

지르코니아 코어의 표면처리방법이 열 가압 세라믹과의 전단결합강도에 미치는 영향

박 항 민, 정 인 성

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

The Influence of Surface Treatments on Shear Bond Strength between Zirconia Core and Heat Press Ceramic Interface

Hang-Min Park, In-Sung Chung

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

[Abstract]

All-ceramic restorations have gained acceptance among clinicians and patients because of their superior esthetics. Most all-ceramic systems have a 2-layer structure, using a weak veneering ceramic over a strong supporting core. often, failure of all-ceramic restorations occurs when the veneering ceramic fractures, exposing the core material.

The purpose of this study was to compare the shear bond strength of heat press ceramic system (Zirpress) to zirconia core with various surface treatments.

10 metal cores and 50 zirconia cores were fabricated and divided into six groups according to surface treatment such as Zirliner application, aluminium oxide blasting, and 9.5% HF etching.

Sixty specimens were prepared using Zirpress, veneered 8mm height and 3mm 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: 12.93 for 110 μm aluminium oxide blasting/Rexillum III/IPS e.Max Zirpress; 14.92 for 50 μm aluminium oxide blasting + 9.5% HF etching/Zirconis core/IPS e.Max Zirpress; 16.37 for 110 μm aluminium oxide blasting + 9.5% HF etching/Zirconis core/IPS e.Max Zirpress; 12.89 for 200 μm aluminium oxide blasting + 9.5% HF etching/Zirconis core/IPS e.Max Zirpress; 19.30 for 9.5% HF etching/Zirconis core/IPS e.Max Zirpress; 19.55 for Zirliner/Zirconis core/IPS e.Max Zirpress. The mean shear bond strength for ZNTZH (Zirliner/Zirconis core) and ZNTEH (9.5% HF etching/Zirconis core) were significantly superior to MS110H (110 μm aluminium oxide blasting/Rexillum III) and ZS200EH (200 μm aluminium oxide blasting + 9.5% HF etching/Zirconis core) (p<0.05).

●Key word : Zirconia core, Rexillum III, Zirliner, IPS e.Max Zirpress, Shear bond strength

교신저자	성명	박 항 민	전화	017-574-2804	E-mail	2804_champion@naver.com
	주소	부산광역시 금정구 부곡동 9, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과				
논문접수	2009. 5. 13		수정재접수	2009. 6. 16		

I. 서 론

심미에 대한 환자의 요구가 증가하면서 심미성이 우수하고, 생체적합성이 우수하며, 물리적 특성이 우수한 전부도재관의 사용이 증가하고 있다(Baltz, 2002; Komine et al., 2004).

전부도재관으로는 결정화 유리를 이용한 주조 전부도재관, 백류석 강화형 전부도재관, 알루미늄 전부도재관, 지르코니아 전부도재관이 있으나(Komine et al., 2004), 곡강도와 파괴인성치가 높고, CAD/CAM을 이용하여 코어 제작이 가능한 지르코니아 전부도재관의 사용이 증가하고 있다(Kosmac et al., 1999; Janda et al., 2003).

전부도재관은 고강도 코어재료를 사용하여 코어를 제작한 다음, 상부는 장식계열 도재를 축성하여 치관의 형태를 완성하는 이중구조 전부도재관 형태이기 때문에 심미성은 우수하나, 코어재료가 강해도 상부 제작에 사용되는 베니어 세라믹인 장식계열 도재가 탄성에너지를 흡수하는 능력이 낮아 미세한 구조결합에 의한 파절이나 탈락 가능성이 높다는 것이 단점이다(Albakry et. al., 2003; Aboushelib, et. al., 2005).

전부도재관의 코어와 베니어 세라믹계면의 결합실패는 임상연구에서 많이 보고되고 있으며, 특히 이중구조 지르코니아 전부도재관은 지르코니아 코어는 파절되지 않고 베니어 세라믹만 떨어져 나가는 파절양상이 대부분인 것으로 보고되고 있다(Sundh and Sjogren, 2004).

지르코니아 코어와 베니어 세라믹간의 결합력이 낮고 파절되는 원인으로는 지르코니아 코어와 베니어 세라믹의 열팽창계수 차이에 의한 응력집중과 지르코니아 코어에 대한 베니어 세라믹의 낮은 젖음성, 베니어 세라믹의 소성에 따른 수축, 열이나 응력부하에 의한 지르코니아 코어와 베니어 세라믹 계면에서의 지르코니아 결정 변태와 제작과정에 발생된 결합 등인 것으로 보고되고 있다(De Jager et. al., 2005).

지르코니아 코어와 베니어 세라믹간의 결합력을 향상시키기 위한 연구들은 기계적 결합이나 화학적 결합을 개선하는 방향으로 진행되어 왔으며, Aboushelib 등(2005)은 표면처리방법 중 샌드블라스팅법은 베니어 세라믹과의 결합강도에 영향을 미치지 못하였으나, 이장재를 적용했

을 때는 결합강도가 증가하였음을 보고하였고, Wegner와 Kern(2000)은 110 μ m 크기의 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 처리했을 경우 결합강도가 우수하였다고 보고하였다.

지르코니아 세라믹은 샌드블라스팅과 불산에 의한 부식 처리에 의해 표면을 충분히 거칠게 할 수 없다는 보고를 하면서 그 이유는 실리카의 함량이 장식 세라믹일 경우 50-60wt% 포함되는데 지르코니아 세라믹에는 1wt%이하로 포함되기 때문이라고 보고하였다(Kern and Wegner, 1998).

이와 같이 지르코니아 세라믹과 베니어 세라믹간의 결합력을 향상시키기 위한 연구가 많지 않았으며, 보고된 연구들도 지르코니아 세라믹과 지르코니아 전용도재 분말을 축성하여 소성한 베니어 세라믹간의 결합강도를 측정한 보고가 대부분이고 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹간의 전단결합강도에 관한 보고는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 표면처리에 따른 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹과의 전단결합강도를 알아보기 위해, 굵기가 다른 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 한 다음 9.5% HF용액으로 에칭한 군, 9.5% HF용액으로 에칭한 군, 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 군 등 6개 군으로 나누어 시편을 표면 처리한 다음, 모든 시편에 열 가압 세라믹인 Zirpress를 가압하여 시편을 제작한 다음 전단결합강도 실험을 통해, 표면처리가 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹 계면의 전단결합강도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 실험 방법

1. 실험 재료 및 시편제조

1) 실험 재료

실험재료로는 비 귀금속 합금인 Rexillum III(Jeneric, pentron, Walligford, CT, USA)와 전부도재관 코어재료인 ZirKonzahn block(ZirKonzahn GmbH, Italy), 그리고 열 가압 세라믹인 IPS e.max ZirPress(Ivoclarvivadent, Liechtenstein)를 사용하였다.

2) 시편제조

금속 시편은 직경 12mm, 두께 2mm의 레진 디스크와 15mm 길이의 plastic sprue를 연결하여 통법에 의해 매몰하고, 비 귀금속 합금인 Rexillum III로 주조하고, 주조체 표면을 400, 600, 800, 1000, 1200 grit의 silicon carbide 연마지로 균일하게 연마하고 diamond paste로 최종 연마한 다음 110 μ m의 산화알루미늄(Cobra, Renfert, Germany)으로 10mm 거리에서 30초간 2.8 기압의 압력으로 처리하고 증류수에서 10분간 초음파 세척하여 10개의 시편을 제작하였다.

지르코니아 시편은 Zirkozahn block을 가로 5mm, 세

로 5mm, 두께 3mm의 pellet type으로 자른 후 소결 처리한 다음 50 μ m의 산화알루미늄 분말(Cobra, Renfert, Germany)로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 군, 110 μ m의 산화알루미늄 분말 (Cobra, Renfert, Germany)로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 군, 200 μ m의 산화알루미늄 분말 (Cobra, Renfert, Germany)로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리를 실시한 군, 그리고 표면처리하지 않고 9.5% 불산에 처리한 군, 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 군으로 나누어 각 군 별로 10개씩 50개의 시편을 제작하였다 (Table 1).

제작된 시편 위에 Zirpress (Ivoclavivadent,

Table 1. Classification of experimental group

Group	Surface Treatment	Type of veneer	N
MS110H	110 μ m Al ₂ O ₃ blasting	heat-press ceramic	10
ZS50EH	50 μ m Al ₂ O ₃ blasting + 9.5% HF solution	heat-press ceramic	10
ZS110EH	110 μ m Al ₂ O ₃ blasting + 9.5% HF solution	heat-press ceramic	10
ZS200EH	200 μ m Al ₂ O ₃ blasting + 9.5% HF solution	heat-press ceramic	10
ZNTEH	no treatment + 9.5% HF solution in etching	heat-press ceramic	10
ZNTZH	no treatment + Zirliner	heat-press ceramic	10

Liechtenstein)를 가압 성형하여 전단결합강도 측정을 위한 60개의 시편을 준비하였다.

열 가압 세라믹의 가압 성형은 제작된 시편 위에 plastic sprue를 직경 3mm×길이 8mm로 잘라내어 순간접착제를 이용하여 수직으로 고정하였다. 그리고 원추대에 부착을 하고 매몰재(Authentic high speed investment, Germany)를 사용하여 매몰하였으며, 매몰방법은 진공매몰기 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 혼합한다. 바셀린을 도포한 muffle ring을 muffle former에 고정시킨 다음 혼합된 매몰재를 기포가 생기지

않도록 주의하여 muffle에 주입한다. 40분 후 매몰재가 경화하면 muffle ring과 muffle former는 40분 후 제거한다. 소환은 rapid heating 방법으로 한다. 소환이 끝나면(약 15분에서 20분 사이) muffle을 850 $^{\circ}$ C까지 가열된 preheating furnace에 즉시 넣는다. Muffle의 균일한 열을 얻기 위해 마지막 온도에서 40분간 계류시킨다. 압력은 제조자의 압력 세라믹의 작업 지침에 의거하여 실행하였다.

Zirpress의 가압 성형 스케줄은 Table 2와 같으며, 압력이 끝나면 muffle이 실온까지 냉각되도록 방치한 다음 통법에 의해 매몰재를 제거한 다음 전단결합을 측정할 수 있도록 준비하였다.

Table 2. Press parameters for IPS e.max Zirpress

Start temp.	Vacuum	Heating rate	End temp.	Hold time	Press time
700 $^{\circ}$ C	on	60 $^{\circ}$ C/min.	980 $^{\circ}$ C	20:00min.	20:00min.

2. 기기분석

1) 전단결합강도 측정

지르코니아 코어와 열 가압 세라믹간의 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 지르코니아 코어 표면에 결합되어 있는 열 가압 세라믹이 파절 될 때의 힘을 측정하였다. 지르코니아 코어 표면에 결합하여 있는 도재가 힘(load)에 의하여 파절되는 값과 단면적을 이용하여 산출한 전단력을 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹 계면간 전단결합강도로 평가하였다(Figure 1).

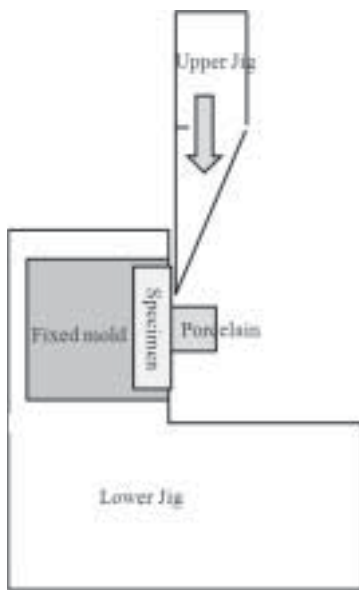


Fig. 1. Schematic diagram of the shear bond strength test set-up on instron

2) 통계분석

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

금속코어와 열 가압 세라믹, 그리고 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹 계면간의 전단결합강도 분석결과는 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다.

금속코어와 열 가압 세라믹, 그리고 지르코니아 코어와 열 가압 세라믹 계면간의 전단결합강도 분석결과, 지르코니아 코어를 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 ZNTZH군이 19.55MPa로 가장 높게 나타났고, 지르코니아 코어를 9.5% 불산에 산 처리한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 ZNTEH군(19.30MPa), 지르코니아 코어를 110 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 ZS110EH군(16.37MPa), 지르코니아 코어를 50 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 ZS50EH군(14.92MPa), 금속코어를 110 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 MS110H군(12.93MPa), 지르코니아 코어를 200 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 다음 열 가압 세라믹을 가압 성형한 ZS200EH군(12.89MPa) 순으로 나타났으며, 통계학적 유의차가 있었다($p < 0.05$).

지르코니아 코어와 베니어 세라믹 계면의 전단결합강도 분석결과, 지르코니아 코어의 표면처리방법으로는 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포 처리한 ZNTZH군(19.55MPa)과 9.5% 불산을 이용하여 산 처리한 ZNTEH군(19.30MPa)에서 전단결합강도가 높은 것으로 나타났으며, 금속코어를 110 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리한 MS110H군(12.93MPa)과 지르코니아 코어를 200 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 ZS200EH군(12.89MPa)과는 통계학적 유의차가 있는 것으로 나타났으나($p < 0.05$), 110 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 ZS110EH군(16.37MPa)과 50 μ m의 산화알루미늄 분말로 샌드블라스팅 처리 후 9.5% 불산에 산 처리한 ZS50EH군(14.92MPa)과는 통계학적 유의차가 없는 것으로 나타났다

($p > 0.05$).

표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 처리방법이 전단 결합강도가 가장 높게 나타났는데, 이는 Aboushelib 등(2005)의 연구에서 지르코니아 코어와 베니어 세라믹 사이에 전용 라이너를 사용하면 결합강도가 두 배 정도 증가한다는 보고와 Aboushelib 등(2006)의 연구에서 전용 라이너의 사용이 지르코니아 코어와 베니어 세라믹의 결합강도를 향상시킨다는 보고와 신영호(2007)의 Zirliner의 사용은 결합강도에 유의하게 영향을 미쳤다는 보고와 일치하며, 본 연구에 사용한 IPS e.Max Zirliner는 유리 세라믹 기질로서 지르코니아 코어와 균일하며, 강한 결합을 유도하는 전용 라이너로 이전 연구들과 유사한 결과를 보였다고 생각되며, 전용 라이너의 사용은 지르코니아 코어와 베니어 세라믹간의 결합실패를 효과적으로 줄여줄 수 있을 것으로 생각된다.

샌드블라스팅에 의한 표면처리에 관한 연구에서는, 지르코니아 코어와 베니어 세라믹 간의 결합 표면적을 증가시키면 기계적 결합강도를 증가시키나, 과도한 표면처리는 결합부위에 응력을 집중시킬 뿐만 아니라 기포형성을 초래하여 결합강도가 오히려 낮아질 수 있다는 보고와 Fleming 등(2004)의 표면의 거칠기가 낮은 시편이 결합강도가 높게 나타났다는 보고, 그리고 Aboushelib 등(2005)과 Dundar 등(2007)의 표면처리에 따른 지르코니아 코어와 베니어 세라믹 간의 결합강도의 증가는 관찰되지 않았다는 보고가 있는데, 본 실험결과에서는 통계학적 유의차는 없으나 산화알루미늄 분말의 중간크기인 $110\mu\text{m}$ 의 산화알루미늄 분말을 사용한 경우가 전단결합강도가 가장 높게 나타났는데 이는 박항민(2009)의 연구 결과와 일치하며, $200\mu\text{m}$ 의 산화알루미늄 분말을 사용한 경우 전

단결합강도가 가장 낮게 나타났는데, 이결과는 과도한 표면처리는 결합부위에 응력을 집중시킬 뿐만 아니라 기포형성을 초래하여 결합강도가 오히려 낮아질 수 있다는 내용과 일치한다고 생각한다. 그러나 Zhang 등(2004)이 지르코니아 코어를 샌드블라스팅으로 표면처리한 후 동적 피로와 반복피로실험을 한 결과 강도가 현저하게 낮아짐을 보고하였다. 이것은 샌드블라스팅 시 발생한 미세균열에 의한 결과로 샌드블라스팅에 의한 표면처리는 결합강도를 증가시킬 수는 있으나 장기간의 예후를 보장하기에는 문제가 있다고 생각된다.

지르코니아 세라믹은 불산에 의한 부식처리에 의해 표면을 충분히 거칠게 할 수 없다는 보고를 하면서 그 이유는 실리카의 함량이 지르코니아 세라믹에는 1 wt% 이하로 포함되기 때문이라고 보고하였지만(Kern and Thompson, 1994; Kern and Wegner, 1998), 본 실험결과에서는 Zirliner 도포 다음으로 9.5% 불산을 이용한 산처리 방법이 전단결합강도가 높은 것으로 나타나 지르코니아 코어의 표면처리방법임을 확인할 수 있었다.

본 연구결과 지르코니아 코어의 베니어 세라믹 재료로 heat-pressed ceramic 사용이 가능하다는 점과 지르코니아 코어의 표면처리방법으로는 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 처리방법이 유용하다는 점, 그리고 9.5% 불산 처리 방법도 지르코니아 코어의 표면처리방법으로 유용하다는 점을 확인할 수 있었지만 베니어 세라믹 재료로 heat-pressed ceramic을 적용하기 위해서는 심미성을 증대시키기 위한 색조재현방법과 전단결합강도를 증대시키기 위한 지르코니아 코어재료와 베니어 세라믹의 열팽창계수에 관한 연구 등 다양한 실험들이 진행되어야 한다고 생각한다.

Table 3. Shear bond strength between heat-press ceramic and Zirconia core after various surface treatments, as analyzed by one way ANOVA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
MS110H	10	12.9300	2.02871	.64153	11.4787	14.3813	8.10	15.80
ZS50EH	10	14.9200	3.82065	1.20819	12.1869	17.6531	10.00	19.80
ZS110EH	10	16.3700	1.02854	.32525	15.6342	17.1058	15.00	18.40
ZS200EH	10	12.8900	2.66477	.84267	10.9837	14.7963	9.50	15.70
ZNTEH	10	19.3000	4.99244	1.57875	15.7286	22.8714	11.30	14.50
ZNTZH	10	19.5500	4.17459	1.32012	16.5637	22.5363	15.00	25.60
Total	60	15.9933	4.24252	.54771	14.8974	17.0893	8.10	25.60

	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	Sig.
Between Group	438.925	5	87.785	7.609	.000
Within Group	623.012	54	11.537		
Total	1061.937	59			

MS110H; Rexillum III/110 μ m Al₂O₃ blasting, ZS50EH; Zirconia core/50 μ m Al₂O₃ blasting + 9.5% HF solution ZS110EH; Zirconia core/110 μ m Al₂O₃ blasting + 9.5% HF solution, ZS200EH; Zirconia core/200 μ m Al₂O₃ blasting + 9.5% HF solution, ZNTEH; Zirconia core/no treatment + 9.5% HF solution in etching, ZNTZH; Zirconia core/no treatment + Zirliner

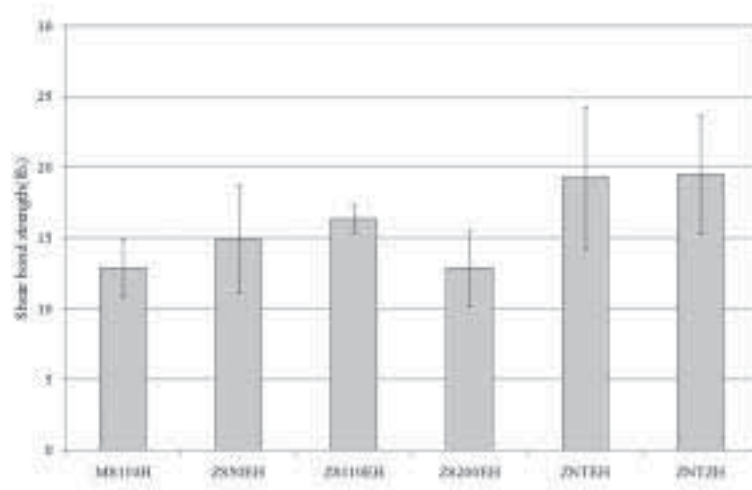


Fig. 1. Means and standard deviations of shear bond strength between heat-press ceramic and Zirconia core after various surface treatments

IV. 결 론

표면처리에 따른 지르코니아 코어와 열가압 세라믹과의 전단결합강도를 알아보기 위해, 굽기가 다른 산화알루미늄으로 샌드블라스팅 한 다음 9.5% HF용액으로 에칭한 군, 표면처리하지 않고 9.5% HF용액으로 에칭한 군, 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 군 등 6개 군으로 나누어 시편을 표면 처리한 다음, 모든 시편에 열가압 세라믹인 Zirpress를 가압하여 시편을 제작한 다음 전단결합강도 실험을 통해, 표면처리가 지르코니아 코어와 열가압 세라믹 계면의 전단결합강도에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1. 전단결합강도 분석결과, ZNTZH군이 19.55MPa로 가장 높게 나타났고, ZNTEH군(19.30MPa), ZS110EH군(16.37MPa), ZS50EH군(14.92MPa), MS110H군(12.93MPa), ZS200EH군(12.89MPa) 순으로 나타났으며, 통계학적 유의차가 있었다($p < 0.05$).
2. 지르코니아 코어의 표면처리방법으로는 표면처리하지 않고 Zirliner를 도포한 처리방법이 유의하게 높은 전단결합강도를 보였다($p < 0.05$).
3. 샌드블라스팅 처리방법에서는 110 μ m의 산화알루미늄 분말을 사용한 경우가 전단결합강도가 가장 높았으나, 통계학적으로 유의차는 보이지 않았다($p > 0.05$).
4. 9.5% 불산을 이용한 산 처리 방법도 Zirliner를 도포한 처리방법과 같이 유의하게 높은 전단결합강도를 보였다($p < 0.05$).

참 고 문 헌

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

신영호. Zirliner 적용과 분사처리가 지르코니아-전장도

재 계면의 전단결합강도에 미치는 영향. 원광대학교 대학원 치의학과, 치의학 박사학위 논문, 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, 984-91, 2005.

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, 857-63, 2006.

Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent.* 31, 181-8, 2003.

Blatz MB. Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. *Quintessence 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.

Dündar M, Özcan M, Gökçe B, Çümlekoglu, E, Leite F, Valandro LF. Comparison of two bond strength testing methodologies for bilayered all-ceramics. *Dent Mater.* 23, 630-6, 2007.

Fleming GJP, El-Lakwah SFA, Harris JJ, Marquis PM. The influence of interfacial surface roughness on bilayered ceramic specimen performance. *Dent Mater.* 20, 142-9, 2004.

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

Kern M, Wegner SM. Bonding to Zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater.* 14, 64-71, 1998.

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.

Sundh A, Sjogren G. A comparison of fracture strength of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia ceramic crowns with varying core thickness, shapes and veneer ceramics. *J Oral Rehabil.* 31, 682–8, 2004.

Weger SM, Kern M. Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent.* 2, 139–47, 2000.

Zhang Y, Lawn BR, Rekow ED, Thomson VP. Effect of sandblasting on the long-term performance of dental ceramics. *J Biomed Mater Res.* 71B, 381–6, 2004.