

비구면 광학계를 이용한 고출력 LED 스포트라이트에 관한 연구

문재일*, 유경선⁺, 현동훈⁺

(논문접수일 2012. 03. 06, 수정일 2012. 04. 04, 심사완료일 2012. 05. 15)

A Study on the LED Spotlight with a High Power using an Aspherical Optical System

Jae-il Moon*, Kyung-Sun Yoo⁺, Dong-Hoon Hyun⁺

Abstract

In this study we researched a spotlight in LED lighting. Ordinary LED spotlight was manufactured with characterized property of traveling straightness of LED light source, but multiple use of shell type LED, a yellow band has formed caused by light source interference between the LED. Also, there was a high miscellaneous light efficiency with losing light source homogeneity and efficiency due to light source control uneasiness.

The study uses aspheric reflector and aspheric lens, so we can control the light source of LED spotlight with effectively and we reached surface light source by using COB/COM for LED module. Furthermore it can change its use by a reduced scale of light system. It has been designed to make its various application from low power consumption of bicycle lamp, up to high power consumption of automobile lamps and lighthouse.

Key Words : LED(엘이디), Illumination(조명), Spotlight(스포트라이트), Reflector(반사판), LED Lens(엘이디 렌즈), Light uniformity (광균일도)

1. 서론

전 세계는 에너지 수급과 환경오염에 대한 중요한 상황에 직면해 있다. 따라서 대체 에너지 기술의 개발이 시급한 실정이다. 국제에너지기구(IEA)에 따르면 에너지 사용의 효율화를 통해 온실가스 배출량을 저감시키고 에너지 수요의 50%까지 절감할 수 있을 것으로 분석되었다⁽¹⁾.

이러한 저탄소 녹색성장산업의 가장 핵심사업 중 하나가 LED 산업이다. 최근에는 LED의 발광 조정 효율이 급속히 증가하면서 표시용 소자와 디스플레이 위주로 사용되던 LED를 일반조명으로 사용하고자 하는 노력이 전 세계적으로 확산되

고 있다. 이는 LED 광원이 기존의 조명기기보다 저소비전력, 긴 수명, 빠른 응답 속도, 뛰어난 견고성 및 낮은 전압 구동으로 인한 안정성과 소형화가 가능하다는 장점으로 인해 빛이 필요한 다양한 곳에 응용될 수 있을 것으로 전망⁽²⁾되기 때문이다.

본 연구에서는 LED 조명분야 중 스포트라이트(Spotlight)에 대해 연구해 보았다. 기존의 LED 스포트라이트는 LED 광원의 특징인 직진성을 활용하여 제작하였으나, 포탄형 LED를 다수 사용하면서 LED 간의 빛 간섭으로 인해 황색 띠가 발생하였다. 또한 광원의 제어가 용이하지 못해 잡광률이 높고, 광원의 균질성과 광효율이 떨어지는 문제점⁽³⁾이 있었다.

본 연구에서 개발하고자 하는 LED 스포트라이트 광학계는

* 한국산업기술대학교 광나노전공 (jmoon@aoptic.com)

주소: 429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121

+ 한국산업기술대학교 광나노전공

COB(Chip On Board)&COM(Chip On Metal) LED 모듈(Module)을 사용하여 면광원을 구현하였다. 그리고 비구면 반사체(Reflector)를 통해 잡광률을 낮추고, 비구면 렌즈(Lens)를 사용하여 15~20°의 방사각 면적에서의 광균질성과 광효율을 향상시켰으며, 비구면 반사판의 패턴을 통해 노란띠를 제거하였다. 또한 광학계의 축척에 따른 용도 변경이 가능하여 개인 조명, 자전거 램프와 같이 낮은 파워부터 자동차 램프, 등대와 같은 높은 파워까지 다양하게 활용이 가능하도록 설계하였다.

2. 고방열 LED 스포트라이트용 광학계 설계

2.1 기존 LED 집중 조명장치의 문제점

Fig. 1 (a)는 종래 스포트 광을 만들기 위한 LED 집중 조명장치를 나타낸 것이다. 광학계의 구성은 광원으로 사용되는 LED 칩(Chip)에 1차 렌즈가 커버된 상태의 패키지형 LED 모듈과 1차 렌즈 위에 올려지는 2차 렌즈를 포함한다. 또한 1차 렌즈 및 2차 렌즈의 렌즈부를 통해 광원인 LED 칩의 발산광을 광 제어하여 스포트 처리하도록 하고 있다.

Fig. 1 (a)에서와 같은 구조를 갖는 종래 집중형 LED 조명장치에 있어서는 1차 렌즈 및 2차 렌즈의 렌즈부가 빛의 반사작용 또는 굴절작용의 어느 하나만을 이용하는 구조설계이므로 광 조정을 위한 자유도가 낮아 광 조정효율이 떨어지는 문제점이 있었으며, 균질도 또한 떨어지는 문제점이 있다.

Fig. 1 (b)는 Fig. 1 (a)와 같은 구조를 갖는 종래 집중형 LED 조명장치에 대한 광 패턴을 보여주는 것으로서, 주변에 황색 띠와 같은 띠 패턴이 형성되는 문제점은 물론 광 균질도와 광 효율이 떨어짐을 확인할 수 있고, 광 제어가 제대로 수행되지 않으므로 잡광률이 많다. 또한, 광원인 LED 칩의 발산광에 대해 최종 스포트 처리를 유도하기 위한 2차 렌즈는 축척에 따른 용도 변경이 어렵고, 면광원 형태의 발산광을 내보내는 COB & COM 타입의 멀티칩 패키지형 LED를 집중조명인 스포트 라이트의 광원으로 적용한 사례가 없다. 이는 집중조명의 광원으로 멀티칩 패키지형 LED를 적용하는데 따른 기술적 어려움이 존재하고 있기 때문인데, 설령 이들 멀티칩 패키지형 LED를 집중 조명에 적용한다 하더라도 성능 향상 및 조명 효율의 개

선을 기대하기 어려운 실정에 있다.

덧붙여, 종래 LED 집중 조명장치에 사용된 2차 렌즈는 사출성형이 어려워 양산성이 떨어지고, 대면적 하이파워(High power)로 사용하고자 하는 경우 LED 광원에 대한 광 조정각도가 넓어지는 단점이 있다.

이를 극복하기 위해서는 2차 렌즈의 크기와 길이를 상당히 키워야하는 문제점 및 이로 인해 조명등 자체가 커지는 문제점이 발생된다.

2.2 광학계 설계

본 개발 광학계는 Fig. 2와 같이 비구면 반사체 1매와 비구면 렌즈 1매, 패턴 반사체 1매로 구성되어 있다.

비구면 반사체는 LED 모듈에서 나오는 광의 대부분을 모아 주고, 비구면 렌즈는 비구면 반사체로 집광되지 않는 나머지 광을 제어해 준다. 그리고 패턴 반사체는 나선형태의 체결부로 되어 있어, 위에서 언급한 두 개의 광학계를 고정시켜주면서 COB&COM LED 모듈에서 생기는 노란띠가 생기는 영역 부분을 패턴을 통해 선택적으로 소거한다.

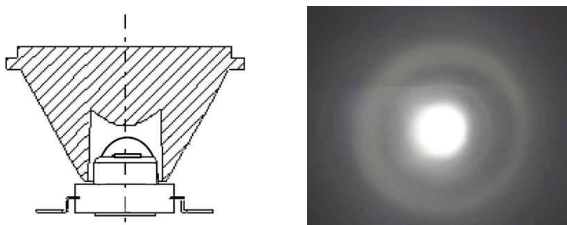
광학계는 미국의 ORA(Optical Research Association)사의 LightTools의 Ray-Tracing을 이용하여 설계를 진행하였다. 비구면 반사체로 목표치를 설계한 후, 렌즈와 패턴 반사체를 이용하여 광효율을 높였다. 렌즈는 사출성을 고려하여 설계하였고, 비구면 설계 시 특정항이나 차수가 독립적으로 영향을 주기 보다는 각각의 항들에 대한 상호보완적인 영향이 크므로 이에 대해 고려할 필요가 있다. 비구면 설계식에서 구면곡률반경이 가장 영향이 크지만 구면과 비구면을 동일한 곡률반경에서 비교하기 위하여 곡률반경은 고정하여 설계를 수행하였다. 아래의 식은 렌즈 설계 시 사용한 비구면 설계식⁽⁴⁾이다.

$$Z = \frac{cvx^2}{1 + \sqrt{1 - cv^2(1+k)x^2}} + as_2x^4 + as_3x^6 + as_4x^8 + as_5x^{10} + \dots$$

cv : Curvature(1/Radius)

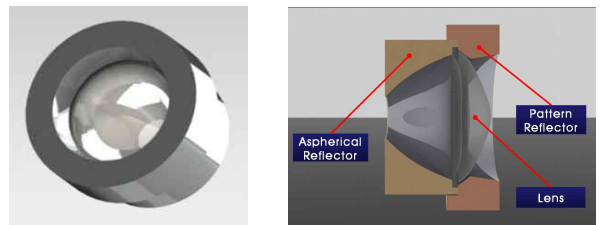
k : Conic constant

as₂, as₃, as₄, as₅... : Aspheric coefficients



(a) Optical structure (b) Optical pattern

Fig. 1 Existing LED spotlight



(a) 3D view (b) Sectional view

Fig. 2 3D view & sectional view

비구면 반사체의 반사면은 비구면 곡률값(Radius)과 코닉상수(Conic constant) 및 비구면 표면계수(Aspheric coefficient)를 가지고 있다. 또한, 비구면 렌즈의 제 1 광학면은 비구면 곡률값과 비구면 표면계수를 가지고 있고, 제 2 광학면은 비구면 곡률값과 코닉상수 및 비구면 표면계수를 가지고 있다. 이는 비구면 곡률값과 코닉상수 및 비구면 표면계수를 조절할 수 있음을 나타내는 것으로서 LED 광원의 발산광에 대해 방사경로 및 광분포를 임의대로 자유롭게 조절할 수 있음을 나타내는 것이며, 비구면에 의한 자유도를 높일 수 있다.

반사체와 렌즈는 PMMA로 제작되며 반사체는 알루미늄 코팅을 한다. 개발 광학계는 3Watt~41Watt까지 축척에 따라 용도 변경이 가능하다.

2.3 조명 시뮬레이션을 통한 분석

조명 시뮬레이션을 통하여 거리에 따른 광 균일도와 배광특성 및 조도 등을 예상할 수 있다. 이러한 분석은 실제 성형 시의 오차범위를 줄이기 위해서 필요한 과정 중의 하나이다. Table. 1에는 조명 시뮬레이션 조건을 정리한 표이다.

Fig. 3은 반사체와 렌즈가 광을 제어하는 그림이다. (a)는 1st

Table 1 Simulation conditions3

Condition	Value
LED flux	350lumen
Lens transmittance	100%
Reflector reflectance	87%
Receiver distance	1m, 5m, 15m, 30m
Receiver size	20m × 20m

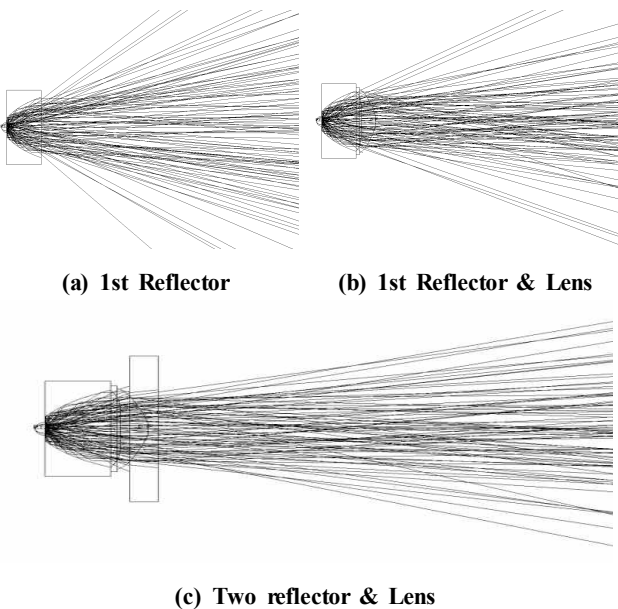


Fig. 3 Ray tracing of optical system

반사체가 광을 제어하는 그림이고, (b)는 1st 반사체에 렌즈를 부착하여 반사체로 집광되지 않는 나머지 광을 제어하는 그림이다. 마지막으로 Fig. 4 (c)는 (b)의 광학계에 패턴 반사체를

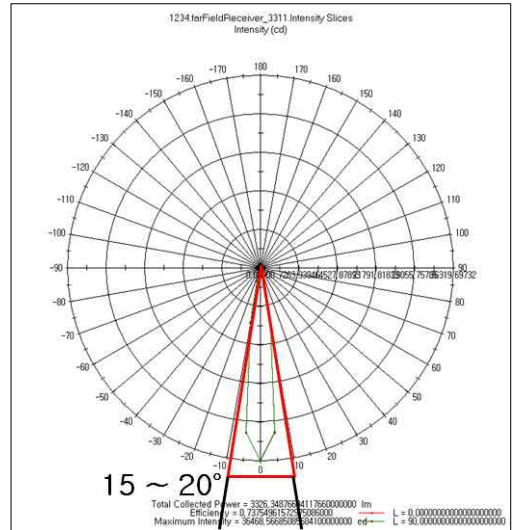


Fig. 4 Intensity Chart

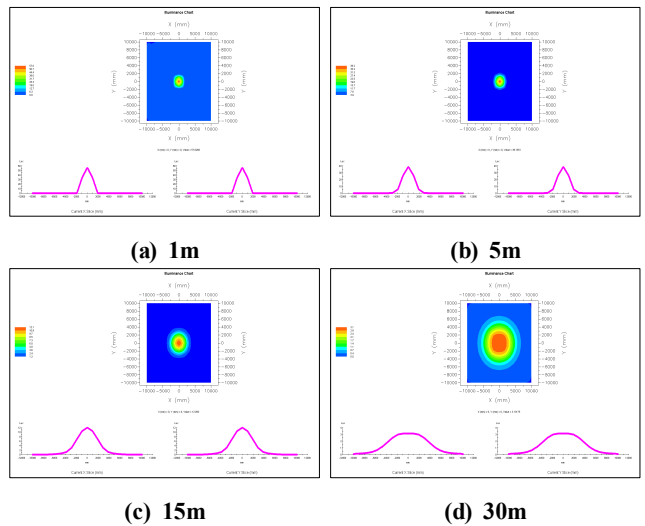


Fig. 5 Illuminance chart

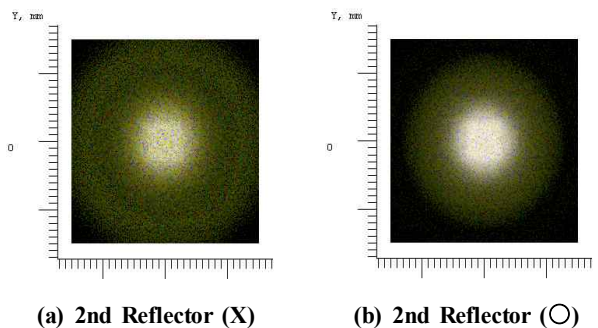


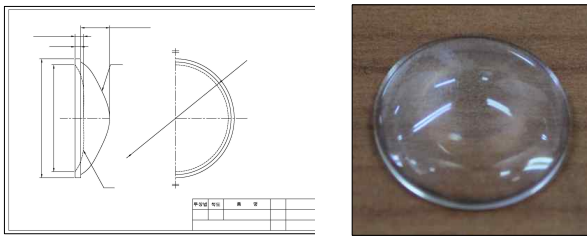
Fig. 6 RGB Chart

조립하여 비구면 반사체와 렌즈를 고정하면서 최종적으로 광을 제어하는 그림이다.

본 개발 광학계를 이용한 조명 시뮬레이션 분석 결과 Half Angle이 약 7~10° 내외의 배광특성을 보였다. 이는 좁은 면적을 조명하는 것이 목적인 국부 조명용으로 이용되기에 충분하다. 자전거 또는 자동차의 헤드라이트나 업라이트·다운라이트 조명, 무대 및 극장용 조명 등으로 사용이 가능할 것이다. 이의 강도차트는 Fig. 4에 나타내었다.

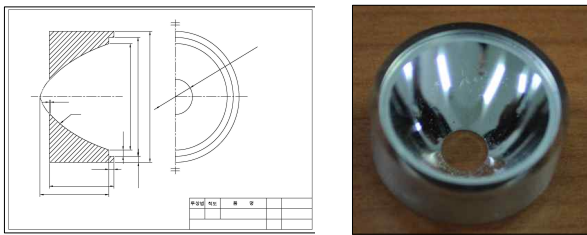
Fig. 5는 각각 1m, 5m, 15m, 30m일 때의 배광분포를 나타낸다. 거리에 따른 배광분포가 동일함을 알 수 있으며 이는 광균일도가 매우 좋다는 것 또한 의미한다. 거리가 먼 30m일 때 도 양호한 균일도를 볼 수 있다. 조도는 5m에서 약 120lx 이고, 이는 LED의 출력에 따라 변화될 수 있어 용도 변경이 용이함을 알 수 있다.

Fig. 6은 패턴 반사체의 유·무에 따른 RGB Chart이다. 그림을 비교해 보면, 기존 스포트라이트의 문제점인 황색띠가 제거된 것을 확인 할 수 있다.



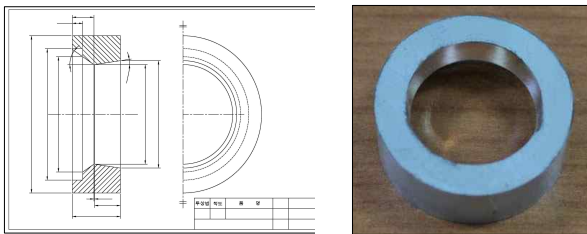
(a) 2D View (b) Sample

Fig. 7 Aspherical Plastic Lens



(a) 2D View (b) Sample

Fig. 8 Aspherical Reflector



(a) 2D View (b) Sample

Fig. 9 Pattern Reflector

2.4 성능 Test용 시제품 제작

Fig. 7은 비구면 플라스틱 렌즈의 2D 도면과 샘플을 보여주고 있다. 렌즈의 양면은 비구면으로 설계가 되었으며 PMMA를 이용하여 가공하였다. Fig. 8과 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 반사체는 알루미늄 증착 코팅을 하였으며, 각 부품 모두 제작과 사출성이 용이하도록 설계하였다.

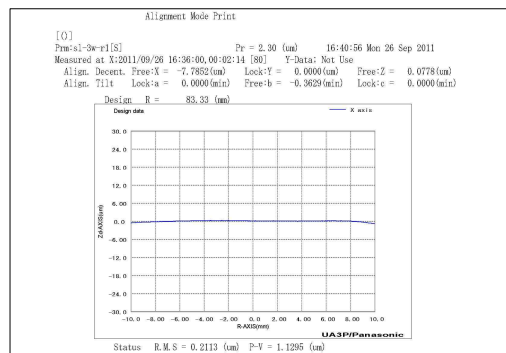
3. 광학계 측정 및 실험결과

3.1 비구면 렌즈 정밀도 측정

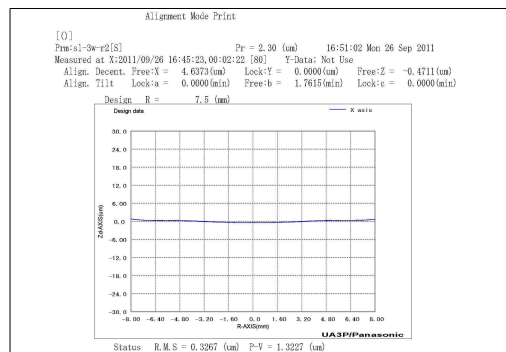
제작한 시제품의 광원 성능을 평가하기에 앞서 비구면 렌즈의 비구면의 형상 및 표면의 정밀도를 3차원 렌즈 측정기인 일



Fig. 10 UA3P(Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer)



R1



R2

Fig. 11 Measured Data by UA3P

본 Panasonic사의 UA3P(Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer)⁵⁾를 이용하여 측정하였다. 비구면 렌즈는 표면조도(R.M.S)와 형상정도(P-V)의 정밀도에 따라 광학계의 성능이 좌우되므로 우선적으로 확인해야 한다.

Fig. 10은 3차원 렌즈 측정기의 모습이고 Fig. 11은 측정 데이터이다. 개발 비구면 렌즈의 R1과 R2를 측정된 결과, R1의 표면조도는 0.2113 μ m, 형상정도는 1.1295 μ m이며 R2의 표면조도는 0.3267 μ m, 형상정도는 1.3227 μ m이다. 조명렌즈의 Specification 허용치인 표면조도 0.5 μ m, 형상정도 2.0 μ m에 만족하는 것을 확인하였다.

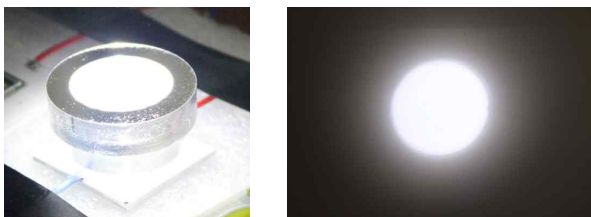
3.2 반사체 반사율 측정

광학계의 반사면은 플라즈마 알루미늄(Al) 코팅을 하였다. 반사면의 반사율을 측정하기 위해 플라즈마 Al 코팅 시편을 한국조명연구원에 시험측정 의뢰하였으며 시험 결과 플라즈마 알루미늄(Al) 코팅의 반사율은 87.56%인 것을 확인하였다.

3.3 투과율 및 균일도, 방사각 측정

개발 광학계의 성능을 평가하기 위해 Nichia의 램버시안(Lambertian) 타입 NS9W153MT(Luminous flux : 약 350lm)를 Test LED 모듈로 사용하였다. Fig. 12는 개발 광학계와 선정한 LED 광원을 결합한 사진이며 천장에 조사하였을 경우 기존의 제품에서 발생하던 황색 띠가 없어지는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

시제품의 정확한 조명 성능 테스트를 위해 한국광기술원의



(a) Test 1 (b) Test 2

Fig. 12 LED Spotlight test

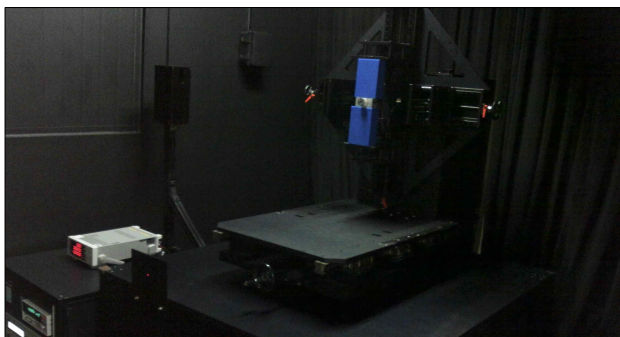


Fig. 13 Goniophotometer

Goniophotometer(Fig. 13)⁶⁾를 사용하여 측정하였다. 순수 LED의 총 효율은 225.7212lm이고, LED와 개발 광학계의 총 효율은 205.5202lm로 약 91%의 투과율을 확인하였다. 그리고 Luminous Intensity Table을 확인한 결과 광 균일도는 < 25%인 것을 확인하였다.

총 방사각은 Fig. 14의 데이터와 같이 12°로 Fig. 4의 시뮬레이션 데이터인 15~20°보다 작은 방사각을 띄는 것을 확인하였다.

4. 고찰

Fig. 14와 같이 시뮬레이션 값보다 방사각이 좁게 나오는 이유는 LED 모듈의 문제이다. 스포트라이트에 사용된 LED 모듈은 3×3의 멀티칩 패키지형 LED 모듈로 Fig. 15 (a)와 같이 각각의 칩에서 램버시안 형태의 광패턴(Near Field)을 이루어, 전체적으로 램버시안 광패턴(Far Field)을 가진 LED 모듈을 시뮬레이션에 적용하였다. 하지만 시제품에 사용된 LED 모듈은 Fig. 15 (b)와 같이 외곽의 칩에서 나오는 광이 벽면에 반사(Near Field)되어 완벽한 램버시안을 이루지 못하고 직진성이 강해져(Far Field), 최종적으로 방사각이 좁게 형성된 것이다.

이러한 특징으로 인해 발광 총효율(Total efficiency)은 1~2% 줄어들지만, 방사영역(Working space)의 효율은 1~2% 증가한다.

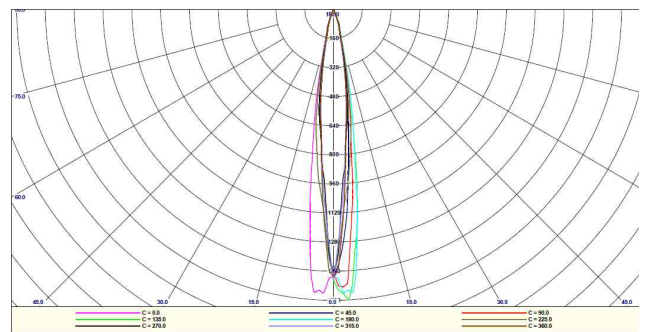
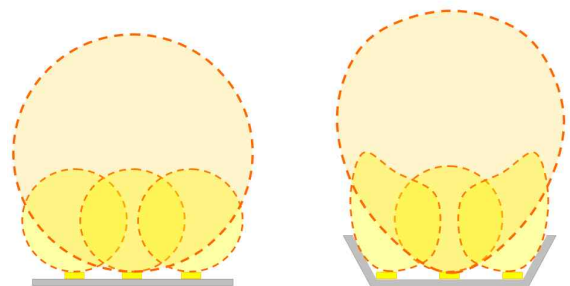


Fig. 14 Radiation Pattern



(a) Simulation LED module (b) Prototype LED module

Fig. 15 The difference between the LED module

5. 결 론

본 연구에서는 멀티칩 패키지형 LED 모듈을 이용하여 스포트라이트를 설계 및 시뮬레이션을 하였다. 또한 시제품 제작을 통해 조명의 성능을 확인하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 2개의 반사체와 1개의 렌즈를 이용하여 보다 효과적이고 각각의 부품이 실용적인 스포트라이트를 설계하였다.
- (2) 본 스포트라이트는 시뮬레이션 분석 결과 약 15~20° 내외의 배광 특성을 가지고 있으나, 시제품 제작 측정 결과 12° 방사각을 확인하였다. 그 이유는 시뮬레이션과 시제품 상의 모듈 차이에 의한 것으로, 발광 총효율은 1~2% 줄어들지만, 방사영역의 효율은 1~2% 증가한다.
- (3) 거리 별 배광분포는 모두 동일한 분포를 가지고 있어, 스포트라이트의 다양한 적용이 가능하다.
- (4) 개발 광학계 시제품을 통해 황색띠가 없어지는 것을 육안으로 확인하였다. 또한 약 91%의 투과율과 < 25%의 광균일도를 확인하였다.

후 기

본 논문은 경기도의 “경기도기술개발사업”의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Shin, K. H., Song, S. B., and Yeo, I. S., 2004, “The Design of Lens for Power LEDs Spotlight,” *2004 KIIE Conference*, pp. 145~150.
- (2) Chung, I. H., 2012, *Study on Improvement of the Luminous Intensity Uniformity using Aspheric Reflector Optical LED Lighting*, A Thesis for a Doctorate, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.
- (3) Lee, S. G., Kim, B. T., Shin, S. M., Kim, S. Y., Kim, J. Y., and Hyun, D. H., 2011, “A Study about a 3W High Power LED Spotlight using an Aspherical Optical System,” *KSMTE Spring Conference 2011*, pp. 94~95.
- (4) Kim, D. J., Yoo, K. S., and Hyun, D. H., 2010, “An Research on Ultra Precise Polishing Manufacturing Technology of Glass for Micromini and Super Wide-angle Aspherics Glasses Lens,” *Journal of the KSMTE*, Vol. 19, No. 2, pp. 275~281.
- (5) Chung, I. H., Yoon, C. Y., Ye, I. S., and Hyun, D. H., 2011, “A Study of Aspheric Mirror Optical Design to Improve Luminous Intensity Uniformity of LED Security Lights,” *Journal of the KSMTE*, Vol. 20, No. 1, pp. 114~119.
- (6) Noh, M. J., 2012, *The Study of LED Indoor Light with ID-Function*, A Master’s Thesis, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.