

심미수복을 위한 세라믹 재료의 치과 응용 및 그의 전망

배태성, 이민호, 신재우*

전북대학교 치과대학 치과생체재료학교실 및 생체흡수성소재연구소

Dental applications of ceramic materials for aesthetic restoration and their future prospects

*Tae-Sung Bae, Min-Ho Lee, Jae-Woo Shin**

*Department of Dental Biomaterials and Institute of Biodegradable Materials,
School of Dentistry, Jeonbuk National University, Jeonju-si, Republic of Korea*

With the increasing demand for aesthetic restorations by patients, there is an increasing interest in ceramic restorative materials that can be applied not only to the anterior region but also to the area of the posterior region. Conventional ceramic materials had excellent aesthetics, but the process of fabricating restorations was complex and showed many limitations in application due to their low strength. Recently, with the great advances in the manufacturing and processing technology of ceramic materials and the introduction of the CAD/CAM technology in fabricating restorations, the demand for dental ceramic materials is steadily increasing. In the CAD/CAM fabrication method, where the restorations are produced by milling the blocks, there are limitations in the geometry that can be produced due to the interference of the tool. In addition, not only does the milling tool wear out quickly, but most of the blocks are removed by milling. On the other hand, in the 3D printing production method, it has the advantages of low material consumption and the simultaneous production of multiple restorations in a short period of time, so that if the production of dense sintered bodies is possible, its application is expected to increase rapidly.

Keywords : Dental ceramic materials, Ceramic restoration materials, Restoration fabrication technology

서론

치과용 수복물의 제작을 위해서 처음으로 사용한 세라믹 재료는 포세린(porcelain)이다. 포세린은 색상과 반투명성

이 자연치와 매칭이 되므로 심미성이 우수하고, 또한 압축강도, 변형과 마모에 대한 저항성, 화학적 내구성 등이 우수하여 수복재료로서 좋은 장점을 갖고 있다. 이러한 장점에 근거하여 1886년 Charles H Land에 의해서 porcelain jacket

Tae-Sung Bae (ORCID: 0000-0002-8307-4544)
Min-Ho Lee (ORCID: 0000-0001-6142-4876)

*Correspondence: Jae-Woo Shin (ORCID: 0000-0003-0834-4265)
567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54896 Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental Biomaterials and Institute of Biodegradable Material, School of Dentistry, Jeonbuk National University, Jeonju-si, Republic of Korea
Tel: +82-63-270-4041, Fax: +82-63-270-4040
Email: jwsin223@naver.com

Received: Aug 18, 2022; Revised: Sep 02, 2022; Accepted: Sep 08, 2022

crown의 형태로 치과임상에 도입되었지만(1), 소성(firing) 수축이 커서 적합이 불량하고 또한 낮은 인장강도로 인하여 쉽게 파절이 일어나는 등의 문제점으로 인하여 널리 보급되지 못하였다. 이후 포세린의 우수한 심미성과 금속의 높은 파절저항성의 장점을 결합한 시스템인 금속-세라믹(metal-ceramic) 수복법이 도입되어 현재도 치과임상에서 적용되고 있지만, 이 수복법 역시도 포세린의 소성과정에서 일어나는 금속제 프레임워크(framework)의 산화, 금속색의 차단을 위해서 사용하는 불투명 포세린에서 기인한 수복물의 명도 증가, 치은부 2-3 mm 상방에 형성되는 shadow의 발현, 비니어 포세린의 칩핑(chipping)이나 파절 등의 문제점이 노출되면서 이를 대체하기 위한 수단에 관심이 증가되었다(2-4).

근래 세라믹 재료의 제조 및 가공 기술이 크게 진보하면서 심미적인 측면에서 한계를 보인 금속-세라믹 수복법 대신 글라스-세라믹(glass-ceramics)이나 지르코니아(zirconia) 세라믹 등을 사용하는 all-ceramic 수복법에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 치과 수복물의 제작과정에 디지털화된 장비들이 활용되면서 치과용 세라믹 재료는 새로운 시대를 맞고 있다. 본 연재에서는 치과임상에서 심미 수복물의 제작에 사용되고 있는 세라믹 재료들을 소개하면서 향후의 동향에 대해서도 개략적으로 살펴보고자 한다.

본 론

1. 치과용 포세린

치과용 포세린은 공통적으로 장석(feldspar), 석영(quartz) 및 점토질(kaolin)을 포함한다. 석영은 포세린의 소성온도 범위에서 거의 변화를 보이지 않으므로 골격과 같은 기능을 한다. 장석은 고온에서 다른 금속산화물들과 함께 녹아 글라스 상이 되어서 결정입자를 융합하는 역할을 한다. 점토질은 포세린 분말에 가소성과 점결성을 부여하므로 성형성의 개선을 위해서 첨가하지만 소성된 포세린의 투명도를 저하시키므로 0-3%로 제한하고 있다. 치과용 포세린의 요구조건을 살펴보면, 심미적인 측면에서 자연치 색의 재현을 위해서 투명도가 높은 장석의 증가가 요구되고, 내구성의 측면에서는 낮은 파절강도의 개선을 위해서 석영의 증가가 요구된다. 치과용 포세린은 전치부의 심미수복에 사용하는 재료이므로, 강도를 희생시키더라도 심미성을 증진하고자 하였으며, 따라서 성분 중에서 장석의 함량을 크게 증가시키고 있다 (Figure 1) (5, 6).

치과용 포세린은 결정질 석영이 비정질 글라스에 융합되어 있는 상태이므로 소성온도가 높다. 따라서 용도에 따라 소성 온도를 저하시키기 위해서 구성성분의 일부를 바꾸어

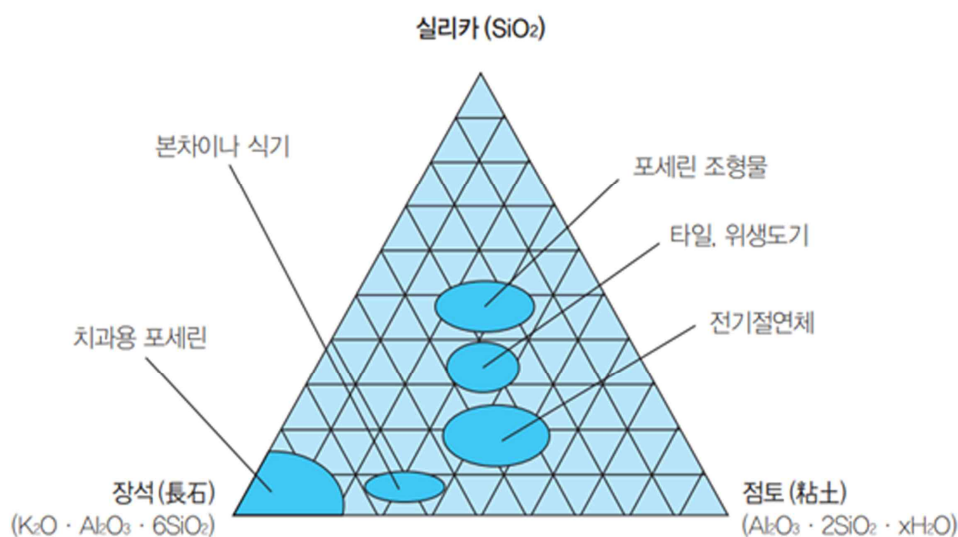


Figure 1. Composition of porcelain.

주거나 조성에 글라스 개질제(glass modifier)를 첨가하는 방식이 적용되고 있다. 치과용 포세린은 용융온도에 따라서 고온 용융형(1,300 °C 이상), 중온 용융형(1,100~1,300 °C), 저온 용융형(850~1,100 °C) 및 초저온 용융형(850 °C 이하)으로 분류하고 있다. 고온 용융형과 중온 용융형은 융점이 높으므로 주로 인공치의 제작에 사용하고, 저온 용융형과 초저온 용융형은 금속-세라믹(metal-ceramic) 수복물의 제작에 사용하고 있다(6).

2. 소결성 all-ceramic 재료

금속-세라믹 수복법이 심미적인 측면에서 한계를 보이면서 이를 대체하기 위해서 알루미늄 함유 포세린, 루사이트(leucite) 함유 글라스-세라믹, 플루오로아파타이트(fluoroapatite) 함유 글라스-세라믹 등의 소결성 세라믹 재료가 도입되었다. 알루미늄 함유 포세린에서는 포세린의 강도 개선을 위해 알루미늄을 첨가한 재료로서, 알루미늄의 함량이 증가함에 따라 투명도가 저하되어 심미적인 측면에서 한계를 보였기 때문에 주로 코어(core) 재료로 사용이 되었다(7). 루사이트와 플루오로아파타이트 결정을 함유하는 글라스-세라믹의 경우에는 심미성은 우수하였지만 소결 수축으로 인하여 수복물의 적합이 불량하였을 뿐만 아니라 100-150 MPa에 달하는 낮은 굴곡강도로 인하여 임상적용에서 한계를 보였다(8).

3. 주조용과 주입성형용의 글라스-세라믹 재료

1990년대가 되면서 all-ceramic 재료의 선구적인 역할을 하였던 주조용(castable)과 주입성형용(injectable)의 글라스-세라믹 재료가 도입되었다. 이들 글라스-세라믹 재료들은 글라스 상태에서 주형에 주입하여 성형한 다음 결정화 열처리(ceramming treatment)를 하여 강도를 증가시키고 있다. 주조용 글라스-세라믹 재료로서 치과임상에 도입된 재료의 하나인 Dicor는 왁스소환법(lost-wax technique)으로 주형을 준비한 다음 글라스 블록을 1370 °C로 가열 용융하여 원심주조를 하고 이후 1075 °C에서 6시간 동안 열처리를 하여서 운모(mica) 결정을 약 55 vol% 석출한다(9). Dicor는 인레이와 온레이 뿐만 아니라 크라운의 제작에도 사용이 되며 치과임상에서 금속-세라믹 수복물의 대체 수단으로서

관심을 받았지만, 파절강도가 낮고, 결정화 과정에서 일어나는 수축으로 인하여 수복물의 적합이 불량하고, 또한 수복물의 제작에 너무 긴 시간이 소요되는 등의 문제점을 보였다(10-12).

4. 열가압성형용 글라스-세라믹 재료

주조용과 주입성형용의 글라스-세라믹 재료에서 문제가 되었던 결정화 열처리 과정에서 일어나는 수축과 수복물 제작에 오랜 시간이 소요되는 문제점의 개선을 위하여 글라스를 미리 결정화 열처리하여 제조한 글라스-세라믹 잉곳(ingot)이 도입되었다. 글라스-세라믹 잉곳은 가열 연화한 상태에서 점도가 높아 주조에 의한 성형이 어려웠기 때문에 압력을 가하여 주형에 주입하는 열가압성형법(heat-pressing technique)이 적용되었다(13). 열가압성형법은 전통적인 적층소결법에 비해서 제조공정이 정확하고, 기공율이 낮고, 변연적합도가 우수하고, 강도의 신뢰도가 높은 등의 장점이 있는 것으로 언급되고 있다(14). 열가압성형법은 루사이트계, 아파타이트계 및 리튬 디실리케이트계(lithium disilicate)의 글라스-세라믹 재료를 사용한 수복물 제작에 널리 적용되고 있다. 루사이트계와 아파타이트계의 글라스-세라믹 재료는 심미성은 우수하지만 파절강도가 낮기 때문에 높은 응력이 작용하지 않는 부위에 한정하여 적용되고 있다(15). 반면 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹은 굴곡강도가 350 MPa 이상이므로 구치부 교합력에도 저항할 수 있고, 심미성이 있으므로 비니어 없이도 전치부에 적용이 가능하며, HF에 의한 산부식과 실란처리가 가능하므로 레진과 강한 결합력을 얻을 수 있는 등의 장점이 있어서 전치부와 구치부의 단일치 수복재료로서 널리 적용되고 있다(16).

5. 글라스 침투 알루미늄 세라믹 재료

글라스 침투 알루미늄 세라믹 재료는 포세린의 낮은 파절 강도와 소성과정에서 발생하는 큰 수축의 문제점을 개선하기 위해서 알루미늄과 글라스를 복합체화한 재료로서 치과임상에 In-Ceram (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany)이라는 시스템으로 도입되었다. 이 방식을 적용하여 제작한 알루미늄-글라스 복합체 세라믹의 굴곡강도는 400~600 MPa 범위로서 종래의 알루미늄 함유 포세린에서 얻은 150

MPa의 약 4배에 달하였다(17-19). 하지만, 구치부 크라운에서 종종 파절을 보였기 때문에 알루미늄에 세리아-부분안정화 지르코니아(Ce-PSZ)를 약 30 vol% 분산한 In-Ceram zirconia가 도입되었고, 또한 불량한 광투과성을 개선하기 위해 알루미늄의 일부를 스피넬(alumina-magnesia spinel)로 대체한 In-Ceram spinel이 도입되었다. 이후 알루미늄아액상 졸을 electroforming 하여 다공질 소결체를 준비한 다음 글라스를 용융 침투하는 방식의 Wol-Ceram system (Wol-Dent, Ludwigshafen, Germany)이 도입되었다. 이 방식에서는 powder slip 대신 액상 졸을 사용하므로 제작된 수복물은 코핑 두께가 전체적으로 균일하고 변연적합도가 우수하고 강도가 높은 등의 장점을 보였다(20, 21).

6. 기계가공용 세라믹 블록

2000년대에 접어들어 컴퓨터의 사용이 보편화됨에 따라 치과치료기기의 전반에 걸쳐서 디지털화가 빠르게 진행되었다. 종래의 아날로그 방식에서는 수복물의 제작과정이 복잡하고 긴 시간이 소요되었을 뿐만 아니라 소결과 열처리 과정에서 일어나는 수축으로 인하여 적합이 불량한 등의 문제점을 보였다. 하지만 디지털 방식에서는 소결과 열처리 과정에서 발생하는 수축의 보상이 가능해졌기 때문에 수복물의 적합이 좋아졌고, 또한 재료 블록이 표준화되고 수복물의 제작공정이 단순하고 정확한 절차에 따라 진행되면서 완성된 수복물은 신뢰도가 높아졌다(22-24).

블록을 밀링하여 수복물을 제작하는 SM (subtractive manufacturing) 제작 방식에서는 하이브리드 레진, 장식계

포세린, 글라스-세라믹, 알루미늄 및 지르코니아 등으로 제작한 블록이 사용되며, 다음의 두 가지 수복물 제작 방식이 널리 적용되고 있다. 하나의 방식은 지르코니아 또는 알루미늄 세라믹과 같이 강도와 경도가 높은 세라믹 소재에 적용하는 방식으로서, 완전하게 소결된 상태에서는 밀링 가공이 어렵기 때문에 블록은 성형한 상태나 가소된 상태로 공급된다(25-27). 또 다른 방식은 하이브리드 레진, 포세린 및 글라스-세라믹 등과 같이 강도와 경도가 비교적 높지 않은 세라믹 소재에 적용하는 방식으로서, 강도와 경도가 높지 않기 때문에 블록은 완전 소결된 상태로 공급되며, 수복물이 당일 완성될 수 있기 때문에 수복물의 제작이 치과 진료실에서 이루어지기도 한다(28).

7. CAD/CAM 지르코니아 블록

지르코니아는 금속원소인 지르코늄(zirconium, Zr)의 산화물(ZrO_2)을 일컫는 말로서, 상온에서 백색의 고체이고 융점이 높기 때문에 내열성 재료로 사용되고 있다. 순수 지르코니아는 온도가 상승함에 따라 1,170 °C까지는 단사정(monoclinic), 1,170 °C로부터 2,370 °C까지는 정방정(tetragonal), 그 이상의 온도로부터 녹는점까지는 입방정(cubic)으로 존재한다(Figure 2). 지르코니아를 소결한 후 냉각을 하면 950 °C 부근에서 정방정이 단사정으로 상전이가 일어난다. 정방정-단사정 상전이는 변태속도가 매우 빠르므로 급냉으로도 억제할 수 없으며, 이 과정에서 3-5% 부피팽창과 함께 다수의 미세균열이 생성되므로 구조용 재료로서 사용할 수 없었다(29). 하지만, 순수 지르코니아에 CeO_2 MgO ,

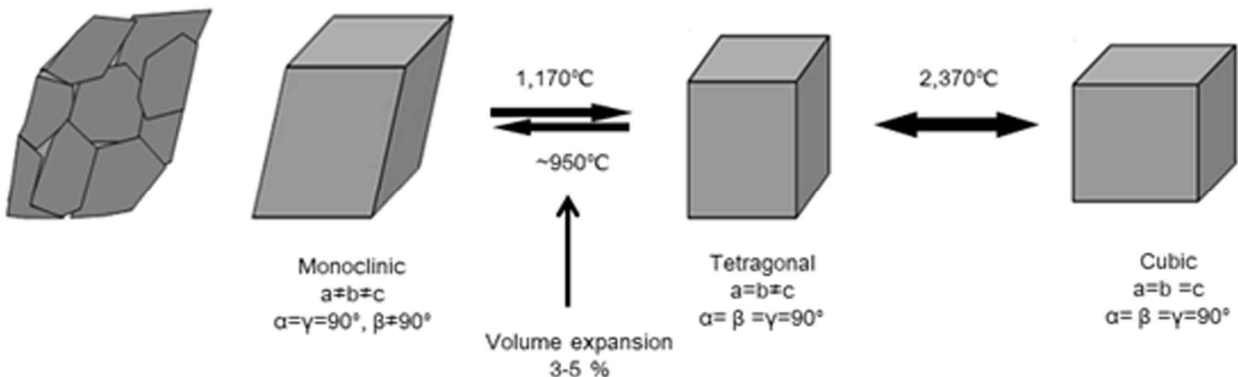


Figure 2. Changes in the crystal structure of zirconia with temperature.

Y₂O₃ 등의 금속산화물을 소량 첨가하고 이것을 입방정과 정방정이 공존하는 영역에서 열처리를 하여 안정화하면 상전이를 억제하는 것이 가능하다(30, 31).

이트리아(yttria, Y₂O₃)를 3~8 mol% 첨가하여 안정화한 지르코니아는 실온에서 정방정과 입방정이 공존하며, 이것을 부분안정화 지르코니아(partially stabilized zirconia: PSZ)라고 부른다. 치과용 CAD/CAM 지르코니아 블록의 제조에는 이트리아를 3 mol% 함유하고 실온에서 100%에 가까운 정방정상을 유지하는 정방정 지르코니아 다결정체(tetragonal zirconia polycrystals: TZP)가 사용되고 있다(32). TZP에 외력이 작용하여 균열이 진전되면, 균열선단 부근에서는 정방정이 단사정으로 상전이되며 부피가 팽창하므로 압축응력층이 생성되고 또한 다수의 미세균열이 생성되어 파괴에너지가 분산되므로 높은 파절저항성을 갖는다(32-34).

근래 광투과성이 개선된 단일구조의 다층 지르코니아 블록이 도입되면서 심미성이 요구되는 전치부 영역에서도 그의 사용이 증가하고 있다. 다층 지르코니아 블록에서는 강도와 채도가 요구되는 수복물의 치경부는 3Y-TZP로 구성하고 광투과성이 요구되는 절단부는 이트리아의 함량을 증가시키거나 지르코니아 나노입자와 하프늄 산화물 나노입자를 배합하거나 하는 방식으로 반투명성을 개선하고 있다(35-37).

8. 3D 프린팅용 세라믹 재료

3D printing 제작 방식은 1983년 Chuck Hull이 광조형 기술(SLA)로 3차원 입체물을 제작하며 도입된 방식이다. 소재를 한 층 한 층 적층하여 성형하는 방식을 채택하고 있으므로 AM (Additive manufacturing) 제작 방식으로 언급되고 있다. 수복물이나 모형을 제작하는 절차를 살펴보면, CAD software로 3D 형상의 수복물이나 모형을 디자인하고 이것을 다층의 2D 영역으로 구분한 다음 잉크젯 프린터에서 잉크를 분사하여 인쇄하는 것과 같이, 석고, 플라스틱, 금속, 세라믹 등의 재료를 한 층 한 층 적층하여 제작한다(38, 39).

세라믹 재료는 다른 종류의 재료에 비해서 융점이 높고, 열충격에 민감하고, 소결능이 낮으므로 결합이 없는 완전한 수복물을 제작하는 것이 용이하지 않다(40). 분말을 포함하

는 페이스트 상의 재료를 압출하는 robocasting 방식이나 분사과정을 거치는 direct inkjet printing 방식, 열가소성의 수지를 포함하는 필라멘트 상의 재료를 압출 헤드로부터 용융 압출하여 성형하는 방식, 그리고 광중합형 레진과 혼합한 세라믹 분말의 현탁액(suspension)을 사용하는 SLA (stereolithography) 방식 등에서는 성형 후 바인더(binder)의 제거를 위한 탈지공정과 소결과정을 거치게 되므로 수복물이 완성될 때까지 많은 시간이 소요된다(41). 또 다른 방법으로는 분말 상의 재료를 레이저/전자빔/플라즈마로 융합하는 SLS (selective laser sintering) 방식, SLM (selective laser melting) 방식, EBM (electron beam melting) 방식 및 DED (direct energy deposition) 방식 등을 들 수 있으며, 이들 방식에서는 바인더를 사용하지 않으므로 탈지공정이 생략되고, 또한 소결/용착이 프린트 중의 짧은 시간 동안에 일어나므로 제작이 빠르며, 다수 수복물의 동시제작이 가능하므로 경쟁력이 있는 방식이라고 할 수 있다(42, 43). 3D 프린팅에 의한 제작 방식은 재료의 소모가 적고 짧은 시간 동안에 다수 수복물의 동시 제작이 가능한 등의 장점으로 인하여 앞으로 그의 응용 범위는 빠르게 증가할 것으로 생각된다.

요 약

심미수복에 대한 요구가 증가하며 전치부 영역뿐만 아니라 구치부 영역에도 적용이 가능한 세라믹 수복재료에 대한 관심이 증가하고 있다. 세라믹 수복 재료의 특성을 살펴보면, 단일구조 지르코니아는 강도는 높지만 명도가 높고 또한 연마가 부족할 경우 대합치를 심하게 마모시킬 위험성이 있다. layered zirconia는 심미성은 우수하지만 비니어 세라믹에서 발생하는 칩핑과 박리가 문제가 되고 있다. 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹은 심미성은 우수하지만 지르코니아에 비해서 강도가 낮으므로 구치부에 적용 시 파절이 일어날 위험성이 있다. 루사이트계 글라스-세라믹은 심미성은 우수하지만 강도가 낮으므로 높은 응력이 발생하지 않는 부위에 한정하여 적용한다(44).

종래의 세라믹 재료들은 심미성은 우수하였지만 수복물

의 제작과정이 복잡하고 또한 낮은 강도로 인하여 적용에서 많은 한계를 보였다. 근래 세라믹 재료의 제조 및 가공기술이 크게 진보하고 또한 수복물의 제작에 CAD/CAM 방식이 도입되면서 세라믹 재료의 수요는 꾸준히 증가하고 있다. 블록을 밀링하여 수복물을 제작하는 CAD/CAM 제작 방식에서는 공구의 간섭으로 인하여 제작이 가능한 형상에서 제한이 따르고, 또한 세라믹 재료의 특성상 밀링 공구가 빠르게 마모될 뿐만 아니라 블록의 대부분을 밀링하여 제거하므로 재료의 소모가 많은 등의 문제점이 있다. 반면 3D 프린팅 제작 방식에서는 재료의 소모가 적고 짧은 시간 동안에 다수 수복물의 동시 제작이 가능한 등의 장점을 가지고 있어서 치밀한 소결체의 제작이 가능하게 되면 그의 응용은 빠르게 증가할 것으로 생각된다.

참고문헌

- Land CH. Porcelain dental art: No II, Dent Cosmos 1903;45:615-20.
- Anusavice KJ. Phillips' Science of Dental Materials, 11th ed, Saunders 2003;337-49.
- Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. J Prosthet Dent 2004;92:557-62.
- Piddock V, Qualtrough AJE. Dental ceramics-an update. J Dentistry 1990;18:227-35.
- Ko YM, Kwon YH, Kwon IG, Kwon JS, Kwon TY, etc. Dental Materials. 8th ed, Kunja 2020;383-412.
- O'Brien WJ. Dental materials and selection. 2nd ed, Quintessence, 1997;225-36.
- McLean JW, Hughes TH. The Reinforcement of Dental Porcelain with Ceramic Oxides. Br Dent J 1965;199(6): 251-67.
- Seghi RR, Sorensen JA. Relative flexural strength of six new ceramic materials. Int J Prosthodont 1995;8(3): 239-46.
- Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. Int J Periodont Rest Dent 1984;4(2):32-46.
- Malament KA, Socransky SS. Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 14 years: part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender and age. J Prosthet Dent 1999;81(1): 23-32.
- Sjogren G, Lantto R, Tillberg A. Clinical evaluation of all-ceramic crowns (Dicor) in general practice. J Prosthet Dent 1999;81:277-84.
- Scharer P, Sato T, Wohlwend A. A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown systems. J Prosthet Dent 1988;59:534-42.
- Beham G. IPS-Empress: A new ceramic technology. Ivoclar-Vivadent Report 1990;6:1-13.
- Gorman CM, McDevitt WE, Hill RG. Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. Dent Mater 2000;16:389-95.
- Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. J Biomed Mater Res (Appl Biomater) 2000; 53:297-303.
- Xiaoping L, Dongfeng R, Silikas N. Effect of etching time and resin bond on the flexural strength of IPS e,max Press glass ceramic. Dental materials 2014;30: e330-6.
- Oilo G. Flexural strength and internal defects of some dental porcelains. Acta Odontol Scand 1988;46(5): 313-22.
- Probster L, Diehl J. Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. Quintessence Int 1992; 23(1):25-31.
- Wolf WD, Vaidya KJ, Francis LF. Mechanical properties and failure analysis of alumina-glass dental composites. J Am Ceram Soc 1996;79:1769-76.
- Contrepolis M, Soenen A, Bartala M, Laviolle O. Marginal adaptation of ceramic crowns. A systematic review. J Prosthet Dent 2013;110(6):447-54.

21. Kim JM, Jeong SH. Comparative study in marginal accuracy of several all ceramic crowns. *Kor J Tech Dent* 2008;30(2):88-92.
22. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dent Mater* 2011;27(1):97-108.
23. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal* 2008; 204(9):505-11.
24. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *J Am Dent Assoc* 2006;137(9):1289-96.
25. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal* 2008; 204(9):505-11.
26. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. *J Am Dent Assoc* 2006;137(9):1289-96.
27. Baroudi K, Ibraheem SN. Assessment of Chair-side computer-aided design and computer-aided manufacturing restorations: a review of the literature. *J Inter Oral Health* 2015;7(4):96-104.
28. Lambert H, Durand J-C, Jacquot B, Fages M. Dental bio materials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont* 2017;9(6):486-95.
29. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res* 1989;23:45-61.
30. Evans A, Heuer AH. Review-transformation toughening in ceramics: martensitic transformations in crack-tip stress fields. *J Am Ceram Soc* 1980;63: 241-8.
31. Messing GL, Hirano S, Gauckler L. Ceramic processing science. *J Am Ceram Soc* 2006;89:1769-70.
32. Ban S. Reliability and properties of core materials for all-ceramic dental restorations. *Japanese Dental Science Review* 2008;44:3-21.
33. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater* 1999;15:426-33.
34. Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, Walter M. Reliability and properties of ground Y-TZP zirconia ceramics. *J Dent Res* 2002;81:487-91.
35. Beuer F, Stimmelmayer M, Gueth JF, Edelhoff D, Naumann M. In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. *Dent Mater* 2012;28(4):449-56.
36. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. *J Prosthet Dent* 2002;88(1):10-5.
37. Zhang Y, Lawn BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res* 2018;97(2):140-7.
38. Bose S, Ke D, Sahasrabudhe H, Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of biomaterials. *Prog Mater Sci* 2018;93:45-111.
39. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serroa AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dent Mater* 2019;35(6):825-46.
40. Li Y, Hu Y, Cong W, Zhi L, Guo Z. Additive manufacturing of alumina using laser engineered net shaping: effects of deposition variables. *Ceram Int* 2017;43(10):7768-75.
41. Johansson E, Lidström O, Johansson J, Lyckfeldt O, Adolfsson E. Influence of resin composition on the defect formation in alumina manufactured by stereolithography. *Materials* 2017;10(2):138.
42. Kruth JP, Mercelis P, Van Vaerenbergh J, van Vaerenbergh J, Froyen L, Rombouts M. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective

- laser melting. *Rapid Prototyp J* 2005;11(1):26-36.
43. Shirazi SFS, Gharekhani S, Mehrali M, Yarmand H, Metselaar HSC, Adib Kadri NA, Osman NAA. A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing. *Sci Technol Adv Mater* 2015;16(3):033502.
44. Makhija SK, Lawson NC, Gilbert GH, Litaker MS, McClelland JA, Louis DR, Gordan VV, Pihlstrom DJ, Meyerowitz C, Mungia R, McCracken MS. Dentist material selection for single-unit crowns: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network. *J Dent* 2016;55:40-7.

심미수복을 위한 세라믹 재료의 치과 응용 및 그의 전망

배태성, 이민호, 신재우*

전북대학교 치과대학 치과생체재료학교실 및 생체흡수성소재연구소

환자들의 심미수복에 대한 요구가 증가하며 전치부 영역뿐만 아니라 구치부 영역에도 적용이 가능한 치관색 수복재료에 대하여 관심이 증가하고 있다. 종래의 세라믹 재료들은 심미성은 우수하였지만 수복물의 제작과정이 복잡하고 또한 낮은 강도로 인하여 적용에서 많은 한계를 보였다. 근래 세라믹 재료의 제조 및 가공기술이 크게 진보하고 또한 수복물의 제작에 CAD/CAM 방식이 도입되면서 세라믹 재료의 수요는 꾸준히 증가하고 있다. 블록을 밀링 하여 수복물을 제작하는 CAD/CAM 제작 방식에서는 공구의 간섭으로 인하여 제작이 가능한 형상에서 제한이 따르고, 또한 세라믹 재료의 특성상 밀링 공구가 빠르게 마모될 뿐만 아니라 블록의 대부분을 밀링하여 제거하므로 재료의 소모가 많은 등의 문제점이 있다. 반면 3D 프린팅 제작 방식에서는 재료의 소모가 적고 짧은 시간 동안에 다수 수복물의 동시 제작이 가능한 등의 장점을 가지고 있어서 치밀한 소결체의 제작이 가능하게 되면 그의 응용은 빠르게 증가할 것으로 생각된다.

색인단어 : 치과용 세라믹 재료, 세라믹 수복 재료, 수복물 제작 기술
