

# Comparison of digital models generated from three-dimensional optical scanner and cone beam computed tomography

Hyuk-Jin Kwon<sup>1</sup>, Kack-Kyun Kim<sup>2</sup>, Won-Jin Yi<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Dentistry, <sup>2</sup>Department of Oral Microbiology and Immunology, <sup>3</sup>Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

**Purpose:** The objective of this study was to compare the accuracy of digital models from 3 dimensional (3D) optical scanner and cone beam computed tomography (CBCT). **Materials and Methods:** We obtained digital models from 11 pairs of stone casts using a 3D optical scanner and a CBCT, and compared the accuracy of the models. **Results:** The error range of average positive distance was 0.059 - 0.117 mm and negative distance was 0.066 - 0.146 mm. Statistically ( $P < 0.05$ ), average positive distance was larger than 70  $\mu$ m and shorter than 100  $\mu$ m, and that of negative distance was larger than 100  $\mu$ m and shorter than 120  $\mu$ m. **Conclusion:** We concluded that the accuracy of digital models generated from CBCT is not appropriate to make final prostheses. However, it may be acceptable for provisional restorations and orthodontic diagnoses with respect to the accuracy of the digitalization. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2016;32(1):60-9)

**Key words:** dental casting technique; dental digital radiography; dental models; cone beam computed tomography

## 서론

치과진료에서 석고모형은 필요한 환자의 구강상태에 대한 정보를 구외에 재현함으로써 진단 및 보철물 제작에 필요한 정보를 제공한다. 그러나 석고모형은 보관 공간이 필요하고, 파손 및 변형이 일어날 수 있으며 복제에 추가적인 비용이 발생한다는 단점이 있다. 이러한 문제점에 대하여 디지털 모델이 해결책으로 제시 되어 현재 임상적으로 사용되고 있다. 대안으로 제시된 디지털 모델은 저장 공간이 필요하지 않고 영구적인 보관이 가능하며 복제와 이동이 편하다는 장점이 있다. 현재 디지털 모델은 임상적으로 사용 가능한 정확성을 확보 하여 보철수복 및 악구강영역의 수술 등 치과진료에 활용되고 있다.<sup>1</sup> 전통적인 석고모형을 대체하기 위한 시도가 이루어지고 있으며<sup>2-4</sup> CAD/CAM을 통한 보철물의 제

작 및 임플란트 진료에 디지털 인상채득이 이루어지고 있다.<sup>5-7</sup> 또한 악관절수술시 석고모형을 직접 스캔 하여 교합면 부위의 해상도를 향상 시키는데도 활용되고 있으며,<sup>8</sup> 교정 영역에서의 활용 가능성도 지적되었다.<sup>9</sup> 그러나 이러한 장점에도 불구하고 디지털 인상채득법은 수술을 위한 3차원 광학 스캐너와 같은 추가적인 장비의 도입이 필요하며 장비활용에 있어 숙련기간이 필요하다는 단점이 있다.

임플란트 진료가 보편화 되면서 일반적인 진료실 환경에서의 CT 및 콘빔CT (cone beam computed tomography)의 활용이 확대됐다.<sup>10,11</sup> CT 영상의 치과영역에서의 진단적 정확성은 Baugaertel 등의 연구에서 입증된 바 있고 콘빔CT 영상의 악구강영역에서의 정확성 또한 Minchkowski 등에 의해 보고되었다.<sup>12,13</sup> 이에 더불어 CT 영상을 통한 디지털 모델의 제작 역시 여러 연구

\*Correspondence to: Won-Jin Yi  
Professor, Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 03080, Republic of Korea  
Tel: +82-2-2072-3049, Fax: +82-2-744-3919, E-mail: wjyi@snu.ac.kr  
Received: February 22, 2016/Last Revision: March 16, 2016/Accepted: March 16, 2016

Copyright© 2016 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.  
© It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

에서 시도되어 왔고 특히 교정영역에서의 활용가능성은 여러 연구에서 확인되었다.<sup>14,15</sup> 그러나 CT 영상은 구강 내에 금속 수복물이 존재하는 환자는 잡음으로 인해 구강부위의 정상적인 디지털 영상을 얻기 어려운 단점이 있다. CT의 금속잡음을 극복하기 위한 여러 방법이 시도 되었으나 아직까지 보철수복물 제작에 활용 가능한 영상 구성방법이 보고된 바는 없다.<sup>10</sup> 이러한 CT의 금속 잡음을 회피하기 위해 석고모형으로부터 디지털 모델을 제작하는 방법이 시도 되었다. 특히 Kang 등의 연구는 타이포돈트를 통해 콘빔CT로 구성된 디지털 모델의 정확도를 인상체, 교합인기등의 광학 스캔 정보들을 이용해 향상시키는 시도를 하였다.<sup>16</sup> 이 연구는 두 가지 3D 촬영 방법을 이용하여 디지털 모델의 정확성향상을 이루었으나 실험대상이 타이포돈트에 국한되어 있고 콘빔CT와 3차원 광학 스캐너를 모두 사용하여 일반 진료실에서 도입하기에는 경제적인 측면에서의 한계점이 존재한다.

일반진료실에서의 콘빔CT의 사용이 보편화된 시점에서 콘빔CT와 석고모형을 이용하여 제작한 디지털 모델의 정확성을 확인하고, 특히 임상적으로 사용되고 있는 3차원 광학 스캐너로부터 얻어진 모델과의 차이를 분석하는 것은 추가적인 비용 없이 임상적으로 활용 가능한 디지털 모델을 만들 수 있는가를 확인해 볼 수 있는 의의를 지닌다. 그러나 아직까지 석고모형의 콘빔CT

영상을 이용한 디지털 모델과 3차원 광학 스캐너를 통한 모델의 차이를 실제 환자의 석고모형을 통하여 분석한 연구는 보고되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 환자의 석고모형의 콘빔CT 이미지로 디지털 모델을 제작하고 이 디지털 모델을 3차원 광학 스캐너의 디지털 모델과 비교하였다. 비교 시 ICP (iterative closest point) 알고리즘을 이용해 두 모델을 정렬하여 3차원 광학스캐너의 디지털 모델과 콘빔CT로 구성된 디지털 모델의 차이를 측정하고 분석하였다.

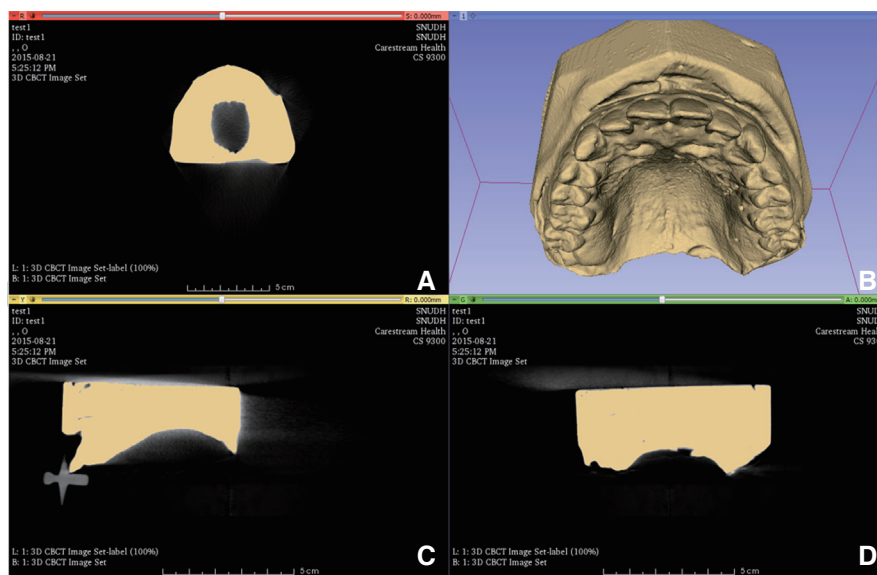
## 연구 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

2014년 2월에서 2015년 5월까지 서울대학교 치과병원 교정과에 내원한 환자들의 진단모형 중 11쌍을 난수표를 이용하여 무작위 선출하였다.

### 2. 콘빔CT를 이용한 디지털 모델 제작

콘빔CT 촬영장치(Carestream CS9300, Carestream Health, Rochester, USA)를 이용하여 아래의 과정을 통해 디지털 모델을 제작하였다(Fig. 1). 석고모형을 고정 후 콘빔CT 촬영장치를 이용하여 촬영하였다. 촬



**Fig. 1.** Construction procedure of digital model from CBCT image. (A) Down view of intermediate model with threshold 600 - 1,000, (B) Rear view of intermediate model with threshold 600 - 1,000, (C) Side view of intermediate model with threshold 600 - 1,000, (D) Constructed digital model.

영조건은 80 - 90 Kvp, 2 - 15 mA, scan time은 12 - 28 초, Voxel size 200  $\mu\text{m}$ 으로 하여 한 모형에 대하여 287 개의 cut을 촬영하였다. 콘빔CT에서 얻어진 데이터는 DICOM (Digital Imaging & Communication in Medicine) 파일 형식으로 변환하였다. DICOM 데이터를 3D Slicer<sup>17</sup>를 이용해 3D 표면 데이터로 변환하였다. 변환 시 잡음을 제외한 석고모형부분만 표면 데이터로 구성하기 위해 데이터의 임계값(threshold)를 600 - 1000 범위의 값에서 조절하였다. 완성된 이미지는 STL (STereoLithography) 형식으로 저장하여 ICP 알고리즘을 이용해 정렬하고 비교하였다.

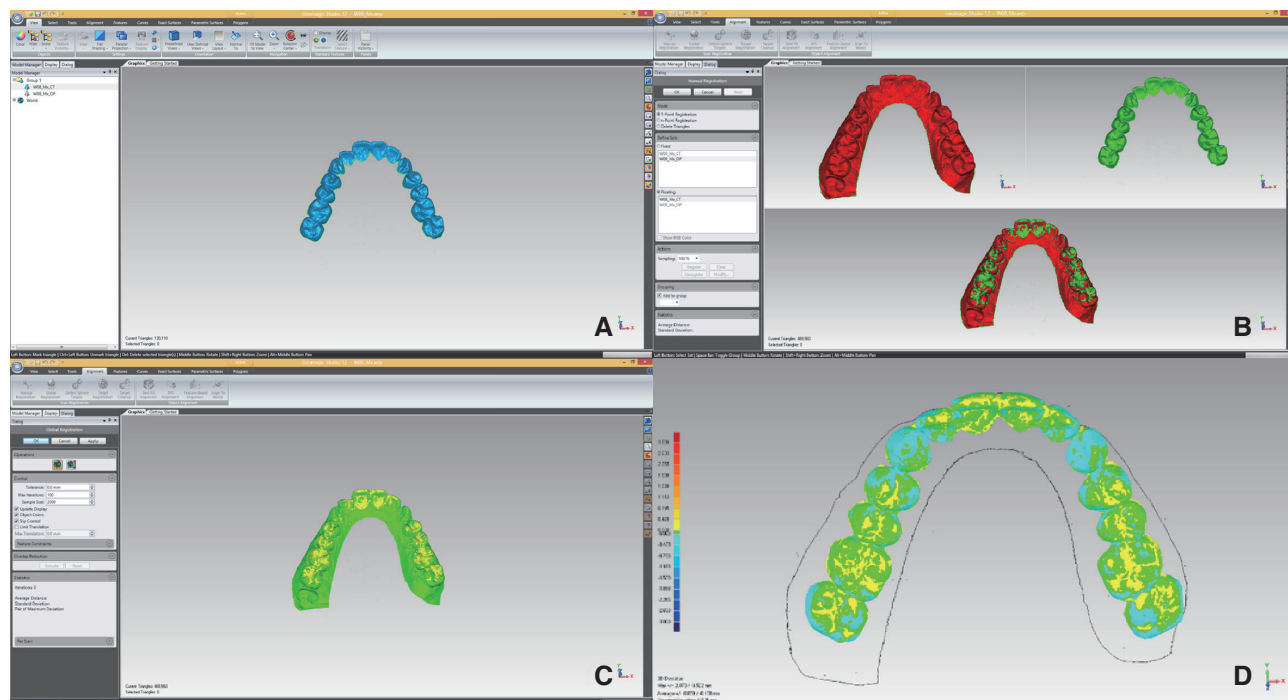
### 3. 3차원 광학 스캐너를 이용한 디지털 모델의 제작

구의 모델스캐너(Identica-Blue, Medit, Seoul, Korea)을 사용하여 아래의 과정을 통해 석고모형의 디지털 모델을 제작하였다. 정확도 10 - 15  $\mu\text{m}$ 의 조건에서 제조사의 지침에 따라 3차원 광학 스캐너로 모델 촬영하였다. 그 후 자동 스캔 작업 수행하고 보간(interpolation) 작업 중 공극으로 표시된 부분은 재촬영을 실행하여 모델을

생성하였다. 완성된 이미지를 STL 파일 형식으로 저장하였다.

### 4. 비교

각 석고모형에 대하여 콘빔CT와 3차원 광학 스캐너를 이용하여 만든 디지털 모델을 한 쌍으로 묶어 상, 하악 각각 11쌍을 구성하여 아래의 과정을 통해 두 모형간 차이를 분석하였다. 분석은 Geomagic Studio 12 (Geomagic, 3D Systems, Rock Hill, USA) 프로그램을 이용하였다(Fig. 2). 치아를 제외한 부분을 제거한 후 두 모형을 ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘을 통해 3차원 광학 스캐너로 만든 디지털 모델을 기준으로 정렬하였다. 분석 시 정렬된 콘빔CT로부터 생성한 모델이 대조군인 광학 스캐너의 모델보다 높은 값을 가지게 된 경우를 양의 오차(Positive Error, PE)로 정의하고 반대로 정렬된 콘빔CT 모델이 대조군 보다 같은 지점에서 축소된 값을 가지게 된 것을 음의 오차(Negative Error, NE)로 정의하였다. 두 모델의 정렬된 위치에서의 평균 오차, 최대 오차 및 표준편차를 계산하였다.



**Fig. 2.** Deviation analysis procedure. (A) Trimming of CBCT digital model, (B) Alignment of digital models from CBCT and 3D oral scanner by ICP algorithm, (C) Aligned result, (D) Result of deviation analysis.

## 결과

양의 오차의 경우 최대 값이 0.866 - 3.564 mm 범위 내에서 존재했고, 평균은 0.059 - 0.117 mm 사이에 존재했으며 음의 오차는 최대값이 1.283 - 3.840 mm 범위에 존재했고 평균값은 0.066 - 0.1 mm 범위에 존재했다 (Table 1). 상악과 하악의 양의 오차와 음의 오차의 평균의 분포는 공분산을 가정할 수 있었다. 이에 따라 일원 배치 분산분석을 시행 할 수 있었으며 시행 결과 상악과 하악에서 유의한 차이가 없다( $P < 0.05$ )는 점을 확인하였다. 양의 오차와 음의 오차 간의 정규성 검정 시행하여 두 분포의 정규성을 유의수준 0.05에서 확인 후 각 오차에 대하여 일반적인 보철물의 변연오차 허용 값인 70  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$  및 각 오차의 평균 근방의 값인 80  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 110  $\mu\text{m}$ 를 기준으로 단일표본 T 검정을 수행하였다. 검정 결과 양의 오차는 70  $\mu\text{m}$  이상이며 100  $\mu\text{m}$  이하이며 (Table 2) 음의 오차는 70  $\mu\text{m}$  이상이며 120  $\mu\text{m}$

이하인 것이 유의 함( $P < 0.05$ )을 확인했다 (Table 3).

양의 오차와 음의 오차의 최대값은 수정작업으로 접근이 어려운 모델의 내부의 잡음이나 모델의 변연에서 동떨어진 외부의 잡음으로부터 발생하였다. 이러한 잡음부위는 해부학적 구조가 아닌 3D 구성과정을 통해 생긴 가상의 지점에서의 오차이다. 따라서 양의 오차와 음의 오차의 최대값은 본 연구에서의 분석대상으로서 의미가 없다고 판단하였다.

각 비교 쌍의 정면, 교합면의 양의 오차와 음의 오차를 색을 이용해 표현하였다 (Fig. 3). 두 모델의 수월한 비교를 위해 위해 색채가 나타내는 오차의 크기와 범위를 21개의 색 범주로 최대 오차를 3.0 mm 최대 공칭 (nominal) 값을 0.05 mm로 동일하게 설정하였다. 이를 통하여 일부 콘빔CT 모델에서 소와 (pit), 열구 (fissure) 및 치간부에는 양의 오차가 발생하고 교두 (cusp) 부위는 음의 오차가 발생한 것을 확인하였다 (Fig. 4).

**Table 1.** Maximum, average and standard deviation of PE and NE of each model

Cast No.	Cast type	Maximum		Average		Total	Standard deviation
		PE	NE	PE	NE		
01	Mx	1.168	3.115	0.070	0.101	0.025	0.129
	Mn	1.358	2.298	0.088	0.104	0.000	0.134
02	Mx	1.124	3.545	0.074	0.076	0.001	0.107
	Mn	2.744	3.305	0.083	0.104	0.022	0.127
03	Mx	2.088	1.934	0.088	0.066	0.024	0.104
	Mn	1.352	2.722	0.113	0.108	0.013	0.152
04	Mx	2.876	3.666	0.059	0.113	0.051	0.147
	Mn	2.820	3.694	0.099	0.125	0.031	0.197
05	Mx	3.564	3.840	0.078	0.072	0.070	0.483
	Mn	2.541	2.708	0.083	0.083	0.007	0.124
06	Mx	1.392	3.544	0.083	0.091	0.003	0.122
	Mn	1.816	3.210	0.085	0.089	0.002	0.128
07	Mx	1.189	3.435	0.093	0.104	0.006	0.140
	Mn	2.325	3.044	0.082	0.098	0.016	0.125
08	Mx	1.510	3.461	0.084	0.095	0.003	0.124
	Mn	2.439	3.323	0.085	0.123	0.027	0.144
09	Mx	0.866	3.105	0.074	0.098	0.016	0.120
	Mn	0.930	1.283	0.083	0.100	0.013	0.125
10	Mx	1.689	2.598	0.117	0.146	0.012	0.208
	Mn	2.578	3.311	0.099	0.097	0.002	0.152
11	Mx	0.924	1.901	0.073	0.137	0.043	0.173
	Mn	1.231	3.072	0.096	0.139	0.062	0.166
Average		1.843	3.005	0.086	0.103	0.020	0.156

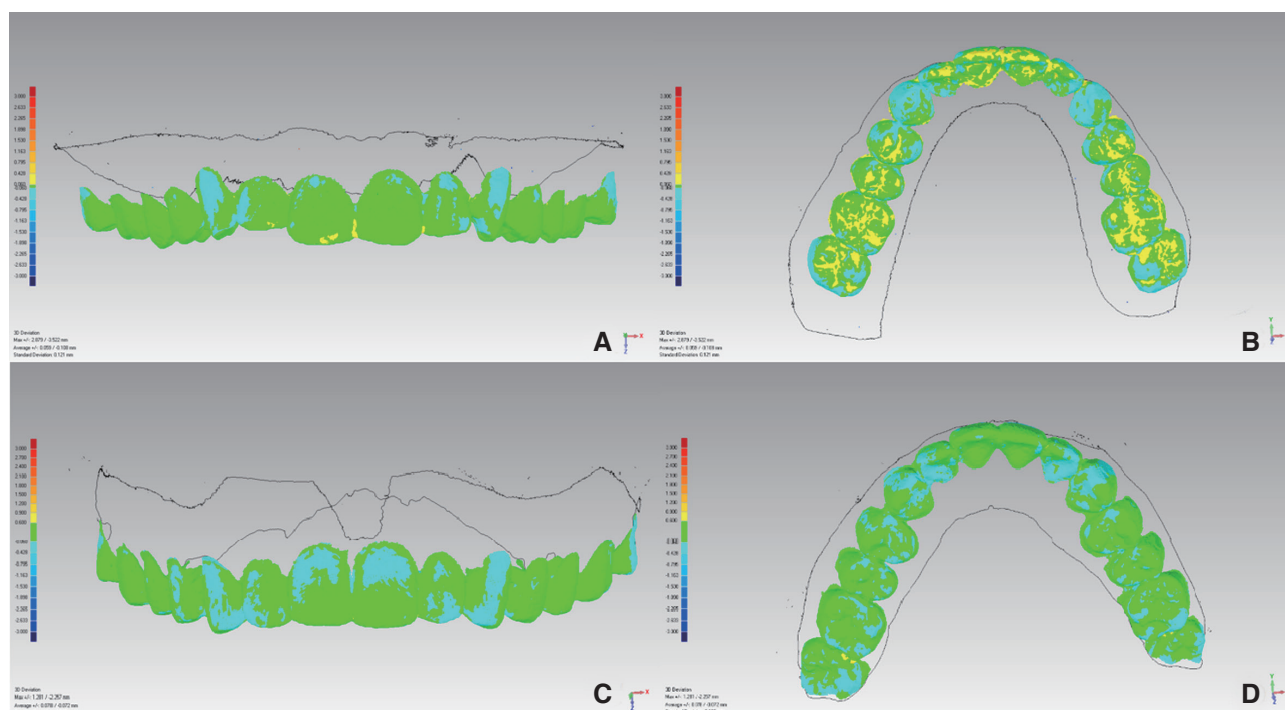
PE, positive error; NE, negative error; Mx, maxilla; Mn, mandible.

**Table 2.** T-test of PE with t = 70, 80, 90, 100, 110, 120  $\mu\text{m}$ 

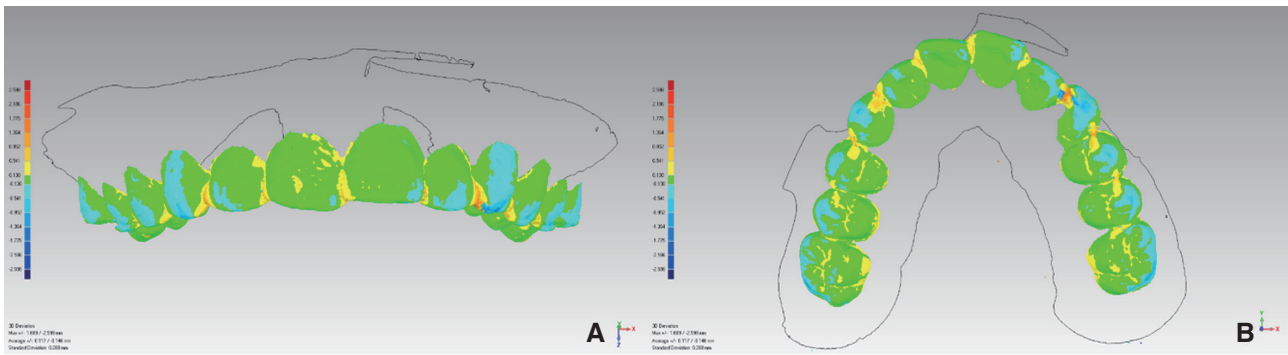
Test value $\mu\text{m}$	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	95% Confidence interval of the difference	
					Lower	Upper
70	5.569	21	0.000	-0.159	0.010	0.022
80	2.059	21	0.052	0.006	-0.001	0.012
90	-1.452	21	0.161	-0.004	-0.010	0.002
100	-4.963	21	0.000	-0.141	-0.020	-0.008
110	-0.847	21	0.000	-0.241	-0.301	-0.182
120	-11.984	21	0.000	-0.034	-0.040	-0.028

**Table 3.** T-test of NE with t = 70, 80, 90, 100, 110, 120  $\mu\text{m}$ 

Test value $\mu\text{m}$	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	95% Confidence interval of the difference	
					Lower	Upper
70	7.396	21	0.000	-0.033	0.238	0.425
80	5.164	21	0.000	0.023	0.014	0.032
90	2.932	21	0.000	0.013	0.004	0.022
100	-3.764	21	0.492	-0.003	-0.006	0.012
110	-1.532	21	0.140	-0.007	-0.016	0.002
120	-3.764	21	0.001	-0.169	-0.026	-0.008

**Fig. 3.** Deviation analysis (A) Frontal view of result shows least average PE (maxillary cast of model no. 01), (B) Occlusal view of result shows least average PE (maxillary cast of model no. 01), (C) Frontal view of result shows least average NE (maxillary cast of model no. 03), (D) Occlusal view of result shows least average NE (maxillary cast of model no. 03).





**Fig. 4.** Deviation analysis which shows PE at pit, fissure, proximal area and NE at cusp (maxillary cast of model no. 10).

## 고찰

물리적인 공간이 필요하지 않고 재사용이 가능하며 전송이 용이한 디지털 모델의 장점들은 이미 여러 연구에서 확인되었다. 촉감을 제공할 수 없다는 단점 또한 Azari와 Nikzad<sup>18</sup>와 Kuo 등<sup>19</sup>이 보고한 바와 같이 RP (Rapid Prototyping) 모델 제작을 통하여 극복되고 있다. 이에 따라 디지털 모델 연구는 활발하게 이루어지고 있다. Commer 등의 연구에 따르면 3차원 광학 스캐너 장비를 이용한 디지털 모델은 이미 전통적인 보철물 및 CAD/CAM 과정에 충분히 활용 가능하다고 보고되고 있다.<sup>20</sup> 또한 현재 여러 종류의 3차원 광학 스캐너가 상용화되어 있고 이를 이용한 디지털 인상채득 연구가 진행되고 있다.<sup>3,4</sup> 그러나 3차원 광학 스캐너는 일반 진료실에 일반적으로 보급되어 있지는 않다.<sup>11</sup> 이와는 다르게 콘빔CT의 경우 임플란트 진료의 보편화에 따라 광범위하게 보급되어 있다. 따라서 접근성이 높은 콘빔CT 이미지를 활용하여 디지털 모델을 제작하려는 시도가 있어 왔다. 이러한 시도는 특히 악교정수술에서 활발히 시도되었고 이미 임상적으로도 사용되고 있다.<sup>8</sup> 교정영역에서도 콘빔CT 영상을 통한 치열공간분석이 교정치료에 활용하기에 문제가 없음이 보고되었다.<sup>21</sup>

그러나 환자의 콘빔CT 영상 활용 시 구강 내에 금속이 존재할 경우 이로 인한 잡음으로 인해 영상품질이 저해된다는 문제점이 있다. 또한 금속잡음의 문제가 없는 환자라 할 지라도 수술이나 임플란트 진료가 아닌 이상 콘빔CT를 촬영은 아직까지 일반적으로 시도되지 않기 때문에 구강의 콘빔CT 영상을 통해 디지털 모형을 구성할 경우 모형제작을 위한 불필요한 방사선 노출이 야기

된다는 점 또한 존재한다. 반면 석고모형의 콘빔CT 영상의 제작은 금속잡음 및 불필요한 방사선 노출의 문제로부터 자유롭다.

따라서 본 연구에서는 석고모형을 대상으로 콘빔CT 영상과 3차원 광학 스캐너를 통해 구성된 디지털 모델을 비교 분석하였다. 상, 하악 11쌍의 석고모형으로부터 구성된 디지털 모델들에 대하여 ICP 알고리즘을 이용해 정렬한 후 모델을 구성하는 두 모델의 삼각형 폴리곤 메시(polygon mesh)의 최단거리를 통해 두 모델의 차이를 분석하였다. 분석 결과 평균 양의 오차는 85  $\mu\text{m}$ , 음의 오차는 121  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 또한 일부 콘빔CT 모델에서 교두 부분에서는 음의 오차가 발생하고 소와, 열구, 치간부에서 양의 오차가 발생한 점을 확인하였다.

3차원 이미지 구성 시 곡률반경이 작고 깊은 부분의 경우 고립되거나 심한 스파이크를 보이는 폴리곤(polygon)이 생성될 가능성이 높다. 교두와 소와 열구 부위는 이러한 지점에 해당되며 이러한 종류의 폴리곤은 모델 표면의 거친 질감을 유발하기 때문에 모델 구성 시 주변의 폴리곤들의 평균값을 고려해 일부분 평탄화된다. 콘빔CT를 이용한 디지털 모델 제작에 사용된 3D slicer의 경우 모델 구성에 이러한 과정이 포함되어 있었고 교두, 소와 및 열구 부분의 값은 평탄화되어 평균 쪽으로 이동하여 교두 부위에는 음의 오차가 소와 열구 부위에는 양의 오차가 발생하게 된 것으로 파악된다. 이러한 오차는 보다 많은 실험을 통해 석고모형의 콘빔CT 영상을 통한 디지털 모델에서 자주 발생하게 되는 3차원 영상구성상의 오류를 통계적으로 파악하여 그에 맞는 영상처리 기법을 적용함으로써 일부분 극복가능할 것으로 예상된다.

다음으로 석고모형의 콘빔CT를 통한 디지털 모델의 보철물 제작 시 활용가능성을 분석 하였다. Christensen 은 금인레이와 같은 보철물의 적합한 변연 간격은 약 39  $\mu\text{m}$ 라고 보고하였다.<sup>22</sup> Hung 등은 PFM (Porcelain Fused Metal crown)과 전부도재관에서 허용 가능한 변연오차는 50 - 75  $\mu\text{m}$  로 지적하였다.<sup>23</sup> Weaver 등은 주조형 전부도재관의 적절한 변연적합도를  $70 \pm 10 \mu\text{m}$ 로 보고하였다.<sup>24</sup> Beuer 등의 연구에서는 Belser 등의 보고를 종합하여 CAD/CAM으로 제작된 보철물의 경우 변연오차가 120  $\mu\text{m}$  이하인 경우 임상적으로 사용 가능하다는 보다 유연한 기준을 제시하였다.<sup>25-29</sup>

콘빔CT 영상으로부터 구성된 디지털 모델의 양의 오차와 음의 오차는 다수의 연구자들이 주장한 허용 가능한 최대 변연오차인 약 70  $\mu\text{m}$ 보다 유의하게( $P < 0.05$ ) 큰 것으로 파악되었다. 반면 양의 오차, 음의 오차의 평균값은 Beuer 등이 제시한 기준인 120  $\mu\text{m}$ 의 변연오차보다는 유의하게( $P < 0.05$ ) 작다는 점을 확인할 수 있었다.<sup>25</sup> 그러나 Beuer 등은 동일한 연구에서 광학스캔을 이용한 CAM 보철물이 가지게 되는 변연오차의 평균값이 CAD/CAM 시스템의 종류에 따라 최소의 경우 9  $\mu\text{m}$ 에서 최대 108  $\mu\text{m}$ 의 값을 가진다고 보고하였다.<sup>25</sup> 따라서 콘빔CT를 이용해 제작된 디지털 모델이 CAD/CAM에 적용될 경우 오차의 중첩으로 인하여 같은 연구에서 제시된 변연오차의 기준인 120  $\mu\text{m}$ 를 넘는 130 - 229  $\mu\text{m}$ 의 변연오차를 가질 것으로 예상할 수 있었다. 또한 전통적인 방법으로 제작한 금속수복물의 경우도 최소 40  $\mu\text{m}$  이상의 변연오차를 가질 수 있음이 보고되어 있다.<sup>30</sup> 이에 따라 콘빔CT를 이용한 디지털 모델을 최종보철물 제작에 사용하는 것은 적합하지 않다고 판단하였다.

Givens 등은 통상적인 임시보철물 제작에 이용되는 이중 중합형 및 자가 중합형 수복물질로 제작한 상악중절치 임시 치관의 변연부에서 177 - 319  $\mu\text{m}$ 의 오차가 발생함을 확인하였다.<sup>31</sup> 이는 콘빔CT 및 CAD/CAM을 활용한 보철물 제작 시 발생할 것으로 예측되는 130 - 229  $\mu\text{m}$ 의 변연오차를 허용하는 범위이다. 이미 디지털 모델과 CAD/CAM을 통한 임시수복물의 제작은 활발히 이루어지고 있는 점을 고려하면 콘빔CT를 이용한 디지털 모델은 임시보철물 제작에 활용 가능할 것으로 생각된다.

Mischkowski 등은 콘빔CT 영상이 helical CT보다 평균적으로 길이에 있어서 0.06 mm, 부피에 있어서 0.55 mL 부정확 하지만 교정 진단에 활용하기에는 문제가

없음을 밝힌 바 있다.<sup>13</sup> 따라서 석고모형의 콘빔CT를 이용한 디지털 모델이 정확한 석고모형으로부터 구성된 경우 교정 진단 영역에서 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구에서는 일반적인 석고 석고모형의 콘빔CT 영상을 이용하여 구성된 디지털 모델과 3차원 광학 스캐너를 통해 구성된 디지털 모델을 비교하여 오차를 분석 하였다. 분석 결과 양의 오차의 최대값은 0.866 - 3.564 mm 범위에 존재했고 평균값은 0.059 - 0.117 mm의 범위에 존재했다. 음의 오차의 최대값은 1.283 - 3.840 mm 범위에서 얻어졌으며 유의수준 0.05 에서 양의 오차의 평균은 70 - 100  $\mu\text{m}$ , 음의 오차의 평균은 100 - 120  $\mu\text{m}$  내에 존재함을 확인 하였다. 이로부터 석고모형의 콘빔CT 영상으로부터 구성된 디지털 모델은 임시수복물 제작 및 교정진단 과정에 활용될 수 있는 가능성이 있다는 결론을 내렸다.

## Acknowledgements

This work was supported by the Technology Innovation Program (1004888) funded By the Ministry of Trade, industry & Energy (MI, Korea).

## References

1. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent* 2013;109:121-8.
2. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hägg U, Wong RW, Bendeus M, Yeung S. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Eur J Orthod* 2010;32:589-95.
3. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent* 2008;29:494, 496, 498-505.
4. Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated dental casts based on intraoral

- scanner data. *J Am Dent Assoc* 2014;145:1133-40.
5. Cuperus AM, Harms MC, Rangel FA, Bronkhorst EM, Schols JG, Breuning KH. Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:308-13.
6. Lee CY, Ganz SD, Wong N, Suzuki JB. Use of cone beam computed tomography and a laser intraoral scanner in virtual dental implant surgery: part 1. *Implant Dent* 2012;21:265-71.
7. Frisardi G, Chessa G, Barone S, Paoli A, Razionale A, Frisardi F. Integration of 3D anatomical data obtained by CT imaging and 3D optical scanning for computer aided implant surgery. *BMC Med Imaging* 2011;11:5.
8. Swennen GR, Mommaerts MY, Abeloos J, De Clercq C, Lamoral P, Neyt N, Schutyser FA. A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:48-57.
9. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:16.e1-4.
10. Zhao S, Robertson DD, Wang G, Whiting B, Bae KT. X-ray CT metal artifact reduction using wavelets: an application for imaging total hip prostheses. *IEEE Trans Med Imaging* 2000;19:1238-47.
11. Lim DO, Seo GS, Kim JY. Korea health industry statistics system - 2013 medical device market research report. Available from: [http://www.khiss.go.kr/board/bbs\\_read.jsp?tname=MINBOARD358&bbsid=B302&cat\\_bbsid=&bbs\\_seq=415&jkey=&jword=&pg=1&hxtxt\\_code=1253697824500862357829650921550&wj\\_vcs=&reverseNum=196&forwardNum=1](http://www.khiss.go.kr/board/bbs_read.jsp?tname=MINBOARD358&bbsid=B302&cat_bbsid=&bbs_seq=415&jkey=&jword=&pg=1&hxtxt_code=1253697824500862357829650921550&wj_vcs=&reverseNum=196&forwardNum=1) (updated 2016 Feb 22).
12. Baumgaertel S, Palomo JM, Palomo L, Hans MG. Reliability and accuracy of cone-beam computed tomography dental measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:19-25.
13. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, Zöller 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.
14. Kato A, Ohno N. Construction of three-dimensional tooth model by micro-computed tomography and application for data sharing. *Clin Oral Investig* 2009;13:43-6.
15. Tarazona B, Llamas JM, Cibrian R, Gandia JL, Paredes V. A comparison between dental measurements taken from CBCT models and those taken from a digital method. *Eur J Orthod* 2013;35:1-6.
16. Kang SH, Lee JW, Lim SH, Kim YH, Kim MK. Dental image replacement on cone beam computed tomography with three-dimensional optical scanning of a dental cast, occlusal bite, or bite tray impression. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;43:1293-301.
17. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, Bauer C, Jennings D, Fennessy F, Sonka M, Buatti J, Aylward S, Miller JV, Pieper S, Kikinis R. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging* 2012;30:1323-41.
18. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyp J* 2009;15:216-25.
19. Kuo RF, Chen SJ, Wong TY, Lu BC, Huang ZH. Digital morphology comparisons between models of conventional intraoral casting and digital rapid prototyping. Springer International Publishing, 2015;478-80.
20. Commer P, Bourauel C, Maier K, Jäger A. Construction and testing of a computer-based intraoral laser scanner for determining tooth positions. *Med Eng Phys* 2000;22:625-35.
21. Lim MY, Lim SH. Comparison of model analysis measurements among plaster model, laser scan digital model, and cone beam CT image. *Korean J Orthod* 2009;39:6-17.
22. Christensen GJ. Marginal fit of gold inlay castings. *J Prosthet Dent* 1966;16: 297-305.
23. Hung SH, Hung KS, Eick JD, Chappell RP. Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown. *J Prosthet Dent* 1990;63:26-31.
24. Weaver JD, Johnson GH, Bales DJ. Marginal adaptation of castable ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1991;66:747-53.
25. Beuer F, Naumann M, Gernet W, Sorensen JA. Pre-



- cision of fit: zirconia three-unit fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig* 2009;13:343-9.
26. Belser UC, MacEntee MI, Richter WA. Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent* 1985;53:24-9.
27. Proussaefs P. Crowns cemented on crown preparations lacking geometric resistance form. Part II: effect of cement. *J Prosthodont* 2004;13:36-41.
28. Karlsson S. The fit of Procera titanium crowns. An in vitro and clinical study. *Acta Odontol Scand* 1993;51:129-34.
29. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 1971;131:107-11.
30. Pompa G, Di Carlo S, De Angelis F, Cristalli MP, Annibali S. Comparison of Conventional Methods and Laser-Assisted Rapid Prototyping for Manufacturing Fixed Dental Prostheses: an in vitro study. *BioMed Res Int* 2015;2015:318097.
31. Givens EJ Jr, Neiva G, Yaman P, Dennison JB. Marginal adaptation and color stability of four provisional materials. *J Prosthodont* 2008;17:97-101.

## 3차원 광학 스캐너와 콘빔CT에서 생성된 디지털 모형의 비교

권혁진<sup>1</sup>, 김각균<sup>2</sup>, 이원진<sup>3\*</sup>

서울대학교 치의학대학원 <sup>1</sup>치위학과, <sup>2</sup>구강악안면 감염 및 면역학교실, <sup>3</sup>구강악안면방사선학교실

**목적:** 본 연구에서는 실제 환자의 석고모형의 콘빔CT (Cone Beam Computed Tomography) 이미지로 디지털 모델을 제작하고 이 디지털 모델을 동일한 석고모형을 3차원 광학 스캐너로 스캔 하여 얻은 디지털 모델과 비교하였다.

**연구 재료 및 방법:** 총 11쌍의 석고모형에 대하여 실험을 진행 하였다. 콘빔CT를 이용하여 CT 영상을 촬영하여 디지털 모델을 제작 하였고 3차원 광학 스캐너를 사용해 대조군이 되는 디지털 모델을 제작하였다. 이를 이용해 각 석고모형에 대하여 콘빔CT와 3차원 광학 스캐너를 이용하여 만든 디지털 모델을 한 쌍으로 묶어 상, 하악 11개의 비교 쌍을 구성하고 각 쌍에 대하여 차이점을 분석하였다.

**결과:** 대조군과 비교 시 콘빔CT 영상으로부터 구성된 디지털 모델이 대조군 보다 과다 추정된 부분인 양의 오차의 평균은 0.059 - 0.117 mm, 과소 추정된 부분인 음의 오차의 평균은 0.066 - 0.146 mm의 범위 내에 존재했다. 또한 유의수준 0.05에서 양의 오차의 평균은 70 - 100  $\mu$ m, 음의 오차의 평균은 100 - 120  $\mu$ m 내에 존재 함을 확인하였다.

**결론:** 석고모형의 콘빔CT 영상으로부터 구성된 디지털 모델은 최종 수복물 제작에는 부적합하나 임시수복물 제작 및 교정 진단 과정에 활용될 수 있는 가능성이 있다.

(구강회복응용과학지 2016;32(1):60-9)

**주요어:** 치과주조법; 치과용디지털 방사선; 치과 모형; 콘빔CT

\*교신저자: 이원진

(03080) 서울특별시 종로구 대학로 101 서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실

Tel: 02-2072-3049 | Fax: 02-744-3919 | E-mail: wjyi@snu.ac.kr

접수일: 2016년 2월 22일 | 수정일: 2016년 3월 16일 | 채택일: 2016년 3월 16일