

COB Line형 LED를 사용한 PAR 조명의 제작

윤갑석^{a*}, 유경선^a, 이창수^a, 현동훈^a

Manufacturing of PAR Illumination Using COB Line Type LEDs

Gap-Suck Youn^{a*}, Kyung-Sun Yoo^a, Chang-Soo Lee^a, Dong-Hoon Hyun^a^a Course for Knowledge-based Technology (Opto-Nanotronics), Korea Polytechnic University,
237, Sangidaehak-ro, Siheung, Gyeonggi-do, 429-793, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	16	June	2015
Revised	26	June	2015
Accepted	1	July	2015

Keywords:

Line type LED
Parabolic aluminized reflector
Flip-chip
Chip scale package
Luminous intensity distribution angle

ABSTRACT

In this paper, the band structural design that is typically in a line was arranged in a ring shape, so as to configure the high power LED lighting in such a way as to form a concentrated light distribution angle of less than 15 degrees. The parabolic aluminized reflector PAR38 that facilitates design using area and the area of the optical system to the same extent, applied a multiple light-source condenser lens optical system for the control of integration. The LED used here implemented a single linear light source using an LED module with an LED, flip-chip chip-scale package. The optical system was designed based on the energy star standard.

1. 서론

기존 LED(light-emitting diode) 조명은 전기절감, 긴 수명 등의 특징에도 불구하고, 광원의 직진성에 따른 눈부심 현상 등의 문제를 안고 있다. 따라서 상황에 맞는 배광분포를 구현하기 위해 LED 조명 광학계의 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 PAR 타입 램프는 기존 할로겐램프나 백열램프와 유사한 광원을 가지고 있으며 다양한 각도의 구현이 가능하여 적재적소에 사용이 가능하다. LED 조명의 배광은 보통 광범위한 램버시안(lambertian) 형태를 지니고 있기 때문에 LED PAR(parabolic aluminized reflector) 타입의 램프들은 렌즈(lens)나 반사판(reflector)을 이용하거나 또는 소자 배열만으로 빔 각을 구현하고 집광을 시켜주기도 한다. 하지만 전통적인 PAR 타입 LED 집광조

명의 경우, 고출력의 광원에 대해 15도 미만의 배광각도를 형성하도록 조정해야 한다.

여기서 PAR 램프 조명은 전구 내벽 후면에 알루미늄 피막을 입힌 반사경을 사용한 일체형 전구를 말한다. 또한 PAR 램프는 전면 렌즈를 추가로 부착하여 집광성을 더욱 높인 램프이다. 이때 알루미늄 반사막은 적외선은 통과시키고 가시광선은 굴절, 집중시켜 열을 뒤로 분산시키는 역할도 한다^[1]. PAR 램프는 1/8인치(inch)가 기본단위이므로 PAR38 램프의 지름은 약 120 mm이다. PAR20은 할로겐 타입으로 50 W이고, LED 타입으로 6 W~8 W이며, 램프 원지름이 62.5 mm로 주로 가정용, 고급 식당 조명으로 사용한다. PAR30은 할로겐 타입으로 75 W이고, LED 타입으로 10 W~18 W이며, 램프 원지름이 95 mm으로 화랑 등 전시관용으로 사용한다. PAR38은 할로겐 타입으로 90 W이고, LED 타입으

* Corresponding author. Tel.: +82-31-8041-1784

Fax: +82-31-8041-1786

E-mail address: peygs@hanmail.net (Gap-Suck Youn).

로 15 W~20 W이며, 램프 원지름이 120 mm으로 극장 무대 조명
으로 사용한다.

하지만 렌즈 광학계는 그 크기가 사용되는 LED 광원에 비해 상
대적으로 매우 커질 수밖에 없고, 대부분 반사광학계를 사용하여
급속반사면을 가지고 있는 고유한 특성에 의해 조명효율이 매우
낮아지는 문제를 가지고 있다. 또한, 최근 15도 미만의 배광 제어를
위한 렌즈 광학계는 전반사 렌즈를 사용함에 따라 배광각도와 효율
을 우수하게 조정하기는 하나, 불연속 전반사를 이용하므로 그 경
계점의 불일치로 인해 빛의 질이 떨어질 수밖에 없고, 다중 광원을
사용 시 각 광원별로 렌즈를 개별로 장착하여야 하는 점 등의 문제
점으로 인해 전체적으로 가격이 높아진다.

다중 광원 문제를 해결하기 위해서 최근에는 COB(chip on
board) LED 모듈(module)을 사용하고 있다. COB LED는 열전
달면에서 적은 발열구조로 연결되어 있어 기존 POB(package on
board) LED보다 열특성을 20% 이상 개선이 가능하며, 응용분야
에 따라 다양한 타입의 패키지들이 LED 모듈의 특성에 따라 적용
되고 있다. 그 중에서도 Line형 COB LED 조명 구현이 필요하다.
기존의 COB LED는 좁은 면적에 많은 LED chip을 실장하기 때
문에 광원의 밝기는 우수하나, 좁은 면적에 대한 전용 방열설계와
고휘도 문제가 발생한다. 따라서 LED 조명에 COB LED를 효율
적으로 적용하기 위해서는 Line형 COB LED를 사용하여야 한다.
Line형 COB LED는 기존 COB LED보다 넓은 면적에 동일 개
수의 chip을 적용하기 때문에 단위 면적 당 휘도가 낮아진다. 따라
서 선광원 구현을 통한 눈부심 현상이 개선되며 방열 설계의 제약
이 덜하다. 하지만 Line형 COB LED 조명은 아직 생산장비 등의
문제로 인해 양산화가 힘든 상황이다.

따라서 본 연구에서는 flip-chip을 사용한 CSP(chip scale
package)^[2-5] LED를 사용하여 COB Line형 LED를 구현하였
다. 본 논문에서는 링 형상으로 라인 배열되는 띠(band) 구조 설
계를 통해 하이파워 LED 조명을 구성할 수 있도록 하고, 15도
미만의 집중된 배광각도를 형성하도록 배광 제어함은 물론 광원
사용면적과 광학계 면적을 각각 동일한 면적으로 구현 가능하게
하는 다중 광원의 통합 제어용 집광형 렌즈 광학계를 적용한
PAR38을 제작하였다. 여기에 적용된 LED는 flip-chip을 사용
한 CSP형 LED를 사용한 LED 모듈을 활용하여 단일 선광원을
구현하였다.

2. 광학 설계 및 시뮬레이션

2.1 Line형 LED 설계

광학계 설계 전에 먼저 선광원을 구현하기 위한 Fig. 1과 같이
line형 LED를 구현하기 위해 가로 0.65 mm, 세로 0.65 mm의

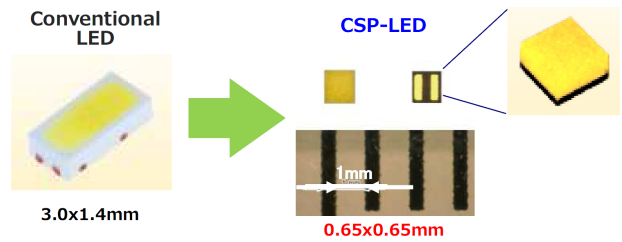


Fig. 1 Comparison of package size

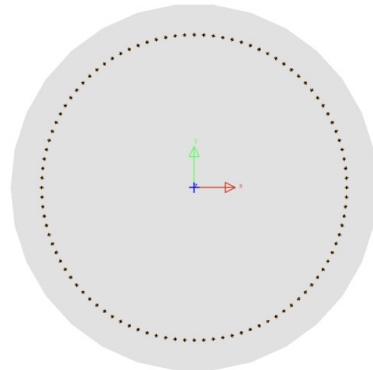


Fig. 2 Design of Line LED

flip-chip을 1 mm의 좁은 간격으로 실장하여 발광 시 하나의 라
인의 형태를 띠게 표현하였다. Chip당 0.168 W, 21.8 lm으로
설정하였고, chip 개수는 Fig. 2와 같이 100개로 하여, 소비전력
은 16.8 W, 총광속은 2,180 lm, 광효율은 130 lm/W로 설정하
였다.

2.2 광학 설계

본 연구의 광학계의 재질은 폴리카보네이트(poly carbonate;
PC)로 이루어진 렌즈구조체이며, 링(ring) 형상으로 설계되어 원
형의 라인 띠 구조를 형성하는 집광렌즈로 구성된다.

Fig. 4는 설계된 광학계의 단면 형상구조로 빛을 모아주는 집광
의 배광 제어를 위해 대략 볼록 외면을 갖는 반원 형상으로 형성된
다. 반원 형상의 단면 구조를 갖되 외형이 링 구조의 원형 몸체로
형성되는 렌즈의 아래에 LED 광원이 배치되는데, LED 광원으로
는 LED 칩이 다수 사용되고 렌즈의 링 형상 구조 설계에 맞춰 다
수를 간격 배열 및 라인형태로 배열하여 링 형태를 이루도록 배치
된다.

이러한 형상은 원형의 Line형 LED에 대해 하나의 렌즈로 커버
및 기능하도록 한 것이며, 이를 통해 다중 광원으로 형성되는 원형
의 LED 군집을 하나의 단일 광원으로 기능하게 하는 역할을 담당
하도록 한 것이다. 즉, 렌즈는 다중 광원으로 형성되는 원형의
LED 군집에서 발산되는 발산광에 대해 사용용도에 맞게 필요한
배광각도를 형성하도록 집광 처리 및 제어하는 기능을 발휘하게
되며, LED 군집에서 발산되는 발산광에 대하여 중앙부로 모아 집

Table 1 Lens specification

Specification	Surface 1	Surface 2
<i>cc</i>	0.00000	-0.53000
<i>as</i> ₂	7.29920e-008	-8.52080e-008
<i>as</i> ₃	-8.64640e-010	6.21760e-010

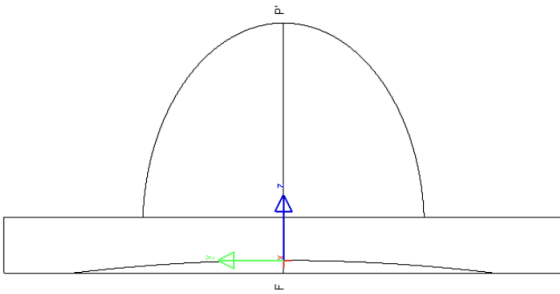


Fig. 3 Surface of lens

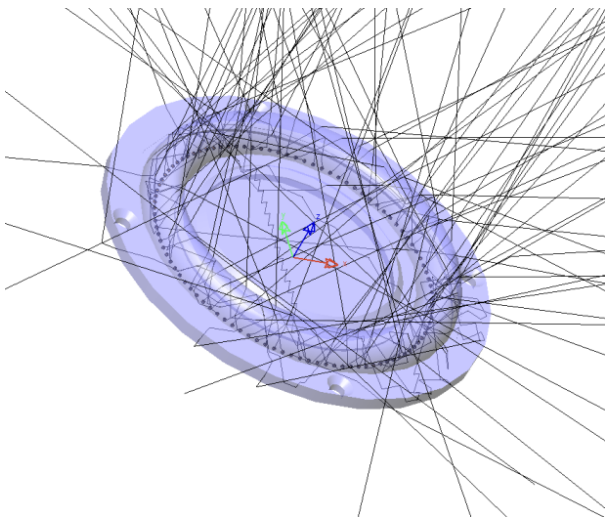


Fig. 4 Light simulation (LightTools)

광 처리되도록 제어한다⁶⁾. 이때, 상술한 바와 같은 외형 및 단면 형상으로 구조 설계된 렌즈를 갖는 집광형 렌즈 광학계는 다중 광원을 통합 제어하여 집광 처리 및 15도 미만으로 배광각을 형성하도록 배광 제어할 수 있다.

렌즈 광학계는 내·외면 모두 비구면으로 식 (1)⁷⁾의 광축을 중심으로 회전 대칭성 고차 비구면식에 Table 1의 비구면 코닉상수 (conic constant, *cc*) 및 비구면 계수(*as*₂, *as*₃) 등을 조정하여 볼록면에 따른 자유도를 최대한 활용할 수 있으면서 원형의 LED 군집에 대해 방사경로 및 광분포를 보다 자유롭게 임의의 조절할 수 있도록 비구면으로 구성하였다. 내·외면 모두 비구면으로 이루어져 있어 비구면 코닉상수 및 비구면 계수 등을 조정하면 광학계의 형상을 자유롭게 바꿀 수 있다. 여기에서 *cv*는 면의 곡률이고, *cc*는 코닉상수이다.

Reference Angle	Intensity
0°	<i>I</i> _c
0.125 • ∠ _{ref}	≥87% of <i>I</i> _c
0.25 • ∠ _{ref}	≥74% of <i>I</i> _c
0.375 • ∠ _{ref}	≥62% of <i>I</i> _c
0.5 • ∠ _{ref}	45-55% of <i>I</i> _c

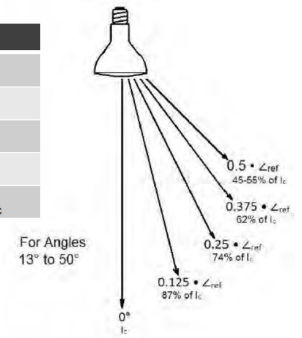


Fig. 5 Luminous intensity distribution: reference angles 13°~50° (energy star)

Table 2 The 1st simulation

Specification	Surface 1	Surface 2
Curvature	0.016	0.25
Inner Diameter (mm)	15	11.67

$$Z = \frac{cvx^2}{1 + \sqrt{1 - cv^2(1 + cc)x^2}} + as_2 + as_3 + as_4 + as_5 + \dots \quad (1)$$

2.3 광학 시뮬레이션

본 연구의 목표 광학계는 Fig. 5의 에너지스타 기준(ANSI C78.379-2006, reference angles 13°~50°)을 바탕으로 설계하였다. 우선 조명의 중심 광도값을 기준으로 하여 목표 배광각에 0.125를 곱한 편각의 광도가 중심 광도의 87% 이상이 나와야 하고, 0.25를 곱한 편각의 광도는 74% 이상, 0.375를 곱한 편각의 광도는 62% 이상이 나와야 한다. 마지막으로 목표 배광각에 0.5를 곱한 편각의 광도는 중심 광도의 45%~55% 사이 값이 나와야 한다. 여기서 참고 각도가 13° 이하일 경우 0.25의 편각과 0.5의 편각만을 비교하여 사용한다. 위의 기준을 토대로 광학 시뮬레이션 프로그램인 LightTools를 사용하여 Fig. 3의 렌즈의 Surface 2 면의 곡률(curvature)과 직경(inner diameter)을 변화하여 Fig. 5의 기준 조건에 맞는 렌즈를 설계 및 시뮬레이션 하였다.

먼저 Table 2의 조건을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 6은 광의 분포도를 원형 그래프로 나타낸 그림이고, Fig. 7은 광의 분포도를 선형 그래프로 나타낸 그림이다. Fig. 8은 광도의 분포 결과를 단면으로 도시화한 데이터이다. Figs. 6~8의 데이터를 분석한 결과 중심 광도는 8,711 cd이고, 중심 광도의 50% 지점은 편각 4.125°로 배광 각도는 8.25°이다. 참고 각도가 8.25°일 때 0.25를 곱한 편각은 2.06°로 광도는 7,562 cd이고, 8.25°에 0.5를 곱한 편각은 4.13°로 광도는 4,387 cd이다. 이 데이터를 에너지스타 기준으로 비교해 보았을 때 0.5 편각의 기준치인 3,920~4,791 cd 사이값을 만족하나 0.25 편각의 기준치인 7,578 cd를 만족하지

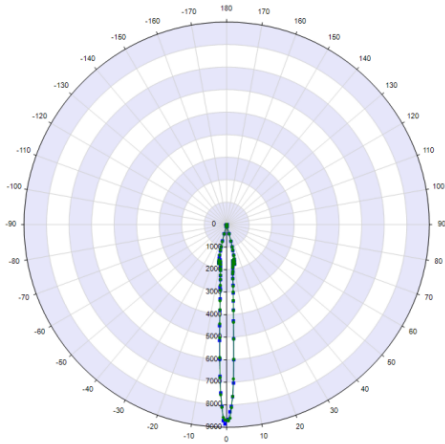


Fig. 6 Luminous intensity distribution of the 1st simulation (Polar)

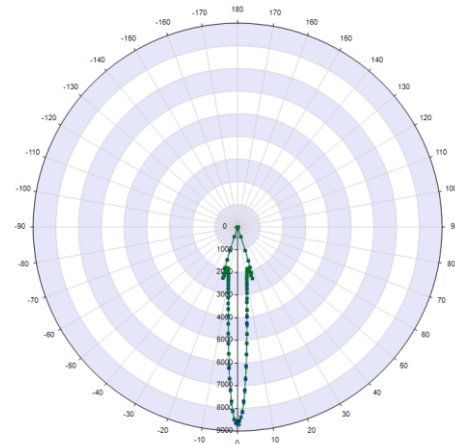


Fig. 9 Luminous intensity distribution of the 2nd simulation (Polar)

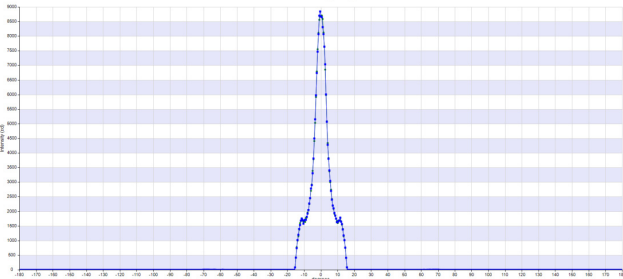


Fig. 7 Luminous intensity distribution of the 1st simulation (Cartesian)

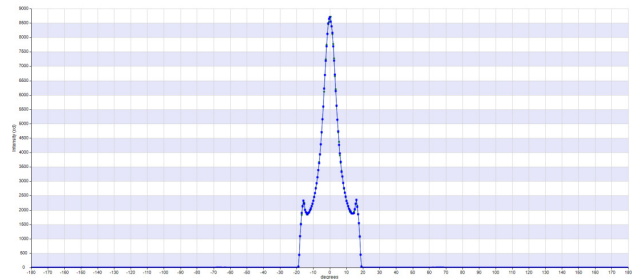


Fig. 10 Luminous intensity distribution of the 2nd simulation (Cartesian)

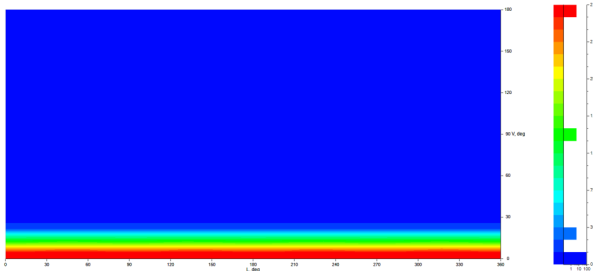


Fig. 8 Radiant intensity chart of the 1st simulation

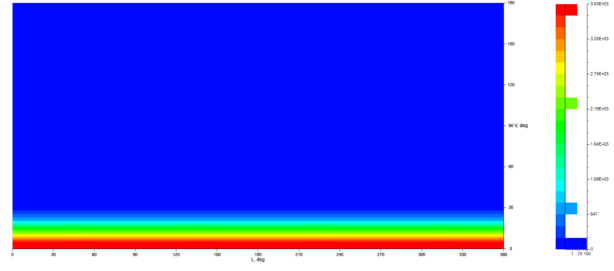


Fig. 11 Radiant intensity chart of the 2nd simulation

Table 3 The 2nd simulation

Specification	Surface 1	Surface 2
Curvature	0.016	0.23
Inner Diameter (mm)	15	12.5

못하였다.

2번째 시뮬레이션은 Table 3의 조건을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Figs. 10~12의 데이터를 분석한 결과 중심 광도는 8,709 cd이고, 중심 광도의 50% 지점은 편각 5.5°로 배광 각도는 11°이다. 참고 각도가 11°일 때 0.25를 곱한 편각은 2.75°로 광도

는 7,243 cd이고, 11°에 0.5를 곱한 편각은 5.5°로 광도는 4,306 cd이다. 이 데이터를 에너지스타 기준으로 비교해 보았을 때 0.5 편각의 기준치인 3,919~4,790 cd 사이값을 만족하나 0.25 편각의 기준치인 7,577 cd를 만족하지 못하였다.

3번째 시뮬레이션은 Table 4의 조건을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. Figs. 12~14의 데이터를 분석한 결과 중심 광도는 9,298 cd이고, 중심 광도의 50% 지점은 편각 6.5°로 배광 각도는 13°이다. 참고 각도가 13°일 때 0.25를 곱한 편각은 3.25°로 광도는 8,271 cd이고, 13°에 0.5를 곱한 편각은 6.5°로 광도는 4,601 cd이다. 이 데이터를 에너지스타 기준으로 비교해 보았을 때 0.25

Table 4 The 3rd simulation

Specification	Surface 1	Surface 2
Curvature	0.016	0.29
Inner Diameter (mm)	15	10.05

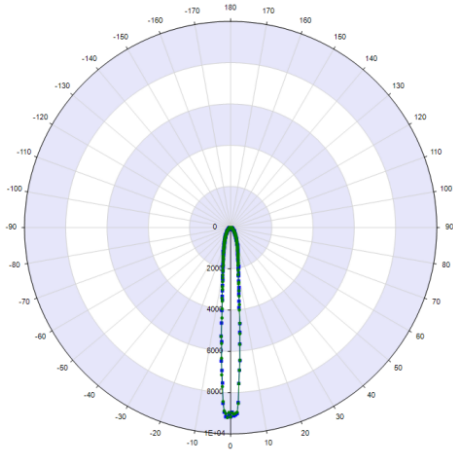


Fig. 12 Luminous intensity distribution of the 3rd simulation (Polar)

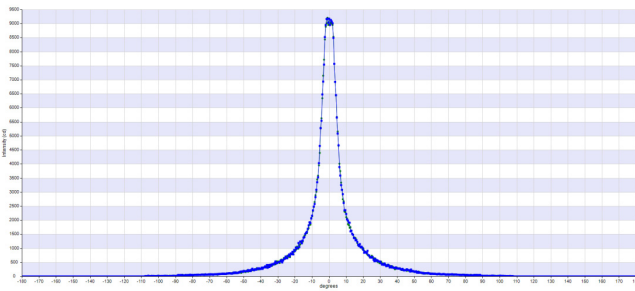


Fig. 13 Luminous intensity distribution of the 3rd simulation (Cartesian)

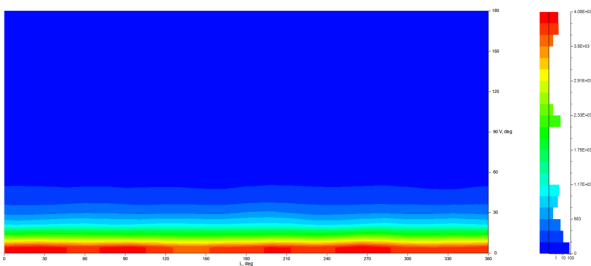


Fig. 14 Radiant intensity chart of the 3rd simulation

편각의 기준치인 8,089 cd와 0.5 편각의 기준치인 4,184~5,114 cd 사이값을 모두 만족한다.

위의 시뮬레이션 데이터를 표로 정리한 것이 Table 5이다. 표에서 정리한 것과 같이 3번째 시뮬레이션 데이터 조건이 에너지스타 기준에 적합 한 것을 확인하였다.

Table 5 Simulation data

The 1 st simulation			
Specification	0°	0.25·∠ _{ref}	0.5·∠ _{ref}
Luminous intensity angle (°)	0	2.06	4.13
Intensity (cd)	8,711	7,562	4,387
Energy star standard	-	7,578	3,920~4791
Satisfaction	-	×	○
The 2 nd simulation			
Specification	0°	0.25·∠ _{ref}	0.5·∠ _{ref}
Luminous intensity angle (°)	0	2.75	5.5
Intensity (cd)	8,709	7,243	4,306
Energy star standard	-	7,577	3,919~4,790
Satisfaction	-	×	○
The 3 rd simulation			
Specification	0°	0.25·∠ _{ref}	0.5·∠ _{ref}
Luminous intensity angle (°)	0	3.25	6.5
Intensity (cd)	9,298	8,271	4,601
Energy star standard	-	8,089	4,184~5,114
Satisfaction	-	○	○

3. 실험 결과

시뮬레이션 상의 데이터를 만족하는지 확인하기 위해 실제 PAR38 시제품을 제작하여 그 성능을 시뮬레이션 성능과 비교하였다.

3.1 Line형 LED 모듈 제작

Fig. 2의 Ling형 LED 모듈 설계를 참고하여 LED 모듈을 제작하였다. LED는 설계 LED와 유사한 Toshiba의 CSP-LED TL1WK를 사용하였으며, PCB는 Flexible PCB를 사용하여 LED 모듈의 방열성능을 고려하였다. Flexible PCB 위에 100개의 LED를 SMT하였으며, 시뮬레이션 데이터와 동일한 소비전력은 16.8 W, 총광속은 2,180 lm, 광효율은 130 lm/W의 사양을 맞췄다.

3.2 광학계 및 PAR38 제작

Fig. 3의 도면을 토대로 하여 Fig. 16의 렌즈 광학계 Mock-up을 제작하였다. Mock-up 렌즈의 소재는 PC를 사용하였고 DTM (Diamond Turning Machine)을 사용하여 정삭 가공하였다.

Fig. 17과 같이 Ling형 LED 모듈에 전용 Heatsink와 SMPS를 조립한 뒤 Fig. 16의 광학계를 적용하여 PAR38 시제품을 제작하

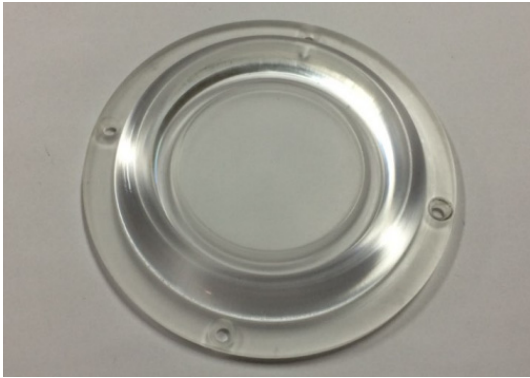


Fig. 15 Mock-up lens



Fig. 18 PAR38 prototype

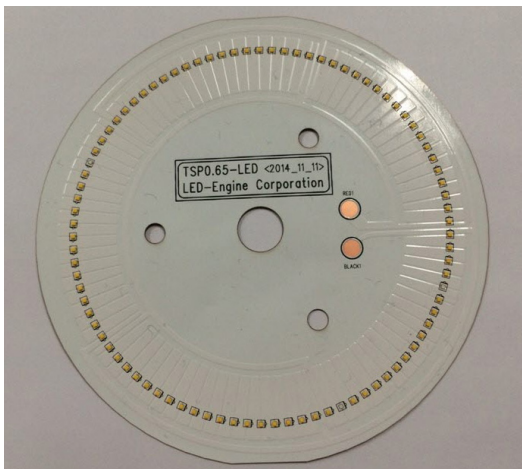


Fig. 16 Line type LED module

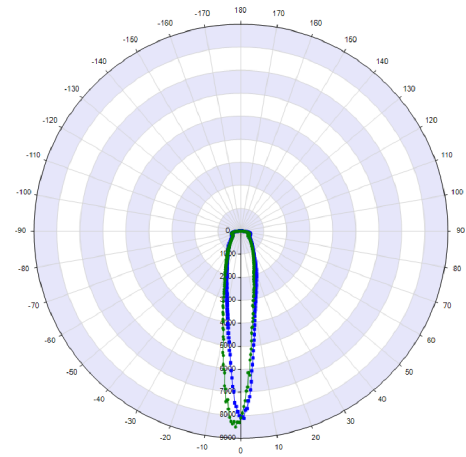


Fig. 19 Luminous intensity distribution of prototype (Polar)

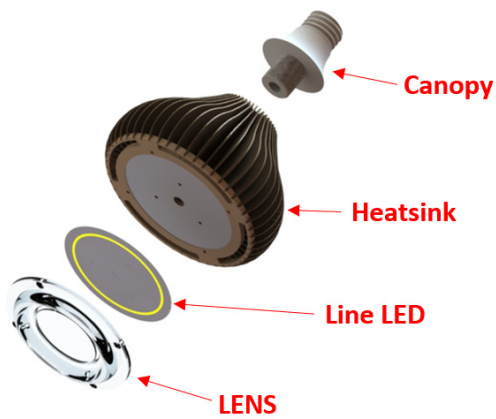


Fig. 17 PAR38 assembly view

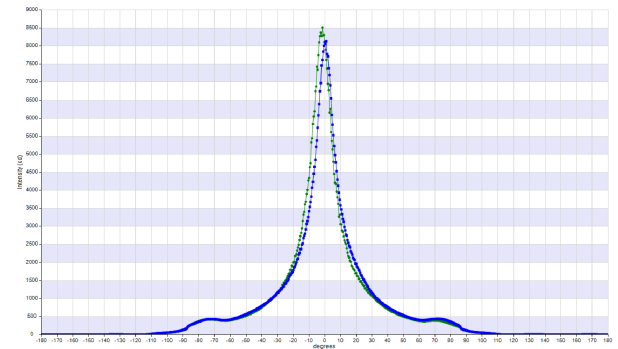


Fig. 20 Luminous intensity distribution of prototype (Cartesian)

었다. Fig. 18은 PAR38 시제품의 모습이다.

3.3 PAR38 성능 측정

Fig. 18의 PAR38 시제품의 성능을 Goniophotometer를 사용하여 측정된 뒤 기존 시뮬레이션 데이터와 비교하였다. Fig. 19과 Fig. 20는 실측정 데이터로 배광 각도는 14°이며, 참고 각도가 14° 일 때 0.25를 곱한 편각은 3.5°로 광도는 7,067 cd이고, 14°에 0.5

Table 6 Measurement data of PAR38 prototype

Specification	0°	0.25 · ∠ _{ref}	0.5 · ∠ _{ref}
Luminous intensity angle (°)	0	3.5	7
Intensity (cd)	8,107	7,067	4,189
Energy star standard	-	7,053	3,648-4459
Satisfaction	-	○	○

를 곱한 편각은 7°로 광도는 4,189 cd이다. 이 데이터를 에너지스타 기준으로 비교해 보았을 때 0.25 편각의 기준치인 7,053 cd와

0.5 편각의 기준치인 3,648~4,459 cd 사이값을 모두 만족한다.

Table 6은 본 측정 데이터를 정리한 표이다. 시뮬레이션 결과와 비교했을 때 배광 각도는 1°의 차이가 있고, 중심 광도는 1,191 cd의 차이를 보인다. 중심 광도에 차이가 있는 원인은 총광속의 감소치 및 배광 각도의 변화와 관계가 있고, 시제품으로 제작한 렌즈 바깥면의 표면 거칠기에 의한 광 산란으로 중심 광도가 감소하였다.

4. 결론

본 연구에서는 LED는 flip-chip을 사용한 CSP형 LED를 사용한 LED 모듈을 활용하여 단일 선광원을 구현한 뒤 광학계를 링형상으로 라인 배열되는 띠 구조 설계를 통해 하이파워 LED 조명을 구성할 수 있도록 하고, 15도 미만의 집중된 배광각도를 형성하도록 배광 제어함은 물론 광원 사용면적과 광학계 면적을 각각 동일한 면적으로 구현 가능하게 하는 렌즈 광학계를 설계하였다.

광학계 설계 시 에너지스타 기준을 따라 각 편각부의 목표 광도를 정하고 렌즈 외곽 면의 곡률과 직경을 변화하여 목표를 달성할 수 있는 렌즈 광학계를 설계하였다. 총 3번의 시뮬레이션을 통해 외곽 면의 곡률이 10.05이고, 직경이 0.29 mm인 경우에 중심 광도는 9,298 cd이고, 배광 각도는 13°인 값을 확인하였다. 또한 0.25 편각 3.25°에서의 광도가 8,271 cd이고, 0.5 편각 6.5°로 광도는 4,601 cd로 에너지스타 기준 모두 만족하였다.

본 시뮬레이션 데이터를 적용한 PAR38 시제품을 제작하여 실 측정 성능을 시뮬레이션과 비교한 결과 배광 각도가 14°인 것을 확인 할 수 있었으며 에너지스타 기준을 모두 만족하였다.

References

- [1] Hyun, D. H., Cha, I. H., 2015, LED Lighting Development and Design, Samchang Media, Republic of Korea.
- [2] Choi, Y. G., Ryu, C. M., Seo, M. S., 2014, CSP LED Technology Trends Employing Flip-chip, Korea Management Association Integration Conference, 132.
- [3] Quirk, M., Serda, J., 2001, Semiconductor Manufacturing Technology, Prentice Hall, New Jersey, 720-726.
- [4] Ulrich, R. K., Brown, W. D., 2006, Advanced Electronic Packaging, Wiley-Interscience, New Jersey, 417-418.
- [5] Hyun, D. H., Noh, M. J., 2014, Spot Light Type Lens Optical System for Luminous Intensity Distribution Control of Multi-Source, and Line Structure Type LED Spot Module Included the Same, KR Patent: 10-2014-0044802.
- [6] Lee, S. J., 2007, A Study on the Manufacturing Process for Pick up Lens, A Thesis for a Doctorate, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.