

요분석 스트립의 정색반응에 대한 색도좌표 보정

The Compensation of Chromaticity Coordinates on Primary Color Reaction of Urine Strips

김재형*, 조진욱**, 남상희**,

(Jae-Hyung Kim*, Jin-Wook Joo**, Sang-Hee Nam**)

Abstract

A computer simulation was performed to distinguish quantitatively a color reaction in a urine analysis systems by using the spectral power distribution of LEDs, the spectral reflectance of a urine strip, and the spectral sensitivity of photodiode. The CIE tristimulus values and CIE chromaticity coordinates were modified to be conformable with real color reactions in a urine strips. Results on color simulation showed a of real color in comparison with those obtained by Colorimeter CM2C(Color Savvy).

Key Words : color simulation, tristimulus values, chromaticity coordinates, colorimeter, urine analyzer

1. 서론

본 연구에서는 개발 중인 요분석 시스템에서 구현하는 요분석 스트립의 정색반응을 정량적으로 구별하기 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 Pc, 요분석 스트립의 반사율, 그리고 1931년 CIE에 의해 결정된 등색합수¹를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 기준

색도좌표를 구하였다. 이 기준 색도좌표와 요분석 시스템에서 구현하는 색도좌표를 일치시키기 위하여, LED(RGB) 광원의 발광세기에 대한 차이를 보정한 칼라 시뮬레이션을 수행하여 실제 색상에 가까운 색도좌표를 얻었다.

2. 실험

1. 반사스펙트럼 측정

요분석용 스트립의 패드에 3 가지 검사항목별 각 등급에 해당하는 표준시약을 적신 후, 스트립에 있는 시약 층과 화학반응에 따라 나타나는 색의 변화를 Spectrophotometer(Varian Cary-5, USA)를 이용하여 반사스펙트럼을 측정하였다.[1]

2. LED의 발광세기

요분석 시스템의 광원으로 사용할 LED는 직경 3mm이고 투명한 SA3311(Red), SM3311 (Green), E1L33-3B(Blue)이다. LED에 220 Ω 짜리 저항을 직렬로 연결하고, Power Supply를 통해 전압을 인가

* : 인제대학교 물리학과
(경남 김해시 어방동 607,
Fax : 055-334-1557
E-mail : jhkim@physics.inje.ac.kr)
** : 인제대학교 의공학과

한 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 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.

3. 결과 및 고찰

1. 요분석 스트립의 반사스펙트럼

요분석 스트립의 3가지 검사항목의 각 등급에 대하여 반사스펙트럼을 측정하였다. 일례로 그림 1은 당분의 5 가지 등급에 대해 표준시약을 적신 후, 35초와 45초에 측정한 반사스펙트럼이다. 당분의 등급은 neg., ±100, +250, ++500, +++1000으로 구분한다. 표준시약이 neg.에 비해 ±100, +250, ++500, +++1000의 경우는 등급이 증가할 때, 400-500nm 영역에서 반사율이 크게 감소하였다. 그림 1에 있는 당분의 반사스펙트럼을 보면, neg.인 경우는 전체적으로 450-540nm 영역에서 반사율이 커서 blue를 나타내고, ±100인 경우는 500-650nm 영역에서 반사율이 커서 green을 나타낸다. 그리고 당분의 등급이 +250, ++500, +++1000인 경우는 red 쪽의 반사율이 상대적으로 커지고 있다. 그림 1의 작은 그림은 당분 검사항목의 5가지 등급에 대해, 각 등급을 잘 구별할 수 있는 파장대역 500-600nm에서 반사율을 적분한 반사량 $\sum R(\lambda)\Delta\lambda$ 를 나타낸다. 등급이 증가할 때 반사량이 선형적으로 감소하여 반사량의 차이를 정량적으로 잘 구별할 수 있었다.

2. LED의 발광세기분포

그림 2는 400-700nm 파장대역에서 측정된 3가지 투명한 LED(3mm)의 발광세기분포이다. 그림에서 보는바와 같이 blue의 발광량이 green과 red보다 훨씬 많아서 발광세기를 log 스케일로 나타내었다.

다.

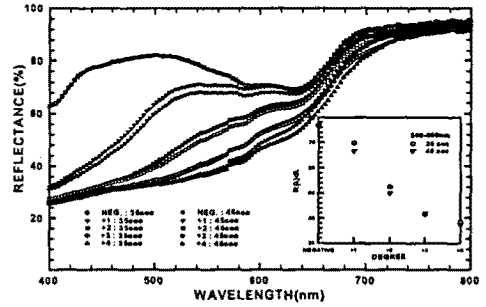


Fig. 1. Reflectance spectra of glucose.

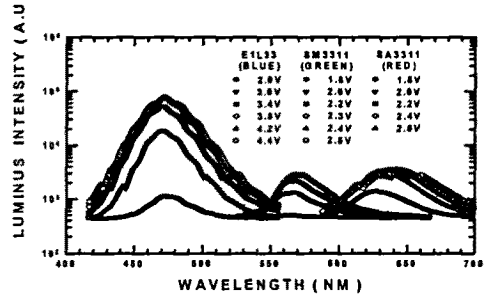


Fig. 2. Spectral power distribution of LEDs.

3. Photodiode의 분광감도

그림 3은 400-800nm 파장영역에서 측정된 SP-1CL3, G3297, SP-1KL의 분광감도 특성이다.

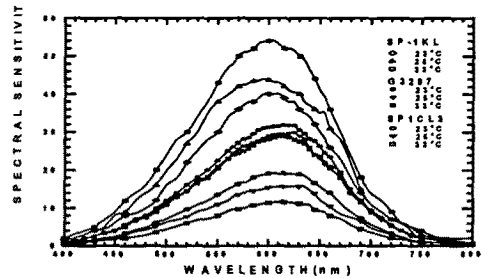


Fig. 3. Spectral sensitivity of photodiodes.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

1) 요분석 시스템에서 칼라시뮬레이션

요분석 스트립의 정색반을 분류하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 다음과 같이 수행하였다.[2-3]

$$X = K_1 \sum L_R(\lambda) \cdot R_R(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

$$Y = K_2 \sum L_G(\lambda) \cdot R_{jk}(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

$$Z = K_3 \sum L_B(\lambda) \cdot R_{jk}(\lambda) \cdot D(\lambda)$$

삼자극치를 이용하면 다음과 같이 색자극의 양을 기술하는 CIE 1931 색도좌표를 구할 수 있다.

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

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

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

균일한 색상분포를 갖는 CIE 1976 균일한 색도좌표(u', v')로 CIE 삼자극치와는 다음과 같은 관계를 갖는다.[2-3]

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

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

2) 삼자극치를 보정한 칼라 시물레이션의 결과

그림 4a는 당분의 5 가지 등급에 대하여 컴퓨터 시물레이션으로 얻은 CIE 삼자극치를 CIE 1931 색도좌표(x, y)로 나타낸 것이다. 당분 검사항목의 등급은 좌에서 우로 neg., ± 100 , $+350$, $++500$, $+++1000$ 을 나타낸다. +표(real color)는 표준광원인 Pc, 그림 1에 있는 당분의 반사스펙트럼, 그리고 색에 대한 사람 눈의 반응인 등색곡수를 이용한 칼라 시물레이션으로 구한 값으로, 요분석용 스트립에서 일어나는 정색반응의 실제 색도좌표와 가장 근접한 값이다.[2,3] 3 가지 LED(RGB)의 발광세기 차이를 고려하지 않은($K1 = K2 = 1$) 칼라 시물레이션에서 구한 값(\square 표)은 실제 색상의 값과 차이가 크다. 그러나 $K1$ 을 1.1~1.8까지, 그리고 $K2$ 를 2.3~2.7까지 변화시키면서 구한 색도좌표(\triangle 표)는 실제 색상의 색도좌표(+표)로 보정할 수 있었다. \circ 표는 (주)청도제약에서 만든 정색반응표에 있는 당분의 5가지 등급에 대한 색상을 Colorimeter(Color Savvy사의 CM2C)로 측정한 값이다. 칼라 시물레이션에서 구한 색도좌표(\triangle 표)가 Colorimeter(CM2C)로 측정한 색도좌표(\circ 표)보다 더 나은 색상선별력을 얻을 수 있었다. 그림 4b는 당분의 5가지 등급에 대해 구한 삼자극치를 균일한 색상분포를 갖는 CIE 1976 색도좌표(u', v')로 좌에서 우로 neg., ± 100 , $+350$, $++500$, $+++1000$ 을 나타낸다.

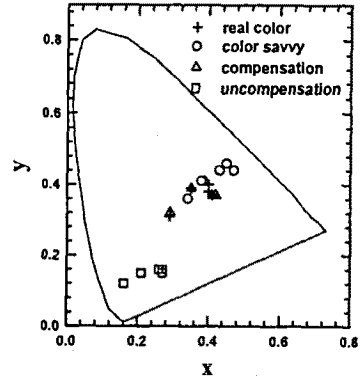


Fig. 4a. CIE 1931 chromaticity coordinates of glucose.

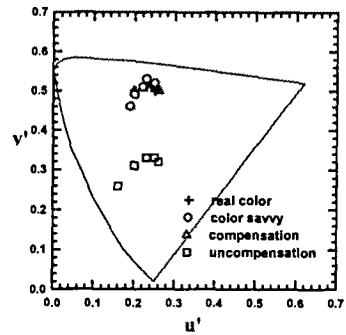


Fig. 4b. CIE 1976 chromaticity coordinates of glucose.

그림 5a는 단백질의 6 가지 등급에 대하여 칼라 시물레이션으로 얻은 CIE 삼자극치를 CIE 1931 색도좌표(x, y)로 나타낸 것이다. 단백질 검사항목의 등급은 우에서 좌로 neg., trace, $+30$, $++100$, $+++300$, $++++1000$ 을 나타낸다. 3 가지 LED(RGB)의 발광세기 차이를 고려하지 않은($K1 = K2 = 1$) 칼라 시물레이션에서 구한 값(\square 표)은 실제 색상의 색도좌표(\triangle 표)와 차이가 크다. 그러나 $K1$ 을 1.2~1.6, 그리고 $K2$ 를 2.3~2.6까지 변화시키면서 구한 값은 실제 색상의 색도좌표(\triangle 표)로 보정할 수 있었다.

그림 6a는 pH의 6 가지 등급에 대하여 컴퓨터 시물레이션으로 얻은 CIE 삼자극치를 CIE 1931 색도좌표(x, y) 나타낸 그림이다. 그림의 우에서 좌로 6가지 pH 검사항목의 등급인 pH5, pH6, pH6.5, pH7, pH8, pH9를 나타낸다. 3 가지 LED(RGB)의 발광세기 차이를 고려하지 않은($K1$

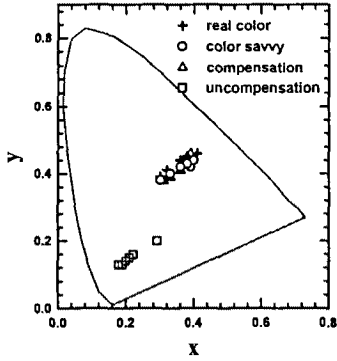


Fig. 5a. CIE 1931 chromaticity coordinates of protein.

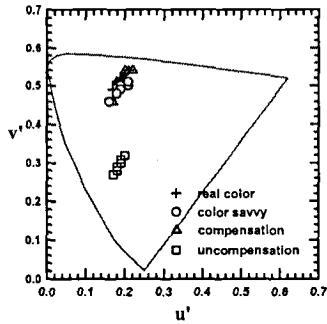


Fig. 5b. CIE 1976 chromaticity coordinates of protein.

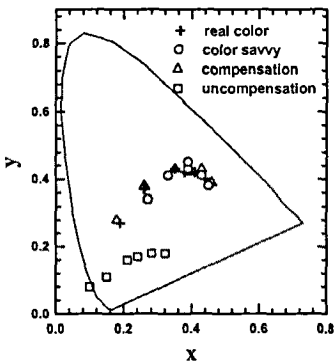


Fig. 6a. CIE 1931 chromaticity coordinates of pH.

= K2 =1) 칼라 시뮬레이션에서 구한 색도좌표 (□표)는 실제 색상의 색도좌표(Δ표)와 차이가 크다. 그러나, K1을 1.2~3.5까지, 그리고 K2를 2~3.8까지 변화시켜 실제 색상의 색도좌표(Δ표)로

보정할 수 있었다.

그림 6b는 pH 검사항목의 6가지 등급에 대해 구한 균일한 색상분포를 갖는 CIE 1976 색도좌표로, pH 검사항목의 등급은 위에서 좌로 pH5, pH6, pH6.5, pH7, pH8, pH9를 나타낸다.

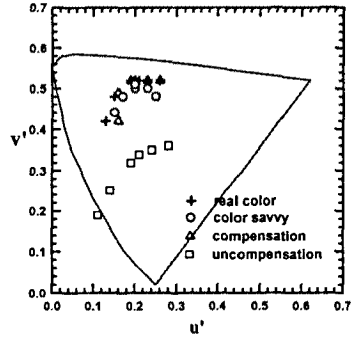


Fig. 6b. CIE 1976 chromaticity coordinates of pH.

4. 결론

본 연구에서 제안한 정색반응의 색도좌표는 정색반응의 실제 색도좌표와 비슷하였으며 Color Savvy사의 Colorimeter(CM2C)로 측정된 값에 비해 우수한 색상선별력을 나타내었다. 특히 3가지 LED와 photodiode로 구성되는 간단한 광모듈을 사용하는 요분석 시스템에서도 정색반응에 대한 정밀한 실제 색상의 색도좌표를 구현할 수 있다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 김재형, 김정배, 조진욱, 김성철, 진병문, 전계록, 이승진, 김건우, 요검사용 스트립의 분광학적 분석을 위한 Computer Simulation, 응용물리, 11, 6, pp.666-674, 1998.
2. Fred W. Billmeyer, Jr., Max Salzmann, Principle of Color Technology, (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981), pp. 1-6,
3. Edward J. Giorgianni, Thomas E. Madden, Digital Color Management, (Addison-Wesley, Massachusetts, 1998), pp. 3-31,