

첨단 제조기술 기반으로 제작된 치과용 모형의 정확도에 관한 연구

김재홍

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Accuracy of dental model based on the state-of-the-art manufacturing technique

Jae-Hong Kim

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

요약 본 연구의 목적은 전통적인 인상채득방식으로 제작된 석고모형과 구강 디지털 인상법을 이용하여 제작된 폴리우레탄 모형의 각 계측지점을 비교함으로써 첨단 제조기술로 제작된 모형의 정확성을 검증하는 것이다. 유치악 아크릴릭 구강모형을 선정하여 기존에 사용하던 방식의 석고모형과 최신경향의 방식으로 모형을 각 10개씩 제작하였다. 계측지점은 총 6곳을 지정한 후, 2인의 검사자가 2회로 나누어 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 제작방법에 따른 모형의 각 계측치의 평균, 표준편차, 계측치 차이의 평균 등의 기술 통계량으로 제시하였고, 정확성 검정을 위해 윌콕슨 부호순위 검정을 시행하였으며, 검사자 내, 검사자 간, 제작방법 간의 신뢰성 분석은 급내 상관계수 분석과 측정오차를 구하였다. 실험결과 신뢰성은 급내 상관계수의 범위는 0.76에서 0.99의 값이 나타나 높은 신뢰도를 보였으며, 모형 제작방법에 따른 정확성은 모든 계측지점 간의 거리를 비교하였을 때 폴리우레탄 모형이 작게 측정되었으며 0.09~0.20mm의 범위로 선행연구의 결과에 의해 임상적으로 오차범위를 허용할 수 있는 것으로 나타났다. 구강 디지털 인상법의 사용으로 제작된 모형은 임상적으로 적절한 것으로 판단되지만, 향후 보다 정밀하고 사용하기 편리한 치과용 모형을 제작하기 위한 연구들이 추가적으로 이루어져야 할 것이며, 다양한 임상 데이터를 활용한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Abstract This study compared the accuracy and reliability of definitive casts fabricated from a digital impression and conventional impression technique. A master model with the prepared upper full-arch tooth was used. Samples of ten plaster models and ten polyurethane models were duplicated using a selected standard master model. Six linear measurements were recorded between the landmarks, directly on each of the stone models and the polyurethane models on two occasions by a double examiner. The Wilcoxon signed-rank test, interclass correlation coefficient (ICC), measurement error (MSE), and limit of agreement (LoA) were used for statistical analysis. The ICC ranged from 0.76 to 0.99 when comparing the stone models and polyurethane models. The mean difference between the stone models and polyurethane models ranged from 0.09mm to 0.20mm, suggesting that stone models might be slightly larger than polyurethane models. Based on this study, the accuracy of the polyurethane models in evaluating the performance of an oral scanner and subtractive technology was acceptable. Further studies will be needed on patient subjects under clinical conditions that may involve missing or malpositioned teeth and fixed dental prostheses because this study was limited to use a standard master model and duplicated sample models in a laboratory setting.

Keywords : Accuracy, Conventional impression, Digital impression, Intraoral scanner, Rapid Prototyping(RP)

*Corresponding Author : Jae-Hong Kim(Catholic University of Pusan)

email: kjhong@cup.ac.kr

Received September 28, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised October 20, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

치의학영역에 스캐너를 이용한 모형의 영상 획득 기술 및 보철물을 디자인하여 가공하는 CAD/CAM(Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing) 기술의 디지털 흐름(digital workflow) 개념이 도입된 지 20여년이 지났지만, 이는 대부분 치과기공소에서만 이루어져 왔다. 통상적인 방법으로 구강 내 인상을 채득한 후 치과기공소에서 모형작업을 거친 석고모형을 3차원적으로 스캔하는 방법이 널리 보급된 반면, 디지털 구강스캔을 하여 환자의 영상을 직접 채득함으로써 진료실까지 적극적으로 디지털 흐름의 개념이 적용된 것은 그리 오래된 일이 아니다[1].

구강 스캐너를 이용하여 생성된 환자 구강정보를 통하여 보철물을 제작 할 수 있으며, 구강 스캐너를 이용한 인상채득은 환자의 치아를 3차원 디지털 모형으로 얻는 Electronic Impression Device(EID)이다[2]. 이는 작업 모형 없이 보철물의 제작을 가능하게 하여 좀 더 빠르고 효율적인 치과 보철물 제작을 가능하게 한다. 하지만 모형 없이 만들어진 보철물은 환자 구강 내 수복되기 전 지대치와 보철물간의 적합도를 확인 할 수 없다. 보철물의 적합은 안정적인 보철물이 되기 위한 여러 가지 요건 중 가장 중요한 요소 중 하나로 작업 모형을 제작하여 적합도를 확인 및 수정하는 작업을 필요로 한다[3-5].

그리하여 고안된 디지털 구강스캔은 지대치를 형성한 후 간단하게 구강 스캐너로 치아를 스캔 하여 인상을 채득하는 방법으로 인상채득 후 모니터 상으로 실시간 구현되는 3D 모델을 보며 수정작업 및 교합검토 작업을 마친 다음, 인터넷상으로 전송하여 추후 CAM으로 모델을 제작하는 방법이다. 3차원 디지털 모형으로 전환하여 얻어진 STL 파일을 open-CAD/CAM machine으로 보내 주면 CNC 밀링으로 폴리우레탄 작업모형을 가공하는 시스템으로 3D 조각기라고 불리기도 하며, 적층(additive)이 아닌 덩어리인 block을 조각을 하듯 깎아 내려가는 것(subtractive)이 다른 점이다. 이와 같은 system을 채택하여 Cadent사에서 iTero™ 3D digital impression system을 개발하였다. 데이터를 다양한 외부 프로그램에서도 가공할 수 있도록 열린 시스템(open architecture)을 제공함으로써 관심을 받게 되었다[6]. 디지털 구강스캔을 통해 제작된 폴리우레탄 작업모형의 장점은 경석고에 비해 중량감이 적으며, 물리적 변형이 없는 견고함으로 작업 도중 파절이나 마모에 대한 염려를 줄일 수 있으며, 아이보리 색상이기 때문에 기

존 경석고에 비해 선명하고 작업이 손쉽게 진행될 수 있으며, 삭제된 치아가 따로 분리가 가능하여 작업 시 용이하며, 치은부위(연조직)가 보존되어 있어 보철물의 치은 작업이 불필요하며, 치형 분리를 위해 모형을 분리하지 않기 때문에 보철물 제작 후 접촉점(contact)을 확인하기 위한 과정이 불필요하며, 변연 보호를 위해 die hardener를 도포할 필요가 없다. 특히 제작과정에서 3D file을 100배 이상 확인하고 가공하기 때문에 보철물의 변연적합성을 높일 수 있는 시스템이라고 할 수 있다[7].

3차원 디지털 모형의 급속한 발전과 더불어 3차원 영상을 기반으로 한 패속조형(Rapid Prototyping, RP)기술 역시 치의학 분야에서 사용빈도가 증가되고 있다. 패속조형기술은 3차원 치과 CAD 또는 CAM software로 디자인하여 구현된 데이터를 이용하여 실물과 동일한 형태로 제품을 만들어내는 작업방법을 말하는데 모형 제작 시간의 단축, 적용 가능한 소재의 다양성, 제작 과정의 장점 등으로 최근 악교정 환자의 수술계획 수립 및 모의 수술, 모델 상에서의 유지장치 제작 등에 이용되고 있다[8].

패속조형기술 기반의 모형이 임상에 널리 적용되기 위해서는 그 정확성에 대한 연구가 선행되어야 하는데, 패속조형기술로 제작된 두개골 모형의 임상 적용 시 모형의 정밀도와 오차의 범위는 검증되어야 할 중요한 부분으로 이에 대한 연구가 다수 있었다[9,10]. Kragoskov 등의 연구에서는 3차원 영상모형과 SLA 기술 기반의 모형 간에 0.3~0.8mm의 오차를 나타내었으며[9], Lill 등은 인간 건조두개골과 밀링을 이용하여 생성한 폴리우레탄 모형 간의 오차가 평균 1.5mm라고 하였다[10]. 선행들의 다각적인 정확도 검증이 이루어진 결과 각 모형 간 차이는 임상적으로 허용 가능한 오차로 판단되어 현재 치의학 분야 임상증례에 활발히 응용되고 있다.

기존 연구는 대부분 두개골의 3차원 CT 영상을 바탕으로 제작된 패속조형기술 모형의 신뢰성이나 정확성에 대한 연구로써 디지털 구강스캔으로 채득된 상, 하악 치아 및 악궁의 3차원 디지털 모형을 재현한 RP 모형의 정확도에 대한 연구는 드물어 Keating 등이 2008년에 발표한 연구가 대표적이다[11].

이에 본 연구의 목적은 디지털 구강스캔을 통해 패속조형기술로 제작한 폴리우레탄 모형의 계측치와 기존의 전통적 방식을 이용하여 제작한 석고 모형에서의 계측치를 비교함으로써, 디지털 구강스캔과 패속조형기술로 제작된 첨단 제조방식 모형의 정확성을 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 주 모형 선정

결손치가 없으며, 보철물이 없는 자연치를 재현한 상악 연구모형(500B-1, Nissin Dental Products, Kyoto, Japan)을 기준으로 선정하였다. Fig. 1과 같이 치아배열이나 총생이 없는 이상적인 치열이며, 실제 환자들의 모형과는 상이할 수 있으나 스캐닝 과정에서 발생할 수 있는 오차를 최대한 줄이기 위해 사용하였다.



Fig. 1. Master model

2.2 석고모형 제작(전통적 제작 방식)

실험군 제작을 위해 주 모형의 복제는 부가중합형 실리콘 인상재인 Deguform®(Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)을 제조회사의 지시대로 혼합하여 석고모형 제작용 복제주형을 만들었다. 제작된 복제주형 내면에 Picosilk®(Renfert, Hilzingen, Germany)를 도포한 후, Type IV 치과용 석고(GC Fujirock EP, GC Corp, Leuven, Belgium)를 제조사의 지시에 따른 혼수비로 vacuum mixer system을 이용하여 30초간 혼합한 후 vibrator 상에서 기포가 생기지 않도록 조심스럽게 넣어 1시간이 지난 다음 복제주형에서 석고모형을 분리하였으며, 총 10개의 모형을 제작하였으며, 제작된 석고모형은 측정을 시행하기 전에 $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도와 $45\% \pm 5\%$ 습도의 항온항습이 유지되는 곳에서 24시간 보관하였다. 10개의 시편은 연구 전에 계산이 되었으며, 95%의 통계적 검정력을 얻으려면 10~13개 모형의 표본 크기가 필요하다고 추정되었다.

2.3 폴리우레탄 모형 제작(첨단 제조 방식)

구강 스캐너를 사용할 때 스캔 순서는 치아를 중심으

로 교합면에서 한 컷, 설측 45° 및 협측 45° 에서 한 컷, 근·원심에 각각 한 컷을 추가하여 총 5장을 스캔 하였다. 대합치를 포함한 나머지 치아는 협·설측에서 각각 한 컷씩 촬영하게 되며, 부족한 부분을 추가 스캔을 통하여 보완할 수 있다. 그리하여 전악의 데이터를 합성하여 full-arch digital impression을 완성하였다. 디지털 모형이 완전하다고 판단되면 iTero tool bar에서 SEND icon을 눌러 데이터 전송을 하였다. 최종 검토를 거친 후 자동화 모델 가공 시스템(CNC milling machine)을 통해 Fig. 2와 같이 폴리우레탄 치아모형 10개를 가공하였다.



Fig. 2. Polyurethane model

2.4 측정지점 선정

쾌속조형기술의 기반으로 제작된 모형의 정확도와 신뢰성을 평가하기 위해 Creed 등[12]의 연구에서 사용된 지점을 참고하여 본 연구에 적합하도록 수정하여 총 6곳의 측정지점을 지정하였다. Fig. 3와 같이 상악 우측 견치 교두정을 'a' point, 상악 좌측 견치 교두정을 'b' point로 상악 우측 제 1대구치 근심협측 교두정을 'c' point, 상악 좌측 제 1대구치 근심협측 교두정을 'd' point로 정의하였으며, 우측 견치 치아의 치은연 최하방 지점을 'e' point로, 좌측 견치 치아의 치은연 최하방 지점을 'f' point로 정의하였다. 측정한 항목은 Table 1과 같다.

Table 1. Measurement definitions

Reference point	Measurement
a-b	Inter canine Distance
c-d	Intermolar Distance
a-c	Dental arch length(Left)
b-d	Dental arch length(right)
a-e	Clinical crown length(Left)
b-f	Clinical crown length(Right)

- 견치간 폭경(a-b): 좌우 견치 교두정간의 거리. 해부학적인 정의에 따른 견치 교두정을 지정하여 최대한 직선거리를 측정하였다.
- 구치간 폭경(c-d): 좌우 제1대구치 근심협측 교두정간의 거리. 견치간 폭경의 방법과 동일하게 적용하였다.
- 치열궁 장경(a-c, b-d): 선행 연구[13-15]의 치열궁 장경은 양측 제 1대구치의 원심면을 연결하는 직선을 가정한 채, 양측 중절치의 절연부의 중점으로부터 이 직선에 수선을 내려 거리를 계측하지만, 본 연구에서는 가상선을 가정하기 어렵고 또한 부정확하기 때문에 양쪽 견치교두와 제 1대구치의 근심협측 교두의 직선거리를 측정하여 판단하기로 하였다.
- 임상치관 길이(a-e, b-f): 치아 치은연의 최하점에서 견치의 경우는 교두정의 중심점까지의 수직거리로 하였다. 디지털 캘리퍼의 접근이 최대한 가능한 점을 측정하였다.

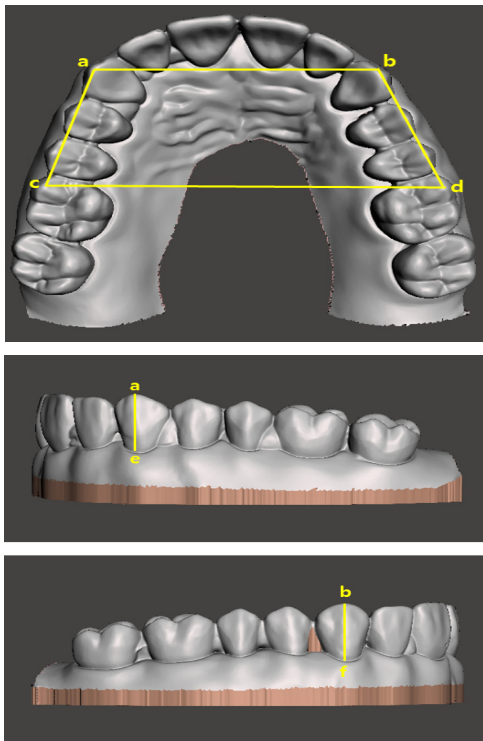


Fig. 3. Reference points and linear measurements on the upper full arch model

2.5 선계측

검사자는 계측에 경험이 풍부한 2인이 2주일의 간격

을 두고 2회에 걸쳐 측정을 시행하였다. 한 모형에서 4개의 치아를 선정하여 6가지의 치아간 거리를 측정하였으며, 측정도구는 digital vernier caliper(CD-20PSX, Mitutoyo Corp, Japan)을 사용하였다. 계측지점의 부위를 정확하게 접근하기 위해 surveyor table에 모형을 고정하여 측정하였다. Fig. 4와 같이 보다 정확한 측정을 위해 계측지점을 각 부위별 정의에 따라 직경 0.1mm의 water pen을 이용해서 미리 표시를 해주었다.



Fig. 4. Linear measurement

2.6 신뢰도 분석

본 연구에서는 두 표본 사이의 차로 상정된 표준 오차(standard error)를 2 제곱근으로 나눈 것으로 측정값의 오차의 크기를 대략적으로 파악하는 Dahlberg's formula[16]를 변형하여 각 측정치의 평균과 비교하여 추정오차의 백분율로 나타낸 $(2 \times \sqrt{\sum d^2 / 2n}) / (M1 + M2) \times 100$ (d: 첫 번째와 두 번째 측정치의 차, n: 두 번 측정된 횟수, M1: 첫 번째 측정치의 평균, M2: 두 번째 측정치의 평균)식으로 계산된 결과를 Measurement Error(ME)로 표기하였다. Henriksen에 따르면 측정오차가 8% 이하 일 때 임상 적용 가능하다고 평가하였다[17]. 또한 동일한 대상을 계측한 두 측정치 사이의 상관관계의 긴밀성을 평가하는 급내상관계수(ICC)와 신뢰도 계수 및 오차의 분산 정도를 평가하는 일치 한계값(LoA)등을 사용하였다.

2.7 통계처리

상기한 바와 같이 검사자 내, 검사자 간, 제작방법 간의 신뢰성 분석은 급내 상관계수(ICC, Intra-class Correlation Coefficient)분석과 측정오차(ME, Measurement Error)를 구하였다. 급내 상관계수는 측정자와 측정 값 사이의 상호작용이 없다는 가정 하에 이

원배치 변량효과모형(two-way random effect model)을 사용하여 산출하였다. 주 모형과 서로 다른 제작방법에 따른 모형의 각 계측치의 평균, 표준편차 및 계측치 차이의 평균 등의 기술적 통계량을 제시하였고, 정확성 검증을 위하여 Wilcoxon signed rank test를 시행하여 산출하였으며 신뢰성 평가를 위하여 급내 상관계수와 일치 한계값을 구하고 Bland-Altman plot를 이용하여 오차의 질적인 분석을 시행하였다. 모든 통계 처리와 분석은 SPSS 25.0 통계처리 프로그램(USA)을 사용하여 시행하였으며, 제 1종 오류의 수준은 0.05로 정하였다.

3. 연구 결과

3.1 검사자 내 신뢰도

Table 2. Agreements between stone and rapid prototyping models in assessing dental model relationship(intra-examiner)

Plane	Reference point	^a ME(%)	^b LoA (mm)	^c ICC (95% CI)
X	a-b	1.95	-0.69~0.85	0.99 (0.99~1.00)
	c-d	2.06	-0.59~0.77	
Y	a-c	2.29	-0.18~0.44	0.79 (0.60~0.89)
	b-d	1.87	-0.37~0.47	
Z	a-e	2.35	0.01~0.25	0.94 (0.68~0.98)
	b-f	2.02	-0.12~0.28	

^a ME indicated Measurement Error.
^b LoA indicated 95% limit of agreement(mean difference±1.96)
^c ICC indicated Intra-class Correlation Coefficient

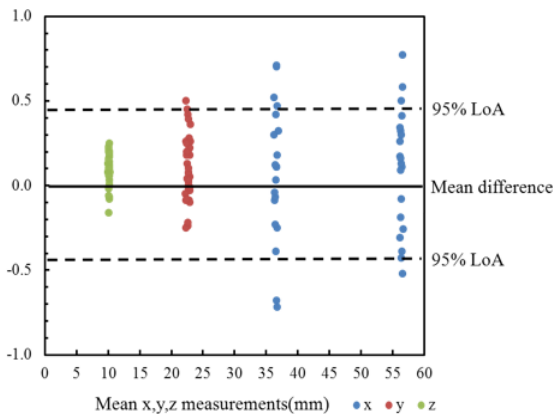


Fig. 5. Bland Altman plot: Mean difference and 95% LoA for differences in stone and polyurethane model measurements, repeatability within-examiner

측정오차는 모든 지점에 있어서 최대값 2.35%로 나와 비교적 높은 수치를 보였으나 임상적 허용치인 8%에 못 미치는 수준으로 신뢰도의 적정성은 확보되었다. 급내 상관계수(ICC)는 0.75 이상의 수치를 보여 높은 신뢰성을 가졌다고 판명되었으며, Bland-Altman plot에서도 평균값의 차이와 비교하였을 때 오차는 적정수준이기에 검사자 내 신뢰도는 높게 나타났다[Table 2, Fig. 5].

3.2 검사자 간 신뢰도

검사자 간의 차이가 있는지 평가한 결과는 Table 3에 보고하였다. 측정오차는 1.46~2.91%로 평가되었지만, 임상 허용치에는 못 미치는 수준으로 적정수준의 신뢰도가 있는 것으로 판단되었다. 검사자 간의 신뢰성을 나타내는 급내 상관계수는 0.76~0.98의 범위를 나타내어, 검사자 내 신뢰도에 비해 낮은 수치를 보였다. Bland-Altman plot에서도 95% LoA 구간을 벗어난 이상치는 발견되지 않았으며, 오차의 범위에서도 고른 분포를 나타내어 비교적 이상적인 수준의 신뢰성을 보였다[Table 3, Fig. 6].

Table 3. Agreements between stone and rapid prototyping models in assessing dental model relationship(inter-examiner)

Plane	Reference point	^a ME(%)	^b LoA (mm)	^c ICC (95% CI)
X	a-b	2.91	-0.21~0.81	0.98 (0.93~0.99)
	c-d	2.76	-0.20~0.66	
Y	a-c	2.79	-0.10~0.58	0.85 (0.72~0.92)
	b-d	1.65	-0.32~0.51	
Z	a-e	2.86	0.03~0.49	0.76 (0.66~0.87)
	b-f	1.46	-0.03~0.39	

^a ME indicated Measurement Error.
^b LoA indicated 95% limit of agreement(mean difference±1.96)
^c ICC indicated Intra-class Correlation Coefficient

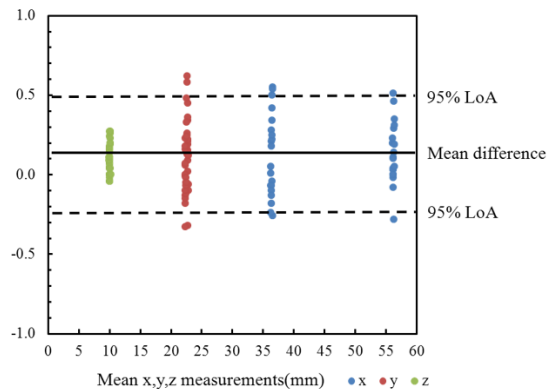


Fig. 6. Bland and Altman plot : Mean difference and 95% LoA for differences in stone and polyurethane model measurements, reproducibility between-examiners.

3.3 제작방법 간 정확도

제작 방법 간 차이의 결과를 각 축(X, Y, Z)별 계측지점의 계측치의 평균과 표준편차를 구하고, 각 계측 지점별 절대오차의 평균값을 Table 4에 나타내었다. 절대오차는 0.09~0.20mm의 범위를 보였고, 양의 값을 나타냈기 때문에 석고모형이 상대적으로 크다고 할 수 있다. 제작 방법 간의 정확성을 나타내는 표준오차(D, Standardized Difference) 0.26~0.43의 범위를 나타내어 적절한 정확성을 보였으며, Wilcoxon signed rank test 결과 모든 축의 계측지점에서 통계적으로 유의한 차이를 보고하여 적정수준의 정확성을 나타내지 않았고, 제작방법에 따른 차이가 있다는 결과를 보였다.

Table 4. Mean difference between the same reference point on stone and polyurethane model(system significance)

Plane	Reference point	Stone	Poly	Directional difference		p-value
		Mean (SD)	Mean (SD)	Mean	^a D	
X	a-b	36.52 (0.27)	36.32 (0.11)	0.20	0.43	0.01
	c-d	56.35 (0.24)	56.21 (0.12)	0.14	0.36	0.03
Y	a-c	22.80 (0.13)	22.63 (0.14)	0.17	0.40	0.01
	b-d	22.44 (0.17)	22.32 (0.16)	0.12	0.39	0.02
Z	a-e	10.08 (0.07)	9.99 (0.11)	0.09	0.26	0.04
	b-f	10.12 (0.07)	10.00 (0.06)	0.12	0.37	0.03

^aStandardized difference = mean directional difference/standardized deviation of directional differences(D ≤ 0.2, small; 0.2 < D < 0.5, moderate; D ≥ 0.5, large).

^bp-value indicates the significance of the Wilcoxon signed rank test.

4. 고찰

본 연구는 구강 스캐너를 이용하여 채득된 3차원 디지털 인상으로 모형을 제작하여 그 정확성을 평가하기 위한 연구이다. 구강 내 디지털 인상채득법의 신뢰성뿐만 아니라 더 나아가 쾌속조형 기술로 전환되는 모형의 정확도를 함께 검증하는 연구이다. 표준화된 상악 모형에서 6가지 지점의 계측지점을 정의하여 측정값을 토대로 오차를 도출하고 그 원인을 살펴보고자 한 본 연구에서 계측값 간의 신뢰도를 판단하기 위해 2명의 실험자가 2주간격으로 2회 측정된 측정치들을 사용하였다. 또한 계측

값의 신뢰도를 평가하기 위해 ME(Dahlberg's formula) 값을 실험군의 측정치로 토대로 계산하여 판단하였다.

쾌속조형 기술 기반으로 제작된 모형이 임상에서 사용되기 위해서는 먼저 본 실험에서 사용된 측정방법의 신뢰도가 검증되어야 한다. 따라서 이 연구에서는 급내상관 계수(ICC)를 구하여 측정값의 신뢰성을 평가하였다. Streiner와 Norman이 보고한 연구에서는 검사자 내의 신뢰도가 검사자 간의 신뢰도보다 높은 경향을 보인다고 발표하였다[18]. 본 연구에서는 검사자 간의 신뢰도가 검사자 내의 신뢰도와 전체적으로 유사하였고, 따라서 이 결과로 미루어 동일한 계측지점을 측정하였을 경우에는 검사자와 상관없이 유사한 재현성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 Portney and Watkins는 임상적 측정 방법으로서의 타당성을 인정받기 위해서는 급내 상관계수는 0.8 이상이 되어야 한다는 의견을 제시하였다[19]. 이 연구에서 측정값의 검사자 내 신뢰도와 검사자 간 신뢰도 및 제작방법 간의 신뢰도를 분석한 결과, 비록 측정 항목에 따라 다소간의 차이를 볼 수 있었으나, 제작방법 간의 신뢰도는 지정된 계측지점과 상관없이 모든 경우에서 급내상관계수가 모두 0.8 이상으로 매우 높게 나타났다. 그러므로 선학들의 연구결과를 토대로 본 연구의 신뢰도는 높은 신뢰도를 보이는 실험 결과로 판명되었다. Houston[20]에 따르면 random error(무작위 오류)는 실험군 간의 차이를 관찰하는데 있어 매우 중요한 요인이 된다고 발표한 바 있다. 또한 random error의 분석은 실험변수 간에 상관성을 줄일 수 있는 방법이 된다고 한다. Random error는 Houston이 제안한 Dahlberg's formula를 통하여 값을 내어 평가하는데, 대부분의 선행 연구에서는 단지 결과의 값을 제시 했을 뿐, 구체적인 기준이나 임상적인 허용도에 대한 판단이 모호한 게 기존 연구의 흐름이다. 그리하여 Dahlberg's formula을 변형하여 각 측정치에 평균과 비교하여 추정오차의 백분율을 낸 Rel. ME의 값을 도출하여 임상적인 허용도를 평가하였다. Henriksen[17]에 의하면 측정오차가 8%이하의 결과를 보일 때 임상적으로 허용 가능하다고 평가하였는데, 본 실험에서는 검사자 내, 검사자 간의 모든 결과가 8% 이내의 값을 보여 쾌속조형 기술 기반으로 제작된 모형의 신뢰도 적정성은 확보되었다는 견해이다.

치과용 스캐너를 이용하여 채득된 데이터를 실제 모형으로 제작하는 연구는 최근에 활발히 발표되고 있는 실정이다. Keating 등이 2008년에 발표한 연구[11]에서는 30명의 환자 진단모형을 대상으로 레이저 스캐너를 이용하여 3차원 디지털 인상을 채득하여 1명의 실험자가 지정된 계

측지점의 선형적 계측값을 통해 정확성과 신뢰성을 분석하였다. 그리고 패속조형 기술을 이용하여 적층방식으로 치아 모형을 재현하여 석고모형과의 차이를 분석하였다. 실험결과 모든 계측지점에서 Non-parametric Wilcoxon signed rank hypothesis test 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였으며($P < 0.01$), 각 실험군 간에 차이는 약 0.15~0.42mm라고 발표하였고, 제작 방식간의 차이로 인한 오차는 임상적인 영향에 유의한 차이를 보이지 않을 것이라 결론지었다. 본 연구에서도 제작 방법 간의 차이를 분석한 결과 각 계측지점 간의 오차는 0.09~0.20mm의 범위를 보여 선행연구에 비추어 볼 때 유사한 결과라고 할 수 있다. 또한 김 등이 2017년에 SLA 방식의 3D 프린터를 이용하여 출력된 모형을 원본 모형과 크기를 비교 평가한 결과 측정된 모든 부위에서 다소 작게 출력되었으며, 주 모형과의 차이는 미미한 것으로 평가하였다. 또한 선행연구에 근거하였을 때 최종 보철물을 완성하는데 임상적으로 영향을 미치지 않을 것으로 결론을 내었다[20].

석고모형에 비해 폴리우레탄 모형이 계측지점마다 작게 계측된 것은 절삭과정에 이용되는 bur의 크기와 방향 과도 연관이 있을 것이라고 추정된다. 즉, 절삭 시 접근이 용이한 치아 측면(axial wall)은 정확도가 bur의 두께에 큰 영향을 받지 않으나 구치부의 교합면 부위(occlusal portion)이나 복잡한 형태를 가지는 치아부위는 치아의 곡면반경이 bur의 반경보다 작은 경우 과도한 삭제로 인해 오차가 발생하기 때문이다[21]. 또한 폴리우레탄 모형은 3차원 디지털 모형의 오차가 모형의 정확성에 영향을 미칠 수 있다. 연구자 및 검사자의 경험이나 숙련도에 따라 구강 스캐너를 활용하여 디지털 인상채득 시 정량적인 결과값이 좌우될 수 있다[22]. 치과기공용 스캐너의 경우 디지털 인상 채득 시 모형의 형상을 한꺼번에 획득하는 반면, 구강 스캐너를 통해 채득하는 경우는 구강 구조의 데이터를 한 부분씩 덧붙여가는 원리이기에 전악인상 채득 과정 중 오차가 생길 수 있는 여지가 생긴다. 또한 계측 시 지점의 해석과정이나 검사자 별 다른 지점 정의로 인한 체계적 오류가 발생할 수 있고[23], 측정지점과 계측평면의 불일치 상태에서 측정하는 경우는 치아의 식립각도나 애매모호한 계측지점의 정의에 따라 값은 달라지는 결과를 고려해야 할 것이다.

3차원 디지털 모형에 대한 그동안 발표되었던 선행들의 연구에 비추어 보아 적절한 정확도와 신뢰도를 갖추었다 볼 수 있겠다. 하지만 본 실험결과의 일반화에는 일정 정도의 한계를 내포한다. 구강 디지털 인상법의 정확도를 선형적인 측정을 통해 판단하기에는 부족한 면이

있기 때문이다. 보다 세분화된 측정지점과 실제 환자의 구강 데이터를 접목 시킨 연구가 뒷받침 되어야 할 것이며, 보다 절대적인 측정도구를 접목시킨 후속 연구가 필요하다라고 생각된다. 패속조형 기술을 응용하여 치과용 모형을 제작하는 방법들이 절삭 방식 이외에도 적층방식으로도 가능하기에 가장 이상적인 정확도를 가지는 방법을 도출하기 위해 제작방식을 구분하여 비교하는 연구도 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 전통적인 인상채득 방법을 통하여 제작된 석고모형과 디지털 인상채득법을 통해 채득된 3차원 디지털 모형의 데이터를 패속조형 기술로 응용하여 제작된 폴리우레탄 모형의 정확성을 평가하고자 계측점 간의 거리를 비교분석 하였다.

구강 디지털 인상법의 사용으로 제작된 모형은 임상적으로 적절한 것으로 판단되지만 개선하고 보완해야 할 문제점들이 존재한다. 향후 보다 정밀하고 사용하기 편리한 치과 교정용 모형을 제작하기 위한 연구들이 추가적으로 이루어져야 할 것이며, 다양한 임상 데이터를 활용한 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] G. J. Christensen, "The state of fixed prosthodontics impressions: room for improvement", *J Am Dent Assoc*, Vol.136, No.3, pp.343-346, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2005.0175>.
- [2] S. B. M. Patzelt, A. Emmanouilidi, S. Stampf, J. R. Strub, and W. Att, "Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners," *Clinical Oral Investigations*, vol 18, no. 6, pp. 1687-1694, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1132-y>
- [3] F. Beuer, J. Schweiger, D. Edelhoff, "Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations". *Br Dent J*, Vol. 204, No. 9, pp.505-511, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.350>.
- [4] S. Logozzo, E. M. Zanetti, G. Franceschini, A. Kilpela, and A. Makynen, "Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry," *Optics and Lasers in Engineering*, vol 54, pp. 203-221, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.07.017>
- [5] W. J. van der Meer, F. S. Andriessen, D. Wismeijer, and Y. J. Ren, "Application of Intra-Oral Dental Scanners

- in the Digital Workflow of Implantology," *Plos One*, vol 7, no. 8, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043312>
- [6] J. H. Kim, K. B. Kim, W. C. Kim, J. H. Kim, and H. Y. Kim, "Accuracy and precision of polyurethane dental arch models fabricated using a three-dimensional subtractive rapid prototyping method with an intraoral scanning technique," *Korean J Orthod*, vol 44, no. 2, pp. 69-76, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.4041/kjod.2014.44.2.69>
- [7] G. J. Christensen, "Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling", *J Am Dent Assoc*, Vol. 140, No. 10, pp. 1301-1304, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2009.0054>
- [8] T. M. Barker, W. J. Earwaker, D. A. Lisle, "Accuracy of stereolithographic models of human anatomy", *Australas Radiol*, Vol. 38, No. 2, pp. 106-111, 1994.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1673.1994.tb00146.x>
- [9] J. Kragsskov, S. Sindet-Pedersen, C. Gyldensted, K. L. Jensen, "A comparison of three dimensional computed tomography scans and stereolithographic models for evaluation of craniofacial anomalies", *J Oral Maxillofac Surg*, Vol. 54, No. 4, pp. 402-411, 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(96\)90109-3](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(96)90109-3)
- [10] W. Lill, P. Solar, C. Ulm, G. Watzek, R. Blahout, M. Matejka, "Reproducibility of 3-dimensional CT-assisted model production in the maxillofacial area", *Br J Oral Maxillofac Surg*, Vol. 30, No. 4, pp. 233-236, 1992.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0266-4356\(92\)90265-k](https://doi.org/10.1016/0266-4356(92)90265-k)
- [11] A. P. Keating, J. Knox, R. Bibb, Zhurov Al, "A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy", *J Orthod*, Vol. 35, No. 3, pp. 191-201, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1179/146531207225022626>
- [12] B. Creed, H. K. Chung, D. E. Jeryl, J. X. James, P. Robert, A. Lee, "Comparison of the Accuracy of Linear Measurements Obtained from Cone Beam Computerized Tomography Images and Digital Models", *Semin Orthod*, Vol. 17, No. 1, pp. 49-56, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2010.08.010>
- [13] M. Santoro, S. Galkin, M. Teredesai, T. J. Cangialosi, "Comparison of measurements made on digital and plaster models", *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Vol. 124, No. 1, pp. 101-105, 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(03\)00152-5](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(03)00152-5)
- [14] M. L. Quimby, K. W. Vig, R. G. Rashid, A. R. Firestone, "The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models", *Angle Orthod*, Vol. 74, No. 3, pp. 298-303, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0298:TAAROM>2.0.CO;2)
- [15] O. Zilberman, J. A. Huggare, K. A. Parikakis, "Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models", *Angle Orthod*, Vol. 73, No. 3, pp. 301-306, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2003\)073<0301:EO TVOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2003)073<0301:EO TVOT>2.0.CO;2)
- [16] G. Dahlberg, "Statistical methods for medical and biological students", George Allen & Unwin Ltd, pp. 122-132, 1940.
- [17] M. Henriksen, H. Lund, R. Moe-Nilssen, H. Bliddal, B. Danneskiold-Samsøe, "Test-retest reliability of trunk accelerometric gait analysis", *Gait Posture*, Vol. 19, No. 3, pp. 288-297, 2004.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(03\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(03)00069-9)
- [18] D. L. Streiner, G. R. Norman, "Health measurement scales: a practical guide to their development and use", Oxford: Oxford University Press.
- [19] L. G. Portney, M. P. Watkins, "Foundations of clinical research: applications to practice", Norwalk, CT: Appleton & Lange, 2009.
- [20] W. T. Kim, "Evaluation of accuracy of orthodontic models fabricated by dental digital equipments", *Kor J Dent Mater*, Vol. 44, No. 3, pp. 255-262, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2017.44.3.255>
- [21] S. Reich, S. Uhlen, S. Gozdowski, U. Lohbauer, "Measurement of cement thickness under lithium disilicate crowns using an impression material technique", *Clin Oral Investig*, Vol. 15, No. 4, pp. 521-526, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-010-0414-x>
- [22] R. G. Luthardt, R. Koch, H. Rudolph, M. H. Walter, "Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo", *Dent Mater*, Vol. 22, No. 1, pp. 69-76, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.02.015>
- [23] M. N. Lowey, "The development of a new method of cephalometric and study cast mensuration with a computer controlled, video image capture system. Part II: study cast mensuration", *Br J Orthod*, Vol. 20, No. 4, pp. 315-331, 1993.
DOI: <https://doi.org/10.1179/bio.20.4.315>

김 재 흥(Jae-Hong Kim)

[정회원]



- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공 (이학박사)

• 2019년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과 교수

<관심분야>

디지털치의학, 치과신소재, 치과보철, 의공학