

역 삼자극치 알고리즘을 이용한 LED램프 디지털 광색제어시스템

(Digital Light Color Control System of LED Lamp using Inverse Tri-Stimulus Algorithm)

강신호* · 이정민 · 염정덕**

(Shin-Ho Kang · Jeong-Min Lee · Jeong-Duk Ryeom)

Abstract

In this paper, the method to calculate chromaticity coordinate from spectral power distribution of LED is presented. Also, inverse tri-stimulus algorithm to find mixed luminance of red, green, blue LED from targeted luminance and chromaticity coordinate is proposed. Besides, digital light color control system of LED lamp applied this algorithm has been developed. In experiments, each chromaticity coordinate of red, green, blue LED calculated from this algorithm has relative percentage error of few % to measured values. Digital code is drawn from inverse tri-stimulus algorithm, and measured values of luminance and chromaticity coordinate of LED lamp digitally controlled by this code also have relative percentage error within a few % to targeted luminance and chromaticity coordinate.

Key Words : LED Drive Method, RGB Color, Tri-Stimulus Values, Chromaticity Coordinates, Digital Control

1. 서 론

색채를 다루는 학문이 다양한 만큼 색의 정의도 각각의 학문의 성질과 특징에 따라 다양하다. 예를 들면 사람의 감각이 반영된 색상·명도·채도로 색을 정의하는 개념과 삼자극치에 의하여 수치화된 색자극의 표시로 표현하는 개념 등이 있다[1]. 물리학적 측면에서 색을 지각하기 위한 3가지 조건은 빛과 물체와 눈이다. 사람이 인식할 수 있는 빛인 가시광선의 파장 범위는 380~780[nm] 부근이며 이 가시광선은 여러

단색광으로 구성되어 있고, 이 단색광들의 에너지 분포를 나타낸 것을 분광분포라고 한다. 가시광선이 눈을 자극하면 눈의 중심와 부분에 집중적으로 분포하는 시세포들인 3가지 종류의 추상체가 적, 녹, 청색의 3가지 색에 대한 자극을 전기신호로 변환하여 뇌로 전달하게 되고, 이로 인해 사람은 색을 인식하게 된다 [1-2].

이러한 삼자극치 이론을 바탕으로 LED의 광색 특성을 다룬 연구 결과는 그리 많지 않으며 그 중 목표 조도와 색도좌표를 구하기 위하여 혼합되는 적, 녹, 청, 백색 LED의 조도를 수식으로 구하고 PWM을 이용한 LED 조광 제어 방식으로 목표 광색을 구현한 연구결과가 있다[3]. 또한 LED의 조광 방식으로 PWM이 아닌 디지털 제어방식을 사용하여 적, 녹, 청색 LED의 휘도를 제어하여 다양한 광색을 구현한 연구

* 주저자 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 부교수

Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125

E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr

접수일자 : 2010년 8월 10일

1차심사 : 2010년 8월 11일

심사완료 : 2010년 10월 30일

결과도 있다[4].

본 논문에서는 LED의 분광분포로부터 색도좌표를 계산하고 목표 휘도 및 색도좌표를 얻기 위한 적, 녹, 청색 LED의 혼합 휘도를 구하는 역 삼자극치 알고리즘을 제안하였다. 그리고 이 알고리즘을 적용한 LED 램프 디지털 광색제어시스템을 개발하였다. 또한 이 시스템으로 구동한 LED램프의 휘도와 색도좌표를 측정하고 목표 휘도 및 색도좌표와 비교하여 이 시스템의 신뢰성을 검증하였다.

2. 등색함수와 삼자극치

국제조명위원회(CIE)는 백색 스크린 한쪽에 기준이 되는 단색광을 투사하고, 나머지 한쪽에 적, 녹, 청색광의 혼합비를 조절하여 기준 단색광과 동일한 색을 구현하는 실험을 하였다. 그러나 특정 파장의 기준 단색광은 적, 녹, 청색광의 혼합만으로는 동일한 색을 구현할 수가 없어 기준 단색광에 적, 녹, 청색광 중 하나를 혼합하고, 나머지 두 색광을 적절히 혼합하여 이와 동일한 색을 구현하였다. 이때 기준 단색광에 혼합된 색광을 음의 값으로 표시하면 모든 단색광에 대한 RGB색체계의 등색함수(color matching function)를 얻을 수 있다. 그러나 RGB색체계의 등색함수는 음의 값을 가지고 있기 때문에 사용에 불편한 점이 많아 삼

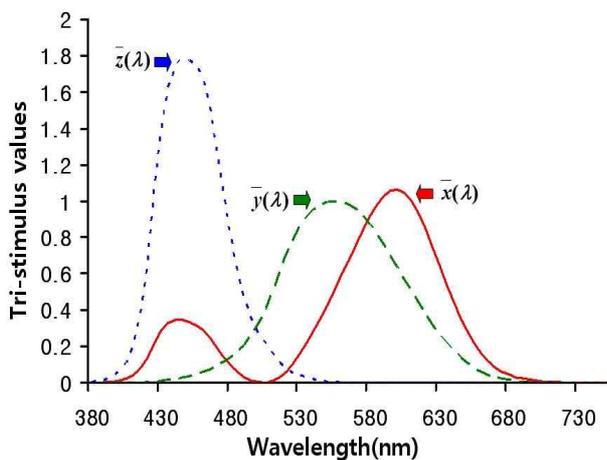


그림 1. CIE 1931 x,y,Y 색체계의 등색함수
Fig. 1. Color matching function of CIE 1931 x,y,Y color system

자극치의 모든 값이 양의 값을 갖고, $\bar{y}(\lambda)$ 가 비시감도 곡선과 일치하도록 RGB색체계를 변환한 x,y,Y색체계의 등색함수가 제안되었다[5-6]. 그림 1은 1931년에 CIE에서 제안한 x,y,Y색체계의 등색함수이다.

삼자극치란 눈의 시세포인 3가지 추상체에 의하여 뇌로 전달되는 색의 자극을 수치화한 것이다. 삼자극치를 이용하면 사람이 느끼는 색을 수치로 나타낼 수 있으므로 사람의 감각이 아닌 측색장비를 통하여 색을 객관적으로 측정할 수 있다. 어떤 광색을 가지는 광원에 대한 삼자극치는 광원의 분광 방사휘도와 등색함수의 곱을 가시광선영역인 380~780[nm]에서 적분한 값으로 계산된다. 삼자극치 X, Y, Z는 다음 식 (1)로 정의된다. 이때 Y는 휘도[cd/m²]를 나타낸다. 삼자극치 Y의 단위는 주어진 광원의 분광특성에 따라 변한다. 예를 들어 주어진 광원의 분광특성이 방사휘도(L_v(λ))이면 Y는 휘도[cd/m²]이고, 방사조도(E_o(λ))이면 Y는 조도 [lx], 분광 에너지 분포(Φ_o(λ))이면 Y는 광속[lm]이다[5,7].

$$X = K \int_{380}^{780} L_v(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$Y = K \int_{380}^{780} L_v(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} L_v(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

$$K = 683 \text{ lm} / W$$

여기서

λ : 빛의 파장

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

$L_v(\lambda)$: 광원의 분광 방사휘도(spectral radiance)
[W/(sr · m² · nm)]

X, Y, Z : 삼자극치

K : 최대 시감도(maximum luminous efficiency)

3. LED 휘도 선형성

본 논문에서 제안하고자 하는 역 삼자극치 알고리즘

은 디지털 입력과 LED 램프의 휘도가 선형적일 때 성립한다. 따라서 입력 전압과 디지털 입력에 따른 LED 램프의 휘도 선형성을 실험을 통하여 확인하였다.

그림 2는 입력 전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 분광분포이다. 입력전압이 12[V], 10[V], 8[V], 6[V]일 때 각각 적, 녹, 청색 LED의 분광분포를 측정하였다. 분광분포를 측정한 장비는 Ocean optics사의 s-2000이며 측정된 분광 에너지는 상대적인 값이다.

측정결과 적, 녹, 청색 LED 각각의 분광 에너지 분포에서 최대 에너지를 갖는 파장은 인가전압에 무관하게 동일하고, 에너지의 최대값만 비례적으로 변하여 12[V]일 때 가장 높고 차례로 낮아져서 6[V]일 때 가장 낮았다. 이로부터 분광 에너지의 분포는 인가전압에 영향을 받지 않고 그 크기만 인가전압에 따라 변화한다는 것을 알 수 있다. 한편 분광 방사 휘도는 분광 에너지 분포와 비례관계이다[5]. 그러므로 식 (1)로부터 적, 녹, 청색 LED의 휘도 Y는 인가전압에 선형적으로 비례한다고 할 수 있다.

그림 3은 입력 전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 상대적 분광 에너지의 최대값을 나타낸 것이다. 적, 녹, 청색 LED의 상대적 분광 에너지가 최대인 파장은 475, 514, 631[nm]이다. 그림 3의 그래프가 선형적이므로 입력 전압에 따른 분광 에너지 분포는 비례한다고 할 수 있다.

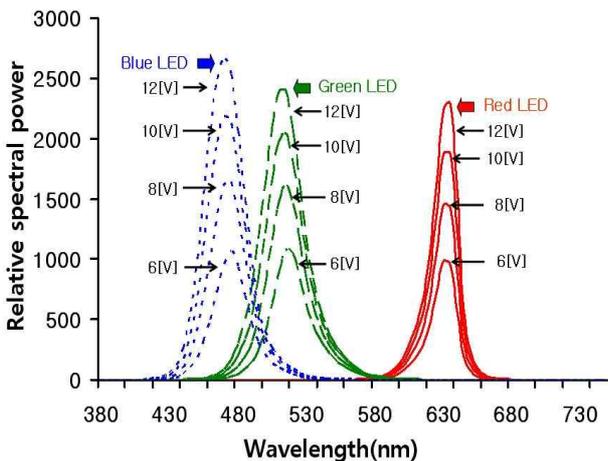


그림 2. 입력전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 분광분포
Fig. 2. Spectral power distribution of red, green, blue LED versus input voltage

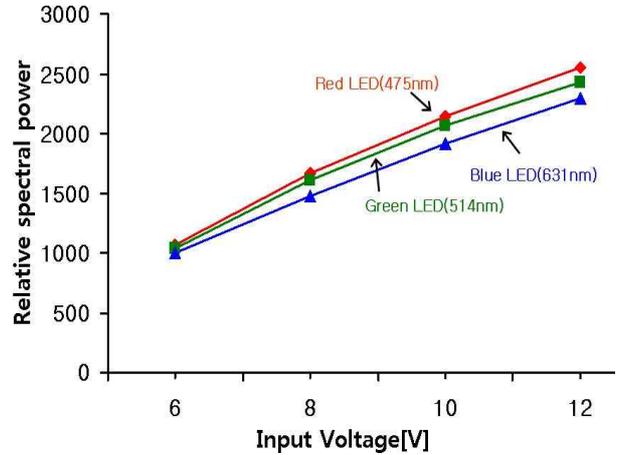


그림 3. 입력전압에 따른 적, 녹, 청색 LED의 상대적 분광 에너지의 최대값

Fig. 3. Maximum values of relative spectral power of red, green, blue LED versus input voltage

그림 4는 8[bit] 디지털 입력의 변화에 따른 적, 녹, 청색 LED의 휘도변화를 나타낸 그래프이다. 십진수로 나타낸 디지털 입력 값이 증가함에 따라 적, 녹, 청색 LED의 휘도가 비례적으로 증가하므로 디지털 입력과 적, 녹, 청색 LED의 휘도는 선형적인 관계를 갖는다.

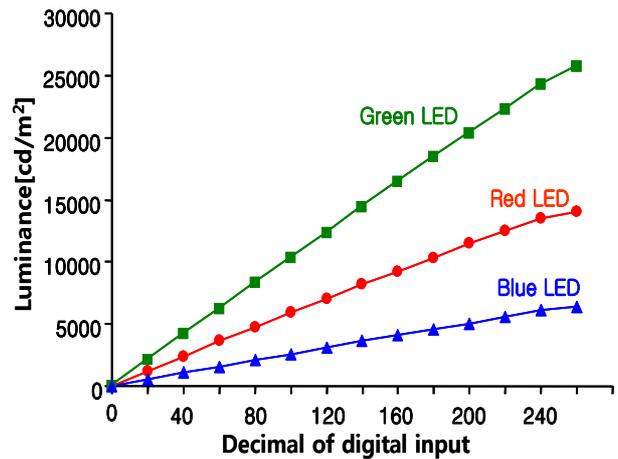


그림 4. 디지털 입력의 십진수 값에 따른 적, 녹, 청색 LED의 휘도변화

Fig. 4. Luminance variation of red, green, blue LED versus decimal value of digital input

4. 역 삼자극치를 이용한 적, 녹, 청색 LED 혼합 휘도 계산 알고리즘

4.1 적, 녹, 청색 LED의 색도좌표 계산 알고리즘

그림 5는 인가전압이 12[V]인 적, 녹, 청색 LED의 분광 에너지 분포와 x,y,Y색체계의 등색함수를 곱하여 얻은 삼자극치 그래프이다. x,y,Y색체계의 등색함수 데이터와 동일한 5[nm]의 파장 간격을 갖도록 측정된 분광분포의 파장간격 0.4~0.5[nm]를 spline 보간법을 이용하여 0.5[nm] 간격으로 보간하였다. 적색 LED의 경우 삼자극치 곡선 X의 최대값이 Y, Z의 최대값보다 높고, 녹색 LED의 경우 삼자극치 곡선 Y, 청색 LED의 경우 삼자극치 곡선 Z의 최대값이 가장 높다. 휘도와 비례적인 특성을 가지는 Y의 최대치만 볼 때, 녹색 LED가 가장 높고, 적색, 청색 LED의 순서이다. 이것은 그림 4의 동일 계조에서의 LED의 휘도 크기 순서와도 일치한다.

적, 청, 녹색 LED의 삼자극치 값 X, Y, Z는 식 (1)에 따라 그림 5의 삼자극치 곡선을 적분하여 얻었다. 삼자극치 곡선의 적분오차를 최소화하기 위하여 simpson 적분 방식을 이용하였다. 여기서 측정된 LED 분광특성은 상대적인 값이므로 삼자극치 값 또한 상대적인 값이다. 여기서 삼자극치와 색도좌표의 관계식은 식 (2)로 주어진다[5,7]. 이 삼자극치 값과 식 (2)를 이용하여 적, 청, 녹색 LED의 색도좌표를 계산하였다.

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

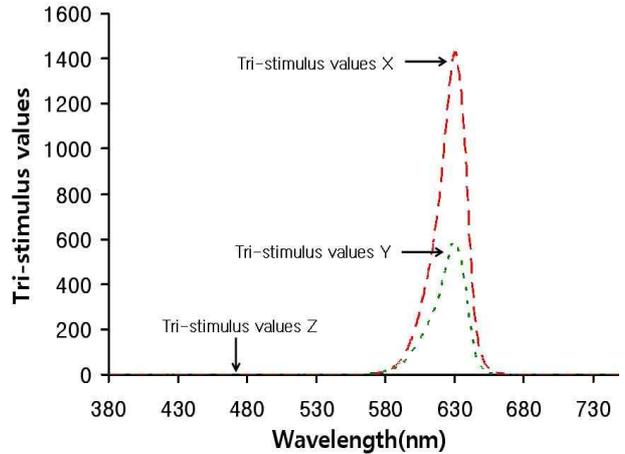
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

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

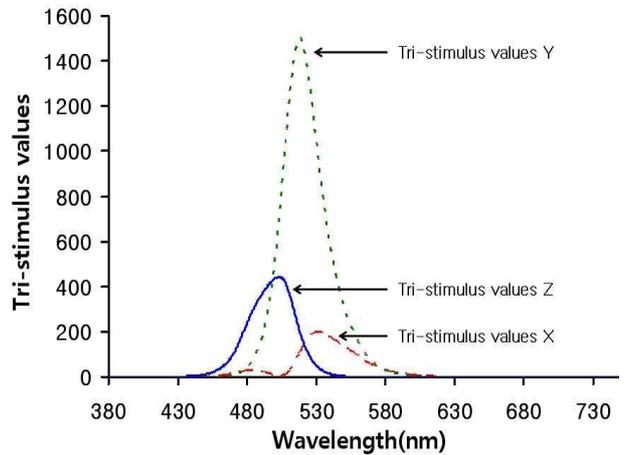
여기서

x, y : 색도좌표

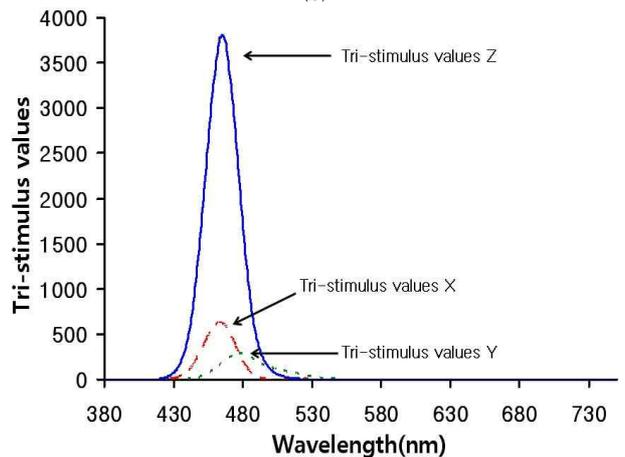
X, Y, Z : 삼자극치



(a)



(b)



(c)

그림 5. (a) 적, (b) 녹, (c) 청색 LED의 삼자극치 곡선
Fig. 5. Tri-stimulus value curves of (a) red, (b) green, (c) blue LED

표 1은 적, 녹, 청색 LED의 계산된 삼자극치, 색도좌표와 측정된 색도좌표이다. 계산된 색도좌표와 색채휘도계 CS-200으로 측정된 색도좌표의 상대백분율오차는 청색 LED의 y좌표를 제외하고 5[%] 이하로 계산되었다. 청색 LED의 y좌표는 값 자체가 작기 때문에 오차가 많이 발생하였고, 실제로 청색 LED의 y좌표 계산값과 측정값의 차이는 0.01정도로 아주 작다.

표 1. 적, 녹, 청색 LED의 계산된 삼자극치, 색도좌표와 측정된 색도좌표
Table 1. Calculated tri-stimulus values, chromaticity coordinate and measured chromaticity coordinate of red, green, blue LED

Color		Red	Green	Blue
Relative tri-stimulus values	X	37349	9605	18167
	Y	16509	56133	12437
	Z	7.13	17989	114760
Calculated coordinate	x	0.6934	0.1147	0.1250
	y	0.3065	0.6704	0.0856
Measured coordinate	x	0.6988	0.1208	0.1305
	y	0.3003	0.6581	0.0733
Error[%]	x	0.77	5.05	4.21
	y	2.06	1.87	16.78

4.2 적, 녹, 청색 LED의 혼합휘도 계산 알고리즘

구현하고자 하는 출력광의 색도좌표를 얻기 위한 적, 녹, 청색 LED의 혼합 휘도는 다음의 식들로 구한다. 식 (3), (4), (5)는 행렬형태의 식 (6)을 유도하기 위한 것이다[8]. 식 (6)에서 적, 녹, 청색 LED의 혼합되는 휘도인 Y_{rmix} , Y_{gmix} , Y_{bmix} 를 제외한 나머지 값들은 이미 앞에서 주어진 값들이다. 그러므로 A의 역행렬을 사용하여 Y_{rmix} , Y_{gmix} , Y_{bmix} 를 구하면 식 (7)이 된다. 여기서 적, 녹, 청색 LED의 분광 에너지 분포가 변하게 되면 식 (7)에서 A행렬만 변하고 나머지 식은 그대로 유지된다.

$$\begin{aligned} X_{in} &= X_{rmix} + X_{gmix} + X_{bmix} \\ Y_{in} &= Y_{rmix} + Y_{gmix} + Y_{bmix} \\ Z_{in} &= Z_{rmix} + Z_{gmix} + Z_{bmix} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} X_{in} &= \frac{x_{in}}{y_{in}} Y_{in} \\ \frac{x_{in}}{y_{in}} Y_{in} &= \frac{x_r}{y_r} Y_{rmix} + \frac{x_g}{y_g} Y_{gmix} + \frac{x_b}{y_b} Y_{bmix} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{1-x_{in}-y_{in}}{y_{in}} Y_{in} \\ \frac{1-x_{in}-y_{in}}{y_{in}} Y_{in} &= \frac{1-x_r-y_r}{y_r} Y_{rmix} \\ &+ \frac{1-x_g-y_g}{y_g} Y_{gmix} + \frac{1-x_b-y_b}{y_b} Y_{bmix} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ \frac{1-x_r-y_r}{y_r} & \frac{1-x_g-y_g}{y_g} & \frac{1-x_b-y_b}{y_b} \end{bmatrix} \\ Y_{in} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{x_{in}}{y_{in}} \\ \frac{1-x_{in}-y_{in}}{y_{in}} \end{bmatrix} &= A \times \begin{bmatrix} Y_{rmix} \\ Y_{gmix} \\ Y_{bmix} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} Y_{rmix} \\ Y_{gmix} \\ Y_{bmix} \end{bmatrix} &= Y_{in} \times A^{-1} \times \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{x_{in}}{y_{in}} \\ \frac{1-x_{in}-y_{in}}{y_{in}} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} Y_{rmix} \\ Y_{gmix} \\ Y_{bmix} \end{bmatrix} &= Y_{in} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2.26 & 0.17 & 1.46 \\ 0.00 & 0.32 & 9.22 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{x_{in}}{y_{in}} \\ \frac{1-x_{in}-y_{in}}{y_{in}} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서

X_{in}, Y_{in} : 입력 색도좌표

X_{in}, Y_{in}, Z_{in} : 입력 삼자극치(Y_{in} : 입력 휘도)

$Y_{rmix}, Y_{gmix}, Y_{bmix}$: 혼합되는 적, 녹, 청색 LED의 휘도

$X_r, Y_r, X_g, Y_g, X_b, Y_b$: 적, 녹, 청색 LED의 계산된 색도좌표

5. LED램프 디지털 광색제어시스템

그림 6은 역 삼자극치 알고리즘을 적용한 적, 녹, 청색 LED램프 디지털 광색제어시스템의 블록도이다. 디지털 코드가 1111,1111 (255₁₀)일 때 즉, 100[%] 광출력에서 적, 녹, 청색 LED의 분광 에너지 분포와 CIE 등색함수를 각각 파장 5[nm] 간격의 table로 만들어 블록①에 입력하면 블록①에서 식 (1)을 사용하여 적, 녹, 청색 LED의 삼자극치 값을 계산한다. 블록②에서는 식 (2)에 의하여 적, 녹, 청색 LED의 색도좌표가 구해진다. 이렇게 구해진 적, 녹, 청색 LED의 휘도값 Y와 색도좌표 x_r, x_g, x_b 및 y_r, y_g, y_b 를 저장한다.

구하고자 하는 목표 광색의 입력 값인 휘도 및 색도좌표와 블록②에서 계산된 적, 녹, 청색 LED의 색도좌표를 사용하여 블록③에서는 식 (7)에 의하여 목표 광색을 구현하기 위해 혼합되는 적, 녹, 청색 LED의 휘도가 각각 계산된다. 블록④에서는 블록③에서 계산된 적, 녹, 청색 LED의 혼합 휘도들과 블록 ①에서 얻은 적, 녹, 청색 LED의 100[%] 휘도 값들을 가지고 식 (8)에 의하여 적, 녹, 청색 LED의 혼합 휘도를 디지털 코드에 해당하는 십진수로 변환한다. 여기서 사용된 식 (8)은 그림 4에서 보인 디지털 입력과 휘도의 선형 관계를 이용하여 도출하였다. 계산된 디지털 값들은 블록⑤의 LED 디지털 구동회로에 입력되어 적, 녹, 청색 LED램프의 광색을 제어한다.

$$D_R = \frac{Y_{rmix}}{Y_r} \times 255 \quad (8)$$

$$D_G = \frac{Y_{gmix}}{Y_g} \times 255$$

$$D_B = \frac{Y_{bmix}}{Y_b} \times 255$$

여기서

Y_r, Y_g, Y_b : 적, 녹, 청색 LED의 측정된 휘도 값
 D_R, D_G, D_B : 혼합되는 적, 녹, 청색 LED를 제어하기 위한 디지털 입력의 십진수

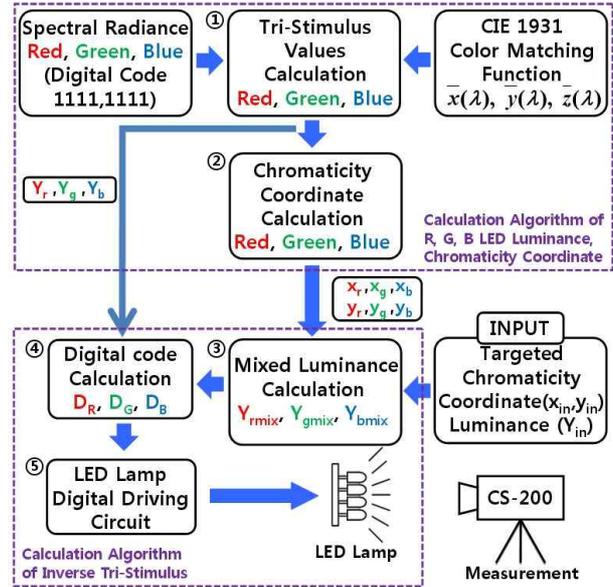


그림 6. 역 삼자극치 알고리즘을 이용한 LED 광색 디지털제어시스템의 블록 구성도

Fig. 6. Block diagram of digital control system of LED light color with inverse tri-stimulus algorithm

적, 녹, 청색 LED의 분광 에너지 분포가 절대값으로 주어지면 식 (1)에 의해 각 LED의 휘도를 계산할 수 있으나 본 연구에서는 각 LED의 분광 에너지 분포를 상대값으로 측정하였다. 이 경우 블록①에서 계산되는 삼자극치는 상대적인 값으로 색도좌표는 계산이 가능하지만 휘도의 절대값은 계산하지 못한다. 그러므로 디지털 코드 1111,1111일 때의 적, 녹, 청색 LED의 휘도를 별도로 측정하여 블록④에 입력하였다. 본 연구에 사용된 적, 녹, 청색 LED의 휘도는 각각 12773, 25017, 6330[cd/m²]로 측정되었다.

6. 실험결과

역 삼자극치 알고리즘에 의하여 도출된 목표 휘도 및 색도좌표에 대한 적, 녹, 청색 LED의 8[bit] 코드를 십진수로 변환한 값과 이를 사용하여 LED램프를 디지털 제어하여 구현된 광색의 색도좌표와 휘도를 색채휘도계(CS-200)로 측정하여 목표 광색의 색도좌표 및 휘도와 비교 평가한 결과를 표 2에 나타내었다.

LED 램프에 4.5[cm] 떨어진 전면에 확산판을 설치하였고 색채휘도계로 색이 완전히 확산된 부분의 색도 좌표 및 휘도를 측정하였다.

표 2. 제안된 알고리즘으로 구현 목표 광색의 디지털 입력값(십진수)과 구현된 광색의 측정값

Table 2. Digital codes(in decimal) of target light colors by proposed algorithm and measured values of light colors implemented by this codes

Color		Reddish Purple	Purple	Bluish Green
Targeted values	x	0.35	0.27	0.15
	y	0.18	0.16	0.35
	Y[cd/m ²]	10000	9000	20000
Digital code (decimal)	Red	135	88	18
	Green	5	12	169
	Blue	114	139	102
Measured values	x	0.35	0.27	0.15
	y	0.17	0.15	0.35
	Y[cd/m ²]	9692	8657	21110
Error[%]	x	0	0	0
	y	5.55	6.25	0
	Y	3.08	3.81	5.55

Color		Yellow	Orange	White
Targeted values	x	0.45	0.52	0.315
	y	0.45	0.39	0.315
	Y[cd/m ²]	20000	15000	17000
Digital code (decimal)	Red	158	165	112
	Green	123	68	98
	Blue	3	6	74
Measured values	x	0.44	0.51	0.309
	y	0.45	0.39	0.315
	Y[cd/m ²]	20782	15395	17236
Error[%]	x	2.22	1.92	1.90
	y	0	0	0
	Y	3.91	2.63	1.39

목표 색도좌표는 선정된 색의 영역에서 중앙에 위치하도록 선택하였고, 휘도는 적, 녹, 청색 LED의 최대 휘도값을 고려하여 임의의 값으로 설정하였다. 목표 값에 대해 구현된 광색의 색도좌표 및 휘도의 상대백분율 오차는 1.3~5.5[%]로 계산이 되었고, 오차의 최대값은 purple의 y좌표 값으로 6.25[%]로 계산이 되었다. 광색에 따른 x, y좌표의 오차 중 7개가 0[%]로 계산되어 본 연구에서 제안한 역 삼자극치 알고리즘은 신뢰성이 높다고 사료된다.

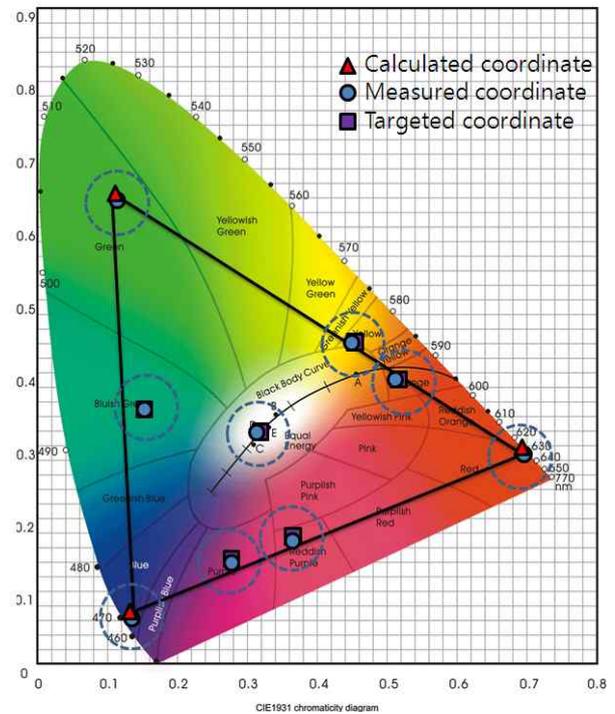


그림 7. 제안된 알고리즘으로 구현된 목표 광색의 측정값의 색도도 상 위치

Fig. 7. Position on chromaticity diagram of measured value of target light colors implemented by proposed algorithm

그림 7은 LED램프 디지털 광색제어시스템으로 구현한 광색의 색도좌표와 목표 색도좌표의 위치를 CIE 색도도상에 나타낸 것이다. 본 연구에서 제안한 색도좌표 계산 알고리즘을 이용하여 계산된 적, 녹, 청색 LED의 색도좌표와 측정된 색도좌표의 위치가 거의 일치하였다. 또한 역 삼자극치 알고리즘을 적용한 디지털 광색제어시스템으로 LED램프의 광색을 구현하

고 이를 측정된 색도좌표와 목표 색도좌표의 위치 또한 거의 일치하였다. 적, 녹, 청색 LED의 색도좌표를 연결한 삼각형 영역은 본 시스템이 구현할 수 있는 광색의 영역이다. 이 삼각형 영역 바깥의 색에 대한 색도좌표를 본 시스템의 알고리즘에 입력하면 디지털 코드의 값이 음의 값이 나오며 이는 본 실험에서 사용한 적, 녹, 청색 LED로는 구현할 수 없는 광색임을 나타낸다.

7. 결 론

본 연구에서는 CIE 1931 x,y,Y 색체계의 등색함수를 이용하여 적, 녹, 청색 LED의 분광분포로부터 삼자극치를 계산하고 이 삼자극치로부터 각 LED의 색도좌표를 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 이 색도좌표를 사용하여 목표 광색의 휘도와 색도좌표를 구하기 위해 혼합되는 적, 녹, 청색 LED의 휘도를 구하는 역 삼자극치 알고리즘을 제안하였다. 또한 이들 알고리즘을 실제로 적용한 LED램프 디지털 광색제어 시스템을 고안하였다.

본 연구에서 제안된 알고리즘을 사용하여 계산한 적, 녹, 청색 LED 각각의 색도좌표와 실제로 측정된 색도좌표를 비교 평가한 결과 상대백분율 오차가 수 [%] 이내로 정확하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 역 삼자극치 알고리즘을 사용하여 여러 가지 광색의 휘도 및 색도좌표에 대한 적, 녹, 청색 LED의 디지털 코드를 도출하였고, 이 코드를 이용하여 LED 램프를 디지털 제어하여 광색을 측정된 후 목표 휘도 및 색도좌표와 비교한 결과 역시 수[%] 이내의 상대백분율 오차로 신뢰성이 매우 우수하였다.

본 연구에서 고안된 LED램프 디지털 광색제어시스템은 목표 광색의 색도좌표와 휘도만 주어지면 쉽게 광색을 구현할 수 있고, LED를 교체하는 경우에도 LED의 분광 에너지 분포 table만 다시 입력하면 시스템의 추가 수정 없이 광색을 구현할 수 있다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원사업"의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C6150-1001-0016).

References

- [1] 윤희림, '색채지각론과 체계론', 도서출판 국제, pp.10-37, 2, 2008.
- [2] Myong Young Lee, et al., 'Physical-based Rendering Method for Lamp-lit Simulation of Automotive Rear Lamp', Journal of KSIST Volume 12 Number 4, pp123-137, December, 2006.3.
- [3] Hoon Kim, et al., "A Color Temperature and Illuminance Controllable LED Lighting System", Journal of KIIEE, Vol. 23, pp10-pp22, December, 2009.
- [4] Shinho Kang, Jeongduk Ryeom 'A Study on Digital Control Method of LED Luminance', Journal of KIIEE, Vol. 24, pp28-pp34, January, 2010.
- [5] ROY S BERNIS, 'Principles of Color Technology', sigma-press, pp50-pp71, March, 2003.
- [6] 문은배, '색채의 활용', 도서출판 국제, pp61-pp72, 6, 2002.
- [7] IES Lighting Handbook Reference Volume, Illuminating Engineering Society of North America, pp5/4-pp5/5, 1984.
- [8] Jin Sik Youn, et al., 'Development of 100[W] LED Flood Lighting with Tunable Colors and Color Temperatures', Journal of KIIEE Vol. 22, pp1-pp9, December, 2008.

◇ 저자소개 ◇



강신호(姜信浩)

1983년 9월 2일생. 2009년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



이정민(李靖旻)

1981년 6월 13일생. 2009년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



염정덕(廉正德)

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992~1995년 LG전자(주) 영상미디어(연). 1996년 일본 전기·통신대학 외국인연구자. 1997~1999년 삼성SDI(주) 기술본부. 2000~2005년 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수. 2006년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수. 본 학회 편수이사.