

A comparison study on shear bond strength of 3D printed resin and conventional heat-cured denture base resin to denture relining materials

Sung-Yoon Cho, Young-Gyun Song*

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

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the shear bond strength of various 3D printed denture base resins and the conventional denture base resin to various denture relining materials. **Materials and Methods:** For denture base materials, a heat-cured (Vertex RS) and two types of 3D printed DENTCA Denture base II, NextDent™ Base) were used. And 4 types denture relining materials (Tokuyama Rebase II fast, Kooliner, Denture Liner, Denture Liner, Lang Jet Denture Repair Kit) with different components were used. It was classified into 12 groups. Adhesion was performed between the resin base and the relining materials in accordance with ISO/TS 11405 standard. The shear bonding strength was measured, and then the adhesion interface was observed with a stereoscopic microscope and a scanning electron microscope. The fracture pattern was investigated through the analysis of the fragment. **Results:** In the 3D printed denture resin group, the shear bonding strength with relining materials was significantly lower than that of the heat-cured resin group ($P < 0.05$). The group of polymethyl methacrylate -based relining materials, high shear bonding strength was shown regardless of the type of denture. As for the fracture pattern, adhesive fracture appeared in most groups, and cohesive, mixed fracture appeared in some groups. **Conclusion:** The polymethyl methacrylate -based denture relining materials showed high shear bonding strength values compared to other denture relining materials. But, for direct methods, it is considered advantageous in terms of shear bonding strength to use a isobutyl methacrylate-based denture relining materials. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2021;37(4):232-43)

Key words: 3D printing denture base resin; denture relining material; shear bond strength

서론

의치의 제작은 통상적이고 전통적인 방법을 따를 경우 환자의 잦은 내원과 여러 단계의 가공 과정, 그에 따른 비용의 증가 등 여러 단점이 존재하였다.^{1,2} 또한 의치의 파절이나 분실이 발생할 경우 새로운 의치의 재제작이 어렵고 오래 걸리는 문제점이 발생하였다.³ 하지만 최근 치과 영역에서 3D 프린팅 기술의 개발이 점점 발전하여 의치 제작에 그 영역을 넓히기 시작하면서 기존 의치 제작 방법의 단점을 보완할 수 있는 새로운 방법으로 기대되고

있다.⁴⁻⁸

3D 프린팅 방법을 이용하여 의치를 제작할 경우 환자의 내원 횟수를 줄이고, 술자의 진료 시간을 단축시킬 수 있어 보다 효율적인 치료가 가능하다.⁹⁻¹¹ 또한 가공 과정에서 발생하는 중합수축으로 인한 가공 오차를 줄일 수 있어 보다 정확하고 유지력이 높은 의치를 제작할 수 있다.¹²⁻¹⁴ 그리고 환자의 정보가 등록되면 환자의 기록이 영구적으로 저장되기 때문에 환자가 어떠한 의치의 복제를 필요로 한다면 저장된 기록을 재사용하여 바로 새 의치를 제작할 수 있다.^{15,16}

*Correspondence to: Young-Gyun Song
Associate Professor, Department of Prosthodontics, College of Dentistry,
Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan, 31116, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-1932, Fax: +82-41-553-1258, E-mail: ygsong@dankook.ac.kr
Received: November 16, 2021/Last Revision: December 3, 2021/Accepted:
December 4, 2021

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

이러한 3D 프린팅 방법으로 제작된 의치가 환자에게 보편적으로 상용화 되기 위해서는 기존의 통상적인 의치와 같은 유지 관리가 가능해야 할 필요가 있다.^{17,18} 의치상 하방의 잔존치조제는 시간이 지남에 따라 필연적으로 생리적인 흡수가 일어나게 되는데,¹⁹ 이로 인하여 기존의 의치는 잔존치조제와의 적합성이 떨어지게 되어 임상적으로 교합평면의 변화, 수직교합고경의 감소, 의치의 유지력과 안정성의 소실로 인한 구강 기능의 상실 및 안모 지지 소실로 인한 심미적인 손상이 나타나게 된다.²⁰ 이러한 상황에서 환자의 유지 관리를 위해서 의치상과 잔존치조제 사이의 의치의 침상은 의치의 유지 관리 측면에서 필수적인 치료가 되며 이로 인한 환자의 구강구조와 의치상의 정확한 적합한 치료의 성패를 결정하는 중요한 요인이 된다.²¹

통상적인 의치의 유지관리 시에 의치 침상의 방법으로는 진료실에서 직접 시행하는 직접법과 기공실에서 시행하는 간접법이 있다.²² 직접법은 직접 환자의 구강 내에서 시행하기 때문에 간편하고 쉽게 할 수 있다는 장점이 있지만 기존 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 결합강도에 따라 영향을 받을 수 있다는 단점이 있다.²³ 만약 직접법 의치 침상 시행 시 기존 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 결합강도가 약할 경우 계면에서 재료간 분리 및 탈락이 일어날 수 있으며 또한 색소침착 및 악취의 원인

이 될 수 있다.²⁴ 따라서 의치 침상 시 기존 의치상과 의치 침상 재료 간의 전단결합강도는 매우 중요한 요인이 될 수 있으며 3D 프린팅으로 제작한 의치가 임상에서 훌륭한 치료 방법으로 자리매김하기 위해서는 진료실에서 사용하는 의치 침상 재료와의 전단결합강도가 매우 중요한 요인이 된다.²⁵

이에 본 연구에서는 다양한 3D 프린팅 의치상 레진과 여러가지 의치 침상 재료 간의 전단결합강도를 평가하고, 기존의 통상적인 의치의 의치상 재료인 열중합레진과 의치 침상 재료 간의 전단결합강도와 비교하여 평가하고자 하였다. 또한 의치 침상 재료의 접착방식과 성분에 따라 전단결합강도의 차이가 있는지 비교하고자 하였다.

연구 재료 및 방법

대조군으로 열중합레진(Vertex RS, Vertex Dental B.V., Zeist, Netherlands)과 3D 프린팅 의치상 레진으로 DENTCA DENTURE BASE II (DENTCA Inc. Los Angeles, USA)와 NextDent™ Base (NextDent B.V., Zeist, Nederland) 두 종을 사용하였고, 그 종과 정보는 Table 1에 나타내었다. 의치 침상 재료는 국내에 유통되고 있는 제품으로 총 4 가지 재료를 사용하였으며, 그 종과 정보 및 주된 성분은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Composition and manufacturers information of denture base resins

Materials	Manufacturers	Type	Processing method
Vertex RS	Vertex Dental	PMMA	Heat cure polymerization 100 celsius for 20 miutes in the curing tank
DENTCA Denture base II	DENTCA Inc.	PMMA	3D Printing, SLA
NextDent™ Base	NextDent B.V.	PMMA	3D Printing, DLP

Table 2. Composition information of dental relining materials

Relining resin	Composition	
Tokuyama Rebase II fast	Powder	Polyethyl methacrylate (PEMA), Benzoyl peroxide
	Liquid	Acetoacetoxyethyl methacrylate, 1,9-Nonanediol dimethacrylate
Kooliner	Adhesive	Acetone, Ethyl acetate
	Powder	Polyethyl methacrylate (PEMA), Dibenzoyl peroxide
Denture Liner	Liquid	Isobutyl methacrylate, 2,4-Dihydroxy Benzophenone
	Powder	Polyethyl methacrylate (PEMA), Benzoyl peroxide
Lang Jet Denture Repair Kit	Liquid	1,6-Hexanediol dimethacrylate, Methacryloyloxyethyl methyl succinate
	Adhesive	Dichloromethane
	Powder	Polymethyl methacrylate (PMMA)
	Liquid	Methyl methacrylate

총 3가지의 의치상 레진을 직경 10 mm, 높이 5 mm의 원통형으로 제작하였다. 이렇게 만들어진 3가지 의치상 레진은 직경 30 mm, 높이 20 mm의 원통형 크기로 자가 중합 레진(Ortho-jet, Lang Dental Mfg Co., Wheeling, USA)에 매몰하여 시편을 완성하였다(Fig. 1).

의치상 레진의 표면은 400-, 600-, 800-, 1000-, 그리고 1200-grit SiC abrasive paper (R&B, Daejeon, Korea)를 단계적으로 사용하여 더 활택하게 연마하였다. 각 단계는 automatic polishing device (LaboPol-5, Struers, Copenhagen, Denmark)를 사용하여 400 rpm 상에서 충분한 주수 하에 60초간 동일하게 시행하였고 이후 의치 침상 재료를 접착하기 전까지 증류수에 보관하였다.

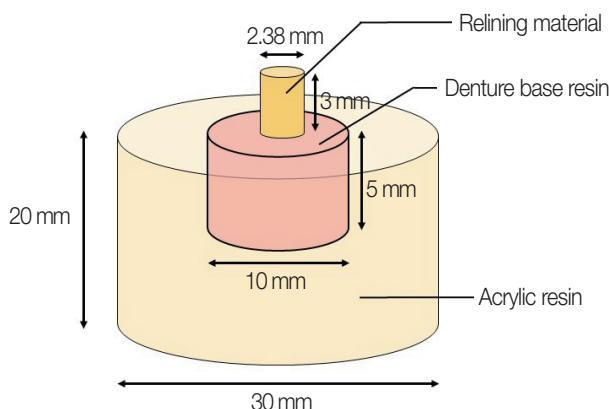


Fig. 1. Schematic diagram of denture base resin embedded in self-curing acrylic resin.

의치 침상 재료를 의치상 레진이 매몰된 시편에 접착하기 위해 Ultradent Bonding Jig (Ultradent Products Inc, South Jordan, USA)를 사용하였다. 모든 시편은 의치상 레진과 의치 침상 재료의 종에 따라 총 12개의 군($n = 15$)으로 분류하였고, 의치 침상 재료 중 접착제를 포함한 Tokuyama rebase II와 Denture Liner 군에서는 의치 침상 재료의 접착 전에 미리 adhesive를 의치 침상 재료가 접착될 의치상 레진 표면에 제조사의 지시에 따라 도포하였다. Ultradent Bonding Jig에는 표준화된 의치 침상 레진이 접착될 수 있도록 직경 2.38 mm, 높이 3 mm를 제공하는 원통형 주형이 제공된다. 이 원통형 주형이 가운데로 위치되도록 시편을 고정하고 4종의 의치 침상 재료를 제조사의 지시에 따라 혼합한 후 원통형 주형에 적용하고 중합하였다(Fig. 1). 중합된 이후 jig를 제거하여 접착이 된 것을 확인한 뒤 이후 ISO/TS 11405 규격에 따라 37°C 항온수조에서 증류수에 담가 24시간 보관하였다.²⁶ 총 12개의 군의 시편에 대한 내용은 Table 3과 같다.

만능재료시험기(Universal Testing Machine, Qmesys, QM100TS, Uiwang, Korea)를 사용하여 전단결합강도를 측정하였으며 측정 시 의치 침상 재료의 두께에 맞게 loading jig를 맞춤 제작하여 응력이 의치 침상 재료 전체에 고르게 작용할 수 있도록 시험하였다(Fig. 2). Cross-head speed는 0.5 mm/min으로 파절이 발생하는 시점까지 압력을 가하는 방법으로 진행하였다. 전단결합강도의 값은 파절될 경우의 최대값으로 산출하였고 이를 시편의 표면적으로 나누어 계산하였다. 그 공식은 다음과 같다.

Table 3. Groups of the specimen

Group name	Details of each group	Numbers of specimen
Group VT	Vertex RS + Tokuyama Rebase II	$n = 15$
Group VK	Vertex RS + Kooliner	$n = 15$
Group VD	Vertex RS + Denture Liner	$n = 15$
Group VL	Vertex RS + Lang jet denture repair	$n = 15$
Group DT	DENTCA + Tokuyama Rebase II	$n = 15$
Group DK	DENTCA + Kooliner	$n = 15$
Group DD	DENTCA + Denture Liner	$n = 15$
Group DL	DENTCA + Lang jet denture repair	$n = 15$
Group NT	Nextdent + Tokuyama Rebase II	$n = 15$
Group NK	Nextdent + Kooliner	$n = 15$
Group ND	Nextdent + Denture Liner	$n = 15$
Group NL	Nextdent + Lang jet denture repair	$n = 15$

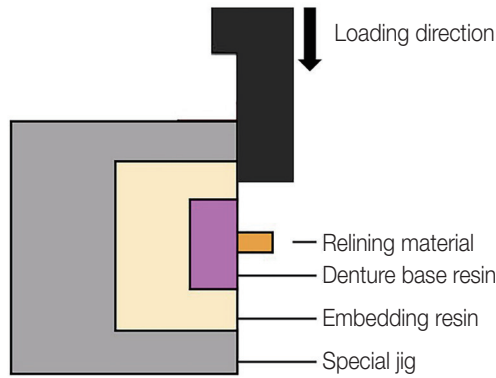


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup of the shear bond strength; the load was applied directly to the interface.

Shear bond strength = Force to failure/bonding area;
MPa = N/mm²

파절된 시편의 표면의 분석을 위해 입체 현미경 (Stereomicroscope, Olympus SZ-PT, Tokyo, Japan)을 사용하여 파절면의 양상을 의치상 레진에서 일어난 응집성 파절, 의치 침상 재료에서 일어난 응집성 파절, 접착성 파절 그리고, 혼합성 파절로 분류하였다. 또한 파절 양상

의 관찰과 분석을 위하여 파절된 시편 중 일부를 선택하여 주사전자현미경(ZEISS GeminiSEM 500, Carl Zeiss Corp., Oberkochen, Germany)을 이용하여 각각 50배, 500배, 1000배의 배율로 표면을 관찰하였다.

평균 전단결합강도 값을 SPSS program (IBM SPSS Statistics v24.0, IBM Corp., Chicago, USA)으로 계산하고 통계적으로 분석하였다. 각 시편의 군 간 전단결합강도의 유의한 차이를 분석하기 위하여 Komogorov-Smirnov test를 이용하여 정규성 검정을 시행하였다. 의치 침상 재료간 비교는 정규성 검정을 시행하여, two-way ANOVA 시행 후, Tukey HSD를 이용하여 사후 검정을 시행하였다. 의치상 재료간의 비교는 표본이 정규성을 나타낸다면 one-way ANOVA와 사후 검정을 위하여 Tukey HSD를, 정규성을 나타내지 않는다면 Kruskal-Wallis test와 사후 검정으로 Bonferroni-Dunn 검정을 시행하였다($P < 0.05$).

결과

측정된 전단결합강도의 군 별 평균 값 및 표준편차는 Fig. 3과 같다. 의치 침상 재료간 비교는 정규성분포를 보여 two-way ANOVA test를 시행하였고, Tukey HSD로 사후검정을 시행하였다. Lang jet denture repair Kit가 다른 재료보다 높은 값을 보였다(Fig. 3, $P = 0.03$)

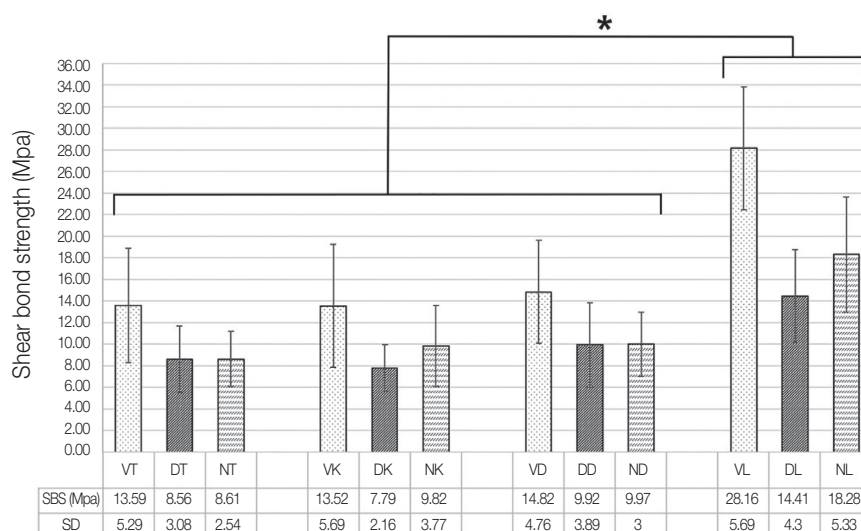


Fig. 3. Mean values (\pm SD) of shear bond strengths. Asterisk (*) indicates statistically significant difference between the experimental groups. SD: standard deviation, VT: Vertex + Tokuyama, VK: Vertex + Kooliner, VD: Vertex + Denture Liner, VL: Vertex + Lang, DT: DENTCA + Tokuyama, DK: DENTCA + Kooliner, DD: DENTCA + Denture Liner, DL: DENTCA + Lang, NT: Nextdent + Tokuyama, NK: Nextdent + Kooliner, ND: Nextdent + Denture Liner, NL: Nextdent + Lang.

의치 첨상 재료로 Tokuyama Rebase II를 사용한 총 시편(n = 45)의 Kolmogorov-Smirnov test의 결과, 정규성을 따르지 않는 것으로 확인되어, Kruskal-Wallis 검정과 사후검정으로 Bonferroni-Dunn test를 시행하였다(Table 4).

Kruskal-Wallis test에서 군 간 유의차가 있는 것으로 확인되었으며, 3D 프린팅 의치상 레진 간에는 유의차가 존재하지 않았고 3D 프린팅 의치상 레진과 열중합 레진 군에서 유의차가 존재하였다($P < 0.05$).

의치 첨상 재료로 Kooliner를 사용한 총 시편(n = 45)의 Kolmogorov-Smirnov test의 결과, 정규성을 따르는 것으로 확인되어, one-way ANOVA test와 사후검정으로 Tukey HSD test를 시행하였다(Table 5).

One-way ANOVA test에서 군간 유의차가 있었으며, Tukey HSD test로 사후 검정에 따르면, 열중합 의치상 레진과 3D 프린팅 의치상 레진인 NEXTDENT군에서는 유의한 차이가 존재하지 않았고, 다른 3D 프린팅 의치상 레진인 DENTCA에서는 유의한 차이가 존재하였다($P < 0.05$).

의치 첨상 재료로 Denture Liner를 사용한 총 시편(n = 45)의 Kolmogorov-Smirnov test의 결과, 정규성을 따르지 않는 것으로 확인되어, Kruskal-Wallis 검정과 사후검정으로 Bonferroni-Dunn test를 시행하였다(Table 6).

Kruskal-Wallis test에서 군 간 유의차가 있는 것으로 확인되었으며, Bonferroni-Dunn test로 사후 검정에 따르면, 3D 프린팅 의치상 레진 간에는 유의차가 존재하지 않았고 3D 프린팅 의치상 레진과 열중합 레진 군에서 유의차가 존재하였다($P < 0.05$).

의치 첨상 재료로 LANG Jet Denture Repair kit를 사용한 시편의 Kolmogorov-Smirnov test의 결과, 정규성을 따르는 것으로 확인되었다. one-way ANOVA test와 사후검정으로 Tukey HSD test를 시행하였다(Table 7).

One-way ANOVA test에서 군 간 유의차가 있는 것으로 확인되었으며 Tukey HSD test로 사후 검정에 따르면, 3D 프린팅 의치상 레진 간에는 유의차가 존재하지 않았고 3D 프린팅 의치상 레진과 열중합 레진 군에서 유의차가 존재하였다($P < 0.05$).

입체 현미경과 주사전자현미경을 이용하여 각 군별로

Table 4. Results of Bonferroni-Dunn test on the shear bond strengths: Tokuyama Rebase II

Sample1-Sample2	Test statistic	Std. error	Std. test statistic	Sig.
DENTCA-NEXTDENT	-.233	4.795	-.049	.961*
DENTCA-Vertex	13.767	4.795	2.871	.004*
NEXTDENT-Vertex	13.533	4.795	2.822	.005*

* denotes significant difference at level of 0.05.

Table 5. Results of Tukey HSD test on the shear bond strengths: Kooliner

Denture base resin	Relining material	Mean difference	Std. error	Sig.
Vertex	DENTCA	5.61199	1.62184	.004*
	NEXTDENT	3.70136	1.62184	.069*
DENTCA	Vertex	-5.61199	1.62184	.004*
	NEXTDENT	-1.91062	1.62184	.473*
NEXTDENT	Vertex	-3.70136	1.62184	.069*
	DENTCA	1.91062	1.62184	.473*

* denotes significant difference at level of 0.05.

Table 6. Results of Bonferroni-Dunn test on the shear bond strengths: Denture Liner

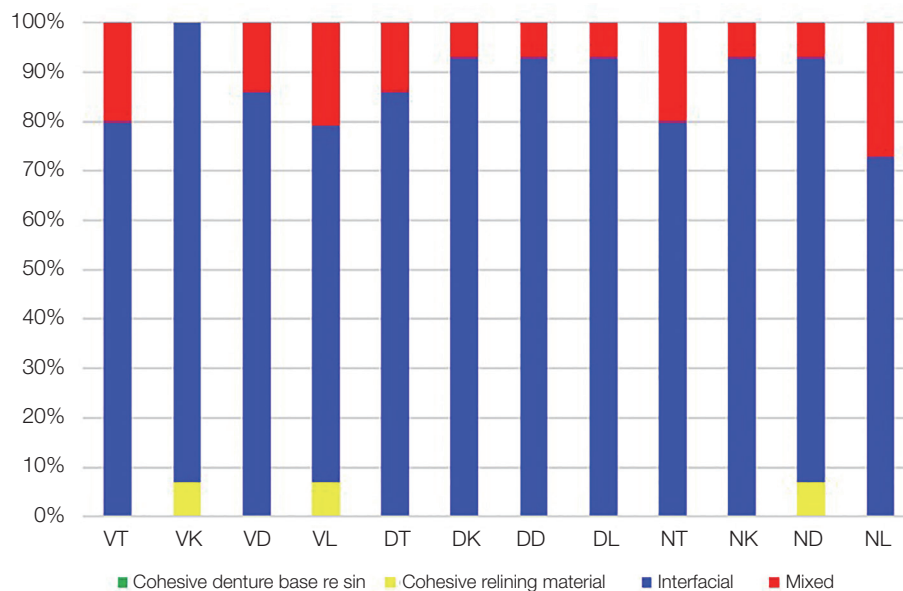
Sample1-Sample2	Test statistic	Std. error	Std. test statistic	Sig.
DENTCA-NEXTDENT	-.667	4.796	-.139	.889*
DENTCA-Vertex	13.833	4.796	2.885	.004*
NEXTDENT-Vertex	13.167	4.796	2.746	.006*

* denotes significant difference at level of 0.05.

Table 7. Results of Tukey HSD test on the shear bond strengths: Lang Jet Denture Repair Kit

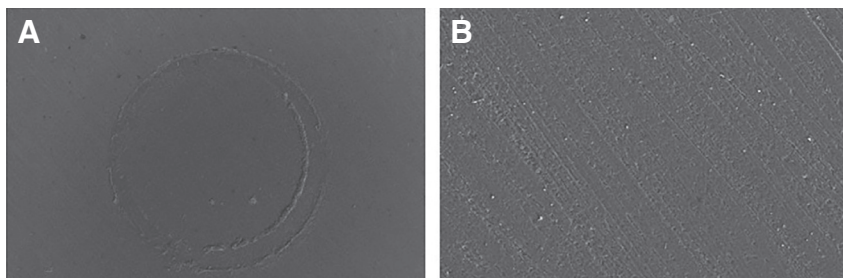
Denture base resin	Relining material	Mean difference	Std. error	Sig.
Vertex	DENTCA	13.73101	1.87598	.000*
	NEXTDENT	9.85432	1.87598	.000*
DENTCA	Vertex	-13.73101	1.87598	.000*
	NEXTDENT	-3.87669	1.87598	.109*
NEXTDENT	Vertex	-9.85432	1.87598	.000*
	DENTCA	3.87669	1.87598	.109*

* denotes significant difference at level of 0.05.

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

파절 양상은 Fig. 4과 같다. 각 군에서 대부분의 경우 접착성 파절양상을 나타내었고 매우 일부 시편에서 응집성 파절과 혼합성 파절이 나타났다. 모든 응집성 파절은 의치 침상 재료의 계면에서만 일어났고 의치상 레진 계면에서는 일어나지 않았다. 주사전자현미경을 이용하여 각각 50배, 500배, 1000배의 배율로 파절 계면을 관찰한 결

과, 접착성 파절이 일어난 시편에서는 파절된 계면에서 잔존한 의치 침상 재료 없이 완전히 박리된 상태를 보였고(Fig. 5), 응집성 파절된 시편의 파절 계면에서는 응집된 의치 침상재료가 관찰되었고(Fig. 6), 혼합성 파절된 시편에서는 완전히 박리된 표면과 함께 응집된 혼성층을 관찰할 수 있었다(Fig. 7).

**Fig. 5.** Scanning electron microscope (SEM) photographs after shear bond strength test: Adhesive failure. (A) Group DK (DENTCA + Kooliner): Interfacial failure (x50), (B) Group DK (DENTCA + Kooliner): Interfacial failure (x500).

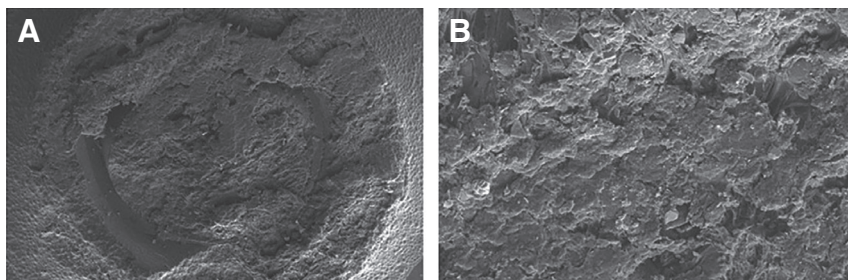


Fig. 6. Scanning electron microscope (SEM) photographs after shear bond strength test: Cohesive failure.

(A) Group VK (Vertex+Kooliner): Cohesive failure on the relining material (x50), (B) Group VK (Vertex + Kooliner): Cohesive failure on the relining material (x500).

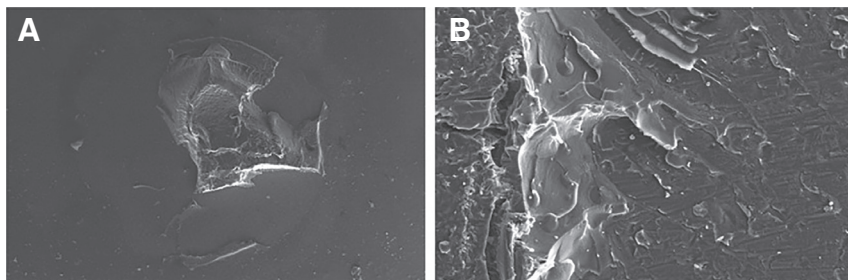


Fig. 7. Scanning electron microscope (SEM) photographs after shear bond strength test: Mixed failure.

(A) Group NT (NextDent + Tokuyama rebase II): Mixed failure (x50), (B) Group NT (NextDent + Tokuyama rebase II): Mixed failure (x1000).

고찰

3D프린팅 기술은 치과분야에서 점점 상용화 되고 있고 최근에는 의치를 제작하는데에도 새로운 치료방법으로 자리매김하고 있다. Maeda 등¹⁵의 연구에서 rapid prototyping의 개념이 처음으로 의치를 제작하는데 소개되었고, AlHelal 등²⁷과 Goodacre 등¹⁰의 연구에서 기존의 통상적인 의치 제작방법과 비교하여 3D 프린팅 기술을 이용한 의치에서 보다 우수한 유지력을 얻었다고 보고하였다. 이러한 3D 프린팅으로 제작한 의치에서도 의치를 지지하는 조직은 지속적으로 변화하기 때문에 이에 따라 의치상의 유지와 지지를 회복하고 적절한 수직고경 내에서 교합을 유지하기 위해 새로운 의치상 재료를 추가하여 의치상 내면을 재형성해주는 의치상 조직면의 침상이 요구된다.²⁸ 이러한 의치상의 침상에 직접적으로 관련 있는 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 긴밀한 접착은 임상적으로 매우 중요한 요인이 된다.²⁹ 이에 본 연구에서 의치상과 의치 침상 재료 간의 접착 강도 측정에 전단결합강도 시험을 사용하였는데 Crig³⁰은 전단결합강도 시험이 구강내에서 의치에 가해지는 부하의 형태를 가장 유사하게 나타낸다고 하였고, Phillips³¹은 전단결합강도가 인장강도, 압축강도, 비례한도 및 탄성계수의 조합된 특징이라고 하였다. 이에 본 연구에서는 3D 프린팅으로 제작한 의치에서 의치 침상 시 의치상 레진과 의치 침상

재료 간의 전단결합강도를 측정하고, 의치 침상 재료의 종과 접착방식에 따라 전단결합강도에 영향이 있는지를 평가하고자 하였다.

의치상 레진으로는 2종의 3D 프린팅 의치상 레진 (DENTCA DENTURE BASE II, NextDent™ Base)과 대조군으로 PMMA를 주성분으로 하는 열중합 레진인 Vertex RS를 선정하였다. DENTCA DENTURE BASE II와 NextDent™ Base는 둘 다 PMMA를 주성분으로 하는 점은 동일하지만 제조 방식이 다른데, DENTCA DENTURE BASE II는 Stereolithography (SLA)기법을, NextDent™ Base는 Digital light processing (DLP) 기법을 이용하여 제작한다. 이 두 기법 모두 광경화성 액체 레진을 사용하며 광중합으로 경화되는 원리는 같으나 SLA 기법은 점(point)단위, DLP 기법은 면(face)단위로 각 층을 경화시킨다는 차이가 있다.³² 이렇게 의치상 레진과 첨가된 의치 침상 재료 사이의 전단결합강도는 의치상 레진과 의치 침상 재료의 화학적 조성, 잔존 단량체의 양, 수분 흡수정도, 가교결합 등에 영향을 받는다.³³ 의치를 침상하는 방법으로는 진료실에서 시행하는 직접법과 가공실에서 시행하는 간접법이 있다.²² 직접법으로 침상을 시행할 경우 자가중합형 의치 침상 재료를 사용하게 되는데, 이때 의치 침상 재료가 PMMA 또는 PEMA를 주성분으로 사용하기 때문에 같은 화학성분으로 이루어진 의치상 레진에서 우수한 접착력을 나타낼 수 있게 된

다. 또한 의치 침상 재료에 포함된 단량체의 의치상 레진으로의 침투와 확산이 의치 침상 재료의 의치상 레진과의 전단결합강도를 높이는 효과가 있다. 따라서 의치 침상 재료의 단량체의 분자량 차이 또한 의치상 레진과의 전단결합강도에 영향을 미칠 수 있다.³⁴

본 실험 결과, 3D 프린팅 의치상 레진인 DENTCA DENTURE BASE II 군과 NextDent™ Base 군에서 4종의 의치 침상 재료와의 전단결합강도가 Vertex RS 군과 비교하여 낮게 나타났다. 이는 열중합 방법을 통하여 제작한 의치상 레진과 3D 프린팅 방법을 이용하여 제작한 의치의 제작 방식에 따른 차이로 생각된다.³⁵ DENTCA DENTURE BASE II와 NextDent™ Base는 3D 프린팅 제작 방법에 의한 광중합형 의치상 레진으로서 PMMA 기질에 무기필러, 광촉매제로 camphorquinone이 작용하게 되는데, 이때 무기필러가 물에서 분해되기 때문에 물의 흡수력이 열중합 레진보다 더 커지게 된다.³⁶ 따라서 이러한 물의 흡수력으로 인한 수분의 가소성 효과가 레진에 작용하게 되어 전반적으로 3D 프린팅 의치상 레진에서 열중합 레진에 비해 전단결합강도가 낮게 나타났다고 사료된다.

또한 의치 침상 재료의 성분과 접착방식도 전단결합강도의 차이에 영향을 미칠 수 있다. Mutluay와 Ruyter³⁷, Takahashi와 Chai³⁸에 의하면 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 전단결합강도에 의치 침상 재료의 접착 유형이 영향을 끼칠 수 있다고 보고하였다. 본 실험에서는 Tokuyama rebase II, Kooliner, Denture Liner, Lang Jet Denture Repair Kit 총 4종의 의치 침상 재료를 사용하여 실험하였다.

Tokuyama rebase II와 Denture Liner를 사용하였을 때 열중합 의치상 레진 군에 비해 두 재료 모두에서 3D 프린팅 의치상 레진을 사용한 군에서 전단결합강도가 낮게 나타났다($P < 0.05$). 이는 Tokuyama rebase II와 Denture Liner의 단량체 내에 고농도의 가교제(1,9-Nonanediol dimethacrylate, 1,6-Hexanediol dimethacrylate)가 첨가되어 있어 이로 인하여 상대적으로 분자량이 커져 의치상 레진으로의 침투와 확산이 상대적으로 약하게 이루어진 것으로 사료된다.^{39,40}

Kooliner는 powder를 PEMA, liquid를 Isobutyl methacrylate를 사용하고 별도의 접착제는 사용하지 않는다. 이러한 Kooliner를 의치 침상 재료로 사용하였을 때 VK군이 DK군에 비해 전단결합강도가 높게 나타났다($P < 0.05$). 하지만 NK군은 VK군과 비교하였을 때

유의미한 차이가 존재하지 않았다. 결과적으로 3D 프린팅 의치상 재료로 NextDent™를 사용한 의치에서는 임상에서 침상시 Kooliner를 사용한다면 높은 결합강도를 얻을 수 있어 의치 침상 재료가 잘 유지될 것으로 사료된다. 이는 Kooliner의 단량체인 Isobutyl methacrylate가 NextDent™ Base에 포함된 methacrylic oligomers와 라디칼 중합반응을 일으켜 가교망상구조를 형성하기 때문인 것으로 사료된다.⁴¹

Lang Jet Denture Repair Kit를 의치 침상 재료로 사용하였을 때 두 종의 3D 프린팅 의치상 레진 군 간에는 유의미한 차이가 존재하지 않았지만 통상적인 열중합레진 Vertex 군과의 비교에서는 낮은 전단결합강도가 나타났다. Lang Jet Denture Repair Kit는 Powder로 PMMA, liquid로 MMA를 사용하며 별도의 접착제는 사용하지 않았다. 이러한 접착 방식으로는 3D 프린팅 의치상 레진에 열중합 의치상 레진과 비교하였을 때 낮은 전단결합강도가 나타났다. 하지만 Lang Jet Denture Repair Kit를 사용한 VL, DL, NL 세 군 모두에서 절대적인 전단결합강도의 값이 다른 의치 침상 재료를 사용했을 때와 비교하여 높게 나타났다. 이는 다른 의치 침상 재료가 PEMA를 주성분으로 하는 반면 Lang Jet Denture Repair Kit는 의치상 레진과 같은 PMMA를 주성분으로 하고 또한 진료실에서 시행되는 직접법 침상에 비해 간접법 침상에서 그 절대적인 전단결합강도가 높게 나타나는 것으로 생각된다.

의치상 레진에 의치 침상 재료의 접착 방식은 단량체 또는 용제에 의한 PMMA 표면의 팽윤, 팽윤된 의치상 레진으로의 단량체의 확산, 중합, 상호 침입 고분자 망상구조의 형성에 따라 달라진다.³⁴ 그러므로 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 결합은 의치 침상 재료의 MMA 성분의 단량체로 접착표면을 적시거나, 의치상 레진 표면에 적절한 solvents를 적용함으로써 향상시킬 수 있다. Chloroform, acetone, dichloromethane와 같은 유기용제는 의치상 레진과 의치 침상 재료 간 전단결합강도를 높여주는 역할을 한다고 보고되고 있다. 특히 dichloromethane은 접착 표면의 팽윤을 증가시키고 중합물질의 확산을 촉진시켜 보다 접착에 향상시킨다.⁴² 하지만 Kooliner와 NextDent™ Base 의치상 레진과 결합한 군에서만 열중합레진군과 유의한 차이가 없었을 뿐, 나머지 군에서는 3D 프린팅 의치상 레진에서 열중합레진에 비해서 유의미하게 낮은 전단결합강도를 나타내었다. 이는 열중합방식과 다른 제작 방식에 따른 차이로 생

각된다. 즉 열중합레진에 비해 3D 프린팅 의치상 레진 군에서는 광경화성 수지를 적층 가공법으로 제작하기 때문에 각 층간의 접착력의 강도가 전단결합강도에 간접적인 영향을 끼쳤을 것으로 사료된다. 또한 이전의 연구들에 의하면 3D 프린팅 기법의 적층 방향도 영향을 줄 수 있다고 보고되고 있다.⁴³ Alharbi 등⁴⁴은 힘의 방향에 대하여 3D 프린팅 기법으로 제작한 보철물의 적층 방향과 가해진 힘의 방향이 수평인 경우가 수직인 경우보다 더 큰 압축강도를 보인다고 하였고 Park 등³⁵은 3D 프린팅 레진의 적층 방향과 가해진 힘의 방향이 수직인 경우보다 평행인 경우에서 인장강도가 더 크다고 하였다. 하지만 이러한 3D 프린팅 레진의 적층 방향과 관련된 의치 침상 재료 간의 전단결합강도의 비교에서는 아직 그 연구가 미비하다. 따라서 3D 프린팅 레진의 적층 방향에 따른 기계적 특성을 비롯해 의치 침상 재료와의 전단결합강도 등에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 고려하고 추가적인 실험이 이루어져야 할 것이다.

입체현미경과 주사전자현미경을 이용하여 파절편을 분석한 결과, 파절양상은 모든 군에서 접착성 파절이 가장 높은 비율로 나타났고 매우 일부에서 응집성 파절과 혼합성 파절이 나타났다. 모든 응집성 파절은 의치 침상 재료의 계면에서 일어났고, 의치상 레진 계면에서는 일어나지 않았다. 가장 높은 전단결합강도를 보였던 VL군과 NL군에서 접착성 파절의 비율이 가장 적게 나타났다(72%). 의치 침상 재료에 관계없이 DENTCA DENTURE BASE II 군에서 접착성 파절이 가장 높은 비율로 나타났다(92%). 또한 의치상 레진의 종과 관계없이 의치 침상 레진을 Kooliner를 사용하였을 때 가장 높은 비율로 접착성 파절이 나타났다(93%). 이렇게 응집성 파절이나 혼합성 파절에 비해 접착성 파절이 현저하게 높은 비율로 나타나는 것으로 보아, 의치상 레진과 의치 침상 재료 간의 결합 강도는 의치상 레진 내 또는 의치 침상 재료 내의 결합강도보다 약하다고 생각된다.

결론

PMMA를 주성분으로 하는 의치 침상 재료가 실험에 사용된 모든 의치상 레진에서 다른 의치 침상 재료와 비교하여 높은 전단 결합강도 값을 나타내었다. 이상의 결과에서 3D 프린팅으로 제작한 의치에 의치 침상을 시행할 경우 PMMA를 사용한 의치 침상 재료를 사용하는 것이 유리할 것이라 사료되지만, 열발생 등 구강

내에서 직접 시행하는데에 한계가 있다. 구강내에서 직접법으로 의치 침상을 시행할 경우 단량체로 Isobutyl methacrylate 성분의 의치 침상재료를 사용하는 것이 전단결합강도면에서 유리할 것으로 사료된다.

ORCID

Sung-Yoon Cho <https://orcid.org/0000-0001-6029-0837>

Young-Gyun Song <https://orcid.org/0000-0003-3789-9585>

References

1. Zarb GA, Bolender CL. Prosthodontic treatment for edentulous patients. 12th ed. St. Louis; Mosby; 2004. p. 190-207.
2. Baba NZ. Materials and processes for CAD/CAM complete denture fabrication. *Curr Oral Health Rep* 2016;3:203-8.
3. Bidra AS, Tylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent* 2013;109:361-6.
4. Fasbinder DJ. Clinical performance of chairside CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc* 2006;137:22S-31S.
5. Kawahata N, Ono H, Nishi Y, Hamano T, Nagaoka E. Trial of duplication procedure for complete dentures by CAD/CAM. *J Oral Rehabil* 1997;24:540-8.
6. Inokoshi M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J* 2012;31:40-6.
7. Steinmassl PA, Klaunzer F, Steinmassl O, Dumfahrt H, Grunert I. Evaluation of currently available CAD/CAM denture systems. *Int J Prosthodont* 2017;30:116-22.
8. Goodacre CJ, Garbacea A, Naylor WP, Daher T, Marchack CB, Lowry J. CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods of obtaining required morphological data. *J Prosthet Dent* 2012;107:34-46.
9. Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Baba NZ. CAD/CAM complete dentures: a review of two commercial fabrication systems. *J Calif Dent Assoc* 2013;

- 41:407-16.
10. Goodacre BJ, Goodacre CJ, Baba NZ, Kattadiyil MT. Comparison of denture base adaptation between CAD-CAM and conventional fabrication techniques. *J Prosthet Dent* 2016;116:249-56.
11. Ohkubo C, Park EJ, Kim TH, Kurtz KS. Digital Relief of the Mental Foramen for a CAD/CAM-Fabricated Mandibular Denture. *J Prosthodont* 2018;27:189-92.
12. Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E. Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent* 2014;111:351-5.
13. Goodacre BJ, Goodacre CJ, Baba NZ, Kattadiyil MT. Comparison of denture base adaptation between CAD-CAM and conventional fabrication techniques. *J Prosthet Dent* 2016;116:249-56.
14. McLaughlin JB, Ramos V Jr. Complete denture fabrication with CAD/CAM record bases. *J Prosthet Dent* 2015;114:493-7.
15. Maeda Y, Minoura M, Tsutsumi S, Okada M, Nokubi T. A CAD/CAM system for removable denture. Part I: Fabrication of complete dentures. *Int J Prosthodont* 1994;7:17-21.
16. Kattadiyil MT, AlHelal A. An update on computer-engineered complete dentures: A systematic review on clinical outcomes. *J Prosthet Dent* 2017;117:478-85.
17. Dorner S, Zeman F, Koller M, Lang R, Handel G, Behr M. Clinical performance of complete dentures: a retrospective study. *Int J Prosthodont* 2010;23:410-7.
18. Felton D, Cooper L, Duqum I, Minsley G, Guckes A, Haug S, Meredith P, Solie C, Avery D, Chandler ND, American College of Prosthodontists. Evidence-based guidelines for the care and maintenance of complete dentures: a publication of the American College of Prosthodontists. *J Prosthodont* 2011;20:S1-12.
19. Bergman B, Carlsson GE. Clinical long-term study of complete denture wearers. *J Prosthet Dent* 1985;53:56-61.
20. Fish EW. An analysis of the stabilizing factors in full denture construction. *Br Dent J* 1931;52:559-70.
21. Jung CM. Atlas of Chairside Relining Technique. Seoul; Shinhung Int Inc.; 2001. p. 13-22.
22. Chung CH. Complete denture prosthodontics. Seoul; Jisung; 1994. p. 496-9.
23. Ogle RE, Sorensen SE, Lewis EA. A new visible light-cured resin system applied to removable prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1986;56:497-506.
24. Kim KS, Jeong HY, Kim YL, Cho HW. The effect of denture cleansers on the bond strength and the surface hardness of relining resin to denture base resin. *J Korean Acad Prosthodont* 2003;41:493-502.
25. Takahashi Y, Chai J. Assessment of shear bond strength between three denture relining materials and a denture base acrylic resin. *Int J Prosthodont* 2001;14:531-5.
26. Egilmez F, Ergun G, Cekic-Nagas I, Vallittu PK, Lassila LV. Does artificial aging affect mechanical properties of CAD/CAM composite materials. *J Prosthodont Res* 2018;62:65-74.
27. AlHelal A, AlRumaih HS, Kattadiyil MT, Baba NZ, Goodacre CJ. Comparison of retention between maxillary milled and conventional denture bases: a clinical study. *J Prosthet Dent* 2017;117:233-8.
28. Ortman HR, Ortman LF. Denture refitting with today's concepts and materials. *Dent Clin North Am* 1975;19:269-90.
29. Patil SB, Naveen BH, Patil NP. Bonding acrylic teeth to acrylic resin denture bases: a review. *Gerodontology* 2006;23:131-9.
30. Craig RC. Restorative dental materials. 8th ed. St Louis; CV Mosby; 1989. p. 509-44.
31. Phillips RW. Science of dental materials. 8th ed. Philadelphia; WB Saunders; 1982. p. 195-206.
32. Lee S. Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2016;43:93-108.
33. Arima T, Murata H, Hamada T. Analysis of composition and structure of hard autopolymerizing relining resins. *J Oral Rehabil* 1996;23:346-52.
34. Vallittu PK, Ruyter IE. Swelling of poly(methyl methacrylate) resin at the repair joint. *Int J Prosthodont* 1997;10:254-8.
35. 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.

36. Strohaver RA. Comparison of changes in vertical dimension between compression and injection molded complete dentures. *J Prosthet Dent* 1989; 62:716-8.
37. Mutluay MM, Ruyter IE. Evaluation of adhesion of chairside hard relining materials to denture base polymers. *J Prosthet Dent* 2005;94:445-52.
38. Takahashi Y, Chai J. Shear bond strength of denture reline polymers to denture base polymers. *Int J Prosthodont* 2001;14:271-5.
39. Arima T, Murata H, Hamada T. Properties of highly cross-linked autopolymerizing reline resins. *J Prosthet Dent* 1995;73:55-9.
40. Arima T, Murata H, Hamada T. Analysis of composition and structure of hard autopolymerizing reline resins. *J Oral Rehabil* 1996;23:346-52.
41. Li GZ, Cho H, Wang L, Toghiani H, Pittman CU Jr. Synthesis and properties of poly(isobutyl methacrylate-co-butanediol dimethacrylate-co-methacryl polyhedral oligomeric silsesquioxane) nanocomposites. *J Polym Sci A Polym Chem* 2005;43:355-72.
42. Sarac YS, Sarac D, Kulunk T, Kulunk S. The effect of chemical surface treatments of different denture base resins on the shear bond strength of denture repair. *J Prosthet Dent* 2005;94:259-66.
43. 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.
44. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent* 2016;115:760-7.

3D-프린팅 의치상 레진과 열중합 의치상 레진에서의 의치 침상 재료 간의 전단결합강도 비교 연구

조성윤 대학원생, 송영균* 부교수

단국대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 다양한 3D 프린팅 의치상 레진과 여러 가지 의치 침상 재료 간의 전단결합강도를 평가하여 기존의 열중합 의치상 레진과의 전단결합강도를 비교 평가하고자 하였다.

연구 재료 및 방법: 열중합레진(Vertex RS)과 3D프린팅 의치상 레진 두종(DENTCA Denture base II, NextDent™ Base)을 사용하였다. 의치 침상 재료로는 성분이 다른 총 4종(Tokuyama Rebase II fast, Kooliner, Denture Liner, Denture Liner, Lang Jet Denture Repair Kit)을 사용하여 12개의 군으로 분류하였다. ISO/TS 11405규격에 따라 접착을 시행하였다. 전단결합강도를 측정하였고, 이후 입체현미경과 주사전자현미경을 이용하여 접착 계면을 관찰하고 파절편의 분석을 통하여 파절 양상을 조사하였다.

결과: 3D 프린팅 의치상 레진 군에서 의치 침상 재료와의 전단결합강도가 열중합레진 군에 비해 유의하게 낮은 전단결합강도 결과를 나타내었다($P < 0.05$). Polymethyl methacrylate계열의 침상재료의 경우, 의치상종류와 관계없이 높은 전단결합강도를 보였다. 파절 양상은 대부분의 군에서 접착성 파절이 나타났고 일부 군에서 응집성 파절과 혼합성 파절 양상이 나타났다.

결론: Polymethyl methacrylate를 주성분으로 하는 의치 침상 재료가 실험에 사용된 모든 의치상 레진에서 다른 의치 침상 재료와 비교하여 높은 전단 결합강도 값을 나타내었지만, 직접법으로 의치 침상을 시행할 경우 단량체로 Isobutyl methacrylate 성분의 의치 침상재료를 사용하는 것이 전단결합강도면에서 유리할 것으로 사료된다.

(구강회복응용과학지 2021;37(4):232-43)

주요어: 3D 프린팅 레진; 의치 침상 재료; 전단결합강도

*교신저자: 송영균

(31116)충남 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 치과보철학교실

Tel: 041-550-1932 | Fax: 041-553-1258 | E-mail: ygsong@dankook.ac.kr

접수일: 2021년 11월 16일 | 수정일: 2021년 12월 3일 | 채택일: 2021년 12월 4일