

21 W LED 엔진을 이용한 150 W급 가로등의 최적설계

신왕수¹, 이승민¹, 김범수², 박대희^{1,a}

¹ 원광대학교 정보통신공학과

² 송백 E&S

150 W LED Streetlight Optimal Design Using 21 W LED Engine

Wang-Soo Shin¹, Seung-Min Lee¹, Beom-Su Kim², and Dae-Hee Park^{1,a}

¹ Department of Information & Communication Engineering, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

² Song-Back E&S, Iksan 54531, Korea

(Received November 25, 2015; Revised December 10, 2015; Accepted December 18, 2015)

Abstract: In this paper, the IES file was measured by applying a secondary optical lens to a 21 W LED engine, and the lighting calculation software RELUX was used to perform simulations with the data file of this measurement. For two-lane (two way) concrete paved roads, six LED engine are applied to each streetlight and simulation results show that U_0 (uniformity) 0.56, U_l (longitudinal uniformity) 0.86 and TI (threshold iIncrement) 9% which satisfies the required standards. RELUX was also used to LED streetlights by designing them in three dimensions, that is $\pm 25\%$ of the arm length of 2.8 m standardized by the road lighting standards of the Korea Expressway Corporation. Comparative analysis was carried out on adjustments were made in increments of 0.1 m that U_0 , U_l , and TI values in the range of arm lengths from 2.1 m~3.5 m. For the arm length range of 2.1 m~2.4 m, U_0 was high, whereas U_l was low. Therefore, we present the optimal light distribution values designed for an arm length of 2.5 m.

Keywords: LED, Secondary optical lens, Optimization design, Streetlight, Arm length

1. 서 론

안전한 도로설계는 설계자의 의도와 도로를 주행하는 운전자의 인지가 일치하는 경우에 형성된다고 할 수 있다. 일치가 이루어지지 않으면, 사고발생 확률은 높아지게 되며, 운전자는 피로, 불쾌감, 불안감을 느끼게 된다. 도로조명의 기본 목적은 물체를 용이하게 인식하도록 쾌적한 시각 환경을 제공하고 야간 운행과 보행의 안전성을 높이는 것이다.

또한, 도로조명은 사용 광원, 조명기구, 도로 조건에 따라 매우 다양하게 설계될 수 있다. 도로의 사용 형태, 구조, 차량의 이동량, 주변 환경 등에 따라 도로에서 요구하는 조명 기준이 달라지기 때문이다. 따라서 이에 부합하는 조명설계와 운영방식에 대한 기준이 필요하다.

LED 조명이 도로조명에 사용되어 기존에 하나의 등기구로 제작되었다. 기존의 방식에서 LED 엔진을 하나씩 제작하여 엔진 개수를 1개에서 많게는 여러 개를 적용하여 사용되고 있다. LED 엔진이란 2.1에서 설명된다. 국내 한국도로공사 도로조명 표준법 KS A 3701에서 정한 기준에 따라 실제 조명계산에서는 주로 조도 개념의 광속법으로 설계하고 있다.

LED 가로등이 도로에 적용될 때 최적 배광을 만족

a. Corresponding author; parkdh@wku.ac.kr

하기 위해서는 등기구의 배열 방식, 등주 높이, 암 길이, 2차 광학렌즈 등이 해당하며, 도로 조건에 따라서 적절히 선정해야 한다 [1,2]. 빛의 계산은 단위 면적에 입사하는 광속의 양이라는 단순한 모델에서 출발한 빛의 물리량 계산법은 1800년대 후반부터 수학적 모델과 개념이 등장하면서 시작되었다.

현재 조명 관련 시뮬레이션 도구는 과거 제한적으로 적용되었던 배광데이터의 입출력이 자유롭게 가능하고 실제 물리적 상황에 근접하는 계산 결과물을 만들고 있다. 국내·외에서 사용되는 전문적인 조명 시뮬레이션 도구들은 램프배광, 표면 특성을 중점적으로 계산되는 리얼 라이팅을 사용한다 [3,4]. RELUX 프로그램은 공간을 대상으로 조명의 설계와 분석에 사용되며, IESNA Computer Committee의 3가지 유형 중 하나이다. 1998년 RELUX Informatik AG 사에서 조명계산 도구로 개발되었다. 계산을 위한 수학적 모델 중 역광선 추적법이 기반이다 [5,6].

본 논문에서는 고속도로에 사용되는 가로등의 문제점을 알아보고 기존의 광원에서 LED 가로등을 교체 시 도로에 비추지는 배광을 알아본다. 운전자의 시각성을 위해 최적 배광을 알아보기 위해 LED 엔진을 측정 후 배광파일을 RELUX를 이용해 시뮬레이션 하였다. LED 가로등의 종합균제도, 차선 축 균제도, 임계치증분을 도출해 비교 분석하였다. 또한, 암 길이를 조절하여 최적 배광을 도출하였다.

2. 실험 방법

2.1 21 W LED 엔진

21 W LED 엔진의 모형은 그림 1과 같다. 그림 2는 엔진을 적용해 등기구를 설계한 도면이다. 도면에는 엔진이 직접 결합하는 부분, 디밍제어기, 암, 전원장치 등이 표시되어 있다.

소비전력 21 W, 입력전압 30 V, 색온도 5,700 K, 광속 2,175 lm과 표 1과 같이 배광곡선을 갖는 엔진을 사용하였다. 또한, 광 효율은 108.2 lm/W, CRI(연색성) 75 Ra, 무게는 200 g을 가지며 사용된 엔진의 빔 각도는 15°이다. KS A 3701 기준을 만족하기 위해 총 6개의 엔진으로 진행하였다. 21 W LED 엔진의 자세한 사양은 표 1과 같다 [7].



Fig. 1. 21 W LED engine.

Table 1. Spec of 21 W engine.

Section	Value
Power(W)	21
Input voltage(V)	30
Color temperature(K)	5,700
Luminous flux(lm)	2,175
Light efficiency(lm/W)	108.2
CRI(Ra)	75
Weight(g)	200
Beam angle(°)	15

Light distribution curve

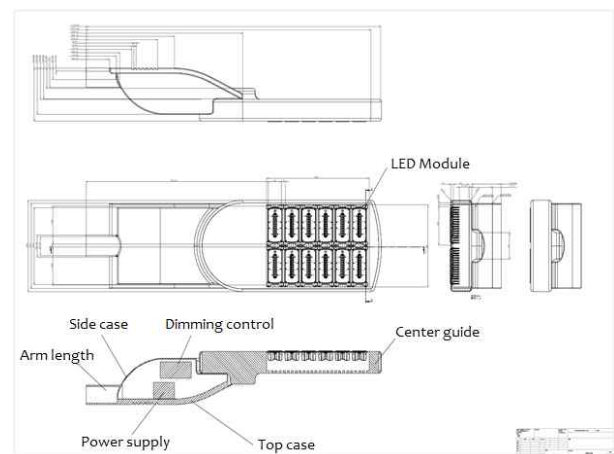
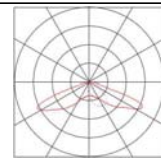


Fig. 2. Square streetlight system design drawing.

2.2 도로조명 설계

그림 3은 고속도로 4차선은 차선과 간이차선으로 구분된다. KS A 3701에서는 콘크리트 4차로(왕복), 도로 폭 23.4 m(14.4 m), 등주 배열 간격 55 m, 등주 배열 방법 마주보기, 등주 높이(암 길이, 오버행) 12 m (2.8 m, 2.3 m), 경사각도 12°, 보수율 0.75, 전력 150 W, 엔진개수 6개이다.

표 2는 도로조명 기준법 고속도로 가로등 설치 사양이다 [8].

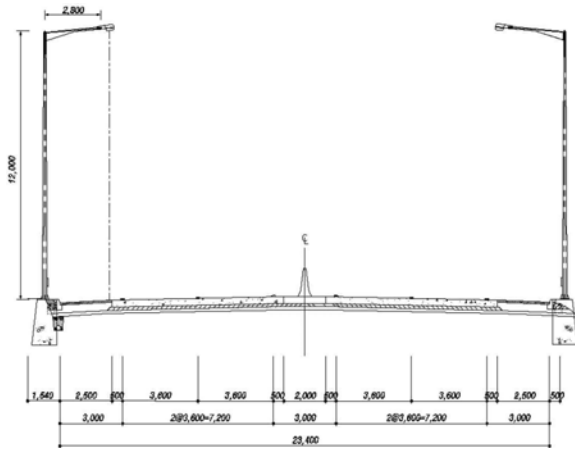


Fig. 3. Design of 4-lane highway.

Table 2. The highway streetlight installation spec.

Section	Value
Road to apply	Concrete two-lane (two way)
Width of road (Width of road way)	23.4 m(14.4 m)
Interval of light pole	55 m
Light pole arrangement	Face to face arrangement
Height of light pole (Arm length, overhang)	12 m(2.8 m, 2.3 m)
Inclination angle	12°
Maintenance ratio	0.75
Application	150 W(for main power)
Number of LED engine	6 EA

2.3 휘도, 균제도 및 임계치증분 개요

한국도로공사 표준법에 명시된 종합균제도(Uo), 차선 축 균제도(UI), 임계치증분(TI)값으로 인하여 도로조명을 최적 설계하고 평가하는데 그 역할을 수행을 한다. 노면 휘도는 운전자의 눈 위치로부터 각 1도로 내려다 본 전방 주시점 부근의 차로에 대한 도로 표면의 평균휘도로서, 측정범위는 특별히 지정하지 않는 한 휘도계의 전방 60 m에서 160 m 범위 차도의 마른 노면으로 한다. Uo는 노면상의 대상물의 보임을 좌우하는 노면 휘도 분포의 균일한 정도를 나타내는 최소 휘도와 평균 휘도의 비, UI는 각각의 중심선 상에서의 최소 휘도와 동일한 차선의 중심 선상에서의 최대 휘도의 비, TI는 도로조명에 따른 불능글레어의 규제 정도를 값으로 나타낸 것이다 [9].

표 3은 한국도로공사 도로 조명 표준법에 따라 평균 휘도, Uo, UI, TI 값의 허용 기준을 나타낸 것이다.

Table 3. Uniformity & Glare of Standard.

Section	Value of standard
Average luminance	$\geq 1.0 \text{ cd/m}^2$
Uo	≥ 0.4
UI	≥ 0.5
TI	$\leq 10\%$

2.4 2차 광학렌즈

LED 엔진에 2차 광학렌즈를 더해서 정밀한 배광제어를 한다. 도로방향으로 배광의 정밀함과 가로등을 설치한 후 뒤로 새어나오는 후사광을 제어하기 위해 2차 광학렌즈가 중요하다.

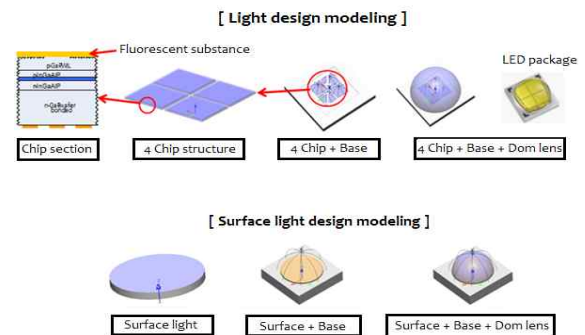


Fig. 4. Secondary optical lens.

그림 4는 발광 다이오드인 LED 패키지에서 실제 발광하는 부위이며, 2번째 위치한 칩에서 발광을 하며 형광체의 스펙트럼 특성을 가지며 발광하고 형광체에서 방사된 빛은 실리콘 돔 렌즈의 투과, 굴절, 반사특성을 통과해서 2차 렌즈로 입사하게 된다.

칩의 단면 구조를 나타낸 것이 1번째 그림이며, 두께가 얇은 칩의 구조에 따른 설계가 필요하다. 기존에 면광원 모델링으로 설계 구현하면 배광의 정확도가 확연히 저하됨으로 2차 광학렌즈의 역할이 중요하다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배광시뮬레이션

본 연구에서는 조명 시뮬레이션 도구 RELUX를 이용하여서 도로조명의 설계 기준에 맞게 시뮬레이션 조건을 입력하였다. 시뮬레이션 조건은 KS A 3701 기준에 맞춰서 4차로(왕복)으로 설계를 하였다.

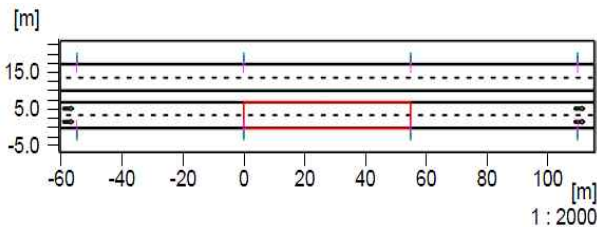


Fig. 5. Design of road.

그림 5는 도로조명 시뮬레이션의 조건으로 표 2와 같은 조건으로 도로를 설계한 평면도이다. 중앙분리대, 차도, 보조차도로 나뉘어져 있으며 자동차의 이동경로는 오른쪽 차선으로 왼쪽에서 오른쪽으로 우리나라의 이동방향과 같다.

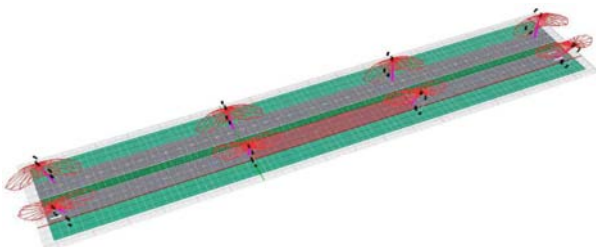


Fig. 6. Design of road(3D point).

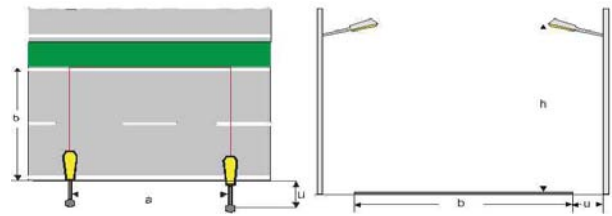


Fig. 7. Design of road condition.

Table 4. Luminaire data.

Section	Streetlight standard
Order no	150 W(lens)
Luminaire name	150 W(lens)
Equipment	6×150 W / 2,175 lm
Road layout	with central reservation
Width of roadway(b)	7.20 m
No. of lanes	2
Road surface category	R1
q0	0.1
Drivers type	Right hand drivers
Luminaire placing	Both sides
Photometric center height(h)	12.00 m
Distance between masts(a)	55.00 m
Kerb distance(u)	3.00 m
Inclination(δ)	12.00°
Maintenance factor	0.75

Table 5. Simulation results (observer location 2).

Section	Uniformity	Longitudinal uniformity	Threshold increment (%)
Uo	0.56	-	-
UI	-	0.86	-
TI	-	-	9

그림 6은 가로등을 기준 높이에 설치를 하고 그 배광파일을 이용하여 3D로 볼 수 있다. 또한, 배광의 방향을 볼 수 있고, 360°를 회전하여 줌인과 줌아웃을 할 수 있어 모든 방향에서 배광을 확인할 수 있다. 빨간색 부분은 배광을 측정하는 영역도 나타내어진다.

그림 7은 그림 5와 비슷하나 더 자세하게 가로등의 설치높이, 가로등 설치간격, 차로의 넓이, 배광각도, 도로의 폭 등을 항목별로 어디에 적용이 되는지 표기를 해준다.

표 4는 시뮬레이션 조건을 입력 후 조명 계산을 보수율을 적용해 결과를 도출해 내면 종합균제도(Uo), 차선축 균제도(UI), 임계치증분(TI) 값이 출력이 되게 된다.

표 5는 시뮬레이션 결과로 출력되어 지는 값이다.

본 연구에서는 시뮬레이션 후 출력되는 전체 값 확인을 위하여 observer location 1부터 4까지 여러 가지로 방향에서 값이 출력되어 나타내어지지만 가장 영향력이 많은 Observer location 2를 채택하여 결과를 나타내었다. 그림 6에서와 같이 빨간색 부분이 가장 근사치를 나타내기 때문이며 고속도로의 도로설계에 있어 중요한 요소 중에 하나이다. 그 결과로 U_o 0.56, U_I 0.86, T_I 9%로 도로조명의 기준에 만족하였다. 하지만 2.2의 도로조명 설계에서 암 길이 기준 2.8m에서 $\pm 25\%$ 로 조절해 고속도로에서 기준을 만족하는 최적의 암 길이를 찾기 위해 시뮬레이션을 진행하였다.

3.2 배광 최적설계 시뮬레이션

최적설계 시뮬레이션을 위해서 기준 암 길이 2.8 m에서 2.2의 표 2의 조건을 바탕으로 2.1 m~3.5 m 사이의 길이로 변경을 하여 최적설계를 진행하였다. 변경길이의 차이는 0.1 m이며, 시뮬레이션 조건은 동일하다.

Table 6. Optimization design of condition.

Section	Arm length(m)
Value	2.1~3.5
Arm length value gab	0.1

Table 7. Simulation results (arm length).

Arm length(m)	Uniformity	Longitudinal uniformity	Threshold increment(%)
2.1	0.61	0.83	9
2.2	0.61	0.85	9
2.3	0.6	0.85	9
2.4	0.59	0.85	9
2.5	0.58	0.86	9
2.6	0.57	0.86	9
2.7	0.57	0.86	9
2.8 (Based)	0.56	0.86	9
2.9	0.55	0.87	9
3.0	0.55	0.87	9
3.1	0.54	0.87	9
3.2	0.54	0.87	9
3.3	0.53	0.87	9
3.4	0.53	0.87	9
3.5	0.52	0.87	9

표 6은 최적설계 시뮬레이션을 위한 가로등의 암 길이 조절 조건이다. 시뮬레이션을 RELUX를 이용하여 암 길이를 표 6에서와 같이 0.1 m로 변경하며 진행한 결과로는 표 7과 같다.

종합균제도(U_o), 차선 축 균제도(U_I), 임계치증분(T_I) 값은 모두 한국도로공사 도로조명 표준법에 만족 하였다. U_o , U_I 값은 변화가 있었지만 T_I 값은 변화가 없었다. 이는 암 길이의 변화가 적어 이와 같은 결과가 도출되었다.

3.3 시뮬레이션 결과 분석

3.3.1 종합균제도(U_o)

그림 8은 종합균제도(U_o)의 값의 결과를 그래프로 나타내어 분석하였다. U_o 는 배광이 도로에 적절한 분포를 하는지를 수치로 나타내어 준다. 시뮬레이션 결과 암 길이가 2.0 m일 때 U_o 값은 0.61로 가장 높았으며, 2.0 m~2.7 m일 때 기준 U_o 값 0.56 이상으로 한국도로공사 도로조명 표준법에 기록되어있는 2.8 m보다 높은 수치를 보였다. 기준 암 길이 2.8 m보다 길이가 길어짐에 따라 결과 값이 낮았으며 암 길이 2.8 m 이하에도 한국도로공사 도로조명 표준법을 만족하였다.

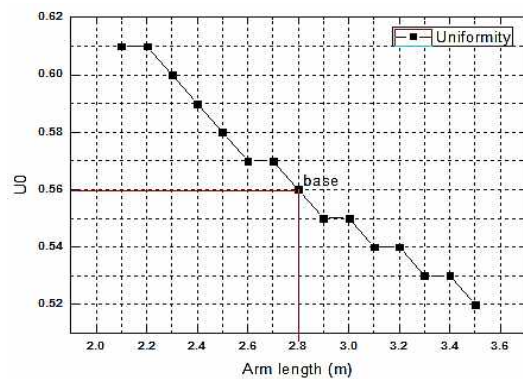


Fig. 8. Analysis of uniformity result.

3.3.2 차선 축 균제도(U_I)

그림 9는 차선 축 균제도(U_I) 값의 결과를 그래프로 나타내어 분석하였다. 암 길이 2.9 m~3.5 m일 때 U_I 값은 0.87로 가장 높았으며, 암 길이 2.5 m~2.8 m일 때 U_I 값은 0.86으로 기준 암 길이 2.8 m와 같았다.

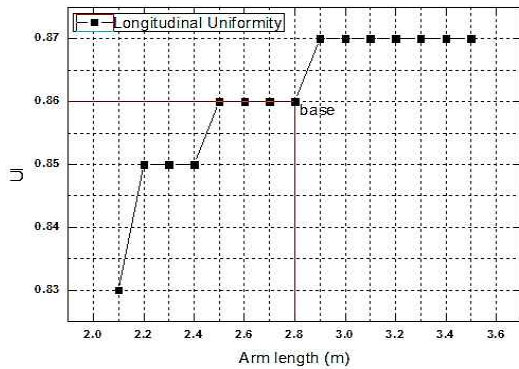


Fig. 9. Analysis of longitudinal uniformity result.

암 길이가 커질 경우에는 기준보다 높아지고, 암 길이가 낮아질 때에는 기준보다 낮아짐을 보였다. 2.1 m~3.5 m 일 때에 한국도로공사 도로조명 표준법을 모두 만족하였다.

3.3.3 임계치증분(TI)

그림 10은 임계치증분(TI) 값의 결과를 그래프로 나타내어 분석하였다. 기준 2.8 m 암 길이와 변경되어진 2.1 m~3.5 m의 암 길이 모두 9%로 차이가 없이 일정하였다. 또한, 모두 도로조명 설계 기준치 10% 이하에 모두 만족하였다.

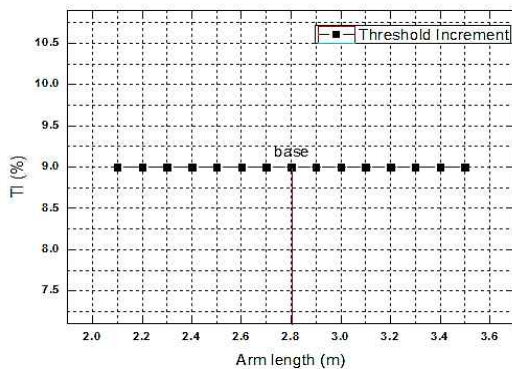


Fig. 10. Analysis of threshold increment result.

4. 결론

본 논문에서는 기존에 판매되는 150 W 가로등과 개발되어지고, 현재 판매되는 21 W 엔진에 2차 광학렌

즈를 적용하고, 총 6개의 LED 엔진을 적용하여 그 결과를 비교하였다. 또한 한국도로공사 도로조명 표준법에 명시된 기준 암 길이 2.8 m를 기준으로 암 길이를 조절하여 시뮬레이션을 진행한 결과 다음과 같은 결과를 나타내었다.

(1) 시뮬레이션 결과 값은 한국도로공사 도로조명 표준법에 KS A 3701에 만족을 하였지만 도로조명 최적 배광설계를 위해 가로등의 암 길이를 2.1 m~3.5 m($\pm 25\%$)로 변화를 주어 시뮬레이션을 진행하였으며, 암 길이 조절에 따른 최적화된 배광설계의 결과를 얻었다.

(2) 종합균제도(U_o), 차선 축 균제도(U_I), 임계치증분(TI) 값을 비교한 결과는 암 길이 2.5 m일 때 가장 최적화된 결과를 나타내었다. 2.1 m~2.4 m일 때에도 종합균제도가 높은 결과값을 나타내었으나 차선 축 균제도에서 조금 떨어지는 결과값이 나왔으므로 2.5 m일 때가 최적화된 결과값이다.

도로상황에 따라 최적의 암 길이를 적용하며 U_o , U_I , TI값이 맞게 나아지면 시각적으로 안전성이 높아질 것이다. 향후 연구에서는 LED 가로등의 등주 높이를 이용하여 노면휘도, U_o , U_I , TI를 분석하며, 도로를 사용하는 운전자들을 위해 최적설계를 비교할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2015학년도 원광대학교 교비지원에 의해 수행된 논문임.

REFERENCES

- [1] J. B. Lim, *Journal of KSRE*, **2014**, 139 (2014).
- [2] J. S. Lee, *Journal of Korea Safety Management and Science*, **13**, 51 (2011).
- [3] K. T. Kwon, *Journal of KIIEE*, **2009**, 81 (2009).
- [4] J. H. Gu, *Journal of KIIEE*, **26**, 1 (2012).
- [5] S. D. Hong, *Journal of KDAI*, **11**, 83 (2011).
- [6] *IESNA Computer Committee, Lighting Software Directory, LD+A*, 69 (2005).
- [7] W. S. Shin, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **28**, 408 (2015).
- [8] M. U. Lee, *Highway LED Road Lighting Design, Journal of KIIEE*, **29**, 3 (2015).
- [9] Korea Expressway Corporation Standard LED Luminaires *KS A 3701, Road Lighting Standards* (2014).