

배광특성 조절이 가능한 대용량 LED 가로등기구 개발에 관한 연구

이완범*

¹(주)탑엘이디 기업부설 연구소

Study on the Development of Large Capacity LED Streetlight Luminaire with adjustable Light Distribution Characteristic

Wan-Bum Lee^{1*}

¹Research Institute of Top LED Incorporated

요약 기존의 가로등은 배광특성 조절이 어려워 주변 환경 및 도로의 상황에 따라 빛을 고루 전달하지 못하므로, 눈부심, 농작물 결실저해 및 수면 방해 등의 광공해를 발생시키고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 주변 환경 및 도로 상황에 따라 조사되는 빛의 각도를 조절할 수 있는 새로운 구조의 LED 가로등 기구를 제안 하였다. 제안된 LED 가로등 기구는 반원구조의 형상을 갖는 각도 조절 장치를 이용하여 도로의 종류 및 특성에 따라 배광특성을 조절 할 수 있도록 하였다. 측정 및 모의실험결과 배광각도는 최소 100°에서 최대 154°까지 조절이 가능함을 확인하였고, 평균조도는 KS 규정의 15%를 초과하였으며, 종합 균제도는 KS 규정의 50% 이상을 초과하여 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 개발된 대용량 LED 가로등 기구는 광공해를 해소하고 광원 분포의 균제도 최적화와 눈부심을 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract Conventional streetlight with the not-adjustable light distribution characteristic is generating light pollution such as glare, damage to the crops and disturbed sleep, because beam of streetlight is not distributed evenly according to the surrounding areas and road conditions. In this paper, we proposed the new structure LED streetlight controlled light irradiation angle according to the surrounding areas and road conditions. Proposed LED streetlight are available to the adjustable light distribution characteristic using the half-circle angle control device. Result of measurement and simulation, beam angle is made available to control at least from 100° up to 154°, average illumination exceeded 15% of KS regulation and overall uniformity exceeded more than 50% of KS regulation. the Developed large capacity LED streetlight luminaire is considered to minimize glare and light pollution and optimize uniformity ratio of illuminance.

Keywords : angle control device, LED, LED streetlight, Light distribution characteristic

1. 서론

전 세계적으로 환경과 신재생 에너지 및 에너지 절약의 중요성이 인식되면서 신재생 에너지로는 태양광, 차세대 조명 광원으로는 LED (Light Emitting Diode: 발광다이오드)가 주목받고 있다. 특히 에너지 절약과 친환경 조명에 대한 관심이 고조되면서 기존 광원보다 효율이 좋은 LED 조명에 대한 연구가 증가되고 있다.[1]

LED조명 산업은 친환경 녹색 산업이며 전기에너지 절감효과가 우수하여 환경 규제 대응 수단으로 중요성이 부각되고 있다. LED는 전기가 인가되면 빛이 발광되는 반도체 소자로서 친환경(Eco-friendly), 저전력소비(Low Power Consumption), 소형화 등의 장점이 있다. 이러한 LED를 이용한 응용제품들은 휴대폰, LED TV, 자동차

*Corresponding Author : Wan-Bum Lee(Research Institute of Top LED Inc.)

Tel: +82-63-855-5510 email: lwtiger@naver.com

Received November 23, 2015

Accepted December 4, 2015

Revised (1st December 2, 2015, 2nd December 3, 2015)

Published December 31, 2015

차, 일반조명등으로 점차 확대되고 있다.[2-3]

특히 일반조명에 대해 지식경제부에서는 2020년까지 공공 조명의 100%, 전체 조명의 60%를 LED 조명으로 교체한다는 내용을 골자로 한 ‘LED 조명 2060 계획’을 발표하였다. 그리고 이를 기반으로 국내에서의 LED 조명 보급과 활성화에 앞장서고 있으며, LED 산업을 신성장동력으로 육성하기로 하였다.[4-5]

따라서 소비전력이 많은 방전식의 나트륨등과 메탈등을 사용하는 기존의 가로등도 소비전력이 적은 LED 가로등으로 대체되고 있는 실정이다. LED 가로등은 대부분 용량이 높은 Power LED 여러 개를 모듈화하여 사용하고 있다. 그러나 LED 가로등은 LED 광원의 직 방향성 특성 때문에 설치장소에 따라 조사각을 넓고 좁게 조절이 불가능하여 항상 일정한 각도로 빛을 비출 수밖에 없다는 문제가 따르게 되었다. 이러한 LED의 확산성 부족으로 운전자에게 눈부심을 주고, 가로등과 가로등 사이에는 광량이 적어 사각지대가 형성되어 야간 차량 통행의 어려움을 발생시킨다. 또한 농작물 결실저해 및 주택가 야간 수면 방해 문제 등의 광공해를 발생시키고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 주변 환경 및 도로 상황에 따라 조사되는 빛의 각도를 조절할 수 있는 새로운 구조의 LED 가로등기구를 제안하였다.

2. 기존 가로등 구조 분석

2.1 일반 가로등

도로상에 설치되어 있는 일반적인 가로등은 도로를 따라서 대략 30~50m의 간격으로 일정하게 배치되고, 조명등으로서는 통상 나트륨등이나 메탈등을 사용하는 것이 일반적이었다. 그러나 이와 같이 나트륨등이나 메탈등을 사용하는 일반 가로등은 방전식 램프로 소비전력이 크고, 환경오염 물질이 다량 함유되어 있어 소비전력이 적고 친환경적인 LED 가로등으로 교체하고 있는 실정이다. 또한 일반 가로등은 배광특성을 조절할 수 없어, 즉 가로등 빛의 조사각이 획일적으로 되어 있어 농작물 결실저해 및 주택가 야간 수면 방해 문제 등의 광공해를 발생시키고 있다.



Fig. 1. Normal Street Lighting

이러한 문제를 해소하기 위해 Fig. 1과 같이 인위적인 빛 차단장치를 부착하여 사용하고 있는 실정이다.[5-7]

2.2 기존 LED 가로등

기존의 LED 가로등기구의 구조를 보면, Fig. 2와 같이 도로환경에 따라 배광특성의 성능 향상을 하기 위해서 등기구면에 라운드를 형성하여 다수개의 LED를 구성하거나, 등기구의 부분적으로 혹은 전체적으로 빗각으로 형성되어 지는 구조를 가지고 있다. 이러한 제품의 배광 성능을 높여주기 위해서는 많은 양의 LED가 사용되어야 하므로 원가가 상승 되고, 다양한 형태의 등기구를 제작해야 하는 문제점이 있다.[5-7]

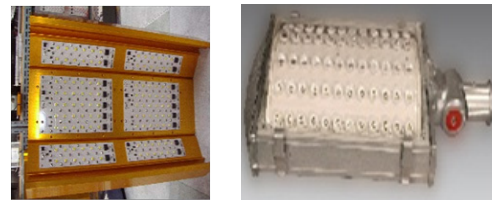


Fig. 2. Structure of conventional LED streetlight

또한 노면의 넓이와 거리에 따라 다양한 형태의 구역 내에 빛을 전달하지 못하고 있다. 따라서 LED의 빛이 일정구역이나, 도로의 상황에 따라 고루 비추어질 수 있는 균제도 제어 기술이 요구되고 있는 실정이다.

3. 새로운 구조의 LED 가로등

3.1 평판절곡형 알루미늄 다이캐스팅 3단계 방열 시스템 개발

제안된 방열 시스템은 Fig. 3과 같이 Main 방열판, 1차방열판, 2차방열판으로 구성되었으며, 각 방열판은 각

도 조절 기능을 갖추면서 단면적을 넓게 하여 방열효과를 극대화하기 위해 Slice 형태로 제작하였다. Main 방열판은 도로풍, 빌딩풍에 따른 열섬효과(먼로효과) 해소 이론을 바탕으로 설계하여 열 방출 효과를 최대화 할 수 있도록 개발하였고, LED 광원이 장착되는 뒷부분에 방열구조를 집중시켜 보다 효율적으로 방열이 이루어지도록 하였다. 또한 방열판을 구배형태로 제작하여 가장 많은 열을 발산하는 중심부의 방열판을 높게 하여 방열을 효율적으로 처리하였다. 1차 방열판은 방열 및 각도조절을 할 수 있도록 반원구조로 설계하여 조명의 배광특성을 효과적으로 나타낼 수 있도록 하였다.

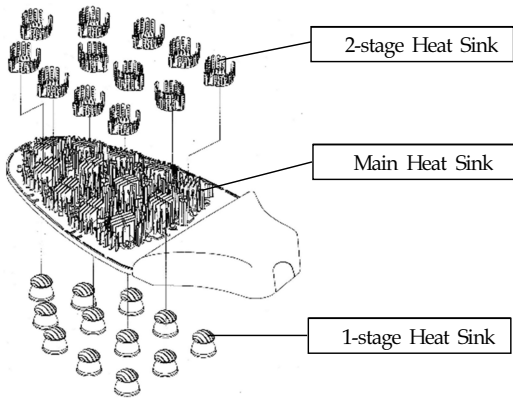


Fig. 3. Heat sink system of 3-stages

본체 방열판에 다수 배열의 반원구조가 형성되어 상부에 다수개의 방열 핀이 구성되고 둘레에 리벳 핀과 방열구조물이 결합 되도록 안치부를 이루게 하였고, 알루미늄 판재를 이용하거나, 파이프 또는 압출성형구조물을 일체화시킴으로써, 무게가 가벼운 방열판을 이루게 된다. 다수개의 방열핀이 구성된 메탈 PCB 방열구조물인 1차 방열판은 반원 형태로 구성하여 방열면적을 극대화시켜 메탈 PCB에 구성된 LED의 효율을 증대시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한 조립성의 간소화와 간편한 사후 관리로 경제성을 제고할 수 있으며, 제품의 신뢰성을 보장할 수 있다. 본체 등기구내에 일정간격의 음각으로 반원돌출부 구조가 형성되어 둘레에 나사공을 이루게 하여 다수개의 LED로 구성된 PCB와 반사경이 일체되어 반원구조물 조립체가 구성된다. 반원구조물 조립체는 PCB와 반사경을 일체시켜 각도조절고정와서를 체결하게 되면 고정과 동시에 각이 형성되게 되는데, 서로 다른 각에 의하여 자유롭게 배광특성 조절이 가능하게 되어 농작물

웃자람에 의한 결실 저해 요인 감소 및 주택가 야간 수면방해 문제 등 광공해를 해소 할 수 있다.

3.2 배광 특성 조절장치 개발

반원구조 형상을 갖는 각도조절장치는 Fig. 4와 같이 다수개의 LED가 장착된 Metal PCB에 리플렉터를 구성하고 리플렉터 테두리에 쇼트 홈을 형성하여 반사경이 탈·부착이 가능하도록 구성한 다음 Metal PCB에 부착된 반원 형태의 방열 핀을 결합하여 반원구조물 조립체를 구성한다.

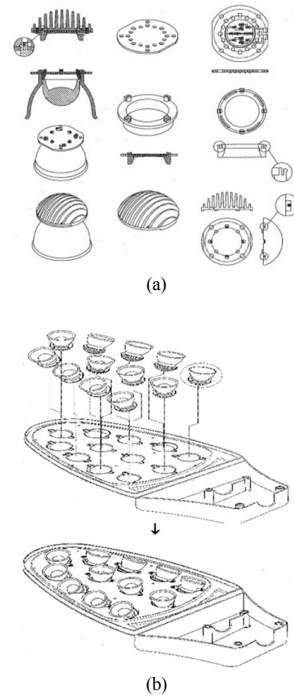


Fig. 4. Structure of angle control device
(a) Half-circle angle control device
(b) Main heat sink with the angle control device

반원구조물 조립체는 PCB와 반사경을 일체시켜 각도 조절고정와서를 체결하게 되면 고정과 동시에 각이 형성되게 되는데, 각도조절고정와서의 형태에 따라 각도조절장치는 Fig. 5와 같이 크게 표준형과 초광각형 2가지 Type으로 구분되어진다. 표준형은 5도, 10도, 15도, 20도, 25도, 30도, 35도의 각도를 자유롭게 조절이 가능하게 되어 한 개의 등기구로 등주의 높이에 따라 다양한

배광특성을 나타낼 수 있다. 초광각형은 최대 60도까지 각도조절이 가능하여 배광특성을 150도 수준까지 가능하도록 함으로서 사용자 및 고객의 요구에 탄력적인 대응이 가능하도록 개발하였다.

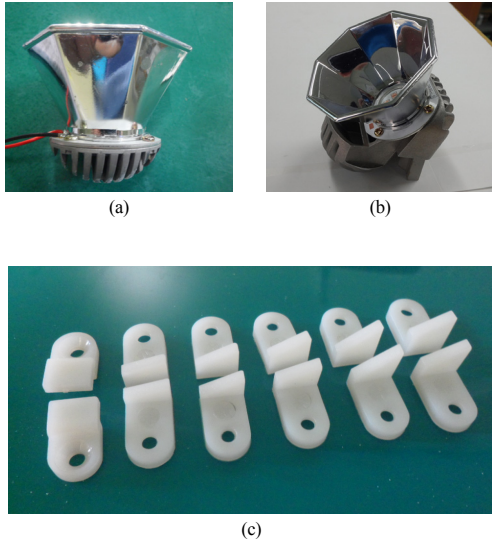


Fig. 5. Type of angle control devices and fixture washer for angle control
 (a) Standard Type (b) Super wide angle type
 (c) Fixture washer for angle control

최근에 서울시 및 경기도에서 ‘인공조명에 의한 빛 공해 방지조례’를 제정할 만큼 광공해에 대한 문제가 크게 대두 되고 있다. 따라 본 연구개발에서 제안한 각도 조절 장치의 장점은 농작물 성장저해 요인 및 주택가 야간 수면방해 문제 등의 광공해를 해소 할 수 있다는 것이다. 또한 도로의 종류 및 특성에 따라 운전자에 눈부심을 주지 않고, 균제도를 양호하게 유지시킬 수 있도록 배광특성을 조절할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 개발된 각도 조절장치를 이용한 대용량 LED 가로등기구의 배광도를 전북테크노파크에서 측정하였다. 측정 결과 Fig. 6과 같이 Beam 각도를 100.7°에서 154.3°로 가변할 수 있음을 확인하였으며, 최대 Beam 각도가 일반적인 가로등 Beam 각도 120~140° 보다 높게 나타나므로 개발 제품의 성공적인 배광특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

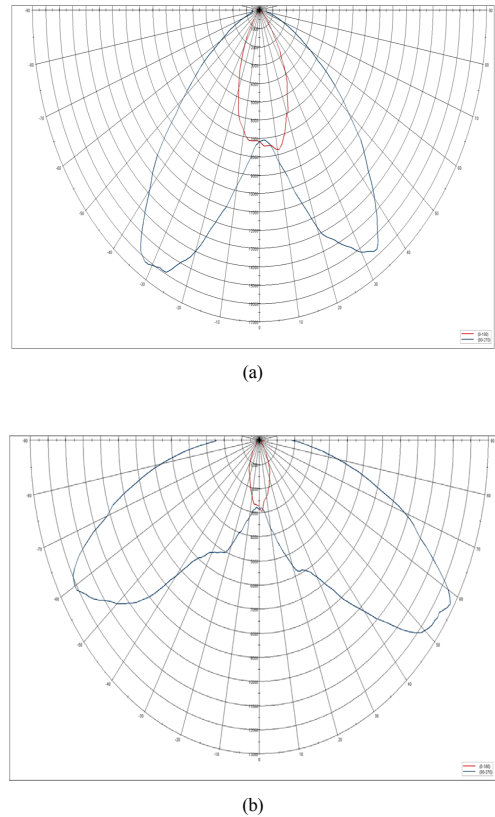


Fig. 6. Light distribution diagram according to angle control devices
 (a) Beam angle 100.7° (b) Beam angle 154.3°

3.3 고효율 SMPS 회로 설계 및 개발

최적의 광출력, 신뢰성, 수명, 전력소비 등을 만족하는 고효율의 LED 구동 회로를 설계하기 위해서는 각 LED의 성능 및 특성 등을 정확하게 분석한 후에 설계해야 한다. SMPS의 설계기술은 여러 가지 방식이 있지만, 가격이 저렴한 플라이백 방식과 포워드 방식을 주로 사용한다. 하지만 이 방식은 효율이 떨어지는 문제점을 가지고 있다.[8-9] 따라서 본 연구에서는 높은 효율의 SMPS를 개발하기 위해서 LED 소자 자체의 기본적인 전기적, 광학적, 열적 특성 등을 분석한 후 하프 공진 방식과 2차측 정류 방식을 이용하였다. 그리고 LED 광원 모듈의 배열 및 Watt수에 따라 Fig. 7과 같이 회로를 설계하여 고효율의 SMPS를 개발하였다.

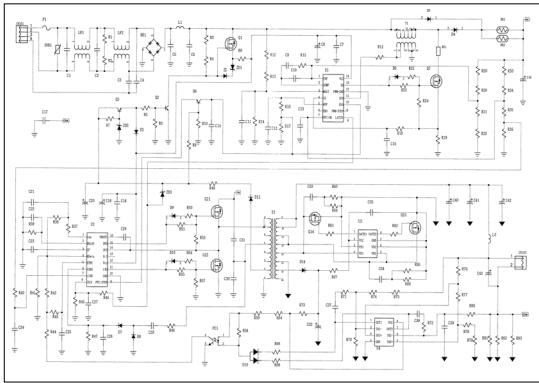


Fig. 7. Proposed SMPS circuit

기존의 SMPS 회로와 개발된 SMPS 회로를 Table 1. 과 같이 분석하였다. 분석결과 효율이 대략 86%에서 93%로 약 7% 정도 상승됨을 확인할 수 있었다.

Table 1. SMPS(240W) Circuit analysis

Circuit	Power Consumption	
	Conventional	Proposed
EMI and Rectifier Circuit	1 W	1 W
PFC Circuit	2.5664 W	2.5664 W
Switching Circuit	4.356 W	1.089 W
Secondary Rectifier Circuit	6.272 W	0.819 W
CV and CC Circuit	2.5 W	1.5 W
Trans. Circuit	15 W	8 W
Total	약 31.69W	약 14.96
Power Efficiency	86%	93%

4. 모의실험 및 결과

개발된 240W급 대용량 고효율 LED 가로등기구의 광특성 및 배광특성을 분석하기 위하여 전복테크노파크 장비운영팀에 측정의뢰를 하였다. 측정 결과 배광특성은 Fig. 8과 같이 최대 Beam 각도 154.3도로 측정되었다.

개발된 240W급 대용량 LED 가로등기구의 전체적인 성능을 평가하기 위하여 (재)전복테크노파크의 배광기로 측정하여 얻은 IES 파일과 Relux 프로그램을 이용하여 모의실험을 수행하였다.[10] 모의실험에 사용된 가로등 설치 기준은 한국산업표준 KS C 7658에 있는 Spec으로 Table 2와 같이 가로등을 설치하여 Relux 프로그램으로 모의실험을 수행하였다.[11-12]

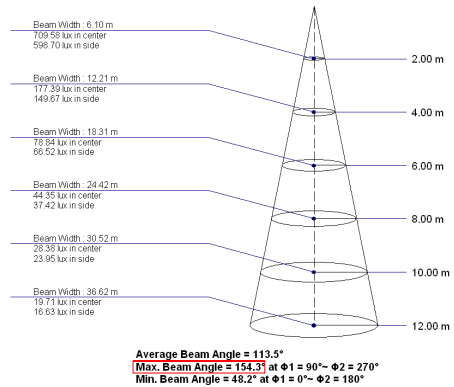


Fig. 8. Beam angle and illuminance with the height

Table 2. Installation height and distance of LED street lighting luminaire with the width of roadway

Installation height	Width of roadway	[unit : m]		
		2 lane	3 lane	4 lane
8m	One side	24	-	-
	Staggered layout	24	24	-
	Both sides	-	28	24
10m	One side	30	-	-
	Staggered layout	30	30	-
12m	Both sides	-	35	30
	One side	42	36	-
	Staggered layout	-	36	36
	Both sides	-	42	42

Fig. 9는 Table 2의 가로등 설치 Spec 즉, 4차선을 기준으로 해서 설치높이는 12m, 설치간격은 36m, 설치형태는 지그재그로 설치된 가로등 형태를 나타내고 있으며, 이러한 구조로 모의실험을 수행하여 LED 가로등기구의 성능을 분석하였다.

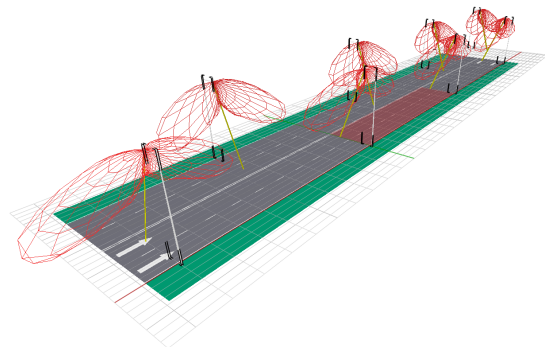
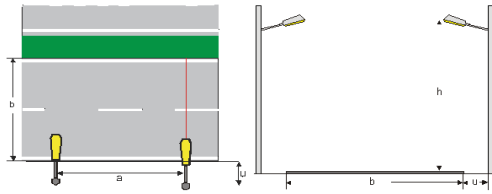


Fig. 9. Installation Type of LED streetlight used in simulation

개발된 240W급 대용량 고효율 LED 가로등기구의 모의실험 결과는 Fig. 10과 같다.



Luminaire data	
Manufacturer	
Order No.	st_mast(240W_0703)
Luminaire name	st_mast(240W_0703)
Equipment	1 x / 19892 lm
Road layout	
Width of roadway	(b): 8.00 m
No. of lanes	2
Road surface category	R3
Right hand drivers	0.08
Luminaire placing	
photometric centre height	(h): 12.00 m
Distance between masts	(a): 36.00 m
Kerb distance	(u): 0.50 m
Inclination	(θ): 0.00°
Maintenance factor	0.80
Luminaire layout	
Observer location 1	x=-60.00m, y=2.00m, z=1.50m
Average	3.3 cd/m ²
Minimum	2.42 cd/m ²
U0 (min/average)	0.73
U0 (min/average,wet)	0.7
Observer location 2	x=-60.00m, y=6.00m, z=1.50m
Average	3.23 cd/m ²
Minimum	1.78 cd/m ²
U0 (min/average)	0.55
U0 (min/average,wet)	0.54
Longitudinal uniformity	
U1 (B1: x = -60.00, y = 2.00, z = 1.50)	0.71
U1 (B2: x = -60.00, y = 6.00, z = 1.50)	0.84
Glare / surrounding brightness	
TI (B2: y=6.00m)	25 %
SR	0.53
Horizontal illuminance E	
Average	33.4 lx
Minimum	21.4 lx
Maximum	47.9 lx
Min / average	0.64
Min / max	0.45

Fig. 10. Result of simulation

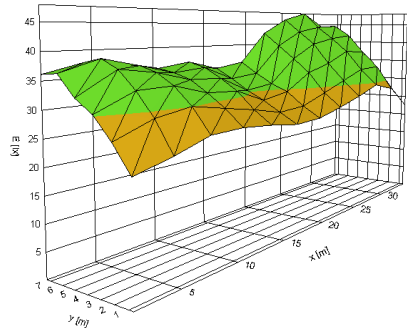
모의실험결과를 분석해보면 종합 균제도는 0.64 (Min/Max)로 KS 규정의 0.4 이상을 만족함을 확인할 수 있었고, 차선측 균제도도 1차선에서는 0.71, 2차선에서는 0.84로 KS 규정의 0.7 이상을 만족함을 확인하였다. 또한 Fig. 11은 Relux 프로그램으로 측정된 조도 부분을 나타내고 있으며, Fig. 11의 (a)는 측정된 조도 값을 나타내고, (b)는 조도 값을 3차원으로 나타내고 있다. 평균조도가 33.4[lux]로 KS 규정의 조도 29[lux]를 초과됨을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

기존의 가로등은 배광특성 조절이 어려워 주변 환경 및 도로의 상황에 따라 빛을 고루 전달하지 못하므로, 운전자에게 눈부심을 발생시키고 도로 주변의 농작물 결실 저해 및 주택가 야간 수면 방해 등의 광공해를 발생시키고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를

[lx]	36.1	37.8	36.9	36.8	36.7	34.8	36.9	42.7	45.2	H2.9	44.4	37.5
6.00	36.5	38.6	36.9	36.1	36.7	32.7	33.4	39.6	43	44.2	44.5	39.1
4.67	32.5	36.9	36.8	33.9	33.8	30.3	31.2	36.5	40	41.2	41.9	34.1
3.33	30.3	33.4	33.5	31.5	31.1	26.4	26.5	33.4	35.2	37.9	37.5	32
2.00	26.3	29	30.1	28.8	27.6	26.1	26.5	28.8	31	33.4	33.6	27.3
0.67	21.4	23.1	25.3	25.5	24.8	23.8	24.1	25.6	27.4	29.5	27.9	22.6
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50	31.50	34.50
	Illuminance [lx]											
Height of the reference plane	Ear	0.00 m										
Average illuminance		33.4 lx										
Minimum illuminance	Emin	21.4 lx										
Maximum illuminance	Emax	47.9 lx										
Uniformity g1	min/average	1 : 1.96 (0.64)										
Uniformity g2	min/max	1 : 2.24 (0.45)										

(a)



(b)

Fig. 11. Illuminance value and 3-D illuminance distribution diagram according to simulation
(a) Illuminance value
(b) 3-D illuminance distribution diagram

해결하기 위해 주변 환경 및 도로 상황에 따라 조사되는 빛의 각도를 조절할 수 있는 새로운 구조의 LED 가로등 기구를 제안 하였다.

제안된 LED 가로등 기구는 고효율 SMPS, 평판절곡형 알루미늄 다이캐스팅 3단계 방열 시스템, Module 방식의 광원과 반원구조의 형상을 갖는 각도 조절 장치를 이용하여 도로의 종류 및 특성에 따라 배광특성을 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 제안된 LED 가로등기구의 광특성 및 배광특성을 분석하기 위하여 IES 파일과 Relux 프로그램을 이용하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험결과 배광각도는 최소 100°에서 최대 154°까지 조절이 가능함을 확인하였고, 평균조도는 KS 규정의 15%를 초과하였으며, 종합 균제도는 KS 규정의 50% 이상을 초과하여 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구를 통하여 개발된 배광특성 조절이 가능한 대용량 LED 가로등 기구는 기존의 400~500W 메탈 가로등을 대체할 수 있을 뿐만 아니라, 각도조절이 가능하여 광공해를 해소하고 광원 분포의 균제도 최적화와 눈부심을 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Y.M. Ryu, Trend of Market and Technology for LED, J. the Institute of Electronic Engineers of Korea, No. 2, Vol. 37, pp. 148-163, Dec. 2009
- [2] Jang-weon Lee, Jae-Weon Im, Kyung-Han Lee, Astudy on Market of LED Products, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp59-62, 2010.
- [3] Y.M Yoo,"Market and Technical Trends of LED, The Magazine of the IEEK, Vol. 37, No.2, pp.148-163, 2010.
- [4] I.S. Chung , Analysis of Companies and Standardization for LED Industry, J. Korea Institute of Science and Technology Information, Oct. 2008
- [5] T.W. Moon, W.J. Jang A Study on global LED Standization trends and Dissemination Policies, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Autumn Annual Conference 2011.
- [6] H.J. Chung, Fast Expansion of LED Industry, 2012, The Energy Economy Times, 4th.Jan.2012
- [7] Hyang-Kon Kim, Hhung-Seog Choi, Study on Thermal Pattern and Current Characteristics of an LED Street Lamp Journal of IKEEE (Journal of IKEEE) vol.58, no.3, pp. 357-361 2009.
- [8] J.H. Chung , Study of Design and Application for LED Power Driving System with High Generation, M.A. Sc. Thesis, University of Mok-po in Korea, Feb. 2006
- [9] J.H. Chung et al , LED Driving System with High Generation in method of Back-Book , J. the Institute of Power Electronics, No. 3, Vol. 11, June 2006
- [10] <http://www.relux.biz>
- [11] KS C 7658, LED Streetlight and Security Light luminaires, 2014
- [12] KS A 3701, Road Lighting Standards, 2014.

이 완 범(Wan-Bum Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
- 1997년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2014년 2월 : 중부대학교 외래교수
- 2010년 10월 ~ 현재 : (주)탐엘이디 기업부설연구소 연구소장

<관심분야>

임베디드하드웨어 설계, LED 조명 제어, 통신 및 회로설계