

# 디지털 제어방식 LED 램프의 색 특성에 관한 연구

(A Study on color characteristic of LED lamp of Digital Control Method)

강신호\*, 한진호, 이정섭, 엄정덕

(Shinho Kang\*, Jinho Han, Jeongseop Lee, Jeongduk Ryeom)

숭실대학교 전기공학부

## 요 약

색이란 빛의 스펙트럼 분포에 의하여 눈이 느끼는 지각이고, 삼자극치에 의하여 수치화된 색자극의 표시이다. 이때 삼자극치란 사람의 눈의 중심와 부분에 분포하는 3가지 추상체에 의하여 뇌로 전달되는 색의 정보를 수치화한 것이다. 삼자극치를 이용하면 색을 수치로 나타낼 수 있고, 색을 객관적으로 측정할 수 있다. 본 논문에서는 LED의 광량 제어에 디지털 방식을 이용한 full color LED 램프의 이론적인 색채연구를 위하여 분광분포를 이용한 삼자극치를 구하는 과정에 대하여 논하였다. 또한 구해진 삼자극치로부터 색도좌표를 구하는 과정을 모델링하였고, 실제로 측정된 색도좌표와의 오차를 계산하였다.

## 1. 서 론

색채를 다루는 학문이 다양한 만큼 색의 정의도 각각의 학문의 성질과 특징에 따라 다양하다. 색의 정의는 사람의 감각이 반영된 정의와 물리화학적 개념의 정의로 나눌 수가 있다.[1] 본 논문에서 언급하는 색은 물리화학적 개념의 색이다.

색이란 빛의 스펙트럼 분포에 의하여 눈이 느끼는 지각이다. 또한, 삼자극치에 의하여 수치화된 색자극의 표시이다. 색을 지각하기 위한 3가지 조건은 빛과 물체와 눈이다. 사람이 인식할 수 있는 빛의 파장의 범위는 380~780nm의 가시광선이며 이 가시광선은 여러 단색광으로 구성되어 있고 이 단색광들의 에너지 분포를 나타낸 것을 분광분포라고 한다. 가시광선이 눈을 자극하면 눈의 중심와 부분에 분포하는 3가지 종류의 추상체가 빨강과 녹색, 파랑 3가지 색의 정보를 뇌로 전달하게 되고, 이로 인해 사람은 색을 인식하게 된다.[1][2]

본 논문에서는 LED의 광량제어에 디지털 제어 방식을 이용한 full color LED 램프의 이론적인 색채연구를 위하여 적색, 녹색, 청색 LED의 분광분포와 등색함수(color matching function)를 이용하여 각각의 색도좌표를 모델링 하는 방법에 대하여 논하고, 계산에 의하여 얻은 색도좌표와 색채 휘도계 cs-200에 의하여 측정된 색도좌표와의 오차를 계산하였다. 또한 계산에 의하여 얻은 적색, 녹색, 청색의 색도좌표와 삼자극치를 이용하여 reddish purple과 bluish green, yellow의 색도좌표를 계산

하고, cs-200으로 측정된 색도좌표와의 오차를 계산하였다.

## 2. 삼자극치 정의

삼자극치란 눈의 3가지 추상체에 의하여 뇌로 전달되는 색의 정보를 수치화한 것이다. 삼자극치를 이용하여 색을 수치로 나타낼 수 있게 되었고, 사람의 감각이 아닌 측색장비를 통하여 색을 객관적으로 측정할 수 있게 되었다. 삼자극치는 조명광의 분광분포와 물체의 반사율, 등색함수의 곱을 가시광선영역인 380nm~780nm에서 적분한 값으로 계산된다. 삼자극치는 다음의 식 (1)로 정의 된다.[3]

$$\begin{aligned} X &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \\ Y &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda \\ Z &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \\ K &= \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)y(\lambda)d\lambda} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$S(\lambda)$  : 조명광의 분광특성

$R(\lambda)$  : 물체의 분광반사율

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  : XYZ색체계의 등색함수

X, Y, Z : 삼자극치

K: 완전확산면( $R(\lambda)=1$ )에서 Y가 100이 되도록 하는 상수

그림 1은 국제조명위원회(CIE)에서 제안한 XYZ 색체계의 등색함수(color matching function)이다. 1931년 CIE는 백색 스크린 한쪽에 기준이 되는 단색광을 투사하고, 나머지 한쪽에 적색, 녹색, 청색광의 혼합비를 조절하여 단색광과 동일한 색을 만드는 실험을 하였다. 특정 파장의 단색광은 적색, 녹색, 청색광의 혼합만으로는 동일한 색을 만들 수가 없어 단색광에 적색, 녹색, 청색광 중 하나를 혼합하고, 나머지 두 색광을 혼합하여 동일한 색을 만들었다. 이때 단색광에 혼합된 색광을 음의 값으로 표시하였다. 이러한 등색실험을 통하여 RGB색체계의 등색함수를 얻었다. 하지만 RGB색체계의 등색함수는 음의 값을 가지고 있기 때문에 사용에 불편한 점이 많아서 삼자극치의 모든 값이 양의 값을 갖고,  $\bar{x}$ 가 비시감도곡선과 일치하는 XYZ색체계의 등색함수가 사용되고 있다.[3][4]

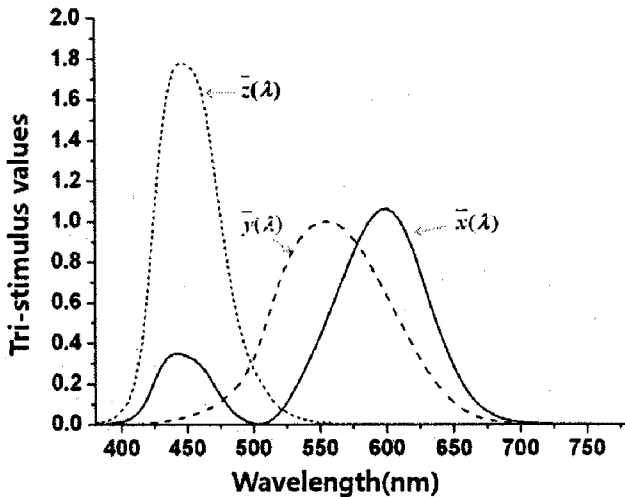


그림 1. CIE 1931 XYZ색체계의 등색함수  
Fig. 1. Color matching function of CIE 1931 XYZ color system

### 3. LED 휘도 선형성

그림 2는 입력 전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 분광분포이다. 입력 전압 12[V], 10[V], 8[V], 6[V]에서 적, 녹, 청색 LED의 분광분포를 측정하였다. 이때 분광분포를 측정한 장비는 Ocean optics사의 s-2000이다. 분광 에너지의 최대치가 가장 높은 값부터 제일 낮은 값 까지 12[V], 10[V], 8[V], 6[V]의 전압이 인가되었다. 실험으로부터 적, 녹, 청색의 분광분포에서 에너지의 최대값 파장은 동일하고, 전압에 따라 진폭만 변화하는 것을 확인하

였다. 또한 전압에 비례적으로 분광의 진폭이 커지는 것을 확인하였다. 식 (1)로부터 휘도(Y)는 분광특성과 선형적으로 비례한다. 이에 따라 적, 청, 녹색 LED의 휘도 또한 전압과 선형적인 관계이다. 이때 분광분포는 절대적인 값이 아닌 상대적인 값이다.

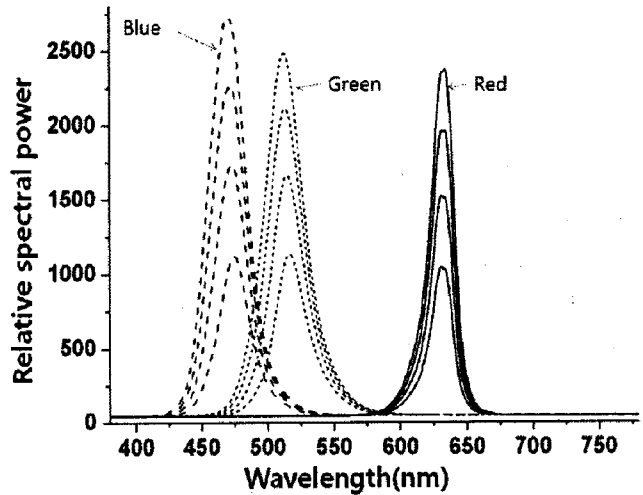


그림 2. 전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 분광분포  
Fig. 2. Spectrum of red, green, blue LED according to voltage

그림 3은 디지털 입력(8bit)에 따른 적, 녹, 청색 LED의 휘도변화를 나타낸 그래프이다. 디지털 입력의 십진수 값이 증가할수록 적, 녹, 청색 LED의 휘도가 비례적으로 증가하는 것을 볼 수가 있고, 이에 따라 디지털 입력과 적, 녹, 청색 LED의 휘도는 선형적인 관계이다.

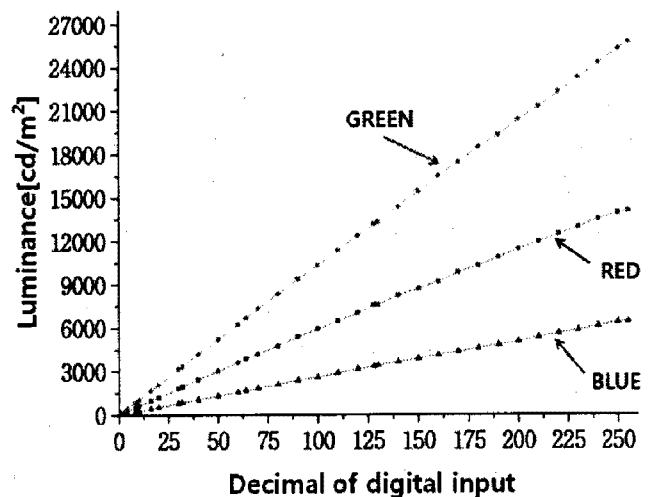
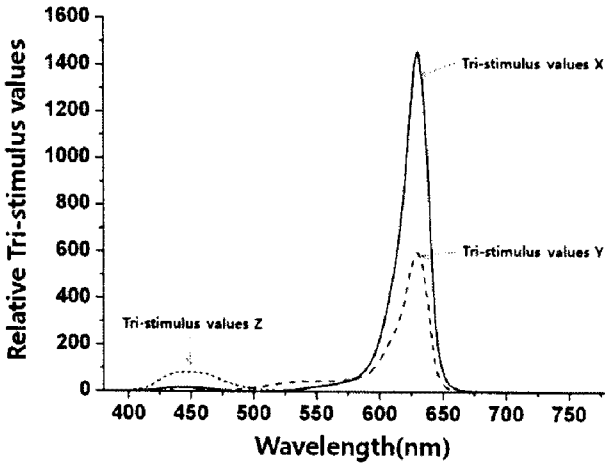


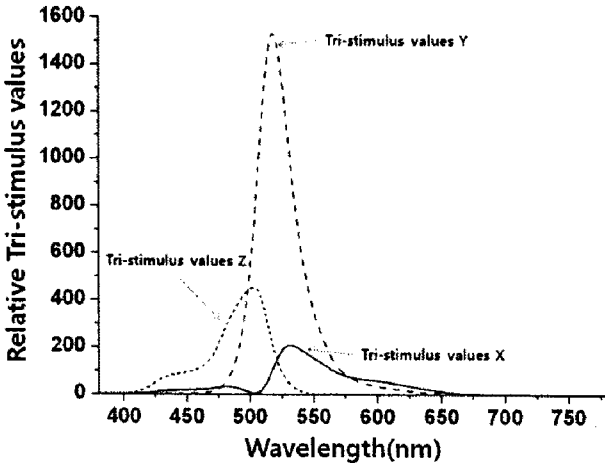
그림 3. 디지털 입력의 십진수 값에 따른 적, 녹, 청색 LED의 휘도변화  
Fig. 3. Luminance variation of RGB LED according to decimal value of digital input

#### 4. 삼자극치를 이용한 색도좌표 계산

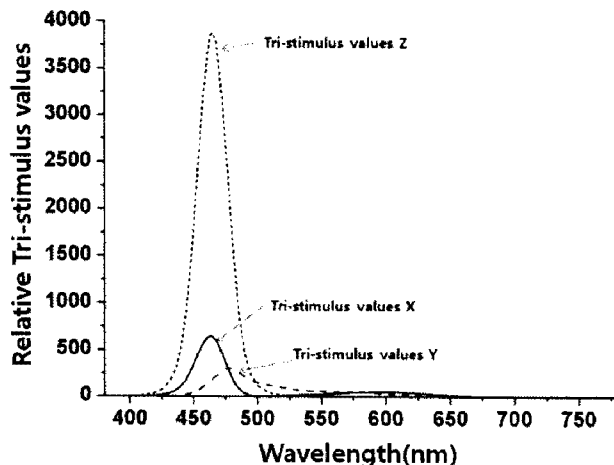
그림 4는 인가전압이 12V인 적, 녹, 청색의 분광분포와 XYZ색체계의 등색함수를 곱한 삼자극치 그래프이다. XYZ색체계의 등색함수 데이터 간격 5[nm]와 분광측정한 데이터 간격 0.4~0.5[nm]를 spline 보간법을 이용하여 데이터 간격 0.5[nm]로 보간 하였다.



(a) 적색 LED의 삼자극치 곡선  
(a) Curve of Tri-stimulus values of red LED



(b) 녹색 LED의 삼자극치 곡선  
(b) Curve of Tri-stimulus values of green LED



(c) 청색 LED의 삼자극치 곡선  
(c) Curve of Tri-stimulus values of blue LED

그림 4. 적, 녹, 청색 LED의 삼자극치 곡선  
Fig. 4. (a) Curves of Tri-stimulus values of red, green, blue LED

적색의 경우 삼자극치 곡선 X의 최대값이 가장 높고, 녹색의 경우 삼자극치 곡선 Y, 청색의 경우 삼자극치 곡선 Z의 최대값이 가장 높다. 휘도를 나타내는 Y는 녹색이 가장 높고, 적색, 청색의 순서이고 이것은 그림 3의 휘도 크기의 순서와 일치한다. 삼자극치 곡선을 적분하는 방법으로는 simpson 법칙을 이용하였다. 분광특성이 상대적인 값이므로 삼자극치 또한 상대적인 값이다. 적, 청, 녹색의 삼자극치는 그림 4의 삼자극치 곡선을 적분하여 얻었다. 이 삼자극치로 식 (2)를 이용하여 색도좌표를 계산하였다.[5]

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (2)$$

여기서,  
x,y : 색도좌표  
X,Y,Z : 삼자극치

Reddish Purple을 구현하기 위한 적, 청, 녹색 LED의 디지털 입력 십진수 값은 164, 0, 122이고, Bluish Green의 경우 15, 214, 92, Yellow의 경우 176, 147, 0이다.[6] 디지털 입력과 휘도(Y)가 비례하므로 Reddish Purple과 Bluish Green, Yellow에 혼합되는 Red와 Green, Blue의 휘도(Y)는 식 (3)에 의하여 계산된다.

$$Y_{mix} = \frac{\text{decimal of digital code}}{255} Y \quad (3)$$

여기서,  
Y<sub>mix</sub> : 혼합되는 색의 휘도

혼합되는 적, 녹, 청색 각각의 삼자극치 X, Z는 식 (4)에 의하여 계산된다.[5]

$$X_{mix} = \frac{x}{y} Y_{mix}$$

$$Z_{mix} = \frac{1-x-y}{y} Y_{mix} \quad (4)$$

여기서,

$X_{mix}, Z_{mix}$  : 혼합되는 색의 삼자극치

Reddish Purple과 Bluish Green, Yellow의 삼자극치는 식(3), (4)에 의하여 계산된 혼합되는 적, 청, 녹색의 삼자극치 합으로 표현되며 식(5)로 계산된다.[7]

$$X_{total.mix} = X_{red.mix} + X_{green.mix} + X_{blue.mix}$$

$$Y_{total.mix} = Y_{red.mix} + Y_{green.mix} + Y_{blue.mix}$$

$$Z_{total.mix} = Z_{red.mix} + Z_{green.mix} + Z_{blue.mix} \quad (5)$$

여기서,

$X_{total.mix}, Y_{total.mix}, Z_{total.mix}$  : Reddish Purple과 Bluish Green, Yellow의 삼자극치

표 1은 색에 따른 삼자극치와 측정된 색도좌표, 계산된 색도좌표이다. 적, 청, 녹색 LED의 계산된 색도좌표와 측정된 색도좌표의 오차는 3.96~48.56[%]로 나타났다. 적, 청, 녹색 LED의 색도좌표 오차의 영향으로 Reddish Purple과 Bluish Green, Yellow의 오차가 6.67~21.35[%]로 얻어졌다. 이러한 색도좌표의 오차는 분광분포 측정장비인 s-2000과 색채 휘도계 cs-200의 측정기준의 차이와 삼자극치 적분의 오차에 의해 발생한 것으로 사료된다.

표 1. 색에 따른 삼자극치와 측정된 색도좌표, 계산된 색도좌표

Table 1. Tri-stimulus values and Measured chromaticity coordinate, estimated chromaticity coordinate according to colors

Color	Red	Green	Blue	Reddish Purple	Bluish Green	Yellow
Relative Tri-stimulus values	42239	14547	23199	38261	23058	37538
	21404	61075	17478	22128	58820	49981
	4912.5	22925	119820	60490	62756	16606
Measured coordinate	0.6988	0.1208	0.1305	0.350	0.147	0.459
	0.3003	0.6581	0.0733	0.159	0.351	0.450
Estimated coordinate	0.6161	0.1476	0.1445	0.317	0.159	0.361
	0.3122	0.6198	0.1089	0.184	0.407	0.480
Relative Error[%]	11.83	22.18	10.73	9.43	8.16	21.35
	3.96	5.82	48.56	15.72	15.95	6.67

## 5. 결 론

본 논문에서 삼자극치의 개념과 삼자극치를 이해하는데 필요한 등색함수에 대하여 소개를 하였다. 또한 이 등색함수를 이용하여 적, 청, 녹색 LED lamp의 분광분포로부터 삼자극치를 계산하였다. 이렇게 계산된 삼자극치를 이용하여 색도좌표를 계산하는 모델을 만들고 이 계산결과와 실제로 측정된 색도좌표와의 오차를 계산하였다. 이 실험결과를 활용하면 적, 청, 녹색 LED의 분광분포와 디지털 입력값만으로 출력광의 색도좌표를 추정할 수 있다. 그러나 계산결과, 오차의 범위가 넓으므로 추후 오차를 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 윤희림, '색채지각론과 체계론', 도서출판 국제, pp.10-37, 2, 2008.
- [2] Myong Young Lee, Kun Weon Song, Cheol Hee Lee, Yeong Ho Ha, 'Physical-based Rendering Method for Lamp-lit Simulation of Automotive Rear Lamp', Journal of Korean Society for Imaging Science & Technology Volume 12 Number 4, pp123-137, December, 2006.
- [3] ROY S BERNIS, 'Principles of Color Technology', sigrnagress, pp50-pp71, March, 2003.
- [4] 문은배, '색채의 활용', 도서출판 국제, pp61-pp72, 6, 2002.
- [5] 이진우, '색 공간의 정의', 한국 조명·전기설비학회지, pp50-54, 4, 2003.
- [6] 강신호, 한진호, 이정섭, 엄정덕, 'LED 휘도의 디지털 제어 방식에 관한 연구', 한국조명·전기설비학회 2009 춘계학술대회 논문집, pp3-pp5, 5, 2009.
- [7] Jin Sik Youn, Gi Hoon Kim, Sang Bin Song, Young Cheol Lim, 'Development of 100[W] LED Flood Lighting with Tunable Colors and Color Temperatures', Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, pp1-pp9, December, 2008.