Research Article

대한치과재료학회지 53(3) : 83-92, 2026
Korean Journal of Dental Materials (*Korean J Dent Mater*)
ISSN:2384-4434 (Print); 2384-3268 (Online)
Available online at http://www.kadm.org
http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2026.53.3.83

글라스 용융침투 기반 표면처리가 치과용 지르코니아의 미세구조 및 표면 화학 특성에 미치는 영향

김은채*

광주보건대학교 치기공학과

Effect of glass infiltration–based surface treatment on microstructure and surface chemistry of dental zirconia

*Eun-Chae Kim**

Department of Dental Laboratory Technology, Gwangju Health University, Jeonnam-Gwangju, Republic of Korea

This study aimed to evaluate the effects of glass infiltration and subsequent surface treatments on the microstructure, roughness, wettability, and chemical characteristics of zirconia. Yttria-stabilized zirconia disks were divided into four groups: sandblasting (SB), glass infiltration (GI), glass infiltration followed by sandblasting (GI+SB), and glass infiltration followed by hydrofluoric acid etching (GI+HF). Surface morphology, roughness, wettability, elemental distribution, surface elemental composition, and O 1s spectral features were analyzed using SEM/EDS, AFM, contact angle measurements, and XPS. The GI+SB group showed the highest surface roughness (1.65 μm) and a low contact angle (47.78°), which was not significantly different from that of the SB group (47.25°), whereas the GI+HF group exhibited a uniform microporous structure, with a roughness of 1.14 μm and a contact angle of 52.86°. XPS analysis of representative specimens showed approximately 20 at% silicon in the glass-infiltrated groups and differences in O 1s spectral features compared with the SB group. These findings suggest that glass infiltration combined with subsequent surface treatments modifies the microstructural and physicochemical surface characteristics of zirconia.

Keywords : Zirconia, Glass infiltration, Surface modification, Surface chemistry, Surface roughness

*Correspondence: Eun-Chae Kim (ORCID: 0000-0001-8313-6744)
73, Bungmun-daero 419beon-gil, Jeonnam-Gwangju, 62287, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental Laboratory Technology, Gwangju Health University, Jeonnam-Gwangju, Republic of Korea
Tel: +82-62-958-7693, Fax: +82-62-958-7862
E-mail: eun-chae0621@naver.com

Received: July. 29, 2026; Revised: Sep. 03, 2026; Accepted: Sep. 10, 2026

서 론

지르코니아는 우수한 심미성과 기계적 물성을 바탕으로 치과 임상에서 가장 널리 사용되는 세라믹 수복 재료 중 하나이다 (1, 2). 지르코니아는 1980년대 초 CAD/CAM 기술의 발달과 함께 임상 적용이 급증하였으며 높은 생체 적합성과 화학적 안정성 그리고 우수한 기계적 특성을 지닌다 (3). 이러한 특성으로 인해 높은 교합압이 작용하는 구치부 보철물에도 적용되고 있으며 치과용 수복 재료로서 폭넓게 활용되고 있다 (1, 2, 4). 그러나 지르코니아는 실리카를 포함하지 않는 치밀한 다결정 구조적 한계로 인해 기존 장석 도재에 보편적으로 시행해 온 불산 에칭(acid etching)이나 기능성 실란(silane) 처리를 동일하게 적용하기 어렵다 (5). 결과적으로 레진시멘트와의 화학적 결합 형성이 제한되어 장기적으로 안정적인 접착을 확보하기 어렵다 (6).

지르코니아 수복물의 결합력을 향상시키기 위해 기계적 결합과 화학적 결합을 유도하는 다양한 표면처리 방법이 제안되고 있다 (7). 임상에서 널리 사용되는 샌드블라스팅(알루미나 분사 처리)은 표면적과 표면 에너지를 증가시켜 미세기계적 유지력을 향상시키는 것으로 알려져 있다 (8). 그러나 이 과정에서는 지르코니아 표면에 국소적인 미세 균열을 유발할 수 있으며, 이로 인해 장기적인 기계적 안정성 저하 가능성이 보고되었다 (9). 또한 기계적 유지와 화학적 결합을 동시에 얻을 수 있는 코젯 블라스팅(Tribochemical coating) 역시 수중 장기 보관이나 열순환 처리 후 결합강도가 감소하는 것으로 보고되었다 (10).

지르코니아 표면의 반응성을 개선하기 위한 방법으로 반소결 상태의 지르코니아 표면에 글라스를 용융침투한 후 완전 소결하는 단계적 구조 지르코니아(Functionally graded zirconia) 기술이 제안되었다 (11). 이 방법은 글라스와 지르코니아 간 치밀한 복합체 구조를 형성하여 지르코니아의 굽힘강도와 파절 저항성을 향상시키는 것으로 보고되었다 (12). 또한 글라스 용융침투를 통해 지르코니아 표면에 글라스 성분이 도입되면, 기존에는 제한적이었던 샌드블라스팅 및 불산 에칭을 적용하여 미세기계적 유지에 유리한 표면 특성을 형성할 가능성이 있다 (13).

그러나 글라스 용융침투 후 추가적인 표면처리가 지르코니아 표면의 미세구조 및 물리화학적 특성에 미치는 영향에 대해서는 제한적으로 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 자체 제작한 SiO_2-Al_2O_3-Na_2O글라스를 지르코니아 표면에 용융침투한 후 샌드블라스팅과 불산 에칭을 각각 적용하여 표면 특성 변화를 종합적으로 평가하고자 하였다. 이를 위해 표면 거칠기와 접촉각을 측정하여 젖음성 변화 양상을 분석하고, X-ray 광전자 분광분석(XPS)을 이용하여 표면 원소 조성 및 O 1s spectrum의 변화를 평가하였다.

재료 및 방법

1. 연구 재료 및 시편 준비

본 연구에서는 Kuwotech (Gwangju, Korea)에서 실험용으로 맞춤 제작한 5 mol% 이트리아 안정화 지르코니아 디스크(완전 소결 시 직경 15 mm, 높이 2.5 mm)를 시편으로 사용하였다. 지르코니아 표면에 용융침투하기 위한 글라스의 주요 조성은 SiO_2 68.5 wt%, Al_2O_3 13 wt%, Na_2O 10 wt%, MgO 1 wt%, BaO 1 wt%로 구성되었다. 상기 주요 성분은 총 93.5 wt%이며, 나머지 6.5 wt%는 관련 등록특허 「생체활성글라스를 포함하는 지르코니아 임플란트 및 이의 제조 방법」(등록특허 제 10-1826967호)에 포함된 첨가 성분이다. 해당 특허에는 생체활성글라스에 포함될 수 있는 성분과 조성 범위가 제시되어 있으나 본 연구에 사용된 글라스의 나머지 6.5 wt%에 대한 구체적인 성분별 조성비는 공개되어 있지 않다. 계량한 원료는 알루미나 볼(ball)을 이용하여 1시간 동안 혼합한 후 백금 도가니에 넣고 소결로에서 분당 10°C의 승온 속도로 1,450°C까지 가열하고 2시간 동안 유지한 뒤 급랭하였다. 급랭된 글라스는 알코올과 혼합하여 1시간 동안 습식 볼밀(wet ball milling) 후 건조하였으며 최종적으로 75 μm 메쉬(mesh)로 체가름하여 글라스 분말을 완성하였다.

2. 실험군 분류 및 표면처리

지르코니아 시편은 적용된 표면처리 방법에 따라 샌드블라스팅 대조군(Sandblasting, SB), 글라스 용융침투군(Glass infiltration, GI), 글라스 용융침투 후 샌드블라스팅군(Glass infiltration + Sandblasting, GI+SB), 글라스 용융침투 후 불산 에칭군(Glass infiltration + Hydrofluoric acid etching, GI+HF)의 총 4개 군으로 분류하였으며 전반적인 제작 및 처리 과정은

Figure 1에 모식화하였다. SB군은 완전소결된 지르코니아 시편에 시행하였으며, GI, GI+SB 및 GI+HF군은 반소결 지르코니아 시편에 글라스 용융침투를 시행한 후 최종 소결하여 추가 표면처리를 진행하였다.

SB군은 압축공기 입자연마장치(Basic master, Renfert, Hilzingen, Germany)를 이용하여 50 μm Al_2O_3 입자(Cobra, Renfert, Hilzingen, Germany)를 시편 표면에 대해 수직 방향으로 10 mm 거리에서 2.5 bar의 압력으로 15초간 분사하였다.

GI군은 제조된 글라스 분말 1 g을 증류수 100 mL에 첨가한 후 마그네틱 교반(magnetic stirring)하여 글라스 현탁액을 조제하였다. 조제된 글라스 현탁액 500 μL를 파이펫을 이용하여 반소결 지르코니아 시편의 한쪽 표면 전체를 균일하게 덮도록 도포하고 1시간 동안 자연 건조하였다. 소결로(Ex-6100, Add-in, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 분당 10℃의 승온속도로 1,530℃까지 가열하고 1시간 동안 유지하여 최종 소결과 동시에 글라스 용융침투를 시행하였다.

GI+SB군은 용융침투 및 최종 소결이 완료된 시편에 SB군과 동일한 조건(50 μm Al_2O_3, 수직 10 mm 거리, 2.5 bar, 15초)으로 샌드블라스팅을 추가 시행하였다. GI+HF군은 글라스 용융침투 및 최종 소결이 완료된 시편에 제조사의 지침에 따라 4.9% 불화수소산(IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 20초간 적용하였다. 각 군의 표면처리가 완료된 후 SB, GI, GI+SB 및 GI+HF군의 모든 시편은 초음파 세척기(Power sonic 510, Hwashin Technology, Seoul, Korea) 내에서 아세톤, 알코올, 증류수 순으로 각각 15분간 세척하고 건조하였다.

3. 표면 미세구조 및 물리화학적 특성 평가

3.1. 표면 미세구조 및 원소 분석

각 실험군에서 대표 시편 1개씩을 선정하여(n = 1) 표면처리된 지르코니아의 표면 형상과 Si 원소의 분포를 정성적으로 평가하였다. 해당 시편은 Ion Sputter Coater (MCM-100P, SEC, Gyeonggi-do, Korea)로 진공 상태에서 60초간 백금 코팅을 실시한 후 주사전자현미경(SEM, SNE-4500M Plus, SEC)을 통해 표면 미세구조를 관찰하였다. 또한 에너지분산형 분광분석기(EDS, XFlash 6130, Bruker, USA)를 활용해 Si 원소의 분포 양상을 매핑(mapping)하였다.

3.2. 표면 거칠기 평가

표면 거칠기는 원자힘현미경(XE-100, Park Systems, Suwon, Korea)을 이용하여 non-contact AFM (NC-AFM) mode에서

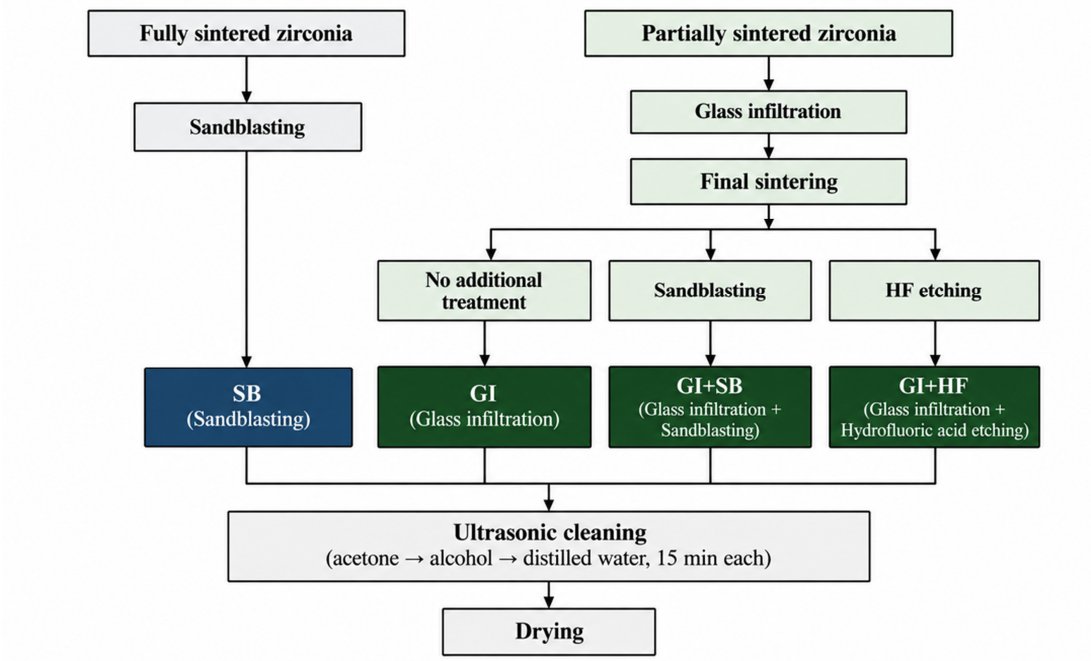


Figure 1. Schematic illustration of the experimental groups and surface treatment procedures.

분석하였다. 각 군의 독립 시편 3개(n = 3)를 측정하였으며 측정 영역은 45 × 45 μm^2, 이미지 해상도는 256 × 256 pixels, scan rate는 0.2-0.3 Hz로 설정하였다. 표면 거칠기는 평균 거칠기(Ra, μm)로 평가하였으며 각 군의 결과는 평균과 표준편차로 나타내었다.

3.3. 표면 젖음성 평가

각 실험군당 3개의 독립된 시편을 사용하여(n = 3) 표면 젖음성을 정량적으로 평가하였다. 각 시편의 서로 다른 3개 지점에 4 μL의 증류수를 적하하고 접촉각 측정기(Phoenix 300, SEO, Suwon, Korea)를 이용하여 적하 10초 후 접촉각을 측정하였다. 각 시편에서 측정한 3개 지점의 평균값을 해당 시편의 대표값으로 사용하고, 전용 소프트웨어(Surfaceware 9 software, SEO Inc., Suwon, Korea)를 이용하여 접촉각 값을 산출하였다.

3.4. 표면 원소 조성 및 O 1s spectrum 분석

표면 원소 조성 및 O 1s spectrum의 변화를 평가하기 위해 각 군에서 대표 시편 1개를 선정하였다(n = 1). X-ray 광전자 분광분석기(XPS, VG Multilab 2000, Thermo Scientific, Loughborough, UK)를 이용하여 wide scan과 O 1s 영역의 high-resolution narrow scan spectra를 측정하였다. Wide scan을 통해 표면 원소 조성을 평가하였으며 O 1s high-resolution narrow scan spectra를 이용하여 표면처리 방법에 따른 spectral feature의 차이를 비교하였다. XPS 분석은 각 군의 대표 시편을 대상으로 수행하였으며 군 간 통계적 비교는 시행하지 않았다.

3.5. 통계분석

표면 거칠기와 접촉각은 각 군의 독립 시편 3개(n = 3)를 통계단위로 사용하였다. 접촉각은 각 시편의 서로 다른 3개 지점에서 측정한 값의 평균을 해당 시편의 대표값으로 사용하였다. 자료의 정규성과 등분산성은 각각 Shapiro-Wilk 검정 및 Levene 검정을 통해 확인하였다. 실험군 간 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)을 시행한 후 Tukey 사후검정으로 분석하였다. 모든 통계 분석에는 SPSS version 26.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였으며 통계적 유의수준은 $p<0.05$로 설정하였다.

결 과

1. 표면 미세구조 및 원소 분포

주사전자현미경(SEM) 관찰 결과 SB군은 전반적으로 불규칙하고 거친 표면 양상을 보였다. GI군은 SB군과 비교하여 상대적으로 균질한 표면 형태를 나타냈으며 지르코니아 입자 사이에서 글라스상으로 추정되는 구조가 관찰되었다. GI+SB군은 GI군에 비해 불규칙하고 거친 표면 양상을 나타냈으며 일부 영역에서는 글라스상으로 추정되는 구조가 관찰되었다. GI+HF군에서는 비교적 조밀하고 균일한 미세 다공성 표면 구조가 관찰되었다(Figure 2).

각 군의 대표 시편을 대상으로 한 EDS 분석에서 GI, GI+SB 및 GI+HF 시편에서 Si 원소가 검출되었다. 특히 GI+SB군 및 GI+HF군의 Si 원소 맵핑(mapping)에서는 후속 표면처리 후에도 Si 성분이 시편 표면 전반에 걸쳐 비교적 균일하게 분포하는 양상이 관찰되었다(Figure 3).

2. 표면 거칠기 및 젖음성

AFM을 이용한 표면 거칠기 분석 결과 Ra는 SB군 0.53 (0.04) μm, GI군 0.16 ± 0.04 μm, GI+SB군 1.65 ± 0.11 μm, GI+HF군 1.14 ± 0.13 μm로 측정되었다(Table 1). GI+SB군에서 가장 높은 Ra를 보였으며 GI군에서 가장 낮았다. 표면 거칠기는 실험군 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.001$).

접촉각은 실험군 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). GI군은 67.64 ± 1.71°로 가장 높았으며 GI+HF군은 52.86 ± 2.10°로 GI군보다 유의하게 낮았다. SB군과 GI+SB군은 각각 47.25 ± 0.80°와 47.78 ± 1.75°였으며 두 군 간에는 유의한 차이가 없었다(Figure 4, Table 1).

3. 표면 원소 조성 및 O 1s spectrum

각 군의 대표 시편을 대상으로 한 XPS wide scan 분석에서 표면 원소 조성의 차이가 관찰되었다(Table 2). SB 시편에서는 Si가 0.56 at%, Zr이 17.58 at%로 나타났으며 글라스 용융침투를 적용한 GI, GI+SB 및 GI+HF 대표 시편에서는 Si가 각각 20.18, 20.85 및 20.65 at%, Zr이 각각 0.16, 0.54 및 0.11 at%로 나타났다.

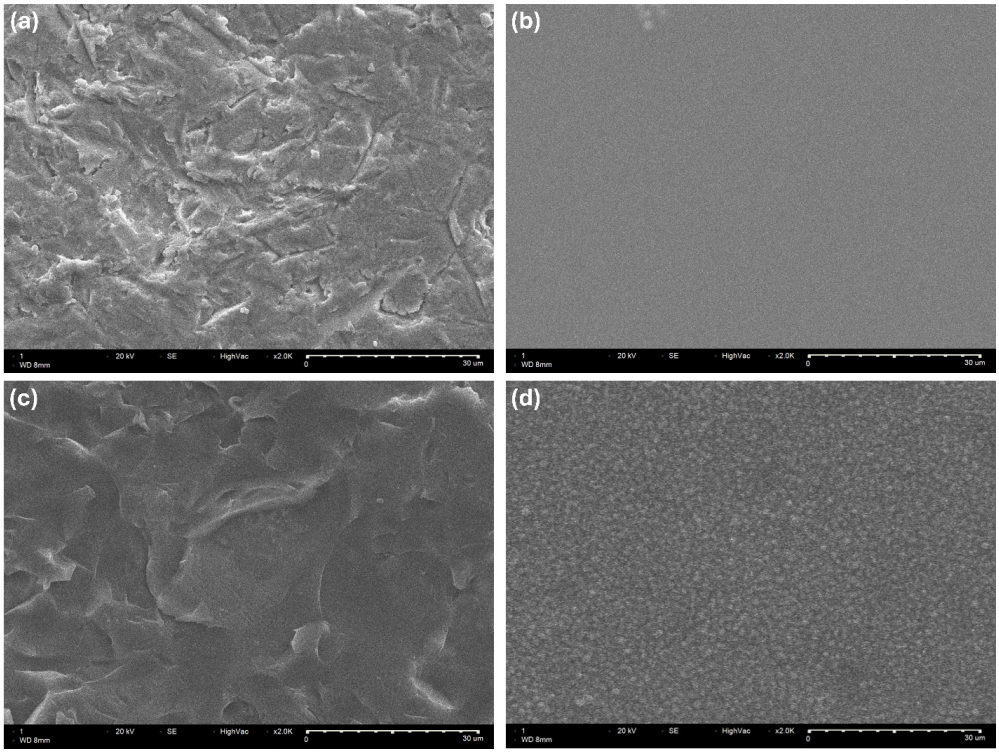


Figure 2. Representative scanning electron microscopy (SEM) images of the four experimental groups: (a) SB, (b) GI, (c) GI+SB, and (d) GI+HF.

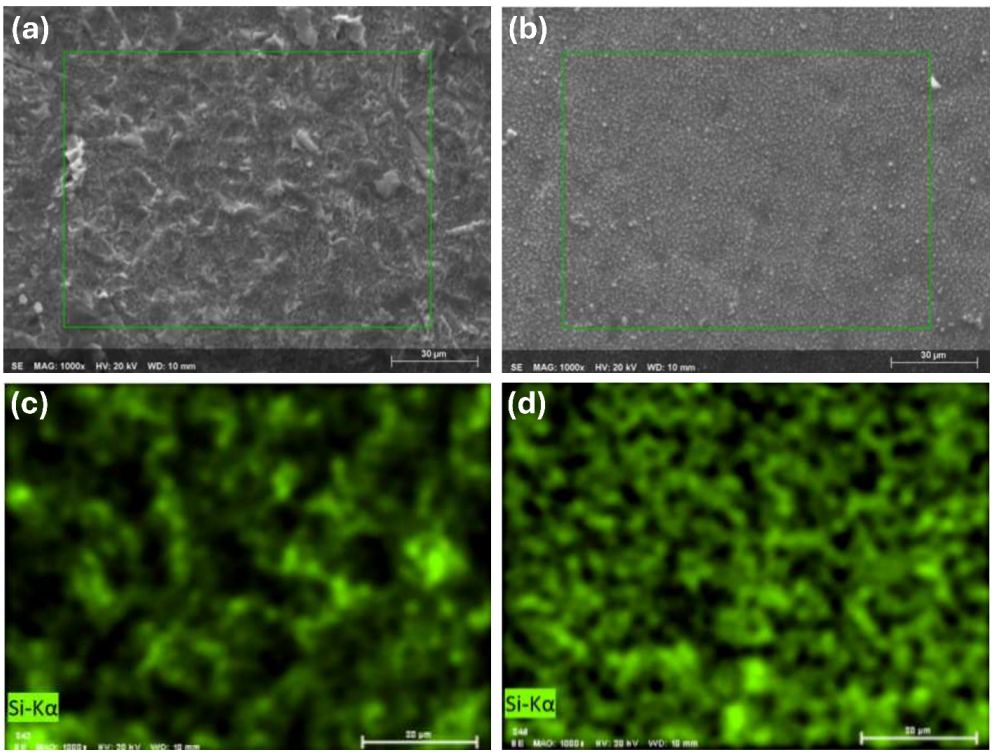


Figure 3. SEM images and corresponding EDS Si elemental mapping of the GI+SB and GI+HF groups: (a) SEM image of GI+SB, (b) SEM image of GI+HF, (c) Si elemental mapping of GI+SB, and (d) Si elemental mapping of GI+HF.

Table 1. Comparison of surface roughness (Ra) and contact angles of zirconia following various surface treatments

Group	Surface Treatment	Surface Roughness (Ra, μm)	Contact Angle (°)
SB	Sandblasting	0.53 (0.04)[a]	47.25 (0.80)[a]
GI	Glass infiltration	0.16 (0.04)[b]	67.64 (1.71)[b]
GI+SB	GI + Sandblasting	1.65 (0.11)[c]	47.78 (1.75)[a]
GI+HF	GI + HF etching	1.14 (0.13)[d]	52.86 (2.10)[c]

Values are presented as mean (standard deviation), n = 3. The overall one-way ANOVA showed significant differences among groups for both surface roughness and contact angle ($p<0.001$). Different superscript letters within the same column indicate statistically significant differences among groups (Tukey post hoc test, $p<0.05$).

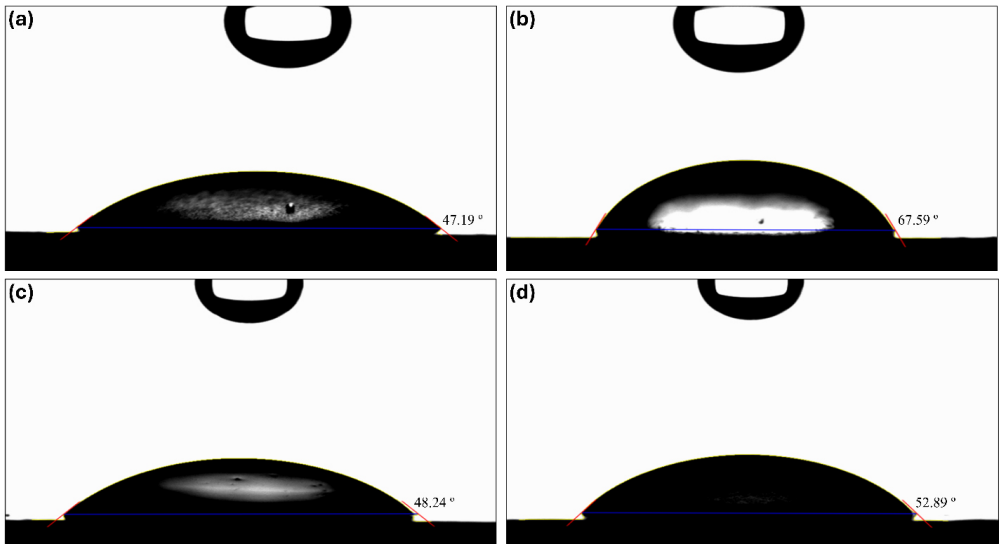


Figure 4. Representative water droplet contact angle profiles for each experimental group: (a) SB, (b) GI, (c) GI+SB, and (d) GI+HF.

Table 2. Selected surface elemental signals of zirconia following various surface treatments determined by XPS (at%)

Group	C 1s	O 1s	Si 2p	Zr 3d
SB	24.02	54.71	0.56	17.58
GI	29.25	50.4	20.18	0.16
GI+SB	27.08	48.6	20.85	0.54
GI+HF	30.5	45.66	20.65	0.11

Values are atomic percentages (at%) obtained from representative specimens (n = 1). The values are presented as obtained from the original XPS analysis and were not renormalized after excluding Y from the table.

각 군의 대표 시편에서 획득한 O 1s high-resolution narrow scan spectra에서는 서로 다른 spectral feature가 관찰되었다 (Figure 5). SB 시편의 주요 O 1s 신호는 약 529.5–530.0 eV 영역에서 관찰된 반면, GI, GI+SB 및 GI+HF 대표 시편에서는 약 532.5 eV 영역에서 주요 신호가 관찰되었다.

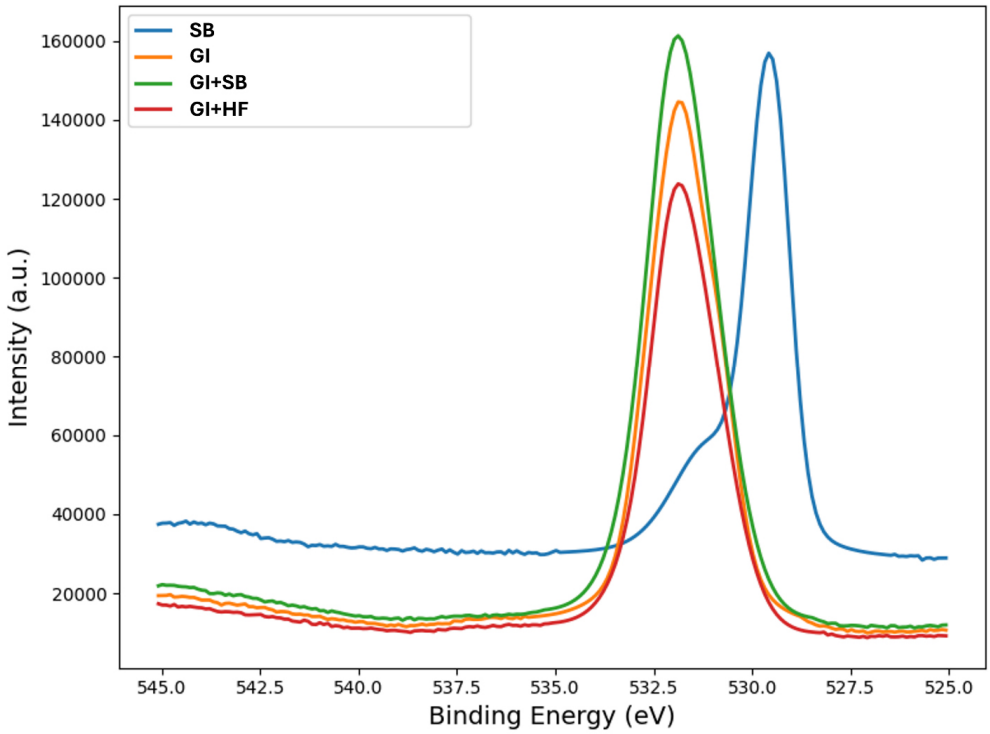


Figure 5. High-resolution O 1s narrow scan X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) spectra of the zirconia surfaces according to the different surface treatments.

고 찰

지르코니아는 다결정 구조를 가지므로 실리카 기반 세라믹과 달리 전통적인 산 에칭이나 실란 커플링제 처리를 통한 화학적 결합이 어렵다는 근본적인 한계를 지닌다 (5). 이러한 한계를 개선하기 위한 표면 개질 방법 중 하나로 글라스 용융침투가 제안되어 왔으며 선행연구에 따르면 글라스 용융침투(GI)는 반소결 지르코니아의 다공성 구조에 액상 글라스가 모세관 현상에 의해 침투하는 과정으로 설명된다 (13, 14). 이에 본 연구에서는 글라스 용융침투와 후속 표면처리를 적용하고 이에 따른 지르코니아의 미세구조 및 물리화학적 표면 특성의 변화를 분석하였다.

SEM 분석 결과 글라스 용융침투 후 추가 표면처리 방식에 따라 서로 다른 표면 형태가 관찰되었다. GI+SB군은 샌드블라스팅 후 불규칙한 요철 구조를 나타낸 반면, GI+HF군에서는 불산 처리 후 비교적 균일한 미세 다공성 구조가 관찰되었다. 이러한 표면 형태의 변화는 불산이 지르코니아 결정 자체보다는 결정 사이에 존재하는 실리카 기반 글라스 기질을 우선적으로 부식시키는 선택적 글라스 제거 기전과 관련되었을 가능성이 있다 (14, 15). 기존 연구에서는 샌드블라스팅이 표면 거칠기를 증가시키는 동시에 국소적인 미세균열과 상전이를 유발할 수 있다고 보고되었다 (16-18). 반면 Aboushelib 등 (14)은 선택적 용융침투-에칭(selective infiltration-etching) 기법을 통해 지르코니아 결정 자체의 손상을 최소화하면서 다공성 표면을 형성할 수 있음을 보고하였다. 본 연구에서 관찰된 GI+HF군의 균일한 다공성 구조는 이러한 선행연구의 기전과 유사한 양상을 보였다. 또한 EDS 분석에서는 GI, GI+SB 및 GI+HF 대표 시편에서 Si가 검출되었으며 후속 표면처리 후에도 Si가 표면에 분포하는 양상이 관찰되었다. 이는 글라스 용융침투 후 지르코니아 표면에서 Si 성분이 관찰되었음을 보여준다.

표면 특성 평가에서는 후속 표면처리 방식에 따라 표면 거칠기와 젖음성에 차이가 관찰되었다. GI+SB군은 가장 높은 표면 거칠기(1.65 ± 0.11 ㎛)를 보였으며, 접촉각은 47.78 ± 1.75°로 SB군(47.25 ± 0.80°)과 유의한 차이를 나타내지 않았다. 반면 GI군은 67.64 ± 1.71°로 가장 높은 접촉각을 나타냈다. GI+HF군의 표면 거칠기는 1.14 ± 0.13 ㎛로 GI+SB군보다 낮았으며,

접촉각은 52.86 ± 2.10°로 GI군보다 유의하게 낮았다. 이러한 결과는 본 연구에서 관찰된 젖음성의 차이가 표면 거칠기의 변화만으로 설명되기보다는 표면 미세구조와 화학적 조성 등 여러 표면 특성의 영향을 함께 받았을 가능성을 시사한다 (19-22).

XPS 분석에서는 글라스 용융침투 적용 여부에 따라 대표 시편의 표면 원소 조성에 차이가 관찰되었다. Wide scan 분석에서 SB 시편과 비교하여 글라스 용융침투를 적용한 GI, GI+SB 및 GI+HF 대표 시편에서 높은 Si 신호와 낮은 Zr 신호가 관찰되었다. 이는 글라스 용융침투 후 대표 시편의 표면 원소 조성이 달라졌음을 보여준다. 이러한 결과는 실리카 기반 글라스 침투 또는 실리케이트 기반 표면처리를 통해 지르코니아 표면의 조성이 변화할 수 있음을 보고한 선행연구와 유사한 경향을 보인다 (13, 22). 또한 O 1s high-resolution narrow scan spectra에서는 SB 시편과 글라스 용융침투 적용 시편에서 서로 다른 spectral profile이 관찰되었다. 다만 표면 charging에 대한 보정 조건을 충분히 확인하기 어려우므로 관찰된 차이를 특정 산소 화학종이나 결합 상태의 변화로 해석하지 않았다. 따라서 본 연구의 XPS 결과는 각 군의 대표 시편에서 관찰된 표면 원소 조성 및 O 1s spectral feature의 차이를 중심으로 제한적으로 해석할 필요가 있다.

본 연구는 글라스 용융침투와 후속 표면처리에 따른 지르코니아의 미세구조 및 물리화학적 표면 특성을 다각적으로 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 본 연구는 시험관 내(*in vitro*) 환경에서 수행된 기초 재료 연구로 실제 구강 환경의 반복적인 기계적 하중, 수분 노출 및 온도 변화를 반영하지 못하였다. 또한 SEM/EDS 및 XPS 분석은 각 군의 대표 시편을 대상으로 수행되었으므로 관찰된 표면 미세구조와 원소 조성의 차이를 군 전체로 일반화하는 데 제한이 있다. 표면 거칠기와 접촉각 분석 역시 각 군당 3개의 독립 시편을 대상으로 수행되어 작은 표본 수에 따른 통계적 제한이 있으므로 결과의 일반화에 주의가 필요하다. 특히 XPS high-resolution spectra의 개별 성분에 대한 정량적 chemical-state interpretation에 필요한 세부 분석 조건 및 peak fitting 기준을 충분히 확인하지 못하여 개별 화학종과 결합 상태를 구체적으로 규명하는 데 제한이 있었다. 아울러 본 연구에서는 표면 특성의 변화가 실제 레진시멘트와의 결합 성능 또는 장기적인 접착 내구성에 미치는 영향을 분석 범위에 포함하지 않았으므로 본 연구의 결과는 표면의 물리화학적 특성 변화에 한정하여 해석할 필요가 있다.

결 론

본 연구에서는 지르코니아 표면에 글라스 용융침투와 추가 표면처리를 적용한 후 표면 미세구조, 표면 거칠기, 젖음성 및 화학적 특성의 변화를 분석하였다. GI+SB군은 가장 높은 표면 거칠기를 보였으며 접촉각은 SB군과 유의한 차이가 없었다. GI+HF군에서는 비교적 균일한 미세 다공성 표면 구조가 관찰되었다. 또한 글라스 용융침투가 적용된 대표 시편에서는 XPS 분석을 통해 표면 원소 조성의 차이가 관찰되었다. 이러한 결과는 글라스 용융침투와 후속 표면처리의 조합이 지르코니아의 미세구조 및 물리화학적 표면 특성을 변화시킬 수 있음을 시사한다.

사 사

본 논문은 저자의 박사학위논문의 일부를 바탕으로 수정 · 보완하여 작성되었음.

참고문헌

1. Grech J, Antunes E. Zirconia in dental prosthetics: a literature review. J Mater Res Technol. 2019;8(5):4956-64.
2. Sharma AR, Pruthi T, Agrawal A, Madathil E, Tayal R, Shukla K. The evolution, clinical applications, and performance of zirconia in dentistry: a systematic review. IP Indian J Conserv Endod. 2026;11(1):34-42.
3. Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. J Prosthodont Res. 2013;57(4):236-61.
4. Tang Z, Zhao X, Wang H, Liu B. Clinical evaluation of monolithic zirconia crowns for posterior teeth restorations. Medicine (Baltimore). 2019;98(40):e17385.
5. Mattiello RDL, Coêlho TMK, Insaurralde E, Coelho AAK,

Terra GP, Kasuya AVB, et al. A review of surface treatment methods to improve the adhesive cementation of zirconia-based ceramics. ISRN Biomater. 2013;2013: 185376.
6. Abo Ria HI. Adhesion to zirconia: factors affect bonding to zirconia. ERU Res J. 2025;4(1):2190-2209.
7. Lupu IC, Tatarciuc MS, Vitalariu AM, Bobu L, Diaconu DA, Vasluianu RI, et al. Bonding strategies for zirconia fixed restorations: a scoping review of surface treatments, cementation protocols, and long-term durability. Biomimetics (Basel). 2025;10(9):632.
8. Kim HK, Ahn B. Effect of Al_2O_3 sandblasting particle size on the surface topography and residual compressive stresses of three different dental zirconia grades. Materials (Basel). 2021;14(3):610.
9. Rekow ED, Silva NRFA, Coelho PG, Zhang Y, Guess P, Thompson VP. Performance of dental ceramics: challenges for improvements. J Dent Res. 2011;90(8): 937-52.
10. Obradović-Djuričić K, Medic V, Dodić S, Gavrilov D, Antonijević D, Zrilić M. Dilemmas in zirconia bonding: a review. Srp Arh Celok Lek. 2013;141(5-6):395-401.
11. Gali S, Gururaja S, Patel Z. Methodological approaches in graded dental ceramics. Dent Mater. 2024;40(5): e1-e13.
12. Mao L, Kaizer MR, Zhao M, Guo B, Song Y, Zhang Y. Graded ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. J Dent Res. 2018;97(11):1222-8.
13. Ramos NC, Kaizer MR, Campos TMB, Kim J, Zhang Y, Melo RM. Silica-based infiltrations for enhanced zirconia-resin interface toughness. J Dent Res. 2019;98(4):423-9.
14. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. J Prosthet Dent. 2007;98(5):379-88.
15. Della Bona A, Anusavice KJ. Microstructure, composition, and etching topography of dental ceramics. Int J Prosthodont. 2002;15(2):159-67.
16. Inokoshi M, Shimizubata M, Nozaki K, Takagaki T, Yoshihara K, Minakuchi S, et al. Impact of sandblasting on the flexural strength of highly translucent zirconia. J Mech Behav Biomed Mater. 2021;115:104268.
17. Jakovac M, Klaser T, Radatović B, Bafti A, Skoko Ž, Pavić L, et al. Impact of sandblasting on morphology, structure and conductivity of zirconia dental ceramics material. Materials (Basel). 2021;14(11):2834.
18. Kim HK, Yoo KW, Kim SJ, Jung CH. Phase transformations and subsurface changes in three dental zirconia grades after sandblasting with various Al_2O_3 particle sizes. Materials (Basel). 2021;14(18):5321.
19. Packham DE. Surface energy, surface topography and adhesion. Int J Adhes Adhes. 2003;23(6):437-48.
20. Wongsue S, Thanatvarakorn O, Prasansuttiporn T, Nimmanpipug P, Sastraruji T, Hosaka K, et al. Effect of surface topography and wettability on shear bond strength of Y-TZP ceramic. Sci Rep. 2023;13(1):18249.
21. Rupp F, Gittens RA, Scheideler L, Marmur A, Boyan BD, Schwartz Z, et al. A review on the wettability of dental implant surfaces I: theoretical and experimental aspects. Acta Biomater. 2014;10(7):2894-906.
22. Liu X, Wang H, Yu S, Zhao Q, Shi Z, Cui Z, et al. Construction of a silicate-based epitaxial transition film on a zirconia ceramic surface to improve the bonding quality of zirconia restorations. RSC Adv. 2020;10(54): 32476-84.

Research Article

글라스 용융침투 기반 표면처리가 치과용 지르코니아의 미세구조 및 표면 화학 특성에 미치는 영향

김은채*

광주보건대학교 치기공학과

본 연구는 글라스 용융침투 및 후속 표면처리가 지르코니아의 미세구조, 표면 거칠기, 젖음성 및 화학적 특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 이트리아 안정화 지르코니아 디스크를 샌드블라스팅군(SB), 글라스 용융침투군(GI), 글라스 용융침투 후 샌드블라스팅군(GI+SB), 글라스 용융침투 후 불산 에칭군(GI+HF)의 4개 군으로 분류하였다. 표면 형상, 표면 거칠기, 젖음성, 원소 분포, 표면 원소 조성 및 O 1s 스펙트럼 특성을 SEM/EDS, AFM, 접촉각 측정 및 XPS를 이용하여 분석하였다. GI+SB군은 가장 높은 표면 거칠기(1.65 μm)와 낮은 접촉각(47.78°)을 나타냈으며, 접촉각은 SB군(47.25°)과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. GI+HF군은 균일한 미세다공성 구조를 나타냈으며, 표면 거칠기는 1.14 μm, 접촉각은 52.86°였다. 대표 시편에 대한 XPS 분석 결과, 글라스 용융침투를 적용한 군에서 약 20 at%의 Si가 관찰되었으며, SB군과 비교하여 O 1s 스펙트럼 특성의 차이가 나타났다. 이상의 결과는 글라스 용융침투와 후속 표면처리의 적용이 지르코니아의 미세구조 및 물리화학적 표면 특성을 변화시킬 수 있음을 시사한다.

색인단어 : 지르코니아, 글라스 용융침투, 표면 개질, 표면 화학, 표면 거칠기