

치과용 모형 스캐너의 지대치 중첩 과정이 최종 가상 모형에 미치는 영향

유범영^{1,2} · 손큰바다^{1,2} · 이규복^{2,3*}

¹경북대학교 치과대학 치의과학과, ²경북대학교 첨단치과의료기기개발연구소, ³경북대학교 치과대학 치과보철학교실

Effect of abutment superimposition process of dental model scanner on final virtual model

Beom-Young Yu^{1,2}, Keunbada Son^{1,2}, Kyu-Bok Lee^{2,3*}

¹Department of Dental Science, Graduate School, ²Advanced Dental Device Development Institute (A3DI), ³Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

Purpose: The purpose of this study was to verify the effect of the abutment superimposition process on the final virtual model in the scanning process of single and 3-units bridge model using a dental model scanner. **Materials and methods:** A gypsum model for single and 3-unit bridges was manufactured for evaluating. And working casts with removable dies were made using Pindex system. A dental model scanner (3Shape E1 scanner) was used to obtain CAD reference model (CRM) and CAD test model (CTM). The CRM was scanned without removing after dividing the abutments in the working cast. Then, CTM was scanned with separated from the divided abutments and superimposed on the CRM (n=20). Finally, three-dimensional analysis software (Geomagic control X) was used to analyze the root mean square (RMS) and Mann-Whitney U test was used for statistical analysis ($\alpha=0.05$). **Results:** The RMS mean abutment for single full crown preparation was 10.93 μm and the RMS average abutment for 3 unit bridge preparation was 6.9 μm . The RMS mean of the two groups showed statistically significant differences ($P<0.001$). In addition, errors of positive and negative of two groups averaged 9.83 μm , -6.79 μm and 3-units bridge abutment 6.22 μm , -3.3 μm , respectively. The mean values of the errors of positive and negative of two groups were all statistically significantly lower in 3-unit bridge abutments ($P<0.001$). **Conclusion:** Although the number of abutments increased during the scan process of the working cast with removable dies, the error due to the superimposition of abutments did not increase. There was also a significantly higher error in single abutments, but within the range of clinically acceptable scan accuracy. (*J Korean Acad Prosthodont* 2019;57:203-10)

Keywords: Model scanner; Superimposition; Single prosthesis; 3-units bridge; 3-dimensional analysis

서론

과거 대부분의 보철물은 수작업으로 제작되었기 때문에, 작업 과정에서의 오차가 빈번하였다. 또한 개인의 기술 수준에 따라 서로 완성된 보철물의 결과는 일관성이 있지 않았다.¹ 하지만 이러한 문제들을 해결하기 위해, 1980년대 Duret과 Preston²은 치과용 computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) 시스템이라는 새로운 대안을 제시하였다.³

따라서 오늘날의 치과용 CAD/CAM 시스템은 비용, 인력 그리고 시간절약 등을 보완할 수 있으며 3차원 가상 모형으로 전환하기 위한 필수적인 요소로 자리잡고 있다.¹ 치과용 CAD/CAM 시스템은 다음과 같이 세가지 요소로 구성되었다. 1) 환자의 구강 내 데이터 수집; 2) 디자인 소프트웨어를 이용한 보철물 디자인; 3) 공정 장비를 이용한 제조⁴ 그리고 환자의 구강 내 데이터 수집은 스캐너를 통해 얻을 수 있다. 치과용 스캐너의 종류로는 구강 내를 직접 스캔하는 구강 내 스캐너(Intra-oral scanner)와

*Corresponding Author: Kyu-Bok Lee

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, A3DI, Kyungpook National University, 2177 Dalgubuldaero, Jung-gu, Daegu 41940, Republic of Korea

+82 (0)53 600 7674; e-mail, kblee@knu.ac.kr

Article history: Received February 1, 2019 / Last Revision March 27, 2019 / Accepted May 10, 2019

©2019 The Korean Academy of Prosthodontics

©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.

※This research was supported by Kyungpook National University Development Project Research Fund, 2018.

환자의 구강 내를 복제한 작업 모형을 스캔하는 구강 외 스캐너 (Extra-oral scanner)가 있다.¹ 구강 외 스캐너는 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있다. 비접촉식 스캐너는 조사된 광원이 작업 모형에 투사되고 반사된 데이터를 취합하는 삼각 측량법을 이용한다.⁵ 그리고 모형 스캐너 또는 데스크 탑 스캐너 등으로 불리고 있다. 비접촉식 스캐너는 좁은 치간 사이의 스캔이 가능하고 스캔 시간을 단축시켜 주며 모형에 손상을 주지 않는다는 점에서 현재 임상에서 많이 사용되고 있다.

핀 작업된 모형으로 고정성 보철물을 제작할 때, 치과용 모형 스캐너를 이용하여 스캔을 해야 한다. 핀 작업되지 않은 모형으로 스캔하면 언더컷이 큰 치간 사이를 정확하게 재현하지 못하고, 이로 인해 정밀한 고정성 보철물 제작이 어렵기 때문이다. 이러한 치과용 모형 스캐너로 핀 작업된 모형의 일반적인 스캔 과정은 다음과 같다. 1) 전체 핀 작업 모형을 스캔하는 과정; 2) 지대치 만을 핀 작업 모형에서 분리하여 스캔하는 과정; 3) 전체 가상 모형과 지대치 가상 모형을 중첩하는 과정. 이러한 과정으로 보철물의 CAD 작업을 위한 최종 가상 모형을 얻을 수 있다.

최종 가상 모형은 point cloud로 구성되었다. Point cloud는 스캐너로부터 방출된 광원이 대상체에 반사되어 수신기로 돌아온 점들의 집합이며, 각각 x, y, z의 위치 좌표를 갖는다. 그리고 point cloud는 ICP (Iterative Closest Points) 알고리즘⁶을 통해 신속하고 정확하게 중첩이 된다. ICP 알고리즘은 가장 가까운 점을 이용하여 연관성을 찾아, 현재의 데이터를 이동 및 회전시켜 기존 데이터에 중첩시켜주는 알고리즘이다. 하지만 ICP 알고리즘은 중첩할 때, 가장 가까운 점인 대응점을 정확하게 선택하지 못한다면 중첩의 결과에 영향을 미친다고 보고되었다.^{7,8}

치과용 모형 스캐너에 대한 관심이 높아지면서 이에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근까지 치과용 모형 스캐너를 이용하여 인상재,⁹⁻¹¹ 트레이 선택,¹² 치과용 석고,^{5,13} 치아 모양,^{14,15} 핀 작업 모형,¹⁶ 그리고 치과용 스캐너의 종류^{1,17,18} 등에 따른 정확도의 영향을 비교 분석하는 선행연구가 보고되었다. 그러나 치과용 모형 스캐너를 이용하여 최종 가상 모형의 제작 시에 중첩 과정이 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 치과용 모형 스캐너를 이용하여 고정성 보철물을 제작할 때, 스캔 과정에서 전체 가상 모형과 지대치 가상 모형의 중첩이 최종 가상 모형에 미치는 영향을 알아보려 한다. 작업 모형은 임상에서 보편적으로 쓰이는 단일 전장관과 3본 고정성의치 모형으로 선정하였다. 그리고 3 차원 분석을 통해 중첩이 최종 가상 모형에 미치는 영향을 알아보았다. 본 연구의 귀무가설은 단일 전장관과 3본 고정성의치 모형의 스캔 오류는 차이가 없다.

재료 및 방법

본 연구는 상악 아크릴릭 구강 모형(D85DP-500B.1, Nissin dental, Kyoto, Japan)으로 단일 전장관과 3본 고정성의치의 주 모형을 제작하고 실험을 설계하였다 (Fig. 1). 치아 삭제는 밀링 기계(F3 Ergo, Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)를 이용하여, 단일 전장관의 상악 우측 제 1 대구치 레진치아를 전부 도재관을 위한 지대치로 형성하였다. 변연은 치은연상(supragingival margin)의 위치에서 1.0 mm 폭으로 chamfer 형태가 되도록 하였고, 교합면과 축벽은 1.5 mm의 삭제와 6°의 수렴각

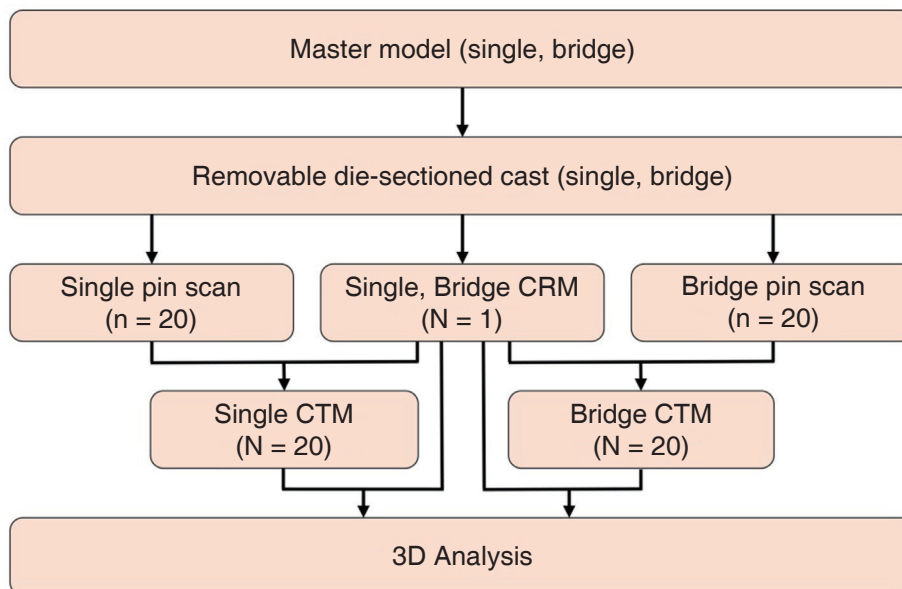


Fig. 1. Experimental design.

(convergence angle), 기능교두사면(functional cusp bevel)이 되도록 삭제하였으며 모든 교두와 능선은 둥글게 형성하였다. 이와 같은 방법으로 3본 고정성의치의 상악 우측 제1소구치와 제1대구치 레진치아를 삭제하였다. 그리고 3본 고정성의치의 상악 우측 제2소구치는 작업 모형 제작 후, 석고 모형에서 기공용 핸드피스(H37L1, Saeyang, Daegu, Korea)를 이용해 결손치 공간을 형성해주었다.

제작된 주 모형을 복제용 실리콘(Deguform, Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)을 이용해 복제하였고, 제조사의 지시에 따른 혼수비로 치과용 초경석고(GC Fujirock EP, GC Corp, Leuven, Belgium)를 자동 진공 믹서기(Iris 2, Mestra, Sondika Bilbao, Spain)로 혼합 후 몰드에 주입해 작업 모형을 제작하였다 (Fig. 2). 제작된 작업 모형은 핀덱스 시스템을 통해 핀 작업 모형을 제작하였다. 그리고 제작에는 천공 작업을 위한 핀덱스 기계(Pindex, Coltötten/Whaledent, Altstätten, Switzerland)과 위치 변동 방지를 위한 트윈 핀(M.r pin, Rnd Dental, Daegu, Korea), 모형의 저면을 형성하기 위한 치과용 경석고(Hi-Koseton, Maruishi, Osaka, Japan)가 사용되었다. 그리고 핀 작업

을 마친 모형의 지대치를 기공용 톱(DE051, Zogear, Shanghai, China)을 이용해 분할하였다 (Fig. 3).

본 연구에서는 고정성 보철물을 제작할 때, 스캔 과정에서 중첩이 최종 가상 모형에 미치는 영향을 알아보기 위해 기준 스캔 데이터(CAD reference model)와 실험 스캔 데이터(CAD test model)를 획득하였다. 기준 스캔 데이터는 치과용 모형 스캐너(E1, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 지대치를 한번도 착탈하지 않은 핀 작업된 모형을 스캔하였다. 그리고 standard tessellation language (STL) 파일로 저장하였다. 실험 스캔 데이터는 일반적인 핀 작업된 모형의 스캔 순서(모형 전체 스캔→지대치 스캔→중첩→최종 가상 모형 완성)로 진행되었다. 그리고 스캔 과정에 있어서 오직 중첩이 미치는 영향만을 보기 위해 스캔 불러오기 기능으로 기준 스캔 데이터의 STL파일을 불러왔다. 지대치 스캔은 모형에서 지대치를 분리하여 스캔을 진행하였고 (Fig. 4A, 4D), 기준 스캔 데이터에 중첩시켜 최종 가상 모형을 완성하였다 (Fig. 4C, 4F). 그리고 STL 파일로 저장하였다 (n = 20).

본 연구는 분석을 위해 3D 분석 프로그램(Geomagic control

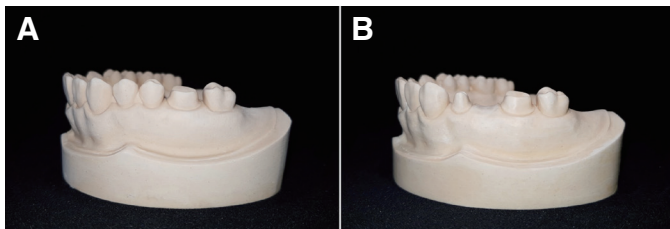


Fig. 2. Working model. (A) solid cast for single all-ceramic crown, (B) solid cast for 3-units fixed dental prosthesis.

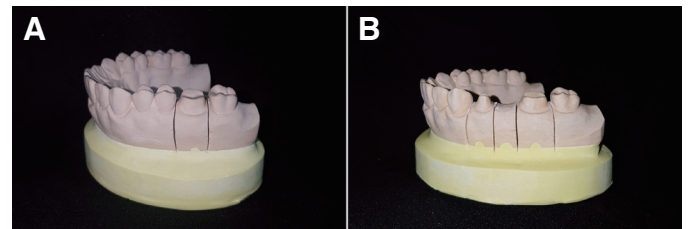


Fig. 3. Working model with removable dies. (A) stone definitive removable die-sectioned cast for single all-ceramic crown, (B) stone definitive removable die-sectioned cast for 3-units fixed dental prosthesis.

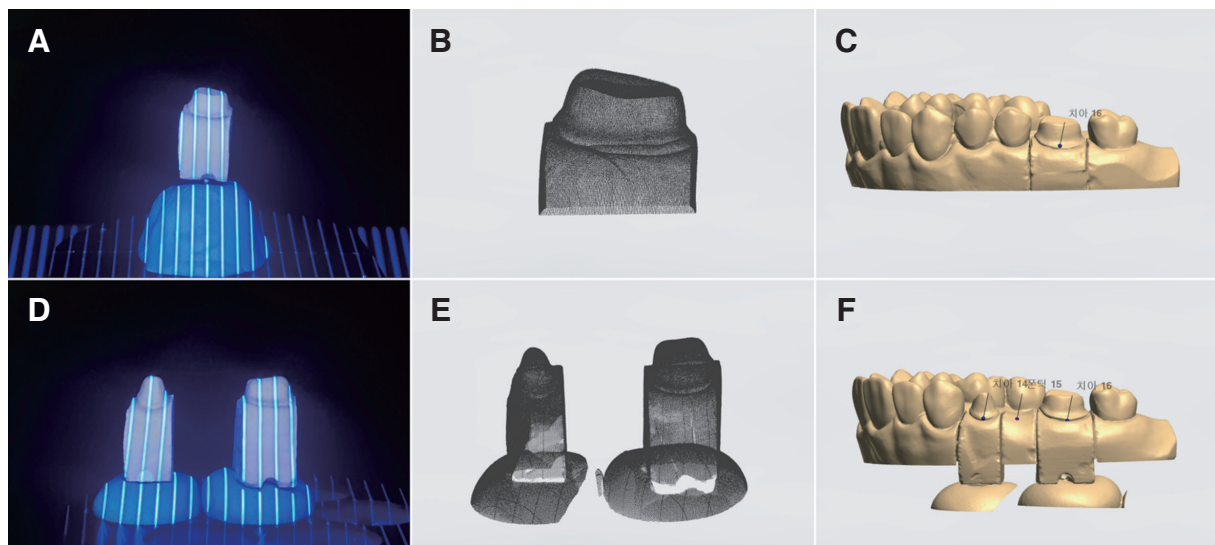


Fig. 4. Scanning procedure using the model scanner. (A, B, C) Single model scan procedure, (D, E, F) 3-unit bridge model scan procedure, (A, D) Scanning the abutment, (B, E) Transforming to virtual model, (C, F) Superposition of CRM and abutment scan data.

X, 3D Systems, Cary, NC, USA)을 사용하였다. 기준 스캔 데이터와 실험 스캔 데이터의 STL파일을 소프트웨어에 불러오고 초기 정렬(initial alignment)을 하였다. 그리고 지대치의 오류를 보기 위해서 지대치 영역을 분할하였고, 분할된 지대치 영역만을 최적화 정렬(best-fit alignment)을 하였다 (Fig. 5, Fig. 6).

기준 스캔 데이터 파일과 실험 스캔 데이터 파일의 차원적 차이는 지대치의 모든 데이터포인트에 대해 계산되었다. 이때 데이터 포인트는 Root Mean Square (RMS) 값으로 계산하였고, 공식은 다음과 같다.

$$RMS = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}$$

여기에서 $x_{1,i}$ 는 기준 스캔 데이터의 i 의 측정 포인트이고, $x_{2,i}$ 는 실험 스캔 데이터의 i 의 측정 포인트이다. 그리고 n 은 각 분석에서 측정된 모든 포인트의 수를 말한다.

RMS 값은 서로 다른 두 데이터의 집합 간의 편차가 0과 얼마나 다른 지를 알 수 있다. 따라서 낮은 RMS값은 중첩된 데이터의 높은 삼차원적 일치 정도를 나타낸다. 그리고 3차원 비교를 color difference map으로 보여주었고, $\pm 100 \mu\text{m}$ 의 범위(20 color segments)와 $\pm 10 \mu\text{m}$ 의 허용 공차범위(녹색)를 지정하였다.

모든 데이터는 SPSS statistical software (release 23.0, IBM, Chicago, IL, USA)를 사용하여 분석되었다. 우선 Shapiro-Wilk test를 통해 데이터의 정규 분포를 조사하였다. 그리고 정규 분포를 이루지 않아 Mann-Whitney U-test를 이용하여 그룹 간의 차이점을 분석하였다 ($\alpha = .05$).

결과

단일 전장관 지대치와 3본 고정성의치 지대치의 스캔 데이터에 대한 양(positive)과 음(negative)의 오류, RMS 값을 분석하였다. 단일 전장관 지대치는 $10.93 \mu\text{m}$, 3본 고정성의치 지대치는 $6.9 \mu\text{m}$ 의 RMS 평균값을 나타내었다. 그리고 두 그룹의 RMS 평균은 통계적으로 유의한 차이를 보여줬다 ($P < .001$)(Table 1)(Fig. 7). 단일 전장관 지대치와 3본 고정성의치 지대치의 양과 음의 오류를 평균값으로 분석하였다. 단일 전장관 지대치는 $9.83 \mu\text{m}$, $-6.79 \mu\text{m}$ 의 평균값을 보여줬고, 3본 고정성의치 지대치는 $6.22 \mu\text{m}$, $-3.3 \mu\text{m}$ 평균값을 보여줬다. 평균값을 통계적 비교해 본 결과, 단일 전장관 지대치와 3본 고정성의치 지대치의 양과 음의 오류는 두 평균값 모두에서 3본 고정성의치 지대치가 단일 전장관 지대치보다 통계적으로 유의하게 낮은 값을 보여주었다 ($P < .001$)(Table 1, Fig. 8).

Table 1. Mean and standard deviation values according to abutment type

Abutment type	Mean \pm standard deviation (μm)		
	RMS	Positive	Negative
Single (n = 20)	10.93 ± 1.6	9.83 ± 1.6	-6.79 ± 1.8
Bridge (n = 20)	6.9 ± 0.6	6.22 ± 0.7	-3.3 ± 0.2
P value	$< .001$	$< .001$	$< .001$

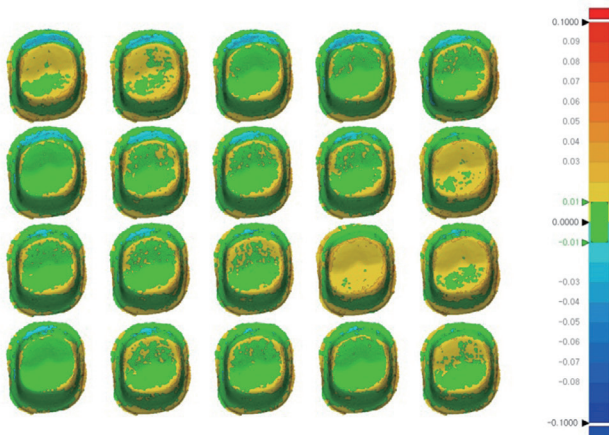


Fig. 5. Color difference maps obtained from comparison between CRM and CTM (abutment for single all-ceramic crown).

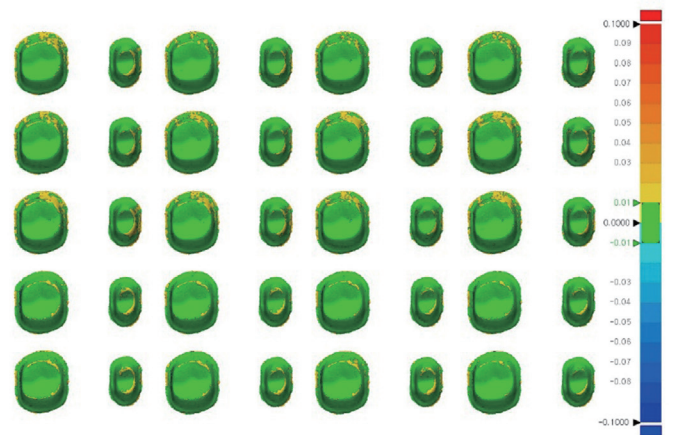


Fig. 6. Color difference maps obtained from comparison between CRM and CTM (abutment for 3-units fixed dental prosthesis).

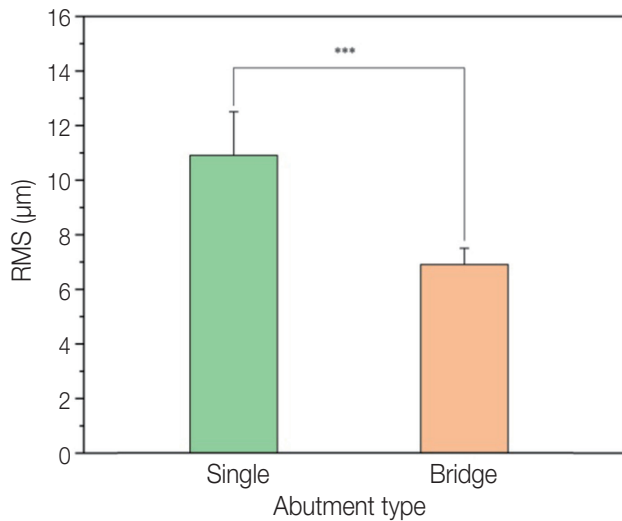


Fig. 7. Comparison of mean 3-dimensional analysis (root mean square avg. value) according to abutment type. Asterisk indicates significant difference by Mann-Whitney U-test at $\alpha = .05$.

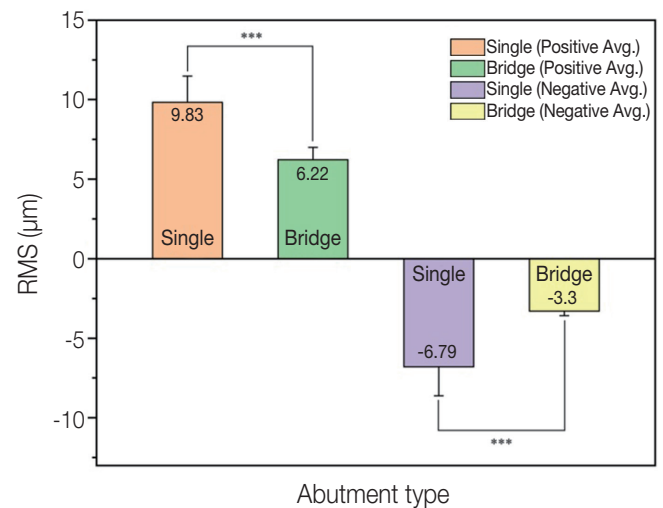


Fig. 8. Comparison of mean 3-dimensional analysis (positive and negative avg. value) according to abutment type. Asterisk indicates significant difference by Mann-Whitney U-test at $\alpha = .05$.

고찰

본 연구에서는 치과용 모형 스캐너를 이용하여 임상에서 보편적으로 사용되는 단일 전장관과 3본 고정성지치의 핀 작업된 모형을 3차원 가상 모형으로 스캔하였을 때, 핀 작업 모형의 스캔 과정에서 중첩이 최종 가상 모형에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구이다. 비교한 결과 모든 양과 음의 오류, RMS의 평균 값에서 3본 고정성지치 지대치가 단일 전장관 지대치보다 통계적으로 유의하게 낮은 값을 보여주었다 ($P < .001$) (Table 1, Fig. 7, Fig. 8). 그러므로 본 연구의 귀무가설은 기각되었다. 이러한 결과는 핀 작업된 모형의 스캔 과정에서 3본 고정성지치 지대치보다 단일 전장관 지대치에서 지대치 중첩의 과정이 스캔 정확도에 더 많은 영향을 주는 것으로 사료된다.

치과용 모형 스캐너를 이용하여 고정성 보철물을 제작 시, 대부분의 치과 임상에서는 CAD 작업을 하기 위해 핀 작업된 모형을 스캔한다. 그리고 일반적으로 핀덱스 시스템을 이용하여 핀 작업 모형을 제작한다. 핀덱스 시스템을 통해 모형을 제작하면 모형의 변연, 교합면, 인접면 부위 등을 세부적으로 확인 가능하다. 그리고 지대치의 수가 늘어나도 서로 평행한 핀을 식립 할 수 있고, 왁스 업 작업을 수월하게 할 수 있다. 그러나 이전의 연구에서 핀 작업된 모형으로 분할 전과 후의 지대치 사이의 거리를 측정한 결과, 분할 후의 지대치 사이 수평거리가 분할 전에 비해 일부에서는 증가, 다른 일부에서는 감소가 되었다고 보고되었다.¹⁹ 이는 지대치의 재료인 경석고가 부위에 따라 팽창이 고르지 못해 발생하는 원인이라고 하였다. 또한 핀 작업된 모형은 지대치를 반복하여 착탈하면 마모 또는 회전으로 인해 위치가 변동

될 수 있다고 하였다.²⁰ 따라서 본 연구에서는 최종 가상 모형에 중첩이 미치는 영향만을 보기 위해서 기준 스캔 데이터는 핀 작업된 모형을 분할 후, 핀을 한번도 착탈하지 않은 상태에서 기준 스캔 데이터를 획득하였다.

본 연구에서는 청색 발광 다이오드(blue LED)의 광원을 사용하는 청색광의 치과용 모형 스캐너가 사용되었다. 이러한 청색광 스캐너는 빠른 시간 내에 측정이 가능하며, 주변 조명 조건의 영향을 받지 않고, 자유로운 상황에서 사용이 가능하다고 알려져 있다.¹⁷ 그리고 다른 광원의 스캐너에 비해 반복 재현성이 우수하다고 보고되었다.²¹ 하지만 청색광 스캐너가 다른 광원의 스캐너 보다 반복 재현성이 우수하다고는 하지만 반복 재현성의 오차가 존재하지 않는 것은 아니다. 따라서 본 연구에서는 최종 가상 모형에 중첩이 미치는 영향만을 보기 위해서 치과용 모형 스캐너의 불러오기 기능을 사용하였다. 이 기능은 일반적인 핀 작업된 모형의 스캔과정에서 전체 핀 작업된 모형을 스캔하지 않고 기준 스캔 데이터를 불러오는 데 사용되었다. 그리고 지대치를 스캔하여 불러온 기준 스캔 데이터와 중첩해 최종 가상 모형을 획득하였다. 이처럼 하나의 기준 스캔 데이터만 불러오기 때문에 지대치 가상 모형과 중첩할 때, 반복 재현성의 오차를 극복하고 중첩이 미치는 영향만을 볼 수 있었다.

단일 전장관 지대치의 제 1대구치와 3본 고정성지치 지대치의 제 1대구치는 같은 디자인의 치아이므로 일반적으로는 중첩의 결과값이 비슷해야 한다. 그러나 본 논문에서는 단일 전장관 지대치에서 더 큰 오류를 나타냈다 (Fig. 5, Fig. 6). 이러한 결과는 핀 작업된 모형의 스캔 과정에서 모형 전체를 스캔할 때, 근원심 인접치가 존재하는 지대치는 스캔 데이터의 영향을 주어, 이 영

향이 중첩에 오류를 미친 것으로 추정된다. 따라서 단일 전장관 지대치가 근원심 인접치의 영향을 받은 것으로 추정되나, 추후 정확한 분석을 위해서는 근원심 인접치의 유무에 따른 중첩의 영향에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 스캔 과정에서 중첩의 과정이 미치는 영향만을 보기 위해 다른 방법을 사용하였다. 우선 전체 모형을 스캔하여 기존 스캔 데이터를 획득하였다. 스캔 불러오기 기능으로 기존 스캔 데이터의 STL파일 불러오기 지대치 스캔 파일과 중첩하여 실험 스캔 데이터를 획득하였다. 그리고 기존 스캔 데이터와 실험 스캔 데이터를 3D 분석 프로그램을 이용하여 최적 정렬(Best-fit alignment)하여 삼차원 분석하였다.²² 이로 인해 지대치의 스캔과 중첩이 미치는 영향만을 볼 수 있었다. 그리고 치과용 모형 스캐너를 이용한 중첩 과정에서 생기는 오차에 대한 선행연구는 없었다. 정확한 고정성 보철물의 제작으로, Ender 등²³은 100 μm 이상의 스캔 데이터의 편차는 최종 보철물의 부정확한 적합으로 이어질 수 있다고 이야기하였다. 따라서 본 연구의 결과를 보면 단일 전장관 지대치와 3본 고정성의치 지대치 간에 RMS 평균 값의 차이가 4 μm 로 크지 않다는 점에서 임상적으로 허용할 만한 수준으로 생각된다. 또한 스캔 과정에서 지대치의 개수가 증가하여도 중첩 시, 지대치가 각각 중첩되므로 중첩에 의한 오류가 증가하지 않는 것으로 생각된다.

스캐너는 선행연구에 의하면 스캐너 작동 중 온도 상승은 송신기와 CCD (Charge Coupled Device) 센서 사이의 거리 변화로 인해 삼각측량법에 영향을 미쳐 오류가 발생할 수 있다고 했다.²⁴ 또한 진동, 경면 반사, 측정 물체의 광학적 특성(색, 밝기)으로 인해 잘못된 데이터가 나올 수 있다고 했다.²⁵ 따라서 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서 진동이 없는 환경에서 스캔을 획득하였고, 일정한 경면 반사를 위해 핀 작업된 모형과 지대치를 인터페이스 플레이트 위에 계속 고정시켜 스캔하였다. 또한 측정 물체의 광학적 특성은 동일한 재료를 사용하여 일정한 광학적 특성을 주었다. 그러나 스캐너 작동 중 온도 상승에 대한 한계는 주변 온도와 스캐너 작동 시간에 따른 온도 차이로 인해 극복하기 어려운 점이 있었다. 그러므로 향후 연구에서는 스캐너 작동 중 온도 상승에 대한 오류를 고려하여, 다양한 증례를 통한 전체 및 지대치 가상 모형의 중첩이 최종 가상 모형에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

결론

본 *in vitro* 연구의 제한된 결과에 따라 다음과 같은 결론을 내렸다.

스캔 과정에서 지대치의 개수가 증가하여도 중첩에 의한 오류는 증가하지 않았다.

단일 전장관 지대치에서 유의하게 높은 오류를 보였지만 임상적으로 허용 가능한 스캔 정확도의 범위에 있다.

ORCID

Beom-Young Yu <https://orcid.org/0000-0003-1070-3386>

KeunBaDa Son <https://orcid.org/0000-0002-3177-8005>

Kyu-Bok Lee <https://orcid.org/0000-0002-1838-7229>

References

1. Lee JJ, Park JY, Bae SY, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Evaluation of the model accuracy according to three types of dental scanner. J Dent Hyg Sci 2015;15:226-31.
2. Duret F, Preston JD. CAD/CAM imaging in dentistry. Curr Opin Dent 1991;1:150-4.
3. Son KBD, Lee WS, Lee KB. Effect of repeated learning for two dental CAD software programs. J Dent Rehabil Appl Sci 2017;33:88-96.
4. van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater 2012;28:3-12.
5. Luthardt RG, Kühmstedt P, Walter MH. A new method for the computer-aided evaluation of three-dimensional changes in gypsum materials. Dent Mater 2003;19:19-24.
6. Besl PJ, McKay ND. A method for registration of 3D shapes. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 1992;14:239-56.
7. Sin YD, Park JH, Park GW, Baek SH, Baek MH. 3D range image registration using ICP algorithm. Korea Autom Control Conf 2009;9:177-81.
8. He Y, Liang B, Yang J, Li S, He J. An iterative closest points algorithm for registration of 3D laser scanner point clouds with geometric features. Sensors (Basel) 2017;17(8). pii: E1862.
9. Persson AS, Odén A, Andersson M, Sandborgh-Englund G. Digitization of simulated clinical dental impressions: virtual three-dimensional analysis of exactness. Dent Mater 2009;25:929-36.
10. Jeon JH, Jung ID, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Three-dimensional evaluation of the repeatability of scans of stone models and impressions using a blue LED scanner. Dent Mater J 2015;34:686-91.
11. Kim KB, Jung JK, Kim JH. Accuracy of digital impression made from different elastomeric impression materials: Three-dimensional superimpositional analysis. J Dent Hyg Sci 2014;14:94-100.
12. Eom SH, Oh SC. Accuracy of stone cast produced by adjustable dental impression tray. J Korean Acad Prosthodont 2005;43:453-65.
13. Kim KB, Kim SJ, Kim JH, Kim JH. An evaluation of validity of three dimensional digital model fabricated by dental scanable stone. J Korean Acad Dent Technol 2013;35:29-35.
14. Jeon JH, Choi BY, Kim CM, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Three-dimensional evaluation of the repeatability of scanned conventional impressions of prepared teeth generated with white- and blue-light scanners. J Prosthet Dent 2015;114:549-53.

15. Rudolph H, Salmen H, Moldan M, Kuhn K, Sichwardt V, Wöstmann B, Luthardt RG. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *J Appl Oral Sci* 2016;24:85-94.
16. Emir F, Piskin B, Sipahi C. Effect of dental technician disparities on the 3-dimensional accuracy of definitive casts. *J Prosthet Dent* 2017;117:410-8.
17. Choi SS, Kim JH, Kim JH. Comparative analysis on digital models obtained by white light and blue LED optical scanners. *J Korean Acad Dent Technol* 2014;36:17-23.
18. Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent* 2006;95:194-200.
19. Lim JH. The accuracy according to the various dowel pins of working cast with removable dies. *J Korean Acad Prosthodont* 1997;35:373-84.
20. Miranda FJ, Dilts WE, Duncanson MG, Collard EW. Comparative stability of two removable die systems. *J Prosthet Dent* 1976;36:326-33.
21. Jeon JH, Sung HK, Min BK, Hwang JS, Kim JH, Kim WC. Comparison of reproducibility of prepared tooth impression scanning utilized with white and blue light scanners. *J Korean Acad Dent Technol* 2015;37:213-8.
22. Lee HH, Lee DH, Lee KB. In vitro evaluation methods on adaptation of fixed dental prosthesis. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2017;33:63-70.
23. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20.
24. Bernal C, de Agustina B, Marin M, Camacho A. Performance evaluation of optical scanner based on blue LED structured light. *Proc Eng* 2013;63:591-8.
25. Ganzer N, Feldmann I, Liv P, Bondemark L. A novel method for superimposition and measurements on maxillary digital 3D models-studies on validity and reliability. *Eur J Orthod* 2018;40:45-51.

치과용 모형 스캐너의 지대치 중첩 과정이 최종 가상 모형에 미치는 영향

유범영^{1,2} · 손큰바다^{1,2} · 이규복^{2,3*}

¹경북대학교 치과대학 치의과학과, ²경북대학교 첨단치과의료기기개발연구소, ³경북대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 본 연구는 치과용 모형 스캐너를 이용하여 단일 전장관과 3본 고정성의치 모형을 스캔하는 과정에서 지대치의 중첩 과정이 최종 가상 모형에 미치는 영향을 알아보려 하였다.

재료 및 방법: 평가를 위해 단일 전장관과 3본 고정성의치를 위한 석고 모형을 제작하였다. 그리고 Pindex system을 이용하여 핀 작업된 모형을 제작하였다. 기준 스캔 데이터(CAD Reference Model)와 실험 스캔 데이터(CAD Test Model)를 획득하기 위해서 치과용 모형 스캐너(E1, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)를 이용했다. 기준 스캔 데이터는 지대치를 분할한 후 탈착하지 않고 스캔하였다. 그리고 실험 스캔 데이터는 분할된 지대치를 분리하여 스캔 후, 기준 스캔 데이터에 중첩되었다(n = 20). 마지막으로 3차원 검사 소프트웨어(release 2018.0.0; Geomagic control X; 3D Systems)를 이용하여 root mean square (RMS)를 분석하였고, 통계 분석은 Mann-Whitney U test를 사용하였다 ($\alpha = .05$).

결과: 단일 전장관 지대치의 RMS 평균은 10.93 μm , 3본 고정성의치 지대치의 RMS 평균은 6.9 μm 가 나왔다. 두 그룹의 RMS 평균값은 통계적으로 유의한 차이를 보여줬다 ($P < .001$). 또한 두 그룹의 양(positive)과 음(negative)의 오류는 단일 전장관 지대치는 9.83 μm , -6.79 μm , 3본 고정성의치 지대치는 6.22 μm , -3.3 μm 의 평균값이 나왔다. 두 그룹의 양과 음의 오류 평균값은 통계적으로 모두 3본 고정성의치 지대치가 단일 전장관 지대치보다 통계적으로 유의하게 낮은 값을 보여주었다 ($P < .001$).

결론: 핀 작업된 모형의 스캔 과정에서 지대치의 개수가 증가하여도 지대치의 중첩에 의한 오류는 증가하지 않았다. 또한 단일 전장관 지대치에서 유의하게 높은 오류를 보였지만 임상적으로 허용 가능한 스캔 정확도의 범위에 있다. (대한치과보철학회지 2019;57:203-10)

주요단어: 모형 스캐너; 중첩; 단일 전장관; 3본 고정성의치; 3차원 분석

*교신저자: 이규복

41940 대구 중구 달구벌대로 2177 경북대학교 치과대학 치과보철학교실

053 600 7674; e-mail, kblee@knu.ac.kr

원고접수일: 2019년 2월 1일 / 원고최종수정일: 2019년 3월 27일 / 원고채택일: 2019년 5월

10일

© 2019 대한치과보철학회

© 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 4.0 대한민국 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.

※ 이 논문은 2018학년도 경북대학교 국립대학육성사업 지원비에 의하여 연구되었음.