

## 지르코니아 프라이머 종류에 따른 복합레진-지르코니아의 전단결합강도

석흥병, 김태석\*, 안재석\*\*, 이정환\*\*

전북대학교 치과대학 치과재료학교실, 마산대학교 치기공과\*, 광주보건대학교 치기공과\*\*

### Effec of different zirconia primers on shear bond strengths of composite resin to bonded zirconia

Hong-Bing Shi, Tae-Seok Kim\*, Jae-Seok Ahn\*\*, Jung-Hwan Lee\*\*

Dept. of Dental Materials, College of Dentistry, Chonbuk National University

Dept. of Dental Lab. Technology, Masan university\*

Dept. of Dental Lab. Technology, Gwang-Ju Health university\*\*

#### [Abstract]

**Purpose:** The aim of this research was to evaluate the influence of different surface treatments on the shear bond strength of zirconia ceramic to composite resin.

**Methods:** Seventy two cylinder-shape (diameter: 5 mm; height: 12 mm) blocks of experimental industrially manufactured Y-TZP ceramic were abraded with 125 $\mu$ m Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and randomly divided into 4 groups. All the materials were categorized as group Gc(control group - composite resin veneering on zirconia surface), Gr - composite resin veneering after surface treatment of Rocatec system (3M ESPE, Seefeld, Germany) group; Gz - composite resin veneering after surface treatment of Zirconia primer (Z-primer, Bisco, U.S.A) group; Gm - composite resin veneering after surface treatment of zirconia primer (Monobond plus, ivoclar vivadent AG, Liechtenstein) group. Two different zirconia primers and Rocatec system were used to zirconia cylinders (n=16) onto the zirconia surface. Zirconia specimens, polished and roughened, were pretreated and composite bilayer cylinders bonded using conventional adhesive techniques.

**Results:** Shear bond strengths were analyzed using single-factor ANOVA(p<0.05). Bond strength values achieved after airborne particle abrasion and zirconia surface pre-treatments(p<0.05).

**Conclusion:** Shear bond strength tests denonstrated that zirconia primer is a viable method to improved bond strength between zirconia ceramic core and veneering composites.

○Key words : zirconia ceramic, zirconia primer, surface modification, shear bond strength, composite

|      |             |                         |            |               |             |                 |
|------|-------------|-------------------------|------------|---------------|-------------|-----------------|
| 교신저자 | 성명          | 이정환                     | 전화         | 010-9904-7831 | E-mail      | leejh@ghc.ac.kr |
|      | 주소          | 광주광역시 광산구 북문대로 419번길 73 |            |               |             |                 |
| 접수일  | 2016. 5. 23 | 수정일                     | 2016. 9. 9 | 확정일           | 2016. 9. 22 |                 |

## I. 서 론

안정화 지르코니아 전부세라믹관은 전부세라믹관 중에서 부분 가장 최근에 개발된 것으로 전치부 뿐만 아니라 구치부에서도 환자의 심미적 요구를 만족시킬 수 있어 그 사용이 증가하고 있다. 특히 부분 안정화 지르코니아 세라믹은 화학적 안정성이 높고 기계적 물성과 광학적 특성이 매우 우수하여 구치부 멀티 유닛 브릿지(multi-unit bridge)나 복잡한 형태의 보철물에서도 심미적인 수복재료로 사용될 수 있는 장점을 가지고 있다(Della 등, 2008; Denry 등, 2008; Kelly 등, 2008). 이러한 장점이 있는 반면 지르코니아 전부세라믹관은 다른 전부 세라믹관과 마찬가지로 상부 비니어 세라믹(veneering ceramic)과 하부 지르코니아 코어(zirconia core) 형태의 이중구조로 사용되고 있는데 임상적 적용에서는 상부 비니어 세라믹이 깨지거나 탈락하는 현상이 종종 보고되고 있다(Vult von 등, 2006; Sailer 등, 2006; Sailer 등, 2007).

선행 연구에 따르면 이중구조 형태를 이루고 있는 보철물 중 금속-세라믹관의 상부 비니어 세라믹은 10년 동안 5-10 % 정도의 파절이 나타났고, 비니어 세라믹의 탈락 현상은 지르코니아 전부세라믹관에서 더 빈번하게 보고되고 있다(Anusavice 등, 2003; Ozcan 등, 2002; Craig 등, 2002).

상부 비니어 세라믹의 파절이나 탈락은 지르코니아 코어와 비니어 세라믹의 낮은 화학적 결합력, 열팽창 계수의 차이(CTE, coefficient thermal expansion) 그리고 알루미나 옥사이드( $Al_2O_3$ )나 다이몬드 절삭 도구(diamond bur)에 의한 지르코니아 표면의 낮은 결합력이 가장 빈번한 파절의 원인으로 알려져 있다(Borges 등, 2003; Kim 등, 2007; Yoshida 등, 2006). 지르코니아는 장석류 세라믹과는 달리 구성 성분이 silica를 포함하지 않는 Y-TZP(yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal)로 산부식 처리가 용이하지 않고 silaization이 지르코니아 코어와 복합레진과의 결합력을 크게 증가시키지 못한다고 보고되고 있다(Kern 등, 1998). 비니어 세라믹의 chipping은 임상적 사용에서 단점으로 임상적으로 허용가능한 비니어 세라믹과 지르코니아의 결합력

은 21-31MPa로 보고되고 있다(Saito 등, 2010).

구강내에서 비니어 세라믹의 파절이나 탈락이 발생하였을 때 세라믹 부분 축성이나 보철물 재제작등 방법으로 이를 수리하고 있으나 시간과 비용 문제점과 수리과정에서 용이하지 않는 점들이 지르코니아 비니어 세라믹관의 문제점으로 지적된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 구강내에서 세라믹 파절 수리는 복합레진을 이용하는 방법이 선호되고 있는데 세라믹과 복합레진의 결합력 증가를 위해 장석류 세라믹에 포함 된 silica와 반응하여 복합레진과 화학적 결합을 이루어 내는 silane agent를 사용하는 것이 일반적이다. 하지만 지르코니아의 경우(Y-TZP)에는 실리카가 함유되어 있지 않아 silane agent 사용으로 복합레진과 결합력 증진 효과가 미비하다. 그래서 tribochemical silica coating system(Rocatec, 3M ESPE)을 사용하여 지르코니아 표면을 silicating하는 Rocatec system의 개발로 지르코니아 표면에 silane agent를 고정시키는 연구들이 이루어 졌다(Luthy, 2006). 이와 같이 복합레진을 지르코니아에 적용시키기 위한 다양한 접착 시스템 개발과 기계적 처리와 함께 화학적 처리 방법등 많은 연구와 진행되어 임상적으로 사용되고 있다(Kwon 등, 2007; Kamada 등, 1998).

복합레진은 세라믹과 비교하여 심미성과 강도가 비슷하고 조작 및 수리가 매우 용이하고, 강도가 자연치와 비슷하여 법랑질을 마모시키지 않으며 취성이 매우 적어 보철물에 가해지는 충격을 완화하는 장점을 가지고 있어 세라믹의 대안으로 임상적 사용이 선행연구에서 보고되고 있다(Nurcan 등, 2013). 비니어 재료로서 복합레진의 성공적인 사용은 이중구조를 이루고 있는 하부구조물과 결합력에 기반을 두고 있다. 본 연구에서는 지르코니아 코어와 복합레진의 결합력에 대한 비교 가능한 연구결과가 부족하여 알루미나 옥사이드 분사처리 후 Rocatec 처리군과 2종의 primer 도포군에 복합레진을 축성하고 임상적으로 유용한 결합강도를 소유할 수 있는지 전단결합강도 측정을 통해 실험적으로 판단하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 지르코니아 시편 제작

본 연구에서 사용한 지르코니아 시편은 이트리아 안정 지르코니아(Y-TZP, NSC, Korea)를 사용하여 직경 5.0 mm, 높이 12mm로 제작하였다. 지르코니아 시편의 단면은 평균입경 50 $\mu$ m 알루미나 옥사이드(Hi-aluminas, Shofu, Japan)를 사용하여 10mm 떨어진 위치에서 압력 3bar로 10초 동안 sandblasting을 시행한 다음 증류수 중에서 5분간 초음파 세척하고 건조하여 사용하였다. 시편은 표면처리의 방법에 따라 각 군당 18개씩 총 72개를 제작하여 실험군을 설정하였다(Table 1).

Table 1. Materials used in this study

| Materials       | Product  | Manufacture                        |
|-----------------|--|------------------------------------|
| Zirconia coping | Zirconium Oxide                                    | NSC, Korea                         |
| Composite resin | Shinfony <sup>™</sup> Dentin Shade A2 (Vita shade) | 3M ESPE, U.S.A                     |
|                 | Z-primer plus                                      | Bisco, Inc., U.S.A                 |
| Zirconia Primer | Monobond plus                                      | Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein |
|                 | Rocatec <sup>™</sup> Plus                          | 3M ESPE, U.S.A                     |

### 2. 지르코니아 시편 표면처리 및 복합레진 축성

지르코니아 시편 위에 알루미나 옥사이드 sandblasting 후 복합레진(Shinfony<sup>™</sup>, 3M ESPE, U.S.A)을 축성하여 대조군(Gc)으로 하였다. 실험군은 지르코니아 표면에 Primer(Z-primer plus, Bisco, Inc., U.S.A)를 도포한 군(Gz)과 Primer(Monobond plus, Ivoclar vivadent AG, Liechtenstein)를 도포한 군(Gm), Rocatec(Rocatec<sup>™</sup> Plus, 3M ESPE, U.S.A) 처리를 한 군(Gr)으로 분류하였다(Table 2). primer는 제조사의 지시에 따라도포한 다음 3-5초간 air syringe를 사용하여 건조하였고, Rocatec은 110 $\mu$ m 입자 크기를 사용하였으며 압력 3bar에서 10초간 분사처리를 시행하였다. 지르코니아 시편 표면처리 후 복합레진 축성을 위해 전용

의 테프론 몰드를 제작하였고, 지르코니아 시편을 몰드에 위치시키고 복합레진을 직경 5mm, 높이 2mm 크기로 축성하였다(Fig. 1).

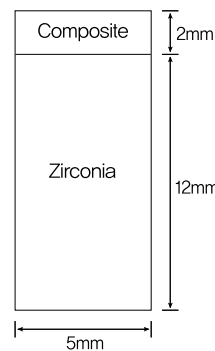
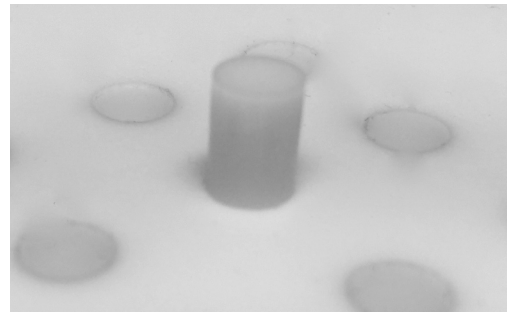


Fig. 1. Schematic illustration and Photograph of specimen used in this study

Table 2. Categorization of test materials due to various surface treatment

| Group                     | Code | N  | Surface treatment  |
|---------------------------|------|----|--|
| Control                   | Gc   | 18 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m)  |
| Rocatec <sup>™</sup> Plus | Gr   | 18 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + silica coated Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (110 $\mu$ m) |
| Monobond plus             | Gm   | 18 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + Monobond plus  |
| Z-primer                  | Gz   | 18 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + Z-primer   |

### 3. 전단결합강도 측정

준비한 시편은 재료시험기(RB302 Micro load, R&B Co, KOREA)에 지그를 장착하고 지르코니아와 복합레진의 계면에 평행하게 하중을 가할 수 있도록 위치시킨 후 crosshead 속도 0.1mm/min로 복합레진이 지르코니아 실린더에서 분리될 때 최대 파절하중을 측정하였다. 최대 하중은 단위면적으로 환산하여 각 실험군 시편의 전단결합강도로 하였다.

#### 4. 주사전자현미경 관찰

지르코니아 표면처리에 따른 파절 양상을 관찰하기 위해 광학현미경(Leica, EZ4D, Germany)을 이용하여 파절 양상을 관찰하였다. 시편의 파절양상은 접착성 파절(adhesive failure), 응집성 파절(cohesive failure), 혼합성 파절(mixed failure) 3가지 형태로 구분하였으며 대표적인 파절양상을 보이는 시편을 주사전자현미경(JEOL, JSM-5800, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

#### 5. 통계분석

실험을 통하여 측정된 각 군의 전단결합강도는 PASW Statistics 18.0 for Windows(SPSS Inc., USA)를 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)를 시행하였고 Scheffe 다중범위 검증법을 이용하여 사후 검정하였

으며 유의 수준은  $\alpha=0.05$ 로 하였다.

### III. 결 과

〈Table 3〉은 실험군들에 대한 전단결합강도 평균과 표준편차이고 그룹별 평균은 그래프로 나타내었다(Fig. 2). 전단결합강도 측정 결과 primer를 도포한 군과 Rocatec system 처리군에서는 primer를 도포하지 않은 실험군과 비교할 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 두 종류 primer 처리군에서의 결합강도는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만( $p>0.05$ ) Rocatec system 처리군과 비교해 보면 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p<0.05$ )(Fig. 2).

Table 3. Mean and standard deviation fo shear bond strength

| Group | Surface treatment  | Mean(MPa) | SD(MPa) | Grouping* |
|-------|--|-----------|---------|-----------|
| Gc    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m)  | 2.41      | 0.61    | a         |
| Gr    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + silica coated Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (110 $\mu$ m) | 8.94      | 1.46    | b         |
| Gm    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + Monobond   | 11.77     | 2.54    | c         |
| Gz    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 $\mu$ m) + Z-primer   | 12.06     | 4.22    | c         |

\* : significantly different at  $p<0.05$

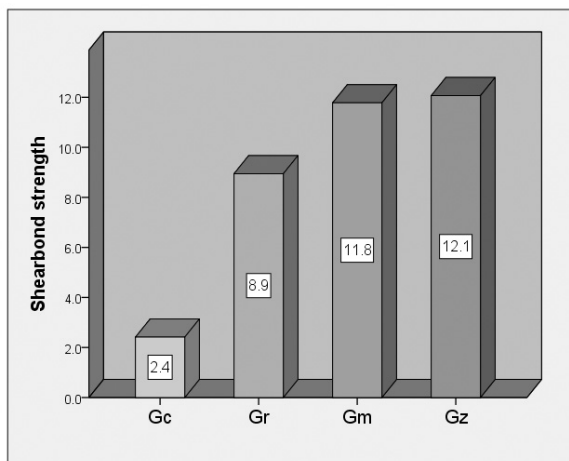


Fig. 2. Shear bond strength of composite to zirconia surface

전단결합강도 측정 후 시편 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과는 〈Fig. 3〉에 나타내었다. 지르코니아 시편 표면 관찰에서 primer를 도포하지 않은 Gc군에서는 adhesive failure 파절양상만이 관찰되었고 primer를 도

포한 Gr, Gm, Gz군에서는 adhesive failure와 mixed failure도 함께 관찰되었고 adhesive failure가 대부분의 시편에서 관찰되었으나 cohesive failure는 관찰되지 않았다.

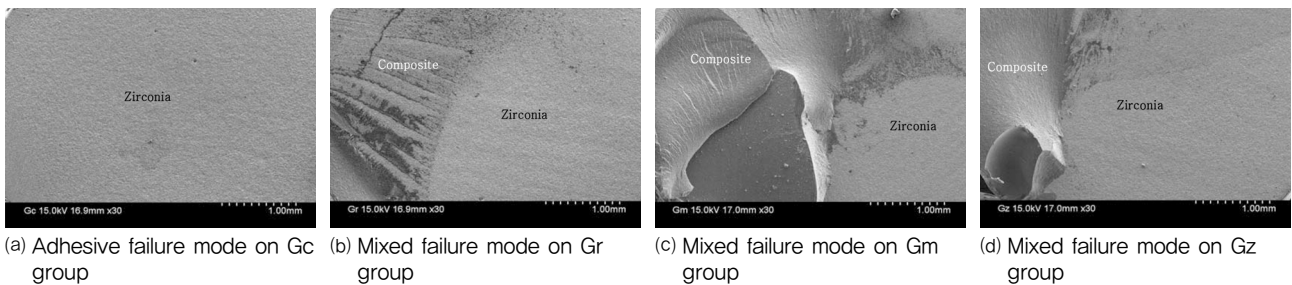


Fig. 3. SEM images of failure modes

#### IV. 고찰

강도와 심미성을 동시에 만족시킬수 있는 지르코니아는 심미수복 보철 재료로써 다양한 임상적 적용 사례가 보고되고 있다. 심미수복을 위한 일반적인 방법으로는 하부구조물과 비니어재료로 이루어지는 이중구조 형태가 가장 많이 사용되고 있고 임상적 성공을 위해서는 하부구조물과 전장재의 결합이 매우 중요하다. 지르코니아-전장세라믹관의 임상적 사용에서 나타나는 대부분의 문제는 전장 세라믹의 chipping 현상이다(Carl 등, 2010). 그 원인에 대해서는 세라믹의 미세구조 결합과 다공성 구조(Ohlmann 등, 2008), 지르코니아와 세라믹의 열팽창 계수 차이(Fischer 등, 2009), 지르코니아의 낮은 열전도성(Swain 등, 2009)등 많은 이유들이 원인으로 제시되었으나 이러한 문제점들을 완전히 해결하지 못하고 있다. 근래에 들어서는 이중구조 형태의 보철물 제작방식에서 벗어나 지르코니아 단일구조물에 착색을 하고 소결하여 보철물을 제작하는 방법들이 임상에 적용되고 있으나 대합치의 마모나 심미적 선택에 있어서는 아직 제한적으로 사용된다고 할 수 있다.

하부구조물과 비니어재료의 임상적 성공은 두 재료간의 결합력에 많은 영향을 받는다. 결합력은 물리적·화학적 요인에 의하여 영향을 받는데 물리적 결합력은 하부구조물의 표면 거칠기 증가나 표면처리 그리고 유지구등에 의해 증가될 수 있으며 화학적 결합력은 코팅이나 primer system 등에 의해 증가될 수 있는데 물리적 결합과 화학적 결합을 함께 사용하는 것이 일반적이다. 비니어재와 결합력을 증가시키기 위한 선행연구를 살펴보면 하부구조물에 불투명 세라믹과 불산에칭 처리를 하여 복합레진

를 비니어할 경우 임상적으로 사용이 가능한 결합강도를 얻을수 있다고 하였고(Choi 등, 2006) 비니어재료와 하부구조의 결합력은 코팅이나 primer system에 의해 향상될 수 있다고 하였다(Ohkubo 등, 2000).

본 연구에서는 이중구조 수복물의 비니어재료로 복합레진을 사용하여 지르코니아 하부구조물과 비니어 복합레진간의 결합강도를 알아보고자 하였다. 예비실험에서 지르코니아 표면을 연마한 후 복합레진을 적층하였을 경우 측정하기 어려운 정도의 낮은 결합력이 관찰되어 모든 실험군은 평균입경 50 $\mu$ m 알루미나 옥사이드를 사용하여 10 mm 떨어진 위치에서 압력 3bar로 10초 동안 sandblasting을 시행하고 세척 및 건조한 다음 복합레진을 축성하였다. 각 실험군에서 관찰된 평균 전단결합강도를 살펴보면 Rocatec system처리군에서는 8.9MPa, Zirplus primer를 도포한 군에서는 12.1MPa, Monobond plus primer를 도포한 군에서는 11.8MPa, primer를 도포하지 않은 군에서는 2.4MPa이 측정되었다. 두 종류의 primer와 Rocatec system처리를 한 실험군에서 국제규격 기준 ISO 10477의 요구조건인 5MPa보다는 높은 결합강도를 나타내었고 10MPa이상의 전단결합강도가 임상적으로 만족할만한 강도라고 보고한 Saito의 연구와 비교해 볼 때 비니어재료써 복합레진은 임상적 적용이 가능하다고 판단된다.

전단결합강도 실험 후 파절양상의 관찰에서 primer를 도포하지 않은 군에서는 adhesive failure 양상만이 관찰되었다. 시편의 파절양상과 결합강도 값을 명확히 설명하기는 어렵지만 비니어재료와 하부구조사이의 결합강도가 높다면 비니어재료에서 cohesive failure가 시작되고 결합강도가 낮다면 adhesive failure가 발생한다. 본 실험

에서는 primer 도포군과 Rocatec처리군에서 adhesive failure와 mixed failure가 혼재되어 관찰되었고 결합강도는 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 본 실험에서 사용한 Rocatec system 처리는 물리적 (embedded silane) 및 화학적 결합(reactive and methacrylic groups)을 동시에 얻는 혼성접착시스템으로 지르코니아 전용의 primer 도포군에서 측정된 결합강도 보다 낮게 측정되었고 primer를 도포하지 않은 군에 비해 높은 결합강도 값을 나타내었으며 양쪽 모두 실험군과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ).

이중구조 수복물의 심미적 재료로 세라믹과 복합레진이 주로 사용되고 있다. 1980년대 출시된 낮은 무기질 필러 (filler) 함량을 가진 1세대 간접복합레진은 무기질 필러의 함량이 적어 낮은 굴곡강도와 내마모성등의 이유로 실패를 하였으나 2세대 복합레진은 필러의 배합기술이 진보함에 따라 미분말입자를 다량 배합한 hybrid형 복합레진으로 1세대 복합레진의 단점으로 지적되었던 내마모성, 색조안정성등 물리적 특성을 극복하여 점차로 그 사용이 증가하고 있다. 또한 중합과정에서 수축이 매우 적고, 대합치의 마모를 최소화하며 파절시 도재에 비해 수리가 매우 용이하다는 장점을 가지고 있으며, 복합레진으로 수복한 보철물에 대한 임상적 평가도 만족할만한 수준으로 보고되고 있다(박성호, 2002). 임상에서 지르코니아와 비니어 세라믹간의 결합력과 비슷하며 세라믹의 취성과 수리에 대한 문제점들을 개선할 수 있다면 복합레진도 비니어 재료로서 지르코니아에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 뛰어난 기계적 · 화학적 특성과 심미적으로 우수한 지르코니아는 수복물의 재료로 앞으로도 사용이 더욱 증가될 것으로 생각되며 이에 대한 연구도 필요할 것이다. 본 연구의 결과에 따른 방법으로 지르코니아 하부구조물에 비니어재료로 복합레진의 적용은 세라믹의 단점을 보완하고 파절시 수리가 용이한 심미보철 수복물 제작이 가능하며 임상에서 성공을 예측하는데 매우 유용하게 이용될 수 있다고 판단된다. 한편 실제 임상에서는 본 실험에서 사용된 시편의 형태와는 달리 치아형태의 보철물로 사용되며 구강내에서 타액이나 온도변화 등 구강안의 환경이 고려되지 못하였기 때문에 실험적인 비교연구와 임상연구가 계속 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 현재 임상에서 사용되고 있는 치과용 지르코니아에 표면처리와 primer 그리고 Rocatec 처리를 하여 복합레진 비니어의 결합강도에 대해 알아보고자 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지르코니아 표면에 알루미늄 옥사이드 블라스팅 처리후 primer를 도포하고 복합레진을 비니어한 실험군과 primer를 도포하지 않은 실험군의 전단결합강도는 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).
2. Rocatec system처리 후 복합수지를 비니어한 실험군은 primer 도포군에 비해 낮은 결합강도가 측정되었고 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ).
3. 지르코니아 표면에 primer도포는 복합레진과 지르코니아의 결합강도를 증가시켰다.

## REFERENCES

- Anusavice KJ. Phillips' science of dental materials, 11th Ed. Philadelphia:W.B. Saunders, 621-654, 2003.
- Borges GA, Spohr AM, de Goes MF, Sobrinho LC, Chan DC. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. *J Prosthet Dent*, 89, 479-488, 2003.
- Carl M. Pogoncheff, Renee E. Duff, Ann Arbor, Mich. Use of zirconia collar to prevent interproximal porcelain fracture: A clinical report. *J Prosthet Dent*, 104, 77-79, 2010.
- Choi HC, Lee SB. Shear bond strength of pressed TM reinforced composite resin(TESCERA ATL) to opaque with various surface treatment, Kyung Hee University, 2006.

- Craig RG, Powers JM. Restorative dental materials 11th ed. Mosby, 2002.
- Della Bona A, Kelly JR. The clinical success of all-ceramic restorations. *Journal of the American Dental Association*, 139, 8-13, 2008.
- Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dental Materials*, 24, 299-307, 2008.
- Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Hammerle CH. Impact of thermal misfit on shear strength of veneering ceramic /zirconia composites. *Dent Mater*, 25, 419-423, 2009.
- Kamada K, Yoshida K, Atsuta M. Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material. *J Prosthet Dent*, 79(5), 508-513, 1998.
- Kelly JR, Denry I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dental Materials*, 24, 289-298, 2008.
- Kim BK, Bae HE, Shim JS, Lee KW. The influence of ceramic surface treatments on the tensile bond strength of composite resin to all-ceramic coping materials. *J Prosthet Dent*, 94, 357-362, 2005.
- Kwon JE, Kim HS. Analysis on the bonding characteristics of interface between zirconia and veneered porcelain, Kyung Hee University, 2007.
- Ohkubo C, Watanabe I, Hosoi T, Okabe T. Shear bond strengths of polymethyl methacrylate to cast titanium and cobalt-chromium frameworks using five metal primers. *J Prosthet Dent*, 83, 50-57, 2000.
- Ohlmann B, Rammelsberg P, Schmitter M, Schwarz S, Gabbert O. All-ceramic inlay-retained fixed partial dentures: preliminary results from a clinical study. *J Dent*, 36, 692-696, 2008.
- Ozcan M, Niedermeier W. Clinical study on the reasons and location of the failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. *Int J Prosthodont*, 15, 299-302, 2002.
- Sailer I, Feher A, Filser F, Gauckler LJ, Luthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *International Journal of Prosthodontics*, 20, 383-388, 2007.
- Sailer I, Feher A, Filser F, Luthy H, Gauckler LJ, Scharer P. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence International*, 37, 685-693, 2006.
- Saito A, Komine F, Blatz MB, Matsumura HA. Comparison of bond strength of layered veneering porcelains to zirconia and metal. *J Prosthet Dent*, 104, 247-257, 2010.
- Swain MV. Unstable cracking (chipping) of veneering porcelain on all-ceramic dental crowns and fixed partial dentures. *Acta Biomater*, 5, 1668-1677, 2009.
- Vult von Steyern P, Ebbesson S, Holmgren J, Haag P, Nilner K. Fracture strength of two oxide ceramic crown systems after cyclic pre-loading and thermocycling. *J Oral Rehabil*, 33(9), 682-689, 2006.
- Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 77, 28-33, 2006.
- Song-HO Park. 1 year follow-up study of direct and indirect composite restorations. *J Korea Acad Conserv Dent*, 27(3), 284-289, 2002.
- Nurcan Ozakar-Ilda, Yahya O. Zorba, Mehmet Yildiz, Vildan Erdem, Nilgun Seven, Sezer Demirbuga. Three-year clinical performance

of two indirect composite inlays compared to direct composite restorations. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 18(3), 521–528, 2013.

Luthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater*, 22, 195–200, 2006.