

고속도로 LED 도로조명 설계

이민욱 (강원대학교 대학원 전기전자공학과 Post-Doctor 과정)

1 서 론

한국도로공사는 2011년 '도로조명 선진화 종합계획'을 수립하고, 2011~2012년 LED 도로조명기구 설계 가이드라인 연구를 거쳐 2013년 12월 '한국도로공사 LED 조명기구 표준'을 발표하였다. 발표된 LED 조명기구 표준은 고속도로의 도로·터널에 적용되는 LED 가로등기구와 터널등기구 그리고, 광원이라 할 수 있는 LED 모듈에 대한 안전과 성능 요구사항을 정한 것이다.

이 중 LED 가로등기구의 배광에 관한 성능 요구사항은 '부속서 C. LED 모듈 및 등기구의 배광 특성'에서 규정하고 있다. LED 모듈 또는 가로등 업체는 제시된 고속도로 표준 도로의 설치제원을 통해 조명설계를 수행하고, 그 결과가 조명기준을 만족하도록 해야 한다.

야 한다.

기존 광원 및 LED 가로등을 적용한 도로조명의 설계는 지난 2012년 개정된 '도로안전시설 설치 및 관리지침'의 '조명시설 편'의 부록에 설계 사례로 제시되어 있는 순서를 따르는 것이 일반적이다.

본 기술해설에서는 지침의 설계 과정을 중심으로 '한국도로공사 LED 조명기구 표준'의 설치제원 및 조명기준을 적용한 고속도로 LED 도로조명 설계 가이드를 제시하고자 한다.

2. 고속도로 가로등 설치제원

표 1은 LED 가로등기구가 적용되는 고속도로 표준 도로들의 설치제원을 나타낸 것이다. 'Type A'는 편도 1차로 도로로서, 고속도로의 국부조명 즉, 분기

표 1. 고속도로 LED 가로등 설치제원

구 분	TYPE "A"	TYPE "B"	TYPE "C"
적용도로	콘크리트 1차로(편도)	콘크리트 4차로(왕복)	콘크리트 8차로(왕복)
도로폭(차도폭)	8.1m(3.6m)	23.4m(14.4m)	37.8m(28.8m)
등주 배열 간격	35m	55m	65m
등주 배열 방법	편측	마주보기	
등주높이(암,오버행)	10m(2.0m, 1.5m)	12m(2.8m, 2.3m)	
경사각도	10°	12°	
보수율	0.75	0.75	
적 용	100W(램프용)	150W(본선용)	250W(본선용)

특집 : LED조명설계방식과 빛공해방지를 통한 도로조명 LCT 융복합 및 분석적 빅데이터 시도

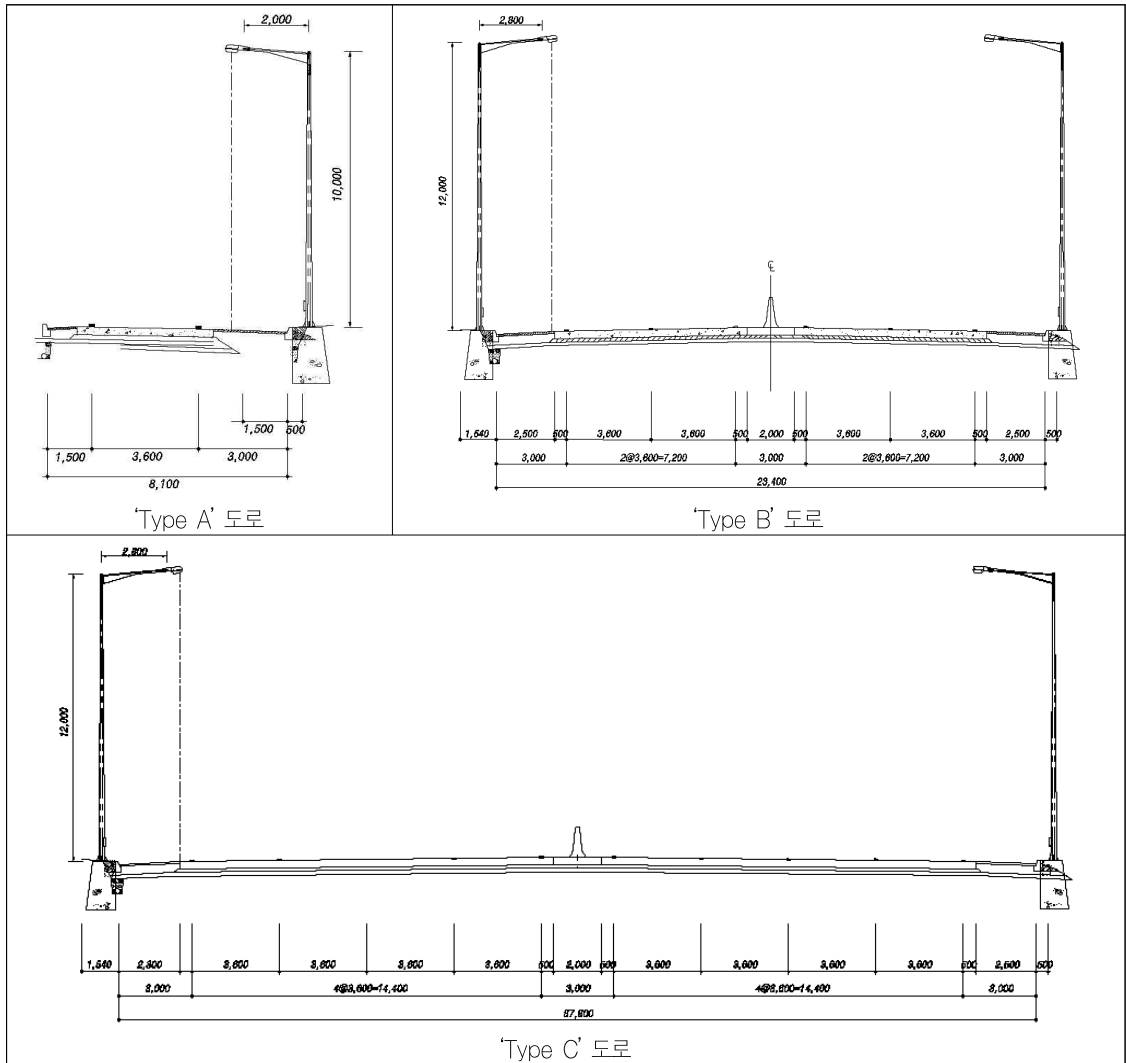


그림 1. 고속도로 표준 단면도

점, 인터체인지에 해당하는 도로이다. 'Type B'와 'Type C' 도로는 왕복 4차로와 왕복 8차로로 구성된 도로이며 고속도로의 본선에 해당하는 도로이다.

고속도로 표준 도로들의 조명 기준은 표 2와 같다. 도로 구분에 따라 달라지게 되는 평균노면휘도는 정해져 있지 않으나, 휘도균제도 및 임계치중분(TI)은 2013년 당시 도로조명기준(KS A 3701:2007)의 M3 조명등급 도로와 같다(M3 조명등급 평균노면휘

도 최소 허용치 : 1.0 cd/m²).

표 2. LED 가로등용 조명 기준

조명 등급	휘도균제도(최소허용치)		TI [%] (최대허용치)
	종합균제도(U ₀) L _{min} /L _{avg}	차선축균제도(U ₁) L _{min} /L _{max}	
M3	0.4	0.5	10

3. 고속도로 LED 도로조명 설계

설계조건과 달성해야 하는 성능지표가 결정되면, 선정된 조명기구에 대하여 조명성능의 만족 여부를 확인하기 위한 조명설계가 수행되어야 한다. 도로조명 설계에는 계산서 작성을 위한 광속법과 도로조명 계산 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 방법을 이용한다.

3.1 조명방식

고속도로 표준 도로조건은 폴 조명방식을 원칙으로 하며, 'Type A' 도로는 편측배열이, 'Type B'와 'Type C' 도로인 경우에는 마주보기 배열이 적용된다. 배열방식에 따라 광속법의 배열계수가 달라지게 된다.

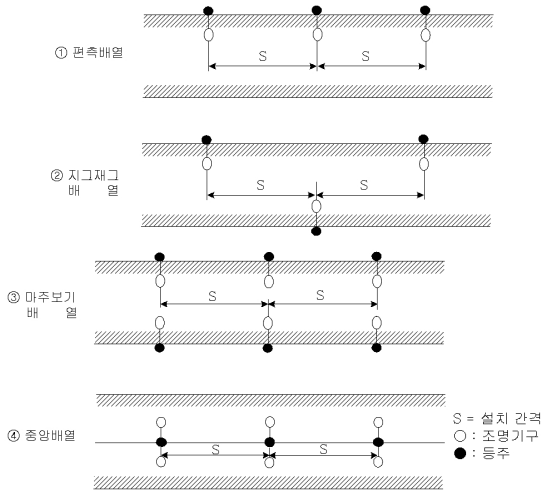


그림 2. 조명기구의 배열

3.2 조명기구의 선정

일반적으로는 도로조명의 설계 과정에서 설치조건 및 달성해야 하는 조명성능에 따라 적합한 광속 및 소비전력을 갖는 조명기구가 선정된다. 한국도로공사의 기준에는 표준도로 종류에 따른 LED 가로등기구의

적용 용량이 정해져 있기 때문에 도로 종류에 따라 규정된 용량의 기구를 설계에 적용해야 한다(Type A : 100W, Type B : 150W, Type C : 250W).

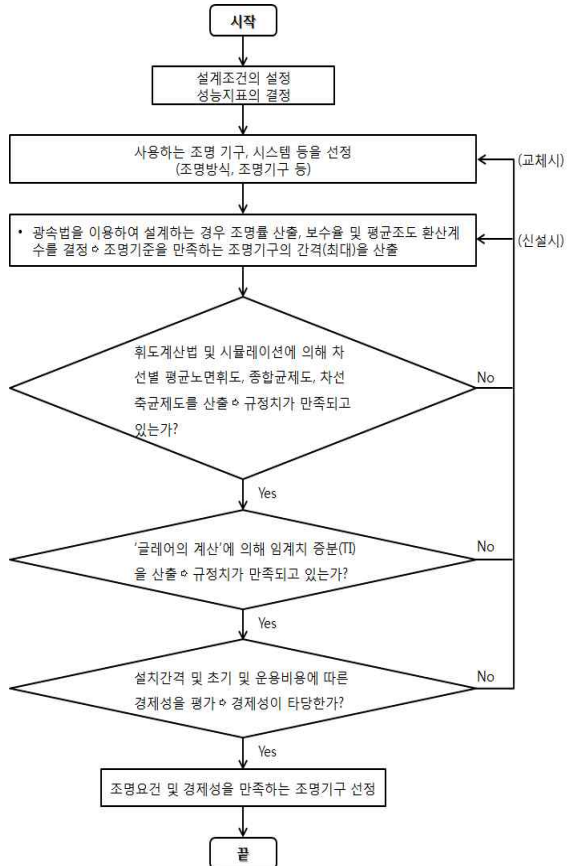


그림 3. 도로조명의 설계 순서

3.3 광속법에 의한 조명 설계

광속법에 의한 조명 설계는 정해진 계산식에 따라 입력값을 정하여 계산을 수행한 뒤 최종적으로 평균 노면회도를 산출하거나, 정해진 평균노면회도를 낼 수 있는 설치간격을 산출하기 위해 수행한다. 한국도로공사의 표준에는 도로 형태에 따른 등주 배열 간격 (Type A : 35m, Type B : 55m, Type C : 65m) 이 정해져 있으므로, 계산의 목적은 평균노면회도의 달성 여부를 확인하는 것이다.

3.3.1 계산식

조명 계산은 아래에 나타난 광속법의 계산식에 의해 실시한다.

광속법은 도로조명의 개략적인 설계 단계에서 LED 조명의 적용성 확인, 조명기구 간격의 설정 등에 이용하는 것을 목적으로 한다.

$$L_{avg} = \frac{F \times U \times M \times N}{S \times W \times K}$$

- 여기서, L_{avg} : 평균노면휘도(cd/m²)
 F : 정격광속(lm)
 U : 조명률
 M : 보수율
 N : 배열계수(편측, 중앙, 지그재그배열은 N = 1, 마주보기배열은 N = 2)
 S : 조명기구 간격(m)
 W : 도로 폭(m)
 K : 평균조도 환산계수(lx/cd/m²)

3.3.2 평균조도 환산계수 : K

평균조도 환산계수(K)는 노면의 평균휘도를 평균 조도로 환산하는 계수이며, 노면의 종류, 조명기구의 배광 및 배치 등에 의해서 바뀌게 되며, 측정의 어려움 등을 고려하여 아래 표의 값을 표준으로 한다.

표 2. 평균조도 환산계수

(단위 : lx/cd/m²)

포장의 종류	평균조도 환산계수
아스팔트	14.3
콘크리트	10

3.3.3 조명률의 계산

조명기구의 조명률은 LED 조명의 경우, 조명기구

의 배광이 제조자의 설계에 따라 다르기 때문에 설계 시점에서 조명기구마다의 조명률을 설정하는 것은 곤란하다. 조명기구의 광학설계 기술과 광학부품 설계 기술의 진보, 빛공해 저감 등에 따라 이 조명률은 추후 계속 상승할 가능성이 높다.

도로조명기구가 특정되고, 조명률 곡선이 명확하게 제시되는 경우는, '도로안전시설 설치 및 관리지침' 등의 계산 예에 준하여 오버행을 고려해 차도 및 보도 부분의 조명률을 산출하여 광속법에 따르는 계산을 실시하는 것으로 한다. 최종적인 조명설계는 도로조명의 휘도계산법 및 시뮬레이션을 수행하여 성능요건의 달성 여부를 확인하여야 한다.

광속법을 적용한 설계에서 한 가지 유의해야 할 점은 폭이 넓은 도로에서 조명기구는 높은 조명률을 갖게 되어 설치간격 또는 평균노면휘도가 상승하지만, 소프트웨어를 통한 계산 시의 결과와는 다르게 나타날 수 있다는 것이다. 조명률은 W/MH비가 어느정도 증가하게 되면 더 이상 증가하지 않고 포화하게 되며, 도로 폭이 설치높이에 비해 크게 넓은 도로에서는 조명기구의 빛이 닿지 않는 영역이 존재할 수 있기 때문이다.

3.3.4 보수율

조명시설은 광원의 광속 저하와 조명기구나 광원의 오염 등에 의해서 노면의 휘도·조도가 설치 초기의 값보다 감소하게 된다. 이 감소의 정도를 설계시점에서 전망하는 계수가 보수율이다.

이 감소의 정도는 도로 구조, 교통 상황, 광원의 교환 주기와 교환 방식, 조명기구의 청소간격 등에 따라서 다르다. 도로조명의 보수율 계산시에는 다음과 같은 산정요인별 계수를 곱하여 최종적인 보수율을 산출한다.

- LLMF(램프광속유지율)
- LSF(램프잔존계수)

- LMF(조명기구유지계수)

LED 도로조명기구의 보수율 계산에서도 위의 3가지 산정요인이 적용된다. 방전램프의 램프광속유지율은 램프의 종류에 따라 기본 동작시간별 램프광속유지율이 표준값의 형태로 제시되어 있는 경우가 대부분이어서 적용 램프에 대한 특정 시점의 광속유지율을 산출하는 것이 용이하지만, LED 조명기구의 램프 광속유지율은 기술 수준의 변화가 빠르고, LED 제조회사마다의 LED 특성에 차이가 있으므로 표준 값의 형태로 램프광속유지율을 정하는 것이 어렵다.

북미조명학회(IESNA)에서 규정하고 있는 'LED 광원의 광속유지율 측정(LM-80)'에서는 LED 광원의 정격 광속유지수명 L_p 를 'LED 광원이 그 초기 광출력의 일정비율 P를 유지하게 되는 경과 작동시간'으로 규정하고 있으며, 일반적으로 많은 LED 제조사들이 P를 70%로 하여(L70) 70% 광속유지율까지의 시간을 정격 광속유지수명으로 정하고 있다.

적용되는 LED 도로조명기구의 램프광속유지율을 확인하는 것이 가능하다면, 조명기구에 사용된 LED의 LLMF를 정확하게 산정하는 것이 가능하지만, 실제의 LED 도로조명기구는 램프광속유지율을 확인하기 어려운 경우가 많다.

이전에 사용되던 방전램프에 비하여 수명이 길어 현재 상태에서 교체 시점을 예상할 수 없고, 수명시험의 측정 조건보다 완화된 온도조건이 적용되는 실제 LED 조명기구의 설치조건을 고려하면, 광출력 유지비율(P)을 80%로 하여 0.80의 램프광속유지계수를 적용하는 것이 바람직하다.

LED 도로조명기구의 램프잔존계수는 하나의 램프가 아닌 여러 개의 LED 광원으로 이루어진 LED 조명기구의 특성상 한두개의 램프 부점등이 전체 조명기구의 점등에 영향을 미친다고 보기 어렵고, 통상 작동이 안되는 조명기구는 수시 교체하므로, LSF를 1로 한다.

조명기구유지계수의 경우 조명기구의 청소주기와

IP등급에 의해 결정된다. IP6X등급의 조명기구를 사용하고, 적어도 2년 내에 1회의 청소가 이루어지는 경우, LMF는 오염정도에 관계없이 0.88~0.93 범위의 값을 가지며, 이에 따라 고속도로 표준도로 조건인 경우 최종적인 보수율 LMF는 0.90으로 일괄 적용할 수 있다.

현재 고압나트륨램프 조명기구가 적용된 고속도로의 표준 도로 조명설계시에 일반적으로 적용하고 있는 보수율은 0.77로 KS에 규정된 LED 도로조명기구의 보수율(0.75)과 그 차이가 크지 않으며, 위의 일반적인 경우에 대한 LLMF와 LMF를 곱한 값($0.80 \times 0.93 = 0.74$)과도 유사하다고 볼 수 있다.

LED 가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항(KS C 7658:2010)에 따르면, LED 도로조명기구의 조도계산시 적용되는 보정계수(보수율)의 입력값을 0.75로 규정하고 있다. 이에 대한 산정요인 등의 근거는 명확하지 않으나, 대다수의 국내 LED 도로조명기구 제조업체들에서 기구의 조명성능 평가시 이 값을 적용하고 있으며, 다른 표준 보수율 값을 적용시 성능요건 등의 달성에 혼란이 발생할 우려가 있다.

따라서, LED 정격 광속유지수명의 산출에 대한 새로운 규정이 적용되거나, 일정 광출력 제어와 같은 보수율 산정요인에 영향을 미치는 경우를 제외하고, 설계에 적용되는 LED 조명기구의 보수율은 0.75의 값을 표준으로 한다.

표 3. LED 도로조명 보수율

구 분	램프광속 유지계수 (LLMF)	램프 잔존계수 (LSF)	조명기구 유지계수 (LMF)		보수율 M	
			오염등급		오염등급	
			중간	낮음	중간	낮음
LED	0.80	1.0	0.92	0.93	0.75	

3.4 도로조명 계산 프로그램을 이용한 설계

계산에 사용되는 프로그램은 여러 종류가 있으며, 기본적인 계산 알고리즘이 동일하기 때문에 각 프로그램간 결과값 차이는 거의 없다고 봐도 무방하다.

표 1의 설치제원 및 그림 1의 'Type B' 표준도로 단면도를 바탕으로 한 'ReluxPro'의 입력값은 다음과 같다.

표 4. 설치제원에 따른 도로조명 시뮬레이션 입력값 ('Type B' 도로)

Road layout	Road with central reservation
Designation	Type B
Road width	7.2
Central reservation	3.00
No. of lanes	2
Road surface category	R1 or R3
q0	0.10(R1) or 0.07(R3)
Luminaire type	
Row of luminaires	Both sides
Distance between luminaires	55.00
photometric centre hieght	12.00
Outreach	-0.20
Inclination	12.00
Orientation	0.00

시뮬레이션의 입력값 설정 시 유의하여야 할 점은 설치 오버행의 경우, 도로공사의 표준에서는 길어깨의 가장자리를 기준으로 설정하여 2.3m가 되지만 시뮬레이션 소프트웨어에서는 계산 대상이 되는 도로를 기준으로 오버행이 아닌 Outreach가 설정된다는 점이다. 단면도에 의해 차도 가장자리를 기준으로 Outreach를 설정하면 -0.20 즉, 차도에서 0.2m만큼 벗어나 있는 지점에 조명기구의 광중심이 위치하게 된다.

5. 결 론

국토부 지침의 도로조명 설계 항목을 2013년 말 발표된 한국도로공사의 LED 조명등기구 표준에 적용하여 LED 도로조명 설계 과정과 유의점을 정리하였다.

도로조명의 설계는 주어진 조명성능을 달성하는 최적의 설치조건을 도출하거나, 도로공사 표준의 경우처럼 모든 설치조건이 고정된 상태에서 조명성능의 달성 여부를 확인하는 방식으로 이루어진다. 후자의 경우에는 무엇보다 설치조건 및 설계과정에서 필요한 항목들에 대한 정확한 입력값을 적용하는 것이 중요하다.

LED 가로등기구 제조업체는 제시된 조건을 바탕으로 제품의 성능 평가를 수행하여 기준의 만족 여부를 확인해야 하며, 새롭게 개발되는 제품에 대해서도 평가를 수행하여 전기적 성능 및 배광 성능의 개선에 힘써야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 한국도로공사 표준 LED 조명등기구, 한국도로공사, 2013.
- [2] 도로안전시설 설치 및 관리지침-조명시설 편, 국토교통부, 2012.
- [3] KS A 3701:2007, 도로조명기준, 기술표준원, 2007.
- [4] KS C 7658:2014, LED 가로등 및 보안등기구, 2014.
- [5] CIE 154:2003, The maintenance of outdoor lighting systems, 2003.
- [6] IES LM-80-08, Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources, 2008.

◇ 저 자 소 개 ◇



이민욱(李玟旭)

1980년 8월 24일생. 2007년 강원대학교 전기전자공학과 졸업. 2009년 동대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2014년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(박사). 현재 동 대학원 전기전자공학과

Post-Doctor 과정.