

LED 조명의 철도 산업에의 적용 동향 및 전망



권삼영
한국철도기술연구원
책임연구원

1. 머리말

새로운 지속가능한 녹색성장 테마의 하나로 지금 LED가 떠오르고 있다. LED를 생산하는 업체의 주가가 연일 고공 행진을 계속하고 있고, LED를 활용한 응용 기기들이 최신의 기술로 기존의 기기들을 대체하려하고 있다. 그중에서 조명산업에도 LED의 거센 바람이 불고 있다. LED 조명은 효율이 지속적으로 좋아지고 있어 같은 밝기를 내는데 적은 전기로 가능하여 에너지 절약을 이룰 수 있고, 수명이 길어 유지보수비가 적게 드는 등 장점이 부각되고 있기 때문이다. 이는 철도산업에도 예외는 아니므로 조명산업에서 LED의 추세에 대한 기술적 모니터링을 통하여 철도 산업에의 적용성을 파악하고 전망해 보는 것도 의미 있는 일이라고 사료되어 참고 문헌에서 언급한 자료 및 인터넷 공개 자료들을 참조, 인용하여 기술 동향 및 전망을 기술한다.

2. 조명 이론 기초

우리의 우주 공간에 존재하는 빛은 전자파의 일종이다. 전자파를 파장에 따라 작은 값에서 큰 값 순서로 나열해보면「우주선-감마선-X선-자외선-가시광선-적외선-전파」이다. 우리가 눈으로 볼 수 있는

가시광선의 파장은 380nm~760nm이다. 눈에 들어오는 복사 에너지 가운데 시각을 일으키는 빛 에너지의 비율을 나타낸 것을 시감도(Spectral Luminous Efficacy)라고 하며 파장에 따라 다르다. 표준 비시감도는 555nm에서 광속 밀도 683 lm/W를 꼭지점으로 하여 파장에 따른 상대적인 값이다.

빛(광)을 측정하는 파라미터 및 단위는 광속(lumen; lm), 광도(candela; cd), 조도(lux; lx), 광속발산도(radlux; rlx), 휘도(nit; nt), 효율(LPW; lm/W)과 같이 여러 가지가 있다. 이 중에서 효율은 전등 자체만의 소비 전력에 대한 발산 광속의 비를 얘기하는 전등 효율(광원 효율, 광효율)(Lamp Efficacy; lm/W)이 있고, 램프(광원) 발산 광속에 대한 기구 발산 광속을 얘기하는 기구 효율(Luminaire Efficiency; %)라는 것이 있다. 이것은 아래 그림으로 설명하는 바와 같이 램프(광원)에서 나오는 전광속이 갓과 같은 케이스에 빛이 흡수되기 때문에 실효 전광속이 작아지며, 이의 비율을 의미한다.

한편, 시스템 효율 또는 종합 효율이라 부르는 것도 있는데 이것은 램프 점등을 위한 안정기나 구동 회로에서 소비되는 전력을 포함한 전체 소비 전력에 대한 발산 광속을 말한다. 효율에 영향을 주는 요소는 색온도(높을수록 효율 상승), 연색성(낮을수록 효율 상승) 및 열(낮을수록 효율, 출력, 수명 상승) 등이다. 여기서 색온도(CCT:Correlated Color Temperature; 단위 [K])란 광원색과 같아 보이는 흑체

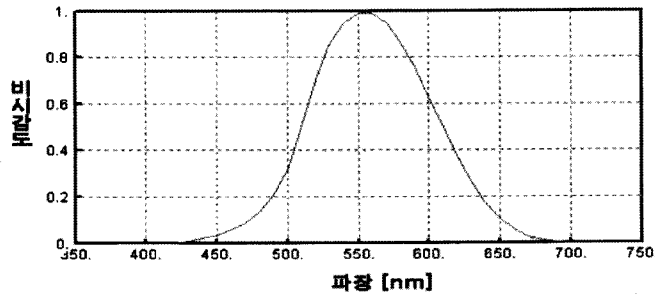


그림 1. 비시각도 곡선

표 1. 광원별 색온도(CCT) 값

광원	색온도[K]	광원	색온도[K]	광원	색온도[K]
푸른 하늘	12,000	촛불	2,000	주광색 형광램프	6,500
구름 낀 하늘	6,500	백열전구 60[W]	2,850	온백색 형광램프	3,500

표 2. 광원별 연색성 지수(CRI) 값

광원	Ra	광원	Ra
백열전구	100	3파장 형광램프	84이상
메탈할라이드	80이상	고압 나트륨	30 이상

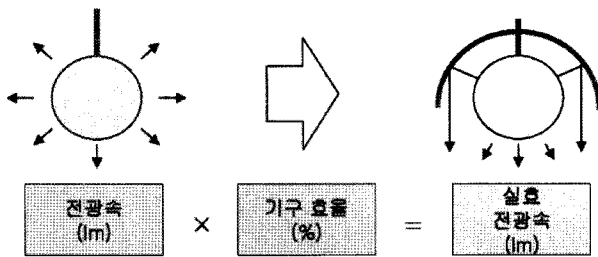


그림 2. 기구 효율

의 온도를 말하며, 색온도가 낮을수록 따뜻한 느낌을 준다. 연색성(Color Rendering)이란 인공 광원이 표준광과 얼마나 비슷하게 물체색을 표현할 수 있는가를 나타내는 연색성 지수(CRI: Color Rendering Index, Ra)로 설명할 수 있으며, 실내에서는 Ra가 70 이상인 것이 바람직하다.

3. 광원으로서 LED 소자

LED(Lighting Emitting Diode)는 전기에너지를 광에너지로 전환하는 반도체 소자로서, 단일 색상의 빛을 발생하는

발광 다이오드이다. 색상은 적색(Red), 녹색(Green)과 청색(Blue)이 있다 반도체 화합물의 재료에 따라 색상이 다르다. 1961년에 적색, 1993년에 청색, 1995년에 녹색 LED가 개발되어 충전연색 디스플레이가 실현되고, 임의 색상의 표출이 가능하여졌으며, 일반 조명용으로 사용될 수 있는 백색 LED를 만들 수 있게 되었다.

광원으로서 LED 소자의 특성을 요약해 보면 다음과 같다.

- ① 방향성 광원이다. 이것은 반도체 자체로의 LED는

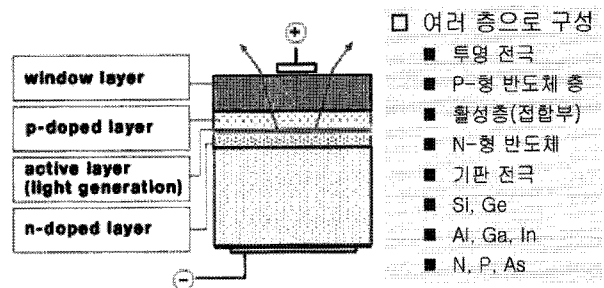


그림 3. LED 발광 원리

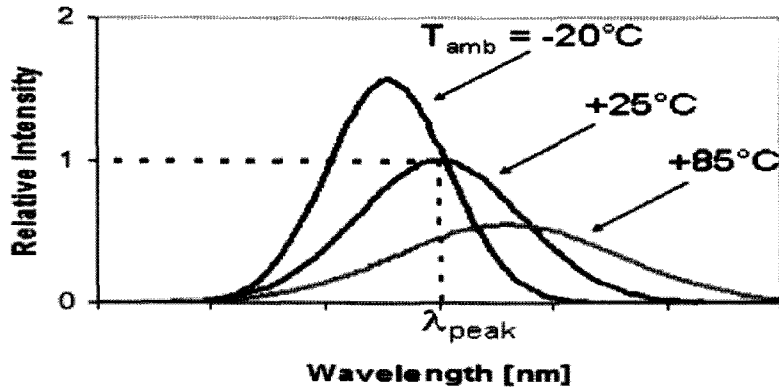


그림 4. 온도에 따른 방출광의 파장 변화

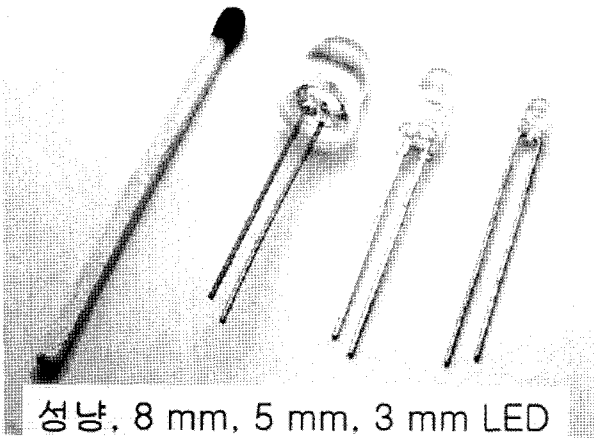


그림 5. LED 외형 크기

본질적으로 확산 광원이지만 빛의 손실을 줄이기 위하여 패키징 단계에서 반사경, 렌즈 등을 사용하여 집속광으로 만들기 때문에 생기는 특성이다.

② 온도가 증가함에 따라 광출력이 감소한다. 이것은 주변 온도가 증가하거나 LED 전류가 증가하면 접합부 온도가 상승하기 때문인데, 그래서 접합부 온도를 내리기 위하여 적절한 방열기를 사용한다.

③ 온도 변화에 따라 방출 광의 주파장이 변화한다.

그림 온도에 따른 방출광의 파장 변화

④ 온도가 상승하면 수명이 단축된다.

⑤ 온도가 상승하면 구동 전압(VF)이 감소한다.

⑥ 장수명, 저 소비전력, 크기 작음, 진동과 충격에 강함, 고 색상 효율, 자외/적외선 무방출, 낮은 초기 점검 실패율, 동급 램프에 비해 저발열, 필터 없이 원하는 색상 표출 등

4. 일반 조명용 LED(백색 LED 조명)

광고판이나 신호등은 단일 색상의 LED를 사용한다. 이는 필터 없이 원하는 색상을 표출하여 효율적이다. 그러나 일반 조명용 LED는 이와는 달리 백색 LED를 사용한다. 현재 백색 LED 기술이 비약적으로 발전하고 있다.

백색 LED의 특징(기술 동향)을 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 광출력은 매년 35%씩 증가되는 추세이다. 현재 단일 LED는 30~57lm 정도이고 다중 LED로 1000lm 정도이다. 광량이 800~1000lm 정도 되면 기존 광원 용도의 많은 부분을 대체하는 것이 가능하고 전조등과 같은 방향성 광원은 이미 적용을 시작하고 있다. 현재 고출력 LED의 효율은 약 50lm/W 정도이고 최근 159lm/W의 백색 LED를 일본의 Nichia사가 발표한 바 있다.

② 광품질 측면은 초기 LED가 칩칩하며 푸른색 기운을 나타냈으나, 형광체 개선에 의해 스펙트럼이 개선되고 있다. 현재 백열전구 부근으로 색온도가 내려가고 있고, 3,000K의 온백색 LED도 출시되었다. 광품질 척도 중의 하나인 연색성 지수(CRI, 동일한 색온도의 광원을 비교해야 의미 있음)는 80~90 정도의 값을 나타내고 있다. 그러나 빔 각도에 따라 변화할 가능성을 안고 있어 해결해야 할 문제 중의 하나로 남아있다.

③ LED 선택에 의하여 색온도 조절이 가능하다. 일반 할로겐이나 백열전구는 어렵게 하면 색온도가 저하되는 특색인데 비하여 LED는 색온도와 밝기를 독립적으로 조절이 가능하여 색온도에 관계없이 임의의 밝기로 만드는 것이 가

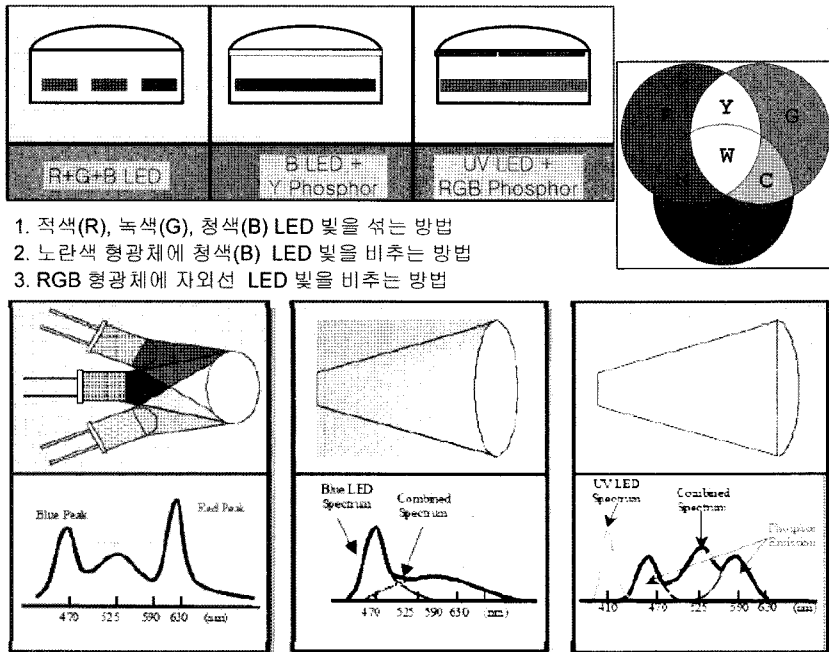


그림 6. 백색광 방사 원리

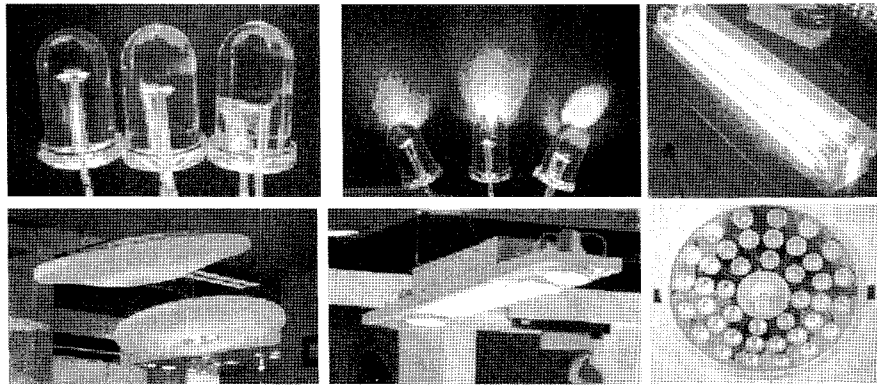


그림 7. LED 조명 제품들

표 3. LED 조명과 기존 광원의 비교(기술성)

항목	LED램프(청색LED+황색 발광형광체)	백열전구	형광램프(일반형)	HID램프
전광속	고출력품 30~60lm (입력 1~2W)	800lm (60W)	3,100lm (40W)	40,000lm (400W)
발광 효율	50~80lm/W	17lm/W	76~90lm/W	100lm/W
색온도(CCT)	4,600~15,000K	2,400~3,000K	4,200~6,500K	3,800~6,000K
연색성(CRI)	72	100	61~74	65~70
수명	통상제품: 수만시간 대출력 2만 시간	1,000시간	12,000시간	12,000시간
발열	열손실 80~90%	열손실+적외선 방사 90%	열손실+적외선 방사 75%	열손실+적외선 방사 80%

능하다.

④ 출력이나 전기적 특성도 변화 및 광색의 변화에 대응하여 적절한 구동회로를 만들어 줌으로서 일정 범위 내에서 해결이 가능하다

5. 철도 산업에의 적용 동향 및 전망

철도 산업에서도 LED를 채택하여 사용하여오고 있다. 먼저 행선 표시기 및 승객용 정보안내표시기가 이전부터 LED 방식으로 설치되었으며, 신호등이 LED 조명으로 교체되는 추세에 있다. 철도 역사에 설치된 광고판도 LED이다.

그러나 백색 LED 조명은 아직 검토 단계에 놓여 있다고 보여진다. 요즈음 진행되고 있는 호남고속철도 발주 설계서 등을 보면 익산 역사의 가로등에도 소량이지만 시범적으로 적용을 시도하고 있다. 또한 2008년 말에서 2009년 초에 에너지관리공단 주체로 지하철 환승역(서울 교대역, 잠실역, 시청역, 부산 서면역, 대구 반월당역)에 형광램프 등을 LED 조명으로



표 4. 기존 조명과 LED 조명 제품의 가격 비교 및 투자회수기간

등기구 유형	가격 비교		등기구 교체시 소비전력 변화 (기존-LED)	투자 회수 기간 (Payback Period)
	기존 조명	LED 조명		
형광등 기구 (32W×2등용)	6~8만원(64W)	25~40만원(?55W)	64W-55W	63년
형광램프	3천~1만원(32W)	5~8만원(14~25W)	32W-14W	7.4년
백열등 대체(전구형)	1천원(60W)	5만원(10W)	60W-10W	3.3년
할로겐 대체(다운라이트)	1~2만원(75W)	10~15만원(14W)	75W-14W	4.4년
보안등 대체	5~6만원(175W)	30~40만원(120W)	175W-120W	14.5년
가로등 대체	30~40만원(400W)	90~120만원(180W)	400W-180W	7.6년
교통신호등	20~40만원(400W)	40~60만원(38W)	400W-38W	1.8년
유도등 대체(소형)	3~5만원(6W)	4~7만원(2.6W)	6W-2.6W	3.3년

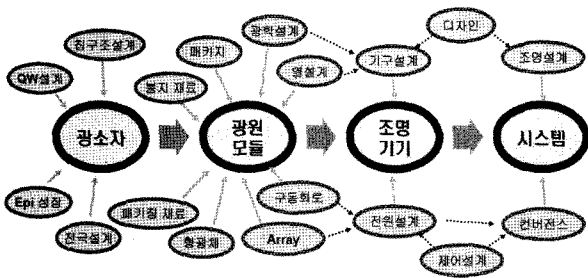


그림 8. LED 조명 기술의 요소 기술 및 상호 연계성 다이어그램

교체하여 시범 운영 중에 있다.

철도는 많은 사람들이 이용하는 다중 이용 시설이다. 철도 역사에는 유도 인구가 많다. 따라서 조명의 선택은 신중하게 결정하는 것이 바람직하다. 그러나 녹색 성장을 지원하기 위한 노력도 필요하다. LED 조명에 대하여 정부에서는 아직 표준(KS 규격화)을 제정하기 위한 활동을 하고 있다. 따라서 표준화가 완료되고 LED 조명에 대한 효율이 조금 더 증가되는 가까운 미래에는 철도 산업에도 LED 조명의 적용이 활발히 이루어 질 것으로 사료된다.

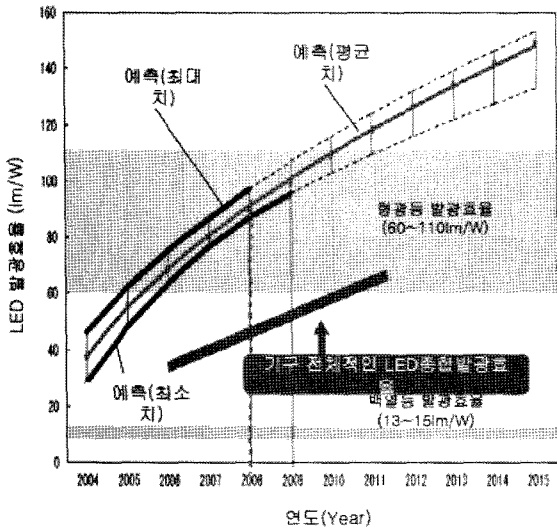


그림 9. 백색 LED 조명의 효율 상승 예상치

◆ 참고 문헌

- [1] 서울산업대 전기공학과 장우진 교수(한국조명전기설비학회 부회장), 『LED 조명 (적합성 재평가 및 경쟁력 확보 방안), 최신 LED 기술동향 자료집 - 2009 LED 산업용 OVERVIEW, 한국미래기술교육연구원
- [2] 에너지 관리공단 차재호, 『LED 조명 보급 방안』, 최신 LED 기술동향 자료집 - 2009 LED 산업용 OVERVIEW, 한국미래기술교육연구원
- [3] 한국광기술원 반도체조명팀 송상빈, 『고효율 LED 조명 설계 및 디자인 설계 동향』, 최신 LED 기술동향 자료집 - 2009 LED 산업용 OVERVIEW, 한국미래기술교육연구원