

3-Component RGB chip으로 구성된 LED 전구의 광학적 설계

강석훈, 송상빈, 권용석, 여인선
전남대학교 · HECS · POTRI

Optical design of an LED lamp composed of 3-Component RGB chips

Seok-Hoon Kang, Sang-Bin Song, Yong-Seok Kwon, In-Seon Yeo
Chonnam National University · HECS-RRC · PORTI

Abstract - This paper describes the effects of chip arrangement configurations and the dimension of a reflecting cup upon the light output characteristics of a white lamp composed of RGB LED chips. As a result of simulation, the shorter distance between adjacent chips leads to a relative decrease in the light output efficiency due to inter-chip absorption of quanta, but rather uniform color mixing is expected. Among the factors of designing a reflecting cup it is the tilt angle of the cup wall that plays a determining role upon the variation of the light distribution. The light distribution shows a sudden change of pattern from Lambertian to Batwing at about 35°~40° of tilt angle in case of a silver-coated wall cup.

1. 서 론

고휘도 청색 LED와 백색 LED가 개발된 이후 조명 분야에의 응용이 크게 기대되고 있는 가운데, W급 이상의 고출력 LED가 백색, RGB 광색을 중심으로 하여 급속히 개발되고 있다.

LED를 이용하여 백색광을 발생시키는 방법에는 형광체를 이용한 PC(Phosphor-converted) LED와 RGB LED를 이용하는 방법이 대표적이다. 이 중에서 PC-LED는 쉽게 안정적인 광출력을 얻을 수 있는 대신, 청색 또는 자외선 LED의 광출력을 형광체를 이용하여 가시광으로 변환하는 과정에서 광변환손실을 필연적으로 수반하게 된다. 그러나 RGB LED는 광색조절이 쉽지 않으나, 근본적으로 광변환 과정을 거치지 않기 때문에 보다 높은 효율이 기대될 뿐 아니라 광색변환 등 다양한 분야에 응용될 수 있다. 이 논문에서는 RGB LED를 혼합하여 색온도 6000K의 백색 LED 전구를 설계함에 있어서 광학 설계 프로그램을 이용하여 칩의 배치와 반사컵의 여러 변수들을 변화시키면서 광출력효율과 배광분포의 변화를 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 LED 칩의 특성

광학 설계프로그램을 통한 시뮬레이션을 위해 기준광원으로서 현재 대표적인 고출력 LED인 Lumileds(社)의 Luxeon 칩 데이터를 기준하여 설정하였다. 칩의 사이즈는 1mm×1mm×0.25mm이고 광학적 특성은 다음 표 1과 같다.

표 1. RGB LED 칩의 특성

Color	Peak wavelength λ_0 [nm]	FWHM $\Delta\lambda$ [nm]	Luminous Flux F[lm]	Chromaticity coordinates (x,y)
Red	625	20	25	(0.694, 0.305)
Green	530	35	25	(0.184, 0.756)
Blue	470	25	5	(0.126, 0.065)

2.2 LED 칩 배치유형과 광출력효율

2.2.1. 배치유형

다수의 LED 칩을 배치하기 위해 그림 1과 같은 배치유형을 검토하였고, 각각의 경우에 있어서 칩간의 간격 및 개수 변화에 따른 광출력 효율을 비교하였다.



그림 1. LED 칩의 배치 유형

그림에서 직선형 배치는 한 방향으로 일렬 배치한 것이고 정사각형 배치는 칩을 정사각형 형태로 배치한 것으로서, 칩간격을 조절하여 개수를 변화시켰다. 여기서 칩간간격이란 칩의 중심에서 인접 칩 중심까지의 거리 d를 말한다.

2.2.2. 외부구조에 따른 광출력효율

여러 개의 LED를 인접 배치하게 되면 서로간의 광흡수 효과에 의해 단일 칩의 경우에 비해 단위 개수당 광출력이 감소하게 된다. 이와 같이 배치유형에 따른 광출력 변화를 광출력효율 η 로서 표현하였다. 여기서 말하는 광출력효율은 배치유형 등 외부 구조적 요인에 따른 광속 저하를 고려한 것으로서 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$\eta = \frac{F}{N \cdot F_0}$$

단, F: 리시버에서 수집된 총광속
N: 칩의 개수
F₀: 단일 칩의 발산광속

2.3 단일 광색 배치에 따른 특성변화

2.3.1. 배치 유형에 따른 변화

기준 광원 Red LED 12개를 이용하여 각 배치 유형에 있어서 칩간격별 광출력효율 변화를 살펴보았다. 이 경우 각 광색별로 차이가 없어서 여기에서는 Red LED에 대해 얻어진 결과만 나타내었다.

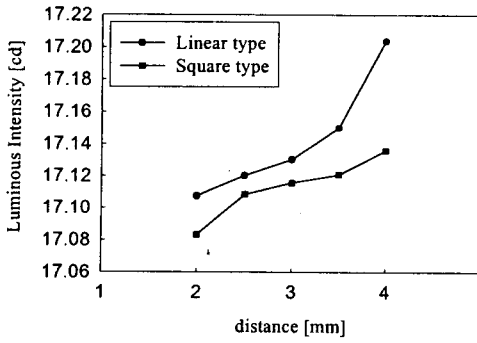


그림 2. 배치형태에 따른 광도 변화

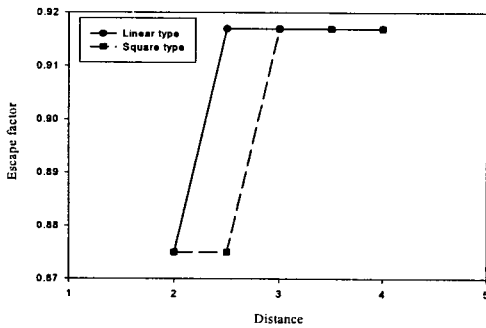


그림 3. 칩간격에 따른 광출력효율 변화

그림 2에 따르면 칩 간격이 커질수록 광도가 늘어나는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 3에 있어서 직선형 배치에서는 칩 간격이 칩 사이즈의 2배에서 2.5배로 변할 때, 사각형 배치에서는 2.5배에서 3배로 변할 때 광출력효율이 늘어나는 것을 볼 수 있다.

다음 그림 4는 칩의 개수를 늘려가면서 광출력효율을 구한 결과를 나타낸 것이다.

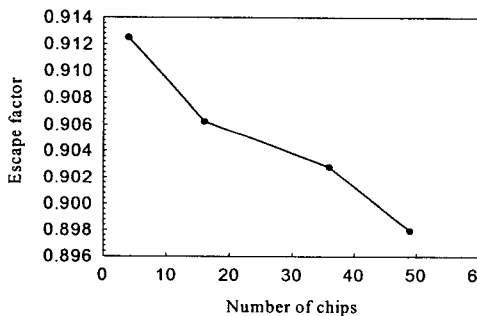


그림 4. 칩의 개수에 따른 광출력 효율 변화(RED, d=4mm, 사각형배치)

위 그림에 따르면 광출력효율은 칩의 개수가 많아질수록 감소한다.

2.3.2. 반사컵 구조에 따른 변화

LED 칩에서는 활성층으로부터 생성된 광자들은 입의

의 방향으로 방출되므로 빛을 전방으로 모으기 위해 반사컵을 사용하여 어느 정도 배광을 조절할 수 있다. 여기서는 그림 5와 같은 반사컵 기본 구조를 이용하여 반사컵 벽면 경사각(θ), 지름(d), 높이(h)를 변화시켰을 때의 광출력 변화를 살펴보고 있다. 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 이에 따르면, 광출력 배광 특성은 반사컵 벽면 경사각이 35° 이하일 때는 Lambertian 형태를 나타내다가 40° 이상부터 Batwing 형태를 취함을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 multi-chip에서도 같으며, 다른 변수, 즉 지름, 높이 변화의 결과도 비슷한 경향을 보인다.

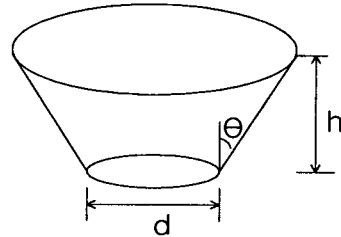


그림 5. 반사컵 구조

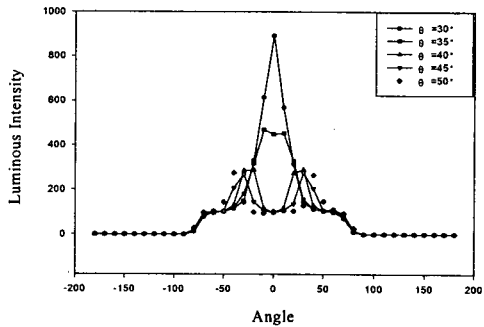


그림 6. 반사컵 경사각 θ 에 따른 배광분포의 변화($h=9\text{mm}$, $d=40\text{mm}$, 정사각형 배치)

2.4. Multi-chip 배치에 따른 특성변화

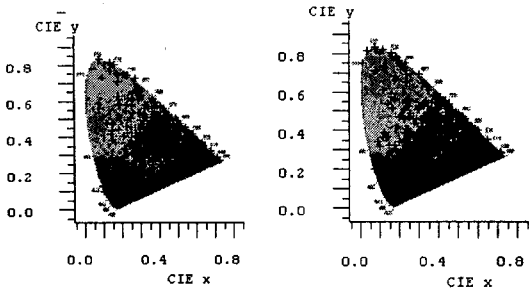
2.4.1 칩 개수의 선정

백열전구 30W와 동일한 광출력을 낼 수 있는 색온도 6,000K LED 전구를 설계함에 있어서, 광색혼합이론을 적용하여 각 RGB LED의 칩 개수를 선정하였다. 여기서는 LED 전구에 있어서 글로브 또는 렌즈 등 각종 구조물에 의한 광자 흡수손실을 감안하여 LED 칩 발산총광속의 70% 정도만 유효하게 방출된다고 가정하였다. 전구의 목표 색온도는 6,000K로서 색도좌표 (0.322, 0.338)에 해당하는데, 이에 근접한 색온도를 얻기 위해서는 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ 크기의 1W급 칩이 Red 6개, Green 15개, Blue 9개가 필요한 것으로 계산되었다. 개수 선정에 있어서 반올림 오차에 따라 실제 색도좌표는 (0.310, 0.339)에 해당된다.

2.4.2 배치 유형에 따른 변화

위에서 계산된 LED 칩 개수를 배치하여 단일 광색의 경우와 같은 시뮬레이션을 반복한 결과, 비슷한 경향을 나타냈다. 즉, 칩간격이 멀어질수록 개수가 작을수록 광출력효율이 늘어나는 것으로 나타났다.

한편, 칩 간격에 따른 광색분포 정도를 비교한 결과, 그림 7의 CIE1931 색도도에 보이는 바와 같이, 칩 간격이 2mm일 때 백색 부분에 비교적 밀집해 있는 반면, 칩 간격이 4mm일 때는 광색분포가 좀 더 퍼져 있어서 균일한 광색 구현 측면에서 불리하게 됨을 알 수 있었다.



(a) $d=2\text{mm}$ (b) $d=4\text{mm}$

그림 7. 칩간격에 따른 색분포의 비교(직선형 배치)

2.4.3. 반사컵 구조에 따른 변화

단일 광색의 경우와 같이 반사컵의 옆면 기울기, 지름, 높이를 각각 변화시켰을 때 배광 특성을 살펴 보았다. 그 결과, 반사컵 기울기 변화의 경우 그림 8에 보이는 바와 같이 35° 이하일 때는 Lambertian 형태를, 40° 이상일 때는 Batwing 형태를 나타내었다. 반사컵의 지름과 높이 변화의 경우는 그림 9와 10에 나타내었다. 그림에 따르면, 반사컵의 기울기가 35° 인 경우에 있어서 반사컵의 높이와 면적은 면적이 높이의 4배일 때 배광형태가 달라짐을 알 수 있었다.

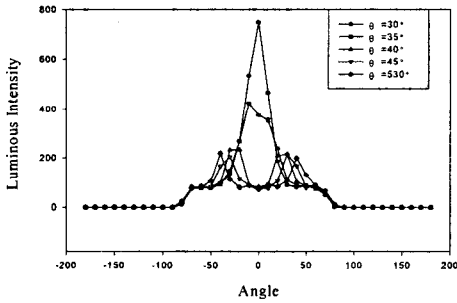


그림 8. 반사컵 경사각 θ 에 따른 배광분포의 변화($h=9\text{mm}$, $d=40\text{mm}$)

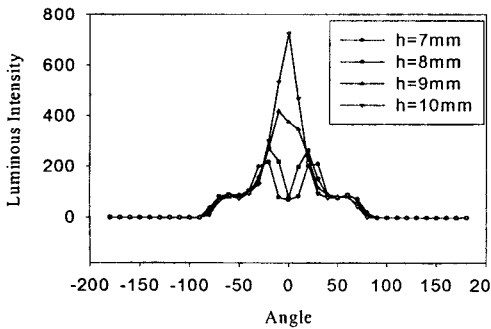


그림 9. 반사컵 높이(h)에 따른 배광분포의 변화($\theta=35^\circ$, $d=40\text{mm}$)

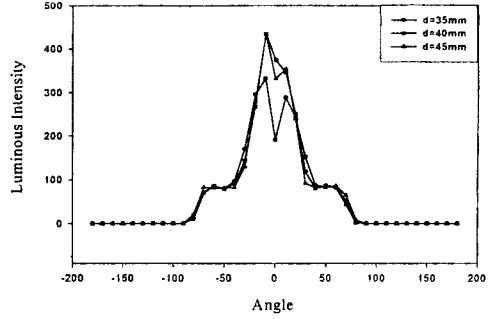


그림 10. 반사컵 지름(d)에 따른 변화 ($\theta=35^\circ$, $h=9\text{mm}$)

3. 결 론

고출력 RGB 칩을 이용한 백색 LED 전구를 설계하기 위해 RGB 칩의 배치 유형과 반사컵의 변수에 따른 광출력효율과 배광분포를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. RGB 칩 간격이 커질수록 인접 칩 사이의 광자흡수를 고려한 광출력효율은 증가하지만 균일한 광색 혼합 측면에서는 불리해진다.
2. 반사컵 설계 변수인 벽면 경사각, 높이, 면적 중에서 가장 큰 영향을 미치는 것은 벽면 경사각이다. 이 경사각이 커질수록 배광분포가 Lambertian에서 Batwing 형태로 변하는데, 그 변화는 경사각 $35^\circ \sim 40^\circ$ 에서 일어난다. 또한, 경사각 35° 일 때 면적이 높이의 4배 정도일 때 배광형태가 달라졌다.

이 연구는 한국과학기술원 지정 전남대학교 고품질전자전자부품 및 시스템 연구센터와 2001년 지역특화기술개발사업 중기거점기술분야 세부과제 연구비의 일부 지원에 의해 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 송상민, 강석훈, 여인선, "RGB 발광다이오드를 이용한 광색 가변형 전구의 설계", 대한전기학회 2002년도 하계학술대회 논문집, pp.1730-1732.
- [2] 김완호, 여인선, "RGB LED를 이용한 전구의 광학설계", 한국조명·전기설비학회 2001년도 학술대회 논문집, pp.129-132.
- [3] 김선원, 송병기, 이성재, "LED 램프의 기본 설계이론", 한국광학회지 제 13권 제4호, 2002년 8월, pp. 324-331.