



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



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](#)

工學碩士 學位論文

선박용 LED Dome Light의
신뢰성에 관한 연구

A Study on the Reliability of a Shipboard LED Dome Light



指導教授 徐 東 煥

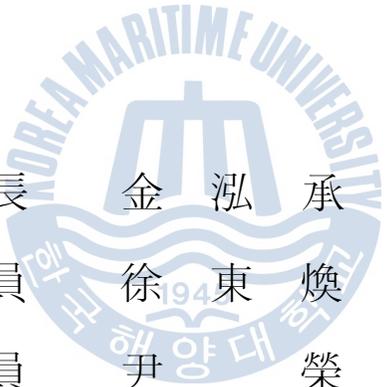
2011 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 佑 城

本 論 文 을 金 佑 城 의
工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .



委員長 金 泓 承 (印)
委 員 徐 東 煥 (印)
委 員 尹 榮 (印)

2011 年 8 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

목 차

목차	i
그림 목차	ii
표 목차	iv
Abstract	v
제 1 장 서론	1
제 2 장 이론적 배경	
2.1 선박용 조명 특성 분석	3
2.1.1 백열등	4
2.1.2 선박용 등기구의 관련 규정	6
2.2 신뢰성 분석	10
2.2.1 환경시험	11
2.2.2 가속시험	12
2.2.3 진동시험	14
제 3 장 실험 방법	
3.1 LED Bare Chip의 온도에 따른 전류 특성 측정	17
3.2 LED Dome Light 설계 및 제작	18
3.3 LED Dome Light의 광학 특성 시험	20
3.4 LED Dome Light의 온도실험	22
제 4 장 실험 결과 및 고찰	
4.1 LED Bare Chip의 온도에 따른 전류 특성	24
4.2 LED Dome Light의 광학 분석	28
4.3 LED Dome Light의 전류에 따른 온도 특성	30
4.4 LED Dome Light의 진동 특성	32
4.5 LED Dome Light의 경시변화 특성	34
제 5 장 결론	40
참고 문헌	41

그림 목 차

- Fig. 1. 선박의 항해등
- Fig. 2. 선박의 구조
- Fig. 3. 백열등
- Fig. 4. 선박용 백열등 등기구
- Fig. 5. 수명시험 그래프
- Fig. 6. LED Bare Chip
- Fig. 7. LED 칩 배치도
- Fig. 8. LED Dome Light 모듈 구조
- Fig. 9. 제작한 LED Dome Light의 점등시 모습
- Fig. 10. 등기구의 광 특성 분석
- Fig. 11. LED Dome Light의 온도 측정 위치1
- Fig. 12. LED Dome Light의 온도 측정 위치2
- Fig. 13. LED Bare Chip의 온도에 따른 VF 특성
- Fig. 14. LED Bare Chip의 온도에 따른 IV 특성
- Fig. 15. LED Bare Chip의 온도에 따른 색좌표 cx
- Fig. 16. LED Bare Chip의 온도에 따른 색좌표 cy
- Fig. 17. 100[W]급 백열등 Dome light distribution curve
- Fig. 18. 60[W]급 LED dome light distribution curve
- Fig. 19. 전류변화에 따른 LED Dome Light의 온도변화 그래프
- Fig. 20. LED Dome Light의 진동시험
- Fig. 21. 한바다호 엔진룸에 LED Dome Light 설치
- Fig. 22. LED Dome Light 점등 시

Fig. 23. LED Dome Light 엔진룸 설치

Fig. 24. 엔진룸의 LED Dome Light의 조도 변화

Fig. 25. 엔진룸 형광등의 조도 변화

Fig. 26. 엔진룸 LED Dome Light의 색온도 변화

Fig. 27. 엔진룸 형광등의 색온도 변화

Fig. 28. LED Dome Light내의 시간 별 칩 개수 변화와 조도 변화



표 목 차

- Table 1. 신뢰성의 기술 동향
- Table 2. 환경시험 및 불량 메커니즘
- Table 3. 수명과 스트레스 관계식
- Table 4. Test Conditions for the Vibration Fatigue Test per Mil-Std-883 Method 2005
- Table 5. Test Conditions for the Vibration Fatigue Test per Mil-Std-883 Method 2005
- Table 6. Bare chip의 온도별 전류특성 실험조건
- Table 7. LED 칩 모듈의 사양
- Table 8. 등기구의 광학적 분석 실험 환경
- Table 9. 전류에 따른 온도변화의 실험 조건
- Table 10. LED Dome Light와 백열등 Dome Light의 광학 분석 데이터
- Table 11. 전류변화에 따른 LED Dome Light의 온도변화
- Table 12. LED 등기구의 진동 시험조건

A Study on the Reliability of a Shipboard LED Dome Light

Woosung Kim

*Division of Electrical and Electronics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

Recently, the current characteristics of LED is important which is widely used in the kinds of display devices or lighting market. To develop this LED Dome Light, a LED dome light of ship using by reliability was investigated. Experiment is to identify the current characteristics Bare Chip of GaN according to the temperature. It was found that the VF(Forward Voltage) and luminous intensity were getting down when temperature increased. The wavelength of Blue chip was shifted long wavelength. Consequently, It was found that temperature of LED PN junction need to LED PN junction with less than 80 degrees and It should be that LED Dome Light's internal temperature designed below 50 degrees.

LED Dome Light were designed to the following specifications. A LED spec of LED Dome Light was designed with luminous intensity

of 7[cd], color temperature of 6000 ± 500 [K], Chip Q`ty of 3, Forward voltage of 3~3.2[V] and input current of 60[mA]. Also, upon investigating the thermal distribution of the unit module through a experiment of thermal for LED dome light.

In this work, LED Dome Light regarding reliability analysis for the heat and vibration and when LED Light applied to a vessel resulting from an analysis of optical characteristics of the time.



제 1 장 서 론

최근 들어 LED의 휘도가 크게 개선되면서 각종 산업 기기는 물론 일반 조명의 응용 시장이 산업 전반으로 확산되고 응용 제품에 대하여 이목이 집중되고 있다. 종전에 LED가 주로 전광판, 신호등, 가전제품의 표시소자, 휴대기기 광원 등에 국한되어 이용되었다. 그러나 최근에는 기존 광원에 비하여 에너지 절감 효과가 매우 뛰어나고 반영구적으로 사용할 수 있는 신세대 광원 LED는 경관 조명을 포함한 일반 조명과 자동차 조명장치는 물론 선박 조명등의 분야로 응용분야가 확장되면서 이제 서서히 그 빛을 발하고 있다.

기존의 선박용 일반조명으로 사용되던 백열전구는 기관실의 진동 탓에 필라멘트가 쉽게 파괴되어 유지보수 비용이 많이 들었다. 이를 보완하기 위해 내진성 백열전구를 도입하기도 했지만 장거리 항해 후엔 다수의 조명을 새 것으로 교체해야 했기 때문에 유지보수 비용이 많이 들었다. 형광등의 경우 전력소비량이 많아 길게는 수 십일씩 운항하는 선박에서 사용하기 불리하다. 이를 대체한 LED 조명은 내부에 필라멘트를 포함하지 않기 때문에 진동에 강하며 에너지 소비량도 적어 LED를 선박용 조명 광원으로 채택하고 있다. [1-4]

이처럼 선박용 LED가 형광등이나 백열등과 같은 기존의 선박조명기기를 대체하기 위해서는 높은 광 출력을 낼 수 있어야 함은 물론이고, 긴 수명과 안정성을 확보하기 위한 높은 신뢰성이 요구된다. LED의 특성상 수명은 사용전류와 발광과장 그리고 발열성 등의 요인에 의해 크게 좌우 된다. 수명을 좌우하는 열화현상에는 LED를 구동시킴으로써 발생하는 내부의 직접적인 요인과 간접적으로는 재료물성과 기계적 요소에 의해 열화를 일으키는 요인이 되며 다른 요인으로는 패키지와 모듈의 외부에 의한 환경 요소가 작용한다. LED조명은 입력전력 대비 광 출력이 약 15~20[%]이며 나머지 에너지는 열로 변환되어 열에 의한 특성이 매우 빠르게 변하고 나아가 칩이 손상되는 현상까지 발생할 수 있다. 특히 LED의 입력 전류가 증가할수록 온도 역시 증가하는데 이는 소자의 영구적 파괴되는 결과를 초래한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 LED 내부 전류를 균등하게 분산시키기 위한 설계가 필수적이며, 이는 LED 내부에서

의 전기장 분포에 대한 정밀한 분석을 통하여 가능하다. 이러한 LED 선박 조명 설계 방향은 고 효율화 적용으로 나아갈 것이다. 이는 에너지 절감 차원에서 이루어지는 것인데, 백열등, 할로젠을 대체하면 소비전력 50~90[%]가 절감된다. 형광등을 대체 할 경우 소비 전력은 30~60[%] 절감이 가능하다. 또한 유지보수비 절감 및 신뢰성 확보를 이룰 수 있다. [5-7]

이에 본 논문에서는 저전력·고효율 광원으로 주목받고 있는 LED 광원을 이용한 선박용 LED Dome Light 신뢰성에 관한 연구를 진행하였다. 먼저 LED Dome Light 광원이 되는 LED Bare Chip의 열에 대한 광학적 특성을 분석하였다. 또한 LED Dome Light 등기구에 대한 열과 진동에 관한 신뢰성을 분석하고 LED Light를 선박에 적용하였을 때의 시간에 따른 광학 특성을 분석하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 선박용 조명 특성 분석

선박용 항해등은 형광등, 백열등, 할로젠등, 투광용등 등 많은 종류의 광원과 같은 유리전구 형태의 조명기구가 사용되고 있다. Fig.1 처럼 항해등이 사용되는데 선체의 중심선상의 갑판에 수직으로 세운 기둥으로 기선에서는 안테나 기둥이라고도 한다. 마스트의 상부는 무선용 안테나를 가설하거나 신호기를 계양하고 선등과 망대의 설치용으로 사용되며, 하부는 선창의 통풍용 또는 하역용 데릭붐(derrick boom)을 장치하는데 사용된다.

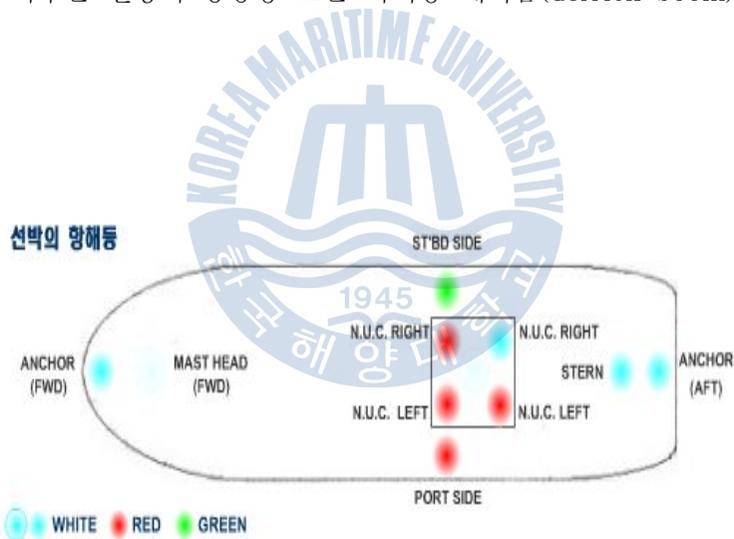


Fig. 1 선박의 항해등

선박의 객실이나 선실은 실내에 있으나 장시간 항해를 하게 됨으로 온도 변화, 풍량의 흔들림에도 견고하고 습도에 강한 조명으로 이루어져야 하며 갑판과 선외통로 등 외부에 노출되어 있는 곳은 해상 환경에 영향을 받게 되므로 소형경량화로 공간 이용률 및 내구성을 향상시켜야 한다. 엔진룸은 온종일 엔진과 기계들의 소음과 진동이 심

하기 때문에 내진성에 강한 등을 사용하여야한다.

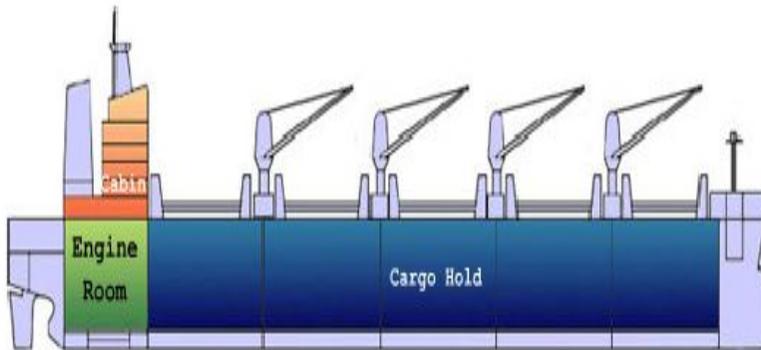


Fig. 2 선박의 구조

Fig.2처럼 선박의 구조에 따라 다른 선박용 등기구가 사용되는데 선박용 조명기구는 해수에 의한 방수성과 지상처럼 고정된 것이 아니라 파도에 의한 롤링피칭 등의 흔들림이 많아 내진성이 강한 조명기구를 사용하고 있다.

2.1.1 백열등

백열등은 전구의 유리구 안에 가는 금속선(필라멘트)을 넣어 만든 전구로서, 백열등이 빛을 내는 원리는 '온도복사'라는 물리 현상 때문이다. 모든 물질은 온도가 높아지면 빛을 발생시킨다. 1879년에 토머스 에디슨이 발명하였고 그는 전구에 쓰일 필라멘트의 재료를 찾기 위해 수많은 실험을 하였으며, 현재는 필라멘트로 텅스텐이 사용된다. 백열등에 사용되는 필라멘트는 텅스텐을 사용하는데 텅스텐은 금속 중에 가장 높은 녹는 점(3400[°C])을 가지고 있기 때문이다. 백열등은 유리구 속에 텅스텐 필라멘트를 봉입

하고 내부를 진공을 만들거나 또는 불활성 가스인 질소나 아르곤을 넣은 것이다. 금속 부분은 전류를 통하는 구실뿐만 아니라 전구를 소켓에 고정시키는 구실을 한다. 필라멘트는 20[W] 이하의 것에는 단(單)코일, 그 이상의 것에는 2중 코일의 필라멘트로 되어 있다. 2중 코일로 하면 봉입 가스의 대류로 인한 열손실을 감소시킬 수가 있어 효율을 높일 수가 있다. 또 가스를 봉입하는 것은 텅스텐이 고온으로 증발되어 유리구의 내면에 부착되어 까맣게 되는 것을 방지하기 위해서이다. 유리구의 내면을 젖빛유리로 만든 것은 눈부신 것을 막는다. 청색 유리를 사용한 주광색(晝光色)전구, 내열성 색소를 칠한 색전구(色電球), 순백색의 산광성도료(散光性塗料)를 칠한 전광전구(全光電球), 유리구의 모양을 반사각형으로 하고 그 내면을 도금한 리플렉터 램프 등이 있다. 전구는 최초의 밝기의 80[%]가 되기까지의 시간을 수명이라 하는데 현재의 규격으로는 1000 ~ 1200시간이다. 전구는 함께 사용하는 기구(셰이드나 글로브)의 선택이 중요하며 또 먼지가 묻어 조명 효과를 손실하는 일이 없도록 손질을 해 주는 것도 중요하다. 일반주택의 경우는 평당 30W 정도가 적당하다. 백열등은 전력의 약 10[%]만을 빛으로 전환하므로, 형광등이나 LED등과 같은 다른 대체체에 비해 에너지 낭비가 심하다. 많은 환경단체들이나 국가들에서 사용을 지양하고 있다. 몇몇 국가에서는 백열등의 사용을 줄이기 위한 법안이나 조례를 제정하였다. 선박용 백열등 등기구는 백열등을 사용하여 선박에 적합한 방수등급과 전기적 특성을 규격에 맞게 갖추게 되면 사용 가능하다. Fig.4는 제품으로 출시되고 있는 백열등 등기구이다. [8-9]



Fig.3 백열등



Fig.4 선박용 백열등 등기구

2.1.2 선박용 등기구의 관련 규정

2.1.2.1 선박용 백열등 관련 규정 KS V 8424

이 규격은 선박의 기관실, 노출부 등의 환경에서 백열전구를 광원으로 사용하는 선박용 백열등에 대하여 규정한다. 선박용 백열등의 주요 성능시험에 관한 규정은 다음과 같다. [10]

① 내진성

진동시험 KS V 8016의 A1-B1·0.5급·1.5H에 따라 시험하였을 때 변형이나 이상이 없어야 한다.

② 보호 성능

KS V 8017에 따라 백열등의 외래물, 감전 및 액체에 대한 보호 성능 시험을 실행한다.

③ 온도 상승

백열등 내에 설치된 외부 전선 접속용 단자의 온도 상승은 적합 전구를 그 정격 전압으로 점등하여 각부의 온도가 포화점에 도달하였을 때 외부 전선 접속부의 온도를 측정한다. 이때 측정된 온도는 40[°C] 이하이어야 한다. 다만 주위 온도의 한도는 45[°C]로 한다. 점멸 조작 등 손에 닿을 우려가 있는 기구 표면의 최고 허용 온도는 60[°C]로 한다.

④ 절연저항

KS V 0818에 따라 시험 저압 500[V]로 시험하였을 때 각 극 사이 및 충전부와 비충전 금속부 사이의 저항이 100[MΩ] 이상이어야 한다.

⑤ 내전압

KS V 0818에 따라 시험 전압 1500[V]로 시험하였을 때 1분간 견딜 수 있어야 한다.

그 외 인장 및 부하 강도 시험과 단락시험 등이 있으며 각각의 규정에 맞는 설계가 필요하다.

2.1.2.2 선박용 항해등 관련 규정 KS V 8866

이 규격은 선박에서 사용하는 항해등에 대하여 규정한다. 선박용 항해등의 주요 성능 시험에 관한 규정은 다음과 같다.

① 내진성

진동시험 KS V 8016의 A1-B1·0.5급·1.5H에 따라 시험하였을 때 변형, 이상이 없어야 한다.

② 보호성능

KS V 8017에 따라 백열등의 외래물, 감전 및 액체에 대한 보호성능 시험한다.

③ 온도 상승

적합 전구를 정격 전압으로 점등하고 본체 상부의 외면, 등창 유리의 외면 및 외선 접속 단자의 각부 온도가 포화점에 도달했을 때의 온도 상승 값을 측정 기준 주위 온도는 35[°C]로 한다.

이 때 타거나 열화 및 손상이 없어야 하고 각 부의 온도 상승은 다음과 같다.

- a) 등체 상부 외면 : 70[°C] 이하
- b) 등창 유리 외면 : 70[°C] 이하
- c) 외선 접속 단자 : 40[°C] 이하

④ 절연저항

KS V 0818에 따라 시험 전압 500[V]로 시험하였을 때 각극 사이 및 충전부와 비충전 금속부 사이의 저항이 20[MΩ] 이상이어야 한다.

⑤ 내전압

KS V 0818에 따라 시험 전압 1500[V]로 시험하였을 때 1분간 견딜 수 있어야 한다.

방전관식 섬광등에 대하여 트랜스의 1차 권선과 새시 사이에 1500[V], 트랜

스의 2차 권선과 새시 사이에 2500[V]의 정현파에 가까운 교류 전압을, 콘덴서의 양단과 새시 사이에 직류 1500[V]를 각각 1분간 가하고 점등한 후에 이상 유무를 조사한다.

그 외 염수 분무와 배광 시험 등이 있으며 각각의 규정에 맞는 설계가 필요하다.



2.2 신뢰성 분석

신뢰성이란 시간의 측면에서 본 품질로서 일정기간 동안 주어진 기능을 원활하게 수행 할 수 있는 품질의 능력. 즉, 제품을 오랫동안 고장 없이 잘 사용할 수 있다면 신뢰성이 높은 것이다. 각 시스템, 기기 부품 등이 규정된 사용조건 하에서 의도하는 기간 동안 요구되는 기능을 수행할 확률을 신뢰도라고 하는데 신뢰도를 평가하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다. [11-15]

- i) 제품에 요구되는 기능이 명확히 정의되어야 한다. 예) 소음 or 운행정지
- ii) 제품의 사용 또는 환경 조건이 규정되어야 한다. 예) 사막 or 시베리아
- iii) 제품의 사용기간을 측정할 수 있는 시간이나 시간에 상응하는 척도가 마련되어야 한다.

수명평가	<ul style="list-style-type: none"> - 수명시험, 가속수명시험, 가속열화시험, Virtual Qualification - 시험시간 단축을 위한 방향으로 발전 - 정상 사용조건 → 높은 스트레스 조건 : 시험시간을 단축 - 열화패턴 모델링 : 일정한 열화 경향을 가진 경우 고장시간 예측 - Virtual Qualification : 시간에 따른 고장메커니즘 모델링을 통한 수명 예측
초기결함 제거	<ul style="list-style-type: none"> - Burn-in, 환경 스트레스 스크리닝, 가속 스트레스 스크리닝 - Burn-in 시험 : 고온에 일정 기간 방치 - ESS(Environmental Stress Screening) : 환경시험을 통한 온도 사이클과 랜덤진동 활용, 초기 결함을 제거에 효과적 - HASS(Highly Acc, Stress Screening) : ESS를 변형한 초기 결함 제거 방법

Table. 1 신뢰성의 기술 동향

2.2.1 환경시험

환경시험의 순서는 시제품의 시험전의 이력의 영향을 제거하거나, 또는 부분적으로 중화하는 것을 목적으로 한 처리인 전처리(Pre-conditioning), 시험 전에 시제품의 성능상태를 확인하는 초기 측정(Initial examination and measurements), 환경조건이 시제품에 미치는 영향을 조사하기 위해 시제품을 규정 환경에 노출시키는 시험(Conditioning), 시험조건이 노출된 후 시제품의 특성을 측정하기에 앞서 안정화시키기 위한처리 후처리(Recovery), 시험 후 시제품의 성능 상태를 확인하는 최종측정 (Final examination and measurements)이 있다.

	test	목적 및 불량 메커니즘
Mechanical & Physics	Mechanical shock	<ul style="list-style-type: none"> - 선적 또는 이동 시 겪을 수 있는 충격 상황에 견딜 수 있음을 보임 - 부품의 취약한 부분 즉 Wire bonder, Die bonder, Seal 부분 등이 기계적으로 취약한 부품을 가려냄
	Vibration	<ul style="list-style-type: none"> - 특정한 주파수 범위의 진동에 견딜 수 있음을 보임 - 부품의 취약한 부분, 즉 Wire bonder, Die bonder, Seal 부분 등이 기계적으로 취약한 부품을 가려냄
	Thermal Shock	<ul style="list-style-type: none"> - 급격한 온도변화 환경에 노출시킴으로서 온도변화의 내성평가 - 제품을 구성하고 있는 물질마다 열팽창계수 차이가 다름으로 인하여 기계적으로 불안정하거나 접촉상태가 불안정한 부분을 찾아냄 (Wire bonder, Die bonder, Epoxy bonder, 부적절한 seal, metal의 micro crack 등)
	Saleability	<ul style="list-style-type: none"> - 납땜작업을 해야 하는 터미네이션의 납땜성 평가 - Porosity, Pinhole, Nonwetting 등의 납땜 성을 평가하며, 추가적으로 Thermal shock의 효과 발생

	Five Pull	<ul style="list-style-type: none"> - 인장이 발생한 환경에 견딜 수 있음을 보임 - 인장에 의한 정광률이 변화하여 제품의 성능이 열 화됨.
Endurance	Temp Cycling	<ul style="list-style-type: none"> - 저온과 고온에 노출시킴으로 인하여 부품의 열적 내성을 평가 - 체적의 변화에 의한 물리적 손상임. 온도 Cycle 에 의해서 야기되는 손상은 유리면의 crack, 봉합면의 깨짐, 기관 등의 깨짐에 의한 특성 변화와 외관의 깨짐 등을 발견
	High Temp. Storage	<ul style="list-style-type: none"> - 고온 저장에 의한 열적 내성을 평가 - 광섬유 및 부품의 깨짐 및 손상, 전송 및 반사 특성의 열화현상을 발견
	Low Temp Storage	<ul style="list-style-type: none"> - 저온 저장에 의한 열적 내성을 평가 - 광섬유 및 부품의 깨짐 및 손상, 전송 및 반사 특성의 열화현상을 발견
	Damp Heat (85°C/85%Rh)	<ul style="list-style-type: none"> - 수분의 침투에 의한 영향을 평가하기 위한 시험 중에서 시험기간을 단축하기 위하여 많이 사용하고 있음 - 에폭시에 의한 접합부에 문제 발생 등을 발견
	Cycling Moisture Resistance	<ul style="list-style-type: none"> - 온도가 저온이 되었을 때, 습도의 영향을 평가 - 물방울이 발생하여 전기적으로 문제가 발생하고, 부식이 발생하여 깨짐이나 접합부의 떨어짐이 발생함을 발견

Table2. 환경시험 및 불량 메커니즘

2.2.2 가속시험

가속시험이란 시간을 단축하기 위하여, 정상 사용조건보다 더 열악한 환경 하에서 시험하여, 짧은 시간 내에 고정 데이터를 얻은 후 얻어진 가속 수명 데이터를 수명과 스트레스 사이에 얻어진 관계를 이용하여 정상 사용조건하의 데이터로 환산하여 분석한다. Table. 3 에는 스트레스에 따른 수명 스트레스의 관계식이 있다. 정상 사용조건 하

에서의 수명을 예측하는 것으로 기계적 부하나 온도, 습도, 전압 등 사용조건(stress)을 가속화하여 고장시간을 단축시키는 수명시험 가속 모델로는 수명분포, 지수분포, 와이플 분포, 대수정규 분포가 있다. Fig.5의 수명시험 그래프로서 고장시간에 따른 스트레스에 대한 가속계수를 나타내고 있다.

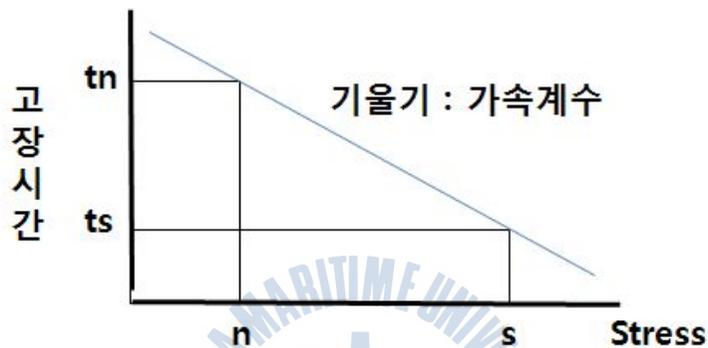


Fig.5 수명시험 그래프

- n : 정상사용조건
- s : 고장시간@ 정상사용조건
- tn : 가속된 사용조건
- ts : 고장시간@가속된 사용조건

스트레스 종류	수명과 스트레스 사이의 관계식
온도	Arrhenius relationship : $L=a \text{ EXP}[E/(kT)]$
전압	Inverse Power Model : $L=aV^{-n}$
온도 사이클	Coffin-Manson relationship : $L=a(\Delta T)^{-n}$
온도, 습도	Peck's relationship : $L=a \exp [E/(kT)] (RH^m)$

Table 3. 수명과 스트레스 관계식

2.2.3 진동시험

특정한 주파수 범위에서 일정한 진폭의 일관된 진동에 견딜 수 있는 부품의 능력을 결정하는 피로진동시험(Vibration Test, Fatigue)과 일정한 주파수 범위에서 가변 주파수의 진동을 견딜 수 있는 부품의 능력을 평가하는 가변주파수진동시험(Vibration Test, Variable Frequency)이 있으며 모두 파괴적인 방법이다. 전자는 특정 시험 조건에 대응하는 peak 가속을 갖는 일정한 진폭의 단순 조화진동에 부품을 노출시키는데 시험규격은 Mil Std 883 Method 2005에 준한다. 후자는 특정 수준에서 가변 주파수 진동에 부품을 노출시키는 것으로 0.06" 정도의 최대(peak-to-peak) 진폭을 갖는 단순 조화진동, 혹은 특정 시험 조건에 대응하는 peak 가속으로 수행한다. 진동 주파수는 20에서 2000[Hz]사이에서 로그 함수적으로 변화한다. Mil Std 883 Method 2007에 준한다.

두 개의 진동시험은 서로 다른 형태의 진동과 관련된 고장을 찾기 위하여 고안되었지만 많은 부분에서 비슷하다.

2.2.3.1. 장비

진동피로시험(Method 2005)은 특정한 수준에서 일관된 진동을 제공할 수 있는 시험장비가 요구되며 시험 후에 측정을 수행할 수 있는 광학 및 전기적 장치가 필요하다.

가변 주파수 진동시험(Method 2007)은 일정 수준에서 가변 주파수 진동을 제공할 수 있는 시험 장비가 필요하며 시험 후에 측정을 수행할 수 있는 광학 및 전기적 장치가 필요하다. 제품은 안전을 위해서 진동대에 확실하게 고정되어야 한다.

2.2.3.2. 시험평가 방법

진동시험은 일정한 주파수 범위에서 기계적 진동이 제품에 미치는 영향을 결정하는데 수행된다. 목적에 부합하면서 널리 쓰이는 두 개의 Mil 기준이 있다.

- a. 진동 피로시험, Mil Std 883 Method 2005
- b. 가변 주파수 진동시험, Mil Std 883 Method 2007

(1) 진동피로시험 (Vibration Test, Fatigue)

제품은 일정 시험 조건에 대응하는 peak 가속을 갖는 일정한 진폭의 단순 조화진동에 노출된다. 진동은 X, Y, Z 방향으로 각각 최소한 32+/-8 시간 수행되어야 하며, 최소 총 96시간 수행이 가능해야 한다. 이러한 시험에서 사용 가능한 조건은 아래와 같다. 제품은 0.06“ +/-10[%] 정도의 최대(peak-to-peak) 진폭을 갖거나 특정 시험조건 Table.4 에 대응하는 peak 가속을 갖는 단순 조화진동에 노출된다.

Test Condition	Stress Level (g)
A	20
B	50
C	70

Table.4 Test Conditions for the Vibration Fatigue Test per Mil-Std-883 Method 2005

(2) 가변주파수 진동시험 (Vibration Test, Variable Frequency)

가변 주파수는 20에서 2000[Hz] 사이에서 대략 로그 함수적으로 변화한다. 20-2000[Hz]의 전체 주파수 범위와 20Hz로의 회귀는 4분을 초과해서는 안 된다. X, Y, Z 방향으로 각각 4회 순환하며, 총 12회 순환이 필요하다. 시험 조건은 Table.5와 같다.

Test Condition	Stress Level (g)
A	20
B	50
C	70

Table.5 Test Conditions for the Vibration Fatigue Test
per Mil-Std-883 Method 2005

2.2.3.3. 결과의 활용

어떠한 진동시험이든 시험이 완료된 후에는 케이스, 리드, 봉인의 외관검사를 10배에서 20배로 수행하며, 마킹은 확대하거나 확대 없이 검사하여야 한다. 시험 후에 판독하기 어려운 마크 혹은 케이스, 리드, 봉인에 손상을 어떠한 증거도 모두 고장으로 간주하여야 한다. 추가적인 특성 측정은 진동시험 후에 진행할 수도 있다.

제 3장 실험 방법

3.1 LED Bare chip의 온도에 따른 전류 특성 측정

본 연구에서 수행한 온도에 따른 전류특성 분석은 청색 LED Bare chip을 사용하였으며 ELT-1000을 이용하여 온도에 따른 광특성 실험 분석 하였다. 먼저 온도에 따른 LED Bare chip의 특성을 알아보기 위해 25[°C], 85[°C], 100[°C], 125[°C]로 변화시켰다. 플레이트의 온도가 LED Bare chip에 전해지도록 30분이 지난 후 실험을 하였다. Fig6은 실험에 사용된 LED Bare chip이고 Table.6은 온도에 따른 전류특성 분석에 따른 실험 조건을 나타내고 있다.

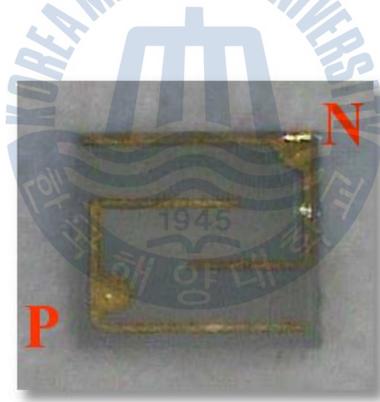


Fig. 6 LED Bare chip

Factor	Test Condition
	Temperature[°C]
Bias 1mA, 3mA, 5mA, 10mA, 15mA, 20mA	25
	85
	100
	125

Table.6 Bare chip의 온도별 전류특성 실험조건

3.2 LED Dome Light 설계 및 제작

모듈에는 Blue LED을 사용하였고 Table.7 에 나타낸 것과 같이 LED 한 다이의 Luminous intensity는 7[cd]이고 Color temperature는 6000 ± 500 [K]이다. Chip은 3[Chip]을 사용하였으며 구동 전류는 3~3.2[V] 이고 전류는 60[mA]이다. 고집적 모듈을 구현하기 위해 총3series로 12parallel를 사용하여 총 36개의 LED를 실장 하였다. Metal PCB는 LED 칩에서 발생한 열을 효율적으로 외부에 전달하는 열 전도판 역할을 한다. Fig.7 은 LED 칩의 배치도이다.

Luminous intensity [cd]	7
Color temperature [K]	6000 ± 500
Chip Q'ty [chip]	3
Forward voltage [V]	3 ~ 3.2
Input current [mA]	60

Table.7 LED 칩 모듈의 사양

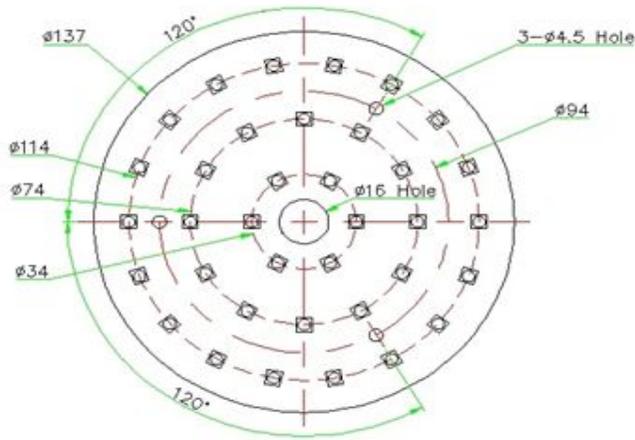


Fig.7 LED 칩 배치도

LED Dome Light는 LED 전원의 특성상 교류를 직류로 변화하는 전원 효율의 안정을 위한 POWER controller, LED가 갖는 열에 대한 단점을 전력대비 효율증가를 위해 LED칩을 36개로 배열, 등 기구와 함께 할 수 있는 소형 컨버터, 열에 대한 방열이 빠르게 일어나기 위한 메탈 PCB, 휘도가 높은 LED의 눈부심 방지와 빛의 방향 조절을 위해 확산판에 설계의 초점을 두었다. Fig.8 은 LED Dome Light 모듈의 설계 모습이다. Fig. 9 는 제작한 LED Dome Light의 점등 시 모습이다.

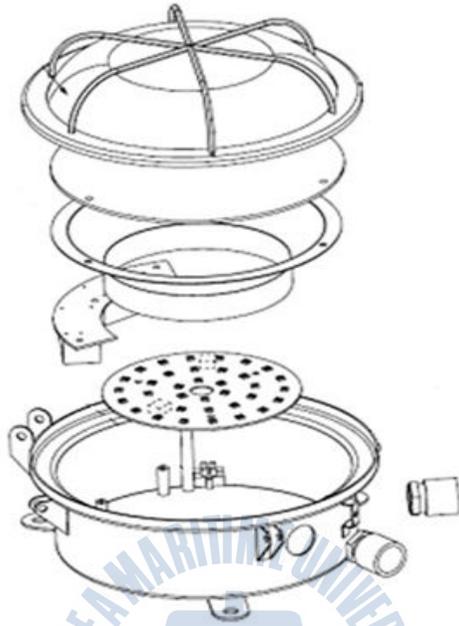


Fig. 8 LED Dome Light 모듈 구조

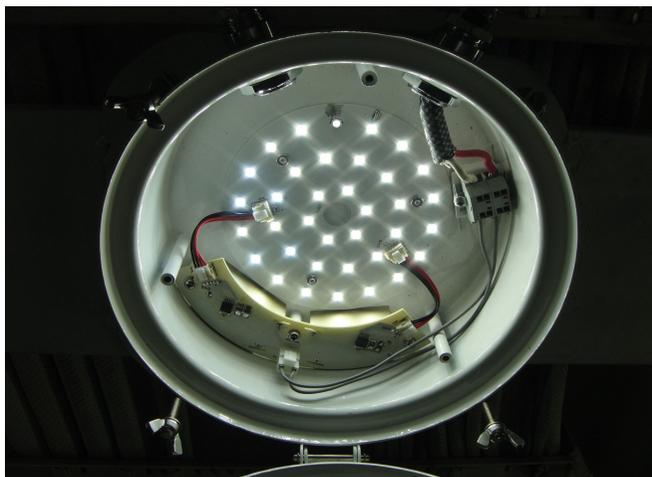


Fig.9 제작한 LED Dome Light의 점등시 모습

3.3 LED Dome Light의 광학특성 시험

LED Dome Light와 선박용 백열등의 광학적 특성을 알아보기 위하여 조도를 측정 하였다. 광학분석 실험은 LED Dome Light와 60W 급 선박용 백열등을 사용하였으며, 암실에서 실시하였다. 광학적 특성을 알아보기 위해 CI-200 (Minolta)을 사용하여 Fig.10과 같이 CI-200과 LED의 광이 일직선상에 마주보도록 장치하고 1[m]의 위치에 배치하여 백열등광과 LED광을 직접 조사하였다. LED Dome Light는 3chip LED를 사용하였으며 전류는 60[mA](per die : 20[mA]) Table.8에는 백열등과 LED 등기구의 광학 분석 실험 환경을 나타내고 있다.

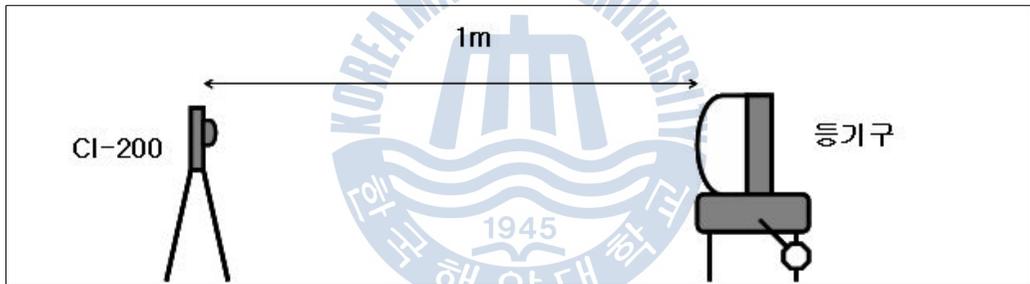


Fig.10 등기구의 광 특성 분석

Factor	Test Condition
측정 장비	CI-200 (Minolta)
실험장소	Dark room
온 도 [℃]	23 ± 2

Table.8 등기구의 광학적 분석 실험 환경

3.4 LED Dome Light의 온도 실험

LED Dome Light의 전류에 따른 온도변화에 대한 실험을 수행하기 위해 전류를 흘려주기 전에 등기구의 정격전류를 확인하였다. LED Dome Light에 정격 전류를 흘려주었을 때 얼마나 Dome Light의 온도가 변화를 확인하기 위해 전류를 각각 50[mA], 60[mA], 70[mA]를 흘려주며 Fig.11과 Fig.12와 같이 LED PCB, HEAT SINK, SMPS 표면, 내부온도 이렇게 네 곳에 온도 센서를 달아 전류별 온도변화 실험을 수행하였다. Table.9에서 전류 값의 변화에 따른 각 부분별 온도변화 실험의 조건을 나타내고 있다.

Factor	Test section
50mA, 60mA, 70mA	외부온도
	LED PCB
	BODY 내부면
	SMPS표면
	등기구 내부 온도

Table.9 전류에 따른 온도변화의 실험 조건

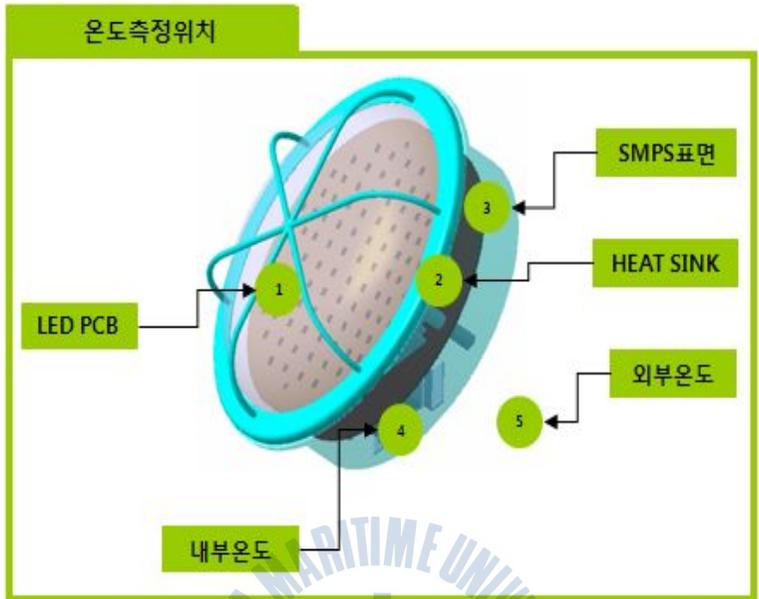


Fig.11 LED Dome Light의 온도 측정 위치1

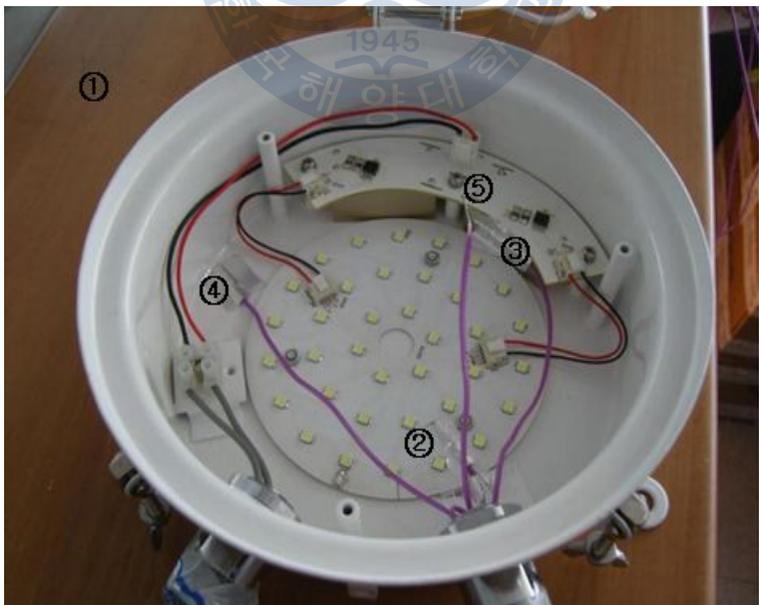


Fig.12 LED Dome Light의 온도 측정 위치2

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 LED Bare chip의 온도에 따른 전류 특성

LED Bare chip의 온도를 상온인 25[°C]에서 고온인 125[°C]로 변화시키면서 전류를 흘려준 LED Bare chip의 전류특성 결과는 Fig.13에 나타내었다. LED는 전자와 홀의 광전효과로 광전자가 나오는데 온도가 높아짐에 따라 결합 확률이 낮아지기 때문에 상온에서 고온으로 가면서 VF 값이 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

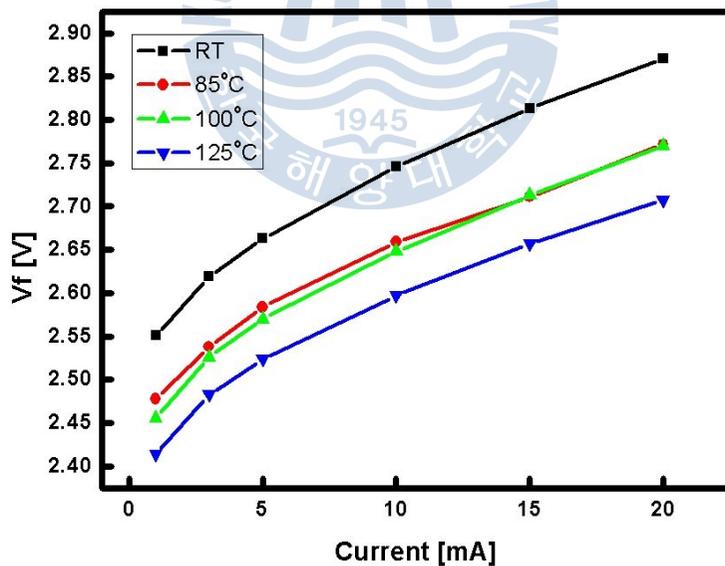


Fig.13 LED Bare chip의 온도에 따른 VF 특성

전류가 1[mA], 3[mA], 5[mA], 10[mA], 15[mA], 20[mA]일 때 Bare chip의 온도 변화에 따른 광도분석 그래프를 나타내고 있다. 구동온도가 높아짐에 따라 청색 LED

Bare chip은 장파장 쪽으로 이동하게 되는 것을 Fig.14에서 확인 할 수 있었다. Fig.15와 Fig.16은 온도변화에 따른 광색온도 그래프를 나타내고 있다. 상온에서 고온으로 갈수록 cx값은 낮아지고 cy값은 증가하는 것을 볼 수 있었다.

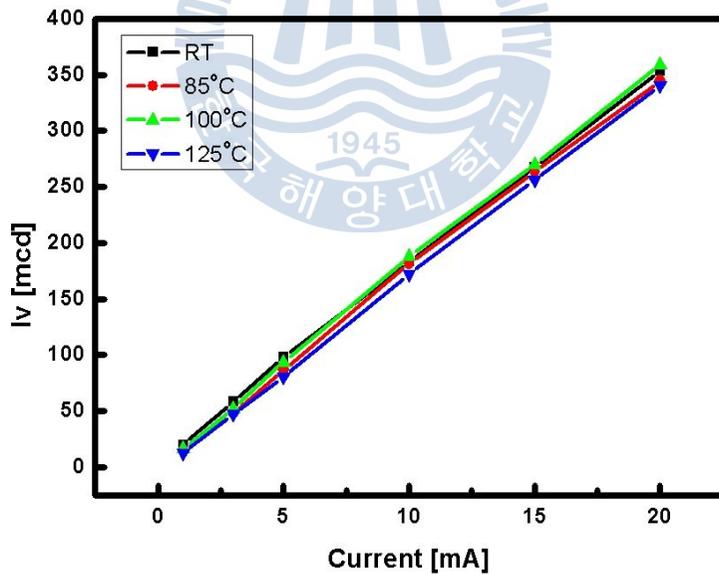


Fig.14 LED Bare chip의 온도에 따른 Iv 특성

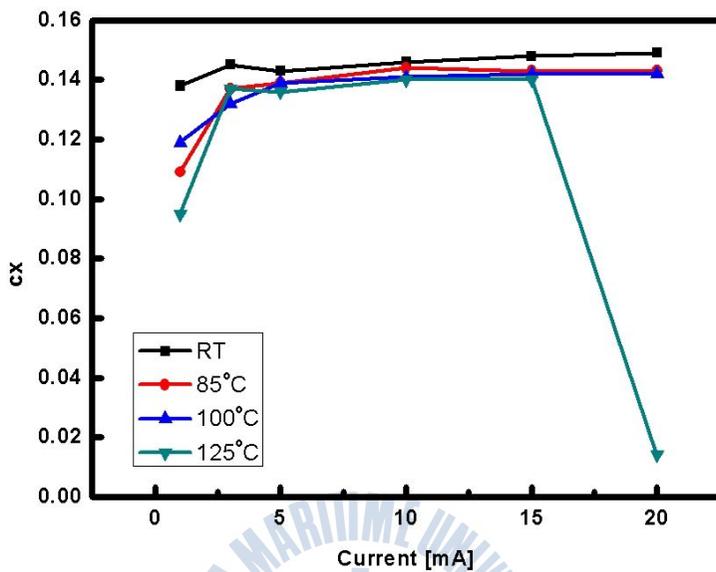


Fig.15 LED Bare chip의 온도에 따른 색좌표 cx

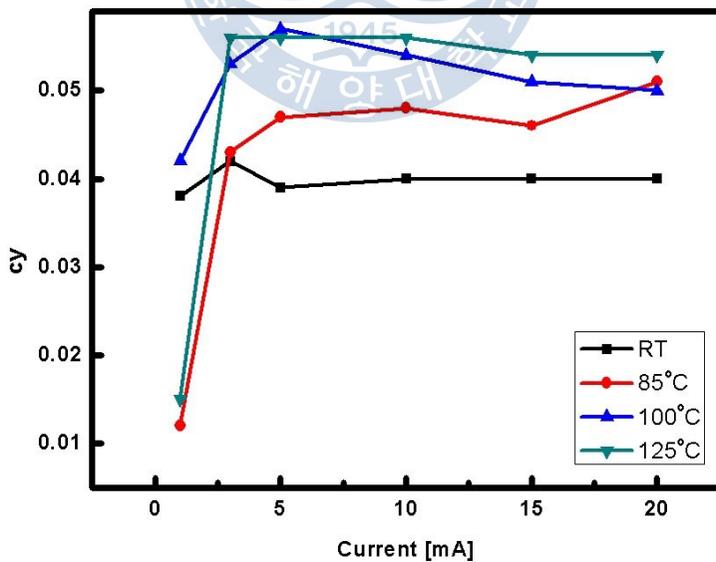


Fig.16 LED Bare chip의 온도에 따른 색좌표 cy

이와 같은 결과를 종합하였을 때, 온도가 올라감에 따라 VF와 광도가 감소함을 알 수 있으며 이는 온도가 높아짐에 따라 전자와 홀의 결합 확률이 낮아지기 때문에 VF가 떨어짐에 따라 광도 역시 떨어지는 것을 알 수 있었다. 온도가 변화하는 것에 의하여 금지대폭이 변화하기 때문에 파장에 변화가 생겨 구동온도가 높아짐에 따라 GaN계열의 칩은 장파장 쪽으로 이동하게 되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 LED PN junction의 온도는 80[°C] 미만으로 관리가 필요하며 LED Dome Light를 제작 하였을 때 LED 칩의 온도가 80[°C] 올라갔을 때 내부온도가 50[°C] 이기 때문에 LED Dome Light의 내부 온도는 50[°C] 미만으로 설계가 필요하다.



4.2 LED Dome Light의 광학 분석

Dome Light의 광학 분석을 하기 위해 빛의 발광 부분부터 1m되는 지점에서 각도별로 조도를 측정하였다. 결과는 아래 표에 나타내었으며 이에 대한 배광 곡선은 아래 그림에 나타냈었다. Table.10에서 LED Dome light와 백열등 Dome light의 광학 분석 데이터에서 Beam angle은 백열등과 LED 모드 같은 각이 나왔지만 조도에서 LED가 백열등 보다 10[lux] 더 높은 수치를 나타냈다. Fig.17과 Fig.18의 LED와 백열등의 배광곡선에서 나오는 것처럼 형광등은 빛이 진행하면서 약해지며 옆으로 퍼지는 형태를 나타내는 LED는 빛이 퍼지지 않고 한곳으로 모이면서 멀리 나아가는 형태를 관찰할 수 있었다.

	백열등 Dome light	LED Dome light
Beam angle[°]	± 25	± 25
최대 조도[lux]	170 [at 1meter]	180[at 1meter]

Table.10 LED Dome light와 백열등 Dome light의 광학 분석 데이터

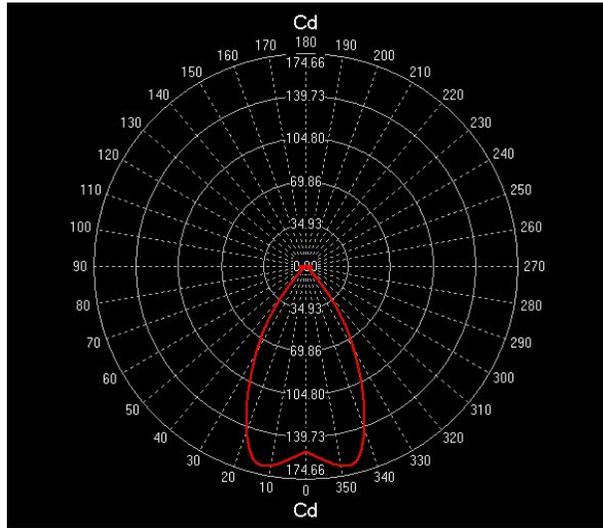


Fig.17 100[W]급 백열등 Dome light distribution curve

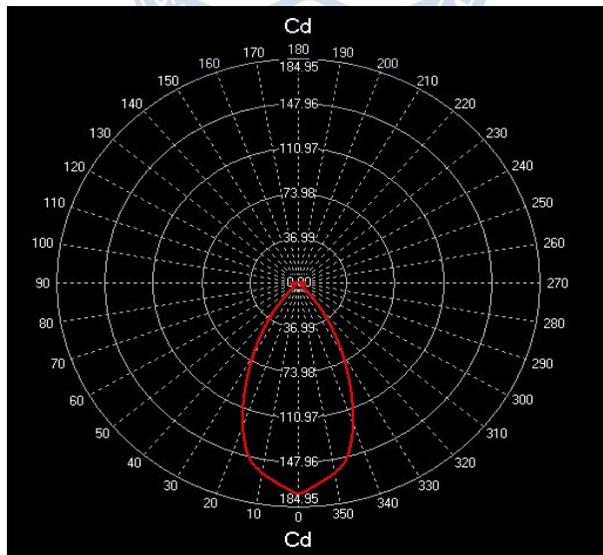
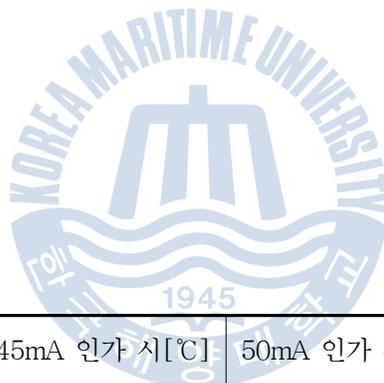


Fig.18 60[W]급 LED dome light distribution curve

4.3 LED Dome Light의 전류에 따른 온도 특성

LED Dome Light에 전류를 45[mA]에서 60[mA]로 변화시키며 각 부분의 온도변화의 결과는 아래 표에서 나타내었으며 이에 대한 분석 값은 Table.11에 나타냈었다. 측정은 1시간동안 전류를 흘려주었을 때 변화를 분석하였다. 실험 결과 LED Dome Light PCB온도는 70[mA]를 인가하였을 때 49.7℃로 50℃보다 낮음을 알 수 있었고 이것은 과전류가 흘렀을 때도 정상적인 동작이 가능한 것을 볼 수 있다.



NO	측정위치	45mA 인가 시[℃]	50mA 인가 시[℃]	60mA 인가 시[℃]
(1)	LED PCB	43.6	45.7	49.7
(2)	HEAT SINK	32	39	46.8
(3)	SMPS 표면	56.9	59.1	65.1
(4)	내부 온도	35.5	40	48
(5)	외부 온도	27.1	27.6	28

Table 11. 전류변화에 따른 LED Dome Light의 온도변화

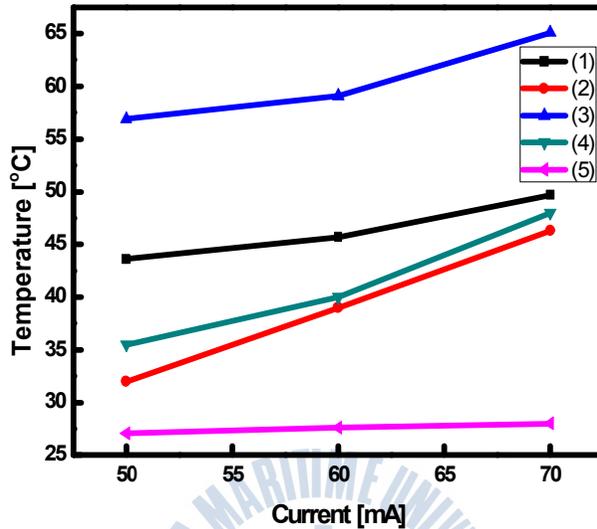


Fig. 19 전류변화에 따른 LED Dome Light의 온도변화 그래프

전류변화에 따른 LED Dome Light의 온도변화 그래프 Fig.19에서처럼 전류가 높아질수록 온도의 변화가 생기는데 이는 방열판이 열적 포화(Thermal saturation)가 이루어지면 포화가 된 열원은 외부 대류가 없으므로 결국은 LED device에 지속적으로 damage를 가하게 된다. 이는 정격전류로 동작을 하다가 과전류가 흐르게 되거나 내부 온도가 높아져 신뢰성에 문제가 생길 것으로 예상된다.

4.4 LED Dome Light의 진동 특성

시험 규격은 KS V 8016에 의거하여 Led Dome Light의 진동 시험 진행하였다. Fig.20과 지그에 등기구를 달고 나사의 조임 등을 확인하고 전압을 인가해준다. 진동 상태에서 점등 상태를 확인하기 위해 점등을 시키고 시험을 시작한다. 진동 시험은 공진 시험을 시행하였으며 Table.10과 같이 진동 5~16.7[Hz] 사이에 보진폭 0.75[mm]의 진동을 인가하였고 X,Y,Z(상하, 좌우, 전후) 방향으로 진동을 인가하였다. 공진이 있는 경우에는 공진축 방향으로 공진주파수의 진동을 인가하였고 보진폭 0.75[mm]의 진동을 15분 동안 인가하였고 공진이 없는 경우에는 축 방향으로 16.7[Hz]의 진동을 인가하였으며 보진폭 1[mm] 진동을 30분간 인가하였다.

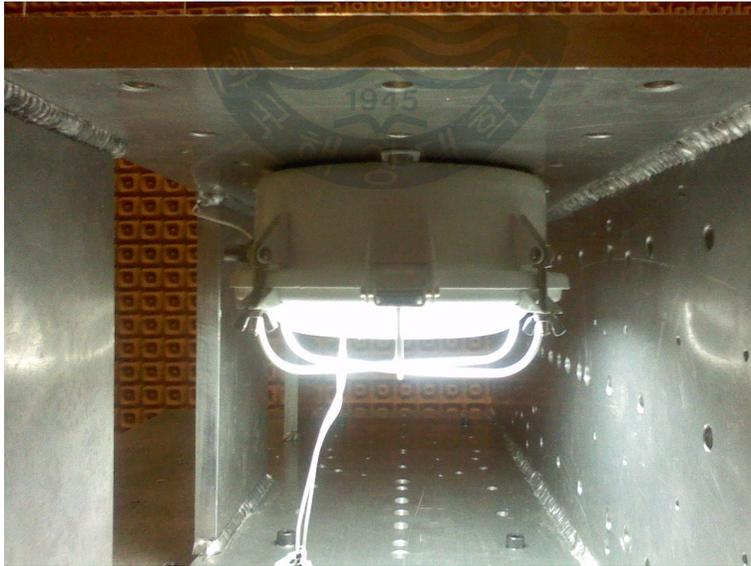


Fig.20 LED Dorm light의 진동시험

진동 방향	주파수 범위	보진폭
X-축 (전후)	5 ~ 16.7 [Hz]	0.75[mm]
Y-축 (좌우)	5 ~ 16.7 [Hz]	0.75[mm]
Z-축 (상하)	5 ~ 16.7 [Hz]	0.75[mm]

Table.12 LED 등기구의 진동 시험 조건

본 논문에서 제작한 LED Dome light table.12와 같은 진동 시험조건, X, Y, Z 축 방향의 5 ~ 16.7[Hz], 보진폭 0.75[mm]의 조건에서 공진이 없었으며, X, Y, Z 축 방향의 16.7[Hz], 보진폭 1[mm], 30분 동안 인가 조건에서 이상이 없는 우수한 진동 특성을 나타내었다.



4.5 LED Dome Light의 경시변화 특성

적용 실험을 위해서 Fig.21, Fig.22, Fig.23과 같이 한국해양대학교 한바다 호 엔진룸에 LED Dome Light를 설치하여 60[W]급 형광등 대체 선박용 LED Dome Light를 엔진룸에 설치하고 옆의 형광등과 비교하여 조도 변화를 분석하였다.



Fig.21 한바다호 엔진룸에 LED Dome Light 설치



Fig.22 LED Dome Light 점등 시



Fig.23 LED Dome Light 엔진룸 설치

35주 동안 조도계를 이용하여 LED Dome Light와 형광등의 조도, 색온도 각 LED 칩의 변화를 관찰하였다. 광원과 거리는 1[m]로 두고 조도계를 사용하여 조도와 색온도를 측정하였다. LED를 광원으로 쓴 Dome Light는 Fig.24에서처럼 조도가 조금씩 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이에 비해 형광등은 Fig 25에서처럼 형광등의 조도변화에서는 급격한 조도변화를 보인다. 선박의 진동의 영향과 형광등의 저 수명 때문에 급격한 변화를 보이는 것으로 예측된다. Fig 26, Fig.27은 LED와 형광등의 색온도의 변화에 대해 나타낸 그래프이다. 조도 변화에서 나타난 것처럼 색온도에서도 LED는 거의 변함이 없는 반면에 형광등은 급격한 온도변화를 나타냄을 관찰 할 수 있다.

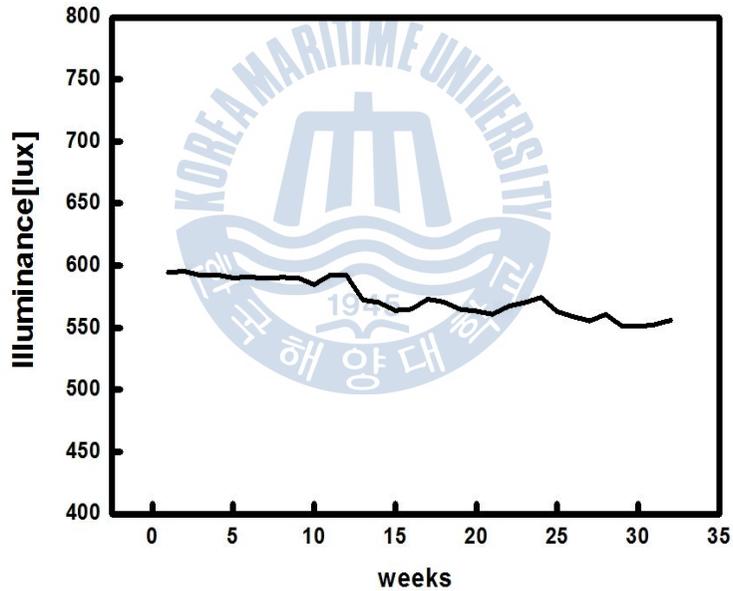


Fig.24 엔진룸의 LED Dome Light의 조도 변화

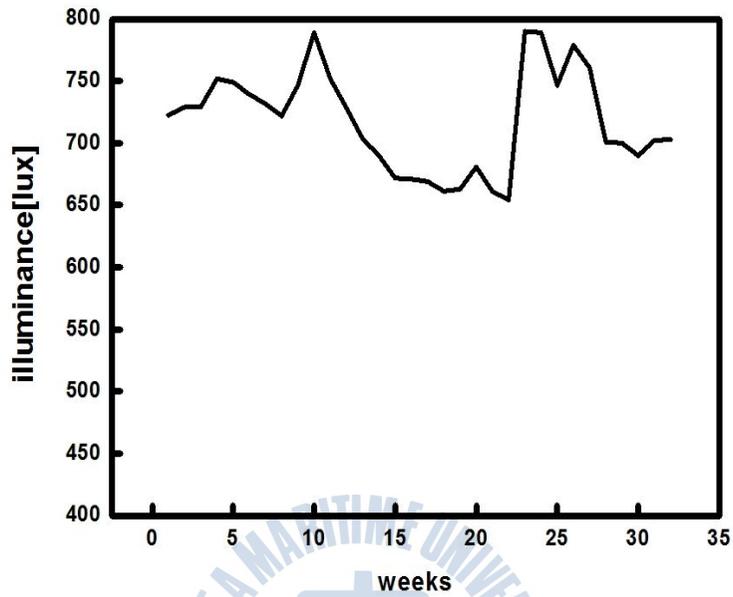


Fig.25 엔진룸의 형광등의 조도 변화

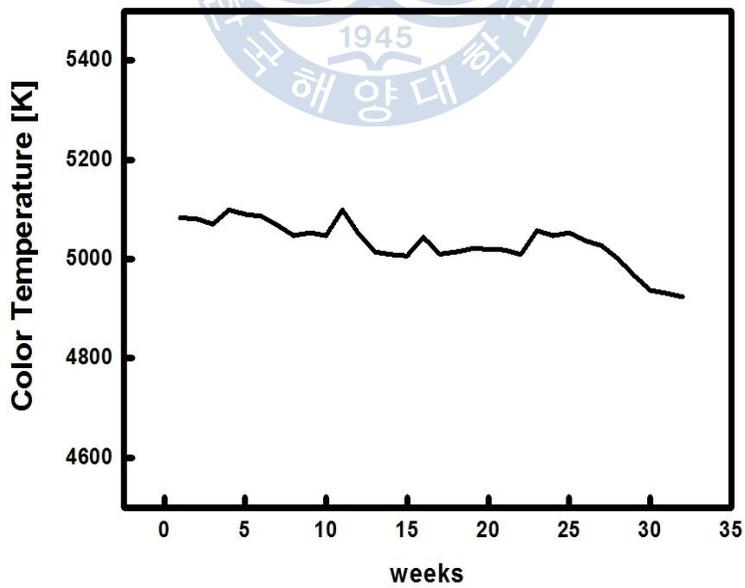


Fig.26 엔진룸 LED Dome Light의 색온도 변화

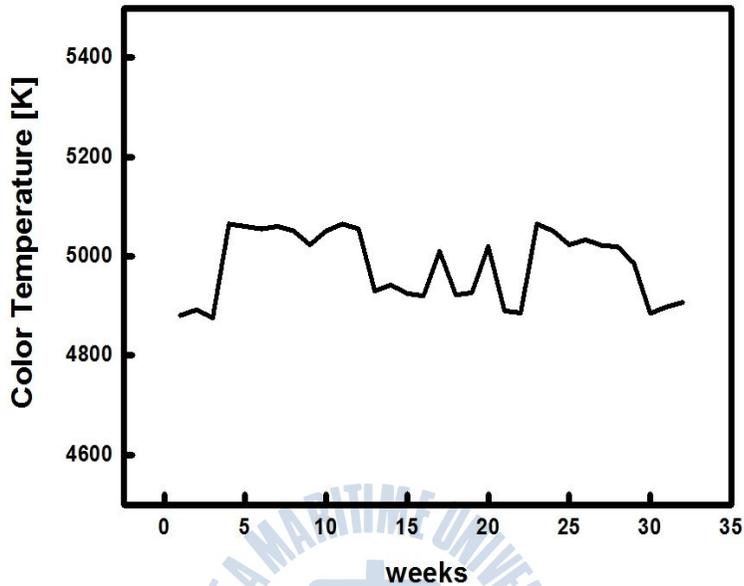


Fig.27 엔진룸 형광등의 색온도 변화

Fig.28는 조도 변화에 따른 LED Dome Light 내의 LED칩의 정상 작동 칩의 개수 변화를 타나 내고 있다. 동작을 하면서 시간이 지날수록 정상적으로 white내는 LED 칩의 개수가 줄어들고 blue 빛을 내거나 빛을 내지 못하는 LED 칩이 늘었다. 35주간 실험을 하면서 약 5개의 칩이 정상 작동을 하지 못하는 것을 관찰 할 수 있었는데 Fig. 28에서처럼 LED 칩이 정상 작동을 하지 않을 때 조도가 조금씩 내려가는 것을 볼 수 있었다. LED 칩이 Dome Light에서 장시간 정상 동작을 하기 위해서 이런 불량 이 일어나는 것을 방지하기 위해 칩을 스크린 할 수 있는 과정이 필요하다.

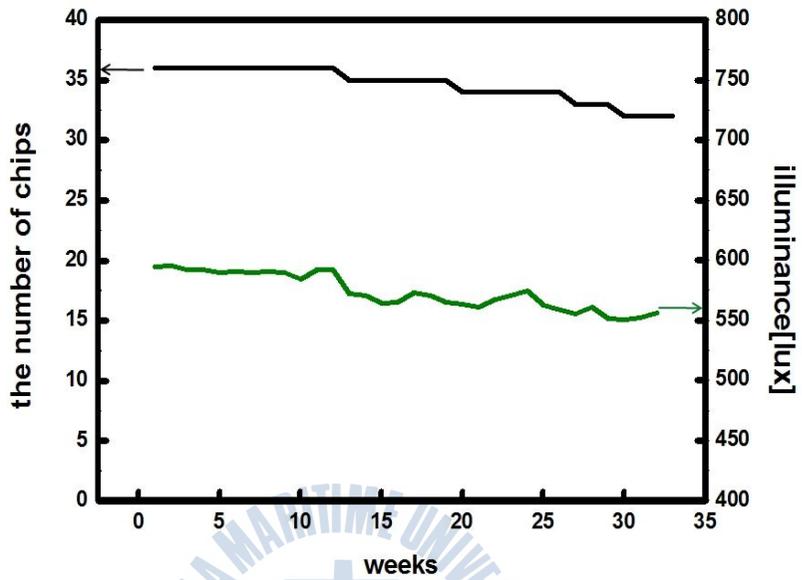
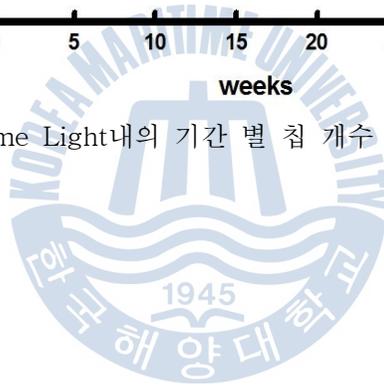


Fig.28 LED Dome Light내의 기간 별 칩 개수 변화와 조도 변화



제 5 장 결 론

본 논문에서는 기존의 백열등 선박조명을 대체하기 위해 LED를 활용한 선박조명의 신뢰성에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에 먼저 LED Bare Chip으로 LED의 온도에 따른 전류 및 광 특성 분석을 선행하였으며 LED Dome light에 대한 열 및 전류 특성과 분석하였다. 또한 선박에 LED Dome Light를 설치하여 시간에 따른 광학 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. LED Bare Chip은 온도 85[°C]이상 증가함에 따라 VF와 광도가 감소함을 보였다. 이는 온도가 높아짐에 따라 전자와 홀의 결합 확률이 낮아지기 때문에 VF가 떨어짐에 따라 광도 역시 떨어졌다. 구동온도가 높아짐에 따라 GaN계열의 칩은 장파장 쪽으로 이동하게 되는 것을 관찰할 수 있었다.

2. LED PN junction의 온도를 80[°C] 미만으로 관리하기 위해서는 LED Dome Light의 내부 온도는 50[°C]미만으로 설계가 필요하다.

3. 1시간 동안 LED Dome Light에 70[mA]의 과전류를 흘려주었을 때 부분별 전류에 따른 온도 변화에서 PCB온도가 49.7[°C]이고 내부 온도는 46.8[°C]로서 온도가 50도[°C]미만으로 유지 되면서 설계된 LED Dome Light의 신뢰성 있는 동작이 가능하다.

4. LED Dome Light의 실장 경시변화 특성에 있어 LED Chip의 10[%] 정도의 불량 발생을 관찰 할 수 있다.

5. 선박에 설치된 LED Dome Light는 형광등에 비해 높은 효율을 나타남을 확인하였으며, LED Dome Light의 경시변화 신뢰성을 높이기 위해 LED 칩의 Screen 조건 실험이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 지식경제부, “LED산업 신성장동력화 발전전략”, LED 융합 조명산업 발전전략 자료집, 2008
- [2] 산업경제리서치, “LED 조명 및 LED 애플리케이션 산업총람”, 산업경제리서치, 2010
- [3] 산업교육연구소, “LED사업지원 및 LED융복합 신사업전략”, 산업교육연구소, 2010
- [4] 산업자원부, “LED조명 보급 추진계획”, 산업자원부, 2006
- [5] E.Fred Schubert, "Light-Emitting Diodes", Cambridge University Press, 2003
- [6] G.B.Stringfellow and M.G.Craford, "High Brightness LEDs.", Academic Press, 1997
- [7] Robert F. Pierrent, "Semiconductor Device Fundamentals", Academic press, 1997
- [8] Gilbert S. Ram, “The Incandescent Lamp and Its Manufacture ”,Academic Press, 1894
- [9] 김천오, 박현호, “조명공학”, Academic Press, 2010
- [10] 한국표준협회, “KS 핸드북”, 한국표준협회 2000
- [11] 차명수, 김호균 “신뢰성공학”, Academic Press, 2010
- [12] 원형규, “고장률 중심의 기초 신뢰성 공학”, Academic Press, 2010
- [13] 권영일, 박동호 “신뢰성 시험 분석 평가”, Academic Press, 2007
- [14] Natvig, Bent, "Multistate Systems Reliability Theory with Applications ", Academic Press, 2011
- [15] Walker, I. R., "Reliability in Scientific Research", Academic Press, 2011