

Color Image Segmentation for Extracting Dental Plaque

김 경 섭[†] · 신 승 원* · 이 세 민** · 정 진 선*** · 박 원 서[§] · 김 기 덕^{§§}

(Kyeong-Seop Kim · Seung-Won Shin · SeMin Lee · Jin-Sun Jeong · Wonse Park · Kee-Deog Kim)

Abstract - In this study, we propose the unsupervised image segmentation algorithm to estimate dental plaque accumulations on digital imaging with methylene blue disclosed plaque. With this aim, RGB color plane is mapped into HSI coordinates and the circular histogram of Hue is reconstructed by applying Otsu's threshold level. The histogram distribution on Saturation features is also analyzed by maximizing the variance between a plaque candidate and non-plaque one. The dental plaque regions are resolved by applying the composite decision logics based on the threshold level of Hue and Saturation.

Key Words: Dental plaque, Image Segmentation, Hue, Saturation, Intensity

1. 서 론

구강 질환은 현대인들에게 많이 발생하는 질환으로서, 통증과 출혈을 유발하고 심한 경우 치아를 상실할 수 있는 위험한 질환 중의 하나이다. 하지만 질환의 초기에는 그 증상의 정도가 심하지 않아 환자 스스로 증상을 인지하지 못하게 되고, 이로 인하여 적절한 치료시기를 놓쳐 질환이 악화되는 경우가 많다. 따라서 정기적인 구강검사를 통하여 구강 질환을 사전에 예방하는 것이 중요하다.

구강 질환의 가장 큰 요인은 플라그 (dental plaque) 형성이다. 치태라고도 불리는 이 물질은 구강 내 세균들이 번식하여 생성되는 물질로서 치아와 잇몸, 혀에 달라붙어 끈적거리는 얇은 막의 형태를 지닌다. 플라그는 치아와 잇몸 사이의 틈새 또는 치아 사이의 틈새 등과 같이 청결을 유지하기 힘든 부위에 생성되기 쉬우며, 구강 내에 플라그가 형성되면 세균이 번식하기 좋은 환경이 형성되어 구강 내의 세균이 빠르게 증식하게 된다. 특히 치아 면에 형성된 플라그는 당분과 반응하여 산을 만들어내어 치아를 손상시켜 썩게 만들고, 독소와 효소를 분비하여 잇몸 염증을 발생시킨다. 따라서 치아에 형성되어 있는 플라그의 정도를 정량적으로 분석하는 일은 구강 질환의 예방을 위한 중요한 과정 중의 하나

이다.

플라그의 형성 정도를 정량적으로 분석하기 위하여 일반적으로 플라그 인덱스 (plaque index) 비교표를 사용한다. 이 방법은 치과 전문가가 환자의 치아 상태와 플라그 인덱스 비교표를 서로 육안으로 대조하여 각각의 치아에 대한 플라그 인덱스 값을 도출하는 방법이다[1]. 그러나 이 방법은 환자가 플라그 검사를 할 때마다 장시간 입을 벌리고 있어야 하고, 검사자는 환자 한 사람당 많게는 32개의 치아들을 플라그 인덱스 비교표와 일일이 비교하여 플라그 인덱스 값을 산출하여 수동으로 기록해야 하는 단점이 있다. 따라서 치아의 영상을 획득하고 영상으로부터 플라그 영역을 자동적으로 검출하는 기법에 대한 연구가 필요하다. 최근에는 컬러 영상과 통계분석, 인공지능회로망을 활용하여 플라그의 누적 상태를 자동으로 정량화하는 연구가[2] 수행되고 있으며 본 연구에서는 HSI (Hue, Saturation, Intensity) 컬러 공간 영상에서의 Otsu 자동 분할 기법을 적용하여 치아 컬러 영상에서 플라그 영역을 자동적으로 검출하는 방법을 제안하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 치아 컬러 영상 획득

치아에 형성된 플라그는 치아의 색과 매우 비슷하기 때문에 쉽게 구별할 수 없다. 따라서 치아의 플라그를 확인하기 위해서 치아의 표면에 플라그만을 염색할 수 있는 염색제를 도포한다. 본 연구에서는 치아 컬러 영상을 획득하기 전 피험자의 치아에 메틸렌블루 염색제를 도포하였다[3-5]. 메틸렌블루 염색제를 도포하면 플라그가 존재하는 부분이 푸른색으로 염색이 되어 플라그의 존재 유무를 쉽게 찾아볼 수 있다. 영상 획득에 사용된 장비는 Nikon 회사의 D90 카메라와 85mm Micro-VR 렌즈, 그리고 Sigma사의 RingFlash

† 교신저자, 정회원 : 건국대 의료생명대 의공학부 교수
 건국대 의공학실용기술연구소 · 공박

E-mail : kyeong@kku.ac.kr

* 정 회원 : 건국대 의료생명대 의공학부 박사과정

** 준 회원 : 건국대 의료생명대 의공학부 석사과정

*** 비 회원 : 연세대 일반대학원 치의학과 석사과정

§ 비 회원 : 연세대 치과대학병원 통합진료과 임상부교수

§§ 비 회원 : 연세대 치과대학병원 통합진료과 교수

접수일자 : 2011년 5월 9일

최종완료 : 2011년 5월 22일

EM-140DG 플래시 라이트를 사용하였다. 촬영할 때의 카메라의 설정 상태는 수동 모드에서 셔터속도는 1/200 초, 조리개 값은 F32, ISO 감도는 200, 화이트밸런스는 자동모드로 설정하였다. 그림 1은 메틸렌블루 염색제로 염색한 후 획득된 치아 컬러영상을 보여준다.



그림 1 메틸렌블루 염색제로 도포된 치아 컬러영상
Fig. 1 Acquisition of methylene blue disclosed plaque image

2.2 Otsu 영상분할 임계값 설정

치아 컬러 영상에서 플라그 영역을 검출하기 위해서 플라그 영역에 대한 임계값 (threshold)을 설정하여 영상 분할을 수행한다. 이 때, 최적의 임계값을 획득하기 위하여 Otsu 영상 처리 기법을 사용하였다. Otsu 기법은 영상의 히스토그램과 통계학적인 방법을 이용하여 최적의 임계값을 자동으로 찾는 방법이다[6]. 즉, 입력 영상의 히스토그램의 형태가 크게 두 클래스로 나누어진다고 가정하면, 각각의 클래스가 잘 분리되는 조건은 각 클래스 내에 들어있는 픽셀값의 분산, 즉 클래스 내 분산 (within class variance)이 작아야 한다. 식 (1)은 클래스 내 분산 σ_W^2 을 나타낸다.

$$\sigma_W^2 = \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2 \quad (1)$$

여기에서 ω_1 과 ω_2 는 각각 클래스 1과 클래스 2의 가중치로서 그 클래스에 해당하는 픽셀이 나타날 확률을 의미한다. 위의 식 (1)의 결과가 최소값일 때의 픽셀값이 최적의 임계값이 된다. 이를 더욱 쉽게 도출하기 위하여 클래스 간 분산 (between class variance)을 이용한다. 영상에서 픽셀의 전체 분산은 클래스 내 분산과 클래스 간 분산의 합으로 나타내므로 클래스 간 분산 σ_B^2 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \sigma_T^2 - \sigma_W^2 \\ &= \omega_1 \omega_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 μ_1 과 μ_2 는 각각 클래스 1과 클래스 2의 픽셀값들의 평균을 나타낸다. 위의 식 (2)의 결과가 최대값을 가

질 때의 픽셀값이 최적의 임계값이 된다. 즉 두 클래스를 분리하는 최적의 값은 가중치를 갖는 두 클래스의 평균값의 차이를 최대화시키는 값으로 주어진다.

2.3 치아 플라그 영역 분할

획득한 치아 컬러 영상은 크게 붉은색 계통으로 표현되는 구강 내 영역과 메틸렌블루 염색제의 특성에 의해 푸른색으로 표현되는 플라그 영역으로 나눌 수 있다. 이 두 영역을 분할하기 위하여 컬러 영상을 HSI 컬러 공간으로 분리하고, 이 중 Hue와 Saturation을 이용하여 구강 내 영역과 플라그 영역을 분할하고자 하였다.

HSI는 사람이 인지하는 색상과 가장 유사하게 표현되는 컬러 공간으로서, 3차원 원통좌표계 (3-D cylindrical coordinate system) (r, θ, z)로 표현되는데 특히 Hue는 θ 값에 따라 다르게 표현된다[7]. 그림 2는 θ 에 따른 Hue 값의 변화를 보여주고 있다.

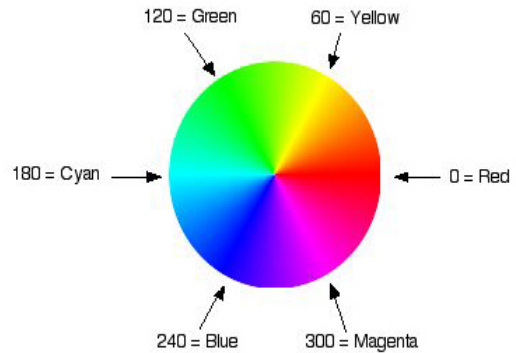
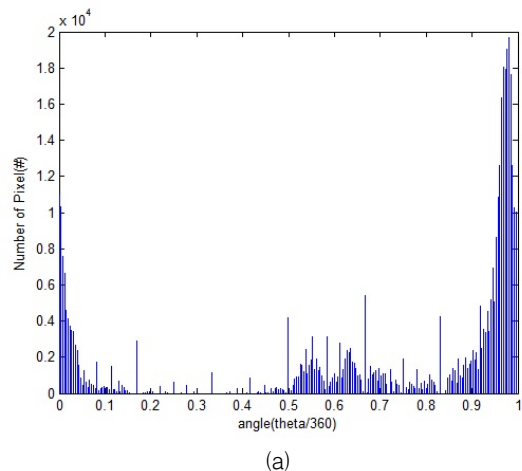


그림 2 θ 에 따른 Hue 값의 변화
Fig. 2 Transition of Hue value by θ

따라서 Hue의 값은 연속적으로 변화되고 반복되기 때문에 Hue에 대한 히스토그램을 선형적으로 표현하면 붉은색 계통의 영역이 두 부분들로 분리되어 표현된다. 그림 3의 (a)는 Hue에 대한 히스토그램을 보여주고, (b)는 Hue 값으로 표현된 치아 영상을 보여준다.

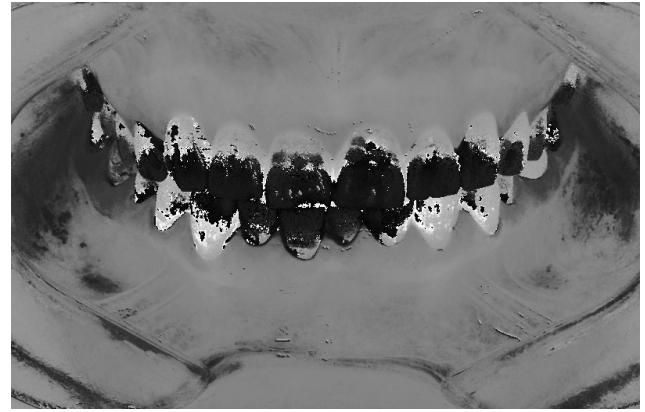




(b)

그림 3 Hue 값에 따른 히스토그램과 영상 표현
Fig. 3 Intensity representation by Hue and its histogram
 (a) Hue 값의 분포를 나타내는 히스토그램
 (b) Hue 값의 비율로 표현된 영상

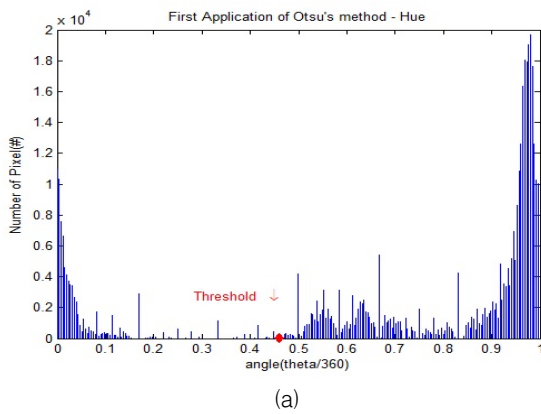
분리된 Hue 히스토그램 영역을 보정하기 위하여 그림 3과 같이 히스토그램을 두 영역으로 분할하고, 분리된 2개의 붉은색 영역들 하나로 구성되도록 히스토그램을 재구성하였다[8-9]. 즉, Otsu 기법을 이용하여 설정된 임계치를 이용하여 그림 4의 (a)와 같이 구한 Hue 영상의 히스토그램을 (b)에서는 이 임계값을 기준으로 재구성된 circular 히스토그램으로 변환시킨다. 그림 4의 (c)는 이와 같이 재구성된 히스토그램을 기반으로 표현된 Hue 값에 따라 표현된 영상을 보여준다.



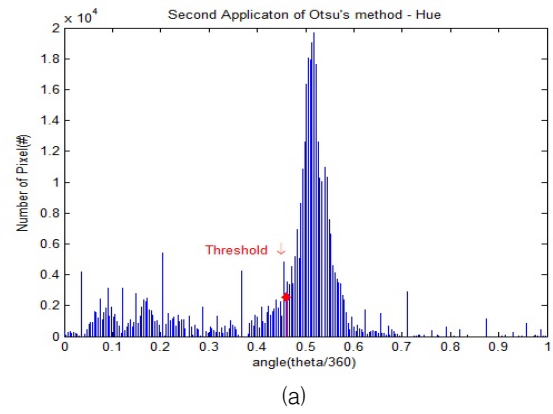
(c)

그림 4 Otsu 기법을 이용한 Hue 분포 재구성
Fig. 4 Reconstruction of Hue histogram using Otsu's method
 (a) Otsu 기법으로 설정한 임계값
 (b) 임계값을 기준으로 재구성한 circular 히스토그램
 (c) 재구성된 히스토그램을 기반으로 표현된 Hue 분포

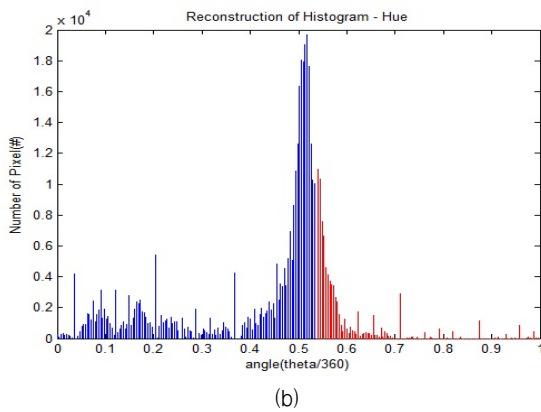
재구성된 Hue 히스토그램을 기반으로 플라그 영역과 구강 내 영역을 분할하기 위하여 Otsu 기법을 재차 적용하여 임계값을 구하였다. 또한 이를 기준으로 플라그 영역과 구강 내 영역을 분할하고, 플라그 영역을 분리하여 표현하였다. 그림 5의 (a)는 Otsu 기법을 이용하여 설정한 임계값이 표현된 히스토그램을 나타내고, (b)는 임계값을 기준으로 분리된 플라그 영역에 대한 히스토그램을 보여준다. 또한 그림 5의 (c)는 분리된 플라그 영역에 대한 영상을 보여준다.



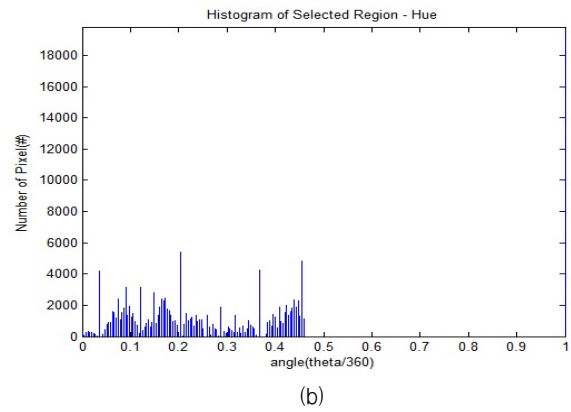
(a)



(a)



(b)



(b)



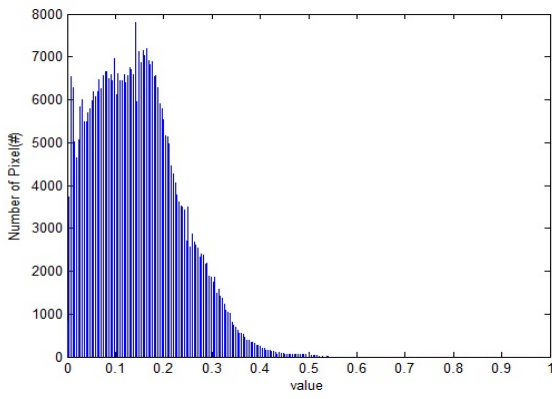
(c)

그림 5 Otsu 기법을 이용한 플라그 영역 후보 검출

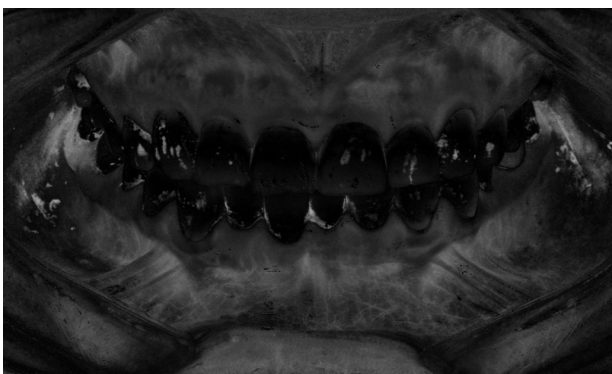
Fig. 5 Separation of plaque region using Otsu's method

- (a) Otsu 기법으로 설정된 임계값
- (b) 분리된 플라그 영역 후보에 대한 히스토그램
- (c) 분리된 플라그 영역 후보

그림 5의 결과에서 플라그 영역과 같이 선택되는 다른 영역들을 제거하기 위하여 Saturation을 이용하였다. 그림 6의 (a)는 Saturation에 대한 히스토그램을 보여주고, (b)는 Saturation 값으로 표현된 영상을 보여준다.



(a)



(b)

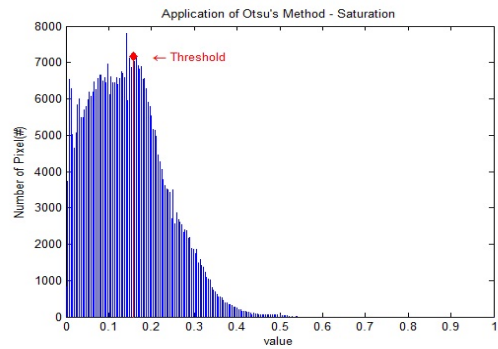
그림 6 Saturation 값으로 표현된 히스토그램과 영상

Fig. 6 Intensity representation by Saturation and its histogram

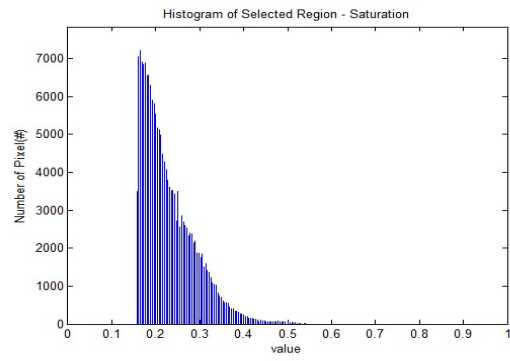
- (a) Saturation에 대한 히스토그램
- (b) Saturation 값으로 표현한 영상

그림 6의 (b)를 그림 1의 원 영상과 비교해보면, 원 영상에서 플라그 영역으로 나타나는 부분이 Saturation 영상에서 높은 밝기값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 Saturation에 적절한 임계값을 설정하여 플라그 영역을 구분하고, 그림 5의 결과에 적용하면 좀 더 정확한 플라그 영역을 획득할 수 있다.

Saturation 영역에서 나타나는 플라그 영역을 획득하기 위하여 Saturation 영상에 Otsu 기법을 적용하여 플라그 영역을 설정하였다. 그림 7의 (a)는 Otsu 기법을 이용하여 설정된 임계값이 표현된 Saturation 영상의 히스토그램을 나타내고, (b)는 설정된 임계값을 기준으로 분리된 플라그 영역에 대한 히스토그램을 보여준다. 또한 그림 7의 (c)는 분리된 플라그 영역에 대한 Saturation 분포도를 영상으로 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 Otsu 기법을 이용한 Saturation 분포 재구성

Fig. 7 Reconstruction of Saturation using Otsu's method

- (a) Otsu 기법으로 설정된 임계값
- (b) 분리된 플라그 영역의 히스토그램
- (c) Saturation 값으로 표현된 플라그 영역 후보

그림 5에서 획득한 플라그 영역에 대한 Hue 영상과 그림 7에서 획득한 플라그 영역에 대한 Saturation 영상에 "logical AND" 연산을 적용하여 플라그 영역을 획득하였다. 그림 8의 (a)는 획득한 플라그 영역에 대한 이진화 영상을 보여주고, (b)는 획득한 플라그 영역을 원 영상에 중첩시켜 치아의 플라그 영역을 나타낸 영상을 보여준다.

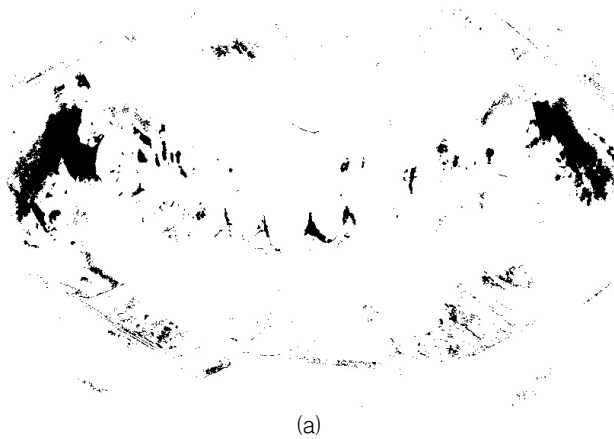


그림 8 플라그 영역 자동 검출

Fig. 8 Extraction of Plaque Regions

- (a) 플라그 영역을 표현하는 이진화 영상
- (b) 컬러로 표현한 플라그 영역을 중첩시킨 영상

3. 결 과

플라그 영역 검출 방법을 테스트하기 위하여 피험자 5명으로부터 치아 컬러 영상을 획득하였다. 피험자들은 모두 메틸렌블루 염색제를 치아에 도포하여 플라그를 염색한 후 영상을 획득하였고, 획득한 영상에 제한된 플라그 영역 검출 방법을 적용하여 플라그 영역을 검출하였다. 그림 9는 치아 영상에서 플라그 영역을 검출하기 위한 전체 과정의 순서도를 보여주고 있으며, 그림 10은 5명의 피험자에 대한 치아 영상에서 플라그 영역을 검출한 결과를 보여준다.

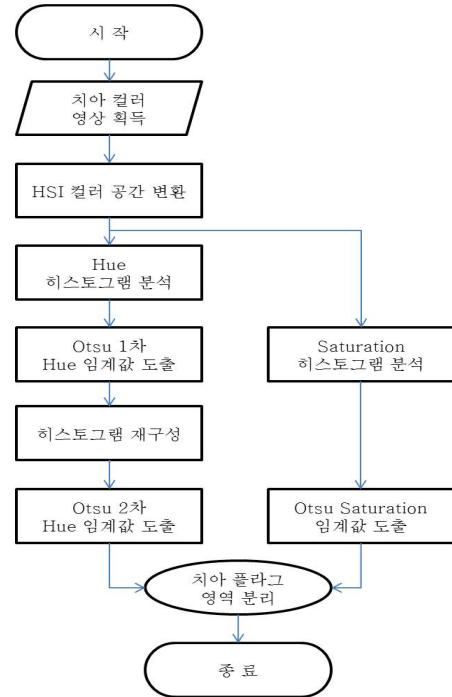


그림 9 치아 플라그 영역의 검출 과정 순서도

Fig. 9 A flowchart for illustrating color image segmentation algorithm of detecting tooth plaque regions

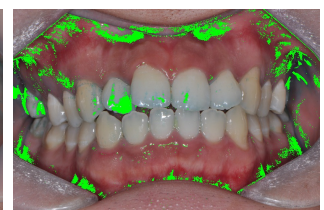


그림 10 치아 플라그 영역의 자동분할 결과

Fig. 10 The results of segmenting tooth plaque regions

- (a) subject 1 (b) subject 2 (c) subject 3
- (d) subject 4 (e) subject 5

그림 10의 (b)와 (d)의 경우에는 플라그 영역들이 잘 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그림 10의 (a)의 경우에는 염색이 진하게 된 부분은 플라그 영역이 제대로 검출되었으나 연하게 염색이 된 부분은 효율적으로 검출이 되지 않음을 확인할 수 있다. 이는 Saturation 영역에서 Otsu 방법으로 도출된 임계값의 크기가 커서 연한 푸른색으로 인식되는 플라그 영역이 제대로 검출이 되지 않은 것으로 판단된다. 또한 그림 10의 (c)와 (e)의 경우 플라그 영역과 함께 잇몸 영역이 같이 검출이 되었다. 이는 재구성된 Hue 영역에서 Otsu 방법으로 도출된 임계값의 크기 때문에 붉은 색 영역까지 플라그 영역으로 판단된 결과로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 구강 질환의 큰 요인 중의 하나인 플라그를 자동으로 검출하기 위하여 HSI 컬러 공간과 Otsu 기법을 적용하여 플라그를 자동으로 검출하는 방법을 제안하였다. 메틸렌블루 염색제를 사용하여 플라그를 푸른색으로 염색한 후 치아의 컬러 영상을 획득하고, 획득한 컬러 영상을 HSI 컬러공간으로 변환하여 Hue와 Saturation을 획득하였다. Hue 영역은 Otsu 기법을 적용하여 영상을 재구성하고, 다시 Otsu 기법을 적용하여 푸른색 계통의 플라그 영역과 붉은색 계통의 구강 내 영역을 분리하였다. 또한 Hue를 통하여 획득한 영역에서 플라그 영역이 아닌 부분을 제거하기 위하여 Saturation 영상에 Otsu 기법을 적용하여 획득한 플라그 영역과 Hue에서 획득한 플라그 영역을 논리곱 연산을 수행하여 최종적으로 플라그 영역을 검출하였다. 그러나 치아 영역에서 연하게 염색되는 플라그 영역을 검출하지 못하고, 붉은 색 영역까지 플라그 영역으로 검출되는 경우가 발생하는 단점이 있다. 따라서 플라그 영역 검출 기법에 대한 추가적인 보완이 필요할 것으로 사료되며, 잇몸을 제외한 치아 영역에서의 플라그 영역을 검출하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (2010-0027674).

참 고 문 헌

[1] M. Cugini, M. Thompson and P. Warren, "Correlations Between Two Plaque Indices in Assessment of Toothbrush Effectiveness," The Journal of Contemporary Dental Practice, Vol. 7, No. 5, pp. 1-11, Nov. 1, 2006.

[2] Kevin Carter, Gabriel Landini, A. Damien Walmsley, "Automated quantification of dental plaque

accumulation using digital imaging," Journal of Dentistry, Vol. 32, pp. 623-628, June. 23, 2004.

[3] R. D. Barrie, "Recent Development in Dental Plaque Disclosants," Australian Dental Journal, Vol. 22, No. 4, pp. 260 - 266, August 1977.

[4] Philip L. Block, Ralph R. Lobene, John P. Derdivanis, "A Two-Tone Dye Test for Dental Plaque," J. Periodontol., Vol. 43, No. 7, pp. 423 - 426, July 1972.

[5] I. H. C. Gallagher, S. J. Fussell, T.W. Cutress, "Mechanism of Action of a Two-Tone Plaque Disclosing Agent," J. Periodontol., pp. 395 - 396, July 1977.

[6] Nobuyuki Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.

[7] Andreas Koschan, Mongi Abidi, Digital Color Image Processing, Wiley-Interscience, 2008.

[8] Jianhua Wu, Pingping Zeng, Yuan Zhou, Christian Oliver, "A Novel Color Image Segmentation Method and Its Application to White Blood Cell Image Analysis," ICSP2006 Proceedings, Vol. 4, pp. Nov. 2006.

[9] D. Tseng, Y. Li, C. Tung, "Circular Histogram Thresholding For Color Image Segmentation," International Conference on Document Analysis and Recognition, Vol. 2, pp. 673-676, Aug. 1995.

저 자 소 개



김 경 섭 (金 敬 燮)

1979년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동대학원 석사(1981). The University of Alabama in Huntsville, Ph.D.(1994). 1995년~2001년 삼성종합기술원 전자의료 Lab. 전문연구원. 2001년~현재 건국대학교 의료생명대 의공학학부 교수.



신 승 원 (辛 承 元)

2005년 건국대학교 의과대학 의공학학부 졸업. 동대학원 석사(2007). 2007년~현재 동대학원 박사과정 재학 중.



이 세 민 (李 世 民)

2010년 건국대학교 의료생명대 의학공학부 졸업. 2010년~현재 동 대학원 석사과정 재학 중.



정 진 선 (鄭 眞 善)

2006년 경북대학 치위생과 졸업(전문학사). 2009년 방송통신대학교 영어영문학과 졸업(학사). 2010년~현재 연세대학교 일반대학원 치의학과 석사과정 재학 중.



박 원 서 (朴 原 緒)

1997년 연세대학교 치과대학 졸업. 동대학원 석사(2006). 연세대학교 치과대학병원 구강악안면외과 수련, 강사, 임상전임강사. 2006~현재 연세대학교 치과대학병원 통합진료과 임상부교수.



김 기 덕 (金 起 德)

1988년 연세대학교 치과대학 졸업. 동대학원 석사(1991) 및 박사(1997). 연세대학교 치과대학병원 구강악안면방사선과 수련, The Univ. of Iowa 방문교수. 1996년~현재 연세대학교 치과대학병원 통합진료과 교수.