

LED 교통신호등 기술

- 한국형 LED 신호등 규격연구를 중심으로 -

정봉만 <한국에너지기술연구원 책임연구원>

1. 서론

현재 사용하는 신호등용 광원은 대부분 수입에 의존하는 백열전구이다. 백열전구는 전구에 내장된 필라멘트를 가열하여 나오는 빛을 이용하므로 다른 광원에 비해 연색성이 좋은 반면 열 발생에 의한 낮은 발광효율과 짧은 수명 특성을 가지고 있다. 또한 신호등은 적색, 황색, 녹색의 특정 파장대의 빛을 필요로 하기 때문에 착색렌즈가 필연적이며, 이에 따른 빛의 손실을 55[%](황색)~90[%](적색) 정도 허용하고 있다. 그림 1은 신호등용 광원으로 많이 사용되는 230[V]/100[W]/840[lm]/정격수명 4000시간인 백열전구의 시감곡선과 착색렌즈에 의한 빛의 투과영역이다. 전구의 가시광 기준 발광효율 8.4[lm/W], 적색기준 발광효율 0.84[lm/W](투과율 10% 가정)로 교통신호등은 시스템 효율이 매우 낮고, 24시간 지속적 점등에 따른 대량 에너지소비와 전력 수요관리의 불가, 잦은 유지보수에 따른 관리비용 증가와 교통장애 유발, 팬텀효과에 의한 나쁜 시감특성 등 비 효율적인 조명기구라 할 수 있다.

수 백개의 고휘도 LED와 구동회로로 구성되는 LED 교통신호등은 발열에 의한 열 손실이 거의 없고, 특정 파장대의 단색 광을 발광하여 착색렌즈 사용에

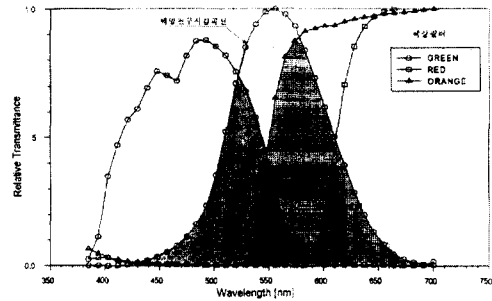


그림 1. 백열전구 시감곡선과 착색렌즈 투과 특성

따른 빛 손실이 매우 작아 전구식 신호등에 비해 80[%] 이상의 대폭적인 에너지 절약이 가능하며, 또한 상대적으로 10배 이상의 긴 수명으로 유지보수비용의 절감 및 교통환경개선 효과가 큰 것으로 평가되고 있다. 따라서 LED 신호등은 에너지 절감 및 도로상의 교통안전 효과 개선으로 도로상에서 쾌적하고 안정된 미래 지향적 자동차 문화 생활을 구가할 수 있을 것으로 기대되어, 북미, 유럽의 거의 모든 나라와 아시아 일부 국가를 중심으로 에너지관련 부처의 정책적인 지원아래 시범보급 및 확대보급을 추진하고 있다.

교통신호등은 각 나라마다 구조, 크기, 모양이 서로 다르며, 특성상 국민의 안전과 직결된 사안으로 각 나라별로 엄격한 규격으로 제한하고 있다. 그러나

표 1. 기존 신호등과 LED 신호등 비교분석

구 분	기존 신호등	LED 신호등
구 조	• 외함, 반사경, 백열전구, 착색렌즈	• 외함, LED 기판, 전원장치 투명 또는 착색렌즈
발광 특성	• 물체가 열을 받아서 발광함. • 색상 : 착색렌즈(적색, 녹색, 황색)를 통한 등화색 표시	• 에너지차(전자이동)에 의해 발광 • 색상 : 색의 경계가 분명하고 자체적으로 색을 발하는 단일광
시 인 성	• 착색렌즈의 투과율에 따른 색별 광도변화 • 넓은 파장대 포함(시인성 저하)	• 동일 광도 가능 • 색의 경계가 분명(좁은 파장대) • 색을 구분하는 시인성 향상
전력 소모	• 많음(100[W] 백열등)	• 80%이상 절감(10~15[W])
내 구 성	• 연속점등 시 4000시간 • 발열에 의한 렌즈표면 분진부착 • 빠른 광도저하 및 분균일 광도	• 100,000시간 이상(반영구적) • 낮은 발열 • 균일광도 유지
유지 보수 비용	• 과다	• 75%이상 절감
팬텀효과	• 역광시 반사경에 의한 등화여부 구분이 불분명	• 반사경이 없어 등화된 등색의 구분이 확실
설치 비용	• 적음	• 기존에 비해 평균 2~3배 많음
온도변화 특성	• 비교적 안정 됨 • 추위에 약함	• 온도에 따른 광도 변화 • 더위에 약함
규정 적합여부 (교통안전시설 실무편람)	• 현행 기준(광도, 휘도, 색도)에 합격한 제품 사용	• 기존 규격 직접적용 불가 • 색도는 기준에 적합하나 광도, 휘도에 대한 시험 방법, 규격 개발 중
기술 적 안정성 여부	• 지속적 개발 및 설치로 기술적 안정성 부여됨	• 장기현장시험에 의한 안전성 입증

LED 신호등은 발광 원리 및 발광 방식이 기존의 전구식과 달라 기존의 전구식에 규정된 시험방법으로 직접 평가가 불가능하다. 이에 따라 미국과 캐나다의 경우 '96년('98년 수정) ITE(미국 교통공학회)에서 제정한 LED 신호등 잠정 구매규격(Interim LED Purchase Specification)을 근간으로 각 주의 환경특성을 고려하여 보완적용하고 있으며, 유럽의 경우 2000년 신호등 전반에 대한 포괄적 규격을 제정하고(EN12368, Traffic Control Equipment- Signal Heads) 세부 적용은 각국의 실정에 맞게 채택하도록 하고 있다. 반면 우리나라의 경우 아직 LED 신호등에 대한 규격이 없어 현실적인 보급은 불가능한 실정이다. 이에 따라 한국에너지기술연구원과 도로교통

안전관리공단에서는 한국형 LED신호등 규격을 개발하여 제도화를 추진하고 있으며, 조만간 우리나라에서도 LED 신호등이 보급되리라 기대된다.

본서에서는 국내외 LED신호등 기술과 보급현황을 살펴보고, 현재 개발중인 한국형 "LED 교통신호등 규격(안)"을 중심으로 기술하고자 한다.

2. LED 신호등 특징

LED광원을 교통신호등에 접목할 경우 장점은 크게 3가지로 요약된다. 첫째 동일 광도에서 80%~95%정도의 절전으로 대폭적인 에너지절약과 전기요금 절감이 가능하며, 둘째 10배 이상의 긴 수명으

로 유지보수비용 절감과 원활한 교통흐름을 유도, 셋째 시인성 향상에 따른 교통사고 감소가 기대된다는 것이다. 현재 유일한 단점으로는 지목되는 초기비용도 지속적인 고휘도 저가의 LED 기술개발로 경제성이 향상되어 미국, 유럽, 아시아 일부 국가에서 보급이 일반화되고 있다. 그림 2는 LED 기술개발 추이를, 표 1은 기존 전구식 신호등과 LED 신호등의 장점과 단점을 전기·광학적 특성, 기술적 안정성 그리고 규격적합성 측면에서 비교한 것이다.

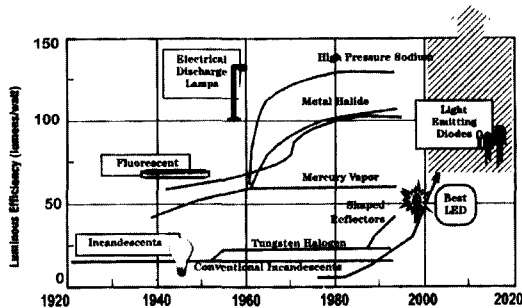


그림 2. LED 기술개발 추이

3. LED 신호등 기술개발 현황

3.1 미국

1992년 미국 필라델피아시는 에너지성(DOE)과 함께 6개의 서로 다른 시험모델을 선정하여 28개 교차로 240개의 적색 LED 신호등을 설치하고 다양한 환경 조건에서의 전기적 광학적 성능 특성을 평가하는 계획을 수립하였다. 20개월에 걸친 연구결과 125[W] 전구를 사용하는 300[mm] 신호등에서 90[W], 화살표 신호등에서 100[W]의 절전으로 시에 설치된 28,000개의 적색신호등을 LED로 교체하면 순시전력 1 MW, 연간 7.4[GWh](\$93만)의 에너지절약과 년 \$23만의 유지보수비 절감 및 수 천톤의 온실가스 발생이 감소하는 것으로 평가하였다. 또한 일반인을 대상으로 조사한 시인성 평가에서도 기존 신호등과 색감이 동일하며 더 밝은 것으로 조사되었다. 이러한 연구결과로 필라델피아시는 1995년 에너지부문 공공

기술업적상(PTI)을 수상하였으며, 이는 LED 신호등에 대한 세계적인 관심을 유발하는 원동력이 되었다. 곧이어 교통공학회(ITE)를 중심으로 LED신호등의 체계적인 보급을 위한 규격제정에 착수하였으며, 1996년 최초로 “LED신호등 모듈 구매 권고 기준”을 제안하였다(‘98년보완). 그 당시 LED신호등 보급의 가장 큰 걸림돌은 큰 초기비용으로, 미국의 LED신호등 보급의 특징은 신호등 가격, 에너지절약 잠재량에 초점을 맞추어 상대적으로 경제성이 우수한 적색신호등 위주로 보급을 추진하고 있다. 현재 적색 LED 신호등 가격은 \$100수준으로 ‘90년대 초의 \$750에 비해 1/7이상 감소하였으며, 향후 기술개발과 병행하여 지속적인 가격하락이 예상되며, 경제적 회수기간은 약 2년으로 예상하고 있다.

현장실험평가 외에도 장시간동안 밝기의 감소정도를 측정하는 실내실험을 기존 신호등의 제어기 등 부속장치 실험 규정(온도 74℃, 습도 70%)에 준하여 LED신호등에 대해서도 실시하여 300일 이상 경과하더라도 색도, 광도 등이 변화가 거의 없는 것으로 보고하였다. 또한 외부환경 변화에 대한 저항력 평가를 위해 혹서와 혹한의 기후조건을 갖고 있는 미네소타주에서 1996년 4월부터 적색 LED 점멸 신호등에 대한 실험을 실시하여 정상적 작동을 확인하기도 하였다. 현재 적색 신호등에 대해 년 4[%]의 비율로 교체 계획을 수립하여 추진중이다.

3.2 유럽

‘90년대 중반부터 대부분의 나라에서 LED신호등 시험사업에 참여하고 있으며, 특히 1998년 세계에너지기구(IEA)는 LED신호등을 전력수요관리(DSM)의 5대 시험사업의 하나로 선정하여 스웨덴의 스톡홀름시를 대상으로 시 전역의 모든 신호등을 LED로 교체하는 국제적인 실증 시험사업을 추진하고 있다. 스톡홀름시에서 연간 사용하는 신호등용 전력 4.8[GWh]을 0.6[GWh]로 줄인다는 계획아래(전력 88[%], 전기요금 71[%], 유지보수비 75[%]절감) 현재 약 90[%]

의 신호등이 교체하였다. 스웨덴 외에 LED신호등은 영국의 런던, 오스트리아의 비엔나, 독일의 뮌헨, 스페인의 바르셀로나, 스위스의 쥘리히 그리고 핀랜드의 헬싱키 등의 도시에서 도로에 설치하여 시험운영 중이다. 또한 나라별 각기 다른 신호등규격으로 인한 불편을 해소하기 위해 2000년 유럽 19개국이 모여 하나의 통일규격(유럽규격)을 제정하였다. 유럽의 LED신호등 보급의 특징은 경제성이 다소 불리하나 에너지절약 및 환경개선을 목적으로 적색, 녹색을 포함한 모든 신호등을 일괄 교체하는 것을 기본으로 하고 있다.

3.3 일본

철도용으로 약 5,000개의 삼색등(적색, 황색, 녹색)을, 차량용으로 도쿠시마에 400여개 차량신호등(삼색등)을, 오사카, 교토, 아이찌에 회전지시를 나타내는 화살표 등 각 200개, 150개, 100개 설치하고 있다. 기타 교토 등 도시에도 설치함으로써 일본내 전국적으로 약 500여 개의 LED 신호등이 설치, 운영 중이다. 운영결과 교통안전 측면에서 교통사고 발생건수는 약 25[%]정도 감소하였고, 주간과 야간 교통사고 발생건수는 각각 17.6[%], 38.1[%] 감소했다고 보고

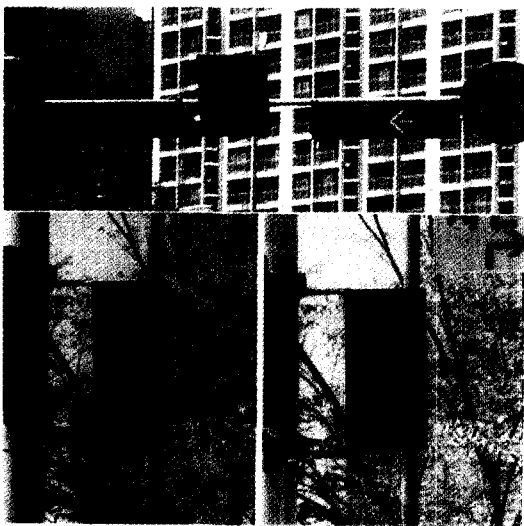


그림 3. 시험설치 운전 현장(2001, 대전)

하였다. 특히, 주간에 비해 야간 교통사고발생 감소율이 2배 이상으로 나타난 결과는 LED 신호등이 기존 신호등보다 운전자의 시인성, 선명성 등의 효과가 우수하다는 점에 기인한다고 판단된다. 사고예방효과 외에도 교통사고 사망자와 부상자가 각각 50[%], 25.7[%] 감소하였다.

교통환경 개선 외에 LED 신호등을 일본 전역에 설치할 경우 연간 6억[kWh]의 전기에너지 절약이 가능하리라 추정하고 있다. 환경측면에서도 LED 신호등은 전력소모가 적어 발전소에서 전력발전시 배출되는 CO₂ 배출량의 삭감에 직접적으로 기여할 수 있는데, 일본 전국의 차량등, 보행자등 및 기타 교통신호등 전체 개수를 150만기로 가정하면 약 68만톤의 CO₂ 배출량을 감소시킬 수 있다고 보고하고 있다.

3.4 우리나라

1997년 한국에너지기술연구원에서 “LED 신호등 보급타당성 연구”를 통해 LED 신호등기술이 국내에 소개된 이래 1998년 국내환경 적응성 및 안전성 검증을 위한 옥외시험, 1999년 적색 차량신호등 도로현장시험, 2001년 봄 전체 신호등에 대한 도로현장시험 과정을 거쳐 한국형 LED신호등 규격(안) 및 표준시스템을 개발하여 현재 서울과 대전의 시험운전 중에 있으며, 제도화 과정을 거쳐 조만간 국내에서도 본격적인 보급이 추진될 것으로 예상된다. 그림 3은 대전에 설치된 LED 차량신호등(오른쪽) 및 보행신호등으로, 소비전력은 차량용 10~15[W], 보행자용 9~12[W] 수준이며, 시인성이 매우 양호한 것으로 조사되고 있다.

4. 각국의 LED 신호등 규격 분석

신호등은 나라마다 모양과 구조가 서로 다르고, 특히 기존 전구식 신호등규격을 LED 신호등에 직접 적용이 불가능하여 나라마다 별도의 규정을 채택하

표 2. 국내외 LED신호등 기술개발 현황

국 가 명	실험내용	실험결과	비고	
유럽	스웨덴 (스톡홀름)	•차량등 실험 (녹색, 적색)	•유지보수 및 전력소모 측면에서 85% 비용 절약 •내구연한 10년 추정	•기존 녹색 차량등 70[W](미국 150[W], 한국100[W]) 사용 •LED 10[W] 사용
	영국 (런던)	•차량등 실험 (녹색, 적색)	•조사 보행자 및 운전자의 8%, 2%만이 녹색등과 적색 색등 시인 곤란 응답 •자본회수기간 2년 판단	
	기타유럽국가	•차량등 실험 (녹색, 적색)	비엔나의 경우 신규 또는 교체 신호등은 전부 LED로 설치키로 결정	•오스트리아(비엔나) •독일(뮌헨,스투트가르트, 뉴렘버그) •스페인(바르셀로나) •스위스(취리히) •핀란드(헬싱키)
미국	펜실베이니아주 (필라델피아)	•6개의 시제품 모델을 제작 •28개 교차로 설치, 운용 •실내실험 병행	•운전자 색도, 광도에 대한 차이를 인식하지 못함 •전자기술회사와 함께 규격서 제정 작업 진행 중 •실내실험(온도 74℃, 습도 70%) 결과 색도 등 불변	•LED 잠정 규격안 확정 (ITE제정)
	캘리포니아주 오레곤주	•적색신호등 실험	•94% 전기절약	
	미네소타주 뉴저지주	•적색 점멸등 실험	•적색 점멸등 정상 작동 •에너지 절감효과 교차로 당 63만원으로 추정 •내구연한 6~10년 판단	
캐나다	몬트리얼	•LED 신호등 구동용 전압 변환장치 개발운용	•전압변환장치 발생손실 줄임 •생산체제 가동 중	•기존 신호등 : 교류 전압으로 구동 •LED 신호등 : 직류 전압으로 구동
일본	도쿠시마 (徳島縣)	•차량등 (적색, 황색, 녹색) 400여개 설치	•교통사고발생을 25% 감소 •전력요금절감 (80,000원/1기)	•착색렌즈 대신 무색렌즈 사용
한국	서울/대전	•에너지절약 •환경적응특성 •시인성	•에너지절약 85% •2년여 연속시험에 의한 국내 온도 변화에 대한 적응성 입증 •시인성 향상	•무색/착색렌즈 겸용 •3색 동일 광도기준 •한국형 규격 개발

여 적용하고 있다.

4.1 미국

1996년 6월 교통공학회(ITE)에 의해 최초의 LED 교통신호등에 관한 잠정규격(VTCSH로 명함)을 제 56 (548)

정하였다. 기존 신호등 규격의 정의와 관례를 참조로 하여 직경 200[mm], 300[mm] 원형 차량신호등에 국한하여 만들었다.

규격의 특징은 LED 교통신호등의 보증기간 명시와 광도조절기능(Dimming)을 요구하였으며, 특히 기

존 신호등에 비하여 LED는 전기·전자적 특성을 지니고 있으므로 전기·전자적 용어정의와 이에 따른 작동온도 범위를 규정화하였다. 1996년에 제정된 규격에 이어 1998년 3월에 교통공학회에 의해 재 수정되어 1998년 7월에 2차 LED 교통신호등모듈에 관한 잠정 구매규격서(안)를 발표하였다. 1998년에 제정된 잠정 구매규격서(안)은 1996년에 제정된 규격에서 최소 광도기준의 하향 조정을 주 내용으로 하고 있다.

4.2 유 럽

유럽 각국에서 사용되어 왔던 기존 신호등의 규격들이 단일체 국가로 출범하게 됨에 따라 유럽 규격 표준화위원회(CEN : Comite European de Normalisation)에 의하여 유럽의 표준적인 기존 신호등에 관한 규격을 1998년 1월 제정(Traffic Control Equipment-Signal Head)하였으며, LED 교통신호등에 관한 규격은 2000년 1월 완성되었다.

유럽 규격표준화위원회(CEN)는 오스트리아, 벨기에, 체코, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국 등이 회원국이며 유럽국가 표준 규격제정에 관여하는 단체이다. 유럽 규격의 특징은 신호등을 성능수준별로 3등급으로, 광도분포는 4 가지로 분류하여 신호등 설치환경을 고려하여 채택 적용토록 한 것이다. 즉, 도시지역의 짧은 거리 또는 지방지역의 긴 거리에 대한 신호등의 양호한 인식을 위하여, 광선의 폭이 아주 넓거나(extra wide), 넓거나(wide), 중간(medium), 그리고 좁은(narrow) 신호등을 선택할 수 있도록 하였다. 또한 발광면에서의 빛의 균일성 및 팬텀효과에 대한 측정방법과 허용기준을 제시하여 교통 안전성을 강화하였다.

광학적 성능은 서비스 기간 동안에 신호등두의 성능을 유지하기 위해서 전구 교체와 렌즈 및 반사경의 세척후에 광출력이 가능한 100[%]에 가깝게 회복되며, 보증된 규정 성능의 80[%]보다 낮지 않게 보장되도록

하였다. 유럽 표준규격서의 범위는 차량을 위한 직경 200[mm]와 300[mm]의 원형으로 된 적색, 황색, 그리고 녹색의 기존 신호등에만 적용되는 규격이다.

4.3 일 본

경시청에서 정한 규격 제 23호, 제 227호 등에 의하여 LED 교통신호등에 대한 규격을 제정하였는데 이는 직경 300[mm]의 원형 차량등과 직경 200[mm]의 일등식 점멸등에 관하여 규정하고 있다. 규격의 근거는 「경찰교통안전시설단말장치 공통사양서」 제 301호를 기준으로 제정하였다. 직경 300[mm] LED 차량신호등 규격의 주요 내용은 광도, 수명 등을 규정하고 기존 신호등과의 호환성을 요구하고 있으며, 본 규격에서는 착색렌즈를 사용하지 않아 유사점등 현상의 발생억제를 도모하고 있다. 그리고 LED식 일등 점멸용 교통신호기 사양서라고 명명하며 이면도로의 교차점등에서 우선 및 비우선 도로를 명확하게 해서 마주치는 사고를 방지하기 위해 점멸제어를 하는 신호기에 적용하는 규격서이다. 신호표시는 주간에도 점멸상태를 명확하게 구별할 수 있고 직사일광등에 의해 혼동하기 쉬운 상태가 되지 않도록 내용을 규정하였다. 교통신호등 발주시 등기의 종류와 수, 검사성적서, 취급설명서, 조광기능(Dimming) 유무 등의 지정항목을 선정하였으며, LED 교통신호등의 색도, 광도분포, 휘도 등은 「경찰교통안전시설단말장치 공통사양서」를 적용토록 하고 있다.

4.4 나라별 색도, 광도기준 비교

교통신호등은 차량운전자에게 방향을 지시하여 차량진행시의 안전성 확보와 전반적인 도시가로의 원활한 교통처리에 따른 도로용량의 효율성을 제고하는데 가장 큰 목적이 있다. 교통신호등의 주요 기능을 구현하기 위해 가장 필요한 요소항목은 신호등 등화색의 열음과 진한 정도를 나타낼 수 있는 색도(Chromaticity)와 등의 밝기를 표시하는 광도(Candela)라고 할 수 있다.

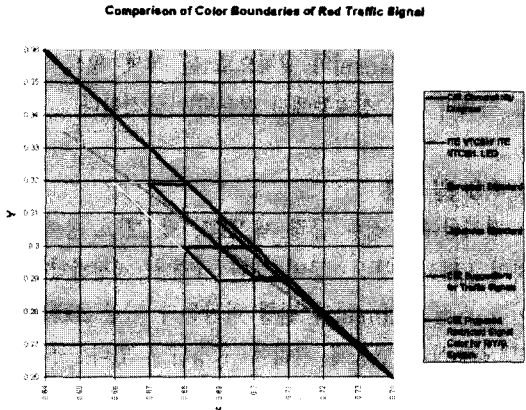


그림 4. 적색신호등 색도기준 비교

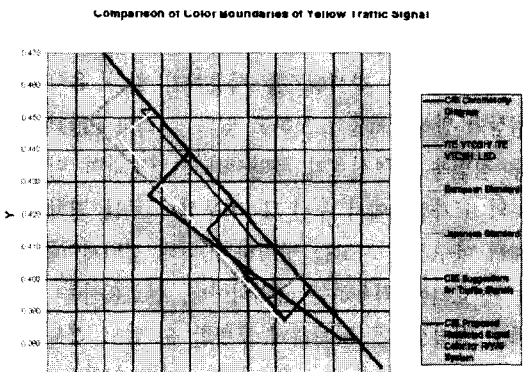


그림 5. 황색신호등 색도기준 비교

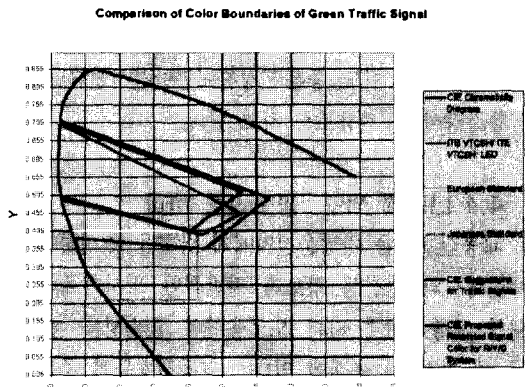


그림 6. 녹색신호등 색도기준 비교

○ 색도

1931년 국제조명위원회(CIE)에서 정한 X, Y축에

의한 색도좌표계를 이용하여 신호등의 적색, 황색, 녹색의 범위를 정하고 있으나 이러한 기준 값은 국가별로 약간의 차이가 있다. 그림 4, 그림 5, 그림 6은 각 국가별 색도 기준을 비교한 것이다.

○ 광도

광원으로부터 방출되어 눈에 감지되는 빛의 총 출력량을 광속이라 하며 이의 단위는 루멘(lm)으로 표시한다. 이를 와트(watt)로 표시하지 않고 루멘으로 표시하는 이유는 인간의 눈이 파장에 따라 서로 다르게 감응하기 때문이다. 광원은 광속을 여러 방향의 입체각(측정단위: steradian)으로 서로 다른 강도를 방사한다. 특정 방향에서 가시광선의 강도를 광도라 하며 단위는 칸델라(Candela: cd)로 표시한다.

도로상에 설치된 교통신호등은 설치지점으로부터 발산각도가 사방으로 각각 45° 이상으로 할 것을 규정(도로교통법 시행규칙 제 6조)하고 있는데, 이는 다차로에서 운전자들이 신호등의 등화된 신호등면을 인식하기 위한 것이라고 할 수 있다.

일본, 유럽 및 국제조명위원회는 교통신호등 삼색등의 광도 값을 동일하게 정하고 있으며 미국은 각 등별로 광도를 달리 정하고 있다. 그림 7은 200[mm] 신호등에 대한 각국의 광도기준 비교한 것이며, 표 3은 국가별 신호등 규격을 비교한 것이다.

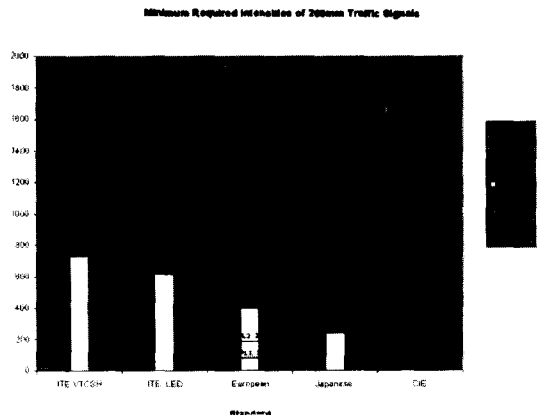


그림 7. 국가별 광도기준 비교

표 3. 국가별 신호등 규격 비교

규격명 항목	미 국 (1985.4)	미 국 (1988.6)	유 럽 (2000.1)	일 본 (1986.4)	CIE (1994)
색도 경계 (적색)	$0.998-x \leq y$ $y \leq 0.308$	$0.998-x \leq y$ $y \leq 0.308$	$y=0.290$ 적색 $y=0.980-x$ 자색 $y=0.320$ 황색	$0.835-0.774x \leq y$ $y \leq 0.335$	$y=0.300$ $y=0.290$ $y=0.980-x$
색도 경계 (황색)	$0.411 \leq y \leq 0.542$ $0.995-x \leq y$	$0.411 \leq y \leq 0.452$ $0.995-x \leq y$	$y=0.387$ 적색 $y=0.980-x$ 백색 $y=0.727x+0.054$ 녹색	$0.932-0.918x \leq y$ $0.036+0.611x \leq y$ $y \leq 0.109+0.65x$	$y=x-0.151$ $y=x-0.206$ $y=0.980-x$
색도 경계 (녹색)	$0.506-0.519 \leq y$ $0.150+1.068x \leq y$ $y \leq 0.730-x$	$0.506-0.519 \leq y$ $0.150+1.068x \leq y$ $y \leq 0.730-x$ [2]	$y=0.726-0.726x$ 황색 $x=0.625y-0.041$ 백색 $y=0.400$ 청색	$x \leq 0.214$ $0.214 \leq y$ $y \leq 0.499-0.474x$	$y=0.726-0.726x$ $x=0.625y-0.041$ $y=0.500-0.500x$
광도 (적색)	Min=157 (d=200[mm]) Min=399 (d=300[mm]) [1]	Min=133, Max=800(d=200[mm]) Min=339, Max=800(d=300[mm]) [3]	PL1:Min=100, Max1=400, Max2=1100 [4] PL2:Min=200, Max1=800,Max2=2000 PL3:Min=400, Max1=1000 Max2=2500	Min=240 [5]	
광도 (황색)	Min=726 (d=200mm) Min=1848 (d=300mm) [1]	Min=617, Max=3700(d=200[mm]) Min1571(d=300[mm]) [3]	적색과 동일	Min=240 [5]	
광도 (녹색)	Min=314 (d=200mm) Min=798 (d=300mm) [1]	Min=267, Max=1600 (d=200[mm]) Min=678, Max=1600 (d=300[mm]) [3]	적색과 동일	Min=240 [5]	
균일도	-44개점에서 광도측정시 요구광도값의 80%이하가 되어서는 안됨 -8개의 광원시험점을 이용할 경우 요구 광도값의 90%이하가 되어서는 안됨		Min:Max \geq 1:10 (type E,W,M) Min:Max \geq 1:15 (type N) [6]		
크기	200[mm],300[mm]	200[mm],300[mm]	200[mm],300[mm]	250[mm],300[mm]	
온도	-40 ~ 74℃ 0~100% 습윤	-40~74℃	A등급:-15~60℃ B등급:-25~55℃ C등급:-40~40℃	-20~60℃ 40~90%습윤	

주) [1] 수평, 수직각 2.5° 에서 한점에서 요구되는 광도값 (d : 신호등 직경)

[2] LED 모듈의 측정된 색도좌표계값이 500~650[nm] 임

[3] LED 신호등에서 요구되어지는 광도값은 기존 신호등의 85[%] 수준임.

[4] 기준축상에서 요구되어지는 값(PL1, 2, 3 : 성능수준 1, 2, 3)이며 최대광도 Max 1은 등급 1, Max 2는 등급 2에 대한 값이다.

[5] 값은 기준축에서 요구되어지는 값이다.

[6] Type : 빛의 발산 범위를 나타내는 것으로서 E(아주 넓음), W(보통 넓음), M(중간), N(아주 좁음)인 신호등을 말함.

5. LED 신호등 국내 적용성 실험

국내 환경에 적합한 LED 신호등규격의 개발과 관

련한 기초자료를 수집하기 위해 주요 성능실험 및 광도기준실험, 옥외환경실험, 운전자를 대상으로 도로현장에서 시인성 실험 등을 수행하였다. 주요 실험

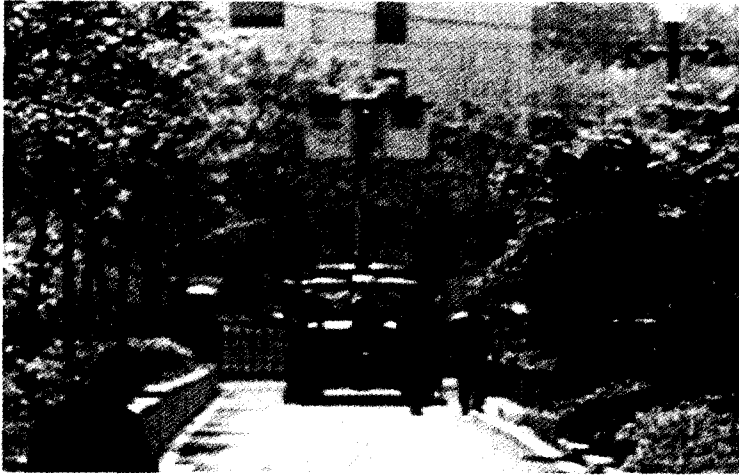


그림 7. 광도기준 평가를 위한 옥외실험 장치

내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 성능실험

LED 신호등과 전구식 신호등의 전력소모량과 시스템 안정성에 대하여 실내평가실험을 실시하였다. 이를 근거로 외국의 실험결과와 그 차이여부를 확인하고 국내 제작업체의 기술개발수준을 간접적으로 평가하여 실외실험 및 도로현장실험의 참조자료로 활용하였다.

○ 광도기준 실험

LED 교통신호등에 대한 적정 광도기준을 제시하기 위해 차량용 전구식 신호등과 LED 신호등의 광도를 변화하면서 일반인이 느끼는 밝기, 색도, 눈부심의 정도를 평가하였다.

○ 옥외 환경실험

장기간 옥외 환경 적응실험을 통하여 LED 신호등의 안정성, 광도저하 특성, 온도적응 특성을 평가하였다.

○ 도로현장실험

차량용 LED 신호등을 도로현장(서울, 대전)에 설

치하여 운전자가 느끼는 시인성(밝기, 색도, 눈부심 정도, 팬텀현상 등) 및 시스템 안정성을 평가하였다.

5.1 광도기준 실험

광도실험은 적색 LED 신호등과 전구식 신호등을 차량 신호등 설치 높이 기준인 5[m] 높이의 고정 시설물에 설치하여 일정 거리만큼 떨어진 지점에서 피 실험자 157명에게 설문항목에 응답하도록 하였다. 설문내용은 신호등의 밝기와

색도, 그리고 눈부심이다. 전구식 신호등은 기존 신호등 규격서에 적합하도록 제작된 신호등과 정격 230[V]/116[W]/1,260[lm], 220[V]시 중심축 광도 170[cd]인 신호등용 전구를 사용하였으며, LED 신호등은 ITE의 잠정 규격서에 근거하여 제작된 무색투명렌즈의 신호등을 사용하였다. 실험방법은 LED 신호등의 중심축 광도를 50, 150, 200, 300cd로 변화하면서 피 실험자로 하여금 일정 거리만큼 떨어진 지점에서 설치된 신호등을 바라보고 밝기와 색도, 그리고 눈부심에 대하여 기존 신호등과 비교하여 질문에 응답하도록 하였다. 그림 7은 시인성 및 광도기준 평가를 위한 실외실험 장치이다.

표 4는 LED 신호등의 중심축 광도를 변화하면서 밝기, 색상, 눈부심 정도를 측정한 결과이다. 표에서 보듯 50[cd]에서 96.8[%]가 기존 신호등이 더 밝다고 하였고, 150[cd]에서 응답자의 26.8[%]가 LED 신호등이, 43.9[%]가 기존 신호등이 더 밝다고 각각 응답하였으며, 두 신호등의 밝기가 같다고 응답한 경우는 29.3[%]이었다. 200[cd]에서는 기존 신호등이 더 밝다는 응답비율이 9.6[%]로 크게 줄어들고 LED 신호등이 더 밝다는 응답자가 65.6[%]로 크게 늘어났으며 300[cd]에서는 93.6[%]의 응답자가 LED 신호등이 확

표 4. 광도별 설문조사 결과

항 목		광 도			
		50 cd	150 cd	200 cd	300 cd
밝기	LED가 더 밝다	4 (2.6%)	42 (26.8%)	103 (65.6%)	147 (93.6%)
	차이 없다	1 (0.6%)	46 (29.3%)	39 (24.8%)	3 (1.9%)
	기존 신호등이 더 밝다	152 (96.8%)	69 (43.9%)	15 (9.6%)	7 (4.5%)
	합 계	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)
색상	LED가 더 진하다	73 (46.5%)	92 (58.6%)	103 (65.6%)	127 (80.9%)
	차이 없다	6 (3.8%)	38 (24.2%)	37 (23.6%)	7 (4.5%)
	기존 신호등이 더 진하다	78 (49.7%)	27 (17.2%)	17 (10.8%)	23 (14.6%)
	합 계	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)
눈부심	LED가 더 심하다	8 (5.1%)	42 (26.8%)	89 (56.7%)	136 (86.6%)
	차이 없다	11 (7.0%)	52 (33.1%)	49 (31.2%)	11 (7.0%)
	기존 신호등이 더 심하다	138 (87.9%)	63 (40.1%)	19 (12.1%)	10 (6.4%)
	합 계	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)	157 (100.0%)

실히 밝다고 느끼는 것으로 나타났다.

측정결과에서, LED와 기존 신호등의 밝기가 같다고 느껴지는 광도 값이 150[cd]와 200[cd]의 사이에서 이 존재함을 알 수 있으며 150[cd]와 200[cd]의 광도에 대해서 LED와 기존 신호등의 밝기가 '차이 없다'라고 느낀 응답자들의 수를 각 대응하는 광도 값과 곱하여 가중평균치를 구하여 보면 173[cd]로써 LED 신호등의 광도가 173[cd] 일 때 기존 신호등의 밝기와 똑같이 느낀다고 판단할 수 있다. 그러나 173 cd는 미국 ITE 규격에서 제안하는 적색 339[cd], 황색 1571[cd], 녹색 678[cd], 유럽의 200~800[cd]에 비해 매우 낮은 수준으로 우리나라의 기존 신호등 밝기가 상대적으로 어두운 것으로 분석되었다.

신호등 색상에 대한 설문에서는 150, 200, 300[cd]의 광도 값에 대하여 58[%] 이상의 응답자가 LED 신호등이 더 진하다(선명하다)라고 느끼고 있는 것으로 나타났다. 대부분의 응답자가 LED 신호등이 더 진하다고 느끼는 것은 LED의 단일 색상 특성에서 기인하는 것으로 판단된다. 하지만 50[cd]에서 기존 신호등이 더 진하다고 응답한 경우도 49.79[%]나 되어 LED 신호등이 더 진하다는 응답자의 비율(46.5

[%])과 비슷하게 나타났는데, 이는 신호등 밝기의 영향이라 하겠다.

신호등 눈부심에 있어서, 50[cd]에서는 기존 신호등이 더 심하다고 나타났으며(87.9[%]) 150cd 부터는 LED 신호등이 더 심하다는 응답자의 비율이 점차적으로 많아지는 것으로 나타났다. 이는 눈부심이 신호등의 밝기와 밀접한 관계가 있으며 광도가 크면 클수록 눈부심의 정도도 커지는 것으로 판단되며, LED 신호등은 기존 신호등과 같은 광도 값에서도 상대적으로 보다 밝은 것으로 나타나기 때문에 야간에 있어서의 눈부심이 중요한 문제가 될 수 있다.

주변환경 변화에 대한 영향의 정도를 주·야간으로 구분하여 분석한 결과 주간과 야간의 응답비율이 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 옥외실험의 한계로서 가로등, 차량의 전조등과 같은 신호등의 밝기와 색상 그리고 눈부심 등에 영향을 미칠 수 있는 요인을 통계하지 않았다는 점에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 주·야간 항목별 응답결과는 다음 표 5와 같다.

표 5. 주·야간 시간대별 실온 응답비율

(단위 : %)

항 목		광 도		50 cd		150 cd		200 cd		300 cd	
		주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
밝 기	LED가 더 밝다	2.7	2.2	28.8	21.7	66.7	63.1	94.6	91.3		
	차이 없다	0.0	2.2	29.7	28.3	26.1	21.7	1.8	2.2		
	기존 신호등이 더 밝다	97.3	95.6	41.5	50.0	7.2	15.2	3.6	6.5		
	합 계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
색 상	LED가 더 진하다	46.8	45.7	55.9	65.2	59.5	80.4	77.5	89.1		
	차이 없다	1.8	8.6	25.2	21.7	29.7	8.7	6.3	0.0		
	기존 신호등이 더 진하다	51.4	45.7	18.9	13.1	10.8	10.9	16.2	10.9		
	합 계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
눈부심	LED가 더 심하다	7.2	0.0	27.9	23.9	57.7	54.3	86.5	87.0		
	차이 없다	8.1	4.3	34.2	30.4	33.3	26.1	7.2	6.5		
	기존 신호등이 더 심하다	84.7	95.7	37.9	45.7	9.0	19.6	6.3	6.5		
	합 계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

5.2 옥외 환경실험

옥외 환경실험은 장기간 국내의 온도변화 특성을 조사하고, 이에따른 LED 신호등 내·외부의 온도분포, 안정성, 온도에 따른 광도변화율, 시간에 따른 광도저하율을 측정하고 분석함으로써 한국형 LED 신호등의 동작 온도기준, 허용 광변화율 등에 대한 기준을 제시하고자 하였다.

실험장치는 PC에 의해 제어, 계측되는 전구식과 LED신호등(적색, 황색, 녹색)의 6개 신호등을 대상으로 통상적인 신호등의 주기와 비슷하게 점·소등되도록 제어하였다. 계측 대상으로는 대기온도 및 전구식 신호등과 LED 신호등의 광원부 온도, 렌즈표면온도, 합내온도, 전원부 온도, 그리고 적색 신호등에 대한 상대광도를 측정하도록 구성하였으며, 이때 측정된 모든 데이터는 1분 간격으로 하드디스크에 저장되도록 하였다. 그림 8은 옥외에 설치된 환경실험 장치이다.

그림 9는 한달 동안의 일별 외부온도와 백열등 및 LED 신호등 평균 내부온도 차와 일별 외부 온도

와 LED 신호등 합 내부의 온도차이로 외부온도와 백열등 내부온도차이는 약 12[°C]였으며, 외부온도와

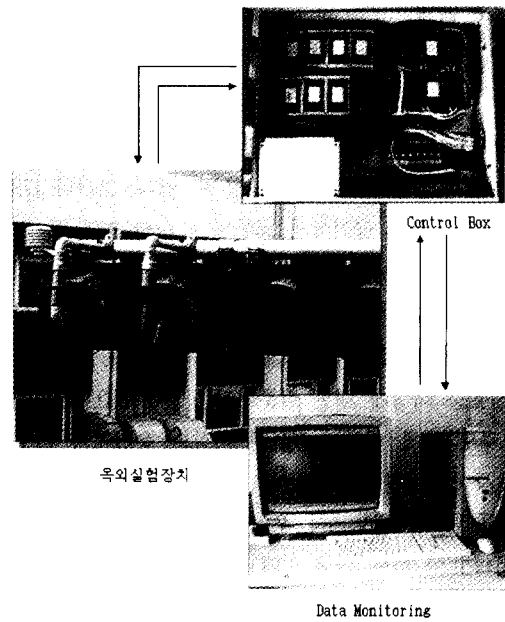


그림 8. LED 신호등 내구성 및 온도적응 실험장치

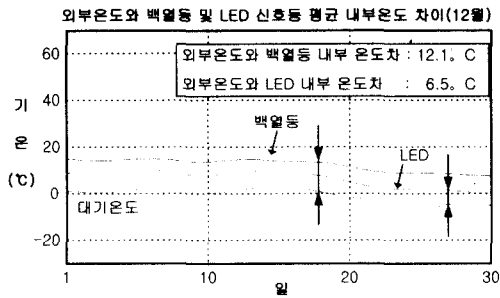


그림 9. 신호등 온도분포 시험

LED 내부의 온도차이는 65[°C]정도로 상대적으로 발열이 작은 것으로 평가되었다. 또한 대기온도와 LED 신호등 내부와의 최대 온도차는 쾌청한 주간 시간대에 19.5[°C]로 우리나라의 최고 온도와 설치위치에 따른 여유온도를 고려하여 최고 동작온도는 70[°C] 정도가 적합한 것으로 분석되었다.

LED와 백열등 신호등의 광도저하율을 비교하기 위하여 40일을 주기로 LED와 백열등의 광도 변화를 측정된 결과 그림 10에서 보는 바와 같이 LED의 경우는 120일 지난 후에도 광도의 변화가 거의 없었지만, 백열등의 경우는 120일 경과 후에 중심광도의 경우는 초기의 177[cd]에서 47[%]가 감소한 94[cd]로

측정되었고, 총광량은 78[lm]에서 22[%]가 감소한 61[lm]으로 측정되었다.

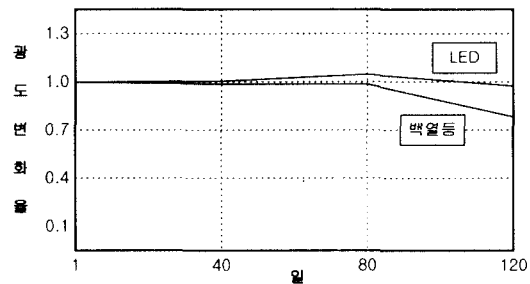


그림 10. 신호등의 광도 변화 특성

5.3 도로현장실험

기존 신호등규격, 외국의 LED 신호등규격과 기초 실험의 결과를 토대로 현장실험을 위한 잠정규격을 제안하였으며, 이러한 잠정규격을 만족하는 적색 차량신호등을 대상으로 서울 및 대전의 도로상에 설치하여 도로구간을 주행하는 운전자에 대해 시인성, 선명성 등에 관한 설문조사를 실시하였다. 또한 LED 교통신호등의 외관 및 고장상태를 조사 분석함으로써

표 6. LED 신호등 현장조사 항목 및 방법

구 분	평가항목	평가내용	평가방법
외관검사	렌즈 • 오염도 • 광도 • 색도	시간의 경과에 따른 오염도, 탈색, 광도(밝기), 색도 등의 점검	항목별로 점검수준을 5단계로 나누어 실험자가 직접 작성
	고장 상태 • 고장부분 및 원인 • 부품 구입 및 교체 의 용이성 • 고장처리시간	실험기간동안 고장발생회수, 고장부문, 고장원인, 고장시 보수 용이성 및 소요시간 등	고장 발생시 각 항목에 대하여 실험자가 직접 작성
설문조사	시인성 • 광도	기존과 LED 신호등에 대하여 운전자가 느끼는 밝기의 정도	교차로에 접근하면서 느끼는 시인성(광도)에 대하여 운전자가 직접 작성
	선명성 • 색도	운전자가 느끼는 색도의 정도	교차로에 접근하면서 느끼는 선명성(색도)에 대하여 운전자가 직접 작성
	눈부심 • 휘도	운전자가 느끼는 눈부심의 정도	교차로에 접근하면서 느끼는 눈부심(휘도)에 대하여 운전자가 직접 작성
	썬팬텀 • 햇빛에 의한 영향	햇빛에 의해 발생하는 신호등화의 착시 현상 정도	교차로에 접근하면서 느끼는 신호등의 썬팬텀 정도를 운전자가 직접 작성

써, LED 차량 교통신호등의 현장 적용성 평가 및 규격서의 주요 항목인 적정 광도기준 산정의 기초자료로 활용토록 하였다.

이때 실험용 신호등은 도로현장에 설치하여 평가한다는 측면에서 최우선적으로 안정성과 기존 전구식 신호등과 색도 및 광도에서 차이가 없도록 실험실적으로 철저한 사전평가를 통해 선정하였다. 설치장소는 도로 조건, 교통량 등을 고려하여 기존 신호등과 상대비교가 용이한 11개 지점(서울 6, 대전 5)을 선정하여 설치하였다. 실험은 기존 신호등 대비 LED 신호등의 고장, 외관상태, 광 출력감소의 외관검사와 시인성, 선명성, 눈부심, 썬팬텀 현상의 설문조사로 구분하였으며, 설문조사는 교통 통신원, 모범 운전자 등 208명의 운전자를 대상으로 조사하였다. 표 6은 도로

현장실험의 평가항목별 평가방법을 제시한 것이다.

조사결과 신호등 밝기에 대해 설문 대상자의 주간 82.7%, 야간 80.8%가 기존 신호등보다 LED 신호등이 더 밝다고 응답하였으며 색상에 있어서도 주간 74.9%, 야간 73.6%가 LED 신호등이 더 진하다고 응답하였다. 이는 단일색광을 발산하는 LED 신호등의 시인성이 기존 신호등보다 훨씬 우수하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 눈부심에 있어서는 주간 59.6%, 야간 53.4%가 눈부심이 없다고 응답하여 기존 신호등보다 밝게 느껴짐으로 인해 발생할 수 있는 LED 신호등의 눈부심이 문제가 되지 않는다고 판단할 수 있다. 썬팬텀 현상에 대한 설문에서는 설문응답자의 77.1%가 썬팬텀 현상이 없다고 응답함으로써 기존 신호등의 문제점인 썬팬텀 현상이 LED 신호등

표 7. 도로현장실험 설문조사 결과

(단위 : 명(%))

구 분		주 간			야 간		
		서울	대전	계	서울	대전	계
밝기	밝음	101 (77.7)	71 (91.0)	172 (82.7)	94 (72.3)	74 (94.9)	168 (80.8)
	같음	21 (16.2)	6 (7.7)	27 (13.0)	20 (15.4)	3 (3.8)	23 (11.1)
	어두움	5 (3.8)	1 (1.3)	6 (2.9)	2 (1.5)	0 (0.0)	2 (1.0)
	무응답	3 (2.3)	0 (0.0)	3 (1.4)	14 (10.8)	1 (1.3)	15 (7.2)
	계	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)
색상	진함	85 (65.4)	71 (90.8)	156 (74.9)	80 (61.5)	73 (93.6)	153 (73.6)
	같음	24 (18.5)	7 (9.0)	31 (14.9)	26 (20.0)	4 (5.1)	30 (14.4)
	연함	15 (11.5)	0 (0.0)	15 (7.2)	6 (4.6)	0 (0.0)	6 (2.9)
	무응답	6 (4.6)	0 (0.0)	6 (3.0)	18 (13.8)	1 (1.3)	19 (9.1)
	계	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)
눈부심	심함	15 (11.5)	6 (7.7)	21 (10.1)	10 (7.7)	14 (17.9)	24 (11.5)
	같음	41 (31.5)	11 (14.1)	52 (25.0)	38 (29.2)	11 (14.1)	49 (23.6)
	없음	66 (50.8)	58 (74.4)	124 (59.6)	60 (46.2)	51 (65.4)	111 (53.4)
	무응답	8 (6.2)	3 (3.8)	11 (5.3)	22 (16.9)	2 (2.6)	24 (11.5)
	계	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)
썬팬텀	심함	2 (1.4)	0 (0.0)	2 (0.9)	-	-	-
	같음	23 (17.3)	6 (7.7)	29 (13.7)	-	-	-
	없음	92 (71.1)	68 (87.2)	160 (77.1)	-	-	-
	무응답	13 (10.2)	4 (5.1)	17 (8.3)	-	-	-
	계	130 (100.0)	78 (100.0)	208 (100.0)	-	-	-

주) 썬팬텀은 주간에만 발생함

에서는 나타나지 않는 것으로 조사되었는데, LED 신호등에 기존 신호등의 부속장치인 반사경이 없기 때문으로 판단된다. 현장실험결과, 신호등의 밝기, 색상, 눈부심, 썬팬텀 등 모든 항목에서 LED 신호등이 기존 신호등에 비해 보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 표 7은 도로현장실험 설문조사 결과이다.

6. 한국형 LED 신호등 규격 개발

앞서 언급된 외국의 LED 신호등 규격 및 각종 실험을 통해 얻은 결과를 기준으로 한국형 “LED 교통신호등 규격(안)”을 제안하였다. 규격에는 LED 신호등의 요건, 광학적 성능 기준, 형상 및 재료, 제시된 성능의 적합성 여부를 판단하는 시험기준, 방법, 절차와 품질 보증 및 명판내용 등을 포함하고 있다. 규격서의 상세한 내용은 인터넷 웹사이트 “<http://elrc.kier.re.kr/>”의 “LED(Light Emitting Diode) 교통신호등 규격서(안)”에서 Download 할 수 있으며, 여기서는 규격제안의 기본원칙 및 주요 특징을 요약하기로 한다.

6.1 규격제안의 기본원칙

○ 대체성

LED 교통신호등은 기존 신호등의 대체용으로 제작되어 설치하여야 함으로 기존 신호등의 외함(Housing), 지주(Traffic signal post), 제어기(Local controller) 등의 형태 변형이나 변경 없이 광학장치부분(반사경, 렌즈)의 변경으로 기존 신호등이 갖고 있는 기능이상을 발휘할 수 있도록 대체성을 고려한다.

○ 안정성

새로운 기술과 재료를 사용한 제품이 현장에 설치되어 운영되기 위해서는 제품의 안정성이 중요하다. 특히, 교통신호등의 경우 등화표시에 의하여 차량의 진행방향을 지시하기 때문에 교통사고 등 교통안전을 최우선적으로 고려해야 한다. 도로현장에 설치된 LED

교통신호등의 고장 등으로 인하여 신호등화를 제대로 구현하지 못하는 경우 교통사고를 유발하는 문제점이 발생할 수 있다. LED 교통신호등 제품의 안정성을 확보할 수 있도록 실험항목, 실험기준 값, 실험방법, 실험 후 인증절차 등에 관한 내용을 규정한다.

○ 최대기능 활용성 제고

LED 교통신호등은 기존 신호등에 비하여 에너지 소모, 유지보수 측면 등에서 상당히 효과적이기 때문에 이를 최대한 구현할 수 있도록 규정한다. LED의 전기·전자적 특성, 빛의 밝기(광도, Candela), 색도(Chromaticity)가 최대한 구현될 수 있도록 기준값을 제안한다.

○ 현기술 수준 적합성 고려

LED 교통신호등은 향후 도로현장에 설치, 운영할 것을 전제로 하여 외국의 LED 교통신호등 규격을 검토한 후 국내 규격제정작업을 추진한다. 규격제정의 기본방안으로는 현재 국내의 LED 제조기술, 회로 설계 수준, 전기·전자기술, 광학장치제작기술 등의 국내수준을 고려한다.

○ 실용성 극대화

LED 교통신호등 규격(안)에 의하여 제작된 교통신호등은 설치 후 반영구적이어야 하며 특히 광도, 색도 등이 보증기간동안 적정 수준이 유지되어야 한다. 이를 위해 유지보수항목, 보증기간 등을 규정함으로써 LED 교통신호등 제품의 실용성 등을 강조한다.

○ 환경친화성

전기전자 제품은 자체발열에 의해 대기 중의 오염된 먼지를 태워 분진을 유발하게 하므로 주위의 온도상승이 있는 경우에도 온도상승폭 만큼 발열되지 않게 규격(안)에는 온도에 따른 LED의 정상작동 여부를 시험할 수 있는 실험방법 등을 규정한다. 그리고 LED 자체가 일종의 전자반도체이므로 유해성 전

자과 방출을 최소화하기 위한 전자파 방출 규제항목 및 실험방법을 규정함으로써 LED 교통신호등이 환경 친화적인 제품이 되도록 한다.

6.2 주요 특징

기존의 전구식 신호등과 외국의 LED 신호등 규격과 비교한 한국형 “LED 교통신호등 규격서(안)”의 특징을 요약하면 다음과 같다.

(1) 색별 광도기준은 백열전구와 LED 광원의 발광특성의 차이 및 국내외 LED 기술수준을 고려하여 유럽, 일본에서 채택하고 있는 삼색 동일광도로 제안하였다.

(2) 중심축 광도는 미국 ITE의 적색신호등 규격과 기초 실험 결과를 분석하여 현재의 우리나라의 녹색 신호등 규격과 유사한 340[cd]로 제안하였다.(300[mm] 신호등)

(3) 신호등 렌즈는 원칙적으로 무색 투명렌즈를 기준으로 하였으며, 필요에 따라 착색렌즈의 사용이 가능하도록 하였다.

(4) 기호 및 문자가 있는 신호등의 렌즈는 기호, 문자 이외의 부분은 흑색표지를 부착하여 점등과 소등시 색상대비를 증가시킬 수 있도록 하였다.

(5) 신호등 모듈은 주위 온도 $-30[^\circ\text{C}] \sim 70[^\circ\text{C}]$ 에서 정상 작동하여야 하며, $25[^\circ\text{C}]$ 에서의 광도 대비 $\pm 20[\%]$ 이하의 광도변화를 허용하였다.

(6) 신호등은 정격전압(110[V]/220[V])에서 100[Hz] 미만의 깜박거림을 방지해야 하며, 허용전압(110[V] 정격의 경우 88[V]~121[V], 220[V] 정격의 경우 176[V]~242[V])에서 이상 없이 동작하여야 한다.

(7) 신호등의 광 출력을 구현하는 개별 광원소자 중 하나 혹은 그 이상의 돌발적인 고장이 발생할 경우에도 전체 신호등 광 출력의 감소율이 20[%]를 초과하지 않는 배선구조로 연결하여야 한다.

(8) 신호등은 정격전압과 $25[^\circ\text{C}]$ 온도에서 점등될 때 소비전력 20[W]이하, 역률 0.9이상, 총 고조파 함

유율 40[%] 이하로 동작하여야 한다.

(9) LED 모듈에 정격 입력 전압을 5초 점등, 5초 소등의 주기로 50,000회 반복 수행하여 시험 후 LED 모듈의 동작 상태에 이상이 없어야 한다.

(10) 신호등의 보증기간은 설치 일로부터 36개월로 한다.

(11) 신호등 설치 후 성능유지 및 관리를 위해 주요성능을 명판으로 부착한다.

7. 맺음말

LED 신호등은 앞서 설명한 대폭적인 에너지절약 및 교통환경 개선 등의 장점으로 선진국을 중심으로 확대 보급되고 있는 추세이다. 그러나 안전을 최우선하는 신호등의 특성상 LED 신호등에 대한 제도적인 규격이 없는 우리나라의 경우 현실적으로 보급이 불가능한 실정이다.

본 연구의 목적은 외국의 LED 신호등 기술동향 및 우리나라의 기존 신호등 규격과 외국의 LED 신호등 규격을 분석하고, 국내 환경특성을 고려한 다각적인 시제품의 제작 및 실험을 통해 한국형 LED 신호등 규격을 제안하고 제도화함으로써 LED 신호등의 국내 보급기반을 구축하는 것이다. 현재 제안된 규격에 적합한 신호등을 제작하여 서울 및 대전의 도로현장에 시험운전 중에 있으며(그림 3), 조만간 제도화되어 국내 보급이 가능하리라 판단된다.

반도체기술인 LED는 하루가 다르게 기술진전을 이루고 있으며, 이로 인해 가까운 미래에 현재의 신호등 규격이 현실에 적합하지 않을 수도 있다. 이에 따라 미국의 경우 에너지 관련 부처, 산업체, 연구기관 등이 공동 참여하는 “LED Focus Group”을 결성하여 주기적으로 규격을 재검토, 보완하고 있다. 우리나라도 고성능 신소재의 등장과 점광원으로 구성되는 LED 신호등의 장점을 최대한 활용하는 방향으로 지속적인 연구개발이 절실히 필요하다고 판단된다. 머지않아 대폭적인 에너지절약과 보다 쾌적한 교통환

경이 이루어지는 사회가 현실로 다가오기를 기원하면서 이 글을 마치기로 한다.

참 고 문 헌

[1] 한국에너지기술연구원, LED 신호등 개발 및 보급 타당성 연구보고서, 1998.
 [2] 한국에너지기술연구원, 도로교통안전관리공단, "LED 교통신호등 규격서(안)", LED 교통신호등 설명회 자료, 2001. 6.
 [3] 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996.
 [4] 정봉만, "高效率 LED信號燈 시제품 개발", 에너지절약기술 원샷 논문집, 1997.
 [5] 정봉만, 정학근, "에너지절약형 LED 교통신호등 보급을 위한 국내 옥외 환경시험 및 평가", 대한전기학회 논문집, 2000. 7.
 [6] 정봉만 외, "에너지절약형 LED 교통신호등 규격화 연구", 대한전기학회 논문집, 2001. 4.
 [7] John O'Connell, "The Philadelphia Story: Five Years of LED Traffic Signal Development", Traffic Technology International, 1997. 8.
 [8] Institute of Transportation Engineers, Interim LED Purchase Specification, 1998.
 [9] European Committee for Standardization, Traffic Control Equipment - Signal Head, EN12368, 2000.
 [10] CIE Technical Report, A Guide for the Design of Road Traffic Lights, 1988.
 [11] Newsletter of the International Energy Agency, DSM Spotlight-Forming New Buyer Group for LED Traffic Lights, 1998.

[12] P.R. Boyce, "Luminous Intensity for Traffic Signals: A Scientific Basis for Performance Specifications", Lighting Research Center, 1999. 11.
 [13] John Bullough, "Optimizing the Design and Use of LED for Visually Critical Applications-Comparison of Traffic Signal Requirements", Lighting Research Center, 1998.
 [14] Lars Jonsson, "Stockholm Traffic Signal Systems", International Workshop on LED Traffic Signals, Stockholm, Sweden, 1999.
 [15] Marc Hoffman, "Market Status of LED Traffic Signals in the USA", International Workshop on LED Traffic Signals, Stockholm, Sweden, 1999.
 [16] Andrew Bieman, "LEDS: From Indicators to Illumination", Lighting Research Center, 1998.

◆ 著 者 紹 介 ◆



정 봉 만(鄭鳳晩)
 1954년 12월 6일생. 1980년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1984년 충남대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업. 1990년 충남대학교 대학원 전자공학과 박사 졸업. 1980년. 현재 한국에너지기술연구원 전기·조명기술연구센터 책임연구원. 1998-1999년 고효율조명시스템 연구회장. 주요관심분야: 환경친화적 고효율 조명기술, 전력부하관리기술.