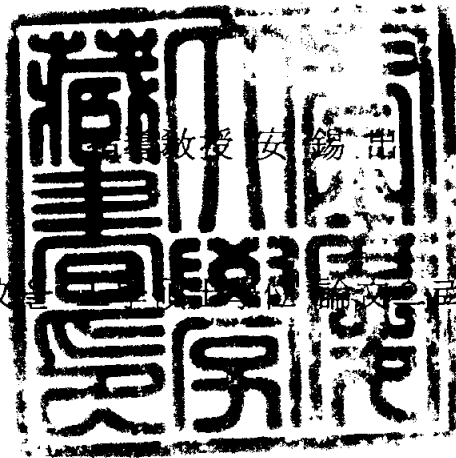


工學碩士學位論文

비선형 동일색상의 주성분을 이용한
RGB 신호의 분광반사율 추정



이 論文을 2003年 2月 2日 提出함

2003年 2月

釜慶大學校大學院

印刷工學科

安聖峨

安聖峨의 工學碩士學位 論文을 認准함

2002年 12月 26日

主 審 理學博士 李 相 南



委 員 工學博士 具 哲 會



委 員 工學博士 安 錫 出



목 차

목차	i
List of Figures	iii
List of Tables	iv
Abstract	v
 1. 서론	 1
 2. 분광반사율 추정 이론	 3
2-1. 빛과 색의 지각	3
2-1-1. 빛	3
2-1-2. Young-Helmholtz의 삼원색설	4
2-1-3. 색의 감각	5
2-1-4. XYZ 표색계	6
2-1-5. CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 색공간	8
2-1-6. 먼셀 표색계	10
2-2. 5-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	12
2-3. 3-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	14
2-3-1. 색상각과 채도벡터를 이용한 동일색상 모집단 생성	14
2-3-2. RGE 색신호를 이용한 물체의 분광 반사율 추정	14
2-3-3. 색상각을 이용한 동일색상 분류의 문제점	18

3. 비선형 동일 색상의 모집단 생성과 라벨링	20
3-1. 먼셀 색상을 이용한 비선형 동일색상 모집단 생성	20
3-2. 분할된 동일 색상의 라벨링	23
3-3. 동일색상 모집단의 데이터베이스 작성	25
4. 실험결과 및 고찰	26
4-1. 실험방법	26
4-2. 실험결과 및 고찰	27
4-2-1. a^*b^* 평면에서 먼셀 컬러 패치의 분포	27
4-2-2. 먼셀 색상을 이용한 비선형 동일색상의 생성과 라벨링	28
4-2-3. 비선형 동일색상 영역의 누적 기여율	30
4-2-4. 동일색상 영역의 평균 분광반사와 색도좌표	33
4-2-5. 분광반사를 추정	40
4-2-6. 분광정보를 이용한 이미지 처리	43
5. 결 론	46
참고문헌	48
감사의 글	50

List of Figures

Fig. 1	Tri-primary each receptor's spectral sensitivity.	5
Fig. 2	Sensation and spectral visual sensitivity.	6
Fig. 3	Color matching functions of standard colorimetric observer.	7
Fig. 4	Colorimetric system of Munsell Color wheel.	11
Fig. 5	Define the same hue corresponding to color stimular P.	14
Fig. 6	Classified same hue area by using hue angle.	19
Fig. 7	The same hue region for the Munsell color patch.	22
Fig. 8	Boundary function $f_1(a^*)$ and $f_2(a^*)$	24
Fig. 9	Labelled R and YR's hue region.	24
Fig. 10	Block daigram of the estimating spectral reflectance for RGB signals.	27
Fig. 11	Distribution of the Munsell Color Patch.	28
Fig. 12	Labelled classified 14 same hue area.	29
Fig. 13	Principal components of the same hue populations.	32
Fig. 14	Average spectral reflectance for the created same hue regions.	37
Fig. 15	The a^*b^* and xy coordinates for average spectral reflectance.	39
Fig. 16	Comparison of measured and estimated spectral reflectance of FUJI Color Target IT 8.7/2-1993.	42
Fig. 17	Special color Image reproduction under various illuminants.	44
Fig. 18	Natural color Image reproduction under various illuminants.	45

List of Tables

Table 1. Coordinate Data's example	23
Table 2. The same hue data base of 14 regions	25
Table 3. Label's values for the 14 same hue regions	29
Table 4. Cumulative contribution ratio of from the 1st principal components to the 3rd for the created the nonlinear same hue populations	31
Table 5. Average spectral reflectance for 14 same hue region and total samples(I)	34
Table 6. Average spectral reflectance for 14 same hue region and total samples(II)	35
Table 7. Tristimulus, $L^*a^*b^*$, and xy coordinates for the average spectral reflectance of 14-same hue region	38
Table 8. Comparision of the measured value and estimated value	41

Spectral reflectance estimation of RGB signal by using principal components of the nonlinear same hue population.

Sung-A Ahn

*Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

As information-communication network has been developed rapidly, internet users' circumstances also have been changed for the better, in result, more information can be applied than before. Also, the application is not focused on the text any more, but the visual information has become the main stream. As the internet circumstances have become more comfortable than before, internet users are generalized from some specialists to general public. Therefore, everything which are used in our daily life, for example, internet shopping center, internet broadcasting, and internet theater can be met by CRT. At this moment, there are many differences between real color and reappeared color on the CRT.

When we observe a material object, our eyes perceive the multiplied form of light sources and nature spectral reflection. However, when the photographed signal is reappeared, illumination at that time of photographing and spectral reflection of a material object are converted into signal, and this converted RGB signal is observed on the CRT under another illumination. At this time, RGB signal is the reflected result of illumination at that time of photographing. Therefore, this signal is influenced by the illumination at present, so it can be perceived another color. Frequently, color is also as much important part as the design and quality of goods when want to buy some goods on the internet. However, there are some differences between reappeared color and real color of goods.

To accord the color reflections of another color source, the study has been reported by S.C.Ahn^[1],

which study is about the color reappearance system using neuron network. Furthermore, color reappearing method become independent of its circumstances has been reported by Y.Miyake^[2]. This method can make the same illuminations even if the observe circumstances are changed. To assume the light sources of observe circumstances, the study about color reappearing system using CCD sensor also have been studied by S.C.Ahn^[3].

In these studies, a population is fixed, first, on ab coordinates of CIE L*a*b*. Then, color reappearing can be possible using every population and existing digital camera. However, the color is changed curvedly, not straightly, according to value's changes on the ab coordinates of CIE L*a*b*.

To solve these problems in this study, first of all, Labeling techniques are introduced. Next, basis color—it is based on Munsell color system—is divided into 10 color fields. And then, 4 special color—skin color, grass color, sky color, and gray—are added to the basis color. Finally, 14 color fields are fixed. After analyzing of the principle elements of new-defined-color fields' population, utility value and propriety value are going to be examined in 3-Band system from now on.

1. 서 론

최근 21세기의 핵심인 초고속 정보통신망의 급속한 발전의 영향으로, 인터넷 사용자의 환경이 개선되어 보다 많은 정보를 활용할 수 있게 되었다. 기존의 텍스트 중심의 활용에서 벗어나 시각적인 정보가 주류를 이루게 되었다. 인터넷 환경 또한 보다 사용하기 편리해지면서, 사용자 층이 컴퓨터를 전공하였거나 활용하고 있던 전문가 중심에서 일반인들에게까지 보편화되었다. 이러한 환경에 힘입어 인터넷 쇼핑몰, 인터넷 방송, 인터넷 영화관 등 일상생활에서 사용하는 모든 것들을 인터넷을 통해 만날 수 있게 되었다. 특히 인터넷 쇼핑몰에 대해서 구매하려는 상품이 사실과 같이 CRT에 재현될 것이 요구된다. 그러나 CRT를 관찰하는 환경이 다르고 이로 인해 CRT에 재현되는 색이 주위 조명에 따라 실제의 색과 많은 차이를 나타내고 있다.

우리가 물체를 관찰할 때 지각되는 물체의 색은 조명광원과 물체 고유의 분광 반사율이 곱해진 형태이다. 그러나 컬러TV의 촬상기로 획득된 컬러 신호를 CRT상에 재현할 때에는 획득할 당시의 조명광과 물체 고유의 분광 반사율이 곱해져 RGB 신호로 변환되어지고, 변환되어진 RGB신호는 다른 조명 하에서 CRT상에 재현되어 사람들에게 관찰된다. 이 때, RGB 신호는 촬영당시의 조명이 반영된 결과이고, 관찰환경 즉 조명의 영향을 받게 되므로 실제로 원고의 색과 다소 다른 색으로 인식된다. 흔히, 인터넷 쇼핑몰에서 물건을 구입하고자 하는 경우, 원하는 상품을 선택할 때 디자인, 상품의 품질과 마찬가지로 색상도 선택에 있어 중요한 부분이다. 하지만, CRT상에 재현된 색상과 실제 상품의 색상이 다른 경우가 있다.

따라서 관찰환경에 독립한 색재현 방법이 일본의 Y. Miyake등에 의해 보고된 바 있으며, 우리나라에서도 다른 광원의 색영상을 일치시키기는 색재현 방법이 보고된 바 있다^{[1]~[4]}. 이와 같이 관찰환경에 독립적인 색재현 시스템을 구현하기 위해서는 색영상 획득시의 광원정보와 물체 고유의 분광반사율 정보를 알고 있으면 편리하다. 그러나 가시영역의 분광정보는 31(또는 61)차원이므로 3

차원의 컬러 사진 대신에 31차원의 이미지 획득은 불가능하다. 따라서 저차원 정보로부터 고차원을 복원하는 멀티밴드 이미지 획득장치로 물체의 고유 분광 반사율 정보를 이용한 이미지 처리 시스템이 개발되었고, 이들 시스템은 5-밴드 영상획득 장치라고도 한다. 5-밴드 영상획득 장치는 동일한 피사체를 5번 촬영해야 하므로 옥외의 피사체나 움직이는 영상의 획득은 불가능하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 S.C.Ahn등은 색상각과 채도벡터를 이용하여 동일색영역을 분류하여 3-밴드 이미지로 물체의 분광반사율을 추정하는 방법이 보고된 바 있다^{[3]~[6]}.

색상각과 채도벡터를 이용하여 제3주성분까지의 누적기여율이 99.5%이상이 되도록 동일 색상 영역으로 분류하였다. 이 방법은 광원정보만 알고 있다면, 상용화로 개발되어있는 디지털 카메라를 이용하여 획득한 RGB 신호로부터 분광 반사율 추정은 가능하였다. 그러나 데이터베이스를 구축하기 위한 많은 작업량과 RGB 신호로부터 분광반사율을 추정하는 처리시간이 길어서 실용화에는 약간의 문제점이 있었다.

본 논문에서는 RGB 3-밴드 영상을 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서 문제점으로 나타난 데이터베이스 구축의 어려움과 처리시간의 문제점을 해결하기 위해서 비선형 동일색상 생성과 라벨링 방법을 제안하였다. 자연색을 대표하는 먼셀 컬러 패치를 측정하여 a^*b^* 색도도에 기점하고, 10개의 기본 먼셀 색상에 따라 비선형으로 분류한다. 그리고 피부색, 하늘색, 그리고 잔디색의 기억색 3종류와 회색을 포함하여 모두 14종류의 동일색상 모집단으로 분류하였다.

제안된 방법의 타당성과 유용성을 확인하기 위하여 새롭게 정의된 비선형 동일 색상 영역의 제3주성분까지의 누적기여율과 XYZ 신호로부터 추정한 분광 반사율과 실측한 분광반사율을 색차와 평균자승오차로 나타내었다.

2. 분광반사율 추정 이론^{(1)~(6)}

2-1. 빛과 색의 지각

2-1-1. 빛

빛은 전자파의 일종이고, 눈에 들어와 시 감각(視 感覺)을 일으키는 방사(放射)를 말한다. X선에서 라디오 전파까지 포함한 전자파 중에서 빛의 파장범위(가시파장영역)는 매우 좁다. 단파장은 360nm~400nm이고, 장파장의 범위는 760nm~830nm이다. 태양과 같은 백색의 빛을 프리즘에 통과시키면 무지개와 같이 적·등·황·녹·청·남·자색의 7색으로 나타나는 것은 이미 잘 알려진 사실이다.

무지개는 7색이라 말하지만 이는 파장의 범위를 넓게 나눈 것이고, 자세히 보면 더욱 많은 색이 있음을 알 수 있다. 그러나 이들의 많은 색 중에서 임의의 색은 프리즘으로 그 이상 나눌 수 없다. 이와 같이 프리즘으로 그 이상 나눌 수 없는 빛을 단색광(monochromatic light)이라 하며, 태양광과 같은 백색광은 많은 단색광이 모여 있으며, 단색광을 파장 순서로 나열한 것을 스펙트럼(spectrum)이라 한다.

눈에 들어온 빛은 태양의 빛이나 조명 빛과 같이 광원으로부터 나오는 직접적인 빛도 있으나 대부분은 물체를 투과하거나 물체의 표면으로부터 반사한 빛이다. 어떤 물체가 단색 광을 모두 반사하면, 반사한 빛은 백색 광이므로 그 물체는 백색이고, 단색 광을 일정한 비율로 반사하면 그 물체는 회색으로 보인다. 자색~황색 광의 반사가 적다면, 적색광의 반사가 상대적으로 많아지게 되고, 그 물체는 적색으로 보인다. 이와 같이 반사광량이 파장에 의존하는 것이 물체에 색이 있는 것처럼 보이는 이유이고, 투과와 반사의 경우와 동일하다.

2-1-2. Young-Helmholtz의 삼원색설

색각의 구조에 관해서는 옛날부터 여러 가지의 학설이 제안되어 왔으나, 그 중에서 삼원색설(trichromatic theory)은 1802년 Young이 제안하였고, 그 후 1894년에 Helmholtz가 정량화 하여 발전시킨 것으로, “눈에는 적색(R), 녹색(G), 청색(B)에 감응하는 수광기(受光器)가 있고, 색각은 각 수광기가 빛에 대한 응답에 의해 생긴다.”라고 생각하였다. 예를 들면, 황색은 R 수광기와 G 수광기가 동시에 응답하여 생긴다. 삼원색설은 수광기의 수가 3개이며, 단순하므로 이해하기 쉽다. Fig.1은 삼원색설에 있어서 R, G, B 수광기가 파장에 따른 응답(삼원색 응답)을 나타내고 있으나, 이것은 심리평가법에 의해 간접적으로 추정된 결과이다. 삼원색 응답과 같이 일정한 단색광의 입력에 대한 수광기의 응답출력의 비를 분광응답도(分光応答度: spectral responsibility) 또는 분광감도(分光感度: spectral sensitivity)라 부른다.

2종류 이상의 색을 혼합하는 것을 혼색(color mixture)라 하고, 삼원색설은 R, G, B 광의 적당한 혼색으로 거의 모든 색을 재현할 수 있다는 것은 실험에 기반한 것이지 이론적으로 유도된 것은 아니다. 그러나 칼라 TV, 사진, 인쇄 등은 모두 삼원색설을 기반으로 개발된 것이다. 즉, 피사체의 색을 재현하는 색재현(color reproduction)에 사용하는 발광체(發光体)나 색재(色材)는 3종류이고, 색을 감응하는 구조의 분광감도는 삼원색응답 특성에 유사하도록 하고 있다. 이러한 색 재현계의 색 재현은 충분히 만족하고 있으므로, 삼원색설은 현실적으로 매우 유용한 가설이라 생각할 수 있다.

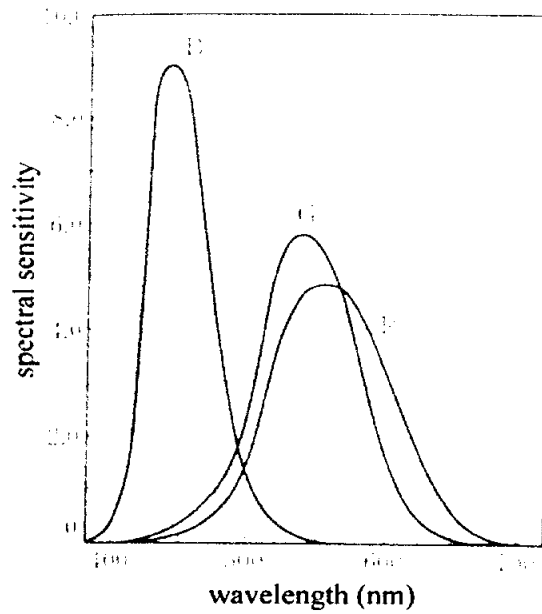


Fig. 1 Tri-primary each receptor's spectral sensitivity.

2-1-3. 색의 감각

임의의 물체에 조명 광이 닿으면 Fig. 2와 같이 반사하고, 반사된 색자극이 눈을 자극한다. 이때 반사된 분광방사 에너지(Φ_e)는 물리량으로 인간의 시각과는 독립이다. 분광방사 에너지를 입력 색자극으로 하면 인간 시각의 분광시감도(K_λ)에 의해 감각(Φ)이 이루어진다.

$$\Phi = K_\lambda \cdot \Phi_e \quad (1)$$

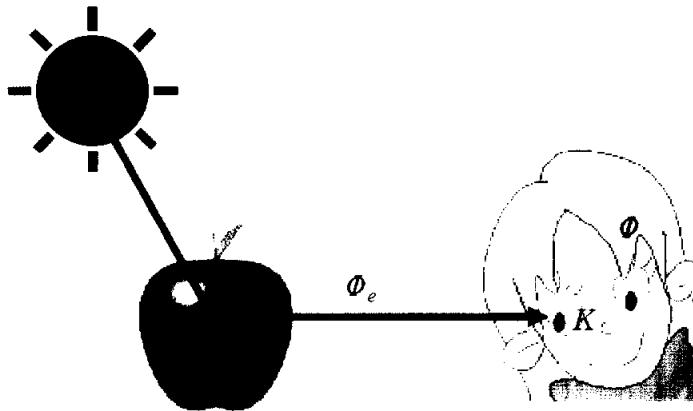


Fig. 2 Sensation and spectral visual sensitivity.

2-1-4. XYZ 표색계

CIE는 1931년에 *RGB* 표색계와 함께 등색함수의 값이 모두 양의 값으로 되는 *XYZ* 표색계(*XYZ color system*)를 도입하였다. *XYZ* 표색계는 CIE 1931 표색계(CIE 1931 standard colorimetric system)라고도 부른다.

XYZ 표색계의 등 에너지에 대한 등색함수 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 를 Fig.3에 나타내었다. 또, *XYZ* 표색계의 다른 하나의 특징은 $\bar{y}(\lambda)$ 를 분광시감효율과 같도록 한 것이다. 분광시감효율은 방사량으로 표시된 색자극의 분광분포를 측광량으로 변환하기 위한 것이므로 삼자극치 *Y*는 그대로 측광량을 나타내게 되어 편리하다. 더욱이 파장 $\lambda \geq 650nm$ 의 장파장 영역에서는 $\bar{z}(\lambda) = 0$ 가 되도록 정하고 있다. 이렇게 하면 삼자극치 *Z*의 계산량이 다소 적어지는 이점이 있다.

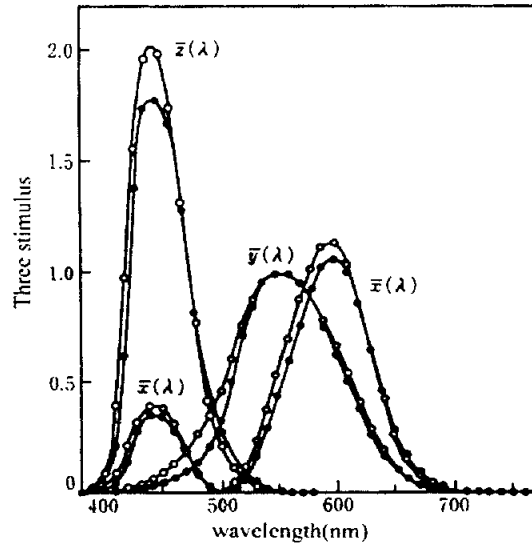


Fig. 3 Color matching functions of standard colorimetric observer.

삼자극치 X , Y , Z 는 삼자극치 R , G , B 로부터 변환식에 의해 구하여도 좋으나, 보통은 색 자극의 분광방사 $\phi_e(\lambda)$ 와 등색함수 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 를 사용하여 다음과 같이 직접 구한다.

$$\begin{aligned}
 X &= K \int_{\text{vis}} \phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\
 Y &= K \int_{\text{vis}} \phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\
 Z &= K \int_{\text{vis}} \phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 K 는 정수이고, 적분($\int_{\text{vis}}$)은 가시영역의 파장만 적분하라는 정적분의 적분구간을 나타낸다. 또 물체색의 색자극 $\phi_e(\lambda)$ 는, 반사물체와 투과물체에 대해서 식(3)과 식(4)로 나타낸다.

$$\phi_e(\lambda) = O(\lambda) \cdot E(\lambda) \quad (3)$$

$$\phi(\lambda) = T(\lambda) \cdot E(\lambda) \quad (4)$$

여기서 $E(\lambda)$ 는 조명광의 분광분포이고 $O(\lambda)$ 는 반사물체의 분광반사율, $T(\lambda)$ 는 투과물체의 분광투과율이다. 따라서 반사물체의 삼자극치 X, Y, Z 는 식(2)로부터 식(5)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= K \int_{\text{vis}} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{\text{vis}} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{\text{vis}} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (5)$$

그리고 삼자극치 X, Y, Z 는 표준 백색면의 Y 값을 100으로 정규화 된 값이고, 정수 K 는 식(6)과 같이 된다.

$$K = \frac{100}{\int_{\text{vis}} E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

2-1-5. CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간

현재 사용하고 있는 xy 색도도는 심리 물리적으로는 균등하지만 지각적으로 불균등하다. 그리고 균등 색도도에서는 명도의 균등성에 관해서는 고려하고 있지 않다. 즉, (x, y, Y) 대신에 (u', v', Y) 를 사용하면 색도 좌표의 균등성

은 증가하지만, 명도의 균등성에 관해서는 xy 색도도의 경우와 같다. 따라서 명도도 포함된 균등한 표색계를 고려하여, 이것을 균등색공간(uniform color space)라 부른다. 또, 균등 색공간에서 명도에 대응하는 좌표를 명도계수(psychometric lightness)라 한다. 그리고 CIELAB 색공간은 다음 식(7)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a^* &= 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 X, Y, Z 는 물체의 3자극치 이고, X_n, Y_n, Z_n 은 완전 확산 반사면의 삼자극치로 $Y_n=100$ 으로 규격화한다. 명도를 나타내는 L^* 은 CIE 1976 명도계수라 부른다. 단 식(7)은 $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n > 0.008856$ 의 범위에서 사용하며, 그 밖의 범위에서는 식(8)과 같이 수정식을 사용한다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - 16 \\ a^* &= 500 \left\{ f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right\} \\ b^* &= 500 \left\{ f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

단, 함수 f 는 다음 식과 같다.

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \frac{X}{X_n} > 0.008856 \quad (7-1)$$

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7.787 \left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116} \quad \frac{X}{X_n} \leq 0.008856 \quad (8-1)$$

함수 $f(Y/Y_n)$, $f(Z/Z_n)$ 도 같은 방법으로 구한다. 그리고 식(7)에서 채도 C_{ab}^* 와 색상 H_{ab} 는 식(9)와 식(10)으로 표현된다.

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (9)$$

$$H_{ab}^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (10)$$

2-1-6. 먼셀 표색계

먼셀 표색계는 미국의 화가 Munsell이 1905년에 고안하였고, 그 후 1930년에 OSA(Optical Society of America)의 측색 위원회에서 수정 보완한 것을 오늘날 사용하고 있다. 이 표색계는 원통좌표를 이용한 배열로, 명도(Munsell value) V를 세로 축으로 하고, 색상(Munsell hue) H를 원주방향으로 하며, 그리고 채도(Munsell chroma) C를 반경방향으로 배열하고 있다.

기본 색상으로는 Fig.4 와 같이 적색(R) · 황색(Y) · 녹색(G) · 청색(B) · 자색(P)의 5색을 선정하여 색상환을 5등분하여 배열한 후, 이들 색상의 중간 색상 YR · GY · BG · PB · RP를 배치한다.

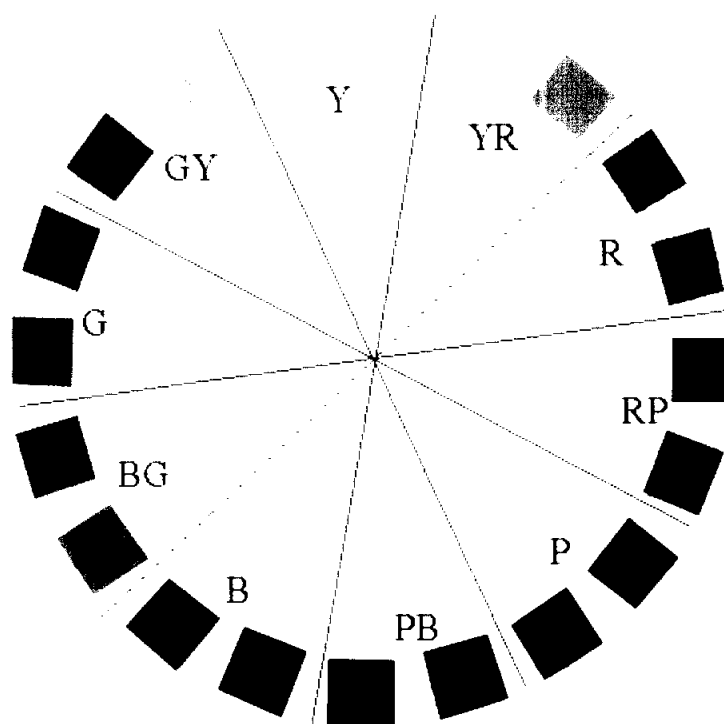


Fig. 4 Colorimetric system of Munsell Color wheel.

2-2. 5-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정

피사체로부터 반사되어 눈에 들어오는 자극치는 피사체 고유의 분광반사율 $O(\lambda)$ 와 조명광의 분광방사 $E(\lambda)$ 에 의해 색자극이 결정된다. 그러나 기존의 영상획득 시스템은 물체의 분광반사율을 나타내는 분광정보 $O(\lambda)$ 의 순수한 분광정보가 아닌 R(Red), G(Green), B(Blue)의 삼원색 정보로 저장된다. 이들 삼원색 RGB정보는 식(11)과 같이 물체의 분광정보 $O(\lambda)$, 조명광원의 분광방사 정보 $E(\lambda)$, 그리고 R,G,B삼원색의 파장영역으로 적분된 값이다.

$$\begin{aligned} R &= \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \overline{R}(\lambda) d\lambda \\ G &= \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \overline{G}(\lambda) d\lambda \\ B &= \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \overline{B}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $\overline{R}(\lambda)$, $\overline{G}(\lambda)$, $\overline{B}(\lambda)$ 는 시스템에 사용한 R,G,B 필터의 분광특성을 나타낸다. 이와 같이 R,G,B 색정보로 구성된 3차원의 밴드 이미지로부터 61(또는 31)차원의 분광반사율의 추정은 불가능하므로 멀티밴드이미지 획득 시스템이 개발되었다. 멀티밴드 이미지를 이용하여 물체의 분광 반사율을 추정하는 식은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{O}_{est} = \overline{\mathbf{O}} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \mathbf{u}_i \quad (12)$$

여기서 $\mathbf{O}_{est}$ 는 추정된 물체의 분광정보인 $O_{est}(\lambda)$ 의 벡터이고, $\overline{\mathbf{O}}$ 는 모집단의 평균분광 반사율 $\overline{O}(\lambda)$ 를 나타내며, $\mathbf{u}_i$ 는 주성분의 분광정보를 벡터로 나타낸 것이다. 그리고 α_i 전개계수이며 첨자 $i=1,2,\dots,p$ 로 분광정보의 차

원을 나타낸다.

분광정보의 파장 간격이 5nm인 경우는 61차원의 분광 데이터가 되며, 파장 간격이 10nm인 경우는 31차원의 분광데이터가 된다. 식(11)에서 제8주성분까지 사용하여 분광정보를 복원시켰을 때 거의 100%로 복원될 수 있음이 밝혀졌으며, 제5주성분까지 사용하여 분광 정보를 복원시켰을 때 99.6%이상의 복원율을 나타낸다^{[3]~[6]}.

일반적으로 멀티밴드 이미지 획득시스템은 5개의 밴드 이미지가 일반적이며, 이들 5개의 밴드 이미지는 분광정보를 복원하는데 필요한 식(11)의 전개계수 $a_1, a_2, \dots, a_5$ 를 구한다.

멀티밴드 이미지 획득 시스템은 동일한 피사체를 같은 조건으로 여러번 촬영해야 하므로, 옥외 영상이나 동영상 획득은 불가능하다.

2-3. 3-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정

디지털 카메라의 성능이 향상됨에 따라서 그 이용도가 높아지고 있으며 최근에는 스포츠 기사의 촬영 등에 기존의 은염사진 대신에 디지털 사진이 많이 활용되고 있다. 3-밴드 이미지로 분광 반사율 추정이 가능하다는 것은 상용화된 디지털 카메라를 사용하여 획득한 RGB 이미지를 사용하여 물체의 분광반사율 추정이 가능함을 의미한다. 5-밴드 이미지를 이용하여 물체의 분광 반사율을 추정하는 경우는 식(11)에서 알 수 있는 바와 같이 이미지 획득시의 광원정보를 알 필요가 없다. 그러나 3-밴드 이미지를 이용한 물체의 분광 반사율 추정에 있어서는 이미지 획득시의 광원정보를 알아야 한다. 여기서는 이미지를 획득할 때 사용한 광원을 표준의 광 D_{65} 로 한다.

2-3-1. 색상각과 채도벡터를 이용한 동일색상 모집단 생성

자연색을 대표하는 색의 모집단을 Fig.5와 같이 a^*b^* 색도도에 표시해 두고, 색상이 H 인 색자극 P 에 대한 동일색상은 채도벡터 C_{ab} 의 크기가 일정한 값 이하인 범위에 있는 회색성분을 제외하고 색상각이 H_1 과 H_2 사이에 있는 색으로 한다.

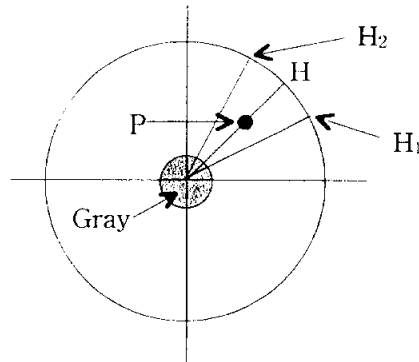


Fig. 5 Define the same hue corresponding to color stimular P.

2-3-2. RGB 색신호를 이용한 물체의 분광반사율 추정

피부색과 같은 특수색에 대한 분광반사율 추정에서 제3주성분까지의 누적 기여율이 99.7%로 나타났고^[5], 이것은 3개의 밴드 이미지를 사용하여 다차원(31차원)의 분광반사를 근사시킬 수 있음을 의미한다. Fig.5에서 색자극 P 의 색상각은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H_P = \tan^{-1}(b_P^*/a_P^*) \quad (13)$$

식(12)에서 p 가 3인 제3주 성분까지 이용하여 추정한 물체의 분광반사는 식(14)와 같이 된다.

$$\mathbf{O}_{\text{est}} = \overline{\mathbf{O}} + (\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3) \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} \quad (14)$$

여기서 $\overline{\mathbf{O}}$ 는 동일색상 모집단에 소속된 분광반사의 평균 벡터를 나타내고 있다. 그리고 임의의 색자극 XYZ 는 식(5)와 같이 표현된다. 식(14)의 추정한 분광반사 $\mathbf{O}_{\text{est}}$ 를 식(5)의 $O(\lambda)$ 에 대입한 후 벡터로 표시하면 식(15)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_i &= \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{x}} \mathbf{O}_i \\ \mathbf{Y}_i &= \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{y}} \mathbf{O}_i \\ \mathbf{Z}_i &= \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{z}} \mathbf{O}_i \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 $\mathbf{E}^t$ 는 $\mathbf{E}$ 의 전치행렬(transposition matrix)이며, 벡터 $\mathbf{E}, \mathbf{O}$ 는 $E(\lambda)$ 와 $O(\lambda)$ 의 벡터 표기이고, 등색함수 $\overline{x}(\lambda), \overline{y}(\lambda), \overline{z}(\lambda)$ 는 다음과 같이 표기한다.

$$\begin{aligned}
\overline{\mathbf{x}} \rightarrow \overline{\mathbf{x}}(\lambda) &= \begin{pmatrix} \overline{x}(\lambda_1) & \cdots & 0 \\ \cdots & \overline{x}(\lambda_2) & 0 \\ & \vdots & \\ \cdots & \cdots & \overline{x}(\lambda_n) \end{pmatrix} \\
\overline{\mathbf{y}} \rightarrow \overline{\mathbf{y}}(\lambda) &= \begin{pmatrix} \overline{y}(\lambda_1) & \cdots & 0 \\ \cdots & \overline{y}(\lambda_2) & 0 \\ & \vdots & \\ \cdots & \cdots & \overline{y}(\lambda_n) \end{pmatrix} \\
\overline{\mathbf{z}} \rightarrow \overline{\mathbf{z}}(\lambda) &= \begin{pmatrix} \overline{z}(\lambda_1) & \cdots & 0 \\ \cdots & \overline{z}(\lambda_2) & 0 \\ & \vdots & \\ \cdots & \cdots & \overline{z}(\lambda_n) \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{16}$$

식(14)의 $\mathbf{O}_{\text{est}}$ 를 식(12)의 벡터 $\mathbf{O}$ 에 치환하면 식(17)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
\mathbf{X}_i &\cong \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{x}} \overline{\mathbf{O}_i} + \mathbf{K} \mathbf{E}^t (\overline{\mathbf{x}} \mathbf{u}_{i-1} \overline{\mathbf{x}} \mathbf{u}_{i-2} \overline{\mathbf{x}} \mathbf{u}_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \\
\mathbf{Z}_i &\cong \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{z}} \overline{\mathbf{O}_i} + \mathbf{K} \mathbf{E}^t (\overline{\mathbf{z}} \mathbf{u}_{i-1} \overline{\mathbf{z}} \mathbf{u}_{i-2} \overline{\mathbf{z}} \mathbf{u}_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \\
\mathbf{Y}_i &\cong \mathbf{K} \mathbf{E}^t \overline{\mathbf{y}} \overline{\mathbf{O}_i} + \mathbf{K} \mathbf{E}^t (\overline{\mathbf{y}} \mathbf{u}_{i-1} \overline{\mathbf{y}} \mathbf{u}_{i-2} \overline{\mathbf{y}} \mathbf{u}_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{17}$$

그리고 식(17)을 행렬식으로 표현하면 식(18)과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \cong \begin{pmatrix} \overline{X_i} \\ \overline{Y_i} \\ \overline{Z_i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{i-1} & X_{i-2} & X_{i-3} \\ Y_{i-1} & Y_{i-2} & Y_{i-3} \\ Z_{i-1} & Z_{i-2} & Z_{i-3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \quad (18)$$

식(18)의 $\overline{X_i}, \overline{Y_i}, \overline{Z_i}$ 는 i 번 라벨의 모집단으로부터 평균 분광반사율에 대응하는 삼자극치로 식(19)와 같다. 그리고 3×3 매트릭스의 요소 $X_{i-m}, Y_{i-m}, Z_{i-m}$, ($m=1,2,3$)는 i 번 라벨의 모집단의 분광반사율에 대한 3개의 고유 벡터에 해당하는 삼자극치로 식(20)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{X_i} &= K E^t \overline{\mathbf{x}} \mathbf{O}_i \\ \overline{Y_i} &= K E^t \overline{\mathbf{y}} \mathbf{O}_i \\ \overline{Z_i} &= K E^t \overline{\mathbf{z}} \mathbf{O}_i \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} X_{i-p} &= K E^t \overline{\mathbf{x}} \mathbf{u}_{i-p} \\ Y_{i-p} &= K E^t \overline{\mathbf{y}} \mathbf{u}_{i-p} \\ Z_{i-p} &= K E^t \overline{\mathbf{z}} \mathbf{u}_{i-p} \end{aligned} \quad (20)$$

식(16)의 $\overline{X_i}, \overline{Y_i}, \overline{Z_i}$ 와 $X_{i-p}, Y_{i-p}, Z_{i-p}$ 는 i 번 라벨의 모집단에서 구해지며, 화소에 대한 삼자극치 X_i, Y_i, Z_i 는 NTSC 변환계수를 사용하여

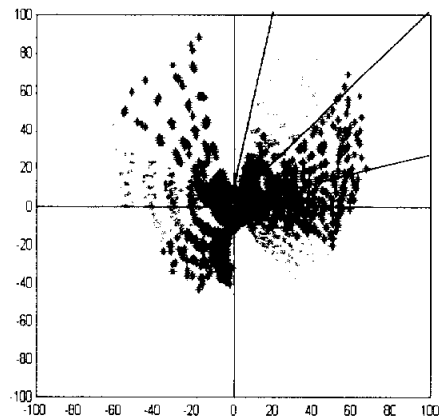
구할 수 있다. 그리고 i 번 라벨의 전개계수 α_{i-p} 은 식(21)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{i-1} & X_{i-2} & X_{i-3} \\ Y_{i-1} & Y_{i-2} & Y_{i-3} \\ Z_{i-1} & Z_{i-2} & Z_{i-3} \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \overline{X_i} \\ \overline{Y_i} \\ \overline{Z_i} \end{bmatrix} \right\} \quad (21)$$

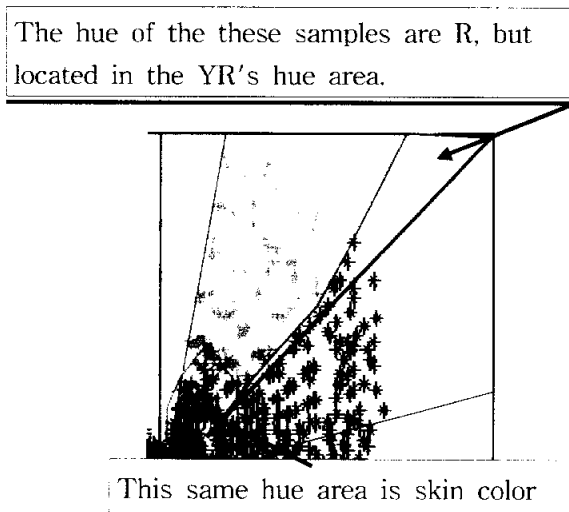
2-3-3. 색상각을 이용한 동일색상분류의 문제점

기존의 동일색상 분류 방법은 Fig. 6과 같이 색상각을 이용하여 동일 색상의 영역을 분류하였다. Fig. 6 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 먼셀 색표의 동일 색상에 대해서도 다른 색상의 영역으로 분류되고 있다. 이와 같은 이유로 제3 주 성분까지의 누적 기여율이 99.6%이상 이 되기 위해서 20종류의 동일 색상으로 분류되었다.

먼셀 색표의 R 색상을 색상각에 의해 YR과 RP로 분류할 때, R 색상에 속하는 다수의 데이터가 YR 색상 영역에 속해 있다. 그리고 피부색과 같은 특수색은 그레이 영역에서 Y, YR, R, 그리고 P 색상의 영역에 포함되고 있다. 이와 같은 특수색은 기존의 색상각 방법으로는 분류할 수 없는 문제점이 있다. 그리고 임의의 화소값 RGB에 대해서 분광반사율을 추정함에 있어서도 RGB값의 색상각 H_P 를 계산한 후 어느 영역에 속할 것인지를 인식하여야 한다. 이로 인한 처리량이 많아져 처리시간이 길어지는 문제점이 남아있다.



(a) Same hue area for the linear method.



(b) Enlarged same hue area for RP, R, and YR hue.

Fig. 6 Classified same hue area by using hue angle.

3. 비선형 동일색상의 모집단 생성과 라벨링

색상각을 이용한 동일색상 모집단의 생성과 분광반사율의 추정 방법은 정확한 추정은 가능하지만 데이터베이스 구축의 어려움과 처리의 복잡성 때문에 실용화가 어려운 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법이 비선형 동일색상 모집단의 생성과 각 모집단의 라벨링 방법이다. 비선형 모집단의 생성방법은 색상각을 이용한 동일색상 모집단 생성에서 먼셀 색상에서 같은 색상의 데이터가 다른 색상 영역으로 나타나는 문제점을 해결할 수 있고, 비선형으로 분류된 모집단을 인식하기 위한 방법이 각 모집단의 라벨링이다. 라벨링 방법에 의해 비선형으로 분류된 모집단의 인식은 물론 피부색과 같은 특수 색을 동일색상 모집단으로 생성할 수 있다.

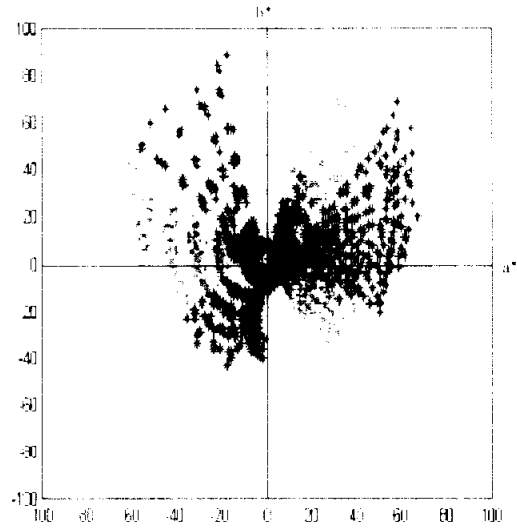
3-1. 먼셀 색상을 이용한 비선형 동일색상 모집단 생성

먼셀 색표 1563의 분광반사율을 측정한 후, 10종류의 동일색상에 대해서 제3주성분까지의 누적 기여율은 평균 99.7%로 나타났다. 따라서 이 사실은 10개의 동일색상 모집단으로 분류할 수 있음을 의미한다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 먼셀 색표의 동일 색상들이 색상각에 의해 선형적으로 분포되어 있지 않으므로 색상각을 이용한 방법의 분류방법으로는 불가능하다. 그리고 피부색이나 잔디색과 같은 기억색은 색재현에 매우 중요한 색상이므로 일반적으로 별도로 취급하고 있다. 이들 색상들도 색상각에 의해 선형적으로 분류되어 있지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서 비선형 동일 색상의 분류와 라벨링을 제시하였다.

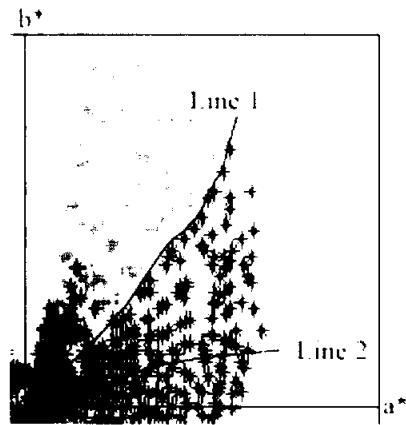
동일 색상 영역은 Fig. 4의 먼셀 색상환을 기반하여 기본 동일 색상과 회색의 11종류, 그리고 기억색인 피부색, 잔디색, 하늘색의 3종류의 동일 색상 영역을 추가하였다. 그리고 회색을 포함하여 모두 14종류의 동일 색상으로 분류하였

다. 이때 사용한 컬러 패치는 멘셀 컬러 패치 1563개를 분광반사율 측정계로 샘플의 분광반사율($O(\lambda)$)을 측정하였고, 기억색인 피부색, 잔디색, 그리고 하늘색은 컬러 사진과 인쇄물의 기억색 영역을 측정하여 모집단 분광 반사율 데이터로 활용할 수 있다.

측정한 데이터의 i 번째 분광반사율을 $O_i(\lambda)$ 라하고 표준의 광 D_{65} 의 분광 방사 에너지를 $E(\lambda)$ 할 때, i 번째의 삼자극치 $X_i Y_i Z_i$ 와 색자극의 $L_i^* a_i^* b_i^*$ 는 식(5)와 (7)에 의해 구한다. Fig. 7 (a)는 1563개의 멘셀 색표의 분광데이터로부터 구한 $L^* a^* b^*$ 값을 $a^* - b^*$ 색도도에 기점한 것이고, Fig. 7 (b)는 멘셀 색상 R을 멘셀 색상 RP와 YP로부터 구분한 것으로 중간의 +표시는 R 색상이고, 윗 부분은 YR 그리고 아랫부분은 RP 색상의 분포를 나타낸다.



(a) The a^*b^* chromaticity coordinates of the Munsell color patches.



(b) The a^*b^* chromaticity coordinates of the hue region
for the R's hue.

Fig. 7 The same hue region for the Munsell color patch.

Fig. 7 에서 R 색상의 영역을 분할하기 위해서 YR과 R의 경계에 있는 색표의 좌표를 추출하여 Line 1의 방정식 $f_1(a^*)$ 와 Line 2의 방정식 $f_2(a^*)$ 를 다항식 근사로 구한다.

Table 1. Coordinate Data's example

Line No	a,b Coordinate Data												
Line 1	a	3.00	8.00	13.00	21.00	26.00	31.00	37.00	42.00	47.00	53.00	58.00	63.00
	b	-4.00	-4.00	-5.04	-6.72	-8.63	-9.73	-10.70	-13.04	-13.92	-15.17	-15.39	-16.00
Line 2	a	3.00	8.00	13.00	21.00	26.00	31.00	37.00	42.00	47.00	53.00	58.42	63.00
	b	-5.00	-9.00	-14.20	-19.80	-25.80	-29.50	-36.30	-43.00	-48.00	-58.00	-68.80	-75.20

$$f_1(a^*) = 0.0008a^3 - 0.1826a^2 + 17.4474a - 507.4175 \quad (22)$$

$$f_2(a^*) = 0.0004a^2 - 0.0362a + 1.3599 \quad (23)$$

3-2. 분할된 동일 색상의 라벨링

먼저 색상별로 동일 색상 영역을 분류하면 Fig. 8과 같이 색상각에 대해서 비선형으로 분류되기 때문에 기존의 동일색상 분류방법^[7]에서 사용한 방법으로 입력 화소값이 소속되는 동일 색상 영역을 인식할 수 없다. 따라서 식(22)와 식(23)사이의 영역을 라벨링 한다. 만약 임의의 화소 값에 대해서 Fig. 9의 좌표 값(a^*, b^*)가 분류된 동일 색상의 영역이다.

Fig. 8(b)에서 R 색상 영역은 식(22)와 식(23)으로부터 다음의 두 조건을 만족하는 부분을 라벨 1로 한다.

$$[1] \ a^* \geq 0$$

$$[2] \ f_1(a^*) \leq b^* < f_2(a^*)$$

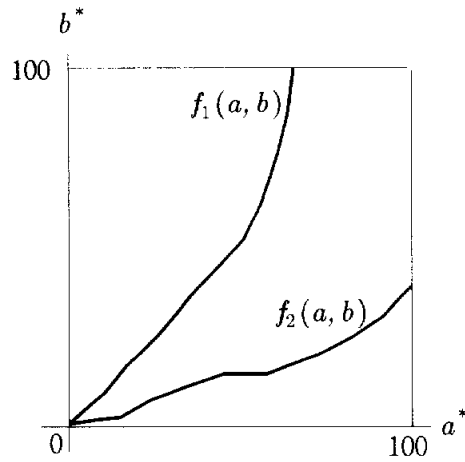


Fig. 8 Boundary function $f_1(a^*)$ and $f_2(a^*)$.

같은 방법으로 먼셀 색상 영역의 경계함수를 구한 후 각 영역에 적합한 조건으로 라벨 2에서 10까지 부여하고, 피부색, 잔디색, 하늘색 그리고 회색도 라벨을 부여한다. Fig. 9는 R과 YR 색상 영역에 1과 2의 라벨이 부여된 상태를 나타내고 있다.

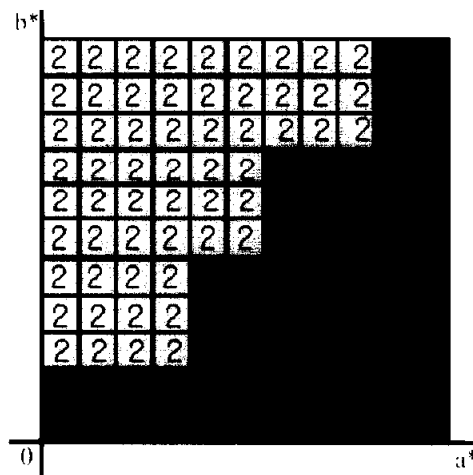


Fig. 9 Labelled R and YR's hue region.

3-3. 동일색상 모집단의 데이터베이스 작성

임의의 화소정보로부터 물체의 분광 반사율을 추정하기 위해서는 식(12)에서 알 수 있는 바와 같이 모집단의 평균 분광반사율 $\overline{O}(\lambda)$, 모집단의 주성분 u_i ($i=1,2,3$), 그리고 전개계수 α_i 를 알아야 한다. 모집단의 평균 분광반사율과 모집단의 주성분은 아래와 같이 사전에 계산하여 데이터베이스로 구축해 둔다. Table 2는 14개의 동일색상 모집단에 대해서 구축된 데이터베이스의 형태이다.

[1] 표준의 광(D_{65})에 대해서 a^*-b^* 평면에서 분류된 14개의 동일 색상 모집단 영역의 평균 분광반사율 $\overline{O}_{i-est}$ 를 구한다. 여기서 $i=1,2,\dots,14$ 로 분할된 모집단의 라벨을 나타낸다.

[2]. a^*-b^* 평면에서 14개의 동일 색상 모집단의 주성분 벡터 u_{i-1} , u_{i-2} , u_{i-3} 을 구한다. 여기서 $i=1,2,\dots,14$ 로 분할된 모집단의 라벨을 나타낸다.

Table 2. The same hue data base of 14 regions

Label value	Average spectral reflectance $\overline{O}(\lambda)$.	PC of u_1	PC of u_2	PC of u_3	Name of hue
1	$\overline{O}(\lambda)$	u_{1-1}	u_{1-2}	u_{1-3}	R
2	$\overline{O}(\lambda)$	u_{2-1}	u_{2-2}	u_{2-3}	YR
3	$\overline{O}(\lambda)$	u_{3-1}	u_{3-2}	u_{3-3}	Y
4	$\overline{O}(\lambda)$	u_{4-1}	u_{4-2}	u_{4-3}	GY
5	$\overline{O}(\lambda)$	u_{5-1}	u_{5-2}	u_{5-3}	G
:	:	:	:	:	:
14	$\overline{O}(\lambda)$	u_{14-1}	u_{14-2}	u_{14-3}	Gray

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 실험방법

제안한 방법으로 3장에서와 같이 동일색상의 제3주성분까지의 평균누적 기여율이 99.6%이상이므로 제3주성분까지 사용하여 물체의 분광반사율을 복원시킬 수 있다. Fig.10은 제안한 방법으로 구성한 데이터베이스와 라벨링이 부여된 동일색상 영역을 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하는 블록선도를 나타낸 것이다. 우선 그림에서와 같이 대상의 컬러 샘플을 XYZ값과 분광반사율을 측정해 둔다. 측정한 분광반사율은 광원의 분광방사 에너지를 적용하여 삼자극치 XYZ와 $L^*a^*b^*$ 값을 구하고, 측정한 XYZ를 분광반사율 추정 시스템의 입력값으로 하여 분광반사율을 추정한다. 추정한 분광반사율과 광원의 분광방사 에너지를 적용하여 $X'Y'Z'$ 를 계산 한 후 $L'^*a'^*b'^*$ 를 구한다. 실측값과 추정한 값의 정밀도는 두값의 색차 E_{ab} 와 MSE로 평가한다.

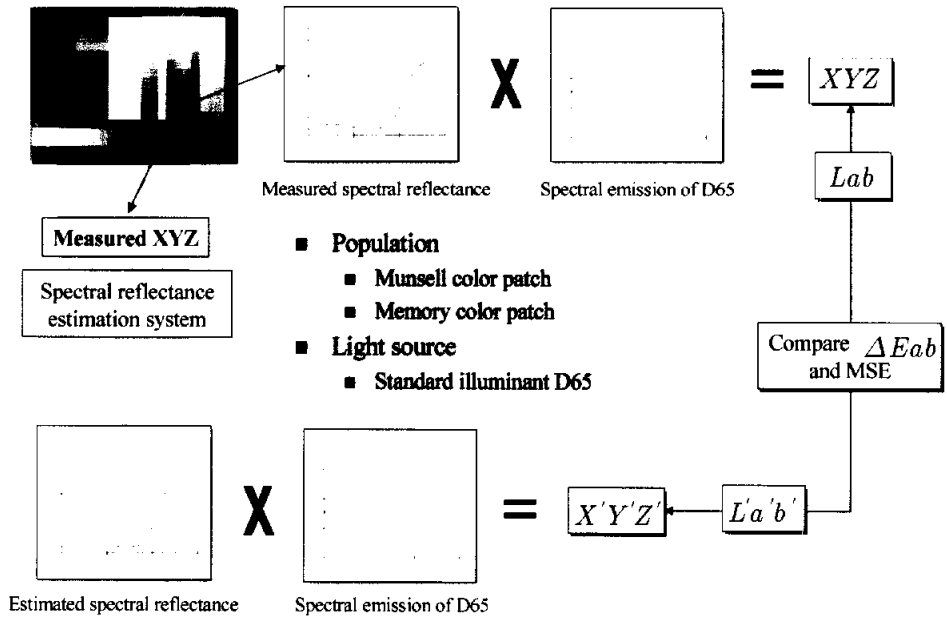


Fig. 10 Block diagram of the estimating spectral reflectance for RGB signals.

4-2. 실험결과 및 고찰

4-2-1. a^*b^* 평면에서 먼셀 컬러 패치의 분포

먼셀 컬러패치 1563개의 분광반사율을 측정하여 식(5)와 식(6)으로 구한 값을 a^*b^* 평면에 기점한 후, 각 색상들간의 경계점을 선으로 표시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 자연색을 대표하고 있는 먼셀 컬러패치의 분포는 $+b^*, -b^*$ 축에 대해서는 어느 정도 대칭적인 분포를 이루고 있으나, $+a^*, -a^*$ 축에 대해서는 대칭을 이루지 않고 $+b^*$ 영역의 데이터 수가 $-b^*$ 영역의 데이터 수보다 많은 분포를 이루고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Y 영역에서 $+b^*$ 의 최고 값은 약 100에 가깝게 분포되어 있으나, PB 영역에서

$-b^*$ 의 최저 값은 약 -60에 가깝게 분포되어 있다. 한편 R 영역에서 $+a^*$ 의 최고 값은 약 70이며, G 영역에서 $-b^*$ 의 최저 값은 약 -70으로 분포되어 있다.

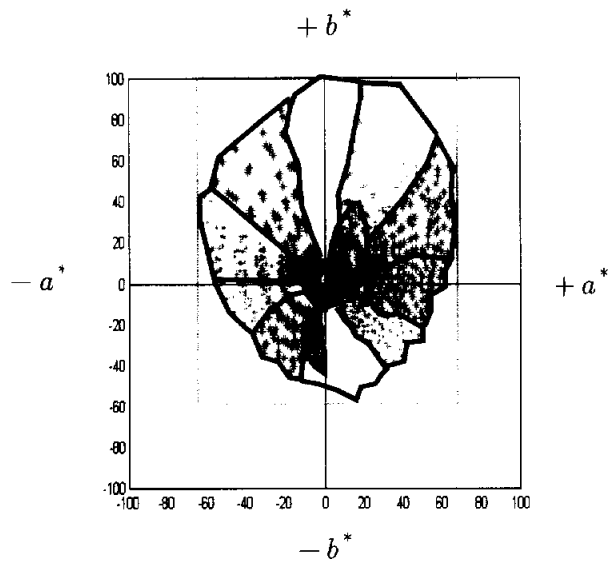


Fig. 11 Distribution of the Munsell Color Patch.

4-2-2. 먼셀 색상을 이용한 비선형 동일색상의 생성과 라벨링

Fig. 11에서 먼셀 색상의 경계치를 추출하여 식(22)과 식(23)에 의해 경계함수를 구한다. 이때 실제의 데이터 분포는 Fig. 11의 초록색 사각형 이내이지만 경계함수를 연장하여 최외곽점까지 유효 영역으로 가정하였다. Fig. 12는 경계함수를 연장하여 모든 색상의 최외곽점의 좌표는 $(|100|, |100|)$ 으로 하고, 각 영역의 모든 좌표에 라벨 값을 부여 하였다. 그리고 피부색, 잔디색, 그리고 하늘색은 데이터의 분포에 속하는 타원을 동일색상 영역으로 규정하여 라벨 11, 12, 13을 부여 하였고, 회색은 채도벡터 10이하인 영역을 규정하고 라벨 14를 부여

하였다. 데이터가 중첩된 경우에는 Gray가 최우선이고, 기억색 3종류는 먼셀 색 상영역보다 우선으로 라벨을 부여한다.

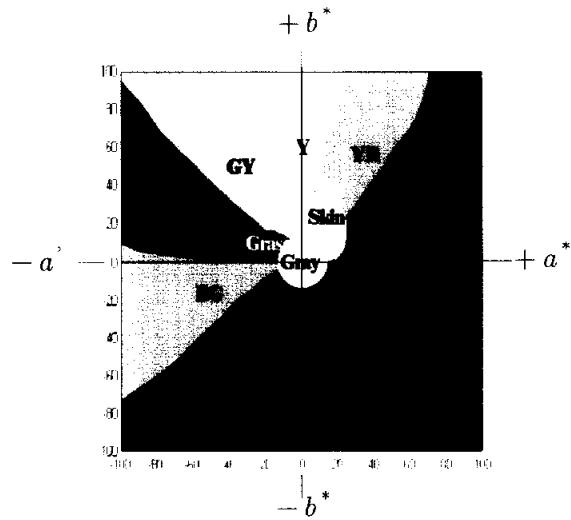


Fig. 12 Labelled classified 14 same hue area.

Table 3. Label's values for the 14 same hue regions

Hue	Label	Hue	Label
R	1	PB	8
YR	2	P	9
Y	3	RP	10
GY	4	Skin	11
Y	5	Green	12
BG	6	Sky	13
B	7	Gray	14

4-2-3. 비선형 동일색상 영역의 누적기여율과 주성분

[1] 비선형 동일색상 영역의 누적기여율

먼셀 색상을 기반하여 10종류의 동일색상과 3종류의 기억색에 대한 동일색상 그리고 채도벡터를 이용한 회색 등 모두 14종류의 동일색상 영역으로 분류하였다. 이들 각각의 동일색상 영역에 포함되어 있는 물체의 분광반사율에 대한 주성분을 분석하여 제1주성분의 기여율, 제2주성분까지의 누적기여율, 그리고 제3주성분까지의 누적기여율을 Table 4에 나타내었다. 이들 평균 누적기여율은 99.68이고, 최고 누적기여율은 99.9이며, 최저 누적기여율은 99.3으로 나타났다. 누적 기여율이 낮은 동일색상 영역은 Y영역과 GY 영역이고, P 영역과 RP 영역도 평균 값 이하로 나타났다.

Y 영역과 GY 영역은 Fig.11에서 알 수 있는 바와 같이 영역이 넓은 반면 데이터가 일정하므로 분광분포의 유사성이 낮음으로 발생하는 것으로 보여진다. 99.4%의 누적 기여율로 물체의 분광반사율을 추정하는데 문제가 없다. 만약 누적기여율이 낮아서 문제가 발생한다면 그 영역의 데이터를 추가 하거나 영역을 분할하는 방법으로 해결할 수 있다.

Table 4. Cumulative contribution ratio of from the 1st principal components to the 3rd for the created the nonlinear same hue populations

	Contribution ratio of the 1st PC.	Cumulative contribution ratio of the 1st and the 2nd PC.	Cumulative contribution ratio of from the 1st PC and the 3rd PC.
R	75.4	97.8	99.6
YR	82.0	98.7	99.8
Y	85.6	97.9	99.4
GY	91.2	96.9	99.3
G	94.4	99.2	99.7
BG	94.4	99.4	99.8
B	92.3	99.3	99.7
PB	93.0	98.6	99.8
P	92.8	98.4	99.5
RP	84.4	98.8	99.5
Skin color	93.4	99.2	99.8
Sky color	97.4	99.5	99.9
Grass color	99.5	99.8	99.9
Gray	98.7	99.7	99.9

[2] 비선형 동일색상 영역의 주성분

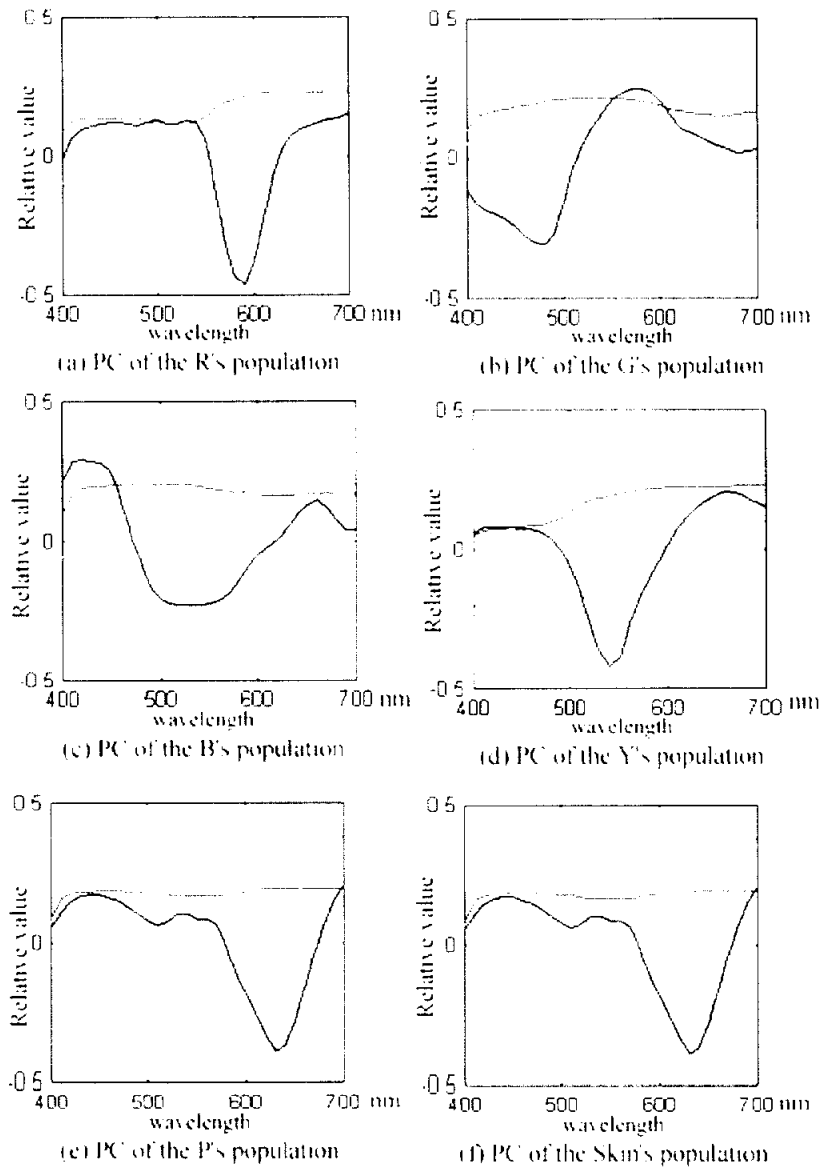


Fig. 13 Principal components of the same hue populations.

Fig. 13은 동일색상 모집단의 제 1, 2, 3차 주성분까지의 파장별 분포를 나타낸 것이다. 각 그림에서 붉은색은 제 1차 주성분이고, 녹색은 제 2차 주성분, 그

리고 청색은 제 3차 주성분을 나타낸다. 전반적으로 제 1차 주성분의 파장별 분포는 거의 비슷한 형태를 나타내고 있다.

4-2-4. 동일색상 영역의 평균 분광반사와 색도좌표

[1] 동일색상 영역의 평균 분광반사

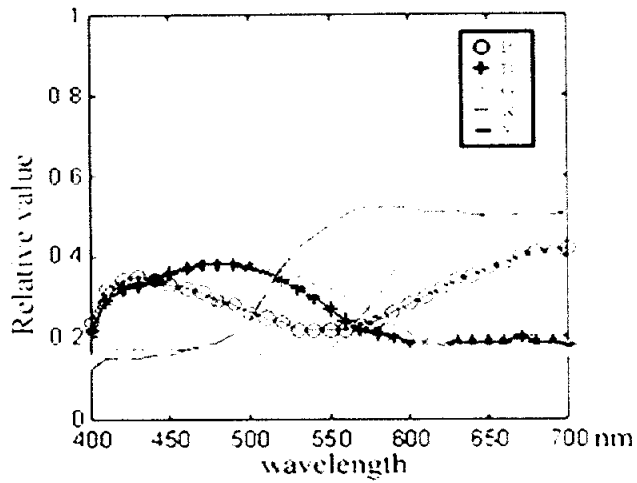
비선형 동일색상 영역으로 분류된 14개영역의 평균분광반사 $\overline{O}_i(\lambda)$ 는 Table 5, 6과 같다. 일반적으로 Gray 영역의 평균 분광반사율은 전체의 파장영역에서 일정해야 한다. 그러나 실제 Gray의 평균 분광반사율은 각 파장에 따라 약간의 차이는 있으나 다른 동일색상 영역의 평균 분광반사율에 비하여 매우 편편하고, 모든 자연색의 평균 분광반사율은 회색의 분광반사율에 근사하고 있다. Fig. 14 (a)에 R, Y, G, B P의 평균분광반사율을 나타내었고, Fig. 14(b)에 먼셀 색상의 중간색인 YR, GY, BG, PB, RP의 평균 분광반사율을 나타내었으며, Fig. 14(c)에 특수색 영역인 피부색, 잔디색, 하늘색, 그리고 회색의 분광반사율을 나타내었다.

Table 5. Average spectral reflectance for 14 same hue region and total samples(I)

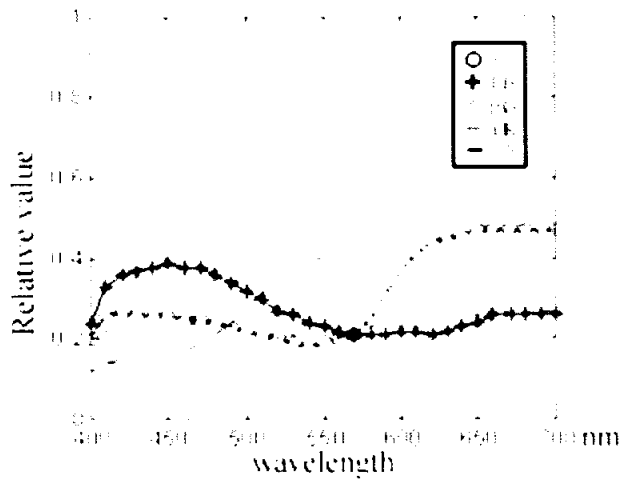
Color Wavelength (nm)	R	YR	Y	GY	G	BG	B
400	0.14	0.12	0.12	0.12	0.14	0.17	0.22
410	0.17	0.14	0.15	0.14	0.17	0.22	0.29
420	0.17	0.14	0.15	0.15	0.19	0.24	0.32
430	0.17	0.14	0.15	0.15	0.19	0.25	0.33
440	0.17	0.14	0.16	0.16	0.20	0.26	0.34
450	0.17	0.14	0.16	0.16	0.21	0.27	0.36
460	0.17	0.14	0.17	0.17	0.22	0.29	0.37
470	0.17	0.15	0.18	0.19	0.25	0.32	0.38
480	0.17	0.15	0.19	0.21	0.29	0.35	0.38
490	0.16	0.15	0.21	0.24	0.32	0.36	0.38
500	0.16	0.15	0.25	0.28	0.35	0.36	0.37
510	0.16	0.17	0.31	0.32	0.36	0.36	0.36
520	0.15	0.20	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34
530	0.15	0.21	0.42	0.39	0.35	0.33	0.32
540	0.15	0.22	0.45	0.40	0.33	0.31	0.30
550	0.17	0.26	0.48	0.40	0.32	0.29	0.27
560	0.21	0.34	0.50	0.39	0.30	0.27	0.24
570	0.25	0.40	0.52	0.37	0.28	0.25	0.22
580	0.30	0.44	0.52	0.36	0.25	0.23	0.21
590	0.36	0.46	0.52	0.34	0.23	0.21	0.20
600	0.41	0.47	0.52	0.31	0.21	0.19	0.19
610	0.45	0.48	0.51	0.29	0.19	0.18	0.19
620	0.48	0.48	0.51	0.28	0.18	0.17	0.18
630	0.49	0.48	0.51	0.27	0.17	0.17	0.19
640	0.49	0.48	0.50	0.26	0.16	0.17	0.19
650	0.50	0.48	0.50	0.26	0.16	0.16	0.19
660	0.50	0.48	0.50	0.25	0.16	0.17	0.19
670	0.50	0.48	0.50	0.26	0.16	0.17	0.20
680	0.50	0.48	0.50	0.26	0.16	0.17	0.19
690	0.50	0.48	0.50	0.27	0.17	0.18	0.19
700	0.50	0.48	0.51	0.27	0.17	0.18	0.18

Table 6. Average spectral reflectance for 14 same hue region and total samples(II)

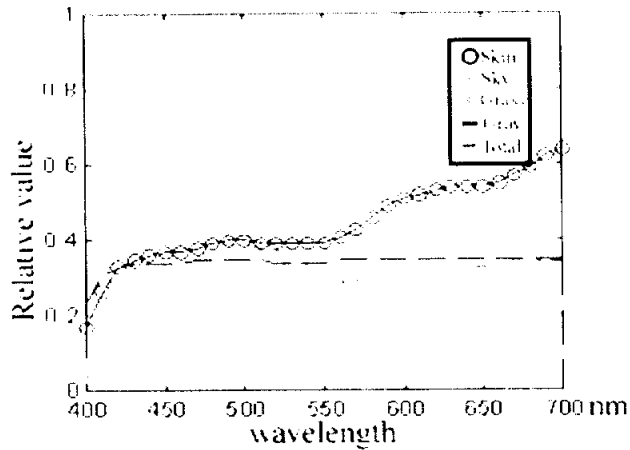
Color Wavelength (nm)	PB	P	RP	Skin	Sky	Grass	Gray	Total
400	0.24	0.24	0.20	0.17	0.07	0.04	0.23	0.17
410	0.33	0.32	0.26	0.27	0.19	0.06	0.31	0.22
420	0.36	0.34	0.27	0.33	0.37	0.07	0.33	0.23
430	0.37	0.35	0.26	0.35	0.45	0.07	0.34	0.24
440	0.38	0.34	0.26	0.36	0.50	0.07	0.34	0.24
450	0.39	0.33	0.26	0.37	0.51	0.07	0.34	0.25
460	0.38	0.32	0.25	0.37	0.52	0.08	0.34	0.25
470	0.38	0.31	0.25	0.38	0.51	0.10	0.35	0.26
480	0.36	0.29	0.24	0.39	0.50	0.11	0.35	0.26
490	0.34	0.28	0.23	0.40	0.47	0.13	0.35	0.27
500	0.32	0.26	0.22	0.40	0.43	0.14	0.35	0.27
510	0.25	0.25	0.21	0.39	0.40	0.14	0.35	0.28
520	0.24	0.24	0.20	0.39	0.37	0.14	0.34	0.28
530	0.22	0.22	0.19	0.39	0.34	0.13	0.34	0.28
540	0.22	0.22	0.18	0.39	0.32	0.12	0.34	0.28
550	0.22	0.22	0.19	0.39	0.30	0.11	0.34	0.29
560	0.22	0.22	0.20	0.41	0.28	0.11	0.35	0.29
570	0.23	0.23	0.21	0.43	0.27	0.11	0.35	0.30
580	0.24	0.24	0.25	0.46	0.26	0.11	0.35	0.31
590	0.26	0.26	0.31	0.49	0.25	0.10	0.35	0.32
600	0.28	0.28	0.37	0.51	0.23	0.09	0.35	0.32
610	0.30	0.30	0.41	0.52	0.21	0.08	0.35	0.33
620	0.32	0.32	0.44	0.53	0.20	0.07	0.35	0.33
630	0.34	0.34	0.45	0.54	0.19	0.07	0.35	0.33
640	0.35	0.35	0.46	0.54	0.18	0.06	0.35	0.33
650	0.37	0.37	0.47	0.54	0.18	0.06	0.35	0.33
660	0.38	0.38	0.47	0.55	0.18	0.06	0.35	0.34
670	0.40	0.40	0.47	0.57	0.18	0.07	0.35	0.34
680	0.41	0.41	0.47	0.59	0.19	0.07	0.35	0.34
690	0.41	0.41	0.47	0.62	0.21	0.08	0.35	0.34
700	0.42	0.42	0.47	0.64	0.43	0.10	0.35	0.34



(a) Average spectral reflectance for the R, Y, G, B, and P regions.



(b) Average spectral reflectance for the YR, GY, BG, PB, and RP regions.



(c) Average spectral reflectance for the Skin, Grass, Sky, Gray regions, and total samples.

Fig. 14 Average spectral reflectance for the created same hue regions.

[2] 평균 분광반사의 색자극

동일색상으로 분류된 모집단의 평균 분광반사를 색자극을 구해보았다. 단 이때 사용한 광원은 D65이다. 평균 분광반사에 해당하는 삼자극치 XYZ , $L^*a^*b^*$, 그리고 색도좌표 xy 는 Table 7에 나타내었다. 각각의 동일색상 영역의 평균 분광반사를 Fig. 15와 같이 a^*b^* 좌표계와 xy 좌표계에 나타내었다. Fig. 15(a)는 a^*b^* 좌표계에서 각 모집단의 평균값의 좌표가 먼셀 색상환을 잘 반영하고 있으며, 특수색인 영역인 피부색, 잔디색, 그리고 하늘색도 먼셀 색상환을 잘 나타내고 있다. Fig.15(b)는 xy 좌표계에서 각 모집단의 좌표의 분포를 나타내었다.

Table 7. Tristimulus, $L^*a^*b^*$, and xy coordinates for the average spectral reflectance of 14 same hue region

Hue	Tristimulus			$L^*a^*b^*$ Value			xy coordinate	
	X	Y	Z	L^*	a^*	b^*	x	y
R	30.57	24.84	18.35	62.14	28.39	15.18	0.41	0.34
YR	35.21	31.81	15.69	65.91	17.90	31.62	0.43	0.38
Y	41.84	44.66	19.04	70.76	-1.69	40.97	0.40	0.42
GY	28.21	34.54	19.54	60.08	-17.15	27.45	0.34	0.42
G	21.71	28.54	25.03	53.72	-23.44	9.09	0.29	0.38
BG	21.60	27.27	31.35	53.60	-18.98	-2.44	0.27	0.34
B	22.63	26.55	38.72	54.69	-11.31	-13.23	0.26	0.30
PB	23.76	24.41	40.25	55.84	2.62	-18.63	0.27	0.28
P	27.16	25.10	34.72	59.12	14.05	-10.55	0.31	0.29
RP	29.77	25.10	27.35	61.46	24.31	-0.10	0.36	0.31
Skin	43.61	43.18	39.92	71.97	7.87	7.94	0.34	0.34
Sky	27.21	30.40	52.22	59.17	-6.53	-22.16	0.25	0.28
Grass	8.56	11.06	9.23	35.12	-15.78	8.08	0.30	0.38
Gray	32.95	34.63	37.11	64.12	0.26	0.67	0.31	0.33
Total	28.25	29.28	27.00	60.11	1.77	7.08	0.33	0.35

4-2-5. 분광반사율 추정

분광 반사율 추정은 Fig. 10에서와 같이 IT8.7 컬러 패치를 시험패턴으로 사용하였다. IT8.7 컬러 패치는 데이터베이스 구축에 사용하지 않은 컬러패치이고, 각 패치의 분광반사율 $O(\lambda)$ 와 삼자극치 XYZ를 측정해 둔다. 실측한 분광반사율 $O(\lambda)$ 로부터 계산한 값을 $L_1^*a_1^*b_1^*$ 라 하고 실측한 삼자극치 XYZ를 이용하여 추정한 분광반사율 $O_{est}(\lambda)$ 로부터 계산한 값을 $L_2^*a_2^*b_2^*$ 로 한다. Table 8에 실측한 분광반사율과 추정한 분광반사율의 $L^*a^*b^*$ 값과 색차 ΔE_{ab}^* 와 평균자승오차 MSE를 나타내고 있다.

제안한 시스템의 정확성을 확인하기 위해 IT8.7 COLOR TARGET의 264개의 패치를 사용하여 실험한 결과 평균 MSE가 0.002로 나타났고, Fig. 16은 IT8.7 COLOR TARGET의 패치 중에서 몇몇의 샘플을 추출하여 분광반사율과 추정되어진 분광반사율의 비교한 그래프이다.

Table 8. Comparison of the measured value and estimated value

No.	Measured Value			Estimated Value			ΔE_{ab}^*	MSE
	L_1^*	a_1^*	b_1^*	L_2^*	a_2^*	b_2^*		
A1	24.99	8.81	3.05	4.99	8.81	3.05	0.00	0.01
B2	25.17	15.22	14.43	25.17	15.22	14.43	0.00	0.01
C3	29.77	9.01	23.86	29.77	9.01	23.86	0.00	0.01
D4	27.91	-3.16	22.43	27.91	-3.16	22.43	0.00	0.02
E5	45.00	-9.50	14.76	45.00	-9.50	14.76	0.00	0.02
F6	27.09	-27.25	9.33	27.09	-27.25	9.33	0.00	0.00
G7	30.30	-36.54	-3.56	30.30	-36.54	-3.56	0.00	0.01
H8	34.23	-22.77	-27.70	34.23	-22.77	-27.70	0.00	0.02
I9	68.29	1.56	-2.10	68.29	1.56	-2.10	0.00	0.02
J10	69.31	7.52	-7.77	69.31	7.52	-7.77	0.00	0.04
K11	73.18	22.89	-13.81	73.18	22.89	-13.81	0.00	0.07
L12	75.04	32.53	-4.17	75.04	32.53	-4.17	0.00	0.07
A13	88.32	0.86	1.61	88.32	0.86	1.61	0.00	0.02
B14	83.57	13.69	-8.15	83.57	13.69	-8.15	0.00	0.04
C15	82.86	-3.87	26.35	82.86	-3.87	26.35	0.00	0.02
D16	65.53	0.91	2.90	65.53	0.91	2.90	-0.00	0.02
E17	73.29	26.45	19.25	73.29	26.45	19.25	0.00	0.07
F18	55.86	-27.32	18.93	55.86	-27.32	18.93	0.00	0.01
G19	49.99	17.57	-35.70	49.99	17.57	-35.70	-0.00	0.04
H20	71.65	5.24	26.15	71.65	5.24	26.15	0.00	0.02
I21	65.85	15.56	19.44	65.85	15.56	19.44	-0.00	0.02
J22	64.59	17.03	18.86	64.59	17.03	18.86	0.00	0.02

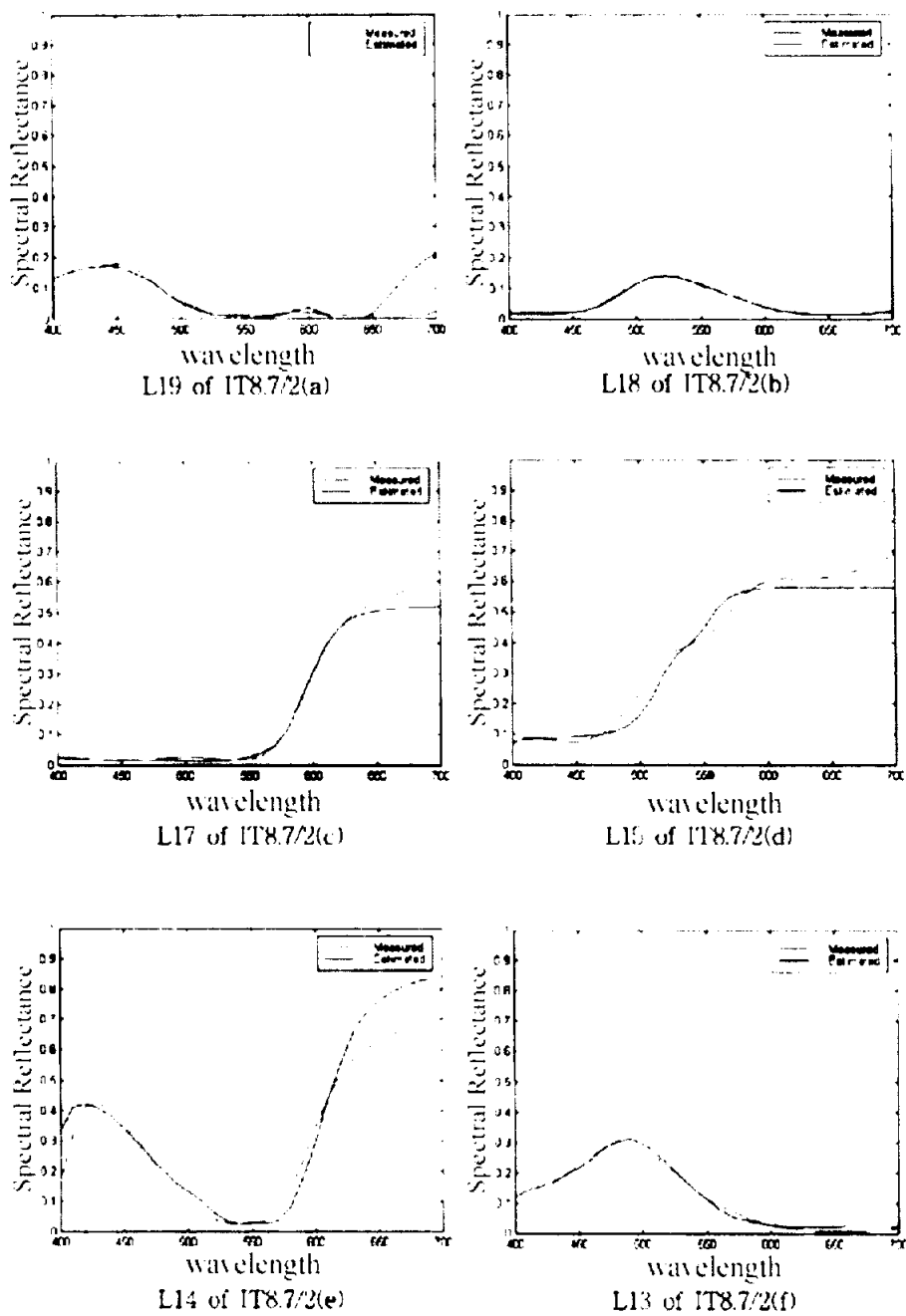


Fig. 16 Comparison of measured and estimated spectral reflectance of FUJI Color Target IT 8.7/2-1993.

4-2-6. 분광정보를 이용한 이미지처리

제안한 시스템을 사용하여 RGB 3차원 신호의 원고 영상을 입력데이터로 하여 이미지 처리 시스템을 이용하여 분광데이터를 추정하였다. 분광데이터를 추정한 후, 서로 다른 관찰환경의 경우에 관찰되는 이미지로 재현하는 예를 Fig. 17과 Fig. 18에 나타내었다.

특수색의 분포가 많은 Fig. 17의 경우 특히 피부색에 있어서 재현한 이미지와 실제 촬영한 이미지가 시각적으로 유사하게 나타났다. Fig. 18의 일반적 이미지의 경우에도 역시 재현한 이미지와 실제 촬영한 이미지가 시각적으로 유사하게 나타났다.

[1] 특수색의 분포가 넓은 이미지 처리

Fig. 17은 특수색인 피부색이 강조되는 이미지를 입력으로 하여 제안한 시스템을 사용해서 처리한 예를 나타낸 것이다.



(a) Original Image



(b) D65 Image



(c) D50 Image



(d) A Image



(e) TL84 Image

Fig. 17 Special color Image reproduction under various illuminants.

[2] 자연 이미지를 이용한 이미지 처리

Fig. 18은 일반색에 관한 이미지의 예를 나타낸 것으로 Fig. 17과 동일한 관찰환경의 경우를 재현한 것이다.



(a) Original Image



(b) D65 Image



(c) D50 Image



(d) A Image



(e) TL84 Image

Fig. 18 Natural color Image reproduction under various illuminants.

5. 결 론

컴퓨터의 발전과 인터넷 사용량의 증가에 따라 CRT나 LCD의 디스플레이와 같은 소프트 카피로 색을 관찰하는 경우가 증가되고 있다. 일반적으로 같은 색 자극이라도 색을 촬영 또는 관찰하는 환경에 따라서 지각되는 색이 달라진다. 따라서 피사체 고유의 색으로 이미지를 처리하는 방법이 요구되며, 이를 실현하는 방법들이 멀티밴드 영상을 이용한 물체의 분광 반사율 추정이다.

본 논문에서는 RGB 3-밴드 영상을 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서 문제점으로 나타난 데이터베이스 구축의 어려움과 처리시간의 문제점을 해결하기 위해서 비선형 동일색상 생성과 라벨링 방법을 제안하였다. 자연색을 대표하는 먼셀 컬러 패치를 측정하여 a^*b^* 색도도에 기점하고, 10개의 기본 먼셀 색상에 따라 비선형으로 분류한다. 그리고 피부색, 하늘색, 그리고 잔디색의 기억색 3종류와 회색을 포함하여 모두 14종류의 동일색상 모 집단으로 분류하였다. 제안된 방법으로 구축한 동일색상 영역의 데이터베이스를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비선형으로 동일 색상 영역을 구분할 때, 먼셀 기본 색상 10종류로 충분하였다. 회색의 재현성을 높이기 위해 회색영역을 추가하였다.
2. 비선형으로 분할된 동일 색상 영역에 라벨을 부여하므로 피부색, 잔디색, 그리고 하늘색 등의 특수색을 동일색상 영역의 데이터베이스로 구축할 수 있었다.
3. 동일색상 영역이 기존의 방식보다 적으므로 데이터베이스 구축이 쉬웠다.
4. 물체의 분광반사율 추정에 있어서 각 화소 당 2단계(색상각, 동일색상 영역의 인식)의 처리를 단축시킬 수 있었다.
5. 처리 결과는 기존의 방식과 같이 색차는 거의 0이고 MSE는 0.02로 나타났다.

이상의 결과로 제안한 방법의 타당성과 유용성을 확인할 수 있었으며, 처리 속도가 향상되어 실용화에 접근할 수 있었다. 앞으로 이미지 획득 장치의 정확한 색재현과 RGB-XYZ 색 변환의 정밀성을 향상시키는 연구와 RGB 이미지로부터 이미지 획득시의 광원을 추정하는 연구가 요구된다.

參 考 文 獻

1. Mark D.Fairchild, Color Appearance Models, Addison-Wesley Press, (1998), pp.23~28.
2. 大田 登, 色彩工學, 東京電氣大學 出版局, (1993), pp. 45~49 .
3. Miyake, Y., Yokoyama, Y., "Obtaining and reproduction of accurate color images based on human perception", Proc. SPIE 3300:190, (1998).
4. S.H.Lee, J.P.Kim, E.H.Lee, S.C.Ahn, "Optimization of color filters selection to estimate surface reflectance of Munsell colors", The Annual conference of The Korean Printing Society, pp.1~6, (1998).
5. C.G.Kim, S.T.Pang, H.Y.Park, S.M.Ryu, M.O.Yoo, S.C.Ahn, "A method to predict spectral reflectance of skin color takened by 3-channel input device", The Annual conference of The Korean Printing Society, pp.31~35, Nov. (1998).
6. J.P.Kim, S.T.Pang, E.H.Lee, S.C.Ahn, " A method to predict spectral reflectance of the natural color by using RGB digital signals", The 10th Annual conference of The Korean Society for Imaging Science and Technology, pp.45, Dec. (1998).

7. S.H.Lee, S.T.Pang, C.H.Lee, E.H.Lee, S.C.Ahn, "Estimation of surface spectral reflectance using multi-band image", The 11th Conference of The Korean Society for Imaging Science and Technology, pp.13~21, (1999).
8. M.K.Yoo, S.J.Cho, S.C.Ahn, "Estimation of spectral reflectance using similar-color classification and RGB color signals", J. of Korean Society for Imaging Science Science and Technology , Vol.6, No. 1, pp.76~82, (2000).
9. S.A.Ahn, J.P.Kim, S.C.Ahn, "Spectral reflectance estimation of RGB signal by using principal components for classified same hue population", The 18th Conference of The Korean Society for Imaging Science and Technology, pp.67~68, (2002)