

COB형 LED 보안등을 위한 렌즈 구조 설계

(Design of the Lens Structure for COB type LED Safety Luminaires)

장성환* · 정병조**

(Sung-Whan Jang · Byoung-Jo Jung)

Abstract

The study carried out in this dissertation focuses on the lens structure design and the light distribution for LED safety luminaires using COB type LED module. Lens structures for LED lights has been designed 1) to induce light diffusion by dual process of internal reflection and refraction, 2) to minimize the inherent LED lights' glittering, and 3) to have uniform brightness. The lens designed with the proposed structures function as diffusers for the divergence of the LED lights so that they form a wide angle of view and adjust the light distribution. We designed of lens with stable uniformity factor and average roughness using aspheric optics property. Finally we made the analysis data of the simulated data.

Key Words : LED, Safety luminaires, COB, Light diffusion, Aspheric lens

1. 서 론

에너지 절감문제와 환경문제가 대두되면서 세계적으로 에너지 절감을 위한 노력이 진행되고 있다. 실제로 우리 정부에서도 고효율 전력기기 사용을 늘림으로써 전력수요를 줄이기 위한 전력효율 향상사업에

주력하고 있다. 이런 전력수요를 줄이면서 전력효율을 향상시킬 수 있는 핵심 사업 중 하나가 LED(Light Emitting Diode)산업이다.

최근에 국내 LED 기업들의 자구 노력이 매우 활발히 이루어져 새로운 연구개발이 시도되고 있으며, 특히 LED 신광원에 대한 연구개발의 성과가 두드러지고 있다[1]. 우리는 새로운 광원으로 각종 조명 장치에 응용이 되는 고풍력 LED 광원의 물리적 구조로부터 모의실험을 통하여 광학적 특성을 분석하였다[2].

LED에서 발생하는 광(光)은 직진성의 특성을 갖는 것으로서, 주변에 비해 중심부분에 광 분포가 집중되는 광학특성으로 높은 휘도에 의한 눈부심 현상을 초래하는 단점을 지니고 있다. 이러한 광 분포 집중 및 눈부심의 단점을 보완하기 위해 LED의 광 분포를 조

* 주저자 : 원광대학교 공과대학 전기공학과
** 교신저자 : 한국승강기대학교 승강기공학부
* Main author : Dept. of Electric Engineering
Wonkwang University
** Corresponding author : School of Lift Engineering
Korea Lift College
Tel : 055-949-2212, Fax : 055-949-2254
E-mail : bjjung@klc.ac.kr
접수일자 : 2013년 3월 20일
1차심사 : 2013년 3월 23일, 2차심사 : 2013년 5월 29일
심사완료 : 2013년 6월 5일

정한 광 확산용 조정렌즈 개발이 이루어지고 있다. 하지만 LED의 광을 확산시키도록 컨트롤하여주는 종래 광 확산용 조정렌즈는 광 손실이 발생하는 문제점은 물론 반짝거림에 의한 눈부심 현상을 제거하지 못하고 있고, 고른 밝기를 유도하지 못하는 등 전반적으로 광 조정효율이 떨어지는 문제점이 있다. 여기서 광 조정효율이라 함은 렌즈 투과 전 총 방사되는 광량과 렌즈 투과 후 총 방사되는 광량의 비를 나타낸다. 이런 광을 확산시키는 것과 LED의 발산광을 함께 조정하는 것은 상당히 어렵다.

본 논문에서는 50W급 COB(Chip On Board)형 LED 모듈을 이용하여 보안등용 2차 렌즈를 설계하였다. LED 특유의 반짝거림을 최소화시키면서 내부 반사와 굴절의 이중 처리를 통해 광 확산을 유도하고, 확산되는 광이 고른 밝기를 갖도록 균일하게 제어할 수 있도록 하였다. 광학계 1차면의 집광 역할과 2차면의 확산 역할을 적절히 이용하여, 광 확산 기능하도록 하였다. 또한 LED의 발산광에 대해 넓은 배광각도 약 150°를 형성하도록 광분포를 조정하였다.

표 1. LED 보안등기구 보행자에 대한 조도 기준
Table 1. Safety Luminaires for Pedestrian LED Roughness Standards

보행자에 대한 조명 기준			
야간보행자 교통량	지역	조도 lx	
		평균 노면 조도	균제도
교통량이 많은 도로	주택지역	5	0.15이상
	상업지역	20	
교통량이 적은 도로	주택지역	3	
	상업지역	10	

출처 : KS C 7658:2011

렌즈는 표 1의 LED 보안등기구 보행자에 대한 조도 기준에 만족하도록 설계하였으며, 렌즈의 형태는 단일 렌즈로 3D CAD 프로그램과 조명 설계 해석 프로그램을 이용한 설계와 분석을 하였고, 평균 노면조도와 균제도 데이터를 확보하였다[3].

2. 이론고찰

2.1 조도

조도는 일정한 평면이 밝게 비추이는 정도를 말하며, 조명되는 면적과 광속의 비율로 결정된다. 면적 Sm^2 에 균일하게 광속 Flm 가 투사되고 있을 때, 이면의 평균조도 E 는 식 (1)과 같이 주어진다[4].

$$E = \frac{F}{S} \quad (lx) \quad (1)$$

2.2 균제도

균제도는 조명공간에서의 빛의 균일한 정도를 나타내는 척도이며, 기준조도와 더불어 조명환경의 정량적 평가 지표중 하나이다. 일반적인 균제도는 조도 측정점에서 측정된 조도 값의 최소값(E_{min})/최대값(E_{max}) 또는 최소값(E_{min})/평균값(E_{avg})으로 산출된다[5].

2.3 배광곡선

광원의 광도는 방향에 따라 그 세기가 다르게 된다. 광원을 중심으로 하여 각 방향으로 직선을 긋고, 그 직선의 길이를 광도의 크기에 비례하게 한 다음, 그 직선의 끝을 연결하면 광도의 공간적인 배광곡선이 된다. 즉 배광곡선이란 광원의 중심을 지나는 평면상의 각 방향의 광도분포를 표시한 것이다. 조명기구 카탈로그에는 그 기구에 대한 배광곡선이 표시되어 있는 것이 보통이다[5].

3. 렌즈 설계

렌즈 설계를 위해 OSLO 프로그램을 사용하였고, 설계의 목적은 직진성이 강한 LED의 배광 분포를 LED 가로등 및 보안등 기구(KS C 7658:2011)에 적합하도록 넓히는 것이다[6]. OSLO 프로그램은 결상 광학계 설계 툴로 Genii라는 Dos용 설계 툴 다음세대로 Window체제에서 가장 먼저 나온 광학설계 툴이다.

본 논문에서는 기본적으로 결상 렌즈 설계 기술인 Raytracing 기법을 사용하였지만 광선이 아닌 광다발을 시작점으로 설계를 최적화 하였다. 설계한 렌즈는 광 확산을 통해 광 균일도를 유지하고 근본적으로 눈부심을 억제하는 보안등용 렌즈로 회전대칭 렌즈이다. 그림 1은 광학설계 프로그램인 OSLO를 이용하여 광학계를 설계한 것이다.

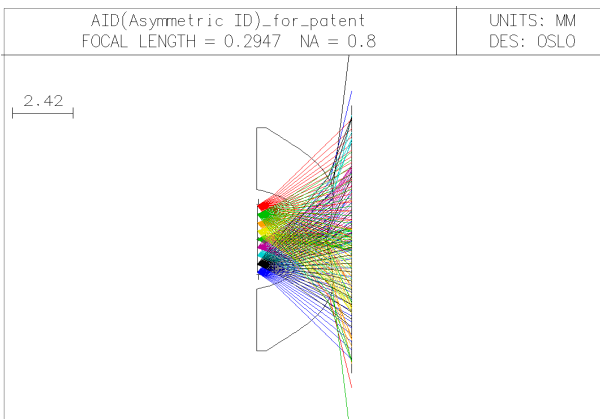


그림 1. 광학계 설계(OSLO)
Fig. 1. Optical System Design(OSLO)

전체적인 렌즈 형상은 회전 대칭이 되며, 내측라인은 M형 구조를 갖는 내면(1차 광학면)과 외측라인은 중심부가 함몰된 돔형 구조를 갖는 광 확산 외면(2차 광학면)으로 설계를 하였다. 렌즈의 내면은 옆으로 빠지는 광을 중심으로 모아주는 역할을 하고 렌즈의 외면은 광을 퍼트려주는 역할을 하게 된다.

식 (2)는 일반적인으로 광축을 중심으로 회전 대칭 성 고차 비구면방정식이다.

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

여기서 cv 는 면의 곡률이고, cc 는 원추 계수라고 부르는 상수이다. $as_2, as_3, as_4, as_5 \dots$ 등은 비구면 계수이며, 원추곡면에서 벗어난 정도를 의미한다.

1차 광학면은 식 (2) 비구면방정식을 사용하여 설계하였으며, 산과 골이 깊게 패인 형태로 M자형 구조배

치 갖게 함으로써 중심부분에 광 조정부가 형성되도록 설계하였다. 2차 광학면도 식 (2) 비구면방정식으로 설계하였으며, 반구형의 구조배치에서 중심부분을 완만하게 함몰시켜 광 확산의 확장을 유도하기 위한 확장유도부가 형성되도록 설계하였다.

1차 광학면은 비구면으로 형성함에 따라 내면의 굴곡각 조정 등 형상 구조를 용이하게 변경할 수 있어 LED의 발산광에 대해 광분포를 임의대로 자유롭게 조율할 수 있게 설계하였다. 렌즈 구조의 2차 광학면은 렌즈 구조체의 외측 표면을 형성하게 되고 내면을 통해 1차로 광 확산 및 광 조정된 상태의 LED 광원을 2차에 걸친 내부 반사 및 굴절 작용으로 2차 광 확산 시킴으로써 1차 광 확산에 비해 배광각도를 더욱 넓혀주는 기능을 담당하게 되는데, 보다 넓은 면적으로 균일한 면광원 분포를 유도하여 선형적 광분포를 이루도록 조정하게 된다.

이때 광 확산 외면에 대해서도 비구면을 통해 설계하여 외면에 대한 굴곡각 조정 등 형상 구조를 용이하게 설계 변경할 수 있도록 하며 LED의 발산광에 대해 광분포를 자유롭게 임의 조율할 수 있도록 하였다. 세부적인 비구면 설계사양은 표 2에 나타내었다.

표 2. 렌즈 설계 사양
Table 2. Lens Specifications

설계 사양	1차 광학면	2차 광학면
$1/cv$	1.84	8.0
cc	-1.2	-20.0
as_2	-0.006171875	-0.00019140625
as_3	6.7138671875e-07	2.907226562e-09
as_4	8.2901763916e-09	2.457672119e-12
as_5	-8.1956386566e-12	-4.917383194e-16

그림 2는 OSLO에서 식 (1)을 통해 만들어진 형상을 3차원 프로그램인 Solidworks로 설계한 것이다. 조명 모의실험 프로그램인 LightTools 7.3.0과의 호환성 때문에 3D로 재차 설계를 한 것이다. Solidworks으로 설계한 3차원 형상을 LightTools 7.3.0에서 바로 불러들여 조명 모의실험이 가능하기 때문이다.

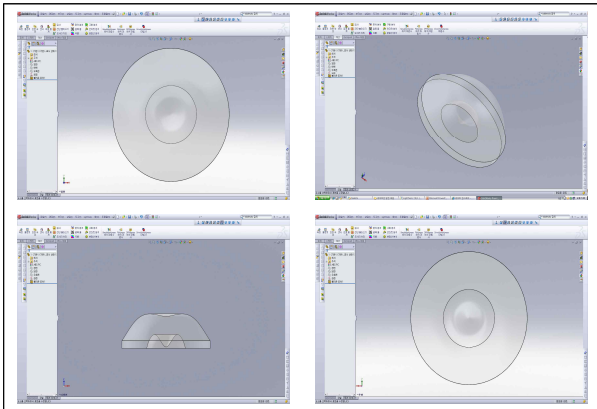


그림 2. 3차원 광학계 설계(Solidworks)
Fig. 2. 3-Dimensional Optical System Design(Solidworks)

4. 조명 시뮬레이션

설계한 렌즈를 조명 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 3은 설계된 광학계를 LightTools7.3.0에서 모의실험 한 모습으로 광원에서 나온 광의 방향을 확인할 수 있다. 본 광학계는 고 출력용 렌즈로 COB형 LED에 사용하며, 낮은 품질의 LED에도 사용이 가능하도록 설계하였다.

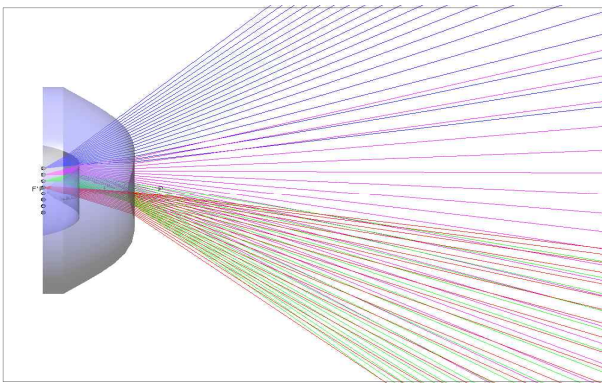


그림 3. LightTools에서의 조명 모의실험
Fig. 3. Lighting Simulation in LightTools

그림 4는 한 필드 내의 렌즈 광선추적도를 나타낸 것이다. 한 필드에서 출발한 광선이 어떻게 굴절 현상이 일어나는가에 대한 설명을 나타낸 것이다.

본 연구에서 사용될 광원의 형태는 COB형의 LED

패키지로 결정하였다. COB형의 가장 큰 장점은 LED 칩이 바로 PCB 상에 부착되기 때문에 무게와 부피를 줄여 제작이 가능하고 조립 공정이 간략해지며 발열 부로부터 방열부까지 경로가 단축되어 방열특성이 우수하다는 것이다. 광학적 특성이 지속적으로 향상되고 있으며, 비용이나 구조적인 측면에서 생각했을 때 향후 LED 제품은 COB형의 광원이 주류를 이루게 될 것이라 생각한다.

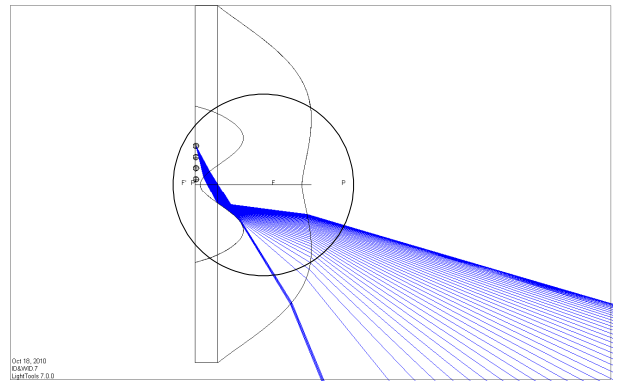


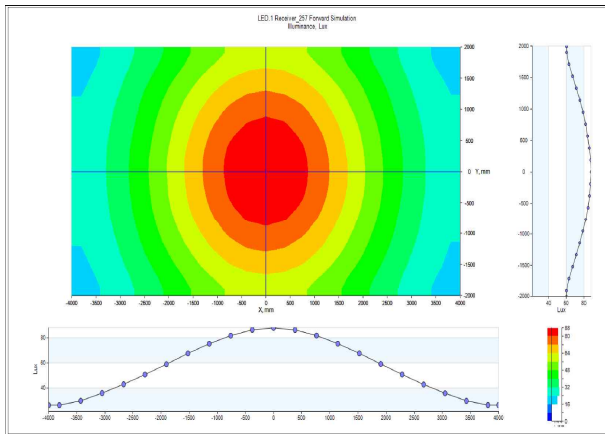
그림 4. 한 필드 내의 렌즈 광선추적도
Fig. 4. Within a Field of Lens Ray Tracing

50W급의 COB형의 LED 패키지중 패키지 내의 칩들의 간격이 촘촘하여 대형의 단일 칩과 같은 효과를 가지고, 발광부는 원형의 형상으로 원형 전체에서 균일하게 발광이 이루어지는 BRIDGELUX BXRA-C5000을 선정하였다.

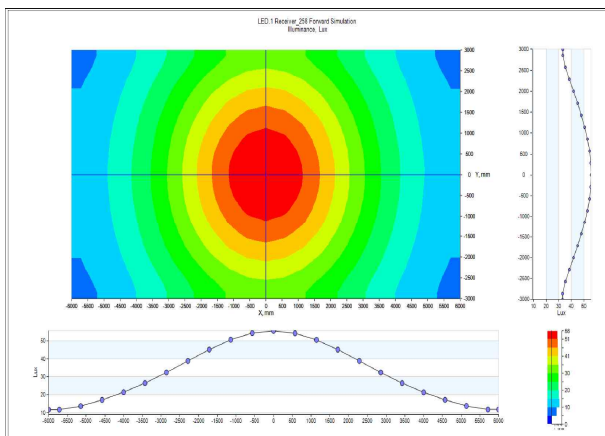
표 3은 BXRA-C5000의 특성을 보여준다. 색온도 5,600K, 연색지수 70, 25°C에서 5,600lm, 60°C에서 5,000lm의 특성을 보인다. 시험은 24.6V와 2,100mA로 진행되었다.

표 3. BXRA-C5000 사양
Table 3. Specifications of BXRA-C5000

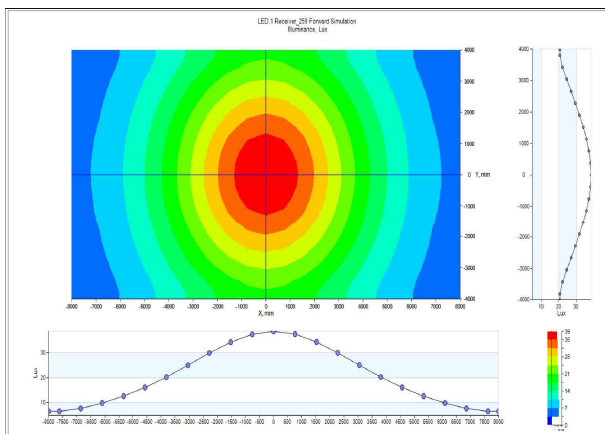
Item	BXRA-C5000
CCT(Correlated Color Temperature) k	5,600
CRI(Color Rendering Index)	70
Typical pulsed flux 25°C lm	5,600
Typical DC flux Tcase 60°C lm	5,000
Current mA	2,100
Vf V	24.6



(a) 4m 설치 높이의 노면조도 모의실험



(b) 5m 설치 높이의 노면조도 모의실험



(c) 6m 설치 높이의 노면조도 모의실험

그림 5. LED 모듈의 노면조도 도표
Fig. 5. Road Surface Roughness Chart of LED Module

LED 보안등기구의 설치 높이인 4m, 5m, 6m의 세 종류로 조명 시뮬레이션 하였다. 또한 설치 높이에 따른 노면조도 계산 영역은 4m일 때 8m×4m이고, 5m일 때 12m×6m이며, 6m일 때 16m×8m의 적용 면적으로 시뮬레이션 함을 원칙으로 한다. 그림 5는 LED 모듈을 각각 4m, 5m, 6m 설치 높이에서 노면조도 상태를 모의실험 그림을 나타낸다. 그림 5의 (a), (b), (c)를 살펴보면 중심 부분으로 광이 집중됨을 알 수 있다.

그림 5는 LED 모듈만을 설치하였을 때 LightTools을 이용한 노면조도 도표로 (a)는 4m의 설치 높이에서 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 88.1lx, 주변부 최소 노면조도는 약 21.4lx, 평균 노면조도는 약 50.6lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.24를 나타낸다. 그림 5의 (b)는 5m의 설치 높이에서 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 55.7lx, 주변부 최소 노면조도는 약 9.1lx, 평균 노면조도는 약 27.5lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.16을 나타낸다. 그림 5의 (c)는 6m의 설치 높이에서 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 38.7lx, 주변부 최소 노면조도는 약 4.8lx, 평균 노면조도는 약 17.2lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.12를 나타낸다.

표 4는 그림 5의 LED 모듈의 노면조도 도표의 조도 값과 이를 바탕으로 균제도 값을 표로 다시 정리한 것이다.

표 4. LED 모듈의 노면조도와 균제도 데이터
Table 4. Road Surface Roughness and Uniformity Factor of LED Module

LED Module		4m (8m×4m)	5m (12m×6m)	6m (16m×8m)
road surface roughness value(lux)	min	21.4	9.1	4.8
	max	88.1	55.7	38.7
	ave	50.6	27.5	17.2
uniformity ratio		0.24	0.16	0.12

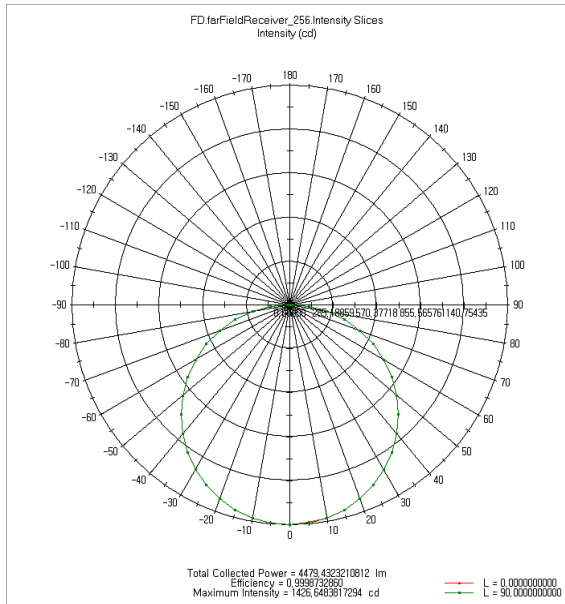
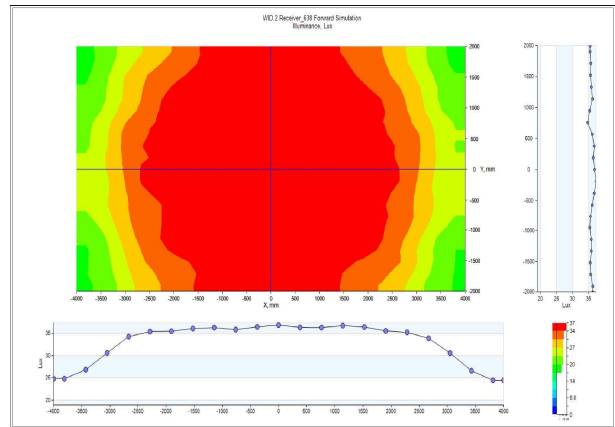


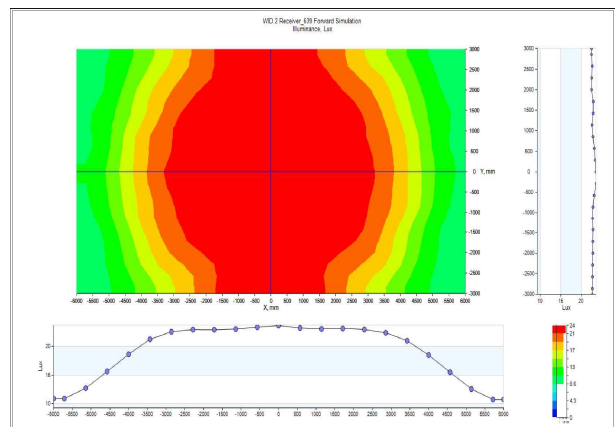
그림 6. LED 발광에 의한 배광 도표
Fig. 6. By Emitting LED Intensity Chart

그림 6은 LED 발광에 의한 배광 도표로 구 좌표계에서 광의 강도를 표현한 그래프이다. 일반적으로 배광각도는 광의 중앙부의 최대 파워의 50%가 되는 지점에서 파워를 배광각도라 말한다. LED 모듈만을 사용할 때에는 120° 램버시안 방사로 직교좌표계에서는 가우시안 분포에 가깝게 나타남을 그래프를 통해 알 수 있다.

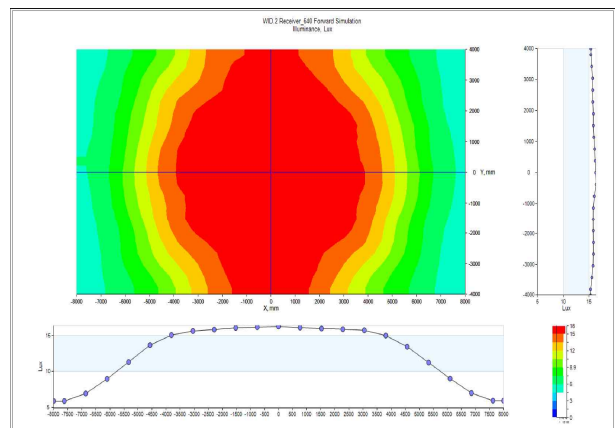
그림 7은 LightTools를 이용한 노면조도 도표로 (a)는 4m의 설치 높이에서 8m×4m 적용 면적으로 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 37.3lx, 주변부 최소 노면조도는 약 19.0lx, 평균 노면조도는 약 31.9lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.51을 나타낸다. 그림 7의 (b)는 5m의 설치 높이에서 12m×6m 적용 면적으로 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 23.6lx, 주변부 최소 노면조도는 약 9.3lx, 평균 노면조도는 약 18.3lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.39을 나타낸다. 그림 7의 (c)는 6m의 설치 높이에서 16m×8m 적용 면적으로 노면조도를 모의실험 한 데이터이다. 중심부 최대 노면조도는 약 16.4lx, 주변부 최소 노면조도는 약 4.95lx, 평균 노면



(a) 렌즈 적용 후 4m 설치 높이의 노면조도 모의실험



(b) 렌즈 적용 후 5m 설치 높이의 노면조도 모의실험



(c) 렌즈 적용 후 6m 설치 높이의 노면조도 모의실험

그림 7. 렌즈를 적용한 후 노면조도 도표
Fig. 7. Road Surface Roughness Chart of Apply Lens

조도는 약 11.8lx를 나타내며, 모의실험에 의한 조도 균제도는 약 0.30을 나타낸다. LED 모듈만 사용했을 경우 광이 중심으로 모이는 현상을 그림에서 보는 바와 같이 주변 부분으로 확산시켜 주는 것을 확인할 수 있다.

표 5는 그림 7의 렌즈를 적용한 후의 노면조도 도표의 조도 값과 이를 바탕으로 균제도 값을 표로 다시 정리한 것이다.

표 5. 렌즈를 적용한 노면조도와 균제도 데이터
Table 5. Road Surface Roughness and Uniformity Factor of Apply Lens

apply lens		4m (8m×4m)	5m (12m×6m)	6m (16m×8m)
road surface roughness value(lux)	min	19.0	9.3	5.0
	max	37.3	23.6	16.4
	ave	31.9	18.3	11.8
uniformity ratio		0.50	0.39	0.30

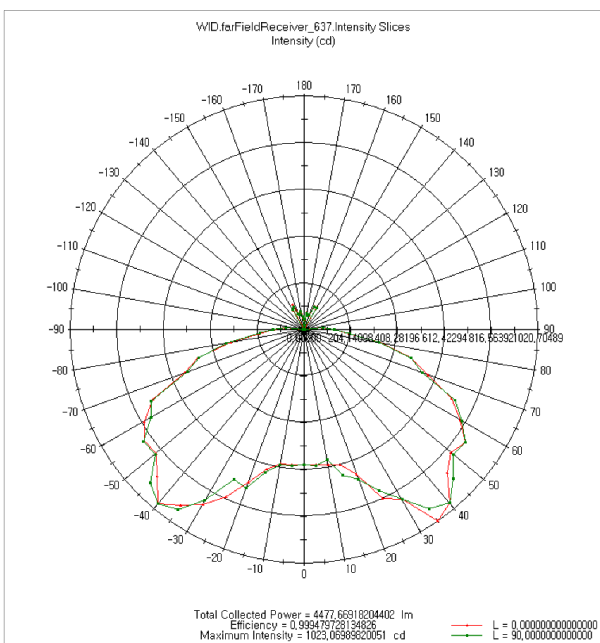


그림 8. 렌즈 적용 후 LED 발광에 의한 배광 도표
Fig. 8. Applied lens by Emitting LED Intensity Chart

그림 8은 LED 발광에 의한 배광 도표로 구 좌표계에서 광의 강도를 표현한 그래프이다. 배광각도가 약 150°의 넓은 분포를 보이고 있다. 이 배광 분포는 배트윙 형태로 기본 LED 모듈만의 램버시안 방사에서 가지지 못한 균제도 특성을 가지고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 COB형 LED 보안등을 위한 광 조정용 렌즈를 설계하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) LED 가로등 및 보안등 기구 도로 조명 기준 (KS C 7658:2011)의 보안등 기구의 높이 기준인 4m, 5m, 6m 설치 높이에서 시뮬레이션 한 결과 LED의 중심으로 모이는 광을 주변으로 확산시켰으며, 평균 노면조도는 각각 31.9lx, 18.3lx, 11.8lx로 나왔다.
- (2) 또한, LED 모듈만 사용했을 경우 조도 균제도는 각각 0.24, 0.16, 0.12였으며, 렌즈를 적용한 후 조도 균제도는 0.42, 0.30, 0.24로 더 균일하게 나오는 것을 알 수 있었으며, LED 모듈만을 사용했을 때 6m 설치 높이에서는 표 1의 균제도 기준치인 0.15 이하로 나왔으나, 렌즈를 적용한 후 균제도는 0.24로 기준치 0.15 이상으로 나오는 것을 알 수 있었다.
- (3) LED 모듈만 사용했을 경우 120°의 배광각도를 가지나, 렌즈를 적용한 후 배광각도는 약 150°로 넓게 퍼지는 것을 알 수 있었다.
- (4) 본 연구를 통해 설계된 렌즈를 이용하여 보안등을 개발할 경우, 보안등의 설치 높이가 4m일 때는 교통량이 많은 도로에 적용이 가능하고, 설치 높이가 5m와 6m일 때는 교통량이 적은 도로의 보안등에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

본 논문은 2012년도 원광대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

- [1] M. K. Whang, "Lighting(LED) Industry Trends", pp. 1-15, EC, 2010.
- [2] J. A. Han and J. T. Kim, "Modeling and Analysis of Optical Property For High Power LED," Journal of Optical Society of Korea, Vol. 18, No. 2, pp. 111-116, Apr 2007.
- [3] B. J. Jung, S. W. Jang and Y. G. Roh, "Development of Optical System for 50W LED Security Lamp", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 1, pp. 296-305, 2012.
- [4] B. M. Jung, S. B. Han, H. G. Jeong, "New Lighting Technologies", pp. 1-7, ECOT, 2001.
- [5] T. G. Jung and S. K. Jang, "Lighting(Principles and Applications)", pp. 6-24, bookshill, Korea, 2005.
- [6] KS, "LED Luminaires for Road and Street Lighting-Safety and Performance Requirements", KS C 7658:2011, Korea, 2011.

◇ 저자소개 ◇



장성환 (張成煥)

1950년 6월 5일생. 1982년 연세대학교 대학원 전기공학과(박사). 1985~1986년 Northwestern University 전기및컴퓨터학과 방문교수. 2005년 1월~2006년 1월 Mississippi State University 컴퓨터사이언스공학과 교환교수. 현재 원광대학교 전기공학과 교수.



정병조 (鄭秉朝)

1973년 7월 3일생. 2002년 원광대학교 전기전자공학부 졸업. 2004년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년 원광대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국승강기대학교 승강기공학부 조교수.