

경사 렌즈를 사용한 RGB LED 전구 색혼합 향상

강석훈*, 송상빈**, 여인선***

전남대학교*, (재)한국항로 표지 기술협회**, 전남대학교·HECS-RRC·POTRI***

Improvement of color mixing in an RGB lamp using tilted lenses

Seok-Hoon Kang*, Sang-Bin Song**, In-Seon Yeo***

Chonnam National University*, The Korea Association of Aids to Navigation**, Chonnam National University·HECS-RRC·POTRI***

Abstract - This paper presents a method of improvement of color mixing in an RGB LED white lamp. The deviation from white light after RGB color mixing results mainly from the difference in the ray direction among LEDs. The authors propose a method using tilted lenses covered over each LED to deflect the overall direction of the ray generated from far-sited LEDs toward the center axis of the lamp. The degree of improvement is evaluated using a color discrimination method based on MacAdam ellipse.

Key words: RGB LED white lamp, color mixing, tilted lens, MacAdam ellipse

1. 서 론

최근 LED의 한계였던 휘도 문제가 크게 개선되면서 일반 조명용으로 이용되고 있다. LED를 이용하여 백색을 내는 방법에는 형광체를 사용하는 LED와 RGB LED를 이용하는 방법이 있다. 전자의 방법을 이용하는 방법은 청색, 자외선 LED에 YAG와 같은 형광체를 이용하는 것인데 형광체에 의한 광출력의 손실이 생기는 단점이 있다. 이에 반해 RGB LED는 형광체를 쓰지 않기 때문에 형광체에서의 광출력 손실이 없는 장점이 있다.

그렇지만 RGB LED를 이용하여 전구를 설계하였을 경우, LED의 위치에 따라 광선의 진행 경로가 틀려 색혼합이 잘 되는 않는 단점이 있다. LED는 직진성이 강하며 발산 각에 따른 Intensity의 차가 크고, 현재 개발된 청색 LED는 적색이나 녹색 LED에 비해 상대적으로 광출력이 낮은 단점이 있어 RGB LED를 이용하여 전구를 제작하면 색혼합이 잘 이루어지지 않는 경우가 있다.

LED의 간격이 좁을수록, 개수가 많을수록 발산각이 넓을수록 광색혼합이 잘 이루어진다. 하지만 고출력의 LED는 열 문제 때문에 간격을 좁히는 데 한계가 있고 개수를 많게 하는데도 전구의 면적 때문에 한계가 있다. 또한 발산각 또한 조명용으로 쓰기에 60도 이상이라는 한계가 있어서 LED의 선정에 어려움이 있다. 따라서 이 논문에서는 LED에서 나오는 광선들의 진행 경로를 바꾸어서 광색 혼합을 시켜주기 위하여 경사 렌즈를 이용하여 설계를 하고 MacAdam ellipse이론을 이용하여 광색 혼합 정도를 살펴보았다.

2. 본 론

LED에서 나오는 광선의 진행 경로를 바꾸어 중심부로 향하게 하기 위하여 그림 1과 같이 LED를 배치하여 광색 혼합을 하였다. 하지만 이는 제조상의 어려움이 있기 때문

에 경사진 렌즈를 이용하여 그림1과 같은 효과를 보였다.

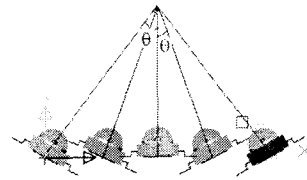


그림 1. 경사를 둔 LED의 배치

2.1 MacAdam ellipse를 이용한 색혼합 정도 검토

MacAdam 이론은 측정된 색 좌표가 인간의 눈으로 보았을 때 기준 색 좌표에 동일한 색으로 보이는지를 평가해주는 이론이다. 중심좌표 x_0, y_0 에 대해서 장축의 길이가 a 이고 단축에 길이가 b 이고 x 축에 대한 장축의 각도가 θ 이다. MacAdam ellipses Observerd와 이론에 의한 계산된 값을 중심좌표에 대한 각각의 값이 a, b, θ 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 값들을 이용하여 g_{11}, g_{12}, g_{22} 를 구하고

$$g_{11} = \frac{1}{a^2} \cos^2 \theta + \frac{1}{b^2} \sin^2 \theta$$

$$g_{12} = \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right) \sin \theta \cos \theta$$

$$g_{22} = \frac{1}{a^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{b^2} \cos^2 \theta$$

아래식을 이용하여 ellipse를 구할 수 있다.

$$g_{11}(dx)^2 + 2g_{12}dxdy + g_{22}(dy)^2 = h$$

(단, h 는 확률에 대한 상수 값)

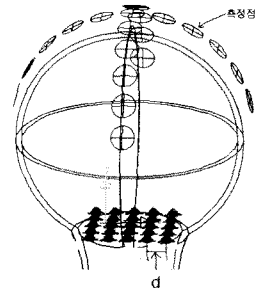


그림 2. 색좌표 측정점

측정은 그림 2와 같이 LED로부터 지름100mm 원에 x 축

방향으로 15°간격으로 y축 방향으로 15°간격으로 측정점을 배치하여 각 점에서의 색 좌표를 측정하여 MacAdam ellipse이론에 의하여 3-step과 12-step의 타원을 그려 살펴보았다. 그림 3은 경사를 둔 LED를 측정한 결과인데 측정점에서의 색좌표가 ellipse내에 위치하는 것을 알 수 있다.

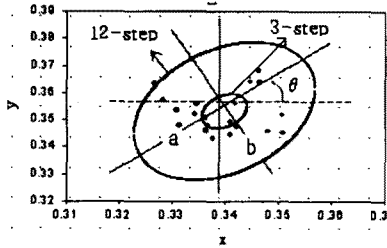


그림 3. 경사를 둔 LED배치에 따른 색좌표

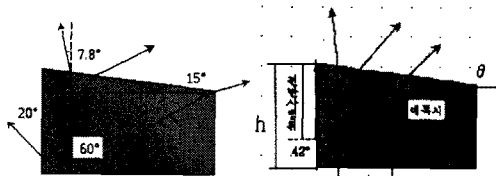
2.2 렌즈를 이용한 색혼합

경사를 둔 LED배치는 색혼합은 잘 이루어졌지만 한 초점을 향하게 LED를 배치하는 것은 제조상의 어려움이 있게 된다. 따라서 본 절에서는 굴절률 1.5인 에폭시렌즈를 이용하여 경사를 둔 LED배치와 같은 효과가 나타나도록 하였다.

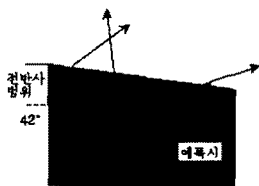
2.2.1 렌즈의 설계 원리

그림4와 같이 에폭시를 설계하였다. 스넬의 법칙을 이용하여 에폭시 렌즈의 굴절률과 공기의 굴절률을 이용하여 임계각을 구한 결과 임계각은 42°로 계산되었다. 그림 a는 논문에 쓰인 발산각이 60°와 직각방향으로 광선을 진행하게 하였다. 그림에서와 같이 왼쪽 벽면에서는 임계각보다. 작아 투과를 하게 된다.

그림 b와 c는 양방향으로 42°와 직각방향으로 광선을 진행시키고 LED의 위치를 다르게 하여 광선의 진행 방향을 보았다. 왼쪽 벽면에서는 전반사가 일어나 광선이 오른쪽으로 향하게 되고 오른쪽으로 쏘아준 광선은 위 경사진 면에서 투과되었다. 직각방향의 광선은 굴절률 차이로 왼쪽으로 7.8°가 굴절하였다. 따라서 발산각이 48°부터 LED의 위치부터 왼쪽 벽면 위쪽까지의 각도인 20°까지의 광선들은 반사를 하게 되어 오른쪽으로 향하게 된다. 즉, LED의 위치에 따라 왼쪽 벽면에서의 전반사 범위가 달라진다.



a) 발산각 60°인 경우 좌우 광선의 진행방향
b) $d=-1.5$ 일 때 전반사 범위



c) $d=0.5$ 일 때 전반사 범위
그림4. 경사렌즈의 광선 진행 패턴

이러한 원리를 이용하기 위하여 렌즈의 높이, 경사각도, LED의 위치변화에 따라 지름 100mm의 측정원을 달아서 LED를 중심으로 오른쪽과 왼쪽을 나누어서 광도를 측정하였다. 렌즈높이 변화에서는 경사각도 15°, LED위치 -1.5로 하였고 LED의 위치변화는 렌즈의 중심을 기준으로 렌즈의 왼쪽벽면을 향하여 이동시키며 측정하였다. 렌즈의 높이는 3, 경사각도는 15°로 고정시켰다. 렌즈의 경사각도는 렌즈높이를 3, LED의 위치를 -1.5로 고정시켰다.

표 1. 에폭시 렌즈 높이(h)에 따른 광도
(단. $d=-1.5, \theta=15^\circ, H_1=LED$ 높이)

렌즈높이	우향광선의 총광속(F_1)	좌향광선의 총광속(F_2)	비율(F_1/F_2)
$2.5H_1$	1.4	0.72	1.9
$3H_1$	1.5	0.68	2.2
$3.5H_1$	1.6	0.63	2.5
$4H_1$	1.6	0.6	2.7

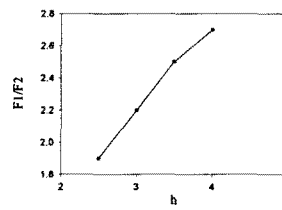


그림 5. h에 따른 광도
단. $d=-1.5, \theta=15^\circ$

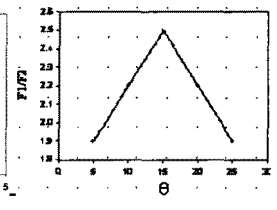


그림 6. θ 에 따른 광도
단. $d=-1.5, h=3$

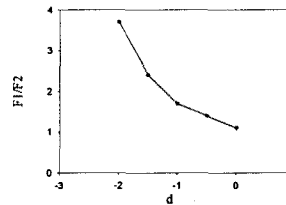


그림 7. d에 따른 광도
단. $h=3, \theta=15^\circ$

위 결과를 보면 렌즈의 높이가 높을수록, LED의 위치가 왼쪽 면에 가까이 갈수록 비율이 높아지는 것을 알 수 있다. 그러나 렌즈 위면 경사각도 변화는 각도15°까지는 비율이 높아지다 10°부터 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 LED의 배광분포에서 광도가 높은 90° 근방의 광선들이 렌즈를 통과하면서 굴절이 되어 왼쪽을 향하게 되어 감소된다. 렌즈의 경사각도나 높이, LED의 위치 변화에 따라서 오른쪽으로 향하는 광선들의 수를 조절할 수 있다. 하지만 변수들을 조절할 때 오른쪽 벽면에서 광선들이 반사되지 않는 높이나 경사각도를 정하여야 한다. 그리고 발산각이 좁은 LED를 선정한다면 렌즈의 높이를 높여주어 왼쪽 벽면에서 반사되는 광선들의 수를 늘려주어야 할 것이다.

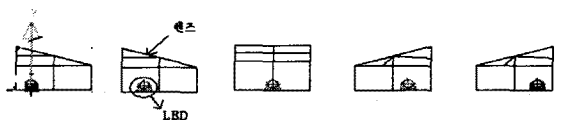
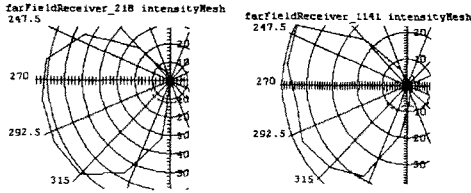
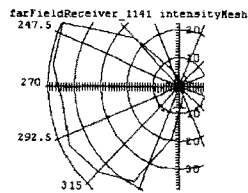


그림 8. 경사렌즈의 배치

위 결과를 바탕으로 그림 8과 같이 LED 25개를 5*5를 배치하여 가운데 열과 왼쪽 2열에서만 광선들이 나오게 하여 3가지 실험을 비교하였다. 첫 번째로 가장자리는 렌즈의 경사각도 86°, 두 번째 자리는 75°로 하여 실험하였고 두 번째로 LED의 위치를 가장자리 -1.5배 두 번째 자리 -1배로 하여 실험하여 경사를 둔 LED의 배치와 배광분포, 오른쪽으로 향하는 비율을 비교하였다.



a) LED각도 변화 b) LED 위치 변화



C) 렌즈 경사 각도 변화
그림 9. 배광분포 비교
표 4. 광도 분포 비교

	우향광선의 총광속(F ₁)	좌향광선의 총광속(F ₂)	비율 (F ₁ /F ₂)
경사를 둔 LED	11	6.7	1.6
LED 위치-1,-15	9.7	6.7	1.5
렌즈경사각도75도 ,86도	10	6.4	1.6

실험결과 배광분포, 오른쪽으로 치우치는 비율이 거의 비슷한 결과를 보였다. 따라서 렌즈의 경사각도를 LED마다 달리 하는 방법과 LED의 경사 되는 각도를 달리 하는 방법은 제조 공정상의 어려움이 있기 때문에 렌즈의 경사각도를 일정하게 해주고 LED의 위치만 변화시켜 주는 방법을 채택하였다.

2.2.2 렌즈를 씌운 LED를 이용한 전구

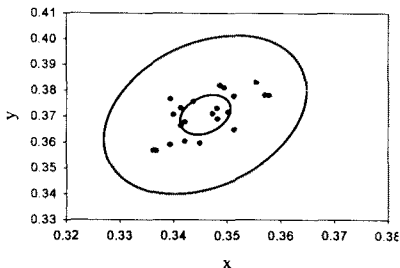


그림 10. 경사 렌즈를 씌운 LED를 이용한 전구의 색좌표

위 절의 LED위치 변화에 투과율 80%의 확산재가

발라져 있는 유백색 글로브를 사용하여 전구를 설계하였다. 그리고 LED의 위치는 LED에서 나오는 광선들이 모두 글로브 상에 맺힐 수 있게 소켓부분의 바로 위 부분에 위치하도록 하였다.

위 그림에서 보듯이 측정점에서 찍히는 색 좌표는 12-step안에 모두 있을 뿐 아니라 3-step근처에 모여 있는 것을 알 수 있었다. 즉 어느 방향에서 보든지 글로브에 맺히는 광색은 거의 동일한 색으로 보임을 알 수 있다. 또한 광속은 310lm내외로 광 출력 효율이 총 LED광속의 75%로 측정되어 우수함을 알 수 있다. 또한 발산각은 그림 11과 같이 조명용에 적합한 발산각을 나타냄을 볼 수 있다.

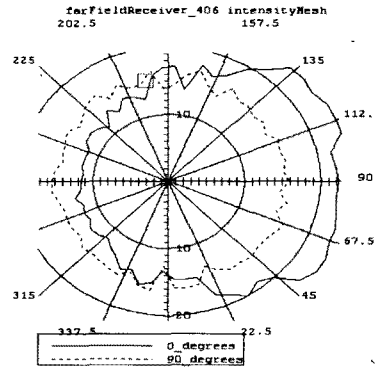


그림 11. 경사 렌즈를 씌운 LED를 이용한 전구의 발산각

3. 결 론

RGB LED를 이용하여 백색 전구를 대체하기 위하여 설계를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 광색 분리를 보완해 주기 위하여 LED의 초점을 한곳에 모아주는 방법을 채택하여 실험한 결과 광색 혼합, 광출력 효율이 우수함을 알 수 있었다.
2. 각 LED에 렌즈 경사각도를 다르게 한 방법과 LED의 위치를 변화시키는 방법을 실험한 결과 LED의 초점을 한곳에 모으는 방법과 같은 효과를 나타내었다.
3. 제조공정의 편리를 위하여 LED의 위치를 변화시키는 방법을 채택하여 전구를 설계한 결과 색혼합이 잘 되는 것을 알 수 있었다.

이 연구는 한국과학재단지정 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

[참고 문헌]

[1] Gunther Wyszecki, W.S.Stiles, "Color science" pp.306-327, 2000.
[2] N.Narendran, L.Deng, R.M.Pysar, Y.Gu, and H.Yu "Performance Characteristics of High-Power Light-Emitting Diode," Third international conference on solide state lighting, proceeding of SPIE, 2003.
[3] 김완호. "고휘도 RGB LED를 이용한 백열전구의 광학 설계", 전남대학교 전기공학과, 2002