

AC COB형 LED 가로등의 광학계 배광 패턴

김영길^{a*}, 유경선^a, 이창수^a, 현동훈^a

Light Distribution Pattern of Optical System in Street Lights with AC COB-Type LEDs

Young-Gil Kim^{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, 15073, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	16	December	2016
Revised	18	January	2017
Accepted	2	February	2017

Keywords:

AC LED
Chip on board
Led street light
Light distribution pattern
Optical system
Illuminating engineering society of north America

ABSTRACT

This study attempted to design lights with Type II distribution suitable for LED street lights based on the regulations of street light distribution developed by the Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). The shape of an asymmetric lens, different from that of a rotationally symmetric lens, cannot be generated using a simple mathematical formula. In the first trial, the outline of the lens was fixed and simulated to confirm the distribution type. Following IESNA regulations, some problems that occurred during simulations and repeating was modified that process is how we detected errors. Through optical research and simulations, a lens conforming to the regulations of Type II very short, Type II short, and Type II medium distributions was developed. A prototype was developed using simulation data and it was subjected to distribution tests. The results show that it can compare with property of Type II distribution.

1. 서론

최근 전 세계적인 환경 문제 및 자원 문제에 대한 해결 노력은 어느 때보다 더 강도 높게 진행되고 있다. 지구 온난화의 주 원인으로 언급되고 있는 온실가스 배출 문제는 이미 심도 있는 논의를 거쳐 각 국에서 이에 대한 배출 축소 계획을 구체적으로 실행하고 있는 단계에 이르렀다^[1]. 이와 같이 많은 에너지를 사용하는 조명 분야는 백열전구과 형광등 사용제한을 거쳐 고용량의 수은등, 메탈 할라이드나 고압나트륨 조명기에 있어서도 LED 조명으로 빠르게 전환되어 가고 있는 추세이다. 국내에서는 LED 조명 설치지원 금 확대를 통해 공공기관을 중심으로 한 선도적 시장창출을 꾀하고 있다^[2]. 또한 에너지 절약을 위한 개발이 진행중이고, LED 제품의

효율적인 생산성 증대를 위해 여러 가지 공정들이 새롭게 제안되고 있다^[3]. LED조명 기기에서 사용되는 전원장치의 고효율화, 소형 경량화 기술과 발생한 광자원의 효과적 사용을 위한 눈부심 방지 및 필요한 위치에 필요한 만큼의 광자원이 배분될 수 있도록 하는 배광 패턴 구현을 위한 정밀 가공 금형 렌즈 기술에 대한 연구도 다양하게 시도되고 있다.

LED 조명은 LED 광원, SMPS (switched mode power supply), 방열기구, 광학계, 등기구로 구성된 5개의 공통 분모를 가지고 있다. 이 중 LED의 광원으로는 조명용 LED로 COB (chip on board) LED 모듈이 개발되면서 COB 1개로 LED 조명을 구현하고 있다. COB란 LED 소자를 PCB에 직접 부착한 소자 표면 부착 기술로서 비교적 작은 면적의 LED 소자를 이용하면서도 방

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

Fax: +82-31-8041-1786

E-mail address: ygkim00@hexem.co.kr (Young-Gil Kim).

열 특성을 크게 개선함으로써 구동 전류와 광 출력을 크게 늘릴 수 있는 새로운 LED 구조이다. COB LED 모듈은 0.1~1 W 등 소형 LED 칩을 멀티로 5개에서 최대 500개까지 배열 패키지 한 MCA(multi chip array module)로서 광원 간의 거리를 좁혀 점광원이 아닌 면광원으로서의 효과를 볼 수 있는 장점이 있다⁴⁾.

따라서 단일 광학계 적용으로 광의 조절이 용이하며 조명의 크기가 작아질 수 있다. 최근에는 SMPS를 사용하지 않고 전력반도체 IC를 사용하는 AC형 LED 조명을 사용하고 있다⁵⁾. 이러한 COB 조명의 광원을 목적에 맞게 배광각도를 구현하기 위해서는 비구면을 적용한 초정밀 광학 설계 기술과 시뮬레이션 기술⁶⁾이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 AC COB LED 조명에 IESNA (illuminating engineering society of north America, 북미조명학회)에서 제정한 도로 조명 배광 표준을 적용한 효율적인 광학 설계를 통해 도로용 LED 가로등의 배광 타입과 배광 좌우 범위를 고려한 광학계 설계를 진행하였다. 설계 시 면광원인 COB LED를 적용하였기 때문에 면광원에서 발산되는 광의 균제도를 높이기 위하여 1차면에서 아이시کل 형상을 구현하여 균제도를 증가시키고, 2차면에서 xy polynomial 파라미터의 최적화를 통해 렌즈 설계를 진행하였다. 렌즈 형상을 최적화를 통해 설계한 후 3D 프로그램에서 자유 곡선으로 렌즈 출사외면을 변형시켜가며 최적설계를 하여 목표한 Type II의 배광을 도출했다. 또한 설계 및 시뮬레이션 데이터와 실제 mock-up 광학계 제작을 통한 실험 측정 결과를 비교하여 설계 및 시뮬레이션의 신뢰성을 확인 및 최적화 된 렌즈 유형의 Type II에 대해 연구하였다.

2. 광학 설계 및 시뮬레이션

2.1 IESNA 배광 패턴 기준 분석

미국 도로 조명 배광 표준인 IESNA⁷⁾에서는 단일 조명에서 나오는 빛의 분포 패턴에 따라 등급을 Fig. 1과 같이 분류하고 본 연구에서는 IESNA에서 제시하는 Type II에 관한 렌즈 설계를 진행하였다. Fig. 2는 간략하게 Type별 배광 분포를 나타낸 그림이다. Type I는 catenary type lighting, 건물과 건물 사이의 좁은 골목 등에 사용되는 배광 패턴이다. Type II는 좁은 도로, 주택가 등 일반적인 가로등, Type III는 넓은 도로, 공간 및 건물 외곽 조명, 공간 조명 등에 사용된다. Type IV는 perimeter lighting, 투광 등, 보안등 등, Type V는 최근에 균제도 문제를 해결하기 위해 사각 조도를 원하는 공간 조명에 사용된다. 배광타입 조명 기구의 빛의 세기가 앞으로 도달하는 정도인 최대 광도 50%의 점들을 이은 영역의 분포에 따라 Type I은 -1.0~1.0 MH, Type II는 0~1.75 MH, Type III는 0~2.75 MH, Type IV는 0~6.0 MH, Type V는 조사면을 4등분하였을 때, 동일한 값을 가지는 것으로 구별한다.

Distribution range는 측면으로 빛의 분포 패턴이 도달하는 정도 (최대 광도 지점의 위치)에 따라 long은 3.75~6.0 MH, medium은 2.25~3.75 MH, short은 1.0~2.25 MH, very short range는 0~1.0 MH로 나뉜다. Fig. 2는 distribution type과 distribution range를 간략하게 정리한 그림이다.

2.2 광학계 설계법

본 연구는 면광원인 COB LED를 사용하였기 때문에 COB 면적에서 발산되는 광의 균제도를 높이기 위하여 광학계의 first surface를 아이시클 형태로 사용하였다. 내부면은 1차적으로 LED 광원의 광 균제도를 유도하기 위한 것이며, 산과 골이 형성되는 굴곡라인의 형태로 파여진 곡면을 이루되 중심부에 광원인 LED축을 향하는 광 조정 돌기를 포함하고, 원형대칭으로 설계되었으므로 x축 방향 입사 내부면과 y축 방향 입사 내부면 모두에 “ \sim ”의 단면 형상을 가진다.

본 광학계의 1차 front surface 설계 수식⁸⁾은 Fig. 3과 같은 과정에서 유도되었고, 식 (1)의 에너지 intensity 함수인 $g(x_i, \theta_j)$ 으로 시작한다. 여기서 sr은 스테라디안(steradian)이고, P_{imax} 는 x_i 지점에서의 발산되는 램버시안 배광의 Max 수치이다. $h(x_i, \theta_j)$ 는 PSF (point spread function)이다. 식 (1)의 $g(x_i, \theta_j)$ 를 원형의 광원으로 확장시키면 아래의 식 (2)로 표현된다. 여기서 F 는 평면 리시비에서의 광분포함수이다.

$$g(x_i, \theta_j) \Rightarrow \pi sr P_{imax} * h(x_i, \theta_j) \quad (1)$$

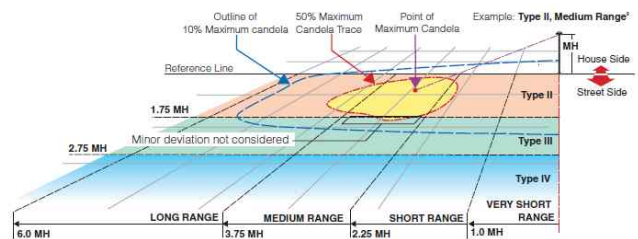


Fig. 1 Grid and light patterns to determine distribution type (Source: KIM LIGHTING, Site roadway optical systems design and application guide)

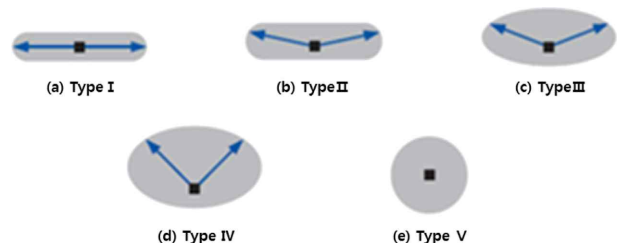


Fig. 2 IESNA lateral light distribution classification types (Source: KIM LIGHTING, Site roadway optical systems design and application guide)

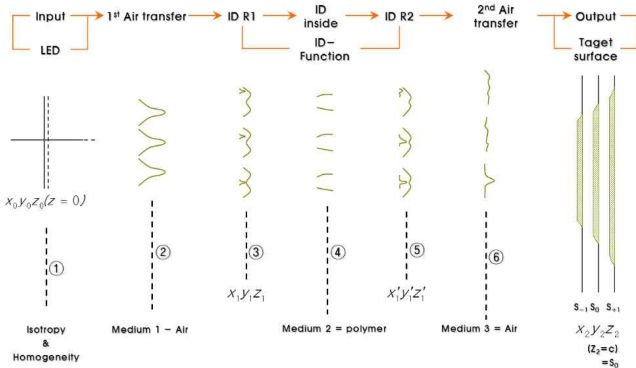




Fig. 3 Design method of optical system

$$F \Rightarrow \int_0^1 \int_0^{2\pi} g(x_i, \theta_j) dx d\theta \quad (2)$$

산과 골이 형성되는 굴곡 라인의 형태로 파여진 곡면이 각 필드 별로 LED의 발산광에 대해 내부 반사와 굴절의 동시 작용을 유도하고, 오목면은 LED의 발산광에 대해 굴절시킴으로써 LED의 발산광을 면광원이 되게 고르게 광 확산시키도록 조정하게 된다.

외부면을 형성하는 자유곡면은 2차 광 확산을 유도하여 타겟 영역을 넓게 조사할 수 있도록 한 것이며, x축 방향의 외부면은 블록형 곡면 중심부에 오목 형태의 파인 골을 갖는 “”의 단면 형상으로, y축 방향 외부면은 “”의 단면형상으로 설계하였다.

일반적인 비구면 렌즈의 경우 even function으로 수식이 정의되며 회전대칭의 형상을 가진다. 그러나 가로등렌즈의 경우 Fig. 4와 같이 차축에 해당하는 영역 Ka, a, 보도에 해당하는 La 지점에 도달하는 광량의 세기가 다르다. 따라서 x축 방향으로 even function로 이루어져 있지만, y축 방향은 odd function으로 정의되어야 가로등에 적합한 배광을 구현할 수 있다. 유한요소해석이 가능한 LightTools 프로그램에서 광 출사외면의 비구면 계수 Type을 식 (3)의 xy polynomial로 설정하여 최적화를 통해 렌즈의 기초 형상을 설계하였다. C_j 는 parameter 값의 변수를 뜻한다. 렌즈의 초기 diameter는 40 mm, thickness는 8 mm로 지정하였다. 또한 Fig. 5와 같이 center thickness 두께에서 최소 5 mm, 최대 12 mm로 제한함으로써 렌즈의 형상이 터무니없이 증가하거나 감소하는 것을 방지하였다. 앞서 언급한 것과 같이 y변수는 방향으로 odd function, x변수는 even function이므로 x, x^3 과 같이 x 의 홀수차항이 포함된 변수의 계수는 모두 0으로 정의하였다. 결과적으로 표의 내용과 같이 8가지의 값들을 최적화 변수로 지정해 주고 mesh merit function을 통하여 최적화를 진행하였다.

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{\infty} c_j x^m y^n \quad (3)$$

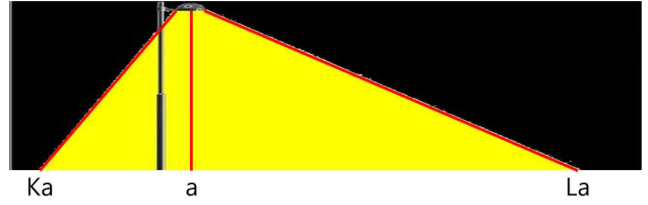


Fig. 4 Different intensity light according to each area

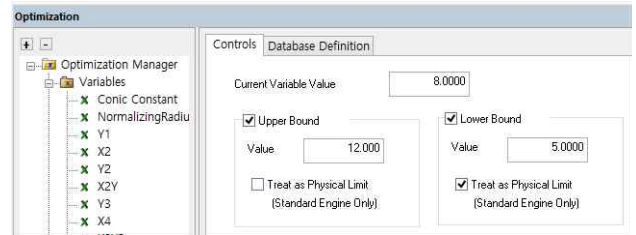


Fig. 5 Bound range of center thickness

Table 1 Optimization variable of optical design

Parameter	Value	Parameter	Value
x	0	xy^2	0
y	-0.0015275	y^3	0.021278
x^2	-0.22711	x^4	0.0088668
xy	0	x^3y	0
y^2	0.0052765	x^2y^2	0.0023359
x^3	0	xy^3	0
x^2y	0.0087439	y^4	0.0024479

$$j = [(m+n)^2 + m + 3n]/2 + 1, r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

여기서, k는 conic constant, C는 curvature로 그 값은 다음과 같다.

$$k = -1.7114e+007, C = 474.87890587$$

2.4 Type II 광학계 설계

가로등 렌즈를 설계할 경우에는 설치되는 조건에 따라 다양한 배광 곡선을 필요로 한다. 광학 설계는 앞서 2.2에서 언급한 것과 같이 내부면은 아이시클형의 형상이며, 외부면은 LightTools 프로그램 내의 최적화를 통하여 설계하였다. 앞서 2.3에서 언급한 광학계설계법은 mesh merit function을 이용하였고, Type II very short, short, medium의 MH 비율로 각각 receiver의 거리 및 크기를 지정하였다. 5 m 거리에서 가로, 세로 5×5 m로 정의하여 Fig. 6(b)와 같이 기울기를 40° 기울여서 receiver를 생성하여 최적화의 타겟으로 지정하였다. 전방으로 뻗어 나가는 빛이 조사되는 조사면이 멀어지게, 조사면이 기울어져 지정하면 결론적으로 Fig. 4와 같이 후방보다 전방으로 뻗어가는 광의 세기가 세지는 배광이

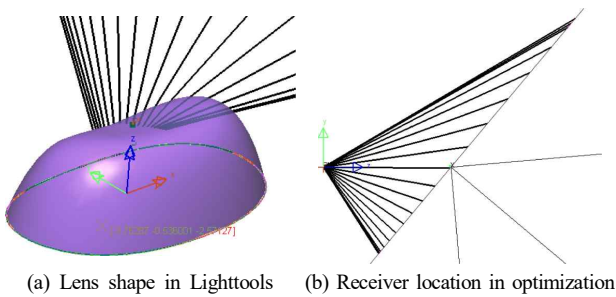


Fig. 6 Optimization process

형성되며 Type II 배광에 접근하였다.

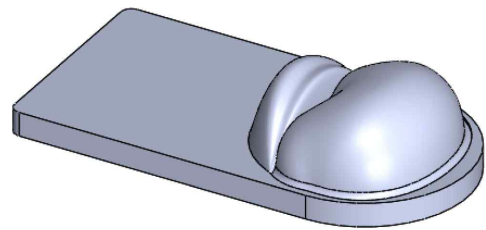
이와 같이 설계한 Type II very short의 렌즈 형상에서 양 옆으로 퍼지는 빛의 양은 같고 전방으로 퍼지는 빛의 각도가 커져야 하므로 변수 x 가 포함된 파라미터는 바꾸지 않고, y 가 포함된 파라미터 값만 최적화 변수로 유지 한 채 리시버의 가로 크기를 5 m 거리에서 5 m, 11.25 m, 18.75 m로 변화시켜 최적화를 진행하였다. 이 리시버의 크기는 Type II very short, short, medium의 MH 비율로 각각 좌, 우로 퍼지는 빛의 비율을 증가시키기 위해 정의하였다. 최적화 된 렌즈의 형상을 Solidworks에서 자유 곡면으로 수정하여 Fig. 7과 같이 Type II short, medium 조건에 각각 맞는 렌즈로 최적화시켰다

앞서 Type II very short, Type II short, Type II medium 렌즈를 설계하였는데 그 중 좌, 우로 퍼지는 범위가 상대적으로 작은 Type II very short의 배광은 다른 배광에 비해서 양옆으로 퍼지는 빛의 비율이 적어 그 빛이 전, 후방으로 몰리다보니 후배광이 강하게 나타난다. 좁은 도로, 주택가의 일반적으로 사용되는 Type II의 특성상 후배광은 최소화 되어야 하므로, Type II very short의 배광에서는 앞서 자유곡면 수식으로 설계한 렌즈형상에 광원 뒤쪽으로 가는 빛의 경로를 반사시켜 전방으로 보내는 살을 덧대었다.

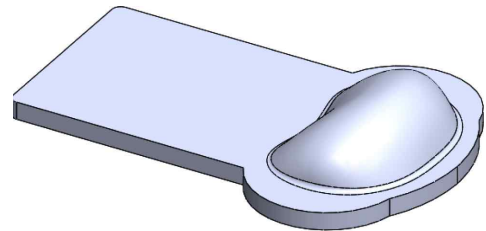
Type II는 조명 기구의 빛의 세기가 앞으로 도달하는 정도가 0~1.75 MH 범위 내에 있고, very short은 측면으로 빛의 분포 패턴이 도달하는 정도가 0~1.0 MH, short은 1.0~2.25 MH, medium은 2.25~3.75 MH 범위 내에 있어야 한다.

2.5 Type II 광학계 광학 성능 시뮬레이션

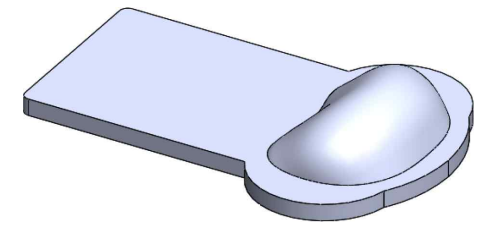
Fig. 8은 배광이 각도에 따라서 어떻게 퍼지느냐를 그래프로 설명한 그림이다. 초록색 선은 점 광원을 중심으로 좌, 우 즉 수평방향으로 퍼지는 것을 나타내었고, 파란색 선은 전 후방으로 퍼지는 배광을 그래프로 표현하였다. 따라서 좌, 우로 대칭으로 퍼지는 가로등 배광에 맞게 초록색선은 좌우 대칭으로 형성이 되고, 상대적으로 앞으로 많이 퍼지는 가로등 배광은 파란색 선을 보면 원점을 중심으로 오른쪽(전방)에 치우쳐 있는 것을 확인 할 수 있다. 3가지 결과 모두 Type II로 전방으로 퍼지는 배광의 각도는 비슷하기 때



(a) Type II very short



(b) Type II short



(c) Type II medium

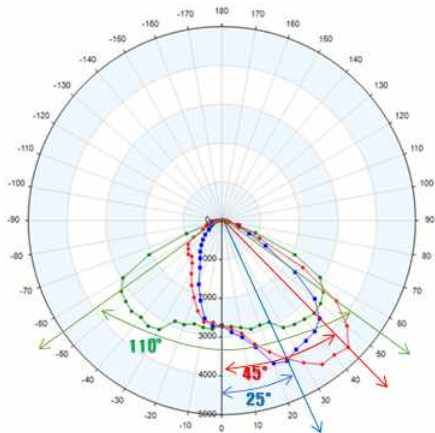
Fig. 7 Type II lens

문에 파란색 선은 25°에서 형성이 되었고, 반면에 very short에서 medium 배광으로 갈수록 110~150°까지 늘어나는 것을 그래프에서 확인할 수 있다.

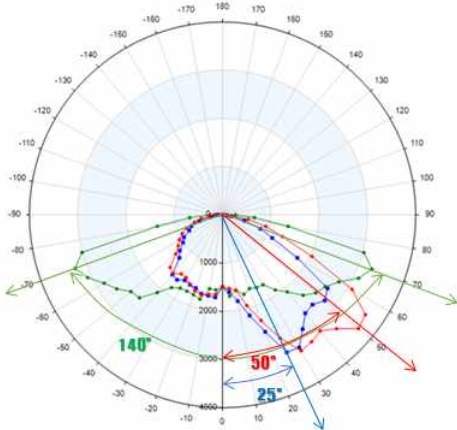
Table 2는 설계한 Type II 렌즈를 cooper photometric을 사용하여 IESNA 분포 패턴을 분석한 표이다. 조명 광원에서부터 지표면까지의 수직면과 수평면을 전체 면으로 인식했을 때 광원에서 수평면으로 50°, 바닥면에서 수직면으로 45°인 위치에서 최고 광도는 Type II very short 렌즈가 4751.48 cd, Type II short 렌즈가 3,713.57 cd, Type II medium 렌즈가 4,105.93 cd이다.

Type II very short 렌즈의 경우 바닥면에서 수직면 90°를 기준으로 최고광도가 130.895 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 1.0%에 해당된다. 또한 바닥면에서 수직면 80°와 90° 사이를 기준으로 한 최고광도는 274.572 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 2.2%를 차지한다. Fig. 9(a)에서 점선은 최고광도 50%를 나타내고 선 ㉠는 street side를 기준선으로 1.75 MH를 나타내며 최고광도 50%가 선 ㉠ 내에 있으므로 Type II이다. +포인트는 최고광도를 나타내고 선 ㉡는 조명기구의 측면을 기준으로 1.00 MH 나타내고 있으며, +포인트가 선 ㉡ 좌측에 위치하고 있으므로 very short range이다.

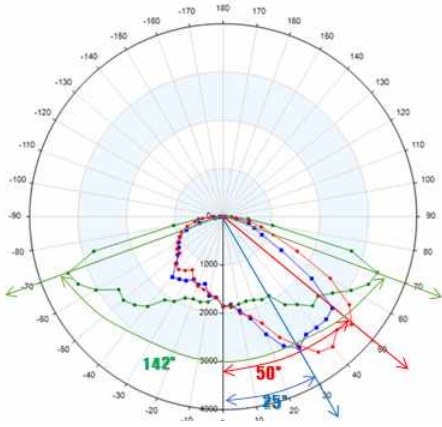
Type II short 렌즈의 경우 바닥면에서 수직면 90°를 기준으로 최고광도는 390.199 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 3.1%에 해



(a) Type II very short



(b) Type II short

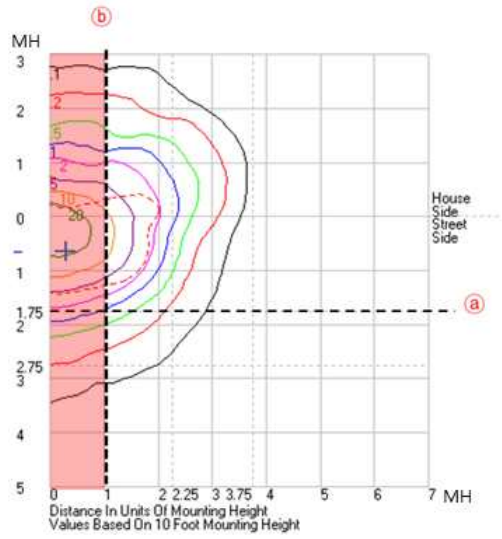


(c) Type II medium

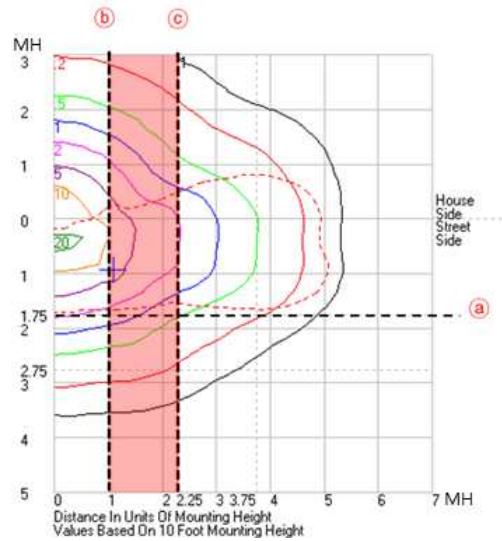
Fig. 8 Light distribution curve of type II lens

Table 2 Simulation data(road report – type II)

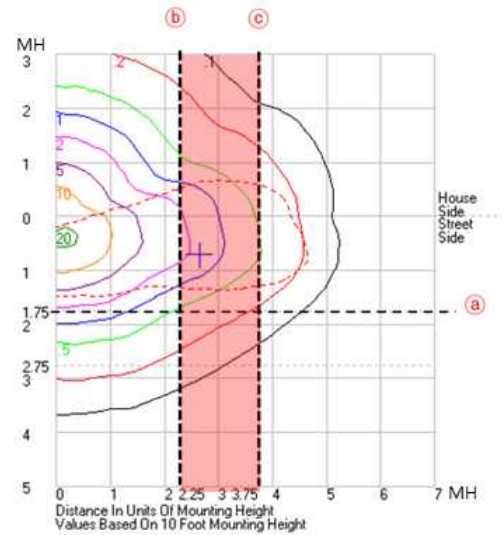
Distribution	Type II very short	Type II short	Type II medium
Max cd	5901.48 (50 H, 45 V)	3713.57 (50 H, 55 V)	4211.17 (75 H, 70 V)
Max cd (At <90 Deg. Vert)	2197.147 (1.0% Lamp)	580.199 (3.1% Lamp)	420.194 (2.9% Lamp)
Max cd (80 to <90 Deg. Vert)	319.678 (2.2% Lamp)	1612.82 (12.4% Lamp)	1311.49 (10.0% Lamp)



(a) Type II very short



(b) Type II short



(c) Type II medium

Fig. 9 Isolines of road type II lens

당된다. 또한 바닥면에서 수직면 80°와 90° 사이를 기준으로 한 최고광도는 1571.82 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 12.4%를 차지한다. Fig. 9(b)에서 점선은 최고광도 50%를 나타내고 선 ㉠는 street side를 기준선으로 1.75 MH를 나타내며 최고광도 50%가 선 ㉠내에 있으므로 Type II이다. +포인트는 최고광도를 나타내고 선 ㉡는 조명기구의 측면을 기준으로 1.00 MH, ㉢는 2.25 MH를 나타내고 있으며, +포인트가 선 ㉡, ㉢ 구간에 위치하고 있으므로 short range이다.

Type II medium 렌즈의 경우 바닥면에서 수직면 90°를 기준으로 최고광도는 365.881 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 2.9%에 해당된다. 또한 바닥면에서 수직면 80°와 90° 사이를 기준으로 한 최고광도는 1272.67 cd를 나타내고 이는 전체 lamp의 10%를 차지한다. Fig. 9(c)에서 점선은 최고광도 50%를 나타내고 선 ㉠는 Street side를 기준선으로 1.75 MH를 나타내며 최고광도 50%가 선 ㉠내에 있으므로 Type II이다. +포인트는 최고광도를 나타내고 선 ㉡는 조명기구의 측면을 기준으로 2.25 MH, ㉢는 3.75 MH를 나타내고 있으며, +포인트가 선 ㉡, ㉢ 구간에 위치하고 있으므로 medium range이다.

3. 실험 결과

앞서 설계한 Type II 렌즈를 적용한 AC COB LED 조명 시제품을 제작하여 그 성능을 실 측정된 뒤 앞의 시뮬레이션 데이터와 비교하였다.

3.1 목업 렌즈 및 조명 시제품 제작

먼저 목업 렌즈의 성능을 평가할 때 사용할 Fig. 10(a)AC COB LED를 제작하였다. AC COB LED는 기존의 전해콘덴서가 있는 SMPS를 사용하지 않고 전력반도체 IC driver를 사용하였다. AC COB LED의 소비전력은 최대 180 W까지 구동이 가능하고, 방열 효율을 향상시키기 위해 PCB 외곽 사이즈를 50 mm로 늘렸으며 초기 특성값은 Table 3과 같이 127 lm/W이다. Fig. 10(b)의 AC IC driver는 AC LED module 전용으로 개발하였고, 정격전압은 220 V로 설계하였다. AC IC driver는 PCB와 diode, fuse, 바리스타로 구성되어 있다.

3.2 성능 분석 평가

Table 4에서 Table 6은 Goniophotometer를 사용하여 AC COB LED 조명 시제품의 조명성능을 측정 후 그 데이터를 앞서 시뮬레이션을 진행했던 데이터와 비교한 표이다. 시제품 성능 측정 결과 목업 렌즈의 성능이 시뮬레이션 데이터와 같이 Type II very

Table 3 AC COB LED specification

Distribution	Spec.
Power (W)	100
Luminous Flux (lm)	12,700
Efficacy (lm/W)	127

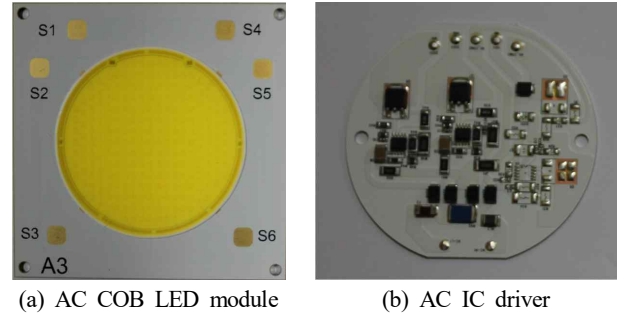


Fig. 10 AC COB LED

Table 4 Measurement data(road report - type II Very short)

Type II very short	Simulation	Measurement data
Total flux (lm)	11,800	11,858
Beam angle (°)	130	125
IES Classification	Type II	Type II
Longitudinal Classification	Very short	Very short
lx @ 8 m	50.1	51.8
lx @ 10 m	36.2	35.3
lx @ 12 m	25.2	24.1
Max cd	5,901.48 (50 H, 45 V)	6,194.96 (60 H, 45 V)
Max cd (At <90Deg. Vert)	197.147 (1.0% Lamp)	242.327 (2.0% Lamp)
Max cd (80 to <90Deg. Vert)	319.678 (2.2% Lamp)	321.651 (2.7% Lamp)

short, Type II short, Type II medium을 모두 만족하는 것을 확인하였다.

시뮬레이션 시 렌즈 재질에 투과율을 지정할 때 90%의 투과율과 10%의 흡수율로 설정하였고, 또한 목업 제품 LED가 조립될 때 방열판 위에 부착되고 그 위에 렌즈가 올려지는데 렌즈에 반사되고 방열판 방향으로 나가는 빛은 알루미늄 재질의 방열판에 부딪힌 후 산란되어 LED 총광속에 기여하므로 알루미늄은 시뮬레이션 조건에서 Lambertian simple scattering으로 설정하였다. 그 결과 총광속과 조도결과, 최대 광도값에서의 미세한 차이가 있었지만, 가공된 렌즈의 정확한 투과율, 가공성에서 발생할 수 있는 렌즈 표면의 오차로 인해 발생한 오차로 판단하였다.

Type II very short, short, medium이 조사면에 비추는 범위를

Table 5 Measurement data(road report – type II short)

Type II short	Simulation	Measurement data
Total flux (lm)	11,800	11,123
Beam angle (°)	150	160
IES Classification	Type II	Type II
Longitudinal Classification	Short	Short
lx @ 8 m	31.2	34.2
lx @ 10 m	21.3	23.0
lx @ 12 m	16.7	16.8
Max cd	3,713.57 (50 H, 55 V)	3,821.77 (75 H, 65 V)
Max cd (At <90Deg. Vert)	580.199 (3.1% Lamp)	575.844 (5.2% Lamp)
Max cd (80 to <90Deg. Vert)	1612.82 (12.4% Lamp)	1555.16 (14.0% Lamp)

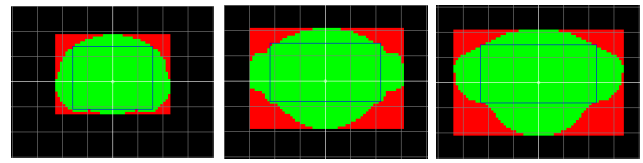
Table 6 Measurement data(road report – type II medium)

Type II medium	Simulation	Measurement data
Total flux (lm)	11,800	10,147
Beam angle (°)	150	150
IES Classification	Type II	Type II
Longitudinal Classification	Medium	Medium
lx @ 8 m	31.1	33.7
lx @ 10 m	25.0	25.3
lx @ 12 m	18.2	19.7
Max cd	4,211.17 (75 H, 70 V)	4,272.85 (75 H, 70 V)
Max cd (At <90Deg. Vert)	420.194 (2.9% Lamp)	476.502 (3.1% Lamp)
Max cd (80 to <90Deg. Vert)	1311.49 (10.0% Lamp)	1350.932 (16.6% Lamp)

Table 7 Fitted rectangular target (Unit: MH)

Direction	Very short	Short	Medium
Forward	1.9	2.1	2.1
Sideward	2.3	3.1	3.4
Backward	1.3	1.9	2.1

조명설치 높이(MH)를 한 칸 단위로 설정하여, 거리를 비교하였다. 또한 Table 7은 Fig. 9에서 각각의 배광이 비치는 영역을 수치화하여 표로 데이터를 작성하였다. 그 결과 그림에서 확인 할 수 있듯이, very short, short, medium으로 변환에 따라, 같은 Type II의 배광이기 때문에 forward의 비율은 1.9, 2.1, 2.1로 유사한 값을 가지지만, sideward로 비추는 범위는 2.3, 3.1, 3.4로 넓어지는 것을 확인 할 수 있다. 앞서 시뮬레이션 결과 중 Fig. 9에서 MH단



(a) Type II very short (b) Type II short (c) Type II medium

Fig. 11 Fitted rectangular drawing

위의 영역에서 최고광도가 비추는 각도의 영역을 십자가로 표현하여, 어떤 지점에 위치되느냐에 따라 Type II very short, short, medium이 결정되는지를 언급하였다. Fig. 11은 최고광도가 비추는 위치가 원점으로부터 수평방향으로 멀어지면서 조사영역이 어떻게 넓어지는지를 비교한다. 그 결과 본 논문에서는 조명의 배광 그래프와, 평평한 조사면에 입사된 영역을 연관지어 비교함으로써 Type II very short, short, medium의 특징들을 비교하였다.

4. 결론

본 연구는 AC COB LED 조명에 IESNA에서 제정한 도로 조명 배광 표준을 적용한 효율적인 광학 설계를 통해 도로용 LED 가로등에 적합한 Type II 배광 설계를 진행하였다.

첫째 렌즈 COB LED를 사용하여 면 광원인 LED를 균제도를 높이기 위하여 내부면은 아이시클 형 모양으로 설계하였다. 둘째 렌즈 외부면은 기존의 회전대칭인 광학렌즈와 달리 가로등 조명용 렌즈는 x, y축으로 각각 even function, odd function으로 정의된다. 이 함수식에 맞춰 xy polynomial 변수를 지정해 주어 유한요소해석 프로그램 LightTools 내에서 최적화를 진행하여 렌즈의 base 형상을 결정하였다. 그 후 3D 프로그램 Solidworks 내에서 렌즈 외부면을 자유곡선으로 수정하여 Type II very short, Type II short, Type II medium 배광을 만족하는 렌즈 데이터를 설계하였다.

Type II의 range를 유지하기 위해, 기존 렌즈 base 형상에서 변수 x의 값만 수정하며 좌우로 퍼지는 범위를 일컫는 very short, short, medium에 따라서 배광그래프가 어떻게 변하고, 평면 조사면에 입사될 때 좌우로 퍼지는 범위가 변하는 것을 확인하여 비교할 수 있었다. Fig. 9를 통해서 배광의 최대강도가 찍히는 위치를 계산하여 1 MH까지는 very short, 1 MH부터 2.25 MH까지는 short, 2.25 MH부터 3.75 MH 사이에는 medium의 결과가 나오는 것을 확인하였다.

또한 이러한 range 범위에 조사면에 비추어 질 때 조사되는 영역의 넓이를 비교하여 같은 Type II를 가지는 배광이 forward로 쏠어나가는 비율은 1.9, 2.1, 2.1로 유사하였고, 반면에 sideward의 비율은 2.3, 3.1, 3.4로 range 범위가 점점 늘어나는 것을 확인하였

다. 최종적으로 설계 및 시뮬레이션 데이터와 실제 목업 광학계 제작을 통한 실험 측정 결과를 비교하여 설계 및 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하였다.

References

- [1] Korea Energy Agency, 2016, 2016 Energy Statistics Handbook, Korea Energy Agency, p. 310.
- [2] Lee, S. W., Lee, C. S., Hyun, D. H., 2013, A Study on Aspheric Optics European LED Streetlights Type for the Prevention of Light Pollution, Journal of the KSMTE 22:3 429-436.
- [3] Han, J. M., Seo, I. J., Ahn, Y. M., Ko, Y. S., Kim, T. H., 2014, Thermo-ompression Process for High Power LEDs, Journal of the KSMTE 22:4 355-360.
- [4] Hyun, D. H., Cha, I. H., 2015, LED Lighting Development and Design, Samchang Media, South Korea.
- [5] Park, S. M., Park, S. J., Ko, J. H., 2013, AC LED driver IC research trends, The Proceedings of the KIEIE. 27:4 4-12.
- [6] Kim Lighting., n.d., Optical Systems Design and Application Guide for Site and Roadways, Architectural Record. 12:5 263-273.
- [7] Kim Lighting, 1999, SITE/ROADWAY Optical Systems Design and Application Guide, 2-3, 8-9.
- [8] Noh, M. J., 2011, The Study of LED Indoor Light with ID-function, Master Thesis, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.