



# 치과 임플란트 시술에서의 CAD/CAM

필 \_ 박형욱, 박형준 \_ 조선대학교 치의생명공학과, 조선대학교 산업공학과 \_ hzpark@chosun.ac.kr

산업계에서 널리 적용되고 있는 CAD/CAM 기술을 치과영역에 적용하고자 하는 노력은 1971년 Dr. Duret의 선구적 시도를 시작으로 CEREC, Procera, Simplant 등 많은 치과용 CAD/CAM 시스템들의 개발로 이어지고 있다. 치과용 CAD/CAM이란 치과 진료 과정에서 필요한 장치물들(예: 보철물, 수복물, 고정장치, 임플란트 시술용 stent)을 컴퓨터 기술의 도움을 통해 설계/제작하는 것을 말하는데, 이러한 CAD/CAM의 도입으로 인해 우수한 기계적 성질과 생체 친화성을 가지고 있는 재료들을 이용한 장치물의 제작이 용이해졌다[1]. 치아 임플란트 시술은 정상치아를 손상시키지 않고도 치아를 수복할 수 있으며, 저작력 역시 거의 자연 치아에 가까울 정도로 강하기 때문에 널리 각광을 받은 시술인데, 이러한 치아 임플란트 영역에서도 CAD/CAM 기술이 더욱 활발히 적용되고 있다. 본 글에서는 치아 임플란트 분야에서의 CAD/CAM 적용 현황에 대해 살펴보고자 한다.

## 1. 치과 임플란트 시술 과정

치아 임플란트 시술을 위해서는 시술 부위의 해부학 및 병리학적 상태를 고려한 후, 악골 부위에 일정한 깊이와 직경에 해당하는 드릴링 작업이 요구된다.

기존의 치과 임플란트 시술 과정은 크게 환자의 상황 파악, 식립계획 수립, 임플란트 및 교각치(abutment) 선택, 드릴링, 임플란트 식립, 인공치아 제작 및 부착 등과 같은 단계로 거친대[2].

## 환자상황 파악

임플란트 시술을 위해서는 먼저 환자의 구강구조 및 턱뼈의 형태, 신경관의 위치를 파악해야 한다. 보편적으로 육안 및 파노라마 사진을 이용하고, 환자의 구강 석고모델이 활용된다. 그림 1에서와 같이 트레이에 인상재를 넣어 구강 내 치아형상을 인상채로 얻어내고 모형체를 주입하여 구강 석고모델을 얻어낸 다음, 이를 토대로 상황을 파악하여 보철물을 제작하는 아날로그 인상(analog impression) 방법이 이용되었다. 최근, CT 영상을 분석 처리하여 치아/악골/구강에 대한 3D 형상 모델을 생성하는 방법이 사용되고 있으며, 3차원 스캐닝 및 CAD/CAM 기술이 접목된 디지털 인상(digital impression) 방법의 도입으로 아날로그 인상법을 대체하려는 시도가 이루어지고 있다[3,4].

## 식립 계획 수립

임플란트 식립을 위한 계획수립 단계 임플란트 식

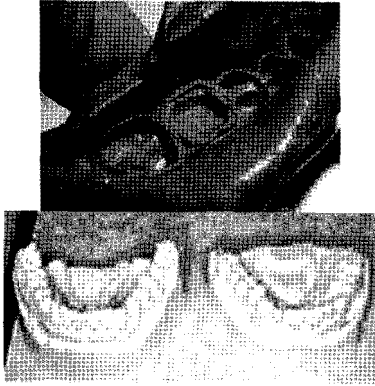


그림 1. 구상 인상 및 석고모델

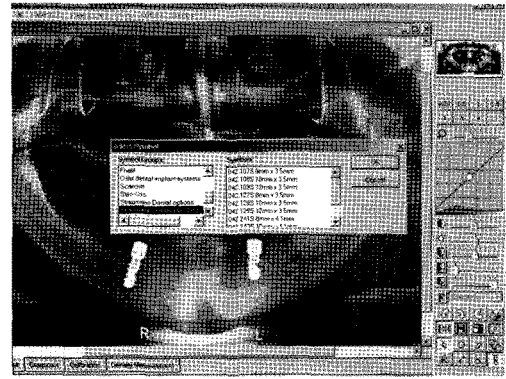


그림 2. 2차원 영상을 이용한 임플란트 식립계획 수립

립 방향 및 위치 선정, 드릴링 깊이 계산, 임플란트 및 교각치 선정 등이 이루어진다. 이러한 계획수립 과정은 시술자의 경험적 판단에 크게 의존되며, 시술자 간의 편차가 상대적으로 높다. 기존 임플란트 식립계획 수립을 위해서는 ASCII Chart가 주로 이용되었다. ASCII Chart는 1960년대 독일에서 제작되었으며, 기존 치아의 형태에 따라 Chart를 선택한 후 Chart 상에서 식립 방향 및 위치 등을 계산하는 방법으로써 이를 석고모델에 적용시켜 식립계획을 수립하게 된다. 이후 X-ray를 이용, 파노라마와 치근단 사진을 이용한 식립계획을 수립하는 방법이 널리 적용되어 왔다. 그러나 2차원 이미지만 파노라마와 치근단 사진은 많은 해부

학적 구조가 겹쳐 보이고, 정확한 수치적인 정보를 얻을 수 없어 확대율을 고려하여 추정해야 하고, 골조직의 두께를 전혀 고려하지 못하는 등 임플란트 시술계획 수립을 위해 제공되는 정보의 한계점을 가지고 있다. (그림 2 참조)

1990년대에 들어와서 낮은 방사선 노출량과 고해상도의 치조골에 대한 정보를 얻을 수 있는 치과용 cone beam CT의 발달로 인해 기존의 파노라마와 치근단 사진을 통해서 얻을 수 없었던 관심 부위의 3차원 형상모델을 얻을 수 있게 되었으며[5], 이러한 3D 형상 모델 정보를 3D 가상환경에서 적절하게 활용함으로써 시술 부위에 대한 정확한 해부학적·기하학적 분

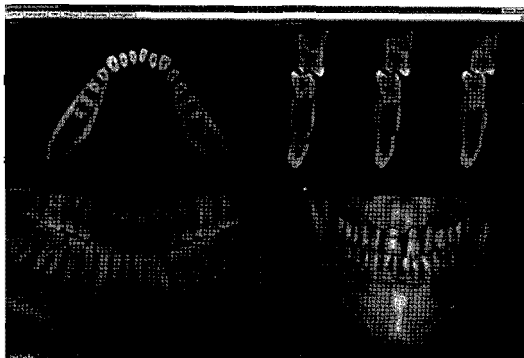


그림 3. Cone beam CT 이미지

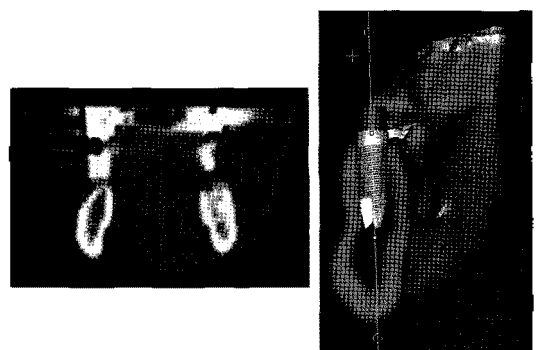


그림 4. CT 영상을 이용한 임플란트 시술 계획

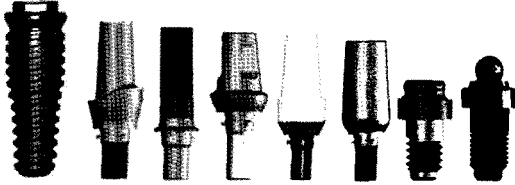


그림 5. 임플란트와 교각치

석이 가능하며, 이를 통해 효과적인 임플란트 시술 계획을 수립하는 시도가 이루어지고 있다. (그림 3, 4 참조)

임플란트 선정은 성별, 연령, 보철물 장착 여부와 함께 고려된다[2]. 환자에 알맞은 임플란트 선정을 위해서는 악골 절단면의 수직적, 수평적 측정치에 의거한 주위 조직의 응력분포에 따라 임플란트 종류 및 길이가 선정되어야 한다. 일반적으로 해부학적 구조물이 허용하는 범위에서 길이가 긴 임플란트가 선호되고 있으며, 길이가 충분하지 않은 경우에는 직경이 큰 임플란트가 선택되고 있다. 임플란트가 선정되면 임플란트 유형에 맞는 교각치를 연결시켜 인공치아가 고정될 위치를 결정한다. (그림 5 참조)

## 드릴링과 임플란트 식립

시술자가 계획하였던 정확한 위치에 드릴링 작업을 하고 임플란트를 식립하기 위해서는 많은 경험과 세심한 주의가 필요하다. 드릴링 작업에서의 오류는 임플란트 시술 품질에 큰 영향을 미치며, 자칫 의료사고로 이어지기가 쉽다. 또한, 드릴링 한 부위에 임플란트를 식립하기 위해 가장 중요한 것은 일정한 힘과 방향을 유지하여야 한다는 점이다. (그림 6 참조) 힘이 불규칙할 경우 나사선의 각에 따라 공간이 생겨 세균 등의 침입을 야기하게 될 수 있으며, 순간적인 힘으로 드릴링 된 부위를 넘어가는 경우 천공 및 하치조 신경의 접근 등의 문제가 발생할 가능성이 있다. 최근에는 구강 석고모델에 레진 등을 이용하여 stent를 제작한 후 드릴링 및 임플란트 식립 작업에 적용시키는 방



그림 6. 드릴링 및 임플란트 식립

안이 시도되고 있다.

## 인공치아 제작 및 부착

최근까지 인공치아를 제작하기 위해서는 인상채득을 통한 구강 석고모형 제작, wax-up, 소환 및 주조 과정 등을 거쳐 치과 기공소에서 수작업을 통해 제작하고 있으나, 이는 정밀도가 떨어지고, 지르코니아와 같은 강도가 높은 재료를 이용할 경우 수정이 매우 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 최근 CAD/CAM의 도입으로 이러한 문제점이 해소되고 있다. 마지막으로, 환자 상태에 따라 3~6개월 가량의 골 유착기간을 가진 다음, 구강 구조 및 치아 색이 고려된 인공치아의 부착 과정을 거쳐 치아 임플란트 시술이 완료된다.

## 2. 임플란트 시술을 위한 CAD/CAM 시스템 응용

치과용 CAD/CAM은 대부분의 치과용 장치물들이 측정(scanning), 설계(design), 가공(machining) 등의 주요 과정을 거쳐 제작된다는 측면에서 일반산업용 CAD/CAM과 크게 다르지 않다. 치아 임플란트 시술을 위한 각 단계에서 CAD/CAM 기술이 적용되고 있다고 할 수 있다. 특히, 구강 스캐너를 이용한 3D 구강모델 생성, CT 영상데이터를 이용한 3D 형상모델 생성, 컴퓨터 지원 임플란트 시술계획, 인공치아 가공에서 CAD/CAM 기술이 활발하게 적용되고 있다.

### 구강 스캐너(oral scanner)를 이용한 디지털 인상(digital impression)

3차원 스캔(scan)은 크게 접촉식과 비접촉식으로 분류되는데, 최근 비접촉 스캔에 대한 기술의 발전에 따라 그림 7에서와 같이 비접촉식 구강 스캐너를 이용한 형상 역공학(reverse engineering)을 통해 구강 석고모형 제작과정 없이 디지털 인상을 실현하고 있다. iTero digital impression 시스템의 비접촉식 구강 스캐너가 대표적인데, 치과외사가 환자의 구강 내에 소형 스캐너를 사용하여 환자 치아의 3차원 이미지를 스캔하고 실시간으로 화면을 통해 스캔 파일을 보며 수정 및 분석을 할 수 있으며, 평행 공초점 스캔방식을 통해 구강 내 모든 형상(상하)에 대한 순간 캡처가 가능하다는 장점을 가지고 있다[6]. 또한 스캔을 위한 분말(powder) 도포가 불필요하므로 환자에게도 불편함을 최소화할 수 있다는 장점이 있다. 평행 공초점 방식은 100,000개의 레이저를 쏘아 레이저가 대상에 닿는 거리를 측정하여 이미지를 구현하는 기술이다.

비접촉식 구강 스캐너를 이용한 디지털 인상을 통해 기존의 환자에게 아불감과 불편함을 주고 불안정성을 항상 내포하고 있었던 전통적 인상 채득 방식을 생략할 수 있으며, 인상 모형을 기공소로 보내 모델을 제작하고 다시 보철을 가공하는 아날로그 방식을 탈피할 수 있다. 일례로 iTero digital impression & workflow 시스템에서는 인상채가 필요 없는 CCD 디지털 광학인상으로 구강 소형 스캐너로 스캔하여 얻어진 3D

모델을 수정하고 교합을 검토한 후 web 상으로 전송하여 CNC 가공으로 작업 모형을 얻어낸 다음, 교합기에 장착하여 보철물을 제작한다. 따라서, 기존 아날로그 인상법에 의한 인상 채득 시간과 모델 변형요인을 감소시킬 수 있을 것이며, 보철물 수정작업이 불필요하므로 재작업(remake)율을 절대적으로 감소시킬 수 있다.

### CT 영상데이터를 이용한 3D 형상모델 생성

치과용 CT를 통해 기존의 파노라마와 치근단 사진을 통해서 얻어 수 없었던 관심 부위의 3차원 형상 모델을 얻고 이를 토대로 제반 시술계획 및 치료용 장치물들을 설계/제작할 수 있다. 이에 따라 의료영상 처리를 통한 3차원 형상모델 생성에 대한 연구 개발이 활발히 수행되고 있다. CT 영상은 여러 단면에서 촬영된 영상들이 적층된 형태로 주어지므로 단순한 2차원이 아닌 3차원 볼륨 데이터이다. 이러한 볼륨 데이터의 각 원소를 복셀(voxel)이라고 부르며, 볼륨 데이터는 복셀의 3차원 격자로 표현된다. 따라서, CT 영상데이터로부터 3D 형상모델 생성을 위해서는 복셀 데이터부터 객체 표면에 해당하는 복셀들을 선택한 후, 선택된 각 복셀에서 객체 표면에 해당하는 삼각형들을 추출하여 최종적으로 삼각메쉬를 생성한다. 대표적인 의료영상으로부터 3D 모델 생성 시스템으로 Mimics (Materialise Inc, Belgium)가 있다. Dicom 파일 형식으로 변환된 환자 의료영상 데이터(예: CT, MRI)를

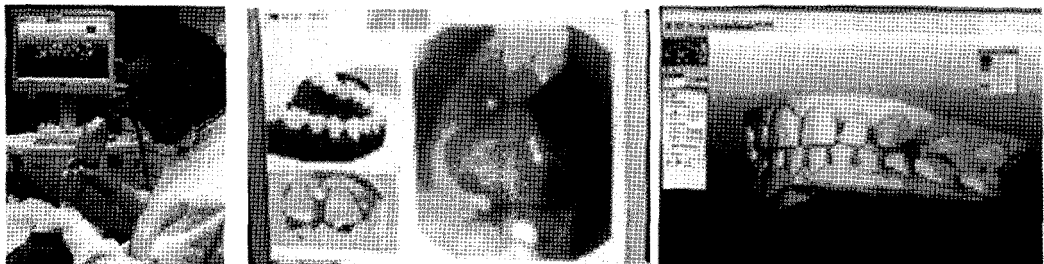


그림 7. 구강 스캐너를 이용한 디지털 인상

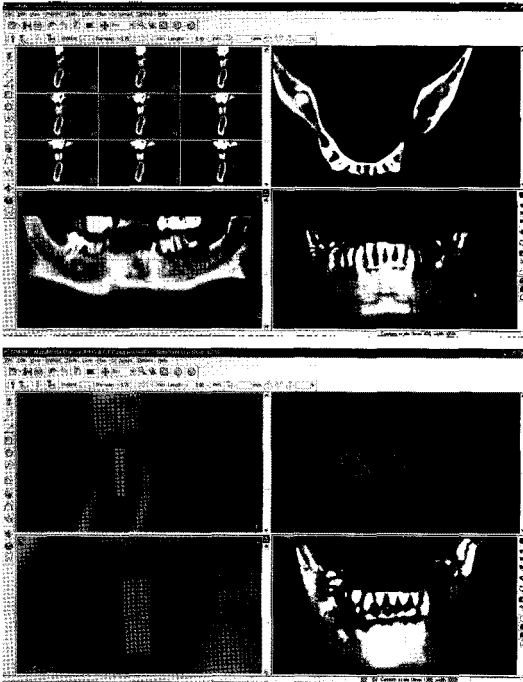


그림 8. CAIS를 이용한 식립계획 수립

불러온 후, 각 의료영상에서 경계검출(boundary detection)을 통해 구강 영역을 추출(segmentation)한다. 이후 필요한 부분에서 잡음 제거, 영역확장 등을 이용한 부분 수정(local editing)을 수행하며, 의료영상 처리 과정이 완료되면 마칭큐브(marching cube) 기법에 의거하여 구강 부위에 대한 3D 삼각메쉬 모델을 생성한다. 삼각메쉬 자체만으로 3차원 형상모델로서 많은 분야에서 활용될 수 있지만, 보다 매끄러운 곡면을 갖는 형상모델을 얻고자 하는 경우, 삼각메쉬로부터 자유곡면을 생성하는 기법들이 적용된다.

#### 컴퓨터 지원 임플란트 시스템(Computer-Assisted Implant System, CAIS)

CAIS는 CT 영상을 이용하여 관심 부위의 3차원 형상모델을 얻은 후, 컴퓨터 내의 3차원 이미지를 기초로 해부학적·기하학적 분석 및 시술 계획 수립을 통

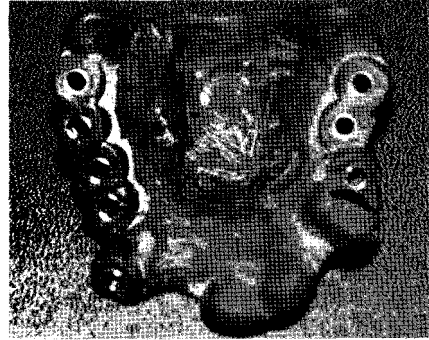


그림 9. 제작된 stent



그림 10. 제작된 stent를 이용한 임플란트 시술

해 stent를 제작하여 시술하는 시스템을 말한다. (그림 8,9,10 참조) stent는 드릴링 및 임플란트 식립을 위한 정확한 안내를 제공함으로써 시술자가 스트레스를 덜 받을 수 있으며, 보조도구를 사용하는 것이 사용하지 않는 것보다 좀 더 정확한 위치에 식립할 수 있다<sup>2,7,8</sup>.

CAIS에서의 주요 업무절차는 다음과 같다. 우선 Dicom 파일 형식의 의료영상으로부터 약골의 3차원 형상모델을 얻은 후, CAIS 내의 임플란트 DB를 이용하여 환자의 상황에 맞는 임플란트 및 교각치를 선택한 후 마우스 조작 등을 이용하여 3D 모델 상에 식립한다. 이 경우에는 상악의 경우 천공, 하악의 경우 하치조 신경의 접근에 유의하여야 하며, 정확히 식립이 되었다고 판단된 경우 저장된 파일을 stent를 제작하는 업체로 전송한다. 업체에서는 전송된 식립계획을 토대로 CAD 소프트웨어를 이용하여 stent를 설계하여 3차원 프린터를 이용해 stent를 제작한 다음, 치과

에 배송시켜 시술에 사용될 수 있도록 한다.

상용화되어 있는 CAIS 시스템으로는 Simplant (Materialise Inc, Belgium), NobelGuide (Nobel Biocare, CA), I-Dent (Imaging Ltd, Israel), coDiagnostiX (IVS Solution AG, Germany), Implacer (PacificCoast Software, CA), In2Guide (CyberMed, Korea) 등이 있다. Nobel-Biocare의 NobelGuide 시스템의 경우 미리 만들어진 stent를 한번 더 스캔하는 듀얼 스캔 방식이다. 즉, stent를 장착한 환자로부터 얻어진 CT 영상 데이터와 stent만을 촬영하여 얻어진 CT 영상데이터를 합성하는 것이다. 한꺼번에 촬영된 CT 영상데이터만을 이용하는 경우, CT 상의 뼈와 stent 밀도 차이로 인해 CT 영상의 잡음이 증폭되어 뼈와 stent에 대한 영역을 분할하기가 매우 어렵게 되는 데, 듀얼 스캔 방식으로 이러한 단점을 보완할 수 있다[8].

CAIS 방식은 stent를 통한 정확한 시술을 지원하므로 기존의 석고모델을 이용하는 방식에 비해 시술 성공률이 높으며, 섬막의 질개를 가지지 않는 비질개 수술이 가능함에 따라 통증이 적고, 시술 후 출혈의 가능성이 적다. 또한, 수술시간이 단축되고, 시술 후 치유기간이 단축된다. 한편, CAIS 방식은 비질개 수술로 인해 임플란트 식립상태를 직접 확인할 수 없으며, 수평적인 골이 부족한 경우 사용하기 어렵다. 또한 CT 촬영 시 금속 artifact 및 환자의 움직임으로 인해 오

차가 발생할 가능성이 크며, 임플란트 식립시에는 stent를 위치시키면서 생기는 오차와 드릴과 stent 구멍 사이의 공극에서 나오는 오차가 발생할 수 있다.

### CAD/CAM을 이용한 인레이 제작

오늘날 치과기공의 가장 큰 이슈 중의 하나는 실제 치아와 같은 색을 가지는 보철물을 이용하여 심미적으로 매우 자연스러운 표현이 가능하도록 하는 것이다. 이를 해결해주는 재료로 세라믹 중 하나인 지르코니아(Zirconia)이다. 하지만 지르코니아는 강도 및 점도가 매우 강하여 전통적 치과 가공기술로는 가공이 매우 어려웠으나 CAD/CAM 기술을 이용한 인레이 제작 시스템의 보급으로 가능해졌다. (그림 11 참조) 대표적인 시스템이 CEREC (Sirona Dental System, Germany)이다. 1980년대 초반 세라믹 Dr. Moermann은 CAD/CAM 개념을 도입하여 치과의사가 세라믹 인레이 수복물을 진료실에서 직접 완성하여 제작할 수 있도록 하였다. 이때 trackball, footpedal, optoelectronic intra-oral camera, 밀링가공기 등을 포함하는 작은 이동식 시스템이 이용되었으며, 이 후 디자인 소프트웨어와 밀링기계 파트로 분류하면서 CEREC 시스템으로 발전시켰다[9,10].

CEREC 시스템은 데이터 획득 유닛, 설계 소프트웨어 유닛, 밀링 가공 유닛으로 구성된 CAD/CAM 시

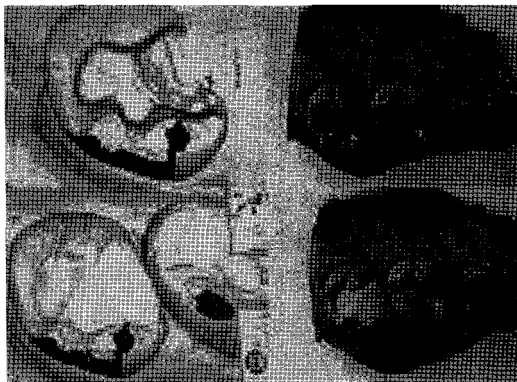


그림 11. CAD/CAM을 이용한 인레이 제작

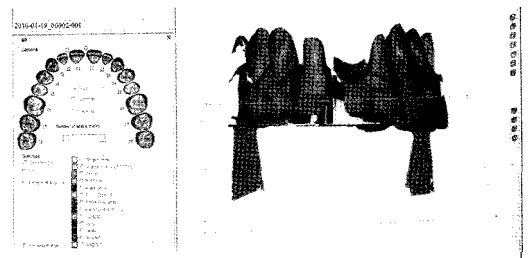


그림 12. 광학인상용 카메라를 이용한 3D 모델 획득

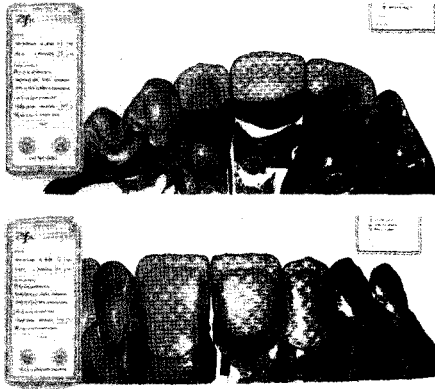


그림 13. 설계 소프트웨어에서의 보철물 제작



그림 14. 치과기공소의 밀링 가공기

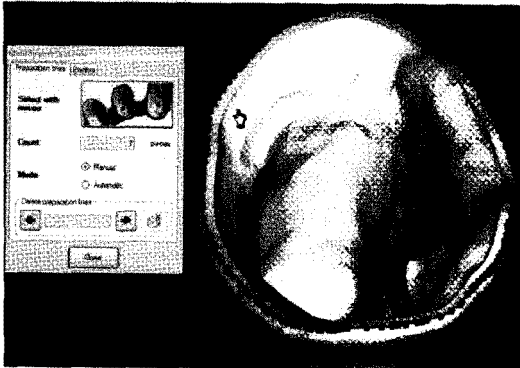
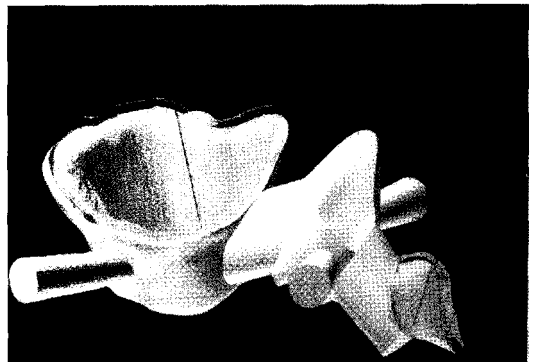


그림 15. 밀링 가공기에 전송된 가공경로



시스템으로써 균질의 재료블록을 사용한 표준화된 수복물의 제작이 용이하고, 대량생산의 경우 제조단가의 인하 등의 장점으로 인해 치과 기공소에서 주로 사용되고 있다. 데이터 획득 유닛에서는 전통적인 보철물에서 인상채득, 모델작업, wax-up 등에 관련된 업무를 광학인상용 카메라를 이용하여 CAD 데이터(치아/구강 3D 모델)를 획득한다. (그림 12 참조) 설계 소프트웨어 유닛에서는 다양한 종류의 수복물을 설계할 수 있는 기능이 제공된다. 취리히 대학의 SCR (Station for Computer Restoration)의 manager인 Marl 은 4000 개 이상의 건전한 구치를 대상으로 연구하여 구치 교합면의 40개 이상의 독특한 특성을 발견하였고, 구치

교합면의 14개 특징점을 지정하여 수복이 필요한 부분을 제안하였다. 설계 소프트웨어 유닛에서는 이러한 특징점을 DB에 저장하여 CAD 전문가가 아닌 치과 의사로 하여금 별다른 교육 없이 쉽게 보철물을 생성하게 한다. (그림 13 참조) 보철물을 제작하기 위한 밀링 가공 유닛에서는 설계 소프트웨어에서 생성된 보철물 정보를 판독하여 가공경로를 생성한다. 이후 밀링 가공기에 전송하여 세라믹 가공물을 얻어낸 후, 교합기에 장착하여 보철물을 제작한다. 밀링 가공기에는 연삭을 위한 스펀들이 좌우측에 존재하며, 세라믹 재질을 가공하기 위해 다이아몬드 비가 이용된다. (그림 14, 15 참조)



### 3. 맺음말

지난 40년간 치의학 분야 기술 및 재료 개발에서 상당한 진보가 이루어져 왔는데, 여기에는 CAD/CAM 기술 도입이 기여한 바가 크다. 치과용 CAD/CAM 시스템을 통해 보다 짧은 진료 시간에 빠른 구강 기능 회복을 기대할 수 있으며, 보다 정확한 시술이 되도록 도와줄 수 있게 되었다. 또한 CAD/CAM 시스템이 복잡한 기공과정을 간단하게 대신하면서 수작업에 따른 기공제작의 일손이 줄어들고 생산성을 크게 향상시킬 수 있게 되었다. 임플란트 시술 분야에서도 CAD/CAM 기술이 널리 활용되어 시술 정확도 향상, 시술 시간 단축, 무절개 수술의 가능성 확인 등의 유용성을 확보하고 있다. 하지만 측정 데이터에 대한 정확성 측면이나 시스템의 비용 대비 효용성 측면에서 시술자들의 신뢰를 얻지 못하고 있는 상황이다.

향후, 보다 정밀한 측정이 가능한 스캐닝 기술의 개발이 요구되고, 환자의 동적인 움직임을 고려하며 진단할 수 있는 장비의 개발이 요구된다. 그리고 가상환경에서의 다양한 시술 시뮬레이션을 제공하는 시스템의 개발이 필요하다. 아울러 임플란트 시술을 비롯한 치과용 CAD/CAM 시스템들은 대부분 외산 제품에 해당하는데, 다양한 아이디어와 요구사항에 잘 대응하기 위한 국산 시스템들의 개발이 요구되며, 이에 대한 국내 CAD/CAM 종사자 및 연구자들의 활약이 기대된다.

### 참고문헌

1. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. "A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience", *Dental Materials Journal*, Vol. 28, No. 1, pp. 44-56, 2009
2. Tardieu PB, Vrielinck L, Escolano E, Henne M, Tardieu AL, "Computer-assisted implant placement: scan template, SimPlant, SurgiGuide, and SAFE system", *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, Vol.27, No.2, pp. 141-149, 2007.
3. Herbst D, Nel JC, DipDent H, Driessen C, Becker PJ, "Evaluation of impression accuracy for osseointegrated implant supported superstructures". *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 83, No. 5, pp. 555-561, 2000
4. Anna SK Persson, Oden A, Andersson M, Sandborgh-Englund G, "Digitization of simulated clinical dental impressions: Virtual three-dimensional analysis of exactness", *Dental Materials*, Vol. 25, No. 7, pp. 929-936, 2009
5. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA, "A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results", *European Radiology*, Vol. 8, No. 9, pp. 1558-1564, 1998
6. "iTero oral-scanner", <http://cadentinc.com>
7. "Simplant", <http://www.materialise.com/Dental>
8. "NobelGuide", <http://www.nobelbiocare.com/en/products-solutions/implant-systems/>
9. "Serec 3 system", <http://www.cereconline.com/cerec/>
10. Mormann WH. "The evolution of the CEREC system", *The Journal of the American Dental Association*, Vol. 137, No. 1, pp. 75-135, 2006