https://doi.org/10.14368/jdras.2025.41.1.11
ISSN 2384-4353 eISSN 2384-4272

Original Article

Strategies for enhancing the shear bond strength using highly acidic universal adhesive and dual-cured composite resin

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

Purpose: The aim of this study was to measure the shear bond strength of universal adhesive and dual-cured composite resin, and to analyze various factors that could increase bond strength. **Materials and Methods:** Forty extracted third molars were used to expose the dentin and apply G-Premio BOND, after which they were randomly divided into four groups. Group 1 (G1) was filled with Luxacore Z Dual 4 mm in one step, Group 2 (G2) had Luxacore Z Dual filled in two stages (1 mm / 3 mm), Group 3 (G3) had Luxacore Z Dual filled to 4mm after applying Scotchbond multipurpose adhesive, and Group 4 (G4) was filled with Fill and Core 4 mm in one step (n = 10). After storing in distilled water at room temperature for 24 hours, shear bond strength was measured using a universal testing machine. **Results:** The group in which Luxacore Z Dual was placed in a 4 mm increment exhibited lower shear bond strength compared to all other groups. In contrast, the group where Luxacore Z Dual was initially light-cured in 1 mm increments before additional increments showed the highest shear bond strength. The group with Scotchbond multipurpose adhesive additionally applied demonstrated the next highest bond strength. These two groups showed statistically significant differences from the other groups. **Conclusion:** The bond strength of dual-cured composite resin with highly acidic universal adhesive may be enhanced by applying a thin coat of dual-cured composite resin first or additional application of hydrophobic adhesive. **(J Dent Rehabil Appl Sci 2025;41(1):11-9)**

Key words: dentin; dual-cure composite resin; light-cure composite resin; shear bond strength; universal dentin adhesive

서론

레진 충전시 상아질 접착제가 치과임상에 도입된 이후, 점차 단계를 단순화하는 방향으로 발전해왔다. 5세대 접착제는 법랑질과 상아질 산부식을 동시에 수행하여 임상적으로 우수한 결과를 보여주었다. 이어서, 6세대 및 7세대 산성 접착제는 산, 프라이머, 접착제를 한 번에 적용할 수 있어 편리성을 크게 증진시켰다. 그러나 7세대 접착제의 경우 결합 계면의 투과성 증가, 내구성 저하 및 낮은 안정성 등의 문제점이 제기되었다.[1] 이에 따라 새로운 범용 상아질 접착제인 8세대 상아질 접착제가 개발되었다.[1] 이들은 12.0 μm 이하의 나노 필러 또는 기능성 단량체를 함유하고 있으며, 모든 산부식 방식과 호환되며 다양한 수복물에 적용이 가능하다.[2,3]

그러나 대부분의 범용 상아질 접착제가 pH 2.0 이상의 약산성을 띠는 것과 달리 일부 상아질 접착제 (GC G-Premio BOND, GC Co., Tokyo, Japan)의 pH는 1.5정도로 비교적 강산성에 속한다. 상아질 접착제의 pH에 따라 전단결합강도에 영향을 끼치는지 여부에 대한 논의가 다양하게 이루어지고 있는데 상아질 접착제의 pH가 낮

*Correspondence to: Yoon Lee
Professor, Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 7, Jukheon-gil, Gangneung, 25457, Republic of Korea
Tel: +82-33-640-2760, Fax: +82-33-640-3103, E-mail: yoonlee@gwnu.ac.kr
Received: December 26, 2024/Last Revision: January 16, 2025/Accepted: January 20, 2025

Copyright© 2025 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

아질 경우 적용 부위로의 상아세관액의 흐름이 증가하여 전단결합강도가 감소할 수 있으므로 pH 2.2 - 2.4가 최적이라는 연구결과[4]와 pH와 결합강도 간의 뚜렷한 연관성이 없다는 연구결과도 있다.[5]

이원 중합 복합레진의 경우 상단은 주로 광중합, 하단은 화학중합으로 이루어지나 화학중합이 충분하지 않은 경우 완전한 중합이 이루어지지 않을 수 있다. 기존 연구에 따르면, 강한 산도의 접착제와 화학중합 복합레진의 조합이 상대적으로 낮은 결합강도를 나타내는 것으로 보고되었다.[6] 또한 산도가 증가할수록 결합강도가 감소하여 광중합 복합레진보다 45 - 90%까지 감소하는 것으로 보고되었다.[7] 이는 접착제의 oxygen inhibition layer 내부의 미중합 산성 단량체와 화학중합 복합레진 표면의 염기성 3차 아민 사이의 산-염기 반응으로 인해 발생한다.[7-9] 이러한 비호환성이 최근 개발된 범용 상아질 접착제도 자가중합 또는 이중중합 레진 간에도 나타난다는 보고가 있었다.[9,10]

이러한 비호환성 문제를 해결하기 위한 방안으로 다양한 임상 접근법이 제안되었다. 소수성 레진(hydrophobic resin agent)의 추가 도포,[11] 다중 층(multiple layer) 적용,[12-15] 경화 시간 연장,[16] matrix metalloproteinase (MMP) 억제제 사용,[17,18] 얇은 층의 유동성 레진으로 덮는 방법[19,20]이 제안되고 있다. 이중 소수성 레진을 도포하는 것과 얇은 층의 유동성 레진을 광중합하는 방법이 많이 사용되는데 King 등은 세가지 One-step adhesive (I-Bond, Xeno III, Adper Prompt L-Pop)에 소수성 레진 코팅을 사용하면 접착강도가 증가하고 자가중합 복합레진과의 비호환성이 제거된다고 보고했다.[11] 또한 다른 연구에서 상아질에 대한 레진 시멘트의 결합력을 향상시키기 위해 유동성 레진을 적용하면 tensile bond strength (TBS)가 크게 향상된다고 하였다.[21]

자가 산부식 상아질 접착제와 이중중합 레진의 비호환성에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다.[22] 그러나 높은 산도를 갖는 범용 상아질접착제와 이중중합형 코어용 레진 간의 비호환성을 해결하는 다양한 방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 높은 산도를 갖는 범용 상아질접착제와 이중중합형 코어용 레진을 사용할 때의 전단결합강도를 측정하고, 결합강도를 증가시킬 수 있는 다양한 요인들을 실험군으로 비교하는 것을 목표로 한다.

연구 재료 및 방법

이 연구의 연구 방법은 강릉원주대학교치과병원 임상시험심사위원회(GWNUDH-IRB2023-A005)의 규정을 준수하여 진행하였다.

치관부에 결함이나 수복물이 없는 최근에 발거된 상, 하악 제3대구치 40개를 실험치아로 사용하였다.

본 연구에서 사용된 제품은 GC G-Premio BOND (GC Co.) 상아질 접착제를 사용하였다. 코어용 레진은 이중중합 복합레진 Luxacore Z Dual (DMG, Hamburg, Germany) A3 shade와 광중합 복합레진 Fill and core (3M ESPE, St. Paul, USA) A1 shade를 사용하였다. 또한 Scotchbond multipurpose (3M ESPE)의 접착제를 추가로 사용하였다. LED 광중합기 G-Light (GC Co.)로 광중합을 시행하였다(Table 1).

Table 1. Composition of materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition	Lot No.
G-Premio BOND™	GC Co.	10-MDP, phosphoric acid ester monomer, dimethacrylate, 4-MET, MEPS, acetone, silicon dioxide, initiators	2109071
Luxacore Z Dual	DMG	Barium glass, pyrogenic silicic acid, nanofiller and zirconium dioxide in a Bis-GMA based matrix from dental resins	265608 277453
Filtek™ Fill and core Flowable Restorative	3M ESPE	Matrix: Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, Procrylate resin Filler: zirconia/silica particles, ytterbium trifluoride fillers	9310852
Adper™ Scotchbond Multi-purpose	3M ESPE	Bis-GMA, HEMA, tertiary amines, photo-initiator	NA98294

*Data from manufacturers websites and/or product catalogs.
MDP: 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate; MET: 4-Methacryloyloxyethyl trimellitic acid; MEPS: Methacryloyloxyalkyl thiophosphate methylmethacrylate; Bis-GMA: bis-phenol A glycidyldimethacrylate; UDMA: urethane dimethacrylate; Bis-EMA: ethoxylated bisphenol-A- dimethacrylate; HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate.

시편 제작

제3대구치 40개를 20.0 × 20.0 × 18.0 mm 크기의 몰드에 자가 중합형 아크릴릭 레진으로 매몰하여 시편을 제작하였다. 다이아몬드버(918PB, Komet Dental, Lemgo, Germany)를 이용하여 주수 하에 교합면 법랑질을 치아 장축에 수직방향으로 삭제하여 편평한 상아질 표면을 노출시켰다. 동일한 도말층 형성을 위해 #600 grit의 SiC 연마지(Buehler Ltd., Lake Bluff, USA)로 표면을 주수 하에 60초간 연마하여 균일한 표면이 되도록 다듬었다.

코어용 레진의 접착

G-Premio BOND (GPB)를 상아질 표면에 적용하고, 공기 시린지로 가볍게 불어 상아질 표면에 충분히 퍼지도록 하고 광중합기로 10초간 광조사하였다.

접착제가 적용된 상아질 표면에 내경 5 mm, 높이 4 mm의 아크릴 몰드를 위치시킨 다음 군 분류에 따라 복합레진을 충전하고 40초간 광조사하였다. 제작된 시편은 전단결합강도를 측정하기 직전까지 증류수에 24시간 동안 보관하였다.

군 분류

절단된 40개의 시편은 무작위로 선택하여 각 군에 10개씩 배정하였다.

G1군: Luxacore Z Dual A3 4 mm 충전 후 광중합 40초

G2군: Luxacore Z Dual A3 1 mm 충전 후 광중합 20초, 이후 3 mm 충전 후 광중합 20초

G3군: Scotchbond Multipurpose의 접착제 도포 후 광중합 10초, 이후 Luxacore Z Dual A3 4 mm 충전 후 광중합 40초

G4군: Fill and core Flowable Restorative 4 mm 충전 후 광중합 40초

전단결합강도의 측정

각 시편을 측정기구에 위치시켜 고정시킨 후 만능 재료시험기(Universal Testing Machine, R&B Inc., Daejeon, South Korea)를 사용하였다. 각 시편에 전단력을 0.5 mm/min의 속도로 가해 복합레진이 시편에서 탈락할 때의 최대하중을 Helio X 프로그램을 이용해 구하고, 이를 단위면적당 전단결합강도(MPa)로 환산하였다(Fig. 1).

전단결합강도(MPa) = 최대하중(N) / 접착면적(mm^2)

파절 양상 분석

전단 접착강도 측정 후, 시편의 표면을 실물 현미경(LEICA M320, Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)으로 20배 확대하여 파절양상을 관찰하였다. 접착 실패 유형에 따라 접착제와 치아 계면에서 발생하는 부착성 파절(adhesive failure), 접착제 내에서 발생하는 응집성 파절(cohesive failure), 위의 양상들이 혼합되어 나타나는 혼합성 파절(mixed failure)의 3가지 범주로 분류하였다.

통계분석

연구에 사용된 자료의 분석과 통계처리는 SPSS Ver 26.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 분석하였다. 각 군 간의 유의차를 알아보고자 일원배치분산분석을 하였고, Tukey's test로 사후 검정을 수행하였다. 모든 통계분석은 95%의 신뢰수준에서 수행되었다.

결과

각 군의 평균 전달결합 강도 및 표준 편차는 Table 2와 Fig. 2와 같다. 통계 분석에 의하면 본 연구에서 코어 레진 적용 방법에 따라 전단접착강도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

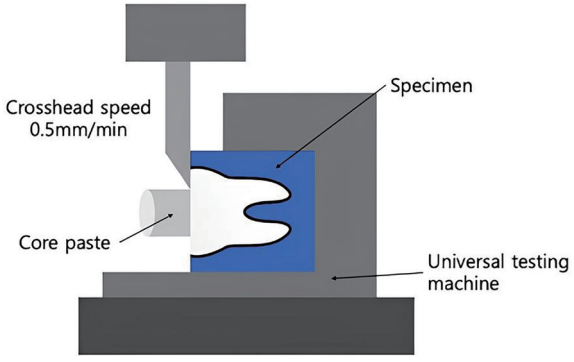

Fig. 1. Schematic design for shear bond strength testing of the bonded assembly.

Table 2. Mean and standard deviation of shear bond strength of each experimental condition. Significant differences are indicated by different letters according to statistical analysis at a preset of 95% significance

Groups	Mean and standard deviation Shear bond strength (MPa)
G1	2.24 ± 0.45[c]
G2	4.93 ± 1.42[a]
G3	4.76 ± 1.31[a]
G4	3.49 ± 0.99[b]

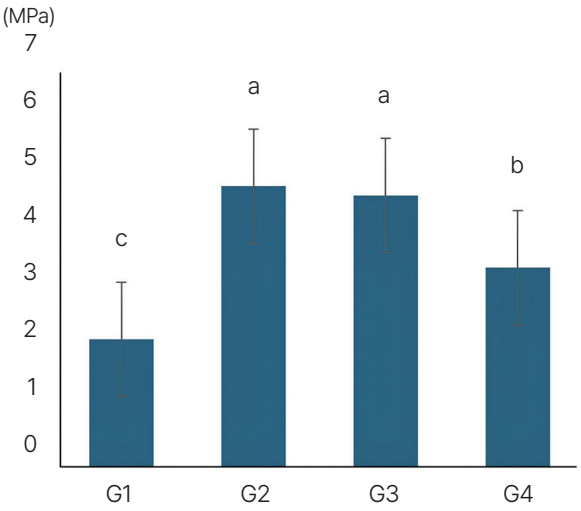

Fig. 2. Shear bond strength of composite resin cores with G-Premio BOND (MPa).

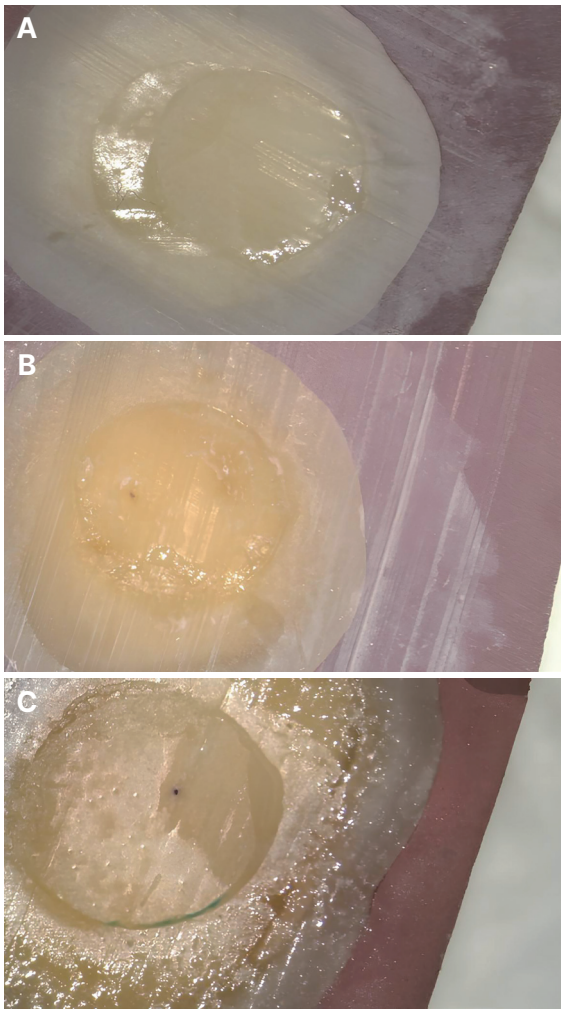

Fig. 3. Microscopic images of fractured surface. Representative Fracture patterns are shown. (A) Adhesive failure, (B) Mixed failure, (C) Cohesive failure.

GPB 적용 후 Luxacore Z Dual을 1 mm, 3 mm 나눠서 충전한 G2은 평균 4.93 ± 1.4 MPa로 가장 높은 값을 보였고, GPB 적용 후 추가로 Scotchbond multipurpose의 접착제를 적용하고 Luxacore Z Dual을 4 mm 충전한 G3이 4.76 ± 1.31 MPa을 보였으며 두 군 간에 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). GPB 적용 후 Fill and core 4 mm를 충전한 경우에 3.49 ± 0.99 MPa로 낮은 전단결합강도를 보였다. 가장 낮은 값은 2.24 ± 0.45 MPa로 GPB 적용 후 Luxacore Z Dual을 4 mm로 충전한 G1에서 나타났다.

각 군의 파절 양상 분석은 Fig. 3와 Fig. 4 와 같다. G2와 G3에서 가장 많은 응집성 파절이 관찰되었고, G1과 G4에서 적은 응집성 파절이 관찰되었다. 모든 실험군에서 대부분 혼합성 파절이 관찰되었다.

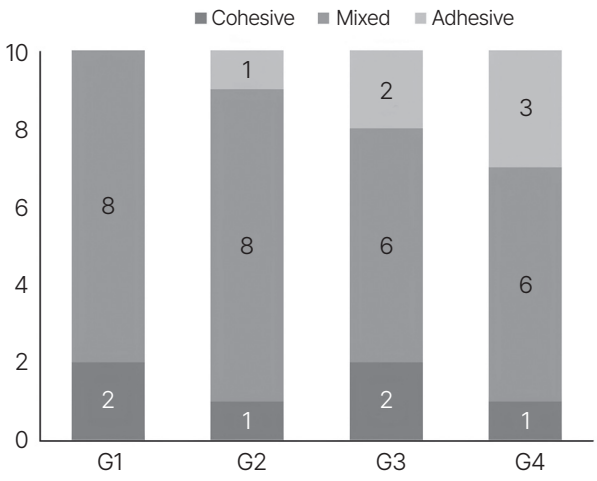

Fig. 4. Fracture pattern. The number written inside the bar graph means the number of specimens.

고찰

상아질 접착제가 이중중합 레진의 중합에 미치는 영향에 대한 연구는 지속적으로 발표되고 있다.[19,20,21,23,24] 치질에 수복물이 견고하게 접착될 때 수복물의 유지력이 향상되고 접착계면에서 미세누출이 방지되어 치질을 장기간 보존하고 상실된 치아의 기능 및 심미성을 효과적으로 회복시킬 수 있기 때문에 변연 적합도의 질을 평가하는 것은 매우 중요하다.[25,26] 이전 연구에서 주로 자가 산부식 상아질 접착제와 이중중합 레진 간의 호환성을 전단결합강도로 평가하는 방식이 사용되어 왔다.[27-29] 본 연구에서도 범용 상아질 접착제와 코어용 레진의 호환성을 전단결합강도로 평가하였다.

연구에서 사용된 GPB는 기능성 단량체, 물, 용매 등의 배합을 최적화하여 모든 산부식 방법에 적용할 수 있으며, 다양한 보철물에 사용할 수 있는 범용 상아질 접착제로 인산 에스테르계 모노머(MDP)와 카르본산계 모노머(4-MET)를 포함하여 상아질에 높은 접착력을 제공한다. 또한 휘발성이 높은 아세톤을 용매로 사용하여 접착층으로부터 수분을 효과적으로 제거할 수 있고 친수성이 높은 HEMA를 배합하고 있지 않아 장기적인 접착 내구성을 기대할 수 있다고 보고되었다.[2]

다수의 선행 연구에서도 보고된 바와 같이 자가 산부식 접착제와 화학중합 복합레진 간의 비호환성에 대한 문제가 제기되고 있다.[7,30,31] 이번 연구에서 GPB와 Luxacore Z Dual과의 조합에서 4 mm 충전 시 가장 낮은 결합강도를 보였는데 이는 접착제 내 산성 단량체와 이중중합 레진의 삼차 아민 간의 산-염기 반응으로 인해 충분한 중합이 이루어지지 않음으로써 접착 계면에서의 접착력이 감소가 결합강도에 영향을 미쳤음을 시사한다.

더불어, 최근 연구들은 접착제와 레진 간의 비호환성이 단지 산-염기 반응의 영향에 국한되지 않음을 지적하고 있다.[30] 상아질 접착제의 친수성 및 산성 증가가 투과성을 높이고, 그로 인해 수분에 대한 투과성 증가로 수분 흡착이 발생하여 시간이 지남에 따라 레진-상아질 접착 계면에서 결합강도 저하에 기여할 수 있음을 보고하고 있다.[19] 이러한 문제에 대응하기 위해, 소수성 레진을 추가 도포하거나, 얇은 층의 유동성 복합레진으로 덮는 것이 제안되었다. 본 연구는 이러한 이전 연구들을 기반으로 하여 전단결합강도를 향상시킬 수 있는 실험 조건을 세 가지로 설정하였다.

복합레진 충전 시 얇은 레진층을 형성하기 위해 이중중합 레진을 얇게 도포하여 중합하는 방법과 광중합 레진을 사용하는 것, 두가지 접근 방식으로 나누어 실험을 진행하였다. 이전 연구에서는 레진을 얇게 도포하고 광중합할 경우, pH와 관계없이 높은 전단결합강도를 얻을 수 있다고 보고하였다.[32-34] 본 연구의 결과 또한 일치하여, 1 mm 두께로 이중중합 레진을 도포하고 중합한 G2 그룹에서 가장 높은 전단결합강도를 나타냈다. 이는 얇은 층을 광중합하여, 자가중합에 영향을 받지 않고 높은 전단결합강도를 얻을 수 있다는 것을 시사한다.

광중합 레진의 경우, 이전 연구에서 pH와 무관하게 높은 전단결합강도를 나타내는 것으로 보고된 바 있다.[23,35] 이는 광중합 레진이 이중중합 복합레진에서 사용되는 3차 아민 및 benzoyl peroxide (BPO)를 포함하지 않아 중합을 방해하지 않기 때문으로 해석된다.[7] 본 연구에서도 광중합 코어용 레진을 사용한 경우 이중중합형 레진에 비해 상대적으로 높은 전단결합강도를 보였다. 그러나 소수성 접착제를 추가 도포한 그룹보다는 낮은 전단결합강도를 나타냈는데 이는 재료 두께의 증가로 인해 depth of cure (DOC)가 감소한 결과로 해석될 수 있다. 비록 제조사와 일부 연구에서는 짧은 중합 시간에도 4 mm 두께로 경화(bulk fill)할 수 있다고 주장하지만,[36] 재료 두께에 따라 DOC가 영향을 받을 수 있으며 40초 동안 광중합하더라도 적절한 DOC를 달성하지 못한다는 연구결과도 있다.[37] 본 연구에서 Fill and core를 4 mm 두께로 충전하여 광중합시킨 그룹의 경우, 상단에 비해 하단에서 충분한 중합이 이루어지지 않아 전단결합강도가 낮게 나타난 것으로 추정된다.

소수성 레진을 추가 도포하면, 접착층의 두께와 균일성을 증가시키는 동시에 접착 계면에서의 유체 흐름을 감소시킬 수 있다.[11,38] 또한 미용해된 소수성 모노머가 소수성 레진의 추가 도포에 의해 접착계면에 추가되어 접착층의 잔류 용매 및 미반응 모노머의 농도를 감소시킨다.[24] 이번 연구에서 사용한 Scotchbond multipurpose의 접착제는 GPB에 비해 상대적으로 더 높은 소수성과 pH 값(8.2)을 가지는 것으로 나타났다.[11] 이러한 특성을 적용함으로써 접착 계면에 남아 있는 용매와 미반응 단량체의 농도가 상대적으로 감소되었을 것으로 추정되며, 이는 G3그룹에서 관찰된 상대적으로 높은 전단결합강도의 결과로 이어졌을 것으로 해석된다.

본 연구는 높은 산도를 갖는 범용 상아질 접착제와 이중중합 복합레진 간의 상아질에 대한 결합력만을 평가한 실험실 연구로, 장기간의 보관과 열순환 처리를 포함하

지 않았기 때문에 임상 환경에서의 장기적인 효과를 예측하기에는 한계가 있다.

결론

결합강도를 향상시킬 수 있는 다양한 방법을 적용하여 범용 상아질접착제와 이중중합 복합레진의 결합강도를 비교, 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 범용 상아질접착제를 사용할 때 이중중합 복합레진을 4 mm 충전할 경우 낮은 전단결합강도를 보인다.

이중중합 복합레진을 1 mm 미만으로 얇게 적용 후 광중합거나, 범용상아질 접착제 적용 후, 소수성 상아질 접착제를 추가로 적용하는 것은 유의하게 높은 전단결합강도를 보인다.

Acknowledgements

이 논문은 2024년도 강릉원주대학교치과병원 학술연구조성비(SR2403) 지원에 의하여 수행되었음.

ORCID

Sumin Choi https://orcid.org/0009-0003-5879-486X
Jin-Woo Kim https://orcid.org/0000-0002-0004-0710
Kyung-Mo Cho https://orcid.org/0000-0003-3464-9425
Se-Hee Park https://orcid.org/0000-0002-4052-4082
Yoon Lee https://orcid.org/0000-0001-9813-8531

References

1. Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, Ferracane J, Breschi L. The role of polymerization in adhesive dentistry. Dent Mater J 2019;35:e1-e22.
2. Kamble SS, Kandasamy B, Thillaigovindan R, Goyal NK, Talukdar P, Seal M. In vitro comparative evaluation of tensile bond strength of 6th, 7th and 8th generation dentin bonding agents. J Int Oral Health 2015;7:41-3.
3. Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. Ann Stomatol 2017;8:1-17.
4. Schiltz-Taing M, Wang Y, Suh B, Brown D, Chen L. Effect of tubular orientation on the dentin bond strength of acidic self-etch adhesives. Oper Dent 2011;36:86-91.
5. Van Landuyt KL, Mine A, De Munck J, Jaecques S, Peumans M, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Are one-step adhesives easier to use and better performing? Multifactorial assessment of contemporary one-step self-etching adhesives. J Adhes Dent 2009;11:175-90.
6. Bolhuis PB, de Gee AJ, Kleverlaan CJ, El Zohairy AA, Feilzer AJ. Contraction stress and bond strength to dentinfor compatible and incompatible combinations of bonding systems and chemical and light-cured core build-up resin composites. Dent Mater 2006;22:223-33.
7. Sanares AM, Itthagarun A, King NM, Tay FR, Pashley DH. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. Dent Mater 2001;17:542-56.
8. Castro CG, Santos Filho PCF, Mota ASd, Campos RE, Soares CJ. Effect of a bonding resin layer associated with a self-etching adhesive system on the bond strength of indirect restorations. J Appl Oral Sci 2007;15:94-8.
9. Cheong C, King NM, Pashley DH, Ferrari M, Toledano M, Tay FR. Incompatibility of self-etch adhesives with chemical/dual-cured composites: two-step vs one-step systems. Oper Dent 2003;28:747-55.
10. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Adhesion to root canal dentine using one and two-step adhesives with dual-cure composite core materials. J Oral Rehabil 2005;32:97-104.
11. King NM, Tay FR, Pashley DH, Hashimoto M, Ito S, Brackett WW, García-Godoy F, Sunico M. Conversion of one-step to two-step self-etch adhesives for improved efficacy and extended application. Am J Dent 2005;18:126-34.
12. Pashley EL, Agee KA, Pashley DH, Tay FR. Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. J Dent 2002;30:83-90.
13. Hashimoto M, Sano H, Yoshida E, Hori M, Kaga M, Oguchi H, Pashley DH. Effects of multiple

adhesive coatings on dentin bonding. Oper Dent 2004;29:416-23.
14. Ito S, Tay FR, Hashimoto M, Yoshiyama M, Saito T, Brackett WW, Waller JL, Pashley DH. Effects of multiple coatings of two all-in-one adhesives on dentin bonding. J Adhes Dent 2005;7:133-41.
15. Hashimoto M, Tay FR, Ito S, Sano H, Kaga M, Pashley DH. Permeability of adhesive resin films. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2005;74:699-705.
16. Cadenaro M, Antoniolli F, Sauro S, Tay FR, Di Lenarda R, Prati C, Biasotto M, Contardo L, Breschi L. Degree of conversion and permeability of dental adhesives. Eur J Oral Sci 2005;113:525-30.
17. Hebling J, Pashley DH, Tjäderhane L, Tay FR. Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. J Dent Res 2005;84: 741-6.
18. Carrilho MR, Carvalho RM, de Goes MF, di Hipólito V, Geraldeli S, Tay FR, Pashley DH, Tjäderhane L. Chlorhexidine preserves dentin bond in vitro. J Dent Res 2007;86:90-4.
19. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? J Can Dent Assoc 2003;69: 726-31.
20. Borges B, Vilela A, da Silva-Junior C, Souza-Junior EJ, Sinhoreti MA, Pinheiro FH, Braz R, Montes MA. Dual-cured etch-and-rinse adhesive systems increase the bond durability of direct coronal dentin restorations. Oper Dent 2013;38:512-8.
21. Jayasooriya PR, Pereira PN, Nikaido T, Tagami J. Efficacy of a resin coating on bond strengths of resin cement to dentin. J Esthet Restor Dent 2003; 15:105-13.
22. Cheong C, King NM, Pashley DH, Ferrari M, Toledano M, Tay FR. Incompatibility of self-etch adhesives with chemical/dual-cured composites: two-step vs one-step systems. Oper Dent 2003;6:747-55.
23. Yarmohamadi E, Ahmadi B, Farhadian M. Comparative Evaluation of Application of Universal Bonding on the Microtensile Bond Strength of Light Cure and Dual Cure Composites Bonded to Dentin. Front Dent 2023;20:39.
24. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. Dent Mater 2008;24:90-101.
25. de Assis FS, Lima S, Tonetto MR, Bhandi SH, Pinto SC, Malaquias P, Loguercio AD, Bandéca MC. Evaluation of bond strength, marginal integrity, and fracture strength of bulk-vs incrementally-filled restorations. J Adhes Dent 2016;18:317-23.
26. de Boer M, Zimmermann M, Attin T, Tauböck TT, Hamza B. Marginal Integrity of Simplified Adhesive Strategies in Primary Teeth. Int Dent J 2023;73: 881-8.
27. Kim HO, Vang MS. Shear bond strength of composite resin core used in combination with various resin cements and dentin bonding agents. J Korean Acad Prosthodont 2004;42:30-40.
28. Ryu W, Park H, Lee J, Seo H. Influence of Application Method on Shear Bond Strength and Microleakage of Newly Developed 8th Generation Adhesive in Primary Teeth. J Korean Acad Pediatr Dent 2019;46:165-72.
29. Shin J, Hwang E, Kim J. An Evaluation of shear bond strength of new dentin bonding agents. J Korean Acad Pediatr Dent 2017;44:358-64.
30. Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanares AME, Wei SH. Factors Contributing to the Incompatibility Between Simplified-step Adhesives and Chemically-cured or Dual cured Composites. Part I. Single-step Self-etching Adhesive. J Adhes Dent 2003;5:27-40.
31. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chuang SF, Li F. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. J Adhes Dent 2003;5:91-105.
32. Pereira SG, Fulgêncio R, Nunes TG, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Effect of curing protocol on the polymerization of dual-cured resin cements. Dent Mater 2010;26:710-8.
33. Meng X, Yoshida K, Atsuta M. Hardness development of dual-cured resin cements through different thicknesses of ceramics. Dent Mater J 2006;25:132-7.
34. Kwon PC, Park JW. Influence of thickness on the degree of cure of composite resin core material. J Korean Acad Conserv Dent 2006;31:352-8.

35. Garcia RN, Reis AF, Giannini M. Effect of activation mode of dual-cured resin cements and low-viscosity composite liners on bond strength to dentin. J Dent 2007;35:564-9.
36. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. Clin Oral investig 2013;17:227-35.
37. Rodriguez A, Yaman P, Dennison J, Garcia D. Effect of light-curing exposure time, shade, and thickness on the depth of cure of bulk fill composites. Oper Dent 2017;42:505-13.
38. de Andrade e Silva SM, Carrilho MR, Marquezini Junior L, Garcia FC, Manso AP, Alves MC, de Carvalho R. Effect of an additional hydrophilic versus hydrophobic coat on the quality of dentinal sealing provided by two-step etch-and-rinse adhesives. J Appl Oral Sci 2009;17:184-9.

높은 산도의 Universal Adhesive와 이중중합형 복합레진 간의 전단결합강도 증진 방안

최수민 전공의, **김진우** 교수, **조경모** 교수, **박세희** 교수, **이윤*** 교수
강릉원주대학교 치과대학 치과보존학교실

목적: 범용 상아질접착제와 이중중합형 복합레진의 전단결합강도를 측정하고, 결합강도 증가 요인을 비교 분석하였다.
연구 재료 및 방법: 40개의 발거된 제3대구치를 사용하여 상아질을 노출시키고 G-Premio BOND를 적용한 뒤 4그룹으로 분류하였다. Luxacore Z Dual을 4 mm 두께로 충전한 군(G1군), Luxacore Z Dual을 1 mm / 3 mm 나누어 충전한 군(G2군), Scotchbond multipurpose의 접착제를 추가 적용한 후 Luxacore Z Dual 4 mm 충전한 군(G3군), Fill and core 4 mm 충전한 군(G4군)으로 무작위 배정하였다(n = 10). 실온 증류수에 24시간 보관한 후, universal testing machine을 이용하여 전단결합강도를 측정하였다.
결과: G1군이 다른 군에 비해 낮은 전단결합강도를 나타냈다. 반면 G2군이 가장 높은 전단결합강도를 보였으며, G3군이 다음으로 높은 전단결합강도를 나타냈다. G2군과 G3군은 나머지 군들과 유의미한 차이를 보였다.
결론: 높은 산도의 범용 상아질접착제와 이중중합 복합레진을 사용할 때 이중중합 복합레진을 1 mm 미만으로 얇게 적용 후 광중합거나, 범용상아질 접착제 적용 후, 4세대 상아질 접착제의 소수성 접착제를 추가로 적용함으로써 결합강도를 향상시킬 수 있음을 실험적으로 입증하였다.

(구강회복응용과학지 2025;41(1):11-9)

주요어: 상아질; 이중중합형 복합레진; 광중합 복합레진; 전단결합강도; 범용 상아질접착제

*교신저자: 이윤
(25457)강원특별자치도 강릉시 죽헌길 7 강릉원주대학교 치과대학 치과보존학교실
Tel: 033-640-2760 | Fax: 033-640-3103 | E-mail: yoonlee@gwnu.ac.kr
접수일: 2024년 12월 26일 | 수정일: 2025년 1월 16일 | 채택일: 2025년 1월 20일