

기존신호등과 LED 신호등 현장평가 비교 분석

A Comparison Between Existing Lamp and LED Pedestrian Signals By Field Study

배광수

장덕명

이병철

(도로교통안전협회 연구원)

(도로교통안전협회 연구위원)

(도로교통안전협회 선임연구원)

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구내용 및 방법

II. 국내·외 기술현황분석

1. 국내 기술수준
2. 외국 기술수준

III. 현장평가실험

1. 조사항목
2. 평가실험분석
3. 문제점 및 대책방안

IV. LED 신호등 경제성 분석

V. 결론 및 건의

※ 참고문헌

ABSTRACT

현재 설치되어 있는 교통신호기의 차량등과 보행자등은 전력소모와 유지관리 측면에서 매년 많은 비용을 지불하고 있는데 서울시의 경우 '97년 1년동안 전기요금 15억원, 유지관리비용 70억원을 지불하고 있는 실정이다. 따라서 에너지 절약 및 유지보수비용 절감을 위한 방안중의 하나로써 LED 교통신호등에 대한 산·학·연의 관심이 고조되고 있다.

그러나 국내에서는 LED신호등에 대한 현장평가실험 및 규격서 제정작업 전혀 이루어지지 않은 상황으로 LED신호등의 기술개발 및 상용화에 대비한 평가실험 및 기준정립이 요구된다.

본 연구는 한국에너지기술연구소에서 개발한 LED 보행자 신호등을 대상으로 보행자의 인지반응 시간, 전력소모량, 시인성, 판독성 등에 대한 현장조사를 실시하여 안정성 및 적용성을 평가하였으며, 경제성분석을 통해 보급타당성을 제시하였다. 본 연구결과는 향후 제정될 LED 교통신호등 규격작업의 기초 자료로 활용되며, LED 신호등의 현장적용시 기술적 안정성을 추구하는데 일조를 할 것으로 판단된다.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

LED (Light Emitting Diode)란 전자(electron)의 에너지차에 의해 빛이 발광되는 원리를 이용한 일종의 반도체로써 “발광다이오드” 또는 영어의 머리글자를 모아서 “LED”로 생략해서 쓰고 있다. LED는 적은 전압이나 전력으로 구동이 가능하여 전기에너지 절감효과가 크며 제품이 전자소자에 의해서 만들어지기 때문에 기존의 전구에 비해 수명이 길어 정상적으로 적용시 반영구적으로 사용이 가능하다. 또한 대량생산도 가능해 가격경쟁면에서도 우월성을 확보할 수 있다. 기존 전구식 신호등과 LED 신호등에 관한 이론적 비교분석결과는 다음 <표 1> 과 같다.

<표 1> 기존신호등과 LED 신호등의 이론적 비교

구분	기존전구식 신호등	LED 신호등
태양광에 의한 시인성 장애	태양의 역광에 의해 등화의 구분이 불분명함	등화된 등의 색상 구분이 확실함
내구 수명	연속점등시 4000시간	반영구적
유지 비용	과다	기존신호등에 비해 95%이상 절감
전력 소모	많음 (보행자60W, 차량등110W)	기존신호등에 비해 85%이상 절감 (차량등, 보행자등 평균15W 사용)
환경측면	전구에 의해 강한 전력소모가 발생하므로 먼지 등의 분진이 열에 의해 타게 되어 공기오염	자체 발열이 적으므로 환경친화적임
외부 전압변화	대처능력이 약함 (잘은 고장의 원인)	대처능력이 강함 (230volt에서 89volt로 강하되어도 정상작동됨)
설치 비용	적음	기존신호등에 비해 평균 3~4배 많음
외부열	강함	전자소자이므로 열에 약함

국내의 경우 산업체·학계·연구소 등에서 LED 교통신호등에 연구개발 추진중에 있으나 제품검증을 위한 검사기준 및 방법, 크기 등에 관한 규격서가 전무한 실정으로 향후 산업체 등에서 개발될 LED 교통신호등 제품에 대한 안정성과 신뢰성 등을 평가할 방법이나 기준이 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 기존 전구식 신호등에 비하여 전력소모, 유지보수 측면에서 효과가 크다고 판단되는 LED신호등에 대한 현장평가실험을 통해 제품의 안정성과 신뢰성을 검토하고 향후 LED 신호등의 상용화에 대비하여 규격서 제정에 필요한 기초연구자료를 획득하는 것을 주목적으로 한다.

2. 연구내용 및 방법

LED 신호등은 태양 등 외부 광선에 의해서도 역광에 의한 시인성 장애가 발생하지 않는 특성이 장점중의 하나이다. 그러므로 실험지점 선정시 태양광선에 의해 신호등면이 난반사 (Sun Phantom)될 수 있는 지점, 즉 동서 방향의 보행자 횡단보도를 선택하여 한국 에너지기술연구소에서 개발한 보행자 신호등을 설치하여 현장평가실험을 실시하였다. LED 신호등 설치장소 및 평가범위는 다음과 같다.

- 실험장소 - 전구식신호등과 병행설치장소: 대전광역시 신성동 대덕대 앞 횡단보도
- 방향별 단독설치장소: 대전광역시 궁동 충남대앞 횡단보도

○ 실험평가범위

한국에너지 기술연구소에서 개발한 보행자 LED 신호등으로 한정하며 보행자설문 조사 및 출발인지반응시간 조사에 의해 시인성, 판독성, 난반사여부를 평가함

본 연구는 LED 교통신호등의 안정성과 적용성평가를 위한 현장실험으로 기온, 기후의 변화에 따른 LED신호등의 고장상태, 광도의 변화, 보행자의 시인성과 판독성을 점검하기 위해 계절별, 주야간별로 LED신호등을 점검하였다. 또한 LED 신호등의 에너지 절감효과 검토를 위해 전구식 신호등과 LED 신호등에 각각 전력량계를 설치하고 전력소모량을 점검하여 에너지 절감효과를 고찰하였다. 이상에서 언급된 LED 신호등 현장평가실험방안을 정리하면 다음과 같다.

가. 보행자 설문조사

- 시인성: 전구식 신호등에 대한 LED 보행자 신호등의 시인효과 비교분석
- 판독성: 전구식 신호등과 LED 신호등의 보행자 판독성 점검
- 외관상태: 기계적 고장 유무 및 희수, 렌즈탈색, 오염정도 등 파악
- 광도: 계절별, 기온별 신호등 광도 점검

나. 횡단보행자 출발인지반응시간 조사

- 출발인지반응: 전구식신호등과 LED신호등 운영시 보행자의 횡단특성 및 인지반응시간 분석

마지막으로 전구식 신호등에 대한 LED 신호등 경제성평가를 위해 설치비용, 전력소모 및 유지보수측면에 대한 비용-편익분석을 실시하여 LED 신호등 설치와 보급확대의 타당성을 제시하였다.

II. 국내·외 기술현황분석

1. 국내 기술수준

현재 LED 신호등에 국내 기술개발은 미약한 편이며 대부분 외국 제품 개발회사의 수입대리점 형태로 운영되는 수준이다. 현재 국내 일부업체에서 신호등에 사용되는 LED소자에 대해 시제품 개발수준의 기술력을 확보하고 있는것으로 평가되며 현재 지속적인 연구개발이 이루어지고 있어 국산화의 전망은 밝은 편이다. 하지만 시제품 개발에 따른 평가실험은 전혀 진행되지 않은 상태로 최근에 대전광역시와 한국에너지기술연구소가 개발한 보행자신호등에 대하여 대전광역시 2개소에 시범적으로 설치한후 보행자의 시인성, 인식정도, 횡단행태 분석 등을 실험중에 있으며 이것이 국내 LED신호등에 관한 최초 현장실험이라고 할 수 있다. 하지만 LED 신호등 제품평가와 기술개발의 지침서가 될 국내 규격서는 현재로서는 전무한 실정이다.

2. 외국 기술수준

외국의 경우 LED신호등 개발에 따른 현장실험과 병행하여 규격서 제정작업을 수행중에 있으며 특히 미국 교통공학회 (ITE: Institute of Transportation Engineers)에서는 LED 신호등에 관한 잠정규격(안)을 마련하였다. 현재 미국, 유럽 등에서는 LED 신호등을 시험설치하여 직접 운영 및 분석을 하고 있으며 역시 LED 신호등의 규격화작업을 진행중에 있다. 유럽, 미국, 캐나다 등 외 기술현황내용을 살펴보면 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 외국 기술현황분석

국가명	실험내용	실험결과	비고	
유럽	스웨덴 (스톡홀름)	차량등 (녹색,적색)실험	○유지보수 및 전력소모 측면에서 85% 비용절약 ○내구연한 10년으로 추정	○기존 차량등중 녹색등의 경우 70w (미국,한국150w)를 사용하나 LED의 경우10W 사용
	영국 (런던)	차량등 (녹색,적색)실험	○조사보행자및 운전자의 8%, 2%만이 각각 녹색등과 적색등에 대하여 시인이 어렵다고 응답함 ○자본회수기간은 2년으로 판단함	
	기타 유럽국가	차량등 (녹색,적색)실험		○오스트리아 (비엔나) ○독일 (뮌헨,스튜가르트,뉴렘버그) ○스페인 (바르셀로나) ○스위스 (쥬리히) ○핀란드 (헬싱키)
미국	펜실베니아주 (필라델피아)	6개의 시제품을 제작하여 시내 28개 교차로에 설치 운용중이며 실내실험도 병행	○운전자들은 색도,광도에 대한 차이를 인식하지 못함 ○전자기술회사와 함께 규격서 제정 작업 진행중 ○실내실험 (온도74℃,습도70%) 결과 색도 등이 불변함	LED 잠정규격안 확정 (ITE)
	캘리포니아주 오레곤주	적색신호등실험	○ 94% 전력량 절약	
	미네소타주 뉴저지주	적색점멸등실험	○적색 점멸등 정상적으로 작동 ○에너지 절감효과는 교차로당 63만원으로 추정 ○내구연한 6~10년으로 판단	
캐나다	Ecolux사	LED신호등 구동을 위한 전압변환장치 개발·운용	○전압 변환장치 발생손실줄임 ○제품 생산체제 가동중	기존 전구식신호등은 교류전압으로 구동하나 LED 신호등은 직류 전압으로 구동함

III. 현장평가실험

1. 조사항목

현행 교통안전시설실무편람¹⁾ 내용 중 교통신호등에 관한 규정은 기존의 전구식 신호등에 대한 전기광학적 검사방법, 기준값 등을 규정하고 있을 뿐이며 LED 신호등에 대해서는 규정화된 것은 전혀 없다. 그러므로 현 상황하에서는 LED 신호등에 대하여 전기광학적 검사 뿐만아니라 내구성검사등을 수행할 수 없어 실험평가항목에서 제외되었다. 따라서 본 연구에서는 한국에너지기술연구소에서 개발한 LED 보행자 신호등 시제품을 '98년 5월 대전시내 횡단보도 2개 지점에 설치하여 횡단보도를 이용하는 보행자를 대상으로 면접조사, 전력소비량 및 출발인지만응시간 조사를 실시한 후 전구식신호등과 LED 신호등과의 비교·평가를 수행하였다. 현장평가실험은 본조사가 2차에 걸쳐 실시되었다. 1차실험은 '98. 7. 1 ~ 7. 3 (3일간), 2차실험은 '98. 9. 15 - 9. 17 (3일간) 일에 실시되었으며 설문조사, 외관조사, 인지반응시간조사등 각 3부분으로 나뉘어진다. 또한 조사기간중 도로교통안전협회 충남지부의 협조로 2주간격으로 보완조사를 실시하였다. LED 신호등중 녹색등에 사용된 LED 소자는 외국업체 (휴렛팩커드)에서 개발된 제품을 사용하였으며, 적색등 LED소자는 국내업체에 의해 자체 개발된 시제품을 사용하여 제작되었다.

1) 1996년 경찰청에서 제정하고 도로교통안전협회에서 편찬함.

<표 3> LED 보행자신호등 현장실험 평가항목 및 평가방법

검사항목	평가항목	평가내용	평가방법	
외관 검사	렌즈	○오염도, 탈색 ○광도 및 색도	설치기간의 경과에 따른 오염도, 탈색, 광도, 색도(색의 바램) 등	점검수준을 평가자가 느끼는 5단계 ^{주)} 로 구분함
	에너지 절약	○전력소모량 (Kw/H)	전력계 부착에 따른 기존신호등과 LED신호등의 전력소모 측정	부착된 전력계에 의해 1일 전력사용량 점검
	고장 유무	○고장원인 ○부품 구입 및 교체의 용이성 ○고장처리 시간	기존신호등과 LED 신호등의 고장 원인 및 고장 부분 진단, 고장 발생 횟수, 부품교체, 고장처리 시간	고장발생시 각 항목에 대하여 기록함
설문 조사	시인성	○광도	기존신호등과 LED 신호등에 대하여 보행자가 느끼는 밝기 정도의 차이	보행자신호등 대기위치로부터 연석, 5, 10(m) 떨어진 지점에서 보행자가 느끼는 광도측정
	판독성	○색도	기존신호등과 LED 신호등에 대하여 보행자가 느끼는 색도 정도의 차이	보행자신호등 대기위치로부터 연석, 5, 10(m) 떨어진 지점에서 보행자가 느끼는 색도측정
	렌즈 반사	○난반사	햇빛 등 외부 광선에 의한 기존과 LED 신호등의 난반사 정도	측면 45°, 45°이상에서 태양광에 대한 난반사를 점검
현장 조사	인지 반응	○보행자출발인지 반응시간 (초)	기존신호등과 LED 보행자 신호등의 점등시 보행자 출발 반응 시간 및 행동 특성	

주) 점검수준 5단계 : 점검항목에 대하여 다음예와 같은 5단계로 나누어 보행자의 의견을 조사하는 것을 이룸. 예 <1. 매우양호 2. 양호 3. 보통 4. 불량 5. 매우 불량>

2. 평가실험분석

1) 설문조사

LED 신호등과 기존 전구식 신호등이 병렬로 설치된 대전광역시 대덕대학앞의 횡단보도에서 횡단 대기중인 보행자를 대상으로 설문조사가 실시되었다. 총 설문응답자는 1차 193명, 2차 242명으로 총 435명이며 조사지점의 특성상 응답자의 74.9%가 대학생이며, 이중 67%가 남성이었다. 설문자료는 주간에 73.5%(320명), 야간에 26.5%가 수집되었고 응답위치별로는 연석 53.5%, 연석에서 5m 위치가 24.6%, 연석에서 10m위치 22.3%이다. 1차·2차 설문조사 각 항목의 응답자수 및 응답비율은 다음 <표 4>와 같다.

1차 현장조사결과 시인성(광도), 판독성(선명도)에 있어서는 조사대상자의 약 85%이상인 기존신호등보다 LED 신호등이 훨씬 밝고 선명하다고 응답하였으며, 2차 현장실험의 결과도 1차조사와 비슷한 응답분포를 보였다. 또한 횡단보행자를 대기위치별(연석, 5m, 10m)로 구분했을 때 시인성, 판독성 조사결과도 조사위치에 따른 통계적 유의성이 없는 것으로 나타나 LED신호등을 4차로이상의 광도에 적용했을 경우에도 시인성의 확보 및 양호한 판독성을 지닐 수 있다고 볼 수 있다.

태양광에 의한 난반사의 경우도 정면, 측면 45이하, 측면 45도 이상으로 대기위치를 구분하여 조사한 결과 1차조사자의 54.4%, 54.4%, 56.0%, 2차조사자의 29.7%, 30.1%, 30.2%가 LED신호등의 난반사가 기존신호등보다 심하지 않다고 응답하였으므로 태양광에 의한 역광시에서도 기존 신호등보다 LED 신호등의 시인성이 양호하다는 것을 알 수 있다.

<표 4> 설문조사결과

조사항목		1차 조사		2차 조사	
		응답자(명)	비율 (%)	응답자(명)	비율 (%)
1. 시인성	○ 매우 밝음	46	23.8	17	7.0
	○ 밝음	123	63.7	182	75.2
	○ 차이없음	23	11.9	23	9.5
	○ 어두움	1	0.5	20	8.3
	○ 매우 어두움	0	0.0	0	0.0
2. 판독성	○ 매우 진함	47	24.4	8	3.3
	○ 진함	117	60.6	153	63.2
	○ 차이없음	22	11.4	28	11.6
	○ 옅음	7	3.6	51	21.1
	○ 매우 옅음	0	0.0	1	0.4
3. 인식정도	○ 훨씬 더 인식하기 쉬움	59	30.6	22	9.1
	○ 인식하기 쉬움	84	43.5	125	51.7
	○ 차이없음	48	24.9	73	30.2
	○ 인식하기 어려움	2	1.0	21	8.7
	○ 훨씬 인식하기 어려움	0	0.0	0	0.0
4. 난반사정도 (정면)	○ 매우심함	0	0.0	2	0.8
	○ 심함	18	9.3	33	13.6
	○ 차이없음	69	35.8	42	17.4
	○ 심하지 않음	89	46.1	68	28.1
	○ 매우 심하지 않음	16	8.3	4	1.7
	○ 무응답	1	0.5	1	0.4
5. 난반사정도 (측면45° 이하)	○ 매우심함	0	0.0	1	0.4
	○ 심함	8	4.1	32	13.2
	○ 차이없음	77	39.9	43	17.8
	○ 심하지 않음	90	46.6	70	28.9
	○ 매우심하지 않음	15	7.8	3	1.2
	○ 무응답	3	1.6	1	0.4
6. 난반사정도 (측면45° 이상)	○ 매우심함	0	0.0	4	1.7
	○ 심함	8	4.1	29	12.0
	○ 차이없음	74	38.3	43	17.8
	○ 심하지 않음	99	51.3	69	28.5
	○ 매우 심하지 않음	9	4.7	4	1.7
	○ 무응답	3	1.6	1	0.4

전반적으로 볼 때 1차조사보다 2차조사시에 LED 신호등의 시인성, 판독성, 난반사 측면에서 약간씩 선호도가 낮아진 것을 볼 수 있는데 이것은 2차 설문조사 시간대에 발생한 LED 적색등의 일부 고장상태에 따른 시인성 장애가 초래한 결과라 볼 수 있다. 상기 결과는 설문조사 응답자가 LED 녹색등에 대해서는 긍정적인 응답이 많은 반면 LED 적색등상태에 대한 지적이 많았다는 것에서 알 수 있다. 또한 보행자가 설문에 응답하는 시점이 주로 적색등이 등화된 횡단대기중인 시간이었다는데 선호도 차이에 대한 원인을 찾을 수 있을 것이다.

2) 보행자 인지반응시간

출발인지반응시간은 LED신호등과 전구식 신호등이 각 방향에 단독으로 설치된 충남대학교 앞 횡단보도에서 조사되었다. 태양광의 역광에 의한 신호등화의 시인성 장애를 평가하기 위해 동서방향으로 설치된 횡단보도를 선정하였으며 전구식 신호등에서 146명, LED 신호등에서 229명의 보행자가 조사되었다. 조사시간은 태양광이 신호등면에 직접 투사되는 오전 (08:00 - 10:00) 및 저녁 (17:00 - 19:00)과 태양광에 의해 신호등의 시인이 방해되지 않는 주간의 3개시간대로 구분하였다.

실험결과 LED신호등에 대한 출발인지반응시간의 평균값은 0.88초, 전구식신호등은 0.94초로 나타났고, 출발인지반응시간의 85th percentile값은 기존신호등이 1.22초, 그리고 LED신호등이 1.11초로 조사되어 LED신호등의 시인성/판독성이 전구식 신호등에 비해 우수한 것으로 나타났다. 또한 태양광에 의한 난반사가 발생할 때 전구식 신호등과 LED신호등의 인지반응시간의 평균은 1.00초와 0.89초로 두집단의 평균차이는 95%의 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 판명되었다.

<표 5> LED신호등과 기존전구식 신호등의 출발인지반응시간의 유형별 비교

구분	변수		평균	표준편차	T-Value	Sig (2-tailed)
	종속변수	독립변수				
평상시 + 난반사시	출발인지반응시간	전구식신호등	.9368	.2893	1.975	.049**
		LED 신호등	.8787	.2702		
난반사시	출발인지반응시간	전구식신호등	1.0073	.3147	-2.569	.011**
		LED 신호등	.8891	.2676		

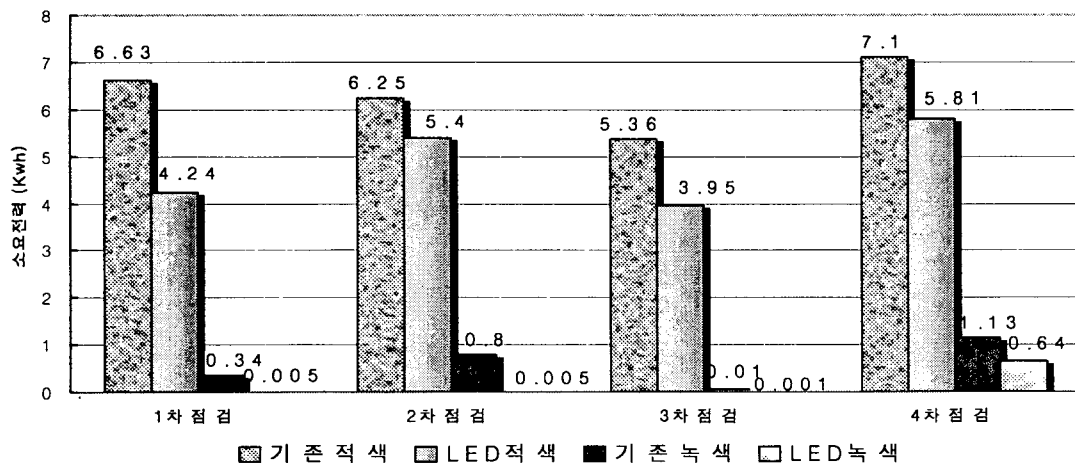
특히, LED신호등만을 평상시와 난반사시로 구분했을 때 인지반응시간의 두집단 차이는 미미했으며 (0.86초 : 0.89초), 통계적검증결과 평균차이가 유의하지 않은 것으로 나타나 LED 신호등은 태양광에 의해 역광이 발생할시에도 평상시와 동일한 수준의 시인성과 판독성제공이 가능할 것이다.

<표 6> LED신호등 조사시간별 출발인지반응시간 비교

구분	변수		평균	표준편차	T-Value	Sig (2-tailed)
	종속변수	독립변수				
LED 신호등	출발인지반응시간	난반사시	.8891	.2676	.908	.365
		평상시	.8553	.2735		

3) 전력소모량

전구식 차량등은 110W, 보행자등이 60W를 사용하는데 비해 LED신호등은 평균 15W를 사용함으로써 이론적으로 약 80%이상의 전력이 절약될 수 있다. 대덕대 앞 횡단보도에 전구식 신호등과 LED 신호등의 제어기내에 전력계를 부착하여 설치부터 2주간격으로 전력소모량을 조사한 결과
 ○ 녹색등의 경우 LED 신호등이 전구식 신호등에 비해 약 70%이상의 절감효과가 있었으나
 ○ 적색등 (국내업체의 LED 소자 사용)의 경우는 기존 전구식 신호등에 비해 약 27% 절감하는 수준으로 나타나 사용된 LED소자의 차이에 의해 에너지 절감효과가 큰 변화를 나타냈다
 2주간격으로 조사된 전력사용량을 그래프로 나타내면 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 전구식 신호등과 LED 신호등의 전력소모량 측정결과

3. 문제점 및 대책방안

1) 주/야간 시인성 및 판독성 변화

LED 신호등을 야간에 전구식신호등과 비교할 때 시인성, 판독성의 현저한 우위를 나타내지 못하였다. 특히 적색등의 경우 전구식신호등이 시인성이나 판독성측면에서 LED신호등보다 우수하다는 응답도 있었다. 하지만 전반적으로 주간에 비해 야간에 LED신호등의 선명도 및 시인성이 크게 향상되었으며, 눈부심현상이 발생하여 시간대별 광도조절기능의 필요성이 대두되었다.

2) 고장상태

LED 적색등의 일부소자가 발광하지않는 고장상태를 나타냈으며 LED소자의 연결상태에 따라 1/2 줄 혹은 1줄 (5개 - 10개)정도의 소자가 작동하지 않았다. 적색등에 사용된 신호등용 LED소자가 현재 기계적/전기적으로 불안정한 상태에 있는 것으로 보이며 주된 원인은 LED소자의 접속불량으로 판단된다. 이에 비해 녹색 LED 신호등은 평가기간동안 안정적으로 작동하여 LED소자의 안정성 확보가 LED 신호등 운영시에 중요한 사안임이 나타났다.

3) 렌즈형태

LED신호등은 전구식 신호등이 전면에 부착된 착색렌즈의 선택적 투과성에 의해 일정범위의 색상을 내는것과 달리 LED소자 자체에서 단일색상을 발산하기 때문에 착색된 렌즈의 사용이 필요없다. LED신호등에 무색렌즈를 부착해 태양이 신호등 정면에서 비추는 시간에 LED 신호등의 시인성을 조사한 결과 신호등 쉐에 의해 그림자가 생기는 부분을 제외한 직접 태양광이 비치는 부분에 시인성 및 판독성의 저하상태가 나타났다. 무색렌즈를 제거후 다시 착색렌즈를 설치한 후 난반사 및 판독성을 조사하였으며 보행자 의견조사 및 출발인지반응시간 조사결과 태양광에 의해 난반사가 발생할 경우 무색렌즈보다는 착색렌즈가 시인성 측면에서 유리한 것으로 잠정 판단된다.

IV. LED 신호등 경제성 분석

1995년말 현재까지 전국적으로 설치되어 있는 신호등두의 수는 차량 신호등이 82,600개, 보행자 신호등두가 44,772개가 설치되어 있다. 이를 전구식 신호등으로 운영되는 체계하에서의 연간 전력요금은 차량등의 경우 15억 4천 1백만원, 보행자등은 5억 1백만원으로 총 20억 4천 2백만원으로 추산된다. 만약 LED 신호등으로 교체할 경우 연간 전력요금이 차량등의 경우 2억 3천 1백만원, 보행자등의 경우 1억 2천 5백만원으로 총 3억 5천 6백만원이 추정되므로 전구식 신호등에서 LED 신호등으로 교체하였을 경우 16억 8천 6백만원의 절감효과가 예상된다. 한예로 서울시의 차량 3색등 전체를 연차적으로 교체하였을 경우를 산정해 비용-편익분석을 실시하였다. 차량 3색등 등 두수가 25,000개이고 1등두당 LED신호등 설치공사비를 100만원이라 가정하면 250억원이 소요되며 이를 5개년도로 나누어 집행한다고 계획하면 매년 50억원씩 기존전구식 신호등 교체 비용으로 투입하여야 한다. 따라서 LED신호등 설치시 비용과 편익은 다음<표 5>와 같이 나타낼 수 있다.

<표 5> LED 신호등 설치공사시 비용-편익 분석 (단위 : 억원)

년 도	비 용 설치공사비	편 익		비 고
		전기료	유지보수비	
1차년도	50	0	0	편익은 설치 후 익 년도 부터 발생한 다고 가정함.
2차년도	50	1	16	
3차년도	50	2	32	
4차년도	50	3	48	
5차년도	50	4	60	
6차년도	0	5	80	

그러나 LED 신호등으로 교체하지 않고 전구식 신호등을 계속 운영하였을 경우에는 매년 80억원 씩 5개년간 총 400억원의 유지보수비용이 소요된다. 또한 LED 신호등으로 전체적인 교체에 따른 전력요금 편익은 매년 5억원씩 발생하며 LED 신호등은 경량화가 가능하고 지주 및 단선 등의 유지보수가 거의 필요없으므로 기타 유지보수 비용을 거의 들지 않는다고 할 수 있다. 따라서 서울시의 경우를 대상으로 하여 교체기간을 5년으로 하고 할인율(공공사업시의 이자율, discount)을 12%²⁾라고 가정한 후 전구식 신호등 운영시와 LED 신호등으로 교체하여 운영시 유지보수에 따른 순수 신호등 교체비용, 유지보수비용, 전기요금 절감액 등만으로 투입예산에 대한 1998년도 현재가로 환산하여 계산한 결과는 다음 <표 6>과 같다. (차량 정체등으로 발생하는 추가적비용은 제외시킴 결과임)

<표 6> 투입예산에 대한 현재가 계산결과

(단위 : 억원)

구분	비용 편익	항 목	년 도						총액	비고
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도		
교체하지 않을경우	비용	전기요금	5*	5*	5*	5*	5*		25*	* :연차별 투입예산 **:할인율을 적용하여, 현재가로 환산한 금액
			5.0**	4.5**	3.9**	3.5**	3.2**		20.1**	
	유지보수비	80*	80*	80*	80*	80*		400*		
		80.0**	71.4**	57.0**	57.0**	50.8**		323.0**		
편익			0	0	0	0	0	0		
연차적으로 교체할경우	비용	설치공사비	50*	50*	50*	50*	50*	0*	250*	
			50**	44.6**	40.0**	35.6**	31.8**	0*	202.0**	
	편익	전기요금	0*	1*	2*	3*	4*	5*	15*	
			0**	0.9**	1.6**	2.1**	2.5**	2.8**	9.9**	
		유지보수비	0*	16*	32*	48*	64*	80*	240*	
			0**	14.3**	25.5*	34.2**	40.7**	45.4**	160.1**	

주) 전기료³⁾, 유지보수비⁴⁾

한편, 향후에는 전자기술의 급속한 발달로 인하여 LED 소자 자체에 대한 제작 단가도 크게 떨어질 것이 예상되므로⁵⁾ LED 신호등의 경제적 타당성은 더욱 충분하다고 판단된다. 또한 LED 신호등이 상용화 될 경우 계량화하기는 어렵지만 추가적인 경제적 편익을 살펴보면

- 외부광선에 의해서도 등화된 등의 색의 구분이 확실하여 오판독에 의한 교통사고가 감소함.
- 전압변화에도 대처능력이 뛰어나며 고장이 적음.
- 발열에 의한 분진발생이 적어 환경친화적임

V. 결론 및 건의

현재 사용되고 있는 전구식 신호등은 짧은 내구연한 및 과다한 전력소모량, 잦은 고장등으로 인해 매년 막대한 예산이 소요되고 있으며, 신호등 전구교체시 발생하는 교통정체, 전구의 발열 및 발진설비 확충에 의한 대기오염등 부수적인 피해도 유발하고 있다. 최근 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안으로 제시된 LED 신호등은 전력소모와 유지보수비용의 절감 및 시인성 향상측면에서 뛰어난 것으로 평가되고 있다. 본 연구는 대전광역시에 설치된 LED 보행자신호등에 대한 평가실험으로 2차에 걸친 시험운영를 통해 LED신호등의 안정성을 평가하였고 문제점을 도출하여 개선

2) 세계은행 (IBRD) 차관 도입시 통상적인 할인율

3) LED신호등을 서울시에 설치시 매년 약 5억원의 전기요금절감액이 절감되므로 1/5지역 설치시마다 매년 1억원씩 연차적으로 절감액이 산출됨.

4) 유지보수비 : LED신호등의 설치시 기존 유지보수비의 1/5에 해당되는 비용이 매년 절감됨.

5) 현재 LED소자의 가격은 3년전에 비해 약 50%가량 하락함.

방향을 제시하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 설문조사결과 시인성, 판독성, 인식의 용이도, 난반사방지 측면에서 기존 전구식 신호등보다 LED 신호등이 뛰어난 것으로 조사되었다. 2차 조사결과가 1차조사보다 상대적으로 낮은 선택도를 보인 것은 LED 적색등의 일부고장상태 때문인 것으로 보이며, 추후에 LED 적색등에 대한 안정성을 확보한후 추가적인 현장조사를 통해 보다 정확한 결과를 도출해야할 필요성이 제기되었다.
- 2) 출발인지반응 조사결과 LED 신호등 현시시 보행자가 더 빨리 인지하며 횡단하는 것으로 나타났다. 또한 태양광에 의한 난반사가 발생할 때 전구식 신호등보다 LED신호등이 양호한 판독성을 제공하여 출발인지시간을 감소시켰다. 특히 LED 신호등은 태양광에 의해 역광이 발생할 시에도 평상시와 동일한 수준의 시인성과 판독성의 제공이 가능한 것으로 판단된다.
- 3) 시험설치된 LED 신호등 중 적색등의 일부소자가 발광하지 않는 고장상태를 나타냈고 LED소자의 연결상태에 따라 소자 5개 - 10개가 작동하지 않았다. 국산 시제품 LED소자를 사용한 적색등의 경우 현재 기계적/전기적으로 불안정한 상태에 있는 것으로 보이며 사용되는 소자에 대한 기술력의 확보가 LED신호등 운영시에 중요한 사안임이 나타낸 것이라 할 수 있다. 또한 신호등 제어기내에 전량량계가 부착하여 각각의 전력소모량을 조사한 결과 녹색등의 경우 전구식 신호등에 비해 약 70%이상 절감효과가 있었으나 적색등의 경우 전구식 신호등에 비해 약 27% 절감하는 수준으로 나타났다. 향후 LED소자 이외에 에너지소모를 나타내는 부문별 원인에 대한 정확한 규명이 요구된다.
- 4) 현장실험시 렌즈형태에 따른 판독성 변화가 나타났으며 잠정적으로 착색렌즈가 판독성측면에서 유리한 것으로 판단된다. 무색렌즈 및 착색렌즈의 사용방안은 향후 추가적인 현장조사를 통해 결정되어야 할 사항이며 외부광선에 의한 역광시 무색렌즈에 의해 발생하는 LED신호등의 시인성장애가 무색렌즈면의 형상이나 재질개선, LED의 색도 및 광도 조정에 의해 개선할 여지가 있는지에 대해서도 다각적인 검토가 필요할 것이다.
- 5) 비용-편익 분석방법을 이용한 경제성 분석 결과 초기 자본회수기간은 7년으로 나타났다. 현재 LED 소자의 가격만을 고려하여 분석하였으므로 향후 전자기술의 발달에 의해 LED소자가격이 하락할 경우 자본회수기간은 이보다 훨씬 짧아질수 있다. 또한 본 연구에서 수행한 경제성 분석은 순수 설치공사비용만을 고려한 경우이므로 차량정체에 의한 사회적 비용, 인건비, 차량사용료 및 감각상각비 등을 고려하면 자본회수기간은 더 앞당겨 질 것이며 향후 기술수준과 사회적 비용을 고려할 때 자본회수기간은 3년전후가 될 것으로 판단된다.

※ 참고문헌

- 1) 대전광역시, LED 교통신호등 개발 및 보급 타당성 연구보고서, 1998, 3.
- 2) Chris Calwell, LED Traffic Lights Test Results Give Green Light for Additional Installations, TECH Update, 1995,9.
- 3) Light Emitting Diode(LED) Vehicle Traffic Signal Modules, Institute of Transportation Engineers, 1996, 6.
- 4) Traffic Engineering + Control, Printerhall Limited in England, 1996,5.
- 5) Vehicle Traffic Control Signal Heads, Institute of Transportation Engineers, 1985, 4.