

치아재건 시스템을 위한 컴퓨터 모델링 기술

엄성권¹, 김병오², 유재수¹, 유관희¹

¹충북대학교 컴퓨터 그래픽 연구실, ²영락 병원 치과

Computer Modeling Techniques for Teeth Reconstruction System

Eom Sung-Kwon¹, Kim Byung-Oh², Yoo Jae-Soo¹, Yoo Kwan-Hee¹

¹Computer Graphics Society Lab. Chungbuk University, ²Young-Nak Hospital Dental Department

요약

본 논문은 수공으로 이루어지는 치과 치료 및 보철물 제작을 3차원 컴퓨터 모델링을 통하여 좀 더 정확하고 빠른 시간에 처리할 수 있는 시스템을 소개한다. 이 시스템은 기존 2차원 기반이 아닌 3차원 기반으로 설계되었으며, 구강의 석고 모형을 3차원으로 컴퓨터에 모델링한 후, 모델링 정보로부터 능선(ridge), 교두(cusp), 피트(pit), 열구(fissure), 변연(margin) 등과 같은 치아 특성 정보추출과 교합면 생성을 통하여 보철물, 예를 들어 Conus 내관과 외관을 제작한다. 해부학적으로 무수히 많은 변수를 갖고 있는 구강 구조에 대해 본 논문에서는 이들 일련의 과정에서 요구되는 컴퓨터 모델링의 주요 기술들을 제시한다.

서론

현재, 대부분의 치과에서 환자의 치아 재건을 위한 작업 시 가장 절차는 수작업으로 이루어지고 있다. 이로 인하여 환자는 장기간 동안 병원을 방문해야 되고, 오랜 기간 동안 임시 치아를 끼우고 지내야 되는 불편을 겪고 있다. 또한 치과 기공사에 의한 수작업으로 제작됨으로 오차가 크게 발생할 확률이 높다. 이런 요구에 따라 치과 치료시간 단축, 인공치아 제작의 시간 단축, 치과에서 요구하는 0.025mm의 오차한계를 유지하기 위해 컴퓨터 그래픽스를 이용한 치과 시술법이 주 연구 대상이 되고 있다[2]. 컴퓨터를 이용한 치아관련 연구로 치아 교정 시뮬레이션[9], 손실된 치아재건[1,3,4]이 있다.

치아 교정 시뮬레이션으로 독일에서 Bourauel과 Freudenreich[9]가 발표한 것이 있는데, 이것은 치아에 일정한 힘을 주어 치아와 치아를 지지하고 있는 치조골을 함께 교정하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 힘의 방향과 세기를 계산하는 방법을 제시했다. 그러나 이 시스템은 2D 기반으로 설계되었으며, 치아 교정단계에서 발생하는 치아간의 상호 침투를 고려하지 않았다.

치아 재건 연구로 일본의 Kunii 박사가 주도하는 IDCS(Intelligent Dental Care System)[1,2]가 있는데 이 연구에서는 2D 이미지를 3D화하여 치아를 모델링한 후 턱의 시뮬레이션을 통한 치아의 교합면(occlusal surface)을 객체 변형기법을 사용하여 재구성한다. 교합면이란 위아래 마주보는 치아가 저작 운동을 할 때 맞닿는 부분을 말한다. 그러나 이 방법은 교합면을 찾기 위해 한번 이동이 있을 후 2D로 프로젝션하여 점의 z값 비교로 거리를 계산하는 방식을 취한다. 즉 2D와 3D 간의 전환을 전제로 하고 픽셀단위의 복잡한 조작을 거

쳐야 함으로 많은 시간이 요구되며 상당한 고가의 장비가 운용되어야 한다.

본 논문에서는 3차원 기반으로 하는 치아 재건 시스템을 제안하고자 한다. 제안된 시스템은 먼저 치과의사에 의해 제작된 구강의 석고 모형을 3차원으로 모델링한 후, 이 3차원 정보의 조작을 통하여 치아를 제작한다. 특히 본 논문에서는 해부학적으로 무수히 많은 변수를 갖고 있는 구강구조에 대해 3차원 치아 재건 시스템을 구축할 때 요구되는 주요 컴퓨터 모델링 기술을 제시한다.

2. 시스템 구성

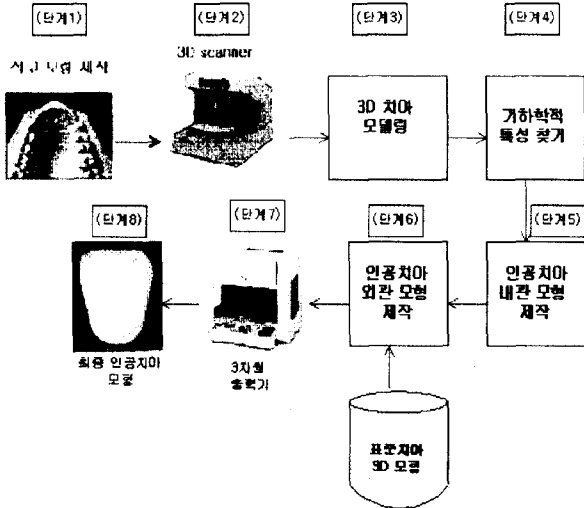
본 논문에서 제안하는 3차원 기반 치아재건 시스템 구성은 <그림 1>에서처럼 8단계로 나눌 수 있다. 우선 환자의 치아중 썩거나 상실된 부분을 인공치아를 씌우기에 적당한 모양으로 갈아낸 후 구강 구조를 석고모형으로 만든 다음 3차원 입력기로 3D 모델링 한다. 이 모델링된 자료로부터 기하학적 속성 정보(교두, 능선, 피트, 열구, 변연)들을 찾은 다음, 이들 정보를 이용해서 중간 보철물(예: Conus 내관)을 만들고, 턱 관절 시뮬레이션을 통하여 맞은편 치아와의 교합면을 찾은 후 최종 인공치아(예: Conus 외관)를 제작한다. 마지막으로 최종 모델링된 인공 치아를 3차원 출력을 거쳐 제작한다.

치아 재건 시스템의 각 단계별 세부 내용은 <그림 1>과 같다.

(단계1) 석고 모형 제작

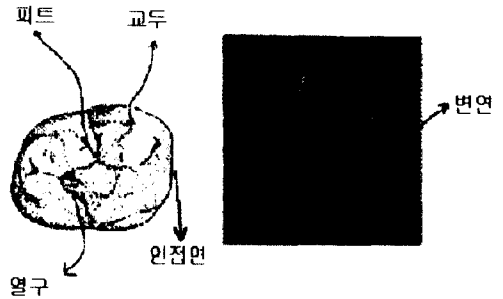
치과의사가 진료실에서 하는 작업으로 환자의 치아중 썩거나 부러지는 등 상실된 부분을 인공치아를 씌웠을 경우 단단히

고정되도록, 또 인공 치아 제작이 용이하게끔 적당한 모양으로 알아낸다. 알아낸 후 구강구조를 석고 모형으로 제작하여 구강 내에서 석고형을 빼 낼 때 가능한 오차가 없도록 해야한다.



<그림 1>시스템 구성도

연구된 것[7,8]이 있는데 이것은 singularity를 이용한 것으로 치아와 알아낸 치아 면과의 경계인 부분은 singularity가 발생할 것이라는 전제하에 진행된 연구이다. 그러나 많은 변수를 지닌 치아에서는 항상 그렇지않은 않다. 또 치아를 이루는 점들로부터 spline을 구성하여 볼록도(convexity)를 유지한 상태에서 스플라인(spline) 상의 기울기가 급격한 부분을 변연으로 선택한 후 원래 치아 정보중 스플라인의 변연과 가장 가까운 것을 변연으로 추정한 연구[12]도 있다. 그러나 역시 이 연구도 수많은 해부학적 변수를 지닌 모든 치아에 적용되는데는 한계가 있다. 따라서 범용적인 새로운 알고리즘을 연구해야 할 것이다.



<그림 2>치아의 기하학적 특성

(단계2,3)3D 모델링

만들어진 석고 모형은 3차원 스캐너(3D scanner)를 통해 컴퓨터에 3차원으로 모형화 된다. 3차원 스캐너는 여러 방향에서 스캔할 수 있는 것과 한 방향에서만 스캔할 수 있는 것이 있다. 여러 방향에서 스캔할 수 있는 것으로는 광학 펜을 이용하여 직접 손으로 표시하는 것이 있는데 이것은 시간이 많이 소요되고, 스캔간격이 일정치 않게 된다. 또한 기계적으로 자동 스캔되는 장비가 있으나 상당히 고가이어서 현실적 사용이 용이하지 못하며, 광학 레이저 스캐너가 있는데 이것은 오차정도가 심하여 적용에 문제가 있다. 단방향 스캐너는 가격이 상대적으로 저렴하나 한 방향으로만 스캔하다 보면 보이지 않는 부분의 스캔이 불가능하다. 따라서 여러 방향에서 스캔하여 이들을 보정하는 방법이 요구된다. 일반적으로 3D 스캐너에 의해서 입력된 3차원 정보는 점의 집합이다. 그러나 이런 점의 집합으로부터 치아 속성 정보를 찾는 것은 문제가 있다. 따라서 이들 점들의 집합으로부터 기하속성정보를 추출하기에 알맞은 면(face)을 생성하는 알고리즘이 요구된다.

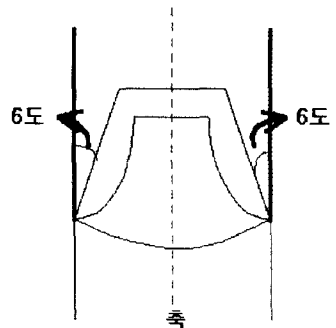
(단계4)기하학적 특성 찾기

가장 중요한 단계로 환자와 3차원 치아 모델로부터 정확한 치아 보철물과 인공치아를 재건하기 위해서는 치아의 기하학적 특성들에 대한 정보를 찾아야 하는데 <그림 2>에서와 같은 치아의 기하학적 특성인 교두 위치, 피트, 열구, 능선, 변연, 치아 간의 인접면등을 찾는다[7,8,11].

교두(cusp)란 치아 교합면에 작은 산 모양으로 튀어나온 부분이며, 능선(ridge)은 교두로부터 내려오는 능선이며, 열구(fissure)는 불규칙하게 오목한 함몰 부위를 뜻한다. 피트(pit)는 그런 열구중 가장 깊고 작은 점 모양의 움푹 들어간 부분이다. 특히 가장 기본이 되는 것은 변연(margin)을 찾는 것으로 원래의 치아와 알아낸 치아 면과의 정확한 경계 지점을 찾아내는 것이다. 이 변연을 이용하여 Conus 내관의 모델링이 이루어지는데, 변연은 Conus 내관의 바닥 면이 치아와 맞닿는 부분이 되기 때문이다. 변연을 찾기 위한 연구는 Kunii 박사에 의해

(단계5)인공치아 내관 모형 제작

단계4에서 찾은 기하학적 특성 정보중 변연정보를 이용하여 Conus 내관을 제작한다. 즉 변연은 Conus 내관의 밑부분을 제작하는데 기본 모양이 된다. Conus 내관이란 인공치아를 할 때는 먼저 치아 유지력을 강하게 하기 위하여 중간보철물을 씌우는데 이것을 Conus 내관이라 한다. 이러한 Conus 내관의 유지력을 높이기 위해서는 <그림 3>에서와 같이 물리학적으로 내관 벽면의 각도가 6도에 가까워야 한다[11]. 또한 내관을 모델링 하기 위해서는 치아의 축을 설정하여야 정확히 위로 향하는 내관을 만들 수 있는데, 사람마다 치아의 축이 상이하므로 공통적으로 적용할 수 있는 알고리즘이 요구된다. 관련 연구로 Bourauel[9]의 연구가 있으나 이것은 치아의 속성정보를 측정하기 위해 앞니의 중심과 양 어금니의 중심을 삼각형으로 연결하여 평면에 위치하게끔 한 것으로 해부학적으로 무수히 많은 변수를 지닌 치아구조의 특성상 예외 사항이 더 많을 것으로 생각된다.



<그림 3>Conus 내관의 각도

(단계6)인공치아 외관 모형 제작

단계5에서 제작한 Conus 내관 위에 씌우게 되는 실제적 인공치아이다. Conus 외관을 제작하는 방법에는 손실된 치아를 표준치아 모델로 대체한 후 상악과 하악간 접촉면을 찾아내서 변형기법을 적용하여 표준치아의 모양을 교합이 부드럽게 이루어지도록 하는 것과 FGP(functional guide plane)를 이용한 방법이 있다.

변형기법을 이용한 방법에서 가장 중요한 것은 맞물림이 부드럽게 이루어져서 저작운동이 원활히 이루어지도록 접촉면을 최대가 되게 하여야한다. 그러기 위해서는 위에서 설명한 교두(cusp), pit 등의 치아 윗면의 기하 정보를 얻은 후 맞은편 표준 치아와의 시뮬레이션을 통해 교합 면을 변형기법(deformation)으로 재구성하여야 한다. 이때 표준치아란 치과에서 제정한 이상적인 표준 치아를 의미한다. 치아 재건은 맞은편 치아와의 시뮬레이션을 통하여 치아 변형기법을 거쳐 이루어진다. 이것은 단순한 변형기법이 아닌 저작운동이 일어날 때 상악과 하악간 턱관절의 운동에 따른 위아래 치아간의 접촉면을 찾아내어 해부학적 이론에 근거를 둔 변형기법을 의미한다. 이렇게 하려면 모델링된 치아로부터 기하학적 특성을 얻는 것도 중요하지만 턱 관절의 해부학적 시뮬레이션[2] 역시 중요한 과제가 된다. 즉 기능적인 교합운동 역시 중요 연구 대상이 된다.

또다른 방법인 FGP를 이용한 방법은 치과에서 사용하는 방법을 이용한 것으로 환자의 구강구조를 석고모양으로 만든 것을 교합기에 연결하여 손실된 치아 위에 pattern resin이라는 물질을 올려놓은 후 상악과 하악을 자유롭게 움직인 다음 resin이 굳으면 그 표면을 스캔 받아 이용하는 것이다. 교합기란 인공적으로 사람의 턱관절 운동 반경의 제한을 기계적으로 만든 것이다. 즉 치아의 교합 정보를 중간 매개 물질에 나타낸 후 그 정보를 읽어들이는 간접적 방법을 이용하는 것이다. 이런 pattern resin의 표면을 3D 스케너로 읽어들인후 치료될 치아의 교합면으로 설정하면 변형기법이 불필요하게 되어 많은 과부하를 줄일 수 있다. 그러나 이것은 물리적인 방법으로 추출한 정보이기 때문에 오차가 있을 수도 있다.

이밖에도 치아에 우식이 생겨 충전할 필요가 있는 경우를 Inlay 라하며, 교두를 포함한 우식을 충전하는 경우를 Onlay라 한다. 이런 Inlay 와 Onlay를 치료하기 위해서는 Inlay 경우 구멍난 부분과 동일한 볼륨을 구하는 것이 필요한데 교합면을 이용한 표준치아의 변형기법과 FGP를 이용한 set operation으로 구멍이 생긴 부분을 3D 모형으로 구할 수 가 있으며, onlay의 경우도 위에서 언급한 것과 같은 방법으로 표준 치아를 맞은편 치아와 교합 운동하면서 적당한 교합면이 형성될 때까지 변형시킨 후 원래의 치아와 변형기법으로 생성된 치아와의 set operation으로 부족한 부분을 제작할 수 있을 것이다. 이상의 기법들을 이용하여 의치(틀니)까지도 모델링하여 손쉬운 치료가 가능하다.

(단계7,8) 최종 치아 제작

인공치아 완성단계로 단계6까지 모델링된 것을 3차원 출력기를 통하여 인공치아를 제작한다. 현재 시중에 나온 3차원 출력기는 깎는 방법과 얇은 판을 하나씩 쌓아 가는 방법이 있는데, 이들 두 방법은 치아재건에서는 요구되는 오차범위 내에 있으나 현재로서는 아직 고가의 장비이다.

3.결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 치아 재건에 관계된 것으로 3차원 치아 정보로부터 기하학적 속성들을 찾고 이를 이용하여 치아 보철물을 정확히 모델링 하는 시스템 구성에 대해 설명하였다. 치과 치료 및 보철물 제작과정을 3D 그래픽 기반에서 하게 되면 25

마이크로 미터 이하의 오차로 제작할 수 있으며 의사 및 환자 에게 가시성을 줄 수 있다.

응용연구로 치아의 3차원 위치정보와 턱뼈의 위치 및 크기정보는 치과 약교정을 컴퓨터로 할 수 있는 치과 가상 수술 시스템 개발에 활용될 수 있으며 치아 교정 시뮬레이션, 치아 재건 기술을 활용한 3차원 캐릭터의 구강 제작, 성형 외과 시술 시스템 개발, 언어 교정 및 발음 연구 등에 이용가능 하다. 향후 이런 일련의 과정을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 구성하여 실제 치과 치료에 응용하면 치료효과의 극대화를 가져올 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

- [1] 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.
- [2] Karo Myszkowski, Vladimir V.Savchenko, Tosiyasu L. Kunii "Computer modeling for the occlusal surface of teeth" *IEEE*, 1996
- [3] F. Duret, J. L. Blouin, and B. Duret. "CAD/CAM in dentistry." *Journal Am. Dent. Assoc.*, 117(11):715-720 1988.
- [4] Dianne E. Rekow, "CAD/CAM in dentistry: critical analysis of systems", In *Computers in Clinical Dentistry*, pages 172-185, Quintessence Publishing Co. Inc, September, 1991
- [5] T.Sederberg and S. Parry. "Free-form deformation of solid geometric models" In *Computer Graphics(SIGGRAPH 86)*, pp.151-160, 1986
- [6] William M Hsu, John F. Hughes and Henry Kaufman, "Direct manipulation of free-form deformations," In *Computer Graphics (SIGGRAPH '92)*, Vol. 26, pp.177-184, 1992
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Christoph Bourauel, Dieter Freudenreich "Simulation of orthodontic tooth movements," *Journal of Orofacial Orthopedics*. 60, pp.163-151, 1999
- [10] Dieter Dirksen, Steffen Diederichs "Three dimensional acquisition and visualization of dental arch features from optically digitized models," *Journal of Orofacial Orthopedics*. 1999
- [11] 우이형 역, 원추관, 신홍인터내셔널, 1988
- [12] 엄성권, 김병오, 유재수, 유관희 "치아 재건을 위한 Conus 내관 모델링", 한국 정보과학회 추계 학술 발표대회, 1999