

# 3차원 Digital program을 이용한 Model 분석

연세대학교 치과대학 교정학교실

황충주, 차정열

최근 3차원 영상을 이용한 진단방법이 빠르게 개발되고 있으며 그중 환자의 치열분석에 필요한 모형분석은 이미 실용화에 성공하여 임상적으로 사용되기 시작하였다. 모형분석은 환자의 치열분석을 위한 가장 기본적이고 중요한 정보를 제공하며 치료의 진전여부를 확인하기 위해서도 필요하다. 또한 진단 및 치료계획을 환자나 보호자에게 설명할 경우 유용하고 치료전, 후 평가 시에도 필요한 진단 정보를 제공한다. 이전의 모형분석이 3차원의 모형에서 이루어졌듯이 디지털 모형분석에서도 기본적인 계측방법과 진단원리가 적용된다.

## A. 모형분석

모형분석은 크게 치열궁의 형태 및 대칭분석 공간분석 그리고 치아크기분석으로 나누어 생각할 수 있다.

### 치열궁형태 및 대칭분석

환자의 치열궁의 형태를 결정하기 위해서는 우선 치열궁의 형태적 특성을 이해해야 한다. 치열궁의 형태와 크기는 안모의 크기 및 형태와 상관성이 있으며 모든 환자마다 서로 다른 악궁의 형태가 존재하기 때문에 교정치료 시 환자의 원래의 악궁의 형태를 유지하여 치료 후의 안정성을 높일 수 있다.

그러나 악궁의 형태를 결정하기 위해서는 상악과 하악에서 치열궁 형태 부조화를 고려해야 하며 상악이나 하악이 악궁의 절대적인 기준이 될 수 없기 때문에 어려운 점이 있다. 상악이 협소한 경우 하악궁이 기준이 될 수 있고 양쪽 악궁에 부조화가 있는 경우 하악치열궁을 기준으로 삼는다. 비교적 하악치열궁이 기준이 되는 경우가 흔하지만 악궁내 습관으로 인한 치열의 변형이 존재하거나 하악구치 부위가 심하게 설측으로 경사되어 있는 경우 상악궁

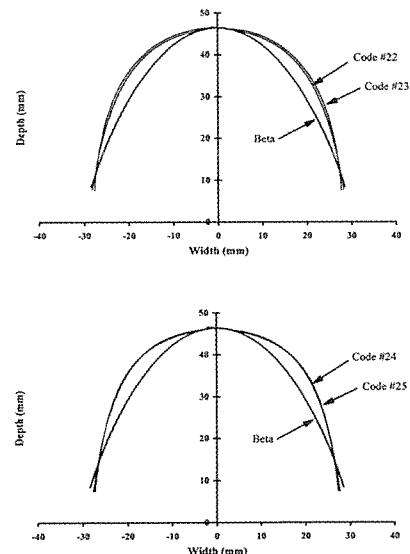


그림 1. 상하악 preformed arch(Tru-form)

의 형태를 기준으로 하악궁의 형태를 변형시킬 수 있다.

치료를 위해 개개인의 치열궁형태를 분류하여 최소한의 preformed arch를 사용하는 것이 편리한데 Roth의 Tru-arch, Richetts의 pentamorphic arch, MBT arch form 등이 개발되었으나 술자는 사용 시에 환자의 악궁형태를 고려하여 호선상에 약간의 변형이 필요하다는 것을 고려해야 한다(그림 1). 악궁의 비대칭분석은 격자판을 모형위에 올려놓아 평가할 수 있으며 악궁내 비대칭이 존재하는 경우 골격적인 비대칭 유무를 감별하는 것이 필요하다.

### 공간분석

환자의 치열에 총생 및 공간여부를 평가하기 위해서 배열가능한 공간(available space)과 배열에 요구되는 공간(required space)에 대한 분석이 필요하다. 배열가능한 공간은 제1대구치 근심면에서 반대쪽 대구치의 근심면까지의 접촉점을 연결한 악궁의 둘레길이이다. 보통 치열궁을 부위별로 나누어서 직선으로 계측하거나 Brass wire를 악궁형태에 맞추어 구부린뒤 다시 펴서 계측하는 방법이 있다(그림 2). 중절치의 가장 돌출된 부위가 악궁의 형태로 계측할 필요가 없는데 공간분석 전에 환자의 치아의 대부분을 반영할 수 있는 악궁형태를 결정함으로써 이와 같은 문제점을 보완할 수 있다.

치료시에 발생될 수 있는 총생과 공간의 양을 미

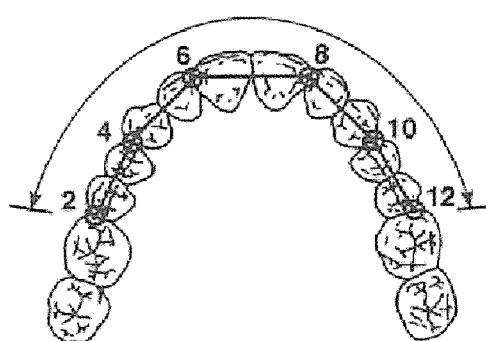


그림 2. 구획별 available space 계측방법

리 예측해서 보통 다음과 같은 공식으로 치아의 공간 분석을 시행한다.

$$\text{Arch length discrepancy} = \text{Available space} - \text{Required space}$$

만약 하악에 스피만곡을 폐기 위해서는 공간이 필요하게 되며 3mm정도의 만곡에는 1mm의 공간이, 4mm정도의 만곡에는 1.5mm의 공간이, 5mm 이상의 커브에는 2mm정도의 공간이 추가적으로 더 필요하다. 그러나 치아의 근원심형태와 접촉점의 위치에 따라 약간의 차이가 있을 수 있다. 또한 전치부 치축의 조절이 필요한 II급 2류 부정교합 환자의 경우 4전치에 5°정도의 토오크를 부여하게 되면 전치부사이의 접촉점이 후방으로 이동하여 1mm 정도의 추가적인 공간을 고려해야 한다. 반대로 악궁의 확장이 필요한 경우에는 1mm정도의 구치부 확장 시 0.5mm정도의 공간이 악궁내에 발생한다는 점을 고려하여 공간분석을 시행한다.

### 치아크기분석

교정치료를 마무리할 때 종료 시에 훌륭한 교합을 얻기 위해서는 상악과 하악의 근원심 치아크기 간에 조화를 이루어야 한다. 보통 치아크기 부조화는 측절치가 peg형태인 경우 쉽게 예측하여 치료 전에 보철치료를 고려할 수 있으나 대부분의 경우 쉽게 파악할 수 없으므로 정확한 치아계측을 통해 치료결과에 미칠 수 있는 부조화에 대한 대책을 세워야 한다.

Bolton ratio는 이러한 상악하악의 치아크기부조화를 예측할 수 있는 지표로써 12치아의 경우 상악 전체치아(제1대구치-제1대구치)의 근원심폭경의 합 대 하악 12치아의 근원심 폭경의 합의 비율(overall ratio)을 통해 치아크기부조화를 계측한다. Bolton에 의하면 12치아의 전반적인 치아크기비율은 87.5에서 94.8사이에 존재하며 평균값은 91.3( $SD=1.91$ )으로 만약 이 수치보다 큰 경우 상악치아가 하악치아에 비해 상대적으로 작은 것이며 반대의 경우 상악치아가 더 크다고 볼 수 있다. 6전치를 이용하는 경우 하악 6전치의 근원심 폭경의

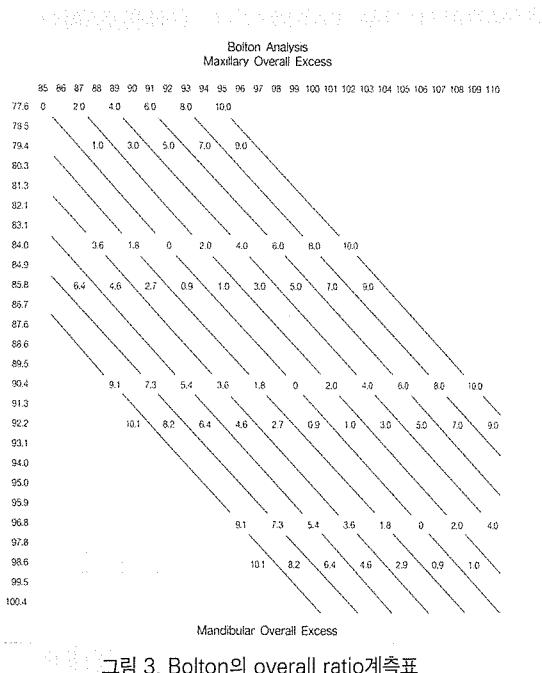


그림 3. Bolton의 overall ratio 계측표

합에 대한 상악 6전치의 근원심 폭경의 합의 비율(anterior ratio)은 77.2%로써 전치의 치축경사가 정상이고 구치부 치아크기부조화가 없다면 정상적인 overbite과 overjet을 이를 수 있다고 예측할 수 있다. 상악과 하악의 치아크기부조화의 양은 Bolton이 개발한 표를 이용하면 쉽게 구할 수 있다(그림 3). 만약 상악 구치부가 95mm이고 하악이 84.9mm인 경우 위의 표를 사용하여 양악간에 2mm정도의 치아크기부조화가 존재하는 것이며 표에서 정상(0) 대각선에 우측에 존재하므로 상악치아가 크다고 생각할 수 있다. 진단 시 치료 종료시에 전치부의 돌출도가 증가할 수 있다는 것을 예상해야하며 필요한 경우 상악치아의 striping으로 문제를 해결해야한다. 물론 반대의 경우 치아에 레진을 첨가하여 크기를 증가시킬 수 있고 치축을 증가시키거나 변화시켜 치아크기가 적은 악궁의 perimeter를 증가시켜서 치아크기부조화를 보상할 수 있다.

## B. 3차원 모형의 장점

3차원 모형의 특징은 데이터가 디지털화 되어 있

기 때문에 전송과 저장이 용이하여 최소한의 공간에 효율적으로 정보를 저장하고 분류할 수 있을 뿐 아니라 술자가 원할 때면 최소한의 시간으로 검색하여 임상에 참고할 수 있다. 뿐만 아니라 컴퓨터 상에서 재현된 3차원모형은 치아를 이동시킬 수 있도록 분리할 수 있기 때문에 이런 모형을 만들어서 진단과 치료계획에 응용할 수 있다(표 1).

표 1. 3차원 디지털 모형과 석고모형의 특성비교

	Plaster	Digital Model
저장	Space-consuming	Digital
목록편집	Separate paper charts	Digital
검색	Manual, time consuming	Immediate
정보공유	Require duplication and physical delivery	E-mail
진단	Manual gauge	Digital caliper, formulas
파손	Often	Never
정보손실	Often	File backup
다른 특징	Dust, disposal problem	Notes, presentation tools

## C. 3차원 모형의 정확성

Laser scan으로 제작된 3차원 진단모형의 계측치 오차에 대한 연구는 주로 석고 모형과 디지털 모형의 계측치에 대한 오차를 통해 검증되었으며 유의성 있는 차이가 보고되었다. Santoro는 76개의 모형에서 치아폭경과 폐개도를 계측한 결과 디지털모형에서 더욱 작은 수치를 나타내었다고 보고하였고 그 차이는 0.16~0.49mm정도로 미비한 수치였다. 오차의 이유를 디지털계측방식에서는 확대기능을 이용하여 선택된 평면간의 거리를 통해 치아의 근원심폭경을 계측하기 때문에 사용자의 숙련도와 기호에 따라 전통적인 방식에 비해 정확도가 변할 수 있으며, 디지털모형을 제공하는 사무실로 rubber impression을 보내는 과정 중에 일어날 수 있는 수축에 의해 일어난다고 보고하였다. 박과 장은 35명의 환자의 모형을 스캔하여 계측치간의 오차를 검증하여 데이터를 입력하는 방식에 따라 부위별 오차가 생길 수 있다고 보고하였다. Laser 스캔의 경우 line angle이 만나 이루어지는 교두정에 있어서 등글게 변형되는 현상이 보고되었고 계측상의 오차

는 0.03~0.16mm의 범위로 보고하여 임상적으로 문제는 없다고 생각된다. 재현도 평가 있어서도 접촉점의 협설축 위치에 따라 상의 외곡이 생길 수 있음이 보고되었고 치아계측치의 경우 디지털 모형이 석고모형보다 작게 계측되는 경향이 있으며 치열궁이나, 견치, 구치간 폭경에서는 크게 계측되는 경향이 있음이 지적되었다.

#### D. 스캔방식

석고모형을 3차원 디지털 모형으로 재현하는 방법에는 파괴식, 접촉식 및 비접촉식으로 나뉘며 파괴식은 contrast media에 매몰시킨 석고 모형을 선반으로 조금씩 삭제하여 보이는 석고단면을 스캔한 후 이를 3차원으로 재구성하는 방식이고, 접촉식은 stylus가 모형의 표면을 따라가면서 3차원 영상을 얻는 방식이다. 마지막으로 비접촉식은 빛이나 레이저를 사물에 조사한 후 반사광을 측정하는 방식으로 가장 빠르고 간단한 방식으로 요즘 널리 선호되고 있는 방식이다. 현재 널리 상용화되고 있는 3차원 진단모형 프로그램은 미국의 SurSmile®과 OrthoCAD®, 그리고 국내에서 개발된 3Dxer®프로그램이다.

#### SureSmile®

환자의 구강내에서 직접 스캐너(OraScanner,

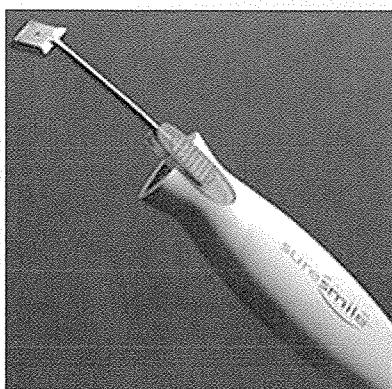


그림 4. Suresmile의 구강내 스캐너

OraMetrix,Dallas, Tex)를 이용하여 치열의 3차원 영상을 습득하는 과정으로 시작되며 구강내에서 얻어지는 영상들은 개인 컴퓨터 프로그램상에서 중첩과 최적화과정을 통해 실시간으로 재구성되어 3차원 모형을 구성한다. 구강내 스캔시간은 양악을 기준으로 30~40분정도 걸리는 단점이 있으나 획득한 3차원 영상을 통해 환자의 모형분석뿐 아니라 측모두부방사선 사진과 중첩을 통해 환자의 진단에 응용 할 수 있으며 개개별 치아에 3차원적인 x,y,z coordinate을 변화시켜 치료계획에 맞추어 치아 이동후의 모습을 평가하고 검증할 수 있는 도구를 제공한다(그림 4).

일단 치료계획이 결정이 되면 술자는 컴퓨터 모형상에서 브라켓과 호선형태를 결정할 수 있으며 치료의 각 단계에 필요한 호선을 선택하고 치아가 배열되는 과정을 검증하게 된다. 이렇게 결정된 브라켓과 호선형태는 기공실로 전송되어 브라켓 간 접부착을 위한 이동트레이가 제작되고 wire-bending robot에 의해 형상기억합금으로 제작된 호선의 원하는 부위에 1st, 2nd, 3rd order가 부여되어 최소한의 교체로 교정치료를 가능하게 하였다(그림 5).

#### OrthoCAD®

OrthoCAD는 환자의 모형을 OrthoCAD사로 직접 보낸 후 인터넷을 통해 환자의 디지털모형을 1

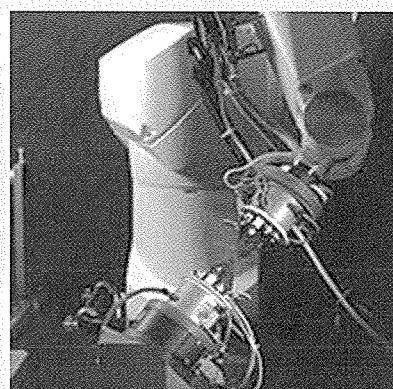


그림 5. 로봇팔을 이용한 형상기억합금호선에 밴드부여

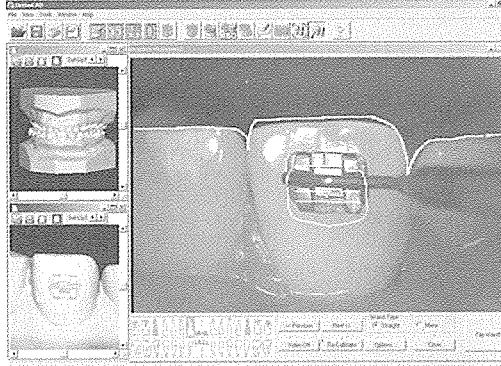


그림 6. 카메라를 이용한 브라켓 부착위치 결정

주일 안에 제공받는 체계로 술자가 위치시켜야 할 브라켓의 위치를 위한 reference를 함께 제공하는 특징을 가지고 있다.

술자가 정하는 브라켓의 위치될 부위가 디지털 모형에 표시가되며 술자는 구강내에서 Wand라는 소형비디오카메라를 통해 브라켓 부착위치가 정해진 reference에 정확히 위치되는지를 실시간으로 확인한 후 즉시 중합시킬 수 있는 시스템을 이용한다(그림 6,7). 이를 모형상에서 직접시행한 후 간접 부착을 위한 이동트레이를 제작한다면 모형을 set-up하지 않고서도 트레이를 제작할 수 있는 장점이 있다.

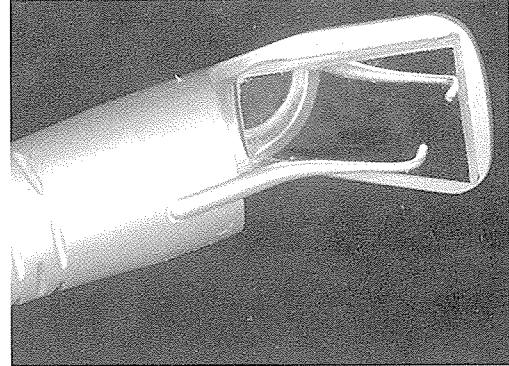


그림 7. 브라켓위치결정을 위한 카메라에 광증합기능을 추가하여 효율성을 높였다.

### 3Dxer® (Dimennex Digital Lab)

국내에서 개발된 디지털 모형진단 프로그램으로 환자의 모형을 회사로 보내면 1주일 내에 진단모형을 인터넷을 통해 술자에게 제공한다. 디지털 모형을 이용하여 모형분석을 할 수 있는 구체적인 도구들을 제공하며 한국인 사용자에게 편리한 interface로 설계되어있다. 각각의 치아크기계측을 통한 기본적인 분석과 함께 교합평면을 3차원 공간에서 새롭게 설정하여 정확하게 스피만곡을 계측할 수 있으며 디지털 occlusogram을 통해 치료 후 치아의 이동량을 예측할 수 있는 장점이 있다. 향후 모델 분석 기능 외에 virtual set-up 프로그램이 추가되어 기능이 향상될 예정으로 있다(그림 8,9).

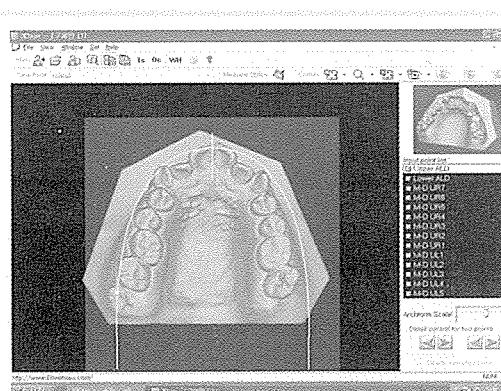


그림 8. 프로그램상에서 악궁형태결정

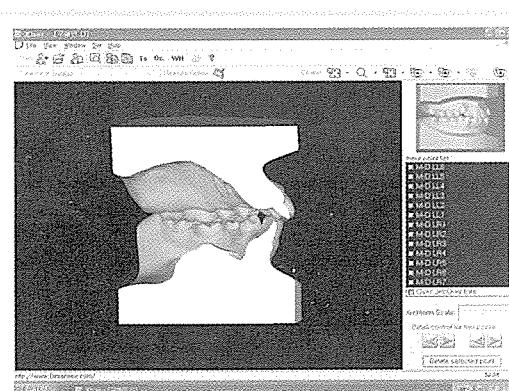


그림 9. 절단면을 이용한 수평, 수직피개 계측

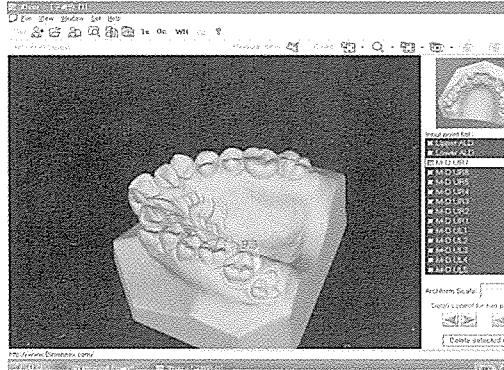


그림 10. 치아크기 계측

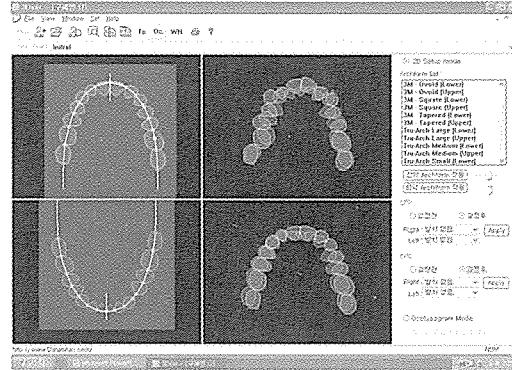


그림 11. set-up을 통한 치료계획결정

#### E. 디지털 모형분석방법

디지털 모형을 이용한 분석방법은 기본적으로 석고모형에서 이루어지는 계측방법을 응용하기 때문에 예 특별한 어려움은 없으며, 다음과 같은 기능이 있다.

- 1) 중심선 결정 : 환자의 악궁의 형태를 결정하기 위해 필요한 단계로써 기본적으로 환자의 안모중심선과 일치시켜 결정한다.
  - 2) 상하악 악궁형태 결정 및 악궁의 비대칭 검사 (그림 8 참조)

중심선이 결정되면 환자의 악궁에 맞는 ready-made arch form을 선택한 후 술자는 호선의 전방부 후방부의 폭경을 조절하여 악궁형태를 개별화시킬 수 있다.

### 3) 치아크기 계측

기준의 방법과 같이 치아의 균원심 폭경을 계측하면 전반적인 치아크기의 합과 치아크기부조화에 대한 정보를 구할 수 있다(그림 10).

#### 4) 견치 및 구치사이 거리계측

### 5) 스피만곡 계측

스피만곡을 계측하기 위해서는 술자는 환자의 교합평면을 설정해야한다. 이렇게 형성된 교합평면에서 소구치까지의 만곡 깊이가 정확하게 계산된다.

#### 6) Occlusogram을 이용한 치료계획

모형을 set-up하지 않고 컴퓨터상에서 가상으로 치아를 이동시켜볼 수 있는 기회를 제공하며 발치 할 경우와 발치하지 않는 경우의 치료를 비교할 수 있다(그림 11).

#### F. 3차원 지단모형의 유통

3차원 모형은 환자의 진단을 위한 도구의 수준을 넘어서 진료결과의 예측과 정확성을 향상시키기 위한 정밀도구로써의 기능이 개발되고 사용될 수 있으며 인터넷의 발달로 3차원진단모형을 이용한 치과의사들 간의 협진이 손쉽게 이루어질 것이다.

## Virtual set-up

모형상의 치아들은 개개별로 이동할 수 있게 되며 환자 개인의 악궁이 설정이 되면 악궁을 따라서 치아들은 자연적으로 배열이 된다. 이때 치아를 빨치하거나 치간삭제를 시행한 후 이동이 가능하고 새롭게 배열된 치아의 경사도 및 토오크를 확인하여 개개치아의 부가적인 치아이동이 가능하고 이렇

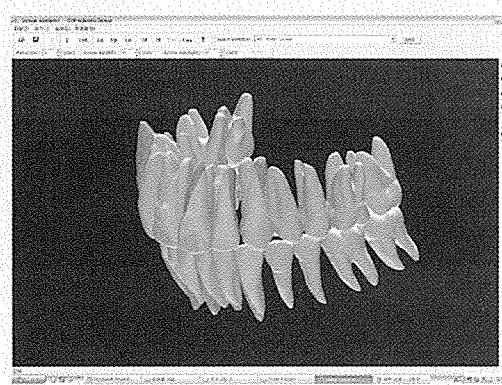


그림 12. 술자는 컴퓨터상에서 set-up모형을 보면 치료전후를 비교할 수 있게 되며 개개치아에대한 이동정보를 쉽게 파악할 수 있게된다(Dimennex 제공).



그림 13. 환자의 측모두부방사선사진과 디지털 모형의 결합  
- 측모두부방사선사진에서 더욱더 정확한 치아위치정보를 계측할 수 있다

게 설정된 set-up모형을 이용하여 악궁에 적합한 호선모형과 장치를 부착시키는데 필요한 트레이를 제작할 수 있다(그림 12).

### 구개 연조직의 분석

3차원 디지털 모형을 통해 구강내 치조돌기 또는 구개면에 대한 정보를 분석하여 두개안면기형환자에서의 치료전후의 구개형태와 크기분석에 있어 더욱 정확하고 객관적으로 분석할 수 있게 되었다.

### 원거리 진단

Marcel과 Redmond가 OrthoCAD를 소개하면서 원거리에서도 인터넷과 전송된 3차원모델을 이용하여 협진이 가능함을 제시한 것 같이 향후 자료의 공유과 전송을 이용하여 digital orthodontic office 가 가능 할 것이다.

### 두개안면진단정보와의 결합(integration)

현재 환자의 CT를 이용한 안면두개분석진단법이 개발되고 있다. 그러나 아직 CT상에서 치아를 정확히 구성하는 데는 한계가 있으며 치아의 정확성을 향상시키기 위해서는 막대한 양의 데이터가 필요한 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 환자의 두개안면형태가 포함된 적절한 크

기의 CT 데이터와 디지털치아모형을 결합하는 시도가 진행되고 있으며 환자의 치열과 골격적인 정보를 결합한 새로운 진단방법이 나올 것으로 예상된다(그림 13).

## G. 결 론

3차원 디지털 모형은 처음 브라켓과 악궁의 형태를 파악하기위해 이용되기 시작하였고 컴퓨터의 발달과 인터넷을 통한 저장매체의 전송이 쉽게 이루어짐으로써 진단용 석고모형을 대체하는 새로운 도구로 관심을 갖게 되었다. 현재에는 교정진단을 위한 도구뿐 아니라 3차원 정보에서 얻은 개개치아의 정보를 담아 개별화된 장치부착 트레이를 제작하려는 시도가 관심을 받게 되었고 이미 국내에서도 레이저 스캔을 이용한 진단모형계측프로그램이 개발되어 상용되고있다. 이제 환자는 자신의 현재의 치아뿐 아니라 3차원 영상의 simulation을 통해서 자신의 치아가 이동된 후의 모습을 본 후 치료를 결정할 수 있게 되었다. 또한 술자는 환자의 모형을 통해 손쉽게 진단에 필요한 정보를 계측하고 저장할 수 있게 되었으며 개개인에 치아형태와 치열에 맞는 호선과 장치를 부착하여 치료에 정확성을 향상시킬 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 장영일, 박재우, Laser Scan으로 제작된 3차원 진단 모형의 계측치 오차에 대한 연구, 서울대학교 치의학과 대학원.
2. Adkins MD, Nanda RS, Currier GF. Arch perimeter changes on rapid palatal expansion, Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990;97:194-9.
3. Demetrios J. Halazonetis, Acquisition of 3-dimensional shapes from images, Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;119:556-60.
4. Germane N, Staggers JA, Rubenstein L, Revere JT. Arch length considerations due to the curve of Spee: a mathematical model, Am J Orthod Dentofacial Orthop 1992;102:251-5.
5. James Mah, Rohit Sachdeva, Computer-assisted orthodontic treatment : The SureSmile process, Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;120:85-7.
6. Margherita Santoro, Scott Galkin, Monica Teredesai, Thomas J. Cangialosi, Comparison of measurements made on digital and plaster models, Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003;124:101-5.
7. Marcel JT, Three-dimensional on-screen virtual models, Am J Orthod 2001;119:666-8.
8. O' Higgins EA, Kirschen RH, Lee RT. The influence of maxillary incisor inclination on arch length, Br J Orthod 1999;26:97-102.
9. Redmond WF, Wireless orthodontics, Am J Orthod 2001;120:325-7.
10. Robert H. Kirschen, Elizabeth A. O' Higgins, Robert T. Lee, The Royal London Space Planning: An integration of space analysis and treatment planning Part I: Assessing the space required to meet treatment objectives, Am J Orthod Dentofacial Orthop 2000;118:448-55
11. Ursus R.S, William A.W, A. Manual and computer-aided space analysis : A comparative study, Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997;112:676-80.