

LED 조명기구의 함정 적용과 효과분석

조규룡¹ · 길경석[†]

(Received July 1, 2016 ; Revised September 20, 2016 ; Accepted October 6, 2016)

Application and effect analysis of LED luminaires for naval vessels

Kyu-Lyong Cho¹ · Gyung-Suk Kil[†]

요약: 본 논문은 함정용 LED 조명기구의 전기적, 광학적 요구사항을 제시하고 실증으로 요구사항 만족여부를 확인하였으며, 2012년 함정에 최초 적용된 이후 현재까지 비용 효과를 분석하였다. 함정용 LED 조명기구의 요구사항을 도출하기 위하여 한국산업규격(KS), 국방규격(KDS) 및 미 해군규격(MIL)의 요구사항을 비교하여 함정용 LED 조명기구의 요구사항을 제시하였다. 형광등기구와 LED 조명기구의 전기적 특성과 광학적 특성을 실험으로 분석하여 요구사항 적용 타당성을 검증하였고, 제시된 함정용 LED 조명기구의 요구사항으로 A1함정에 주 조명등으로 설치되었다. LED 조명기구로 설치된 이후 형광등에 비해 소비전력은 약 40% 감소되었고, 광속은 10 ~ 15% 증가하였다. 또한, 2012년에서 2015년까지 함정 10척에서 약 4,900개의 형광등기구가 감소되는 효과가 있었고, 약 5.6억원의 절감효과를 확인하였다. 향후 지속적으로 함정에 LED 조명기구를 설치하고 있어 많은 절감효과가 기대된다.

주제어: LED, 해군함정, 효과분석, 광속

Abstract: This paper dealt with electrical and optical requirements of naval vessel's LED luminaires. And the products have been tested to determine whether the products meet these requirements or not. This study analyzes the cost-effectiveness of the LED luminaires which have been implemented for the application to naval vessel since 2012. The LED requirements were proposed based on comparison among other standards/specifications such as Korean Industrial Standard(KS), Korean Defense Specification(KDS) and US Navy Military Specification(MIL). Application of the proposed requirements were then be verified by analyzing and testing the electrical and optical characteristics of both fluorescent Luminaires and LED luminaires, and the LED luminaires were installed to A1 naval vessels according to the proposed requirements. As results, approximately 40% of power consumption was saved by using LED luminaires compared to using fluorescent luminaires while luminous flux was increased by 10~15%. Moreover, using LED luminaires of the proposed requirements exhibited the effect of reducing approximately 4,900 fluorescent luminaires in 10 naval vessels in the time period between 2012 to 2015, which is equivalent to cost reduction of ₩0.56M approximately. Such cost reduction is further expected considering the LED luminaires will continue to be applied to naval vessels in the future.

Keywords: LED, Naval vessel, Effect analysis, Luminous flux

1. 서론

함정은 피격 시 복원력 상실을 방지하고자 많은 격실로 구성되어 있으며, 야간항해 시 외부로 빛 노출을 막는 등화 관제와 같은 특수목적으로 인하여 외부로 통하는 창문이 거의 없다. 이런 특성으로 함정 대부분은 100% 인공조명에 의존하고 있다. 상대적으로 효율이 낮은 형광등기구가 설치되어 있어 이를 LED 광원으로 대체하기 위한 연구를 2010년 국방기술품질원(이하 기품질원)과 한국해양대학교(이하 해양대)가 공동으로 시작하였고, 2012년 최초로 A1함의

주 조명등에 적용이 되었으며, 이후 건조되는 모든 함정의 주 조명등은 LED 조명기구로 대체되었다[1][2][3].

본 논문에서는 LED 조명기구 적용을 위한 KS규격과 국방규격, 미 규격을 비교하여 함정용 LED 조명기구의 전기적, 광학적 성능요구조건을 제시하였고, 실험으로 전기적 특성과 광학적 특성을 검증하였다. 또한, 조명 시뮬레이션으로 빛 퍼짐과 균제도를 확인하였으며, 특히, 2012년 함정 설치 이후 현재까지 LED 조명기구로 설치된 비용 효과에 대하여 기술하였다.

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1672-2812>): Division of Electric & Electronic Systems Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: kilgs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4893

¹ Busan Center 1st Team, Defense Agency for Technology and Quality, E-mail: kyulyong@daq.re.kr, Tel: 051-750-2523

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 성능요구사항 검토

2.1 형광등기구 특성분석

Figure 1은 함정에 적용된 형광등기구를 보여준다. 방수형과 비방수형으로 구분되며 방수형은 노출형으로 설치되고, 비방수형은 매입형으로 설치된다. 함정에 설치되는 형광등은 대부분 방수형 형광등이고 약 80%정도 차지한다. 형광등의 설치수량에 따라 2등용과 3등용으로 분류된다. 승조원의 눈부심에 따라 투명(Clear)과 불투명(Milky) 글로브(Globe)가 적용되며, 통상 승조원 거주구역은 불투명을 설치하고, 창고나 높은 조도가 필요한 공간에는 투명글로브를 적용한다[4]. Table 1과 2는 함정의 형광등기구에 대한 전기적, 광학적 특성을 보여준다.

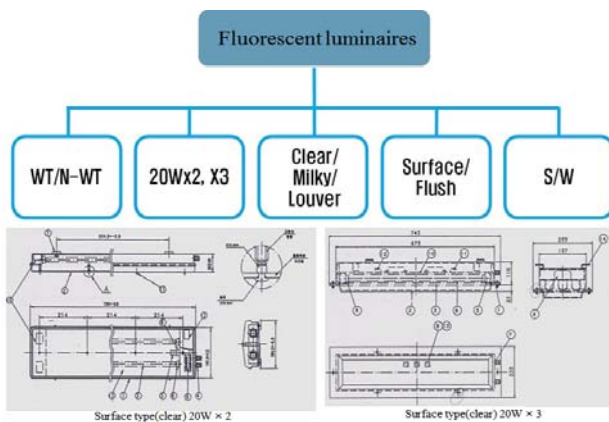


Figure 1: Fluorescent luminaires for naval vessels

Table 1: Electric specifications for fluorescent luminaires

Type	Electric specifications						
		[V]	[mA]	[Hz]	PF	[W]	[lm]
clear	2	220	275.3	60	0.875	53	1,855
	3	220	411.5	60	0.896	81.2	2,567
milky	2	220	275.3	60	0.875	53	1,671
	3	220	411.5	60	0.896	81.2	2,338

형광등은 함정 내 공간과 내 충격성을 고려하여 600mm T8 Type만 사용하며, 설치높이는 약 2m이다.

Table 2: Optical specifications for fluorescent luminaires

Type	Optical specifications					
		[lx]	[cd]	Color Temp. [K]	CRI	Angle[°]
clear	2	4,045	608.2	5039.4	81.1	115
	3	4,687	704.9	5289.3	78.5	115
milky	2	3,983	599	4877.6	81.9	115
	3	5,012	753.7	5213	79.3	115

Figure 2는 2등용 형광등(투명, 불투명)과 3등용 형광등(투명, 불투명)의 빔각을 측정한 결과를 보여준다[2].

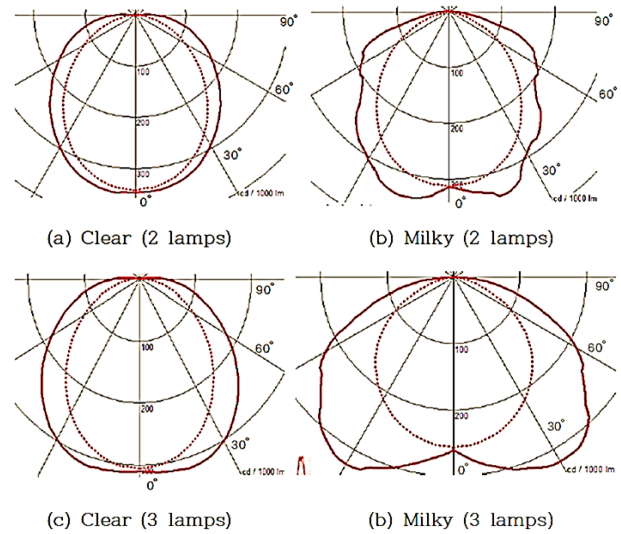


Figure 2: Beam angle for fluorescent luminaires (2, 3 lamps)

Figure 2에서 보는 것과 같이 원형에 가까운 배광을 보이는 것이 투명 글로브이며, 상단이 2등용, 하단이 3등용 조명기구이다. 대략적으로 115° 정도의 배광이 측정되었다. 형광등기구의 전기적 특성과 광학적 특성을 이용하여 LED 조명기구의 전기적 특성과 광학적 특성을 정의하였다[3].

2.2 성능요구사항 분석

함정에서 사용되는 조명기구는 미 규격(MIL-Spec)을 기초하여 국방규격(KDS)를 따른다. Table 3는 국방규격과 LED 관련 KS규격을 비교하였다[5]-[7]. Table 3와 같이 국방규격과 미 규격은 엄격한 군사규격을 적용하는 반면 KS 규격은 인체 안전에 관련된 사항에 국한됨을 알 수 있다. 따라서 함정용 LED 조명기구의 경우 인체안전과 광학적 특성은 KS규격을 따르고, 환경적 특성과 전기적 특성은 국방규격을 적용하였다.

2.3 함정용 LED 조명기구 성능요구사항

2.1절과 2.2절에서 분석한 결과를 토대로 함정용 LED 조명기구의 규격을 선정하였다. Table 4은 함정용 LED 조명기구의 요구사항을 정리하였다[8]. 규격은 최신판을 적용하고, 환경조건을 제외한 대부분의 요구사항은 상용규격을 적용하였으며, 광학적 특성은 KS C 7653에서 제시된 내용과 함정 형광등의 실측값을 이용하여 함정용 LED 조명기구의 광학적 특성을 규정하였다. Table 5는 함정용 LED 조명기구에 대한 요구사항을 보여준다.

Table 3: Comparison of standards

Contents	KS C 7653	KDS	MIL-Spec
Label	○	○	○
Rated Current	○	○	○
Protection	○	-	-
Outline	○	○	○
Insulation	4[MΩ]	20[MΩ]	leakage
High volt	1,500[V]	1,500[V]	1,000[V]
Light Spec.	○	○	-
EMI/EMC	KS	MIL-461	MIL-461
Strength	○	-	-
IP	○	○	○
Ground Resister	0.1[Ω]	0.1[Ω]	0.1[Ω]
Humidity	○	-	-
Heatproof			
Fireproof	○	-	-
Track_Resistance			
Increases Temp.	○	-	-
Initial Flux	○	-	-
Maintain Luminous Flux	○	-	-
PF	0.9	0.85	-
Efficiency	○	-	-
Durability	○	-	-
Vibration	-	MIL-167-1	MIL-167-1
Shock	-	MIL-901	MIL-901
Salty	-	○	○
Noise	-	MIL-740	MIL-740

Table 4: Specifications of optical for LED luminaires

Type		Fluorescent [W]	LED [W]	Luminous Efficacy	Angle [°]
W_T	2	53	30	over 60	115
	3	81	40	over 65	115
N_W_T	2	53	25	over 60	115
	3	81	30	over 60	115

Type		Fluorescent [lm]	LED [lm]	Color Temp. [K]	CRI
W_T	2	1,671~1,855	1,800~2,100	5,500 ±500	over 80
	3	2,338~2,567	2,600~2,800		
N-W-T	2	1,356	1,500~1,700		
	3	1A697	1,800~2,100		

Table 4에서 W_T는 방수형(W_T : Water Tight), N_W_T는 비방수형(N_W_T : Non Water Tight)를 나타낸다.

Table 5: Requirements for LED luminaires

Contents	Requirements
Label	Information for product
Exterior	Drawing agreement and frame
Electric Protection	Electric protection
Max. Increase Temp.	Maximum increase temperature
Harmonic	±10[%]
Power Consumption	rated power consumption ±10[%]
Ground	below 10[A] @12[V] volt drop below 0.25[V], 0.1[Ω]
Insulation	over 20[MΩ] @500[VDC]
High Volt	1,500[VAC] 1min
Rated Volt	MIL-STD-1399 300B
Power Fail	5min 3times normal conditions
EMI/EMC	MIL-STD-461
Strength	30N, 0.5J
High Temp.	MIL-STD-810
Low Temp.	MIL-STD-810
Humidity	MIL-STD-810
Vibration	MIL-STD-167-1A
Shock	MIL-S-901
Flammability	KS C IEC 60695
Salty	MIL-STD-810
IP	KS V 8017
Increase Temp.	KS C IEC 60092 306
Optical Spec.	KS C 7653
Uniformity	Brightness
PF	over 0.9
Durability	Open/Close

3. 적용 및 성능분석

3.1 함정용 LED 조명기구 적용

함정용 LED 조명기구의 규격을 제안하고 제안된 규격으로 함정의 주 조명등으로 A1함에 최초로 적용이 되었다.

Figure 3은 함정에 설치된 모습을 보여준다.



Figure 3: Photograph of the LED luminaires

A 1함에는 방수형과 비방수형 LED 조명기구가 약 1,100 개 설치가 되었으며 Table 6 상세수량을 보여준다[9].

Table 6: Quantity of LED luminaires

Type		Quantity (EA)
W_T	2 circuit (30W)	590
	3 circuit (40W)	403
N_W_T	2 circuit (25W)	28
	3 circuit (30W)	86

함정용 LED 조명기구는 2절에서 제시한 요구성능을 만족하였으며, 군사용 적합성 시험을 완료하였다. 특히 진동, 충격과 같은 군함의 특수한 요구성능도 만족하였다.

3.2 전기적, 광학적 특성

제작된 LED 조명기구의 전기적 특성과 광학적 특성에 대한 요구사항 만족여부를 확인하였고, 이에 대한 결과를 Table 7와 Table 8에서 보여준다. 특히 광학적 특성은 조명 시뮬레이션을 통하여, 실제 함정의 주요격실을 모델링하여 형광등과 LED 조명기구에 대한 조명 특성을 비교하였다.

전기적 특성 및 광학적 특성은 100시간 에이징(Aging) 후 측정된 결과를 보여주며, Table 9에서 요구사항에 대한 분석결과를 보여준다[10].

소비전력 및 광효율의 증감을 Table 7에서 보여주며, 전력은 약 40%가 절감되고, 광효율은 약 40% 향상됨을 알 수 있다. 1,100여개의 LED 조명기구를 설치하는 A1함의 경우, 조명을 위한 전력 40%가 감소되어 조명을 위한 변압기 40%가 줄어드는 효과가 있으며, 승조원이 체감하는 실내 조명은 10 ~ 15% 이상 밝아지는 효과가 있다.

Table 7: Electrical specifications of LED luminaires

Contents	Water tight		Non water tight	
	2 lamps (30W)	3 lamps (40W)	2 lamps (25W)	3 lamps (30W)
Insulation	1[GΩ]	1[GΩ]	1[GΩ]	1[GΩ]
High Volt	OK	OK	OK	OK
Power	24.9[W]	35.6[W]	23.5[W]	28.1[W]
PF	0.96	0.95	0.93	0.92
Volt/Freq.	OK	OK	OK	OK
Exterior/Str length	OK	OK	OK	OK
Ground	0.1[Ω]	0.1[Ω]	0.1[Ω]	0.1[Ω]

Table 8: Optical specifications of LED luminaires

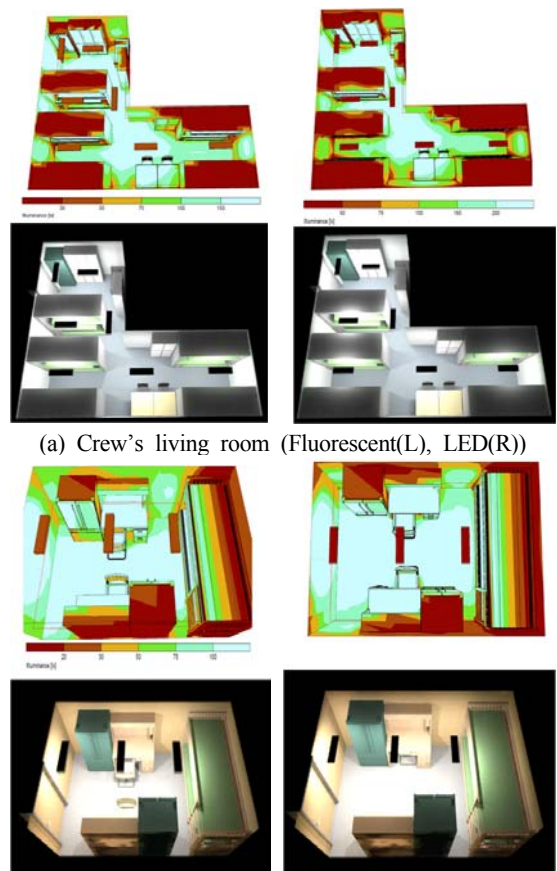
Type		[lm]	Color Temp. [K]	Luminous Efficacy [lm/W]	Angle [°]
W-T	2	1,995	5,649	80.1	116
	3	2,796	5,656	78.5	116
N-W-T	2	1,632	5,804	69.4	115
	3	1,975	5,665	70.2	115

Table 9: Analysis of power consumption and optical efficiency

Type	Power Consumption [W]			Luminous Efficacy [lm/W]		
	Fluorescent	LED	Decrement [%]	Fluorescent	LED	Increment [%]
W-T	53	24.9	47	35	80.1	43.7
	81	35.6	44	31.7	78.5	40.3
N-W-T	53	23.5	44	25.6	69.4	36.9
	81	28.1	35	30	70.2	42.7

3.3 함정 격실 조명분석

형광등기구와 LED 조명기구를 이용하여 광개토-III급 함정 주요격실에 대한 시뮬레이션을 수행하여 빛 퍼짐 정도를 확인하였다. 함정의 경우 일반상선과 달리 창문이 없어 거의 100% 인공조명에 의존하고 있다. 따라서 휘도와 밝기차이에 의한 승조원의 눈부심과 눈피로를 최소화 하기 위하여, 형광등기구를 사용했을 경우와 LED 조명기구로 교체했을 경우에 대한 시뮬레이션으로 그 차이를 확인하였다. 시뮬레이션 대상격실은 광개토-III급 함정 승조원침실, 장교침실을 대상으로 하였다. Figure 4에서 조명 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션 조건은 천정높이 2m, 벽체 반사율 0.35, 천정 및 바닥은 0.3을 동일하게 적용하였다. 거의 유사한 결과를 확인할 수 있다[4].



(a) Crew's living room (Fluorescent(L), LED(R))
(b) Officer's living room (Fluorescent(L), LED(R))
Figure 4: Simulation results

4. 효과분석

A1함에 LED 조명기구를 최초 적용한 이후 약 3년 7개월 (약 31,320시간)동안 연속적으로 사용하고 있으며, 그 이후 대형함정 9척에 추가 적용되었다. Table 10은 년도별로 함정에 적용된 LED 조명기구의 수량을 보여준다.

Table 9에서 기술한 것과 같이 방수형의 경우 약 45%, 비방수형의 경우 약 40%의 소비전력 감소가 있으므로, 2012년부터 2015년까지 함정에 적용된 LED 수량으로 계산하면, Table 11와 같다. 형광등기구에서 LED 조명기구로 대체하여 현재까지 방수형 2구는 2703.4개, 방수형 3구는 1728.9개, 비방수형 2구는 220개, 비방수형 3구는 248.2개의 감소 효과가 있다. 이를 유류비용으로 계산하면 1L당 발전량을 4.3kW/h, 1L 가격을 865.7원일 경우, Table 12과 같다. 함정 설치 후 24시간 작동을 기준으로 작성하였다.

Table 10: Installation status of LED luminaires for navel vessels

Year	Vessels	Water tight		Non water tight	
		2 lamps	3 lamp	2 lamps	3 lamps
2012	A1	590	403	28	86
2013	B1	409	376	-	103
	B2	409	376	-	103
	C1	1,134	579	220	6
2014	B3	409	376	-	103
	B4	409	376	-	103
	D1	259	33	4	10
	C2	1,134	579	220	6
2015	A2	590	403	28	86
	B5	409	376	-	103
Total		5,752	3,927	500	709

Table 11: Reduction of LED luminaires

Content	Water tight		Non water tight	
	2 lamps	3 lamps	2 lamps	3 lamps
Decrement quantity	2703.4 [EA]	1728.9 [EA]	220 [EA]	248.2 [EA]

Table 12: Fuel cost of LED luminaires

Vessel	Fluorescent [MW/h]	LED [MW/h]	Diminish Costs
A1	2.34	1.04	108.1
B1	1.44	0.63	54.9
B2	1.44	0.63	54.9
C1	2.75	1.25	147.8
B3	0.96	0.42	36.7
B4	0.96	0.42	36.7
D1	0.31	0.14	26.4
C2	0.86	0.39	46.2
A2	0.63	0.28	28.8
B5	0.52	0.23	19.99
Total	12.21	5.43	560.6

2012년부터 2015년까지 LED 조명기구를 설치한 함정에서 발전량에 대한 유류비용만 계산했을 경우 Table 12과 같이 약 560.6 백만원의 절감효과가 있었으며, 이는 LED 조명기구 설치비용이 형광등에 비해 2배정도 비싼 것을 감안하더라도 많은 절감효과가 있음을 알 수 있다. 또한, A1함과 C1함과 같이 오래사용 되거나 설치되는 조명기구의 수량이 많을 경우 발전량에 대한 유류비용을 보면 많은 절감효과가 있음을 알 수 있다. 함정에 지속적으로 LED 조명기구를 설치하고 있어, 보다 많은 절감이 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 논문에서는 함정에 LED 조명기구를 적용하기 위하여 KS, KDS 및 MIL 규격을 검토하여 함정용 LED 조명기구의 전기적, 광학적, 환경적 요구사항을 명시하였고, 이 요구사항으로 2012년 A1함에 최초로 적용이 되었다. 최초 적용된 LED 조명기구의 전기적, 광학적 특성 분석으로 요구사항 만족여부를 확인하였다. 이후 함정에 본격적으로 적용되어 대형함정 기준으로 9척에 추가 적용되었고, 이에 대한 효과를 분석하였다. 총 10척에 대하여 분석한 결과, 2구 및 3구 포함하여 형광등기구 수량기준으로 약 4,899개의 감소효과가 있었고, 발전량 대비 유류비용으로 560.6백만원의 절감효과를 확인하였다. 설치함정 증가와 시간이 지남에 따라 보다 많은 절감효과가 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] K. L. Cho, "A study of application LED luminaires for naval vessels," Defense Quality Management 25th pp. 67-73, Defense agency of Technology and Quality, 2012 (in Korean).
- [2] G. S. Kil, I. K. Kim, H. E. Jo, 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).
- [3] S. J. Park, S. H. Byeon, S. J. Kim, and G. S. Kil, "Economic analysis on the applications of shipboard LED luminaires," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 40, no. 4, pp. 342-347, 2016 (in Korean).
- [4] K. L. Cho, Proposal of an Application Plan of Korea Defence Standards (KDS) to Korean Industry Standards(KS) of LE Luminaires and the KDS Draft of LED Luminaires for Navel Vessels, Researcher Report DTaQ-12-3339-P, Defense Agency for Technology and Quality, Korea, 2012.
- [5] Unite States Department of Defense, MIL-DTL-16377H - Fixtures, Lighting: And

Associated Parts: Shipboard Use, General Specification for, 1996.

- [6] Korean Agency for Technology and Standards, KS C 7653, “Recessed LED Luminaires and Fixed LED Luminaires”, 2010.
- [7] Defense Acquisition Program Administration, Korea Defense Standards-Conditional (KDC) 6210-R4005, “Fluorescence Fixtures for Shipboard”, 2006.
- [8] K. L. Cho, Proposition of an Application Plan of Korea Defence Standards (KDS) to Korean Industry Standards(KS) of LED Luminaires and the KDS Draft of LED Luminaires, Researcher Report DTaQ-11-2948-R, Defense Agency for Technology and Quality, Korea, 2011.
- [9] Defense Acquisition Program Administration, “Purchase Order Specification for LED Fixtures”, 2012.
- [10] Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, “The Results of Factory Acceptance Test for LED Fixtures,” 2012.