

지르코니아의 새로운 표면처리 방법이 레진 시멘트와의 전단결합강도에 미치는 영향

조원탁¹, 배지현², 최재원^{3*}

¹부산대학교 일반대학원 치의학과 석사과정, ²(주)피엔유에드 선임연구원,
³부산대학교 치의학전문대학원 외래교수

Effect of the New Surface Treatment Method of Zirconia on the Shear Bond Strength with Resin Cement

Won-Tak Cho¹, Ji-Hyeon Bae², Jae-Won Choi^{3*}

¹Graduate student, Department of Prosthodontics, Dental and Life Sciences Institute,
Education and Research Team for Life Science on Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University

²Senior researcher, PNUADD Co, Ltd

³Adjunct professor, School of Dentistry, Pusan National University

요약 본 연구에서는 지르코니아의 새로운 표면처리 방법이 레진 시멘트와의 전단결합강도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 지르코니아 표면처리 방법 따라 5개의 그룹으로 분류하였다: 표면처리 미시행한 군(CON군), 100℃에서 9% 불산에 10분간 노출시킨 군(HF군), 15% 지르코니아 슬러리를 적용한 군(ZS15군), 30% 지르코니아 슬러리를 적용한 군(ZS30군), 50% 지르코니아 슬러리를 적용한 군(ZS50군). 표면처리한 지르코니아 위에 레진 시멘트를 적용하였고, 열 순환 처리 후 지르코니아와 레진 시멘트 간의 전단결합강도를 측정하였다. 전단결합강도에 대한 통계 방법으로 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney U test 및 Bonferroni correction를 사용하였다($\alpha=.05/10=.005$). 지르코니아 슬러리를 적용한 군은 CON군과 HF군에 비해 높은 전단결합강도를 보였다($p<.05/10=.005$). 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법은 레진 시멘트와 지르코니아 간의 전단결합강도를 증대시킴을 확인하였다. 본 연구 결과, 새로운 표면처리 방법은 지르코니아가 지닌 접착의 한계점을 보완하고 개선함으로써 지르코니아의 보다 다양한 임상적 적용 가능성을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 레진 시멘트, 전단결합강도, 지르코니아, 지르코니아 슬러리, 표면처리

Abstract This study was to investigate the effect of the new surface treatment method of zirconia on the shear bond strength with resin cement. The zirconia specimens were classified according to the surface treatment. CON: non-treatment, HF: 10 minutes exposure to 9% HF, ZS15: Apply 15% ZrO₂ slurry, ZS30: Apply 30% ZrO₂ slurry, ZS50: Apply 50% ZrO₂ slurry. The resin cement was layered on the surface treated zirconia, and the shear bond strength between the zirconia and the resin cement was measured after thermo-cycling. The statistical methods for shear bond strength were Kruskal-Wallis test, Mann-Whitney U test, and Bonferroni correction($\alpha=.05/10=.005$). ZS15, ZS30, and ZS50 groups treated with zirconia slurry showed higher shear bond strength than CON and HF groups($p<.05/10=.005$). Within the limits of this study, the surface treatment using zirconia slurry increased the shear bond strength with resin cement. The new surface treatment method complements and improves the limitations of the adhesion of zirconia, so that various clinical applications of zirconia can be expected.

Key Words : Resin cement, Shear bond strength, Zirconia, Zirconia slurry, Surface treatment

*The authors received no specific funding for this work

*Corresponding Author : Jae-Won Choi(won9180@hanmail.net)

Received December 18 2020

Revised January 4, 2021

Accepted March 20, 2021

Published March 28, 2021

1. 서론

치과 영역에서 지르코니아는 우수한 기계적, 화학적 특성뿐만 아니라 생체적합성과 심미성이 뛰어나 다양한 보철물 제작에 사용되고 있다[1-3]. 또한 지르코니아는 900-1200MPa 범위의 굴곡강도와 1100MPa 이상의 파절강도로 높은 기계적 특성을 지니며 생체 내에서 염증 반응을 유발하지 않는다[3-7]. 이러한 지르코니아의 안정적인 기계적, 화학적 표면 특성은 접착에 있어서 단점으로 작용하였다[8,9].

지르코니아 접착에는 인산아연 시멘트, 글라스아이오노머 시멘트, 하이브리드 아이오노머 시멘트, 레진 시멘트 등의 다양한 시멘트가 사용되어왔으며, 사용하고자 하는 목적과 용도에 맞게 임상적으로 적절한 시멘트를 선택하여 적용한다[1,10]. 그중에서도 자가 접착 레진 시멘트는 변연 봉쇄능력과 유지력이 뛰어나며 파절에 대한 저항성을 증가시켜 지르코니아 보철물의 접착에 권장되었다[11-13]. 한편 지르코니아와 레진 시멘트 간의 결합력 증대를 위한 지르코니아의 기계적 및 화학적 표면처리 방법이 시도되어왔다[12].

지르코니아와 레진 시멘트 간의 접착 강화를 위한 기계적 방법은 연삭(grinding), 연마(abrasion), 샌드블라스팅(sand-blasting)과 불산(hydrofluoric acid, HF)를 이용한 에칭(etching) 등이 있다[13]. 기존 연구에서 샌드블라스팅은 지르코니아 표면의 거칠기를 증가시켜 시멘트와의 결합력을 높이지만, 정방정계의 결정구조에서 단상정계로 상전이를 일으킬 뿐 아니라 미세균열로 인한 보철물의 장기적인 안정성이 저하됨을 보고하였다[14]. 화학적 방법으로는 접착 기능성 단량체를 함유한 프라이머 및 레진 시멘트를 사용하는 방법이 고려되어왔다[15,16]. 접착 기능성 단량체인 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (10-MDP), 4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride(4-META)등은 지르코니아 표면의 산화층과 화학적으로 결합하여 결합 강도를 높이는 것으로 알려져 있다[17,18]. Tsuo 등[18]은 접착 기능성 단량체에 따른 지르코니아와 레진 시멘트 간의 전단결합강도를 평가한 연구에서 10-MDP, 4-META, methacryloyloxyalkyl thiophosphate derivatives(MEPS) 등의 접착 기능성 단량체의 적용이 지르코니아와 레진 시멘트 간의 전단결합강도를 높인다고 보고하였다. 그러나 이러한 화학적 방법은 레진이 수분 흡수를 흡수하는 특성으로 인해 열 순환 처리 후 결합력이 급격히 감소하는 결과를 보였다[19,20]. 또한 기계화학적 방법으로 알루미늄에 실리카를 코팅하

여 샌드블라스팅 후 실란 처리하는 tribochemical silica coating 방법이 시도되었지만[21], 실리카 입자와 지르코니아의 결합력이 낮아 효과가 작다는 연구가 보고되었고[22-24], 실란 처리에 의한 실록산 결합은 수분에 의해 가수분해 되어 장기적으로 불안정한 결과를 보였다[25].

이러한 기존 표면처리 방법의 한계점을 보완하기 위해 지르코니아 슬러리를 표면처리 방법으로 사용하여 지르코니아와 레진 시멘트 간의 결합력을 증진시키는 방법이 고안되었다[26]. 반소결 상태의 지르코니아 표면에 지르코니아 및 탄소 분말, 증류수 등을 혼합한 지르코니아 슬러리를 도포하고 소결함으로써 지르코니아 입자가 지르코니아 표면에 증착되고, 탄소가 소각되어 미세한 다공성 표면이 형성되어 시멘트와의 결합력을 높일 수 있다고 보고되었다[26].

이처럼 지르코니아와 레진 시멘트의 결합력을 높이기 위한 다양한 표면처리 방법이 시도되었지만 새로 개발된 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법의 효과 및 지르코니아 슬러리의 적정 농도에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 불산 처리를 하는 방법 및 최근에 소개된 지르코니아 슬러리를 이용한 방법으로 표면을 처리한 지르코니아와 레진 시멘트 간의 전단결합강도를 평가하여 새로운 표면처리 방법의 효용성을 확인하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험 재료 및 시편 제작

본 연구에 사용된 재료는 Table 1에 정리되어 있다. Y-TZP 지르코니아 블록(Zpex Smile; Tosoh, Tokyo, Japan)을 이용하여 직경 20mm, 높이 5mm인 원기둥 형태의 시편을 총 50개 제작하고 다음과 같이 5개의 군으로 분류하였다. CON 군: 표면처리를 시행하지 않은 지르코니아 시편, HF 군: 소결된 지르코니아 표면을 9% 불산(Zirconia Etchant; Medifive Co., Ltd, Incheon, Korea)을 100°C에서 10분간 노출한 뒤 초음파 세척하여 건조한 시편, ZS15 군: 반소결 상태의 지르코니아 표면에 15% 농도의 슬러리를 1회 도포한 시편, ZS30 군: 반소결 상태의 지르코니아 표면에 30% 농도의 슬러리를 1회 도포한 시편, ZS50 군: 반소결 상태의 지르코니아 표면에 50% 농도의 슬러리를 1회 도포한 시편. 표면처리에 사용된 지르코니아 슬러리는 지르코니아 및 탄소 분말 등으로 구성된 혼합물을 증류수에 용해하여 제작되었

고, 혼합물의 농도에 따라 15%, 30%, 50% 로 나누어 준비하였다. 모든 지르코니아 시편은 제조사 지시에 따라 1530°C에서 2시간 동안 소결하였다.

Table 1. Materials used in this study

Materials	Product name	Composition	Manufacture
Zirconia block	Zpex Smile	5mol% Y ₂ O ₃ , 0.25mol% Al ₂ O ₃ , ≤0.002mol% SiO ₂ , Fe ₂ O ₃	Tosoh, Tokyo, Japan
Hydrofluoric acid solution	Zirconia Etchant	9% Hydrofluoric acid in water	Medifive Co., Ltd, Incheon, Korea
Self-adhesive resin cement	MAZIC Cem	MDP, Bis-GMA	Vericom, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea

2.2 레진 시멘트의 접착

표면처리한 지르코니아 시편 위에 내경 6mm, 높이 3mm인 원기둥 형태의 몰드(Bonding Mold Inserts; Ultradent, South Jordan, UT, USA)를 고정하였다. 그리고 MDP를 함유하는 자가접착 레진 시멘트(MAZIC Cem; Vericom, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea)를 적용한 뒤 20초씩 세 방향에서 광중합을 시행하였고, 몰드를 제거한 후 20초간 추가로 광중합을 시행하였다. 완성된 50개의 시편은 5°C와 55°C의 수조에서 각 30초씩 침적하여 10,000회의 열 순환을 시행하였다.

2.3 전단결합강도 측정

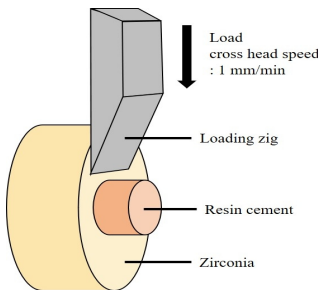


Fig. 1. Schematic diagram of shear-bond strength testing

제작된 시편을 만능 시험기 (OUT-05D; Oriental TM Corp., Siheung-si, Gyeonggi-do, Korea)에 고정하고 지르코니아와 레진 시멘트의 접착 계면에 1.0mm/min의 cross-head speed로 하중을 가하였다 (Fig. 1). 아래의 공식에 따라 지르코니아 시편에서 레진

시멘트가 분리될 때까지의 최대 하중(N)에 접착 면적 (mm²)을 나누어 전단결합강도(MPa)를 측정하였다.

$$Shearbondstrength(MPa) = \frac{F(N)}{A(mm^2)}$$

2.4 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경(Gemini SEM300; Carl Zeiss Microscopy GmbH, Oberkochen, Germany)을 이용하여 전단결합강도 실험 전 시편의 표면을 관찰하고, 실험 후 시편의 파절양상을 관찰하였다.

2.5 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램 ver. 25.0(IBM SPSS Statistics; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. Shapiro-Wilks 정규성 검정을 시행한 결과, 정규성을 만족시키지 않아 Kruskal-Wallis 검정으로 군 내의 유의성을 확인하였다. 사후 검정으로는 Mann-Whitney U 검정과 Bonferroni 보정을 사용하여 각 군 간의 유의성을 확인하였다($\alpha=.05/10=.005$).

3. 연구 결과

3.1 전단결합강도

열 순환 처리 후 각 군들의 전단결합강도를 측정할 결과를 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다. ZS15 군, ZS30 군, ZS50 군, HF 군, CON 군 순으로 높은값을 보였으며, ZS15 군과 ZS30 군 간($p=.009$) 그리고 ZS30 군과 ZS50 군 간의 유의한 차이는 없었고($p=.019$), 이외의 모든 군들 간에 유의한 차이를 나타냈다($p<.05/10=.005$).

Table 2. Results of shear-bond strength (MPa)

Group	Mean±SD	Significant	p-value
CON	4.287±1.517	a	<.001
HF	7.811±1.546	b	
ZS15	13.226±1.818	c	
ZS30	11.062±1.428	cd	
ZS50	9.567±0.506	d	

3.2 주사전자현미경 관찰

전단결합강도 측정 전 시편의 표면을 주사전자현미경으로 10,000배율과 50,000배율에서 관찰하였다(Fig. 3).

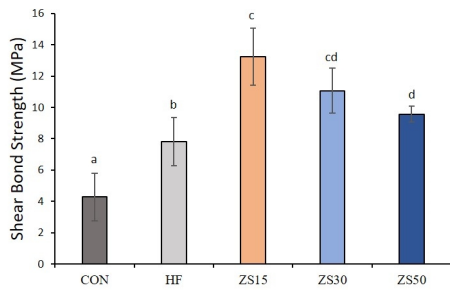


Fig. 2. Mean and standard deviation (SD) of shear-bond strength for each groups. ^{a,b} Equal letters were not statistically significant difference ($p > .05/10 = .005$). CON: non-treatment, HF: 10 minutes exposure to 9% HF at 100 degrees centigrade, ZS15: Apply 15% ZrO₂ slurry before sintering, ZS30: Apply 30% ZrO₂ slurry before sintering, ZS50: Apply 50% ZrO₂ slurry before sintering

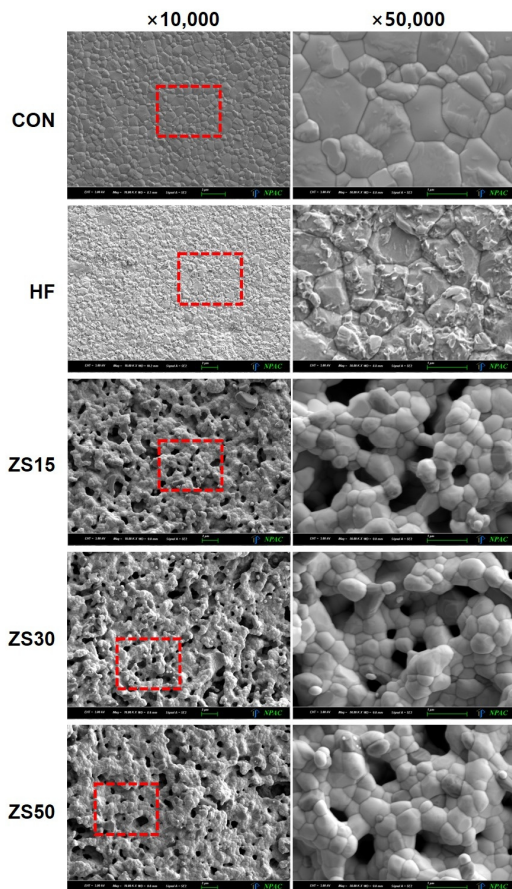


Fig. 3. Scanning electron microscope images of zirconia after surface treatment.

표면처리를 시행하지 않은 CON 군은 지르코니아 결정립이 빈틈없이 결합되어 있는 표면이 관찰되었고, 9% 불산에 노출된 HF 군에서는 지르코니아 결정립 위에 미세하게 거친 표면이 형성된 것이 관찰되었다. 지르코니아 슬러리를 도포하여 소결한 ZS15 군, ZS30 군, ZS50 군에서는 증착된 지르코니아 입자가 관찰되었고, 1 μ m 이내의 기공이 불규칙적으로 형성되어 거친 표면을 형성하였다.

전단결합강도 측정 후 각 군의 지르코니아 표면에서 자가증합 레진 시멘트가 파절된 양상은 다음과 같다(Fig. 4). CON 군에서는 지르코니아에서 레진 시멘트가 완전히 분리된 접착 파절과 혼합 파절이 관찰되었다. HF 군, ZS15 군, ZS30 군, ZS50 군에서는 지르코니아 입자 사이의 굴곡에 레진 시멘트가 골고루 잔존한 혼합 파절의 양상을 보였다.

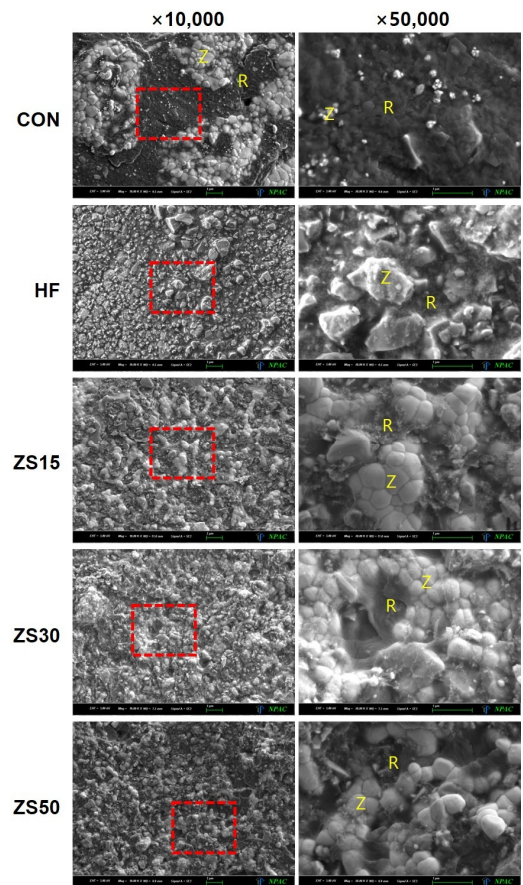


Fig. 4. Scanning electron microscope images of zirconia after shear-bond strength.

4. 고찰

지르코니아 표면에 대한 기계적, 화학적 처리를 통해서 레진 시멘트와의 결합력을 증진시키고자 다양한 연구가 진행되어왔다. 본 연구에서는 지르코니아에 대한 새로운 표면처리 방법인 지르코니아 슬러리를 적용하여 레진 시멘트와의 전단결합강도를 평가하고, 적절한 지르코니아 슬러리의 농도를 확인하고자 하였다.

지르코니아 표면처리 후 주사전자현미경 관찰 결과, 지르코니아 슬러리를 사용한 군들은 지르코니아 입자 사이로 1 μ m 이내의 기공과 함께 거친 표면이 관찰되었다. 또한 Jo 등[26]의 연구에서와 같이 본 연구에서도 지르코니아 슬러리 농도가 증가함에 따라 전반적으로 더 많은 다공성을 관찰할 수 있었다. 다공성의 지르코니아 표면은 지르코니아와 레진 시멘트 간의 접촉면적을 넓히고, 레진 시멘트가 기공 사이에서 경화되어 언더컷에 의해 결합력을 높이는 요인으로 작용하였을 것으로 사료된다[27].

전단결합강도 실험 후 파절양상을 관찰한 결과, 표면 처리를 하지 않은 CON 군은 접착 파절과 혼합 파절이 동시에 발생하였으나, 표면처리를 시행한 HF, ZS15, ZS30, ZS50 군에서는 혼합파절이 관찰되었다. 또한 지르코니아 슬러리를 사용한 ZS15, ZS30, ZS50 군은 지르코니아 기공의 언더컷에 의해 레진 시멘트가 지르코니아 입자 사이에 잔존한 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 지르코니아 슬러리를 사용하여 표면 처리한 군에서 높은 전단결합강도를 보인 본 연구의 결과를 뒷받침한다.

지르코니아 표면처리 방법에 따라 레진 시멘트와의 전단결합강도를 측정하는 결과, 지르코니아 슬러리를 이용한 ZS15, ZS30, ZS50 군은 CON 군과 HF 군에 비해 높은 전단결합강도를 보였다. Jo 등[26]의 연구에서 지르코니아 슬러리를 적용한 군은 표면처리 하지 않은 군에 비해 표면 거칠기와 전단결합강도가 높게 나타남을 보고하였다. 이는 지르코니아 슬러리는 소결 과정 중 탄소 입자가 소각됨으로써 지르코니아의 표면에 다공성이 형성되어 표면 거칠기를 증가시킴으로 인해 레진 시멘트와의 기계적 결합을 높인 것으로 사료되며 본 연구의 결과와 일치하였다. 한편 S Roedel 등[28]의 연구에서는 굵은 입자의 지르코니아 분말에 미세한 지르코니아 분말의 함량을 달리하여 다공성의 지르코니아를 제작하고 미세한 지르코니아 분말 함량에 따른 다공성 평가, 마모 시험 및 압축 강도 시험을 평가하였다. 그 결과 다공성이 증가할수록 지르코니아의 밀도와 압축 강도가 감소하는 등 기계

적 강도가 감소하였다[28,29]. 또 다른 연구에서는 지르코니아와 레진 시멘트 간의 압축강도와 전단결합강도는 유사한 경향이 나타남을 보고하였다[30]. 이 같은 사실은 표면처리에 사용된 지르코니아 슬러리의 농도가 증가할수록 지르코니아와 레진 시멘트 간의 전단결합강도가 감소하는 본 연구의 결과를 뒷받침할 수 있을 것이다.

한편 불산을 이용한 지르코니아의 표면처리 방법은 지르코니아 슬러리를 사용한 군들에 비해서는 낮은 전단결합강도를 나타냈으나 CON 군에 비해 높게 나타났다. Casucci 등[31]과 Sriamporn 등[32]은 고농도의 불산을 고온으로 장시간 적용 시 높은 에너지로 인해 입자 간의 경계가 확대되고 상전이가 야기되어 거친 표면이 형성된다고 하였다. 본 연구에서도 지르코니아 표면에 적용된 고온의 불산에 의해서 거친 표면이 형성되어 전단결합강도가 증가한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 실험실 연구로 구강 환경을 모사하기 위해 모든 시편을 일정 조건에서 열 순환 시행하였다. 그러나 실제 임상에서의 저작 기능이나 음식물과 타액에 따른 pH 변화 및 보철물의 형태 등 임상적 재현이 제한적인 한계점을 가진다. 또한, 지르코니아 슬러리의 농도에 따른 다공성에 대한 정량적인 평가와 다양한 기능성 단량체가 함유된 레진 시멘트와의 비교도 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 지르코니아 슬러리를 사용한 표면처리 방법이 레진시멘트와의 전단결합강도에 미치는 영향을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지르코니아 슬러리의 적용은 아무런 표면처리 하지 않거나, 불산을 이용한 표면처리 방법보다 우수한 전단결합강도를 보였다($p < .05/10 = .005$).
2. 지르코니아 슬러리 농도에 따라 ZS15와 ZS30($p = .009$) 그리고 ZS30과 ZS50 간에는 유의한 차이를 보이지 않았으나($p = .019$), ZS15는 ZS50에 비해 전단결합강도가 우수하였다($p < .05/10 = .005$).

본 연구의 한계 내에서, 지르코니아 슬러리를 이용한 표면처리 방법은 레진 시멘트와의 결합력을 증대시키는 방법으로써 효용성을 지니는 것으로 판단된다. 새로운 표면처리 방법을 통해 지르코니아가 지닌 접착의 한계점을 보완하고 개선함으로써 지르코니아의 보다 다양한 임상적 적용 가능성을 기대할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] P. C. Guess, W. Att & J. R. Strub. (2012). Zirconia in fixed implant prosthodontics. *Clin Implant Dent Relat Res*, 14(5), 633-645.
DOI : 10.1111/j.1708-8208.2010.00317.
- [2] Y. Josset, Z. Oum'Hamed, A. Zarrinpour, M. Lorenzato, J. J. Adnet & D. Laurent-Maquin. (1999). In vitro reactions of human osteoblasts in culture with zirconia and alumina ceramics. *J Biomed Mater Res*, 47(4), 481-493.
DOI:10.1002/(sici)1097-4636(19991215)47:4<481::aid-jbm4>3.0.co:2-y
- [3] A. Scarano, F. Di Carlo, M. Quaranta & A. Piattelli. (2003). Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits. *J Oral Implantol*, 29(1), 8-12.
DOI:10.1563/1548-1336(2003)029<0008:BRTZCI>2.3.CO;2
- [4] CP. Christel, A. Meunier, M. Heller, J. Torre & C. Peille. (1989). Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res*, 23(1), 45-61.
DOI : 10.1002/jbm.820230105
- [5] T. A. Sulaiman, A. A. Abdulmajeed, K. Shahramian & L. Lassila. (2017). Effect of different treatments on the flexural strength of fully versus partially stabilized monolithic zirconia. *J Prosthet Dent*, 118(2), 216-220.
DOI : 10.1016/j.prosdent.2016.10.031
- [6] N. Nordahl, P. V. von Steyern & C. Larsson. (2015). Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness. *J Oral Sci*, 57(3), 255-261.
DOI : 10.2334/josnusd.57.255
- [7] R. Luthardt et al. (2002). Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *J Dent Res*, 81(7), 487-491.
DOI : 10.1177/154405910208100711
- [8] M. Gargari, F. Gloria, E. Napoli & A. M. Pujia. (2011). Zirconia: cementation of prosthetic restorations. Literature review. *Oral Implantol*, 3(4), 25-29.
- [9] M. B. Blatz, A. Sadan & M. Kern. (2003). Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent*, 89(3), 268-274.
DOI : 10.1067/mp.2003.50
- [10] A. M. Diaz-Arnold, M. A. Vargas & D. R. Haselton. (1999). Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 81(2), 135-141.
DOI : 10.1016/s0022-3913(99)70240-4
- [11] A. Piwowarczyk, H. C. Lauer & J. A. Sorensen. (2005). The shear bond strength between luting cements and zirconia ceramics after two pre-treatments. *Oper Dent*, 30(3), 382-388.
- [12] M. B. Blatz, G. Chiche, S. Holst, A. Sadan. (2007). Influence of surface treatment and simulated aging on bond strengths of luting agents to zirconia. *Quintessence Int*, 38(9), 745-753.
- [13] D. Senyilmaz, W. M. Palin, A. Shortall & F. Burke. (2007). The effect of surface preparation and luting agent on bond strength to a zirconium-based ceramic. *Oper Dent*, 32(6), 623-630.
DOI : 10.2341/07-14
- [14] Y. Okutan, M.T. Yucel, T. Gezer & M. B. DONMEZ. (2018). 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*, 38(2), 241-249.
DOI : 10.4012/dmj.2018-051
- [15] J. Y. Thompson, B. R. Stoner, J. R. Piascik, R. Smith. (2011). Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now?. *Dent Mater*, 27(1), 71-82.
DOI : 10.1016/j.dental.2010.10.022
- [16] S. S. Atsu, M. A. Kilicarslan, H. C. Kucukesmen & P. S. Aka. (2006). Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent*, 95(6), 430-436.
DOI : 10.1016/j.prosdent.2006.03.016
- [17] P. Margne, M. P. G. Paranhos & L. H. Burnett Jr. (2010). New zirconia primer improves bond strength of resin-based cements. *Dent Mater*, 26(4), 345-352.
DOI : 10.1016/j.dental.2009.12.005
- [18] Y. Tsuo, K. Yoshida & M. Atsuta. (2006). Effects of alumina-blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *Dent Mater J*, 25(4), 669-674.
DOI : 10.4012/dmj.25.669
- [19] M. Ozcan, H. Nijhuis & L. F. Valandro. (2008). 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*, 27(1), 99-104.
- [20] H. Lüthy, O. Loeffel, C. H. Hammerle. (2006). Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater*, 22(2), 195-200.
DOI : 10.1016/j.dental.2005.04.016
- [21] M. Kern & S. M. Wegner. (1998). Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater*, 14(1), 64-71.
DOI : 10.1016/s0109-5641(98)00011-6
- [22] O. Kumbuloglu, L. V. Lassila, A. User & P. K. Vallittu. (2006). Bonding of resin composite luting cements to zirconium oxide by two air-particle abrasion methods. *Oper Dent*, 31(2), 248-255.
DOI : 10.2341/05-22
- [23] M Ozcan. (2002). The use of chairside silica coating for different dental applications: a clinical report. *J Prosthet Dent*, 87(5), 469-472.
DOI : 10.1067/mp.2002.124365

- [24] H. R. Sarmiento et al. (2014). Influence of air-particle deposition protocols on the surface topography and adhesion of resin cement to zirconia. *Acta Odontol Scand.* 72(5), 346-353.
DOI : 10.3109/00016357.2013.837958
- [25] G. Akgungor, S. Deniz & A Murat. (2008). Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirconia post and a composite resin core material. *J Prosthet Dent.* 99(5), 388-399.
DOI : 10.1016/S0022-3913(08)60088-8.
- [26] Y. B. Jo, J. J. Ahn, S. H. Lee, T.S. Park & J. B. Huh. (2014). The Effect of ZrO₂ Slurry Application to the Pre-sintered Zirconia Surface on Bonding Strength. *IMPLANTOLOGY*, 24(2), 76-82.
DOI : 10.32542/implantology.202008
- [27] R. Lu, J. K. Harcourt & M. J. Tyas. (1992). An investigation of the composite resin/porcelain interface. *Aust Dent J.* 37(1), 12-19.
DOI : 10.1111/j.1834-7819.1992.tb00827.x
- [28] S. Roedel, J. C. Souza, F. S. Silva, J. Mesquita-Guimaraes, M. C. Fredel & B. Henriques. (2018). Optimized route for the production of zirconia structures with controlled surface porosity for biomedical applications. *Ceramics International*, 44(11), 12496-12503.
DOI : 10.1016/j.ceramint.2018.04.042
- [29] S. Roedel, J. Mesquita-Guimaraes, J. C. Souza, F. S. Silva, M. C. Fredel & B. Henriques. (2019). Production and characterization of zirconia structures with a porous surface. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 101, 264-273.
DOI : 10.1016/j.msec.2019.03.087
- [30] J. D. Wong, C. Y. Kei Lung, J. K. Tsoi & J. P. Matinlinna. (2014). Effects of a zirconate coupling agent incorporated into an experimental resin composite on its compressive strength and bonding to zirconia. *J Mech Behav Biomed Mater.* 29, 171-176.
DOI : 10.1016/j.jmbbm.2013.09.007
- [31] A. Casucci, E. Osorio, F. Monticelli, M. Toledano, C. Mazzitelli & M. Ferrari. (2009). Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent.* 37(11), 891-897.
DOI : 10.1016/j.jdent.2009.06.013
- [32] T. Sriamporn, N. Thamrongananskul, C. Busabok, S. Poolthong, M. Uo & J. Tagami. (2014). Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dent Mater J.* 33(1), 79-85.
DOI : 10.4012/dmj.2013-243

조 원 탁(Won-Tak Cho)

[정회원]



- 2018년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 일반대학원 의학과 석사과정
- 관심분야 : 치위생, 치과보철
- E-Mail : joonetak@daum.net

배 지 현(Ji-Hyeon Bae)

[정회원]



- 2017년 2월 : 부산대학교 일반대학원 의학과 (치의학석사)
- 2020년 6월 ~ 현재 : ㈜피엔유에드 선임연구원
- 관심분야 : 치과기공, 치과보철
- E-Mail : say0739@daum.net

최 재 원(Jae-Won Choi)

[정회원]



- 2016년 2월 : 부산대학교 일반대학원 의학과 (치의학석사)
- 2018년 2월 : 부산대학교 일반대학원 의학과 (치의학박사)
- 2018년 3월 ~ 2019년 2월 : 부산대학교 치의생명과학연구소 연수연구원 (Post-doc)
- 2020년 2월 ~ 현재 : ㈜피엔유에드 책임연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 치의학전문대학원 외래교수
- 관심분야 : 치과용 의료기기, 치과재료, 치과기공, 치과보철
- E-Mail : won9180@hanmail.net