

# 교합면의 교모형태에 따른 치과용 모형 스캐너의 정확도 평가

김동연<sup>1</sup>, 김지환<sup>2</sup>, 이범일<sup>2</sup>, 이주희<sup>3</sup>, 김원수<sup>3</sup>, 박진영<sup>4</sup>

<sup>1</sup>폴드 치과기공소, <sup>2</sup>고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공, <sup>3</sup>대전보건대학교 치기공과, <sup>4</sup>스마일치과기공소

## Accuracy evaluation of dental model scanner according to occlusal attrition type

Dong-Yeon Kim<sup>1</sup>, Ji-Hwan Kim<sup>2</sup>, Beom-Il Lee<sup>2</sup>, Ju-Hee Lee<sup>3</sup>, Won-Soo Kim<sup>3</sup>, Jin-Young Park<sup>4</sup>

<sup>1</sup>4RD Dental Laboratory, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon, Korea

<sup>4</sup>Smile Dental Laboratory, Boeun, Korea

### Article Info

Received October 30, 2020

Revised November 14, 2020

Accepted November 23, 2020

### Corresponding Author

Dong-Yeon Kim

4RD Dental Laboratory, 9 Sejong-daero 1-gil,

Jung-gu, Seoul 04512, Korea

E-mail: kdy1713@korea.ac.kr

https://orcid.org/0000-0002-3670-8591

**Purpose:** The purpose of this study is to compare and analyze the accuracy of single crowns based on the type of occlusal surface.

**Methods:** A single crown wax pattern was fabricated in three types of occlusal surface. The prepared wax pattern was replicated with silicone, and stone was injected to create a stone model. The prepared specimens were scanned using a model scanner. Scans were classified into three groups, and each scan was performed six times to analyze the trueness and precision of a single crown. In addition, only the occlusal surface area was analyzed for trueness and precision. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis H test, a nonparametric test ( $\alpha=0.05$ ).

**Results:** With regard to the trueness value of the occlusal scan area, the no occlusal tooth attrition (NA) group showed the largest error of 3.5  $\mu\text{m}$ , and the complete occlusal tooth attrition (CA) group showed the lowest value of 3.1  $\mu\text{m}$ . The NA group had the greatest precision, and the medium occlusal tooth attrition (MA) group and CA group showed a low precision value of 3.2  $\mu\text{m}$ ; the difference between the groups was statistically significant ( $\alpha=0.05$ ). In the color difference map, the CA group showed a lower error than the NA group.

**Conclusion:** The occlusal surface with severe attrition had excellent accuracy, but the accuracy of the group without attrition was low. There were significant differences between groups, but clinically acceptable values were shown.

**Key Words:** Tooth attrition, Computer-aided design, Precision, Trueness

## INTRODUCTION

치과 분야에 CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing)이 도입됨으로써 기존 수작업으로 제작했던 치과 보철물의 한계를 극복할 수 있게 되었으며 치과기공사의 작업환경 만족도도 증대되었다[1].

치과에서 사용하는 자동화 시스템은 3차원 스캐너(scanner), 설계(design), 제조(manufacturing)로 분류할 수 있다[2-4]. 기존 구강 내 손상된 치아는 인상재를 사용하여 인상채득을 하였다. 이 과정은 인상재 및 모형의 변형, 구강 내 타액으로 인한 오염 등이 문제가 되고 있

며 풍부한 임상적 경험도 요구되었다.

한편 자동화 시스템이 도입됨으로써 스캐너를 사용하여 손상된 치아를 3차원 데이터로 인기할 수 있게 되었다. 설계는 3차원으로 스캔된 지대치 데이터를 통해 회복될 보철물을 디자인하는 가상의 설계 단계이다. 마지막으로 제조는 설계가 완료된 디자인을 금속, 수지, 세라믹 계열의 재료를 사용하여 인공적인 치아를 제작하는 과정이다. 세가지 분류 모두 중요한 단계이지만 3차원 스캔 과정은 수복물 제작에 있어 가장 기본이 되며 최종 보철물의 결과물에 부정적인 결과를 나타낼 수 있다고 보고된 바 있다[5].

치과용 3차원 스캐너는 접촉식 및 비접촉식으로 분류된다. 접촉

식 스캐너는 등근 탐침을 스캔 모형에 접촉하여 얻어진 위치 값을 축 (x,y,z) 값으로 계산하여 3차원 스캔 데이터(3-dimensional scan data)를 얻는다[6]. 접촉식 스캔 방식은 모형에 접촉하여 스캔하기 때문에 정밀성이 높으나 탐침에 의해 모형 표면에 손상이 발생할 수 있으며 표면이 적당한 강도를 가지지 못하면 정확한 값을 얻을 수 없다 [6,7]. 또한 모형의 부피에 따라서 스캔 시간이 오래 걸린다는 단점도 존재한다. 비접촉식 스캐너는 일반적으로 광학식 스캐너를 지칭하며 송신부에서 나오는 빛을 모형에 투사하고 반사되는 값을 계산하여 3차원 데이터로 획득하는 방법이다[6]. 빛을 사용하기 때문에 접촉식 스캐너에 비해 정확도는 낮지만 단일 치아에 한해서는 정밀도가 우수하다고 보고되었고[7,8], 치아의 곡면이나 교합면 등의 복잡한 형태를 단시간에 데이터로 변환할 수 있다[8]. 교합면은 용선, 구, 와 등으로 다른 면보다 복잡한 형태를 가지고 있다. 그러나 연령의 증가와 동시에 생리적인 저작, 비기능적 운동인 이갈이 등 매우 다양한 원인으로 교합면의 교모가 발생한다[9]. 또한 식생활, 저작 습관, 성별, 문화적 관습 등에 따라 진행되는 속도와 그 양상에 따라 교모가 다양하게 나타난다고도 보고된 바 있다[10].

최근 스캐너의 정확도 평가는 국제 표준화 기구(International Organization for Standardization, ISO)에 따라 스캐너의 진도(true-ness)와 정밀도(precision)로 평가된다[11]. 진도는 기준 데이터와 스캔 데이터 사이의 유사성을 나타내고, 정밀도는 스캔 데이터 간의 유사성을 나타내어 정확도 평가가 진행되고 있다. 선행 연구를 보면 3차원 스캐닝을 방식을 사용하여 단일 지대치 각도별 삭제에 따른 정확도 [12], 치아의 형태에 따른 정확도 [13] 등이 연구된 바 있으나 교합면 교모도에 따른 스캔 정확도 평가에 대한 연구는 미비하였다.

따라서 본 연구에서는 단관(single crown)의 교합면 교모도에 따른 모형 스캐너의 정확도 분석을 비교 분석하고자 한다.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. 시편 제작

치아 지대치 모형은 국제표준모형의 16번 지대치(AG-3 ZPVK 16; Frasaco, Tettngang, Germany)를 선정하였으며 균일한 연구모형

을 사용하기 위해서 복제용 실리콘(Deguform; Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany)을 사용하여 복제하였다(Fig. 1, 2).

복제된 음형의 몰드에 초경석고(Fujirock EP; GC Europe N.V., Leuven, Belgium)를 주입하여 양형의 초경석고 지대치 1개를 제작하였다. 제작된 초경석고 지대치에 숙련된 치과기공사의 수작업을 통해 납형(wax pattern) 조각(Inowax Rosa fluorescente; Formaden, São José dos Pinhais, Brazil)을 진행하여 단관을 제작하였다(Fig. 3A).

본 연구를 위해서 세 집단으로 분류하여 실험을 진행하였다. 첫 번째 집단은 교합면 부위가 교모가 되지 않은 납형(Inowax Rosa fluorescente; Formaden)을 복제용 실리콘(Deguform; Degudent GmbH)을 사용하여 음형의 몰드를 1개 제작하였다(no occlusal tooth attrition group, NA group; Fig. 3A). 두 번째 집단은 첫 번째 집단에서 복제가 완료된 후 약간의 교모가 된 상태로 납형(Inowax Rosa fluorescente; Formaden)을 제작하여 복제용 실리콘(Deguform; Degudent GmbH)을 사용한 다음 음형의 몰드를 1개 제작하였다 (medium occlusal tooth attrition group, MA group; Fig. 3B). 세 번째 집단은 완전 교모가된 상태의 납형(Inowax Rosa fluorescente; Formaden)을 복제용 실리콘(Deguform; Degudent GmbH)을 사용하여 음형의 몰드를 1개 제작하였다(complete occlusal tooth attrition group; CA group; Fig. 3C). 준비된 각각의 몰드에 초경석고 (Fujirock EP; GC Europe N.V.)를 주입하여 스캔을 위한 연구모형을 각각 제작하였다(n=1).



Figure 2. Study die for single crown wax-up.

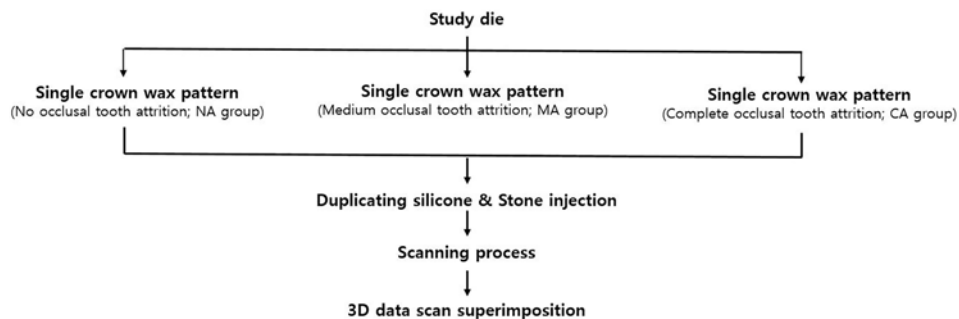


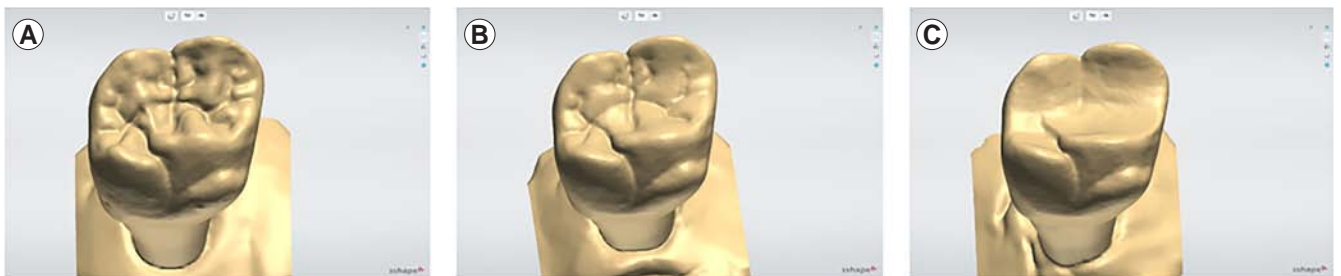
Figure 1. Study design.



**Figure 3.** Single crown wax-up. (A) No occlusal tooth attrition group, NA group; (B) medium occlusal tooth attrition group, MA group; (C) complete occlusal tooth attrition group, CA group.



**Figure 4.** Stone model of the scan plate. NA group (A), MA group (B), and CA group (C) on the scan plate. NA group: no occlusal tooth attrition group, MA group: medium occlusal tooth attrition group, CA group: complete occlusal tooth attrition group.



**Figure 5.** Scan data of stone model. Scan data of NA group (A), MA group (B), and CA group (C). NA group: no occlusal tooth attrition group, MA group: medium occlusal tooth attrition group, CA group: complete occlusal tooth attrition group.

## 2. 시편 스캐닝

준비된 세 집단은 모형 스캐너를 사용하여 스캔하였다(E3; 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark). 세 집단 모두 스캐닝을 진행하기 전에 칼리브레이션(calibration)을 진행하고 스캐닝을 하였다. 세 집단 모두 스캔 판(scan plate)에 고정하여 동일한 위치에서 각각 6회 스캔을 진행하였다(Fig. 4). 스캔이 완료된 3차원 데이터는 standard triangulated language (STL) 파일로 저장하였다(Fig. 5).

## 3. 3차원 정확도 스캔 데이터 중첩

### 1) 진도 중첩

#### (1) 단관의 진도 중첩

스캔이 완료된 3차원 스캔 데이터는 치경선 기준으로 치관을 제외하고 치근 부위는 모두 제거하였다. 수정된 스캔 데이터는 6개의 시편 중에 첫 번째 스캔 데이터를 기준 데이터(reference data)로 정하였고 2~6번째 데이터는 스캔 데이터(scan data)로 정하여 중첩 소프트웨어(Geomagic Verify 2015; Geomagic GmbH, Stuttgart, Germany)를 사용하여 세 집단 모두 중첩(superimposition) 과정을 거쳤다(Fig. 5).

(2) 단관 교합면 진도 중첩

단관 교합면 진도는 단관에 사용하였던 3차원 데이터를 교합면을 제외하고 협면, 설면, 근심면, 원심면을 제거하였다. 교합면만 준비된 6개의 시편 중에서 첫 번째 스캔 데이터를 기준 데이터로 정하였으며 2~6 번째 스캔 데이터로 정하여 세 집단 모두 중첩 과정을 거쳤다(Fig. 6).

2) 정밀도 중첩

스캔이 완료된 6개 시편 중에 첫 번째 시편을 제외하고 2번째 시편에서 6번째 스캔 데이터를 Fig. 7과 같이 세 집단 모두 짝을 지어 10회 중첩 과정을 거쳤다.

4. 3차원 색차 분석

교합면 색차(color difference map) 분석을 위해서 진도 값과 정밀도 값의 분석을 추가 진행하였다. 양의 오차(red color)는 50 μm, 음의 오차(blue color)는 -50 μm로 설정하였으며 허용(green color) 오차는 5 μm로 설정하였다.

5. 데이터 계산 및 통계 분석

1) 정확도와 적합도는 root mean square (RMS)로 계산하였다. 양의 값과 음의 값의 평균을 구하기 위해 사용하며 다음의 계산식을 참고하여 계산하였다.

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

2) 계산된 데이터는 통계 프로그램(IBM SPSS 22.0; IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 3차원 데이터의 정규성 검정을 실시하였으나 만족하지 못하여 비모수 검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 실시하였다(α=0.05).

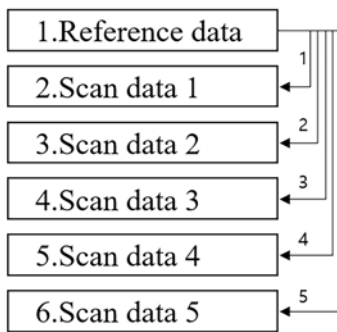


Figure 6. Schematic diagram of trueness.

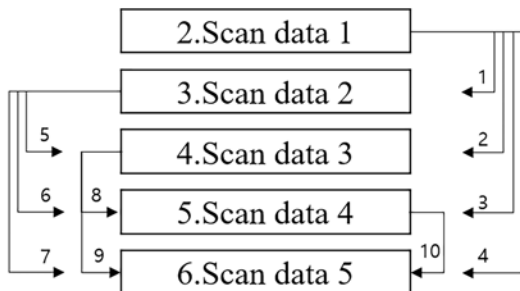


Figure 7. Schematic diagram of precision.

Table 1. Trueness of single crown scan data (n=5) (unit: μm)

Group	Mean	SD	Median	95% CI		p-value
				Min	Max	
NA	3.5	0.4	3.4	3.0	4.0	0.070
MA	3.1	0.3	2.9	2.7	3.4	
CA	3.1	0.3	3.1	2.8	3.4	

SD: standard deviation, CI: confidence interval, NA: no occlusal tooth attrition, MA: medium occlusal tooth attrition, CA: complete occlusal tooth attrition.

Table 2. Precision of single crown scan data (n=5) (unit: μm)

Group	Mean	SD	Median	95% CI		p-value
				Min	Max	
NA	3.2	0.3	3.2	3.0	3.4	0.147
MA	3.1	0.2	3.0	2.9	3.2	
CA	3.3	0.3	3.3	3.1	3.5	

SD: standard deviation, CI: confidence interval, NA: no occlusal tooth attrition, MA: medium occlusal tooth attrition, CA: complete occlusal tooth attrition.

Table 3. Trueness of occlusal surface scan data (n=5) (unit: μm)

Group	Mean	SD	Median	95% CI		p-value
				Min	Max	
NA	3.5	0.2	3.5	3.3	3.7	0.046
MA	3.2	0.2	3.2	3.0	3.5	
CA	3.1	0.2	3.1	3.0	3.3	

SD: standard deviation, CI: confidence interval, NA: no occlusal tooth attrition, MA: medium occlusal tooth attrition, CA: complete occlusal tooth attrition.

Table 4. Precision of occlusal surface scan data (n=5) (unit: μm)

Group	Mean	SD	Median	95% CI		p-value
				Min	Max	
NA	3.5	0.2	3.5	3.3	3.6	0.038
MA	3.2	0.3	3.2	3.0	3.4	
CA	3.2	0.1	3.2	3.1	3.3	

SD: standard deviation, CI: confidence interval, NA: no occlusal tooth attrition, MA: medium occlusal tooth attrition, CA: complete occlusal tooth attrition.

## RESULTS

본 연구결과에서의 진도 평균값은 NA집단이 오차가 가장 크게 나타났으며, MA와 CA집단은 오차가 NA집단보다는 작은 오차를 보였다 (Table 1). 작은 값부터 크기 순서로 나열한 중앙값에서는 NA집단이 가장 크게 나타났으며 MA집단이 가장 작게 나타났다. 그러나 세 집단 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ ). 정밀도에서의 평균값은 CA집단이 가장 큰 오차를 보였으며 MA집단이 가장 작은 오차값을 보였다(Table 2). 중앙값에서도 동일하게 CA집단이 가장 큰 오차를 보였으며 MA집단이 가장 작은 오차를 보였다. 그러나 세 집단 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ ).

단관 교합면의 진도 평균값에서는 NA집단이 가장 큰 오차를 보였으며, CA집단이 가장 낮은 오차를 보였다(Table 3). 중앙 값에서도 NA집단이 가장 큰 오차를 보였으며, CA집단이 가장 작은 오차를 보였다. 세 집단은 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 정밀도 평균값에서는 NA집단이 가장 큰 오차를 보였으며, MA집단과 CA집단이 작은 오차를 보였다(Table 4). 중앙값에서도 동일한 결과값을 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

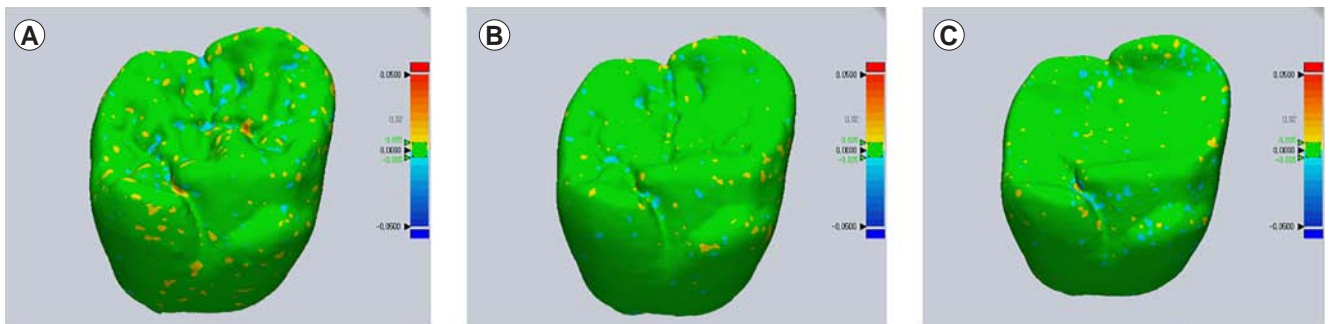
표준편차 값에서 가장 큰 오차를 보인 값은 단관의 진도 값이  $0.4 \mu\text{m}$ 로 나타났으며(Table 1), 가장 작은 오차값은 단관 교합면의  $0.1 \mu\text{m}$ 로 나타났다(Table 4).

Fig. 8~11의 색차 분석에서는 전반적으로 NA집단이 양형과 음형의 오차가 크게 나타났으며 MA집단과 CA집단은 허용 오차가 전반적으로 나타났다. 특히 CA집단이 허용되는 오차의 면적이 다른 집단에 비해 높게 나타났다.

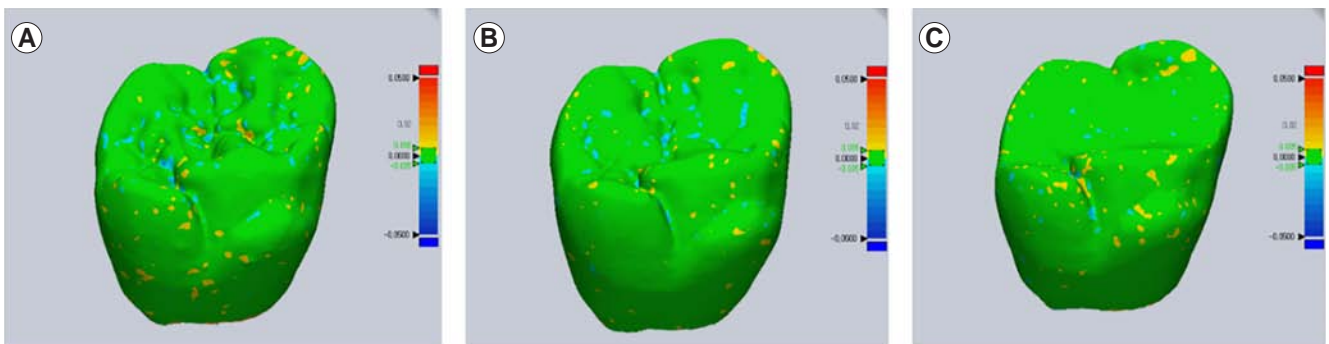
## DISCUSSION

본 연구는 교합면 형태에 따라서 3차원 스캔된 데이터의 모형을 3차원 분석 프로그램을 사용하여 스캐너의 정확성을 평가하고자 하였다. 치과에서 사용하는 스캐너는 비접촉식 스캐너를 주로 사용하고 있다. 접촉식 스캐너는 탐침을 접촉해 스캔하여 시간이 오래 걸리며 또한 탐침의 구경에 따라서 좁은 공간을 측정하지 못하는 단점을 가지고 있기 때문에 치과 분야에서는 비접촉식 스캐너를 사용해 왔으며 지속적인 연구로 환자가 만족할 만한 높은 정확도를 이룩해 왔다[4-12]. 본 연구에서 사용한 스캔 장비는  $2 \times 3 \text{ MP}$  카메라, 청색 LED multiline을 사용하고 있기 때문에 단일 지대치 스캔 속도는 18초, 전악 스캔 속도는 24초로 스캔이 가능하며, 정확도는 ISO 12836에 따라  $7 \mu\text{m}$  이내의 오차를 가자고 있다[14]. 또한 석고 스캔뿐만 아니라 인상체도 스캔이 가능하기 때문에 석고모형작업을 생략할 수 있는 장점도 가지고 있다.

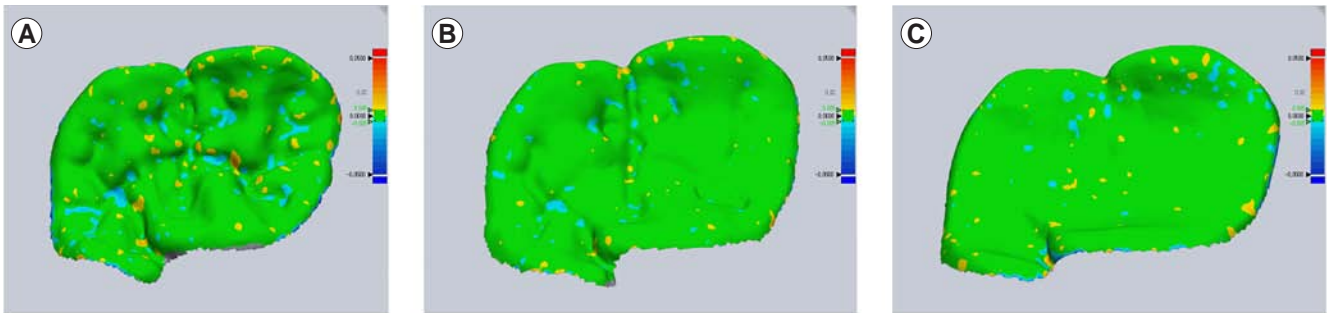
본 연구에서 사용한 진도 및 정밀도 측정에서는 RMS값에는 전반적으로 MA집단의 값이 NA집단의 값보다 더 정확한 값을 보였다. 이러한



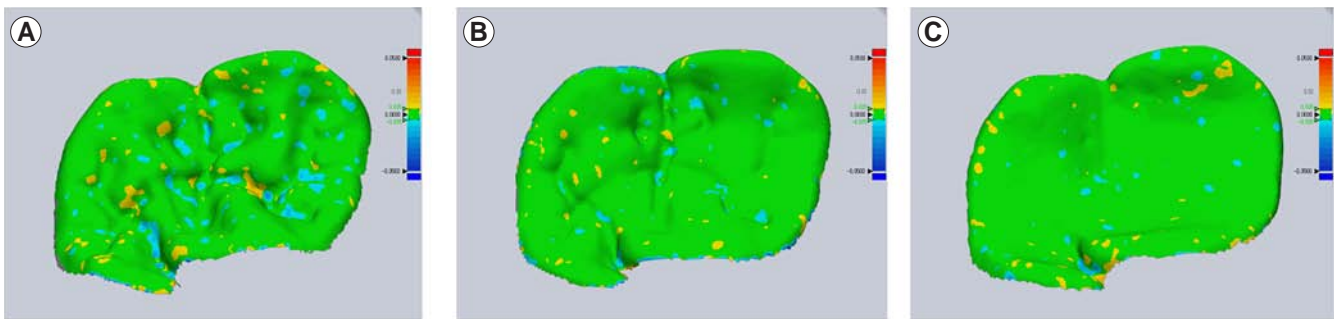
**Figure 8.** Trueness color difference map of single crown scan data. (A) No occlusal tooth attrition group, NA group; (B) medium occlusal tooth attrition group, MA group; (C) complete occlusal tooth attrition group, CA group.



**Figure 9.** Precision color difference map of single crown scan data. (A) No occlusal tooth attrition group, NA group; (B) medium occlusal tooth attrition group, MA group; (C) complete occlusal tooth attrition group, CA group.



**Figure 10.** Trueness color difference map of occlusal surface scan data. (A) No occlusal tooth attrition group, NA group; (B) medium occlusal tooth attrition group, MA group; (C) complete occlusal tooth attrition group, CA group.



**Figure 11.** Precision color difference map of occlusal surface scan data. (A) No occlusal tooth attrition group, NA group; (B) medium occlusal tooth attrition group, MA group; (C) complete occlusal tooth attrition group, CA group.

현상은 NA집단이 다른 두 집단보다 교합면 부위가 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 스캔 과정에서의 데이터 오차가 발생한 것으로 판단된다. MA집단과 CA집단에서는 오히려 MA집단이 더 정확한 결과값을 보였다. 이러한 현상을 추가적으로 분석하기 위해서 교합면 부위를 제외하고 협면, 설면, 근심면, 원심면의 데이터를 삭제하였다. 교합면 부위만 분석하기 위해서 진도와 정밀도 값을 분석한 결과, 가장 높은 오차를 보인 집단은 NA집단이었으며 가장 낮은 오차를 보인 집단은 CA집단이었다. 다음과 같은 결과를 통해서 단관에서의 MA집단이 CA집단보다 오차값이 낮은 이유는 중첩 과정에서의 오차로 판단된다.

Fig. 8, 9에서 CA집단이 MA집단보다 양의 오차와 음의 오차가 낮게 나타났으며 오차가 가장 크게 나타난 집단은 NA집단으로 나타났다. 특히 NA집단에서 삼각융선(triangular ridge) 간의 공간이 좁기 때문에 스캔 과정에서의 오차가 발생한 것으로 판단되며 깊은 열구(fissures)에서도 오차가 나타났다. Son과 Lee [15]는 교두(cusps)의 경사, 열구의 깊이, 편평한(flat) 면 등에 의해서 스캔 정확도가 달라진다고도 보고된 바 있으며, Park 등[16]에 의하면 복잡한 구조인 경우 스캔 정확도에 영향을 미친다고도 보고된 바 있다. MA집단과 CA집단은 NA집단보다 요철이 적게 나타나 오차가 낮게 나타난 것으로 판단된다. Jeon 등[13]은 견치, 소구치, 대구치의 지대치에 따라 정확도가 다른 결과값을 보였으며 Kim [12]의 연구에서는 지대치의 다양한 각도에 따라 정확도가 상이한 결과값을 보였다. 또한 Sim 등[17]은 단일 지대치, 교의

치, 인레이를 분석하였을 경우 인레이의 복잡한 구조로 인해서 낮은 진도 값을 보였다. 선행 문헌을 통해 형태에 따라서 스캐너의 정확도가 상이하다는 것도 참고할 수 있다[12-17]. 본 연구에서는 교합면 형태에 따라서 정확도가 상이한 결과값을 보였으나 기존 선행 문헌에서는 10  $\mu\text{m}$  이내에는 임상적으로 적용이 가능하다고 하였다[8,12,13,18]. 따라서 세 집단 모두 10  $\mu\text{m}$  이내의 정밀한 수치를 보였다.

본 연구에서는 신뢰성을 높이고자 하나의 단관만을 사용하였으며 측정 오차를 줄이고자 협면, 설면, 근심면, 원심면을 제외하고 교합면만 추가적으로 중첩하여 분석하였다. 또한 색차 분석에서는 양의 오차와 음의 오차는 50  $\mu\text{m}$ 로 하였으며, 허용 오차는 5  $\mu\text{m}$ 까지 설정하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 모형 스캐너는 선행 연구에서 사용한 결과값보다 더 정밀한 3  $\mu\text{m}$  내외의 값을 보였기 때문에 오차 분석을 가능할 수가 없어 5  $\mu\text{m}$ 로 설정하여 분석하였다.

본 연구에서의 한계점은 단관만으로 일반화하기에는 한계가 있다는 점과 스캔 전용의 석고를 사용하지 않고 스캔을 시도하였다는 점이다. 추후에서는 스캔 전용의 석고와 교의치 구조의 치관을 사용한 추가 연구가 필요할 것이다.

## CONCLUSIONS

본 연구에서는 치과용 모형 스캐너의 단관 교합면 교모도에 따른 정

확성 분석을 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 교합면 교모가 심한 단관과 교모되지 않고 형태가 복잡한 교합면 단관 간의 스캔 정확성의 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).

2. 교합면 교모가 심한 단관의 스캔 정확도가 높았으나 교모되지 않고 형태가 복잡한 교합면 단관의 스캐너 정확도는 낮았다.

3. 세 집단 모두 10  $\mu\text{m}$  이내로 존재하여 임상적으로 허용이 가능하였다.

따라서 3차원 스캔 과정에서 치아의 교모도에 따라서 정확도에 영향을 받는 것으로 판단된다.

## CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Dong-Yeon Kim, <https://orcid.org/0000-0002-3670-8591>

Ji-Hwan Kim, <https://orcid.org/0000-0003-3889-2289>

Beom-Il Lee, <https://orcid.org/0000-0001-9248-6519>

Ju-Hee Lee, <https://orcid.org/0000-0003-2137-9809>

Won-Soo Kim, <https://orcid.org/0000-0002-0216-5621>

Jin-Young Park, <https://orcid.org/0000-0002-8762-6908>

## REFERENCES

- Bae EJ. A study on the possession state of dental CAD/CAM system and usage satisfaction. *J Tech Dent.* 2020;42:45-53.
- Kim DY, Jeong ID, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Reproducibility of different coping arrangements fabricated by dental micro-stereolithography: evaluation of marginal and internal gaps in metal copings. *J Dent Sci.* 2018;13:220-225.
- Kim DY, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Comparison and evaluation of marginal and internal gaps in cobalt-chromium alloy copings fabricated using subtractive and additive manufacturing. *J Prosthodont Res.* 2018;62:56-64.
- Kim JH, Kim KB. Analysis of the quality of dental prostheses printed by digital light-processing technology. *J Tech Dent.* 2020;42:197-201.
- Huang MY, Son K, Lee WS, Lee KB. Comparison of the accuracy of intraoral scanner by three-dimensional analysis in single and 3-unit bridge abutment model: in vitro study. *J Korean Acad Prosthodont.* 2019;57:102-109.
- Lee JJ, Jeong ID, Kim CM, Park JY, Kim JH, Kim WC. Comparison of accuracy of digital data obtained by intra-oral scanner and extra-oral scanner. *J Korean Acad Dent Technol.* 2015;37:191-197.
- 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;15:226-231.
- 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.
- Jeong HY, Choi YS. Functional and esthetic improvement through systematic diagnosis and treatment procedures in patient with unaesthetic anterior teeth proportion because of tooth wear: a case report. *J Korean Acad Prosthodont.* 2018;56:40-49.
- Jeon CL. A study of correlation between dental attrition and estimated age from the auricular surface in a Joseon Dynasty population [master's thesis]. Seoul: Seoul National University, 2020.
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 12836:2012 Dentistry- digitizing devices for CAD/CAM systems for indirect dental restorations- test methods for assessing accuracy. Geneva: ISO, 2012.
- Kim DY. Evaluation of the effect of abutment preparation angles on the repeatability and reproducibility using a blue light model scanner. *J Adv Prosthodont.* 2020;12:210-217.
- Jeon JH, Kim DY, Lee JJ, Kim JH, Kim WC. Repeatability and reproducibility of individual abutment impression, assessed with a blue light scanner. *J Adv Prosthodont.* 2016;8:214-218.
- 3Shape. 3Shape dental system [Internet]. Copenhagen: 3Shape; [cited 2020 Oct 24]. Available from: <https://www.3shape.com/ko-kr/products/dental-labs/cad-software>.
- Son K, Lee KB. Effect of tooth types on the accuracy of dental 3D scanners: an in vitro study. *Materials (Basel).* 2020;13:1744.
- Park JM, Kim RJ, Lee KW. Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intra-coronal preparations. *J Prosthet Dent.* 2020;123:113-120.

17. Sim JY, Jang Y, Kim WC, Kim HY, Lee DH, Kim JH. Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. *J Prosthodont Res.* 2019;63:25-30.
18. Kim DY, Lee KE, Jeon JH, Kim JH, Kim WC. Evaluation of the reproducibility of various abutments using a blue light model scanner. *J Adv Prosthodont.* 2018;10:328-334.