

절삭 및 적층 가공법으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이용 자가중합 레진의 전단결합강도 비교

Comparison of shear bond strength between various temporary prostheses resin blocks fabricated by subtractive and additive manufacturing methods bonded to self-curing reline resin

류효민·이진한*

Hyo-Min Ryu, Jin-Han Lee*

원광대학교 치과대학 치과보철학교실

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Republic of Korea

ORCID

Hyo-Min Ryu

<https://orcid.org/0009-0003-0941-7267>

Jin-Han Lee

<https://orcid.org/0000-0001-9360-0635>

Purpose. This study aimed to compare and evaluate the shear bond strength between various temporary prostheses resin blocks fabricated by subtractive and additive manufacturing methods bonded to self-curing reline resin. **Materials and methods.** The experimental groups were divided into 4 groups according to the manufacturing methods of the resin block specimens and each specimen was fabricated by subtractive manufacturing (SM), additive manufacturing stereolithography apparatus manufacturing (AMS), additive manufacturing digital light processing manufacturing (AMD) and conventional self-curing (CON). To bond the resin block specimens and self-curing resin, the reline resin was injected and polymerized into the same location of each resin block using a silicone mold. The shear bond strength was measured using a universal testing machine, and the surface of the adhesive interface was examined by scanning electron microscopy. To compare between groups, one-way ANOVA was done followed by Tukey post hoc test ($\alpha = 0.05$). **Results.** The shear bond strength showed higher values in the order of CON, SM, AMS, and AMD group. There were significant differences between CON and AMS groups, as well as between CON and AMD groups. but there were no significant differences between CON and SM groups ($P > .05$). There were significant differences between SM and AMD groups, but there were no significant differences between SM and AMS groups. The AMS group was significantly different from the AMD group ($P < .001$). The most frequent failure mode was mixed failures in CON and AMS groups, and adhesive failures in SM and AMD groups. **Conclusion.** The shear bond strength of SM group showed lower but not significant bond strength compared to the CON group. The additive manufacturing method groups (AMS and AMD) showed significantly lower bond strength than the CON group, with the AMD group the lowest. There was also a significant difference between the AMD and SM group. (J Korean Acad Prosthodont 2023;61:189-97)

Keywords

Computer-aided design (CAD); Computer-aided manufacturing (CAM); Shear bond strength; Temporary prosthesis

© 2023 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.

Corresponding Author

Jin-Han Lee

Department of Prosthodontics,
College of Dentistry, Wonkwang
University, 77 Doosan-ro, Seo-gu,
Daejeon, 35233, Republic of Korea
+82-42-366-1150
dentist@empas.com

Article history

Received March 13, 2023 /

Last Revision April 6, 2023 /

Accepted April 20, 2023

서론

치과용 임시 보철물은 최종 보철물을 제작하는 동안 지대치를 보호하고 치아의 이동을 방지하며 저작 기능을 유지하고 심미성을 제공한다. 이 외에도 발음, 치주 건강, 교합 관계 유지, 최종 보철물의 예상되는 형태와 기능 평가를 포함하여 여러 기능을 수행한다.¹ 임시 보철물은 진단과 치료 계획의 평가에 유용하게 사용되기 때문에 술자는 심미적 수복이 필요할 경우에 임시 보철물을 이용함으로써 성공적인 최종 수복을 예측하는 것이 가능하고, 치료과정에서 환자의 신뢰도를 높일 수 있다.²

임시 보철물의 제작에 사용하는 재료는 강도, 변연 적합성, 색 안정성과 수리의 용이성을 고려하여 선택해야 한다. 재료의 종류로는 polymethyl methacrylate (PMMA), polyethyl methacrylate (PEMA), bis-acryl resin, micro-filled bisphenol A-glycidyl dimethacrylate (bis-GMA), urethane dimethacrylate (UDMA)가 있다.³ 임시 보철물은 마모되거나 파절될 가능성이 높기 때문에, 수복 부위가 크거나 치료기간이 긴 치료는 수리의 용이성이 재료의 선택에 중요한 요소로 고려될 수 있다.

임시 보철물을 제작하는 전통적인 방식은 구강 내에서 직접 제작하는 직접법과 모형 상에서 제작하는 간접법, 모형 상에서 셸(shell)을 제작하고 구강 내에서 재이장하는 간접-직접법으로 구분된다. 진료실에서의 직접법 제작 시 주로 사용되는 PMMA 레진은 조각이 용이하고 가격이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있으나 중합 과정에서 열이 발생하며 중합 수축이 높고 내마모성이 낮은 단점이 있다.⁴ 간접법을 통해 미리 제작한 임시 보철물은 잔류 단량체에 의한 치은 및 치아 손상의 가능성이 적지만 합착하기 전에 구강 내 상태에 따라 추가적 수정이 필요할 수 있다.⁵ 간접-직접법은 모형 상에서 지대치를 최소한으로 삭제하여 임시 보철물의 셸을 준비하고, 구강 내에서 치아 형성 후 셸의 내면에 자가중합 레진을 재이장하여 적합시키는 방법이다. 진료실에서 제작에 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있으나 재이장 과정에서 치수나 치은이 자극에 노출되고 치아 삭제가 부족한 경우에는 셸의 조절에 어려움이 있을 수 있다.⁶

최근 치과 임상에서는 computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD-CAM) 기술을 통해 다양한 치과 보철물을 제작하고 있으며 이러한 기술의 발전으

로 치과용 임시 보철물은 제작이 더욱 편리해졌다.⁷ 이는 디지털 스캐닝 데이터를 기반으로 디자인 및 제조 기술을 사용하여 전통적인 제작 방식의 단점을 보완할 수 있는 대안으로 제시되고 있다. CAD-CAM 워크플로우에서 보철물의 제작 방식은 절삭(subtractive) 가공과 적층(additive) 가공으로 구분된다. 절삭 가공 방식은 밀링 머신을 이용하여 버와 같은 절삭 기구로 재료 블록을 기계적으로 삭제하는 방법으로 사전 중합된 레진 블록을 사용하여 강도와 정밀도가 더 높다고 알려져 있다. 그러나 버의 가공 범위와 직경에 영향을 받고 이로 인해 디자인한 보철물의 형태 재현에 한계가 존재하며 재료의 소모가 많은 단점이 있다.⁸ 적층 가공 방식은 3차원 디지털 데이터를 기반으로 연속적으로 재료 층(layer)을 쌓아 올리며 제작하는 방식으로 절삭 가공 방식보다 재료의 낭비가 적고 더 복잡한 형태를 재현해낼 수 있다. 치과용 임시 보철물 제작에는 stereolithography apparatus (SLA) 방식과 digital light processing (DLP) 방식을 주로 사용한다.⁹ SLA 방식은 고해상도와 fused deposition modeling 방식 대비 빠른 속도를 특징으로 3차원의 형태를 수평면으로 나누어 2차원의 이미지로 변환시킨 후, digital micromirror device (DMD)에 의해 제어되는 레이저를 광경화성 재료의 표면에 투사하여 특정 단일 지점의 중합체 사슬을 완성하고 다른 지점으로 이동하여 중합하는 방식을 반복한다.¹⁰ DLP 방식도 DMD를 사용하여 신호에 따라 반사각을 조절하여 선택적으로 광경화성 액체 레진을 광중합함으로써 구조를 완성하는데 SLA 방식과는 달리 단일 지점이 아닌 한 평면 전체를 한 번에 중합시켜 더 빠른 시간 내에 제작이 가능하다.¹¹

간접법 방식을 통해 모형 상에서 미리 제작하거나 구강 내 스캔을 통해 CAD-CAM 방식으로 제작한 임시 보철물은 지대치에 장착할 때 내면에 재이장이 필요할 수 있다.¹² 또한 치관의 외형, 인접면 접촉과 교합 수정을 위해 외면에 수정이 필요한 경우도 있다.¹³ 구강 내에서 저작 기능 중에 파절될 경우 파절 범위에 따라 수리 또는 재제작이 필요하다. 이 과정에서 임시 보철물 제작 시 사용한 레진과 재이장 시 사용하는 레진의 결합강도가 약할 경우, 계면에서 재료의 분리가 일어나며 이는 내면 적합도의 감소와 변연부 미세누출을 발생시켜 적절한 임시 보철물의 역할을 수행하지 못할 수 있다.¹⁴ 따라서 임시 보철물 레진과 재이장 또는 수리 시 사용하는 레진의 전단결합강도는 치료의 과정에서 고려해야 하는 중요한 요소이다.

최근 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물의 사

용이 증가하면서 재이장 과정에서 사용하는 레진과의 결합 강도에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 재이장 시 사용하는 레진의 종류에 따른 결합강도에 대한 연구나 임시 보철물의 표면 처리 방식에 따른 결합강도에 대한 연구가 대부분이고 임시 보철물의 제작 방식에 따른 결합강도의 비교 연구는 아직 미비하다. 따라서 본 연구에서는 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 진료실에서 사용하는 재이장용 자가중합 레진의 전단결합강도를 측정하여 레진 블록의 제작 방식에 따른 차이를 비교 평가해보고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

실험군은 임시 보철물 레진 블록의 제작 방식에 따라 subtractive manufacturing (SM), additive manufacturing stereolithography apparatus (AMS), additive manufacturing digital light processing (AMD)과 대조군으로 conventional self-curing (CON)으로 분류하였다. 모든 시편은 직경 8 mm, 높이 10 mm의 원기둥 형태로 설계하였고 각 군마다 20개의 시편을 제작하였다. 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 레진 블록 시편은 CAD software (Rhinoceros Rhino 3D, Washington DC, USA)를 이용하여 디자인하였다. 절삭 가공 방식의 레진 블록(SM)은 밀링 머신(ZX-5SD; Manix, Seoul, Korea)을 이용하여 PMMA 블록(Real fit, Hasem, Daegu, Korea)을 절삭하여 제작하였다. 적층 가공 방식의 레진 블록(AMS, AMD)은 SLA 방식의 프린터(ZENITH U; Dentis, Daegu, Korea)와 aliphatic urethane acrylate oligomer (Tera Harz TC-80DP; Graphy, Seoul, Korea), DLP 방식의 프린터(Phrozen Sonic Mini 8K; Phrozen Tech Co. Ltd., Hsinchu, Taiwan)와 light-curing acrylic based composite (C&B temporary; ODS, Incheon, Korea)를 사용하여 제작하였다. 자가중합 방식의 레진 블록(CON)은 PMMA (Tokuso CureFast; Tokuyama Dental Corp., Tokyo, Japan)를 사용하여 제작하였다. 재이장을 위한 레진 시편은 직경 2.3 mm, 높이 3 mm의 원기둥 형태로 설계하였고 자가중합 PMMA (Tokuso CureFast; Tokuyama Dental Corp., Tokyo, Japan)를 사용하였다.

2. 방법

1) 시편 제작

SLA 방식의 프린터를 사용하여 100 μm 의 적층 두께로 출력한 시편은 세척기(UW-01; Crealty, Shenzhen, China)를 사용하여 이소프로필 알코올 용액(RS PRO; Kwai Chung, Hong Kong)으로 10분간 세척 시행하였다. 세척이 완료된 시편은 자외선 후중합기(MP100; Myeong Moon Dental, Daegu, Korea)를 이용하여 10분 동안 최종 경화를 진행하였다. DLP 방식의 프린터를 사용하여 50 μm 의 적층 두께로 출력한 시편은 세척기를 사용하여 이소프로필 알코올 용액에서 10분간 세척을 진행하였다. 세척이 완료된 시편은 자외선 후중합기(ODS Cure box; ODS, Incheon, Korea)를 이용하여 6분 동안 최종 경화를 진행하였다. 각 시편은 모두 0°의 각도로 시편의 장축에 평행하게 적층하여 제작하였다. 자가중합 방식의 레진 블록(CON)은 PMMA의 분말과 액을 제조사의 지시에 따라 1:1 비율로 혼합하여 직경 8 mm, 높이 10 mm의 원기둥 형태의 실리콘 몰드에 주입하고, 3분 30초간 중합하였다. 모든 레진 블록 시편은 직경 22 mm, 높이 16 mm의 실리콘 몰드에 투명 레진(Ortho-jet; Lang Dental, Wheeling, IL, USA)으로 포매를 시행하였다. 포매된 시편의 표면을 #220 grit 실리콘 카바이드 사포지를 이용하여 연마하였다. 연마 후 시편은 20분간 초음파세척기(SD-250H; Mujigae Co., Seoul, Korea)를 사용하여 증류수에 세척하였고 압축 공기로 20초간 건조시켰다. 재이장을 위한 레진 시편이 임시 보철물 레진 블록 시편의 중앙에 위치할 수 있도록 실리콘 몰드를 제작하였다. 레진 블록 시편에 실리콘 몰드를 고정하고 재이장 레진을 제조사의 지시에 따른 1:1 비율로 혼합하여 몰드에 주입하고 3분 30초간 중합하였다(Fig. 1). 중합 이후 실리콘 몰드를 제거하고 증류수에 담가 37°C 항온수조에서 24시간 보관하였다. 사용한 임시 보철물 레진의 상품명, 제조사와 성분을 표로 정리하였다(Table 1).

2) 전단결합강도 측정

시편을 지그에 고정한 후 만능재료시험기(Instron 5848 Micro Tester, Instron, Norwood, MA, USA)를 사용하여 전단결합강도를 측정하였다. 측정 시 재이장 레진의 직경 크기에 맞게 전단 지그를 맞춤 제작하여 응력이 재료 전체에 고르게 작용할 수 있도록 계획하였다(Fig. 2). Cross-head speed

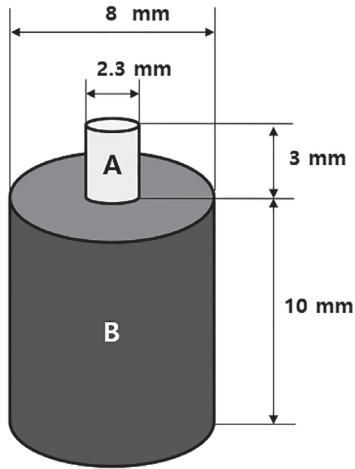


Fig. 1. Experiment design of tested groups. (A) Reline resin, (B) Temporary prosthesis resin.

는 0.5 mm/min으로 파절이 발생하는 시점까지 하중을 가하는 방법으로 진행하였고 전단결합강도(MPa)는 결합된 두 레진이 분리되었을 때의 최대 하중(N)을 단면적(mm²)으로 나눈 값으로 측정하였다.

$$B = \frac{F}{A}$$

B : 전단결합강도(MPa)

F : 파절 시의 하중(N)

A : 접착 면적(mm²)

3) 파절 단면 관찰

전단결합강도를 측정된 후에 파절된 단면을 관찰하였다. 주사전자현미경(SEM SU8230, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이

Table 1. Materials of temporary prosthesis resin and reline resin

Group	Fabrication method	Product name	Type	Manufacturer	N
SM	Subtractive manufacturing	Real fit	Polymethyl methacrylates	Hasem, Daegu, Korea	20
AMS	Additive manufacturing (SLA)	Tera Harz TC-80DP	Aliphatic Urethane Acrylate oligomer, Photoinitiator	Graphy, Seoul, Korea	20
AMD	Additive manufacturing (DLP)	C&B temporary	Light-curing acrylic based composite	ODS, Incheon, Korea	20
CON	Conventional (self-curing)	Tokuso CureFast	Polymethyl methacrylates	Tokuyama Dental Corp., Tokyo, Japan	20
Reline resin	Conventional (self-curing)	Tokuso CureFast	Polymethyl methacrylates	Tokuyama Dental Corp., Tokyo, Japan	80

SM, subtractive manufacturing; AMS, additive manufacturing stereolithography apparatus; AMD, additive manufacturing digital light processing; CON, conventional self-curing; SLA, stereolithography apparatus; DLP, digital light processing.

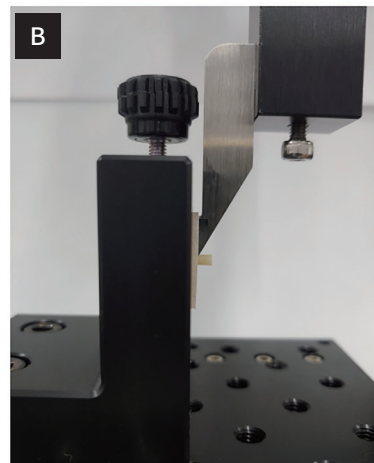
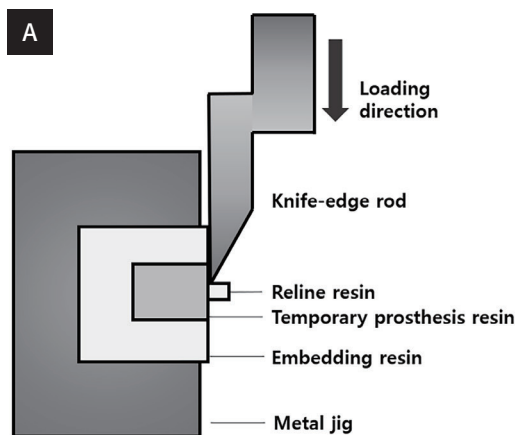


Fig. 2. Experiment design of tested groups. (A) Schematic diagram of test, (B) Universal testing machine for shear bond strength test.

용하여 파절된 시편의 표면을 30 배율로 확인하였다. 실험이 완료된 시편의 파절면 양상을 임시 보철물 레진 블록 또는 재이장 레진 내에서 일어난 응집 파절(cohesive failure), 계면의 파절인 접착 파절(adhesive failure), 응집과 접착 파절이 혼재된 양상인 혼합 파절(mixed failure)로 분류하였다.

4) 통계 분석

통계 분석은 IBM SPSS Statistics 28 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다. 각 전단결합강도의 결과를 Shapiro-Wilk test 방법을 이용하여 정규성을 검정하였다($P > .05$). 등분산성을 검정하기 위해 Levene 검정 방법을 이용하였다($P = .904$). 정규성과 등분산성을 모두 만족하여 제작 방식에 따른 전단결합강도를 비교 분석하기 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하였다($P < .001$). 사후 검정으로 Tukey test를 이용하여 신뢰수준 95%에서 각 군의 유의성을 검증하였다.

결과

전단결합강도는 CON, SM, AMS, AMD군 순으로 높은 값을 보였다. CON군이 평균 19.62 ± 1.89 MPa로 가장 높은 값을 보였고, AMD군이 평균 11.75 ± 3.04 MPa로 가장 낮은 값을 보였다. 일원배치 분산분석 결과 재이장 레진과 절삭 및 적층 가공, 자가중합 방식 레진 블록 간의 전단결합강도는 유의하게 차이가 있었다($P < .001$)(Table 2).

사후 검정의 결과를 확인 시, CON군(19.62 ± 1.89)은 AMS군(16.43 ± 1.49), AMD군(11.75 ± 3.04)과 유의한 차

이를 보였고($P < .001$) SM군(18.07 ± 1.57)과는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > .05$). SM군은 AMD군과 유의한 차이를 보였고($P < .001$) AMS군과는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > .05$). AMS군은 AMD군과 유의한 차이를 보였다($P < .001$)(Fig. 3).

파절 양상을 분석한 결과, SM군에서 응집 파절은 30%, 혼합 파절은 30%, 접착 파절은 40%로 나타났다. AMS군에서 응집 파절은 5%, 혼합 파절은 65%, 접착 파절은 30%로 나타났다. AMD군에서 혼합 파절은 40%, 접착 파절은 60%로 나타났으며 응집 파절은 없었다. CON군에서 응집 파절은 10%, 혼합 파절은 90%로 나타났으며 접착 파절은 없었다(Fig. 4).

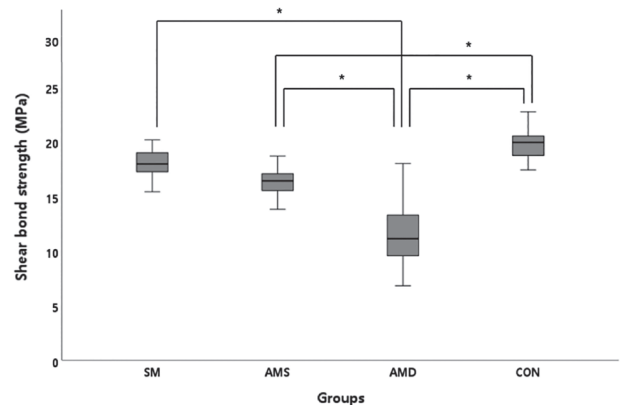


Fig. 3. Mean values of shear bond strength. Asterisk(*) indicates statistically significant difference between the experimental groups.

Table 2. Mean values and standard deviations of shear bond strength in experimental groups (unit: MPa)

Group	Shear bond strength		
	N	Mean	SD
SM ^a	20	18.07	1.57
AMS ^b	20	16.43	1.49
AMD ^{ab}	20	11.75	3.04
CON ^b	20	19.62	1.89

Values followed by the same letter were significantly different ($P < .001$). SM, subtractive manufacturing; AMS, additive manufacturing stereolithography apparatus; AMD, additive manufacturing digital light processing; CON, conventional self-curing; SD, standard deviations.

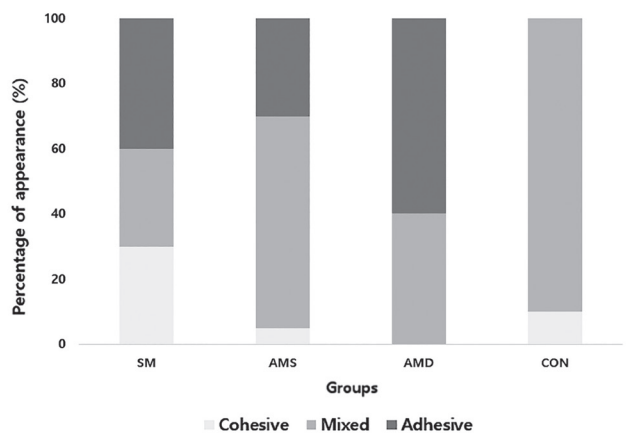


Fig. 4. The failure mode distribution of the shear bond strength test of all groups.

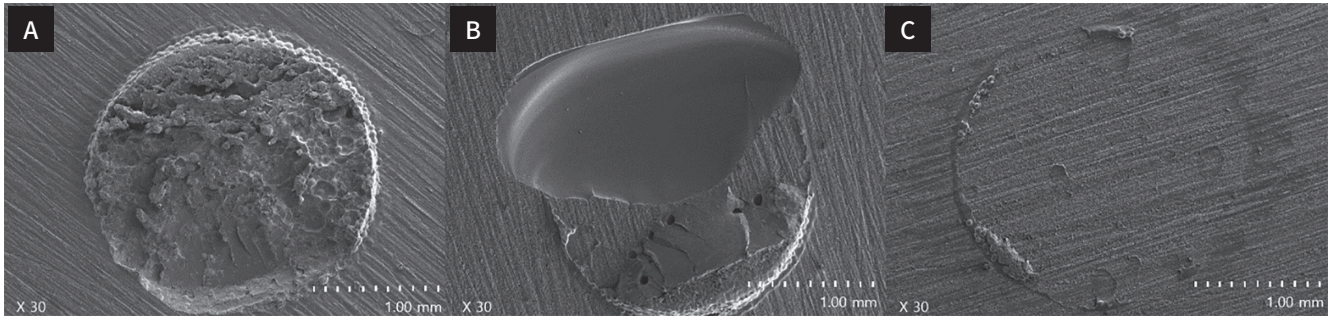


Fig. 5. Scanning electron micrographs after shear bond strength test (magnification $\times 30$). (A) Cohesive failure, (B) Mixed failure, (C) Adhesive failure.

주사전자현미경을 이용하여 30 배율로 파절 계면을 확인한 결과, 응집 파절은 모두 재이장 레진에서 일어났으며 혼합 파절에서는 임시 보철물 레진과 재이장 레진 일부가 관찰되었다. 접착 파절에서는 완전히 박리된 표면이 관찰되었다(Fig. 5).

고찰

본 연구의 귀무가설은 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이장용 자가중합 레진의 결합에서 가공 방식에 따른 전단결합강도의 차이가 없다는 것이다. 실험 결과 절삭 가공 방식으로 제작한 레진의 전단결합강도는 적층 가공 방식 중 DLP 방식으로 제작한 레진의 전단결합강도에 비해 통계적으로 유의하게 높은 전단결합강도를 보였다 ($P < .001$). 이에 귀무가설은 기각되었다($P < .05$).

치과용 보철물 제작에 사용하는 적층 가공 방식으로는 SLA, DLP, fused layer modeling (FLM), polymer jetting (MJ)가 있다. 이 중 치과용 임시 보철물 제작에 SLA와 DLP 방식이 주로 사용된다.¹⁵ 이는 모두 광경화성 액체 레진을 사용하여 광중합으로 경화되는 원리를 가지며 SLA 방식은 점(point) 단위, DLP 방식은 면(face) 단위로 각 층을 경화시킨다.¹⁶

임시 보철물은 최종 보철물에 비해 기계적 강도가 낮기 때문에 치료 과정 중에 파절이나 탈락이 발생할 수 있고, 최종 수복이 이루어지기 전까지 수리나 재이장이 필요할 수 있다.¹⁷ 지대치를 보호하고 교합과 심미성을 유지하려면 임시 보철물 재료와 재이장 재료 사이의 강한 결합이 필요하며 두 표면 사이의 결합 실패는 재료의 화학 성분, 표면 거칠기 및 접착제의

특성과 관련이 있다.¹⁸

실험 결과 전단결합강도의 평균값이 CON군에서 가장 높았으며 SM, AMS, AMD군 순으로 높았다. 자가중합 방식으로 제작한 레진 블록과 절삭 가공 방식으로 제작한 레진 블록의 전단결합강도는 통계적으로 유의한 차이가 없었는데, 이는 절삭 가공 방식에 사용된 PMMA와 자가중합 PMMA의 유사한 화학 조성으로 인한 것으로 사료된다. Chen 등¹⁹의 임시 보철물 레진의 전단결합강도 시험에서 비슷한 화학적 구조를 갖는 재료 간의 결합강도가 더 높다고 보고하였다. Parikh 등²⁰의 연구에서도 절삭 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진에 자가중합 PMMA, bis-acryl resin, flowable 복합 레진을 재이장 레진으로 사용하여 전단결합강도를 비교한 결과, 절삭 가공 방식의 PMMA 레진은 성분이 유사한 자가중합 PMMA 레진과 가장 높은 전단결합강도를 나타냈다.

적층 가공 방식 중 SLA 방식과 DLP 방식의 전단결합강도는 유의한 차이를 보였다. Alshamrani 등²¹은 적층 가공 방식에서 layer thickness에 따라 굴곡 강도, 경도 등의 기계적 특성에 영향을 줄 수 있다고 언급하였다. 또한 후경화의 유형과 시간이 경화 깊이에 영향을 미치며 자외선을 사용한 후경화는 잔류 모노머를 감소시켜 기계적 특성을 향상시킬 수 있다고 하였다. 적층 가공 방식에서 layer thickness, 후경화 시간 등에 따른 전단결합강도 차이에 대한 내용은 미비하며 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

전단결합강도 시험에 사용되는 다양한 전단 지그의 너비가 전단결합강도의 측정값에 영향을 미친다는 연구가 있었다. Oliveira 등²²에 따르면 3.0 mm 너비 치즐과 비교하여 0.5 mm 너비의 치즐을 사용하였을 때 측정된 결합강도 값이 20% 증가했으며 이는 치즐과 시편의 접촉 면적을 통해 장력

이 분산됨을 나타냈다. 이에 본 연구에서는 재이장 레진의 직경에 맞는 전단 지그를 제작하였다.

파절 양상의 분석 시 접착 파절의 경우 임시 보철물 레진과 재이장 레진 사이의 계면에서의 결합강도가 약하다는 것을 의미하고 재이장 레진에서의 응집 파절의 경우 계면에서의 결합강도보다 재이장 레진의 강도가 약하다는 것을 의미한다.²³ 자가중합 레진 블록 외에 절삭 가공 레진 블록, 적층 가공 레진 블록 모두에서 접착 파절이 나타났으며 DLP 방식으로 제작한 레진 블록에서 가장 높은 비율의 접착 파절을 나타냈다. DLP 방식으로 제작한 레진 블록에서는 응집 파절은 나타나지 않았으며 접착 파절과 혼합 파절이 나타났는데 이 중 60%가 접착 파절에 해당되었다. 이는 DLP 방식으로 제작한 레진 블록과 재이장 레진과의 결합강도가 임시 보철물 레진 또는 재이장 레진의 강도보다 낮다는 결과로 해석할 수 있다.

두 재료 사이의 결합강도를 강화시키는 방법은 표면 거칠기를 증가시켜 기계적 유지를 향상시키고 전처리제를 적용하여 화학적 결합력을 증진시키는 것이다.²⁴ 본 연구에서는 여러 방식으로 제작한 임시 보철물 레진의 표면 거칠기를 일정한 조건으로 만들기 위하여 표면을 연마하였다. 임상에서 카바이드 버나 다이아몬드 포인트를 이용한 연마 과정은 임시 보철물을 재이장할 때 표면의 오염을 제거하고 추가될 재료의 균일한 공간을 마련하기 위한 필수적인 과정이다. 이에 본 연구에서는 #220 grit 실리콘 카바이드 사포지를 이용하여 임상에서의 연마 과정을 대체하였다. 이는 실험실 내 연구에서 카바이드 버나 다이아몬드 포인트보다 균일하고 안정적인 힘을 줄 수 있고 적용하기 쉽다는 장점이 있다.²⁵

Jeong 등²⁶은 임시 보철물 레진과 재이장 레진과의 전단결합강도를 증가시킬 수 있는 기계적인 표면 처리 방법인 실리콘 카바이드 사포지 연마, Al₂O₃ sandblasting, 4% hydrofluoric acid etching 방법을 적용하였을 때 실리콘 카바이드 사포지와 Al₂O₃ sandblasting을 병행하였을 때 가장 높은 결합강도를 보였고 실리콘 카바이드 사포지만 사용 시에도 표면 처리를 하지 않았을 때보다 높은 결합강도를 보인다고 보고하였다. 이는 본 연구에서도 실리콘 카바이드 사포지를 사용한 연마가 기계적 결합강도를 증가시키는 요인이 되었을 것이라 추측할 수 있다.

MMA 단량체 표면 처리는 양쪽 표면 중합체 사이의 사슬 성장 상호 작용을 촉진하는 화학적인 조건을 만든다.²⁷ 절삭 가공한 레진과 달리 적층 가공한 레진은 이중 기능성 단량체

가 포함된 광중합 소재이다. Palitsch 등²⁸은 MMA가 광중합 소재의 기능성 단량체와 적절하게 공중합하지 못하므로 MMA가 적절한 전처리제가 아니라고 보고하였다.

최근 연구들에서 임시 보철물을 재이장하거나 수리할 때 결합강도를 증가시키기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있다. 그러나 적층 가공에 사용하는 여러 재료들은 제조사에서 성분을 공개하지 않아, 성분과 결합강도의 상관관계를 연구하는 것에는 한계가 있다. 이러한 한계점은 전통적인 자가중합 방식의 재료에 비해 우수한 물리적 성질과 내면 적합도 등의 장점을 가지고 있음에도 불구하고,²⁹ 진료실 내에서 사용을 제한하는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 적층 가공 재료 성분과 관련된 화학적 처리에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 제작 방식별로 하나의 실험군을 선정하여 실험을 진행하였다. 따라서 제작 방식별로 시중에 사용되고 있는 여러 레진을 선택하여 비교 분석하지 못한 한계가 있다. 또한 구내 환경에서 임시 보철물이 사용될 때 영향을 미치는 저작력과 생물학적 상호 작용 등의 여러 요인을 반영하지 못하였으며 이러한 한계점들은 추후 보다 종합적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이장용 자가중합 레진과의 전단결합강도에서 절삭 가공 방식으로 제작한 레진 블록은 전통적인 방식으로 제작한 자가중합 레진 블록과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 적층 가공 방식 중 SLA 방식으로 제작한 레진 블록은 절삭 가공 방식으로 제작한 레진 블록보다 낮은 전단결합강도를 나타냈지만 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 적층 가공 방식 중 DLP 방식으로 제작한 레진 블록은 접착 파절이 60%의 비율로 가장 높게 나타났으며 전단결합강도 또한 가장 낮은 값을 나타냈다.

References

1. Burns DR, Beck DA, Nelson SK; Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prost-

- odontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent* 2003;90:474-97.
2. Patras M, Naka O, Doukoudakis S, Pissiotis A. Management of provisional restorations' deficiencies: a literature review. *J Esthet Restor Dent* 2012;24:26-38.
 3. Nejatidanesh F, Momeni G, Savabi O. Flexural strength of interim resin materials for fixed prosthodontics. *J Prosthodont* 2009;18:507-11.
 4. Regish KM, Sharma D, Prithviraj DR. Techniques of fabrication of provisional restoration: an overview. *Int J Dent* 2011;2011:134659.
 5. Mizrahi B. Temporary restorations: the key to success. *Br Dent J* 2019;226:761-8.
 6. Dumbrigue HB. Composite indirect-direct method for fabricating multiple-unit provisional restorations. *J Prosthet Dent* 2003;89:86-8.
 7. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12.
 8. Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. *J Prosthet Dent* 2017;118:208-15.
 9. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *J Dent (Shiraz)* 2015;16:1-9.
 10. Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: an overview on processes, materials and applications. *Dent Mater J* 2020;39:345-54.
 11. Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive manufacturing techniques in prosthodontics: Where do we currently stand? a critical review. *Int J Prosthodont* 2017;30:474-84.
 12. Papacchini F, Toledano M, Monticelli F, Osorio R, Radovic I, Polimeni A, García-Godoy F, Ferrari M. Hydrolytic stability of composite repair bond. *Eur J Oral Sci* 2007;115:417-24.
 13. Zinner ID, Trachtenberg DI, Miller RD. Provisional restorations in fixed partial prosthodontics. *Dent Clin North Am* 1989;33:355-77.
 14. Takahashi Y, Chai J. Assessment of shear bond strength between three denture reline materials and a denture base acrylic resin. *Int J Prosthodont* 2001;14:531-5.
 15. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont* 2019;28:146-58.
 16. Lee SH. Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2016;43:93-108.
 17. Garoushi SK, Vallittu PK, Lassila LV. Short glass fiber-reinforced composite with a semi-interpenetrating polymer network matrix for temporary crowns and bridges. *J Contemp Dent Pract* 2008;9:14-21.
 18. Cavalcanti AN, De Lima AF, Peris AR, Mitsui FH, Marchi GM. Effect of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:90-8; discussion 99.
 19. Chen HL, Lai YL, Chou IC, Hu CJ, Lee SY. Shear bond strength of provisional restoration materials repaired with light-cured resins. *Oper Dent* 2008;33:508-15.
 20. Parikh V, Cheng DH, Linsley C, Shah KC. Bond strength of three chairside crown reline materials to milled polymethyl methacrylate resin. *J Prosthet Dent* 2021;125:544.e1-8.
 21. Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of printing layer thickness and postprinting conditions on the flexural strength and hardness of a 3D-printed resin. *Biomed Res Int* 2022;2022:8353137.
 22. Oliveira AC, Oshima HM, Mota EG, Grossi ML. Influence of chisel width on shear bond strength of composite to enamel. *Rev Odonto Cienc* 2009;24:19-21.
 23. Wiegand A, Stucki L, Hoffmann R, Attin T, Stawarczyk B. Repairability of CAD/CAM high-density PMMA- and composite-based polymers. *Clin Oral Investig* 2015;19:2007-13.
 24. Lucena MC, González LS, Navajas JM. The effect of various surface treatments and bonding agents on the repaired strength of heat-treated composites. *J Prosthet Dent* 2001;86:481-8.
 25. Lee YG, Moon SR, Cho YG. Effect of cutting instruments on the dentin bond strength of a self-etch adhesive. *J Korean Acad Cons Dent* 2010;35:13-9.
 26. Jeong KW, Kim SH. Influence of surface treatments and repair materials on the shear bond strength of CAD/CAM provisional restorations. *J Adv Prosthodont* 2019;11:95-104.

27. Bayne SC, Lautenschlager EP, Compere CL, Wildes R. Degree of polymerization of acrylic bone cement. *J Biomed Mater Res* 1975;9:27-34.
28. Palitsch A, Hannig M, Ferger P, Balkenhol M. Bonding of acrylic denture teeth to MMA/PMMA and light-curing denture base materials: the role of conditioning liquids. *J Dent* 2012;40:210-21.
29. Reepomaha T, Angwaravong O, Angwarawong T. Comparison of fracture strength after thermo-mechanical aging between provisional crowns made with CAD/CAM and conventional method. *J Adv Prosthodont* 2020;12:218-24.

절삭 및 적층 가공법으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이장용 자가중합 레진의 전단결합강도 비교

류효민·이진한*

원광대학교 치과대학 치과보철학교실

목적. 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이장용 자가중합 레진의 전단결합강도를 비교 평가하고자 하였다. **재료 및 방법.** 레진 블록 시편의 제작 방식에 따라 4개의 군으로 나누었고 subtractive manufacturing (SM), additive manufacturing stereolithography apparatus (AMS), additive manufacturing digital light processing (AMD), conventional self-curing (CON)의 방식으로 각 20개씩 레진 시편을 제작하였다. 제작 방식에 따른 레진 블록 시편과 재이장용 자가중합 레진의 결합을 위해 시편의 표면에 실리콘 몰드를 이용하여 동일한 위치에 재이장 레진을 주입하여 중합하였다. 만능재료시험기를 이용하여 전단결합강도를 측정하였고 주사전자현미경으로 접착 계면의 파절 양상을 확인하였다. 실험군 간 비교를 위해 일원배치 분산분석과 사후 검정으로 Tukey test를 실시하였다($\alpha = .05$). **결과.** 전단결합강도는 CON, SM, AMS, AMD군 순으로 높았다. CON군은 AMS군, AMD군과 유의한 차이가 있었고($P < .01$) SM군과 유의한 차이가 없었다($P > .05$). SM군은 AMD군과 유의한 차이가 있었고($P < .01$) AMS군과 유의한 차이가 없었다($P > .05$). AMS군은 AMD군과 유의한 차이가 있었다($P < .001$). 파절 양상은 CON군, AMS군에서 혼합 파절이 높은 빈도로 나타났으며 SM군, AMD군에서 접착 파절이 높은 빈도로 나타났다. **결론.** 절삭 및 적층 가공 방식으로 제작한 임시 보철물 레진 블록과 재이장용 자가중합 레진과의 전단결합강도에서 절삭 가공 방식(SM군)은 CON군보다 낮은 결합강도를 보였지만 유의한 차이를 보이지 않았다. 적층 가공 방식(AMS군, AMD군)은 CON군보다 유의하게 낮은 결합강도를 보였으며, AMD군이 가장 낮은 결합강도를 보였고 AMD군은 SM군과도 유의한 차이를 보였다. (대한치과보철학회지 2023;61:189-97)

주요단어

컴퓨터 지원 설계(CAD); 컴퓨터 지원 제작(CAM); 전단결합강도; 임시 보철물

교신저자 이진한
35233 대전광역시 서구 둔산로 77
원광대학교 대전치과병원 치과보철과
042-366-1150
dentist@empas.com

원고접수일 2023년 3월 13일
원고최종수정일 2023년 4월 6일
원고채택일 2023년 4월 20일

© 2023 대한치과보철학회
© 이 글은 크리에이티브 커먼즈
코리아 저작자표시-비영리
4.0 대한민국 라이선스에
따라 이용하실 수 있습니다.