

일반논문-10-15-4-01

## TV 조명용 백색 LED의 광원 특성 분석

이 국 세<sup>a)</sup>, 문 남 미<sup>a)†</sup>

### Analysis of Characteristics of White LED Light Source for TV Lighting

Kook-Se Lee<sup>a)</sup> and Nam-Mee Moon<sup>a)†</sup>

#### 요 약

최근 녹색 성장과 에너지 절감 방안이 크게 대두하면서 친환경과 절전형 광원으로 평가받는 LED 조명에 대한 관심이 급증하고 있다. 특히 LED 조명의 높은 효율성과 긴 수명, 소형·박형화에 따른 조명기구의 공간 효율성, 디지털 디밍(Dimming)에 의한 다양한 연출 효과 등의 장점이 있어 방송제작 현장에서도 미래 방송조명의 광원으로 기대되고 있다. 본 논문에서는 CIE의 기준에 따른 측광 방법으로 방송용 조명의 기본적인 광원특성을 용도별, 조명기구별로 측정하였다. 이를 바탕으로 기존 방송조명과 LED 조명의 분광분포 특성 및 연색성 등에 대한 비교 분석으로 LED 조명의 활용을 위한 기초자료를 확보하였다. 한편, 그림자 투영 실험과 색 재현성 실험을 통하여 LED의 새로운 광원에 의한 TV 조명이 고품질을 요구하는 방송영상에 미치는 영향과 문제점에 대한 개선방안을 제안한다.

#### Abstract

Since eco friendly and power saving products recently got into the limelight for the protection of environment, LED light technology has caught much of attention as the next generation broadcasting lighting. The newly introduced light source has such advantages as higher efficiency, longer life and its slim and compact forms leading to conveniency in installations. When combined with digital light control it gives more dynamic and various features to lighting. In this paper, used CIE standard for measuring light sources by their purposes and forms to make a comparative analysis of spectral distribution and color rendition of LED light source to those of existing lighting systems. By means of the cast shadowing and color reproduction tests I also tried to figure out the effects of LED lighting design on TV visuals where higher quality is crucial with the audience's increasing demands for quality image.

Keyword : White LED, TV Lighting, Light Source

#### 1. 서 론

조명용 광원의 역사는 1879년 에디슨(Edison)이 발명한

실용 탄소 전구가 시초이다. 그 후 120여 년 동안 광원의 발달은 조명기구와 광원의 개량에 의해 효율이 향상되고 에너지의 절감도 이루어졌다. 그러나 21세기를 맞이한 현재 연출조명으로 사용되고 있는 광원은 백열등 계열의 할로겐(Halogen) 램프(Lamp)와 메탈 할라이드(Metal Halide) 램프로 대표되는 방전등계열의 두 종류로 나눌 수 있다. 백

a) 호서대학교 벤처전문대학원  
Hoseo Graduate School of Venture

†교신저자 : 문남미(mnm@hoseo.edu)

접수일(2009년12월28일), 수정일(2010년2월2일), 게재확정일(2010년2월2일)

열 램프는 개량을 거듭하여 발광 효과를 향상시켜 왔지만, 소비전력의 부분은 열로써 손실된다. 반면 방전 램프는 백열 램프와 비교해서 발광 효과는 비약적으로 향상되었고, 열손실이 적은 Ballast와 Igniter 등 점등전류와 전압을 제어하는 정교한 전자회로가 필요하므로 조명기구가 고가이다. 또 그 전원에는 조명에는 불필요하고 피사체에 해로운 자외선을 방출하는 등의 문제가 지적되고 있다<sup>1)</sup>.

1960년대 미국의 GE에 의해 처음 개발된 LED(Light Emitting Diode)는 기존에는 전자회로의 부품으로 사용됐으나 1997년 니치아(Nichia) 화학에 의해 백색 LED가 등장하면서 새로운 조명 광원으로 주목받기 시작했다. 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<sup>2)</sup>.

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 TV 수신기에 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 영상에 미치는 영향에 대한 기초자료를 확보하는 데 목적을 두고 다음과 같이 세 단계로 나누어 연구를 진행하였다. 첫째, 선행 연구에 따른 이론적 고찰로 빛과 색의 광학적 특성과 LED의 발광 원리 및 TV 조명용 백색 LED의 특성을 검토하였다. 둘째, 방송제작에 활용되고 있는 기존의 할로겐 및 형광등 조명과 LED 조명에 대한 상관색온도(Correlated Color Temperature) 및 CIE 색도좌표(Chromaticity Coordinate), 연색성지수(Color Ren-

dering Index)등 광학적 특성을 측정하고 광원 간의 분광분포(Spectral Energy Distribution)특성을 비교분석하였다. 셋째, LED 조명에 의한 그림자 투영 실험과 조명기구 간의 Multi Color Chart 실험을 통하여 색 재현 특성을 비교 분석하였다.

본 연구는 TV제작 현장에서 사용되고 있는 조명 중에서도 방송용 세트(Set) 및 공개방송을 위한 무대 조명에서의 배경 효과용 색채조명을 제외한 인물 조명에 사용되고 있는 백색(White) LED 광원의 광학적 제 특성에 관한 측정과 실험에 국한한다.

## II. 빛의 광학적 특성

### 1. 빛과 색

빛(Light)은 전자기파(Electromagnetic)의 일종으로 인간의 눈으로 지각되는 색을 갖는 파장영역을 가시광선이라 한다. 파장(Wavelength)의 단위는 nm(nanometer, 100만분의 1m)를 사용하며, 가시광의 범위는 사람에 따라 다소 차이가 있으나 대체로 380~780 nm이다. 단색광인 경우 그림 1에서와 같이 파장의 길이가 짧은 쪽으로부터 긴 쪽으로 400~450 nm는 보라색, 450~500 nm는 파랑, 500~570 nm는 초록, 570~590 nm는 노랑, 590~610 nm는 주황, 610~700 nm는 빨간색으로 우리 눈에 보인다<sup>3)</sup>.

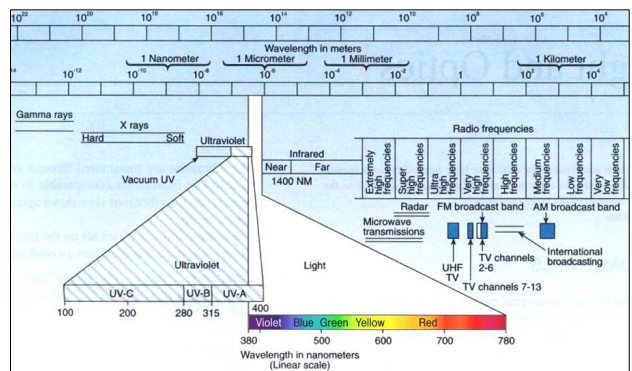


그림 1. 빛과 색의 파장<sup>4)</sup>  
Fig. 1. Light and Color Wavelength

## 2. 분광분포

분광분포(Spectrum)는 모든 빛의 파장단위별 밀도를 나타내는 것이다. 즉 파장단위별 빛의 에너지 또는 세기(Intensity)를 그래프로 표현한 것을 분광분포도(Spectrum diagram)라고 한다.

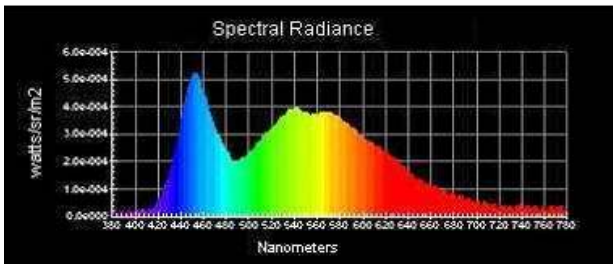


그림 2. 분광분포도의 예  
Fig. 2. An example for spectral radiance

## 3. 색온도

어떤 물체에 열을 가하게 되면 처음에는 적색이 되었다가 주황색으로 바뀌고 온도가 더 높아지면 백색을 거쳐 청색, 자색 빛이 되는데 그 정도를 나타내는 것이 색온도(Color Temperature)이다. 색온도의 단위는 켈빈(Kelvin) °K를 사용하며 적색, 녹색, 청색 에너지의 혼합비율을 의미한다. 주요 색상과 색온도와의 관계를 표 1에 정리하였으며 그림 3과 같이 색온도가 높으면 푸른색을 띠게 되며 색온도가 낮아지면 점점 붉어지게 된다. 카메라를 스튜디오 색온도 3200 °K에 화이트 밸런스(White Balance)를 맞추고, 야외의 5600 °K 환경에서 촬영하면 화면 전체에 푸른색이 나타

표 1. 색상과 색온도  
Table 1. Color and color temperature

JIS 색상명	CIE 색상명	색온도(°K)		
		Min.	Typ.	Max.
백 색	Cool White	4500	6500	10,000
온백색	Natural White	3500	4100	4500
전구색	Warm White	2500	3100	3500

나고, 반대로 야외 색온도 5600 °K에 화이트 밸런스를 맞추고 스튜디오 색 온도 3200 °K 하에서 촬영하면 화면 전체에 붉은색이 나타나게 되는데 이는 색온도가 달라서 발생하는 현상이다.

TV스튜디오에서의 인물 조명에 필요한 색온도 관리는 일반적으로  $\pm 50$  °K로 하고 있다. 조명의 색온도 변화에 의한 시각 인지를 통한 두뇌의 기본 상태를 뇌파 측정기로 측정하여 분석한 연구 결과에 따르면 사람은 색온도가 낮을수록 편안함과 안락함을 느끼는 것으로 알려졌다<sup>[5]</sup>.



그림 3. 색온도에 따른 색상의 변화  
Fig. 3. Color variation with different color temperatures

## 4. 연색성

연색성(Color Rendering Properties)은 빛이 색에 미치는 효과를 나타내는 광원의 중요한 성질 중의 하나로 어떤 물체에 빛을 주었을 때 본래의 색을 얼마만큼 잘 재현을 시키느냐를 의미한다. 광원의 에너지 분포가 균일할수록 연색성이 좋으며 그 정도를 연색성 평가지수(Color Rendering Index ; CRI)라고 하며 단위는 Ra로 나타낸다. 자연광과 Studio에서 사용하고 있는 백열전구 할로겐 램프는 Ra=100이며 TV에서는 일반적으로  $Ra \geq 90$  이상을 사용하고 있

다. 또한, 연색성은 색온도와는 다른 성질로 광원의 색온도가 서로 같다고 하더라도 연색성이 다른 경우는 Camera를 통한 색상의 재현이 서로 틀리게 된다. 주로 방전 램프의 경우 연속적인 광 에너지 분포가 아니어서 연색성이 낮다. 백열등보다 효율이 높은 일반 형광등을 TV 조명으로 사용할 수 없는 이유는 인물 촬영 시 얼굴의 밝은 부분은 Chroma 성분이 조금 낮아 보이고 그늘이 지고, 어두운 부분에는 녹색이나 푸른색이 조금 생기기 때문이다. 따라서 TV스튜디오에서는 True Light라고 불리는 연색성을 높인 특수 형광등이 사용된다. 같은 예로 백색 LED가 TV조명으로 쓰일 때 가장 크게 드러날 수 있는 문제점이 연색성이다. 즉 카메라에 촬상되는 물체색의 선명도가 연색성과 결부되어 있다. 그림 4는 R, G, B 삼원색의 CRI Ra>90, Ra=89~90, Ra<80 등의 차이에 따라 어떻게 변화되는가를 보여주고 있다.




R <sub>a</sub>	Colour rendering of different phosphors
>90	LUMILUX* DE LUXE 
80-89	LUMILUX* 
<80	BASIC 

그림 4. CRI 변화에 따른 색상의 변화(예)<sup>[6]</sup>  
 Fig. 4. Color differences depending on CRI(ex.)

5. CIE 색좌표(Color coordinate)

색은 심리물리량이며 색을 평가하는 데에서는 색 감각의 평가시스템이 기본이 된다. 색감각의 평가에는 하나의 색 자극에 대해 심리물리량인 색자극치로서 대응-수량화할 수 있는 표색계 시스템이 실용화되고 있다. 이 표색계 중에서 가장 일반적인 것이 국제조명위원회 CIE(Commission Internationale de l'Eclairage)가 1931년에 표준화한 XYZ 표색계인 그림 5의 CIE 1931 색좌표이다.

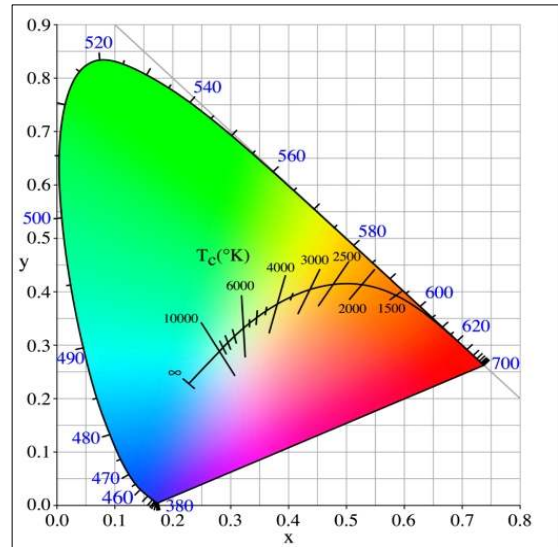


그림 5. CIE 1931 색좌표  
 Fig. 5. Chromaticity coordinate for CIE 1931

이것은 사람 눈 지각의 기본 특성인 등색함수  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$ 로 대상이 되는 색채물의 색자극 함수( $\Phi(\lambda)$  광원(발광체))의 경우는 그 분광반사율 ( $\rho(\lambda)$ ) 또는 분광투과율( $\tau(\lambda)$ )과 분광분포( $P(\lambda)$ )와의 곱)로부터 다음 식으로 산출된 삼자극치 X, Y, Z에 따라 평가하는 시스템이다.

$$\begin{aligned}
 X &= k \int \Phi(\lambda) x(\lambda) d\lambda \\
 Y &= k \int \Phi(\lambda) y(\lambda) d\lambda \\
 Z &= k \int \Phi(\lambda) z(\lambda) d\lambda
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기에서  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$ 는 등색함수  $\Phi(\lambda)$ 는 색채대상물의 색자극 함수이며, k는 기준정수이다.

또한, 이 삼자극치 X, Y, Z로부터 다음의 식(x, y)을 구하여 좌표축상에 나타내어 색을 정량 평가하는 것이 색좌표계이다.

$$S = X + Y + Z \tag{2}$$

$$x = X / S \tag{3}$$

$$y = Y / S \tag{4}$$

색 시스템에서 색을 비교 평가하는 경우에는 원화 및 원물의 삼자극값 및 휘도값과 색재현 화상 또는 색재현 복제물의 삼자극값 및 휘도값을 측정 비교하면 그 색 시스템의 색재현 특성을 정량적으로 평가할 수 있다<sup>[7]</sup>.

### III. LED와 TV조명

#### 1. LED의 발광원리와 효율

LED(Light Emitting Diode)는 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 6과 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<sup>[8]</sup>.

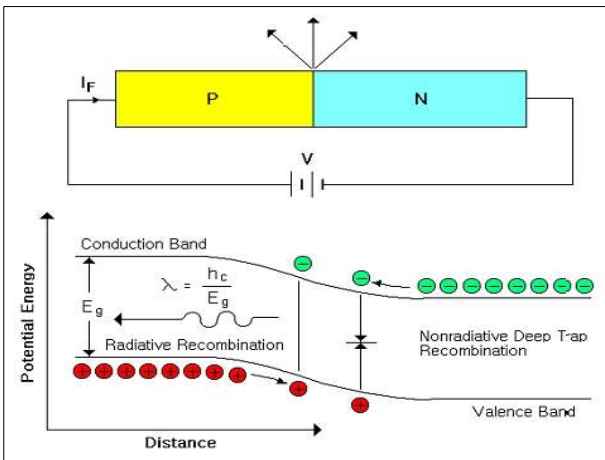


그림 6. LED의 발광원리  
Fig. 6. Principle of LED radiation

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

$$\lambda = hc / E_g \tag{5}$$

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

발광효율(Luminous Efficiency)은 조명기구를 발광시킬 때 여기(勵起, Excitation) 에너지가 빛 에너지로 변환되는 비율을 말한다.

조명기구의 광속(lm)을 소비전력(W)으로 나눈 값을 말하며 단위는 lm/W로 표시하며 파장  $\lambda$ 에서 단일 파장 방사광의 광효율  $K(\lambda)$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$K(\lambda) = Km \times V(\lambda) \tag{6}$$

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

$$K(lm/W) = \frac{Km \int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda} \tag{7}$$

#### 2. LED의 특성

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

- (가) 광변환 효율이 기존 광원보다 높으며, 에너지 소비량이 매우 적어 백열전구 대비 약 70% 이상 에너지 절감 효과가 있다.
- (나) LED의 크기가 소형이고 제어방식이 단순하여 광원 및 시스템의 소형화, 박형화, 경량화를 이룰 수 있다.
- (다) 다른 광원과 달리 필라멘트나 전극이 없어서 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 점·소등 속도가 매우 빠르다.
- (바) 안정적인 직류 점등방식으로 소비전력이 적고 반복성 펄스 동작이 가능하며 시신경의 피로를 감소시킬 수 있다.
- (사) 서로 다른 특성이 있는 LED를 조합하여 다양하고 다이내믹한 광원의 모양과 광색을 표현할 수 있어 인텔리전트 조명광원으로 사용 가능하다.

LED의 단점으로는 높은 휘도에 의한 눈부심(Glare) 발생, 주위온도 및 자체발생 열에 취약, 기존광원보다 5배 이상 높은 가격 등이 지적되고 있으나 LED 분야에서 애질런트의 과학자인 롤랜드 하이츠(Roland Haitz)가 제안한 ‘하이츠의 법칙(Haitz’s law)’에 따르면 10년마다 LED의 가격이 1/10로 하락하며 성능은 20배 향상되어 가까운 장래에 효율도 높고, 연색성도 좋으며, 가격도 저렴한 LED 램프가 등장하게 될 전망이다<sup>[9]</sup>.

### 3. TV 조명용 백색(White) LED

LED를 TV 조명용 광원으로 사용하려면 백색광을 얻

어야 하며 현재 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있는 대표적인 백색 LED 제작 방법에는 단일 칩(Chip) 방법과 멀티 칩 방법의 두 가지 방법이 있다. 단일 칩 형태의 방법으로는 청색 LED 칩 위에 형광물질(Phosphors)을 결합하는 방법과 UV LED 칩 위에 R-G-B 형광체를 결합하는 방법이 있다. 또한, 멀티 칩 형태의 방법으로는 두 개의 칩을 조합하는 방법과 세 개의 칩을 조합하는 방법이 있으며 그림 7에 백색 LED의 구현과 제조방법을 정리하였다. 백색 LED에서는 고성능 효율(lm/W)이외에 또 다른 조건을 갖추어야 하는데 이는 색 좌표와 상관 색 온도(CCT : Correlated Color Temperature), 그리고 색 연색성 지수(CRI : Color Rendering Index)를 들 수가 있다.

첫 번째는 하나의 칩에 형광체를 접목시키는 방법으로 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. 이에 따라 적색 또는 주황색의 형광물질을 첨가하여 발광 스펙트럼을 넓혀서 단점을 보완하고자 하는 시도도 있었다. 그러나 적색 형광 물

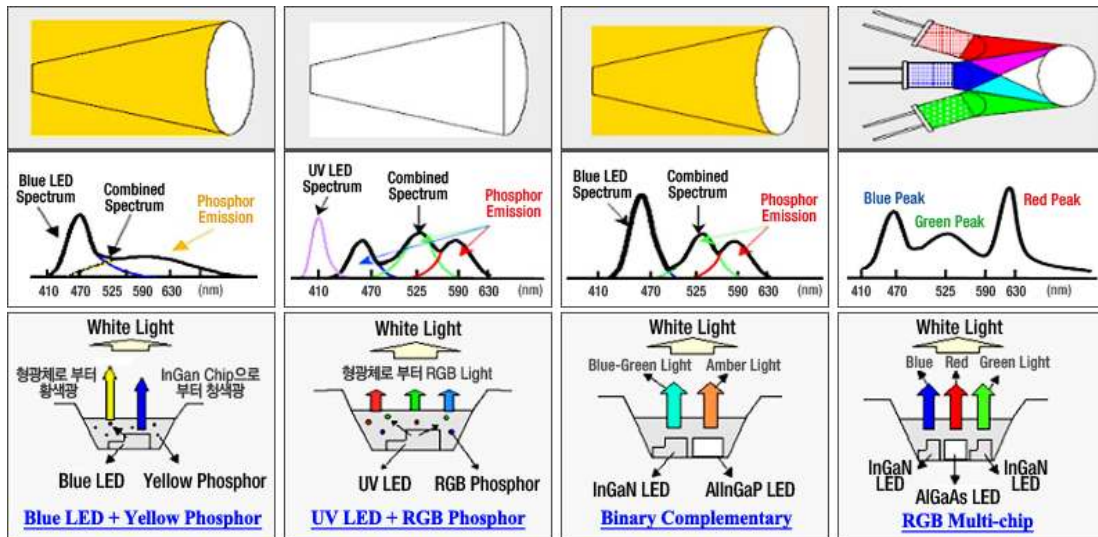


그림 7. 백색 LED의 구현과 제조방법<sup>[11]</sup>  
 Fig. 7. Implementation and production of white LED

질 때문에 CRI를 더 높이는 데는 한계가 있는 것으로 알려졌다. CCT와 CRI과의 사이에서 Trade-Off가 이루어진다. 또한, CCT가 낮아지면 대부분 루멘(Lumen)도 낮아지게 된다. 이러한 문제를 해결하고자 새로운 형광체 물질 개발과 형광체의 양자효율을 높이는 연구가 현재 매우 활발히 이루어지고 있다<sup>[10]</sup>.

두 번째 방법은 UV LED 위에 R-G-B의 다층 형광 물질을 도포하면, 백열전구와 같은 아주 넓은 파장 스펙트럼을 갖게 되어 우수한 색 안정성을 확보할 수가 있다. 또한, CCT와 CRI를 어느 정도 마음대로 조절할 수가 있어서 조명용 LED 광원을 구현을 위한 가장 우수한 방법으로 대두되고 있다<sup>[12]</sup>.

세 번째는 멀티 칩으로 백색 LED를 구현하는 방법으로 빛의 삼원색인 RGB(적색, 녹색, 청색) 3색의 LED 칩을 한 패키징에 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 천연색 전광판이나 건축 조명 및 무대 조명과 같은 특수 조명에 사용되고 있다.

네 번째로는 최근에는 개발되고 있는 방법으로 보색 관계를 갖는 InGaN(질화인듐갈륨, Blue-Green Light) 계열과 AlInGaP(인화알루미늄인듐갈륨, Amber Light) 계열의 LED 2개를 결합하여 백색 광(White Light)를 만드는 BCW(Binary Complementary) LED가 출현했는데 발광 효율이 형광등에 가까울 정도로 알려졌다. LED의 효율이 빠른 속도로 높아지는 추세로 비추어 볼 때 앞으로 몇 년 후에는 형광등보다도 효율이 높은 LED 조명등의 출현이 전망되고 있다<sup>[13]</sup>.

현재 백색 LED는 단일 패키징을 이용하여 1W급과 5W급까지 구현된 상황이며, 이는 각각 30 루멘과 120 루멘 급에 해당한다. 최근에는 이러한 고출력 백색 LED 여러 개를 직·병렬로 연결하여 1000 루멘 급 LED 램프의 구현을 니치아(Nichia)와 오스람(Osram) 등에서 보고하고 있다<sup>[14]</sup>.

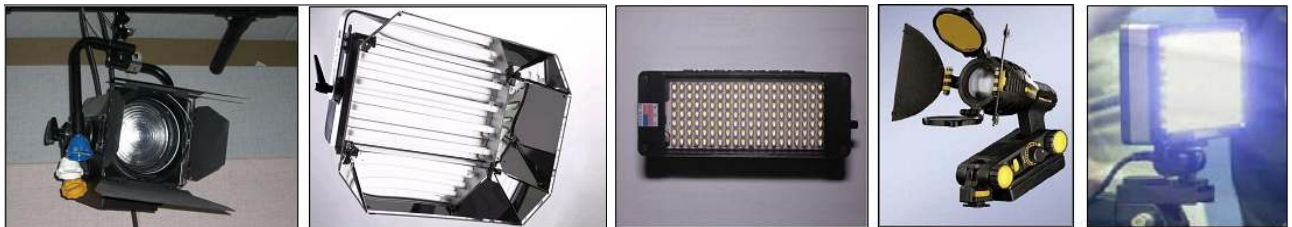
#### IV. 광원특성 측정 및 실험

##### 1. 측정(실험) 대상

본 연구에서의 실험(측정)은 TV스튜디오에서 사용되고 있는 할로겐 조명과 형광등 조명, 그리고 LED 조명의 조도와 색온도 및 분광분포 특성에 따른 연색성을 측정하였다. 측정 대상(조명기구)의 제원은 표 2와 같다.

표 2. 측정(실험) 대상  
Table 2. Test objects

조명기구	형명	제작사	램프
① 할로겐	Spot Light	T 사	1KW x 1
② 형광등	Quadlite	B 사	55W x 4
③ LED-1	Miniplus	L 사	0.06W x 140
④ LED-2	MINI DLOBML	D 사	HP LED x 1
⑤ LED-3	FILINI	D 사	1W x 24



(a) ① 할로겐

(b) ② 형광등

(c) ③ LED-1

(d) ④ LED-2

(e) ⑤ LED-3

그림 8. 측정(실험용) 조명기구  
Fig. 8. Test objects(Lights)

2. 측정(실험) 시스템

측정 장비는 CIE의 Publication No. 69<sup>[15]</sup>에 규정된 Linearity Error 0.2 %의 오차 허용범위를 만족하는 측정기

표 3. 측정(실험) 계측기  
Table 3. Measuring and testing instrument

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



(a) ChromaMeter



(b) Spectroradio Meter

그림 9. 측정 계측기  
Fig. 9. Measuring instrument



그림 10. 광원별 특성 측정 및 실험 사진  
Fig. 10. Scene for testing the feature of each light source

를 사용하였으며 본 연구에 사용된 계측기는 표 3 및 그림 9와 같다. 광원 특성의 측정은 CIE의 LED 광원측정 기준인 TC1-62, TC2-45, TC2-46을 참고하였으며 실험에서는 TV Studio Camera를 활용한 영상신호의 Color 특성 분석을 위하여 Multi Color Chart 특성 실험을 병행하였다.(그림 10)

V. 광원특성 분석

각 조명기구의 광원특성을 측정하여 분광방사휘도(Lv), CIE 색좌표(x, y), 색온도(T), 연색성(Ra)에 대한 측정 결과를 표 4에 정리하였으며, 연색성 개선을 위한 실험으로 할로겐 + LED-1의 혼합 조명 상태에서의 합성특성을 측정하였다.

표 4. 측정 결과표  
Table 4. Test results

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/m<sup>2</sup>), T(°K)

1. 색온도 및 색좌표 특성

그림 11의 CIE 색좌표와 같이 각 조명기구에 따른 광원의 색온도 및 광원이 가지는 백색의 좌표 값이 서로 다르게 나타나고 있다.

그림 11-(b) 확대도의 Planckian(Black body) Locus의 Line에 가까울수록 완전한 백색에 가까운 광원이다. 그림의 원문자로 표시된 번호는 표 2의 측정 조명기구를 나타내



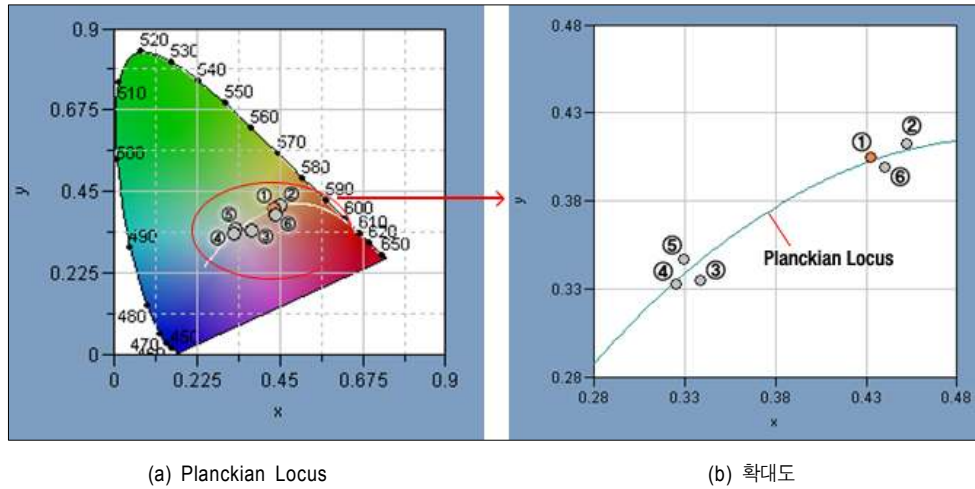


그림 11.. 광원별 CIE 색좌표  
Fig. 11. CIE color space chromaticity diagram

며 각각 ①은 할로겐, ②는 형광등, 그리고 ③, ④, ⑤는 LED-1~LED-3, ⑥은 할로겐 + LED-1의 혼합 조명 상태에서의 측정치를 가리킨다.

## 2. 분광분포 특성

### 2.1 할로겐 조명

할로겐 조명에서는 그림 12에서와같이 가시광선영역 전체에 걸쳐 평탄한 특성을 보여주고 있으며, 파장이 길어질수록 빛의 에너지 또는 세기(Intensity)가 경사형으로 증가하여 776nm 파장에서 최대치(Peak)를 나타낸다.

### 2.2 형광등 조명

형광등 조명에서는 파장 440 nm(Blue 성분), 545 nm (Green 성분), 610 nm(Red 성분)의 전형적인 3파장의 분광 분포 특성을 보여주고 있으며, 650 nm 이상에서는 에너지가 미약하다. 이러한 상태에서는 표 4의 측정치에서와같이 연색성도 90 이하로 낮아지게 되며, Red 성분의 색 재현성도 크게 떨어지게 된다.

### 2.3 LED 조명

LED 조명의 스펙트럼은 그림 14와 같이 세 개의 LED 조명 모두 파장 460 nm 부근에서 최대치를 보이고 있으며

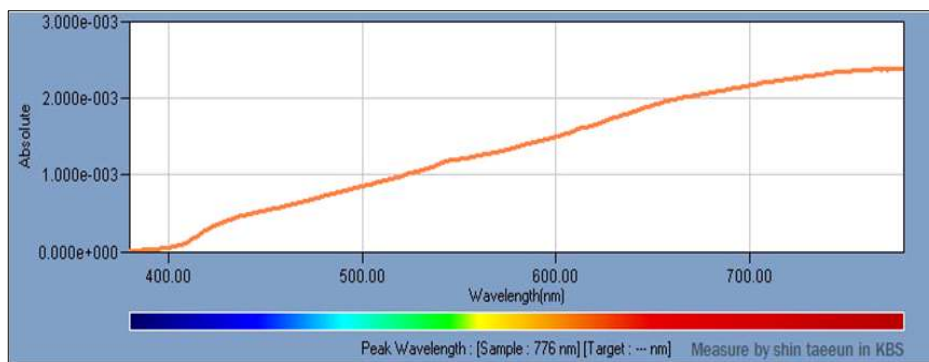


그림 12. 할로겐 조명 스펙트럼  
Fig. 12. Halogen lamp spectrum

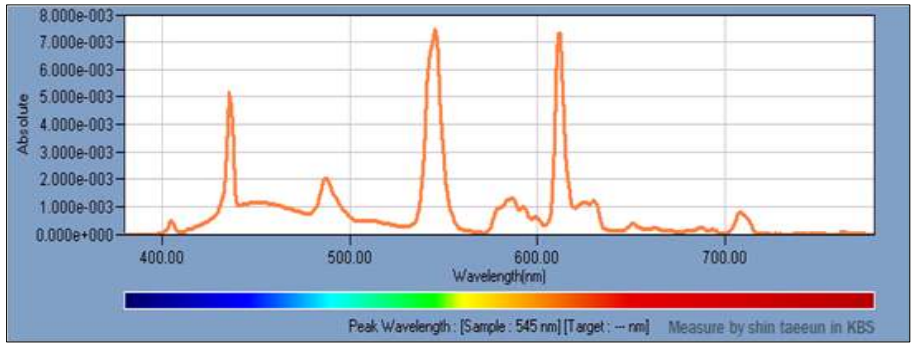


그림 13. 형광등 조명 스펙트럼  
Fig. 13. Fluorescent lamp spectrum

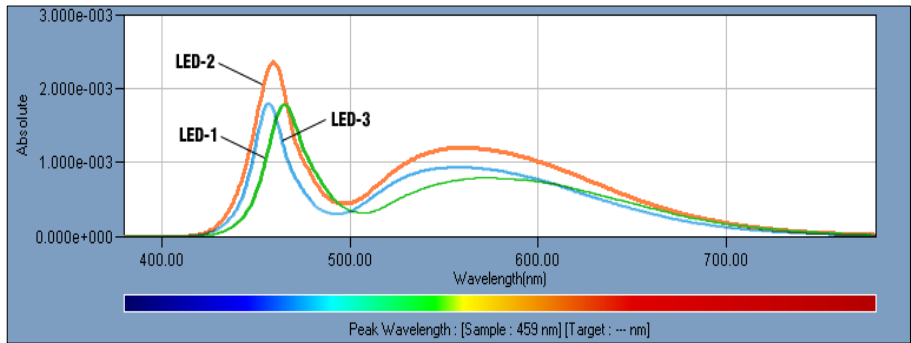


그림 14. LED 조명 스펙트럼  
Fig. 14. LED lamp spectrum

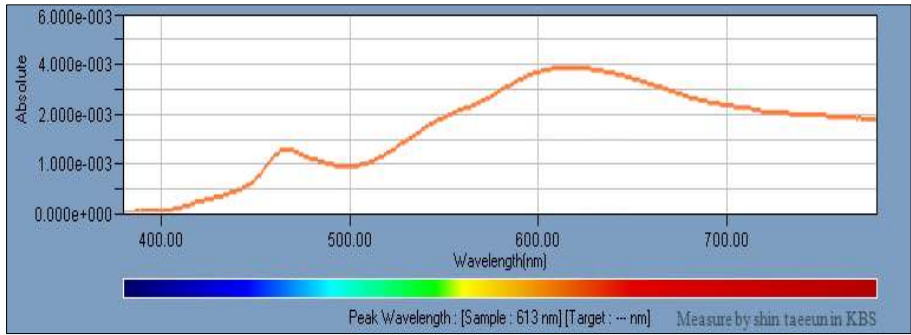


그림 15. 할로겐 + LED 합성 스펙트럼  
Fig. 15. Spectrum of the combination of Halogen and LED

500 nm~670 nm 사이에서는 비교적 평탄한 분광분포 특성을 보여주고 있으나 대체로 빛 에너지가 파란색 쪽으로 몰려 있다. 이런 경우 감성적으로는 백열등의 따스함과는 상반된 차가운 느낌이 들게 된다.

2.4 할로겐과 LED 조명의 합성

할로겐과 LED 혼합조명에 의한 합성 스펙트럼은 파장 611 nm 에서 peak 값을 보여주고 있으며, 약 550 nm ~ 780 nm까지 비교적 평탄한 특성을 보여주고 있어 연색성

개선 효과가 있음을 뚜렷하게 알 수 있다.

3. Multi Color Chart 영상 실험

그림 16은 할로겐, 형광등, LED의 각 광원을 조사하였을 때 Multi Color Chart의 영상 실험 결과이다.

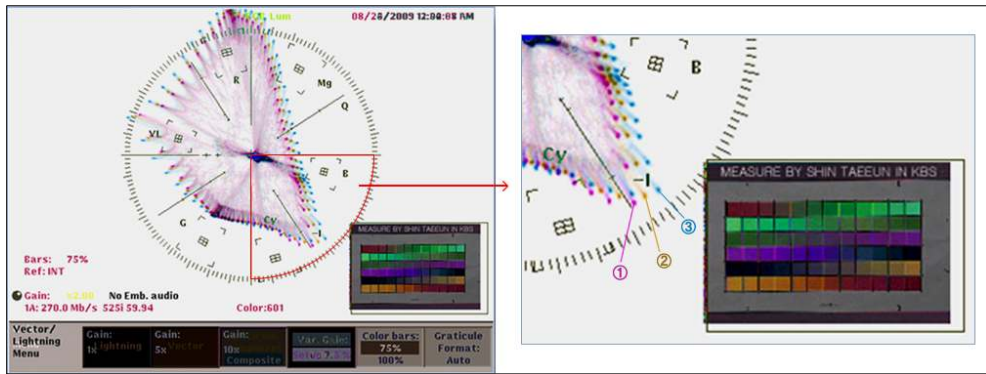
그림 16-(b)의 확대도에서는 LED-1 조명(③)의 경우 Blue와 Cyan 사이의 -I 축 부분의 Color에서 할로겐 조명(①)보다 약 8°, 형광등 조명(②) 보다 약 4° 정도의 위상차가 발생하고 있음을 보여주고 있다. 일반적으로 3° 이상 위상차가 생기면 사람의 눈에 인지되어 색의 변화를 느낄 수

있는 것으로 알려져 있다.

4. 그림자(Shadow) 투영 실험

LED 조명기구에 의한 조명은 그림 17에서 보여주는 바와 같이 집적된 빛에 의한 점 조명(단초점)이 아니고 여러 개의 LED 램프에 의한 다초점 조명이다.

다수의 LED 램프에 의한 물체의 그림자가 그림 18. (b) 확대도에서 보는 바와 같이 여러 방향으로 중첩되어 나타나게 된다. TV에서 인물 조명의 Key Light로 사용하기에는 부적합한 광원이라는 문제점을 가지게 되며 이에 대한 해



(a) Vector Scope 측정화면

(b) -I 축 부분 확대도

그림 16. Multi color chart 실험 측정도  
Fig. 16. Testing multi color chart

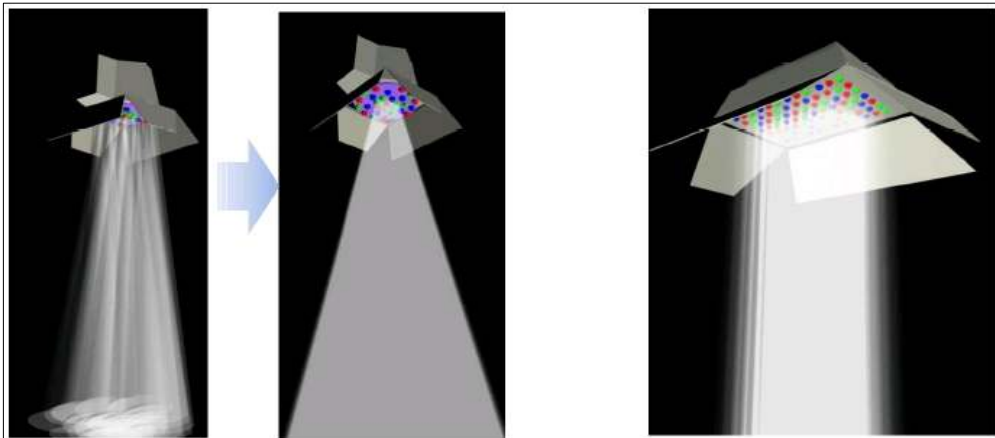


그림 17. LED 광 형태(다초점)  
Fig. 17. Different lighting sources(multi focus)

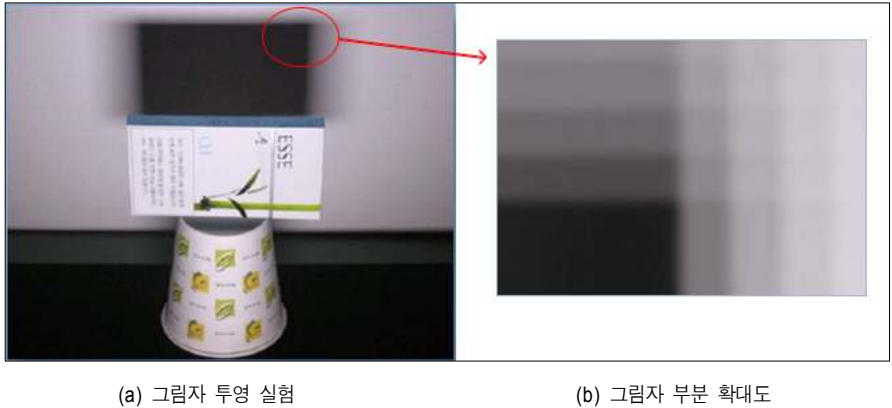


그림 18. LED 조명의 그림자 특성  
 Fig. 18. Features of shadow formed by LED lamps

결책으로는 Spot Light에서는 빛을 집속(Focusing)하여 단 초점으로 만들어줄 광학 렌즈의 설계가 필요하고 Flux Light에서는 빛을 확산시켜 면광원으로 만들어줄 Diffusion Filter 시스템이 필요하다.

### VI. 결 론

TV제작에 사용되는 조명의 표준 광량은 Spot 조명일 때 6m 거리에서 1,000 룩스, Flux 조명일 때 3m 거리에서 1,000 룩스 가 되어야 한다. LED의 효율을 높이고 빛을 집속하여 조도를 높이기 위한 노력이 TV제작용 LED 조명기구 개발의 선결 과제이다. 색온도는 스튜디오와 야외제작에서 조명기구의 혼용을 위하여 3200 °K, 4500 °K, 5600 °K의 가변형 조명기구가 요구된다. 또한, 연색성  $Ra \geq 90$  은 TV제작 시 인물 조명에서의 필요조건이다. TV 조명용으로 개발된 백색 LED의 광원은 불쾌감이 없는 백색과 양호한 연색성을 가지고 있어야 하므로 고효율화와 연색성은 LED 광원의 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 파장을 낼 것인가 등 다양한 요인이 얽힌 종합예술에 가까운 특성을 보이기 때문이다.

연구 결과, LED 광원에 의한 TV 조명이 아직은 방송영상에 필요한 조건에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. 실험을 통해서도 할로겐 + 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 문제점에 대한 개선을 위해 TV Studio에서는 할로겐과 LED 조명을 혼합하여 사용하는 방안을 제안한다. 방법적으로는 인물의 Key 조명에는 기존의 할로겐 또는 텅스텐 조명을 Flux 조명에는 LED 조명을 사용하는 형식이다.

백색 LED는 고효율, 환경 친화, 긴 수명, 공간 효율성, 그리고 다양한 연출효과를 장점으로 하는 특성 덕분에 TV 조명용 광원에 대한 기대가 크다. 실용화를 위해서는 색온도와 연색성을 고려한 감성조명, 그리고 LED 광원의 기능 평가 및 인체에 미치는 영향 등에 대한 연구 또한 지속적으로 고려되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 아사야마 다카오(淺山 隆夫), "LED Light의 가능성", NHK방송기술세미나, 2004.10.
- [2] 김치현, "LED 조명, 미래의 빛이 되려면", LG Business Insight, pp.2~19, 2009.6.
- [3] 정타관, "조명 원리와 응용", 북스힐, p.2, 2005.1.
- [4] Mark S. Rea, "The IESNA Lighting Handbook", 9th ED., IESNA, New York, pp.1-2, 2000.7.

[5] 최금연, 임수근, 어익수, “LED조명의 색온도 변화에 따른 뇌의 기본상태 분석”, 호남대학교 대학원 논문집, 제6집, pp.539~549, 2008.10.

[6] Seoung-Joo Yang, "LUXEON Power LED Basic Training", 한국방송협회/KOBETA 디지털방송조명교육, pp.59~75. 2009.9.

[7] 황명근, “백색 LED를 사용한 조명광원의 설계 및 분석”, 인하대학교대학원 학위논문, pp.18, 2004.8.

[8] Alvin Tse, "LED Broadcasting / Entertainment Lighting", 한국방송협회/KOBETA 디지털방송조명교육, pp.79~89. 2009.9.

[9] 송상빈, “고효율 LED조명 기술개발 동향”, 에너지관리, 통권 제392호, pp.58~70, 2009.1.

[10] 홍창희, “백색 LED의 신기술 동향”, 전기전자재료, 제17권 제9호, pp.16~22, 2004.9.

[11] 이석현, “조명용 LED 응용사례”, LG Innotek, pp.7, 2008.6.

[12] 김창해, “백색 LED용 형광 소재의 연구개발 동향”, 물리학과 첨단기술, 제17권제11호, pp.22~25, 2008.11.

[13] 안선영, “백색 LED 시장현황 및 전망(1)”, 광산업정보, 통권40호, pp.24~29, 2007.5.

[14] B. Keller, "New LED developments for solid state lighting", Conference proceedings LED-2003, Sandiago, CA, 2003.10.

[15] CIE, "Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications", CIE publication No.69, Vienna: Bureau Central de la CIE, 1987.

저 자 소 개

이 국 세



- 2001년 : 한국교육개발원 전자계산학과 학사
- 2004년 : 단국대학교 미디어정보대학원 방송영상정보학과 석사
- 2008년 ~ 현재 : 호서대학교 벤처전문대학원 IT응용기술학과 박사과정
- 1977년 ~ 현재 : 한국방송공사 보도본부(보도기술)
- 주관심분야 : 방송/통신시스템, 방송영상, VFX, 3D Video

문 남 미



- 1985년 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 학사
- 1987년 : 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 석사
- 1990년 : Tulan Uni. 박사과정 수료
- 1998년 : 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 박사
- 1999년 : 아주대학교 미디어학과 조교수 대우
- 2000년 ~ 2003년 : 이화여자대학교 인터넷멀티미디어 연구소 센터장 /조교수
- 2004년 ~ 2008년 : 서울벤처정보대학원 디지털미디어학과 교수
- 2009년 ~ 현재 : 호서대학교 벤처전문대학원 IT응용기술학과 교수
- 주관심분야 : 디지털데이터방송 비즈니스모델, T-Commerce, Mpeg-21, e-러닝 비즈니스 응용