

지르코니아 코핑과 전장도재 간의 전단결합강도와 파절양상 비교

김원영, 전병욱, 정인성

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과, 치과기공기재학회

A comparative study of the shear bond strength and failure mode between zirconia coping and veneering ceramics

Won-Young Kim, Byung-Wook Jeon, In-Sung Chung

Dept. of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: The aim of this study was to investigate the shear bond strength between various commercial zirconia coping and veneering ceramic, and to observe the failure mode.

Methods: For each zirconia block (iJAM Emerald, LUXEN Smile block, ICE Zirkon transluzent), 10 rectangular specimens were layered with Cercon ceram kiss, IPS e.max ceram, ICE Zirkon ceramic according to recommended by the manufacturer. The shear bond strength tests of the veneering porcelain to zirconia were carried out until fracture by a universal testing machine. After the shear bond tests, failure modes were characterized visually, under a stereomicroscope, such as adhesive, cohesive, or mixed. Data were analyzed with One-way ANOVA followed by Scheffe's tests.

Results: The shear bond strength (mean \pm SD) of zirconia-veneer ceramic were JC group 13.9 ± 3.6 MPa; JE group 17.7 ± 2.4 MPa; JI group 15.1 ± 2.5 MPa; LC group 9.5 ± 1.5 MPa; LE group 16.2 ± 2.3 MPa; LI group 12.6 ± 0.8 MPa; ZC group 16.0 ± 2.3 MPa; ZE group 18.5 ± 3.4 MPa; and ZI group 15.3 ± 3.2 MPa. The One-way ANOVA showed a significant difference between groups ($p < 0.05$). The failure mode in most experimental groups was mixed failure, except for the LC group, which showed adhesive failure, and JE group, LE group and ZE group showed cohesive failure.

Conclusion: For IPS e.max ceram, the shear bond strength value was highest for all kinds of zirconia blocks. For ICE Zirkon transluzent, the shear bond strength value was highest for all kinds of veneering ceramics. Most of experimental group interfaces revealed mixed failure mode.

◉ **Key words** : zirconia coping, veneering ceramic, shear bond strength, failure mode

교신저자	성명	전 병 욱	전화	051-510-0599	E-mail	nanjbu@nate.com	
	주소	부산광역시 금정구 오륜대로 57 부산가톨릭대학교 치기공학과					
접수일	2015. 10. 30		수정일	2015. 12. 9		확정일	2015. 12. 18

I. 서 론

최근 사회 경제적 수준의 성장과 더불어 아름다움에 대한 환자들의 요구가 높아지면서 치과보철물은 저작기능 회복뿐만 아니라 심미성 회복의 필요성과 중요성이 강조되고 있다. 그래서 심미수복물 제작을 위한 다양한 재료와 방법들이 소개되고 있다. 전부도재관은 시각적으로 색조 변화의 안정성, 빛의 투과성 뿐만 아니라 충분한 강도, 우수한 내마모성 및 변연적합도, 생체적합성 등을 갖추고 있다(Rosenblum & Schulman, 1997).

생체 불활성 세라믹 재료인 지르코니아는 독성이나 염증반응을 일으키지 않는 우수한 생체적합성을 나타내고, 기존의 합금과 달리 내식성 및 내변색성이 매우 높은 것으로 알려져 있다(Vagkopoulou et al, 2009). 또한, 강도가 매우 높아 통상적인 제작 방법으로는 치과보철물로 가공하기에 어려움이 있었으나, 치과 CAD/CAM 시스템 기술의 발달로 제작 시간 단축, 기포 및 잔류응력 감소, 밀도 증가 등의 좋은 결과가 나타남에 따라 널리 사용하고 있다(신연식 등, 2008). 하지만 금속-도재관의 하부구조물로 사용되는 금속만큼이나 불투명하여 복잡한 색조나 자연스러움을 자연치처럼 재현하기가 힘들다. 그런 이유에서 지르코니아를 사용하여 코핑을 만들고 그 위에 장식 계열 전장도재를 사용하여 특성묘사를 하여 심미성을 확보하는 이중구조 전부도재관이 많이 사용되고 있다(장수아 등, 2012).

이중구조 전부도재관은 전장도재의 축성으로 우수한 심미성을 확보할 수 있지만, 강도가 우수한 지르코니아를 하부구조물로 사용했다 하여도 상부를 구성하는 전장도재는 탄성에너지를 흡수하는 능력이 떨어져 낮은 인장력과 미세한 구조결합에 의한 파절이나 탈락이 발생하는 문제점이 있다(Albakry et al, 2003; Aboushelib et al, 2006). 그리고 Sundh와 Sjogren(2004)도 이중구조 전부도재관에서는 지르코니아 코핑은 파절되지 않고 전장도재만 떨어져 나가는 파절양상이 관찰된다고 보고하였으며, 이런 문제를 해결하기 위해 제조사는 지르코니아 코핑에 적합한 표면처리 방법 및 라이너 등의 사용을 권장하고 있다.

지르코니아 코핑의 표면처리 방법 중 분사처리와 라이

너 사용은 결합강도에 상당한 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며(Aboushelib et al, 2006; Aboushelib et al, 2008), Kosmac 등(2000)과 Juy와 Anglada(2007)은 분사처리는 지르코니아의 상변태를 일으킨다고 보고하였고, 라이너 사용에 관해서는 Tinschert 등(2001)과 Fischer 등(2010)은 결합강도의 감소를 초래한다고 보고한 반면, Aboushelib 등(2005)은 증가한다고 보고하였다. 이중구조 전부도재관을 구강 내에서 오랫동안 안정적으로 사용하기 위해서는 지르코니아 코핑과 전장도재 간의 결합강도가 우수하여야 한다. 하지만 임상에서 사용 중인 국내 기술력으로 개발된 지르코니아 블록과 다양한 전장도재 간의 결합강도에 관한 정보가 제한적이기 때문에 지르코니아 블록과 전장도재 종류에 따른 결합강도에 관한 비교연구가 필요한 실정이다. 비교연구를 통해 신뢰할 만한 정보를 바탕으로 임상가들에게 지르코니아 이중구조 전부도재관 시스템 사용에 대하여 정확하게 규명할 필요가 있다.

본 연구에서는 치과 임상 분야에서 많이 사용하고 있는 국내외 3종의 치과 CAD/CAM용 지르코니아 블록을 사용하여 제작한 지르코니아 코핑과 3종의 전장도재 간의 전단결합강도를 측정하고 파절양상을 관찰하여, 각각의 재료 간의 상대적 비교평가가 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

치과 CAD/CAM용 지르코니아 블록은 현재 임상에서 많이 사용하고 있는 iJAM Emerald(U&C Inc., Korea), LUXEN Smile block(DM Factory Co., Korea) 등 2종의 국산 블록과 ICE Zirkon transluzent(Zirkonzahn GmbH, Italy)의 수입블록 1종을 사용하였다. 전장도재는 Cercon ceram kiss(Dentsply Inc., Germany), IPS e.max ceram(Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), ICE Zirkon ceramic(Zirkonzahn GmbH, Italy) 등 3종을 사용하였다(Table 1).

Table 1. Materials used in this study

Material	Product name	Manufacturer
Zirconia	iJAM Emerald	U&C Inc., Korea
	LUXEN Smile block	DM Factory Co., Korea
	ICE Zirkon transluzent	Zirkonzahn GmbH, Italy
Veneering ceramic	Cercon ceram kiss	Dentsply Inc., Germany
	IPS e.max ceram	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
	ICE Zirkon ceramic	Zirkonzahn GmbH, Italy

2. 시편 제작

지르코니아 블록을 5mm×5mm×3mm 직육면체 크기로 가공한 다음 전용 전기로(Zirkonofen 600, Zirkonzahn GmbH, Italy)에서 제조사의 지시대로 14℃/min의 속도로 1,500℃까지 상승시킨 후 1시간 동안 유지하여 소결을 시행하여 지르코니아 블록당 각 30개씩 총 90개의 시편을 제작하였다. 제작된 시편의 거칠기를 맞추기 위해 표면을 #1,200 SiC 연마지를 사용하여 연마하고 초음파 세척한 뒤 건조하여 사용하였다. 제작된 지르코니아 블록마다 같은 크기를 갖는 도재를 축성하기 위해 준비한 블록을 내경 3mm×높이 5mm의 실리콘 몰드에 고정하고 각 지

르코니아 블록당 10개씩 3종류의 상아질 도재를 축성한 후 도재로(Programat P300/G2, Ivoclar vivadent, Austria)에서 제조사의 소성온도 조건대로 Cercon ceram kiss는 450℃에서 40℃/min의 속도로 830℃까지 가열한 후 2분간 유지하여 소성하였고, IPS e.max ceram은 403℃에서 40℃/min의 속도로 750℃까지 가열한 후 1분간 유지하여 소성하였고, ICE Zirkon ceramic은 350℃에서 40℃/min의 속도로 840℃까지 소성하였다. 모든 작업은 한 명의 숙련된 치과기공사가 작업하였고, 도재의 수축량을 고려하여 동일한 과정을 모든 시편에 시행하였다(Table 2).

Table 2. Classification of experimental group

Group	Material		N
	Zirconia	Veneering ceramic	
JC	iJAM Emerald	Cercon ceram kiss	10
JE	iJAM Emerald	IPS e.max ceram	10
Jl	iJAM Emerald	ICE Zirkon ceramic	10
LC	LUXEN Smile block	Cercon ceram kiss	10
LE	LUXEN Smile block	IPS e.max ceram	10
LI	LUXEN Smile block	ICE Zirkon ceramic	10
ZC	ICE Zirkon transluzent	Cercon ceram kiss	10
ZE	ICE Zirkon transluzent	IPS e.max ceram	10
ZI	ICE Zirkon transluzent	ICE Zirkon ceramic	10

3. 전단결합강도 측정

제작된 시편을 지름 15mm×높이 25mm의 원기둥 형태가 되도록 아크릴 레진으로 포매하여, 하중이 지르코니아와 전장도재 사이의 접촉면과 평행한 방향으로 전달되도록 지그에 시편을 고정한 뒤 지르코니아 코핑에 결합한 전장

도재가 파절될 때까지 만능시험기(STM-5, United Calibration Corporation, U.S.A.)를 사용하여 0.5mm/min의 crosshead speed로 최대 하중(N)을 측정하였다. 최대 하중 값(N)을 계면의 단면적(mm²)으로 나누어 지르코니아와 전장도재 계면간의 전단결합강도(MPa)를 계산하였

다(Fig. 1).

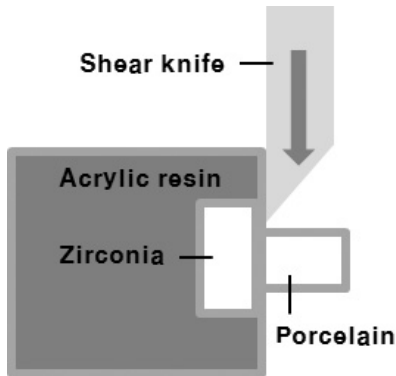


Fig. 1. Schematic diagram of shear bond strength test on UTM.

4. 파절면 관찰

전단결합강도 측정 후 파절양상을 알아보기 위해 파절된 계면을 실체현미경(SZX7, Olympus, Japan)을 이용하여 25배율에서 관찰하여 접착형 파절(adhesive failure), 응집형 파절(cohesive failure), 혼합형 파절(mixed failure)의 3가지로 분류하였다.

5. 통계 분석

SPSS Ver. 21.0 program(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 전단결합강도의 평균값과 표준편차를 구하고, 각 그룹 간의 유의차를 검정하기 위하여 95% 신뢰도 조건에서 일원배치분산분석을 실시하였으며, Scheffe's test로 사후검정을 시행하였다.

III. 결 과

1. 전단결합강도

최대 하중값(N)을 계면의 단면적(mm²)으로 나누어 지르

코니아 코핑과 전장도재간의 전단결합강도(MPa)를 산출한 결과는 <Table 3>과 같다.

iJAM Emerald 블록으로 만든 코핑에서는 IPS e.max ceram이 17.7±2.4 MPa로 가장 높게 나타났고, ICE Zirkon ceramic(15.1±2.5 MPa), Cercon ceram kiss(13.9±3.6 MPa) 순으로 나타났으며, LUXEN Smile block으로 만든 코핑에서는 IPS e.max ceram이 16.2±2.3 MPa로 가장 높게 나타났고, ICE Zirkon ceramic(12.6±0.8 MPa), Cercon ceram kiss(9.5±1.5 MPa) 순으로 나타났다. ICE Zirkon transluzent 블록으로 만든 코핑에서는 IPS e.max ceram이 18.5±3.4 MPa로 가장 높게 나타났고, ICE Zirkon ceramic(16.0±2.3 MPa), Cercon ceram kiss(15.3±3.2 MPa) 순으로 나타났다.

Cercon ceram kiss 전장도재에서는 ICE Zirkon transluzent이 16.0±2.3 MPa로 가장 높게 나타났고, iJAM Emerald(13.9±3.6 MPa), LUXEN Smile block(9.5±1.5 MPa) 순으로 나타났으며, IPS e.max ceram 전장도재에서는 ICE Zirkon transluzent이 18.5±3.4 MPa로 가장 높게 나타났고, iJAM Emerald(17.7±2.4 MPa), LUXEN Smile block(16.2±2.3 MPa) 순으로 나타났다. 그리고 ICE Zirkon ceramic 전장도재에서는 ICE Zirkon transluzent이 15.3±3.2 MPa로 가장 높게 나타났고, iJAM Emerald(15.1±2.5 MPa), LUXEN Smile block(12.6±0.8 MPa) 순으로 나타났다.

각 실험군의 전단결합강도를 일원배치 분산분석 결과 통계학적으로 유의차가 있었고(p<0.05), 다중비교분석 결과 LUXEN Smile block에 Cercon ceram kiss를 사용한 LC시편과 iJAM Emerald에 IPS e.max ceram을 사용한 JE시편, 그리고 ICE Zirkon transluzent에 IPS e.max ceram을 사용한 ZE시편 사이에는 통계학적 유의차가 있었다(p<0.05).

Table 3. Mean and standard deviations of shear bond strength

Group	Shear bond strength (MPa)				p
	Mean	SD	Max.	Min.	
JC	13.9 ^{a,b}	3.6	18.0	10.0	.000
JE	17.7 ^b	2.4	19.7	13.6	
JL	15.1 ^{a,b}	2.5	18.6	11.9	
LC	9.5 ^a	1.5	11.7	8.0	
LE	16.2 ^{a,b}	2.3	18.6	13.9	
LI	12.6 ^{a,b}	0.8	13.9	11.9	
ZC	16.0 ^{a,b}	2.3	19.7	13.9	
ZE	18.5 ^b	3.4	23.0	13.9	
ZL	15.3 ^{a,b}	3.2	18.9	11.4	

^{a,b} The same letters indicate no significant difference between groups by Scheffe

2. 파절양상

전단결합강도 실험에 사용된 시편에서 지르코니아와 전장도재가 접착되어 있던 면을 중심으로 파절양상을 실체현미경으로 관찰한 결과, 대부분의 시편에서는 혼합형 파

절 양상이 나타났고, LC시편(d)에서는 접착형 파절이 보였으며, JE시편(b), LE시편(e), ZE시편(h)에서는 응집형 파절이 나타났다(Fig. 2).

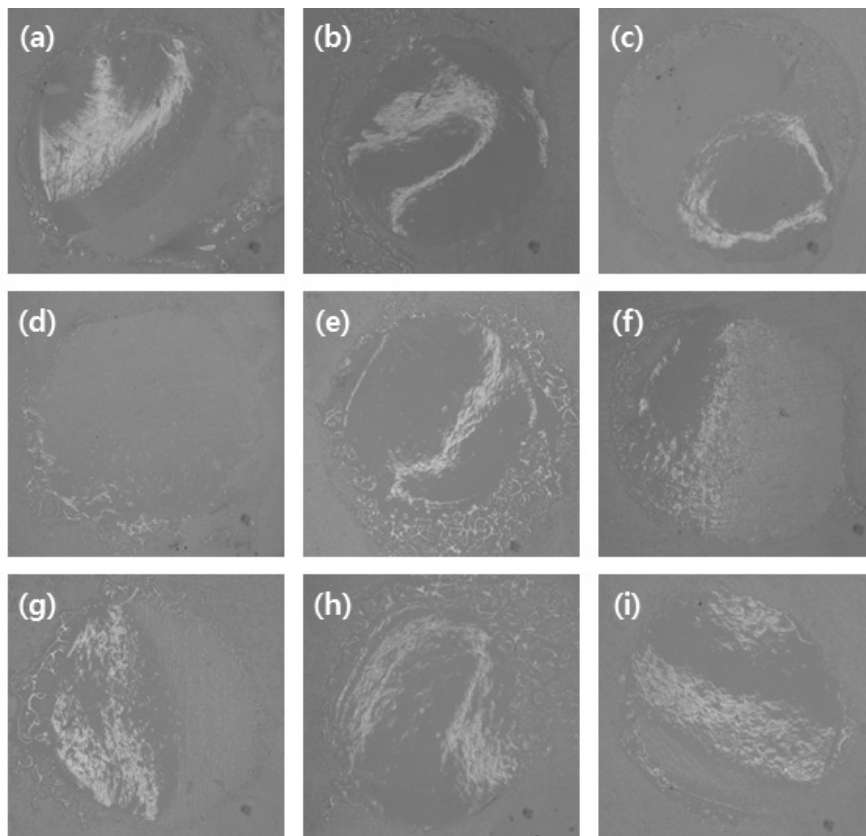


Fig. 2. Images show fractured surface of specimens after shear bond strength test(×25); (a) JC, (b) JE, (c) JL, (d) LC, (e) LE, (f) LI, (g) ZC, (h) ZE, (i) ZL.

IV. 고찰

최근 환자들의 심미에 대한 요구가 증가하면서, 금속-도재관 제작보다는 생체친화적이며, 심미성이 우수한 치과 CAD/CAM용 지르코니아 블록을 이용한 수복물 제작이 확대되고 있다(이해형, 2011). 하지만 지르코니아는 너무 불투명하고 흰색을 띠므로 자연치의 색상과 투명도를 얻기가 어렵다. 그래서 지르코니아 코핑 위에 전장도재를 사용하여 심미성 회복을 위한 특성모사가 필수적이다. 그러나 시판되고 있는 지르코니아 블록과 전장도재간의 결합강도에 관한 정보는 부족한 상태이다. 이에 본 연구에서는 시판되고 있는 지르코니아 블록으로 제작한 코핑과 전장도재 간의 결합강도에 관한 정보를 얻기 위해 치과 임상 분야에서 많이 사용하고 있는 국내외 3종의 치과용 지르코니아 블록과 3종의 전장도재 간의 전단결합강도와 파절양상을 비교 분석하였다.

재료 자체의 강도와 더불어 지르코니아 코핑과 전장도재 간의 결합 역시 중요한 요소 중 하나이다. 전단결합강도는 외력이 가해졌을 때 접착된 2가지 재료가 부러지거나 파절되기 전에 버틸 수 있는 최대 하중을 단면적으로 나누어 결합력을 산출하는 값으로 정의되며(Guess et al, 2008), 측정방법이 비교적 빠르고 간단하므로 지르코니아 코핑과 전장도재 간의 전단결합강도를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구 결과, iJAM Emerald 블록, LUXEN Smile block, ICE Zirkon transluzent 블록으로 만든 코핑 모두에서 IPS e.max ceram 전장도재 군의 전단결합강도가 가장 높게 나타났고, ICE Zirkon ceramic, Cercon ceram kiss 순으로 나타났다. 이는 전장도재 종류에 따라 결합강도에 차이가 난다는 보고와 일치할 뿐만 아니라(Sorensen et al, 1991, Aboushelib et al, 2005), 파절양상 분석결과와도 일치한다. 그러나 지르코니아 코핑과 전장도재간의 결합강도에는 다양한 요인들이 영향을 미치므로 절대적인 결과로 보기에는 한계가 있으므로 상대적 비교 평가 자료로 활용할 필요가 있다고 생각된다.

Cercon ceram kiss, IPS e.max ceram, ICE Zirkon ceramic 전장도재 모두에서 ICE Zirkon transluzent 블록 군의 전단결합강도가 가장 높게 나타났고, iJAM

Emerald, LUXEN Smile block 순으로 나타났다. 이는 지르코니아 블록 종류에 따라 전단결합강도가 영향을 받는다는 보고와 일치하고(Ozkurt et al, 2010), 김정미 등(2013)의 연구에서 지속적인 열 순환 처리 시 ICE Zirkon 블록의 전단결합강도가 가장 높았다는 결과 보고와 김원영 등(2015)의 연구 보고에서 기계적 특성이 ICE Zirkon transluzent 블록이 가장 우수하다는 결과와 같이 본 연구에서 사용한 3종의 지르코니아 시편에서는 ICE Zirkon transluzent에서 가장 높은 전단결합강도 값이 나타났다.

금속-도재관에서 금속 코핑과 전장도재의 적절한 결합강도는 25 MPa 이상이 되어야 한다고 알려져 있지만, 본 연구에서는 모든 시편에서 전단결합강도가 25 MPa보다 낮게 나타났다. 이에 대한 가장 큰 이유는 시편의 형태나 시험방법이 달랐기 때문에 나타난 현상이라고 생각한다 (El Zohairy et al, 2003, Cardoso et al, 2002). 나아가 본 연구에서 제작한 시편 구조보다 임상에서 제작되는 형태는 코핑과 전장도재 간의 접촉 면적이 증가하므로 본 연구의 결과보다 높은 결합력을 나타낼 것으로 생각된다. 그리고 시편 제작 시 지르코니아의 표면처리와 라이너 사용 등을 생략, 또한 접촉면의 불균일한 응력의 발생도 영향을 미치는 요인이라고 생각한다.

지르코니아 코핑과 전장도재 간의 계면에서 파절양상 관찰을 통해 파절 시작의 위치, 크기, 종류를 판별하는 것은 파절이 어떻게 시작하여 진행되고 연장되어 수복물 파절로 이어졌는지를 설명할 수 있다(Mecholsky, 1995). (Fig. 2)는 파절면을 실제현미경으로 관찰한 사진으로, 대부분의 시편에서는 혼합형 파절(mixed failure) 양상이 나타났고, 각 지르코니아 블록 군에서 가장 높은 전단결합강도 값을 보인 JE시편, LE시편, ZE시편에서는 응집형 파절이 나타났으며, 가장 낮은 전단결합강도 값을 보인 LC시편에서는 접착형 파절이 나타났다. 이는 이중구조 전부도재관의 파절면에서 혼합형 파절양상이 나타난 Hamid 등(2008)의 보고와 일치하며, Al-Dohan 등(2004)이 보고한 지르코니아와 전장도재간의 결합력이 전장도재 파절강도보다 높은 경우 응집형 파절이 나타나며, 전장도재의 강도가 낮다면 접착형 파절과 혼합형 파절이 나타난다는 연구보고와 일치한다. 최근 여러 연구에서 명백한 계면 결합 파절의 정확한 기전은 알려지지 않

았으며 더 많은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 치과 CAD/CAM용 지르코니아와 전장도재 간의 전단결합강도를 측정하고, 파절양상을 관찰하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 시편은 임상적인 치과수복물의 형태를 반영하지 못하였고, 시편의 개수가 그룹당 10개로 많지 않았기 때문에 일반화 하기는 어렵다. 하지만 치과 CAD/CAM용 지르코니아와 전장도재를 이용하여 제작되는 이중구조 전부도재관 수복물의 내구성 및 재료에 대한 안정적인 사용을 위한 기초자료는 제시했다고 판단된다.

V. 결 론

시판되고 있는 치과 CAD/CAM용 지르코니아 블록으로 제작한 코핑과 전장도재 간의 결합강도에 관한 정보를 얻기 위해 치과 임상 분야에서 많이 사용하고 있는 국내외 3종의 치과 CAD/CAM용 지르코니아 블록과 3종의 전장도재 간의 전단결합강도와 파절양상을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 3종의 지르코니아 블록과 가장 강한 전단결합강도를 보인 전장도재는 IPS e.max ceram으로 나타났다.
2. 3종의 전장도재와 가장 강한 전단결합강도를 보인 지르코니아 블록은 ICE Zirkon transluzent로 나타났다.
3. 지르코니아 코핑과 전장도재 간의 파절양상은 대부분 혼합형 파절양상을 보였다.

REFERENCES

Aboushelib MN, De Jager N, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. *Dent Mater*, 21(10), 984-991, 2005.

Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Effect of zirconia type on its bond strength with different veneer ceramics. *J Prosthodont*, 17(5), 401-408, 2008.

Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. *Dent Mater*, 22(9), 857-863, 2006.

Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent*, 31(3), 181-188, 2003.

Al-Dohan HM, Yaman P, Dennison JB, Razzoog ME, Lang BR. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. *J Prosthet Dent*, 91(4), 349-355, 2004.

Cardoso PE, Sadek FT, Goracci C, Ferrari M. Adhesion testing with the microtensile method: effects of dental substrate and adhesive system on bond strength measurements. *J Adhes Dent*, 4(4), 291-297, 2002.

El Zohairy AA, De Gee AJ, Mohsen MM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength testing of luting cements to prefabricated CAD/CAM ceramic and composite blocks. *Dent Mater*, 19(7), 575-583, 2003.

Fischer J, Stawarczyk B, Sailer I, Hammerle CHF. Shear bond strength between veneering ceramics and ceria-stabilized zirconia/alumina. *J Prosthet Dent*, 103(5), 267-274, 2010.

Guess PC, Kulis A, Witkowski S, Wolkewitz M, Zhang Y, Strub JR. Shear bond strengths between different zirconia cores and veneering ceramics and their susceptibility to thermocycling. *Dent Mater*, 24(11), 1556-1567,

- 2008.
- Hamid MA, Ariel JR, Brian DF, Harald H, Lloyd AM. Flexural and shear strength of ZrO₂ and a high-noble alloy bonded to their corresponding porcelains. *J Prosthet Dent*, 100(4), 274–284, 2008.
- Jang SA, Kim YY, Park WH, Lee YS. Comparative study of fracture strength depending on the occlusal thickness of full zirconia crown. *J Korean Acad Prosthodont*, 51(3), 160–166, 2013.
- Juy A, Anglada M. Surface phase transformation during grinding of Y-TZP. *J Am Ceram Soc*, 90(8), 2618–2621, 2007.
- Kim JM, Bae JM, Oh SH. The effect of thermocycling on the shear-bond strength of ceramic core-porcelain veneer. *Kor J Dent Mater*, 40(2), 87–94, 2013.
- Kim WY, Chung IS, Jeon BW. Comparison of mechanical properties of all ceramic crown on zirconia blocks. *J Kor Aca Den Tec*, 37(3), 107–113, 2015.
- Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. *J Biomed Mater Res*, 53(4), 304–313, 2000.
- Lee HH. A clinical consideration of current dental zirconia CAD/CAM restorations. *The Journal of Korean Dental Association*, 49(5), 279–285, 2011.
- Mecholsky JJ. Fractography: Determining the sites of fracture initiation. *Dent Mater*, 11(2), 113–116, 1995.
- Ozkurt Z, Kazazoglu E, Unal A. In vitro evaluation of shear bond strength of veneering ceramics to zirconia. *Dent Mater J*, 29(2), 138–146, 2010.
- Rosenblum MA, Schulman A. A review of all-ceramic restoration. *JADA*, 128(3), 297–307, 1997.
- Shin ES, Lee YS, Park WH. Comparative study in fracture strength of zirconia cores fabricated with three different CAD/CAM systems. *J Korean Acad Prosthodont*, 46(1), 22–30, 2008.
- Sorensen JA, Engelman MJ, Torres TJ, Avera SP. Shear bond strength of composite resin to porcelain. *Int J Prosthodont*, 4(1), 17–23, 1991.
- Sundh A, Sjogren G. A comparison of fracture strength of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shape and veneer ceramics. *J Oral Rehabil*, 31(7), 682–688, 2004.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three unit fixed partial dentures: A laboratory study. *Int J Prosthodont*, 14(3), 231–238, 2001.
- Vagkopoulou T, Koutayas SO, Koidis P, Strub JR. Zirconia in dentistry: Part 1. Discovering the nature of an upcoming bioceramic. *Eur J Esthet Dent*, 4(2), 130–151, 2009.