

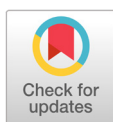
Journal of Korean Society of Dental Hygiene

Original Article

치과용 3D 프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 정확도 평가

김민수¹ · 김원기¹ · 강월¹경북대학교 치의학과 · ¹대구보건대학교 치기공과

Evaluation of the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental 3D printers



Received: October 19, 2019

Revised: November 28, 2019

Accepted: November 29, 2019

Min-su Kim¹ · Won-Gi Kim¹ · Wol Kang¹

Department of Dental Science, Kyungpook National University

¹Department of Dental Laboratory, Daegu Health College

Corresponding Author: Wol Kang, Department of Dental Laboratory, Daegu Health College, 15, Yeongsong-ro, Buk-gu, Daegu, 41453, Korea. Tel: +82-53-320-1328, Fax: +82-53-320-1330, E-mail: kw0411@dhc.ac.kr

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study is to assess the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental three-dimensional (3D) printers. **Methods:** Provisional restorative resins were fabricated using the first molar of the right mandibular. Three groups comprising a total of 24 samples of such resins were fabricated. The prepared abutment was scanned initially and then designed using a computer-aided design (CAD) software. The conventional subtractive manufacturing system was employed to fabricate the first group of resins, while the second and third groups were fabricated using a digital light processing (DLP) 3D printer and a stereolithography (SLA) 3D printer, respectively. The internal surfaces of the resins were scanned and 3D measurements of the resins were taken to confirm their accuracy. **Results:** The root-mean-square deviation (RMS±SD) of the accuracy of the resins fabricated using the conventional subtractive manufacturing system, DLP 3D printer, and SLA 3D printer were $68.83 \pm 2.22 \mu\text{m}$, $74.63 \pm 6.23 \mu\text{m}$, and $61.74 \pm 4.09 \mu\text{m}$, respectively. A one-way analysis of variance (ANOVA) test showed significant differences between the three groups ($p < 0.05$). **Conclusions:** Provisional restorative resins fabricated using DLP and SLA 3D printers demonstrated clinically acceptable results.

Key Words: Accuracy, Crowns, Printing

색인: 정확도, 크라운, 프린팅

서론

임시 수복용 레진은 주로 최종 보철물 제작 기간 동안 최소한의 변형, 마모, 온도, 화학적 자극 및 세균의 침투로부터 지대치를 보호하고 치주 조직의 손상을 방지하면서 주변 치아와의 간격을 일정하게 유지시키기 위해 사용한다[1]. 일반적으로 임시 수복용 레진을 제작하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 환자 구강 내에서 임시 수복용 레진을 직접 수복하는 직접법과[2], 석고 모형 상에서 레진을 경화시켜 제작하는 간접법이 있다[3]. 이러한 제작 방법은 복잡하고 파절에 약한 단점으로 인해[4], 최근에는 치과용 Computer aided design - Computer aided manufacturing (CAD-CAM)으로 임시 수복용 레진을 제작하는 사례가 증가하였다[5].

치과용 CAD-CAM 시스템은 스캐너를 사용하여 3차원 스캔데이터를 생성한 후, 캐드 프로그램을 통해 컴퓨터에서 보철물을 디자인한다. 디자인이 완료된 데이터는 최종적으로 가공기계를 사용하여 다양한 재료로 최종 보철물을 제작할 수 있다. 이러한 가공방식은 크게 절삭가공(subtractive manufacturing)과 적층가공(additive manufacturing)으로 구분된다[6].

절삭가공 방식은 현재 치과 분야에서 활발히 사용되고 있으나, 보철물 절삭 시 각각의 블록에 적용되는 전용 밀링 버를 사용하여야 하고, 밀링 버의 움직임에 제약이 있기 때문에 복잡한 형상을 재현하기 어렵다. 또한 소음이 많이 발생하며 작업시간이 오래 걸리고, 절삭하고 남은 블록의 부산물은 재사용이 불가능하다는 단점이 있다[7]. 이러한 단점을 극복하기 위해 개발된 적층가공 방식인 3D 프린터는 절삭가공 방식에 비하여 소음이 적으며 인상 채득 및 다양한 기공과정이 생략되어 시간과 비용을 절감할 수 있다. 또한 레이저를 조사하여 가공을 하기 때문에 복잡한 형상을 재현하기 용이하면서 비교적 정밀도가 높다는 장점이 있다[8].

3D 프린터는 크게 Fused Deposition Modeling (FDM), Digital Light Processing (DLP), Stereolithography apparatus (SLA) 타입으로 구분된다. 그 중에서 정밀도가 비교적 높은 DLP와 SLA 타입이 레진 치과용 3D 프린터로 주로 사용되고 있다[9]. SLA 타입의 3D 프린터는 광경화성 액상 수지에 자외선 레이저를 조사하여 광중합하고 적층하는 방식으로 축이 위, 아래로 움직이며 점 단위(point)로 적층을 하면서 경화가 되는 방식이다. 출력물이 비교적 정밀하고 표면 조도가 부드럽게 출력되는 장점이 있다. DLP 타입의 3D 프린터는 SLA 방식과 같이 액상의 수지에 자외선 레이저를 조사하지만 점 단위로 경화시키는 방식이 아닌 층(layer)단위로 한 번에 조사하여 적층하기 때문에 한 번에 다수의 출력물을 제작할 수 있어 제작 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다[9].

현재까지 DLP와 SLA 3D 프린터로 제작한 치과용 보철물에 관한 연구로는 치과용 임시수복용 레진을 프린터로 출력한 후에 UV 후처리 시간에 따른 기계적 특성, 재료의 색상변화 및 구강세포에 대한 독성평가가 있고[10], 임시 수복용 레진의 마모 저항성에 관한 내용이 있다[11]. 그러나 현재까지 3D 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 정확도에 관한 연구는 부족한 실정이다[12]. 정확도와 관련해서는 마진이나 내면이 지대치 혹은 모델에 잘 맞는 정도를 측정하는 적합도와 관련된 연구가 있는데, 적합도는 임상적인 생존율에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소 중의 하나이다[13]. 이러한 이유로 현재까지 치과 분야에서 적합도에 관한 많은 선행연구가 이루어졌고[14,15], 적합도를 평가하는 여러 가지 방법이 소개되었다[16,17]. 최근에는 디지털 기술의 발전과 더불어 3차원 정확도 분석법이 개발되었다. 이는 STL 파일과 Reference 파일을 중첩시켜서 오차를 확인하는 방법으로, 보철물의 크기나 형태적 차이를 다양한 지점에서 분석할 수 있다는 장점으로 치과 연구 영역에서 많이 사용되고 있다[18].

그러나 아직까지 절삭가공방식과 적층가공 방식인 SLA와 DLP 방식으로 제작한 3D 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 정확도 비교 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 임상모형 상에서 디자인한 파

일을 기존의 절삭가공 방식과 치과용 DLP 및 SLA 타입의 3D 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 정확도를 평가하고자 한다.

연구방법

1. 작업모형 선정

본 연구에서 사용한 주 모형은 하악 우측 제1대구치 임상모형을 작업모형으로 사용하였다. 하악 제1대구치는 6세 구치로 영구치 중에서 첫 번째로 맹출 되는 치아이기 때문에 보철물 제작이 제일 많이 이루어지는 치아이다[19]. 때문에 본 연구는 하악 제1대구치를 작업모형으로 선정하였다(Fig. 1). 인상은 개인 트레이와 고무 인상재(Dublisil, Dreve Dentamid GmbH, Unna, Germany)를 이용하여 채득을 하였고, 채득 된 인상체에 경석고(HI-KOSETON, Marulshi, Fuji, Japan)를 부어서 모형을 제작 하였다. 제작 된 모형은 s-base(S-base partial, Bowon dental, Daegu, Korea)를 사용하여 치형가철식 모형으로 제작하였다.

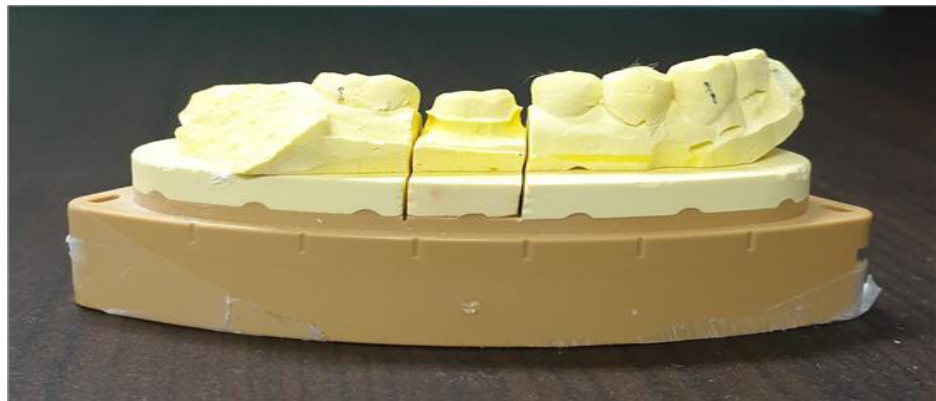


Fig. 1. Working model. Solid cast for single crown.

2. 임시 수복용 레진 제작

작업모형 스캔 데이터를 만들기 위해서 모델 스캐너(3shape E3scanner, 3shape, Copenhagen, Denmark)를 사용하였다. 스캔이 완료 된 데이터는 디자인 프로그램(EXOCAD 2.2, exocad GmbH, Darmstadt, Germany)을 사용하여 임시 수복용 레진을 디자인하고 30 micron의 시멘트 공간을 부여하였다.

임시 수복용 레진의 개수는 G*power 3.1.9.4 program을 이용하였으며, 중간크기의 효과크기인 0.5, 유의수준 0.05, 검정력 95%, F검정을 기준으로 필요한 최소표본 수는 9개로 계산되었으며, 시편 제작의 오차를 고려하여 총 24개의 시편을 제작하였다[20].

디자인이 완료된 파일은 세 가지 방법으로 제작되었다. 첫 번째는, 절삭 가공 방식인 CAM장비(Milling Unit M3. Zirkonzahn, Neuler, Germany)를 사용하여 PMMA블록(Vipi block PMMA, São Paulo, Brazil)을 임시 수복용 레진으로 8개 제작하였다. 두 번째는, 적층 가공 방식인 DLP 3D 프린터(Veltz 3D, HEPHZIBHA., Incheon, Korea)로 출력조건은 100 μ m으로 설정하고 전용의 레진용액(DT-1 Temporary Teeth, HEPHZIBHA., Incheon, Korea)을 사용하여 8개의 임시 수복용 레진을 제작하였다. 마지막으로 SLA 3D 프린터(ZS212, DENTIS Co., LTD., Palma, USA)로 출력조건은 100 μ m으로 설정하고 전용의 레진용액(ZMD-1000B TEMPORARY, DENTIS Co., LTD., Palma, USA)을 사용하여 8개의 임시 수복용 레진을

제작함으로써, 총 24개의 임시 수복용 레진을 제작하였다(Fig. 2). 3D 프린터로 출력한 임시 수복용 레진은 UV램프(MP100, Meong Moon Dental Co., Ltd., Daegu, Korea)를 이용하여 P2 모드로 10분 동안 최종 경화를 진행하였다.



Fig. 2. Provisional restorative resins. Provisional restorative resins divided into three groups.

3. 3차원 정확도 분석

3차원 정확도 분석을 위한 3차원 데이터 제작을 위해서 하악 우측 제1대구치 지대치의 외면과 각 군별 8개 씩, 총 24개의 임시 수복용 레진 내면을 구강 스캐너(TRIOS 3 Basic, 3Shape A/S, Copenhagen, Denmark)로 한 번씩 스캔하였다. 구강 스캐너는 이미지를 촬영하여 병합하는 방식을 사용하기 때문에 이미지 병합의 오차를 줄이기 위해서 지대치의 외면과 임시 수복용 레진 내면의 중앙에서부터 스캔을 시작해서 시계방향으로 진행하였다. 정밀한 스캔을 위해서 10~20초 동안 100~200컷의 촬영을 진행하였고, 나머지는 제조사의 지시대로 스캔하였다.

데이터를 통해 얻은 임시 수복용 레진의 내면과 지대치 외면의 중첩을 통해 정확도를 평가하기 위해 3차원적 평가 프로그램(Geomagic Verify, Geomagic GmbH, Stuttgart, Germany)을 사용하였다. 정확한 중첩과 동일한 경계를 위해서 치경선 아래 불필요한 부분을 제거하고, 지대치와 임시 수복용 레진을 중첩시켜서 Best fit alignment 시켰다. 그 후, Difference images를 통해 3차원 비교를 진행하고, 지대치와 24개의 임시 수복용 레진 사이의 편차를 Root Means Square (RMS) 값으로 계산하였다. RMS 값은 양의 값과 음의 값이 공존하는 측정값에서 사용되는 평균값으로 아래의 계산식을 따른다.

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

여기서 X1은 지대치의 측정 포인트를 뜻하며, X2는 임시 수복용 레진의 측정 포인트를 나타낸다. 마지막으로 n은 측정된 포인트의 총수를 나타내며, RMS 값이 낮을수록 3차원 정확도가 높은 것으로 평가한다. 정량적 평가 이외에 정성적 평가를 위해서 color-difference-map을 사용하였다. 임계편차는 $\pm 100 \mu\text{m}$ 이고, 허용 공차범위(녹색)는 $\pm 50 \mu\text{m}$ 로 지정하였다. 녹색에서 빨간색으로 갈수록 기준에 비해 양의 차이를 나타내고, 녹색에서 파란색으로 갈수록 기준에 비해 음의 차이를 나타내는 것이다.

4. 통계분석

수집된 자료는 Statistical Package for Social Science (SPSS) 22.0 for windows를 사용하였고, 자료 처리를 위해 사용한 통계분석 방법은 다음과 같다. 정규성 검증인 Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-wilk 검정을 실시하였고, PMMA와 DLP 및 SLA 임시 수복용 레진 사이의 유의한 차이를 검정하기 위하여 일원배치 분산

분석(One way ANOVA)을 실시하였고, Tukey의 사후분석을 사용하였다. 통계적 판단을 위해서 제1종 오류는 0.05로 설정하였다.

연구결과

정량적 분석을 위한 RMS 값은 <Table 1>과 <Fig. 3>에 나타나 있다. 세 그룹의 RMS 값의 차이를 확인하기 위해 일원배치 분산분석을 위한 정규성 검정 결과, PMMA는 유의확률 0.170이고, DLP와 SLA는 0.200으로 나타나 정규분포가 가정되었다. 등분산에 대한 검정은 F값이 2.285이고 유의확률이 0.126으로 나타나 분산의 동질성 역시 가정되었다. 유의확률은 0.001보다 작게 나타나 PMMA와 DLP 및 SLA 임시 수복용 레진의 평균 RMS 값에는 유의한 차이가 있었다($p<0.01$).

정성적 분석을 위한 color-difference map은 <Fig. 4>에 나타나 있다. 분석 결과, PMMA의 경우 일률적인 지점에서 오차를 보이고 있다. 반면에 DLP나 SLA는 오차 발생 지점이 일률적이지 않게 나타나고 있다.

Table 1. Comparison of provisional restorative resins

Unit : μm (N=8)

No.	RMS		
	PMMA	DLP	SLA
1	68.9 ^a	70.6 ^b	66.5 ^c
2	62.9 ^a	72.0 ^b	59.4 ^c
3	68.5 ^a	78.9 ^b	57.8 ^c
4	66.8 ^a	77.7 ^b	63.8 ^c
5	64.1 ^a	77.2 ^b	68.4 ^c
6	68.7 ^a	71.8 ^b	61.5 ^c
7	66.9 ^a	74.8 ^b	57.7 ^c
8	67.8 ^a	74.0 ^b	58.8 ^c
Mean (SD)	66.83 ^a (2.22)	74.63 ^b (6.23)	61.74 ^c (4.09)
p^*	<0.001		

*by one-way ANOVA (post-test Tukey) for three or more groups

^{abc}The same character indication shows that there is no statistical significance

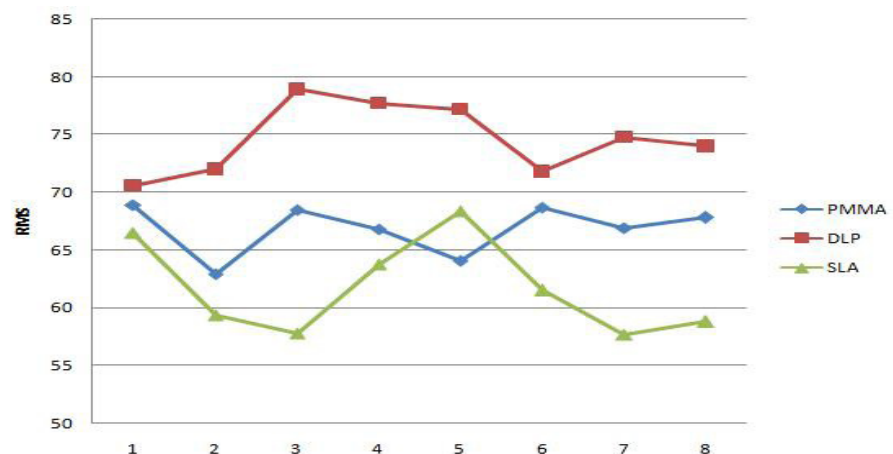


Fig. 3. RMS of provisional restorative resins. Accuracy of three types of provisional restorative resins.

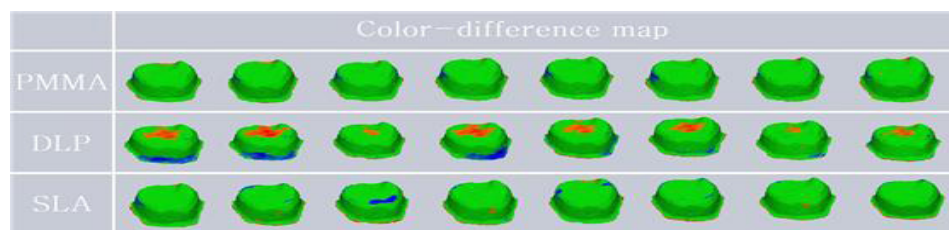


Fig. 4. Color-difference-map of PMMA, DLP and SLA. Color-difference-maps showing superimposition of 3-D data comparisons among material types. Green represents good fit, yellow or red represents positive error, and turquoise or blue represents negative error.

총괄 및 고안

최근에는 치과용 3D 프린터가 개발되면서 치과용 SLA 및 DLP 프린터의 보급이 증가하였다. 이러한 3D 프린터는 임상에서 주로 임시 수복용 레진 제작을 위해 사용되고 있다[10]. 그러나 아직까지 SLA 및 DLP 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 정확도에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 절삭가공 방식과 치과용 DLP 및 SLA 3D 프린터로 제작된 하악 우측 제1대구치 임시 수복용 레진의 적합도를 3차원 분석을 통해서 비교해 보았다.

측정의 신뢰도를 높이기 위해 본 연구에서는 3차원 정확도 측정법을 사용하였다. 이 방법은 각각의 데이터 이미지를 중첩하여 출력된 스캔파일의 음영 차이를 형상화하여 나타내는 방법으로, 독일 국립 측정 연구소에서 인증된 방법이다[21]. 이러한 3차원 데이터 중첩 방법은 비침습적이고 방향이나 개수에 제한 없이 다양한 부위의 관찰이 가능하다는 장점이 있기 때문에[22], 기존의 방법과 비교해서 정밀도가 높다는 연구가 있다[23].

임시 수복용 레진의 정확도를 평가하는 척도로 제시할 수 있는 방법은 적합도이다. 변연부 적합도로 제시되는 기준은 일반적으로 120 μ m 미만이다[24]. 임상적으로 실패한 보철물들의 적합도를 연구한 결과 선행연구에서는 120 μ m가 임상적 허용 수치라고 제시하였다[25]. 따라서 본 연구에서는 정확도의 기준을 120 μ m로 설정하였고, 적층가공 방식으로 제작한 DLP와 SLA 임시 수복용 레진의 정확도 값은 모두 120 μ m 미만으로 임상적으로 허용 가능한 것으로 나타났다.

정성적 분석 결과를 살펴보면 기존의 절삭가공 방식으로 제작했던 PMMA는 오차가 발생하는 지점이 일률적인데 비해 3D 프린터로 제작한 SLA나 DLP는 PMMA에 비해서 발생하는 오차범위가 다양한 것을 알 수 있으며, 정량적 분석 결과에서도 표준편차 값이 PMMA가 제일 작았던 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 후처리에 의한 차이일 것으로 사료된다. 절삭 후에 지지대만 제거하면 되는 PMMA에 비해 프린팅 후에 레진 액을 세척하고 중합을 해야 하는 DLP나 SLA는 세척이나 중합에 의한 오차가 발생한 것으로 사료된다. 선행연구에서도 DLP 방식과 절삭가공 방식에 따른 적합도를 비교했을 때, 표준편차 결과가 절삭가공 방식이 DLP 방식보다 낮은 것으로 나타났다[26].

Color-difference map을 살펴보면 PMMA는 교합면 설측 부위의 좁은 외형에서 붉은 색의 양의 오차가 발생하였는데, 이는 밀링 버의 움직임에 제약이 있었던 것으로 사료된다. 선행연구에서도 밀링 버의 움직임이나 종류에 따라 적합도가 달라진다는 결과가 있다[7,27]. 그에 비해 DLP나 SLA는 모든 시편이 일률적이진 않지만 교합면 설측 부위의 좁은 외형 정확도가 PMMA에 비해 좋게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 복잡한 형상을 재현하기 용이하다고 밝혀진 3D 프린팅의 장점인 것으로 사료된다[8].

정량적 분석 결과에 따르면 임시 수복용 레진의 정확도는 SLA, PMMA, DLP순으로 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 절삭가공 방식의 적합도가 SLA 방식보다 좋게 나타난 선행연구와는 다른 결과이다[28]. 이와 같은 차이는 지대치 외형에 의해 나타난 것으로 사료된다. 지대치에 좁은 각도가 없고 일률적인 형태를 갖추었던 선행연구에 비해 본 연구에서 사용한 지대치는 임상모형으로 밀링 버가 절삭하기에 좁은 외형을 가지고 있었기 때문이다. 또한 SLA 방식이 DLP 방식보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 3D 프린터의 조형 방식에 따른 차이인 것으로 사료된다. 복셀(voxel) 단위로 경화되는 SLA 방식에 비해 적층 단면 단위로 동시에 경화되는 DLP 방식의 경우 가장자리와 중간부분의 광원세기 차이로 인해서 정밀도가 달라질 수 있기 때문이다[29,30].

본 연구의 제한점으로는 3D 프린팅 시 레이저를 조사할 때 각 3D 프린터의 레이저의 세기와 속도에 의해 정밀도 및 강도에 대한 오차율이 발생할 수 있다는 점이다. 또한 시편의 수가 적고 단일의 정확도 평가방법을 사용하였기 때문에 일반화에 한계점을 내포한다. 그럼에도 불구하고 3D프린터로 제작된 임시 수복용 레진의 정확도 비교에 대한 연구가 많지 않고, 본 실험을 통해 적층가공으로 출력된 임시 수복용 레진이 임상적으로 받아들여질 만한 정확도를 나타내었다는 데 의의가 있으나, 후속연구의 주안점은 정확도 평가 시 지대치의 측정 부위별로는 정확도에 어떤 차이가 있는지 진행되어야 할 것이다.

결론

본 연구는 기존에 많이 활용되는 절삭가공을 이용한 방식과 최근 개발되어 사용되고 있는 적층가공 방식인 3D프린터를 이용하여 임시 수복용 레진을 제작하였으며, 3차원 중첩분석을 토대로 실험 군별 정확도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 3D 프린터로 제작한 SLA와 DLP의 정확도는 120 μm 미만으로 임상적으로 허용 가능한 결과를 나타내었다.

2. Color-difference map 분석 결과 교합면 설측 부위의 좁은 외형 정확도는 DLP와 SLA가 PMMA보다 좋게 나타난 것으로 나타났다.

이상의 연구 결과로 SLA와 DLP 3D 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 임상 적용에 대한 긍정적인 효과를 보여주는 결과로 사료된다. 따라서 3D 프린터로 제작한 임시 수복용 레진의 임상 활용도를 높이기 위한 추가 연구가 필요할 것이다.

Acknowledgements

본 논문은 2019년도 산업통상자원부 과제비 지원으로 연구되었음(연구과제번호 P0006692).

Conflict of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Authorship

Conceptualization: W Kang; Data collection: MS Kim, WG Kim; Formal analysis: W Kang; Writing - original draft: MS Kim, W Kang; Writing - review & editing: W Kang

References

- [1] Lee SH. Esthetic considerations for porcelain fused to metal restorations. *The J of KDA* 1982;20(2):127-30.
- [2] Van Dijken JW. Direct resin composite inlays/onlays: an 11 yeat follow-up. *J Dent* 2000;289(5):299-306. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(00\)00010-5](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(00)00010-5)
- [3] Fisher DW, Shilingburg HT Jr, Dewhirst RB. Indirect temporary restorations. *J of the National Dental Association* 1971;82(1):160-3. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1971.0019>
- [4] Lee SH. A comparative study on the transverse strength of the provisional restoration acrylic resin according to the method of reinforcement. *J Dent Rehab App Sci* 1995;11(2):191-205.
- [5] Suh SJ. Various application of PMMA temporary crown processed with five-axis milling machine at clinical dentist's office. *J Korean Acad Esthet Dent* 2017;26(2):68-83. <https://doi.org/10.15522/jkaed.2017.26.2.68>
- [6] Park JY, Jeong ID, Lee JJ, Bae SY, Kim JH, Kim WC. *In vitro* assessment of the marginal and internal fits of interim implant restorations fabricated with different methods. *J Prosthet Dent* 2016;116:536-42. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.012>
- [7] Park SM, Kim SK, Park JM, Kim KH, Jeon YT, Koak JY. Flexural strength of various kinds of the resin bridges fabricated with 3D printing. *J Dent Rehab App Sci* 2017;33(4):260-8. <https://doi.org/10.14368/jdras.2017.33.4.260>
- [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(2):260-5. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.07.007>
- [9] Cho WT, Choi JW. Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods. *J Korean Acad Prosthodont* 2019;57(3):225-31. <https://doi.org/10.4047/jkap.2019.57.3.225>
- [10] Song DB. Evaluation of mechanical properties and cytotoxicity of 3D printing prosthetic polymers[Doctoral dissertation]. Cheonan: Univ. of Dankook, 2019.
- [11] Ahn JJ, Huh JB, Choi JW. *In vitro* evaluation of the wear resistance of provisional resin materials fabricated by different methods. *J Korean Acad Prosthodont* 2014;23(8):610-7. <https://doi.org/10.4047/jkap.2019.57.2.110>
- [12] Jang Y, Sim JY, Park JK, Kim WC, Kim HY, Kim JH. Evaluation of the marginal and internal fit of a single crown fabricated based on a three-dimensional printed model. *J Adv Prosthodont* 2018;10(5):367-73. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.5.367>
- [13] Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CHF. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clinical Oral Implants Res* 2017;18(3):86-96. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2007.01468.x>
- [14] Kim SM, Cho JW, Hwang KS, Kim WT, Kang YH, Kim NJ. A study on the micro hardness and the marginal fitness of the various composite resins. *J Kor Aca Den Tec* 2011;33(2):147-58. <https://doi.org/10.14347/kadt.2011.33.2.147>
- [15] Lee KH, Yeo IS, Kim SH, Han JS, Lee JB, Yang JH. A study on the marginal fit of CAD/CAM 3-unit bridges. *J Kor Aca Den Tec* 2011;49(2):101-5. <https://doi.org/10.4047/jkap.2011.49.2.101>

- [16] Kim DB, Kim JM, Kim YL. Comparison of three-dimensional accuracy between digital models obtained from impression scan and model scan. Clin Oral Implants Res 2018;45(1):11-9. https://doi.org/10.1111/clr.42_13358
- [17] Joo YH, Lee JH. Three dimensional accuracy analysis of dental stone casts fabricated using irreversible hydrocolloid impressions. J Dent Rehab App Sci 2015;31(4):316-28. <https://doi.org/10.14368/jdras.2015.31.4.316>
- [18] Schaefer O, Kuepper H, Sigusch BW, Thompson GA, Hefti AF, Guentsch A. Three-dimensional fit of lithium disilicate partial crowns *in vitro*. J of dentistry 2013;41:271-7. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.11.014>
- [19] Kim SH, Lee JH, Kim YR, Dong JK. Fracture strength of the IPS empress crown: The effect of occlusal using depth and axial inclination on lower first molar. J Korean Acad Prosthodont 2003;41(1):48-60.
- [20] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988: 407-14.
- [21] Lee KY, Cho JW, Chang NY, Chae JM, Kang KH, Kim SC, et al. Accuracy of three-dimensional printing for manufacturing replica teeth. Korean J Orthod 2015;45(5):217-25. <https://doi.org/10.4041/kjod.2015.45.5.217>
- [22] Kim JH, Kim KB. Internal evaluation of provisional restorations according to the dental CAD/CAM manufacturing method: Three-dimensional superimpositional analysis. J Kor Aca Den Tec 2019;41(2):81-6. <https://doi.org/10.14347/kadt.2019.41.2.81>
- [23] Lee HL, Lee DH, Lee KB. *In vitro* evaluation methods on adaptation of fixed dental prosthesis. J Dent Rehabil Appl Sci 2017;33(2):63-70. <https://doi.org/10.14368/jdras.2017.33.2.63>
- [24] Christensen GJ. Marginal fit of gold inlay castings. J Prosthet Dent 1966;16(2):297-305. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(66\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0022-3913(66)90082-5)
- [25] Mclean JW. The estimation of cement film thickness by an *in vivo* technique. Br Dent J 1971;131(3):107-11. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4802708>
- [26] Jeong SJ, Cho HW, Jung JH, Kim JM, Kim YL. Comparative evaluation of marginal and internal fit of metal copings fabricated by various CAD/CAM methods. J Korean Acad Prosthodont 2019;57(3):211-8. <https://doi.org/10.4047/jkap.2019.57.3.211>
- [27] Kim CM, Jeon JH, Lee JJ, Kim JH, Kim WC. Precision evaluation of crown prosthesis manufactured by two bur and three bur. J Kor Aca Den Tec 2016;38(2):57-62. <https://doi.org/10.14347/kadt.2016.38.2.57>
- [28] Kim DY, Kim EB, Kim HY, Kim JH, Kim WC. Evaluation of marginal and internal gap of three-unit bridge metal framework according to subtractive manufacturing and additive manufacturing of CAD/CAM systems. J Adv Prosthodont 2017;9(6):463-9. <https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.6.463>
- [29] Envision TEC. Advanced DLP For Superior 3D Printing. 1st ed. Dearborn: Envision TEC white papers; 2017: 1-8.
- [30] Shin DH, Park YM, Park SH. Correlation between UV-dose and shrinkage amounts of post-curing process for precise fabrication of dental model using DLP 3D printer. KSMPE 2018;17(2):47-53. <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.2.047>