

LED램프와 메탈램프가 도로조명환경에 미치는 특성 비교평가

Effects of LED Lamps for Replacement of Metal Halide Lamp in Roadway Lighting Environment

이 명 기* 김 정 태**
Lee, Myung Gi Kim, Jeong Tai

Abstract

The problems of light pollution first became an issue in the 1970s when astronomers identified the degradation of the night sky due to the increase in lighting associated with development and growth. As more impacts to the environment by lighting have been identified, many attempts have been made for reducing light pollutions. To prevent light pollution and increase energy efficiency, Seoul Metropolitan Government(SMG) replaced metal halide road lighting to LED luminaire in four arterial highway in Seoul. The present study compared the lighting characteristics of metal halide and LED luminaire in terms of Korea Standard for road lighting(KS A 3701) and BUG rating from Illuminating Engineering Society of North America(IESNA). The results showed that LED luminaire increased road surface luminance up to 2 times in average compared to the metal halide environment. Also, LED luminaire reduced the glare value by 2 times and luminous flux over 50% than the metal halide luminaire. In comparison with the BUG ratings, LED luminaire rated 1 degree lower for the backlight ratings and 3-4 degrees lower for the upright ratings. The measured values testified that the LED luminaire is effective for roadway lighting and light pollution reduction.

키워드 : 엘이디 램프, 메탈 램프, 배광, 빛공해, 도로조명

Keywords : LED lamp, Metal halide lamp, Luminaire Intensity Distribution, Light pollution, Road lighting

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

인공조명에 의해 발생하는 상향광은 스카이라인유를 형성하여 밤하늘에 별을 관측할 수 없게 하며, 조명영역을 벗어난 전사광, 후사광은 건축 및 주택의 창면으로 투사되어 침입광이 되고 있으며, 눈부심은 현회 현상 나아가 불능현회 현상을 유발하여 시민 건강과 안전사고를 일으킬 수 있는 상황을 만들곤 한다. 야간조명으로 인한 빛공해에 대한 연구는 해안가 야간경관조명[1], 복합쇼핑건물[2], 공원[3] 등 다양한 지역 및 건물용도에 따라 실시되었으며 각각의 해결방안도 제시하고 있다.

최근에는 LED조명의 개발 및 보급에 따라 나트륨, 메탈 등과 같은 기존 등을 LED로 교체하거나 설계단계에서부터 LED를 가로등으로 설치하는 사례도 증가하고 있다. LED 광원은 실내조명 분야에서는 소형, 경량이며 환경적으로도 안정화 되어 있는 장점이 있어 개발 및 실용화 단계를 거쳐 확대보급단계에 와 있다.

그러나 도로조명은 대형, 중량이며, 환경적으로 열악하여 도로조명용 LED광원의 개발 및 실용화 확대보급은 어려운 실정이다. 이에 따라 서울시에서는 도로조명용 LED광원의 유용성을 검증하기 위하여 서울시내 중심 간선도로 4개 도로를 시범도로로 구축하여 LED 등으로 교체사업을 진행하였다.

따라서 본 연구의 목적은 도로조명으로 설치된 LED광원의 광학특성을 분석하여 빛공해 발생여부 및 도로조명기준 만족여부를 검증하는 것이다. 이를 위하여 LED교체사업이 진행된 4개의 간선도로의 기존 메탈광원과 LED광원으로 교체시의 배광특성, 국내의 도로조명기준 비교 분석을 통해 검증을 실시하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 LED교체사업이 진행된 우정국로(왕복6차로), 서소문로(왕복6차로), 양화로(왕복8차로), 통일로(왕복8차로)등 총 4개의 도로를 선정하였다. LED조명의 광학 특성 및 빛공해 평가는 기존광원과 LED광원의 광학 측정을 통하여 기존광원과 LED광원의 도로조명(KS A 3701) 부합여부를 파악하고, 배광곡선(상향광속 및 후사광속)을 측

* 서울시 서울도시빛정책팀장 (mkm3725@seoul.go.kr)

** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수 (jtkim@khu.ac.kr)

정하여 기존광원 대비 LED광원의 광속 감소율을 분석하였다. 마지막으로 북미조명학회(IESNA)의 BUG등급(후사광, 상향광, 눈부심)을 기존광원과 LED광원과 비교분석하여 빛공해 여부를 평가하였다.

2. 도로조명의 빛공해 관리 규정

2.1 한국산업규격 도로조명 기준

산업규격 KSA3701 도로조명기준에서는 도로 및 교통의 종류에 따라 도로조명 등급을 정하여 설계 시 기본적인 기준으로 적용할 수 있게 하였다. 도로의 종류로는 ① 상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속도로, 자동차전용도로 또는 고속도로가 있고, ② 고속도로 상하행선의 분리도로와, ③ 주요한 도시교통로, 간선도로, 국도가 있다. 또한 ④ 중요도가 낮은 연결도로, 지방연결도로, 주택지역의 주 접근도로, 사유지로의 접근도로와 연결도로 등 크게 4단계로 분류된다<표 1>.

표 1. 도로의 종류별 도로조명 등급

| 도로 종류 | 교통의 종류와 동차교통량 | 도로조명 등급 |
|-------|--|---------|
| ①의 도로 | 교통량이 많으면서 도로선형이 복잡함 ¹⁾ 경우 | M1 |
| | 교통량이 많거나 도로선형이 복잡한 경우 | M2 |
| | 교통량이 적고 도로선형이 단순한 경우 또는 변형경이 어두운 경우 | M3 |
| ②의 도로 | 교통제어 ²⁾ 와 다른 형태의 도로사용자 ³⁾ 의 분리 ⁴⁾ 가 부족함 | M1 |
| | 교통제어와 다른형태의 도로사용자의 분리가 잘 되어 있음 | M2 |
| ③의 도로 | 교통제어와 다른 형태의 도로사용자의 분리가 부족함 | M2 |
| | 교통제어와 다른형태의 도로사용자의 분리가 잘 되어 있음 | M3 |
| ④의 도로 | 교통제어와 다른형태의 도로사용자의 분리가 부족함 | M4 |
| | 교통제어와 다른형태의 도로사용자의 분리가 잘 되어 있음 | M5 |

(출처: KS도로조명기준(KS A 3701:2007))

- a 도로선형의 복잡함이란 도로의 기본구조,차량의 이동, 그리고 시각적 환경을 의미한다. 이때 고려하여야 할 요인은 다음과 같다. - 차선의수, 경사면의 수, 신호등 및 표지, 진출입용 램프, 진입차량, 진출차량, 등의 존재도 고려하여야 한다.
- b 교통제어란 신호등과 표지판의 존재, 그리고 법규의 존재를 말한다. 제어의 수단은 교통신호등, 통행 우선권의 규칙, 우선권의 법규와 표지, 교통표지판, 방향표지, 그리고 도로표지 등이 있다. 이러한 수단이 없거나 빈약한 경우 교통제어가 부족한 것으로 본다.
- c 다른 형태의 도로 사용자란 예를 들어 자동차, 트럭, 저속 차량, 버스, 자전거, 보행자 등을 말한다.
- d 분리란 전용차선의 방법이나 한 가지 또는 그 이상의 교통 형태에 대한 제한을 가하는 것으로 이루어질 수 있다. 이러한 분리가 있다면 낮은 등급의 조명을 행할 수 있다.

도로의 종류별 도로조명 등급을 보면, 도로 및 교통의 종류와 자동차의 교통량을 분별하여 도로조명등급을 정하는 것은 현실적으로 도로가 명확히 구분되어 있지 않아, 도로관리청의 도로조명담당자 및 설계자가 도로등급을 정하고 이를 적용하는데 많은 혼란을 빚고 있다. 또한 우리나라 도시의 대부분을 M2 등급으로 분류하여 관리하고 있으나 균제도가 좋은 광학성능의 기능적 고효율 등기구를 적용한다면, M3 도로조명등급으로도 안전한 밤 환경이 조성될 수 있다고 본다. 다만 근래에는 단서, c, d의 예를 들어 M3 등급으로 낮추어 적용하고 있다. 이 경우 도로에 있어 보도가

없는 도로구조는 지방도시의 일부를 제외하고는 전반적으로 보도가 설치되어 있어 이에 대한 개념과 기준을 명확히 할 필요가 있다.

운전자에 대한 도로조명의 휘도 기준은<표 2> M1, M2 도로조명 등급의 경우 평균노면휘도 최소허용치 2.0cd/m² 및 1.5cd/m², 종합균제도 0.4, 차선축균제도 0.7, 눈부심지수 최대 허용치 10% 이내로 규정되어있으나, 이 규정치를 지키는데는 많은 어려움이 있다. 특히 눈부심지수를 10% 이내로 한다는 것은 조명기구의 광학성능이 핵심이나 우리의 기술 수준으로는 이를 달성하기가 그간 쉽지 않았다 앞으로는 눈부심지수의 저감 대책에 대한 연구가 더 필요하다.

표 2. 운전자에 대한 도로조명의 휘도기준

| 도로 조명 등급 | 평균노면 휘도 (최소허용치) Lavg(cd/m ²) | 휘도 균제도(최소허용치) | | Ti(%) (최대허용치) |
|----------|--|---------------------|----------------------|---------------|
| | | 종합균제도(Uo) Lmin/Lavg | 차선축균제도(Ul) Lmin/Lmax | |
| M1 | 2.0 | 0.4 | 0.7 | 10 |
| M2 | 1.5 | 0.4 | 0.7 | 10 |
| M3 | 1.0 | 0.4 | 0.5 | 10 |
| M4 | 0.75 | 0.4 | - | 15 |
| M5 | 0.5 | 0.4 | - | 15 |

(출처: KS도로조명기준(KS A 3701:2007))

2.2 북미조명학회 도로조명 분류등급 및 기준

북미조명학회는 조명기구 분류 시스템(LCS : Luminaire Classification Systems)을 개발하여 좀 더 체계적으로 조명기구 등급을 전방광, 후사광, 상향광에 따라 구분하였다 <그림 1>. 조명기구 평가등급은 후사광, 상향광, 눈부심을 이용하여 조명기구의 광학적 성능평가에 사용하는데, 간단히 BUG (Backlight-Uplight-Glare)라고도 한다. B, U, G등급은 해당입체각으로 조사되는 광속에 따라 다음 기준으로 각 등급이 부여된다<표 3~5>.

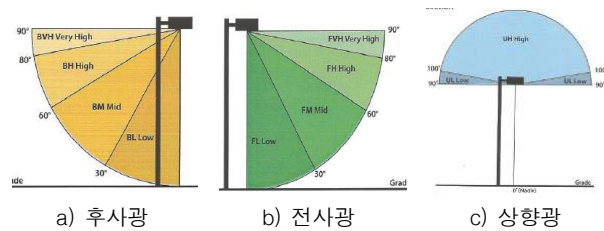


그림 1. 각도에 따른 배광분포 분류

표 3. 해당입체각의 최대광속(lumen)별 B등급

| 등급 \ 입체각 | B0 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|----------|-----|------|------|------|------|-------|
| BH | 110 | 500 | 1000 | 2500 | 5000 | >5000 |
| BM | 220 | 1000 | 2500 | 5000 | 8500 | >8500 |
| BL | 110 | 500 | 1000 | 2500 | 5000 | >5000 |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

표 4. 해당입체각의 최대광속(lumen)별 U등급

| 등급 입체각 | U등급 | | | | | |
|-----------|-----|----|-----|------|------|-------|
| | U0 | U1 | U2 | U3 | U4 | U5 |
| UH | 0 | 10 | 100 | 500 | 1000 | >1000 |
| UL | 0 | 10 | 100 | 500 | 1000 | >1000 |
| FVH | 10 | 75 | 150 | >150 | | |
| BVH | 10 | 75 | 150 | >150 | | |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

표 5. 해당입체각의 최대광속(lumen)별 G등급

| 등급 입체각 | G등급 | | | | | |
|-----------|-----|------|------|------|-------|--------|
| | G0 | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 |
| FVH | 10 | 250 | 375 | 500 | 750 | >750 |
| BVH | 10 | 250 | 375 | 500 | 750 | >750 |
| FH | 660 | 1800 | 5000 | 7500 | 12000 | >12000 |
| BH | 100 | 500 | 1000 | 2500 | 5000 | >5000 |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

조명기구의 BUG등급에 따라 북미조명학회와 국제다크스카이협회는 MLO(Model Lighting Ordinance)라는 도로조명 빛공해 방지기준을 개발하였으며, 이를 <표 7~10>에 나타낸다. MLO는 <표 6>의 5종 조명환경관리구역에 따라 상향광, 글레어, 침입광에 대한 기준을 제시하고 있다.

표 6. MLO의 조명환경관리구역

| 지역 | 환경지역의 밝기 | 적용의 예 |
|------|---------------|------------------------|
| LZ-0 | 어두운 지역 | 국립공원이나 보호구역 |
| LZ-1 | 낮은 휘도분포지역 | 농어촌 지역, 저밀도 인구분포 지역 |
| LZ-2 | 중간 휘도분포지역 | 상업지역, 상업 및 주거 혼합지역 |
| LZ-3 | 조금 높은 휘도분포 지역 | 대도시, 오피스지역 |
| LZ-4 | 높은 휘도분포지역 | 대규모 상업 및 오피스 지역 |

(출처: IESNA, IDA, Model Lighting Ordinance (MLO))

표 7. 침입광 방지를 위한 연직면 조도 제한치

| 침입광 방지를 위한 연직면 조도 제한치 | 조명환경구역 | | | | |
|---------------------------------|--------|-----|-----|-----|------|
| | LZ0 | LZ1 | LZ2 | LZ3 | LZ4 |
| 대지구획선 모든 지점에서의 최대 연직면 조도(lx) | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 8.0 | 15.0 |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

표 8. 침입광 및 글레어 방지를 위한 최대허용 U등급

| 상향광 억제를 위한 최대 허용 U등급 | 조명환경구역 | | | | |
|----------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | LZ0 | LZ1 | LZ2 | LZ3 | LZ4 |
| 허용되는 U 등급 | U0 | U0 | U1 | U2 | U3 |
| 상향광 (U)등급 | 도로조명이나 공간조명에서 상향광속의 백분율 | | | | |
| | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

표 9. 침입광 및 글레어 방지를 위한 최대허용 B등급

| 침입광 방지를 위한 연직면 조도 제한치 | 조명환경구역 | | | | |
|--|--------|-----|-----|-----|-----|
| | LZ0 | LZ1 | LZ2 | LZ3 | LZ4 |
| 대지 구획선 ¹⁾ 으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 2배 이상인 경우 | B1 | B3 | B4 | B5 | B5 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터 거리가 조 명기구 설치 높이의 1~2배인 경우 ²⁾ | B1 | B2 | B3 | B4 | B4 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5~1배인 경우 ²⁾ | B0 | B1 | B2 | B3 | B3 |
| 도로에 인접한 대지 구획선 및 구획선 방향으 로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5배 이 하인 경우 ¹⁾ | B0 | B0 | B1 | B2 | B3 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5 이하인 경우 ²⁾ | B0 | B0 | B0 | B1 | B2 |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

- 1) 개인이 소유한 대지의 특정 넓이의 가장자리
- 2) 전방광이 대지 구획선을 향하도록 조명기구를 설치해서는 안 됨.

표 10. 침입광 및 글레어 방지를 위한 최대허용 G등급

| 침입광 방지를 위한 연직면 조도 제한치 | 조명환경구역 | | | | |
|--|--------|-----|-----|-----|-----|
| | LZ0 | LZ1 | LZ2 | LZ3 | LZ4 |
| 대지 구획선 ¹⁾ 으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 2배 이상인 경우 | G0 | G1 | G2 | G3 | G4 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터 거리가 조 명기구 설치 높이의 1~2배인 경우 ²⁾ | G0 | G0 | G1 | G1 | G2 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5~1배인 경우 ²⁾ | G0 | G0 | G0 | G1 | G1 |
| 도로에 인접한 대지 구획선 및 구획선 방향으 로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5배 이 하인 경우 ²⁾ | G0 | G0 | G0 | G0 | G1 |
| 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5 이하인 경우 ²⁾ | B0 | B0 | B0 | B1 | B2 |

(출처: IESNA TM-15-07 BUG Rating)

- 1) 개인이 소유한 대지의 특정 넓이의 가장자리
- 2) 전방광이 대지 구획선을 향하도록 조명기구를 설치해서는 안 됨.

3. 측정대상 및 방법

3.1 측정대상 개요

서울시에서는 LED광원의 도로조명 부합여부를 분석하기 위하여 서울시내 중심 간선도로에 기존의 도로조명에 주로 사용되었던 메탈등과 나트륨등을 고효율 광원인 LED광원으로 교체하는 시범도로를 구축하였다. 이에 따라 본 연구에서는 시범구간 중 <표 11>과 같이 우정국로(왕복 6차로), 서소문로(왕복 6차로), 양화로(왕복 8차로), 통일로(왕복 8차선)등 4곳을 선정하였다.

선정된 4곳의 도로조명은 모두 양측배열로 20주가 교체되었다. 우정국로와 서소문로는 세미컷 형태의 250W 메탈등에서 우정국로는 세미컷 형태의 140W LED광원으로, 서소문로는 세미컷 형태의 170W LED광원으로 교체되었다. 양화로는 기존의 컷오프 형태의 양화로 250W 메탈광원, 통일로 350W 메탈광원에서 약 200W의 컷오프 형태의 LED등으로 교체되었다.

등기구의 설치간격은 우정국 25m, 양화로 27m, 통일로와 서소문로는 30m, 등주 높이는 모두 11m, 암길이는 2.5m였다. LED광원 역시 동일한 조건으로 설치되었다.

표 11. 연구대상 도로 및 조명형태

| 연구대상 | 위 치 | 모 습 | 조명기구 | | 조명광속(lm) | | 조명형태 | | 설치조건(m) | | |
|-------|------------------|---|-------------|-------------|----------|--------|------|------|---------|----|-----|
| | | | 교체 전 | 교체 후 | 교체 전 | 교체 후 | 교체 전 | 교체 후 | 높이 | 간격 | 압길이 |
| 우정국로 | 종로구 종로2가 조계사 앞 |  | 메탈등 250W | LED 141W | 26,000 | 10,752 | 세미컷 | 컷오프 | 11 | 25 | 2.5 |
| 서소문로 | 중구 중립동 대한항공 앞 |  | 메탈등 250W | LED 169W | 26,000 | 20,016 | 세미컷 | 컷오프 | 10 | 30 | 2.5 |
| 양 화 로 | 마포구 동교동 합정역 앞 |  | 메탈등 250W | LED 217W | 25,000 | 15,913 | 컷오프 | 컷오프 | 11 | 27 | 2.5 |
| 통 일 로 | 서대문구 홍은동 홍제육교 끝단 |  | 메탈등 350W | LED 200W | 38,200 | 11,872 | 컷오프 | 컷오프 | 11 | 30 | 2.5 |

3.2 측정방법

KS도로조명기준과 비교분석을 하기 위한 휘도 및 균제도는 LMK Mobile Advanced 대면휘도계로 측정하였다 <그림 2>. LMK 휘도계는 하드웨어는 캐논 EOS 550D 카메라와 Sigma 18-50mm 렌즈로 구성되며, 측정된 이미지는 LMK LabSoft 분석프로그램을 이용하여 휘도 및 균제도를 분석할 수 있게 된다. LMK의 휘도 측정범위는 0.1- 140,000 cd/m²이다. 배광곡선 분석은 각각의 조명기구들의 IES파일을 Optic Works 조명 시뮬레이션 프로그램에 입력하여 조명 기구의 상향광, 전방광, 후사광의 배광분포를 각각 분석하였다.



a) 카메라 및 렌즈 b) LabSoft 프로그램
그림 2. LMK Mobile Advanced 구성

4. 도로조명의 빛공해 실태분석

4.1 노면휘도, 균제도 및 눈부심 분석

일반 메탈광원이 설치되었을 때의 도로 조명환경은 우정국로가 평균노면휘도 0.57cd/m²로 4개 도로 중 가장 낮았으며, 통일로가 1.6cd/m²로 가장 높은 평균노면휘도를 나타냈다. LED광원으로 교체한 후에는 서소문로가 교체전보다 1.9배 휘도가 높아져 2.38cd/m²으로 가장 밝게 나타났다. 우정국로는 LED광원으로 교체 후 2.4배, 양화로와 통일로는 각각 1.3배씩 평균노면휘도가 높아졌다. KS도로조명기준과 비교하여 보면, 우정국로는 상향개선 되었지만, 기준에는 미치지 못하였고, 서소문로, 양화로는 기준미달에서 기준을 만족하는 것으로 개선되었다.

종합 균제도는 교체전의 경우도 기준을 만족하였지만 LED광원으로 교체한 후에는 서소문로와 양화로는 1.2~1.4배 균제도가 상향되었으며, 우정국로와 통일로는 0.9배, 0.6배씩 감소하였다. 차선 축 균제도의 경우, 교체전의 메탈광원은 대부분 기준미달이었던 반면, 교체 후에는 통일로를 제외한 다른 도로들은 상향 개선되거나, 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

눈부심지수는 교체 전에는 우정국로 2.4배, 서소문로 1.7배, 양화로와 통일로는 1.1배씩 눈부심지수의 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 교체 후에는 기준을 만족하지는 못하였지만 우정국로는 기준보다 1.9배, 서소문로는 1.1배 초과하여 교체 전보다 기준을 초과하는 비율이 감소하였으며, 양화와 통일로는 교체전과 후에 거의 동일한 눈부심 지수를 나타냈다.

표 12. 도로조명 교체에 따른 휘도, 균제도 및 눈부심 특성

| 위 치 | 조 명 | 노면 평균휘도 | 종합 균제도 | 차선축 균제도 | 눈부심 지수 |
|------|-----|------------|-----------|------------|-----------|
| 우정국로 | 메탈등 | 0.57 | 0.77 | 0.7~0.8 | 23.98 |
| | LED | 1.34 | 0.70 | 0.7~0.8 | 19.25 |
| 서소문로 | 메탈등 | 1.28 | 0.50 | 0.4~0.6 | 17.23 |
| | LED | 2.38 | 0.61 | 0.6 | 10.52 |
| 양화로 | 메탈등 | 1.29 | 0.51 | 0.6~0.7 | 11.33 |
| | LED | 1.70 | 0.70 | 0.7~0.8 | 13.77 |
| 통일로 | 메탈등 | 1.62 | 0.52 | 0.4~0.7 | 11.33 |
| | LED | 2.12 | 0.30 | 0.2~0.7 | 11.54 |

4.2 배광분포 분석

BUG등급은 후사광, 상향광, 눈부심에 대한 광속을 조명 기구의 후사광, 상향광, 전방광의 조사각도에 따라 구분하고 있다. <표 13>에 BUG등급에 따른 후사광, 상향광, 눈부심에 대한 조명기구별 광속량과 조명기구의 총 광속에 대한 각각의 광속비율을 나타낸다.

메탈광원을 사용하였을 경우, 조명기구 전체광속 대비 후사광의 광속은 평균 43%를 차지하였으며, 상향광은 1%,

눈부심에 대한 광속은 평균 27%를 차지하는 것으로 나타났다. LED광원을 사용하였을 경우도 후사광 37%, 상향광 1%, 눈부심은 24%로 나타났다. 전체적으로는 LED광원을 사용할 경우 후사광은 평균 54% 광속이 감소하며, 눈부심은 50%, 상향광은 68% 감소하여 상향광의 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다.

도로별로 보면, 우정국로의 경우 메탈광원에서 LED광원으로 교체한 경우 후사광, 상향광, 눈부심에 대한 광속이 평균 70% 감소하여 가장 큰 감소율을 나타냈으며, 통일로는 평균 60%, 서소문로와 양화로는 약50%의 감소율을 각각 나타냈다. 즉 총 광속대비 광속비율은 메탈광원과 LED광원의 차이가 적었지만, 광속량과 빛공해를 유발하는 상향광이 메탈광원보다 적게 발광되는 것으로 나타났다.

표 13. 도로별 BUG등급에 따른 배광광속

| 구 분 | | 광 속 (lm) | | |
|------|-----|-----------------|------------|----------------|
| | | 후사광 | 상향광 | 눈부심 |
| 우정국로 | 메탈 | 10,414 (401) | 461 (2) | 7,319 (29) |
| | LED | 3,186 (30) | 79 (1) | 2,726 (26) |
| 양화로 | 메탈 | 12,215 (49) | 141 (1) | 5,457 (22) |
| | LED | 5,786 (36) | 53 (0) | 4,281 (27) |
| 통일로 | 메탈 | 13,333 (42) | 469 (1) | 10,382 (28) |
| | LED | 5,505 (46) | 270 (2) | 2,642 (23) |
| 서소문로 | 메탈 | 10,414 (40) | 461 (2) | 7,319 (29) |
| | LED | 6,940 (35) | 78 (0) | 4,203 (21) |

1) 총 광속대비 광속비율

<그림 3>은 후사광, 상향광, 눈부심에 대한 광속을 조사각도별로 나타내고 있다. 후사광은 조명의 조사각도 0~80° (BL, BM, BH)의 광속으로 분석하게 되는데, 우정국로 양화로, 통일로, 서소문로 모두 LED광원이 메탈광원보다 광속량이 감소하는 것으로 나타났다. 우정국로의 LED광원 교체로 인한 감소율이 71%로 가장 높았으며, 양화로와 통일로는 약52%, 서소문로는 35% 감소율을 나타냈다.

빛공해에 직접적으로 영향을 미치게 되는 상향광의 경우 UH각도(100~180°)에서는 메탈과 LED광원 모두 빛이 발광하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 UL각도(90~100°)에서는 메탈광원의 경우 우정국로와 서소문로의 조명기구는 43lm, 양화로 6lm, 통일로 16lm의 광속을 나타냈지만, LED광원의 경우 모든 도로에서 빛을 발광하지 않는 것으로 나타났다. 전사 상향광인 FVH각도(80~90°)에서는 모든 도로에서 LED광원의 광속이 50%이상 메탈광원 보다 감소하는 것으로 나타났으며 후사상향광 BVH각도에서는 LED광원의 광속 감소율이 우정국로와 서소문로는 약85%, 양화로 47%, 통일로 3%로 각각 나타났다.

눈부심에 대한 배광각도에 따른 광속은 후사광과 상향광과 마찬가지로 LED광원의 광속이 메탈광원보다 감소하는 것으로 나타났다. 우정국로와 서소문로는 눈부심을 평가하는 모든 조사각도(FVH, BVH, FH, BH각도)에서 50%이상의 감소율을 나타내며 우정국로 평균 70%, 서소문로 64%의 광속 감소율을 각각 나타냈다. 양화로의 경우 FH각도에서 LED광원의 광속이 18% 증가하였지만, 전체적으로는 눈부심의 광속이 평균 40% 감소하였으며, 통일로는 50%로 나타났다.

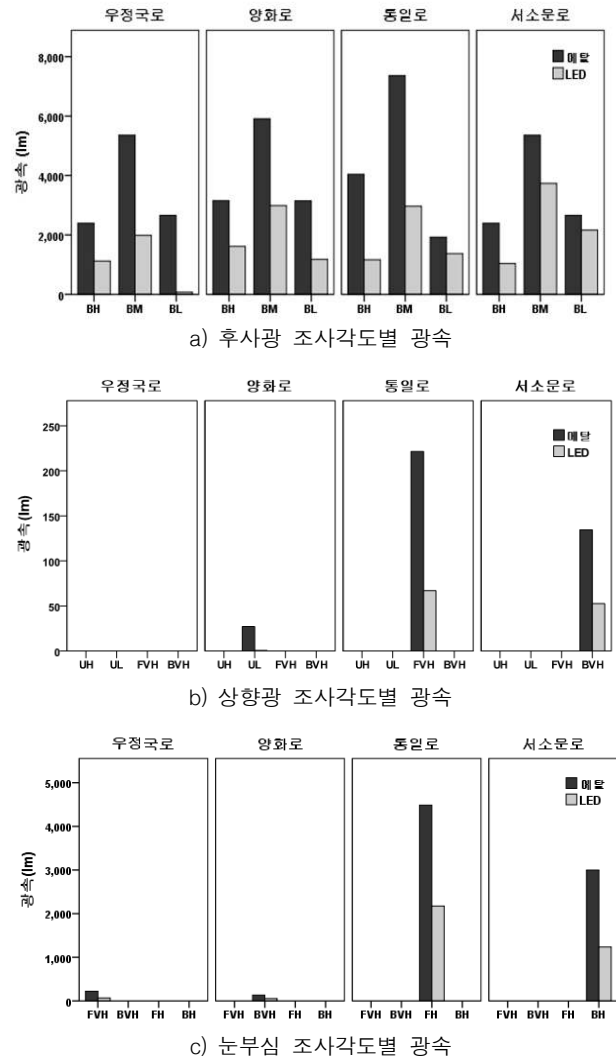


그림 3. 도로별 BUG 배광등급 분석

후사광, 상향광, 눈부심에 대한 광속을 북미조명학회의 BUG등급으로 표시한 결과를 <표 14>에 나타낸다. BUG 등급은 배광각도에 따라 표시된 등급 중 가장 높은 등급을 기준으로 정하게 된다. 후사광의 경우, 모든 도로에서 메탈광원은 B4등급으로 도로형태에 따라 LZ-2(중간회도분포 지역)나 LZ-3(조금 높은 회도지역)에 해당되는 등급으로 나타났다. LED광원으로 교체한 경우 B3등급으로 한 단계 낮은 등급으로 나타났다.

상향광 등급은 LED광원으로 교체 시 메탈광원의 광속보다 감소율이 가장 컸기 때문에 등급의 차이도 가장 많이

나타났다. 메탈광원은 양화로 U2등급을 제외하면 모두 U5 등급으로 기준을 만족하지 못하였는데, LED광원인 경우 통일로는 U2, 이 외 도로는 U1으로 LZ-2지역에 해당되는 등급으로 하향 조절되었다.

눈부심은 통일로만 LED광원인 경우 G3등급에서 G1으로 하향 조절되었고 다른 도로에서는 G2등급으로 동일하게 나타났다.

표 14. 도로조명에 따른 후사광 등급

| 배광 | | 조명 | 우정국로 | 양화로 | 통일로 | 서소문로 |
|--------|----------------|-----|------|-----|-----|------|
| 방향 | 각도 | | | | | |
| 후사광 | BH (60-80°) | 메탈등 | B3 | B4 | B4 | B3 |
| | | LED | B3 | B3 | B3 | B3 |
| | BM (30-60°) | 메탈등 | B4 | B4 | B4 | B4 |
| | | LED | B2 | B3 | B3 | B3 |
| | BL (0-30°) | 메탈등 | B4 | B4 | B3 | B4 |
| | | LED | B0 | B3 | B3 | B3 |
| 후사광 등급 | | 메탈등 | B4 | B4 | B4 | B4 |
| | | LED | B3 | B3 | B3 | B3 |

표 15. 도로조명에 따른 상향광 등급

| 배광 | | 조명 | 우정국로 | 양화로 | 통일로 | 서소문로 | |
|-----|------------------|-----|------|-----|-----|------|----|
| 방향 | 각도 | | | | | | |
| 상향광 | UH (100-120°) | 메탈등 | U0 | U0 | U0 | U0 | |
| | | LED | U0 | U0 | U0 | U0 | |
| | UL (90-100°) | 메탈등 | U2 | U1 | U2 | U2 | |
| | | LED | U0 | U0 | U1 | U1 | |
| | FVH (80-90°) | 메탈등 | U5 | U1 | U5 | U5 | |
| | | LED | U1 | U1 | U2 | U1 | |
| | BVH (80-90°) | 메탈등 | U5 | U1 | U2 | U5 | |
| | | LED | U1 | U1 | U2 | U1 | |
| | 상향광 등급 | | 메탈등 | U5 | U2 | U5 | U5 |
| | | | LED | U1 | U1 | U2 | U1 |

표 16. 도로조명에 따른 눈부심 등급

| 배광 | | 조명 | 우정국로 | 양화로 | 통일로 | 서소문로 | |
|-----|-----------------|-----|------|-----|-----|------|----|
| 방향 | 각도 | | | | | | |
| 눈부심 | FVH (80-90°) | 메탈등 | G1 | G1 | G2 | G1 | |
| | | LED | G1 | G1 | G1 | G1 | |
| | BVH (80-90°) | 메탈등 | G1 | G1 | G1 | G1 | |
| | | LED | G1 | G1 | G1 | G1 | |
| | FH (60-80°) | 메탈등 | G2 | G2 | G3 | G2 | |
| | | LED | G1 | G2 | G1 | G2 | |
| | BH (60-80°) | 메탈등 | G2 | G2 | G2 | G2 | |
| | | LED | G1 | G1 | G1 | G1 | |
| | 눈부심 등급 | | 메탈등 | G2 | G2 | G3 | G2 |
| | | | LED | G2 | G2 | G1 | G2 |

5. 결론

본 연구는 4개의 서울시 간선도로 조명을 기존의 메탈할라이드 광원에서 LED광원으로 교체했을 때의 배광 및 빛공해 평가를 실시하여 도로조명으로써의 LED광원 특성을 분석하였다.

1) 기존광원과 LED광원의 KS도로조명기준을 비교 분석한 결과, 노면 평균휘도는 기존광원 사용 시 1개 도로만 충족한 반면, LED광원으로 교체 시 3개 도로에서 기준을 충족하는 것으로 나타났으며, 균제도와 눈부심 기준은 기존광원과

LED광원 모두 기준을 충족하지 못하였지만, LED등이 하향 개선되는 결과를 나타냈다.

2) 배광각도에 따른 광속을 북미조명학회의 BUG등급으로 분석한 결과, 모든 도로에서 기존대비 50% 이상의 광속 감소율을 나타냈다. 특히 빛공해를 직접적으로 발생시키는 상향광의 광속이 기존 메탈 광원보다 가장 많이 감소하는 것으로 나타나 LED등이 빛공해를 억제하는 측면에서 기존 광원보다 적합한 것으로 판단된다.

본 시범도로의 경우 기존광원과 LED광원을 동일한 위치에 설치하였다. 추후 LED광원 적용 시 광원의 특성을 고려하여 등주높이, 설치간격 등을 세부적으로 조절한다면 LED광원의 개선효과가 더 클 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 공효주, 김정태, 해안가 야간경관조명의 빛공해 평가: 부산시를 중심으로, 조명전기설비학회논문지, 제24권 제6호, pp.18-26, 2010
2. 신주영, 이종수, 김정태, 빛공해 측면에서 본 복합쇼핑건물 외관의 조명특성 분석, 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제17호, pp.103-106, 2009
3. 윤규현, 이명기, 김정태, 나트륨램프와 LED램프가 천변의 조명환경에 미치는 영향, 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제22호, pp.37-40, 2012
4. 최승학, 송승민, 김도년, 가로등의 조명으로서 LED조명의 타당성에 대한 연구, 대한건축학회논문집, 제27권 제9호, pp.65-72, 2011
5. 서울특별시, 서울특별시 공공기관 LED조명 보급기준, 서울특별시 공고 제 2012-391호, 2012
6. 기술표준원, KS도로조명기준(KS A 3701:2007), 한국산업규격, 2007
7. Illuminating Engineering Society (IES), Addendum A for IESNA TM-15-07: Backlight, Uplight, and Glare (BUG) Ratings, IESNA, 2009
8. Illuminating Engineering Society (IES), International Dark Sky Association (IDA), Model Lighting Ordinance (MLO), IESNA, 2011
9. JA Brons, JD Bullough, MS Rea, Outdoor site-lighting performance: A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution, Lighting Res. Technol, 40, pp.201-224, 2008

투고(접수)일자: 2013년 1월 24일

수정일자: (1차) 2013년 3월 12일

게재확정일자: 2013년 3월 12일