

차로 크기에 따른 LED 광원 사용 가로등기구의 선정 방법 연구

(A Study on Selection Method of LED Using Lightings by Road Size)

전순호* · 길정수 · 이민옥 · 유성식 · 김 훈**

(Sunho Jeon · Jung-Su Gil · Min-Wook Lee · Seong-Sik Yoo · Hoon Kim)

Abstract

Road lighting is designed with a goal of achieving the related standards on luminance, uniformity ratio and glare. Unless the luminaire with LID which is perfect for road conditions is used, a situation which fails to meet lighting standards may occur. The study examined the relationship of maximum spacing with average road luminance and longitudinal uniformity. Based on the result of the analysis, this study evaluated luminaire with what characteristics are suitable to achieve lighting requirements of the roads and suggested methods of selection for luminaires depending on the size of the road.

Key Words : Road Lighting, Light Distribution, LED Luminaire, IES File

1. 서 론

도로조명기구 설치 시 도로에 적합한 배광을 사용하지 않을 경우 새어나가는 빛이 많아져 에너지 낭비를 초래하고, 평균노면휘도 기준은 만족하지만 균제도 기준을 만족하지 못하여 조명품질에 영향을 미칠 수 있으며, 보완하기 위해 큰 용량의 조명기구를 사용하거나 설치간격을 좁혀서 조명기구 수를 늘리는 등 조명 시스템 전체의 전력낭비 등의 결과를 초래하게 된다.

기존 도로조명기구의 배광분류방법에는 해외의 경

우 북미조명학회(IESNA)의 옥외조명기구 분류 시스템이 있으며 해외의 일부 조명기구 업체는 자회사의 기구들을 배광형태에 따라 어느 장소에 사용하여야 하는지에 대하여 제시하고 있다.

본 논문에서는 배광형태에 따라 LED가로등기구를 선정하는 방법에 대하여 연구하였다. 국내외에서 사용되고 있는 90~200W 사이의 LED가로등기구의 배광과일을 각 회사 홈페이지 등에서 수집하여 국내 도로조명기준 및 지침들을 반영한 조명조건에서 LED가로등기구 설치간격을 증가시키며 최대설치간격을 산출하였다. 이를 바탕으로 차로크기 별 설치간격에 제한 요소에 대해 분석하였으며, 도로조건별 LED가로등기구 선정방법을 제시하였다.

2. 도로 및 조명 조건 설정

도로조명설치는 차로 크기에 따라 조명기구 배열,

* Main author : Master course, Department of Electrical Engineering, Kangwon National University

** Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Kangwon National University

Tel : 033-250-6290, Fax : 033-250-6295

E-mail : sunho1214@naver.com

Received : 2015. 2. 3

Accepted : 2015. 4. 30

차로 크기에 따른 LED 광원 사용 가로등기구의 선정 방법 연구

설치높이 등이 다양하기 때문에 분석에 필요한 표준 차로 크기의 설정이 필요하다.

차로 크기 설정에 기준으로는 「도로교통법 시행규칙」과 「도로의 구조시설기준에 관한 규칙」이 있으며 일반 도로의 운행속도, 차로폭, 길어깨폭 보도폭 등의 세부사항을 준용하였다[1-2].

표 1. 설정된 차로 크기
Table 1. Established road size

전체 차로 수	차로폭 (m)	길어깨 (m)	중앙분리대 (m)	보도 (m)	도로폭 (m)
2차로	3×2	1×2	-	3×2	14
3차로	3×3	1×2	-	3×2	17
4차로	3×4	1×2	0.5	3×2	20.5

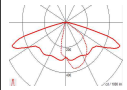

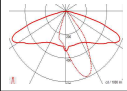

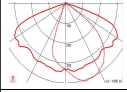
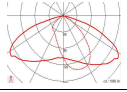
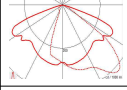

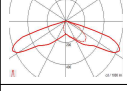

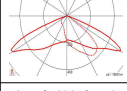
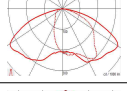
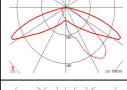

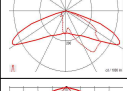
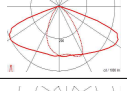
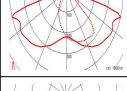
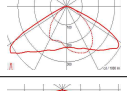
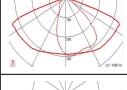
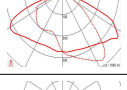
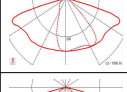
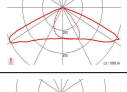


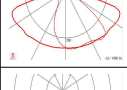
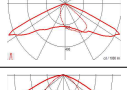
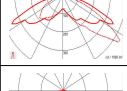
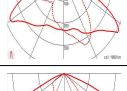
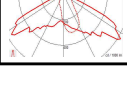

국내의 도로조명 관련 기준에는 「KS A 3701」이 있으며 이 기준에서 도로조명의 도로종류 별 조명기준, 배열방법, 설치높이 등을 준용하였다[3]. 그리고 보수율은 도로조명에서 일반적으로 적용되는 0.75를 적용하였다. 도로에서 등주는 보통 보도에 위치하고 있으며 「보도 설치 및 관리 지침」의 노상시설의 장애폭에서 가로등의 장애정도를 보도에서 가로등의 위치로 정하였다. LED가로등기구의 암길이는 일반적인 가로등의 암길이 2m로 정하였다[4].

표 2. 설정된 조명 조건 및 기준
Table 2. Established lighting condition and standard

도로 종류	배열 방법	설치높이 (m)	암길이 (m)	보수율	조명 등급
2차로	(한쪽)	10	2	0.75	M3
3차로	(한쪽)				
4차로	(마주보기)				

위의 조명조건에서 설치간격을 증가시키며 최대설치 간격을 산출하기 위해 국내외에서 사용되고 있는 LED가로등기구의 IES파일을 수집하였다. 표 3은 수집한 LED가로등기구 IES파일의 성능 및 배광을 보여주고 있다.

표 3. 30종 LED가로등기구의 성능 및 배광형태
Table 3. Performance and LID of LED road lighting

기구 번호	기구광속 / 소비전력	LID	기구 번호	기구광속 / 소비전력	LID
1	13,140lm / 117W		16	12,491lm / 120W	
2	13,140lm / 117W		17	9,785lm / 98W	
3	10,940lm / 103W		18	10,597lm / 153W	
4	10,940lm / 103W		19	13,269lm / 150W	
5	8,938lm / 95W		20	14,037lm / 120W	
6	9,064lm / 95W		21	12,900lm / 100W	
7	10,308lm / 110W		22	11,525lm / 120W	
8	10,567lm / 110W		23	13,647lm / 140W	
9	11,524lm / 137W		24	11,715lm / 120W	
10	12,741lm / 129W		25	10,772lm / 120W	
11	11,661lm / 114W		26	9,671lm / 120W	
12	11,732lm / 114W		27	11,953lm / 120W	
13	11,700lm / 114W		28	11,688lm / 120W	
14	10,430lm / 134W		29	11,413lm / 98W	
15	14,947lm / 200W		30	14,699lm / 98W	

그리고 조명률과 조명기준 달성 유무의 관계를 알아보기 위하여 분석에 사용한 30종 LED가로등기구에 대한 조명률을 표 4에 산출하였다. 조명률은 조명기구 램프의 총광속이 피 조명 면적 내에 도달한 광속의 비율을 의미하며, 광원, 조명기구, 설치높이 및 도로폭 등이 결정되면 차도측과 보도측의 도로폭과 설치높이의 비율을 구하여 조명률을 계산할 수 있다.

그리고 조명률과 기구광속과 곱으로 도로면에 입사하는 광속에 대해서 계산할 수 있다. 표 4는 LED가로등기구 30종의 조명률 및 도로면의 입사광속을 보여주고 있다.

표 4. LED가로등기구 30종의 CU 및 입사광속
Table 4. CU and incident light flux of 30-kind LED road lighting

번호	2차로		3차로		4차로		기구 번호	2차로		3차로		4차로	
	조명 률 (%)	입사 광속 (lm)	조명 률 (%)	입사 광속 (lm)	조명 률 (%)	입사 광속 (lm)		조명 률 (%)	입사 광속 (lm)	조명 률 (%)	입사 광속 (lm)	조명 률 (%)	입사 광속 (lm)
1	53	6964	68	8935	77	10118	16	49	7620	66	8244	68	8494
2	60	7884	68	8935	74	9724	17	61	4795	60	5871	66	6458
3	52	5689	66	7220	74	8096	18	49	5193	65	6888	75	7948
4	46	5032	63	6892	74	8096	19	49	7298	63	8359	63	8359
5	44	4022	59	5273	67	5988	20	55	7019	66	9264	71	9966
6	40	3626	50	4532	57	5166	21	32	3338	39	4068	47	4902
7	50	5154	63	6494	73	7525	22	28	3227	38	4380	45	5186
8	41	4332	52	5495	62	6552	23	53	7233	63	8598	67	9143
9	45	5877	66	7606	71	8182	24	42	4920	51	5975	56	6560
10	54	7390	71	9046	75	9556	25	44	4740	56	6032	61	6571
11	52	5947	65	7580	71	8279	26	50	4836	59	5706	61	5899
12	59	5279	59	6922	70	8212	27	53	6335	65	7769	71	8487
13	45	4680	50	5850	56	6552	28	46	5376	57	6662	63	7363
14	40	6748	70	8144	74	8609	29	42	4793	52	5835	58	6620
15	58	7324	65	9716	75	11210	30	52	7185	62	8567	65	8981

3. LED가로등기구 선정 방법 연구

LED가로등기구의 적합 배광을 분류하기 위하여 도로 별 조명계산 시뮬레이션을 수행하였다.

각 LED가로등기구별 배광형태에 따른 조명기준 달성여부를 확인하기 위해 도로조명 시뮬레이션 프로그램인 Relux을 이용한 결과에 의하여 조명기준을 달성할 경우에는 LED가로등기구 간격을 증가시키며 최대 설치 간격을 산출하였다. 그리고 도로조명 기준에서 어떤 요인이 요구 사항을 충족하지 못하여 설치간격을 증가시킬 수 없는지를 표 5에 나타내었다.

표 5. 차로 크기 별 설치간격을 증가시키지 못하는 원인

Table 5. The reason for not being able to increase installation spacing by road size

항목	평균 휘도 미달 (L _{av})	전반 균제도 미달 (U ₀)	차선측 균제도 미달 (U _l)	합계
2차로	12	0	18	30
3차로	18	6	6	30
4차로	1	0	29	30

차로 크기 별 설치거리를 더 이상 증가시키지 못하는 원인으로서는 표 5와 같이 대부분의 LED가로등기구들이 평균휘도와 차선측균제도 기준을 만족시키지 못하기 때문이었고, 3차로는 종합균제도를 만족시키지 못하는 기구가 일부 존재하였다.

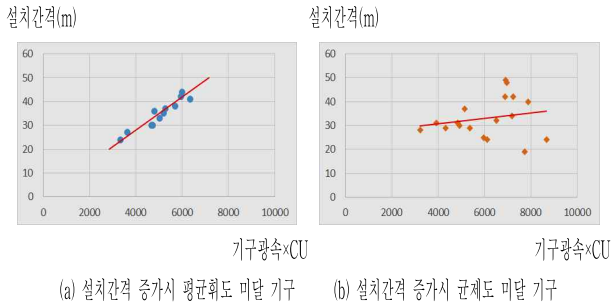
3.1 평균휘도

높은 광속의 기구라도 조명률이 낮으면 유효 광속은 적다. 그렇기 때문에 기구광속과 조명률을 고려한 피 조명 면에 도달하는 유효 광속에 대해서 조명기준을 만족하는 최대 설치간격과 상관관계를 확인하였다.

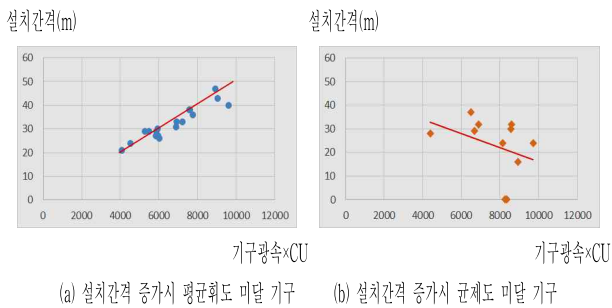
그림 1과 같이 2, 3차로에서는 평균노면휘도가 설치간격증가에 문제가 되는 기구들은 계산된 유효 광속에 비례하여 설치간격이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 균제도가 설치간격증가에 문제가 되는 기구들은 계산된 유효 광속에 비례하지 않는 것으로 나타났다.

차로 크기에 따른 LED 광원 사용 가로등기구의 선정 방법 연구

2차로 도로조건



3차로 도로조건



4차로 도로조건

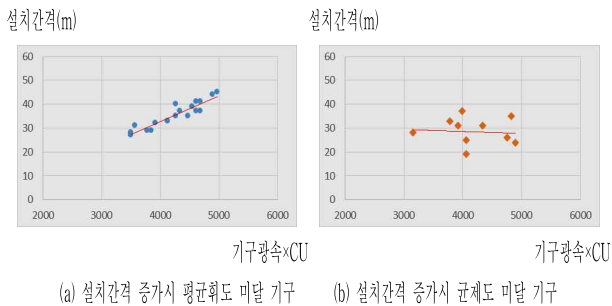


그림 1. 유효 광속과 설치간격의 상관관계
Fig. 1. Correlation between the available flux and installation interval

표 6. 설치간격과 조명률을 이용한 기구광속의 계산
Table 6. Calculation of luminaire flux utilizing installation spacing and CU

차로크기	설치간격(x)에 따른 유효 광속(y)	기구광속
2차로	$y = 139.31x + 212.73$	$\Phi \geq y \times U$
3차로	$y = 210.02x - 77.515$	
4차로	$y = 81.071x + 1376.5$	

차로 크기 별 설치간격을 증가시킬 때 평균회도 미달 기구는 조명률과 설치간격을 알 경우 차로별 사용 가능한 적정 조명기구광속을 계산할 수 있다. 그림 1의 평균회도 미달기구 추세선을 이용하여 설치간격에 따른 유효 광속을 구할 수 있으며, 조명률과 곱으로 LED가로등기구 광속을 계산할 수 있다. 계산된 값보다 기구광속이 높거나 같을 경우 평균노면회도 기준을 만족할 것이다. 표 6은 설치간격과 조명률을 이용한 기구광속의 계산을 보여주고 있다.

3.2 차선축균제도

LED가로등기구 설치간격에서 고려해야할 사항 중 하나는 도로 길이방향으로 빛을 얼마나 멀리 보낼 수 있는지가 중요하며, 이를 위해 길이방향 최대광도거리와 설치간격 간의 상관관계를 알아보았다. 설치거리를 증가시킬 때 광량이 부족하지 않기 위하여 광속 계산에 필요한 조명률과 설치간격은 LED가로등기구 30종에 대한 평균조명률을 적용하였고 설치간격을 50m로 설정하고 계산하여 최대 설치간격을 산출하였다.

표 7. 차로크기 별 적용한 기구광속과 설치거리를 증가시키지 못하는 원인
Table 7. luminaire flux applied of each road size and the reason for not being able to increase spacing

차로크기 (통일된 기구광속값)	차선축 균제도 감소 (기구 수)	전반 균제도 감소 (기구 수)
2차로 (16,000lm)	30	0
3차로 (18,000lm)	24	6
4차로 (11,000lm)	30	0

길이방향 최대광도 거리와 설치간격간의 관계를 알아보기 위하여 LED가로등기구의 측광데이터를 분석하였다.

길이방향 최대광도 거리 = $MH \times \tan(\gamma) \times \cos(C)$ (1)

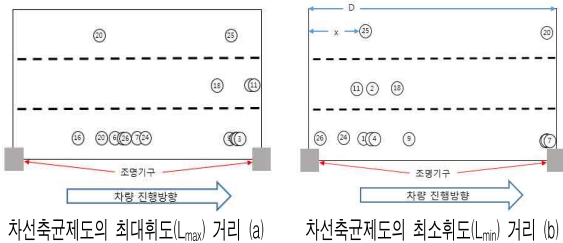
측광데이터에서 최대광도의 수평각·수직각(C,γ)을 알 수 있으며 길이 방향 최대광도거리를 찾을 수

있다.

계산한 길이방향 최대광도거리와 설치간격과의 관계를 분석한 결과로 길이방향 최대광도거리가 같은 LED가로등기구라도 다양한 설치간격을 보여주고 있는 것으로 나타났으며, 이는 길이방향에 최대광도 거리가 같더라도 차선축균제도가 높은 LED가로등기구는 설치간격이 더 넓기 때문이다.

차선축균제도의 설치간격과 연관성을 확인하기 위해 3차로 도로조건에서 어느 거리에서 최대, 최소값이 나오는지에 대해서 분석하였다.

그림 2는 3차로 도로조건에서 차선축균제도의 최대 휘도(L_{max}), 최소 휘도(L_{min})가 나오는 거리를 LED가로등기구 거리 간격과 LED가로등기구 설치간격의 비 (x/D)로 표시한 것으로 LED가로등기구와 가까운 차선에서 대부분 차선축균제도가 낮은 것으로 나타났다.



D : 조명기구간 간격
x : 첫 번째 조명기구와 최소휘도 거리간 거리

그림 2. 3차로 도로조건에서 차선축균제도의 최대, 최소 휘도 거리

Fig. 2. Maximum and minimum luminance location of longitudinal uniformity at 3-lane road condition

차선 균제도 최소거리가 최대거리에 비해 더 명확하게 나뉘기 때문에 차선축균제도 최소 휘도 지점에 따라 배광을 분류하였으며, 그림 3과 같이 설치간격이 넓은 기구는 x/D 비가 낮은 LED가로등기구였으며, x/D 비가 높은 기구는 설치간격이 좁게 나타났다.

최소 휘도 거리의 비율을 분석한 결과 LED가로등기구 길이방향 배광형태(수평각 $0\sim 180^\circ$)에서 LED가로등기구 직하부분의 광도(I_{Nadir})와 최대광도의

비($I_{max(0-180^\circ)}$)를 기준으로 분류할 수 있었다.

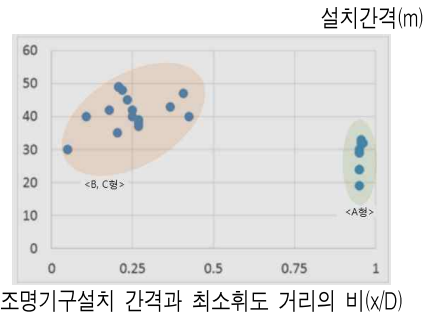


그림 3. 최소 휘도 거리에 따른 설치간격
Fig. 3. Installation spacing dependent on minimum luminance location

$$\text{길이방향 광도 비율} = I_{Nadir} / I_{max(0-180^\circ)} \quad (2)$$

표 8. 길이방향 광도 비율에 의한 배광형태 분류
Table 8. Classification of LID form based on longitudinal luminous intensity rate

구분	A형	B형	C형
$I_{Nadir}/I_{max(0-180^\circ)}$	0이상 ~ 0.4미만	0.4이상 ~ 0.6미만	0.6이상 ~ 1.0미만
LED가로등기구 개수	12	8	10

표 8은 길이방향 광도 비율로 배광형태를 분류한 결과를 보여주며 배광형태 간에 가장 큰 차이점은 LED가로등기구 직하점(Nadir)의 광도분포이다.

위에 분석한 30종 LED가로등기구 중에서 분류한 배광형태에 따라 길이방향 최대광도거리에 따른 설치간격을 분석하였다. A, B, C형 모두 길이방향 최대광도 거리가 클수록 설치간격이 증가하는 추세로 나타났으며, A형태의 배광이 C형태 배광에 비해 설치간격이 전체적으로 좁은 것으로 나타났다. B형 형태의 배광은 A와 C형태에 비해 배광형태가 다양함을 보이므로 인해 설치간격이 A형, C형과 비슷한 형태를 보이는 LED가로등기구가 존재하였다.

그림 4의 배광형태별 추세선을 이용하여 도로조건별 설치간격에 따른 길이방향 최대광도 거리를 유추해 볼 수 있으며 아래 표 9와 같다.

차로 크기에 따른 LED 광원 사용 가로등기구의 선정 방법 연구

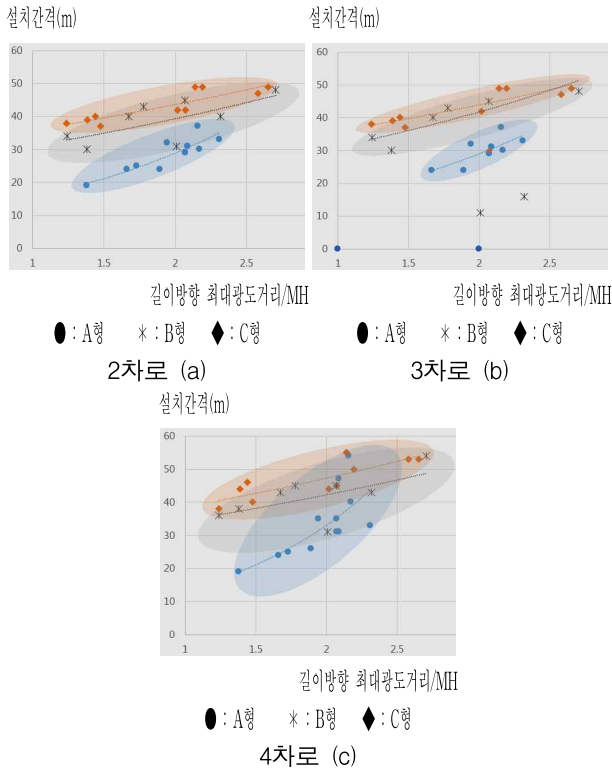


그림 4. 배광형태 별 길이방향 최대광도거리에 따른 설치간격

Fig. 4. Installation distance dependent on longitudinal direction maximum luminous intensity location by LID

표 9. 설치간격에 따른 길이방향 최대광도거리의 계산
Table 9. Calculation of longitudinal maximum luminous intensity location dependent on installation spacing

도로 조건	설치간격(x)에 따른 최대광도 거리(y)		
	A형	B형	C형
2차로	$y = 0.9321e^{0.0257x}$	$y = 0.661e^{0.0264x}$	$y = 0.2193e^{0.0495x}$
3차로	$y = 1.2186e^{0.0172x}$	$y = 0.3869e^{0.0377x}$	$y = 0.2055e^{0.0505x}$
4차로	$y = 1.3838e^{0.0102x}$	$y = 0.7194e^{0.0225x}$	$y = 0.2952e^{0.0393x}$

3.3 차로크기에 따른 LED가로등기구 선정 방법

앞의 연구 결과를 이용하여 차로크기에 따라 평균노면휘도, 차선축준제도를 고려하여 LED가로등기구의 적정 성능 및 배광형태에 대하여 제시하였다. LED가

로등기구를 설치하는 차로조건과 LED가로등기구 설치간격이 정해지면 조명률, 배광형태 등을 분석하여 차로크기에 적용가능한 LED가로등기구를 선정할 수 있다.

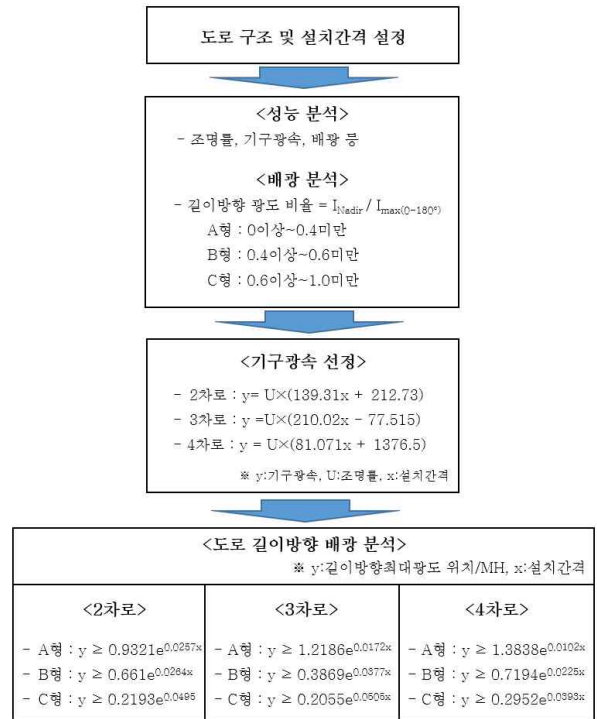


그림 5. 차로크기별 설치간격에 따른 LED가로등기구 선정 방법

Fig. 5. LED luminaire selection method dependent on installation distance by road size

4. 결론

본 논문에서는 LED가로등기구 선정 단계에서 차로크기에 따라 적합한 배광의 기구를 선정하는 방법에 대한 연구를 하였다. 기구 성능을 평가하기 위해 도로 및 조명 기준을 참고하여 도로조건과 조명조건을 설정하였고, LED가로등기구의 최대설치간격을 산출하였다.

연구 결과를 이용하여 LED가로등기구를 설치하는 도로조건과 조명기구 설치간격이 정해지면 조명률, 배광 형태 등을 분석하여 차로크기에 적용가능한 LED가로등기구를 선정할 수 있다. 4차로의 경우에는 분석

에서 사용한 LED가로등기구 중 광량이 부족한 기구가 없었기 때문에 더 낮은 기구광속의 LED가로등기구사용이 필요하다.

차후의 연구에서는 다양한 도로조건과 조명등급, 오버행과 경사각에 대한 고려가 필요하며, 폭 방향으로 더 넓은 도로조건을 고려할 경우에는 전반균제도에 대한 평가 더 중요한 요소가 될 것이므로 이에 대한 평가 방법의 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] The Road Traffic Law Enforcement Regulation, Ministry of Government Administration and Home Affairs, 2014.
- [2] Road Structure·Installation Standard about Regulation, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2014.
- [3] KS A 3701 Road Lighting Standard, Korean Standards Association, 2014.
- [4] establishment of footpath and management guideline, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011.
- [5] IES TM-15-11, IESNA, 2011.
- [6] Lighting Handbook 9th Edition, IESNA, 2000.
- [7] Min-Wook Lee, "Investigation of Road Lighting by following Luminaire", The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Host Spring Conference, pp173-176, 2009.10.

◇ 저자소개 ◇



전순호(全順浩)

1988년 12월 14일생. 2013년 강원대학교 전기전자공학과 졸업. 2013년~현재 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 석사과정.



김정수(吉正洙)

1975년 7월 6일생. 2012년 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 박사과정 수료. 현재 클라루스코리아 부장.



이민욱(李玟旭)

1980년 8월 24일생. 2013년 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 박사졸업. 현재 LED 국방융합기술연구센터 연구원.



유성식(劉聖植)

1988년 1월 11일생. 2014년 강원대학교 일반대학원 전기전자공학과 석사졸업. 2014년~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). 현재 강원대 IT대학 전기전자전공(BIT의료융합학) 교수. 본 학회 부회장. LED 국방융합기술 연구센터 센터장.