

LED 보안등의 광균일도 향상을 위한 비구면 Mirror형 광학 설계에 관한 연구

정인호*, 윤철용⁺, 예인수⁺⁺, 현동훈⁺⁺⁺
(논문접수일 2010. 7. 30, 심사완료일 2010. 11. 18)

A Study of Aspheric Mirror Optical Design to Improve Luminous Intensity Uniformity of LED Security Lights

In-Ho Jung*, Cheol-Yong Yoon⁺, In-Soo Ye⁺⁺, Dong-Hoon Hyun⁺⁺⁺

Abstract

There is a limit to technology of improving luminous intensity uniformity and glare, known as a weakness of existing LED lamp. Because of Using many LED, LED lamp not only waste energy but have bad effect on efficiency. Our goal is to develop security lights solution which is contented with suitable area in KS(Korean Industrial Standards) and to remove glare by combining asphere in optical system with different concept. To improve luminous intensity uniformity, a reflect mirror system was used after an aspheric optical system design for this study. We made a mirror and measured it after analysing luminance changes depend on aspheric shapes with simulation program to see if aspheric shapes effect luminance distribution. We made progress to find problems and improve them by comparing measured data and analysed data. This result of the study will contribute to industry of LED lighting through developing solution of emotional illumination of LED security lights by knowing the importance of reflectivity with this study and improving luminous intensity uniformity with solving the problem.

Key Words : Luminous intensity uniformity(광균일도), Reflectivity(반사율), Glaring(눈부심), Aspheric(비구면), LED security lights (LED 보안등)

1. 서론

LED광원은 긴 수명, 빠른 응답 속도, 친환경성 등 많은 이점을 지니고 있기 때문에⁽¹⁾ 여러 가지 전자제품의 전자표시 부품으로 사용되고 있으며, 빠른 기술개발과 성능 향상으로 가격이

보다 저렴한 고휘도 제품들이 소개되면서 일부 조명 분야로의 응용이 급속히 확대되는 추세이다⁽²⁾. 이러한 장점을 갖는 LED를 보안등용으로 사용하기 위해서는 몇 가지 개선해야 할 문제점이 있다. 다른 광원과는 다르게 비추는 곳만 과도하게 밝을 수 있는 방향성을 가지고 있는 광원이기 때문에 LED로 된 보안

* 한국산업기술대학교 지식·에너지 대학원

+ 교신저자, 한국산업기술대학교 산업·경영 대학원 (ses-ycy@nate.com)
주소: 429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121번지

++ 경기공업대학 기계설계과

+++ 한국산업기술대학교 나노광공학과

등이나 가로등은 조도저하와 명암 차에 따른 운전자가 인지하는 위험성과 공공 조도 감소 등의 문제점과 균일한 조도면을 얻기 위해서는 가로등주의 간격을 줄여야 하는 문제점이 있다. 또한 LED소자를 여러 개 배치하여 개발되었으나 LED 간의 간섭으로 빛의 균일도가 다소 떨어져 개선해야 할 문제점이 있다.

현재의 기술은 구조적으로 LED 기판 각도를 조정하여 빛을 확산시켜 광균일도를 향상시켰지만 이에 따른 눈부심 현상과, 각 부분적인 조도 차이로 링현상이 발생하고, 또한 방열장치를 별도로 장착해야 하는 전체적인 구조가 복잡하다. 보안등 조명이라면 용도에 적합하도록 반사판의 배광각도도 중요한 사항으로 부각된다⁽³⁾.

이러한 문제점들을 해결하기 위해서 본 논문에서는 기존 보안등 방식의 눈부심 현상을 줄이고, 각 부분적인 조도 차이와 명암 차를 개선하여 광확산 균일화가 개선되는 비구면 미러형 보안등을 설계하고자 한다.

2. 본 론

2.1 정량적 목표 설정

미러형 반사판의 광균일도를 향상시키기 위한 시뮬레이션 분석에 앞서서, KS 규격에 적합하는 성능이 요구되는 기준이 필요하다.

LED 가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항(KS C 7658:2009 - 기술표준원)을 기준으로 하여 시뮬레이션 분석에 참고하였다. Table 1은 본 연구에서 기준으로 설정한 정량적

Table 1 Flux Characteristics⁽⁴⁾

Rated power (W)	Installation height(m)	width×length(m ²)	Use
150	6	16×8	LED Lighting-Safety

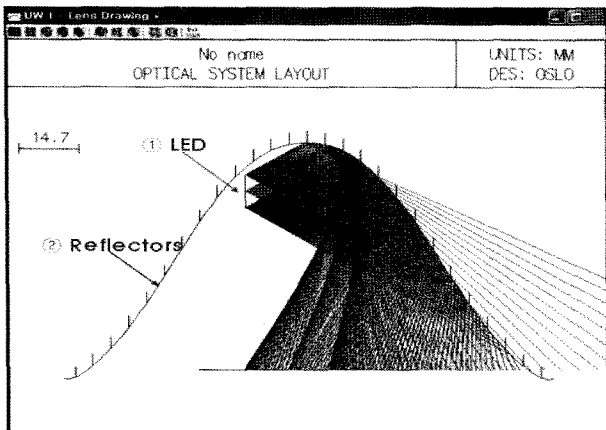


Fig. 1 OSLO optical design

목표이다. 설치 높이에 따라 적용되는 면적과 LED 보안등기구의 설치 높이는 현재 많이 적용되고 있는 4m ~ 6m의 세 종류로 나누어지며, 연구 목표로는 6m를 기준으로 하였다. 본 연구에서는 보행자에 대한 조도에 적합하며 설치 높이 6m에 의한 전용면적, 150Watt급의 보안등으로 설정하였다.

2.2 광학 설계

본 연구에서는 OSLO 프로그램을 이용하여 반사 광학계 특성을 적용한 LED 보안등용 반사판을 설계하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 반사판을 단순한 실린더 형태의 구조로 링현상을 방지하고, 어느 분야에 맞도록 광균일도를 조절하기 위해 반사 형태를 비구면으로 설계하였다.

자유곡면 즉, 비구면이라는 광학계 기술을 접목함으로써 어느 특정 분야에 맞게 맞춤형으로 조절이 가능하다.

Fig. 2와 Fig. 3에서는 설계가 된 반사판의 자유곡면에 의해 LED광의 이동 경로를 표시하였다. 빨간색 선은 강한 광, 파란색 선은 약한 광으로, LED에서 나오는 강한 광을 비구면에 의하여 멀리 퍼뜨려 적절히 분배가 되고, LED의 사이드부에서 나오는 약한 광은 비구면 및 그대로 노출시켜 가운데 쪽으로 몰아주는 반사판 형태를 설계하였다.

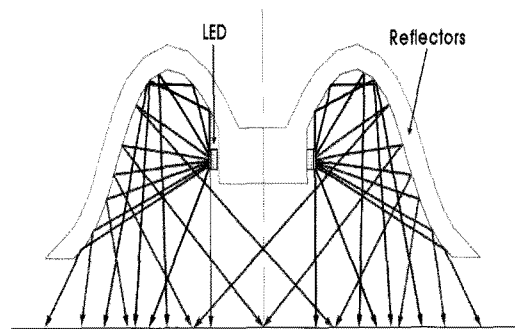


Fig. 2 Inner Type optical design

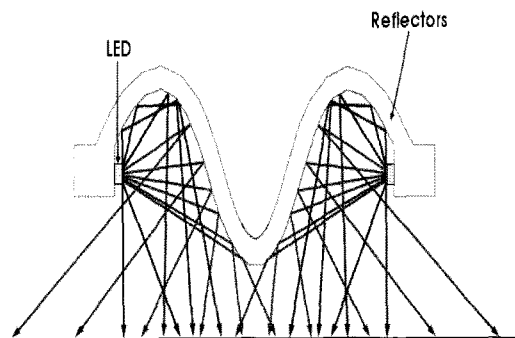


Fig. 3 External Type optical design

2.3 3D 설계

Fig. 4는 내측형 회전대칭 반사의 비구면 데이터를 3D CAD로 변환하여 외관 디자인을 한 것이다. LED 광원은 반사판 내측 부분에 위치하며, 광 경로에 영향을 주지 않도록 설계하였다. Fig. 5는 내측형의 구조와는 다르게 LED 광원이 비구면형상의 외측부분에 위치하며, LED 광원 간의 열 간섭과 열 방출을 신속히 빼내기 유용하도록 구조를 고안하여 설계를 하였다. 기구물의 길이는 210 × 540mm로, LED광원이 기구물 크기에 비해 작아 기구물을 기준으로 한다면 LED광원은 하나의 점광원으로 인식되기 때문에 광균일화 하는데에 영향을 미치지 못한다. 그리하여 LED광원은 어느 것을 사용하여도 광확산과 동시에 광균일화 하는데 아무런 제약을 받지 않고 선택의 자유가 있다.

2.4 시뮬레이션 방법 및 원리 이론

시뮬레이션 분석하기 위해서 조명 분석 소프트웨어 프로그램인 LightTools v7.0을 이용하였다. KS규격에 맞는 효율을 맞추기 위해 LED를 18EA를 사용하여 150W급으로 선정하고 프로그램에 적용하도록 하였다.

분석 방법은 내측형, 외측형 구조로 서로 비교분석을 하도록 하였으며, 높이에 따른 유효 면적에 대하여 휘도 분석을 하도록

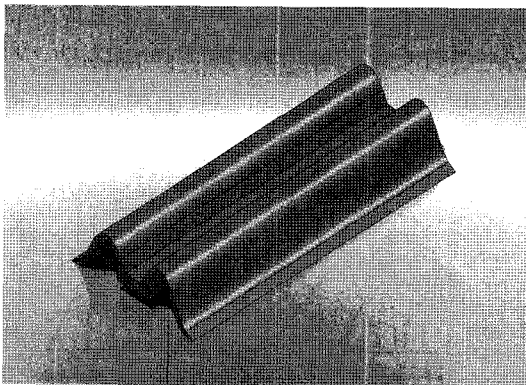


Fig. 4 Inner Type

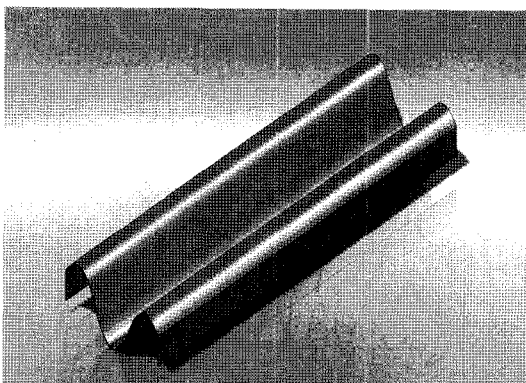


Fig. 5 External Type

하였다. Fig. 6은 분석방법과 유효한 면적을 제시하였다.

Fig. 7은 빛이 입사하는 각과 반사되는 각의 법칙에 의해서 빛이 산란되는 법칙이다. 반사의 법칙은 페르마의 원리로 증명을 할 수가 있다.

광로 $A \rightarrow O \rightarrow A'$ 의 광학적 거리 $[AOA']$ 는

$$[AOA'] = [AO] + [OA'] = n\overline{AO} + (-n)\overline{AO'} \quad (1)$$

$$L = n\sqrt{h^2 + x^2} + (-n)\sqrt{h'^2 + (\ell - x)^2} \quad (2)$$

이고,

여기서 n 은 매질의 굴절률이고, 반사광선의 방향이 입사광선과 반대방향이므로 반사측 매질의 굴절률은 $(-n)$ 이 된다. 광학적 거리 $[AOA']$ 는 최소시간의 광로, 즉 광학적거리가 최단인 경로가 되므로,

$$\frac{dL}{dx} = \frac{2nx}{2\sqrt{h^2 + x^2}} + \frac{2n(\ell - x)}{2\sqrt{h'^2 + (\ell - x)^2}} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} = -\frac{\ell - x}{\sqrt{h'^2 + (\ell - x)^2}} \quad (4)$$

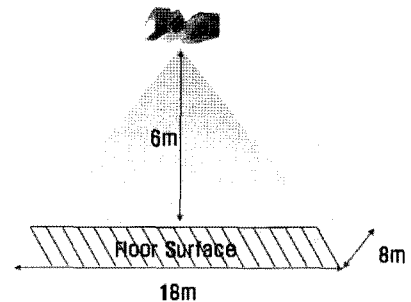


Fig. 6 Simulation Analytical method

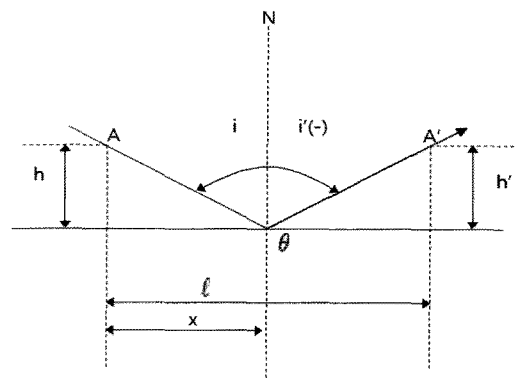


Fig. 7 Reflective law

이 된다. 여기서,

$$\frac{x}{\sqrt{h^2+x^2}} = \sin i, \frac{\ell-x}{\sqrt{h'^2+(\ell-x)^2}} = \sin i' \quad (5)$$

이므로,

$$\sin i = -\sin i' = \sin(-\dots i') \quad (6)$$

$$\therefore i = -i' \quad (7)$$

이러한 반사법칙의 원리를 기본으로 하여 시뮬레이션 분석을 하였다⁽⁵⁾.

2.5 내측형 구조 분석

Fig. 2에서 보는 바와 같이 안쪽에서 바깥쪽으로 나가는 내측형을 조명 프로그램에서 설계를 하고 가상으로 광선이 어떠한 형태로 나가는지 미리 추측을 하였다.

Fig. 8은 시뮬레이션 하기 위한 내측형 구조로 설정한 그림이

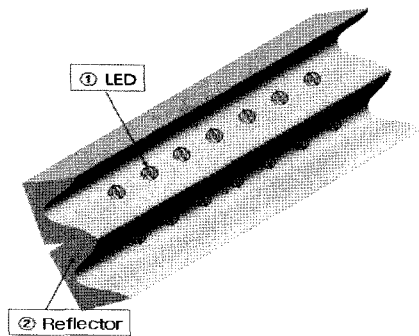


Fig. 8 LT simulation setting -1

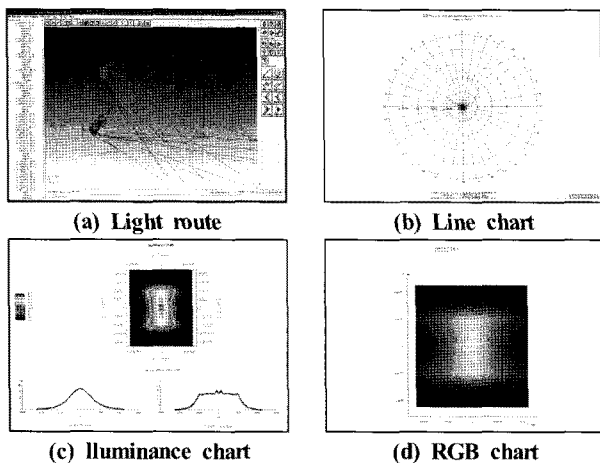


Fig. 9 Ray simulation - Inner Type

며, 비구면을 컨트롤하여 수정 후 분석을 하는 방법으로 광균일도에 만족하는 부분으로 설계하였다.

설계 후에 LED에서 임의적으로 1천만 광선을 설정하고, 재질은 알루미늄, 반사율을 코팅 한 후의 반사율을 적용하여 84%로 가정하고 조건을 제시하였다.

Fig. 9에서 (a)는 LED 칩 중앙에서 방사된다고 가정하고, 비구면에 의해서 반사된 각 광선들의 방향성을 보기위해 시뮬레이션 하기 전의 경로를 확인하였다. (b) 그래프는 비구면에 의해서 나가는 광선들의 발광 각도를 알아보기 위한 그래프이다. 발광되는 각도의 범위가 100~120°의 각도 범위에서 동일하게 광이 분포가 됨을 볼 수가 있다.

(c) 그래프는 KS기준에 맞는 면적범위 내로 10~15Lux 차이가 나므로 실질적으로는 구별하기 힘들며 동일한 밝기를 내는 것을 알 수가 있다. (d) 그래프는 광을 사람이 볼 수 있도록 RGB 형태로 표현한 그래프이다. 중심부에 2줄 정도의 띠가 생기고 있음을 그래프를 통해 알 수가 있다.

2.6 외측형 구조 분석

Fig. 3에서 보는 바와 같이 바깥쪽에서 안쪽으로 나가는 형태로 방열기술을 고려한 설계도이며, LED간의 열 간섭으로 인한 효율문제도 고려한 설계도이다. 이를 조명 프로그램을 이용하여 내측형과 똑같이 실행을 하였다.

Fig. 10은 시뮬레이션하기 위한 외측형 구조를 설정한 그림이며, LED 1천만 광선을 설정하고, 알루미늄 재질, 반사율 84%로 가정하여 조건을 내었다.

Fig. 11에서 (a) 그래프를 내측형과 비교를 해볼 때, LED의 강한 광이 중심부에도 많은 양은 아니지만 적은 양으로도 영향을 미치는 것을 볼 수가 있다. 하지만 외측형은 뚜렷하게 강한 광들은 멀리 보내고 약한 광은 그대로 노출시켜 중심부와 주변부의 조도 분포를 균일화 하도록 구조적으로 변화를 시켰다. (b) 그래프는 내측형과 별 차이가 없는 100 ~ 120°의 각도로 동일하게 빛을 발광하고 있고, (c) 그래프에서는 내측형과는 다

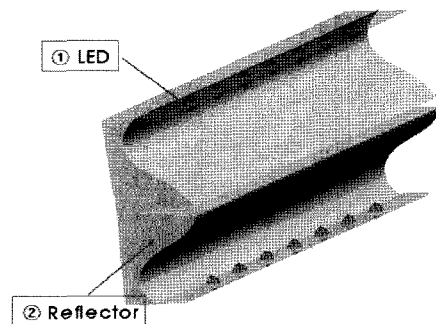


Fig. 10 LT simulation setting -2

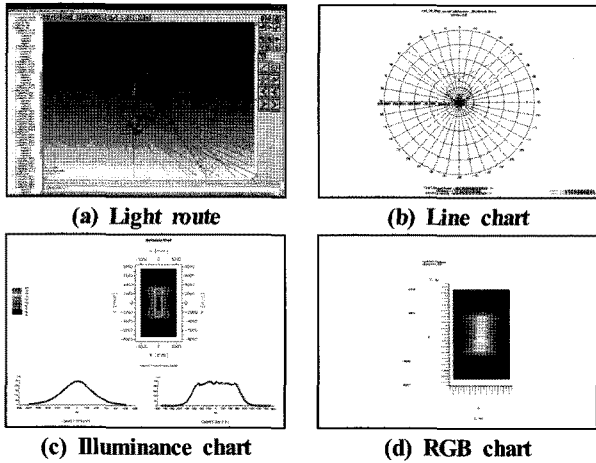


Fig. 11 Ray simulation - External Type

르게 더욱 고르게 강한부분과 약한 부분의 차이가 줄어들면서 고르게 광이 분포하여 광균일도가 매우 좋은 형태를 띠고 있다. (d) 그래프는 광을 사람이 볼 수 있도록 RGB 형태로 표현한 그래프로, 1차에 비해 격차가 줄어들었음을 확인할 수가 있다.

내측형과 외측형을 비교하였을 때, 외측형 구조가 내측형에 비해 광균일도의 조도 분포 면적이 완만하고, 효율면에서 고르게 나타남으로써 주변부 등과의 조도 격차가 줄어들음을 알 수가 있었다.

2.7 비구면 형상 분석

비구면을 이용한 광학계 설계에서 광균일도 향상에 영향을 줄 수 있는 핵심인 만큼 매우 중요하다. 광학 설계에서의 비구면은 비점수차와 왜곡수차를 최소화하기 위해서 존재하며 Aspheric 즉, 구면이 아니다라는 것을 이용하여 광균일도를 자유자재로 조절이 가능한 시스템을 적용하였다. 제작 시에 광학 설계가 된 비구면을 정확히 형상을 구현할 수 없을 것이라는 문제점을 미리 제시하고 시뮬레이션 분석을 통하여 사전에 보완할 수 있도록 하였다. 비구면 데이터의 구현성에 따라 변화되는 과정을 보여주고 있다. 10%당 $\pm 10\mu\text{m}$ 의 오차율로 비구면을 흐트러짐에 따른 변화를 Fig. 12에서 볼 수가 있다. (a) 그래프는 비구면 데이터가 100%의 구현이 되었을 때 시뮬레이션 분석 결과로 완벽한 광이 전반적으로 균일도가 나온다. (b) 그래프에서는 비구면 데이터가 80% 구현이 되었을 때 강한 부분과 약한 부분의 조도 차이가 점점 차이가 나는 것을 그래프를 통해 알 수 있고, (c) 그래프에서는 50%의 구현률로 시뮬레이션 결과로 각 부분의 조도 차이가 뚜렷이 커져감을 알 수가 있었다. (d) 그래프에서 보는 바와 같이 30%의 구현률로 중심부에서 조도가 약하게 존재하며, 광균일 패턴이 무너짐을 알 수가 있었다. 시뮬레이션 분석을 통하여 비구면 형상의 구현성이 이 연구 목표에 매우 중요한 자리를 잡고 있다.

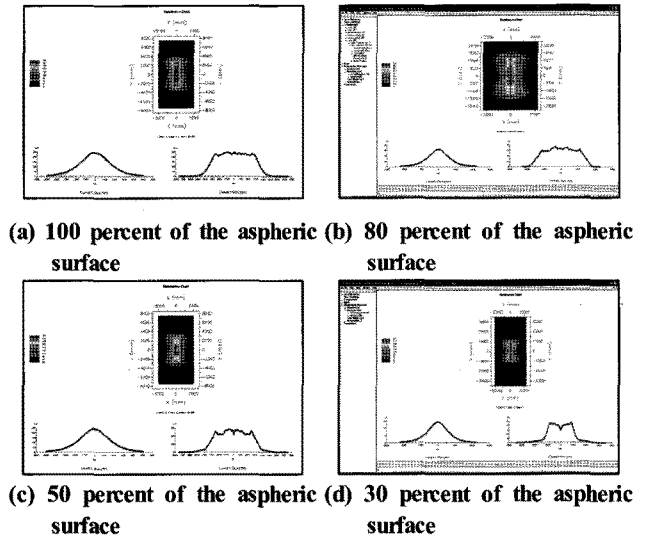


Fig. 12 Influence according to the aspheric form

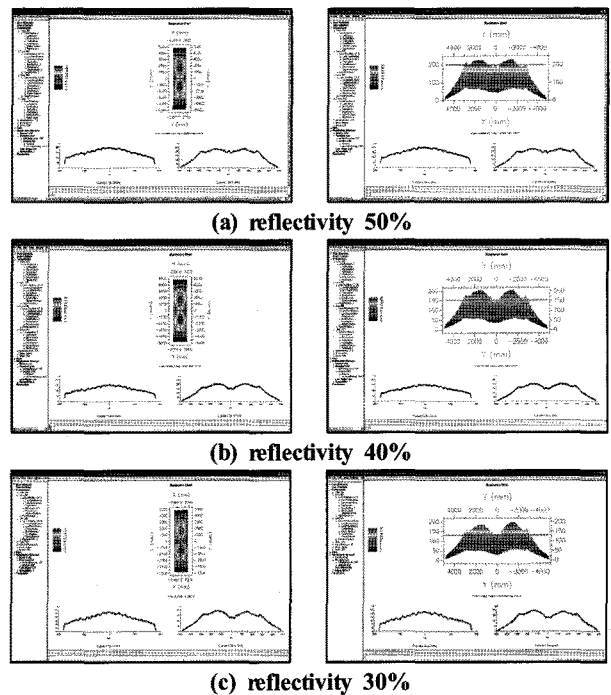


Fig. 13 The analytical data which follows in reflectivity

2.8 반사율 분석

광균일도의 영향을 미치는 문제점으로 2가지 중에 하나로 시뮬레이션 분석 프로그램에서 설정한 84%의 반사율을 적용하여 분석한 데이터가 실제 시제품화 하고 측정 후 분석된 데이터와 동일하게 분포를 하느냐에 의문점을 고안하였다.

그래서 반사율에 따라 광균일도가 어떠한 형태로 변화가 있는지 이론치에서 설정한 84%의 반사율을 낮추어 시뮬레이션 결과를 분석하고 문제점을 사전에 보완하는 방법으로 진행하였다.

시뮬레이션 상에서 84%로 된 반사율을 50%, 40%, 30%를 면 속성에 설정하고 분석을 하였다.

분석한 결과는 Fig. 13에서 볼 수 있으며, 결과적으로 84%의 반사율을 설정한 데이터와 50%, 40%, 30%의 반사율을 비교해 보았을 때, 반사율이 저하 될수록 광선이 전혀 다른 방향으로 누적이 되어 중앙부가 현저히 효율이 떨어지고 광균일도 분포가 흐트러지는 것을 결과 값을 통해 알 수가 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 현재 보안등의 문제점으로 야기되는 눈부심 현상 및 구조적 광균일화 한계에 대한 문제점들을 이해하고 해결하기 위한 방법을 제시하였다. 반사판의 자유곡면 즉, 비구면이라는 기술을 적용하여 광균일도를 향상시키는 목표로써, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 비구면 광학계를 이용으로 광을 조절하여 LED 조명의 눈부심 현상을 제거하고, 광확산에 의한 광균일도를 향상 시킬 수 있었다.
- (2) 내측형은 LED간의 열 간섭으로 인한 효율 저하뿐만 아니라 그에 따른 방열 크기, 무게 등의 문제점이 있을 수 있어, 그러한 문제를 외측형 구조를 통해 보완할 수 있었다.
- (3) 반사율 시뮬레이션 분석 결과 반사율이 최대한으로 80%이상으로 나와야 광 조도분포의 광균일화가 달성될 수 있음을 알 수가 있었다.
- (4) 비구면 형상은 비구면 데이터를 임의적으로 변화를 주었을 때, 광균일화에 영향을 받는다. 많은 실험과 분석을 통하여 시뮬레이션 분석 데이터에 대한

신뢰성을 확보하고, 비구면을 이용한 반사 시스템의 대한 기술이 표준화가 되어 측정 및 평가하는 시스템의 확보하는데 향후 연구 과제로 남아있다.

참고 문헌

- (1) Shin, I. T., Jo, J. U., Yang, J. K., and Park, D. H., 2009, "LightTools Simulation Analysis of LED Module for 100W Street Lamp", *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, KIEE autumn Conference, pp. 163~164.
- (2) Jeong, B. M., and Jeong, H. G., 2006, "LED Lighting Technology Status and Prospects", *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, The Proceedings of the KIEE, Vol. 20, No. 1, pp. 31~37.
- (3) Seok, D. I., Jo, D. S., Oh, H. Y., and Kim, H., 2010, "The Reflector Design with Light Distribution of LED Road Lighting Luminaire", *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, KIEE Spring Conference, pp. 121~122.
- (4) KS, 2009, *LED Luminaires for Road and Street Lighting-Safety and Performance Requirements*, KS C 7658:2009, Korean Industrial Standards, Korea.
- (5) Lee, W. J., Moon, J. H., Kang, S. S., Kim, S. Y., Kim, Y. K., Lim, H. S., Jung, M. S., Cha, J. W., Park, S. J., Sim, M. S., Sim, S. H., and Choi, W. S., 2000, *Linear and Combinatorial Programming*, SooMoonSa Publishing, Korea, pp. 38~40.