

색상각과 채도벡터를 이용한 동일색상의 분광반사 모집단 생성

Generating of the same hue population using hue angle and chroma vector

유미옥 서봉우* 안석출*

한국해양대학교 제어측공학과, *부경대학교 화상정보공학부
(2000년 7월 22일 접수, 2000년 8월 19일 최종수정본 접수)

Mee-Ok Yoo Bong-Woo Seo Suk-Chul Ahn**

Department of Control & Instrumentation Engineering, Korea Maritime Univ.

*Division of Image & Information, Faculty of Eng., Pukyong National Univ.

(Received 22 July 2000, in final form 19 August 2000)

Abstract

This paper proposes a new algorithm classifying same hues in order to estimate the spectral reflectance of object from 3 band color image information. To estimate the spectral reflectance of object, the conventional estimation methods are required of 5 or 9 band digital color values. The 5 or 9 band image acquisition systems are required of 5 or 3 times same work for color image acquisition process.

To solve the above problems, we propose a new method that can be estimated spectral reflectance estimation of object. The proposed method is to classify same hues corresponding a color stimulus, by using hue angle and chroma vector of a color stimulus. The classified same hues are used as the population corresponding a color stimulus. The range of same hue is estimated by the cumulative proportional ratio according to the number of basis function.

Keyword : same hues, hue angle, chroma vector, spectral reflectance, cumulative proportional ratio, basis function.

I. 서론

최근 컴퓨터 보급의 증대와 고속 통신망의 발달로 영상산업의 발달은 가속화되고 있으며 색 재현 시스템도 다양화되고 있다. 최근에는 박물관이나 미술관에 전시된 소장품을 전자적으로 기록한 후, 재현하는 전자 박물관이나 전자 미술관의 요구가 높아지고 있다. 종래에는 미술품이나 공예품 등은 칼라 필름에 기록해 왔으며, 칼라 필름은 색소의 합성에 의해 상이 형성되므로 장기간 보관하게 되면 변색되게 된다. 또한 영상을 디지털화 하기 위해서는 스캐너나 디지털 카메라를 사용하고 있으나, 이러한 영상은 획득장치의 특성에 크게 의존한다. 그러므로 장기간 보관에 의한 변색이나 주변환경(조명광의 종류) 및 영상 획득 장치에 의존하는 단점을 해결하기 위해서는 물체 고유의 색 정보인 분광 반사율을 알아야 한다. 피사체의 색 정보를 알기 위하여 피사체를 다대역(multi band) 영상 획득 시스템으로 기록하고, 이 데이터로부터 물체 고유의 색 정보인 분광반사율을 추정한다.

피부색과 같은 특수 색은 피부색에 대한 분광반사율의 모집단으로부터 주성분을 분석하여 제3주 성분까지 사용하면 원고의 분광반사율을 복원할 수 있고, 자연 색에 대해서는 분광반사율의 모집단으로부터 제5주 성분까지 사용하면 원고의 분광반사율을 복원할 수 있으며, 실제 3대역(3 band) 영상 획득 시스템에 의한 피부색의 분광 반사율 추정과 5대역(5 band) 영상 획득 시스템에 의한 자연 색의 분광반사율 추정 시스템을 개발 보고한 바 있다[2-7]. 그리고 자연 색의 분광반사율 추정을 위한 다른 다대역(multi band) 영상 획득 시스템은 상용의 3대역 디지털 카메라로 획득한 3종류의 영상 신호와 2개의 색 필터를 장착한 6개의 영상 신호로부터 물체의 분광반사율을 추정하는 복합형 다대역 영상 획득 시스템 방법이 보고된 바 있다.[8-10]

영상 신호로부터 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서 5 대역 영상 획득 시스템으로 5번 촬영하여 얻어진 5종류의 영상을 이용하거나 상용의 디지털 칼라 카메라와 2종류의 색 필터를 사용하여 3번 촬영하여 얻어진 9종류의 영상을 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하는 방법이 보고되었으나,[8-10] 3번 또는 5번 촬영해야 하는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 분광반사율을 추정할 대상의 색 자극과 비슷한 색을 분류하여, 이에 대응하는 분광반사율로 구성된 동일색상 모집단을 생성하여 이 모집단으로부터 주성분을 분석하면 3대역 영상 신호로 물체의 분광반사율을 추정할 수 있다. 3대역 영상 획득 시스템은 상용화된 고화질의 디지털 칼라 카메라를 활용하면 시스템 구성이 간단하고, 1회로 3대역 영상 획득이 가능하므로 그 장점은 매우 높다.

본 연구에서는 3대역 영상 정보로 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서 임의의 영상 신호에 대응하는 동일색상을 생성하는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 자연색의 분광반사율에 대한 모집단으로부터 대응하는 영상 신호의 채도벡터(chroma vector)와 색상각(hue angle)을 사용하여 동일색상의 모집단을 생성한다. 생성된 동일색상의 모집단의 정도는 기저함수의 수에 대응하는 누적기여율로 평가한다.

II. 색상각과 채도벡터에 의한 동일색상의 분류

2.1. 균등색공간

CIE는 1931년에 CIE 표색계로서 표준 관측자의 등색 함수, 표준 광, 표준광원, 그리고 색도도를 권고했다. 그러나 xy 색도도에서 거리로 구한 색차(color difference)는 지각적으로 균등하지 못해, CIE는 1960년에 CIE 1960 UCS 색도도 (CIE 1960 UCS diagram)를 권고했다. 그러나 균등색도도는 색의 명도에 대한 균등성에 대해서는 고려하지 않았다. 즉, (x, y, Y) 대신에 (u', v', Y) 를 사용하면 색도 좌표의 균등성은 (x, y) 에서 (u', v') 로 증가하지만, 명도의 균등성에 관해서는 (x, y) 좌표계의 명도값 Y 그대로다. 그리하여 명도를 포함한 균등 표색계인 균등색 공간(uniform color space)으로 CIE는 1976년에 $L^*a^*b^*$ 색공간과 $L^*u^*v^*$ 색공간을 권고했다.

(1) CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간

대상으로 하는 물체의 3자극치를 X, Y, Z 라 하고, 완전 확산면의 3자극치를 X_n, Y_n, Z_n , $Y_n = 100$ 으로 규격화 할 때, CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간은 식(1-1)~식(1-3)과 같다.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (1-1)$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (1-2)$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (1-3)$$

여기서 명도를 나타내는 L^* 는 CIE 1976 명도지수(psychometric lightness)라 하며, 다음에 설명하는 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 색공간에서도 같은 값을 사용한다.

(2) CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 색공간

대상으로 하는 자극치와 균등 색도도의 색도좌표를 Y, u', v' 라 하고, Y_n, u'_n, v'_n 는 완전 확산 반사면의 삼자극치와 색도 좌표이고, $Y_n = 100$ 으로 규격화되어 있다.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (2-1)$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n) \quad (2-2)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n) \quad (2-3)$$

2.2. 색차와 심리적 상관량

(1) 색차

CIELAB 색공간에서 두개의 측색치($L_1^* a_1^* b_1^*$)와 ($L_2^* a_2^* b_2^*$)간의 색차 ΔE_{ab}^* 는 식(3-1)과 같이 정의한다.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3-1)$$

단 식(3-1)의 ΔL^* , Δa^* , Δb^* 은 식(3-2)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L_1^* - L_2^* \\ \Delta a^* &= a_1^* - a_2^* \\ \Delta b^* &= b_1^* - b_2^* \end{aligned} \quad (3-2)$$

또, CIELUV 색공간에서 2개의 측색치 ($L_1^* u_1^* v_1^*$)와 ($L_2^* u_2^* v_2^*$) 사이의 색차 ΔE_{uv}^* 는 식(3-3)과 같다.

$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad (3-3)$$

단 식(3-1)의 ΔL^* , Δu^* , Δv^* 는 식(3-2)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L_1^* - L_2^* \\ \Delta u^* &= u_1^* - u_2^* \\ \Delta v^* &= v_1^* - v_2^* \end{aligned} \quad (3-4)$$

(2) 명 도

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad Y/Y_n > 0.008856 \quad (4-1)$$

$$L^* = 903.3 (Y/Y_n) \quad Y/Y_n \leq 0.008856 \quad (4-2)$$

(3) 채 도

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5-1)$$

$$C_{uv}^* = \sqrt{(u^*)^2 + (v^*)^2} \quad (5-2)$$

(4) 색상각

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (6-1)$$

$$h_{uv} = \tan^{-1}(v^*/u^*) \quad (6-2)$$

2.3. 채도벡터와 색상각을 이용한 동일색상의 분류

(1) 동일색상

표색계에는 혼색 체계와 현색 체계가 있으며, 혼색계의 표색치는 색감각(color sensation)에 기초한 심리물리적인 값인 측색치(삼자극치)이고 현색계의 표색치는 색지각(color perception)에 기초한 현색치(색상, 명도, 채도)이다. 혼색계의 측색치도 현색계의 현색치와 같이 명도는 식(4-1)과 식(4-2), 채도는 식(5-1)과 식(5-2)와 같고, 그리고 색상은 식(6-1)과 식(6-2)로 표현할 수 있다.

색의 정보인 분광반사율의 값이 달라도 전체의 형태가 비슷한 분광반사율에 대한 색상의 집합을 동일색상으로 정의한다. Fig.1은 IT8.7의 COLOR TARGET에 있는 Cyan, Magenta, Yellow, Red, Green, Blue의 색표의 분광반사율을 측정하여 $a^* - b^*$ 평면에 표시한 것으로, 같은 색상에 대해서도 원점에서 가장자리로 비직선적으로 변화하고 있다. 그리고 Fig.2는 Cyan 잉크의 망점 면적율에 대한 분광반사율을 나타낸 것으로, 각 파장에 대한 분광반사율의 값은 달라도 각각의 분광반사율에 대한 전체의 형태가 비슷함을 알 수 있다. 따라서, Fig.2와 같은 분광반사율의 집합을 동일색상이라 한다.

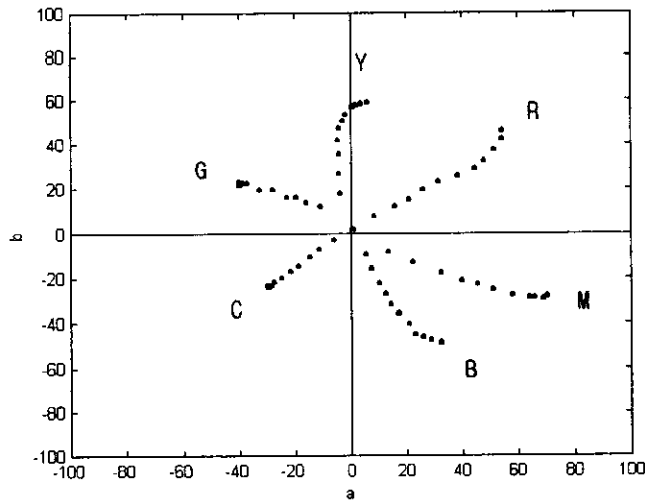


Fig.1 The $a^* - b^*$ chromaticity coordinates of the cyan, yellow, magenta, red, green, and blue ink for 12 steps.

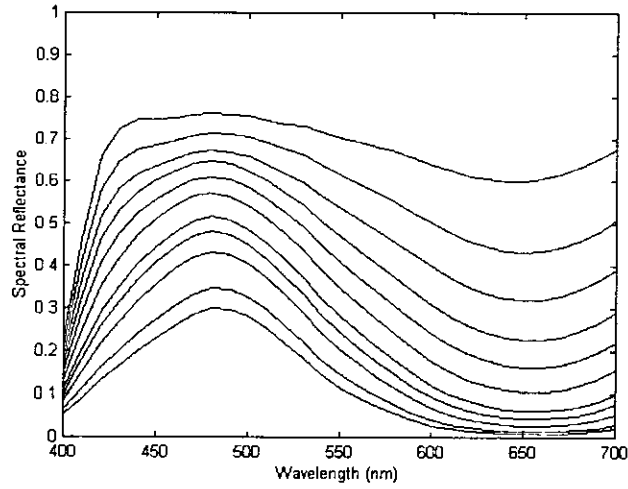


Fig 2. The spectral reflectance of cyan ink for 11 steps.

(2) 채도벡터에 의한 무채색 분류와 색상각에 의한 동일색상의 분류

Fig.3은 임의의 색 자극 P의 좌표는 (a_p^*, b_p^*) 이고, 색 자극 P의 색상각은 h_p 이고 원점을 중심으로 반경 r 이내의 범위를 무채색 영역이라 하고, 그 바깥의 범위를 유채색 영역이라 정의한다. 예를 들어 임의의 색 자극 P의 동일색상은 h_p 에서 $\pm \Delta h_p$ 범위의 빔금친 부분이며, 색상각 h_1 에서 h_2 사이의 범위 중 무채색 범위를 제외한 범위의 색상들의 집합으로 한다.

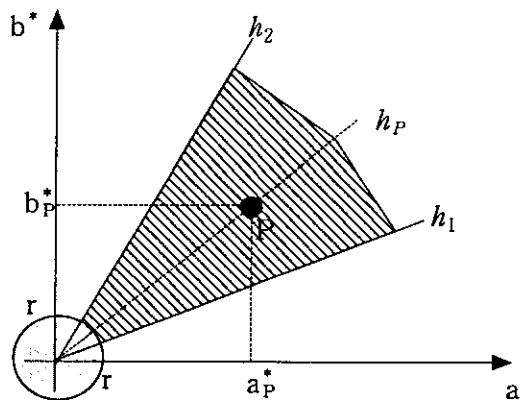


Fig.3 Definition of the achromatic area and the same hue corresponding to color stimulus P.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 실험방법

임의의 색자극 P 에 대한 동일색상의 모집단 생성은 물체의 분광반사에 대한 모집단으로부터 채도벡터와 색상각을 이용하여 생성한다. 분광반사의 모집단은 먼셀 색표 1485개를 Spectro Photometer로 측정하여 구성하였고, 동일색상의 모집단 생성에 사용한 시험 색 자극은 FUJI PHOTO FILM에서 제작한 IT8.7의 COLOR TARGET의 264색을 사용한다. 실험방법과 순서는 다음의(1)항에서 (5)이며, Fig.4는 제안한 방법에 의한 동일색상의 모집단 생성을 나타낸 그림이다.

- (1) 측정된 시험색의 분광반사율로부터 RGB 필터를 사용하여 디지털 신호값으로 변환한다. 여기서 (x,y) 는 이미지의 좌표를 나타내고, $R(x,y)$, $G(x,y)$, $B(x,y)$ 는 좌표 (x,y) 의 디지털 신호값이다.
- (2) $R(x,y)$, $G(x,y)$, $B(x,y)$ 로부터 $L^*(x,y)$, $a^*(x,y)$, $b^*(x,y)$ 값으로 변환한다.
- (3) 식 (5-1)과 식 (6-1)을 이용하여 색자극 P 에 대한 채도 $C_P^*(x,y)$ 와 색상 $h_P(x,y)$ 를 계산하여, 데이터 베이스로부터 색자극 P 에 대한 동일색상의 분광반사를 추출하여 모집단을 생성한다.
- (4) 주성분의 누적기여율에 의한 동일색상 모집단의 정도를 평가한다.
- (5) 주성분 분석에 의한 분광반사 추정한다.

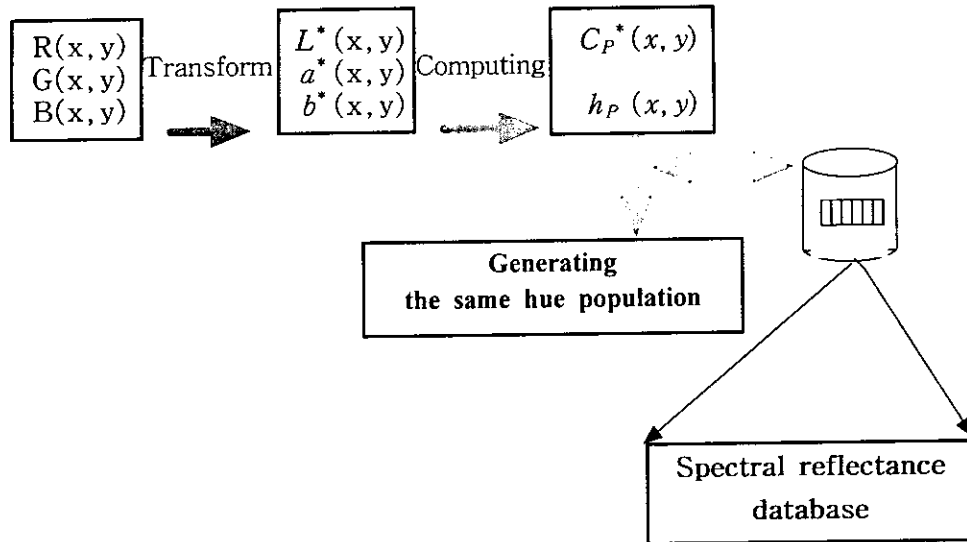


Fig.4 Schematic diagram of the same hues population generating

3.2. 실험결과 및 고찰

(1) 물체의 모집단과 시험 색자극

Fig.5는 물체의 모집단으로 사용한 색자극은 Munsell Color의 1485개를 사용하였고, 색자극의 $L^*a^*b^*$ 데이터로부터 a^*-b^* 색도도에 나타낸 것이다. 그리고 Fig.6은 실험에 사용할 색자극의 a^*-b^* 색도도를 나타낸 것으로, 시험 색자극은 FUJI PHOTO FILM에서 제작한 IT8.7의 COLOR TARGET의 264색이다. 두 그림에서 알 수 있는바와 같이 물체의 모집단과 시험 색자극 모두가 전체를 대표할 수 있는 분포를 하고 있다.

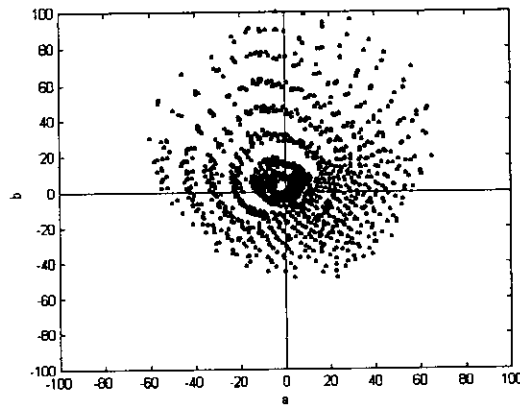


Fig.5 The a^*-b^* chromaticity coordinates of the Munsell color stilmulus

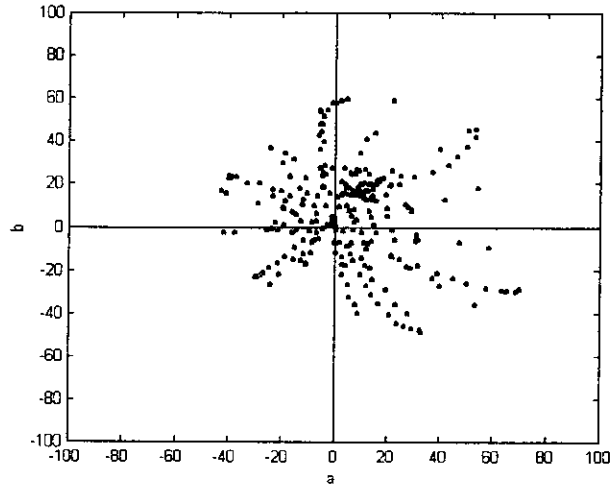


Fig.6 The $a^* - b^*$ chromaticity coordinates of the test color stimulus.

(2) 시험 색자극에 대한 동일색상의 허용 색상각

IT8.7의 COLOR TARGET에서 Cyan, Yellow, Magenta, Red, Green, Blue의 6색에 대한 12단계의 색자극에 대한 $a^* - b^*$ 색도 좌표는 Fig.1과 같으며, Table 1에 이들의 좌표값을 나타내었다. 각 색 자극에 대한 색상각 범위는 일정하지 않으나, 각 색상에 있어서 12단계의 색자극에 대한 $a^* - b^*$ 색도 좌표 중 최외각에 위치하는 색자극을 기준으로 색상각의 범위를 계산한다. 그 결과, Yellow와 Green의 색상각 범위는 넓고 다른 색자극의 색상각 범위는 좁게 나타났다. 이들의 데이터로부터 임의의 색자극 P에 대한 색상각 범위 Δh_p 는 약 10도~15도로 나타났다.

(3) 동일색상 모집단 생성과 분광반사율 추정

Table 2는 시험 색자극 264개에 대해 생성된 동일색 모집단에 대해서 기저함수의 변화에 따른 누적 기여율과 추정된 분광반사율의 MSE(Mean Square Error)를 나타낸 것이다. 일반적으로 자연색의 경우 5번째 기저함수까지의 누적 기여율이 99.6%였으나, 제안된 방법으로는 3번째 기저함수까지의 누적기여율이 99.6%로 나타나 동일색상 모집단이 잘 생성되었음을 알 수 있다. 그리고 3번째 기저함수까지의 누적기여율을 이용해 시험 색 자극에 대한 원고의 분광반사율과 추정된 분광반사율의 MES가 Table 2에 나타내었고, 이들 평균이 0.0035로 나타났으며, Fig.8은 시험 색자극의 분광반사율과 추정된 분광반사율을 비교하여 나타낸 것이다.

Table 1. The $a^* - b^*$ chromaticity coordinate values of the 6 color ramps.

| | Cyan | | | Magenta | | | Yellow | | |
|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* |
| 1 step | 90.93 | 0.86 | 1.66 | 91.02 | 0.86 | 1.70 | 90.99 | 0.89 | 1.46 |
| 2 step | 86.73 | -5.80 | -3.45 | 83.28 | 13.72 | -8.26 | 89.03 | -3.36 | 17.69 |
| 3 step | 81.65 | -11.24 | -7.13 | 78.70 | 22.43 | -13.36 | 86.95 | -4.05 | 26.96 |
| 4 step | 77.01 | -14.71 | -10.67 | 72.71 | 32.57 | -17.76 | 84.43 | -4.02 | 35.70 |
| 5 step | 72.75 | -18.59 | -14.74 | 67.86 | 40.12 | -21.13 | 81.44 | -4.51 | 41.95 |
| 6 step | 68.73 | -21.56 | -17.21 | 65.00 | 45.64 | -23.29 | 78.61 | -3.88 | 47.28 |
| 7 step | 64.30 | -24.62 | -20.16 | 60.90 | 50.99 | -25.54 | 77.12 | -2.52 | 50.88 |
| 8 step | 59.08 | -27.35 | -22.18 | 56.09 | 57.98 | -27.74 | 72.63 | -1.39 | 53.73 |
| 9 step | 55.81 | -28.26 | -23.55 | 51.39 | 63.87 | -29.11 | 71.26 | 0.65 | 57.13 |
| 10 step | 51.92 | -29.50 | -24.08 | 49.65 | 65.75 | -28.99 | 70.44 | 2.10 | 57.56 |
| 11 step | 45.48 | -30.02 | 23.69 | 46.37 | 69.24 | 29.34 | 71.65 | 3.78 | 58.36 |
| 12 step | 41.37 | -29.66 | -23.73 | 45.68 | 70.38 | -28.30 | 72.29 | 6.07 | 59.15 |
| | Red | | | Green | | | Blue | | |
| | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* | L^* | a^* | b^* |
| 1 step | 90.64 | 1.30 | 1.30 | 91.15 | 0.83 | 1.39 | 90.62 | 1.24 | 1.34 |
| 2 step | 84.54 | 8.61 | 7.24 | 83.86 | -10.86 | 12.05 | 82.42 | 5.71 | -9.48 |
| 3 step | 78.34 | 15.97 | 12.02 | 78.52 | -16.04 | 13.86 | 73.98 | 7.76 | -15.88 |
| 4 step | 74.52 | 21.00 | 14.76 | 73.72 | -19.48 | 16.30 | 66.65 | 10.38 | -22.38 |
| 5 step | 69.55 | 26.28 | 19.60 | 70.99 | -22.73 | 16.38 | 59.09 | 12.58 | -27.41 |
| 6 step | 64.56 | 31.72 | 23.34 | 64.41 | -27.89 | 19.59 | 53.43 | 14.41 | -31.74 |
| 7 step | 59.05 | 38.74 | 25.54 | 58.17 | -32.71 | 19.84 | 47.61 | 17.12 | -35.81 |
| 8 step | 53.80 | 44.70 | 28.91 | 52.03 | -36.96 | 22.58 | 40.43 | 21.06 | -41.04 |
| 9 step | 50.44 | 47.98 | 32.77 | 48.16 | -39.51 | 21.94 | 30.17 | 23.51 | -45.37 |
| 10 step | 45.30 | 51.55 | 37.44 | 45.75 | -40.06 | 22.95 | 24.95 | 26.28 | -46.50 |
| 11 step | 40.54 | 54.29 | 42.50 | 39.42 | -39.97 | 22.24 | 20.48 | 29.00 | -47.60 |
| 12 step | 40.24 | 54.37 | 46.01 | 36.04 | -38.65 | 22.44 | 16.91 | 32.64 | -49.03 |

Table 2 The cumulative proportional ratio according to the number of basic function

| IT8.7 | Basic functions | | | | |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1st. | 2nd. | 3rd. | 4th. | 5th. |
| A1 | 94.60 | 99.55 | 99.79 | 99.96 | 99.98 |
| A2 | 94.79 | 99.57 | 99.80 | 99.96 | 99.99 |
| A3 | 95.13 | 99.42 | 99.74 | 99.93 | 99.96 |
| A4 | 95.13 | 99.42 | 99.74 | 99.93 | 99.96 |
| A5 | 94.07 | 99.55 | 99.79 | 99.96 | 99.99 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| L18 | 91.71 | 98.64 | 99.61 | 99.88 | 99.96 |
| L19 | 92.21 | 98.72 | 99.62 | 99.88 | 99.96 |
| L20 | 92.45 | 98.84 | 99.67 | 99.90 | 99.96 |
| L21 | 92.63 | 98.90 | 99.70 | 99.90 | 99.96 |
| L22 | 90.61 | 98.50 | 99.39 | 99.71 | 99.93 |
| Average | 85.92 | 98.68 | 99.60 | 99.89 | 99.96 |

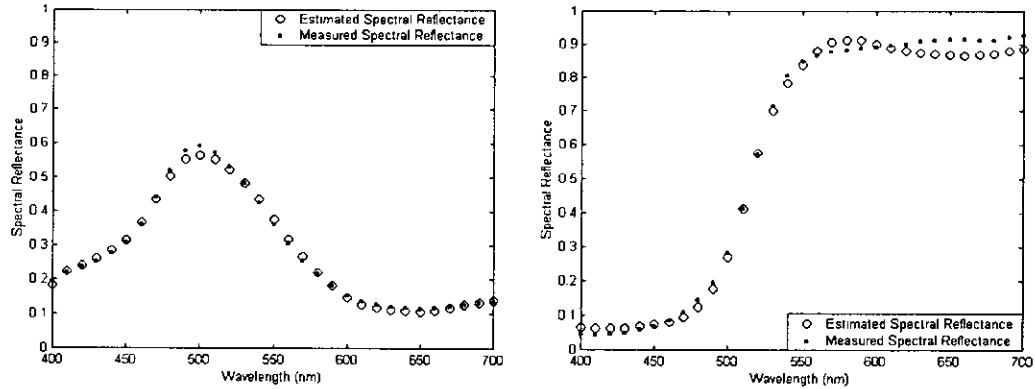


Fig.8 Comparison with estimated and original spectral reflectances for test color stimulus.

IV. 결론

분광반사율 정보를 이용한 색 영상처리의 필요성이 높아지면서 분광반사율 추정에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며, 본 연구에서는 3차원의 정보로부터 고차원의 분광반사율 정보를 복원하기 위하여 색상각과 채도벡터를 이용한 동일색상 모집단 생성에 관한 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법으로 시험색 264색에 대하여 동일색상을 분류한 후 각 시험색에 대한 누적기여율을 계산한 결과 3번째 기저함수까지의 누적기여율이 99.6%로 나타나 3대역 영상으로 물체의 분광반사율 추정이

가능함을 확인하였고, 시험 색자극 264개에 대한 측정된 분광반사율과 추정된 분광반사율의 MSE의 평균값이 0.035로 나타나 제안한 방법의 타당성과 유용성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] J.K.Eem, H.D.Shin and S.O.Park, "Reconstruction of surface spectral reflectances using characteristic Vectors of Munsell Colors." IS&T 1994 Color Imaging Conference Proceedings, pp. 127-131, 1994
- [2] H. Haneishi, T. Hasegawa, N. Tsumura, and Y. Miyake, "Design of color filters for recording artworks," IS&T 50th Annual conference, pp. 369-372, 1997.
- [3] C.G.Kim, S.T.Pang, J.P.Kim, E.H.Lee, S.C.Ahn, "The method to predict spectral reflectance of skin color by RGB color signals." J.KP, Soc, Vol.16, No.3, pp.97-108, 1998.
- [4] E.H.Lee, S.C.Ahn, J.H.Kim, "Accurate color reproduction using principal component analysis and a neural network based on reflectance spectra." The 10th annual conference of the Korean Society for Imaging Science, pp. 13-19, Dec, 1998.
- [5] S.C.Ahn, H.E.Choi, Y.miyake, "Color Image Reproduction Based on Spectral Reflectance Information." The 3rd Information Conference on Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems, pp.117-120, 1999.
- [6] S.H.Lee, S.T.Pang, C.H.Lee, S.C.Ahn, "Estimation of surface spectral reflectance using multi-band images." J. of Korean Society for Imaging Science & Technology, Vol.5, No.1, pp.82-87, 1999.
- [7] S.T.Pang, H.S.Oh, S.C.Ahn, "Development of color image processing system based on spectral reflectance ratio", J.KP, Soc, Vol.18, No.1, pp.25-33, 2000.
- [8] P.D.Burns and R.S.Berns, "Analysis of multispectral image capture", Proc. 4th IS&T/SID Color Imaging Conference, 19, 1999.
- [9] F.H.Imai and R.S.Berns, "High-resolution Multispectral Image Archives: A Hybrid Approach, Proc. of 6th Color Imaging Conference: Color Science, Systems, and Applications, pp.224-227, 1998
- [10] E.H.Lee, S.C.Ahn, J.H.Kim, "Color Reproduction Based on Spectral Reflectance", SPIE, San Jose, 2000