

두 가지 배광을 갖는 LED 횡단보도 조명장치에 관한 연구

김형진¹, 이동규¹, 곽준섭^{1,a}

¹ 순천대학교 인쇄전자공학과

A Study on a Novel LED Lighting Fixture for Crosswalk Having Two Different Light Distributions

Hyeong Jin Kim¹, Dong Kyu Lee¹, and Joon Seop Kwak^{1,a}

¹ Department of Printed Electronics Engineering, Suncheon National University, Suncheon 540-950, Korea

(Received July 21, 2014; Revised July 30, 2014; Accepted August 6, 2014)

Abstract: Recently, LED lighting fixtures for crosswalk become popular in order to recognize the pedestrians at crosswalk, which can enhance the safety of the pedestrian at crosswalk. However, there are several problems related to the LED lighting fixtures for crosswalk, such as a lot of energy consumption due to a constant illumination during night and glaring of pedestrians at the opposite side of crosswalk. In this study, in order to overcome these problems, we have investigated a novel LED lighting fixture for crosswalk, which has two modules with different angles (60°, 120°). Illuminance of min and max at four-line city street crosswalk shown 50 Lux, 125 Lux, respectively. Illuminance of min and max at eight-line city street crosswalk shown 150 Lux, 200 Lux, respectively. Simulation investigation was optimized design using optical program. Prototype was verified measurement by goniometer system.

Keywords: Crosswalk, Crosswalk light, Pedestrian, Light-emitting diodes, LED light, Light distribution

1. 서론

2012년 교통사고 사망자 통계에 따르면 전체 120,902건 중 음주 24%, 보행자 42%, 어린이 10%, 노인 23%, 대형사고 0.06% 발생했다. 사고 유형별 차대사람 22.4%, 차대차 72.6%, 차량 단독 5% 보였으며, 차대사람 22.4%인 경우 8.7%가 횡단 중에 발생하였다 [1]. 시간대별은 주간에 32%, 야간에 68%를 차지한 것으로 조사되었다. 따라서 횡단보행자의 안전성을 확보하기 위

해서 야간에 최적화된 횡단보도 조명 시스템 구축이 필요하다. LED 횡단보도등은 기존의 조명기기보다 저소비전력, 긴 수명, 빠른 응답 속도, 뛰어난 견고성 및 낮은 전압 구동으로 인한 안정성과 소형화가 가능하다는 장점이 있다 [2,3]. LED 횡단보도등의 광학적 특성은 조명기구의 성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 조명기구의 배광 렌즈, 반사판, 확산판 등의 광학엔진을 구현하여 배광 제어를 가능하게 한다 [4]. 2012년 12월 28일 KSC 7717 규정이 발표되기 전에 설치된 LED 횡단보도등은 운전자의 시인성에 영향을 주거나 높은 휘도 때문에 횡단보행자에게 눈부심이 발생한다.

그림 1은 고효율 LED 패키지와 지향각이 작은 렌즈를 설치하는 사례이다. 이러한 제품들의 문제점은 LED 횡단보도등을 여러 개 설치하여 제품 비용이 높아질 뿐

a. Corresponding author: jskwak@sunchon.ac.kr



Fig. 1. Installations of LED crosswalk (a) division of LED crosswalk, (b) a single of LED crosswalk.

만 아니라 지향각이 작은 렌즈를 사용함으로써 횡단보행자와 운전자들에게 눈부심이 발생하여 시인성 감소 및 빛 공해의 요인이 되고 있다. 아래 그림 1(a)는 LED 횡단보도등 60 W 3 EA, 2차 렌즈 지향각 15° (b)는 LED 횡단보도등 60 W 2 EA, 2차렌즈 지향각 15°가 설치되어 높은 휘도로 인해 보행자의 눈부심이 발생되며, 또한 횡단보도 내의 광학설계를 통해 휘도 및 조도 불균형을 해결할 필요성이 있다. 그리고 교통량이 적은 자정부터 새벽시간 때까지 켜져 있어 에너지 절감이 필요하다.

LED 횡단보도등에는 블라드 형태와 가로등 형태의 두 종류로 크게 분류할 수 있다. 기존 블라드 형태는 LED 시선 유도등으로 운전자에게 횡단보도 인식을 위한 기능이 대표적이지만, 가로등 형태의 횡단보도등은 횡단보도 내 조도를 높여 운전자로부터 멀리에서 횡단보도임을 알려주고 가로등이 없는 곳에서는 LED 보안등의 용도로도 활용이 되고 있다.

본 연구에서는 횡단보도의 조명환경과 보행자 및 운전자의 시인성을 높일 수 있는 두 가지 배광 (지향각 60°, 120°)을 갖는 LED 횡단보도 조명장치를 제안하고자 한다. LED 모듈의 각도에 따른 배광 및 렌즈 배열만으로 균일한 조도를 구현하여 운전자와 횡단보행자의 시인성을 높이고 높은 휘도로 인한 눈부심을 다소 완화시킬 수 있다. 또한, 모듈별 독립전원 방식과 LED dimmer PCB 개발을 통해 횡단보행자가 많은 시간과 횡단보행자가 아주 적은 자정부터 새벽시간에 독립모듈로 광량을 조절하여 에너지 절감에 크게 기대할 것이다.

2. 실험 방법

2.1 LED 횡단보도 조명장치 설계 및 제작

2.1.1 LED 모듈 구조 설계

LED가 자체발열과 주위온도에 취약하므로 이에 대한 대비가 중요하며, 이는 소비전력 및 수명과도 직결된다. LED 모듈의 발열구조 최적화 설계를 통해 광효율 및 LED 최대광량의 균등성을 확보할 수가 있다. 본 연구에서는 LED 횡단보도등 구조 형상은 동일하게 하고 조립과 렌즈의 변화만으로 횡단보도에서 균일한 조도 분포를 구현하였다. LED 기판에 발생하는 열을 효과적으로 전달하기 위하여 그림 2(a)와 같이 LED PCB에서 Al 상판, Heatpipe, Al 하판의 경로를 통해 최종적으로 Al Heatsink 그림 2(b)를 적용하였다.

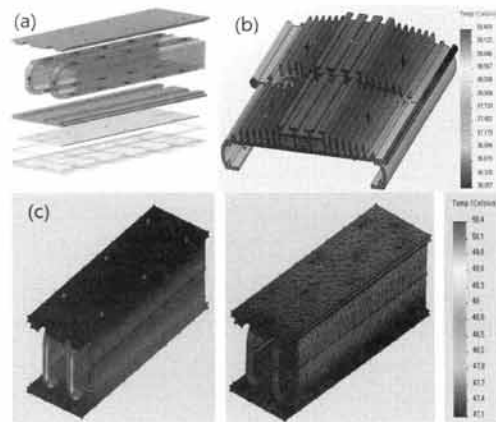


Fig. 2. The heat analysis simulation of prototype LED lamp (a) configuration of LED module, (b) heat sink, and (c) LED module.

최적화 방열 설계를 위하여 공기 유동을 고려한 자연 대류 및 전도 효과를 극대화하였다. 또한, 독립형 모듈로 확장성과 보수가 용이한 구조 설계로 디자인을 하였다. 그림 2(a)는 LED 모듈 (b) LED 히트싱크, (c) 3D 설계 및 열 해석 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 시제품 제작 단가가 비교적 낮은 압출 공정을 할 수 있도록 모듈을 설계하였다. 또한, 하나의 모듈로 여러 개를 조립할 수 있는 구조 설계를 하여 LED 횡단보도등에 따라 모듈 조립 수를 증가시키거나, 각각의 모듈별로 LED 2차 렌즈의 배광을 다르게 적용할 수 있어 전체

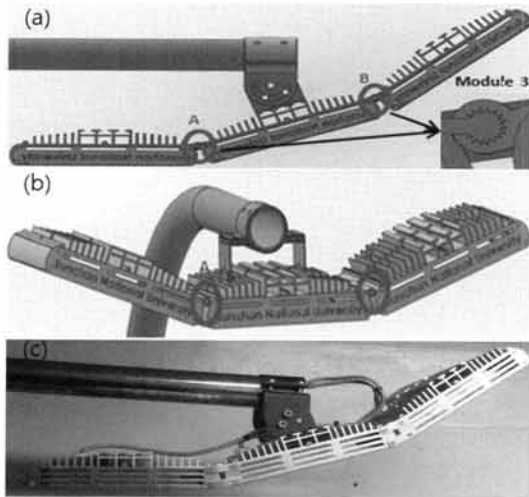


Fig. 3. Image of designed crosswalk LED device design (a) vertical markup, (b) horizontal makeup, and (c) prototype.

배광을 변화시킬 수 있다. 모듈의 재질은 aluminium alloys 6063-T5를 적용하였고, 방열 특성을 높이기 위해서 길 표면에 식물성 염료로 coating을 하였다. 모듈 설계를 위해 3D PLM (product lifecycle management) 도구인 Solidworks 2013을 사용하여 설계하였다.

LED 횡단보도등의 세로 배열과 가로 배열 결합 시 각도 조절 A, B 부분에서 가능하도록 아래 그림 3과 같이 설계하였다. 그림 3(c)는 본 논문의 가로 배열 시제품으로 LED 횡단보도 조명장치이다. 그림 3(a)는 두 가지 배광 (지향각 60° , 120°)을 갖는 4차선 시가지 도로의 세로 배열 LED 횡단보도 장치 이미지를 보여주고 있다. 모듈 1, 2, 3은 독립형 모듈로 담당하는 영역의 분배가 용이하게 모듈별 각도 조절이 $0^\circ \sim 120^\circ$ 변환이 가능하며, 두 가지 (지향각 60° , 120°) 배광을 갖는 렌즈를 이용하여 균일한 조도를 구현할 수 있다. 기존의 LED 횡단보도등은 도로의 횡단보도만을 조사하고 있지만, 본 연구에서는 모듈별 조사영역을 분리하여 모듈 1에서 횡단보행자가 대기하고 있는 인도 쪽에도 조사할 수 있게 배광이 넓은 120° LED 2차 렌즈를 설치하였다.

모듈 2와 모듈 3은 각각 2차로, 1차로를 비추기 위하여 배광이 작은 60° LED 2차 렌즈를 설치하였다. LED 횡단보도등 설치 후 고장 발생 시 모듈 별 탈부착이 가능한 독립형 모듈 구조로 모듈 단위 보수가 가능하며, 이로 인해 단일화 모듈 대비 유지보수 시간 및 비용이 대폭 절감된다. 독립형 모듈 분배로 히트싱크에서 발생되는 열을 효과적으로 해결할 수 있다.

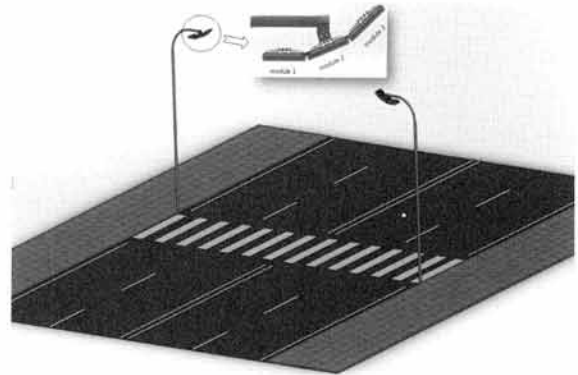


Fig. 4. LED device image for city street crosswalk.

그림 4는 시가지의 도로 환경에서 인도에 LED 횡단보도등을 설치하는 이미지를 보여주고 있다. 또한, LED 횡단보도등만으로 사용 목적을 한정하지 않고, 주택 밀집 지역과 공원, 그리고 교통량이 비교적 적은 곳에서 사용 가능하도록 그림 3(b)와 같이 LED 횡단보도등 (KSC 7717) 규정을 고려하여 설계하였다.

2.2 LED 2차 렌즈 $60^\circ, 120^\circ$ 설계

지향각 60° , 120° LED 2차 렌즈를 적용시켜 원하는 배광 및 조도값을 구현시켰다. 아래 그림 5는 LED 2차 렌즈 시제품의 지향각 60° , 120° 의 측정결과를 보여주고 있다. LED 2차 렌즈 설계에 사용하는 광학 프로그램은 Optical Research Associates사의 LightTools Ver. 8.0 프로그램으로 ray tracing을 실시하였다. 광학 프로그램을 이용하여 신뢰할 수 있는 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 외형을 설계한 뒤 die, cup, lens의 특성에 맞는 적절한 재질을 선택하고 그에 맞는 굴절률, 투과율과 반사율 등의 데이터 입력이 필요하다 [5].

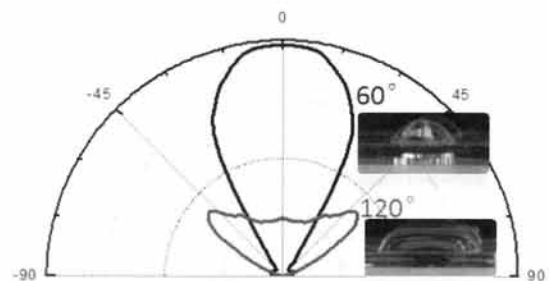


Fig. 5. LED 60° , 120° lens design and prototype.

Table 1. Specification.

Model name	Refractive Index	Transmissivity
Encapsulant	1.54	90%
Lens (PMMA)	1.48	93%



Fig. 6. LED 60°, 120° lens heatsink prototype.

또한, 광학 설계 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 시제품을 생산하기 전에 LED 2차 렌즈의 광학 특성 평가를 미리 예측할 수 있었다. LED 2차 렌즈 60°는 대칭 렌즈로 설계하여 조도영역을 넓게 비추기보다는 LED 광원의 빛을 멀리 보낼 수 있도록 지향각을 좁게 설계 하였다.

그림 6은 LED heatsink 시제품을 보여주고 있으며, LED junction temperature를 낮추기 위해 히트파이프를 적용하여 그림 2(a)와 같이 제작하였다. 히트파이프는 발열온도 30℃에서 내부 물질의 열 유동 및 내부순환작용이 일어난다. 균일한 온도 분포 형성과 열 전달 효과의 극대화로 3단계 (히트파이프, module, heatsink)의 방열 구조를 통한 최소화의 온도 특성을 갖는다. 구조 설계상에 LED 히트싱크의 탈부착으로 확장성 및 유지 보수가 용이한 구조를 가지고 있다.

2.3 LED 모듈 각도 및 2차 렌즈 배열에 따른 배광 시뮬레이션

시가지 2차선은 그림 4와 같이 도로폭 8 m, 횡단보도 폭 4 m, LED 횡단보도등 높이 5 m의 설치하였다. 본 논문은 다수의 LED 광원을 배열하여 10 W급 LED 모듈을 3개로 구성하는 구조 설계를 실시하여 30 W급 LED 횡단보도등을 설계하였다. 2차선 시가지 도로에서의 세로 배열에 따른 조도 분포 최적화 시뮬레이션을 실시한 결과, 그림 7과 같이 모듈 1, 2, 3의 LED 2차 렌즈

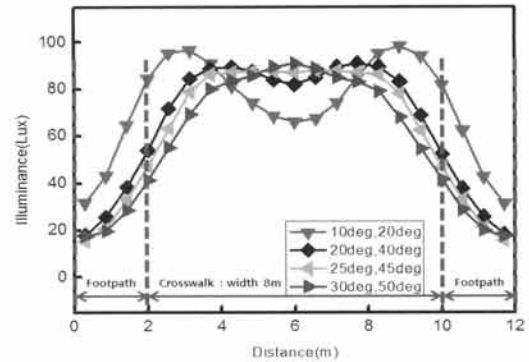


Fig. 7. Two-lane city street of LED illumination distribution crosswalk (crosswalk 8 m × 4 m, luminaire height 5 m).

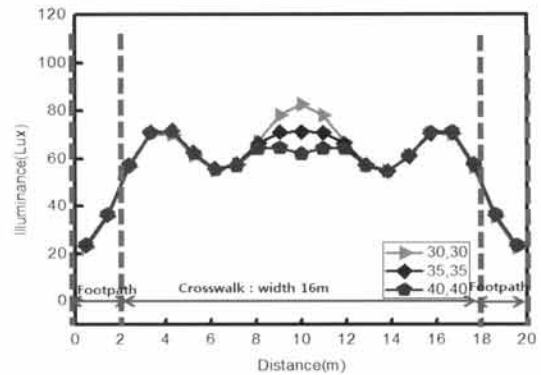


Fig. 8. Four-lane city street of LED illumination distribution crosswalk (crosswalk 16 m × 4 m, luminaire height 5 m).

120°, 60°, 60°을 양방향에 설치하였다. 모듈 각도 (A:25°, B:45°)에서 횡단보도 내 가장 균일한 조도 분포를 확인할 수 있었고, 최소 48 Lux, 최고 88 Lux, 평균 62 Lux로 나타났다. 인도에서는 최소 18 Lux, 최고 51 Lux 확인하였다. 시가지 도로 4차선은 도로 폭 16 m, 횡단보도 폭 4 m, LED 횡단보도등 높이 5 m의 설치하여, 그림 8의 시뮬레이션 결과를 확인하였다. LED 횡단보도등의 모듈 각도 (A:35°, B:35°)에서 최소 55 Lux, 최고 71 Lux, 평균 64 Lux 조도 분포를 확인하였고, 인도에서는 최소 22 Lux, 최고 55 Lux 확인하였다.

2.4 LED Dimmer PCB 설계 및 제작

그림 9, 10과 같이 마이컴 ATMEG128을 이용하여

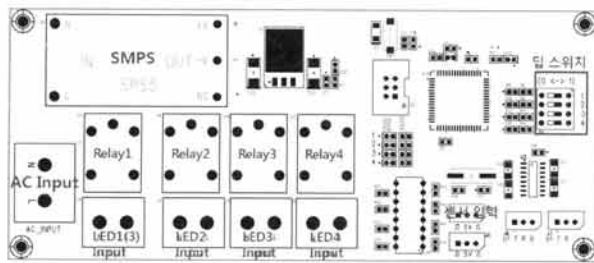


Fig. 9. LED dimmer PCB circuit design.

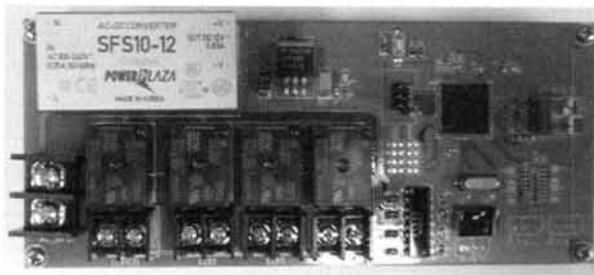


Fig. 10. LED dimmer PCB prototype.

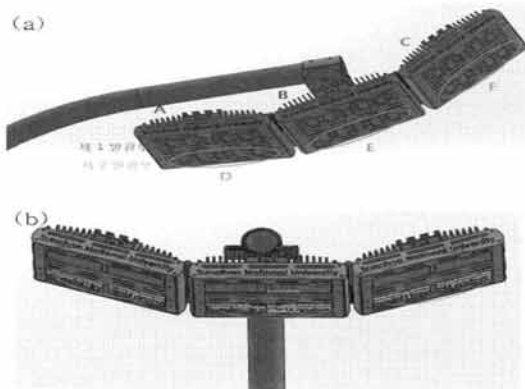


Fig. 11. Driving system of lighting fixture for crosswalk (a) vertical markup, (b) horizontal makeup.

모듈의 광원을 제어하는 LED Dimmer을 개발하였다. 각각의 모듈 전원을 독립적으로 제어할 수 있어 에너지 절감을 크게 기대할 수 있다. 그림 11(a) 모듈의 세로 배열 독립전원 방식이 동작은 발광부 모듈을 두 개로 나누어서 제 1 발광부 (A, B, C)는 상시 전원으로 ON 되어 운전자들에게 먼 거리에서도 횡단보도가 있음을 인식시켜 준다. 횡단보도의 녹색 신호등이 점멸되면 제 2 발광부 (D, E, F)에서 처음 5초 동안 (D) 점등 후, 횡단보도 시간에 맞추어 분할하여 (E), (F)가 순차적으로

점등된다. 횡단보도의 녹색 신호등이 소등되면 제 2 발광부의 전체도 소등되어 동작한다. 보행자는 제 2발광부가 순차적으로 점등되어 횡단보도 시간을 예측할 수 있으며 횡단보행 시 높은 휘도로 인한 눈부심을 최소화할 수 있다. 횡단보행자 수가 적은 자정부터 새벽시간에 제 1 발광부만을 동작하여 횡단보도등의 역할만을 수행해 에너지 소모를 절반으로 줄일 수 있다. 하지만 LED Dimmer 기기의 동작 특성상에 relay 접점으로 동작함에 있어 LED 횡단보도등 수명보다 짧을 것으로 예상된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LED 횡단보도 조명장치의 실험 결과 및 고찰

광학적 설계와 조명 시뮬레이션 결과를 바탕으로 시제품을 제작하였다. 그림 6의 LED 2차 렌즈 60°, 120° Heatsink 시제품을 Goniometer System OPI-370으로 IES 배광을 확인 후 조도 예측을 확인하였다. 아래 그림 13과 14에서는 2차선과 4차선의 시뮬레이션과 시제품의 배광분포 변화 비교 결과를 나타내고 있다.

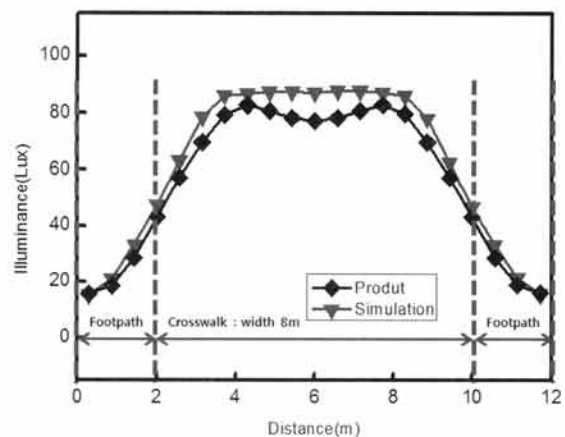


Fig. 12. Results of measurements optical system (two-lane).

그림 12는 2차선 횡단보도 중앙선 부근에서 조도편차 약 10 Lux가 발생되었으며, 시제품 설치 시 도로 바닥의 수평과 세 가지 모듈의 조립오차는 시뮬레이션 설계시 모듈별 15° 설계로 적용되었지만, 시제품에서는 12° ~ 18° 범위로 조립되어 발생하는 조도 편차를 확인하였다. 하지만, 인도영역 LED 2차 렌즈 120°에서는 시뮬레이션과 비슷한 경향성을 확인할 수 있었다.

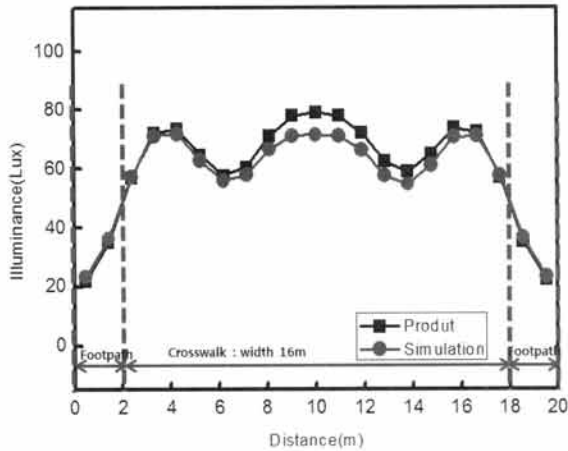


Fig. 13. Results of measurements optical system (four-lane).

그림 13은 4차선 횡단보도 중앙선 부근과 양방향 1차로에서 조도편차 약 1~9 Lux가 발생되었으며, 시제품 설치 시 도로 바닥의 수평과 세 가지 모듈의 조립 오차 값이 12°~18° 범위로 조립되어 발생하는 조도 편차를 확인하였고, 2차로 보다 거리가 멀어 4차로에서 위치별 오차가 많이 발생하였다. 하지만 인도영역 LED 2차 렌즈 120°에서는 시뮬레이션과 일치함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구를 통해 두 가지 배광 (지향각 60°, 120°)을 갖는 LED 횡단보도 장치를 개발하기 위해 최적화 설계 및 시뮬레이션을 하였다. 이를 바탕으로 시제품 제작을 통해 LED 횡단보도등의 성능을 확인 후, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

LED 모듈의 구조 설계를 통해 LED 기판에 발생하는 열을 효과적으로 전달하기 위하여 공기 유동을 고려한 독립형 모듈을 설계하였다.

도로 2차선인 경우, LED 횡단보도등 모듈 1, 2, 3의 LED 2차 렌즈 120°, 60°, 60°을 양방향에 설치하여 모듈 각도 (A:25°, B:45°)에서 횡단보도 내에서 가장 균일한 조도 분포를 확인할 수 있었고, 최소 48 Lux, 최고 88 Lux, 평균 62 Lux를 확인하였다. 도로 4차선인 경우, LED 횡단보도등의 모듈 각도(A:35°, B:35°)에서 최소 55 Lux, 최고 71 Lux, 평균 64 Lux 조도 분포를 확인하였다. 마이컴 ATMEG128을 이용하여 모듈의 광원을 제어하는 LED Dimmer를 개발하여 각 모듈 전원을 독립적으로 제어할 수 있었다.

본 연구는 발광부 모듈을 분리하고 두 가지 배광을 갖는 렌즈를 이용하여 횡단보도 내에 균일한 조도를 구현하였다. 또한, LED Dimmer PCB 개발을 통한 광량 조절로 횡단보행자와 운전자에게 높은 휘도로 인한 눈부심을 최소화시켰고, 에너지 절감에도 크게 기대할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부의 출원금으로 수행한 지역혁신센터사업(RIC)과 미래창조과학부, '전남과학연구단지 기초·원천연구개발지원사업'의 지원으로 수행된 연구 결과입니다.

REFERENCES

- [1] Korean National Police Agency, *The 2013 Traffic Safety*, <http://www.koroad.or.kr> (2013).
- [2] I. H. Chung, Ph. D. *Thesis*, Korea Polytechnic University, Korea (2012).
- [3] S. H. Jang and K. Y. Gwon, *IT Soc Magazine*, 31, 9 (2009).
- [4] M. W. Lee and H. Kim, *The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 9, 67 (2009).
- [5] J. Y. Han and J. T. Kim, *Optical Society of Korea*, 18, 111 (2007).