

# 지르코니아의 거칠기 증가를 위한 다양한 표면처리방법이 레진 시멘트와의 전단결합강도에 미치는 영향

배강호<sup>1</sup>, 배지현<sup>1</sup>, 허중보<sup>2</sup>, 최재원<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>(주)피엔유에드, <sup>2</sup>부산대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실, <sup>3</sup>이룸치과기공소

## Effects of various zirconia surface treatments for roughness on shear bond strength with resin cement

Gang-Ho Bae<sup>1</sup>, Ji-Hyeon Bae<sup>1</sup>, Jung-Bo Huh<sup>2</sup>, Jae-Won Choi<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>PNUADD Co., Ltd., Busan, Korea

<sup>2</sup>Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Pusan National University, Yangsan, Korea

<sup>3</sup>ERUM Dental Laboratory, Busan, Korea

### Article Info

Received October 23, 2020

Revised November 17, 2020

Accepted November 30, 2020

### Corresponding Author

Jae-Won Choi

ERUM Dental Laboratory, 119 Bugok-ro, Geumjeong-gu, Busan 46272, Korea

E-mail: won9180@hanmail.net

https://orcid.org/0000-0001-6786-9251

**Purpose:** The purpose of this study was to evaluate the effects of various zirconia surface treatment methods on shear bond strength with resin cements.

**Methods:** We prepared 120 cylindrical zirconia specimens ( $\varnothing 10$  mm $\times 10$  mm) using computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM). Each specimen was randomly subjected to one of four surface treatment conditions: (1) no treatment (control), (2) airborne-particle abrasion with 50  $\mu$ m of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A50), (3) airborne-particle abrasion with 125  $\mu$ m of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A125), and (4) ZrO<sub>2</sub> slurry (ZA). Using a polytetrafluoroethylene mold ( $\varnothing 6$  mm $\times 3$  mm), we applied three resin cements (Panavia F 2.0, Super-Bond C&B, and Variolink N) to each specimen. The shear bond strength tests were performed in a universal testing machine. The surfaces of representative specimens of each group were evaluated under scanning electron microscope. We used one-way analysis of variance (ANOVA), two-way ANOVA, and post hoc Tukey honest significant difference test to analyze the data.

**Results:** In the surface treatment method, the A50 group showed the highest bond strength, followed by A125, ZA, and control groups; however, no significant difference was observed between A50 and A125, A125 and ZA, and ZA and control ( $p > 0.05$ ). Among the resin cements, Super-Bond C&B showed the highest shear bond strength, followed by Panavia F 2.0 and Variolink N ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** Within the limitations of this study, application of airborne-particle abrasion and ZrO<sub>2</sub> slurry improved the shear bond strength of resin cement on zirconia.

**Key Words:** Resin cements, Roughness, Shear strength, Surface treatment, Zirconium oxide

## INTRODUCTION

지르코니아(zirconia)는 심미적인 색상, 생체적합성, 높은 굴곡강도, 파절 저항성 등의 우수한 재료적 특성과 더불어 치과용 CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing) 기술이 발전함에 따라 보철물 제작에 많이 활용되고 있다[1,2]. 초기의 지르코니아는 단독으로 사용 시 자연치의 색조와 투명도를 재현함에 있어

한계점이 존재했다[3]. 이에 따라 장식계 도재인 베니어 세라믹을 상부 구조로, 지르코니아를 하부구조로 한 이중구조관(zirconia-based restoration)의 형태로 제작되어왔으나 지르코니아와 베니어 세라믹의 결합력 부족으로 인한 세라믹의 chipping이 단점으로 보고되었다[4]. 최근에는 high-translucency zirconia, multi-layerd zirconia 등 심미성을 증가시킨 지르코니아 블록이 개발되면서 크라운, 브릿지, 임플란트 등 단일 구조 지르코니아 보철물의 적용 범위가 확대되고 있다[5,6].

지르코니아는 입자구조가 치밀한 다결정체 구조이며 실리카를 포함하고 있지 않아 접착 시 장석계 도재 보철물처럼 불산을 통한 표면에 침과 실란 커플링제 사용 등의 접착 술식을 적용할 수 없다[7]. 따라서 지르코니아 보철물의 안정적인 접착을 위해서는 지르코니아 표면의 전처리 과정이 필요하며 화학적 결합을 위한 표면처리 방법과 기계적 결합을 위한 표면처리 방법으로 구분할 수 있다[1].

화학적 결합을 위한 표면처리 방법으로는 지르코니아 표면을 실리카로 코팅한 후 실란 커플링제를 도포하여 실록산(siloxane) 결합을 형성하거나[8] 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), 4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride (4-META) 등 지르코니아와 화학적 결합을 하는 기능성 단량체를 함유한 프라이머나 레진 시멘트를 사용하는 방법이 있다[9,10]. 하지만 이전 연구들에서 지르코니아에 화학적 표면처리만 단독으로 시행한 경우, 열순환 처리 후 레진 시멘트와의 결합강도가 저하되고 장기간 안정성에 문제가 있다고 보고되어 기계적 표면처리도 함께 병행할 것을 권장하였다[11].

기계적인 결합을 위한 표면처리 방법으로는 airborne-particle abrasion (APA) [12-14], erbium:yttrium-aluminum-garnet (Er:YAG) 레이저 표면처리[15,16], 불산을 이용한 표면 에칭처리[17-19] 등이 있다. APA는 지르코니아 표면에 이물질 제거하고 거칠기를 부여한 후 레진 시멘트와 기계적 결합을 형성하는 것을 목적으로 한다[13]. APA는 간편한 사용법과 우수한 결합강도로 가장 보편적으로 쓰이는 방법 중에 하나이다[14]. 그러나 APA로 인한 지르코니아 상전이(phase transformation) 유발과 표면 손상(surface damage)은 장기적인 접착에 불안요소로 작용하여 보철물의 안정성에 대한 우려가 제기되고 있다[12]. 한편 Erdem 등[15]과 Foxton 등[16]의 연구에 의하면 Er:YAG 레이저를 이용하여 지르코니아의 거칠기를 형성하는 방법은 아무런 표면처리를 하지 않은 군과 비교했을 때 결합강도에 유의한 차이를 보이지 않았다[15,16]. 또한 지르코니아를 불산으로 표면 에칭 처리하기 위해서는 고농도의 불산이 필요하고, 이는 지르코니아의 기계적 성질에 부정적인 영향을 끼칠 뿐만 아니라 술자에 대한 위험성이 존재한다[17-19].

이와 같은 기존의 지르코니아 기계적 표면처리 방법의 단점을 극복하기 위해 새로운 표면처리 방법이 개발되었다[20]. 이 방법은 지르코니아 표면에 나노 입자의 지르코니아와 탄소 입자가 포함된 슬러리를 도포하고 소결 과정을 거치면 슬러리 내의 지르코니아 입자는 표면에 부착되고 소각된 탄소 입자로 인해 마이크로 단위의 다공성을 형성하는 원리이다[20]. 기존의 다양한 지르코니아 기계적 표면처리 방법과 새롭게 개발된 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법이 레진 시멘트와의 결합강도에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 APA와 새롭게 개발된 지르코니아 슬러리를 이용한 지르코니아 기계적 표면처리 방법이 세 가지 레진 시멘트와의 결합강도에 미치는 영향을 알아보고 지르코니아 슬러리를 활용한 표면처리 방법의 유효성을 확인하고자 한다.

## MATERIALS AND METHODS

### 1. 시편의 제작

Y-TZP (yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal) 지르코니아 블록(Luxen Enamel; Dentalmax, Seoul, Korea)을 직경 10 mm, 높이 10 mm인 원기둥형태로 가공하였다(n=120). 대조군을 포함하여 12개의 실험군(Panavia F2.0 [Kuraray Medical, Tokyo, Japan]: no treatment, Control군; APA with 50  $\mu\text{m}$  of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , A50군; APA with 125  $\mu\text{m}$  of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , A125군;  $\text{ZrO}_2$  slurry, ZA군; Superbond C&B [Sun Medical, Moriyama, Japan]: Control군, A50군, A125군, ZA군; Variolink N [Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein]: Control군, A50군, A125군, ZA군)으로 분류하고 각 군당 10개씩, 총 120개의 지르코니아 시편을 제작하였다.

### 2. 시편의 표면처리

지르코니아 시편의 표면처리를 위해 50  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$  크기의 알루미늄나(Cobra; Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)와 지르코니아 슬러리(ZirADD; PNUADD, Busan, Korea)를 사용하였다. 표면처리 방법에 따라 네 개의 군으로 나누고 다음과 같이 명명하였다(Control군: 아무 처리를 시행하지 않은 군, A50군: 50  $\mu\text{m}$  크기의 알루미늄나로 표면처리한 군, A125군: 125  $\mu\text{m}$  크기의 알루미늄나로 표면처리한 군, ZA군: 지르코니아 슬러리를 도포한 군). A50군과 A125군은 소결된 지르코니아 표면에 알루미늄나를 수직으로 10 mm 떨어진 거리에서 2.5 bar의 압력으로 10초 동안 분사한 후 초음파로 세척하여 건조시켰다. ZA군은 소결 전 지르코니아 표면에 지르코니아 슬러리를 붓으로 1회 도포하고 소결한 후 세척하였다.

### 3. 지르코니아 시편과 레진 시멘트와의 접착

표면처리 방법에 따른 네 개의 군에 3종의 레진 시멘트를 접착하였다(Table 1). 지르코니아 시편에 polytetrafluoroethylene mold를 이용하여 직경 3 mm, 높이 3 mm의 원기둥 형상으로 각 레진 시멘트를 적용하고 제조사의 지시대로 중합하였다.

### 4. 전단결합강도 측정

레진 시멘트가 접착된 지르코니아 시편을 전용의 지그에 고정하고

**Table 1.** Materials used in this study

Material	Trade name	Manufacturer
Zirconia block	Luxen Enamel	Dentalmax, Korea
$\text{Al}_2\text{O}_3$ particle	Cobra	Renfert GmbH, Germany
$\text{ZrO}_2$ slurry	ZirADD	PNUADD, Korea
Resin cement	Panavia F 2.0	Kuraray Medical, Japan
	Superbond C&B	Sun Medical, Japan
	Variolink N	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein

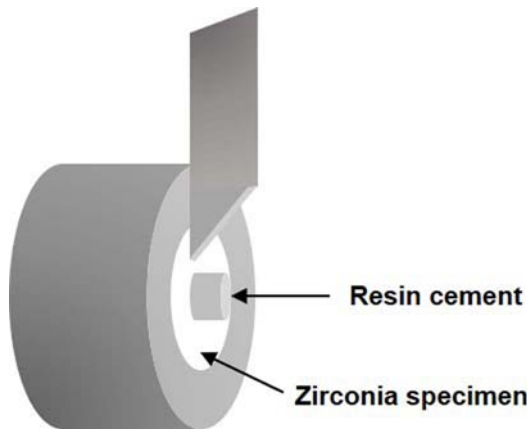
만능시험기(Model 3345; Instron, Norwood, MA, USA)를 이용하여 접착 계면으로부터 0.5 mm 떨어진 지점에서 접착면과 동일한 방향으로 crosshead speed 1.0 mm/minute의 하중을 가하여 접착 실패 시의 최대하중을 측정하였다(Fig. 1).

### 5. 주사전자현미경 관찰

탁상형 주사전자현미경(scanning electron microscope [SEM], JCM-7000; JEOL, Tokyo, Japan)로 지르코니아 시편의 표면 형태 및 파절 양상을 관찰하였다.

### 6. 통계분석

통계분석을 위해 SPSS 소프트웨어(IBM SPSS ver. 25.0; IMB, Ar-



**Figure 1.** Schematic diagram of shear bond strength test.

monk, NY, USA)를 사용하였다. 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 각 군 간의 통계학적 유의성을 검정하였으며( $\alpha=0.05$ ), 표면처리 방법과 레진 시멘트 종류에 따른 상호작용이 존재하는지 알아보기 위하여 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 시행하였다( $\alpha=0.05$ ). Tukey's honestly significant difference test를 이용하여 사후검증 실시하였다( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTS

### 1. 전단결합강도

표면처리 방법에 따른 각 군의 전단결합강도를 비교한 결과(Table 2), Panavia F 2.0 그룹에서는 A50군, A125군, ZA군, Control군 순으로 높은 값을 보였으며, A50군, A125군, ZA군 및 ZA군과 Control군 사이에는 유의한 차이가 없었다( $p>0.05$ ). Superbond C&B 그룹의 경우 A50군은 다른 군들에 비해 유의하게 높은 결합강도를 보였으며( $p<0.05$ ), A125군, ZA군, Control군 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ ). Variolink N 그룹의 경우, 모든 군에서 유의한 차이가 나타나지 않았다( $p>0.05$ ). 레진 시멘트 종류에 따른 각 군의 전단결합강도를 비교한 결과(Table 2), Control군에서는 다른 시멘트에 비해 Superbond C&B가 유의하게 높은 결합강도를 보였으며( $p<0.05$ ), A50군과 ZA군에서는 Superbond C&B, Panavia F 2.0, Variolink N순으로 유의하게 높은 결합강도를 보였다( $p<0.05$ ). A125군에서는 Variolink N가 다른 시멘트보다 유의하게 낮은 결합강도를 보였다( $p<0.05$ ).

이원분산분석 시행 결과(Table 3), 지르코니아 표면처리 방법과 레

**Table 2.** Mean shear bond strength values (MPa), standard deviations ( $\pm$ ), and statistical results of all groups

Group	Panavia F 2.0	Superbond C&B	Variolink N	p-value
Control	5.550 $\pm$ 2.553 <sup>aA1</sup>	12.613 $\pm$ 3.452 <sup>bB1</sup>	6.374 $\pm$ 3.361 <sup>aA1</sup>	<0.001
A50	14.141 $\pm$ 3.549 <sup>bA1</sup>	19.816 $\pm$ 2.153 <sup>bB1</sup>	5.874 $\pm$ 2.108 <sup>aC1</sup>	<0.001
A125	14.049 $\pm$ 7.816 <sup>bA1</sup>	15.265 $\pm$ 3.643 <sup>aA1</sup>	6.159 $\pm$ 1.586 <sup>aB1</sup>	0.001
ZA	9.361 $\pm$ 3.155 <sup>abA1</sup>	13.817 $\pm$ 2.659 <sup>aB1</sup>	5.524 $\pm$ 1.931 <sup>aC1</sup>	<0.001
p-value	<0.001	<0.001	0.863	

Control: no treatment, A50: airborne-particle abrasion with 50  $\mu$ m of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, A125: airborne-particle abrasion with 125  $\mu$ m of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZA: ZrO<sub>2</sub> slurry. Different lower-case letters (a, b) indicate significant differences among mechanical surface treatment methods ( $p<0.05$ ). Different upper-case letters (A, B, C) indicate significant differences among resin cements ( $p<0.05$ ).

**Table 3.** Two-way ANOVA with surface treatment and resin cement

Source	Sum of squares	DF	Mean square	F value	p-value
Surface treatment	466.268	3	155.423	12.514	<0.001
Resin cement	1765.411	2	882.706	71.073	<0.001
Surface treatment * Resin cement	349.155	6	58.193	4.686	<0.001
Error	1341.327	108	12.420		
Corrected total	3922.161	119			

DF: degree of freedom.

진 시멘트의 종류, 두 변수의 상호작용 모두 전단결합강도에 유의한 영향을 미치는 것을 확인하였다( $p < 0.05$ ). 표면처리 방법에 따라서는 A50군, A125군, ZA군, Control군 순으로 높은 값을 보였으나 A50군과 A125군, A125군과 ZA군, ZA군과 Control군 사이에는 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 한편 레진 시멘트의 종류에 따라서는 Superbond C&B, Panavia F 2.0, Variolink N 순으로 유의하게 높은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ ).

## 2. 주사전자현미경 관찰

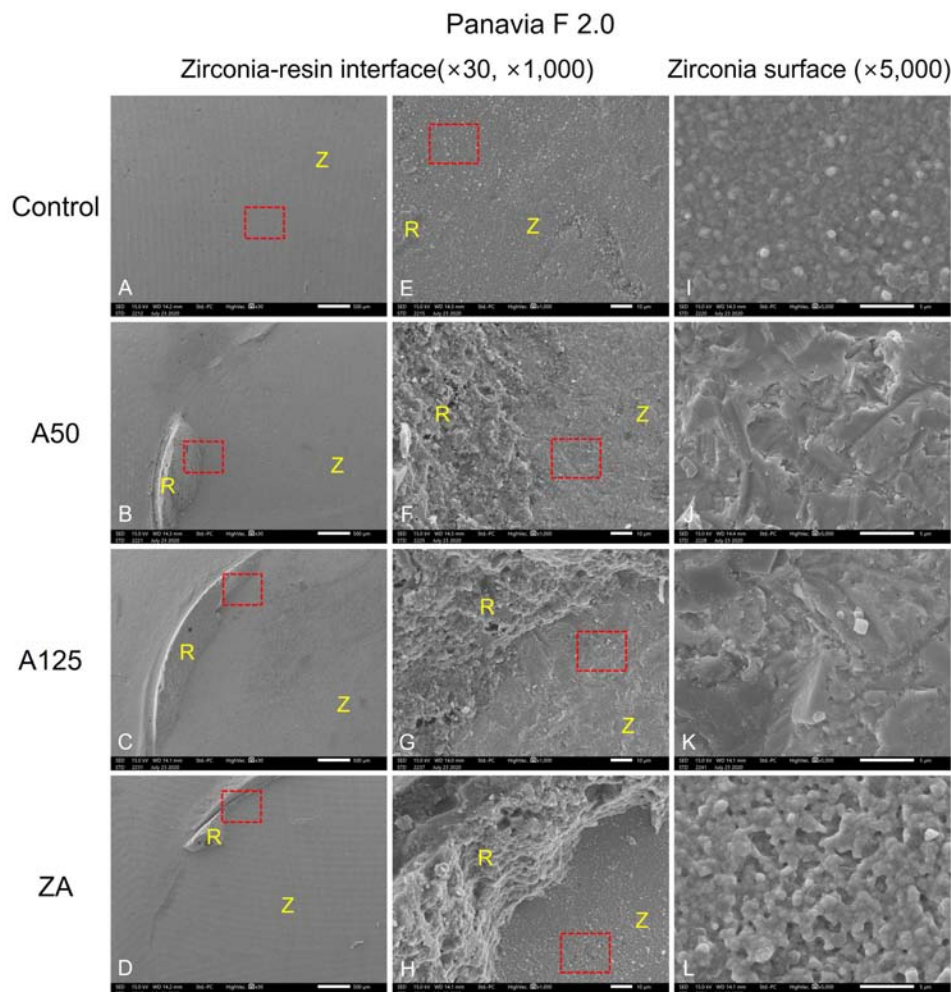
SEM을 이용하여 30배율, 1,000배율, 5,000배율로 각 군 시편의 표면을 관찰하였다(Fig. 2~4). Control군에서는 지르코니아 결정립이 관찰되었고(Fig. 2I, 3I, 4I), A50군과 A125군에서 알루미늄 분사로 인한 거친 표면이 관찰되었다(Fig. 2J, 3J, 4J, 2K, 3K, 4K). ZA군에서는 지르코니아 결정립 사이로 불규칙한 다공성 및 거친 표면이 관찰되었다(Fig. 2L, 3L, 4L).

지르코니아와 레진 시멘트 간의 파절 양상에서 Control군은 지르코니아 표면으로부터 레진 시멘트가 깨끗이 탈락하는 접착성 파절(ad-

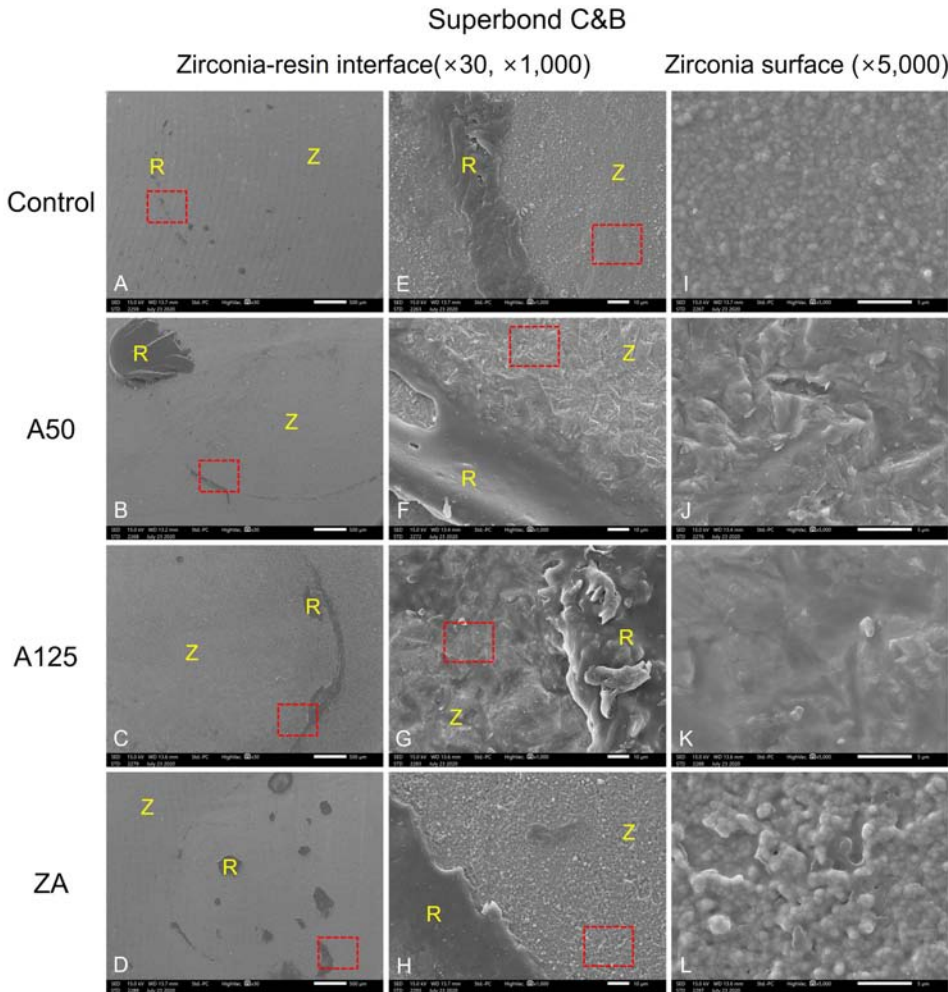
hesive failure) 양상이 나타났다. 반면 A50군, A125군과 ZA군은 지르코니아 또는 레진 시멘트 내에서 파절이 일어난 응집성 파절(cohesive failure) 및 두 가지가 혼합된 혼합성 파절(mixed failure) 양상을 보였으며 잔존하는 레진 시멘트 양도 Control군에 비해 많이 관찰되었다.

## DISCUSSION

지르코니아 접착의 내구성을 증대시키기 위한 다양한 기계적 표면처리 방법이 제안되어왔다[1]. 그중 APA는 지르코니아와 레진 시멘트 간에 우수한 결합강도를 보여주었으며 가장 보편적인 지르코니아 표면처리 방법으로 간주되어왔다[14]. 그러나 APA는 지르코니아의 상전이를 유발하고 미세 균열(micro crack)을 만들어 보철물의 장기적인 안정성에 불리하다[12]. 한편 기존의 많은 연구들에서 APA에 사용되는 알루미늄 입자 크기는 지르코니아와 레진 시멘트 간 결합강도에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되었다[21-23]. 이에 본 연구에서는 지르코니아의 기계적 표면처리 방법 중 두 가지 입자 크기의 알루미늄 분말(50



**Figure 2.** Scanning electron microscope images of the surface of each group of Panavia F 2.0 (magnification  $\times 30, \times 1,000, \times 5,000$ ). Square box represents the enlarged area at  $\times 1,000$  and  $\times 5,000$  magnification. (A, E, I) no treatment (control), (B, F, J) airborne-particle abrasion (APA) with  $50 \mu\text{m}$  of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (A50), (C, G, K) APA with  $125 \mu\text{m}$  of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (A125), (D, H, L)  $\text{ZrO}_2$  slurry (ZA). Z: zirconia, R: resin cement.



**Figure 3.** Scanning electron microscope images of the surface of each group of Superbond C&B (magnification ×30, ×1,000, ×5,000). Square box represents the enlarged area at ×1,000 and ×5,000 magnification. (A, E, I) no treatment (control), (B, F, J) airborne-particle abrasion (APA) with 50 μm of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A50), (C, G, K) APA with 125 μm of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A125), (D, H, L) ZrO<sub>2</sub> slurry (ZA). Z: zirconia, R: resin cement.

μm, 125 μm)을 이용한 APA 표면처리 방법과 새롭게 개발된 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법이 다양한 레진 시멘트와의 전단결합강도에 미치는 영향과 유효성을 평가해보고자 하였다.

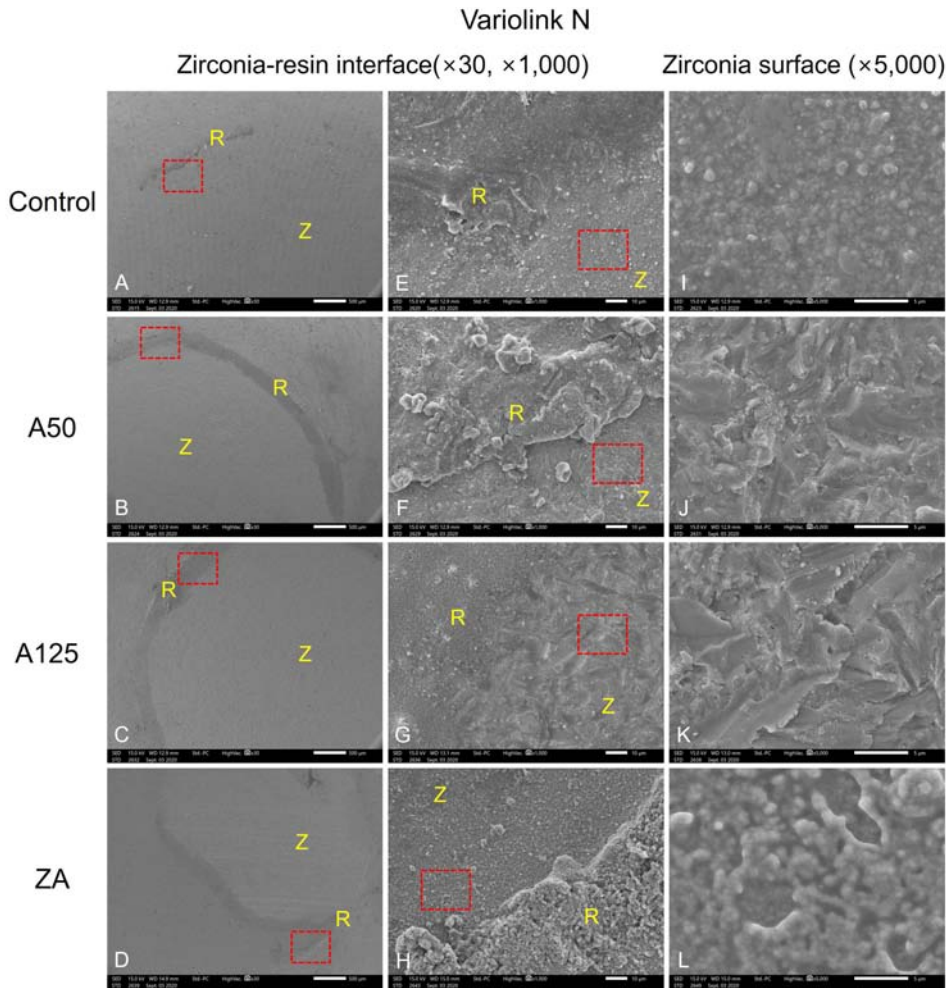
레진 시멘트 종류에 따른 각 군의 전단결합강도를 비교한 결과, Panavia F 2.0 그룹의 A125을 제외한 Superbond C&B 그룹의 모든 군은 다른 레진 시멘트 그룹보다 통계적으로 높은 결합강도를 보였다. 이는 Superbond C&B는 구성성분에 있어 필러를 함유하지 않기 때문에 상대적으로 흐름성이 높아 표면처리로 형성된 지르코니아의 미세구조로 침투를 용이하게 하여 보다 강한 기계적 결합을 형성하기 때문이며, 더불어 기능성 단량체인 4-META의 확산 능력도 결합강도를 높이는 데 영향을 끼친 것으로 생각된다[24,25].

표면처리 방법에 따른 각 군의 전단결합강도를 비교한 결과, Variolink N 그룹의 경우 대조군과 실험군(A50군, A125군, ZA군) 모두 유의한 차이가 없었는데 이는 Panavia F 2.0와 Superbond C&B가 가지는 MDP, 4-META가 지르코니아와 화학적 결합을 형성하는 것에 비해 기능성 단량체가 없는 일반 bis-phenol-A-diglycidyl dimethacrylate계 시멘트가 낮은 결합강도를 보이는 기존의 연구와 동일한 결

과가 나타난 것으로 보인다[26]. 한편 Panavia F 2.0와 Variolink N 그룹에서 A50군과 A125군 간의 결합강도는 유의한 차이가 없었다 ( $p>0.05$ ). 이는 알루미늄 입자 크기가 지르코니아와 레진 시멘트 간의 결합강도에 영향을 주지 않을 것이라는 Tsuo 등[23] 과 Sciasci 등[22]의 기존 연구 결과와 일치한다. Tsuo 등[23]은 알루미늄 입자 크기가 증가할수록 표면 거칠기도 함께 증가하지만 결합강도에 영향이 끼치지 않는 것은 APA로 형성한 불규칙한 지르코니아 표면 거칠기의 깊이가 얇고 최소한의 undercut만 형성하기 때문이라고 추측했다.

SEM을 통해서 파절 양상을 관찰한 결과 Control군은 접착성 파절 양상을 나타낸 것에 비해 A50군, A125군과 ZA군은 응집성 파절과 두 가지가 혼합된 혼합성 파절을 나타냈다. 이를 통해 APA군과 마찬가지로 지르코니아 슬러리를 활용한 표면처리는 기계적 결합을 위한 표면 거칠기를 형성하고 지르코니아와 레진 시멘트 간의 결합강도 증가를 위한 방법으로 사용이 가능할 것으로 보인다.

본 연구의 결과는 지르코니아의 다양한 표면처리와 레진 시멘트에 따른 전단결합강도를 충분히 설명하기에는 한계점을 가진다. 임상에서는 기계적 표면처리뿐만 아니라 실리카 코팅, 기능성 단량체를 포함



**Figure 4.** Scanning electron microscope images of the surface of each group of Variolink N (magnification ×30, ×1,000, ×5,000). Square box represents the enlarged area at ×1,000 and ×5,000 magnification. (A, E, I) no treatment (control), (B, F, J) airborne-particle abrasion (APA) with 50 μm of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A50), (C, G, K) APA with 125 μm of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (A125), (D, H, L) ZrO<sub>2</sub> slurry (ZA). Z: zirconia, R: resin cement.

하는 프라이머 사용 등 화학적 표면처리와 같이 시행하고 있으며, 실제 구강 내에서는 타액과 온도 등 다양한 요인들에 의해 전단결합강도에 영향을 줄 수 있다. 따라서 향후 화학적 표면처리와 구강 내 환경을 재현한 열순환 처리 등 전단결합강도에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## CONCLUSIONS

본 연구에서는 APA 표면처리 방법과 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법에 따른 지르코니아와 다양한 레진 시멘트 간 전단결합강도를 실험했으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 본 연구의 한계 내에서 APA 표면처리 및 지르코니아 슬러리를 활용한 표면처리가 지르코니아 보철물과 레진 시멘트 간의 결합력에 긍정적인 효과를 줄 수 있을 것으로 생각된다.

## CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Gang-Ho Bae, <https://orcid.org/0000-0002-9287-6610>

Ji-Hyeon Bae, <https://orcid.org/0000-0003-3805-5229>

Jung-Bo Huh, <https://orcid.org/0000-0001-7578-1989>

Jae-Won Choi, <https://orcid.org/0000-0001-6786-9251>

## REFERENCES

- de Mello CC, Bitencourt SB, Dos Santos DM, Pesqueira AA, Pellizzer EP, Goiato MC. The effect of surface treatment on shear bond strength between Y-TZP and veneer

- ceramic: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont*. 2018;27:624-635.
2. Ban S. Reliability and properties of core materials for all-ceramic dental restorations. *Jpn Dent Sci Rev*. 2008;44:3-21.
  3. Tabatabaian F, Karimi M, Namdari M. Color match of high translucency monolithic zirconia restorations with different thicknesses and backgrounds. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32:615-621.
  4. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil*. 2010;37:641-652.
  5. Ban S, Suzuki T, Yoshihara K, Sasaki K, Kawai T, Kono H. Effect of coloring on mechanical properties of dental zirconia. *J Med Biol Eng*. 2014;34:24-29.
  6. Kaizer MR, Kolakarnprasert N, Rodrigues C, Chai H, Zhang Y. Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. *Dent Mater*. 2020;36:60-67.
  7. Magne P, Paranhos MP, Burnett LH Jr. New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater*. 2010;26:345-352.
  8. Pilo R, Dimitriadi M, Palaghia A, Eliades G. Effect of tribochemical treatments and silane reactivity on resin bonding to zirconia. *Dent Mater*. 2018;34:306-316.
  9. Chang JC, Hurst TL, Hart DA, Estey AW. 4-META use in dentistry: a literature review. *J Prosthet Dent*. 2002;87:216-224.
  10. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y, et al. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Sci Rep*. 2017;7:45563.
  11. Gomes AL, Castillo-Oyagüe R, Lynch CD, Montero J, Albaladejo A. Influence of sandblasting granulometry and resin cement composition on microtensile bond strength to zirconia ceramic for dental prosthetic frameworks. *J Dent*. 2013;41:31-41.
  12. Okutan Y, Yucel MT, Gezer T, Donmez MB. Effect of airborne particle abrasion and sintering order on the surface roughness and shear bond strength between Y-TZP ceramic and resin cement. *Dent Mater J*. 2019;38:241-249.
  13. Dos Santos RA, de Lima EA, Mendonça LS, de Oliveira JE, Rizuto AV, de Araújo Silva Tavares ÁF, et al. Can universal adhesive systems bond to zirconia? *J Esthet Restor Dent*. 2019;31:589-594.
  14. Saade J, Skienhe H, Ounsi H, Matinlinna JP, Salameh Z. Effect of different combinations of surface treatment on adhesion of resin composite to zirconia. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2019;11:119-129.
  15. Erdem A, Akar GC, Erdem A, Kose T. Effects of different surface treatments on bond strength between resin cements and zirconia ceramics. *Oper Dent*. 2014;39:E118-E127.
  16. Foxton RM, Cavalcanti AN, Nakajima M, Pilecki P, Sheriff M, Melo L, et al. Durability of resin cement bond to aluminium oxide and zirconia ceramics after air abrasion and laser treatment. *J Prosthodont*. 2011;20:84-92.
  17. Sriamporn T, Thamrongananskul N, Busabok C, Poolthong S, Uo M, Tagami J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dent Mater J*. 2014;33:79-85.
  18. Kim SJ. Changes in zirconia surface roughness according to hydrofluoric acid application methods [master's thesis]. Daegu: Kyungpook National University, 2016.
  19. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C, et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent*. 2009;37:891-897.
  20. Jo YB, Ahn JJ, Lee SH, Park T, Huh JB. The effect of ZrO<sub>2</sub> slurry application to the pre-sintered zirconia surface on bonding strength. *Implantology*. 2020;24:76-82.
  21. Ozcan M, Nijhuis H, Valandro LF. Effect of various surface conditioning methods on the adhesion of dual-cure resin cement with MDP functional monomer to zirconia after thermal aging. *Dent Mater J*. 2008;27:99-104.
  22. Sciasci P, Abi-Rached FO, Adabo GL, Baldissara P, Fonseca RG. Effect of surface treatments on the shear bond strength of luting cements to Y-TZP ceramic. *J Prosthet Dent*. 2015;113:212-219.
  23. Tsuo Y, Yoshida K, Atsuta M. Effects of alumina-blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *Dent Mater J*. 2006;25:669-674.
  24. Kim CH, Jeon YC, Jeong CM, Lim JS. Effect of surface treatments of zirconia ceramic on the bond strength of resin cements. *J Korean Acad Prosthodont*. 2004;42:386-396.
  25. Kim JH, Seo JM, Ahn SG, Park JM, Song KY. The effect of surface treatment conditioning on shear bond strength

- between zirconia and dental resin cements. *J Korean Acad Prosthodont.* 2013;51:73-81.
26. Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater.* 2006;22:195-200.