Original Article

대한치과재료학회지 50(1) : 29-46, 2023
Korean Journal of Dental Materials (*Korean J Dent Mater*)
ISSN:2384-4434 (Print); 2384-3268 (Online)
Available online at http://www.kadm.org
http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2023.50.1.29

# 강화형 CAD/CAM 하이브리드 컴포짓트 레진 블록의 미세구조가 컴포짓트 레진과의 전단접착강도에 주는 영향

엄성호[1], 신민정[2], 정신혜[1,2], 박영석[2,3], 임범순[1,2,*]

[1]서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실
[2]서울대학교 미래치의학센터
[3]서울대학교 치의학대학원 구강해부학교실

# Effect of microstructure of reinforced CAD/CAM hybrid composite resin block on shear bond strength of composite resin

*Sung-Ho Um[1], Minjeong Shin[2], Shin-hye Chung[1,2], Young-Seok Park[2,3], Bum-Soon Lim[1,2,*]*

*[1]Department of Dental Biomaterials Science, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*
*[2]Center for Future Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*
*[3]Department of Oral Anatomy, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*

The shear bond strength of the composite resin to a CAD/CAM hybrid composite resin block (CRB) can be affected by the composition and microstructure of the hybrid CRB, surface treatment and the properties of the applied adhesive. In this study, the shear bond strengths between composite resin and the hybrid CRBs were measured to evaluate the effect of microstructure differences in hybrid CRBs on the bond strength. Ten conventional and reinforced hybrid CRBs developed by five domestic and international manufacturersand five universal adhesives currently used in dentistry were selected. After polishing the hybrid CRB surface, the specimens were divided into two groups. The first group was HF-treated to observe the microstructure by FE-SEM, and the second group was sandblasted with alumina, measured the surface roughness by CLSM, bonded with composite resin (diameter = 2.0mm) using universal adhesive, and stored in a 37 ℃ water bath for 24 hours, and measured the shear bond strength using a universal testing machine. The measured values were statistically analyzed using the Tukey-multiple comparison test ($\alpha$ = 0.05). It was observed that the size, type, and fraction of the filler particles contained in the regular and reinforced hybrid CRBs affected the microstructure, but the differences did not affect the shear bond strength. All five universal adhesives containing 10-MDP as the main functional monomer met the minimum bond strength (〉20 MPa) required for clinical applications.

**Keywords** : Hybrid composite resin block, Reinforced, Surface roughness, Universal adhesive, Shear bond strength

Sung Ho Um (ORCID: 0009-0007-8462-7706)
Minjeong Shin (ORCID: 0009-0002-8958-9300)
Shin-hye Chung (ORCID: 0000-0002-9037-1950)
Young-Seok Park (ORCID: 0000-0002-0148-7848)

*Correspondence: Bum-Soon Lim (ORCID: 0000-0003-3112-0227)
101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental Biomaterials Science and School of Dentistry and Dental Research Institute, School of Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea
Tel: +82-2-740-8692, Fax: +82-2-740-8775
E-mail: nowick@snu.ac.kr

Received: Feb. 14, 2023; Revised: Feb. 26, 2023; Accepted: Feb. 28, 2023

## 서 론

디지털 치과진료 술식은 다양하게 적용되어 수복물 품질 향상, 진료 시간 단축 및 환자 만족도 증대 등의 효과뿐 아니라 치료비 절감에도 크게 기여하고 있다. 구강 내 영상 채득 및 수복물 제작 기술의 발전으로 CAD/CAM 술식은 지난 20년간 임상 치의학에서 매우 중요한 부분이 되었으며, 손실 또는 손상된 치아 수복을 더 쉽고 빠르게 완료할 수 있게 되었다. CAD/CAM 술식의 발전은 우수한 적합성과 기계적 특성을 갖는 심미성 간접 수복물을 쉽게 제작할 수 있도록 다양한 CAD/CAM용 블록(leucite-reinforced glass-ceramic, lithium disilicate glass-ceramic, zirconia, zirconia-reinforced lithium silicate 및 hybrid composite 등) 개발을 유도하였다(1). 세라믹은 우수한 심미성, 색 안정성, 기계적 특성 및 생체적합성 등의 장점으로 치과용으로 장기간 사용되고 있는 소재이다. 그러나, 글라스-세라믹 또는 결정형-세라믹 블록은 CAM 가공이 어렵고, 대합치의 과도한 마모를 유발하며, 적절한 수리(repair) 옵션이 부족한 문제들이 제기되었다. 또한, 지난 20여년간 컴포짓트 레진을 개선하려는 지속적인 노력은 하이브리드 컴포짓트 레진 블록(composite resin block; CRB)의 개발로 이어졌다(2). 최근에는 임상에서 세라믹 수복을 대체하여 CRB 수복을 적용하는 치료 패러다임이 전환되고 있다. 하이브리드 CRB 적용은 구치부 직접 수복의 경우 제한된 광-조사에 의한 불충분한 중합도 또는 중합수축 응력 등과 같은 기존 컴포짓트 레진의 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 세라믹 블록에 비해 낮은 CRB의 탄성계수는 상아질의 탄성계수에 근접하기 때문에 상아질-수복물 계면에서 균일한 응력 분포가 가능하여 장기간의 저작력 하에서도 우수한 내구성을 유지할 수 있다(3).

초기에 소개된 하이브리드 CRB들은 대부분 강한 응력이 가해지지 않는 부위에 주로 적용되었지만, 점차 강한 응력이 가해지는 구치부에도 하이브리드 CRB를 적용하려는 요구가 증가되었다. 이에 상응하여 하이브리드 CRB 제조사들은 강한 저작력에도 내구성을 유지할 수 있도록 하이브리드 CRB의 구성 성분과 미세구조 등을 변화시켜 충분한 기계적 특성을 발휘할 수 있는 강화형-CRB(Cerasmart 300, GC; KZR-CAD HR3, Yamakin; Estelite P Block, Tokuyama Dental; Katana Avencia P Block, Kuraray; Duro Ace, Vericom)를 출시하였다. 특히, 일본에서는 2014년부터 국가건강보험제도에 하이브리드 CRB를 이용한 소구치용 CAD/CAM 크라운 수복이 포함되면서 보험제도의 재정적 지원에 따라 하이브리드 CRB의 임상 적용이 빠르게 확산되고 있다. 이에 따라 일본치과재료협회에서는 2017년에 소구치 수복에 사용되는 수복물 소재는 굴곡강도가 100 MPa 이상이어야 하고, 대구치에 사용되는 수복물 소재는 물에 7일간 보관한 후 240 MPa 이상의 굴곡강도가 필요하다고 일본표준규격(JS)으로 제시하였다(4).

우수한 심미성, 화학적 안정성 및 생체적합성을 갖는 하이브리드 CRB는 물성이 지속적으로 개선되고 있지만, 변색, 파괴, 부적절한 교합 및 2차 우식 등으로 인하여 CRB 수복물의 일부에서는 파절 등의 손상이 발생할 수 있다. 이 경우 기존의 직접 컴포짓트 레진 수복물과 유사하게 손상된 수복물의 부분적인 수리가 가능하다. 손상된 하이브리드 CRB 수복물을 새로운 것으로 완전히 교체할 경우 건실한 치아 조직이 과도하게 제거되어 치수가 노출될 수 있고, 치아 구조가 약화되어 광범위한 수복이 필요하게 될 수 있다. 따라서 가능하면 기존의 일부 손상된 수복물을 복원하기 위한 최소의 침습적 접근이 권장되고 있으며, 하이브리드 CRB 수복물 수리의 효율성, 신뢰성 및 내구성 등에 관한 성공적인 연구 결과들이 발표되었다(5-9). 이러한 이유로 비용 효율성뿐만 아니라 임상적으로 가능한 경우 하이브리드 CRB 수복물의 부분적인 수리가 수복물 전체를 교체하는 술식 보다 선호되고 있다(10-19). 수복물의 손상된 부분을 컴포짓트 레진으로 수리하고 손상되지 않은 부분을 보존하면 기존 수복물의 수명을 적절하게 연장시킬 수 있다. 그러나 기존 하이브리드 CRB 수복물과 추가된 컴포짓트 레진의 접착 계면은 지속적인 저작력에 가장 취약할 것으로 예상되어 접착 계면에서 우수한 접착력의 유지는 성공적인 CRB 수복물 수리의 필수 요소가 되었다.

일반적으로 세라믹 수복물을 수리하는 경우 화학적으로 세라믹의 표면에너지와 젖음성 등을 증가시키기 위해 실레인(silane) 세라믹 프라이머를 주로 사용하고 있다. 컴포짓트 레진 수복물 수리에 적용하는 경우도 실레인은 세라믹 필러 입자뿐 아니라 레진 기질에도 결합할 수 있는 이원성 결합제이다. 따라서 실레인은 손상된 하이브리드 CRB 표면과 새로운

컴포짓트 레진의 화학적 결합에 도움이 될 수 있다. Hydroxyl기 및 organofunctional기를 포함하는 실레인은 실리카($SiO_2$)와 레진과의 접착에 관여하여 적심성 개선과 접착 촉진제 역할로 접착강도를 높일 수 있다(20, 21). 하이브리드 CRB에 대한 화학적 접착을 향상시키기 위하여, 일부 제조사와 연구자들은 레진 접착제를 적용하기 전에 실레인 도포를 권장하는 반면(22, 23), 다른 제조사에서는 실레인 도포없이 universal adhesive 적용만을 제시하고 있다(24, 25).

Universal adhesive는 모든 접착술식(total-etch, self-etch 및 selective-etch)에 사용할 수 있으며, 다양한 직접 수복물(법랑질, 상아질 및 컴포짓트 레진)과 간접 수복물(지르코니아, 금속, 글라스-세라믹 및 컴포짓트 레진) 표면에 접착될 수 있다고 한다. 대부분의 universal adhesive는 MDP 등과 같은 기능성 단량체를 포함하고 있으며, 이러한 접착 시스템으로 추가하는 프라이머의 도움 없이 다양한 소재의 치과용 수복물 접착에 적용할 수 있게 되었다(26). 그러나, 글라스를 많이 함유하는 소재에 대한 접착력을 향상시키기 위하여 실레인의 추가 적용을 권장하거나, universal adhesive에 실레인이 포함된 Clearfil Universal Bond(Kuraray Noritake) 또는 Single Bond Universal(3M Oral Care) 등을 제안하기도 한다.

하이브리드 CRB에 대한 컴포짓트 레진의 접착력은 CRB의 구성 성분과 미세구조, 표면 처리 및 적용한 결합제의 젖음성 등에 영향을 받을 수 있다. 본 논문에서는 구치부용으로 출시된 물성-강화형 하이브리드 CRB를 대상으로 universal adhesive로 접착한 컴포짓트 레진과의 전단접착강도를 측정하여 하이브리드 CRB의 미세구조 차이가 전단접착강도에 주는 영향을 평가하고자 하였다. 또한, 현재 국내 임상에서 사용 중인 5종의 universal adhesive의 하이브리드 CRB에 대한 접착력을 비교하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

국내 · 외 5개 제조사에서 개발한 일반형과 강화형 하이브리드 CRB 10종을 선택하였으며(동일 제조사에서 위 제품이 일반형 CRB이고, 아래 제품이 강화형 CRB이다), 이들의 구성 성분, 필러 함량 및 주성분 등은 Table 1에 정리하였다. 접착력 평가를 위하여 현재 임상에서 사용하는 국내 · 외 universal adhesive 제품 5종을 선정하였고, 그들의 상세한 정보들은 Table 2에 정리하였다.

**Table 1.** CAD/CAM hybrid composite resin blocks (CRB) used in this study

| Manufacturer | Code | Hybrid block | Main components | Filler fraction |
|---|---|---|---|---|
| GC, Tokyo, Japan | CRS2 | Cerasmart 200 | Bis-MEPP, UDMA, DMA, Ba-glass, silica | 71 wt.% |
| | CRS3 | Cerasmart 300 | UDMA, Bis-MEPP, Ba-glass, silica | 75 wt.% |
| Yamakin, Kouchi, Japan | KHR | KZR-CAD HR | UDMA, TEGDMA, $SiO_2$+Al2$O_3$+$ZrO_2$, $SiO_2$ | 72 wt.% |
| | KHR3 | KZR-CAD HR3 | UDMA, DEGDMA, $SiO_2$+$Al_2O_3$+$ZrO_2$, $SiO_2$ | 75 wt.% |
| Tokuyama Dental, Ibaraki, Japan | ETB | Estelite Block | UDMA, TEGDMA, silica, silica-zirconia | 75 wt.% |
| | ETBP | Estelite P Block | Bis-MPEPP, UDMA, NPGDMA, silica, silica-zirconia filler | 81 wt.% |
| Kuraray Dental, Tainai, Japan | KAB | Katana Avencia Block | UDMA, TEGDMA, silica, alumina filler | 62 wt.% |
| | KABP | Katana Avencia P Block | UDMA, Ba-glass, silica | 82 wt.% |
| Vericom, Anyang, Korea | MZD | Mazic Duro | Bis-GMA, TEGDMA, silica, Ba-glass, $ZrO_2$ | 77 wt.% |
| | MZDA | Mazic Duro Ace | UDMA, Bis-EMA, silica, Ba-glass | 85 wt.% |

**Table 2.** Universal adhesives used in this study

| Manufacturer | Code | Universal adhesive | Main components | pH |
|---|---|---|---|---|
| 3M ESPE, Saint Paul, MN, USA | SBU | Single Bond Universal | 10-MDP, HEMA, dimethacrylate, Vitrebond copolymer, ethanol, water, silane, filler | 2.7 |
| Dentsply Sirona, York, PA, USA | PBU | Prime&Bond Universal | PENTA, 10-MDP, isopropanol, water, unfilled | 2.5 |
| Bisco, Schaumburg, IL, USA | ABU | All-Bond Universal | 10-MDP, Bis-GMA, HEMA, ethanol, water, unfilled | 3.2 |
| MetaBiomed, Cheongju, Korea | EZU | EZ Bond Universal | 10-MDP, Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, HEMA, ethanol, silica filler | 2.2 |
| Genoss, Suwon, Korea | BBU | Bright Bond Universal | 10-MDP, 4-META, ethanol, water, unfilled | 2.1 |

하이브리드 CRB 10종은 저속 다이아몬드 톱(Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, USA)으로 약 3 mm 두께로 절단한 다음 자가-중합형 아크릴 레진으로 포매하였다. 포매한 시편은 #600, #800 및 #1000 SiC 연마지로 표면을 순차적으로 연마한 다음 2개 실험군으로 분류하였다.

첫 번째 실험군은 FE-SEM(Field Emission-Scanning Electron Microscope)으로 미세구조를 관찰하기 위하여 시편 표면을 알루미나 연마 용액(Buehler, 1, 0.3, 0.05 μm)으로 추가로 연마한 다음, 30 vol% HF로 1분간 산-부식처리한 다음 증류수에서 5분간 초음파 세척하고, 건조기에서 24시간 건조하였다. 두 번째 실험군은 CLSM(Confocal Laser Scanning Microscope)로 표면거칠기를 측정하고, UTM (Universal Testing Machine)으로 접착력을 평가하기 위하여 시편 표면과 일정한 거리(약 10 mm)에서 $Al_2O_3$ 입자(50 μm)를 이용하여 수직(0.2 MPa 공기압)으로 샌드블라스팅(SB) 처리하였다. SB 처리한 시편은 증류수에서 5분간 초음파 세척하고, 건조기에서 24시간 건조하였다.

## 2. 미세구조(microstructure) 관찰

일반형과 강화형 하이브리드 CRB의 미세구조 및 필러 형상을 관찰하기 위하여 HF로 산-부식 처리한 시편을 전계방출형 주사전자현미경(Apreo S, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)에서 10k, 60k 및 100k 배율로 표면을 관찰하여 비교하였다.

## 3. 표면거칠기(surface roughness) 평가

SB 처리한 하이브리드 CRB 시편의 표면거칠기는 공초점 주사현미경(LSM 800, Carl Zeiss, Jena, Germany)으로 각 실험군당 3개 시편을 측정하였다. Gaussian 필터를 이용하여 20× 배율로 균일한 형상을 보이는 면적(320 μm×320 μm)에서 일정한 간격으로 2차원 평균 거칠기 Ra/Rz 값과 3차원 평균 거칠기 Sa/Sz 값을 3부위에서 모두 9번씩 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였으며, Tukey-multiple comparison test ($\alpha$=0.05)로 통계 분석하였다.

## 4. 전단접착강도 측정

SB 처리 후 세척한 하이브리드 CRB 표면에 universal adhesive를 각 제조자의 설명서에 따라 접착제가 균일하게 코팅되도록 마이크로 브러시로 1회 도포하고, 제조자의 설명서에 따라 중합하였다. 접착제 층이 중합되면 ISO 29022: 2013에서 추천된 구멍 내부지름이 2.38±0.03 mm인 백색 플라스틱 버튼 몰드(part #34228, Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, USA)를 올려놓고 광-중합형 컴포짓트 레진(DenFil, Vericom, Anyang, Korea)을 충전하였다. 이때 버튼 몰드의 원통형 부분이 약 75% 정도 채워질 때까지 컴포지트 레진을 충전한 다음 제조자의 설명서에 따라 광-조사한 다음 시편들은 37 ℃ 수조에서 24시간 보관한 다음

접착강도를 측정하였다. 만능시험기(Instron 8871, Norwood, MA, USA)의 측정 지그에 시편을 장착한 후, 접착한 컴포짓트 레진이 하이브리드 CRB에서 분리될 때까지 하중속도 1.0±0.1 mm/min으로 시편의 접착 계면에 하중을 가하였다. 접착된 컴포짓트 레진이 하이브리드 CRB에서 분리될 때 가해진 최대 힘(N)을 기록하여 전단접착강도를 계산하였다(접착강도=힘/단면적). 실험군당 15개 시편의 측정값으로 one-way Analysis of Variance 통계분석하였고, pair-wise comparison을 Tukey multiple comparison test로 수행하였다. 또한, 측정한 표면거칠기 측정값들과 전단접착강도와의 상관성을 비교하였다.

## 연구 결과

FE-SEM으로 관찰한 일반형(좌측)과 강화형(우측) 하이브리드 CRB의 미세구조 및 필러 형상은 Figure 1과 같다. Cerasmart와 KZR-CAD HR에서 일반형 CRB의 경우는 약 100 nm 크기의 일정한 구형 필러(spherical filler)로 구성된 것으로 보였지만, 강화형 CRB의 경우는 필러 크기가 훨씬 더 큰 300~800 nm 정도의 다양한 불규칙(irregular) 형상 필러들로 구성된 것으로 관찰되어 일반형과 강화형 CRB에 함유된 필러 입자들은 명확한 차이를 보였다. Estelite와 Katana Avencia에서는 일반형 CRB의 경우는 약 100 nm 이하 크기의 미세한 필러들로 구성되었지만, 강화형 CRB의 경우는 미세한 필러 외에도 크기가 훨씬 더 큰 500 nm 이상의 다양한 irregular 형상 필러 입자들이 물성 강화를 목적으로 추가된 것으로 보여 일반형과 강화형 CRB의 미세구조의 유의한 차이가 관찰되었다. 마지막으로, Mazic Duro에서는 일반형과 강화형 CRB에 함유된 필러 입자의 크기와 유형에는 큰 차이는 없는 것으로 보였다.

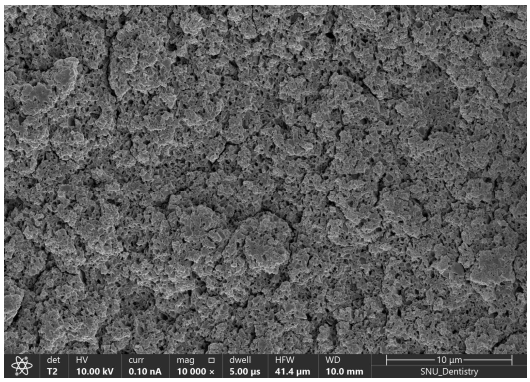
SB 처리한 하이브리드 CRB 표면을 공초점주사현미경으로 표면거칠기를 측정한 결과는 Table 3과 같다. 상이한 필러 입자들로 구성된 CRB에서 표면거칠기 차이를 예상하였다. Line 표면거칠기 값인 Ra와 Rz 값의 경우 5종의 일반형 CRB 모두에서 강화형 CRB보다 유의하게 높게 측정되었다($p<0.01$). 반면, area 표면거칠기 값인 Sa와 Sz 값의 경우에서는 하이브리드 CRB에 따라 다른 양상을 보였다. Cerasmart, KZR-CAD HR 및 Estelite에서는 일반형 CRB가 강화형 CRB와 유의한 차이가 없었지만($p>0.05$), Katana Avencia에서는 일반형 CRB가 강화형 CRB보다 유의하게 높은 값을 보였고, Mazic Duro 블록에서는 일반형 CRB가 강화형 CRB보다 유의하게 낮은 값으로 관찰되었다($p<0.05$).

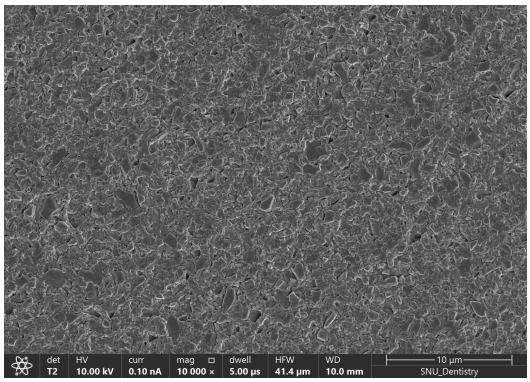
다양한 하이브리드 CRB에 5종의 universal adhesive로 컴포짓트 레진을 접착시킨 후 측정한 전단접착강도 측정값은 Table 4에 정리하였는데, 모든 실험군에서 전단접착강도 값은 20 MPa 이상을 보였다. 전단접착강도 시험에서 대부분의 경우 접착성 파절(adhesive fracture)을 보였으나, 필러 함량이 상대적으로 적은 일반형 CRB인 CRS2, KHR 및 KAB의 경우에서는 응집성 파절(cohesive fracture)이 관찰된 경우도 있었다. 일반형과 강화형 CRB가 다른 필러들로 구성된 것으로 보이는 Cerasmart와 KZR-CAD HR의 경우에서 일반형과 강화형 CRB의 전단접착강도는 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 일반형 CRB에 함유된 미세한 필러 입자를 유지하고 크기가 큰 필러 입자를 추가한 강화형 CRB 형상을 보인 Estelite와 Katana Avencia의 경우에서도 일반형과 강화형 CRB의 전단접착강도는 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 일반형과 강화형 CRB에 함유된 필러 크기 및 형상이 유사한 것으로 관찰된 Mazic Duro의 경우에서도 일반형과 강화형 CRB의 전단접착강도는 유사한 값을 보였다. 따라서, 하이브리드 CRB에 함유된 필러 입자의 크기와 형상은 전단접착강도에 유의한 영향을 주지 못한 것으로 보였다. 또한, 평가한 5종의 하이브리드 CRB 쌍의 경우 필러의 크기 또는 유형뿐 아니라 일반형 CRB가 강화형 CRB보다 필러 함량이 적은 것으로 보고되고 있는데, 이러한 필러 함량 차이에도 불구하고 전단접착강도 값에는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 다양한 국내·외 제조사에서 출시한 5종의 universal adhesive에 따른 전단접착강도 값을 비교한 경우에서는 가장 낮은 값을 보인 BBU를 제외한 4종에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

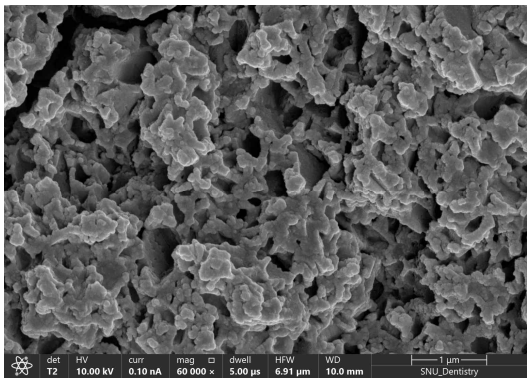
SB 처리한 시편의 표면거칠기 측정값과 5종의 universal adhesive에 따른 전단접착강도 측정값과의 상관성을 분석한 결과는 Table 5와 같다. Line 표면거칠기를 나타내는 Ra와 Rz 값의 경우 area 표면거칠기를 나타내는 Sa와 Sz 값 보다 전단접착강도와의 일관성 있는 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 즉, 표면이 거칠어질수록 CRB의 접착강

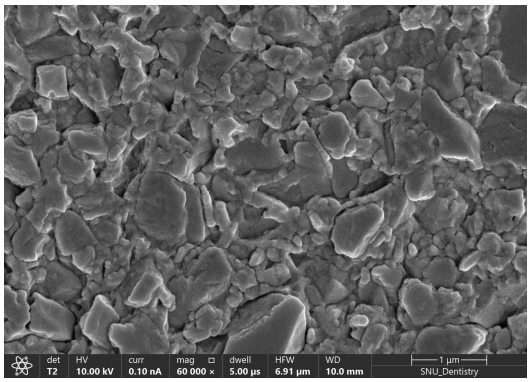
Regular block

Reinforced block



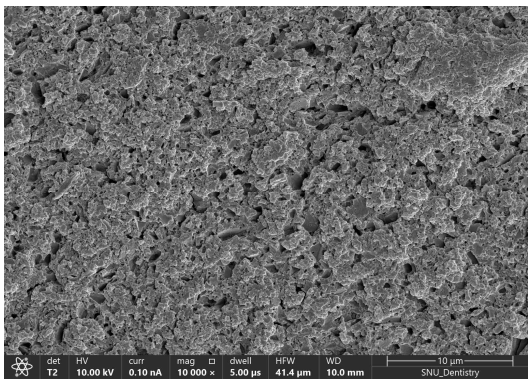



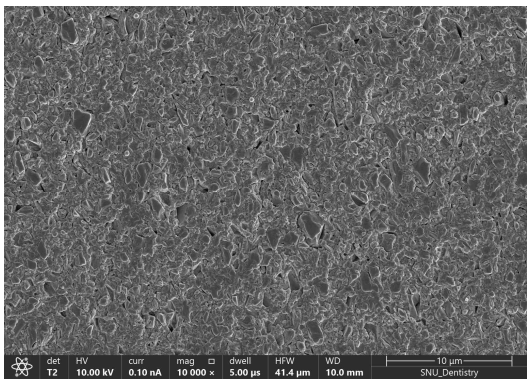



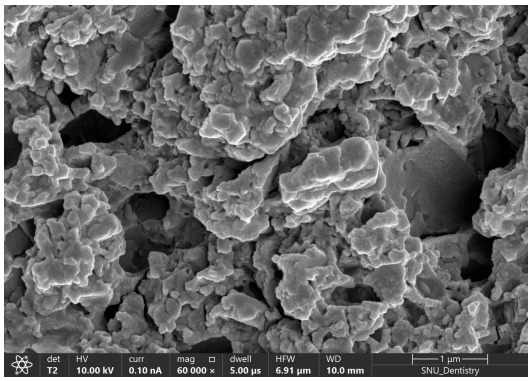



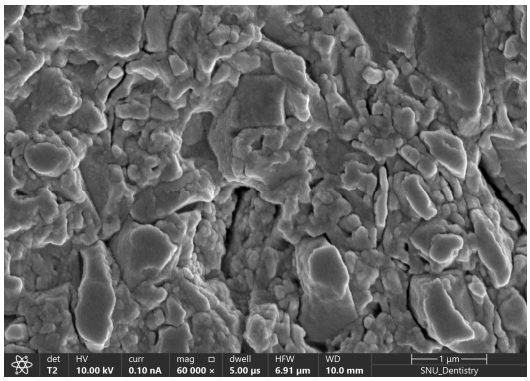

Cerasmart 200 (CRS2)

Cerasmart 300 (CRS3)



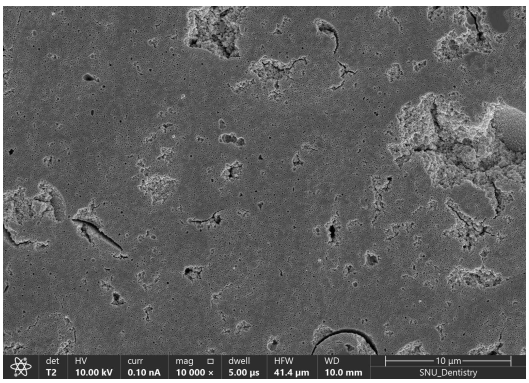



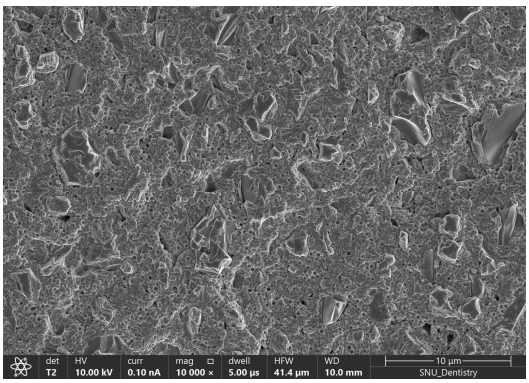



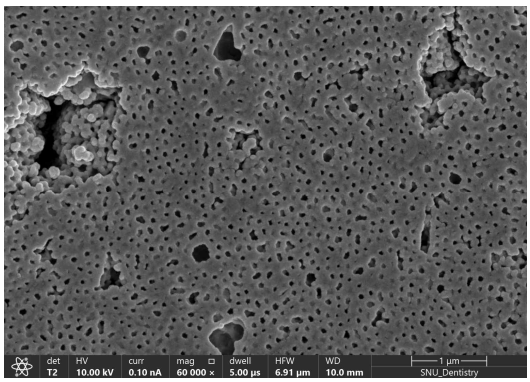




Cerasmart 200 (CRS2)

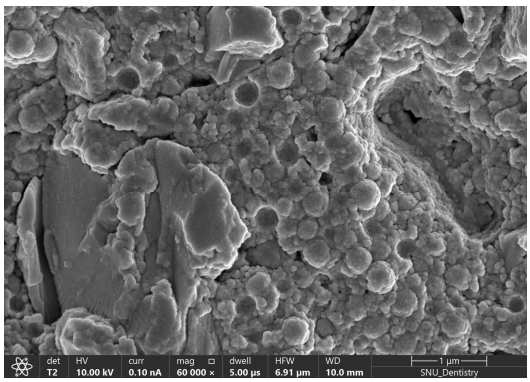
Cerasmart 300 (CRS3)



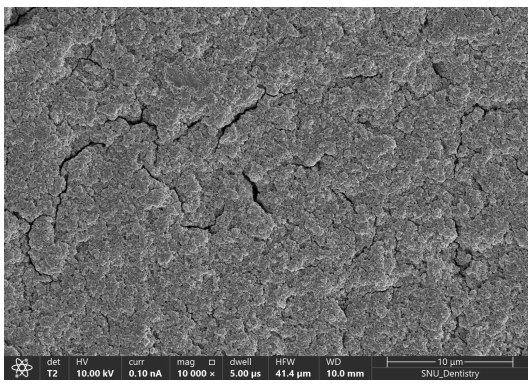



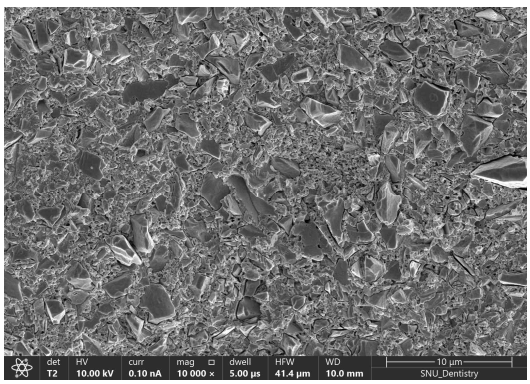



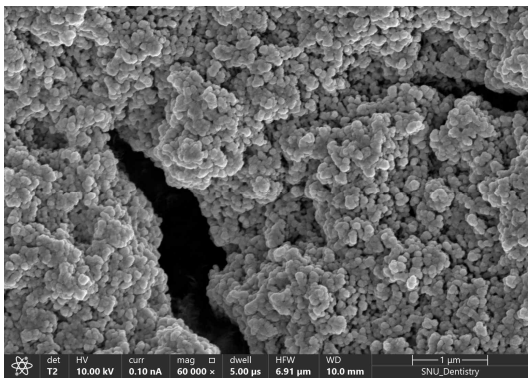

Estelite Block (ETB)



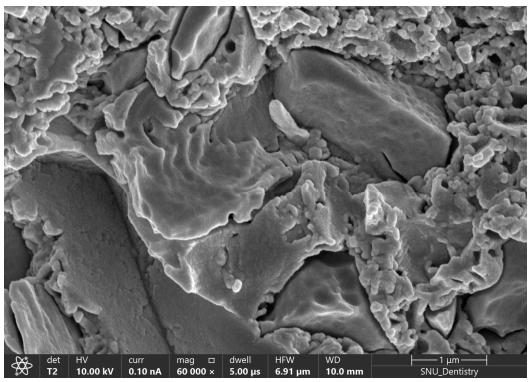

Estelite P Block (ETPB)




Katana Avencia Block (KAB)




Katana Avencia P Block (KAPB)

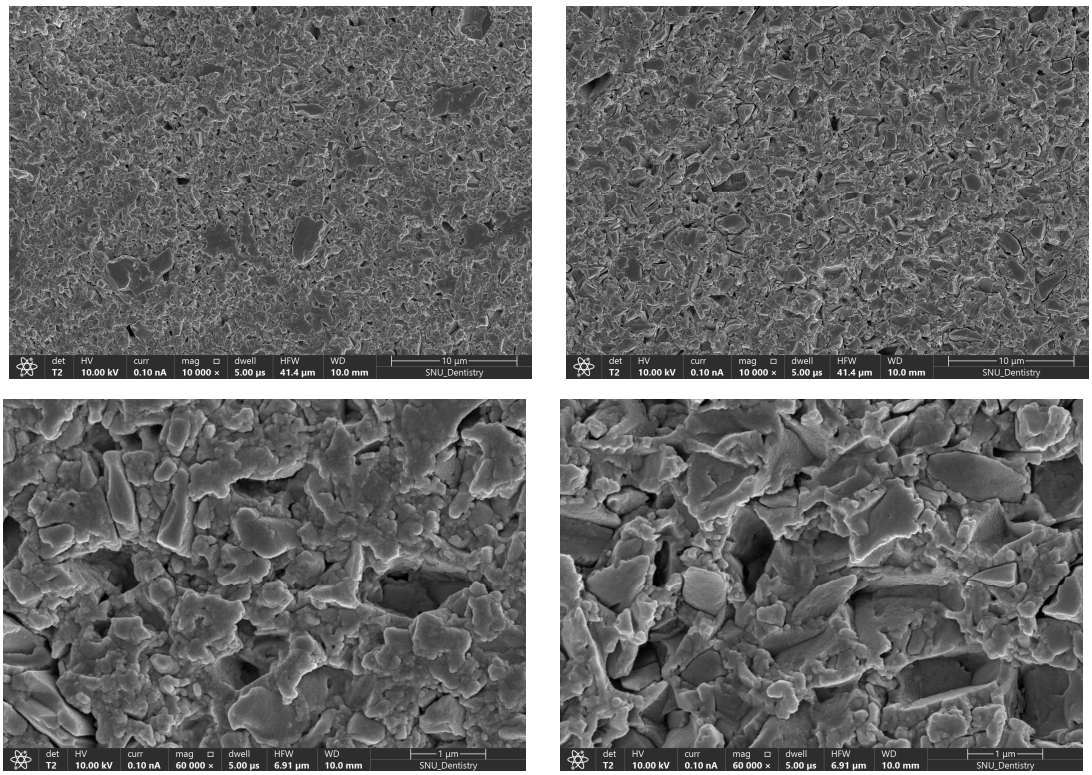



**Figure 1.** Microstructures of hybrid CRB after 30% HF-etched (left = conventional CRB, right = reinforced CRB).

**Table 3.** Surface roughness (μm) of hybrid CRB after sandblasting

| Hybrid CRB | Line roughness (μm) | | Area roughness (μm) | |
|---|---|---|---|---|
| | Ra | Rz | Sa | Sz |
| CRS2 | 1.67±0.13[a] | 8.57±0.17[d] | 4.29±1.04[h,j] | 41.13±6.79[k,l] |
| CRS3 | 1.46±0.09[a,b] | 7.22±0.31[f] | 5.14±1.10[i] | 37.10±4.43[l] |
| KHR | 1.60±0.18[a,b] | 8.40±0.82[d,e] | 4.61±0.66[h,j] | 42.30±7.58[k,l] |
| KHR3 | 1.49±0.04[a,b] | 7.67±0.72[d,e,f] | 4.41±0.98[h,j] | 36.80±6.39[l] |
| ETB | 1.56±0.09[a,b] | 8.67±0.44[d] | 4.27±0.88[h,j] | 37.03±4.60[l] |
| ETBP | 1.49±0.09[a,b] | 8.16±0.06[d,e,f] | 3.87±0.26[d,j] | 36.23±4.91[l] |
| KAB | 1.97±0.27[c] | 10.91±1.30[g] | 5.89±1.05[i] | 46.13±3.79[k] |
| KABP | 1.65±0.19[a] | 8.58±1.13[d] | 3.95±0.41[d,j] | 36.37±4.02[l] |
| MZD | 1.50±0.05[a,b] | 7.88±0.30[d,e,f] | 3.70±0.23[d,j] | 35.87±0.65[l] |
| MZDA | 1.40±0.04[b] | 7.52±0.18[e,f] | 4.66±0.28[h,j] | 42.43±6.59[k,l] |

note: means within columns with the same superscript letter were not different ($p > 0.05$).

**Table 4.** Shear bond strength (MPa) of composite resin to hybrid CRB after 24 hrs

| Hybrid CRB | Universal adhesive | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | SUB | PBU | ABU | EZU | BBU |
| CRS2 | 31.38±5.80$^{a,A}$ | 32.85±4.61$^{b,A}$ | 29.63±5.54$^{c,A}$ | 29.16±4.93$^{d,A}$ | 22.43±3.51$^{e,B}$ |
| CRS3 | 29.30±5.59$^{a,C}$ | 32.17±5.53$^{b,C}$ | 28.90±4.86$^{c,C}$ | 30.45±4.81$^{d,C}$ | 23.08±3.78$^{e,D}$ |
| KHR | 29.69±4.68$^{a,E,F}$ | 32.18±5.59$^{b,E}$ | 30.91±5.68$^{c,E}$ | 30.16±5.97$^{d,E,F}$ | 24.63±4.03$^{e,F}$ |
| KHR3 | 30.54±5.57$^{a,G}$ | 30.44±5.70$^{b,G}$ | 30.09±4.85$^{c,G}$ | 27.28±3.38$^{d,G}$ | 21.09±3.95$^{e,H}$ |
| ETB | 32.11±5.56$^{a,I}$ | 29.94±4.23$^{b,I}$ | 30.74±4.60$^{c,I}$ | 30.02±5.50$^{d,I}$ | 22.95±5.16$^{e,J}$ |
| ETBP | 29.28±5.24$^{a,K}$ | 27.96±3.66$^{b,K,L}$ | 31.25±5.67$^{c,K}$ | 30.10±5.89$^{d,K}$ | 22.49±5.20$^{e,L}$ |
| KAB | 30.45±5.22$^{a,M}$ | 33.27±4.95$^{b,M}$ | 31.70±4.99$^{c,M}$ | 33.08±4.24$^{d,M}$ | 24.17±5.48$^{e,N}$ |
| KABP | 31.92±5.01$^{a,O}$ | 29.46±4.49$^{b,O}$ | 30.00±5.16$^{c,O}$ | 30.04±5.23$^{d,O}$ | 23.15±4.66$^{e,P}$ |
| MZD | 30.25±4.92$^{ab,Q}$ | 30.77±4.84$^{b,Q}$ | 31.02±5.64$^{c,Q}$ | 32.07±4.12$^{d,Q}$ | 23.68±3.79$^{e,R}$ |
| MZDA | 29.10±4.86$^{a,S}$ | 29.26±4.95$^{b,S}$ | 28.72±5.16$^{c,S}$ | 30.42±4.12$^{d,S}$ | 23.36±4.01$^{e,T}$ |

note: means within rows with the same superscript capital letter were not different and means within columns with the same superscript letter were not different ($p>0.05$).

**Table 5.** Correlation coefficient (R) between surface roughness and shear bond strength

| Universal adhesive | Line roughness | | Area roughness | |
|---|---|---|---|---|
| | Ra | Rz | Sa | Sz |
| SUB | 0.3941 | 0.3662 | -0.2391 | -0.1804 |
| PBU | 0.5941 | 0.4236 | 0.6450 | 0.5838 |
| ABU | 0.5476 | 0.6574 | -0.0150 | 0.1033 |
| EZU | 0.4776 | 0.5403 | 0.3737 | 0.4025 |
| BBU | 0.1733 | 0.1759 | 0.1899 | 0.4261 |

도가 증가하는 양상을 잘 대변하는 것으로 보였다. 또한, universal adhesive 중에서 가장 낮은 전단접착강도를 보인 BBU가 가장 낮은 상관성을 보인 것이 특이하였다. 반면, area 표면거칠기 값인 Sa와 Sz는 표면거칠기가 증가함에 따라 접착강도가 감소 또는 증가되는 일관성 없는 상관관계를 보였다.

## 고 찰

현재 임상에서는 다양한 유형의 하이브리드 CRB들이 사용되고 있는데, 미세구조를 기반으로 분류하면 크게 polymer infiltrated ceramic network(PICN) CRB 및 dispersed filler(DF) CRB 등 두 가지로 분류할 수 있다. 레진 침투 네트워크 세라믹으로도 알려진 PICN-CBR은 연속적인 3차원 연결 네트워크를 형성하는 세라믹 및 폴리머상으로 구성되며, 현재 Vita Enamic(Vita, Säckingen, Germany) 한 가지 제품만 상용화되고 있다. 반면, 레진 기질(Bis-GMA, UDMA 및 TEGDMA 등)에 세라믹 필러(silica, zirconia 및 barium glass 등)를 혼합한 DF-CRB는 많은 상용 제품들이 출시되고 있다(27). 임상에서 사용 중인 하이브리드 CRB는 제품에 따라 필러를 60-86 wt% 정도

함유하는데, 하이브리드 CRB의 성분에서 필러 함량이 증가하면 CRB는 우수한 광택 유지, 심미성 및 생체적합성을 보이고, 마모와 변색에 대한 저항성이 더 강해진다. 반면, 하이브리드 CRB의 성분에서 레진 함량이 증가하면, CRB는 CAM 가공과 수리(repair)가 용이하고, 변연적합성이 더 우수하며, 대합치(antagonist tooth) 마모와 취성파괴(brittle fracture) 위험이 감소된다고 한다. 임상에 적용하는 경우에 다양한 하이브리드 CRB의 특성을 충분히 이해하여 적용 부위에 적절한 하이브리드 CRB 제품을 선택하는 것이 중요하다.

초기에 소개된 하이브리드 DF-CRB는 제조사에서 직접 고온(〉100 ℃)과 고압(〉150 MPa)으로 중합시켜 중합도(degree of polymerization)와 전반적인 물성이 크게 향상된 기존의 직접 수복용 컴포짓트 레진과 유사하였다. 이후, 새로운 산업용 HT/HP 중합 기술과 함께 레진 기질 성분 및 필러 공정의 혁신은 최대 85 wt% 정도의 필러 함유와 균질한 구조를 갖는 DF-CRB 개발을 가능하게 하였다(28, 29). 또한, 필러 압축(filler press)과 단량체 침투(monomer infiltration)를 이용한 FPMI 방식으로 제조된 나노-충전형 하이브리드 CRB가 소개되었는데, 균일한 필러 분산을 위하여 나노 필러는 먼저 가압하여 green body로 형성시킨 후 레진 단량체를 침투시키는 방식이 적용되었다. 이렇게 개발된 DF-CRB는 높은 중합도로 표면에 미반응 단량체가 거의 잔류하지 않기 때문에 생체적합성 측면에서는 유리할 수 있지만, 레진 접착제를 이용한 화학적 결합에는 오히려 방해될 수도 있다(29-31).

심미 수복에 사용되는 하이브리드 CRB의 다양한 구성 성분은 수리 잠재력에 영향을 줄 수 있다. 특히, 하이브리드 CRB는 높은 중합도로 화학적 접착이 더 어려울 수 있으므로 하이브리드 CRB 표면의 적절한 전처리가 필요하며 많은 연구 결과에서 접착 전 하이브리드 CRB의 표면 처리가 레진 접착제와의 접착력을 향상시킬 수 있다고 하였다(32-34). 심미 수복물의 수리 과정은 대부분 미세기계적 및 화학적 전처리 과정을 포함하는데, 젖음성(wettability)을 개선하고, 표면장력을 낮추며, 표면적을 증가시키는 작업이 필요하다. 접착 계면에서의 물리-기계적 상호작용은 매우 중요하여 하이브리드 CRB의 접착 성능이 주로 미세기계적 유지력에 의존하지만, 화학적 결합도 중요한 변수가 될 수 있다(35). 물리적 흡착(adsorption)은 기질의 표면거칠기에 의해 영향을 받고, 표면적과 젖음성이 변화되어 표면에너지도 개선된다. 미세기계적 유지력은 샌드블라스팅(sandblasting, SB) 처리 또는 불산(hydrofluoric acid, HF)을 이용한 산-부식처리로 얻을 수 있으며, 화학적 결합은 세라믹 프라이머(ceramic primer) 또는 universal adhesive 적용으로 얻을 수 있다(36).

SB 처리는 피착재(adherend) 표면의 이물질을 제거하고, 미세기계적 유지력을 향상시키며, 접착 표면적을 증가시키는 역할을 한다. CAD/CAM용 하이브리드 CRB의 접착력을 향상시키기 위하여 대부분의 제조사에서는 SB 처리를 추천하고 있다. 그러나, SB 처리 시 하이브리드 CRB 표면 아래에 생성될 수 있는 미세균열(1~10 μm)은 하이브리드 CRB의 피로강도와 장기간 내구성에 영향을 줄 수도 있다고 하므로(37-39), CRB의 접착력 향상을 위해서는 최적의 SB 처리법을 적용하여야 한다. 일반적으로 50 μm 알루미나 입자를 0.1~0.2 MPa의 공기압으로 처리하는 SB 전처리가 접착 내구성을 위해 가장 효과적인 방법으로 보고되고 있다(40, 41).

치과용 세라믹의 접착과 관련된 연구들에서 HF를 이용한 산-부식처리가 백류석(leucite)계 CAD/CAM 블록 접착에 도움을 줄 수 있다는 결과들이 보고되었는데, HF 처리로 다공성과 거칠기가 생성되어 미세기계적 유지력이 제공될 뿐 아니라 표면에너지도 증가하여 접착력이 크게 향상된 것이 관찰되었다고 한다(42). 반면, 세라믹 블록 표면을 인산으로 산-부식처리한 경우에는 낮은 접착력을 보였다고 한다(36). 따라서 이와 유사한 미세구조를 가지는 PICN-CRB의 경우 표면을 거칠게 하고, 기계적 유지력을 강화하기 위한 HF 전처리가 권장되고 있다. HF는 세라믹에 포함된 글라스를 용해시켜 표면에 다공성을 형성하고 SB 처리에 비해 접착강도를 향상시킬 수 있다(31, 43-46). 그러나, PICN-CRB의 조성 변화, 적용한 HF 농도 및 산-부식 시간 등의 차이로 인해 접착력 향상 효과에 논란도 제기되고 있다(47). PICN-CRB와 다르게 DF-CRB에 대한 HF 전처리는 만족스럽지 못한 접착력을 보였다는 연구가 있지만(48), 일부 연구에서는 HF로 처리함에 따라 DF-CRB와 레진 시멘트 간의 접착력이 향상되었다고 한다(34, 49). 최근에도 DF-CRB에서 HF 처리가 SB 처리와 유사한 접착력을 얻었다

는 결과들이 보고된 바 있지만(46, 50, 51), HF 산-처리 시에는 CRB에 잔류되는 HF가 인체에 위해할 수 있기 때문에 초음파 세척기 등으로 철저하게 세척해서 잔류되는 HF가 없도록 세심한 주의가 필요하다고 한다(52).

하이브리드 CRB 표면에서 미세기계적 유지력을 형성하는 레진 태그는 미세한 틈으로 레진 접착제가 침투하여 생성된다(53). 레진 접착제에 함유된 단량체의 성분 및 필러 입자 크기 등에 따른 조성의 차이는 피착면 기질과의 효과적인 기계적 유지력에 중요한 역할을 한다(54, 55). 또한, 이전 연구들은 다양한 하이브리드 CRB의 특정 미세구조가 표면처리와 함께 접착에 큰 영향을 줄 수 있다고 하였다(39, 49, 56-58). 본 연구에서는 일반형과 강화형 하이브리드 CRB의 미세구조가 접착강도에 주는 영향을 알아보기 위하여 SEM으로 비교 관찰하였다. 평가한 5쌍의 하이브리드 CRB의 경우 4쌍에서는 일반형과 강화형 CRB의 미세구조 및 필러의 크기와 형상 등에서 차이가 있었고, Mazic Duro 블록에서만 일반형과 강화형 블록에 함유된 필러의 크기와 유형에 큰 차이가 없는 유사한 미세구조를 보였다. Cerasmart와 KZR-CAD HR에서 일반형 CRB의 경우는 약 100 nm 정도의 일정한 구형 필러로 구성된 것으로 보였지만, 강화형 CRB의 경우는 훨씬 더 큰 300~800 nm 정도의 다양한 불규칙 형상의 필러들로 구성되어 일반형과 강화형 CRB에 함유된 필러 입자들은 명확하게 다르게 보였다. Estelite와 Katana Avencia에서는 일반형 CRB의 경우 100 nm 이하 크기의 미세 필러들로 구성된 반면, 강화형 CRB의 경우는 미세한 필러 외에도 크기가 훨씬 더 큰 500 nm 이상의 다양한 불규칙 형상의 필러 입자들이 추가되어 일반형과 강화형 CRB의 미세구조에서 차이를 보였다. 이러한 필러의 크기와 형상의 차이뿐 아니라 일반형 CRB보다 강화형 CRB가 더 많은 함량의 필러를 함유하는 것으로 보고되고 있다.

하이브리드 CRB에 함유된 필러의 크기, 유형 및 함량 차이는 SB 처리한 표면의 거칠기에 영향을 줄 수 있을 것으로 보여 SB 처리가 다양한 하이브리드 CRB의 표면거칠기에 주는 영향을 분석하였다. 본 연구에서 line 거칠기를 나타내는 Ra와 Rz의 경우 5종의 일반형 CRB 모두에서 강화형 CRB보다 유의하게 높은 값($p<0.01$)을 보였다. 강화형 CRB와 비교하여 상대적으로 크기가 작은 필러를 함유하고 필러 함량이 적은 일반형 CRB가 SB 처리에 의해 표면이 더 거칠어졌음을 알 수 있었다. 반면, area 거칠기를 나타내는 Sa와 Sz의 경우에서는 하이브리드 CRB에 따라 다른 양상을 보였다. Cerasmart, KZR-CAD HR 및 Estelite 블록에서는 area 거칠기 값에서 일반형이 강화형 CRB와 유의한 차이를 보이지 않았지만($p>0.05$), Katana Avencia 블록에서는 일반형이 강화형 CRB보다 유의하게 높은 area 거칠기 값을 보였고, Mazic Duro 블록에서는 일반형이 강화형 CRB보다 유의하게 낮은 area 거칠기 값을 보였다($p<0.05$). 이러한 결과는 SB 처리 과정에서 크기가 큰 필러의 탈락 또는 유지 등에 따라 측정한 면적에서의 거칠기 값이 더 크게 영향을 받았기 때문으로 보였다.

컴포짓트 레진 수복물을 수리하는 경우 임상에서 허용될 수 있는 최소 접착강도에 대한 명확한 정보는 없지만, 접착강도가 피착재의 응집강도 값에 가까울수록 더 효과적으로 수리되었다고 평가할 수 있다(59). Elsaka는 손상된 하이브리드 세라믹 블록을 컴포짓트 레진으로 수리한 경우 15-25 MPa 범위가 임상에서 허용되는 접착력이라고 제안한 바 있다(5). 본 연구에서도 하이브리드 CRB에 5종의 universal adhesive로 컴포짓트 레진을 접착시켜 전단접착강도를 측정한 결과 모든 실험군에서 20 MPa 이상을 보여 임상에서 요구되는 최소의 접착력(18, 60)을 만족하는 것으로 관찰되었다. 평가한 5 쌍의 하이브리드 CRB에서 일반형과 강화형 CRB들은 대부분 필러의 크기, 유형 및 함량 등에서 차이를 보였지만, 일반형과 강화형 CRB의 전단접착강도에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 따라서 SB 처리한 하이브리드 CRB의 경우 함유된 상이한 필러에 따른 미세구조 차이는 접착력에 영향을 주지 않는 것으로 보였다.

세라믹 필러 입자가 아닌 레진 기질에 대한 화학적 결합은 universal adhesive에 포함된 공중합체와 10-MDP의 산성 기능기 등으로 충분히 얻을 수 있다고 한다(61). 최근 임상에서 사용되고 있는 universal adhesive는 하이브리드 CRB의 필러 입자뿐만 아니라 레진 기질에도 우수한 접착력을 형성할 수 있기 때문에(62) 본 연구에서 필러 입자의 차이에 따른 다양한 CRB의 접착력 차이가 관찰되지 않은 것으로 보였다.

현재 임상에서 사용하고 있는 컴포짓트 레진들은 약 50 vol%의 무기 필러로 구성되었다면, 장기간 사용된 컴포짓트 수복물 표면의 약 50%는 필러로 구성될 것으로 예상할 수

있지만, 실제 발표된 연구 결과들은 이것과 큰 차이를 보인다고 한다(63). Hamano 등의 연구에서는 오래된 silorane 컴포짓트 레진을 연마한 경우 레진으로 보호받지 못하고 세라믹 표면이 노출된 필러는 5.1%에 불과한 반면, 대부분의 작은 필러들은 레진 기질로 둘러 싸여 있다고 발표하였다(64). 컴포짓트 레진 수복물의 세라믹 필러는 실레인 커플링제와 상호작용하는 원소이기 때문에 세라믹 표면이 노출된 필러의 비율은 접착력 시험에서 중요할 수 있다. 즉, 하이브리드 CRB에 포함된 필러의 크기, 유형 및 함량에 유의한 차이가 있더라도 SB 처리 후 실제 노출된 세라믹 필러의 분율에 큰 차이가 없다면 측정된 접착력은 대부분 레진 기질에 대한 접착력일 것으로 예상할 수 있다. 이러한 이유로 다양한 하이브리드 CRB에 접착력이 크게 개선된 universal adhesive로 접착한 컴포짓트 레진의 접착력에서 큰 차이가 없었던 것으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 SB 처리한 하이브리드 CRB들의 표면거칠기 값들과 접착력의 상관성을 분석하였다. Ra는 일반적으로 거칠기를 정량적으로 평가하기 위해 주로 사용되지만, 시편 전체를 평가하기 위해 사용하기에는 다소 문제가 될 수 있다고 하여 최근에는 Sa도 함께 측정하였고, 깊은 거칠기 평가를 위해 Rz와 Sz를 측정하였다. Line 표면거칠기를 나타내는 Ra와 Rz 값의 경우 area 표면거칠기를 나타내는 Sa와 Sz 값 보다 전단접착강도와의 일관성 있는 상관관계를 보여 표면이 거칠어질수록 접착강도가 증가하는 양상을 적절하게 대변하였다. 또한, 가장 낮은 접착강도를 보인 BBU universal adhesive가 가장 낮은 상관성을 보인 것도 특이한 사항이었다. 반면, area 표면거칠기 값인 Sa와 Sz는 표면거칠기가 증가함에 따라 접착강도가 감소 또는 증가되는 일관성 없는 상관관계를 보여 거칠기 비교에 사용하기에는 다소 문제가 있을 수 있다.

Universal adhesive는 MDP와 같은 산성의 기능성 단량체를 치과용 접착제의 성분에 포함시키기 위한 접착제 제조사들의 노력으로 개발되었다. 산성 기능성 단량체의 성분은 프라이머 추가 없이 글라스-세라믹, 세라믹, 레진 및 금속 등의 다양한 치과용 소재뿐만 아니라 법랑질이나 상아질과 같은 다른 특성의 구강 경조직(hard tissue)에 화학적으로 접착할 수 있는 특성을 제공한다(32, 36). 현재 임상에서 universal adhesive는 단순화된 적용 절차, 낮은 술식 민감도 및 우수한 사용자 친화적인 특성으로 널리 사용되고 있다. Universal adhesive는 기존의 one-step self-etch(SE) adhesive와 유사한 성분을 갖는데, 대부분의 universal adhesive는 ultra-mild(pH≤2.5), mild(pH≤2) 및 intermediately strong(pH 1~2) 범주에 속한다(65, 66). Alegría-Acevedo 등은 universal adhesive의 pH가 다양한 기질에 대한 접착력에 주는 영향을 평가한 연구에서 pH가 가장 낮은(=1.6) Xeno Select (Denstply Sirona)가 가장 낮은 접착력을 보였고, Xeno Select 제조사에서도 간접 수복물의 접착에는 권장하지 않는다는 점은 임상 적용 시 고려해야할 점이라고 제시하였다(67). 본 연구에서 사용한 5종의 universal adhesive 중에서 BBU의 pH가 2.1로 가장 낮은 값을 보였고, 접착강도 평가에서도 가장 낮은 접착장도를 보인 것도 이와 유사한 원인일 것으로 보였다.

기존 SE 접착제와 유사한 조성에도 불구하고, universal adhesive는 특정 카복실레이트 및/또는 인산 기능성 단량체를 포함하고 있다. 이들 단량체 중 가장 주목할 만한 것은 10-MDP(MDP)이며, 이는 수산화인회석(HA)에 nano-layering을 생성하여 가수분해적으로 안정한 칼슘염을 형성하는 상아질과 이온적으로 결합하는 인산 단량체이며(68, 69), 10-MDP에 의한 화학적 결합은 다른 기능성 단량체에 의해 제공되는 것보다 물에서 더 효과적이고 안정적이라고 한다(70, 71). 또한, 10-MDP는 레진시멘트에 포함된 단량체들과 공중합하면서 지르코니아 내의 산화물들과 화학적으로 결합한다고 알려져 있다(72). Glycero-phosphate dimethacrylate (GPDM)는 결합이 안정하지는 않지만 HA와 칼슘염을 형성하는 또 다른 기능성 단량체이다(73). Scotchbond Universal에 포함된 polyalkenoic acid copolymer(PAC, Vitrebond copolymer)는 HA의 칼슘 이온과 화학적으로 결합하고 장기적인 결합 안정성에 기여할 수 있다고 한다(74). 또한, universal adhesive는 물, 에탄올 또는 아세톤 등과 같은 하나 이상의 유기 용매를 모두 포함하며, 제품에 따라서 접착제 층의 기계적 강도를 강화시키기 위하여 nano-filler를 포함하는 경우도 있다. Universal adhesive를 적용한 컴포짓트 수복물의 수리 프로토콜은 하이브리드 CRB에서도 우수한 접착력을 얻는데 유용하게 적용할 수 있다.

본 연구에서는 접착강도 평가에 사용한 5종의 universal adhesive들 모두 10-MDP를 주요 기능성 단량체로 함유하고

있는 것으로 보고되고 있다. Prime & Bond Universal의 경우는 PENTA 기능성 단량체를 추가로 함유하고 있고, Bright Bond Universal의 경우는 4-META 기능성 단량체를 추가로 함께 함유하고 있으며, Single Bond Universal의 경우에는 실레인을 추가로 함유하고 있었다. 또한, Single Bond Universal과 EZ Bond Universal의 경우는 필러를 함유하고 있지만, 다른 3 종(PBU, ABU 및 BBU)은 필러를 함유하지 않고 있다. 이러한 universal adhesive의 성분 차이가 접착력에 주는 영향을 분석한 결과에서, SBU에 추가된 실레인은 하이브리드 CRB와 컴포짓트 레진과의 접착력에 유의한 영향을 주지 못한 것으로 관찰되었으며, BBU에 추가된 4-META 기능기는 10-MDP와 함께 상승효과를 보이지 못하고 오히려 접착력을 감소시킨 것으로 관찰되었다. Cekic-Nagas 등의 연구에서 레진 시멘트에 포함된 필러 함량과 접착강도 사이에 양의 상관관계가 있다고 하였는데(51), 본 연구에서는 universal adhesive에 추가된 필러가 접착력에 유의한 영향을 주지 못한 것으로 보였다. 또한, 실레인을 함유하는 universal adhesive가 임상에서 유용하게 적용될 수 있지만, 본 연구 결과에서와 같이 universal adhesive에 포함된 실레인의 효과 및 장기 안정성은 아직 많은 논란의 여지가 있다(75, 76).

많은 universal adhesive는 HEMA를 함유하고 있는데, HEMA는 친수성 단량체로 물, 에탄올 및 아세톤 등에 용해된다. 이 단량체는 또한 용액에 포함되어 있는 소수성 단량체와 친수성 단량체 모두의 안정성을 향상시킬 수 있으나, 물을 흡수할 수 있기 때문에 HEMA를 많이 함유할 경우 접착제의 기계적 특성이 감소될 수 있다. 물과 함께 함유된 HEMA의 존재로 인해 장기간 물에 보관할 경우 가수분해에 민감하게 반응하지만, Atala 등의 연구에서는 물과 함께 HEMA를 포함하는 결합제(All-Bond Universal, Optibond XTR, Tokuyama Universal Bond)가 다른 것들보다 상대적으로 높은 결합 강도를 보였다고 한다(19). 이는 HEMA가 화학적 결합의 중요한 부분 중 하나인 소수성이고 점성이 큰 bis-GMA의 효과를 향상시키고, 접착제의 젖음성을 높인다는 사실로도 설명될 수 있다. 본 연구에서도 HEMA가 첨가된 universal adhesive들이 상대적으로 첨가되지 않은 경우보다 우수한 접착력을 보였다. 따라서, universal adhesive의 pH, 용매의 종류 및 각 성분에서 실레인/MDP/HEMA/필러의 존재 등과 같은 요인들은 특정 소재로 제작한 수복물에 대한 universal adhesive system을 선택하는데 중요할 수 있을 것으로 보인다.

## 결 론

일반형과 강화형 하이브리드 CRB에 함유된 필러의 크기, 유형 및 함량은 미세구조에 영향을 주는 것으로 관찰되었으나, 그러한 차이가 universal adhesive로 접착한 컴포짓트 레진과의 전단접착강도에는 영향을 주지 않는 것으로 보였다. 접착강도 평가에 사용한 10-MDP를 주요 기능성 단량체로 함유하는 5종의 universal adhesive 모두 임상에서 요구하는 최소의 접착력(〉20 MPa)을 보여 임상 적용에는 문제가 없을 것으로 보였다.

## 사 사

본 연구는 정부의 재원으로 2023년 산업통상자원부(의료기기 사업화 촉진사업)의 지원을 받아 수행된 연구임

## 참고문헌

1. Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Goujat A, Attik N, Laforest L, et al. Impact of the microstructure of CAD/CAM blocks on the bonding strength and the bonded interface. J Prosthodont. 2022;31:72-7.
2. Abdou A, Takagaki T, Alghamdi A, Tichy A, Nikaido T, Tagami J. Bonding performance of dispersed filler resin composite CAD/CAM blocks with different surface treatment protocols. Dent Mater J. 2021;40:209-19.
3. de Andrade GS, Tribst JP, Dal Piva AO, Bottino MA, Borges AL, Valandro LF, et al. A study on stress distribution to cement layer and root dentin for

post and cores made of CAD/CAM materials with different elasticity modulus in the absence of ferrule. J Clin Exp Dent. 2019;11:e1-8.
4. Standard standardized of CAD/CAM crown, Required performance by type, Japan Dental Materials Industry Joint Association, 2017.
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. Üstün Ö, Büyükhatipoğlu IK, Seçilmiş A. Shear bond strength of repair systems to new CAD/CAM restorative materials. J Prosthodont. 2018;27:748-54.
7. Arpa C, Ceballos L, Fuentes MV, Perdigão J. Repair bond strength and nanoleakage of artificially aged CAD-CAM composite resin. J Prosthet Dent. 2019;121: 523-30.
8. Bello YD, Di Domenico MB, Magro LD, Lise MW, Corazza PH. Bond strength between composite repair and polymer-infiltrated ceramic-network material: Effect of different surface treatments. J Esthet Restor Dent. 2019;31:275-9.
9. Demirel G, Baltacioğlu İH. Influence of different universal adhesives on the repair performance of hybrid CAD-CAM materials. Restor Dent Endod. 2019; 44:e23.
10. 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.
11. Moura DMD, Dal Piva AMO, Januário ABDN, Verissímo AH, Bottino MA, Özcan M, et al. 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.
12. 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.
13. Veríssimo AH, Duarte Moura DM, de Oliveira Dal Piva AM, Bottino MA, de Fátima Dantas de Almeida L, da Fonte Porto Carreiro A, et al. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Bayazit EÖ. Repair of aged polymer-based CAD/ CAM ceramics treated with different bonding protocols. Int J Prosthodont. 2021;34:357-64.
17. Jung SN, Rüttermann S. Influence of mechanical and chemical pre-treatments on the repair of a hybrid ceramic. Dent Mater. 2022;38:1140-8.
18. Arkoy S, Ulusoy M. Effect of different surface treatments on repair bond strength of CAD/CAM resin-matrix ceramics. Materials (Basel). 2022;15:6314.
19. 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.
20. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. Dent Mater. 2012;28:467-77.
21. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. Int J Prosthodont. 2004;17: 155-64.
22. Ali A, Takagaki T, Naruse Y, Abdou A, Nikaido T, Ikeda M, et al. The effect of elapsed time following alumina blasting on adhesion of CAD/CAM resin block

to dentin. Dent Mater J. 2019;38:354-60.
23. Yoshihara K, Nagaoka N, Irie M, Sonoda A, Makita Y, Yoshida Y, et al. Effectiveness of silane coupling agent incorporated in universal adhesive. Dent Mater. 2015;31:e44.
24. Emsermann I, Eggmann F, Krastl G, Weiger R, Amato J. Influence of pretreatment methods on the adhesion of composite and polymer infiltrated ceramic CAD-CAM blocks. J Adhes Dent. 2019;21:433-43.
25. Veríssimo AH, Duarte Moura DM, de Oliveira Dal Piva AM, Bottino MA, de Fátima Dantas de Almeida L, da Fonte Porto Carreiro A, et al. 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.
26. Alex G. Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry. Compend Contin Educ Dent. 2015; 36:15-26.
27. Swain M V, Coldea A, Bilkhair A, Guess PC. Interpenetrating network ceramic-resin composite dental restorative materials. Dent Mater. 2016;32:34-42.
28. Nguyen J-F, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. Dent Mater. 2012;28:529-34.
29. Phan AC, Tang ML, Nguyen JF, Ruse ND, Sadoun M. High-temperature high-pressure polymerized urethane dimethacrylate - Mechanical properties and monomer release. Dent Mater. 2014;30:350-6.
30. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From artisanal to CAD-CAM blocks. J Dent Res. 2016;95:487-95.
31. Eldafrawy M, Greimers L, Bekaert S, Gailly P, Lenaerts C, Nguyen J-F, et al. Silane influence on bonding to CAD-CAM composites: An interfacial fracture toughness study. Dent Mater. 2019;35:1279-1290.
32. Siqueira F, Cardenas AM, Gutierrez MF, Malaquias P, Hass V, Reis A, et al. Laboratory performance of universal adhesive systems for luting CAD/CAM restorative materials. J Adhes Dent. 2016;18:331-40.
33. ElDamanhoury HM, Gaintantzopoulou MD. Self-etching ceramic primer versus hydrofluoric acid etching: etching efficacy and bonding performance. J Prosthodont Res. 2018;62:75-83.
34. 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.
35. Bona A Della, Shen C, Anusavice KJ. Work of adhesion of resin on treated lithia disilicate-based ceramic. Dent Mater. 2004;20:338-44.
36. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: a review. Dent Mater. 2018;34:13-28.
37. Yoshihara K, Nagaoka N, Maruo Y, Nishigawa G, Irie M, Yoshida Y, et al. Sandblasting may damage the surface of composite CAD-CAM blocks. Dent Mater. 2017;33:e124-35.
38. Ilie N, Ruse ND. Shear bond strength vs interfacial fracture toughness - Adherence to CAD/CAM blocks. Dent Mater. 2019;35:1769-75.
39. Arao N, Yoshida K, Sawase T. Effects of air abrasion with alumina or glass beads on surface characteristics of CAD/CAM composite materials and the bond strength of resin cements. J Appl Oral Sci. 2015;23:629-36.
40. Ali A, Takagaki T, Nikaido T, Abdou A, Tagami J. Influence of ambient air and different surface treatments on the bonding performance of a CAD/CAM composite block. J Adhes Dent. 2018;20:317-24.
41. Higashi M, Matsumoto M, Kawaguchi A, Miura J, Minamino T, Kabetani T, et al. Bonding effectiveness of self-adhesive and conventional-type adhesive resin cements to CAD/CAM resin blocks. Part 1: effects of sandblasting and silanization. Dent Mater J. 2016; 35:21-8.

42. 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.
43. Özcan M, Volpato CÂM. Surface conditioning and bonding protocol for polymer-infiltrated ceramic: How and why? J Adhes Dent. 2016;18:174-5.
44. Yu H, Özcan M, Yoshida K, Cheng H, Sawase T. Bonding to industrial indirect composite blocks: A systematic review and meta-analysis. Dent Mater. 2019;36:119-34.
45. Eldafrawy M, Ebroin MG, Gailly PA, Nguyen J-F, Sadoun MJ, Mainjot AK. Bonding to CAD-CAM composites: An interfacial fracture toughness approach. J Dent Res. 2018;97:60-7.
46. 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.
47. Loomans BAC, Cardoso MV, Opdam NJM, Roeters FJM, De Munck J, Huysmans MCDNJM, et al. Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair. J Dent. 2011;39:499-505.
48. D'Arcangelo C, Vanini. Effect of three surface treatments on the adhesive properties of indirect composite restorations. J Adhes Dent. 2007;9:319-26.
49. Frankenberger R, Hartmann VE, Krech M, Krämer N, Reich S, Braun A, et al. Adhesive luting of new CAD/CAM materials. Int J Comput Dent. 2015;18:9-20.
50. Peumans M, De Munck J, Van Meerbeek B, Valjakova EB, Mishevska CB. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. J Adhes Dent. 2016;18:289-302.
51. Cekic-Nagas I, Ergun G, Egilmez F, Vallittu PK, Lassila LVJ. Micro-shear bond strength of different resin cements to ceramic/glass-polymer CAD-CAM block materials. J Prosthodont Res. 2016;60:265-73.
52. Ozcan M, Allahbeickaraghi A, Dündar M. Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. Clin Oral Investig. 2012;16:15-23.
53. Spazzin AO, Bacchi A, Alessandretti R, Santos MB, Basso GR, Griggs J, et al. Ceramic strengthening by tuning the elastic moduli of resin-based luting agents. Dent Mater. 2017;33:358-66.
54. Addison O, Marquis PM, Fleming GJP. Resin elasticity and the strengthening of all-ceramic restorations. J Dent Res. 2007;86:519-23.
55. Alp G, Subaşi MG, Johnston WM, Yilmaz B. Effect of different resin cements and surface treatments on the shear bond strength of ceramic-glass polymer materials. J Prosthet Dent. 2018;120:454-61.
56. ElDafrawy M, Ebroin MG, Gailly PA, Nguyen JF, Sadoun MJ, Mainjot AK. Bonding to CAD-CAM composites: an interfacial fracture toughness approach. J Dent Res. 2018;97:60-7.
57. 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.
58. Yano HT, Ikeda H, Nagamatsu Y, Masaki C, Hosokawa R, Shimizu H. Correlation between microstructure of CAD/CAM composites and the silanization effect on adhesive bonding. J Mech Behav Biomed Mater. 2020;101:103441.
59. Valente LL, Sarkis-Onofre R, Gonçalves AP, Fernández E, Loomans B, Moraes RR. Repair bond strength of dental composites: systematic review and meta-analysis. Int J Adhesion Adhes. 2016;69:15-26.
60. 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.
61. Rohr N, Flury A, Fischer J. Efficacy of a universal adhesive in the bond strength of composite cements to polymer-infiltrated ceramic. J Adhes Dent.

2017;19:417-24.
62. Yu H, Yoshida K, Cheng H, Sawase T. Bonding of different self-adhesive resins to high-strength composite resin block treated with surface conditioning. J Prosthodont Res. 2019;63:340-6.
63. Kouros P, Koliniotou-Koumpia E, Spyrou M, Koulaouzidou E. Influence of material and surface treatment on composite repair shear bond strength. J Conserv Dent. 2018;21:251-6.
64. Hamano N, Chiang YC, Nyamaa I, Yamaguchi H, Ino S, Hickel R, et al. Repair of silorane-based dental composites: Influence of surface treatments. Dent Mater. 2012;28:894-902.
65. Rosa WL, Piva E, Silva AF. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. J Dent. 2015;43:765-76.
66. Perdigão J, Swift EJ Jr. Universal adhesives. J Esthet Restor Dent. 2015;27:331-4.
67. Alegría-Acevedo LF, Gutiérrez MF, Perdigão J, Núñez A, Méndez-Bauer L, Dávila-Sanchez A, et al.. In vitro performance of different universal adhesive systems on several CAD/CAM restorative materials after thermal aging. Oper Dent. 2022;47:107-20.
68. Yoshihara K, Yoshida Y, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, De Munck J, et al. Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers. Dent Mater. 2013;29:888-97.
69. Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, et al. Self-assembled nanolayering at the adhesive interface. J Dent Res. 2012;91:376-81.
70. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater. 2011;27:17-28.
71. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. J Dent Res. 2004;83:454-8.
72. Al Jeaidi ZA, Alqahtani MA, Awad MM, Rodrigues FP, Alrahlah AA. Bond strength of universal adhesives to air-abraded zirconia ceramics. J Oral Sci. 2017;59:565-70.
73. Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Chemical interaction of glycero-phosphate dimethacrylate (GPDM) with hydroxyapatite and dentin. Dent Mater. 2018;34:1072-81.
74. Sezinando A, Perdigão J, Ceballos L. Long-term in vitro adhesion of polyalkenoate-based adhesives to dentin. J Adhes Dent. 2017;19:305-16.
75. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, Maruo Y, Makita Y, Okihara T, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives Dent Mater. 2016;32:1218-25.
76. Yao C, Yu J, Wang Y, Tang C, Huang C. Acidic pH weakens the bonding effectiveness of silane contained in universal adhesives Dent Mater. 2018;34:809-18.

Original Article

# 강화형 CAD/CAM 하이브리드 컴포짓트 레진 블록의 미세구조가 컴포짓트 레진과의 전단접착강도에 주는 영향

**엄성호[1], 신민정[2], 정신혜[1,2], 박영석[2,3], 임범순[1,2,*]**

[1]서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실
[2]서울대학교 미래치의학센터
[3]서울대학교 치의학대학원 구강해부학교실

CAD/CAM용 하이브리드 컴포짓트 레진 블록에 대한 컴포짓트 레진의 접착강도는 하이브리드 컴포짓트 레진 블록의 구성 성분과 미세구조, 표면 처리 및 적용한 접착제의 특성 등에 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 구치부용으로 개발된 강화형 하이브리드 컴포짓트 레진 블록(CRB)을 대상으로 universal adhesive로 접착한 컴포짓트 레진과의 전단접착강도를 측정하여 하이브리드 CRB의 미세구조 차이가 전단접착강도에 주는 영향을 평가하고자 하였다. 국내·외 5개 제조사에서 개발한 일반형과 강화형 하이브리드 컴포짓트 레진 블록 제품 10종을 선택하였고, 현재 임상에서 사용하는 국내·외 universal adhesive 제품 5종을 선정하여 접착강도를 비교하였다. 하이브리드 CRB 표면을 연마한 후 일부는 HF로 산-부식처리하여 FE-SEM으로 미세구조를 관찰하였고, 일부는 알루미나로 샌드블라스팅 처리한 후 CLSM으로 표면거칠기를 측정한 다음 컴포짓트 레진(지름 2 mm)을 universal adhesive로 접착시켜 37 ℃ 수조에서 24시간 보관한 다음 만능시험기를 이용하여 전단접착강도를 측정하였다. 측정값들은 Tukey-multiple comparison test ($\alpha$=0.05)로 통계 분석하여 다음의 결과를 얻었다. 일반형과 강화형 하이브리드 CRB에 함유된 필러의 크기, 유형 및 함량은 CRB의 미세구조에 영향을 주는 것으로 관찰되었으나, 그러한 차이가 universal adhesive로 접착한 컴포짓트 레진과의 전단접착강도에는 영향을 주지 않는 것으로 보였다. 접착강도 평가에 사용한 10-MDP를 주요 기능성 단량체로 함유하는 5종의 universal adhesive 모두 임상에서 요구하는 최소의 접착력(〉20 MPa)을 보여 임상 적용에는 문제가 없을 것으로 보였다.

**색인단어 :** 하이브리드 컴포짓트 레진 블록, 강화형, 표면거칠기, universal adhesive, 전단접착강도