



치과용 디지털 기자재로 제작된 교정 모형의 정확도 평가

김원태

대전보건대학교 치기공과

Evaluation of accuracy of orthodontic models fabricated by dental digital equipments

Won-Tae Kim

Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

The purposes of this study were to evaluate the accuracy of orthodontic model fabricated by dental digital equipments (intra oral scanner and 3D printer). A master model with the prepared upper full arch tooth was used. Ten same case of stone orthodontic models were manufactured (gold standard group), and 3D printing models were made from intra oral scanner and dental 3D printer (experimental group). The four linear distances (inter-canine distance, inter-molar distance, right dental arch length and left dental arch length) between the four reference points (cusp of right canine, cusp of left canine, mesio-buccal cusp of right first molar and cusp of left first molar) were measured digital vernier calipers. The independent t-test were used ($\alpha = 0.05$) for statistical analysis. Although gold standard group showed larger than experimental group in all distances, non exceeded the clinical acceptable range.

Key words: 3D-printing, Digital dentistry, Intra oral scanner

서론

최근 4차 산업혁명과 더불어 다양한 의료기기의 개발이 빠른 속도로 진행되고 있다. 특히 치의학 내에서는 환자들을 진료하는 시스템 및 치과보철물 제작 과정이 기존의 수작업에서 컴퓨터를 활용한 자동화과정으로 변화되어가고 있다(Kim 과 Kim, 2017). 치과용 캐드캠(CAD-CAM / computer aided design-computer aided manufacturing)과 3D(3-dimensional) 프린터는 최근 치과영역의 새로운 분야로 인정받고 있으며, 이들을 활용한 진료 및 치과보철물 제작 비중은 지속적으로

증가하고 있다(Miyazaki 등, 2009). 치과용 캐드캠은 스캐너, 디자인 프로그램, 가공장비로 구성된다. 스캐너는 환자의 구강 정보를 습득하는 일종의 디지털 기자재이며, 이를 활용해 환자의 구강상태를 디지털 모형으로 변환이 가능하다. 변환된 디지털 모형을 활용하여 디자인 프로그램 상에서 환자에게 적합한 치과보철물을 디자인하게 되며, 디자인된 정보를 토대로 가공장비로 보철물을 완성하게 된다.

한편 치과용 캐드캠은 치료실용과 가공실용으로 구분되어 있는데, 두 장비의 가장 큰 차이점은 구강 정보를 획득하는 경로이다. 즉 스캐너가 스캐닝하는 대상이 치료실용의 경우 환자의 구강이라면 가공실용 스캐너는 환자의 구강이 복제된 인상체 혹은 모형으로부터 스캐닝이 이루어진다(Witkowski, 2005). 치료실용 스캐너는 소위 구강 내 스캐너(intra oral scanner)로 알려져 있으며, 이를 활용하게 되면 전통적인 인

* Correspondence: 김원태 (ORCID ID: 0000-0002-5546-174X)
 대전광역시 동구 충청로21 대전보건대학교
 대전보건대학교 치기공(학)과
 Tel: +82-42-670-9183, Fax: +82-42-670-9491
 E-mail: wtkim@hit.ac.kr

Received: Aug. 29, 2017; Revised: Sep. 20, 2017; Accepted: Sep. 21, 2017

* 이 논문은 2016학년도 대전보건대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임

상채득 과정을 거치지 않고서도 환자의 구강 정보 획득이 가능하다(Fasbinder, 2010). 성공적인 인상채득은 치료의 성패를 가늠할 정도로 매우 중요한 요소라고 할 수 있는데(Patzelt 등, 2014), 종전의 인상채득법은 정밀한 인상채득에 영향을 주는 많은 요인이 내재되어 있다. 가령 부정확한 변연부의 재현능력이라든가 사용한 인상재의 체적안정성 문제, 모형재인 석고와의 친화성 그리고 무엇보다 혈액과 타액으로 인한 감염의 위험 등은 종전의 인상채득법의 단점으로 지적할 수 있다.

구강 내 스캐너를 활용하게 되면 이러한 문제점들이 다수 개선될 수 있으며, 환자가 느끼는 의료 서비스의 만족도 또한 향상될 수 있다. 최근에는 구강 내 스캐너를 활용한 즉일(one-day) 보철치료도 행해지고 있으며, 다양한 디지털 기자재를 활용한 치과진료의 범위는 갈수록 증가할 전망이다. 일 예로 치과용 캐드캠을 활용한 보철물의 제작은 초반엔 고정성 보철물로 시작하였으나 최근에는 가철성 보철물은 물론 교정 치료료까지 그 영역이 확대되었고, 교정 치료 전용의 치과용 캐드캠 및 3D 프린터가 시판되고 있으며, 이들을 활용한 교정치료의 적용 비율을 갈수록 증가할 것으로 보인다(Kim 등, 2015). 디지털 기자재를 활용한 교정 치료의 활용 용도는 환자의 구강 모형 제작부터 프로그램을 활용한 가상의 치료 결과 도출 등이 있다

이렇듯 치의학 분야 전반적으로 디지털 기자재의 활용 빈도가 증가하고 있으나 이와 관련한 연구는 지속적으로 진행되지 못하고 있는 실정이다. 디지털 교정 치료에서 가장 중요한 요인 중 디지털 기자재를 활용하여 환자의 정확한 구강 모형을 제작할 수 있는 능력이라고 생각된다. 본 연구에서는 환자를 가장한 교정 모형을 선정한 뒤 치료실용 구강 내 스캐너를 이용하여 해당 모형을 스캔하고, 3D 프린터를 활용해서 교정 모형을 출력해보고자 한다. 출력된 모형은 스캔 대상이었던 원본 교정 모형과 크기를 비교해보고자 하며, 계측 지점 선정 후 측정하여 측정값을 비교하는 방식으로 디지털 기자재를 활용하여 제작된 교정 모형의 정확성을 평가해보고자 한다. 이를 통해 해당 분야 종사자들에 참고자료를 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

1. 시편 제작

본 연구를 위해 상악 교정용 연구모형을 사용하였다(Figure 1). 결손치 또는 삭제된 치아는 없으며, 모든 치아가 잔존해 있는 모형을 사용하였다. 연구모형은 동일한 증례로 총 10개를 제작하였으며(Stone group), 제작된 연구모형을 대상으로 치료실용 구강 내 스캐너(CS3500, Carestream dental, Atlanta, GA, USA)를 이용하여 스캐닝을 수행하였다. 스캐닝 과정은 각각의 연구모형을 대상으로 진행되었으며, 10개의 연구모형을 스캐닝하여 10개의 스캔 데이터를 습득하였다.

스캐닝을 통해 습득된 정보를 치과용 3D 프린터기에 입력하였다. 입력된 정보를 토대로 SLA(Stereolithography Apparatus) 방식의 치과용 3D 프린터기(Form2, Formlabs, Somerville, Massachusetts, USA)를 이용하여 출력하였다. 10개의 스캐닝 데이터를 토대로 10개의 3D 프린팅 모형을 제작하였다(3D group).

2. 계측 지점 선정

두 집단에서 제작된 시편들의 정확도를 평가하고자 계측 지점을 선정하였다. 계측 지점의 선정은 이전 연구에 근거하여 선정하였고(Kim과 Kim, 2014), 해당 부분은 Figure 1과 같다. 'Point 1'은 상악 우측의 견치 첨두의 끝이며, 'Point 2'는

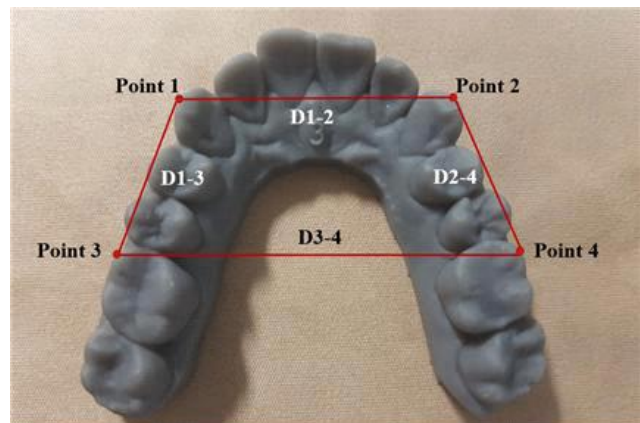


Figure 1. The master model and reference points.

상악 좌측의 견치 침두의 끝을 선정하였다. 다음으로 'Point 3'은 상악 우측의 제1대구치의 근심협측 교두정이며 'Point 4'는 상악 좌측의 제1대구치 근심협측 교두정으로 선정하였다. 측정 부위는 Figure 1과 같은데, 각 계측 지점간의 측정 거리는 distance의 의미로 D로 표기 하였고, 계측 지점의 숫자를 뒤에 표기하였다. 'D1-2'는 견치간 폭경으로 좌측과 우측의 견치 침두의 끝과 끝 거리를 의미하며, 'D3-4'는 구치간 폭경으로 좌측과 우측의 제1대구치 근심협측 교두정 간의 거리를 의미한다. 또한 'D1-3'과 'D2-4'는 치열궁장경으로 좌측과 우측 각각의 견치의 침두의 끝에서부터 제1대구치 근심협측 교두정까지의 거리를 의미한다(Table 1).

3. 시편들의 계측 지점의 측정

앞서 기술한 총 4가지의 거리를 기준으로 모형의 크기를 측정하였으며, 측정은 소수점 둘째자리까지 측정되는 디지털 버니어 캘리퍼스(CD-20PSX, Mitutoyo Corp, Japan)를 활용하였다(Figure 2). 그리고 측정 시 발생될 수 있는 오차를 최소화하고자 직경 0.3 mm의 샤프 펜으로 각 계측 지점에 표시

를 하였고, 계측 시 시편의 움직임을 방지하기 위해 기공용 서베이어 모형 테이블에 시편을 고정한 후 측정하였다. 시편 1개당 측정부위 4곳을 각각 2회씩 측정하여 평균값을 해당 거리로 정의하였으며, 시편 20개, 총 160군데의 거리를 측정하였다. 측정은 숙련된 전문가 1인이 계속해서 측정하였으며, 측정된 모든 거리는 해부학적 형태를 토대로 직선거리로 측정하였다.

4. 통계적 분석

통계적 분석을 위하여 본 연구의 실험군인 3D 집단과 대조군인 stone 집단에서 계측된 값들을 중심으로 각 지점의 평균과 표준편차를 산출하였으며, 이를 대상으로 정규성 검정인 ShapiroWilk 검정을 시행하였다. 정규성 검정 결과에 의거하여 두 집단의 평균 간에는 통계적으로 유의한지 알아보기 위하여 독립표본 t검정을 시행하였고, 제1종 오류는 0.05로 설정하였다(유의수준 95%). 연구에서 시행된 모든 통계적 분석은 전용 프로그램(SPSS 12.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)를 이용하였다.

Table 1. The definitions of distances

Distance	Definition
D1-2	The inter canine distance
D3-4	The inter molar distance
D1-3	The right dental arch length
D2-4	The left dental arch length



Figure 2. Digital vernier calipers

결 과

Stone 집단과 3D 집단의 각 계측 지점을 대상으로 측정된 거리의 비교 결과는 Table 2와 같으며, 정규성 검정인 ShapiroWilk 검정 결과의 p-value가 0.05보다 큰 값으로 조사됨에 따라 정규분포 함을 알 수 있었다. D1-2 견치간 폭경에 대한 평균 ± 표준편차는 stone 집단이 34.15 ± 0.12 mm, 3D 집단이 34.02 ± 0.09 mm이며, D3-4의 구치간 폭경은 stone 집단이 55.28 ± 0.27 mm, 3D 집단이 54.94 ± 0.31 mm로 측정되었다. 우측의 치열궁장경인 D1-3은 stone 집단이 21.89 ± 0.21 mm 3D 집단이 21.45 ± 0.17 mm이었으며, 좌측 치열궁장경 D2-4는 stone 집단이 22.01 ± 0.19 mm, 3D 집단이 21.36 ± 0.20 mm인 것으로 조사되었다(Table 2). 두 집단에서 측정된 거리 값의 평균들은 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 수행한 독립표본 t-검정의 결과에서는 좌측의 치열궁장경인 D1-3만 통계적으로 유의하였고(p =

0.006), 그 외 D1-2, D3-4, D1-3은 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$), (Table 2).

고찰

4차 산업혁명 시대 속에서 최근 치의학 분야 전반적으로 수작업이 주를 이루었던 아날로그 방식에서 컴퓨터를 중심으로 하는 디지털 방식으로 많은 변화가 일어나고 있다. 가장 두드러지는 것은 환자의 구강 정보 습득을 위한 방법이 종전이 인상재와 트레이를 활용하던 것이 구강 내 스캐너를 활용한 디지털 인상채득방식으로 변화되었다. 인상재를 활용하던 종전 방식의 많은 단점을 보완하여 주는 이 방법은 무엇보다 환자가 느끼는 고통과 시간 절약 차원에 있어서 큰 장점이 있어 이 방식을 활용한 진료법을 택하는 치과가 증가하고 있는 추세이다. 이에 본 연구는 치과용 디지털 기자재인 구강 내 스캐너와 치과용 3D 프린터를 이용해 출력된 모형들의 정확도를 평가해보았다.

정확도의 평가는 구강 내 스캐너로 스캐닝 하였던 마스터 모형을 대조군으로 선정한 후 실험군으로서 프린팅 된 모형을 비교평가 하였으며, 측정에는 이미 기존의 선행연구에서 사용된 방식처럼 4군데의 계측 지점 선정 후 각 지점과 지점과의 거리를 측정하는 방식으로 평가하였다(Kim과 Kim, 2014). 거리 측정법 또한 이미 많은 선행연구에서 그 신뢰성과 정확성을 검증받은 디지털 버니어 캘리퍼스를 활용하여 해부학적 위치를 기준으로 직선거리를 측정하는 방식에 의하여 측정하였다(Kim과 Kim, 2014). 연구 결과에 따르면 측정된 모든 부위에서 3D 프린팅 된 모형이 기존의 모형보다 작은 것으로 조사되었으며, 통계적으로 유의한 부분도 있었다(D1-3).

이러한 연구 결과의 원인으로는 많은 것들이 있겠으나 스캐너 과정에서의 정밀성 부분과 모형 출력 시 모형재의 체적 안정성 문제 그리고 계측 거리의 측정 방법 등으로 생각된다. 특히 Bak(2006)에 따르면 치과용 스캐너를 활용한 스캐닝 시 치아와 치아 사이에 존재하는 공간인 엠브레처(embrasure)의 재현능력이 다소 미흡하다는 결과를 보고하였고(Bak, 2006). 이와 같은 내용은 본 연구 결과를 뒷받침하는 내용이라고 생각한다. 또한 최근에는 석고 사용에 대한 여러 문제점들이 제기되고 있는데, 분말 날림에 대한 문제와 석고 자체의 취성으로 인한 모형 파손 문제 등이 이에 해당된다(McGuinness 등, 1992; Mah 등 2003; White 등 2010). 때문에 구강 내 스캐너로 스캐닝 후 3D 프린터로 모형을 직접적으로 출력하는 경우가 증가하고 있다. 현재 대부분 치과용 3D 프린터용 모형재로서 폴리머 재질인 레진계열의 재료가 주로 활용이 되는데, 이들 재료의 경우 프린팅 시 완벽한 중합이 이루어지지 않아 출력 후에도 체적안정성의 결여가 의심된다(Kwon 등, 2012). Kwon 등(2012)에 의하면 SLA 방식처럼 레이저를 활용하여 레진계열의 폴리머 재료를 중합시키는 제조법은 제조과정 상에서 재료의 수축과 팽창이 일어나 오차가 발생한다고 보고하였다. 본 연구 결과에 따르면 3D 프린팅 된 모형이 더 작은 결과를 보였는데, 마찬가지로 프린팅 된 재료의 체적안정성 부분도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

한편 본 연구에서는 계측 거리에 대한 측정방법으로 디지털 버니어 캘리퍼스를 활용하여 수작업으로 측정하였는데, 이 경우 술자의 손 떨림과 디지털 버니어 캘리퍼스의 위치 등이 측정에 영향을 미칠 수 있을 것이라고 생각한다. 때문에 이와 같은 측정 과정에서의 오차를 최소화 하고자 같은 부위를 2회 측정한 후 측정된 값의 평균을 해당 측정 거리로 정의하였으며, 측정 시 모형의 움직임을 최소화 하고자 기공용 서베이어

Table 2. Mean \pm SDs distances of stone group and 3D group (unit: mm)

Measurements	N	Stone group	3D group	p-value ¹
D1-2	10	34.15 \pm 0.12	34.02 \pm 0.09	0.094
D3-4	10	55.28 \pm 0.27	54.94 \pm 0.31	0.122
D1-3	10	21.89 \pm 0.21	21.45 \pm 0.17	0.006
D2-4	10	22.01 \pm 0.19	21.74 \pm 0.20	0.135

모형 테이블을 활용해 고정된 후 측정하여 오차를 줄이고자 노력하였다(Kim 등, 2013). 또한 치과용 모형 측정 시 디지털 버니어 캘리퍼스를 활용하는 방법은 이미 많은 연구에서 활용빈도가 높으며, 해당 분야와 관련한 연구의 측정법으로는 gold standard로 인정받고 있다(Kim 등, 2012).

본 연구에서 측정된 각 거리의 평균의 차이는 stone 집단이 3D 집단보다 D1-2에서 0.13 mm, D3-4는 0.34 mm, D1-3은 0.44 mm 끝으로 D2-4는 0.27 mm로 큰 것으로 조사되었다. 이와 같은 차이는 보고된 선행 연구 결과에 따르면 최종 보철물을 제작하는데 있어 크게 문제될 수치는 아닌 것으로 생각된다. 선행연구에서는 모형 간 계측 지점간의 거리 차이가 0.5 mm 미만이면 최종 보철물 등을 완성하는데, 임상적으로 문제가 되지 않는다고 보고하였다(Asquith 등, 2007; Quimby 등, 2004; Bootvong 등, 2010). 이와 같은 결과로 미루어보았을 때 본 연구에서 사용된 구강 내 스캐너를 활용한 SLA 방식의 3D 프린팅으로 출력된 구강 모형은 활용이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점으로는 획일화된 모형 사용과 사용한 디지털 기자재들 또한 모두 1가지 종류였다는 것으로 생각된다. 그리고 계측거리의 측정에 있어서 측정자 1명이 모든 측정을 수행한 것에 따른 오차 발생의 가능 여부도 본 연구의 한계점으로 여겨진다. 후에 진행될 연구에서는 이에 대한 보완으로써 2인 이상의 측정자가 반복적인 측정을 수행하여 측정자간 신뢰도 분석방법(Intraclass Correlations, Interrater Reliability)이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 보인다. 또한 추후 연구에서는 다양한 증례의 모형들을 대상으로 평가가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 보다 다양한 구강 내 스캐너를 활용한 스캐닝의 정밀성도 평가되어야 할 것이며, 3D 프린팅 출력도 SLA방식 뿐 만 아니라 DLP(Direct Light Processing), FDM(Fused Deposition Modeling)방식 등으로 출력된 치과용 모형의 정확도도 평가되어야 할 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서는 디지털 기자재를 활용하여 제작된 교정용

모형의 정확도를 평가해보았다. 원본 모형을 대상으로 구강 내 스캐너를 이용하여 스캐닝을 하고, SLA 방식의 3D 프린터를 이용하여 출력된 모형을 원본 모형과 크기를 비교 평가하는 방식으로 정확도를 평가하였다. 그 결과 측정된 모든 부위에서 3D 프린터를 이용해 출력된 모형들이 다소 작은 것으로 조사되었으며, 그 중 한 부위는 통계적으로 유의하였다.

그러나 두 집단에서 측정된 거리 값이 차이는 미비한 것으로 보이며, 선행연구에 근거하였을 때 최종 보철물을 완성하는데, 임상적으로 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 때문에 구강 내 스캐너를 활용하여 구강을 스캐닝하고 SLA방식의 3D 프린터를 활용해 출력한 모형은 임상적으로 활용이 가능할 것으로 생각된다. 그러나 스캐닝 과정에서의 모형 정보 소실과 3D 프린팅 과정에서 사용되는 재료의 체적안정성 부분 등은 앞으로 해결되어야 할 문제로 생각한다.

참고문헌

- Asquith J, Gillgrass T, Mossy P (2007). Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod* 29:517-522.
- Bak SI (2006). The comparison between manual and 3D-digital measurement in dental cast measurements according to the degree of crowding, *Korea University Graduate School of Clinical Dentistry, Department of Orthodontics*, Masters degree.
- Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hägg U, Wong RW, Bendeus M, Yeung S (2010). Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *Eur J Orthod* 23:589-595.
- Fasbinder DJ (2010). The CEREC system 25 years of chairside CAD/CAM dentistry. *JADA* 141:3S-4S.
- Kim KB, Lee GT, Kim HY, Kim JH (2012). The influence of different gypsum materials on the accuracy from complete arch digital impression. *J Dent Hyg Sci* 12: 617-623.
- Kim KB, Kim SJ, Kim JH, Kim JH (2013) An evaluation of

- validity of three dimensional digital model fabricated by dental scannable stone. *J Kor Aca Den Tec* 35:29-35.
- Kim KB, Kim JH (2014). Evaluation of dimensional stability of digital dental model fabricated by impression scanning method. *J Dent Hyg Sci* 14:15-21.
- Kim SH, Kim JH, Kim CK (2015). Reliability and accuracy of digital impression obtained from CS-3500 intraoral scanner. *J Dent Hyg Sci* 15:673-678.
- Kim WS, Kim KB (2017). An evaluation of marginal and internal gap of fixed dental prostheses printed by selective laser sintering. *Kor J Dent Mater* 44:141-149.
- Kwon CR, Choi BH, Jeong SM, Joo SD (2012). Evaluation of the accuracy of two different surgical guides in dental implantology: stereolithography fabricated vs. positioning device fabricated surgical guides. *J Korean Acad Prosthodont* 50:271-278.
- Mah J, Hatcher D (2003). Current status and future needs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 6:10-16.
- McGuinness NJ, Stephens CD (1992). Storage of orthodontic study models in hospital units in the U.K. *Br J Orthod* 19:227-232.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 28:44-56.
- Patzelt SBM, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W (2014). Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 18:1687-1694.
- Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestoe AR (2004). The accuracy and reliability of measurements made on computerbased digital models. *Angle Orthod* 74:298-303.
- White AJ, Fallis DW, Vandewalle KS (2010). 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: 456.e1-9.
- Witkowski S (2005). (CAD-)/CAM in dental technology, *Quintessence Dent Technol* 28, 169-184.

치과용 디지털 기자재로 제작된 교정 모형의 정확도 평가

김원태

대전보건대학교 치기공과

본 연구의 목적은 치과용 디지털 기자재(구강 내 스캐너, 3D 프린터)들로 제작된 교정용 모형의 정확도를 평가하는 것이다. 본 연구를 위해 모든 치아가 잔존해 있는 상악 주 모형을 준비하였다. 주 모형을 대상으로 10개의 석고 모형을 제작하여 대조군으로 선정하였고, 디지털 기자재들을 활용해 10개의 3D 프린팅으로 제작된 모형을 준비하여 실험군으로 선정하였다. 정확도 측정은 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하였는데, 주 모형을 대상으로 4개의 측정 지점(좌우측 견치의 첨두정, 좌우측 제1대구치의 근심협측 교두정)을 선정후 측정 지점 간의 4개의 거리(견치간 폭경, 구치간 폭경, 좌우측 치열궁 장경)를 측정하여 두 집단의 평균을 비교 평가하였다. 통계적 분석은 독립표본 t-검정을 시행하였다(제1종 오류 수준: 0.05). 측정 결과 대조군인 석고 모형들이 실험군인 3D 프린팅 된 모형보다 모든 측정 부위에서 약간의 큰 값으로 조사되었으나 임상적으로 허용될 수 있는 정도의 차이로 조사되었다.

색인 단어 : 3D 프린팅, 구강 내 스캐너, 디지털 치의학