

## 소형 칼라미터의 개발에 관한 연구

### Development of a Portable Colorimeter

김재형\*, 황정연\*\*, 서대식\*\*  
(Jae-Hyung Kim\*, Jung-Yeon Hwang\*\*, Dae-Shik Seo\*\*)

#### Abstract

Color simulation on a portable colorimeter was performed to distinguish quantitatively a chromaticity coordinates on a color guide of a urine strips by using the spectral power distribution of chip LED, the spectral reflectance of printed objects, and the spectral sensitivity of photodiode. The CIE tristimulus values and chromaticity coordinates realized by a colorimeter were modified to be conformable with real color reactions. Experimental results showed a real color in comparison with those obtained by Colorimeter CM2C(Color Savvy).

**Key Words** : color simulation, tristimulus values, chromaticity coordinates, colorimeter, real color

#### 1. 서 론

본 연구에서는 초소형 카라미터를 개발하기 위하여 LED의 분광세기분포, 요분석 스트립의 반사율, photodiode의 분광감도를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 특히 LED를 광원으로 사용할 때, 색상(RGB)별로 LED의 발광세기가 크게 차이 나므로 CIE 삼자극치(tristimulus values)에 의한 색상의 해석이 어렵다. 그래서 표준광원 P<sub>c</sub>, 요분석 스트립의 반사율, 그리고 1931년 CIE에 의해 결정된 등색함수를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 기준 색도좌표를 구하였다[1]. 이 기준 색도좌표와 칼라미터에서 구현하는 색도좌표를 일치시키기 위하여, LED(RGB)

광원의 발광세기에 대한 차이를 보정한 칼라 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 색도좌표를 얻었다.

#### 2. 실험

##### 1. 반사스펙트럼 측정

Color guide의 색상표에 대하여 Spectrophotometer (Varian Cary-5, USA)를 이용하여 반사스펙트럼을 측정하였다.[2] 이때 400nm에 800nm까지 1nm 간격으로 측정하였다.

##### 2. LED의 발광세기

칼라미터의 광원으로 사용한 Chip LED(RGB)는 Toyota gosei사의 chip LED E1S10-1W이다. LED에 220Ω 짜리 저항을 직렬로 연결하고, Power Supply를 통해 전압을 인가한 후, 광출력이 포화될 때까지 서서히 인가전압을 증가시켰다. LED에서 나온 광은 초점거리 70mm인 볼록렌즈를 이용하여 분광기(Spex 1403)에 입사시켰다. 입사된 LED광은 분광기의 회절격자를 PC로 제어하여 400-800nm

\* : 인제대학교 물리학과  
(경남 김해시 어방동 607,  
Fax : 055-320-3206  
E-mail : jhkim@physics.inje.ac.kr)  
\*\* : 연세대학교 전기전자공학

파장영역에서 1nm 간격으로 발광세기분포를 실온에서 측정하였다.

### 3. Photodiode의 분광감도

최대출력이 80W인 할로젠 램프에서 나오는 백색광을 beam chopper(200 RPM)를 이용하여 펄스로 바꾸어 초점거리 70cm인 볼록렌즈를 이용하여 분광기의 입사 슬릿에 집속시켰다. 분광기를 통과한 후 파장대별로 분광된 광출력을 photodiode에 입사시켰다. Photodiode에서 광을 전기적 신호로 바꾸어 오실로스코프에서 측정하고 PC를 이용하여 분광감도 특성을 기록하였다. 또 온도에 따른 분광감도 특성을 조사하기 위하여 23, 28, 33°C로 5°C 간격으로 온도를 증가시키면서 photodiode별로 분광감도 특성을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 1. pH의 반사스펙트럼

그림 1은 6 등급의 색상에 대해 측정한 반사스펙트럼이다. 파장대역 550-700nm에서 반사율이 크게 감소하는 반면, 등급이 7이상 일 때는 반사율의 정점(peak)을 나타내는 정점파장이 짧은 파장 쪽으로 점차 이동하였다. pH의 등급이 5와 6인 경우는 600-700nm 근처에서 반사율이 높아서 red-orange와 orange를 보이다가, pH의 등급이 6.5이상인 경우는 560-660 파장대역에서 반사율이 점차 감소하는 반면, 특히 pH의 등급이 6.5, 7, 8, 9로 증가할 때 정점파장은 560nm, 540nm, 510nm, 490nm로 짧은 파장 쪽으로 이동하여 등급이 6.5와 7인 경우는 green, 등급이 8인 경우는 green-blue 그리고 등급이 9인 경우는 blue를 나타내고 있다.

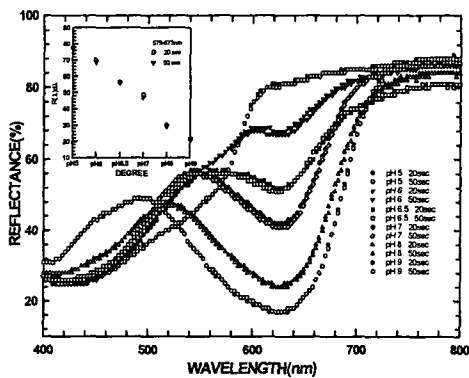


그림 1. 6가지 색에 대한 반사스펙트럼.

### 2. LED의 발광세기분포

그림 2는 400-700nm 파장대역에서 측정한 chip LED(E1LS10-1W)의 발광세기분포이다. 그림에서 보는바와 같이 blue의 발광량이 green과 red보다 훨씬 많아서 발광세기를 log 스케일로 나타내었다.

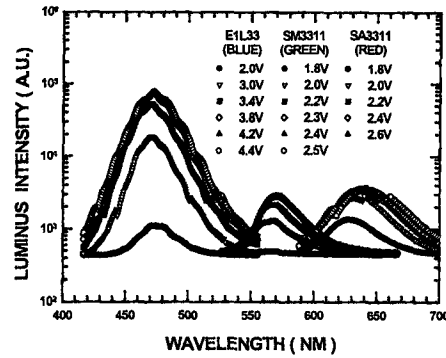


그림 2. Chip LED의 발광세기분포.

SA3311은 1.6V의 전압을 인가할 때 발광하기 시작하여 2.4V에서는 출력이 포화되었다. 그리고 SM3311은 2.0V에서 발광하기 시작하여 2.5V에서 출력이 포화되었으며 E1L33-3B는 2.6V에서 발광하기 시작하여 4.2V에서 출력이 포화되었다. SA3311과 E1L33-3B는 인가 전압을 증가시킬 때 같은 파장대역에서 광출력이 증가하는 반면, SM3311은 인가 전압을 증가시킬 때 정점파장이 주황색 파장대로 이동(shift)하였기 때문에, green 파장대역에서 최대출력인 2.5V를 포화출력으로 하였다. 특히, 위의 3가지 LED를 칼라미터에서 구현하는 광모듈의 광원으로 사용할 때, 색상(RGB)별로 발광세기의 차이가 너무 커서 CIE 삼자극치에 의한 색상선별이 어려워 발광세기의 차이를 보정해야 할 것으로 생각된다.

### 3. Photodiode의 분광감도

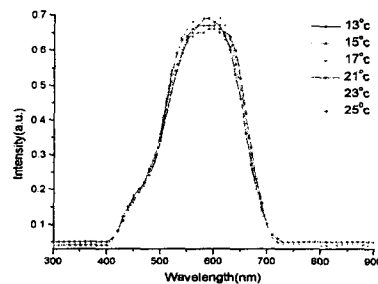


그림 3. MBC-3026CF의 분광감도분포.

그림 3은 400-800nm 파장영역에서 측정된 Moririca 전자의 photodiode MBC-3026CF에 대한 분광감도부포 특성이다.

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션

Chip LED를 광원으로 사용하는 칼라미터에서 구현하는 칼라자극은 chip LED(E1S10-1W)의 발광세기분포, 반사체의 반사스펙트럼, MBC-3026CF의 분광감도를 곱한 값으로 볼 수 있다. 이러한 방법을 적용하여 색상을 분류하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 다음과 같이 수행하였다.[3-5]

$$X = K \sum L_R(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

$$Y = K \sum L_G(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

$$Z = K \sum L_B(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

여기서  $X, Y, Z$ 는 CIE 삼자극치,  $K_1, K_2, K_3$ 는 LED의 발광세기 차이를 보정하는 인자,  $L_R, L_G, L_B$ 는 E1S10-1W의 RGB별로 포화된 발광세기분포이다.  $R$ 은 반사체의 반사스펙트럼이다.  $D$ 는 MBC-3026CF의 분광감도를 나타낸다.

삼자극치( $X, Y, Z$ )를 이용하면 다음과 같이 색자극의 양을 기술하는 CIE 1931 색도좌표를 구할 수 있다.

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

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

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

위 식에서 알 수 있는 바와 같이 모든 색에 대해  $x+y+z=1$ 의 관계가 성립한다. 즉  $x, y, z$  세 개의 변수 중  $x, y$  값으로  $z$ 에 대한 정보까지 나타낼 수 있으며 이차원 그래프에 모든 색의 좌표를 나타낼 수 있다[6,7].

그러나 CIE 1931  $x, y$  색도좌표는 좌표상의 색상분포가 균일하지 않는 단점을 가지고 있다. 즉, 같은 밝기를 갖는 색들 중 같은 색차로 인지되는 두 점은 초록색으로 갈수록 길어지고 보라색 쪽으로 갈수록 짧아진다. 이런 단점을 보완하기 위해 만들어진 것이 균일한 색상분포를 갖는 CIE 1976 균일한 색도좌표( $u', v'$ )로 CIE 삼자극치와는 다음과 같은 관계를 갖는다.[8]

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z}$$

#### 5. 구현된 광 검출 메카니즘

칼라미터에 이용한 광원을 선정하기 위해서는 먼저 R, G, B광원의 분광학적 특성이 반사광도의 검사 결과를 구할 수 있는 파장대역을 설정하였다. 분광학적 특성을 만족하는 4종류의 LED 광원과 가시광선 대역의 광 다이오드를 사용하였으며, 이렇게 구성된 광모듈은 그림 4와 같이 구성하였다. 광모듈은 고정되고, 물체의 전체영역을 측정하는 메카니즘 구조이다. 측정 영상의 패드별 위치정보를 추출하기 위해 위치검출 알고리즘을 사용한다.

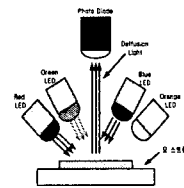


그림 4. 광모듈의 메카니즘.

#### 6. LED 광원

광 검출기의 LED 광원은 정전류 구동 방식을 사용하였고, 구동순서는 그림 5과 같이 5 구간을 1 주기로 순차적으로 LED를 구동하도록 하였다. LED 광원의 구동순서에서 먼저 모든 LED가 OFF가 된 상태에서 측정된 값은 black ref.로서 명암보정에 활용되고, 각 LED가 ON 되고 안정화되는 시점에 A/D 변환기로 측정을 한다. 그리고 LED 구동전류는 그림 5에 나타난 주기에 대한 LED ON 시간의 백분율과 A/D 변환시간에 기인된다.

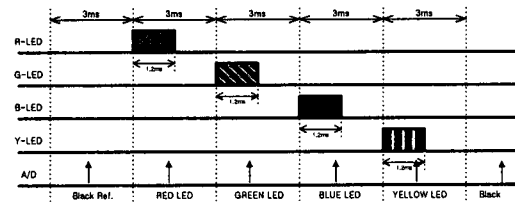


그림 5. LED광원 및 A/D 변환기 동작 순서도.

#### 7. 광 검출기의 증폭을 조정

칼라미터의 LED 광원에서 일정한 광량을 발생하였을 때, 광 다이오드에서는 광 검출 강도가 모두 다르게 나타난다. 또한 광모듈 메카니즘의 상태에 따라서도 광 검출 결과가 동일하지 않다. 칼라미터의 초기 설정을 위하여 LED별 증폭을 보정은 그림 6과 같은 순서로서 표준 white strip을 넣고 나면, 자동적으로 1 단계에서 4 단계를 반복 수행하도록 하였다. 초기 설정이 완료된 상태에서는 스트립 패드의 정색반응에 따른 색정보를 생성한다.

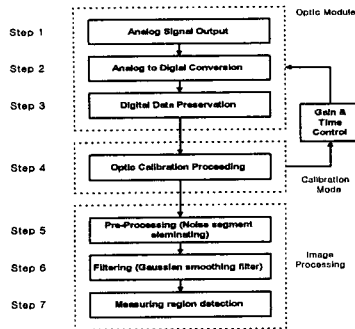


그림 6. 광 검출기 보정 및 영상처리과정.

### 8. Shading correction

칼라미터에서 광 검출기의 불균일 응답특성을 보상하기 위한 명암보정은 아래 식과 같이 처리되었다. 아래 식의  $n$ 은 A/D 변환 비트수이며, 칼라미터의 초기 설정 과정에서 white strip의 검출값은 white ref., 그림 5의 첫 번째 구간의 검출값은 black ref., 표준시료의 검출값은 test data, 명암보정의 결과 영상은  $V_0$ 이다.

$$V_0 = \frac{\text{test data} - \text{black ref.}}{\text{white ref.} - \text{black ref.}} \times (2^n - 1) \quad (1)$$

### 9. 칼라미터의 표준색 측정

표준색으로 도색이 된 종이를 이용한 30 가지 칼라 스트립을 이용하여 4개의 제작된 장비를 이용하여 측정하고, 측정 데이터를 색도 좌표로써 표현하였다. 그림 7은 색도 좌표 값을 3차원 그래프로 나타낸 것이며, 각각의 좌표축은 x의 색도 좌표, y의 색도 좌표, x, y, z의 평균 에너지로 하였다. 모든 칼라 스트립의 측정 데이터는 말굽 모양의 Chromaticity diagram 경내에 표시된다. Chromaticity diagram을 분석한 결과, 칼라미터의 시스템별 재현성이 우수하고, 색상간에 명확한 구분이 이루어짐을 관찰할 수 있었다.

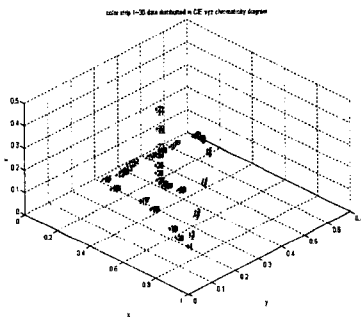


그림 7. 칼라 스트립의 CIE Chromaticity diagram.

## 4. 결론

본 연구에서는 초소형 칼라미터를 개발하기 위하여 LED의 분광세기분포, 요분석 스트립의 반사율, photodiode의 분광감도, 그리고 1931년 CIE에 의해 결정된 등색함수를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 기준 색도좌표를 구하였다. 이 기준 색도좌표와 칼라미터에서 구현하는 색도좌표를 일치시키기 위하여, LED(RGB) 광원의 발광세기에 대한 차이를 보정하는 칼라 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 색도좌표를 얻었으며, 신뢰성 있는 칼라미터의 광보정을 수행하는 연구가 지속적으로 수행되어야 한다고 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 보건복지부 선도기술연구개발사업의 지원(HMP-98-G-1-027)에 의하여 이루어졌습니다.

## 참고 문헌

1. John Wilson, John Hawkes, Photoelectronics, prentice Hall, pp. 344-348, 1998.
2. 김재형, 김정배, 조진욱, 김성철, 진병문, 전계록, 이승진, 김진우, 요검사용 스트립의 분광학적 분석을 위한 Computer Simulation, 응용물리, 11, 6, pp.666-674, 1998.
3. Fred W. Billmeyer, Jr., Max Salzman, Principle of Color Technology, (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981), pp. 1-6,
4. Edward J. Giorgianni, Thomas E. Madden, Digital Color Management, (Addison-Wesley, Massachusetts, 1998), pp. 3-31,
5. Jae-Hyung Kim, Sang Beom Lee, Gye Rok Jeon, Seung Jin Lee, Jae Ho Kim, 4th Asia-Pacific Biomedical and Bioengineering Conferences (Seoul, Korea, 1999), PS-176, pp. 456.
6. 김학수, 김재형, 생명과학을 위한 물리학, (집현사, 서울, 1997), 15장.
7. Gunther Wyszecki and W.S. Stiles, Color Science, (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1982), Ch. 3.
8. 광영신, 우정원, 색채과학이란-디지털 색채를 중심으로, 물리학과 첨단기술, pp. 18-32, 2000.