

250 W급 LED가로등의 배광 최적설계에 관한 연구

신왕수¹, 이승민¹, 권영국², 이진열³, 박대희^{1,a}

¹ 원광대학교 정보통신공학과

² (주)씨엔지옵틱

³ 굿아이텍 (주)

A Study on the Lighting Distribution Optimal Design of 250 W LED Streetlight

Wang-Soo Shin¹, Seung-Min Lee¹, Young-Guk Gwon², Jin-Youle Lee³, and Dae-Hee Park^{1,a}

¹ Department of Information & Communication Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

² C&G OPTIC, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

³ Goodi-tech, Iksan 570-390, Korea

(Received May 6, 2015; Revised May 24, 2015; Accepted May 24, 2015)

Abstract: Road lighting has emerged in importance as an essential system to secure safety and visibility for drivers and pedestrians. According to the Road Lighting Standards (KS A 3701), the luminance uniformity (U0) should be 0.4, the luminance uniformity for lanes (UI) should be 0.5, and a threshold increment (TI) of 10% should be satisfied. In this study, we conducted simulations using the Relux program in which the secondary optical lens was applied to a 21 W engine. Ten LED engines were installed on a two-way four-lane road, and the simulation result satisfied the requirements with U0 0.47, UI 0.63 and TI 8%. The U0, UI, and TI were compared with the angle of the LED streetlight varied in the range of 9° ~ 15° with 0.5° intervals. The range was selected as ± 25% of the standard inclination angle of 12° according to the Road Lighting Standard. The U0 was high and the UI and TI were low when the tilting angle was in the range of 9.5° ~ 10.5°. Consequently, an optimum-design of lighting distribution was obtained for the concrete two-way four-lane road when the inclination angle was 9°.

Keywords: LED, 2nd optical lens, Optimization design, Streetlight, Relux

1. 서론

우리나라의 도로조명은 보행자 및 운전자의 야간활동 및 안전한 삶을 보장하는 기능을 수행해왔으며, 산업 발달에 따라 경관 조명기능이 강화되면서 옥외 조명기구의 형태와 종류가 다양하게 변화하였다.

도로조명의 주요 목적은 야간에 도로를 이용하는 모든 대상의 시각적 환경을 개선하고 밤을 환하게 비춰줌으로, 쾌적하게 도로를 이용할 수 있도록 하는 것이다. 도로조명시스템은 사용광원, 조명기구, 도로조건에 따라 그 종류가 매우 다양하게 설계를 하고 있다.

따라서 우리나라뿐만 아니라 세계 각 국가들도 도로조명의 기준법을 개정하고 이에 따라서 각 도로의 상황과 규모에 맞게 적용하고 있다 [1-3].

현재 소프트웨어의 발전으로 컴퓨터를 이용하여 실제 측정값과 같은 계산을 수행하며 실내조명, 도로조명과 실내계산에 유용하게 사용되고 있다.

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

종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI)는 도로노면 휘도의 균일함을 말하며, 임계치증분 (TI)은 눈부심 (glare)라고도 칭한다. 글레어는 크게 시각적으로 인지능력을 저하시키는 불능글레어와 눈부심으로 심리적 불쾌감을 주어 작업능률 저하 및 감성에 영향을 주는 불쾌글레어가 있다. 도로조명은 실내조명에서 사용되는 불쾌글레어와는 달리 불능글레어를 기준으로 한다. 불쾌글레어와 불능글레어는 눈부심을 뜻한다.

도로조명의 조건을 만족하기 위해 적절한 균제도를 갖고, 글레어 또한 충분히 제한되어야 한다. 도로조명기구로부터 운전자에게 눈부심이 생겨 시각적 문제나, 불쾌감 피로를 발생하기 때문에 사용하는 조명기구의 배광이나 배치를 세밀하게 검토할 필요가 있다 [4,5].

본 논문에서는 최근에 많이 대두되고 있고 기존에 개발 사용된 21 W급 엔진에 2차 광학렌즈를 적용한 배광을 가지고 250 W 급 가로등을 설정하여 KS A 3701 규격에 맞게 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Relux Pro를 사용하였으며, 정밀한 계산으로 시뮬레이션을 하였다. KS A 3701 규격에 맞게 시뮬레이션 설정을 하고, 시뮬레이션 결과 값을 비교 분석하였다. 배광최적설계를 위해서 배광각도 조절에 따른 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI)의 시뮬레이션 결과 값을 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 도로조명 설계 기준

고속도로 8차선은 차량의 통행하는 차선과 안전지대로 구분이 된다. KS A 3701에서는 콘크리트 8차로(왕복), 도로 폭 37.8 m, 등주 배열 간격 65 m, 등주 배열 방법 마주보기, 등주 높이(암, 오버행) 12 m(2.8 m, 2.3 m), 경사각도 12°, 보수율 0.75를 기준으로 아래의 그림 1과 같이 구성을 하였다. 또한, 도로조명 기준법 설계는 표 1과 같다.

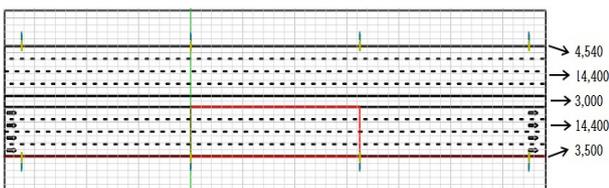


Fig. 1. Design of 8-lane highway.

Table 1. The highway streetlight installation spec [7].

Section	TYPE "C"
Road to Apply	Concrete four-lane (two way)
Width of Road (width of road way)	37.8 m(28.8 m)
Interval of Light Pole	65 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	250 W(For Main Power)

2.2 LED 가로등 엔진

LED 엔진의 모형은 그림 2와 같고, 소비전력 21 W, 입력전류 700 mA, 입력전압 30 V, 색 온도 5700 K, 광속은 2,322.5 lm와 표 2와 같이 배광곡선을 갖는 엔진을 사용하였다. 또한, 광효율은 110.5 lm/W, CRI (연색성) 75 Ra, 무게는 280 g, 효율은 100%를 가진다. 사용된 엔진의 빔 각도는 33°이다. KS A 3701 기준을 만족하기 위해서는 10개의 엔진이 적용됨으로 시뮬레이션에는 총 10개의 등기구 광속 및 전력 등으로 진행하였다. LED 가로등 엔진의 자세한 사항은 표 2와 같다.



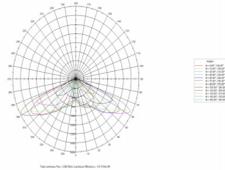
Fig. 2. 21 W LED engine.

Table 2. 21 W LED engine spec.

Section	21 W Engine
Power	21 W
Input Current	700 mA

Input Voltage	30 V
Color Temperature	5,700 K
Luminous Flux	2,322.5 lm
Light Efficiency	110.5 lm/W
CRI (Color Rendering Index)	75 Ra
Weight	280 g
Efficiency	100%
Beam Angle	33°

Light Distribution Curve



2.3 종합균제도, 차선축 균제도 및 임계치증분 기준

종합균제도 (U0)는 노면상 대상물의 보임을 좌우하는 노면휘도 분포의 균일한 정도를 나타내는 최소 휘도와 평균 휘도의 비이며, 차선축 균제도 (UI)는 각각의 중심선 상에서의 최소 휘도와 동일한 차선의 중심선 상에서의 최대 휘도의 비이고, 임계치증분 (TI)은 도로조명에 따른 불능글레어의 규제 정도를 수치적으로 나타낸 것이다 [7].

LED 가로등용 배광은 표 3의 조명기준을 만족하여야 한다. 종합균제도 (U0)와 차선축 균제도 (UI)는 균일하여야 하며, 값은 각 0.4 이상, 0.5 이상이어야 한다. 임계치증분 (TI)은 눈부심 (Glare)이라고도 불리며, 10% 이하로 값이 만족되어야 한다. 종합균제도 (U0) 및 차선축 균제도 (UI)는 기준보다 높을수록 고르게 분포되기 때문에 기준치보다 높아야 한다. 임계치증분 (TI) 값은 기준치보다 높으면 눈부심 (Glare)에 영향을 주기 때문에 낮아야 한다. 도로조명 기준법의 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI)의 기준값은 표 3과 같다.

Table 3. The streetlight of standard [7].

Section	Streetlight Standard
U0	≥ 0.4
UI	≥ 0.5
TI	≤ 10%

2.4 2차 광학렌즈 최적설계

LED 엔진만으로는 정밀한 배광제어가 어렵기 때문에 2차 광학렌즈를 설계한다. 이때 2차 광학렌즈는 도로방향으로 배광의 편향성을 가진 후사광 제어를 위해 2단 구조를 사용한다. 정밀한 배광을 구현하기 위해서는 내부 전반사로 인한 빛 손실을 최소화하고, 수직하방 방향과 측면 방향의 광도 (빛의 세기)를 고르게 분포시킨다. 2차 광학렌즈를 적용시킨 엔진은 아래의 표 4와 그림 3과 같다.

본 논문에서는 2차 광학렌즈를 적용 시킨 LED 엔진 배광 파일을 Relux를 이용해 시뮬레이션을 하였으며, 해당시뮬레이션을 도로조명 법에 명시된 경사각도 12°에서 ± 25%로 변화를 주면서 수행하였다. 최적 배광 설계를 위해 각도에 따른 시뮬레이션 결과 값으로 도출되는 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI)값을 비교하며, 250 W급 가로등의 최적설계를 진행하였다.

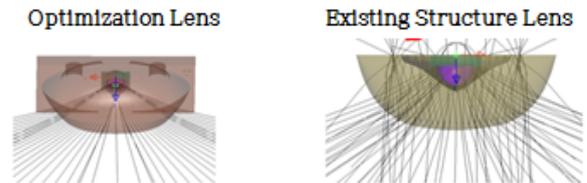
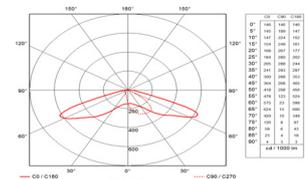


Fig. 3. Compare existing lens and optimization lens(example).

Table 4. LED 21 W engine + 2nd lens spec.

Section	21 W Engine + 2nd Lens
Power	21 W
Luminous Flux	21,750 lm
Beam Angle	15°

Light Distribution Curve



3. 결과 및 고찰

3.1 배광 시뮬레이션

현재 조명 관련 시뮬레이션 도구는 배광 데이터의

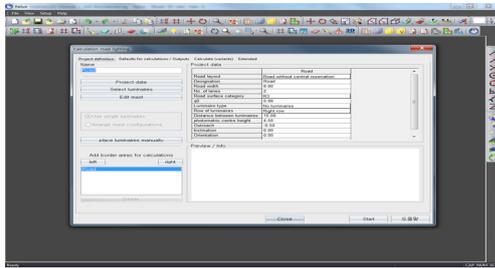


Fig. 4. Relux pro road project information.

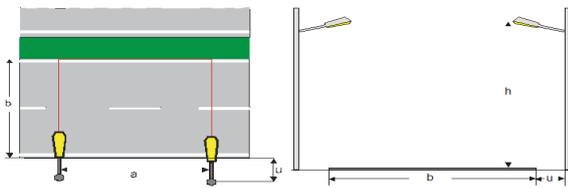


Fig. 5. Road design condition(2D view - including 2nd lens).

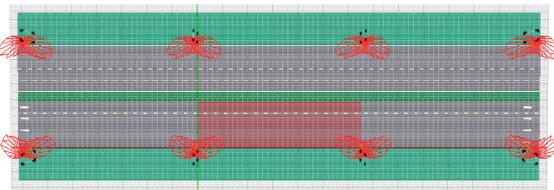


Fig. 6. Road design (2D view - including 2nd lens).

입출력이 자유롭게 사용 가능함에 따라 실제 측정값에 근접하는 계산 결과물을 만들고 있다 [6].

본 논문에서는 그림 4에서 보여주는 스위스 Relux Informatik AG사의 'Relux Pro'라는 시뮬레이션 프로그램 사용하였다. 도로조명 시뮬레이션 조건 입력 후 결과를 도출해 내 자동으로 사용자가 원하는 값을 출력의 형태로 결과를 나타내준다. 실제적인 제품 적용과 효율적인 제품 측정데이터 결과로 계산이 가능하다. 본 논문에서는 Road Project의 기능을 사용하였다.

시뮬레이션의 조건은 KS A 3701 기준에 맞춰서 8차로(왕복)으로 설계를 하였다. 시뮬레이션의 조건은 표 5와 그림 4 및 그림 5는 설계에 들어간 도로 폭, 가로등간격, 배광각도, 차로 수 등이 적용되며, 결과 값으로는 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI) 값이 도출이 된다.

시뮬레이션 조건을 Relux program에 입력 후 시뮬레이션 결과 값으로 표 6과 같다.

Table 5. Luminaire data(including 2nd lens).

Section	Luminaire Data
Order No.	250 W + 2nd lens (1 × 210 W)
Equipment	250 W + 2nd lens / 21750 lm
Road Layout	With Central Reservation
Width of Roadway (b)	14.40 m
No. of Lanes	4
Road Surface Category	R3
q0	0.08
Luminaire Placing	Both Sides
Photometric Center Hight (h)	11.96 m
Distance Between Masts (a)	65.00 m
Kerb Distance (u)	4.00 m
Inclination Angle (δ)	12.00°
Maintenance Factor	0.75

Table 6. Simulation Results(Including 2nd lens - observer location 4).

Section	Uniformity	Longitudinal Uniformity	Threshold increment (%)
U0	0.47	-	-
UI	-	0.63	-
TI	-	-	8

본 연구에서는 시뮬레이션 결과 값에서 관찰자 1부터 ~ 관찰자 4까지의 결과가 도출이 되지만, 본 논문은 진행방향 4차로 전체 값 확인을 위하여 관찰자 4의 결과 값으로 제한을 두었다. 그 결과로 종합균제도 (U0) 0.47, 차선축 균제도 (UI) 0.63, 임계치증분 (TI) 8%로 도로조명 기준에 만족을 하였으나, 2.4에서 언급한 경사각도를 조절하여 도로조명 기준을 만족하는 최적 각도를 찾기 위해 시뮬레이션을 진행하였다.

3.2 배광 최적설계 시뮬레이션

최적설계 시뮬레이션 조건은 Table 5에서 기준 경사각도 12°에서 2.4의 조건을 바탕으로 9° ~ 15° 사이의 각도로 변경을 하여 최적 설계를 진행하였다. 변경 각도의 차이는 0.5°이며, 시뮬레이션의 조건은 표 5와 동일하였다.

그림 7과 표 7은 최적설계 시뮬레이션을 위한 배광 경사각도 조절 조건이다.

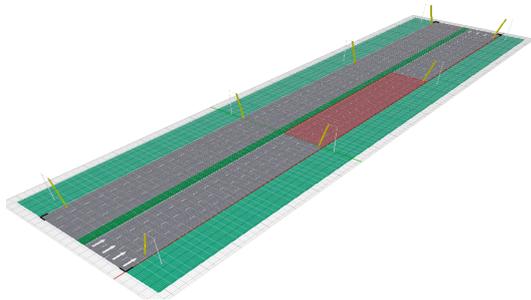


Fig. 7. Road of optimization design (2D view).

Table 7. Optimization design of between 9° to 15°.

Selection	Inclination Angle (°)
Value	9 ~ 15
Inclination Angle Value Gab	0.5

Table 8. Simulation results (inclination angle between 9° to 15°).

Inclination Angle (°)	Uniformity	Longitudinal Uniformity	Threshold Increment (%)
9	0.49	0.65	6
9.5	0.5	0.65	7
10	0.5	0.64	7
10.5	0.51	0.64	7
11	0.5	0.63	7
11.5	0.48	0.63	8
12 (Based)	0.47	0.63	8
12.5	0.46	0.63	8
13	0.44	0.62	8
13.5	0.44	0.62	9
14	0.43	0.62	9
14.5	0.42	0.63	9
15	0.41	0.62	9

시뮬레이션 조건을 Relux program에 경사각도를 변경하면서 시뮬레이션한 결과는 표 8과 같다. 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI)값은 한국도로공사 표준법에 전부 만족을 했지만 U0 값은 10.5°, UI 값은 9°와 9.5°, TI 값은 9°에서 만족을 하였다.

3.3 시뮬레이션 결과 분석

3.3.1 종합균제도 (U0)

그림 8은 U0 값을 분석한 그림이다. 종합균제도 (U0)는 배광이 적절한 지를 소수점으로 나타내어 주는데, 시뮬레이션 결과 10.5일 때 0.51로 가장 높았으며, 10°, 11°일 때 0.5로 기준 경사각 12°의 0.47보다 높았으므로 적정 수준을 보였다. 기준 경사각 12°보다 각도가 낮아짐에 따라 결과값이 높았으며, 9°일 때에는 감소함을 보였으나 한국도로공사 기준값을 만족하였다.

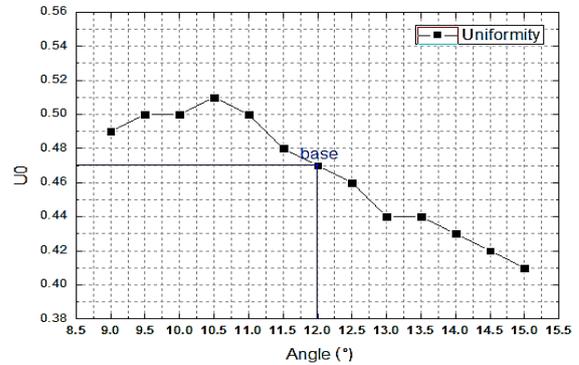


Fig. 8. Analysis of uniformity result.

3.3.2 차선축 균제도 (UI)

그림 9는 UI 값을 분석한 그림이다. 경사각도 9.5°와 9.5°일 때 0.65로 가장 높았으며, 경사각도 10°, 10.5°일 때 0.64로 기준 경사각도 12°보다 높았다. 경사각도가 커질 경우에는 결과값이 비슷한 경우도 있었으나, 기준치 경사각도보다 낮은 UI 값이 도출이 되었다.

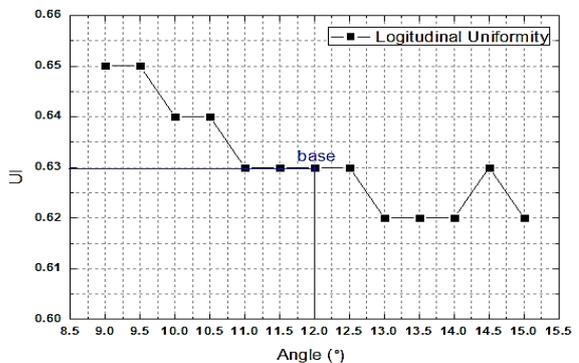


Fig. 9. Analysis of longitudinal uniformity result.

3.3.3 임계치증분 (TI)

그림 10은 TI 값을 분석한 그림이다. 기준 경사각도 보다 더 각도를 줄이면 9° ~ 11°까지 TI 값이 6 ~ 7%로 떨어지는 것을 볼 수 있다.

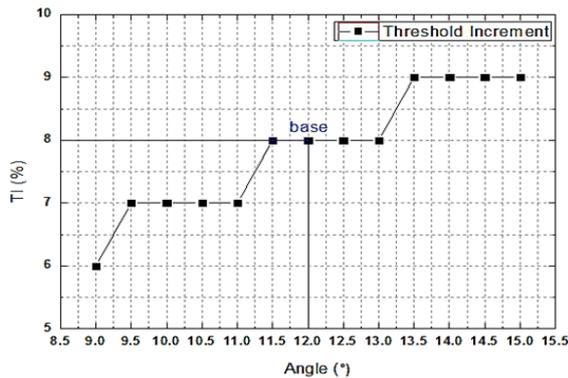


Fig. 10. Analysis of threshold increment result.

TI 값은 눈부심 (Glare)와 관계가 있기 때문에 도출된 값이 작을수록 좋다. 기준 경사각도 보다 높아졌을 때는 도로조명 기준법에 명시되어 있는 10% 이하의 만족수준을 보였으나, 보다 나은 TI 값을 가지고 최적화된 가로등 설계를 위해서는 경사각도가 낮은 것이 올바르다고 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존에 판매되는 21W 엔진에 2차 광학설계를 적용하고, 총10개의 LED엔진을 적용한 LED 가로등을 도로 조명 기준법의 경사 12°를 기준으로 경사각도를 조절하여 시뮬레이션을 진행한 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 시뮬레이션 결과값은 고속도로용 가로등 기준법 KS A 3701에 만족은 하였지만, 도로조명 최적 배광설계를 위해 가로등의 경사각도 9° ~ 15° (± 25%)로 변

경하여 시뮬레이션을 진행하였다. 경사각도에 따른 최적화된 배광설계의 결과를 도출해 내었다.

2) 종합균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI) 값을 비교한 결과는 경사각도가 9°일 때 가장 최적화된 결과를 나타내었다. 종합균제도 값은 9.5° ~ 10.5°일 때 보다 조금 낮았지만, 차선축 균제도, 임계치증분 (TI) 값에서 월등한 성능을 나타내었다.

따라서 도로상황에 따라 최적의 경사각도를 적용하여 종합 균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI) 값이 나아진다면 운전자의 시각 확보 및 안전성이 더 높아 질 것이다.

향후 연구에서는 LED 가로등의 암길이를 이용해 도로노면의 상태 및 종합 균제도 (U0), 차선축 균제도 (UI), 임계치증분 (TI)를 분석하여, 최적화된 도로조명 최적배광설계를 통해 결과 값을 비교하고, 도출된 값을 분석할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2014학년도 원광대학교 교비지원에 의해 수행된 논문임.

REFERENCES

- [1] J. H. Gu, J. H. Jung, and K. M. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **26**, 1 (2012).
- [2] Y. C. Choi, A. Y. Yun, and I. S. Eo, *Journal of KIEE*, 127 (2011).
- [3] D. S. Jo, D. I. Seok, S. G. Jung, J. K. Kang, and H. Kim, *Journal of KIIEE*, 77 (2006).
- [4] S. H. Cho, K. Y. Kim, and Y. M. Yu, *Pukyong National University, Journal of KIIEE*, 18 (2014).
- [5] J. H. Jeong, S. K. Lee, W. S. Kim, and M. A. Lee, *International Journal of Highway Engineering*, **14**, 18 (2012).
- [6] S. D. Hong, *Journal of KDAI*, **11**, 83 (2011).
- [7] Korea Expressway Corporation Standard LED Luminaires KS A 3701, Road Lighting Standards (2014).