

LED 조명 제어를 위한 컬러센서 기반 포터블 스캐너 개발

(A Development of a Portable Color Scanner Using Photo Sensors for Full-Color LED Illumination Control)

천성용* · 이찬수**

(SungYong Chun · ChanSu Lee)

Abstract

Full-Color LED lighting system requires efficient control of the lighting color in order to easily achieve various color effects. In this paper, we present not only a portable color scanner using color sensors which can control lighting color directly from detected color but also methods to convert detected color to a complementary color, similar colors and so on. In addition, we propose a compensation method for measured sensor color to reduce measurement errors more than 50[%] in detected color. The developed color scanner is applied to control full-color LED ceiling light for emotional lighting.

Key Words : Color Sensor, Lighting Control, Full-Color LED, Portable Device, Emotional Lighting Control

1. 서 론

최근에 에너지 절감과 관련하여 LED 조명에 대한 관심이 커지고 있으며, 국가적 차원에서도 에너지 절약을 위한 다양한 LED 조명 보급 사업을 추진하고 있다. LED 조명은 기존 조명 대비 효율을 크게 향상시킬 수 있어서 에너지 절약을 위하여 기존의 일반 조명을 대체하는데 효과적이다. 더불어 LED 조명은 기존의 조명이 가질 수 없었던 다양한 특성들을 가지며, 특히 RGB또는 RGBW의 조합에 의한 풀(Full) 컬러

LED 조명 시스템은 기존 조명과는 다른 차원의 색 경험을 제공할 수 있다[1-2]. 이러한 풀 컬러 LED 조명 시스템을 위한 효과적인 제어 인터페이스가 요구되며, 기존의 시스템은 터치스크린을 이용한 색 좌표계 설정이나 RGB 컬러에 대한 조합을 위한 값을 제공하는 패널을 제공하는 수준에 그치고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 컬러센서를 이용한 포터블 컬러 스캐너 시스템을 제시한다.

LED 조명 시스템과 관련하여 다양한 연구들이 진행되고 있으며, 최근에서 색온도 제어를 이용한 승강기용 LED 조명 시스템[3], 색온도와 조도 제어 가능한 LED 조명 시스템[4] 등 LED 조명의 특성을 개선하고자 하는 시스템이 개발되고 있다.

최근에는 조명에 대한 인터랙션 등이 강조되면서, 다양한 센서를 이용한 인터랙티브 조명 제어 기법들

* 주저자 : 영남대학교 전자공학과
** 교신저자 : 영남대학교 전자공학과 LED-IT융합산업화연구센터
Tel : 053-810-3527, Fax : 053-810-4770
E-mail : chansu@ynu.ac.kr
접수일자 : 2011년 8월 17일
1차심사 : 2011년 8월 20일
심사완료 : 2011년 10월 26일

이 제시되고[5], 또한 감지 센서를 이용한 에너지 절감형 자동 조명 제어 시스템[6] 등에 대한 개발이 진행되고 있다. 또한 생체 신호등을 이용하여 인간감성을 인식하고 이를 바탕으로 한 LED 조명 제어시스템에 대한 연구도 진행되고 있다[7-8].

본 연구에서는 풀 컬러 LED 조명 시스템을 효과적으로 제어하기 위하여 RGB 센서를 바탕으로 한 색의 검출, 검출된 색에 대하여 효과적인 보정 방법과 검출된 색에 대한 보색, 주변색 등의 변환을 효과적으로 하는 방법을 제시한다. 또한 본 시스템이 사용자의 효과적인 적용을 위한 휴대용 제어 시스템으로서의 기능을 위하여 지그비(Zigbee) 모듈을 이용한 원격제어 기능을 제공한다.

본 논문의 2장에서는 전체 시스템의 구성과 감지 센서 부분의 특성을 살펴보고, 3장에서 색상보정 및 변환 방법을 제시한다. 4장에서 구현된 시스템에 대한 실험 결과를 보이며, 마지막에 결론을 맺는다.

2. 시스템 구성

본 연구에서는 컬러 센서를 이용하여 색을 획득하고, 이를 조명 장치에 디스플레이 하기 위한 시스템을 개발하였다. 컬러 센서를 장착한 포터블 스캐너는 대상으로부터 색을 추출하며, 필요에 따라 보색, 연관색 등의 색상 변환을 하고, 이 색은 지그비 무선 통신을 통해 DMX512 컨트롤러로 전달되어 LED의 색을 조절한다.

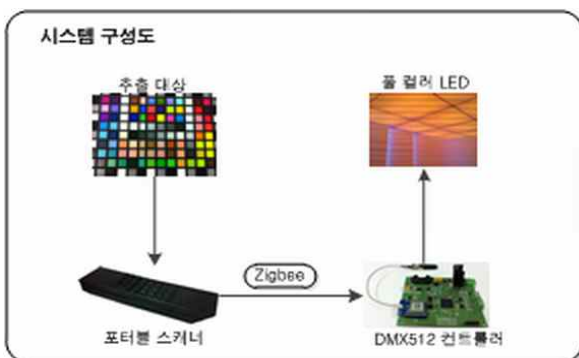


그림 1. 전체 시스템 구성도
Fig. 1. Whole system diagram

2.1 감지 센서 및 광원 특성

연구를 위해 사용한 컬러 센서는 TAOS사의 TCS3200D이며, 이 센서는 3종류의 필터를 가진 포토다이오드와 필터를 갖지 않은 포토다이오드까지 총 64개의 포토다이오드를 가지고 있다. 이 센서는 포토다이오드에 들어오는 빛의 파장을 디지털 주파수로 변환하여 출력을 발생시킨다.

센서의 출력은 외부의 광원에 종속적이기 때문에 고정된 환경이 아니라면 같은 컬러에서도 다른 출력을 나타내게 된다. 따라서 외부의 빛을 차단하고 내부에서 White LED를 조사하여 고정된 광원을 사용하도록 포터블 스캐너의 외형을 제작하였다. White LED는 ITSWELL사의 IWS-L3512-PW-K1(A)을 사용하였으며 6020~6530[K]의 색 온도 범위를 가지고 있다.¹⁾ LED의 특성을 살리기 위해 3.2[V]의 전압과 20[mA]

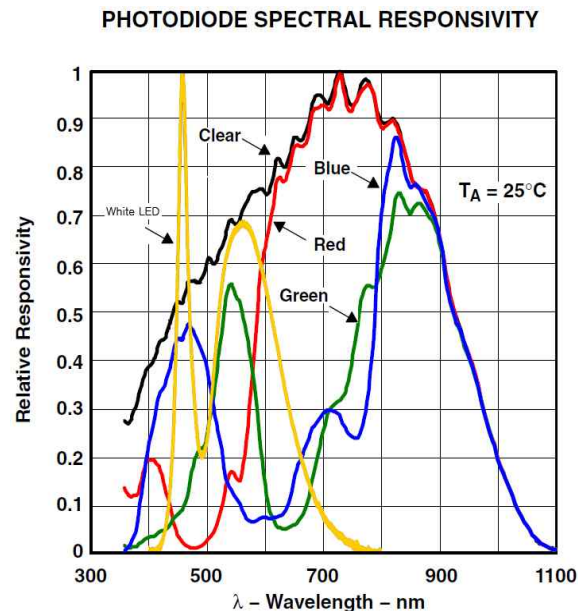


그림 2. 센서의 파장에 따른 상대적인 반응 특성과 사용된 백색 LED의 분광특성의 예
Fig. 2. The relative responsibility of a color sensor and spectroscopic characteristics of the used white LED

1) 초기실험에서 IWS-L3512-WW-K1의 4000[K]이하를 사용하였으며, 6000[K]이상으로 변경 후 성능 개선이 있었음.

의 전류를 공급하였다. 그림 2는 TCS3200D의 파장에 따른 상대적인 반응 특성과 White LED의 분광특성을 겹쳐서 나타내었다.

센서의 Red 출력은 주로 600[nm] 이상에서 높은 응답을 보이며, Green 출력은 550[nm]에서 최고 반응을 보이며, 800[nm] 이상에서도 높은 응답을 보인다. Blue 출력은 주로 450[nm]에서 높은 응답을 보이며 800[nm] 이상에서도 높은 값을 나타낸다.

사용한 White LED의 경우엔 450[nm]과 550[nm]의 파장을 가지며 센서의 Blue에 해당하는 450[nm]에서는 최고치를 보여준다. 센서는 Red, Green, Blue 모두 800[nm] 이상에서도 높은 응답을 보여주고 있지만 사용한 LED가 이 영역에 성분을 거의 가지고 있지 않으므로 센서는 가시광 영역의 Red, Green, Blue에 의한 성분을 검출하게 된다. 하지만 각 파장에 응답특성이 겹치는 부분이 있고, 파장에 따른 민감도가 다르므로 이에 대한 보정이 필요하다.

2.2 포터블 스캐너 시스템 구성

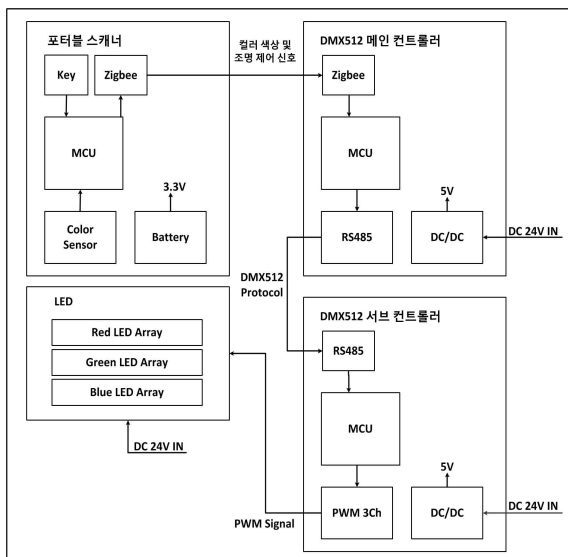


그림 3. 전체 시스템 하드웨어 블록 다이어그램
Fig. 3. Hardware block diagram of the whole system

포터블 스캐너는 White LED를 조사하여 대상으로부터 반사된 파장을 주파수로 얻어 이를 색상으로 변

환하여 출력하는 구조를 가지고 있고, 리튬 폴리머 배터리를 장착하여 레귤레이터를 통해 3.3[V]로 동작할 수 있게 구현하였다. 데이터 송신은 지그비 모듈을 장착하여 원거리에서 장애물의 영향을 받지 않도록 설계하였다. 이 시스템을 제어하기 위한 MCU는 ATmega32L을 사용하였으며, 센서 출력을 획득하기 위해 입력 캡처 포트를 이용하여 주파수를 계산하였다.

DMX512 메인 컨트롤러에서는 포터블 스캐너로부터 색상 데이터와 채널 데이터를 입력받으면 DMX512 프로토콜에 해당 채널의 색상을 변경하는 시스템으로 구성되어 있다. 또한 DMX512 서브 컨트롤러는 메인 컨트롤러로부터 받은 색상을 LED Array에 출력해주는 시스템으로 구성되어 있다.

3. 색상 보정 및 변환 방법

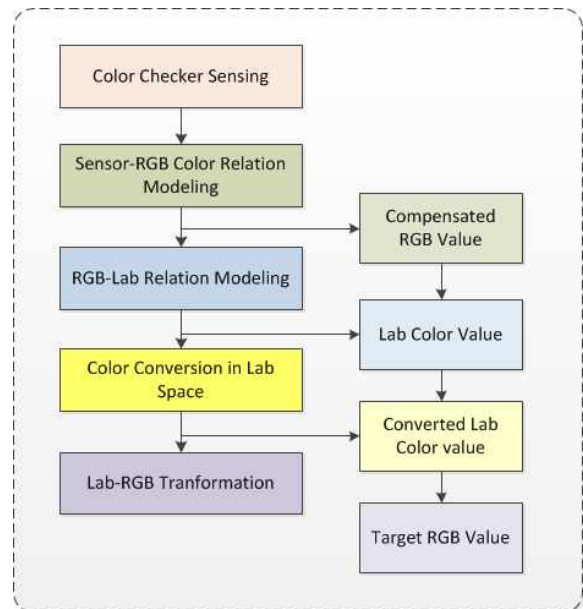


그림 4. 측정값 보정 및 색변환 알고리즘
Fig. 4. Measured color compensation and color conversion algorithm

측정 색상에 따른 센서의 응답 특성을 분석하고 이를 RGB 색 공간에 모델링하는 방법을 제안하고, 이 방법으로 얻은 컬러로부터 보색, 주변색, 대표색을 구하기 위해 $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 변환하는 방법을 제시한다. 그림 4는 칼라 체크를 사용하여 측정값을 바탕

으로 실제 값의 변화를 모델링하고, 또 색 변환을 활용한 후 실제 제어하고자 색상 값을 얻는 과정을 보여준다. 여기서 센서 응답 특성 등에 대한 모델링은 한번만 이루어지고 이후에서 설정된 모델을 가지고, 매번 측정값에 대한 보정과 변환을 수행하게 된다.

3.1 센서 응답 특성 분석 및 보정

측정 대상의 색상에 대한 센서의 응답 특성을 구하기 위해서는 기준으로 사용할 측정 색상이 필요하며, 이를 위해 본 연구에서는 X-RITE사의 컬러 체커(Color Checker)를 사용하였다. 이 제품은 24개의 컬러에 대해 RGB값과 그에 상응하는 L*a*b* 값을 제공하기 때문에 이를 기준으로 하여 색상을 근사화 하였다. 컬러 체커에서 제공하는 컬러들은 D65의 광원에서 측정된 컬러 값이기 때문에 본 연구에서도 6500[K]의 색 온도를 갖는 LED를 선정하였다.

첫 번째로 컬러 체커에 있는 Gray-Level의 색상으로 측정했을 때 센서의 응답 특성을 보기 위해 회색계통 샘플에 대하여 측정하였으며, 표 1에 그 결과를 보여준다.

표 1. 회색 샘플에 대하여 측정된 센서 값
Table 1. Measured sensor values for gray samples

Color Checker			색상	Measure[Hz]		
R	G	B		f_R	f_G	f_B
243	243	243		744	600	558
200	200	200		529	428	405
160	160	160		355	284	267
122	122	122		233	178	167
85	85	85		154	114	105
52	52	52		123	86	78

표 1을 그래프로 표현했을 때 그림 5와 같이 나타나며, 센서와 LED의 분광 특성에 의해 일반적으로 동일한 RGB값에 대하여 빨간색과 녹색이 파란색보다 측정되는 주파수 값이 더 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 또한 각 출력에 대한 특성이 Red, Green, Blue 센서에서 다르다는 것을 볼 수 있다.

따라서 각 측정 주파수에 대한 R, G, B 값에 대하여 각각의 근사화가 필요하며, 알려진 센서의 출력이 그래프와 같이 나타나면 이상적인 근사화가 가능하지만, 실제로 컬러 조합에 대해서 일정하지 않게 출력을 나타내기도 한다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 최소자승법(Least Square Method)을 적용하여 1~3차 근사화를 시도했다.

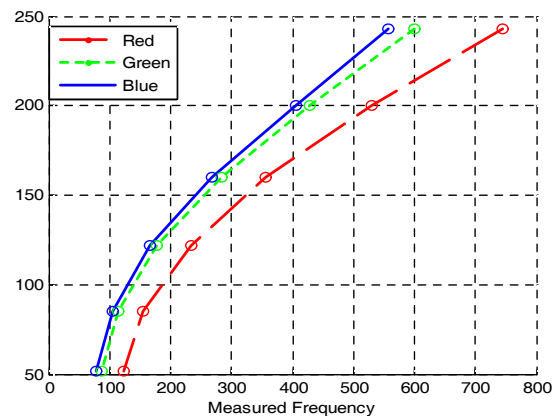
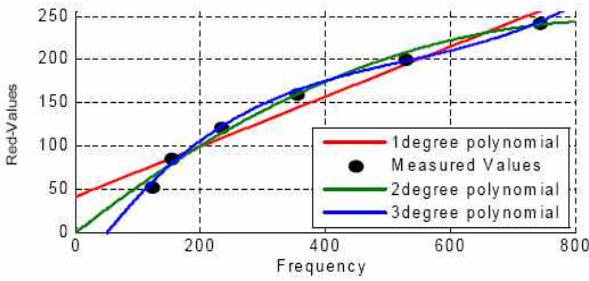


그림 5. 회색 계통에 대한 센서 응답 그래프
Fig. 5. A plot of measured sensor response for gray samples

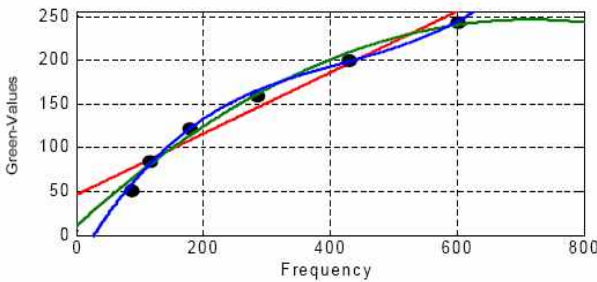
최소자승법은 식 (1)과 같이 어떤 입력 신호 x_i 에 대한 다항 함수(polynomial function)에 의한 근사값 $\hat{f}(x)$ 의 값과 측정값 y_i 의 오차 제곱의 평균값 E 를 최소화하는 함수를 찾는 방법이다.

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{f}(x_i) - y_i]^2} \quad (1)$$

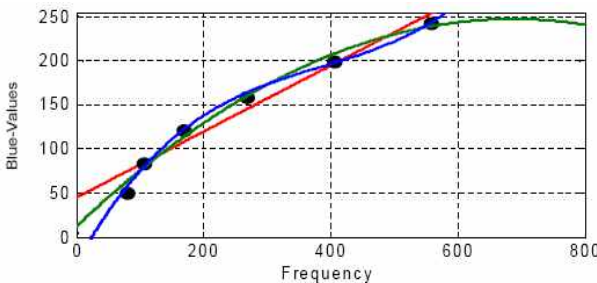
최소자승법을 사용하여 표 1과 같은 회색 샘플에 대한 각 센서의 출력에 대하여 1차, 2차, 3차 다항식에 의한 근사식을 구하면 식 (2)와 같은 근사식을 구할 수 있다. 그리고 컬러 체커에 있는 실제 값과 근사식으로부터 얻은 값이 근사화가 잘 되었는지 확인하기 위하여 구한 근사식의 그래프를 그림 6에 나타냈다. 그림에서 각 원들은 컬러 체커기반의 참값들이고, 각 선은 근사화한 식에 의한 피팅(fitting) 결과이다. 각 차수의 근사식을 살펴보면 2차와 3차 다항식에 의한 근사식에서 실제 값과 가장 근접한 결과를 보여주고



(a) 빨간색에 대한 결과



(b) 녹색에 대한 결과



(c) 파란색에 대한 결과

그림 6. 회색 계통 값에 대한 1~3차 다항식에 의한 근사값과 실제 값과의 차이

Fig. 6. 1~3 order polynomial approximation function for gray color samples

있음을 알 수 있다.

추가적으로 4차와 5차의 고차 근사화를 시도해 보았으나 그림 7과 같이 특정 구간에서 오버 피팅(over fitting)이 발생하는 결과가 나타남을 확인할 수 있었다.

1차 근사식

$$\begin{aligned}
 R &= 0.289460f_R + 40.522406 \\
 G &= 0.349783f_G + 45.144533 \\
 B &= 0.373987f_B + 45.183335
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

2차 근사식

$$\begin{aligned}
 R &= -0.000331f_R^2 + 0.571673f_R - 1.9429811 \\
 G &= -0.000460f_G^2 + 0.659587f_G + 9.682528 \\
 B &= -0.000497f_B^2 + 0.684426f_B + 12.446325
 \end{aligned}$$

3차 근사식

$$\begin{aligned}
 R &= 0.000001f_R^3 - 0.001769f_R^2 + 1.099384f_R - 53.123025 \\
 G &= 0.000002f_G^3 - 0.002496f_G^2 + 1.243685f_G - 33.004481 \\
 B &= 0.0000002f_B^3 - 0.002799f_B^2 + 1.296049f_B - 28.682881
 \end{aligned}$$

표 2. 컬러에 대한 센서 응답의 측정 결과

Table 2. Measured sensor response values for sample colors

Idx	Color Checker			색상	Measure[Hz]		
	R	G	B		f_R	f_G	f_B
1	194	150	130		446	254	228
2	98	122	157		224	202	226
3	87	108	67		171	140	100
4	214	126	44		480	204	148
5	80	91	166		212	166	234
6	193	90	99		411	152	161
7	94	60	108		228	127	146
8	157	188	64		372	322	176
9	224	163	46		520	274	165
10	115	82	68		220	130	113
11	133	128	177		303	229	274
12	103	189	170		281	332	281
13	56	61	150		142	118	165
14	70	148	73		192	205	128
15	175	54	60		372	128	128
16	231	199	31		589	372	195
17	187	86	149		466	191	252
18	8	133	161		176	214	242

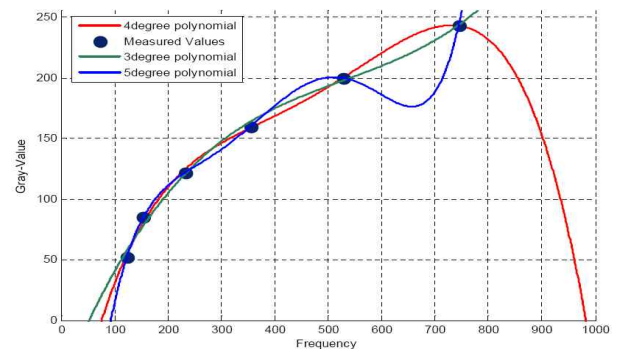
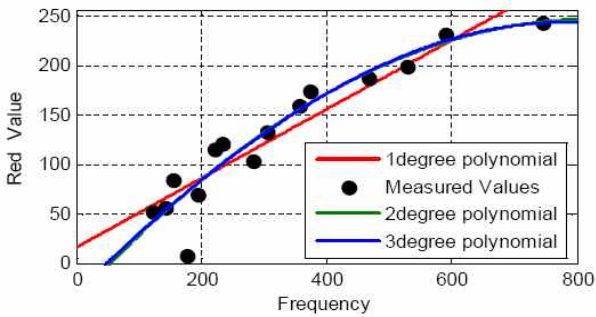
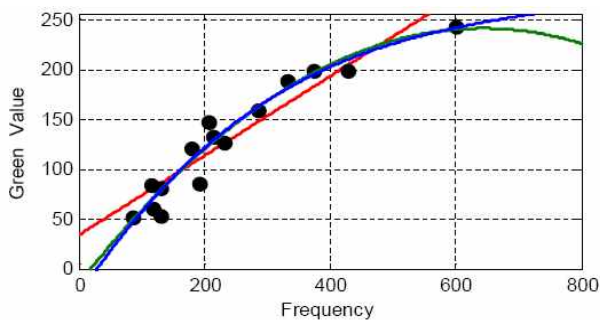


그림 7. 회색 계통 값에 대한 3~5차 다항식의 그래프

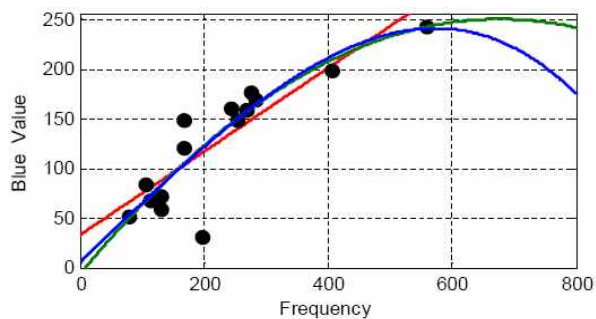
Fig. 7. 3~5 order polynomial approximation function for gray color samples



(a) 빨간색에 대한 결과



(b) 녹색에 대한 결과



(c) 파란색에 대한 결과

그림 8. 컬러 값에 대한 1~3차 다항식에 의한 근사값과 실제 값과의 차이

Fig. 8. 1~3 order polynomial approximation functions for color samples

두 번째는, 회색 계통의 값뿐만 아니라 컬러 값도 함께 사용하여 근사화를 시도하였다. 이를 위해 컬러 체커에 존재하는 18개의 컬러 샘플에 대해 측정하고 그 결과를 표 2에 나타내었다. 기존의 회색 계통 6개의 샘플 값과 함께 표2에 측정 데이터에서 9개의 컬러 (Idx 10~18)를 추가적으로 사용하여 총 15가지의 샘플을 이용해 최소자승법으로 근사화 식을 구하였다.

이를 바탕으로 그래프를 그리면 그림 8과 같다. 여기서 우리는 R, G, B 각 컬러에 대하여 독립적이라는 가정 하에 각 컬러 값에 대하여 측정한 값이 다른 컬러 값에 영향을 미치지 않는다고 가정하였다.

그림의 ●마크의 측정값에서 보여주듯이 측정값과 컬러 체커의 RGB 값을 비교했을 때 선형적으로 변하지 않는 색들이 있으나, 이를 최소화할 수 있는 근사 다항식을 찾으면, 식 (3)과 같은 근사 다항식을 찾을 수 있었다.

또한 추가한 샘플에 대해서도 4~5차의 고차 다항식에 의한 근사화를 수행하였으며, 그림 9와 같이 나타났다.

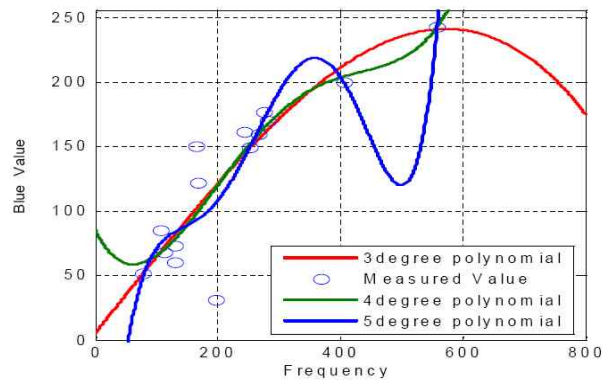


그림 9. 파란색 계통 값(B)에 대한 3~5차 다항식의 그래프

Fig. 9. 3~5 order polynomial approximation function for Blue color(B) samples

1차 근사식

$$R = 0.349182f_R + 15.755966$$

$$G = 0.398212f_G + 33.656973$$

$$B = 0.420500f_B + 32.597314$$

2차 근사식

$$R = -0.000413f_R^2 + 0.683685f_R - 36.296691$$

$$G = -0.000619f_G^2 + 0.796098f_G - 14.698898$$

$$B = -0.000560f_B^2 + 0.758261f_B - 6.508794$$

(3)

3차 근사식

$$R = -0.0000001f_R^3 - 0.000229f_R^2 + 0.615968f_R - 29.359871$$

$$G = 0.0000005f_G^3 - 0.0011370f_G^2 + 0.944479f_G - 26.317188$$

$$B = -0.0000007f_B^3 + 0.000097f_B^2 + 0.588012f_B + 5.569061$$

3.2 색상 변환 방법 및 그 적용

L*a*b* 색 공간은 인간 감성에 접근하기 위하여 인간이 색채를 감지하는 노랑-파랑, 초록-빨강의 반대 색설에 기초하여 CIE에서 정의한 색 공간으로 조색을 할 때 색채의 오차 범위와 방향을 쉽게 짐작할 수 있다는 장점이 있다[9]. 본 연구에서는 보색과 주변색, 대표색을 구하기 위해 L*a*b* 색 공간을 사용하였으며, 측정값에 대하여 L*a*b* 색 공간으로의 변환이 필요하다. 컬러 체커에는 RGB에 대응하는 L*a*b*값이 주어 져 있다. L*a*b*와 XYZ 색공간 사이의 변환은 수식적으로 변환이 가능하기 때문에 본 연구에서 측정된 RGB 값에서 L*a*b* 색 공간에서의 값을 구하기 위해서는 RGB 색 공간에서 XYZ 색 공간을 위한 변환 방법이 필요하다.

RGB 색 공간에서 L*a*b* 색 공간으로 변환을 하기 위해서는 XYZ 색 공간으로 변환 후 XYZ 색 공간에서 L*a*b* 색 공간으로 변환을 함으로 구할 수 있다[10]. 식 (4)는 XYZ 색 공간에서 L*a*b* 색 공간으로 변환하는 방법이다.

여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 reference 광원에 대한 X, Y, Z값이며, 본 연구에서는 X, Y, Z값이 D65 광원을 기준으로 변환되었기 때문에 D65에 해당하는 값 $X_n=95.047, Y_n=100.00, Z_n=108.883$ 이 사용되었다.

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{if } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \text{if } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases} \quad (4)$$

$$a^* = 500 \times (f(X/X_n) - f(Y/Y_n))$$

$$b^* = 200 \times (f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n))$$

$$\text{where } f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{if } t > 0.008856 \\ 7.787 \times t + 16/116 & \text{if } t \leq 0.008856 \end{cases}$$

L*a*b* 색 공간에서 L*은 색상의 밝기를 의미하며, a*와 b*는 색상의 방향을 나타낸다. +a*는 빨간색, -a*는 녹색, +b*는 노란색, -b*는 파란색의 방향을 표시하며, 수치가 클수록 색이 선명하다.

컬러 체커는 RGB에 상응하는 L*a*b* 값을 가지고 있으므로 L*a*b* 값을 XYZ 값으로 변환하고, XYZ와 RGB의 변환하기 위해 필요한 함수는 최소자승법을 이용하여 근사함수 C를 구한다.

$$M_{XYZ} = C \times M_{RGB}$$

$$M_{XYZ} \cdot M_{RGB}^T = C \cdot M_{RGB} \cdot M_{RGB}^T$$

$$C = \text{inv}(M_{RGB} \cdot M_{RGB}^T) \cdot M_{XYZ} \cdot M_{RGB}^T$$

여기서,

$$M_{XYZ} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & \dots & X_M \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & \dots & Y_M \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 & \dots & Z_M \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$M_{RGB} = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_3 & \dots & R_M \\ G_1 & G_2 & G_3 & \dots & G_M \\ B_1 & B_2 & B_3 & \dots & B_M \end{bmatrix}$$

C는 3x3 변환 매트릭스이고, M_{RGB} 는 샘플 색에 대한 RGB값들의 모음이며, M_{XYZ} 는 샘플 색에서 L*a*b* 값으로부터 계산된 샘플 색에 대한 RGB값들의 모음이다.

보색, 주변색, 대표색에 대해서 다음과 같이 정의를 하였다. 먼저, 보색은 L*a*b* 색 공간에서 (L*, -a*, -b*)에 해당하는 값으로 a*b* 평면에서 측정된 값의 180도 위치에 존재하는 값으로 측정된 값과 합한 값이 White를 나타내게 된다. 가령 노랑의 a*, b*값을 (15, 127)라 했을 때 이 색의 보색에 해당하는 -a*, -b*는 하늘색에 해당한다.

주변색은 L*a*b* 색 공간에서 a*b* 평면에서 측정된 값을 기준으로 일정 범위 내에 값을 샘플링한 것이며, 측정된 값에 대하여 θ 를 구한 뒤 샘플링할 각도만큼 이동하고 r만큼 떨어진 위치의 a*, b*값을 사용하거나, r값이 매우 작아 어떤 색을 의미하는지 알 수 없을 때는 상수 값(예를 들면 80과 같은 큰 값)을 바탕으로 구할 수 있다. 현재 5도 단위로 샘플링되어 6개의 주변색을 제시한다.

대표색은 a*, b*값을 일정한 각도로 나누어 샘플링

한 값을 대표 값으로 설정한다. 가령 36가지의 대표색을 가진다면 10도 단위로 대표색을 설정하고 주어진 측정값에 대하여 가장 가까운 대표 θ_T 를 구한 뒤 일정한 거리에 떨어진 상수 값을 바탕으로 구한다. 식 (6)은 주어진 컬러에 대하여 색상을 나타내기 위한 각도를 구하는 방법이며, 식 (7)은 각도로부터 a^* , b^* 값을 설정하는 방법이며, 식 (8)은 N개의 대표색을 가지는 경우에, 주어진 컬러에 대한 대표색을 구하는 방법이다.

$$\theta = \arctan 2\left(\frac{b^*}{a^*}\right), (\theta \text{는 degree}) \tag{6}$$

$$r = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$a^* = r \cos \theta \tag{7}$$

$$b^* = r \sin \theta$$

$$\theta_T = \left\lfloor \frac{\theta + 0.5\delta}{\delta} \right\rfloor \times \delta \tag{8}$$

$$\delta = \frac{2 \times 180}{N}$$

여기서 $N =$ 대표색의 개수, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 음의 무한대 쪽으로 가장 가까운 정수를 나타내고, r 은 a^*b^* 평면의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 거리를 나타내며, θ 는 a^*b^* 평면의 중심에서 θ 만큼의 각도를 나타낸다.

이렇게 구한 값을 다시 RGB 색 공간으로 역변환하기 위해 식 (9)를 사용하여 XYZ로 변환하고, 이를 $inv(C)$ 를 사용하여 RGB값을 구하게 된다.

$$\frac{X}{X_n} = \begin{cases} f_x^3 & f_x^3 > 0.008856 \\ (116f_x - 16)/7.787 & f_x^3 \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$\frac{Y}{Y_n} = \begin{cases} ((L^* + 16)/116)^3 L^* & L^* > 903.3 \times 0.008856 \\ L^*/903.3 & L^* \leq 903.3 \times 0.008856 \end{cases} \tag{9}$$

$$\frac{Z}{Z_n} = \begin{cases} f_z^3 & f_z^3 > 0.008856 \\ (116f_z - 16)/7.787 & f_z^3 \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$f_x = \frac{a^*}{500} + f_y, f_z = f_y - \frac{b^*}{200}, f_y = (L^* + 16)/116$$

4. 시스템 구현 및 실험 결과

실제 제시된 보정 및 색 변환 방법의 성능을 확인하기 위하여, 포터블 스캐너를 제작하였다. 그림 8은 실제 실험을 위해 제작된 포터블 스캐너에 대한 사진을 보여준다. 실험을 위해 포터블 스캐너의 목업(mock-up)을 제작하였으며, 이 목업은 색 검출을 위하여 광원으로 사용되는 White LED 외에 외부의 빛을 차단하여 일관된 검출 색을 얻도록 하였다. 그림 10의 (d)와 같이 앞부분에 파인 공간을 만들어 센서를 장착하고 외부 빛을 차단하고 센서에서 반사되는 빛을 검출하도록 하였다.



그림 10. 제작된 포터블 스캐너
Fig. 10. A developed portable scanner

본 실험에서는 White LED를 조사하여 반사된 빛의 파장을 센서에서 측정하며, 센서는 그 파장에 맞는 주파수를 클럭으로 출력을 내보내게 되고, 마이크로컴퓨터(MCU)의 입력 캡처 단자를 통해 센서에서 내보내는 R, G, B 출력을 각각 주파수 값으로 얻게 된다. 이 데이터는 내장된 지그비 통신 모듈을 통해 전송하게 된다.

제작한 포터블 스캐너를 이용하여 제안한 방법과 기존의 방법을 비교 실험하였다. 기존의 방법으로는 다차원 함수로의 근사화가 없이 센서의 최대값을 기준으로 센서 값을 $[0, 255]$ 로 정규화(normalize) 하는 방

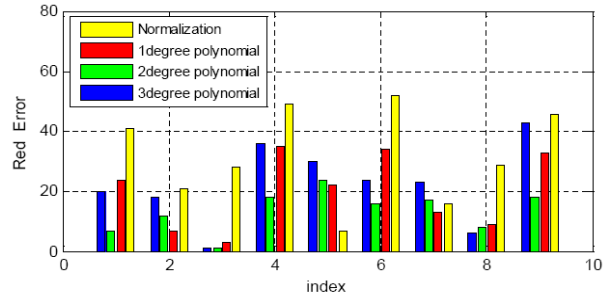
법을 사용하였다. 실험에서는 앞서 사용한 컬러 체커의 색상을 측정하여 제안한 방법으로 근사화한 값과 실제 값과의 오차를 구하고, 오차의 평균값을 통해 성능을 비교하였다. 본 실험에서 정확도를 측정하기 위한 새로운 컬러로는 표 2의 Index 1~9번을 사용하였다. 근사식을 구하기 위한 방법으로는 회색 계통 색상 값만 사용한 경우와 회색 계통 색상 및 컬러 색상 값을 모두 사용한 두 가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

회색 계통 색상 값만 사용하여 만든 근사식(식 (2))을 사용한 실험 결과는 그림 11에 나타내었다. 그림 11은 각 컬러 값에 대한 근사화 결과와, 컬러 체커에 있는 RGB값과의 오차를 나타낸다. 여기서 오차는 RGB 색상을 256으로 샘플링 했을 때의 크기를 실제 값과 측정된 값의 차이에 대해 나타내고 있다. 그림에서 x축의 값은 표 2에 있는 컬러 체커의 인덱스에 해당한다. 실험결과, 기존의 정규화를 통한 방법은 전체적으로는 평균 오차가 33으로 큰 반면에 제안한 방법은 3차 근사의 경우에 15로 정확도가 20내외로, 54.5% $((33-15)/33)$ 의 성능개선이 있는 것을 볼 수 있다. 오차는 명도가 떨어지는 색상(RGB값이 작은 경우)의 경우에 상대적인 정확도가 떨어지는 경향이 있다.

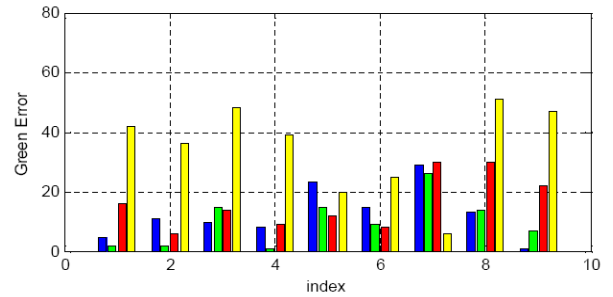
표 3. Gray 값을 이용한 각 방법의 오차 평균들
Table 3. Average errors using only gray values in different methods

근사화 방법 컬러	1차 다항식	2차 다항식	3차 다항식	정규화
R	20	13	22	32
G	16	10	13	35
B	28	28	30	33
Mean	22	17	22	33

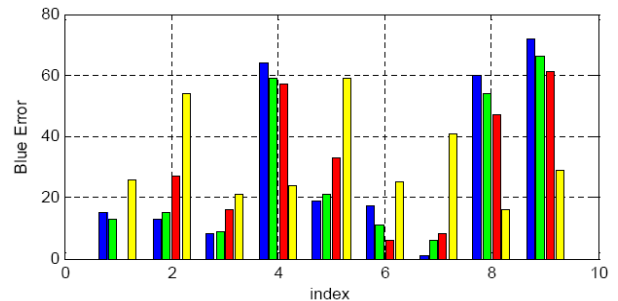
Gray 값뿐만 아니라 컬러 값들도 함께 사용하여 만든 근사식(식 (3))을 사용하여 추가적인 실험을 수행하였다. 각각의 다른 방법에 따른 보정에 따른 컬러 체커에 있는 RGB값과의 오차를 계산하였으며, 그림 12에 이에 따른 각 컬러 요소에 대한 오차를 나타내었다. 표 4는 각 컬러 요소에 대한 평균 오



(a) 빨간색에 대한 결과



(b) 녹색에 대한 결과



(c) 파란색에 대한 결과

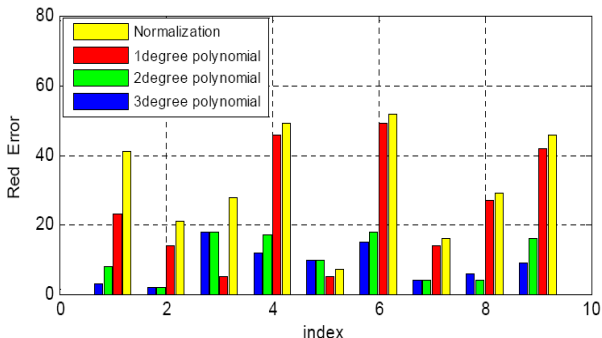
그림 11. 회색 계통 샘플을 이용한 각 방법의 오차
Fig. 11. Errors in different methods using gray value samples

표 4. Gray 샘플과 컬러 샘플을 사용한 근사화 방법의 오차 평균들

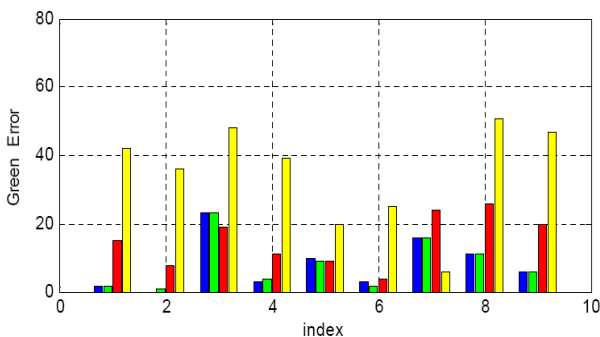
Table 4. Average errors of approximation methods using gray and color samples

근사화 방법 컬러	1차 다항식	2차 다항식	3차 다항식	정규화
R	25	11	9	32
G	15	8	8	35
B	27	25	25	33
Mean	22	15	14	33

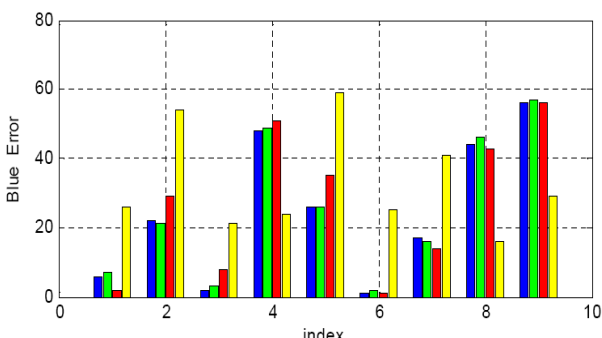
차를 나타냈으며, 컬러 값을 함께 사용하여 근사화했을 때, 2차와 3차 다항식의 근사식에서 오차가 작게 나타남을 볼 수 있었다. 또한 회색 계열 색상만을 사용한 근사화와 비교했을 때, 그 오차가 줄어든 것을 볼 수 있다.



(a) 빨간색에 대한 결과



(b) 녹색에 대한 결과



(c) 파란색에 대한 결과

그림 12. 회색 계통 샘플과 컬러 샘플을 사용한 근사화에 따른 각 방법의 오차
 Fig. 12. Errors in different approximation methods using gray and color samples

Gray 색에 대해서는 센서의 RGB성분이 동일하기 때문에 서로 다른 컬러 비율에 대한 효과적인 보정이 이루어지지 못하는 반면, 컬러 샘플도 동시에 고려함으로써 다른 비율을 가지는 실제 컬러에 대해서도 효과적인 보정이 되었음을 볼 수 있다. 컬러 샘플을 고려한 근사화 방법에서는 2차와 3차 다항식에 의한 근사식이 작은 오차를 나타내고 있다. 따라서 실제 적용에 있어서는 3차 다항식에 의한 근사식을 사용했으나, 2차 다항식과의 차이가 미미하기 때문에 2차 근사식을 사용해도 충분하다고 볼 수 있다.

측정된 컬러 값을 이용하여 보색, 대표색, 주변색 등의 색 변환에 의하여 새로운 색을 구하기 위해서는 검출된 RGB값을 $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 변환을 해야 한다. XYZ 색과 $L^*a^*b^*$ 사이에는 일대일 대응이 가능하므로 이를 위하여 본 연구에서는 RGB에서 XYZ로 변환하고 이를 위해 구한 XYZ 값으로 변환하는 변환 매트릭스를 구하는 것이 필요하다. 이를 위한 변환 매트릭스는 식 (5)로부터 구하였고, 본 실험에서 구한 변환 매트릭스는 다음과 같다.

$$C = \begin{bmatrix} 0.4262 & 0.2143 & 0.0735 \\ 0.2478 & 0.5370 & -0.0432 \\ -0.0872 & -0.1695 & 0.5454 \end{bmatrix}$$

RGB 색 공간에서 XYZ 색 공간으로의 변환이 주어진 방법에 의하여 정확한 변환이 일어나지 않지만, 본 연구에서는 제시한 방법은 주어진 데이터에 대한 오차의 최소화승법에 의하여 구할 수 있는 근사값으로 생각할 수 있다. 추정된 XYZ 색 공간에서 $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 변환하는 것이 필요하며 이를 위하여 식 (6)을 사용하였다.

표 2의 Index 1~9번의 색에 대해서 측정된 값을 가장 작은 오차를 보였던 식 (3)의 3차 근사화 방법을 이용하여 색을 추정하고, 추정된 색의 보색, 주변색, 대표색을 구했으며, 이 결과는 표 5, 표 6, 표 7과 같다.

주변색은 15도 단위로 2개의 색만 표시하였으나, 필요에 따라 샘플 수를 늘릴 수 있다. 대표색은 본 실험에서 36개를 설정하였고 따라서 10도 단위로 샘플링했을 때 가장 가까운 값을 사용하게 된다.

표 5. 테스트 샘플에 대한 측정값과 L*a*b* 변환 값
Table 5. Measured color and their L*a*b* space values for test samples










Idx	측정 색			색상	L*a*b* 변환 색		
	R	G	B		L	a	b
1	191	148	136		68.153	10.672	8.165
2	96	122	135		56.870	-6.511	-7.605
3	69	85	65		51.129	-9.304	10.789
4	202	123	92		67.097	17.955	19.990
5	90	101	140		51.301	2.6494	-19.073
6	178	93	100		59.798	26.885	4.795
7	98	76	91		49.726	12.235	-5.558
8	163	177	108		72.088	-8.998	26.220
9	215	157	102		72.462	9.3685	25.943



















그림 13은 포토샵의 L*a*b* 평면을 이용하여 측정된 색상에 대해 표시를 해 본 그림으로, 정확하지는 않지만 이해를 위해 표시해 보았으며 Index 4번에 대한 실험 결과이다. 그림 안에서 1(+)*은 측정 색을 의미하며, 2(*)는 대표색, 3(x)*은 보색, 4(O)*는 +15도의 주변색, 5(*)는 -15도의 주변색에 해당한다.

표 6. 측정된 색에 대한 대표색과 보색
Table 6. Representative color and complementary colors for measured samples

Idx	대표색			색상	보색			색상
	R	G	B		R	G	B	
1	189	149	136		140	190	207	
2	96	122	135		119	98	88	
3	69	85	65		99	88	112	
4	200	123	90		120	207	254	
5	91	100	139		79	77	49	
6	177	93	100		72	150	148	
7	98	75	88		61	85	72	
8	162	178	108		217	222	255 ²⁾	
9	216	156	101		170	246	255 ²⁾	

2) RGB의 최대값인 255를 초과하는 값에 대해서는 그 상한선을 255로 제한을 하여 사용하였다.

표 7. 측정된 색에 대한 주변색의 예
Table 7. Examples of neighbor colors for measured colors

Idx	주변색(-15도)			색상	주변색(+15도)			색상
	R	G	B		R	G	B	
1	193	149	145		182	148	129	
2	95	125	133		103	125	142	
3	72	80	59		64	87	70	
4	214	122	105		186	126	84	
5	91	115	153		107	106	146	
6	182	102	124		176	93	85	
7	99	84	103		103	77	86	
8	170	157	93		137	176	111	
9	231	148	105		192	161	98	

5. 결론

본 논문에서는 다양한 색상 및 조도 제어가 가능한 LED 조명 시스템에 대한 효과적인 제어를 위한 원격 제어 시스템을 개발하였다. 실제 다양한 물체로부터 얻은 색상을 바탕으로 효과적인 조명을 제어하기 위하여 컬러 센서를 사용하였다. 사용된 컬러센서의 경우에는 RGB 색상의 검출이 정확하지 않으며, 이를 보완하기 위한 보정 알고리즘을 적용하여 보다 정확하게 보정된 RGB값을 추정할 수 있었다.

본 연구에서는 2차 또는 3차 다항식에 의한 근사함으로써 효과적인 근사화가 가능한 것을 보였다. 또한 검출된 색을 바탕으로 대표색, 주변색, 보색 등의 효과적인 변환을 위한 방법을 제시하였다. 이를 위하여 보정된 RGB색상을 XYZ 색 좌표계로 변환하는 방법을 제시하였으며, 이를 기반으로 한 색 변환 예를 보여주었다. 이러한 원격 조명 제어 시스템은 향후 LED를 기반으로 한 Full 컬러 조명 시스템 제어에 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시된 2차 또는 3차 근사식을 기반으로 한 보정에 의하여 오차를 줄일 수 있었으나, 낮은 명도의 색상에 대해서는 보정 후에 오차가 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 낮은 명도의 색에 대한 근사화가 정확하게 일어나지 않았기 때문으로 생각되며

향후 이에 대한 개선이 필요하며, 또한 RGB와 XYZ 색 좌표계를 변환하는 과정에서 생기는 오차에 대해서도 개선이 필요하다.

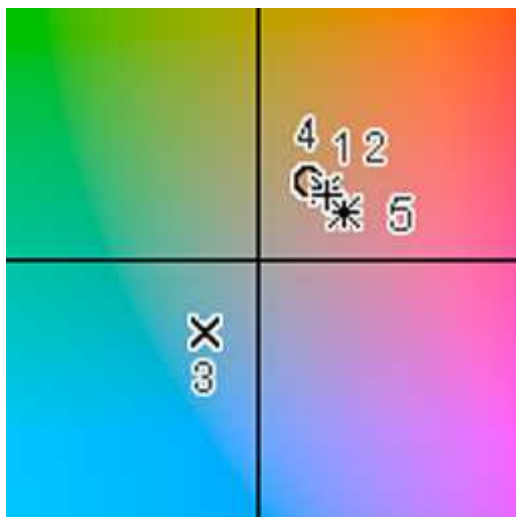


그림 13. Index 4번에 대한 L*a*b* 공간에서의 색 표현(1:측정 색(+), 2:대표색(*), 3:보색(x), 4: +15주변색(o), 5:-15주변색(*))

Fig. 13. Representation for Index 1 is the L*a*b* Color Space(1:Measured Color(+), 2.Representation color(*), 3.Completely color(x), 4.Neighbor color(+15)(o), 5. Neighbor color(-15)(*))

감사의 글

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업 (산업 원천원천기반 구축사업, 10033630)과 교육 과학 기술부와 한국 연구 재단의 지역혁신 인력 양성 사업으로 수행된 연구결과임.

References

[1] S. Park, C.-S. Lee, J.-S. Jang, K. Lee, & Y. T. Kim, "A consideration and Prospects of psychological research on lighting", Korean Journal of Psychology: General, vol. 30, no. 1, pp.139-159, 2011.
 [2] H. Park, C.-S.Lee & J.-S.Jang, "The effect of LED lighting colors on the rating and recognition of Korean affective words ", International Conference on LED and Solid State Lighting, 2011.

[3] G.-H. Kim, W.-Y. Cheon, J.-H. Kim, S.-B. Song, Design of lighting system for elevator based on color temperature control, In Proc. of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 71-76, Nov. 2007.
 [4] H. Kim, J.-K. Youm, W.-S. Chung, H.-J. Kim, A color temperature and illuminance controllable LED lighting system, Journal of KIIEE, vol. 23, no. 12, pp. 10-22, 2009.
 [5] Kang-Wha Chung, A Study on the Interactive Lighting by LED Light Module & Sensor, Journal of KIIEE, vol. 18, no. 3, pp.1~6, 2004.
 [6] J.-H. Joo, S.-W. Kang, H.-C. Kwon, S.-G. Lee, J.-H. Park, A Development of Energy Saving System for Automatic Lighting Control using PIR, Journal of KIIEE, vol. 24, no. 2, pp.56-68, 2010.
 [7] B.-H. Song, I.-W. Oh, S.-R. Lee, A Design and Implementation Digital Vessel Bio Emotion Recognition LED Control System, Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol 48, no. 2, pp102-108, 2011.
 [8] D.-W. Seo, B.-H. Song, H. Seo, S.-H. Bae, A Design and Implementation of Bio Emotion Recognition LED Control System by Stress Index using Neural Network, Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 8, no. 12, pp. 221-229, 2010.
 [9] Steven K, Shevell, The Science of Color, Elsevier Science, 2003.
 [10] Robert William Gainer Hunt, The reproduction of colour, Fountain Pr Ltd, 6th edition, 2004.

◇ 저자소개 ◇



천성용 (千城用)

1984년 11월 21일생. 2010년 영남대학교 전자공학과 졸업. 현재 영남대학교 전자공학과 석사과정 재학 중.



이찬수 (李璨洙)

1970년 2월 9일생. 1995년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1997년 KAIST 전기 전자공학과 졸업(석사). 2007년 Rutgers University Dept. of Computer Science, Ph.D.. 1997~2001년 한국전자통신연구원. 현재 영남대학교 전자공학과 조교수. LED-IT융합산업화연구센터 부센터장.