

샌드블라스팅 및 화학적 표면처리에 따른 3D 프린팅 의치상용 레진과 인공치의 결합력 비교

박다령¹, 오승한^{2,3}, 배지명^{2,3,4,*}

¹원광대학교 보건의료대학 치기공학과

²원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실

³원광대학교 생체재료·매식연구소

⁴원광대학교 근골격 및 면역질환 연구소

Comparison of bond force between 3D-printed denture base resin and artificial teeth according to sandblasting and chemical surface treatments

Da-ryeong Park¹, Seunghan Oh^{2,3}, Ji-Myung Bae^{2,3,4,*}

¹Department of Dental Laboratory Science, College of Health and Medical Sciences, Wonkwang University, Iksan, Korea

²Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Korea

³Institute of Biomaterial-Implant, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Korea

⁴Musculoskeletal and Immune Disease Research Institute, Wonkwang University, Iksan, Korea

This study aimed to evaluate the effect of various surface treatments, including silane and primer applications, on the bond force between sandblasted 3D-printed denture base resin and artificial teeth. Denture base resin specimens were fabricated using a DLP-type 3D printer (Vida, EnvisionTEC, Gladbeck, Germany) designed to match the lingual surfaces of artificial teeth. Six maxillary anterior teeth (Biotone, Dentsply Sirona, Charlotte, USA) were prepared. All bonding surfaces of the 3D-printed denture base resin and artificial teeth were sandblasted with 50 μ m alumina particles at 2 bar for 30 seconds. The specimens were divided into three groups based on the surface treatment: sandblasting only (SB), sandblasting followed by silane application (SB+S), and sandblasting followed by primer (Clearfil Ceramic Primer, Kuraray Noritake Dental Inc., Tokyo, Japan) application (SB+P). The bond force was measured using a universal testing machine at a crosshead speed of 5 mm/min. The SB+P group showed the highest bond force in both canines (#13 and #23) ($p < 0.05$). In terms of the overall average of all tested teeth, the SB+P group exhibited significantly higher bond force than the SB group and SB+S group ($p < 0.05$). To prevent the detachment of artificial teeth and increase long-term clinical success rates of 3D-printed dentures, combining mechanical sandblasting with chemical treatments, particularly specific primers, is recommended as an optimal surface treatment strategy.

Keywords : 3D Printing, Denture base resin, Bond force, Primer, Silane

Da-ryeong Park (ORCID: 0000-0002-4801-0908)
Seunghan Oh (ORCID: 0000-0002-7250-721X)

*Correspondence: Ji-Myung Bae (ORCID: 0000-0002-8607-8604)
460 Iksan-daero, Iksan city, Jeonbuk, 54538, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental Biomaterials and Institute of Biomaterials · Implant, College of Dentistry, Wonkwang University, 54538, Iksan, Korea
Tel: +82-63-850-6859
E-mail: baejimy@wku.ac.kr

Received: Mar. 10, 2026; Revised: Mar. 18, 2026; Accepted: Mar. 27, 2026

서론

디지털 치의학의 발전과 함께 치과용 CAD/CAM 시스템을 이용한 보철물 제작은 정밀도와 효율성 면에서 많은 성장을 이루었다. 구강 내 혹은 모델 스캐너를 통해 채득된 3차원 스캔 데이터를 기반으로 캐드(CAD) 프로그램 상에서 보철물을 디자인하며, 이는 다시 최종 가공 단계로 이어진다. 가공 방식은 크게 전통적인 절삭 가공(milling, subtractive manufacturing)과 적층 가공(3D printing, additive manufacturing)으로 나뉘는데, 특히 적층 가공 방식은 재료의 낭비를 줄이고 복잡한 구조물을 재현하는 데 이점을 제공한다(1).

3D 프린팅 기술은 적층 방식에 따라 크게 FDM(Fused Deposition Modeling), DLP(Digital Light Processing), 그리고 SLA(Stereolithography Apparatus)타입으로 분류된다. 이 중 광경화성 레진을 사용하는 DLP와 SLA 방식은 타 방식에 비해 상대적으로 우수한 정밀도와 표면 조도를 제공한다. 이러한 기술적 이점으로 인해, 정밀한 적합도가 요구되는 치과용 보철물 제작 분야에서는 DLP와 SLA 타입의 3D 프린터가 레진 기반 치과 보철물 제작에 주로 활용되고 있다(2).

일반적인 디지털 의치 공정은 데이터 효율성과 제작 정밀도를 극대화하기 위해 의치상과 레진치를 개별적으로 제작한 후, 전용 접착 시스템을 통해 이를 최종 결합하는 방식을 사용하고 있다(3). 3D 프린팅 의치의 장기적인 임상적 성공을 결정짓는 핵심 요소 중 하나는 의치상과 인공치 사이의 견고한 결합력이다. 전통적인 방식과 달리, 디지털 방식은 출력된 의치상에 기성 혹은 출력된 인공치를 접착 레진을 이용하여 결합하는 과정을 거친다. 그러나 선행 연구들에 따르면, 3D 프린팅된 의치상 레진과 인공치는 전통적인 열 중합형 레진에 비해 상대적으로 낮은 결합력을 보이는 경향이 있으며, 이는 레진치의 탈락이나 보철물의 파절 등 기계적 실패의 원인이 된다고 한다(4, 5).

의치 파손의 주요 원인 중 하나인 인공치 탈락은 전체 의치 수리 사례의 약 25~33%를 차지할 정도로 높은 빈도를 보인다. 이에 따라 의치상 레진과 인공치 간의 결합력을 개선하기 위한 다양한 시도가 지속되어 왔으며, 특히 인공치 표면에 기계적 유지구를 형성하거나 표면 거칠기 부여

(Scratching), 또는 화학적 처리를 위한 모노머 적용등이 결합력 증진에 유효하다는 연구 결과들이 보고된 바 있다(6). 모노머 처리는 액상 레진 성분인 모노머를 인공치 표면에 도포하여 인공치 조직을 약간 팽창시키고, 레진 성분이 침투하기 쉽게 만들어 결합력을 높이고, 표면 에너지를 높이거나 화학적 연결 고리를 만들어주는 전용 접착 시스템을 사용하기 위하여 프라이머를 사용한다고 하였다(7). 그러나, 기계적 방법인 샌드블라스팅과 화학적 방법인 프라이머 또는 실란 도포를 병행했을 때 발생하는 상호작용과 구체적인 결합력 증진 데이터가 충분히 규명되지 않았다. 또, 일반적인 구치부나 단일 치아 모델에 대한 연구는 많으나, 배열과 형태가 복잡한 전치부와 의치상 레진 사이의 최적 결합 조건에 대한 구체적 데이터는 상대적으로 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 상악 6전치의 인공치 탈락률을 최소화하기 위한 최적의 표면 처리 조건을 찾고자 하였다. 보편적인 기계적 결합력 증진 방안인 샌드블라스팅으로 처리하여 마모된 표면에 화학적 결합을 유도하는 프라이머 또는 실란 도포를 병행하였다. 이를 통해 기계적·화학적 결합의 시너지 효과를 분석하고, 최상의 결합력을 확보할 수 있는 최적의 표면 처리 조합을 규명하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 재료

본 연구에서는 시판되고 있는 3D 프린팅 의치상 레진 NextDent Base (Vertex Dental B.V, Soesterberg, Netherlands)를 사용하였으며, 인공치는 상악 6전치(Biotone, Dentsply Sirona, Charlotte, USA)를 사용하였다. 모든 실험군은 일반적으로 인공치와 3D 프린팅 의치상 레진의 기계적 결합력을 위해 2 bar 공기 압력에서 30초 동안 50 μ m 입자크기를 가진 알루미늄 산화물(Aluminum oxide, Danville, Hannover, Germany)를 이용하여 샌드블라스팅(sandblasting) 표면처리를 시행하였고, 화학적 결합력을 증진시키기 위해 1종의 프라이머 또는 1종의 실란을 도포하였다(Table 1). 각 군의 표면처리는 다음과 같다(Table 2).

Table 1. Chemical surface treatment agents used in this study

Type	Product Name	Company	Lot No.
Primer	Clearfil Ceramic Primer	Kuraray Noritake Dental Inc., Tokyo, Japan	1258BC
Silane coupling agent	3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane	DAMIPOLYCHEM, Iksan, KOREA	LD5710

Table 2. Classification of experimental groups

Group code	Surface treatments
SB	Sandblasted only
SB + S	Sandblasted and silane application
SB + P	Sandblasted and primer application

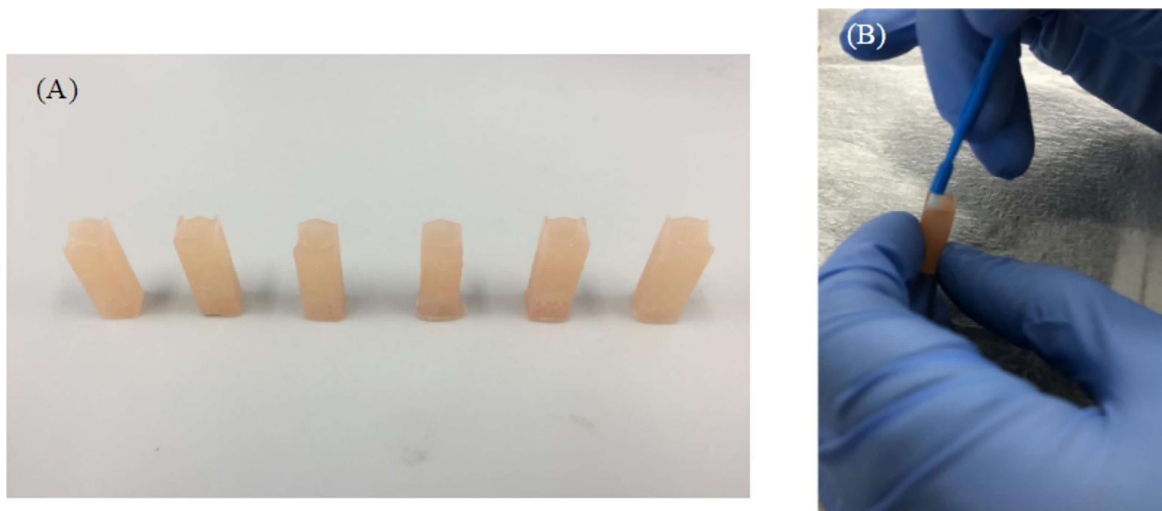


Figure 1. (A) 3D-printed rectangular denture base resin pattern, (B) application of primer and silane coupling agent using a microbrush.

2. 결합력 시험 시편 제작

상악 6전치를 각 치아마다 3가지 그룹으로 나누고 표면 처리하여 실험을 진행하였다(n = 6). 결합력 시편은 ISO 22112 : 2017에 따라 제작하였다(8). 의치상용 레진과 접착하는 상악 6전치의 설면 부위는 모델 스캐너(Medit T500, Medit, Seoul, Korea)로 스캔하였고, 의치상용 레진 패턴(20 mm × 6.2 mm × 6.2 mm)은 직사각형 형태로 제작하도록 프로그래밍(calla, Medit, Seoul, Korea)하고, DLP방식의 3D 프린터(Vida, EnvisionTEC, Gladbeck, Germany)로 출력하

여 시편을 제작하였다(Figure 1). 출력 후 모든 시편을 초음파 세척기에서 에틸알코올로 5분간 세척하고, UV 후중합기(LC-3DPrint Box, NextDent, Soesterberg, Netherlands)를 사용하여 20분간 후중합하였다. 완성된 모든 3D 프린팅 의치상용 레진 패턴 중 인공치와 접착될 부위와 인공치의 리지 랩 영역을 2 bar 공기 압력에서 30초 동안 50 μm 입자크기를 가진 알루미나를 이용하여 샌드블라스팅 시킨 후, 40 kHz의 주파수에서 20분 동안 증류수에서 초음파 세척하여 잔류 입자를 제거한 후 실온에서 건조시켰다. 인공

치와 3D 프린팅된 레진 패턴에 microbrush를 이용하여 프라이머 또는 실란을 얇게 도포하여 표면처리한 후 자가접착성 레진시멘트(Rely X U200, 3M ESPE, Seefeld, Germany)를 적용하였다(Figure 1). 치아의 리지 랩과 의치창 레진 패턴을 긴밀하게 접촉시키고 정하중기를 사용하여 2 kg의 일정한 압력을 가한 상태에서 LED 광중합기(VALO, Ultradent, USA)로 4면을 각각 40초씩 광중합하였다. 결합력은 만능시험기(Z200, Zwick, Ulm, Germany)를 사용하여 시편이 파절될 때까지 5 mm/min의 cross-head speed로 최대 하중(N)을 측정하였다.

3. 파절 양상 분석

파절된 시편은 육안으로 관찰하였고, 파절 양상은 3가지로 분류하였다. 파절 유형은 의치상과 인공치가 완전히 분리된 경우 접착 파절(adhesive failure), 인공치나 의치상 내에서 파절이 발생한 경우 응집 파절(Cohesive failure), 의치상 레진과 인공치가 함께 파절되면 혼합 파절(Mixed failure)로 구분하였다.

4. 통계분석

각 시편의 결합력 값은 SPSS 프로그램(SPSS 24.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 이용하여 분석하였다. 본 연

구의 통계 분석을 위해 치아 종류 및 표면처리 방법을 독립변수로, 각 시편의 결합력(N) 데이터를 종속변수로 설정하였다. 구체적으로는 각 개별 전치 내에서의 비교, 치아별로 좌우 같은 치아의 데이터를 통합한 그룹(중절치, 측절치, 견치)내에서의 비교, 상악 6전치 전체 데이터를 통합하였을 때의 비교로 데이터 세트를 세분화하여 표면처리 방법에 따른 결합력 차이를 각각 평가하였다. 모수 통계의 타당성을 확인하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 통해 모든 실험군의 데이터가 정규성 가정을 충족함을 확인하였고, Levene's test를 통해 등분산성을 검증한 결과 모든 군에서 분산의 동일성이 확보되었음을 확인하였다. 이에 따라 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정으로 Duncan post-hoc test를 시행하였다($\alpha = 0.05$).

결 과

1. 결합력

3D 프린팅 의치상 레진과 인공치의 표면처리에 따른 결합력을 각 치아별로 비교한 결과, 13번과 23번 치아에서 SB + P 표면처리가 SB와 SB + S보다 가장 유의성있게 높은 결합력 값을 나타냈다($p < 0.05$)(Figure 2 and 3). 표면 처리에 대한 전체 치아의 결합력을 평가했을 때, SB군보다 SB+P

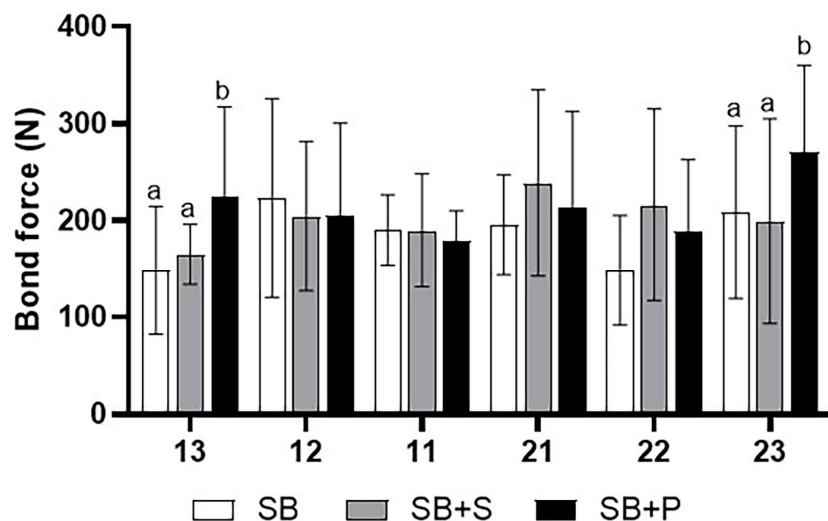


Figure 2. Bond force between 3D-printed denture base resin and individual artificial anterior teeth according to surface treatments. Different lowercase letters indicate significant differences among surface treatments within each tooth by one-way ANOVA and Duncan post-hoc test ($p < 0.05$).

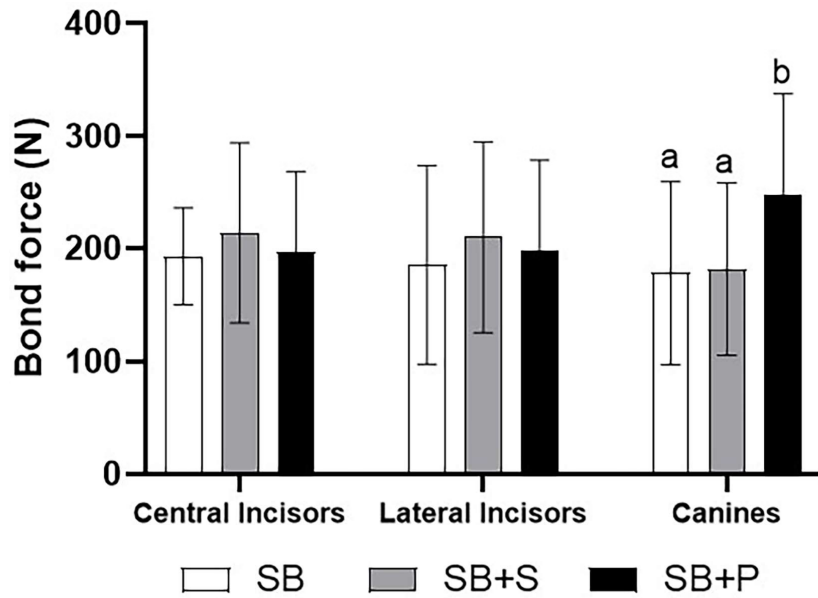


Figure 3. Bond force between 3D-printed denture base resin and artificial teeth grouped by tooth type (central incisors, lateral incisors, and canines). Different lowercase letters indicate significant differences among tooth types for each surface treatment by one-way ANOVA and Duncan post-hoc test ($p < 0.05$).

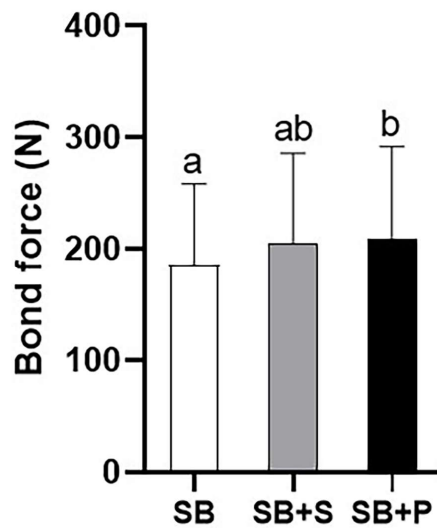


Figure 4. Overall bond force between 3D-printed denture base resin and all artificial teeth according to surface treatment. Different lowercase letters indicate significant differences among surface treatments by one-way ANOVA and Duncan post-hoc test ($p < 0.05$).

군이 유의성있게 높았고($p < 0.05$), SB+S군은 두 군과 유의성 있는 차이가 없었다($p > 0.05$) (Figure 4).

에서의 응집 파절과 혼합 파절이 관찰되었다(Table 3, Figure 5). 특히, 13번과 23번 치아에서는 인공치내에서의 응집 파절이 많이 나타났다.

2. 파절 양상 관찰

모든 실험군에서 접착 파절은 일어나지 않았고, 인공치내

Table 3. Distribution of failure modes in individual artificial anterior teeth after the bond force test (n=18 per teeth)

Failure modes	Anterior Teeth number					
	13	12	11	21	22	23
Adhesive	0	0	0	0	0	0
Cohesive (teeth)	11	8	6	9	6	13
Cohesive (denture base)	1	2	1	1	2	0
Mixed (Cohesive in denture base + Adhesive)	6	8	11	8	10	5

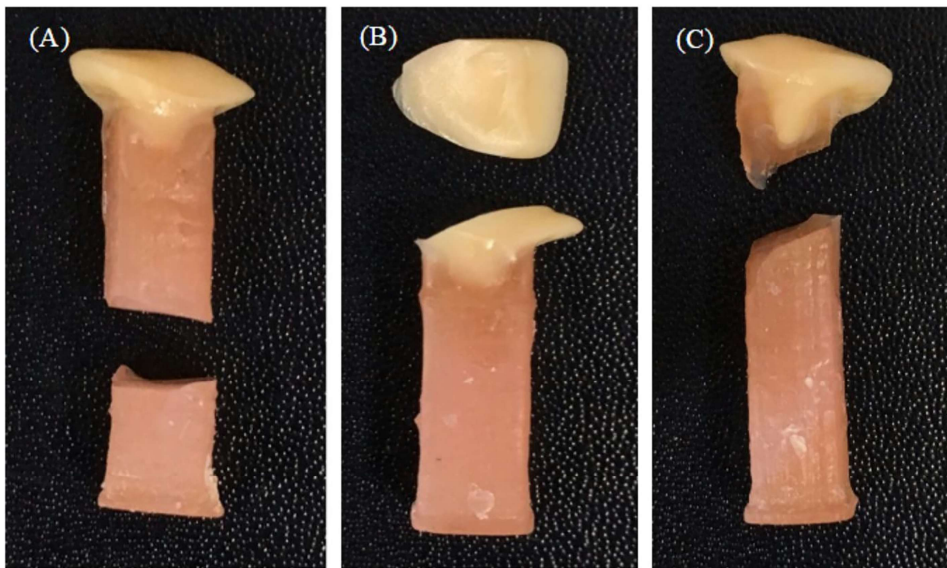


Figure 5. Representative images of failure modes the bond force test: (A) Cohesive failure within denture base, (B) Cohesive failure within artificial teeth, and (C) Mixed failure.

고찰

본 연구는 3D 프린팅 의치상용 레진과 인공치(상악 6전치)와의 결합력을 높이기 위한 최적의 표면처리 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위해 샌드블라스팅으로 기계적 결합을 위한 표면처리를 시행하고 프라이머 또는 실란을 도포하여 화학적 결합을 시행하여 표면처리 방식에 따른 결합력을 비교 평가하였다.

최근 치과계는 전통적인 방식에서 벗어나 CAD/CAM 및 3D 프린팅 기술을 활용한 디지털 방식으로 빠르게 변화하고 있다. 의치 제작에 있어 3D 프린팅은 환자 맞춤형 디자인이

가능하고 제작방식에서 수반되는 기공작업이 단순화되어 시간을 단축할 수 있으며, 저장된 설계파일을 이용하여 재제작이 필요한 경우 용이하다(9). 그러나 이러한 기술적 진보에도 불구하고 디지털 방식을 활용한 의치 제작 시, 의치상과 레진치는 개별적인 공정을 통해 생성되며 제작된 각 구성 요소는 치과용 접착 시스템을 매개로 최종 결합된다(10). 따라서 출력된 의치상용 레진과 인공치 사이의 물리적 결합력 문제는 임상적 성공을 결정짓는 핵심적인 요소이므로 본 연구를 통해 기계적 결합과 화학적 결합을 병행했을 때 높은 결합력의 조합을 찾고자 하였다. 또, 상악 6전치를 사용하여 심미성과 기능성이 동시에 요구되는 부위에서

정밀한 재현성은 임상적 가치가 높을 것으로 사료된다.

Urethane dimethacrylate (UDMA)를 주성분으로 하는 광중합 의치상 레진 사용 시 인공치 표면을 샌드블라스팅 처리하고 본딩제(bonding agent)를 도포하는 것이 효과적이라고 보고되었다. 이러한 방식은 기존의 열중합 의치상 레진 방식과 비교하여 유의하게 높은 전단결합 강도를 나타내는 것으로 확인되었다(11). Dimethacrylate 기반의 광중합 레진은 인공치와의 결합을 최적화하기 위해 기계적 마찰력을 높이거나 화학적 결합을 돕는 표면 처리가 수반되어야 한다고 보고되었다(12). 이에 본 연구에서도 이러한 이론적 배경을 바탕으로 인공치와 3D 프린팅 의치상용 레진에 50 μm 입자크기를 가진 알루미늄을 이용해 샌드블라스팅하여 기계적 유지력 확보와 더불어, 프라이머 또는 실란을 활용한 화학적 결합 방식의 효용성을 비교 평가하였다. 3D 프린팅 의치상 레진과 인공치의 표면처리에 따른 결합력을 각 치아 별로 비교한 결과, 상악 견치(13번, 23번)에서 샌드블라스팅과 프라이머를 병용(SB + P군)했을 때 가장 유의성있게 높은 결합력이 관찰되었다. 표면 처리에 대한 전체 치아의 평균 결합력을 평가했을 때, SB + P군이 SB군보다 유의성있게 높았고, SB + S군은 두 군과 유의성있는 차이가 없었다.

SB + P군에서 결합력이 가장 높게 나타난 이유는 샌드블라스팅을 통한 물리적 거칠기 부여가 접착 면적을 극대화시키고, 뒤이어 도포된 프라이머 내 성분과 레진 매트릭스 간의 상호작용으로 설명될 수 있다. 프라이머에 포함된 methyl methacrylate (MMA)와 같은 저분자량 모노머는 소수성인 인공치 표면의 표면 에너지를 높일 뿐만 아니라, 고분자 사슬 구조를 일시적으로 팽윤(swelling)시켜 모노머의 내부 확산(diffusion)을 촉진시키고, 이 과정에서 침투한 모노머가 의치상 레진과 함께 중합되면서 두 재료 계면에서 강력한 기계적, 화학적 결합인 상호 침투 망상(Interpenetrating Polymer Network, IPN) 구조를 형성하게 된다(13). 이러한 구조적 결합은 단순한 표면 접착보다 응력 분산에 효과적이며, 본 연구에서 관찰된 높은 결합력과 응집 파절의 주된 원인으로 사료된다. 견치에서 가장 높은 결합력을 나타낸 요인으로는 치아의 형태와 접착 면적의 차이에서 기인할 수 있으며, 프라이머 내의 MMA 성분이 3D 프린팅 레진의 고분자 네트워크에 침투하여 강력한 가교결합을 형성했기 때문으로 보인다. 또한 견치는 저작 시 측방력을 크게 받는

부위이므로, 이러한 복합 표면처리는 임상적으로 의치의 구조적 안정성을 확보하는 데 핵심적인 요소가 될 수 있을 것이다.

고분자 기질과 무기물 표면 사이의 계면 접착력을 개선하기 위해 실란 처리가 지속적으로 연구되어 왔다(14). 실란은 무기 재료인 인공치와 유기 재료인 레진 사이에서 화학적 결합을 유도하는 매개체 역할을 수행하며, 이를 통해 계면 결합력을 유의성있게 향상시킨다(15, 16). 본 연구에서 실란을 도포한 실험군(SB + S)의 결합력과 샌드블라스팅만 처리한 실험군(SB)은 통계적으로 유의한 차를 보이지 않은 것은 인공치와 3D 프린팅으로 제작된 의치상 레진의 조성과 관련이 있다. 일반적으로 실란은 무기 필러 표면의 실란올(-SiOH)기와 반응하여 공유 결합을 형성하는데, 본 연구에 사용된 PMMA 계열의 인공치(Biotone)는 무기 필러 함량이 매우 낮고 유기 고분자 매트릭스가 주를 이루고 있어 실란의 화학적 가교 형성을 위한 반응기가 부족했기 때문으로 사료된다(17, 18). 따라서 PMMA 기반 인공치에는 실란보다 유기 용매와 모노머 기반의 프라이머가 더 효과적임을 확인할 수 있었다. 또한 3D 프린팅으로 제작된 의치상 레진에는 무기 필러가 없어서 실란 내의 실란올(silanol)기가 화학적 반응을 일으킬 수 있는 표면 수산기(-OH)가 부족했기 때문이다(17). 고분자 대 고분자(polymer-to-polymer)의 결합 계면에서는 무기-유기 결합을 매개하는 실란보다 유기 기질의 표면을 팽윤시키고 단량체의 침투를 돕는 프라이머가 결합력 증진에 더욱 결정적인 역할을 하게 된다(19). 결과적으로, 무기 성분이 거의 없는 PMMA 인공치와 3D 프린팅 레진 사이의 결합에서는 실란의 화학적 기전이 작동하기 어려운 환경이었음을 확인할 수 있었으며, 이는 SB+P군이 가장 우수한 결합력을 보인 근거로 보인다.

본 연구의 파절 양상 분석 결과, 접착 계면에서의 접착 파절이 관찰되지 않았으며, 주로 인공치 내부의 응집 파절이나 혼합 파절이 관찰되었다. 이는 샌드블라스팅과 화학적 처리가 조합된 접착 시스템의 계면 결합력이 재료 자체의 응집 강도를 상회할 만큼 컸음을 의미한다. 표면 처리를 통해 형성된 상호 침투 망상(IPN) 구조의 결합 에너지가 피접착물인 인공치의 응집 에너지를 상회할 경우, 외부 하중에 의한 응력 집중은 계면이 아닌 재료 내부에서 발생하여 응집 파절을 유도하게 된다(13, 14). 결과적으로 계면에서의

접착 파절이 아닌 응집 파절이 발생했다는 것은 샌드블라스팅에 의한 기계적 결합과 프라이머 등을 통한 화학적 결합이 극대화되어 접착 계면이 물리적 응력에 대한 충분한 저항성을 확보한 것으로 사료된다.

종합적으로 볼 때, 3D 프린팅 의치 제작 시 인공치의 조기 탈락을 방지하기 위해서는 단순히 접착제만 사용하는 것보다 샌드블라스팅을 통한 기계적 접착력의 확보가 선행되어야 할 것으로 보인다. 또한 3D 프린팅 의치상용 레진과 인공치 사이의 결합력은 단순한 기계적 처리보다 화학적 처리, 특히 프라이머를 병행했을 때 유의성있게 향상됨을 확인하였다. 이는 적절한 접착 시스템의 선택이 의치의 구조적 안정성을 결정짓는 결정적 요소임을 시사한다. 향후 연구에서는 이러한 결합력이 구강 내 습윤 환경과 반복적인 교합 하중 하에서도 지속적으로 유지되는지에 대한 장기 내구성 평가가 이루어져야 할 것이다.

결론

본 연구에서는 3D 프린팅 의치상 레진과 인공치와의 표면 처리 방법에 따른 결합력을 비교평가하였다. 3D 프린팅 의치상 레진과 인공치의 표면처리에 따른 결합력을 각 치아 별로 비교한 결과, 상악 견치인 13번과 23번 치아에서 샌드블라스팅과 프라이머를 병용했을때(SB+P) 가장 우수한 결합력을 보였다($p < 0.05$). 표면 처리에 대한 전체 치아의 평균 결합력은 SB+P군이 SB군보다 유의성있게 높았다($p < 0.05$) 결론적으로, 3D 프린팅 기술을 이용한 의치 제작 시 샌드블라스팅과 프라이머와 같은 화학적 처리를 병행하는 표면 처리 프로토콜은 인공치의 탈락 저항성을 높이고, 3D 프린팅 의치의 구조적 안정성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

사사

이 논문은 2026학년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Kattadiyil MT, AlHelal A. An update on computer-engineered complete dentures: A systematic review on clinical outcomes. *J Prosthet Dent.* 2017;117(4):478-85.
2. Cho WT, Choi JW. Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods. *J Korean Acad Prosthodont.* 2019;57(3):225-31.
3. Chung YJ, Park JM, Kim TH, Ahn JS, Cha HS, Lee JH. 3D printing of resin material for denture artificial teeth: Chipping and indirect tensile fracture resistance. *Materials.* 2018;11(10):1798.
4. Mohamed H, Amal A. 3D-printed complete dentures: a review of clinical and patient-based outcomes. *Cureus.* 2024;16(9):e69698.
5. Cunningham JL, Benington IC. An investigation of the variables which may affect the bond between plastic teeth and denture base resin. *J Dent.* 1999;27(2):129-35.
6. Darbar UR, Huggett R, Harrison A. Denture fracture-a survey. *Br Dent J.* 1994;176(9):342-5.
7. Pereira ALC, de Freitas RFC, Grangeiro MTV, de Medeiros AKB, Bottino MA, Barão VAR, Carreiro ADP. Targeting bonding protocols to increase the bond between acrylic resin or 3D printed denture bases and prefabricated or 3D printed denture teeth. *J Prosthet Dent.* 2024;131(6):1252.e1-10.
8. International Organization for Standardization. ISO 22112:2017. Dentistry-Artificial teeth for dental prostheses. Geneva: ISO; 2017.
9. Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Baba NZ. CAD/CAM complete dentures: a review of two commercial fabrication systems. *J Calif Dent Assoc.* 2013;41(6):407-16.
10. Lo Russo L, Salamini A. Removable complete digital dentures: a workflow that integrates open technologies.

- J Prosthet Dent. 2018;119(5):727-32.
11. Verniani G, Namdar F, Saracutu OI, Casucci A, Ferrari M. Shear bond strength between artificial teeth and denture base resins fabricated by conventional, milled, and 3D-printed workflows: an in vitro study. *Materials*. 2025;18(19):4590.
 12. Fletcher-Stark ML, Chung KH, Rubenstein JE, Raigrodski AJ, Mandl LA. Shear bond strength of denture teeth to heat and light-polymerized denture base resin. *J Prosthodont*. 2011;20(1):52-9.
 13. Vallittu PK. Interpenetrating polymer networks (IPNs) in dental polymers and composites. *J Adhes Sci Technol*. 2009;23(7-8):961-72.
 14. 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(3):210-21.
 15. Liu XM, Thomason JL, Jones FR. The Concentration of hydroxyl groups on glass surfaces and their effect on the structure of silane deposits. In: Mittal KL, editor. *Silane and other coupling agents*, Volume 5. 1st ed. Boca Raton: CRC Press; 2009. p.7-8.
 16. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater*. 2012;28(5):467-77.
 17. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: a review. *Dent Mater*. 2018;34(1):13-28.
 18. Park DR, Yu SH, Bae JM, Oh SH. The effect of silane coupling agents on the reinforcement of repairing denture. *Korean J Dent Mater*. 2012;39(3):215-24.
 19. Tzanakakis EG, Pandoleon P, Sarafianou A, Kontonasaki E. Adhesion of conventional, 3D-printed and milled artificial teeth to resin substrates for complete dentures: a narrative review. *Polymers*. 2023;15(11):2488.

Comparison of bond force between 3D-printed denture base resin and artificial teeth according to sandblasting and chemical surface treatments

Da-ryeong Park¹, Seunghan Oh^{2,3}, Ji-Myung Bae^{2,3,4,*}

¹Department of Dental Laboratory Science, College of Health and Medical Sciences, Wonkwang University, Iksan, Korea

²Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Korea

³Institute of Biomaterial-Implant, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Korea

⁴Musculoskeletal and Immune Disease Research Institute, Wonkwang University, Iksan, Korea

본 연구는 프라이머 또는 실란 도포 등의 표면 처리가 샌드블라스팅 처리된 3D 프린팅 의치상 레진과 인공치 사이의 결합력에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. DLP 방식의 3D 프린터(Vida, EnvisionTEC, Gladbeck, Germany)를 이용하여 각 인공치의 설면에 일치하도록 의치상 레진 시편을 제작하였다. 상악 6전치 인공치(Biotone, Dentsply Sirona, Charlotte, USA)를 준비하였으며, 3D 프린팅 의치상용 레진과 인공치의 모든 접촉면은 50 µm 알루미나 입자로 2 bar 공기 압력에서 30초 동안 샌드블라스팅 처리하였다. 시편은 표면 처리 방식에 따라 세 그룹으로 나누었다: 샌드블라스팅만 시행한 실험군(SB), 샌드블라스팅 후 실란(3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane, DAMIPOLYCHEM, Iksan, Korea)을 도포한 실험군(SB + S), 샌드블라스팅 후 프라이머(Clearfil Ceramic Primer, Kuraray Noritake Dental Inc., Tokyo, Japan)를 도포한 실험군(SB + P). 각 시편은 만능 시험기를 이용하여 5 mm/min의 crosshead speed로 결합력을 측정하였다. 3D 프린팅 의치상 레진과 인공치의 표면처리에 따른 결합력을 각 치아별로 비교한 결과, 양측 견치(13번, 23번)에서 SB+P군이 가장 높은 결합력을 나타내었다($p < 0.05$). 상악 6전치 전체의 평균 결합력 역시 SB+P군이 SB군과 SB + S에 비해 유의성있게 높았다($p < 0.05$). 인공치의 탈락을 방지하고 3D 프린팅 의치의 장기적인 임상 성공률을 높이기 위해서는, 기계적인 처리인 샌드블라스팅과 전용 프라이머를 이용한 화학적 처리를 병용하는 표면 처리 방안이 권장된다.

색인단어 : 3D 프린팅, 의치상 레진, 결합력, 프라이머, 실란
