

심미보철용 코어재료와 베니어 세라믹 계면의 전단결합강도 비교

김기원, 박항민, 정인성
부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

Shear Bond Strength between Veneered Ceramics and Core Materials for Esthetic Restorations

Ki-Won Kim, Hang-Min Park, In-Sung Chung

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan, Busan 609-757

[Abstract]

Esthetic restorations have been widely used in dental practice, although many studies have focused on the development and improvement of all ceramic restorations. The success of esthetic restorations depends primarily on an optimal bond strength between various veneered ceramics and core materials for esthetic restorations.

The purpose of this study was to compare the shear bond strength between various veneered ceramics and core materials for esthetic restorations.

30 metal cores and 20 zirconia cores were fabricated and divided into five groups according to veneered ceramic materials such as Creation porcelain powder, Cercon Ceram Kiss, and IPS e.max ZirPress.

Thirty specimens were prepared using Creation porcelain powder, veneered 3 mm height and 3 mm in diameter, over the metal cores (n=10).

Twenty specimens were prepared using Cercon Ceram Kiss and Zirpress, veneered 3 mm height and 3 mm in diameter, over the zirconia cores (n=10). The shear bond strength test was performed in a universal testing machine with a crosshead speed of 1 mm/min. Ultimate shear bond strength data were analyzed with One-way ANOVA and the Scheffe's test (p=.05).

Within the limits of this study, the following conclusions were drawn:

The mean shear bond strengths (MPa) were: 18.44 for Uni metal VH/Creation (NCUC); 18.72 for Heraenium/Creation (NCHC); 16.23 for Wirobond C/Creation (NCWC); 13.88 for Zirconia core/110 μm Al₂O₃ sandblasting/Cercon Ceram Kiss (ZS110P); 14.61 for Zirconia core/No surface treatment/IPS e.max ZirPress (ZNTN). The mean shear bond strength for NCUC (Uni metal VH/Creation), NCHC (Heraenium/Creation) and NCWC (Wirobond C/Creation) were significantly superior to ZS110P (Zirconia core/110 μm Al₂O₃ sandblasting/Cercon Ceram Kiss) and ZNTN (Zirconia core/No surface treatment/IPS e.max ZirPress) (p<0.05).

○Key word : Nickel-chromium alloy, Cobalt-chromium alloy, Zirconia core, Cercon Ceram Kiss, Zirpress, Shear bond strength

교신저자	성명	김기원	전화	010-3539-2875	E-mail	goldkkw@yahoo.co.kr
	주소	부산광역시 금정구 부곡동 9, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과				
논문접수	2009. 5. 20		수정재접수	2009. 6. 20		

I. 서 론

심미에 대한 인식도가 높아지면서 교합압이 강하게 적용되는 구치부까지 세라믹으로 수복하려는 경향이 많아졌고, 그 결과 심미성이 우수하고, 생체적합성이 우수하며, 물리적 특성도 우수한 전부도재관의 사용이 증가하고 있으나(Baltz, 2002; Komine et al., 2004), 치과 현장에서는 금속-세라믹 보철이 전부도재관보다 많이 제작되는 것이 현실이다(Azer et al., 2006; Pisani-Proenca et al., 2006).

금속-세라믹 보철용 비 귀금속 합금은 변형에 대한 저항이 커서 금속구조물을 가능한 얇게 만들 수 있어 치아를 적게 삭제할 수 있을 뿐만 아니라, 심미성을 증대시킬 수 있다. 또한 합금의 가격이 저렴하여 경제적인 면에서도 유리하다는 점에서 널리 사용되고 있다(Papazoglou et al., 1998; Anusavice, 2003; Santos et al., 2006).

전부도재관용 코어 재료로는 결정화 유리, 강화형 백류석, 알루미늄, 지르코니아 등이 있다(Komine et al., 2004). 코어 재료 중 지르코니아는 곡강도가 900-1,200 MPa로 가장 높고, 파괴인성이 높아 CAD/CAM을 이용한 코어 제작이 가능하기 때문에 지르코니아 전부도재관의 사용이 더욱 증가하고 있다(Kosmac et al., 1999; Janda et al., 2003).

심미도재관은 하부구조에 해당되는 코어에 장식계열의 베니어 세라믹을 축성하여 제작하므로, 코어재료가 아무리 강해도 상부를 구성하는 베니어 세라믹인 장식계열 도재가 탄성에너지를 흡수하는 능력이 낮아 비교적 낮은 인장력과 미세한 구조결함에 의한 파절이나 탈락 가능성이 높다(Albakry et al., 2003; Aboushelib, et. al., 2005).

심미보철용 코어재료와 베니어 세라믹간의 결합력이 낮고 파절되는 원인으로는 코어재료와 베니어 세라믹의 열팽창계수 차이에 의한 응력집중과, 코어재료에 대한 베니어 세라믹의 낮은 젖음성, 베니어 세라믹의 소성에 따른 수축, 열이나 응력부하에 의한 코어재료와 베니어 세라믹 계면에서의 결정 변태와 제작과정에 발생된 결함 등이라 보고되고 있다(De Jager et. al., 2005).

도재용착용 비 귀금속 합금의 조성ة 따른 도재와의 결합강도에 관한 연구로 Wu 등(1991)은 beryllium이 포함

되지 않은 Ni-Cr 합금은 Ni-Cr-Be 합금보다 결합강도가 낮은 것으로 보고되었으며, O'Connor 등(1996)은 beryllium이 포함된 Ni-Cr 합금은 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 우수했으나 beryllium 대신 Mo이 포함된 Ni-Cr 합금은 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 낮다고 보고하였다. De Melo 등(2005)은 합금과 도재와의 전단결합강도는 합금의 조성과 열팽창계수, 그리고 산화막의 두께에 의해 좌우되며, 조성비에 따라 Co-Cr 합금도 Ni-Cr 합금보다 전단결합강도가 우수할 수 있음을 보고하였으며, Eliasson 등(2007)은 Co-Cr 합금을 제작된 도재용착 교의치를 3년에서 7년 동안 임상 적용한 결과 17.6%의 파절이 발생하였으나 만성적 치주염환자에게는 효과적이라 보고하였다. 이와 같이 최근 Co-Cr 합금을 이용한 심미보철물에 관심이 증대되고 있다. 그러나 국내에 시판되고 있는 Co-Cr 합금과 Ni-Cr 합금의 조성에 따른 전단결합강도에 관한 연구는 전무한 상태이다.

지르코니아 코어와 베니어 세라믹간의 결합력을 향상시키기 위한 연구들은 기계적 결합이나 화학적 결합을 개선하는 방향으로 진행되어 왔다.

Aboushelib 등(2005)은 표면처리방법 중 샌드블라스팅 방법은 베니어 세라믹과의 결합강도에 영향을 미치지 못하였으나, 이장재를 적용했을 때는 결합강도가 증가하였음을 보고하였고, Wegner와 Kern(2000)은 110 μ m 크기의 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리했을 경우 결합강도가 우수하였다고 보고하였다.

위와 같이 심미보철용 코어재료와 베니어 세라믹간의 결합력을 향상시키기 위한 연구로는 표면처리방법과 화학적 결합에 의한 계면의 측정된 보고들 만 있고, 코어재료들과 베니어 세라믹 재료들 간의 특히 지르코니아 코어와 열가압 세라믹 계면의 전단결합강도에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 심미보철용 코어들과 베니어 세라믹 재료간의 전단결합강도를 알아보기 위해 베릴륨(Be)이 포함된 Ni-Cr 합금인 Uni metal에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을 축성한 군, 니오븀(Nb)이 포함된 Ni-Cr 합금인 Heraenium에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을 축성한 군, Co-Cr 합금인 Wirobond에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을 축성한 군, 지르코니아 코어를

110 μ m 크기의 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리한 다음 베니어 세라믹으로 지르코니아 전용도재인 Cercon Ceram Kiss 도재분말을 축성한 균, 지르코니아 코어를 표면처리하지 않고 열가압 세라믹인 Zirpress를 가압한 균 등 5개 균으로 나누어 시편을 제작한 다음 전단결합강도 실험을 통해 심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료 계면의 전단결합강도를 비교 분석하여, 심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료간의 전단결합강도 변화를 알아보고자 하였다.

도재용착주조관의 비 귀금속 합금과 도재간의 전단결합강도를 관찰하기 위하여 Ni-Cr 합금인 Uni metal VH (Shofu, Japan), Heraenium NA(Heraeus, Germany)과 Co-Cr 합금인 Wirobond C (Bego, Germany)를 사용하였으며(Table 1), 베니어 세라믹 재료로는 저 용융도재인 Creation powder(Klema Dental, Austria)를 사용하였다. 전부도재관의 지르코니아 코어와 베니어 세라믹간의 전단결합강도를 관찰하기 위해서는 ZirKonzahn block (ZirKonzahn GmbH, Italy)과 지르코니아 전용도재인 Cercon Ceram Kiss(Dentsply-Degudent, Germany) 그리고 열 가압 세라믹인 IPS e.max ZirPress (Ivoclarvivadent, Liechtenstein)를 사용하였다.

II. 실험 방법

1. 실험재료 및 시편제조

Table 1. Approximate chemical compositions of study alloys

Alloy name	Composition (wt%)													
	Ni	Cr	Co	Mn	Al	Be	W	Si	Fe	Ce	C	Mn	Ta	Nb
Uni metal VH	77.0	14.0		4.7	2.0	1.8								
Heraenium NA	59.3	24.0		10.0				≤2.0	≤2.0			≤2.0	≤2.0	≤2.0
Wirobond C		26.0	61.0	6.0			5.0	1.0	0.5	0.5	0.02			

심미보철용 코어재료와 베니어 세라믹 계면의 전단결합 강도를 알기위한 실험군은 Table 2와 같다.

Table 2. Classification of experimental group

Group	Type of core material	Type of veneered ceramic	N
NCUC	Uni metal VH (Ni-Cr)	Creation porcelain powder	10
NCHC	Heraenium NA (Ni-Cr)	Creation porcelain powder	10
CCWC	Wirobond (Co-Cr)	Creation porcelain powder	10
ZS110P	ZirKonzahn block	Cercon Ceram Kiss	10
ZNTH	ZirKonzahn block	IPS e.max ZirPress	10

전단결합강도 측정을 위한 금속시편은 직경 7mm, 두께 2mm의 레진 disk와 8mm 길이의 plastic sprue를 연결하여 납형을 제작한 다음, 통법에 의해 3종의 합금을 사용하여 주조하여 30개의 주조체를 얻었다. 주조체에 도재분말을 축성하기 위해 직경 50 μ m의 산화알루미늄을 사용한 샌드블라스팅 과정과 degassing 과정을 행했으며, 시편의 중앙부에 직경 3mm, 높이 3mm로 Creation 도재분말을 축성

하고 소성하여 준비하였다.

전단결합강도 측정을 위한 지르코니아 코어 시편은 ZS110P균은 소결 처리된 지르코니아 코어의 표면을 110 μ m 직경의 Al₂O₃를 사용하여 샌드블라스팅 처리한 다음 코어 위에 지르코니아 전용도재인 Cercon Ceram Kiss (Dentsply-Degudent, Germany)를 직경 3mm로 축성하였다. 축성 방법은 내경 3mm 직경의 붓을 putty로 채득하

고 그 안에 도재 파우더를 채워 넣은 다음 응축하였다. 응축 도재를 putty에서 분리하여 지르코니아 코어위에 올려놓고 제조회사의 지시에 따라 소성하여 준비하였으며, ZSNTH는 지르코니아 코어를 표면처리하지 않고 코어위에 Zirpress(Ivocla -vivadent, Liechtenstein)를 직경 3mm, 높이 3mm 크기로 가압 성형하여 준비하였다. 가압 성형 방법은 먼저 지르코니아 코어 위에 plastic sprue를 직경 3mm×길이 8mm로 잘라내어 순간접착제를 이용하여 수직으로 고정한다. 그리고 원추대에 부착을 하고 전용매물재(Authentic high speed investment, Germany)를 사용하여 매몰하였다.

매물은 진공매물기 용기(multivac)에 용액과 파우더를 담아(mixing ratio: 25ml liquid per 100g powder) 깨끗한 spatula를 이용하여 약 30초 동안 교반한 다음 60초 동안 진공 상태에서 혼합한 다음, 바셀린을 도포한 muffle

ring을 muffle former에 고정시킨 다음 혼합된 매물재를 기포가 생기지 않도록 주의하여 muffle에 주입하였으며, 40분 경과 후 매물재가 경화하면 muffle ring과 muffle former는 40분 후 제거하였다. 소환은 rapid heating 방법으로 하였으며, 열 stress가 가해지는 동안 crack formation의 위험을 최소화하기 위하여 rapid heating method에 따라 Authentic 플라스크만 사용하였다. 소환이 끝난 후(약 15분에서 20분 사이) muffle을 850°C까지 가열된 preheating furnace에 즉시 위치시킨 다음, muffle이 압력 플런저와 함께 약간 경사지게 furnace에 놓여 졌는지 그리고 압력채널이 보이는지 확인하였다. Muffle의 균일한 열을 얻기 위해 마지막 온도에서 40분간 계류시킨 다음, 압력은 제조자의 압력 세라믹의 작업 지침에 의거하여 실행하였다. Zirpress의 가압 성형 스케줄은 Table 3과 같다.

Table 3. Press parameters for IPS e.max Zirpress

Start temp.	Vacuum	Heating rate	End temp.	Hold time	Press time
700°C	on	60°C/min	980°C	20:00min	20:00min

2. 기기분석

1) 전단결합강도 측정

심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료간의 전단결합력을 관찰하기 위하여 전단결합강도시험을 실시하였다. 시험은 만능시험기(MTS 858 Bionix Test System, U.S.A)를 이용하였으며, 전단력 측정을 위한 전용 고정틀

(jig)을 제작하여 사용하였다. 시험은 cross head 1mm/min로 압력을 가하여 코어 표면에 결합되어 있는 베니어 세라믹이 파절 될 때의 힘 (load)을 측정하였다. 코어 표면에 결합하여 있는 베니어 세라믹이 힘에 의해 파절되는 값과 단면적을 이용하여 산출한 전단력을 코어재료와 베니어 세라믹 계면의 전단결합강도로 평가하였다(Fig. 1).

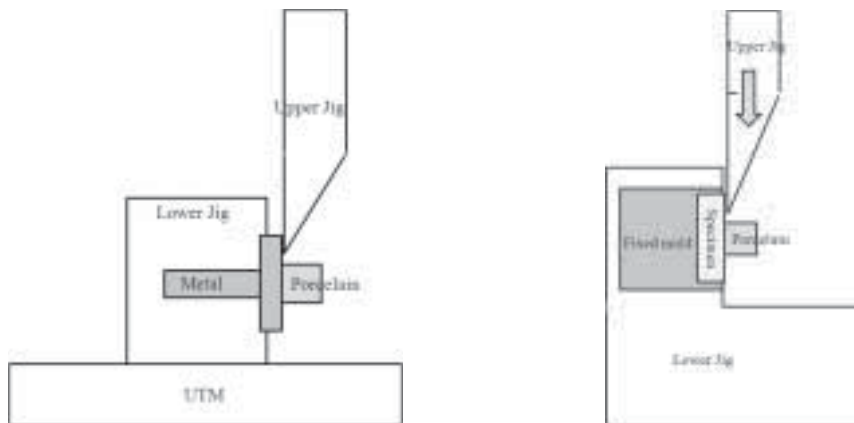


Fig. 1. Schematic diagram of the shear bond strength test set-up on instron

2) 통계처리

결합강도 값의 다양성에 대하여 SPSS Ver. 17.0 for Win(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분석(One way ANOVA analysis)을 시행하였다. 각 군의 유의성 검증을 위하여 Scheffe's test를 이용하여 95% 유의수준에서 검증하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료간의 전단결합강도를 분석한 결과는 Table 4와 Figure 2와 같다.

심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료간의 전단결합강도의 분석결과, beryllium이 포함된 Uni metal VH 합금에 Creation powder를 축성한 NCUC 군이 18.44 MPa로 가장 높게 나타났고, niobium이 포함된 Heraenium NA 합금에 creation powder를 축성한 NCHC군(18.27MPa), Cr-Co계 Wirobond C 합금에 Creation powder를 축성한 CCWC군(16.23MPa), 지르코니아 코어를 표면처리하지 않고 코어 위에 열 가압 세라믹인 Zirpress를 가압한 ZSNTH군(14.61MPa), 지르코니아 코어의 표면을 110 μ m 직경의 Al₂O₃를 사용하여 샌드블라스팅 처리한 다음 코어 위에 지르코니아 전용도재인 Cercon Ceram Kiss를 축성한 ZS110P군(13.88MPa) 순으로 나타났으며, 통계학적으로 유의차가 있었다(p<0.05).

심미보철용 비 귀금속 합금과 베니어 세라믹간의 전단결합강도 분석결과에서는 beryllium과 niobium이 포함된 Ni-Cr 합금이 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의차는 없었다(p>0.05). 이 결과는 beryllium이 포함되지 않은 Ni-Cr 합금은 Ni-Cr-Be 합금보다 결합강도가 낮다고 보고한 Wu 등(1991)의 연구결과와 일치하며, Co-Cr 합금의 전단결합강도가 Ni-Cr 합금보다 낮게 나온 결과는 O'Connor 등(1996)과 김기원(2009)의 연구결과와 일치하나, De Melo 등(2005)의 합금과 도재와의 전단결합강도는 합금의 조성 및 열팽

창계수, 그리고 산화막의 두께에 의해 좌우되며, 조성비에 따라 Co-Cr 합금도 Ni-Cr 합금보다 전단결합강도가 우수할 수 있음을 보고한 내용과는 일치하지 않았다.

코어재료인 비 귀금속 합금과 지르코니아와의 전단결합강도 분석결과에서는 비 귀금속 합금이 지르코니아보다 전단결합강도가 높게 나타났으며, Ni-Cr 합금과 지르코니아 간에는 통계학적으로 유의차가 나타났는데 (p<0.05), 이 결과는 이상민 등(2007)의 연구결과와 일치하였다.

지르코니아 코어와 베니어 세라믹 종류에 따른 전단결합강도 분석결과는 열가압 세라믹인 Zirpress를 사용한 군이 전용도재인 Cercon Ceram Kiss를 사용한 군보다 전단결합강도가 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의차는 없었다(p>0.05). 이 결과는 박항민(2009)의 연구결과와 일치하며, 베니어 세라믹 재료로 사용된 Cercon Ceram Kiss는 장식계열의 도재로 심미성은 우수하나, 베니어 세라믹 부위의 파절이 발생한다는 위험성을 갖고 있는 재료라는 점(Kosmac et al., 1999; Isgro et al., 2003; Guazzato et al., 2004), 그러나 열가압 세라믹인 IPS e.Max Zirpress는 유리세라믹과 불화인회석(Fluorapatite crystal)으로 구성되어 있으며, 나노 크기의 불화인회석은 오팔효과로 심미성에 기여할 뿐만 아니라 적절한 열팽창계수와 높은 굴곡강도, 낮은 용점을 가지고 소성 후 균질하며, 결점이 없이 지르코니아 코어와 결합을 형성하는 특성을 갖고 있다(Sundh et al., 2005)는 재료학적 특성 때문이라 생각된다. 본 연구 결과로 Co-Cr 합금의 사용과 지르코니아 코어에 열가압 세라믹의 사용에 있어 특히, 전단결합강도부분에서는 큰 문제가 없다고 생각되어지나, 앞으로 조성이 다른 Co-Cr 합금을 다양하게 사용하여 조성차이에 따른 전단결합강도 변화를 측정할 필요가 있으며, 도재소성방법, 금속의 표면처리방법에 따른 전단결합강도에 관한 연구, 그리고 지르코니아 코어와 베니어 세라믹 계면의 상변화 등에 관한 연구가 계속되어야 한다고 생각된다.

Table 4. Shear bond strength between veneered ceramic and core materials, as analyzed by one way ANOVA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
NCUC	10	18,4400	1,62221	.51299	17,2795	19,6005	16,60	20,10
NCHC	10	18,2700	1,29362	.40908	17,3446	19,1954	16,90	20,00
CCWC	10	16,2300	3,34599	1,05810	13,8364	18,6236	12,20	19,70
ZS110P	10	13,8800*	1,49131	.47159	12,8132	14,9468	12,20	15,80
ZNTH	10	14,6100*	.92670	.29305	13,9471	15,2729	13,80	15,90
Total	50	16,2860	2,63036	.37199	15,5385	17,0335	12,20	20,10

	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	Sig.
Between Group	171,769	4	42,942	11,554	.000
Within Group	167,251	45	3,717		
Total	339,020	49			

NCUC; Uni metal VH + Creation, NCHC; Heraenium + Creation, CCWC; Wirobond C + Creation, ZS110P; Zirconia core + 110µm Al₂O₃ sandblasting + Cercon Ceram Kiss, ZNTH; Zirconia core + No surface treatment + IPS e.max ZirPress

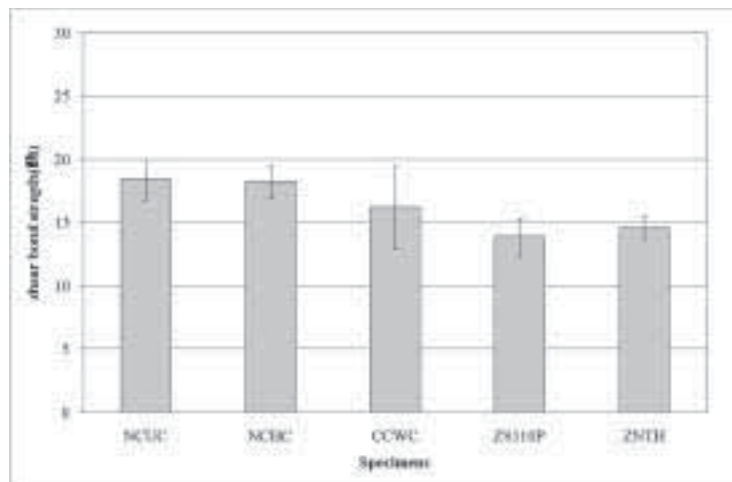


Fig. 2. Means and standard deviations of shear bond strength between veneered ceramic and core materials

IV. 결 론

심미보철용 코어들과 베니어 세라믹 재료간의 전단결합 강도를 알아보기 위해 베릴륨(Be)이 포함된 Ni-Cr 합금인 Uni metal에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을 축성한 군, 니오븀(Nb)이 포함된 Ni-Cr 합금인 Heraenium에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을

축성한 군, Co-Cr 합금인 Wirobond에 베니어 세라믹으로 Creation 도재분말을 축성한 군, 지르코니아 코어를 110µm 크기의 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리한 다음 베니어 세라믹으로 지르코니아 전용도재인 Cercon Ceram Kiss 도재분말을 축성한 군, 지르코니아 코어를 표면처리하지 않고 열가압 세라믹인 Zirpress를 가압한 군 등 5개 군으로 나누어 시편을 제작한 다음 전단결합강

도 실험을 통해 심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료 계면의 전단결합강도를 비교 분석하여, 심미보철용 코어 재료와 베니어 세라믹 재료간의 전단결합강도 변화를 알아본 결과는 다음과 같다.

1. Beryllium과 Niobium이 포함된 Ni-Cr 합금이 Co-Cr 합금보다 전단결합강도가 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의차는 없었다($p>0.05$).
2. 비 귀금속 합금 코어가 지르코니아 코어보다 베니어 세라믹과의 전단결합강도가 높게 나타났으며, Ni-Cr 합금 코어와 지르코니아 코어 간에는 통계학적으로 유의차가 있었다($p<0.05$).
3. 열가압 세라믹인 Zirpress를 사용한 군이 전용도재인 Cercon Ceram Kiss를 사용한 군보다 전단결합강도가 높게 나타났으나, 통계학적으로 유의차는 없었다($p>0.05$).

참 고 문 헌

김기원. 도재용착용 Co-Cr 합금과 Ni-Cr 합금의 도재전단결합강도 비교. 부산가톨릭대학교 생명과학대학원 석사학위 논문, 2009.

박항민. 지르코니아 코어-열가압 성형도재계면의 전단결합강도에 관한 연구. 부산가톨릭대학교 생명과학대학원 석사학위 논문, 2009.

이상민, 정희찬, 전영찬. 지르코니아 단일구조 전부도재관과 금속도재관의 파절강도 비교. 대한치과보철학회지, 45(1), 12-20, 2007.

Aboushelib M, De Jager N, Pallav P, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Dent Mater, 21, 984-991, 2005.

Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. J

Dent, 31, 181-8, 2003.

Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials, 11th ed. Philadelphia, Saunders, 562-3, 2003.

Azer SS, Ayash GM, Johnston WM, Khalil MF, Rosenstiel SF. Effect of esthetic core shades on the final color of IPS Empress all-ceramic crowns. J Prosthet Dent, 96, 397-401, 2006.

Blatz MB. Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. Quintessen -ce Int, 33(6), 415-26, 2002.

De Jager N, Pallav P, Feilzer AJ. The influence of design parameters on the FEA-determined stress distribution in CAD-CAM produced all-ceramic dental crowns. Dent Mater, 21, 242-51, 2005.

De Melo RM, Travassos AC, Neisser MP. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. J Prosthet Dent, 93, 64-9, 2005.

Eliasson A, Arnelund CF, Johansson A. A clinical evaluation of cobalt-chromium metal - ceramic fixed partial dentures and crowns: A three-to seven-year retrospective study. J Prosthet Dent, 98, 6-16, 2007.

Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain MV. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/zirconia (Y-TZP) dental ceramics. Biomaterials, 25, 5045-52, 2004.

Isgro G, Pallav P, van der Zel JM, Feilzer AJ. The influence of the veneering porcelain and different surface treatments on the biaxial flexural strength of a heat-pressed ceramic. J Prosthet Dent, 90, 465-73, 2003.

Janda R, Roulet JF, Wulf M, Tiller HJ. A new adhesive technology for all-ceramics. Dent Mater, 19, 567-73, 2003.

Komine F, Tomic M, Gerds T, Strub JR. Influence

- of different adhesive resin cements on the fracture strength of aluminum oxide ceramic posterior crowns. *J Prosthet Dent*, 92, 359-64, 2004.
- Kosmac T, Oblak C, Jevnikasr P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater*, 15, 426-33, 1999.
- O'connor RP, Mackert JR Jr, Myers ML, Parry EE. Castability, opaque masquing, and porcelain bonding of 17 porcelains-fused-to-metal alloys. *J Prosthet Dent*, 75, 367-74, 1996.
- Papazoglou E, Brantley WA, Johnston WM, Carr AB. Effects of dental laboratory processing variables and in vitro testing medium on the porcelain adherence of high-palladium casting alloys. *J Prosthet Dent*, 79, 514-9, 1998.
- Pisani-Proenca J, Erhardt MC, Valandro LF, Guitierrez-Aceves G, Bolanos -Carmona MV, Del Castillo-Salmeron R, Bottino MA. Influence of ceramic surface conditioning and resin cements on microtensile bond strength to a glass ceramic. *J Prosthet Dent*, 94, 412-7, 2006.
- Santos JG, Fonseca RG, Adabo GL, Santos CA. Shear bond strength of metal-ceramic repair systems. *J Prosthet Dent*, 96, 165-73, 2006.
- Sundh A, Molin M, Sjögren G. Fracture resistance of yttrium oxide partially-stabilized zirconia all-ceramic bridges after veneering and mechanical fatigue testing. *Dent Mater*, 21, 476-82, 2005.
- Weger SM, Kern M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent*, 2, 139-47, 2000.
- Wu Y, Moser JB, Jameson LM, Malone WF. The effect of oxidation heat treatment of porcelain bond strength in selected base metal alloys. *J Prosthet Dent*, 66, 439-44, 1991.