

Analysis of Skin Color Pigments from Camera RGB Signal Using Skin Pigment Absorption Spectrum

Kim Jeong Yeop[†]

ABSTRACT

In this paper, a method to directly calculate the major elements of skin color such as melanin and hemoglobin from the RGB signal of the camera is proposed. The main elements of skin color typically measure spectral reflectance using specific equipment, and reconfigure the values at some wavelengths of the measured light. The values calculated by this method include such things as melanin index and erythema index, and require special equipment such as a spectral reflectance measuring device or a multi-spectral camera. It is difficult to find a direct calculation method for such component elements from a general digital camera, and a method of indirectly calculating the concentration of melanin and hemoglobin using independent component analysis has been proposed. This method targets a region of a certain RGB image, extracts characteristic vectors of melanin and hemoglobin, and calculates the concentration in a manner similar to that of Principal Component Analysis. The disadvantage of this method is that it is difficult to directly calculate the pixel unit because a group of pixels in a certain area is used as an input, and since the extracted feature vector is implemented by an optimization method, it tends to be calculated with a different value each time it is executed. The final calculation is determined in the form of an image representing the components of melanin and hemoglobin by converting it back to the RGB coordinate system without using the feature vector itself. In order to improve the disadvantages of this method, the proposed method is to calculate the component values of melanin and hemoglobin in a feature space rather than an RGB coordinate system using a feature vector, and calculate the spectral reflectance corresponding to the skin color using a general digital camera. Methods and methods of calculating detailed components constituting skin pigments such as melanin, oxidized hemoglobin, deoxidized hemoglobin, and carotenoid using spectral reflectance. The proposed method does not require special equipment such as a spectral reflectance measuring device or a multi-spectral camera, and unlike the existing method, direct calculation of the pixel unit is possible, and the same characteristics can be obtained even in repeated execution. The standard deviation of density for melanin and hemoglobin of proposed method was 15% compared to conventional and therefore gives 6 times stable.

Keywords : Skin Color, Independent Component Analysis, Melanin, Hemoglobin

피부색소 흡수 스펙트럼을 이용한 카메라 RGB 신호의 피부색 성분 분석

김 정 엽[†]

요 약

본 논문에서는 멜라닌과 헤모글로빈 등의 피부 색상을 구성하는 주요한 요소들을 카메라의 RGB 신호로부터 직접 계산하는 방법을 제안한다. 피부 색상의 주요한 요소들은 통상적으로 특정한 장비를 이용하여 분광 반사도를 측정하고, 측정된 빛의 일부 파장에서의 값들을 중심으로 재구성하는 방법을 사용한다. 이와 같은 방법으로 산출된 값들은 멜라닌 지수, 홍반 지수와 같은 것들이 있으며, 분광반사도 측정 장치나 다중스펙트럼 카메라 등의 특수한 장비를 필요로 한다. 일반적인 디지털 카메라로부터 이와 같은 성분요소들에 대한 직접적인 계산방법은 찾아보기 어려우며, 독립성분 분석(Independent Component Analysis)을 이용하여 멜라닌과 헤모글로빈의 농도를 간접적으로 계산하는 방법은 제안되어 있다. 이 방법은 일정한 RGB 영상의 영역을 대상으로 하여, 주성분 분석(Principal Component Analysis)과 유사한 방식으로 멜라닌과 헤모글로빈의 특성벡터를 추출하고, 농도를 계산할 수 있다. 이 방법의 단점은 일정한 영역의 화소 그룹을 입력으로 사용하기 때문에 화소단위의 직접적인 계산이 어렵고, 추출된 특성벡터는 최적화 방식으로 구현하기 때문에 실행할 때마다 다른 값으로 계산되는 경향이 있다. 최종적인 계산은 특성벡터 자체를 활용하지 않고, RGB 좌표계로 다시 변환하여 멜라닌과 헤모글로빈의 성분을 나타내는 영상 형태로 결정된다. 이 방법의 단점을 개선하기 위하여 제안하는 방법은 특성벡터를 활용하여 RGB 좌표계가 아닌 특징 공간에서 멜라닌과 헤모글로빈의 성분 값을 계산하는 것과, 일반적인 디지털 카메라를 이용하여 피부색에 해당하는 분광 반사도를 계산하는 방법, 분광 반사도를 이용하여 멜라닌과 옥시헤모글로빈, 디옥시헤모글로빈, 카로티노이드 등의 피부색소를 구성하는 세부 성분들의 계산방법 등이다. 제안한 방법은 분광 반사도 측정 장치나 다중 스펙트럼 카메라 등의 특수한 장비를 필요로 하지 않으며, 기존 방법과는 달리 화소단위의 직접적인 계산이 가능하고, 반복 실행에도 동일한 특성을 얻을 수 있다. 제안한 방법은 기존에 비하여 성능의 안정성을 나타내는 표준편차가 15% 수준으로 낮게 나타나 6배 정도의 안정적인 성능을 가진 것으로 추정된다.

키워드 : 피부색, 독립성분분석, 멜라닌, 헤모글로빈

※ 이 논문은 2021학년도 영산대학교 교내연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

† 정 회 원 : 영산대학교 성심교양대학 부교수

Manuscript Received : April 12, 2021

First Revision : July 5, 2021

Accepted : September 2, 2021

* Corresponding Author : Kim Jeong Yeop(neocopy@ysu.ac.kr)

1. 서 론

피부색을 구성하는 요소들에 대한 연구는 미용과 의학 분야에서 중요한 의미를 가진다. 피부색의 이상 여부를 판정하는 기준으로 사용되기도 하고, 피부 관련 질병 여부를 판단하

는데, 중요한 자료로 사용된다. 공학 분야에서는 피부색의 칼라 특징을 이용하여 영역분할 등의 형태로 많은 연구가 진행되어 있다[1-3]. 대부분의 영역분할은 CIE 등의 칼라좌표계상의 특징 값을 이용하며, 피부색을 구성하는 색소의 계산은 찾아보기 어렵다. 미용과 의학 분야에서는 주로 분광 반사도를 측정하여 피부 색소 구성요소의 농도를 직접적으로 계산해 주는 독립적인 장치를 이용하여 색소 요소의 농도를 측정하여 활용한다[5]. 공학 분야에서 흔히 사용하는 입력장치는 디지털 카메라이며, 이를 이용하여 피부색의 구성요소인 멜라닌과 헤모글로빈의 정보를 추정하는 방법이 제안되어 있다[6]. 이 방법은 독립적인 분광반사도 측정 장치나 다중 스펙트럼 카메라와 같은 특수한 장치를 이용하지 않아도 되는 장점이 있지만, 화소단위의 계산이 어렵거나, 색상 요소 특성벡터의 안정성에 문제가 있다.

1.1 관련 연구

피부색을 결정하는데 가장 중요한 것은 멜라닌의 농도이다. 헤모글로빈, 카로틴 등의 색소 성분도 존재하지만 멜라닌의 역할이 가장 큰 것으로 알려져 있다[7]. 멜라닌의 색상은 갈색에 가까운 것이고, 농도가 높을수록 검은 피부색의 형태로 보인다.

멜라닌의 농도를 구하는 가장 간단한 방법은 분광 반사도를 이용한 직접적인 측정이다. 대부분의 멜라닌 전용 측정 기기들은 2~3개의 단일파장을 가지는 빛을 피부에 투사하고, 해당 파장 대에서 반사되는 빛의 강도 비율을 이용하여 멜라닌 지수를 계산한다. 지수의 값이 클수록 농도가 높은 것으로 볼 수 있다.

임의의 칼라 영상으로부터 멜라닌과 헤모글로빈 색소의 농도에 비례하는 값을 측정하는 방법이 Lu[8], Spigulis[5], Tanaka[6] 등에 의해 제안되었다. 대부분의 방법들이 사용하는 독립성분 분석은 Tsumura[3] 등에 의해 처음 제안된 것으로, 기존의 주성분 분석(principal component analysis)을 강화한 것이다. 이 방법은 2개의 독립적인 축을 가정하고, 데이터 패턴에 2개의 독립 축에 각각 가중치를 적용하여 모델링한 것이다. 이 과정에서 최적화 방법을 도입하는데, 동일한 데이터에 대한 반복실행에서 최적화 파라미터에 따라 독립적인 축이 계속 변하는 성질이 있어 안정적인 결과 추출에 문제점이 있다. Tsumura 연구 그룹은 최근까지 독립성분 분석 방법을 일부 개선하는 등의 노력을 하고 있으나, 독립성분 분석에서 나타나는 근본적인 문제점의 해결은 어렵고, 분석 결과를 안정화시키기 위하여 분석에 참여하는 데이터 샘플의 다양화에 집중하고 있다.

Lu의 방법은 홍반(erythema)의 검출을 목적으로 RGB 입력영상에 대하여 지원 벡터 기계(support vector machine)를 로그 공간에서 적용하여 멜라닌과 헤모글로빈으로 추정되는 2개의 독립성분으로 추출하였다. 일반적인 독립성분 추출 방식을 기반으로 하였으며, 독립적인 2개의 축이 각각 멜라닌과 헤모글로빈으로 단정하기는 어렵다. 피부색이 멜라닌과

헤모글로빈의 2개 색소를 바탕으로 결정된다는 가정을 입증하기 어렵기 때문이다.

Spigulis 등은 RGB 영상을 입력으로 하지만, 473nm, 532nm, 659nm의 3개 대역에 해당하는 다중 스펙트럼 영상을 사용한다. 각 영상의 화소 값들의 비율을 이용하여 멜라닌, 옥시헤모글로빈, 디옥시헤모글로빈의 3개 색소 성분에 대한 강도를 추정하는 것으로, 일반적인 가시광선 대역의 RGB영상에 대해서는 적용이 불가하다.

Tanaka 등이 제안하는 방법 중 기본형은 일정한 RGB 영상의 영역을 대상으로 하여, 주성분 분석(Principal Component Analysis)과 유사한 방식으로 멜라닌과 헤모글로빈의 특성벡터를 추출하고, 농도를 계산할 수 있다. 단점은 일정한 영역의 화소 그룹을 입력으로 이용하기 때문에 화소단위의 직접적인 계산이 어렵고, 추출된 특성벡터는 최적화 방식으로 구현하기 때문에 실행할 때마다 다른 값으로 계산되는 경향이 있다. 최종적인 계산은 특성벡터 자체를 활용하지 않고, RGB 좌표계로 다시 변환하여 멜라닌과 헤모글로빈의 성분을 나타내는 영상 형태로 결정된다.

1.2 제안한 방법의 연구범위

앞에서 언급한 몇 가지 방법 중에서 다중 스펙트럼 장치를 필요로 하지 않고 일반적인 RGB 영상을 입력으로 하는 Tanaka 등의 방법을 기존방법으로 선정하였다. 기존 방법의 장점은 특별한 장치를 필요로 하지 않고, 간단하게 멜라닌과 헤모글로빈의 농도에 비례하는 값을 계산할 수 있다. 단점은 계산을 위해서는 최소한 영역 단위의 샘플이 필요한 점이다. 화소 단독으로는 계산이 불가하며, 최소한 3개 이상의 샘플 화소가 필요하고, 최적화 과정에서 독립축이 고정되지 않아서 데이터 결과들 간의 비교가 어렵다.

본 연구에서는 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 첫째로, RGB 영상으로부터 피부색에 대한 분광 반사도를 계산하는 방법, 둘째로, 피부색의 분광반사도로부터 피부색 색소 성분을 계산하는 방법을 제안한다.

제안하는 방법을 적용한 결과, 카메라 스펙트럼 데이터가 확보된 Gehler 데이터 셋[9]의 경우에는 멜라닌, 옥시헤모글로빈, 디옥시헤모글로빈, 카로티노이드의 4개 피부 색소 농도에 비례하는 값을 계산할 수 있었다. 2장에서는 기존 방법과 문제점을 기술하고, 분광 반사도를 이용한 새로운 피부 색소 계산 방법을 제안한다. 3장에서는 실험결과와 고찰을, 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 제안한 피부 색소 성분 계산

2.1 기존의 연구방법 및 문제점

Tanaka 등은 Tsumura 등의 기본적인 방법을 확장한 것으로, 가시광선 대역의 RGB 영상을 입력으로 하여, 멜라닌과 헤모글로빈 성분에 해당하는 영상을 생성하였다. 전체적인 처리방법은 Fig. 1에 나타내었다.

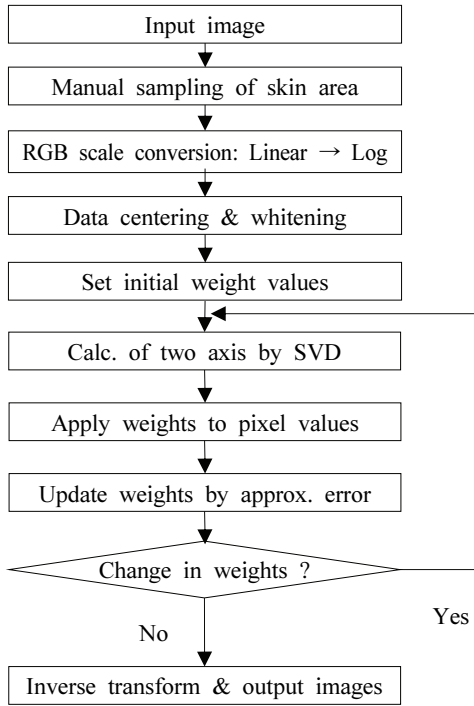


Fig. 1. The Algorithm Flowchart of Conventional Method

Tsumura 등의 기본적인 방법의 처리과정은 다음과 같이 구성된다

먼저, 피부에 해당하는 부분의 영상을 관심영역으로 지정하여 분리하는 것을 시작으로, 관심 영역의 영상을 RGB 좌표계의 선형 스케일에서 로그 스케일로 변환해야 한다. 변환된 로그 스케일 상에서, 안정적인 독립성분 추출을 위하여 입력 데이터의 통계적 속성을 평균 0, 분산 1로 조정하고 백색화(whitening)과정을 적용한다. 이후, 조정된 데이터 분포에 대하여, 초기 가중치 값을 랜덤하게 설정하여 최적화를 시작한다. 멜라닌과 헤모글로빈을 의미하는 2개의 특징 축을 SVD로 구하고, 가중치를 적용하고 벡터 합산을 통하여 나온 값을 화소 값과 비교하여 오차 값 결정한다. 계산되는 오차값을 반영하여 가중치를 변경한 다음, 다시 특징 축을 그림1의 6번째 블록인 SVD로 구하는 처리를 반복하여 가중치를 갱신한다. 이와 같은 가중치의 변화를 관찰하여 가중치 변화가 거의 없는 수준이 되면 반복을 중지한다. 이후, 로그 특징공간에서 각각의 특징 축과 가중치를 이용하여 특징 데이터를 RGB좌표계로 역 변환한 다음 최종 결과를 멜라닌과 헤모글로빈 영상으로 저장한다.

기존연구의 문제점은 다음과 같다.

1) 데이터 처리 단위

Fig. 1의 2번째 블록에 해당하며, 피부를 포함하는 영역을 주요 대상으로 한다. 가장 많이 사용되는 부분은 이마, 양쪽 뺨, 코 등에 해당하며, 통상적으로 멜라닌 농도가 가장 높은 곳은 이마로 알려져 있다. 이 방법은 칼라공간에서 화소들이 분포하는 평면을 중심으로 해석하는 방식이므로 최소 3개 화

소 이상의 다수 샘플을 필요로 한다. 일정 그룹의 화소들을 대상으로 계산을 실시하고, 개별 화소에 대한 피부 색소성분의 추출은 가능하지만 단일 화소만으로는 피부색 색소성분 추출이 불가능한 것이 단점이다.

2) 피부색 색소 성분 벡터의 불안정성

Fig. 1의 6번째 블록에 해당하며, RGB로부터 로그 공간으로 변환된 입력 데이터의 공간에서 평면 형태의 근사 모델링을 실시한다. 이 과정에서 평면 모양의 분포상태를 분석하여 2개의 직교하는 특징벡터를 추출한다. 이 과정에서 해당 분포를 모델링할 수 있는 특징벡터는 무수히 많이 나올 수 있으며, 기 결정된 과정이 아니라 최적화 과정을 거쳐 비용을 최소화하는 관점으로 진행하므로, 최적화를 실시할 때마다 동일한 결과를 얻기 어렵다. 즉 피부색 색소 성분을 일정한 형태로 확인할 수는 없다는 점이 문제이고, 결과적으로 특징치 공간에서 가중치를 활용하여 다시 RGB 좌표계로 역변환을 실시하므로, 동일한 RGB 영상은 얻을 수 있으나, 화소마다 단일 값이 아니라 RGB의 칼라벡터의 형식으로 표시되므로 멜라닌과 헤모글로빈의 농도를 직접적으로 나타낼 수 없다.

2.2 피부색 분광 반사도 계산

통상적으로 물체의 표면 색상은 표면을 비추는 조명과 물체 표면의 특성에 의해 결정된다. Equation (1)과 같이 조명과 표면의 분광 반사도 특성을 각각 $I(\lambda)$, $S(\lambda)$ 라고 하고, 피부 표면에 대한 측정값이 존재하면 피부의 색상에 대한 분광 반사도 $Cs(\lambda)$ 를 계산할 수 있다. 측정 장치를 카메라로 선택한 경우에는 Equation (2)와 같은 형태로, 화소 당 신호 X 를 얻을 수 있다. 이와 같은 성질을 이용하여, 조명의 특성이 알려진 경우에는 피부 표면에 대한 분광 반사도를 계산 할 수 있다.

입력장치를 디지털 카메라로 가정하면 $X1$ 은 적색(red) 채널에 해당하고, $X2$, $X3$ 는 각각 녹색과 청색에 해당한다.

$$Cs(\lambda) = I(\lambda)S(\lambda) \tag{1}$$

$$X_m = \int_{400}^{700} I(\lambda)S(\lambda)x_m(\lambda)d\lambda \tag{2}$$

$$W_m = \int_{400}^{700} I(\lambda)W(\lambda)x_m(\lambda)d\lambda \tag{3}$$

입력장치인 카메라의 스펙트럼 특성 $x_m(\lambda)$ 는 제조사 정보를 통하여 구할 수 있으며, 일반적으로 공개되어 있다. X_m 은 장면을 영상으로 저장한 RGB 화소 값을 의미하고, 영상내부에 백색 패치(white patch)가 존재한다면 W_m 으로 정의한다. 예를 들어, 장면 내에 맥베스 칼라체커(Macbeth color checker)와 같은 칼라 패치를 두고 촬영하면 얻을 수 있는 정보이고, Gehler 데이터 셋은 이와 같은 정보를 모두 포함하고 있다.

입력된 RGB 화소 값을 분석하여, 해당 화소에 대한 분광 반사도 $Cs(\lambda)$ 를 Equation (4)와 같이 계산할 수 있다. 같은 방법으로 백색 화소에 대하여 분광 반사도 $I(\lambda)$ 를 Equation (5)와 같이 계산한다. $Cs(\lambda)$ 와 $I(\lambda)$ 를 구하면 Equation (1)에 의해 물체 표면에 해당하는 화소의 색인 $S(\lambda)$ 를 구할 수 있다.

$$Cs(\lambda) = X_R x_R(\lambda) + X_G x_G(\lambda) + X_B x_B(\lambda), \quad (4)$$

$$I(\lambda) = W_R x_R(\lambda) + W_G x_G(\lambda) + W_B x_B(\lambda). \quad (5)$$

여기서 X_R 은 해당 화소의 적색(red) 채널 값, x_R 은 카메라의 적색 채널 스펙트럼 특성을 의미하고, W_R 은 백색 화소의 적색 채널 값을 나타낸다.

Gehler 데이터 셋의 영상에서 피부에 해당하는 영역을 관심영역(ROI)으로 선택하고, Equation (1)~(5)를 적용하여 구해진 $S(\lambda)$ 를 피부색 분광 반사도라 정의한다. 피부색 분광 반사도는 조명과 무관한 독립적인 분광 반사도를 의미하고, 오직 표면의 특성에 의해 결정된 색상을 나타낸다.

이와 같이 제안한 방법은 특정 파장에 대한 영상을 이용하는 다중 스펙트럼 접근 방식과 달리 특수한 장치를 이용하지 않고, 범용의 디지털 카메라를 이용하여 피부색의 분광 반사도를 계산할 수 있는 장점이 있다.

2.3 피부색 분광 반사도를 이용한 색소 성분의 계산

본 논문에서는 2.2절에서 제시한 피부색 분광 반사도를 획득한 이후, 이를 이용하여 피부색을 구성하는 색소 성분을 계산하고자 한다. 피부색을 구성하는 색소 성분은 매우 다양하지만, 대표적인 것은 멜라닌, 헤모글로빈으로 알려져 있다. 그중에서도 멜라닌의 비중이 높은 편이다. 그러나, 아시아계의 피부색에는 카로티노이드의 성분도 비중이 크고, 헤모글로빈도 산화단계 이전과 이후로 나누어 색상이 달라지기 때문에, 피부색을 결정하는 요소로 세분화 할 수 있다. 기존의 영상기반 피부색 색소성분 추출방법은 대부분 멜라닌과 헤모글로빈에 집중되어 있고, 카로티노이드나 헤모글로빈의 세분화한 사례는 없는 것으로 보인다. 백인 중심의 연구 환경에서는 카로티노이드가 비중이 약할 수 있다고 판단되며, 아시아계와 같은 경우는 카로티노이드의 비중을 계산하는 것이 의미가 있다. 또한 헤모글로빈도 옥시헤모글로빈과 디옥시헤모글로빈으로 구분하여 계산하는 것이 필요하다. 옥시헤모글로빈과 디옥시헤모글로빈의 스펙트럼 특성은 유사한 부분이 존재하지만, 피부 부위에 따라 특성이 다를 수 있기 때문에 구분하여 계산하였다.

본 논문에서 제안하는 색소 성분요소를 계산하는 방법은 Fig. 2와 같고, Fig. 3에는 멜라닌, 옥시헤모글로빈, 디옥시헤모글로빈, 카로티노이드의 흡수 스펙트럼을 나타내었다.

제안하는 방법은 2.2절에서 구한 피부색 분광 반사도를 흡수의 형태로 변환하여 사용한다. 대부분의 피부 색소 성분들에 대한 자료는 흡수 스펙트럼의 형태로 제공되고 있기 때문이며,

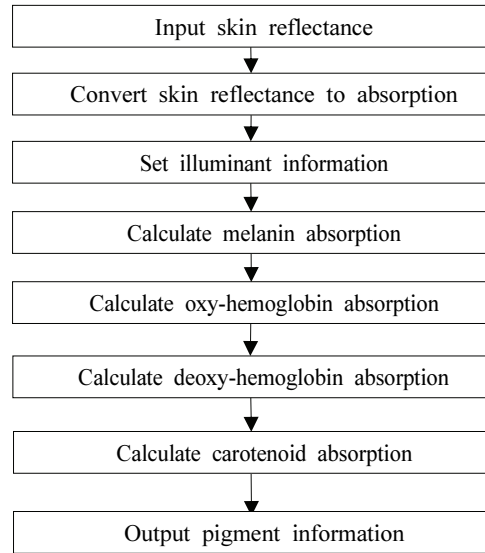


Fig. 2. The Algorithm Flow of Proposed Calculation of Skin Pigments from Skin Reflectance

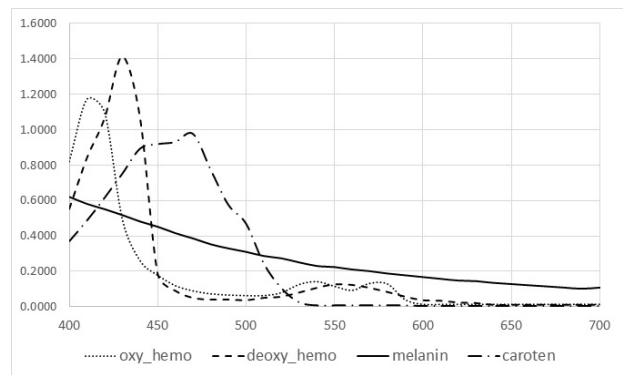


Fig. 3. The Absorption Spectra of 4 Skin Pigments

반사도의 형태로 통일하여 사용해도 무관하다. Fig. 3에서의 멜라닌의 흡수 스펙트럼을 $M(\lambda)$, 옥시헤모글로빈은 $O(\lambda)$, 디옥시헤모글로빈은 $D(\lambda)$, 카로티노이드는 $C(\lambda)$ 로 정의한다. 피부색 분광 반사도는 조명과 무관한 표면의 특성을 반영하므로, 색으로 표현하기 위해서는 조명을 결합해야 한다.

조명이 달라지면 조명의 스펙트럼 변화에 따라 색소 성분들의 흡수율이 달라지므로, 피부색의 색소 성분들을 계산하기 위해서는 다양한 조명을 기준으로 활용해야만 한다. 본 연구에서는 맥베스 조명 부스(Macbeth Light Booth)에서 사용되는 Horizon, Halogen, Incandescent, Cool White, D50, D65, D75의 7개 조명의 스펙트럼을 기준으로 계산에 적용하였다.

피부 색소 성분 중, 멜라닌을 기준으로 흡수비율을 계산하는 과정은 Fig. 4와 같다.

Fig. 4의 첫 번째 블록에서, 피부색 흡수도 스펙트럼과 조명의 스펙트럼을 곱하여, 주어진 조명에 대한 피부색 흡수 스펙트럼을 Equation (6)과 같이 계산한다.

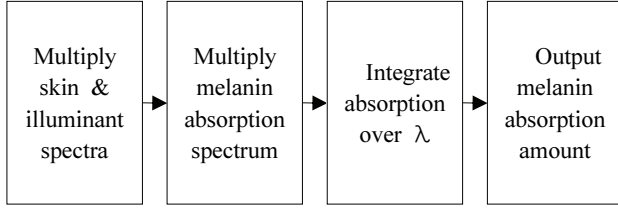


Fig. 4. Process for the Calculation of Melanin Absorption

$$SI(\lambda) = S_A(\lambda) \times I(\lambda) \quad (6)$$

여기서 $I(\lambda)$ 는 앞에서 언급한 7개의 조명 중 한 개를 임의로 선택하여 적용한다. 계산된 피부색 흡수 스펙트럼 $SI(\lambda)$ 에 멜라닌 흡수 스펙트럼 $M(\lambda)$ 를 곱하면 멜라닌에 대한 흡수 성분을 Equation (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$M_A(\lambda) = SI(\lambda) \times M(\lambda) \quad (7)$$

멜라닌 흡수 스펙트럼 $MA(\lambda)$ 를 전체 파장 λ 에 대하여 적분하면 해당 피부색에 대한 멜라닌 흡수량인 MAB 는 Equation (8)과 같이 계산된다.

$$M_{Ab} = \int_{400}^{700} M_A(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

이와 같은 계산을 통하여 특정한 피부색 화소에 대한 멜라닌 흡수량에 비례하는 물리량인 MAB 를 계산할 수 있다. 같은 방법으로 옥시헤모글로빈, 디옥시헤모글로빈 및 카로티노이드에 대해서도 흡수량에 비례하는 물리량인 OAb , DAb , CAb 를 계산할 수 있다.

$$O_A(\lambda) = SI(\lambda) \times O(\lambda) \quad (9)$$

$$O_{Ab} = \int_{400}^{700} O_A(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

$$D_A(\lambda) = SI(\lambda) \times D(\lambda) \quad (11)$$

$$D_{Ab} = \int_{400}^{700} D_A(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

$$C_A(\lambda) = SI(\lambda) \times C(\lambda) \quad (13)$$

$$C_{Ab} = \int_{400}^{700} C_A(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

기존 방법은 최소 3개 화소 이상의 평면 구성이 가능한 범위에 대하여 농도 계산이 가능한 단점이 있다. 평면의 특징 공간상 분포 모양에 따라 최적화를 통하여 특징 축을 결정하게 되며, 특징 축이 결정되면 전체 계산 대상 화소들에 대하여 가중치를 적용하여 농도에 비례하는 정보를 기록한다. 필

수적인 최적화 과정에서 무수히 많은 해가 존재하기 때문에 기존방법의 안정성이 저하되지만, 제안한 방법은 화소 단위의 독립적인 계산을 통하여 이러한 최적화 과정을 거치지 않아 상대적으로 안정적인 결과를 도출한다.

3. 실험결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 방법의 검증을 위하여 Gehler 데이터 셋과 Cooksey등[10]의 피부색 스펙트럼을 사용하였다. 피부색 스펙트럼으로부터 색소성분 흡수량을 계산하기 위하여 Cooksey등이 측정한 100명의 피부색 스펙트럼을 이용하였으며, 피측정자의 인종이나 성별, 나이 등 기본정보는 포함되지 않았다.

실험은 2단계로 구성되었고, 1단계에서는 4가지 피부 색소 성분에 대한 흡수량의 추출과정에 대한 결과를 얻고, 2단계에서는 RGB 화소 값으로부터 직접 피부 색소 성분에 대한 흡수량을 추출한다.

3.1 피부색 스펙트럼으로부터 흡수량의 추출

이 실험에서는 Equation (6)~(14)의 과정을 수행하며, Cooksey 등의 피부색 스펙트럼으로부터 $SA(\lambda)$ 를 얻고, Equation (6)을 통해 $SI(\lambda)$ 를 계산한다. 조명 $I(\lambda)$ 는 2.2절에서 언급한 7개 조명에 대하여 각각 적용한 경우를 계산하였다. 주어진 피부색 스펙트럼은 Fig. 5와 같고, 계산결과를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 5의 피부 스펙트럼은 Cooksey의 데이터 셋에서 각각 #2, #6, #8, #9, #10을 나타낸 것이다. Cooksey는 스펙트럼과 관련된 정보를 공개하지 않았지만, 가장 위의 스펙트럼이 #2로 백인, 가장 아래의 스펙트럼은 #6으로 전형적인 흑인으로 추정된다.

대부분의 흡수량을 살펴보면 #2의 백인이 가장 흡수량이 적고, #6의 흑인이 가장 많은 흡수량을 보이며, 통상적인 흡수량에 대한 이론적 설명과 일치함을 알 수 있다. 조명의 영향을 살펴보면, CLW의 경우 흡수량이 가장 적은 경향이 있는데, 스펙트럼 특성상 특정 파장에 에너지가 집중되어 전체

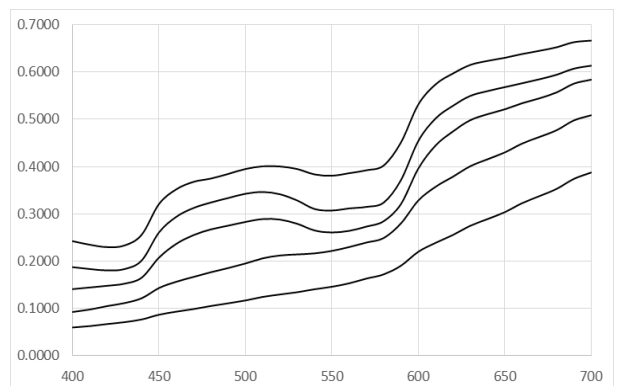


Fig. 5. Skin Reflectance Sample from Cooksey's Measurements

Table 1. Color Absorption for Sample Skin Spectra with 7 Illuminant

Component	Illu.	#2	#6	#8	#9	#10
Melanin	HRZ	5.43	6.01	5.81	5.68	5.58
	HAL	16.20	17.86	17.31	16.92	16.62
	INC	11.95	13.19	12.77	12.49	12.26
	CLW	3.04	3.33	3.24	3.17	3.12
	D50	41.10	44.92	43.76	42.81	42.07
	D65	49.41	53.79	52.51	51.39	50.52
	D75	53.12	57.74	56.42	55.21	54.29
Oxy-hemoglobin	HRZ	1.63	1.81	1.75	1.71	1.68
	HAL	5.45	6.00	5.82	5.69	5.59
	INC	3.89	4.29	4.15	4.06	3.99
	CLW	1.14	1.25	1.22	1.19	1.17
	D50	17.36	18.95	18.48	18.07	17.76
	D65	23.11	25.12	24.55	24.02	23.61
	D75	25.83	28.05	27.43	26.84	26.39
Deoxy-hemoglobin	HRZ	1.90	2.10	2.04	1.99	1.95
	HAL	6.68	7.35	7.14	6.98	6.85
	INC	4.68	5.16	5.00	4.89	4.80
	CLW	2.12	2.31	2.25	2.21	2.17
	D50	27.26	29.70	28.99	28.35	27.87
	D65	39.02	42.36	41.43	40.53	39.85
	D75	44.92	48.70	47.66	46.63	45.86
Carotenoid	HRZ	0.84	0.92	0.89	0.87	0.86
	HAL	4.22	4.63	4.50	4.40	4.32
	INC	2.73	3.00	2.91	2.85	2.80
	CLW	1.40	1.52	1.49	1.46	1.43
	D50	24.73	26.87	26.27	25.69	25.25
	D65	35.87	38.88	38.07	37.24	36.62
	D75	41.62	45.06	44.14	43.18	42.47



Fig. 6. Example Test Images from Gehler Dataset

RAW 포맷으로 저장되었다. 풍경을 제외하고, 사람의 얼굴이 포함되고 해상도가 충분하여 피부색 추정을 위한 샘플 추출이 가능한 영상을 선택하였다. 선택된 74장의 사진으로부터 이마, 좌측 뺨, 우측 뺨의 3개 지점으로부터 피부색 샘플영상을 추출하여 밝기 값이 가장 큰 샘플을 입력으로 선정하였다.

피부 색소 흡수량 계산 과정은 2.2절과 2.3절의 제안한 방법을 결합한 것으로 입력 영상에 대하여 2.2절의 피부색 분광 반사도를 먼저 계산하고, 2.3절의 피부 색소 성분 계산을 적용한다. 전체적인 처리방법은 Fig. 7과 같다.

실험을 위하여 선택된 74장의 입력 영상으로부터 일정한 부분영상을 Fig. 8 (a)와 같이 32x32의 크기로 추출하였다. 기존의 방법은 Fig. 8 (a)의 샘플 블록에 대하여 Fig. 8 (b)와 같은 결과를 내는 것으로, 피부 색소의 흡수나 반사량에 대한 별도의 값을 제시하지는 않는다. Fig. 8 (b)의 좌측은 헤모글로빈, 우측은 멜라닌 성분을 나타낸다.

적인 흡수량이 작기 때문이다. CLW는 실내의 형광등과 같은 경우이며, 피부 색소 성분의 흡수가 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. D75의 경우 가장 흡수량이 크게 나타났으며, 스펙트럼 상의 에너지 수준이 다른 일광 계열인 D50이나 D65보다 높기 때문이다. D65는 통상적인 일광을 의미하고, D50은 D65에 비하여 약간 노란색, D75는 약간 푸른색으로 나타난다. 가장 흡수량이 적은 것으로 나타난 CLW의 경우에도 광량이 강하게 증가하면 흡수량도 따라서 증가하며, 이 실험에서의 결과는 비교적 유사한 광량을 기준으로 계산한 것이다.

3.2 RGB 화소 값으로부터 흡수량의 추출

RGB 화소 값으로부터 피부 색소 흡수량을 계산하기 위해 Gehler 데이터 셋을 이용하였고, 일부 영상을 Fig. 6에 나타내었다. 이 데이터베이스는 총 568장의 사진으로 구성되어 있으며, 영국 캠브리지 인근에서 Canon 1D, Canon 5D 카메라로 촬영된 것이다. 조명 추정에 대한 검증을 위하여 맥베스 칼라체커를 모든 장면에 포함시켜 촬영하였으며, Canon

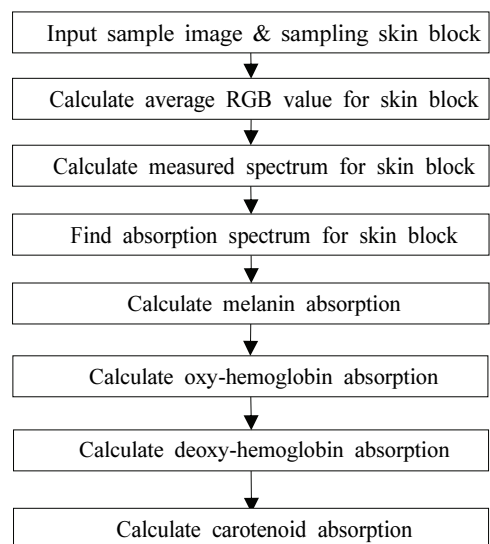


Fig. 7. The Algorithm Flow of Proposed Calculation of Skin Pigments from RGB Images

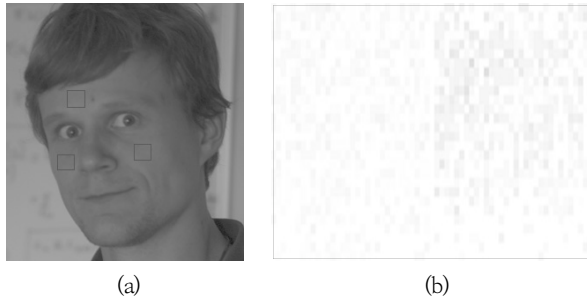


Fig. 8. The Sample Input Image and Sampled Skin Image Blocks
(a) Sample Face Image, (b) Selected Sample Skin Block Image

제안한 방법을 입력영상 #1에 적용한 헤모글로빈과 멜라닌 성분 추출 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9의 1행은 결과영상 중 기존의 헤모글로빈(a), 기존의 멜라닌(b), 제안한 헤모글로빈 (c), 제안한 멜라닌 (d)의 순서이며, (a), (b)의 평균 밝기 값이 20 정도이고, (c), (d)의 평균 밝기는 90 내외로 육안으로 식별이 어렵다. 그러므로 밝기 값을 조정하여 (e)~(h)에 각각 표시하였다. Fig. 9의 (a)와 (b)는 영역기반 PCA를 중심으로 영상 전체에 대한 특성벡터를 구한 후, 특성벡터를 중심으로 영상내의 모든 화소를 해석하는 방법을 적용한 것이고, 제안한 방법은 전체 영상에 대한 고려가 필요 없이 화소 단위로 직접적인 계산이 가능하다. 기존방법으로도 화소단위 계산이 불가능한 것은 아니나, 주변 화소의 도움을 받지 않으면 계산이 불가능한 단점이 있다.

Fig. 7에 나타난 전체 과정을 실행하여 얻은 4가지 유형의 피부 색소 성분의 흡수량은 Table 2에 나타내었다. 흡수량은 7가지의 미리 선택된 조명에 따라 서로 다른 결과를 보이며, 가장 색온도가 낮은 붉은 색 계통의 조명인 HRZ를 Table 2에 나타내었다.

멜라닌의 흡수량이 가장 높았고, 카로틴의 흡수량이 가장 낮았다. Table 3은 실내조명의 대표적인 형광등과 같은 계열의 조명에서의 흡수량을 나타내고, Table 4의 D75는 야외 조명의 가장 일반적인 경우와 유사한 색온도 7500°K의 태양광을 기준으로 한 것이다.

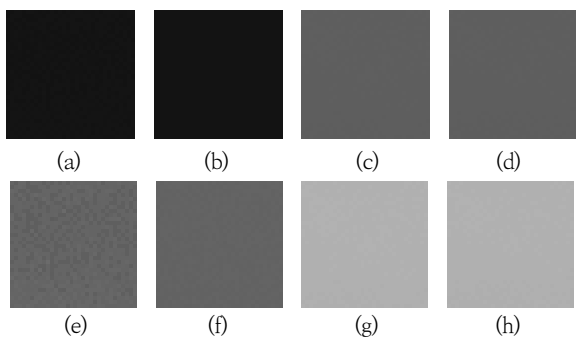


Fig. 9. The Sample Output Images and Enhanced Images
(a) Conventional Hemoglobin, (b) Conventional Melanin, (c) Proposed Hemoglobin, (d) Proposed Melanin Output. (e) Enhanced Image of (a), (f) Enhanced Image of (b), (g) Enhanced Image of (c), (h) Enhanced Image of (d).

기존의 방법에서는 Table 2~Table 4와 같은 유형의 결과를 얻을 수 없기 때문에 직접적인 비교가 어렵다. 그러나 제안한 방법과의 비교를 위하여 Fig. 8(b)에 표시된 것과 같은 헤모글로빈과 멜라닌 영상으로부터 계산 가능한 값들로 결과를 표시할 수 있다. 출력 RGB 영상을 분석한 결과, 헤모글로빈과 멜라닌 모두, 색상(hue)은 일정하고, 색 포화도(saturation) 또는 밝기(intensity) 값이 변하는 특성이 관찰되었다. 또한 기존 방법에서는 조명에 대한 변화를 고려하지 않기 때문에 Fig. 8(a)와 같이 주어진 입력 샘플 블록에 대하여 얻어진 결과 영상에 대한 RGB 평균값으로부터 색 포화도를 이용하여 비교를 수행하였다.

Table 2. The Absorption Amount for HRZ Illumination

No.	Melanin	Oxy-hemo	Deoxy-hemo	Carotenoid
#01	5.950	1.786	2.080	0.908
#02	5.755	1.728	2.012	0.879
#03	5.578	1.675	1.951	0.852
#04	5.711	1.715	1.997	0.872
#05	6.147	1.845	2.148	0.935
#06	5.139	1.544	1.798	0.788
#07	5.981	1.795	2.090	0.911
#08	6.096	1.830	2.130	0.928
#09	6.174	1.853	2.157	0.939
#10	5.253	1.578	1.839	0.808
...
#70	6.134	1.841	2.143	0.932
#71	5.942	1.783	2.074	0.897
#72	6.092	1.828	2.126	0.919
#73	6.212	1.864	2.167	0.937
#74	6.174	1.853	2.155	0.934

Table 3. The Absorption Amount for CLW Illumination

No.	Melanin	Oxy-hemo	Deoxy-hemo	Carotenoid
#01	3.268	1.225	2.263	1.487
#02	3.166	1.187	2.193	1.442
#03	3.070	1.151	2.127	1.399
#04	3.141	1.178	2.176	1.431
#05	3.363	1.260	2.323	1.523
#06	2.841	1.066	1.974	1.301
#07	3.279	1.229	2.268	1.489
#08	3.337	1.250	2.306	1.513
#09	3.378	1.265	2.334	1.531
#10	2.913	1.094	2.028	1.339
...
#70	3.354	1.256	2.313	1.515
#71	3.226	1.206	2.213	1.443
#72	3.303	1.235	2.266	1.477
#73	3.366	1.258	2.308	1.504
#74	3.357	1.256	2.308	1.507

Table 4. The Absorption Amount for D75 Illumination

No.	Melanin	Oxy-hemo	Deoxy-hemo	Carotenoid
#01	56.428	27.388	47.518	43.934
#02	54.714	26.562	46.098	42.630
#03	53.077	25.765	44.711	41.347
#04	54.291	26.354	45.734	42.292
#05	57.824	28.045	48.620	44.921
#06	49.334	23.970	41.639	38.539
#07	56.502	27.415	47.550	43.950
#08	57.423	27.855	48.303	44.635
#09	58.094	28.177	48.854	45.139
#10	50.737	24.665	42.869	39.696
...
#70	57.571	27.908	48.356	44.660
#71	54.922	26.580	45.970	42.393
#72	56.207	27.199	47.036	43.371
#73	57.237	27.697	47.894	44.158
#74	57.306	27.751	48.030	44.315

Table 5. The Comparison Between Conventional and Proposed Absorption Percentage

No.	Mela.	Hemo.	p_Mela.	p_Oxy	p_Deoxy	p_Carot
#01	76.07	81.93	87.58	84.30	81.95	81.38
#02	95.74	64.16	84.90	81.75	79.49	78.95
#03	88.52	87.05	82.36	79.30	77.10	76.58
#04	64.92	88.55	84.25	81.11	78.86	78.33
#05	60.33	30.72	89.82	86.39	83.90	83.23
#06	71.48	87.65	76.48	73.71	71.75	71.34
#07	48.85	98.19	87.73	84.41	82.03	81.42
#08	69.51	42.77	89.18	85.79	83.34	82.70
#09	11.80	74.10	90.23	86.79	84.30	83.63
#10	83.61	75.30	78.62	75.81	73.84	73.47
...
#70	65.90	58.13	89.46	86.00	83.47	82.77
#71	69.18	58.73	85.49	82.03	79.45	78.63
#72	80.33	66.27	87.50	83.95	81.30	80.45
#73	60.33	87.05	89.11	85.49	82.79	81.91
#74	76.39	83.73	89.15	85.60	82.97	82.17

기존 방법의 색 포화도와 제안한 방법의 흡수량은 데이터의 스케일이 다르므로, 전체 74장을 기준으로 각각의 방법에서 발생 가능한 데이터의 최댓값을 100%로 하여, 영상별로 백분율을 사용하여 비교한 결과를 Table 5에 나타내었다.

기존의 방법은 반사된 RGB 값에 기초하므로 반사의 방식으로 계산되어서, 백분율 값을 반전하여 흡수방식으로 수정한 후 비교에 사용하였다. 실험에 사용한 제안한 방법의 데이터는 일반적인 D65를 이용하였으며, 색온도 6500°K의 태양광을 기준으로 한 것이다. Table 5의 열은 기존방법의 멜라닌, 헤모글로빈, 제안한 방법의 멜라닌, 옥시헤모글로빈, 디

옥시헤모글로빈, 카로티노이드의 순이다.

기존 방법 결과에는 #12, #25 등의 영상에서는 결과 계산이 불가능한 경우가 있었으나 제안한 방법에서는 결과가 계산되었다. Table 5의 결과 중에서 멜라닌의 흡수량에 대한 비교를 Fig. 10에, 헤모글로빈 흡수량의 비교는 Fig. 11에 각각 나타내었다.

계산 불가인 #12, #25를 제외한 72장의 결과에 대하여 기존의 방법을 적용한 멜라닌 결과는 평균값 74.96, 표준편차는 17.13으로 나타났다. 기존 방법을 적용한 헤모글로빈 결과는 평균값 73.92, 표준편차는 16.80이었다. 제안한 방법의 결과는 각각 멜라닌 평균 87.19, 표준편차 2.75, 헤모글로빈 평균 83.84, 표준편차 2.59로 나타났다. 제안한 방법은 안정성의 척도인 표준편차가 기존방법 대비 15% 수준으로 6배 정도의 안정적인 결과를 내고 있음을 볼 수 있다. 통상적으로 피부색에 대한 색소 성분은 샘플간의 편차가 그렇게 크지는 않기 때문에 제안한 방법의 안정적인 결과는 기존방법에 비하여 우수하다고 볼 수 있다.

제안한 방법의 객관적인 정확도를 검증하기 위해서는 기준 자료(ground truth)를 이용하는 것이 합리적이지만 현재 본 연구 분야에서는 찾아보기 어렵다. 그러므로 멜라닌과 헤모

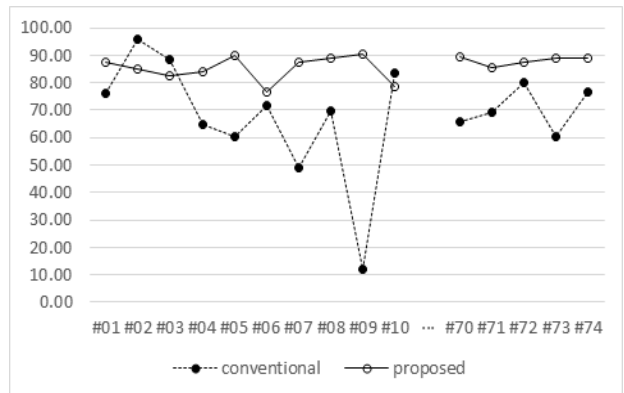


Fig. 10. The Comparison Between Conventional and Proposed Melanin Absorption

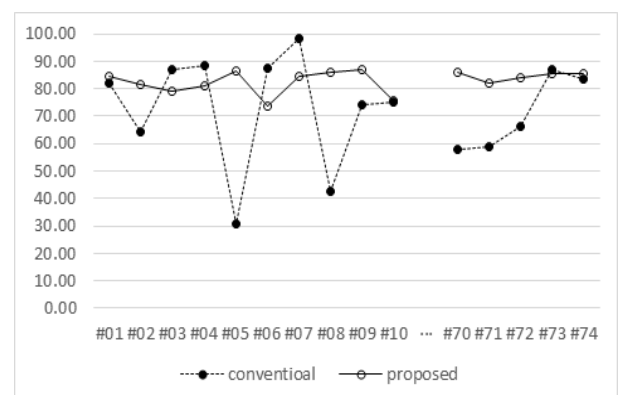


Fig. 11. The Comparison Between Conventional and Proposed Hemoglobin Absorption

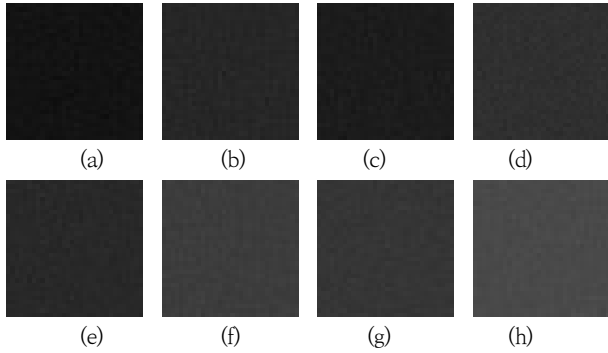


Fig. 12. The Synthetic Images Generated for Performance Test : Melanin/ Hemoglobin Density (a) 90/90, (b) 90/70, (c) 70/90, (d) 70/70, (e) 40/90, (f) 40/70, (g) 10/90, (h) 10/70.

글로빈 농도를 지정하여 피부표면 스펙트럼을 생성하는 방법으로 기존 영상을 합성하여 이용할 수 있다. 이와 같은 방법으로 생성한 영상을 Fig. 12에 나타내었다. 기존의 방법은 특징공간에서 평면이상의 형태를 이루어야 하므로, 합성영상에 1% 가우시안 잡음을 첨가하여 실험에 이용하였다. 합성한 피부영상에 초록색이 강한 이유는 합성에 이용한 카메라 정보를 canon-1d 모델로 적용하였고, 색 보정, 감마보정 없이 선형 형태를 이용하였기 때문이다.

Fig. 12의 합성영상에 대한 실험결과는 Table 6과 같고, Fig. 13과 14에 멜라닌과 헤모글로빈 추출결과를 나타내었다. Table 6의 1열과 2열은 기준 데이터(ground truth)에 해당하고, 3열은 기존방법에 의한 멜라닌 농도, 4열은 기존방법의 헤모글로빈 농도, 5열은 제안한 방법의 멜라닌, 마지막 열은 제안한 방법의 헤모글로빈 농도를 의미한다. 오차 값을 분석한 결과 기존 방법의 멜라닌 농도 평균 오차는 26.9%, 헤모글로빈 농도 평균오차는 9.9%였다. 제안한 방법의 멜라닌 오차는 16.1%, 헤모글로빈 오차는 18%였다. 멜라닌 추정은 제안한 방법이 10% 정도 우수하였고, 헤모글로빈 추정은 제안한 방법이 8% 정도 낮게 나타났다. Fig. 13에 멜라닌 추정결과를 나타냈으며, 가는 실선인 기준 데이터에 대하여 제안한 방법의 굵은 실선 결과가 기존 방법보다 우수함을 알 수 있다. 헤모글로빈의 추정에서는 제안한 방법의 성능이 비교적 낮게 나타났으나 Fig. 14에서와 같이 제안한 방법

Table 6. The Comparison Between Conventional and Proposed Absorption Percentage for Synthetic Images

No.	Mela. %	Hemo.%	C_Mela.	C_Hemo.	P_Mela.	P_Hemo.
1	90	90	46.1	76.2	80.7	79.0
2	90	70	31.6	87.8	57.3	67.3
3	70	90	35.8	86.3	66.2	71.7
4	70	70	31.5	87.5	46.0	61.2
5	40	90	44.2	93.1	56.1	66.3
6	40	70	34.2	89.3	24.7	50.2
7	10	90	36.5	89.3	36.1	56.4
8	10	70	6.3	73.1	11.2	43.9

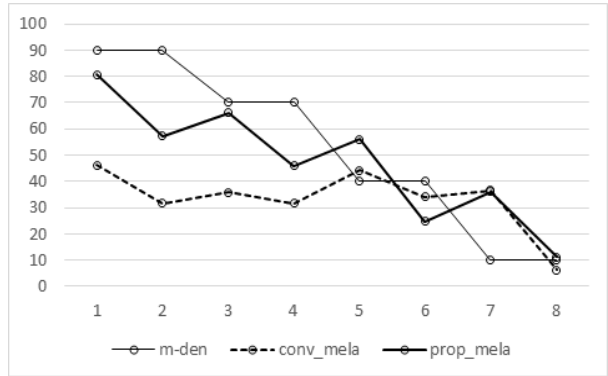


Fig. 13. The Calculated Melanin Density for Synthetic Images

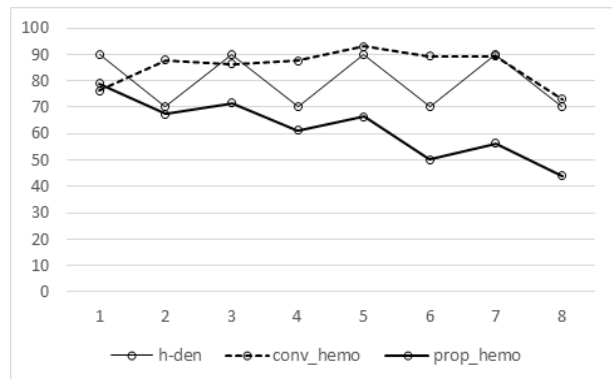


Fig. 14. The Calculated Hemoglobin Density for Synthetic Images

인 굵은 실선 부분이 기준 데이터인 가는 실선을 기존 방법보다는 경향성이 유사함을 알 수 있어 데이터 추정에는 유리한 점도 있는 것으로 보인다.

4. 결 론

본 논문에서는 멜라닌과 헤모글로빈 등의 피부 색상을 구성하는 주요 요소들에 대한 흡수량을 추정하였다. 일반적인 상용 카메라의 RGB 신호에서부터 4가지 색소 성분의 흡수량을 직접 계산하는데, 특수한 장비를 이용하지 않고 피부색에 대한 분광 반사도를 계산할 수 있다. 기존 방법으로 추출한 멜라닌과 헤모글로빈에 대한 결과를 비교하여 제안한 방법의 우수함을 보였다. 기존 방법과의 큰 차이점은, 개별 화소 단위의 계산, 헤모글로빈의 유형을 세분화, 카로틴의 흡수량 계산 가능함 등이다. 기존 방법의 문제점은 추출된 멜라닌, 헤모글로빈의 유효성을 입증하지 못한 점, 일정 샘플 영역에 대해서만 색소 계산이 가능한 점, 2가지 색소만 추출 가능한 점, 특징공간에서의 실행 시 마다 결과의 상이성 등이다. 제안한 방법은 해당 문제점을 해결하였으며, 추정된 피부색 분광 반사도를 이용하여 다양한 조명환경에서의 4가지 피부 색소의 흡수량을 계산할 수 있는 장점이 있다. 추후, 더욱 많은 영상 데이터베이스로 확장하는 방법의 연구가 필요하다.

References

- [1] K. B. Shaik, P. Ganesan, V. Kalist, B. S. Sathish, and J. M. M. Jenitha, "Comparative study of skin color detection and segmentation in HSV and YCbCr color space," *Procedia Computer Science*, Vol.57, No.12, pp.41-48, 2015.
- [2] C. B. Ketan and M. K. Bhuyan, "Image specific discriminative feature extraction for skin segmentation," *Multimedia Tools and Applications*, Vol.79, pp.18981-19004, 2020.
- [3] L. Sigal, S. Sclaroff, and V. Athitsos, "Skin color-based video segmentation under time-varying illumination," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.26, No.7, pp.862-877, 2004.
- [4] N. Tsumura, H. Haneishi, and Y. Miyake, "Independent-component analysis of skin color image," *Journal of Optical Society of America A*, Vol.16, No.9, pp.2169-2176, 1999.
- [5] J. Spigulis and I. Oshina, "Snapshot RGB mapping of skin melanin and hemoglobin," *Journal of Biomedical Optics*, Vol.20, No.5, pp.1-3, 2015.
- [6] S. Tanaka and N. Tsumura, "Improved analysis for skin color separation based on independent component analysis," *Artificial Life and Robotics*, Vol.25, Iss.1, pp.159-166, 2020.
- [7] T. Kwak, M. Chang, S. Lee, S. Park, and S. Park, "Comparative Study of Melanin Content in Corneocyte with Skin Color," *Journal of the Society of Cosmetic Scientists of Korea*, Vol.36, No.3, pp.193-198, 2010.
- [8] J. Lu, J. H. Manton, E. Kazmierczak, and R. Sinclair, "Erythema detection in digital skin images," *2010 IEEE International Conference on Image Processing*, Hong Kong, pp.2545-2548, 2010.
- [9] P. V. Gehler, C. Rother, A. Blake, T. Sharp, and T. Minka, "Bayesian color constancy revisited," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008.
- [10] C. Cooksey, D. W. Allen, and B. K. Tsai, "Reference data set of human skin reflectance," *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Vol.122, No.26, pp.1-5, 2017.



김 정 업

<https://orcid.org/0000-0001-5807-1002>

e-mail : neocopy@ysu.ac.kr

1990년 경북대학교 전자공학과(학사)

1992년 경북대학교 전자공학과(석사)

2001년 경북대학교 전자공학과(박사)

1994년 ~ 2001년 삼성종합기술원 과장

2001년 ~ 2013년 영산대학교 게임콘텐츠학과 부교수

2013년 ~ 현 재 영산대학교 성심교양대학 부교수

관심분야 : Color Image Processing & Computer Vision