즈사이의 거리가 매우 가까운 경우에는 LED 광원을 점광원으로 가정할 수 없기 때문에 LED에서 발산하는 가상초점을 정하고, 렌즈 설계공식을 사용하여 렌즈를 설계한다. 다음 단계는 광학 해석 프로그램을 이용하여 사용하고자 하는 LED에 대한 모델링과 모의실험을 수행함으로써 렌즈 성능을 향상시키는 여러 가지 방법을 모색한다. 마지막 단계는 설계된 렌즈를 제작하여 성능 실험을 통해서 LED의 선정 여부를 결정하고, 타당하다면 다양한 곡률을 가진 렌즈 모델을 제작하여 실험하는 단계로 진행된다. 이는 같은 규격을 갖는 LED일지라도 각 LED 마다 미소한 배광이나 광도의 차이가 있기 때문에 다양한 곡률을 갖는 렌즈 모델을 제작하여 실험하는 것이다.

좁은 배광을 갖는 LED에 대해서는 일정한 빔각을 가지고 어떤 가상초점에서 빛이 방사한다고 가정한다. 예를 들어 15도의 빔각을 갖는 LED의 가상초점은 [그림 1]과 같이 되고, LED 형상에 대해서는 광해석 프로그램을 이용하여 [그림 2]와 같이 모델링을 할 수 있다.

[그림 3]은 해상용 등명기 광학 모듈에 사용하고자 LED에 대한 포토피아 모델을 이용하여 레이 트레이싱(Ray Tracing)을 통하여 LED 배광분포에 대한 모의실험을 수행한 결과이다. 가시각 15도를 갖는 LED에 대한 모델링과 모의실험 결과는 잘 일치함을 볼 수 있었다.

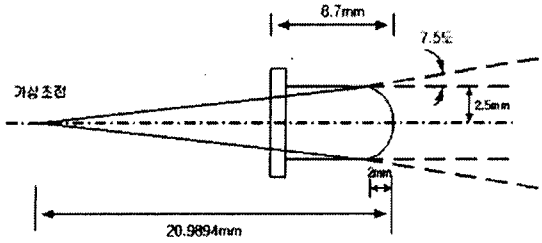
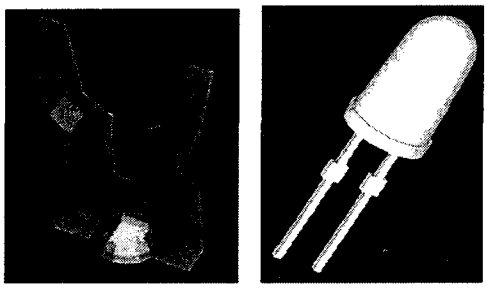


그림 1. 가상초점의 모델링
Fig. 1. Modeling of the virtual focal point



(a) LED Chip (b) LED 형상

그림 2. LED Chip 및 형상 모델링
Fig. 2. Modeling of LED chip & shape

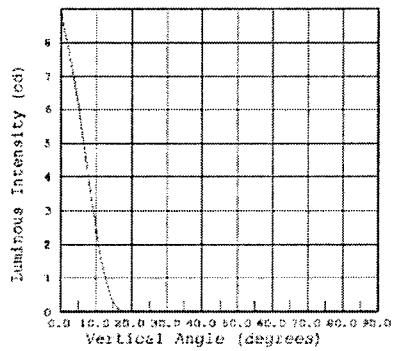


그림 3. 모델링을 통한 배광특성 해석
Fig. 3. Luminous intensity distribution analysis result of LED model

렌즈 설계시 초점거리에 따라 곡률이 변화기 때문에 적당한 크기의 렌즈를 설계하기 위해 LED와 렌즈사이와 LED 빔의 렌즈 유효높이를 잡고, [그림 4], [그림 5] 그리고 [그림 6]과 같이 다양한 렌즈 형태를 설계하여 배광예측 프로그램인 포토피아를 이용하여 시뮬레이션을 해보았다. 우선 [그림 4]는 곡률형태는 일반적인 형태의 렌즈 형상이다. 곡률형태의 렌즈는 상하(렌즈의 높이)를 중심으로 렌즈를 설계가 되기 때문에 상하는 빔을 집중시킬 수 있지만 좌우는 빔의 형태가 퍼짐을 시뮬레이션으로 보았다. 그래서 이를 보완하기 위해 [그림 5]와 [그림 6]의 다른 2개의 형상을 도출해 보았다. 반구 형태와 안쪽에 프리즘을 설계한 것이 그것이다.

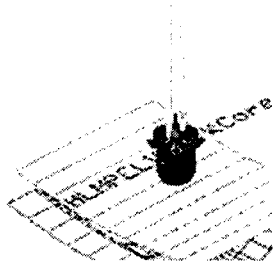


그림 4. 볼록 렌즈의 모델링
Fig. 4. Modeling of the convex lens

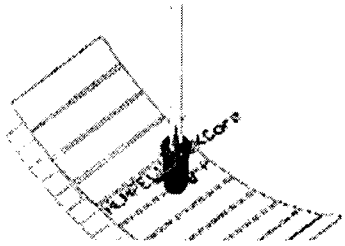


그림 5. 반구 형태의 렌즈 모델링
Fig. 5. Modeling of the hemisphere lens

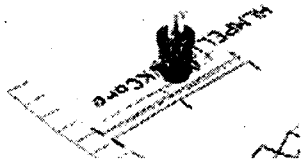


그림 6. 프리즘 형태의 렌즈 모델링
Fig. 6. Modeling of prism lens

렌즈에 LED 1개를 사용하였을 때의 광도를 보면 곡률형태는 약 22.2 [cd], 반구형태는 약 48.3 [cd] 그리고 안쪽에 프리즘을 설계한 형상은 45.9 [cd]의 광도를 보였다. 결과로 알 수 있듯이 곡률형태보다는 다른 2개의 렌즈형태가 상하는 물론 좌우의 빔까지 집중시켜주기 때문에 2배정도의 빔 세기를 갖는 결과를 보였다. 그러나 이 결과는 단지 LED 1개를 사용했을 경우이다. LED를 3개를 사용하였을 때의 광도 결과 data를 보면 알 수 있듯이 1개와 3개의 광도의 차이는 곡률형태의 렌즈형상이 가장 크고, 다른 2개의 렌즈형상은 1.18배, 1.5배의 낮은 차이를 보였다. 이러한 결과는 곡률형태의 렌즈에서는 좌우로 퍼지는 빔으로 서로 영향을 주기 때문이고, 다른 두개 형태의 렌즈는 좌우로 퍼지는 빔이 없기 때문에 더 이상의 빛의 세기는 없기 때문이다.

각각의 모델링을 통한 모의실험 결과를 <표 1>에 정리하였다. 모의실험 결과와 제작상의 편의를 고려하여 해상용 등명기에 사용할 렌즈의 형태로 곡률형태의 렌즈로 결정하였다.

표 1. 렌즈형태에 따른 광도 Data 비교
Table 1. Luminous Intensity Comparison according to lens shapes

구 분	곡률 형태	반구 형태	Prism + 곡률
LED 1개 + Lens	22.2 [cd]	48.3 [cd]	45.9 [cd]
LED 3개 + Lens	51.8 [cd]	56.8 [cd]	69.3 [cd]
LED 5개 + Lens	66.2 [cd]	-	70.5 [cd]
LED 3개 + Lens (원점⇒원판 중심)	-	-	74.4 [cd]

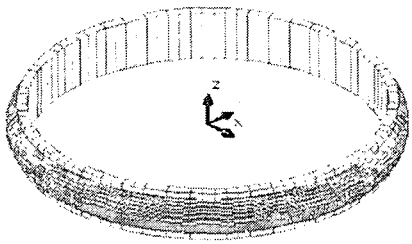


그림 7. 최종 결정된 렌즈 형태
Fig. 7. Lens shape for marine lattern

3. 광학모듈의 제작과 성능평가

LED를 이용한 해상용 등명기를 최적화하기 위해 다양한 렌즈 및 LED 실험과 LED 구동회로 설계에 의해 LED 광원 모듈의 시제품을 제작하고, 그 성능을 평가하였다. LED 광원 모듈 시제품은 현재 사용되는 등명기의 구조 및 형태를 기본으로 하여 LED의 장점을 고려하여 설계하고 제작하였다.

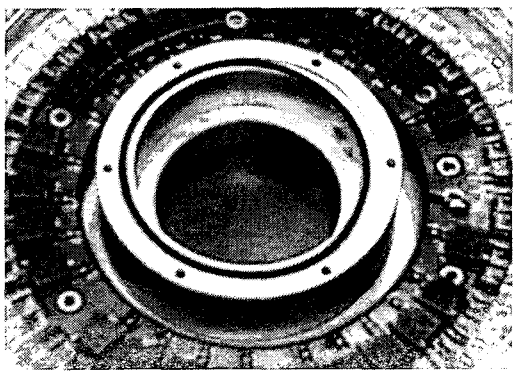


그림 8. 해상용 등명기의 LED 모듈
Fig. 8. LED module for marine lantern

그림 9. 렌즈를 부착한 LED 광학모듈
Fig. 9. Optical part of marine lantern

제작된 시제품에 대해서 광학성능 중 색도성능은 칼라리메터(PR650)를 이용하여 백색(투명색), 적색, 녹색, 황색의 4가지 색에 대해서 측정되었고, 수평방향의 모든 각도(360°)에서 일정하게 보이며, 광색은 국제항로표지협회에서 정<표 2>의 색도좌표(X,Y)의 허용범위에 적합하였다.

표 2. 등명기의 색도기준
Table 2. Color standard for marine latern

광 색	좌 표	1	2	3	4
적 색	X	0.710	0.700	0.670	0.680
	Y	0.290	0.290	0.320	0.320
황 색	X	0.585	0.581	0.555	0.560
	Y	0.415	0.411	0.435	0.440
녹 색	X	0.022	0.282	0.207	0.013
	Y	0.778	0.518	0.397	0.494
백색	X	0.440	0.285	0.285	0.440
	Y	0.382	0.264	0.332	0.432

광학성능 중 배광 및 광도에 대한 성능은 배광측정설비를 이용하여 수행하였다. 각각의 시제품은 설계 사양과 일치하는 성능을 얻을 수 있었다. 75개의 LED를 사용한 LED 모듈 1개의 성능은 단일 모듈 기준으로 적색, 황색은 80[cd]부터 150[cd]까지, 백색은 120[cd]부터 180[cd]까지, 그리고 청색은 250[cd]부터 370[cd]까지 측정되었다. 적색, 황색의 최소기준인 80[cd], 백색의 120[cd] 그리고 청색의 250[cd]는 부동촉광으로 측정될 때 LED 모듈의 시간의 변화에 따라 광출력의 변동이 없는 상황에서 측정되었다. 최대기준인 150[cd], 180[cd] 그리고 370[cd]는 통상 등명기는 부동촉광으로 사용되지 않고 일정시간 점등과 소등을 반복하는 형태로 사용되므로, 점등과 소등이 같은 시간으로 점등될 때 사용 가능한 광도이다.

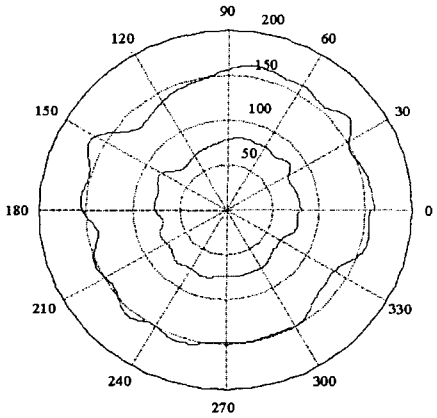


그림 10. 적색 LED 등명기의 배광분포
Fig.10. Luminous intensity distribution of red LED marine lantern

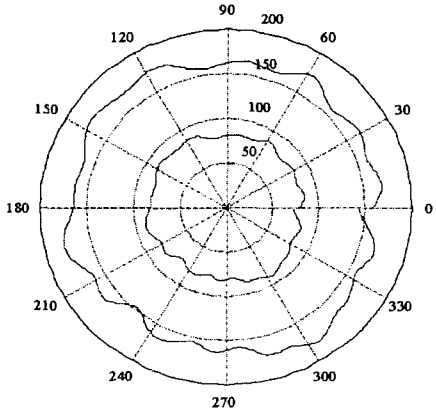


그림 11. 황색 LED 등명기의 배광분포
Fig. 11. Luminous intensity distribution of yellow LED marine lantern

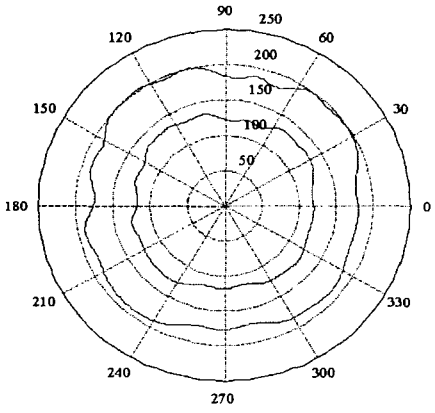


그림 12. 백색 LED 등명기의 배광분포
Fig. 12. Luminous intensity distribution of white LED marine lantern

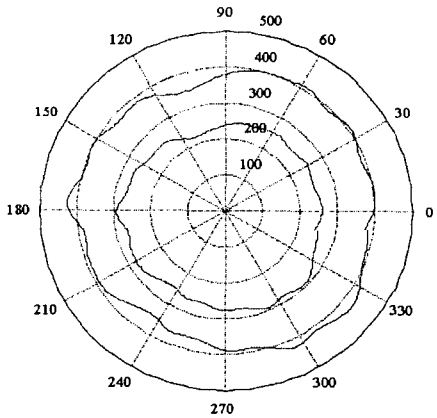


그림 13. 녹색 LED 등명기의 배광분포
Fig. 13. Luminous intensity distribution of green LED marine lantern

4. 결 론

20세기 말 반도체 기술의 급신장으로 실용화되고 있는 고휘도 LED 광원의 경우 백열전구에 비해 유리나 필라멘트를 사용하지 않아 충격에 매우 견고하고, 저소비 전력으로 동일한 광도를 출력하는 높은 유효 발광효율, 수십 배 이상의 장수명과 양호한 충격, 진동 및 점소등 특성 등으로 해상용 등명기의 대체 광원으로 매우 혁신적인 기술이라 할 수 있다. PCB 기판에 다수의 고휘도 LED(반도체 발광 다이오드, Light Emitting Diode)와 구동회로로 구성되는 해상용 등명기는 특정 파장대의 단색광을 발광하므로 착색렌즈 사용에 따른 빛손실이 없고, 저전력 소모로 태양전기 및 축전지의 소용량화로 제작 비용의 절감은 물론 장수명으로 인해 유지보수비용의 절감 등 그 효과는 상당할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 이러한 장점의 LED 광원을 이용하여 현재 사용중인 등명기의 문제점 등을 해소하고 품질 개선, 시인효과 및 신뢰성 향상으로 이용자에게 양질의 서비스를 제공하고 선박의 안전운항에 기여할 수 있는 등명기용 LED 광학모듈을 개발하고자 하였다. 다양한 시제품의 실험실적 평가 및 장기간의 해상환경 적응실험 등을 통하여 우리나라 해양 환경 특성에 적합한 LED 등명기용 광학모듈 시제품이 개발되었다. 개발된 해상용 LED 등명기 광학모듈 시제품은 등명기에 사용되고 있는 전구와 비교하여 약 1/3(1/7~3/4)의 소비전력 사용으로 동일 광도를 낼 수 있었고, 같은 전력소비 규모의 LED 등명기를 제작할 경우는 그 밝기가 기존의 해상용 등명기에 비해 색상에 따라 약 1~6배의 광도를 얻을 수 있는 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

[1] 정봉만 외 , "해상용 LED(Light Emitting Diode) 등명기 연구개발", 해양수산연구개발 연구보고서, 2002, 12.
[2] 정학근 외, "차세대 등명기 기술" 에너지절약기술워샵 논문집, Vol. 18, pp575~pp580, 2003. 11.