

도로조명의 광해 평가

(An Evaluations of Light Pollution on Roadway Lighting)

조속현* · 이민욱 · 김 훈

(Sook-Hyun Cho · Min-Wook Lee · Hoon Kim)

요 약

환경오염과 에너지 절약차원에서 세계적으로 빛도 공해의 하나로 인식하고 각 나라에 맞는 법규와 규제 방식을 정하여 옥외조명을 관리하고 있다. 반면 국내에서는 광해 대책 안이 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 국내실정에 적합한 규제안과 광해 계산법을 마련하기 위해서 국제 조명단체들이 제시하는 광해계산법을 조사 분석하였다. 또한 여러 도로조명기구들을 선정한 후 광해계산법과 시뮬레이션 프로그램을 적용하여 광해요소들을 비교 분석하였고, 결론으로 우리나라에 맞는 광해 규제안을 제시하였다.

Abstract

Outdoor lighting have been controlled by laws and regulations instituted in accordance with each country's situations because lights are also considered as one of pollutions at the view of environmental pollutions and energy saving. Thus, in this paper, we suggest the calculation method and regulations of light pollution suitable for domestic by comparing and analyzing various types of road lighting luminaires based on the calculation method of light pollution accepted internationally.

Key Words : Light Pollution, Roadway Lighting

1. 서 론

조명은 보안 및 안정성 개선에서부터 강력한 경제 개발에 이르기까지 인간의 삶에 있어서 긍정적인 효과를 초래했다. 그러나 도시화나 교통망의 발달 등에

의해 옥외조명의 증가와 야간조명의 과도한 사용 등으로 인해 천체관측 장애, 동식물의 이상 현상, 인간의 건강과 불면증 등의 문제를 야기하고 있다. 이런 현상을 광해(Light Pollution)라고 하는데 세계 각국에서는 환경오염 개선과 에너지 절약이라는 두 가지 관점에서 광해를 줄이고자 노력하고 있다.

이에 따라 많은 연구발표가 있었고, 그 결과로 법규가 제정되어 광해에 대한 규제가 이루어지고 있다. 따라서 급속한 경제발전과 도시의 발달로 야간조명이 폭발적으로 증가하고 있는 우리나라에서도 광해에 대

* 주저자 : 강원대학교 전기전자공학과
Tel : 032-250-6295, Fax : 033-241-3775
E-mail : ds2twe@hanmail.net
접수일자 : 2009년 9월 23일
1차심사 : 2009년 10월 15일, 2차심사 : 2010년 3월 9일
심사완료 : 2010년 3월 25일

해 체계적인 연구가 필요하다고 느끼는 바, 본 연구에서는 국제조명단체들이 제시하는 광해계산법에 따른 도로조명기구들을 비교 분석하여, 우리나라에 맞는 광해 규제안과 광해계산법을 제시하고자 한다.

2. 광해의 이론적 고찰

2.1 광해의 개념

광해라는 용어는 천문학에서 가장 먼저 사용하기 시작하였고, 그 후 조명공학에서도 여러 가지 광해에 관련된 용어들이 생겨나기 시작했다. 광해의 뜻을 살펴보면, 천문학에서는 야간의 인공조명이 먼지 층에 반사되어 별이 우리 시야에서 사라지는 현상을 말하는 것으로 밤하늘의 오염도를 측정하는 지표가 된다. 또한 조명공학에서는 옥외조명으로부터 조명대상 범위 밖으로 새어 나오는 빛(spill light)에 의해 장애를 받고 있는 상황 또는 이에 따른 악영향을 의미하며, 좁은 의미로는 장애광에 의한 악영향을 의미한다[1]. 이러한 광해를 일으키는 주원인은 간섭광(obtrusive light)인데, 간섭광은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 즉 산란광(sky glow), 침입광(light trespass), 눈부심(glare)으로 나눌 수 있다. 그림 1은 광해의 개념을 간략히 표현한 것이다[2].

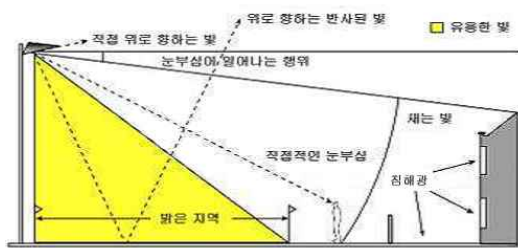


그림 1. 광해의 개념도
Fig. 1. Concept of light pollution

2.2 광해의 영향과 대책

광해가 미치는 영향은 여러 가지가 있는데 몇 가지를 정리해보면, 부적절한 경관 조명으로 인해 도시미

관을 해치고 천체관측에 방해가 되며, 제어되지 않은 조명기구의 사용으로 보행자와 운전자에게 눈부심을 유발하여 안전 주행에 방해가 되고, 과도한 도시조명으로 에너지의 낭비를 가져 올 수 있다. 또한 건물에 침입하는 침입광으로 인해 거주자의 사생활 침해, 숙면 방해 등 건강에 악영향을 줄 수 있으며, 동식물에도 악영향을 주어 생태계 파괴의 원인이 되기도 한다.

이와 같은 악영향을 주는 광해를 줄이는 위해서는 첫째, 산란광을 줄이기 위하여 상방향으로 향하는 빛(uplight)을 제어하고, 둘째, 침입광을 줄이기 위하여 건물 쪽으로 향하는 빛(backlight)을 제어하고, 셋째, 눈부심을 줄이기 위하여 시야에 거슬리는 빛(glare)을 제어할 수 있어야 한다. 이러한 광해요소들을 규제하기 위한 방법은 정확한 광해값 계산법의 연구로 광해요소를 제거한 기능적인 조명기구의 개발과 효율적인 광해 규제법 제정 등을 들 수 있다. 따라서 각국의 조명학회와 정부에서는 이에 대한 대책으로 정확한 광해값을 계산 하는 방법과 규제 방안을 연구하여 좀 더 새로운 방법들을 제시하고 있는 추세이다[2-3].

3. 광해 계산법

3.1 국제조명위원회(CIE)의 광해 계산법

‘CIE-150-2003’에서 제시하고 있는 광해의 계산에 대해 살펴보면, 침입광은 조도, 눈부심은 광도와 임계 휘도증가율(TI), 산란광은 상향 조명비(upward light ratio: ULR)값을 조건에 맞게 계산하고 각 지역별로 한계치를 정하여 제한하고 있다[4].

3.2 기타 광해 계산법

3.2.1 UUD(unit uplight density)의 계산

David M. Keith에 의해 제시된 광해계산방법으로, 상향광밀도(unit uplight density : UUD)의 값으로 컷 오프 분류를 새로운 각도로 생각한 것이다. 계산식은 다음과 같다.

UUD = 조명기구들에 의한 총 상향광속/ 조명기구 설치 도로 면적

UUD는 도로 면적으로 나눈 총 상향광속과 같다. UUD 값들은 도로의 [m]당 모든 상향 광속이고, 조명기구, 조명시스템, 그리고 도로의 특성들을 고려한 단위 상향광 밀도이다[5].

3.2.2 Walker`s law

Walker`s law는 도시 근처 관측 장소에 대한 산란광의 수준을 평가하기 위해 Merle Walker에 의해 개발된 수학적 식이다[6].

$$I = C \cdot P \cdot d^{-2.5}$$

I : 광원으로부터 해발 45[°] 아래에서 측정된 밤하늘 밝기

P(population) : 도시의 인구

d : 관찰하는 곳으로부터 도시중심으로의 거리([km])

C : 거주자 당 광속과 지면의 반사율과 같은 다른 요인들에 의해 좌우되는 상수

3.2.3 LPI(light pollution index)

LPI산란광의 지표로서 사용되는데, 조명기구의 유용한 빛의 광속에 대한 광해요소의 빛의 광속의 비로 구해지는 값이다[7].

$$LPI = \text{광해요소의 빛의 광속} / \text{유용한 빛의 광속}$$

3.2.4 OSP(outdoor site-lighting performance)

미국 조명 리서치 센터(LRC)에서 개발된 OSP는 조명 설계자가 요구조건에 적합하도록 조명을 탄력적으로 공급함과 동시에, 영역을 벗어나는 빛을 제한하도록 돕기 위해 설계된 계산 방법이다. 이것은 광해의 세 가지 요소인 산란광, 침해광, 눈부심 각각의 요소들을 다른 요소들에 대해 독립적으로 정량화 할 수 있는 방법이다[8].

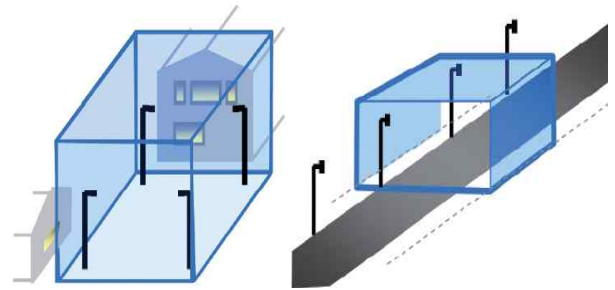


그림 2. 옥외조명 설치물의 계산된 주변 'box'
Fig. 2. Calculation 'box' surrounding on outdoor lighting installation

4. 광해의 계산 및 평가

실제 조명설비에 대한 측정을 대신하기 위해서, 조명설비 중 조명환경에 대한 일반적인 적용이 가능한 도로조명에 대하여 광공해 예측 시뮬레이션 소프트웨어인 'Roadpollution'을 사용한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 또한 OSP에 의한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

4.1 Roadpollution에 의한 시뮬레이션

시뮬레이션 소프트웨어로 사용된 Roadpollution은 이탈리아에서 개발된 도로조명 계산 프로그램으로 도로조명에서 광공해와 에너지 낭비에 관련된 많은 유용한 변수들을 사용하여 도로조명 설계의 주요 항목들에 대한 계산을 수행한다[9].

4.1.1 시뮬레이션 조건 설정

(1) 도로조건 및 조명요소 설정

Roadpollution에서 대상 도로는 CIE 도로조명 분류상의 M3 조명등급으로 설정하였으며 노면의 종류는 표준 아스팔트인 C2를 적용하였다. 이 경우 평균 노면 휘도의 최소허용치 1.0[cd/m²]를 만족하도록 하였다. 설정된 조명요소들을 표 1에 정리하였다.

표 1. 조명 요소
Table 1. Lighting Parameters

폴 높이	8[m]	보수율	0.6
도로 폭	8[m]	Tilt	0[°]
폴 간격	32[m]	Overhang	0
담당면적	256[m ²]	설정된 최소 평균휘도	1.0[cd/m ²]

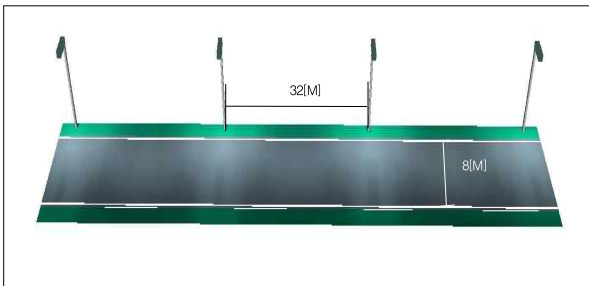


그림 3. 시뮬레이션 도로 조건
Fig. 3. Road situation for simulation

(2) 조명기구의 선정

시뮬레이션에는 해외 유명 조명기구 회사들의 현재 시판중인 조명기구를 선정하였다. Roadpollution을 사용한 이번 시뮬레이션이 산란광의 정도를 파악하는데 목적으로 두고 있으므로 대상도로의 조명 기준을 만족하도록 조명기구를 선정하였고, 산란광을 평가하기 위한 요소는 주로 광속비가 사용되었기 때문에 각 조명기구의 광속 값은 정확히 일치시키지는 않았다. 표 2에 시뮬레이션에 사용된 조명기구들의 정보를 나타내었다. 이 정보들은 조명기구 업체에서 제공한 데이터시트를 참고하였다. 조명기구는 총 7종으로 모두 유럽의 조명업체 제품들이다.

국내에서 생산, 시판되는 조명기구의 경우, 조명기구 업체 자체에서 제공하는 측광 데이터파일을 구하기도 매우 어려울 뿐만 아니라, 제공된 측광데이터 파일의 경우에도 대부분 수직각 0~90[°] 구간의 광도 값만을 포함하고 있기 때문에 국내조명기구에 대한 광공해 평가 및 비교는 이번 시뮬레이션 과정에서 제외되었다.

표 2. 시뮬레이션에 사용된 조명기구
Table 2. Luminaires used in simulation

구분	A	B	C	D
기구 사진				
램프	150[W]	140[W]	150[W]	150[W]
광속	17,500[lm]	16,500[lm]	17,000[lm]	17,000[lm]
커버	Glass Flat(A1) Glass Bowl(A2) Polycarbonate Bowl(A3)	Acrylic Bowl	Glass Flat	.
구분	E	F	G	
기구 사진				
램프	150[W]	150[W]	250[W]	
광속	17,000[lm]	17,000[lm]	27,500[lm]	
커버		Glass Flat(F1) Polycarbonate Bowl(F2)	Polycarbonate Bowl	

주 : 기구 구분에서 커버구조와 종류에 따라 A1, A2, A3, F1, F2로 구분

4.1.2 분석 항목

Roadpollution은 다음과 같이 구분된 output에 대한 계산을 수행한다. ① 조명기구 방사와 관련된 데이터 ② 도로조명 요소, ③ 에너지와 비용 요소, ④ 광해 요소. 결과에서는 우선적으로 CIE에서 산란광에 대하여 적용하고 있는 ULR과 관련된 항목을 살펴 볼 필요가

있다. 앞서 설명했듯이, ULR은 상향조명비로 정의되며 Roadpollution에서는 UFF(Upward flux factor, [%]), 즉 상향광속비로 정의하고 있다.

Roadpollution에서는 ULR과 UFF를 다른 개념으로 구분하고 있으며, UFF로 상향되는 빛의 비율을 정의하고 있지만, 계산에 적용되는 요소는 상향광 출력비(ULOR)/조명기구 광출력비(LOR)로 동일하기 때문에 UFF를 CIE의 산란광에 관련된 규정에 적용하였다.

특히 도로면의 반사특성을 고려하면 상향조명비가 달라질 수 있으며, 정확한 계산법의 개발이 필요하다. Road reflected upward flux ratio는 도로면의 반사특성을 고려한 계산 값으로 선택된 입력항목의 표준 노면등급(C1, C2, R1, R2, R3, R4)에 따라 반사된 광속을 상향광속에 포함시킨 값이다. 이 값들은 국제적인 표준이 되거나 규제되고 있는 항목들은 아니지만 평가의 다양성 측면에서 고려될 필요가 있다.

4.1.3 시뮬레이션 결과

산란광에 대해 결과를 비교해 보면 표 2에서 분류된

조명기구 특성에 따라 조명기구 A2, A3, F2, G은 돌출 형태의 아크릴 또는 플라스틱 보울을 가진 조명기구이다. 따라서 커버가 평평한 형태의 조명기구와 비교했을 때 상향광속비가 높게 나타남을 알 수 있다.

또한 같은 제품군에서 커버의 형태가 각각 다른 A1, A2, A3의 결과에서도 보울을 가진 조명기구의 상향광속비가 평평한 커버 구조의 조명기구와 약간 돌출 형태의 커버 구조 조명기구에 비해서 높게 나타났다.

이는 커버의 구조가 광해를 발생시키는 한 원인이 되는 것으로 판단할 수 있으며, 반사판에 의한 배광 제어 성능이 떨어지는 제품일 경우 이러한 현상은 더욱 더 두드러질 것으로 예상할 수 있다. 또한 A1과 E의 조명기구 경우 조명기구 자체로는 상향광속이 전혀 없지만 도로에 설치된 상태에서는 하향광속이 도로면에 반사되어 다시 위쪽을 향하는 ‘도로면에 반사된 상향광속(road reflected upward flux)’이 발생하였고, 도로면 뿐만 아니라 도로 바깥의 영역에서 반사된 광속까지 추가되면 그 값은 더 증가함을 알 수 있다. 그리고 도로면에 의해 반사된 광속은 시뮬레이션에 사용

표 3. 시뮬레이션 결과
Table 3. The results of simulation

구 분	A1	A2	A3	B	C	D	E	F1	F2	G
Downward flux factor DFF(%)	100	99.73	99.28	99	99.42	99.69	100	96.83	93.09	98.20
Upward flux factor UFF(%)	0	0.27	0.72	1	0.58	0.31	0	3.17	6.91	1.80
Light output ratio of the luminaire LORL(%)	82.53	85.01	83.83	82	82.71	75.81	81.72	84.00	86.74	72.34
Downward light output ratio DLOR(%)	82.53	84.78	83.23	81.18	2.23	75.58	81.72	81.33	80.74	71.04
Upward light output ratio ULOR(%)	0	0.23	0.6	0.82	0.48	0.23	0	2.67	6	1.30
Direct upward flux ratio UFR(%)	0	0.27	0.72	1	0.58	0.31	0	3.17	6.91	1.80
Road reflected upward flux ratio(%)	6.52	6.45	6.36	3.67	4.54	4.19	4.79	4.94	4.80	5.75
Out-of-road reflected upward flux ratio(%)	6	6.12	6.27	6.65	6.15	6.81	5.83	5.42	5.31	6.76
Direct unit uplight density DUUD([lm/m ²])	0	0.16	0.41	0.56	0.32	0.16	0	1.77	3.98	1.40
Road unit uplight density RUUD([lm/m ²])	3.68	3.75	3.64	2.06	2.49	2.11	2.60	2.76	2.76	4.47
Threshold Increment TI(%)	11.54	14.01	16.30	14.98	12.69	10.90	12.02	16.19	18.49	24.68

된 조명기구 중 가장 많은 ULR을 발생하는 조명기구 F2의 상향광속비에 근접한다. 따라서 현재 산란광에 대해서 조명기구 자체의 상향 광속비만을 고려하는 CIE의 산란광에 대한 규제의 보완이 필요하다. 그리고 도로조명에 있어서 눈부심 규제를 위한 계산값인 TI값 또한 돌출형태의 커버 구조를 갖는 조명기구A3, F2, G에서 비교적 높게 나타남을 알 수 있다.

4.2 OSP에 의한 광해 평가

도로조명에서 조명기구에 따른 광해의 정도를 평가하기 위한 또 다른 방법으로 OSP를 사용하여 도로조명기구의 광해를 평가 및 비교하였다. OSP는 앞서 광해평가에 사용된 Roadpollution과 같은 소프트웨어가 아닌 하나의 광해 평가방법으로 미국의 Lighting Research Center에서 제시한 방법이며 광해의 3가지 측면(glow, trespass, glare)을 예측하고 분석하기 위한 방법이다. 조명기구는 Roadpollution에서 선정할 것을 대상으로 하고, 조명기구를 포함한 조명영역은 배열된 조명기구 2개와 도로 폭, 조명기구 높이로 설정하였고, 조명영역과 계산 'box'의 거리는 모두 2[m]로 설정하였다. OSP를 이용한 평가에서는 box의 각 면에 대한 반사율은 고려되지 않았다. OSP에서 상부면 평균조도는 산란광의 정도를 판단하는 수치이다. 돌출형 커버 구조를 가지는 조명기구 F2, G의 상부면 조도가 높게 나타났으며, 이는 Roadpollution을 사용한 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 커버의 형태가 광해에 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다.

표 4. OSP에 의한 상부면 및 측면의 평균조도
Table 4. The average illuminance on top and lateral plane from OSP

기구	A1	A2	A3	B	C
up	2.23	2.37	2.33	2.19	2.22
back	1.02	1.03	1	1	0.92
기구	D	F1	F2	G	
up	2.01	2.72	4.18	4.22	
back	1	0.89	0.84	1.53	

box 후방부 측면의 평균조도는 OSP에서 침입광을 판단하는 수치이며, 상부면을 포함하여 box의 모든 면에 대한 평균조도를 구하여 조명설비 전체의 새는 빛에 대한 정도를 판단하는 것이 가능하다. 침입광은 규제 사항에 따라 다르기 때문에 이번 OSP를 이용한 평가에서는 제외되었다.

5. 결 론

최근에 국내에서도 개정된 도로조명기준이나 조명기구 관련 표준에서 부분적으로 광해에 대한 기준을 언급하고 있으나 부족한 실정이다. 광해 규제가 조명설비에서 중요하게 고려되어야 하는 요소임에도 불구하고 조명설계시 또는 조명설비에 대한 평가시 광해에 대한 고려가 없으며, 전혀 법적 규제나 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 조명설비의 광해 계산 및 평가에 대한 하나의 사례로써 일반적인 도로조명 설비에 적용되는 조명기구들에 대한 광해 수치를 정량화하여 이를 비교 평가하였다. Roadpollution과 OSP에 의한 광해값의 계산 결과 조명기구 커버와 노면특성 등에 따라 산란광을 일으키는 광해값의 차이를 알 수 있었다. 이것은 조명 설계단계에서부터 광해방지를 위한 지역별 조명기구 종류의 제한을 할 수 있는 수치적 근거로 제시될 수 있다.

그러므로 향후 국내에서도 옥외조명기구에 대한 모든 광해요소의 값을 정확하고 쉽게 계산할 수 있는 방법이 연구되어야 하고, 이것을 이용하여 국내의 조명설비 및 조명기구 실태에 대한 정확한 분석이 이루어져야 하며, 그 결과에 따른 법적 규제 방안도 시급히 마련되어야 한다.

This work was supported by the MOCIE program(a sabbatical grant Y2009 for promoting technology innovation in industry).

References

- [1] 안내영, 심교연, 안건혁 “야간도시조명 관리 방안에 대한 연구” 한국도시행정학회 도시 행정학보 제 21집 제1호. 2008.
- [2] 전민지 “부산지역의 주요 가로변 광공해 실태조사연구” 부경대 석사학위논문. 2007.
- [3] 김정태 “빛공해의 원인과 대책” 설비저널 33(11) : p.40-46, 2004.
- [4] CIE Pub. 150 : 2003 - “Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations”.
- [5] David M. Keith “Technical Summary of Research Unit Power Density & Unit Uplight Density”.
- [6] Narisada. Schreuder, “LIGHT POLLUTION HANDBOOK”.
- [7] Michele McColgan Ph. D. “The Up and Down of Outdoor Lighting”.
- [8] Lighting Res. Technol. 2008; 40: 201 - 224 “Outdoor site-lighting performance :A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution”.
- [9] <http://www.roadpollution.it> AS 4282-1997 “The obtrusive effects of outdoor lighting”.
- [10] KS C-7611, KS A-3701.
- [11] 日本 環境廳, 光害對策ガイドライン, pp.27~46, 1998.
- [12] International Dark-Sky Association(2000) Outdoor Lighting Code Handbook.
- [13] Schreuder : 373-385 “Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception”.

◆ 저자소개 ◆



조숙현(趙淑賢)

1962년 2월 12일생. 1984년 강원대학교 사범대학 수학교육학과 졸업. 2009년 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 졸업(석사).



이민옥(李致旭)

1980년 8월 24일생. 2009년 강원대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 박사과정.



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업(박사). 1993년 호주 국립대학 방문교수. 현재 강원대 IT대학 전기전자전공 교수. 본 학회 부회장.