

제작방법에 따른 임시 수복용 레진의 마모저항성에 관한 연구

안종주¹ · 허중보¹ · 최재원^{1,2*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실, ²부산대학교 중개치의학연구소

In vitro evaluation of the wear resistance of provisional resin materials fabricated by different methods

Jong-Ju Ahn¹, Jung-Bo Huh¹, Jae-Won Choi^{1,2*}

¹Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Pusan National University, Yangsan, Republic of Korea

²Institute of Translational Dental Sciences, Pusan National University, Yangsan, Republic of Korea

Purpose: This study was to evaluate the wear resistance of 3D printed, milled, and conventionally cured provisional resin materials. **Materials and methods:** Four types of resin materials made with different methods were examined: Stereolithography apparatus (SLA) 3D printed resin (S3P), digital light processing (DLP) 3D printed resin (D3P), milled resin (MIL), conventionally self-cured resin (CON). In the 3D printed resin specimens, the build orientation and layer thickness were set to 0° and 100 µm, respectively. The specimens were tested in a 2-axis chewing simulator with the steatite as the antagonist under thermocycling condition (5 kg, 30,000 cycles, 0.8 Hz, 5°C/55°C). Wear losses of the specimens were calculated using CAD software and scanning electron microscope (SEM) was used to investigate wear surface of the specimens. Statistical significance was determined using One-way ANOVA and Dunnett T3 analysis ($\alpha = .05$). **Results:** Wear losses of the S3P, D3P, and MIL groups significantly smaller than those of the CON group ($P < .05$). There was no significant difference among S3P, D3P, and MIL group ($P > .05$). In the SEM observations, in the S3P and D3P groups, vertical cracks were observed in the sliding direction of the antagonist. In the MIL group, there was an overall uniform wear surface, whereas in the CON group, a distinct wear track and numerous bubbles were observed. **Conclusion:** Within the limits of this study, provisional resin materials made with 3D printing show adequate wear resistance for applications in dentistry. (*J Korean Acad Prosthodont* 2019;57:110-7)

Keywords: 3D printing; Additive manufacturing; Subtractive manufacturing; Resin; Wear

서론

임시 보철물은 삭제된 치아에 최종 보철물을 장착할 때까지 삭제된 치아에 가해지는 피해를 막기 위하여 사용된다.^{1,2} 또한 임시 보철물은 치아의 이동 방지, 적절한 교합 관계 유지,^{2,3} 치주 조직 및 치수보호 그리고 최종 보철물이 구강내 장착되기 전까지 심미성을 제공한다.^{2,4-6}

전통적인 임시 보철물의 제작방법에는 직접법과 간접법이 있

다.⁶ 직접법은 chairside에서 환자의 구강 안에 직접 레진으로 수복하는 방법이며,⁷ 간접법은 석고 모형상에서 레진을 경화시켜서 만드는 방법이다.³ 직접법으로 제작된 임시 보철물은 제작 시간을 절약할 수 있으나, 구강 내에서 모든 작업이 이루어지기에 간접법으로 제작하는 것만큼 표면을 활택하게 할 수 없다는 단점이 있다.⁸ 간접법으로 제작된 임시 보철물은 레진 중합 시 발생하는 발열로 인한 잠재적 외상을 방지하고 마진 적합도를 향상시킨다,^{9,10} 치과기공사의 수작업으로 제작되기 때문에 제작기간이

*Corresponding Author: Jae-Won Choi

Department of Prosthodontics, Institute of Translational Dental Sciences, School of Dentistry, Pusan National University, 20, Geumo-ro, Mulgeum-eup, Yangsan 50612, Republic of Korea
+82 (0)55 360 5133; e-mail, won9180@hanmail.net

Article history: Received January 21, 2019 / Last Revision February 11, 2019 / Accepted February 14, 2019

※This work was supported by a 2-year Research Grant of Pusan National University.

©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.

길고 보철물 정확도에 오차가 생길 가능성이 크다.¹¹ 1980년대 초 computer-aided design (CAD)를 이용하여 환자 개개인에게 맞는 보철물을 디자인하고, 블록 형태의 재료를 milling machine으로 절삭 가공(subtractive manufacturing)하는 방법이 소개된 이후, 지금까지 치과분야에서 폭넓게 사용되고 있다.¹² CAD software와 milling machine의 발전으로 임시 보철물의 제작기간이 단축되고 정확도가 개선되었을 뿐만 아니라,^{11,13} 균일한 질의 보철물을 제작할 수 있게 되었다.¹² 하지만 절삭 가공법은 절삭 기구 및 재료의 소모가 많고 표면에 미세한 금이 생기는 등의 문제점이 보고되었다.^{11,12,14}

최근에는 적층 가공(additive manufacturing)법인 3D 프린팅 기술을 이용해 임시 보철물을 제작함으로써 절삭 가공의 단점이었던 재료소모의 문제점과 내면의 미세 부위 재현 능력을 보완할 수 있다.^{12,14-16} 치과분야에서는 fused deposition modeling (FDM), polyjet photopolymer (PPP), Stereolithography apparatus (SLA) 그리고 digital light processing (DLP) 3D 프린터가 사용되고 있다.¹¹ 이 중 SLA와 DLP 3D 프린터가 임시 보철물을 제작하는데 주로 이용되고 있다.¹¹ 두 프린터 모두 광경화성 액체 수지를 사용하며 광중합으로 경화되는 원리는 같으나 SLA 3D 프린터는 점(point)단위, DLP 3D 프린터는 면(face)단위로 각 층을 경화 시킨다는 차이가 있다.¹¹ 임시 보철물의 중요성은 임플란트 시술이 보편화 되고 임플란트 식립 후 최종 보철물이 장착되기 전까지 임시 보철물이 장기간 사용되어야 하는 이유로 다시 한번 강조 되었다.¹⁷ 임시 보철물이 구강 내에서 장기간 정상적인 기능을 하기 위해서는 충분한 기계적 강도와 내마모성을 가져야 된다.^{18,19} 특히 적절하지 못한 내마모성은 수복재료, 대합치에 과도한 마모를 일으켜서 수복물 및 대합치의 상실이나 파절을 일으킬 수 있고 이는 교합고경과 저작력을 상실을 야기할 수도 있다.^{20,21} 그러나 기존의 전통적인 임시 보철물은 자가중합레진의 제작 후 추가적인 조정과 마진 정리로 소요되는 시간이 길어지고 높은 중합수축, 열 발생 및 수분 흡수가 많고 낮은 내마모성을 가진다.^{22,23} 최근 3D 프린팅 기술이 발전하고 도입되면서 보철물의 제작시간이 크게 단축되고, 제작과정 중의 오차가 줄어들었다.¹¹ 이에 따라 3D 프린팅 기술은 기존의 임시 보철물을 제작하는 방법을 대체할 수 있는 새로운 시도로 각광받고 있다.²² 지금

까지 3D 프린팅 기술로 제작한 임시 수복용 재료와 관련된 선행 연구는 기계적 강도 및 정확도에 국한되었고, 이는 기존의 제작 방식들과 비교하여 충분한 기계적 강도와 정확도를 나타내었다. 그러나 마모도와 관련된 실험은 거의 없는 실정이다.²⁴⁻²⁷ 또한 최근 국외 기술이 아닌 국내 기술로 개발된 3D 프린터 및 치과용 재료와 대합치와의 마모도를 비교한 연구는 전무하다. 이에 본 연구에서는 최근 국내 기술로 개발된 3D 프린팅된 임시 수복용 레진을 기존의 절삭 가공법 및 전통적인 방법에 따른 임시 수복용 레진들의 마모양상을 비교 평가해보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

제작방법에 따라 총 4개의 군으로 분류하고 다음과 같이 명명하였으며 대합치로는 steatite (Yamamoto trading Co., LTD., Osaka, Japan)을 사용하였다 (Table 1). S3P군: SLA 3D 프린터(ZENITH U, Dentis, Daegu, Korea)와 광경화성 수지(ZMD-1000B TEMPORARY, Dentis, Daegu, Korea)로 제작한 군, D3P군: DLP 3D 프린터(DIO PROBO, DIO, Busan, Korea)와 광경화성 수지(3DCNB-50, DIO, Busan, Korea)로 제작한 군, MIL군: Milling machine (ARUM 4X-100, DOOWON ID, Daejeon, Korea)과 밀링용 polymethyl methacrylates (PMMA) 블록 (Tian Shwu Co., LTD., Anding, Taiwan)으로 제작한 군, CON군: 전통적인 방법과 자가중합형 PMMA (Tokuso Cure Fast, Tokuyama Dental, Tokyo, Japan)로 제작한 군.

2. 방법

시편 제작을 위하여 먼저 CAD software (ThinkerCAD, Autodesk, San Francisco, CA, USA)로 지름 3 mm, 높이 7 mm의 첨단 부위가 둥근 원뿔형을 디자인하고, steatite 블록을 밀링하였다. 밀링한 블록을 소환로(DuoTron Pro, B&D Dental Technologies, West Valley City, UT, USA)에서 소결하여 최종 완성하였으며, 총 20개의 시편을 제작하였다. 15 × 15 × 13 mm의 실

Table 1. Materials tested in this study

Group	N	Method	Product	Manufacturer	Type
S3P	5	3D printing	ZMD-1000B TEMPORARY	Dentis, Daegu, Korea	Acrylate Photopolymer
D3P	5	3D printing	3DCNB-500	DIO, Busan, Korea	Bis-acrylic
MIL	5	Milling	TS Dental	Tian Shwu Co., LTD., Anding, Taiwan	Polymethyl methacrylates
CON	5	Conventional	Tokuso CureFast	Tokuyama Dental, Tokyo, Japan	Polymethyl methacrylates
-	20	-	Steatite	Yamamoto trading Co., LTD., Osaka, Japan	Steatite ceramic

S3P, SLA 3D printed resin; D3P, DLP 3D printed resin; MIL, milled resin; CON, conventionally self-cured resin

리콘 몰드를 이용하여 첨단 부위가 4 mm 노출되도록 투명 레진 (Orthodontic resin, Dentsply, York, PA, USA)에 포매하였다. 포매한 steatite 시편은 추후 중첩 시 필요한 참조점으로 한쪽 면에 홈을 형성하였다.

수복용 레진 시편을 제작하기 위하여 CAD software로 11 × 11 × 13 mm의 직육면체를 디자인하였다. 적층 가공법에 의한 시편 제작에는 SLA와 DLP 3D 프린터가 사용되었다. 전송한 디자인된 파일을 3D 프린터로 전송한 후, 적층 각도와 층 두께를 각각 0°와 100 μm로 설정하였다. 전용의 광경화성 수지가 담겨 있는 수조에 프린터의 플랫폼이 z 축으로 움직임에 따라 적층되고 자외선을 통해 중합 및 경화시켰다. 제작이 완료된 시편들은 프린터의 플랫폼에서 제거하고 전용의 알코올과 초음파세척기에서 30초간 세척한 후, 광중합기(DENSTAR-300, DENSTAR, Daegu, Korea; Probocure, Dio, Busan, Korea)에 넣어서 최종 경화시켰다. 절삭 가공법에 의한 시편 제작을 위해 먼저 디자인한 파일을 computer-aided manufacturing (CAM) software (hyperDENT, FOLLOW-ME! Technology GmbH, Munich, Germany)로 전송하고 공구경로를 설정하였으며, milling machine으로 PMMA 블록을 밀링하였다. 전통적인 방법을 이용한 시편 제작은 11 × 11 × 13 mm의 실리콘 몰드에 자가중합형 PMMA를 채워 넣음으로써 완성하였다. 모든 수복용 레진 시편은 15 × 15 ×

13 mm의 실리콘 몰드에 투명 레진으로 포매하였다. 포매된 시편은 #600, #1000 실리콘 카바이드 종이를 이용해서 순차적으로 연마하였다. Steatite 시편과 동일하게 추후 중첩 시 필요한 레퍼런스 포인트를 각 수복용 레진 시편에 형성하였다 (Fig. 1).

마모도 시험 전 시편의 Standard Triangulated Language (STL) 파일을 얻기 위해 3D 스캐너(MD-ID200, MEDIT, Seoul, Korea)를 이용하여 포매한 시편을 스캔하였다. 마모 실험을 위하여 수평, 수직운동이 가능한 저작 재현 시험기(Dual-Axis Chewing Simulator, Taewon tech, Incheon, Korea)를 사용하였으며, 상부에는 steatite 시편, 하부에는 수복용 레진 시편을 전용의 jig에 고정하였다 (Fig. 2). 수평운동 5 mm, 수직운동 2 mm, 수직하중은 49 N, 왕복운동빈도는 0.8 Hz로 설정하고 5°C/55°C 조건에서 60초간격으로 열순환 처리하였으며, 총 30,000회 시행하였다.

마모도 시험 후, 수복용 레진 시편의 STL파일을 얻기 위하여 마모 전과 동일하게 3D 스캐너를 이용하여 시편을 스캔하였다. 마모 전후의 STL파일을 CAD software (Exocad DentalCAD, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)에서 중첩하여 동일한 좌표값을 가지도록 설정하였다. CAD software (Fusion 360, Autodesk, San Rafael, CA, USA)를 이용하여 동일한 좌표값을 가지는 마모 전후의 STL파일을 불러온 후, 부피측정이 가능한 solid 파일로 변환하였다. 마모된 부위만을 section하여 마모량

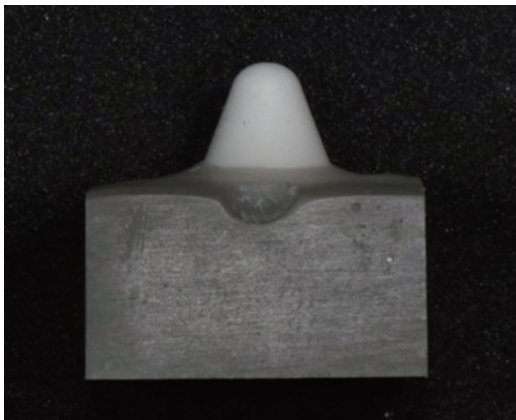


Fig. 1. Preparation of the steatite specimens.

Table 2. Mean values and SDs of wear losses in each group (unit: mm³)

Group	Wear loss
S3P	3.178 ± 0.791 ^a
D3P	1.507 ± 0.853 ^a
MIL	1.349 ± 1.070 ^a
CON	8.242 ± 2.625 ^b

Same superscripted letters mean that values are not significantly different ($P > .05$).

S3P: SLA 3D printed resin; D3P: DLP 3D printed resin; MIL: milled resin; CON: conventionally self-cured resin

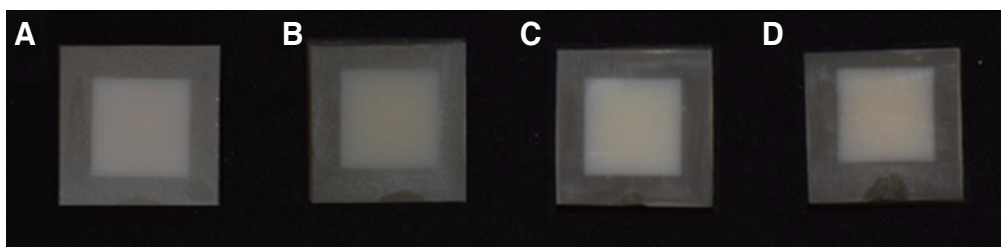


Fig. 2. Preparation of the resin specimens. (A) S3P, (B) D3P, (C) MIL, (D) CON (S3P: SLA 3D printed resin; D3P: DLP 3D printed resin; MIL: milled resin; CON: conventionally self-cured resin).

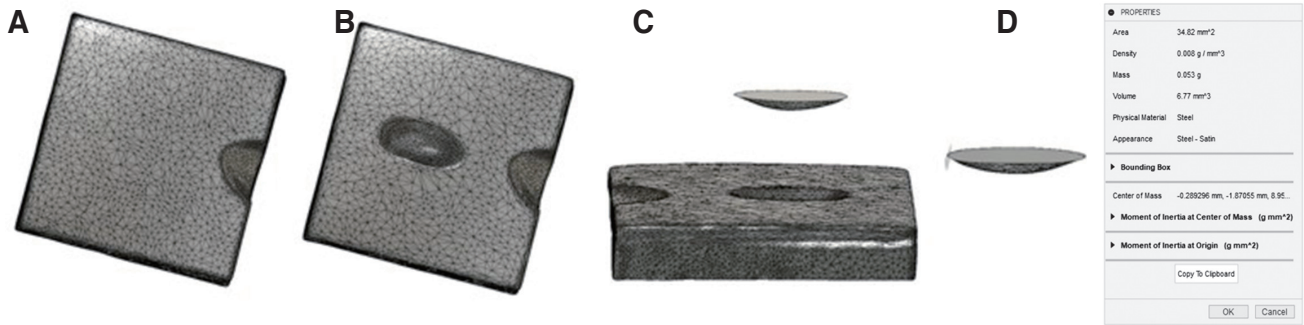


Fig. 3. Measurement protocol of wear losses. (A) Solid file of specimen before the wear test, (B) Solid file of specimen after the wear test, (C) Sectioning the worn region in the overlapping file before (A) and after (B) test, (D) Measurement of wear losses of worn region.

을 측정하였다 (Fig. 3).

수복용 레진 시편의 마모량을 통계분석 프로그램(SPSS, IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)로 분석하고, 사후검증은 Dunnett T3 analysis를 이용하여 각 군의 유의성을 검증하였다 ($\alpha = .05$).

결과

실험 후 각 군의 마모량을 측정한 평균과 표준편차는 Table 2과 같았다. CON군($8.242 \pm 2.625 \text{ mm}^3$)의 마모량이 가장 컸으며, S3P군($3.178 \pm 0.791 \text{ mm}^3$), D3P군($1.507 \pm 0.853 \text{ mm}^3$), MIL군($1.349 \pm 1.070 \text{ mm}^3$) 순으로 작았다. CON군의 마모량은 S3P군, D3P군, MIL군보다 유의하게 컸으며 ($P < .05$), S3P군, D3P군, MIL군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 ($P > .05$) (Table 2, Fig. 4).

마모도 실험 후 각 군의 마모면의 주사전자현미경 사진을 Fig. 5에 나타내었다. S3P군과 D3P군에서는 대합치의 운동 방향에 따른 마모 흔적과 더불어 운동 방향에 대해 수직적으로 갈라진 흔적이 보였으며, 이는 D3P군에서보다 S3P군에서 보다 명확하게 관찰되었다. 한편, MIL군에서는 전반적으로 균일한 마모면과 더불어 소수의 갈라진 틈과 뜯겨져 나간 흔적이 보였으며, CON군에서는 대합치의 운동 방향에 따른 뚜렷한 마모 흔적과 다수의 구멍 및 기포가 관찰되었다.

고찰

현재 3D 프린팅 기술이 치과영역에서 큰 잠재력을 가지고 있다는 것은 의심할 여지가 없다. 그 중에서도 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작한 임시 보철물은 제작 시간이 단축되어 환자의 chair-time을 줄여준다는 장점을 가지고 있다.²⁴ 현재까지 3D 프린팅 방법으로 제작한 임시 수복용 레진은 기계적강도와 정확도에 치중되어 연구되어 왔으나,²⁴⁻²⁷ 내마모성과 관련된 연구는 거

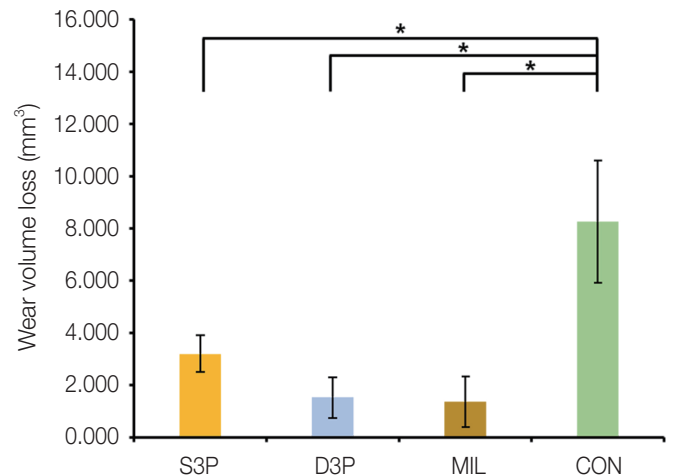


Fig. 4. The mean value (mm^3) and standard deviation of wear losses of the resin materials after wear test. The columns connected by bars were significantly different (S3P: SLA 3D printed resin; D3P: DLP 3D printed resin; MIL: milled resin; CON: conventionally self-cured resin).

의 전무한 실정이었다. 낮은 내마모성을 가지는 임시 수복물은 구강내에서 기능함에 따라 교합관계가 불안정해지고 이는 치아의 저작기능과 심미성을 잃게 만드므로 재료의 내마모성에 관한 연구는 필수적이다.²¹

마모도를 평가하는 방법에는 *in vivo* 실험과 *in vitro* 실험으로 크게 분류할 수 있으며, *in vivo* 실험은 시간과 비용이 많이 소모되고 교합력, 환경요인과 같은 변수를 완전히 통제하기가 힘들기에 실험결과를 표준화하기가 어렵다는 단점이 있다.^{28,29} 이와

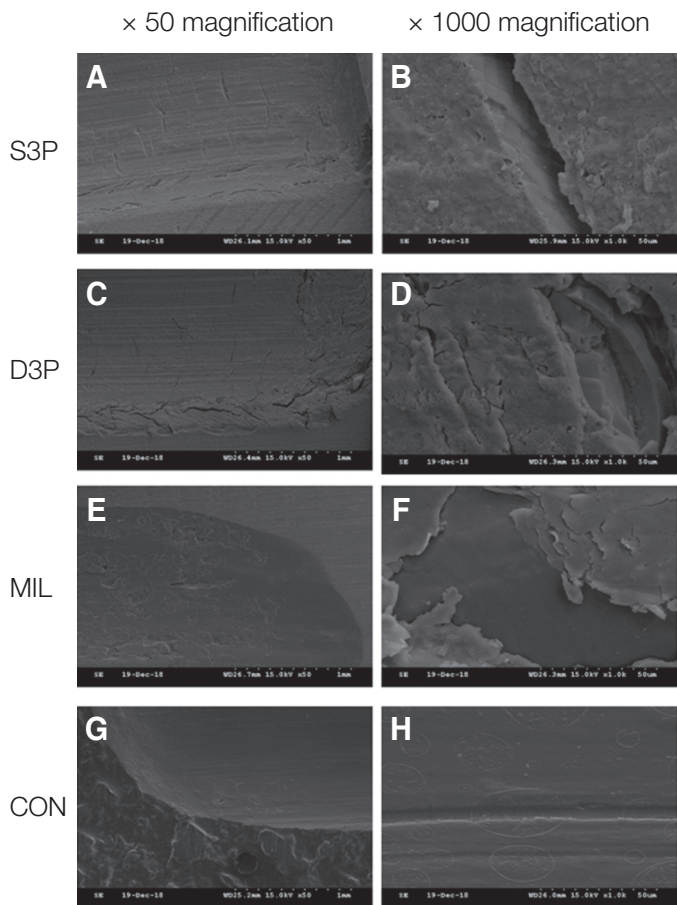


Fig. 5. SEM image of the worn surfaces of the resin materials after wear test (S3P: SLA 3D printed resin; D3P: DLP 3D printed resin; MIL: milled resin; CON: conventionally self-cured resin).

같은 이유로 *in vitro* 실험이 주로 선호되고 있으며,^{28,29} 본 연구에서도 *in vitro* 실험을 통해 임시 수복용 재료의 마모도를 평가하고자 하였다. 한편, 본 연구의 대합치로는 법랑질의 표면경도와 유사한 steatite를 사용하였으며,³⁰ 3D 프린팅을 기술을 이용하여 임시 수복용 재료를 평가한 기존 연구에서 100 μ m 적층 두께가 가장 뛰어난 최대응력 값을 가진다고 보고함에 따라 본 연구에서도 100 μ m를 적층 두께로 설정하였다.²⁶ 마모도 시험을 위하여 2축으로 움직이는 chewing simulator를 이용하였으며 two-body 마모 실험으로 진행되었다. Two-body 마모 시험은 내마모성을 실험하는데 보편적으로 이용되며 치아와 대합되는 시편을 직접적으로 접촉시켜서 진행되는 마모실험이다.³¹ 본 실험은 이전 연구에서 사용된 49 N의 힘을 저작력으로 설정하였고 저작운동과 동시에 인공적인 aging효과와 마모 잔여물들이 시편에 잔류되는 것을 막기 위하여 열순환(5°C/55°C)을 시행하였다.²² 평균적으로 사람의 저작운동은 1년에 240,000 - 250,000회 시행하고 임시 보철물의 사용기간을 평균적으로 한달 반 정도라고 가정함에 따라, 본 연구에서는 임상적으로 한달 반에 해당하는 30,000회의 저작운동을 시행하였다.³²

본 실험 결과, CON군에서 마모도가 가장 컸으며, MIL군에서 마모도가 가장 작았다. 한편, S3P군, D3P군, MIL군은 CON군보다 적은 마모량을 보였으며 ($P < .05$), CON군을 제외한 모든 군들 사이에는 유의한 차이가 없었다 ($P > .05$). 이에 3D 프린팅된 임시 수복용 재료는 기존의 재료들과 비교하여 비슷한 내마모성을 보여주었다고 말할 수 있을 것이다. 이러한 결과는 사용된 레진의 종류와도 관련이 있다고 사료된다. CON군의 자가중합형 PMMA는 재료를 다루는 술자의 숙련도에 따라 레진 혼합과정 중에 기포가 생성할 수 있고 (Fig. 5), 이러한 빈 공간은 낮은 기계적 강도와 굴곡강도의 원인이 된다.³³ Albashairch 등³⁴은 낮은 굴곡강도를 가지는 재료에서 높은 마모도를 보인다고 보고함에 따라 CON군에서 가장 많은 마모량이 관찰된 본 연구 결과를 어느 정도 뒷받침할 수 있으리라 생각된다. MIL군의 밀링용 PMMA 블록은 cross-linked PMMA를 기반으로 산업 공정에서 제작된 고밀도의 중합체로서 높은 기계적 강도와 낮은 다공성을 가지기 때문에,^{35,36} 가장 낮은 마모량을 보였을 것으로 짐작할 수 있다. 한편, 3D 프린팅 기술로 제작된 S3P군과 D3P군은 MIL군보다 상대적으로 많은 마모량을 보였는데, 이는 제작 방식에 따른 차이로 생각된다.^{37,38} 즉, MIL군은 고밀도의 밀링용 PMMA 블록을 절삭 가공법으로 제작하는 반면, 3D 프린팅 기술을 이용한 군(S3P군, D3P군)들은 광경화성 수지를 적층 가공법으로 제작하기 때문에 각 층간의 접착력의 강도가 마모도에 간접적인 영향을 끼쳤을 것으로 짐작된다.

한편, 3D 프린팅 적층 방향이 보철물의 정밀도 및 재료의 기계적 특성에 영향을 줄 수 있다고 이전의 연구들이 보고되고 있다.^{26,38} Alharbi 등²⁵은 힘의 방향에 대하여 3D 프린팅된 보철물의 적층 방향이 수평인 경우가 수직인 경우보다 더 큰 압축강도를 보인다고 하였고, Park 등³⁸은 3D 프린팅 적층 방향과 가해진 힘의 방향이 수직인 경우보다 평행인 경우에서 인장강도가 더 크다고 하였다. 반면에 3D 프린팅 적층 방향과 마모도의 연관성에 대한 기존 연구는 전무하다. 따라서 3D 프린팅 적층 방향에 따른 기계적 특성을 비롯해 마모도에 영향을 줄 수 있는 다양한 요인들을 고려하고 시편의 개수를 늘려서 추가적인 실험이 이루어져야 할 것이다. 또한, 본 실험에 사용된 교합력, 저작 습관, 온도 변화, 악궁에서의 치아 위치 등의 요소들이 실제 구강 내의 환경과 다르기 때문에 이후의 연구에서는 보다 객관적이고 신뢰할만한 결과를 얻기 위한 장기적인 임상 실험이 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구의 한계 내에서, 3D 프린팅된 임시 수복용 레진은 전통적인 방법으로 제작된 임시 수복용 레진과 비교하여 뛰어난 수준의 마모저항성을 보였고 milling 방식과는 비슷한 수준의 마모저항성을 보였다. 디지털 치의학이 급속히 보급되고 발전함에 따라, 3D 프린팅 기술은 계속 발전할 것이고 이를 기반으로 치과 분야에서 그 활용도가 점점 늘어날 것으로 사료된다.

ORCID

Jong-Ju Ahn <https://orcid.org/0000-0002-7771-9190>

Jung-Bo Huh <https://orcid.org/0000-0001-7578-1989>

Jae-Won Choi <https://orcid.org/0000-0001-6786-9251>

References

1. Takamizawa T, Barkmeier WW, Tsujimoto A, Scheidel D, Erickson RL, Latta MA, Miyazaki M. Mechanical properties and simulated wear of provisional resin materials. *Oper Dent* 2015;40:603-13.
2. Gough M. A review of temporary crowns and bridges. *Dent Update* 1994;21:203-7.
3. Fisher DW, Shillingburg HT Jr, Dewhirst RB. Indirect temporary restorations. *J Am Dent Assoc* 1971;82:160-3.
4. Melton D, Cobb S, Krell KV. A comparison of two temporary restorations: light-cured resin versus a self-polymerizing temporary restoration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;70:221-5.
5. Shillingburg HT, Sather DA, Wilson EL, Cain JR, Mitchell DL, Blanco LJ, Kessler JC. *Fundamentals of fixed prosthodontics*. 4th ed. Chicago; Quintessence Publishing; 2012. p.149-63.
6. Nigel Tom T, Uthappa MA, Sunny K, Begum F, Nautiyal M, Tamore S. Provisional restorations: An overview of materials used. *J Adv Clin Res Insights* 2016;3:212-4.
7. van Dijken JW. Direct resin composite inlays/onlays: an 11 year follow-up. *J Dent* 2000;28:299-306.
8. Seo HS, Park JW, Hong SM, Lee SR. Comparative analysis of immediate functional loading and conventional loading about implant survival rate in the completely edentulous: Retrospective study. *J Korean Dent Assoc* 2014;52:771-82.
9. Bennani V. Fabrication of an indirect-direct provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent* 2000;84:364-5.
10. Song KY, Sorensen JA. Marginal adaptation of new provisional materials for fixed prosthodontics. *J Dent Rehabil Appl Sci* 1997;13:247-55.
11. Lee S. Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2016;43:93-108.
12. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *J Am Dent Assoc* 2006;137:1289-96.
13. Kim SJ, Jo KH, Lee KB. A comparison of the fidelity of various zirconia-based all-ceramic crowns fabricated with CAD/CAM systems. *J Korean Acad Prosthodont* 2009;47:148-55.
14. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12.
15. Landers R, Pfister A, Hübner U, John H, Schmelzeisen R, Mülhaupt R. Fabrication of soft tissue engineering scaffolds by means of rapid prototyping techniques. *J Mater Sci* 2002;37:3107-16.
16. Barry B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons* 2012;55:155-62.
17. Santosa RE. Provisional restoration options in implant dentistry. *Aust Dent J* 2007;52:234-42.
18. Givens EJ Jr, Neiva G, Yaman P, Dennison JB. Marginal adaptation and color stability of four provisional materials. *J Prosthodont* 2008;17:97-101.
19. Fox CW, Abrams BL, Doukoudakis A. Provisional restorations for altered occlusions. *J Prosthet Dent* 1984;52:567-72.
20. Asefi S, Eskandarion S, Hamidiaval S. Fissure sealant materials: Wear resistance of flowable composite resins. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2016;10:194-9.
21. Suwannaroop P, Chaijareenont P, Koottathape N, Takahashi H, Arksornnukit M. In vitro wear resistance, hardness and elastic modulus of artificial denture teeth. *Dent Mater J* 2011;30:461-8.
22. Park JM, Ahn JS, Cha HS, Lee JH. Wear resistance of 3D printing resin material opposing zirconia and metal antagonists. *Materials (Basel)* 2018;11:1043.
23. Astudillo Rubio D, Delgado Gaete A, Bellot-Arcís C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM. Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2018;13:e0193162.
24. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, Ferracane JL, Bertassoni LE. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater* 2018;34:192-200.
25. 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;115:760-7.
26. Digholkar S, Madhav VN, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc* 2016;16:328-34.
27. 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;29:503-10.
28. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res* 1989;68:1752-4.
29. Yi HJ, Jeon YC, Jeong CM, Jeong HC. An in-vitro wear study of indirect composite resins against human enamel. *J Korean Acad Prosthodont* 2007;45:611-20.
30. Kern M, Strub JR, Lü XY. Wear of composite resin veneering materials in a dual-axis chewing simulator. *J Oral Rehabil* 1999;26:372-8.
31. Heintze SD, Zappini G, Rousson V. Wear of ten dental restorative materials in five wear simulators--results of a round robin test. *Dent Mater* 2005;21:304-17.

32. DeLong R, Sakaguchi RL, Douglas WH, Pintado MR. The wear of dental amalgam in an artificial mouth: a clinical correlation. *Dent Mater* 1985;1:238-42.
33. Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater* 2011;27:339-47.
34. Albashaireh ZS, Ghazal M, Kern M. Two-body wear of different ceramic materials opposed to zirconia ceramic. *J Prosthet Dent* 2010;104:105-13.
35. Chadwick RG. Thermocycling-the effects upon the compressive strength and abrasion resistance of three composite resins. *J Oral Rehabil* 1994;21:533-43.
36. Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent* 1996;24:141-8.
37. Bae EJ, Jeong ID, Kim WC, Kim JH. A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *J Prosthet Dent* 2017;118:187-93.
38. Park C, Kim MH, Go JS, Hong SM, Shin BS. A study on the comparison mechanical properties of 3D printing prototypes with laminating direction. *J Korean Soc Manuf Technol Eng* 2015;24:334-41.

제작방법에 따른 임시 수복용 레진의 마모저항성에 관한 연구

안종주¹ · 허중보¹ · 최재원^{1,2*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실, ²부산대학교 중개치의학연구소

목적: 본 연구의 목적은 적층 가공(additive manufacturing)법, 절삭 가공(subtractive manufacturing)법, 전통적인 방법에 따른 임시 수복용 레진의 마모저항성을 조사하는 것이다.

재료 및 방법: 제작방법에 따라 4개의 군으로 나누었으며, 각 군은 전용의 임시 수복용 레진을 사용하였다: S3P군, Stereolithography apparatus (SLA) 3D 프린터 및 전용의 광경화성 수지로 제작한 군; D3P군, Digital Light Processing (DLP) 3D 프린터 및 전용의 광경화성 수지로 제작한 군; MIL군, Milling machine 및 밀링용 레진 블록으로 제작한 군; CON군, 전통적인 방법 및 자가중합형 레진으로 제작한 군. 한편, 3D 프린팅된 레진 시편을 제작함에 있어 적층 각도와 층 두께를 각각 0°와 100 µm로 설정하였다. 구강내 환경을 재현하기 위하여 열순환 처리와 수평, 수직운동이 가능한 2축 chewing simulator를 사용하였으며, 하부에는 한쪽면이 편평하게 제작된 임시 수복용 레진을, 상부에는 끝이 3 mm 직경을 가지는 원뿔형의 steatite를 고정하여 마모시험 진행하였다(5 kg, 30,000회, 0.8 Hz, 5°C/55°C). 임시 수복용 레진의 마모량은 마모 전후의 Standard Triangulated Language (STL) 파일과 전용의 CAD software를 이용하여 부피를 계산하였고, 주사전자현미경으로 마모 양상을 비교하였다.

결과: S3P군, D3P군, MIL군의 마모량은 CON군보다 유의하게 작았으며 ($P < .05$), S3P군, D3P군, MIL군 사이에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 ($P > .05$). 주사전자현미경으로 마모면을 관찰한 결과, S3P군과 D3P군에서는 대합치의 운동 방향에 대해 수직적으로 갈라진 흔적이 발견되었다. MIL군에서는 전반적으로 균일한 마모면이 보인 반면, CON군에서는 대합치 운동 방향으로의 뚜렷한 마모 흔적과 다수의 기포가 관찰되었다.

결론: 본 연구의 한계 내에서, 3D 프린팅된 임시 수복용 레진은 치과용으로서 적절한 마모저항성을 보였다. (대한치과보철학회지 2019;57:110-7)

주요단어: 3D 프린팅; 적층 가공; 절삭 가공; 레진; 마모

*교신저자: 최재원

50612 경북 양산시 물금읍 금오로 20 부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실

055 360 5133; e-mail, won9180@hanmail.net

원고접수일: 2019년 1월 21일 / 원고최종수정일: 2019년 2월 11일 / 원고채택일: 2019년 2월 14일

© 2019 대한치과보철학회

CC 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 4.0 대한민국 라이선스에 따라 이용할 수 있습니다.

※이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.