



저작자표시-비영리 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 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

극저온에서 발광다이오드(LED)의
동작 특성에 관한 연구

A Study on the Operation Characteristics of Light Emitting Diode
at Ultra-low Temperature



2014年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

河 姬 朱

本 論文을 河姬朱의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長：工學博士 金 潤 植 ①

委 員：工學博士 吉 暻 碩 ①

委 員：工學博士 張 樂 元 ①



2014年 6月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

河 姬 朱

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	iii
Abstract	v
제 1 장 서 론	1
제 2 장 이 론	4
2.1 발광다이오드(LED)의 동작 특성	4
2.2 ICE CLASS	11
제 3 장 실험 및 방법	17
3.1 광 원	17
3.1.1 LED 패키지	17
3.1.2 방열 해석	20
3.1.3 LED 별브 및 CFL	26
3.2 실험계의 구성	28

제 4 장 측정 및 분석	30
4.1 LED 패키지	30
4.2 LED 별브 및 CFL	34
제 5 장 결 론	35
참 고 문 헌	37



그림 및 표 목차

<그림 목차>

그림 1.1	북극항로	1
그림 1.2	LED 조명의 시장 점유율	2
그림 2.1	LED 패키지의 전압-전류 곡선	4
그림 2.2	LED 패키지의 전류-광출력 곡선	5
그림 2.3	열전달 경로	6
그림 2.4	주위온도와 허용전류	8
그림 2.5	LED 패키지의 온도-광출력 곡선	9
그림 2.6	LED 패키지의 온도-수명 곡선	9
그림 2.7	LED 패키지의 온도-전압 곡선	10
그림 2.8	북극의 항로	12
그림 2.9	쇄빙선	14
그림 3.1	회로 구성	17
그림 3.2	LED driver 블록선도	19
그림 3.3	모델 1	22
그림 3.4	모델 2	22
그림 3.5	모델 3	23
그림 3.6	모델 1의 시뮬레이션	23
그림 3.7	모델 2의 시뮬레이션	24
그림 3.8	모델 3의 시뮬레이션	24
그림 3.9	CFL과 LED 벌브 사진	26
그림 3.10	극저온 냉동고 사진	29
그림 3.11	실험계 구성	29
그림 4.1	LED 패키지에 대한 광출력	31
그림 4.2	LED 패키지의 순방향 전압	31
그림 4.3	LED 패키지의 광출력(드라이버)	32

그림 4.4	LED 패키지의 순방향 전압(드라이버)	32
그림 4.5	벌브의 광출력	34

<표 목차>

표 2.1	ICE CLASS 종류	11
표 2.2	스웨덴-핀란드의 ICE CLASS	12
표 2.3	극지등급 종류	13
표 2.4	Cold endurance 시험	16
표 3.1	LED 패키지 사양	18
표 3.2	시뮬레이션 조건	21
표 3.3	방열판의 크기	21
표 3.4	벌브의 사양	26



A Study on the Operation Characteristics of Light Emitting Diode at Ultra-low temperature

by Hee-Ju, Ha

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



Abstract

The interest in development on luminaires which are available up to -52°C is surging as demands in vessels navigating a north pole route increase. A conventional incandescent lamp is operated stably at -52°C , but luminous efficacy is lowered less than 10lm/W . Also, lifetime is less than 1,000 hours, which is quite short. In addition, many countries including Korea have eliminated the use of incandescent lamps gradually since 2014.

In this thesis, therefore, to elicit design method of the LED luminaires that enables to substitute for incandescent lamp, has studied about cryogenic characteristics of LED packages, bulbs, driving circuit and power supply. This experiments were carried out according to

standards IEC 60945-8.4.1. We analyzed and compared electrical and optical characteristics of LEDs, which are related to components and CFL in temperature range of $-60^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$. In the case of the LED package, it was applied with the thermal analysis programs designed to optimal heat dissipation structure.

As a result of the test, on the basis of the 25°C , LED packages's light output increased 1.7~1.9 times at -60°C and forward voltage of the warm-white and cool-white is respectively increased by 1.73V and 2.11V. And when LED package's light output connected the driver, is increased to 1.6~1.8 times. Forward voltage of the warm-white and cool-white is respectively increased by 1.49V and 2.11V. And the CFL's light output is rapidly reduced as the temperature is lowered, and it does not light below -25°C . While all LED bulb's light output is increased by 1.2 times at -60°C .

Regarding the performance of the LED driving circuit and the power supply at cryogenic temperatures, there was no problem with lighting and operations.

제 1 장 서 론

최근 지구 온난화로 인한 북극해 해빙의 가속화와 선박 건조 기술의 발달로 북극항로(North pole route)가 개척되고 있다. 북극항로는 북극해를 통하여 극동과 유럽을 잇는 항로를 말하며, 가장 큰 장점은 운항시간 단축과 연료 절감이다^[1].



그림 1.1 북극항로

Fig. 1.1 North pole route

그림 1.1과 같이 한국에서 이집트의 수에즈 운하를 거쳐 로테르담에 가는 경우 거리가 20,100km인 반면, 북극항로를 이용할 경우 12,700km로 거리가 37% 단축된다. 그리고 운항 일수도 24일에서 14일로 10일을 단축시킬 수 있다. 이러한 이유로 북극항로를 통해 운항하는 선박의 수가 증가하고 있다^[2]. 현재 해운업계 및 정부에서 북극항로의 안전성, 편의성 및 경제성에 관한 검토가 꾸준히 이루어지고 있다. 지난해 10월 국내선사의 ‘북극해 항로 시범운항’이 성공하였고, 이에 따라 북극항로에 적합한 선박

건조와 기술개발이 체계적으로 이루어질 것이다. 형광등과 같은 방전등은 -35°C 이하의 극저환경에서는 점등이 되지 않기 때문에 북극항로를 운항하는 선박에서는 백열전구의 사용률이 높다. 하지만 최근 세계 각국에서 환경보호와 에너지 절약을 위하여 이산화탄소(CO_2) 배출량 규제 및 신재생에너지 개발과 같은 다양한 정책을 시행하여 백열전구의 사용이 단계적으로 제한되고 있다. 그 예로 지난 2007년 독일에서 열린 선진 8개국(G8) 정상회담에서는 백열전구를 퇴출시키기로 결정하였고 호주에서는 이미 2011년부터 백열전구의 판매와 생산이 전면 금지되었으며 영국을 비롯한 EU 회원국에서는 2012년 9월 1일부터 백열전구의 판매가 전면 금지되었다^{[3],[4]}. 우리나라 또한 2008년 백열전구의 퇴출 계획을 발표한 이후, 2014년부터 백열전구의 생산과 수입을 단계적으로 금지하기로 발표하였다. 그리하여 기존의 광원을 대체할 수 있는 고효율 장수명의 친환경 등기구 개발이 필요하다.

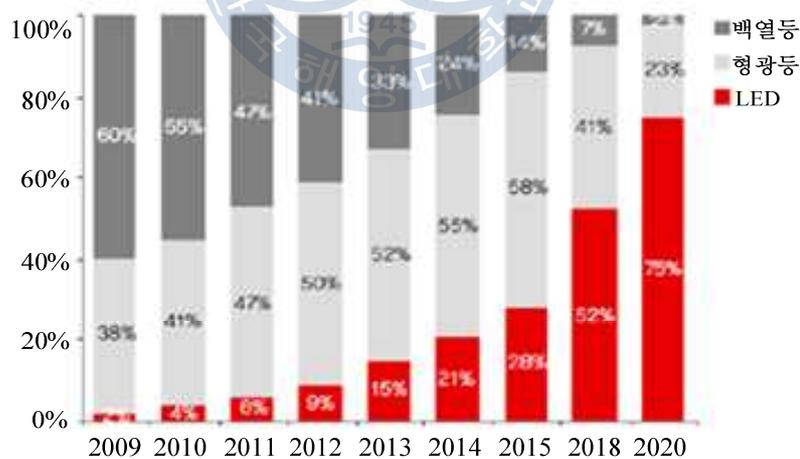


그림 1.2 LED 조명의 시장 점유율

Fig. 1.2 Market share of LED luminaires

LED(Light Emitting Diode) 조명산업은 기존에 사용되고 있는 저효율 광원에 대한 해결책으로써 최근 정부에서 추진하고 있는 저탄소 녹색성장(Green growth)에 부합하는 대표적인 산업으로 주목받고 있다^[5]. 그림 1.2와 같이 LED 조명의 점유율은 2012년 9%에서 2013년 15%를 기록했으며 2015년 28%로 점차 증가할 것으로 예상된다. LED는 같은 광량을 기준으로, 소비전력이 낮고 수명이 길며(35,000 시간) 진동 및 충격에 강한 내구성을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 선박에서 사용하고 있는 형광등 및 백열전구와 같은 기존 광원을 대체할 수 있는 LED 등기구를 개발하기 위하여 극저온에서 LED 패키지, 구동회로, 전원장치 및 LED 벌브의 동작 특성에 관해 연구하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 LED의 전기·광학적 동작 특성에 관하여 설명하였으며, ICE CLASS 관련 러시아 선급규격과 IEC 60945에 명시되어 있는 요구사항을 제시하였다. 제 3장에서는 광원부와 전원부 및 방열부의 구성에 대하여 설명하였다. 제 4장에서는 온도 변화에 따른 광원의 전기·광학적 특성을 비교 분석하였고, 제 5장에서는 결론을 제시하였다.

제 2 장 이 론

2.1 발광다이오드(LED)의 동작 특성

2.1.1 전기·광학적 특성

LED는 전압이 낮은 영역에서 인가전압을 증가시키면 전류의 변화가 작으나, 적정값 이상이 되면 전압 상승에 대하여 전류의 변화가 급격히 커진다. 그림 2.1은 LED의 전압에 따른 전류의 특성을 나타내고 있다. LED에 요구되는 전압은 발광 파장대를 결정하는 반도체의 에너지 밴드에 의해 좌우되므로 발광색에 따라 전압과 전류가 변화하게 된다. 단일 LED의 정격 구동전압은 발광색(반도체 종류)에 따라 다르지만 일반적으로 2~4V의 전압에서 동작한다. 그리고 LED 조명기구를 안정적으로 사용하기 위해서는 광원부에 적합한 전원장치를 선정해야 된다^{[6],[7]}.

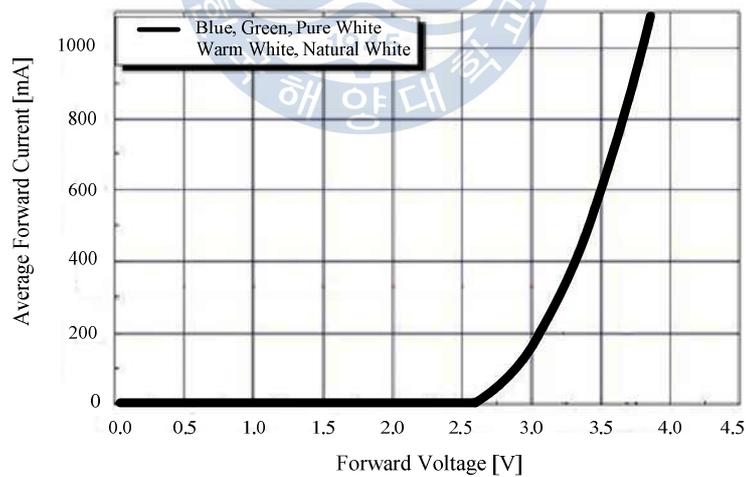


그림 2.1 LED 패키지의 전압-전류 곡선

Fig. 2.1 V-I curve of a LED package

그림 2.2와 같이, LED의 광학적 특성은 전류에 비례하여 광출력이 증가한다. 하지만 LED의 광출력은 일정 전류까지는 비례하지만 그 이상이면 전류가 증가하여도 광출력이 크게 변하지 않고 오히려 효율이 감소한다. LED는 전류의 변화에 따라 영향을 받기 때문에 동작시 전류를 조절하여 광출력을 제어한다.

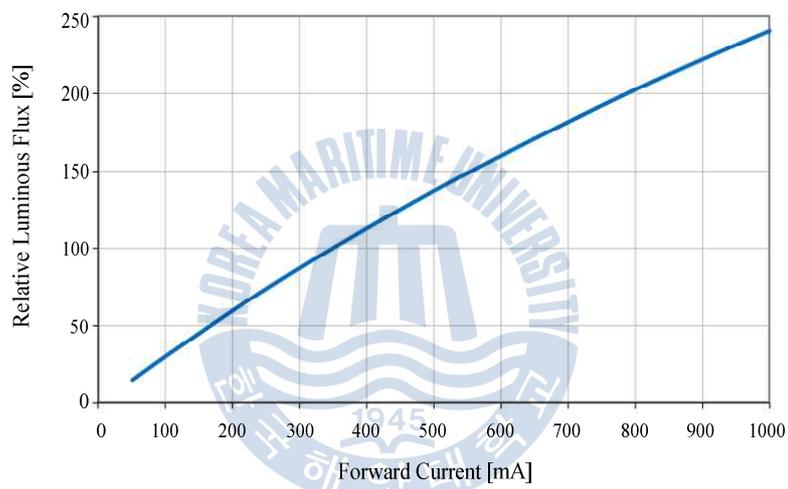


그림 2.2 LED 패키지의 전류-광출력 곡선
 Fig. 2.2 I-P_o curve of a LED package

2.1.2 열적 특성

LED에서 발생된 열은 둘러싸고 있는 환경요인(패키지 재료 성분, 패키지 구조, 패키지 내 각 재료의 접착 상태 및 외부 환경에 대한 패키지의 노출 정도)에 영향을 받아 방출하게 된다. 기구의 접합부분에서 발생한 열은 전도(Conduction), 대류(Convection) 및 복사(Radiation)의 3가지 경로를 통하여 전달이 된다.

열은 주로 LED의 바닥 부분에서 발생되며 그림 2.3과 같은 경로로 방출된다. 열전달 경로는 패키지의 형태와 외부 방열 환경(External Heat sink, Heat Pipe, Fan)에 따라 달라질 수 있다.

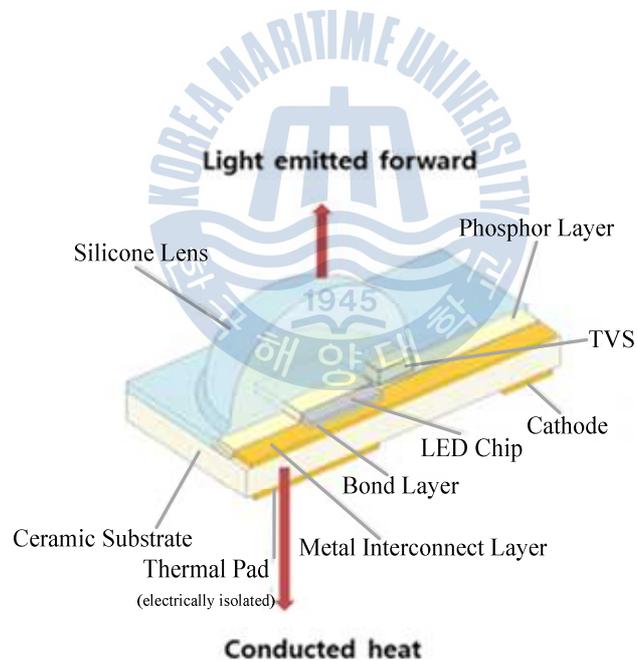


그림 2.3 열전달 경로

Fig. 2.3 Heat transfer path

또한 패키지 재료의 열전도도(Thermal Conductivity), PCB의 두께 및 면적 등이 열저항 값에 영향을 준다. 열저항은 반도체 및 LED의 방열특성을 나타내는 지수이다. 전기저항이 전압 양단의 전위차간에 흐르는 전류의 흐름을 방해하는 것을 말한다면, 열저항은 두지점의 온도차로 인해서 흐르려고 하는 열량, 즉 Power의 흐름을 방해하는 것을 말한다. 열저항의 단위[°C/W]는 Power 당 온도변화를 나타내며 패키지에 1W를 인가하였을 때 몇 °C가 변하는가를 나타내는 지수이다^[8]. 일반적인 소자의 열저항은 식 2.1로 구할 수 있다.

$$R_{jx} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{T_j - T_x}{P} \quad (2.1)$$

T_j 는 정상상태에서의 접합 온도이며, T_x 는 특정상황에서의 온도, P 는 소자에서 소모되는 전력을 말하며 보통 소자에 흐르는 전류와 전압의 곱으로 나타낸다. 그림 2.4는 열저항값에 따른 주위 온도와 구동전류의 관계를 나타내는 그래프이다. 구동전류는 LED 접합부와 주변부(Ambient)사이의 열저항값에 의하여 결정된다. 램프 수명 및 광학특성을 유지하기 위해서는 접합부에서 주위로 이어지는 열저항값을 최소화하도록 설계하는 것이 중요하다^[9].

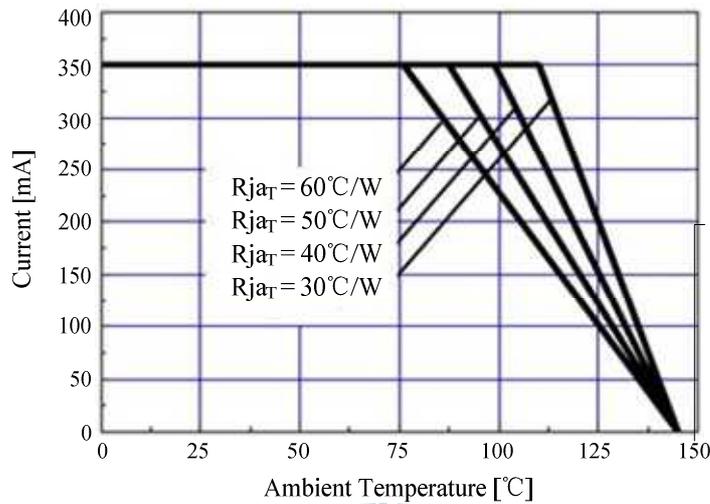


그림 2.4 주위온도와 허용전류

Fig. 2.4 Ambient temperature vs Allowable current

LED는 소비전력 중 약 70~80% 이상이 열에너지로 전환되기에 이를 효과적으로 관리하는 기술이 매우 중요하다. LED의 광학적 특성은 온도에 의해 변하게 되며, 그림 2.5와 같이 접합온도가 증가할수록 광속이 감소하는 것을 볼 수 있다. LED의 접합온도 상승은 직접적으로 광효율을 저하시키며, 간접적으로는 칩의 수명을 감소시킨다. 칩의 수명에 대한 정확한 정의는 없지만 주로 최대 광출력에 50%로 소손(burn out)되는 지점을 말한다. 그림 2.6은 접합온도와 수명과의 관계를 나타내었다. 접합온도가 74°C에서 63°C로 감소할 때 수명이 대략 35,000 시간에서 70,000 시간으로 약 2배 증가하는 것을 알 수 있다^{[10],[11]}.

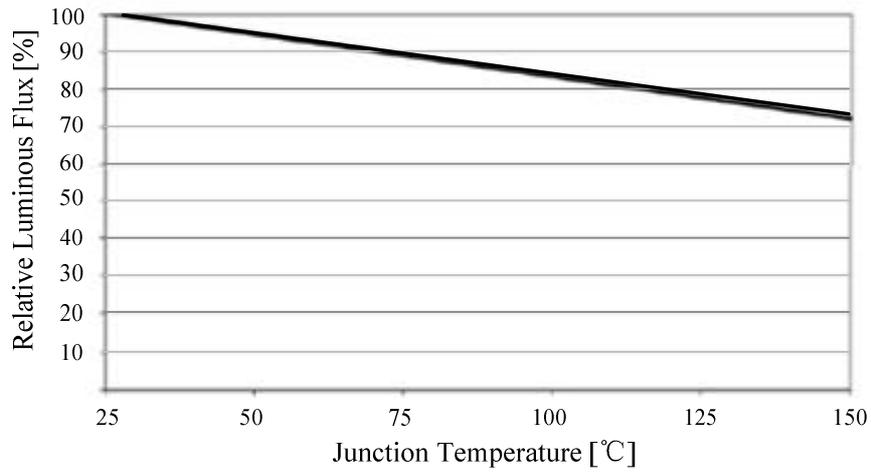


그림 2.5 LED 패키지의 온도-광출력 곡선
 Fig. 2.5 Temp.- P_o curve of a LED package

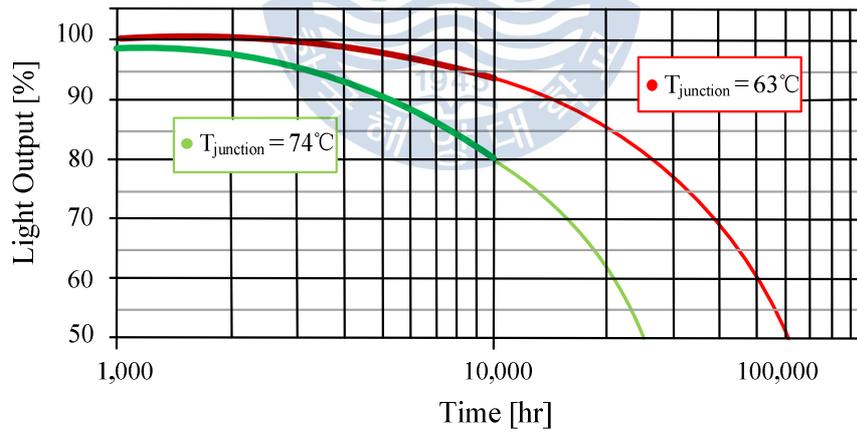


그림 2.6 LED 패키지의 온도-수명 곡선
 Fig. 2.6 Temp.-Lifetime curve of a LED package

그리고 접합온도와 관련된 또 다른 LED의 특성은 순방향 전압이다. 간단한 바이어스 저항만을 이용해 구동 전류를 제어하면 LED는 온도가 상승함에 따라 그림 2.7과 같이 V_f 가 떨어지고 구동 전류가 증가한다. 이는 특히 LED에서 열 폭주로 이어질 수 있는데 부품의 정상적 동작 실패 원인이 되기도 한다^[12].

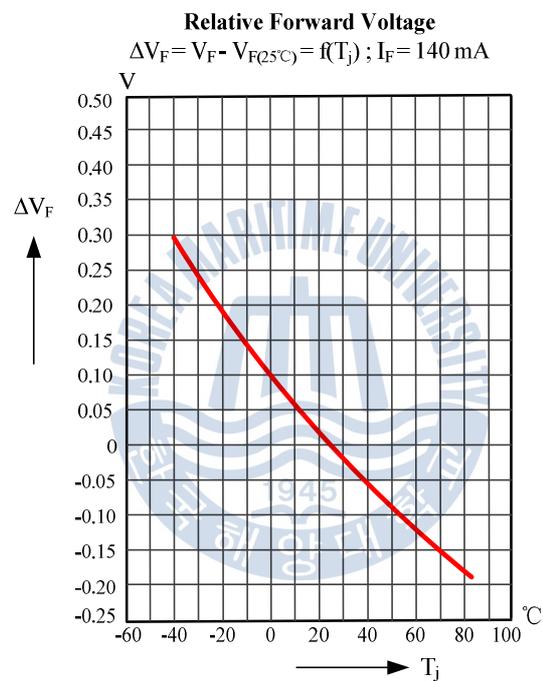


그림 2.7 LED 패키지의 온도-전압 곡선

Fig. 2.7 Temp.-V curve of a LED package

2.2 ICE CLASS

ICE CLASS란 그림 2.8과 같이 북극해, 발트해, 캐나다 주변 및 남극 지역과 같은 빙해역의 바다를 항해하는 선박들의 규정과 특징을 각 항로에 따라 나타낸 것이다. 이 규정을 만족시키지 못하면 빙해역을 운항할 수 없다. 표 2.1과 같이 ICE CLASS는 3가지 종류로 구분할 수 있으며, 러시아와 캐나다의 ICE CLASS는 핀란드-스웨덴의 규정에 비하여 그 범위가 넓다. 주로 유빙과의 충돌 및 쇄빙을 위한 선체강도와 출력등을 규정하고 있다^{[13],[14]}.

표 2.1 ICE CLASS 종류

Table 2.1 Types of the ICE CLASS

분 류	내 용
Polar Class	주로 러시아 북쪽 북극 해 주변을 운행하는 쇄빙선에 적용되는 규정이다. 일반적으로 Polar Class의 선박이 얼음을 깨고 지나가면 뒤를 Northern Baltic Class 선박이 따라가게 된다.
Northern Baltic Class	핀란드-스웨덴 대빙등급 규칙(Finnish-Swedish ICE CLASS Rule)을 적용 받으며, LR(Lloyd's Register of Shipping), DNV(Det Norske Veritas), GL (Germanischer Lloyd)등의 Ice Rule의 기초가 된다. Polar Class나 Canadian Class에 비해 조건이 약하다.
Canadian Class	캐나다 북쪽 해안에 대한 빙해역의 규정이다. 극지방해 선박의 오염방지 규정(Artic Shipping Polution Prevention Regulation)으로 북극해의 빙상 등급에 따라 9등급으로 나뉘어져 있다.



그림 2.8 북극의 항로

Fig. 2.8 Sailing routes of the north pole

표 2.2 스웨덴-핀란드의 ICE CLASS
Table 2.2 ICE CLASS of Finnish-Swedish

ICE CLASS	Ice thickness
1A Super	1.0m and 0.1m 얼음의 층
1A	1.0m
1B	0.8m
1C	0.6m

대부분의 ICE CLASS는 Finnish-Swedish에서 언급되며, 표 2.2와 같이 Finnish-Swedish는 4개의 형태로 나눌 수 있다.

2008년, IACS(International Association of Classification Societies)에서 Polar ICE CLASS를 통합된 규정으로 발행하였다. 표 2.3과 같이 극지등급은 PC 1에서 PC 7까지 7등급으로 나눌 수 있으며, PC 1이 가장 높은 등급을 나타낸다^{[15],[16]}. 2012년 노르웨이에서는 PC-1에서 PC-7까지 등급을 나누어 Polar Class와 유사한 규정을 발행하였다.

표 2.3 극지등급 종류
Table 2.3 Types of the Polar Class

Polar Class	빙 종류 및 선박의 운항 형태
PC 1	모든 극지해역에서의 연중 운항
PC 2	중간정도의 다년생 빙 조건에서의 연중 운항
PC 3	다년생 빙의 개재(inclusions)가 포함될 수도 있는 2년생 빙 조건에서의 연중 운항
PC 4	오래된 빙의 개재가 포함될 수도 있는 두꺼운 1년생 빙 조건에서의 연중 운항
PC 5	오래된 빙의 개재가 포함될 수도 있는 중간정도 두께의 1년생 빙 조건에서의 연중 운항
PC 6	오래된 빙의 개재가 포함될 수도 있는 중간정도 두께의 1년생 빙 조건에서의 하기/추기 운항
PC 7	오래된 빙의 개재가 포함될 수도 있는 얇은 두께의 1년생 빙조건에서의 하기/추기 운항

쇄빙선과 내빙상선은 ICE CLASS의 적용을 받는 선박이다. 그림 2.9와 같이 쇄빙선은 “Icebreaker” 선급부호가 부기된 선박으로써, 빙해역에서 공격적인(Aggressive) 운항이 가능하도록 동력 및 치수가 정해진다^[17]. 쇄빙선은 얼음으로 덮인 빙해역을 독자적으로 항해할 수 있는 능력을 보유한 선박이며, 해로를 개척하기 위하여 결빙지역의 얼음을 3m까지 뚫을 수 있다. 쇄빙선박이 평탄빙이나 유빙상태의 빙판을 깨고 지나간 수로(Ice channel)를 보면 빙판이 말끔하게 완전히 제거되는 경우는 드물며 시간이 지나면서 깨어진 얼음조각으로 수로가 다시 채워지곤 한다. 몹시 추운 경우에는 앞서나가는 쇄빙선에 의해 만들어진 수로가 빠르게 결빙하여 뒤에 따라오는 선박이 얼음에 갇히는 상황도 종종 발생한다^[18].



그림 2.9 쇄빙선

Fig. 2.9 Icebreaker

ICE CLASS에서는 항해하는 선박에 설치하는 조명 등기구에 관련된 규격은 구체적으로 언급하고 있지 않다. 그러나 전기 장비와 관련된 시험은 러시아 선급규격을 적용하여 아래와 같이 두가지로 나타낼 수 있으며, 내용은 다음과 같다.

첫째, “Cold endurance”에 대한 시험이다(러시아 선급 규격 - 10.5.4.2).

모든 전기 장비는 저온에서 견고성에 대한 시험을 받아야 한다. Cold endurance는 저온 환경에서 동작하는 장비의 기능을 시험한다. 이는 저온에서 장비의 동작 상태, 파손 및 부식에 대하여 견디는 정도를 검증한다.

표 2.4의 10.5.4.2, Part IV “Technical Supervision During Manufacture of Products”에 의해서 시험 시 전기적 장치는 개방된 갑판이나 비난방 공간에 설치하며, 전원을 인가하지 않은 챔버에서 시험을 실시한다. 챔버의 온도는 설계된 주위 온도보다 10℃ 낮게 하거나 -40℃로 설정한다. 평형 온도에 도달한 상태에서 6시간동안 시험을 하며, 전원을 공급한 후 동작을 점검한다^[19].

둘째, “Storage test”이다. 이 시험은 IEC 60945-8.4.1에 규정되어 있으며, 전원을 인가하지 않은 상태에서 온도변화에 따른 제품의 영향을 알아보기 위한 것이다. 휴대하기 쉬운 장치에 적용되는데, 그 이유는 오랫동안 동작하지 않은 후 긴급한 상황에서 정확하게 동작하는 것이 중요하기 때문이다. 챔버의 온도는 $-30^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ 를 유지하며, 시험시간은 10시간에서 16 시간이다^[20].

극지방의 경우 평균 낮시간이 10 시간 이상이라서 오랜 시간 동안 등기구가 점등이 되지 않는 상태를 유지한다. 따라서 저온에서 등기구의 성능을 시험하기에는 Cold endurance 보다는 Storage test가 시험의 목적에 적합하다고 판단되었다.

본 논문에서는 IEC 60945-8.4.1를 적용하여 전기 장비를 챔버에 12 시간 동안 넣고 챔버의 온도를 -60℃에서 25℃까지 설정하여 전기·광학적 특성을 측정하였다.

표 2.4 Cold endurance 시험
Table 2.4 Test of Cold endurance

장비 위치	시험시 챔버의 온도 [℃]	
	제한이 없는 선박	열대지역에서 운항하는 선박
기계, 펌프, 차고, 특별한 범위공간, 비난방 공간	-10	-10
개방된 갑판	-40	-40
숙박·난방공간	0	0

1. 난방공간에 설치된 제품의 시험온도는 개방된 갑판에 설치된 것과 동일해야 하며, 외부 공기로 생각된다.

2. 개방된 갑판에 설치된 제품의 온도는 설계된 주위온도보다 10℃ 낮거나 -40℃로 설정하여 시험한다. 그리고 등급이 “Winterization(DAT)”라고 표시되어야 한다.

제 3 장 실험 및 방법

본 논문에서는 ICE CLASS 규격관련 IEC 60945-8.4.1에 따라 극저온에서 LED 패키지, 밸브, 구동회로 및 전원장치의 전기·광학적 특성을 분석하였다.

3.1 광 원

3.1.1 LED 패키지

그림 3.1과 같이 500mA, 3.2V인 LED 패키지 8개를 직렬로 연결하였고, 색온도(Color temperature) 6,500K와 3,000K를 사용하였다. 색온도란 광원의 색감을 수적으로 표시하는 방법으로 어떤 광원이 가시광선 영역의 빛을 낼 때, 그 색이 어떤 온도의 흑체(black body)가 복사하는 색과 같아 보이면 물체의 색온도라고 한다.

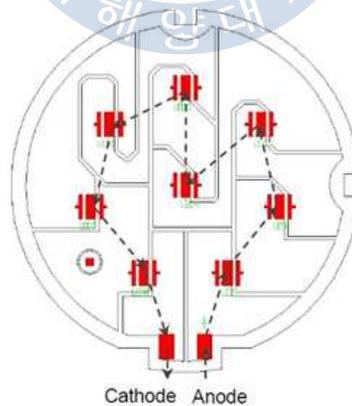


그림 3.1 회로 구성

Fig. 3.1 Composition of the circuit

흑체는 입사한 방사를 완전히 흡수하는 온도방사체를 말한다. 붉은색 계통의 광원일수록 색온도가 낮으며, 푸른색 계통일수록 색온도가 높다. 단위는 절대온도 K로 나타내며, 색온도가 높을수록 광효율이 높은 특징을 가지고 있다.

LED 패키지의 사양을 표 3.1에 나타내었다. Cool-white는 연색성이 70, 광효율은 110lm/W이다. Warm-white는 연색성이 80, 광효율은 88lm/W이다.

표 3.1 LED 패키지 사양
Table 3.1 Specifications of LED packages

Section	색온도 [K]	연색성 [Ra]	광효율 [lm/W]	광속 [lm]	V_f [V]
				@ 500mA	
Cool-white	6,500	70	110	1,300	24.5
Warm-white	3,000	80	88	1,030	24.8

그리고 LED 패키지의 구동은 정전류 방식을 적용하였다. 정전류 방식의 경우 입력전압이나 주변환경의 영향을 받지 않고 일정한 전류를 출력하므로 제품의 신뢰성과 수명을 향상시킬 수 있어 효율적이기 때문이다.

정전류 구동을 위하여 그림 3.2와 같은 드라이버를 LED 패키지에 연결하였다. 드라이버는 입력전압이 6~30V_{DC}, 최대 출력전류가 0.7A이며, 25V_{DC}이상의 입력전압에도 500mA로 일정한 출력전류를 얻을 수 있다.

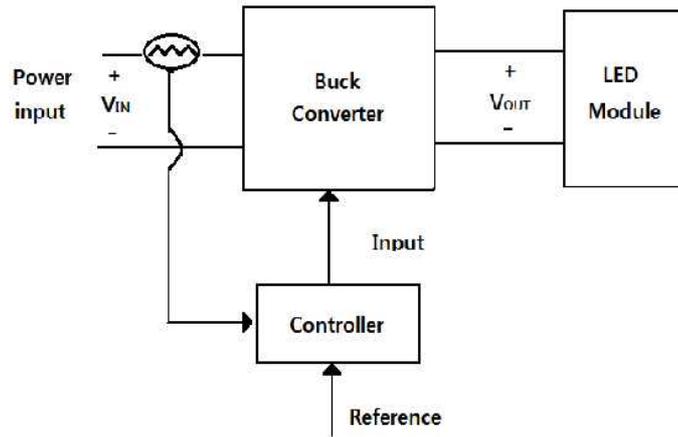
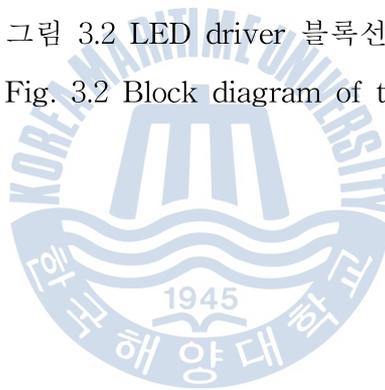


그림 3.2 LED driver 블록선도

Fig. 3.2 Block diagram of the LED driver



3.1.2 방열 해석

기본적인 방열설계는 방열판을 이용한 자연대류(Natural convection)와 강제대류(Forced convection)가 있다. 자연대류는 주로 LED 조명에서 사용하는 방식으로 외부의 동력 없이 물체의 온도변화에 의한 밀도차이에 의해 자연스럽게 대류가 일어나는 현상을 말한다. 강제대류의 경우 팬(Fan)이나 히트파이프(Heat pipe)를 이용하여 방열 효과는 좋으나 더 많은 전력이 필요하며, 방열부품의 수명이 LED보다 짧기에 영구적이지 못한 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 LED 조명의 경우 자연대류를 이용한 방열판을 사용한다. 공기의 대류 현상을 이용하는 자연대류 방식은 뉴턴의 냉각법칙(Newton's law of cooling) 식 3.1로 나타낼 수 있다.

$$Q = hA(T_{surface} - T_{ambient}) \quad (3.1)$$

Q 는 대류 열 유속, h 는 열전달계수, A 는 전면적, $T_{surface}$ 는 표면온도 그리고 $T_{ambient}$ 는 표면으로부터 충분히 떨어진 주위온도를 나타낸다. 단위시간 당 전달되는 열에너지의 양 Q 는 표면적 A 에 비례하고, 열전달 계수 h 에 비례한다^[21].

LED 패키지의 경우 열해석 프로그램으로 최적의 방열구조를 설계하였다. 방열판은 무게가 가볍고 열전도성이 좋은 알루미늄 재질을 사용하였으며, 표 3.2와 같이 크기 및 재질을 설정하여 방열 시뮬레이션을 수행하였다.

표 3.2 시뮬레이션 조건

Table 3.2 Simulation Conditions

재 료	열전도율 [W/m·k]	치 수 [mm] <length×width×thickness>
LED 패키지	65	3.0 × 3.0 × 2.0
PCB(원형)	105	72.0 × 72.0 × 2.0
알루미늄 원형판	100	73.0 × 73.0 × 2.0
방열판	100	85.0 × 75.0 × 5.0

외부 대기온도는 25℃이며, 자유 대류계수는 5 W/m²로 설정하였다. 그리고 방열성능을 비교하기 위하여 표 3.3과 같이 방열핀의 두께는 일정하게 고정하고 간격을 다르게 설정하였다. 그림 3.2~그림 3.4는 Geometry를 통하여 설계한 모델이며, 그림 3.5~그림 3.7은 열해석 프로그램을 통한 시뮬레이션 결과이다^[22].

표 3.3 방열판의 크기

Table 3.3 Dimension of the heat sinks

구 분	높 이 [mm]	판두께 [mm]	핀 간격 [mm]	핀 개수
모델 1	40	3	3	13
모델 2	40	3	4	11
모델 3	40	3	5	10

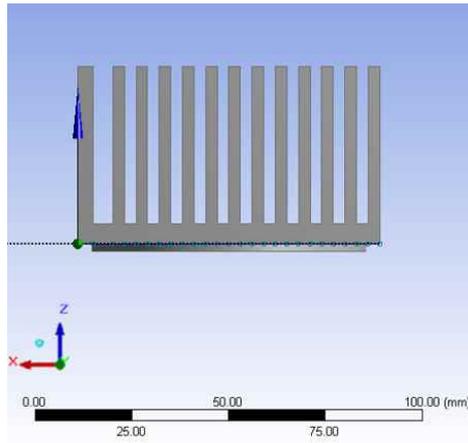


그림 3.3 모델 1
Fig. 3.3 Model 1

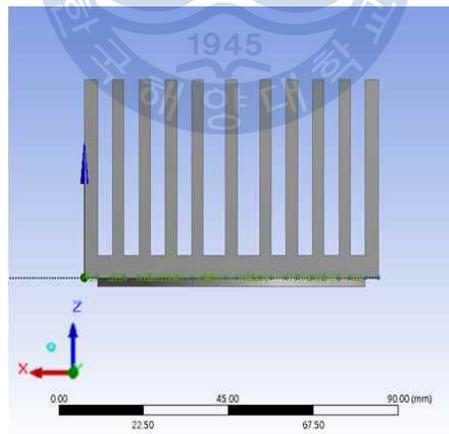


그림 3.4 모델 2
Fig. 3.4 Model 2

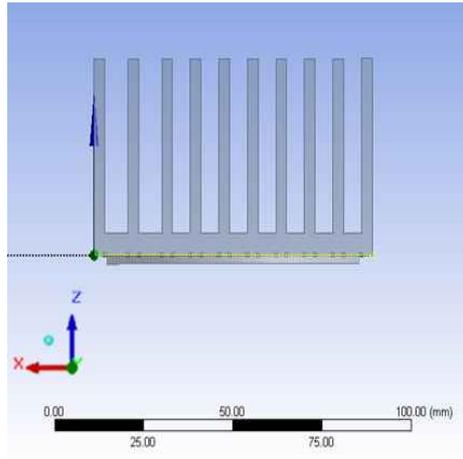


그림 3.5 모델 3

Fig. 3.3 Model 3

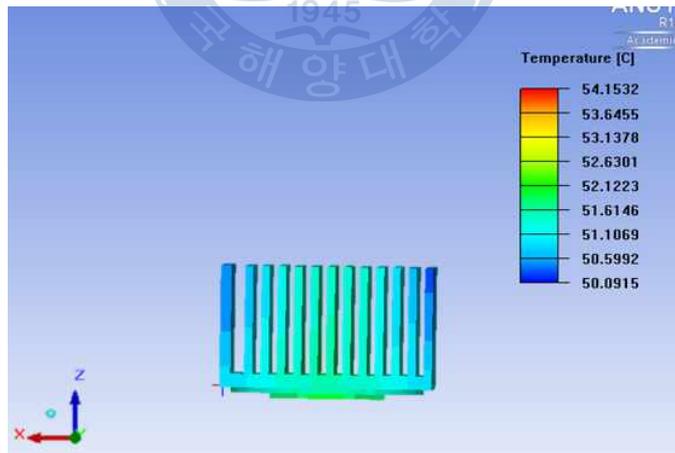


그림 3.6 모델 1의 시뮬레이션

Fig. 3.6 Simulation of model 1

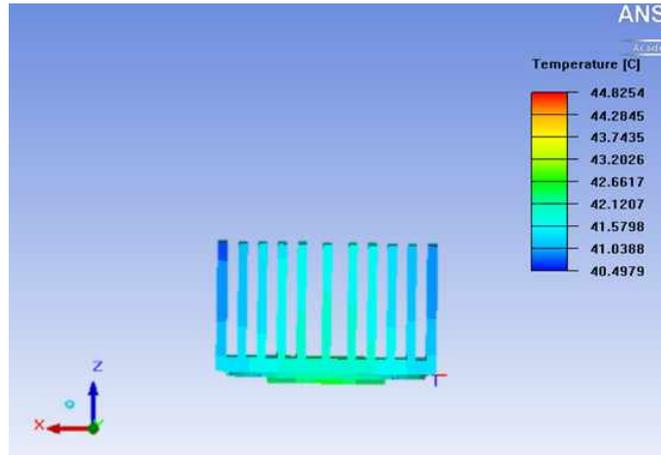


그림 3.7 모델 2의 시뮬레이션

Fig. 3.7 Simulation of model 2

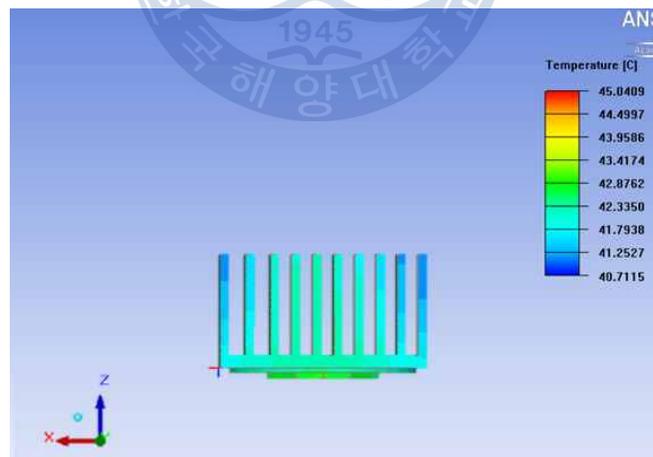


그림 3.8 모델 3의 시뮬레이션

Fig. 3.8 Simulation of model 3

시뮬레이션을 수행한 결과, 모델 1의 최고온도는 접합부에서 54℃, 최저온도는 방열핀 가장자리에서 50℃, 모델 2의 최고온도는 접합부에서 44℃, 최저온도는 방열핀 가장자리에서 40℃, 모델 3의 최고온도는 접합부에서 45℃, 최저온도는 방열핀 가장자리에서 40℃로 모델 2가 모델 1보다 10℃, 모델 3보다 1℃ 최고온도가 모두 낮게 나타내었다. 그리고 방열판의 최고온도와 최저온도의 차이를 보면 모델 1은 4℃, 모델 2는 4℃, 모델 3은 5℃로 모델 1과 모델 2가 가장 열을 효과적으로 전달하는 것을 알 수 있다. 상기 결과를 통하여, 방열효과가 가장 좋은 모델 2의 방열판을 LED 패키지에 연결하여 실험을 수행하였다.



3.1.3 LED 벌브 및 CFL

실험에 사용된 벌브는 그림 3.9와 같으며, 약 700lm 정도의 광량이 비슷한 벌브를 선택하였다. 각각의 벌브의 사양은 표 3.4에 나타내었다. LED-A 벌브는 40mA LED 패키지 21개가 직렬로 연결되었고, 연색성이 80이상, 광효율은 83.7lm/W이다. 소비전력은 8W, 광속은 670lm이며, 별도의 컨버터 없이 동작한다.

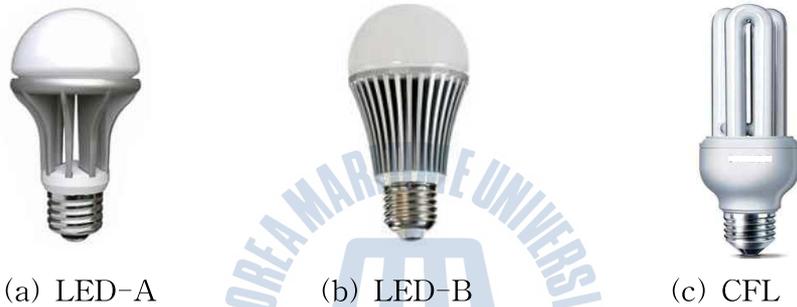


그림 3.9 CFL과 LED 벌브 사진

Fig. 3.9 Photographs of CFL and LED bulbs

표 3.4 벌브의 사양

Table 3.4 Specifications of bulbs

모델명	색온도 [K]	연색성 (CRI)	광속 [lm]	I _f [mA]	광효율 [lm/W]
(a) LED-A	5,000	80	670	40	83.7
(b) LED-B	3,000	70	750	60	62.5
(c) CFL	4,000	80	800	100	53

LED-B 벌브는 60mA LED package 17개가 직렬로 연결되고, 연색성이 70이상, 광효율은 62.5lm/W이다. 소비전력은 12W, 광속은 750lm이다. 그리고 정전류 컨버터가 내장되어 있다. 그리고 CFL은 연색성이 80, 광효율은 53lm/W이다. 소비전력은 15W, 광속은 800lm이다.



3.2 실험계의 구성

LED의 저온에서의 전기·광학적 특성을 살펴보기 위하여, 그림 3.10의 극저온 냉동고에서 실험을 수행하였고 온도는 $-60^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 실험에 사용된 광원은 다음과 같다.

- 1) LED 패키지
- 2) 드라이버가 연결된 LED 패키지
- 3) LED 벌브와 CFL

주의온도 변화에 따른 LED의 광학적 특성을 분석하기 위하여, 스펙트럼 분석기(Avaspec - 3648)를 사용하여 빛의 파장에 따른 상대적인 광출력을 측정하였다.

그림 3.11과 같이 광원으로 부터 600mm 이격된 지점에서 광출력을 측정하였고, 모든 시험은 동일한 조건에서 이루어졌다.

본 실험은 ICE CLASS 관련 IEC 60945-8.4.1에 따라(2.2절에서 언급) 각각의 설정 온도에 12시간 저장하였고, 전원 인가한 후 20분 후에 측정을 시작하였다. 그리고 결과 데이터는 외부의 PC로 전송이 된다.



그림 3.10 극저온 냉동고 사진

Fig. 3.10 Photograph of the ultra-low temperature freezer

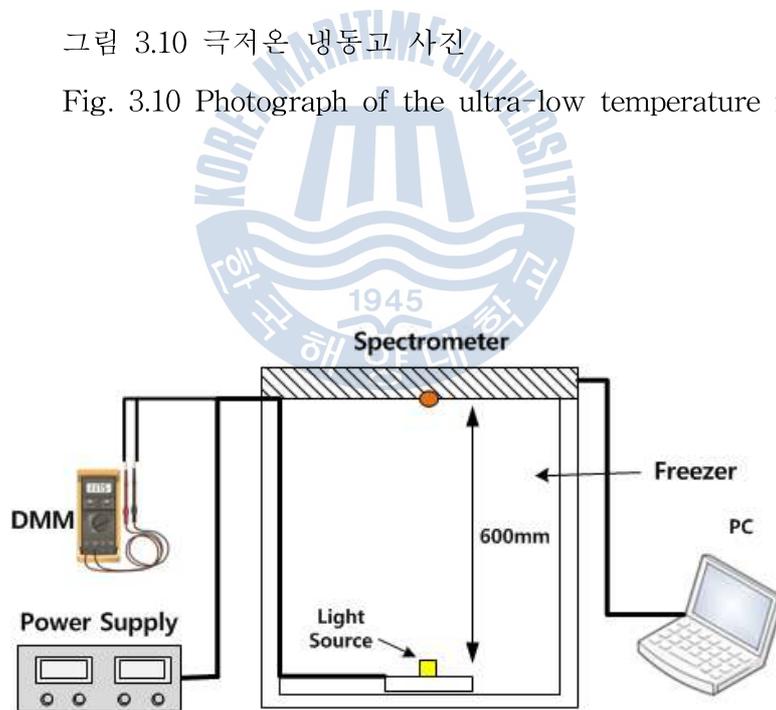


그림 3.11 실험계 구성

Fig. 3.11 Experimental setup

제 4 장 측정 및 분석

극저온에서의 LED의 동작특성을 알아보기 위하여 LED 패키지, LED 벌브 및 CFL의 전기·광학적 특성을 측정 후 각각 비교, 분석하였다.

4.1 LED 패키지

LED에서 발생한 열이 외부로 방출될 때, 온도의 변화는 LED의 특성에 영향을 준다. 극저온 냉동고 내부온도를 $-60^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 로 각각 설정하였고, LED 패키지와 드라이버에 25V, 500mA를 인가하였다. IEC 60945-8.4.1 규격에 따라 각각의 설정 온도에 12시간 저장하였다. 먼저 극저온에서 동작특성을 알아보기 위하여 LED 패키지만 측정하였고, 그 다음 전원장치의 동작특성을 분석하기 위하여 LED 패키지에 정전류 구동 드라이버를 연결하여 실험을 수행하였다.

LED 패키지의 주위온도에 따른 광출력을 그림 4.1에 나타내었다. 25°C 를 기준으로, Warm-white의 경우 -50°C 에서 1.7배, -60°C 에서 1.9배 광출력이 증가하였고, Cool-white의 경우 -50°C 에서 1.6배, -60°C 에서 1.7배 광출력이 증가하였다.

LED의 전기·광학적 특성은 접합온도에 영향을 받는다. 접합온도가 증가함에 따라 LED의 광속이 감소하는 것을 그림 2.5에서 알 수 있었다. 상기 결과와 같이 주위온도가 낮아질수록 LED의 광출력이 증가하는 이유는 저온에서 전자의 이동도가 증가하여 캐리어의 재결합율이 증가함에 따라 내부 양자효율이 증가하였기 때문이다. 또한 저온환경에서는 LED에서 발생하는 손실열이 줄어들기 때문에 광출력을 증가시킬 수 있다^[23].

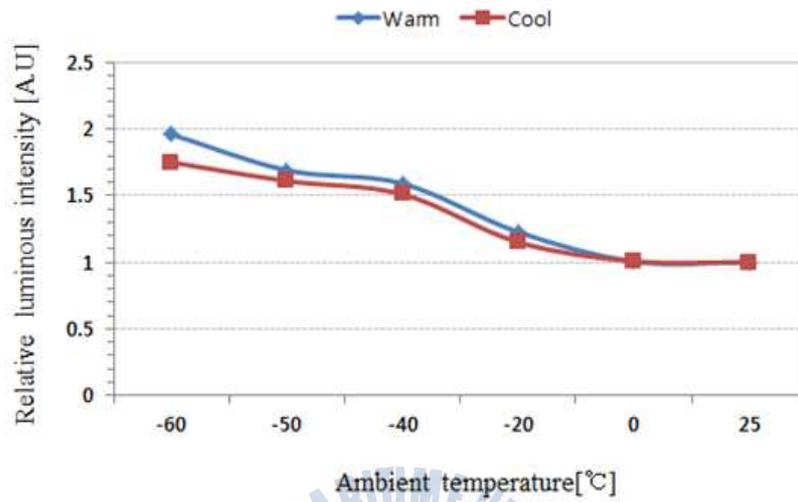


그림 4.1 LED 패키지에 대한 광출력
 Fig. 4.1 P_o of LED packages

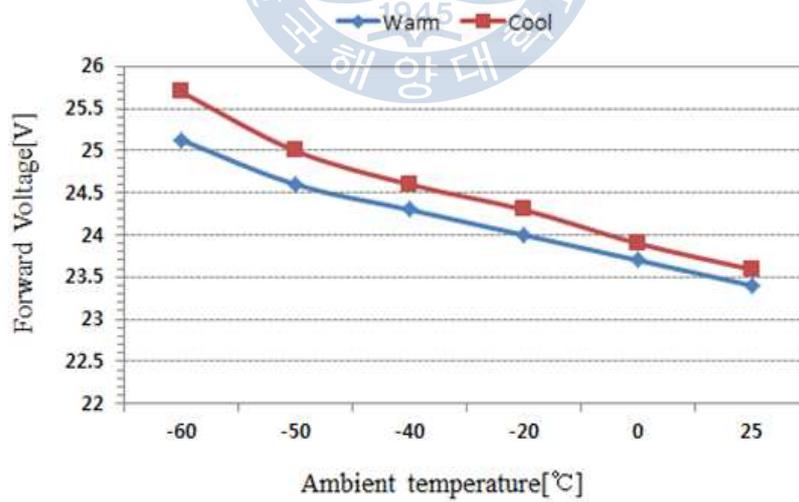


그림 4.2 LED 패키지의 순방향 전압
 Fig. 4.2 Forward voltage of LED packages

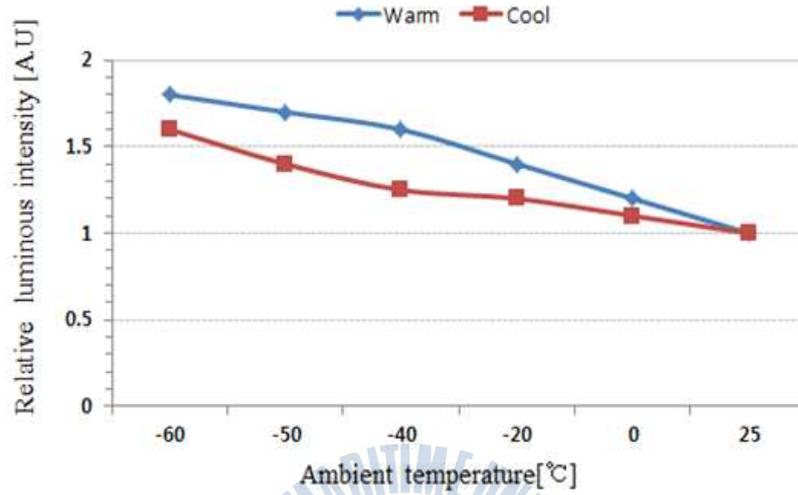


그림 4.3 LED 패키지의 광출력(드라이버)
 Fig. 4.3 P_o of LED packages with driver

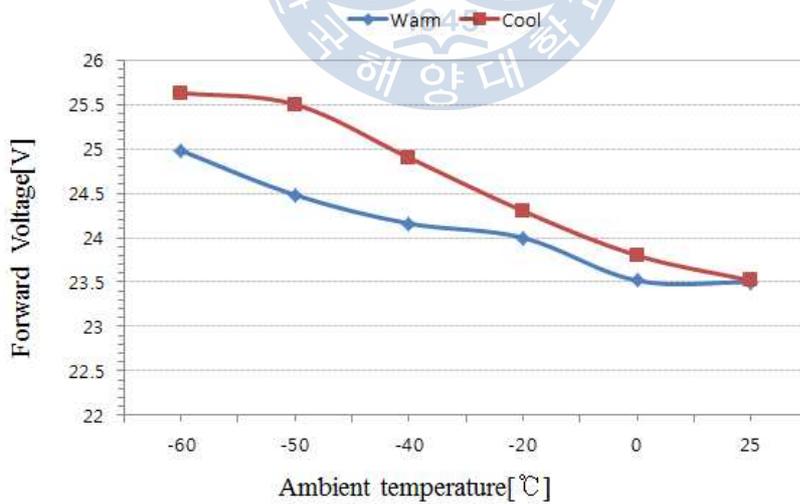


그림 4.4 LED 패키지의 순방향 전압(드라이버)
 Fig. 4.4 Forward voltage of LED packages with driver

LED 패키지의 주위온도와 순방향 전압의 관계를 그림 4.2에 나타내었다. 25℃에서 -60℃로 주위온도가 낮아짐에 따라 Warm-white의 경우, 전압은 23.4V에서 25.1V로 1.7V 증가하였고, Cool-white의 경우 23.6V에서 25.7V로 2.1V 증가하였다. LED의 순방향 전압은 반도체 물질의 특성과 제작공정에 따라 달라지고, 주위온도가 증가할수록 순방향 전압이 감소하는 것을 알 수 있다.

드라이버를 연결한 LED 패키지의 주위온도에 따른 광출력을 그림 4.3에 나타내었다. 25℃를 기준으로, Warm-white의 경우 -50℃에서 1.7배, -60℃에서 1.8배 광출력이 증가하였고, Cool-white의 경우 -50℃에서 1.4배, -60℃에서 1.6배 각각 증가하였다.

그림 4.4는 드라이버를 연결한 LED 패키지의 주위온도에 따른 순방향 전압을 나타낸다. 25℃에서 -60℃로 온도가 낮아질 때, Warm-white의 전압은 23.5V에서 25.0V로 1.5V, Cool-white의 전압은 23.5V에서 25.6V로 2.1V 각각 증가하였고, -60℃에서 전원장치는 이상없이 동작하는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 사용하는 LED 드라이버의 경우, 동작온도가 -40℃~150℃이므로 -40℃이하에서는 상온보다 성능이 떨어진다. 그러므로 -35℃이하의 극저 환경에서 사용하기 위해서는 저온에서 견딜 수 있는 전원회로가 필요하다.

4.2 LED 벌브 및 CFL

LED 벌브는 LED 패키지와 동일한 조건으로 실험을 수행하였으며, A.V.R.(Automatic Voltage Regulator)을 이용하여 벌브의 전원을 인가하였다. LED 벌브와 CFL의 주위온도에 따른 광출력을 그림 4.5에 나타내었다. CFL은 25℃를 기준으로, -20℃에서 총 광속이 80% 감소하고 -25℃ 이하에서는 점등이 되지 않았다. 이는 CFL은 방전영역에서 동작하며, 저온에서 수은증기압이 감소하여 방전 에너지의 방사가 적어짐으로 형광체의 광출력이 줄어들었기 때문이다.

반면, LED-A 벌브의 경우 25℃를 기준 -60℃에서 1.19배, LED-B 벌브의 경우 1.24배 광출력이 증가하였다. 그리고 극저온 환경에서 컨버터 유무에 따라 LED 벌브의 상태를 비교하였을 때, 점등 및 동작에 이상이 없었다.

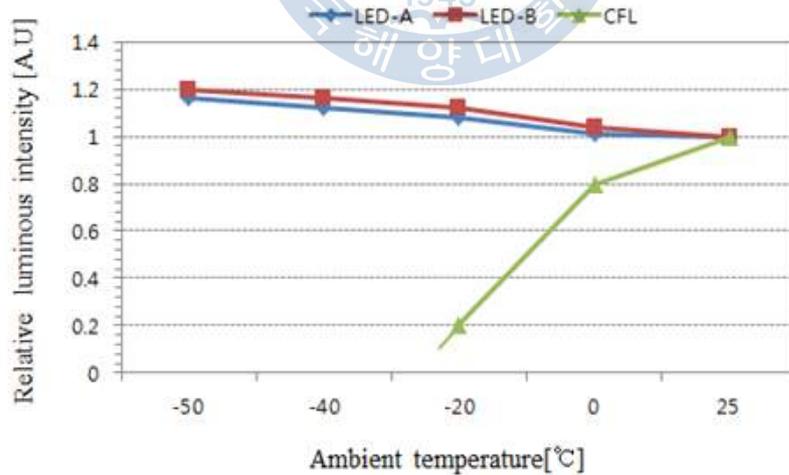


그림 4.5 벌브의 광출력

Fig. 4.5 P_o of Bulbs

제 5 장 결 론

본 논문에서는 -52°C 의 극저온 환경에서 사용하고 있는 기존의 백열전구를 대체할 수 있는 LED 등기구의 설계 방안을 도출하기 위하여 LED 패키지, LED 별브 및 CFL에 관한 연구를 수행하였다.

그리고 LED의 최적 방열구조를 적용하기 위해 열 해석 프로그램을 이용하여 방열판을 설계하였고, 정전류 구동방식을 적용하였다. 극지방을 운항하는 선박에 대한 규정인 ICE CLASS 관련 IEC 60945-8.4.1에 맞추어 $-60^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 LED 패키지, 구동회로 및 컨버터 유무에 따른 LED 별브의 전기·광학적 특성을 비교 분석하였고, 결과는 다음과 같다.

1. LED 패키지만 실험하였을 때, 25°C 를 기준으로 -60°C 에서 Warm-white와 Cool-white의 광출력은 1.9배, 1.7배 향상되었고, 구동회로를 LED 패키지에 연결했을 때 광출력이 1.8배, 1.6배 향상되어, LED 패키지만 실험하였을 때와 증가율이 유사하였다.

2. -60°C 에서 순방향 전압은 Warm-white는 1.7V, Cool-white는 2.1V 증가하였다. 그리고 구동회로를 연결했을 때, Warm-white 와 Cool-white의 순방향 전압은 1.5V, 2.11V 각각 증가하였다.

3. CFL은 -20°C 에서 광출력이 80%이상 감소하였고, -25°C 이하에서는 점등되지 않았다. 그러나 LED 별브는 25°C 를 기준으로 -60°C 에서 약 12% 광출력이 증가하였다. 이를 통하여 컨버터 유무에 따른 저온에서의 구동성능을 볼 때, 점등과 동작에 문제가 없었다.

이와 같이 본 논문에서는 극저온에서 LED의 동작 특성에 관한 연구를 수행하였고, 광학적 성능이 저온 환경에서 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 -50°C 이하의 북극항로를 운항하는 선박용 광원으로 LED를 적용하는 것이 효율적이라고 판단된다.



참 고 문 헌

- [1] 유병용, 부산일보 Busan.com, 2010.02.
- [2] Chung-Do Nam, “Some Items to be Resolved for Going through the Arctic Route,” in Asia Navigation Conference, Korea, p.1, 2010,
- [3] 문태원, “한국의 LED 조명 보급지원 정책 현황 및 대응 방안”, 에너지관리공단, 2012.
- [4] 이두희, 광대중, 홍진기, 김동수, “주요 녹색산업의 지역별 발전전략”, 산업연구원, 2010.
- [5] IL-Gwon Kim, “Design and Fabrication of LED Navigation Lights,” Vol. 25, No. 9, pp.743-749, September 2012.
- [6] 기유경, “조명”, p107, 기다리, 2009.
- [7] “LED 조명시장 동향과 기술개발 동향,” p23, 테이코, 2011.07.
- [8] 황명근, 서영배, 김영길, 서원배, 김규형, “LED 방열 설계와 측정 기술,” p85~94, 아진, 2011.07.
- [9] SEOUL SEMICONDUCTOR Technical Datasheet for X42180.
- [10] Courtesy of the lighting Research Center, U.S. Department of Energy: Thermal Management of White LEDs.
- [11] L.E.D. Rite, LLC, Performance Data sheet.
- [12] LED 뉴스코리아, LED 조명을 위한 통합 회로보호 기능 , 2012.08.
- [13] National Snow and Ice Data Center, 28 August 2012.
- [14] National Snow and Ice Data Center, 28 August 2012.
- [15] Finnish-Swedish ICE CLASS Rules Finnish Maritime Administration, Bulletin 10, 2008.12.
- [16] Polar class IACS Req. Rev.1, 2007, 2006.

- [17] 한국선급 2014, 빙해운항선박 지침.
- [18] 최경식, '극지해빙의 과학', p150, 2013.01.15.
- [19] Russian Maritime Register of Shipping ; Rules for technical supervision during construction of ships and manufacture of materials and products for ships Volume 2, Electronic version of printed document approved on 27.06.13.
- [20] International Standard IEC 60945 ; Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems, Fourth edition, 2002.08.
- [21] 김세진, "고출력 LED 탐조등 설계에 관한 연구", 석사학위논문, 한국해양대학교대학원, pp.21-22, 2013
- [22] Yu Guo, Kai-lin Pan, Guo-tao Ren, Shu-jing Chen, Fei Yuan, "Research on LED Temperature Characteristic and Thermal Analysis at Low Temperatures", Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP), p1411~1415, 2012.
- [23] Guo Weling, Jia Xuejiao, Yin Fei, Cui Bifeng, Gao Wei, Liu Ying, and Yan Weiwei, "Characteristics of high power LEDs at high and low temperature", Journal of Semiconductors, Vol. 32, NO. 4, 2011.

감사의 글

벌써 졸업이라니, 시간이 빨리 가네요. 힘든 상황도 있었지만, 많은 분들의 도움으로 무사히 석사과정을 마칠 수 있었습니다. 도와주신 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

먼저, 저에게 다시 공부할 수 있는 기회를 주신 길경석 교수님께 감사드립니다. 이곳에서 교수님 같은 훌륭한 분을 스승으로 만날 수 있었던 것은 제 인생에서 큰 행운이었던 것 같습니다. 새로운 길을 열어주시고, 부족함이 많은 저를 끝까지 격려와 가르침으로 성장시켜 주셔서 감사합니다.

그리고 학부때부터 항상 격려해주셨던 김윤식 교수님, 이성근 교수님, 항상 저에게 따뜻하게 대해주시고 진심어린 조언해주셨던 전태인 교수님, 항상 미소를 지어주셨던 장낙원 교수님, 서동환 교수님 그리고 주양익 교수님께 감사드립니다.

먼저, 저희 고전압 연구실 멤버들에게 감사의 말을 전하고 싶습니다. 연구실의 모든 일을 도맡아서 수고하는 랩짱 선재오빠(오빠, 드더 졸업합니다! 항상 의지가 많이 되었어요. 고마워요), 누나에게 장난도 잘 걸어주고 연구실의 활력소가 되어주었던 귀요미들 기우와 진욱이(마지막까지 화이팅), 그리고 항상 무슨 일을 하든지 적극적으로 누나를 도와주었던 마음이 따뜻한 꾸밍(항상 큰 힘이 되었어! 정말 고마워^^), 지금 넘 잘하고 있는 에너지이저 향은이(앞으로 좋은 일들 많을꺼야, 조금만 힘내장), 반전매력의 민영이(앞으로 할 일이 많아), 그리고 연구실의 막내 경수에게 고마움을 전하며, 모두 파이팅해서 좋은 결과가 있었으면 좋겠습니다. 그리고 연구실에 오면 항상 머하고 있냐고 관심 가져주시고 도움 주셨던 성국이 오빠, 항상 진심어린 조언을 아끼지 않으시는 열정적인 성욱이 오빠, 보기만 해도 늘 반가운 친구들 홍근이와 성주, 찬용이 오빠, 항상 연구실을 도와주고 반갑게 대해주시는 기자재연구원 김일권 박사님, 승보오빠, 동건이, 오시면 맛있는 음식 사주시는 조규룡 연구원님, 연구실에 대한 무한 사랑을 가지고 계시는 송재용 박사님, 천상규 박사님, 멀리서 열심히 일하고 있는 민수와 세진이에게 감사함을 전하고 싶습니다.

또한 항상 반갑게 맞아주시고 따뜻하게 해주셨던 서재석 사장님, 일한

다고 요즘 고생이 많으신 박대원 박사님, 정윤이, 창환이에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다.

그리고 일하면서 공부하는 성환이, 태성이, 센터에서 항상 도와주셨던 유선영 박사님, 은지, 대학원 생활하면서 항상 조언과 격려를 해주었던 김미정 조교언니, 현숙이 언니에게 감사의 말을 전하고 싶습니다.

항상 그랬듯이 힘들다면 언제든지 달려와 주고, 맛난거 사주며 늘 힘이 되었던 나의 베프 수연이, 멀리서도 늘 응원해주고 기도해줬던 나의 무한 힐링구 애신언니와 희범오빠, 영어로 항상 도움 줬던 친구 유안이, 나보리 늘 학교까지 찾아와 주던 은선이, 항상 걱정해주는 나영언니와 은정이 그리고 답답한 생활속에서 비타민 같은 귀요미 동생들 지윤이와 다희에게 진심으로 감사의 말을 전하고 싶습니다.

그리고 석사기간 동안 항상 옆에서 힘이 되어주었던 그분에게 감사함을 전하며 마지막으로 공부한다고 옆에서 늘 지원하고 묵묵히 도와주고 힘이 되어준 나의 사랑하는 가족에게 무한 감사함을 전합니다. 그리고 나를 위해 기도해주시는 나의 최고 지원자 외할머니 사랑합니다.

생각해보니 감사한 분들이 너무 많습니다. 언급하지 못한 분들도 있지만 모든 분들께 마지막으로 감사의 마음을 전합니다.

하 희 주 드림