

RGB LED를 이용한 전구의 광학설계

(Optical design of RGB LED cluster lamps)

김원호* · 여인선*

*전남대학교 · HECS · POTRI.

(Wan-Ho Kim, In-Seon Yeo)

(*Chonnam National University · HECS · POTRI.)

Abstract

LED는 오랫동안 가전제품이나 각종 기계의 표시소자로 사용되어 왔으나, 최근 LED가 고휘도화 되면서 LED를 이용한 조명제품 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 RGB LED를 이용한 LED 전구를 설계하기 위해 광학설계 프로그램 LightTools을 이용하였다. RGB LED의 비율과 배치에 따른 태양광과 비슷한 백색광을 얻기 위해 RGB LED의 비율을 R:G:B=1:1.5:3 하여 CIE 색좌표 $x:y=0.342: 0.291$, 색온도 5100[K]의 값을 얻었다. RGB LED의 대칭, 원형, 간격별 배열에 따른 배치를 통하여 색좌표 $x:y= 0.337: 0.297$ 인 백색광을 얻었다. 이 같은 결론을 바탕으로 RGB LED전구를 설계하였다.

1. 서 론

최근 일렉트로루미네선스(Electroluminescence)를 이용한 광원의 일종인 발광 다이오드(LED) 및 EL은, 고체 발광소자로서 저출력, 저휘도 등의 특징 때문에 그동안 표시소자 등에 국한되어 이용되어 왔다. LED가 상업화된 이후에 최근 10년간 LED에 대한 연구개발이 활발히 이루어졌으며, 특히 고휘도 LED에 대한 연구개발이 활발하게 진행중이며, 적색 및 호박색의 InGaAlP, 청색 및 녹색의 InGaN, 그리고 InGaN/YAG 형광체 및 ZnSe 백색 고휘도 LED 시장은 점점 확대되고 있다. LED가 수명이 일반 조명기구보다 좋고, 또한 열에도 강하다는 등의 여러 가지 장점을 가지고 있어, 일반 조명용으로 개발이 진행중이다. 일반 조명기구에 비해 효율이나 안정성 등에서 LED를 이용한 조명램프의 개발은 많은 이점을 가지고 있다. 본 연구에서는 LED의 전기적 광학적 특성을 분석하고, RGB LED의 비율과 배치에 따른 LED 전구의 CIE 색좌표상의 광색변화를 측정하였다. 이를 바탕으로 RGB LED를 이용한 광학배치를 통해 RGB LED 전구를 설계하였다.

2. 본 론

2.1. RGB LED의 특성

RGB LED 중에서 최근 개발된 청색 LED는 적색 및 녹색 LED 보다 휘도가 상대적으로 낮다. 따라서, 안

정적인 광출력 특성을 가지고 있는 고휘도 RGB LED를 이용한 전구의 광학설계를 위해 LED의 기본구조와 전기적·광학적 특성을 분석하였다.

2.1.1. LED의 기본구조

LED Chip은 표면 처리가 된 리드 프레임의 Reflector 안에 칩을 넣어 광출력을 증가시킨다. 접촉은 전도성 접착제의 자력에 의한 음극과 양극을 통하여 리드 프레임의 Gold wire에 의하여 이루어진다. 플라스틱 Epoxy는 리드 프레임의 chip 주위를 둘러싸고 발광 특성을 결정짓는다. 플라스틱 재료는 습기와 기계적인 충격에 대하여 높은 재료로 에폭시 수지 또는 폴리메타크릴레이트로 이루어져 있다.

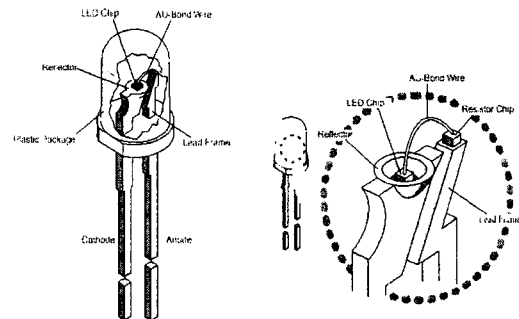


그림 1. LED의 기본구조

2.1.2. LED의 전기적 특성

LED는 전류 구동소로서 각각 종류에 따라 조금씩 다른 전류-광출력 특성을 가지고 있다. RGB LED를 최적의 환경에서 동작시키기 위해서는 각각의 RGB LED의 동작특성에 따라 전류를 조절하여야 한다. 그림 2는 고휘도 RGB LED의 전류에 대한 휘도값을 나타내고 있다.

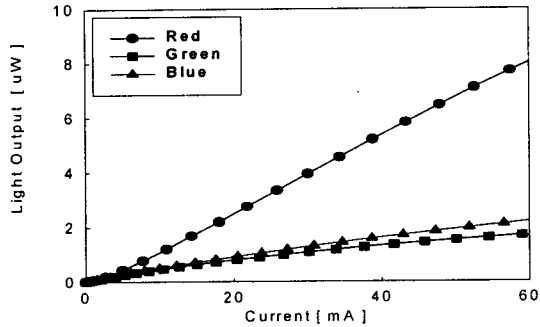


그림 2. 전류에 따른 광출력 특성

전류가 증가함에 따라 휘도가 증가함을 알 수 있다. 그러나 정격이상의 전류를 인가하였을 경우 열발생 및 수명저하를 가져온다.

2.1.3. LED의 광학적 특성

고휘도 RGB를 이용한 백색광을 얻기 RGB LED의 스펙트럼은 LED 특성측정장비(Labsphere LED-1100)를 사용하여 RGB LED 모두 20mA를 동작전류로 하여 측정하였다. 그림 3은 RGB LED에 대한 스펙트럼 분석 결과를 나타내고 있다.

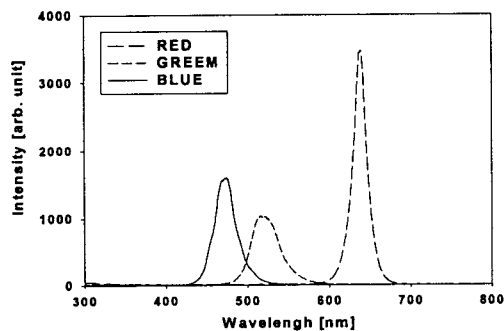


그림 3. 고휘도 RGB LED의 스펙트럼 분석

스펙트럼 분석에서 적색 LED의 파장은 639nm, 녹색 LED는 547nm 그리고 청색 LED는 470nm로 측정되었으며, 상대적으로 청색의 intensity가 높게 나타남을 알 수 있었다.

2.1.4. 백색 LED와 RGB LED의 특성

백색 LED는 질화물 청색 LED에 YAG와 같은 단일 형광체를 이용하여 청색광과 YAG의 여기광에 의한 백색광을 얻는다. 그러나 이 경우 CRI 값이 대체적 60 정도의 낮은 값을 가진다. RGB LED를 조합한 백색광의 경우 CRI 값이 80 이상을 높은 값을 갖는다. 표 1은 White LED와 RGB LED와의 연색성을 비교하였다.

표 1. White LED와 RGB LED의 CRI 특성

Light Emitting Diode		CRI(Ra)
White LED	Blue LED+Yellow Phosphor	60+
RGB LED	RGB(610nm+540nm+470nm)	80+

CRI가 100에 근접하는 백색광원일수록 태양광 아래서 인간의 눈이 인식하는 사물의 색상과 차이가 없는 색상을 느끼게 된다. 그러므로 RGB LED의 색혼합을 통해 태양광과 비슷한 백색광을 얻기 위한 LED 전구의 광학설계를 하였다.

2.2.LED 광원 설정

광학설계를 위해서 무엇보다 중요한 것은 신뢰할 수 있는 기준광원의 설정이다. 그림 4는 기준광원의 설정된 지름이 5[φ]이며 방사각이 45°인 고휘도 LED Specs에 근거하여 외장의 크기, 형태뿐만 아니라 배광특성, 조도분포를 고려하여 실제 LED와 같은 특성을 갖는 LED를 시뮬레이션상의 기준광원을 설정하였다.

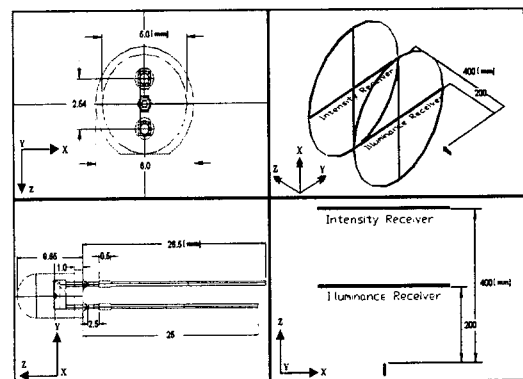


그림 4. 기준광원의 구조

기준광원으로 설정한 LED와 시뮬레이션 LED의 광출력 특성은 LED의 오차 범위가 ±15[%]인 점을 감안 할 때 기준광원과의 특성이 일치함을 확인하였다.

2.3. RGB LED 전구의 광학설계

RGB LED를 이용한 LED 전구의 광학설계시 RGB LED의 비율에 따른 CIE 색좌표상의 분포와 RGB LED의 배치에 따른 CIE 색좌표상의 분포를 통해 RGB LED 전구의 광학설계를 하였다.

2.3.1. RGB LED 비율

백색광을 구현하기 위해 RGB LED의 비율은 같은 intensity 조건하에 R:G:B=1:1:1의 비율로 색혼합을 하였을 경우 백색광을 얻을 수 있다. 그러나, 청색 LED는 적색, 녹색 LED에 비해 intensity 값이 떨어진다. RGB의 비율을 조절하여 색좌표상의 x, y 값이 $x=0.43\sim 0.29$, $y=0.40\sim 0.30$, 색온도 3000[K]~8000[K] 사이의 백색광을 얻기 위해 RGB LED의 비율을 조정하였다. RGB LED를 원형평면상에 18개 기준으로 하여 RGB의 비율을 조정하여 LightTools를 통하여 색좌표를 분석하였다. 표 2는 RGB의 비율을 R:G:B=1:1:1부터 RGB의 비율을 변화시키면서 색좌표 분포를 확인하였다.

표 2. RGB LED 비율에 따른 색좌표

RGB 비율	색좌표 x,y	색온도[K]
R:G:B=1:1:1	x:y= 0.495: 0.253	2350
R:G:B=1:1:2	x:y= 0.385: 0.227	3800
R:G:B=1:1.5:3	x:y= 0.342: 0.291	5100
R:G:B=1:2:3	x:y= 0.297: 0.134	7750

RGB LED의 비율에 따른 색좌표를 나타내었다. RGB의 비율이 R:G:B=1:1.5:3의 비율로 하였을 때 색좌표 $x:y= 0.342: 0.291$ 와 색온도 5100[K]인 백색광을 나타내었다.

2.3.2. RGB LED 배치

RGB LED 원형평면상에 배치하였을 때 RGB LED의 비율에 맞게 LED를 대칭, 원형, 간격별 배열하여 색혼합을 통한 백색광을 얻기 위하여 LightTools를 통하여 시뮬레이션 하였다. 그림 5은 RGB LED를 대칭(a), 원형(b), 간격별(c) 배치구조를 나타낸 것이다. 대칭구조의 경우 RGB LED를 대각선 방향으로 대칭적으로 배치하였으며(a), 원형 구조의 경우 RGB LED를 가운데 청색을 외각에 녹색과 적색을 배치하였으며(b), 간격별 배열구조의 경우 RGB를 일정 간격을 두고 배치하였다(c).

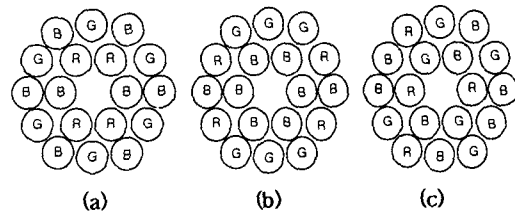


그림 5. RGB LED의 배치 형태

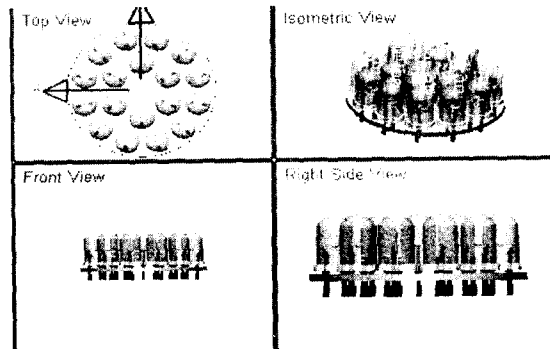


그림 6. RGB LED 배치 기본구조

그림 6는 원형평면상 RGB LED의 배치 구조로 LightTools 광학설계 프로그램을 사용하여 대칭, 원형, 간격별 배치에 따른 구조의 시뮬레이션을 통해 RGB LED의 색혼합을 통한 CIE 좌표상의 분포를 확인하였다.

표 3. RGB LED의 배치에 따른 색좌표

유형	색좌표 x,y	색온도[K]
대칭(a)	x:y= 0.337: 0.297	5300
원형(b)	x:y= 0.292: 0.132	8500
간격(c)	x:y= 0.342: 0.278	5000

표 3은 배치 형태에 따른 색좌표상의 x, y 좌표를 나타낸 것으로 대칭구조로 배열하였을 경우 $x:y=0.337: 0.297$ 으로 색온도 5300[K]의 백색광을 얻었다.

2.4. RGB LED 전구

RGB LED를 평면에 배치하여 투과율 98%의 반사율 2%의 유리구를 사용하는 LED 전구를 설계하였다. 그림 7은 RGB LED를 대칭구조로 배치한 RGB LED 전구의 구조이다. 평면에 RGB LED의 색혼합을 통한 백색광을 얻기 위해 RGB를 배열하였다.

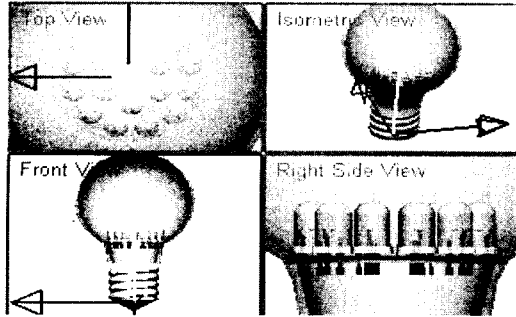


그림 7. 평면형 LED 전구의 구조

그림 8은 LED 전구의 시뮬레이션을 통한 Intensity 분포를 나타낸 것이다. Intensity Receiver와 Illuminance Receiver를 통해 Intensity를 측정된 결과 LED의 방사각으로 인한 국부조명에 적합한 배광분포를 나타내었다.

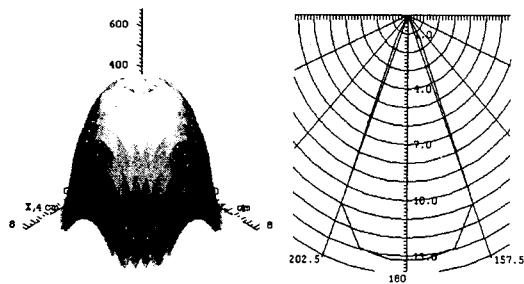


그림 8. 평면형 LED 전구의 조도 및 배광 특성

RGB LED의 방사각 특성으로 인해 국부조명에 적합한 배광 분포를 보이고 있으나, 평면형 LED 전구를 전반조명에 적합하게 설계하기 위해 글로브를 통해 빛을 확산시켜 조명용에 적합한 배광분포를 얻을 수 있다. 그러나 글로브를 통한 출력광의 흡수 및 반사등으로 인해 효율저하를 가져온다.

3. 결론

본 연구에서는 낮은 소비전력과 장수명, 열발생이 미약하다는 장점을 가지고 있는 LED를 이용하여 LED 전구의 광학설계하였다. 기존 LED 전구에 사용되고 있는 방사각 45°인 RGB LED를 광학설계 프로그램인 LightTools을 통해 백색광을 얻기 위한 RGB LED의 비율과 배치구조를 시뮬레이션 하였다. 이를 바탕으로 RGB LED를 이용한 LED 전구를 설계하였다. LED의 방사각과 휘도특성으로 인한 RGB LED 전구가 국부조명 형태의 배광분포를 나타냈으며, RGB 색혼합을 통한 $x:y=0.337: 0.297$ 의 백색광을 얻었다. 이와 같은 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) LED를 이용한 LED 전구의 광학설계를 위해 RGB LED의 전기적·광학적 특성을 측정하였다.

2) 기존 LED를 근거한 기준광원을 설정하여 광학설계 프로그램인 LightTools을 이용한 시뮬레이션을 통해 기존 LED와 기준광원 LED의 Spec이 일치함을 확인하여 정확성을 높였다.

3) 백색광을 내기 위한 RGB LED의 비율을 조절하여 RGB LED의 비율이 R:G:B=1:1.5:3 일 때 CIE 1931 색좌표상 0.342: 0.291, 색온도 5100[K]인 백색광을 얻었다.

4) RGB LED의 비율에 맞게 RGB LED를 대칭, 원형, 간격별 배치하였으며, 대칭구조를 통해 CIE 1931 색좌표상 $x:y= 0.337: 0.297$ 인 백색광을 얻었다.

5) 실제 RGB LED 전구를 설계하여 시뮬레이션한 결과 국부조명에 적합하며, $x:y= :$ 인 백색광을 얻었다.

향후 과제로 제안된 RGB LED전구를 제작하여 시뮬레이션 데이터와 비교 검토가 이루어져야 할 것이다. 또한, 조명용에 적합한 LED의 구조 설계를 통해 방사각이 넓고 휘도특성을 제한할 수 있는 LED의 설계를 통해 새로운 조명용 LED의 광학설계에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2000년 지역특화기술개발사업 중기거점기술분야 세부과제의 일부지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고 문헌

- (1) LightTools user's Guide, Optical Research Associates.
- (2) S. J. Lee, "Design rules of for high-brightness light-emitting diodes grown on GaAs substrates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, no.2, pp.509-516, Feb.1998.
- (3) Daniel M. Brown, Robert Dean, Jeremiah D. Brown, "LED backlight: design, fabrication, and testing," The International Society for Optical Engineering(SPIE), vol 3938, pp. 2~12. 26-27.