

고출력 LED 탐조등의 설계 및 제작

김세진¹ · 김선재² · 하희주³ · 길경석[†] · 김일권⁴

(원고접수일 : 2014년 4월 22일, 원고수정일 : 2014년 5월 26일, 심사완료일 : 2014년 6월 2일)

Design and fabrication of a high power LED searchlight

Se-Jin Kim¹ · Sun-Jae Kim² · Hee-Ju Ha³ · Gyung-Suk Kil[†] · Il-Kwon Kim⁴

요약: 본 논문에서는 기존 1kW 할로겐 탐조등을 대체하기 위한 고출력 LED 탐조등에 관하여 기술하였다. 설계사양은 KDS 6230-1046-1과 KS V 8469를 기준으로 하였으며, 요구 광도 800,000cd를 만족시키기 위하여 지향각 6°의 렌즈를 사용하였다. 시제작 LED 탐조등의 방열은 공랭식으로써 팬이나 히트파이프를 사용하지 않았다. 시험결과, 시제작 LED 탐조등의 소비전력은 148W로 1kW 할로겐 탐조등에 비해 85% 절감되었으며, 중심광도는 945,000cd로써 KS V 8469를 만족하였다. 광효율은 기존 탐조등보다 4.7배 향상되었으며, 지향각, 색온도 및 연색성은 각각 5.4°, 5,500K, 70이었다. LED 탐조등의 외함 온도는 60°C 이하이고, SMPS 주변 온도는 50°C 이하로 IEC 60092-306을 만족하였다.

주제어: LED, 탐조등, KDS 6230-1046-1, KS V 8469, 광효율

Abstract: This paper dealt with a retrofit high power LED searchlight to replace conventional 1kW halogen searchlights. The design specification meets KDS 6230-1046-1 and KS V 8469. An optical lens with the beam angle of 6° was used to meet the luminous intensity of 800,000cd at 0° in horizontal line. Heat dissipation of the LED searchlight adopted a free air cooling type which does not use a fan or a heat-pipe. From the test results, power consumption of the prototype LED searchlight was 148W which was saved by 85% comparing a halogen searchlight of 1kW. Luminous intensity was 945,000cd at 0° in horizontal line, satisfying KS V 8469. Luminous efficacy was improved by 4.7 times higher than that of the halogen searchlights. Beam angle, color temperature, and color rendering index(CRI) was 5.4°, 5,500K, and 70, respectively. Surface temperature of the LED searchlight was below 60°C and surrounding temperature of the SMPS installed inside was below 50°C which were satisfied with the IEC 60092-306.

Keywords: LED, Searchlight, KDS 6230-1046-1, KS V 8469, Luminous efficacy

1. 서론

세계적 기후 변화에 따른 환경오염 및 천연자원

의 고갈을 방지하기 위하여 국가별 신재생 에너지 개발과 효율개선을 통한 에너지 절약 등 다양한

† Corresponding Author: Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, 606-791, Korea, E-mail: kilgs@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4414

1 Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hvlab@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

2 Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hvlab@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

3 Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hvlab@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4893

4 Electric and Electronic Research Division, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: ilkwon@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5131

정책들을 시행하고 있다. 조명산업분야에서는 효율이 낮고 CO₂가 발생되는 백열등의 생산과 사용을 금지하고 있다[1][2]. 기존 광원을 대체하기 위하여 고효율 광원인 LED(Light Emitting Diode)의 응용에 대한 관심이 집중되고 있다. LED는 기존 백열등이나 형광등과 같은 광원 대비 수명이 5~30배 길고 친환경적이다. LED 산업의 성장과 함께 관련 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 친환경 고효율 선박에 대한 관심이 급증함에 따라 해양산업 분야에서 LED의 응용에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[3][5]. 따라서 본 논문에서는 할로겐 램프를 사용하는 선박용 탐조등의 전기·광학적 성능을 개선하기 위하여 LED 탐조등의 설계 및 제작에 관하여 연구하였다.

2. 설계 및 제작

2.1 탐조등

탐조등(Searchlight)은 조난 및 인명구조 등 특수한 상황일 때 사용되는 것으로서, 필요에 따라 불규칙적으로 사용되기 때문에 항상 원활하게 동작될 수 있도록 높은 내구성이 요구된다[6]. Figure 1에 현재 사용되고 있는 할로겐 탐조등으로 광원(a)과 기구부(b)를 나타내었다.

전방향으로 빛을 방사하는 기존 광원은 관련 규격의 광학적 성능을 만족시키기 위하여 반사판을 사용하기 때문에 광손실이 발생된다. 소비전력이 높고 에너지 효율이 매우 낮으며 선박에서 발생하는 진동 및 충격에 약하기 때문에 LED 광원 대비 유지보수비가 많이 든다.

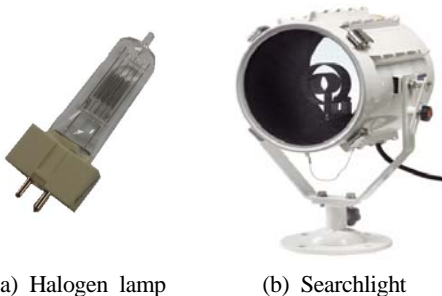


Figure 1: Photographs of a halogen searchlight

그러나 LED는 반도체 광원으로 기존 광원과 비교해 광효율이 높기 때문에 상대적으로 소비전력이 낮아지게 된다.

Table 1에 백열등, 할로겐 램프 및 LED의 특성을 비교하였다[7]. LED의 수명은 백열등과 할로겐 램프 대비 각각 50배, 16배 이상이며, 광효율은 백열등의 6.6배, 할로겐 램프의 3.3배로 높다.

Table 1: Performance comparison of light sources

Parameter Light source	Luminous efficacy [lm/W]	Lifetime [hrs.]
Incandescent lamp	10 ~ 15	1,000
Halogen lamp	15 ~ 25	3,000
LED package	100	50,000

2.2 관련 규격

현재 LED 탐조등의 규격은 제정되어 있지 않기 때문에 관련 규격들을 비교하여 목표사양을 결정하였다. 기존 탐조등에 대해서는 국방규격 KDS 6230-1046-1의 12인치 1kW 할로겐 탐조등과 한국산업규격 KS V 8469 선박용 백열전구형 탐조등이 있으며, 이들의 형식을 Table 2에 나타내었다. 국방규격의 12인치 함정용 탐조등 경우, 정격 전력 1kW 할로겐 램프를 사용한다. 그 외의 규정하지 않는 성능 및 일반사항들은 KS V 8469를 준수하며, Table 3에 국방규격과 한국산업규격의 요구사항을 나타내었다[8][9]. 본 논문의 LED 탐조등은 KS에 제시된 1kW 탐조등으로 중심광도 800,000cd(국방규격 500,000cd)를 기준으로 설계하였다.

Table 2: Types of the searchlights

Class	Types	Rated power[W]	Rated voltage[V]
C	20	500	100, 110, 115, 120 220 or 440
D	30	1,000	
E	40	1,000	
or	50	or 2,000	
X	60	3,000	

Table 3: Performance requirement specified in the standards

Parameters	Requirements	
Max. luminous intensity (at 0°)	500W	2.5×10^5 cd
	1kW	8.0×10^5 cd (KDS 5.0×10^5 cd)
	2kW	1.8×10^6 cd
	3kW	4.0×10^6 cd
Protection	IP56	
Moving angle	Up : Over 45° Down : Over 30° Turning : Over 180°	

2.3 광원부

광원부는 등기구의 성능 및 신뢰성에 큰 영향을 주며, 일정한 피조면에 집광구조를 통하여 빛을 방사해야 되기 때문에 탐조등에 특히 중요하다. 이를 구성하는 요소로는 1차 광학계, 2차 광학계 및 방열부가 있다. 1차 광학계인 LED 패키지의 사양을 선정하기 위하여 광도(I)와 광속을 계산하여 규격에서 제시하는 총 광속(Φ)을 산출하였다.

$$\Phi = I \cdot w \text{ [lm]} \tag{1}$$

$$\Phi = I \cdot 2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) \text{ [lm]} \tag{2}$$

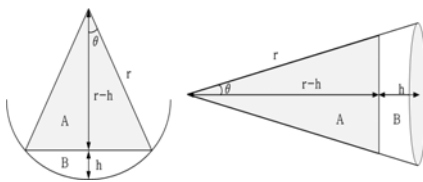


Figure 2: Principle of optical solid angle

식 (1)은 광도와 광속의 이론식이며, 점광원 형태로써 전방사를 하는 기존 광원에 적용이 가능하지만, 일정한 지향각을 갖는 LED 광원에 직접적으로 적용하기는 어렵다. 따라서 Figure 2의 입체각 원리로부터 광도와 지향각을 알고 있을 때, 광속을 구하는 식 (2)를 이용하였다[10]. 식 (2)에 목표 중심광도 800,000cd와 지향각 6°를 대입하면 총 광속은 약 6,888lm이다. 결국, 기존 1kW 할로겐 탐조등을 대체하기 위해서는 최소 6,900lm 이상의 총 광속이 요구되며, 이로부터 Table 4의 LED 패키지를 선정하였다.

Table 4: Specification of a LED package

Model	CCT [K]	CRI	Luminous flux [lm]	V _f [V]	Beam angle [°]
			@ 1 A		
XP-G2	5,000	70	338	3.05	115

할로겐 탐조등은 2차 광학계로 반사관을 사용하였지만, LED 탐조등은 지향각 6°의 특성을 갖는 렌즈를 적용하였다. LED 패키지와 렌즈 결합시 데이터 시트에서 제공되는 예상 배광분포는 Figure 3과 같다.

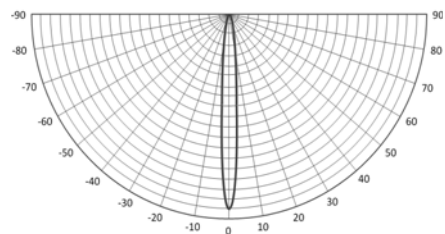


Figure 3: Luminous distribution of the LED package with the lens

2.4 방열부

LED의 광학적 성능은 열의 영향을 받기 때문에 효율적인 방열이 필요하다. 상기 산출된 광속을 만족하기 위해 총 31개의 LED 패키지를 직렬로 구성

하였으며, 방열부를 공랭식으로 설계하였다. 일반적으로 LED 광원이 50,000 시간의 수명을 유지하기 위해서는 접합온도를 80℃ 이하로 유지해야 한다. IEC 60092-306에서 선박용 조명기기의 온도는 광학적 특성에 영향을 미치지 않는 범위에서, 외함은 60℃ 이하, 전원장치 주변은 50℃ 이하로 규정하고 있다[11]. Table 5와 같이 방열판의 재질 및 크기를 설정하고, 온도변화에 따른 최적의 크기를 선정하기 위하여 Table 6의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 5: Simulation conditions

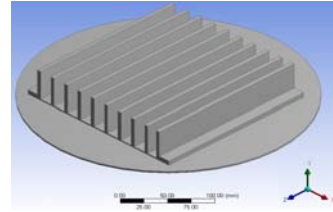
Material	Thermal conductivity [W/m·k]	Dimension[mm] <L × W × H>
Al	100	323.0 × 323.0 × 3.0
Heatsink	100	210.0 × 210.0 × 45.0
PCB	105	305.0 × 305.0 × 2.5
LED (solder)	65	3.3 × 1.3 × 0.18

Table 6: Fin size of heat sinks

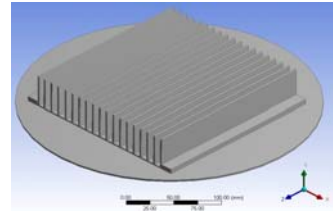
Material	Height [mm]	Thickness [mm]	Gap [mm]
Model 1	45	5	15
Model 2	45	3	10

외부 대기온도는 25℃이며 자유 대류계수는 5 W/m²으로 설정하였다. 대류열전달에 의해 방열부의 판과 공기가 닿는 면적에서 방열이 이루어진다. 최적의 방열판을 설계하기 위해 Table 6과 같이 방열핀의 높이는 동일하고 핀의 두께 및 간격을 다르게 설정하여 온도분포를 분석하였다. Geometry를 통한 방열부 모델 1과 2의 설계 및 시뮬레이션 결과를 Figure 4와 5에 나타내었으며, 핀을 지면에서 수직방향으로 설정하였다.

시뮬레이션 결과, 모델 1의 최고 온도는 접합부에서 70.7℃, 최저 온도는 원형 알루미늄판에서 45.3℃이었으며, 모델 2의 최고 및 최저 온도는 모

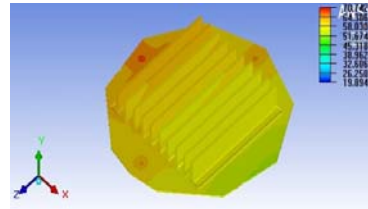


(a) Model 1

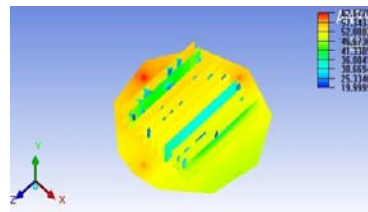


(b) Model 2

Figure 4: Design of heat sinks



(a) Model 1



(b) Model 2

Figure 5: Simulation results of heat sinks

델 1과 같은 지점에서 각각 62.6℃, 33.4℃이었다. 모델 2의 온도는 모델 1보다 8.1℃ ~ 11.9℃ 낮은 값으로, 방열핀의 두께가 2 mm 작고, 핀의 간격을 줄임으로써 동일면적에서 핀의 수량이 9개 증가하였기 때문이다. 시뮬레이션을 통해 모델 2의 방열부를 적용하였다.

2.5 LED 탐조등

31개의 LED 패키지를 직렬로 연결한 후, 정전류

로 구동하였다. 최대 출력전압은 142V_{DC} 및 출력전류는 1.4A 이다. 시제작품의 외함은 기존 1kW 할로겐 탐조등의 기구부를 적용하였으며, 150mm 홀을 시제품 상부에 7개, 하부에 12개를 가공하여 외부 공기 유입이 가능하도록 제작하였고, 홀 가공으로 인한 방수문제는 IP56으로 해결하였다. 광원부와 전원부를 기구부에 탈부착 할 수 있도록 하여 고장 시 신속한 교체가 가능하다. 시제작한 LED 탐조등은 Figure 6과 같다.

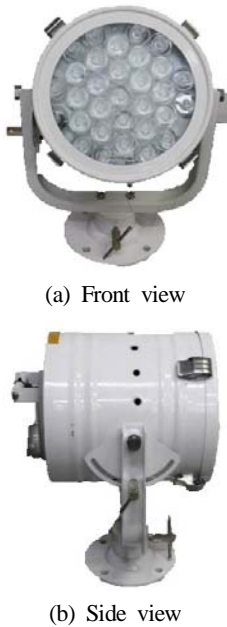


Figure 6: Photographs of the prototype LED searchlight

3. 평가 및 고찰

3.1 전기·광학적 특성

LED 탐조등의 광출력, 소비전력 및 역률 등 전기적 특성을 Table 7에 나타내었다. 입력 전압은 220V_{AC}, 입력 전류는 707mA이며 출력 전압 및 전류는 각각 96.7V_{DC} 및 1.4A이다. 소비전력은 148W로써 기존 1kW 할로겐 탐조등보다 85% 절감되었다.

Table 7: Electrical characteristics of the prototype searchlight

Input		Output		Power consumption [W]	P.F.
Voltage [V _{AC}]	Current [mA]	Voltage [V _{DC}]	Current [A]		
220	707	96.7	1.4	148	0.95

KS V 8469와 KDS 6230-1046-1에 제시된 광학적 성능을 기준으로 1kW 할로겐 탐조등과 고출력 LED 탐조등의 성능을 비교하였다. 배광은 x, y, z축에 대하여 r, θ , ϕ 의 극좌표계와 x, y, z의 직각좌표계를 이용하여 광원에서 방사되는 광도를 분석하였다. 배광 측정시스템의 구성은 Figure 7과 같으며, 측정각 θ 는 0.5°, ϕ 는 10°로 설정하였다.

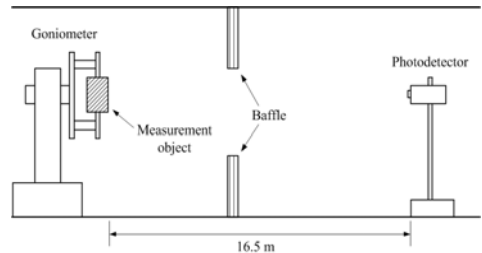
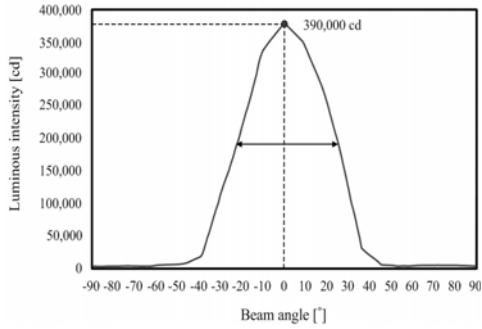


Figure 7: Goniophotometer system

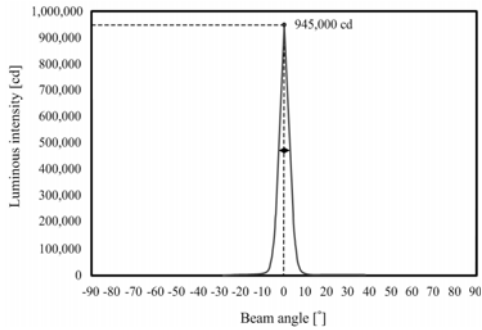
Figure 8 (a)는 기존 1kW 할로겐 탐조등의 광도 분포를 나타내고 있으며, 최대 중심광도는 약 390,000 cd 이다.

시제작 LED 탐조등은 Figure 8 (b)와 같이 최대 중심광도가 약 945,000cd로 KS규격에서 제시된 기준 보다 약 18% 높다. 할로겐 램프의 경우 중심 광도를 기준으로 빔각이 56°로 넓지만, LED는 5.4°로 좁은 형태이다. 이는 렌즈가 부착된 LED가 기존 할로겐 탐조등에 비해 효율적인 집광구조를 갖기 때문이다.

LED 탐조등의 광학적 특성은 Table 8과 같으며 지향각 5.4°, 색온도 5,500K, 총 광속 12,877lm 및 광효율 86.9lm/W로써 기존 탐조등에 비해 광학적 성능이 훨씬 우수하다.



(a) Halogen lamp



(b) LED

Figure 8: Comparison of luminous intensity

Table 8: Comparison of optical characteristics

Parameters	Requirements	Halogen	LED
Central luminous intensity[cd]	800,000	390,000	945,000
Luminous flux[lm]	-	18,300	12,877
Luminous efficacy[lm/W]	-	18.3	86.9
Beam angle[°]	6	Width 12 Length 8	5.4
CCT[K]	-	3,000	5,500
CRI	-	99	70

3.2 방열 성능

IEC 60092-306에 명시된 LED 등기구의 온도특성은 정상 점등 시 외함의 온도는 60℃, SMPS 주위온도는 50℃ 이하로 규정한다. 시험은 K타입 열전대(Thermocouple)와 자동온도 기록장치를 사용하였으며, 실험계는 Figure 9와 같다.

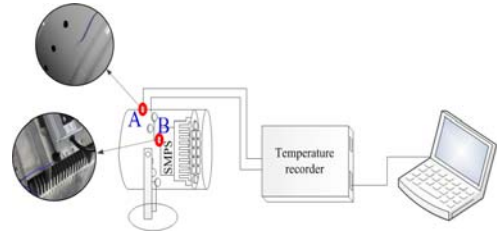


Figure 9: Temperature measurement system

측정은 5분 간격으로 2시간 동안 수행하였으며, Figure 10과 같이 시제품의 외함(A) 최고온도는 48.3℃, SMPS 부근(B)의 최고온도 34.1℃로 IEC 60092-306의 온도기준을 만족하였다.

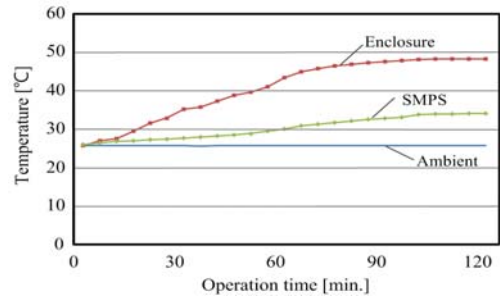


Figure 10: Measurement of surface temperature

4. 결론

본 논문에서는 기존 1kW 할로겐 램프를 사용하는 선박용 탐조등을 LED 광원으로 대체하기 위한 연구를 수행하였다. 150W급 LED 탐조등을 설계 및 제작하였고, 한국산업규격과 국방규격에 따라 전기·광학적 및 방열 성능을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 고효율 LED 탐조등의 소비전력은 148W로 기존 1kW 할로겐 탐조등에 비해 약 85% 절감되었다.

2. LED 탐조등의 중심광도는 945,000cd로 KS V 8469에 명시된 800,000cd 이상이었으며, 기존 할로겐 탐조등에 비해 총 광속은 감소하였으나 빔각이 56°에서 5.4°로 좁아졌기 때문에 중심광도는 2.4배 향상되었다. 광효율은 86.9lm/W로 4.7배 높았으며, 색온도 5,500K 및 연색성은 70으로 평가되어, 기존 투광등보다 월등한 성능을 보여주었다.

3. 투광등 외함의 온도는 48.3℃, SMPS 외함의 온도는 34.1℃로 IEC 60092-306의 60℃이하로 충분히 만족하였다.

본 논문에서 제작한 시제작 투광등은 3개월 이상 선박에서 시험 운영중에 있으며, 상선 및 함정에 빠르게 대체될 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과(NIPA-2014-H0301-14-1016)와 미래창조과학부 및 한국연구재단 BK21플러스 사업의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

[1] D. H. Lee, D. J. Kwak, J. K. Hong, and D. S. Kim, "Regional development strategy of the main green industry," Korea Institute for Industrial Economics Trade (KIET), p. 31, 2010 (in Korean).

[2] Y. M. Yoon, "The development trends of LED technology," Korea Photonics Technology Institute (KOPTI), Korea, p. 49, 2009 (in Korean).

[3] G.-S. Kil, I.-K. Kim, H.-E. Cho, H.-S. Kwon, and H.-G. Cho, "Design Guide of Surface and Watertight LED Luminaires for Naval Vessels," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 35, no. 5, pp. 654-660, 2011 (in Korean).

[4] S.-K. Choi, S.-J. Kim, D.-W. Park, G.-S. Kil, C.-Y. Choi, and S.-B. Song, "Design and Fabrication of and Energy Saving LED-Fishing Lamp," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 515-521, 2010 (in Korean).

[5] S.-W. Cha, S.-J. Kim, U.-Y. Jang, G.-S. Kil, and C.-Y. Choi, "LED Lighting System for Aquaculture," Proceedings of the Korean Society of Marine Engineering Conference, pp. 417,

418, 2010 (in Korean).

[6] J.-G. Byeon, and S.-H. Jo, "The Standardization and Classification Certification of LED Luminaire for Shipboard," Bulletin of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, vol. 7, pp. 22-24, 2012 (in Korean).

[7] Y. K. Cheng, and K.W.E. Cheng, "General Study for Using LED to Replace Traditional Lighting Devices," '06 2nd International Conference on Power Electronics System and Applications(ICPESA), pp.174-175, 2006.

[8] Korea Standards, "Incandescent searchlights for marine use", KS V 8469-2004, Korea, 2004.

[9] Korean Defense Standard, "Searchlight, Halogen lamp, Signalling 12", KDS 6230-1046-1, Korea, 2010.

[10] S.-J. Kim, D.-G. Kim, I.-K. Kim, G.-S. Kil, and D.-T. Song, "Design and Fabrication of a LED Floodlight for Naval Vessels," Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, vol. 26, no. 10, p. 773, 2013.

[11] International Electrotechnical Commission, "Electrical installations in ships - Part 306 : Equipment - luminaires and lighting accessories", IEC 60092-306, IEC, 2009.