

에너지 절약형 LED 교통신호등 보급을 위한 국내 옥외 환경 시험 및 평가

유 승원, 정 봉만, 정 학근, 한 수빈, 김 규덕, 박 석인
한국에너지기술연구소 전기에너지연구팀

Environmental Test and Evaluation for LED Traffic Signal Lamps

Seung-Weon Yu, Bong-Man Jung, Hak-Geun Jeong, Su-Bin Han, Kyu-Deok Kim, Suk-In Park
Electric Energy Team, Korea Institute of Energy Research

Abstract - 현재 국내에서 사용되는 교통신호등용 전구는 전량 해외에서 수입하는 백열전구로서 발열에 의한 낮은 발광 효율과 짧은 수명으로, 전력의 과소비와 과중한 전력요금 부담, 잦은 유지보수로 관리비용의 증가와 교통환경 악화의 원인이 되고 있으며, 국가적으로는 귀중한 에너지의 낭비, 철두부하 증가에 따른 전력수요관리의 어려움, 발전용 화석연료 사용증가에 따른 환경오염 유발 등의 문제가 발생하고 있다. 그러나 8 ~ 12인치의 원형(또는 사각) PCB 기판에 수백개의 고휘도 LED(반도체 발광 다이오드, Light Emitting Diode)와 구동회로로 구성되는 LED 교통신호등은 발열에 의한 열손실이 거의 없고, 특정 파장대의 단색광을 발광하여 착색렌즈 사용에 따른 빛손실이 없어 80% 이상의 대폭적인 에너지 절약이 가능하며, 또한 긴 수명으로 유지보수비용의 절감 및 교통환경개선 효과가 크게 기대되어 미국, 일본 등 고휘도 LED 기술 선진국을 중심으로 경쟁적으로 LED 신호등 기술개발에 심혈을 기울이고 있으며, 일부 시범 보급중에 있다. 교통신호등은 특성상 국민의 안전과 직결된 사안으로 엄격한 규격으로 제한하고 있다. 그러나 LED 신호등은 발광 원리 및 발광 방식이 기존의 전구식과 달라 현재 규정된 시험방법으로 직접 평가가 불가능하다. 따라서 우리나라의 경우 LED 제조 기술은 세계적인 수준이나 LED 신호등에 대한 기술개발 및 보급은 현실적으로 어려운 실정이다. 본 논문에서는 에너지절약형 우리나라 환경 특성에 적합한 LED 교통 신호등의 규격 제정 및 국내 보급환경 구축을 위해 LED 신호등에 대한 시제품의 특성을 장시간의 옥외 시험을 통해 평가하고자 한다.

1. 서 론

국내에서 사용되는 신호등용 광원은 반사경을 사용한 백열전구로, 백열전구의 발광특성은 전구에 내장된 필라멘트를 가열하여 나오는 빛을 이용하기 때문에 많은 열이 발생하여 열에 의한 에너지 손실이 매우 크며, 넓은 파장대의 빛을 포함하게 된다. 또한 신호등으로 사용할 때 잦은 점등과 긴 점등시간으로 수명이 짧고, 24시간 점등으로 인해 많은 양의 에너지를 소비하게 된다. 또한 특정 파장대의 빛을 필요로 하는 신호등의 경우 착색렌즈를 사용하는데, 이때 빛의 이용률이 10%(적색) ~ 45%(황색) 수준으로 매우 낮아 빛 손실 또한 매우 큰 단점을 지니고 있다. 현재 국내에서 사용하는 신호등용 전구는 전량 해외서 수입하는 수명 4,000시간의 OSRAM사와 Phillips사의 전구이며, 보행자용과 차량용 구분 없이 정격 230V/100W, 광속 840lm의 전구가 일반적으로 사용되고 있다. 우리나라의 정격 전압이 220V임을 고려할 경우 실질적인 소비전력과 광속은 약 10% 정도 감소하여 90W, 756lm 정도이다. 이상의 백열전구식 신호등 특징을 살펴 볼 때 전력소비 특성은 발열에 의한 열손실이 매우 크고 또한 빛의 이용률이 매우 낮아 에너지 손실이 크게되어 철두 부하 증가와 귀중한 전기에너지 낭비의 원인이 되고 있다. 따라서 지방자

치단체의 경우 전기에너지의 과소비에 의한 과중한 전력요금 부담의 원인이 되고 있으며, 짧은 수명에 의한 잦은 유지 보수로 관리비용이 크게 증가하며, 잦은 전구 교체로 교통환경 악화의 원인이 되고 있다. 또한 국가적인 측면에서 볼 때 에너지수입 비용 증가에 따른 귀중한 외화의 낭비, 발전설비 증설 및 발전소 화석연료 사용 증가에 따른 예산 낭비 및 환경오염의 원인이 되고 있다.

그러나 수백개의 고휘도 LED와 구동회로로 구성되는 LED 교통신호등은 발열에 의한 열손실이 거의 없고, 특정 파장대의 단색광을 발광하여 착색렌즈 사용에 따른 빛손실이 없어 80% 이상의 대폭적인 에너지 절약이 가능하며, 또한 긴 수명으로 유지보수비용의 절감 및 교통환경개선 효과가 있다. 따라서 LED 신호등은 에너지 절감 및 도로상의 교통안전 효과 측면의 극대화를 기할 수 있으며 첨단제품의 교통신호등으로 인간에게 도로상에서 쾌적하고 안전한 미래 지향적 자동차 문화 생활을 구가할 수 있을 것으로 기대되어, 미국, 일본 등 고휘도 LED 기술 선진국을 중심으로 경쟁적으로 LED 신호등 기술개발에 심혈을 기울이고 있으며, 일부 시범 보급 중에 있다.

그러나 교통신호등은 특성상 국민의 안전과 직결된 사안으로 엄격한 규격으로 제한하고 있으나 LED 신호등은 발광 원리 및 발광 방식이 기존의 전구식과 달라 현재 규정된 시험방법으로 직접 평가가 불가능하다. 우리나라의 경우 LED 제조 기술은 세계적인 수준이나 LED 신호등에 대한 기술개발 및 보급은 현실적으로 어려운 실정이다.

본 연구의 목적은 향후 LED 교통 신호등의 국내 보급기반 구축에 의한 국가 에너지절약 및 기술이전에 따른 국제 기술경쟁력 향상을 위해 우리나라 환경 특성에 적합한 초 에너지절약형 LED 신호등에 대한 시제품을 개발하고, 장시간의 옥외 시험평가를 통해 우리나라 환경특성에 적합한 규격을 개발하는 것이다.

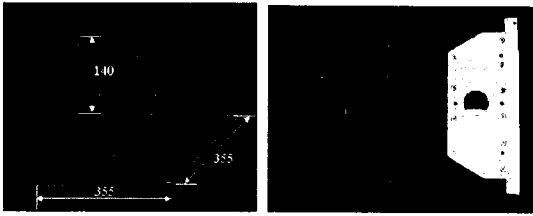
2. LED 교통신호등 옥외 환경시험 및 평가

2.1 LED 특성을 고려한 신호등 외함 및 렌즈

LED 신호등의 경우는 백열등을 이용하는 기존 신호등에 비해 반사각을 사용하지 않아도 됨에 따라 부피가 작아질 수 있다. 따라서 LED 신호등 전용 외함은 기존 신호등과의 호환성을 고려하여 전면은 기존의 신호등 크기를 그대로 사용하고, 깊이의 경우는 140 mm로 하였다. LED 신호등 외함의 경우 그 깊이가 더 작아질 수도 있으나 기존에 사용되는 신호등 지지대의 사용이 가능할 수 있도록 하기 위해서 잠정적으로 140 mm로 하여 제작하였다. 그림 1에서 LED 신호등 전용 외함의 크기와 기존 신호등 외함과의 크기를 비교해 볼 수 있다.

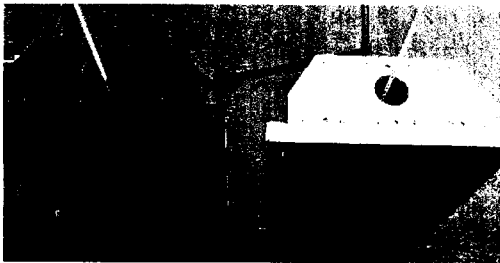
현재 LED를 시험 보급 중에 있는 국가들 중에는 LED 신호등의 외함의 경우는 기존의 검은색을 대신하여 다른 색을 사용하고 있는 경우가 있다. 그 이유는 LED의 경우는 반도체 소자이므로 온도에 따른 광도변화를

최소화하기 위한 방법으로 생각된다.



[그림 1] LED 신호등 전용 외함 및 기존합과의 비교

그림 2는 검정색 외함과 노랑색 외함을 사용했을 때 각각의 내부온도를 측정하여 외부온도와 차이를 비교 실험하기 위한 사진이다. 2000년 3월 22일 맑은 날 오후 2시 대기온도 15°C에서 비교 실험한 결과를 표 1에 정리하였다. 노랑색 외함의 경우는 합 표면의 온도는 30°C, 합 내부의 온도는 28°C로 측정되었고, 합 내부온도와 대기온도의 차이는 13°C의 차이를 보였다. 검정색 외함의 경우는 합 표면의 온도는 41°C, 합 내부의 온도는 36°C로 측정되어, 합 내부온도와 대기온도의 차이는 21°C임을 알 수 있었다.



[그림 2] 외함에 따른 합 내부의 온도실험

[표 1] 외함의 색에 따른 합 내부의 온도차이

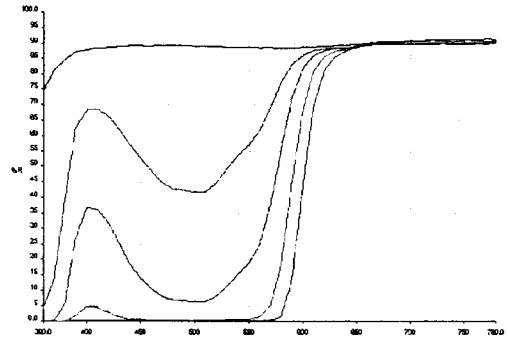
	노랑색 외함		검정색 외함		외부
	표면	내부	표면	내부	
온도	30°C	28°C	41°C	36°C	2000/3/22 14시 기온:15°C
외부와 온도차	15°C	13°C	26°C	21°C	

LED 신호등용 렌즈의 경우 LED가 단일 파장의 빛을 발광하므로 기존 백열등 신호등과 같이 특정 파장대 이상 또는 이하만을 투과시켜 가시광 전체 영역에서의 투과율이 떨어지는 착색 필터를 사용할 것인지 또는 투과율이 좋은 무색 필터를 사용할 것인지에 대한 의견이 분분하다.



[그림 3] 투과율이 다른 5종의 적색 신호등 렌즈

따라서 적색 필터를 대상으로 가시광 영역에서 투과율이 다른 필터를 제작하여 신호등의 중심광도와 총광량을 비교하는 실험을 수행하였다. 그림 3은 각각 투과율이 다르게 제작된 적색 필터의 사진을 나타내고, 그림 4는 각 필터의 파장대별 투과율 분포곡선을 측정할 것이다.



[그림 4] 각렌즈의 파장대별 투과율 분포곡선

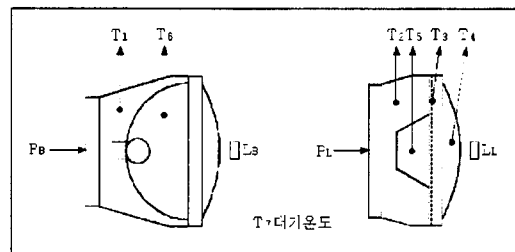
그림 4에서 볼 수 있듯이 LED 신호등용 적색의 경우는 640 nm 부근에서의 투과율이 중요한 요소이다. 따라서 가시광선 영역 내에서의 평균 투과율은 각각 88%, 68%, 43%, 28%, 22%로 차이가 크지만 중심광도와 총광량의 변화는 그리 크지 않음을 알 수 있다.

[표 2] 렌즈의 투과율에 따른 중심광도 및 총광량

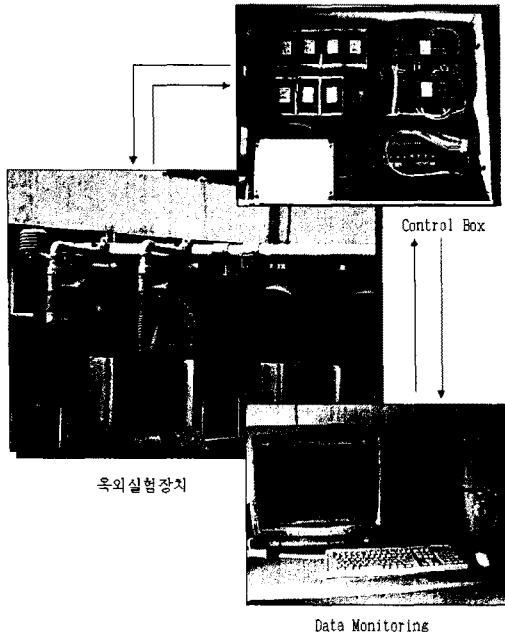
	투과율	중심광도	총광량
렌즈 1	88 %	377 cd	224 lm
렌즈 2	68 %	376 cd	221 lm
렌즈 3	43 %	365 cd	219 lm
렌즈 4	28 %	350 cd	205 lm
렌즈 5	22 %	356 cd	187 lm

2.2 장기 옥외시험장치 제작 및 시험방법

신호등의 경우 국민의 안전과 직결된 문제이므로 장기간 옥외 환경시험을 통하여 그 안정성을 검증 받을 필요가 있다. 장기옥외시험설비는 백열등 신호등(적색, 황색, 녹색)과 LED 신호등(적색, 황색, 녹색)을 서로 비교하면서 시험할 수 있도록 구성하였다. 통상 신호등의 주기와 비슷하게 제어할 수 있도록 컨트롤러와 프로그램을 통해서 구성하였다. 그 주기는 적색 40초, 황색 3초, 청색 17초로 하였고, 그림 5와 같이 백열등 및 LED 신호등에 온도센서 및 광도센서를 위치시키고, 그림 6과 같이 측정된 데이터를 수집하는 제어부와 측정 데이터를 저장, 디스플레이 및 분석하는 시스템으로 구성되어 적색 백열등 신호등 및 LED 신호등의 합 내부 온도 및 광도를 측정할 수 있도록 구성하였다.



[그림 5] 백열등 및 LED 신호등의 합온도 및 광도측정

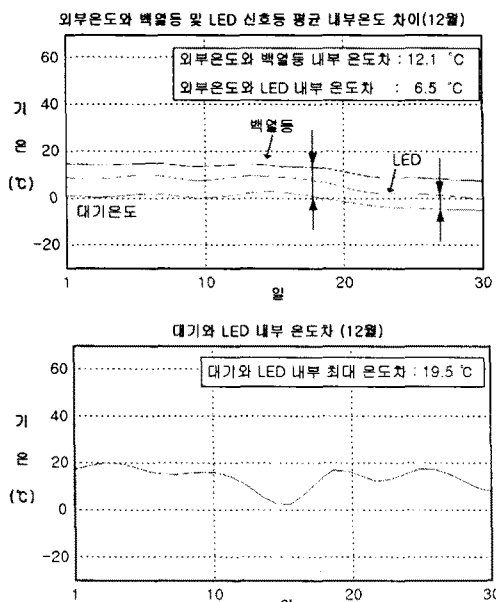


[그림 6] 옥외시험장지 설비

2.3 옥외환경 시험 및 평가

옥외 환경 시험은 1999년 12월부터 시작하여 현재 계속 진행되고 있다. 실험의 목적은 외부온도에 관계없이 일정 광출력을 위해 설계 제작된 LED 신호등 구동회로의 현장 적용 실험과 연중 국내의 온도 환경 특성을 파악하고 외부온도와 신호등 합 내부온도와와의 차이를 비교 분석함으로써 국내 LED 신호등의 허용 기준 온도를 제정하고자 하는 것이다.

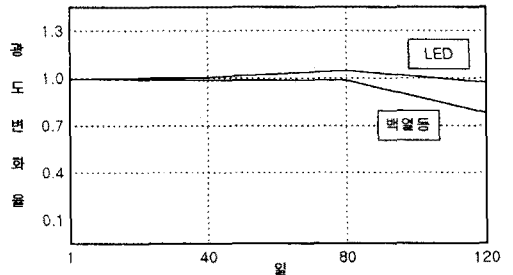
그림 7에서 12월 한달 동안의 일별 외부온도와 백열등 및 LED 신호등 평균 내부온도 차와 일별 외부 온도와 LED 신호등 합 내부의 온도차를 볼 수 있다.



[그림 7] 12월 동안의 옥외시험 측정결과

12월 한달 동안 외부온도와 백열등 내부온도차이는 약 12°C 정도였으며, 외부온도와 LED 내부의 온도차이는 6.5°C 정도로 관측되었다.

LED와 백열등 신호등의 수명을 비교하기 위하여 40일을 주기로 LED와 백열등의 광도 변화를 측정하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 LED의 경우는 120일 지난 후에도 그 광도와 총광량의 변화가 없었지만, 백열등의 경우는 120일 경과 후에 중심광도의 경우는 초기의 177 cd에서 47%가 감소한 94 cd로 측정되었고, 총광량은 78 lm에서 22%가 감소한 61 lm으로 측정되었다. 표 3은 옥외시험이 시작된 후부터 40일 간격으로 얻어진 LED와 백열등의 중심광도 및 총광량의 변화를 정리한 것이다. 통상 백열등의 수명을 6개월로 보고 있는데 실험을 통하여 어느 정도 일치하는 데이터를 얻을 수 있었다.



[그림 8] LED 신호등과 백열등 신호등의 수명비교

<표 3> 시간경과에 따른 LED 및 백열등의 광도변화

		LED	백열등
1 일	중심광도	323 cd	177 cd
	총광량	195 lm	78 lm
40 일	중심광도	324 cd	177 cd
	총광량	196 lm	77 lm
80 일	중심광도	328 cd	163 cd
	총광량	204 lm	77 lm
120 일	중심광도	329 cd	94 cd
	총광량	190 lm	61 lm

3. 결 론

LED 신호등의 옥외환경시험 및 기존 백열등 신호등과의 비교 시험을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 국내 환경에 적합한 LED 교통신호등 규격이 개발되면 에너지 절감 및 도로상의 교통안전 효과 측면의 극대화를 기할 수 있으며 첨단제품의 교통신호등으로 인간에게 도로상에서 쾌적하고 안정된 미래 지향적 자동차 문화 생활을 구가할 수 있을 것으로 기대되는 LED 신호등의 국내 보급이 활성화될 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- (1) 정봉만, "LED 교통신호등 개발 및 보급 타당성 연구", 연구보고서, 1998
- (2) Institute of Transportation Engineers, "Vehicle Traffic Control Signal Heads", 1985
- (3) 정학근, "LED 신호등 구동회로설계에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회는문집, G. p3144~3146, 1999
- (4) 정봉만, "에너지 절약형 LED 교통신호등 기술", 에너지절약워싱턴논문집, 1999