

조명시뮬레이션 프로그램(RELUX)을 이용한 도로조명의 공간적 배치에 따른 침입광 영향 특성 연구

(Research on the Characteristics of the Light Trespass using by RELUX Program According to the Spatial Position of the Road Lightings in Residential Area Near Road)

구진회* · 정종환 · 이규목

(Jinhoi Gu · Jong-Hwan Jung · Kyumok Lee)

Abstract

The road lightings have made our living environment safe and active, since it was first installed in 1900 in Korea. As the industry developed, various kind of road lightings have been installed in an outdoor area. But the spilt light from the road lightings have caused health problem like the sleeplessness, the depression, the failure to thrive and the nearsightedness to children. The light trespass caused by road lightings vary with the height of road lightings, the distance from road lightings to the window and the BUG rating of road lightings. In this paper, we analyze the effect on the light trespass by the spatial installation position of road lightings using by RELUX program. And we derive the characteristics of the light trespass according to the spatial installation position of the road lightings in residential area near road.

Key Words : Light Trespass, Lighting Simulation, RELUX, Road Lighting, BUG(Backlight, Uplight, Glare) Rating

1. 서 론

우리나라 야간 조명은 1900년 종로에 첫 도로조명이 설치된 이후 야간활동 및 안전을 보장하는 기능을 수행해왔으며, 산업 발달에 따라 경관 조명기능이 강화

되면서 옥외 조명기구의 형태와 종류가 다양하게 변하였다. 하지만 옥외 조명기구의 형태와 종류가 다양해지면서 조명영역을 벗어나는 누출광 발생이 증가하고 지나치게 밝은 누출광으로 인해 천체관측 어려움, 농작물 수확 감소, 야생 동식물 생태환경 교란 등과 같은 환경영향이 발생하고 있다. 특히 옥외조명 누출광은 사람에게도 영향을 주는 것으로 알려져 문제가 되고 있는데, 야간에 빛에 노출되면 생체리듬 및 면역체계 호르몬으로 알려진 멜라토닌 분비가 감소되어 불면증 및 우울증, 암 등의 발생 가능성이 증가하고 어린이 경우 성장장애 및 근시유발 등에 영향이 있는 것으

* 주(교신)저자 : 국립환경과학원 공업연구소
* Main(Corresponding) author : National Institute of Environmental Research, Senior Researcher
Tel : 032-560-8323, Fax : 032-567-7097
E-mail : gujhgujh@korea.kr
접수일자 : 2012년 5월 9일
1차심사 : 2012년 5월 25일, 2차심사 : 2012년 10월 5일
심사완료 : 2012년 10월 23일

로 알려져 있다.

이에 따라 국외에서는 옥외조명의 누출광으로 인한 빛공해 피해를 최소화하기 위하여 발광광고물 표면 휘도(cd/m²), 건축물조명 표면 휘도(cd/m²), 침입광의 조도(lx), 상향광속비(%), 광원의 빛세기(cd) 등과 같은 옥외조명에 대한 빛방출 허용기준을 마련하여 기준 준수를 권고하고 있고 조명기구에 대한 배광(빛이 방사되는 분포) 기준을 제시하여 조명 설계단계에서부터 누출광을 최소화하기 위한 노력을 하고 있다[4]. 이러한 노력의 일환으로 북미조명학회(IESNA)에서는 2000년 조명기구에 대한 컷오프(Cutoff) 분류를 통해 조명기구로부터 발생하는 누출광이 눈부심(Glare)과 밤하늘 밝아짐(Sky glow) 현상 등에 미치는 영향을 최소화 하는 조명기구 배광 기준을 제시했으며, 2005년에는 컷오프 분류(Cutoff classification)를 개선한 BUG(Backlight, Uplight, Glare) 분류를 통하여 눈부심(Glare)과 밤하늘 밝아짐(Sky glow) 현상뿐만 아니라 침입광(Light trespass)까지 관리를 위한 배광 기준도 제시하고 있다[5].

본 연구에서는 이러한 최근 국내외 연구동향에 따라 빛공해 관리를 위한 조레(MLO, Model Lighting Ordinance)를 바탕으로 국내 도로조명에 대한 침입광 영향을 분석하여 향후 원활한 「인공조명에 의한 빛공해 방지법」[6] 시행을 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 그러기 위하여 옥외조명 중 도로조명 누출광으로 인한 침입광을 최소화하는 도로조명의 공간적 배치를 고려하고 침입광 저감을 위한 적절한 조명기구 배광 분류 방식을 검토하였다. 그리고 일반적으로 많이 설치되어 있는 도로조명 8종을 선정하여 BUG 등급을 분류하여 각 도로조명의 설치 거리 및 설치 높이에 따른 침입광 영향을 상용조명해석 프로그램(RELUX)을 이용하여 분석하였다. 이러한 연구 결과는 향후 침입광 저감을 위한 도로조명 설치 가이드라인 마련 시 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 도로조명의 배광 특성 조사

본 연구에 사용한 도로조명은 국내에 설치되어 있는 도로조명 현황을 조사하여 일반적으로 가장 많이 사

용되는 도로조명 8종을 선정하여 배광 특성을 조사하였다. 도로조명 설치 현황은 환경부 “인공조명에 의한 빛공해 관리지침”의 조명환경관리구역에 준하여 자연환경보전지역, 농림지역, 주거지역, 상업지역 등 4개 지역으로 구분하여 각 지역별로 가장 많이 설치되어 있는 도로조명을 조사했으며, 총 9개 지역 67개 지점에 많이 설치되어있는 도로조명 8종을 선정하였다. 선정된 도로조명의 배광 특성은 배광시험을 통해 각 도로조명 별로 BUG 등급을 분류했으며, 표 6은 도로조명 8종에 대한 BUG 등급 분류 현황을 나타낸다. BUG 등급은 국제다크스카이협회(IDA)와 북미조명학회(IESNA)에서 공동으로 제정한 MLO(Model Lighting Ordinance)에서[5] 누출광(Backlight, Uplight, Glare)에 대한 등급을 표 1~5와 같이 각 영역별로 발산되는 광속을 기준으로 분류하고 있으며, 그림 1과 같이 후면광(Backlight)은 조명기구 뒤쪽으로 나가는 빛으로 침입광을 발생시키고 상향광(Uplight)은 조명기구 위로 나가는 빛으로 스카이글로우(Sky glow) 현상을 일으키며 측면광은 눈부심(Glare)을 일으켜 불편감을 유발하는 것으로 알려져 있다[7]. 도로조명 기구의 Backlight 등급 분석 결과 B2~B4로 대부분 B3 등급(6종)인 것으로 나타났고 Glare 등급은 G2~G4로 대부분 G3(5종)인 것으로 나타났고 Uplight 등급은 모두 U3로 나타났다.

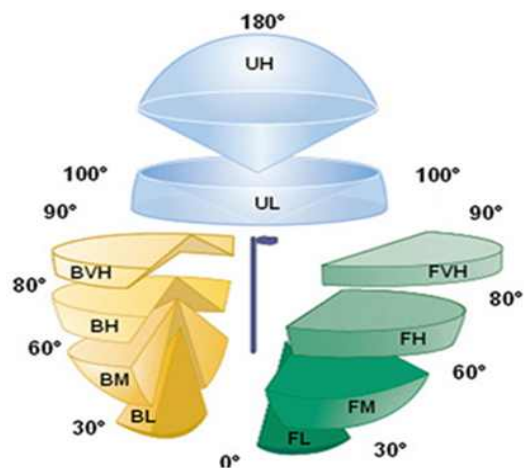


그림 1. 옥외조명의 Backlight, Uplight, Glare 분류 영역
Fig. 1. The outdoor luminaire distribution measuring system for BUG rating

표 1. 옥외조명의 BUG 등급 분류
Table 1. Classification of luminaire distribution by BUG rating

		Lighting angle	Influence
Forward light	FVH (Forward light very high)	80-90 degrees	Glare
	FH (Forward light high)	60-80 degrees	Glare
	FM (Forward light medium)	30-60 degrees	-
	FL (Forward light low)	0-30 degrees	-
Backlight	BVH (Backlight very high)	80-90 degrees	Glare
	BH (Backlight high)	60-80 degrees	Glare
	BM (Backlight medium)	30-60 degrees	Light trespass
	BL (Backlight low)	0-30 degrees	Light trespass
Uplight	UH (Uplight high)	100-180 degrees	Sky glow
	UL (Uplight low)	90-100 degrees	Sky glow

표 2. 옥외조명의 Backlight 등급 분류
Table 2. Backlight ratings(maximum zonal lumens)

Secondary Solid Angle	B0	B1	B2	B3	B4	B5
Backlight/Trespass	BH	110	500	1000	2500	5000 >5000
	BM	220	1000	2500	5000	8500 >8500
	BL	110	500	1000	2500	5000 >5000

표 3. 옥외조명의 Uplight 등급 분류
Table 3. Uplight ratings(maximum zonal lumens)

Secondary Solid Angle	U0	U1	U2	U3	U4	U5
Uplight/Skyglow	UH	0	10	50	500	1000 >1000
	UL	0	10	50	500	1000 >1000




표 4. 옥외조명의 Glare 등급 분류(Type I ~ IV)
Table 4. Glare ratings for asymmetrical luminaire types(maximum zonal lumens, Type I ~ IV)





Secondary Solid Angle	G0	G1	G2	G3	G4	G5
Glare/Offensive light	FVH	10	100	225	500	750 >750
	BVH	10	100	225	500	750 >750
	FH	660	1800	5000	7500	12000 >12000
	BH	110	500	1000	2500	5000 >5000

표 5. 옥외조명의 Glare 등급 분류(Type V ~ VI)
Table 5. Glare ratings for asymmetrical luminaire types(maximum zonal lumens, type V ~ VI)

Secondary Solid Angle	G0	G1	G2	G3	G4	G5
Glare/Offensive light	FVH	10	100	225	500	750 >750
	BVH	10	100	225	500	750 >750
	FH	660	1800	5000	7500	12000 >12000
	BH	660	1800	5000	7500	12000 >12000

표 6. 도로조명의 BUG 등급 분류 현황
Table 6. The classification of the BUG rating of a Road lighting

종류	도로조명	BUG 분류		
		Backlight Rating	Uplight Rating	Glare Rating
도로조명 A		B3	U3	G3
도로조명 B		B3	U3	G4
도로조명 C		B3	U3	G2
도로조명 D		B3	U3	G3

종류	도로조명	BUG 분류		
		Backlight Rating	Uplight Rating	Glare Rating
도로조명 E		B4	U3	G3
도로조명 F		B2	U3	G2
도로조명 G		B3	U3	G3
도로조명 H		B3	U3	G3

구분	조명환경 설계	준용 규정 및 지침
도로조명 등급	M3	-도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부)[2]
조명기구 설치	높이 10m 및 경사각도 5도, 28m 간격(마주보기 배열)	-도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부)[2] -서울시 도로기전설비 설치 및 관리에 관한 규정[3]
기타조건	노면 휘도계수 및 조명기구 보수율 등은 각각 0.07sr-1, 0.7 적용	-도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부)[2]
침입광 분석지점	주택 1층 전면(28m(가로) × 2.6m(높이))	-국민주택 층고 높이 적용

3. 도로조명 침입광 시뮬레이션

도로조명으로 인한 침입광 영향 분석을 위하여 표 7 과 같이 RELUX 조명환경을 설계하였다. 이렇게 설계된 도로면 조명은 ‘도로조명은 도로안전시설 설치 및 관리지침’의 운전자에 대한 도로조명 휘도 및 보행자에 대한 도로조명 조도기준을 만족하였다. 침입광 분석지점은 일반적인 컷오프 형태의 도로조명의 경우 주택 1층 영역에 가장 큰 침입광을 유발하는 것을 고려하여, 주택 1층 전면 28m, 높이 2.6m의 직사각형 면을 침입광 분석지점으로 설정했으며, 최대 연직면 조도를 분석하였다. 그림 2는 위의 도로조건 및 조명조건으로 침입광 영향을 시뮬레이션한 결과이다.

표 7. 상용 조명해석프로그램(RELUX)의 조명환경 설계

Table 7. The road lighting simulation condition of RELUX to analyze the light trespass in the residential area.

구분	조명환경 설계	준용 규정 및 지침
도로조건	왕복4차선 보조간선도로 (인도 2m)	-도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토해양부)[1]

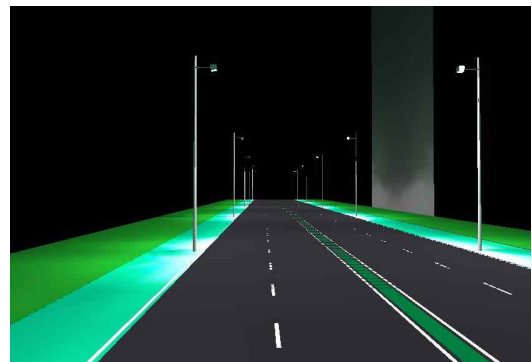


그림 2. 상용 조명해석 프로그램을 이용한 침입광 영향 분석

Fig. 2. The road lighting simulation using by RELUX

4. 도로조명 침입광 영향 특성

4.1 도로조명 설치 높이 및 도로조명-주택 이격거리에 따른 주택 창면 침입광 (연직면 조도) 변화

본 연구에서 설계된 도로조명 시뮬레이션을 이용하여 도로조명 8종에 대하여 설치 높이 및 도로조명-주택 이격거리에 따라 주택 창면 연직면 조도에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 주택 창면 연직면 조도 정보를 이용하여 도로조명의 공간적 위치(설치 높이 및 도로조명-주택 이격거리)에

따라 주택 창면 연직면 조도가 어떻게 변하는지를 신호처리 분석 프로그램(MATLAB)을 이용하여 분석하였다. 그림 3은 각각 신호처리 분석 프로그램을 이용하여 도로조명 설치 위치에 따라 주택 창면 최대 조도 변화를 나타낸다. 그림 3은 도로조명 8종에 대해 주택 창면 연직면 최대 조도의 8종 평균을 도로조명 공간적

위치(높이 및 주택-도로조명 거리)에 따라 나타낸 그림이다. 그림 3에서 횡축은 도로조명-주택 이격거리를 나타내고 종축은 도로조명 설치 높이를 나타내고 실선으로 연결된 선은 인접한 주택 창면 연직면 조도가 같은 지점을 연결한 선을 나타낸다. 그림 3에서 통상적인 도로조명 설치높이(10m)를 고려할 때, 도로조

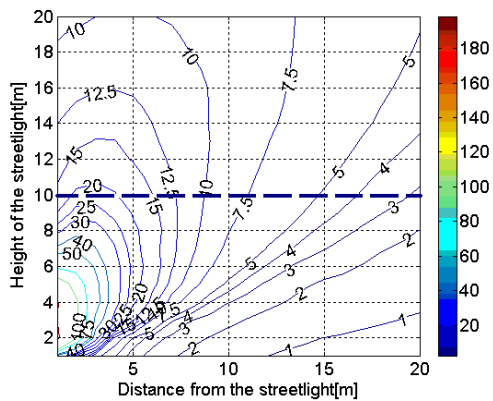


그림 3. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명A~H, 최대 조도)

Fig. 3. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(A~H) and the height of the road lighting(A~H)

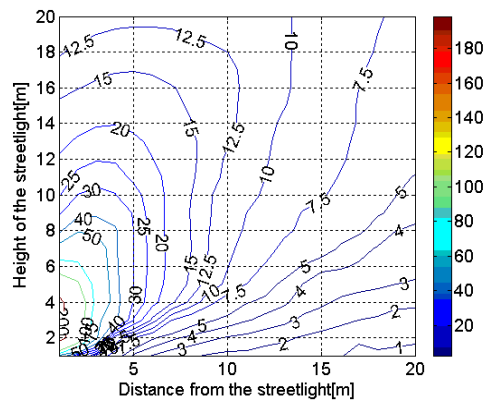


그림 5. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명B, 최대)

Fig. 5. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(B) and the height of the road lighting(B)

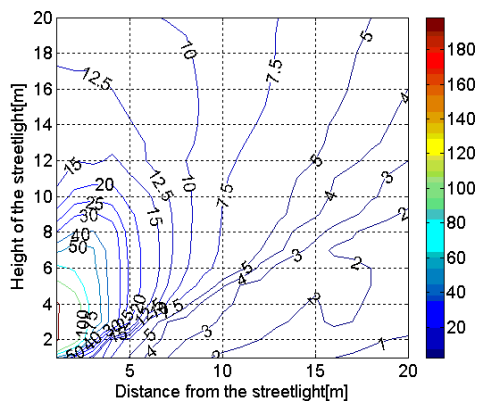


그림 4. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명A, 최대)

Fig. 4. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(A) and the height of the road lighting(A)

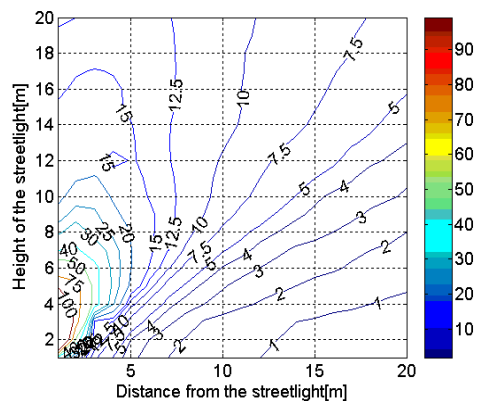


그림 6. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명C, 최대)

Fig. 6. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(C) and the height of the road lighting(C)

명으로부터 멀어질수록 주택 창면 연직면 최대 조도는 증가하다가 일정거리 이후 점차 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 또한, 주택으로부터 가까운 지점(5m 이내)에 설치된 도로조명은 도로조명 높이가 증가할수록 주택 창면 연직면 조도는 증가하다가 감

소하는 특성을 보이고, 어느 정도(15m 이상) 멀리 떨어진 지점에서는 도로조명 높이가 증가할수록 주택 창면 연직면 조도는 증가하는 것으로 나타났다. 개별 도로조명 8종(A~H)의 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 최대 조도 변화는 그림 3~11과 같다.

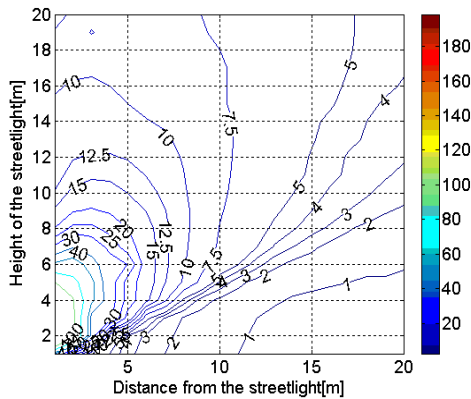


그림 7. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명D, 최대)

Fig. 7. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(D) and the height of the road lighting(D)

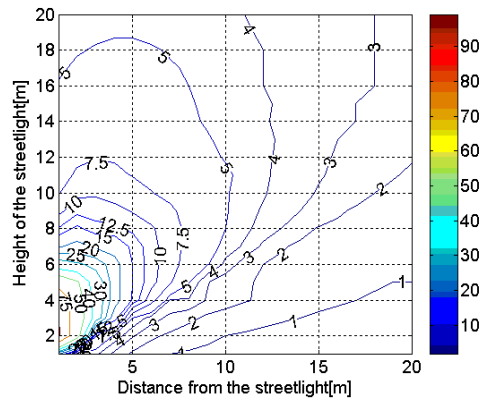


그림 9. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명F, 최대)

Fig. 9. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(F) and the height of the road lighting(F)

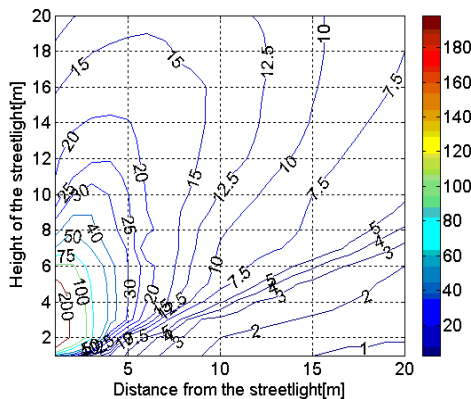


그림 8. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명E, 최대)

Fig. 8. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(E) and the height of the road lighting(E)

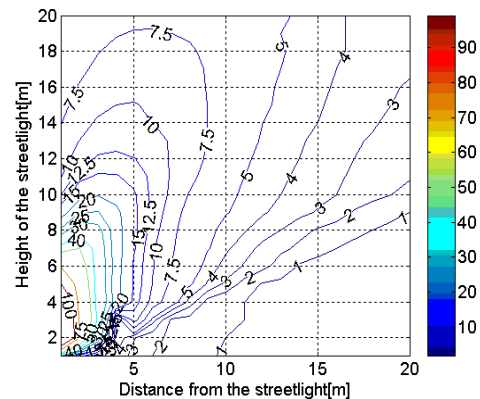


그림 10. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명G, 최대)

Fig. 10. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(G) and the height of the road lighting(G)

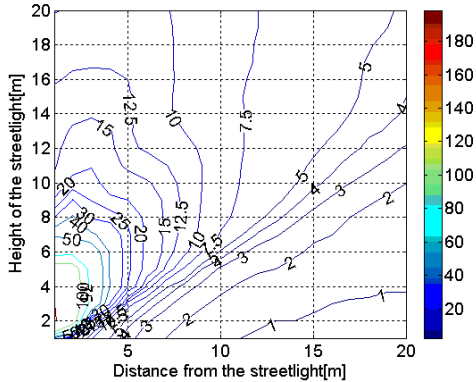


그림 11. 도로조명 설치 위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 변화(도로조명H, 최대)

Fig. 11. The contour of the vertical maximum illuminance on the window of a house according to distance from the road lighting(H) and the height of the road lighting(H)

4.2 침입광 관리를 위한 도로조명 설치기준

그림 12는 도로조명 공간적 배치에 따른 주택 연직면 조도 변화 나타낸다. 그림 12에서 굵은 직선은 0.5, 1.0, 2.0MH(Mounting Height)를 나타낸다. 그림 12에서 주택 창면에서의 연직면 조도는 도로조명-주택 이격거리 뿐만 아니라 도로조명 설치 높이에 따라 영향을 받아 변한다. 따라서 도로조명 인접 주택의 침입광 관리는 도로조명-주택 이격거리뿐만 아니라 도로조명 설치 높이까지 고려해야 한다. 그림 12에서 도로조명 주택 연직면 등조도 곡선은 대체로 MH 거리비와 평행하게 배열된 것을 알 수 있으며, 이는 도로조명의 공간적 배치에 따른 조도 변화는 도로조명 설치높이(MH)와 도로조명-주택 이격거리 비(MH Ratio)에 의해 영향을 받는 것을 의미한다. 따라서 주거지 침입광 관리를 위한 도로조명-주택 이격거리 기준은 도로조명 높이까지 고려한 MH 거리 기준으로 이루어져야 하며 현재 MLO(Model Lighting Ordinance)에서 침입광 관리를 위한 옥외조명 설치 기준을 MH 거리로 제시하는 것과 일치한다[4]. 한편 도로조명 설치위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 분석 결과(그림 4~11)를 토대로 일반적인 도로조명 설치높이(10m)에서 주

택 창면 연직면 조도가 10룩스(lx, 빛공해 방지법 주거지역 침입광 관리기준) 이하가 되는 주택-도로조명 이격거리(m)는 약 5.5~12.1m로 나타났으며 표 8은 도로조명(A~H) 8종의 세부 이격거리를 나타낸다. 조사대상 도로조명(A~H)의 경우 주택-도로조명간 거리를 약 5.5~12.1m 가량 이격시킬 경우 주거지역 침입광 관리기준(10룩스)을 만족하는 것으로 나타나 향후 주택 및 도로조명 설치 시 이러한 국내 도로조명의 침입광 영향 특성을 고려하여 주택-도로조명간 설치거리를 이격할 것을 제안하는 바이다. 또한 일부 도로조명(F)은 주택-도로조명 이격거리와 상관없이 주거지역 침입광 관리기준을 모든 지점에서 만족하는 것으로 나타났다.

표 8. 빛공해 방지법상의 주거지역 침입광 관리기준(10룩스)을 만족하는 주택-도로조명 이격거리(m)

Table 8. The distance(m) from the road lighting to the window which is satisfied the light trespass criteria in residential area

도로조명	A	B	C	D	E	F	G	H
이격거리(m)	0.82	1.18	0.81	0.81	1.21	0.0	0.55	0.71

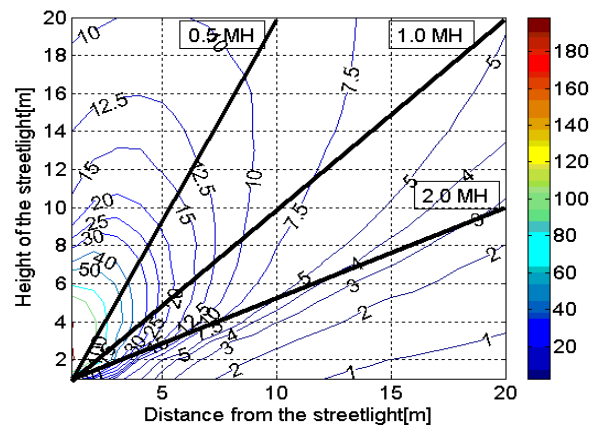


그림 12. 도로조명으로 부터 MH(Mounting Height) 거리비 이격에 따른 주택 창면 연직면 최대조도 변화 비교(도로조명 8종 평균)

Fig. 12. The comparison of between the MH ration and the contour of the vertical maximum illuminance on the windsow of a house

5. 결 론

본 연구는 도로조명 설치 가이드라인 마련을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 국내에 많이 설치되어 있는 도로조명 8종에 대해 상용조명해석 프로그램(RELUX) 및 신호처리 프로그램(MATLAB)을 이용하여 도로조명 공간적 배치(설치높이, 주택-도로조명 이격거리)에 따른 주택 침입광 영향을 분석하였다.

도로조명 공간적 배치에 따른 인접 주택의 침입광 영향은 통상적인 도로조명 설치높이(10m)를 고려할 때, 약 5m 이내의 근거리에서 주택-도로조명 이격거리가 멀어질수록 주택 창면 연직면 조도는 증가하다가 일정거리 이후 감소하고 도로조명 높이가 증가할수록 주택 창면 연직면 조도는 증가하다가 감소하는 특성이 나타났는데, 이는 일부 도로조명 배광특성에 있어 후사광(Backlight) 특정 영역(지면으로부터 약 60~80° 방향)으로 많은 양의 빛이 방출되기 때문이며 이 영역에 도로조명이 위치하는 경우 연직면 조도가 높게 나타난다. 한편 도로조명으로부터 어느 정도(1.0MH 이상) 멀리 떨어진 지점에서는 도로조명 높이가 증가하거나 도로조명으로부터 멀어질수록 주택창면 연직면 조도는 증가하는 것으로 나타났다.

한편 도로조명 설치위치에 따른 주택 창면 연직면 조도 분석 결과(그림 4~11)를 토대로 일반적인 도로조명 설치높이(10m)에서 주택 창면 연직면 조도가 10룩스(lx, 빛공해 방지법 주거지역 침입광 관리기준) 이하가 되는 주택-도로조명 이격거리(m)는 조사한 결과 주택-도로조명 거리를 약 5.5~12.1m 가량 이격시킬 경우 주거지역 침입광 관리기준(10룩스)을 만족하는 것으로 나타나 향후 주택 및 도로조명 설치 시 이러한 국내 도로조명의 침입광 영향 특성을 고려하여 주택-도로조명간 설치거리를 이격할 것을 제안하는 바이다. 그리고 주택 창면에서의 연직면 조도는 도로조명-주택 이격거리 뿐만 아니라 도로조명 설치 높이에 따라 영향을 받아 변하기 때문에 도로조명으로 인한 주택 침입광 관리는 도로조명-주택 이격거리뿐만 아니라 도로조명 설치 높이까지 고려해야 하며, 도로조명 설치 높이를 고려한 MH거리 기준으로 침입광 관리가 이루어져야 할 것을 제시한다.

References

- [1] Rule about the structures and the facilities of the road, Ministry of Land, Transprt and Maritime Affairs, 2009.
- [2] Guideline for the installation and the management of the road safety facilities, Ministry of Land, Transprt and Maritime Affairs, 2011.
- [3] Regulation about the installation and the management of the road electro-mechanical, Seoul Metropolis, 2011.
- [4] Model Lighting Ordinance, IDA and IESNA, 2009.
- [5] Addendum A for IESNA TM-15-07:Backlight, Uplight and Glare(BUG) Ratings.
- [6] Light pollution control law, Ministry of Environment, 2011.
- [7] David L. DiLaura, Kevin W. Houser, Richard G. Mistrick, Gary R. Steffy, "The lighting handbook", Illuminating Engineering Society, Tenth edition.

◇ 저자소개 ◇



구진회 (具振會)

1977년 3월 13일생. 2002년 인하대학교 자동차공학과 졸업. 2005년 인하대학교 기계공학과 대학원 졸업(석사). 2005년 인하대학교 기계공학과 박사과정. 현재 국립환경과학원 공업연구사.



정종환 (鄭鍾煥)

1980년 5월 2일생. 2006년 금오공과대학교 환경공학과 졸업. 2008년 금오공과대학교 환경공학과 대학원 졸업(석사). 현재 국립환경과학원 조사연구원.



이규목 (李圭睦)

1982년 3월 16일생. 2009년 계명대학교 환경계획학과 졸업. 현재 국립환경과학원 조사연구원.