

A study on the shear bond strength between 3D printed resin and provisional resin after thermal cycling

Ji-Hun Yim, Soo-Yeon Shin*

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Purpose: In this study, we intended to study the change in bond strength according to the thermal cycling of provisional resin and 3D printed resin for making provisional restoration. **Materials and Methods:** Through DLP method, 3D printed resin powder was used to produce 3D printed resin samples. The samples were grouped into eight groups, according to types of provisional resin (PMMA, bis-acryl resin) which is to be bonded on the samples and numbers of thermal cycling (control, 2,000, 3,000, 5,000 cycles). Shear bond strength of the bonded samples was measured on the universal testing machine. **Results:** As the number of thermal cycling increased, the shear bond strength of PMMA and bis-acryl resin for 3D printed resins decreased except between 3,000 cycles and 5,000 cycles in PMMA groups. In the PMMA group, there were significant differences in shear bond strength between less number than 3,000 cycles ($P < 0.05$) and no significant differences between more number than 3,000 cycles ($P > 0.05$). In the bis-acryl resin group, there were significant differences in shear bond strength between control and 2,000 cycles, control and 3,000 cycles, and control and 5,000 cycles ($P < 0.05$), no significant difference between 2,000 and 3,000 cycles, between 3,000 and 5,000 cycles ($P > 0.05$). **Conclusion:** The shear bond strength between 3D printed resin and provisional resin tended to decrease after thermal cycling. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2021;37(3):101-10)

Key words: 3D printing; provisional resin; shear bond strength; thermal cycling

서론

치과용 임시 수복물은 환자의 기능적 요구와 심미적 요구를 만족시키는 기능이 있어야 하며¹ 또한 임시 수복물의 재료는 이 조건을 충족시킬 수 있어야 한다. 이를 위한 임시 수복물은 치수에 보호 작용을 할 수 있어야 하며 치아의 경사 이동 및 정출을 방지할 수 있어야 한다. 또한 적절한 교합 기능을 해야 하며 그 재료는 교합력에 대해 저항할 수 있어야 한다. 그 밖에도 만족스러운 심미성을 지녀야 하며 연마가 가능하고 위생적인 상태로 쉽게 유지가 될 수 있어야 한다.¹⁻³

임시 수복물을 위한 레진 재료들은 자가중합, 광중합

혹은 2가지 방법이 모두 가능한 이중중합형 레진으로 분류할 수 있다. 임상에서 임시 수복물을 제작할 수 있는 레진 재료들이 다양하게 시판되고 있으며 polymethyl methacrylate (PMMA), polyethyl methacrylate (PEMA), bis-acryl resin은 그 대표적인 재료로서 사용되고 있다.^{4,7}

이 중, PMMA는 비교적 물성이 강하여 내마모성이 높고 침상과 수리가 쉬우며 만족할만한 심미성을 보인다. 또한 장기간 지속될 수 있는 장점이 있다. 하지만 중합 수축으로 인해 형태가 변형될 수 있으며 미반응 단량체가 치수와 치은 조직에 손상을 일으킬 가능성이 있는 단점이 존재한다.⁸ PEMA는 중합 수축이 적으며 중합 시 열 발생이 적다. 하지만 색 안정성과 파괴 인성이 낮으며 수

*Correspondence to: Soo-Yeon Shin

Professor, Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Dankook University, Dandae-ro 119, Dongnam-gu, Cheonan, Choongnam, 31116, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-0256, Fax: +82-41-550-1975, E-mail: syshin@dankook.ac.kr
Received: June 14, 2021/Last Revision: July 14, 2021/Accepted: August 9, 2021

Copyright© 2021 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
© It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

리가 용이하지 않다.⁹ Bis-acryl resin은 우수한 변연 적합도를 보이며 중합 시 다른 재료에 비하여 열발생이 적고 수축이 적다.¹⁰ 단점으로는 얇은 부위에서 파절되기 쉬우며 중합 후 미반응 단량체 층이 표면에 남아 다른 재료에 착색이 되기 쉽다.

광중합형 레진들은 urethane dimethacrylate (UDMA)를 기반으로 하여 사용될 수 있다. 자가중합형 레진과 비교하였을 때 기계적 특성과 색 안정성이 우수하다. 재료의 중합 수축이 적기 때문에 우수한 변연 적합도를 보인다. 3-dimensional (3D) 프린팅이 치과영역에 적용된 이래로, UDMA는 3D 프린팅의 방식 중 digital light processing (DLP) 방식에서 사용되고 있다.¹¹

다양한 치과 보철물이 3D 프린팅의 방식을 통해 제작되고 있으며 그 중에서도 치과용 임시 수복물 또한 3D 프린터를 통하여 손쉽게 제작이 가능하게 되었다. 3D 프린팅을 통해 제작된 임시 수복물은 여러 장점이 존재한다. 3D 프린팅의 방식으로 제작된 임시 수복물은 종래의 방식으로 제작하거나 computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD-CAM) 밀링의 방식으로 제작하였을 경우보다 더 우수한 변연 적합도와 내면 적합도를 보였다고 밝혀진 바 있다.^{12,13} 또한 3D 프린팅은 복잡한 형상을 재현할 수 있고 정밀도가 비교적 높은 장점이 있으며 소음이 적고 재료의 낭비를 줄일 수 있다.¹⁴

3D 프린팅으로 제작된 임시 수복물은 임상에서 사용 시 내면의 재이장이 필요하다. 임시 수복물은 지대치 형성을 하기 전 환자의 구강을 인상 채득하거나 3D 스캔을 하여 제작된다. 미리 제작된 임시 수복물은 형성된 지대치에 시적할 시 내면의 공극¹⁵이 존재한다. 임시 수복물과 지대치 사이의 변연과 내면의 적합도를 높이기 위하여 미리 제작된 임시 수복물을 재이장하여야 하고 이는 임시 수복물의 유지력을 높이고 지대치로의 미세누출을 감소시킬 수 있다. 또한 임시 수복물은 파절 가능성이 있으므로 임상에서 수리가 필요하다.

근관치료, 교정치료, 연조직 몰딩, 연조직 이식 등을 시행 시 임시 수복물을 장기간 유지해야 할 가능성이 존재하는데, 재이장 재료와 3D 프린팅 재료 간의 결합강도는 임시 수복물의 장기간 사용 시 임시 수복물의 수명에 영향을 주는 주요한 요소로 작용할 수 있다. 두 재료 간 결합강도가 약할 경우 변연의 파절이나 계면에서 재료 간의 분리로 미세누출이 발생할 가능성이 있으며 구조가 상실되어 교합의 변화 또는 심미적 문제가 발생할 수 있다.¹⁶

따라서 본 연구의 목적은 3D 프린팅 레진을 임시 수복용 레진으로 재이장 할 경우 사용 기간에 따른 재료 간 결합강도의 변화를 평가하기 위함으로 임상에서 임시 수복물의 제작과 재이장에 흔히 쓰이는 PMMA와 bis-acryl resin을 3D 프린팅 레진에 결합시켜 열순환 처리 과정을 거친 후 결합된 두 레진 간의 전단결합강도를 평가하는 것이다.

귀무 가설은 '3D 프린팅 레진에 결합된 임시 수복용 레진은 열순환 처리 후에 전단결합강도의 차이가 없다'로 설정하였다.

연구 재료 및 방법

직경 20.0 mm, 높이 14.0 mm의 80개의 실린더 형태의 3D 프린팅 레진 표본을 설계하였다.¹⁷ 표본은 3D 프린팅 레진 파우더(Raydent C&B, Ray Co., Ltd, Seongnam, Korea)를 DLP 방식을 이용한 3D 프린터(cara Print 4.0, Kulzer, Hanau, Germany)를 통하여 제작하였다. 0°의 각도로 표본의 장축에 평행하게 적층하여 제작하였으며 임시 수복용 레진이 부착될 면을 편평하게 제작하도록 프린팅 후 반대편에 서포트 구조를 설계하였다. 사용된 3D 프린팅 레진 표본은 20분간 초음파 세척기(SD-120H, Mujigae Co., Seoul, Korea) 내에서 증류수로 세척하였으며 20 초 간 압축 공기분사로 건조하였다. 이후, 임시 수복용 레진이 부착될 면은 50.0 μ m의 산화알루미늄(Al_2O_3) 입자를 이용하여 10.0 mm의 거리에서 2.0 bar의 압력으로 10초 간 샌드블라스팅을 시행하였다(Cobra, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany). 3D 프린팅 레진 표본은 10초 간 스팀 세척기(SES2014 New Beginning, SEKI Industry, Seoul, Korea)로 세척하였다.

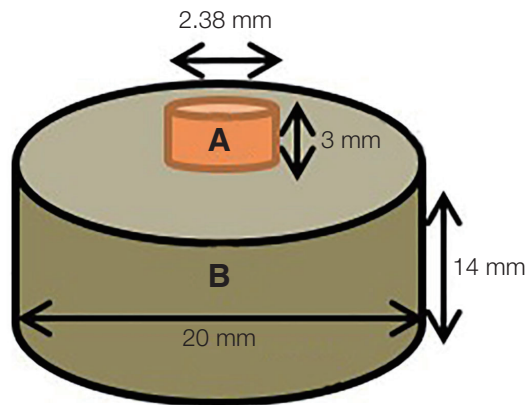
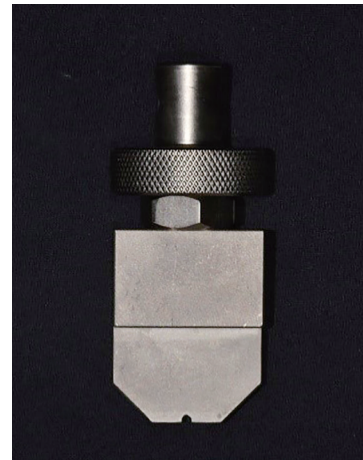
세척한 3D 프린팅 레진 표본은 두 가지 종류의 임시 수복용 레진 및 네 가지의 열순환 처리 횟수에 따라 각 10개씩 8개의 그룹으로 분류하였다. 임시 수복용 레진과 열순환 처리 횟수에 따른 분류는 Table 1에 정리하였다. 표본 상에 직경 2.38 ± 0.01 mm, 높이 3.00 ± 0.01 mm의 임시 수복용 레진인 PMMA와 bis-acryl resin이 결합할 수 있도록 실리콘 몰드를 제작하였다.¹⁷ 몰드에 삽입된 3D 프린팅 레진 표본 상에 분류된 각 군에 따라 PMMA, Bis-acryl resin을 혼합하여 실린더 형태의 3D 프린팅 표본의 원 중앙에 접착시켰다(Fig. 1). 사용된 임시 수복용 레진은 Table 2에 기술하였다. 결합된 임시 수복용 레진은 23°C에서 60분간 중합이 되도록 하였다. 표본들은 열

Table 1. Classification and abbreviations of tested groups (n = 10)

		Control	Number of thermal cycling		
			2,000 cycles	3,000 cycles	5,000 cycles
Materials	Jet (methyl methacrylate)	J0	J2	J3	J5
	Luxatemp (bis-acryl resin)	L0	L2	L3	L5

Table 2. Provisional resin in this study

Material	Manufacturer	Composition
Jet	Lang Dental, Wheeling, USA	Methyl methacrylate, N, N-dimethyl-p-toluidine
Luxatemp	DMG, Hamburg, Germany	Urethane diacrylate, aromatic diacrylate, glycol methacrylate, pigments, additives, stabilizer, silica, glass fiber

**Fig. 1.** Experiment design of tested groups. (A) Provisional resin, (B) 3D printed resin.**Fig. 2.** Customized rod for shear bond strength test.

순환 처리기(Tokyo Giken Co., Tokyo, Japan)에서 각 군의 정해진 횟수에 따라 열순환 처리를 진행하였다. 열순환 처리는 5°C의 수조에서 30초 보관 후 휴지기 10초를 거쳐 55°C의 수조에서 30초 보관하는 것을 1회 순환으로 하여 2,000회, 3,000회, 5,000회 시행하였으며 대조군은 열순환 처리를 시행하지 않았다. 처리 후 모든 표본은 24시간 동안 37°C의 증류수에 보관하였다. 만능재료시험기(QM100TS, QMESYS, Seoul, Korea) 상에서 접착된 표본들의 전단결합강도를 측정하였다. 주문 제작된 금속 로드(Fig. 2)는 3D 프rinting 레진과 임시 수복용 레진의 결합 단면에 0.5 mm/min의 crosshead speed로 적용하였으며 전단결합강도는 결합된 두 레진이 분리되었을 때의 최대 하중(N)을 단면적(mm²)으로 나눈 값으로 측정하였다.

파절 양상 분석을 위하여 파절 단면을 주사 전자현미경(ZEISS GeminiSEM 500, Carl Zeiss Corp., Oberkochen, Germany)을 통하여 50 배율로 관찰하였다. 관찰된 표본들은 파절 양상에 따라 응집 파절, 혼합 파절, 접착 파절로 분류하여 빈도를 분석하였다.

측정한 전단결합강도는 IBM SPSS Statistics v23.0 (IBM Corp., Armonk, USA)을 이용하여 통계 분석을 하였다. 동일한 임시 수복용 레진 내에서 열순환 처리 횟수에 따른 전단결합강도의 비교를 위하여 반복측정분산분석을 시행하였고, 각 임시 수복용 레진 간의 전단결합강도의 차이를 분석하기 위하여 매개 변수를 임시 수복용 레진의 종류와 열순환처리 횟수로 하는 이원배치분산분석을 시행하였다. 통계적 유의성의 수준은 0.05로 설정하였다.

결과

각 군의 전단결합강도의 평균값과 표준편차는 Table 3에 기술하였다. 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진과의 결합은 L0군(2.88 ± 0.58 MPa)에서 가장 높은 값을 보였으며, 다음으로는 J0군에서 높은 값이 나타났다(1.75 ± 0.41 MPa). 열순환 처리의 횟수가 증가함에 따라 3D 프린팅 레진에 대한 각 재료의 전단결합강도는 J3군과 J5군 간을 제외하고 모두 감소하였다.

반복측정분산분석 결과, Jet군에서는 J0과 J2 간, J0과 J3 간, J0과 J5 간, J2와 J3 간, J2와 J5 간의 열순환 처리에는 유의한 전단결합강도의 차이를 보였으나($P < 0.05$) J3군과 J5군 간의 전단결합강도는 유의한 차이를 나타내지 않았다($P > 0.05$, Table 4). Luxatemp군에서는 L0와 L2 간, L0와 L3 간, L0와 L5 간에는 유의한 전단결합강도의 차이를 나타내었고($P < 0.05$) L2군과 L3군, L3군과 L5군 간의 전단결합강도는 유의한 차이를 보이지 않았다(P

> 0.05 , Table 4).

이원배치분산분석을 통하여 재료와 열순환 처리 횟수 간의 상호작용에 대하여 유의성을 확인할 수 있었다($P < 0.05$, Table 5). 각 재료와 열순환 처리 횟수는 전단결합강도의 변화에 대하여 영향을 줄 수 있었다.

전단결합강도의 측정이 완료된 후 주사 전자 현미경을 사용하여 각 실험군의 파절 양상을 관찰하였다(Fig. 3). 표시된 원 안은 3D 프린팅 레진을 나타내며, 혼합 파절에서의 화살표는 파절되고 잔류된 임시 수복용 레진을 나타낸다. 접착 파절에서는 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진은 완전히 분리되었으며, 응집 파절에서는 3D 프린팅 레진 내에서 파절이 일어났다. 혼합 파절에서는 임시 수복용 레진은 일부 남아있는 채로 접착 파절과 응집 파절이 혼재되어 있는 양상을 나타내었다. 파절 양상 분석에서, PMMA인 Jet군에서는 응집 파절은 거의 존재하지 않았으며, 접착 파절과 혼합 파절이 높은 빈도를 차지하였다(Fig. 4). J0군과 J2군에서는 혼합 파절이 50% 나

Table 3. Mean and standard deviation of shear bond strengths (unit: MPa)

Group	Mean \pm SD (MPa)		<i>P</i>
	Jet	Luxatemp	
Control	1.75 ± 0.41	2.88 ± 0.58	$< 0.001^*$
2,000 cycles	1.14 ± 0.46	1.57 ± 0.65	0.110
3,000 cycles	0.66 ± 0.44	1.03 ± 0.51	0.098
5,000 cycles	0.98 ± 0.25	0.63 ± 0.41	0.092

P values were calculated by result of independent samples t-test between Jet and Luxatemp group.

* denotes significant difference at level of 0.05

Table 4. Tukey HSD test of shear bond strength between groups

	Control	2,000 cycles	3,000 cycles	5,000 cycles
Jet	1.75 ± 0.41^a	1.14 ± 0.46^b	0.66 ± 0.44^c	0.98 ± 0.25^c
Luxatemp	2.88 ± 0.58^d	1.57 ± 0.65^e	1.03 ± 0.51^{ef}	0.63 ± 0.41^{ef}

* Same superscripted letters indicate no significant difference at level of 0.05.

Table 5. Result of two-way ANOVA

Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Corrected Model	114874.350 ^a	7			
Intercept	313751.250	1	16410.621		
Material	15103.008	1	313751.250	28.696	$< 0.001^*$
Cycle	94011.106	3	15103.008	548.641	$< 0.001^*$
Material * Cycle	5760.236	3	31337.035	26.410	$< 0.001^*$
Error	41174.620	72	1920.079	54.798	$< 0.001^*$
Total	469800.220	80	571.870	3.358	0.023*
Corrected total	156048.970	79			

* denotes significant difference at level of 0.05.

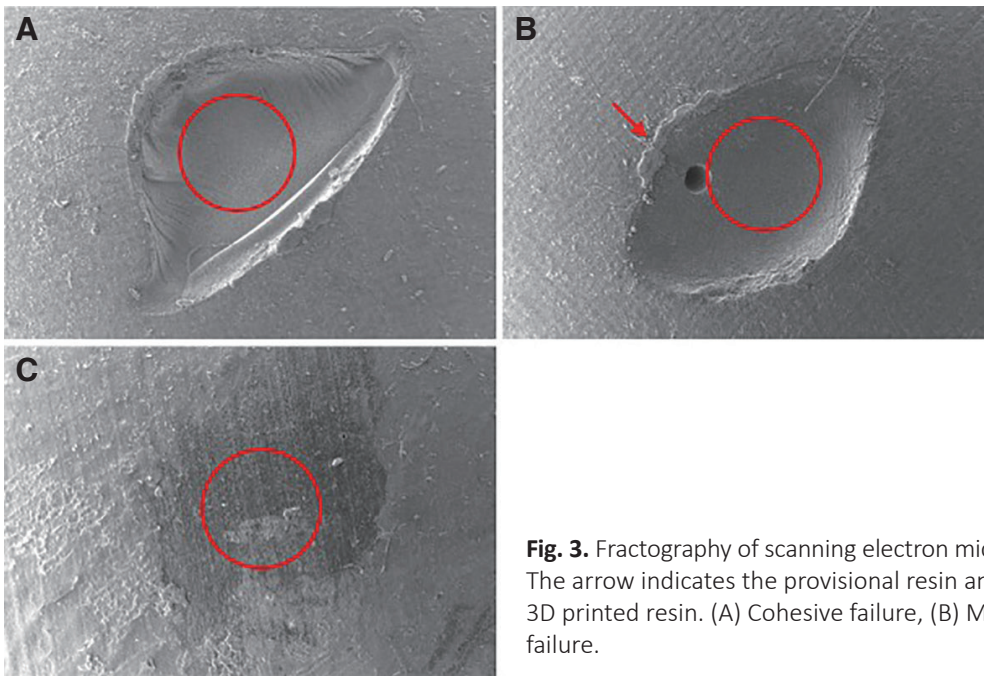


Fig. 3. Fractography of scanning electron microscope (x50 magnification). The arrow indicates the provisional resin and the circles indicate the 3D printed resin. (A) Cohesive failure, (B) Mixed failure, (C) Adhesive failure.

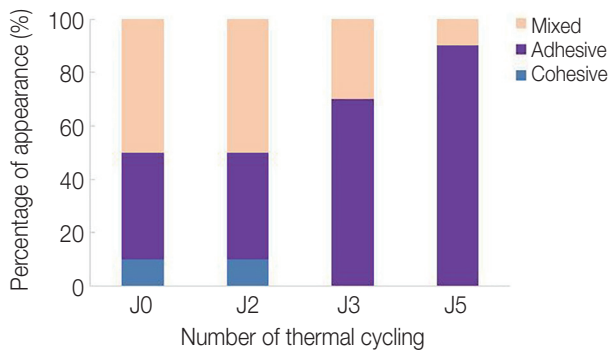


Fig. 4. Failure mode analysis of Jet group.

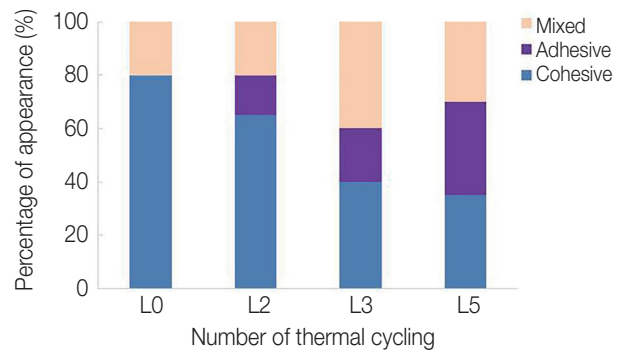


Fig. 5. Failure mode analysis of Luxatemp group.

타났으며 접착 파절이 40%, 응집 파절이 10%로 나타났다. J3군과 J5군에서는 접착 파절의 비율이 각각 65%, 90%로 증가하였으며 응집 파절은 관찰되지 않았다. Bis-acryl resin인 Luxatemp군에서는 응집 파절이 우세하게 나타났으며 접착 파절과 혼합 파절이 더 낮은 빈도로 나타났다(Fig. 5). L0군에서는 접착 파절은 관찰되지 않았으며 응집 파절이 80%, 혼합 파절이 20%로 나타났다. L2, L3, L5군에서는 응집 파절의 비율이 점차 감소하였으며 접착 파절의 비율은 증가하였다.

고찰

본 연구의 목적은 사용 기간에 따라 3D 프린팅 레진과

전통적인 임시 수복용 레진과의 결합강도의 변화를 평가하기 위함이다. 귀무 가설은 ‘3D 프린팅 레진에 결합된 임시 수복용 레진은 열순환 처리 후에 전단결합강도의 차이가 없다’였으며 사용기간에 따라 전단결합강도에는 차이가 발생하였으며, 이 귀무 가설은 기각되었다.

임시 수복물 재료의 3D 프린팅 방식으로는 selective laser sintering (SLS), fused deposition modeling (FDM), stereolithography apparatus (SLA), digital light processing (DLP) 등이 있다. SLS 방식은 파우더 형태의 플라스틱 재료에 레이저를 주사, 재료를 가열하여 응고시키는 원리를 통해 수복물을 제작한다. 강도가 높고 서포트가 필요 없으며 정밀도가 높으나 후표면처리의 공정이 필요하고 장비의 가격이 비싸다. FDM 방식은 가열된 노즐을

통해 용융된 필라멘트를 압출하여 적층하는 원리로 작동한다. 장비가 저렴하여 가장 대중화된 방식이나, 정밀도가 다른 방식에 비하여 낮은 단점이 존재한다.¹⁷ 이에 비하여 비교적 정밀도가 높은 SLA와 DLP 기술이 치과용 수복물 제작에 사용되고 있다.^{18,19} SLA는 액체 상태의 광경화성 레진에 점 형태의 레이저 빔이 조사되고 반사경을 이용하여 조사될 부위를 조절하여 단면을 그리면서 출력물이 완성되는 방식이다.^{20,21} DLP는 이와 비슷하나 액체 상태의 광경화성 레진을 반사경을 이용하지 않고 빔 프로젝터를 이용하여 층 전체를 한 번에 중합시켜 출력물을 만드는 방식이다.^{22,23} 때문에, DLP 방식은 SLA 방식보다 제작에 더 적은 시간이 소요되며,²⁴ 둘 사이의 정밀도에는 유의한 차이가 없다고 보고된다.²² 대부분의 3D 프린팅 임시 수복용 레진은 높은 정밀도와 빠른 작업속도의 장점을 지닌 DLP 방식을 이용하여 레진을 중합하고 있으며 본 연구에서 역시 3D 프린팅 레진을 출력 시 DLP 방식으로 제작하였다.

UDMA와 bisphenol A-glycidyl methacrylate (bis-GMA)는 DLP 방식에서 가장 일반적으로 사용되는 레진 기질이다.¹¹ 본 연구에서 3D 프린팅 레진으로 사용된 Raydent C&B (Ray Co., Ltd.)는 UDMA를 기질로 사용하여 DLP 방식으로 경화를 시켜 제작하였다. 실험에 사용된 Luxatemp는 bis-acryl resin으로 분자간 탄소 이중결합을 통하여 사슬을 형성하는 UDMA와 유사한 구조의 공중합체⁴인 이유로 PMMA와 비교하였을 때 높은 결합강도를 보이고 응집 파절의 빈도가 많은 것으로 사료된다. 다른 임시 수복용 레진 재료인 PEMA와 UDMA와의 결합강도에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되며, 또한 열순환 처리 이후의 결합강도의 변화는 두 레진 간에 유의한 차이가 없는 것에 대하여 추후 심도 있는 연구가 필요할 것으로 보인다.

상이한 재료 간의 결합강도의 측정을 위해서 인장결합강도 연구 혹은 전단결합강도 연구가 사용되고 있다. 인장결합강도는 접착 계면에 수직적인 힘을 가할 때 적용 가능하며 반면에, 전단결합강도는 접착 계면에 수평적인 힘을 가할 때 적용이 가능하다.²⁵ 본 연구에서는 임시 수복물을 재이장 할 경우 압축력보다는 전단력에 의한 재료 간의 분리가 일어날 것이라 예상되어 전단결합강도의 연구를 진행하였다. 또한 동일한 강도의 힘을 가하였을 때 인장결합강도보다는 전단결합강도를 가할 경우 재료 간의 분리가 더 잘 일어난다고 보고된 바 있다.^{26,27} 이에, 전단결합강도 연구를 통하여 3D 프린팅 레진을 임시 수

복용 레진으로 재이장 시 예후에 대하여 연구하고자 하였다. 구강 내 가해지는 다양한 힘들에 의한 재료 간의 결합강도를 측정을 위하여 다른 결합강도에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

두 재료 간의 결합강도를 강화하기 위한 표면처리는 기계적 유지나 화학적 접착력의 증진으로 강화될 수 있다.^{28,29} Yoshida 등³⁰은 CAD-CAM 레진 재료에 대한 두 가지의 이중중합 레진 시멘트와의 결합강도는 실란 커플링제(silane coupling agent)를 통해 강화될 수 있다고 하였다. Jeong과 Kim³¹은 CAD-CAM 임시 수복용 레진의 샌드페이퍼와 샌드블라스팅 표면처리가 전통적인 임시 수복용 레진과의 결합을 증진시킬 수 있다고 하였다.

3D 프린팅 레진 표면의 전처리제 도포를 통하여 화학적 결합을 향상시켜 결합강도를 비교한 연구가 있었으며 임시 수복용 레진의 결합에는 표면의 실란 처리가 중요한 역할을 하여 결합강도를 높였다고 하였다.^{32,33} 이는 3D 프린팅으로 제작한 레진에도 잔류 무기성분이 존재하여 추가적인 결합이 실란을 통하여 생성되어 무기체와 공중합체의 결합강도가 증가한 것으로 생각될 수 있다.³⁴ 한편, Lee와 Lee³⁵는 bis-acryl resin의 침상 시 접착제의 도포는 결합강도를 증진시키지 않는다고 하였다. 본 연구에서는 3D 프린팅 레진에는 기계적 표면처리만을 시행하였으며 3D 프린팅 레진의 표면에 실란 처리를 한 경우에 결합강도의 측정에는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Albahri 등³⁶은 3D 프린팅 레진과 서로 다른 임시 수복용 레진인 PMMA, bis-acryl resin, bis-GMA resin와의 결합강도를 비교하였으며 이에 대하여 각 레진의 결합강도간에 통계적 유의한 차이는 없다고 하였다. Lim과 Shin¹⁷은 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진과의 결합강도 연구에서 bis-acryl resin 이 PMMA보다 더 높은 결합강도를 보였다고 하였다. 본 연구에서는 열순환 처리를 하지 않았을 때에는 PMMA와 bis-acryl resin에서 3D 프린팅 레진과의 결합강도의 차이를 보였으나 열순환 처리를 하였을 경우에는 결합강도에는 유의한 차이가 존재하지 않았다.

한편, 구강 내 수복물의 생존율 평가를 위한 시효 처리로 반복 하중,³⁷ 브러싱,³⁸ 열순환 처리³⁹ 등이 시행되어 왔으며, 이 중 열순환 처리는 치과용 수복체의 시효 처리를 위해 가장 흔하게 사용된다.⁴⁰ 특히, 레진의 경우 열순환 처리 후 기계적 성질이 감소할 수 있으며,⁴¹ 표면 거칠기가 증가하고, 필러 입자의 탈락이 보고되었다.⁴²

Gale와 Darvell⁴³은 in vivo 연구에서 10,000회의 열순환 처리를 할 경우 구강 내에서의 약 1년 정도 사용으로 간주할 수 있다고 밝힌 바 있다. 본 연구에서는 결합된 레진을 2,000회, 3,000회, 5,000회 열순환 처리를 하였는데 이는 구강 내에서 각각 대략 2.4개월, 4개월, 6개월에 대응한다고 할 수 있다. Palla 등⁴⁴의 연구에서는 21,900회의 열순환 처리가 구강 내에서의 3년 노출이라 하였으며 이를 본 연구에 적용 시 대략 3개월, 5개월, 9개월에 대응한다. Morresi 등⁴⁰의 문헌적 고찰에서는 열순환 처리 방법과 구강 내 사용기간에 상응하는 횟수에 관한 표준화된 연구는 부족한 실정이라 밝힌 바 있으나 많은 연구들은 Gale와 Darvell⁴³의 연구와 부합한 방법으로 연구를 진행하였다. 이에 본 연구에서 또한 Gale와 Darvell⁴³의 연구 방법을 통하여 구강 내에서 사용한 기간에 따른 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진과의 결합강도의 변화를 열순환 처리를 통해 알아보고자 하였다.

Torstenson과 Brännström⁴⁵은 열순환 처리 후 레진 간의 접착 계면에 기계적 응력을 집중시켜 체적의 변화를 야기할 수 있다고 하였다. 결과적으로, 각 레진의 체적 변화 차이로 인하여 접착 계면에 균열이 발생할 수 있다고 하였으며 이는 결합강도의 약화로 나타날 수 있다고 하였다. Stawarczyk 등⁴⁶은 또한 열순환 처리에 의해 PMMA 레진과 레진 접착제 간의 결합이 약화될 수 있다고 하였다. 반면, Piwowarczyk 등⁴⁷은 열순환 처리에 의하여 CAD-CAM 재료와 전통적인 임시 수복용 레진 간의 후중합 과정을 통하여 결합강도가 증진될 수 있다고 하였다. 본 연구에서 귀무 가설은 기각되어 열순환 처리 후 후중합을 통한 결합강도의 증진보다는 오히려 열순환 처리 횟수에 따라 약화되었다.

열순환 처리를 하지 않은 경우와 열순환 처리를 한 경우를 비교하였을 때 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진과의 전단결합강도는 유의한 감소를 나타내었으나 Jet 군에서 J3군과 J5군간의 전단결합강도와 Luxatemp군에서 L2군과 L3군, L3군과 L5군 간의 전단결합강도는 유의한 감소를 보이지 않았다($P > 0.05$). 열순환 처리는 두 재료 간의 전단결합강도를 약화시키는 역할을 할 수 있으나 그 횟수에 따라 반비례하지는 않는 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 제한적인 표본의 수로 인하여 열순환 처리 횟수와 전단결합강도 간의 직접적인 연관관계는 파악하기 어려워 보이며 추후 이에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 본 연구는 실제 구강

환경을 재현할 수 없었다. 따라서 본 연구를 뒷받침 하기 위해서는 실제 구강 내에서의 임시 수복물의 결합강도를 확인하는 추가 연구가 필요하다. 또한 표본의 수가 제한적이고 보철물의 외형을 따르지 않은 표본의 외형으로 인해 결합강도의 측정을 부분적인 영역에서만 보여주었다는 사실을 고려하여야 한다. 따라서 임시 수복물에 대한 3D 프린터의 적용을 넓히려면 임상 연구 및 장기적인 연구가 추가가 필요할 것으로 사료된다.

결론

3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진의 전단결합강도는 열순환 처리를 한 경우 결합강도가 낮아졌다. 열순환 처리의 횟수에 따라 전단결합강도는 낮아지는 경향을 보였으나 횟수에 따라 전단결합강도는 반비례하여 감소하지는 않았다. 전단결합강도에 대한 임시 수복용 레진의 종류와 열순환 처리 횟수 사이에는 유의한 상호 작용이 있어 전단결합강도의 변화에 대하여 영향을 줄 수 있다.

결론적으로 임시 수복용 레진으로 3D 프린팅 레진 수복물을 재이장하거나 수리하는 경우 사용기간에 따라서 결합강도는 낮아질 것이므로 장기적으로 사용할 경우 임시 수복물의 재제작이 필요할 것으로 사료된다.

ORCID

Ji-Hun Yim <https://orcid.org/0000-0002-3893-4568>

Soo-Yeon Shin <https://orcid.org/0000-0001-6160-7277>

References

1. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD. Provisional restorations. Fundamentals of Fixed Prosthodontics. 4th ed. Chicago; Quintessence Int; 1998. p. 225-56.
2. Waerhaug J. Temporary restorations: advantages and disadvantages. Dent Clin North Am 1980;24: 305-16.
3. Federick DR. The provisional fixed partial denture. J Prosthet Dent 1975;34:520-6.
4. Tom TN, 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.
5. Christensen GJ. Provisional restorations for fixed prosthodontics. *J Am Dent Assoc* 1996;127:249-52.
6. 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 prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent* 2003;90:474-97.
7. 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.
8. Crispin BJ, Caputo AA. Color stability of temporary restorative materials. *J Prosthet Dent* 1979;42:27-33.
9. Doray PG, Li D, Powers JM. Color stability of provisional restorative materials after accelerated aging. *J Prosthodont* 2001;10:212-6.
10. Nivedita S, Prithviraj DR. A comparative study to evaluate the marginal accuracy of provisional restorations fabricated by light polymerized resin and autopolymerized resin: a scanning electron microscope study. *J Indian Prosthodont Soc* 2006;6:122-7.
11. Crivello JV, Reichmanis E. Photopolymer materials and processes for advanced technologies. *Chem Mater* 2014;26:533-48.
12. Kim YH, Jung BY, Han SS, Woo CW. Accuracy evaluation of 3D printed interim prosthesis fabrication using a CBCT scanning based digital model. *PLoS One* 2020;15:e0240508.
13. Son YT, Son K, Lee KB. Marginal and internal fit of interim crowns fabricated with 3D printing and milling method. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2020;36:254-61.
14. Kim SB, Kim NH, Kim JH, Moon HS. Evaluation of the fit of metal copings fabricated using stereolithography. *J Prosthet Dent* 2018;120:693-8.
15. 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.
16. Galindo D, Soltys JL, Graser GN. Long-term re-inforced fixed provisional restorations. *J Prosthet Dent* 1998;79:698-701.
17. Lim NK, Shin SY. Bonding of conventional provisional resin to 3D printed resin: the role of surface treatments and type of repair resins. *J Adv Prosthodont* 2020;12:322-8.
18. Liu Y, Ye H, Wang Y, Zhao Y, Sun Y, Zhou Y. Three dimensional analysis of internal adaptations of crowns cast from resin patterns fabricated using computer-aided design/computer-assisted manufacturing technologies. *Int J Prosthodont* 2018;31:386-93.
19. Rayyan MM, Aboushelib M, Sayed NM, Ibrahim A, Jimbo R. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *J Prosthet Dent* 2015;114:414-9.
20. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: a review. *Dent Mater* 2019;35:825-46.
21. Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities. *Dent Mater* 2016;32:54-64.
22. 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.
23. 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.
24. Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *J Adhes Dent* 2014;16:531-40.
25. Gilbert S, Keul C, Roos M, Edelhoff D, Stawarczyk B. Bonding between CAD/CAM resin and resin composite cements dependent on bonding agents: three different in vitro test methods. *Clin Oral Investig* 2016;20:227-36.
26. Bähr N, Keul C, Edelhoff D, Eichberger M, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Effect of different adhesives combined with two resin composite cements on shear bond strength to polymeric CAD/

- CAM materials. *Dent Mater J* 2013;32:492-501.
27. Keul C, Martin A, Wimmer T, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Tensile bond strength of PMMA- and composite-based CAD/CAM materials to luting cements after different conditioning methods. *Int J Adhes Adhesiv* 2013;46:122-7.
 28. Ha SR, Kim SH, Lee JB, Han JS, Yeo IS. Improving shear bond strength of temporary crown and fixed dental prosthesis resins by surface treatments. *J Mater Sci* 2016;51:1463-75.
 29. da Costa TR, Serrano AM, Atman AP, Loguercio AD, Reis A. Durability of composite repair using different surface treatments. *J Dent* 2012;40:513-21.
 30. Yoshida K, Kamada K, Atsuta M. Effects of two silane coupling agents, a bonding agent, and thermal cycling on the bond strength of a CAD/CAM composite material cemented with two resin luting agents. *J Prosthet Dent* 2001;85:184-9.
 31. 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.
 32. Ellakwa AE, Shortall AC, Burke FJ, Marquis PM. Effects of grit blasting and silanization on bond strengths of a resin luting cement to Belleglass HP indirect composite. *Am J Dent* 2003;16:53-7.
 33. Lise DP, Van Ende A, De Munck J, Vieira L, Baratieri LN, Van Meerbeek B. Microtensile bond strength of composite cement to novel CAD/CAM materials as a function of surface treatment and aging. *Oper Dent* 2017;42:73-81.
 34. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater* 2012;28:467-77.
 35. Lee J, Lee S. Evaluation of add-on methods for bis-acryl composite resin interim restorations. *J Prosthet Dent* 2015;114:594-601.
 36. Albahri R, Yoon HI, Lee JD, Yoon S, Lee SJ. Shear bond strength of provisional repair materials bonded to 3D printed resin. *J Dent Sci* 2021;16:261-7.
 37. Zhi L, Bortolotto T, Krejci I. Comparative in vitro wear resistance of CAD-CAM composite resin and ceramic materials. *J Prosthet Dent* 2016;115:199-202.
 38. Flury S, Diebold E, Peutzfeldt A, Lussi A. Effect of artificial toothbrushing and water storage on the surface roughness and micromechanical properties of tooth-colored CAD-CAM materials. *J Prosthet Dent* 2017;117:767-74.
 39. Marro FG, Mestra A, Jiménez-Piqué E, Chintapalli R, Anglada M. Surface mechanical properties of advanced zirconia after hydrothermal exposure. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 2012;31:012015.
 40. Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, Monaco A. Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater* 2014;29:295-308.
 41. Gu HJ, Jun SK, Kim DA, Kim HW, Lee HH. Effect of the thermocycling on the mechanical properties of resin composite. *Korean J Dent Mater* 2008;35:155-64.
 42. Minami H, Hori S, Kurashige H, Murahara S, Muraguchi K, Minesaki Y, Tanaka T. Effects of thermal cycling on surface texture of restorative composite materials. *Dent Mater J* 2007;26:316-22.
 43. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27:89-99.
 44. Palla ES, Kontonasaki E, Kantiranis N, Papadopoulou L, Zorba T, Paraskevopoulos KM, Koidis P. Color stability of lithium disilicate ceramics after aging and immersion in common beverages. *J Prosthet Dent* 2018;119:632-42.
 45. Torstenson B, Brännström M. Contraction gap under composite resin restorations: effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dent* 1988;13:24-31.
 46. Stawarczyk B, Basler T, Ender A, Roos M, Özcan M, Hämmerle C. Effect of surface conditioning with airborne-particle abrasion on the tensile strength of polymeric CAD/CAM crowns luted with self-adhesive and conventional resin cements. *J Prosthet Dent* 2012;107:94-101.
 47. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. In vitro shear bond strength of cementing agents to fixed prosthodontic restorative materials. *J Prosthet Dent* 2004;92:265-73.

3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진의 열순환 처리 후 전단결합강도에 관한 연구

임지훈 대학원생, 신수연* 교수

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 본 연구에서는 3D 프린팅 레진과 임시 수복용 레진의 열순환 처리에 따른 전단결합강도의 변화를 연구하고자 하였다.

연구 재료 및 방법: DLP 방식을 이용하여 3D 프린팅 레진으로 표본을 제작하였다. 표본은 상부에 부착한 임시 수복용 레진(PMMA, bis-acryl resin) 및 열순환 처리 횟수(대조군, 2,000, 3,000, 5,000회)에 따라 8개의 군으로 분류하였다. 만능 재료시험기 상에서 결합된 표본들의 전단결합강도를 측정하였다.

결과: 열순환 처리의 횟수가 증가함에 따라 3D 프린팅 레진에 대한 PMMA와 bis-acryl resin의 전단결합강도는 PMMA에서 3,000회와 5,000회 간을 제외하고 모두 감소하였다. PMMA 그룹에서는 3,000회 미만의 열순환 처리 횟수 간에서 유의한 전단결합강도의 차이를 보였으며($P < 0.05$), 3,000회 이상의 열순환 처리 횟수 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Bis-acryl resin 그룹에서는 대조군과 2,000회 간, 대조군과 3,000회 간, 대조군과 5,000회 간의 열순환 처리에는 유의한 전단결합강도의 차이가 있었으며($P < 0.05$), 2,000회와 3,000회 간, 3,000회와 5,000회 간에는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

결론: 3D 프린팅 레진에 대한 임시 수복용 레진의 전단결합강도는 열순환 처리를 한 경우 결합강도가 낮아지는 경향을 보였다.

(구강회복응용과학지 2021;37(3):101-10)

주요어: 3D 프린팅; 임시 수복용 레진; 전단결합강도; 열순환 처리

*교신저자: 신수연

(31116)충청남도 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 치과보철학교실

Tel: 041-550-0256 | Fax: 041-550-1975 | E-mail: syshin@dankook.ac.kr

접수일: 2021년 6월 14일 | 수정일: 2021년 7월 14일 | 채택일: 2021년 8월 9일