

치열교정치료를 위한 진단 및 치료 소프트웨어

글 박 강¹, 강석진² ¹명지대학교 기계공학부, ²(주)케이씨아이 | ¹kang@mju.ac.kr, ²mechatroman@empal.com

1. 서 론

최근에 CAD/CAM기술이 의료분야에 광범위하게 적용되고 있는데, 그 중에서도 치과분야에서의 성과가 두드러진다. 그 이유는 치과처리가 기계공학적인 가공과 유사한 면이 많기 때문이다. 이번 기사는 치과분야 중에서 치열교정분야에 CAD/CAM기술을 적용하여 많은 공정을 자동화한 사례인 치열교정진단(3Dxer) 프로그램과 치열치료(3Txer) 프로그램을 소개하는 글이다.

그림 1은 기존의 교정치료과정에서 교정장치(브라켓)의 제작 및 장착과정을 보여 준다. 치과에서 제작된 환자의 치아석고모델은 교정용 브라켓을 제작하기 위하여 기공소로 배송된다. 기공소에서는 치아 석고모델을 복사 제작한 후, 교정치료전의 치아를 하나씩 잘라내 분리한다. 이들 치아를 파라핀 위에 가지런히 배열하여 교정치료 후의 목표치열을 완성한다. 이를 치아 셋업이라고 한다.(그림 2 참조) 이 치아 셋업 모델의 치아 위에 브라켓을 위치시키고 브라켓의 치아에 대한 상대 위치를 결정하는 기구(트랜스퍼 지그)를 제작한다. 트랜스퍼 지그와 브라켓은 치과병원으로 배송되고, 치과 의사가 브라켓을 환자 치아에 부착하고 와이어를 연결하여 브라켓 장착을 완료한다.

이런 전통적인 치열교정치료과정에서는 환자의 치아상태를 진단하고 치료계획을 세우기 위해 석고모

델을 측정작업하는 과정이 있다. 그런데 이 과정이 수작업으로 이루어져 번거롭고 부정확하며, 쉽게 구하기 힘든 숙련된 인력을 필요로 한다는 문제점이 있다. 또한 제작된 석고모델을 치료 후에 보관 및 관리하는 것이 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 치아석고모델을 3D 스캐너를 이용하여 디지털 모델로 변환하여 치열교정에 사용하는 방법이 제안되었다.

그림 3은 디지털 치아모델을 이용했을 때의 치아교정과정을 보여준다. 치과에서 석고모델을 제작한 후 3D 스캐너를 이용하여 디지털 모델을 생성하고 이 디지털 모델을 이용하여 치아의 크기, 각도, 그리고 악궁(치아가 들어설 수 있는 턱의 크기, 치아크기에 비해서 악궁이 작을 때 치열이 흐트러 진다.) 등을 측정하는 교정진단을 수행한다. 이러한 기능을 수행하기 위해 3Dxer라는 프로그램이 개발되었다. 그 후 동일한 디지털 치아 모델을 이용하여 치아를 셋업하고 트랜스퍼 지그의 설계 등을 수행한다. 이러한 기능을 수행하기 위해 3Txer라는 프로그램이 개발되었다.

이런 작업이 끝난 후 치아교정장치모델을 제작소에 인터넷을 이용하여 전송하면 제작소에서는 RP 장비를 이용하여 치아교정장치를 제작하여 치과의원으로 배송한다.

이러한 디지털 모델을 이용한 치열교정과정은 기존

의 많은 수작업 공정을 컴퓨터 프로그램으로 자동화하여 작업능률을 높이고, 시뮬레이션을 통하여 결과를 미리 검증함으로써 시행착오를 줄일 수 있다.

2. 기존의 치열교정 치료과정

여기서 설명할 치열교정진단(3Dxer) 프로그램과 치열교정치료(3Txer) 프로그램을 이해하기 위해서 기존의 치열교정치료과정을 살펴볼 필요가 있다. 이들 공정중의 많은 부분이 두 프로그램에 의해서 구현되었다.

치열교정 치료는 다음의 과정을 거쳐서 실시된다.
1) 상담: 치과의사는 환자와의 상담을 실시하여 치료 과정에 대한 설명을 한다.

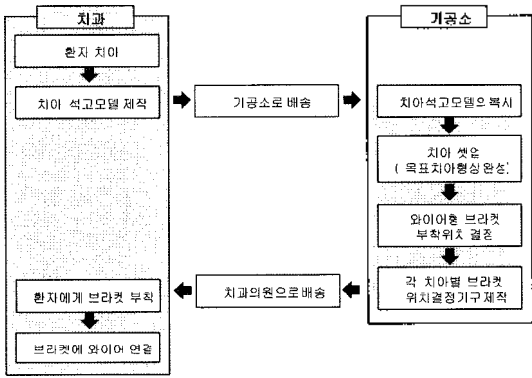
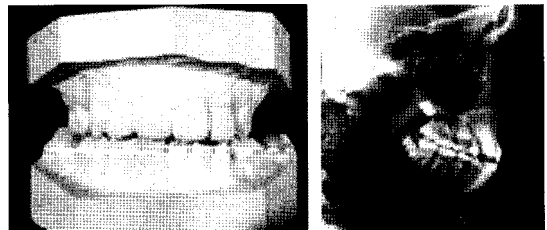


그림 1. 전통적 교정치료 과정



(a) 치아석고모델 (b) X선 측면사진

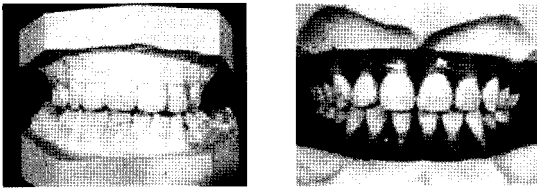
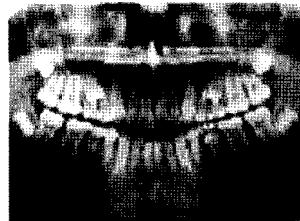


그림 2. 교정치료를 위한 셋업과정



(c) X선 파노라마 사진

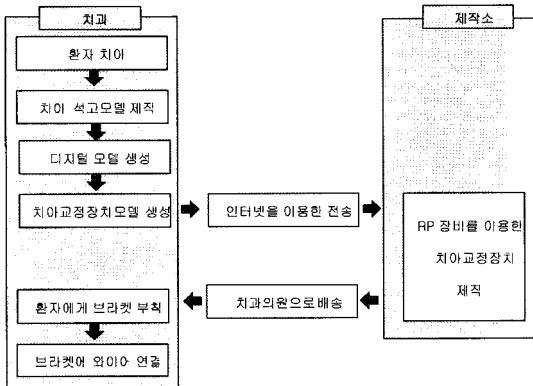
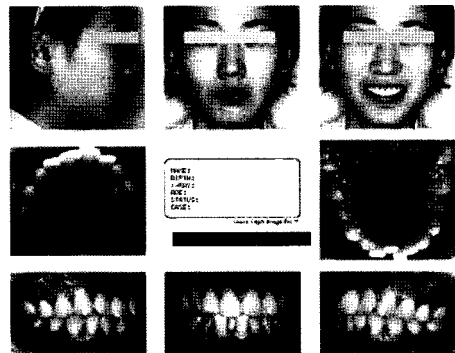
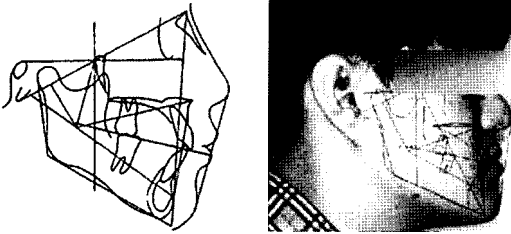


그림 3. 디지털치아모델을 이용한 교정치료과정

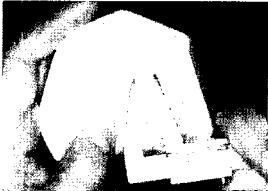


(d) 구강 내 사진

그림 4. 치열교정치료를 위한 진단을 위해 준비되는 자료

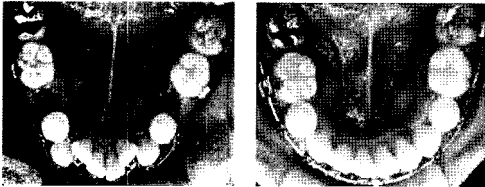


(a) 세팔로를 이용한 교정 진단



(b) 치아 석고모형을 이용한 치아크기 측정

그림 5. 치열교정 진단 과정



(a) 발치 후 브라켓이 (b) 치열이 교정된 치아

그림 6. 교정치료 전후의 치열 비교

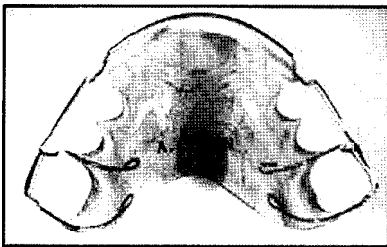


그림 7. 교정치료 후에 사용되는 리테이터

- 2) 진단준비: 환자 치아의 현재 상태를 진단하기 위하여 환자 치아의 석고모형을 제작하고, 두부방사선 규격사진과 파노라마 사진을 찍는다. 환자의 정면, 측면 사진과 구강 내 사진을 촬영한다(그림 4).
- 3) 진단: 세팔로를 이용하여 교정 전후의 옆모습을 분석하고 치료계획을 수립한다. 또한 치아 석고모형을 이용하여 각 치아의 크기와 악궁의 크기를 측정하여 발치할 치아를 선정하는 등의 치료계획을 수립한다. [그림 5] 3Dxer가 진단부분을 컴퓨터에서 구현하였다.
- 4) 발치 및 충치 치료를 실시한다.
- 5) 장치제작: 기공소에서 브라켓을 제작한 후, 치과병원에서 환자의 치아에 부착한 후 와이어를 연결하여 장치장착을 완료한다. [그림 6] 3Txer가 장치의 설계 및 제작부분을 컴퓨터에서 구현하였다.
- 6) 월치료: 매일 환자는 치과병원을 방문하여 치료를 한다.
- 7) 디분당: 치열이 제자리를 잡은 후 브라켓을 제거한다.
- 8) 리테이너 착용: 치아가 완전히 자리잡을 때까지 환자는 리테이너를 착용한다. [그림 7]

3. 3D 치아스캐너의 개발

치아석고모델로부터 치아 디지털 모델을 생성하기 위해서 3D 치아스캐너를 개발하였다. 3D 치아스캐너는 치아의 측정방향을 회전시켜 바꾸어주는 회전테이블과 직선이송장치로 이루어져있다. 회전테이블은 현재 2자유도와 3자유도를 가지는 모델들이 있으며 계획된 측정경로에 따라 석고모형의 측정자세를 바꾸어준다. 좌표 측정방식은 레이저 슬릿광과 카메라를 이용한 삼각측정법을 사용하였다.

측정장치의 정밀도를 향상시키기 위해서는 보정과정이 필수적이다. 카메라의 외부 파라미터(위치 및 자세)와 내부 파라미터(초점거리, 렌즈의 왜곡 등)의 값을 자동으로 찾아내는 프로그램도 개발되었다.

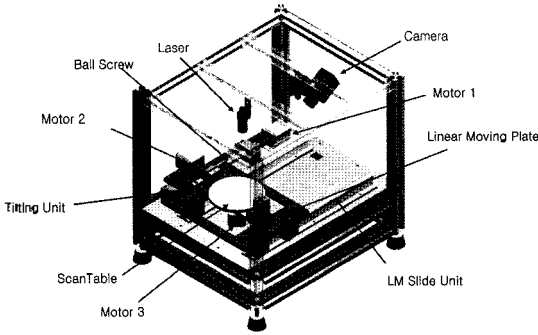


그림 8. 삼차원 치아스캐너의 구성

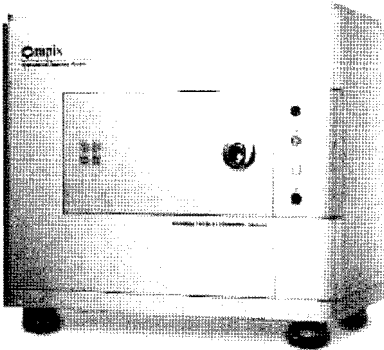


그림 9. 치아석고모델 3차원 스캐너

그림 9에 있는 탁상용 3D 치아스캐너는 스캔 가능 범위가 100x100x 50 mm 이고, 측정정밀도가 이고, 1 개의 석고모델을 측정하는데 약 7분 정도 소요된다.

4. 3Dxer

4.1 치아형상의 시각적 진단

현재 치과병원과 치과기공소에서 이루어지는 치열 교정치료는 ①진단, ②치료장치제작, ③치료의 3단계 로 이루어지고 있는데, 이들 대부분의 과정이 수작업

에 의존하여 이루어 진다.

상기 세 단계의 과정에서 진단은 환자 자료 분석을 통해 환자의 문제점을 찾아내는 과정이다. 즉, 치아의 크기와 각도 측정, 악궁의 크기 계산과 같이 석고모델의 측정과 관련된 작업이 수반된다. 또한 진단과정은 필요한 자료와 기록을 보관하여 언제든지 필요한 곳에 사용이 가능하도록 관리하는 의미도 함께 내포 하고 있다.

진단 프로그램인 3Dxer는 기존의 치아석고모델을 직접 측정하던 번거로운 진단과정을 컴퓨터와 3차원 디지털 치아 데이터를 활용하여 손쉽고 정확하게 진단의 업무를 하도록 구현한 프로그램이다. 3Dxer를 사용함으로써 손쉽고 짧은 시간에 진단과정이 완수되고 결과보고서도 자동으로 생성 보관되므로 자료 보관이 손쉬워지는 장점이 있다.

그림 10은 프로그램 내에서 환자의 디지털 치아 데이터를 불러온 첫 화면이다. 진단에 있어 의사의 시각적 진단이 가장 많은 정보를 제공하는데 이 화면에서 의사는 치아모델의 방향을 이리저리 바꿔봄으로써 시각적 진단을 가능하게 해준다. 한 화면에 환자 치

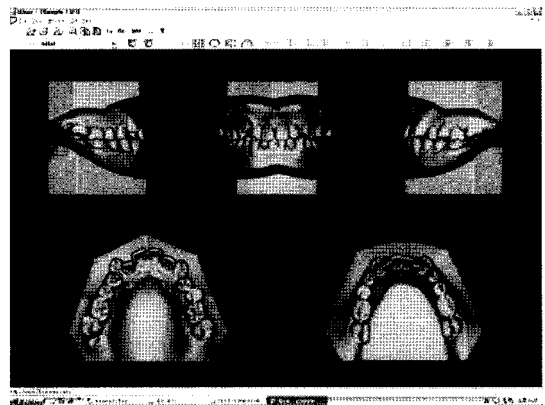


그림 10. 갤러리 보기

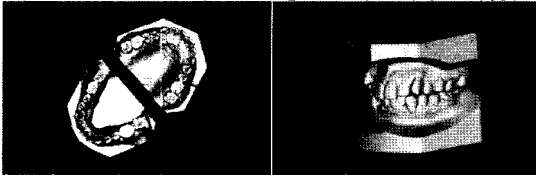


그림 11. 펼쳐보기

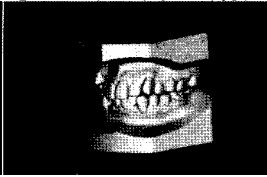


그림 12. 교합보기

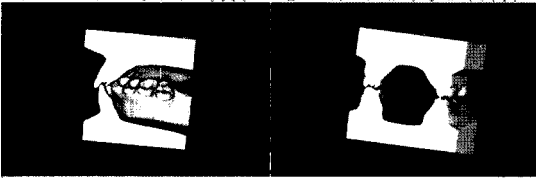


그림 13. 측면단면보기

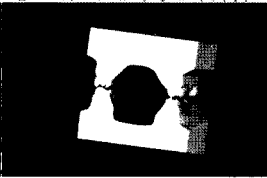


그림 14. 정면단면보기

아의 구강내 모습을 여러 각도에서 표현하여 상악/하악 치아의 관계와 문제점을 손쉽게 관찰 할 수 있도록 하였으며 모든 화면은 그림화일 bmp로 변환 및 저장을 하여 필요한 곳에 자료로서 활용 가능하도록 하였다.

그림 11은 펼쳐보기 화면이다. 상악/하악의 관계를 3차원으로 자유롭게 돌려보며 내부(설측면)에서 바라 보며 대칭 여부, 치아의 손망실 여부, 치아 형태 등을 관찰 할 수 있도록 하였다. 그림 12는 교합보기 화면이다. 상악/하악의 관계를 3차원으로 자유롭게 돌려보며 자세히 관찰할 수 있도록 하였다.

그림 13은 측면단면 보기화면인데, 교합보기(그림 12)에서 상악/하악의 관계를 내부(설측면)에서 좀더 쉽게 관찰할 수 있도록 단면 기능을 두었다. 이곳에서는 앞니의 수직/수평적 관계와 어금니 부분의 접촉 관계에 대한 진단이 가능하다. 그림 14는 정면 단면 보기화면인데, 구치부(어금니)의 수직/수평적 관계에 대한 관찰 및 진단이 용이하도록 하였다.

4.2 치아형상계측

3Dxer는 치아형상을 계측할 수 있다. 시각적 진단 이후 실제 환자의 치아 모형에서 각각의 치아를 계측하여 정량적 진단을 할 수 있다. 그림 15는 어금니 치아의 폭을 측정하는 화면이다. 각 치아의 폭을 측정함으로써 발치해야 할 치아의 종류와 개수 등을 찾아 낼 수 있다.

그림 16은 교합평면을 측정하는 과정이다. 3차원상에 기준 평면으로부터 치아의 관계(높이차)를 분석할

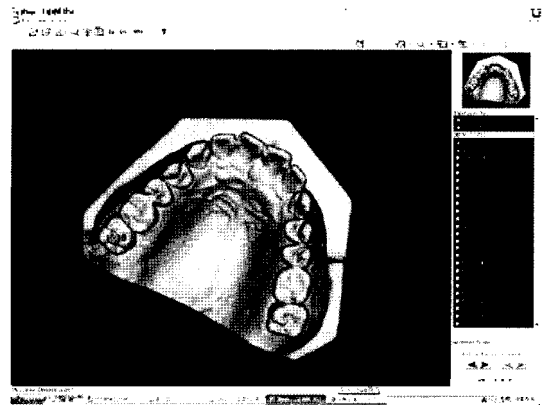


그림 15. 치아 폭 측정 기능

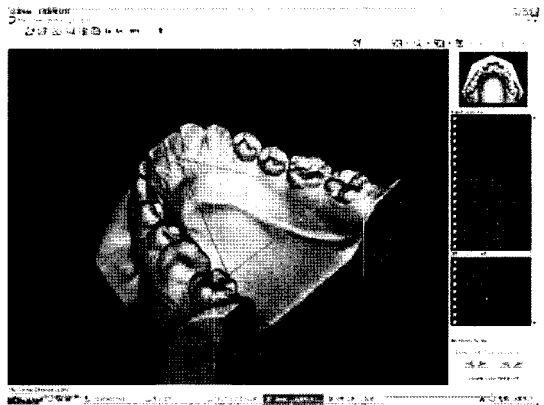


그림 16. 교합평면의 측정

수 있다. 교합평면이라 함은 상악과 하악이 서로 닿아 형성되는 공간상의 가상 평면을 의미한다. 이 평면은 환자마다 다르므로 각각의 경우에 모두 적용이 가능하여야 하며 치열교정치료에 있어 아주 중요한 기준이 된다.

Name		한상엽 (M)		Chart No. (Empty)		Time Point		Initial					
1. Tooth Size													
7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
11.0	7.5	6.9	5.9	4.9	7.9	8.7	8.5	8.5	6.8	7.3	8.4	11.9	3.1
	11.6	7.9	8.0	7.3	6.1	5.8	6.3	6.1	6.8	5.4	8.0	11.6	11.3
2. Ratio													
1. Sum Of Incisor													
UI LI = 4 3 33.7 24.3 = 4 2.9													
2. Bolton Tooth Ratio Analysis													
ORB = (lower 6 to lower 5)/(upper 6 to upper 6)*100 = 90.8 / 93.3 * 100 = 97.3%(Std 91.3%)													
ARB = (lower 3 to lower 5)/(upper 3 to upper 5)*100 = 38.3 / 45.4 * 100 = 84.6%(Std 77.2%)													
3. OverBite - OverJet													
OverJet 2.7					OverBite 1.0								
4. ALD													
Arch Length Discrepancy (Upper) = AS - RS = 50.0 - 73.9 = -23.9 (mm)													
Arch Length Discrepancy (Lower) = AS - RS = 50.0 - 67.6 = -17.6 (mm)													
5. Classification													
Rt Molar: 0.0 (mm)					Canine: 0.0 (mm)								
Lt Molar: 0.0 (mm)					Canine: 0.0 (mm)								
6. Howe's Analysis													
PMBAW/TM * 100 = 0.0/93.3 * 100 = 0.0(%)													
7. Arch Width													
Inter canine Width			Upper: 0.0 (mm)			Lower: 0.0 (mm)							
Inter molar Width			Upper: 0.0 (mm)			Lower: 0.0 (mm)							
8. COS													
Curve of Spee			Left: 0.4 (mm)		Right: 0.4 (mm)		Average: 0.4 (mm)						

그림 17. 분석결과 보고서

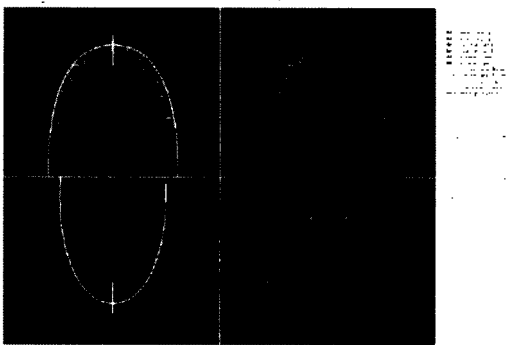


그림 18. 치료완료 후의 치열배열의 예측

그림 17은 분석결과를 리포트 형식으로 저장 및 출력한 그림이다. 즉, 그림 6과 7에서 계측한 자료는 자동으로 분류 및 계산이 되어 의사가 환자의 상태를 쉽게 알아 볼 수 있도록 해 준다.

4.3 치열교정 결과 예측

그림 18은 교정치료 후의 치열을 예측하는 과정이다. 3차원 디지털모형의 단면으로부터 얻어진 2차원적 그림을 이용하여 치료 후 치열의 결과를 예측해 볼 수 있다. 치열 교정치료는 그 기간이 2~3년이 소요되므로 치료 후 결과 예측이 아주 중요하다. 이 외에도 치료전 환자 상악/하악 치아의 동적인 관계를 시뮬레이션 함으로써 간섭관계나 예측 되어지는 문제를 미리 알아 볼 수 있는 기능이 있다.

5. 3TxeR

5.1 3TxeR 프로그램의 필요성

앞서 설명하였듯이 치열교정치료는 장기간의 치료 기간이 소요된다. 따라서 초기 정확한 진단과 치료의 목표 및 방향 설정 그리고 올바른 치료를 진행 하여야 빠른 시간 내 좋은 치료 결과를 얻을 수 있다. 이를 위해 수작업으로 치료결과를 예측(Setup)하고 이를 활용한 치료장치를 제작하여 치료에 활용하고 있었으나 수작업으로 인한 치료 예측과 제작된 치료장치의 부정확함, 일정하지 않은 장치물의 품질, 그리고 높은 비용 때문에 많은 의사들이 실제 치료에 활용을 원할히 하지 못하고 있는 실정이었다.

이러한 문제를 해결하고 실현하기 위해 3TxeR 프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램에서는 치료결과 예측 뿐만이 아니라 컴퓨터를 이용해 정확히 예측된 치료결과를 바탕으로 치료에 도움이 될 수 있는 장치까지 설계가 가능하다. 설계된 데이터를 CAM 장비를 이용하여 제작하여 실 치료에 활용이 가능하도록 하였다.

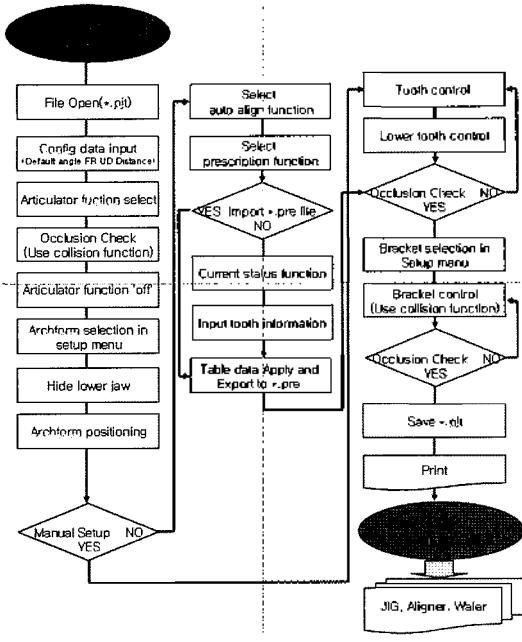


그림 19. 3Txxr 과정

그림 19는 3Txxr 프로그램을 이용하여 치료결과를 예측하고 치료장치를 설계하는 과정을 도식화 한 것이다. 모든 치아와 치료장치를 개별로 조절하여 치료 결과를 예측하는 수작업 기능과 부가적 장치나 정보를 이용하여 좀더 쉽고 빠르게 치료결과를 예측하는 자동 셋업(Setup) 기능이 있다.

5.2 교정치료를 위한 시뮬레이션

그림 20은 3Txxr의 교합기 시뮬레이션을 보여준다. 초기 환자 데이터를 열고 교합기(Articulator)를 이용하여 환자 턱 관계와 움직임을 구현해 볼 수 있다. 머리 부위에서 모든 사람의 턱은 고유의 상대적 자세를 갖고 있으며 이에 따라 아래턱(하악)의 움직임도 다르게 나타난다. 사람마다 다른 하악의 움직임에 적합한 치료 전후 동적 평가를 위해 병원과 기공소에서 고가

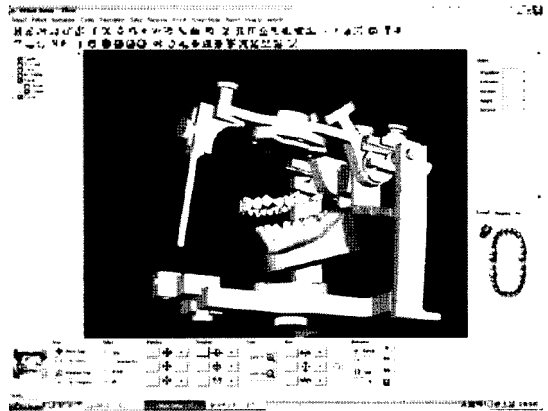


그림 20. 교합기 시뮬레이션

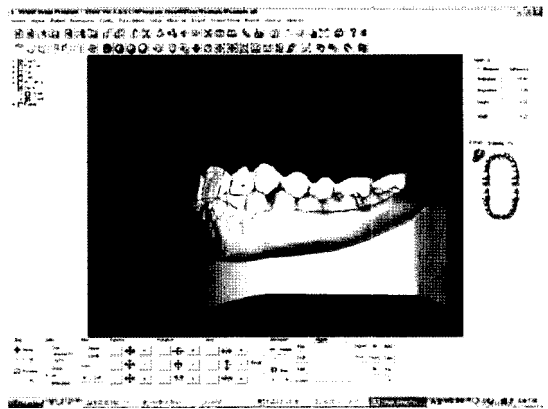


그림 21. 치아지세 조절

의 장비를 이용하 있으며, 실제 치료 결과에 큰 영향을 주고 있으나 주관적인 요소가 많이 있어 아주 정확한 결과를 예측 하기에는 어려운 실정이다. 이를 컴퓨터 기술을 이용하여 간편히 적용하고 더 많은 정보를 손 쉽게 획득할 수 있도록 하였다.

화면상의 모든 물체(치아, 치료장치)는 공간상의 6 자유도의 움직임을 구현 할 수 있다. 또한 미세한 조절을 위해 사용자의 선택사항에 단위 움직임의 양을

최소 0.01(거리/각도: 미터법)까지 조절이 가능하도록 하였다.(그림 21 참조)

그림 22는 자동배열 기능 후에 치료 전과 후(흰색)을 비교한 그림이다. 치료 전후 변화된 양(거리/각도/높이), 치료 장치의 정보(거리/각도/높이) 등을 한눈에 알아 볼 수 있으며 치료전과 후를 동영상으로 재현하는 기능을 통해 의사에게는 치료 과정에 필요한 정보를, 환자에게는 높은 이해를 구할 수 있다.

그림 23은 충돌검사 기능을 수행한 결과이다. 컴퓨터상의 데이터는 실물과 달리 각 개체가 닿는 부분에서 움직임이 멈추게 하는 것이 어렵다. 단순한 형상일 경우 프로그램상으로 경계조건을 부여할 수 있으나 인체 장기처럼 복잡한 형상에는 이러한 기능의 구현이 어려운 일이다. 이에 사용자가 시각적 정보를 최대한 활용하여 동작을 제어할 수 있도록 실시간 충돌검사 기능을 부여하였다. 선택되어 움직이는 물체가 다른 물체와 닿는 부분이 실시간 붉게 표현됨으로써 사용자에게 유용한 정보를 전달하는 기능이다. (그림 23에서는 왼쪽 송곳니와 앞니 쪽에 충돌이 감지되었다.)

5.3 교정치료장치의 설계 및 제작

교정치료장치를 제작하기 위해서는 브라켓의 부착 위치를 결정해야 하고 치과의사가 브라켓을 정확한 위치에 장착할 수 있도록 하는 지그를 제작해야 한다.

그림 24 브라켓의 위치를 결정하는 기능을 보여준다. 치료 후 치열의 자세를 조정한 후 치료용 브라켓의 위치를 주어진 부가적 정보(와이어 데이터 등)를 이용하여 올바르게 조절한다. 브라켓의 위치는 치료 시 치료용 철사의 탄성력을 치아에 전달하는 지점이

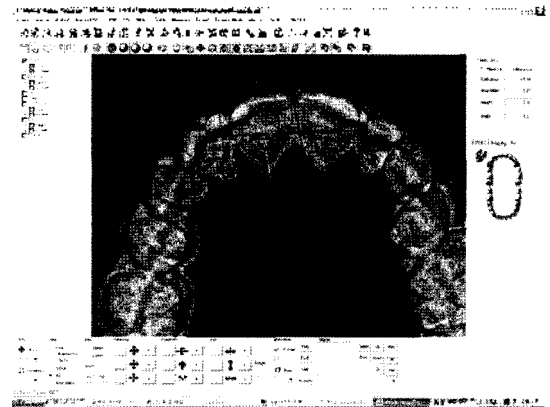


그림 23. 충돌 검사

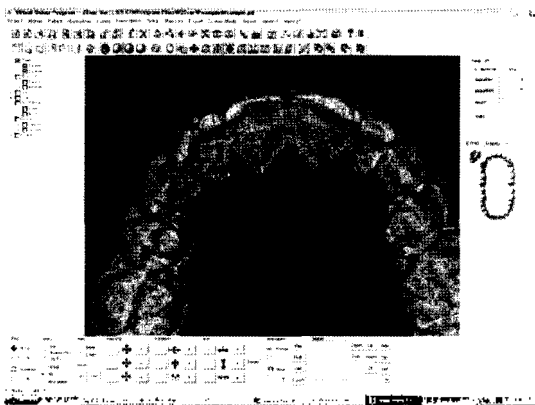


그림 22. 교정 전후의 비교

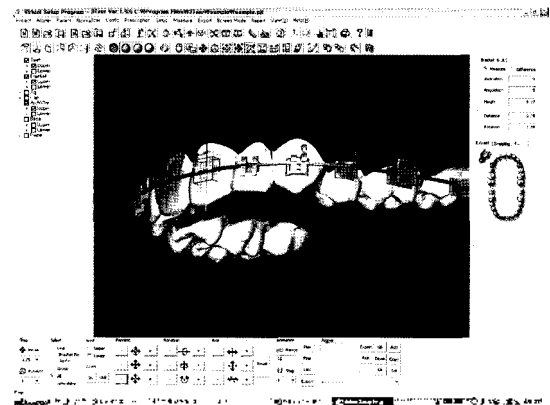


그림 24. 교정치료를 위한 브라켓 위치 결정

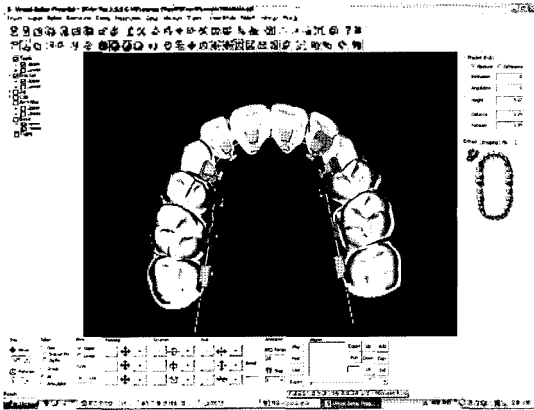


그림 25. 설측교정을 위한 브라켓 위치 결정

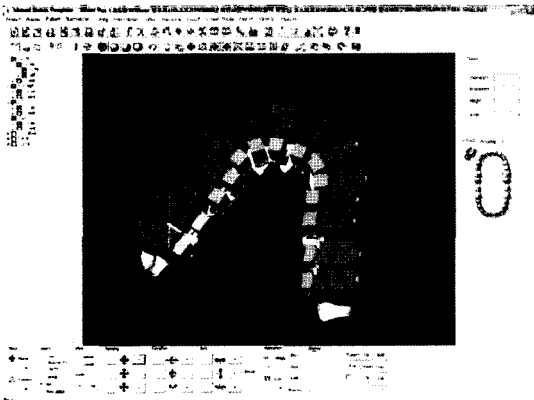


그림 26. 브라켓 트랜스퍼 지그의 설계

되므로 아주 중요하다.

지금까지 브라켓의 부착은 의사가 직접 환자의 치아에 부착하여 치료하는 것이 대부분이었으며

이로 인해 치료 결과와 치료 시간 및 비용에 큰 영향을 끼치고 있었다. 그림 25는 브라켓을 치아 안쪽에 붙이는 설측교정을 위한 브라켓위치 결정기능을 보여준다.

컴퓨터상에서 정확한 치열의 배열(Setup)과 브라켓

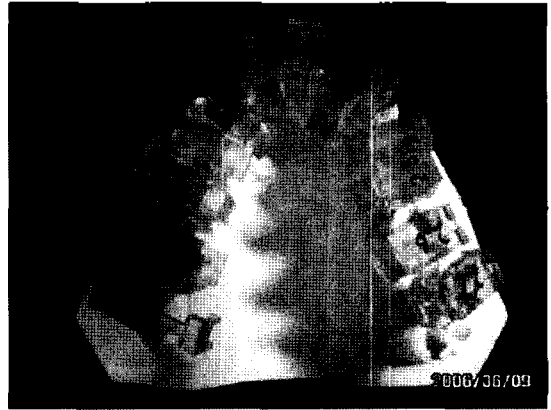


그림 27. RP 장비를 이용하여 생산된 트랜스퍼 지

의 위치가 정해졌다 하더라도 이를 실제 환자의 치료에 적용하지 못하면 지금까지의 작업의 효과가 반감될 수 밖에 없다. 이에 치아와 브라켓의 상대적 위치 정보를 실제 환자에게 재현할 도구인 지그를 설계하여 CAM 장비로 생산하여 활용할 수 있도록 하였다.

그림 24는 3Txc에서 설계한 트랜스퍼 지그를 보여주고, 그림 25는 RP 장비를 이용하여 생산된 트랜스퍼 지그를 실제 환자의 치아 석고모형에 장착한 그림이다.

5. 결론

본 기사는 기존의 치열교정치료과정을 CAD/CAM 기술을 이용하여 사용하기 쉽고 정확한 치료가 가능하게 만든 사례를 소개하였다. 3Dxc와 3Txc 프로그램은 기존에 수작업으로 수행하던 측정과 셋업을 시뮬레이션을 이용하여 컴퓨터 상에서 편리하고 정확히 수행할 수 있었다. 브라켓과 트랜스퍼 지그의 설계와 제작도 수행하여 석고모델제작에서 브라켓 장착까지의 치열교정의 전 과정을 프로그램화 하였다. 또한 석고모델을 디지털모델로 변환하여 저장 및 관리가 손쉬워지고 파손 및 망실의 위험에서 벗어나게 되었다.

앞으로 본 프로그램을 통한 치열교정 작업건수가 많아지면 유익한 의료데이터가 축적이 되어서 한국사람의 치아형상에 대한 표준데이터가 만들어져서 앞으로 치과기구를 국산화하는데 그 정보를 활용할 수도 있을 것이다.

참고문헌

1. 류희욱, 박 강, “자동교시 알고리즘을 이용한 3차원 스캐너 개발”, 명지대학교 석사학위논문, 2001.
2. K.S. Fu, R. C. Gonzalez, C.S.G. Lee, “Robotics: control, sensing, vision, and intelligence”, McGraw Hill, 1987.
3. 서영준, 박 강, “원격지 제어를 위한 3차원위치 측정기 개발”, 명지대학교 석사학위논문 1999.
4. Gonzalez, R. C. and Wintz, P., Digital Image Processing, 1987, Addison Wesley.