

# 심미수복을 위한 글라스-세라믹 재료의 치과 응용

전북대학교 치과대학 치과생체재료학교실  
배태성

## ABSTRACT

### Dental application of glass-ceramic materials for aesthetic restoration

Department of Dental Biomaterials, School of Dentistry,  
Chonbuk National University

Tae Sung Bae, Ph.D.

Porcelain is the first ceramic material to be introduced into dentistry. Porcelain jacket crown was introduced by Dr. Charles H Land in 1886, which was an excellent aesthetic dental restoration but has not been widely used due to high firing shrinkage and low tensile strength. Then metal-ceramic system, which combines the esthetic properties of ceramics and the mechanical properties of metals, was introduced and nowadays it is still used in dental clinical field. However, the metal-ceramic system has shown some problems, such as increased lightness by reflection of light at opaque layer, shadow beneath the gingival line due to the block-out of light by metal coping, exposure of metal in margin part, bond failure between metal and porcelain, oxidation of metal coping during firing the porcelain, etc. Recently, along with the advance of fabrication methods of dental ceramics, the all-ceramic restorations with high esthetic and mechanical properties has increased and gradually replaced metal-ceramic restorations. Especially, CAD/CAM technology has opened a new era in fabricating the dental ceramic restorations. This overview will take a look at the past, present and future possibility of the dental ceramic materials.

Keywords : All-ceramic materials, Heat pressing technique, Machinable ceramic block, Lithium disilicate crystal



Corresponding Author

배태성

전북대학교 치과대학 치과생체재료학교실

TEL : 063-270-4041 FAX : 063-270-4040 E-mail : bts@jbnu.ac.kr

## I. 서론

세라믹(ceramic)이라는 용어는 어원적으로 고대 히랍어인 keramos, 즉 흙을 구워서 만든 물질이라는 뜻에 그 어원을 두고 있으며, 현재는 도기와 자기를 통칭한 소결체를 의미하는 용어로 쓰이고 있다. 인류가 사용해 왔던 초기의 세라믹 재료는 대부분 포세린(porcelain)의 영역에 속하며, 치과영역에는 1789년 프랑스 치과의사 De Cheman과 약사 Du Château가 인공치 특허를 출원하며 도입이 되었다. 치과용 포세린은 우수한 심미성과 화학적 내구성, 높은 압축강도 등의 장점을 가지며, 이러한 장점에 근거하여 1886년 Charles H Land에 의해 porcelain jacket crown<sup>1)</sup>의 형태로 도입이 되었지만 낮은 인장강도로 인해 저작과정에서 쉽게 파절이 되어 널리 보급되지 못하였다. 이후 1960년대에 접어들어 포세린의 우수한 심미성과 금속의 높은 파절저항성의 장점을 하나로 결합한 금속-세라믹(metal-ceramic) 수복법이 도입되었는데, 이 역시도 비니어(veneer) 세라믹의 소성과정에서 일어나는 금속제 프레임워크/framework)의 산화, 금속색의 차단에 사용하는 불투명재에서 기인한 명도 증가, 치은부에 형성되는 shadow 및 비니어 파절 등의 문제점이 노출되었고<sup>2,3)</sup>, 이 외에도 금속 프레임워크의 주조과정에서 발생하는 왁스 패턴의 변형, 매물재의 팽창과 수축 조절의 어려움 및 사용하는 합금의 생체적합성 등이 문제가 되면서 이를 대체하기 위한 수단에 관심이 증가되었다<sup>4,5)</sup>. 근래 세라믹 재료의 제조기술과 가공기술이 크게 진보하면서 심미적인 측면에서 한계를 보인 금속-세라믹 수복물 대신 글라스-세라믹 재료를 사용한 심미수복물이 증가하고 있다. 특히 치과 수복물의 제작과정에 디지털화된 장비들이 활용되면서 환자와 한 번의 진료약속으로 심미성이 우수한 세라믹 수복물을 당일 완성해서 장착해 줄 수 있는 시대가 되었다. 본 연재에서는 올세라믹(all-ceramic) 수복에 사용하는 글라스-세라믹 재료들의 발달과정에 대하여 소개하면서

그들의 특성에 대해서도 개략적으로 살펴보고자 한다.

## II. 주조용과 사출용의 글라스-세라믹 재료

1990년대에 접어들면서 올세라믹 재료의 선구적인 역할을 하였던 주조용(castable)과 사출용(injectable)의 글라스-세라믹 재료가 도입이 되었다. 이들 글라스-세라믹 재료는 글라스 상태에서 주조 또는 사출을 해서 성형을 한 다음 결정화 열처리(ceramming heat treatment)를 하여 글라스 기질 내에 미세결정상을 석출하여 강도에 의해 글라스를 증가시켰다.

주조용 글라스-세라믹 재료로서 치과임상에 도입된 재료의 하나인 Dicor는  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-MgF}_2$  등을 용융 글라스화 하여 제조한 글라스-세라믹이다<sup>6)</sup>. 보철물 제작 절차를 살펴보면, 왁스소환법(lost-wax technique)으로 주형을 준비하고 글라스 블록을 1370°C로 가열 용융하고 원심주조하여 성형을 한 다음 1075°C에서 6시간 열처리하여 운모(mica) 결정을 약 55 vol% 석출한다. Dicor는 인레이와 온레이 뿐만 아니라 크라운 제작에도 사용이 되며 금속-세라믹 수복을 대체할 수 있는 수단으로서 치과임상에서 관심을 받았다. 그렇지만, 파절강도가 낮으므로 치아 삭제량이 많고, 결정화 과정에서 일어나는 큰 수축으로 인해 수복물의 적합이 불량하며, 또한 수복물 제작에 너무 오랜 시간이 소요되는 등의 문제점을 보였다<sup>7-10)</sup>.

## III. 열가압용 글라스-세라믹 재료

주조용과 사출용의 글라스-세라믹 재료에서 문제가 되었던 결정화 수축과 긴 제작시간(processing time)의 개선을 위해 글라스를 미리 열처리하여 결정화한 글라스-세라믹 잉곳(ingot)이 도입되었다. 그렇지만 결정

화 열처리한 잉곳은 점도가 높아서 주조에 의한 성형이 어려웠기 때문에 가열하여 연화한 다음 압력을 가하여 주입성형하는 방법인 열가압법(heat-pressing technique)이 적용되었다<sup>11)</sup>. 열가압법은 전통적인 적층소결법에 비해 제조공정이 정확하고, 기공율이 낮고, 변연적합도가 우수하고, 강도의 신뢰도가 높은 등의 장점을 갖는 것으로 언급되었다<sup>12)</sup>.

열가압 성형용 글라스-세라믹 재료로는 루사이트계(leucite) 글라스-세라믹 재료, 아파타이트계(apatite) 글라스-세라믹 재료 및 리튬 디실리케이트계(lithium disilicate) 글라스-세라믹 재료 등이 사용되고 있다. 루사이트계와 아파타이트계 글라스-세라믹 재료들은 심미성은 우수하지만 파절강도가 낮으므로 높은 응력이 발생하는 얇은 부위에 한정하여 제한적으로 사용하고 있다<sup>13)</sup>. 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹 재료는 심미성이 있으면서도 강도가 우수하므로 그의 사용이 증가하고 있다<sup>14)</sup>. 대표적인 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹 재료로는 IPS e.max Press ingot (Ivo-

clar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Amber Press ingot (Hass, Korea), 그리고 58% 리튬메타실리케이트(lithium metasilicate)와 인산염, 10% 지르코니아 및 기타 미소 성분을 함유하는 Celtra Duo ingot (Dentsply/Sirona, Germany) 등이 사용되고 있다.

그림 1은 IPS e.max Press와 Amber Press의 열가압 전과 후의 미세조직을 9% HF로 30초간 산부식한 다음 고해상도 전계방출 주사전자현미경(HR FE-SEM in KBSI Jeonju, SUB230, Hitachi, Japan) 으로 관찰한 사진이다. 잉곳 상태에서는 침상결정들이 1-3  $\mu\text{m}$  범위이지만 열가압 후 2-4  $\mu\text{m}$ 로 크기가 증가하는 조대화가 일어났다. 이러한 현상은 열가압을 위해 잉곳을 유리전이 온도( $T_g$ ) 이상으로 가열하고 열가압하는 동안에 침상결정이 성장하여 나타난 것으로, 침상결정이 조대화될수록 파절강도는 저해된다. Lim 등<sup>14)</sup>과 Tang 등<sup>15)</sup>은 IPS e.max Press ingot을 시험재료로 하여 열가압의 반복이 리튬 디실리케이트 침상결정의 크기와 2축 굴곡강도의 변화에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과, 연화가 반복

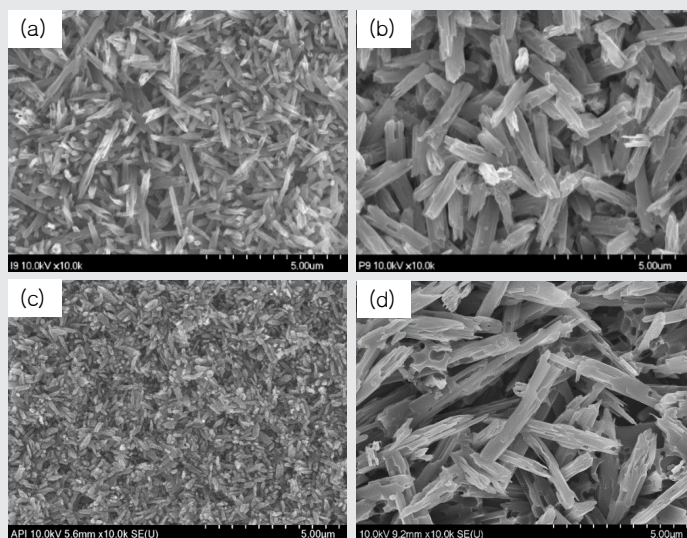


그림 1. IPS e.max Press의 열가압 전(a)과 후(b) 및 Amber Press의 열가압 전(c)과 후(d)의 미세 조직.

될수록 침상결정이 조대화되며 3회차로부터 뚜렷하게 파절강도가 저하됨을 보고하였다.

#### IV. CAD/CAM 용 글라스-세라믹 블록

2000년대에 접어들어 컴퓨터의 사용이 보편화되며 가공장비가 디지털화됨에 따라 수복물 제작과정에 컴퓨터를 사용한 디자인(computer-aided design: CAD)과 컴퓨터 제어에 의한 제작(computer-aided manufacturing: CAM) 방식이 도입되어 치과용 세라믹은 새로운 시대를 맞고 있다<sup>16-18</sup>). CAD/CAM을 이용한 수복물 제작은 세라믹 소재의 강도에 따라 다음의 2가지 방식이 널리 적용되고 있다. 하나의 방식은 알루미늄이나 또는 지르코니아 세라믹과 같이 강도는 높은 세라믹 재료로 제작된 블록에 적용하는 방식으로, 완전 소결된 상태에서는 밀링이 용이하지 않기 때문에 주로 가소된 상태의 블록으로 제공된다. 최근에는 완성된 세라믹 수복물이 자연스러운 외양과 색상을 갖도록 하기 위해 블록의 두께에 따라 색상과 반투명성을 다르게 한 단일구조의 다층 다색 블록이 도입되었다<sup>19-21</sup>). 이 방식의 수복물 제작과정을 살펴보면, 치과진료실에서 치아의 삭제와 인상채득이 이루어지고, 가공센터와 기공소에서 수복물의 디자인, 밀링 및 소결 등이 이루어진다. 또 다른 방식은 포세린 또는 글라스-세라믹과 같은 재료로 제작된 블록에 적용하는 방식으로, 이들 재료는 경도가 높지 않아 비교적 가공이 용이하므로 완전 소결된 상태의 블록으로 제공된다. 이 방식의 특징을 살펴보면, 환자와 한 번의 약속으로, 치아의 삭제, 구강 스캐너에 의한 광학 인상, CAD/CAM에 의한 수복물의 디자인과 밀링이 이루어지기 때문에 당일 수복을 완료할 수 있을 뿐만 아니라 수복물 제작의 전과정이 치과의사에 의해 제어되는 점 등을 들 수 있다<sup>22</sup>). 완전 소결된 세라믹 블록으로는 장식계 포세린 블록, 루사이트계 글라스-세라믹 블록, 리튬 디실리케이

트계 글라스-세라믹 블록 및 지르코니아 강화 리튬 디실리케이트계(zirconia-reinforced lithium disilicate) 글라스-세라믹 블록 등이 사용되고 있으며, 표 1의 굴곡강도는 최근의 논문을 참고로 하여 작성하였다. 장식계 포세린 블록이나 루사이트계 블록은 심미성은 우수하지만 파절강도가 그다지 높지 않기 때문에 높은 응력이 발생하지 않는 부위나 심미성이 요구되는 부위에 한정하여 제한적으로 사용되고 있다. 그렇지만, 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹 블록들은 굴곡강도가 높으므로 그 사용이 증가하고 있는 추세이다<sup>22-34</sup>).

그림 2는 IPS e.max CAD LT A1 블록과 Amber Mill LT A1 블록의 열처리 전후의 미세조직의 변화를 고해상도 전계방출 주사전자현미경으로 관찰한 사진으로, IPS e.max CAD의 결정화 열처리 전의 미세조직은 관찰이 용이하지 않아 10만배로 확대하여 관찰하였다. IPS e.max CAD 블록은 밀링 가공성을 개선하기 위해 미세알갱이 상의 구조인 리튬 메타실리케이트 상태에서 밀링을 하고 이후 강도의 개선을 위해 840°C에서 7분간 열처리하여 리튬 디실리케이트 침상결정을 석출한다. 결정화 열처리 과정에서 수축이 일어나지만 CAD 단계에서 확대 디자인하여 수축이 발현되지 않으므로 수복물의 적합성은 우수하다. Amber Mill 블록은 (주)하스에서 개발한 블록으로, 나노 침상구조 상태에서 밀링을 하고 강도의 개선을 위해 840°C에서 15분간 열처리하여 리튬 디실리케이트 침상 결정의 크기 증가를 유도한다. 표 2는 IPS e.max CAD LT A1 블록과 Amber Mill LT A1 블록으로 직경 12 mm × 두께 1.2 mm의 시편 각각 12개씩을 준비하고 표면을 1 μm 다이아몬드 페이스트로 마무리 연마한 다음 2축 굴곡강도를 측정하고 Weibull 분석한 결과이다. Amber Mill LT A1이 IPS e.max CAD LT A1에 비해 Weibull 계수와 평균파절강도가 모두 더 높게 나타나서 강도가 높으면서도 분산이 더 작은 신뢰성 있는 결과를 보였다.

(주)하스에서는 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹

의 치과 응용을 높이기 위해, 리튬 디실리케이트 비니어와 지르코니아 코어를 라이너로 열간 접합하는 방식의 Amber Lisi-POZ 크라운 제작 방식, 임플란트 지지 단일치 크라운의 보철물 제작과정을 단순화하기 위해 리

튬 디실리케이트 블록에 지르코니아 코어를 열간 접합한 Amber Mill-Q 블록 및 심미성이 요구되는 전치부 크라운을 위한 lithium disilicate gradation block(그림 3)의 도입 등에 의해 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹

표 1. 치과임상에서 세라믹 수복물 제작에 사용하는 완전 소결 상태의 CAD/CAM 용 블록

상품명	유형	굴곡강도(MPa)	제조사
Vitablock Mark II	장석계	154 <sup>26,27)</sup>	VITA Zahnfabrik H Rauter GmbH & Co KG, Bad Sackingen, Germany
IPS Empress CAD	루사이트계	140 <sup>28)</sup>	Ivoclar/Vivadent, Schaan, Liechtenstein
IPS e.max CAD	리튬 메타실리케이트계	381.0 <sup>29)</sup>	Ivoclar/Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Amber Mill	나노 리튬 디실리케이트계	529.5 <sup>30)</sup>	Hass, Gangneung, Korea
Celtra Duo	지르코니아 강화 리튬 디실리케이트계	451.4 <sup>31)</sup>	DeguDent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany

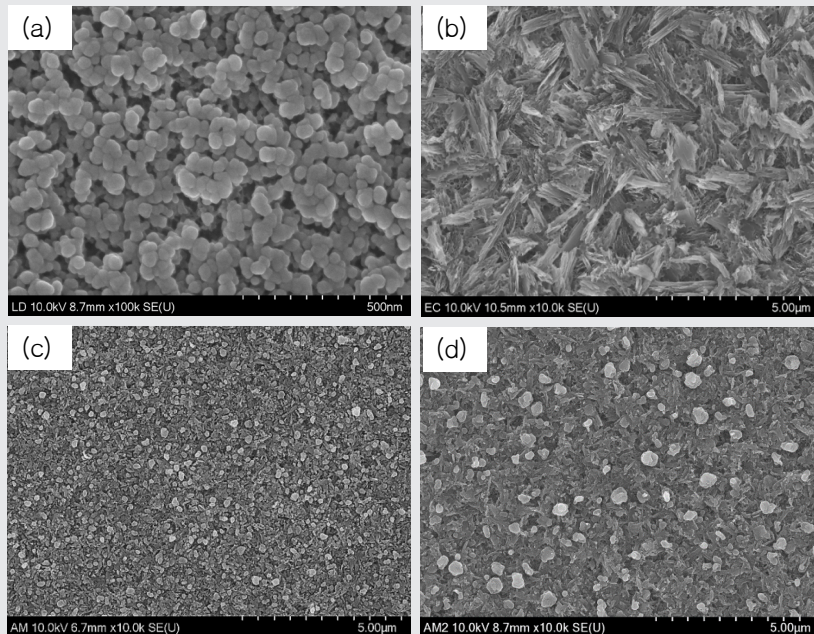


그림 2. IPS e.max CAD의 열처리 전(a)과 후(b) 및 Amber Mill의 열처리 전(c)과 후(d)의 미세 조직.

표 2. IPS e.max CAD LT A1 블록과 Amber Mill LTb A1 블록의 2축 굴곡강도에 대한 Weibull 분석 결과

Para \ Group	IPS e.max CAD LT A1	Amber Mill LT A1
Lot No	C14/LT A1	C14/A1
m	V23467	EBE05LA1701
$\sigma_0$	443.1	515.6
$r^2$	0.979	0.94
$\sigma_{f(av)} \pm SD$	417.7 $\pm$ 58.2	497.0 $\pm$ 39.7
N	12	12

m=Weibull modulus;  $\sigma_0$ = characteristic strength in MPa;  $r^2$ =Weibull distribution regression coefficient squared;  $\sigma_{f(av)}$ = mean fracture strength in MPa; N=number of samples.



그림 3. Amber Mill Direct 블록을 밀링하여 제작한 중절치 크라운.

의 임상 응용의 범위를 다변화해 가고 있다<sup>32-34)</sup>.

### V. 요약

치과의사가 수복재료를 선택하고 환자에게 추천할 때는 수복할 치아 위치, 결손 정도, 환자의 심미적 요구도, 저작력, 나이, 경제적 여건 등 여러 가지의 요인을 고려한다. 그렇지만, 수복재료를 선택할 때의 일차적인 기준

은 구강 내에서 기능 시 작용하는 교합력을 최우선으로 고려해야 한다.

미국 국립보건원(NIH) 지원으로 조사된 연구 결과에 의하면, 전치부 수복재료로서는 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹이 54%, layered zirconia가 17%, 루사이트 강화-글라스-세라믹이 13% 순을 보여, 전치부 수복재료로서 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹이 가장 많이 사용었다. 또한 구치부 수복재료로서는 단일구조 지르코니아가 32%, 금속-세라믹이 31%, 리튬 디실리케이트

트계 글라스-세라믹이 21% 순을 나타냈다<sup>35)</sup>.

세라믹 수복 재료의 특성을 살펴보면, 단일구조 지르코니아는 강도는 높지만 명도가 높고 저온열화로 인한 강도 저하가 일어날 수 있다. layered zirconia는 심미성은 우수하지만 강도가 낮은 비니어 세라믹의 칩핑과 박리가 문제가 되고 있다. 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹은 심미성은 우수하지만 지르코니아에 비해 강도가 낮으므로 구치부에 적용 시 파절이 일어날 위험성이 있다. 루사이트계 글라스-세라믹은 심미성은 우수하지만 기본적으로 강도가 낮기 때문에 전치부에 한정하여 적용한다.

세라믹 크라운이 구치부 교합력에 저항하기 위해서는 350 MPa 이상의 굴곡강도를 가져야 한다<sup>36,37)</sup>. 리튬 디실

리케이트계 글라스-세라믹은 광투과성이 양호한 심미성이 있는 재료이므로 비니어 없이 전치부에 적용할 수 있고, 굴곡강도가 400 MPa 이상이므로 구치부 교합력에 저항할 수 있고, HF에 의한 산부식과 실란(silane) 처리가 가능하므로 레진과 강한 결합력을 얻을 수 있고, 또한 포세린에 비해 대합치의 마모가 적다. 이러한 점들을 고려하면 리튬 디실리케이트계 글라스-세라믹 재료는 전구치부의 단일치 수복에 적합한 성질을 갖고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 그의 임상 응용이 더욱 증가하기 위해서는 이들 재료에 대한 보다 많은 연구와 이해가 필요하리라고 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Land CH. Porcelain dental art: No II, Dent Cosmos 1903;45:615-620.
2. Piddock V, Qualtrough. Dental ceramics—an update. J Dent 1990;18:227-235.
3. Rosenblum MA, Schulman A. A review of all ceramic restorations. J Am Dent Assoc 1997;128:297-307.
4. Anusavice KJ. Phillips' Science of Dental Materials. 11th ed, Saunders 2003;337-349.
5. Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. J Prosthet Dent 2004;92:557-562.
6. Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. Int J Periodont Rest Dent 1984;2:33-45.
7. Southan, DE, Jorgensen KD. Precise porcelain jacket crowns. Aust Dent J 1972;18:152-156.
8. 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;81:23-32.
9. Sjogren G, Lantto R, Tillberg A. Clinical evaluation of all-ceramic crowns (Dicor) in general practice. J Prosthet Dent 1999;81:277-84.
10. Scharer P, Sato T, Wohlwend A. A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown systems. J Prosthet Dent 1988;59:534-542.
11. Beham G. IPS-Empress: A new ceramic technology. Ivoclar-Vivadent Report 1990;6:1-13.
12. Gorman CM, McDevitt WE, Hill RG. Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. Dent Mater 2000;16:389-395.
13. 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.
14. Lim CH, Shin JW, Seok JJ, Ji JH, Lee MH, Bae TS. Effect of repeat processing on mechanical properties of two pressable glass-ceramic dental materials. J Korean Res Soc Dent Mater 2014;41:1-8.
15. Tang X, Tang C, Su H, Luo H, Nakamura T, Yatani H. The effects of repeated heat-pressing on the mechanical properties and microstructure of IPS e.max Press. J Mech Behav Biomed Mater 2014;40:390-396.
16. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. Dent Mater 2011;27:97-108.
17. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J 2008;204(9):505-11.

## 참고 문헌

18. Shenoy A, Shenoy N. Dental ceramics: An update. *J Conserv Dent* 2010;13:195-203.
19. Erdelt K, Engler MLPD, Beuer F, Guth J-F, Liebermann A, Schweiger J. Computable translucency as a function of thickness in a multi-layered zirconia. *J Prosthet Dent* 2018;121:683-689.
20. Hamed JG, Bakry SI, Hussein SA, Al Abbassy FH. Evaluation of biaxial flexural strength and translucency of multichromatic translucent zirconia and lithium disilicate ceramics. *Alexandria Dental Journal* 2018;43:86-93.
21. Elsaka SE. Optical and mechanical properties of newly developed monolithic multilayer zirconia. *J Prosthodont* 2019;28:e279-e284.
22. Lambert H, Durand J-C, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont* 2017;9:486-495.
23. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J* 2011;56:84-96.
24. Gresnigt M, Ozcan M, Houten MLA, Schipper L, Cune MS. Fracture strength, failure type and Weibull characteristics of lithium disilicate and multiphase resin composite endocrowns under axial and lateral forces. *Dent Mater* 2016;32:607-614.
25. Nawafleh N, Hatamleh M, Elshiyab S, Mack F. Lithium disilicate restorations fatigue testing parameters: A systematic review. *J Prosthodont* 2016;25:116-26.
26. Denry I, Holloway JA. Ceramics for dental applications: A review. *Materials* 2010;3:351-368.
27. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NR. All-ceramic systems: Laboratory and clinical performance. *Dent Clin N Am* 2011;55:333-352.
28. Zhang Y, Kelly JR. Dental ceramics for restoration and metal veneering. *Dent Clin N Am* 2017;61:797-819.
29. 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.
30. Yin R, Jang YS, Lee MH, Bae TS. Comparative evaluation of mechanical properties and wear ability of five CAD/CAM dental blocks. *Materials* 2019;12:2252.
31. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Biomater* 2016;32:e275-e283.
32. Jang YS, Noh HR, Lee MH, Lim MJ, Bae TS. Effects of lithium disilicate reinforced on bond and fracture strengths of bilayered zirconia all-ceramic crown. *Materials* 2018;11:77.
33. 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;108:231-239.
34. Jang YS, Oh SH, Oh WS, Lee MH, Lee JJ, Bae TS. Effects of liner-bonding of implant-supported glass-ceramic crown to zirconia abutment on bond strength and fracture resistance. *Materials* 2019;12:2798.
35. 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;55:40-47.
36. 3M ESPE. All ceramic system. Technical product profile. 6.
37. Obama Tadakazu 저, 장세원 역. 전자부 심미수복: 자연치 편. 한국퀀티센스출판(주) 2007:25-27.