

LED 광원을 이용한 에너지 절약형 해상용 등명기 연구

점학근, 정봉만, 한수빈, 유승원
한국에너지기술연구원

A Study on the Energy Efficient Marine Lantern using LEDs

Jeong Hak Geun, Jung Bong Man, Han Soo Bin, Yu Seong Weon
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

해상에서 선박의 안전한 항해를 위해서는 주기적으로 선박의 위치를 확인할 필요가 있다. 이를 위해 선박의 교통량이 많은 곳에서는 선박의 운항을 돕기 위한 인공적인 시설을 필요로 하게 되며, 이러한 목적을 달성하기 위하여 설치된 시설이 항로표지이다.

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[1, 2].

20세기 말 반도체 기술의 급진장으로 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 태양전지 및 축전지의 소용량화로 제작 비용의 절감은 물론 장수명으로 인해 유지보수비용의 절감 등 그 효과는 상당할 것으로 기대된다.

그러나 반도체 광원(LED 소자)을 이용한 새로운 해상용 등명기의 경우 기존의 해상용 등명기와는 발광 원리 및 발광 방식이 다르며, LED는 반도체 소자로서 외기 환경(온도)의 변화에 따른 그 특성이 변화하는 문제점을 내포하고 있어, 본 논문에서는 우리나라의 계절적 변화에 적응되고, 해양 환경 특성에 적합한 LED 등명기를 개발하여 현재 사용중인 등명기의 문제점 등을 해소하고 품질 개선, 시인효과 및 신뢰성 향상으로 이용자에게 양질의 서비스를 제공하고 선박의 안전운항에 기여하고자 하였다. 이를 위하여 기존 등명기의 기술기준, 고휘도 LED 광원을 이용한 고휘도 등명기 광원 설계 및 고휘도 LED 등명기의 실험광도 및 색도의 측정 분석시험에 대해 연구를 수행되었다.

2. 국내 등명기의 기술 기준 검토

현재의 광표지용 등명기 사용실태를 <표 1>을 통해 국내 등명기 설치 현황을 살펴보면, 소형 등명기가 90%, 중형 등명기가 7.7%, 대형 등명기 및 기타가 3.3%를 점유하고 있으며, 국내의 중·소형 등명기는 사용되는 전구의 종류(12V/1.15A, 12V/2.03A, 12V/3.05A) 및 착색렌즈의 종류에 따라 <표 2>와 같이 광달거리와 최대광도가 결정되며, 적색, 황색, 녹색, 백색의 네 가지의 빛을 이용하며, 각각의 빛은 서로 혼동되지 않도록 <표 3>의 색도 기준

으로 규정되어 있다. 따라서 본 논문에서 개발되는 LED 등명기는 국내에서 사용되고 있는 등명기의 대부분을 차기하고 있는 중·소형 등명기를 대체하고자 한다.

<표 1> 국내의 국유시설 등명기 설치 현황

구분	기수	등명기 규격				
		계	대형	중형	소형	기타
계	1,789	2,713	49	209	2,436	19
유인등대	49	49	49			
무인등대	688	688		209	479	
등 표	176	176			176	
도 등	7	7				7
조 사 등	5	5				5
지 향 등	7	7				7
등 주	11	11			11	
등 부 표	796	796			796	
교 량 등	50	974			974	

<표 2> 평균 수평광도 및 광달거리

구분 전구 규격	평균 수평광도 및 광달거리							
	투명렌즈		적색렌즈		녹색렌즈		황색렌즈	
	광달거리 (NM)	최대광도 (cd)	광달거리 (NM)	최대광도 (cd)	광달거리 (NM)	최대광도 (cd)	광달거리 (NM)	최대광도 (cd)
12V, 1.15A	6	180	4	54	4	54	5	122
12V, 2.03A	7	360	5	108	5	108	6	244
12V, 3.05A	8	500	6	150	6	150	7	340

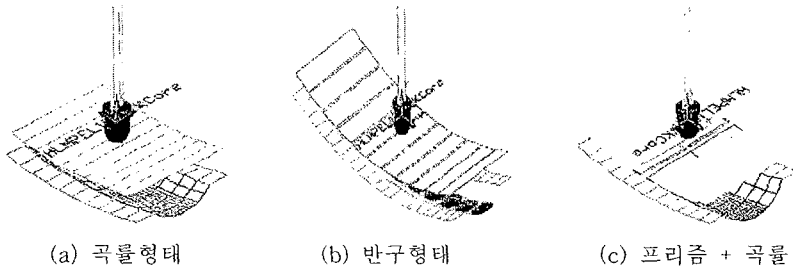
<표 3> 등명기의 색도기준

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
백 색	X	0.440	0.285	0.285	0.440
	Y	0.382	0.264	0.332	0.432

3. LED 등명기의 설계

등명기는 램프에서 발산되는 빛이 집광되어 가능한 한 멀리 전달될 수 있도록 해야 되므로, LED에서 일정한 각으로 발산되는 빛을 집광하기 위하여 집광 렌즈의 설계가 필요하다. LED 광원용 집광 렌즈의 설계는 먼저 발광부와 렌즈사이의 거리가 매우 가까운 경우에는 LED 광원을 점광원으로 가정할 수 없기 때문에 LED에서 발산하는 가상초점을 정하고, 렌즈 설계공식을 사용하여 렌즈를 설계한다. 그리고 광 해석 프로그램을 이용하여 사용하고자 하는 LED에 대한 모델링과 모의실험을 수행함으로써 렌즈 성능을 향상시키는 방안을 고안하는 단계로 진행된다.

집광 렌즈의 설계시 광원이 위치하는 초점거리에 따라 렌즈의 곡률이 변화하기 때문에 적당한 크기의 렌즈를 설계하기 위해 LED와 렌즈사이와 LED 빔의 렌즈 유효높이를 잡고, [그림 1]에서 보는 것과 같이 다양한 렌즈 형태를 설계하여 모델링된 LED를 이용하여 모의 실험을 수행하였다. 우선 [그림 1]의 (a)는 일반적인 형태의 렌즈 형상으로, 곡률 형태가 상하(렌즈의 높이)를 중심으로 렌즈를 설계가 되기 때문에 상하는 빔을 집중시킬 수 있지만 좌우는 빔을 집광할 수 없는 형태이다. 이를 보완하기 위해 [그림 1] (b)의 반구 형태의 렌즈와 [그림 1] (c)와 같이 렌즈의 안쪽면에 프리즘의 형태를 추가한 구조를 설계하였다.



[그림 1] 다양한 형태의 렌즈 설계

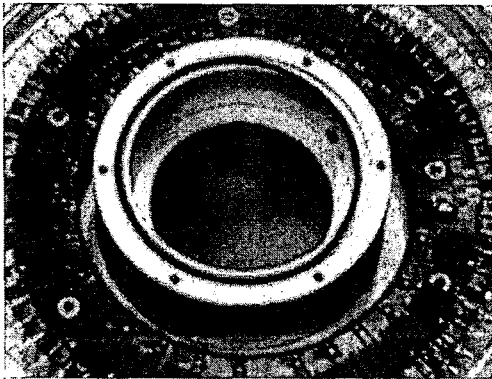
설계된 렌즈에 LED 1개를 사용하였을 때의 광도를 보면 곡률 형태는 약 22.2 [cd], 반구 형태는 약 48.3 [cd] 그리고 안쪽에 프리즘을 설계한 형상은 45.9 [cd]의 광도를 보였다. 결과로 알 수 있듯이 곡률 형태보다는 다른 2개의 렌즈형태가 상하는 물로 좌우의 빔까지 집중시켜주기 때문에 2배정도의 빔 세기를 갖는 결과를 보였다. 그러나 이 결과는 단지 LED 1개를 사용했을 경우이다. LED를 3개를 사용하였을 때의 광도 결과를 보면 1개와 3개의 광도의 차이는 곡률 형태의 렌즈형상이 가장 크고, 다른 2개의 렌즈형상은 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 빛이 집광되지 않기 때문이다. 등명기는 바다의 한가운데 놓여져 수평면으로는 전방향으로 빛을 발산되어야 하는 특성과, 이러한 모의실험 결과를 바탕으로 수직면으로만 집광이 될 수 있는 [그림 1]의 (a) 형태의 렌즈로 결정하였다.

<표 4> 렌즈형태에 따른 광도 모의실험 결과 비교

구 분	곡률 형태	반구 형태	Prism + 곡률
LED 1개	22.2 [cd]	48.3 [cd]	45.9 [cd]
LED 3개	51.8 [cd]	56.8 [cd]	69.3 [cd]
LED 5개	66.2 [cd]	-	70.5 [cd]

4. 제작 및 성능평가

LED 등명기의 광원부를 최적화하기 위해 설계된 렌즈에 적합한 다양한 LED를 선정하여 LED 광원부의 시제품을 제작하고, 그 성능을 평가하였다. LED 광원부 시제품은 현재 사용되는 등명기의 구조 및 형태를 기본으로 하여 LED의 장점을 고려하여 설계하고 제작하였다. 현재 중·소형 등명기에는 14W(12V, 1.15A), 24W (12V, 2.03A), 36W(12V, 3.05A) 소비전력의 램프가 사용되고 있는데, 이 중 가장 많이 사용되고 있는 24W 램프를 대체하기 위하여, LED 광원부의 모듈은 LED 전기적 특성을 고려하여, 한 모듈당 적색, 황색은 8W, 녹색과 백색은 10W를 넘지 않는 조건으로 설계하였고, LED Array는 [그림 2]의 (a)에서 보는 것과 같이 다수의 LED를 방사형으로 배치하여 제작하였고, 전 질에서 설계된 렌즈를 제작하여 [그림 2]의 (b)와 같이 결합하였다.



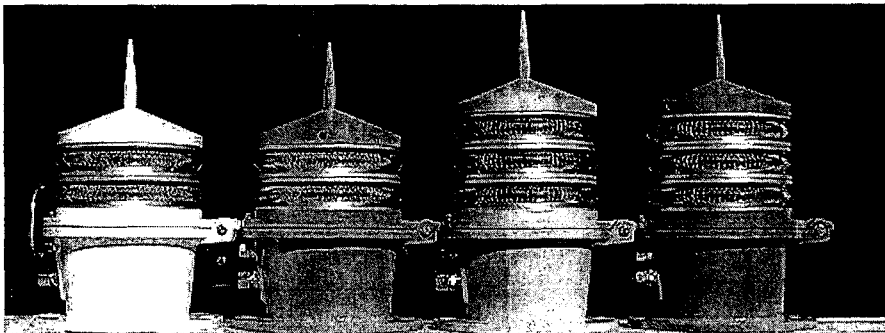
(a) LED Array



(b) 렌즈와 결합된 모습

[그림 2] 해상용 등명기의 LED 모듈

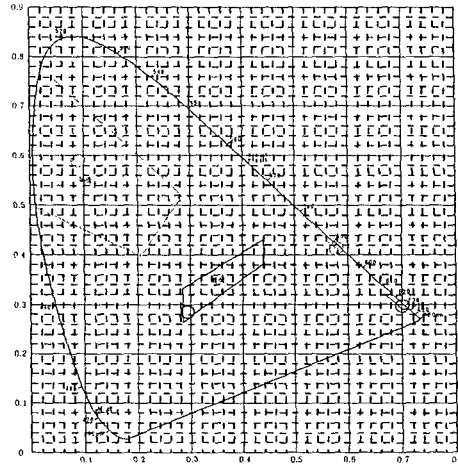
[그림 3]은 완성된 LED 등명기의 모습으로, 소비전력 24W 이내로 적색, 황색은 3단으로, 백색과 녹색은 2단으로 제작된 모습이다. 제작된 등명기의 색도는 칼라리미터(PR650)를 이용하여 백색(투명색), 적색, 녹색, 황색의 4가지 색에 대해서 측정되었고, 수평방향의 모든 각도(360°)에서 일정하게 보이며, <표 5>의 좌표로 측정되었다. [그림 3]은 등명기의 색도를 규정한 <표 3>의 허용범위에 측정된 색좌표를 표시한 것으로, 적합한 색도를 나타냄을 알 수 있다.



[그림 3] 완성된 LED 등명기

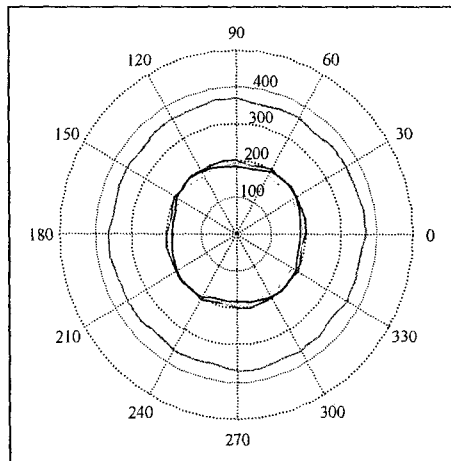
<표 5> 등명기 시제품의 색좌표

좌 표	적색	녹색	황색	백색
X	0.705	0.593	0.581	0.297
Y	0.295	0.092	0.415	0.278

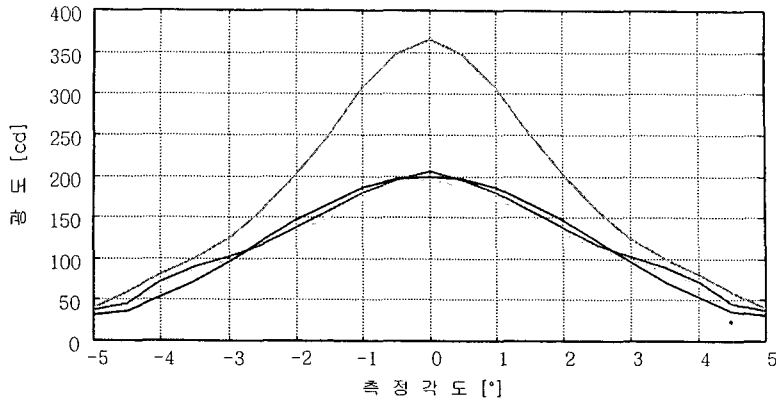


[그림 4] LED 등명기의 색도

광학성능 중 배광 및 광도에 대한 성능은 배광측정기(Gonio-photometer)를 이용하여 수행하였다. 각각의 시제품은 설계 사양과 일치하는 성능을 얻을 수 있었다. 75개의 LED를 사용한 LED 모듈 1개의 성능은 단일 모듈 기준으로 적색, 황색, 백색은 약 200[cd], 녹색은 약 370[cd]로 측정되었다. [그림 5]는 등명기의 수평방향의 배광 곡선으로, 적색, 황색, 녹색은 각 색에 해당되는 등명기이고, 청색은 백색 등명기의 배광 곡선이다. 전 방향으로 빛이 균일함을 알 수 있다. [그림 6]은 등명기의 수직 방향의 배광 곡선으로, 수직 방향으로의 빛은 잘 집광되어 최대광도의 50%가 되는 지점이 $\pm 4^\circ$ 이내임을 볼 수 있다.



[그림 5] LED 등명기의 수평 배광분포



[그림 6] LED 등명기의 수직 배광분포

5. 결론

20세기 말 반도체 기술의 급진장으로 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. 본 논문에서는 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 개발하였다. 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.

<표 6> 등명기의 성능 비교

구 분		적 색	녹 색	황 색	백 색
전구식	광 도[cd]	108	108	244	360
	소비전력[W]	24	24	24	24
	광학성능[cd/W]	5	5	10	15
LED	광 도[cd]	200	370	200	200
	소비전력[W]	8	10	8	10
	광학성능[cd/W]	25	37	25	20

6. 참고문헌

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