creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

工學博士 學位論文

LED 조명의 함정 적용을 위한 국방 표준에 관한 연구

A Study on the Korea Defense Standard of LED Luminaires for Naval Vessels

指導敎授 吉 曛 碩

2017年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

曺 圭 龍

本 論文을 曺圭龍의 工學博士 學位論文으로 認准함

委員長 : 工學博士 金 潤 植 ㊞

委 員 : 工學博士 吉 暻 碩 ㊞

委 員 : 工學博士 李 成 根 ㊞

委 員 : 工學博士 趙 興 紀 ㊞

委 員 : 工學博士 趙 泳 晉 ㊞

2017年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

曺 圭 龍

Collection @ kmou

목 차

목 차 ····· ii
그림 및 표 목차 ····· iv
Abstract ····· viii

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구 배경 ····· 1
1.2 연구 필요성 ····· 2
1.3 연구 내용 및 범위 ····· 8

제 2 장 함정 조명시스템 ····· 10
2.1 전원 계통 ····· 10
2.2 조명 계통 ····· 13
2.3 조명기구 ····· 21
2.4 규격분석 ····· 22
2.5 함정용 LED 조명기구 요구사항 제안 ····· 31

제 3 장 설계, 제작 및 규격제안 ····· 35
3.1 설계 및 제작 ····· 35

Collection @ kmou

3.2 요구사항 검증 ····· 39
3.3 국방규격(안) 제안 ····· 72

제 4 장 효과 분석 ····· 74
4.1 기술적 분석 ····· 74
4.2 경제성 분석 ····· 80

제 5 장 결 론 ····· 86

참 고 문 헌 ····· 88

Collection @ kmou

그림 및 표 목차

<그림 목차>

그림 1.1 형광등의 원리 ····· 6
그림 1.2 LED의 원리 ····· 6
그림 2.1 방사형 배전계통 ····· 10
그림 2.2 구역형 배전계통 ····· 11
그림 2.3 혼합형 배전계통 ····· 12
그림 2.4 함정의 조명 배전구역 ····· 14
그림 2.5 조명 배전계통의 예 ····· 15
그림 2.6 구역 공간법 ····· 18
그림 3.1 LED 소자의 배치 ····· 36
그림 3.2 노출형 LED 조명기구의 구조 ····· 38
그림 3.3 매입형 LED 조명기구의 구조 ····· 39
그림 3.4 노출형 LED 조명기구의 배광곡선 ····· 41
그림 3.5 매입형 LED 조명기구의 배광곡선 ····· 42
그림 3.6 승조원 침실에 대한 시뮬레이션 비교 ····· 44
그림 3.7 장교 침실에 대한 시뮬레이션 결과 ····· 45
그림 3.8 측정 방법 ····· 46
그림 3.9 항만수송정의 진동 특성 ····· 51
그림 3.10 항만경비정의 진동 특성 ····· 52
그림 3.11 청수정의 진동 특성 ····· 54
그림 3.12 검독수리-A의 진동 특성 ····· 55
그림 3.13 광개토-III급의 진동 특성 ····· 56
그림 3.14 LED 조명기구의 소음 레벨 ····· 60
그림 3.15 전자기 간섭의 시험결과 ····· 63
그림 3.16 최대 온도상승 측정 ····· 67

Collection @ kmou

그림 4.1 광속 저하 곡선 ····· 74
그림 4.2 수상함구조함에서의 광속변화 ····· 78

Collection @ kmou

<표 목차>

표 1.1 조명 만족도 설문 내용 및 결과 ····· 3
표 1.2 SWOT 분석 ····· 7
표 1.3 미 해군의 LED 조명기구 적용 현황 ····· 9
표 2.1 배전계통의 특성 ····· 12
표 2.2 조명 변압기의 최대 부하 ····· 16
표 2.3 도료 색상 별 반사율 ····· 17
표 2.4 표면 반사율 ····· 18
표 2.5 격실별 요구 조도 ····· 20
표 2.6 KS C 7653의 주요 내용 ····· 23
표 2.7 KDS 6210-1055의 주요 내용 ····· 25
표 2.8 MIL-DTL-16377H의 주요 내용 ····· 27
표 2.9 요구사항 비교 ····· 29
표 2.10 함정용 LED 조명기구에 대한 요구사항 ····· 31
표 2.11 LED 조명기구 전기적, 광학적 요구사항 ····· 33
표 2.12 LED 조명기구 광학적 특성 ····· 34
표 3.1 전원공급기 사양 ····· 37
표 3.2 함정용 LED 조명기구의 전기적, 광학적 특성 ····· 40
표 3.3 시뮬레이션 결과 ····· 43
표 3.4 격실별 측정 조도 ····· 47
표 3.5 가진 범위 ····· 49
표 3.6 공진시험 결과 ····· 49
표 3.7 형광등기구에서 진동 특성 ····· 58
표 3.8 공기 소음의 기준 ····· 59
표 3.9 전자기 간섭에 대한 시험 항목 ····· 61
표 3.10 최대 온도상승시험 기준 ····· 64
표 3.11 최대 온도상승 측정 ····· 65

Collection @ kmou

표 3.12 최대 온도상승의 실선 측정결과 ····· 68
표 3.13 기본성능 시험결과 ····· 68
표 3.14 함정용 LED 조명기구 국방규격(안) ····· 72
표 3.15 함정용 LED 조명기구의 광학적 요구사항 ····· 73
표 4.1 아레니우스 모델의 입력값 ····· 76
표 4.2 운용 중 LED 조명기구의 광속변화 ····· 77
표 4.3 조명 만족도 설문 내용 및 결과 ····· 79
표 4.4 소비전력과 광효율 분석 ····· 80
표 4.5 함정용 LED 조명기구 적용 현황 ····· 81
표 4.6 등기구의 대체 수량 비교 ····· 82
표 4.7 유류비 분석 ····· 83
표 4.8 유지비 산출 ····· 84
표 4.9 조명용 변압기의 부하 용량 ····· 85

Collection @ kmou

A Study on the Defense Standardization of LED Luminaires for Naval Vessels

by Kyu-Lyong, Cho

Department of Electrical & Electronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime and Ocean university
Busan, Republic of Korea

Abstract

Since 2012 year, LED luminaires have been implemented for Naval vessels. As a study conducted for the light emitting diode(LED) equipment for the application to naval vessels, this study provides insights of LED specification suitable for the naval vessels application and verifies its validity.

In order to suggest the applicable lighting equipment specification to naval vessels, Korean Defense Specification, U.S. Navy Specification and Korean Industrial Standards are analyzed, and this study provides the optical, electrical, and environmental characteristics of LED equipments for the application to naval vessels. For the requirements

Collection @ kmou

related to human safety and optical aspects, Korean Industrial Standard and the Specification of Korean Register are adopted. In addition, considering the special nature of naval vessels, U.S. Navy Specification is used for the environmental requirements.

In order to verify the validity of applying the proposed requirements, lighting simulation, illuminance measurement, vibration measurement, noise measurement, electromagnetic interference test and temperature measurement were conducted, and the results proved the validity. Especially, to minimize the optical characteristics of fluorescent lighting equipment and LED equipment, which are the aspects related to ship crew's vision, optical characteristics with respect to change of lighting equipment type were analyzed via lighting simulation on the bedrooms of crew and naval officers of the KDX-3 AEGIS Destroyer, and it was confirmed that the overall light does not have noticeable problem. Moreover, after the installation of the LED equipment to naval vessels, illumination intensity was determined to be appropriate to ship building specification based on the test runs. In addition, for smooth operation in ship environment, vibration specification has been proposed. In order to verify the validity of the vibration specification, the vibration level subjected to fluorescent lighting equipment was measured in the operating naval vessels, and it was confirmed that it is acceptable to apply the U.S. Defense Specification.

In estimating the life with respect to change in luminous flux,

Collection @ kmou

approximately 8.8% of luminous flux reduction occurs after about 35,000 hours of continuous operation, and there is no significant luminous flux drop until about 30,000 hours of operation. Luminous flux estimation using Arrhenius model showed similar results, and L_{70} can be calculated to approximately 90,000 hours based on this. Additional study is required using the LED equipments installed in the operating naval vessels.

Surface type and Flush type have 53% and 60% power consumption reduction respectively. Applying such measures to the calculation of the naval vessels in which LED luminaires are applied since 2012, it shows effect of reducing 4,899 fluorescent equipments. This is equivalent to approximately KRW 694 million of fuel cost reduction to generate power yearly. After the naval vessels was replaced with LED luminaires, maintenance(substitute) costs was reduced by KRW 0.12 million over five years. And lighting transformers capacity decreased by 57 kVA of the same type.

Finally, As increasing power conversion efficiency, Surface vessels and submarine have 8% and 17%, I will purpose DC distribution to surface vessel and LED luminaires for submarine as future research project.

Collection @ kmou

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

최근 친환경 발광다이오드(LED : Light-Emitting Diode, 이하 LED) 조명 소자를 이용한 조명이 산업 전 분야에 빠르게 적용되고 있다[1]. 백열전구와 같은 기존에 사용하던 저효율 광원이 유럽을 시작으로 미주, 아시아에 이르기까지 순차적으로 생산 중단됨에 따라 방위산업 분야에서도 LED 조명에 대한 전반적인 적용방안 검토와 관련 규격 제정을 위한 노력이 진행되고 있다[1]. 이러한 시대적, 기술적 변화의 흐름에 따라 LED 조명은 해군 함정(Naval Vessel)에도 적용이 우선적으로 추진되고 있으나, 해군 함정에 적용하기 위한 규격이 부재한 실정이다[2]. 해군 함정은 피격, 전자기환경 및 선체 진동과 같은 극한의 조건에서도 그 성능을 보전하여 실제 전투에서 최고의 전투력을 유지해야 하므로 함정에 탑재된 장비들도 최상의 성능을 발휘해야한다. 함정에 설치되는 조명기구 또한 극한의 조건에서 그 성능을 유지해야 하는 기초적인 설비라 할 수 있다[1].

문헌을 보면 태평양 전쟁에서 피격에 의해 함정 전체의 내부 조명이 꺼짐으로 함정의 전투 수행능력을 상실한 경우가 종종 발생하였다고 기록되어 있다[2]. 따라서 LED 조명은 해군 함정과 같은 특수한 환경에서 사용하기 위하여 충격, 진동, 전자기간섭 등과 같은 다양한 조건에서도 최상의 전투력을 유지할 수 있도록 그 성능이 보장되어야 한다[2]. 함정은 발전기를 이용한 함 전원과 외부에서 공급되는 육상전원을 교대로 사용한다. 이에 따라 전압 및 주파수의 변화 등의 이유로 기존에 사용하던 백열등과 형광등의 수명이 기대수명 보다 약 20% ~ 50% 단축되어, 교체비용이 증가되고 정비소요가 상승하는 등 여러 측면에서 부담으로 작용하고 있다.

Collection @ kmou

이러한 이유로 해군 함정에 긴 수명과 내구성을 가진 LED 조명기구 적용은 필연적이다[3].

따라서 본 논문에서는 LED 조명기구를 해군 함정에 설치하기 위하여 적용성, 호환성 및 내구성에 대한 요구조건을 검토하고 분석하여 안전, 성능 및 품질 면에서 향상된 함정용 LED 조명기구의 국방규격(안)을 개발했다. 그리고 개발된 규격(안)에 적합한 조명기구를 설계하였으며, 조명 시뮬레이션과 계측을 통하여 타당성을 검증하였다. 또한, 함정에 설치된 이후의 기술적 및 경제적 효과를 분석하였다.

1.2 연구 필요성

가. 조명 만족도 조사

2007년 국방기술품질원은 함정 승조원을 대상으로 함정 격실 내 조명에 대한 만족도 설문을 수행하였다[4]. H사와 D사에서 각각 건조한 동형 함정을 대상으로 하였으며, 승조원은 무작위로 선정하였다. 설문 결과를 보면 “함 내 생활로 눈이 피로한 적이 있는가?”라는 질문과 “격실 내 밝은 정도가 똑같은가?”라는 질문의 답변은 50%이상의 승조원이 “그렇지 않다”고 답변하였고, “함 내 조도가 작업 또는 생활하기에 충분히 밝다고 생각하는가?”라는 질문에 8%만 “그렇다”고 답변하였다. 이는 함정에 설치된 형광등이 함정의 상부 구조물(케이블웨이, 덕트 및 배관 등)에 의하여 충분한 조도 확보가 어렵고, 이로 인하여 격실 내 조도의 균일성이 떨어진다는 결과를 나타낸다. 특히 양묘기실과 타기실과 같은 장소가 특히 어둡다는 의견이었다. 따라서 함정에 근무하는 승조원의 눈 건강 보호를 위한 대책 마련이 필요하였다. 표 1.1은 2007년에 수행한 조명만족도 설문내용과 결과를 보여준다[4]. 조도의 균일성과 전체적인 조명의 밝기에 대한 불만이 다수 확인되었고, 이에 대한 개선이 필요하였다.

Collection @ kmou

표 1.1 조명 만족도 설문 내용 및 결과

Table 1.1 Contents and results of a satisfaction survey for lighting

순번	내 용	결 과
1	함 내에서의 생활로 인해 눈이 피로하다고 느낀 적이 있는가?	- 그렇다(52%), 보통이다(34%) 그렇지 않다(14%)
2	함 내에서의 생활로 인해 눈 건강이 나빠졌다고 생각하는가?	- 그렇다(24%), 보통이다(44%) 그렇지 않다(32%)
3	격실등을 켤 때 격실 전체의 분위기가 좋게 느껴지는가?	- 그렇다(12%), 보통이다(18%) 그렇지 않다(70%)
4	격실내의 밝은 정도가 다 똑같다고 느껴지는가?	- 그렇다(14%), 보통이다(28%) 그렇지 않다(58%)
5	함 내 조도가 작업 또는 생활하기에 충분히 밝다고 생각하는가?	- 그렇다(8%), 보통이다(76%) 그렇지 않다(16%)
6	함 내 조명으로 인해 눈부시다고 느낀 적이 있는가?	- 그렇다(10%), 보통이다(38%) 그렇지 않다(52%)
7	작업 시(컴퓨터 화면 포함) 눈부심이 생겨 눈이 피곤한 적이 있는가?	- 그렇다(14%), 보통이다(50%) 그렇지 않다(36%)
8	함 내 구역 중 어느 곳이 가장 어둡다고 생각하는가?	- 타기실, 양묘기실, 침실 등
9	조명시설 중 개선되어야 할 부분이 있다면?	- 밝은 조명 필요 등

Collection @ kmou

나. SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석

LED 조명 적용에 대한 기술적, 경제적, 군사적 및 환경적인 측면으로 분석하였다.

1) 기술적인 측면

LED 조명은 에너지 효율이 높고 장수명이라는 장점으로 종래의 램프(형광등, 백열등)를 빠르게 대체하고 있다. 일본, 미국, 대만, 유럽 등의 기술 선진국들은 차세대 조명용 LED 개발을 위해 대형 국책사업을 추진하고 있으며, 발광소자는 Nichia, Cree, Osram, Lumileds 등 일본, 미국, 유럽, 대만 등이 대부분 장악하고 있다. 원천기술의 특허 공유는 물론 서로 긴밀한 기술동맹으로 후발 국가의 참여를 견제하고 있다[5]. 따라서 민수 및 군수용 함정의 LED 조명기구 적용 환경에 대비하기 위해 선진국과 동등한 수준의 시험 인증 규격을 정립하고, 조명기구 공급업체의 기술개발 촉진 여건 마련이 필요하다. 마지막으로 개발된 LED 조명규격을 해군 함정에 적용하여 품질문제 없이 사용 가능한 LED 조명기구가 필요하다[5].

2) 사회적/경제적 측면

우리나라 조선 산업은 세계 1위를 자랑하나, 조선기자재 산업은 어려움을 겪고 있다. 특히 선박용 조명분야 또한 해외 조명업체에 뒤처지고 있어, 친환경/신기술인 LED 조명기구에 대한 민수와 군용 겸용 기술 및 시험기술 개발을 통하여 내수시장 확대와 수출 확보가 필요하다. 민수와 군수용 함정에 적합한 LED 조명기구 개발로 시장 규모의 확대와 기업 경쟁력 증대를 통하여 기업 간의 거래를 활성화 시키고 제조업체의 기술 개발을 촉진시킴으로 조명에 대한 국제 경쟁력 강화가 필요하다. 또한,

Collection @ kmou

LED 조명의 국내·외 시장이 확대됨에 따라 개발된 민수와 군수용 함정의 LED 조명규격으로 조달업체의 경쟁조달을 통한 가격상승을 방지하고, 시험인증 및 관리비용 절감효과에 따른 최적의 생산기술 적용 및 신기술 도입을 원활하게 하여 지속적인 품질개선에 기여할 수 있을 것이다[5].

3) 군사적인 측면

제정된 규격으로 함정용 LED 조명 개발 시간 및 개발 비용 절감으로 군 전력 극대화가 가능할 것이며, 함정용 LED 조명분야의 군수물자 동원능력 향상, 제안된 규격에 따른 고성능, 고품질의 군수물자 조달로 함정 운용능력 향상이 가능하다. 기존의 형광등, 백열등의 경우 수명이 짧아, 함정에 설치된 개소의 수리에 필요한 많은 양의 형광등 및 백열등이 필요하며, 협소한 창고에 적재되고 있어, 이로 인하여 전투장비 수리부속 보관장소가 줄어들게 되어, 수리부속을 위한 공간 활용측면으로도 LED 조명기구로 대체가 반드시 필요할 것이다[5].

4) 환경적 측면

형광등은 전극에 전류를 흘려 충분히 예열시킨 후 음극으로부터 열전자가 방출되면 양 전극 사이에 전압을 공급해서 저압 수은 방전을 일으키며 점등된다. 형광등은 수은을 사용하지 않으면 형광 역할을 할 수 없어 환경오염에도 불구하고 수은을 사용하고 있다. 그림 1.1과 그림 1.2는 형광등과 LED의 점등 원리이다.

약 5,000시간의 수명을 가진 형광등은 약 25 mg의 수은을 함유하고 있어 외부 충격에 의해 유리관이 파손되면 심각한 환경오염이 예상되어, 회수가 필수적이다. 국내에도 형광등을 평균적으로 연간 약 13,000만개를 출고하고 있으며 특히 2010년에는 약 12,500만개가 출고되었으며, LED 조

Collection @ kmou

명이 형광등을 대체하고 있어, 형광등 출고량은 조금씩 줄어들고 있다.

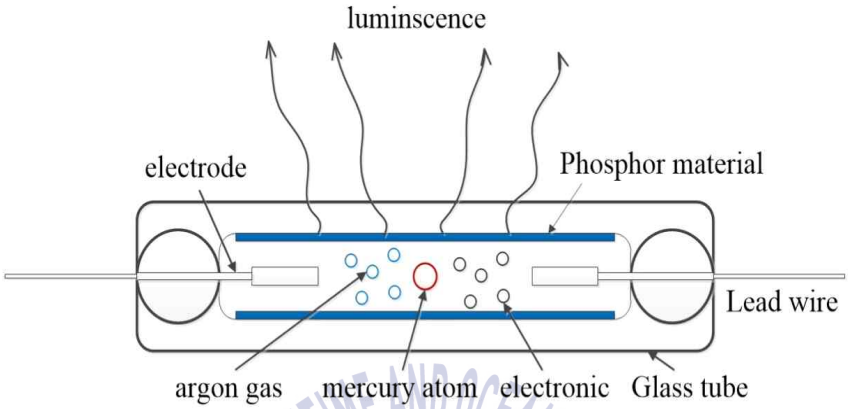


그림 1.1 형광등의 원리
Fig. 1.1 Principle of fluorescent lamp

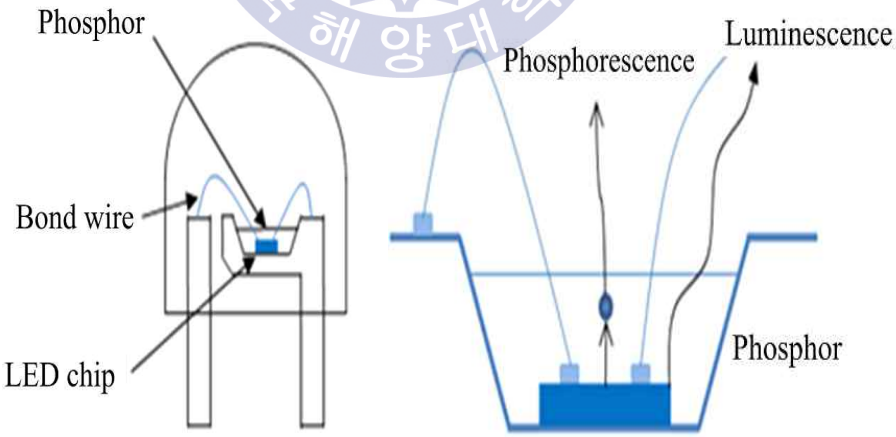


그림 1.2 LED의 원리
Fig. 1.2 Principle of LED

Collection @ kmou

가정에서 약 30%, 사업장에서 약 67%가 사용되고 있다. 사용을 다한 폐 형광등에도 잔류 수은의 농도가 높아 재처리가 반드시 필요하다. 정부는 폐 형광등을 전량 회수하여 재활용 활성화를 시도하고 있으나, 2010년 기준으로 약 29%정도 회수되어 상당히 미흡하다. 해군도 폐 형광등을 분리수거하여 재처리를 수행하고 있으나, 회수율은 미비하다. 따라서 환경오염 문제점이 없는 LED 광원 사용은 필수적이다[6]. 표 1.2는 LED 조명기구 대체에 대한 SWOT(Strength Weakness Opportunity Threat) 분석 결과이다[5].

표 1.2 SWOT 분석
Table 1.2 SWOT analysis

장 점 (Strength)	약 점 (Weakness)
· 고효율, 장수명 · 친환경 소재 · 소형관원으로 배광설계 용이 · 진동 및 충격에 강함 · 색온도, 파장 및 광량 제어 용이	· 발열에 의한 효율과 수명 저하 · 비교적 높은 가격 · 미 표준화 · 해외 의존성 높음
기 회 (Opportunity)	위 험 (Threat)
· 정부주도 지원 확대 · 국내 대기업의 시장 진출 · IT 및 조선강국 이미지 확보	· 기술 경쟁력 미흡 · 국외 대기업 국내 시장 진출 · 특허로 인한 배타적 접근 · 급격한 기술 변화

Collection @ kmou

다. 미 해군 LED 조명 적용 현황

미 해군은 SSL(Solid state lighting)이라는 프로젝트로 2008년 LED 조명에 대한 성능 규격 (MIL-STD-16377 Supplement specification for solid state lighting)을 개발하여 2008년부터 2011년까지 수상함과 잠수함에 시범 적용하였다. 특히, 알레이 버크급(Arleigh Burke Class) 유도탄 구축함인 USS Wayne E. Meyer 및 버지니아급(Virginia Class) 핵추진 공격 잠수함인 USS Hampshire, USS New Mexico함에 형광등기구를 1:1로 대체하는 교체형(Replacement Type)으로 적용하여 타당성을 검증하였다[7]. 현재까지 잠수함 및 수상함의 형광등을 대체하는 목적으로 LED 조명기구를 개발하였고, 23척의 함정에 적용되고 있다.

표 1.3은 미 해군 함정에 적용된 LED 조명기구 현황을 나타내며, 연간 150만 달러의 에너지 절감효과가 있다고 발표하였다[8]. DDG(Aegis Guided missiles Destroyer) 함정은 조명기구 및 교체형이 설치되었으나, CVN(Aircraft Carrier Nuclear powered) 함정과 LHD(Landing Helicopter Dock) 함정에는 조명기구만 설치되어 있다.

1.3 연구내용 및 범위

본 논문에서는 함정에 적용된 조명기구 중 80%이상을 차지하는 노출형 형광등과 매입형 형광등을 대상으로 연구를 수행하였다. LED 조명의 함정 적용을 위하여 적합한 규격을 제정하기 위하여 한국산업표준(Korean Industrial Standards) 및 국방규격(KDS, Korean Defense Specifications), 미 해군규격(Military Specifications)을 분석하여 함정에 적용 가능한 전기적, 광학적 및 환경적 특성을 제안하였다. 제안된 규격으로 시제작품을 개발하여 전기적, 광학적 및 환경적 요구사항을 시뮬레이션과 실선시험 및 환경시험으로 규격의 타당성을 검증하였고 함정용 LED 조명기구의

Collection @ kmou

국방규격(안)을 제안하였다. 제안된 규격으로 제작된 LED 조명기구가 수상함구조함에 최초로 적용 되었으며, 적용된 후 경제적, 기술적 효과 및 광속변화에 따른 수명을 예측하였다. 또한, 수상함에 전력변환 효율을 향상시키기 위하여 직류배전을, 잠수함에는 LED 조명기구 적용을 제안하였다.

표 1.3 미 해군의 LED 조명기구 적용 현황
Table 1.3 Application status for LED luminaires of U.S. Navy

함정		현황
구축함	DDG 66 (GONZALEZ)	조명기구 : 54 교체형 : 500
	DDG 88 (PREBLE)	조명기구 : 603 교체형 : 5,484
	DDG 90 (CHAFEE)	조명기구 : 627 교체형 : 1,950
	DDG 91 (PINCHNEY)	교체형 : 3,500
	DDG 93 (CHUNG-HOON)	조명기구 : 20 교체형 : 1,750
	DDG 98 (FORREST SHERMAN)	교체형 : 3,500
	DDG 104 (STERETT)	조명기구 : 27 교체형 : 1,750
	DDG 106 (STOCKDALE)	교체형 : 460
항공모함	CVN 70 (CARL VINSON)	조명기구 : 9
	CVN 73 (GEORGE WASHINGTON)	조명기구 : 7
상륙함	LHD 1 (WASP)	조명기구 : 40
	LHD 6 (BONHOMME RICHARD)	조명기구 : 40
	LHD 7 (IWO JIMA)	조명기구 : 40
	LHD 8 (MAKIN ISLAND)	조명기구 : 10

Collection @ kmou

제 2 장 함정 조명시스템

2.1 전원계통

함정의 전력 계통은 함정 설계/건조기준(전력 분전계통 기준)에 따라 방사형 배전계통(Radial distribution system)과 구역형 배전계통(Zone distribution system)으로 구성할 수 있으며, 최근 건조되는 함정은 두 가지 방법을 혼합한 혼합형 배전 방식(Combined distribution system)을 적용하고 있는 추세이다[9]. 방사형 배전체계는 발전기 모선을 기준으로 주배전반에서 전력 분전반 및 개별 부하에 직접 전원을 공급하는 방식으로 고속정(PKG, Patrol Killer with Guided missile), 호위함(FF, Frigate) 및 소해함(MSH, Harbor Minesweeper)과 같은 중·소형 함정에 적용한다. 그림 2.1은 방사형 배전계통을 나타낸다[9].

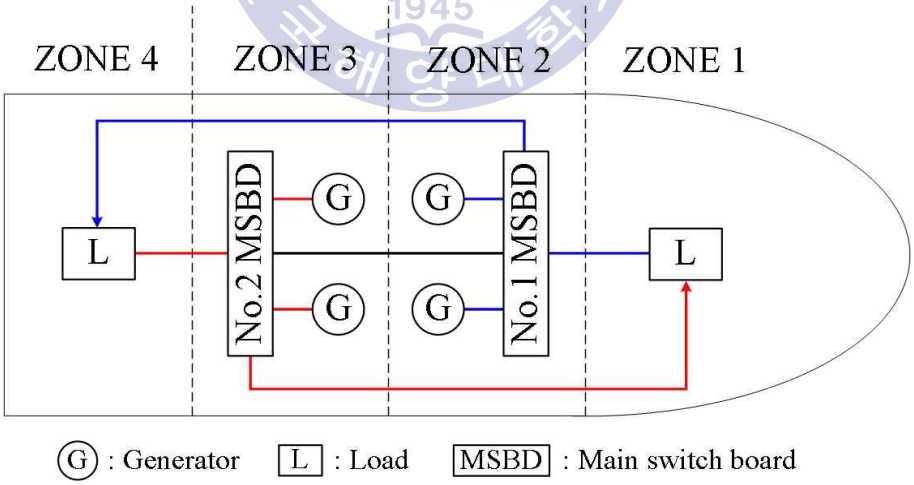


그림 2.1 방사형 배전계통
Fig. 2.1 Radial distribution system

Collection @ kmou

구역형 배전계통은 함정의 주 수밀 격벽을 경계로 전기적 배전구역을 구분하여 각 배전 구역에 하나 이상의 중앙 급전반을 설치하고 그 구역 내의 전력 분전반과 개별 부하에 전원을 공급하는 방식으로 대형 상륙함(LPH, Landing Platform Helicopter), 구축함(DD, Destroyer)과 같은 대형 함정에 적용된다. 그림 2.2는 구역형 배전계통을 보여준다[9].

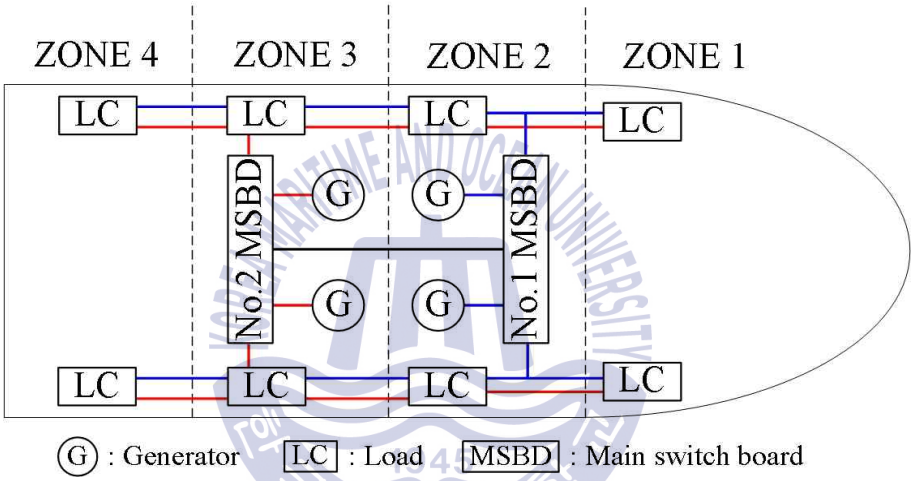


그림 2.2 구역형 배전계통

Fig. 2.2 Zone distribution system

혼합형 배전계통은 기존의 방사형 배전계통과 구역형 배전계통을 혼합한 형태로 주 배전반 인근 전력부하는 방사형 배전방식과 같이 주 배전반에서 분전반 및 개별부하에 직접 전원을 공급하고 원거리 부하는 구역형 배전계통과 같이 중앙 급전반에서 전원을 공급하는 방식으로 중앙 급전반 수량을 감소할 수 있는 장점이 있어 차기호위함(FFG, Frigate with Guided missiles)과 같이 최근 건조함정에 적용되고 있다. 그림 2.3은 혼합형 배전계통을 보여주며, 표 2.1에는 배전계통의 특성을 나타낸다[9].

Collection @ kmou

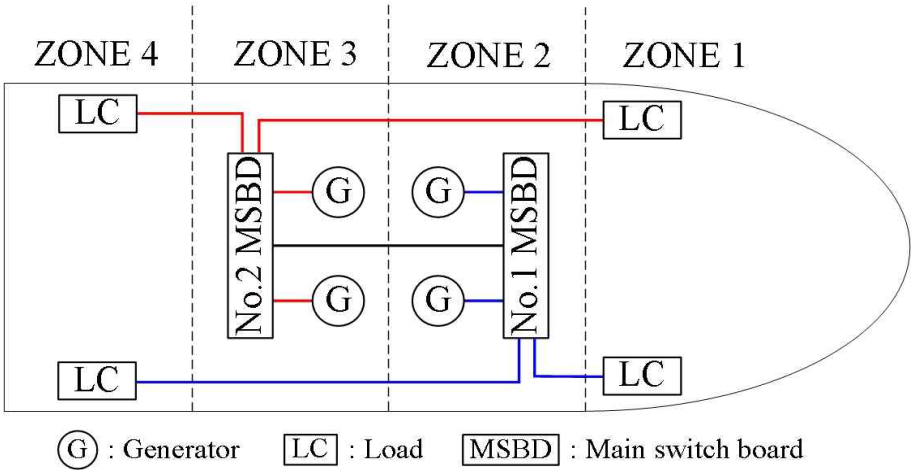


그림 2.3 혼합형 배전계통

Fig. 2.3 Combined distribution system

표 2.1 배전계통의 특성

Table 2.1 Specifications of power distribution system

구 분	방사형 배전	구역형 배전	혼합형 배전
배전구역	구역설정 없음	함 수밀격벽을 기준으로 배전구역 설정	
생존성	취약	가장 우수	우수
공급 안정성	보통	우수	우수
유연성, 확장성	보통	가장 우수	우수
계통 운용성	단순	복잡	보통
배치성	유리	불리	보통
경제성	소형함정	중·대형 함정에 유리	
중량	소형함정	중·대형 함정에 유리	
실적	고속정, 호위함, 소해함	구축함, 대형수송함	구축함, 차기호위함

Collection @ kmou

최근 건조되는 함정은 전원 이중화를 위하여 구역 배전계통과 혼합 배전계통을 적용하고 있다. AC 115 V, 60 Hz, AC 220 V, 60 Hz 및 AC 440 V, 60 Hz와 DC 24 V가 사용되며, 전투체계와 무장체계를 위한 AC 440 V, 400 Hz도 사용된다. 평상 시 발전기 2대를 병렬로 사용하여 AC 440 V, 60 Hz 전압을 발전하여 공급하고, 발전기 정지와 같은 전원상실(Black out)이 발생하면 함 내 축전지를 통해 DC 24 V가 항해장비(레이다, 통신기 등)에 자동적으로 공급되어 항해에 영향을 받지 않도록 구성된다[9].

2.2 조명 계통

함정에서 조명은 함정의 구역 특성에 따라 요구되는 조도를 만족하는 조건으로 눈의 피로 없이 임무수행, 안락성 제공 및 안전성을 승조원에게 제공하도록 설계한다[10].

가. 계통설계

조명 배전계통은 충분한 조도, 설치 용이성, 운용비 및 중량 절감의 목표로 설계를 하며 기계적 간섭 및 전투 손상에 대한 취약성을 최소화하여 최고의 신뢰성을 보장하도록 설계한다. 함정 조명계통은 각 전기구역에 설치된 중앙 급전반에서 전원을 공급받아 조명용 중앙 급전반 및 조명용 분전반을 통하여 구역별 조명에 공급한다. 4개의 조명 구역으로 설계하며 분전반에서 최단거리로 수직 및 수평 급전 선로를 형성한다. 중요 조명 부하에 대하여 자동모선 전환장치(ABT, Auto Bus Transfer)를 통해 2중 전원이 공급되도록 설계한다. 그림 2.4는 함정의 조명 배전구역을 나타낸다[10],[11].

Collection @ kmou

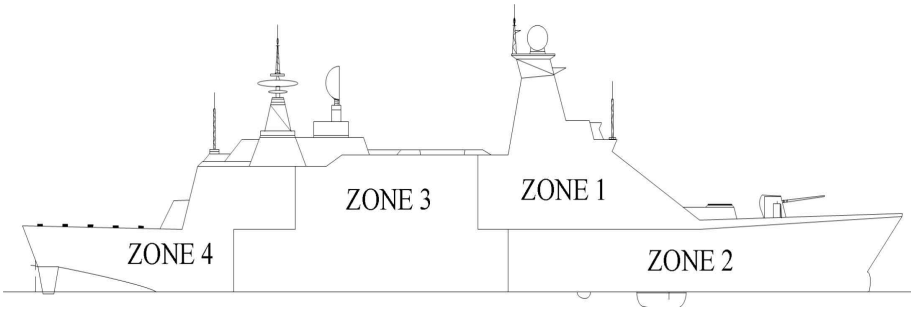


그림 2.4 함정의 조명 배전구역
Fig. 2.4 Lighting distribution zones for naval vessels

그림 2.5는 함정의 일반적인 조명 배전계통이며, 중요 조명 부하에 대하여 자동모선 전환장치로 전원 이중화가 되어 있다[12].

나. 부하분석

함정은 발전기에서 AC 440 V, 60 Hz 전원을 발전하며, 조명계통은 조명용 변압기를 이용하여 AC 440 V, 60 Hz를 AC 220 V, 60 Hz로 변환하여 사용한다. 조명용 변압기의 용량은 조명기구 부하, 리셉터클 부하, 소형기기 부하 및 자동모선 전환장치의 합으로 계산한다. 여기서 조명기구 부하는 구역별 요구 기준조도 값을 만족하기 위하여 사용하는 일반조명과 책상, 해도대, 침대 등에 사용되는 국부조명 그리고 특수목적을 위해 사용하는 특수조명 부하의 합으로 계산하고, 리셉터클 부하는 공작실이나 전자시험 장비, 사무기기, 거주구역에서 일반 목적으로 사용하는 부하의 합이다. 소형기기 부하는 매점이나 복지시설에서 사용하는 부하의 합으로 계산된다. 자동모선 전환장치 부하는 주 전원 공급원 이상 시 다른 전원 공급원으로부터 항상 공급받아야 할 중요 부하의 합이다.

Collection @ kmou

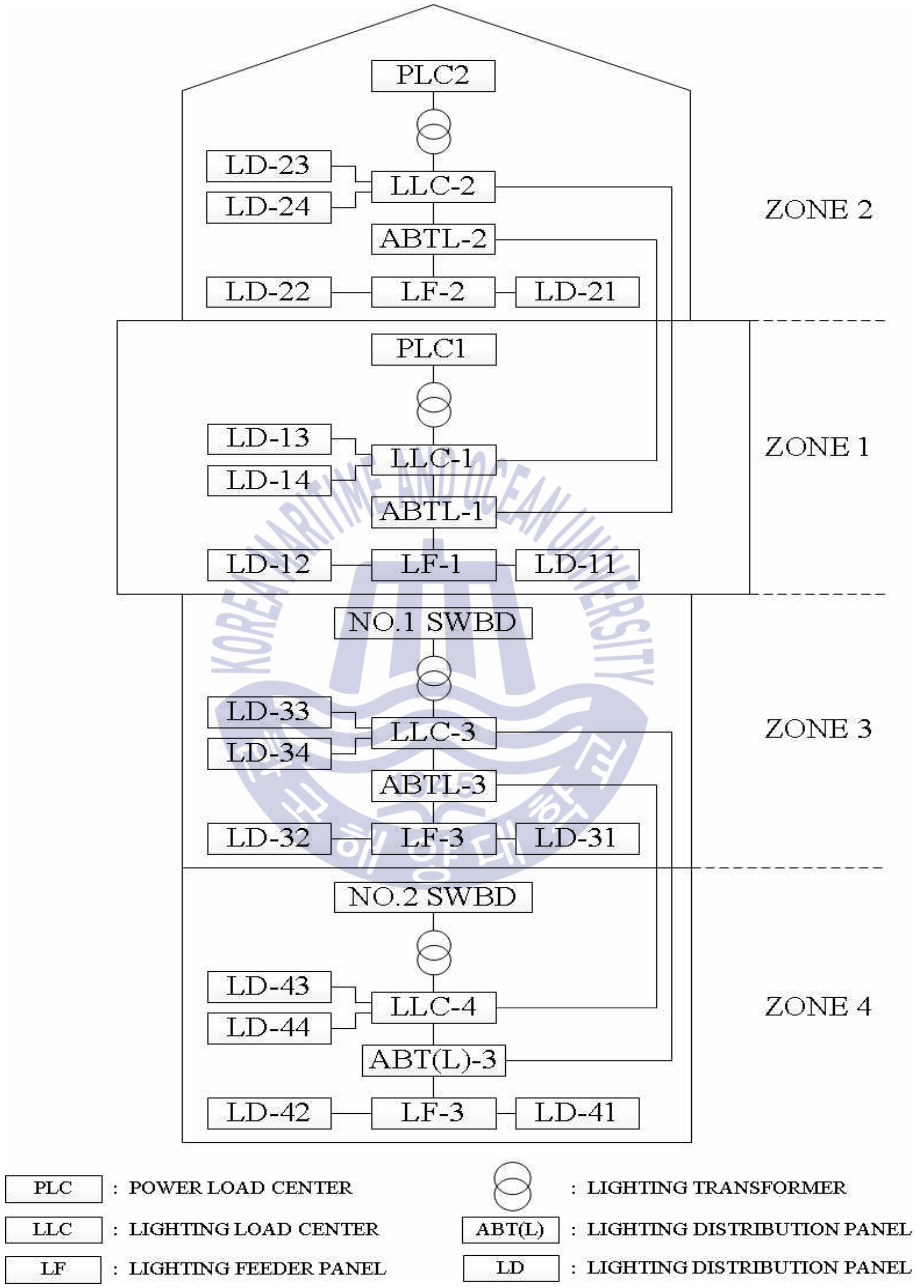


그림 2.5 조명 배전계통의 예

Fig. 2.5 Typical lighting distribution system

Collection @ kmou

각 조명구역에 설치되는 변압기의 최대 부하 용량은 식 (2.1)로 계산할 수 있다[12],[13].

$$\text{압기 용량}(VA) = \text{최대수용조명부하}(VA) \times (\text{변압기 적정효율} \times 115\%) \quad (2.1)$$

형광등기구를 적용한 함정의 조명용 변압기 최대부하와 LED 조명기구를 적용한 함정의 변압기 최대부하와 조명부하 감소를 표 2.2에서 나타내었으며 LED 조명기구를 적용한 함정의 조명부하가 약 57 kVA 감소하였다. 유사한 배수량인 한국해양대학교 실습선 한나라호의 조명용량이 약 4.3 kVA임을 감안하면, 함정이 약 100배 정도 많은 조명부하를 사용하고 있다.

표 2.2 조명 변압기의 최대 부하
Table 2.2 Maximum load for lighting transformers

구분		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
형광등 적용 함정	조명부하 [kVA]	96.4	99	100.8	92.1
	최대부하 [kVA]	110.8	113.8	115.9	105.9
LED 적용 함정	조명부하 [kVA]	82.8	90.8	89.1	68.3
	최대부하 [kVA]	95.3	104.4	102.5	78.6
조명 부하감소 [kVA]		13.5	8.1	11.6	23.7

Collection @ kmou

다. 격실조도

함정에서 적용하는 조도는 광속법으로 계산한다. 격실 내 천장면에 균등하게 배치된 광원을 기준으로 작업 면의 평균 조도 또는 필요한 조명등 수량을 계산하며, 격실 내 설치된 조명에 의해 격실 전체가 균등한 경우로 적용한다. 광속법에 의한 조도계산은 각 격실의 요구조도를 계산하고, 격실의 높이, 길이 및 폭을 구한다. 적용할 조명기구의 정격 광속을 계산하고, 격실 내 천장면, 바닥면의 반사율을 구한다. 해군 함정은 천정구역은 70%, 격실구역은 50%, 바닥구역은 30%의 반사효과가 있는 것으로 계산한다. 표 2.3은 격실에 적용된 도료 색상별 반사율을 나타내며 표 2.4는 격실의 구역별 반사율이다[14].

표 2.3 도료 색상 별 반사율
Table 2.3 Reflectance of paint colors

도료 색상	반사율 [%]	도료 색상	반사율 [%]
백색	85	짙은 회색	7 ~ 65
노란색	65 ~ 75	청색	8 ~ 55
담황색	63 ~ 70	적색	13
회색	30 ~ 75	갈색	10

Collection @ kmou

표 2.4 표면 반사율

Table 2.4 Reflectance of surfaces

구역	반사율 [%]	구역	반사율 [%]
천정 (Overhead)	70 ~ 90	바닥 (Deck)	15 ~ 35
벽 (Bulkhead)	40 ~ 60	책상면 (Desk top)	25 ~ 50

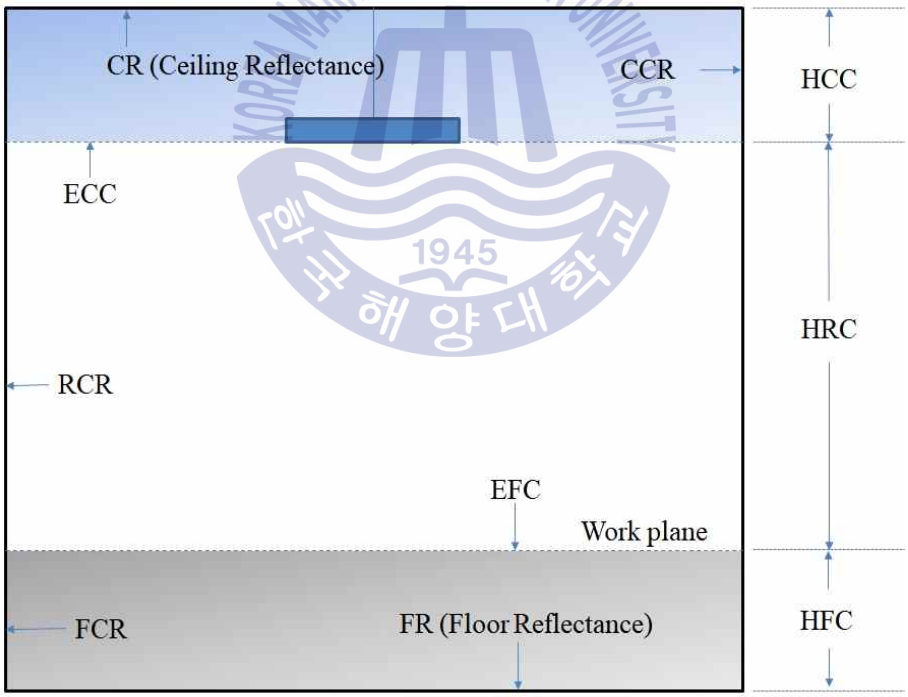


그림 2.6 구역 공간법

Fig. 2.6 Zonal cavity method

Collection @ kmou

격실, 천장 및 바닥의 공간계수(CR, Cavity Ratio)를 계산하기 위하여 식 (2.2), 식 (2.3), 식 (2.4)를 적용하며, 그림 2.6은 조명기구의 배광, 방의 크기, 형상 및 실내 반사율을 고려하여 벽면 및 천정 공간 휘도계수를 계산하는 구역 공간법을 나타내며, 작업면은 76 cm를 기준으로 한다.

$$RCR = \frac{5 \times HRC \times (L + W)}{L \times W} \tag{2.2}$$

$$CCR = \frac{5 \times HCC \times (L + W)}{L \times W} = \frac{RCR \times HCC}{HRC} \tag{2.3}$$

$$FCR = \frac{5 \times HFC \times (L + W)}{L \times W} = \frac{RCR \times HFC}{HRC} \tag{2.4}$$

여기서, RCR (Room Cavity Ratio) : 방 공간계수

CCR (Ceiling Cavity Ratio) : 천장 공간계수

FCR (Floor Cavity Ratio) : 바닥 공간계수

HRC (Height of Room Cavity): 작업면에서 천장까지의 높이

HCC (Height of Ceiling Cavity) : 조명기구에서 천장까지의 높이

HFC (Height of Floor Cavity) : 바닥면에서 작업면까지의 높이

L (Length) : 해당 격실의 종 길이

W (Width): 해당 격실의 폭 길이

이다.

Collection @ kmou

$$TNF = \frac{(\quad) \times L \times W}{(LPF) \times (RLPL) \times CU \times M} \tag{2.5}$$

여기서, IFC (Initial Foot-Candle) : 요구조도

LPF (Lamp number per Fixtures) : 조명기구 당 램프 수량

RLPL (Rated Lumen Per Fixtures) : 조명기구 당 정격 광속

CU (Coefficient of Utilization) : 이용률

M (Maintenance factor) : 유지율

TNF (Total Number of Fixtures) : 필요한 조명기구 수량

이다. 천정 반사효율 및 바닥면 반사효율을 구하고 각 조명기구에 따른 이용률을 구한다. 필요한 조명기구 수량은 식 (2.5)에 따라 구하여 실제 설치할 조명기구 수량을 산정한다[14]. 격실별 요구 조도는 표 2.5와 같다.

표 2.5 격실별 요구 조도

Table 2.5 Requirement illuminance by zone

격실	요구조도 [lx]	격실	요구조도 [lx]
거주구	150 이상	사무구	300 이상
오락구	300 이상	창고	32 이상
식당	300 이상	화장실	150 이상
통신전자구	150 이상	통로	75 이상
탄약구	75 이상	계단	75 이상
의료구	300 이상	도서실	300 이상

Collection @ kmou

2.3 조명기구

해군 함정에 사용하는 100 W이하 조명기구로는 함 외부등(현측등, 신호등 등), 홍등, 형광등 및 기타 특수 목적등(침대등, 경면등, 책상등 등)이 있으며, 대부분은 노출형 형광등을 사용하고 있다. 외등 및 홍등은 60 W 백열등을 사용하고 있으며, 홍등을 제외하고는 대부분 수밀, 진동, 충격 등 환경요구조건을 만족하도록 요구된다. 함정은 육상전원(Shore power)과 함 전원(Ship power)의 교대 운용으로 전압과 주파수의 변화가 발생하며, 필라멘트를 광원으로 사용하는 백열등에 치명적이다. 형광등도 주파수와 전압의 변화로 인하여 수명이 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}$정도 단축된다[5].

가. 백열등

백열등은 외부 유리구(Bulb)가 충격에 취약하기 때문에 이를 사용하는 함 외부등 및 홍등은 광원을 보호하기 위하여 강화유리와 보호망을 적용하고 있다. 홍등은 적색으로 착색시킨 강화유리를 적용하여 적색을 구현하며, 야간에 함 내 이동 혹은 작전 시 외부의 빛 노출을 최소화하기 위한 조명으로 사용된다[15].

나. 형광등

함정에 적용되는 형광등은 설치환경에 따라 노출형과 매입형으로 구분된다. 노출형은 방수형으로 설치되고, 매입형은 비 방수형으로 설치된다. 함정에 설치되는 형광등은 대부분 노출형 형광등이고 약 80%정도 차지한다. 또한 형광등의 개수에 따라 2등용과 3등용으로 분류된다[17],[18]. 형광등 글로브(Globe)에 따라 투명과 불투명으로 구분되며 승조원 거주구역은 불투명, 창고나 높은 조도가 필요한 공간에는 투명 글로브를 적용한다. 야간

Collection @ kmou

당직자 및 화장실 사용을 위하여 적용하는 홍등은 단순히 형광등 불빛을 붉은색으로 보이게 하기 위하여 형광등에 적색 아크릴 튜브를 추가하여 사용된다[16].

다. 기타 조명등

함정에서 기타 목적으로 사용하는 조명기구는 경면등, 침대등, 비상조명등이 있으며, 책상등과 같은 개인적인 국부조명등이 있다. 경면등의 경우 화장실에 설치하여 샤워 혹은 세면 시 물에 의한 합선의 우려가 있어 IP(Ingress Protection) 44의 방수등급을 요구하고 있다[25]. 비상 조명등은 함정의 위급상황(피격 혹은 전원상실 등)에서 승조원의 탈출과 장비의 정비를 위하여 사용된다[18].

2.4 규격분석

함정용 LED 조명기구의 적용을 위한 규격을 제정하기 위하여 먼저 현재 적용되고 있는 LED 조명기구의 한국산업규격, 형광등 국방규격 및 미국방규격을 분석하였다.

가. 한국산업규격 (KS C 7653)

LED 조명기구에 대한 민수용 국내규격은 2009년 제정된 한국산업규격(KS C 7653)이 있으며 광학적 특성 요구사항이 자세히 기술되어 있다. 표 2.6은 KS C 7653(“매입형 및 고정형 LED 조명기구 안전 및 성능 요구사항”)의 주요 내용이다[20].

Collection @ kmou

표 2.6 KS C 7653의 주요 내용
Table 2.6 Main contents of KS C 7653

항목	내용
표시사항	제품의 정보표시, 견고성, 변화나 변색 없음
정격	표시 정격의 ± 10% 이내
충전부에 대한 감전보호	충전부와 절연거리 확보 및 감전에 대한 보호
절연저항	DC 500 V에서 4 MΩ이상
외관검사	구조검사
절연내력	AC 1,500 V에서 1분간 절연파괴 없을 것
점등	정격 전압의 92%, 106%에서 점등가능
전자파	KS C CISPR 15, KS C 61547에 만족할 것
기계적 강도	0.5 J 강도에 파손이 없을 것
방진방수	노출형의 경우 요구되는 IP Grade 만족할 것
접지저항	AC 12 V, 25 A 공급 시 접지저항 0.1 Ω 이하
습도	온도 30 ℃, 습도 95%에서 48시간 방치 후 절연저항 및 절연내력 만족할 것

Collection @ kmou

점등특성	40 ℃, -10 ℃에서 1시간 점등
내열, 내화, 내트래킹	절연재 및 플라스틱에 대하여 내열, 내화, 내트래킹 성능확보
온도상승	부품 및 외각에 대하여 온도상승 요구사항 만족
초기광속	정격의 95%이상 (100시간 에이징 후)
광속유지율	초기광속의 90%이상 (2,000시간 에이징 후)
역율	0.9 이상
열충격	-10 ℃에서 1시간 후, 50 ℃에서 1시간 (5회 반복)
광효율	해당 조명기구에 맞는 효율 만족
수명	정격수명의 $\frac{1}{2}$회 개폐시험

나. 국방규격 (KDS 6210-1055)

표 2.7은 함정용 형광등에 대한 주요 내용이다. 국방규격의 경우 환경시험(온도, 습도, 전자기 간섭, 충격, 진동 등)과 같은 요구조건은 엄격한 미국방규격이 적용되었고, 전기적 특성과 기계적 성질은 한국산업규격과 유사하게 요구되었다. 그러나 인체 안전에 대한 사항은 상대적으로 완화되었으며, 성능과 관련된 사항은 상대적으로 엄격하게 규제되었다[16].

Collection @ kmou

표 2.7 KDS 6210-1055의 주요 내용
Table 2.7 Main contents of KDS 6210-1055

항목	내용
표시사항	제품의 정보표시, 견고성, 변화나 변색 없음 쉽게 인지 가능할 것
외관검사	제품 도면과의 일치검사 및 구조검사
절연저항	DC 500 V에서 20 MΩ이상
절연내력	사용전압 2배 + AC 1,000 V 또는 AC 1,500 V 중 큰 전압, 1분간 인가 시 절연파괴 없을 것
점등	정격전언 공급 시 7초 이내 점등할 것
방진방수	노출형의 경우 해당 IP Grade 만족할 것
접지저항	4 ~ 5 A 공급 시 전압강하 0.25 V이내, 저항은 0.1 Ω이하
진동	MIL-STD-167-1A에 적합할 것
충격	MIL-S-901D에 적합할 것
염수분무	8시간 염수분무, 16시간 방치를 3회 후 외관상 이상이 없고, 정상점등 될 것
도장	부식방지를 위한 충분한 도장
조도	MIL-DTL-16377에 적합할 것

Collection @ kmou

온도	100시간 동작 후 제품에 이상없을 것
역률	0.85 이상
반사율	80% 이상
소음	MIL-STD-740에 만족할 것
전자파	MIL-STD-461에 만족할 것

특이한 내용은 형광등 안정기에 대한 소음시험이 규제되어 있으며, 입력되는 전압과 주파수는 MIL-STD-1399 300B("Electric power, Alternating Current")에 따라 입력전압의 ± 5%와 입력주파수의 ± 3% 변동 범위에서 정상적으로 동작하여야 한다[23].

다. 미 국방규격 (MIL-DTL-16377H)

미국은 국방규격 MIL-DTL-16377H를 적용하며, 엄격한 환경조건과 상세한 부품의 특성에 대하여 규제하고 있다. 표 2.8은 미 국방규격의 주요 내용이다[17]-[19].

Collection @ kmou

표 2.8 MIL-DTL-16377H의 주요 내용
Table 2.8 Main contents of MIL-DTL-16377H

항목	내용
재질	요구 재질 및 대체 재질 적용, 유독가스 발생 및 수은함유, 발암물질 사용 규제
치수 및 허용오차	도면에 따라 허용오차는 ± 0.005 inch, ± 15분 이내
외관검사	날카로운 모서리, 표면 거칠기 및 씰, 가스켓 적용할 것
외장	알루미늄 적용 (두께 : 0.09 inch)
충격	MIL-S-901에 적합할 것
진동	MIL-STD-167-1에 만족할 것
소음	0.0002 microbars 기준 28 dB이내 MIL-STD-740 만족할 것
염수분무	과도한 부식이 없을 것
완충기	기준서에 따라 적용할 것
전자기 간섭	MIL-STD-461F에 만족할 것
전기적 특성	안정기, 스위치, 결선, 케이블, 인입구
접지	노출된 금속은 접지에 연결할 것 0.1 Ω 이하

Collection @ kmou

절연내력	정격전압의 두 배 + AC 1,000 V 11분간 인가 시 절연파괴 없을 것
절연저항	내전압 시험 후 DC 500 V로 누설전류 확인
글로브 (Globe)	광 균일성 확보할 것
방수	MIL-STD-108에 만족할 것
반사판	색감 및 투과율 시험에 만족할 것
주변온도	주변온도에서 100시간 가동 시 이상없을 것

특이한 점으로 미 해군은 화재에 대비하여 유독가스 발생 및 수은과 발암물질 미 발생 원자재 사용을 명시하고 있으며, 글로브를 통한 형광등의 조도와 배광 및 광 균일성을 규제하고 있어, 함정 승조원의 눈 피로도 감소에 관하여 노력을 기울이고 있다.

Collection @ kmou

라. 요구사항 비교 및 분석

함정용 LED 조명기구 규격제정을 위하여 한국산업규격, 국방규격 및 미 국방규격의 요구사항을 정리하였으며, 표 2.9와 같다.

표 2.9 요구사항 비교
Table 2.9 Comparison of requirements

항목	KS C 7653	MIL-DTL-16377H	KDS 6210-1055
표시사항	표시사항, 정격시험 (표시의 ± 10%)	-	표시사항 및 외관
충전부 감전보호	충전부에 대한 감정보호	-	-
절연저항	4 MΩ @ DC 500 V	DC 500 V로 누설전류 확인	20 MΩ @ DC 500 V
절연내력	AC 4,000 V 인가 절연파괴 없을것	정격전압의 2배 + AC 1,000 V 11분간 인가 절연파괴 없을것	사용전압 2배 + AC 1,000 V 또는 AV 1,500 V 1분간 인가 절연파괴 없을것
전원변동	정격전압 92%, 106%	MIL-STD-1399 정격전압 ± 5% 주파수 ± 3%	MIL-STD-1399 정격전압 ± 5% 주파수 ± 3%
EMI/EMC	KS C CISPR 15	MIL-STD-461F	MIL-STD-461F
난연성	-	유독가스 발생 및 수은, 발암물질 사용규제	-

Collection @ kmou

기계적 강도	0.5 J 인가시 이상없을 것	-	-
온도상승	온도상승에 따른 부품 및 표면 이상없을 것	주변온도에서 100시간 가동	100시간 동작 후 이상없을 것
온도	40 ℃ ~ -10 ℃	MIL-STD-810	MIL-STD-810
습도	최고 30 ℃, 95% 48시간 이상없을 것	MIL-STD-810	MIL-STD-810
진동	-	MIL-STD-740	MIL-STD-740
충격	-	MIL-S-901	MIL-S-901
역률	0.9 이상	-	0.85 이상
광학적 특성	초기광속, 광속유지율, 연색성, 광효율	조도, 광 균일성	MIL-DTL-16377
내구성	개폐시험	-	-
방진방수	IP 만족	MIL-STD-108	IP 만족
염수분무	-	과도한 부식이 없어야 한다.	8시간 염수분무 16시간 방치 3회 이상없을 것

Collection @ kmou

2.5 함정용 LED 조명기구 요구사항 제안

형광등 특성을 기반으로 LED 조명기구 광학적, 전기적 요구사항 및 환경적 요구사항을 제안하였다. LED 조명기구 개발의 중요한 고려사항은 설치 및 유지, 보수에 불편함이 없어야 하며, 고효율 특성에 의한 에너지 절감 효과이다. 표 2.10은 함정에 적용하기 위하여 제안된 LED 조명기구의 요구사항을 나타낸다.

표 2.10 함정용 LED 조명기구에 대한 요구사항
Table 2.10 Requirements of LED luminaires for naval vessels

항목	내용	비고
표시사항	제품의 정보 표시(제조자, 모델명, 정격 등) 견고하고 변화나 변색이 없으며 쉽게 인지 할 것	-
외관검사	제품 도면과의 일치검사 및 구조검사	-
충전부 보호	충전부에 대한 감전 보호할 것	-
최대상승 온도	접속용 단자 및 그랜드 온도 : 40 ℃이하 광원 및 컨버터 : 60 ℃이하	KS적용
전류고조파 함유율	KS C 7653에 따라 고주파 함유율 ± 10%이내	KS적용
전력 및 전류	정격표시의 ± 10%이내	-
접지저항	AC 12 V, 10 A 이하 시 0.25 V이하 전압강하 0.1 Ω이하	-
절연저항	DC 500 V 인가 시 20 MΩ이상	-
절연내력	사용전압 2배 + AC 1,000 V 또는 AC 1,500 V 중 큰 전압 1분간 인가, 절연파괴 없을 것	-

Collection @ kmou

전원고장	5분간 3회 On/Off 시 정상동작할 것	-
정격전압 및 변동	MIL-STD-1399 300B에 따라 전압 ± 5%, 주파수 ± 3% 변동 시 정상동작	MIL적용
EMI/EMC	MIL-STD-461에 만족할 것	MIL적용
기계적 강도	0.5 J 강도로 인가 시 파손 없을 것	KS적용
고온	MIL-STD-810 501.5에 만족할 것	MIL적용
저온	MIL-STD-810 502.5에 만족할 것	MIL적용
습도	MIL-STD-810 507.5에 만족할 것	MIL적용
진동	MIL-STD-167-1A에 만족할 것	MIL적용
충격	MIL-S-901에 만족할 것	MIL적용
난연성	KS C ICE 60695에 만족할 것	KS적용
염수분무	MIL-STD-810 509.5에 만족할 것	MIL적용
방진방수	KS V 8017에 만족할 것	KS적용
온도상승	KS C IEC 60092-306에 만족할 것	KS적용
광학특성	KS C 7653에 만족할 것	KS적용
광 균일도	발광면은 불투명으로 시공	-
역율	0.9 이상	-
내구성	제시한 수명의 $\frac{1}{2}$회 개폐시험 확인	KS적용

Collection @ kmou

표 2.10에서 제시된 요구사항을 보면 환경조건은 엄격한 미 국방규격을 준용하였고, 안전과 관련된 사항은 한국산업규격을 적용하였으며, LED 광원에 대한 광학적 특성은 한국산업표준을 기준으로 적용하였다. 표 2.11과 표 2.12는 전기적, 광학적 요구사항과 광학적 특성이다.

표 2.11 LED 조명기구 전기적, 광학적 요구사항
Table 2.11 Electrical and Optical requirements of LED luminaires

구분		형광등		LED		광효율 [lm/W]	색온도 [K]
		광속 [lm]	소비 전력 [W]	광속 [lm]	소비 전력 [W]		
노출형	2등용	1,671 ~ 1,855	53	1,800 ~ 2,100	30	60 이상	5,500 ± 500
	3등용	2,338 ~ 2,567	81.2	2,600 ~ 2,800	40	65 이상	5,500 ± 500
매입형	2등용	1,356	53	1,500 ~ 1,700	25	60 이상	5,500 ± 500
	3등용	1,697	81.2	1,800 ~ 2,100	30	60 이상	5,500 ± 500

Collection @ kmou

표 2.12 LED 조명기구 광학적 특성

Table 2.12 Optical characteristics of LED luminaires

항목	성능기준					
초기광속	100시간 에이징 후 정격광속의 95% 이상					
광속 유지율	2,000시간 에이징 후 초기광속 측정값의 90% 이상					
연색성	70 이상					
구분	색온도 [K]	LED 조명기구 광효율 [lm/W]				
		10 W 이하	10 W 초과 30 W 이하	30 W 초과 60 W 이하	60 W 초과 100 W 이하	100 W 초과 300 W 이하
5,700	5,665 ± 355	55	60	65	70	75
5,000	5,028 ± 283	55	60	65	70	75

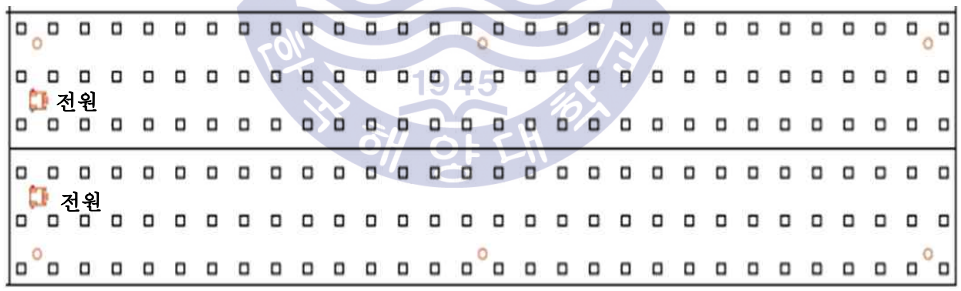
Collection @ kmou

제 3 장 설계, 제작 및 규격제안

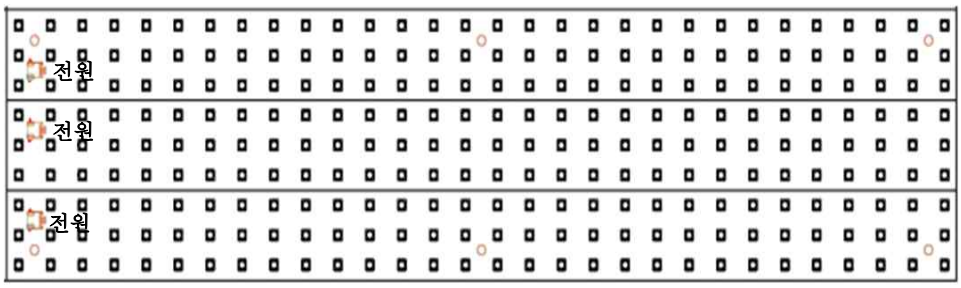
3.1 설계 및 제작

가. LED 모듈

LED 모듈은 노출형과 매입형에 공통으로 적용하여 승조원의 조명기구 관리 및 유지보수에 용이하도록 설계하였다. 또한 동일한 사이즈로 2등용과 3등용을 설계하여 호환성을 극대화 하였으며, 상대적으로 수명이 짧은 전원공급기를 2회로, 3회로로 구분하여 설계하였다. 이는 하나의 전원공급기로 제작된 육상용과 달리, 전원공급기에 이상이 발생되어 빛 방출을 하지 못하는 경우에도 최소한의 조명을 유지할 수 있도록 전기적으로 회로를 분리하였다. 그림 3.1은 개발된 LED 모듈을 나타낸다.

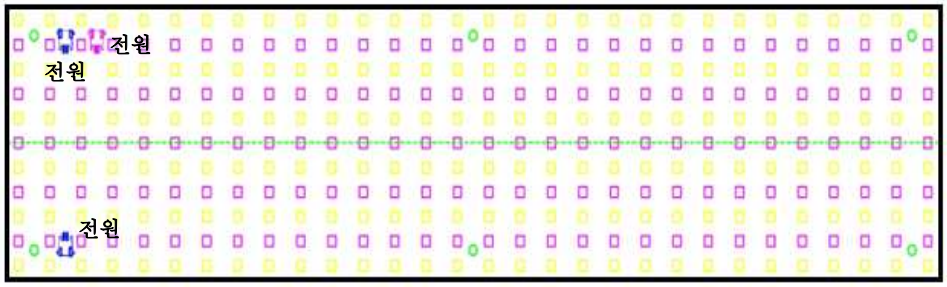


(a) 2회로용



(b) 3회로용

Collection @ kmou



(c) 홍등용

그림 3.1 LED 소자의 배치

Fig. 3.1 Layout of LED package

2회로, 3회로 및 홍등 내장형 LED 모듈의 크기를 624 mm × 157 mm로 개발하여 기존 조명기구 간 호환성을 확보하였다. LED 모듈에 전원을 공급하는 전원공급기는 입력전압을 AC 100 V ~ AC 240 V, 60 Hz로 설계하여, 조명전원을 AC 115 V, 60 Hz를 사용하는 함정에도 적용할 수 있도록 개발하였다. 최근 건조된 함정은 AC 220 V, 60 Hz를 조명용 전압으로 사용하지만, 과거에 건조된 호위함, 초계함(PCC, Patrol Class Corvette)은 미 해군 함정과 동일하게 AC 115V, 60 Hz 전원을 사용한다.

나. 전원공급기

전원공급기는 입력전압을 AC 100 V ~ 240 V, 50/60 Hz로 설계하며, 신형함정과 구형함정 및 50 Hz를 사용하는 유럽에서도 적용할 수 있도록 설계하였고 표 3.1에서 전원공급기에 대한 사양을 나타낸다.

Collection @ kmou

표 3.1 전원공급기 사양
Table 3.1 Specifications of the power supply

구분	사양	비고
소비전력	15 W	-
입력전압	AC 100 V ~ 240 V	Free Voltage
입력주파수	50/60 Hz	미주/구주 겸용
역률	0.9 이상	홍등내장형 0.85이상
출력전압	DC 24 V	정전압형

다. 조명기구

LED 모듈을 이용하여 조명기구는 노출형과 매입형 2종류로 개발하였고, 기존의 형광등 구조와 동일하게 설계하여 1:1로 대체가 가능하도록 하였다. 그림 3.2와 그림 3.3은 노출형과 매입형의 구조를 보여준다. 노출형의 경우 거주구, 통로 및 기관구역에 설치되어 IP 56 등급에 적합하도록 설계하였다[25].

요구한 빔각을 만족시키기 위하여 광확산 PC(Polycabonate)를 적용하였고 LED 광원소자의 특성인 높은 휘도로 인한 승조원 시각의 불쾌감을 없애기 위하여 불투명 처리를 하였다. 전기적 특성과 광학적 특성을 만족하도록 제작되었고, 실선 시험을 통하여 검증하였다.

Collection @ kmou

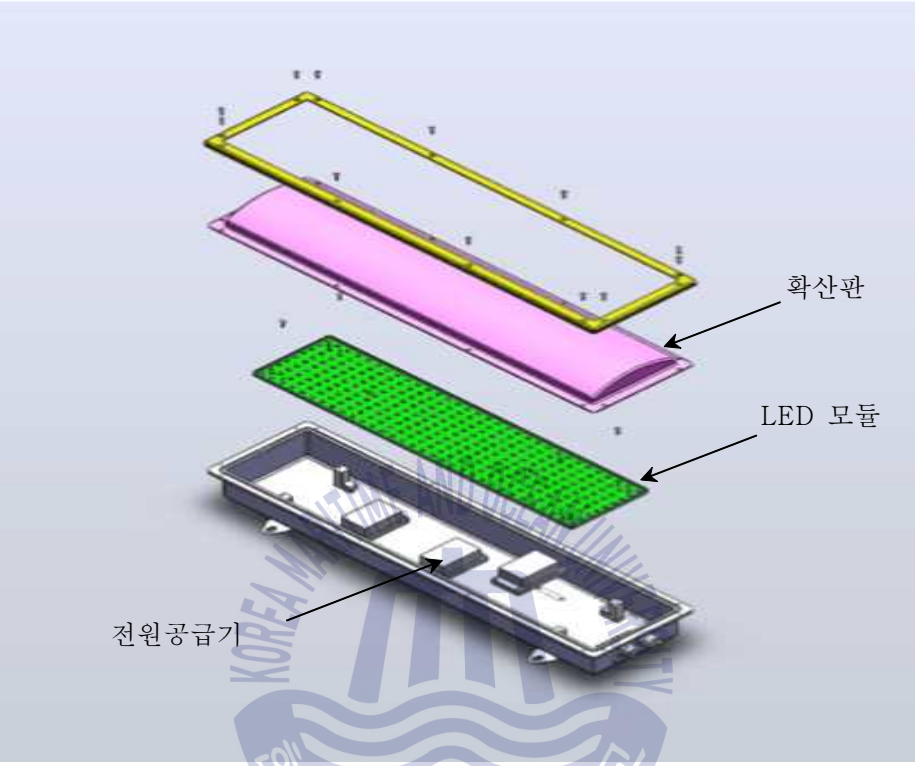


그림 3.2 노출형 LED 조명기구의 구조

Fig. 3.2 Structure of a surface type LED luminaire

Collection @ kmou

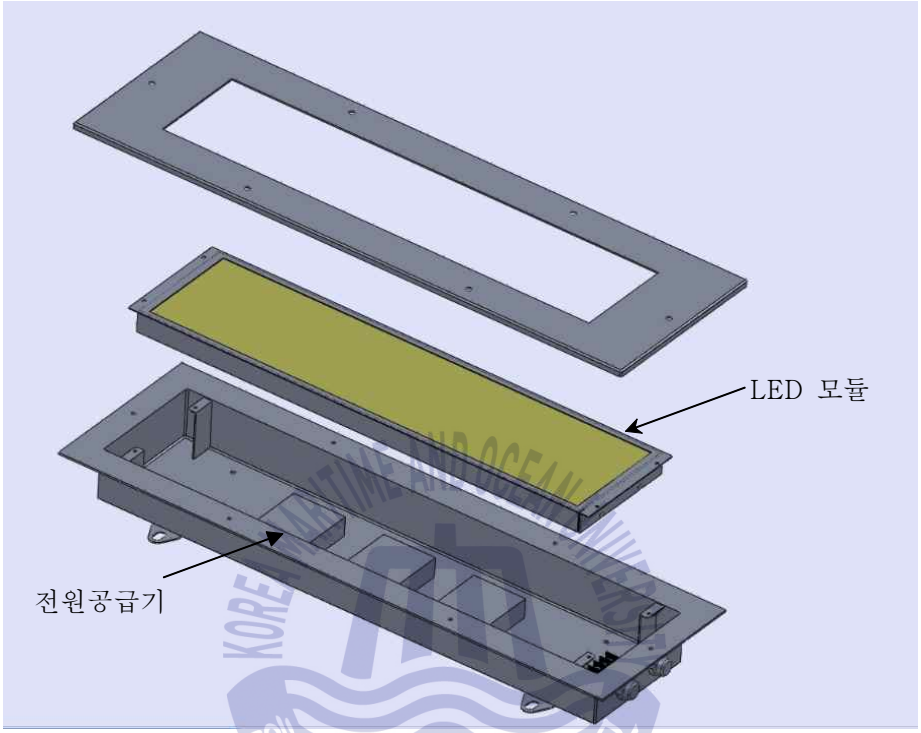


그림 3.3 매입형 LED 조명기구의 구조
Fig. 3.3 Structure of a flush type LED luminaire

3.2 요구사항 검증

가. 전기적, 광학적 성능

제작된 LED 조명기구의 소비전력, 광속, 효율 및 배광을 측정하였다. 측정한 결과를 기준으로 전기적, 광학적 요구사항의 검증을 수행하였고, 함정의 격실 모델을 이용하여 조명 시뮬레이션으로 빛 퍼짐과 조도 등의 만족여부를 확인하였다. 표 3.2는 제작된 LED 조명기구의 전기적, 광학적

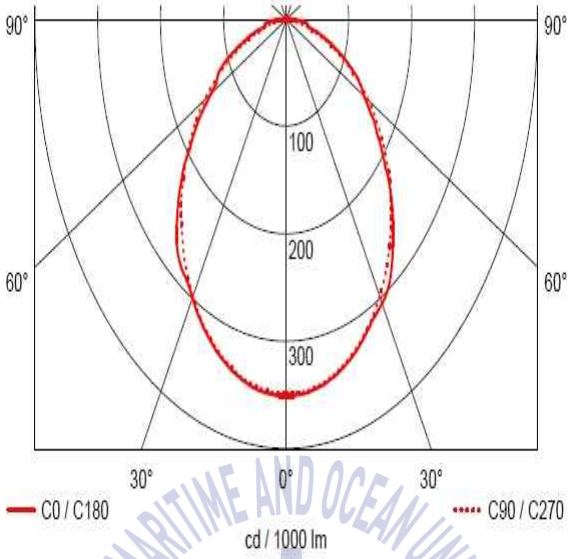
Collection @ kmou

특성을 보여준다. 전기적 성능 및 광학적 성능 모두 요구조건에 만족함을 알 수 있었고, 측정된 빔 각은 115도 이상으로 그림 3.4와 그림 3.5에서 보여준다. 형광등의 빔 각과 유사하게 측정되었고, 구축함의 장교침실, 사병침실, 기관조종실을 대상으로 조명 시뮬레이션으로 광학적 성능을 검증하였다.

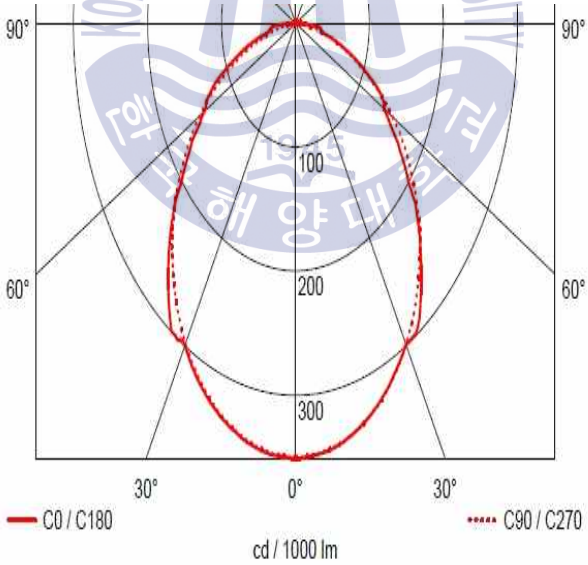
표 3.2 함정용 LED 조명기구의 전기적, 광학적 특성
Table 3.2 Electrical and optical performance for LED luminaires

구분		소비전력 [W]			총광속 [lm]			광효율 [lm/W]	
		형광등	LED	절감율 [%]	형광등	LED	증가율 [%]	형광등	LED
노출형	2회로	53	24.9	53.1	1,855	1,995	7.5	35	80.1
	3회로	81.2	35.6	56.2	2,576	2,796	8.9	31.6	78.5
매입형	2회로	53	23.5	55.7	1,356	1,632	20.4	25.6	69.4
	3회로	81.2	28.1	65.4	1,697	1,975	16.4	20.9	70.2

Collection @ kmou



(a) 2회로

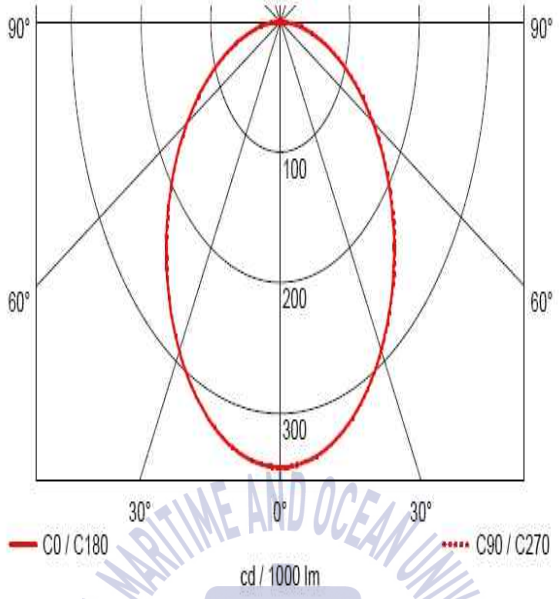


(b) 3회로

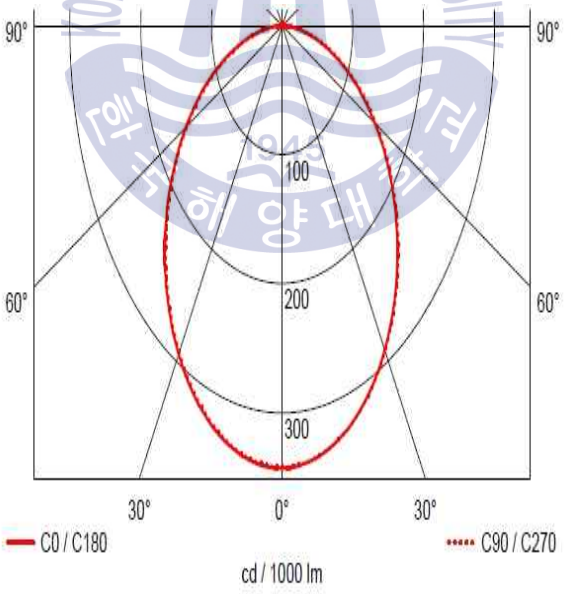
그림 3.4 노출형 LED 조명기구의 배광곡선

Fig. 3.4 Light distribution curve of the surface type LED luminaires

Collection @ kmou



(a) 2회로



(b) 3회로

그림 3.5 매입형 LED 조명기구의 배광곡선

Fig. 3.5 Light distribution curve of the flush type LED luminaires

Collection @ kmou

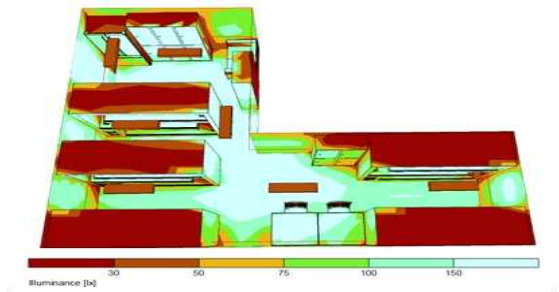
① 조명 시뮬레이션

격실 내에서 빛의 퍼짐을 분석하여 광 균일성을 측정하였다. 해군 함정의 실제 도면을 기준으로 설정하였고, 형광등과 LED 조명기구에 대하여 조명 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3.6과 그림 3.7은 구축함의 승조원 침실과 장교 침실을 대상으로 수행한 조명 시뮬레이션 결과를 보여준다. 천정높이는 2m, 벽체 반사율은 0.35, 천장 및 바닥 반사율은 0.3, 3등용을 공통으로 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 형광등을 적용한 것과 LED 조명기구를 적용할 경우 광학적 특성은 유사함을 알 수 있었고, 특히 LED 조명기구의 높은 휘도로 승조원의 불쾌감을 없애기 위하여 불투명 글로브를 이용하여 배광과 광속을 제한한 것이 타당함을 알 수 있었다. 실제 조명 시뮬레이션에서 보이는 것과 같이 형광등보다 LED 조명기구가 조금 더 밝은 것을 알 수 있지만, 육안으로 확인은 불가하였다. 이는 광학적 특성이 유사하여 형광등을 LED 조명기구로 1:1로 교체하여도 무방하다는 결론을 얻을 수 있었다. 표 3.3은 시뮬레이션 결과이다[34].

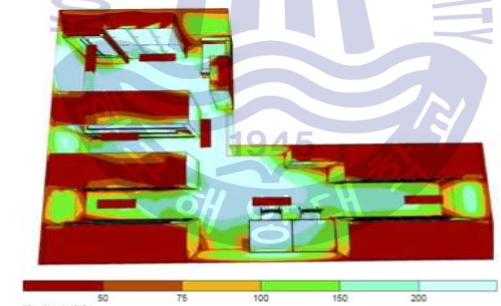
표 3.3 시뮬레이션 결과
Table 3.3 Simulation results

구분	형광등 적용	LED 조명기구 적용
소비전력	568.4 W	249.2 W
평균조도	305 lx	504 lx
균제도 u1	0.25	0.24
균제도 u2	0.15	0.14

Collection @ kmou



(a) 형광등기구

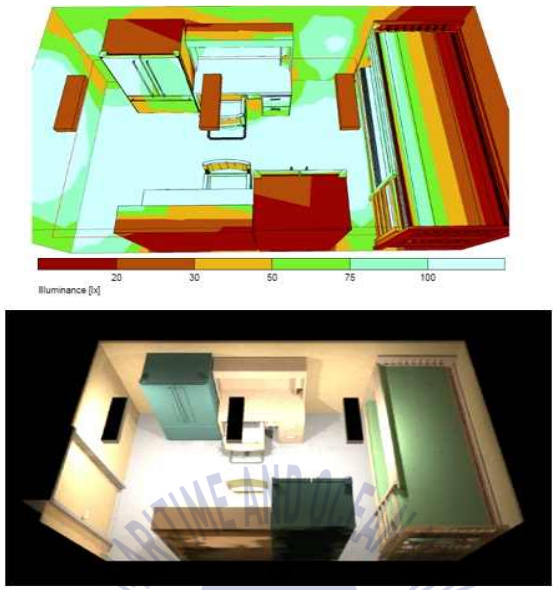


(b) LED 조명기구

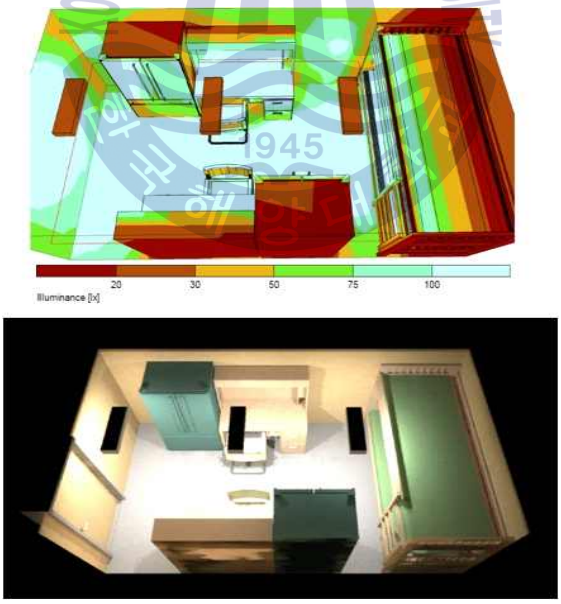
그림 3.6 승조원 침실에 대한 시뮬레이션 비교

Fig. 3.6 Comparison of simulation for a crew's living room

Collection @ kmou



(a) 형광등



(b) LED 조명기구

그림 3.7 장교 침실에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 3.7 Comparison of simulation for an officer's living room

Collection @ kmou

소비전력은 약 56% 감소되었으며, 평균조도는 65% 향상되었음을 알 수 있다. 광 균일성 지표인 균제도 u1, 균제도 u2는 형광등과 대비하여 거의 동일함을 알 수 있었다. u1은 평균 조도와 최소 조도의 비이며, u2는 최대 조도와 최소 조도의 비이다.

② 실선 조도측정

함정에 설치된 이후 조명등은 각 격실별로 규정된 조도의 만족여부를 확인하기 위하여 시운전을 수행하며, 시운전을 통하여 LED 조명기구 적용에 대한 최종 검증을 수행하였다.

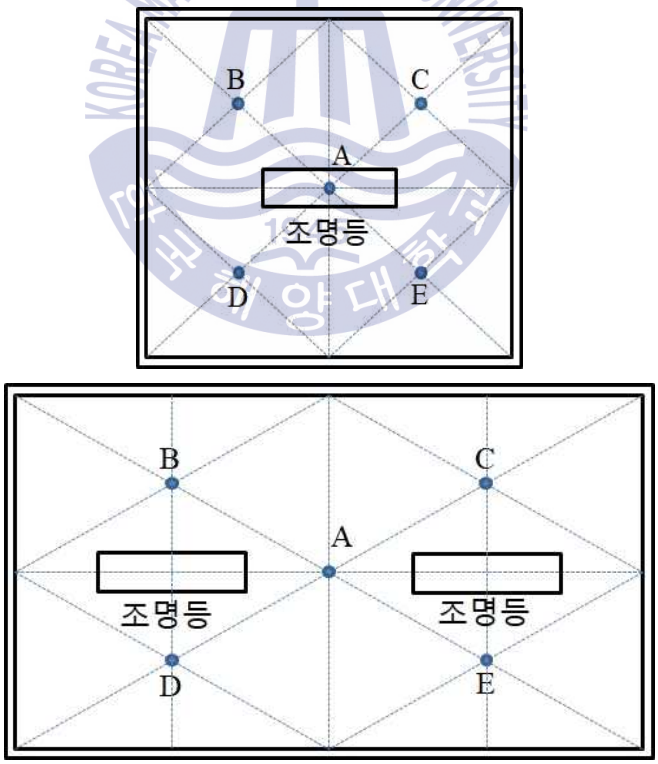


그림 3.8 측정 방법

Fig. 3.8 Measurement method

Collection @ kmou

조도 측정방법은 측정하기 1.5시간 전에 점등하고, 깨끗한 상태로 유지한다. 또한, 바닥으로부터 760 mm 상부의 조도를 측정하며 격실의 형태와 면적을 고려하여 다섯 곳을 측정한 후 평균치를 기록한다. 또한 조명기구가 설치되지 않은 공간을 측정한다. 그림 3.8은 함정 내 조도 측정방법이다. 측정 방법에 따라 함정의 모든 격실 및 통로에 대하여 조도를 측정한 결과는 표 3.4에 보여준다. 모든 구역에서 기준만족 하였으며, 계산된 요구조도에 비해 높은 측정조도가 되었음을 알 수 있다. 밝아진 함정 격실로 승조원의 눈 피로도 감소에 도움이 될 것으로 판단되며, 승조원의 조명 만족도 조사를 통하여 재검증한다.

표 3.4 격실별 측정 조도
Table 3.4 Measurement illuminance by compartment

순번	구획	형등	요구조도 [lx]	측정조도 [lx]
1	조타실	적용	75	95
2	항해창고	미적용	32	270
3	통로	적용	75	275
4	해도실	적용	151	350
5	화생방전출구	미적용	75	800
6	통신장비실	적용	151	280
7	제2분전실	미적용	151	750
8	레이더장비실	적용	151	350

Collection @ kmou

표 3.4를 보면, 승조원이 거주하는 구역의 조도가 특이 높아짐을 알 수 있으며, 이는 승조원의 눈 피로를 감소시키고, 철판으로 만들어진 함정의 분위기도 온화하게 만드는 효과가 있었다. 다만, 휘도가 높아짐에 따라 조명의 바로 밑 부분인 가장 밝은 부분과 가장 어두운 부분의 조도 차이가 $\frac{1}{2}$이상 발생하여, 수상함구조함(ATS-2, Auxiliary Towing Salvage-2)의 경우 위치 이동이 많았다[33]. 향후, 건조되는 함정은 조명 시뮬레이션으로 충분히 광 균일성을 고려하여 조명 수량 및 설치 위치를 결정할 필요가 있다.

나. 환경성능

형광등 및 백열등과 같은 조명기구는 진동, 소음, 충격 및 전자기 간섭과 같은 환경조건에 대하여 미 국방규격을 적용하고 있다. 제안된 함정용 LED 조명기구도 진동, 소음, 충격 및 전자기간섭은 미 국방규격을 적용하였다. 특히, 함정에 설치된 후 운항조건에 따른 조명기구에 인가되는 진동에 대한 성능 및 AC/DC 컨버터 적용에 따라 전압변환 소음에 대한 성능, 통신기와 레이다 등과 같은 전자기 환경에서의 LED 조명기구 성능확인과 규격의 적절성에 대하여 분석한다.

① 진동

함정에 탑재되는 장비의 진동규격은 함정 설치 후 함 운항에 따라 함에서 발생하는 진동을 견딜 수 있도록 미 국방규격 MIL-STD-167-1A Type I 규격을 적용한다. 시 제작된 조명기구의 3축에 대한 공진주파수를 탐색하고 규격에서 제시된 범위에서 내성을 확인하기 위하여, 시험 장비 위에 대상 탑재장비를 고정하고 표 3.5에 따라 성능을 확인하였다[26].

Collection @ kmou

표 3.5 가진 범위
Table 3.5 Vibratory displacement

주파수 범위 (Frequency Range)	가진 범위 (Vibratory Displacement)
4 ~ 15 [Hz]	0.762 ± 0.1524 [mm]
16 ~ 25 [Hz]	0.508 ± 0.1016 [mm]
26 ~ 33 [Hz]	0.254 ± 0.0508 [mm]

표 3.6 공진시험 결과
Table 3.6 Results of resonance test

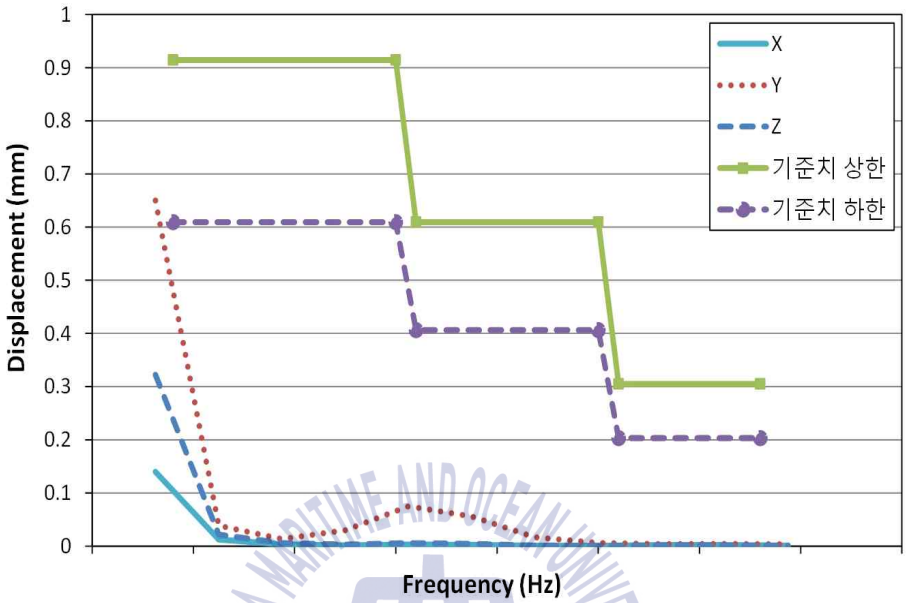
시험방향	주파수범위 [Hz]	공진주파수 [Hz]	주파수 응답 [Q]
X축 (좌우방향)	4 ~ 33	없음	-
Y축 (전후방향)	4 ~ 33	없음	-
Z축 (상하방향)	4 ~ 33	33	2.4

표 3.6은 공진시험 결과를 나타내며, 실제 함정에 설치된 형광등에 가진되고 있는 진동을 측정하고, 제안된 진동 요구사항 만족여부를 확인하고자 실선 계측을 수행하였다. 계측한 함정은 항만수송정, 항만경비정, 청수정,

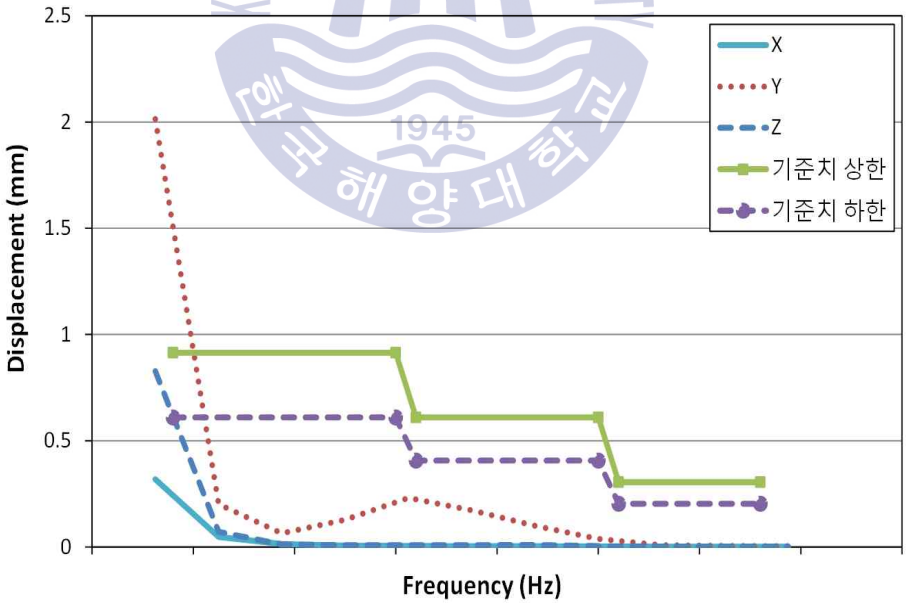
Collection @ kmou

고속정, 구축함을 대상으로 하였으며, 여러 함정운용 경우에 대하여 측정을 하였다. 함정의 천정에 설치된 형광등의 지지대에 가진되는 진동을 측정하였고, 지지대의 3방향에 대하여 가속도계를 설치하였다. 잡음 신호 영향을 배제하기 위하여 100회 평균하였다. 측정 당시의 해상 상태는 모든 계측의 경우 파고가 0.5 ~ 1 m 정도로 매우 양호하여 파도 및 함 운동에 의한 선체 진동이 측정 대상인 형광등의 진동에 영향을 미치지 않는다고 판단하였다. 항만수송정(YF : Yard Ferry)은 47톤급 함정으로 주로 인원 이송이나 물자이송을 위하여 이용되나 연안에서의 경비를 위하여도 광범위하게 활용되고 있다. 선체는 유리섬유강화 플라스틱(FRP, Fiber glass Reinforced Plastic)으로 건조되었고, 순항속력은 21 kts 정도이며, 야간의 연안 경비를 위한 순찰 시에는 14 kts정도의 속력을 내도록 만들어져 있다. 그림 3.9는 항만수송정의 순항속력 및 최대속력에서 인가되는 진동값을 보여준다. 기준치 상한과 하한값은 MIL-STD-167-1A에서 요구된 주파수별 기준값이며, 순항속력의 경우 전 구간에서 만족하고 있음을 알 수 있다. 최고속력의 경우 수직방향(Z방향) 진동이 기준치 하한을 넘고 있으나 상한치는 넘지 않고 있었다. 최대속력의 경우 수직방향에서 진동이 높게 측정됨을 알 수 있었다. 유리섬유강화 플라스틱으로 제작된 함정의 특성으로 선체가 가벼워 속력이 증가할 경우 변위가 크게 변하고 해수면과의 충격이 일어나기 때문으로 판단된다. 진동 특성 중 주파수는 함정의 보안으로 표시하지 않았다[2].

Collection @ kmou



(a) 순항속력



(b) 최고속력

그림 3.9 항만수송정의 진동 특성

Fig. 3.9 Vibration characteristics in a Yard Ferry

Collection @ kmou

항만경비정(YUB : Yard Utility Boat)은 70톤급 함정으로 도서 및 항만 연안의 경비를 위하여 사용된다. 선체는 항만수송정과 동일하게 유리섬유 강화 플라스틱으로 건조되었고, 순항속력은 22 kts, 최대속력은 30 kts정도 이다. 항만경비정의 경우 함 운용 제한으로 인하여 순항속력에서만 측정하였다. 측정된 결과는 그림 3.12에 보여주며, 모든 값이 기준 만족함을 알 수 있었다. 비록 최대속력에서 계측을 하지 못하였지만, 순항속력에서 진동의 양상이 항만경비정과 비슷하고, 동일한 유리섬유강화 플라스틱 선체로 건조되어 최대속력에서도 유사한 결과를 예측할 수 있다[2].

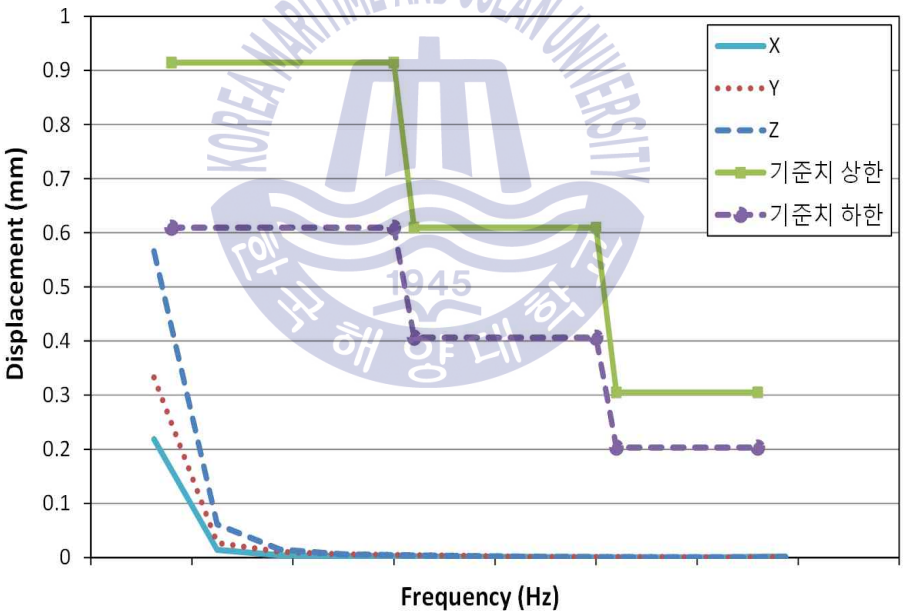


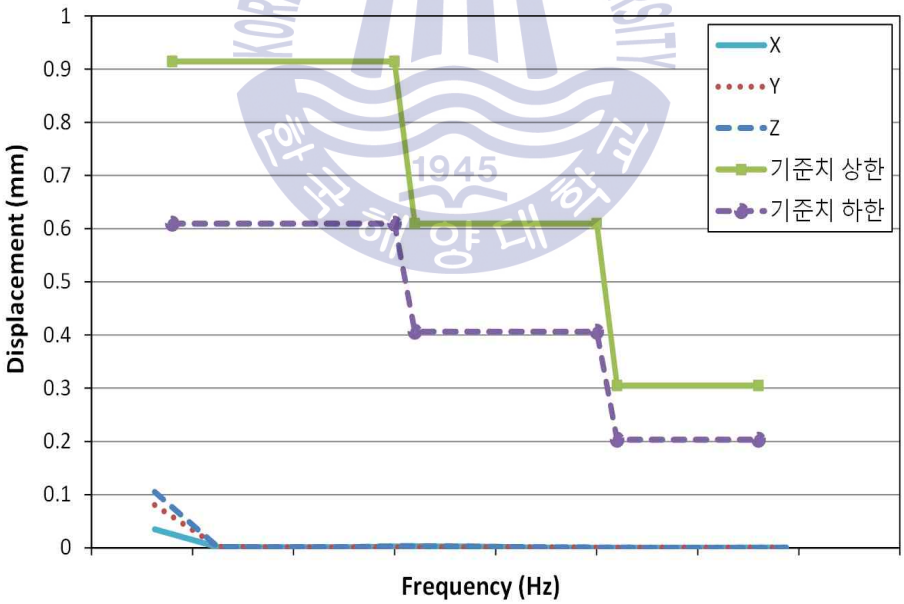
그림 3.10 항만경비정의 진동 특성

Fig. 3.10 Vibration characteristics in a Yard Utility Boat

청수정(YWS : Yard Water Ship)은 665톤급 함정으로 해군기지 및 도서지역에 청수를 공급하는 역할을 담당하는 함정으로 배의 중앙 선저부에

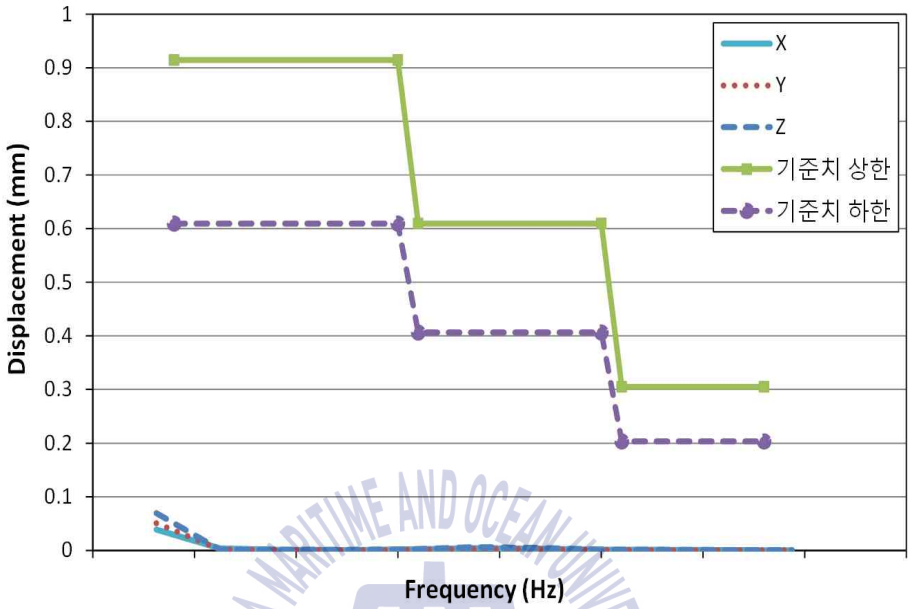
Collection @ kmou

청수를 담아 이송한다. 선체는 강철로 건조되었고 승조원을 위한 공간은 함정의 주 갑판부에 위치해 있다. 순항속력은 11 kts정도이다. 청수정은 엔진부하가 50%, 75%, 100%에서 계측하였으며, 계측한 결과는 그림 3.11에서 엔진부하에 따라 보여준다. 결과는 모든 방향에서 기준값을 만족하고 있음을 알 수 있었다. 청수정의 경우 함정 특성 상 배의 중앙 선저부에 배의 절반 이상 크기의 탱크에 물을 가득 싣고 운항하게 되어, 무게중심이 낮고 탱크의 물 때문에 자체 중량도 많이 나가게 된다. 또한 저장된 물이 외부충격 및 내부 기관실의 엔진, 발전기에서 발생되는 기진력을 상당부분 흡수하기 때문에 형광등에서 계측되는 진동이 크게 낮음을 알 수 있었다[2].

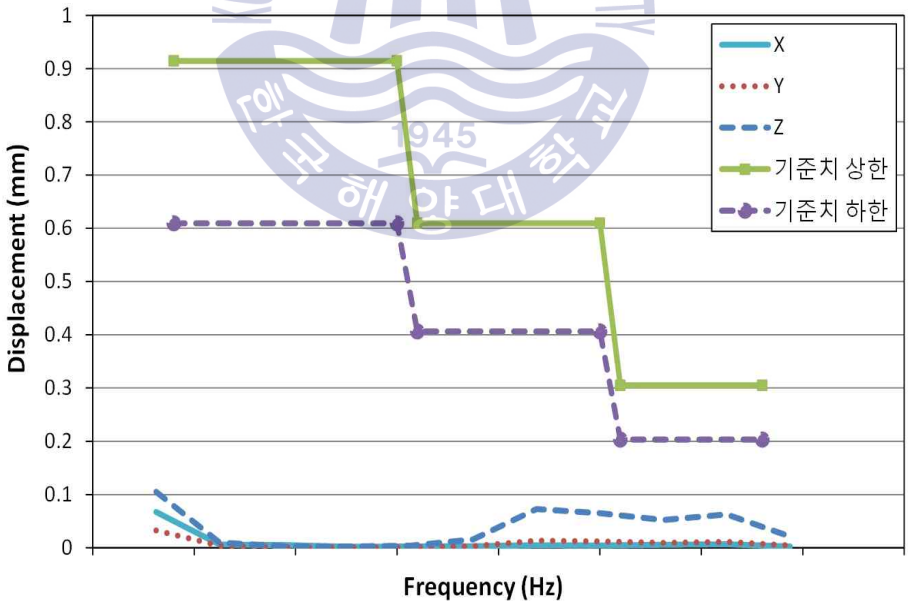


(a) 엔진부하 50%

Collection @ kmou



(b) 엔진부하 75%

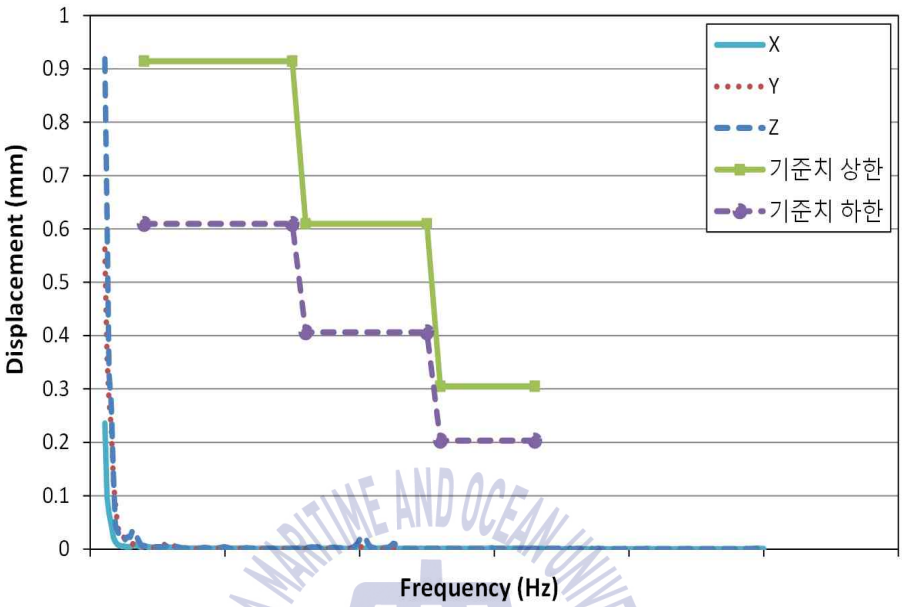


(c) 엔진부하 100%

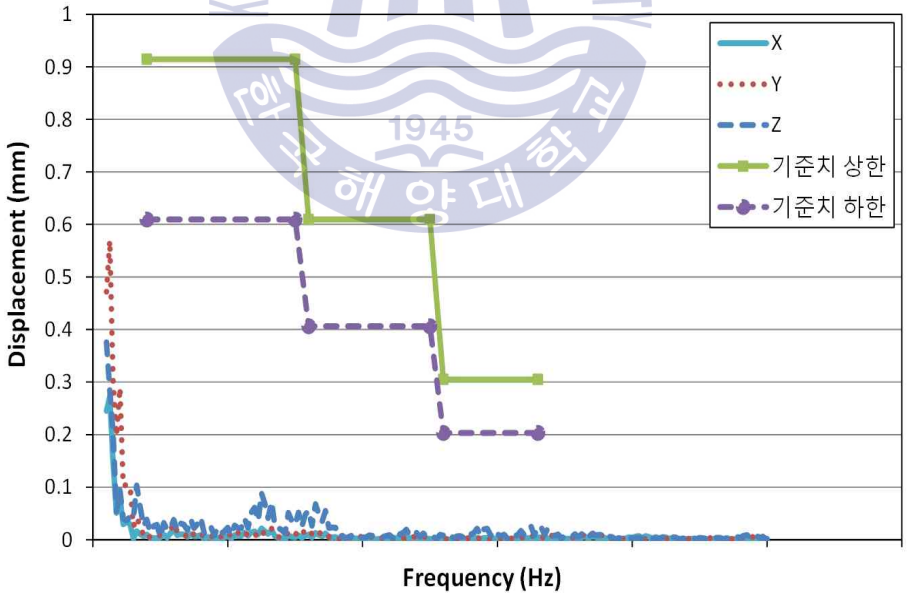
그림 3.11 청수정의 진동 특성

Fig. 3.11 Vibration characteristics in a Yard Water Ship

Collection @ kmou



(a) 최고속력



(b) 사격중

그림 3.12 검독수리-A의 진동 특성

Fig. 3.12 Vibration characteristics in a PKG-A

Collection @ kmou

지원함과 달리 전투함의 경우, 함 속력 및 함포사격과 같은 특수한 조건이 있어, 반드시 확인이 필요하였다. 특히 고속정은 노후된 고속정을 대체하기 위하여 건조되었고, 적 함정과의 전투를 목적으로 건조하여 디젤엔진과 개스터빈 엔진이 탑재되어 최고속력이 40 kts를 상회한다. 이런 이유로 고속에 따른 해수면과의 마찰 및 충격에 의해서 큰 진동이 발생하고 있는 함정이기도 하다. 측정은 실험 여건상 선수에 설치된 76 mm 주포 사격실에 설치된 형광등을 대상으로 최고속력과 함포 사격중에 실시하였다. 그림 3.12에서 최고속력과 함포 사격중에 계측된 진동을 보여주며, 미 국방규격에서 규정한 주파수 범위 내 에서는 모든 방향에서 기준치를 넘지 않고 있었다. 하지만 그 이하 저 주파수에서는 큰 진동이 발생하고 있음을 알 수 있었다[2].

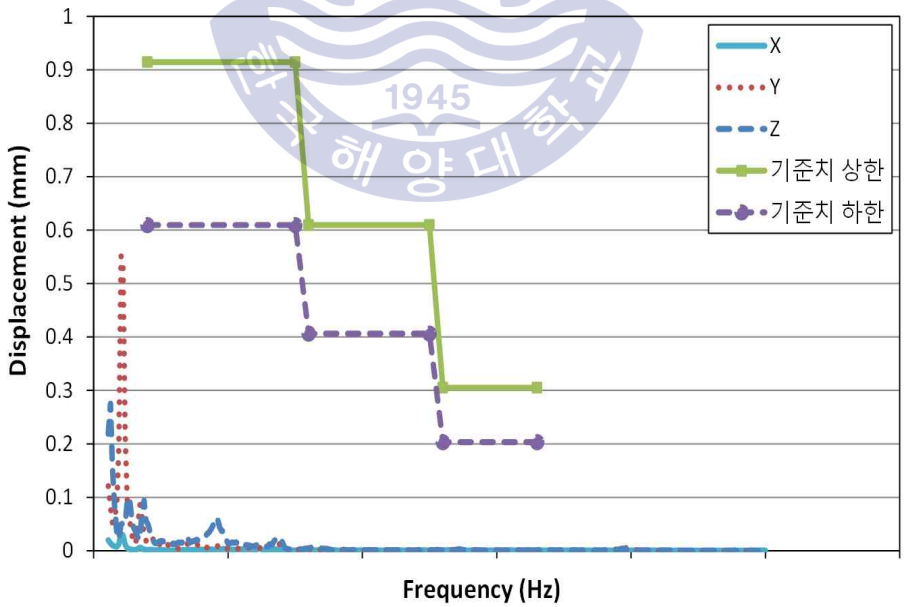


그림 3.13 광개토-III급의 진동측정
Fig. 3.13 Vibration characteristics in a KDX-III

Collection @ kmou

마지막으로 구축함에 설치된 형광등에 인가되는 진동을 계측하였다. 구축함 경우는 함미 주갑판 하부에 위치한 타기실에 설치된 형광등을 대상으로 하였다. 그림 3.13은 타기실에 설치된 형광등에서 계측한 결과를 보여준다. 표 3.7에서 각 함정의 운행조건에 따라 형광등에서 진동측정 결과이다. 대부분의 함정에서 계측된 결과를 보면 진동의 경우 미 국방규격인 MIL-STD-167-1A를 적용하는 것은 타당한 것으로 판단되었고, 개발되는 LED 조명기구에 진동규격을 적용함에 문제가 없음을 알 수 있었다. 표 3.7에서 보는 것과 같이 항만수송정의 경우 최대속력에서 상하방향(Z방향)의 경우 기준치를 넘고 있다. 그러나 최대속력 조건이 많지 않고, 공진주파수와 달라 공진이 걸릴 가능성이 낮아 큰 문제가 발생하지 않을 것으로 판단되었다. 그러나, 선체가 유리섬유강화 플라스틱으로 건조된 함정처럼 중량이 가벼운 함정과 고속정과 같이 고속기동 및 사격중에는 보다 많은 진동이 인가될 가능성이 있으므로, 상기 장소에 설치되는 LED 조명기구에는 고무마운트와 같은 충격 흡수장치가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 고속정의 경우 미 국방규격에서 정의되지 않은 저 주파수대역에서 큰 진동이 발생하고 있어, 향후 이점에 대한 종합적인 연구가 추가적으로 필요할 것이다[2]. 함정에 탑재된 후 지지대 보강과 고무마운트 적용으로 저 주파수대역의 진동을 통제하였고, 현재까지 고속정에서 진동과 관련된 형광등의 불만사항과 같은 품질정보는 없었다[5]. 측정 결과에서 주파수는 함정에서 중요한 내용으로 표시하지는 않았다.

Collection @ kmou

표 3.7 형광등기구에서 진동 특성

Table 3.7 Vibration characteristics in fixtures with fluorescent lamp

측정대상 함정 및 조건	최대진폭 [mm]		
	X축	Y축	Z축
항만수송정 (순항속력)	0.140	0.322	0.650
항만수송정 (최대속력)	0.318	0.828	2.015 (3.1Hz)
항만경비정 (최대속력)	0.132	0.248	0.509
청수정 (엔진부하 50%)	0.035	0.081	0.105
청수정 (엔진부하 75%)	0.040	0.053	0.069
청수정 (엔진부하 100%)	0.075	0.039	0.146
고속정 (최대속력)	0.439	1.121	1.449
고속정 (사격중)	1.838	0.112	7.410
구축함 (최대속력)	0.018	0.149	0.289

Collection @ kmou

② 소음

형광등의 경우 안정기에서 발생하는 소음으로 인하여, 미 국방규격에서는 MIL-STD-740에 따라 규제를 하였다. 실제 함정에 설치된 형광등을 보면 안정기에 문제가 발생하면 기계적인 소음이 발생한다. 이 소음은 함선체를 따라 수중으로 전달되어 수중방사 소음원이 되기도 한다. 따라서, 소음에 대한 규제가 필요하였다. 하지만 LED 조명기구의 경우 안정기가 설치되지 않아 소음에 대한 영향성이 없을 것으로 판단되었으나, 소음 발생여부를 측정하였다. 본 절에서는 소음시험 요구조건과 시험한 결과에 대하여 기술하였으며, 표 3.8은 MIL-STD-740에 규정된 공기소음 기준값을 나타낸다. 그림 3.14는 측정된 결과를 보여주며, 결과는 배경소음과 LED 조명기구 동작 소음에 별 영향이 없었다[27].

표 3.8 공기 소음의 기준
Table 3.8 Requirements of air noise

Airborne grade	sound power levels, ref. 10^{-12}[W] for center frequencies of standard octave bands								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A	65	62	60	57	55	51	48	45	42
B	97	96	86	83	80	78	77	76	75
C	92	85	79	75	72	69	67	65	64
D	122	117	112	107	97	92	92	92	92

Collection @ kmou

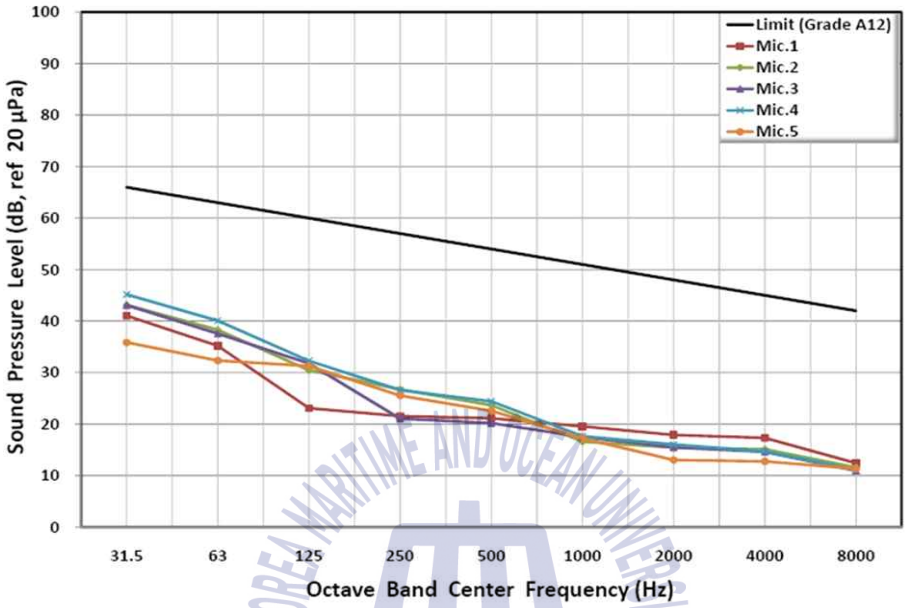


그림 3.14 LED 조명기구의 소음 레벨
Fig. 3.14 Noise level of the LED luminaire

그림 3.14의 시험결과를 보면, 마이크 1, 2는 주위소음을 측정한 그래프이고, 마이크 3, 4, 5는 함정용 LED 조명기구 동작 시 측정된 결과이다. 주위소음과 거의 유사하게 측정됨을 알 수 있었다. 따라서 함정용 LED 조명기구의 소음 요구사항은 적용하지 않아도 무방할 것으로 판단하여 요구사항을 삭제하였다.

③ 전자기 간섭

운용중인 함정의 형광등은 간헐적으로 무전기와 같은 통신기를 사용하면 입전 현상으로 형광등이 깜빡거리는 현상이 발생하였다. 이러한 현상

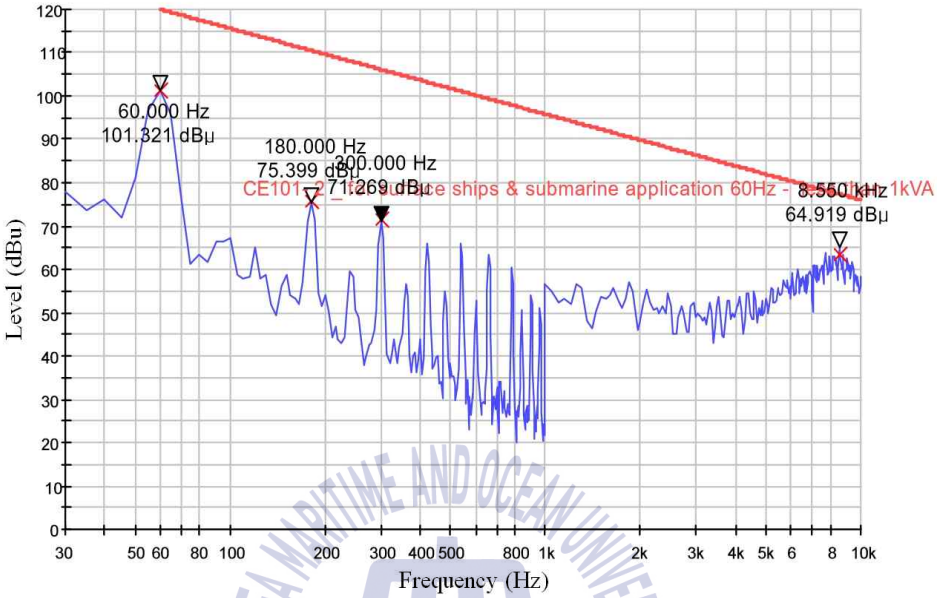
Collection @ kmou

을 방지하기 위하여 전자기 간섭 미 국방규격인 MIL-STD-461F 요구사항을 반영하였고, 요구사항 적용 타당성을 분석하였다. MIL-STD-461F에 따르면 함정 탑재 장비에 대한 시험 요구조건이 정의되어 있다. 표 3.9는 함정 탑재장비의 전자기 간섭 시험 항목을 보여준다. CS와 RS 항목은 인가하는 주파수에서 수검기기의 정상동작으로 확인하였다.

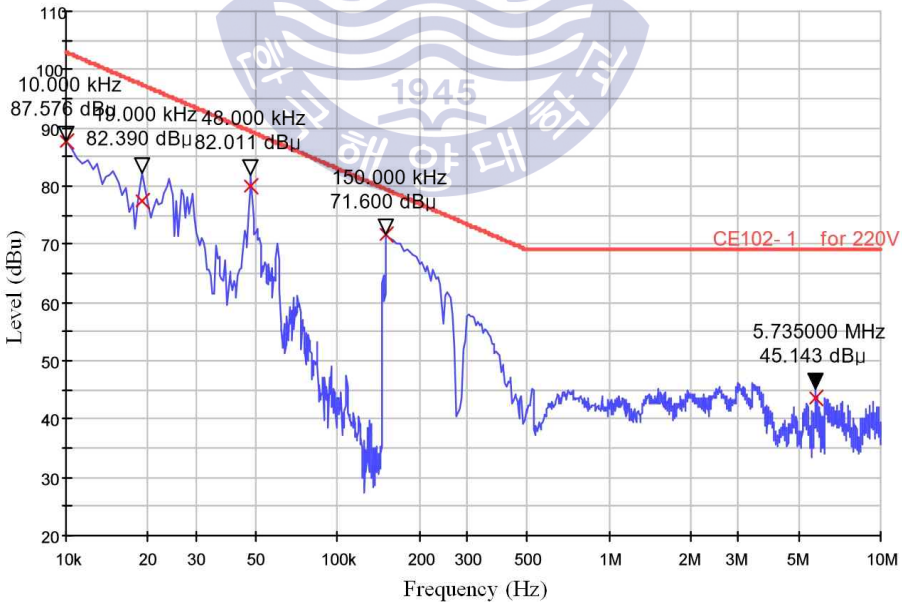
표 3.9 전자기 간섭에 대한 시험 항목
Table 3.9 Test items of the EMI/EMC test

항목	내용
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	Conducted Emissions, Power Leads, 10 kHz to 10 MHz
RE101	Radiated Emissions, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RE102	Radiated Emissions, Electric Field, 10 kHz to 18 GHz
CS101	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Intermodulation, 15kHz to 10 GHz
CS106	Conducted Susceptibility, Transients, Power Leads
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cable and Power Leads, 10 kHz to 100 MHz
RS101	Radiated Susceptibility, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field, 2 MHz to 40 GHz

Collection @ kmou

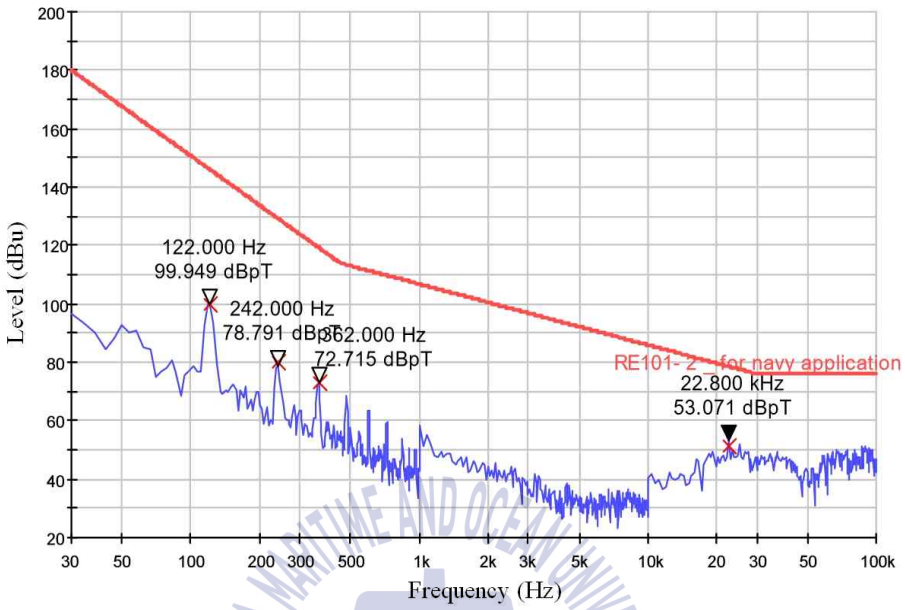


(a) CE101

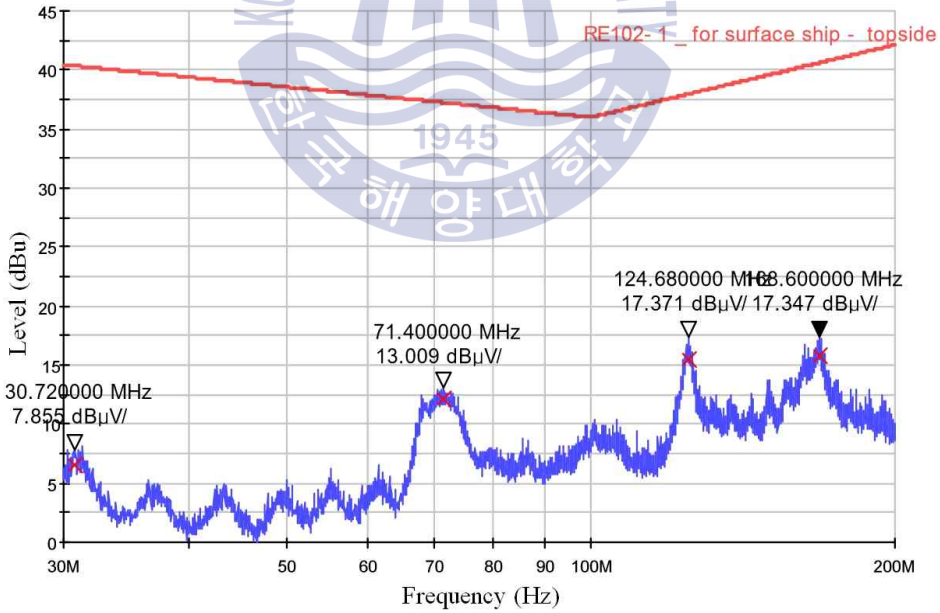


(b) CE102

Collection @ kmou



(c) RE101



(d) RE102 (30 ~ 200 MHz)

그림 3.15 전자기 간섭의 시험결과

Fig. 3.15 EMI/EMC test results

Collection @ kmou

④ 방열성능

함정용 LED 조명기구의 방열 성능을 확인하기 위하여, 공장수락시험(FAT, Factory Acceptance Test) 시 발열을 측정하였다. 표 3.10에 최대 상승온도 시험의 기준값을 보여준다.

표 3.10 최대 온도상승시험 기준
Table 3.10 Maximum temperature rise test

항목	시험방법	기준
최대온도 상승시험	LED 조명기구에 전원을 인가하여 8시간 안정화를 거치고 각 부위의 온도를 계측한다.	사람의 접촉이 가능한 부위 : 60 ℃ 이하
		접속용 단자의 온도 : 40 ℃ 이하
		광원 및 컨버터 온도 : 60 ℃ 이하
		조명기구의 온도 : 40 ℃ 이하

온도 계측은 글로브, 케이블, 컨버터, 조명기구 내부, 조명기구 외부, 광원, 그랜드 및 몸체부위를 측정하였다. 계측된 결과는 표 3.11에 보여준다. 모든 계측부위는 요구조건에 만족하였다. 공장수락시험 시 수행한 최대상승온도 시험은 연구실에서 수행한 결과이며, 함정에 탑재된 이후 측정시험을 수행할 필요가 있었고, 수상함구조함에 설치한 후 최대온도 상승 시험을 수행하였다[30]. 시험결과는 그림 3.16에서 보여주며, 시험결과는 모두 만족하였다. 함정에 설치된 이후에는 상대적으로 주위온도가 높은 기관구역과 기관조종실, 승조원휴게실을 대상으로 LED 조명기구의 내부 발생열을 측정하여 방열설계에 대해 검증하였다. 기관실의 경우 디젤발전기와 디젤엔진이 동작 중에 측정하였으며, 수상함구조함 기관실은 상부와 하부

Collection @ kmou

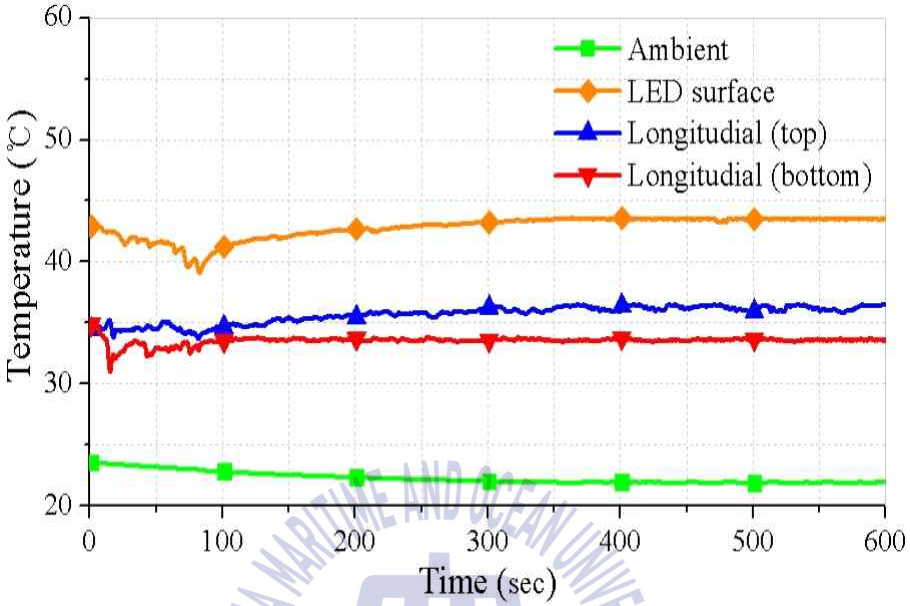
로 분리되어 있어 상부와 하부에 설치된 조명기구에 대하여 모두 검증을 하였다. T-Log를 이용하여 측정하였고, 온도센서는 LED 기판 표면과 뒷면 그리고 측면에 설치하였다. 측정결과 주위온도는 25 ℃정도에서 LED 표면의 온도가 기관실 하부에서 가장 높은 52 ℃가 측정되었다. 온도에 의한 LED 소자의 수명감소는 거의 일어나지 않을 것으로 판단되었다.

표 3.11 최대 온도상승 측정
Table 3.11 Measurements of Maximum temperature rise test

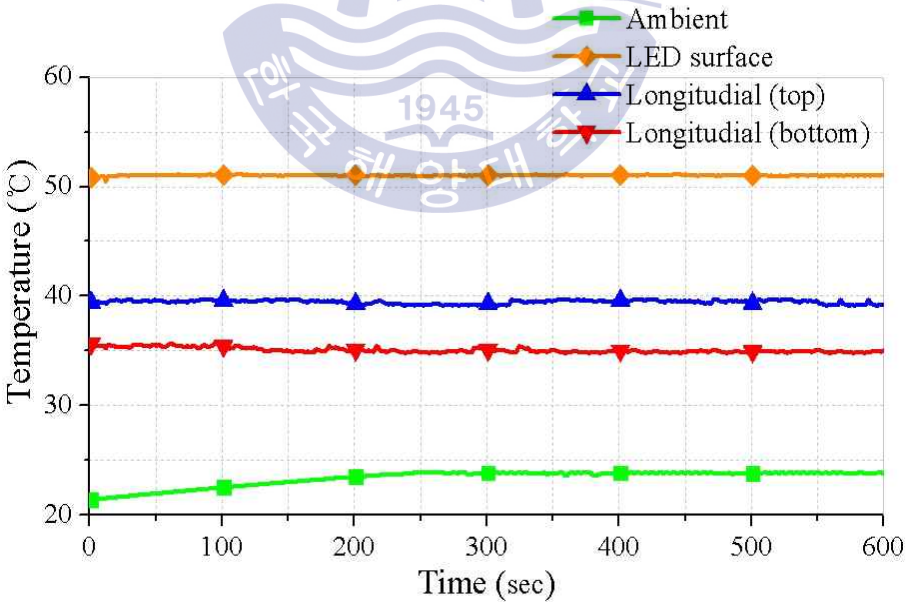
위치	글로브	케이블 1	케이블 2		스위치
측정온도 [℃]	32.6	34.6	34.4	41.4	28.2
위치	내부	외부	광원	그랜드	몸체
측정온도 [℃]	38.0	23.6	44.6	25.0	30.7

함정에 설치 후 최대 온도상승 측정 결과는 표 3.12에서 나타내며, 함정에 설치된 이후에도 최대 온도상승 기준에 만족하였다.

Collection @ kmou

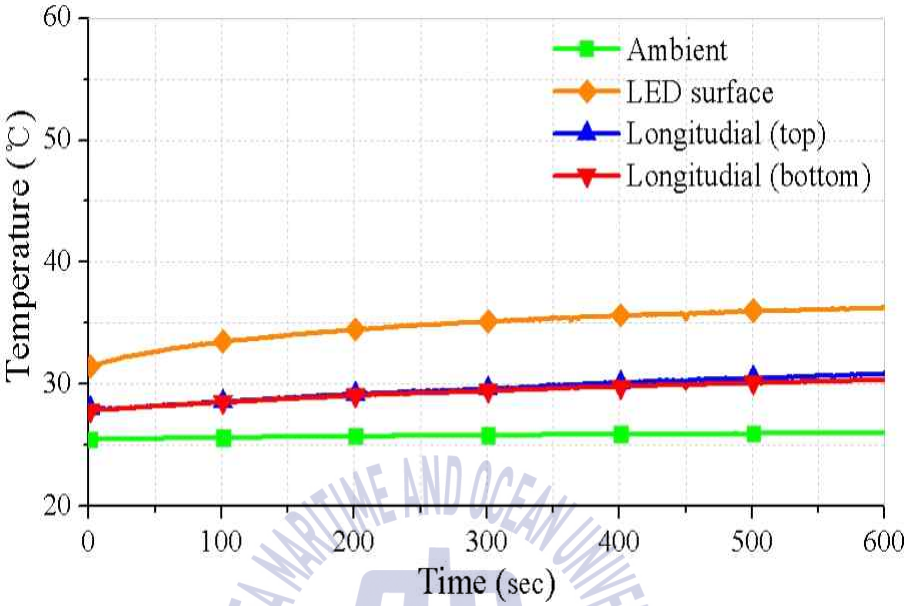


(a) 기관실 하부

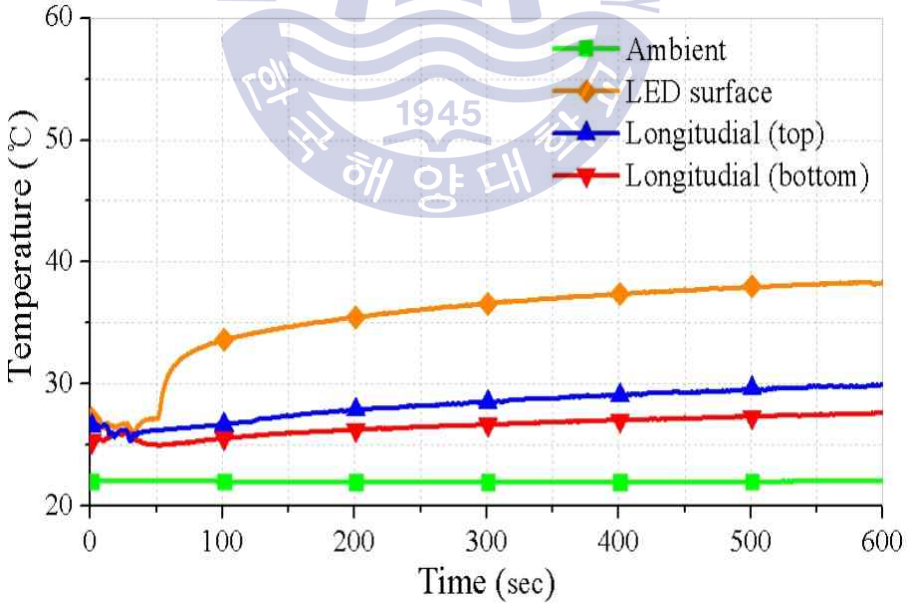


(b) 기관실 상부

Collection @ kmou



(c) 기관 조종실



(d) 승조원 휴게실

그림 3.16 최대 온도상승 측정

Fig. 3.16 Measurement of maximum temperature rise

Collection @ kmou

표 3.12 최대 온도상승의 실선 측정결과
Table 3.11 Measurement results of maximum temperature rise

위치	주위온도 [℃]	LED 표면 [℃]	LED 측면 [℃]
기관조종실	약 25	약 38	약 30
기관실 상부	약 23	약 43	약 35
기관실 하부	약 21	약 52	약 40
승조원휴게실	약 25	약 35	약 26

KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

다. 기본성능

표 2.10에서 정의한 LED 조명기구 요구조건에 대한 기본성능에 대한 검증을 수행하였고, 그 결과는 표 3.13에서 보여준다.

표 3.13 기본성능 시험결과
Table 3.13 Test results for the basic performance

순번	검사항목	시험기준	결과
1	재료검사	LED 조명기구를 구성하는 재료 및 부품은 규격화된 품목으로 도면에 명시된 재질을 사용	기준 만족
2	형태, 치수, 중량	LED 조명기구의 구조, 모양, 중량 및 치수는 도면에 따른다.	기준 만족

Collection @ kmou

3	도장검사	LED 조명기구의 도장은 도면상에 명기된 도장방법 및 색상을 적용한다.	기준 만족
4	재질과 가공	LED 조명기구 PCB의 날카로운 모서리와 덧 살이 제거되어야 한다. 기판은 습기와 곰팡이로 부식되지 않도록 코팅처리 되어야 한다.	기준 만족
5	구조시험	LED 조명기구의 구조는 KS C IEC 60598-1 4항의 요구조건을 만족해야 한다. 외각 주요부위에 3회 0.5 J인가 시 파손이나 변형이 없어야 한다.	기준 만족
6	접지시험	LED 조명기구의 접지회로의 전압강하는 AC 12 V이하의 전압과 10 A이하의 전류를 흘렸을 때 AC 0.25 V 이하, 접지저항은 0.1 Ω 이하 이어야 한다.	기준 만족
7	절연저항	LED 조명기구의 절연저항은 각 전극간 및 충전부 사이, 충전부와 비충전부 사이에 DC 500 V 직류 절연저항을 측정하여 20 MΩ이상이 되어야 한다.	기준 만족
8	내전압	내전압시험은 사용전압의 2배에 AC 1,000 V를 더한 전압과 정격주파수 60 Hz에 가까운 정현파 교류전압을 충전부와 비충전부 사이에 1분간 가하여 절연파괴, 아크발생, 소손 등 어떠한 이상도 없어야 한다.	기준 만족
9	난연성	LED 조명기구는 KS IEC 60695 11-5항의 요구조건에 만족해야 한다. 화염 또는 고온발광이 없어야 하며, 화염 또는 고온발광이 있는 경우에는 시험편의 완전 연소 없이 화염이나 불꽃은 30초 이내 자연소화 되어야 한다.	기준 만족

Collection @ kmou

10	역율	LED 조명기구의 역율은 다음식에 따라 구하며 0.9 이상이어야 한다. $\text{율} = \frac{\text{측정입력전류}}{\text{정격전압} \times \text{측정입력전류}}$	기준 만족
11	전류고조파	LED 조명기구의 전류고조파 함유율은 KS C 7653 7.3항에 따라 시험하였을 때, ± 10%이내이어야 한다.	기준만족
12	내구성시험	LED 조명기구의 내구성 시험을 위하여 광속유지율, 열충격, 개폐시험 순으로 진행하며 모든 시험이 완료된 후 최소 15분간 LED 조명기구는 정상동작 하여야 한다.	기준만족
13	광속유지율	정격전압 및 정격주파수에서 2,000시간 에이징 후 광학적 특성기준을 만족해야 한다.	기준만족
14	열충격	LED 조명기구의 열충격시험은 미점등 상태로 -10 ℃에서 1시간 방치 후 즉시 50 ℃에서 1시간동안 방치를 1주기로 하여 5주기 반복하며 시험 후 광학적 특성기준을 만족해야 한다.	기준만족
15	개폐시험	개폐시험은 30초 'ON', 30초 'OFF' 25,000회 실시 후 광학적 특성기준을 만족해야 한다.	기준만족
16	전압, 주파수	MIL-STD-1399 300B에 따라 입력전압 AC 220 V ± 5%, 입력주파수 60 Hz ± 3% 조건에서 정상동작 하여야 한다.	기준만족

Collection @ kmou

17	광효율	LED 조명기구의 광효율 만족해야 한다.	기준 만족
18	배광	2,000시간 에이징 후 배광은 115도 이상 측정되어야 한다.	기준 만족
19	온도 및 습도	MIL-STD-810G 요구사항 만족	기준 만족
20	수밀	IP56 만족	기준 만족
21	충격	MIL-S-901D Grade B, Class I, Type A 만족	기준 만족
22	염수분무	MIL-STD-810G 509.5에 따라 24시간 노출, 24시간 건조를 2회 실시하여 외관상 부식이 없어야 하며, 조명기구는 정상동작 하여야 한다.	기준 만족

Collection @ kmou

3.3 국방규격(안) 제안

전기적, 광학적 및 환경적 요구 성능에 대하여 실선시험과 계측 및 분석한 결과 모든 시험에서 만족하였다. 분석한 결과와 시험한 내용을 기반으로 함정용 LED 조명기구의 국방규격(안)을 제안하고자 한다. 표 3.14, 표 3.15는 전기적, 환경적 및 광학적 요구사항을 나타낸다.

표 3.14 함정용 LED 조명기구의 국방규격(안)
Table 3.14 A proposed KDS of LED luminaires for naval vessels

순번	요구사항	순번	요구사항	순번	요구사항
1	표시사항 및 외관검사	8	기계적 강도	15	염수분무
2	충전부에 대한 감전보호	9	고온고습	16	방진방수
3	절연저항	10	건조고온	17	최대온도상승
4	절연내력	11	저온	18	광학적특성
5	전원변동 전압/주파수	12	진동	19	역률
6	전원고장	13	충격	20	내구성
7	EMI/EMC	14	난연성	-	-

Collection @ kmou

표 3.15 함정용 LED 조명기구의 광학적 요구사항

Table 3.15 Optical requirements of LED luminaires for naval vessels

형식		정격전력 [W]	광속 [lm]	색온도 [K]	연색성 [Ra]	빔각 [°]
노출형	2회로	30 이하	1,800 ~ 2,100	5,500 ± 500	70 이상	115 이상
	3회로	40 이하	2,600 ~ 2,800	5,500 ± 500	70 이상	115 이상
	홍등	5 이하	40 ~ 60	-	-	-
매입형	2회로	25 이하	1,500 ~ 1,700	5,500 ± 500	70 이상	115 이상
	3회로	30 이하	1,800 ~ 2,100	5,500 ± 500	70 이상	115 이상
	홍등	5이하	40 ~ 60	-	-	-

제안된 국방규격(안)으로 수상함구조함에 최초 설치된 후 현재까지 설치되고 있다. 4장은 함정에 LED 조명기구로 설치된 후 기술적 및 경제적 효과에 대하여 기술한다.

Collection @ kmou

제 4 장 효과 분석

4.1 기술적 분석

가. 광학적 효과

일반적으로 조명제품의 수명은 그림 4.1에서 보여주는 것과 같이 초기 광 출력 대비 70% 이하와 50% 이하로 명시하고 있으나, 통상 초기 광 출력의 70%로 설정한다. 조명 제품의 수명을 측정하는 경우는 상온 수명 테스트와 가속 수명테스트로 구분할 수 있다[34],[35].

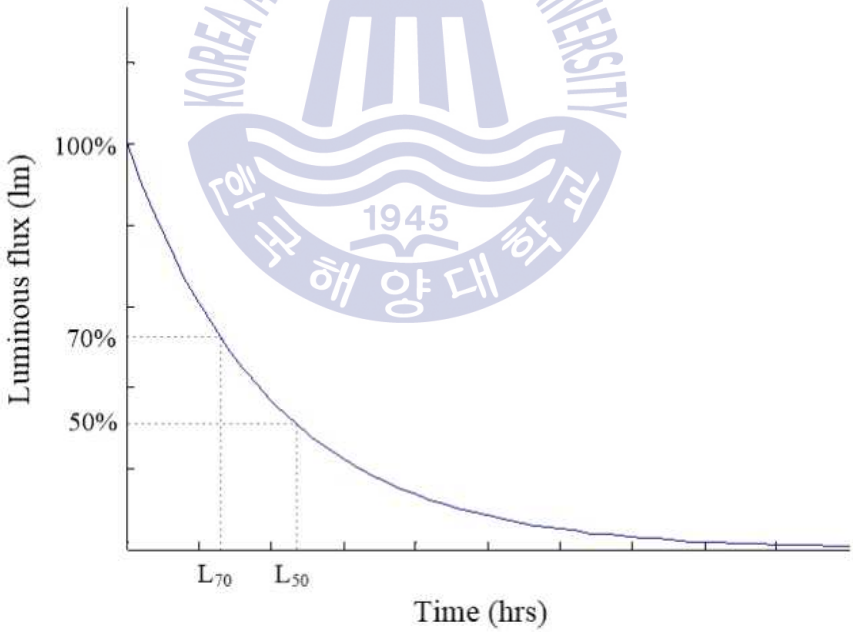


그림 4.1 광속 저하 곡선
Fig. 4.1 Depreciation curve of luminous flux

Collection @ kmou

상온 수명테스트는 상온 즉 25℃에서 제품의 광 변화율의 측정으로 수명을 평가하며, 가속 수명테스트는 일정 가속조건에서 광 변화율을 측정하여 상온에서 수명을 예측하는 방법으로 아레니우스의 모델(Arrhenius model)이 대표적인 방법이다[36],[37]. LED 조명기구의 수명은 일반적으로 수만 시간이라 제시하고 있으나, 실제 수만 시간동안 시험으로 통하여 검증된 결과는 없다. 다만, 가속 수명시험을 통하여 예측되고 있다. 과부하를 걸어 열화를 가속시키는 방법으로 가속계수를 산술함으로 사용 상태에서의 수명 시간을 추정할 수 있다[38]. 함정용 LED 조명기구의 규격에는 KS C 7653과 같이 내구성 시험으로만 제안되어 있어 25,000회 개폐시험으로 확인하고 있다. 따라서 본 절에서는 LED 조명기구의 수명을 예측하기 위하여 함정의 LED 조명기구의 광속을 측정하여 초기 광속 대비 줄어든 광속으로 시간에 따른 LED 조명기구의 광학적 특성변화에 대하여 기술한다[39],[40]. 운용 LED 조명기구의 광속감소량으로 아레니우스 모델을 이용하여 수명을 예측한다. 가속수명시험의 아레니우스 모델에 따르면 LED 광원의 출력은 식 (4.1), 식 (4.2)과 같다.

$$P = P_0 \exp(-\beta t) \tag{4.1}$$

$$\beta = \beta_0 IF \exp(-\frac{E_a}{kT}) \tag{4.2}$$

여기서, P : 전기와 열을 가한 후 광출력 [lm]

P_0 : 초기 광출력 [lm]

β : 일정온도에서 감소계수

t : 특정온도에서 전류를 가한 시간 [h]

Collection @ kmou

β_0 : 비례상수

E_a : 활성화 에너지 [eV]

k : Boltzmann 상수

IF : 작동전류 [A]

T : 접합온도 [K]

이다.

일정기간 동안 운용 후 P값을 실측하여 역으로 수명예측을 하기위하여 작성한 자료로 상수는 동일하게 적용하였고, E_a값은 0.23으로 설정하였다. 초기 광속값과 2,000시간 에이징 후의 광속값으로 E_a값을 산출하였다. 표 4.1은 수명예측을 위한 입력값을 보여준다.

표 4.1 아레니우스 모델의 입력값
Table 4.1 Input parameters for the Arrhenius model

구분	P_0 [lm]	β_0	IF [A]	E_a [eV]	T	k	t [h]
입력	1,995	0.05	0.06	0.23	398	0.00008617	운용 시간

상시 점등하는 구역에 있는 LED 조명기구를 선택하여 계측하였고, 결과는 표 4.2과 같다. 초기광속은 공장수락시험 결과로 계산하였다. 수상함 구조함의 경우 35,000시간 지난 후 광속 측정값이 1,761 lm이고, 아레니우스 모델에 의해 계산된 값이 35,100시간 일 때 1,754 lm으로 예측되어, 유

Collection @ kmou

사한 값을 확인할 수 있었다. 그림 4.2는 수상함구조함의 광속 변화율을 보여주며, 아레니우스 모델에 따라 예측된 수명과 운용결과에 따른 광속 변화율을 볼 때 거의 유사하게 변하고 있음을 알 수 있다. 대형 수송함과 차기호위함의 측정결과에서도 볼 수 있듯이 약 26,000시간, 30,000시간 운용에 따른 광속변화는 거의 없었다. 이론적으로 가능한 수명이나, 광속감소에 의한 함정용 LED 조명기구의 수명은 L_{70}이 약 97,000시간으로 예상되었고 50,000시간으로 제시하는 수명을 충분히 만족함을 증명하였다.

표 4.2 운용 중 LED 조명기구의 광속변화
Table 4.2 Variations of luminous flux for LED luminaires in operation

함정	초기광속 [lm]	2,000시간 [lm]	운용후 광속 [lm]	예측광속 [lm]	결과 [%]
수상함 구조함	1,995	1,960	1,761 (35,000시간)	1753.9	99.6
대형 수송함	2,100	2,087	2,028 (30,000시간)	1796.5	112.8
차기 호위함	2,070	2,057	2,012 (26,000시간)	1880.9	106.9

Collection @ kmou

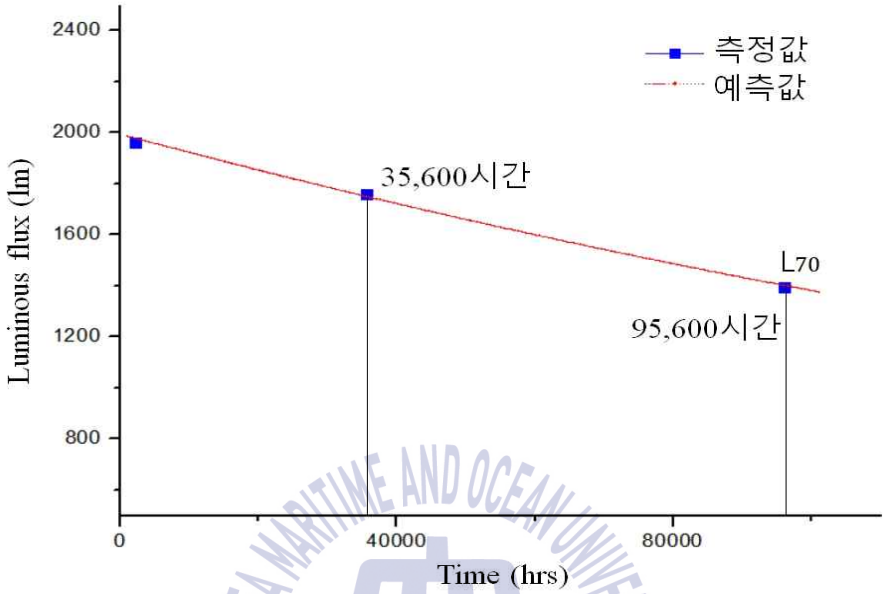


그림 4.2 수상함구조함에서의 광속변화

Fig. 4.2 Variation of luminous flux in the ATS-2

나. 조명 만족도 분석

2016년 LED 조명을 적용한 해군 함정에 대하여 조명 만족도 조사를 수행하였다. 설문은 표 1.1과 동일한 내용으로 최근 인도된 함정을 대상으로 하였다. 조명 만족도 설문 결과는 형광등에 비하여 격실 내부의 밝기가 높아진 것을 알 수 있으며, 특히 높은 휘도로 인하여 눈부심이 심하다는 개선의견도 있었다. 함 내 구역 중 가장 어둡게 느껴지는 구역은 격납고, 통신 장비실 및 수면 하 장비실로 조사가 되었고, 기관구역의 경우는 기존 형광등을 적용할 때보다 훨씬 더 밝은 것으로 조사되었다. 표 4.3에서 조명 만족도 결과를 보여준다. 함 내 조도가 생활하기에 충분한가에 대한

Collection @ kmou

질문에 2007년의 결과는 약 8%의 승조원이 만족하다고 한 반면, 2016년에는 약 70%의 승조원이 만족하다는 답변이었다. 모든 설문내용의 결과가 향상되었고, LED 조명기구로 변경된 후 승조원은 충분히 만족하고 있다는 것을 알 수 있었다.

표 4.3 조명 만족도 설문 내용 및 결과
Table 4.3 Contents and results of a satisfaction survey for lighting

순번	설 문 내 용	설 문 결 과
1	함 내에서의 생활로 인해 눈이 피로하다고 느낀 적이 있는가?	- 그렇다(14%), 보통이다(32%) 그렇지 않다(54%)
2	함 내에서의 생활로 인해 눈 건강(시력포함)이 나빠졌다고 생각하는가?	- 그렇다(16%), 보통이다(27%) 그렇지 않다(57%)
3	격실등을 켤 때 격실 전체의 분위기가 좋게 느껴지는가?	- 그렇다(63%), 보통이다(30%) 그렇지 않다(7%)
4	격실내의 밝은 정도가 다 똑같다고 느껴지는가?	- 그렇다(53%), 보통이다(37%) 그렇지 않다(10%)
5	함 내 조도가 작업 또는 생활하기에 충분히 밝다고 생각하는가?	- 그렇다(70%), 보통이다(27%) 그렇지 않다(3%)
6	함 내 조명으로 인해 눈부시다고 느낀 적이 있는가?	- 그렇다(17%), 보통이다(30%) 그렇지 않다(53%)
7	작업 시(컴퓨터 화면 포함) 눈부심이 생겨 눈이 피곤한 적이 있는가?	- 그렇다(7%), 보통이다(42%) 그렇지 않다(51%)
8	함 내 구역 중 어느 곳이 가장 어둡다고 생각하는가?	- 격납고, 통신장비실, 수면 하 장비실 등
9	조명시설 중 개선되어야 할 부분이 있다면?	- 높은 휘도로 눈부심

Collection @ kmou

4.2 경제성 분석

함정용 LED 조명기구의 국방규격(안)을 제안하고, 제안된 규격으로 함정의 주 조명등으로 수상함구조함에 최초로 적용되었다[31]. 수상함구조함에는 노출형과 매입형 LED 조명기구가 약 1,100개 설치되어 있으며, 2012년 설치되어 현재까지 운용중이다[33]. 약 3년 7개월(35,600시간) 연속 사용중이며, 이후 대형함정 11척에 추가 적용되어 있다. 표 4.4은 형광등과 LED 조명기구의 소비전력 및 광 효율을 분석한 결과를 보여준다[33].

표 4.4 소비전력과 광효율 분석

Table 4.4 Analysis of power consumption and luminous efficiency

구분	소비전력 [W]			광효율 [lm/W]	
	형광등	LED	절감율 [%]	형광등	LED
노출형	53	24.9	53.1	35	80.1
	81	35.6	56.2	31.7	78.5
매입형	53	23.5	55.7	25.6	69.4
	81	28.1	65.4	20.9	70.2

Collection @ kmou

표 4.5 함정용 LED 조명기구의 적용 현황

Table 4.5 Application status of LED luminaires for naval vessels

함정명	노출형 [개]		매입형 [개]	
	2회로	3회로	2회로	3회로
수상함구조함 1번함	590	403	28	86
차기호위함 2번함	409	376	-	103
차기호위함 3번함	409	376	-	103
대형수송함 1번함	1,134	579	280	6
차기호위함 4번함	409	376	-	103
차기호위함 5번함	409	376	-	103
기뢰부설함 1번함	259	33	4	10
대형수송함 2번함	1,134	579	220	6
수상함구조함 2번함	590	403	28	86
차기호위함 6번함	409	376	-	103
합 계	5,752	3,927	500	709

Collection @ kmou

가. 유류비 분석

LED 조명기구로 대체된 이후 전력은 약 55%가 절감되고, 광효율은 약 150% 이상 향상되었다. 이는 조명을 위한 전력이 55% 감소되어, 변압기 55%가 줄어드는 효과가 있다. 반면 광속은 증가되어, 승조원이 체감하는 실내 조명은 15% 이상 밝아지는 효과가 있었다. 표 4.5는 연도별 함정에 적용된 LED 조명기구 현황이다. 2012년 수상함구조함 1번함을 시작으로 모든 해군 함정에는 LED 조명기구가 적용되고 있으며, 전투근무 지원정에서 대형 함정 및 양산, 유지단계에 있는 함정까지 모두 LED 조명기구가 적용 중에 있다. 본 절에서는 대형 함정을 기준으로 효과분석을 수행하였다. 2012년부터 2015년까지 함정에 적용된 LED 조명기구에 대하여 형광등 적용 대비 감소량을 계산하면 표 4.6과 같으며, 유류비용으로 계산할 경우 1 L 당 발전량을 4.3 kW/h, 1 L 가격을 865.7원으로 하면 표 4.7와 같다.

표 4.6 등기구의 대체 수량 비교
Table 4.6 Comparison of replacement amount of luminaires

구분	노출형		매입형	
	2구	3구	2구	3구
감소 수량	2,703개	1,729개	220개	248개

함정 설치 후 24시간 연속작동을 기준으로 작성하였고, LED 조명기구를 설치한 함정에서 발전량에 대한 유류 비용만 계산했을 경우 연간 약 6.94억원의 절감효과가 있었다.

Collection @ kmou

이는 LED 조명기구의 설치비용이 2배정도 비싼 것을 감안하더라도 많은 절감 효과가 있었고, 장기간 사용하거나, 조명기구의 설치 수량이 많을 경우 더 많은 절감 효과가 있었다. 현재 해군 함정에 지속적으로 LED 조명기구를 설치하고 있어, 절감효과는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

표 4.7 유류비 분석
Table 4.7 Analysis of fuel cost

함정명	형광등		LED		절감액 [억원]
	발전량 [MW]	유류비 [억원]	발전량 [MW]	유류비 [억원]	
수상함구조함 1번함	633	1.27	281	0.56	0.71
차기호위함 2번함	529	1.06	231	0.46	0.6
차기호위함 3번함	529	1.06	231	0.46	0.6
대형수송함 1번함	1,071	2.15	487	0.98	1.17
차기호위함 4번함	529	1.06	231	0.46	0.6
차기호위함 5번함	529	1.06	231	0.46	0.6
기뢰부설함 1번함	152	0.3	70	0.14	0.16
대형수송함 2번함	1,079	2.15	487	0.98	1.17
수상함구조함 2번함	633	1.27	281	0.56	0.71
차기호위함 6번함	529	1.06	231	0.46	0.6
합계	6,212	12.5	2,765	5.56	6.94

Collection @ kmou

나. 유지비용 분석

조명기구를 24시간 지속적으로 운용할 경우, 기존 조명기구와 LED 조명기구의 수명 및 단가에 따라 5년간 유지비용을 분석하였다. 1회 교체 시 시간은 30분을 적용하였고, 노무 단가는 하사기준으로 시간당 6,523원을 적용하였다. 식 4.1에 따라 계산하면 표 4.8과 같이 유지비용(교체)을 알 수 있다. 5년 기준으로 100% 점등하면, 0.13억원의 교체비용 절감효과가 있다.

$$\frac{5년(43,800시간)}{명} \times 점등율 \times 등기구수량 = 3등용\ 교체수량(개) \qquad (4.1)$$

100% 점등할 경우 형광등은 4,380번의 교체를 수행하지만, LED 조명기구는 262번의 교체만 필요했다. 교체비용 절감효과보다 승조원 교체횟수 감소가 더 큰 효과라 할 수 있다.

표 4.8 유지비 산출
Table 4.8 Calculation of maintenance cost

구분	형광등 수량	유지비	LED 조명기구	유지비
100% 점등	4,380개	14,285,370원	262개	854,513원
80% 점등	3,504개	11,428,296원	210개	683,691원
50% 점등	2,190개	7,152,658원	131개	427,257원

Collection @ kmou

다. 조명용 변압기의 부하 분석

기존 형광등기구와 LED 조명기구의 적용 시 조명용 변압기의 부하용량을 비교하였다. 같은 종류의 함정을 대상으로 하였으며, LED 조명기구의 적용 시 약 57 kVA가 감소되었다. 표 4.9에 조명용 변압기의 부하 용량을 나타내었다[12],[13].

표 4.9 조명용 변압기의 부하 용량
Table 4.9 Capacity of a transformer for lighting load

구분	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	계
형광등기구 [kVA]	96.4	99.0	100.8	92.1	388.4
LED조명기구 [kVA]	82.9	90.8	89.1	68.3	331.3
절감 부하량 [kVA]	15.6	9.4	13.4	27.3	57.1 (14.7%)

함정의 조명변압기 용량이 감소되었고, 여유 용량은 리셉터클 추가 및 승조원의 전자기기 부하용으로 사용되고 있다.

Collection @ kmou

제 5 장 결 론

본 논문에서는 해군 함정에 LED 조명기구를 적용하기 위한 연구로써 함정에 적용할 수 있는 LED 조명기구 규격을 제안하고, 제안된 규격의 적용 타당성을 검증하였다.

함정에 적용 가능한 조명규격을 제안하기 위하여 국방규격, 미 해군규격 및 한국산업 표준을 분석하였고, 함정용 LED 조명기구에 적용 가능한 광학적, 전기적, 환경적 특성을 제시하였다. 인체 안전과 관련된 요구사항 및 광학적 요구사항은 한국산업 표준을 준용하였고, 해군 함정이라는 특수성으로 인하여 환경적 요구사항은 미 해군규격을 설정하였다.

요구된 규격의 적용 타당성 검증을 위하여 조명 시뮬레이션, 진동계측 및 전자기 간섭 시험을 수행하였고, 그 결과 제안된 모든 규격은 적용 타당하였다. 특히, 함정 승조원의 시각과 관련된 사항으로 형광등과 LED 조명기구의 광학적 특성을 최소화하기 위하여, 구축함의 승조원 침실과 장교침실을 대상으로 조명 시뮬레이션으로 조명기구 대체에 따른 광학적 특성을 분석하여, 전체적인 조명은 문제없음으로 확인하였다. 또한, 함정에 탑재된 이후 조도측정으로 함 건조사양에 적합하다는 결론을 확인하였다. 또한, 함정 환경에서의 원활한 작동을 위해 진동규격을 제안하였고, 진동규격의 타당성 확인을 위하여 운용중인 함정에서 형광등에 인가되는 진동을 계측하여, 미 국방규격 적용 시 문제없음을 확인할 수 있었다.

2012년 수상함구조함부터 현재까지 모든 대형함정에 LED 조명기구를

Collection @ kmou

탑재하고 있으며, 이에 따른 효과분석을 수행하였다. 광속의 변화로 수명을 예측하면, 35,000시간을 연속 동작 후 초기광속 대비 광속은 약 8.8% 줄어들었고, 30,000시간까지는 거의 광속이 줄어들지 않았다. 아레니우스 모델로 예측한 광속과 비슷한 결과를 확인할 수 있었고, 이를 이용하여 L_{70} 수명을 계산하면 약 97,000시간이다. 50,000시간이라고 제시하는 LED 조명기구의 수명도 충분히 만족하고, 형광등 대비하여 수명이 30배 이상 증가될 것으로 기대한다.

소비전력의 경우 노출형은 약 53%, 매입형은 약 60%의 감소효과가 있었고, 노출형의 광효율은 경우 100% 이상, 매입형은 약 200% 향상되었다. 이를 2012년부터 현재까지 적용된 함정을 기준으로 계산하면, 형광등 4,899개가 감소된 효과가 있었다. 또한 유류비로 계산하면 연간 약 6.94억원의 절감효과가 있었다. LED 조명기구로 교체된 후 유지비용(교체)은 5년기준으로 0.12억원 감소되었으며, 동형 함정을 대상으로 조명변압기는 57 kVA 감소되었다.

끝으로, LED 조명기구로 설치된 수상함에 직류배전을 적용할 경우 약 8%, 잠수함에 LED 조명기구를 적용할 경우 약 17%의 전력변환 효율이 증가됨에 따라, 수상함에 직류배전 적용과 잠수함에 LED 조명기구 적용을 향후 연구과제로 제안한다.

Collection @ kmou

참 고 문 헌

[1] M. Y. Park, H. G. Cho, K. W. Lee, Y. S. Yu, K. L. Cho, G. S. Kil, H. E. jo, “Proposal of an application plan of Korea Defence Standards(KDS) to Korean industry Standards(KS) of LED luminaires and the KDS draft of LED luminaires for naval vessels”, Researcher report DTaQ-12-3339-P, Defense Agency for Technology and Quality, 2012.

[2] M. Y. Park, H. G. Cho, K. W. Lee, Y. S. Yu, K. L. Cho, “A Comparative study on exciting force for luminaires of naval vessels according to sailing condition”, journal of the korea institute of military science and technology, Vol 15, No. 4, pp. 390-397, 2012.

[3] K. L. Cho, “A Study of application LED luminaires for naval vessels”. Defense quality management 25^{th}, Defense agency for Technology and Quality, 2012.

[4] Y. S. Yu, “A Study of improvement of lighting illumination for naval vessels”, senior researcher promotion thesis, Defense agency for Technology and Quality, 2007.

[5] K. L. Cho, W. B. Seo, “The development report of LED lighting for naval vessels”, Researcher report DTaQ-15-4454-D, Defense agency for Technology and Quality, 2015.

[6] S. H. Lee, H. S. Park, “Mercury distribution of major components from 3-baned and general spent fluorescent lamp”, journal of korea society of waste management, Vol 30, no. 3, pp. 265-271, 2013.

[7] K. L. Cho, Y. D. Kim, “Trends and proposals of LED lighting standard for naval vessels”, Bulletin of the korean institute of electrical and electronic material engineers, Vol 25, no. 7, pp. 11-21, 2012.

Collection @ kmou

[8] Energy Focus Inc., http://www.energyfocusinc.com/

[9] T. W. Kim, Y. H. Ha, Y. S. Na, “Electrical system design report for FFX Batch-I”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2007.

[10] T. W. Kim, Y. H. Ha, Y. S. Na, “Lighting system study for FFX Batch-I”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2008.

[11] J. B. Lee, Y. G. Shin, D. H. Hwang, “Lighting system study for FFX Batch-II”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2013.

[12] T. W. Kim, Y. H. Ha, Y. S. Na, “Electric power load analysis for FFX Batch-I”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2007.

[13] J. B. Lee, Y. G. Shin, D. H. Hwang, “Lighting system load analysis for FFX Batch-II”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2012.

[14] J. B. Lee, Y. G. Shin, D. H. Hwang, “Lighting illumination calculation for FFX Batch-II”, Design report DAPA, Defense acquisition program administration, 2013.

[15] Korea defense standards(KDS), KDS 6240-1147, “Lamp, Incandescent”, 1992.

[16] Korea defense standards(KDS), KDC 6210-R4005, “Fluorescent lights for marine use”, 2006.

[17] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-DTL-16377H, “Fixtures, Lighting :and Associated parts; Shipboard use, General Specification for”, 1996.

[18] Defense Acquisition Program Administration, “Purchase order specification for LED Fixtures for ATS-2”, 2012.

Collection @ kmou

[19] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-DTL-16377/53C, “Fixtures, Incandescent and Light Emitting Diode(LED), Detail lighting, Lantern, Hand, Portable and Bulkhead mounted watertight”, 2005.

[20] Korean Agency for Technology and Standards, KS C 7653, “Recessed LED Luminaires and Fixed LED Luminaires”, 2010.

[21] Korean Agency for Technology and Standards, KS C IEC 60598-1, “Luminaires - Part 1 : General requirements and tests”, 2011.

[22] Korea defense standards(KDS), KDS 6210-1055, “Fixtures lighting”, 2005.

[23] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-STD-1399 300B, “Electric power, Alternating Current”, 2008.

[24] Defense Acquisition Program Administration, 조함(수)-기-3-015(0), “Criteria for Transformer & power converter”, 2009.

[25] Korean Agency for Technology and Standards, KS C IEC 60529, “Degrees of protection provided by enclosures(IP Code)”, 2016.

[26] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-STD-167-1, “Mechanical vibrations of shipboard equipment Type I - Environmental and Type II - Internally excited”, 2005.

[27] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-STD-740, “Airborne sound measurements and acceptance criteria of shipboard equipment”, 2012.

[28] Military Specifications of Department of the US Navy, MIL-STD-461F, “Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment”, 2007.

[29] Defense Acquisition Program Administration, “Purchase Order Specification for LED Fixtures”, 2012.

Collection @ kmou

[30] Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, “The Results of Factory Acceptance Test for LED Fixtures”, 2012.

[31] Defense Acquisition Program Administration, “Test procedure of intensity of illumination for ATS-2”, 2012.

[32] Defense Acquisition Program Administration, “Building Specification for ATS-2”, 2012.

[33] K. L. Cho, G. S. Kil, “Application and effect analysis of LED luminaires for naval vessels”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol 40, no. 9, pp.812-817, 2016.

[34] Sau Koh, Cadmus Yuan, Do Sun, Bob Li, Xuejun Fan, G. Q. Zhang, “Product level accelerated lifetime test for indoor LED luminaires”, 2013 14th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, EuroSimE 2013.

[35] Illuminating Engineering Society, “LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid State Lighting Products”, 2008.

[36] Illuminating Engineering Society, “TM-21-11 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources”, 2012.

[37] John Bullough, Y. G., “LED Life for general lighting.”, Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies(ASSIST), 2005.

[38] Y. Cho, “Temperature reliability and life expectancy of LED”, Bulletin of the korean institute of electrical and electronic material engineers, Vol 25, no. 8, pp. 25-30, 2012.

[39] US DOE, “Energy Star Program Requirements for Integral LED Lamps Partner Commitments”, 2010.

[40] US DOE, “Energy Star Program Requirements for Solid State Lighting Luminaires”, 2008.

Collection @ kmou

감사의 글

2012 박사과정을 시작한 지 5년 5개월이 지났습니다. 위탁교육으로 큰 포부를 가지고 시작하였으나, 쉽지는 않았던 것 같습니다. 길경석 교수님과 연구실 식구들이 도와주셔서 졸업이라는 큰 기쁨이 오지 않았나 싶습니다. 앞으로도 교수님의 가르침을 바탕으로 더 발전되는 제자가 되겠습니다.

위탁교육을 시작하게 해 주신 전상조 팀장님, 학교 다닌다고 물심양면으로 지원해주신 김호진 팀장님, 특히 학위과정의 시작과 끝을 힘차게 도와주신 조흥기 센터장님께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다. 저도 후배들을 위하여 도와주는 선배가 되도록 노력하겠습니다.

바쁘신 와중에 보다 알찬 논문이 되도록 심사해주신 김윤식 교수님, 이성근 교수님, 국립과학수사연구원 조영진 박사님 감사합니다. 학과와 맺은 인연을 소중히 간직하고 학과에 도움이 될 수 있도록 더욱더 노력하겠습니다.

다닌다는 이유로 주말에 애들 잘 돌보지 않고, 나 혼자 다닌 점 와이프인 차헌주 죄송하다는 말씀을 전하고, 앞으로는 같이 다닐 수 있도록 합시다. 바쁜 아빠 때문에 자매들끼리 잘 커준 큰딸 서경이, 둘째딸 서영이 이제부터는 엄마랑 같이 잘 놀자. 아빠가 미안했다. 조금 더 신경 쓸께.

감사의 글을 쓰면서 이렇게 쓰기가 어려운 것인지 새삼 느꼈습니다. 시원하게 一筆揮之 할 수 있을 것으로 생각했는데. 부끄럽기 그지 없습니다. 이름이 없더라도 고맙게 생각하는 것 잘 알고 계시죠?

일찍 공부에 관심을 가졌으면, 좋았을 텐데... 조금 늦었습니다. 많이 돌아왔습니다. 그래도 마무리는 지었습니다. 아버지. 어머니.

부끄럽지 않도록, 쪽 팔리지 않도록 살겠습니다. 감사합니다.

2017년 7월 조 규 룡 올림

Collection @ kmou