

제작방법에 따른 임시 수복용 레진의 파절강도 및 굴곡강도에 관한 연구

조원탁 · 최재원*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실

Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods

Won-Tak Cho, Jae-Won Choi*

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

Purpose: This study was undertaken to compare fracture and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by additive manufacturing, subtractive manufacturing, and conventional direct technique. **Materials and methods:** Five types of provisional restorative resin made with different methods were investigated: Stereolithography apparatus (SLA) 3D printer (S3Z), two digital light processing (DLP) 3D printer (D3Z, D3P), milling method (MIL), conventional method (CON). For fracture strength test, premolar shaped specimens were prepared by each method and stored in distilled water at 37°C for 24 hours. Compressive load was measured using a universal testing machine (UTM). For flexural strength test, rectangular bar specimens (25 × 2 × 2 mm) were prepared by each method according to ISO 10477 and flexural strength was measured by UTM. **Results:** Fracture strengths of the S3Z, D3Z, and D3P groups fabricated by additive manufacturing were not significantly different from those of MIL and CON groups ($P>.05/10=.005$). On the other hand, the flexural strengths of S3Z, D3P, and MIL groups were significantly higher than that of CON group ($P<.05$), but the flexural strength of D3Z group was significantly lower than that of CON group ($P<.05$). **Conclusion:** Within the limitation of our study, provisional restorative resins made from additive manufacturing showed clinically comparable fracture and flexural strength as those made by subtractive manufacturing and conventional method. (*J Korean Acad Prosthodont* 2019;57:225-31)

Keywords: Additive manufacturing; Subtractive manufacturing; Fracture strength; Flexural strength; Resin

서론

임시 수복물은 최종 보철물을 장착될 때까지 삭제된 치아의 치수를 보호하고 치아의 정출이나 경사를 방지하는 역할을 한다.^{1,2} 한편, 적절한 교합 기능을 제공해야 하고 청결 유지 및 마모 저항성이 우수해야 하며 강도가 높고 심미적이어야 한다.² 일반적인 임시 수복물의 사용기간은 일주일 내외이지만, 임플란트 시술의 증가에 따라 임시 수복물 사용기간이 짧게는 2개월, 길게는 6개월까지 증가되고 있는 추세이다.¹

기존의 임시 수복물의 제작방법은 구강 내에서 직접 제작하는

직접법과 인상 채득 후 모형 상에서 제작하는 간접법으로 분류할 수 있으며, 직접법은 비교적 정확한 수복물 제작이 가능하다는 장점이 있는 반면 가공 과정이 복잡하고 술자의 숙련도에 민감하다는 단점이 있다.³ 최근에는 치과용 수복물을 제작함에 있어 절삭 가공법(subtractive manufacturing technology) 및 적층 가공법(additive manufacturing technology)을 활용함에 따라 술자의 숙련도에 따른 오차를 최소화할 수 있게 되었다.⁴

절삭 가공법은 스캐너로 획득한 환자 구강 데이터를 computer-aided design (CAD) 소프트웨어에 불러들여 수복물을 디자인하고 milling machine을 이용하여 블록 형태의 재료를 절삭하는

*Corresponding Author: Jae-Won Choi

Department of Prosthodontics, 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 May 2, 2019 / Last Revision May 28, 2019 / Accepted May 30, 2019

©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.

방식이다.⁵ 이러한 방식은 일률적인 수복물 제작이 가능하고 제작 과정이 단순할 뿐만 아니라 재료 선택의 폭이 넓은 것이 장점이다.⁶ 그러나 절삭되는 부분이 많고 재활용할 수 없기 때문에 재료의 낭비가 심하고, 재료의 강도가 높아짐에 따라 고성능, 고가의 장비가 요구되며 bur의 직경에 따라 함몰부위의 세밀한 재현 능력이 떨어지는 단점이 있다.⁶

적층 가공법은 3D 프린팅 기술을 대표적인 예로 들 수 있으며, 금속이나 플라스틱 등의 물질을 분사 또는 적층하는 방식으로 층층이 쌓아 올려 물체를 조형하는 기술로, 사용하는 재료에 따라 여러 가지 종류로 분류할 수 있다.⁷ 그 중 액상의 재료를 사용하는 종류로는 stereolithography apparatus (SLA), digital light processing (DLP), continuous liquid interface production (CLIP), photopolymer jetting (PolyJet)이 있으며, 치과 분야에서는 주로 SLA와 DLP 3D 프린터들이 개발되어 사용되고 있다.⁷ SLA 3D 프린터는 광경화성 액상 수지에 자외선 레이저를 조사하여 광중합하고 플랫폼이 상, 하 축으로 움직임에 따라 각 층의 점(point)단위로 적층 및 경화된다.⁸ 따라서 출력물이 정밀하고 표면 조도가 우수하다는 것이 장점이지만, 빛을 이용해 조형하기 때문에 출력물이 변질되는 단점이 있다.⁷ 한편 DLP 3D 프린터는 SLA 3D 프린터와 같이 액상의 수지에 자외선 레이저를 조사하지만, 점(point)단위로 경화시키는 SLA 3D 프린터와 달리 각 층을 면(face)단위로 한 번에 조사하여 적층 하기 때문에 출력물이 정밀하고 질이 우수하며 제작 시간이 단축된다는 장점이 있지만, SLA와 마찬가지로 액상의 수지를 사용하기에 선택할 수 있는 재료가 한정적이고 색상의 한계점이 존재한다.^{7,8}

임플란트 시술이 보편화되고 증가하고 임시 수복물의 사용이 장기화됨에 따라, 환자의 구강 내에서 임시 수복물이 오랫동안 기능하기 위해서는 높은 파절강도와 굴곡강도가 요구되고 있다.¹ 이전에 임시 수복용 레진의 기계적 특성에 관한 많은 연구들이 있었으나, 그 재료와 제작방법이 전통적인 방식(직접법, 간접법)과 절삭 가공법에 주로 국한되어 왔었다.⁹⁻¹² 한편 치과 분야에서 적층 가공법에 대한 관심과 수요가 높아지고 국내에서도 자체의 기술력을 바탕으로 한 적층 가공법이 임시 수복물 제작에 활용되고 있으나, 아직까지 국내 기술로 개발된 3D 프린터 및 치과용 재료로 제작된 임시 수복용 레진의 기계적 특성을 비교한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 기술의 적층 가공법으로 제작된 임시 수복용 레진과 기존의 절삭 가공법 및

전통적인 방식으로 제작된 임시 수복용 레진의 파절강도와 굴곡강도를 비교 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

임시 수복물을 제작하는 방법과 재료에 따라 총 5개의 군으로 분류하였으며 다음과 같이 명명하였다 (Table 1). S3Z군: A사의 SLA 3D 프린터(ZENITH U, Dentis, Daegu, Korea)와 광경화 수지(ZMD-1000B TEMPORARY, Dentis, Daegu, Korea)를 사용한 군, D3Z군: A사의 DLP 3D 프린터(ZENITH D, Dentis, Daegu, Korea)와 광경화 수지(ZMD-1000B TEMPORARY, Dentis, Daegu, Korea)를 사용한 군, D3P군: B사의 DLP 3D 프린터(PROBO, DIO, Busan, Korea)와 광경화 수지(3DCNB-500, DIO, Busan, Korea)를 사용한 군, MIL군: Milling machine (ARUM 4X-100, DOOWON ID, Daejeon, Korea)과 polymethyl methacrylates (PMMA) 블록(TS PMMA block, TS Dental, Tian Shwu Hailiao, Tainan, Taiwan)을 사용한 군, CON군: Conventional 방식과 자가 중합 레진(Tokuso cure fast, Tokuyama Dental, Tokyo, Japan)을 사용한 군.

파절강도용 시편은 CAD software (Exocad DentalCAD, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)와 milling machine (ARUM 4X-100, DOOWON ID, Daejeon, Korea)을 이용하여 직경 5 mm, 높이 6 mm, 경사도 3°, 그리고 chamfer margin 1.2 mm을 가지는 5개의 금속 다이를 제작하고 clear resin (Orthodontic resin, Dentsply/Caulk, Milford, DE, USA)에 포매하였다. 임시 수복용 크라운 제작을 위해 실험용 금속 다이를 3D 스캐너 (MD-ID200, MEDIT, Seoul, Korea)를 이용하여 스캔하고 CAD software (Exocad DentalCAD, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)로 교합면 두께 1.5 mm의 소구치 형태로 디자인하였다 (Fig. 1). 임시 수복물과 금속 다이 사이의 시멘트 공간은 0.03 mm로 설정하였다. S3Z군, D3Z군, D3P군은 각각의 3D 프린터와 전용의 광경화성 수지를 이용하여 적층 가공하였다. 시편의 출력각도는 플랫폼의 수평면과 0°가 되도록 하였고, 층 두께는 100 µm로 설정하였다. MIL군은 PMMA 블록(TS PMMA block, TIAN SHWU CO, Hailiao, Tainan, Taiwan)을 milling machine (ARUM 4X-100, DOOWON ID, Daejeon, Korea)으로 절삭하여 제작하였다. CON군의 시편 제작을 위해 우선 절

Table 1. Information about methods and materials used in this study

Group	Method	Product	Manufacturer	Material	Type
S3Z	SLA 3D Printing	ZENITH U	Dentis, Daegu, Korea	ZMD-1000B TEMPORARY	Acrylate Photopolymer
D3Z	DLP 3D Printing	ZENITH D	Dentis, Daegu, Korea	ZMD-1000B TEMPORARY	Acrylate Photopolymer
D3P	DLP 3D Printing	PROBO	DIO, Busan, Korea	3DCNB-500	Bis-acrylic
MIL	Milling	ARUM 4X-100	DOOWON ID, Daejeon, Korea	TS Dental	PMMA
CON	Conventional	-	-	Tokuso Cure Fast	PMMA



Fig. 1. Specimens prepared by each method for fracture strength test. (A) S3Z, (B) D3Z, (C) D3P, (D) MIL, (E) CON. S3Z, Resin printed by ZENITH SLA 3D printer; D3Z, Resin printed by ZENITH DLP 3D printer; D3P, Resin printed by PROBO DLP 3D printer; MIL, milled resin; CON, conventionally self-cured resin.

삭 가공된 임시 수복물을 금속 다이에 고정하고 실리콘 인상재 (Imprint II Garant regular, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)를 이용하여 몰드를 제작하였다. 몰드에는 여분의 레진이 빠져나갈 수 있도록 협설측 방향으로 구멍을 형성하였다. 임시 수복물을 금속 다이에서 제거한 후, 금속 다이 위에 0.03 mm 두께의 다이 스페이서(Rubber-sep, Bisco, Schaumburg, IL, USA)를 도포하였다. 제작한 몰드(Imprint II Garant regular, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)에 자가 중합 레진(Tokuso cure fast, Tokuyama Dental, Tokyo, Japan)을 제조사의 지시에 따라 1:1 혼합하여 주입하고, 금속 다이에 삽입하여 3분30초 간 경화 후 분리하였다. 각 군당 임시 수복물은 총 8개씩 제작하였다.

파절강도를 평가하기 전, 금속 다이에 제작된 임시 수복물을 시멘트(Tempbond NE, Kerr Co., CA, USA)로 합착하고, 37°C의 증류수에 24시간 보관하였다. 파절강도 측정을 위하여 universal testing machine (Instron Co., Canton, Orange, CA, USA)을 사용하였으며, 끝이 4 mm 직경의 구 형상을 가지는 금속 지그를 이용하여 분당 1 mm의 속도로 시편의 중심에 대해 90° 각도로 수직 하중을 가하였다 (Fig. 2).

굴곡강도용 시편은 ISO 10477:2004에 따라 CAD software (Exocad DentalCAD, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)로 25 × 2 × 2 mm 크기의 굴곡강도용 레진 시편을 디자인하였다. S3Z군, D3Z군, D3P군은 파절강도용 시편 제작과 동일한 조건에서 각각의 3D 프린터와 전용의 광경화성 수지를 이용하여 적층 가공하였으며, MIL군은 PMMA 블록(TS PMMA block, TIAN SHWU Co., Hailiao, Tainan city, Taiwan)을 절삭 가공하여 제작 완료하였다. CON군은 시편 제작의 용이함과 반복성을

위해 25 × 2 × 2 mm 크기의 실리콘 몰드(Imprint II Garant regular, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)를 제작하였으며, 자가 중합 레진(Tokuso cure fast, Tokuyama Dental, Tokyo, Japan)을 주입하고 아크릴판으로 1.5 kg의 하중을 가하여 3분 30초간 경화시킨 후 최종 완성하였다. 각 군당 총 10개의 레진 시편을 제작하였다 (Fig. 3).



Fig. 2. Fracture strength test with the universal testing machine.

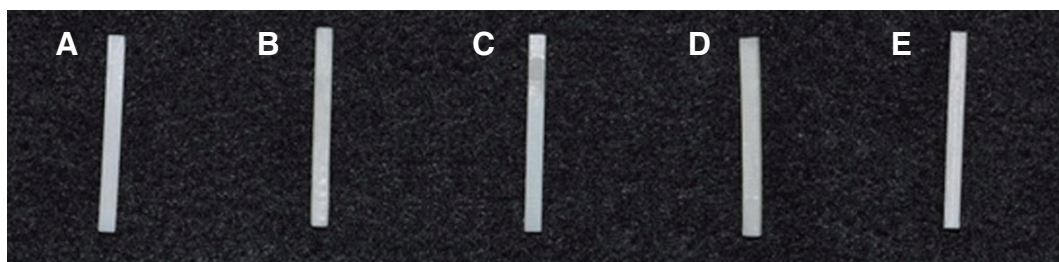


Fig. 3. Specimens for flexural strength test. (A) S3Z, (B) D3Z, (C) D3P, (D) MIL, (E) CON. S3Z, Resin printed by ZENITH SLA 3D printer; D3Z, Resin printed by ZENITH DLP 3D printer; D3P, Resin printed by PROBO DLP 3D printer; MIL, milled resin; CON, conventionally self-cured resin.

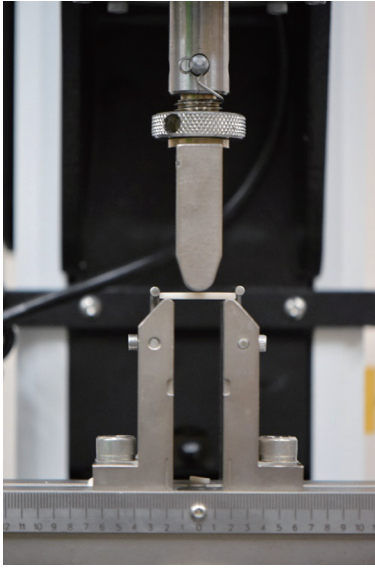


Fig. 4. Flexural strength test with the universal testing machine.

굴곡강도의 측정은 시편을 37°C의 증류수에 24시간 보관 후 universal testing machine으로 3점 굽힘 시험을 하였다. 두 지지대의 거리는 20 mm로 설정하였으며, 분당 1 mm의 속도로 시편의 중심에 대해 90° 각도로 시편이 파절될 때까지 하중을 가하였다 (Fig. 4). 시편이 파절되는 시점에 가해진 하중을 N 단위로 측정하였으며, 다음의 공식으로 굴곡 강도(MPa)를 계산하였다.¹³

$$\sigma = 3Fl / 2bh^2$$

- σ: 굴곡강도(MPa)
 F: 시편에 가해진 최고 하중(N)
 l: 지지대 간의 거리(mm)
 b: 시편의 폭(mm)
 h: 시편의 두께(mm)

통계분석에는 통계분석 프로그램(SPSS, IBM, Chicago, IL, USA)을 사용하여 Shapiro-Wilk로 정규성을 검정하였다. 파절 강도에 따른 군 간 비교를 위해 비모수 통계법인 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney U test 및 Bonferroni correction ($\alpha = .05/10 = .005$)를 시행하였으며, 굴곡강도에 따른 군 간 비교를 위해서는 일원분산분석(One-way ANOVA)과 Dunnett t3 검정($\alpha = .05$)을 시행하였다.

결과

실험 후 파절강도의 평균값과 표준편차는 Fig. 5, Table 2와 같았다. 파절강도는 D3P군(1069.15 ± 153.23 N)에서 가장 크고 D3Z군(1020.99 ± 139.13 N), S3Z군(987.50 ± 74.37 N), MIL군(748.49 ± 135.61 N), CON군(678.48 ± 152.16 N)순으로 작

았다. S3Z군, D3P군의 파절강도는 MIL군, CON군보다 높은 값을 보였으며 ($P < .05/10 = .005$), D3Z군의 파절강도는 CON군보다 유의하게 높았다 ($P < .05/10 = .005$). 한편 S3Z군, D3Z군, D3P군 및 MIL군, CON군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 ($P > .05/10 = .005$).

각 군별 굴곡강도는 Fig. 6, Table 3과 같았다. 굴곡 강도는 MIL군(168.57 ± 2.06 MPa)이 가장 크고 D3P군(146.37 ± 7.52 MPa), S3Z군(116.08 ± 14.46 MPa), CON군(89.54 ± 6.99 MPa), D3Z군(46.83 ± 3.44 MPa)순으로 작았다. 상호 각 군이 모두 유의한 차이를 보였다 ($P < .05$).

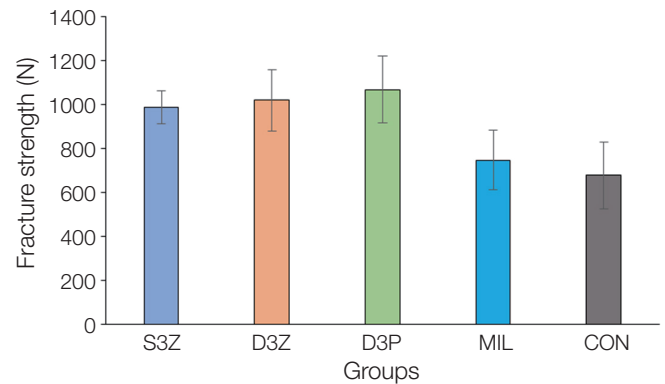


Fig. 5. Fracture strength values of tested group (unit: N). Values followed by the same letter were significantly different ($P < .05/10 = .005$).

Table 2. Fracture strength values (mean ± SD) of tested group (unit: N)

Group	Mean ± SD	Maximum	Minimum
S3Z	987.50 ± 74.37 ^{ab}	1070.50	853.03
D3Z	1020.99 ± 139.13 ^c	1325.48	879.72
D3P	1069.15 ± 153.23 ^{de}	1435.53	893.00
MIL	748.49 ± 135.61 ^{ad}	993.86	557.62
CON	678.48 ± 152.16 ^{bcc}	875.25	317.60

Values followed by the same letter were significantly different ($P < .05/10 = .005$).

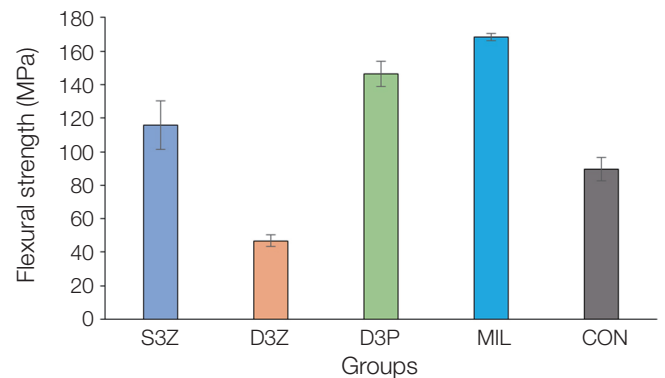


Fig. 6. Flexural strength values (mean ± SD) of tested group (unit: MPa). Values followed by the same letter were significantly different ($P < .05$).

Table 3. Flexural strength values (mean \pm SD) of tested group (unit: MPa)

Group	Mean \pm SD	Maximum	Minimum
S3Z	116.08 \pm 14.46 ^a	140.70	97.46
D3Z	46.83 \pm 3.44 ^a	52.13	41.63
D3P	146.37 \pm 7.52 ^a	157.46	134.51
MIL	168.57 \pm 2.06 ^a	171.19	164.36
CON	89.54 \pm 6.99 ^a	102.83	81.04

Values followed by the same letter were significantly different ($P < .05$).

고찰

적층 및 절삭 가공법으로 보철물을 제작하는 방법은 전통적인 방법에 비해 빠르고 간편할 뿐만 아니라 모형 및 납형 제작, 매물, 주조, 소환 등의 과정을 생략할 수 있다는 장점이 있어 전통적인 방법을 대체하는 수단으로 각광받고 있다.¹⁴ 그러나 임시 수복용 재료의 기계적 특성에 관한 선행 연구들은 그 재료와 제작방법이 전통적인 방식(직접법, 간접법)과 절삭 가공법에 국한되어 있었다.⁹⁻¹² 국내 치과분야에서도 적층 가공하는 방법에 대한 관심과 수요가 늘어나고 있으며, 임플란트 시술 증가로 임시 수복물의 사용이 장기화됨에 따라 국내에서 최근 개발된 적층 가공법과 절삭 가공법 그리고 전통적인 방법으로 제작된 임시 수복물의 파절강도와 굴곡강도를 평가해보았다.

Alharbi 등¹⁵은 적층 가공법으로 보철물을 제작하고 파절강도를 측정할 시에 출력 각도가 하중이 가해지는 방향과 수직일 경우 가장 높은 파절강도를 보였으며, 이는 시편의 층 내의 결합력이 층 간의 결합력보다 강하기 때문이라 하였다. 따라서 본 연구에서는 시편의 출력 각도와 하중이 가해지는 방향이 수직이 되도록 설정하였다. 또한 적층 가공법으로 제작된 임시 수복물의 기계적 특성을 평가한 선행 연구에서 100 μ m의 적층 두께에서 가장 뛰어난 최대 응력을 가진다는 연구결과에 따라 본 연구에서도 100 μ m를 적층 두께로 설정하였다.¹⁶

본 실험 결과, 파절강도에서는 적층 가공법으로 제작된 S3Z 군, D3Z군, D3P군이 CON군에 비해 모두 유의하게 높은 값을 보였다. 즉, 적층 가공법으로 제작된 임시 수복용 레진이 전통적인 방법으로 제작된 임시 수복용 레진보다 높은 파절강도를 보였다. 이는 사용된 레진의 종류와 관련이 있다고 사료된다. Matsumura와 Leinfelder¹⁷은 자가중합형 레진보다 광중합형 레진의 기계적 성질이 높다고 보고하였으며, 자가중합형 레진은 중합시 약 미반응 단량체 중 약 10%가 결합되지 않고 외부로 유출되며, 이렇게 유출된 미반응 단량체로 인해 낮은 물리적, 기계적 성질을 가지게 될 뿐만 아니라 생물학적인 영향으로 독성, 연하 시 위장관 자극 등의 문제 또한 발생할 수 있다.^{18,19} Matsumura와 Leinfelder¹⁷의 연구결과를 CON군의 자가중합형 레진보다 적층 가공법에 사용되는 광중합형 레진의 파절강도와 굴곡강도가 높게 나타난 본 연구의 결과와 일치한다.

굴곡강도에서는 PMMA 레진이 사용된 MIL군이 bis-acrylic 레진이 사용된 D3P군보다 높은 굴곡강도를 보였는데 이는 PMMA 블록이 bis-acrylic 레진보다 더 높은 기계적 특성을 가진다는 선행 연구 결과와 일치한다.¹ 한편 동일한 PMMA 레진을 사용한 MIL군과 CON군의 굴곡강도 비교 시 MIL군에서 더 높은 값을 보였는데, 이는 블록 형태의 완제품을 절삭 가공하여 제작하는 것과 술자가 직접 powder와 liquid를 혼합하여 제작하는 것에 따른 차이라고 사료된다. 즉 MIL군의 PMMA 블록은 제조 과정에서 압축을 통해 기포를 최소화하고 안정적인 중합이 가능할 뿐만 아니라 술자의 기술적 민감도가 적은 반면, CON군은 술자의 경험과 숙련도에 따라 제조 과정 중에 생성된 미세 기포 등이 굴곡강도에 영향을 미친 것으로 사료된다.^{20,21}

한편, D3P군과 D3Z군은 제조사는 다르지만 동일한 DLP 3D 프린터로, 굴곡강도에서는 극명한 차이를 보인 반면, 파절강도에서는 비슷한 값을 나타내었다. 이는 ISO 규격에 따라 제작된 굴곡강도용 시편과는 달리 파절강도용 시편은 ISO 규격이 아닌 임상적으로 사용하는 수복물의 형태로 제작되었다는 것으로 일부 설명할 수 있을 것이다.²² 즉, 균일하지 않은 형태나 모양으로 인한 crack의 전파 등과 같은 여러 가지 요소들이 파절강도에 영향을 주었을 것으로 추측할 수 있다.²² 본 연구에는 임상적인 구강 환경과 비슷한 환경 조건을 만들기 위해 시편을 24시간 동안 37°C의 증류수에 침적하였으나 실제 구강 내의 환경은 음식물 섭취, 온도 및 pH 변화 등 다양한 요인에 의해 영향을 받으며, 신뢰성 있는 근거 확립을 위한 장기간의 임상시험을 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구의 한계 내에서, 적층 가공법으로 제작된 임시 수복용 레진은 절삭 가공법 및 전통적인 방법으로 제작된 임시 수복물과 비교하여 높은 파절강도를 보였다. 또한 D3Z군을 제외한 모든 군의 굴곡강도는 ISO 10477:2004에서 제시한 50 MPa를 상회하는 결과로 임상적으로 유사한 수준의 굴곡강도를 보였다. 3D 프린터의 급속한 발전과 기술이 보급됨에 따라, 향후 치과분야에서 적층 가공법을 활용한 적용 분야 및 임상 활용 사례가 더욱 늘어날 것이다.

ORCID

Won-Tak Cho <https://orcid.org/0000-0003-2174-7333>

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

References

1. Park JS, Park MG. Effect of aging treatment on the flexural properties of polymer provisional restoration materials. Korean J Dent Mater 2013;40:215-21.

2. Shillingburg HT Jr, Hobo S, Whitsett LD. Fundamentals of fixed prosthodontics. 3rd ed. Chicago; Quintessence Publishing Co; 1997. p. 225-7.
3. Song KY, Sorensen JA. Marginal adaptation of new provisional materials for fixed prosthodontics. *J Dent Rehabil Appl Sci* 1997;13:247-55.
4. Song ES, Kim BJ, Lim YJ, Lee JJ. Survey study on the preference of dental medical personnel for dental CAD/CAM milling machines. *J Korean Acad Prosthodont* 2018;56:188-98.
5. DeLong R, Heinzen M, Hodges JS, Ko CC, Douglas WH. Accuracy of a system for creating 3D computer models of dental arches. *J Dent Res* 2003;82:438-42.
6. Fuster-Torres MA, Albalat-Estela S, Alcañiz-Raya M, Peñarocha-Diogo M. CAD / CAM dental systems in implant dentistry: update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009;14:E141-5.
7. Lee S. Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2016;43:93-108.
8. Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145:108-15.
9. Karaokutan I, Sayin G, Kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont* 2015;7:27-31.
10. 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.
11. Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural strength of interim resin materials for fixed prosthodontics. *J Prosthodont* 2009;18:507-11.
12. Mehrpour H, Farjood E, Giti R, Barfi Ghasrdashti A, Heidari H. Evaluation of the flexural strength of interim restorative materials in fixed prosthodontics. *J Dent (Shiraz)* 2016;17:201-6.
13. Seo DG, Roh BD. The comparison of relative reliability on biaxial and three point flexural strength testing methods of light curing composite resin. *J Korean Acad Conserv Dent* 2006;31:58-65.
14. Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chair-side computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989;20:329-39.
15. 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.
16. 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.
17. Matsumura H, Leinfelder KF. Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. *Quintessence Int* 1994;25:425-30.
18. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci* 1997;105:97-116.
19. Weaver RE, Goebel WM. Reactions to acrylic resin dental prostheses. *J Prosthet Dent* 1980;43:138-42.
20. Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent* 1996;24:141-8.
21. Chadwick RG. Thermocycling--the effects upon the compressive strength and abrasion resistance of three composite resins. *J Oral Rehabil* 1994;21:533-43.
22. Park SM, Kim SK, Park JM, Kim JH, Jeon YT, Koak JY. Flexural strength of various kinds of the resin bridges fabricated with 3D printing. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2017;33:260-8.

제작방법에 따른 임시 수복용 레진의 파절강도 및 굴곡강도에 관한 연구

조원탁 · 최재원*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실

목적: 본 연구의 목적은 적층 가공법, 절삭 가공법 및 직접법에 의해 제작된 임시 수복용 레진의 파절강도와 굴곡강도를 비교하는 것이다.

재료 및 방법: 각각 다른 방법들로 제작된 5가지 방법의 임시 수복용 레진을 조사하였다: Stereolithography apparatus (SLA) 3D 프린터를 이용한 적층 가공법(S3Z군), 두 가지 digital light processing (DLP) 3D 프린터를 이용한 적층 가공법(D3Z군, D3P군), 절삭 가공법(MIL군), 전통적인 방식의 직접법(CON군). 파절강도 시험은 각 방법을 이용하여 소구치 형태의 시편을 준비하였고, 굴곡강도 시험은 각 방법을 이용하여 직사각형의 바 형태의 시편($25 \times 2 \times 2$ mm)을 준비하여 universal testing machine (UTM)을 사용하여 평가하였다.

결과: 적층 가공을 이용해 제작된 S3Z군, D3Z군, D3P군의 파절강도는 MIL군 및 CON군의 파절강도와 유의한 차이가 없었다 ($P > .05/10 = .005$). 한편, S3Z군, D3P군, MIL군의 굴곡강도는 CON군의 굴곡강도보다 높았으나 ($P < .05$), D3Z군의 굴곡강도는 CON군보다 낮았다 ($P < .05$).

결론: 본 연구의 한계 내에서 적층 가공법으로 제작된 임시 수복용 레진은 절삭 가공법과 기존에 사용되었던 직접법에 의해 제작된 임시수복용 레진과 임상적으로 유사한 파절강도, 굴곡강도를 나타냈다. (대한치과보철학회지 2019;57:225-31)

주요단어: 적층 가공; 절삭 가공; 파절강도; 굴곡강도; 레진

*교신저자: 최재원

50612 경남 양산시 물금읍 금오로 20 부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실
055 360 5133; e-mail, won9180@hanmail.net

원고접수일: 2019년 5월 2일 / 원고최종수정일: 2019년 5월 28일 / 원고채택일: 2019년 5월 30일

© 2019 대한치과보철학회

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