

환경적응형 LED다기능라인조명 - 시화대교 설치사례를 중심으로 -

이미애<주>아이라이트 소장 · 이동희<주>아이라이트 실장 · 한승훈<주>아이라이트 대리

1 개 요

1.1 추진배경

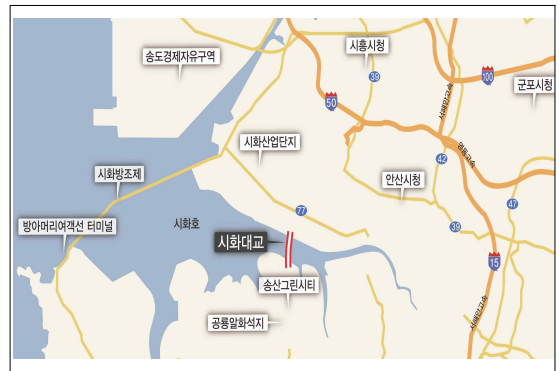
야간시의 도로조명에 의해 야기될 수 있는 빛공해 등의 환경문제를 해결하고자 계획된 시화대교의 도로조명은 당초 T5 54W로 설계되었다. 그러나 설계에 반영된 T5 54W는 도로조명기준을 만족시키기 위하여 설계되어 운전자 눈부심에 대한 고려가 미흡하여 이에 따른 개선이 시급한 상황이었다. 따라서 도로조명기준을 만족하면서 운전자 눈부심까지 고려된 당초 조명기구의 문제점을 보완할 수 있는 대체 조명기구가 요구되어 LED 12W 도로용 다기능라인조명기구로 변경하였다.

1.2 기대효과

일반 T5램프에 비해 친환경적이고 에너지 절약효과가 큰 LED조명은 차세대 신광원으로서 저탄소 녹색성장 실천을 위한 정부시책에 따라 정부차원에서 설치를 적극 권장하고 있다. 따라서, 당초 설계에 반영되었던 T5 54W를 LED 12W로 변경함으로써 “녹색! 시화대교 건설”을 목표로 하는 본 사업의 취지에 부합된 친환경 도로조명설계가 될 것으로 기대하였다.

1.3 대상지 현황

- 대상지명 : 제2서해안 평택~시흥간 고속도로 시화대교
- 연 장 : 해상부문 교량 길이 1.89km
(양방 4차로, 교량 총연장 2.76km)
- 과 업 위 치 : 화성시 송산면~안산시 성곡동



입지현황

2. 도로조명 설계

2.1 도로조명 기준

도로조명기준은 KS A 3701:2007의 다음 부표 1과 부표 2에 따른다.

부표 1. 도로 및 교통의 종류에 따른 도로 조명 등급

도로의 종류	교통의 종류와 자동차 교통량	도로조명등급
상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체 교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속도로	교통량이 많으면서 도로 선형이 복잡함 ^a 경우	M1
고속도로 또는 자동차 전용도로 또는 고속도로	교통량이 많거나 도로 선형이 복잡한 경우	M2
고속의 도로, 상하행선 분리 도로	교통량이 적고 도로 선형이 단순한 경우, 또는 주변환경이 어두운 경우	M3
주요한 도시 교통로, 간선 도로, 국도	교통제어 ^b 와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족함.	M1
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M2
중요도가 낮은 연결 도로, 지방 연결도로, 주택지역의 주 접근도로 사유지의 접근도로와 연결 도로	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족함.	M2
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M3
접근도로 사유지의 접근도로와 연결 도로	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족함.	M4
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M5

a 도로선형의 복잡함이란 도로의 기본 구조, 차량의 이동, 그리고 시각적 환경을 의미한다. 이때 고려하여야 할 요인은 다음과 같다.
 - 차선의 수, 경사면의 수
 - 신호등 및 표지
 진출입용 램프, 진입 차량, 진출 차량 등의 존재도 고려하여야 한다.

b 교통제어란 신호등과 표지판의 존재, 그리고 법규의 존재를 말한다. 제어의 수단은 교통신호등, 통행 우선권의 규칙,

우선권의 법규와 표지, 교통표지판, 방향표지, 그리고 도로 표지 등이 있다. 이러한 수단이 없거나 빈약한 경우 교통제어가 부족한 것으로 본다.

c 다른 형태의 도로 사용자란 예를 들어 자동차, 트럭, 저속 차량, 버스, 자전거, 보행자 등을 말한다.

d 분리란 전용차선의 방법이나 한가지 또는 그 이상의 교통 형태에 대한 제한을 가하는 것으로 이루어질 수 있다. 이러한 분리가 있다면 낮은 등급의 조명을 행할 수 있다.

부표 2 운전자에 대한 도로 조명의 휘도 기준

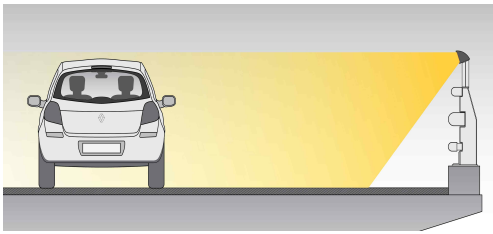
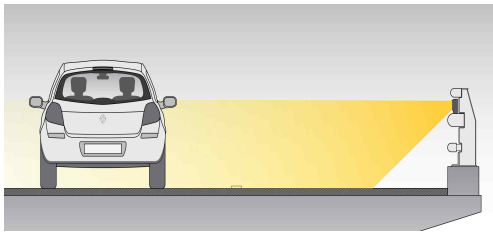


도로조명 등급	평균노면휘도 (최소허용치) L_{avg} (cd/m ²)	휘도 균제도(최소허용치)		TI(%) (최대허용치)
		종합균제도(U ₀) L_{min}/L_{avg}	차선축균제도(U _I) L_{min}/L_{max}	
M1	2.0	0.4	0.7	10
M2	1.5	0.4	0.7	10
M3	1.0	0.4	0.5	10
M4	0.75	0.4	-	15
M5	0.5	0.4	-	15

2.2 도로조명 설계

시화대교 도로설계 당시 KS도로조명기준 KS A 3701:1991을 반영해 현재의 M1등급에 해당되는 2cd/m²로 설계되었으나 이는 시화대교 전후구간에 도로조명시설이 안되어 있는 점과 시화대교 주변이 철새 도래지로서 생태보존지역임을 감안한다면 2cd/m²의 밝기는 수정되어야 할 상황이었다. 따라서 2007년에 개정된 KS A 3701:2007에 근거하여 도로조명을 M3등급인 1cd/m²으로 낮추어 적용하였다.

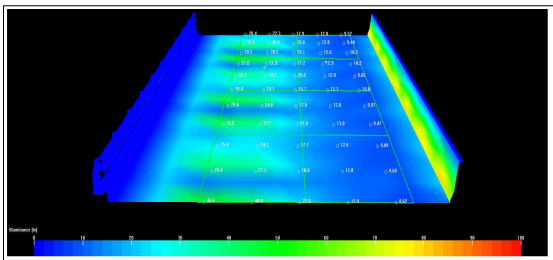
2.3 당초 설계와의 비교

구 분	당 초 [T5 54W]	변 경 [LED 12W]
광 원	T5	LED
배치간격	2m	3m
총 수 량	2,760	1,840
총전력량	171kW	31kW

구 분	당 초 [T5 54W]	변 경 [LED 12W]
년간전기요금 (30년 기준시)	약 48,346,000원 (14억5천만원)	약 8,837,000원 (2억6천5백만원)
개요도		
설치이미지		
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> 운전자의 눈높이 1.2m보다 높은 1.5m 위치에 설치되어 운전자의 눈부심을 유발할 소지가 있음. 기존 방호울타리 상부에 취부되어 운전자 주행시 쾌적한 시환경 확보가 어려움. 	<ul style="list-style-type: none"> 광학설계를 통한 노면 집중형 배광으로 운전자의 눈높이 1.2m보다 낮은 0.95m 위치에 설치하여 운전자의 눈부심을 최소화하였음. 기존 방호울타리 사이에 취부되어 운전자 주행시 쾌적한 시환경 확보

2.4 시뮬레이션 검토

당초 T5 54W의 광학데이터가 없어 별도의 시뮬레이션 검토는 진행하지 않았으며, 제안하는 LED 12W에 대한 시뮬레이션만 Lightscape ver 3.2로 검토하였다.



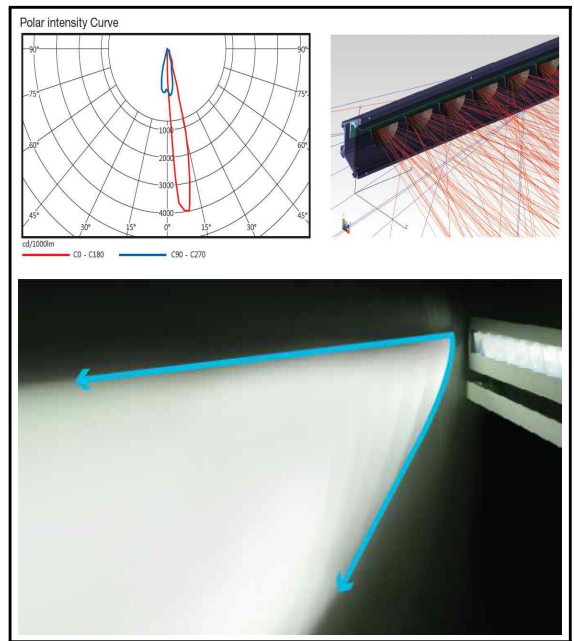
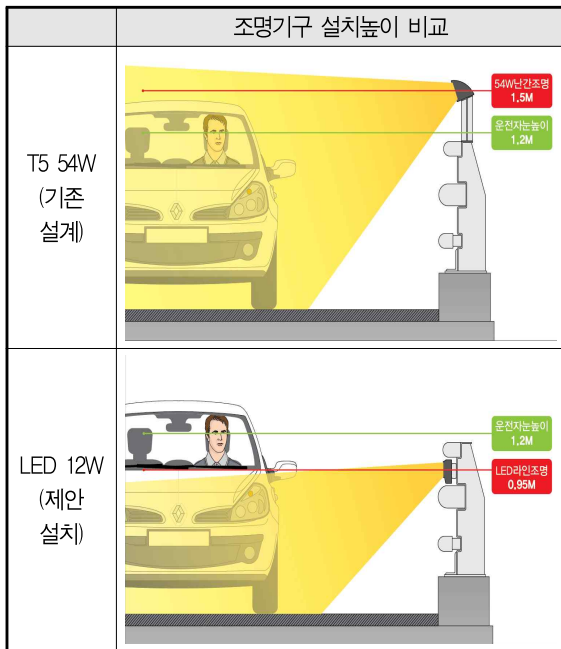
조도분포도

시뮬레이션 검토결과

	평균노면조도 (lx)	종합균제도 (U ₀)	차선속균제도(U ₁)	
			1차선	2차선
기준	10	0.4	0.5	
설계	18.73	0.4	0.93	0.5

2.5 눈부심 제어 대책

LED 12W 다기능라인조명은 운전자의 눈부심을 최소화하기 위한 배광설계와 설치위치를 고려해 설계되어 글레어 발생을 최소화할 수 있으며, 설치높이를 운전자의 눈높이(1.2m)를 고려해 1m 미만으로 설치하였다.



다기능라인조명 배광설계

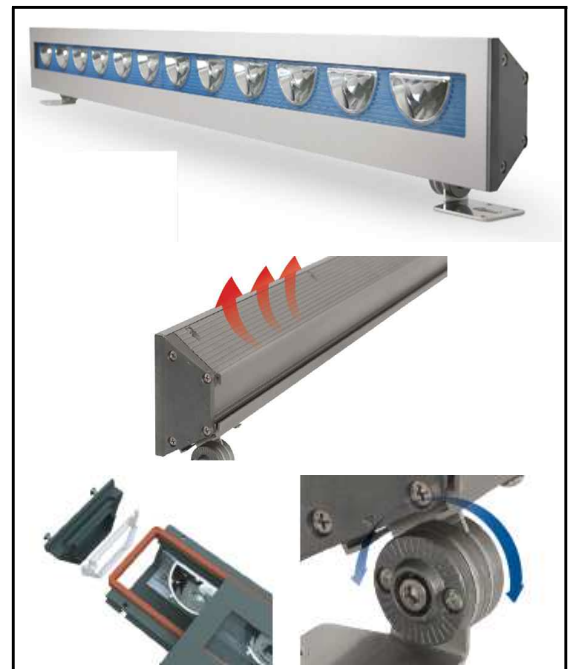
3. 도로조명기구 개발

3.1 광학설계

다기능라인조명 시스템은 운전자의 눈부심을 제어할 수 있도록 디자인된 반원 형태의 반사판을 일렬로 배치하여 날씨에 관계없이 빛을 노면에 고르게 비추어 후사광이 거의 발생하지 않도록 설계하였다.



다기능라인조명 반사판

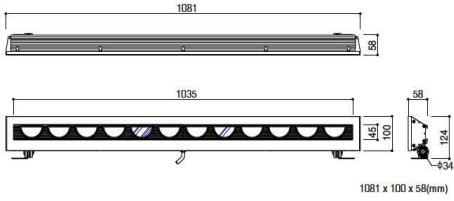


다기능라인조명 기구

3.2 다기능라인조명기구 외함 디자인

조명기구의 외함은 안전에 대한 신뢰성을 줄 수 있도록 직선을 강조한 심플한 디자인을 적용해 단단한 느낌으로 디자인되었으며, 내부에 반원형 반사판을 일렬로 배치하고 가림판에 딥블루 컬러를 대치시켜 스마트한 느낌을 강조하였다. 또한 발열에 의해 광속 값이 떨어지는 LED의 특성을 고려한 효과적인 방열 구조로 옥외용 기구로서 이물질의 퇴적방지를 고려한 외함설계를 하였다.

다기능라인조명의 스펙은 다음과 같다.



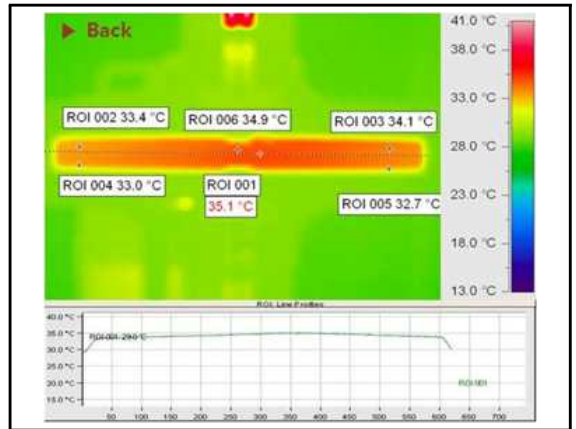
- 1W×12LED(OSRAM, GoldenDragon Plus)MCPCB
- 5,700K White Light
- AL. Extruded Housing with AL. Die-casting side cover
- ABS / Vacuum Plating Reflector
- Polycarbonate Plate - Deepblue color
- Clear Tempered Glass 5T
- IP66

다기능라인조명 기구 스펙

다기능라인조명은 옥외제품으로 효과적인 방열을 통하여 시스템의 안정성을 중시하였다. 완성된 제품은 한국광기술원에 의뢰하여 방열 테스트를 의뢰 하였으며, 그 결과 5시간 에이징 후 측정온도가 최대 35.1°로서 온도의 편차가 적고, 안정적인 방열 효과를 나타내었다.

시화대교에는 시스템 덕트를 이용하여 도로시설물과 일체화시켜 설치함으로써 조명기구와 전력공급장치, 전력 및 통신케이블이 외부에 노출되지 않도록 매립이 가능하도록 하였다. 시스템 덕트 시설은 안전할 뿐만 아니라 유지보수가 용이하며 미려한 도로경관을

제공하는 역할을 하였다.



방열테스트



시스템 덕트

본 제품은 국가교통 핵심기술개발 사업의 지원으로 개발되었다.

4. 시화대교 도로조명 설치

시화대교 2.7km 구간에 상·하행선 각각 한쪽 배열로 3m 간격으로 설치하였으며, 1,840개의 LED

특집 : LED조명기구 개발동향

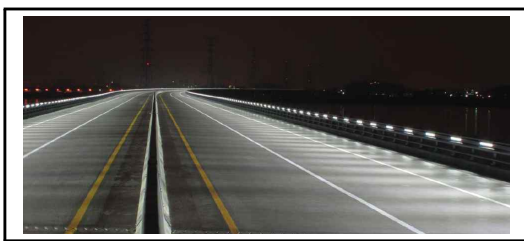
다기능라인조명이 설치되었다.

낮은 방식의 도로조명은 1m 미만의 낮은 위치에서 노면에 집중 조사되는 방식으로 후사광 및 상향광제어를 통해 주변생태계에 인공광에 의한 영향을 최소화할 수 있었다.



후사광 제어

	방호벽 구간	방호울타리 구간
주간		
야간		



우천시 노면상태

낮은 방식이므로 도로시설물을 이용하여 취부하게 되는데 시화대교 2.7km구간의 방호책은 방호벽과 방호울타리 2가지 형태로 이에 대한 취부계획이 필요했다.

다기능라인조명은 우천 시 조건에서도 노면의 수면 반사에 의한 글레어로 차선 및 도로의 선형을 혼란시키는 현상이 발생되지 않았으며, 맑은 날과 다름없는 편안한 시환경을 구현하였다.

5. 결 론

시화대교에 적용된 다기능라인조명은 공통알 서식 지인 생태보호지역의 특성을 고려한 환경중심형 조명 방식이다. 당초인인 T5 54W를 LED 12W로 대체하였고, 노면집중형의 엄격하게 설계된 배광적용으로 눈부심을 완화시켰으며, 조명설치를 방호울타리와 일

체화시켜 경관성을 향상시켰다. 또한 높게 설정되어 있던 도로조명기준도 하향조정하였다. 시화대교는 교량의 전후구간에는 무조명이며, 교량에만 안전을 위한 조명을 하는 곳이어서 도로조명등급 조정이 가능하였으며, 이러한 것들은 80%이상의 에너지절감을 가능하게 하였다. 친환경률적인 도로조명방식인 등주방식의 가로등은 높은 위치에서 조사되어 설치간격을 넓힐 수 있는 장점은 있지만, 제어되지 못한 빛의 유출에 의한 빛공해 및 에너지낭비가 되는 단점이 있다. 따라서 이 프로젝트에서 시사하는 점은 환경의 요구

에 따라 적합한 조명방식과 조명기구 개발이 인공광에 의한 주변생태계보호뿐만 아니라 에너지절감을 가능하게 한다는 것이다. 그동안의 도로조명은 운전자의 주행안전을 통해 교통의 효율을 위한 목적으로 시설되었지만, 근래에는 에너지 효율 및 빛공해 방지법의 발효로 환경적·경관적 측면에서의 도로조명의 중요성이 제고되고 있다. 이러한 사회적, 환경적 변화에 맞추어 도로조명의 새로운 아이디어가 요구되고 있고, 새로운 광원의 장점을 이용한 다양한 조명기구개발이 필요하다고 본다.



시화대교 도로조명 야간 전경

◇ 저 자 소개 ◇



이미애(李美愛)
1963년 7월 13일생. 1993년 이화여자대학교 산업미술대학원 제품디자인 졸업(석사). 현재 (주)아이라이트 조명연구소 소장. 국토교통부중앙건설 심의위원. 본학회 평의원.



한승훈(韓承勳)
1982년 7월 7일생. 2009년 상명대학교 산업디자인과 졸업. 현재 (주)아이라이트 조명연구소 대리.



이동희(李桐禧)
1973년 5월 30일생. 2011년 서울과학기술대학교 IT디자인대학원 유니버설디자인 졸업(석사). 현재 (주)아이라이트 조명연구소 실장.