

치과교정학분야의 3차원 CAD/CAM System 기술 활용

한 석 윤 sokyoonh@hanmail.net
중앙치과기공소

I. 서 론

컴퓨터의 계산능력이 급속도로 발전하고 설계와 생산에 필요한 소프트웨어가 널리 보급됨에 따라, 공학자들은 CAD(computer-aided design)/CAM(computer-aided manufacturing)/CAE(computer-aided engineering) 시스템을 거의 모든 작업에 사용하게 되었다. 그리고 국제 경쟁이 갈수록 치열해지고 숙련 기술자의 수는 한정되어 있고 품질의 중요성이 인식됨에 따라 제조업체에서는 설계와 생산과정을 자동화하기 위해 CAD/CAM/CAE system을 사용해야만 하는 입장에 놓이게 되었다. 모든 산업분야에서 제품의 수명이 점점 짧아짐에 따라 제품을 개발하고자 하는 사람은 어떻게 하면 조금 더 빠르게 생산할 수 있을지 고민을 하였고, 3차원 측정기(3차원 스캐너)와 응용 소프트웨어들이 이러한 요구에 부응하게 되었다.

치과의료 분야에서도 오래 전부터 3차원 CAD/CAM/CAE system 기술의 활용이 증가되어 진단 및 치료계획 수립에서 뿐만 아니라 치료 과정에서도 응용할 수 있게 되었다. 이제는 이러한 기술들이 일반적으로 사용되는 경우가 많기 때문에 사용자도 컴퓨터의 환경과 기본적인 원리를 이해해야 한다. 왜냐하면 이러한 배경지식을 갖추지 못한 사용자는 그 시스템의 설명서에서 사용되는 용어를 이해하기 어렵고, 시스템에 오류가 발생했을 때 이를 해결하는 데 많은 어려움을 겪게 될 것이기 때문이다.

본 임상 논문에서는 (주)오라픽스가 지난 10년간 개발한 기술과 경험을 바탕으로 치과의료 분야, 특히 치과교정학 분야 종사자들에게 기본적인 기술 정보와 사용의 예를 전달 함으로서 앞으로 관련 기술을 사용하거나 접할 때 도움을 주고자 한다.

II. 본 론

1. 3차원 CAD/CAM 기술의 개요

오늘날 모든 분야에서 제품을 더 좋은 품질(quality, Q), 더 낮은 가격(cost, C), 보다 빨리 공급(delivery, D) 할 수 없으면 세계시장에서의 경쟁에서 살아남을 수 없다(그림 1). 따라서 생산업무들을 자동화하고 통합시켜 제품의 개발과 생산에 소요되는 시간과 경비를 줄이기 위하여 컴퓨터의 대용량 메모리, 빠른 처리속도 및 사용하기 편리한 대화형 그래픽 기능들을 개발하여 왔다. 현재 CAD/CAM/CAE의 관련 기술의 개발과 사용이 확대되고 있다.



그림 1 CAD/CAM/CAE 기술의 환경

앞에서 기술된 CAD/CAM/CAE 에 대한 정의와 영역은 다음과 같다(그림 2).

- CAD : 설계물의 생성, 수정, 해석 및 최적화에 관련된 컴퓨터 이용 기술[Groover, Zimmers 1984]이다. 따라서 컴퓨터 그래픽과 공학 함수들을 이용하는 응용 프로그램은 CAD 소프트웨어에 속한다.
- CAM : 공정의 계획, 운용, 공장의 자원과의 직/간접적인 인터페이스를 통한 생산 운전 제어를 위한 컴퓨터 이용 기술이다. 이 분야에서 가장 발전한 분야가 수치제어(NC)분야이다. 이는 연마, 절삭, 밀링, 펀칭, 굽힘, 선반가동 등의 작업을 통하여 최종 형상을 얻어내기 위해 공작기계와 공구들을 구동하기 위한 프로그램화된 명령어의 사용과 관련한 기술이며, 로봇구동 수치제어 프로그래밍도 이에 속한다.
- CAE : 설계자가 CAD 기하정보를 해석하기 위한 컴퓨터 시스템의 사용에 관한 기술이다. 설계자가 제품의 수정, 최적화, 작동에 관한 모의실험과 연구를 하는 것을 말한다. 컴퓨터를 이용한 해석방법 중에서 가장 널리 사용되는 것이 유한요소법(FEM;finite element method)이다.



그림 2 CAD/CAM/CAE system 기술의 영역

설계 및 제조과정에 컴퓨터를 사용하기 위하여 특정한 형태의 하드웨어와 소프트웨어가 필요해진다(그림 3). 이 중에서 그래픽 장치(graphic device)는 그래픽 처리장치(Graphic processing unit-최근에는 통칭 “그래픽 카드”라 함), 화면 표시 장치(Display device, 모니터), 하나 이상의 입력장치(이곳에서는 3차원 스캐너만 언급하겠음)로 구성된다.

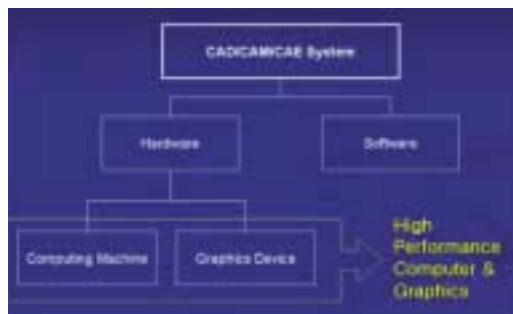


그림 3 컴퓨터, 입출력을 위한 그래픽 장치 및 그 주변기기로 구성된 CAD/CAM/CAE system의 구성요소

치과의료분야 CAD/CAM system 기술 사용의 예는 crown/implant design, DICOM reconstruction, Intraoral scanner, CNC production 등이 있다(그림 4).



그림 4 치과의료분야 CAD/CAM system 사용의 예

복잡한 형상을 아주 빠르게 컴퓨터 데이터화(Digitizing) 할 수 있는 장비를 일반적으로 3차원 스캐너라고 부른다. 3차원 스캐너의 장점을 살펴보면 첫째, 사용자가 특별한 프로그램을 이용하여 제품 설계(design) 과정의 번거로움을 줄이거나 없앨 수 있고, 둘째, 인체와 같이 복잡한 형상으로 인해 정확한 설계를 하는 것이 거의 불가능한 문제를 해결할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 의료분야 특히 치과의료분야에서 3차원 스캐너의 활용은 필수적이며, 일반화 되어가고 있다. 이에 따라 아주 많은 종류의 스캐닝 기술과 다양한 장비들이 출시되고 있다(그림 5).



그림 5 3차원 스캐너의 종류. 노란색 글씨는 가장 많이 사용되고 있는 광학식 스캐너 (Optical scanner)를 표시하고 있으며 최근 대두되고 있는 CT(Computed Tomography;하늘색 글씨) 기술 또한 3차원 스캐너의 영역에 포함되어 있다.

2. 3차원 스캐너 구성과 원리

3차원 스캐너는 서로 특성이 다르고 적용할 수 있는 부분이 제한적이므로 대표적인 방법에 대한 중요한 특징을 설명하여 기존의 사용자나 구매를 검토하는 사용자에게 올바른 정보를 주기 위하여 기술하고자 한다.

1) 접촉식 스캐너(Contact method)

가장 정밀도가 높은 방식으로 일반적으로 제품검사를 위해 많이 사용되는 방식이다. 보통 CMM(coordinate measuring machine)이라 불리며 한쪽 끝에 있는 접촉센서(probe)가 3축 로봇축을 따라 움직인 거리(좌표)를 측정한다(그림 6). 특별한 사용환경, 비싼 장비, 느린 측정 속도 등의 이유로 일반적인 사무실 환경에서는 사용이 어렵다. 탁상용 소형 접촉식 스캐너가 있으나 복잡한 형상의 정보를 충분히 획득하기가 쉽지 않다.

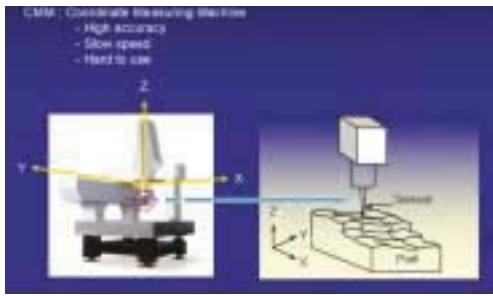


그림 6 접촉식 스캐너의 원리와 예

2) 파괴식 스캐너(Destructive method)

복잡한 형상 정보를 높은 정밀도로 획득하기 위해 사용하는 방식으로 연구/실험실 시편의 검사나 반도체 등의 전자회로 획득/검사 등에도 자주 사용하는 방식이다. 실험실 시편을 제작하듯이 대상물을 수지(Resin)와 함께 성형하여 높이값을 알고 있는 아주 얇은 박판으로 절단하고 그 단층 이미지를 획득하는 방식이다(그림 7). 제품의 음영(Undercut) 부분, 내부 구조의 정보도 정확히 획득할 수 있는 점에서 CT 기술과 유사하다고 할 수 있다.



그림 7 파괴식 스캐너의 원리와 예

3) 비접촉식 스캐너(Non-contact method)

비접촉식 스캐너중 광학식 스캐너가 가장 일반적으로 사용되는 기술이다. 넓고 복잡한 대상물의 비교적 정확한 정보를 빠르게 획득할 수 있어 다른 스캐닝 방식에 비해 그 효율성이 가장 높다 할 수 있다(그림 8). 광학식 스캐너는 광원과 데이터 획득 시 사용되는 원리에 따라 세분화 된다. 일반적으로 사용되는 광원은 레이저(적색광)와 할로젠 램프(백색광) 등이 있다. 광원과 스캐닝 방식의 차이 보다는 사용하는 목적에 따라 스캐닝 기술/제품의 장, 단점이 있으므로 이에 대한 정보는 제품 판매자와 논의를 하고 반드시 충분한 시험을 통해 그 결과를 확인 후 구매하는 것이 바람직할 것이다.



그림 8 비접촉식 스캐너의 원리와 예(레이저 스캐너와 국내 (주)솔류셔닉스 백색광 스캐너)

비접촉식 광학 3차원 스캐너의 가장 일반적인 측정원리는 삼각측량 방법이다. 삼각측량의 기본원리는 알고 있는 거리와 각도 정보를 통해 측정하고자 하는 거리값을 획득하는 방법이다(그림 9).

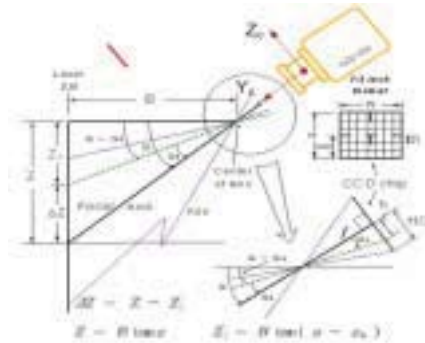


그림 9 광학식 스캐너의 삼각측정 원리

4) 구강 내 스캐너(Intra-oral scanner)

치아 석고모형을 제작하지 않고 구강 내에서 직접 형상정보를 획득할 수 있는 구강 내 소형스캐너가 수년 전부터 시판되고 있다(그림 10).



그림 10 구강내 스캐너의 예

구강 내 좁은 공간에서 치아 정보를 획득하여야 하므로 거울(mirror)을 이용하여 각종 부품이 차지하는 공간을 최소화하고 구석진 곳에 있는 치아의 정보 획득이 가능하도록 하였다(그림 11).

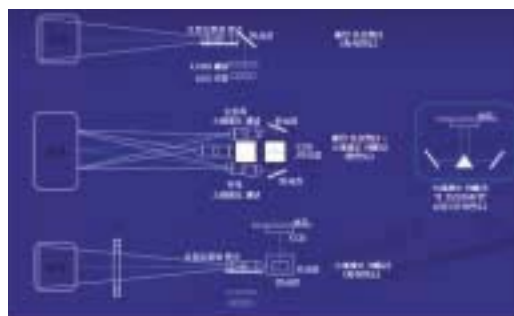


그림 11 구강내 스캐너의 원리

3. 3차원 자동 생산 장비의 종류와 원리

치과치료분야에 컴퓨터 기술을 접목하기 위해서는 3차원 입력장치(스캐너)와 프로그램을 통해 설계된 정보를 활용하여 생산하는 기술(CAM)이 반드시 필요하다. 치과치료분야에서 가장 많이 사용되는 방식은 rapid prototype(RP)이다(그림 12). 사용되는 재료도 여러 가지가 있으며, 국내에서는 (주)사이버메드에서 두개안면부의 DICOM 데이터를 활용하여 재현

해 주는 서비스에 활용하고 있으며, 자동차 엔진블럭 등 그 크기가 상대적으로 큰 제품의 시제품 제작에 주로 사용되고 있다.



그림 12 3DP와 FDM 원리

Stereolithographic(SLA) process 는 액체 수지가 담긴 용기 표면에 자외선 레이저를 쬐어 일정두께(0.05~0.2mm)로 경화시켜 적층하는 방식이다(그림 13). 미국의 Invisalign-tech사가 사용하고 있는 방식으로 정밀도와 형상을 세밀히 표현하는 능력이 가장 뛰어난 방법으로 알려져 있으나 장비의 가격과 운영 및 생산 비용이 아주 높은 편이다. (주)오라픽스에서도 동일한 방식을 채용하고 있다.

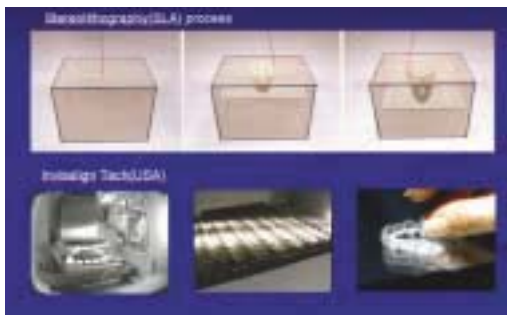


그림 13 SLA 방식의 원리와 예

그 외에도 SLA 방식과 유사한 SLS 방식과 흔히 사용하는 잉크젯 프린팅 원리와 비슷한 MJM 방식도 많이 사용되고 있다(그림 14).



그림 14 SLS와 MJM 원리

치과의료분야에서 사용되는 CAM 방식의 시간과 비용에 따른 비교(그림 15)에서 SLA 방식이 생산시간과 비용이 가장 높은 것을 알 수 있다. 많은 치과의료분야 회사가 상기 방식을 채택하는 타당한 이유가 무엇인지 고려해 볼 필요가 있을 것이다.

Method	Material	Speed (hours / part)	Relative Model Cost
SLA	Curing of photopolymer by UV laser	10 - 30	High
SLS	Sintering of plastic powder by CO ₂ laser	10 - 20	High
FDM	Plastic filament extrusion	20 - 40	Moderate
3DP	Powder-binder ink-jet printing	5 - 8	Low
MJM	Polymer or wax ink-jet printing	5 - 30	Low

ABS=Acrylonitrile Butadiene styrene, ag=absorbed, UV=Ultraviolet

그림 15 SLA, SLS, FDM, 3DP, MJM 생산 방식에 따른 시간과 비용의 비교

4. 교정과목의를 위한 오라픽스 시스템

(주)오라픽스는 지난 10년(1999년~현재)간 교정분야 전문 3차원 CAD/CAM 시스템을 개발하고 공급하여 왔다. 그간 개발된 제품의 설명과 실제 사용 예를 통해 사용자의 이해를 돕고자 한다.

1) 오라픽스(Orapix) 시스템의 구성 제품별 기능

2000년 오라픽스에서 Orapix scanner(KOD-100)를 처음 선보인 이후, 최근 KOD-300 모델을 통해 지속적 발전을 하고 있다(그림 16). KOD-100은 편약당 18분의 느린 scanning 속도와 ±0.1mm 오차를 보였으나 KOD-300은 3분대 scanning 속도와 ±0.02mm 미만의 오차로 고정밀 데이터 획득이 가능하여 성능이 6배 이상 개선되었다. 광원으로 레이저 슬릿(Laser slit)을 이용하고 4축 로봇 자동화 기술과 고정도 광학 기술이 접목되었다. 세계 최초의 치아모형 전용 완전 자동화 장비(국내 및 해외 특허 획득 3건, CE인증, ISO9001인증 외)로서 그 기술력을 인정받아 세계 각국에 수출을 하고 있으며 10개국에 파트너가 있다.



그림 16 오라픽스 스캐너 KOD-300

오라픽스 스캐너를 통해 획득된 3차원 치아 데이터를 활용하여 Ceph 및 PA image와 중첩(Cyber mounting)을 하고 분석을 할 수 있다(그림 17, 18). 분석 내용과 방법은 기존 사용중인 Cephalometrics 프로그램과 유사하여 사용이 아주 쉽도록 개발되었다.



그림 17 3TxCeph 2.0.5 Ceph 프로그램

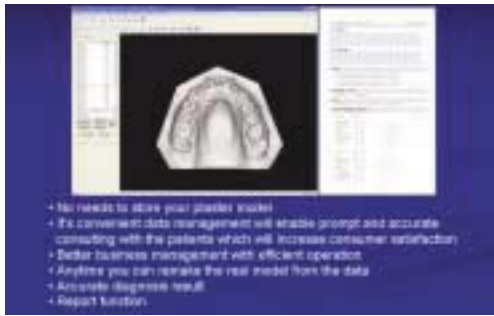


그림 18 3Txer 2.0.5 모형 분석 프로그램

방사선 이미지 분석 이후 3차원 치아 모형을 이용하여 모형 분석을 할 수 있다. 모형 계측 후 분석값은 자동 보고서 기능을 이용하여 쉽게 정리되어 사용자의 편의성을 고려하였다.

지금까지의 진단과 분석은 석고모형과 프로그램을 이용하거나 별도의 3차원 디지털 데이터 활용 프로그램을 이용하였기에 사용자가 여러 가지 도구와 프로그램을 사용해야 하는 번거로움이 존재하였다. 최신 3Txer 프로그램은 교정환자의 진단과 분석이 1개의 프로그램에서 가능한 최초의 제품이다. 그리고 3차원 가상모형과 방사선 사진영상을 중첩하여 함께 활용함으로써 사용자에게 환자의 정보를 좀더 효과적으로 전달할 수 있게 되었다. 방사선사진 분석과 모형 분석 후, 체계적이며 정확하고 빠른 치료 계획을 수립하고 치료 결과를 예측해 볼 수 있는 가상 set-up 프로그램도 함께 제공된다(그림 19). 이를 통하여 지금까지 번거롭고 불편했던 교정 진단, 분석, 치료계획, 치료를 오라픽스 스캐닝 시스템 및 3Txer 2.0.5를 통해 수행할 수 있게 되었다.



그림 19 3Txer 2.0.5 가상 set-up 프로그램

2) 오라픽스(Orapix) 시스템 운영 절차

환자의 치아석고모형을 제작하고 (주)오라픽스에 의뢰하면 3-4일 내에 디지털 데이터를 제공 받을 수 있다(그림 20). 고객 등록 후 개별 인터넷 가상 저장 공간을 통해 3Txer 프로그램과 환자 치아 데이터를 제공받는다.



그림 20 디지털 가상모형 데이터 생산 및 활용 절차

환자 치아 데이터와 방사선사진 이미지(JPEG, BMP)를 3Txer 프로그램에서 활용하여 진단, 분석, 치료계획(가상 마운팅, 가상 set-up, 가상 bracket 포지셔닝)을 개별 가상 저장 공간을 통해 (주)오라픽스로 송부하면 SLA 방식으로

IDB(Indirect bonding) transfer Jig나 surgical wafer 제작 서비스가 가능하다 (그림 21).

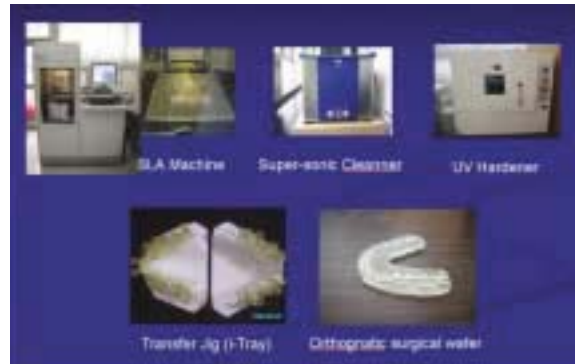


그림 21 치료장치 제작 절차; Jig 또는 Wafer. SLA 방식 (3D Systems) 이며 정밀도는 $\pm 0.02\text{mm}$ 미만 이며 수많은 임상실험을 통해 그 정밀도와 효과가 입증 되었다.

3) 3Tixer 2.0.5 프로그램을 활용한 진단/분석의 예

3Tixer 2.0.5 프로그램을 이용한 환자 진단/분석/치료계획의 예를 예시하였다(저자 주: 의학적 지식이 부족하여 설명을 최대한 줄이고 관련 자료를 나열하였으며, 환자의 개인 정보 보호를 위해 안모 사진은 제외).

(1) 임상 증례 1-상, 하악 제1소구치 발치후 교정치료(그림 22-31)



그림 22 환자 구강내 사진



그림 23 파노라마 방사선 사진



그림 24 디지털 가상치아 모형:3Dxer

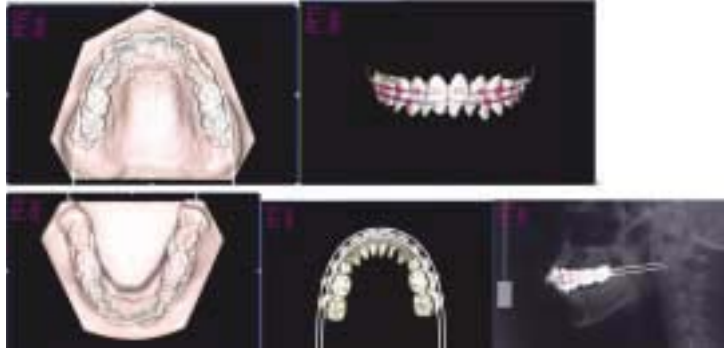


그림 30 가상 치료계획 전후의 중첩 결과. 좌측 상단 그림은 가상 set-up 전후 교합면의 중첩소견이다. 분홍색이 set-up 전, 흰색이 set-up 후 치아 배열이며 set-up 후 치아와 bracket 은 상단 우측 그림이다. 하단은 방사선사진과 가상 set-up 후 3차원 이미지가 중첩된 모습이다. 가상 치아나 가상 bracket을 선택하면 이미지의 좌측 상단(질은 분홍색 글씨)에서 각도와 거리의 변화를 실시간으로 확인 할 수 있다.



그림 31 치료 전후 Ceph 분석 중첩

(2) 임상 증례 2-악교정수술 증례(그림 32-37)



그림 32 구강내 사진



그림 33 Ceph 분석 보고서



그림 34 디지털 치아 가상모형과 방사선사진 영상의 중첩



그림 35 치료전과 술전교정 치료 후의 가상 set-up 비교



그림 36 술후 가상 set-up과 술전 방사선사진의 중첩

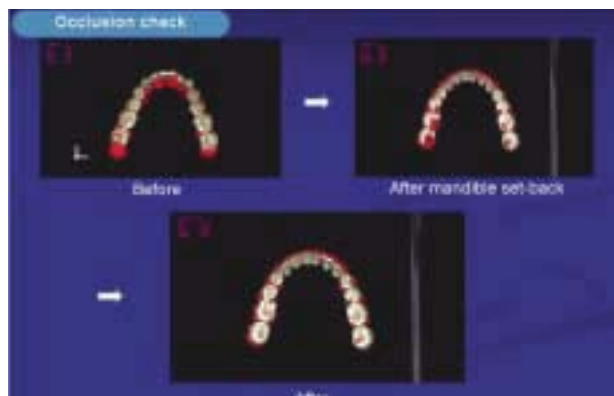


그림 37 치료전, 술후 및 교정치료 종료후의 가상 set-up 교합 검토. 가상 set-up 후 교합면에서 상·하악의 교합관계를 확인할 수 있다. 상·하악을 쉽게 알아 볼 수 있도록 상악 치아를 짙은 붉은 색으로 표현하였다.

4) 3Txe 2.0.5 프로그램과 SLA 장비로 제작한 Jig 사용 증례(그림 38-45)

3Txe 2.0.5 프로그램과 본사에서 보유한 SLA 장비 (Viper 2, 3D Systems) 로 생산한 Jig를 활용하여 치료한 증례 (Dr. Didier Fillion, France, 세계설측교정학회(W.S.L.O) 회장 역임)를 기술하고자 한다.



그림 38 안모 사진



그림 39 구강 내 사진



그림 40 디지털 가상모형

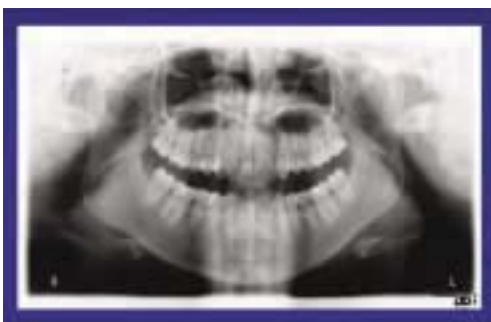


그림 41 파노라마 방사선사진

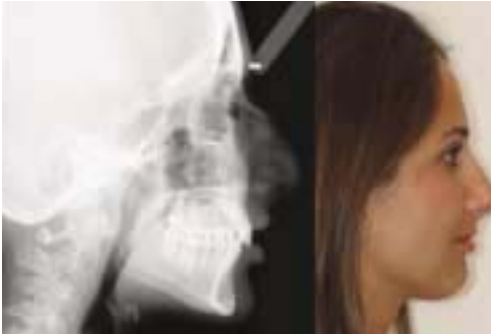


그림 42 측모두부계측 방사선사진과 측모얼굴사진

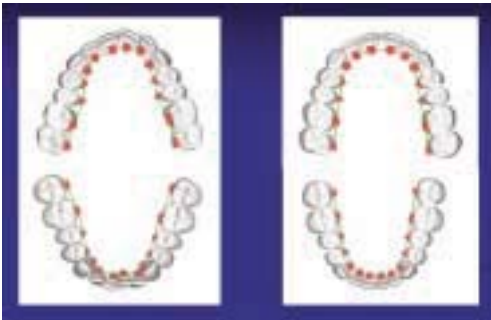


그림 43 가상 치료계획 전후 비교



그림 44 jig를 활용한 bracket 부착



그림 45 가상 set-up과 치료 결과 비교

5. i-Tray –오라픽스 교정용 bracket 간접 부착 시스템

가상 치료계획에 따른 치료를 위해 제공하는 indirect bonding transfer jig 서비스를 “i-Tray” 라고 부른다(그림 46). “i-Tray”는 이미 국내 특허 획득(2건) 을 하였으며 해외 특허 출원 중인 오라픽스 고유 기술로서 해외에는 2년 전부터 상용 서비스를 시작하여 우수성을 입증 받고 있으며 국내 공급을 위해 막바지 준비 중에 있다.



그림 46 i-Tray 서비스 로고

각 부분에 대한 설명 및 관련 그림을 기재하여 이해를 돕고자 하였다(그림 47~49). 아래에 사용된 그림은 2007년도 유럽교정학회에 실린 그림을 발췌하였다.

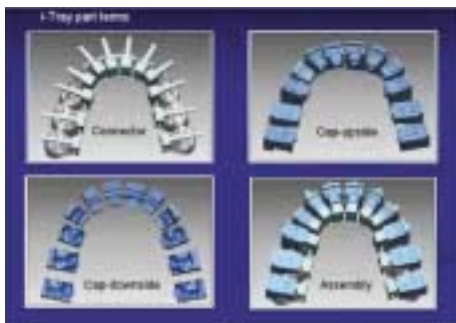


그림 47 “i-Tray” 설계 완성 그림



그림 48 “i-Tray” 부품 명칭:Ormco STb bracket 결찰 상태



그림 49 “i-Tray” 구분 기호

치아 개별 jig는 정확도는 좋으나 상황에 따라 그 사용이 너무 번거로울 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본사에서 공급한 “i-Tray” 를 활용하여 모형에 bracket 부착하고, i-Tray를 제거한 후 실리콘 또는 여타의 방법을 이용하여 단일 몸체의 tray를 제작하여 손쉽게 사용할 수 있다(그림 50).



그림 50 단일 몸체의 실리콘 tray 를 이용한 예

Ⅲ. 결 론

오늘날 CAD/CAM/CAE 기술을 활용한 다양한 제품이 출시되고 있으며 저마다 최고의 제품임을 설명하고 있다. 그러나 사용자들은 갑작스러운 변화와 넘쳐나는 정보 속에서 충분하지 못한 경험 때문에 기술과 제품의 선택에 많은 어려움을 겪고 있으며 주저하고 있는 실정이다. 이에 장시간 동류의 분야에서 연구 및 활동한 경험을 바탕으로 나름대로 자료를 정리하였다.

Ⅳ. 참 고 문 헌

- 백승학, 김기달, 최진영, 성상진. 3차원 디지털 정보를 이용한 교정치료와 악교정수술, 신흥인터넷서널, 2009.
(주)오라픽스(www.orapix.com/www.3d-ceo.com).
- 오창옥. 대한임상치과 교정학 저널 - KJCO 2007년 5월(명문출판사).
- Groover, Zimmers, 1984.