



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2008년 8월  
박사학위 논문

석고 모형, 레이저 스캔 방식  
디지털 모형, 콘 빔 CT 영상 간의  
모형 분석 비교

조선대학교 대학원

치의공학과

임 미 영

2008년 8월

박사학위논문

석고 모형, 레이저 스캔 방식, 디지털 모형, 콘 빔 CT 영상 간의 모형 분석 비교  
임 미 영

석고 모형, 레이저 스캔 방식 디지털  
모형, 콘 빔 CT 영상 간의 모형  
분석 비교

Comparison of model analysis among plaster  
model, digital model using laser scan, and cone  
beam CT image

2008년 8월 일

조선대학교 대학원

치 의 공 학 과

임 미 영

석고 모형, 레이저 스캔 방식 디지털  
모형, 콘 빔 CT 영상 간의 모형  
분석 비교

지도교수 임 성 훈

이 논문을 치의학 박사학위 신청논문으로 제출함.

2008년 6월 일

조선대학교 대학원

치 의 공 학 과

임 미 영

임미영의 박사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김 광 원 인

위 원 전남대학교 교수 황 현 식 인

위 원 조선대학교 교수 김 명 수 인

위 원 조선대학교 교수 김 재 덕 인

위 원 조선대학교 조 교수 임 성 훈 인

2008년 6월 일

조선대학교 대학원

# 목 차

표목차	ii
도목차	iv
영문초록( <i>ABSTRACT</i> )	v
<b>I. 서 론</b>	1
<b>II. 연구대상 및 방법</b>	4
1. 연구대상	4
2. 연구방법	4
3. 통계처리	6
<b>III. 연구 성적</b>	7
<b>IV. 총괄 및 고안</b>	18
<b>V. 결 론</b>	27
참고문헌	29

## 표 목 차

Table 1. Absolute differences of repeated measurements of tooth sizes of plaster model, digital model and CBCT image.....	8
Table 2. Absolute differences of repeated measurements of arch length discrepancies, arch width, Bolton discrepancies of plaster model, digital model and CBCT image.....	9
Table 3. Tooth size measurements of the plaster model, digital model and CBCT image .....	10
Table 4. Measurements of arch length discrepancies, arch width and Bolton discrepancies of plaster model, digital model and CBCT image.....	11
Table 5. Absolute differences of tooth size measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model.....	13

Table 6.	Absolute differences of arch length discrepancy, arch width and Bolton discrepancy measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model.....	14
Table 7.	Differences of tooth size measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model.....	15
Table 8.	Differences of arch length discrepancy, arch width and Bolton discrepancy measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model.....	17
Table 9.	Pearson correlation of anterior and overall Bolton discrepancies for plaster model, digital model and CBCT image.....	17



# 도 목 차

Figure 1. Apparatus used in this study .....	33
Figure 2. Measurements of tooth size and dental arch width in 3D digital model .....	33
Figure 3. Measurements of available space .....	34
Figure 4. Measurements of tooth size and dental arch width in CBCT image .....	34
Figure 5. Image from CBCT .....	35

# *ABSTRACT*

Comparison of model analysis among plaster model,  
laser scan digital model, and cone beam CT image

Lim, Mi-Young

Advisor: Sung-Hoon Lim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry

Graduate School of Chosun University

The purpose of this study was to evaluate the possibility of using digital model and CBCT image for model analysis. CBCT images, plaster models, digital models of 20 orthodontic patients with permanent dentition were used for comparison of model analysis measurements (tooth size, arch width, required space, available space, arch length discrepancy, Bolton tooth size discrepancy)

The results were as follows.

1. Absolute differences of repeated measurements of tooth size and dental arch width were 0.06 to 0.27 mm, 0.26 to 0.84 mm in plaster models, 0.01 to 0.20 mm, 0.25 to 0.63 mm in digital models and 0.15 to 0.26 mm, 0.34 to 0.49 mm in CBCT images.

2. The average differences of tooth size measurements between digital model and plaster model were 0.01 to 0.20 mm, and digital model showed significant differences in the 7 tooth sizes.
3. The average differences of tooth size measurements between CBCT image and plaster model were -0.22 to 0.01 mm, and CBCT image showed significant differences in the 5 tooth sizes.
4. The average differences of arch length discrepancy measurements between digital model and plaster model were below 0.82 mm, and the difference of Bolton discrepancy measurements was below 0.44 mm. There was no statistically significant difference.
5. The average differences of arch length discrepancy measurements between CBCT image and plaster model were below 0.43 mm, and there was no statistically significant difference. Overall Bolton discrepancy measurements was 1.25 mm smaller in the CBCT images and was statistically significant.

In conclusion, although there were statistically significant differences in some model analysis measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model, the ranges of measurement errors were clinically acceptable. Therefore, digital model and CBCT image can be used for model analysis measurements.

## I. 서론

교정 진단시 이용되는 환자의 구강 석고 모형은 자료의 수집과 진단, 치료 계획 수립에 필수적이며 나아가 교정 치료 진행 과정과 결과 평가 및 증례 발표에 유용하게 이용된다. 최근에는 컴퓨터의 발달, 인터넷을 통한 원격진료, 전자 차트의 개발 및 저장 장치의 대용량화로 인해 진단용 석고 모형을 디지털 모형으로 전환하고 있는 추세이다.

석고 모형을 디지털 자료로 전환하면 모형의 파절이나 분실을 막을 수 있으며, 3차원 디지털 모형을 구개면에 중첩하여 치아의 이동을 평가할 수 있고, 모형의 계측 시 단순한 선계측이 아니라 곡면의 형태나 면적, 체적 등 다양한 계측이 가능하다.<sup>1</sup> 또한 디지털 모형으로부터 소프트웨어를 이용하여 개인에게 맞는 교정 장치 제작이 가능하다.<sup>2</sup>

석고 모형을 디지털 모형으로 전환하려는 시도의 초기 단계에는 1986년 Andrews<sup>3</sup>가 straight wire appliance를 소개한 이후 주로 브라켓과 arch form을 개발하기 위한 연구가 주를 이루었다.<sup>4</sup> 이 시기에는 3D coordinator를 이용한 접촉식 장비를 모형 스캔에 주로 이용하였는데, 이 방법은 장비가 고가이고 스캔 시간이 오래 걸리는 문제점이 있었다.

2001년 소개된 Suresmile(Orametrix, Dallas, TX)<sup>5</sup>은 백색광을 이용한 스캐너를 사용하여 구강내에서 스캔한 디지털 모형을 이용하여 개개인에 적합한 ideal arch form을 생산하고 있으며, 2000년 소개된 Invisalign(Align Technology, Santa Clara, CA)<sup>6</sup>은 처음에는 석고 모형을 파괴하는 방법으로 제작한 디지털 모형을 바탕으로 aligner를 제작하였으나 현재는 공업용 CT를 이용하여 인상체를 스캔하여 얻은 디지털 모형을 이용하여 aligner를 제작하고 있다.

2001년 eModels(GeoDigm, Chanhassen, Minn)<sup>7</sup>이나 1999년 OrthoCAD(Cadent, Carlstadt, NJ)<sup>8</sup> 등에서는 레이저를 이용한 스캔 방식으로 디지털 모형을 구현하였고 OrthoCAD와 eModel을 석고 모형과 비교하여 정확성을 평

가한 많은 연구들이 이루어졌다.<sup>9-13</sup> 이들 문헌들은 석고 모형이 보다 정확하지만 OrthoCAD와 eModel의 정확도는 임상적 활용이 가능한 정도라고 하였다.

레이저를 이용한 스캔은 장비가 간단하고, 스캔하는 시간이 짧으며, 스캔 시 얻는 데이터 양이 많은 장점이 있지만 석고 모형은 곡률 변화가 심하고 언더컷이 많아 레이저를 통한 재현이 힘들었다. 이에 2000년 유<sup>14</sup>는 최적의 스캔 경로를 연구하였으며, 보다 쉬운 스캔 경로를 설정할 수 있게 되었다. 이를 바탕으로 국내 회사(Orapix, Seoul, Korea)에서 레이저를 이용하여 디지털 모형을 재현하는 기술을 개발하고, 디지털 모형의 입력과 분산을 위한 프로그램을 만들어서 상용화하고 있다. 박<sup>15</sup>은 레이저 스캐너와 Rapidform 2001 (INUS Technology, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 제작한 디지털 모형을 Orapix viewer(Orapix) 프로그램을 사용하여 측정한 측정치의 오차에 대한 연구 결과 몇 개의 항목에서 유의한 차이가 있었고, 이는 언더컷과 빛의 난반사에 의한 것이라고 하였으며, 동일한 장비를 이용하여 연구한 한<sup>16</sup>은 120개의 석고 모형과 디지털 모형의 측정치를 비교하여 디지털 모형의 높은 재현도를 보고하였다. 박<sup>17</sup>은 총생이 디지털 모형의 측정치 오차에 미치는 영향을 알아보기 위해 30개의 석고 모형을 부정교합 유형에 따라 분류하여 측정 프로그램(3DXer 3.5, Orapix)을 이용하여 비교 측정한 결과 치아 측정치가 총생의 영향을 받지만, 실질적으로 오차값이 적어서 디지털 모형이 임상적으로 유용하다고 보고하였다.

Computed tomography(CT)는 정확한 3차원 영상을 제공하여 치과영역에서 다분야의 진단과 치료에 많은 도움을 주지만 많은 방사선 조사량과 기계의 크기, 비싼 가격 등의 한계점들 때문에 치과 영역에서는 대중화되지는 못하였다. 최근에 이런 단점들을 보완한 콘 빔 CT(CBCT)가 개발되어 치과 영역에 널리 이용되고 있다.

CBCT 스캐너는 360도 회전하는 2차원 detector를 가지고 특정한 cone beam reconstruction 알고리즘을 통해 CT volume data를 획득하며 기존의 helical CT 스캔보다 약 15배 낮은 방사선 노출량을 가지며, 왜곡이 최소화된

악안면 골격의 3차원 영상을 제공한다.<sup>18</sup>

CBCT의 정확성에 관한 다수의 연구들이 이루어졌는데, Holberg 등<sup>19</sup>은 417개의 치아와 주변 구조물을 대상으로 helical CT와 CBCT의 정확성을 비교하여 helical CT가 보다 좋은 영상을 제공한다고 하였으며, Mischkowski 등<sup>20</sup>은 CBCT와 multidetector row helical CT 스캐너를 비교하여 helical CT가 평균 0.06 mm(길이), 0.55 ml(체적) 더 정확하지만 CBCT와의 차이가 미비하여 CBCT를 임상적으로 사용하는 데 문제가 없다고 하였다. Misch 등<sup>21</sup>과 Pinsky 등<sup>22</sup>은 하악에 인위적으로 만든 골결손 부위의 길이와 체적을 측정하여 CBCT 스캔이 실측값과 유의한 차이가 없다고 하였고, Ludlow 등<sup>23</sup>은 28개의 두개골을 사용하여 위치를 변화시켜 CBCT 스캔을 할 경우에도 CBCT의 정확도는 영향을 받지 않는다고 하였다. 또한 Chang 등<sup>24</sup>은 CBCT의 영상이 기존에 사용하던 helical CT에 비해 평균 0.3 mm 차이를 보이고 기하학적인 뒤틀림 등을 보이지 않아 3차원 방사선 외과 치료에 있어 유용하다고 하였다.

만약 CBCT 영상의 모형 분석 계측치가 임상적용이 가능할 만큼 정확하다면 인상 채득 과정이 필요한 석고 모형의 제작 없이 CBCT 방사선 촬영만으로 진단과 치료 계획 수립에 필요한 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 아직까지 CBCT 영상에서 모형 분석을 비교한 연구는 없었다. 본 연구에서는 석고 모형과 레이저 스캔 방식 3차원 스캐너로부터 획득된 디지털 모형, CBCT 영상에서 모형 분석을 시행하여 비교함으로써 디지털 모형과 CBCT 영상이 석고 모형을 대신하여 모형 분석에 사용될 수 있는지를 평가하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

조선대학교 치과병원 교정과에 내원한 영구치열기의 20명의 부정교합 환자를 연구 대상으로 하였다. 치아에 형태 이상이나 결손치 및 완전 수복물, 2급 수복물이 있는 환자는 제외시켰다. 치아의 배열은 대체로 총생이 있었으며 치간 공극(spacing)이 있는 환자도 있었다.

### 2. 연구방법

석고 모형(PL군)과 디지털 모형(DG군), CBCT 영상(CT군)을 각각 제작, 획득하여 계측하였다.

#### 2-1. 인상 채득과 석고 모형에서의 계측

모든 인상은 알지네이트(Aroma Fine DF III, GC, Toyko, Japan)로 채득하였고, 채득 후 바로 경석고(New Plastone, GC)를 부었다. 계측은 디지털 버니아 캘리퍼(Mitutoyo, Japan)를 이용하여 한 명의 치과의사가 2주일 간격으로 2회에 걸쳐 시행하였다.

계측 기준은 다음과 같았다.

#### (1) 치아의 근원심 폭경

교합면에서 상, 하악 편측 제1대구치부터 반대측 제1대구치까지 각 치아의 최대 근원심 폭경을 측정하였다.

#### (2) 견치간 폭경

양측 견치 교두정 사이의 거리를 측정하였다.

#### (3) 대구치간 폭경

상, 하악 모두에서 양측 제1대구치의 근심 협측 교두정 사이의 거리를 계측하였다.

#### (4) 가용 공간

상, 하악 모두에서 네 개의 구획으로 치열궁을 나눠서 계측하였고 가용 공간은 네 개의 구획 거리의 합으로 하였다. 첫 번째 구획은 우측 제1대구치 근심 접촉점에서 우측 견치 근심 접촉점 까지로 하였고 두 번째 구획은 우측 견치 근심 접촉점에서 우측 중절치 근심 접촉점 까지로 하였다. 세 번째 구획은 좌측 중절치 근심 접촉점에서 좌측 견치 근심 접촉점 까지로 하였고 네 번째 구획은 좌측 견치 근심 접촉점에서 좌측 제1대구치 근심 접촉점 까지로 하였다.

#### (5) 필요 공간

상, 하악에서 양측 중절치, 측절치, 견치, 1소구치, 제2소구치의 합을 각 악궁의 필요 공간으로 하였다.

#### (6) 치열궁 길이 부조화(arch length discrepancy) 값

상악 가용 공간에서 상악의 필요 공간을 뺀 값을 상악 치열궁 길이 부조화 값으로 하였고 하악 가용 공간에서 하악의 필요 공간을 뺀 값을 하악 치열궁 길이 부조화 값으로 하였다.

#### (7) Bolton 치아 크기 부조화 값

석고 모형, 디지털 모형, CBCT 영상 모두에서, 상악 6전치와 하악 6전치 사이의 anterior Bolton 비율과 상악 12개 치아와 하악 12개 치아 사이의 overall Bolton 비율을 구하였으며 통계 분석을 위해서 Bolton 비율은 상악 치아 폭경의 넘침과 부족함(Bolton 치아 크기 부조화)으로 나타내었다. 이때 넘침과 부족함을 계산하는 정상값의 기준은 anterior Bolton 비율 77.2%, overall Bolton 비율 91.3%로 하였다.<sup>30</sup>

### 2-2. 디지털 모형의 제작과 디지털 모형에서의 계측

20쌍의 석고 모형을 레이저 스캔 방식 스캐너(Orapix scanner, Orapix) (Fig 1)로 스캔하였고, 계측에는 3Dxer 3.5 프로그램(Orapix)을 이용하였다.



계측 기준은 석고 모형에서와 동일하게 하였다 (Fig 2).

### 2-3. CBCT 영상의 채득과 계측

CBCT 스캐너(Dental Cone-Beam x-ray system, CB Mercuray, HITACHI, Osaka, Japan)를 이용하여, 15cm(FOV), 15mA, 120kV, 스캔 타임 9.6초, 0.3 mm 상층 두께로 전산화 단층 촬영을 시행하였다 (Fig 3). 치아의 교합면을 명확히 보기 위해서 숨을 물게 하여 환자의 교합을 일정량 개구시킨 상태에서 촬영하였고 계측은 Accurex<sup>TM</sup> 1.0 소프트웨어(Cybermed, Seoul, Korea)를 이용하였다. 모든 계측점의 기준은 석고 모형에서와 동일하게 하였으며, 이때 3D zoom 기능을 이용하여 측정하고자 하는 부위를 확대하여 계측하였다 (Fig 4). Volume 영상의 역치 범위 설정(thresholding)에 있어서는 소프트웨어에 내장된 preset 모음 중 치아가 가장 잘 보인다고 판단되는 teeth 3 preset을 수정 없이 사용하였으며, 이때 역치 범위는 306 ~ 3685 Hounsfield unit 범위였다.

### 3. 통계처리

세 가지 모형에서 2회에 걸쳐 측정한 계측치의 재현도를 검정하기 위해서 계측치 차이의 절대값을 이용하여 대응  $t$ -검정을 하였고, 측정 방법에 대한 정확성을 검증하기 위해서 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형의 계측치 차이를 이용하여 대응  $t$ -검정을 하였다. 측정 방법에 따른 계측치 차이의 크기를 알아보기 위해 계측치 차이의 절대값 평균을 구하였고, 추가적으로 anterior 및 overall Bolton 부조화에 관한 상관관계 분석을 시행하였다. 통계처리시 좌우 치아는 구분하지 않았다.

### III. 연구성적

#### 1. 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상의 반복 계측치의 재현도 검사

석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상을 연속 2회 측정하여 반복 계측치 간의 차이의 평균과 표준편차를 구하였다(Tables 1 and 2). 치아 폭경의 반복 계측치의 차이에 있어서 석고 모형은 치아에 따라 0.06~0.27 mm의 범위를 보였으며, 디지털 모형은 0.11~0.31 mm, CBCT 영상은 0.15~0.26 mm의 범위를 보였다. 치아 폭경에 대한 반복 계측치의 차이는 석고 모형에서 평균 0.14 mm로 가장 작게 나타났다. 치아 폭경의 반복 계측치에 대한 대응 *t*-검정 결과 석고 모형은 하악 제1소구치의 폭경에서 디지털 모형은 상악 측절치와 견치의 폭경에서 유의한 차이를 보였으며 CBCT 영상은 하악 측절치와 제2소구치의 폭경에서 유의한 차이를 보였다 (Table 1).

치열궁 폭경의 반복 계측치의 차이에 있어서 석고 모형은 0.26~0.84 mm의 범위를 보였으며, 디지털 모형은 0.25~0.63 mm, CBCT 영상은 0.34~0.49 mm의 범위를 보였다 (Table 2).

디지털 모형에서 상악 전치부 합에 관한 반복 계측치의 차이는 평균 0.46 mm로 나타났고 통계적 유의성을 보였다 (Table 2).

치열궁 길이 부조화 값의 반복 계측치의 차이는 세 가지 모형에서 0.51~1.17 mm 범위로 나타났으며 통계적으로 유의성은 없었다 (Table 2).

Overall Bolton 부조화와 anterior Bolton 부조화 값의 반복 계측치의 차이는 세 가지 모형에서 각각 1.17~1.70 mm, 0.75~1.02 mm의 범위로 나타났고 통계적으로 유의성은 없었다 (Table 2).

Table 1. Absolute differences of repeated measurements of tooth sizes of plaster model, digital model and CBCT image (in mm)

	<i>Plaster Model</i> ( <i>n=40</i> ) <i>Mean ± SD</i>	<i>Digital Model</i> ( <i>n=40</i> ) <i>Mean ± SD</i>	<i>CBCT</i> ( <i>n=40</i> ) <i>Mean ± SD</i>
<b>Maxillary Arch</b>			
Central incisor	0.12 ± 0.23	0.13 ± 0.11	0.20 ± 0.16
Lateral incisor	0.10 ± 0.10	0.17 ± 0.15*	0.18 ± 0.15
Canine	0.08 ± 0.08	0.16 ± 0.11*	0.17 ± 0.11
1 <sup>st</sup> Premolar	0.09 ± 0.10*	0.16 ± 0.14	0.19 ± 0.13
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.09 ± 0.10	0.23 ± 0.19	0.18 ± 0.16
1 <sup>st</sup> Molar	0.14 ± 0.14	0.18 ± 0.14	0.26 ± 0.21
<b>Mandibular Arch</b>			
Central incisor	0.06 ± 0.07	0.11 ± 0.09	0.15 ± 0.12
Lateral incisor	0.06 ± 0.08	0.18 ± 0.15	0.21 ± 0.18*
Canine	0.27 ± 1.10	0.31 ± 1.00	0.16 ± 0.14
1 <sup>st</sup> Premolar	0.27 ± 1.10	0.18 ± 0.12	0.18 ± 0.18
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.17 ± 0.19	0.22 ± 0.19	0.22 ± 0.20*
1 <sup>st</sup> Molar	0.18 ± 0.21	0.22 ± 0.15	0.20 ± 0.17

\* $P < .05$  (paired  $t$ -test)

Table 2. Absolute differences of repeated measurements of arch length discrepancies, arch width, Bolton discrepancies of plaster model, digital model and CBCT image (in mm)

	<i>Plaster Model</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>	<i>Digital Model</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>	<i>CBCT</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>
<b>Maxillary Arch</b>			
Sum of anterior teeth	0.42 ± 0.41	0.46 ± 0.37**	0.62 ± 0.33
Sum of all teeth	0.66 ± 0.56	0.79 ± 0.55	1.06 ± 0.68
Required space	0.49 ± 0.46	0.71 ± 0.55	0.86 ± 0.50
Available space	0.21 ± 0.14	0.26 ± 0.26	0.25 ± 0.25
Arch length discrepancy	0.51 ± 0.47	0.76 ± 0.68	0.77 ± 0.63
Inter canine width	0.38 ± 0.43	0.37 ± 0.27	0.49 ± 0.37
Inter molar width	0.84 ± 2.22	0.25 ± 0.17	0.37 ± 0.27
<b>Mandibular Arch</b>			
Sum of anterior teeth	0.56 ± 1.51	0.77 ± 1.37	0.43 ± 0.42
Sum of all teeth	1.37 ± 1.85	1.15 ± 1.30	0.83 ± 0.63
Required space	1.12 ± 1.87	1.01 ± 1.38	0.65 ± 0.41
Available space	0.25 ± 0.25	0.22 ± 0.21	0.28 ± 0.22
Arch length discrepancy	1.17 ± 1.90	1.05 ± 1.50	0.65 ± 0.52
Inter canine width	0.33 ± 0.30	0.48 ± 0.44	0.34 ± 0.28
Inter molar width	0.26 ± 0.23	0.63 ± 0.53	0.40 ± 0.34
<b>Bolton Discrepancy</b>			
Anterior	0.93 ± 1.89	1.02 ± 1.79	0.75 ± 0.74
Overall	1.70 ± 2.00	1.17 ± 1.66	1.34 ± 1.63

\*\* $P < .01$  (paired  $t$ -test)

## 2. 석고 모형, 디지털 모형, CBCT 영상에서의 치아 폭경 및 악궁 폭경, 가용 공간 계측치

석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상을 2회 측정 한 값의 평균값을 계측치로 하였으며, 각 계측치의 평균과 표준편차를 구하였다 (Tables 3 and 4).

Table 3. Tooth size measurements of plaster model, digital model and CBCT image (in mm)

	<i>Plaster Model</i> (n=40) <i>Mean ± SD</i>	<i>Digital Model</i> (n=40) <i>Mean ± SD</i>	<i>CBCT</i> (n=40) <i>Mean ± SD</i>
<b>Maxillary Arch</b>			
Central incisor	8.53 ± 0.53	8.67 ± 0.56	8.58 ± 0.53
Lateral incisor	7.18 ± 0.63	7.30 ± 0.63	7.22 ± 0.68
Canine	7.98 ± 0.46	8.08 ± 0.45	7.80 ± 0.42
1 <sup>st</sup> Premolar	7.65 ± 0.41	7.66 ± 0.42	7.43 ± 0.44
2 <sup>nd</sup> Premolar	7.03 ± 0.36	7.07 ± 0.36	6.87 ± 0.35
1 <sup>st</sup> Molar	10.60 ± 0.47	10.81 ± 0.45	10.39 ± 0.41
<b>Mandibular Arch</b>			
Central incisor	5.38 ± 0.28	5.49 ± 0.30	5.45 ± 0.27
Lateral incisor	6.08 ± 0.36	6.18 ± 0.35	6.09 ± 0.38
Canine	6.85 ± 0.63	7.01 ± 0.63	6.84 ± 0.37
1 <sup>st</sup> Premolar	7.44 ± 0.68	7.60 ± 0.47	7.39 ± 0.48
2 <sup>nd</sup> Premolar	7.31 ± 0.49	7.36 ± 0.53	7.26 ± 0.49
1 <sup>st</sup> Molar	11.30 ± 0.53	11.50 ± 0.47	11.27 ± 0.44

Table 4. Measurements of arch length discrepancies, arch width, and Bolton discrepancies of plaster model, digital model and CBCT image  
(in mm)

	<i>Plaster Model</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>	<i>Digital Model</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>	<i>CBCT</i> (n=20) <i>Mean ± SD</i>
<b>Maxillary Arch</b>			
Sum of anterior teeth	47.38 ± 2.86	48.11 ± 2.80	47.18 ± 2.85
Sum of all teeth	97.93 ± 4.81	99.17 ± 4.63	96.55 ± 4.61
Required space	76.75 ± 4.04	77.58 ± 3.92	75.79 ± 3.99
Available space	76.48 ± 4.17	76.89 ± 4.16	75.96 ± 4.27
Arch length discrepancy	-0.28 ± 2.25	-0.68 ± 2.40	0.15 ± 2.91
Inter canine width	34.82 ± 3.16	34.98 ± 3.08	34.36 ± 3.01
Inter molar width	54.17 ± 3.97	54.64 ± 3.86	53.95 ± 4.08
<b>Mandibular Arch</b>			
Sum of anterior teeth	36.66 ± 1.71	37.37 ± 1.85	36.78 ± 1.72
Sum of all teeth	88.75 ± 4.14	90.28 ± 4.06	88.64 ± 3.82
Required space	66.17 ± 2.34	67.21 ± 1.91	65.95 ± 2.11
Available space	66.13 ± 4.03	66.34 ± 3.86	65.58 ± 3.73
Arch length discrepancy	-0.05 ± 3.46	-0.87 ± 3.39	-0.37 ± 2.99
Inter canine width	26.49 ± 3.00	26.75 ± 3.09	26.33 ± 2.99
Inter molar width	45.34 ± 3.09	45.67 ± 3.13	45.34 ± 3.05
<b>Bolton Discrepancy</b>			
Anterior	-0.08 ± 1.24	-0.25 ± 1.74	-0.43 ± 1.55
Overall	0.75 ± 1.61	0.31 ± 1.84	-0.51 ± 1.99

### 3. 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상 사이의 계측치간 차이의 절대값 평균

디지털 모형과 석고 모형의 치아 폭경 계측치 차이의 절대값 평균은 0.13 ~ 0.33 mm의 범위를 보였고, CBCT 영상과 석고 모형의 치아 폭경 계측치 차이의 절대값 평균은 0.12 ~ 0.30 mm의 범위를 보였다 (Table 5).

전치부 치아 크기의 합에 관한 계측치 차이의 절대값 평균은 디지털 모형

과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.74 mm로 하악에서 0.96 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.53 mm로 하악에서 0.55 mm로 나타났다 (Table 6).

전체 치아 크기의 합에 관한 계측치 차이의 절대값 평균은 디지털 모형과 석고 모형 사이에서는 상악에서 1.26 mm로 하악에서 1.76 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 상악에서 1.45 mm로 하악에서 1.12 mm로 나타났다 (Table 6).

치열궁 길이 부조화 값의 계측치 차이의 절대값 평균은 디지털 모형과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.56 mm로 하악에서 1.23 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 상악에서 0.88 mm로 하악에서 1.03 mm로 나타났다 (Table 6).

석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상 사이의 치열궁 폭경의 계측치 차이의 절대값의 평균은 0.33~1.00 mm의 범위에서 나타났다 (Table 6).

Overall Bolton 부조화 값의 계측치 차이의 절대값 평균은 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 1.42 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고모형 사이에서는 1.70 mm로 나타났다. Anterior Bolton 부조화 값의 계측치 차이의 절대값 평균은 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 1.12 mm로 나타났고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서는 0.97 mm로 나타났다 (Table 6).

Table 5. Absolute differences of tooth size measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model  
(in mm)

	<i>DG-PL (n=40)</i> <i>Mean ± SD</i>	<i>CT-PL (n=40)</i> <i>Mean ± SD</i>
Maxillary Arch		
Central incisor	0.16 ± 0.17	0.15 ± 0.12
Lateral incisor	0.17 ± 0.13	0.19 ± 0.11
Canine	0.18 ± 0.13	0.23 ± 0.20
1 <sup>st</sup> Premolar	0.13 ± 0.09	0.25 ± 0.18
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.17 ± 0.11	0.22 ± 0.16
1 <sup>st</sup> Molar	0.23 ± 0.16	0.25 ± 0.19
Mandibular Arch		
Central incisor	0.15 ± 0.10	0.14 ± 0.11
Lateral incisor	0.13 ± 0.09	0.12 ± 0.10
Canine	0.33 ± 0.67	0.24 ± 0.49
1 <sup>st</sup> Premolar	0.25 ± 0.52	0.30 ± 0.53
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.18 ± 0.17	0.16 ± 0.11
1 <sup>st</sup> Molar	0.23 ± 0.15	0.21 ± 0.16

*PL*, Plaster Model; *DG*, Digital Model; *CT*, CBCT Image



Table 6. Absolute differences of arch length discrepancy, arch width, and Bolton discrepancy measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model (in mm)

	<i>DG-PL (n=20)</i> <i>Mean ± SD</i>	<i>CT-PL (n=20)</i> <i>Mean ± SD</i>
<b>Maxillary Arch</b>		
Sum of anterior teeth	0.74 ± 0.42	0.53 ± 0.43
Sum of all teeth	1.26 ± 0.60	1.45 ± 1.10
Required space	0.87 ± 0.51	1.10 ± 0.90
Available space	0.52 ± 0.22	0.56 ± 0.45
Arch length discrepancy	0.56 ± 0.45	0.88 ± 0.80
Inter canine width	0.33 ± 0.26	0.55 ± 0.28
Inter molar width	1.00 ± 0.99	0.75 ± 1.11
<b>Mandibular Arch</b>		
Sum of anterior teeth	0.96 ± 0.86	0.55 ± 0.72
Sum of all teeth	1.76 ± 0.97	1.12 ± 1.07
Required space	1.39 ± 1.27	1.04 ± 0.92
Available space	0.34 ± 0.23	0.58 ± 0.52
Arch length discrepancy	1.23 ± 1.29	1.03 ± 1.21
Inter canine width	0.48 ± 0.60	0.47 ± 0.53
Inter molar width	0.49 ± 0.46	0.46 ± 0.32
<b>Bolton Discrepancy</b>		
Anterior	1.12 ± 1.22	0.97 ± 0.96
Overall	1.42 ± 1.21	1.70 ± 1.68

*PL*, Plaster Model; *DG*, Digital Model; *CT*, CBCT Image

#### 4. 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상에서의 계측치 비교

##### 4-1. 치아의 근원심 폭경

디지털 모형의 계측치를 석고 모형의 계측치에 비교 시 차이의 범위는 0.01~0.20 mm로 나타났으며, 디지털 모형에서 일곱 개 치아(상악 중절치, 측절치, 견치, 제1대구치와 하악 중절치, 측절치, 제1대구치)의 폭경이 유의하게 크게 계측되었다. CBCT 영상의 계측치를 석고 모형의 계측치에 비교 시 차이의 범위는 -0.22~0.07 mm로 나타났으며, CBCT 영상에서 5개 치아(상악

견치, 제1소구치, 제2소구치, 제1대구치)의 폭경이 유의하게 작게 측정되었고 1개 치아(하악 중절치)의 폭경이 유의하게 크게 측정되었다 (Table 7).

Table 7. Differences of tooth size measurements between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model (in mm)

	<i>DG-PL (n=40)</i> <i>Mean ± SD</i>	P value	<i>CT-PL (n=40)</i> <i>Mean ± SD</i>	P value
<b>Maxillary Arch</b>				
Central incisor	0.14 ± 0.18	.000***	0.05 ± 0.18	.101
Lateral incisor	0.12 ± 0.17	.000***	0.04 ± 0.21	.221
Canine	0.10 ± 0.20	.004**	-0.19 ± 0.24	.000***
1 <sup>st</sup> Premolar	0.01 ± 0.16	.808	-0.22 ± 0.22	.000***
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.05 ± 0.19	.119	-0.16 ± 0.23	.000***
1 <sup>st</sup> Molar	0.20 ± 0.19	.000***	-0.22 ± 0.24	.000***
<b>Mandibular Arch</b>				
Central incisor	0.11 ± 0.14	.000***	0.07 ± 0.17	.012*
Lateral incisor	0.10 ± 0.12	.000***	0.01 ± 0.16	.764
Canine	0.16 ± 0.74	.190	-0.01 ± 0.55	.897
1 <sup>st</sup> Premolar	0.16 ± 0.56	.076	-0.05 ± 0.61	.606
2 <sup>nd</sup> Premolar	0.05 ± 0.25	.229	-0.05 ± 0.19	.135
1 <sup>st</sup> Molar	0.20 ± 0.18	.000***	-0.03 ± 0.26	.494

*PL*, Plaster Model; *DG*, Digital Model; *CT*, CBCT Image

\*  $P < .05$ ; \*\*  $P < .01$ ; \*\*\*  $P < .001$  (Paired *t*-test)

#### 4-2. 전치부 치아의 합과 전체 치아의 합 및 Bolton 부조화 값

디지털 모형과 석고 모형 사이에서 상악 전치부 치아의 합과 상악 전체 치아 합의 차이는 각각 평균 0.73 mm와 1.24 mm로 나타났으며, 하악 전치부 치아의 합과 하악 전체 치아 합의 차이는 각각 평균 0.71 mm와 1.53 mm로 나타났다. 대응 *t*-검정 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Table 8).

CBCT 영상과 석고 모형 사이에서 상악 전치부 치아의 합과 상악 전체 치아 합의 차이는 각각 평균 -0.19 mm와 -1.38 mm로 나타났으며, 하악 전치부 치아의 합과 하악 전체 치아 합의 차이는 각각 평균 0.12 mm와 -0.12 mm로 나타났다. 대응 *t*-검정 결과 하악 전체 치아 합에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Table 8).

Anterior Bolton 부조화 값의 차이는 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 평균  $-0.17$  mm였고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서 평균  $-0.35$  mm였다. Overall Bolton 부조화 값의 차이는 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 평균  $-0.44$  mm였고, CBCT 영상과 석고 모형 사이에서 평균  $-1.25$  mm였다 (Table 8). Bolton 부조화 값의 차이에 대해 대응  $t$ -검정을 시행한 결과 CBCT 영상과 석고 모형 사이의 overall Bolton 부조화 값의 차이에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 (Tables 8). 추가적으로 상관 분석을 통해 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형이 anterior 및 overall Bolton 부조화 값에서 높은 상관관계가 있음을 확인하였다 (Table 9).

#### 4-3. 치열궁 길이 부조화 값

디지털 모형과 석고 모형 사이에서 치열궁 길이 부조화 값의 차이는 상악에서 평균  $-0.41$  mm, 하악에서 평균  $-0.82$  mm로 디지털 모형에서 유의하게 작게 나타났다 (Table 8).

CBCT 영상과 석고 모형 사이에서 치열궁 길이 부조화 값의 차이는 상악에서 평균  $0.43$  mm, 하악에서 평균  $-0.32$  mm로 나타났고 통계적 유의성을 보이지 않았다 (Table 8).

#### 4-4. 악궁 폭경

디지털 모형과 석고 모형 사이의 악궁 폭경 측정치 차이의 평균은  $0.16 \sim 0.47$ mm의 범위로 나타났고, 하악의 대구치간 폭경에서만 디지털 모형에서 유의하게 크게 측정되었다 (Table 8)

석고 모형과 CBCT 영상의 악궁 폭경 측정치 차이의 평균은  $-0.46 \sim 0.01$  mm의 범위로 나타났고, 상악의 견치간 폭경에서만 CBCT 영상에서 유의하게 작게 측정되었다 (Table 8).

Table 8. Differences of arch length discrepancy, arch width, and Bolton discrepancy measurements between digital model and plaster model, between CBCT image and plaster model (in mm)

	<i>DG-PL (n=20)</i> <i>Mean ± SD</i>	P value	<i>CT-PL (n=20)</i> <i>Mean ± SD</i>	P value
<b>Maxillary Arch</b>				
Sum of anterior teeth	0.73 ± 0.43	.000***	-0.19 ± 0.66	.208
Sum of all teeth	1.24 ± 0.64	.000***	-1.38 ± 1.19	.000***
Required space	0.83 ± 0.55	.000***	-0.96 ± 1.07	.001**
Available space	0.41 ± 0.38	.000***	-0.52 ± 0.51	.000***
Arch length discrepancy	-0.41 ± 0.60	.007**	0.43 ± 1.13	.109
Inter canine width	0.16 ± 0.40	.089	-0.46 ± 0.42	.000***
Inter molar width	0.47 ± 1.34	.131	-0.22 ± 1.33	.469
<b>Mandibular Arch</b>				
Sum of anterior teeth	0.71 ± 1.07	.008**	0.12 ± 0.89	.555
Sum of all teeth	1.53 ± 1.30	.000***	-0.12 ± 1.56	.745
Required space	1.05 ± 1.58	.008**	-0.22 ± 1.38	.494
Available space	0.21 ± 0.36	.019*	-0.55 ± 0.57	.000***
Arch length discrepancy	-0.82 ± 1.59	.032*	-0.32 ± 1.57	.373
Inter canine width	0.26 ± 0.74	.130	-0.16 ± 0.69	.313
Inter molar width	0.34 ± 0.58	.017*	0.01 ± 0.57	.969
<b>Bolton Discrepancy</b>				
Anterior	-0.17 ± 1.66	.661	-0.35 ± 1.31	.247
Overall	-0.44 ± 1.83	.297	-1.25 ± 2.08	.014*

*PL*, Plaster Model; *DG*, Digital Model; *CT*, CBCT Image

\* $P < .05$ ; \*\* $P < .01$ ; \*\*\* $P < .001$  (Paired  $t$ -test)

Table 9. Pearson correlation of Bolton discrepancies between digital model and plaster model, and between CBCT image and plaster model.

	<i>DG vs PL</i>	<i>CT vs PL</i>
Anterior Bolton discrepancy	0.708**	0.764**
Overall Bolton discrepancy	0.662**	0.718**

*PL*, Plaster Model; *DG*, Digital Model; *CT*, CBCT Image

\*\* $P < .01$

## IV. 총괄 및 고안

본 연구에서는 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상의 모형분석 계측치 비교를 통해 치아 폭경 및 악궁 폭경, 치열궁 길이 부조화, Bolton 부조화의 재현도와 정확성을 비교하였다. 최근에 CBCT는 두경부 영역에서 많이 이용되고 있다.<sup>26-30</sup> 대부분의 CBCT 장비는 일반적인 파노라마 촬영기와 크기가 비슷하고 방사선 영상을 획득하는데 30초 이하의 시간이 소요되며 방사선 조사량은 CBCT 기계에 따라 다양하지만 NewTom cone beam CT의 경우 표준 필름으로 full-mouth를 찍는 양보다 작은 수준이다.<sup>31</sup> CBCT가 치아 및 악안면 조직과 관련해서 큰 구조물을 측정하는 데 있어 신뢰할 수 있다는 다수의 연구들이 발표되고 있지만<sup>32</sup> CBCT 영상에서 치아 폭경 및 악궁 폭경 계측의 정확성을 조사한 연구는 아직 찾아보기 어렵다. 예비실험 시 구강내에 금속 수복물이 있는 경우 CBCT 영상에서 scatter 현상이 일어나는 것이 관찰되었으므로 (Fig 5), 정확한 측정을 위하여 본 논문에서는 가능한 구강내에 보철물과 금속 수복물이 있는 환자는 제외시켰으며, 특히 치아 폭경 계측에 방해가 될 수 있는 2급 와동 수복물이 있는 경우는 제외시켰다. 현재의 CBCT 영상 수준에서는 다수의 보철물과 금속 수복물을 갖는 환자에서 CBCT 영상을 모형 분석 목적으로 활용하는 것은 어려울 것이다.

### 1. 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상의 반복 계측치의 재현도 평가

치아 폭경과 악궁 폭경의 재현도 평균은 석고 모형에서 각각 0.06~0.27 mm, 0.26~0.84 mm, 디지털 모형에서 0.11~0.31 mm, 0.25~0.63 mm, CBCT

영상에서 0.15~0.26 mm, 0.34~0.49 mm의 범위로 나타나서 큰 차이가 없었다(Table 1). 석고 모형의 경우 한 개 치아에서 디지털 모형과 CBCT 영상의 경우 두 개 치아에서 반복 측정 시 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데, 차이의 절대값 평균이 최대 0.22 mm로서 문제되는 수준은 아니라고 판단하였다. 박<sup>17</sup>은 충생이 있는 디지털 모형에서 중절치와 측절치의 재현도가 상대적으로 낮았다고 하였고, 한<sup>16</sup>은 충생의 여부에 관계없이 디지털 모형의 모든 치아에서 재현도가 높았다고 보고하였다. 레이저를 이용한 스캔 시에는 충생이 심한 모형에서 언더컷과 우각부위에서 빛이 산란되어 난반사가 일어나 치아 인접면의 3차원 재현이 부정확해지므로 디지털 모형에서 치아 폭경의 재현도는 충생의 영향을 받을 것으로 생각된다. 또한 디지털 모형에서는 변연용선이 더 둥글게 보이므로 접촉점의 위치 선정이 석고 모형의 경우와 차이가 날 수 있다. 악궁 폭경을 계측할 때 디지털 모형 상에서는 치아의 교두정이 꼭지점이 아닌 곡면으로 표현되어 영향을 받아 정확한 계측에 어려움이 있었다. CBCT 영상의 경우에도 voxel 사이의 연결이 선으로 이루어지고, 특히 계측에 사용한 3D zoom 모드에서는 확대 시 voxel 사이의 연결이 부드럽게 되도록 하는 기술이 활용되고 있어 치아의 날카로운 부분의 형태가 둥글게 보이는 문제점이 있다. 따라서 CBCT 영상 계측의 경우에도 디지털 모형 계측에서와 마찬가지로 접촉점 및 교두정의 위치 선정에 어려움이 있었던 것으로 생각된다.

치아 폭경의 합, 필요 공간과 가용 공간, 치열궁 길이 부조화 값과 Bolton 부조화 값의 재현도는 석고 모형, 디지털 모형, CBCT 영상 모두에서 유사하였다 (Table 2). 이때 전체 치아 폭경의 합(sum of all teeth), 필요 공간, 치열궁 길이 부조화, overall Bolton 부조화의 경우에는 세 군 모두에서 통계적 유의성은 없지만 비교적 낮은 재현도를 보였는데(Table 2), 이는 이들 계측치들이 치아 폭경의 합을 구하여 계산하는 수치들이어서 개개 치아 폭경을 합산하여 계측치를 구하는 경우 개개 치아 폭경에서의 계측 오차들이 합쳐져서 합산된 계측치의 오차가 커질 수 있는 데 기인하는 것으로 생각된다.

## 2. 석고 모형과 디지털 모형, CBCT 영상에서의 계측치 비교 평가

### 2-1. 치아의 근원심 폭경

디지털 모형과 석고 모형 사이의 치아 폭경 계측치 차이는 0.01~0.20 mm의 범위로 박<sup>17</sup>과 한<sup>16</sup>이 발표한 0.03~0.16 mm, 0.01~0.17 mm와 유사하게 나타났으며, 치아 폭경 계측치의 절대차도 0.33 mm 이하로 나타나서 임상적 수용이 가능한 수준으로 생각된다 (Tables 5 and 7). 본 연구에서 디지털 모형은 석고 모형과 비교 시 상, 하악 전치부와 제1대구치에서 치아의 폭경이 유의하게 컸는데, 여러 문헌들에서 차이를 보이는 치아의 일관성을 찾을 수는 없었다.<sup>15-17</sup> 이는 각 모형마다 부정 교합 형태가 다르고 측정하기 어려운 형태를 갖는 치아들이 다양하기 때문이라고 생각된다. Santoro 등<sup>33</sup>은 OrthoCAD 디지털 모형에서 계측한 치아의 폭경이 항상 작다고 하였고, 박 등<sup>15</sup>은 디지털 모형에서 인접면 접촉부의 자료가 소실되어 더 작게 측정되는 경향을 보인다고 하였다. 그러나 Quimby 등<sup>34</sup>은 OrthoCAD 디지털 모형에서 계측한 치아의 폭경이 항상 크다고 하였으며, 이들은 디지털 모형에서 치아 폭경이 더 크게 측정되는 원인으로 각 회사의 scanning 과정과 소프트웨어의 특정 알고리즘, 사용자의 소프트웨어 사용의 미숙함 등을 제시하였다. Zilberman 등<sup>9</sup>은 정확성에 있어서 하드웨어나 소프트웨어보다는 이를 운용하는 사용자의 숙련도와 지식이 정확성을 결정하는 데 더욱 기여한다고 하였고, 한<sup>16</sup>은 디지털 모형 측정치의 정확도를 향상시키기 위해서 디지털 모형에 익숙해지기 전까지는 석고 모형과 디지털 모형을 비교하면서 측정하는 것과 컴퓨터 화면에서 관찰하고자 하는 부위에 명암이 생기도록 디지털 모형을 회전시키는 것이 입체 구조의 파악에 도움이 된다고 하였다. 이 등<sup>35</sup>은 다섯 개의 디지털 모형을 두 명의 측정자가 측정하여 치아 폭경과 악궁 폭경을 비교한 결과 측정자간 오류가 없었다고 보고하였고, Daron 등<sup>12</sup>도 측정자간 유의한 차이는 없었다고 보고하였다. 본 연구에서는 한 명의 측정자가 측정하였는데 측정 초기에는 석고 모형에 비해 디지털 모형에서 측정 시 더 많은 시

간이 소요되었다.

CBCT 영상과 석고 모형 사이의 치아 폭경 계측치 차이는  $-0.22\sim 0.07$  mm의 범위로 나타났으며, 치아 폭경 계측치의 절대차는 0.30 mm 이하로 나타나서 디지털 모형과 마찬가지로 임상적 수용이 가능한 수준으로 생각된다 (Tables 5 and 7). CBCT 영상은 석고 모형과 비교 시 상악 견치, 제1소구치, 제2소구치, 제1대구치의 폭경이 유의하게 작게 계측되었고 하악 중절치의 폭경이 유의하게 크게 계측되었다 (Table 7). CBCT 영상은 디지털 모형에 비해 총생이 주로 나타나는 상, 하악 전치부에서 작은 차이를 보였는데 이는 CBCT 영상이 본 연구에서 사용된 디지털 모형과 같은 표면 스캔(surface scan) 방식이 아니라 볼륨 스캔(volume scan) 방식으로 획득되기 때문에 총생의 영향을 덜 받은 것으로 생각된다 (Tables 7). 디지털 모형의 경우에도 언더컷(undercut)의 영향을 받는 레이저를 이용한 표면 스캔 방식이 아닌 공업용 CT를 사용한 볼륨 스캔 방식을 사용할 경우에는 총생의 영향을 덜 받을 것으로 생각된다. Sakabe 등<sup>36</sup>은 상악골 정중부에 매복된 과잉치를 발치하기 전에 CBCT 영상에서 치관 폭경을 측정된 값과 발치 후 실측한 값을 비교한 결과 CBCT 영상에서 0.09 mm 더 크게 측정되었다고 하였다. Marmulla 등<sup>37</sup>은 216개의 계측점을 갖는 사물을 CBCT로 스캔하여 측정된 값과 실물의 계측치를 비교하여 평균 0.13 mm의 차이를 보고하였고 Lascalea 등<sup>32</sup>은 건조 두개골을 CBCT로 스캔하여 실측값과 비교한 결과 0.07~0.20 mm의 차이가 나타났으며 CBCT 영상에서 크기가 더 작게 계측되었다고 하였다. 본 연구에서는 Lascalea 등<sup>32</sup>의 보고와 유사하게 CBCT 영상에서 크기가 더 작게 계측되는 경향이 관찰되었다 (Table 7).

## 2-2. 전치부 치아의 합과 전체 치아의 합 및 Bolton 부조화 값

1958년 Bolton<sup>38</sup>은 55명의 우수한 교합을 갖는 환자를 대상으로 치아 크기의 부조화가 치열공간의 관계에 미치는 영향에 대해 연구하여, 하악 전체 치아의 근원심 폭경의 합 대 상악 전체치아의 근원심 폭경의 합의 비율(overall ratio) 및 하악 6전치의 근원심 폭경의 합 대 상악 6전치의 근원심 폭경의 합



의 비율(anterior ratio)을 정의하였다. Bolton은 overall ratio는 평균 91.3%, anterior ratio는 평균 77.2%라고 하였으며 1962년 몇몇의 임상 증례에 Bolton ratio를 적용한 결과 임상적으로 유용하다고 하였다.<sup>39</sup> Tomassetti 등<sup>40</sup>은 22개의 석고 모형에서 Vernier caliper(OIS<sup>®</sup> Orthodontics, Aston, PA)를 이용하여 치아 폭경을 측정 한 값과 3가지 소프트웨어들(Quick cephs, HATS, Ortho CAD)에서 측정한 치아 폭경 값을 대상으로 Bolton 부조화 값을 비교 한 결과 평균 0.88 mm의 anterior Bolton 부조화 값의 차이와 1.34 mm의 overall Bolton 부조화 값의 차이를 보고하였고, Daron 등<sup>12</sup>은 eModel을 대상으로 석고 모형과 Bolton 부조화 값을 비교한 결과 0.38 mm의 anterior Bolton 부조화 값의 차이와 0.50 mm의 overall Bolton 부조화 값의 차이를 보고하였다. 본 연구에서는 디지털 모형과 석고 모형을 비교 시 디지털 모형에서 anterior Bolton 부조화 값이 0.17 mm 작게, overall Bolton 부조화 값이 0.44 mm 작게 나타났으나, 통계적으로 유의하지는 않았다 (Tables 9 and 10).

CBCT 영상과 석고 모형을 비교 시에는 상, 하 전치부의 합과 하악 전체 치아 합에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 상악의 전체 치아 합은 CBCT 영상에서 1.38 mm 유의하게 작게 측정되었다. 이는 CBCT 영상에서 상악 견치 및 구치 폭경이 유의하게 작게 측정된 때문으로 생각된다 (Tables 7 and 8).

Bolton 부조화 값을 비교한 결과 CBCT 측정치에서 석고 모형 측정치를 뺀 값은 anterior Bolton 부조화에서 평균 -0.35 mm로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 overall Bolton 부조화에서는 평균 -1.25 mm로 유의한 차이가 있었다. 상악 과잉으로 표현된 Bolton 부조화 계산값이 CBCT에서 더 적게 측정된 것으로 나타났으며, 이러한 차이 역시 CBCT 영상에서 상악 견치 및 구치 폭경이 유의하게 작게 측정된 때문으로 생각된다 (Table 7 and 8).

디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에는 ant 및 overall Bolton 부조화 측정치에 있어서 0.662~0.764 범위의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 디지털 모형과 석고 모형 사이에서 상관관계가 더 낮았다

(Table 9).

### 2-3. 치열궁 길이 부조화 값

디지털 모형에서는 석고 모형에 비해 상악의 가용 공간은 0.41 mm 크게 측정되었고 하악의 가용 공간은 0.21 mm 크게 측정되었는데 (Table 8), Quimby 등<sup>34</sup>도 디지털 모형에서 가용 공간이 상악에서 0.54 mm, 하악에서 2.88 mm 더 크게 측정되었다고 보고하였다. 디지털 모형에서는 치열궁 길이 부조화에 따른 공간부족이 석고 모형에 비해 상악에서 0.41 mm, 하악에서 0.82 mm 더 심한 것으로 측정되었는데 (Table 8), Kelvin 등<sup>41</sup>도 디지털 모형에서 공간 부족이 상악에서 1.7 mm, 하악에서 0.1 mm 더 심한 것으로 측정되었다고 하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 디지털 모형에서 가용 공간에 비해 치아 폭경이 좀 더 확대되어 측정된 때문으로 생각된다.

CBCT 영상에서는 치열궁 길이 부조화에 따른 공간부족이 석고 모형에 비해 상악에서 0.43 mm 덜한 것으로, 하악에서 0.32 mm 더 심한 것으로 측정되었는데, 이는 CBCT 영상에서 특히 상악 견치 및 구치 폭경이 작게 측정된 데 기인한 것으로 생각된다 (Tables 7 and 8).

### 2-4. 악궁 폭경

디지털 모형과 석고 모형 사이의 악궁 폭경 측정치 오차는 평균 0.16~0.47 mm의 범위로 박<sup>17</sup>과 한<sup>16</sup>이 발표한 0.50~0.81 mm, 0.03~0.55 mm와 비교했을 때 더 작은 수준으로 나타났고, 측정치의 절대차 평균도 0.33~1.00 mm의 범위로 나타나서 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다 (Tables 6 and 8).

CBCT 영상에서 측정된 치열궁 폭경은 석고 모형과 비교시 평균 -0.46~0.01 mm의 차이를 보여 석고 모형보다 대체로 작게 측정되었으나 통계적으로 유의하지는 않았으며, 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각된다 (Table 8). CBCT 영상에서 치열궁 폭경 측정 시 치아의 교두에서 가장 밝은 곳을 교두정이라고 표시하고 교두정간의 거리를 측정하였는데 CBCT 영상을 회전

시킨 후 교두정의 3차원적 위치를 다시 확인하는 과정에서 하이라이트 부분이 변하는 경향이 오차의 원인이 되었을 수 있다. 디지털 모형과 마찬가지로 CBCT 영상에 익숙해지기 전까지는 석고 모형과 CBCT 영상을 비교하면서 계측하는 것이 도움이 될 것이다.

임상적으로 디지털 모형과 CBCT 영상을 활용하기 위해서는 석고 모형으로 수립한 치료 계획과 디지털 모형과 CBCT 영상을 기반으로 수립한 치료 계획이 동일해야 할 것이다. 개개 치아의 폭경 계측에 있어서 많은 치아들에서 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났고, 치열궁 공간 부조화, overall Bolton 부조화 값 등에서도 유의한 차이가 나타났다 (Table 8). 그러나 석고 모형에서도 다수의 치아의 폭경의 합으로부터 계산되는 계측치들은 상당히 낮은 재현도를 보이는 것을 감안할 때 치열궁 공간 부조화나 overall Bolton 부조화 값의 차이의 수준은 석고 모형을 대신하여 디지털 모형이나 CBCT 영상을 모형 분석에 사용할 수 없을 정도로 큰 수준은 아니라고 생각된다. 다만 석고 모형이든 디지털 모형 또는 CBCT 영상이건 간에 이들에서 다수의 치아 폭경의 합으로부터 계산되는 계측치들은 상대적으로 덜 정밀한 것이라는 점을 염두에 두는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 0.3 mm slice thickness로 촬영된 CBCT 영상에서 teeth 3 preset 설정을 이용하여 치아를 계측하였는데, 만약 다른 해상도의 CBCT 영상을 이용하거나 teeth 3 preset과 다른 설정을 이용한다면 본 연구와는 다른 결과가 나올 수 있다고 생각된다. 본 연구에서 CBCT 영상에서 대체로 치아 폭경이 작게 계측된 것은 teeth 3 preset이 인접면의 최대풍융부의 형태를 축소시켰기 때문일 수도 있다. 그러나 만약 인접면 최대풍융부 형태가 축소되었다면 대체로 배열이 양호한 구치보다는 인접면 접촉이 어긋나 있는 경우가 많은 절치에서 더 틀어졌어야 할 것으로 생각되어 최대풍융부 형태 축소의 가능성은 낮다고 생각된다. 또한 teeth 3 preset에 비해 좀 더 낮은 Hounsfield unit 부위도 표시되도록 역치 범위 설정(thresholding)을 조절할

경우에는 인접면 최대폭용부의 형태 축소 가능성은 줄일 수 있으나 치아 사이에 좁은 공간이 있는 경우 이 공간이 채워져 있는 것처럼 나타나는 경우가 많아 치아 폭경이 오히려 지나치게 크게 측정될 수 있기 때문에 이러한 방식은 실용적이지 않다고 생각된다.

본 연구에 사용된 석고 모형의 경우에는 환자로부터 인상을 채득하여 제작한 것이므로 환자의 치아 및 악궁 크기를 측정하기 위한 절대적인 기준이 될 수 없다. 또한 본 연구에 사용된 CBCT 영상은 석고 모형을 촬영한 것이 아니라 환자에서 직접 획득한 것이므로 본 연구에서 나타난 CBCT 영상과 석고 모형의 측정치 차이가 순수하게 CBCT의 오차만을 나타내는 것은 아니며 경우에 따라서는 환자에서 직접 획득한 CBCT의 측정치가 석고 모형에서 측정된 측정치보다 더 정확한 경우도 있을 수 있다. 또한 석고 모형에서 캘리퍼를 이용하여 측정하는 방법과 CBCT 영상 및 디지털 모형에서 측정 프로그램을 사용하여 측정하는 방법 사이에서도 오차가 발생할 수 있으며, 캘리퍼로 측정하는 경우에는 캘리퍼의 침단이 폭경 측정을 위해 필요한 부위에 정확히 도달할 수 없는 경우가 있다는 문제점이 있고, 디지털 모형과 CBCT 영상의 경우에는 3차원 모형을 2차원 화면 상에서 측정하는 어려움에 의해 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 피하기 위해서는 향후 건조 두개골로부터 CBCT를 촬영하고 건조 두개골로부터 인상을 채득하여 석고 모형을 제작한 후 건조 두개골로부터 치아를 발치하여 이상적인 배열 상태에서 측정된 치아 폭경과 석고 모형에서 캘리퍼를 이용하여 측정된 치아 폭경, CBCT 영상에서 프로그램을 이용하여 측정된 치아 폭경을 비교하는 것이 바람직할 수 있다.

최근 환자에서 획득된 CBCT 영상으로부터 디지털 모형을 제작해 주는 서비스를 제공하는 회사<sup>42</sup>(Anatomage, San Jose, CA)와 공업용 CT를 이용하여 인상체를 스캔하여 디지털 모형을 제작해 주는 회사<sup>43</sup>(OrthoProofUSA, Albuquerque, NM)가 등장하였는데, 이러한 환자의 CBCT 영상 기반의 디지털 모형 및 인상체의 CT 영상 기반의 디지털 모형이 모형 분석에 활용할 수 있는 수준의 정확도를 지녔는지는 추후 연구되어야 할 것으로 생각되며, 또

한 향후 구치 관계나 전치부 수직, 수평 피개도와 같은 약간 관계 계측 항목의 정확도에 대해서도 연구되는 것이 바람직하다.

## V. 결론

디지털 모형과 CBCT 영상이 석고 모형을 대신하여 모형 분석에 사용될 수 있는지를 조사하기 위하여 영구 치열기의 교정환자 20명의 CBCT 영상, 석고 모형과 석고 모형을 스캔한 디지털 모형으로부터 모형 분석(치아 폭경, 치열궁 폭경, 필요 공간, 가용 공간, 치열궁 길이 부조화, Bolton 치아 크기 부조화의 계측)을 시행하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치아 폭경과 악궁 폭경의 재현도 평균은 석고 모형에서 각각 0.06~0.27 mm, 0.26~0.84 mm, 디지털 모형에서 0.11~0.31 mm, 0.25~0.63 mm, CBCT 영상에서 0.15~0.26 mm, 0.34~0.49 mm의 범위로 나타나서 큰 차이가 없었다.
2. 디지털 모형과 석고 모형의 치아 폭경 계측치 차이의 범위는 0.01~0.20 mm로 나타났으며, 12개의 치아 중 7개 치아의 계측치에서 디지털 모형에서 유의하게 큰 것으로 계측되었다.
3. 디지털 모형과 석고 모형의 치열궁 길이 부조화 값의 계측치 차이는 0.82 mm 이하로 나타났고, Bolton 부조화 값의 차이는 0.44 mm 이하로 나타났으며 통계적 유의성은 없었다.
4. CBCT 영상과 석고 모형의 치아 폭경 계측치 차이의 범위는 -0.22~0.01 mm로 나타났으며, 12개의 치아 중 5개 치아에서 유의한 차이를 보였다.
5. CBCT 영상과 석고 모형의 치열궁 길이 부조화 값의 계측치 차이는 0.43 mm 이하로 나타났고 통계적 유의성은 없었다. Overall Bolton 부조화 값

은 CBCT 영상에서 1.25 mm 유의하게 작았다.

이상의 연구 결과를 종합하면 여러 모형 분석 항목들에서 디지털 모형과 석고 모형, CBCT 영상과 석고 모형 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 오차 수준이 크지 않아 임상에서 디지털 모형과 CBCT 영상을 모형 분석에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 차봉근, 이재용, 박석훈, 박동일. 미래의 교정진단: 3차원역공학기술의 교정학적 적용에 대한 예비 연구(I). 대치협회지 2002;40:107-17.
2. Sachdeva RC. SureSmile technology in a patient-centered orthodontic practice. J Clin Orthod 2001;35:245-53.
3. Andrews LF. Straight wire: The concept and appliance San Diego, L.A.Wells. 1986:25-33.
4. 장영일, 양원식, 남동석, 문성철. 한국형 교정치료용 Bracket의 개발에 대한 연구. 대치 교정지 2003;30:565-78.
5. Mah J, Sachdeva R. Computer-assisted orthodontic treatment: the SureSmile process. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;120:85-7.
6. Boyd LR, Miller JR, Vlaskalic V. The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. J Clin Orthod 2000;34:203-12.
7. Emodels, USA. Available at: <http://www.dentalemodels.com>.
8. OrthoCAD, USA. Available at: <http://www.orthocad.com>.
9. Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. Angle Orthod 2003;73:301-6.
10. Kuroda T, Motohashi N, Tominaga R, Iwata K. Three-dimensional dental analyzing system using laser 스캐너. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1996;110:365-9.
11. Sohmera T, Kojima T, Wakabayashi K, Takahashi J. Use of an ultrahigh-speed laser 스캐너 for constructing three-dimensional shapes of dentition and occlusion. J Prosthet Dent 2000;84:342-52.
12. Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, H대 G, Major PW.



Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:794-803

13. Garino F, Garino GB. Comparison of dental arch measurements between stone and digital casts. *World J Orthod* 2002;3:250-4.

14. 유희옥, 박강. 3차원 치아모형 스캐너의 최적 스캐닝 자세 생성 알고리즘. 2000 석사학위논문(명지대학교).

15. 박재우. Laser scan으로 제작된 3차원 진단 모형의 계측치 오차에 대한 연구. 석사학위논문. 2003(서울대학교).

16. 한진희. 3차원 디지털 교정 진단 모형과 석고 모형의 계측치 비교. 2004 석사학위논문(연세대학교).

17. 박상익. 충생 정도에 따른 진단 모형의 수작업과 3차원 디지털 작업의 계측치 비교. 2006 석사학위논문(고려대학교).

18. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical conebeam algorithm. *J Opt Soc Am* 1984;1:612-9.

19. Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop* 2005;66:434-44.

20. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, Zoller JE. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:551-9.

21. Misch KA, Yi ES, Sarment DP. Accuracy of Cone Beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol* 2006 ;77:1261-6.

22. Pinsky HM, Dyda S, Pinsky RW, Misch KA, Sarment DP. Accuracy of three-dimensional measurements using cone-beam CT. *Dentomaxillofac*

Radiol 2006;35:410-6.

23. Ludlow JB, Laster WS, See M, Bailey LJ, Hershey HG. Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007 ;103:534-42.

24. Chang J, Yenice KM, Narayana A, Gutin PH. Accuracy and feasibility of cone-beam computed tomography for stereotactic radiosurgery setup. Med Phys 2007;34:2077-84.

25. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet 1986;8:307-10.

26. Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. Dentomaxillofac Radiol 1999;28:245-8.

27. 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. Eur Radiol 1998;8:1558-64.

28. Araki K, Maki K, Seki K, et al. Characteristics of a newly developed dentomaxillofacial x-ray cone beam CT 스캐너 (CB MercuRay): System configuration and physical properties. Dentomaxillofac Radiol 2004;33:51-59.

29. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2003;95:371-7.

30. Danforth RA. Cone beam volume tomography: A new digital imaging option for dentistry. J Calif Dent Assoc 2003;31:814-5.

31. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofac Radiol 2003;32:229-34.

32. Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:291-4.
33. Santoro M, Galkin S, Teredesai M, Nicolay OF, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:101-5.
34. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 2004;74:298-303.
35. 이주훈, 장미숙, 백기석, 이승표. 3차원 가상 치과모형 계측 값의 정확성 유효 검증. *대한해부학회지* 2004;37:209-18.
36. Sakabe J, Kuroki S, Fujimaki S, Nakajima I, Honda K. Reproducibility and accuracy of measuring unerupted teeth using limited cone beam X-ray CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:2-6.
37. Marmulla R, Wortche R, Muhling J, Hassfeld S. Geometric accuracy of the NewTom 9000 cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34:28-31.
38. Bolton WA. Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod* 1958;28:113-30.
39. Bolton WA. The clinical application of tooth-size analysis. *Am J Orthod* 1962;48:504-29.
40. Tomassetti JJ, Taloumis LJ, Denny JM, Fischer JR Jr. A comparison of 3 computerized Bolton tooth size analysis with a commonly used method. *Angle Orthod* 2001;71:351-7.
41. Mok ML, Cooke MS. Space analysis: a comparison between sonic digitization (DigiGraph<sup>TM</sup> Workstation) and digital caliper. *European Journal of Orthodontics* 1998;20:653-61.
42. Anatomage, USA. Available at: <http://www.anatamage.com>.
43. OrthoProofUSA, USA. Available at: <http://www.orthoproofusa.com>.

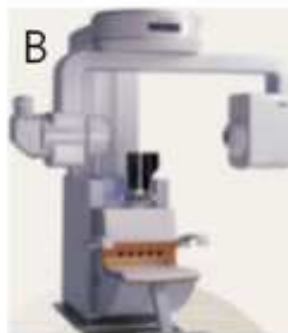


Fig 1. Apparatus used in this study. A, 3D dental 스캐너; B, CBCT machine.

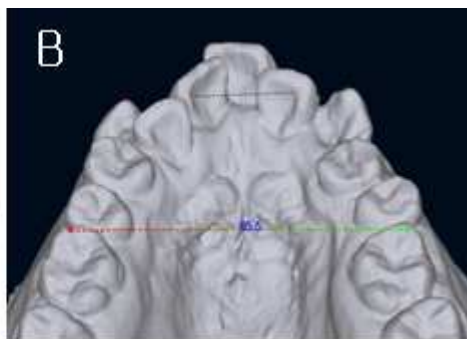
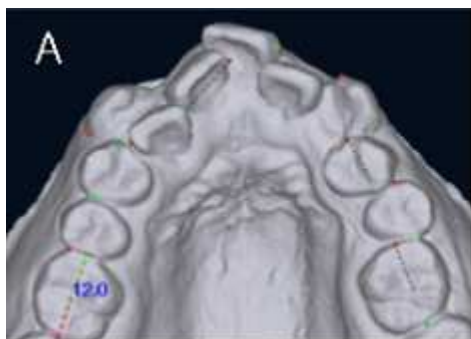


Fig 2. Measurements of tooth size and dental arch width in 3D digital model. A, Measurements of tooth size; B, Measurements of dental arch width.

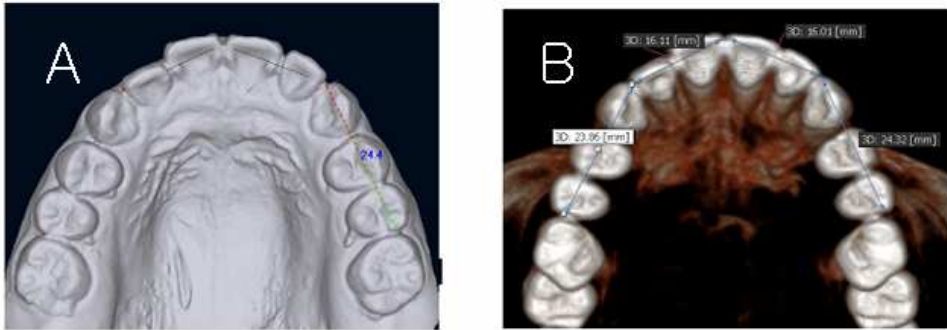


Fig 3. Measurements of available space. *A*, Measurements in 3D digital model; *B*, Measurements in CBCT image.

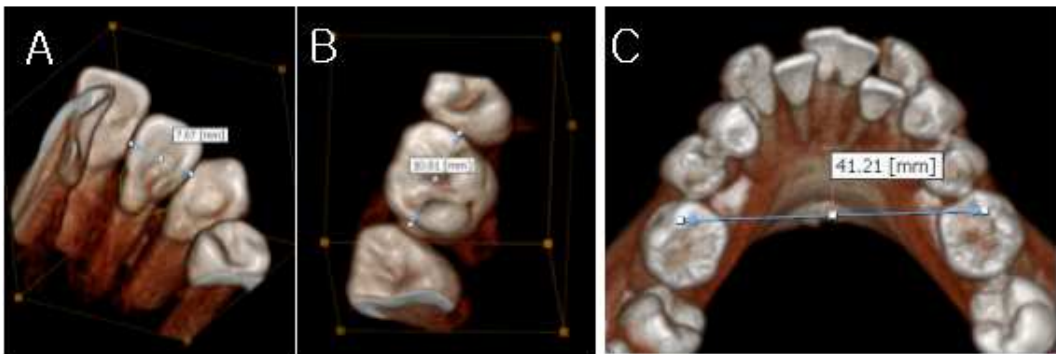


Fig 4. Measurements of tooth size and dental arch width in CBCT image. *A*, Measurements of anterior tooth width; *B*, Measurements of posterior tooth width; *C*, Measurements of dental arch width.

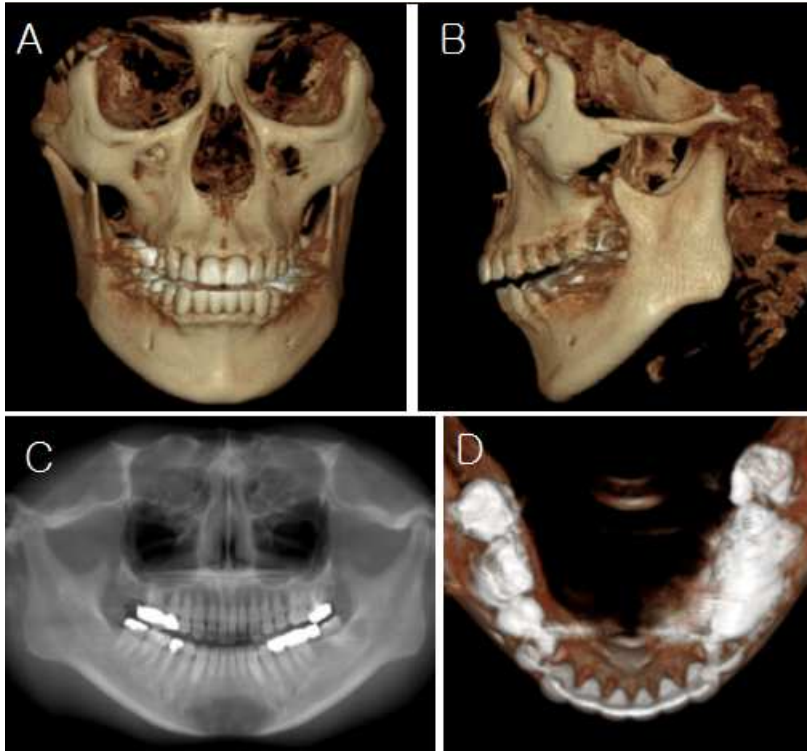


Fig 5. Image from CBCT. A, B, 3D Hard tissue image from CBCT; C, Panoramic image generated from CBCT; D, Mandibular dentition image from CBCT. Scattering from metallic restoration can be seen.

사사

본 연구는 2006학년도 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과입니다.

