

투고일 : 2012. 2. 14

심사일 : 2012. 2. 16

게재확정일 : 2012. 2. 23

CAD/CAM의 치과적 응용

서울대학교 치의학대학원 치과보철학교실

최 호 식, 문 지 은, 김 성 훈

ABSTRACT

The Application of CAD/CAM in Dentistry

Department of Prosthodontics, School of dentistry, Seoul National University

Ho sik Choi, Ji eun Moon, Sung-Hun Kim

Dental computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacturing (CAM) technology have rapidly progressed over the past 30 years. The technology, which can be used in the dental laboratory, the dental office and the form of production centers, has become more common in recent years. This technology is now applied to inlays, onlays, crowns, fixed partial dentures, removable partial denture frameworks, complete dentures, templates for implant installation, implant abutments, and even maxillofacial prostheses. Dentists and dental technicians, who want to use these techniques, should have certain basic knowledge about that. This article gives an overview of CAD/CAM technologies, histories and how it applies in prosthetic dentistry.

Key words : Computer aided design, Computer aided manufacturing, Scanner, Design software, Milling device.

치과용 CAD/CAM 기술은 지난 30년간 눈부신 발전을 이룩하였으며 치의학의 많은 영역에서 그 활용도가 높아져 컴퓨터를 이용하여 수복물을 만드는 것이 일반화 되고 있다. 이 기술은 치과 진료실에서뿐만 아니라 기공실에서 또는 제작센터에서 활용되고 있으며 인레이, 온레이, 치관 및 고정성 국소의치, 가철성 국소의치의 금속 구조물, 총의치, 임플란트의 식립, 임플란트의 상부구조물 그리고 악안면보철을 제작하는 데에도 응용할 수 있다. 치과의사는 이러한 새로운 수복물 제작에 대한 기초 지식을 가지고 있어야 한다. 이에 오늘날 치과 영역에서 유용한 CAD/CAM시스템을 개략적으로 살펴보고 치과보철학 분야에서 어떻게

응용되고 있는지 알아보려고 한다.

I. 서론

치의학 분야에서 치과 보철 영역은 환자의 요구에 부합하는 인레이, 온레이, 치관 및 고정성 국소의치, 가철성 국소의치, 총의치 그리고 악안면 보철과 같은 보철적 장치를 만들어 환자의 구강 기능을 회복시키고 구강 건강을 유지해 왔다. 다른 일반적인 공산품과 달리 치과 보철물은 환자 개인의 상황에 따라 맞춤 제작된다. 20세기에 들어 치과보철물을 만들기 위한 재료와

기술들이 두드러지게 발전하였다. 그럼에도 불구하고 치과기공작업은 여전히 노동집약적이고 경험에 의존하는 과정으로 남아 있다. 심미적으로 만족을 주는 치과 재료에 대한 요구가 증가하여 최근 새로운 고강도의 세라믹 재료들이 개발되었다. 이러한 재료들을 통상의 치과 기공기술로는 제작하기 어렵기 때문에 새롭고 정교한 가공기술과 시스템의 도입이 필요하게 되었다. 그리고 유럽이나 미국처럼 고임금 지역에서 수복물 제작의 자동화는 좀 더 경쟁력 있는 방법이 될 수 있다. 그리하여 computer aided design(CAD)과 computer aided manufacturing(CAM) 기술을 도입하게 되었다. 수복물을 만드는데 CAD/CAM을 이용하면 많은 장점이 있다. 예를 들면, 결점이 거의 없고, 미리 가공되고 잘 조절된 재료를 사용할 수 있다. 또, 수복물의 질이 높아지고 재현성이 증가하며, 데이터를 저장함으로써 동질의 제작 표준화를 이룰 수 있으며, 정밀성, 계획성을 개선할 수 있으며 효율성 또한 증가한다. 이러한 CAD/CAM의 역사와 구성요소에 대해 소개하고 치과에 어떻게 응용되고 있는지 알아보자.

II. CAD/CAM의 역사

Dr. Duret이 최초로 치과용 CAD/CAM을 개발하

였다. 이것이 1세대 CAD/CAM이다(그림 1). 1971년부터 구강내 지대치에 대한 광학 인상을 채득하고 기능적인 움직임을 고려하여 최적의 치관을 설계하고 밀링 기계를 이용하여 치관을 제작하는 일련의 시스템을 이용하여 치관 교합면의 기능적인 형태를 만들기 시작하였다. 하지만 디지털화하는 정확성과 컴퓨터의 성능, 재료의 부족으로 치과 영역에서 널리 사용되지 못하였다.

Dr. Moermann은 컴퓨터로 세라믹 인레이를 제작할 수 있는 CEREC® 시스템을 개발하였다. 그는 치과진료실에서 환자 옆에서 수복물의 제작이 이루어지는 새로운 기술을 임상적으로 사용하려고 시도하였다. 그는 구강내 카메라를 이용하여 와동을 직접적으로 측정하고 설계하였으며, 진료실에서 기계를 이용해서 세라믹 블록을 조각하여 인레이를 만들었다. 이런 시스템의 출현은 매우 혁신적인 일이었다. 왜냐하면 치아형성을 한 바로 그날에 세라믹 수복물을 완성할 수 있기 때문이다. 이 시스템이 발표되었을 때 치과 전문가들에게 CAD/CAM이란 용어가 급속도로 전파되게 되었다. 지대치를 구강내 카메라로 정확히 디지털화하는 기술이 많이 발달되지 않았기 때문에 인상을 채득하여 만든 석고모형을 스캔하여 CAD/CAM을 시작하는 시스템도 개발되었다.

2세대 CAD/CAM이라 불릴 수 있는 시스템은 구강내 스캐너의 낮은 정밀도를 보완하기 위해 개발되었다.

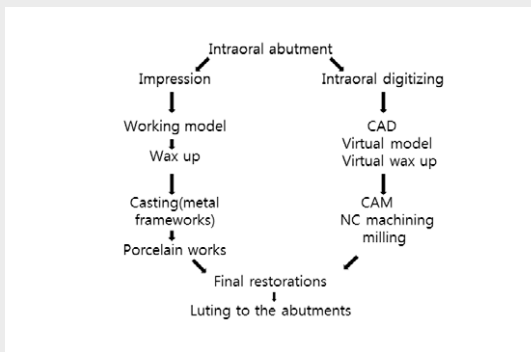


그림 1. Dr. Duret이 제시한 1세대 CAD/CAM 시스템

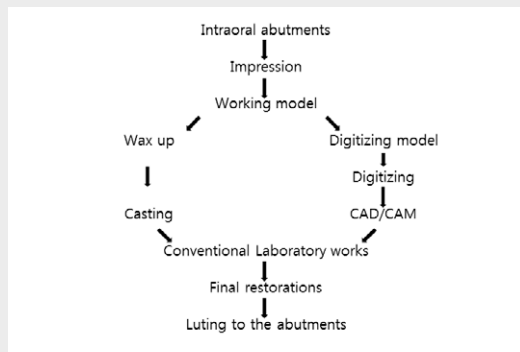


그림 2. 2세대 시스템으로 가공 과정의 일부를 CAD/CAM이 담당한다

임상가를 위한 특집 1

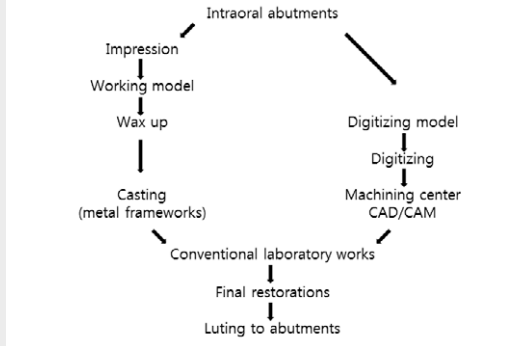


그림 3. 3세대 시스템으로 밀링 센터가 있다

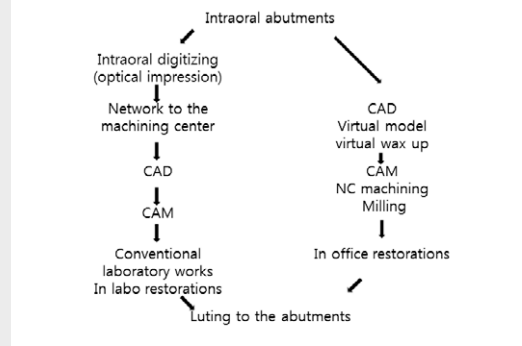


그림 4. 4세대 시스템으로 구강내 스캐너를 사용한다

통법대로 인상을 채득한 후 석고 모형을 제작하고 그것을 스캔하여 수복물을 제작하는 시스템이다(그림 2).

3세대라 불릴 수 있는 시스템을 만든 사람은 Dr. Andersson이다. 그는 Procera® 시스템을 개발하였다(그림 3). 1980년대가 시작될 때 그 당시의 금의 가격이 급격히 상승하였기 때문에 니켈-크롬 합금이 금의 대용품으로 사용되었다. 그러나 특히 북유럽에서 금속 알러지가 문제가 되었다. 따라서 알러지가 없는 티타늄으로의 전환이 제시되었다. 그 당시에 티타늄의 정밀 주조가 여전히 어려웠기 때문에 Dr. Andersson은 spark erosion 방식을 이용하여 티타늄 코핑 제작을 시도하였으며 CAD/CAM 기술을 복합레진으로 비니어 된 수복물의 가공 과정에 도입하였다. 이것이 전체 가공과정 중 한 과정에 CAD/CAM을 응용한 것이다. 이 시스템은 훗날 올세라믹 수복물을 제조하는데 있어 전 세계적으로 위성 네트워크를 가진 가공 센터를 보유하는 시스템으로 발전하였다. 이러한 네트워크 생산은 현재 전 세계적으로 많은 회사에 도입되어 사용하고 있다.

광학 기술의 눈부신 발전으로 구강내 스캐너가 발전하여 4세대로 진화하고 있다(그림 4). 현재 여러 종류의 구강내 스캐너가 시중에 나와있으며 가까운 미래에 많은 치과에서 이러한 시스템이 널리 사용될 것이다.

Ⅲ. CAD/CAM의 요소

스캐너

치과 영역에서 스캐너는 턱과 치아의 기하학적 형태를 3차원적으로 측정하여 그것을 디지털 데이터로 바꾸는 장치이며 기본적으로 광학식과 기계식 방법이 있다. 광학식 스캐너는 소위 ‘triangulation procedure’라고 불리는 과정을 통해 3차원 구조를 수집한다. 여기서 송신부인 빛(레이저)과 수신 장치가 서로서로 일정하게 명확한 각도를 이루고 있는데 이 각도를 이용하여 컴퓨터가 수신 장치의 이미지로부터 3차원 데이터를 계산해 낸다. 하얀 빛이나 레이저 빔이 사용된다. 기계식 스캐너는 모형을 루비 볼을 이용하여 기계적으로 한 줄씩 읽어서 3차원 구조를 측정한다. Nobel Biocare(Göteborg)에서 나온 Procera 스캐너가 치과 영역에서 유일하다. 이것은 고도로 정확하게 스캔 할 수 있다. 하지만 이러한 데이터 측정법의 약점은 매우 복잡한 기계적 기술이 필요하여 매우 비싸고, 시간이 많이 소요된다는 점이다.

디자인 소프트웨어

다양한 종류의 수복물 디자인을 위해 생산자들은 특별한 소프트웨어를 제공한다. 이것을 이용하여 치과

이나 고정성 국소의치의 프레임뿐만 아니라 완전한 해부학적 치관, 부분관, 인레이, 인레이로 고정되는 고정성 국소의치, 레진접착 고정성 국소의치 그리고 텔레스코프 일차관까지 제작한다.

밀링 기계

CAD 소프트웨어로 만들어진 제작 데이터는 밀링 스트립으로 변환되고 마지막으로 밀링 장치로 전송된다. 제작 장치는 밀링 축의 수에 따라 3축, 4축, 5축 장치로 구분된다. 3축 장치는 공간적으로 3개의 방향으로 움직인다. 그래서 밀링 방향점이 각각 X, Y, Z 값으로 정의되기 때문에 계산이 매우 간편하다. 하지만 세밀한 부분이나, 축이 벌어진 경우나 모아지는 경우의 절삭 가공은 불가능하다. 치과 영역에서 사용되는 모든 3축 장치는 또한 안쪽과 바깥쪽을 가공하는 과정에서 180°까지 회전할 수 있다. 이 장치의 장점은 짧은 밀링 시간과 3축을 이용함으로써 간편하게 통제할 수 있어 축의 수가 많은 장치보다 비용이 저렴하다는 점이다. 4축 장치는 공간적으로 3개의 축뿐만 아니라 tension bridge가 존재하는데 이는 무한히 다양하게 회전할 수 있는 요소이다. 그러므로 수직적으로 큰 높이 변위를 가진 bridge를 통상적인 몰드 크기로 조정 가능하게 해주고, 따라서 재료와 시간을 줄일 수 있다. 5축 장치는 공간적으로 3개의 축 뿐만 아니라 회전 가능한 tension bridge(4번째 축)와 회전 가능한 밀링 spindle(5번째 축)을 가진다. 이것은 복잡한 기하학적 구조를 세분화하여 밀링할 수 있게 해준다. 그러나 수복물의 질은 축의 수가 늘어남에 따라 필연적으로 증가하지는 않는다. 품질은 디지털화, 데이터 진행, 제작 과정을 통해 더 많이 좌우된다.

IV. CAD/CAM 이용의 장점

전통적인 기공기술들은 노동집약적이다. 반면 CAD/CAM 기술을 적용하면 소요되는 노동의 양을

줄일 수 있다. 구치부 세라믹관을 leucite-reinforced porcelain으로 DECSY® system을 사용하여 만들면 측정하는데 4분이 걸리고 설계하는데 1분, 그리고 processing data를 전환하는데 2분, 세라믹을 가공하는데 90분이 소요된다. 총 기공시간은 전통적인 powder build-up과 porcelain baking에 소요되는 시간보다 훨씬 더 짧다. 게다가 술자는 기계에 단지 5~6분만 집중하면 되고 대부분의 기공과정은 CAD/CAM 기계에 의해 자동으로 행해진다. 따라서 CAD/CAM 기계를 이용하면 노동력이 많이 감소한다. 게다가 특정 과정을 네트워크를 이용하여 외주 제작하는 시스템을 이용하면 노동시간을 더욱 줄일 수 있다.

전통적인 포세린 기공 과정에서 분말 축성과 소성 과정은 자연스러운 심미와 형태를 재현해내기 위해서 고도의 숙련이 필요하다. 왜냐하면 고온에서 소성하는 과정에서 상당한 수축이 발생하기 때문이다. 또한 모든 보철물을 치과기공사가 맞춤 형태로 제작하므로 생산성도 떨어지기 때문에 환자가 부담해야 하는 전통적인 도재 수복물의 가격이 필연적으로 높을 수 밖에 없다. 반면 도재관을 CAD/CAM으로 밀링하여 제작하면 미리 만들어진 대량생산된 블럭을 이용하기 때문에 비싸지 않고 필요한 경우 staining을 통하여 쉽게 심미적인 수복물을 완성할 수 있다. 이것은 노동비용을 줄일 뿐만 아니라 치과의원이나 기공소의 소유주에게 재정적인 이익을 제공할 수 있고 결국 환자에게도 이익이 된다. 지르코니아를 이용한 올세라믹 프레임은 CAD/CAM 과정을 통해 제작될 수 있다. 크고 비싼 설비가 아니라 작은 측정 장비에만 투자하면 되기 때문에 치과기공소의 소유주에게 재정적인 이익을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 통상적인 도재 제작 과정에만 집중하면 되므로 효율성이 높아지고 기공물의 질도 향상된다.

CAD/CAM 기술의 사용은 밀링을 통해 수복물의 형태를 만들 뿐만 아니라 CAD에 의한 재료의 특성에 기반을 둔 최적의 설계를 하여 품질관리를 할 수 있게

임상가를 위한 특집 1

한다. 따라서 가공 효과에 의해 발생하는 잔여 응력과 같은 변성을 막고 궁극적으로 재현 가능한 제작과정을 제공할 수 있다.

CAD/CAM 제작 시 미리 제작된 세라믹 블록은 제조사로부터 그것의 품질을 인증 받는다. 거기엔 거의 내부결함이 없다. 반면 전통적인 분말 축성과 도재 소성을 통해 만들어진 보철물은 내부기포를 포함한다. 제한된 요소와 파절면 분석을 이용한 임상적인 그리고 실험실 연구에서 올세라믹 고정성 국소의치 파절의 일차적인 원인은 도재 금속관과는 다르다. 세라믹 고정성 국소의치의 파절은 응력 집중 때문에 연결 부위에서 일어나는 경향이 있다. 따라서 연결 부위의 설계 시 프레임을 만드는 재료의 종류에 따라 크기를 특별히 고려하여야 한다. CAD는 내구력을 보장해 줄 것이고 파절의 위험을 줄여줄 수 있다.

기능적인 부하가 가해지는 동안 수복물의 예후를 예측하는 증거가 필요할 때 저장된 데이터가 갖는 장점을 전통적인 생산 방식에서는 가질 수 없었다. 수복물과 보철물이 인체의 한 부분으로 더 긴 기간 동안 기능하도록 요구되기 때문에 CAD/CAM을 이용하여 제작한 치과용 수복물이나 보철물의 품질관리는 노령화 사회에서 중요도가 높아질 것이다.

V. CAD/CAM 기술 이용분야

고정성 국소의치

일반적으로 강화형 글래스 세라믹 블록, 알루미늄이나 혹은 지르코니아 코핑을 CAD/CAM으로 제작하여 비니어링 도재를 축성하여 치관을 만들거나 강화형 글래스 세라믹 블록을 전체적인 형태로 밀링하여 치관을 제작한다. 후자는 도재 축성과정 없이, 강도가 강하며 높은 투명성을 가진 심미적인 수복물을 제작할 수 있다는 장점이 있다(그림 5). 그리고 CAD/CAM으로 지르코니아 프레임을 제작하고 도재관을 접착하는 PAZ(porcelain crowns adhered to the CAD/CAM zirconia framework)의 개념도 생겨났고(그림 6), 소성 전의 지르코니아 코핑과 CAD/CAM으로 제작한 비니어 재료를 같이 소성하여 올세라믹 치관을 제작하는 LAVA™ DVS 시스템도 개발되었다(그림 7).

가철성 국소의치

가철성 국소의치의 프레임을 제작하는 데에도 CAD/CAM 기술을 활용할 수 있다. 인상을 채득하여 제작한 석고 모형을 3D 횡단면 스캐너로 스캔한 다음 프로그램 상에서 서베잉하고 이상적인 삽입로를 결정

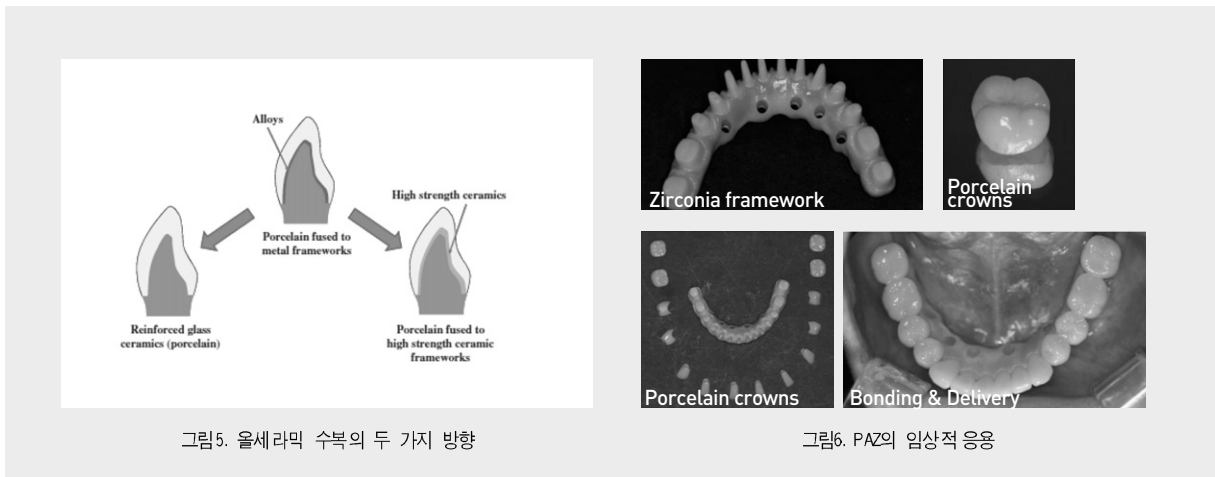


그림5. 올세라믹 수복의 두 가지 방향

그림6. PAZ의 임상적 응용

한다(그림 8. A). 그 후 프레임의 구성 요소들을 디자인하며(그림 8. B) 이 과정은 30분 정도 소요된다. 이 STL 파일을 selective laser melting(SLM) 기계로 보내어 프레임을 완성한다(그림 8. C, D, E, F). 이러한 일련의 과정은 1시간 내로 마칠 수 있다.

총의치

총의치를 제작하는데 CAD/CAM을 활용할 수 있다. 통법대로 인상을 채득하고 그 트레이를 이용하여 왁스 교합제를 쌓고 전치를 배열한 후 환자에게 시적해 본 후 악간 관계를 채득한 다음 상하악 인상체를 스캔하면 가상 치아배열 프로그램 상에서 가상 모형이 만들어지고 상하악 모형이 교합기에 거상된다. 프로그램 상에서 원하는 교합 이론에 따라 치아를 배열한 후 밀링 기계로 보내어 분홍색의 의치상 레진을 절삭 가공한다. 그 후 레진 인공치아를 붙여 총의치 제작을 완성한다(그림 9).

임플란트 매식체 식립

CAD/CAM 기술을 임플란트를 식립하는데 이용할 수 있다. 방사선 템플릿인 double arch impression tray를 이용하여 CT 촬영을 한다. 이 double arch impression tray는 inter occlusal index까지 포함한다. 이 데이터가 수술 계획 프로그램으로 넘어가 중요 해부학적 구조물을 손상시키지 않으면서 적절한 위치에 임플란트를 식립하기 위하여 가상적으로 계획된다. 이 위치를 치과의사가 확인하면 CAD/CAM 수술 템플릿이 주문되고 제작된다. 환자의 구강에 넣어 위치를 확인한 다음 템플릿의 유도에 따라 임플란트를 식립한다(그림 10). 계획된 위치에 식립되므로 식립직후 보철물을 장착할 수 있다. 이 기술의 목적은 CT 상에서 정확한 계획을 하고 그 계획에 맞게 정밀한 수술 가이드를 만들어 바로 그 위치에 식립하는 것이다. 계획된 위치에 정확하게 식립이 가능할 뿐만 아니라 피판이 없거나 작은 디자인을 이용하게 되므로 최소한의 침습적인 수술을 할



그림 7. LAVA™ DVS 시스템

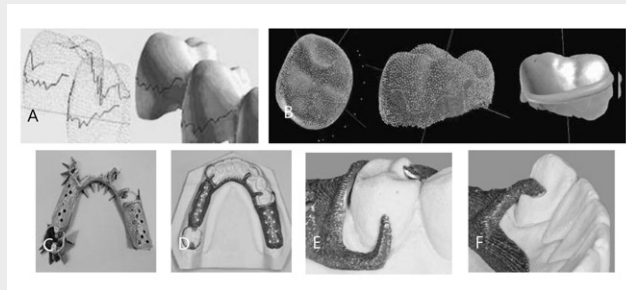


그림 8. CAD/CAM 시스템을 이용한 가철성 국소의치 제작 과정

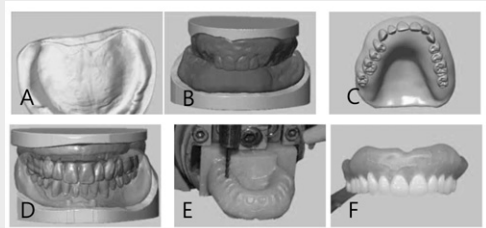


그림 9. CAD/CAM 시스템을 이용한 총의치 제작 과정

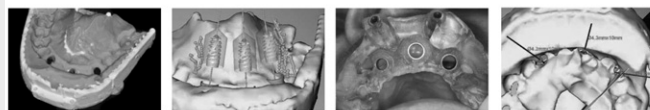


그림 10. 임플란트 수술 템플릿

임상가를 위한 특집 1

수 있다는 장점을 가진다.

임플란트 상부 구조

임플란트 상부 구조를 만드는데 CAD/CAM을 이용할 수 있다. 통법대로 인상 채득하여 모형을 제작하고, 시스템에 맞는 스캔용 코핑을 체결한 다음, 스캔하여 그 정보를 CAD 프로그램으로 옮긴다. 고정성 보철이라면 상부 구조를 디자인하여 제작한다. 피개 의치의 바를 제작한다면 프로그램에 저장되어 있는 여러 바의 디자인 중 하나를 선택하여 설계하여 제작한다(그림 11).

악안면 보철

구강암으로 인해 종양을 절제하거나 불의의 사고로 악안면부의 결손을 보이는 환자에게 CAD/CAM 기술을 응용하여 결손부를 재건해 줄 수 있다. 종양의 절제로 결손된 하악을 재건 할 때 3D CT 데이터를 이용하여 결손된 하악골을 디자인하고 밀링하여 제작할 수 있

다(그림 12. A). 같은 개념을 두개골에 적용하여 다양한 재료를 이용하여 결손된 두개골 제작도 가능하다(그림 12. B-D). 3D 스캔을 이용하여 환자의 안면 이미지를 얻고, 이 데이터를 CAD 소프트웨어에서 불러들인다. 안면의 반 이하로 결손을 보이는 경우에는 반대쪽의 거울상을 이용하여 가상 안면 보철물을 디자인하고, 반 이상의 결손을 보일 때에는 환자와 닮은 친척의 안면 스캔 자료를 중첩하여 가상의 안면 보철물을 디자인한다. 환자의 얼굴을 인상재를 이용하여 본뜨는 기존의 방법을 이용하면 인상재에 의해 피부 조직이 눌러 변형되어 정확한 안면의 모습을 인기 할 수 없고 술자의 숙련도에 따라 보철물의 품질이 많은 차이를 보이는 단점을 가지고 있다. 하지만 CAD/CAM 기술을 이용하면 왁스 보철물을 패속조형법을 통하여 제작하고 이것을 이용하여 최종 실리콘 보철물을 제작하기 때문에 술자의 숙련도와 크게 상관없이 예측 가능한 결과를 얻을 수 있다는 장점을 가진다(그림 12. E-J).



그림 11. 바 피개 의치에 CAD/CAM 기술의 적용

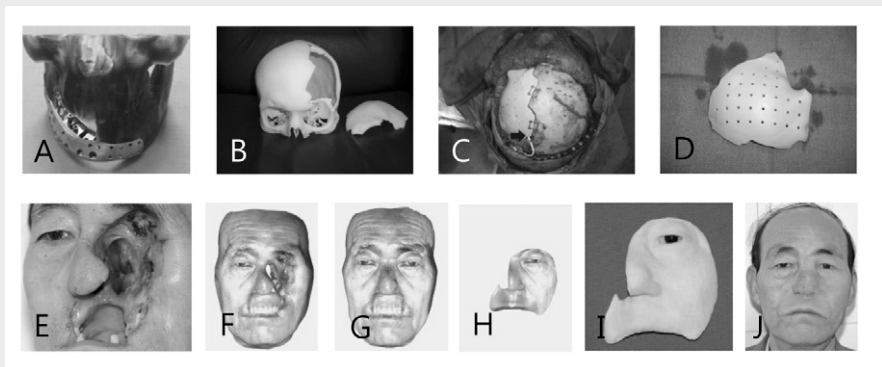


그림 12. 악안면 보철 제작에 CAD/CAM 기술의 적용

Ⅵ. 결론

치과 CAD/CAM 시스템은 스캐너, 디자인 소프트웨어, 밀링 장치로 구성되며, 지난 30여년간 그 기술과 재료들이 혁신적으로 발전하였다. CAD/CAM 기술을 활용하면 새로운 재료를 이용할 수 있고 노동력이 감소되며, 비용의 효율성을 얻을 수 있으며, 품질 관리가 가능하다는 장점이 있다.

CAD/CAM 시스템을 치과의 여러 분야에서 응용할 수 있는데 치관이나 고정성 국소의치와 임플란트의 상부 구조뿐만 아니라 가철성 국소의치의 프레임, 총의치, 그리고 악안면 보철물을 제작하는 데에도 사용할 수 있다. CAD/CAM 기술의 발전은 혁신적인 최첨단의 치과 의료를 제공할 수 있게 하였으며, 앞으로 더욱 더 발전하여 많은 영역에서 정교하고 심미적인 보철물을 제작하는데 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 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. *Dent Mater J* 2009;28:44-56.
- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204:505-11.
- Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011;56 Suppl 1:97-106.
- Han J, Wang Y, Lü P. A preliminary report of designing removable partial denture frameworks using a specifically developed software package. *Int J Prosthodont*. 2010;23:370-5.
- Goodacre CJ, Garbacea A, Naylor WP, Daher T, Marchack CB, Lowry J. CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods of obtaining required morphological data. *J Prosthet Dent* 2012;107:34-46.
- Marchack CB, Charles A, Pettersson A. A single appointment protocol to create a partially edentulous CAD/CAM guided surgical template: a clinical report. *J Prosthet Dent*. 2011;106:346-9.
- Yong LT, Moy PK. Complications of computer-aided-design/computer-aided-machining-guided (NobelGuide) surgical implant placement: an evaluation of early clinical results. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2008;10:123-7. Epub 2008 Jan 30.
- Spyropoulou PE, Razzoog ME, Duff RE, Chronaios D, Saglik B, Tarrazzi DE. Maxillary implant-supported bar overdenture and mandibular implant-retained fixed denture using CAD/CAM technology and 3-D design software: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2011;105:356-62.
- Zhou LB, Shang HT, He LS, Bo B, Liu GC, Liu YP, Zhao JL. Accurate reconstruction of discontinuous mandible using a reverse engineering/computer-aided design/rapid prototyping technique: a preliminary clinical study. *J Oral Maxillofac Surg* 2010;68:2115-21. Epub 2010 Jun 12.
- Lai JB, Sittitavornwong S, Waite PD. Computer-assisted designed and computer-assisted manufactured polyetheretherketone prosthesis for complex fronto-orbito-temporal defect. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:1175-80. Epub 2010 Dec 30.
- Feng ZH, Dong Y, Bai SZ, Wu GF, Bi YP, Wang B, Zhao YM. Virtual transplantation in designing a facial prosthesis for extensive maxillofacial defects that cross the facial midline using computer-assisted technology. *Int J Prosthodont*. 2010;23:513-20.