

구강구조모델과 워터셰드를 이용한 치아영역 분할

나승대[†], 이기현^{**}, 이정현^{***}, 김명남^{****}

요 약

본 논문에서는 치아에 대한 컬러영상에서 개별적인 치아영역을 분할하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 치아의 구조적 특징을 이용한 구강구조모델과 워터셰드 알고리즘의 새로운 경계선 설정방법 등이 사용되었다. 먼저, 컬러영상으로부터 치아영역이 강조된 회색레벨 영상을 획득하고 치아영역 분할시 문제가 될 수 있는 불필요한 부분을 영상에서 제거하였다. 다음으로 제안한 구강구조모델을 이용한 치아영상의 영상향상을 실행하였고, 향상된 영상을 워터셰드 알고리즘을 이용하여 개별적 치아영역을 분할하였다. 워터셰드 알고리즘에 필요한 경계선과 시드는 최소 문턱치를 이용한 이진영상의 경계선과 국부 최대값을 적용하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 기존의 방법과 제안한 방법에 대하여 비교 실험을 수행하였다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 대구치영역의 검출율이 향상됨을 확인하였으며 치아를 포함한 구강 내 영역의 중복검출 등의 문제를 방지하여 치아영역 검출 성능이 향상되었음을 확인하였다.

Tooth Region Segmentation by Oral Cavity Model and Watershed Algorithm

S.D. Na[†], G.H. Lee^{**}, J.H. Lee^{***}, M.N. Kim^{****}

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new algorithm for individual tooth region segmentation on tooth color images. The proposed algorithm used oral cavity model based on structural feature of tooth and new boundary of watershed algorithm. First, the gray scale image is obtained with emphasized tooth regions from the color images and unnecessary regions are removed on tooth images. Next, the image enhancement of tooth images is implemented using the proposed oral cavity model, and the individual tooth regions are segmented by watershed algorithm on the enhanced images. Boundary and seeds necessary to watershed algorithm are applied boundary of binary image using minimum thresholding and region maximum value. In order to evaluate performance of proposed algorithm, we conduct experiment to compare conventional algorithm with proposed algorithm. As a result of experiment, we confirmed that the proposed algorithm is more improved detection ratio than conventional algorithm at molar regions and the tooth region detection performance is improved by preventing overlap detection on oral cavity.

Key words: Tooth(치아), Image segmentation(영상분할), Watershed(워터셰드), Image enhancement(영상향상)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김명남, 주소 : 대구광역시 중구 국제보상로 680(700-842), 전화 : 053) 200-5266, FAX : 053) 200-5264, E-mail : kimmn@knu.ac.kr
접수일 : 2013년 7월 22일, 수정일 : 2013년 8월 30일

완료일 : 2013년 9월 9일

[†] 경북대학교 대학원 의용생체공학과
(E-mail : bluepoison14@gamil.com)

^{**} 경북대학교 대학원 의용생체공학과
(E-mail : gihyounlee@gmail.com)

^{***} 칠곡 경북대학교병원 의공학과

(E-mail : pung@hmail.knu.ac.kr)

^{****} 경북대학교 의학전문대학원 의공학교실

※ 본 연구는 산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 대경지역사업평가원의 광역경제권선도산업 육성사업으로 수행된 연구결과임. 또한 산업자원통상부의 초광역연계 3D 융합산업육성사업의 지원을 받아 수행하였음(과제번호 : A004300066).

1. 서 론

의료기술의 발전으로 다양한 질환에 관한 치료방법들이 등장하고 있다. 그중 영유아, 청소년은 물론 노인세대까지 전 세대에 걸쳐 영향을 끼치고 있는 치과질환의 치료방법도 다양해지고 있다. 이러한 치과질환의 치료방법으로는 아말감(amalgam), 인레이(inlay), 크라운(crown)등과 같이 정상치아와 형태나 색이 다르며 심미적인부분은 고려하지 않은 치료방법에서 점차 브리지(bridge)와 같이 기존의 치아를 유지하거나, 레진(resin), 임플란트(implant)와 같이 정상치아의 형태, 색과 유사한 심미적인 치료방법으로 대체되어가고 있다[1,2]. 치과질환의 치료를 위한 진료방법으로는 CT나 X-ray를 이용하여 영상을 얻어 질환을 진단하는 방법이 널리 사용되고 있으며, 이러한 CT, X-ray영상은 검시분야에서도 치아의 윤곽선 검출기법을 적용하여 영상에서 치아영역의 개별적 인식이 가능하고 검출된 치아영역의 특징을 파악하여 사망자의 신원 확인에도 이용되고 있다[3-6]. 그러나 CT나 X-ray영상은 치아의 뿌리나 신경과 같이 치아 내부의 질환에 대한 형태학적특징이나 병변을 찾기 위해 활용되기에는 용이하지만, 임플란트에 사용되는 치은구부터 크라운까지의 치아 표면의 정보를 파악하기에는 어려움이 있다. 그리고 영상을 획득하는 과정이 복잡하고 영상 촬영 시에 방사선노출에 의한 유해성도 존재한다[7]. 그리고 치아표면의 질환이나 치아형태가 필요한 임플란트와 같이 치아영역을 인식하는 부분은 CT나 X-ray로 획득한 흑백 영상에서는 임플란트와 같이 치아 본연의 모양이 필요한 치료방법에는 적절하지 않다. 반면, 컬러영상은 영상을 획득하는 과정이 CT나 X-ray에 비하여 간편한 장점이 있으며, 영상에서 치아의 형태나 모양이 실질적인 치아의 형태와 정보를 그대로 담고 있으므로, 임플란트와 같은 치아 본래의 형태와 관련한 진단과 치료방법에 이용되기에 적합하다. 이러한 컬러영상을 이용한 치아영역분할방법으로 MCWA (marked-control watershed algorithm)가 있다[8]. 이 방법은 기존의 워터셰드 알고리즘(watershed algorithm)이 치아영상분할에서 적합하지 않으므로, 치아영상에서 치아영역을 분할하기 효율적으로 변환한 방법이다. 기존의 워터셰드 알고리즘은 영상의 경계선부분을 기점으로 물웅덩이를 형성하여 태그

를 할당하였다면, MCWA는 가장 밝은 부분인 치아에서 물웅덩이를 형성하여 개별적인 치아를 분할하는 방법이다. 그러나 이 방법은 치아의 구조적 특징과 영상 향상(image enhancement)에 관한부분이 적용되지 않았으며, 그로인해 정면치아영상에서 양쪽의 대구치영역의 검출율이 떨어진다. 또한 소벨 에지(Sobel edge) 연산을 통한 경계선 선정으로 불필요한 부분의 영역까지 검출하는 결과를 가져온다.

치아는 정면을 기준으로 상/하악골의 형태와 동일하게 아치형태의 구조적 특징을 가지고 있으며, 잇몸과 치아의 색의 구성에서도 차이가 나타난다. 이러한 치아의 구조적 특징은 영상 획득 시, 정면에서 획득하는 영상에서 위치적으로 치아의 색이 제대로 반영되지 못한다. 이러한 컬러영상을 이용한 기존의 치아영역 인식이나 분할에 관한 연구들이 수행되고 있으나 치아의 구조적특징과 치아가 가지는 정보를 충분히 활용하지 못하여 치아영역 인식과 분할에서 부정확한 개별적 치아 검출을 보이는 단점이 있었다[9-10].

따라서, 본 논문에서는 기존의 치아영역을 검출하는 연구에서 영상의 밝기와 치아의 구조적특징들을 고려하지 않아서 발생하는 대구치 등의 안쪽 치아가 검출되지 않는 문제에 대하여 치아의 구조적 특징을 활용한 구강구조모델을 제안하였고 이를 이용하여 영상향상을 실행하였다. 또한 워터셰드에서 사용되는 영역검출 경계선은 최소 문턱치 연산을 통하여 도출되는 이진영상의 경계선을 적용함으로써 기존의 소벨 에지를 적용한 연구결과에서 나타나는 중복 검출 등의 문제를 개선하였다.

2. 연구 방법

2.1 치아영역 검출의 흐름도

기존의 치아 검출 연구에서는 치아의 아치형태의 구조적 특징을 이용하지 않으므로 정면에서 획득한 영상에 대해 안쪽의 대구치 정보가 치아영역 분할 시에 완전하게 검출되지 못한다. 이를 해결하기 위하여 제안한 치아영역 검출방법에 대한 전체적인 흐름도를 그림 1에서 보였으며 본 논문에서 새로이 제안한 세부적인 부분은 영상향상 부분과 워터셰드 경계선 지정방법이다. 제안한 방법의 수행 순서는 다음과 같다. 치아의 컬러영상을 붉은색(red, R), 녹색(green,

G)과 푸른색(blue, B)의 차이를 이용한 전처리과정을 통해 치아가 강조된 회색레벨 영상으로 변환하였다. 변환된 영상에 대해 제안한 구강모델을 이용하여 영상향상을 수행하고 향상된 영상에 대하여 최소 문턱치를 적용한 이진영상의 경계선과 이진영상의 치아영역에서 향상된 영상의 국부 최대 밝기 값을 도출하였다. 그리고 도출한 경계선과 국부 최대 밝기 값을 워터셰드 알고리즘의 경계선과 시드로 하여 치아영역 검출을 수행하였다.

2.2 전처리 과정

치아를 촬영한 컬러영상에는 치아를 구성하는 흰

색 영역과 잇몸과 구강 내부를 이루는 붉은 영역으로 구성되어 있다. 치아를 촬영한 컬러영상과 영상에서의 R, G, B값의 분포를 그림 2에서 보였다. 치아영상에서 치아는 R, G, B값이 골고루 분포되어 있으나 잇몸영역에서는 R값의 분포가 강하게 나타나게 되며 G와 B값의 분포는 잇몸보다 치아에서 강하게 난다. 따라서 치아와 잇몸에서의 R, G, B값의 특성을 이용하여 컬러 영상으로부터 치아영역을 강조할 수 있는 회색레벨 영상을 획득하였다.

식 (1)과 (2)는 R, G, B값의 차이를 이용하여 치아영역을 강조하기 위한 수식으로 I_R, I_G, I_B 는 치아의 컬러영상에 대한 R, G, B값들이며, x와 y는 영상의

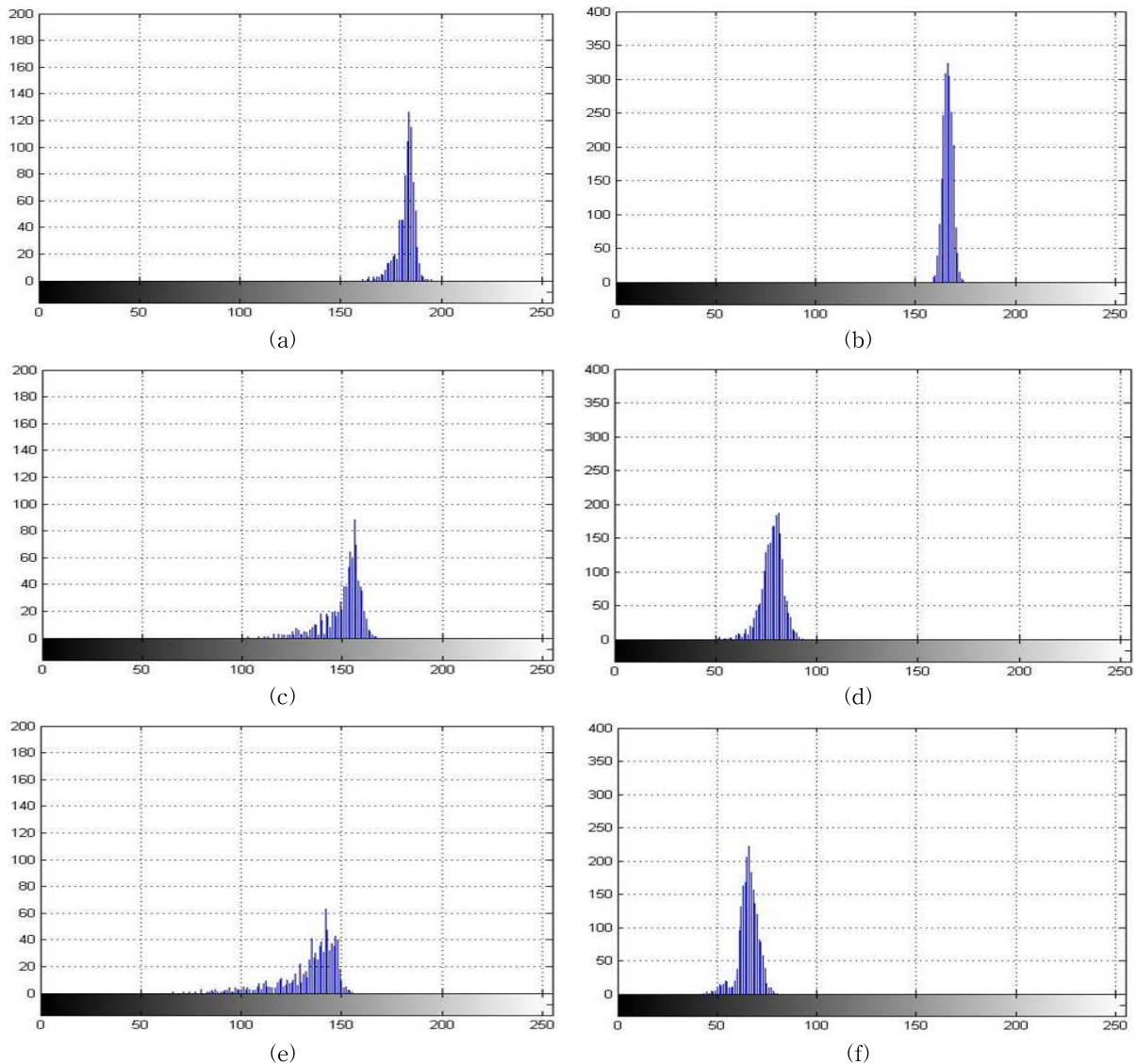


그림 2. 치아와 잇몸의 RGB 분포 (a) 치아의 R에 대한 히스토그램, (b) 잇몸의 R에 대한 히스토그램, (c) 치아의 G에 대한 히스토그램, (d) 잇몸의 G에 대한 히스토그램, (e) 치아의 B에 대한 히스토그램, (f) 잇몸의 B에 대한 히스토그램

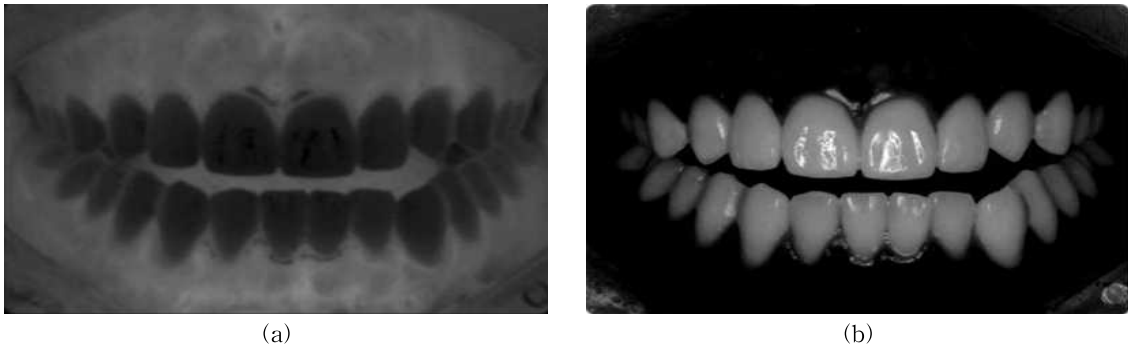


그림 3. RGB연산 결과 (a) DIF 영상과 (b) O_{gray} 영상

화소위치를 나타낸다. 식 (1)의 DIF 는 치아에서 높은 G값을 잇몸에서 강하게 나타나는 R값에서 제거하여 컬러영상에서 치아의 정보가 사라진 회색레벨(gray level) 영상을 얻을 수 있다. 식 (1)을 통해 획득한 DIF 을 이용해 식 (2)의 O_{gray} 을 연산하게 되면 잇몸 영역이 사라지고 치아가 부각된 회색레벨 영상을 획득할 수 있게 된다.

$$DIF(x,y) = I_R(x,y) - I_G(x,y) \quad (1)$$

$$O_{gray} = I_G(x,y) - DIF(x,y) \quad (2)$$

그림 3은 그림 2에서의 치아의 컬러영상에 대하여 식 (1)과 (2)를 이용하여 치아영역만을 강조한 회색

레벨 영상으로서 그림 3(b)에서 잇몸과 치아의 차이가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

2.3 영상 가장자리의 불필요한 잇몸영역 제거

치아에 대한 영상 촬영 시 대상의 시야를 확보하기 위하여 사용하는 입술 개방용 기구와 입술 주위의 근육은 획득된 영상의 가장자리에 불필요한 영상부분으로 존재하게 된다. 이러한 불필요한 영상정보는 치아영역을 검출할 때 과분할(over segmentation)을 일으키는 주요 원인이다. 그림 4는 가장자리의 불필요한 영상정보 제거에 대한 연산과정을 순서대로 보

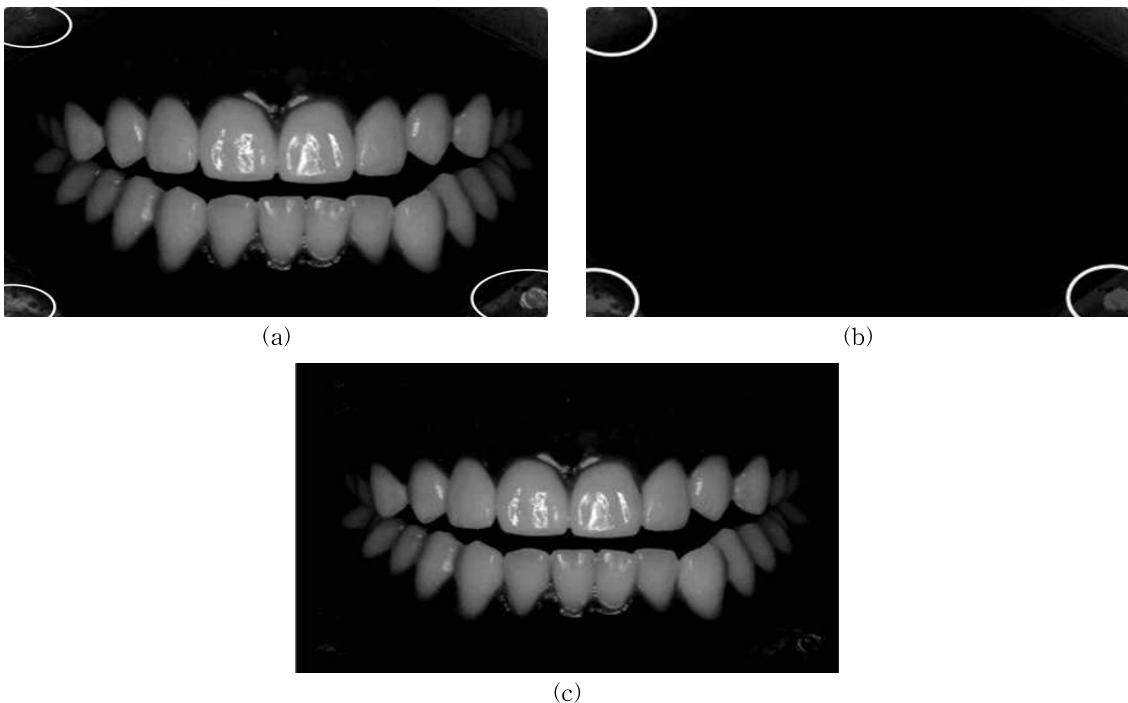


그림 4. 가장자리의 불필요한 정보 제거 연산과정 (a) 개구기 및 주위 근육으로 인한 영상 가장자리의 불필요한 정보, (b) 가장자리 불필요한 정보 검출, (c) 불필요한 정보 제거 영상

여주고 있다. 그림 4(a)는 획득된 영상에서 가장자리의 불필요한 영상정보를 보여 주고 있으며 이를 제거하기 위하여 영상의 가장자리에서부터 불필요한 영상정보의 화소 군집(pixel cluster)을 검출 한 후 제거하였다. 그림 4(b)는 가장자리에서부터 시작하여 4-체인방식의 영역확장방법을 이용하여 화소 군집을 검출한 영상이다[11]. 이러한 불필요한 영상의 가장자리 부근의 정보들은 워터셰드 알고리즘을 이용한 치아영역 검출시 과분할의 원인이 된다. 그림 4(c)는 전처리과정을 통해 획득한 영상에서 검출한 가장자리의 불필요한 영상정보를 제거한 결과이다.

2.4 제안한 구강구조모델을 이용한 영상 향상

성인남자를 기준으로 상악골과 하악골에 28~32개의 치아를 가지고 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 치아의 구성은 정면을 기준으로 상/하악골에는 2~4개의 앞니(incisor), 2개의 송곳니(canine), 4개의 소구치(premolar), 6개의 대구치(molar)로 이루어져 있다. 치아의 전반적인 형태는 하악골과 상악골의 모양을 따라 아치 형태를 하고 있다. 가장 정면에 위치한 2~4개의 앞니를 중심으로 양쪽의 치아는 대칭적으로 앞니부터 마지막 대구치까지 반원 형태를 유지한다. 구강구조의 이러한 특징으로 인해 치아를 정면에서 볼 때, 대구치의 가시 면적이 가장 작게 나타나며 앞니의 가시 면적이 가장 크게 보인다[12]. 그림 5(a)는 이러한 아치형태의 치아 모양과 각 치아의 위치를 보여주고 있다. 치아의 뿌리는 상/하악골에서부터 시작되어 나오며 잇몸이 치아의 뿌리부분을 덮고 있는 형태를 지니고 있다. 이러한 형태로 인해 형

성된 치은구(gingival sulcus)는 치아와 잇몸을 나누는 기준이 된다[13-14]. 그림 6(b)는 치아뿌리부터 크라운까지의 치아와 잇몸의 관계를 나타낸 그림이다. 육안으로 확인할 수 있는 치아 부분은 크라운의 끝부분부터 유리치육(free gingiva)부분까지이며, 컬러영상을 이용한 치아영역분할에 대한 연구에서는 이 부분을 검출한다.

치아의 아치형태의 구조적 특징을 이용하여 구강모델을 제안하였고, 제안한 모델을 이용하여 치아영상의 영상향상을 실행하였다. 치아의 아치 모양의 특성으로 인해 정면에서 보는 경우에는 앞니에 비해 안쪽의 대구치는 위치적으로 안쪽에 위치하게 되며 영상을 획득할 때에도 이러한 특징이 그대로 반영되어 정면의 앞니에서는 반사로 인하여 밝기 값의 분포가 강한 반면 안쪽의 대구치에서는 밝기가 미약하고 면적도 작게 나타난다. 그림 6은 치아의 반원형태의 모양과 그 구조적특징에 따른 정면에서의 치아의 밝기 값을 보여주고 있다. 그림 6(a)에서 흰색 실선의 위치에서의 밝기를 그림 6(b)에서 나타내었으며, 이때 x와 y축은 각각 영상의 위치와 밝기를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 정면의 앞니에 비해 뒤쪽의 대구치의 밝기가 작으며 차지하는 비중이 작은 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 치아의 구조적특징을 이용해 정면에서의 치아의 면적과 거리에 따른 구강구조모델의 개념도이다.

동일한 면적의 사각형이 치아의 반원 구조에 따라 그림 7에서와 같이 정면에 있을 때 보다 측면으로 갈수록 정면에서 볼 수 있는 면적이 줄어든다. 이러

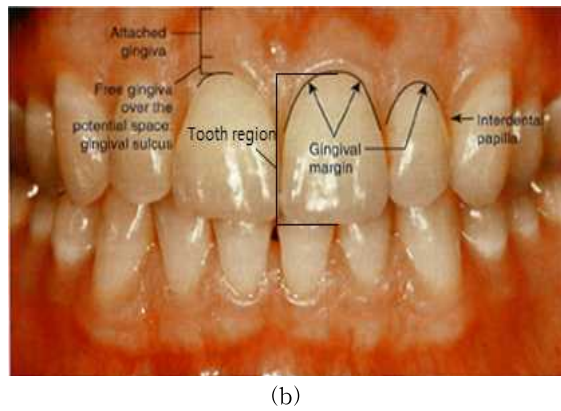
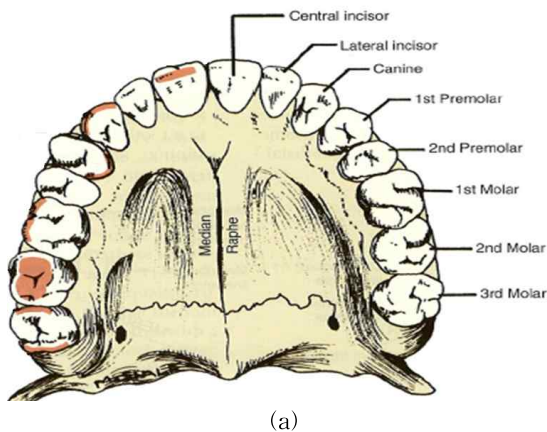
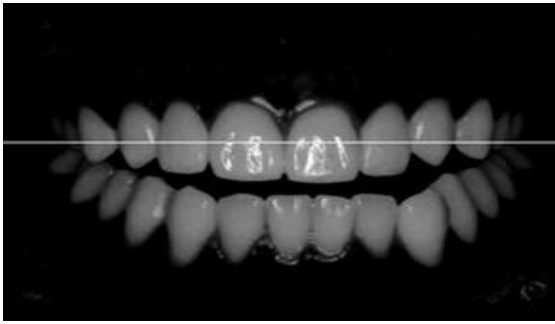
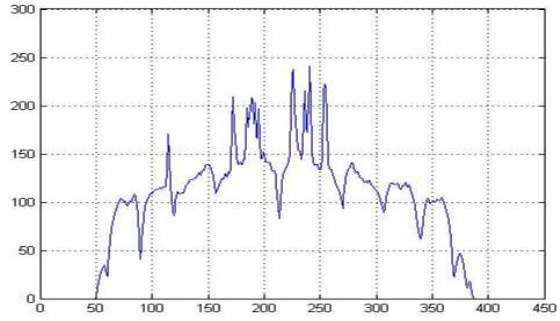


그림 5. 잇몸과 치아의 형태학적 특징 및 구조 (a) 치아의 아치형태의 구조와 (b) 구강 내 잇몸과 치아의 구분[10].



(a)



(b)

그림 6. 치아의 밝기 값의 분포 (a) 치아 영상의 밝기 기준과 (b) (a)의 실선을 기준으로 본 영상의 밝기 분포

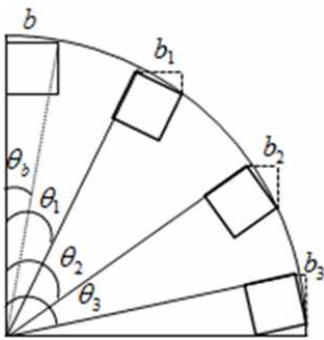


그림 7. 제한한 치아의 구조에 의한 면적과 밝기모델

한 면적은 영상에 나타나는 크기와 밝기에 비례한다. 동일한 가로길이의 b 는 앞니에서 대구치 쪽으로 갈수록 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ 과 같이 순차적으로 줄어든다. 치아의 세로 길이가 동일하다고 가정하면 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ 은 정면에서 영상을 획득할 때 입사한 빛의 밝기에 대하여 반사되는 밝기를 정면을 기준으로 기울어진 각에 관하여 나타내면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (3)을 통해 θ_n 에 의해 변화하는 각 치아의 면적과 밝기를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b &= r \sin \theta_b \\
 b_1 &= b \cos \theta_1 \\
 b_2 &= b \cos \theta_2 \\
 &\vdots \\
 b_n &= b \cos \theta_n
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, b 는⁽³⁾정면 앞니의 면적으로 θ_b 에 의해 도출된다. 도출된 b 를 통해 정면에서부터 변하는 각 θ_n 에 의해 b_n 을 도출할 수 있다.

다음으로 광원(luminance)과의 거리(distance)에 따른 밝기를 고려하였다. 광원의 밝기와 거리를 각각 L 과 D 이라고 두면 특정위치에서의 밝기는 $L = D^{-2}$ 의 관계를 가진다. 치아영상을 획득할 때에도 밝기에

대한 거리의 관계가 적용된다. 그림 8은 영상획득부와 치아와의 거리에 대한 밝기의 관계를 보여주고 있다. 식 (4)는 θ_n 과 D_n 의 관계를 나타낸다. θ_n 이 변화함에 따라 p 와의 거리 D_n 의 변화를 다음의 식 (4)에서 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 D_1 &= D_0 + \alpha_1 \\
 A_1 &= r \cos \theta_1 \\
 \alpha_1 &= r - A_1 = r - r \cos \theta_1 = r(1 - \cos \theta_1) \\
 A_2 &= r \cos \theta_2 \\
 \alpha_2 &= r(1 - \cos \theta_2) \\
 &\vdots \\
 A_n &= r \cos \theta_n \\
 \alpha_n &= r(1 - \cos \theta_n)
 \end{aligned} \tag{4}$$

D_0 는 영상 획득 위치 p 에서 치아까지의 가장 짧은 거리를 나타내며, 정면 앞니로부터 대구치로 갈수록 변하는 θ_n 에 의해 거리의 변화 α_n 이 도출된다. 식 (4)의 D_0 과 α_n 을 통해 영상획득 위치 p 에서의 각 치아와

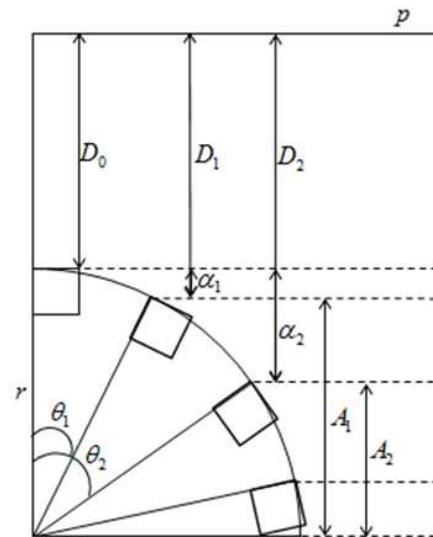


그림 8. 치아구조와 영상획득부와의 거리모델

의 거리를 계산할 수 있다. θ_n 이 변하면서 D_n 의 거리는 점차 증가하게 되며, 여기서 D_0 와 r 이 같은 값이라면, 식 (5)을 통해 밝기와 거리의 관계로 나타낼 수 있다.

$$L_n = \frac{1}{D_n^2} = \frac{1}{(1 - \cos\theta_n)^2} \quad (5)$$

식 (5)에서 보면 치아에서의 밝기인 L 은 영상 획득 위치와 치아의 거리 D_n^2 및 $(1 - \cos\theta_n)^2$ 에 반비례 하는 것을 볼 수 있다. (5)

제안한 영상향상은 구강구조모델을 이용하여 다음과 같이 실행하였다. 제안한 구강구조모델인 그림 7에서의 치아구조의 면적과 밝기와 그림 8의 광원에 대한 거리와 밝기의 관계를 통해 다음의 식 (6)으로 표현 할 수 있다. 식 (6)은 제안한 구강구조모델에 기반한 밝기인 B_m 으로 치아의 구조에 의한 면적과 밝기모델인 식 (3)과 치아구조와 영상획득부와의 거리모델인 식 (5)에 의해 도출되었다. 제안한 구강구조모델은 정면의 앞니에서부터 안쪽의 대구치까지의 밝기가 $\cos\theta$ 에 비례하여 줄어든다.

$$B_m = \sum_{i=1}^n b_i \cdot L_i \quad (6)$$

여기서, n 은 중앙의 앞니를 기준으로 가장 안쪽의 (6)

대구치까지의 화소개수이다. 식 (6)은 영상의 중앙에서부터 가장자리까지 밝기에 대하여 식 (6)의 구강구조모델에 기반한 결과를 보상하는 제안한 영상향상 방법이다. 전처리과정과 가장자리 방해요소 제거를 통해 획득한 회색레벨 영상에 대하여 영상의 중심 화소에서부터 가장자리의 3번 대구치가 있는 화소까지 영상향상을 식 (7)과 같이 실행하였다. 이때 β 는 밝기에 대한 가중치이다.

$$B_p = \frac{(1 - \cos\theta_n)^2}{\cos\theta_n} + \beta \quad (7)$$

그림 9는 식 (7)을 이용하여 치아에 대한 밝기의 가중치를 다르게 주어 영상향상을 실행한 결과영상과 밝기분포를 보여주(7) 있다. 그림 9(a)와 (d)는 전처리과정을 통해 획득한 영상과 흰색 실선의 위치에서의 밝기를 보여주고 있다. 제안한 구강구조모델에 의해 유추된 바와 같이 정면 앞니에서의 밝기보다 안쪽의 대구치에서의 밝기가 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 제안한 식 (7)을 이용하여 영상을 향상하게 되면 그림 9(b)와 (e)에서와 같이 정면앞니의 밝기에는 영향을 최소화 하면서 안쪽의 대구치의 밝기를 향상시키는 것을 확인할 수 있다. 이때 가중치 β 는 1로 하였다. 이러한 영상향상은 추후 개별적 치아 검출에 있어서 안쪽의 대구치의 검출에 도움이

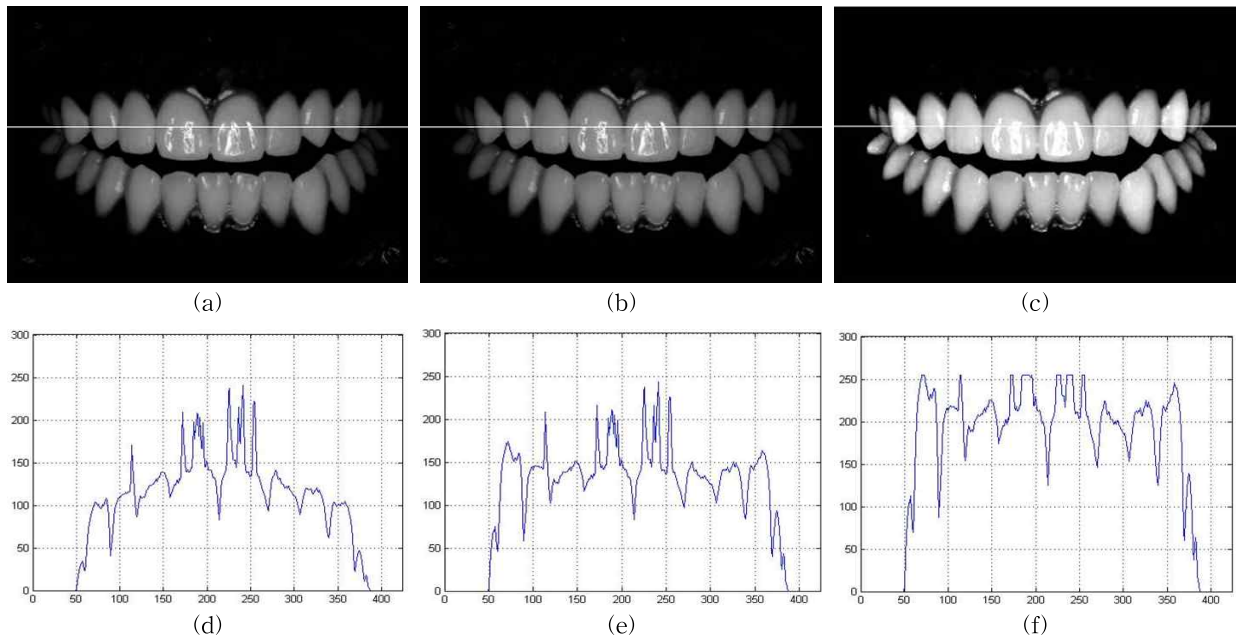


그림 9. 치아영상에 대한 제안한 구강모델을 이용한 영상향상 결과 (a) RGB연산 결과 영상, (b) 제안한 영상향상방법의 결과($\beta=1$), (c) 제안한 영상향상방법의 결과($\beta=1.5$), (d) 영상 (a)에 대한 intensity, (e) 영상 (b)에 대한 intensity, (f) 영상(c)에 대한 intensity

된다. 그림 9(c)와 (f)는 식 (7)의 가중치 β 를 1.5로 하여 영상향상의 강도를 높인 경우이며 전체적인 밝기가 향상되는 것을 볼 수 있으나 β 값의 변화에 의해 밝기의 포화(saturation)가 일어나므로 적절한 β 값의 선정이 필요하였다.

2.5 개별적 치아영역 검출

워터셰드는 지리학에서 서로 다른 강의 지류들에 의해 배수되는 영역을 나누는 능선이다. 워터셰드 알고리즘은 이러한 지리학적 이론과 컴퓨터 영상처리 분야의 일부를 접목한 이론으로 영상 내의 화소 중 큰 값을 지니는 화소와 작은 값의 화소간의 차이를 분석하여 영역을 나누게 된다.

기존의 치아영역을 검출하는 연구인 MCWA는 치아영역검출에 워터셰드 알고리즘의 태그를 할당받는 방법을 알고리즘으로서 기존의 워터셰드 알고리즘에 비해 MCWA는 물웅덩이가 형성되는 지점을 미리 댐(dam)으로 경계를 지정하고 물을 채우기 시작한다[6]. 이러한 댐은 치아의 경계선들에 설치가 되며 기존의 작은 값의 화소에서부터 물을 채우기 시작하지 않고 치아의 가장 큰 값에서 시작하여 물웅덩이를 형성하기 시작한다. 작은 값의 화소에서부터 물이 채워지면서 물웅덩이는 미리 설치된 댐까지만 형성하게 되고 형성된 물웅덩이에 태그를 할당하여 영역을 검출하게 된다. 이렇게 검출된 각각의 태그를 치아로 인식하여 개별적인 치아 검출을 진행하게 된다. 워터셰드 알고리즘으로 치아영역분할을 하기 위해서는 경계선과 시드가 필요하다. 기존의 MCWA를 이용한 연구에서는 이러한 영상의 경계선과 시드를 배정하는 방법을 각각 소벨 에지 검출방법과 국부 최대값방법을 사용하였다[15].

소벨 에지 검출방법은 수학적 연산의 1차 미분

형태이다. 그러나 영상에서는 이러한 수학적 연산의 미분이 수행되기 어렵기 때문에 인접화소끼리의 차를 취하여 1차 미분에 근사한 값을 구하는 방법을 사용한다. 그러나 소벨 에지 검출방법은 정확한 치아에 대한 정보를 포함하기 어려우며 불필요한 정보까지 많이 검출하는 단점이 있다. 또한 치아와 치아사이의 경계선이 모호해지는 문제가 발생하여 추후 워터셰드 알고리즘으로 치아영역을 분할할 때, 인접한 치아가 겹쳐지는 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 최소 문턱치방법을 활용한 경계선 추출방법을 사용하였다. 최소 문턱치방법은 전처리 과정과 영상향상을 통해 획득한 회색레벨 영상에 대하여 이진영상이 생성될 수 있는 문턱치의 최소값을 적용하여 이진화를 실행하는 것이다. 획득한 이진영상에서 잇몸이나 치아가 아닌 부분에서 일어나는 반사영역이나 치아의 정보와 유사한 방해요소들이 포함될 수 있으나 이러한 방해요소들의 구조요소의 크기는 치아의 정보보다 월등히 작으므로 이러한 크기에 대한 차이를 이용하여 방해요소들을 제거하고 남은 이진영상의 경계선만을 추출해 낸다. 그림 10(a)와 (b)에서는 소벨 에지와 최소 문턱치 경계선을 보여주고 있다. 소벨 에지에서는 정면의 치아와 잇몸에서 과분할이 일어날 수 있는 불필요한 영역이 포함되는 것을 볼 수 있으나 최소 문턱치방법을 이용한 경계선영상에서는 치아내의 과분할을 일으킬 요소가 포함되지 않은 것을 확인할 수 있다. 시드를 배정하는 방법은 국부 최대값을 이용하여 각각의 치아에 대한 개별적인 최대값을 검출하며 검출한 치아의 최대값을 그림 10(c)에서 보였고 각 치아의 국부 최대값의 화소 군집을 워터셰드 알고리즘의 시드로 사용하게 된다.

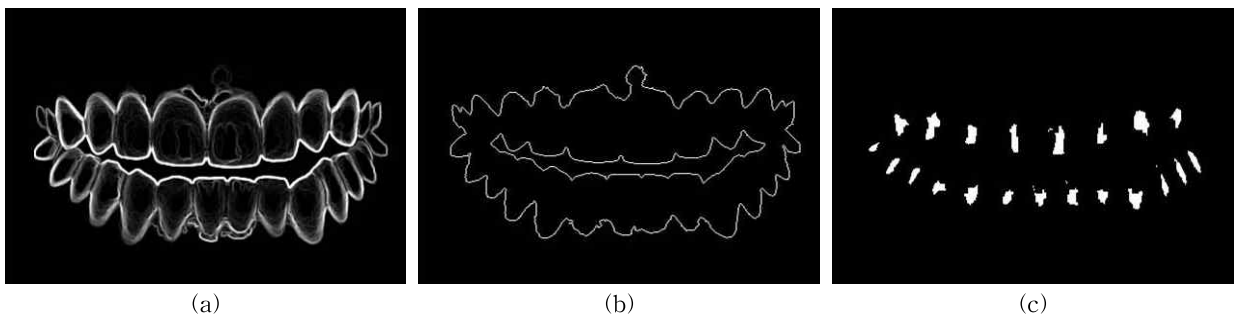


그림 10. 워터셰드 알고리즘의 경계선과 시드 (a) 소벨 에지, (b) 최소 문턱치 경계선, (c) 치아영역 분할을 위한 시드

3. 실험 결과

제안한방법의 효율성을 검증하기 위하여 정면에서 촬영된 다수의 치아영상 데이터로써 실험하였다. 기존의 치아영역검출방법인 MCWA과 본 논문에서 제안한 방법에 대한 실험 결과를 그림 11에서 보였다. 그림 11(a)의 MCWA방법은 치아 및 구강의 구조적인 특성을 반영한 영상향상에 관한 부분이 없으므로 이 부분에 대한 치아의 안쪽부분인 대구치영역의 검출율이 떨어진다. 또한 소벨 에지의 특성으로 인하여 정면의 앞니와 송곳니 영역의 중복검출이 나타남을 볼 수 있다. 반면에 본 논문에서 제안한 영상향상

은 치아 및 구강의 구조적특징을 활용하여 치아의 밝기 값을 향상시켰기 때문에 그림 11(b)와 같이 MCWA방법에 비하여 안쪽 치아의 검출율이 향상되었으며 최소 문턱치 경계선을 이용하여 정면치아에서의 중복검출도 기존의 MCWA방법에 비하여 개선되었음을 확인할 수 있다.

제안한 구강구조모델을 적용한 개별적 치아영역 검출의 효율성을 확인하기 위하여 정면치아영상 8개에 대하여 실험하였다. 그림 12는 8개의 치아영상에 대한 제안한 모델 적용한 결과이다. 전체적으로 제안한 방법을 통한 치아영역 검출 결과가 안쪽의 대구치까지 검출하는 것을 확인할 수 있다. 그림 12(a), (g),

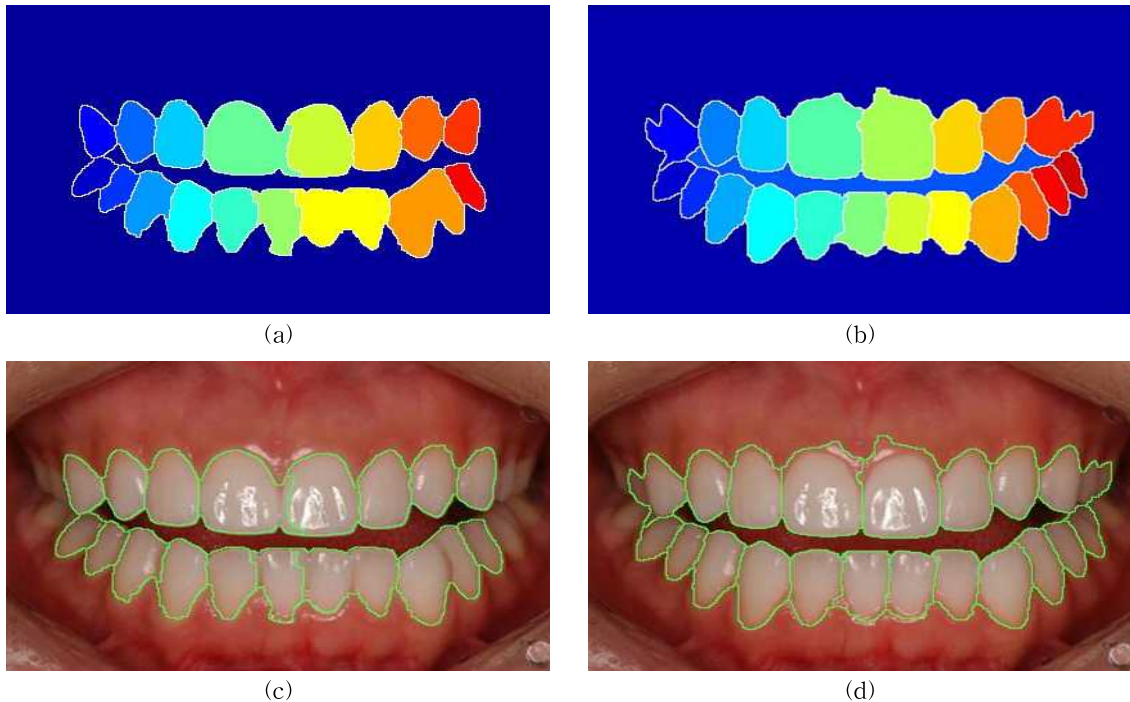


그림 11. 치아영역 검출 결과 (a) MCWA방법의 검출결과, (b) 제안한 방법을 이용한 검출결과, (c) 컬러 치아영상에 대한 MCWA방법의 결과, (d) 컬러 치아영상에 대한 제안한 방법의 결과

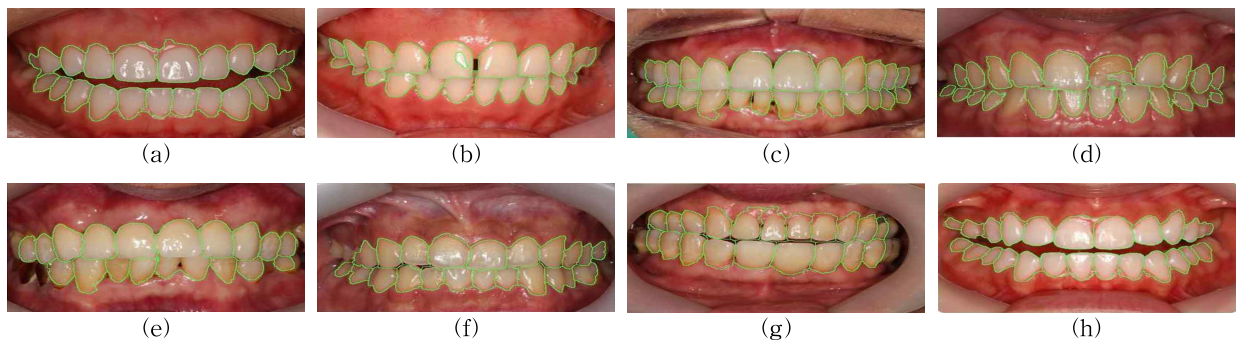


그림 12. 8개의 치아 영상에 대한 제안한 방법의 치아영역 검출 결과

(b), (d)의 경우, 치아 윗부분의 잇몸영역의 검출과 정면치아에서의 과분할을 확인할 수 있는데 이는 경면반사(specular reflection)때문에 잇몸에서의 밝기가 치아와 유사해지면서 나타나는 현상과 치아에서 밝기의 포화(saturation) 인하여 발생하는 오차이다. 그림 12(e)에서 좌측 아래쪽의 크라운치료가 되어있는 치아는 검출되지 않는 것을 확인할 수 있는데 전처리과정을 통해 컬러영상에서 RGB의 차이를 이용하여 치아부분만을 강조함으로 인하여 나타나는 결과이다. 또한 영상의 가장자리 쪽의 대구치부분의 치아가 검출이 안 되는 경우가 일부 발생하는데 본 논문의 가장자리의 불필요한 부분을 제거하는 과정에서 발생하는 문제로 판단된다.

표 1은 8개의 치아영상으로써 기존의 치아영역 검출방법인 MCWA와 제안한 방법에 대한 치아영역의 검출율을 보여준다. 기존의 치아영역 검출방법인 MCWA에 비하여 제안한 방법이 향상된 검출율을 보여주고 있다. MCWA방법은 대구치 영역의 치아 검출율이 낮아 전체 치아 대비 검출 개수가 낮은 결과를 보이고 있다. 그러나 제안한 방법의 검출율은 영상향상을 통해 대구치 영역의 치아 검출율이 향상되어 전체 치아 대비 검출개수가 MCWA방법에 비하여 높은 것을 표 1을 통해 알 수 있다.

4. 결 론

치아에 대한 컬러영상에서 치아영역 분할에 있어서 주요한 부분은 치아가 아닌 잇몸이나 구강 내 다른 부분이 치아로 인식되는 문제가 없어야 하며 치아 정보의 손실 없이 개별적인 치아를 모두 검출하는

것이다. 기존의 치아영역 검출방법인 MCWA는 영상의 향상에 대한 부분과 치아가 아닌 부분에 대한 불필요한영역의 제거와 소벨 에지를 워터셰드 알고리즘의 경계선 설정에 사용함으로써 개별적 치아영역을 검출함에 있어서 대구치영역(1~3molar)의 누락, 치아영역이 아닌 다른 부분을 치아영역으로 검출, 일부 치아영역의 중복검출 등의 문제점이 발생하였다. 본 논문에서 제안한 구강구조모델은 치아의 구조적특징과 영상획득을 위한 획득부와의 거리에 따른 밝기에 대한 영향을 고려하여 치아영상에서 나타나는 밝기를 계산하였다. 이러한 구강구조모델을 이용하여 영상향상을 실행하게 되면 대구치들의 정보가 강조되면서 치아영역의 검출율을 향상시키게 되며 영상의 가장자리와 인접한 부분의 제거로 불필요한 부분을 치아영역으로 검출하는 오류를 감소시켰다. 동일한 워터셰드 알고리즘으로 치아영역 분할을 했을 때, 제안한 영상향상방법은 기존의 방법에 비하여 치아영역의 검출성능이 향상되었다. 이러한 결과는 치과영역에 있어서 정량적이고 객관적인 분석 및 진단에 기여할 수 있을 것으로 판단되며 치아인식이 필요한 치아스캐너 시스템 등에 활용될 수 있을 것으로 예견된다. 또한 치아의 표면의 형태와 정보가 필요한 임플란트 기술 및 진단에서 개별적 치아영역분할은 CT나 X-ray같이 침습적인 영상획득방법이 아닌 비침습적인 방법으로 획득할 수 있는 치아에 대한 컬러영상으로써 필요한 정보를 획득할 수 있으므로 유용하게 사용될 것으로 예상되며 나아가 치과 관련 질환의 진단시스템을 비롯한 다양한 연구에서도 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 치아영역 검출에 관한 연구들을 통하여 인식되고 있는 조명에

표 1. 제안한 구강모델을 이용한 영상향상 후 치아영역 검출 비교

	Number of Tooth	MCWA Method	Proposed Method
		Number of Detected Tooth	Number of Detected Tooth
Image 1	27	19	23
Image 2	23	18	21
Image 3	28	22	25
Image 4	27	18	22
Image 5	22	16	19
Image 6	27	20	25
Image 7	24	21	21
Image 8	28	23	25

의한 경면반사, 잇몸영역의 치아와 유사한 영역에 대한 과분할 등의 문제를 해결하기 위하여 경면반사제거나 경계선과 시드에 관한 향후 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] E.J. Go and G.W. Jang, "A Study on Subjective Awareness and Expectations of Implant Patients," *Korean Society of Dental Hygiene*, Vol. 10, No. 1, pp. 107-125, 2010.
- [2] E.J. Kim and J.Y. Kim, "A Study on Improvement in Quality of Life for Patients with Dental Implant Treatment," *Journal of Korean Academy of Oral Health*, Vol. 34, No. 3, pp. 430-436, 2010.
- [3] S. Shah, A. Abaza, A. Ross, and H. Ammar, "Automatic Tooth Segmentation Using Active Contour without Edges," *Biometric Consortium Conference*, pp. 1-6, 2006.
- [4] E.K. Kim, "Digital X-ray Imaging in Dentistry," *Korean Association of Oral and Maxillo-facial Surgeons*, Vol. 29, No. 2, pp. 387-396, 1999.
- [5] H.W. Kye and J.J. Lee, "Non-rigid Registration Method of Lung Parenchyma in Temporal Chest CT Scans using Region Binarization Modeling and Locally Deformable Model," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 6, pp. 700-707, 2013.
- [6] D.W. Yang, S.J. Kang, and J.H. Yoon, "A Study on Image Segmentation Method Based on a Histogram for Small Target Detection," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 11, pp. 1305-1318, 2012.
- [7] B.H. Hong, W.J. Han, and E.K. Kim, "Absorbed and Effective Dose from Spiral and Computed Tomography for the Dental Implant Planning," *Imaging Science in Dentistry*, Vol. 31, No. 3, pp. 165-173, 2001.
- [8] S.T. Lee, K.S. Kim, and T.H. Yoon, "Individual Tooth Image Segmentation by Watershed Algorithm," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 59, No. 1, pp. 210-216, 2010.
- [9] S.T. Lee, K.S. Kim, T.H. Yoon, J.W. Lee, K.D. Kim, and W.S. Park, "Individual Tooth Image Segmentation with Correcting of Specular Reflections," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 59, No. 6, pp. 1136-1142, 2010.
- [10] S.T. Lee, K.S. Kim, T.H. Yoon, J.W. Lee, K.D. Kim, and W.S. Park, "Image Segmentation of Teeth Region by Color Image Analysis," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 58, No. 6, pp. 1207-1214, 2009.
- [11] R.C. Gonzalez and R.G. Wood, *Digital image Processing Using MATLAB*, Prentice-Hall, New Jersey, 2004.
- [12] Rickne C. Sc eid and Gabriela Weiss, *Woelfel's Dental Anatomy*, Wolters Kluwer, Philadelphia, 2012.
- [13] M.H. Kim, J.P. Park, B.K. Yoon, S.H. Lee, J.Y. Lee, W.Y. Chun, S.M. Jung, S.H. Jung, H.S. Jung, E. Choi, and W.J. Choi, *Oral Anatomy*, Jungmunkag, Seoul, 2012.
- [14] B.K.B. Berkovitz, G.R. Holland, and B.J. Moxham, *Oral Anatomy, Histology and Embryology*, Mosby elsevier, Edinburgh, 1992.
- [15] Q. Wu, F.A. Merchant, and K.R. Castleman, *Microscope Image Processing*, Academic Press, Massachusetts, 2008.



나 승 대

2012년 2월 대구한의대학교 한방
의공학과(공학사)
2012년 2월~현재 경북대학교 대
학원 의용생체공학과(공
학석사)
관심분야: 의학영상처리, 의용전
자기기



이 기 현

2009년 8월 경북대학교 천문대기
과학과(이학사)
2012년 2월 경북대학교 대학원 의
용생체공학과(공학석사)
2012년 3월~현재 경북대학교 대
학원 의용생체공학과 박
사과정

관심분야: 생체신호처리, 의용전자기기



이 정 현

2002년 2월 경북대학교 전자전기
공학부(공학사)
2004년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
2008년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

2008년~현재 칠곡 경북대학교병원 의공학과 조교수
관심분야: 생체 텔레메트리 시스템, 양이 보청기



김 명 남

1988년 2월 경북대학교 전자공학
과(공학사)
1990년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1995년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과(공학박사)

1996년~현재 경북대학교 의학전문대학원 의공학교실
주임교수

관심분야: 생체신호처리시스템, 의학영상처리