

LED용 광파이버조명시스템의 집광판 설계에 관한 연구

(A study on design of a light collecting mold of optical fiber lighting systems using LED)

박준석* ·곽재영** ·여인선***

(Jun-Seok Park ·Jae-Yong Gwang ·In-Seon Yeo)

전남대학교 전기공학과 HECS · POTRI

요 약

본 논문에서는 할로겐램프를 광원으로 사용한 광파이버조명시스템의 집광효율이 좋지 못한 점을 개선하기 위해 낮은 소비전력과 장수명, 순시점등, 열발생이 미약하다는 등의 장점을 가지고 있는 고휘도 RGB LED 광원을 이용한 집광판 설계 방법에 대하여 연구하였다. 실제 설계된 집광판을 제작하여 집광점을 기준으로 측정된 결과와 시뮬레이션에서 얻은 조도값과 44,700 [lx], 39,500 [lx]로 거의 일치하였으며 단위 환산을 통한 집광효율은 0.62 [lm/W], 35 [lm/W]로 제안된 집광홀더 방식이 5.6배 이상의 향상된 집광효율을 나타내었다. 또한, RGB 혼합광을 얻을 수 있었으며 CIE 1931 색좌표 상에서 $x=0.291$, $y=0.300$ 로 색온도 8000K에 근접한 백색광을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

탄소필라멘트 전구에서 시작된 백열전구는 에디슨에 의한 첫 전구보다 현재 성능이 약 10배 이상 증가했고 보다 발전된 발광기술인 형광램프의 경우 백열전구보다도 약 5배 정도 개선된 성능을 보이며, 고압방전램프 등 고효율의 광원이 개발되어 널리 사용되고 있다.

최근 들어 사회가 복잡해지고 개성화·다양화됨에 따라 다양한 종류의 조명 광원이 필요해지게 되었다. 그 결과 새로운 광원의 개발과 함께 광원기술의 발달에 힘입어 특수 광원을 조명 분야에서 활용하게 되는 즉 새로운 용도를 개척해 나가는 경향이 생겨났다. 그 대표적인 것으로서 반도체 발광소자인 LED(Light Emitting Diode)를 들 수 있다. LED를 이용한 응용분야로 상품화된 제품을 보더라도 초기 가전제품이나 각종 기계 장치에 표시용 소자로써 사용되던 것에 비하면 가히 놀라운 발전을 하였고 그 응용분야 또한 무궁무진하며 앞으로 그 수요 또한 급진전 할 것이다. 특수 공정을 요하는 산업장, 의료장비에서 사용하던 광파이버조명시스템의 광원으로 LED의 사용을 시도하고 있다. 물론 이러한 시도 역시 LED가 고휘도화 되어가면서 나타나는 변화이다. 기존 할로겐램프를 광원으로 사용하는 광파이버조명시스템에 LED램프를 사용하는 이유는 일반광원과 달리 LED램프는 열이 거의 없고 장수명이며 전력소비량이 적다는 장점을 갖고 있어 특수 용도의 광원으로

사용되고 있다.

본 논문에서는 할로겐램프를 광원으로 사용한 광파이버조명시스템의 집광효율이 좋지 못한 점을 개선하기 위해서 낮은 소비전력과 장수명, 순시점등, 열발생이 미약하다는 등의 장점을 가지고 있는 고휘도 RGB LED 광원을 이용한 집광판 설계 방법에 대하여 연구하였다. 제안된 집광판 설계는 광학설계프로그램인 LightTools를 이용하여 시뮬레이션을 통한 결과로 얻은 형태이며, 광학설계에 앞서 고휘도 RGB LED의 최적 배치에 대한 기본적인 형태별, 각도별, 간격별 기본 배치에 대한 시뮬레이션을 통하여 집광효율 향상을 위한 집광판 설계를 실시하고 실제로 제작하여 타당성을 입증하였다[1].

2. 광파이버조명시스템의 구성

2.1. 기존 광파이버조명시스템의 구성도

Fig. 2.1과 같이 기존 광파이버조명시스템의 구성은 크게 3부분으로 나눌 수 있는데 광원부는 광원과 칼라 필터로 되어 있고 전송부는 광원부의 칼라광을 받아서 조명용광파이버를 통해 전송하도록 되어 있으며 조사부는 렌즈나 프리즘 각종패널을 통해서 조사하도록 구성 되어 있다.

기존 광파이버조명시스템은 효율이 낮은 할로겐램프를 사용함으로써 인하여 낮은 집광효율, 내부 고열발생, 높은 소비전력, 짧은 램프수명 등의 단점을 갖고 있다.

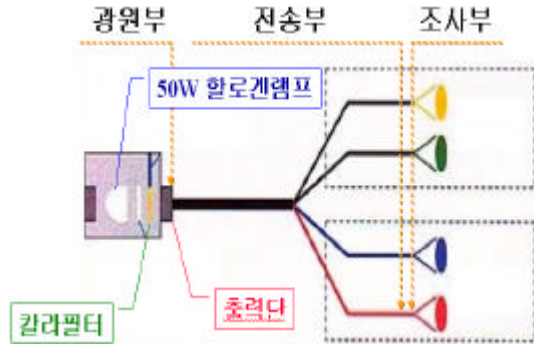


Fig. 2.1. Structure of an optical fiber lighting systems.

2.2. LED용 광파이버조명시스템의 구성도

Fig. 2.2에서와 같이 제안된 LED용 광파이버조명시스템으로 구성은 RGB LED 광원부와 RGB Mode 제어부, 구동 회로부로 구성되어 있다. 제안된 시스템은 기존 시스템이 갖는 문제를 해결하였다. 높은 집광효율과 미약한 열발생, 낮은 소비전력, 높은 램프수명 등의 장점을 들 수 있다.



Fig. 2.2. Structure of an optical fiber lighting systems using LED.

3. LED 위치에 따른 시뮬레이션

3.1. 기준광원 설정

광학설계프로그램을 통한 시뮬레이션하기 위해서 무엇보다 중요한 것은 신뢰할 수 있는 기준광원의 설정이다. Fig. 3.1과 같이 기준광원의 설정은 Toyoda Gosei (社)의 지름이 5[ϕ]이며 발광각이 15°인 고휘도 LED Specs에 근거하여 외장의 크기, 형태뿐만 아니라 배광 특성, 조도분포를 고려하여 실제 LED광원과 가깝게 시뮬레이션 상의 기준광원을 설정하였다. Fig. 3.2는 Gosei Spec.과 기준광원과의 각도에 따른 Normalized intensity를 서로 비교하여 나타내고 있다. Gosei Spec.의 오차 범위가 $\pm 15\%$ 인 점을 감안 할 때 기준광원과의 검출값이 거의 일치하고 있음을 알 수 있다[2].

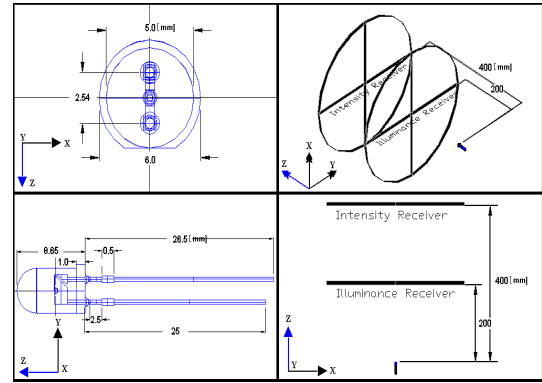


Fig. 3.1. Structure of the standard source.

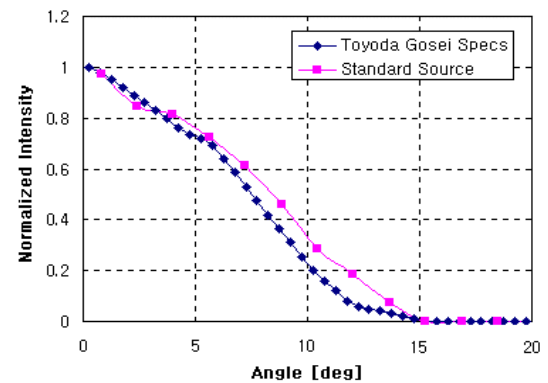


Fig. 3.2. Normalized intensity of Toyoda Gosei Co., LTD. LED specs vs. standard source.

3.2. 형태별 기본 배치

위와 같이 설정된 기준광원을 이용하여 형태별 기본 배치와 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치에 따른 결과를 예측하였으며 이와 같은 각기 다른 배치의 결과값은 앞으로 고휘도 LED를 이용한 조명광원의 배치에 기본이 될 수 있는 형태를 근간으로 하였다. 고휘도 LED의 형태별 기본 배치에 따른 자세한 내용을 살펴보면 Fig. 3.3에서와 같이 직선형, 삼각형, 사각형, 오각형, 육각형으로 형태로 나누었다. 이는 LED를 조명광원으로 사용할 때 가장 기본이 되는 형태로 볼 수 있으며 테두리(Flanged Base)가 있는 LED를 사용하여 LED와 LED사이에 2[mm]의 틈이 있으며 이를 제외한 밀집된 형태로 배치하였다.

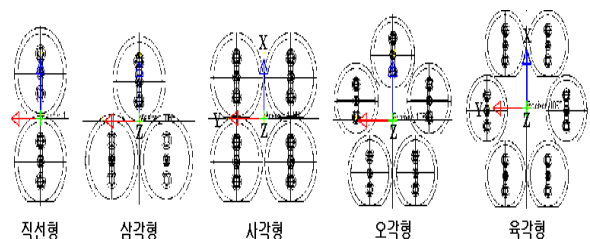


Fig. 3.3. Basis arrangement of shape.

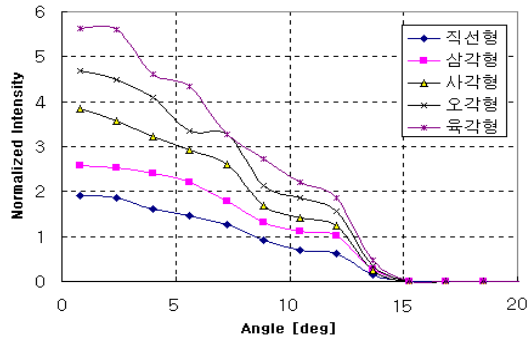


Fig. 3.4. Normalized intensity to basis arrangement of shape.

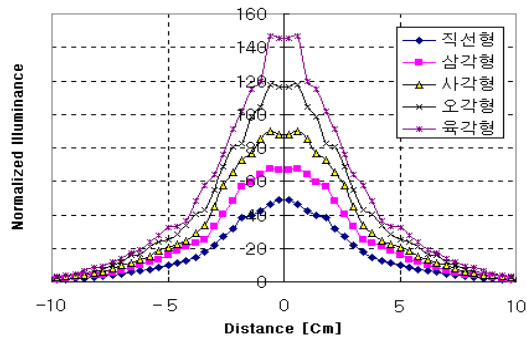


Fig. 3.5. Normalized illuminance to basis arrangement of shape.

Fig. 3.4는 고휘도 LED의 형태별 기본 배치를 시뮬레이션한 결과값을 그래프 형태로 나타내었으며 각도에 따른 Normalized intensity로 직선형에서부터 육각형까지의 형태별로 비교하였다. Fig. 3.5는 형태별 기본 배치에서 Normalized illuminance의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 직선형에서 육각형으로 증가할수록 20 내외의 균일한 Normalized illuminance의 증가를 나타내었고 중심축 0에서 분포의 형태가 오목해 졌다.

3.3. 각도별 기본 배치

다음은 한 개의 기준광원을 이용하여 각도별 기본 배치 형태에 따른 경우를 살펴보도록 하겠다. Fig. 3.6과 같이 한 개의 기준광원의 수직선에서 5°, 10°, 15°, 30°, 45°를 벗어난 각도를 유지하였을 경우 고정된 일정한 수직면에서 Normalized illuminance를 검출하였다.

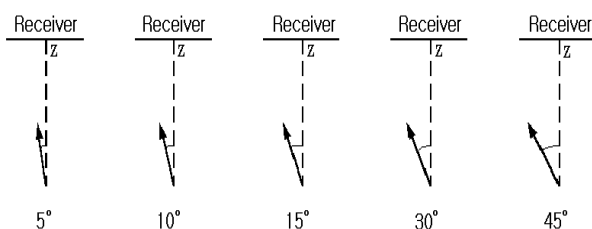


Fig. 3.6. Basis arrangement of angle.

3.4. 간격별 기본 배치

다음은 두 개의 기준광원을 이용하여 간격별 기본 배치 형태에 따른 경우를 살펴보았다. Fig. 3.7과 같이 두 개의 기준광원과 간격을 2[mm], 4[mm], 6[mm], 8[mm], 10[mm]의 간격을 유지하였으며 여기서 말하는 2[mm]의 간격은 한 개의 기준광원 LED의 테두리 끝에서 다른 한 개의 기준광원 LED의 테두리 끝까지의 거리를 나타낸 것이다. 이와 같이 간격별 기본 배치하여 시뮬레이션에 따른 Normalized intensity와 Normalized illuminance를 검출하였다.

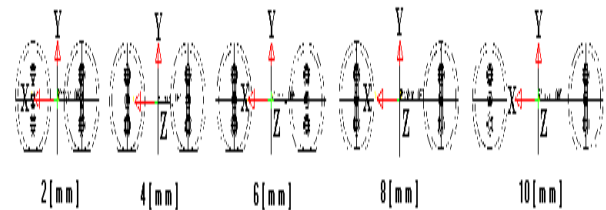


Fig. 3.7. Basis arrangement of space.

3.5. 집광판 설계

기존 광파이버조명시스템의 광원부는 광원에서 발광되는 광을 집광하는 구조로 되어 있지 않고 칼라 변환 필터를 투과한 광이 출력되기 때문에 광효율이 낮다. 그래서 본 논문에서 RGB LED를 이용한 경우에 출력광의 효율을 향상하기 위해서 광학설계프로그램을 이용한 집광판을 설계가 중요한 문제이다[3][4][5].

84[mm]×30[mm]의 집광홀더를 설계하여 Fig. 3.8과 같이 LED를 배치하였으며 LED가 어디에 위치하더라도 3[mm]거리에 위치한 Receiver 2250에 모두 집광 되도록 하였다.

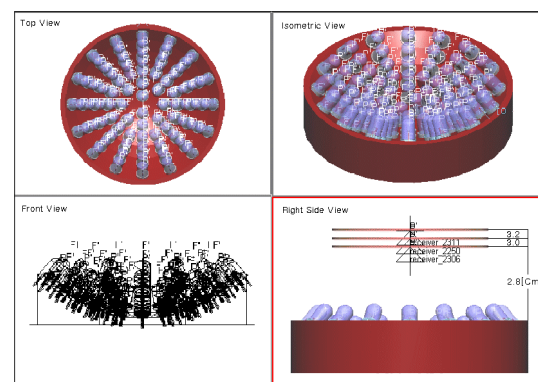


Fig. 3.8. Structure of a light collecting holder.

3.6. 시뮬레이션 결과

Red 30개, Green 19개, Blue 25개로 총 74개의 LED를 사용하였으며 집광점 거리는 3[Cm]로 LED의 좌표가 어느 곳에 위치하여도 LED가 위치한 축의 수직선의

3[Cm] 위에 맺히는 상의 면적이 2[ϕ]를 나타내게 하였다. 물론 맺힌 Image의 균제도는 어느 정도 균일하게 분포하는 LED를 선정하였으면 이는 LED선정 과정 중 Image 분석하여 RGB LED를 선정한 결과이다. LED와의 거리가 2,8[Cm]인 Receiver 2311과 LED와의 거리가 32[Cm]인 Receiver 2250을 비교하면 검출된 조도값이 Receiver 2250보다 낮고 원점을 중심으로 직경 ± 1 [Cm] 내에서 나타나는 값이 균일하지 못한 점을 알 수 있다. 이렇게 균일하지 못한 결과는 Red, Green, Blue색이 혼합된 백색광을 얻지 못하는 결과를 나타낸다. 그래서 Receiver 2306내에서 검출한 값이 Receiver 2250보다 출력된 조도값이 높다고 할지라도 혼합광을 얻을 수 없어 적합한 집광 거리가 아님을 알 수 있다. RGB LED의 혼합광을 얻으면서 최대의 집광효율을 얻을 수 있는 최적 거리가 집광거리 점인 3[Cm]임을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있었다.

4. 실험 및 고찰

4.1. 광출력 측정 시스템 구성

Fig. 4.1과 같은 방법에 의해서 기존 광파이버조명시스템과 LED용 광파이버조명시스템의 출력단에 각각의 측정장치를 설치하였으며 조도값, 스펙트럼, 색좌표 값을 측정하였다.

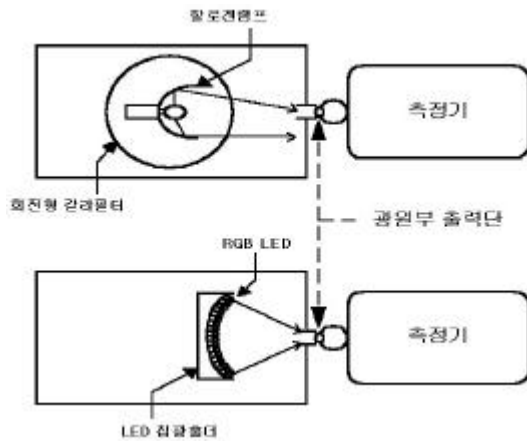


Fig. 4.1. Measurement method of the data.

4.2. 광출력 실험 결과

Table 1는 기존 시스템의 광원부 출력단에서 조도계(YOKOGAWA 510 02)를 설치하여 측정한 값으로 RGB 출력광은 칼라 필터를 통과하여 출력된 값을 나타낸 것이며, White광원의 출력은 칼라 필터를 통과하지 않는 값을 나타낸 것이다. 소비전력은 50[W]이며 할로겐램프 수명시간은 2,000~3,000시간을 나타낸다. 광원부 출력단의 집광효율은 0.62[lm/W]이다.

Table 1. Measured values of an optical fiber lighting systems.

	측정값
White output [lx]	98,500
Red output [lx]	37,400
Green output [lx]	45,200
Blue output [lx]	17,100
소비전력 [W]	50
집광효율 [lm/W]	0.62
색좌표 (x, y)	(0.410, 0.440)

Table 2는 Fig. 4.1에서와 같이 집광점인 광원부 출력단에 조도계를 설치하여 기존 시스템 측정과 동일한 방법으로 측정하여 얻는 출력값이다. RGB LED에서 출력된 광은 LED의 광특성인 직진성 때문에 확산되지 않아 손실을 줄일 수 있다. 이런점 때문에 집광홀더를 이용한 방법을 제안하였으며 집광효율을 높일 수 있었다. 측정된 집광효율은 3.5[lm/W]이며 소비전력은 4[W], LED램프의 수명시간은 100,000시간 이상을 나타낸다. 색좌표 점은 x=0.291, y=0.300으로 색온도 8,000K에 근접한 백색광을 얻을 수 있었다.

Table 2. Measured values of an optical fiber lighting systems using LED.

	측정값
White(R+G+B) output [lx]	44,700
Red output [lx]	5,980
Green output [lx]	31,600
Blue output [lx]	9,070
소비전력 [W]	4
집광효율 [lm/W]	3.5
색좌표 (x, y)	(0.291, 0.300)

5. 결론

본 연구에서는 할로겐램프를 광원으로 사용한 광파이버조명시스템의 집광효율이 좋지 못한 점을 개선하기 위해서 낮은 소비전력과 장수명, 순시점등, 열발생이 미약하다는 등의 장점을 가지고 있는 고휘도 RGB LED 광원을 이용 방법을 고려하였다. 제안된 설계방식은 광학설계에 앞서 고휘도 RGB LED의 최적 배치에 대한

기본적인 형태별, 각도별, 간격별 기본 배치에 대한 시뮬레이션을 통하여 집광효율 향상을 위한 집광판 설계를 하였다. 설계시 목표점은 RGB LED의 혼합된 백색광을 얻음과 동시에 집광효율을 향상하는 것이다. 이와 같은 연구 결과다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고휘도 LED를 이용한 광화이버조명시스템의 집광판 설계를 위하여 시뮬레이션을 실시하였다.

2) 여러 유형별 기본 배치를 하기에 앞서 LED Spec.에 근거한 기준광원을 설정하여 정확성을 높이고자 하였으며, 형태별 기본 배치, 각도별 기본 배치, 간격별 기본 배치에 따른 변화값을 예측하였다.

3) 설계된 집광판을 제작하여 집광점을 기준으로 측정한 결과와 시뮬레이션에서 얻은 조도값과 44,700 [lx], 39,500 [lx]로 거의 일치하였으며 단위 환산을 통한 집광효율은 0.62 [lm/W], 3.5 [lm/W]로 제안된 집광홀더 방식이 5.6배 이상의 향상된 집광효율을 나타내었다. 또한, RGB 혼합광을 얻을 수 있었으며 CIE 1931 색좌표 상에서 $x=0.291, y=0.300$ 로 색온도 8000K에 근접한 백색광을 얻을 수 있었다.

향후 과제로 본 논문에서는 지름이 5[ϕ] 동형 LED를 사용하였지만 이는 변경될 수 있으며 Image분석 결과가 적합하다면 더 높은 고휘도 LED로 변경 가능하다. 지름이 3[ϕ]인 LED를 사용하여 더 많은 LED를 배치하면 더 높은 출력값을 얻을 수도 있다. 또한, 개선된 집광홀더 방식과 소형화에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 여인선 외12, "고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발에 관한 연구", 광주광역시 연구기획사업보고서, pp. 1~2, 2000. 8.
- [2] 박준석, 김광현, 여인선, "LED 조명 광원의 광학적 배치 및 광색 제어에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol. 15, No 2, pp. 7~12, 2001. 3.
- [3] Angel Garcia-Botella, "a new concentrator-collimator lighting system using LED technology", Journal of the illuminating engineering society, pp. 135~140, summer, 2000.
- [4] M. R. Krames, G. Christenson, D. Collins, "high-brightness AlGaIn light-emitting diodes", the international society for optical engineering(SPIE), vol 3938, pp. 2~12. 26-27 January 2000.
- [5] 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 January 2000.