

Universal adhesive를 이용한 실리카 함유 CAD/CAM 블록과 컴포지트 레진의 접착

박치용¹, 신민정², 정신혜^{1,2}, 박영석^{2,3}, 임범순^{1,2,*}

¹서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실

²서울대학교 미래치의학센터

³서울대학교 치의학대학원 구강해부학교실

Bonding silica-containing CAD/CAM dental blocks to composite resin with universal adhesives

Chi-Yong Park¹, Minjeong Shin², Shin Hye Chung^{1,2},
Young-Seok Park^{2,3}, Bum-Soon Lim^{1,2,*}

¹Department of Dental Biomaterials Science, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

²Center for Future Dentistry, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

³Department of Oral Anatomy, School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

The bond strength to the silicate-based CAD/CAM blocks may be affected by the composition and microstructure of the silicate-based blocks, surface treatment, and the properties of the applied adhesive. In this study, the shear bond strength to the silicate blocks with various universal adhesives after sandblasting or HF-treatment was measured, and the effects of the additional silane application after surface treatments are evaluated. Six silica-containing blocks and five universal adhesives currently used in dental clinics were selected. After polishing the silicate block surface, the specimens were divided into two groups. The first groups were HF-treated and the second groups were sandblasted with alumina, and the surface roughness, contact angle, and microstructure were analyzed by CLSM (Confocal Laser Scanning Microscope), contact angle analyzer, and FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope). Composite resin (2 mm diameter) was bonded with universal adhesive to silicate blocks and stored in a 37 °C water bath for 24 hours, and the shear bond strength was measured using a universal testing machine. The measured values were statistically analyzed using the Tukey-multiple comparison test ($\alpha=0.05$). For hybrid composite ceramics, there was no significant difference in bond strength between sandblasting or HF-treatment, and additional silane application may not be necessary when bonding with a universal adhesive, whereas for leucite-reinforced and lithium disilicate glass-ceramics, HF-treatment may be more favorable for adhesion than sandblasting, and additional silane application appears to be necessary even when applying a universal adhesive.

Keywords : CAD/CAM silicate block, Sandblasting, HF acid etching, Universal adhesive, Silane, Shear bond strength

Chi-Yong Park (ORCID: 0009-0004-1789-5848)

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: Mar. 03, 2024; Revised: Mar. 19, 2024; Accepted: Mar. 19, 2024

서론

디지털 치의학의 발전은 새로운 디지털 시스템 소개와 물성이 크게 개선된 치과 재료의 시너지 효과로 통상적인 임상 진료에 커다란 변화를 가져왔으며, 이를 통해 치과 진료에서 높은 수준의 정밀도와 심미성을 유지하면서 치료기간도 단축할 수 있게 되었다(1, 2). CAD/CAM 시스템에서 dental digital workflow 단계는 우선 구강 스캐너로 스캔하고, CAD로 디지털 데이터를 처리하여 보철물 등을 시각적으로 설계한 다음, CAM을 이용한 삭제(subtractive) 또는 적층(additive) 기술로 보철물을 제조하는 공정이다. 1980년대에 처음 개발된 CAD/CAM 시스템의 개념은 스위스 Zurich 대학교와 Brains & Brandestini Instruments, 프랑스 Hennson International 및 미국 Minnesota 대학교 센터 등 3곳의 연구 센터가 협력한 결과였다고 한다(3, 4). 스캐너, 소프트웨어 및 밀링기(3D 프린터) 등을 포함한 치과용 CAD/CAM 시스템은 임상 치의학에 혁신을 불러왔다(5, 6). CAD/CAM 시스템이 도입되면서 일어난 가장 큰 변화 중 하나는 그동안 사용되고 있는 장석 포세린(feldspathic porcelain)이나 컴포지트 레진은 물론, 지르코니아, 알루미늄 및 티타늄 등의 다양한 소재로 보철물 또는 수복물을 가공할 수 있게 되었다는 점이다. 특히, 우수한 심미 수복물을 진료 당일 제작하여 환자들에게 바로 시술해 줄 수 있는 'one-day treatment'가 가능하게 되었다. CAD/CAM 기술의 발전은 다양한 유형의 CAD/CAM 블록(feldspathic glass-ceramics, leucite-reinforced glass-ceramics, lithium disilicate glass-ceramics, zirconia, zirconia-reinforced lithium silicate 및 hybrid composite ceramic 등) 개발을 유도하였다(7-9).

가장 먼저 CAD-CAM 소재로 사용된 장석 글라스-세라믹은 취성이 높고 기계적 특성이 가장 취약하지만, 색조와 투명도가 자연치에 유사한 장점이 있다. 또한, 9.6% HF로 60초간 산-처리하고 실란 프라이머를 적용하면 우수한 접착을 얻을 수 있어서 인레이, 온레이, 전치부/구치부 수복물 및 금속 하부 구조물의 비니어 등에 사용되었다. 대표적인 제품으로 Cerec Blocs,

Vitablocs Mark II, Real-Life 및 TriLuxe 등이 있다(10). IPS Empress CAD는 백류석 결정상을 분산시켜 균열의 전달과 증폭을 제한하거나 억제하는 최초의 백류석-강화형 글라스-세라믹이며, 제조사에 따라 포함된 백류석 결정상의 함량에는 차이가 있다. 백류석-강화형 글라스-세라믹도 적용되는 하중이 낮고 심미적 특성이 요구되는 부위에 사용하는 것이 추천되고 있으며, 적절한 접착력을 얻기 위하여 제조사에서는 5% HF로 20초간 산-처리를 제시하고 있다. 상용 제품으로는 IPS Empress CAD와 Initial LRF Block (GC) 등이 있다(11, 12). 이후 리튬-다이실리케이트 결정상으로 강화시킨 IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent)는 굴곡강도가 크게 향상되어 임상 적용범위가 넓어지면서 CAD/CAM 시장이 급성장되는 계기가 되었다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹은 리튬-다이실리케이트 결정상인 $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}$ (길이 2~5 μm × 직경 0.8 μm)를 약 65% 정도 함유하는데, $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}$ 결정상으로 높은 굴곡강도(400 MPa 이상)와 파괴인성(3.3 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$), 920 °C의 열-압출 온도, 10.6 ± 0.25 ppm/°C의 열-팽창 계수(CTE) 및 우수한 투명도 등의 특성을 얻을 수 있다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹은 심미적으로 까다로운 임상 케이스에서 높은 성공율을 보이며, 향상된 기계적 특성으로 비니어, 인레이/온레이, 싱글 크라운 또는 3본-브릿지 등에 적용하기도 한다. IPS e.max CAD는 부분 결정화된 CAD/CAM 블록을 가공하여 보철물을 제작한 후 최종 결정화 열처리를 시행하며, 대부분 5% HF로 20초간 산-처리하는 것을 권장하는데, 유사 제품으로 VITA Suprinity PC (VITA Zahnfabrik), Celtra Duo (Dentsply Sirona) 및 Obsidian (Glidewell Laboratories) 등이 있다(13, 14). 또한, 대표 제품인 IPS e.max CAD 특히 중 하나가 만료됨에 따라(15) 이와 유사한 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 제품들을 여러 제조사에서 개발하여 'lab-side' 또는 'chair-side' 제품으로 출시하였다. IPS e.max Press/CAD 및 Amber Mill (HassBio, Korea) 등의 'lab-side' 제품은 최종 사용자가 수복물을 가공한 후 결정화 열처리 과정이 필요하다. 반면, n!ce (Straumann, Switzerland)와 CEREC

Tessera (Dentsply Sirona, USA) 등의 'chair-side' 제품들은 이미 제조사에서 완전히 결정화된 상태로 제공되어 추가 열처리 과정이 필요하지 않다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹의 주요 장점 중 하나는 불산(hydrofluoric acid, HF)-처리로 음각(intaglio) 표면을 생성하여 치질과의 우수한 접착이 가능한 것인데, 기계적(sandblasting; SB) 또는 화학적(HF-etching; HF) 처리를 통한 표면 개질로 얻는 미세기계적 부착력 및 silane primer 또는 universal adhesive 적용을 통한 화학적 결합의 2가지 기전으로 달성될 수 있다(16).

2010년대에는 레진을 추가하여 세라믹의 가공성을 보완한 CAD/CAM용 하이브리드 컴포지트 세라믹 블록이 소개되었다. 하이브리드 컴포지트 세라믹은 우수한 심미성을 유지하면서 세라믹과 레진의 장점을 융합하기 위해 개발되었다. 세라믹은 심미성과 기계적 강도가 우수하지만 낮은 파괴인성이 단점인데, 레진은 가공성이 용이하고 파괴인성이 상대적으로 높아 세라믹과 레진을 하이브리드 컴포지트로 융합시켜 치과 적용에 이상적인 소재로 개발하였다. 하이브리드 컴포지트 세라믹은 제조사에 따라 구성 성분과 비율 등은 상이하지만, 대부분 세라믹과 레진을 약 8:2 정도의 비율로 혼합한 것으로 보인다. 하이브리드 컴포지트 세라믹은 2010년대 초반부터 등장하기 시작했으며, 2013년경에 Enamic (Vita, Germany), Lava Ultimate (3M ESPE, USA) 및 Celtra DUO (Dentsply Sirona, USA) 등의 수입 제품과 국내에서 개발된 MAZIC Duro (Vericom, Korea)과 Amber Mill H (HassBio, Korea) 제품들이 출시되었다.

CAD/CAM 시스템을 이용한 치과용 수복물 제작은 세라믹 소재의 강도에 따라 2가지 제작 방식이 적용되고 있다. 첫 번째 방식은 알루미늄이나 또는 지르코니아 등과 같이 고강도 세라믹 블록에 적용하는데, 완전-소결된(full-sintered) 소재는 기계적 가공이 어려워 예비-소결된(pre-sintered) 형태로 가공용 블록이 제공되고, 수복물로 가공한 후 최종-소결 과정을 거치게 된다. 이러한 방식은 진료실에서 치아 사색 및 인상 채득을 실시하고, 가공센터와 기공소에서 수복물의 디자인, 가공 및 소결 등의 작업으로 이원화되어 'one-day treatment'에 문제

가 있을 수 있다. 두 번째 방식은 글라스-세라믹 또는 하이브리드 컴포지트 세라믹 등과 같이 기계적 강도가 상대적으로 낮아 가공이 용이하여 완전-소결된 블록으로 제공되어 진료실에서 수복물을 직접 가공한 다음 바로 환자에게 장착하는 방식이다. 이 방식의 장점으로 수복물 제작의 전체과정을 치과의사가 제어할 수 있고, 환자에게 당일 시술을 완료할 수 있다는 점이다(17). 완전-소결된 세라믹 블록으로는 장식계 글라스-세라믹, 백류석 강화형 글라스-세라믹, 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 및 지르코니아 강화 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 등이 사용되고 있다. 장식계 글라스-세라믹이나 백류석-강화형 글라스-세라믹은 심미성은 우수하지만 기계적 강도가 충분하지 않기 때문에 높은 응력이 발생하지 않고 심미성이 크게 요구되는 부위에 제한적으로 사용되고 있다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹들은 상대적으로 굴곡강도가 높아서 다양한 임상 적용이 가능하여 사용범위도 증가하고 있다(18-20). 미국 국립보건원(National Institutes of Health, NIH) 지원으로 조사된 연구에 의하면, 전치부 수복재로 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹이 54%, 지르코니아가 17% 및 백류석-강화형 글라스-세라믹이 13% 등의 순서로 조사되어 전치부 수복재로 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹이 가장 많이 사용되었다고 한다. 반면, 구치부 수복재로는 단일구조 지르코니아가 32%, 금속-세라믹이 31% 및 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹이 21% 순서로 조사되었다고 한다(21).

CAD/CAM 블록으로 사용되고 있는 실리케이트계 세라믹과 하이브리드 컴포지트 세라믹의 경우 임상에서 적절한 성능과 내구성을 유지하기 위하여 치질과의 우수한 접착이 필수적이다. 실리케이트계 세라믹 수복물의 접착과 관련된 연구들에서 HF를 이용한 산-처리가 접착력 개선에 긍정적인 영향을 준다고 보고되었는데, HF로 처리할 경우 미세기계적 유지력이 제공될 뿐만 아니라 표면에너지도 증가되어 접착력이 크게 향상되었다고 한다(22).

HF로 처리할 경우 HF 농도와 적용시간이 접착력에 영향을 줄 수 있는데, 낮은(<5%) 농도와 높은(>5%) 농도의 HF로 처리하여 평가한 단기간의 접착력은 통계적으로

유의한 차이가 없는 것으로 관찰되었지만, 시효처리한 경우에는 낮은 농도(3% 및 5%)의 HF로 60초간 처리한 후 12,000회 열-순환한 장식 글라스-세라믹에서 안정적인 접착이 관찰되었다고 하였고, 백류석 및 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹은 사용된 HF 농도와 적용시간에 관계없이 150일간 물에 보관한 후 10,000회 및 12,000회 열-순환 처리 후에도 안정된 접착력을 보였다고 한다(23, 24). HF는 강산이기 때문에 낮은 농도의 HF를 적용하여도 접착제와 안정적인 접착을 형성할 수 있는 것으로 추정할 수 있다(16, 18). 글라스 기질은 표면뿐 아니라 내부까지 불균일하게 용해되어 깊고 불규칙한 산-부식 패턴을 생성할 수 있는데, 깊게 산-부식된 글라스-세라믹에서는 고점도 레진시멘트가 적절하게 침투하지 못하여 약하고 불안정한 접착이 형성될 수 있다. 따라서 더 얇은 산-부식 표면을 생성하는 저농도(<5%)의 HF가 글라스-세라믹에 효과적인 접착 표면을 형성할 수 있다(25). 또한, 고농도(>5%)와 긴 적용시간(20~160초)으로 글라스-세라믹 기질이 많이 용해될 수 있어서 특히 얇은 세라믹 비니어의 경우 수복물의 기계적 특성 및 임상 수명이 저하될 수도 있다고 한다(40, 43). Araújo-Neto 등(2023)도 저농도(5%)의 HF를 적용한 글라스-세라믹의 in vitro 접착강도에 대한 메타 분석 결과를 보고하였다(26). 저농도(<5%)의 HF를 사용한 글라스-세라믹 표면 처리 효과와 고농도(>5%)의 HF를 사용한 효과를 비교한 단기 평가에서 저농도(4~5%) 및 고농도(7~10%) HF를 사용한 처리방법 간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다고 하였다(27, 28).

실리카를 함유한 하이브리드 컴포지트 세라믹 블록의 경우에는 HF-처리가 접착력 향상에 도움이 되지 못했다는 연구와 HF-처리에 따라 접착력이 향상되었다는 상반된 연구들이 보고된 바 있다(29-31). 그러나 HF-처리 시 수복물에 잔류되는 HF는 인체에 유해할 수 있기 때문에 초음파 세척 등으로 수복물을 철저히 세척해서 잔류되는 HF가 없도록 세심한 주의가 필요하다(32). 또한, 샌드블라스팅-처리도 블록 표면의 이물질을 제거하고, 거친 표면을 생성하여 미세기계적 유지력을 향상시키며, 접

착 표면적을 증가시켜 접착력 증가에 중요한 역할을 할 수 있다. 대부분의 하이브리드 컴포지트 세라믹 블록 제조사에서는 접착력을 향상시키기 위해 샌드블라스트를 사용한 표면처리를 추천하고 있다. 50 μm 알루미나 입자를 0.1-0.2 MPa의 공기압으로 처리하는 전처리가 접착 내구성을 위해 가장 효과적인 방법으로 보고되었으나, 블록 표면 아래에 생성될 수 있는 미세균열(1-10 μm)은 블록의 내구성에 영향을 줄 수 있다고 한다(33, 34).

세라믹 수복물을 접착시키는 경우 일반적으로 세라믹의 표면에너지와 젖음성을 화학적으로 증가시키기 위해 실란 프라이머를 주로 사용하고 있다. Hydroxyl기 및 organofunctional기를 포함하는 실란은 실리카와 레진과의 접착력을 향상시킬 수 있는데, 실란 프라이머는 접착촉진제 역할 뿐 아니라 젖음성을 개선하여 세라믹 수복물과 컴포지트 레진을 화학적으로 결합시키는 역할을 할 수 있다(35, 36). 임상 편의성 개선을 위해 개발된 universal adhesive는 치질(법랑질, 상아질), 직접 수복물(컴포지트 레진) 및 간접 수복물(지르코니아, 금속, 글라스-세라믹 및 컴포지트 레진) 등과 접착할 수 있다고 한다. 대부분의 universal adhesive는 MDP 등과 같은 기능성 단량체를 포함하고 있으며, 이러한 접착 시스템으로 실란 프라이머를 추가 적용하지 않아도 다양한 소재의 치과용 수복물과 접착할 수 있다고 한다(37) 그러나, 글라스를 많이 함유하는 세라믹의 경우 접착력을 향상시키기 위하여 실란을 추가로 적용하거나, 실란이 함유된 universal adhesive (Clearfil Universal Bond, Kuraray Noritake, Japan; Single Bond Universal, 3M Oral Care, USA)를 적용하기도 한다.

현재 임상에서 사용하고 있는 다양한 유형의 CAD/CAM 블록들은 블록의 구성 성분, 미세구조 및 표면처리법 등에 따라 접착력이 크게 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 임상에서 사용되는 CAD/CAM 블록 중에서 실리카를 함유하는 블록 6종을 선택하여 2가지 표면처리법과 실란 프라이머 적용 여부에 따른 접착강도 차이를 평가하였고, 현재 사용 중인 universal adhesive 5종의 접착력도 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

국내·외 제조업체에서 개발한 실리카 함유 CAD/CAM 블록 6종을 선택하였으며, 이들의 주요 성분, 유형 및 제조사 등은 Table 1에 정리하였다. 하이브리드 컴포지트 세라믹 블록 2종(VTE, AMH), 백류석-강화형 글라스-세라믹 블록 1종(EMP) 및 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 3종(EMX, AMM 및 RSS)의 접착력을 평가하기 위하여 현재 임상에서 사용하는 국내·외 universal adhesive 제품 5종(All Bond Universal, Prime&Bond Universal, Single Bond Universal, EZ Bond Universal, Hi-Bond Universal)을 선정하였고,

그들의 상세한 정보들은 Table 2에 정리하였다

실리카 함유 CAD/CAM 블록은 저속 다이아몬드 톱(Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, USA)으로 약 6 mm 두께로 절단한 후, 필요한 경우 제조사가 제시한 방법으로 최종 소결처리한 다음, 자가-중합형 아크릴 레진으로 포매하였다. 포매한 시편의 표면을 #600, #800 및 #1,000 SiC 연마지로 순차적으로 연마한 다음 우선 2개 실험군(SB, HF)으로 분류하였다(n=15개/실험군).

2. 방법

1) 시편 표면처리

첫 번째(SB) 실험군은 시편의 표면에서 일정한 거리(약 10 mm)에서 Al₂O₃ 입자(50 μm)를 이용하여 수직으로 샌

Table 1. Silicate containing dental CAD/CAM blocks used in this study

Code	Block	Type of block	Manufacturer
VTE	Vita Enamic, HT	Hybrid ceramic with dual ceramic-polymer cross-linked structure	Vita, Germany
AMH	Amber Mill H, HT	Nano-crystalline hybrid composite ceramic	Hass, Korea
EMP	IPS Empress CAD, HT	leucite reinforced glass-ceramic	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
EMX	IPS e.max CAD	lithium disilicate glass-ceramic	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
AMM	Amber Mill	lithium disilicate glass-ceramic	Hass, Korea
RSS	Rosetta SM	lithium disilicate glass-ceramic	Hass, Korea

Table 2. Universal adhesives used in this study

Code	Universal Adhesive	Main Components	pH	Manufacturer
ABU	All-Bond Universal	10-MDP, Bis-GMA, HEMA, ethanol, water, unfilled	3.2	Bisco, Schaumburg, IL, USA
PBU	Prime&Bond Universal	PENTA, 10-MDP, isopropanol, water, unfilled	2.5	Dentsply Sirona, York, PA, USA
SBU	Single Bond Universal	10-MDP, HEMA, dimethacrylate, Vitrebond copolymer, ethanol, water, silane, filler	2.7	3M ESPE, Saint Paul, MN, USA
EZU	EZ Bond Universal	10-MDP, Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, HEMA, ethanol, silica filler	2.2	MetaBiomed, Cheongju, Korea
HBU	Hi-Bond Universal	10-MDP, PVP, ethanol, water, silanized BAG	3.2	Mediclus, Cheongju, Korea

드블라스팅(0.2 MPa 공기압) 처리하였다. 샌드블라스팅 처리한 시편은 증류수에서 5분간 초음파 세척하고, 건조기에서 24시간 건조하였다.

두 번째(HF) 실험군은 시편의 표면을 4.5% HF용액(IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)으로 60초간 산-부식처리하고 증류수에서 5분간 초음파 세척한 다음, 건조기에서 24시간 건조하였다.

2) 시편 표면 분석

표면처리한 시편의 표면거칠기는 공초점주사현미경(LSM 800, Carl Zeiss, Jena, Germany)으로 각 실험군당 시편 3개를 측정하였다. Gaussian 필터를 이용하여 $20\times$ 배율로 균일한 형상을 보이는 면적($320\ \mu\text{m} \times 320\ \mu\text{m}$)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.

표면처리한 시편의 표면에너지를 평가하기 위하여 표면거칠기 측정을 완료한 시편을 대상으로 젖음성(wettability)을 측정하였다. 시편 표면에서 증류수 방울의 접촉각(θ)을 Contact Angle Analyzer (Phoenix 300x, SEO, Korea)를 사용하여 측정하였다. 낙하 표면을 지속적으로 모니터링하였으며, 증류수 낙하물이 정지하고 20초 후에 왼쪽과 오른쪽 접촉각을 측정하였고, 내장된 컴퓨터 프로그램으로 wetting energy를 계산하였다.

표면처리한 시편 표면의 형상을 비교하기 위하여 전계방출형 주사전자현미경(Apreo S, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)에서 1k 및 10k 배율로 관찰하여 표면의 미세 구조 등을 비교하였다.

3) 전단접착강도 측정

표면처리한 CAD/CAM 블록 시편을 다시 2개 실험군으로 재분류하여 첫 번째 실험군은 표면에 universal

adhesive를 각 제조자의 설명서에 따라 접착제가 균일하게 코팅되도록 마이크로 브러시로 1회 도포하고 제조자의 설명서에 따라 중합하였다. 두 번째 실험군은 시편 표면에 pre-hydrolyzed 실란 프라이머(Porcelain Primer, Bisco, USA)를 적용한 후 건조시킨 다음 universal adhesive를 각 제조자의 설명서에 따라 균일하게 코팅되도록 마이크로 브러시로 1회 도포하고 제조자의 설명서에 따라 중합하였다.

적용된 접착제 층이 중합되면 ISO 29022:2013에서 추천된 구멍 안지름이 $2.38\pm 0.03\ \text{mm}$ 인 백색 플라스틱 버튼 몰드(part #34228, Ultradent Products Inc., USA)를 올려놓고, 구멍에 광-중합형 컴포지트 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-조사하여 접착시켰다.

컴포지트 레진을 접착한 시편들은 37°C 수조에서 24시간 보관한 다음 접착강도를 측정하였다. 만능시험기(Instron 8871, Norwood, MA, USA)의 측정 지그에 시편을 장착한 후, 접착한 컴포지트 레진이 CAD/CAM 블록에서 분리될 때까지 일정한 하중속도($1.0\pm 0.1\ \text{mm/min}$)로 시편의 접착면에 하중을 가하였다. 접착된 컴포지트 레진이 블록에서 분리될 때 가해진 최대 힘(N)을 기록하여 전단접착강도를 계산하였다.

4) 통계분석

표면거칠기와 접촉각 시험은 각 실험군당 5개 시편을 대상으로 3회 반복한 측정된 다음 평균값과 표준편차를 구하였으며, One-way Analysis of Variance와 Tukey-multiple comparison test($\alpha=0.05$)로 통계 분석하였다. 전단접착강도 시험에서 실험군당 15개 측정값들은 One-way Analysis of Variance 통계 분석하였고, pair-wise comparison을 Tukey multiple comparison test로 수행하였다. 또한, 측정된 표면거칠기 측정값들과 전단접착강도와의 상관성을 비교하였다.

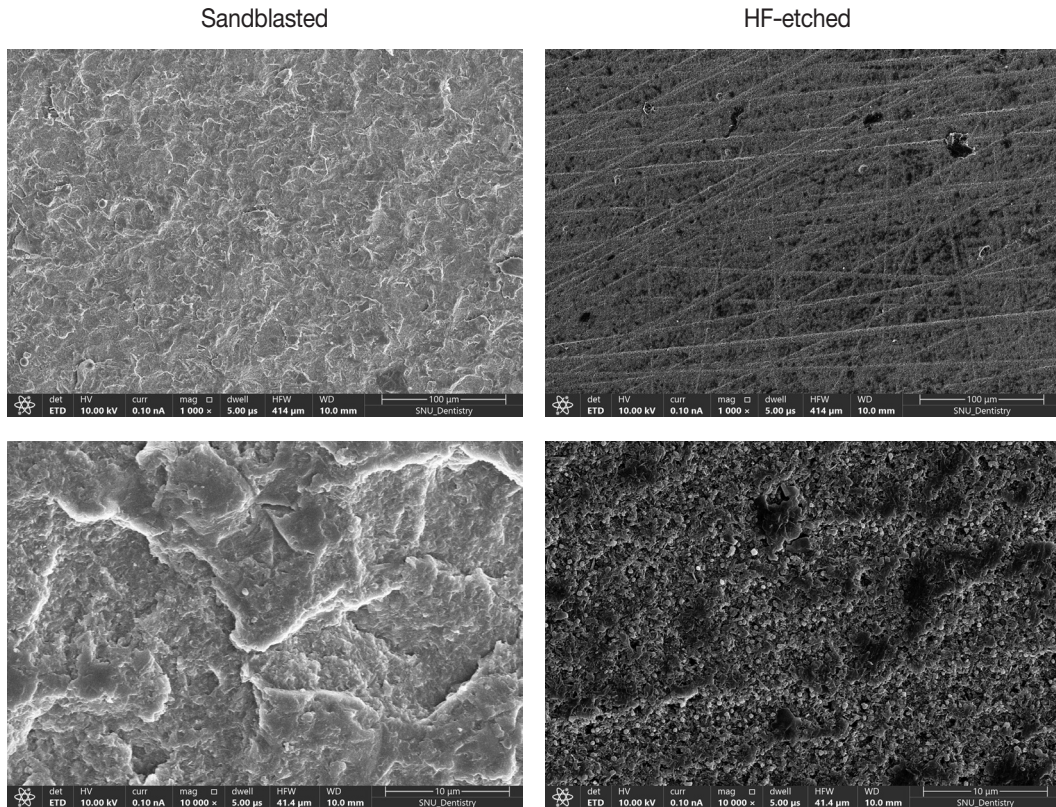
결과

샌드블라스팅-처리 (좌측) 또는 HF-처리한 (우측) 시편의 표면을 FE-SEM으로 관찰한 사진은 그림 1과 같다. 하이브리드 컴포ジット 세라믹 블록인 VTE와 AMH는 유사한 표면 형상을 보였는데, 샌드블라스팅-처리한 표면과 HF-처리한 표면은 큰 차이를 보였다. 백류석-강화형 글라스-세라믹 블록인 EMP의 경우는 하이브리드 컴포ジット 세라믹 블록과 유사한 표면 형상을 보였으며, HF-처리한 표면에서는 미세한 기공들이 관찰되었다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹(EMX, AMM 및 RSS)의 경우 샌드블라스팅-처리한 표면 형상은 제품간 큰 차이를 보이지 않았지만, HF-처리한 표면 형상은 결정상 입자의 크기 등에 따라 제품간 큰 차이를 보였다.

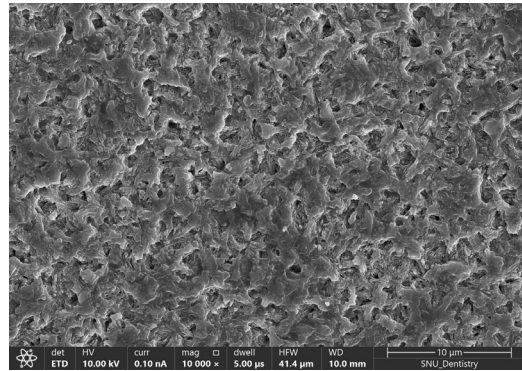
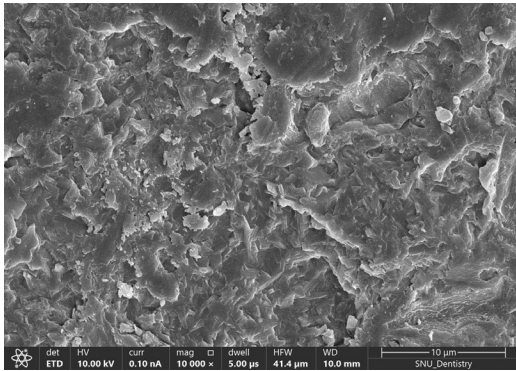
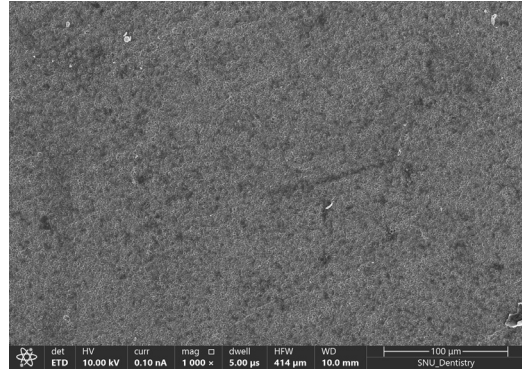
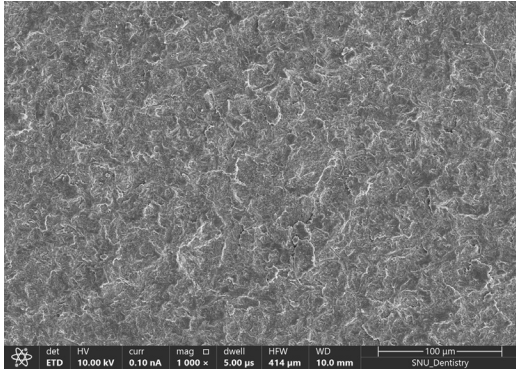
공초점주사현미경으로 시편의 표면거칠기(R_a , S_a)를 측정된 결과와 샌드블라스팅과 HF-처리한 실험군의 t-test한 결과는 Table 3과 같다(샌드블라스팅-처리, 좌

측; HF-처리, 우측). 하이브리드 컴포ジット 세라믹 블록인 AMH의 표면거칠기가 유의하게 가장 큰 값으로 관찰되었으며, 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹인 EMX, AMM 및 RSS의 경우는 상대적으로 적은 거칠기를 보였는데, HF-처리한 표면이 SB-처리한 시편보다 유의하게 낮은 거칠기가 관찰되었다. 백류석-강화형 글라스-세라믹 블록인 EMP의 경우는 하이브리드 컴포ジット 세라믹 블록과 유사하게 거친 표면 양상을 보였다.

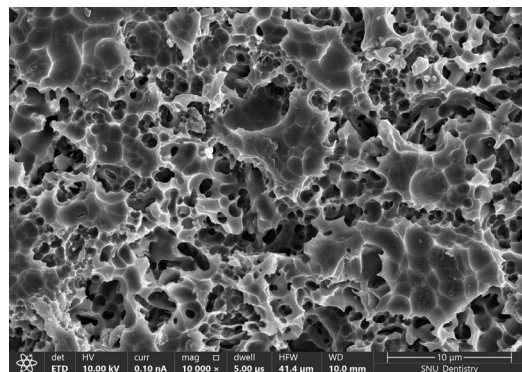
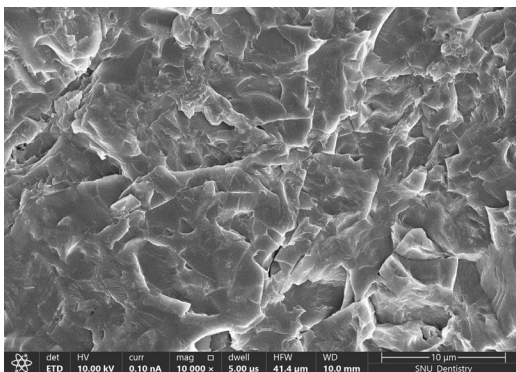
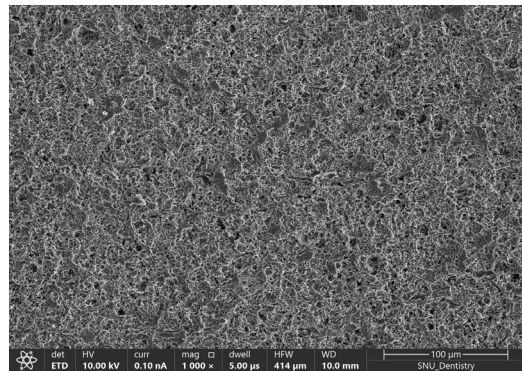
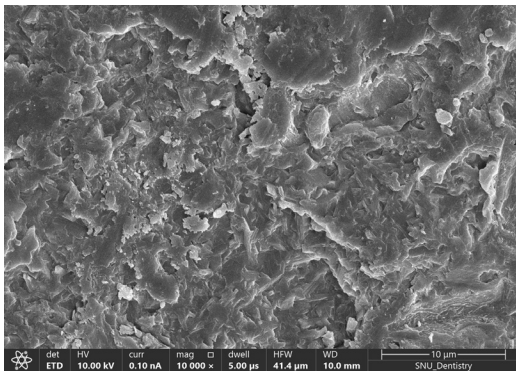
시편 표면을 샌드블라스팅 및 불산으로 처리한 다음 접촉각(contact angle)과 젖음성(wetting energy)를 측정된 결과는 Table 4와 같다. 하이브리드 컴포ジット 세라믹 블록인 VTE와 AMH의 접촉각이 유의하게 높았고($p < 0.05$), 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹인 EMX, AMM 및 RSS의 접촉각이 유의하게 낮았으며($p < 0.05$), 백류석-강화형 글라스-세라믹 블록인 EMP의 접촉각이 중간 값으로 관찰되었다. 또한, 각 실험군의 표면에너지는 이와 반대의 양상을 보였다.



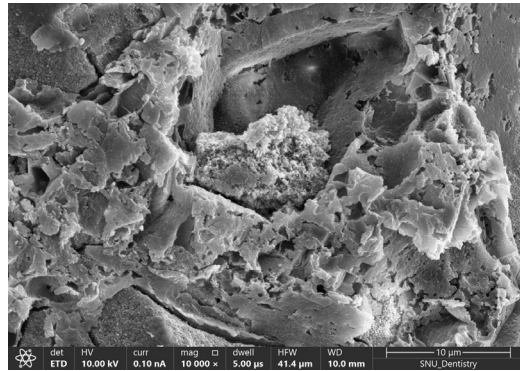
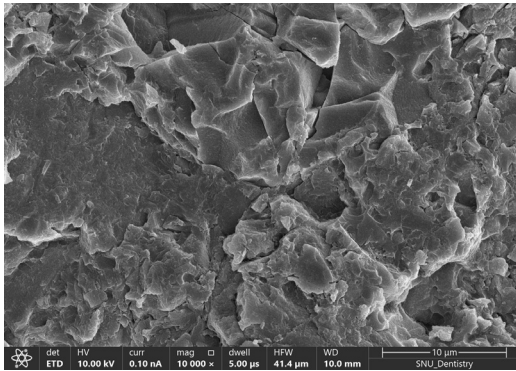
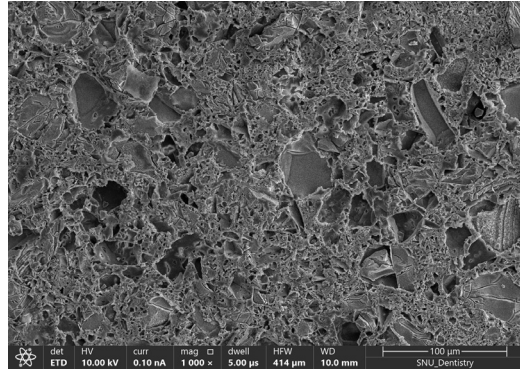
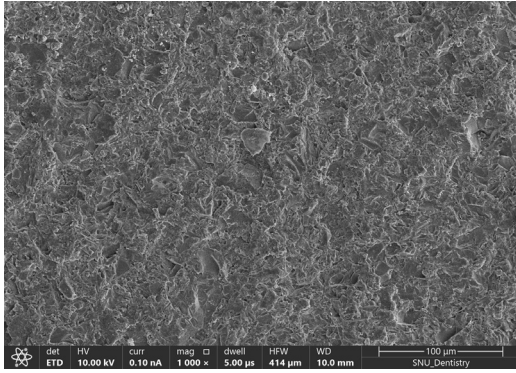
Vita Enamic, HT (VTE)



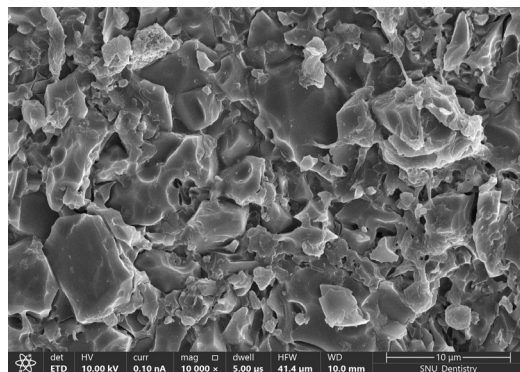
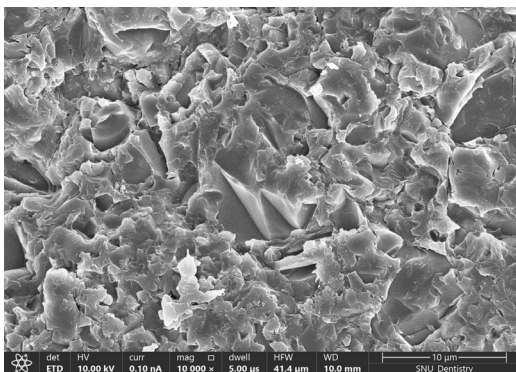
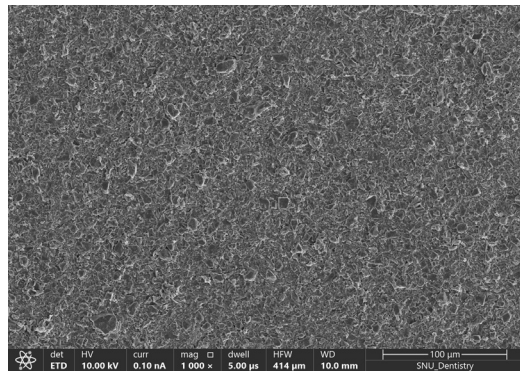
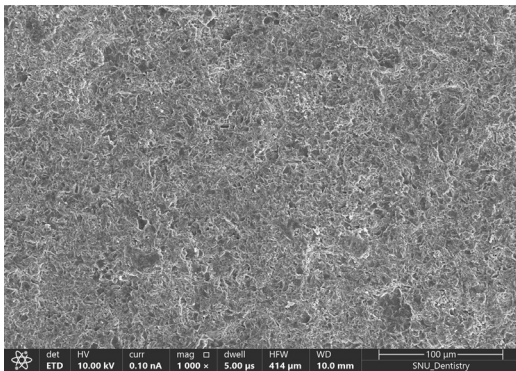
Amber Mill H, HT (AMH)



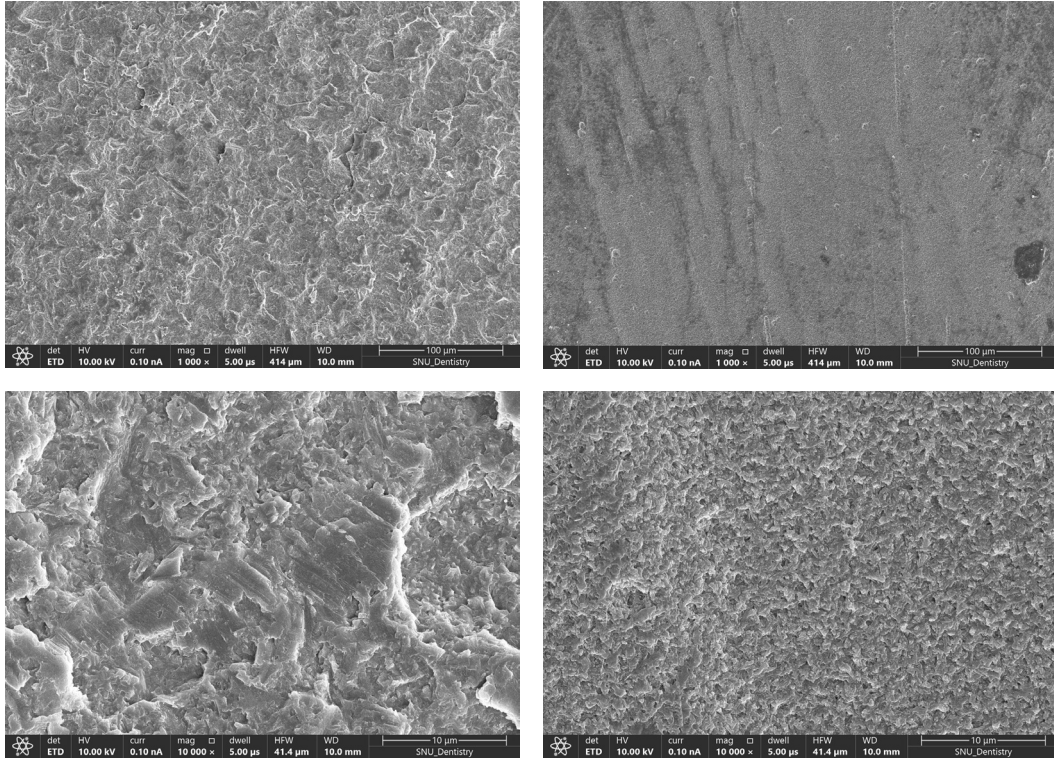
IPS Empress CAD, HT (EMP)



IPS e.max CAD (EMX)



Amber Mill (AMM)



Rosetta SM (RSS)

Figure 1. Surface morphologies CAD/CAM blocks after sandblasting or HF-etching treatment (left = sandblasted surface, right = HF-etched surface).

실리카 함유 CAD/CAM 블록 표면을 샌드블라스팅-처리한 후 5종의 universal adhesive로 컴포짓트 레진을 접착시켜 측정된 전단접착강도 값은 Table 5에 정리하였다. 하이브리드 컴포짓트 세라믹 블록인 VTE와 AMH는 실란 프라이머의 추가 적용 유·무에 관계없이 5종의 universal adhesive 모두에서 20 MPa 이상의 높은 접착력을 보였다. 반면, 백류석-강화형 글라스-세라믹인 EMP와 리튬-다이실리케이트 강화형 글라스-세라믹인 EMX, AMM 및 RSS의 경우에는 실란 프라이머를 적용하지 않은 경우 접착력은 모두 20 MPa 이하의 다소 낮은 값을 보였지만, 실란 프라이머를 적용한 경우 접착력은 모두 유의하게 증가되었고($p < 0.01$), PBU universal adhesive를 제외한 모든 접착제에서 20 MPa 이상의 값을 보였다.

CAD/CAM 블록 표면을 HF-처리한 후 5종의 universal adhesive로 컴포짓트 레진을 접착시켜 측정된 전단접착

강도 측정값은 Table 6에 정리하였다. 하이브리드 컴포짓트 세라믹 블록과 백류석-강화형 글라스-세라믹 블록은 실란 프라이머의 추가 적용 유·무에 관계없이 5종의 universal adhesive 모두에서 20 MPa 이상의 높은 접착력을 보였다. 반면, 리튬-다이실리케이트 강화형 글라스-세라믹인 EMX, AMM 및 RSS에서는 실란 프라이머를 추가로 적용하지 않고 EZU universal adhesive로 접착한 경우에만 20 MPa 이하의 유의하게 낮은 값을 보였는데, 실란 프라이머를 추가로 적용한 경우 접착력은 모두 유의하게 증가되었고($p < 0.01$), 모든 접착제에서 20 MPa 이상의 값을 보였다.

실험군의 표면거칠기 측정값(R_a)과 5종의 universal adhesive에 따른 전단접착강도 측정값과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 7과 같다. 샌드블라스팅-처리한 시편에서 실란 프라이머를 추가로 적용하지 않는 경우는 모든 universal adhesive에서 높은 상관계수($R = 0.7591 -$

Table 3. Surface roughness (μm) of CAD/CAM blocks after surface treatments

Blocks	Line Roughness, Ra (μm)			Area Roughness, Sa (μm)		
	SB	HF	t-test	SB	HF	t-test
VTE	1.06 \pm 0.08 ^a	1.02 \pm 0.22 ^d	0.782	2.20 \pm 0.40 ^{f,g}	1.11 \pm 0.23 ^j	0.015
AMH	1.38 \pm 0.21 ^c	1.90 \pm 0.30 ^d	0.070	3.05 \pm 0.22 ⁱ	2.53 \pm 0.49 ^j	0.169
EMP	1.07 \pm 0.12 ^a	0.97 \pm 0.09 ^d	0.312	2.32 \pm 0.10 ^f	1.16 \pm 0.08 ^j	<0.001
EMX	0.71 \pm 0.02 ^b	0.22 \pm 0.03 ^e	<0.001	1.30 \pm 0.19 ^h	0.23 \pm 0.01 ^{l,k}	<0.001
AMM	0.81 \pm 0.05 ^{a,b}	0.21 \pm 0.04 ^e	<0.001	1.71 \pm 0.34 ^{g,h}	0.26 \pm 0.06 ^{j,k}	0.002
RSS	0.79 \pm 0.03 ^{a,b}	0.22 \pm 0.01 ^e	<0.001	1.50 \pm 0.16 ^{g,h}	0.53 \pm 0.12 ^{j,k}	0.001

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

Table 4. Contact angle (wetting energy) of CAD/CAM blocks after surface treatments

Blocks	Sandblasted (SB)			HF-treated (HF)		
	Contact Angle (°)		Wetting Energy (mN/m)	Contact Angle (°)		Wetting Energy (mN/m)
	Left	Right		Left	Right	
VTE	61.47 \pm 5.87 ^a	61.47 \pm 5.90 ^d	34.59 \pm 6.46 ^h	62.78 \pm 6.31 ^a	62.56 \pm 6.24 ^d	32.65 \pm 4.89 ^h
AMH	68.76 \pm 4.94 ^a	68.78 \pm 5.31 ^d	26.90 \pm 5.06 ^g	70.57 \pm 4.79 ^a	70.37 \pm 4.95 ^d	23.87 \pm 4.63 ^g
EMP	46.47 \pm 7.85 ^{b,c}	46.99 \pm 7.07 ^e	46.93 \pm 6.90 ^h	52.66 \pm 7.73 ^b	52.96 \pm 8.43 ^e	43.81 \pm 7.49 ^h
EMX	38.70 \pm 9.72 ^c	39.45 \pm 9.42 ^f	54.49 \pm 8.91 ⁱ	35.69 \pm 5.31 ^c	37.54 \pm 7.40 ^f	58.60 \pm 5.22 ⁱ
AMM	32.93 \pm 6.80 ^c	33.05 \pm 5.56 ^f	58.31 \pm 6.70 ⁱ	36.59 \pm 5.87 ^c	37.19 \pm 5.58 ^f	57.69 \pm 5.25 ⁱ
RSS	39.77 \pm 4.42 ^c	39.94 \pm 5.27 ^f	55.14 \pm 6.20 ⁱ	35.18 \pm 7.52 ^c	35.50 \pm 7.84 ^f	58.23 \pm 6.46 ⁱ

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

0.8800)를 보여 표면이 거칠어질수록 접착력이 증가되는 양상이 관찰되었다. 반면, 실란을 추가로 적용한 경우에는 사용한 universal adhesive에 따라 상관계수는 EBU의 0.4860에서 PBU의 0.8285로 차이를 보였다. 불산-처리한 시편에서는 실란 프라이머를 적용하지 않는 경우

는 HBU(0.4787)를 제외한 universal adhesive에서 높은 상관계수($R=0.7395 - 0.8686$)를 보인 반면, 실란 프라이머를 추가로 적용한 경우에는 표면거칠기가 접착력과의 상관성은 매우 낮아서 표면거칠기가 중요한 역할을 하지 못한 것으로 보였다.

Table 5. Shear bond strength to the sandblasted (SB) CAD/CAM blocks after 24 hrs

Blocks	Silane Primer	Universal adhesive				
		ABU	PBU	SUB	EZU	HBU
VTE	no	24,51±5,63 ^{a,b}	23,15±4,87 ^{a,b}	26,66±5,23 ^a	21,51±4,34 ^b	24,32±4,77 ^{a,b}
	yes	24,68±5,40 ^c	24,10±5,03 ^c	27,14±4,18 ^c	25,64±4,58 ^c	26,41±4,54 ^c
AMH	no	26,45±4,90 ^d	25,70±4,87 ^d	27,05±5,60 ^d	25,25±4,72 ^d	26,19±4,50 ^d
	yes	27,22±5,23 ^e	25,03±4,05 ^e	27,99±4,82 ^e	26,87±4,08 ^e	26,76±4,67 ^e
EMP	no	13,18±3,60 ^{f,g}	11,32±3,04 ^g	12,59±3,43 ^{f,g}	9,74±3,53 ^g	15,88±4,09 ^f
	yes	23,09±3,65 ^h	18,86±4,51 ⁱ	23,45±4,27 ^h	22,25±4,14 ^{h,i}	24,26±2,98 ^h
EMX	no	12,88±3,53 ^j	12,63±2,30 ^j	13,70±3,47 ^j	12,39±3,30 ^j	13,16±3,21 ^j
	yes	24,38±3,61 ^k	18,64±4,43 ^l	24,67±4,26 ^k	24,97±3,69 ^k	24,20±4,04 ^k
AMM	no	13,98±3,13 ^m	11,86±2,40 ^{m,n}	13,11±3,72 ^{m,n}	9,90±3,26 ⁿ	12,58±3,62 ^{m,n}
	yes	24,84±3,01 ^o	18,27±3,61 ^p	23,32±4,61 ^o	23,16±4,30 ^o	22,47±3,40 ^o
RSS	no	11,40±2,85 ^q	11,85±2,98 ^q	13,14±4,14 ^q	10,22±3,60 ^q	13,20±3,55 ^q
	yes	23,65±3,12 ^r	18,33±3,80 ^s	22,02±3,80 ^{r,s}	24,05±4,21 ^r	22,66±3,58 ^r

Note: Means within rows with the same superscript letter were not different ($p > 0,05$).

Table 6. Shear bond strength of the HF-treated (HF) CAD/CAM blocks after 24 hrs

Blocks	Silane Primer	Universal adhesive				
		ABU	PBU	SUB	EZU	HBU
VTE	no	25,69±4,27 ^{a,b}	21,08±3,83 ^b	26,08±4,56 ^a	22,64±5,56 ^{a,b}	23,86±4,92 ^{a,b}
	yes	24,69±3,74 ^c	24,56±5,80 ^c	30,91±3,17 ^d	23,97±4,47 ^c	24,64±3,97 ^c
AMH	no	25,50±4,79 ^e	23,67±4,67 ^e	25,14±4,64 ^e	21,06±4,52 ^e	24,08±5,36 ^e
	yes	24,82±4,54 ^f	23,58±4,42 ^f	29,57±3,69 ^g	25,03±5,17 ^f	25,14±4,14 ^f
EMP	no	24,41±4,16 ^h	24,13±5,37 ^h	23,66±5,10 ^h	20,33±3,85 ^h	23,89±4,76 ^h
	yes	24,47±3,13 ⁱ	25,96±4,15 ⁱ	24,40±5,41 ⁱ	26,25±3,90 ^j	25,29±4,42 ⁱ
EMX	no	23,53±4,78 ^j	21,58±4,70 ^j	22,48±5,52 ^j	12,75±4,45 ^k	23,88±5,26 ^j
	yes	24,82±4,69 ^l	26,48±5,15 ^l	31,88±3,50 ^m	25,99±2,54 ^l	24,72±5,39 ^l
AMM	no	23,04±4,74 ⁿ	18,44±4,68 ⁿ	21,29±5,75 ⁿ	14,60±3,49 ^o	21,42±4,46 ⁿ
	yes	25,69±3,98 ^{p,q}	23,40±5,53 ^q	28,71±4,69 ^p	27,16±4,62 ^{p,q}	23,00±4,92 ^q
RSS	no	23,60±4,31 ^r	19,65±3,59 ^r	20,55±5,31 ^r	13,96±3,95 ^s	23,74±4,98 ^r
	yes	24,66±4,33 ^t	25,69±4,25 ^{t,u}	29,42±2,84 ^u	26,53±3,58 ^{t,u}	25,84±4,85 ^{t,u}

Note: Means within rows with the same superscript letter were not different ($p > 0,05$).

Table 7. Correlation (R) between surface roughness (Ra) and shear bond strength

Universal Adhesive	Sandblasted		HF-etched	
	No Silane	With Silane	No Silane	With Silane
SUB	0.7591	0.7371	0.8075	-0.1639
PBU	0.7904	0.8285	0.7395	-0.4169
ABU	0.8169	0.6297	0.8686	-0.3443
EZU	0.7804	0.4860	0.8362	-0.6449
HBU	0.8800	0.7998	0.4787	0.2799

고찰

지난 10여년간 치의학 분야, 특히 치과용 보철물 제작 분야에서 CAD/CAM 기술이 대중화되어 CAD/CAM 블록을 가공하여 비니어, 인레이, 온레이 및 크라운 등 광범위하게 임상에 적용하고 있다. 주로 사용되고 있는 CAD/CAM 세라믹 블록은 실리케이트 세라믹, 산화물 세라믹 및 하이브리드 컴포지트 세라믹 등으로 분류할 수 있다. 지르코니아 등의 산화물 세라믹은 기계적 특성이 우수하고, 실리케이트 세라믹은 심미성이 우수하며, 하이브리드 컴포지트 세라믹은 기존 세라믹보다 가공성이 우수한 것으로 알려져 있다(38, 39). 우수한 심미 특성을 가지는 실리카계 글라스-세라믹은 기계적 강도가 다소 부족하여 대부분 다양한 유형의 결정상(백류석, 불화인회석 및 리튬-다이실리케이트)을 분산시켜 합성한 강화형 글라스-세라믹으로 사용되고 있다. 실리카계 세라믹에는 장석(feldspathic) 글라스-세라믹, 백류석-강화형 글라스-세라믹, 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹, 지르코니아 강화형 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 및 하이브리드 컴포지트 세라믹 등이 있는데, 모두 산-처리하여 치질에 접착할 수 있다는 장점이 있다(40, 41).

글라스-세라믹의 안정적인 접착은 수복물의 장기적인 성공에 중요한 요소로 다양한 표면처리 방법들이 제시되었는데, 대부분 HF를 이용한 화학적 처리, 샌드블라스팅의 물리적 처리 및 실란 프라이머 적용 등을 사용하고 있다. 알루미늄 입자(30-50 μm)를 사용한 샌드블라스팅은 세

라믹의 표면거칠기를 증가시킬 수 있지만, 글라스-세라믹의 경우는 굴곡강도를 감소시키고 조기 파절을 유발할 수 있으므로 적합하지 않다는 연구 보고도 있다(42, 43). 높은 농도의 HF로 처리한 경우에서도 유사한 문제가 발생할 수 있다고 한다(8). 불산-처리하는 HF 농도와 적용시간을 변화시켜 기계적미세유지력 생성을 위한 다양한 표면 불규칙성 패턴을 형성할 수 있다. 실리카는 HF와 반응하여 SiF₄가 되어 F₆Si-2를 형성하고, 물에 쉽게 용해되는 tetrafluorosilicic acid로 전환된다(44, 45). 이전 연구에서는 높은 농도(>5%)의 HF가 글라스 기질의 과도한 용해를 유발하여 특히 두께가 얇은 수복물의 경우 기계적 특성이 손상될 수 있다고 하였다(46). 고농도 HF-처리의 부정적인 영향은 세라믹 소재에 따라 차이가 있을 수 있는데, 다량의 실리카를 함유하고 있는 글라스-세라믹은 더 큰 영향을 받을 수 있다.

임상에서 허용되는 접착 수복물의 최소 미세전단접착 강도(μSBS) 값으로 10-13 MPa이 제안된 바 있다(47, 48). 본 연구 결과에서는 블록을 샌드블라스팅처리한 경우 백류석-강화형(EMP)과 일부 리튬-다이실리케이트(AMM) 글라스-세라믹에서 이 조건을 만족하지 못한 것이 관찰되었으나, 샌드블라스팅처리한 후 실란 프라이머를 적용한 경우에는 접착강도가 크게 향상되어 모든 실험군에서 제시된 조건을 만족시키는 것으로 관찰되었다. 또한, 블록을 불산으로 처리한 경우에는 실란 프라이머 적용 유·무에 관계없이 모두 임상에서 요구되는 최소 접착 강도를 보였다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹의

경우 FE-SEM으로 관찰한 샌드블라스팅-처리한 표면 형상은 실험군(EMX, AMM 및 RSS)에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만, HF-처리한 표면의 형상은 결정상 유형(형상, 유형, 크기 및 함량 등)의 차이로 실험군에 따른 유의한 차이가 관찰되었다. 하이브리드 컴포지트 세라믹(VTE, AMH)과 백류석-강화형 글라스-세라믹(EMP)의 경우는 샌드블라스팅-처리한 표면과 HF-처리한 표면간 차이도 관찰되었다. 또한, 공초점주사현미경으로 시편의 표면거칠기를 측정하였는데, 하이브리드 컴포지트 세라믹인 AMH의 표면 거칠기가 유의하게 가장 크게 관찰되었으며, VTE와 백류석-강화형 글라스-세라믹인 EMP가 그 다음의 거칠기를 보였다. 반면, 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹인 EMX, AMM 및 RSS는 표면처리에 관계없이 유의하게 낮은 거칠기를 보였고, HF-처리한 경우는 표면거칠기는 샌드블라스팅-처리한 경우 보다 약 2배 정도 증가하였는데, 이러한 표면거칠기 차이가 접착력에 유의한 영향을 준 것으로 보였다.

Almiro 등 (2022)은 평가한 3가지 변수(HF 농도, 적용 시간 및 실란의 종류)가 세라믹-레진 계면의 미세인장접착강도에 유의한 영향을 준 것으로 관찰되어 정확한 HF 농도, 적용시간 및 적절한 실란을 선택하는 것이 중요하다고 하였다(49). 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹은 세라믹 표면의 손상을 최소화하기 위해 제조사에서는 일반적으로 4.9% HF로 20초간 산-처리를 추천하고 있다. 그러나 이전 연구에서 9.5% HF로 60초간 산-처리로 더 적합한 표면처리 패턴이 관찰되어 HF 농도와 산-처리시간을 증가하면 접착에 유리하다는 연구 결과도 보고된 바 있다(45). Soares 등 (2005)은 9.5% HF로 20초간 처리한 경우 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹에서 적절한 접착 표면을 형성할 수 있고 하였다. 이러한 결과는 산-처리 시간이 길어질수록 표면거칠기가 증가되어 미세기계적 유지력의 향상으로 접착력이 높아진 것으로 보였으며, HF 농도는 글라스-세라믹의 굴곡강도에 영향을 미치지 않는다고 하였다(50). 이들의 연구 결과에서 볼 수 있듯이 산-처리 시간과 실란의 종류에 비해 HF의 농도가 가장 큰 영향을 미치는 요인이었으며, 이는 산-처리의 공격성으로 인해 글라스 기질이 더 많이 용해될수록

접착력이 높아진다는 것을 의미하는데, 물론 이때 적절한 실란 프라이머 선택도 중요할 수 있으며, 접착하려는 글라스-세라믹 수복물의 조성도와 두께도 함께 고려해야 한다(51). 화학적 표면 개질은 HF-처리 후에 발생하며, 결정 형태가 변경된 $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ needle-상에 LiSiF 나노 석출물이 형성될 수 있는데, 이러한 needle-상은 실란과의 접착을 개선하고 표면에 추가적인 나노 거칠기를 제공하여 3차원 실록산 네트워크의 밀도를 높일 수 있다고 한다(52). 백류석-강화형 글라스-세라믹과 하이브리드 컴포지트 레진 세라믹의 경우 90초간 산-처리한 경우 우수한 미세전단접착강도(μSBS) 결과를 보여 산-처리 시간이 길어져도 이러한 CAD/CAM 소재에는 부정적인 영향을 미치지 않다. 리튬-다이실리케이트의 경우, 9.5% HF로 60초간 처리하여 우수한 접착강도를 얻을 수 있었고, 30초와 60초 처리시간 사이에는 큰 차이가 없었기 때문에 리튬-다이실리케이트의 경우 제조사의 권장시간에 더 높은 농도의 HF를 사용하거나 제조사의 권장 HF 농도로 더 긴 처리시간을 적용하는 것을 제안하기도 하였다(12). 글라스-세라믹의 성분에 따라 추천된 HF-처리 조건에 차이가 있었지만, 본 연구에서는 농도가 낮은 4.5% HF를 사용하여 6종의 다양한 유형의 실리케이트 함유 블록을 60초간 동일하게 처리하여 접착력을 평가하였다.

실란 프라이머 적용은 실리카계 세라믹의 접착에서 중요한 역할을 한다. 실란은 이중 반응성을 통해 siloxane 결합을 형성하여 이중 무기물과 유기물 간의 접착력을 높이는 매개체 역할을 한다. Organo-functional trialkoxysilane esters 실란은 레진과 C=C 결합으로 공중합할 수 있다. 특히 실란의 가수분해된 alkoxy group은 리튬-다이실리케이트 및 글라스 기질의 OH기와 반응하여 공유 siloxane 결합을 형성할 수 있다(53). 실란을 도포한 후 중간 단계에서 3가지 층의 구조가 관찰되는데, 가장 바깥쪽 층은 글라스에 물리적으로 흡수되는 작은 올리고머로 구성되어 상온에서 유기 용매나 물로 쉽게 씻어낼 수 있다. 글라스 표면에 근접한 두 번째 층은 올리고머를 연결하는 몇 개의 siloxane 결합을 제외하고는 외부 층과 유사한 올리고머로 구성되어 뜨거운 물에 의해 가수분해된다. 글라스와 가까운 영역에서는 층의 균일성과 과

차결합 정도가 증가하고 매우 안정적인 규칙적인 3D 네트워크가 형성된다. 표면의 이 마지막 접착제 층이 세라믹에 대한 안정성과 접착강도에 중요한 역할을 한다(54). 실란의 젖음성은 평가한 대부분의 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹에 적합한 것으로 보였으며, 실란 적용에 따라 접착력 향상이 관찰되었다. 실험군에 따라 글라스상의 낮은 임계 표면장력으로 실란 젖음성에 약간의 차이가 있었는데, 이는 실험군에서 얻은 낮은 접착강도와 많은 양의 pre-test 실패를 설명할 수도 있다고 하였다. 따라서 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹에 우수한 접착을 얻으려면 HF-처리 후 실란 프라이머를 적용하여 강한 siloxane 결합으로 화학결합이 될 수 있도록 유도하는 것이 필요하다.

본 연구에서 평가한 하이브리드 컴포ジット 세라믹의 경우 표면처리법(SB, HF)에 관계없이 실란 프라이머 추가 적용은 접착력을 유의하게 증가시키지 못한 것으로 관찰되었으며, 백류석-강화형 글라스-세라믹은 샌드블라스팅-처리한 경우에서만 실란 추가 적용이 접착력 향상에 기여한 것으로 보였다. 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹은 샌드블라스팅처리한 경우 실란을 추가 적용하면 사용한 모든 universal adhesive에서 접착력이 약 2배 정도 증가되는 것으로 관찰된 반면, HF-처리한 경우는 실란 추가 적용에 따른 접착력 향상 효과가 사용한 universal adhesive에 따라 상이하게 관찰되었다. 즉, 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹을 샌드블라스팅-처리한 경우에는 실란 추가 적용이 필수적이지만, HF-처리한 경우에는 실란 추가 적용이 선택적일 수 있는 것으로 보였다.

진료시간을 단축하고 접착 술식의 오류를 줄이면서도 치질을 포함한 다양한 수복물에 적용할 수 있는 접착제가 절실히 요구되어 왔다. 기존의 치질에 대한 접착 술식은 일반적으로 치아 및 수복물에 대한 산-처리, 프라이머 및 접착제인 도포 등 여러 단계로 구성되었다. Universal adhesive는 추가적인 coupling agent 없이도 다양한 기질(치질 구조, 컴포ジット 레진, 글라스-세라믹 및 세라믹 등)에 화학적 결합을 제공하기 위해 접착제에 실란 또는 기능성 모노머를 첨가하여 두 계면에 대한 접착을 동

시에 해결하려고 시도하였다(55). Alhomud 등 (2023)은 다양한 유형의 리튬-다이실리케이트 세라믹에 대한 Universal adhesive의 접착 내구성을 평가하였는데, 접착력은 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹의 미세구조, 표면처리 및 시효처리 등에 큰 영향을 받는다고 하였다. 이들은 Universal adhesive를 적용하기 전에 실란 프라이머를 추가로 적용하면 universal adhesive만 사용할 때보다 유의하게 높은 접착력을 얻을 수 있으며, 장기간의 수분 저장과 열-순환 등의 시효처리는 모든 실험군의 접착력을 감소시켰다고 하였다. HF-처리 후 리튬-다이실리케이트 결정이 글라스 기질에 조밀하게 분산되어 있는 IPS e.max CAD의 경우 cohesive failure가 관찰되지 않았다고 하였지만, Amber Mill(HassBio, Korea)의 경우는 다른 실험군보다 adhesive failure가 더 많았고, 시효처리한 시편의 절반에서 pre-test 실패가 관찰되었는데, 산-처리되지 않은 많은 글라스 기질이 있는 영역이 adhesive failure와 관련이 있다고 하였다(56). 반면, n!ce(Straumann, Germany)와 Cerec Tessera(Dentsply Sirona, USA)의 경우에는 cohesive failure가 많이 관찰되었는데, 이는 리튬-다이실리케이트 결정의 다소 적은 분포 및 글라스 기질에 완전히 매립되지 않은 리튬-다이실리케이트 결정(n!ce)과 virgilite(Cerec Tessera)의 느슨한 분포에 의한 것으로 추정할 수 있다고 하였다. 또한 산-처리된 글라스 기질이 주 글라스 기질과 분리되어 있는 것으로 관찰되었는데, 이러한 이유들이 n!ce와 Cerec Tessera의 cohesive failure 원인으로 추정할 수 있다. Initial LiSi Press(GC, Japan)와 IPS e.max CAD의 경우 리튬 다이실리케이트 결정의 구성은 거의 유사하지만 가공법이 달라 글라스 기질 내 결정상의 양, 크기 및 분포 등에 차이가 있기 때문에 접착력 측정값에서 유의한 차이를 보였다고 한다(57). 모두 8가지 원소를 함유하여 거의 유사하지만 비율이 다른 글라스 기질에 리튬 다이실리케이트 결정상을 가지고 있으며, GC LiSi는 Na_2O 를 함유하는 반면 e.max CAD는 ZnO 와 MgO 를 함유한다는 점에서 차이가 있다. França 등 (2020)은 4종의 리튬 다이실리케이트 글라스-세라믹 제품 간에 화학성분과 미세구조에 상

당한 차이가 있으며, 이는 HF 처리 술식에 차이가 있다는 점을 강조하였다(58). 본 연구에서는 리튬 다이실리케이트 글라스-세라믹 3종(IPS e.max CAD, Amber Mill 및 Rosetta SM)을 평가하였는데, FE-SEM으로 관찰한 이들 제품의 미세구조에는 차이있었지만 접착력에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

최근 소개되는 접착제 유형의 특징 중 하나는 실란을 universal adhesive에 통합하여 접착 절차를 간소화하고 적용 단계를 줄이는 것이다. 실란 함유 universal Adhesive인 Scotchbond Universal Plus(3M)는 aminosilane을 포함하고, 실란의 silanol 그룹과 세라믹의 OH기 사이의 응축을 방해할 수 있는 Bis-GMA 모노머가 없는 것이 특징이다. 포함된 pre-hydrolyzed 실란인 aminosilane은 분자 내 수소결합을 통해 실란을 안정화시키는 데 도움이 될 수 있지만, 제조사가 보고한 실란 함량은 평가한 대부분의 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹에 장기 접착력을 제공하기에 충분하지 않는 것으로 보인다. 또한, universal adhesive에 포함된 친수성 단량체와 용매는 수분 흡착 및 가수분해 분해에 더 취약할 수 있다(59). 또 다른 연구에 따르면 실란을 universal adhesive에 포함시킬 경우 실란을 별도로 적용할 때와 동일한 접착력을 제공하지 않는 것으로 보였는데, 아마도 universal adhesive에 포함된 산성 MDP가 실란을 중화시켜 시간이 경과됨에 따라 불안정하게 만들기 때문일 수 있다고 하였다(60). 따라서 universal adhesive에 추가된 실란은 실질적인 효과가 없을 수 있으며, 이는 universal adhesive만 사용한 실험군에서 관찰된 접착력 감소를 설명할 수 있다. 따라서 실란 프라이머의 추가 적용은 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹에 대한 장기 접착에 필수적이며, 현재로서는 universal adhesive 적용만으로 대체할 수 없는 것으로 보인다. Lee 등 (2015)은 universal adhesive 시스템과 실란 프라이머가 미세 전단접착강도에 미치는 영향을 비교한 결과, 실란 프라이머를 사용할 때 세라믹과 가장 높은 전단접착강도가 관찰되었다고 하였고(48), Kalavacharla 등 (2015)도 실란 프라이머의 추가 적용이 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹의 접착력을 향상시켰다고 하였다(24). Almaskin

등 (2022)은 실란 적용시간이 CAD/CAM 및 열압출 리튬-다이실리케이트 세라믹의 전단접착강도에 미치는 영향을 평가하였고, 순수 실란 프라이머와 실란과 함께 사용한 universal adhesive 시스템을 비교하였다(61). 실란 프라이머는 세라믹/접착제 계면에 소수성 특성을 부여할 수 있지만, universal adhesive에는 친수성 단량체와 용매가 포함되어 있어 접착계면에서 수분 흡착 및 가소화가 유발될 수 있다. 반대로 세라믹 표면에 universal adhesive를 적용하지 않은 경우 소수성 레진시멘트는 충분한 젖음성을 얻을 수 있어 분해 및 수분 흡착이 적을 수 있다(59). Almaskin 등 (2022)의 연구 결과는 universal adhesive 시스템과 실란만을 비교하여 실란만 적용한 경우가 12개월 동안 가장 높은 접착력을 보인 Romanini 등 (2018)의 연구와 유사하였다(62). 실란이 포함된 Scotchbond Universal Adhesive를 평가하여 분리된 실란 프라이머 적용이 유의하게 높은 접착력이 관찰되었는데, 이는 실란 프라이머에 효과적인 3-methacryloxy-propyltrimethoxy silane이 포함되었지만, Scotchbond Universal Adhesive에는 유통기한이 제한되고 효과가 적은 가수분해된 실란이 포함되어 있기 때문으로 추정하기도 하였다(35). Universal adhesive system에 포함된 실란은 너무 단순하거나, 실란 프라이머와 동일한 효과를 생성하기에 함량이 충분하지 않을 수 있다(63). 이는 접착제 시스템에 비해 순수 실란의 접착강도가 더 우수하다는 결과가 나온 이전 연구와 유사하며, 접착제 시스템에 실란의 존재 여부와 관계없이 순수 실란의 적용을 추천하고 있다 Yoshihara 등 (2016)도 별도의 실란 프라이머 또는 글라스-세라믹용 접착제와 혼합된 신선한 실란을 사용할 것을 권장하였다(64). 이와 같이 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 접착을 위해서는 실란 프라이머 추가 적용이 필수적이다. 본 연구에서 평가한 5종의 universal adhesive중에서 Single Bond Universal에만 실란이 포함되었는데, 통계적으로 유의한 차이가 없는 경우도 있었지만 표면처리에 관계없이 평균 접착력은 상대적으로 높게 관찰되어 universal adhesive에 추가된 실란이 접착력 개선에 다소 효과를 줄 수도 있는 것으로 보였다.

가장 일반적으로 적용되는 인공 시효처리법은 장기간 물에 보관하여 접착된 계면이 구강 내에 노출되는 습한 조건을 재현하는 것이며, 생리적 시효를 자극하는 구강 내 환경을 재현하기 위해 열-순환처리를 시도하기도 한다. Alhomuod 등 (2023)의 연구에서도 접착강도는 수분 저장 및 열-순환 처리에 크게 영향을 받았다고 하였는데, 접착계면에서 가수분해가 발생하고 레진에 수분이 침투하여 가소화 효과로 인해 레진 계면이 악화되는 것으로 추정하였다(56). 이는 레진을 구성하는 공유결합이 끊어져 레진의 질량 손실, 모노머 침출 및 접착력 저하 등을 초래할 수 있으며, 따라서 글라스-세라믹의 접착계면은 실란 프라이머 및 실란 함유 universal adhesive 실험군 모두에서 가수분해에 의해 크게 영향을 받을 수 있다. 임상적으로 저작력, 열 변화, 효소, 박테리아 및 독소 등을 통한 화학적 분해로 인한 응력 등과 같은 다른 요인들이 실리케이트 세라믹 접착계면의 분해에 추가적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 CAD/CAM 수복물의 내구성을 예측하기 위하여 향후에는 실리카계 세라믹에 대한 장기간 접착력 유지에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론

하이브리드 컴포지트 세라믹 블록의 경우에는 샌드블라스팅-처리 또는 HF-처리에 따른 접착력은 유의한 차이가 없었고, universal adhesive로 접착하는 경우 추가로 실란을 적용하는 것이 필요하지 않을 수 있다. 반면 백류석-강화형 및 리튬-다이실리케이트 글라스-세라믹 경우에는 샌드블라스팅처리 보다 HF-처리가 접착에 더 유리할 수 있으며, universal adhesive를 적용하더라도 추가로 실란을 추가로 적용하는 것이 필요한 것으로 보였다.

사사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처전주

기의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호: 9991006717, KMDF_PR_20200901_0044).

참고문헌

1. Barenghi L, Barenghi A, Garagiola U, Di Blasio A, Gianni AB, Spadari F. Pros and cons of CAD/CAM technology for infection prevention in dental settings during COVID-19 outbreak. *Sensors* 2021;22:49.
2. Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron Chabouis H, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations—the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent.* 2015;18:21-44.
3. 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.
4. Li RWK, Chow TW, Matinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: State of the art. *J Prosthodont Res.* 2014;58:208-16.
5. Papadiochou S, Pissiotis AL. Marginal adaptation and CAD-CAM technology: A systematic review of restorative material and fabrication techniques. *J Prosthet Dent.* 2018;119:545-51.
6. Rexhepi I, Santilli M, D'Addazio G, Tafuri G, Manciocchi E, Caputi S, et al. Clinical applications and mechanical properties of CAD-CAM materials in restorative and prosthetic dentistry: A systematic review. *J Funct Biomater.* 2023;14:431.
7. Fasbinder DJ. Chairside CAD/CAM: an overview of restorative material options. *Compend Contin Educ Dent.* 2012;33:50-8.
8. Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Goujat A, Attik N, Lafortest L, et al.. Impact of the microstructure of CAD/

- CAM blocks on the bonding strength and the bonded interface. *J Prosthodont.* 2022;31:72-8.
9. 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.
 10. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont.* 2015;28:227-35.
 11. Veríssimo AH, Moura DMD, Tribst JPM, Araújo AMM, Leite FPP, Souza ROAE. Effect of hydrofluoric acid concentration and etching time on resin-bond strength to different glass ceramics. *Braz Oral Res.* 2019;33:e041.
 12. Avram LT, Galațanu SV, Opreș C, Pop C, Jivănescu A. Effect of different etching times with hydrofluoric acid on the bond strength of CAD/CAM ceramic material. *Materials (Basel).* 2022;15:7071.
 13. Mavriqi L, Valente F, Murmura G, Sinjari, B, Macri M, Trubiani O, Caputi S, Traini T. Lithium disilicate and zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramics for CAD/CAM dental restorations: Biocompatibility, mechanical and microstructural properties after crystallization. *J Dent.* 2022;119:104054.
 14. Gardell E, Larsson C, von Steyern PV. Translucent zirconium dioxide and lithium disilicate: A 3-year follow-up of a prospective, Practice-based randomized controlled trial on posterior monolithic crowns. *Int J Prosthodont.* 2021;34:163-72.
 15. Brodtkin D, Panzera C, Panzera P. Patent: Pressable lithium disilicate glass ceramic. W02000034196A2, World Intellectual Property Organization, June 15 2000.
 16. Tian T, Tsoi JK, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater.* 2014;30:e147-62.
 17. Lambert H, Durand J-C, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont.* 2017;9:486-95.
 18. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J.* 2011;56:84-96.
 19. Gresnigt M, Ozcan M, Houten MLA, Schipper L, Cune MS. Fracture strength, failure type and Weibull characteristics of lithium disilicate and multiphase resin composite endo crowns under axial and lateral forces. *Dent Mater.* 2016;32:607-14.
 20. Fonzar RF, Carrabba M, Sedda M, Ferrari M, Goracci C, Vichi A. Flexural resistance of heat-pressed and CAD-CAM lithium disilicate with different translucencies. *Dent Mater.* 2017;33:63-70.
 21. Makhija SK, Lawson NC, Gilbert GH, Litaker MS, McClelland JA, Louis DR, et al. Dentist material selection for single-unit crowns: Findings from the national dental practice-based research network. *J Dent.* 2016;55:40-7.
 22. 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.
 23. Venturini AB, Prochnow C, Rambo D, Gundel A, Valandro LF. Effect of hydrofluoric acid concentration on resin adhesion to a feldspathic ceramic. *J Adhes Dent.* 2015;17:313-20.
 24. Kalavacharla VK, Lawson NC, Ramp LC, Burgess JO. Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength. *Oper Dent.* 2015;40:372-8.
 25. Murillo-Gomez 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.
 26. Araújo-Neto VG, Nobre CFA, Freitas MIM, Lima RBW, Sinhoreti MAC, Del Bel Cury AA, et al. Effect of hydrofluoric acid concentration on bond strength to

- glass-ceramics: A systematic review and meta-analysis of in-vitro studies. *J Adhes Dent.* 2023;25:231-40.
27. Prochnow C, Venturini AB, Guilardi LF, Rocha Pereira GK, Lima Burgo TA, Bottino MC, et al. Hydrofluoric acid concentrations: Effect on the cyclic load-to-failure of machined lithium disilicate restorations. *Dent Mater.* 2018;34:255-63.
 28. Straface A, Rupp L, Gintaute A, Fischer J, Zitzmann NU, Rohr N. HF etching of CAD/CAM materials: influence of HF concentration and etching time on shear bond strength. *Head Face Med.* 2019;15:1-10.
 29. 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.
 30. Peumans M, De Munck J, Van Meerbeek B, Valjakova EB, Mishevskva CB. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. *J Adhes Dent.* 2016;18:289-302.
 31. 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.
 32. 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
 33. 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.
 34. Ilie N, Ruse ND. Shear bond strength vs interfacial fracture toughness - Adherence to CAD/CAM blocks. *Dent Mater.* 2019;35:1769-75.
 35. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater.* 2012;28:467-77.
 36. 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.
 37. Alex G. Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry. *Compend Contin Educ Dent.* 2015;36:15-26.
 38. Tiu J, Belli R, Lohbauer U. Contemporary CAD/CAM materials in dentistry. *Curr Oral Health Rep.* 2019;6:250-6.
 39. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry—A review. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32:171-81.
 40. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. CAD/CAM ceramic restorative materials for natural teeth. *J Dent Res.* 2018;97:1082-91.
 41. Phark JH, Duarte S Jr. Microstructural considerations for novel lithium disilicate glass ceramics: a review. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34:92-103.
 42. Addison O, Marquis PM, Fleming GJP. The impact of modifying alumina air abrasion parameters on the fracture strength of a porcelain laminate restorative material. *Dent Mater.* 2007;23:1332-41.
 43. Venturini AB, Prochnow C, May LG, Bottino MC, Valandro LF. Influence hydrofluoric acid concentration on the flexural strength of a feldspathic ceramic. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015;48:241-8.
 44. Sundfeld Neto D, Naves LZ, Costa AR, Correr AB, Consani S, Borges GA, et al. The effect of hydrofluoric acid concentration on the bond strength and morphology the surface and interface glass ceramics to a resin cement. *Oper Dent.* 2015;40:470-9.
 45. Ramakrishnaiah R, Alkheraif AA, Divakar DD, Matinlinna JP, Vallittu PK. The effect of hydrofluoric acid etching duration on the surface micromorphology, roughness, and wettability dental ceramics. *Int J Mol Sci.* 2016;17:822.
 46. Zogheib LV, Della Bona A, Kimpara ET, McCabe JF. Effect of hydrofluoric acid etching duration on the

- roughness and flexural strength of a lithium disilicate-based glass ceramic. *Braz Dent J.* 2011;22:45-50.
47. Thurmond JW, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *J Prosthet Dent.* 1994;72:355-9.
 48. Lee Y, Kim JH, Woo JS, Yi YA, Hwang JY, Seo DG. Analysis of self-adhesive resin cement microshear bond strength on leucite-reinforced glass-ceramic with/without pure silane primer or universal adhesive surface treatment. *Biomed Res Int.* 2015;2015:361893.
 49. Almiro M, Marinho B, Delgado AHS, Rua J, Monteiro P, Santos IC, et al.. Increasing acid concentration, time and using a two-part silane potentiates bond strength of lithium disilicate-reinforced glass ceramic to resin composite: An exploratory laboratory study. *Materials (Basel).* 2022;15:2045.
 50. Soares CJ, Soares PV, Pereira JC, Fonseca RB. Surface treatment protocols in the cementation process of ceramic and laboratory-processed composite restorations: A literature review. *J Esthet Restor Dent.* 2005;17:224-35.
 51. Grafias CS, De Goes MF. Dissolution depth and surface morphological alterations in ultrathin glass ceramic etched with different hydrofluoric acid-etching protocols. *J Adhes Dent.* 2021;23:579-87.
 52. Poulon-Quintin A, Ogden E, Large A, Vaudescal M, Labrugère C, Bartala M, et al. Chemical surface modification of lithium disilicate needles of a silica-based ceramic after HF-etching and ultrasonic bath cleaning: Impact on the chemical bonding with silane. *Dent Mater.* 2021;37:832-39.
 53. Warring SL, Beattie DA, McQuillan AJ. Surficial siloxane-to-silanol interconversion during room-temperature hydration/dehydration amorphous silica films observed by ATR-IR and TIR-Raman. *Langmuir.* 2016;32:1568-76.
 54. Ishida H, Koenig JL. A Fourier-transform infrared spectroscopic study of the hydrolytic stability of silane coupling agents on e-glass fibers. *J Polym Sci Polym Phys Ed.* 1980;18:1931-43.
 55. Melo LA, Moura IS, Almeida EO, Junior ACF, Dias TGS, Leite FPP. Efficacy of prostheses bonding using silane incorporated to universal adhesives or applied separately: a systematic review. *J Indian Prosthodont Soc.* 2019;19:3-8.
 56. Alhomud M, Phark JH, Duarte S Jr. Bond strength to different CAD/CAM lithium disilicate reinforced ceramics. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35:129-37.
 57. Lim CH, Jang YS, Lee MH, Bae TS. Evaluation of fracture strength for single crowns made of the different types of lithium disilicate glass-ceramics. *Odontology.* 2020;108:231-9.
 58. França R, Bebsh M, Haimeur A, Fernandes AC, Sacher E. Physicochemical surface characterizations of four dental CAD/CAM lithium disilicate-based glass ceramics on HF etching: An XPS study. *Ceram Int.* 2020;46:1411-8.
 59. 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.
 60. Makishi P, Andre CB, Silva JL, Bacelar-Sa R, Correr-Sobrinho L, Giannini M. Effect of storage time on bond strength performance of multimode adhesives to indirect resin composite and lithium disilicate glass ceramic. *Oper Dent.* 2016;41:541-51.
 61. Almaskin D, Alzahrer ZA, Qaw M, Al-Thobity AM, Alshahrani A, Alsalman A, et al. The bond strength of a universal adhesive system with silane to lithium disilicates in comparison with an isolated silane coupling agent. *J Prosthodont.* 2022;31:512-20.
 62. Romanini-Junior JC, Kumagai RY, Ortege LF, Rodrigues JA, Cassoni A, Hirata R, et al. Adhesive/

- silane application effects on bond strength durability to a lithium disilicate ceramic. *J Esthet Restor Dent.* 2018;30:346-51
63. Yao C, Zhou L, Yang H, Wang Y, Sun H, Guo J, et al. 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.
64. 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.

Universal adhesive를 이용한 실리카 함유 CAD/CAM 블록과 컴포지트 레진의 접착

박치용¹, 신민정², 정신혜^{1,2}, 박영석^{2,3}, 임범순^{1,2,*}

¹서울대학교 치의학대학원 치과생체재료과학교실

²서울대학교 미래치의학센터

³서울대학교 치의학대학원 구강해부학교실

CAD/CAM용 실리케이트계 블록에 대한 접착강도는 실리케이트계 블록의 구성 성분과 미세구조, 표면처리 및 적용한 접착제의 특성 등에 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 다양한 조성의 실리케이트계 블록을 샌드블라스팅 또는 불산(HF)으로 처리한 후 universal adhesive로 접착한 컴포지트 레진의 전단접착강도를 측정하였으며, 추가로 실란 프라이머 적용에 따른 접착강도 변화를 평가하고자 하였다. 실리카를 함유한 다양한 유형의 블록 제품 6종을 선택하였고, 임상에서 사용하는 universal adhesive 제품 5종을 선정하여 접착강도를 비교하였다. 실리케이트계 블록 표면을 매끈하게 연마한 후 일부는 HF로 산-부식처리하고, 일부는 알루미늄으로 샌드블라스팅 처리한 후 표면거칠기, 젖음성 및 미세구조 등을 CLSM, contact angle analyzer 및 FE-SEM으로 분석한 다음 컴포지트 레진(지름 2 mm)을 universal adhesive로 접착시켜 37 °C 수조에서 24시간 보관한 다음 만능시험기를 이용하여 전단접착강도를 측정하였다. 측정값들은 Tukey-multiple comparison test($\alpha = 0.05$)로 통계 분석하여 다음의 결과를 얻었다. 하이브리드 컴포지트 세라믹의 경우에는 샌드블라스팅 또는 HF-처리에 따른 접착력의 유의한 차이가 없었고, universal adhesive로 접착하는 경우 추가로 실란을 적용하는 것이 필요하지 않을 수 있다, 반면 백류석 강화형 및 리튬 다이실리케이트 글라스-세라믹 경우에는 샌드블라스팅-처리 보다 HF-처리가 접착에 유리할 수 있으며, universal adhesive를 적용하더라도 실란을 추가로 적용하는 것이 필요한 것으로 보였다.

색인단어 : CAD/CAM 실리카 함유 블록, 샌드블라스팅, HF 산-처리, universal adhesive, silaine, 전단접착강도
