

AC DOB 기술을 적용한 LED 가로등의 조명 성능

권순필^{a*}, 이수영^a, 유경선^a, 현동훈^a

Light Efficiency of LED Street Light Using AC DOB Technology

Sun-Pil Kwon^{a*}, Soo-Young Lee^a, Kyung-Sun Yoo^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	9	May	2016
Revised	8	June	2016
Accepted	14	June	2016

Keywords:

AC LED PCB
Luminous intensity uniformity
Street light
LED lens
Average luminance
LED efficiency

ABSTRACT

This research attempted simplifications to the LED street light for price competitiveness. The street light was simplified by replacing the SMPS with an IC driver on the PCB using an AC-type LED. The optical element that shape of a line-shaped lens covered LED crowded. Thus, this study aims to improve LED efficiency by using the minimum optical system. In order to satisfy the M3 regulation of street lighting at grade, the lens was divided into two parts depending on the forward direction of the light. Further, the changes in the number of LEDs located on part 1 and part 2 of the lens were analyzed. Through simulation, we determined the proper light distribution that meets M3 regulation of street lighting.

1. 서론

신 광원으로 주목받고 있는 LED는 최근 들어 LED 발광 효율이 향상되면서 조명기구로서 활발히 개발되고 있으며, 실외 조명 기구의 광원으로 점차 그 사용범위를 넓혀가고 있다^[1]. LED 가로등 시장이 넓어졌다고는 하나, 국내·외 LED 가로등이 비싸고 고장이 잦아 전 세계 지자체에서 LED 가로등으로 교체가 적극적이지 못하다. 또한, 전 세계적으로 LED 조명의 가격이 고가여서 시장 활성화의 한계에 부딪히고 있다. 미국 DOE(에너지청)에 따르면 LED조명 OEM 가격을 klm당 16.5달러를 달성하여야 시장이 열린다고 보았으나 국내 LED 가로등의 경우 klm당 60~120달러로 도저히 기존 가로등에 비해 가격 경쟁력이 없다. 따라서 본 논문에서는 국내 기술에 의한 AC LED조명이라는 새로운 기술로

klm당 16.5달러 미만의 LED 가로등 개발을 목표로 한다.

LED를 조명 용도에 효율적으로 적용하기 위해서는 조명 공학적 목표 배광을 설정하고, 이를 실현하기 위한 광학설계 및 광효율 극대화 기술이 필요하다. LED 소자의 광 분포는 지향성을 갖고 있기 때문에 LED 소자를 이용한 조명 제품들이 원하는 조명 성능을 얻기 위해서는 광학 소자 사용이 필요하다. 일반적으로 광학 소자는 반사경, 렌즈 혹은 이들의 조합 형태로 구현됐으며, 최근 LED 조명 제품의 저가격화 추세에 따라 광학 소자의 단순화 및 고성능화에 대한 요구 수준이 높아지고 있다. 또한 광학 소자의 단순화는 복잡한 광학 소자로 인한 광효율 저하를 극복하는데 매우 중요한 요소이다^[2].

도로 조명의 설계 시 조명기구의 선정은 도로 조명의 질을 결정하는데 매우 중요하다. 광학계 설계는 휘도와 균제도 클레어 등에

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

Fax: +82-31-8041-1786

E-mail address: feeling0417@hanmail.net (Sun-Pil Kwon).

대하여 규정된 조건을 달성하는 것을 목표로 이루어지며 도로 조건에 적합한 배광을 갖는 기구를 사용하지 않을 경우 원하는 조명기준을 만족하지 못하는 상황이 발생할 수 있다^[3].

본 논문에서는 기존 가로등에 AC형 LED를 적용하여 부품을 단순화시키고, 광학 소자는 렌즈만을 사용하여 선행연구에서 개발한 단순화된 라인형 렌즈를 이용하여 도로폭 3.5 m, 높이 10 m, 조명간의 간격 24 m 양쪽에서 마주보는 배열로 가로등을 설치하였을 때, 도로 조명 M3 등급에 부합하는 배광을 갖도록 하였다. 선행연구에서 개발한 라인형 렌즈를 전·후방으로 퍼트리지는 부분과 좌·우측으로 퍼트리지는 2가지 부분으로 나누어 해당되는 렌즈부분에 배치되는 LED 갯수에 따라서 달라지는 배광을 분석하여 도로 조명 M3 등급에 적절한 배광성능을 구현하고자 하였다^[4].

2. 본 론

2.1 AC LED Module 선정

AC DOB LED 가로등은 AC Direct IC 회로 구동 방식으로 LED Vf가 높은 것을 사용하여 LED의 수량을 적게 사용할 수 있게 하였다. DOB란 driver on board를 가리키며 LED에 동력을 공급해주는 SMPS를 대체한 IC Driver가 PCB위에 올라간 LED Module 형태를 말한다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 높은 광효율과 Vf로 Fig. 1에 보이는 서울반도체 MJT5050 LED를 선정하여 사용하였다. 기존의 DC 구동 LED 조명은 SMPS가 power supply 역할을 하여 LED의 전력을 결정하였다. SMPS란

Table 1 MJT5050 datasheet

Parameter	Symbol	Value		Unit
		Min	Typ	
Luminous flux	Φ_v	154	180	lm
Foward voltage	Vf	60	63	V

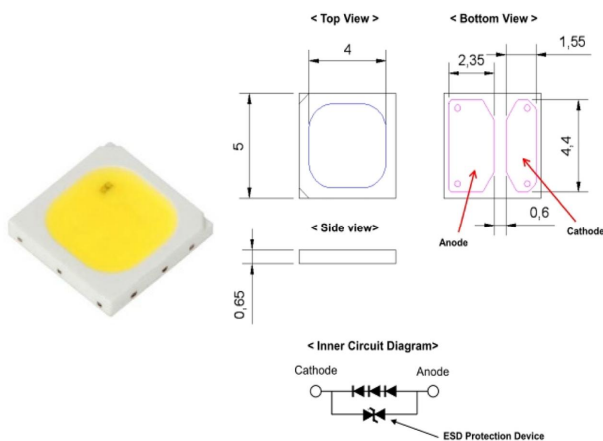


Fig. 1 Seoul semiconductor MJT5050 (SAWOLHOA)

switched mode power supply의 약어로 반도체 스위치 소자의 온 오프 시간비율을 제어하여 출력을 안정화시킨 직류 안정화 전원장치이다. 따라서 모든 LED 조명은 SMPS가 필요한 반면 AC Direct IC 회로 구동방식의 AC LED PCB는 SMPS를 PCB 위에 IC 회로로 대체하여 조명의 크기를 축소시켰다. MJT5050 LED chip을 이용하여 LED를 일정한 간격으로 배열하여 Fig. 2와 같이 60 W AC LED PCB를 설계하였다. 이 60 W PCB를 연달아 heatsink에 부착함으로써 인해 60 W, 120 W, 180 W 3가지의 전력을 출력할 수 있다.

2.2 광학계 설계

렌즈설계는 KS 인증에 맞추어 도로 조명 등급 M3를 목표로 설계를 진행하였다. M3 등급은 단순한 선형 자동차 전용도로에 주로 적용되는 등급이다. 앞서 서론에서 언급하였듯이 일반적으로 광학 소자는 반사경, 렌즈 혹은 이들의 조합 형태로 구현되어 왔다. 그러나 조합이 복잡해질수록 광효율이 낮아져 광학 소자의 단순화는 광효율 저하를 극복하는데 매우 중요한 요소이다.

본 연구에서의 AC LED PCB는 다수의 LED chip이 간격 배열되어 있어 하나의 LED 군집을 이루고 있다. Fig. 3(b)에 보이는 것과 같이 렌즈는 상기 LED군집의 형상에 대응하는 띠 구조로 LED 군집을 커버하도록 형성되어 다수의 LED가 하나의 단일 광원이 되게 하는 LED 군집의 배광 제어용 광학산 렌즈이다. 본 연구의 렌즈는 이와 같이 LED 군집을 하나의 렌즈로 배광 제어할 수 있도록 하고 최소한의 광학계를 이용하였기에 광효율을 증대시키고 양산성까지 만족할 수 있도록 한 장점을 가지고 있다. 또한 기존의 POB type의 광학계의 경우는 chip마다 렌즈를 적용하였

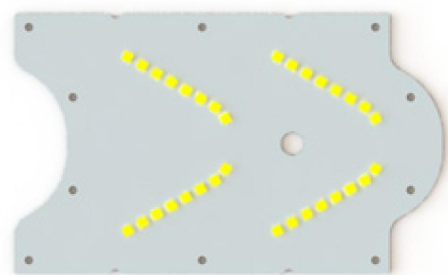
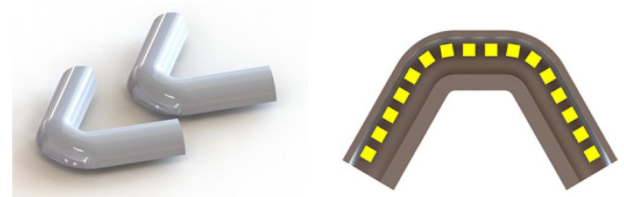


Fig. 2 AC LED PCB



(a) Design of lens (b) Lens that covers the LED
Fig. 3 Lens shape

기 때문에 렌즈 간에 간섭되어 yellow 패턴이 생겼다. 이런 단점을 해결하기 위해 LED 배열을 따라 라인형 렌즈를 설계하여 간섭되는 것을 방지해 yellow 패턴을 감소시켰다. 렌즈의 재질은 광효율을 최대화하기 위하여 투과율이 우수한 PMMA 재질을 이용하였다.

2.3 광학계 시뮬레이션을 통한 분석

렌즈설계의 목표는 높이 10 m, 차선폭 3.5 m를 가지는 왕복 4차선 도로에 마주보는 식으로 배열을 하여 M3 등급을 만족할 수 있도록 세웠다. 마주 보는 배열로 4차선 도로에 설치를 해야 하므로 전방으로는 약 2차선 정도의 범위까지, 좌, 우로는 최대한 넓게 퍼트려 옆에 설치된 조명이 비추는 범위까지 도달하여, 도로의 균제도를 넓혀야 한다. 이러한 광학계 설계를 위해서 렌즈 모양을 V자형상으로 만들었다⁴⁾. 양쪽으로 뻗어있는 대각선 형상의 직선 구간이 빛을 양 측면으로 퍼트리게 하는 요소이고, 중심 부분에 일자구간은 빛을 전, 후방으로 나가게 하는 부분이다. Fig. 4와 같이 렌즈 배광제어 요소를 2가지로 나누어서 제한적인 LED chip개수와 일정한 간격의 배열에서 빛을 전방으로 보내는 일자구간의 길이와 대각선 형상의 길이를 조정해가며 시뮬레이션을 진행하였다. LED는 중심으로부터 양옆 대칭구조이고 9 mm의 일정한 간격으로 렌즈라인을 따라서 배열되었다. 렌즈의 X 길이가 증가한다면 LED의 배열이 그만큼 일자구간에서 증가하여 양쪽으로 뻗어있는 대각선 형상에서 종속적으로 감소하기 때문에 변수는 렌즈 일자구

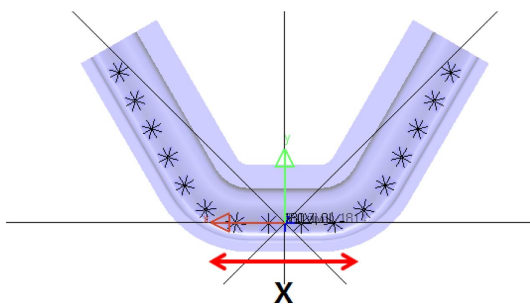


Fig. 4 LED array based on the lens shape

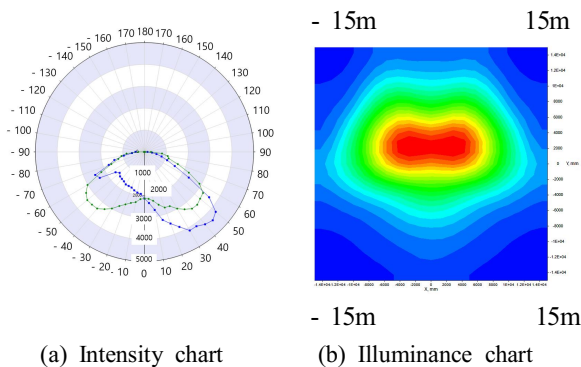


Fig. 5 Result of simulation at X/2=5 mm

간인 X만 선정하였다.

시뮬레이션은 3D 설계가 가능한 Solidworks를 이용하여 렌즈의 형상을 설계하고, 조명 시뮬레이션이 가능한 LightTools에서 렌즈의 3D 형상을 불러와 진행하였다. LED 효율은 105 lm/W로 지정하여 120 W의 가로등을 구현하고자 Fig. 4에 보이는 LED 군집의 렌즈를 한 그룹으로 보았을 때 일렬로 네 그룹을 나열하였다. 총 광속 12,600 lm, 4차선 도로의 총 너비 14 m, 높이는 10 m 가로등 간격은 24 m로 마주보는 배열을 시뮬레이션 조건으로 설정하였다. LED가 빛을 전방으로 보내는 일자부분의 길이를 X (mm)라고 하였을 때, X/2의 길이가 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm로 총 4차례의 시뮬레이션을 수행하였다.

Figs. 5-8 중 왼쪽의 차트가 광도차트로 입체로 퍼지는 빛의 배광을 모두 일정한 거리에서 각도 별로 나누어 0도, 90도의 빛의 형상과 광도를 나타낸 것이다. 그래프에서 대칭으로 퍼져있는 초록색 선은 빛이 양옆으로 퍼지는 수평방향으로의 배광곡선을 나타내었고, 파란색 선은 가운데 선을 기준으로 오른쪽으로는 전방으로 왼쪽으로는 후방으로 퍼지는 빛의 배광을 그래프로 표현하였다. 오른쪽의 차트는 빛을 쏘았을 때 조명면의 조도 분포를 계산하였으며, 가로등이 달리는 높이와 동일한 10 m 거리에서 검출기(receiver)를 배치하였고, 검출기의 크기는 30×30 m² 검출기 영역은 30×30개의 pixel로 분할하였다. 이와 같은 조건에서 illumi-

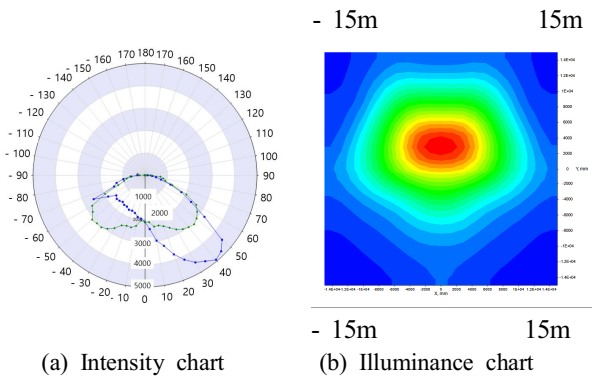


Fig. 6 Result of simulation at X/2=10 mm

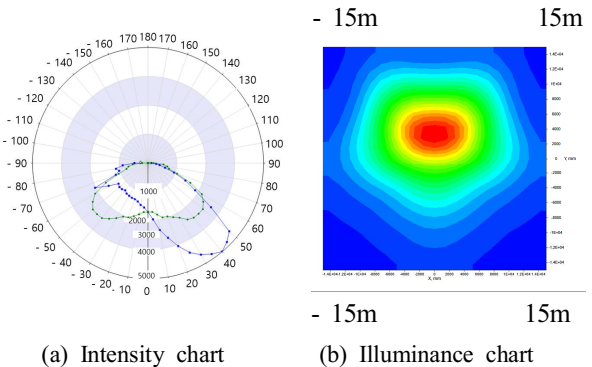
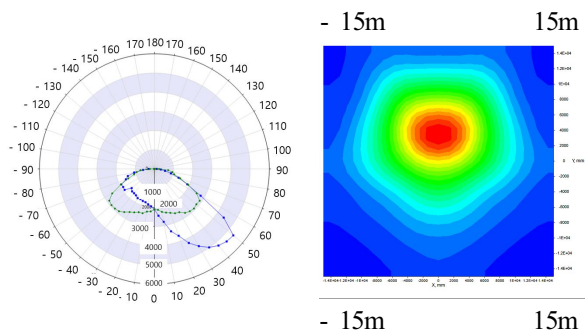


Fig. 7 Result of simulation at X/2=15 mm



(a) Intensity chart (b) Illuminance chart
Fig. 8 Result of simulation at X/2=20 mm

nance chart는 빛이 노면에 닿을 때 조도 비율을 색깔로 나타낸 것이다. 빨간색이 가장 높은 조도를 나타내고 노랑, 초록, 파란색 순으로 조도의 세기를 보여준다.

Intensity chart 결과의 각도에 따른 광도의 변화를 그래프로 도 시하였다. Fig. 9는 앞의 intensity chart에서 초록색 선을 각도에 따른 광도변화를 정리한 것이고, Fig. 10은 intensity chart에서 비 대칭형의 전방으로 퍼지는 빛을 각도에 따라서 광도가 변화는 값을 정리한 그래프이다. Intensity chart의 양옆으로 퍼지는 대칭형의 곡선이 X값이 증가함에 따라서 가운데의 움푹 들어간 모양에서 점 점 고르게 퍼지게 되고, 양옆으로 퍼지는 정도가 줄어드는 것을 확 인할 수 있다. Fig. 9로부터 0-10° 때의 광도는 비슷하게 시작하였 으나, 각도가 증가함에 따라서 X값이 가장 작은 5 mm 때가 최대 광도가 가장 강하였고, X값이 커질수록 최대 광도는 감소함을 확 인할 수 있었다. 광도가 최대일 때의 각도를 반치각이라 칭하며, 이 반치각의 2배를 수평의 배광각도라고 한다. Fig. 10에 따르면 X값이 증가할수록 최대광도 포인트가 점점 왼쪽으로 이동하며 배광각도가 줄어들고 있다. 좀 더 정확한 배광각도를 읽기 위하 여 시뮬레이션 값들의 정보를 가진 IES파일을 추출하여 cooper toolbox를 이용하여 배광곡선을 분석하였다. IES란 illuminating engineering society에서 공식적으로 조명정보에 대한 정보를 정 의한 값이다.

분석 결과, Fig. 7(a)의 X 거리가 5 mm에서는 배광각도가 115°, Fig. 8(a), Fig. 9(a), Fig. 10(a)에서 차례로 100°, 98°, 95°로 배 광각도가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 0°일 때의 광도가 일정 한데 반하여, 각도가 커질수록 광도는 줄어들고, 그로 인해 배광각 도가 줄어들었다. 그 결과 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10의 illuminance chart에서 보았을 때 배광각도가 작아짐에 따라서 빛 이 퍼지는 범위가 줄어들고, 최대 광도가 약해지면서, 양옆으로 퍼 지는 빛의 조도 역시 약해지는 것을 확인할 수 있다. Intensity chart의 비대칭 모양의 곡선은 빛이 전, 후방으로 퍼지는 배광을 보여준다. Chart에서 0°를 기준으로 왼쪽이 후방으로 나오는 빛,

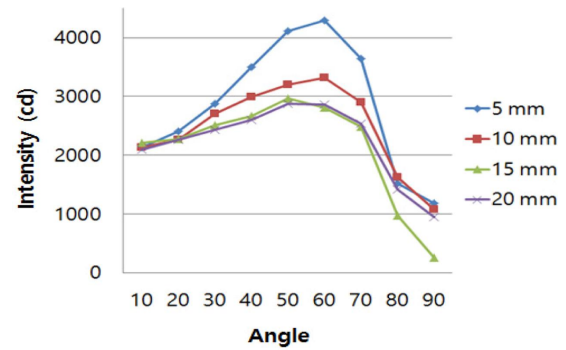


Fig. 9 Intensity change with angle (Horizontal beam)

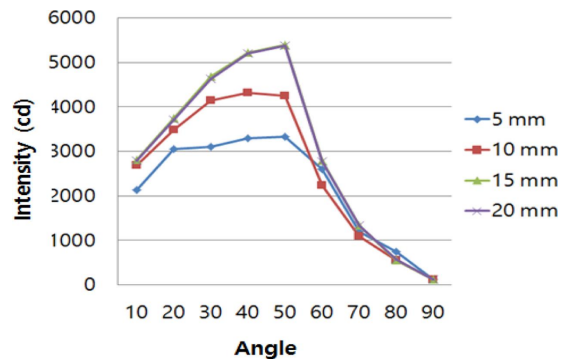


Fig. 10 Intensity change with angle (Vertical beam)

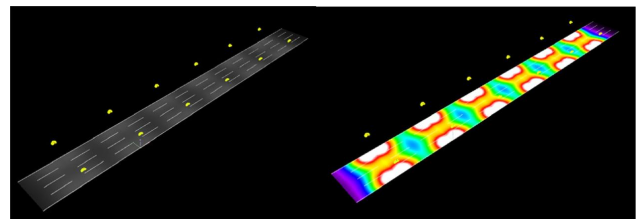


Fig. 11 3D Luminance distribution at DIALux

오른쪽은 전방으로 나가는 빛을 나타낸다. Intensity chart에서 볼 수 있듯이, X값이 커지면서 전방으로 나가는 빛의 세기가 강해져, X/2 값이 20 mm이면 좌, 우로 퍼지는 빛의 광도에 비해 2배 가가 이 강한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10과 비교했을 때, 0-10° 때의 광도 역시 비슷하게 시작하 였으나, 각도가 증가함에 따라서 X/2 값이 가장 큰 20 mm일 때의 최대 광도가 가장 큰 값이었고, X값이 작아질수록, 최대 광도 값은 감소하였다. 그러나 수평의 배광곡선과는 달리 Fig. 11에선 최대 광도가 4가지의 시뮬레이션 결과 모두 50° 근처에 포진되어 있다. X가 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm일 때 모두 전방으로 뻗어나 가는 빛의 각도는 비슷하고, 광도에서의 차이만 확인할 수 있었다.

렌즈중심의 일자부분인 X 길이가 증가하면서, 렌즈 양옆의 대각 선 모양에 배치되는 LED 개수는 적어진다. 시뮬레이션 분석결과, X 길이가 증가함에 따라 배광각도가 감소하면서 빛이 양옆으로 퍼 지는 범위가 줄어들며, 광도도 약해진다. 대각선렌즈에 배치되는

LED가 중심의 일부분으로 대치되면서 좌, 우로 약해진 빛들이 전방으로 퍼지게 하는 렌즈의 제어를 받게 되었다. 그래프에 따르면 전방으로 퍼지는 빛의 각도는 큰 차이가 없고, 광도만 증가하므로, illuminance chart에서 보이는 대로 앞, 뒤로는 비슷한 범위의 조도 분포가 보이고 조도 세기만 강해진다.

2.4 조명 시스템 시뮬레이션

조명 시스템 시뮬레이션은 X/2의 길이에 따라 4가지로 설계한 렌즈가 기존의 목표한 도로 조명에 사용되었을 때 배광분포가 도로 균제도와 휘도의 어떤 관계를 미치는지 알아보고 도로 조명 M3 등급에 부합하는지 알아보기 위하여, 도로 조명 시뮬레이션이 가능한 DIALux를 이용하였다. Fig. 12와 같이 차선의 폭이 3.5 m인 도로에 왕복 4차선 중앙 분리대까지 총 14 m 너비의 4차선 도로에 가로등 높이 10 m, 가로등 간 거리 24 m로 조명을 배열하여 시뮬레이션을 진행하였다.

도로 조명에서의 조명 계산은 아래에 나타난 광속법의 계산식에 의해 실시한다.

$$L_{avg} = \frac{F \times U \times M \times N}{S \times W \times K} \quad (1)$$

L_{avg} : 평균노면휘도

F : 총광속(12,600 lm)

U : 조명률

M : 보수율

N : 배열계수 (마주보기 배열은 N=2)

S : 조명기구 간격(24 m)

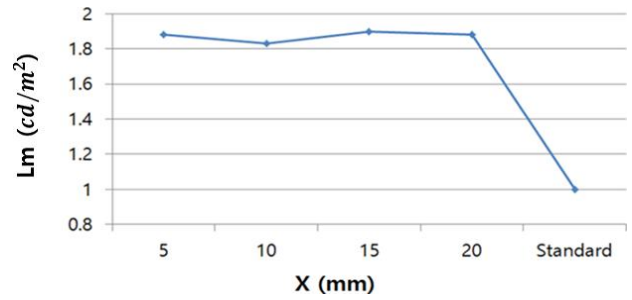
W : 도로폭

K : 평균조도 환산계수(lx/cd/m²)^[5]

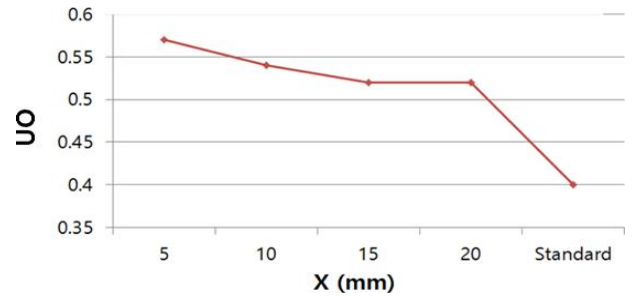
이와 같이 평균 노면휘도 L_{avg} 를 정의한다. 조명률은 전 광속에 대한 피 조명면적 내에 도달한 광속의 비율을 의미하며, 조명기구, 설치높이, 도로 폭에 따라 결정된다. 보수율은 조명시설은 광원의 총 광속이 줄어들어 노면의 휘도, 조도가 설치 초기 값보다 점차 감소하게 된다. 이 감소의 정도는 도로구조, 교통 상황 등에 따라 산정요인 별 계수를 곱하여 보수율이 산정된다. LED 조명기구의 보수율은 0.75의 값을 표준으로 하여 0.75의 보수율을 지정하였다.

균제도는 평균 조도치에 대한 최소 조도치로 빛이 어느 정도 균일하게 도로에 퍼지는가를 보는 기준이며 배광곡선과 실측으로 측정하며 종합 균제도는 노면휘도 분포의 균일한 정도를 나타내는 휘도의 비를 나타낸다.

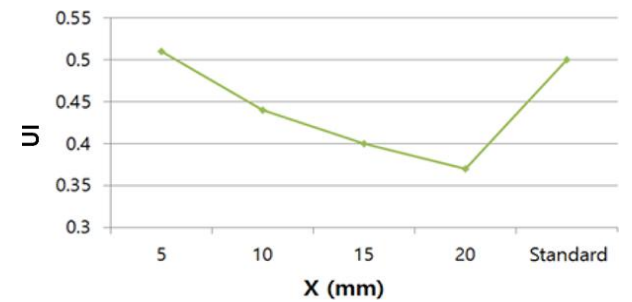
$$Uniformity = \frac{L_{avg} [5]}{L_{min}} \quad (2)$$



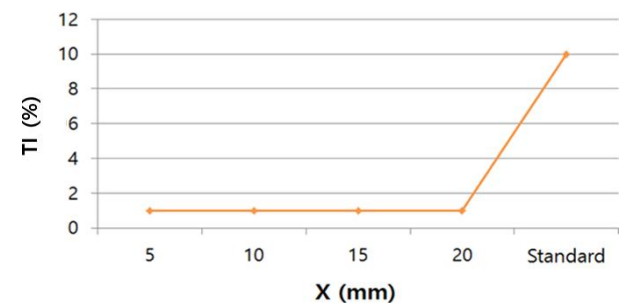
(a) Variation of Lm with length X/2



(b) Variation of UO with length X/2



(c) Variation of UI with length X/2



(d) Variation of TI with length X/2

Fig. 12 Result of DIALux with X/2

또한 T_I 는 도로 위 운전자가 주행 중에 눈에 느끼는 눈의 눈부심 정도이다. 다음 식과 같이 정의된다.

$$T_I = 65.275 \frac{L_{veil}}{(L_{avg(roadsurface)})^{0.8}} \quad (3)$$

T_I 의 도로 조명 규격은 10 이하이고, 4가지 시뮬레이션 결과 모두 T_I 값이 15 이하를 만족하는 값을 얻었다.

Table 2 Results overview of DIALux with M3 standard⁶⁾

Contents	5	10	15	20	Standard
L_{avg}	1.88	1.83	1.9	1.88	≥ 1.0
U_O	0.57	0.54	0.54	0.52	≥ 0.4
U_I	0.6	0.54	0.5	0.47	≥ 0.6
T_I	13	13	13	13	≤ 15

도시한 그래프를 보면 차선 축 조도균제도와, 종합 조도균제도에 X의 길이가 증가함에 따라 균제도가 감소하고 있다. 앞서 LightTools의 시뮬레이션 결과 배광곡선을 분석하였을 때 X가 커지면서 전방으로 퍼지는 빛의 각도는 비슷하지만 광도가 세지며 좌, 우로 뻗는 빛의 각도가 줄어들며 퍼지는 범위가 줄어드는 것을 확인하였다. Fig. 11에서 보듯이 조명은 4차선도로에 양쪽 끝에서 마주보며 간격배열을 설정하였다. 조명 1개가 전방으로 약 2차선도로 폭의 범위를 비추기 때문에 마주보도록 조명을 배열을 하여 육안으로 보았을 때 도로 폭간의 조도분포는 균일하게 보이지만 조명 좌, 우로 퍼지는 빛의 범위가 줄어들면 조명이 옆으로 퍼지는 범위가 그 다음조명의 범위까지 미치지 못하여 도로상에 균일하지 않은 노면이 발생한다. Fig. 12(c)의 도로 길이 방향으로 도로노면이 얼마나 균일한지를 보여주는 차선축 균제도를 보았을 때 X가 커질수록 빛이 배광각도가 작아져 도로 길이 방향으로 빛을 멀리 보내는 길이가 줄어들어 균제도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 조건에서 도로의 폭과 가로등 설치 간격을 일정하게 설정하였다. 4가지 시뮬레이션의 경우 마주보기 배열을 했으므로 배광각도가 작아질수록 도로 길이방향으로는 조도가 균일하지 못한 노면이 생겨 차선축 균제도 기준을 만족하지 못한다.

3. 고 찰

본 연구에서 진행한 시뮬레이션을 바탕으로 최적의 결과 값을 가지는 LED 배열 PCB와 조명렌즈를 Fig. 13과 같이 mock-up 제품으로 제작하여 성능평가를 하였다. 측정결과를 바탕으로 이전과 같은 조건으로 시뮬레이션을 진행하였다. Table 3으로부터 X/2의 거리가 5일 때 시뮬레이션 결과와 실제 mock-up 결과를 보았을 때 전체적인 값들이 시뮬레이션 결과에 비해 소폭 줄어든 것을 확인할 수 있다. Mock-up 렌즈의 결과 톨 마크와 실제 렌즈재질의 투과율이 적용됨에 따라서 휘도 값이 떨어진 것으로 유추할 수 있다. 측정결과를 바탕으로 한 시뮬레이션 결과 역시 도로 조명 M3 등급에 부합하는 결과를 확인하였다.



Fig. 13 Mock-up lens and PCB

Table 3 Results Mock-up PCB & Lens

Contents	5	Mock-up	Standard
L_{avg}	1.88	1.8	≥ 1.0
U_O	0.57	0.52	≥ 0.4
U_I	0.60	0.55	≥ 0.6
T_I	13	13	≤ 15

4. 결 론

본 논문에서는 기존 가로등에 AC형 LED를 적용하여 부품을 단순화시켰다. AC형 LED를 적용함에 따라 LED의 전력을 역활을 하는 SMPS를 AC LED PCB판위에 IC Driver로 대체하여 제품의 단순화, 경량화로 가격 경쟁력을 증대시켰다. 또한 광학소자는 렌즈만을 사용하여 선행연구에서 개발한 라인형 렌즈로 광학소자를 단순화시켜 광효율을 최대화하였다. 라인형 렌즈에서 빛을 전, 후방으로 보내는 부분과, 좌, 우로 퍼지게 하는 부분으로 나누었다.

4차선 도로의 노면의 균제도를 높이기 위해 빛의 제어방향이 나누어진 렌즈부분에서 빛을 전방을 보내는 부분의 길이를 X라 칭하고 X/2길이를 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm 와 같이 정하고 그의 비율에 따라 대각선의 길이가 다른 4가지 렌즈의 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 X/2길이가 5 mm일 때 L_{avg} 는 1.88, U_O 는 0.57, U_I 는 0.6, T_I 는 13의 값이 나오며 KS규격에 의거한 도로 조명 M3 등급에 부합하는 렌즈를 설계하였다. 시뮬레이션 조건에서 조명을 마주보기 배열하여, 차선축 균제도를 뜻하는 U_I 조건에 부합하기 위해선 빛이 좌, 우측으로 멀리 퍼져야 한다. 따라서 제시한 intensity chart와 illuminance chart를 확인해 보았을 때, 양 측면으로 가장 넓게 퍼진 X/2의 길이가 5 mm일 때 평균노면휘도, 종합균제도, 차선축 균제도, 최대허용치 TI까지 모두 기준에 만족하여 기준에 목표하였던 도로폭 3.5 m, 높이 10 m, 조명간의 간격 24 m, 양쪽에서 마주보는 배열로 가로등을 설치하였을 때 도로 조명 M3 등급에 부합하는 배광을 가진다.

References

- [1] Choi, S. H., Song, S. M., Kim, D. N., 2011, The Feasibility of LED Lighting as the Street Light's Lighting, Architectural Institute of Korea, 27:9 65-72.
- [2] You, I. H., 2015, The Design and the Analysis of a LED Lens For Forming a Uniform Illumination on an Illuminating Plane, The Korea Institute of Information and Communication Engineering, 19:4 954-964.
- [3] Jeon, S. H., 2015, A study on Selection Method of Light Distributions of LED Lightings by Road Structure, A Thesis for a Master, Gangwon University, Republic of Korea.
- [4] Noh, M. J., Hyun, J. W., 2015, Light Diffusing Lens for Luminous Intensity Distribution Control of LED Groups, and LED Groups Illuminant Included the Same, KS Patent: 1020130128962.
- [5] Lee, M. W., 2006, LED Road Lighting Design in Highway, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 29:3 3-8.
- [6] KS, viewed 24 Jun. 2014 Road lighting standard, KS A 3701.