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 지대치와 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 지대치를 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 중요한 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. 지대치모형 제작 및 스캔

연구의 모식도는 Fig. 1에 제시되어있다. 본 연구에서 지대치는 상악 우측 제1대구치(ANA-3 ZPVK 16; Frasco, Tettang, Germany)가 선택되었다. 선택된 지대치는 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 μ m, 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 알코올을 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 크

라운을 95% 이소프로필 알코올과 초음파 세척기를 사용하여 세척을 진행한 후 새로운 이소프로필 알코올로 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 알코올 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 2. Temporary crown rinsing at different times.

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 $25 \sim 45 \mu\text{m}$ 로 제시하기 때문에 $\pm 50 \mu\text{m}$ 으로 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

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: μm)

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

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

Figure 4. Three-dimensional adaptation superposition process.

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-MRTC 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-MRTC 그룹이 5-MRTC 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 알콜 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 진행되어야 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 겹수치가 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.prosident.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.