

## 치아 색에 맞는 임플란트 표본 추천 시스템

김창진, 심규동, 박종일<sup>†</sup>  
 한양대학교  
 {chjinny, kdsim, jipark}@hanyang.ac.kr

### Implant sample recommendation system that matches patient's tooth color

Changjin Kim, Kyudong Sim, Jong-Il Park  
 Hanyang University

#### 요약

임플란트 시술 수요가 늘고 시장이 성장하면서 관련 기술도 발전하고 있다. 특히 기능성과 심미성 향상을 위해 많은 기술이 연구되고 있다. 이 중 심미성에 있어 주변 치아와의 색 유사도가 높은 임플란트를 제작하는 것이 주요 연구 중 하나이다. 본 논문에서는 심미성 높은 임플란트 제작을 위해, 다음과 같은 임플란트 표본 추천 시스템을 제안한다. 휴대 조명 장치와 의료용 치아 패치를 사용한 색 보정으로 촬영 환경 차이를 최소화하여 치아의 정확한 색을 추출한다. Mask R-CNN 모델을 통해 보정된 영상에서 치아를 검출하고, 군집화를 통해 색상 단위로 치아 영역을 구분한다. 치아의 영역별 색상과 임플란트 표본 사이의 색상 거리를 계산하여 유사한 표본들을 추천한다. 위 시스템을 통해 사용자는 주변 환경에 영향을 받지 않고, 치아의 색을 정확히 분석하여 이를 임플란트 표본과 비교할 수 있게 된다.

#### 1. 서론

자연스러운 표정일 때 외부로 보이는 치아들이 심미적 영역으로 정의된다[1]. 입술에 덮이는 전치부 치아들이 이에 해당하는데, 이 심미적 영역에서의 임플란트 시술은 자연스러운 형태와 색상 등의 심미성이 중요하다. 특히 임플란트와 주변 치아 간의 색상 유사도를 위해 병원에서는 다양한 임플란트 표본을 갖추고 있다. 하지만, 맨눈으로 환자의 치아 색과 임플란트 표본을 비교하고 있어서, 다양한 촬영 환경을 고려하기 어렵다. 이 때문에 시술 후 환자가 임플란트의 심미성에 불만을 나타내는 문제가 발생하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 색 보정과 치아 검출 그리고 치아 영역 군집화를 통하여 가장 유사한 임플란트 표본을 추천하는 시스템을 제안한다.

#### 2. 치아 색상 분석 및 비교 방법

그림 1은 제안한 치아 색에 맞는 임플란트 표본 선택 방법에 대한 전체 흐름도를 나타낸다. 촬영 환경 차이를 최소화하여 정확한 치아 색 추출을 할 수 있도록, 의료용 치아 색상 패치를 기준으로 색 보정을 진행한다. 이를 위해 영상 이진화(thresholding)와 거리 변환(distance transform)을 이용한 패치 검출 과정을 선행한다. 이후 최소 제곱 근사법(least square approximation) 기반 색 보정 과정을 수행한다[2]. 이후 치아 데이터 셋으로 전이 학습시킨 Mask R-CNN 모델을 기반으로 영상 속 치아를 검출한다[3]. 분석을 위해 검출된 치아를 군집화(clustering)하여 색에 따라 영역을 나눈다. 최종적으로 임플란트 표본 색상 값과 치아의 각 영역의 색상 값을 비교하여, 영역별로 가장 가까운 표본을 추천하게 된다.

#### 2.1 색 보정

조명환경의 차이를 최소화하기 위한 색 보정 과정은 다음과 같다. 그림 2와 같이 실제 치아와 색 보정을 위한 의료용 치아 패치를 함께 촬영한다. 치아 패치의 색상은 표 1의 내용과 같이 치아를 구성하는 대표적인 색상 9개를 선정하여 제작되었다. 색 보정의 기준이 되는 패치를 영상에서 검출한 뒤 색 보정을 진행한다.

표 1. 의료용 치아 패치의 색상 값

#	R	G	B
1	152.420	133.762	118.962
2	170.103	152.020	143.269
3	162.175	141.166	128.146
4	187.981	155.981	98.677
5	178.731	140.042	80.938
6	193.603	166.603	120.350
7	206.174	188.470	168.165
8	182.672	138.523	78.320
9	172.381	117.098	32.378



그림 2. 촬영 방식

<sup>†</sup>교신저자

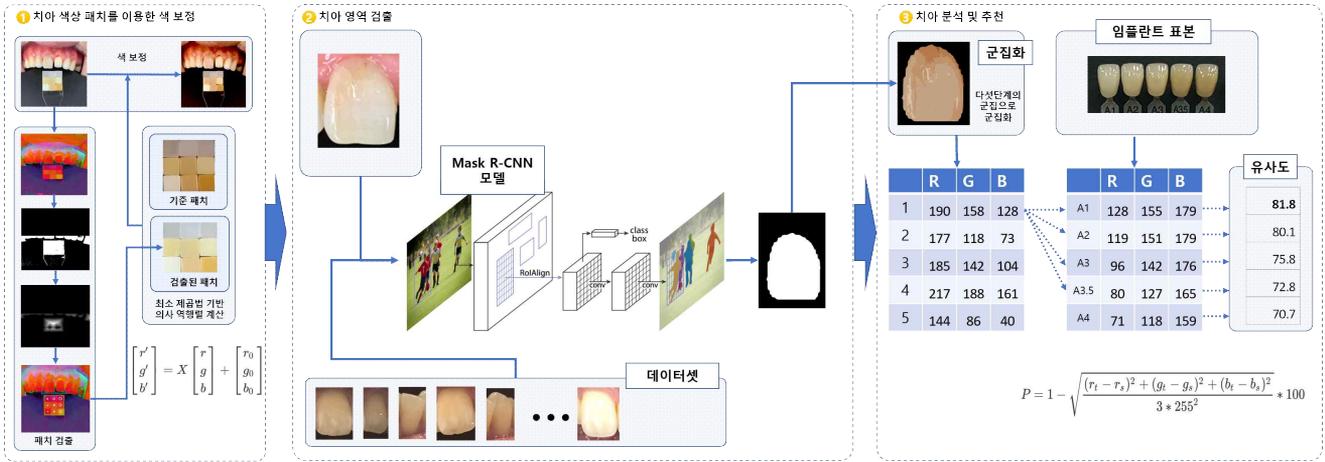


그림 1. 전체 흐름도

촬영된 영상에서 패치를 검출하기 위해 그림 3과 같은 과정을 진행한다. Hue Saturation Value(HSV) 색 공간으로 변환하고, 패치 이외의 영역을 최대한 제거하기 위해 H, S, V 채널 별로 이진화를 진행한다. 치아 부분을 배제하기 위해 영상의 높이 기준으로 30%~70%에 사이에 해당하는 부분만 사용한다. 이후 거리 변환, 정규화 그리고 이진화를 차례로 진행한다. 가장 넓은 영역의 윤곽선을 구하고 이에 대한 최소 외접 사각형을 계산하여 패치 영역을 검출한다.

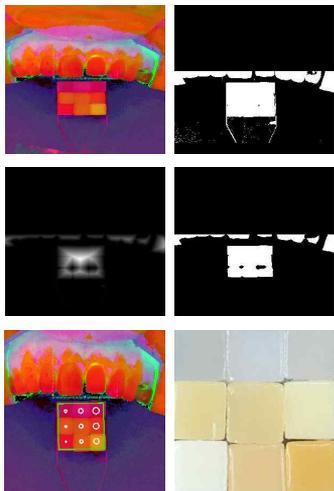


그림 3. 패치 검출 과정

패치 검출을 통해 영상에서 수집한 9개의 패치 평균 색상 정보 T(Target)를 계산한다. 이를 기준값 S(Standard)와 함께, 최소 제곱 근사법을 적용하여 식 1과 같이 두 영상의 색상 변환 관계를 표현하는 의사 역행렬(pseudo inverse matrix) X를 계산한다.

$$T = \begin{bmatrix} r_{t1} & g_{t1} & b_{t1} \\ r_{t2} & r_{t2} & b_{t2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{t9} & r_{t9} & b_{t9} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} r_{s1} & g_{s1} & b_{s1} \\ r_{s2} & r_{s2} & b_{s2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{s9} & r_{s9} & b_{s9} \end{bmatrix} \quad \text{식 1}$$

$$X = (T^T T)^{-1} T^T S$$

계산된 의사 역행렬로 식 2와 같이 영상 내 패치의 색이 기준값에 가까워지도록 보정 할 수 있다. 그림 4, 5는 그 결과를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = X \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_0 \\ g_0 \\ b_0 \end{bmatrix} \quad \text{식 2}$$

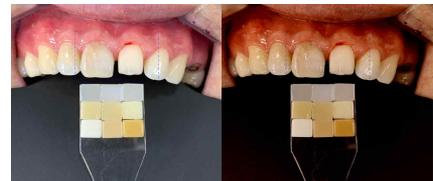


그림 4. <왼쪽> 보정 전 <오른쪽> 보정 후



그림 5. <왼쪽> 색 보정 전 <중앙> 기준 <오른쪽> 색 보정 후

## 2.2. 치아 영역 검출

치아 영역 만을 온전히 분리하기 위해서는 객체를 검출할 뿐 아니라 객체 영역에 대한 마스크를 생성하는 딥러닝 모델이 필요하다. 이를 위해 마이크로소프트의 COCO 데이터 셋으로 사전 학습된 Mask R-CNN 모델을 치아 데이터 셋으로 전이 학습시켜 치아 영역을 검출할 수 있다.

치아에 대한 학습 데이터를 생성하기 위해, 치과 협조하에 환자들의 차이 사진과 모집된 실험 참가자들의 치아 사진을 활용하였다. 치아가 충분한 조명을 받도록 조정하고, 전치부 치아가 모두 드러나도록 치아를 촬영한 후 영상을 잘라 각각의 개별 치아에 대해 영상을 획득하였다. 이때, 주변 치아의 경계 일부와 잇몸 그리고 입속이 어느 정도 포함되도록 영상을 자른다.

원활한 검출을 위해 잇니 아랫니의 외형 차이를 반영하여 다른 클래스로 구분하여 모델을 학습시킨다. 치아 영상에서 치아 영역을 2D 다각형 형태로 라벨링 했다.



그림 6. 데이터 셋의 전처리 및 라벨링

### 2.3. 치아 색상 분석 및 추천

검출한 치아 영역을 바탕으로, 실제 치아의 색상을 분석한다. 분석 결과를 임플란트 표본의 데이터베이스와 비교하여 유사도 계산하여 가장 유사한 표본을 추천한다. 임플란트 표본의 데이터베이스를 구축하는 방법은 다음과 같다. 임플란트 표본에 대해서도 같은 색 보정을 진행하고, 표본의 중앙 부분에 치아 폭을 기준으로 50% 길이의 정사각형 영역의 관심 영역을 지정한다. 해당 관심 영역의 색 평균을 임플란트 표본의 대푯값으로 설정한다.



그림 7. 임플란트 표본

다양한 색이 존재하는 실제 치아 영역 내 색상 분포를 분석하고, 임플란트 표본과 비교하기 위해 군집화를 통한 치아 색의 분포를 단순화한다. 그림 8과 같이 RGB 값을 기준으로 5개의 영역으로 군집화한다. 각 군집의 RGB 값 T(Target)와 임플란트 표본의 대푯값 S(Sample)를 식 3을 통해 실제 치아의 각 군집과 표본과 사이의 유사도를 계산하고 이를 기반으로 표본을 추천한다.

$$P = 1 - \sqrt{\frac{(r_t - r_s)^2 + (g_t - g_s)^2 + (b_t - b_s)^2}{3 * 255^2}} * 100 \quad \text{식 3}$$

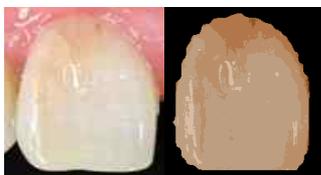


그림 8. 치아 검출 및 군집화 과정

### 3. 실험 및 결과

모델 학습과 실험에 사용한 데이터의 경우 학습 치과 협조하에 환자들의 치아를 수집했고 추가로 5명의 실험 참가자의 치아를 수집하였다. 270개의 학습 데이터와 100개의 검증 데이터로 구성하여, 총 370개의 개별 치아 사진을 수집했다.

실험에 사용한 영상의 경우 의료용 패치 9개와 함께 촬영하였다. 또한, 치아의 불투명성에 따른 차이를 최소화하기 위해 의료용 검은 판을 두어 촬영하였다.

치아 영역 검출을 위해 치아 영상은 딥러닝 모델의 학습 데이터와 유사하게 촬영되어야 한다. 이를 위해 점선 형태로 안내 선이 제공되는 스마트폰 앱을 제작하여 이를 통해 촬영하였다. 앱을 통해 촬영하게 되면 그림 8과 같이 카메라를 통해 비치는 전체 영상과 안내 선 내부의 치아 영상 총 2개의 영상을 각각 저장했다. 이 중 전체 영상에 포함된 패치를 검출하여 색 보정을 진행했고, 치아 중심의 영상에서는 딥러닝 모델을 활용해 치아 영역을 검출했다.

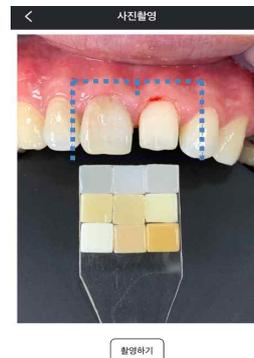


그림 9. 안내 선이 제공되는 앱 화면

표 2. 임플란트 표본의 색상 대푯값

표본	R	G	B
A1	128	155	179
A2	119	151	179
A3	96	142	176
A3.5	80	127	165
A4	71	118	159

표 3. 치아 군집 별 RGB 값과 표본과의 유사도

표본	군집	R G B			유사도 (%)	군집	R G B			유사도 (%)
		R	G	B			R	G	B	
A1	1	190	158	128	81.8	4	217	188	161	78.1
A2					80.1					75.9
A3					75.8					70.5
A3.5					72.8					66.0
A4					70.7					63.3
A1	2	177	118	73	72.3	5	144	86	40	64.7
A2					71.6					64.8
A3					69.8					65.0
A3.5					69.7					66.9
A4					69.1					67.6
A1	3	185	142	104	78.5	-				
A2					77.3					
A3					74.1					
A3.5					72.3					
A4					70.8					

#### 4. 결론

본 논문에서는 임플란트 시술의 심미성 향상을 위해 색 보정과 치아 검출 및 근집화 방법을 활용한 임플란트 표본 선택 기법을 제안했다. 다양한 조명환경의 영향을 최소화하기 위해, 의료용 치아 색상 패치를 활용한 색 보정을 진행하였다. 또한, 치아 영역만을 검출하기 위해 치아 데이터 셋을 구축하고 Mask R-CNN 모델을 전이 학습시킨 모델을 활용하여, 치아 영역만을 검출했다. 최종적으로 다양한 색상을 지닌 치아를 분석하기 위해 근집화하여 색상을 단순화하고, 이를 임플란트 표본의 대표 색상 값과 비교하여 가장 유사한 표본을 추천받을 수 있었다.

제안한 방법을 통해 기존 맨눈으로 진행되는 임플란트 표본 선택 방식에 정량적인 분석 및 제안을 덧붙일 수 있어 좀 더 만족도 높은 임플란트를 제작할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 더 다양한 임플란트 표본을 확보하고, 유사도 계산 함수를 개선하여, 더욱 유사한 표본을 추천할 수 있도록 개선하고자 한다.

#### 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020-0-00452, 적응형 뷰어 중심 포인트 클라우드 AR/VR 스트리밍 플랫폼 기술 개발)

한양대학교 치과 황경균 교수의 표본 제공 및 조언에 감사합니다.

#### 참고문헌

- [1] Al-Sabbagh M. Implants in the esthetic zone. Dent Clin North Am. 2006 Jul
- [2] F. Chang and S. Pei, "Effective color correction via chromaticity adjustment and least square approximation," 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vancouver, BC, 2013, pp. 1598-1602, doi: 10.1109/ICASSP.2013.6637921.
- [3] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár and R. Girshick, "Mask R-CNN," 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Venice, 2017, pp. 2980-2988, doi: 10.1109/ICCV.2017.322.