

도로조명의 효율적 설치·운영을 위한 광원별 비교평가

(Lighting Source Comparison Evaluation for Efficient Installation·Operation of Roadway Lighting)

정희석*·권기태·임종민·이영주

(Hee-Suk Jeong·Ki-Tae Kwon·Jong-Min Lim·Young-Joo Lee)

한국조명기술연구소

Korea Institute of Lighting Technology

요 약

최근 차별화된 도시 이미지의 창출전략으로 도시 야간경관의 중요성이 강조되고 다양한 도로의 환경 조건에 따른 광원이 새롭게 개발되고 있다. 현재 적용되고 있는 도로조명의 기준을 살펴보고 광원별 배광특성을 이용한 시뮬레이션을 통하여 도로조명의 효율적 설치 및 운영을 위한 정보를 제공하고자 한다.

1. 서 론

도로조명의 주요목적은 야간에 자동차 운전자의 편안한 시각 환경을 제공하여 교통사고의 감소와 보행자의 가시성 보장과 각종 범죄의 안전예방에 있다.

최근 차별화된 도시 이미지의 창출전략으로 도시 야간경관의 중요성이 강조되고 다양한 도로의 환경조건에 따른 광원이 새롭게 개발되고 있다.

현재 가로등기구나 보안등에 사용되는 광원으로 메탈할라이드램프, 고압나트륨램프, LED 등이 적용되고 있다. 기존 제품보다 고효율, 장수명인 광원이 출시되면서 다양한 형태의 도로조명기구가 개발되고 있다.

따라서 도로조명의 기준을 살펴보고 광원별 배광특성을 이용한 시뮬레이션을 통하여 도로조명의 효율적 설치 및 운영을 위한 정보를 제공하고자 한다.

Type의 MHT-250W, NHT-250W, CPO 140W, CDM 200W, CDM 250W(2종류), LED 140W이다.

점등 시 MHT-250W, NHT-250W, CDM 200W, CDM 250W(2종류)는 자기식안정기를 사용하였으며 CPO 140W, LED 140W는 전자식안정기를 사용하였다. 도로조명의 특성상 최대 효율이 나오기 위해서는 등기구의 광중심과 램프의 배광에 적절한 반사판이 조합되어야 하지만 광원의 비교평가를 위해서 임의의 등기구를 선정하여 램프만 교체하여 배광특성을 평가하였다.

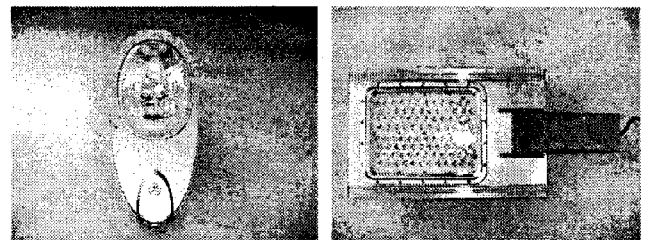


그림 1. 가로등기구 및 LED등기구

2. 본 론

2.1. 시료선정 및 비교평가 방법

도로조명에 사용되는 광원의 선정은 광속, 효율, 수명, 동정, 배광제어의 용이성, 연색성 등 여러 기준에 준하여 실시한다. 도로조명용 광원으로 효율, 수명, 광속 등의 특성이 안정적인 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프 등이 사용되며 터널등기구에 형광램프나 저압나트륨램프가 사용되기도 한다.

시험에 사용된 광원은 모두 7종류로 Tubalar

2.2. 관련규격 검토

국가마다 도로조명 설비의 기준은 자국의 경제사정, 인구밀도와 교통혼잡도, 통행규모 등의 여러 요소들을 고려하여 조금씩 다르게 채택하여 적용하고 있으며 국내에서는 한국산업규격 도로조명기준(KS A 3701)을 기본으로 지방자치단체별로 도로의 환경에 따라 조명기준을 적용하고 있다.

따라서 이번 평가에서는 한국산업규격 도로조명기준(KS A 3701)에 따라 시험을 실시하였으며 시공 및 유지보수와 관련된 내용을 포함하였다. 관련 된 평가항목 및 기준은 표1, 2와 같다.

표 1. 운전자에 대한 도로조명의 휘도기준

도로 조명 등급	평균노면휘도 (최소허용치) $L_{avg}(cd/m^2)$	휘도규제도(최소허용치)	
		종합규제도(U_0) L_{min}/L_{avg}	차선속규제도(U_1) L_{min}/L_{max}
M1	2.0	0.4	0.7
M2	1.5	0.4	0.7
M3	1.0	0.4	0.5
M4	0.75	0.4	-
M5	0.5	0.4	-

표 2. 운전자에 대한 도로조명의 조도기준

도로 조명 등급	포장도로 등급별 평균 노면 조도 $E_{avg}(lx)$ (최소허용치)			조도규제도 (최소허용치)	
	R1	R2&R3	R4	종합조도규제도 (UE_0) E_{min}/E_{avg}	차선속 조도 규제도 (UE_1) E_{min}/E_{max}
M1	20.0	29.0	25.0	0.4	0.7
M2	15.0	22.0	19.0	0.4	0.7
M3	10.0	14.0	13.0	0.4	0.5
M4	8.0	11.0	9.0	0.4	-
M5	5.0	7.0	6.0	0.4	-

2.3. 광원별 광특성비교

도로조명에 사용되는 광원은 램프 및 안정기를 포함한 종합효율, 수명 및 광속유지율, 광원색 및 연색성 등의 사항을 고려하여 도로의 종류, 목적, 입지조건 등에 따라 적당한 것을 선정한다.

시험에 사용된 램프는 총 7종류로 CPO 140W, CDM 200W, CDM 250W(2업체), LED 140W이며 CPO 140W과 LED 140W는 전자식안정기이며 나머지는 자기식안정기로 점등시켰다. 시험방법은 시료를 주위온도 (25 ± 1) °C의 무풍 상태에서 정격 주파수(60 Hz)의 정격입력전압(220 V)을 인가하여 안정된 상태(최소 40분 이상)에서 구형광속계를 이용하여 시험하였다.

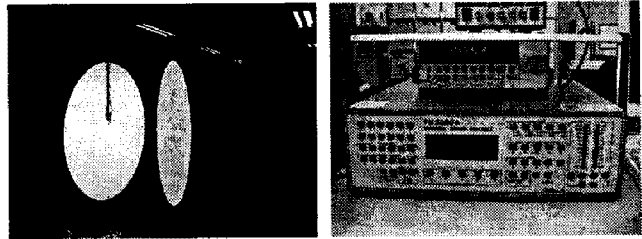


그림 2. 광특성평가

시험결과는 표3과 같다. 광속은 나트륨램프가 가장 높으며 종합효율 및 광효율은 ecoCDM 200W가 가장 높게 나왔다. 연색성은 CDM 250W가 가장 높으며 NHT 250W가 가장 낮게 나왔다. LED는 소비전력은 낮으나 광속이 낮으므로 종합효율에서 가장 낮게 나왔다.

표 3. 광특성평가결과

구분	소비전력 (W)	광속 (lm)	종합효율 (주1) (lm/W _i)	광효율 (주2) (lm/W _e)	연색성
CPO 140W	153.2	16,500	107.7	118.2	59
CDM 250W	267.8	19,900	74.3	84.9	81
ecoCDM 200W	209.3	23,700	113.2	119.0	75
ecoCDM 250W	259.3	27,700	106.8	114.5	65
NHT 250W	269.1	20,900	77.7	84.7	63
NHT 250W	284.3	29,300	103.1	114.7	37
LED 140W	144.9	7,510	51.8	-	-

주1) 광속을 램프 및 안정기를 포함한 소비전력으로 나눈 값
주2) 광속을 램프전력으로 나눈 값

2.4. 배광데이터 및 시뮬레이션

배광시험은 한국산업규격 배광측정방법(KS C 8009)에 따라 측정하였으며 배광에 사용된 장비는 PSI사의 배광시험기(모델명 LG-2.0)를 사용하였다. 배광측정 후 IES파일로 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 노면휘도 및 조도특성을 평가하였다.



그림 3. 배광시험 및 시뮬레이션

표 4. 등기구효율

구분	등기구효율(%) (주1)
CPO 140W	81.7
CDM 250W	77.8
ecoCDM 200W	73.5
ecoCDM 250W	77.2
MHT 250W	75.0
NHT 250W	76.1
LED 140W	75.1(주2)

주1) 등기구효율(%)=등기구광속/램프의 광속
 주2) LED 광속 10,000 lm 으로 가정

표4를 보면 배광시험기를 이용하여 광원별 등기구의 효율을 평가한 결과이다. CPO 140W가 81.7%로 가장 높았으며 대부분 73~77%의 효율이 나왔다. 각각의 광원은 구조적으로 다르고 배광곡선의 형태가 다르므로 표4에서의 결과는 절대적으로 광원을 평가하기엔 어렵다고 판단되며 참고적인 데이터로 활용이 가능하다.

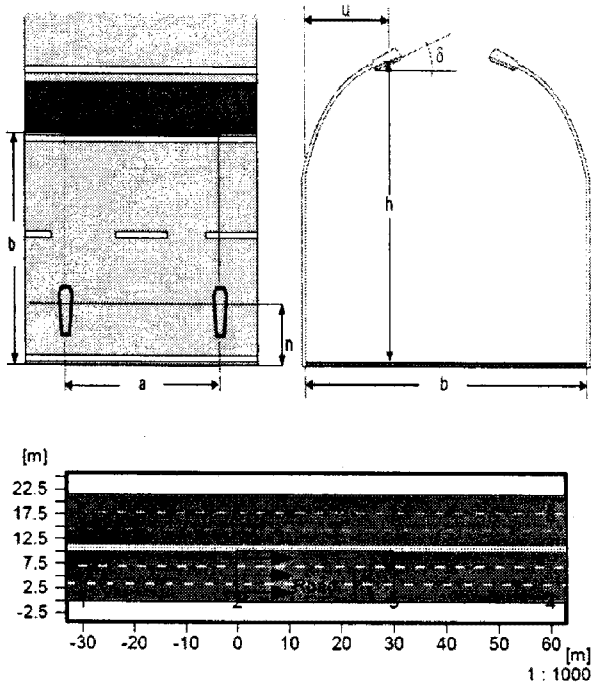


그림 4. 배광시뮬레이션 조건

표 5. 배광시뮬레이션 조건

도로조명등급		M2
등주높이(h)		10.0 m
조명기구배열		마주보기배열
오버행(u)		2.0 m
경사각도(δ)		5°
조명기구 간격(a)	3차선 (왕복6차선)	35.0 m
	4차선 (왕복8차선)	30.0 m
도로폭(b)	3차선 (왕복6차선)	21.5 m
	4차선 (왕복8차선)	28.5 m
차선중앙폭		0.5 m
보수율		0.75

시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 Relux를 사용하였으며 시뮬레이션 조건은 그림 4와 표5와 같다. 도로의 조건은 상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속의 도로, 자동차 전용도로 또는 고속도로이다.[6] 조명기구의 간격은 3차선(왕복6차선)과 4차선(왕복8차선)으로 나누어 평가하였다.

표 6. 3차선(왕복6차선) 시뮬레이션 결과

구분	평균 노면 휘도 (cd/m ²)	종합 균제도 (U ₀)	차선축균제도 (U _i)			평균 조도 (lx)
			1차선	2차선	3차선	
기준치	1.50이상	0.4 이상	0.70이상			22 이상
CPO 140W	1.38	0.48	0.92	0.81	0.79	18.4
CDM 250W	1.41	0.49	0.91	0.84	0.78	21.0
ecoCDM 200W	1.72	0.43	0.92	0.87	0.77	24.0
ecoCDM 250W	2.07	0.42	0.90	0.89	0.77	29.7
MHT 250W	1.52	0.48	0.89	0.89	0.76	21.6
NHT 250W	2.22	0.53	0.82	0.87	0.80	31.2
LED 140W	0.67	0.49	0.41	0.56	0.61	11.1

먼저 3차선(왕복6차선)일 때 도로폭은 21.5 m이며 조명기구의 간격은 35 m이다. 평균노면휘도는 ecoCDM 200W, ecoCDM 250W, MHT 250W, NHT 250W가 기준에 적합하였다. 종합균제도에서는 모두 적합하나 LED 140W만 부적합한 것으로 나왔다. 평균조도는 ecoCDM 200W, ecoCDM 250W, NHT 250W가 기준에 적합함을 알 수 있다.

표 7. 4차선(왕복8차선) 시뮬레이션 결과

구분	평균노면휘도 (cd/m ²)	종합 균제도 (U ₀)	차선속균제도 (U _i)				평균 조도 (lx)
			0.70이상				
기준치	1.5 이상	0.4 이상	1차선	2차선	3차선	4차선	22 이상
CPO 140W	1.28	0.41	0.85	0.78	0.79	0.79	17.4
CDM 250W	1.30	0.44	0.86	0.80	0.83	0.79	19.9
ecoCDM 200W	1.59	0.38	0.84	0.77	0.81	0.80	22.6
ecoCDM 250W	1.91	0.39	0.85	0.77	0.79	0.79	27.9
MHT 250W	1.42	0.42	0.89	0.86	0.80	0.77	20.3
NHT 250W	2.05	0.51	0.77	0.80	0.75	0.79	29.2
LED 140W	0.62	0.37	0.46	0.59	0.62	0.50	10.4

또한 4차선(왕복8차선)일 때 도로폭은 28.5 m이며 조명기구의 간격은 30 m이다. 평균노면휘도는 ecoCDM 200W, ecoCDM 250W, NHT 250W가 기준에 적합하나 종합균제도에서는 ecoCDM 200W, ecoCDM 250W, LED 140W가 부적합한 것으로 나왔다. 평균조도는 ecoCDM 200W, ecoCDM 250W, NHT 250W가 기준에 적합함을 알 수 있다. 따라서 전체적으로 3차선, 4차선에 모두 적합한 것은 NHT 250W뿐임을 알 수 있다. 그러나 램프와 등기구 및 반사판과의 최적설계가 이루어지지 않은 점을 감안하여 평가해야 할 것이다.

2.5. 시공 및 유지비용

앞서 배광 및 시뮬레이션 데이터 외에 각각의 광원에 대한 초기설치를 위한 구입비, 설치 후 소비되는 전력량, 소비전력량에 따른 Co2 배출량을 비교하였다.

표 8. 구입단가 및 유지비용

구분	월사용 전력량 (kWh)	월 전기요금 (원)	구입단가 (램프+안정기)
CPO 140W	46	223,210	240,000
CDM 250W	80	388,190	138,000
ecoCDM 200W	63	305,690	158,300
ecoCDM 250W	78	378,480	163,300
MHT-250W	81	393,050	35,600
NHT-250W	85	412,450	35,600
LED-140W	43	208,650	750,000

표 8의 월 사용 전력량 계산 시 1일 10시간 점등 시로 가정하여 산출하였으며 산출방법은 한전 전기요금 계산 프로그램을 사용(cyber.kepco.co.kr)하였다.

표 9. Co2배출량 비교

구분	1시간 사용시 소비전력량	1시간 사용시 Co2배출량
백열전구	60Wh	25g
형광램프	32Wh	14g
안정기내장형램프	17Wh	7g
메탈할라이드램프	250Wh	106g
고압나트륨램프	250Wh	106g
LED가로등기구	140Wh	59g

표 9의 Co2배출량 비교 산출방법은 우리나라의 최근 5년간 Co2배출계수를 평균한 값(0.425g)을 적용하여 1시간 사용시의 소비전력량을 Co2배출량으로 환산하였다.

3. 결론

도로조명의 효율적 설치 및 운영을 위해 광원별 배광데이터 시뮬레이션을 통한 비교평가를 하였다. 도로조명의 설계는 운전자의 편안한 시각 환경을 제공하고 교통사고의 감소시키는데 목적이 있다. 새로운 광원이 출시되면서 다양한 도로환경에 따른 예측설계가 이루어져 도로조명기구의 최적설계가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 여인선, "도로조명의 설계", 한국조명·전기설비학회지, 제 12권 제1호, 1998.3, pp.13~27
- [2] 조덕수, 석대일, 정승균, 강진규, 김훈, "국내외 도로조명기구의 성능평가 시뮬레이션", 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, 2006, 11.
- [3] 한국표준협회, 도로조명기준, KS A 3701-2007, 2007