

합정용 LED 투광등 설계 및 제작

김세진¹, 길경석^{1,a}, 김동건², 김일권², 송동영³

¹ 한국해양대학교 전기전자공학부

² 한국조선해양기자재연구원 전기전자연구본부

³ 포항대학교 제철산업과

Design and Fabrication of a LED Floodlight for Naval Vessels

Se-Jin Kim¹, Gyung-Suk Kil^{1,a}, Dong-Geon Kim², Il-Kwon Kim², and Dong-Young Song³

¹ Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University,
Busan 606-791, Korea

² Electric and Electronic Research Division, Korea Maritime Equipment Research Institute,
Busan 618-270, Korea

³ Division of Steel Industry, Pohang College, Pohang 791-711, Korea

(Received September 3, 2013; Accepted September 24, 2013)

Abstract: This paper dealt with the development of a LED floodlight for naval vessels to replace the conventional floodlight using an incandescent and a halogen lamp. We found a technical solution for current problems of conventional lights and also improved optical characteristics by developing a LED floodlight which has a typical long-lived light source with high efficiency. To satisfy the requirements specified in Korea Standard Vessels (KS V), the optical structure was designed with selected LED package and lens. A LED module was composed of 10 LEDs in series for stable luminous output, and an aluminium heat sink was adopted for effective heat-radiation design. The LED floodlight was fabricated as a module type so that it can easily replace the conventional light source. The power consumption of the prototype floodlight was only a tenth of a conventional one with the same optical performance. Also, a test showed the floodlight satisfied the electrical, optical and environmental requirements of the standards.

Keywords: LED, Floodlight, Naval vessel, Incandescent lamp, Halogen lamp, Power consumption, Luminous

1. 서 론

세계 각국에서는 1차 자원 고갈과 지속적인 유가상승에 대응하여 이산화탄소 배출량 규제 및 에너지 절

약 정책을 펼치고 있다. 조명산업 분야에서는 이와 관련하여 2014년까지 저효율 광원인 백열전구의 생산 및 판매를 금지함으로써 이를 대체할 새로운 광원개발에 주력하고 있다. 그 중 친환경 고효율 특성의 LED (light emitting diode)가 가장 주목받고 있다 [1,2]. 기존의 광원들은 낮은 내구성, 짧은 수명 및 높은 소비전력으로 인해 유지 보수비 증가 등의 문제를 발생시키고 있다. 하지만, LED 광원은 진동과 충격에 강하고 장수명, 저전력 등의 특성들을 바탕으로 기존의

a. Corresponding author; kilgs@kmou.ac.kr

문제점을 해결할 수 있다. 이는 해양 환경에서 보다 적합한 광원으로써 최근 조선해양 분야에도 LED 조명을 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 [3,4]. 따라서 본 논문에서는 함정에서 사용되고 있는 기존 할로겐램프의 500 W 투광등을 LED 광원으로 대체하기 위한 연구를 수행하였으며, 시제작 LED 투광등의 성능요구 사항을 KS V 8427과 비교하여 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 함정용 투광등

투광등 (floodlight)은 빛을 모아서 일정한 방향으로 비추는 등기구를 총칭하는 것으로 선미 (船尾)나 선수 (船首)에 설치하여 야간에 작업 등으로 사용하거나 난파 및 익사 사고가 발생하였을 경우 사용된다. 광원은 백열전구, 할로겐, 나트륨 및 제논램프 등이 사용된다. 기존의 광원들은 전방향 (全方向)으로 빛이 방사되기 때문에 투광등의 광학적 특성을 만족시키기 위해서는 반사판 (reflector) 및 확산판 (diffuser)을 반드시 사용해야 한다. 또한 높은 소비전력으로 인한 에너지 손실 및 진동과 충격에 약하기 때문에 유지보수비가 높으며, 빛을 내기 위한 목적으로 유리구 내부에 가스가 주입되기 때문에 폭발 및 사고의 위험이 크다. 반면, LED는 고체 광원 (solid-state lighting, SSL)으로써 기존의 광원들에 비해 낮은 소비전력과 높은 광학적 성능을 가질 수 있다. 표 1에 기존 광원들과 LED 광원의 전기·광학적 특성을 비교하였다 [5,6].

Table 1. Comparison of light sources.

	Luminance efficiency [lm/W]	CRI	Life times [h]
LED (only chip)	100	80	50,000
Metal-halide lamp	90	90	15,000
Fluorescent lamp	70	75	8,000
Compact-fluorescent lamp	70	70	6,000
Halogen lamp	20	90	3,000
Incandescent lamp	12	99	1,000

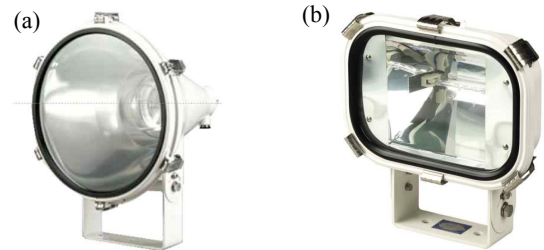


Fig. 1. Floodlighting fixture. (a) incandescent lamp, (b) halogen lamp.

표 1에서 나타낸 것과 같이 LED의 수명은 50,000시간 이상으로 백열전구에 비해 50배, 형광등의 6배 이상이며, 투광등의 광원으로 많이 사용되는 할로겐램프에 비해서는 약 20배 이상이다. 광효율은 백열전구의 10배, 할로겐램프의 6.5배이며, 메탈할라이드램프보다 1.1배 높다. 기존의 함정용 투광등은 초기에 백열전구를 사용했지만, 현재는 대부분 할로겐램프 및 고압나트륨램프를 적용하고 있으며, 외형은 그림 1과 같다.

이를 바탕으로 함정용 투광등에 사용되고 있는 광원들을 LED로 교체할 경우 내구성 및 전력 손실을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 보다 향상된 광학적 성능을 통한 경제적, 기술적 효과를 기대할 수 있다.

2.2 LED 모듈

LED 모듈은 조명 시스템에 적용되는 광원부로서 LED 패키지를 비롯한 렌즈 및 확산판 등을 포함하는 광학계와 전자 부품 및 소자로 구성되는 구동회로가 있다. 또한 LED 패키지와 소자로부터 발생하는 열을 효과적으로 방출할 수 있는 히트싱크로 구성된 하나의 제품이라고 할 수 있다. LED 조명은 모듈 형태로 제작되는데, 등기구의 사양이나 디자인에 따라 모듈의 개수와 배치만을 변경함으로써 다양한 제품이 가능하고, 고장이나 문제가 발생하여 보수가 필요할 경우에도 등기구 전체를 교체할 필요 없이 LED 모듈부만 탈 부착함으로써 제품설계 및 관리가 효율적이다 [7].

LED 모듈을 설계하기 위해 먼저 등기구 전체의 광학적 성능을 결정하는 요소인 LED 패키지를 선정하였다. 그러나 일반적으로 LED 사양서에 명시된 성능 지표는 광속을 나타내는 루멘 (lm)으로 광도를 나타

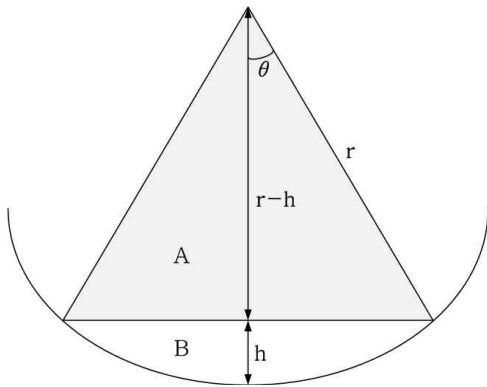


Fig. 2. Principle of a solid angle.

Table 2. Specification of a LED package.

Product	CCT [K]	CRI	Luminous flux [lm] @1 A(700 mA)	V _f [V] (3.0)	Beam angle [°]
LXML-PWC2	5,650	70	320 (235)	3.1 (3.0)	120

내는 칸델라 (cd)와 직접적인 비교가 불가능하다. 따라서 광도와 광속을 비교할 수 있도록 변환해야 한다 [8,9].

$$\Phi = I \cdot \Omega \tag{1}$$

$$\Phi = I \cdot 2\pi(1 - \cos\theta) \tag{2}$$

식 (1)은 광도와 광속의 기본적인 이론식이다. 이는 점광원 형태로서 전방사를 하는 기존 광원에는 적용할 수 있지만 일정한 지향각을 가지는 LED 광원에 직접적으로 적용하기는 어렵다. 따라서 그림 2의 입체각 원리로부터 광도와 지향각을 알고 있을 때 광속을 구할 수 있는 식 (2)를 유도하였다.

식 (2)에 기준 광도 38,000 cd, 지향각 17°를 대입하면 총 광속은 약 2,622 lm으로 산출된다. 따라서 기존 500 W 함정용 투광등을 대체하기 위해서는 최소 2,700 lm 이상의 총 광속을 가져야 한다. 이와 같은 원리로 선정된 LED 패키지의 사양을 표 2에 나타내었다.

2.3 구동회로 및 히트싱크

LED 모듈의 구동회로는 정전류 방식으로 구성하였다. 정전류 방식은 입력 전압이나 주변 온도와 무관하게 일정한 전류를 출력하기 때문에 LED 패키지의 수

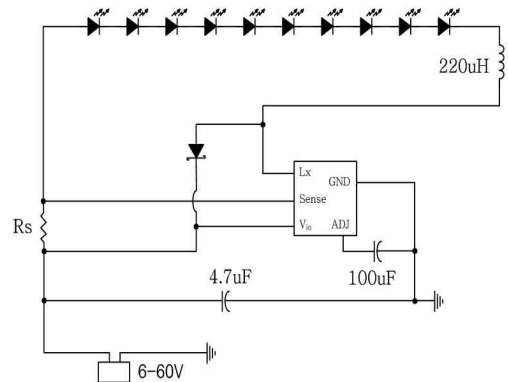


Fig. 3. Schematic diagram of LED driving circuit.

명과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 앞서 설계된 광속을 만족시키기 위해 총 10개의 LED 패키지를 직렬로 구성하였으며, 이는 동일한 전류를 가지므로 균일한 광특성을 가질 수 있기 때문이다. 전원장치는 정전압 방식의 SMPS (switching mode power supply)를 사용하였으며 입력전압은 AC 90 ~ 305 V, 출력 전압 DC 30 V, 출력 전류는 1.2 ~ 2 A의 특성을 갖는다. LED 구동 IC의 특성은 입력 전압 6 ~ 60 V, 출력 전류 최대 1 A를 가진다. 출력 전압은 구동 IC와 직렬로 구성된 LED의 순방향 전압을 고려해야 하며, 과도한 출력전압은 레귤레이터의 과부하로 인한 발열로 특성이 변할 수도 있어 적절한 출력전압을 가지도록 설정하여야 한다.

그림 3에 LED 구동회로를 나타내었다 [10]. 또한, 효과적인 히트싱크의 설계를 위하여 방열 시뮬레이션을 수행하였다 [11].

표 3은 시뮬레이션을 위한 LED 투광등의 설계 요인을 나타내었다. 외부 대기온도는 25°C이며 자유 대류계수는 5 W/m²으로 설정하였다. 또한 방열성능을 향상시키기 위해 표 4와 같이 방열핀의 높이는 동일하고 두께 및 거리를 서로 다르게 설정하였다.

Table 3. Specification of components.

Material	Thermal conductivity [W/mK]	Dimension <length×width×thickness> [mm]
Heat sink	100	210 × 120 × 45
PCB	105	170 × 120 × 2
LED (Solder)	58	3.20 × 1.30 × 0.075

Table 4. Dimension of the pin for heat sink.

	Height [mm]	Pin thickness [mm]	Pin pitch [mm]
Model 1	45	5.0	12
Model 2	45	2.5	7.5

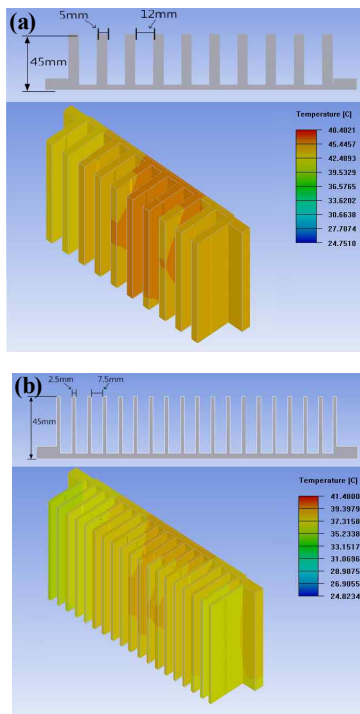


Fig. 4. Simulation results. (a) model 1, (b) model 2.

그림 4와 같이 시뮬레이션을 수행한 결과, model 1에서는 최고 온도가 48.4°C, 최저 온도가 40.1°C로 나타났으며, model 2는 최고 온도가 41.4°C, 최저 온도가 34.2°C로 나타나 model 1보다 6~7°C 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 따라서 LED 투광등에 효과적인 방열 성능을 갖는 model 2의 히트싱크를 설계 및 적용하였다.

그림 5는 적용한 히트싱크에서 LED 패키지의 배치에 따른 온도분포를 나타낸 것이다. LED 등기구의 경우 LED 패키지에서 열이 가장 높게 발생되기 때문에 적절한 배치를 통해 이를 해결해야 한다 [9,10]. 그림 5(a)는 LED 패키지를 PCB 중앙에 밀집시켜 배치한 집중형이며, 그림 5(b)는 일정한 간격을 유지하여 배치한 분산형이다.

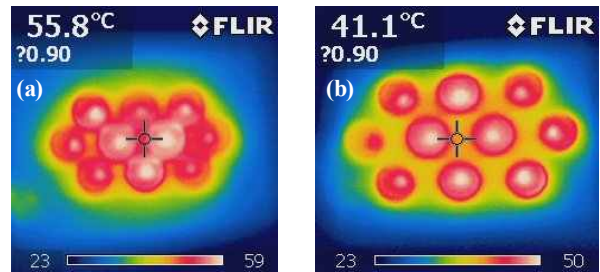


Fig. 5. Thermal distribution of LED package depending on array. (a) centralized type, (b) dispersal type.



Fig. 6. Photograph of the thermal test equipment.

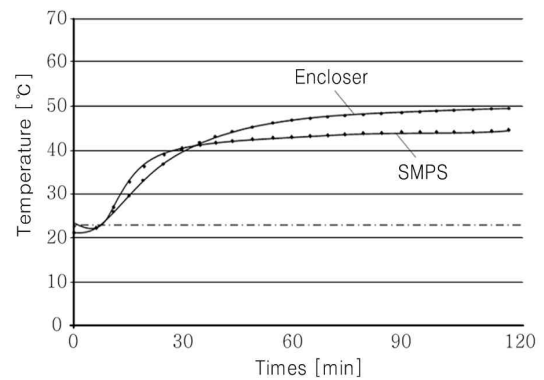


Fig. 7. Thermal test results.

한 시간 경과 후 PCB 중심 온도를 측정한 결과, 집중형은 55.8°C인 반면, 분산형의 경우 41.1°C로 집중형에 비해 14.7°C가 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 동일한 광학적 성능을 만족한다면 광원을 최대한 분산시켜 배치함으로써 보다 효과적인 방열을 기대할 수 있다. 분산형 LED 광원부를 적용한 투광등에 대해 온도 실험을 실시하였다. 측정은 K 타입 열전대 (thermo-coupler)와 온도 기록계 (hybrid recorder)를



Fig. 8. A prototype LED floodlight.

사용하였으며 5분 간격으로 120분 동안 실시하였다. KS C IEC 60092-306에 명시된 LED 등기구의 온도 특성은 정상 점등하였을 때 60℃를 넘지 않아야 하며, SMPS 주위 온도는 50℃ 이하여야 한다.

그림 6에 온도 측정 장비를 나타내었으며 시험 결과는 그림 7과 같다. 온도 측정 결과, SMPS 주위 온도는 48℃, 외함의 온도는 57℃로 KSC IEC 60092-306을 만족하였다 [12].

그림 8에 시제작 합정용 LED 투광등을 나타내었다. 모듈형태로 제작되었기 때문에 기존 광원과의 교체 편리한 구조이며 SMPS를 등기구 내부에 설치함으로써 외부의 영향을 최소화하였다.

3. 결과 및 고찰

합정에서 사용되는 투광등의 규격은 표 5에 나타낸 것과 같으며 일반적으로 KS V 8427을 따른다. 500 W 선박용 투광등의 최소 광도는 38,000 cd이며 지향각은 17°이어야 한다. 시제작 LED 투광등의 성능과 KS V 8427의 규격과 비교하여 분석하였다.

Table 5. Specification of the KS V 8427 marine floodlight.

Subsection	Requirement	
Luminous intensity (at 0°)	200 W ~ 250 W	460 cd
	300 W	17,000 cd
	500 W	38,000 cd
	1 kW	60,000 cd
Beam angle (at 1/10 of luminous intensity)	200 W ~ 250 W	65°
	Etc.	17°
Angle of tip & angle of traverse	Angle of up 30° over, Angle of down 45° over, Angle of each right and left 150° over	
IP code	IP 56	

3.1 광학적 특성

기존 합정용 투광등과 광학적 성능을 비교하였다. 측정은 배광측정기 (goniophotometer)를 사용하였으며, 간격 θ 는 1°, ϕ 는 30°로 각각 설정하였다. 측정 시간엔 에이징을 포함하여 2시간 동안 실시하였으며 그림 9에 배광시스템의 구성을 나타내었다. 등기구와 측정 센서 간의 간격은 16.5 m이며 중간에는 배플 (baffle)을 설치하여 빛의 간섭을 방지하였다.

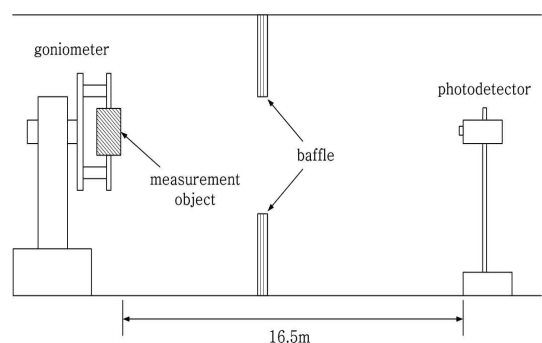


Fig. 9. Lay-out of a goniophotometer system.

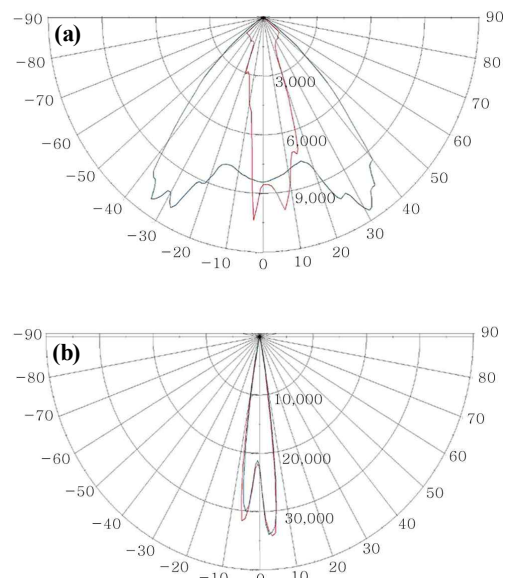


Fig. 10. Luminous distribution. (a) conventional, (b) LED.

그림 10에 배광측정 결과를 나타내었으며, 그림 10(a)는 기존의 합정용 투광등이며, 그림 10(b)는 LED 투광등이다.

Table 6. Comparison of electrical and optical performance.

Test item	Standard	Conventional	LED
Power [W]	-	497	41
Luminous intensity (at 0°) [cd]	38,000	8,000	36,000
Beam angle [°]	17	30	16
CCT [K]	-	2,857	4,171
CRI	-	96	82
PF	-	0.99	0.97

측정 결과, 기존 합정용 투광등의 경우 중심 광도가 약 8,000 cd, 최대 광도는 약 12,000 cd이다. 이는 기준 광도의 32% 수준이며, 지향각은 약 32°로 역시 기준 각도를 만족시키지 못하는 것을 확인할 수 있다. LED 투광등은 중심 광도가 약 36,000 cd로 기준 광도의 94%가 측정되었다. 앞서 설계한 이론값과 다른 이유는 LED 구동 회로에서의 전기적 손실과 렌즈 및 유리에 의한 광학적 손실로 인한 것으로 판단된다. 지향각은 16°로 기준 각도를 만족하였다.

표 6에 기존 합정용 투광등과 LED 투광등의 전기적, 광학적 성능 결과를 요약하였다. LED 투광등은 기존 투광등에 비해 약 92% 절감된 41 W의 소비전력을 나타냈다. 중심 광도는 36,000 cd로 규정된 기준 광도의 약 94%이며 기존 투광등에 비해 4.5배 향상된 성능을 보였다. 총 광속은 3,146 lm, 광 효율은 76.7 lm/W을 나타내었다. 지향각은 16°이며, 색 온도는 4,171 K, 연색성은 82이다.

3.2 환경적 특성

LED 투광등의 환경적 특성을 알아보기 위해 방수 및 방진시험을 실시하였다. 합정용 투광등은 IP 56 등급으로 IEC 60529의 규격에 입각하여 수행하였으며, 그림 11에 방수 및 방진시험 설비를 나타내었다.

그림 11(a)는 살수시험 장치이며, 그림 11(b)는 분진 챔버로 각각 방수, 방진에 대한 성능을 확인할 수 있다. IP X6에 해당하는 살수시험 결과, 등기구 내부에 침수된 흔적이 없었다. 또한 IP 5X에 해당하는 분진시험 역시 등기구 내부에 분진의 흔적이 발견되지 않았다. 시험 후 15분간 정상적인 점등을 확인함으로써 LED 투광등의 보호 성능 등급을 만족하는 것을 알 수 있었다.

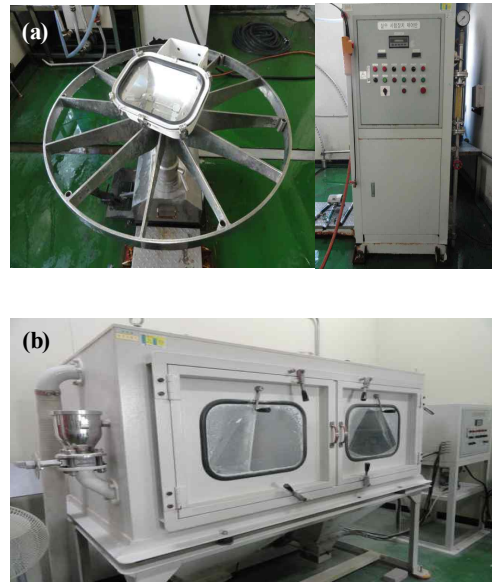


Fig. 11. Photograph of IP test equipment. (a) watering, (b) dusting.

4. 결론

본 논문에서는 저효율 광원인 할로겐램프를 사용하고 있는 합정용 500 W 투광등을 LED로 대체하기 위하여 40 W급 투광등의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. LED 투광등의 목표 사양을 선정하기 위해 기존 합정용 투광등의 광학적 특성을 분석하였다. LED 패키지 및 렌즈를 적용하여 LED 모듈을 제작하였으며, 방열 시뮬레이션을 통하여 설계한 히트싱크를 적용하였다. 또한 이를 구동하기 위하여 정전류 회로를 설계하고, 정전압 전원을 사용하였다.

LED 투광등의 성능을 KS V 8427의 규격에 따라 전기·광학적, 환경적 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

1. 합정용 LED 투광등의 소비전력은 41 W로 기존의 500 W 투광등에 비해 92% 감소되었다.

2. 기존 투광등의 경우 규격에 명시된 중심 광도의 32% 수준이었지만, LED 투광등은 중심 광도 36,000 cd로 KS V 8427에서 제시한 광속 광도 (500 W)의 94% 수준으로 기존 투광등에 비해 4.5배 향상된 광학적 성능을 보였다. 지향각은 16°이며, 색 온도는 4,171 K, 광 효율은 76.7 lm/W, 연색성은 82로 나타났다.

3. 등기구 외함의 온도는 60℃, SMPS 주변 외함의 온도는 50℃ 이하를 유지함으로써 KS C IEC 60092-306을 만족하였다.

4. IEC 60529에 명시된 시험 절차에 따라 시험 후 정상점등 하였으며, 규격에 명시된 IP 56의 성능을 만족함을 확인할 수 있었다.

상기와 같은 시험 결과를 통해 함정용 투광등의 광원을 할로겐에서 LED로 교체하면 약 92%의 에너지 절감과 76.7 lm/W의 광효율을 얻을 수 있다. 또한 환경적 특성 평가 결과 방수·방진에 관하여 IP 56을 만족하기 때문에 함정용 등기구로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-2009).

REFERENCES

- [1] US DOE, *Solid-State Lighting Research and Development* (State and Community Programs, 2011).
- [2] I. K. Kim, D. G. Kim, G. S. Kil, H. G. Cho, and K. L. Cho, *J. KIEEME*, **25**, 744 (2012).
- [3] H. K. Jung, B. M. Jung, S. B. Han, S. I. Park, and H. Kim, *J. KIIEE*, **20**, 1 (2006).
- [4] S. K. Choi, S. J. Kim, D. W. Park, K. S. Kil, C. Y. Choi, and S. B. Song, *J. KOSME*, **34**, 104 (2010).
- [5] Y. K. Cheng and K. W. E. Cheng, *2nd International Conference in Power Electronics Systems and Applications*, 174 (2006).
- [6] L. R. Thomas, *Street Lighting Design in Light Tools*, http://optics.synopsys.com/lighttools/pdfs/LightTools_SLD_whitepaper.pdf (2012).
- [7] G. S. Kil, I. K. Kim, H. E. Cho, H. S. Kwon, and H. G. Cho, *J. KOSME*, **35**, 131 (2011).
- [8] J. S. Lee, W. D. Kim, B. S. Kim, and W. T. Han, *J. KIIEE*, **22**, 2 (2008).
- [9] Korean Industrial Standards, *KS V 8427 Floodlighting Incandescent Lamps for Marine Use* (2009).
- [10] E. S. Kim and Y. T. Kim, *J. KIIEE*, **25**, 9 (2011).
- [11] J. H. Yun and J. D. Ryeom, *J. KIIEE*, **26**, 2 (2012).
- [12] Korean Industrial Standards, *KS C IEC 60092-306 Electrical Installations in Ships - part 306: Equipment - Luminaires and Lighting Accessories* (2012).