

도로조명의 빛공해 계산 및 규제안 제안

(Calculation and Regulation Proposal of Light Pollution from Road Lightings)

조속현* · 이민욱 · 최현석 · 김 훈**

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

Abstract

This is a study to establish regulations against light pollution for lighting on roads. Many kinds of light pollution by luminaire on roads was calculated and analyzed by applying the classification method of luminaires(Cut-off classification of IDA-IESNA, BUG Rating Classification) and the calculation method of Upward Lighting Ratio of CIE among measures to prevent light pollution that international lighting organizations suggest. As a result of the analysis, it was found that the regulation by Cutoff of IESNA and ULR classification of CIE could be one for scattered light of light pollution compared to BUG classification but is not sufficient for the regulation of light trespass or glare.

BUG classification by each lighting zone was suggested as threshold value of the light pollution regulation considering domestic conditions.

Key Words : Light Pollution, Cut-off Classification, BUG Classification, ULR

1. 서 론

세계 각국에서는 빛공해를 공해로 인식하고, 조례 및 법규를 제정하여 여러 가지 방법으로 규제하고 있다. 이런 추세에 따라 국내에서도 빛공해에 대한 공해로서의 인식이 점점 높아지고 있고, 서울시에서도 빛공해 조례를 제정하여 시행하고 있으나, 아직 국내실정을 고려한 빛공해의 구체적인 규제방안의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 도로조명에 있어서 여러가지 빛공해

계산법을 적용하여 계산하고 비교분석하였다. 도로조명에 있어서 빛공해의 값을 수치 나타내기 위해, 국제조명단체들이 제안하는 빛공해 방지 방안 중 조명기구 분류방법(IDA-IESNA의 Cut-off 분류, BUG 등급 분류), CIE의 상향광속비(ULR)의 계산방법을 적용하여 계산하였다[1][4].

계산에 사용된 조명기구들은 해외 조명기구와 국내 조명기구들로 커버종류와 램프종류별로 선정하여 계산하였고, 위의 분석결과로 국내 실정을 고려하여 빛공해 규제를 위한 한계값을 제안하였다.

2. 빛공해에 대한 도로조명기구분류법

빛공해(Light Pollution)란 인간이 조명환경을 조성

* 주저자 : 강원대학교 전기전자공학과 박사과정
** 교신저자 : 강원대학교 IT대 전기전자공학부 교수
Tel : 011-9790-9582, Fax : 033-241-3775
E-mail : jo15178@kangwon.ac.kr
접수일자 : 2011년 9월 28일
1차심사 : 2011년 9월 30일
심사완료 : 2011년 11월 7일

하는데 있어서 과도한 조명 또는 불필요한 조명에 의해 유발된 장애 또는 장애광(Obtrusive Light)으로 산란광(Sky Glow), 광침해(Light Trespass), 글레어(Glare)로 나눌 수 있다.

2.1 Cut-off 분류(IESNA, 2000)

Cut-off 분류는 조명기구 배광분포상의 수직각 광도값에 따라 Full Cut-off, Cut-off, Semi Cut-off, Non Cut-off 의 네 가지 단계로 조명기구를 분류하는 방법으로, 분류 기준 및 배광 분포 상 수직각 방향의 광도를 규제한다. 아래 표는 수직각 80[°]와 90[°]의 1,000[lm]당 광도값의 제한값을 나타낸 표이다. 따라서 LED 조명기구의 경우 구조상 램프광속을 알 수 없어 기구광속으로 계산할 수밖에 없으므로 방진램프 조명기구에 비해 불리한 분류가 될 수 있다[3].

표 1. IESNA의 Cut-off 분류
Table 1. Cut-off classification of IESNA

영역 \ 종류	Full Cut-off	Cut-off	Semi Cut-off	Non Cut-off
수직각 80[°]	100	100	200	제한 없음
수직각 90[°]	0	25	50	제한 없음

주: 각 값들은 광원의 총 광속 중 1,000[lm]당 광도 [cd]으로 계산

2.2 BUG(Backlight-Uplight-Glare)

BUG는 IESNA에서 제안한 조명기구 분류시스템으로 조명기구 평가 등급 방법이다. BUG 등급의 적용은 조명기구의 광축을 중심으로 빛이 진행되는 방향(Up, Back, Forward)과 구역광속(Low, Medium, High, Very High)에 따라 10개의 구간(UL, UH, BL, BM, BH, BVH, FL, FM, FH, FVH)이 결정되고, 이들 각 구간에 대응되는 최대 구역광속 값에 따라서 B0~B5, U0~U5, G0~G5의 BUG 등급이 결정된다[1].

BUG등급은 제품에 대한 빛공해 규제방법으로 설계 단계에서부터 빛공해를 규제할 수 있는 장점이 있지만 도로조명의 빛공해 규제에 적용할 때 광침해와 글레어 규제에는 용이하지만 산란광의 규제는 도로에

반사되는 상향광까지 고려해야 하므로 규제에 다소 미흡한 점이 있다.

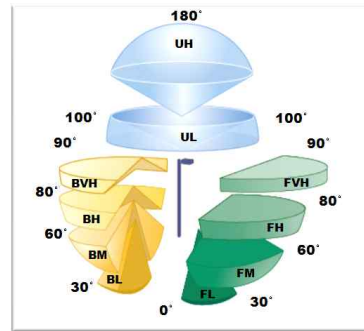


그림 1. BUG등급의 성분
Fig. 1. Components of BUG Rating

2.3 ULR(Upward Light Ratio)

ULR은 산란광에 대한 빛공해를 수치로 나타낸 값이다. CIE에서는 각 조명구역별로 ULR의 값을 제한하여 빛공해 중 산란광에 대한 규제를 하고 있다. 아래표는 조명구역별 상향광속비의 규제값을 나타낸 것이고, 식(1)은 ULR을 계산하는 식을 나타낸 것이다. 이값은 기구 자체의 상향광속비이므로 도로면의 반사에 의한 상향광을 포함하여 정확한 값이 계산되어야만 한다.

$$ULR = ULOR / LOR \tag{1}$$

여기서, ULOR : 조명기구의 상향광속비
LOR : 조명기구의 총광속비[2]

표 2. 조명구역별 ULR의 최대값
Table 2. Maximum Value of ULR by Lighting Zones

평가 기준	응용 조건	조명구역			
		E1	E2	E3	E4
상향 광속비	설치된 위치에서 총광속에 대한 수평면 위쪽 광속의 비	0[%]	0~5[%]	0~15[%]	0~25[%]

주: CIE 126-1997 [5]

3. 도로조명기구의 빛공해 분류

3.1 분류에 사용된 도로조명기구

조명기구는 해외 11개 회사 제품과 국내 12개 회사 제품을 램프종류(HPS, MH, CMH, LED)와 커버종류(FlatGlass, Glass Bowl, Poly Carbonate Bowl, Acrylic Bowl)별로 선정하였다. 조명기구들 중 해외 제품은 유럽(FD1~FL9)과 미국제품(FL10~FL11)들로 조명기구 제조업체에서 제공하는 배광데이터를 사용하여 빛공해를 계산하였다. 국내 조명기구는 KD1~KL12로 구분하였고, 이 기구 중 KL6~KL12은 국내 도시에 시설된 LED조명기구들이고, KD3-1~KL5는 국내 측정 기관에서 직접 배광데이터를 측정한 기구들을 사용하였다.

표 3. 분류에 사용된 해외도로조명기구
Table 3. Foreign Road Luminaires Used for Classification

해외 방전등 도로조명기구				
구분	램프 (소비전력[W])	램프 광속([lm])	커버종류	비고
FD1-1	HPS(150)	17,500	Flat Glass	동일 회사 제품군
FD1-2			Glass Bowl	
FD1-3			Poly Carbonate Bowl	
FD2	CMH(140)	16,500	Acrylic Bowl	
FD3	HPS(150)	17,000	Flat Glass,	
FD4	HPS(150)	17,000	Flat Glass,	
FD5	HPS(150)	17,000	Flat Glass	
FD6-1	HPS(150)	17,000	Flat Glass	
FD6-2			Glass Bow	
FD7	HPS(150)	27,500	Poly Carbonate Bowl	
해외 LED 조명기구				
구분	램프종류 (소비전력[W])	기구광속 ([lm])	비고	
FL8-1	LED(118)	8,950	배광종류별 동일 회사 제품군	
FL8-2	LED (130)	9,300		
FL9-1	LED (172)	14,208	배광종류별 동일 회사 제품군	
FL9-2	LED (105)	10,080		
FL9-3	LED(105)	10,080		
FL10	LED(195)	11,877	Back light 규제 제품	
FL11	LED(206)	9,706	Back light 규제 제품	

표 4. 분류에 사용된 국내도로조명기구
Table 4. Domestic Road Luminaires Used for Classification

국내 방전등 도로조명기구				
구분	램프 (소비전력[W])	램프 광속([lm])	커버종류	비고
KD1	HPS(250)	25,000	AcrylicBowl	-
KD2	MH(400)	46,000	Acrylic Bowl	-
KD3-1	HPS(150)	25,000	Acrylic Bowl	
KD3-2	MH(150)	20,500	Acrylic Bowl	
KD4	CMH(150)	14,000	Acrylic Bowl	
국내 LED 도로조명기구				
구분	램프종류 (소비전력[W])	기구광속 ([lm])	비고	
KL5	LED(60)	5,100	국내 도시에 사용된 LED가로등	
KL6	LED(165)	11,600		
KL7	LED(142)	9,270		
KL8	LED(166)	10,810		
KL9	LED(114)	8,560		
KL10	LED(120)	8,860		
KL11	LED(202)	14,700		
KL12	LED(165)	12,800		

3.2 로조명기구의 분류 및 분석

1) IESNA의 Cut-off 분류 및 비교분석

표 3.3 국내의 조명기구에 대하여 램프광속 1,000 [lm]당 수직각 80[°], 수직각 90[°]의 광도 값을 계산하고, IESNA의 Cut-off 등급에 따라 분류한 것이다.

방전등 조명기구들 중 Flat 커버 형태의 기구는 Full Cut-off 또는 Cut-off로 분류되고, Bowl 커버 형태의 기구는 Cut-off, Semi Cut-off 또는 Non Cut-off로 분류되고 있음을 알 수 있다. 같은 제품군(FD 1-1, FD 1-2, FD 1-3, FD 6-1, FD 6-2)에서도 Flat 커버형태의 조명기구가 Bowl커버 형태의 조명기구에 비해 수직각 80[°], 90[°]에서의 광도가 적으며, 상향하는 빛이 적다는 것을 알 수 있다.

해외 LED 사용 기구들은 주로 Full Cut-off 또는 Cut-off로 분류되었고, 국내 LED 사용 기구들은 주로 Cut-off로 분류되었다. 그 중 FL10과 FL11 기구는 수

직각 90[°]방향의 광도가 0이지만, 80[°]에서의 광도 값이 커서 Non Cut-off로 분류되었다.

LED기구들을 Cut-off분류를 사용하여 분류하면 램프광속을 기준으로 계산하는 방전등 기구에 비해 기구광속을 기준으로 계산해야 하기 때문에 불리한 등급을 받을 수도 있다.

2) BUG 분류 및 비교분석

BUG 분류는 DOE에서 제공하는 FTE(Fitted Target Efficacy) Calculator 소프트웨어를 이용하였다. 표 3.3은 각 도로조명의 BUG등급이고, 그림 3.1~3.3은 그 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 가로축은 Cut-off분류이고 세로축은 BUG등급 을 나타낸 것이다.

B등급은 Cut-off분류에 따라 B2~B3까지 나타나고 있고, G등급에 대해서 Full Cut-off, Cut-off 제품들은

G1~G3까지, Semi Cut-off, NonCut-off 제품들은 G2~G5까지 분포되고 있으므로 Cut-off 분류와 B등급, Cut-off 분류와 G등급은 상관관계를 보이고 있지 않다. U등급에서는 Full Cut-off, Cut-off 제품들은 Semi Cut-off, Non Cut-off 제품보다 U등급이 더 좋게 나타나고 있으므로 Cut-off 분류와 U등급은 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 또한 해외 LED 조명 기구들이 국내 LED 조명기구들보다 U등급이 좋다.

위의 결과를 정리하면, 방전등 기구와 LED 기구의 BUG등급은 해외 LED 기구의 BUG등급이 방전등 기구보다 좋고, 국내 LED 기구와 방전등 기구를 비교하면, B등급과 U등급에서 큰 차이를 보이지 않지만, G등급에서는 LED 기구들이 좋게 나타나고 있다.

Cut-off 분류와 U등급은 상관관계를 보이고 있으나, Cut-off 분류와 B등급, G등급은 큰 상관관계를 보이고 있지 않으므로 Cut-off 분류법이 산란광을 규제하는 방법은 될 수 있지만 광침해나 글레어를 규제하는 방법으로는 큰 효과가 없음을 알 수 있다.

표 5. 해외도로조명기구의 빛공해 등급
Table 5. Light Pollution Rating of Foreign Road Luminaires

해외 방전등 도로조명기구				
구 분	커버 종류	Cut-off	B-U-G	ULR(%)
FD1-1	Flat lass,	Full Cut-off	3-3-1	0
FD1-2	Glass owl	Cut-off	3-2-3	0.27
FD1-3	P.C Bowl	Cut-off	3-2-3	0.411
FD2	Acrylic owl	Cut-off	3-1-3	0
FD3	Flat Glass	Cut-off	3-2-3	0.2
FD4	Flat Glass	Cut-off	3-1-3	0.07
FD5	Flat Glass	Full Cut-off	3-1-3	0
FD6-1	Flat Glass	Cut-off	3-2-3	0.689
FD6-2	Glass Bow	Semi Cut-off	3-3-3	1.47
FD7	P.C Bowl	Semi Cut-off	3-3-3	1.71
해외 LED 도로조명기구				
구 분	Cut-off Classification	B-U-G	ULR(%)	
FL8-1	Cut-off	2-1-2	0	
FL8-2	Full Cut-off	2-1-1	0	
FL9-1	Full Cut-off	3-1-2	0	
FL9-2	Cut-off	2-1-2	0	
FL9-3	Full Cut-off	2-1-1	0	
FL10	NonCut-off	2-3-2	0	
FL11	NonCut-off	1-3-2	0	

표 6. 국내도로조명기구의 빛공해 등급
Table 6. Light Pollution Rating of Domestic Road Luminaires

국내 방전등 도로조명기구				
구 분	커버 종류	Cut-off Classification	B-U-G	ULR(%)
KD1	Acrylic Bowl	Semi Cut-off	3-3-3	2.54
KD2	Acrylic Bowl	Semi Cut-off	4-3-5	2.35
KD3-1	Acrylic Bowl	Semi Cut-off	3-2-3	0.109
KD3-2	Acrylic Bowl	Semi Cut-off	3-3-3	0.117
KD4	Acrylic Bowl	Cut-off	2-1-1	0
국내 LED 도로조명기구				
구 분	Cut-off Classification	B-U-G	ULR(%)	
KL5	Cut-off	2-1-2	0	
KL6	Cut-off	3-3-2	1.396	
KL7	Non Cut-off	3-3-3	7.412	
KL8	Cut-off	3-3-2	1.212	
KL9	Cut-off	3-3-2	2.256	
KL10	Cut-off	3-3-1	2.348	
KL11	Cut-off	3-3-2	1.468	
KL12	Cut-off	3-3-2	1.172	

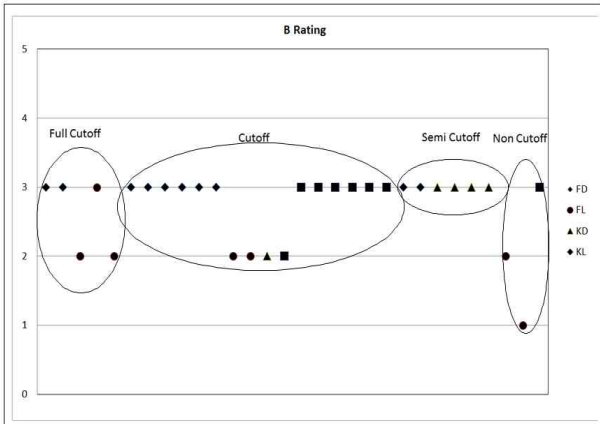


그림 2. B등급과 Cutoff 분류
Fig. 2. B Rating and Cutoff Classification

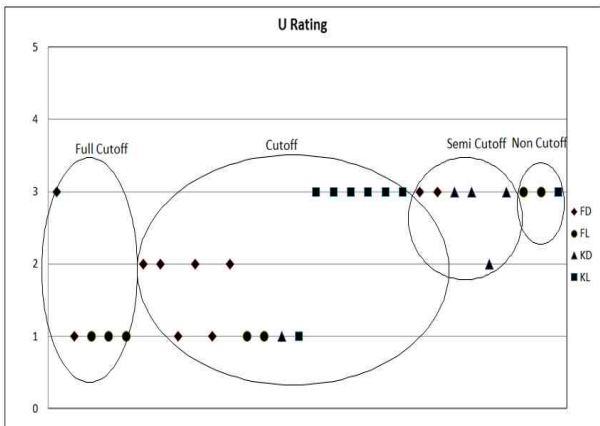


그림 3. U등급과 Cutoff 분류
Fig. 3. U Rating and Cutoff Classification

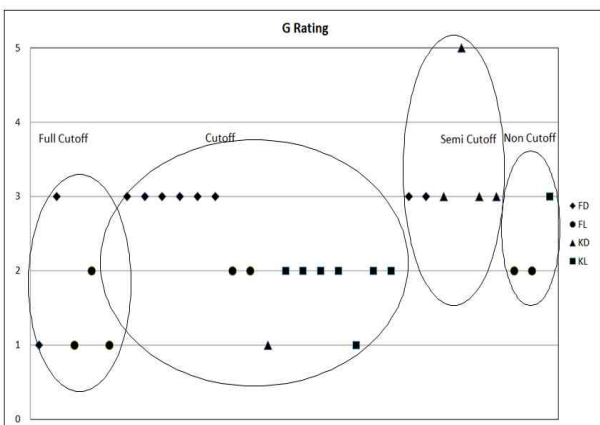


그림 4. G등급과 Cutoff 분류
Fig. 4. G Rating and Cutoff Classification

3) CIE의 ULR계산 및 비교 분석

ULR(Upward Light Ratio)은 빛공해중에서 산란광을 수치로 나타낸 값이다. CIE에서는 각 조명구역별로 ULR의 값을 제한하여 빛공해 중 산란광에 대한 규제를 하고 있다. CIE의 계산 수식을 이용하여 ULR을 계산하고 비교 분석한 결과, 해외 조명기구가 국내 조명기구에 비해 ULR값이 낮으므로 상향광이 잘 제어되었다고 볼 수 있다. 특히 해외 LED 기구들은 ULR 값이 0으로 국내 LED 기구와 차이가 나고 있다.

4. 빛공해 한계값 제안

IESNA의 Cutoff와 CIE의 ULR 값에 의한 규제는 빛공해중에서 산란광 규제는 될 수 있지만 광침하나 글래어의 규제에는 부족하다. 특히 Cutoff 분류는 LED 조명기구에는 적용하기에 불합리하다.

따라서 IESNA의 BUG 시스템을 사용하는 것이 여러 종류의 빛공해를 규제하는데 합리적 대안이라고 생각된다. 미국에서 BUG 시스템은 일반도로 등에는 적용되지 않고 사유지, 장식용의 가로 조명에 적용되며 우리나라에서는 도로등, 가로등이 구분되어 사용되지 않으므로 바로 적용하는 것은 어려움이 있으나 LED 조명기구의 평가에서 기존의 Cutoff 분류보다 합리적이고 광침해의 방지를 위한 기존의 적절한 수단이 없다는 점에서 BUG등급 분류의 사용을 고려할 필요가 있다.

표 7. 도로조명의 BUG 제한 등급
Table 7. BUG Limited Rating of Street Lighting

조명구역	B등급	U등급	G등급
제1종 조명환경 관리지역	B0	U0	G0
제2종 조명환경 관리지역	B1	U1	G1
제3종 조명환경 관리지역	B2	U2	G2
제4종 조명환경 관리지역	B3	U3	G3
제5종 조명환경 관리지역 (6종 포함)	B3	U4	G4

IESNA에서 제안하고 있는 제한치 중, U등급과 G등급은 미국에서 적용되고 있는 수준으로 제한한다. B

등급은 국내에서 사용되는 조명기구들이 대부분 B3등급에 속하는 것을 감안하여, 제한값 중 대지 구획선 및 구획선 방향으로부터의 거리가 조명기구 설치 높이의 0.5~1배인 경우의 B등급 수준으로 제안한다. 아래 표의 제안 등급을 보면, 환경보전이 필요한 1종~3종의 관리지역은 B0~B2의 제품을 사용해야 하므로 광침해를 보다 제한한 제품의 개발이 필요하다.

5. 결 론

본 논문에서는 국제조명단체들이 제안하고 있는 빛공해 방지 방안 중에서 조명기구 분류방법(IDA-IESNA의 Cut-off 분류, BUG 등급 분류), CIE의 상향광속비(ULR)의 계산방법에 대해 조사한 후, 이것을 적용하여 각종 도로조명기구의 빛공해 값을 계산하고 그 결과를 분석하였다. 세 가지 방안 중 국내 실정을 고려한 빛공해 규제안의 하나로 조명구역별 도로조명의 BUG 제한 등급을 제시하였다. 이 방안은 조명의 설계 단계에서 빛공해를 규제할 수 있는 방안이다. 앞으로 빛공해의 정확한 값을 알고 규제값을 정하여 구체적인 빛공해 규제가 이루어 질 수 있도록 빛공해 실태조사와 규제안 적용 시 빛공해 규제 정도를 확인할 수 있는 추가적 연구가 필요하다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA-2011-C6150-1101-0002)

References

- [1] Robert L. Henderson, Luminaire Classification System (IESNA TM-15-07) and the IES/IDA MQLC, LC, CLEP November 14, 2007.
- [2] Addendum A for IESNA TM-15-07, Backlight, Uplight and Glare.
- [3] IESNA RP-33-99, Lighting for Exterior Environments Ratings.
- [4] CIE Pub. 150: 2003, Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations.
- [5] CIE 126-1997, Guidelines for Minimizing Sky Glow.
- [6] 환경부, “빛공해 관리방안 마련을 위한 실태조사” 2009.
- [7] 김정태, “빛공해의 원인과 대책” 설비저널 33(11), 2004.

- [8] 전민지, “부산지역의 주요 가로변 광공해 실태조사연구”, 부경대 석사학위논문, 2007.
- [9] 안내영, 심교연, 안건혁, “야간도시조명 관리 방안에 대한 연구”, 한국도시행정학회 도시행정학보 제 21집, 제1호, 2008.
- [10] 서울특별시 빛 공해방지 및 도시조명관리조례(안), 2010.
- [11] 조숙현 “광해 규제 비교와 도로조명의 광해 평가” 강원대 석사학위논문, 2009. 6.
- [12] 강원대학교 산학 협력단 “도로조명시설 지침 개정 연구” 2011. 05.
- [13] 강원대학교 산학 협력단 “광공해의 위험성 분석 및 대응방안 구축” 2010. 11.

◇ 저자소개 ◇



조숙현 (趙淑賢)

1962년 2월 12일생. 1984년 강원대학교 수학교육학과 졸업. 2007년 한국폴리텍III 대학 전기과 졸업. 2009년 강원대학교 전기전자공학과 대학원 졸업(석사). 2011년 강원대학교 전기전자공학과 박사과정.



이민옥 (李玟旭)

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



최현석 (崔峴碩)

1985년 3월 9일생. 2011년 강원대학교 전기전자공학과 졸업. 현재 강원대학교 전기전자공학과 석사과정.



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). 현재 강원대 IT대 전기전자공학부 교수. 본 학회 부회장.