

방송용 LED 조명의 광원 특성에 관한 연구

*이국세 **신태은 ***문남미

*, ***호서대학교 벤처전문대학원 ** 한국방송공사 TV기술국

*kslee@kbs.co.kr **shin@kbs.co.kr ***mnm@hosseo.edu

A Study on Characteristics of LED Light Source for Broadcasting

*Lee, Kook-Se **Shin, Tae-Eun ***Moon, Nam-Mee

*, ***Hoseo Graduate School of Venture **TV Technical Operations Dept, KBS

요약

최근 에너지 절감 방안이 크게 대두하면서 절전형 광원으로 평가받는 LED 조명에 대한 관심이 급증하고 있다. 특히 광원의 높은 효율성과 긴 수명, 소형·박형화로 조명기구의 슬립화를 실현할 수 있는 장점이 있어 방송제작 현장에서도 미래의 광원으로 기대되고 있다. 본 연구에서는 CIE의 기준에 따른 측광 방법으로 방송용 LED 조명의 기본적인 광원특성을 용도별, 조명기구별로 측정하였다. 이를 바탕으로 기존 방송조명과 비교분포 특성 및 연색성 등에 대한 비교 분석으로 LED 조명의 활용을 위한 기초자료를 확보하는 한편 그림자 투영 실험과 색 재현성 실험을 하였다. 이로써 LED의 새로운 광원에 의한 TV 조명이 방송영상에 미치는 영향과 그에 대한 개선점을 찾아보고자 한다.

1. 서론

반도체 기술의 발전으로 기존에는 전자회로의 부품으로 사용되던 발광다이오드 LED(Light Emitting Diode)가 새로운 조명 광원으로 주목받고 있다. LED는 전류가 흐르면 빛을 내는 반도체로 화합물의 종류를 바꾸어 빛의 색깔을 조절하며 적색부터 자색까지 모든 색의 표현이 가능하다. LED는 기존 광원과 비교하면 효율이 높아 전력소모가 적고 소형의 장치 구현이 쉽다는 장점이 있다. 그리고 환경 친화, 긴 수명, 공간효율성, 기존 조명이 할 수 없었던 다양한 연출 효과를 모두 가능하게 하기 때문에 차세대 광원으로 주목받고 있다.[1] 이 같은 장점 때문에 많은 조명기구와 전력을 요구하는 방송제작 현장에서도 LED 램프를 사용한 조명을 사용하기 시작했다. TV스튜디오 조명에서도 에너지 절감과 친환경적인 효과는 물론 비용절감을 위해서이다. 하지만, LED가 방송조명의 새로운 광원으로서 기대되고 있으면서도 영상을 제작을 다루는 방송기술 측면에서는 LED 광원의 실용화를 위한 연구가 아직 미흡한 것이 현실이다. 특히 고품질 영상을 특징으로 하는 HDTV 방송과 고해상도의 LCD TV수신기에 요구되는 맑고 선명한 화면을 제공하려면 새로운 광원의 기능과 제 특성에 대한 평가 및 연구가 필요하다.

본 연구에서는 방송제작 현장에 도입되고 있는 LED 조명의 광학적 특성이 TV 카메라와 수상기를 거쳐 수용자에게 보이는 방송영상에 미치는 영향에 대한 기초자료를 확보하는 데 목적을 두고 다음과 같은 4단계로 나누어 연구를 진행하였다. 첫째, 선행 연구에 대한 이론적 고찰로 LED의 원리와 방송조명의 특성을 검토하였다. 둘째, 방송제작에 활용되고 있는 기존의 할로겐 및 형광등 Lamp와 새로이 사용되기 시작한 LED Lamp에 대한 색온도 및 CIE(Commission Internationale

de l'Eclairage) 색좌표, 연색성 등 광학적 특성을 측정하고 조명 Lamp에 따른 광원 간의 분광분포특성을 비교분석하였다. 넷째, LED 조명에 의한 그림자 투영 실험과 조명기구 간의 Multi Color Chart 실험을 통하여 색 재현 특성을 비교 분석하였다.

2. LED와 방송조명

가. LED의 발광원리와 효율

LED는 빛을 발하는 반도체(Semiconductor)로 P-N 접합을 하는 다이오드(Diode)이다. 순방향 전류를 흘리는 것에 따라 전자(electron)와 정공(hole)이 재결합하여 발광하는 구조로서 그림 1.과 같이 P형과 N형이 접합된 반도체 양쪽에 전극 단자 간에 전압을 가하면 전도대(Conduction Band)의 전자가 가전자대(Valance Band)의 정공과 결합할 때 전류가 흘러 빛을 방출하는 소자이다. [2]

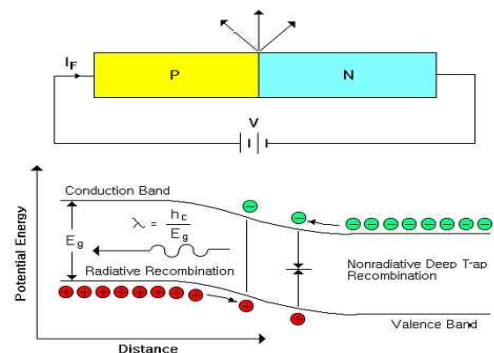


그림 1. LED의 발광원리[3]

일반적으로 다음과 같은 관계식을 사용하여 에너지 갭(Energy Gap)과 발광 파장의 관계를 표현한다.

$$\lambda = hc / E_g \quad (1)$$

단, λ 는 발광 파장(nm), h 는 Plank 상수, c 는 광속도, E_g 는 반도체의 에너지 갭이다.

LED 성능을 판별하는 요소는 발광효율(Luminous Efficiency)로써 와트당 Lumen(lm/w)으로 표시되며, 주요 성능 지표로는 휘도, 수명, 연색성, 색 변환, 밝기 감소, 소비 전력, 가격 등을 들 수 있다. 발광효율은 조명기구를 발광시킬 때 여기(勵起) 에너지가 빛 에너지로 변환되는 비율을 말한다. 조명기구의 광속(lm)을 소비전력(W)으로 나눈 값이며 파장 λ 에서 단일 파장 방사광의 광 효율 $K(\lambda)$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$K(\lambda) = Km \times V(\lambda) \quad (2)$$

여기서 Km 은 파장 555[nm]인 녹색에서의 최대값 683[lm/W]이며, $V(\lambda)$ 는 각 파장의 발광효율을 나타낸 것이다. 각 파장의 스펙트럼분포계수를 $S(\lambda)$ 라고 하면 각 파장의 발광효율은 다음 식으로 주어진다.[4]

$$K(lm/W) = \frac{Km \int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d(\lambda)} \quad (3)$$

나. LED의 특성

LED는 기존 일반조명등인 백열전구의 필라멘트를 가열할 때 생기는 백열 현상을 이용하거나 형광등처럼 가스의 에너지 천이현상을 이용하는 것과는 상반되는 특성이 있다. LED를 기존광원과 비교하면 다음과 같은 특성이 있다.

- (가) 광 변환 효율이 기존의 광원보다 높으며, 에너지 소비량이 매우 적다. (백열전구 대비 70% 이상 에너지 절감 효과)
- (나) LED의 크기가 소형이고 제어방식이 단순하여 광원 및 시스템의 소형화, 박형화, 경량화를 이룰 수 있다.
- (다) 다른 광원과 달리 필라멘트나 전극이 없어서 수명이 길고 충격에 강하고 안정적이어서 약 10만 시간의 수명 시간을 가지므로 반영구적으로 사용할 수 있다.
- (라) 방전등처럼 수은이나 방전용 가스를 사용하지 않기 때문에 환경 친화적이다.
- (마) 고체발광으로서 예열시간이 필요 없으며 점등 속도가 매우 빠르다.
- (바) 안정적인 직류 점등방식으로 소비전력이 적고 반복성 펄스 동작이 가능하며 시신경의 피로를 감소시킬 수 있다.
- (사) 서로 다른 광색과 특성이 있는 LED를 조합하여 다양하고 다이나믹한 광원의 모양과 광색을 표현할 수 있어 인텔리전트 조명 광원으로 사용 가능하다.

LED의 단점으로는 높은 휘도에 의한 눈부심(Glare)의 발생, 주위 온도 및 자체발생 열에 대한 취약성, 기존광원보다 높은 가격 등이 지

적되고 있으나 Agilent Technologies 의 롤랜드 하이츠(Roland Haitz)가 제안한 '하이츠의 법칙(Haitz's law)'에 따르면 10년마다 LED의 가격이 1/10로 하락하며 성능은 20배 향상된다고 발표되었다. 가까운 장래에 효율도 높고 연색성도 좋으며 가격도 저렴한 LED 램프가 등장하게 될 전망이다.[5]

다. 방송조명용 백색 LED

LED를 방송조명용 광원으로 사용하려면 백색광을 얻어야 하며 현재 활발하게 진행되고 있는 백색 LED의 제작 방법은 모두 네 가지 방법이 있다. 단일 칩 형태의 방법으로 청색 LED 칩이나 UV LED 칩 위에 형광물질(Phosphors)을 결합하는 방법이 있고, 멀티 칩 형태의 방법으로는 두 개 혹은 세 개의 각기 다른 색의 빛을 내는 칩들을 조합하여 백색을 얻는 두 가지 방법으로 나눌 수 있다.

우선 하나의 칩에 형광체를 접목시키는 방법은 청색 LED를 여기 광원으로 사용하고, 여기 광을 YAG(Yttrium Aluminum Garnet)의 노란색(560nm)을 내는 형광체를 통과시키는 방법이다. 이 방법은 청색과 노란색의 파장 간격이 넓어서 색 분리로 인한 섬광효과(Halo Effect)를 일으키기 쉽고, 주변온도에 따른 색 변환 현상이라는 치명적인 단점을 가지는 것으로 알려졌다.[6]

두 번째 방법으로는 UV LED 위에 RGB(적색, 녹색, 청색)의 다층형광 물질을 도포하면, 백열전구와 같은 아주 넓은 파장 스펙트럼을 갖게 되어 우수한 색 안정성을 확보할 수가 있다. 또한, 상관색온도 CCT(Correlated Color Temperature)와 연색성지수 CRI(Color Rendering Index)를 어느 정도 마음대로 조절할 수가 있어서 조명용 LED 광원을 구현을 위한 가장 우수한 방법으로 대두되고 있다.[7]

멀티 칩으로 백색 LED를 구현하는 방법으로는 빛의 삼원색인 RGB 3색의 LED 칩을 한 패키지에 조합하여 함께 구동하는 형태이다. 이 방법은 각각 칩마다 동작 전압의 불균일성, 주변 온도에 따라 각각의 칩의 출력이 변해 색 좌표가 달라지는 현상 등의 문제점을 보이고 있어 현재는 컬러 전광판이나 건축 조명 및 무대 조명과 같은 특수 조명에 사용되고 있다.

최근에는 보색 관계를 갖는 2개의 LED를 결합하여 만드는 BCW(Binary Complementary White) LED가 출현했는데, 조명 효율이 형광등에 가까운 정도이다. LED의 조명 효율이 빠른 속도로 높아지는 추세로 비추어 앞으로 몇 년 후에는 형광등보다 효율이 높은 LED 조명의 출현이 전망되고 있다. [8]

현재 백색 LED는 단일 패키징을 이용하여 1W급과 5W급까지 구현된 상황이며, 이는 각각 30lm과 120lm급에 해당한다. 이러한 여러 개의 고휘도 백색 LED를 이용하여 최근에는 1000 lumen급 LED 전구의 구현을 니치아(Nichia)와 오스람(Osram) 등에서 보고하고 있다.[9]

TV제작에 사용되는 조명의 표준 광량은 Spot 조명일 때 6m 거리에서 1,000lux, Flux 조명일 때 3m 거리에서 1,000lux 가 되어야 한다. 색온도는 스튜디오나 야외 제작에서의 활용을 위해 3200°K, 4500°K, 5600°K 등 가변형 조명기구가 요구된다. 또한, 연색성 $Ra \geq 90$ 은 TV 인물 조명에서의 필요조건이다. 한편, 방송조명용으로 백색 LED를 사용하려면 LED 백색광의 질이 개선되어야 하며 광의 질을 평가하는데 있어서는 고성능 효율(lm/W)이외에 또 다른 조건을 갖추어야 하며 이는 CCT 그리고 CRI를 들 수가 있다.

3. 광원특성 측정 및 실험

가. 측정(실험) 대상

본 연구에서의 실험(측정)은 TV스튜디오에서 사용되고 있는 할로겐 램프와 형광램프, 그리고 LED 조명의 색온도 및 분광분포 특성에 따른 연색성을 측정하였다. 측정 대상(조명기구)의 제원은 표 1.과 같다.

표 1. 측정(실험) 대상

조명기구	형명	제작사	Lamp
① 할로겐	Primo Spot Light	Toshiba	1KW x 1
② 형광등	Quadlite	BALCAR	55W x 4
③ LED-1	Miniplus	Litepanels	0.06W x 140
④ LED-2	MINI DLOBML	Dedo	HP LED x 1
⑤ LED-3	FILINI	Dedo	1W x 24

나. 측정(실험) 시스템

광원 특성의 측정은 CIE의 LED 광원측정 기준인 TC1-62, TC2-45, TC2-46을 참고하였다. 측정 및 실험에 사용된 계측기는 표 2.와 같으며, 실험에서는 TV Studio Camera를 활용한 영상신호의 Color 특성 분석을 위하여 Multi Color Chart 특성 실험을 병행하였다.

표 2. 측정(실험) 계측기

계측기	형명	제작사
Chroma Meter	CL-200	Konica Minolta
Spectroradio Meter	CS-2000	Konica Minolta
Auto Setup Chart	Murakami	IKEGAMI
Multi Color Test Chart		KBS
TV Studio Camera	HK-388	IKEGAMI
WFM / VEC Monitor	WFM-700	TEKTRONIX

4. 광원특성 분석

각 조명기구의 광원특성을 측정하여 분광방사휘도(Lv), CIE 색좌표(x, y), 색온도(T), 연색성(Ra)에 대한 측정 결과를 표 3.에 정리하였으며, 연색성 개선을 위한 실험으로 할로겐 + LED-1의 혼합 조명 상태에서의 합성특성을 측정하였다.

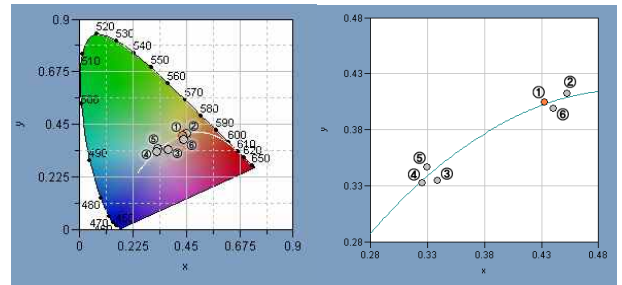
표 3. 측정 결과표

조명기구	Lv	x	y	T	duv	Ra
① 할로겐	170.88	0.4320	0.4045	3087	0.0009	100
② 형광등	98.72	0.4521	0.4121	2827	0.0016	85
③ LED-1	455.73	0.3363	0.3305	5303	-0.0073	82
④ LED-2	57.81	0.3294	0.3470	5637	0.0044	78
⑤ LED-3	72.65	0.3251	0.3325	5844	-0.001	81
⑥ 할로겐+LED-1	198.20	0.4470	0.4031	2829	-0.0013	91

* 단위 : Lv(cd/m²), T(°K)

가. 색온도 및 색좌표 특성

그림 2.의 CIE 색좌표와 같이 각 조명기구에 따른 광원의 색온도 및 광원이 가지는 백색의 좌표값이 서로 다르게 나타나고 있다. 확대도(b)의 Planckian(Black body) Locus의 Line에 가까울수록 완전한 백색에 가까운 광원이다. 그림의 원문자로 표시된 번호는 표 3.의 조명기구를 나타내며 각각 ①은 할로겐, ②는 형광등, 그리고 ③,④,⑤는 LED-1 ~ LED-3, ⑥은 할로겐+LED-1을 가리킨다.



(a) Planckian Locus (b) 확대도

그림 2. 광원별 CIE 색좌표

나. 분광분포 특성

(1) 할로겐 조명

할로겐 조명에서는 그림 3.에서와 같이 가시광선영역 전체에 걸쳐 평탄한 특성을 보여주고 있으며, 파장이 길어질수록 빛의 에너지 또는 세기(Intensity)가 경사형으로 증가하여 776nm 파장에서 최대치(Peak)를 나타낸다.

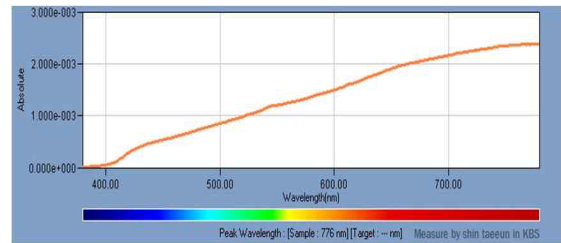


그림 3. 할로겐 조명 스펙트럼

(2) 형광등 조명

형광등 조명에서는 파장 440nm(Blue 성분), 545nm(Green 성분), 610nm(Red 성분)의 전형적인 3파장의 분광분포 특성을 보여주고 있으며, 650nm 이상에서는 에너지가 미약하다. 이러한 상태에서는 표 3.의 측정치에서와 같이 연색성도 90 이하로 낮아지게 되며, Red 성분의 색 재현성도 크게 떨어지게 된다.

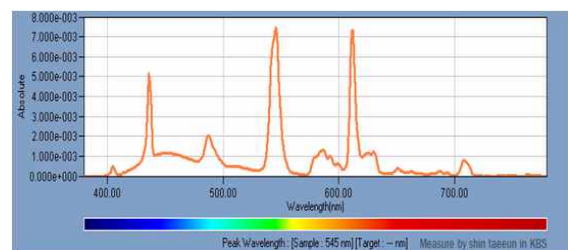


그림 4. 형광등 조명 스펙트럼

(3) LED 조명

LED 조명의 스펙트럼은 그림 5.와 같이 파장 460nm에서 최대치를 보이고 있으며 500nm~670nm 사이에서는 비교적 평탄한 분광분포 특성을 보여주고 있으나 대체로 빛 에너지가 파란색, 쪽으로 몰려 있다. 이런 경우 감성적으로는 차가운 느낌이 들게 되어 백열등의 따스함과는 상반된 느낌이 들게 된다.

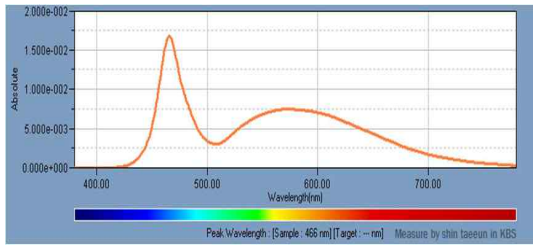
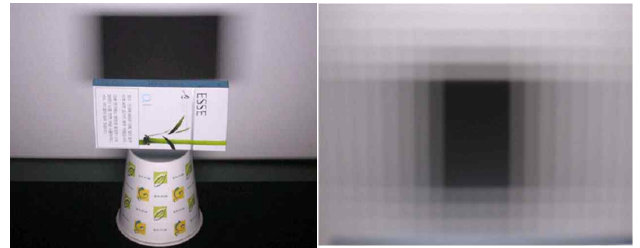


그림 5. LED 조명 스펙트럼



(a) 그림자 투영 실험 (b) 그림자 부분 확대도

그림 8. LED 조명의 그림자 특성

(4) 할로젠과 LED 조명의 합성

할로젠과 LED 혼합조명에 의한 합성 스펙트럼은 파장 611nm 에서 peak 값을 보여주고 있으며, 약 550nm ~ 780nm 까지 평탄한 특성을 보여주고 있어 연색성 개선 효과가 있음을 뚜렷하게 알 수 있다.

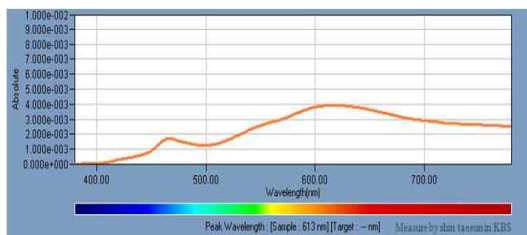


그림 6. 할로젠+LED 합성 스펙트럼

다. Multi Color Chart 영상 실험

그림 7.은 할로젠, 형광등, LED의 각 광원을 Multi Color Chart에 조사하였을 때 TV Camera로 촬영하여 합성한 영상 실험 결과이다. LED는 Blue와 Cyan 계열의 Color에서 최대 5° 정도의 위상차가 발생하여 결과적으로 사람의 눈에 색의 변화를 인지할 수 있게 된다.

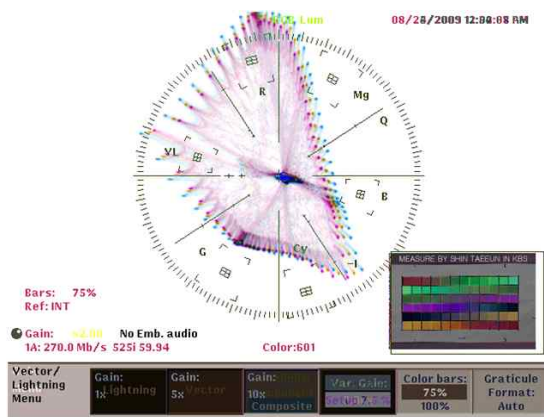


그림 7. Multi Chart 실험 측정도

라. 그림자(Shadow) 투영 실험

LED 조명은 일반 Spot 조명에서와 같이 집적된 빛에 의한 점 조명이 아니고 Soft 조명과 같이 면 조명이다. 다수의 LED Lamp에 의한 물체의 그림자가 그림 8. (b) 확대도에서 보는 바와 같이 여러 방향으로 중첩되어 나타나게 된다. 이런 때 TV에서 인물 조명의 Key Light 로 사용하기에는 부적합한 광원이라는 문제점을 가지게 된다.

5. 결론

조명용으로 개발된 백색 LED의 광원은 불쾌감이 없는 백색과 양호한 연색성을 가지고 있어야 하므로 고 효율화와 연색성은 LED 광원으로는 중요한 요소이다. 조명은 단지 에너지 효율뿐만 아니라 조명을 설치하는 견해에서는 얼마나 밝아야 하는가(조도, lx), 얼마나 자연광에 가까운가(연색성, Ra), 얼마나 차갑고 또는 따뜻한 느낌인가(색온도, °K), 어디를 얼마나 비추어야 할 것인가(배광), 어떤 과장을 낼 것인가 등 다양한 요인이 얽힌 종합예술에 가까운 특성을 보이기 때문이다.[1]

연구 결과, LED 조명이 아직은 방송영상에 필요한 조건에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. 실험을 통해서도 할로젠 + LED 방식의 조명특성을 비교 분석함으로써 앞으로 방송제작 현장에서의 LED 조명 보급 활성화를 위한 기초자료로 활용할 수 있는 토대를 마련하였으며, 이를 바탕으로 아직 기대에 못 미치는 연색성과 색재현성의 개선을 위해 TV Studio에서는 할로젠과 LED 조명을 혼합하여 사용하는 방안을 제안한다. 방법적으로는 인물의 Key 조명에는 기존의 할로젠 또는 텅스텐 조명을 Flux 조명에는 LED 조명을 사용하는 형식이다.

LED 는 방송조명용 광원으로 백색 LED에 대한 기대가 크다. 실용화를 위해서는 색온도와 연색성을 고려한 감성조명, 그리고 LED 광원의 기 능평가 및 인체에 미치는 영향 등에 대한 연구 또한 지속적으로 고려되어야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 김치현, "LED 조명, 미래의 빛이 되려면", LG Business Insight pp.2~19. 2009.6.
2. Seung-Joo Yang, "LUXEON Power LED Basic Training", 한국 방송협회/KOBETA 디지털방송조명교육, pp.59~75. 2009.9.
3. Alvin Tse, "LED Broadcasting / Entertainment Lighting", 한국 방송협회/KOBETA 디지털방송조명교육, pp.79~89. 2009.9.
4. 황명근, "백색 LED를 사용한 조명광원의 설계 및 분석", 인하대학교 대학원 박사학위논문, pp.18, 2004.8.
5. 송상빈, "고효율 LED조명 기술개발 동향", 에너지관리 통권 제392호, pp.58~70, 2009.1.
6. 홍창희, "백색 LED의 신기술 동향", 전기전자재료, 제17권 제9호, pp.16~22, 2004.9.
7. 김창해, "백색 LED용 형광 소재의 연구개발 동향", 물리학과 첨단 기술, 제17권 제11호, pp.22~25, 2008.11.
8. 안선영, "백색LED 시장현황 및 전망 1, 광산업정보, 통권40호, pp.24~29, 2007.5.
9. B. Keller, "New LED developments for solid state lighting", Conference proceedings of LED-2003, Santiago, CA, 2003.10.