

반사형 소자를 이용한 시료의 컬러정보 및 농도분석

An Optical Technique for Concentration Measurement by Color Analysis

이 태 희* · 김 지 선* · 정 구 인* · 최 주 현* · 오 한 별* · 김 아 희* · 정 현 철* · 조 영 빈** · 전 재 훈†
(Tae-Hee Lee · Ji-Sun Kim · Gu-In Jung · Ju-Hyeon Choi · Han-Byeol Oh ·
A-Hee Kim · Hyon-Chel Jung · Yeong Bin Cho · Jae-Hoon Jun)

Abstract - Many studies have been done to measure and analyze color for various purposes. Visual assessment has lack of objectivity and the equipment for color measurement is very expensive. In this study, we developed a device for quantitative analysis of the color using optical elements. With the color sensor, the ratio of RGB was calculated by measuring the light intensity that is reflected from an object. Inverse transformation of optical signal was performed to detect the color density. The suggested color analyzer can detect color information as well as sample concentration. Results of this study are expected to be used in various medical fields such as pH indicator and urine analysis.

Key Words : Color analysis, Color information, Optical sensor, RGB ratio

1. 서 론

색은 가장 흔한 물체의 색부터 디자인, 인테리어 분야에 쓰이는 색 등 셀 수 없이 여러 가지 종류가 있다. 빛은 여러 가지의 색 과장으로 이루어져 있는데 빛이 물체에 닿았을 때 가시광선 과장이 분해되어 반사, 흡수, 투과 현상이 일어나서 다양한 색이 나타나게 된다 [1]. 따라서 오늘날 교육, 문화뿐만 아니라 상품디자인, 광고시장 등 여러 분야에서 색을 판단하는 기준을 필요로 하게 되었고 색을 분류하고 측정하는 연구가 활발히 진행 되고 있다 [2-3].

현재 색을 측정할 수 있는 방법으로는 먼저 육안측색이 있다. 육안으로 측정하는 경우 색을 육안으로 쉽게 평가할 수는 있지만 관측 조건이나 관측자에 따라 색이 다르게 측정 될 수 있는 단점이 있다 [4]. 또한 연색성(color rendering)으로 인해 객관적인 측정이 어렵고 인공 광원의 종류에 따라 본연의 색이 다르게 지각 되어 실제의 색과 다르게 관측되는 문제가 발생한다. 두 번째로는 표준색을 기준으로하고, 그것과의 비교치를 측정하여 색차를 수량적으로 나타내는 색도계(colorimeter)가 있다 [5]. 백색광원을 샘플에 조사한 후 투과된 빛을 분석하여 감소된 광량을 통해 농도정보를 분석하는 방법이다 [6]. 이러한 투과형 색정보 검

출은 투과 후 감소된 광량이 시료두께의 영향을 받고, 피부나 인체에 사용할 수 없는 단점이 있다. 컬러필터를 사용하여 색 정보를 분석하는 방법은 시스템의 크기가 커질 수 있고, 제조가 힘들며, 내구성이 낮고 비용이 많이 드는 단점이 있다 [7]. 또 다른 방법에는 적분구와 분광복사계를 사용하여 색을 검출하는 방법이 있다 [8]. 이 방법은 적분구의 내부가 오염되지 않도록 주의를 해야 하며 장비의 크기가 크고 고가인 단점이 있다. 마지막으로 영상장치를 사용하여 촬영한 샘플의 이미지를 분석하여 색 정보를 검출하는 방법이 있다 [9]. 영상센서의 특성상 높은 전압을 사용해야하기 때문에 전력소비가 상대적으로 크고 시스템이 복잡하며 별도의 이미지 프로세서를 사용해야 하는 단점이 있다. 또한 영상센서를 사용하는 경우에는 메타메리즘 현상의 영향을 받아 실제 컬러정보와 다르게 분석될 위험이 있다. 따라서 객관적으로 측정하기 위해서는 관측조건에 대한 기준이 필요하다. 색을 분류하는 기준으로는 먼셀의 표색계, CIE XYZ 표색계, CIE Lab 표색계, 오스트발트 컬러 시스템 등이 있지만 이 또한 비색법의 일종으로 객관적인 색 정보의 측정이 불가능하다 [10-11].

본 연구에서는 광학 소자를 이용하여 액체의 색 구별 뿐만 아니라 농도를 구별할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다. 이 시스템은 정량적으로 색을 분석할 수 있으며 소형이고 공간적 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 아울러 액체의 색과 농도를 구별할 수 있는 시스템을 이용하여 pH 지시약 구별, 시료의 색 구별, 소변검사 측정 등에도 적용될 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 색 정보 및 농도 측정 시스템의 구성 요소

실험은 컬러 센서라고 명칭하는 KIR series (Kodenshi

† Corresponding Author : Dept. of Biomedical Engineering, College of Biomedical and Health Science, Konkuk University, Korea

E-mail : jjun81@kku.ac.kr

* Dept. of Biomedical Engineering, College of Biomedical and Health Science, Konkuk University, Korea; Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University, Korea

** School of Business Administration and Economics, Konkuk University, Korea.

Received : May 3, 2014; Accepted : July 29, 2014

corp., Japan)를 사용하여 진행 하였고, A/D 변환을 통해 디지털값으로 변환된 데이터를 분석 하였다. 연구에서 사용한 센서는 포토 인터럽터 형태의 센서이다. 포토 인터럽터는 발광소자인 LED와 수광소자인 포토트랜지스터를 하나의 패키지로 구성하여 발광원의 광으로부터 물체의 위치, 유무, 색상 등을 수광소자로 하여금 검출하게 하는 목적으로 만들어진 소자이다. 발광부에서 발생한 빛이 물체에 반사되어 수광 다이오드로 입사되는 원리의 센서이다. 본 연구에서 사용한 센서는 광원의 파장대에 따라 3가지 종류로 구분되어 있다. 이 센서는 고성능의 표준타입 반사형 포토 인터럽터로 고감도 포토트랜지스터와 고출력 LED가 결합되어 있다. 그림 1은 실험에 사용한 컬러 센서의 설계도를 보여준다.

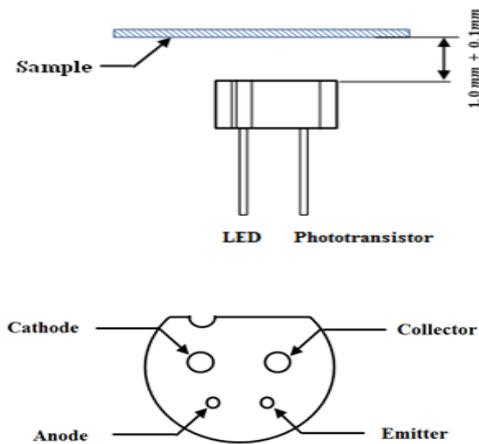


그림 1 컬러 센서의 신호검출원리
Fig. 1 Color sensor signal detection principles

실험에 사용한 센서는 각각 KIR 1001A, KIR 1002A, KIR 1003으로 명칭하며 고성능의 AlGaInP Red LED, GaN Green LED, InGaN Blue LED가 내장되어 있다 [12-13]. 센서의 발광부에서 나오는 빛의 파장범위는 Red Color는 625 ~ 650 nm, Green Color는 520 ~ 540 nm, Blue Color는 468 nm이다. 이 소자는 구성 요소가 비교적 단순하게 이루어져있고 크기가 소형인 장점이 있다 [14].

2.2 샘플의 농도 및 색 정보 측정

샘플의 색 정보와 농도를 검출하기 위해 서로 다른 색의 액체 시료 샘플을 이용하여 실험을 진행 하였다. 실험에 선택한 샘플은 수채화물감 (전문가용 SW, 신한)중 20가지 색을 사용하였고, 각각 0.02 ~ 5 %까지 14단계로 농도를 변화시켜 실험을 진행 하였다. 그림 2는 실험의 개략도이다. 투명아크릴을 사용하여 액체 샘플을 담아 고정시킬 수 있는 용기를 제작하였다. 수신부에 외부의 빛이 들어가지 않게 실험 장치주위를 암실로 만들어 빛을 차단하고 실험을 진행 하였고, 각각의 컬러센서가 서로 영향을 받지 않도록 배치하고 컬러센서와 컬러센서 사이에 검은 막을 두어 외부 빛을 차단하였다. 액체샘플과 컬러센서 사이의 거리는 센서의 스펙에 따라 가장 센서의 민감도가 좋은 간격 1 mm로 유지하였다. 본 연구에서는 크기가 작고 저렴한 장점이 있는 광학

소자를 이용하여 미세한 농도 변화를 검출해내고 색 정보를 얻고자 다음과 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

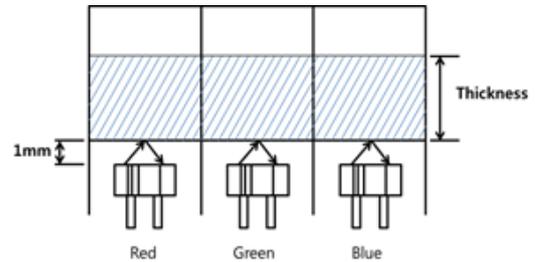


그림 2 색 정보 변화에 따른 광 신호변화 실험 장치
Fig. 2 Estimation of light intensity by adjusting the color information variation

2.2.1 샘플의 두께변화에 따른 RGB 비율 분석

액체의 두께가 색 정보 분석에 영향을 미칠 것을 고려하여 액체 샘플의 두께에 따른 색 정보 분석을 먼저 시행 하였다. 붉은색 시료를 이용하여 액체 샘플의 농도를 0.01 ~ 0.1 %까지 0.01 % 간격으로 10종류를 만들었고, 각각의 농도별로 1 cm부터 10 cm 까지 0.5 cm 간격으로 두께를 증가시키면서 실험을 진행하였다. 액체 샘플의 색과 농도를 고정하고 샘플의 두께만 변화시키면서 송신부 (LED)에서 나온 빛이 샘플에 반사되어 수신부 (포토 트랜지스터)로 들어가지 수집된 신호를 RGB 비율로 환산하여 변화를 관찰하였다.

2.2.2 샘플의 농도변화에 따른 RGB 비율 분석 및 농도 검출 방법

20가지 색 샘플의 각각의 색 농도를 0.02 ~ 5 %까지 여러 종류로 제작 하여 샘플의 농도변화에 따른 RGB 비율의 변화를 비교하였다. 또한 연구에서는 미세한 농도의 변화로 인한 RGB비율의 변화를 관찰하기 위해서 매트랩을 사용하여 다항식으로 모델링을 하고 결정계수 값을 비교하여 가장 적합한 수식을 찾아내었다. 농도 검출 방법으로 $y=f(x)$ 의 관계식을 회귀분석을 이용하여 $x=F(y)$ 의 형태로 변환되는 역변환 방법을 사용하였다. 데이터가 점진적으로 증가 (monotonically increase) 혹은 감소할 경우 역 모델링 방법을 사용할 수 있다.

$$y = a_0x^n + a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \dots + a_nx^0 \quad (1)$$

$$x = b_0y^n + b_1y^{n-1} + b_2y^{n-2} + \dots + b_ny^0 \quad (2)$$

여기서, y 는 RGB 신호의 비율을 의미하고 x 는 시료의 농도를 나타낸다. $a_0 \sim a_n$ 은 모델링결과 얻어진 원 데이터의 계수값, $b_0 \sim b_n$ 는 모델링결과 얻어진 수식의 역 변환된 계수 값을 의미한다. 각각의 데이터에 대하여 1차~7차식을 이용하여 모델링 하였고, 가장 적합한 n 차 다항식을 이용하여 x 변수인 시료의 농도정보와 y 변수인 RGB 신호의 비율을 역변환 모델링하여 수식을 얻었다. 즉, 역변환을 하여 주어진 RGB 비율의 변화만으로도 시료의 농도변화를 검출 할 수 있다.

2.2.3 RGB 비율 계산방법 및 비교 데이터

샘플의 색의 정보를 검출하기 위해 Red, Green, Blue LED에서 조사된 빛이 샘플에 반사된 후 포토트랜지스터로 입사된 신호를 분석하여 RGB 비율을 계산하였고 RGB 비율로 변환한 식은 다음과 같다.

$$Red\ ratio(\%) = \frac{I_R}{I_R + I_G + I_B} \times 100 \quad (3)$$

$$Green\ ratio(\%) = \frac{I_G}{I_R + I_G + I_B} \times 100 \quad (4)$$

$$Blue\ ratio(\%) = \frac{I_B}{I_R + I_G + I_B} \times 100 \quad (5)$$

여기서, I_i : 컬러 센서의 트랜지스터에서 측정된 반사된 Red, Green, Blue 빛의 강도(Intensity), i : 광원의 색(Red, Green, Blue)

또한 실험에서 사용한 샘플을 사진으로 촬영하여 RGB 값을 얻고, 이를 RGB 비율로 나타내어 센서로 얻어진 데이터와 비교 분석을 진행 하였다. 투명한 용기에 담긴 샘플을 흰 배경 앞에 두고 디지털카메라로 촬영하였다. 사진은 간단한 매트랩 코딩으로 RGB영상분석을 하였다. 영상분석을 통해 얻은 RGB 비율을 본 연구의 이론값으로 설정하고 실험으로 얻은 RGB 비율과 비교하였다.

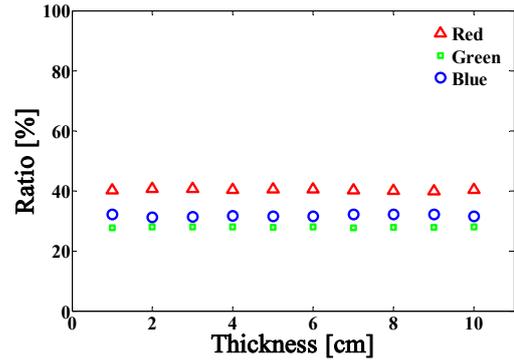
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 샘플의 두께 변화에 따른 RGB 비율 측정

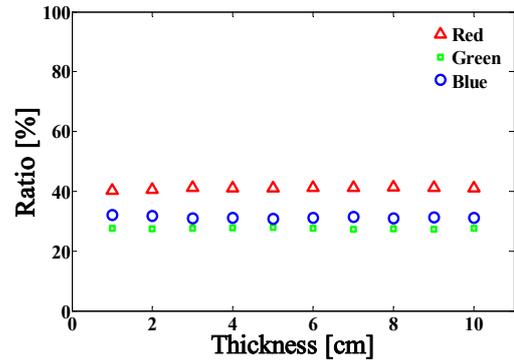
그림 3은 붉은색 샘플의 두께 변화에 따른 RGB 비율의 변화를 측정한 실험의 결과이다. 샘플의 두께를 1 ~ 10 cm 까지 0.5 cm 간격으로 두께를 증가시키면서 측정하였다. 즉, 컬러 센서를 이용하여 샘플의 두께에 따른 RGB 비율의 변화의 결과를 보여주는 것이다. (a), (b), (c), (d)는 샘플의 색 농도가 각각 0.01 %, 0.02 %, 0.03 %, 0.04 % 일 때 샘플의 두께 변화에 따라 RGB 비율의 변화를 그래프로 나타낸 결과이다. 두께의 변화에 따른 RGB 비율의 변화는 거의 없는 것을 관찰 할 수 있다. 이는 1cm이상의 샘플에서는, 반사되어 포토트랜지스터로 입사되는 신호의 비율이 두께에는 영향을 받지 않음을 나타낸다. 이후 농도의 변화에 따른 RGB 비율을 측정하는 실험에서는 시료가 아크릴 용기를 안정적으로 덮을 수 있는 두께의 최소단위인 1cm로 고정하여 실험을 진행하였다.

3.2 시료의 농도 변화에 따른 RGB 비율 측정 및 검출

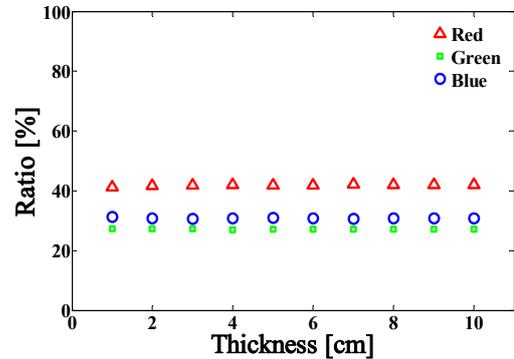
그림 4는 샘플의 농도를 변화 시켰을 때 RGB 변화를 관찰한 결과 그래프이다. 앞선 실험의 결과로 샘플의 RGB 비율은 샘플의 두께변화 영향을 받지 않는다는 것을 확인하였기 때문에 농도 변화를 관찰하는 실험에서 샘플의 두께는 1cm로 고정하고, 샘플의 농도는 0.02 %부터 5 %까지 변화시키면서 실험하였다. 그림 4에서 확인 할 수 있듯, 일정 농



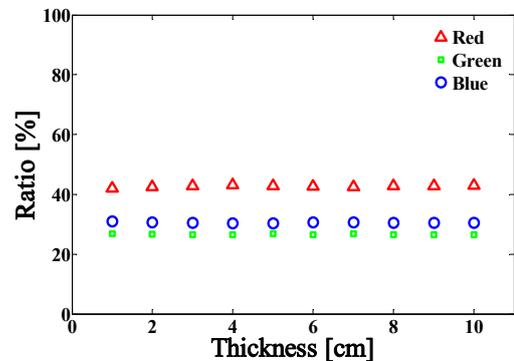
(a) 0.01 %



(b) 0.02 %



(c) 0.03 %



(d) 0.04 %

그림 3 시료의 두께 변화에 따른 RGB 비율의 변화
Fig. 3 RGB ratio with varying the thickness of sample

도까지는 RGB 비율이 증가하거나 감소하는 경향을 보인다. 이 범위들은 액체시료의 색에 따라 각각 다르게 나타난다. 그림 4의 그래프에서 (a) 411 Lemon yellow 색이나 (b) 417 Vandyke brown 색 같은 경우에는 RGB비율의 변화가 나타나는 농도의 범위가 0.02 ~ 1.4 %이고, (c) 412 Vermilion 같은 경우에는 0.02 ~ 2 %의 농도 범위에서 RGB비율이 변하고 (d) 413 Yellow ochre 색의 경우에는 0.02 ~ 1 %의 색 농도 범위에서 RGB비율의 변화가 나타나고 그 이후에서는 비율이 일정하게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이 범위에서 앞서 설명한 회귀 분석 방법을 적용하여 샘플의 색 정보뿐만 아니라 샘플의 농도까지 측정이 가능하다. 실험에 사용한 모든 샘플이 어느 농도 점 이후로는 RGB비율이 일정하게 유지 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 포화(saturation)가 되었음을 의미하고 포화가 일어난 농도 이후에는 그래프의 RGB비율의 변화가 없으므로 이결과를 분석하면 샘플의 색 정보 추출이 가능하다.

그림 5는 샘플에서 농도에 따라 RGB 비율이 변화하는 구간을 정하여 역 변환한 회귀식을 통하여 모델링한 결과를 나타낸다. 샘플마다 농도의 변화에 따라 RGB 비율이 변화하는 구간은 차이가 있었지만 모든 샘플은 일정 구간 이후에는 포화되는 경향을 나타내었다. 따라서 농도에 따라 RGB 구간이 변화하는 곳에서 Red의 비율을 역변환 하였다. Red의 비율을 역변환 한 이유는 일반 포토트랜지스터의 특성상 장파장의 빛을 더 예민하게 받아들여 센서의 민감도가 높기 때문이다. 비율의 크기와 측정 범위를 고려하여 회귀 분석을 할 때 가장 적절한 값은 변화비율이 가장 높은 Red 이라고 판단하였다. Green과 Blue의 비율을 회귀분석 하지 않은 이유는 신호의 변화 비율이 상대적으로 적어 오차가 발생할 수 있기 때문이다. 표 1은 따라 1차 ~ 7차 다항식의 결정계수를 나타낸 표다. 이 표를 바탕으로 결정 계수가 가장 높은 7차 다항식으로 각각 모델링 하였다. 또한 Red의 비율이 변화하였던 구간의 데이터만 모델링 하였다.

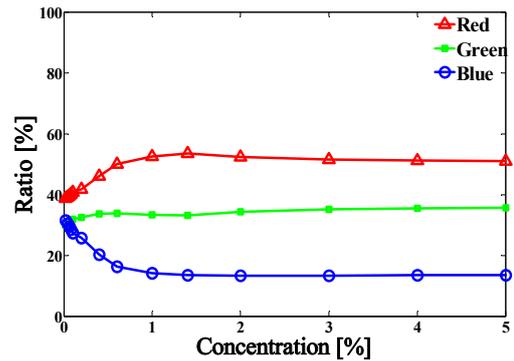
표 1 모델링 결과

Table 1 Modeling results (R square)

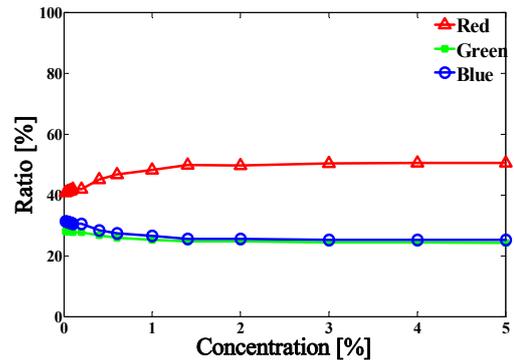
수식차수	R ²		
	411 Lemon yellow	412 Vermilion	413 Yellow ochre
1st	0.917	0.717	0.593
2nd	0.967	0.886	0.764
3th	0.989	0.948	0.878
4th	0.983	0.977	0.940
5th	0.980	0.989	0.965
6th	0.982	0.993	0.986
7th	0.999	0.996	0.989

3.3 시료의 RGB 비율과 영상 데이터의 RGB 비율 비교

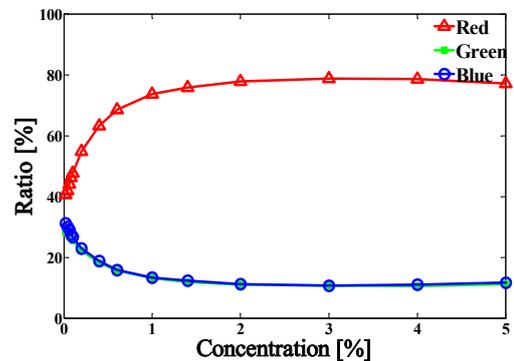
그림 6은 컬러센서를 이용하여 샘플의 RGB 비율을 측정 한 실험으로 얻은 데이터와 디지털 카메라로 촬영한 사진을



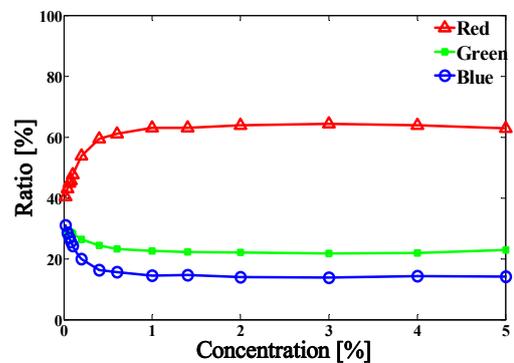
(a) 411 Lemon yellow



(b) 417 Vandyke brown

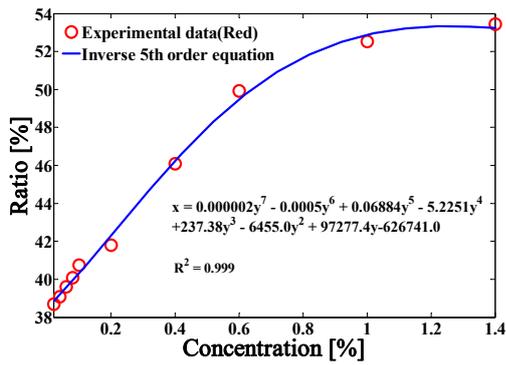


(c) 412 Vermilion

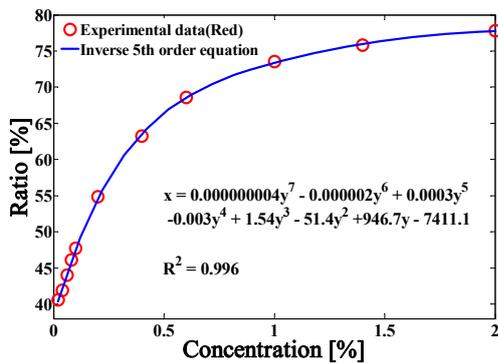


(d) 413 Yellow ochre

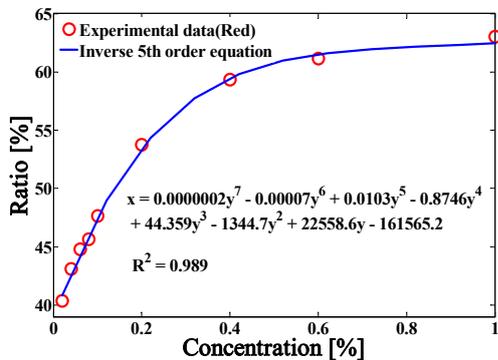
그림 4 시료의 농도 변화에 따른 RGB 비율의 변화
Fig. 4 RGB ratio with varying the concentration of sample



(a) 411 Lemon yellow



(b) 412 Vermillion

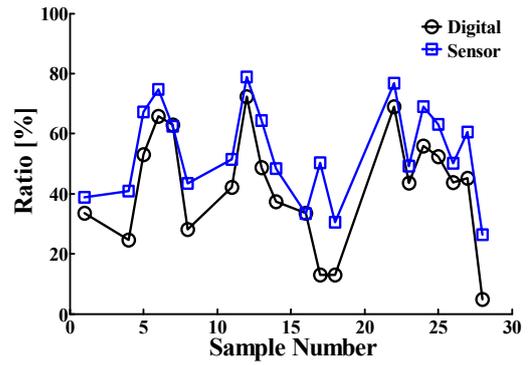


(c) 413 Yellow ochre

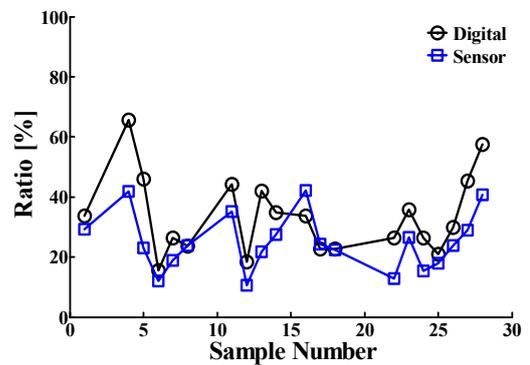
그림 5 농도 변화에 비율 변화 모델링(n차 다항식); (a) 411 Lemon yellow, (b) 412 Vermillion, (c) 413 Yellow ochre

Fig. 5 Inverse of polynomial (nth order); (a) 411 Lemon yellow, (b) 412 Vermillion, (c) 413 Yellow ochre

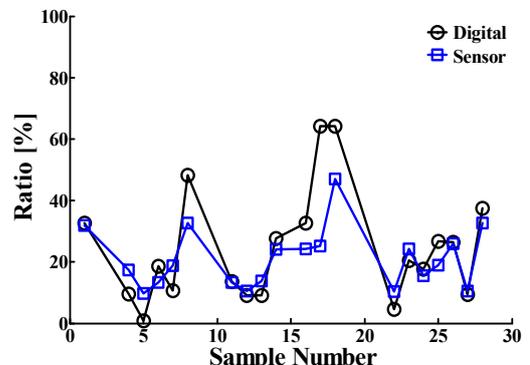
매트랩으로 RGB 영상 분석한 데이터를 비교한 그래프이다. RGB 비율을 따로 분리하여 샘플 번호순서에 따라 그래프로 나타내었다. 샘플의 사진을 영상 분석한 RGB 비율 값과 본 연구에서 사용한 장치를 사용하여 측정된 RGB비율은 대체로 비슷한 경향을 보였지만 정확히 일치 하지는 않았다. 오차의 원인으로 첫째는 디지털 카메라로 샘플을 촬영할 때 각종 조명의 영향과 카메라의 렌즈 특성 등 외부 여러 가지의 오차의 원인이 존재하기 때문이다. 디지털 카메라로 촬



(a) Red



(b) Green



(c) Blue

그림 6 시료의 색에 따른 RGB 비율 변화
Fig. 6 RGB ratio with varying the color of sample

영한 샘플은 촬영 후 샘플과 사진을 육안으로 비교했을 때에도 샘플의 색과 정확히 같아 보이지 않았다. 하지만 컬러 센서로 실험 할 때에는 외부의 빛을 완전하게 차단하였고 센서간에도 간섭이 일어나지 않게 차단하고 실험 하였으며 Red, Green, Blue의 센서에서 발생하는 자체 광원으로 인하여 더 정확한 비율이 검출 될 것이라고 판단된다. (b) Green 과 (c) Blue는 대체적으로 컬러센서로 측정된 비율 보다 샘플사진의 Green과 Blue비율이 더 높게 나왔고, (a) Red는 샘플사진의 Red 비율보다 컬러센서가 측정된 비율이 더 높게 나왔다. 그 이유는 앞에서 언급했던 포토트랜지스터의 장과

장의 빛을 더 민감하게 받아들이는 성질 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 반사형 컬러 센서를 사용하여 시료의 색 정보 및 농도를 검출 하는 새로운 방법을 제시하였다. 이를 위해서 각각 서로 다른 파장을 가진 3종류의 광원을 이용하였고, 색이 나타나는 원리인 반사와 흡수 법칙을 이용하여 색의 변화를 측정 하였다. 이는 고가의 스펙트럼 분석 장비의 기능을 대체 할 수 있는 장점을 가지며 다음과 같은 결과들을 도출 하였다.

시료의 하단 부분에서 색의 정보를 검출하는 본 시스템은 일정 농도 이상에서는 RGB 비율의 포화가 일어난다는 사실을 확인 할 수 있었다. 또한 포화가 일어나기 전에는 농도에 따라 RGB 비율이 변화하며 변화하는 구간에서는 역변환 모델링을 통해 이론적 수식을 얻어 광 신호 및 RGB 비율을 통해 농도를 검출 할 수 있었고 모델링의 정확도도 검증하였다. 본 연구에서 제시하는 장치 및 방법의 핵심은 광소자를 이용하여 색 정보를 추출하는 동시에 농도를 검출하여 시료의 특성을 검출 하는 것이다.

본 연구에서 제안하는 방법은 경제적이고 단순하며 편리한 장점이 있다. 단순히 육안 또는 카메라 영상분석법으로 시료의 색 변화를 측정하는 것보다 정량적이고 실시간으로 RGB 비율의 측정이 가능하다. 또한 공간의 제약이 없고 시스템의 가격이 비교적 저렴하다. 광학적 방법을 이용하였기 때문에 시료와 샘플이 접촉하지 않아 샘플의 손상이 없는 장점도 있다. 이 시스템은 액체 시료뿐만이 아니라 고체 시료의 색 정보 분석에도 적용이 가능하다. 연구의 결과는 색을 이용하는 여러 분야에 적용이 가능하다. 용액의 pH와 사용하는 지시약에 따라 용액의 색깔이 달라진다. 기존에는 지시약에 따른 pH의 색변화를 육안관측으로만 판단하였는데 본 연구의 장비를 사용하면 미세한 색 변화도 감지 할 수 있어 용액의 pH를 구별할 수 있다. 임상 의학에서는 소변 색으로 질병을 진단하는 경우가 있다[15-16]. 컬러센서를 사용하면 빠르고 정확한 색 정보를 추출해 낼 수 있고, 질병의 진단에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 연구의 결과는 색 정보가 변화하는 연구들에 응용될 수 있을 것이며, 후속 연구로 다른 형태의 광센서를 선택하고, 다양한 시료의 적용하여 다른 정보를 얻어내는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0023158).

본 연구는 한국연구재단을 통해 미래창조과학부의 미래유망 융합기술 파이오니어사업으로부터 지원받아 수행되었습니다(No. 2011-0027920).

References

[1] Si-Joon An, "A Study on the Characteristics of

Cognition Based on the Ambient Lighting," AURA, Vol. 30, No. 30, pp. 61-72, 2013.

[2] Yeong-Mi Park, Eui-Young Cha, "A Study on Digital Color Representation and Management," Journal of Digital Design, Vol. 7, pp.85-92, 2004.

[3] Mahn-Young Lee, Young-Sun Kim, "A study of color spaces for Korean basic color names," Korean Journal of Cognitive Science, Vol. 8, No. 4, 1999.

[4] Hyo-In Kim, Sa-Ra Lee, Geun-Young Yun, "An evaluation of the subjective responses on illuminance and SPD of lighting," Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 31, No. 2, pp. 455-456, 2011.

[5] Ki-In Kim, Soon-Dal Hong, "Relationship between Soil Color Characteristics and Measurement Values by Colorimeter," Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Vol. 35, No.2, pp. 77-86, 2002.

[6] A.Sivanantha Raja, K.Sankaranarayanan, "Use of RGB Color Sensor in Colorimeter for better Clinical measurement of Blood Glucose," BIME Journal, Vol. 1, No. 1, pp. 23-28, 2006.

[7] P.K. Yang, J.C. Chen, Y.H. Chuang, "Improvement on reflective color measurement using a tri-color LED by multi-point calibration," Optical Communications, Vol. 272, No. 2, pp. 320-324, 2007.

[8] J.B. Krikken, J.R. Zijp, M.C.D.N.J.M. Huysmans, "Monitoring dental erosion by colour measurement: An in vitro study," Journal of dentistry, Vol. 36, No. 9, pp. 731-735, 2008.

[9] R.E. Larrain, D.M. Schaefer, J.D. Reed, "Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef," Food Research International, Vol. 41, No. 4, pp. 380-385, 2008.

[10] Dong-Ho Kim, Jung-Yeob Oh, "Color Terminology and Color Order Systems," Korean Society of Color Studies, Vol. 9, pp.125-144, 1997.

[11] Sang-An Park, Yong-Geun Kim, "The Confusing Color line of the Color deficiency in Panel D-15 using CIELab Color Space," The Korean Ophthalmic Optics Society, Vol. 6, No. 1, 2001.

[12] Vanderwater D A, Tan I -H, Hoefler G E , Defevere D C, Kish F A, "High-Brightness AlGaInP Light Emitting Diodes", Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 85, pp. 1752-1764, 1997.

[13] Wan-Ho Kim, In-Seon Yeo, "Optical design of RGB LED cluster lamps", proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 2001, pp. 129-132, 2001.

[14] Yong-Su Yu, Sang-Bin Song, Yan-Ho Kim, In-Seon Yeo, "A study on color variable technique using high brightness LEDs", The Korea Institute of Electrical Engineers conference, Vol. 2001, No. 7, pp.

2585-2587, 2001.

- [15] In Gu Kang, Cheol Sang Park, Hyun Sik Ryu, Hyun Jin Kim, Seong Soo Park, Mi Jin Lee, Won Joon Jeong, Won Suk Lee, "Comparative Study Evaluating the Accuracy of the Urine Sodium Dithionite Test to Predict Plasma Paraquat Concentration in Poisoning Cases", JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF EMERGENCY MEDICINE, Vol. 22, No. 6, pp. 696-700, 2011.
- [16] Chun-Kwang Kim, Jong-Il Rhee, "Characterization of Double-layer Optical Sensing Membranes for Dual Sensing of Dissolved Oxygen Concentrations and pH and Their Application to the On-line Monitoring of Fermentation Processes," The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 20, No. 4, pp. 370-374, 2009.

저 자 소 개



이 태 희 (李 泰 姬)

2011년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2013년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학 중.



김 지 선 (金 志 宣)

2009년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2011년 동대학원 석사.
2011년 ~ 현재 동대학원 박사과정 재학 중.



정 구 인 (鄭 求 仁)

2008년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2010년 동대학원 석사.
2010년 ~ 현재 동대학원 박사과정 재학 중.



최 주 현 (崔 朱 鉉)

2013년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2013년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학 중.



오 한 별 (吳 韓 別)

2014년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2014년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학 중.



김 아 희 (金 我 熙)

2014년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2014년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학 중.



정 현 철 (鄭 賢 哲)

2014년 건국대학교 의학공학부 졸업.
2014년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학 중.



조 영 빈 (曹 永 彬)

1985년 고려대학교 산업공학과 학사
1988년 한국과학기술원 산업공학과 석사
2005년 한국과학기술원 테크노경영대학원 경영정보학 박사
2006년 ~ 건국대학교 국제비즈니스대학 경영학과 교수.



전 재 훈 (田 載 燾)

1986년 고려대학교 화학공학과 졸업.
1993년 MS, Chemical Eng., Texas A&M University, USA
2001년 Ph.D., Biomedical Eng., Texas A&M University, USA
2001년 ~ 2004년 Research Associate, Biomedical Eng., VCU(MCV campus), USA.
2004년 ~ 현재 건국대학교 의학공학부 교수.