

논문 2009-46SP-4-6

시변 변환 행렬을 이용한 시간에 안정된 RGB LED Backlighting 구동 전류 제어

(Driving Current Control for Time-Stable RGB LED Backlighting Using Time-Varying Transform Matrix)

박 기 현*, 하 영 호**

(Kee-Hyon Park and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 red, green, blue(RGB) 광학 센서를 이용하여 RGB light-emitting diode(LED) back light unit(BLU)의 출력 색 자극의 변화를 점검하여 RGB LED BLU가 시간에 따라 일정한 목표 색 자극을 출력할 수 있도록 하는 RGB LED BLU 구동 전류 펄스 duty 값을 도출하는 알고리즘을 제안한다. 우선, 현재 RGB LED BLU가 발하는 색 자극 정보를 획득하기 위해 RGB 광학 센서의 출력으로부터 CIEXYZ 색 자극을 계산할 수 있는 RGB to XYZ 변환 행렬을 도출한다. 다양한 RGB LED BLU 색 자극 샘플에 대한 RGB 광학 센서의 출력 값과 CIEXYZ 색 자극 값의 쌍을 이용하여 다항 회귀 방정식을 만들고 각 항의 계수로 행렬을 구성한다. 다음으로, 현재 RGB LED BLU 상태에서 목표 색 자극 값을 발할 수 있는 duty 값을 구하기 위해 목표 색 자극으로부터 duty 값을 계산할 수 있는 XYZ to Duty 변환 행렬을 도출한다. 현재, 한 단계 이전, 두 단계 이전 시점에서 RGB 광학 센서의 출력으로부터 추정된 CIEXYZ 값과 그때 인가된 duty 값의 쌍을 이용하여 다항 회귀 방정식을 만들고 각 항의 계수로 행렬을 구성한다. 일정 시간 간격으로 RGB LED BLU의 출력 색 자극을 점검할 때마다 XYZ to Duty 변환 행렬은 RGB LED BLU의 현재 상태에 적응적으로 변하게 되어 목표 색 자극을 출력할 수 있는 duty 값을 계산할 수 있게 된다.

Abstract

This paper proposes a driving current control method for a back light unit (BLU), consisting of red, green, and blue (RGB) light-emitting diodes (LEDs), whereby an RGB optical sensor is used to check the output color stimulus variation to enable a time-stable color stimulus for light emission by the RGB LED BLU. First, to obtain the present color stimulus information of the RGB LED BLU, an RGB to XYZ transform matrix is derived to enable CIEXYZ values to be calculated for the RGB LED BLU from the output values of an RGB optical sensor. The elements of the RGB to XYZ transform matrix are polynomial coefficients resulting from a polynomial regression. Next, to obtain the proper duty control values for the current supplied to the RGB LEDs, an XYZ to Duty transform matrix is derived to calculate the duty control values for the RGB LEDs from the target CIEXYZ values. The data used to derive the XYZ to Duty transform matrix are the CIEXYZ values for the RGB LED BLU estimated from the output values of the RGB optical sensor and corresponding duty control values applied to the RGB LEDs for the present, first preceding, and second preceding sequential check points. With every fixed-interval check of the color stimulus of the RGB LED BLU, the XYZ to Duty transform matrix changes adaptively according to the present lighting condition of the RGB LED BLU, thereby allowing the RGB LED BLU to emit the target color stimulus in a time-stable format, regardless of changes in the lighting condition of the RGB LEDs.

Keywords : backlight unit, RGB LED, driving current control

I. 서 론

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National University)
접수일자: 2008년10월3일, 수정완료일: 2009년6월16일

지난 몇 년 동안 light-emitting diode(LED)의 발전
이 급진전됨에 따라 일반 디스플레이 및 광원 시장에서

의 light-emitting diode(LED)에 대한 사용이 주목되고 있다. 수명, 전력 소모 및 발광 효율 면에서 큰 진전을 이루고 있고, 견고성 및 제작 과정에서 수은을 사용하지 않아도 된다는 점에서 LED는 큰 장점을 가진다.^[1] 또한, LED를 liquid crystal display(LCD)의 backlight로 사용할 때 기대할 수 있는 다양한 장점은 LED 사용에 더욱 큰 관심을 가지게 한다. Red, green, blue(RGB) LED를 LCD의 backlight로 사용할 경우 색 재현성이 cold-cathode fluorescent lamp(CCFL)을 사용할 경우보다 우수하다. 디스플레이의 색 재현 능력은 흔히 색역의 크기로 표현을 하는데, 색역은 일반적으로 RGB 세 가지 색이 모서리를 구성하는 삼각형 형태로 그려진다. 색역의 값은 간단히 퍼센티지로 나타내기도 한다. 이는 기준 색 공간의 면적에 대한 디스플레이 색역 면적의 비율을 의미한다. 기준 색 공간으로 많이 사용되는 것으로는 미국 텔레비전 시스템 심의회(National Television System Committee; NTSC) 표준 색역을 들 수 있다. NTSC 표준 색역과 비교했을 때, RGB LED backlight의 색역은 NTSC 색역의 거의 100%의 크기를 가지는 것으로 알려져 있다.^[2]

LCD는 근본적으로 cathod ray tube(CRT)에 비하면 응답 속도가 느린 단점이 있다. 따라서 움직임에 대하여 화면이 흐려지는 현상이 나타나게 된다. LED backlight는 이러한 현상을 줄여주기 위해 사용될 수 있다. LED는 고속 동작이 가능하므로 backlight blinking이란 기법을 이용하여 LED를 순간적으로 켜다 끄는 동작을 취하여 LCD의 응답 속도가 느려 움직임의 잔상이 남는 현상을 보완할 수 있다.^[3] 또한 LED backlight를 변조시켜 LCD의 명암 비도 높으면서 전력 소모를 줄일 수 있다. 전체 디스플레이 스크린을 적은 영역으로 쪼개고 각 영역 안의 LED를 각기 독립적으로 제어를 할 수 있도록 만든다. 디스플레이로 들어오는 입력 신호에 따라 능동적으로 영역별 LED의 밝기를 조절하게 되면 LCD의 명암 비를 높일 수 있고 효과적인 밝기 조절로 인해 backlight 전력 소모도 줄일 수 있다.^[4]

하지만 이러한 여러 LED backlight의 장점에도 불구하고 실제 적용에 있어서 해결해야 할 문제들이 있다. LED는 온도에 영향을 받아 온도가 낮을수록 출력광의 세기가 커지고 온도가 높으면 출력광의 세기가 약해진다. 따라서 시간이 변화함에 따라 LED에 온도 변화가 있을 경우 LED의 backlight의 밝기가 일정하게 유지되기 어렵다. 온도의 변화에 따라 LED backlight의 출력

광의 세기만이 달라질 뿐만 아니라 LED backlight의 분광 분포의 첨두치 파장도 이동을 하게 되며, 첨두치의 크기가 변화하는 양도 각 Red, Green, Blue LED마다 다르게 나타나므로 색도의 변화를 초래한다.^[5-6] 따라서 온도의 변화에도 LED backlight가 일정한 휘도 및 색도를 가지게 하는 제어 시스템 및 알고리즘이 필요하다.

LED의 또 다른 특성으로서 LED의 동작 시간에 따른 출력광 효율의 손실이 있다. LED는 동작 시간이 길어짐에 따라 출력광의 세기가 감소하는 특성을 보인다.^[5-6] 이러한 특성을 보상하기 위해 역시 LED backlight의 상태에 적응적인 제어 시스템이 및 알고리즘이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 LED backlight의 특성을 고려하여 RGB LED backlight unit (BLU)의 휘도 및 색도를 일정하게 유지시키기 위한 시스템의 제어 알고리즘을 제안하였다.

II. RGB LED BLU의 시간적 안정성

RGB LED BLU가 내는 출력 색 자극이 시간이 흐름에 따라 어떻게 변하는지 실험을 통해 조사해 보았다. 우선 RGB LED BLU의 duty 제어 값을 4095를 기준으로 R=2800, G=2000, B=3200으로 고정해 두고 10분 간격으로 RGB LED BLU의 출력 색 자극의 CIEXYZ 값과 분광 전력 분포를 분광방사휘도계(Minolta CS-1000)로 측정하였다. 표 1에 그 측정 결과 데이터를 보였다. 결과를 통해서 RGB LED BLU의 출력 색 자극이 지속

표 1. 시간에 따른 RGB LED BLU의 CIEXYZ 값 변화
Table 1. Please Change of CIEXYZ values of RGB LED BLU with time.

시간	X	Y	Z
0분	6464	6469	11710
10분	6308	6334	11610
20분	6202	6242	11550
30분	6125	6175	11510
:	:	:	:
1시간30분	5818	5901	11410
1시간40분	5818	5901	11410
1시간50분	5818	5901	11410
2시간	5817	5900	11410

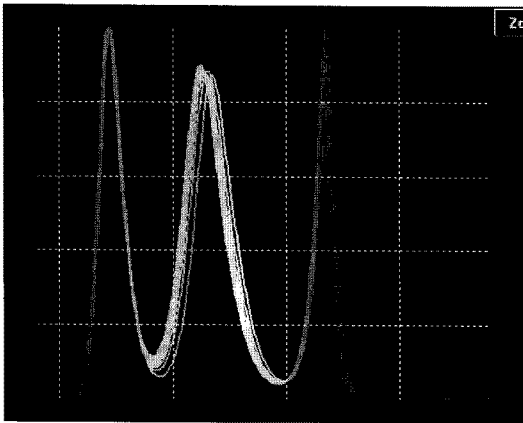


그림 1. 시간에 따른 RGB LED BLU의 분광 전력 분포 변화

Fig. 1 Change of spectral power distribution of RGB LED BLU with time.

적으로 변하다가 1시간 30분이 지난 시점에 일정한 값으로 수렴해 가는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 RGB LED BLU의 온도가 일정하게 수렴하여 온도 변화에 의한 RGB LED BLU의 출력 색 자극의 변화가 일어나지 않음을 의미한다. 외부 혹은 내부의 영향으로 온도 등의 환경이 변한다면 RGB LED BLU의 색 자극 일관성은 보장되지 않는다. RGB LED BLU의 색 자극이 시간에 따라 변하지 않도록 안정화시킬 필요가 있다. 그림 1에는 시간에 따른 RGB LED BLU 출력 분광 전력 분포의 변화를 보았다.

III. 제안한 RGB LED BLU의 색 자극 제어

목표 색 온도 및 휘도에 대한 RGB LED BLU의 duty 제어를 위한 전체 흐름도를 그림 2에서 보여주고 있다. 우선 현재 RGB LED BLU의 발광 상태를 점검하기 위하여 현재 RGB 광학 센서의 출력 값을 획득한다. RGB 광학 센서로부터 얻은 출력 값을 기반으로, RGB to XYZ 변환 행렬을 이용하여 현재 RGB LED BLU에서 발하는 CIEXYZ 값을 추정한다. 다음으로, 추정된 CIEXYZ 값과 현재 duty 제어 값을 이용하여 XYZ to Duty 변환 행렬을 현재 RGB LED BLU 상태가 고려되도록 갱신한다. 갱신된 XYZ to Duty 변환 행렬과 RGB LED BLU의 목표 CIEXYZ 색 자극 값을 이용하여 목표 CIEXYZ 값을 출력하기 위한 RGB LED의 duty 입력 값을 계산한다. 이 값을 RGB LED BLU에

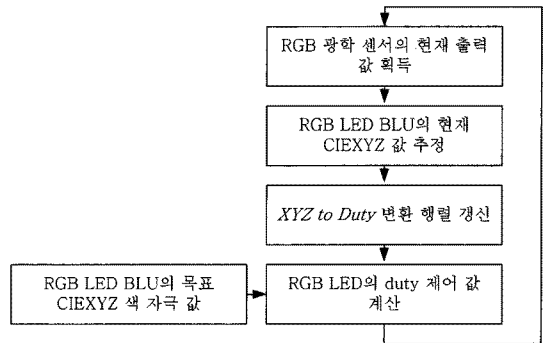


그림 2. 제안한 방법의 흐름도

Fig. 2. Please Flow chart of proposed method.

인가하여 목표 CIEXYZ 색 자극을 RGB LED BLU가 발할 수 있도록 하고, 다시 현재 RGB LED BLU의 발광 상태를 점검하기 위해 현재 RGB 광학 센서의 출력 값을 획득하는 과정을 반복한다.

1. RGB 광학 센서의 특성화

RGB LED BLU의 현재 상태를 파악하기 위해 RGB LED BLU 표면에 부착된 RGB 광학 센서로부터 센서 출력 값을 획득하고 이를 이용하여 현재 RGB LED BLU가 발하는 빛의 CIEXYZ 값을 추정하는 RGB 광학 센서의 특성화 과정을 수행한다.

임의의 RGB 광학 센서 출력 값으로 RGB LED BLU가 발하는 빛의 CIEXYZ 값을 추정하기 위해 먼저 RGB LED의 duty 제어 값을 조합하여 64가지의 샘플 광을 만들고 이에 대한 RGB 광학 센서의 출력 값을 획득한다. 또한 이 64가지 샘플에 대한 CIEXYZ 값을 분광방사휘도계(Minolta CS-1000)를 이용하여 측정한다. 이 때 측정환경은 RGB 광학 센서는 그림 3과 같이 RGB LED BLU의 측면에 부착하여 RGB LED BLU에서 나오는 빛을 입력 받았다. 또한 측정을 수행할 때 측정 샘플과 측정 장비간의 거리는 측정 RGB LED BLU 높이의 4배가 되게 하였고 측정 위치는 RGB LED BLU에서 RGB 광학 센서가 부착된 위치와 가까운 지점에 두었다. 측정 시 측정 대상인 RGB LED BLU 이외의 광원은 모두 제거한 암실 환경을 만들었다.

측정된 64개의 CIEXYZ 값과 RGB 광학 센서의 출력 값 쌍을 이용하여 RGB 광학 센서 출력 값과 이에 대응하는 CIEXYZ 값 사이의 3x4 변환 행렬을 구할 수 있다. 임의의 RGB 광학 센서 출력 값을 이에 대응하는 CIEXYZ 값으로 변환시키기 위한 RGB to XYZ 변환

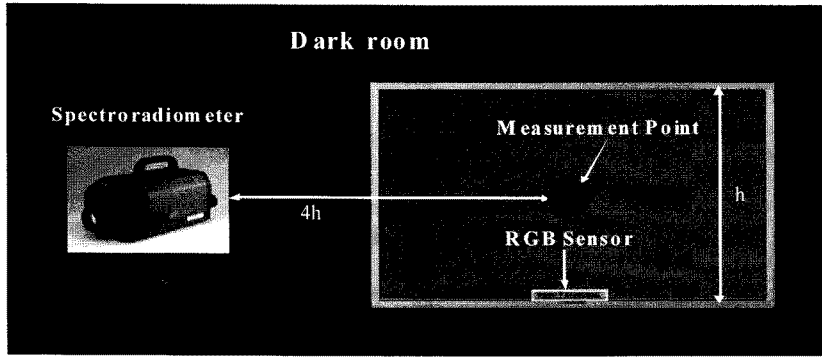


그림 3. RGB 광학 센서 특성화를 위한 측정 환경

Fig. 3. Please Measurement environment of RGB optical sensor characterization.

행렬은 다음과 같이 이용된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RGB\ to\ XYZ \\ 1 \\ R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 RGB to XYZ 변환 행렬은 다음과 같은 의사 역행렬(pseudo inverse matrix) 연산^[6]을 통하여 획득된다.

$$\begin{bmatrix} RGB\ to\ XYZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_1 & G_1 & B_1 \\ 1 & R_2 & G_2 & B_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & R_n & G_n & B_n \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ R_1 & R_2 & \dots & R_n \\ G_1 & G_2 & \dots & G_n \\ B_1 & B_2 & \dots & B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_1 & G_1 & B_1 \\ 1 & R_2 & G_2 & B_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & R_n & G_n & B_n \end{bmatrix}^{-1} \quad (2)$$

여기서 n은 샘플 개수 64이고 [R_k G_k B_k]는 k번째 샘플에 대한 RGB 광학 센서 출력 값, [X_k Y_k Z_k]는 k번째 샘플에 대한 측정된 CIEXYZ 값을 나타낸다. 결과적으로 RGB to XYZ 변환 행렬은 크기가 3×4가 된다.

RGB 광학 센서 출력 값이나 측정된 CIEXYZ 값은 LED의 duty 제어 값과 선형적인 관계가 있으므로 크기가 3×4 이상의 변환 행렬을 사용하여 더욱 정확한 CIEXYZ 값을 추정한다 하더라도 그 개선의 정도는 크지 않다. 3×4 크기 이상의 변환 행렬을 구하기 위해서는 표 2와 같이 광학 센서 RGB 출력 값의 제곱 혹은 세제곱의 조합을 이용하게 되는데 RGB 광학 센서 출력 값과 측정된 CIEXYZ 값은 서로 선형적인 관계가 있으므로 RGB 광학 센서 출력 값의 제곱 혹은 세제곱의 조

표 2. 행렬 크기에 따른 변환 다항식

Table 2. Transform polynomials according to matrix size used.

변환 행렬의 크기	변환 다항식
3×3	$P(R, G, B) = c_1R + c_2G + c_3B$
3×4	$P(R, G, B) = \alpha_0 + c_1R + c_2G + c_3B$
3×6	$P(R, G, B) = c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR$
3×8	$P(R, G, B) = \alpha_0 + c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR + c_{10}RGB$
3×9	$P(R, G, B) = c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR + c_7R^2 + c_8G^2 + c_9B^2$
3×11	$P(R, G, B) = \alpha_0 + c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR + c_7R^2 + c_8G^2 + c_9B^2 + c_{10}RGB$
3×14	$P(R, G, B) = \alpha_0 + c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR + c_7R^2 + c_8G^2 + c_9B^2 + c_{10}RGB + c_{11}R^3 + c_{12}G^3 + c_{13}B^3$
3×20	$P(R, G, B) = \alpha_0 + c_1R + c_2G + c_3B + c_4RG + c_5GB + c_6BR + c_7R^2 + c_8G^2 + c_9B^2 + c_{10}RGB + c_{11}R^3 + c_{12}G^3 + c_{13}B^3 + c_{14}RG^2 + c_{15}R^2G + c_{16}GB^2 + c_{17}G^2B + c_{18}BR^2 + c_{19}B^2R$

합을 이용하지 않고 RGB 값을 그대로 사용하더라도 충분히 선형 관계를 규정할 수 있는 행렬을 구할 수 있기 때문이다.

표 2는 RGB to XYZ 변환 행렬 크기에 대한 RGB 다항식의 구성을 보여주고 있다. 행렬 크기가 클수록 RGB 다항식의 항의 차수가 커지게 되며, RGB 상호간의 곱도 복잡해진다. RGB to XYZ 변환 행렬의 크기

표 3. 행렬 크기에 따른 CIEXYZ 측정치와 추정치간의 색차
 Table 3. Color differences between measured and estimated CIEXYZ values according to matrix size used.

행렬의 크기	평균 ▲	최대 ▲
3×3	0.9178	4.3103
3×4	0.2879	0.9118
3×6	0.3425	2.0279
3×8	0.2443	1.0464
3×9	0.2527	1.5835
3×11	0.1693	0.6254
3×14	0.1136	0.4191
3×20	0.1124	0.4081

와 CIEXYZ 값의 추정 오차와의 관계를 표 3에 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 변환 행렬의 크기가 커지더라도 CIEXYZ 값의 추정 오차의 감소가 크지 않은 것을 알 수 있다. 또한 3×4 행렬을 사용한 특성화 오차가 1보다 적은 것을 볼 수 있다. 이는 허용 오차¹⁷⁾보다 적은 수치로서, 3×4 변환 행렬을 이용한 RGB 광학 센서 특성화 성능이 만족할 만한 결과를 보여줌을 의미한다.

2. CIEXYZ 값에서 duty 제어 값으로의 변환

RGB LED BLU의 휘도 및 색도 값을 제어하여 목표 휘도 및 색도 값을 내기 위해서 기본적으로 RGB LED를 구동하는 전류의 세기는 고정 시키고 전류의 duty 제어 값을 적절히 변화시키는 방법을 사용한다. RGB LED BLU의 목표 CIEXYZ 값을 내기 위한 제어 duty 값을 얻기 위해서 CIEXYZ 값을 그에 상응하는 duty 입력 값으로 바꾸어 주는 3×3 변환 행렬을 사용한다. duty 제어 값과 측정된 CIEXYZ 값은 서로 선형적인 관계가 있으므로 3×3 크기의 행렬을 사용하더라도 이들의 선형 관계를 충분히 규정할 수 있고 정방행렬 형태이므로 행렬 연산에서의 역 변환이 용이하기 때문이다. 목표 CIEXYZ 값을 낼 수 있는 duty 값을 구하는 XYZ to Duty 변환 행렬은 다음과 같이 이용된다.

$$\begin{bmatrix} D_R \\ D_G \\ D_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XYZ \text{ to Duty} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} \tag{3}$$

여기서 $[X_T \ Y_T \ Z_T]^T$ 는 목표 CIEXYZ 값이고 $[D_R \ D_G \ D_B]^T$ 는 목표 CIEXYZ 값을 내기 위한 RGB LED의 입력 duty 값이다. 입력 duty 값은 정규화하여 0에서 1사이의 값을 사용한다.

일반적으로 XYZ to Duty 변환 행렬은 다음과 같이 구한다.

$$\begin{bmatrix} XYZ \text{ to Duty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{R,max} & X_{G,max} & X_{B,max} \\ Y_{R,max} & Y_{G,max} & Y_{B,max} \\ Z_{R,max} & Z_{G,max} & Z_{B,max} \end{bmatrix}^{-1} \tag{4}$$

여기서 $[X_{R,max} \ Y_{R,max} \ Z_{R,max}]$ 는 red LED의 duty 값을 최대로 했을 때 측정된 CIEXYZ 값이고, $[X_{G,max} \ Y_{G,max} \ Z_{G,max}]$ 는 green LED의 duty 값을 최대로 했을 때 측정된 CIEXYZ 값이며, $[X_{B,max} \ Y_{B,max} \ Z_{B,max}]$ 는 blue LED의 duty 값을 최대로 했을 때 측정된 CIEXYZ 값이다.

하지만 RGB LED BLU에 일정 duty 값을 인가했다 하더라도 RGB LED BLU의 휘도 및 색도는 일정한 값을 가지지 않고 즉, 일정한 CIEXYZ 값을 가지지 않고, 시간에 따라 다소 크게 변한다. 따라서 목표 CIEXYZ 값을 내기 위한 duty 값을 구하기 위해서는 고정된 XYZ to Duty 변환 행렬을 사용해서는 안 되고 현재 RGB LED BLU 상태에 맞게 지속적으로 변하는 XYZ to Duty 변환 행렬을 사용하여야 한다. 즉, 현재 RGB LED BLU 상태를 주기적으로 점검하고 그에 따라 XYZ to Duty 변환 행렬을 지속적으로 갱신시켜 주어야 한다. 여기에서 현재 RGB LED BLU의 상태를 점검하는 작업은 RGB 광학 센서 출력 값을 획득하여 센서 특성화 과정을 거쳐 현재 RGB LED BLU가 발하는 CIEXYZ 값을 추정하는 과정을 통해 이루어진다. 본 논문에서는 현재 RGB LED BLU 상태를 점검하고 그에 따른 XYZ to Duty 변환 행렬을 갱신시키기 위해서 다음과 같은 XYZ to Duty 변환 행렬을 제안한다.

$$\begin{bmatrix} XYZ \text{ to Duty} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_R[n] & D_R[n-1] & D_R[n-2] \\ D_G[n] & D_G[n-1] & D_G[n-2] \\ D_B[n] & D_B[n-1] & D_B[n-2] \\ X_O[n] & X_O[n-1] & X_O[n-2] \\ Y_O[n] & Y_O[n-1] & Y_O[n-2] \\ Z_O[n] & Z_O[n-1] & Z_O[n-2] \end{bmatrix}^{-1} \tag{5}$$

여기서 $[n]$ 은 현 점검 시점을 나타내고 $[n-1]$ 은 현 시점에서 한 단계 앞선 점검 시점, $[n-2]$ 은 현 시점 보다 두 단계 앞선 점검 시점을 나타낸다. $[D_R D_G D_B]$ 는 RGB LED의 입력 duty 값을 나타내고, $[X_O Y_O Z_O]$ 는 그에 따른 RGB LED BLU의 출력 CIEXYZ 값을 나타낸다. 따라서 $[D_R[n] D_G[n] D_B[n]]$ 은 현 점검 시점의 RGB LED의 입력 Duty 값을 의미하고, $[X_O[n] Y_O[n] Z_O[n]]$ 은 현 점검 시점의 RGB LED BLU의 출력 CIEXYZ 값을 의미한다. 즉, *XYZ to Duty* 변환 행렬은 LED BLU의 상태가 점검 될 시점마다 그 때의 duty 값과 CIEXYZ 값을 이용하여 만들어진다. 새로운 duty 값과 CIEXYZ 값이 들어올 때 마다 가장 오래된 점검 시점의 duty 값과 CIEXYZ 값은 사용하지 않게 된다.

여기에 대해서 좀 더 상세히 살펴보면, 이렇게 해서 만들어진 3×3 *XYZ to Duty* 변환 행렬은 다음을 만족한다. 식 4에서 3개의 CIEXYZ 값으로 구성된 행렬을 양 변에 곱하고 좌항과 우항을 바꾸면,

$$\begin{bmatrix} D_R[n] & D_R[n-1] & D_R[n-2] \\ D_G[n] & D_G[n-1] & D_G[n-2] \\ D_B[n] & D_B[n-1] & D_B[n-2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XYZ\ to\ Duty \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_O[n] & X_O[n-1] & X_O[n-2] \\ Y_O[n] & Y_O[n-1] & Y_O[n-2] \\ Z_O[n] & Z_O[n-1] & Z_O[n-3] \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 되고 이는 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} D_R[n] \\ D_G[n] \\ D_B[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XYZ\ to\ Duty \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_O[n] \\ Y_O[n] \\ Z_O[n] \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} D_R[n-1] \\ D_G[n-1] \\ D_B[n-1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XYZ\ to\ Duty \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_O[n-1] \\ Y_O[n-1] \\ Z_O[n-1] \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} D_R[n-2] \\ D_G[n-2] \\ D_B[n-2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XYZ\ to\ Duty \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_O[n-2] \\ Y_O[n-2] \\ Z_O[n-2] \end{bmatrix} \quad (9)$$

즉, *XYZ to Duty* 변환 행렬은 현재 RGB LED BLU 상태에서의 CIEXYZ 값과 그 값을 낼 수 있는 duty 입력 값의 관계를 규정짓는 행렬이라 할 수 있고, 동시에 한 단계 앞선 점검 시점 및 두 단계 앞선 점검 시점 RGB LED BLU 상태에서의 CIEXYZ 값과 그 값을 낼 수 있는 duty 입력 값의 관계를 규정짓는 행렬이라 할 수 있다. 현재 점검 시점과 시간 차이가 많이 나는 과거 점검 시점일수록 현재 RGB LED BLU의 상태와 차이가 커진다고 볼 수 있기 때문에 현재 점검 시점과 두 단계 앞선 점검 시점 까지만 고려해 3×3 행렬을 구성한다. 시간이 지남에 따라 다음 점검 시점이 현 시점 $[n]$ 이 되고 이전의 현 시점은 한 단계 앞선 점검 시점 $[n-1]$ 이 된다. 즉, 현 시점의 CIEXYZ 값과 duty 값이

표 4. duty 제어 결과

Table 4. Please Results of duty control.

D_R	D_G	D_B	X	Y	Z	ΔE_{ab}	Δxy	$\Delta u'v'$
3153	1822	3206	6601.11	5991.83	11869.7	0.082	0.00016	0.00011
3165	1825	3210	6608.45	5995.51	11874.1	0.038	0.00007	0.00005
3170	1827	3212	6607.02	5994.12	11872.77	0.045	0.00008	0.00007
3202	1839	3225	6619.2	6002.6	11888.76	0.110	0.00012	0.00012
3214	1845	3228	6601.42	5993.76	11869.13	0.105	0.00015	0.00012
3218	1846	3230	6603.41	5995.49	11869.02	0.096	0.00011	0.00010
3229	1849	3233	6600.54	5990.21	11863.89	0.066	0.00009	0.00006
3235	1852	3236	6597.81	5988.96	11865.48	0.099	0.00018	0.00013
3244	1855	3239	6597.21	5987.12	11862.8	0.089	0.00016	0.00011
3256	1860	3245	6607.96	5995.79	11880.15	0.054	0.00015	0.00010

행렬의 맨 첫 열을 차지하면서 이전 시점의 값을 다음 열로 밀어내어 가장 과거 시점의 값은 탈락되게 하는 과정을 RGB LED BLU의 상태를 점검할 때마다 반복하게 된다.

IV. 실험 및 결과

실험 시 그림 3과 같은 환경을 갖추었으며, 실제로 목표 휘도 및 색도 값으로 6000cd/m^2 와 (0.270, 0.245)를 설정하고 목표 휘도 및 색도를 유지하기 위한 duty 제어 값을 획득하는 실험을 수행하였다. 주어진 목표 휘도 및 색도 값으로 계산한 CIEXYZ 값은 (6612, 6000, 11878)이 되며 제한한 알고리즘을 적용하여 RGB LED BLU가 주어진 목표 CIEXYZ 값을 내기 위한 duty 제어 값을 획득하였다. 처음 점검 시점부터 10회 정도의 점검을 하면서 생성한 duty 값과 RGB LED BLU의 출력 CIEXYZ 값, 그리고 출력 CIEXYZ 값과 목표 CIEXYZ 값과 사이의 오차를 표 4에 제시하고 있다. 목표 CIEXYZ 값과 출력 CIEXYZ 값 사이의 오차는 CIELAB 색차가 0.2 미만, Δxy 와 $\Delta u'v'$ 오차가 0.0002 미만으로 나온 것을 볼 수 있다. 전반적으로 오차가 허용할 만한 수준^[7]으로 나타나고 있어 제한한 알고리즘이 RGB LED BLU가 목표 휘도 및 색도를 유지하는데 유효함을 보여주고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 RGB LED BLU의 휘도 및 색도를 일정하게 유지시키기 위한 duty 제어 값을 획득하는 알고리즘을 제안하였다. RGB LED BLU의 휘도 및 색도를 일정하게 유지시키기 위한 duty 제어 값을 획득하기 위해 우선 RGB 광학 센서의 출력 값으로부터 CIEXYZ 색 자극을 추정하는 센서 특성화 작업을 수행하였다. 센서 특성화 과정을 통해 3×4 RGB to XYZ 선형 변환 행렬을 획득할 수 있었다. 획득된 RGB to XYZ 선형 변환 행렬을 이용하여 RGB 광학 센서 특성화 과정을 단순 행렬 연산을 통해 이루어지도록 간소화 시켰고, RGB to XYZ 선형 변환 행렬을 이용한 RGB 광학 센서 특성화 오차가 허용 범위 내에 있음을 확인하였다. 현재 RGB LED BLU의 duty 제어 값과 현재 추정된 CIEXYZ 값을 이용해 현재 RGB LED BLU의 상태를 고려한 XYZ to Duty 행렬을 획득하는 알고리즘을 제

안하여 단순 행렬 연산을 통해 duty 제어 값을 획득할 수 있게 하였다. 이 연산 과정을 통해 나온 duty 제어 값을 RGB LED BLU에 인가한 결과 RGB LED BLU의 출력 색 자극이 목표 색 자극에 근접하게 나오는 것을 확인하였다. 목표 색 자극과 출력 색 자극의 오차는 ΔE_{ab} 가 평균 0.1정도, Δxy 와 $\Delta u'v'$ 는 평균 0.0001 정도가 되었다. ΔE_{ab} 를 기준으로 했을 때 1보다 적으면 인간이 그 차이를 인지하지 못한다.^[7]

참 고 문 헌

- [1] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. Collins, R. M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowise, P. S. Martin, and S. L. Rudaz, "Illumination With Solid State Lighting Technology," *IEEE Journal Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 8, no. 2, pp. 310-320, 2002.
- [2] M. Anandan, "LED Backlight: Boost to LCD TV," *Proc. of 2nd Americas Display Engineering and Applications Conference*, pp. 25-27, 2005.
- [3] N. Fisekovic, T. Nauta, H. J. Cornelissen, and J. Bruinink, "Improved Motion-Picture Quality of AM-LCDs Using Scanning Backlight," *Proc. International Display Workshops 2001*, pp. 1637-1640, 2001.
- [4] H. Chen, J. Sung, T. Ha, Y. Park, and C. Hong, "Backlight Local Dimming Algorithm for High Contrast LCD-TV," *Proc. Asian Symposium on Information Display*, pp. 168-171, 2006.
- [5] A. Perduijn, S. Krijger, J. Claessens, N. Kaito, T. Yagi, S. T. Hsu, M. Sakakibara, T. Ito, and S. Okada, "Light Output Feedback Solution for RGB LED Backlight Applications," *SID 2003 Digest*, pp. 1254-1257, 2003.
- [6] S. Muthu and J. Gaines, "Red, Green and Blue LED-Based White Light Source: Implementation Challenges and Control Design," *Industry Application Conference*, pp. 515-522, 2003.
- [7] M. Melgosa, E. Hita, J. Romero, and L. Jimenez del Barco, "Some Classical Color Differences Calculated with New Formulas," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 9, no. 8, pp. 1247-1253, 1992.

저 자 소 개



박 기 현(학생회원)

2002년 2월 경북대학교
전자전기공학부 졸업.

2004년 2월 경북대학교
전자공학과 석사 졸업.

2009년 2월 경북대학교
전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 칼라 영상 처리, 카메라 및 디스플레이 화질, HDR Imaging>

하 영 호(정회원)

대한전자공학회 논문지
제38권 SP편 제3호 참조