

# 디지털 광 조명 방식으로 제작한 임시 크라운의 세척 시간에 따른 3차원 적합도 평가

이범일, 유승규, 유승민, 김지환

고려대학교 일반대학원 보건과학과 치의기공전공

## Comparison of three-dimensional adaptation as per the rinsing time of temporary crown manufactured using a digital light processing printer

Beom-Il Lee, Seung-Gyu You, Seung-Min You, Ji-Hwan Kim

Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

### Article Info

Received October 22, 2020

Revised November 29, 2020

Accepted December 7, 2020

### Corresponding Author

Ji-Hwan Kim

Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University, 73 Goryeodae-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea

E-mail: kjh2804@korea.ac.kr

https://orcid.org/0000-0003-3889-2289

\*This study was supported by 2020 industry academia research collabo R&D project (project name: development and commercialization of frame manufacturing process technology for removable dentures using 3D printing, project no. S29025026).

**Purpose:** This study aimed to compare three-dimensional adaptation with the rinsing time of the temporary crown produced using the digital light processing method.

**Methods:** The maxillary right first molar abutment was scanned with a dental scanner. A temporary crown was designed with the scanned abutment. The designed crown was made of 10 temporary crowns using a digital light processing printer. The crowns were divided into the 5-minute and 10-minute rinsing groups; 5 temporary crown washes were performed for each group. In order to obtain the internal data, each group was scanned for a temporary crown. The three-dimensional fit was measured by superimposing the scanned internal surface data and the abutment data. The average comparison of three-dimensional adaptation was analyzed using the Mann-Whitney U test.

**Results:** The 5-minute rinsing group showed a significantly higher adaptation of  $71.42 \pm 3.08 \mu\text{m}$  as compared to the 10-minute rinsing group ( $67.52 \pm 0.92 \mu\text{m}$ ) ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** When making a temporary crown with a digital light processing method, a rinsing time of 10 minutes is appropriate.

**Key Words:** Adaptation, Additive manufacturing, Digital light processing, Provisional crown, Vat photopolymerization

## INTRODUCTION

임시 수복(temporary restoration)은 치과 보철 치료 단계에 있어서 첫 번째로 시행되는 과정 중 하나이다. 임시 수복물은 치아 이동 방지, 공간 유지의 역할을 하는 것과 동시에 지대치, 치수, 치주 조직을 보호하는 기능을 한다[1]. 심미성, 교합 관계, 발음 회복 측면에서 임시 수복물을 통하여 복원을 할 수 있으며, 최종 보철물 합착에 대한 오차를 최소화할 수 있다[2,3].

기존의 임시 수복물은 주로 자가중합수지(self-curing resin)를 사용하여 많이 제작되어 왔다. 그러나 자가중합수지를 사용하여 임시 수복물 제작 시, 자유 라디칼중합(free radical polymerization)에 의

한 수축과 중합이 완료된 수지를 인위적으로 수정하는 과정 및 치과 기공사의 기술 숙련도에 따라 오차가 나타나는 단점이 존재한다[4,5]. 수작업 방식의 오차를 최소화하기 위해 1970년대 치과용 CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing) 방식의 개발 및 도입을 진행하면서 해결하려고 노력하였다. 치과용 CAD/CAM 방식의 도입에 의해 제작 과정이 노동 효율적으로 변경되고 자동화 시스템에 의한 제작 과정 및 높은 정확성으로 인해 오차가 줄어들게 되었다[6]. 치과용 CAD/CAM 시스템에는 절삭 가공(subtractive manufacturing, SM)과 적층 가공(additive manufacturing, AM) 방식이 존재하며, 절삭 가공 방식의 경우 고체 상태의 polymethyl methacrylate (PMMA) 레진 블록을 전용의 bur를 사용하여 임시 크

라운을 제작하게 되며, 적층 가공방식의 경우 액체 상태의 PMMA 레진 액을 3차원(three-dimensional, 3D) 프린터 광원을 사용하여 임시 크라운의 가공이 진행된다[4-6]. 두 가지 공정 방식 모두 재료학적인 측면에서 높은 강도를 가지며, 수작업 기반의 제작 방식보다 안정적인 임시 크라운을 제작할 수 있는 장점이 존재한다[5,6].

3D 프린팅(3D-printing)이라고 불리는 적층 가공 방식은 치과용 CAD/CAM 시스템 제작 방법 중 하나로 고체 혹은 액체의 재료를 레이어나 노즐을 사용하여 치과 수복물을 제작하는 방식이다. 적층 가공 방식은 고체 상태의 재료를 깎아서 제작하지 않고 한 층씩 쌓아 올리기 때문에 복잡하면서도 정교한 치아의 형태를 재현할 수 있는 장점을 가지고 있다[7,8]. 또한, 최근 4차 산업혁명과 더불어 적층 가공 방식에 속하는 3D 프린터 분야가 각광 받으면서 이에 관한 연구가 지속적으로 보고되고 있는 추세이다.

임시 수복물과 같이 수지 계열에 속한 재료를 적층 가공할 수 있는 방식의 3D 프린터는 입체 인쇄술 장치(stereolithography apparatus, SLA) 방식과 디지털 광 조명(digital light processing, DLP) 방식을 사용하여 제작이 가능하다. 레이저 광원을 사용하는 입체 인쇄술 장치 방식과 프로젝트 빔 광원을 사용하는 디지털 광 조명 방식은 미국 시험재료학회(American Section of the International Association for Testing Materials, ASTM) F42에 근거하여 광 경화(vat photo polymerization) 방식에 속하는 제작 공정 중 하나이다[9]. 입체 인쇄술 장치 방식의 경우 레이저 광원을 사용하여 선을 추적해 가면서 임시 수복물이 제작되기 때문에 높은 해상도를 자랑하지만, 적층 과정이 오래 걸린다는 단점이 존재한다. 반면에 디지털 광 조명 방식은 프로젝트 빔을 이용하여 한 층을 적층할 때 2차원적인 면으로 적층 되게 하는 방법으로 입체 인쇄술 장치 방식보다는 해상도가 떨어지지만 짧은 제작 시간 때문에 최근 치과분야에서 관심이 증가되고 있는 추세이다 [10,11].

광 경화 방식의 3D 프린터에 속하는 입체 인쇄술 장치 방식과 디지털 광 조명 처리 방식의 경우 적층 가공이 시작되는 과정을 기준으로 전 처리(pre-treatment)와 후 처리(post-processing) 과정으로 분류할 수 있다. 전 처리 과정은 컴퓨터 소프트웨어에서 진행되는 과정으로 여기에는 레이어 두께 설정, 지지대 설정, 빌드 플랫폼 배열, 물체의 각도 설정이 이루어진다. 후 처리 과정은 3D 프린팅이 끝난 시점에 진행되는 과정으로 세척 시간과 후 경화 처리가 여기에 속한다. 일반적으로 광 경화 방식의 3D 프린터의 경우 후 처리 과정에서 많은 변형이 일어나게 되며 후 처리 과정은 신중하게 진행되어야 한다[12]. 세척 과정은 후 처리 과정 중 먼저 진행되는 과정이며 잔류 수지의 제거 정도에 따라 임시 수복물의 정확도가 달라질 수 있다. 광 경화 방식의 3D 프린터로 제작한 임시 수복물에 세척 과정 중 잔류 레진이 존재하는 경우 정확도에 영향을 줄 수 있으며, 더 나아가 지지대와 임시 크라운과의 적합도(adaptation)에 영향을 미치게 되어 치아 우식증, 치주 질환, 미세 누출의 원인이 될 수 있다[13-15].

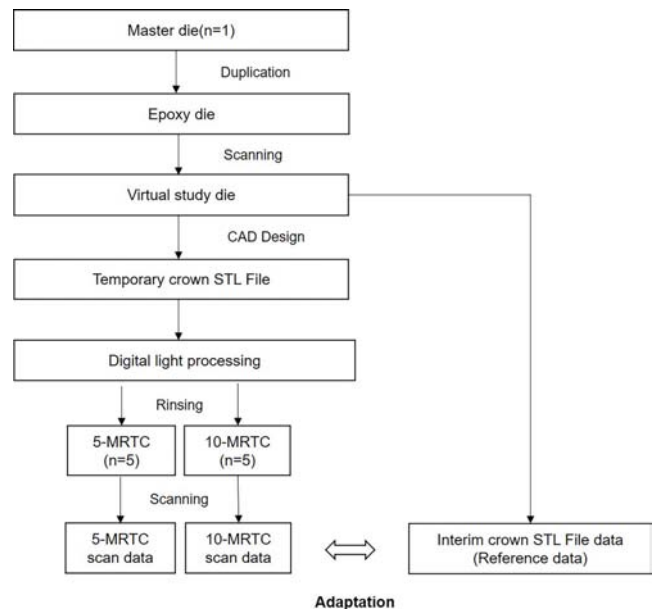
기존의 적합도 측정은 변연부를 직접 관찰하는 직시법(direct view), 수복물과 지지대를 cement로 합착 후 절단하여 측정하는 절단법(cross section) 혹은 경질 실리콘과 연질 실리콘을 사용하여 변연 및 내면적합도를 측정하는 실리콘 복제 방법(silicone replica)과 같이 절편을 해야 되는 측정 방법을 많이 사용하였다[4,5,8]. 하지만, 최근의 치과용 스캐너와 3차원 중첩 프로그램의 발전으로 인해 다차원적으로 적합도를 측정을 할 수 있게 되었다[6,11,13,14].

전 처리 과정에 속하는 레이어 두께 설정, 지지대 설정, 빌드 플랫폼 배열, 물체의 각도와 후 처리 과정에 속하는 후 경화 처리에 관한 선행연구는 다양하게 존재한다[6,8,11,16,17]. 하지만, 세척 시간의 경우 후 처리 과정에서 먼저 시행하는 과정임에도 불구하고 연구는 부족한 실정이다. 또한, 세척 과정에서 잔류 수지의 제거 정도는 중요하다는 점에서 연구가 더 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 디지털 광 조명 처리 방식으로 제작한 임시 크라운의 세척 시간에 따른 3차원 적합도를 평가하는 것이다. 귀무가설은 세척시간에 따른 임시 크라운의 3차원 적합도 차이는 존재하지 않다는 것이다.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. 지지대모형 제작 및 스캔

연구의 모식도는 Fig. 1에 제시되어 있다. 본 연구에서 지지대는 상악 우측 제1대구치(ANA-3 ZPVK 16; Frasco, Tettnang, Germany)가 선택되었다. 선택된 지지대는 치과용 복제 실리콘(Deguform; Degudent GmbH, Hanau, Germany)을 사용하여 복제 후 에폭시 레진



**Figure 1.** Protocol flowchart for this study. CAD: computer-aided design, STL: standard triangulated language, 5-MRTC: 5-minute rinsing temporary crown, 10-MRTC: 10-minute rinsing temporary crown.

(Polyurock; Metalor Dental GmbH, Stuttgart, Germany)을 사용하여 지대치를 제작하였다. 복제된 에폭시 레진 지대치는 치과용 스캐너 (Identica Hybrid; Medit, Seoul, Korea)를 사용하여 스캔 후 3차원 적합도와 임시 크라운 설계를 위해 standard triangulated language (STL) 파일 형식으로 저장되었다[18].

## 2. 임시 크라운 제작

### 1) 임시 크라운 설계

스캔 된 지대치 STL 파일은 캐드 디자인 소프트웨어(Dent CAD; Delcam PLC, Birmingham, UK)를 사용하여 임시 크라운을 설계하였다. 이때, 시멘트 간격 0.03 mm, 변연의 수직, 수평, 폭은 소프트웨어 기본 값으로 설정하였다. 설계된 임시 크라운은 STL 파일 형식으로 저장되었다.

### 2) 디지털 광 조명 처리를 사용한 임시 크라운 제작(전 처리)

설계한 임시 크라운 STL 파일을 디지털 광 조명 방식 전용 소프트웨어(Flashforge USA, City of Industry, CA, USA)에 업로드하였다. 업로드 되어진 임시 크라운 STL 파일은 레이어 두께 100 μm, 각도 45°, 임시 크라운 외면에 얇은 지지대를 부착하여 가상의 빌드 플랫폼에 10개를 배치하였다[7,17]. 10개의 임시 크라운이 디지털 광 조명 처리 방식의 3D 프린터(Nextdent 5100; 3D systems, Soester-berg, Netherlands)를 사용하여 제작이 되었다.

### 3) 디지털 광 조명 처리를 사용한 임시 크라운의 세척 및 후 경화(후 처리)

디지털 광 조명 처리를 사용하여 제작된 임시 크라운을 빌드 플랫폼에서 분리한 후 서로 다른 시간으로 세척 처리를 하였다(5분, 10분). 이때 세척 용액은 95% 이소프로필 알콜을 사용하였다. 또한, 본 연구에서 사용된 디지털 광 조명 3D 프린터(NextDent 5100; 3D systems, Rock Hill, SC, USA)는 세척 권장 사항이 5분으로 두 번을 나눠서 2분, 3분 진행해야 되기 때문에 대조군을 5분 세척으로 실험군을 10분 세척으로 분류하여 실험을 진행하였다. 5분 그룹의 경우 제조업체에서 권장하는 세척 시간으로 대조군으로 설정되었으며, 2분 동안 임시 크라운을 95% 이소프로필 알코올과 초음파 세척기를 사용하여 세척을 진행한 후 새로운 이소프로필 알콜로 교체하여 3분 동안 마지막 세척을 하였다(Fig. 2). 10분 그룹의 경우 실험군으로 지정되었으며, 5분 세척한 그룹처럼 먼저 2분 동안 95% 이소프로필 알코올과 초음파 세척기를 사용하여 세척을 진행한 후 다시 새로운 이소프로필 알콜 용액을 교체하여 8분 동안 마지막 세척을 하였다(Fig. 2). 서로 다른 시간으로 세척 처리된 임시 크라운은 후 경화기(LC-3D print box; NextDent, Soester-berg, Netherlands)에 60°C 온도에서 30분 동안 최종 경화 처리되었다. 최종 경화 처리된 임시 크라운의 외면 지지대는 러버 포인트와 전용의 절삭 bur를 사용하여 조심스럽게 제거하였다(Fig. 3).



**Figure 2.** Temporary crown rinsing at different times.

운을 95% 이소프로필 알코올과 초음파 세척기를 사용하여 세척을 진행한 후 새로운 이소프로필 알콜로 교체하여 3분 동안 마지막 세척을 하였다(Fig. 2). 10분 그룹의 경우 실험군으로 지정되었으며, 5분 세척한 그룹처럼 먼저 2분 동안 95% 이소프로필 알코올과 초음파 세척기를 사용하여 세척을 진행한 후 다시 새로운 이소프로필 알콜 용액을 교체하여 8분 동안 마지막 세척을 하였다(Fig. 2). 서로 다른 시간으로 세척 처리된 임시 크라운은 후 경화기(LC-3D print box; NextDent, Soester-berg, Netherlands)에 60°C 온도에서 30분 동안 최종 경화 처리되었다. 최종 경화 처리된 임시 크라운의 외면 지지대는 러버 포인트와 전용의 절삭 bur를 사용하여 조심스럽게 제거하였다(Fig. 3).

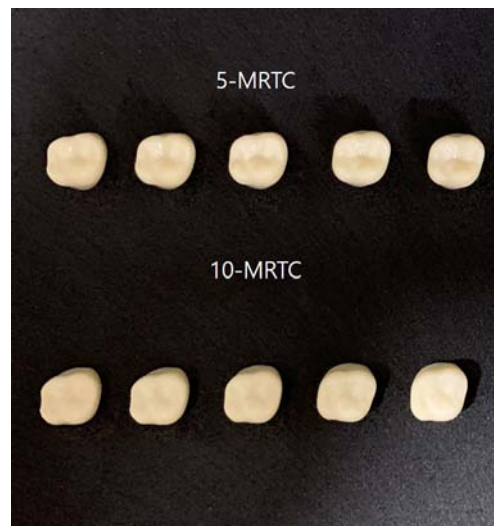
## 3. 3차원 적합도를 위한 내면 데이터 산출 및 중첩

### 1) 3차원 적합도 측정을 위한 임시 크라운의 내면 스캔 및 수정

내면 데이터 수집을 위해 치과용 스캐너(Identica Hybrid; Medit)를 사용하여 임시 크라운의 내면을 스캔하였다. 이때, 원활한 스캔을 위해 임시 크라운 내면에 스캔 스프레이(Easy scan; Alpha Dent, Goyang, Korea)를 도포하였다. 각 그룹 마다 5개의 내면 스캔 데이터가 획득되었으며, 이때 3차원 중첩 시 오차를 없애기 위해 내면에서 불필요한 부위를 삭제 및 수정하였다.

### 2) 3차원 적합도 중첩

3차원 중첩 소프트웨어(Geomagic Verify 2015; Geomagic, Stuttgart, Germany)를 사용하여 지대치 스캔 데이터와 임시 크라운 내면 스캔 데이터를 중첩하였다. 중첩 방식은 자동 정렬(auto alignment)과 최적 정렬(best fit alignment)을 사용하여 중첩되었다. 이때, 중첩이 다 되어지는 순간 수치화할 수 있는 정량적 지표와 시각화할 수



**Figure 3.** Temporary crown manufactured by rinsing at different times. 5-MRTC: 5-minute rinsing temporary crown, 10-MRTC: 10-minute rinsing temporary crown.



있는 정성적 지표가 산출되었다. 정성적 지표는 색 편차 맵이 사용되었으며, 정량적 지표는 root mean square (RMS)를 사용하여 산출되었다[6,7,14,18]. RMS 공식의 경우 다음과 같다:

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

위의 공식에서, 임시 크라운의 지대치 스캔 데이터는  $x_{1,k}$ 이고, 임시 크라운의 내면 스캔 데이터는  $x_{2,k}$ 이고, 그리고 총 측정지점 수는  $n$ 을 말한다.

3차원 적합도의 정성적 지표 분석을 위해 허용 가능 편차는  $\pm 50 \mu\text{m}$ , 최대 허용 편차는  $\pm 100 \mu\text{m}$ 로 설정하였다[19]. 허용 가능 편차는  $\pm 50 \mu\text{m}$ 로 설정한 이유는 미국치과의사협회에서 제시한 No. 8 규정에 따라 시멘트 공간의 범위는 25~45  $\mu\text{m}$ 로 제시하기 때문에  $\pm 50 \mu\text{m}$ 로 설정하였다[20]. 또한, 최대 허용 편차는  $\pm 100 \mu\text{m}$ 로 설정한 이유는 오차 범위가 100  $\mu\text{m}$ 를 초과하면 최종 치과보철물의 적합도에 영향을 주기 때문에  $\pm 100 \mu\text{m}$ 로 설정하였다[21]. 각 그룹마다 5개의 3차원 적합도 데이터가 산출되었다(Fig. 4). 이 때 청색으로 표시된 음의 오차 부분은 지대치 데이터와 임시 크라운의 내면 스캔 데이터가 중첩하였을 때 조기 접촉되었다는 것을 의미하고, 적색으로 표시된 양의 오차 부분은 지대치 데이터와 임시 크라운의 내면 스캔 데이터가 중첩하였을 때 공간이 존재한다는 것을 의미한다.

#### 4. 통계 분석

통계 프로그램(IBM SPSS 25.0; IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 측정된 3차원 적합도 평균과 표준편차 데이터에 대한 정규성 검정을 실시하였다. 정규성 검정은 Shapiro-Wilk test를 사용하여 정규성 분석을 실시하였다. 하지만, 정규성을 만족하지 못하여( $p < 0.05$ ) 비

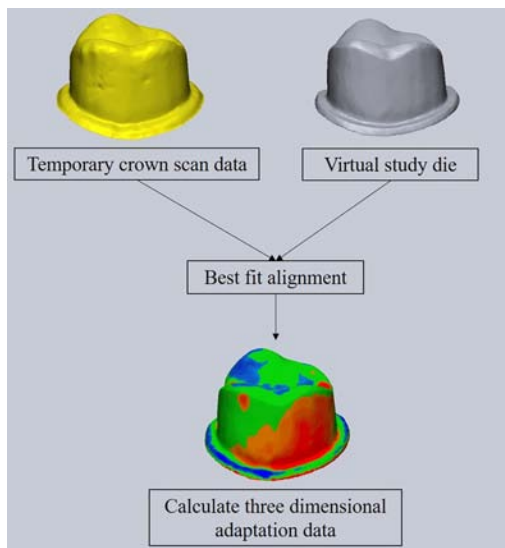


Figure 4. Three-dimensional adaptation superposition process.

모수 검정인 Mann-Whitney U test를 사용하여 두 그룹의 유의한 차이를 분석하였다. 제 1종 오류의 수준은 0.05로 하였다( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTS

### 1. 세척 시간에 따른 정량적 평가 분석 결과

본 연구에서 정량적 평가 분석 결과는 Table 1에 제시되어있다. 두 그룹 간의 3차원 적합도 측정 값은 5분 세척(5-minute rinsing temporary crown, 5-MRTC) 그룹에서는  $71.42 \pm 3.08 \mu\text{m}$ 였으며 10분 세척(10-minute rinsing temporary crown, 10-MRTC) 그룹에서는  $67.52 \pm 0.92 \mu\text{m}$ 로 두 그룹 간에 삼차원 적합도에 관한 정량적 평가 분석 결과 통계적으로 유의한 차이가 존재하였다( $p < 0.05$ ).

### 2. 세척 시간에 따른 정성적 평가 분석 결과

본 연구에서 정성적 평가 지표는 Fig. 5에 제시 되어있다. 교합면에서는 5-MRTC 그룹과 10-MRTC 그룹의 경우 공통적으로 조기접촉과 미 접촉 공간이 생성되었지만 10-MRTC 그룹의 조기 접촉과 미 접촉 공간이 10-MRTC 그룹보다 시각적 오차가 최소화되어 나타났다. 내면의 협면, 설면, 근심면, 원심면의 경우 5-MRTC 그룹의 경우 모든 내면에서 조기 접촉이 일어나지 않았다. 10-MRTC 그룹의 경우 5-MRTC

Table 1. Mean, standard deviation (SD), 95% confidence interval (CI) for three-dimensional adaptation according to different temporary crown rinsing time (unit:  $\mu\text{m}$ )

Group	Mean±SD	95% CI		p-value
		Min	Max	
5-MRTC	71.42±3.08	67.59	75.23	0.008
10-MRTC	67.52±0.92	66.38	68.66	

5-MRTC: 5-minute rinsing temporary crown, 10-MRTC: 10-minute rinsing temporary crown.

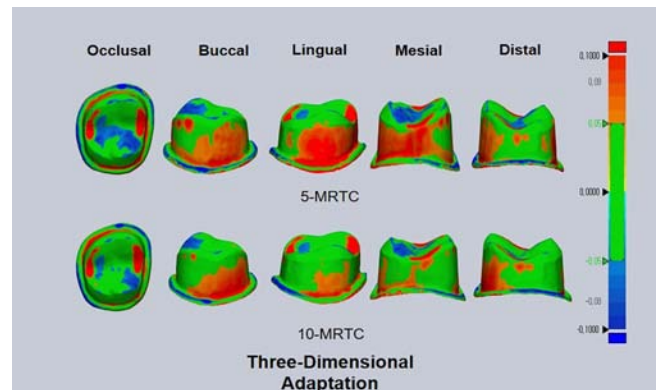


Figure 5. Quantitative color deviation of the three-dimensional adaptation of temporary crown rinsed at different times. 5-MRTC: 5-minute rinsing temporary crown, 10-MRTC: 10-minute rinsing temporary crown.

그룹과 같이 미 접촉 공간이 존재하였으나 전반적으로 봤을 때 허용 가능 편차 부분이 많이 존재하였다. 변연 부분의 경우 5-MRTC 그룹이 10-MRTC 그룹 보다 초기 접촉이 존재하였다.

## DISCUSSION

본 연구에서는 디지털 광 조명 방식으로 제작한 임시 크라운의 세척 시간에 따른 3차원 적합도를 전용의 중첩 소프트웨어를 사용하여 평가하였다. 5-MRTC 그룹과 10-MRTC 그룹에서 통계적으로 유의한 차이가 존재했기 때문에 귀무가설은 기각되었다.

본 연구에서 세척 시간에 따른 3차원 적합도의 영향을 알아보기 위해 전 처리 과정과 후 처리 과정은 다음과 같이 진행하였다. 전 처리 과정의 경우 적층 각도는 45°, 레이어 두께는 100 μm, 얇은 지지대를 사용하여 임시 크라운 제작의 오차를 최소화하였다[7,17]. 후 처리 과정의 경우 세척 시간에 속하는 5-MRTC, 10-MTRC 그룹 모두 2번 나누어 세척을 진행하였고, 후 경화 처리는 제조 업체의 지침에 따라 30분을 최종 경화 처리하여 오차를 최소화하였다. 또한, 직시법(direct view)의 경우 관찰하는 각도에 따라 적합도 측정 오차가 발생되며, 절단법(cross-section)은 지대치와 임시 크라운을 합착 후 측정을 위해 절단하는 과정에서 열에 의한 오차가 생기며, 실리콘 복제 방법(silicone replica)의 경우 많이 사용되는 적합도 측정 방법이지만 실리콘의 수축과 실리콘을 절단하는 과정에서 인적 오류가 배제될 수 없으므로 본 연구에서는 다차원적으로 적합도를 측정할 수 있는 3차원 중첩 소프트웨어를 사용하여 적합도를 측정하였다[13,14]. 3차원 중첩 방법을 사용할 시 중첩에 의한 오차가 존재할 수 있으나, Kaleli와 Ural [22], O'Toole 등[23]의 연구에서는 중첩에 의한 오차는 정량적 및 정성적 결과 분석에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

3차원 적합도의 정량적 평가 분석에서 두 그룹 간에는 유의한 차이가 존재하였다(Table 1). 정성적 평가 분석에서는 두 그룹 모두 공통적으로 양의 오차와 음의 오차가 형성되었지만(Fig. 5), 이러한 현상은 디지털 광 조명 방식에서 나타나는 계단 현상(stair-step effect)에 의한 오차로 나타나는 현상이다[24]. 이러한 현상은 정성적 평가 분석에서 영향을 미친 것으로 보인다. 추가적으로 교합면의 경우 형태학적인 구조가 복잡하기 때문에 적층 가공 시 나타나는 수축에 의해 내면의 교합면에서 복잡한 편차가 나타났을 것으로 판단된다[25]. 이러한 오차가 형성되었음에도 불구하고 교합면에서의 정성적 평가에서 10-MRCT 그룹이 5-MRCT 그룹보다 양의 오차와 음의 오차가 적게 형성되었으며 정량적 평가에 결과에 영향을 준 것으로 보인다.

내면의 장축의 협면, 설면, 근심면, 원심면의 경우 정량적 평가 분석에서 공통적으로 양의 오차가 발생하였다(Fig. 5). 이러한 오차는 디지털 광 조명 처리 방식으로 적층 가공하는 도중 임시 크라운에 존재하는 치아의 최대 풍용부와 같이 곡선 부위에서 외면에서 내면으로 수축 현상이 일어나기 때문에 정량적, 정성적 편차 분석에 영향을 준 것으로

보인다[6,19]. 또한, 후 경화 과정을 포함해서 광 경화 수지 특성상 임시 크라운의 수축이 일어나며 광 경화성 수지를 가공하는 3D 프린터 특성상 z축에서 변형 및 수축이 일어나기 때문에 발생하는 현상으로도 판단될 수 있다[26]. 하지만, 이러한 영향을 주는 요소가 존재함에도 불구하고 정성적 편차 분석에서 10-MRTC 그룹이 5-MRTC 그룹보다 허용 가능한 편차가 많이 존재하였으며, 정량적 평가에서도 10분 세척 그룹이 낮은 적합도 수치를 보여주었다. 이러한 정량적, 정성적 편차 분석의 결과는 Jang 등[27]의 연구 결과와 일치한다.

변연부의 경우 정성적 분석에서 5-MRTC 그룹과 10-MRTC 그룹 모두 복합적인 양의 편차와 음의 편차가 형성되었지만 이러한 현상은 변연부처럼 날카로운 부분에서 내면의 스캔 데이터를 취득하는 동안 생기는 원형 왜곡 오류(some rounding effect)로 인한 현상으로 판단된다[28]. 추가적으로, 변연부에서도 임시 크라운을 디지털 광 조명 방식으로 적층 가공 시 나타나는 계단 효과로 인해 3차원 적합도 분석에 영향을 미친 것으로 보인다. 이러한 변연부에서의 정성적 분석에서의 복합적인 편차가 나타나는 현상은 선행되어진 연구 결과와 일치한다 [13,14,19,27]. 또한, 이러한 오차와 현상이 정량적 및 정성적 편차 분석에 영향을 주었음에도 불구하고 10-MRTC 그룹이 5-MRTC 그룹보다 정성적 편차 분석에서 복합적인 편차가 적게 나타났으며, 정량적 수치 분석에서도 낮은 3차원 적합도 값을 보여주었다. 추가적으로, 두 그룹 모두 Mclean과 von Fraunhofer [29]가 제시한 120 μm 수치 이내에 들었으며 5-MRTC 그룹이 가장 낮은 적합도 수치를 보여주었다.

본 연구에서는 몇 가지 한계점이 존재하였다. 먼저 각 그룹마다 시편의 수가 5개임으로 신뢰성 및 타당성을 확보하기에 제한적이었다. 또한, 세척을 하는 과정에서 다양한 방법이 존재하며, 이소프로필 알코올 농도에 따라 세척 방법이 달라질 수도 있다. 추가적으로 이상적인 지대치에서 실험이 진행되었으며, 구강 내의 환경을 재현할 수 없었다. 따라서, 향후 연구는 많은 수의 시편 확보와 다양한 세척 과정에 따라 적합도를 분석해야 하며, 다양한 이소프로필 알코올에 따라 세척을 하여 연구를 진행해야 할 것이다. 추가적으로, 세척 과정에서 잔류 레진이 제거되지 않으면 임시 크라운의 외면과 내면의 정확성에 영향을 줄 수 있다는 측면에서 보면, 향후 연구는 세척 시간에 따른 임시 크라운의 정확성 평가를 추가적으로 진행 되어야 할 것으로 보여진다.

## CONCLUSIONS

본 연구에는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 세척 시간의 차이는 임시 크라운 적합도와 관련성이 있는 것으로 나타났다.
2. 실험군인 10-MRTC 그룹에서 대조군인 5-MRTC 그룹보다 갭 수치가 낮아 대조군의 적합도보다 우수하였으며, 실험군과 대조군에서의 적합도는 모두 크라운의 권고 수치 값(120 μm) 범위 내에 존재하였음을 알 수 있다.

3. 본 연구 결과로부터 디지털 광 조명(digital light processing) 방식으로 임시 크라운을 제작할 때는 임시 크라운을 가능한 10분 정도 세척하는 것이 수복물 제작에 도움이 될 것으로 생각된다.

## CONFLICT OF INTEREST

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

## ACKNOWLEDGEMENTS

Thank you to all the employees of Geo-seong Dental Laboratory who helped with both sides for this research.

## ORCID

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

Seung-Gyu You, <https://orcid.org/0000-0003-2507-8931>

Seung-Min You, <https://orcid.org/0000-0002-1934-4319>

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

## REFERENCES

1. Nejatidanesh F, Lotfi HR, Savabi O. Marginal accuracy of interim restorations fabricated from four interim autopolymerizing resins. *J Prosthet Dent.* 2006;95:364-367.
2. Amin BM, Aras MA, Chitre V. A comparative evaluation of the marginal accuracy of crowns fabricated from four commercially available provisional materials: an in vitro study. *Contemp Clin Dent.* 2015;6:161-165.
3. Karaokutan I, Sayin G, Kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont.* 2015;7:27-31.
4. Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *J Prosthet Dent.* 2017;118:208-215.
5. Peng CC, Chung KH, Yau HT, Ramos V Jr. Assessment of the internal fit and marginal integrity of interim crowns made by different manufacturing methods. *J Prosthet Dent.* 2020;123:514-522.
6. You SM, You SG, Kang SY, Bae SY, Kim JH. Evaluation of the accuracy (trueness and precision) of a maxillary trial denture according to the layer thickness: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.12.014> [Epub ahead of print]
7. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016;115:760-767.
8. Kim DY, Jeon JH, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Reproducibility of different arrangement of resin copings by dental microstereolithography: evaluating the marginal discrepancy of resin copings. *J Prosthet Dent.* 2017;117:260-265.
9. ASTM. Standard terminology for additive manufacturing-general principles- terminology. West Conshohocken (PA): ASTM International, 2015. Report No.: ISO/ASTM52900-15.
10. You SG, You SM, Kang SY, Bae SY, Kim JH. Evaluation of the adaptation of complete denture metal bases fabricated with dental CAD-CAM systems: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.01.039> [Epub ahead of print]
11. Alharbi N, Osman RB, Wismeijer D. Factors influencing the dimensional accuracy of 3D-printed full-coverage dental restorations using stereolithography technology. *Int J Prosthodont.* 2016;29:503-510.
12. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont.* 2019;28:146-158.
13. Yang Y, Yang Z, Zhou J, Chen L, Tan J. Effect of tooth preparation design on marginal adaptation of composite resin CAD-CAM onlays. *J Prosthet Dent.* 2020;124:88-93.
14. Wang W, Yu H, Liu Y, Jiang X, Gao B. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *J Prosthet Dent.* 2019;121:285-291.
15. Alharbi N, Alharbi S, Cuijpers VMJI, Osman RB, Wismeijer D. Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. *J Prosthodont Res.* 2018;62:218-226.
16. Katheng A, Kanazawa M, Iwaki M, Minakuchi S. Evaluation of dimensional accuracy and degree of polymerization of stereolithography photopolymer resin under different postpolymerization conditions: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.12.014>

- j.prosdent.2020.02.023 [Epub ahead of print]
17. Park GS, Kim SK, Heo SJ, Koak JY, Seo DG. Effects of printing parameters on the fit of implant-supported 3D printing resin prosthetics. *Materials (Basel)*. 2019;12:2533.
  18. Jeon JH. In vitro precision evaluation of blue light scanning of abutment teeth made with impressions and dental stone casts according to different 3D superimposition methods. *J Prosthodont Res*. 2020;64:368-372.
  19. Kang SY, Park JH, Kim JH, Kim WC. Accuracy of provisional crowns made using stereolithography apparatus and subtractive technique. *J Adv Prosthodont*. 2018;10:354-360.
  20. Kang SY, Park JH, Kim JH, Kim WC. Three-dimensional trueness analysis of ceramic crowns fabricated using a chairside computer-aided design/manufacturing system: an in vitro study. *J Prosthodont Res*. 2020;64:152-158.
  21. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*. 2016;115:313-320.
  22. Kaleli N, Ural Ç. Digital evaluation of laser scanning speed effects on the intaglio surface adaptation of laser-sintered metal frameworks. *J Prosthet Dent*. 2020;123:874.e1-874.e7.
  23. O'Toole S, Osnes C, Bartlett D, Keeling A. Investigation into the accuracy and measurement methods of sequential 3D dental scan alignment. *Dent Mater*. 2019;35:495-500.
  24. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dent Mater*. 2013;29:e1-e10.
  25. Loflin WA, English JD, Borders C, Harris LM, Moon A, Holland JN, et al. Effect of print layer height on the assessment of 3D-printed models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;156:283-289.
  26. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthod*. 2008;35:191-201.
  27. Jang Y, Sim JY, Park JK, Kim WC, Kim HY, Kim JH. Accuracy of 3-unit fixed dental prostheses fabricated on 3D-printed casts. *J Prosthet Dent*. 2020;123:135-142.
  28. Kirsch C, Ender A, Attin T, Mehl A. Trueness of four different milling procedures used in dental CAD/CAM systems. *Clin Oral Investig*. 2017;21:551-558.
  29. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J*. 1971;131:107-111.