

방송용 LED 조명의 광색과 조도 제어 알고리즘에 대한 연구

(A Study for Color and Illuminance Control Algorithm of Broadcast LED Lighting)

신동석* · 박철형 · 박종연**

(Dong-Seok Shin · Chul-Hyung Park · Chong-Yeun Park)

Abstract

In this paper, colors of broadcast lightings composed of Red, Green, and Blue LED(Light Emitted Diode) can be linearly and quantitatively controlled in low illuminance. Because LED cannot emit uniform illuminance in low illuminance, the colors of RGB LED are unmixable. Furthermore, the illuminances are nonlinear with the dimming values of the RGB LED due to the nonlinearity of the output illuminance with the current through the LED. This nonlinearity generated errors of the target colors and illuminances. The proposed algorithm set up the target colors, which is expressed by the color coordinates in CIE 1931 color space, and the target illuminances. Then the illuminances of RGB LED were calculated using color mixing theory. The calculated illuminances determined the dimming values of the RGB LED for transmission via DMX512 communication. After the broadcasting lighting received the dimming values of the RGB LED via DMX512 communication, RGB LED can emit target color and illuminance, and be controlled by calculating the PWM(Pulse Width Modulation) duty ratio of the hybrid LED driver which be considered the nonlinearity for the illuminances of the LED. As a result, the proposed algorithm can linearly and quantitatively control the colors and illuminances in full range of illuminance. Then we verify experimentally that the errors of the emitted color coordination x, y and illuminance are 2.27%, 3.6% and 1.5%, respectively.

Key Words : Broadcasting, Dimming, Linear, Color, DMX512, Hybrid LED Driver, Broadcast LED Lighting

1. 서 론

LED 광원은 제조 기술의 발달에 의한 광효율(luminous efficiency)이 향상됨에 따라서 실내·외 조명뿐만 아니라 방송용 조명에도 적용되고 있다. 방송용 조명에서 LED가 기존의 광원인 고압 방전등을 대체하는 이유는 광 효율의 지속적인 상승뿐만 아니라 내구성이 우수하고 다양한 색상 및 조도제어가 용이하며, 특히 타 광원에 비해 매우 우수한 수명 특성을

* Main author : Doctor's course, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University
** Corresponding author : Professor, Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-259-5674
E-mail : shinds0208@gmail.com
Received : 2015. 9. 3
Accepted : 2015. 9. 25

갖고 있기 때문이다[1-4].

방송용 조명은 카메라로 조명을 촬영하는 특수한 환경에서 사용된다. 한국정보통신기술협회(TTA, Telecommunications Technology Association)에서 2013년에 일반 LED 조명의 KS, KC를 포함한 방송용 LED 조명에 대한 인증 기준을 제정되었다. 이 기준에 따르면 방송용 LED 조명기기는 카메라로 조명을 촬영한 영상에 플리커(Flicker)가 없어야 하며 DMX512A 통신에 의한 조도제어가 선형적으로 제어돼야 한다[5].

LED 조명을 방송에서 사용하기 위한 많은 연구가 진행되었다. PWM 조도제어 방법을 적용한 LED 조명기기가 플리커를 회피할 수 있는 주파수에 대해 연구되었으며[6], 플리커를 회피하면서 저 조도제어가 가능한 하이브리드 조도 제어 방법이 연구되었다[7-8]. 그리고 기존의 LED 구동회로에 [7]의 하이브리드 조도제어 방법으로 LED의 조도를 제어했을 때 발생하는 저 조도의 비선형 조도특성을 개선하고 플리커를 발생하지 않는 하이브리드 구동회로가 연구되었다[9].

또한 RGB LED의 조도를 조절하여 출력되는 광색을 삼자극치 이론을 적용하여 제어하는 알고리즘과 시스템이 연구되었다. 이 광색 제어 방법들은 목표 색도좌표, 색온도, 조도를 직접 입력하여 RGB LED의 조도를 제어하는 방법이며, LED를 흐르는 전류에 대한 조도 또는 제어 듀티비에 대한 조도가 선형적일 때 성립된다[10-11].

기존 방송용 LED 조명은 DMX 512 통신을 이용하여 RGB LED출력 조도를 256 디밍 레벨로 사용자가 광색을 보면서 각각 LED의 디밍 레벨을 결정하였다. 이는 사용자의 감각에 따라 광색을 표현하게 되므로 출력되는 광색과 조도에 대한 정량적인 값을 알 수 없으며 정확한 광색 재현이 어려운 문제점이 있다.

그리고 방송환경이 발달함에 따라서 화면에 표현되는 색의 범위도 넓어지고 있어[12-13], LED 조명기기에서도 더 많은 색을 표현할 수 있어야 한다. 그러나 LED는 일정 전류 미만에서 출력 조도가 불균일하므로 이 영역에서 광색을 표현할 수 없어 광색 표현 범위를 넓힐 수 없다[14-15].

또한 일반적으로 LED의 출력조도는 LED에 흐르는 전류의 크기에 비례한다고 알고 있다. 이런 관계는 그림 1에서 보는바와 같이 일정 구간에서만 타당하며, 최대 조도부터 0까지의 조도를 제어를 한다면 비선형적인 출력조도 특성을 갖게 된다. 이로 인해 LED의 선형적 조도특성을 기초로 하는 [10-11] 기존방법으로 광색과 조도를 제어하면 저 저도영역에서 광색 제어가 안 되고, 선형적인 조도제어가 어렵다.

본 논문은 방송용 LED 조명기기에 하이브리드 디밍 제어방법과 구동회로[9]를 적용하여 RGB LED를 저 조도까지 제어하므로 광색 표현의 범위를 넓혔으며, 색 혼합이론에 LED의 비선형 조도 특성을 고려하여 목표 광색과 조도를 정량적으로 제어하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 광색을 정량적으로 제어하기 위해 목표 광색을 CIE 1931 색공간의 색도좌표로 수치로 설정한다. 색 혼합이론으로 목표 광색과 조도를 출력하기 위한 RGB LED 각각의 조도를 계산한다. 이 조도 값으로부터 DMX512 통신의 RGB LED의 디밍 레벨을 결정하였으며, 이 값을 DMX512 콘솔을 이용하여 LED 조명기기에 송신한다. 조명기기는 DMX512 통신으로 수신된 RGB LED의 디밍 레벨을 수신하여 LED의 비선형 조도특성을 고려한 조도제어 알고리즘으로 목표 색도좌표와 조도를 출력하였으며, 모든 광색에 대해 선형 조도제어를 실현하였다.

2. 방송용 LED 조명의 제어원리

2.1 LED 특성에 따른 문제점

그림 2는 Phillips 社의 LUXEON REBEL 제품인 LXML - PD01(RED), LXML-PM01(GREEN), LXML-PR01(BLUE), LXML-PWC1-0100(WHITE) 광 출력 특성을 나타낸다. 실선은 RGB LED에 350mA의 연속 전류가 흐를 때 출력되는 조도 값으로 정규화한 출력조도를 보이며, 점선은 최대조도에서 0조도까지 직선을 연결한 것으로 실선의 비선형곡선과 비교하기 위해 나타냈다.

일정 범위(100~350mA)에서는 전류에 대해 출력조

도가 선형성을 갖기 때문에 기존 광색 제어 방법으로 목표 광색을 구현 시 오차가 발생하지 않으며, 선형적으로 제어가 가능하다.

그러나 넓은 광색 제어범위와 큰 광량을 요구하는 무대조명기기의 요구에 맞춰 넓은 전류 범위(100~1000mA)에서 제어를 한다면, 이 범위에서는 전류에 대한 출력조도가 비선형적이므로 광색 제어 시 오차가 발생하며 선형적인 조도제어가 되지 않는다.

100mA 미만에서는 전류에 대한 출력조도 데이터가 없기 때문에 이 구간에서는 제어가 불가능하고[9], 이 구간에서 출력되는 저 조도 곡선에 따라 원하는 광색을 표현할 수 없어 조명기기의 광색 표현 범위가 좁아진다.

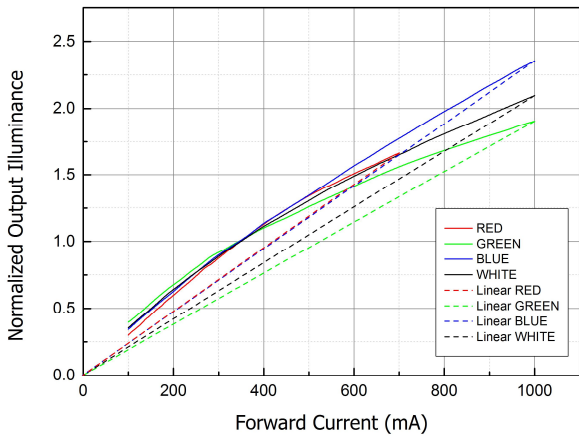


Fig. 1. Output illuminance from the current flowing through the LED[14-15]

2.2 방송용 LED 조명의 제어 원리

그림 2는 일반적으로 LED 조명기기를 방송환경에서 제어하는 원리를 보여준다. 조명기기의 광색과 조도는 사용자가 DMX 조명 콘솔을 사용하여 RGB LED 디밍 레벨을 조절하여 조명기기에서 출력되는 광색을 눈으로 확인하며 목표 광색과 조도를 만들거나, 색도계로 LED에서 출력되는 컬러와 조도를 매번 측정하면서 목표 광색과 조도를 만든다. 이와 같은 방법으로 무대의 광색을 제어하면 다른 LED 조명장비에서 출력되는 광색과 동일한 광색을 만들지 못하고

광색과 조도에 오차를 발생시키며, 제어되는 광색과 조도를 정량적인 값으로 알기 위해서는 계측기의 측정을 통해서만 알 수 있다.

그림 3은 LED 조명기기를 100~350mA 범위에서 DMX512 통신으로 조도를 제어할 때 디밍 레벨에 따른 출력을 나타낸다. DMX512 통신으로 수신된 디밍 레벨에 비례한 PWM 듀티비, LED에 흐르는 전류, 최대 디밍 레벨에서의 조도를 기준으로 상대조도 모두 선형적인 관계이다.

그러나 앞서 2.1절에서 언급한바와 같이 넓은 전류 범위에서 기존 방법제어 방법과 동일하게 디밍 레벨에 비례한 PWM 듀티비로 조도를 제어하면 비선형적으로 조도를 출력한다. 이에 대한 자세한 내용은 3장에서 실험 데이터로 다시 설명한다.

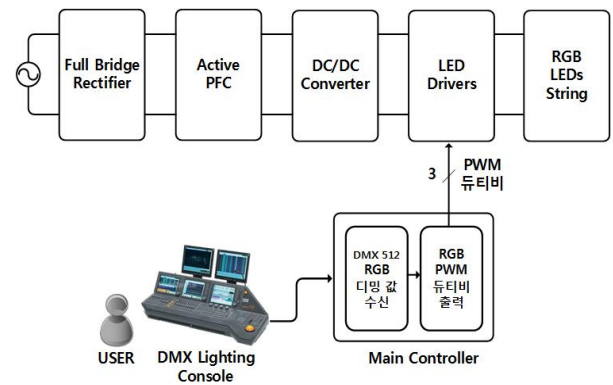


Fig. 2. Block diagram of the general LED lighting in a broadcasting environment

3. 제안된 광색과 조도 제어 알고리즘

그림 4는 방송용 LED 조명기기의 제안된 광색과 조도 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

조명기기의 광색과 조도를 정량적으로 제어하기 위해 목표 광색을 CIE1391 색 공간의 색도좌표 (x,y)로 사용하며, 이 색도좌표와 조도를 출력하기 위한 RGB LED의 각각의 조도를 색 혼합이론에 의해 계산한다. 계산된 조도 값은 DMX512 통신으로 송신할 RGB 디밍 레벨로 변환하며 DMX 조명 콘솔을 통해 조명기기로 송신한다.

제어하는 방법을 제안한다.

방송조명은 DMX512 통신에 의해 제어되므로 기존에 연구된 색제어 알고리즘과 같이 목표 색도좌표와 조도를 직접 조명기기에 입력할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 목표 색도좌표와 조도를 출력하기 위한 RGB LED의 조도를 계산하고 이 조도를 출력하기 위한 DMX512 통신의 RGB 디밍 레벨을 계산하여 조명기기로 송신한다. 디밍 값을 구하는 과정은 다음과 같다.

색 조합 이론에 따라서 RGB LED를 혼합한 목표 광색의 목표 색도좌표 (x_T, y_T) 와 목표 조도 E_T 를 만들기 위한 RGB LED 각각의 조도 E_R, E_G, E_B 는 다음과 같이 계산된다[11].

$$\begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R - x_T}{y_R} & \frac{x_G - x_T}{y_G} & \frac{x_B - x_T}{y_B} \\ \frac{y_R - y_T}{y_R} & \frac{y_G - y_T}{y_G} & \frac{y_B - y_T}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ E_T \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $x_R, x_G, x_B, y_R, y_G, y_B$ 는 각 RGB LED들의 색도 좌표이다.

식 (1)을 간략히 표현하면 다음과 같다.

$$E_0 = M^{-1} \cdot E_G \quad (2)$$

E_0 는 목표 색도 좌표와 조도를 출력하기 위한 RGB 목표 조도 행렬, M 은 시스템행렬, E_G 는 목표 광색의 조도 행렬이다. 시스템 행렬은 사용된 RGB LED의 색도좌표와 목표 광색의 색도좌표로 계산된다.

계산된 목표 조도 E_R, E_G, E_B 를 출력하기 위한 DMX512 통신의 RGB 디밍 레벨 DMX_R, DMX_G, DMX_B 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} DMX_R &= \frac{E_R}{E_{R_MAX}} \times 255 \\ DMX_G &= \frac{E_G}{E_{G_MAX}} \times 255 \\ DMX_B &= \frac{E_B}{E_{B_MAX}} \times 255 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $E_{R_MAX}, E_{G_MAX}, E_{B_MAX}$ 는 각각의 LED의 최대 조도이다.

3.2 하이브리드 LED 구동회로의 제어

LED의 전기적 특성은 일정전류 이하에서 연속전류로 제어가 안 된다. 즉 낮은 조도로 제어가 되지 않는다. 그러나 방송 환경에서는 RGB LED의 조도를 혼합하여 낮은 조도에서도 광색을 표현하여 더 많은 광색을 출력할 수 있기를 원한다. 하이브리드 LED 구동회로는 저 조도부터 고 조도까지 조도제어가 가능하며, 플리커도 발생하지 않아 방송용 LED 구동회로에 적합하다[9].

본 논문에서는 하이브리드 LED 구동회로가 RGB LED를 각각 구동한다. 그림 5은 하이브리드 LED 구동회로의 블록도이다. 한 종류의 LED 조도를 제어하기 위해서는 저 조도를 제어하기 위한 PWM 1과 고 조도를 제어하기 위한 PWM 2가 필요하다. 따라서 모든 LED의 조도를 제어하기 위해서 메인컨트롤러의 PWM 신호 6개와 아날로그 MUX(multiplexor)를 제어하기 위한 입출력 포트 6개가 필요하다.

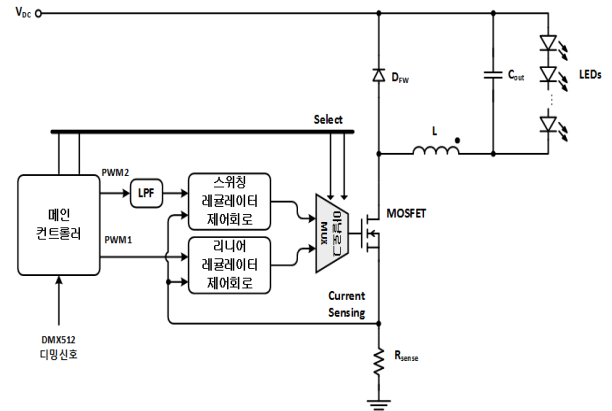


Fig. 5. Hybrid LED Driver

3.3 RGB LED 조도제어 방법

그림 6은 RGB LED를 하이브리드 구동회로로 0~100mA범위에서는 PWM 1의 듀티비를 제어하고 101~500mA 범위에서는 PWM 2의 듀티비를 제어하

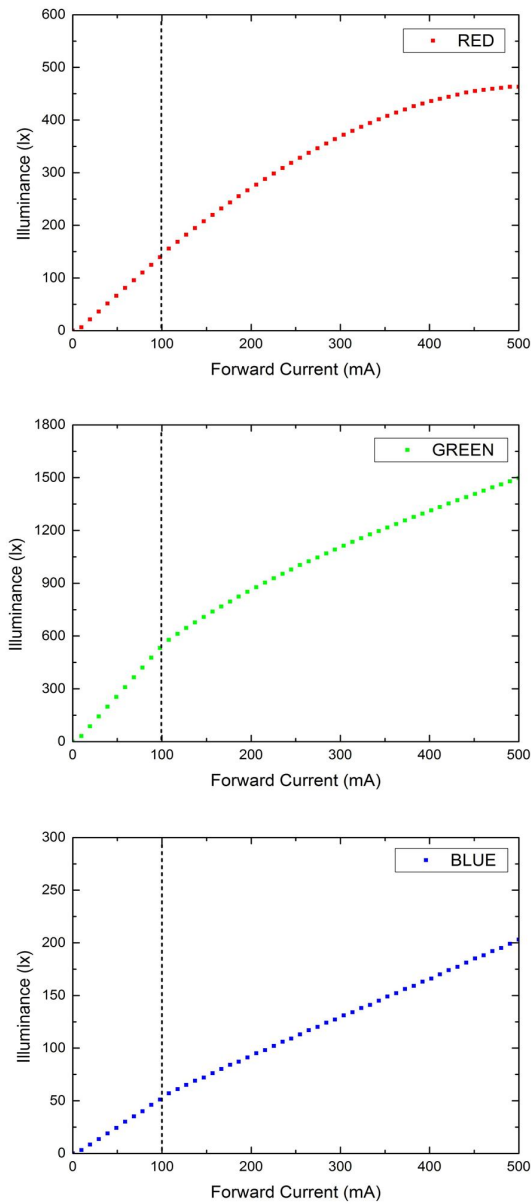


Fig. 6. Measured illuminance verse the current through LED by using the typical control method

여 LED 흐르는 전류를 가변하면서 출력되는 각 LED의 출력 조도를 측정된 데이터다. 이 때 LED에 흐르는 전류는 기본 방법과 동일하게 PWM 듀티비와 비례한다. 모든 LED가 전류에 대해서 조도가 비선형적으로 출력된다.

LED의 비선형 특성을 고려하지 않고 기존의 방식으로 DMX512 통신의 디밍 레벨에 비례한 듀티비로 LED에 흐르는 전류를 제어하면 목표 색도좌표와 조도를 만들기 위해 계산된 E_R , E_G , E_B 가 실제 LED의 출력 조도와 오차를 갖게 되므로 목표 광색과 오차를 발생하며 선형적인 조도 제어가 안 된다.

본 논문에서는 DMX512 통신의 RGB 디밍 값에 비례한 듀티비를 적용하는 기존 방식과 다르게 LED의 듀티비에 대한 비선형 출력조도의 데이터를 이용하여 목표조도를 출력하기 위한 듀티비를 계산하여 LED 구동회로에 적용한다.

우선 하이브리드 구동회로로 각 RGB LED에 인가되는 전류에 대한 출력 조도 또는 듀티비에 대한 출력 조도 데이터를 구한다. 하이브리드 구동회로의 PWM 1의 듀티비를 가변하면서 저 조도영역에서 출력되는 각 LED 조도와 PWM 2의 듀티비를 가변하면서 고 조도영역에서 출력되는 각 LED 조도를 측정된 데이터는 각각 그림 7과 그림 8에 보여진다. Matlab으로 최소자승법을 적용하여 듀티비에 대한 출력조도의 근사다항식을 구하면 식 (4)와 같다.

$$E_R = \begin{cases} 151.01 * D - 5.1052 & E_R \leq E_{R_100mA} \\ -393.85 * D^2 + 881.08 * D - 15.391 & E_R > E_{R_100mA} \end{cases}$$

$$E_G = \begin{cases} 566.90 * D - 14.690 & E_G \leq E_{G_100mA} \\ -591.62 * D^2 + 1941.0 * D + 131.38 & E_G > E_{G_100mA} \end{cases}$$

$$E_B = \begin{cases} 54.193 * D - 1.2982 & E_B \leq E_{B_100mA} \\ -11.460 * D^2 + 205.00 * D + 7.7691 & E_B > E_{B_100mA} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 E_{R_100mA} , E_{G_100mA} , E_{B_100mA} 는 각 LED에 100mA가 흐를 때 출력되는 조도이다.

그림 9은 제안된 조도제어 순서도이다. LED 조명기에서 DMX512 통신으로 RGB LED의 디밍 레벨을 수신 후 각각 LED의 목표 조도를 계산한다. 계산된 목표 조도 E_n 과 E_{n_100mA} ($n=R,G,B$) 비교하여 목표 조도가 작으면 PWM 1 듀티비를 계산하고 크면 PWM 2 듀티비를 계산한다. PWM 듀티비는 목표 조도를 식 (4)에 대입하여 해를 구한다. 2차 다항식의 해의 음수는

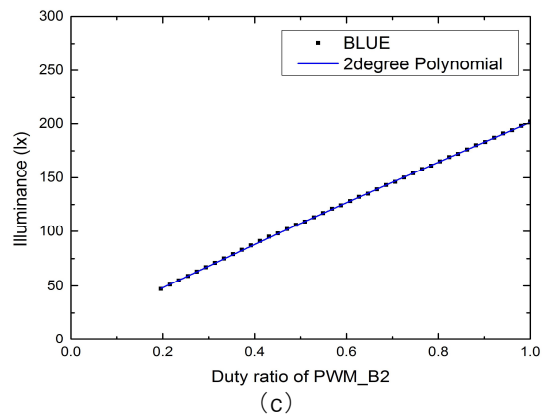
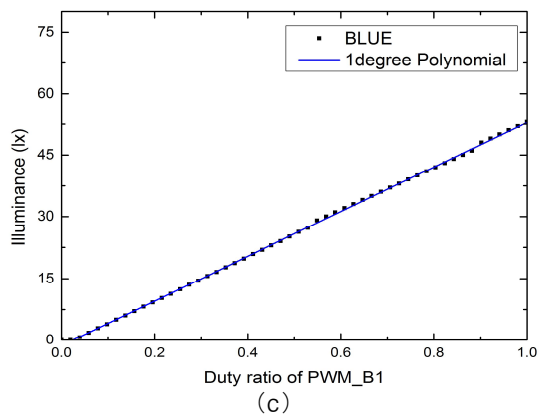
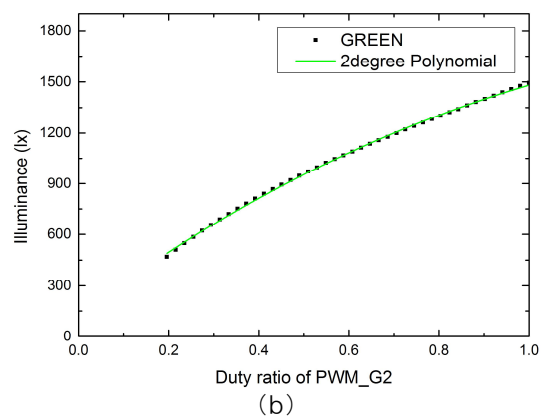
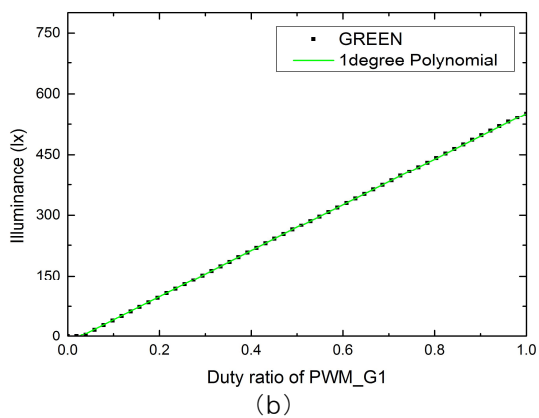
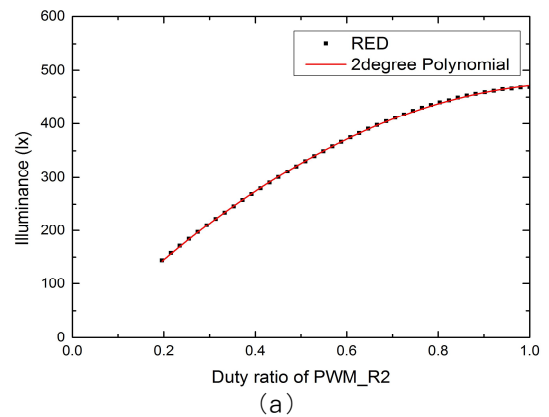
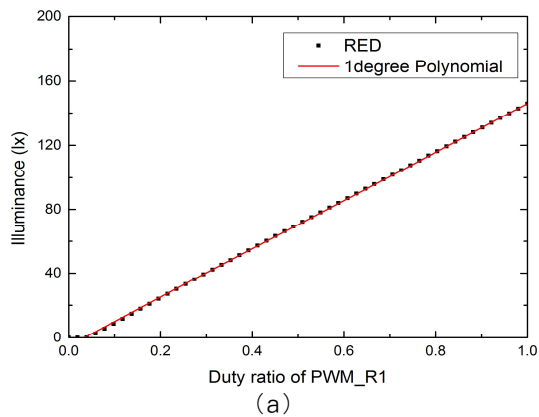


Fig. 7. Measured illuminance of RGB LED verse the PWM duty ratio in the region of low illuminance

Fig. 8. Measured illuminance of RGB LED verse the PWM duty ratio in the region of high illuminance

참 값이 아니므로 무시한다. 계산된 듀티비는 하이브리드 LED 구동회로에 적용하여 LED의 출력 조도를 제어한다.

4. 실험결과 및 검토

본 장에서는 방송용으로 적합한 하이브리드 LED

구동회로에 제안된 광색과 조도 제어 알고리즘을 구현 및 실험하였으며 이 결과를 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증한다.

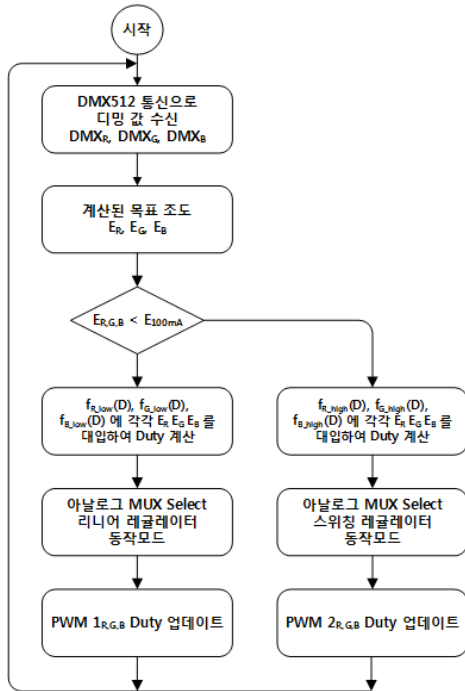


Fig. 9. Flowchart of the algorithm for the illuminance control

4.1 실험 환경

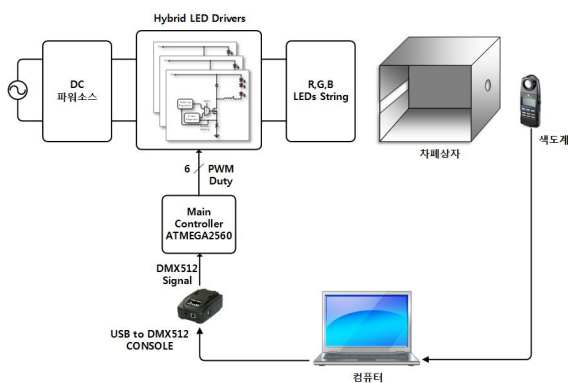


Fig. 10. Configuration of the experimental environment

그림 10은 제안된 광색과 조도제어 알고리즘의 성능을 확인하기 위한 실험 구성도이며 실험에 사용된 장

비는 표 1에 정리하였다. RGB LED은 PHILLIPS 社 LUXEON REBEL SERIES 사용하였으며 9개의 RED LED, 9개의 GREEN LED, 9개의 BLUE LED로 구성하였다.

디지털 제어를 위해 Atmel 社 ATmega2560 컨트롤러를 사용하였으며 PWM1과 PWM2 모두 3kHz의 주파수를 갖으며 2666 해상도로 듀티비를 제어하였으며 제안된 알고리즘을 프로그램하였다.

방송용 조명을 제어하기 위해 사용되는 DMX 512A 통신으로 제안된 시스템을 제어하기 위하여 DMX512 콘솔인 MARTIN 社 Light Jockey를 사용하였으며 RGB LED의 출력된 빛만 혼합하고 외부의 빛의 영향을 제거하기 위하여 차폐된 상자를 통해 출력되는 광색과 조도를 KONICA MINOLTA 社 CL-200A를 사용하여 측정하였다.

Table 1. List of the used equipments for experiment

구분	제품명	제조사
오실로스코프	Waverunner 104MXI	LeCroy
전류프로브	AP015	LeCroy
색도계	CL 200-A	KONICA MINOLTA
DMX512 콘솔	Light Jockey	MARTIN
AC/DC 파워소스	ES2000S	NF

4.2 실험 결과

사용된 RGB LED의 색도좌표와 최대조도는 색도계로 측정된 값이며, 표 2에 정리하였다. 목표 색도좌표와 조도를 식 (2)와 식 (3)으로 DMX512 통신의 RGB 디밍 값을 계산한다. 계산된 디밍 값은 DMX512 조명 콘솔로 조명기기로 송신하며, 조명기기에서는 수신된 디밍 값을 식 (4)에 적용하여 RGB 각각의 목표조도 값을 계산한다. 각 RGB LED의 목표 조도는 조도제어 방법에 의해 하이브리드 구동회로의 듀티비를 제어하여 출력한다.

그림 11은 하이브리드 LED 구동회로에 적용된 기존 디밍 레벨 대한 PWM 1과 PWM 2 듀티비가 선형적이다. 그림 12는 제안된 조도제어 방법으로 계산된

PWM 듀티비를 보여준다. RGB LED를 제어하는 PWM 듀티비가 모두 다르며, 비선형적임을 알 수 있다.

Table 2. Color coordinates and maximum illuminance of the used LED

	R LED	G LED	B LED
x	0.7042	0.1732	0.1425
y	0.2952	0.7111	0.0231
최대조도 (lx)	477	1499	203

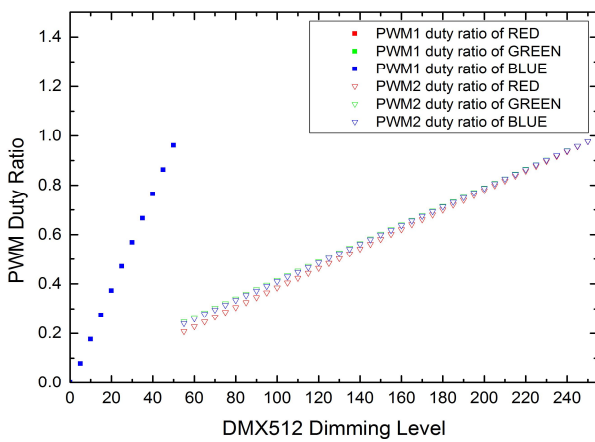


Fig. 11. PWM duty ratio verse the dimming level by the typical dimming method

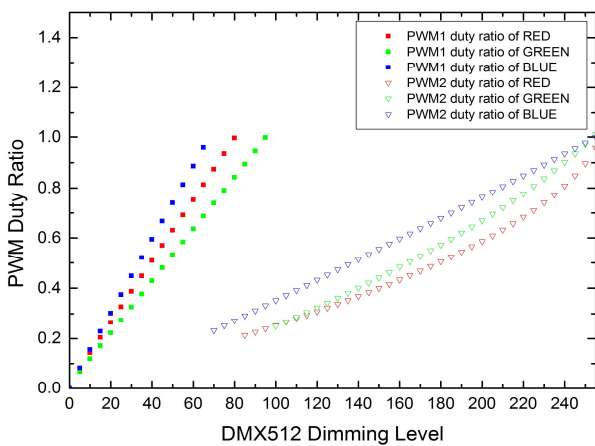
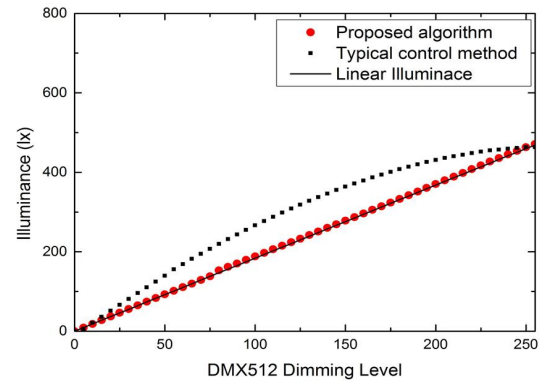


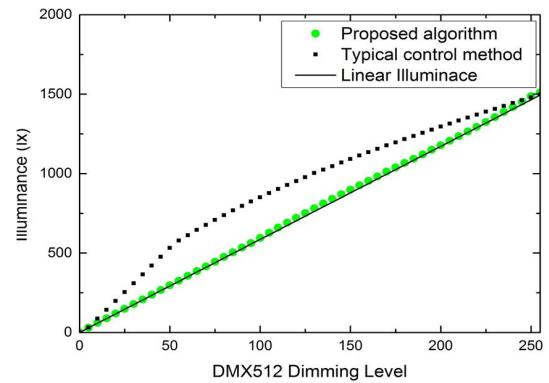
Fig. 12. Calculated PWM duty ratio verse the dimming level by the proposed dimming method

이 계산된 듀티비를 적용하여 RGB LED의 출력되는 조도를 측정한 결과가 그림 13과 같다. 제안된 조

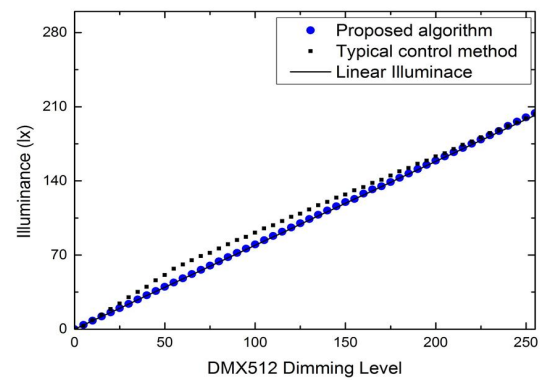
도제어 방법으로 LED를 제어했을 때 0에서 최대 조도 까지 모두 선형적으로 제어됨을 알 수 있다. 그림 14는 조도제어 시 RGB LED의 출력되는 광색의 색도와 표를 측정된 결과이다.



(a) RED LED



(b) GREEN LED



(c) BLUE LED

Fig. 13. Measured illuminance of RGB LED verse the dimming level

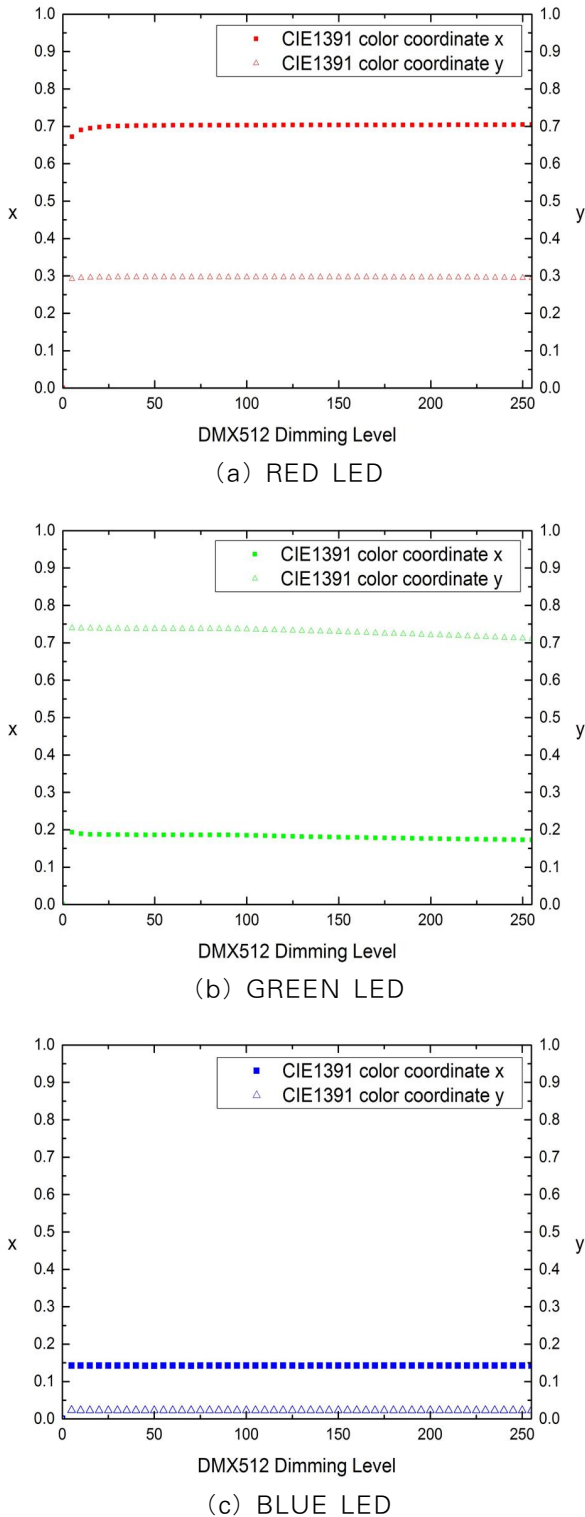


Fig. 14. Measured color coordinates of RGB LED verse the dimming level

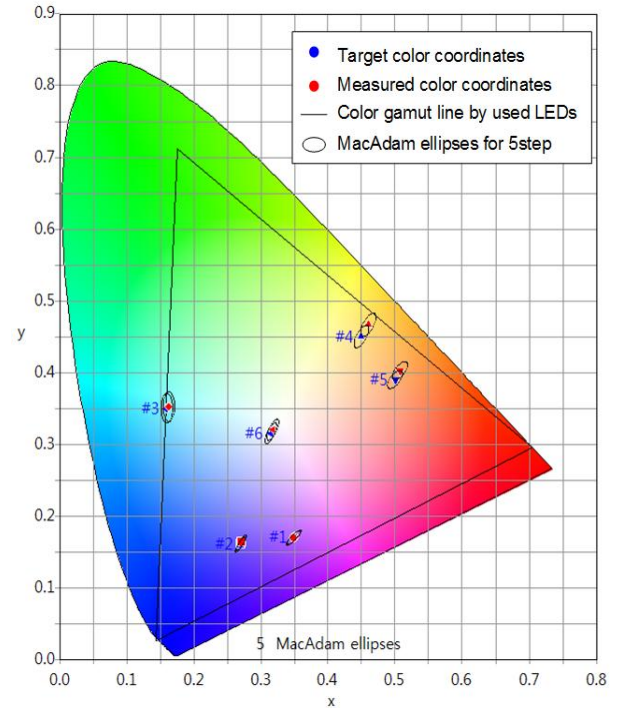


Fig. 15. Measured color coordinates on CIE 1931 color space

그림 15는 6개의 광색을 저 조도에서 제안된 광색과 조도제어 알고리즘을 적용하여 RGB LED에서 출력되는 광색을 색도계로 측정된 데이터와 목표 광색을 CIE 1931 색 공간에 나타낸 것이다. 파란색 심볼은 목표 광색의 색도좌표고 빨간색 심볼은 측정된 광색 색도좌표다. 목표 광색과 측정된 광색의 색도 좌표는 MacAdam 타원 5단계 안에 있으므로 동일한 광색으로 판단할 수 있다.

표 3은 저 조도에서 제안된 광색과 조도제어 알고리즘으로 계산된 DMX512 RGB 디밍 레벨과 기존 제어 방법을 적용했을 때 출력되는 광색과 조도와 제안된 방법을 적용했을 때 출력되는 광색과 조도 데이터를 측정된 결과이다. 기존 제어방법에 의해 출력된 광색의 조도의 상대백분율 오차는 최대 74%이며, 색도좌표 x와 y의 최대 오차는 각각 13.23%와 28.94%로 목표 값과 차이가 있다. 반면 제안된 제어방법에 의해 발생하는 조도와 색도좌표 x와 y의 최대 오차는 각각 1.5%, 2.27%, 3.64%로 매우 정확하다.

Table 3. Measured color coordinates and illuminances in the low-level illuminance region

Color		Color #1	Color #2	Color #3	Color #4	Color #5	Color #6
		Reddish Purple	Purple	Bluish Green	Yellow	Orange	White
목표 값	x	0.35	0.27	0.16	0.45	0.5	0.315
	y	0.17	0.16	0.35	0.45	0.39	0.315
	조도	100	150	200	250	300	350
DMX512 제어신호	R	35	33	0	46	75	51
	G	5	13	33	28	27	42
	B	10	18	9	1	2	13
기존 제어방법	x	0.3963	0.2905	0.1690	0.4585	0.5236	0.3307
	y	0.1847	0.1884	0.4513	0.5055	0.4498	0.3796
	조도	132.9	223.8	348.4	411.9	480.4	593.2
제안된 제어방법	x	0.3489	0.2713	0.1630	0.4602	0.5075	0.3181
	y	0.1691	0.1627	0.3521	0.4664	0.4022	0.3200
	조도	101.5	151	201.1	248.8	295.7	348.6
기존 방법 오차 (%)	x	13.23	7.59	5.63	1.89	4.72	4.98
	y	8.65	17.75	28.94	12.33	15.33	20.51
	조도	32.90	49.20	74.20	64.76	60.13	69.49
제안된 방법 오차 (%)	x	0.31	0.48	1.88	2.27	1.50	0.98
	y	0.53	1.69	0.60	3.64	3.13	1.59
	조도	1.50	0.67	0.55	0.48	1.43	0.40

5. 결 론

본 논문에서는 방송용 LED 조명기기를 DMX 512A 통신을 응용하여 정량적으로 광색과 조도를 출력하며 선형적으로 조도제어 가능한 알고리즘을 제안하였고, 방송에 적합한 하이브리드 LED 구동회로로 RGB LED를 저 조도에서도 제어가 가능하게 함으로써 광색 표현 범위가 확장됐으며, 하이브리드 조도제어 방법으로 플리커가 발생하지 않는다.

제안된 알고리즘을 사용하여 LED 조명기기 출력되

는 광색의 색도좌표와 조도를 예측할 수 있으며, 예측된 색도좌표와 조도는 실제 측정된 색도좌표와 조도가 상대백분율 오차가 수 % 이내로 기존 제어방법보다 매우 정확하다. 그리고 RGB LED 출력 조도와 RGB의 혼합된 광색의 조도가 DMX 512 통신에 의한 선형적으로 제어된다. 또한 기존의 LED 조명기기보다 저 조도에서 광색 표현 가능함으로써 광색 표현 범위가 확장되었음을 확인하였다.

제안된 알고리즘을 다른 제조사의 컬러 LED를 사용한 조명기기에 적용하더라도 동일한 광색과 조도를 출력하도록 제어할 수 있으며, 정밀하고 정량적으로 광색과 조도제어가 가능하다. 그러나 제안된 알고리즘을 구현하기 위해서는 기존 RGB LED 조명기기에 비해 PWM 출력이 더 많은 6개가 필요하며 광색 제어 연산을 실시간으로 처리하기 위해 고속의 컨트롤러가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청지원으로 “창업성장기술개발사업”과 제번호 『S2242707』 연구결과로 수행되었음.

References

- [1] D.A. Steigerwald, J.C. Bhat, D.Collins, “Illumination with Solid Stage Lighting Technology”, IEEE J. Sel. Topics Quantum Electronics, Vol. 8, No. 2, pp. 310-320, Mar. 2002.
- [2] Jeff.Y.T sao, “Solid State Lighting : Lamps, Chips and Materials for Tomorrow”, IEEE Circuits Devices, Vol. 20, No. 3, pp. 28-37, May. 2004.
- [3] Michael. S. Shur, Arturas Zukauskas, “Solid-Stage Lighting : Toward Superior Illumination”, proceedings of the IEEE, Vol.93, No. 10, pp. 1691-1703, Nov. 2005.
- [4] Matthias. Wendt, J. W. Andriesse, “LEDs in Real Lighting Applications : From Niche Markets to General Lighting”, IEEE IAS, pp. 2601-2603, Oct. 2006.
- [5] TTA, “Broadcasting LED luminaire TTA Verified qualification standard”, TCB-0042/R00, Feb. 2013.
- [6] Kwang-Hyun Jung, Dong-Seok Shin, Chong-Yeon Park, “The analysis of flickering effect for LED stage lighting system”, 2011 KIEE Summer Conference, pp. 1195-1196, July. 2011.
- [7] Dong-Seok Shin, Jun-gu Lee, “A LED driver unit and a Methode for Controlling the LED”, KR Patent No

- 1011161880000, Feb. 2012.
- [8] Kyu-Min Lee, Wang-Seop Choe, Chong-Yun Park, "Dimming control method for LED stage lighting system", 2010 KIPE Autumn Conference, pp. 300-301, Nov. 2010.
 - [9] Dong-Seok Shin, Chong-Yun Park, "A Dimming Method for the UHD Broadcast LED Lighting", Journal of KIEE, Vol. 29, No. 2, pp. 8-18, Feb. 2015.
 - [10] Kang, Shin-Ho, Jeong-Min Lee, and Jeong-Duk Ryeom. "Digital Light Color Control System of LED Lamp using Inverse Tri-Stimulus Algorithm", Journal of KIEE, Vol. 25, No. 1, pp. 1-8, Jan. 2011.
 - [11] Kim, Hoon, et al. "A color temperature and illuminance controllable LED lighting system." Journal of KIEE, Vol. 23, No. 12, pp. 10-22, Dec. 2009.
 - [12] ITU-R, "Recommendation BT.709-5", Apr. 2002.
 - [13] ITU-R, "Recommendation BT.2020-0", Aug. 2012.
 - [14] Phillips Lumileds, "LUXEON Rebel General Purpose Datasheet DS64", 2011.
 - [15] Phillips Lumileds, "LUXEON Rebel General Purpose Datasheet DS68", 2012.

◇ 저자소개 ◇



신동석 (申東碩)

1985년 2월 22일생. 2007년 강원대 전기 전자공학과 졸업. 2009년 강원대 전기전자 공학과 졸업(석사). 2009~2013년 서울 스테이지라이팅 책임연구원. 2010년~ 현재 강원대 전기전자공학과 박사과정.



박철형 (朴哲亨)

1968년 2월 6일생. 1995년 강원대 전기 공학과 졸업. 1997~2000년 (주)진명라 이팅 개발과장. 2000~2004년 (주)피엔 케이텍 개발과장. 2004~2007년 모두텍 대표. 2008년~현재 엘투 대표.



박종연 (朴鍾演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전자 공학과 졸업. 1980년 경북대 전자공학과 졸업(석사). 1984년 경북대 전자공학과 졸업(박사). 1973~1977년 KIST 연구원. 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교수. 1989~1990년 UCLA 교환교수. 1984년~현재 강원대 전기전자 공학과 교수.