

OSP와 Road Pollution에 의한 옥외조명기구의 빛공해 값 비교 분석

조속현 · 이민욱 (강원대학교 IT대학 전기전자공학부)

1 서론

삶의 질이 좋아지면서 전기의 사용이 많아지고 있다. 전기 사용의 중요한 용도 중의 하나인 조명도 점점 발전하여 다양하게 사용되어지고 있다. 하지만 조명의 무분별한 사용으로 인해 우리에게 악영향을 미치는 빛공해를 일으키기도 한다. 이러한 빛공해는 크게 세가지, 산란광(sky glow), 침입광(light trespass), 글래어(glare)로 나눌 수 있다. 해외 여러 나라에서는 빛공해에 대한 심각성을 인식하고 이것을 줄이고자 여러 가지 방법으로 노력하고 있다. 그 방법들 중 하나로 빛공해 값을 수치화할 수 있는 다양한 방법들을 제시하고 있는데 여기에서는 각 조명단체들이 제시하고 있는 여러 가지 빛공해 계산법 중, OSP와 Road Pollution에 의한 국내와 해외 옥외조명기구의 빛공해 값을 계산하여 비교 분석하였다.

2. 빛공해의 계산 및 분석

2.1 Roadpollution에 의한 시뮬레이션

이탈리아에서 개발된 도로조명기구에 대한 빛공해 값 계산 소프트웨어로 Pierantonio Cinzano에 의





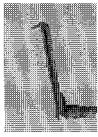


해 개발되었다. 여러 가지 빛공해 중에 도로조명에 의한 빛공해를 측정하는 방법의 하나이다. 이 방법은 도로 관련 요소와 조명기구의 측광 데이터를 입력하여 빛공해 중 산란광과 관계 있는 상향광속비(UFF)와 글래어와 관계있는 임계휘도치증분(TI)의 값 등 여러 가지 정보를 출력값으로 얻을 수 있는 소프트웨어이다. 여기에서는 옥외 조명 중 표-1의 도로 조명기구를 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다[6].

2.1.1 시뮬레이션 조건 설정

① 시뮬레이션에 사용된 조명기구

조명기구는 해외 조명기구 회사들의 현재 시판중인 조명기구 일곱 종류와 국내 제품 두 종류를 선정하였다. 이 시뮬레이션은 우리나라의 도로 조건을 대상으로 하였으며, 우리나라 조명 기준을 만족하도록 조명기구를 선정하였다. 산란광을 평가하기 위한 요소는 주로 광속비가 사용되었기 때문에 각 조명기구의 광속 값을 정확히 일치시키지는 않았다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용된 조명기구들의 조건들이다. 이 조건들은 조명기구 업체에서 제공한 데이터시트를 참고하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 조명기구

구분	A	B	C	D	E	F	G	H	I
기구사진								국내 제품 1	국내 제품2
램프(W)	150	140	150	150	150	150	250	250	400
광속 (lm)	17,500	16,500	17,000	17,000	17,000	17,000	27,500	25,000	46,000
커버종류	Glass Flat(A-1) Glass Bowl(A-2) Poly carbonate Bowl(A-3)	Acrylic Bowl	Glass Flat			Glass Flat(F-1) Poly carbonate Bowl(F-2)	Poly carbonat e Bowl		

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

② 도로조건

대상 도로는 CIE 도로조명 분류상의 M3 조명등급으로 설정하였으며 노면의 종류는 표준 아스팔트인 C2를 적용하였다. 이 경우 평균 노면 휘도의 최소허용치는 1.0 [cd/m²]를 만족하도록 하였다. 설정된 조명요소들을 표 2에 정리하였다.

표 2. 조명 요소

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]

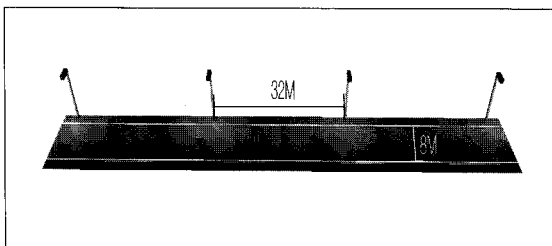


그림 1. 시뮬레이션 도로 조건

2.1.2 시뮬레이션 분석 항목

Roadpollution의 출력 자료는 다음과 같다.

- ① 조명기구 방사와 관련된 데이터
- ② 도로조명 요소
- ③ 에너지와 비용 요소
- ④ 빛공해 요소 :
 - 산란광 - UFF(Upward flux factor, %) 상향광속비
 $UFF(Upward\ flux\ factor, [\%]) = \frac{\text{상향광출력비}(ULOR)}{\text{조명기구 광출력비}(LOR)}$
 (CIE에서 산란광에 대하여 적용하고 있는 ULR에 해당하는 값)
 Road reflected upward flux ratio 도로면의 반사특성을 고려한 계산 값
 - 클레어 - Threshold Increment TI((%))

2.1.3 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션의 결과인 표 3을 보고 각 조명기구에 대한 빛공해 값을 분석해 보면 다음과 같다.

표 3. 시뮬레이션 결과

구분	A1	A2	A3	B	C	D	E	F1	F2	G	H	I
Downward flux factor DFF(%)	100	99.73	99.28	99	99.42	99.69	100	96.83	93.09	98.20	97.65	97.46
Upward flux factor UFF(%)	0	0.27	0.72	1	0.58	0.31	0	3.17	6.91	1.80	2.35	2.54
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	67.79	65.82
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	68.15	64.15
Upward light output ratio ULOR(%)	0	0.23	0.6	0.82	0.48	0.23	0	2.67	6	1.30	1.64	1.67
Direct upward flux ratio UFR(%)	0	0.27	0.72	1	0.58	0.31	0	3.17	6.91	1.80	2.35	2.54
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	5.46	5.48
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	7.03	6.98
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	0.42	0.42
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	0.97	0.92
Threshold increment TI(%)	11.54	14.01	16.30	14.98	12.69	10.90	12.02	16.19	18.49	24.88	16.87	15.72

A2, A3, F2, G는 돌출형태의 아크릴 또는 플라스틱 보울을 가진 조명기구들로서 커버가 평평한 형태의 조명기구와 비교했을 때 상향광속비(UFF)가 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 같은 제품군에서 커버의 형태가 각각 다른 A1, A2, A3의 결과에서도 보울 형태의 커버를 가진 조명기구의 상향광속비가 평평한 커버 구조의 조명기구와 약간 돌출형태의 커버 구조 조명기구에 비해서 높게 나타났다. 이는 커버의 구조가 광해를 발생시키는 한 원인이 되는 것으로 판단할 수 있으며, 반사판에 의한 배광제어 성능이 떨어지는 제품일 경우 이러한 현상은 더욱더 두드러질 것으로 예상할 수 있다.

또한 A1, E는 조명기구 자체로는 상향광속이 전혀 없지만 도로에 설치된 상태에서는 하향광속이 도로면에 반사되어 다시 위쪽을 향하는 '도로면에 반사된 상향광속(road reflected upward flux)'이 발생하였고, 도로면뿐만 아니라 도로 바깥의 영역에서 반사된 광속까지 추가되면 그 값은 더 증가함을 알 수 있다. 국내제품인 H, I는 해외 가로등 제품과 비교하면 상향광속비에 있어서 F1, F2보다는 낮게 나타나고 있으며 그 외의 제품에 비해서는 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 TI에 있어서는 보울 형태의 해외 제

품과 비슷한 값으로 나타나고 있으며 평평한 형태의 커버제품에 비해서 비교적 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. A3, F2, G는 도로조명에 있어서 글레어 규제를 위한 계산값인 TI값 또한 돌출형태의 커버 구조를 갖는 A3, F2, G에서 비교적 높게 나타남을 알 수 있다.

위의 결과를 전체적으로 분석해보면 커버구조에 의한 상향 광속비(UFF)의 차이로 인해 평평한 커버구조가 빛공해를 더 줄일 수 있는 기구구조임을 알 수 있고, 그 결과 값을 이용 CIE의 Lighting zone에 따른 빛공해 규제에 이용할 수 있다. 위의 결과를 통해 조건과 조명기구에 따른 빛공해와 에너지 낭비에 관련된 정보들을 알 수 있다. 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.

2.2 OSP(Outdoor site-lighting performance)에 의한 시뮬레이션.

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 가상 Box를 만들어서 각 면의 조도값을 측정하여 빛공해 값을 계산하는 방법이다. 이번 시뮬레이션에서는 OSP를 이용하여 ① 투광조명과 ② 도로조명에 대한 빛공해 요소 중 Glow와 Trespass 항목을 평가하였다.

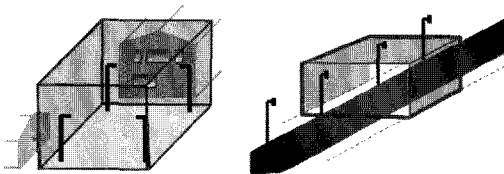


그림 2. 옥외조명 설치물의 계산된 주변 'Box'

2.2.1 시뮬레이션 조건 설정

OSP에 의한 시뮬레이션 수행 시 Box는 옥외조명 설치 지역을 둘러싸는 가상의 계산 Box를 사용하는데 Box 내부는 상호반사가 가능해야 한다. 또한 상부면은 가장 높은 Pole의 10(m) 위로 만들어야 하고, 도로조명의 경우 Box 가장자리는 일반도로상의 도로 라인으로 하였다. OSP의 각 면에 대한 계산점 간격은 2(m) 이내(일반적으로는 수직·수평 1(m) 간격)로 설정하며, 계산의 정밀도 향상을 위해서 더 좁은 간격으로 계산점을 설정할 수도 있다. 이번 시뮬레이션에서의 계산점 간격은 0.5(m)로 설정하였다.

OSP 시뮬레이션에서 보수율은 1.0으로 설정되며, 이는 조명기구가 깨끗한 상태, 새 램프가 장착된 상태 등 OSP의 결과가 가장 나쁜 상황에 대한 결과를 가정한 것이다.

① 투광조명(업라이트)

건축물 외벽의 경관 조명에 사용한 업라이트 조명 방식의 투광기에 대한 OSP시뮬레이션이며, 시뮬레이션 조건은 아래 그림 3에서 보는 것과 같이 건물의 폭은 20(m), 높이는 15(m)이고, 건물간의 이격 거리 3m인 조명 환경에서 조명기구는 narrow beam을 갖는 투광기를 사용하였다. 지면을 기준으로 투광기 각도를 50(°), 60(°), 70(°), 80(°)로 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

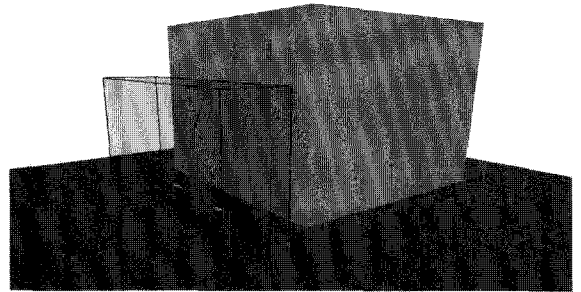


그림 3. 투광기 시뮬레이션 조건과 Box

② 도로조명

시뮬레이션 대상이 되는 도로는 폭 8(m)의 편도2차선 도로이며 도로 가장자리 양쪽에 폭 2(m)의 갓길이 존재한다고 가정하였다. 조명기구와 보수율을 제외한 나머지 조명조건은 모두 Roadpollution과 동일한 조건으로 설정되었다.

도로조명에 대한 OSP의 계산 역시 조명영역 주변에 그림 4와 같이 Box를 만든 다음 시뮬레이션을 수

특집 : 빛공해

행한다. 일반적인 경우 Box의 가장자리는 도로상의 Set back 또는 도로 라인 등으로 정의될 수 있으며, 그 밖에도 도로와 그 이외의 지점간의 구분을 만들어 내는 경계선을 OSP 계산 Box의 영역으로 판단할 수 있다. 시뮬레이션에 사용된 도로의 경우 갓길까지를 계산 Box의 영역에 포함시켰다.

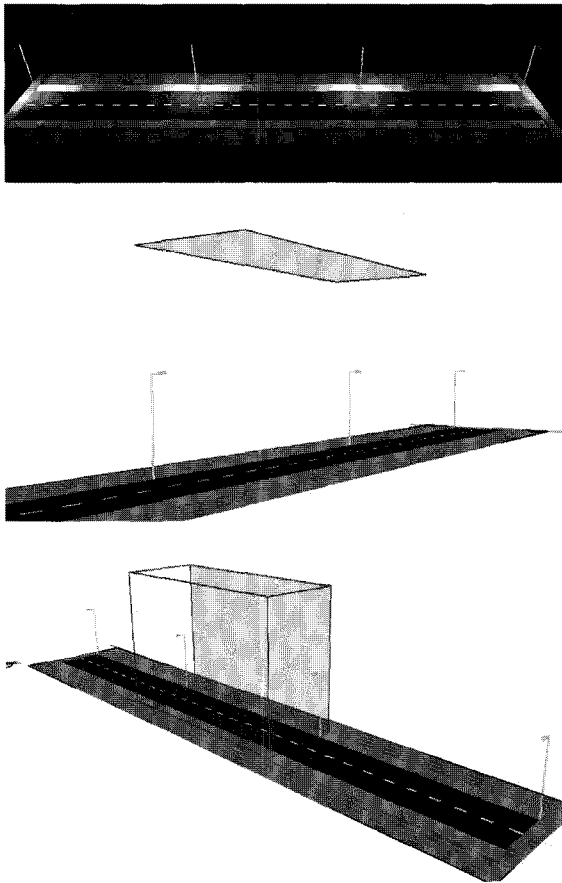


그림 4. 도로조명 시뮬레이션 조건과 Box

연속적인 조명이 존재할 경우 OSP의 계산은 반복되는 영역의 한 구간을 선정하여 수행되며, 이 때 계산 Box에는 조명기구가 연속적으로 존재하게 되는 도로 길이방향의 두 면은 포함되지 않는다. 따라서 도로조명의 OSP 계산에는 Box의 상부면과 조명기구 앞쪽 면, 뒤쪽 면만이 사용된다.

2.2.2 시뮬레이션 분석항목

- ① Glow의 계산은 상부면과 측면의 평균조도로 계산된다. 면적(m²)에 의해 가중된 값이 사용되며 각각의 면에 면적을 곱한 뒤 결과값을 모두 더하고 이를 다시 전체면적을 나누어 최종적인 Glow값을 구한다.
- ② Trespass의 계산은 기본값적으로 Box의 측면과 뒷면의 최대조도로 가정하지만 상황에 따라서는 상부면이 침해광이 될 때도 있으므로 사용자가 최종적으로 결정할 필요가 있다. OSP에서의 Trespass값은 하나의 최대조도값만을 사용한다.

2.2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

① 투광조명(업라이트)

시뮬레이션 결과인 표 4를 보면 투광기의 조명 각도 중 50[°], 60[°], 70[°]의 각도에서는 각도가 높을수록 Glow나 Trespass 값이 점점 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 80[°]각도에서는 Trespass값이 가장 작게 나왔지만, 상향으로 향하는 빛이 많아서 산란광이 많아진다는 것을 알 수 있다. 따라서 여기에서는 각도에 따라 Glow나 Trespass 값만을 비교하는 것만으로는 빛공해의 많고 적음을 정확히 판단하기에는 부족하며 상향으로 향하는 빛까지 고려하여야 함에 유의하여야 한다.

② 도로조명

표 5의 시뮬레이션 결과에서 보여주는 것과 같이 같은 조명환경 조건에서 조명기구에 따라 빛공해값이 다르다는 것을 알 수 있다. A1, A2, A3는 커버의 종류에 따라 Glow나 Trespass의 값이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 또한 G와 H를 비교하면 램프광속이 같지만 조명기구의 모양에 따라 Glow나 Trespass 값의 차이를 나타내고 있다.

표 4. 시뮬레이션 결과

		Area	50[°]	60[°]	70[°]	80[°]
Lamp			150[W]	150[W]	150[W]	150[W]
Luminous Flux([lm])			13,000	13,000	13,000	13,000
Wall	Average illuminance([lx])	200	72	79	82	55
Top	Average illuminance([lx])	100	24.1	31.30	34	71
	Maximum illuminance([lx])		38	54.80	161	1,790
Glow(Top)			2410	3130	3,400	7,100
Side1	Average illuminance([lx])	50	14.5	14.30	12.20	6.40
	Maximum illuminance([lx])		18.4	21.30	20.10	12.90
Glow(Side1)			725	715	610	320
Side2	Average illuminance([lx])	50	14.5	14.30	12.20	6.40
	Maximum illuminance([lx])		18.4	21.30	20.00	12.90
Glow(Side2)			725.00	715.00	610.00	320.00
Back	Average illuminance([lx])	200	31	29.70	24.40	11.90
	Maximum illuminance([lx])		52.8	47.60	46.80	16.50
Glow(Back)			6,200.00	5,940.00	4,880.00	2,380.00
Glow			25.15	26.25	23.75	25.30
Trespass			52.80	47.60	46.80	16.50

표 5. 시뮬레이션 결과

구분		A1	A2	A3	B	C	D	E	F1	F2	G	H	I
Ground	Average illuminance(lx)	26.40	26.80	25.70	24.50	24.90	21.30	25.80	25.40	24.90	33.00	25.70	51.00
Top	Average illuminance(lx)	2.28	2.37	2.30	2.07	2.20	1.95	2.23	2.33	3.00	3.41	2.47	4.94
	Maximum illuminance(lx)	2.55	2.89	2.78	2.32	2.45	2.19	2.52	2.84	4.56	4.53	3.46	6.81
	Glow(Top)	875.52	910.08	883.20	794.88	844.80	748.80	856.32	894.72	1,152.0	1309.4	948.48	1,896.96
Front	Average illuminance(lx)	3.10	3.40	3.60	3.10	3.80	3.10	3.00	3.10	3.40	4.90	4.90	9.10
	Maximum illuminance(lx)	15.40	15.30	15.80	13.70	16.30	12.50	13.20	10.90	12.30	15.10	15.70	28.00
	Glow(Front)	1,785.60	1,958.40	2,073.60	1,785.60	2,188.80	1,785.60	1,728.00	1,785.60	1,958.4	2,822.4	2,822.40	5,241.60
Back	Average illuminance(lx)	7.00	8.00	8.00	7.00	7.00	8.00	7.00	7.00	7.00	12.00	9.00	19.00
	Maximum illuminance(lx)	180.00	175.00	181.00	162.00	116.00	216.00	116.00	173.00	166.00	191.00	169.00	379.00
	Glow(Back)	4,032.00	4,608.00	4,608.00	4,032.00	4,032.00	4,608.00	4,032.00	4,032.00	4,032.0	6,912.0	5,184.00	1,0944.0
Glow		4.36	4.87	4.93	4.31	4.60	4.65	4.31	4.37	4.65	7.19	5.83	11.77
Trespass		180.00	175.00	181.00	162.00	116.00	216.00	116.00	173.00	166.00	191.00	169.00	379.00

2.4 OSP와 Road Pollution에 의한 옥외조명기구의 빛공해 값 비교 분석

OSP와 Road Pollution은 모두 빛공해값을 계산하기 위한 방법들이다. 이 두 가지 방법에 의한 시뮬레이션 결과를 비교해 보면 Road Pollution은 옥외 조명기구 하나하나에 대한 빛공해 값들 즉 상향광속비(UFF)와 TI값등을 알 수 있는 반면, OSP는 조명 환경을 미리 정하여 시뮬레이션한 값으로 Glow는 상부면과 측면으로 새는 빛의 평균 조도값이고, Trespass측면과 뒷면의 측정조도 중 최대값을 나타낸 것으로서 두 시뮬레이션의 빛공해에 대한 결과 값을 해석하는 데는 차이가 있다. 하지만 두 시뮬레이션 모두 빛공해를 수치로 나타내고 조명기구와 조명 조건에 따라 비교할 수 있다는 특징이 있다.

3. 결 론

국내에서도 최근에 빛공해에 대한 인식이 높아지고 빛공해를 방지하기 위한 대책을 마련하기 위해 노력하고 있다. 위의 시뮬레이션은 조명설비의 빛공해 계산 및 평가에 대한 하나의 사례로써 옥외 조명에 대한 빛공해 수치를 정량화하여 평가하기 위한 것이다. Roadpollution과 OSP에 의한 빛공해값의 계산 결과로써 조명기구 커버와 여러 가지 도로조건 그리고 설치 방법 등에 따라 차이가 나는 것을 알 수 있고, 이것은 CIE 의 lighting zone에 따라 조명기구를 제한하여 빛공해를 줄이기 위한 수치적 근거로 제시될 수 있다.

참 고 문 헌

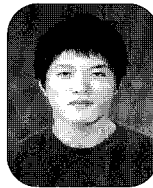
- [1] 김정태 “빛공해의 원인과 대책” 설비저널 33(11) : p.40-46, 2004.
- [2] CIE Pub. 150 : 2003 - “Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations”.
- [3] David M. Keith “Technical Summary of Research Unit Power Density & Unit Uplight Density”.
- [4] Narisada. Schreuder, “LIGHT POLLUTION HANDBOOK”.
- [5] Michele McColgan Ph. D. “The Up and Down of Outdoor Lighting”.
- [6] <http://www.roadpollution.it> AS 4282-1997 “The obtrusive effects of outdoor lighting”.
- [7] Lighting Res. Technol. 2008; 40: 201 - 224 “Outdoor site-lighting performance :A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution”.
- [8] KS C-7611, KS A-3701.
- [9] International Dark-Sky Association(2000) Outdoor Lighting Code Handbook.
- [10] Schreuder : 373-385 “Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception”.

◇ 저 자 소 개 ◇



조숙현 (趙淑賢)

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



이민욱 (李玟旭)

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