

# CS-3500 구강 내 스캐너로 채득된 디지털 인상의 신뢰도 및 정확도 평가

김사학 · 김재홍<sup>†</sup> · 김종건<sup>1</sup>

경동대학교 치기공학과, <sup>1</sup>경동대학교 호텔경영학과

## Reliability and Accuracy of Digital Impression Obtained from CS-3500 Intraoral Scanner

Sa-Hak Kim, Jae-Hong Kim<sup>†</sup>, and Chong-Kyen Kim<sup>1</sup>

Department of Dental Technology, School of Medical and Public Health, Kyungdong University, Goseong 24764,

<sup>1</sup>Department of Hotel Management, School of Tourism, Kyungdong University, Goseong 24764, Korea

The purpose of this study was to evaluate the reliability and accuracy of linear measurements in digital models compared to master model. A master model (ANKA-4; Frasco GmbH, Tettwang, Germany) with the prepared upper full arch tooth was used. Four linear measurements were recorded between landmarks, directly on the master model and the digital models by a single examiner. Measurements were made with a digital caliper from manual model and with the software from the virtual models. The t-test for paired samples and intraclass correlation coefficient (ICC) were used for statistical analysis. The measurement of two methods showed good reliability. The mean differences between master and digital model were 0.06~0.12 mm. These in vitro studies show that accuracy and reliability of the digital impression is similar to that of the gold standard. Therefore digital impression was also considered to be acceptable for placement clinically.

**Key Words:** Accuracy, Digital impression, In-office computer aided design/computer aided manufacturing, Reliability

### 서론

구강 내의 환경을 재현하는 복제 모형 제작과정은 치과 진료에서 있어서 매우 중요한 과정 중 하나이며, 정확성과 효율성 그리고 신속성이 모두 만족되어야 하는 과정이다. 현재 대부분의 치과 의원에서는 구강 내 모습을 재현할 때 인상재와 트레이를 이용한 전통적인 인상채득 방법을 사용하고 있다. 하지만 인상채득 과정은 인상재의 잘못된 선택 또는 사용방법에 따른 인상재 변형과 술자의 숙련도와 상관 없는 환자의 구토반응, 개구장애 등과 같이 다양한 요인들에 의하여 여러 번 채득이 불가피할 수도 있다. 인상채득 후 석고모형을 제작하는 과정에서 인상재 종류와 시간, 주변

환경에 따른 변형의 가능성, 그리고 모형재의 경화팽창 등이 문제가 되며, 보관 시의 분실과 파손 가능성 등의 문제도 있다<sup>1-3)</sup>.

그리하여 구강 내 디지털 인상법은 이러한 문제점 가운데 많은 요소들을 해결할 수 있는 혁신적인 방법으로, 지대치 형성을 제외한 모든 과정, 즉 인상채득, 모형 제작, 보철물 제작까지 모두 in-office computer aided design/computer aided manufacturing (CAD/CAM) system이 담당하게 되었다. 이러한 신개념의 인상채득 방법을 가능하게 하는 가장 중요한 작업 중 하나가 바로 구강 내의 모습을 3차원적으로 재구성하여 디지털화하는 것이다. In-office CAD/CAM system은 구강 내 스캐너를 이용하여 디지털 인상을 채득하

Received: September 15, 2015, Revised: October 4, 2015, Accepted: October 4, 2015

ISSN 1598-4478 (Print) / ISSN 2233-7679 (Online)

<sup>†</sup>Correspondence to: Jae-Hong Kim

Department of Dental Technology, School of Medical and Public Health, Kyungdong University, 46 Bongpo 4-gil, Toseong-myeon, Goseong 24764, Korea  
Tel: +82-33-639-0233, Fax: +82-33-693-0239, E-mail: noreason07@korea.ac.kr

Copyright © 2015 by the Korean Society of Dental Hygiene Science

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

고 컴퓨터로 보철물의 크기와 형태, 인접치와의 관계, 대합치와의 교합관계를 디자인하여 진료실 내의 연결된 milling machine을 통해 보철물 제작이 즉각 가능하도록 한다. 따라서 환자는 1번의 내원만으로도 인레이(inlay), 온레이(onlay), 라미네이트(laminate), 크라운(crown)의 제작 및 장착이 가능하다는 장점이 있다<sup>4,5)</sup>.

치과 보철학 분야에서는 구강 내 스캐너의 임상 적용 시 정확성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 현재까지 구강 내 스캐너를 이용하여 제작된 보철물과 기존 방식의 인상채득법으로 제작된 보철물의 적합도를 비교한 많은 연구가 보고되었는데, 많은 연구에서 디지털 인상을 이용하여 제작된 보철물의 적합도는 기존 방식의 적합도와 비교하였을 때 임상적으로 적절하다고 평가하고 있다<sup>6)</sup>. Nakamura 등<sup>7)</sup>과 Caputi와 Varvara<sup>8)</sup>의 연구를 비롯하여 아직까지는 악궁 전체가 아닌 치과 보철물 지대치의 변연형태 위주로 연구 결과가 보고되고 있으며, Seelbach 등<sup>9)</sup>은 디지털 인상채득 시스템이 전통적인 인상채득법과 비교하여 비슷한 수준의 정확성을 갖는 고정성 보철물 제작을 가능하게 한다고 보고하였다. 또한 Ender와 Mehl<sup>10)</sup>은 디지털 인상 채득법과 전통적인 인상 채득법의 정확성이 유사하다는 결과를 내었다.

최근 소개된 구강 내 스캐너인 CS-3500 (Carestream Dental, Atlanta, GA, USA)는 기존의 날장을 수동으로 이어 붙이는 방식과 번거롭게 구강 내에 미세 파우더(산화 티타늄: TiO<sub>2</sub>)를 도포하여 인상을 채득했던 방식과는 다르게 빠른 시간 내에 연속적으로 구강 내 치아나 주위의 경조직, 연조직의 이미지를 스캔하여 합성한 후 디지털 인상을 채득하고, 파우더의 도포가 별도로 필요하지 않아 넓은 범위에 스캐닝이 더욱 유리한 구강 내 스캐너로 알려져 있다. 현재 전 세계적

으로 종합병원 및 치과의원에서 널리 사용하고 있으나, 아직까지 CS-3500으로 채득된 디지털 인상데이터의 정확도와 신뢰도를 조사한 연구는 보고된 바 없다.

이에 본 연구는 최신 경향의 구강 내 스캐너로 획득된 3차원 디지털 인상의 지정된 계측치를 측정된 후 비교함으로써 디지털 인상의 정확도와 신뢰도를 평가하여, 임상적 활용 가능성을 논하고자 한다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

#### 1) 주 모형 준비

본 연구를 위해 유치악 자연치를 재현한 아크릴릭 모형(ANKA-4; Frasco GmbH, Tettang, Germany)을 기준 모델로 선정하였다. 결손치가 없으며, 치아의 배열이나 총생이나 치아 간격 없이 이상적인 치열을 가지고 있는 상악 모형이다. 실제 환자의 구강 내의 상태나 악궁의 형태와는 상이할 수 있으나, 스캔 작업 시 제약이 생길 수 있는 오차를 최소화하기 위해 선택하였다(Fig. 1).

#### 2) 디지털 인상 채득과정

디지털 인상을 채득하기 위해 CS-3500을 이용하여 10회씩 스캔하였다. 숙련된 1명의 연구자가 제조사에서 지시한 매뉴얼에 따라 진행하였다. CS-3500 구강 내 스캐너는 사진(still cut)을 찍어 컴퓨터 계산으로 이어 붙이는 방법(stitch)으로 3차원 구조를 얻을 수 있는 방식으로, 디지털 영상의 정합에 필요한 만큼의 스캔을 시행하였으며, 소프트웨어가 추가 스캔을 요구할 경우에 해당 부위의 추가 스캔을 하였다. 전반적인 치아의 교합면을 훑듯이 스캔한 다음 혀, 설측으로 스캐너를 기울여 데이터를 붙여나가는 방식으로 하였



Fig. 1. Master model.



Fig. 2. Scanning process.

다. 최종적으로 획득한 3차원 영상은 데이터 분석을 위해 확장자 STL file의 형태로 저장하였다(Fig. 2).

## 2. 연구 방법

### 1) 계측지점 선정

기준 모델의 전악의 정확도와 신뢰도를 평가하기 위해, Kim 등<sup>11)</sup>의 연구에서 사용한 계측지점을 참고하여 본 연구에 알맞게 수정하여 계측지점을 총 4곳의 측정 지점을 지정하였다. 상악 좌측 견치 교두정을 'I' point, 상악 우측 견치 교두정을 'II' point, 상악 좌측 제1대구치 근심협측 교두정을 'III' point, 상악 우측 제1대구치 근심협측 교두정을 'IV' point로 정의하였다(Fig. 3).

### 2) 수평적 측정항목

측정 항목은 다음과 같다(Table 1).

- ① 견치간 폭경(I~II): 좌우 견치 교두정간의 거리.
- ② 구치간 폭경(III~IV): 좌우 제1대구치의 근심협측 교두정간의 거리.
- ③ 치열궁 장경(I~III, II~IV): 기존 연구의 치열궁 장경

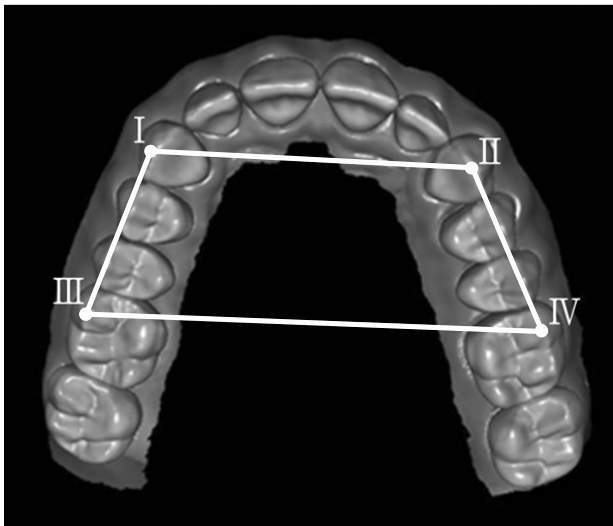


Fig. 3. Landmarks and linear measurements on the master model.

은 양측 제 1 대구치의 원심면을 연결하는 직선을 가정한 채, 양측 중절치의 절연부의 중점으로부터 이 직선에 수선을 내려 거리를 계측하지만, 본 연구에서는 digital caliper를 이용하기 때문에 가상선을 가정하기 어렵고 또한 부정확하기 때문에 양쪽 견치교두와 제 1대구치의 근심협측 교두의 직선거리를 측정하여 판단하기로 하였다.

### 3) 계측지점 측정(manual, virtual method)

#### ① Manual measurement: master model

측정자는 계측에 경험이 풍부한 1인이 1주일의 간격을 두고 2회에 걸쳐 측정을 시행하였다. 한 모형에서 4개의 치아를 선정하여 4가지의 치아간 거리를 측정하였으며 측정도구는 디지털 캘리퍼스(CD-20PSX; Mitutoyo Corp, Kawasaki, Japan)를 사용하였다. 계측지점의 부위를 정확하게 접근하기 위해 surveyor table에 주 모형을 고정하여 측정하였다(Fig. 4). 측정오차를 고려하여 수평적인 계측 항목을 5회씩 반복 측정하였다. 이 중에 최대값과 최소값을 제외한 나머지 3개의 수치의 평균을 구하여 실측치로 삼았다.

#### ② Virtual measurement: digital model

구강 내 스캐너로 획득된 데이터는 Delcam power SHAPE software (Delcam plc., Birmingham, UK)를 사용하여 각 계측지점의 직선거리를 측정하였다. '모델 분석'이라는 도구 메뉴를 선택하여 data에 좌표를 지정한 후 두 좌표간의 거리를 계산하여 측정값을 도출하였다. 측정자는 계측에 경험이 풍부하며 전용 소프트웨어 운용이 숙련된 1인이 계측 지점마다 5번씩 측정된 값의 평균값으로 계산하여 도출하였으며, 이 중에 최대값과 최소값을 제외하였다.

## 3. 분석 방법

### 1) 신뢰도 평가방법

계측 시 측정자 내의 차이가 있는지 평가하기 위해 실험 대상을 1주 간격으로 다시 측정하고 측정자 내 신뢰도는 급내 상관계수(intra-class correlation coefficient, ICC)를 구하였다. ICC는 0에서 1까지의 숫자로 신뢰도를 표현하며, ICC 결과값이 1에 가까울수록 신뢰도가 높음을 내포한다<sup>12)</sup>.

Table 1. Landmark Definitions on Digital Impression

Landmarks	Measurement	Definition
I~II	Inter-canine distance	Straight distance between the crown tips of the canines
III~IV	Inter-molar distance	Straight distance between the mesiobuccal cusp tip of the 1st molars
I~III	Dental arch length (left)	Straight distance between the left canine cusp tip and left 1st molar mesiobuccal cusp tip
II~IV	Dental arch length (right)	Straight distance between the right canine cusp tip and right 1st molar mesiobuccal cusp tip

일반적으로 ICC 0.20 이하는 매우 낮은 신뢰도(poor reliability), 0.20~0.40 사이는 낮은 신뢰도(fair reliability), 0.41~0.60 사이는 보통의 신뢰도(moderate reliability), 0.61~0.80 사이는 높은 신뢰도(good reliability), 그리고 0.81~1.00 사이는 매우 높은 신뢰도(very good reliability)로 간주된다. 본 연구에서는 ICC가 0.75 이상인 경우 적절한 수준의 측정자 내 신뢰성이 있는 것으로 판단하였다<sup>13)</sup>.

측정자 내 신뢰도의 차이를 평가하기 위해 시행된 급내 상관분석(intraclass correlation analysis) 결과 주 모형은

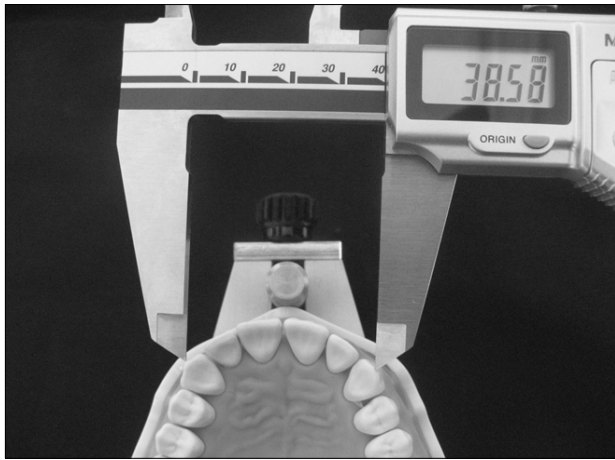


Fig. 4. Manual measurement.

0.84~0.93의 범위를 나타내었고, 디지털 인상은 0.89~0.98의 범위를 보였다. 디지털 인상으로 채득된 데이터가 보다 높은 수치의 신뢰도를 나타냈기에 3D software 상에서 계측하는 방법이 높은 재현성과 반복성을 보인다고 할 수 있다(Table 2).

2) 정확성 평가방법

주 모형과 구강 내 스캐너로 복제된 디지털 인상의 계측치의 평균, 표준편차 및 계측치 차이의 평균 등의 기술적 통계량을 제시하였고, 정확성 검정을 위하여 paired t-test를 시행하고 측정오차를 산출하였다.

모든 통계 처리와 분석은 IBM SPSS Statistics ver. 20.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하여 시행하였으며, 제 1종 오류 수준은 0.05로 설정하였다.

결 과

각 계측지점의 계측치의 평균과 표준편차를 구하여 두 실험군의 차이를 기준으로 정확성을 평가하였다(Table 3). 각 계측지점의 절대오차의 평균값은 0.06~0.12의 범위를 보였다. 양의 값을 나타냈기 때문에 주 모형(master)이 상대적으로 크다고 할 수 있다. 동일한 계측지점의 수치 값의 차이가 있는지 알아보기 위해 paired t-test를 시행한 결과, 'III~

Table 2. Intra-Examiner Reliability of Measurements between Master and Digital Models

Measurement point	Master			Digital		
	ICC <sup>a</sup>	95% CI <sup>b</sup>		ICC	95% CI	
		Lower	Upper		Lower	Upper
I~II	0.84	0.69	0.90	0.91	0.80	0.97
III~IV	0.93	0.82	0.98	0.98	0.90	0.99
I~III	0.87	0.73	0.94	0.92	0.82	0.98
II~IV	0.86	0.72	0.92	0.89	0.77	0.91

ICC: intraclass correlation coefficient, 95% CI: 95% confidence interval.

Table 3. Agreements between Master and Digital Models in Assessing Dental Arch Relationship

Measurement point	Descriptive				<sup>a</sup> Mean difference	<sup>b</sup> p-value
	Master		Digital			
	Mean	SD	Mean	SD		
I~II	37.88	0.29	37.82	0.07	0.06	0.264
III~IV	53.67	0.31	53.55	0.09	0.12	0.038
I~III	23.15	0.23	23.07	0.11	0.08	0.191
II~IV	22.99	0.26	22.88	0.06	0.11	0.042

<sup>a</sup>+ value=Master model is larger.

<sup>b</sup>p-value indicates the significance of the paired t-test.

IV' 지점과 'II~IV' 지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보여 적정수준의 정확성을 나타내지 않았다( $p < 0.05$ ).

## 고 찰

구강 내 디지털 인상채득법은 치의학 분야에 접목되어 임상에서 널리 활용되고 있으며, 현재에도 아직 발전하는 기술이다. 가장 큰 장점은 치과의사가 구강 내 스캐너를 사용하여 환자의 구강 내 환경을 3차원 이미지로 전환할 수 있다는 점이다. 어떤 상황에서도 술자의 숙련도와 기술에 상관 없이 일정한 인상이 나올 수 있는 정확성 측면이 뒷받침된다면 구강 내 디지털 인상법으로 인한 in-office CAD/CAM system이 치의학분야에 있어 중요한 패러다임의 전환을 야기할 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 구강 내 스캐너를 이용하여 채득된 3차원 디지털 인상을 기반으로 신뢰도와 정확도를 평가하였다. 전악의 모형에서 4개의 계측지점을 지정하여 측정값을 토대로 오차를 규명하였으며, 주 모형을 실측하여 표준치로 삼아 실험군의 측정치와 차이를 통해 오차의 값을 정확도로 판단하였다. 각 실험군의 결과 값의 비교를 통해 정확도 분석에 앞서서 본 실험에서 사용된 측정방법이 적절히 사용되었는지 여부를 판단하기 위해 측정방법의 신뢰도가 검증이 선행되었다. 급내 상관계수를 구하여 측정값의 신뢰도를 평가하였는데, 동일한 계측지점을 기준으로 일정한 시간간격을 두어 측정된 결과 급내 상관계수는 실험군 모두 0.8 이상의 결과를 보였다(Table 2).

본 연구에서 견치간 폭경, 구치간 폭경, 치열궁 장경의 계측치를 세분화하여 주 모형과 디지털 모형의 정확성을 검증하였다. 그 차이는 0.06~0.12 mm 정도의 수치를 나타냈으며(Table 3), 'III~IV' 지점과 'II~IV' 지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 다른 계측지점과 비교하였을 때 적정 수준의 정확도에는 미치지 못한 결과지만, Lim과 Lim<sup>14)</sup>이 석고모형을 기준으로 한 연구와 견주어 볼 때 0.33~1.00 mm의 오차를 보였으며, 이와 같은 수준의 오차는 교정치료 계획 수립을 위한 용도로는 문제가 없다는 결론을 내었다. 또한 치아의 폭경을 측정하여 전통적인 방식과 디지털 모형의 오차에 대해 분석한 수많은 선행 연구 중 Bell 등<sup>15)</sup>의 연구에서는 디지털 모형과 석고모형의 차이를 평균 0.27 mm로 보고하였고, 이 오차는 임상적으로 유의성이 없다는 결론을 내었다. 또한 Watanabe-Kanno 등<sup>16)</sup>의 연구에서도 0.2 mm 이하의 계측값 차이는 임상에서 환자의 진단이나 치료의 목적으로 사용하는 데 지장이 없을 것으로 판단하였고, Keating 등의 연구<sup>17)</sup>도 약 0.19 mm의

차이 값을 인정하여 임상적인 효용성 여부를 가늠하였다. 본 연구에서 사용한 구강 내 스캐너와 다른 광원을 사용했던 Kuroda<sup>18)</sup> 등의 연구에서도 치아 간 폭경의 계측 오차는 0.03~0.16 mm의 범위로 보고하여 임상적으로 문제없다는 결론을 내었으며, 주 모형과 비교하였을 때 작게 계측되는 경향을 보고하였는데, 이는 본 연구와 동일한 결과의 양상이다. 이들은 디지털 모형에서 치아 간 폭경이 더 작게 측정되는 원인으로 각 제조회사의 스캐닝 과정과 소프트웨어의 특정 알고리즘, 사용자의 소프트웨어 사용의 미숙함을 제시하였다. 선행들의 다각적인 정확도 검증 결과, 본 연구의 오차 범위는 환자의 치료계획을 수립하기 위한 진단용 모형의 용도로는 임상적으로 수용 가능한 수준이라 생각되며, 전악으로 인상채득하여 치열 교정치료를 계획하거나 치료의 예후를 상대적으로 비교하는 용도로는 적절한 것으로 판단된다. 그러므로 CS-3500 구강 내 스캐너는 치의학 분야 다양한 임상 증례에 활발히 응용될 것으로 기대된다.

주 모형에 비해 디지털 모형이 계측지점마다 오차가 발생된 것은 디지털 모형의 오차만은 아닐 것이다. 주 모형을 측정하기 위해 digital caliper 사용 시 측정지점에 접촉하는 tip의 위치나 각도에 따라 결과 값이 변할 수 있고, 디지털 모형 측정 시 측정지점의 판단오류나 불분명함에서 체계적 오류가 발생할 수 있다<sup>19)</sup>. 디지털 모형에 익숙하지 않은 측정자의 경우는 측정치의 정확도에 문제를 제기할 수 있으며, 측정지점을 선정한 뒤 이상적인 교합평면과 평행하지 않는 상태에서 측정하는 경우는 치아의 식립각도나 계측지점의 위치에 따라 값은 달라지는 결과를 고려해야 할 것이다<sup>20)</sup>. 또한 본 연구에서는 실험군으로 표준화된 치열모형을 체외(in-vitro)에서 사용하였지만, 실제 임상에서는 환자의 구강 내부(in-vivo)를 스캔할 때는 체적이 좁고 구강 구조물들이 서로 가까이 위치해 있기 때문에 스캔과정이 용이하지 않을 것으로 판단된다. 구강의 내부는 매우 협소하여 스캐너의 자유로운 이동 및 각도 변경에 상당한 제한을 받기에 정확성 디지털 인상을 얻기가 더욱 어려워진다. 따라서 본 실험 결과의 일반화에는 일정정도의 한계를 내포한다. 향후 구강 내에서 촬영한 디지털 스캔 모형에 대한 연구가 필요할 것으로 생각되며, 이 분야의 세계적으로 연구 경향은 아직 활성화되어 있지 않으나 아날로그 인상채득 방식에서 벗어나 보다 효율적이며 안정적인 인상채득을 위해서는 심층적인 연구에 관심을 가져야 할 것이다.

## 요 약

본 연구는 최신 경향의 구강 내 스캐너로 채득된 3차원 디

지털 인상의 정확도와 신뢰도를 평가하기 위해 4가지 계측 지점을 통하여 분석하였다. 주 모형과 비교하였을 때, 디지털 인상이 작게 계측되는 경향을 나타내었고, 각 계측지점 별로 0.06~0.12 mm 범위의 차이를 보였다. 선행연구의 결과에 의해 임상적으로 오차범위를 허용할 수 있는 것으로 나타났으며, 환자의 진단이나 치아 교정치료 계획 수립 시 사용되는 모형에는 큰 영향이 없음을 확인할 수 있었다. 실험에서는 구강 내 상황이나 해부학적 구조를 무시하고 진행하였지만, 실제 임상에서 사용 시에는 구강 내 협소한 공간, 타액 등으로 인한 치아면의 난반사 증가, 혀 등의 해부학적 구조물로 인한 작업 방해 등의 여러 가지 요인이 인상과정에 영향을 줄 수 있을 것이라 판단된다. 추후 실험에서는 가능한 구강 내 상황을 재현한 상태에서 실험을 진행하면 좀 더 임상 적용에 도움이 될 것으로 생각된다.

## References

- Mah J, Hatcher D: Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 6: 10-16, 2003.
- White AJ, Fallis DW, Vandewalle KS: Analysis of intra-arch and interarch measurements from digital models with 2 impression materials and a modeling process based on cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137: e451-459, 2010.
- Chandran DT, Jagger DC, Jagger RG, Barbour ME: Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. *Biomed Mater Eng* 20: 243-249, 2010.
- Christensen GJ: The state of fixed prosthodontics impressions: room for improvement. *J Am Dent Assoc* 136: 343-346, 2005.
- Christensen GJ: Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc* 140: 1301-1304, 2009.
- Bindl A, Mörmann WH: Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM generated partial crowns. *Eur J Oral Sci* 111: 163-169, 2003.
- Nakamura T, Dei N, Kojima T, Wakabayashi K: Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM allceramic crowns. *Int J Prosthodont* 16: 244-248, 2003.
- Caputi S, Varvara G: Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 99: 274-281, 2008.
- Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B: Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig* 17: 1-6, 2012.
- Ender A, Mehl A: Full arch scans conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 14: 11-21, 2011.
- Kim KB, Lee GT, Kim HY, Kim JH: The influence of different gypsum materials on the accuracy from complete arch digital impression. *J Dent Hyg Sci* 12: 617-623, 2012.
- Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Int J Nurs Stud* 47: 931-936, 2010.
- Lin LI-K: A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45: 255-268, 1989.
- Lim MY, Lim SH: Comparison of model analysis measurements among plaster model, laser scan digital model, and cone beam CT image. *Korean J Orthod* 39: 6-17, 2009.
- Bell A, Ayoub AF, Siebert P: Assessment of the accuracy of a three dimensional imaging system for archiving dental study models. *J Orthod* 30: 219-223, 2003.
- Watanebe-Kanno GA, Abrao J, Miasiro J, Hiroshi Sanchez-Ayala A, Lagravere MO: Reproducibility, reliability and validity of measurements obtained from Cerec 3 digital models. *Braz Oral Res* 23: 288-295, 2009.
- Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI: A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthod* 35: 191-201, 2008.
- Kuroda T, Motohashi N, Tominaga R, Iwata R: Three-dimensional dental cast analyzing system using laser scanning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110: 365-369, 1996.
- Lowey MN: The development of a new method of cephalometric and study cast measurement with a computer controlled, video image capture system. Part II: study cast mensuration. *Br J Orthod* 20: 315-331, 1993.
- Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR: The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod* 74: 298-303, 2004.