https://doi.org/10.14368/jdras.2026.42.1.50 Original Article
ISSN 2384-4353 eISSN 2384-4272

Effect of chemical pretreatment on shear bond strength of universal adhesive in the repair of CAD/CAM hybrid ceramics

Yedam Lee, Jin-Woo Kim, Se-Hee Park, Kyung-Mo Cho*
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Republic of Korea

Purpose: This study aimed to evaluate the effect of additional chemical pretreatment using silane and MDP prior to the application of universal adhesive on the shear bond strength during the repair of CAD/CAM hybrid ceramics. Two types of hybrid ceramics with different characteristics were used to compare shear bond strength. **Materials and Methods:** Two hybrid ceramics (Vita Enamic and Celtra Duo) were used in this study. To simulate intraoral aging, all specimens underwent 10,000 cycles of thermocycling in water. After surface polishing and etching with 4% hydrofluoric acid, the specimens were divided into three groups according to the pretreatment method: Group 1 (no pretreatment), Group 2 (silane application), and Group 3 (silane + MDP application). Scotchbond Universal Plus was applied to all specimens, followed by bonding of composite resin using a cylindrical mold (2.4 mm in diameter, 2 mm in height). The specimens were stored in 100% relative humidity at 37°C for 24 hours, and then shear bond strength was measured. Two-way ANOVA was conducted to analyze the effects of ceramic type and pretreatment method, followed by one-way ANOVA and Scheffe post hoc tests when significant differences were found. A significance level of 0.05 was used for all statistical analyses. **Results:** Both Vita Enamic and Celtra Duo exhibited the lowest shear bond strength when only universal adhesive was applied. In Vita Enamic, all pretreatment groups showed increased bond strength, but no significant difference was observed between pretreatment methods. In Celtra Duo, the group treated with both silane and MDP showed the highest bond strength ($P < 0.05$). **Conclusion:** Even when using a universal adhesive containing silane and MDP, the effect of pretreatment varies depending on the type of hybrid ceramic. Therefore, selecting an appropriate chemical pretreatment method based on the characteristics of each material is essential for successful repair. **(J Dent Rehabil Appl Sci 2026;42(1):50-9)**

Key words: CAD/CAM hybrid ceramics; composite resin; pretreatment; shear bond strength; universal adhesive

서론

CAD/CAM 기술의 발전과 심미 보철에 대한 수요 증가에 따라, 다양한 성분과 구조의 세라믹 기반 수복 재료들이 임상에서 널리 활용되고 있다.[1-3] 최근에는 기계적 강도와 심미성을 동시에 만족시키기 위한 목적으로, 서로 다른 재료의 특성을 결합한 하이브리드 세라믹이 개발되어 임상에 도입되었다.[4,5] 대표적인 예로 본 연구에 사용된 Vita Enamic (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)과 Celtra Duo (Dentsply sirona, Charlotte, USA)는 각각 세라믹과 복합레진 또는 지르코니아 강화 유리세라믹의 복합구조를 가지고 있어, 기존의 세라믹에 비해 우수한 가공성, 기계적 특성과 심미성을 제공한다. 그러나 장기간 구강 내 사용 중 다양한 원인에 의해 수복물의 부분적인 파절이나 국소적인 결함이 발생할 수 있다. 이러한 경우 기존의 수복물 제거 및 재제작보다는 복합레진을 사용하여 구강 내에서 수리하는 것이 더욱 보존적이며 시술 시간 및 비용적인 측면에서도 효율적인 대

*Correspondence to: Kyung-Mo Cho
Professor, Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 7, Jukheon-gil, Gangneung, 25457, Republic of Kore
Tel: +82-33-640-2767, Fax: +82-33-640-3103, E-mail: drbozon@gwnu.ac.kr
Received: October 23, 2025/Last Revision: November 23, 2025/Accepted: December 7, 2025

Copyright© 2026 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

안이 될 수 있다.[6-15] 따라서 기존 수복물과 복합레진 간의 안정적인 접착 형성이 성공적인 수리를 위한 핵심적인 요소라고 할 수 있다.[4-15]

하이브리드 세라믹의 수리를 위해 일반적으로 세라믹 기질에는 silane이,[5,16] 지르코니아나 산화물 기반 기질에는 MDP (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate)가 화학적 전처리제로 주로 사용되며,[17] 이들 각각은 기질과 접착제 간의 화학적 결합을 유도함으로써 접착강도를 증가시킨다.

최근에는 이러한 성분을 모두 포함한 universal adhesive 제품이 개발되어 다양한 치과용 수복재에 단일 접착제를 적용할 수 있는 간소화된 프로토콜을 제공하고 있다. 대표적인 제품인 Scotchbond Universal Plus (Solventum, St. Paul, USA)는 silane과 MDP를 모두 함유하고 있어 다양한 기질에 쉽게 적용이 가능한 제품이다. 그러나 실제 임상에서는 universal adhesive를 사용할 때, 그 자체에 이미 silane과 MDP가 포함되어 있음에도 불구하고 추가적으로 이들을 전처리제로 사용해야 하는지 여부는 명확하게 규명되지 않았다. 또한 다양한 기계적, 화학적 표면처리 방법에 따른 수리 접착강도를 보고한 연구는 많지만,[8,9,18] universal adhesive 사용 시 추가적인 화학적 전처리의 필요성과 그 효과에 대한 비교 연구는 부족하다.

이에 본 연구는 서로 다른 특성을 지닌 두 종류의 하이브리드 세라믹을 복합레진으로 수리하기 위해 silane과 MDP가 함유된 universal adhesive를 사용하는 경우 추가적인 화학적 전처리 여부가 복합레진의 전단결합강도에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

연구 재료 및 방법

하이브리드 세라믹으로 Vita Enamic (Vita Zahnfabrik)과 Celtra Duo (Dentsply sirona)를 사용하였고 수리를 위한 복합레진으로는 EsFlow PLUS Injectable (Spident, Incheon, Korea)를 사용하였다. 복합레진의 접착을 위한 universal adhesive으로는 Scotchbond Universal Plus (Solventum)를 사용하였으며, 그 밖의 화학적 전처리를 위한 프라이머와 실험에 사용된 재료의 제조사와 구성 성분은 Table 1에 나타내었다.

시편 제작

각각의 하이브리드 세라믹 블록을 정밀절삭기계(Accutom-100, Struers A/S, Ballerup, Denmark)을 이용하여 3 mm의 일정한 두께로 절단하였으며, Vita Enamic은 12 × 14 × 3 mm, Celtra Duo는 12 × 15 × 3 mm의 형태가 되도록 하였다(Fig. 1). 각 하이브리드 세라믹별로 60개의 시편을 제작한 후, 구강내에서 노화된 수복물의

Table 1. Composition of materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition
Vita Enamic	Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany	Polymer-infiltrated ceramic network : 86% Fine-structure feldspathic ceramic, 14% polymer (UDMA, TEGDMA)
Celtra Duo	Dentsply sirona, Charlotte, USA	Zirconia-reinforced lithium silicate : 58% silicone dioxide, 18.5% lithium oxide, 10.1% zirconium oxide, 5% phosphorus pentoxide, 1.9% alumina
Scotchbond Universal Plus	Solventum, St. Paul, USA	MDP, Silane, DMA, HEMA, polyalkenoic acid copolymer, ethanol, water, filler, initiators
EsFlow PLUS Injectable	Spident, Incheon, Korea	Barium glass, silica Silane, methacrylate monomer (Bis-EMA, TCDDMA), initiators
Porcelain etchant	BISCO, Schaumburg, USA	4% hydrofluoric acid
Porcelain primer	BISCO, Schaumburg, USA	Silane, ethanol, acetone
G-multi primer	GC, Tokyo, Japan	Silane, MDP, MDTP, ethanol, methacrylate monomer

Data from manufacturers' websites and/or product catalogs.
UDMA, urethane dimethacrylate; TEGDMA, triethylene glycol dimethacrylate; HEMA, 2-hydroxyethyl methacrylate; MDP, 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; DMA, dimethacrylate; MPTMS, γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane; MDTP, 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen thiophosphate.

상황을 재현하기 위하여 열순환 시험기(Thermal cyclic tester, R&B Inc., Daejeon, South Korea)를 이용해 5°C와 55°C 사이에서 10,000회 열순환 처리를 시행하고 40 × 40 × 10 mm 사각형 몰드에 자가중합형 아크릴 레진(Ortho-Jet, Lang Dental, Wheeling, USA)으로 포매하였으며, 24시간 경화 후 실험에 사용하였다. 임상에서 수리용 복합레진의 접착을 위해 기존 수복물의 표면을 하이스피드 다이아몬드 버로 삭제했을 때와 유사한 표면 거칠기를 만들기 위하여 시편의 표면을 400 grit SiC paper로 연마하고, 4% hydrofluoric acid (porcelain etchant, BISCO, Schaumburg, USA)를 사용하여 산부식 처리하였다.

실험군 분류 및 접착

표면처리 방법에 따라 각각 20개씩 3개의 실험군으로 무작위 배정을 하였다. 첫번째 군(Group 1, SBU)은 전처리 없이 Scotchbond Universal Plus만을 단독으로 적용하였고, 두번째 군(Group 2, SBU + silane)은 silane (Porcelain Primer, BISCO)을 도포한 후 Scotchbond Universal Plus를 적용하였다. 세 번째 군(Group 3, Silane + MDP + SBU)은 silane과 MDP (G-Multi Primer, GC, Tokyo, Japan)를 도포한 뒤 Scotchbond Universal Plus를 적용하는 방식으로 처리하였다.

전처리와 접착제 도포가 완료된 시편 위에 ISO 29022:2013 기준에 따라 제작한 직경 2.4 mm, 높이 2 mm의 실리콘 몰드를 이용하여 원기둥 형태의 복합레진을 1 mm 두께로 2회 적층하여 각 층마다 10초간 800 mW/cm^{2}의 강도로 광중합(B&Lite S, B&L Biotech, Daejeon, Korea)하여 부착하였다(Fig. 2A - 2C). 복합레진을 부착한 시편은 37°C, 100% 상대습도 조건에서 24시간 동안 보관하였다. 각 실험군에 사용된 산 부식, 프라이머 및 접착제의 적용 절차는 제조사의 지침에 따라 수행되었으며, 그 내용은 Table 2에 나타내었다.

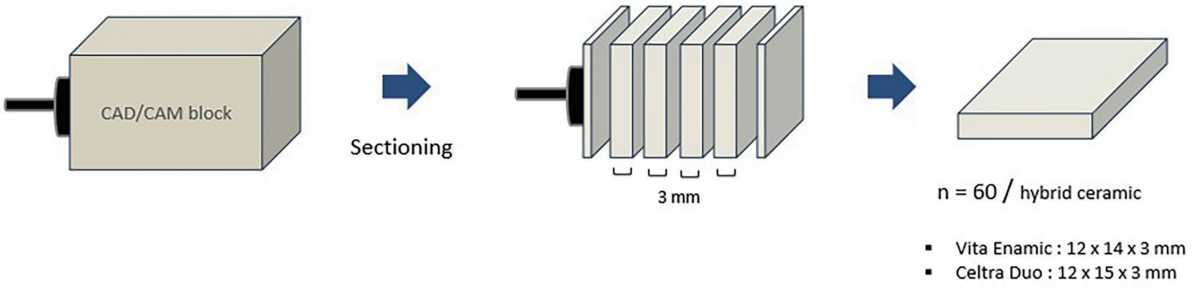

Fig. 1. Schematic diagrams of specimen preparation.

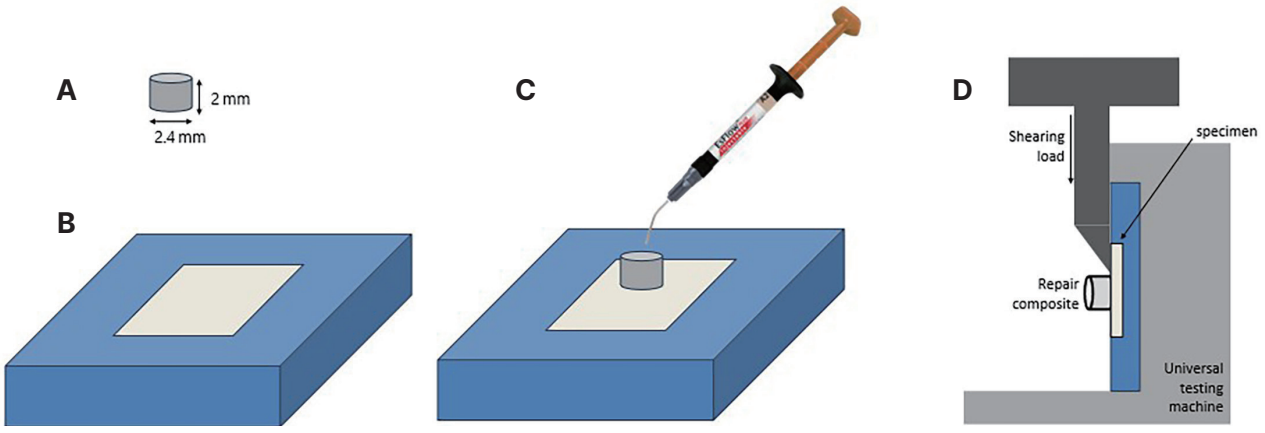

Fig. 2. Schematic diagrams of (A) the cylindrical mold, (B) the specimen embedding in acrylic resin, (C) the application of repair resin composite, and (D) the shear bond strength test.

Table 2. Application protocols based on manufacturers' guidelines

Product name	Application protocol
Porcelain etchant	Apply an even layer to the ceramic surface and allow it to react for 60 seconds. Rinse thoroughly with running water for 30 seconds and gently air-dry the surface.
Porcelain primer	Apply a thin layer to a clean, dry surface using a microbrush. Let it react for 60 seconds, gently air-dry the surface.
G-multi primer	Apply to the surface and leave it undisturbed for 10 seconds. Dry thoroughly with air stream to remove any remaining solvent.
Scotchbond Universal Plus	Actively scrub onto the surface for 20 seconds. Gently air-dry for 5 seconds, then light-cure for 10 seconds using a curing unit.

접착강도 측정

만능시험기(RB-306, R&B Inc.)를 이용하여 시편의 접착계면에 0.5 mm/min의 일정한 하중을 가한 후, 접착한 복합레진이 CAD/CAM 블록에서 분리될 때의 최대하중값을 단위면적으로 나누어 전단결합강도(MPa)를 계산하였다(Fig. 2D).

전단결합강도(MPa) = 최대하중(N) / 접착면적(mm^2)

통계 분석

하이브리드 세라믹 종류와 전처리 방법의 상호작용을 평가하기 위해 이원배치 분산분석(Two-way ANOVA)을 실시하였으며, 이원배치 분산분석 결과에서 유의한 차이가 있는 경우 일원배치 분산분석(One-way ANOVA) 및 Scheffe test 사후검정을 시행하였다. 모든 통계 분석은 95% 유의수준에서 SPSS Ver 29.0 (IBM SPSS Inc., Chicago, USA)를 사용하여 진행하였다.

결과

두 종류의 하이브리드 세라믹에 대한 전처리 조건에 따른 복합레진의 전단결합강도를 Table 3와 Fig. 3에 나타내었다. Vita Enamic에 universal adhesive만 적용한 군이 가장 낮은 결합강도를 보였으며 Celtra Duo에 silane과 MDP, universal adhesive를 적용한 군이 가장 높은 결합강도를 보였다.

하이브리드 세라믹 요인과 전처리 요인이 전단결합강도 결과에 상호작용하는 가를 평가하기 위한 이원배치 분산분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 이원배치 분산분석 결과 하이브리드 세라믹 요인과 전처리 요인이 전단결합강도에 영향을 미치는 것으로 나타났으나 두 요인 사이 상호작용은 없었다.

이원배치 분산분석에서 유의한 결과를 나타낸 하이브리드 세라믹 요인과 전처리 요인에 대해 각각의 하이브리드 세라믹에서 전처리 방법에 따라 전단결합강도가 어떻게 다르게 나타나는 가를 알아보기 위하여 일원배치 분산분석을 하고 Scheffe test를 이용하여 사후검

Table 3. Shear bond strength of each experimental condition (Mean ± Standard Deviation, MPa)

Hybrid ceramic	Group 1 SBU	Group 2 Silane + SBU	Group 3 Silane + MDP + SBU
Vita Enamic	20.02 ± 2.96[a]	23.63 ± 3.81[b]	24.36 ± 4.31[b]
Celtra Duo	22.83 ± 4.64[a]	24.92 ± 4.67[a]	29.04 ± 4.92[b]

Different superscript letters within the same row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

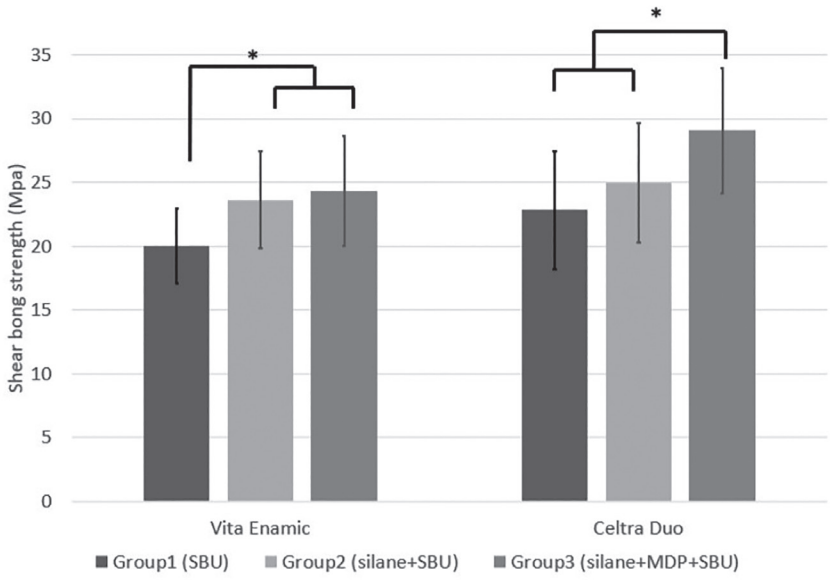

Fig. 3. Shear bond strength of each experimental condition.
*means there is a statistically significant difference between the groups at $P < 0.05$.

Table 4. Result of two-way ANOVA test

Source	Type III Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Corrected Model	873.051a	5	174.610	9.577	< .001
Intercept	69882.894	1	69882.894	3833.053	< .001
Hybrid Ceramic	257.166	1	257.166	14.105	< .001
Pretreat	558.384	2	279.192	15.314	< .001
Hybrid Ceramic * Pretreat	57.501	2	28.751	1.577	.211
Error	2078.409	114	18.232		
Total	72834.354	120			
Corrected Total	2951.460	119			

a. R squared = .792 (Adjusted R Squared = .778).

정을 하였다. Vita Enamic에서는 전처리 없이 universal adhesive만 적용한 군이 가장 낮은 전단결합강도를 나타냈으며 다른 두 전처리 방법 사이에는 차이가 없었다($P < 0.05$). Celtra Duo에서는 silane과 MDP로 전처리 하고 universal adhesive를 적용한 군이 가장 높은 전단결합강도를 나타냈으며 나머지 두 군 간에는 유의한 차이가 없었다($P < 0.05$).

고찰

치과용 CAD/CAM 기술의 발전과 함께 다양한 세라믹 재료가 개발되어 임상에서 광범위하게 활용되고 있다.[1-3] 기존 세라믹의 여러 한계를 보완하기 위해 개발된 하이브리드 세라믹은 상이한 성분과 구조를 결합하여 각각의 재료가 가진 장점을 최대화하고자 개발된 복합재료

이다. 하이브리드 세라믹은 우수한 기계적 특성과 가공성을 바탕으로 현재 임상에서 중요한 수복 재료로 자리잡고 있으며, Vita Enamic과 Celtra Duo가 대표적이다.

Vita Enamic은 polymer-infiltrated ceramic network (PIC)으로, 세라믹 매트릭스에 폴리머가 침투된 구조로 세라믹의 경도와 폴리머의 인성을 결합하여 응력 분산과 파절저항성을 높였다.[3,19,20] 또한 상아질과 유사한 탄성계수와 경도를 가지며 세라믹 대비 유연하고 뛰어난 가공성을 지닌다.[3,20] Celtra Duo는 zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS)로, 기존의 리튬 실리케이트 글라스 세라믹에 약 10%의 지르코니아가 첨가된 구조로, 미세하고 균일한 결정립과 높은 투명성을 가지며 기계적 강도와 경도가 우수하다.[21,22] 하지만 이러한 수복물도 장기간 사용 시 파절이나 결함이 발생할 수 있으며 이 때 복합레진을 사용하여 수리하는 것이 수복물을 재제작하는 것보다 비용 효율적이며 손쉬운 대안이 될 수 있다. CAD/CAM 세라믹은 높은 중합도로 인해 복합레진을 이용한 수리 시 접착효율이 낮아,[8,23] 적절한 접착을 위해서는 기계적, 화학적 전처리 과정이 필수적이다.

실험에 사용된 두 하이브리드 세라믹은 제조방식과 구성성분 및 미세 구조에 차이를 가지므로 표면처리 및 접착제와의 상호작용에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. Vita Enamic은 세라믹과 폴리머가 연속적으로 연결된 구조로 산처리 및 silane에 대한 반응성이 높으며,[24] Celtra Duo는 리튬 실리케이트 세라믹의 특성상 silane 처리와 더불어 지르코니아가 첨가된 구조로 인해 MDP와 같은 인산기 기반 프라이머의 적용이 접착력 향상에 도움이 될 수 있다.[17,25,26]

최근의 universal adhesive는 silane과 MDP를 동시에 함유하여 다양한 기질과의 화학적 결합을 단일 단계로 가능하게 하여 접착 절차를 간소화하였다. 일부 연구에서는 universal adhesive자체의 silane과 MDP가 충분한 화학적 결합을 제공하므로 추가적인 전처리가 불필요하다고 하였지만,[27] 그렇지 않다는 연구도 있다.[28-30]

본 실험에서는 화학적 전처리 전, 임상에서 보철물 표면에 하이스피드 다이아몬드 버를 적용한 것과 유사한 효과를 내기 위해 모든 실험군에 동일하게 400 grit SiC paper로 기계적 전처리를 시행하였고,[31,32] 미세 기계적 유지력과 표면에너지를 증가시키기 위해 불산으로 산처리를 시행하였다.[33,34] 실험결과, 접착제로 사용된 Scotchbond Universal plus는 추가적인 화학적 전처리 여부에 따라 접착 성능이 달라지는 경향을 보였다. Universal adhesive만을 단독으로 적용한 경우 두 하이브리드 세라믹 모두에서 접착강도가 가장 낮았으며, 이는 기존 연구와도 일치한다.[2] 이는 universal adhesive 내에 함유된 silane 또는 MDP의 농도가 표면 활성화에 충분하지 않거나, 혼합된 상태에서 복합성분 간의 상호작용으로 각 성분의 화학적 반응 효율 저하가 발생했을 수 있기 때문으로 해석된다.[35,36]

Vita Enamic은 silane 또는 silane과 MDP 동시 처리군 모두에서 universal adhesive 단독 처리군에 비해 접착강도가 유의하게 증가하였으나, 전처리 방법 간 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 이는 표면의 실리카 기반 세라믹과 폴리머가 미세하게 혼재된 구조 특성상 산처리와 silane에 대한 반응성이 높아 siloxane 결합 형성이 충분히 이루어지기 때문으로 생각된다. 또한 지르코니아 함량은 거의 없어 MDP를 통한 화학적 결합의 추가 효과는 제한적이며, silane에 의해 대부분의 결합 부위가 포화되기 때문에 추가적인 MDP 적용이 접착력 향상에 기여할 여지가 적다.[13,19,37] 반면 Celtra Duo의 경우 silane과 MDP로 전처리한 후 universal adhesive를 적용한 군이 가장 높은 접착강도를 보였는데, 이는 표면에 노출된 실리카 비율이 상대적으로 낮아 silane 단독 처리만으로는 전체 표면에서 충분한 실록산 결합을 형성하기 어렵기 때문으로 생각된다. 그러나 지르코니아가 포함된 영역에서는 MDP의 인산기-지르코니아 결합이 silane이 도달하지 못하는 부위를 보완하며 두 결합 메커니즘이 함께 작용하여 더욱 안정적인 결합 네트워크를 형성한 것으로 해석된다.[38,39]

본 연구를 통해 CAD/CAM 하이브리드 세라믹의 복합레진 수리 시 universal adhesive만을 적용하는 것보다, 재료의 특성에 따라 silane 및 MDP 등 화학적 전처리를 병행하는 것이 접착강도 향상에 효과적임을 확인하였다. 따라서 임상에서는 하이브리드 세라믹의 종류에 따라 적절한 전처리 방법을 선택하여 수리하는 것이 바람직하다.

본 연구는 하이브리드 세라믹의 수리 시 화학적 전처리 효과를 평가하는데 있어 다음과 같은 한계를 가진다. 복합레진 접착 전 열순환 처리를 시행하였으나, 접착 후의 장기적인 구강 내 환경을 완전히 모사하지 못했다. 기존 연구에서는 레진수리 후 18개월 수분 저장 및 10,000회 열순환 후 접착강도가 30 - 50% 감소함이 보고된 바 있어,[20] 수리 후의 내구성 평가가 필요하다. 또한 샌드블라스팅과 같은 표면처리는 적용하지 않았는데, 연구에 따르면 알루미나 에어브레이징(50 μm)이 접착강도를

40% 이상 향상시킬 수 있어,[18] 다양한 표면처리 조합의 영향 평가가 필요할 것으로 생각된다. 마지막으로, silane과 MDP가 동시에 포함된 프라이머를 사용함에 따라 각 성분의 개별적 기여도를 명확히 분리할 수 없었다. MDP 단독 처리 또는 적용 순서 변경에 따른 효과를 비교한 선행 연구를 참고하여,[39] 향후 단일 성분 평가 및 화학적 반응 메커니즘 규명이 필요할 것으로 생각된다.

결론

노화를 거친 두 종류의 하이브리드 세라믹을 수리할 때 silane과 MDP가 함유된 universal adhesive를 사용하는 경우 화학적 전처리가 전단결합강도에 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 universal adhesive만 적용한 경우, silane 처리 후 universal adhesive를 적용한 경우, silane과MDP 로 전처리를 하고 universal adhesive를 적용한 경우로 나누어 복합레진을 접착하고 전단결합강도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 하이브리드 세라믹의 종류와 상관없이 전처리 없이 universal adhesive만 적용한 경우 가장 낮은 전단결합강도를 나타냈다.
2. Vita Enamic은 두가지 전처리 방법 사이에는 차이가 없이 전처리를 하는 경우 더 높은 결합강도를 나타냈으며, Celtra Duo는 silane, MDP로 전처리 하고 universal adhesive를 적용하였을 때 가장 높은 전달결합강도를 나타냈다.

위 연구 결과를 바탕으로 silane과 MDP가 함유된 universal adhesive라 할지라도 하이브리드 세라믹의 종류에 따라 각기 다른 추가적인 화학적 전처리를 하는 것이 수리를 위해 사용하는 복합레진이 더 높은 결합강도로 접착되게 할 수 있다는 결론을 얻었다.

ORCID

Yedam Lee https://orcid.org/0009-0006-4457-4999
Jin-Woo Kim https://orcid.org/0000-0002-0004-0710
Se-Hee Park https://orcid.org/0000-0002-4052-4082
Kyung-Mo Cho https://orcid.org/0000-0003-3464-9425

References

1. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. Dent Mater J 2009;28:44-56.
2. Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. J Am Dent Assoc 2006;137 Suppl 1:14S-21S.
3. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. J Prosthet Dent 2015;114:587-93.
4. Beltrami ÍM, de Lima CC, do Nascimento CT, Gonçalves JGP, Azarias JS, Bortoleto ALF, Goiato MC, Dos Santos DM. Hybrid Ceramics Cementation Protocols: Scope Review. J Clin Exp Dent 2024;16:e1138-50.
5. Elsaka SE. Repair bond strength of resin composite to a novel CAD/CAM hybrid ceramic using different repair systems. Dent Mater J 2015;34:161-7.
6. Gul P, Altinok-Uygun L. Repair bond strength of resin composite to three aged CAD/CAM blocks using different repair systems. J Adv Prosthodont 2020;12:131-9.
7. Moura DMD, Dal Piva AMO, Januário ABDN, Verissímo AH, Bottino MA, Özcan M, Souza ROA. Repair bond strength of a CAD/CAM nanoceramic resin and direct composite resin: Effect of aging and surface conditioning methods. J Adhes Dent 2020;22:275-83.
8. Sismanoglu S, Yildirim-Bilmez Z, Erten-Taysi A, Ercal P. Influence of different surface treatments and universal adhesives on the repair of CAD-CAM composite resins: An in vitro study. J Prosthet Dent 2020;124:238.e1-9.
9. Veríssimo AH, Duarte Moura DM, de Oliveira Dal Piva AM, Bottino MA, de Fátima Dantas de Almeida L, da Fonte Porto Carreiro A, de Assunção E Souza RO. Effect of different repair methods on the bond strength of resin composite to CAD/CAM materials and microorganisms adhesion: An in situ study. J Dent 2020;93:103266.
10. Bahadir HS, Bayraktar Y. Evaluation of the repair capacities and color stabilities of a resin nanoceramic and hybrid CAD/CAM blocks. J Adv Prosthodont 2020;12:140-9.
11. Bayraktar Y, Arslan M, Demirtag Z. Repair bond strength and surface topography of resin-ceramic

and ceramic restorative blocks treated by laser and conventional surface treatments. Microsc Res Tech 2021;84:1145-54.
12. Bayazit EÖ. Repair of aged polymer-based CAD/CAM ceramics treated with different bonding protocols. Int J Prosthodont 2021;34:357-64.
13. Jung SN, Rüttermann S. Influence of mechanical and chemical pre-treatments on the repair of a hybrid ceramic. Dent Mater 2022;38:1140-8.
14. Arkoy S, Ulusoy M. Effect of different surface treatments on repair bond strength of CAD/CAM resin-matrix ceramics. Materials (Basel) 2022;15:6314.
15. Atala MH, Yeğin E. Effect of different universal bonding agent procedures on repair of feldspathic and hybrid ceramics. Int J Prosthodont 2022;35:330-7.
16. Özcan M, Volpato CA. Surface Conditioning Protocol for the Adhesion of Resin-based Materials to Glassy Matrix Ceramics: How to Condition and Why? J Adhes Dent 2015;17:292-3.
17. Özcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. J Adhes Dent 2015;17:7-26.
18. Güngör MB, Nemli SK, Bal BT, Ünver S, Doğan A. Effect of surface treatments on shear bond strength of resin composite bonded to CAD/CAM resin-ceramic hybrid materials. J Adv Prosthodont 2016;8:259-66.
19. Schwenter J, Schmidli F, Weiger R, Fischer J. Adhesive bonding to polymer infiltrated ceramic. Dent Mater J 2016;35:796-802.
20. Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. Dent Mater 2013;29:419-26.
21. Karaokutan I, Ozel GS. Effect of surface treatment and luting agent type on shear bond strength of titanium to ceramic materials. J Adv Prosthodont 2022;14:78-87.
22. Zarone F, Ruggiero G, Leone R, Breschi L, Leuci S, Sorrentino R. Zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS) mechanical and biological properties: A literature review. J Dent 2021;109:103661.
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. Kömürcüoğlu MB, Sağırkaya E, Tulga A. Influence of different surface treatments on bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to resin cement. J Adv Prosthodont 2017;9:439-46.
25. Inokoshi M, De Munck J, Minakuchi S, Van Meerbeek B. Meta-analysis of bonding effectiveness to zirconia ceramics. J Dent Res 2014;93:329-34.
26. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y, Van Meerbeek B, Hayakawa S. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. Sci Rep 2017;7:45563.
27. Elsaka SE. Repair bond strength of resin composite to a novel CAD/CAM hybrid ceramic using different repair systems. Dent Mater J 2015;34:161-7.
28. Kim RJ, Woo JS, Lee IB, Yi YA, Hwang JY, Seo DG. Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic. Biomater Res 2015;19:11.
29. Flury S, Dulla FA, Peutzfeldt A. Repair bond strength of resin composite to restorative materials after short- and long-term storage. Dent Mater 2019;35:1205-13.
30. Kim YR, Kim JH, Son SA, Park JK. Effect of Silane-Containing Universal Adhesives on the Bonding Strength of Lithium Disilicate. Materials (Basel) 2021;14:3976.
31. Özcan M, Corazza PH, Marocho SM, Barbosa SH, Bottino MA. Repair bond strength of microhybrid, nanohybrid and nanofilled resin composites: effect of substrate resin type, surface conditioning and ageing. Clin Oral Investig 2013;17:1751-8.
32. Brendeke J, Ozcan M. Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. J Adhes Dent 2007;9:399-406.
33. Murillo-Gómez F, Palma-Dibb RG, De Goes MF. Effect of acid etching on tridimensional microstructure of etchable CAD/CAM materials. Dent Mater 2018;34:944-55.
34. Eldafrawy M, Greimers L, Bekaert S, Gailly P, Lenaerts C, Nguyen JF, Sadoun M, Mainjot A. Silane influence on bonding to CAD-CAM composites: An interfacial fracture toughness study. Dent Mater 2019;35:1279-90.

35. Reis AF, Giannini M, Pereira PN. Influence of water-storage time on the sorption and solubility behavior of current adhesives and primer/adhesive mixtures. Oper Dent 2007;32:53-9.
36. Yao C, Zhou L, Yang H, Wang Y, Sun H, Guo J, Huang C. Effect of silane pretreatment on the immediate bonding of universal adhesives to computer-aided design/computer- aided manufacturing lithium disilicate glass ceramics. Eur J Oral Sci 2017;125:173-80.
37. Hilgemberg B, Siqueira FSF, Cardenas AFM, Ribeiro JL, Dávila-Sánchez A, Sauro S, Loguercio AD, Arrais CAG. Effect of Bonding Protocols on the Performance of Luting Agents Applied to CAD-CAM Composites. Materials (Basel) 2022;15:6004.
38. Aguilera MAR, Bortolazzo AC, Correr-Sobrinho L, Consani RLX. Surface treatments of the zirconia-reinforced lith ium disilicate ceramic in the adhesion to the resin cement. Braz Dent J 2024;35: e245674.
39. Cardenas AM, Siqueira F, Hass V, Malaquias P, Gutierrez MF, Reis A, Perdigão J, Loguercio A. Effect of MDP-containing Silane and Adhesive Used Alone or in Combination on the Long-term Bond Strength and Chemical Interaction with Lithium Disilicate Ceramics. J Adhes Dent 2017;19:203-12.

Universal adhesive를 이용한 CAD/CAM 하이브리드 세라믹 수리 시 화학적 전처리가 전단결합강도에 미치는 영향

이예담 전공의, **김진우** 교수, **박세희** 교수, **조경모*** 교수
강릉원주대학교 치과대학 치과보존학교실

목적: 서로 다른 특성을 지닌 두 종류의 하이브리드 세라믹을 복합레진으로 수리하기 위해 silane과 MDP가 함유된 universal adhesive를 사용하는 경우 추가적인 화학적 전처리 여부가 복합레진의 전단결합강도에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.
연구 재료 및 방법: 하이브리드 세라믹으로 Vita Enamic과 Celtra Duo를 사용하였으며, 구강 내 사용을 모사하기 위하여 각 재료의 시편을 물속에서 10,000회 열순환 처리를 하였다. 모든 시편은 표면을 동일하게 연마하고 접착을 위한 4% 불산(HF) 처리를 한 다음 무처리군(Group 1), silane 도포군(Group 2), silane과 MDP 동시 도포군(Group 3)으로 분류하여 전처리를 하고 universal adhesive (Scotchbond Universal Plus)를 도포한 뒤 직경 2.4 mm, 높이 2 mm의 원기둥형 몰드를 이용하여 복합레진을 접착하고 37°C, 100% 상대습도 조건에서 24시간 보관한 다음 전단결합강도를 측정하였다.
결과: Vita Enamic과 Celtra Duo 모두에서 universal adhesive만 적용한 경우 가장 낮은 전단결합강도를 나타냈다. Vita Enamic은 전처리를 수행한 모든 군에서 접착강도가 향상되었으며, 전처리 방법 간의 유의한 차이는 없었다. Celtra Duo는 silane과 MDP를 동시에 적용한 군에서 가장 높은 접착강도를 나타냈다.
결론: Silane과 MDP가 함유된 universal adhesive를 사용하더라도 하이브리드 세라믹의 종류에 따라 전처리 방법의 효과가 상이하게 나타나므로 수리를 할 때 각 재료의 특성에 맞는 적절한 화학적 전처리 방법의 선택이 중요하다.

(구강회복응용과학지 2026;42(1):50-9)

주요어: CAD/CAM 하이브리드 세라믹; 복합레진; 전처리; 전단결합강도; universal adhesive

*교신저자: 조경모
(25457)강원특별자치도 강릉시 죽헌길 7 강릉원주대학교 치과대학 치과보존학교실
Tel: 033-640-2467 | Fax: 033-640-3103 | E-mail: drbozon@gwnu.ac.kr
접수일: 2025년 10월 23일 | 수정일: 2025년 11월 23일 | 채택일: 2025년 12월 7일