

## 표준 치아를 모델링하기 위한 효율적인 방법

°장진호<sup>1</sup>, 김병오<sup>2</sup>, 유관희<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 컴퓨터 그래픽 연구실, <sup>2</sup>덴탈 그래픽

### An Efficient Method for Modeling a Standard Tooth

Jinho Jang<sup>1</sup>, Byung-Oh Kim<sup>2</sup>, Kwan-Hee Yoo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Computer Graphics Lab. Chungbuk National University, <sup>2</sup>Dental Graphic Corporation

#### 요약

최근 몇 년간 의학 분야에서는 인체의 해부학적 조직을 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용해 재구성하는데 관심이 증대되어 왔다. 치과 치료분야에서도 컴퓨터 그래픽스 기술에 대한 관심이 증대되고 있고, 이를 이용한 다양한 치료법들이 개발되고 있다. 자료를 측정한다거나, 시각적으로 3차원의 영상을 보여 줄 수도 있다. 또한, CAD-CAM 기술을 이용하여 의치의 틀이나 금형 등을 직접 제작할 수도 있다. 본 논문에서는, 이러한 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용한 치과 치료에 기본이라 할 수 있는 표준 치아에 대한 모델링 데이터를 만들고자한다. 그러기 위해 표준치아의 실제 모델을 3차원 스캐너로 입력받는다. 그리고 입력받는 과정에서 발생하는 오류를 수정하여, 정확한 표준 치아 모델을 모델링한다.

#### 1. 서론

최근 몇 년간 의학 분야에서는 인체의 해부학적(anatomic)조직들을 디지털화하고, 이것을 컴퓨터 그래픽스 기술을 통해 표면(surface)으로 재구성(reconstruction)하는 방법에 대한 관심이 증대되어 왔다. 이러한 인체의 해부학적 조직의 재구성은 치과 치료에도 다양하게 응용될 수 있다. 대표적으로 CAD-CAM 기술을 이용하여 자동화된 인공치아를 제조할 수도 있다. 또한 의치의 틀(impression)이나 금형(die)을 제조하거나, 복제할 때 정확도를 측정할 수 있다. 본 논문에서는 치과 치료 중 인공치아를 제작하는데 가장 기본이 되는 표준 치아를 모델링하고자 한다.

모델링된 표준 치아는 다양하게 활용될 수 있다. 인공치아를 제작할 때 교합면의 데이터로 활용한다든지, 치아의 외관을 제작할 때 자주 쓰일 수 있다.

기본적으로 치아를 모델링하는 가장 기본적인 방법으로 직접 3차원 프로그램으로 모델링하는 방법이 있을 수 있다[14]. 그러나 이 방법에서 사용하는 모델링 기법이 형태학적으로나 혹은 분석학적으로 치아의 분석이 되어 있지 않아 정확한 치아의 모형화가 어렵다는 것이다. 또 다른 하나의 방법으로 현재 널리 사용되고 있는 표준 치아 모형을 Cyberware 등과 같은 3차원 입력기로 입력하는 것인데, 3차원 입

력기의 정확도 문제점으로 인해 모두 치의학 분야에서 허용하는 오차의 범위(25 $\mu$ m)를 지킬 수 없다는 한계점을 갖고 있다. 더욱이 상악과 하악에 치아들이 적절하게 배열이 이루어질 때 각 표준 치아의 축이 필요한데, 이를 설정하기가 그리 쉽지 않다.

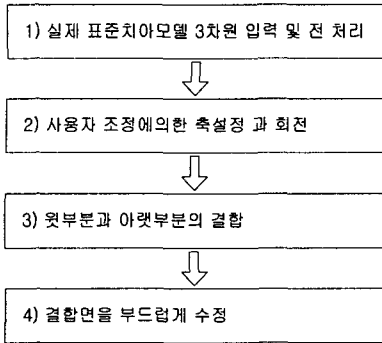
이에 본 논문에서는 정확한 표준치아를 모델링하기 위해서 실제 표준 치아 모델을 정밀도를 보장할 수 있는 접촉식 스캐너를 이용하여 입력받았다. 하지만, 접촉식 스캐너를 사용하여 정보를 입력받을 경우, Z 축으로 보이는 치아의 부분만을 입력받을 수 없기 때문에 입력된 정보의 가공이 요구된다.

본 논문에서는 접촉식 입력기를 통해 표준 치아를 효율적으로 모델링하는 방법을 소개한다. 제 2장에서는 전체적인 모형화 과정을 소개하고, 3 장에서 각각의 과정을 상세하게 논의한다. 마지막의 결론을 맺고 향후 연구 과제를 소개한다.

#### 2. 전체적인 과정

표준 치아 설계 시스템은 대략 [그림 1]과 같이 이루어진다.

제 1 단계에서 실제 표준 치아 모델을 입력받는다. 본 논문에서 사용된 스캐너는 접촉식으로 실제 입력받고자 하는 모델에 측정 부위를 접촉시켜서 데이터를 추출한다. 이 방식의 문제점은 측정부위가 닿을



[그림 1] 전체 표준치아 모델링 흐름도

수 없는 곳의 데이터를 추출할 수 없다는 것이다. [그림 4]에서와 같이 한 번의 입력으로 모든 치아 정보를 받을 수 없어 우리는 치아를 크게 두 부분으로 나누어 데이터를 입력받았다. 이러한 자료 입력 결과 많은 문제점이 발생한다. 제 2단계에서 5단계에서 이러한 문제점을 해결하였다. 제 2 단계에서는 입력 받은 치아 모델의 축을 사용자가 조절하여 두 부분의 기울어진 오차를 줄인다. 3단계에서는 두 부분의 회전 오차를 제거한다. 4 단계서 실제로 윗 부분과 아랫부분을 합치게 된다. 마지막, 5 단계에서 두 부분의 맞는 부분을 부드럽게 수정해 준다.



[그림 2] 입력받고자 하는 치아 모형

이와 같이 본 시스템은 입력 과정에서 오차가 발생한 치아 모델에서 오차를 제거하고, 본래의 표준 치아 모형을 모델링하기 위한 시스템을 구성하였다. 다음 장에서 본 시스템의 세부적인 사항들을 살펴볼 것이다.

### 3. 각 단계별 세부 사항

#### 제 1단계: 3차원 입력 및 전 처리

본 논문에서 사용된 스캐너는 접촉식 스캐너이다. 치의학 분야에서 요구하는 데이터의 오차 범위가 25 μm 이내이다. 이를 만족할 수 있는 스캐너로 선택된 것이 접촉식 스캐너이다. 하지만, 앞에서도 언급했다

시피 접촉식 스캐너는 입력받을 수 없는 영역이 존재한다. [그림 4]의 빗금 쳐진 부분과 같이 위쪽보다 안쪽으로 들어간 영역은 입력받을 수 없는 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 실제 치아 모델을 위쪽과 아래쪽을 따로 입력받아, 이를 합치는 방법을 채택하였다. 하지만, 위쪽 부분과 아래쪽 부분을 따로 입력받을 때, 사람이 치아 모델의 위치를 고정하게 된다. 따라서 이에 따른 위치상의 오류를 포함한 자료를 입력받게 된다. 치아를 입력받을 때는 먼저 위쪽을 받고, 아래쪽을 뒤집어서 받았다.

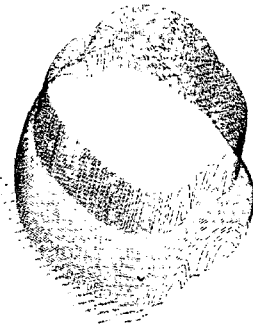
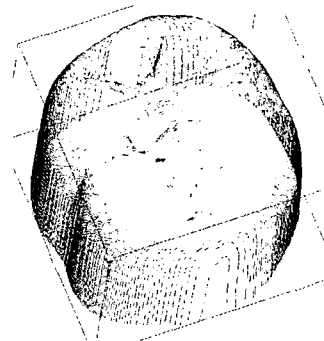


그림 3) 입력받은 실제 치아 모델의 데이터, 위가 윗부분, 아래는 아랫부분의 치아 입력 데이터이다

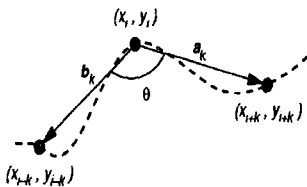
[그림 3]에서 위의 그림은 치아의 윗부분에 해당한다. 그림에 나타난 모습은 원래 데이터에서 바닥면을 제거한 경우이고, 아랫부분의 그림은 바닥면을 제거하지 않은 모습이다. 그림은 데이터를 줄단위로 그려 준 것이다



[그림 4] 빗금 친 부분은 입력받을 수 없다.

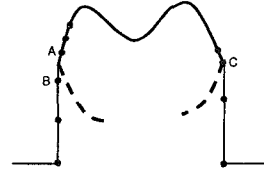
입력받은 치아 데이터는 필요 없는 부분과 오류를 포함하고 있다. 전 처리과정에서는 필요 없는 데이터를 제거한다. 필요 없는 데이터는 가장 바닥 면의 평평한 부분과 [그림 4]에 빗금 쳐진 부분의 데이터는 필요 없는 부분에 해당한다. 바닥 면의 평평한 부분은 쉽게 제거될 수 있다. 필요 없는 영역을 제거하는데 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 가장 단순하게 일정한 축을 기준으로 이 축과 정점들 사이의 벡터가 이루는 각도를 비교하였다. 또 한 가지 방법은 Rosenfeld[11]가 제안한 곡률 근사 방법으로써 인접한 점들 간의 사이각을 이용한 방법을 사용하였다 [그림 5]. 어떤 정점에서 곡률  $C_k$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_k = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{a_k \cdot b_k}{a_k b_k} \right)$$



[그림 5] 인접점들간의 사이각

이를 통해서 가장 곡률 값이 큰 부분에서 바닥 부분과 실제 데이터 부분을 분리 할 수 있다. 이렇게 치아의 가장 바닥 면의 데이터는 쉽게 제거할 수 있었다. 하지만, 어떤 특정 부분의 데이터는 쉽게 제거될 수 없다. [그림 6]은 실제 입력받은 치아의 윗부분에 해당하는 그림이다. 점선은 아랫부분에서 추출되었을 영역을 표시한다. 굵은 선으로 나타낸 부분이 우리가 모델링하고자 하는 표준치아의 모형이다. 이때 점 C와 같이 추출된 경우는 그 하위 점들을 모두 제거하여도 상관없지만, 점 A와 B사이엔 정확한 치아의 데이터가 있는 경우는 삭제하기가 쉽지 않다. 따라서 전 처리 단계에서는 가장 바닥의 데이터와 바로 위의 데이터를 제거하는 정도로 처리를 한다. 보다 정확한 데이터는 두 부분을 합치는 과정에서 하게 된다.

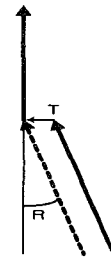


[그림 6] 제거할 데이터가 모호한 경우

### 제 2 단계 : 축 설정과 회전

아랫부분을 입력받을 때 사용자가 치아 모델을 직접 움직이게 되는데, 이때 아랫부분을 뒤집을 때 아무리 정교하게 놓는다 해도, 180도가 정확히 돌아간 상태라고 볼 수는 없다. 따라서 이러한 축 상의 오류를 보정해 주어야 한다. 하지만, 두 부분의 축을 자동적으로 설정한다는 것이 현재는 어려운 문제이므로 사용자가 직접 이를 조절할 수 있게 하였다. 두 부분의 축을 설정한 다음 윗부분의 축에 아랫부분의 축이 일치하도록 이동과 회전을 하게 된다. 아랫부분의 모든 점들은 축의 이동(T)과 회전(R)한 만큼 역시 이동과 회전을 시켜준다. 위의 과정을 반복 적용하여 윗부분과 아랫부분 치아의 축을 맞추었다.

$$Q = R_x R_y T Q$$



[그림 7] 축 설정에 의한 축의 이동과 회전

다음으로 축을 중심으로 아랫부분을 얼마만큼 회전시켜 줄지를 결정한다. 이를 효율적으로 구하기 위해 우리는 각 부분의 결합부분에 있는 점들의 데이터를 연결한 후, 이를 XY-평면에 그대로 투영한다. 그러면 이들 데이터는 다각형을 형성하게 된다. 윗부분과 아랫부분에 대해 위 작업을 수행하여 얻은 다각형을 각각 U와 L이라 하자. 우리는 U를 고정하고 다음과 같은 조건을 만족하는 L의 회전 값을 얻는다.

$$R = \begin{pmatrix} \cos(u) & \sin(u) \\ -\sin(u) & \cos(u) \end{pmatrix} \text{라 할 때,}$$

$$\min_u ((U \cup R \cdot L) - (U \cap R \cdot L))$$

인 각  $u$ 를 찾아서, 그만큼 회전을 시켜준다. 이것으로 입력과정에서의 오류가 거의 수정이 되어 진다.

**제 3 단계 : 윗부분과 아랫부분의 결합**

2 단계에서 입력된 치아데이터를 오류를 수정한 다음, 이번 단계에서는 실제로 윗부분과 아랫부분을 결합하여주는 과정이다. 실제로 윗부분과 아랫부분을 어느 정도 위치에서 결합하느냐하는 문제는 쉽게 풀여지지 않는다. 따라서 본 논문에서는 이것을 사용자 인터페이스에 의한 방법을 사용하였다. 사용자가 직접 적절한 위치를 선택해 준다. 그런 다음, 윗부분과 아랫부분의 데이터가 서로 엇갈리게 되는데, 이 부분을 제거해 주어야 한다.

**4 단계 : 결합면을 부드럽게 수정**

3 단계에서 엇갈린 데이터를 제거하고 나면, 실제로 결합면의 정점들의 위치가 굉장히 들쭉날쭉한 경향이 있다. 이것 역시 접촉식 스캐너의 문제점으로 위에서 봤을 때 경사가 급격한 부분에서는 데이터가 고르게 받아지지 않는다. 따라서 약간의 수정을 해주어야 한다.

**4. 결론 및 향후 과제**

본 논문에서는 정밀도를 유지한 정확한 3차원 표준치아를 모델링하기 위한 방법을 기술하였다. 기존에도 표준치아를 모델링하기 위한 몇 가지 방법이 있었지만, 그 정밀도에 있어서 문제가 있었다. 하지만, 본 논문에서는 그런 정밀도를 만족시키면서 표준치아 모델링을 하였다.

향후과제로는 2 단계에서 축을 사용자가 임의로 설정할 수 있게 하였는데, 이것을 정확히 알아내는 방법을 연구하는 것이 있다. 또한 3 단계에서 두 부분을 결합하는 과정에서 역시 사용자 입력을 요구하게 되는데 이 또한 향후 과제로써 자동화 할 수 있도록 해야겠다.

**5. 참고 문헌**

[1]우이형 역, 원추관, 신흥인터내셔널, 1988  
 [2]Jens Herder, Karol Myszkowski, Tosiyasu L. Kunii, and Masumi Ibusuki. A virtual reality interface to an intelligent dental care system. In Suzanne J. Weghorst, Hans B. Sieburg, and Karen S. Morgan, editors, *Medicine Meets Virtual Reality: 4, Health Care in the Information Age, Future Tools for Transforming Medicine*. IOS Press and Ohmsha, January 1996.

[3]Karo Myszkowski, Vladimir V. Savchenko, Tosiyasu L. Kunii "Computer modeling for the occlusal surface of teeth" IEEE , 1996  
 [4]E. V. Anoshkina, A. G. Belyaev, O. G. Okunev, and T. L. Kunii. "Ridges and ravines: a singularity approach." *International Journal of Shape Modeling*, 1(1):1--12, 1994.  
 [5]Alexander G. Belyaev, Elena V. Anoshkina, Runhe Huang, Tosiyasu L. Kunii "Ridges and Ravines on a Surface and Related Geometry of Skeletons, Caustics, and Wavefronts." In R. A. Earnshaw and J. A. Vince, editors, *CG International 95: Visual Computing - Multimedia, Visualization, and Virtual Reality*, pages 311--326. Academic Press, June 1995.  
 [6]엄성권, 김병오, 유재수, 유관희 "치아재건 시스템을 위한 컴퓨터 모델링 기술", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999  
 [7]엄성권, 김병오, 유재수, 유관희 "치아재건 위한 Conus 내관 모델링", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999  
 [8]M.d. Berg, W.v. Kreveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, *Computational Geometry - Algorithms and Applications*, Springer, 1997  
 [9] Greg Turk, "Re-Tiling Polygonal Surfaces", *Computer Graphics(SIGGRAPH 92' Proceeding)*, Vol.26, No.2 , pp. 55-64.  
 [10] Andrew D. C. Smith, "The Folding of the Human Brain: From Shape to Function", University of London, PhD Dissertations, 1999  
 [11] A. Rosenfeld and E.Johnston. "Angle detection in digital curves", *IEEE Transactions on Computers*, 22:875-878, 1973  
 [12]김인섭, 김병오, 강동완, 유관희, "Design and Fabrication of Inner Konus Crown Using Three Dimensional Computer Graphics", Vol.38, No.4, *The Journal of Korea Academy of Prosthodontics*, 2000  
 [13] 이덕환 , 이도영 , "齒牙形態學", 高文社, 1992  
 [14] Nobuo Nanba, "3D-CG(3-Dimensions Computer Graphics) 와 치과 기공", *QDT*, Vol.24, No.4, pages 82-86, 1999