

LED 교통신호등 국내보급 타당성 분석

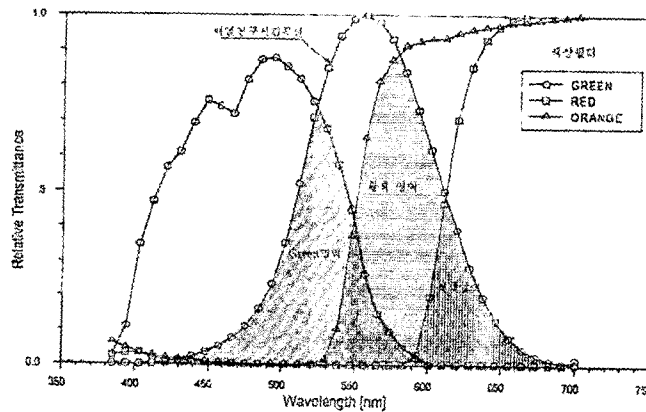
정봉만, 정학근, 유승원
한국에너지기술연구원, 전기·조명기술연구센터

A Feasibility Study on LED Traffic Signal Lamps

Bong-Man Jung, Hak-Geun Jeong, Seung-Weon Yu
Electrics & Lighting Research Center, Korea Institute of Energy Research

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 1]은 신호등용 광원으로 많이 사용되는 230V/100W/840lm/정격수명 4000시간인 백열전구의 시감곡선과 착색렌즈에 의한 빛의 투과영역이다. 전구의 가시광 기준 발광효율 8.4lm/W, 적색기준 발광효율 0.84lm/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, 뎀텀효과에 의한 나쁜 시감특성 등 비효율적인 광원이라 할 수 있다.



[그림 1] 백열전구 시감곡선과 착색렌즈 투과 특성

수 백개의 고휘도 LED와 구동회로로 구성되는 LED 교통신호등은 발열에 의한 열 손실이 거의 없고, 특정 파장대의 단색 광을 발광하여 착색렌즈 사용에 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 패격하고 안정된 미래 지향적 자동차 문화 생활을 구가할 수 있을 것으로 기대되어, 북미,

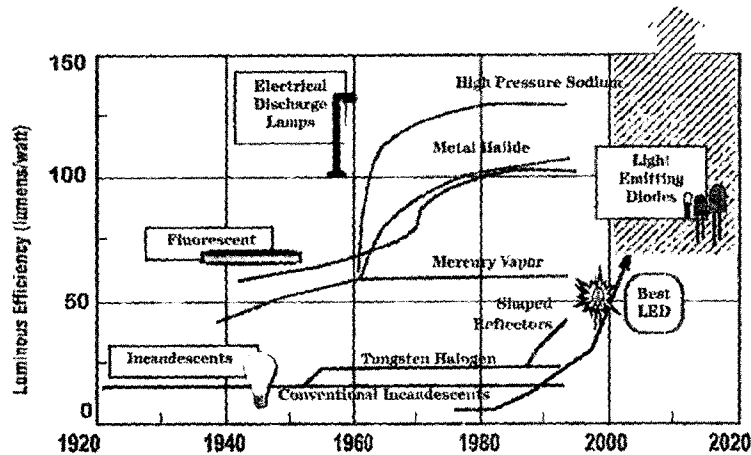
유럽의 거의 모든 나라와 아시아 일부 국가를 중심으로 에너지관련 부처의 정책적인 지원 아래 시범보급 및 확대보급을 추진하고 있다.

교통신호등은 각 나라마다 구조, 크기, 모양이 서로 다르며, 특성상 국민의 안전과 직결된 사안으로 각 나라별로 엄격한 규격으로 제한하고 있다. 그러나 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 도로교통안전관리공단에서는 한국형 LED신호등 규격을 개발하여 제도화를 추진하고 있으며, 조만간 우리나라에서도 LED 신호등이 보급되리라 기대된다.

2. LED 교통신호등의 특징

LED 광원을 교통신호등에 적용할 경우 장점은 크게 3가지로 요약된다. 첫째 동일 광도에서 80% ~ 95%정도의 절전으로 대폭적인 에너지절약과 전기요금 절감이 가능하며, 둘째 10배 이상의 긴 수명으로 유지보수비용 절감과 원활한 교통흐름을 유도, 셋째 시인성 향상에 따른 교통사고 감소가 기대된다는 것이다. 현재 유일한 단점으로는 지목되는 초기비용도 지속적인 고취도 저가의 LED 기술개발로 경제성이 향상되어 미국, 유럽, 아시아 일부 국가에서 보급이 일반화되고 있다.

[그림 2]는 LED 기술개발 추이를, <표 1>은 기존 전구식 신호등과 LED 신호등의 장점과 단점을 전기·광학적 특성, 기술적 안정성 그리고 규격적합성 측면에서 비교한 것이다.



[그림 2] LED 기술개발 추이

<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 자체 적으로 색을 발하는 단일광
시인성	• 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 (100W 백열등)	• 80%이상 절감 (10~15W)
내구성	• 연속점등 시 4000시간 • 발열에 의한 렌즈표면 분진부착 • 빠른 광도저하 및 불균일 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
규격 적합여부 (교통안전시설 실무편람)	• 현행 기준 (광도, 휘도, 색도)에 합격한 제품 사용	• 기존 규격 직접적용 불가 • 색도는 기준에 적합하나 광도, 휘도에 대한 시험방법, 규격 개발 중
기술적 안정성 여부	• 지속적 개발 및 설치로 기술적 안정성 부여됨	• 장기현장시험에 의한 안전성 입증

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 125W 전구를 사용하는 300mm 신호등에서 90W, 화살표 신호등에서 100W의 절전으로 시에 설치된 28,000개의 적색신호등을 LED로 교체하면 순시전력 1 MW, 연간 7.4GWH(\$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 공공기술업적상(PTI)을 수상하였으며, 이는 LED 신호등에 대한 세계적인 관심을 유발하는 원동력이 되었다. 끝이어서 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 적색 신호등 위주로 보급을 추진하고 있다. 현재 적색 LED신호등 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 교체계획을 수립하여 추진중이다.

3.2 유럽

'90년대 중반부터 대부분의 나라에서 LED신호등 시범사업에 참여하고 있으며, 특히 1998년 세계에너지기구(IEA)는 LED신호등을 전력수요관리(DSM)의 5대 시범사업의 하나로 선정하여 스웨덴의 스톡홀름시를 대상으로 시 전역의 모든 신호등을 LED로 교체하는 국제적인 실증 시범사업을 추진하고 있다. 스톡홀름시에서 연간 사용하는 신호등용 전력 4.8GWH를 0.6GWH로 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 도시에서도 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 고찌 등 도시에도 설치함으로써 일본내 전국적으로 약 500여 개의 LED 신호등이 설치, 운영 중이다. 운영결과 교통안전 측면에서 교통사고 발생건수는 약 25%정도 감소하였고, 주간과 야간 교통사고발생건수는 각각 17.6%, 38.1% 감소했다고 보고하였다. 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 kWh의 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 도로현장시험과정을 거쳐 한국형 LED신호등 규격(안) 및 표준시스템을 개발하여 현재 서울과 대전의 시험운전 중에 있

으며, 제도화 과정을 거쳐 조만간 국내에서도 본격적인 보급이 추진될 것으로 예상된다. [그림 3]은 대전에 설치된 LED 차량신호등(오른쪽) 및 보행신호등으로, 소비전력은 차량용 10~15W, 보행자용 9~12W 수준이며, 시인성이 매우 양호한 것으로 조사되고 있다.



[그림 3] 시험설치 운전 현장(2001, 대전)

4. LED 교통신호등 보급효과 분석

국내의 전력생산 및 공급 상황은 2000년 기준으로 총설비용량 44,427[MW], 공급능력 43,418[MW], 최대전력 37,293[MW], 설비 예비율 19.1[%], 공급 예비율 16.4[%], 부하율 73.3% 그리고 이용률 57.3%으로 총발전량은 239,325[GWH]으로 95.9%를 수입에 의존하고 있다. 국내의 전력 판매를 전담하고 있는 한전에서 집계한 판매수입은 전등 38,034억원(가격 대비 25%), 동력 115,314억원(가격대비 75%)으로 총 153,348억원을 기록하고 있다.

국내 신호등의 설치 운영을 전담하고 있는 경찰청에서는 차량등 161,181면(면당 4등 기준으로 환산하면 644,724등), 보행등 69,655면(면당 2등 기준으로 환산하면 139,310등) 그리고 기타(보조등, 경보등) 49,244면(면당 2등 기준으로 환산하면 98,488등)으로 총 280,080면, 882,522등(평균 3.15 등/면)으로 집계하고 있다.

LED 교통신호등의 경제성 분석을 위해서는 신호등 교체비용, 발전소 증설억제효과, 년간 전기료 절감액, 유지보수료 절감액, CO₂ 저감효과 및 교통환경 개선 및 사고 저감효과를 수치적으로 환산하여 아래 식과 같이 계산한다.

신호등 교체비용 - 발전소 증설비용
년간 (전기료 절감액 + 유지보수료 절감액 + CO₂ 처리비용 + 교통관련 저감비용)

먼저, 신호등의 전기사용량은 면당 1개의 신호가 점등된다는 조건하에 신호등의 순간 소비전력은 28,008kW(280,080면 × 0.1kW), 연간 소비전력은 245.4GWH(28,008kW × 24H × 365 Days/Year)으로 국가 총 전력의 0.1%, 조명용 전력의 0.4% 사용하는 것으로 계산된다. 따라서 신호등의 소비전력을 한국전력에서 제시하고 있는 요금제를 기준으로 연간 전기요금으로 환산하면 248억/년(885,522 등 × 100W/등 × 23.30원/W·월(정액 가로등 요금) × 12월/년, 101원/kWH)이고 경찰청에서는 신호등의 유지보수료를 위해 475억/년을 사용하고 있다.

그리고 LED 신호등 대체 시 총 비용은 색에 따라 가격차이가 있으나 평균적으로 1 등당 30만원을 기준으로 환산하면 총 2,657억원이 필요하고, LED 신호등 대체시 년 절감액은 전기요금 198억원/년(248억원 × 0.8), 유지보수비용 356억원/년(475억원 × 0.75), 발전설비 증설효과(원자력 발전소 \$20억/100만kW 기준)는 728 억원(28,008kW × \$2,000,000,000 × 1300원/\$ /1,000,000kW) 년 CO₂ 저감효과(석탄화력 500MW발전소기준, 830g/kWH)는 162,946 Ton/년(245.4GWH/년 × 0.8 × 830ton/GWH), 년 CO₂ 처리비용(CO₂ 1Ton 당 \$200기준, \$100~\$300)은 424 억원/년(162,946 Ton/년 × \$200/Ton × 1300원 / \$)이다. 년 교통환경 개선 및 사고 저감효과는 χ 억원/년으로 하여 경제성을 계산하면 약 2년으로 계산되었다. 여기서 교통관련 저감비용의 산출이 현실적으로 불가능하므로 $\chi = 0$ 이라 가정하였다.

4. 결론

LED 신호등은 앞서 설명한 대폭적인 에너지절약 및 교통환경 개선 등의 장점으로 선진국을 중심으로 확대 보급되고 있는 추세이다. 반도체기술인 LED는 하루가 다르게 기술진전을 이루고 있으며, 이로 인해 가까운 미래에 현재의 신호등 규격이 현실에 적합하지 않을 수도 있다. 따라서 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.

참고문헌

- [1] 한국에너지기술연구원, LED 신호등 개발 및 보급 타당성 연구보고서, 1998.
- [2] 한국에너지기술연구원, 도로교통안전관리공단, "LED 교통신호등 규격서(안)", LED교통 신호등 설명회 자료, 2001. 6.
- [3] 경찰청, 교통안전시설실무편람, 1996.
- [4] 정봉만, "高效率 LED信號燈 시제품 개발", 에너지절약기술 워킹 논문집, 1997.
- [5] 정봉만, 정학근, "에너지절약형 LED 교통신호등 보급을 위한 국내 옥외 환경 시험 및 평가", 대한전기학회 논문집, 2000. 7.
- [6] 정봉만, "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.