

# 올세라믹 심미 수복재료의 최신 동향과 적합한 시멘트 선택 및 사용

전남대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실  
박영준

## ABSTRACT

### Recent Trend of Esthetic All-Ceramic Materials and Guidelines for Correct Cementation

Department of Dental Materials,  
School of Dentistry, Chonnam National University  
Yeong-Joon Park, DDS, Ph.D,

Recently, there are much improvement in optical and mechanical properties of dental ceramic materials coupled with improved fabrication techniques, which have caused a considerable shift in the preference of the dentists to ceramic restorations. Because the chemical composition and microstructure of all-ceramic materials are different by the type, correct choice of cement type and surface treatment procedure, and cementation strategy is essential for the success of ceramic restorations with adequate retention and decreased incidence of complications.

This manuscript reviews on the most often prescribed and some newly developed ceramic materials, and the selection criteria and usage guidelines of cement materials that are used in conjunction with various ceramic materials. This manuscript emphasizes that continuous updating the information of newly developed ceramic and cement materials and application techniques by the dentists and dental staffs are demanding in response to the constantly improving ceramic and cement materials and corresponding application protocol changes.

Keywords : All-ceramic, Zirconia, Lithium disilicate, Self-adhesive resin cement



Corresponding Author  
박영준  
전남대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실  
광주광역시 북구 용봉로 77  
E-mail: yjpark@jnu.ac.kr

## I. 서론

치과용 세라믹 재료의 강도와 심미성의 향상, 그리고 가공기술의 발달로 물성과 적합도가 향상되어 수복치료에서 치과 의사가 세라믹 재료만을 사용한 올세라믹(all-ceramic) 수복을 선택하는 빈도가 높아지고 있다.<sup>1,2)</sup> 올세라믹 재료의 화학적 조성 및 미세 구조는 재료의 유형에 따라 다르기 때문에, 재료 유형 별 특성을 이해하고 이에 상응하는 시멘트를 선택해 내구성 있는 강한 접착을 이루기 위한 세라믹 및 치아표면의 처리 그리고 올바른 시멘트 접착 술식을 적용하는 것은 수복재료가 갖는 장점이 충분히 발휘된 성공적인 수복치료를 위해 필수적이다.

본 글에서는 최근에 개선되어 선보이는 재료를 포함하여 심미수복용 세라믹 재료들에 대해 고찰하고, 해당 세라믹 재료에 적합한 시멘트의 선택 기준과 사용지침에 대해 소개하고자 하였다. 치과용 세라믹 재료는 크게 실리카계 세라믹과 비실리카계 세라믹으로 구분되며<sup>3)</sup>, 이런 구분에 따라 시멘트 합착 방법이 크게 달라진다. 우선 세라믹의 유형에 따른 장단점과 용도를 기술하고, 이어서 각 세라믹 재료 유형에 따른 시멘트의 선택과 사용 시 고려할 점들, 그리고 세라믹 수복물의 접착성을 향상시키기 위해 사용되는 표면처리 과정에 대해 고찰하고자 한다.

## II. 본론

실리카계 올세라믹은 1900년대 초에 소개된 장식계 포세린 자켓 크라운에서 시작하여 현재에는 글라스-세라믹 재료가 사용되고 있다. 전부관(full crown) 제작을 위해 사용된 최초의 글라스-세라믹 재료로는 주조 가공되는 fluoromica계 글라스-세라믹인 Dicor (Dentsply International Inc., USA)이 1984년에 소개되었으나, 유

리의 결정화 과정에서 부가적인 수축을 일으키고 유리 질 함량이 높아 충분한 강도를 갖지 못하였다<sup>4)</sup>. 그 후 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹이 약 20년 이전에 소개되어 임상에 유용하게 사용되고 있고, 그 이후 지르코니아를 함유한 리튬 실리케이트 재료가 소개되었다.

비실리카계 치과용 세라믹으로서 1990년에 소개된 In-Ceram (Vita Zahnfabrik, Germany)은 글라스-칩투 알루미늄 코어를 사용하여 강도를 크게 보강시켜 계속 가공의치의 제작까지도 가능하게 되었으나<sup>5)</sup>, 글라스-칩투 알루미늄 코어의 투명도가 낮아 심미성에 한계가 있고 제작시간이 긴 단점이 있었다. 그 후 치밀하게 소결되어져서 지르코니아 다결정체를 이루는 지르코니아 세라믹이 소개되어져서 올세라믹 수복물의 사용빈도가 빠른 속도로 높아지고 있다. 지르코니아 수복은 치아의 심미적 외양을 구현하기 위해 지르코니아 코어 상에 장식계 포세린으로 전장(veneering)하는 층상 수복물(layering restoration)을 사용하던 것이, 지르코니아 하부구조와 상부 도재 층의 박리 파절 문제와 이중구조를 위한 많은 양의 치아삭제를 피하기 위해 최근에는 지르코니아만으로 이루어진 완전 지르코니아 크라운(full zirconia crown)의 사용빈도가 증가하고 있다. 지르코니아 블록의 투명성과 강도가 크게 향상되고 다양한 색상을 구현하는 지르코니아 블록이 개발되어져서, 점차 단일체 지르코니아(monolithic zirconia)의 사용이 보편화 되고 있다<sup>3,6)</sup>. 우선 치과용 올세라믹 재료의 종류와 각각의 특성을 살펴보도록 한다.

### 1. 치과용 세라믹의 종류

치과용 세라믹은 글라스와 결정상의 종류와 함량에 따라 실리카계 세라믹재료와 비실리카계 세라믹 재료로 분류된다. ISO 6872 (2015년판) 표준에서는 치과용 세라믹 수복재료를 다섯 등급으로 분류하여 물리화학적 특성 및 기계적 물성을 평가할 수 있는 표준화된 시험법

표 1. 적용범위에 따른 치과용 세라믹 수복재료의 분류와 권장 기계적/화학적 특성값(ISO 6872, 2015년판)<sup>11)</sup>

등급	적용 범위	강도와 화학적 특성	
		굽힘 강도 (MPa), 최소	용해도 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), 최대
1	a. 단일 치아 전치부 보철, 비니어, 인레이 또는 온레이용 단일체 세라믹; 접착성 시멘트로 합착	50	100
	b. 금속 또는 세라믹 하부구조를 덮기 위한 세라믹	50	100
2	a. 단일 치아 전치부 또는 구치부 보철용 단일체 세라믹; 접착성 시멘트로 합착	100	100
	b. 단일 치아 전치부 또는 구치부 보철물을 위한 부분 또는 전체 피개 하부구조물로 사용되는 세라믹; 접착성 레진으로 합착	100	2,000
3	a. 한 개의 전치부 또는 구치부 보철용 및 대구치를 포함하지 않는 3-유닛 보철용의 단일체 세라믹; 접착성 또는 비접착성 시멘트로 합착	300	100
	b. 한 개의 전치부 또는 구치부 보철용 및 대구치를 포함하지 않는 3-유닛 보철용의 부분 또는 전체 피개 하부구조물로 사용하는 세라믹; 접착성 또는 비접착성 시멘트로 합착	300	2,000
4	a. 대구치를 포함한 3-유닛 보철용 단일체 세라믹	500	100
	b. 대구치를 포함한 3-유닛 보철용의 부분 또는 전부 피개 하부구조물로 사용되는 세라믹	500	2,000
5	부분 또는 전체 피개 하부구조를 갖는 4-유닛 이상의 보철물을 위한 단일체 세라믹 또는 4-유닛 이상의 보철물을 위한 전체 피개 하부구조	800	100

표 2. 치과용 세라믹 재료의 유형에 따른 굴곡강도<sup>12-17)</sup>

구분	굴곡강도 (MPa)
장석계 포세린(전장용)	70 ~ 120
루사이트 강화 글라스-세라믹	120~160
레진-세라믹 콤포지트	100~200
지르코니아 강화 리튬 실리케이트	200~450
리튬 디실리케이트	350~420
글라스 침투 알루미나(In-Ceram)	360~380
심미성 지르코니아	550~900
전통적 지르코니아	>900

과 요구치를 제시하고 있다(표 1). 일반적으로 글라스의 함량이 높은 세라믹 재료는 심미성이 좋은 반면, 결정상의 함량이 높은 세라믹은 강도가 좋다. 각 유형의 치과용 세라믹 재료들은 표2에 보인 범위의 3점-굴곡강도

를 가진다.

치과용 세라믹 수복재료 각 제조사 또는 연구논문에서 보고하는 굴곡강도 값을 비교할 때는 어떤 시험법을 사용하여 얻은 결과인지를 고려하여야 한다. 동일한 재료라도 3점 굴곡강도(3-point flexural strength), 4점 굴곡강도(4-point flexural strength) 및 이축 굴곡강도(biaxial flexural strength) 시험법 차이에 따라 결과 값은 차이가 있기 때문이다<sup>7-10)</sup>.

### 1) 실리카계 세라믹 재료

#### ① 장석계 포세린

장석계 포세린(feldspathic porcelain)은 칼리 장석(정장석 potassium feldspar), 석영(quartz) 및 카올린(kalolin)을 주성분으로 하며, 글라스 함량이 높기 때문에 반투명성(translucency)과 심미성이 우수하다. 장석계 포세린은 분말-용액 슬러리를 사용하여 반복적인 축성과

소결과정을 통해 크라운 또는 비니어를 제작한다. 세라믹 수복재료 중에서 가장 낮은 강도를 가지므로 깨지기 쉽다. 따라서, 장식계 포세린은 금속이나 고강도 세라믹 하부구조 상에 축성하는 전장용 포세린으로서 일반적으로 사용된다. 그 외에 비니어 재료로도 사용된다. 도재축성, 응축, 소결 등의 가공 작업으로 수복물 제작에 시간이 걸린다. 제품 예로는 Vita VM13 (Vita), Vintage Halo (Shofu), Initial (GC America) 등이 있다.

### ② 백류석 강화 글라스-세라믹

백류석강화 글라스-세라믹(leucite-reinforced glass-ceramic)은 장식계 글라스 기질에 백류석(leucite) 결정이 높은 함량으로 있어서 기계적 성질이 개선되었고, 심미성과 반투명성이 우수해서 비니어, 인레이/온레이, 전치부 크라운에 사용되었다<sup>18)</sup>. 블록은 완전 결정화 되어 있어서 소결하는데 소요되는 추가적 시간이 필요없이 블록을 밀링하고 연마한 후 장착하면 되고 치아 절삭량이 적은 장점이 있으나 백류석 결정에 의한 강도 증가에는 한계가 있어 굴곡강도가 낮다. 수복물의 기계적 성질을 보강하기 위해 레진시멘트를 사용하여 접착한다. 제품 예로는 IPS Empress (Ivoclar Vivadent), Straumann Nice (Straumann), VitaBlocs Mark II (Vita Zahnfabrik) 등이 있다.

### ③ 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹

리튬 디실리케이트 글라스-세라믹(lithium disilicate glass-ceramic) 시스템이 1959년 처음 소개되어 발전하여, 크라운 제작을 위한 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹 재료로서 1998년에 IPS Empress 2 (Ivoclar Vivadent)가 최초로 소개되었다<sup>19)</sup>. 리튬 디실리케이트(lithium disilicate) 세라믹은 글라스 기질 내에 묻혀있는 약 70%의 리튬 디실리케이트 결정으로 구성되어져서, 백류석 강화 세라믹에 비해 2~3배 강한 350~420 MPa의 굴곡강도를 갖는 반투명성이 좋은 재료이다. 대개 결정

의 용적비가 높아질수록 강도가 증가되는 반면 세라믹의 불투명도가 증가하여 심미성에 문제가 될 수 있으나, 리튬 디실리케이트 결정은 빛 굴절률이 글라스 기질과 유사하여 결정 용적비가 높아도 우수한 빛 투과도를 보여 심미적이다. 심미성과 강도를 모두 갖추고 있으므로 하부구조 없이 크라운 제작이 가능하다. 시판 중 세라믹 재료 중에서 가장 폭넓게 사용되는 재료 중 하나로서, 비니어, 인레이/온레이, 전치부/구치부 크라운, 3-유닛 전치부 브릿지 및 임플란트 수복물에 사용될 수 있다.

열가압 성형에 의해 가공되는 e.max Press는 완전 소결된 상태로 제공되어 지르코니아와 달리 소결과정이 필요하지 않다. e.max CAD는 리튬 메타실리케이트(lithium metasilicate,  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) 결정과 리튬 정인산염(lithium orthophosphate,  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ ) 핵형성제를 함유한 글라스 상의 결정화되기 전 상태로 제공되어 가공하기 쉽다<sup>20)</sup>. 가공 후에는 열처리를 하여 최종적으로는 리튬 디실리케이트 결정이 생긴다. 현재 심미적인 크라운 제작을 위해 반투명도와 가공성이 향상되고 내화 매물재와의 반응성을 감소시킨 제품개발이 이루어지고 있다.

리튬 디실리케이트 글라스-세라믹은 우수한 반투명성을 가지고 주위 치아와 심미적으로 잘 조화됨과 동시에 중간에서 높음 정도의 강도를 가져서 단일체 형태 또는 장식계 세라믹으로 비니어되어 사용된다. 단일체 지르코니아 수복물의 경우에 비해 강도가 못 미쳐 더 많은 치아 삭제량이 요구된다. 상용 제품으로는 Empress2, IPS e.max Press, IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent), Initial LiSi Press (GC America), Rosetta SM (밀링용, Hass), Rosetta SP (가압성형용, Hass), Amber Mill (Hass), Mazic Claro CAD (Vericom)가 있다.

### ④ 지르코니아-강화 리튬 실리케이트 글라스-세라믹

지르코니아-강화 리튬 실리케이트 글라스-세라믹(zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramic; ZLS)은 글라스 기질 내에 메타실리케이트와 지르코니

아 결정을 가지고 있어서, 글라스-세라믹의 심미적 특성과 향상된 기계적 강도를 갖는 최근 2013년에 소개된 글라스-세라믹 재료이다<sup>21)</sup>. 완전히 결정화된 상태에서 결정은 주로 리튬 메타실리케이트(lithium metasilicate;  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) 결정이고, 리튬 디실리케이트(lithium disilicate;  $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )와 결정화제인 리튬 정인산염(lithium orthophosphate;  $\text{Li}_3\text{PO}_4$ )를 소량 함유한다<sup>20,22)</sup>. 이 유형의 글라스-세라믹은 역시 반소결된 형태 또는 완전소결된 형태로 판매된다. 완전소결된 형태(fully crystallized form)는 리튬 디실리케이트에 비해 비슷하거나 오히려 더 높은 강도를 갖고, 더 빨리 밀링할 수 있고 결정크기가 더 작기 때문에 연마성이 더 우수하며, 반투명도가 약간 더 우수하다고 보고된다<sup>23,24)</sup>. ZLS는 전치부/구치부 전부 세라믹관, 전치부 3-유닛 브릿지, 비니어, 인레이, 온레이에 사용될 뿐만 아니라 PFM에서 더 강한 비니어 링 세라믹으로도 사용된다.

ZLS는 지르코니아 결정을 함유하고 있지만 글라스 상을 포함하고 있기 때문에 불산을 사용하여 산부식시킬 수 있고 심미적인 장점을 가지고 있다. 제품 예로서 Obsidian (Glidewell Laboratory), Celtra Press, Celtra Duo (Dentsply Sirona), Suprinity PC (Vita)가 있다.

## 2) 비 실라카계 치과용 세라믹

### ① 전통적 다결정성 지르코니아

치밀하게 소결된 전통적 다결정성 지르코니아(conventional polycrystalline zirconia)는 높은 강도와 파괴인성을 갖는다. 치과에 소개된 초기의 전통적 지르코니아 세라믹은 이트리아(yttria;  $\text{Y}_2\text{O}_3$ )를 3-5 mol% 첨가한 이트리아 부분안정화 지르코니아 다결정체(yttria partially stabilized zirconia polycrystalline: Y-PSZ)이다. 즉, 이트리아 안정화제가 첨가된 지르코니아는 냉각하는 동안 상온에서도 단사정계(monoclinic phase)로 변화하지 않고 정방정계(tetragonal phase) 결정구조가 남아서 정방정계와 단사정계가 공존하는 부분안정화 지

르코니아이다<sup>25)</sup>. 이트리아를 3 mol% 첨가한 3Y-TZP (3Y-tetragonal zirconia polycrystalline)는 상온에서 정방정 단일상으로서, 크랙 생성 시 발생한 응력으로 인해 높아진 에너지에 의해 정방정 결정상이 단사정 결정상으로 상전이가 일어나면서 3~5% 팽창되면 내부에 압축응력이 형성되어 미세균열의 진파가 억제되므로 세라믹의 강화 효과를 얻을 수 있어서, 최소한 900 MPa 이상의 굴곡강도를 가진다. 반면, 기질 내에 글라스 성분이 없기 때문에 수복물은 불투명해서 심미성이 충분하지 못한 한계로 인해 초기 지르코니아는 크라운의 하부 구조로 사용되어졌고 그 위에는 포세린으로 전장을 하여 크라운을 제작되었다. 최근에는 지르코니아 세라믹의 반투명성이 많이 향상되었다. 이 재료의 용도는 전치 및 구치부 크라운, 3-유닛 ~ 6-유닛 브릿지 수복, Maryland 브릿지, 임플란트-지지 보철물 및 임플란트 지대주로 사용된다. 완전소결한 지르코니아 블록은 너무 강해서 가공하기 힘들기 때문에 CAD/CAM 지르코니아 블록은 대부분 반소결 지르코니아가 널리 사용되고 있다. 제품 예로는 Lava Plus (3M ESPE), BruxZir (Glidewell), IPS e.max ZirCAD, Zenostar MO (Ivoclar Vivadent), Cercon base (Dentsply Sirona), Mazic Zir (Vericom), Zirtooth (Hass), ZirCen (Kuwotech), NexxZr S (Sage-max), Prettau 2 Dispersive (Zirkonzahn), Katana Zirconia HT/ML (Kuraray)가 이에 속한다.

반소결 지르코니아는 소결하는 동안에 많은 수축을 하기 때문에 최종 수복물의 정확성 측면을 고려한다면, 가공 후 소결을 하는 재료대신에 가공 후 소결과정 없이 그대로 사용할 수 있는 열가압 성형 글라스-세라믹과 레진-세라믹 콤포지트(일명 하이브리드 블록)의 사용은 장점이라고 생각된다.

지르코니아 세라믹의 불투명한 특성은 정방정 다결정체의 복굴절 특성과 결정립계에서의 빛의 산란으로 인해 기인한다. 따라서 최근의 지르코니아 세라믹은 열처리 변화와 미량원소의 첨가를 통해서 투명도를 향상시

킨 제품들이 속속 개발되어지고 있다<sup>26,27</sup>.

## ② 심미성 지르코니아

최근에 출시되는 많은 지르코니아 블록은 반투명도(translucency)를 향상시킨 제품들이 많다. 하지만, 굴곡강도는 550~900 MPa 정도로 더 감소한다. 고도의 반투명성 지르코니아는 이트리아(yttrium oxide) 안정화제의 함유량을 증가시킴으로써 결정성 미세구조 내에 53%까지 입방정 상이 존재하게 되어 반투명도가 향상된 반면 강도증진에 기여하는 정방정-단사정 상변화를 위한 부분 안정화된 정방정 상의 함유량이 더 낮기 때문에 강도는 더 낮다<sup>27</sup>. 즉, 심미성 지르코니아(esthetic zirconia) 재료는 전통적 지르코니아에 비해 반투명도가 더 좋고, 글라스-세라믹보다는 더 강한 이들 중간의 대체 재료로서 유용하게 사용될 수 있다. 최근 초고도 반투명성 지르코니아(ultrahigh-translucency zirconia)는 이트리아 첨가량을 최대 5~8 mol%까지 증가시켰다<sup>28</sup>. 증가된 이트리아 함량으로 인해 최종 다결정체 구조에 입방정 결정상의 지르코니아 상이 더 많이 안정화되게 한다. 입방정 결정상(cubic phase)은 정방정 결정상(tetragonal phase)에 비해 빛의 산란이 적어서 결국 반투명도가 향상된다. 하지만, 반투명도가 글라스-세라믹에 비해서는 낮은 편이며, 이들 초고도 반투명성 지르코니아의 파절인성과 굴곡강도는 전통적 지르코니아에 비해 낮다<sup>27</sup>.

심미성 지르코니아(Esthetic Zirconia)의 강도와 내구성이 향상되었고 다중 반투명성이어서 향상되어 단일체(monolithic) 계속가공의치의 심미성이 크게 향상되었다. 지르코니아 블록이 다중 층으로 제작되어서(multi-layered; ML) 절단면부터 치경부까지 그라데이션(gradation) 효과를 갖고, 높은 투명도를 가진(ultra-translucent; UT) 제품들이 많이 출시되었다. 심미성 지르코니아 세라믹은 비니어, 인레이나 온레이, 전치부 및 구치부 크라운, 선택적으로 구치부 계속가공의치에

도 적용할 수 있으나, 장기 임상결과는 부족한 상황이다. 제품 예로는 Lava Esthetic (3M), BruxZir Esthetic (Glidewell), Zirmon TS (Kuwotech), ArgenZ Anterior (Argen), Katana UTML (Kuraray Noritake), Translucent Zirconia (Zirkonzahn), Prettau Anterior (Zirkonzahn), Imagine (Jensen), Luxen Smile S2 (Dentalmax) 등이 있다.

## ③ 하이브리드 세라믹

레진-세라믹 콤포짓트(resin-ceramic composites), 일명 하이브리드(hybrid) 세라믹은 지르코니아와 실리케이트 미세 세라믹입자가 고밀도 폴리머 네트워크와 결합된 신소재 나노하이브리드 세라믹 블록으로서, 세라믹의 높은 강도와 콤포짓트 레진의 장점을 결합한 복합재료이다. 자연치아와 유사한 심미성과 탄성률 및 표면경도를 가지며, 글라스-세라믹에 비해 덜 취약하고 밀링 가공성이 뛰어나서 밀링 장비의 최소한의 마모로도 수복물을 신속하게 제작할 수 있다. 이미 최종 강도를 갖 추고 있기 때문에 밀링 후 추가적으로 소결할 필요도 없어서 소결 시 수축에 따른 부정확성을 배제할 수 있고, 지대치 스캔부터 밀링, 폴리싱, 합착까지 소요되는 시간이 짧고 제작절차가 단순한 점은 지르코니아에 비해 장점이 된다. 또한 글라스-세라믹에 비해 대합치의 마모우려가 더 적고, 레진을 사용한 애드온이 가능해 구강 내에서 수리가 가능하다.

인레이 및 온레이용 재료로서 지르코니아보다 하이브리드 세라믹이 더 효율적이고 적합한 편이다. 다만 굴곡강도가 지르코니아보다 낮기 때문에 인레이, 온레이, 그리고 소구치 단일치아 크라운 정도가 한계인 단점이 있다. 하이브리드 세라믹은 강도가 높지 못하고 지르코니아가 레진 네트워크에 함유되어 있으므로 탄성이 있어서 수복물에 하중이 심하게 가해질 경우에는 접착실패가 있을 수 있으므로 단일치 크라운 정도에 사용된다. 하이브리드 세라믹은 전치부 및 구치부 크라운, 비니어,

인레이와 온레이, 그리고 임플란트 지지 크라운 제작에도 적합하다. 강도 향상이 계속해서 개선되고 있어서 향후 구치부 및 브리지까지도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

산부식이 되지 않으므로 접착력을 높이기 위한 블라스팅과 프라이머 처리가 필요하다.

제품 예로는 Enamic (Vita), Lava Ultimate (3M ESPE), CeraSmart (GC America), Camouflage NOW (Glidewell), Grandio blocs (VOCO), Celtra (Dentsply Sirona), EzCeram (Vatec Korea), Mazic Duro (Vericom) 하이브리드 세라믹 블록이 있다.

## 2. 세라믹 수복물의 합착을 위한 시멘트의 선택 기준

세라믹 수복의 성공을 위해서는 적절한 와동이나 지대치 형성과 더불어, 내구성 있는 강한 접착력을 제공하는 본딩제와 시멘트를 선택하고, 치아와 수복물 표면을 접착에 유리하도록 표면처리하여야 한다. 이를 위해서는 사용되는 세라믹 수복재료와 시멘트 유형에 따른 특성을 이해하여 그 기능을 최대한 발휘할 수 있도록 올바르게 사용하여 합착하는 것이 중요하다. 이 과정에는 생체적합성, 심미성, 사용편의성, 일관성, 그리고 잉여 시멘트의 제거 용이성 등의 요소도 고려되어야 한다. 본 장



그림 1. 올세라믹 수복과정의 예. 가) 지르코니아 블록. 지르코니아 블록 측면에 수축률 등 제품정보가 표시됨; 나) 다층 그라데이션(multi-layer gradation) 지르코니아 블록; 다) 리튬 디실리케이트 CAD용 블록; 라) 리튬 디실리케이트 열가압 성형용 잉곳; 마) 상악 제1소구치에 시술된 기존 크라운을 제거한 후 형성된 지대치. 치아가 변색되어있고 보철물을 투과해서 금속수복재료가 보이는 것이 차단될 필요가 있다; 바) 부분 소결된 지르코니아 세라믹 블록을 CAD/CAM 가공하여 수복물 형태를 제작. 소결동안 수축량을 보상하기 위해 확대된 형태로 가공되어짐; 사) 가공물의 색상부여 및 약 1,500°C에서 소결; 아) 지르코니아 올세라믹 크라운의 시멘트된 사진 및 전치부 올세라믹 크라운 수복물; 자) 리튬 디실리케이트 잉곳을 920°C, 2.7 bar압력으로 가압성형; 차) 매몰재를 블라스팅하여 제거하면 보철물이 보임; 카) 다 이에 적합한 심미적인 리튬 디실리케이트 인레이 수복물.

임상가를 위한 특집 1

에서는 올세라믹 수복물의 합착을 위해 사용되는 시멘트 및 본딩제의 종류와 특성에 대해 살펴본 후, 사용 시 유념할 사항에 대해 기술하도록 한다.

올세라믹 수복물을 위한 시멘트를 선택할 때는 우선 합착될 세라믹 수복물의 강도와 치아삭제의 유지형태 정도를 보아서 선택하는 것이 좋다(표 3).

인산아연시멘트는 탄성계수가 높기 때문에 교합압이 큰 수복물의 경우에 적합하다. 특히 다수의 치아를 포함한 세라믹 브리지의 접착 시에 변형이 적어서 응력발생이 적기 때문에 적합한 선택이 될 수 있다. 하지만, 보철물과 지대치 사이의 부적합성이 클 경우에는 시멘트의 용해성이 문제가 되어 적합하지 않다.

글라스아이오노머 시멘트는 합착 후에도 지속되는 경화반응으로 인해 체적 안정성이 좋지 않기 때문에 강도가 낮은 리튬 디실리케이트 크라운의 합착에는 추천되지 않는다.

레진강화형 글라스아이오노머(RMGI) 시멘트는 잉여 시멘트의 제거가 용이하고 조작 특성이 우수하며 강도, 용해저항성, 심미성이 비교적 우수하여 지르코니아 세라믹에는 추천되지만 흡수성이 있고 경화동안 체적안정

성이 좋지 못하여, 비교적 강도가 낮은 리튬 디실리케이트나 실리카계 세라믹 크라운의 합착에는 추천하지 않는다<sup>30)</sup>. GI와 RMGI 시멘트는 둘 다 레진 시멘트에 비해 불투명한 경향이 있어서 전치부의 올세라믹 수복물의 합착에는 사용하지 않는다.

레진시멘트는 강도, 용해저항성, 탄성계수 및 접착강도가 우수하다<sup>12)</sup>, 특히 유지력이 낮은 형태의 지대치에 합착할 경우와 강도가 낮은 올세라믹 수복물의 접착에 유용하다. 유지형태가 양호하지 못한 치아나 수복물 두께가 얇을 경우에는 수복물 내면과 삭제된 치면 모두에 본딩제를 바른 후 공기로 얇게 펴고, 수복물 내면은 광중합시키지 않은 상태로 레진시멘트로 접착한다. 일반적으로 심미성이 많이 요구되는 경우에는 비교적 낮은 강도의 세라믹(예로서 장식계, 루사이트 강화 세라믹, 리튬 디실리케이트 세라믹)이 사용되기 때문에, 강도 면에서 우수한 레진시멘트를 선택하면 수복물의 전체적인 강도를 보강하는 장점이 된다<sup>31)</sup>. 하지만 지르코니아와 같은 고강도의 세라믹이 유지형태가 좋은 지대치에 사용될 경우는, 추가적인 강도증진을 시멘트에 의존할 필요가 없기 때문에 자가접착성 레진시멘트나 RMGI 시멘트와

표 3. 합착조건(세라믹 수복물의 강도, 지대치의 유지형태)에 따른 권장 시멘트의 분류<sup>29)</sup>

합착 조건		RMGI	자가접착성 레진 시멘트	접착성 레진시멘트	심미성 레진시멘트
세라믹 수복물의 강도	지대치 삭제형태 (유지형태)				
낮음 (장식계 세라믹, 루사이트 강화 세라믹)	좋은 경우			○	○
	나쁜 경우			○	○
중간 (리튬 디실리케이트 강화 세라믹)	좋은 경우	○	○	○	○
	나쁜 경우			○	○
약간 높음 (고투명성 지르코니아)	좋은 경우	○	○	○	○
	나쁜 경우			○	○
높음 (지르코니아)	좋은 경우	○	○	○	○
	나쁜 경우			○	○



같이 낮은 강도의 시멘트가 사용될 수 있다<sup>32)</sup>.

레진 시멘트는 잉여 시멘트의 제거를 경화되기 전에 해주어야 하는 주의가 필요하고 만일 남아있더라도 방사선 불투과성이 없기 때문에 시멘트의 잔존여부를 쉽게 확인하기 힘들어서 변연부 연조직의 염증을 일으킬 수 있기 때문에 잉여시멘트 제거에 주의를 요한다. 특히, 임플란트-지지 세라믹 보철물은 레진시멘트를 사용하여 접착을 하면 접착력은 가장 우수하지만, 잉여 시멘트의 잔존으로 임플란트 주위염 발생우려가 있고 또한 임플란트에 문제가 생겼을 때 보철물을 제거하는 것이 어렵다. 이런 면에서 RMGI 시멘트는 임플란트-지지 보철물의 합착에 만족스러운 시멘트이다<sup>33)</sup>.

이원중합 레진시멘트는 크라운 세팅 시에 초기에는 tack cure를 하여 변연부로 빠져나온 잉여시멘트를 제거한 후 추가적인 광중합으로 중합이 완료된다. 빛이 도달하지 못한 부위도 화학중합에 의해 경화되는 장점이 있다. 하지만, 반응 후에 남은 잔존 아민 촉진제는 산화되어 변색을 초래할 수 있다<sup>34)</sup>. 뿐만 아니라 치아 표면에 자가부식 상아질 접착제 처리를 할 경우 산성 모노머 성분은 시멘트 내 아민과 산-염기 반응을 하여 라디칼 생성을 방해하여 중합도가 저해받을 수 있다<sup>35)</sup>. 치과용 레진재료의 중합효율을 향상하기 위한 활발한 연구가 계속되고 있다<sup>36-38)</sup>. Kerr사의 NX3 레진시멘트도 아민을 함유하지 않는 redox 개시제를 사용하여 이원중합 시멘트의 보철물 접착 후 발생할 수 있는 변색우려가 없다고 소개되고 있다. 최근에는 아민을 함유하지 않아도 광중합되는 게르마늄 광개시인 Ivocerin을 광개시제로 사용하여 색안정성과 광활성 효율을 향상시킨 광중합 레진(Tetric EvoCeram Bulk Fill, Ivoclar Vivadent)이 소개되었고, 이러한 기술발전은 레진시멘트에도 적용되어 색안정성에 기여할 것으로 기대된다<sup>39,40)</sup>. 새로 개발되는 시멘트들은 더 적은 적용 단계로도 내구성 있는 접착을 가능하게 하는 방향으로 발전해가고 있다.

수복물의 유지력을 생각할 때 치아 면에 대한 접착부

분과 수복물과의 접착부분을 생각할 수 있다. 치아와의 접착을 증가시키기 위하여 치과용 시멘트는 화학적 결합이 필요한데, 폴리아크릴산을 사용하는 시멘트와 특별한 접착성 단량체를 함유한 접착성 레진시멘트 등에서 화학결합이 일어난다.

폴리 아크릴산을 기본으로 하는 GIC와 RMGI 시멘트는 치아의 유기성분 및 무기 성분과 아크릴산이 착염을 형성하여 치아에 결합하며, 10-MDP와 같은 중합성 인산 에스테르, di-카르복실 무수물 기능그룹을 갖는 4-META, 또는 MAC-10 등을 함유한 레진시멘트는 상아질 내의 칼슘과 화학적으로 결합한다.

수복물과의 접착력을 증가시키기 위해서도 표면 거칠기를 부여해주는 처리와 수복물과의 화학적 결합력을 향상시키기 위한 처리가 사용된다. 실리카계 올세라믹 수복물은 표면을 불산 등을 사용하여 산부식시켜 표면거칠기를 부여한 후, 실란 커플링제를 도포하여 세라믹 수복물 표면과 레진시멘트와의 화학적 결합을 도모한다. 지르코니아 수복물 내면은 유지력을 증가시키기 위해 샌드블라스팅 또는 미세입자 다이아몬드 버를 사용하여 미세거칠기를 부여한 다음 수복물 내면을 청소한 후(예로서 Ivoclean) 완전히 세척한다. 샌드 블라스팅은 수복물의 강도를 고려하여 고강도 지르코니아 또는 금속에 한하여 시행한다. 그 후 접착성 프라이머 처리를 한다. 지르코니아 수복물 표면에는 실란처리를 위한 실라놀 그룹이 없기 때문에 실란처리에 의한 결합력 향상을 기대하기 힘들어서 MDP와 같은 접착성 프라미어가 함유된 본딩제를 발라준 후 레진시멘트 접착을 하거나 아니면 접착성 레진시멘트로 접착한다. 다음은 올세라믹 수복물의 합착을 위해 주로 사용되는 RMGI 시멘트와 레진시멘트에 대해 좀 더 자세히 살펴본다.

### 1) 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트

레진강화형 글라스 아이오노머 시멘트(resin-modified glass ionomer; RMGI)는 산에 용해성이 있는 글

라스 분말 성분과 폴리아크릴산(polyacrylic acid) 용액이 혼합되면 산-염기 반응에 의한 경화와 동시에 폴리아크릴산의 결사슬로 붙은 메타크릴레이트 그룹에 의해서 광활성에 의한 자유라디칼 고분자화 반응으로 가교에 의한 경화가 함께 일어난다. RMGI 시멘트는 자체에 폴리아크릴산 성분을 포함하기 때문에 피착 표면을 더 잘 적시고 상아질 표면을 자가부식하는 능력이 있어, GIC 보다 약간 더 큰 결합강도를 제공하고 유사한 정도의 불소를 방출하며, 빛을 쬐어 경화가 되고 취급하기에 편하고 술 후 지각과민이 적은 장점이 있다. 이원중합형의 경우 tack cure 중합에 의해 변연부 과잉 시멘트 제거가 쉽고 변연부 오염발생이 감소한 장점을 갖는다.

RMGI 시멘트는 수분 조절이 어려운 부위에서와 불소 방출을 요할 때 좋은 선택이 된다. 치은 연하 크라운 변연, 치은 출혈, 러버댐 장착 곤란 등의 이유로 시술부위의 건조가 어려운 경우 RMGI시멘트를 사용하여 합착하는 것이 권장된다<sup>41)</sup>. 레진시멘트에 비해서는 강도가 약하지만 금속, 금속-세라믹 및 고강도 세라믹 수복물(지르코니아)과 금속 및 복합 섬유 포스트의 합착에 유용하게 사용된다. 제품으로는 Nexus RMGI (Kerr), RelyX Luting2 Cement (3M ESPE), Fuji Cem 2 (GC), Rivia Luting Plus (SDI) RMGI 시멘트가 있다.

한편 다음과 같은 한계점도 있음을 유념하여 사용하도록 한다. 즉, ① 삭제된 치아의 유지형태가 약한 경우에는 접착력이 부족한 경우가 있고, 과도한 응력을 받는 경우에는 강도가 불충분하여 레진 시멘트를 고려할 필요가 있다. ② RMGI는 HEMA가 함유되어 있어서 흡습 팽창을 일으켜 세라믹 수복물에 균열을 발생시킬 수 있으므로 저강도 올세라믹 수복물의 합착에는 권장되지 않는다. ③ RMGI는 반용해성(semi-solubility) 이어서 합착과정동안 건조한 접착부위가 유지되지 않는다면 수분오염 가능성이 있다. 이원중합형 제품은 tack cure가 가능하므로 이런 한계를 줄일 수 있다. ④ 수복물 두께가 얇을 경우 투과되어 시멘트 색상이 보이면 심미성

이 부족하다. 이런 임상 상황에는 레진시멘트가 더 심미적으로 유리하다.

## 2) 레진 시멘트

레진시멘트는 치아에 대한 높은 결합강도, 심미성 및 용해저항성이 좋다. 특히 저강도 세라믹과 유지력이 부족한 수복물의 합착에 유용하게 사용된다. 치과용 세라믹 수복물은 반투명하며 합착용 시멘트의 색상은 세라믹 수복물의 심미성에 영향을 줄 수 있다. 레진 시멘트는 세라믹 수복물의 파절가능성을 낮추고 최적의 심미적 외관을 생성하기 위해 사용될 수 있는 색상 범위가 넓기 때문에 인레이, 올세라믹 크라운 및 브릿지의 합착에 가장 적합한 시멘트이다. 레진 시멘트는 중합방식에 따라 또는 별도의 접착제 필요 유무에 따라 분류된다.

### (1) 중합방식에 따른 분류

ISO 4049 (2019)에서는 치과 합착용 레진을 경화 방식에 따라 제1급 자기중합(self-cure)형, 제2급 광중합(light-cure)형 및 제3급 이원중합(dual-cure)형으로 분류한다. 최근에 인기있는 대부분 상용제품은 화학중합 기전과 광활성 기전을 겸비한 이원중합형을 채택하는 추세이다. 반면, 광중합형 레진 시멘트는 수복물 하방에 시멘트가 불완전 중합될 수 있는 가능성 때문에 이제는 덜 일반적이지만, 라미네이트 세라믹 비니어 또는 교정용 브라켓의 합착에 유용하게 사용된다(표 4).

글라스-세라믹 비니어 수복물을 광중합형 레진 시멘트로 합착할 경우 광조사 시 너무 높은 출력으로 급격히 중합시키면 레진의 급격한 중합수축에 의한 응력을 유도하여 접착실패를 초래할 수 있기 때문에<sup>42)</sup>, 콤포지트 레진의 직접 수복 시와 마찬가지로 광중합레진 시멘트의 초기 광중합은 낮은 광도로 tack cure에 의해 짧은 시간동안 중합한 후, 변연부 레진을 제거한 후 전체 면을 충분히 중합하는 것이 권장된다.

레진 기질 내에 아민이 존재하는 것은 임상적으로 관

표 4. 임상 상황에 따른 레진시멘트의 선택 유형<sup>6)</sup>

수복물의 종류	선호되는 레진 시멘트	선택 이유
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 얇고 반투명성이 좋은 경우 (예: 라미네이트 비니어)</li> </ul>	광중합 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업시간이 빛을 쬐어주기 전까지는 길다.</li> <li>• 변색 우려가 적다. 자가중합 또는 이원중합 시멘트의 경우에서 발생하는 아민/벤조일퍼옥사이드 개시제 또는 미반응 모노머에 의한 장기적 변색 우려가 없다.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불투명한 세라믹</li> <li>• 세라믹 수복물이 두꺼워서 시멘트 위치가 표면에서 먼 경우</li> </ul>	자가중합 시멘트 이원중합 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광중합형은 빛이 시멘트에 충분히 도달 못함</li> <li>• 시멘트가 장기적으로 약간 변색되더라도 수복물의 심미성에 영향을 안 미침</li> </ul>

려된 우려를 갖게 한다. 첫째, 아민은 시간이 지남에 따라 분해되어 시멘트의 변색을 초래한다. 둘째, 아민 촉진제는 산성의 접착제와 접촉하면 불활성화되어 중합 전환율에 영향을 미쳐서 수복물의 결합실패를 초래할 위험이 증가된다. 자가중합형이나 이원중합형 레진시멘트는 시간이 지나면서 변색이 되는 경향이 있으므로 전치부 심미 수복물의 합착을 위해서는 광중합형 레진시멘트가 적합하다. 단 빛이 수복물을 통과해서 레진시멘트를 중합해야 하기 때문에 두께가 얇은 라미네이트와 같은 수복물의 합착에 적당하다. 최근에는 이원중합 레진 중에서 변색의 원인이 되는 3차 아민을 대체한 성분을 사용하여 변색의 원인을 줄이는 제품이 있다(예; RelyX Unicem, NX3, G-Cem LinkAce, Maxcem Elite).

## (2) 별도의 접착제 필요 유무에 따른 분류

별도의 접착제 필요 유무에 따라 접착성 레진시멘트(adhesive resin cement), 자가접착성 레진시멘트(self-adhesive resin cement), 그리고 심미성 레진시멘트(aesthetic resin cement)로 분류될 수 있다.

### ① 접착성 레진시멘트

접착성 레진시멘트(adhesive resin cement)는 콤포짓 레진 수복에서와 마찬가지로 접착이 잘되기 위해서 시멘트로 접착하기 이전에 치아에 대해 상아질 접착제 사용을 필요로 한다. 접착성 레진시멘트는 중간-높음

정도의 접착강도를 보이며, 유지형태가 좋지 못할 때에는 훌륭한 선택이 된다.

저분자량의 모노머로 희석한 디메타크릴레이트 올리고머(Bis-GMA, UDMA 등), 실란 처리한 글라스 필러, 개시제와 촉진제를 포함하며, 피막두께 감소를 위해 필러 크기와 함량은 수복용 레진보다 작다. 색상, 반투명도, 변연부 심미성 등은 수경성 합착용 시멘트보다 우수한 특징을 갖는다.

접착성 레진시멘트는 모든 수복재료에 사용할 수 있어서 올세라믹 크라운/브릿지, 인레이/온레이, 고강도 세라믹(지르코니아) 크라운/브릿지, Maryland 브릿지, 포스트(금속 및 파이버) 등의 합착에 사용된다. 제조자들은 접착성 레진시멘트와 함께 유니버설 본딩제를 함께 동봉한 키트로 판매되는 경향이 있으며, 키트 내에 포함된 유니버설 본딩제를 치아의 토탈-에칭, 셀프-에칭, 또는 선택적-에칭 방법 중 하나를 선택하여 사용한다.

접착성 레진시멘트는 중합방식에 따라 이원중합형, 자가중합형, 광중합형으로 분류된다. 광중합에 의해서만 경화되는 시멘트는 전부 크라운의 접착에는 일반적으로 추천되지 않는다. 대표적인 제품들로는 이원중합형으로는 G-CEM LinkForce (GC), Panavia F 2.0 (Kuraray), Rely X Ultimate (3M), Duo-Link Universal (Bisco), Multilink N (Ivoclar Vivadent), Variolink Esthetics DC (3M), NX3 Nexus DC (Kerr) 등이 있으며, 광중합형으로는 NX3 Nexus LC (Kerr), 자가중합형으

로는 Panavia F 21 (Kuraray) 등이 있다,

접착성 레진시멘트와 함께 사용되는 Scotchbond Universal Adhesive (3MESPE)와 MAZIC Primer (Vericom)는 한 본딩제 내에 실란과 본딩제가 함께 함유되어 있어서, 실란 성분이 글라스-세라믹에 안정적 결합강도를 제공하고, MDP 성분은 치아와 보철물 모두에 안정적인 결합강도를 제공한다고 한다. 하지만 산성 접착제 내 실란의 효과에 대해서는 실란이 산성 상태에서 가수분해된 이후에는 탈수 축합반응에 의해 올리고머를 형성하여 접착력 향상정도가 떨어진다는 주장들이 있어서 장기적 효능에 대한 계속된 연구가 필요하다<sup>43,44</sup>.

## ② 자가접착성 레진시멘트

자가접착성 레진시멘트(self-adhesive resin cement)는 재료 자체에 산부식성과 화학적 접착성이 있는 산성의 기능성 모노머가 포함되어 있어서 치아 표면을 산부식하고 동시에 치아 및 다른 단량체와도 결합하여 자체 강도를 갖는 역할을 한다. 따라서 산부식, 프라이밍, 및 본딩제 처리 단계가 필요없이 보철물을 깨끗한 지대치에 직접 단 하나의 재료로 합착할 수 있는 시멘트로서 간접수복물의 합착을 크게 단순화시켜서 기술 민감도가 낮고, 술후 과민증 우려가 낮다<sup>45</sup>. 또한 잉여 시멘트를 청소하기가 쉽고 광중합 및 이원중합이 가능하다는 장점이 있다. 술식의 단순화와 물성의 향상으로 인해 이 유형의 레진시멘트 사용이 최근 크게 증가하였다.

이 유형의 시멘트는 매달린(padent) 그룹으로서 인산에스테르와 같은 산성 측쇄를 갖는 변형된 디메타크릴레이트 단량체를 사용한다. 치아 표면과 접촉하면 산성 그룹은 치질의 칼슘 이온과 결합하여 시멘트를 소위 자가접착성 레진 시멘트(self-adhesive resin cement)로 만든다. 즉, 산부식성을 갖는 접착성 모노머를 함유하므로 치아와 수복물 사이에서 접착 결합을 유도한다. 일반적으로 전통적인 소수성 디메타크릴레이트와 실란처리된 실리카계 글라스 필러, 그리고 카르복실기 또는 포스

포릴기가 포함된 메타크릴레이트를 함유한다. 포스포릴기가 붙은 메타크릴레이트(phospholated methacrylate)는 산성이고 친수성이며, 카르복실기가 붙은 메타크릴레이트(carboxylated methacrylate) 보다 더 반응성이 좋기 때문에 많은 자가부식 접착제의 성분으로 함유되어 있다. 산성그룹은 수산화인회석의 칼슘 양이온 및 산용해성 글라스 필러로부터 용출된 이온과 반응한다. 반응성의 phosphate ester 그룹은 금속이온과도 부착하는 능력이 있어서 지르코니아 또는 금속 수복물에 대한 접착성 시멘트로서 적합하게 만든다.

접착제와 함께 사용하는 접착성 레진시멘트에 비해 결합력이 낮으며, 친수성인 접착성 단량체를 함유하므로 적용 후 수분흡수와 탄성계수 저하 등의 문제가 나타날 수 있다. 하지만, 자가접착성 레진시멘트는 사용이 편하고, 접착제를 미리 따로 적용하지 않고서도 접착성이 좋기 때문에 사용빈도가 높아지고 있다. 자가접착성 레진시멘트는 치아 표면에 대해 상아질 접착제 사용이 따로 필요하지 않지만, 제조자에 의해 권장되는 일부 상아질 접착제를 자가접착 레진시멘트와 함께 사용할 수 있다.

자가접착성 레진시멘트의 범랑질에 대한 결합은 인산 산부식제를 사용하는 경우만큼은 강하지 못하다. 만일 와동 변연부에 범랑질이 충분히 있는 경우에는, 자가접착성 레진시멘트를 사용하는 경우라도 범랑질을 인산으로 산부식하는 것이 권장된다.

자가접착성 레진시멘트로 수복한 경우 술후 과민증 발생률이 접착성 레진시멘트 또는 전통적인 고정성 보철물용 시멘트에 비해 더 낮은 장점이 있다. 이것은 상아질을 인산으로 산부식할 필요가 없기 때문인 것으로 생각된다. 특히 TheraCem은 글라스 필러와 칼슘 실리케이트 필러가 함께 들어있어서 칼슘이온 및 불소이온을 방출하며 혼합 수분 이내에 산성도는 인산 및 카복실산 그룹과 MTA의 알칼리성 글라스 사이의 반응에 의해 중화되는 장점이 있다.

현재 임상에서 사용되는 레진시멘트에는 10-MDP (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate)나 MAC-10 (10-methacryloyloxydecamethylene malonic acid)과 같은 유기 인산염(organophosphate), 또는 4-META 카복실산 (4-metacryloyloxyethyl trimellitate anhydride)와 같은 접착성 단량체를 함유한 레진 시멘트 등이 올세라믹 수복물을 위한 접착제에 주로 사용되고 있다. 이들 접착성 모노머 중에서 특히 인기있는 단량체는 10-MDP로서 많은 임상적 성공을 거둔 제품인 일본 Kuraray 사의 자가부식 시스템 제품인 SE Bond에 들어있는 성분인데, 최근 2013년에 특허기간이 만료되면서 이제 자가부식 접착시스템을 이용한 거의 대부분 제품들이 MDP를 함유하여 제조하고 있을 정도이다. MDP는 MAC-10보다 전기음성도가 더 높아서 화학적으로 더 잘 반응하며, 분자 내 10개의 탄소가 이어진 스페이서 그룹에 의한 소수성은 메타크릴레이트 그룹이 레진 기질과 더 잘 반응하게 하여 더 높은 결합강도를 보인다고 한다(그림 2)<sup>46)</sup>.

자가접착성 레진시멘트를 사용할 경우 다음 사항을

유념한다. 최종경화 후 제거할 경우에는 청소가 어려울 수 있다. 변연부로 빠져나온 잉여 시멘트는 광조사기를 사용하여 짧은 시간동안 부분 중합(tack-cure)하면 잉여 시멘트를 깨끗이 한 덩어리로 제거할 수 있다. 자가접착성 레진시멘트는 Rely X Unicem (3M ESPE)가 최초로 소개된 이후 여러 회사들에서 “-cem”이라는 이름을 붙여 출시된 많은 제품들이 일반적으로 이 부류에 속한다. 대표적인 제품으로는 Panavia SA Cement Plus (Kuraray Noritake Dental), RelyX Unicem 2 Automix SelfAdhesive Resin Cement (3M ESPE), G-CEM LinkAce (GC America), SpeedCem (Ivoclar Vivadent), BisCem (Bisco), TheraCem (Bisco), SmartCem2 (Dentsply), Maxcem Elite (Kerr), U-Cem Premium (Vericom) 등이 있다.

### ③ 심미성 레진시멘트

심미성 레진시멘트(esthetic resin cement)에는 광중합형 및 이원중합형이 있다. 일부 심미성 레진시멘트 키트는 광중합 시멘트만을 포함해서 얇은 비니어나 인레

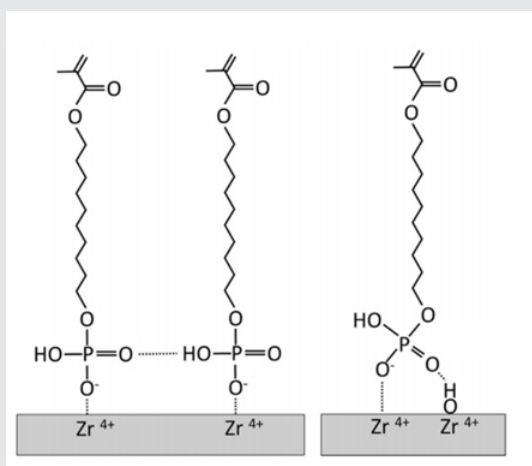


그림 2. 10-MDP 접착성 단량체의 지르코니아 수복물 표면과의 접착 기전<sup>46)</sup>. 지르코니아의 Zr<sup>4+</sup> 양이온과 10-MDP 기능그룹의 P-O<sup>-</sup> 음이온 사이의 화학결합, 그리고 수화된 지르코니아 표면의 -OH 그룹과의 수소결합이 함께 접착에 기여한다.

이/온레이와 같은 올세라믹 수복물에 사용하기에 적합하다. 광중합만 되는 심미성 레진시멘트 내에는 방향족 아민 촉진제가 들어있지 않으므로 색안정성이 우수하다. 이원중합 레진시멘트에는 아민 경화촉진제가 들어있어서 시간이 경과함에 따라 이 아민촉진제가 산화되어 색상이 변하는 단점이 있다. 하지만, 최근의 인기있는 심미성 레진시멘트들은 독자적인 광개시제를 함유하여서 높은 광중합 효율을 보이면서 색안정성이 우수한 제품들이 인기가 있다. 합착시 수분 등 오염물질로부터 격리가 필요하다.

심미성 레진시멘트는 인산으로 치아를 에칭하고 수복물을 프라이밍 한 후 레진시멘트를 적용한다. 대부분 제품들은 다양한 색상의 재료를 제공하고 각 색상별로 try-in 페이스트가 함께 포함되어있다. 작업시간은 긴 편이다. 심미성 레진시멘트의 상품 예로는 Variolink Esthetic LC (Ivoclar Vivadent), NX3 Nexus Third Generation (Kerr), RelyX ARC (3M ESPE), Calibra (Dentsply), Clearfil Esthetic Cement EX (Kuraray) 등이 있다.

### 3. 세라믹 수복물의 합착을 위한 표면처리 방법

세라믹 수복물의 표면 처리는 세라믹-시멘트 계면에서 미세기계적 및 화학적 결합에 의해 결합강도를 향상시키기 때문에 접착에서 매우 중요한 과정이다. 세라믹 수복물의 합착 전에 합착될 표면의 유지력을 얻기 위한 표면처리 방법으로서 세라믹 수복물의 유형에 따라 표면처리 방법은 차이가 있다.

만일 세라믹 보철물이 장석계 포세린이나 글라스-세라믹과 같이 실리카계 세라믹 소재인 경우, 보철물 합착면 표면의 표면적을 증가시켜서 미세기계적 맞물림 효과를 얻기 위해 불산(HF)으로 산부식한 후 치과기공실 또는 진료실에서 합착 전에 실란 코팅을 한다.

하지만 알루미늄 및 다결정성 지르코니아 세라믹은 글라스 상을 포함하지 않고 모든 원자들이 규칙적인 결

정성 배열을 하며 채워져 있으므로, 장석계 도재와 글라스-세라믹 수복물처럼 산부식이 되지 않으며, 실리카를 함유하지 않기 때문에 실란처리가 효과적이지 않다<sup>(47-49)</sup>. 대신 크랙의 전파가 어려워 파괴인성이 높기 때문에 알루미나 블라스팅에 의해 표면을 거칠게 처리해줄 수 있다. 비실리카계 세라믹은 50 $\mu$ m 알루미나 입자로 샌드 블라스팅하여 미세요철 표면을 형성하여 미세기계적 유지력을 얻고 화학적 결합은 MDP와 같은 프라이머를 사용함으로써 얻어진다.

하이브리드 세라믹은 산부식이 되지 않으므로 샌드 블라스팅과 프라이머 처리를 통해 접착력을 높인다.

#### 1) 실리카계 세라믹 수복물의 합착면 표면처리

장석계 도재(feldspathic porcelain)와 글라스-세라믹(glass-ceramic) 수복물은 파괴인성이 지르코니아에 비해 낮아서 샌드 블라스팅을 하게 되면 보철물이 약해지기 때문에<sup>(50)</sup>, 산부식에 의해 미세 요철 표면을 얻는다. 합착면을 4~9% 불산으로 제조자의 권장시간 동안 산부식한 후 흐르는 물로 세척하고 건조하면 요철 표면을 얻을 수 있어서 미세기계적 유지력을 얻을 수 있다<sup>(51,52)</sup>. 또한, 실란 처리를 하고 건조하면 레진시멘트와 화학적 결합을 얻을 수 있다.

#### (1) 산처리에 의한 미세기계적 유지형태 부여

##### ① 세라믹 산부식제의 농도와 처리시간의 영향

1983년 Horn HR은 불산을 사용하여 장석계 라미네이트 비니어를 산부식하여 접착강도를 향상시킴을 보고하였다<sup>(34)</sup>. 세라믹 산부식은 5-10% 불산을 사용하는데 글라스-세라믹의 종류에 따라 화학적 조성 및 미세구조가 달라 불산 산부식에 대한 부식효과가 다르기 때문에, 사용되는 불산 부식제의 농도와 부식시간은 과도한 산부식으로 세라믹 재료의 굴곡강도가 낮아지지 않아야 하며, 부식되어 녹아 난 부식산물은 표면에서 깨끗이 제거된 후 실란처리 되어야 한다<sup>(53,54)</sup>. 치과용 포세린에 대해

9% 불산을 사용하여 60~90초간 산부식을 권장하는 제품과 4% 불산을 사용하여 5~6분간 산부식을 권장하는 제품 등이 있다.

실리카계 세라믹인 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹 수복물도 합착 표면의 미세기계적 유지형태를 부여하기 위해 불산으로 산부식하여 접착강도를 향상시킨다<sup>53,55)</sup>. 불산의 농도가 높거나 불산에 노출시간을 연장할 경우, 강도를 낮추게 되어 세라믹 수복물의 장기적인 성공에 영향을 미친다<sup>54)</sup>. 세라믹 수복물 피착표면의 예리한 미세 요철부는 레진 시멘트와의 사이에서 기공이 형성되어 응력집중 부위가 되고 계면에서의 완전한 젖음을 방해할 수 있을 것이다. 불산으로 산부식시 불산의 산부식 시간은 반드시 제조자가 권장하는 지침을 따르도록 한다. 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹인 e.max

Press 열가압 성형된 수복물에 대해 5% HF젤로 20초간 산부식하는 것이 권장된다. 그림 3에는 글라스-세라믹(e.max Press) 잉곳과 열가압 성형된 시편 표면, 그리고 이를 불산젤 또는 Monobond Etch & Prime으로 처리한 시편의 전계방사형 주사전자현미경 사진을 보인다. 글라스-세라믹 잉곳을 열가압 성형하면 리튬 디실리케이트 결정이 성장하여 결정길이가 0.5 - 5  $\mu\text{m}$  정도로 더 길고 굽어지며 다방향성을 갖고 얽혀있음을 볼 수 있다. 암모늄 폴리플루오라이드(tetrabutylammonium dihydrogen trifluoride)과 메타크릴레이트 그룹을 갖는 인산 에스테르(methacrylated phosphoric acid ester)를 함유한 Monobond Etch & Prime으로 산부식한 시편(그림 3-바)은 결정은 많이 노출되지 않고 글라스 기질만 산부식되어 미세기공을 형성함을 알 수 있다. 반면,

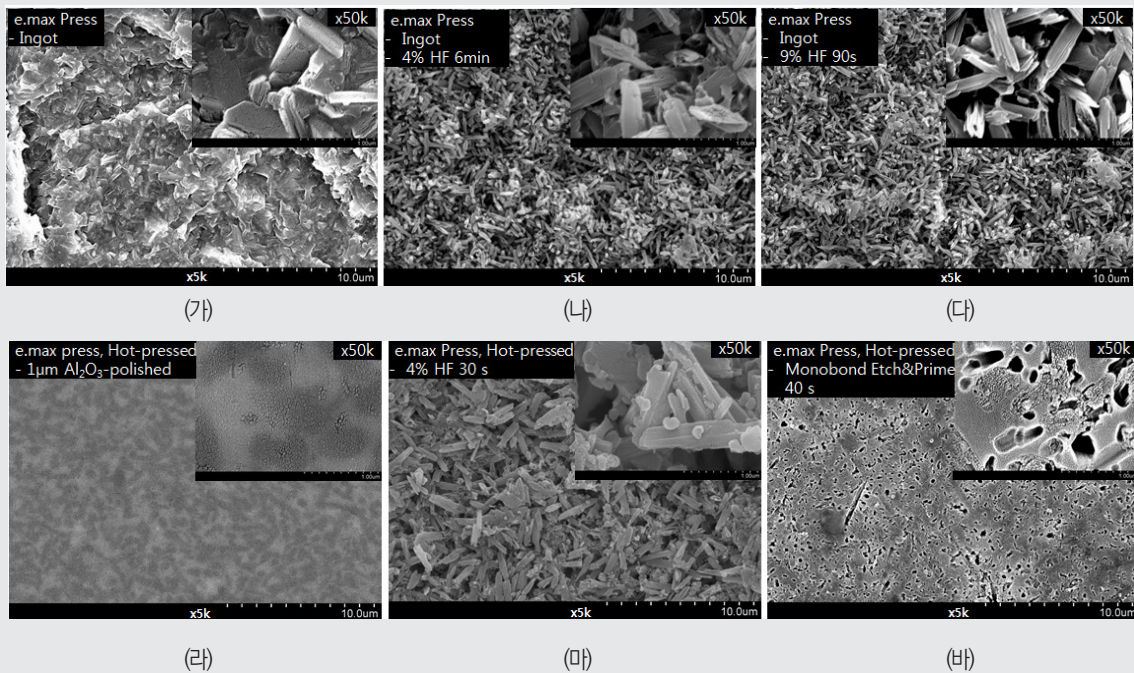


그림 3. 글라스-세라믹(e.max Press) 표면의 주사전자현미경 사진. (가) 잉곳 표면, (나), (다) HF 산부식 젤로 산부식한 표면, (라) 열가압 성형된 글라스-세라믹(e.max Press) 표면, (마) 4% buffered HF gel 30초간 산부식한 표면, (바) Monobond Etch & Prime 40초간 산부식한 표면.

임상가를 위한 특집 1

4% HF겔로 산부식된 표면(그림 3-마)은 글라스 기질이 녹아 결정들이 노출되어 거친 표면을 이루고 있다. 거칠어진 표면이 응력집중을 피하고 내구성있는 결합을 유지하기 위해서는 그 표면을 본딩제가 충분히 적셔 잘 스며들어 화학적으로 결합해주어야 할 것이다.

그림 4는 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹을 열가압 성형한 시편 표면을 # 2,000 SiC연마지로 연마한 후 4% HF 산부식 겔로 30초간(그림 4-나) 및 6분간(그림 4-다), 또는 9% HF 산부식 겔로 90초간(그림 4-바) 산부식한 경우와, 암모늄 폴리플루오라이드(ammonium polyfluoride) 성분이 함유된 Monobond Etch & Prime (Ivoclar Vivadent) 겔로 40초(그림 4-라) 및 80초간(그림 4-마) 산부식 및 프라이밍 처리한 표면의 원자간력 현미경 사진이다. 열가압 성형된 글라스-세라믹 시편 표면은(그림 4-가) 연마에 의한 스크래치 선만 관찰되고 산부식된 시편표면에 비해 더 매끄러웠다( $Ra=34\text{ nm}$ ); (나) 4% HF 겔로 30초간 산부식된 표면은 글라스 기질이 선택적으

로 산부식되어 미세요철이 형성되어 거친 표면( $Ra=172\text{ nm}$ )이 되었다; (다, 바) HF 산부식제의 농도와 적용시간이 커질수록 표면거칠기는 2배 이내 범위에서 더 거칠어졌다( $Ra=314, 211\text{ nm}$ ), (라, 마)는 암모늄 폴리플루오라이드 성분이 함유된 Monobond Etch & Prime 겔로 40초 및 80초간 산부식한 표면으로 표면의 미세요철 형상은 4% 또는 9% HF겔로 산부식한 표면과 비슷하지만, 평균거칠기( $Ra$ ) 값이  $41\text{ nm}$  (40초) 및  $45\text{ nm}$  (80초)로 훨씬 덜 거칠었다(그림 4-나, 다, 바 vs -라, 마; 그림 3-마 vs 3-바). Monobond Etch & Prime 겔을 리튬 디실리케이트 세라믹 표면처리에 사용할 경우 세라믹과 시멘트 사이의 결합실패가 크게 감소한다고 보고된다. 불산 또는 암모늄 폴리플루오라이드 산부식제를 사용할 경우, 두 가지의 다른 표면 거칠기 형태가 접착강도 및 장기적 내구성에 미치는 영향에 대해서는 향후 더 검토가 필요하다<sup>56,57</sup>. 과도하게 거친 표면과 응력이 집중되는 요철부위는 접착실패를 초래할 우려가 더 크며, 프라이머 처리는

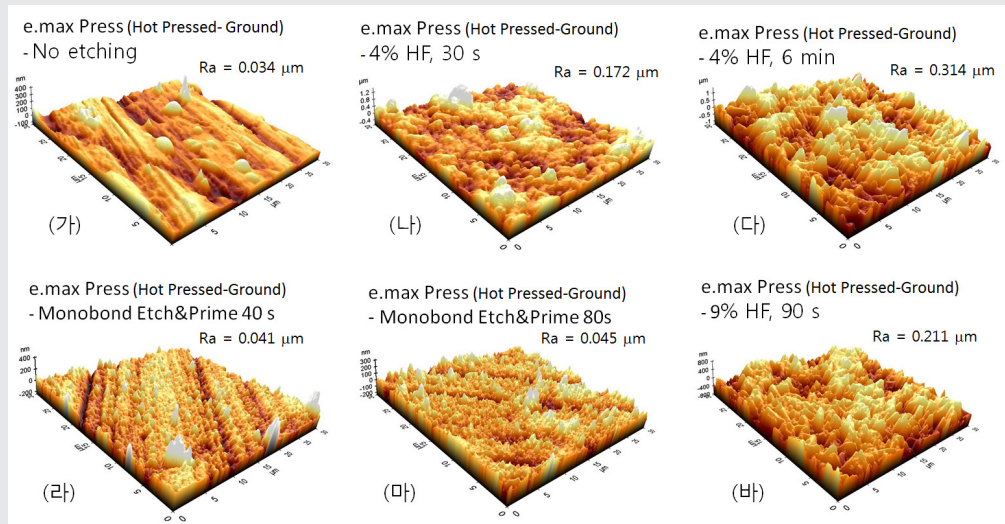


그림 4. 열가압 성형된 e.max Press 시편 표면의 원자간력 현미경 사진. (가) 시편표면을 2,000-grit SiC 연마지로 연마된 표면, (나)-(바) 산부식 겔의 종류와 처리시간 차이에 따른 산부식된 표면 양상; (나) 4% buffered HF gel 30초, (다) 4% buffered HF gel 6분, (라) Monobond Etch&Prime 40초, (마) Monobond Etch&Prime 80초, (바) 9% buffered HF gel 90초간 산부식한 표면.



접착강도와 내구성을 향상시킬 것으로 기대한다.

## ② 불산의 위해성과 새로운 대체 산부식제의 사용

글라스-세라믹 표면을 산부식시켜 미세하게 거칠어진 표면을 만들어 시멘트와의 결합강도를 높이는데 사용되는 불산은 독성이 매우 큰 물질이므로 주의가 요구된다<sup>47)</sup>. 불산처리를 할 때에는 소량을 사용하더라도 반드시 보안경을 끼고 니트릴 장갑이나 부틸고무 장갑을 끼고 사용하여야 한다<sup>58)</sup>. 불산의 위해성을 고려할 때 글라스-세라믹 표면을 거칠게 처리해 주기 위한 대체 산부식제로서 최근 소개된 자가부식 세라믹 프라이머인 Monobond Etch & Prime (Ivoclar Vivadent)은 관심이 가는 제품이라고 생각된다. 글라스-세라믹 표면을 거칠게 해주는 성분으로서 암모늄 폴리플루오라이드(ammonium polyfluoride)를 함유하여 산부식 기능을 담당하고, methacrylated phosphoric acid ester도 함께 함유되어 화학적 결합에 기여한다. 사용방법은 자가부식 세라믹 프라이머를 글라스-세라믹 수복물 내면에 도포하여 20초간 문지른 후 40초간 실온에 방치하여 반응시킨 후 물로 세척하고 건조하면, 산부식과 프라이밍 기능이 완성된다고 보고하고 있다<sup>29,56,57)</sup>. Ivoclar사의 기존 제품은 불산으로 산부식한 후에 Monobond로 표면을 전처리하였지만, Monobond Etch & Prime을 사용함으로써 불산으로 산부식 처리하는 과정이 필요 없어서 전처리 방법이 간단하다. FE-SEM 및 AFM 분석결과 불산으로 산부식한 표면보다 훨씬 더 미세한 요철 표면을 보여서 응력집중 부위가 작아 장기적 강도저하가 적어 안정적인 수복물 합착을 이룰 수 있을 것으로는 기대되나 정확한 평가는 추가적인 연구가 필요하다.

## (2) 실란 커플링제 처리에 의한 화학적 결합력 부여

실란 커플링제(silane coupling agents) 처리를 하면 실란 분자의 알콕시 그룹(methoxy- 또는 ethoxy-그룹)은 가수분해되어 세라믹 표면의 수산기와 반응하여 결

합하고, 실란의 탄소-탄소 이중결합 소수성 기능그룹은 레진시멘트와 반응하여 증합된다.

실란처리를 하기 전에는 표면을 완전히 건조한 공기나 따뜻한 공기, 또는 휘발성 건조용액으로 충분히 건조하여야 하고, 실란처리 후에는 또한 실란용액 내의 용매를 충분히 건조해야 한다. 처리된 실란을 건조시키면 얇은 실록산(siloxane; -Si-O-Si-) 막을 형성하여 세라믹 표면과 레진시멘트 사이의 연결역할을 한다<sup>59,60)</sup>. 레진시멘트의 장기간 구강 내 유지동안 수분흡수가 일어나면 접착계면에서 실록산 결합의 가수분해가 초래되어 접착이 저하될 수 있다. 따라서, 세라믹 표면의 거칠기 부여 후 흐름성과 젖음성이 좋은 시멘트의 사용과 더불어 시멘트 내 접착성 모노머에 의한 화학결합은 중요하다.

## 2) 지르코니아 세라믹 수복물의 합착면 표면처리

### (1) 알루미늄 블라스팅 처리

부분 소결된 지르코니아 세라믹 블록(그림 5-가)을 약 1,500°C의 온도로 가열하면 입자들 간에 소결되어 치밀한 표면을 갖게 되며, 이와 동시에 상당히 큰 수축을 동반한다(그림 5-나). 수복물 내면의 피착표면을 미세 알루미늄 입자로 블라스팅 처리해주면 표면이 접착 시 미세기계적 유지력을 얻기에 유리한 미세 거칠기를 갖게 된다(그림 5-다, 라). 그림 5-라 는 알루미늄 블라스팅한 표면을 원자간력 현미경으로 관찰한 사진으로 표면의 평균 거칠기(Ra)는 0.298  $\mu\text{m}$ 의 Ra값을 보였다.

### (2) 접착성 프라이머 처리

지르코니아 수복물은 접착성을 향상시키는 위해 알루미늄 입자로 샌드 블라스팅한 후, MDP 모노머나 유기인산 에스테르 등의 성분을 함유한(또는 추가로 실란 함유) 접착성 세라믹 프라이머를 적용하여 화학적 접착력을 도모한다. Z-Prime Plus (Bisco)는 간접 수복물 내면과 레진 시멘트 사이의 접착을 향상시키기 위해 사용되는 단일용액형 프라이머로서 두 종류의 기능성 단

임상가를 위한 특집 1

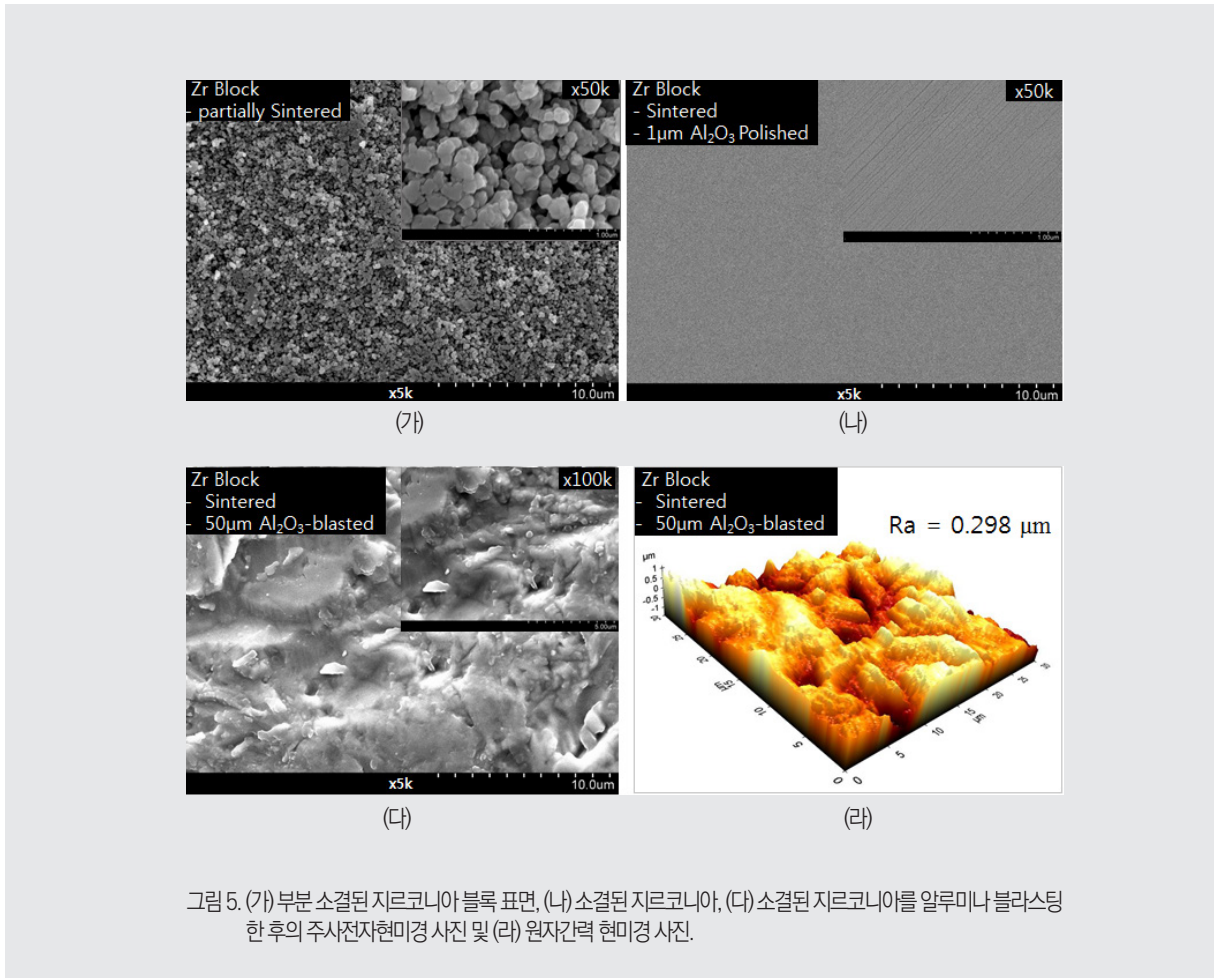


그림 5. (가) 부분 소결된 지르코니아 블록 표면, (나) 소결된 지르코니아, (다) 소결된 지르코니아를 알루미나 블라스팅 한 후의 주사전자현미경 사진 및 (라) 원자간력 현미경 사진.

량체(인산염계 단량체인 MDP와 BDPDM과 같은 카르복실레이트계 단량체)를 포함하고 있어서 레진 시멘트의 지르코니아, 알루미나 및 금속 피착면에 대한 접착강도를 향상시킨다. MonoBond Plus (Ivoclar Vivadent)는 접착제 내에 실란과 인산염계 단량체를 함께 함유한다.

(3) 물리화학적 블라스팅 처리

비실리카계 세라믹인 지르코니아를 실란처리가 가능하도록 만들기 위하여 실리카가 코팅된 알루미나 입자로 블라스팅하는 물리화학적 블라스팅 처리(tribochemical blasting)하여 지르코니아 표면에 실리카가

일부 코팅되게 하여 접착력 향상을 도모할 수도 있다(그림 6). 다결정 지르코니아 세라믹을 물리화학적 실리카 코팅한 후에는 실란처리에 의한 화학적 결합효과를 얻을 수 있다<sup>48,61,64</sup>.

(4) 심미성 지르코니아의 표면처리

전통적 지르코니아는 다결정성 미세구조를 가져서 재료 내 광산란으로 인해 불투명한 외관이 보이므로 지르코니아의 반투명도를 향상시키기 위한 개발이 계속되었다. 심미적 지르코니아 세라믹은 지르코니아 내 이트리아 함량을 최대 5 mol%로 증가시킴으로써, 약 50% 입

방정상을 함유하는 높은 반투명성을 갖는 입방정상 지르코니아(cubic-phase zirconia)가 얻어진다. 이 입방정상 지르코니아는 우수한 반투명성을 가지는 반면에 기계적 강도는 상변태 강화효과의 감소로 인해 전통적 3Y-TZP보다 낮게 된다. 하지만 리튬 디실리케이트 글라스-세라믹의 강도보다는 더 높다. 입방정상 지르코니아를 표면처리할 때에는 블라스팅 입자 크기가 더 작은 30 μm의 실리카 코팅된 알루미나 입자를 사용하여 더 낮은 공기압으로 블라스팅하는 것이 권장되며, 실란 프라이머와 MDP 접착제 처리를 함께 해주는 것이 권장된다<sup>25)</sup>.

#### (5) 지르코니아-강화 리튬 실리케이트 글라스-세라믹의 표면처리

지르코니아-강화 리튬 실리케이트(zirconia-reinforced lithium silicate; ZLS)와 같은 새로운 글라스-세라믹 재료는 지르코니아 결정(8~12% 지르코니아)이 글

라스 기질에 함입되어 있는 메타 실리케이트 글라스-세라믹으로 불산 산부식에 의해 미세기계적 유지력을 얻을 수 있다. 5% 불산으로 20초간 산부식한 후 세척 및 건조한 다음 60초간 실란 처리하는 것이 권장된다<sup>65,66)</sup>. 반면, Monteiro JB 등<sup>21)</sup>은 ZLS 수복물 내면을 10% 불산으로 60초~90초간 산부식한 후 실란과 MDP를 함유한 접착제를 사용하는 경우 가장 우수한 결과를 보였다고 보고한다. 산부식제의 농도와 적용시간에 대한 영향은 계속 평가되어야 하며, 접착성 프라이머의 사용은 미세요철을 가진 합착면에서 접착의 내구성에 도움이 되는 것으로 여겨진다.

#### 3) 세라믹 수복물의 합착 시 세정의 중요성

보철물의 적합성을 평가하기 위해 시작하면 환자 구강 내에 남겨진 타액에 의해 수복물 내면이 오염되어 접착력이 크게 감소하게 된다. 지르코니아 수복물의 시작 시 타액이 세라믹 표면을 오염시키면 단순히 물이나 알

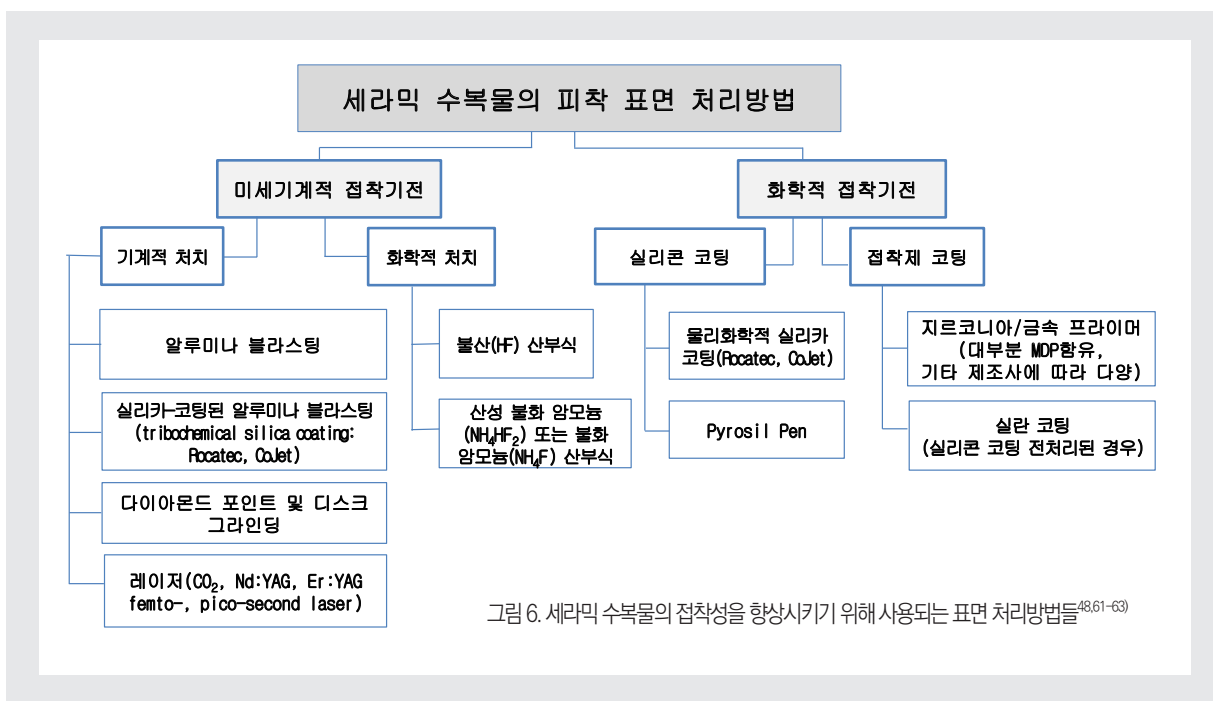


그림 6. 세라믹 수복물의 접착성을 향상시키기 위해 사용되는 표면 처리방법들<sup>48,61-63)</sup>

코을을 사용하면 타액을 제거하더라도 타액의 phosphate 그룹이 지르코니아 표면에 남아 결합되어 phosphate 기능그룹을 갖는 프라이머(예로서 MDP)가 지르코니아와 산-염기 반응을 제대로 못하게 방해하여 접착력이 크게 감소된다. 따라서 수복물을 구강 내 시적 후에는 세라믹 수복물 내면에 남은 인산염 불순물(phosphate contaminants)을 제거하는 과정이 중요하다<sup>67)</sup>.

수복물 내면은 산부식하기 전과 후에 표면을 깨끗하게 처리되어야 한다. 이를 위한 제품으로는 유니버설 세척 페이스트[ZirClean (Bisco), Ivoclean (Ivoclar Vivadent)]등이 있다. Ivoclean (Ivoclar Vivadent)은 중량비로 지르코니아 입자 10-15%, 물 65-80%, 폴리에틸렌 글리콜 8-10%, 수산화나트륨 1% 이내, 색소 및 첨가제 4-5%로 구성되어 있다. Ivoclean 내의 지르코니아 입자가 지르코니아 크라운 내면에 오염된 인산염(phosphate)과 결합하여 떼어내서, 지르코니아 크라운 내면이 접착제의 인산염 그룹과 잘 반응할 수 있는 깨끗한 표면이 되게 해준다. 산도는 pH 13-13.5로 강알칼리성이기 때문에 구강 밖에서 보철물에 20초간 문지른 후 세척, 건조하여 준다.

글라스-세라믹의 경우, 불산으로 산부식한 후에는 글라스 기질이 녹아나서 침전물이나 염으로 표면에 남기 때문에 산부식 후 표면에 남은 찌거기를 증류수 내에서 초음파 세척을 하여 제거하거나 압축공기/물 세척을 30초간 정도 해주어야 한다.

### III. 결론

치과 재료가 발전함에 따라 심미적이면서도 강한 세라믹 수복이 가능하게 되었다. 심미 세라믹 재료는 지난 10여년 동안 강도와 심미성 면에서 엄청난 개선이 이루어졌다. 리튬 디실리케이트 세라믹의 성공적인 사용으로 인해 심미성 수복에서 단일체 세라믹 수복은 점차 더

호응을 받고 있다. 이와 더불어 전체 피복(full-contour) 지르코니아 크라운 및 계속가공의치도 더 높은 반투명성과 강도 및 다층 색조를 갖게 제조되고 있다. 전체 피복 지르코니아 수복은 가격이 저렴하고 강도가 높으며 치아삭제를 더 보존적으로 할 수 있어서 그 인기가 최근 크게 증가하는 추세이다. 또한, 세라믹의 파절양상을 보면 교합접촉면 보다는 지르코니아 코어와 비니어링 세라믹 사이의 파절이 가장 흔해서, 최근에는 올세라믹 수복물을 제작할 때 구치부에서는 심미성을 고려한 다층 구조(layer crown) 보다는 파절 저항성을 고려하여 심미적이면서 고강도의 단일체(monolithic) 올세라믹 수복물의 사용빈도가 증가되는 추세이다.

세라믹 수복물 접착면의 표면처리 방법과 접착단계는 점차 단순화되어지고 있다. 치과수복용 세라믹 및 시멘트 재료의 성능과 사용 술식은 계속해서 많은 개선이 되어지고 있기 때문에 치과의사와 위생사 및 기공실 스태프들은 새로 개발된 세라믹 및 시멘트 재료에 대한 정보를 계속 새롭게 업데이트하여 파악하고 적용 프로토콜 변화를 파악해서 성공적인 올세라믹 수복을 위한 올바른 접착 술식을 행해주어야 하겠다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012;28(1):3-12.
3. Bunek S. Ceramics and surface treatments. *Dental Advisor*. 2018;35(3):2-6.
4. Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1984;4(2):32-46.
5. Sadoun M. All ceramic bridges with the slip casting technique. Presented at the 7th International Symposium on Ceramics; September; paris1988.
6. Seghi RR, Leyva Del Rio D. Biomaterials: Ceramic and adhesive technologies. *Dent Clin N Am*. 2019;63(2):233-48.
7. Fabian Fonzar R, 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(1):63-70.
8. Wen G, Zheng X, Song L. Effects of P2O5 and sintering temperature on microstructure and mechanical properties of lithium disilicate glass-ceramics. *Acta Mater*. 2007;55(10):3583-91.
9. Jin J, Takahashi H, Iwasaki N. Effect of test method on flexural strength of recent dental ceramics. *Dent Mater J*. 2004;23(4): 490-6.
10. Chung SM, Yap AUJ, Chandra SP, Lim CT. Flexural strength of dental composite restoratives: Comparison of biaxial and tree-point bending test. *J Biomed Mater Res B*. 2004;71(2):278-83.
11. International Organization for Standardization. ISO 6872:2015(E). Dentistry - Ceramic materials. Geneva: ISO; 2015.
12. 한국치과재료학교수협의회. 치과재료학 제8판. 군자출판사; 2020.
13. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NR. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dent Clin N Am*. 2011;55(2):333-52.
14. Zhang Y, Kelly JR. Dental ceramics for restoration and metal veneering. *Dent Clin N Am*. 2017;61(4):797-819.
15. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Mater*. 2016;32(11):e275-e83.
16. Sim JH, Lee JB, Hwang SS. Effect of glazing on the flexural strength of lithium disilicate glass ceramics. *Kor J Dent Mater*. 2019;46(4):185-94.
17. Elsaka SE, Elnaghy AM. Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic. *Dent Mater*. 2016;32(7):908-14.
18. Beham G. IPS-Empress: a new ceramic technology. *ZWR*. 1991;100(6):404-8.
19. Severance G. Introducing a lithium disilicate glass-ceramic: IPS Empress 2. *Signature*. 1999;4:1-3.
20. Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dent Mater*. 2017;33(1):84-98.
21. Monteiro JB, Oliani MG, Guilardi LF, Prochnow C, Rocha Pereira GK, Bottino MA, et al. Fatigue failure load of zirconia-reinforced lithium silicate glass ceramic cemented to a dentin analogue: Effect of etching time and hydrofluoric acid concentration. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018;77:375-82.
22. Riquieri H, Monteiro JB, Viegas DC, Campos TMB, de Melo RM, de Siqueira Ferreira Anzaloni Saavedra G. Impact of crystallization firing process on the microstructure and flexural strength of zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramics. *Dent Mater*. 2018;34(10):1483-91.
23. Elsaka SE, Elnaghy AM. Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic. *Dent Mater*. 2016;32(7):908-14.
24. Sen N, Us YO. Mechanical and optical properties of monolithic CAD-CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2018;119(4):593-9.
25. McLaren EA, Giordano RA. Zirconia-based ceramics. material properties, esthetics and layering techniques of a new veneering porcelain, VM9. *Quintessence Dent Tech*. 2005:99-111.
26. Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*. 2014;30(10):1195-203.
27. Zhang Y, Lawn BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res*. 2018;97(2):140-7.
28. McLaren EA, Lawson N, Choi J, Kang J, Trujillo C. New high-translucent cubic-phase-containing zirconia. *Inside Dental Technology*. 2017;8(10):26-35.
29. Bunek S. Ceramics and surface treatments. *Dental Advisor*. 2019;36(2):2.
30. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*. 1999;81(2):135-41.
31. DG G. Nelson JW. The bonded Dicoor crown. *J Dent Res*. 1987;66:206.
32. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*. 1999;20(1):1-25.
33. Almeahmadi N, Kutkut A, Al-Sabbagh M. What is the Best Available luting agent for implant prosthesis? *Dent Clin N Am*. 2019;63(3):531-45.
34. Noie F, O'Keefe KL, Powers JM. Color stability of resin cements after accelerated aging. *Int J Prosthodont*. 1995;8(1):51-5.
35. Moszner N, Liska R. Photoinitiators for direct adhesive restorative material. In: Fouassier JP, Allonas X, editors. *Basics and Applications of Photopolymerization Reactions*. 1. Kerala: Research Signpost; 2010. p. 93-114.
36. Park YJ, Chae KH, Rawls HR. Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. *Dent Mater*. 1999;15(2):120-7.
37. Asmussen S, Vallo C. Light absorbing products during polymerization of methacrylate monomers photoinitiated with phenyl-1, 2-propanedione/amine. *J Photoch Photobio A*. 2009;202(2-3):228-34.
38. Cook WD, Chen F. Enhanced photopolymerization of dimethacrylates with ketones, amines, and iodonium salts: The CQ system. *J*

## 참고 문헌

- Polym Sci Pol Chem. 2011;49(23):5030-41.
39. Ganster B, Fischer UK, Moszner N, Liska R. New photocleavable structures, 4: Acylgermane-based photoinitiator for visible light Curing. *Macromol Rapid Comm*. 2008;29(1):57-62.
  40. Ganster B, Fischer UK, Moszner N, Liska R. New photocleavable structures. Diacylgermane-based photoinitiators for visible light curing. *Macromolecules*. 2008;41(7):2394-400.
  41. van Dijken JW, Pallesen U. Long-term dentin retention of etch-and-rinse and self-etch adhesives and a resin-modified glass ionomer cement in non-carious cervical lesions. *Dent Mater*. 2008;24(7):915-22.
  42. Tian T, Tsoi JK, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater*. 2014;30(7):e147-62.
  43. 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(10):1218-25.
  44. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater*. 2012;28(5):467-77.
  45. Hitz T, Stawarczyk B, Fischer J, Hammerle CH, Sailer I. Are self-adhesive resin cements a valid alternative to conventional resin cements? A laboratory study of the long-term bond strength. *Dent Mater*. 2012;28(11):1183-90.
  46. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y, et al. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Scientific Rep-UK*. 2017;7(1):1-7.
  47. Ozcan M, Allahbeickaraghi A, Dundar M. Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. *Clin Oral Invest*. 2012;16(1):15-23.
  48. Blatz MB, Chiche G, Jolst S, Sadan A. Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *J Appl Oral Sci*. 2007;38(9):745-53.
  49. Derand T, Molin M, Kleven E, Haag P, Karlsson S. Bond strength of luting materials to ceramic crowns after different surface treatments. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2008;16(1):35-8.
  50. Kern M, Thompson VP. Sandblasting and silica coating of a glass-infiltrated alumina ceramic: volume loss, morphology, and changes in the surface composition. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1994;71(5):453-61.
  51. Calamia J, Vaidyanathan. TK and Hirsh, SM, Shear bond strength of etched porcelain. *J Dent Res*. 1985;64.
  52. Lacy AM, LaLuz J, Watanabe LG, Dellinges M. Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. *J Prosthet Dent*. 1988;60(3):288-91.
  53. Ramakrishnaiah R, Alkheraif AA, Divakar DD, Matinlinna JP, Vallittu PK. The effect of hydrofluoric acid etching duration on the surface micromorphology, roughness, and wettability of dental ceramics. *Int J Mol Sci*. 2016;17(6).
  54. Zogheib LV, Bona AD, 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(1):45-50.
  55. Prochnow C, Venturini AB, Grasel R, Gundel A, Bottino MC, Valandro LF. Adhesion to a lithium disilicate glass ceramic etched with hydrofluoric acid at distinct concentrations. *Braz Dent J*. 2018;29(5):492-9.
  56. Prado M, Prochnow C, Marchionatti AME, Baldissara P, Valandro LF, Wandscher VF. Ceramic surface treatment with a single-component primer: resin adhesion to glass ceramics. *J Adhes Dent*. 2018;20(2):99-105.
  57. Maier E, Bordihn V, Belli R, Taschner M, Petschelt A, Lohbauer U, et al. New approaches in bonding to glass-ceramic: Self-etch glass-ceramic primer and universal adhesives. *J Adhes Dent*. 2019;21(3):209-17.
  58. Lopes GC, Ballarin A. Hydrofluoric acid-simple things you may do not know about some thing you are so habituated to use. *J Dent Sc*. 2015;16:15-23.
  59. Matinlinna JP, Vallittu PK. Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces - an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. *J Oral Rehabil*. 2007;34(8):622-30.
  60. Park YJ, Yang HS. Synthesis of fluoride releasing resin and fluoride level changes of the tooth structure. *J Kor Res Soc Dent Mater*. 1987;14(1):35-55.
  61. Amaral R, Ozcan M, Valandro LF, Balducci I, Bottino MA. Effect of conditioning methods on the microtensile bond strength of phosphate monomer-based cement on zirconia ceramic in dry and aged conditions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2008;85(1):1-9.
  62. Russo DS, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A systematic review of current conditioning methods and bonding Materials. *Dent J*. 2019;7(3):74.
  63. Demetoğlu GA, Zortuk M. Effect of surface treatments on leakage of zirconium oxide ceramics. *Meandros Med Dent J*. 2016;17(2):64-9.
  64. May LG, Passos SP, Capelli DB, Özcan M, Bottino MA, Valandro LF. Effect of silica coating combined to a MDP-based primer on the resin bond to Y-TZP ceramic. *J Biomed Mater Res B*. 2010;95(1):69-74.
  65. Ataoğ AS, Ergun G. Effects of surface treatments on repair bond strength of a new CAD/CAM ZLS glass ceramic and two different types of CAD/CAM ceramics. *J Oral Sci*. 2018;60(2):201-11.
  66. do Prado Sato T, Cotes C, Yamamoto LT, Rossi NR, da Cruz Macedo V, Kimpara ET. Flexural strength of a pressable lithium disilicate ceramic: influence of surface treatments. *Applied Adhesion Science*. 2013;1(1):1-5.
  67. Samran A, Al-Ammari A, El Bahra S, Halboub E, Wille S, Kern M. Bond strength durability of self-adhesive resin cements to zirconia ceramic: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2019;121(3):477-84.