

선박용 LED Chamber Light의 열 및 광학 특성에 관한 연구

김상현¹, 이도엽², 김우성³, 장낙원^{1,a}

¹ 한국해양대학교 전기전자공학과

² 대양전기공업(주) 연구소

³ LS산전(주) A&D PCS 연구팀

A Study on the Thermal and Optical Properties of a LED Chamber Light for Vessels

Sang-hyun Kim¹, Do-yup Lee², Woo-sung Kim³, and Nakwon Jang^{1,a}

¹ Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

² Lighting Division, DAEYANG Electric Co., Busan 604-836, Korea

³ A&D PCS Development Division, LS Instrument Co., Anyang 431-749, Korea

(Received October 16, 2014; Revised October 24, 2014; Accepted November 26, 2014)

Abstract: Recently, LED is widely used in the kinds of display devices or lighting. In this paper, we fabricated LED chamber light for naval vessels to replace to conventional chamber light using incandescent lamp. The LED package of chamber light was designed with luminous intensity of 5.5 cd, color temperature of $6,000 \pm 500$ K, forward voltage of 3~3.2 V and input current of 60 mA. A LED module was composed of 36 LED packages and metal PCB. The VF and luminous intensity of LED package were getting down when temperature increased. The temperature of LED chamber light was measured by changing the number of LED package and applied current for one hour when an electric current flow. The heat transfer capability have been improved by using metal PCB. The power consumption of LED chamber light reduced by 86% compared to the conventional chamber light using incandescent lamp.

Keywords: LED, Chamber light, Vessel, Power consumption, Forward voltage, Luminous intensity

1. 서 론

최근 지구 온난화에 따른 환경 변화와 에너지의 중요성이 부각되고, 고유가 및 친환경 정책이 시행됨에

따라 전통조명의 보급은 축소되고, 친환경 고효율 LED (light emitting diode) 조명이 대안으로 대두되고 있다. 기존의 백열등, 할로젠을 LED로 대체하면 소비전력 50~90%가 절감되고, 형광등을 대체할 경우 소비 전력은 30~60% 절감이 가능하다 [1-4]. 또한, 유지 보수비 절감 및 신뢰성 확보를 이룰 수 있어 차세대 광원 LED는 경관조명을 포함한 일반 조명과 자동차 조명장치 등의 분야로 응용 분야가 확장되고 있다.

a. Corresponding author; nwjang@kmou.ac.kr

Copyright ©2015 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기존 선박용 일반조명으로 사용되던 백열전구를 사용한 조명은 기관실의 진동으로 인해 필라멘트가 쉽게 파괴되어 장거리 항해 후엔 다수의 전구를 새 것으로 교체해야 하기 때문에 유지보수 비용이 많이 들었다. 또한, 유럽 연합 회원국은 2012년부터 백열전구 판매가 금지되었으며, 한국은 2014년부터 백열전구의 생산 및 판매가 금지되었다. LED는 에너지 소비량도 적고 내부에 필라멘트를 포함하지 않기 때문에 진동에 강하여 선박용 조명 광원으로 적용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다 [5,6].

선박용 조명기기의 광원으로 사용되는 백열등을 LED로 대체하기 위해서는 높은 광 출력을 낼 수 있어야 함은 물론이고, 긴 수명과 안정성을 확보하기 위해 높은 신뢰성이 요구된다. 고휘도 LED의 경우, 입력전력 대비 광 출력이 약 15~20%이며 나머지 에너지는 열로 변환되기 때문에 열에 의한 LED 칩의 접합 온도가 상승하여 광 특성이 매우 빠르게 변하고 나아가 칩이 손상되는 현상까지 발생한다 [7,8]. 이러한 열에 의한 LED 소자의 신뢰성 저하 문제는 열을 적게 발생시키거나 생성된 열을 주변으로 방출하여 LED의 접합 온도를 낮추어야 해결할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 선박의 실내조명으로 저효율의 백열전구를 사용하는 100 W급 chamber light을 대체하기 위해서 고효율 광원으로 주목받고 있는 LED 광원을 이용하여 선박용 LED chamber light를 제작하였다. 또한, 신뢰성 있는 선박용 LED chamber light 조명 등기구 제작을 위해 LED 소자에서 생성된 열을 효과적으로 주변으로 방출하여 LED의 접합 온도를 낮추기 위한 연구를 진행하였다. 방열기구 구조와 LED 모듈에 따른 LED chamber light 등기구의 각 부분의 온도를 측정하여 열적 신뢰성을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 LED 모듈의 구성

본 논문에서 제작한 백열등을 사용한 선박용 chamber light의 사양을 표 1에 나타내었다. 소비전력은 100 W, 최대 조도는 170 lux로 선박의 실내조명으로 사용된다. 기존의 백열등을 대체하여 chamber light의 광원으로 사용한 LED의 사양은 표 2에 나타내었다. LED 한 개의 광도는 5.5 cd, 색 온도는 6,000 ± 500 K, 순방향 전압은 3~3.2 V이고, 정격전류는

Table 1. Specification of 100 W chamber light.

Consumption of electrical power (W)	100
Input voltage (V)	110/120/220/230
Frequency (Hz)	50/60
Maximum illumination (Lux)	170
Beam angle (°)	25

Table 2. Specification of LED package.

Luminous intensity (cd)	5.5
Color temperature (K)	6,000 ± 500
Forward voltage (V)	3~3.2
Input current (mA)	60

60 mA이다. LED 패키지의 배열은 고집적 모듈을 구현하기 위해 직렬로 연결된 3개의 LED를 병렬 구조로 연결하여 실장하였다. LED 모듈의 구동회로는 입력 전압이나 온도에 무관하게 일정한 전류를 공급하는 정전류 방식으로 구성하였다. LED 칩에서 발생한 열을 효율적으로 외부에 전달하는 열 전도판 역할을 하기 위해 메탈 PCB를 사용하였다.

LED chamber light는 LED 전원의 특성상 교류를 직류로 변환하는 고효율 전원장치는 정전압 방식의 SMPS (switching mode power supply)를 사용하였으며, 입력전압은 AC 90~260 V, 주파수 50/60 Hz, 출력전압 DC 12 V, 출력전류 800 mA의 규격을 갖는다. LED 구동 IC는 입력전압 5~50 V, 최대 출력 전류 700 mA의 특성을 갖는 상용 LED 구동 IC(AMC7140)를 적용하였다.

2.2 LED chamber light 등기구 구성

본 논문에서 제작된 선박용 LED chamber light의 등기구 구조를 그림 1에 나타내었다. 등기구는 외함, LED metal PCB, 터미널 블록, SMPS, 글로브 유리판 및 확산판 등으로 구성되어 있다.

수분과 염분이 많은 바다를 항해하는 선박에 설치되는 환경을 고려하여 본체는 스테인레스 스틸 (SUS304)을 사용하여 부식을 방지하였다. 또한 선박용 chamber light는 방수 및 방진 특성이 IP56 등급으로 방수 및 방진 구조를 실현하기 위해 고무 패키징 케이블 마개를 사용하였으며, 살수 및 분진 시험을

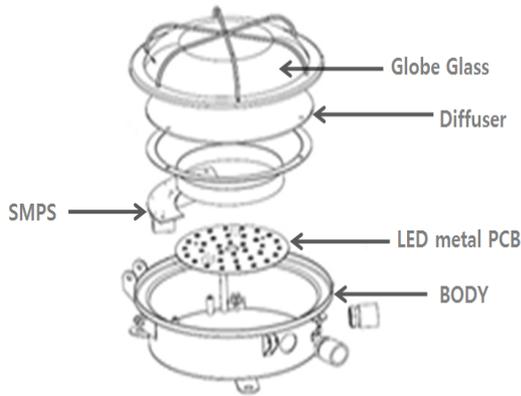


Fig. 1. Structure of LED chamber light.

통해 보호 성능 등급을 만족하였다. 휘도가 높은 LED의 눈부심 방지와 빛의 방향 조절을 위해 글로브 유리판 아래에 확산판을 부착하였다.

2.3 LED chamber light의 특성실험

LED 소자의 온도에 따른 전기 및 광 특성 변화를 알아보기 위해 LED 패키지에 대한 온도 특성을 조사하였다. LED 패키지의 온도에 따른 광 특성 분석은 ECOPIA LED 테스터 (ELT-1000)을 이용하여 실시하였다. LED 테스터의 핫 플레이트 위에 LED 패키지를 고정하고 온도를 상온에서 125°C로 변화시켰으며, 핫 플레이트의 온도가 LED 패키지에 전해지도록 30분이 지난 후, 순방향 전압과 색좌표 변화를 조사하였다.

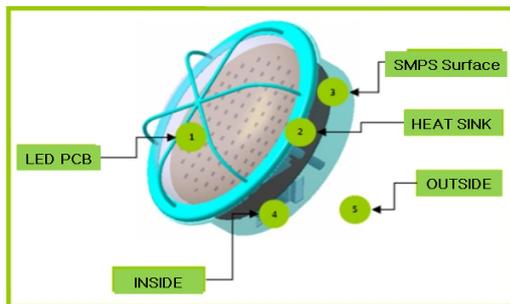


Fig. 2. Temperature measurement point of LED chamber light.

제작된 LED chamber light의 방열판과 LED 칩 수에 따른 온도 특성을 알아보기 위해 그림 2와 같이

LED PCB, HEAT SINK, SMPS 표면, 등기구 내부 및 외부에 온도 센서를 부착하여 등기구 각 부분의 온도 변화를 측정하였다. LED chamber light의 광학적 특성을 알아보기 위하여 등기구의 조도를 측정하였다. 조도 분석은 Minolta의 CL-200을 사용하여 CL-200과 LED의 광이 일직선상에 마주보도록 장치하고 1 m 거리에서 LED 광을 직접 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LED 패키지의 온도에 따른 특성

LED chamber light의 온도 특성을 분석하기에 앞서 LED 패키지의 온도를 변화시키며 순방향 전압과 색좌표 변화를 조사하여 LED 패키지의 온도에 따른 전기적 특성과 광 특성 변화를 알아보았다. LED 패키지를 올려놓은 핫 플레이트의 온도를 25°C, 85°C, 100°C, 125°C로 변화시켰으며, 구동전류는 5, 10, 15, 20 mA로 변화시켰다.

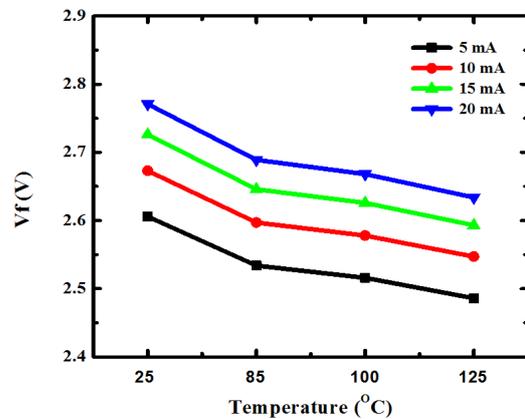


Fig. 3. Forward voltage(VF) of LED chip according to temperature.

그림 3은 LED 패키지 칩의 온도에 따른 순방향 전압 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 상온의 순방향 전압은 온도가 증가하면서 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 LED는 전자와 정공의 재결합을 이루며 빛을 내는데 온도가 높아짐에 따라 전자와 결합 확률이 낮아지기 때문에 상온에서 고온으로 증가하면서 순방향 전압 값이 감소하는 것이다.

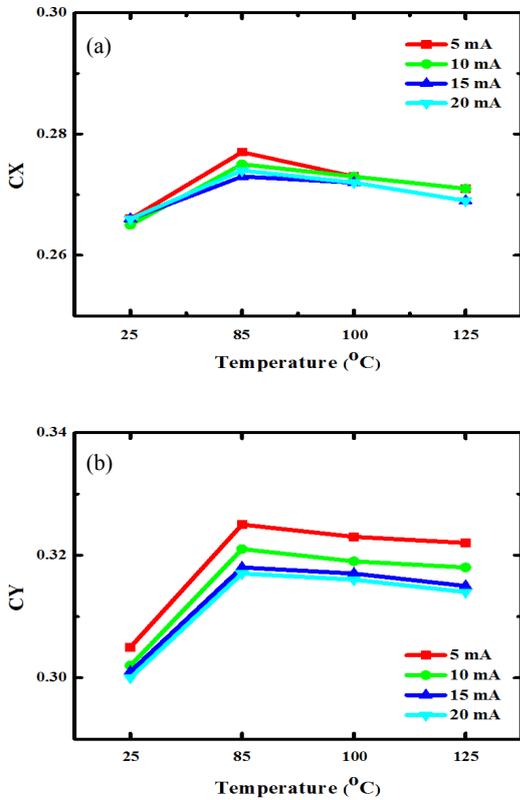


Fig. 4. Chromaticity diagram of LED package according to temperature. (a) CX and (b) CY.

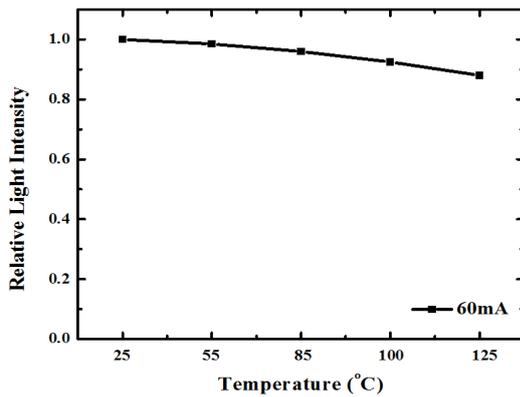


Fig. 5. Relative light intensity of LED package according to temperature.

온도 변화에 따른 LED 패키지의 색좌표 변화를 분석하여 그림 4에 나타내었다. LED 패키지는 상온에서 CX 값이 0.27과 CY 값이 0.31로 백색 광원의 특성을 보이고 있다. 온도가 증가함에 따라 CX 값과

CY 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히 CY 값은 상온에서 85°C까지의 구간에서 급격하게 증가한 후 125°C까지는 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 또한, 온도 변화에 따른 LED 패키지의 광도 변화를 그림 5에 나타내었다. LED 패키지는 상온에서 125°C까지 온도가 증가하면서 광도가 10% 정도 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 LED의 온도가 증가하면 효율 및 광도가 감소하는 다른 연구와 같은 결과이다 [8].

실험 결과에서 보듯이 LED 패키지의 온도가 올라가면서 LED의 접합온도가 높아짐에 따라 LED 칩은 장파장 쪽으로 이동하게 되는 것을 관찰할 수 있었다. LED 패키지의 온도가 85°C에서 전기 및 광 특성이 크게 변하기 때문에 LED 패키지의 온도를 85°C 미만으로 유지하기 위한 등기구를 설계할 필요가 있다.

3.2 방열판에 따른 온도 특성

LED 소자는 온도가 상승하면 광 특성이 저하되는 문제가 발생한다. 이것을 해결하기 위해 열을 효과적으로 방출할 수 있는 방열기구가 사용된다 [9].

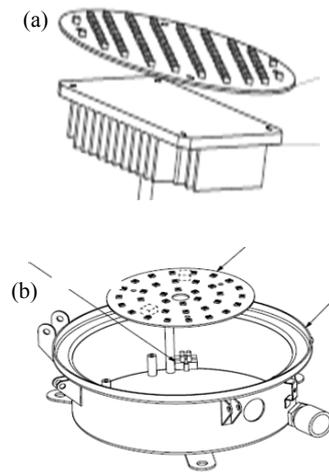


Fig. 6. Heat sink structure of LED chamber light. (a) heat sink and (b) non heat sink.

본 논문에서는 열에 대한 방열이 빠르게 일어나기 위한 LED 패키지를 부착할 PCB는 메탈을 사용하였다. LED 조명기구에서는 LED 패키지에서 발생된 열을 방출하기 위해 방열판 (heat sink)를 사용한다. 그

Table 3. Temperature of LED chamber light with heat sink.

No	Measurement point	Heat Sink	Metal PCB
(1)	LED PCB	50.7[°C]	41.0[°C]
(2)	HEAT SINK	50.0[°C]	-
(3)	SMPS surface	57.1[°C]	59.6[°C]
(4)	Internal temperature	36.2[°C]	29.4[°C]
(5)	Outside temperature	24.6[°C]	25.2[°C]

Table 4. Temperature of LED chamber light according to applied current at 72 LED package.

No	Measurement point	Applied current	
		60 [mA]	27 [mA]
(1)	LED PCB	59.7[°C]	48.4[°C]
(2)	SMPS surface	73.4[°C]	61.9[°C]
(3)	Internal temperature	49.5[°C]	41.5[°C]
(4)	Outside temperature	21.9[°C]	28.0[°C]

러나 선박용 조명등은 방수 특성이 요구됨에 따라 밀폐구조의 등기구를 사용하기 때문에 방열판 사용에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 선박용 LED chamber light의 방열판 유무에 따른 온도 특성을 조사하였다. 선박용 LED chamber light에 그림 6(a)와 같이 메탈 PCB 아래 방열판을 설치한 경우와 그림 6(b)와 같이 방열판 없이 메탈 PCB를 등기구에 밀착하는 경우의 온도 특성을 비교하였다. LED 패키지 수는 48개를 사용하였으며 구동 전류는 45 mA를 인가하였다.

표 3은 측정된 각 부분의 온도를 나타내었다. 표에서 보듯이 LED chamber light 경우에는 내부에 방열판을 사용한 경우, 방열판을 사용하지 않고 메탈 PCB를 등기구 외함에 부착하는 경우보다 LED 칩이 부착된 PCB의 온도가 10°C가 더 높아 방열판의 효과가 미미함을 알 수 있다.

선박용 chamber light의 경우, 방수 및 방염 조건을 만족시키기 위해 완전 밀폐된 구조를 가지고 있

다. 따라서 밀폐된 등기구 내부에서 방열판이 열적 포화 (thermal saturation)가 이루어지면 외부 대류가 없으므로 열을 외부로 방출하지 못하여 chamber light 내부의 온도가 상승하는 것으로 사료된다. 그러나 메탈 PCB를 등기구 본체에 부착하는 경우는 내부에서 발생된 열이 외함을 통해 외부로 전도할 수 있는 통로가 생겨 내부 온도의 상승을 억제하여 내부소자들을 열로부터 보호가 가능하다고 사료된다.

3.3 LED array 구성에 따른 온도 특성

LED 등기구의 경우 LED 패키지에서 열이 가장 많이 발생하기 때문에 패키지 개수와 배열에 따라 등기구의 온도가 변하여 열에 의한 광학적 특성에 영향을 미치게 된다 [10]. LED 모듈의 적절한 LED 패키지 수를 결정하기 위해 LED 패키지 수가 LED chamber light 등기구에 미치는 온도 특성과 광학 특성을 분석하였다. 먼저 LED 패키지 수가 72개일 때 동작 전류에 대한 온도 특성을 분석하여 표 4에 나타내었다. 표에서 보듯이 LED 패키지에 인가되는 전류가 60 mA일 때는 LED PCB의 온도가 59.7°C이나 27 mA일 때는 48.4°C로 50°C 이하로 크게 낮아져 온도 특성은 좋아지나 정격전류 60 mA 대비 45.8%의 전류를 인가하는 것으로 효율 면에서 적합하지 않다. LED 패키지 수를 36개, 48개, 72개로 변화시키며 등기구 각 부분의 온도와 조도 변화를 관찰하였다. LED 패키지는 직렬로 연결된 3개의 패키지를 병렬 구조로 연결하여 실장하였다. 1시간 동안 정격전류 60 mA를 흘려주었을 때 등기구 각 부분의 온도와 조도를 측정하였다.

표 5는 측정된 각 부분의 온도와 chamber light의 조도를 나타내었다.

Table 5. Temperature of LED chamber light according to LED package.

No	Measurement point	LED package		
		72[ea]	48[ea]	36[ea]
	Illuminance [lux]	610	330	180
(1)	LED PCB	59.7[°C]	54.3[°C]	45.7[°C]
(2)	SMPS surface	73.4[°C]	68.0[°C]	59.1[°C]
(3)	Internal temperature	49.5[°C]	46.6[°C]	40.0[°C]
(4)	Outside temperature	21.9[°C]	23.5[°C]	27.6[°C]

LED 패키지 칩수가 36개일 때, 등기구의 조도는 180 lux로 백열등을 사용한 100 W chamber light가 170 lux의 조도를 보이는 것과 비교할 때 10 lux 큰 값으로 선박용 chamber light의 필요 사양을 만족한다. LED 패키지 칩수가 72개인 경우, 조도는 610 lux 까지 크게 증가하나, 요구되는 사양을 초과한 값을 보인다.

LED 패키지 개수에 따른 등기구의 온도 변화는 표에서 보듯이 LED 패키지 칩의 수가 36, 48, 72개로 증가함에 따라 발생하는 열도 증가하여 LED 칩이 부착된 메탈 PCB의 온도도 45.7°C에서 59.7°C로 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 열에 의한 LED의 광 특성 열화를 막기 위해서는 LED chamber light 내부의 LED 메탈 PCB의 온도는 50°C 미만이 되게 LED 패키지 수와 배열 구조를 설계해야 한다. 표에서 보듯이 LED 패키지 개수가 36개일 때, LED 메탈 PCB의 온도는 45.7°C로 열에 의한 LED chamber light의 광학적 열화를 감소시킬 수 있다.

3.4 구동 전류 변화에 따른 온도 특성

본 논문에서 제작한 선박용 LED chamber light에 적용된 LED 패키지 칩의 정격전류는 60 mA이며, 측정된 소비 전력은 12 W였다. 선박용 LED chamber light의 전류회로 등의 이상으로 정격전류 이상의 과전류가 흐를 경우에 LED chamber light의 각 부분의 온도가 어느 정도 영향을 받는지를 알아보기 위해 LED 패키지의 구동전류 변화에 따른 LED chamber light 등기구의 온도 변화에 대한 실험을 수행하였다. LED 패키지의 구동전류를 45 mA에서 70 mA로 변화시키며 측정한 LED chamber light 등기구 각 부분의 온도를 표 6에 나타냈었다. 측정은 1시간 동안 전류를 흘려주었을 때 변화를 분석하였다.

Table 6. Temperature of LED chamber light according to applied current.

No	Measurement point	45 mA	60 mA	70 mA
		[°C]	[°C]	[°C]
(1)	LED PCB	43.6[°C]	45.7[°C]	49.7[°C]
(2)	SMPS surface	56.9[°C]	59.1[°C]	65.1[°C]
(3)	Internal temperature	35.5[°C]	40.0[°C]	48[°C]
(4)	Outside temperature	27.1[°C]	27.6[°C]	28[°C]

표에서 보듯이 LED 패키지 정격전류보다 10 mA가 큰 70 mA를 인가하였을 때도 LED 메탈 PCB 온도는 49.7°C로 50°C보다 낮음을 볼 수 있다. LED 패키지의 정격전류 60 mA보다 큰 70 mA의 과전류가 흘렀을 때, LED chamber light 내부 온도는 50°C보다 낮은 값을 나타내나 지속적으로 과전류가 LED 패키지에 인가될 경우 수명이나 효율은 낮아질 것으로 사료된다.

3.5 LED chamber light의 광학 분석

선박용 LED chamber light의 광학 분석을 하기 위해 빛의 발광 부분부터 1 m 되는 지점에서 각도별로 조도를 측정하였다. LED chamber light의 광학 분석 데이터에서 beam angle은 ±25°의 각이 나왔으며, 조도는 180 lux를 나타냈다. 이에 대한 배광 곡선을 그림 7에 나타냈었다. 측정된 광학 특성은 선박용 chamber light의 요구 사양인 조도 170 lux, Beam angle ±25°를 만족하는 값을 나타내었다. LED chamber light를 선박에 설치하여 시간에 따른 조도 변화를 관찰하였다. 35주 동안 조도계를 이용하여 LED chamber light의 조도 변화를 관찰하였다.

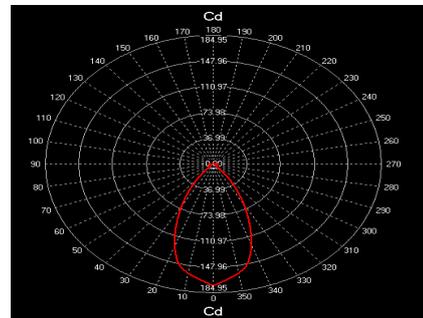


Fig. 7. LED chamber light distribution curve.

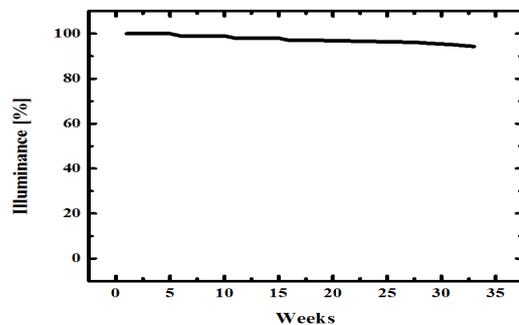


Fig. 8. Relative illuminance of LED chamber light with time.

그림 8은 LED chamber light의 시간에 따른 조도 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 LED chamber light의 조도는 5, 10, 15주에 약간씩 떨어지는 것을 볼 수 있다. 설치된 LED chamber light를 분석해 본 결과, 3개의 LED 패키지가 백색 발광을 하지 않고, 청색 발광을 하는 것으로 열화현상이 관찰되었다. LED chamber light가 장시간 정상 동작을 하기 위해서 이런 LED 패키지의 불량을 발생시키는 원인에 대한 고장 분석과 LED 칩 스크린 과정이 필요하고 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 백열등을 사용한 선박조명을 LED로 대체하기 위해 선박용 LED chamber light를 제작하여 특성을 분석하였다. 신뢰성 있는 LED chamber light를 제작하기 위해 LED 패키지 및 LED chamber light에 대한 열 및 전류 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. LED 패키지는 주위 온도가 상승함에 따라 VF는 감소하고 색좌표 CX, CY는 증가하였다.
2. 제작된 완전 밀폐 구조의 선박용 LED chamber light의 경우, LED PCB를 외함에 부착하는 것이 외함을 통해 외부로 열을 전도할 수 있는 통로가 생겨 보다 효율적으로 내부 온도의 상승을 억제할 수 있다.
3. LED 패키지 36개를 사용하여 제작된 LED chamber light의 소비전력은 12 W, 조도는 180 lux로 백열등을 사용한 100 W chamber light와 비교하여 86% 정도의 에너지 절감 효과가 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 ICT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0301-14-1016).

REFERENCES

- [1] US DOE, *Solid-State Lighting Research and Development* (State and Community Programs, 2001)
- [2] G. B. Stringfellow and M. G. Craford, *High Brightness LEDs* (Academic Press, 1997)
- [3] B. H. Song, I. W. Oh, and S. R. Lee, *J. IEEK*, **48**, 102 (2001).
- [4] S. H. Cho, M. W. Lee, H. S. Choi, and H. Kim, *J. IEIE*, **26**, 8b (2012).
- [5] I. K. Kim, D. G. Kim, G. S. Kil, H. G. Cho, and K. L. Cho, *J. KIEEME*, **25**, 9 (2012)
- [6] S. J. Kim, G. S. Kil, D. G. Kim, I. K. Kim, and D. Y. Song, *J. KIEEME*, **26**, 10 (2013).
- [7] S. L. Chung, *IEEE J. Quant. Electron*, **3**
- [8] J. Park, M. W. Shin, and C. C. Lee, *Optics Letters*, **29**, 22 (2004).
- [9] J. H. Yun, and J. D. Ryeom, *J. KIIEE*, **26**, 2 (2012).
- [10] E. S. Kim and Y. T. Kim, *J. KIIEE*, **25**, 9 (2011).