

工學碩士學位論文

RGB 색신호의 분광반사율 추정

指導教授 安 錫 出

이 論文을 指導 教授 安 錫 出 提 出 함



釜慶大學校 産業大學院

印刷工學科

白 普 旭

白晋旭의 工學碩士學位 論文을 認准함

2003年 6月

主 審 理學博士

李 相 南



委 員 工學博士

南 壽 龍



委 員 工學博士

安 錫 出



목 차

목 차	i
List of Figures	iii
List of Tables	iv
Abstract	v
 1. 서 론	 1
 2. 색과 멀티밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	 3
2-1. 빛과 표색	3
2-1-1. 빛	3
2-1-2. Young-Helmholtz의 삼원색설	4
2-2. 표색계	5
2-2-1. XYZ 표색계	5
2-2-2. CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 표색계	7
2-2-3. 먼셀(Munsell) 표색계	9
2-3. 멀티밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	10
2-3-1. 5-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	10
2-3-2. 3-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정	12
2-3-3. RGB 색신호를 이용한 물체의 분광반사율 추정	12
2-4. 광원 추정	16
2-4-1. 무채색 모집단의 데이터베이스 구축	16
2-4-2. 최대무채색 영역의 인식	16
2-4-3. 최대무채색 영역의 $R_{max}(\lambda)$	17

2-4-4. 최대무채색 영역의 $L_{\max}(\lambda)$	18
2-4-5. 광원의 추정	18
3. 동일색상 모집단 생성과 라벨링	19
3-1. 동일색상 모집단 생성	19
3-1-1. 무채색 모집단 생성	19
3-1-2. 유채색 모집단 생성	19
3-2. 동일색상 모집단의 데이터베이스 작성	20
3-3. 라벨링 방법을 이용한 동일색상 인식	21
4. 결과 및 고찰	26
4-1. 광원 추정 결과	26
4-1-1. 최대 무채색 영역의 인식결과와 분광반사율 복원	26
4-1-2. 최대 무채색 부분의 분광반사율 추정	27
4-1-3. 광원 추정	28
4-2. 광원별 동일색상 모집단의 누적기여율	31
4-3. RGB 이미지를 이용한 분광반사율 추정결과	34
5. 결 론	41
참고문헌	43

List of Figures

Fig 1. Color matching functions of standard colorimetric observer.	5
Fig 2. Colorimetric system of Munsell color wheel.	9
Fig 3. Maximum achromatic region in gray world image.	17
Fig 4. Define the same hue corresponding to color stimular P.	19
Fig 5. The spectral reflectance estimating block diagram for the RGB.	22
Fig 6. Changing value 0 to 1 on Label_RGB(-37.6,79.1).	24
Fig 7. The Label_RGB and Label_SH.	24
Fig 8. Sample image for using the experiment to recognize the maximum gray area.	26
Fig 9. Recognized the maximum gray region and sample No. of the image.	27
Fig 10. Measured and estimated the spectral reflectance of the sample No.19.	28
Fig 11. Measured and estimated spectral radiation of the (a)D65, (b)A, (c)Hol light source.	30
Fig 12. Test image and sample No. of the test image were used spectral reflectance estimating experiment.	34
Fig 13. Estimated spectral reflectance of macbath areas.	38
Fig 14. ΔE_{ab}^* comparison graph according to the light source.	40

List of Table

Table I. The Same Hue Data Base of 24 regions	19
Table II. RGB Data which has a Maximum Gray Area according to the Light Source	27
Table III. Cumulative Contribution Ratio of 3rd. according to the Light Source	32
Table IV. Cumulative Contribution Ratio of 3rd. according to the Light Source	33
Table V. ΔE_{*ab}^* Comparison of Estimated Spectral Reflectance in the Mecbath Area	39

Spectral Reflectance Estimation of RGB Color Signal

Jin-Wook Beak

*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 or 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. In this, we are the result which the spectral reflectance $R(\lambda)$ of the body is reflected with the light source of an image acquisition that time in the RGB signal and The color of the body appears so that it is different if the light source.

Recently a color image processing to be become independent have been desired at the light source in an image processing and it have been enlarged. An image processing of the light source which is become independent means an image processing which uses a spectral reflectance information. We improved it in the spectral reflectance estimation method which uses existing 3-band image in this research that the improvement of an identity color population generation method which uses the hue angle and the processing speed improvement and introduces a labelling method. The precision of a spectral reflectance estimation appeared to the ΔE_{ab}^* of an average 2.7 comparing with the measurement price. The practical use possibility came to be fast and appeared a processing speed compared with existing method.

1. 서론

2000년대 들어서면서 초고속 정보통신망이 일반화되어 인터넷을 이용한 정보량이 증가되었다. 기존의 문자 중심의 활용도에서 컬러 이미지로 변화되고 있으며, 이와 같이 컬러 이미지 정보가 주류를 이루는 환경에서는 관찰 환경에 독립한 색재현 시스템이 요구된다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서는 기존의 RGB 컬러정보를 이용한 이미지처리시스템에서 물체의 고유정보인 물체의 분광반사율을 이용한 이미지처리가 필요하다.

물체의 분광반사율 표현은 10nm 간격일 때 31차원이 되며, 한 이미지를 표현하는데 31-밴드의 이미지가 요구되지만 현실적으로 불가능하다. 이를 실현하기 위해서 저차원에서 고차원으로 복원하는 방법으로 Y.Miyake와 S.C.Ahn 등은 5-밴드 이미지 획득 시스템을 개발하여, 5-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정을 발표한 바 있다^{[1]~[4]}. 5-밴드 이미지를 이용한 분광 반사율의 추정은 그 대상이 동영상에는 불가능하다. 피부색과 같은 특수 색에 한해서는 RGB 신호로부터 분광반사율을 추정하는 방법과 자연색을 대상으로 RGB 신호로부터 물체의 분광반사율을 추정하는 방법이 보고 된 바 있다^{[5]~[9]}.

이들 연구보고에서 비선형 방법의 부분 모집단 생성 방법은 모집단의 동일 색상 수를 줄일 수 있으며 분광 반사율 복원 율은 우수하지만 모집단 생성이 매우 복잡한 문제점이 있다. 색상 각을 이용한 선형적인 방법으로 동일 색상 분류에 의한 모집단 생성은 간단하지만, 대상의 화소에 대한 색상 각 정보를 이용하므로 처리시간에 많은 문제점이 있다.

본 연구에서는 RGB 색 신호를 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하

기 위해서는 다양한 광원에 대한 모집단 데이터베이스 구축이 요구되며, 실용화 시스템을 위한 처리 시간의 단축을 위해 색상 각을 이용한 선형적 방법을 이용하여 동일 색상 분류와 라벨링을 통한 이미지 처리시간을 단축하는 방법을 제안하여, 이 방법의 타당성과 유용성을 실험을 통해 확인하는 것을 연구목적으로 하였다.

2. 색과 멀티밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정

2-1. 빛과 포색

2-1-1. 빛

빛은 전자파의 일종이고, 눈에 들어와 시 감각을 일으키는 방사를 말한다. X선에서 라디오 전파까지 포함한 전자파 중에서 빛의 파장범위(가시 파장영역)는 매우 좁다. 단파장은 360~400nm이고, 장파장의 범위는 760~830nm이다. 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, 이것을 파장 순서로 나열한 것이 스펙트럼(spectrum)이다.

눈에 들어온 빛은 태양의 빛이나 조명 빛과 같이 광원으로부터 나오는 직접적인 빛도 있으나 대부분은 물체를 투과하거나 물체의 표면으로부터 반사한 빛이다. 어떤 물체가 단색광을 모두 반사하면, 반사한 빛은 백색광이므로 그 물체는 백색이고, 단색광을 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, 투과의 경우도 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 1591년에 Helmholtz가 정량화하여 발전시킨 것으로, "눈에는 적색(R), 녹색(G), 청색(B)에 감응하는 수광기가 있고, 색각은 각 수광기가 빛에 대한 응답에 의해 생긴다"라고 보고하였다. 예를 들면, 황색은 R 수광기와 G 수광기가 동시에 응답하여 생긴다. 삼원색설은 수광기의 수가 3개이며, 단순하므로 이해하기 쉽다.

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 발광체나 색재는 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.

2-2. 표색계

2-2-1. XYZ표색계

CIE는 1931년에 RGB표색계와 함께 등색함수의 값이 모두 양의 값으로 되는 XYZ표색계(XYZ color system)를 도입하였다. XYZ표색계는 CIE 1931 표색계(CIE 1931 standard colorimetric system)라고도 부른다. XYZ표색계의 등에너지에 대한 등색함수 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 를 Fig 1.로 나타내었다.

또, XYZ표색계의 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.

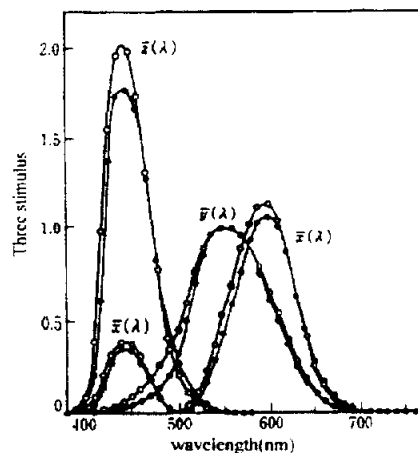


Fig 1. Color matching functions of standard colorimetric observer.

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

$$\begin{aligned} X &= K \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{vis} \phi(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 K 는 정수이고 적분($\int_{vis}$)은 가시영역의 파장만 적분하라는 정
 적분의 적분구간을 나타낸다. 또 물체색의 색자극 $\phi_r(\lambda)$ 는, 반사물체와
 투과물체에 대해서 식(2)와 식(3)으로 나타낸다.

$$\phi_r(\lambda) = O(\lambda) \cdot P(\lambda) \quad (2)$$

$$\phi(\lambda) = T(\lambda) \cdot P(\lambda) \quad (3)$$

여기서 $E(\lambda)$ 는 조명광의 분광분포이고 $O(\lambda)$ 는 반사물체의 분광반사
 율, $T(\lambda)$ 는 투과물체의 분광투과율이다. 따라서 반사물체의 삼자극치
 X, Y, Z 는 식(1)로부터 식(4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= K \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{vis} O(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

그리고 삼자극치 X, Y, Z 는 표준 백색면의 Y 값을 100으로 정규화 된 값이고, 정수 K 는 식(5)과 같이 된다.

$$k = \frac{100}{\int_{vis} E(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

2-2-2. CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 표색계

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 균등성은 증가하지만, 명도의 균등성에 관해서는 xy 색도도의 경우와 같다. 따라서 명도도 포함된 균등한 표색계를 고려하여, 이것을 균등색 공간(uniform color Space)라 부른다. 또, 균등 색공간에서 명도에 대응하는 좌표를 명도계수(psychometric lightness)라 한다. 그리고 CIE LAB 색공간은 다음 식(6)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a^* &= 500 \left\{ \left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

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(6)은 X/X_n , Y/Y_n , $Z/Z_n > 0.008856$ 의 범위에서 사용하며, 그 밖의 범위에서는 식(7)과 같이 수정식을 사용한다.

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

단, 함수 f 는 다음 식과 같다.

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \frac{X}{X_n} > 0.008856 \quad (6-1)$$

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7.787 \left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116} \frac{X}{X_n} \leq 0.008856 \quad (7-1)$$

함수 $f(Y/Y_n)$, $f(Z/Z_n)$ 도 같은 방법으로 구한다. 그리고 식(6)에서

채도 C_{ab}^* 와 색상 H_{ab}^* 는 식(8)와 식(9)로 표현된다.

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (8)$$

$$H_{ab}^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (9)$$

2-2-3. 먼셀(Munsell) 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 세로축으로 하고, 색상(Munsell hue) H를 원주방향으로 하며, 그리고 채도(Munsell chroma) C를 반경방향으로 배열하고 있다.

기본 색상으로는 Fig 2.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.

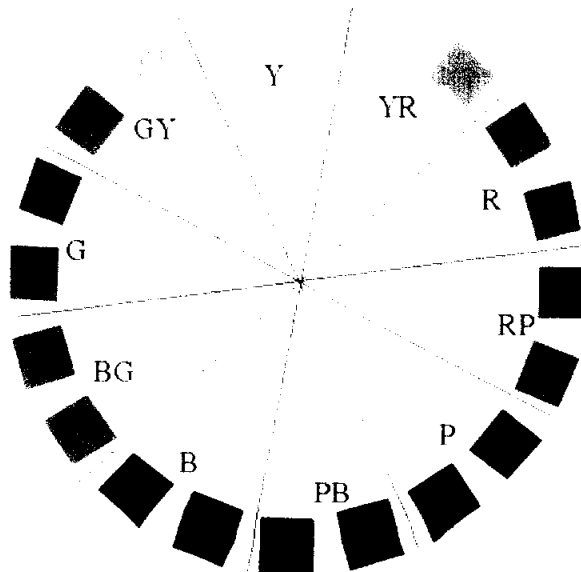


Fig 2. Colorimetric system of Munsell color wheel.

2-3. 멀티밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정

2-3-1. 5-밴드 이미지를 이용한 물체의 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(10)과 같이 물체의 분광정보 $O(\lambda)$, 조명광원의 분광방사정보 $E(\lambda)$, 그리고 R, G, B 삼원색의 과장영역으로 적분된 값이다.

$$\begin{aligned} R &= \int_{vis} E(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{R}(\lambda) d\lambda \\ G &= \int_{vis} E(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{G}(\lambda) d\lambda \\ B &= \int_{vis} E(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{B}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $\bar{R}(\lambda), \bar{G}(\lambda), \bar{B}(\lambda)$ 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 멀티밴드 이미지 획득 시스템이 개발되었다. 멀티밴드 이미지를 이용하여 물체의 분광 반사율을 추정하는 식은 다음과 같이 주어진다.

$$O_{est} = \bar{O} + \sum_{n=1}^p \alpha_n u_n \quad (11)$$

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

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

일반적으로 멀티밴드 이미지 획득시스템은 5개의 밴드이미지가 일반적이며, 이들 5개의 밴드이미지는 분광정보를 복원하는데 필요한 식(10)의 전개계수 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5$ 를 구한다.

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

2-3-2. 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 분광반사율 추정이 가능하다는 것은 상용화된 디지털 카메라를 사용하여 획득한 RGB 이미지를 사용하여 물체의 분광반사율 추정이 가능함을 의미한다. 5-밴드 이미지를 이용하여 물체의 분광반사율을 추정하는 경우는 식(10)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.

2-3-3. RGB 색 신호를 이용한 물체의 분광반사율 추정

피부색과 같은 특수 색에 대한 분광반사율 추정에서 제3주성분까지의 누적기여율이 99.7%로 나타났고^[5], 이것은 3개의 밴드 이미지를 사용하여 다차원(31차원)의 분광반사를 근사시킬 수 있음을 의미한다. 색자극 P 의 색상 각은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$H_p = \tan^{-1}(b_p^*/a_p^*) \quad (12)$$

식(12)에서 p 가 3인 제3주성분까지를 이용하여 추정한 물체의 분광반사는 식(13)와 같이 된다.

$$O_{est} = \bar{O} + (u_1 u_2 u_3) \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \quad (13)$$

여기서 $\bar{O}$ 는 동일 색상 모집단에 소속된 분광반사의 평균 벡터를 나타내고 있다. 그리고 임의의 색자극 XYZ 는 식(4)와 같이 표현된다. 식(13)의 추정된 분광반사 O_{est} 를 식(4)의 $O(\lambda)$ 에 대입한 후 벡터로 표시하면 식(14)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_i &= KE^t \bar{x} O_i \\ Y_i &= KE^t \bar{y} O_i \\ Z_i &= KE^t \bar{z} O_i \end{aligned} \quad (14)$$

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

$$\begin{aligned} \bar{x}(\lambda) \rightarrow \bar{\mathbf{x}} &= \begin{pmatrix} \bar{x}(\lambda_1) \cdots 0 \cdots \bar{x}(\lambda_2) 0 \\ \vdots \\ \cdots \cdots \bar{\mathbf{x}}(\lambda_n) \end{pmatrix} \\ \bar{y}(\lambda) \rightarrow \bar{\mathbf{y}} &= \begin{pmatrix} \bar{y}(\lambda_1) \cdots 0 \cdots \bar{y}(\lambda_2) 0 \\ \vdots \\ \cdots \cdots \bar{\mathbf{y}}(\lambda_n) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\bar{z}(\lambda) \rightarrow \bar{z} = \begin{pmatrix} \bar{z}(\lambda_1) \cdots 0 \cdots \bar{z}(\lambda_2) 0 \\ \vdots \\ \cdots \cdots \bar{z}(\lambda_n) \end{pmatrix}$$

식(13)의 O_{est} 를 식(14)의 벡터 O 에 치환하면 식(16)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_i &\cong KE^t \bar{x} \overline{O_i} + KE^t (\bar{x} u_{i-1} \bar{x} u_{i-2} \bar{x} u_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \\ Y_i &\cong KE^t \bar{y} \overline{O_i} + KE^t (\bar{y} u_{i-1} \bar{y} u_{i-2} \bar{y} u_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \\ Z_i &\cong KE^t \bar{z} \overline{O_i} + KE^t (\bar{z} u_{i-1} \bar{z} u_{i-2} \bar{z} u_{i-3}) \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

그리고 식(16)은 행렬식으로 표현하면 식(17)과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \cong \begin{pmatrix} \overline{X_i} \\ \overline{Y_i} \\ \overline{Z_i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{i-1} & X_{i-2} & X_{i-3} \\ Y_{i-1} & Y_{i-2} & Y_{i-3} \\ Z_{i-1} & Z_{i-2} & Z_{i-3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} \quad (17)$$

식(17)의 $\overline{X_i}, \overline{Y_i}, \overline{Z_i}$ 는 i 번 라벨의 모집단으로부터 평균 분광 반사율에 대응하는 삼자극치로 식(18)과 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 고유벡터에 해당하는 삼자극치로 식(19)과 같다.

$$\begin{aligned}
\overline{X}_i &= KE^t \overline{x} \overline{O}_i \\
\overline{Y}_i &= KE^t \overline{y} \overline{O}_i \\
\overline{Z}_i &= KE^t \overline{z} \overline{O}_i
\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
X_{i-m} &= KE^t \overline{x} u_{i-m} \\
Y_{i-m} &= KE^t \overline{y} u_{i-m} \\
Z_{i-m} &= KE^t \overline{z} u_{i-m}
\end{aligned} \tag{19}$$

식(16)의 $\overline{X}_i, \overline{Y}_i, \overline{Z}_i$ 와 $X_{i-m}, Y_{i-m}, Z_{i-m}$ 는 i 번 라벨의 모집단에서 구해지며, 화소에 대한 삼자극치 X_i, Y_i, Z_i 는 식(20)의 NTSC 변환계수를 사용하여 구해진다. 그리고 i 번 라벨의 전개계수 α_{i-m} 은 식(21)와 같다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.588 & 0.179 & 0.183 \\ 0.290 & 0.606 & 0.105 \\ 0.000 & 0.068 & 1.021 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{20}$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_{i-1} \\ \alpha_{i-2} \\ \alpha_{i-3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{i-1} & X_{i-2} & X_{i-3} \\ Y_{i-1} & Y_{i-2} & Y_{i-3} \\ Z_{i-1} & Z_{i-2} & Z_{i-3} \end{pmatrix}^{-1} \left\{ \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \overline{X}_i \\ \overline{Y}_i \\ \overline{Z}_i \end{pmatrix} \right\} \tag{21}$$

2-4. 광원 추정

2-4-1. 무채색 모집단의 데이터베이스 구축

먼저 등색함수 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 를 사용하여 완전확산반사면의 삼자극치를 식(1)로부터 구한다. 정수 K 의 값은 Y 값을 100으로 하는 정규화 된 값이고 식(5)와 같다.

먼셀 색표 1563개의 분광반사율과 광원의 31차원 분광분포를 사용하여 삼자극치 X, Y, Z 를 식(4)로부터 구한다.

삼자극치 X, Y, Z 와 완전확산반사면의 삼자극치 X_w, Y_w, Z_w 를 가지고 휘도(L)와 채도 벡터 (C_{ab}^*)를 식(6)과 식(8)로부터 구한다.

이 때 휘도(L)가 60% 이상이고 채도벡터(C_{ab}^*)가 15이하인 것을 무채색 모집단으로 규정한다. 표면 분광반사율이 최대인 영역으로부터 반사되는 광원은 입사광의 최대가 된다는 것을 만족시키기 위해서 매우 밝으면서 무채색에 가까운 영역을 찾는 것이다.

2-4-2. 최대무채색 영역의 인식

최대 무채색 영역의 인식은 RGB 디지털 영상정보로부터 조명광원의 영향을 제거하기 위하여 Grayworld 영상으로 변환한다.

$$\begin{bmatrix} R(i,j) \\ G(i,j) \\ B(i,j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_{gray}}{R_m} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{G_{gray}}{G_m} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{B_{gray}}{B_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(i,j) \\ G(i,j) \\ B(i,j) \end{bmatrix} \quad (22)$$

Grayworld 영상으로부터 YC_bC_r 색 공간이 식(23)과 같이 변환되고 YC_bC_r 색 공간에서 최대무채색 영역을 구한다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.29900R + 0.58700G + 0.11400B \\ C_b &= -0.16874R - 0.33126G + 0.50000B \\ C_r &= 0.50000R - 0.41869G - 0.08131B \end{aligned} \quad (23)$$

최대무채색 영역은 최대 Y 값의 95%이상이고, Fig 3.과 같이 C_b , C_r 값의 절대 값이 최소인 3×3 블록으로 한정하는 영역이다.

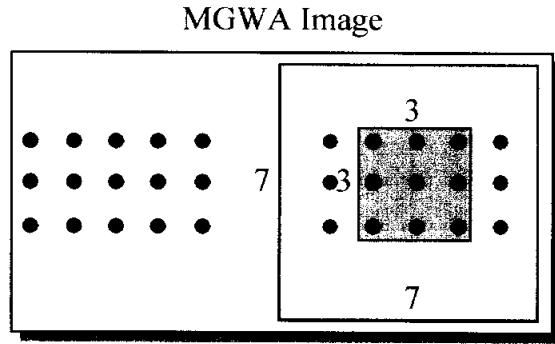


Fig 3. Maximum achromatic region in gray world image.

2-4-3. 최대 무채색 영역의 $R_{\text{max}}(\lambda)$

최대무채색 영역의 영상 정보값 RGB 로부터 NTSC 변환 방식으로 X, Y, Z 를 구하여 식(13)과 식(21)에 의해 $R_{\text{max}}(\lambda)$ 를 복원한다.

이 때, $\bar{O}$ 와 주성분 u_1, u_2, u_3 는 무채색 모집단에서 구한 평균분광반사율과 3번째까지의 고유벡터를 나타내고, 평균 삼자극치 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 는 모집

단의 평균 분광반사율 $\bar{O}$ 와 표준 광원 C 의 분광분포, 그리고 등색함수로 구해지는 상수이다.

삼자극치 X, Y, Z 는 Grayworld 영상에서 찾은 최대무채색 영역의 정보 값 $R_{GWA}, G_{GWA}, B_{GWA}$ 로부터 선형적으로 변환된 값이다.

2-4-4. 최대 무채색 영역의 $L_{\max}(\lambda)$

$L_{\max}(\lambda)$ 는 최대무채색 영역의 분광 반사율과 조명광원의 분광분포를 곱한 것을 사용한다.

$$L_{\max}(\lambda) = R_{\max}(\lambda) \times E(\lambda) \quad (24)$$

여기서 $E(\lambda)$ 는 디지털 영상 RGB에서 얻을 수 있는 L_{ab} 와 광원별로 구할 수 있는 L_{ab} 와의 색차가 최소인 광원의 분광 분포를 말한다.

2-4-5. 광원의 추정

$L_{\max}(\lambda)$ 와 $R_{\max}(\lambda)$ 를 사용하여 광원의 분광 분포를 추정한다.

$$E(\lambda) = \frac{L_{\max}(\lambda)}{R_{\max}(\lambda)} \quad (25)$$

3. 동일색상 모집단 생성과 라벨링

3-1. 동일색상 모집단 생성

3-1-1. 무채색 모집단 형성

먼셀색표로 구성된 데이터베이스의 모집단으로부터 무채색 영역의 분리는 채도벡터(C^*_{ab})와 휘도(L^*)를 이용한다. 광원별 식(6)과 식(8)에서 휘도(L^*)가 60%이상이고 채도벡터(C^*_{ab})가 15이하인 것을 무채색 모집단으로 규정한다.

3-1-2. 유채색 영역의 모집단 형성

자연색을 대표하는 색의 모집단(먼셀 색표 1563개)을 Fig 4.와 같이 a^*b^* 색도도에 표시해 두고, 색상이 H인 색자극 P에 대한 동일색상은 채도벡터 C^*_{ab} 의 크기가 일정한 값 이하인 범위에 있는 무채색 성분을 제외하고 색상 각이 H_1 와 H_2 사이에 있는 색을 모집단으로 한다.

이 때, 색상 각을 이용하여 15° 씩 나누어 24개의 부분으로 동일색상 영역을 만들어진 24개의 영역의 데이터베이스를 만든다.

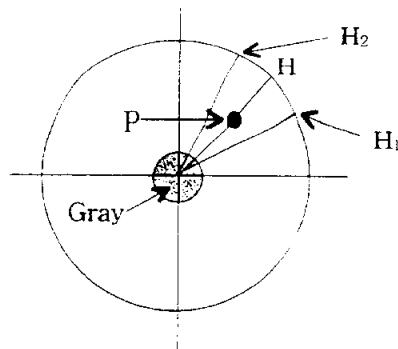


Fig. 4 Define the same hue corresponding to color stimulus P.

3-2. 동일색상 모집단의 데이터베이스 작성

임의의 화소정보로부터 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서는 식 (11)에서 알 수 있는 바와 같이 모집단의 평균분광반사율 $\bar{O}(\lambda)$, 모집단의 주성분 $u_i (i=1,2,3)$, 그리고 전개계수 a_i 를 알아야 한다. 모집단의 평균분광반사율과 모집단의 주성분은 아래와 같이 사전에 계산하여 데이터베이스로 구축해둔다.

Table 1.는 24개의 동일색상 모집단에 대해서 구축된 데이터베이스의 형태이다.

[1] 광원별 모집단의 구축

8종류의 광원(C광원, A광원, D65, D50, 실측D50광원, 실측D65광원, 실측H01광원, 실측TL84광원)에 대해서 모집단을 구축한다.

실측한 먼셀 색표의 분광반사율에 광원(8종류)을 적용하여 각각에 대한 $L^*a^*b^*$ 값을 구한다. 이들 값을 a^*b^* 평면에 기점하고, 여기서 24개의 동일색상 모집단 영역으로 분류한 후, 각각의 동일색상 영역에 대한 평균 분광반사율 $\bar{O}_{i-cst}$ 를 구한다.

[2] a^*b^* 평면에서 24개의 동일색상의 부분 모집단으로 분류된 영역의 주성분 벡터 $u_{i-1}, u_{i-2}, u_{i-3}$ 을 구한다. 여기서 $i=1, 2, \dots, 24$ 로 분할된 모집단의 라벨을 나타내고 첨자 1, 2, 3은 제1주성분, 제2주성분, 그리고 제3주성분을 나타낸다.

Table 1. The Same Hue Data Base of the 24 regions

Label value	Average spectral reflectance $\bar{O}(\lambda)$	PC of u_1	PC of u_2	PC of u_3
1	$\bar{O}(\lambda)$	u_{1-1}	u_{1-2}	u_{1-3}
2	$\bar{O}(\lambda)$	u_{2-1}	u_{2-2}	u_{2-3}
3	$\bar{O}(\lambda)$	u_{3-1}	u_{3-2}	u_{3-3}
4	$\bar{O}(\lambda)$	u_{4-1}	u_{4-2}	u_{4-3}
5	$\bar{O}(\lambda)$	u_{5-1}	u_{5-2}	u_{5-3}
:	:	:	:	:
24	$\bar{O}(\lambda)$	u_{24-1}	u_{24-2}	u_{24-3}

3-3. 라벨링 방법을 이용한 동일색상 인식

RGB 컬러 정보로 구성된 3-밴드 이미지를 이용하여 31차원의 분광반사율 추정을 위해서는 우선 이미지 획득 당시의 사용된 조명광원의 분광방사 정보를 알아야 하고, 광원의 정보에 따라서 각각 구축된 데이터베이스를 이용하여 물체의 분광반사율을 추정한다.

Fig 5.와 같이 입력된 RGB를 사용하여 물체의 분광반사율을 추정하기 위해서는 색상 각을 구한 후, RGB 값이 25개의 동일색상 영역 중 어느 곳에 속하는가를 인식하여야 한다.

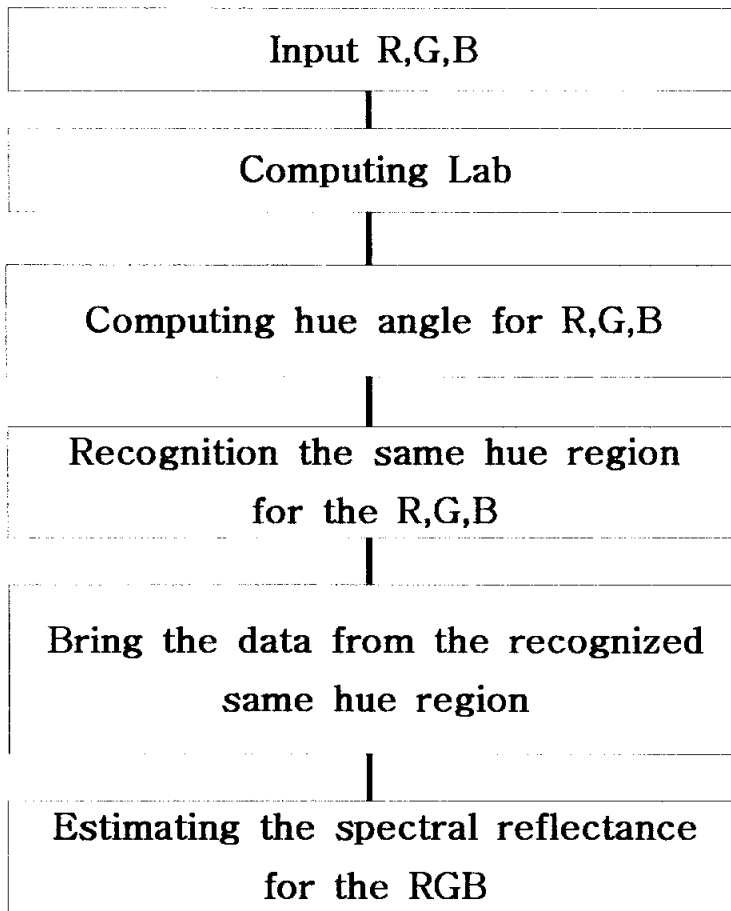


Fig 5. The spectral reflectance estimating block diagram for the RGB.

기존의 방법에서는 동일색상 영역을 인식하기 위하여 RGB에 대한 색상각의 계산공정과 동일색상 영역의 인식공정이 요구되었다. 기존의 방법에서 동일 색상 영역을 인식하기 위해서는 RGB값에 대한 색상각과 25종류로 구분된 동일 색상 영역의 대표적인 색상 각(25개)과의 유클리드 거리를 계산 한 후 최소 값을 구해야 한다. 한 화소에 대해서 한번의 색상각 계산과 25번의 유클리드 계산, 그리고 한번의 최소값 계산이 필요

하지만, 여기서는 방법에서는 한번의 계산으로 동일 색상 영역을 인식할 수 있다. 다음은 라벨링 방법으로 동일 색상 영역의 인식 과정을 나타내고 있다. 여기서 200×200 크기의 매트릭스로 25개의 동일색상 영역으로 구분된 부분을 라벨링한 Label_SH와 모든 요소 값이 0인 Label_RGB를 데이터베이스로 구축해 둔다.

<Step 1> Input RGB

샘플 이미지로 사용한 Mecbath Color Checker에서 11영역에 해당하는 한 화소의 값 R(97), G(145), B(19)를 예를 들어 진행한다.

<Step 2> Computing Lab for R(97), G(145), and B(19)

RGB값으로부터 XYZ 삼자극치로 변환은 아래의 NTSC 변환식 식(26)과 식(6)의 변환식을 이용하여 $L^*a^*b^*$ 값을 구한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6068 & 0.1735 & 0.2004 \\ 0.2989 & 0.5866 & 0.1145 \\ 0.0000 & 0.0661 & 1.1163 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (26)$$

이 때 구해진 $L^*a^*b^*$ 값은 각각 105.9, -37.6, 79.1이 되었다.

<Step 3> Changing the 1 from 0 on Label_RGB(a^*, b^*)

Fig 6.과 같이 200×200 크기로 구축된 Label_RGB의 모든 요소 값은 0으로 초기화 되어 있으며, RGB값으로부터 계산된 a^*, b^* 값을 이용하여 다음과 같이 좌표 (a^*, b^*)에만 1로 값을 변환한다.

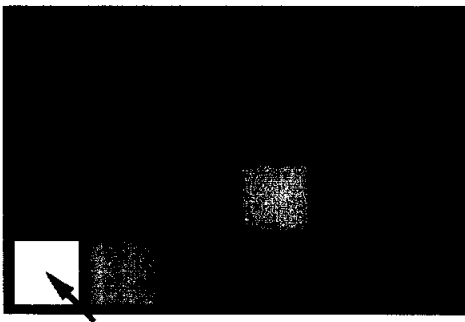
의 값을 가진다. Fig 7. (b)는 동일색상 영역과 그레이 영역으로 모두 25개의 영역에 대해서 라벨이 부여되어 있다. 여기서 Label_RGB 매트릭스와 Label_SH 매트릭스를 곱하여 그 값을 구하면 8이 된다. 즉, 입력된 R(97), G(145), B(19)에 대한 동일 색상 영역은 8의 영역으로 인식된다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 광원추정 결과

4-1-1. 최대무채색 영역의 인식결과와 분광반사율 복원

규정된 무채색 영역중의 R_{GWA} , G_{GWA} , B_{GWA} 를 식(23)에 사용하여 Y 가 95%이상이고 C_b , C_r 의 절대값이 최소가 되는 지점을 찾아 최대무채색 영역으로 가정하고, 최대 무채색 영역을 찾기 위해 사용한 샘플 이미지는 Fig 8.과 같이 3종류의 서로 다른 조명에서 촬영한 이미지를 사용하였다.



(a) The recognition of a maximum gray area in D65 illuminant



(b) The recognition of a maximum gray area in measurement A



(c) The recognition of a maximum gray area in measurement Hol

Fig 8. Sample images for using the experiment to recognize the maximum gray area.

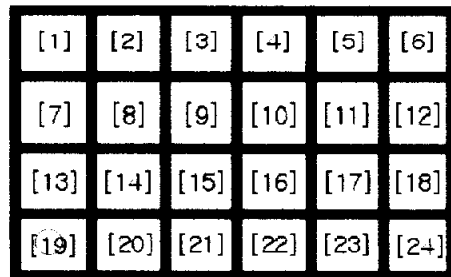
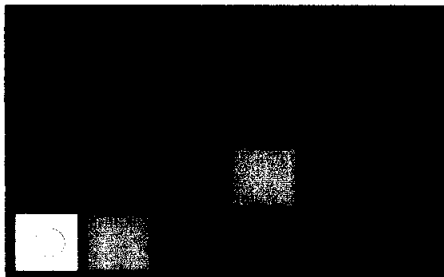
실험결과 3종류의 이미지에서 모두 가장 밝은 흰색부위를 인식하였고, 이 때 이들의 RGB값은 Table II.와 같다.

Table II. RGB Data which has a Maximum Gray Area according to the Light Source

Light \ RGB	R	G	B
A	255	189	69
D65	233	255	217
Hol	255	123	20

4-1-2. 최대무채색 부분의 분광반사율 추정

Grayworld방식으로 인식한 최대무채색 영역((b)의 19번 영역)에 대해서 분광반사율을 추정한 결과를 실측한 값과 함께 Fig 10.에 나타내었다. Fig 10.에서 알 수 있는 바와 같이 최대무채색 영역의 분광 반사율은 실측한 값과 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 이미지 촬영당시의 조명광원에 관계없이 물체의 고유 분광반사율 추정이 가능함을 알 수 있다.



(a) Recognized maximum gray region

(b) Sample No. of the test image

Fig 9. Recognized the maximum gray region and sample No. of the image.

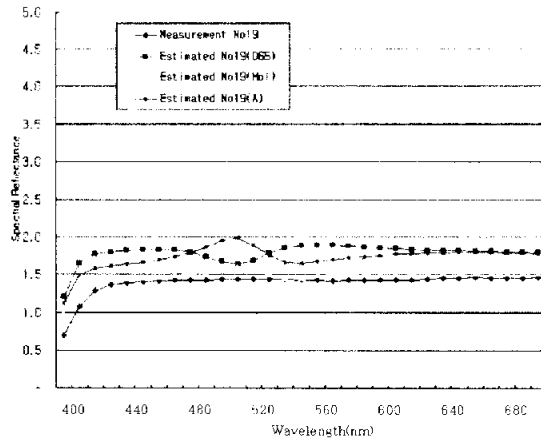


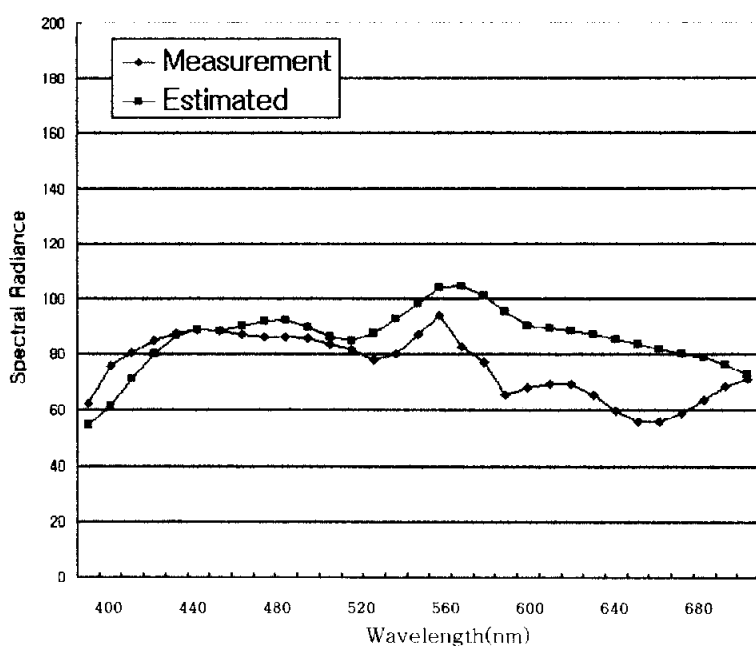
Fig 10. Measured and estimated the spectral reflectance of the sample No.19.

4-1-3. 광원 추정

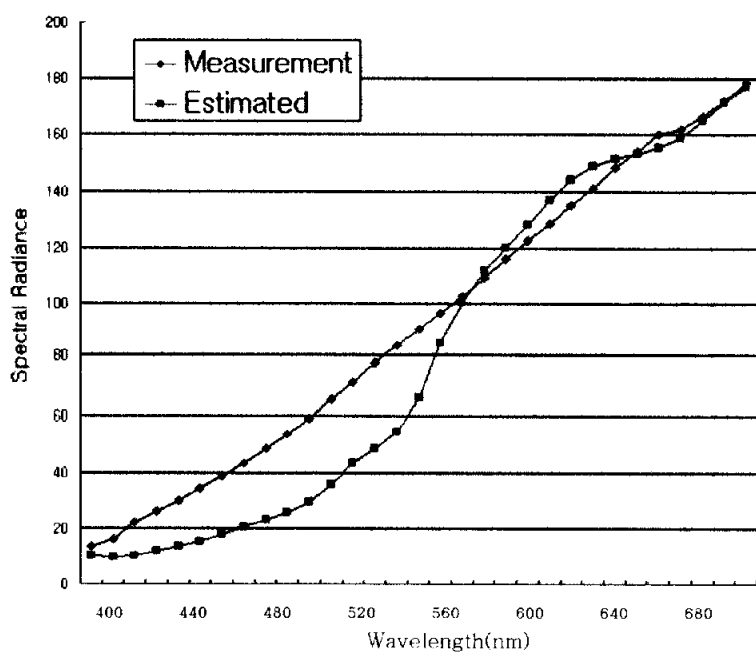
최대무채색 영역에서의 $L_{\text{max}}(\lambda)$ 는 최대무채색 영역에서 얻은 L_{ab} 값과 광원의 종류에 따라 최대무채색 영역의 분광반사율로 얻을 수 있는 L_{ab} 값과의 색차가 최소인 광원의 분광분포를 사용하여 식(24)와 같이 구할 수 있으며, 이 때 얻은 $L_{\text{max}}(\lambda)$ 와 복원한 $R_{\text{max}}(\lambda)$ 를 사용하여 광원을 추정할 수 있다.

다음의 Fig 11.은 3종류의 조명에서 촬영한 이미지로부터 추정한 광원의 분광방사와 실측한 분광방사를 나타낸 그래프다. 결과의 그림에서 알 수 있는 바와 같이 실측한 광원의 분광방사와 추정한 광원의 분광방사에는 약간의 차이만 발생하고 있으므로 실용화의 가능성을 나타내고 있다.

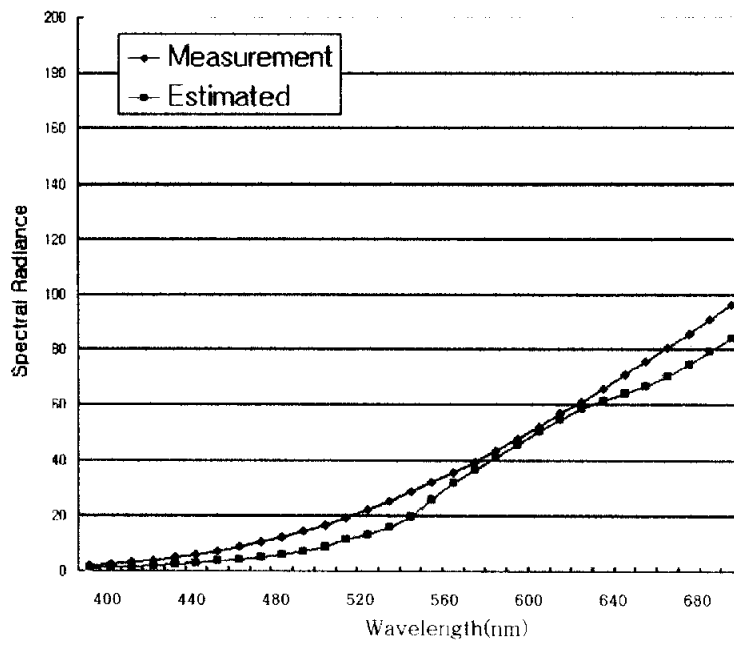
보다 정확한 광원 추정이 필요한 분야를 위해서는 다양한 조명광원에 대한 데이터베이스 구축이 요구되지만, 분광반사 정보를 이용한 이미지 처리에 이용하는 경우에는 문제가 없을 것으로 사려된다.



(a) Measured and estimated spectral radiation of the D65



(b) Measured and estimated spectral radiation of the A



(c) Measured and estimated spectral radiation of the Hol

Fig 11. Measured and estimated spectral radiation of the (a)D65, (b)A, and (c)Hol light source.

4-2. 광원별 동일색상 모집단의 누적기여율

먼셀 색상을 기반으로 하여 24종류의 동일색상과 1개의 그레이 영역으로 분류하였다. 이들 각각의 동일색상 영역에 포함되어 있는 물체의 분광반사율에 대한 주성분을 분석하여 제3주성분까지의 누적기여율을 각 광원별로 Table III.과 Table IV.로 나타내었다. 동일색상 영역으로 분류할 때 제3주성분까지의 누적 기여율이 모두 99.5% 이상이 되도록 하였다.

동일색상 분류는 실제 이미지 실험에 사용한 3종류의 광원 외에 5종류의 광원에 대해서도 데이터베이스를 구축하였다. 그러나 이미지를 통한 실제 실험은 실험실에 준비된 광원 A, D65, 그리고 H01에 대해서만 확인할 수 있었다.

여기서 제3주성분까지의 누적 기여율이 99.5% 이상으로 결정한 것은 5-밴드 이미지를 이용한 물체의 분광반사율 추정에서 신뢰성이 확인된 값을 따른 것이며, RGB 값으로 저장된 컬러 이미지로부터 오차 없이 정확하게 추정할 수 있다면 바로 누적 기여율의 비율만큼 가능한 것이다.

Table III. Cumulative Contribution Ratio of 3rd. according to the Light Source

Light Label	C illuminant	Measurement D65	Measurement D50	Measurement Hol
	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.
Label 1	99.9	99.9	99.8	99.9
Label 2	99.9	99.9	99.9	99.8
Label 3	99.9	99.9	99.9	99.8
Label 4	99.9	99.9	99.8	99.8
Label 5	99.9	99.9	99.9	99.8
Label 6	99.9	99.9	99.9	99.8
Label 7	99.8	99.8	99.8	99.9
Label 8	99.9	99.9	99.9	99.9
Label 9	99.6	99.7	99.6	99.8
Label 10	99.7	99.6	99.7	99.9
Label 11	99.8	99.7	99.8	99.8
Label 12	99.7	99.8	99.8	99.8
Label 13	99.8	99.7	99.8	99.7
Label 14	99.8	99.8	99.8	99.8
Label 15	99.8	99.8	99.7	99.8
Label 16	99.8	99.8	99.8	99.7
Label 17	99.8	99.9	99.9	99.8
Label 18	99.6	99.6	99.6	99.6
Label 19	99.5	99.5	99.5	99.5
Label 20	99.6	99.7	99.7	99.6
Label 21	99.8	99.7	99.5	99.8
Label 22	99.7	99.7	99.7	99.8
Label 23	99.8	99.8	99.9	99.9
Label 24	99.8	99.8	99.9	99.9
Average	99.8	99.6	99.8	99.8

Table IV. Cumulative Contribution Ratio of 3rd. according to the Light Source

Light Label	Measurement T184	A illuminant	D65 illuminant	D50 illuminant
	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.	Cumulative contribution ratio of 3rd.
Label 1	99.9	99.9	99.8	99.9
Label 2	99.5	99.5	99.5	99.5
Label 3	99.9	99.8	99.9	99.9
Label 4	99.9	99.8	99.9	99.8
Label 5	99.9	99.8	99.9	99.9
Label 6	99.9	99.8	99.8	99.9
Label 7	99.8	99.9	99.8	99.8
Label 8	99.5	99.5	99.5	99.5
Label 9	99.5	99.5	99.5	99.5
Label 10	99.9	99.9	99.7	99.7
Label 11	99.8	99.7	99.8	99.8
Label 12	99.9	99.8	99.8	99.7
Label 13	99.8	99.8	99.7	99.8
Label 14	99.7	99.7	99.8	99.8
Label 15	99.7	99.7	99.8	99.7
Label 16	99.7	99.8	99.8	99.8
Label 17	99.8	99.8	99.9	99.9
Label 18	99.7	99.6	99.6	99.6
Label 19	99.5	99.5	99.5	99.5
Label 20	99.5	99.5	99.7	99.7
Label 21	99.6	99.7	99.7	99.6
Label 22	99.8	99.8	99.7	99.6
Label 23	99.9	99.9	99.8	99.8
Label 24	99.8	99.9	99.8	99.8
Average	99.8	99.8	99.8	99.8

4-3. RGB 이미지를 이용한 분광반사율 추정결과

선형 분할 방식으로 동일색상 영역을 그레이를 포함하여 25영역으로 나눈 모집단 영역의 데이터베이스를 3종류의 광원에 대해서 구축한 후, Fig 12.와 같은 테스트 이미지에 대해서 실험하였다.

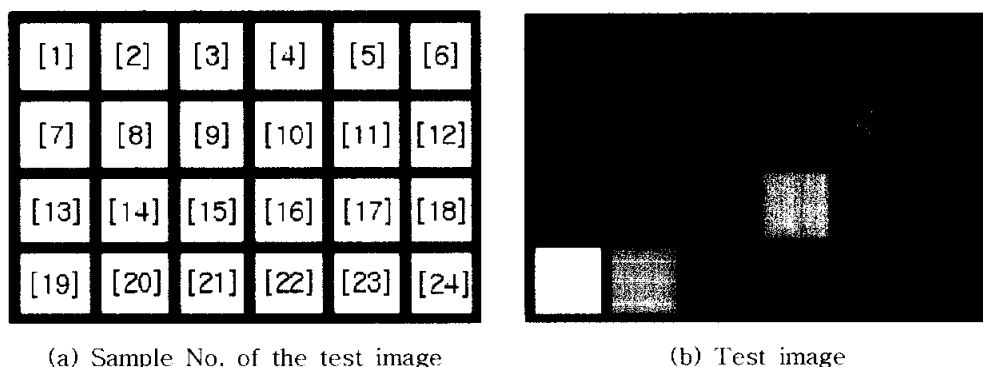
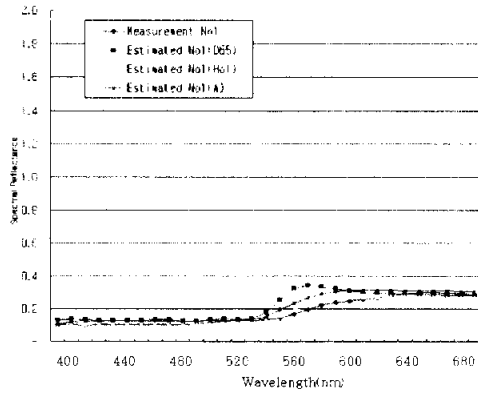


Fig. 12 Test image and sample No. of the test image were used spectral reflectance estimating experiment.

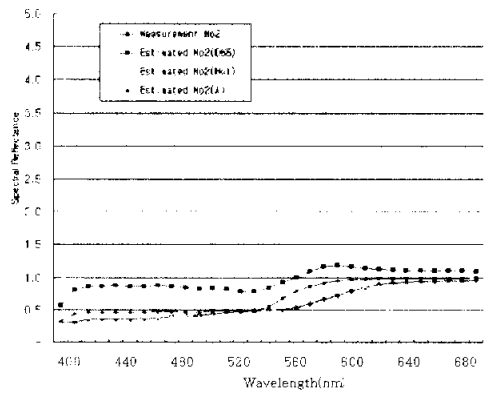
실험결과의 정확성과 객관적인 평가를 위해서 테스트 이미지의 각 영역에 대한 실측한 분광반사율과 3종류의 조명광에서 촬영한 이미지로부터 추정한 분광반사율의 결과를 Fig 13.에 나타내었다. 여기서 실험한 샘플은 유채색인 Sample No.1~Sample No.18까지 모두 18종류를 3종류의 광원에 대해서 실험하였다. 그리고 실측한 분광반사율과 3종류의 광원 하에서 촬영한 3-밴드 이미지로부터 추정한 분광반사율을 D65 표준의 광에서 색차를 비교한 값을 Table V.에 나타내었다. 이때 표준으로 한 실측한 분광반사율을 기준으로 색차를 계산하였다.

그리고 각 Sample No. 별 색차를 Fig 14.에 나타내었다. Fig 14.에 서 알 수 있는 바와 같이 평균 색차는 2.7이었고, Sample No.2, Sample

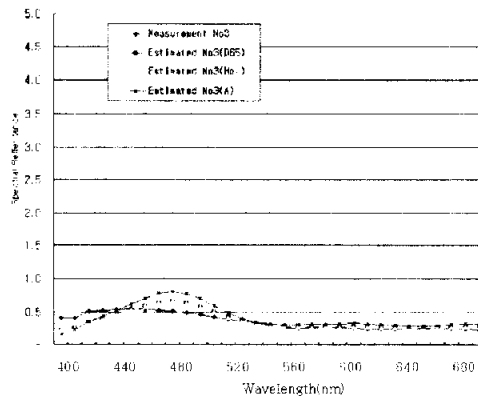
No.8, 그리고 Sample No.9에서 색차가 4.5로 다소 많이 나타났다. 이는 누적 기여율이 다른 영역보다 낮기 때문에 색차가 다소 많이 나타났음을 알 수 있다.



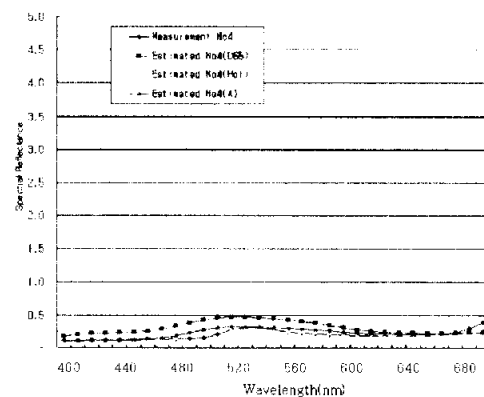
(a) Spectral reflectance of No.1



(b) Spectral reflectance of No.2

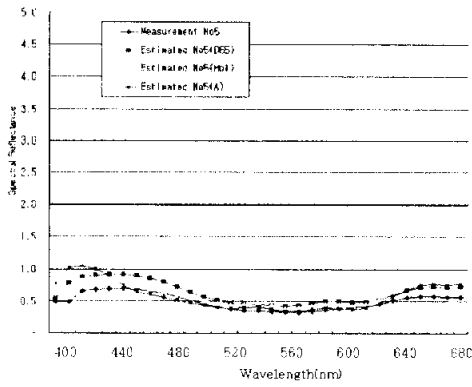


(c) Spectral reflectance of No.3

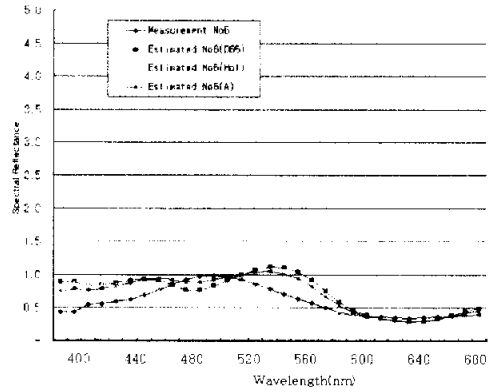


(d) Spectral reflectance of No.4

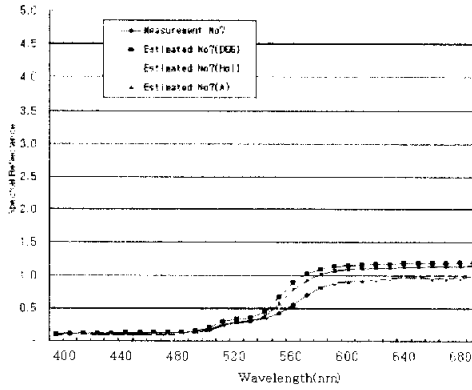
to be continue



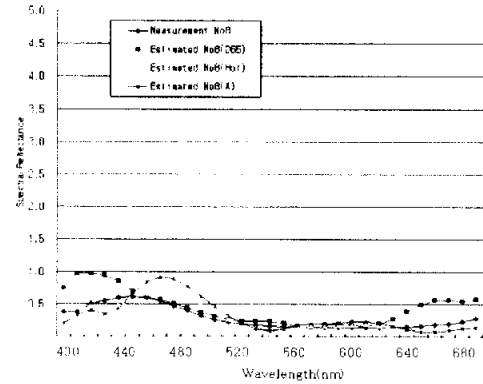
(e) Spectral reflectance of No.5



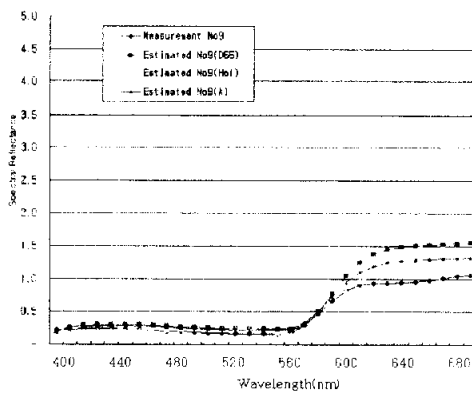
(f) Spectral reflectance of No.6



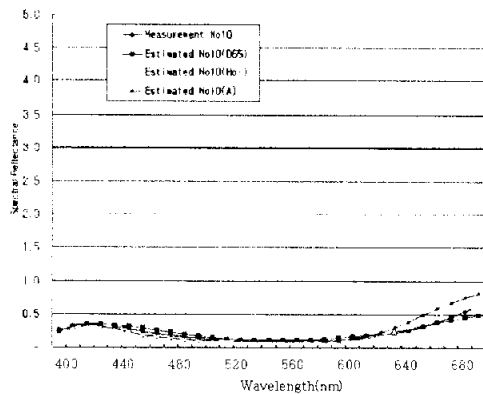
(g) Spectral reflectance of No.7



(h) Spectral reflectance of No.8

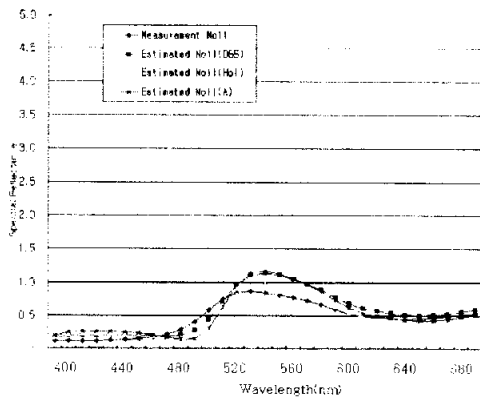


(i) Spectral reflectance of No.9

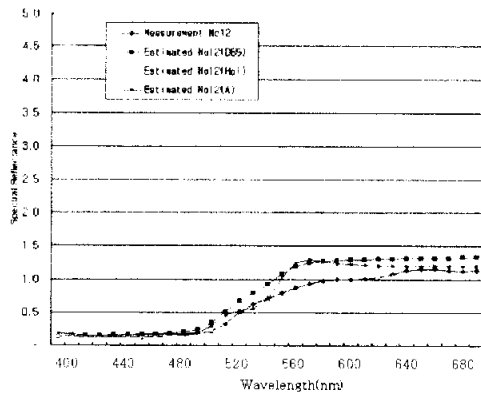


(j) Spectral reflectance of No.10

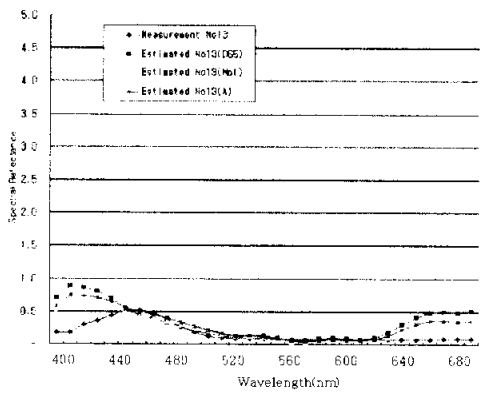
to be continue



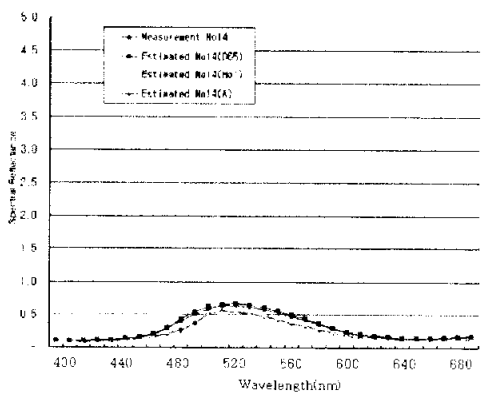
(k) Spectral reflectance of No.11



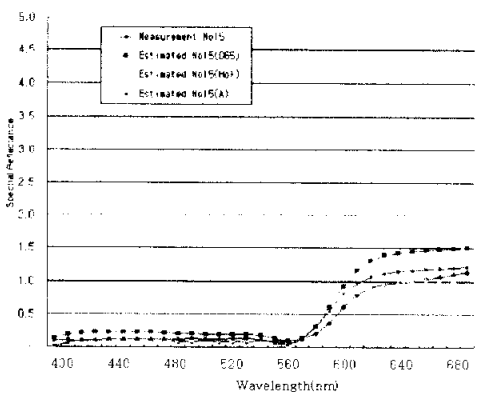
(l) Spectral reflectance of No.12



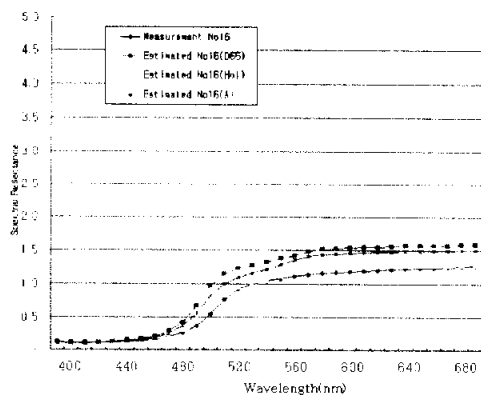
(m) Spectral reflectance of No.13



(n) Spectral reflectance of No.14

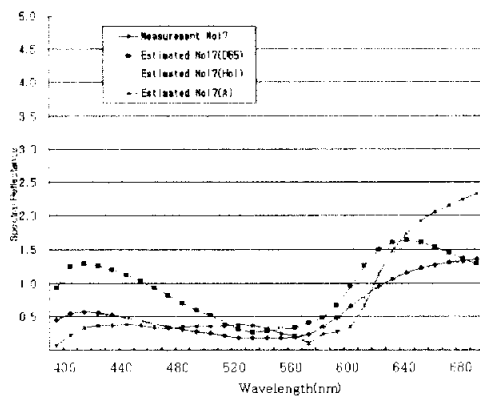


(o) Spectral reflectance of No.15

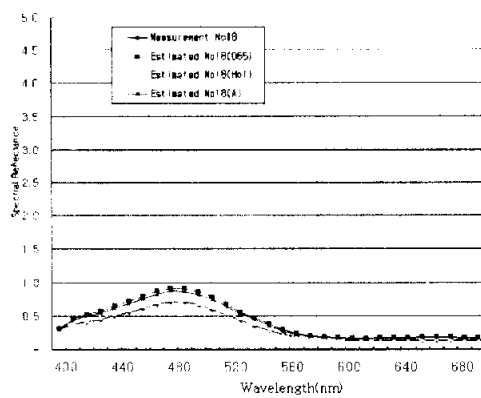


(p) Spectral reflectance of No.16

to be continue



(q) Spectral reflectance of No.17



(r) Spectral reflectance of No.18

Fig 13. Estimated spectral reflectance of mecbath areas.

Table V. ΔE_{ab}^* Comparison of Estimated Spectral Reflectance in the Mecbath areas

ΔE_{ab}^* Area	Mecbath (Measurement)			D65 illuminant (Estimation)	Hol illuminant (Estimation)	A illuminant (Estimation)
	L	a	b	ΔE_{ab}^*	ΔE_{ab}^*	ΔE_{ab}^*
Area 1	47.4	14.2	16.3	2.47	2.65	1.66
Area 2	79.5	15.6	20.7	3.00	4.61	3.67
Area 3	62.4	-0.1	-25.8	2.73	3.37	3.33
Area 4	54.3	-17.9	24.1	2.60	3.96	1.31
Area 5	68.2	13.9	-28.8	2.84	2.74	4.17
Area 6	87.3	-36.4	2.3	3.16	3.23	3.95
Area 7	74.5	32.2	63.6	3.11	3.04	3.27
Area 8	50.6	18.5	-47.4	2.64	4.37	3.55
Area 9	62.5	50.6	15.2	2.83	4.70	3.67
Area 10	39.6	26.7	-25.1	2.39	2.72	3.44
Area 11	86.1	-32.4	67.1	3.33	3.44	3.83
Area 12	86.5	15.9	76.1	3.35	2.37	3.77
Area 13	37.8	29.4	-56.2	2.52	3.34	0.86
Area 14	67.5	-47.0	40.1	2.96	2.88	2.21
Area 15	51.6	57.3	25.8	2.72	2.22	2.57
Area 16	98.5	-2.9	90.2	3.61	3.33	3.34
Area 17	62.3	55.5	-18.2	2.86	3.57	3.79
Area 18	62.3	-24.2	-29.2	3.75	1.73	1.73
Average	-	-	-	2.83	2.89	2.71

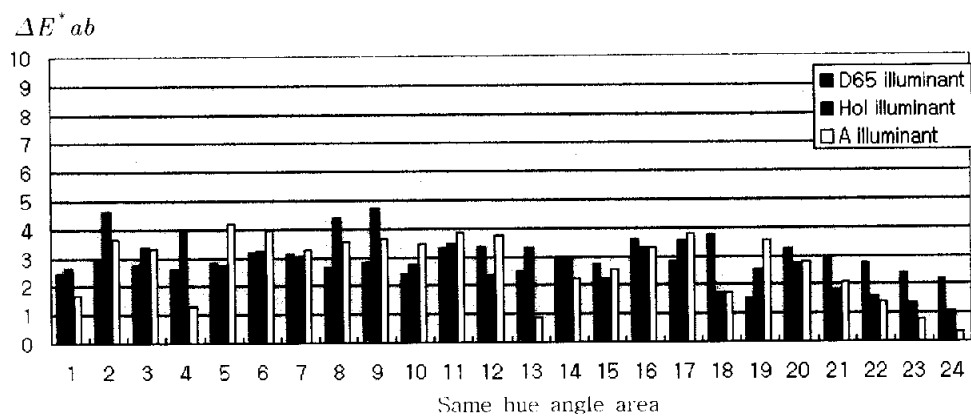


Fig. 14 ΔE^*_{ab} comparison graph according to the light source.

5. 결 론

일반적으로 같은 색자극이라도 색을 촬영 또는 관찰하는 환경에 따라서 지각되는 색이 달라지므로 피사체 고유의 색으로 이미지를 처리하는 방법이 요구되고 있다. 이를 실현하는 방법들이 멀티밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정이다.

본 논문에서는 기존의 3-밴드 이미지를 이용한 분광반사율 추정 방법에서 색상 각을 이용한 동일 색상 모집단 생성 방법의 개선과 라벨링 방법을 도입하여 처리 속도를 개선하였다. 자연색을 대표하는 먼셀 컬러 패치를 측정하여 각 광원별로 주성분 u_1, u_2, u_3 를 a^*b^* 영역에서 선형으로 분할하여, 동일색상 영역으로 24종류의 라벨을 부여하였다. 제안한 방법으로 구축한 영역의 데이터베이스를 이용하여 실험한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 미지의 광원정보 이미지 RGB 색신호에서 Grayworld 방식을 사용하여 광원을 추정할 수 있었고, 실측한 광원의 분광방사와 추정한 광원의 분광방사에는 약간의 차이만 있으므로 실용화의 가능성을 나타내었다.

2) 주성분 u_1, u_2, u_3 를 a^*b^* 영역에서 선형으로 분할하여, 동일색상 영역으로 Label을 부여하므로 색상각을 이용한 인식방식과 비선형 분할 라벨링 방식에 비하여 데이터베이스 구축이 용이하였고, 처리 속도가 향상되었다.

3) RGB 이미지를 이용한 분광반사율 추정결과 Mecbath 영역별로 추정된 분광 반사율이 일정한 형태를 나타내고 있으며, 추정한 분광반사율

을 D65 표준의 광에서 색차를 비교하면 평균색차가 2.7로 나타났고, 누적기여율이 다른 영역보다 낮은 부분에서는 색차가 4.5 정도로 다소 많이 나타났다.

이상의 결과로 제안한 방법의 타당성과 유용성을 확인 할 수 있었으며 처리속도가 향상되어 실용화에 접근할 수 있었다.

금후의 과제로서는 이미지 획득 장치의 정확한 색재현과 $RGB-XYZ$ 색 변환의 정밀성을 향상시키는 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. Mark D.Fairchild, Color Appearance Models, Addison-Wesley Press, pp.23~28, 1998.
2. 大田 登, 色彩工學, 東京電氣大學 出版局, pp. 45~49, 1993.
3. Y.Miyake, Y.Yokoyama, Proc. SPIE 330:190, (1998).
4. S.H.Lee, J.P.Kim, E.H.Lee, S.C.Ahn, 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, 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, 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, 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, J. of Korean Society for Imaging Science and Technology, Vol. 6, No. 1, pp.76~82, (2000).
9. S.A.Ahn, J.P.Kim, S.C.Ahn, The 18th Conference of The Korean Society for Imaging Science and Technology, pp.67~68, (2002).