

백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 특성 분석

(Analysis of Property for White and RGB Multichip LED Luminaire)

정병호* · 김남오 · 김덕구 · 오금곤 · 조금배 · 이강연**

(Byeong-Ho Jeong · Nam-Oh Kim · Deog-Goo Kim · Geum-Gon Oh ·
Geum-Bae Cho · Kang-Yoen Lee)

요 약

LED조명장치는 자동차분야, 항공, 디스플레이, 전송장치 그리고 특수조명등의 응용장치로의 활용이 증가하고 있다. 일반적으로 고효율 RGB 멀티칩 LED는 표시용이나 경관조명용 또는 감성조명용으로 적용되고 백색 LED는 표시용 조명에서 최근 들어 일반조명용으로 적용되고 있으며, 고효율 백색 LED의 출시와 광효율의 증가는 이를 더욱 가속화하고 있다.

본 논문에서는 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치를 동일한 사양으로 제작하여 물리적, 전기적, 광학적 조명특성을 분석하여 향후 LED조명시스템의 제작에 정량적 데이터를 제공하고자 한다. 이를 위해 LED의 주요한 물리적 특성인 방열특성에 대한 성능분석, 전기적 특성의 분석을 위한 전력 및 드라이브 효율에 대한 성능분석을 수행하였고 조명특성을 위한 연색성, 배광특성, 광효율을 측정하였다. 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치를 활용한 응용장치의 적용방법을 확립하고 나아가 다양한 조명시스템에 LED 조명장치를 적용하는데 참고가 되는 기초 데이터를 제시하고자 한다.

Abstract

LEDs are increasingly used for many applications including automotive, aviation, display, transportation and special lighting applications. Generally, the RGB multichip LED luminaire applied to signboard, emotional lighting system and display device and the white LED luminaire applied to general lighting system. white LED spectra for general lighting should be designed for high luminous efficacy as well as good color rendering.

This paper describes characteristics of LED luminaire white LED and RGB multichip LED. Two type of LED luminaire prototype used experiment physical, electrical and optic test and performance analyzed. RGB multi-chip and phosphor-type white LED luminaire were analyzed by experiment on their color characteristics and luminous efficacy of radiation, distribution curve, and electrical characteristics. Research work is in progress to develop an improved performance for optic and electrical works well for two type of LED luminaires.

Key Words : White LED, RGB Multichip LED, Distribution Curve, Luminous Efficacy

* 주저자 : 남부대학교 의료공학과

** 교신저자 : 조선대학교 전기공학과

Tel : 062-230-7863, Fax : 062-230-7020, E-mail : space122@hanmail.net

접수일자 : 2009년 9월 10일, 1차심사 : 2009년 9월 15일, 2차심사 : 2009년 10월 30일, 심사완료 : 2009년 11월 3일

1. 서 론

최근 고효율 조명기구 개발에 대한 요구가 한층 높아지고 있는 상황에서 조명효율을 25[%] 향상시키면 약 2,500억[kWh]의 전력이 절감되고 1억 5천만 톤의 CO₂를 절감할 수 있다[1]. LED조명장치는 에너지 절감과 친환경 효과로 인해 차세대 조명장치로 각광받고 있으며 이러한 산업기술의 동향은 고효율 LED 조명시스템을 차세대 고효율 대체광원으로 인식하고 있다[2-3]. LED 조명은 반도체 조명의(Solid state light, SSL) 가장 유망한 소재로 이론적으로 입력에너지의 약 43[%]를 가시광선으로 변환시킨다[4]. 발광효율의 측면에서 볼 때, 가로등의 광원으로 주로 사용되는 고압 나트륨램프가 35~65[lm/W]이며, 메탈할라이드램프가 65~100[lm/W]인 것을 감안한다면 현재의 고출력 3[W]급 LED의 경우 100~130[lm/W] 정도이고 향후 최대 200[lm/W]까지 향상시킬 것으로 기대하고 있다[5-6]. 한편, LED 조명으로 백색 조명을 연출하는 방법에는 UV LED와 RGB 형광체를 이용하는 방법, 질화물 청색 LED에 YAG와 같은 단일형광체를 이용하여 청색광과 YAG 여기광에 의해 백색광을 획득하는 방법, 그리고 RGB LED를 조합하여 백색광을 연출하는 방법 등이 있다. 각각의 방식은 적용분야와 제작방식에 따라 장단점을 가지고 있으며 UV LED와 RGB 형광체를 이용한 방식은 UV LED의 성능상의 문제로 다른 두 가지 방식이 LED 조명장치에 주로 이용되고 있으며, 일반조명과 특수조명 LED 조명 개발을 위해서는 기초적인 물성 및 전기적·광학적 특성 분석을 정확히 이루어져야 한다.

본 논문에서는 3[W]급 단일칩으로 제작된 고출력 백색 LED 조명장치와 1[W]급 RGB 단일칩 3개로 제작된 3[W]급 RGB 멀티칩 LED조명장치에 대해 드라이브 설계 제작하여 각각의 전기적, 광학적 특성을 분석하였다.

2. 백색과 RGB 멀티칩 LED 조명장치 구현

2.1 LED소자의 활용 및 칩의 회로 구성

본 논문에 적용된 백색 LED조명은 YAG(Yttrium Aluminum Garnet)의 황색 형광체를 이용하는 방식으로 1칩 2단자의 단순한 구조로 제조단가를 절감할 수 있고, 발광효율이 우수하며 백색 조명을 구현하는데 가장 널리 적용되고 있는 고휘도 청색 발광 InGaN LED를 여기광원으로 하였다. 또한, 광출력과 열특성과의 관계 및 색 분류에 따른 LED 구동 특성 차이에서 기인한 혼색 배합의 특성, 입력전압의 크기에 따른 스위칭 회로 그리고 LED 어레이의 구성 방법 등을 고려하여 RGB 멀티칩 LED조명을 최적의 혼색 조명구현을 하였다. 표 1은 고출력 LED의 전기 및 광학적 특성을 나타내고 있다.

표 1. 백색과 RGB 멀티칩 LED의 물리적·전기적 특성

Table 1. Physical and electrical characteristics of white and RGB multichip

Parameters	Symbol	Red	Green	Blue	White
		AlInGAP	InGaN	InGaN	InGaN
Luminous intensity	Iv(lcd)	5.0~7.5	12.0~18.0	2.0~3.0	100~120
Forward voltage	Vf(V)	2.0~2.8	3.0~4.0	3.0~4.0	3.0~4.0
Current	If(mA)	640	680	360	1,400
Color coordinates	Wd(nm)	620~630	520~530	460~470	Cx0.26~0.37 Cy0.21~0.45
Thermal resistance	Rθj-c ((C/W))	3.8	5.8	5.8	5.8

RGB 멀티칩 LED는 3색 LED가 하나의 칩에 들어가 있는 구조이다. 직·병렬연결은 인가전압과 전류에 따라 결정되지만 직렬 스트링의 수가 너무 많으면 다이오드 전압강하에 의해 직렬 배열간 광량의 차이가 발생하여 고른 배광특성을 획득하기 어렵다. 또한, 단일 스트링으로 설계하면 전압은 낮은 대신에 전류값이 커져서 배선구조나, 전선의 연결시에

굵은 전선을 사용해야하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같이 3직렬 2스트링구조를 갖도록 LED 모듈을 구성하여 제작하였다.

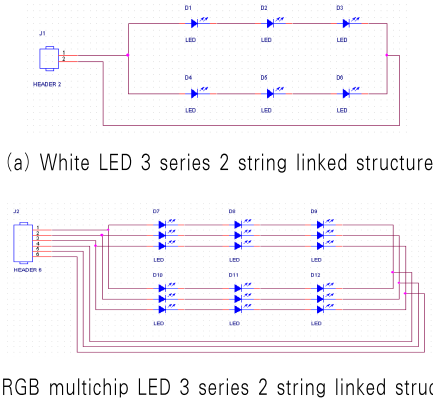


그림 1. 백색 및 RGB 멀티칩 LED 조명장치 회로
Fig. 1. Circuit of white and RGB multichip LED

2.2 LED 드라이브 설계

LED구동드라이브를 설계할 때는 전기물성적인 특성에 맞춰 설계해야만 성능과 수명을 보장할 수 있다. LED는 전류제어 소자로 밝기는 파워드전류에 비례한다. 직류전원을 인가하여 LED를 구동하는 회로에서 LED에 흐르는 전류는 식 (1)과 같다.

$$I_F = \frac{V_{OC} - V_F}{R} \quad (1)$$

여기서 V_{OC} 는 공급전압, V_F 는 순방향 인가 전압, I_F 는 LED를 흐르는 순방향 전류이다. LED의 정전류 제어하기 위한 저항제어방식은 저전류 회로에서 주로 이용된다. HB LED의 경우 발열량이 커 선형제어 방식보다 스위칭제어방식을 주로 적용한다.

본 논문에서는 일정한 출력광을 유지하기 위한 보상용 트랜지스터가 있는 전류싱크 LED 드라이브회로를 구현하였다. 이러한 경우 I_F 는 식 (2)와 같다.

$$I_F = \frac{V_B - V_{BE}}{R_3} \quad (2)$$

여기서 V_B 는 베이스전압, V_{BE} 는 베이스와 에미터 사이의 전압, R_3 는 에미터 저항이다. 이 방식은 기본전류원에 대해 전류미러를 그라운드쪽으로 형성하고 그 위의 스테이지에 전류의 스위칭을 결정하는 조정 트랜지스터를 둔다. 그림 2는 일정전류전원을 갖는 전류싱크 LED회로 드라이브이다.

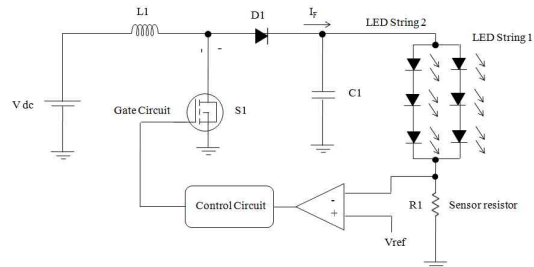


그림 2. 벡컨버터 방식의 LED 드라이브
Fig. 2. Buck converter type LED drive design

일정전류 전원은 일정한 LED 밝기를 위한 파워드 전압에서 임의의 변동에 기인한 전류의 변동을 억제한다. 출력전압을 레귤레이팅하는 방식보다 입력전력공급을 전류센싱 저항기의 양단의 전압을 조절하는 방식이 정전류 소스를 생성하는데 매우 간단하다. 전원공급을 위한 기준전압과 전류센싱 저항의 값이 LED전류의 크기를 결정한다. 그림 3은 적용된 전류싱크 LED 드라이브회로 방식에 따른 전체회로의 블록다이어그램이다. 직류필터 후단에 전류 레귤레이터를 구성하여 2스테이지 구성방식으로 회로구조가 복잡한 반면에 전원공급이 매우 안정적인 구조로 설계하였다.

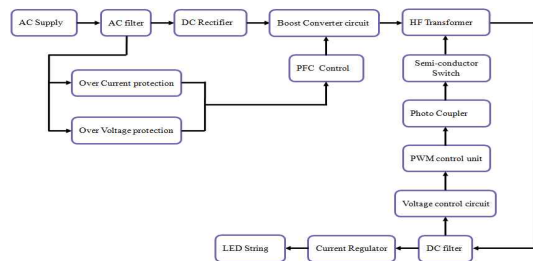


그림 3. 전류 레귤레이터 방식의 드라이브 LED 드라이브 블록다이어그램
Fig. 3. LED drive block diagram for current regulation method

백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 특성 분석

2.3 방열판 설계

고출력 LED(HB LED)는 높은 전류로 동작하기 위해 열저항이 작아야 한다. 열저항은 식 (3)과 같다.

$$R_{\theta_{jun-amb}} = \frac{\Delta T_{jun-amb}}{P_d} \quad (3)$$

여기서 $R_{\theta_{jun-amb}}$ 는 접합점-주변온도인 열저항, $\Delta T_{jun-amb}$ 은 접합점온도에서 주변온도차이에 의한 온도, P_d 는 소모되는 전력으로 $V_F \times I_F$ 이다.

LED는 입력대비 광출력은 약 15[%]이고 85[%] 정도는 열로 발산하므로 방열을 하지 않으면 접합부의 온도가 상승하여 열저항이 커지게 되며 이는 소자의 수명과 광출력이 저하되게 하므로 전류와 온도, 광출력의 관계가 매우 중요하다.

방열판 설계를 위한 접합점의 온도는 식 (4)와 같다.

$$T_j = T_a + (R_{th(b-a)} \times P_{total}) + (R_{th(j-sp)} \times P_{LED}) \quad (4)$$

여기서 T_a 는 대기온도, $R_{th(b-a)}$ 는 방열판 열저항, P_{LED} 는 단품 LED 전력소비량, P_{total} 은 총 전력 소비량으로 LED 개수 $\times P_{LED}$, $R_{th(j-sp)}$ 는 LED 패키지 열저항이다.

본 실험에 따른 방열판은 T_j 의 최대값을 50[°C]로 실내에서 동작할 수 있도록 설계하였다. 그림 4는 실험에 적용된 알루미늄 방열판 외형을 보여주고 있다.

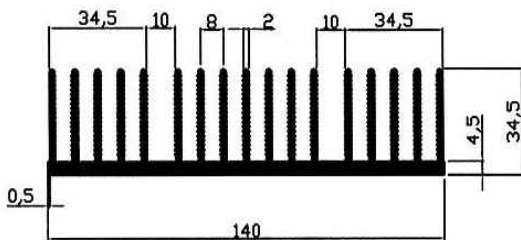


그림 4. 실험에 적용된 알루미늄 방열판 외형
Fig. 4. Al heat sink outward form

그림 5는 실험에 적용된 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 시제품 사진이다.



(a) White LED



(b) RGB multichip LED

그림 5. LED조명장치의 시제품 사진
Fig. 5. Photo of LED luminaire prototype

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 3[W]급 단일칩으로 제작된 고출력 백색 LED 조명장치와 1[W]급 RGB 단일칩 3개로 제작된 3[W]급 RGB 멀티칩 LED조명장치에 대해 드라이브 설계, 방열판 규격, 그리고 LED칩 배치 등을 고려한 동일한 설계방식을 통해 프로토타입을 제작하여 전기 및 조명특성을 분석하였다.

3.1 전기적 특성

일반적으로 광원의 전기적 입력특성은 정격전압, 전류, 전력, 역률 등의 파라미터로 전기적인 특성을 나타낸다. 그림 6과 그림 7은 백색과 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 각각의 구동드라이브의 전기적 특성을 측정된 파형이다. 그림 6, 7과 같이 정전류 드라이브는 고주파 스위칭드라이브의 설계에 따라 미리 설정한 변수값의 전압과, 전류값을 생성하도록 하였으며, RGB 멀티칩 LED 조명장치의 경우는 3

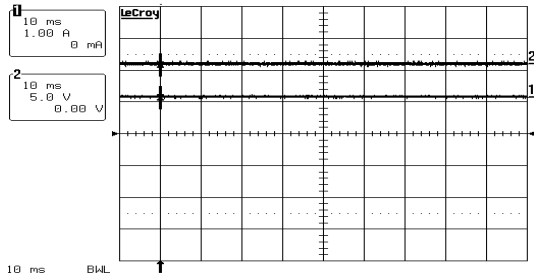
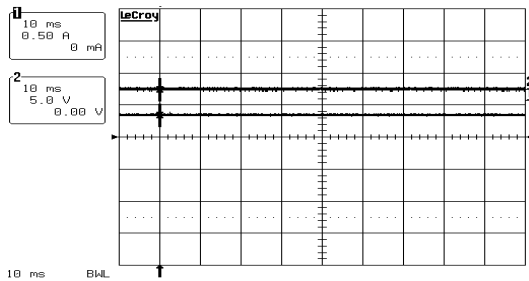
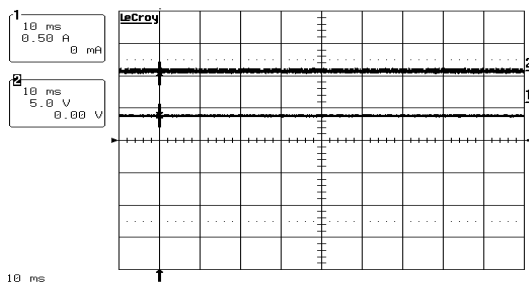


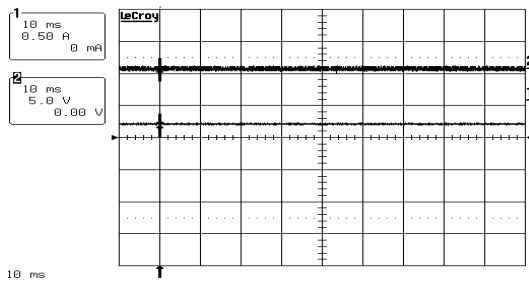
그림 6. 백색 LED 모듈의 전압 및 전류파형
Fig. 6. White LED voltage & current waveform



(a) RED LED



(b) Green LED



(c) Blue LED

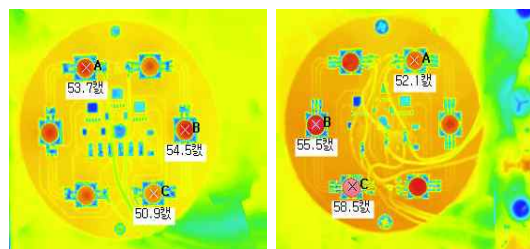
그림 7. RGB 멀티칩 LED 전압 및 전류 파형
Fig. 7. RGB multichip LED voltage & current waveform

세트의 각각의 LED칩의 전기적 특성이 다르므로 3개 세트의 모듈을 구성하여 각각 제어하였다. 그림 6에서는 백색 LED 모듈의 전압 및 전류파형의 입력특성으로 입력전압 11.6[V], 입력전류 1,416[mA]를 인가하였다. 이때 입력전력은 28.3[W]이었으며 역률은 92[%]이었다. 그림 7은 RGB 멀티칩 LED 경우로 그림 (a) 적색 LED는 입력전압 17.5[V], 입력전류 640[mA], 입력전력이 5[W]이었다. 또한, 그림 (b) 녹색 LED는 10.9[V], 680[mA], 8.7[W]로 그리고 (c)는 청색 LED로 10.9[V], 360[mA], 4.7[W]로 주어졌으며, 역률은 적·녹·청색 LED 모두 92[%]로 동일하게 나타났다.

3.2 광학적 특성

3.2.1 온도변화 특성

LED 조명장치는 열설계가 성능과 수명을 좌우하는 매우 중요한 설계변수이다. 실험은 먼저 시료를 지그에 고정하고 적외선 열화상장치를 시료의 정면에 정렬시키고 초점을 조정한 다음 적외선 열화상장치를 작동 시킨 후 시료에 상용전원 220[VAC]를 인가하여 발광시켰다. 그림 8은 열화상카메라를 이용한 방열설계에 따른 LED 소자의 방열특성으로 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 온도변화 특성에 대한 그래프로 발광후 초기부터 2시간 동안 시료의 온도변화를 측정하여 나타내었다. 그림 (a)와 (b)에서와 같이 측정시 외기조건은 온도 25[°C], 상대습도 50[%]의 상태에서 LED칩과 방열판의 접촉



(a) White LED (b) RGB multichip LED

그림 8. 2시간 동안 점등시 온도특성
Fig. 8. Temperature characteristics of LED luminaire during 2 hours running time

백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 특성 분석

면온도가 백색 LED의 경우 평균온도가 53[°C], RGB 멀티칩 모듈의 경우 55.4[°C]에서 안정화되는 온도특성으로 백색 LED의 경우보다 RGB 멀티칩 LED에서 약간 높은 온도 특성을 나타냈다.

3.2.2 조명 효율 특성

그림 9는 광효율의 변화를 30초 간격으로 측정한 결과 백색 LED 조명장치의 평균 광효율이 35.3 [lm/W]이었으며, RGB 멀티칩 LED 조명장치에서는 12.9[lm/W]의 평균 광효율을 나타냈다. 이 결과로부터 백색 LED 광효율이 RGB 멀티칩 LED에서의 광효율이 더 높게 나타내었으며, 90분 후부터는 안정된 광효율의 특성을 나타내었다.

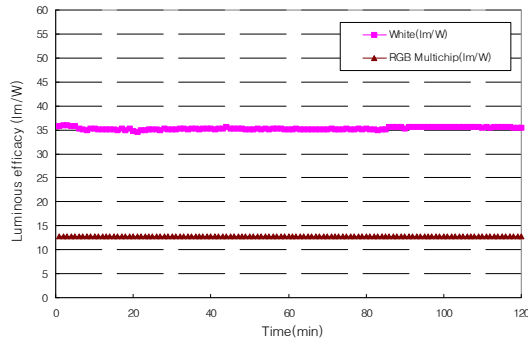
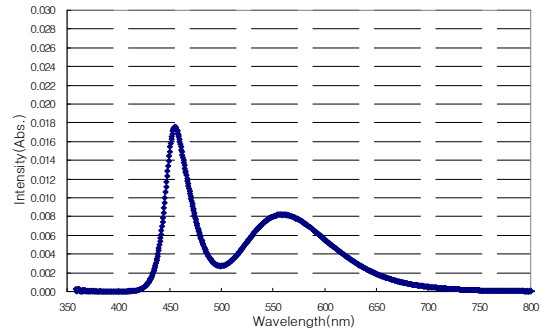


그림 9. LED 조명장치의 광효율
Fig. 9. Luminous Efficiency of LED luminaire

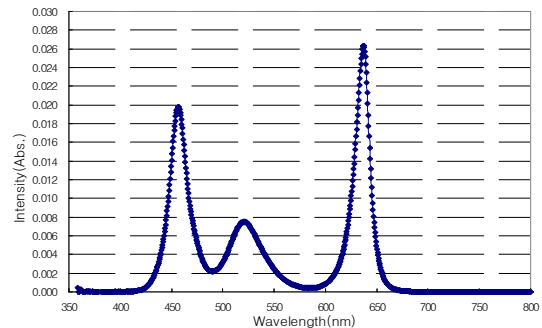
3.2.3 연색성 평가

그림 10은 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 스펙트럼곡선으로 그림 (a)의 백색 LED의 스펙트럼에서는 570[nm] 파장의 yellow 계열이 뚜렷이 나타내고 있으며, 이때 색온도는 XY Chromaticity 다이어그램 상에서 x=0.29, y=0.30으로 약 7,600[°K]로 나타났다. 그림 (b)의 RGB 멀티칩 LED에서는 적색과 녹색의 평압대비 차이가 크고 적색의 색범위 영역이 크게 나타나는 현상을 관찰할 수 있었으며, 색온도는 다이어그램 상에서 x=0.29, y=0.29로 약 6,500[°K]로 나타났으며 백색 LED에서 보다 색온도가 낮음을 알 수 있었다.

CRI(Color Rendering Index)에 기초한 연색성은 가시광영역의 스펙트럼의 광대역폭에 의해 결정된다. 그림 11은 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명



(a) White LED



(b) RGB multichip LED

그림 10. LED 조명장치의 스펙트럼곡선
Fig. 10. Spectral curve of LED luminaire

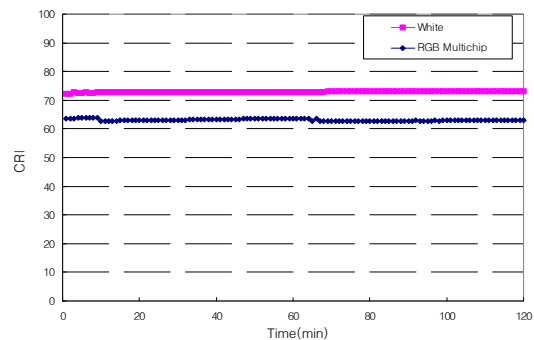


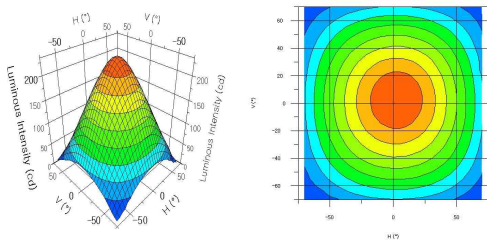
그림 11. LED 조명장치의 연색지수
Fig. 11. Color rendering index graph of LED luminaire

장치의 CRI의 측정결과를 나타낸다. 측정결과 백색 LED는 72이었고, RGB 멀티칩 LED 조명장치는 65

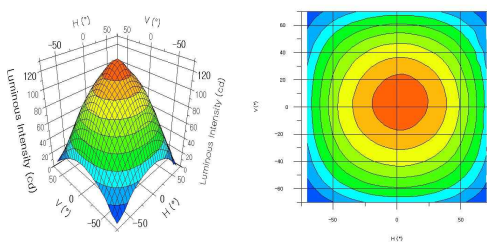
로 RGB 멀티칩 LED에서 CRI 값이 낮게 나타내었다. 이는 그림 10의 결과에서와 같이 RGB 멀티칩 LED에서 백색 LED에서 보다 스펙트럼의 대역폭이 좁고 580[nm] 파장의 yellow 계열이 전혀 나타나지 않는 등의 요인으로 인해 CRI가 낮게 나타난 것으로 분석된다.

3.2.4 배광특성

그림 12는 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 배광특성을 나타낸다. 배광특성 측정결과 두 조명장치에서는 거의 유사한 배광특성을 가지나 RGB 멀티칩 LED 조명장치가 백색 LED 조명장치에 비해 좀 더 넓게 나타났다. 이는 칩 LED 패키지내의 칩이 넓게 분산되어 분포된 특성을 반영한 것으로 파악된다. 따라서 확산렌즈를 적용하기 전 단계의 배광특성에서 확산렌즈를 적용하게 된다면 더욱 고른 배광특성을 가질 것으로 생각된다.



(a) White LED



(b) RGB multichip LED

그림 12. LED 조명장치의 배광특성
Fig. 12. Light distribution curve of LED luminaire

4. 결 론

본 논문에서는 백색 LED 조명장치와 RGB 멀티

칩 LED 조명장치의 프로토타입을 각각 제작하여 전기적 · 광학적 조명특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 전기적인 특성으로 백색 LED 모듈의 입력 전력은 28.3[W], RGB 멀티칩 LED 경우 18.4[W]의 입력전력으로 안정적 동작을 확인하였으며, 역효율은 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 모두에서 92[%]이었다.

둘째, LED칩과 방열판의 온도변화 특성은 백색 LED의 경우 평균온도가 53[°C], RGB 멀티칩 모듈의 경우 55.4[°C]에서 안정화되는 온도특성으로 백색 LED의 경우보다 RGB 멀티칩 LED에서 약간 높은 온도 특성을 나타냈다.

셋째, RGB 멀티칩 LED에 비하여 백색 LED의 경우가 연색지수나 광효율에서 우수한 특성을 나타내었다.

넷째, 백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 배광특성은 두 조명장치에서 거의 유사한 배광특성을 가지나 RGB 멀티칩 LED 조명장치가 백색 LED 조명장치에 비해 좀 더 넓게 나타났다.

위의 실험결과를 분석한 결과 백색 LED 조명장치는 향후 기존 조명대체용으로 적용할 수 있는 조명 특성을 나타냈다. 그리고 감성조명, 표시용 조명, 광고판 등에 적용되고 있는 RGB 멀티칩 LED는 명암 대비차이가 커서 색구분 능력이 큰 작업장의 경우 특수조명으로 RGB 멀티칩 LED 조명장치가 유리하게 사용할 수 있으나 연색성을 보완하기 위해서는 amber계열을 추가하여 구현을 하여야 할 것으로 보인다.

References

- [1] O. Moisis, P. Pinho, E. Tetri and L. Halonen, "Controlling colour temperature of LED-luminaire," in Proceedings of the 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources - Toulouse, France, 2004, pp. 375-376.
- [2] Borbély, A., A. Sámson, and J. Schanda. "The Concept of Correlated Color Temperature Revisited," Color Research & Application 2001, 26(6), pp.450 - 457.
- [3] P. Pinho, E. Tetri and L. Halonen, "Synergies of controller-based LED drivers and quality solid-state lighting," in Proceedings of the 2nd Conference on Ph.D. Research in Micro Electronics and Electronics - PRIME

백색 LED와 RGB 멀티칩 LED 조명장치의 특성 분석

- 2006, 2006, pp. 405-408.
- [4] Yimin Gu, Nadarajah Narendran, Tianming Dong and Huiying Wu, "Spectral and Luminous efficacy change of High-power LEDs under different dimming methods", Proc. of SPIE6337, 6th ICSSL.
- [5] Roya Mirhosseini1, Martin F. Schubert1, Sameer Chhajed1, Jahee Choi, Jong Kyu Kim1, and E. Fred Schubert, "Improved color rendering and luminous efficacy in phosphor-converted white light-emitting diodes by use of dual-blue emitting active regions", 22 June 2009, Vol. 17, No. 13, OPTICS EXPRESS.
- [6] Yoshi Ohno, "Color Rendering and Luminous Efficacy of White LED Spectra", SPIE, Bellingham, WA, 2004, Proc. of SPIE Vol. 5530, pp. 88-98.

◇ 저자소개 ◇

정병호 (鄭炳湖)

1971년 5월 28일생. 2006년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006~2009년 (주)기영미다스 선임연구원. 2009년~현재 남부대학교 전임강사.

김남오 (金南伍)

1967년 2월 9일생. 1999년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 조선이공대학 부교수.

김덕구 (金德久)

1952년 11월 10일생. 2000년 제주대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 현재 한국폴리텍 I 대학 제주캠퍼스 전기제어과 교수.

오금곤 (吳錦坤)

1946년 1월 17일생. 1998년 동신대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 한국조명전기설비학회 부회장. 현재 조선대학교 전기공학과 교수.

조금배 (曹錦培)

1954년 1월 18일생. 1995년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986~1987년 미국 Univ. of oklahoma 객원연구원. 1998~1999년 미국 oregon state Univ. 교환 방문교수. 현재 조선대학교 전기공학과 교수.

이강연 (李康淵)

1970년 3월 2일생. 2005년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 조선대학교 전기공학과 겸임교수.