

표면처리와 열처리가 전장도재와 지르코니아의 결합력에 미치는 영향

이 정 환, 안 재 석
광주보건대학 치기공학과

Effect of surface and heat treatment on the bond strength of veneering ceramics to zirconia(Y-TZP)

Jung-hwan Lee, jae-seok Ahn
Department of dental laboratory Technology, Gwang-ju Health University

[Abstract]

Purpose: This study was to assess the effect of surface and heat treatment on the bond strength of veneering ceramics to zirconia.

Methods: The specimens were divided into 7 groups according to surface treatment and heat treatment conditions prior to porcelain application. ten specimens from each group were subjected to a 3-point flexural test. In addition the influence of surface and heat treatment on surface roughness values and phase transformation of zirconia was evaluated. Statistical analysis was performed with one-way ANOVA and post hoc Tukey's test.

Results: Bond strength ranged from $20.67 \pm 3.13\text{MPa}$ to 32.69 ± 4.52 . Bond strength of surface treatment group was lower than that of control group but only Al_2O_3 sandblasting group was significant difference. Bond strength of heat treatment group was higher than that of surface treatment group but there was no statistical significance.

Conclusion: Bond strength of veneering ceramics to zirconia was affected by surface and heat treatment.

Key words : Bond strength, heat treatment, Surface treatment, Veneered zirconia, Y-TZP

* 본 연구는 2013년도 광주보건대학 연구비지원에 의하여 수행된 논문임.

교신저자	성명	안 재 석	전화	010-9071-5376	E-mail	jsahn@ghc.ac.kr	
	주소	광주광역시 광산구 신창동 683-3번지 광주보건대학 치기공과					
접수일	2013. 9. 4		수정일	2013. 12. 1		확정일	2013. 12. 18

I. 서 론

지르코니아(Y-TZP)는 치과분야에서 수복용 전부 도재 관 재료로 많이 사용되고 있다. 특히 관교의치의 코어(core)나 전부 도재 관 재료로 가장 많이 사용되고 있으며 그 이유는 우수한 심미성과 생물학적 안전성, 높은 기계적 성질 및 낮은 열전도성을 말할 수 있다. 그럼에도 불구하고 지르코니아를 코어로 사용한 관교의치 수복물에서 전장도재의 깨짐으로 인한 지르코니아 보철의 임상적 실패율은 3년경과 후에 13.0%(Sailer I 등 2006), 5년경과 후에 15.2%(Sailer I 등 2007)로 보고되고 있다. 또한 이러한 실패의 대부분은 전장도재와 지르코니아 코어의 계면에서 발생한다고 하였다. 따라서 도재 전장 지르코니아 수복물의 장기간의 성공을 위해서는 전장도재와 코어 사이의 결합력이 중요한 것을 알 수 있다.

Isgro 등(2003), De Jager 등(2005)은 전장도재와 지르코니아 코어 사이에서 결합력은 다음과 같은 다수의 요인에 의해 영향을 받는다고 하였다. 화학적 결합, 기계적 연결, 계면에서 결점의 형태나 분포 정도, 습윤성, 그리고 전장 도재와 지르코니아 사이의 열팽창계수 차이로 인한 전장 도재에 가해지는 압축응력의 정도를 언급하고 있다.

오래전부터 지르코니아의 표면처리가 전장도재 결합의 질과 지르코니아 자체의 기계적 강도에 미치는 영향은 강하게 논의되고 있는 주제이며, 소수의 연구들에서 표면처리가 전장도재와 지르코니아 코어의 결합 메커니즘과 결합의 질에 미치는 영향을 다루고 있다. 통상적으로 CAD/CAM시스템을 이용하여 골조(-framework)를 제작한 후 도재 축성 전 적합이나 조정 과정에서 한 가지 이상의 표면처리가 실시된다. 표면처리 방법 중 그라인딩이나 샌드블라스팅은 언더컷(undercut)을 제공하고 표면 거칠기를 증가시킴으로써 기계적 결합력을 향상시키기 위해 많이 사용되는 방법이다.

지르코니아에 전장용 도재로 규산염(silicate) 도재가 사용되고 있다. 그러므로 지르코니아 표면에 이산화규소(silica) 코팅(coating)은 결합력을 향상시키기 위해 고려될 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다. Luthy 등(2006)은 레진과의 결합력 증진을 위해 지르코니아의 표면에 이산화규소 코팅을 적용하였으며, Kern 등(1998)은 이산화규

소 코팅 방법이 알루미늄이나 혹은 지르코니아에 레진을 부착하기 위한 효과적인 방법으로 지적하였다. 그와 같이, 이산화규소가 코팅된 알루미늄 입자(110 μ m)를 기질 표면에 분사하면 강한 충격으로 입자의 높은 운동에너지 때문에 이산화규소가 기질 표면에 달라붙게 되며 지르코니아와 이산화규소 층의 결합력에 따라 전장도재의 결합력 또한 향상될 것으로 생각된다. 그러나 이러한 그라인딩이나 샌드블라스팅 같은 처리들은 지르코니아 코어의 표면에서 상(phase) 변화를 일으키고, 결국 정방정계의 지르코니아가 단사정계의 지르코니아로 바뀌게 함으로써 자체의 기계적 강도뿐만 아니라 전장 도재의 부착성능에 영향을 줄 것으로 판단된다. 이러한 이유로 소수의 세라믹 제조회사들은 도재를 축성하기 전에 지르코니아 코어를 열처리하는 것을 추천한다.

본 연구의 목적은 첫째로 그라인딩, 샌드블라스팅, 이산화규소 코팅과 같은 표면처리에 따라 표면 거칠기의 변화를 관찰하는 것이고 둘째는 각각의 표면처리 방법에 따라 지르코니아의 표면에서 결정학적인 상 변화를 분석하는 것이며, 셋째는 세라믹 재조회사에서 추천하는 열처리 후 표면처리로 인한 지르코니아의 상 변화가 회복되는지를 확인하는 것이다. 넷째는 위에서 언급한 요인들로 인해 지르코니아 코어와 전장도재의 결합력이 변화되는지 확인하고 그 원인을 찾는 것이다.

II. 연구 방법

1. 시편의 제작

예비 소결된 지르코니아 블록(Kavo Everest ZS blank; KaVo Dental GmbH, Bismarckring, Germany)(Table 1)을 자동 정밀 절단기(ISOMET, Buehler Ltd. IL, USA)를 이용하였다. ISO 9693:1999(E)에 따라 25mm \times 3mm \times 0.5mm의 얇은 판 형태로 다이아몬드 디스크(4" Dia \times 0.012")를 이용하여 자른 후 흐르는 물에 세척, 건조하여 전용의 소결로(Therm, KaVo Everest, Germany)를 이용하여 1,450 $^{\circ}$ C에서 5시간 동안 소결하였다. 각 시편의 두께와 길이는 무작위로 세 부위에서 Digital caliper (Digimatic CD-15PSX, Mitutotyo Corporation,

Japan)을 이용하여 측정하였다.

Table 1. Materials used in study

Brand name	composition	Manufacturer
Everest ZS-Ronde	3mol%Y ₂ O ₃ -ZrO ₂	KaVo Dental GmbH, Bismarckring, Germany
E-MAX ceram(Dentin A3)	feldspathic porcelain	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
E-MAX ceram build up liquid (allround)	water, butandiol, chloride	Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein
TR-12	Diamond cot. 125 μ m	Mani, Inc, Japan
Cobra	110 μ m Al ₂ O ₃	Renfert GmbH, Hilzingen, Germany
Rocatec-Plus	Silica cot. 110 μ m Al ₂ O ₃	3M ESPE,,Seefeld, Germany

2. 시편의 표면처리와 열처리

총 70개의 시편을 7개의 실험군(n=10)에 무작위로 배분하였다. 표면처리가 결합강도에 미치는 영향을 확인하기 위해 아무것도 처리하지 않은 실험군은 대조군으로 사용하였으며 3개의 실험군은 각기 다른 표면처리를 적용하였다. 또한 각 실험군의 표면처리 후 열처리로 인한 효과를 평가하기 위해 1,050°C에서 15분 동안 열처리 하였다 (Table 2).

Cont실험군은 소결 후 어떤 처리도 하지 않았으며 대조군으로 사용하였다. Gr실험군은 입자 사이즈가 125 μ m인 Diamond bur(TR-12, MANI, Japan)를 마이크로 모터

에 장착하여 수분 공급 없이 표면을 삭제하였다. 삭제 속도는 30,000rpm으로 균일한 다이아몬드 입자의 양을 유지하기 위해 5개의 시편마다 새것으로 교체하여 사용하였다. Al실험군과 Ro실험군은 air-bone particle-abrasion device(Basic master, Renfert, Germany)을 이용하여 각각 110 μ m Al₂O₃(Cobra, Renfert GmbH, Germany)와 Silica가 코팅된 110 μ m Al₂O₃(Rocatec-Plus, 3M ESPE, Germany)로 10초 동안 4bar의 압력에서 분사처리 하였다. 노즐(\varnothing =3mm)로부터 30mm의 거리에서 분사하기 위해 시편은 특별히 고안된 기구에 장착하였다. 모든 시편은 표면처리 후 잔여물을 제거하기 위해 증

Table 2. Treatments for different specimen groups

Code	surface treatment	Heat treatment
Cont	NO	NO
Gr	grinding for 30s with standard grit(125 μ m) diamond bur without water spray cooling	NO
Gr.h	grinding for 30s with standard grit(125 μ m) diamond bur without water spray cooling	heat treatment at 403-1,050°C using 65°C/min rise speed and kept at 1,050°C for 15min
Al	sandblasting for 15s with Al ₂ O ₃ particles (110 μ m) at pressure of 4bar	NO
Al.h	sandblasting for 15s with Al ₂ O ₃ particles (110 μ m) at pressure of 4bar	heat treatment at 403-1,050°C using 65°C/min rise speed and kept at 1,050°C for 15min
Ro	sandblasting for 15s with Silica containing Al ₂ O ₃ particles(110 μ m) at pressure of 4bar	NO
Ro.h	sandblasting for 15s with Silica containing Al ₂ O ₃ particles(110 μ m) at pressure of 4bar	heat treatment at 403-1,050°C using 65°C/min rise speed and kept at 1,050°C for 15min

류수에 담아서 5분 동안 초음파세척 하였다. 부가적으로 열처리에 대한 효과를 평가하기 위해 도재 축성 전 Gr, Al, Ro 실험군에 Ivoclar사에서 권장하는 방식의 Heat treatment(Regeneration firing)을 시행하여 Gr.h, Al.h, Ro.h 실험군을 얻었다.

3. 표면 형태 및 표면 조도 평가

각 실험군에서 한개의 시편을 무작위로 선정하여 Nanosurface 3D Optical Profiler(NV-E1000, Nanosystem, Korea)를 이용하여 표면 처리된 시편의 중심선 평균 조도(Ra)와 10점 평균 조도(Rz)를 측정하였다. 시편마다 3점의 다른 위치에서 측정하였고 Ra값은 표면 거칠기의 산술 평균치를 나타내며 Ra값이 낮을수록 더 매끈한 표면을 의미한다. 또한 Rz값은 제일 높은 봉우리에서 5번째까지의 평균 높이와 제일 낮은 골에서 5번째까지의 평균 골 깊이 사이의 거리를 의미한다.

4. X-ray 회절 분석(XRD)

XRD분석은 각 각의 표면처리와 열처리 전·후가 Y-TZP 시편(12mm*6mm*0.5mm)의 상(phase) 변태의 양에 영향을 주는지 확인하기 위해 X-ray 회절 분석을 시행하였다. X-ray 회절 분석은 40kV와 30mA에서 Cu-K α = 1.54 Å radiation을 이용하여 고 분해능 X-선 회절분석기 (X'Pert PRO Multi Purpose X-Ray Diffractometer, PANalytical, Netherlands)로 시행하였다. Monoclinic peak intensity ratio(X_M)는 다음과 같이 Garvie and Nicholson 방법(Gravie 와 Nichoson, 1972)으로 계산하였다.

$$X_M = \frac{I_{M(11\bar{1})} + I_{M(111)}}{I_{(11\bar{1})} + I_{M(111)} + I_{T(111)}}$$

It와 Im은 각각 30°, 31°, 28° 부근에서 나타나는 peak 하방의 integrated intensity를 나타낸다.

5. 세라믹 전장

모든 지르코니아의 시편 중앙에 8mm×3mm×1mm 크기의

도재가 위치되도록 축성하여 2번 소성하였다. 정확한 크기의 전장 도재를 얻기 위해 특별히 제작된 실리콘 몰드를 사용하였으며 도재 분말이 몰드에 달라붙는 것을 방지하기 위해 도재 분리제(Ceramic separating liquid, Ivoclar vivadent, Liechtenstein)가 사용되었다. 전장 도재는 Ivoclar E-MAX Ceram(Dentin A3)을 사용하였고, 치과기공소에서 작업하는 것처럼 도재 분말과 적당량의 전용액을 혼합하여 몰드 안에 채워 넣고 과잉의 수분을 화장지로 흡수하는 방식으로 제작하였다. 그 후 전용의 도재 소성로(P-500, Ivoclar vivadent, Liechtenstein)를 사용하여 제조업자의 권고에 따라 시작온도 403℃, 온도 상승 속도 50℃/분, 최고 온도 750℃, 진공을 적용하여 1분간 유지하는 스케줄로 소성하였다.

6. 3점 굽힘 결합 강도 시험(전장도재와 코어의 분리가 시작된 시점에서의 강도)

3점 굽힘 시험은 ISO9693:1999에 있는 기준에 따라 실행하였다. 시편의 최종 크기는 길이 25±0.5mm, 넓이는 3±0.2mm이며 두께는 1.5±0.15mm이었다. 각각의 시편은 200kgf의 load cell이 장착된 만능시험기(RB302 Micro load, R&B, Korea)의 금속 지지부에 올려놓고 크로스헤드를 1mm/min 일률적인 속도로 지르코니아 코어와 전장도재가 분리될 때까지 시편 장축의 중앙에 수직으로 하중을 적용하였다. 시편의 지지대 사이 거리는 20mm이고 지지대와 하중을 가하는 피스톤의 반지름은 1.5mm인 둥근 형태로 만들어졌으며 하중은 시편의 중앙에 가해지게 된다(Fig. 1).

결합 강도는 다음의 공식에 따라 계산하였다. 다음의 공식에서 T_b는 지르코니아와 전장도재의 초기 분리시점의 강도를 의미하며 “F_{fail}”은 지르코니아와 전장도재의 초기 분리시점의 하중(N), “k”는 Y-TZP(210GPa)의 탄성계수와 지르코니아 코어의 두께에 의해 결정되는 계수 이다 (Fig. 2).

$$T_b(MPa) = F_{fail}(N) \times k$$

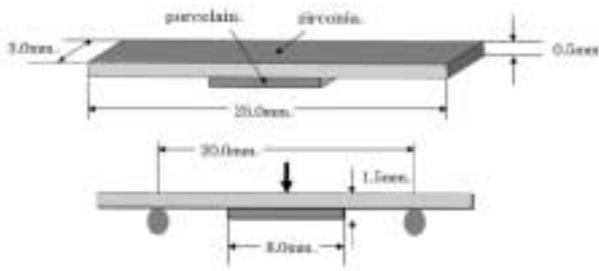


Fig. 1. Schematic drawing of specimen and bending test

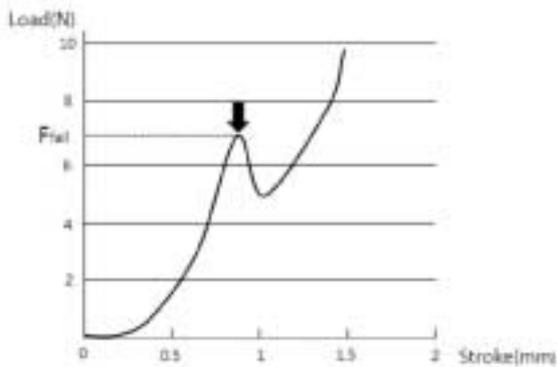


Fig. 2. Typical example of load deflection curve in bending test

F_{fail}: Point where load rapidly decreased (arrow) was regarded as starting point of debonding

7. 통계 분석

통계적 분석은 SPSS version 18 (SPSS Inc.) 시스템을 사용하였으며 지르코니아의 표면처리와 열처리가 결합강도에 미치는 영향의 유의성을 확인하기 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)으로 분석하였고 그룹 간에 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해 사후검정은 Tukey's

test 을 실행하였다.

III. 결 과

1. 표면 형태 및 표면 조도

시편 제작 후 어떤 표면처리도 시행하지 않은 대조군과 비교하여 표면처리를 시행한 실험군의 표면 조도 값(Ra)이 현저히 높게 나타났다. Gr, Al, Ro 실험군 간의 Ra 값은 차이가 거의 없었으나 Rz 값은 Gr, Al, Ro 실험군 순으로 증가하는 것으로 나타났다. 표면처리만 시행한 실험군과 비교하여 표면처리 후 열처리한 실험군에서 Gr.h, Ro.h 실험군은 Ra 값이 다소 증가 하였지만 Al.h 실험군에서는 오히려 감소하였다. 또한 Rz 값은 Ro.h, Al.h, Gr.h 순으로 높게 나타났다 (Table 3). 3D Optical Profiler의 3차원 분석 결과에서는 표면처리 방법에 따라 표면의 형태 변화가 관찰되었다. 표면이 거칠기가 낮을수록 파란색에 가깝고 거칠기가 높을수록 붉은 색을 나타낸다. Cont 실험군은 매끄럽진 않지만 거칠기의 정도가 매우 낮은 표면 형태를 보여 주었고 Gr 실험군은 Diamond burr (125 μ m)로 갈린 표면 구조를 볼 수 있다. Al 실험군과 Ro 실험군은 샌드블라스팅에 의한 울퉁불퉁한 거친 표면을 보이지만 Silica가 코팅된 Al₂O₃ (Rocatec plus, 110 μ m)를 분사한 Ro 실험군의 표면에서 붉은색의 영역이 더 넓게 나타난 것을 확인할 수 있다 (Fig. 3). 그러나 표면처리만 시행한 실험군과 비교하여 표면처리 후 열처리한 실험군에서 표면 형태의 큰 변화는 찾을 수 없었다.

Table 3. surface roughness (μ m) of tested groups

Characteristic	Surface Roughness	
	Ra in μ m (SD)	RZ in μ m (SD)
Cont	0.14 (0.00)	2.96 (0.38)
Gr	1.05 (0.10)	8.38 (0.54)
Al	1.08 (0.02)	12.09 (1.06)
Ro	1.02 (0.02)	18.05 (2.20)
Gr.h	1.17 (0.03)	10.69 (1.15)
Al.h	0.94 (0.01)	15.33 (1.04)
Ro.h	1.16 (0.04)	16.62 (2.24)

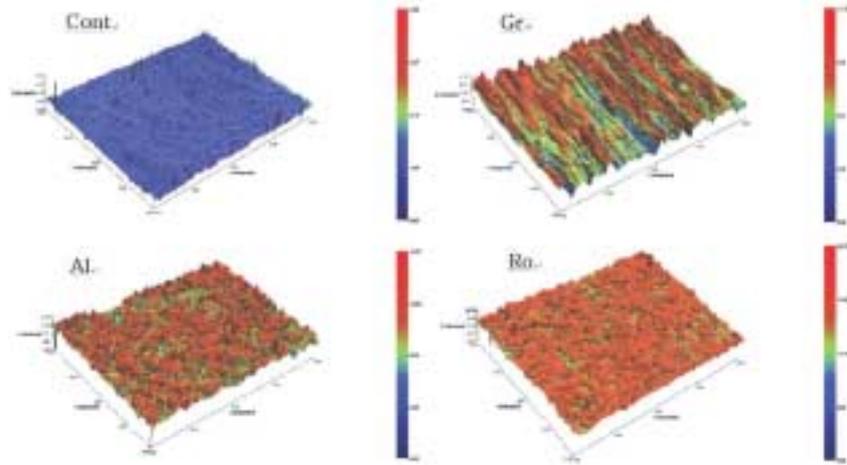


Fig. 3. 3-Dimensional characteristic of surface treatment specimens

2. X-ray 회절 분석(XRD)

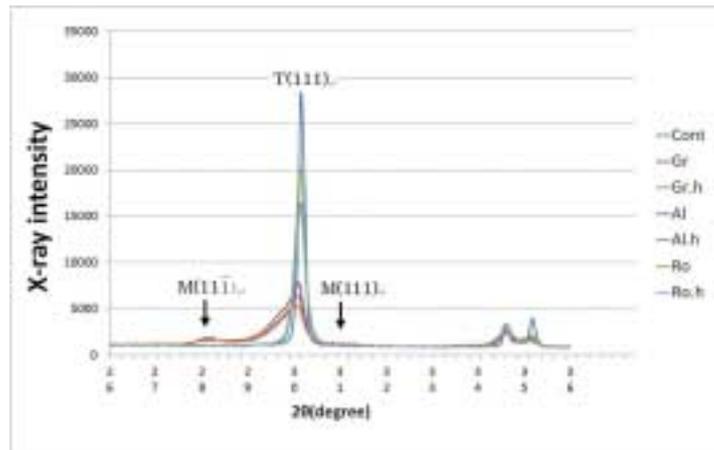


Fig. 4. XRD pattern of zirconia after surface treatment

'T' the tetragonal zirconia phase and 'M' the monoclinic zirconia phase

Y-TZP 지르코니아의 XRD 패턴에 따르면 소결 후 어떤 처리도 하지 않은 Cont실험군에서 정방정계의 상이 가장 많이 존재하는 것으로 나타났으나 표면처리 후 정방정계의 상이 현저히 줄어들고 28° 부근에서 단사정계의 상이 형성되는 것을 볼 수 있다. 28° 부근에서 단사정계의 상의 양은 Al실험군이 가장 높았으며 Ro, Gr실험군 순으로 나타났다. Cont실험군과 비교하여 정방정계 상의 감소는 Ro그룹에서 가장 컸으며 Al그룹과 Gr그룹 순으로 나타났다. 표면 처리한 실험군들을 열처리(Gr.h, Al.h,

Ro.h)한 경우 단사정계 상은 거의 사라지고 정방정계의 상은 Cont실험군 보다는 다소 낮지만 현저히 증가한 것을 볼 수 있다(Fig. 4).

2. 3점 굽힘 결합 강도

각 실험군 간의 결합강도 차이가 있는지 일원배치 분산 분석을 시행한 결과 각 군 간의 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4).

Table 4. One-way ANOVA test(bond strength)

	Sum of square	DF	Mean square	F value	Sig.
Between Group	873.317	6	145.553	7.277	.000
Within Group	1260.117	63	20.002		
Total	2133.434	69			

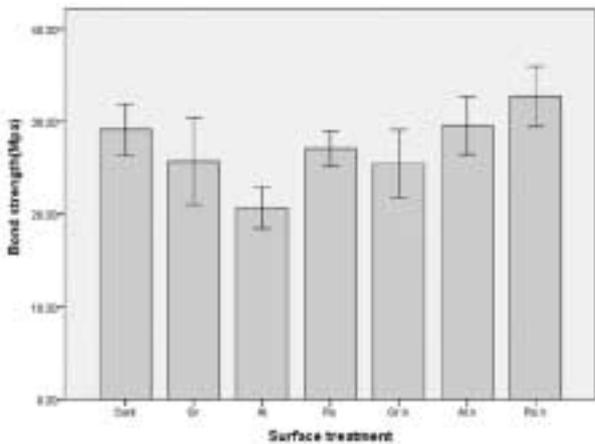


Fig. 5. Mean bond strength values of tested groups

표면처리한 실험군의 결합강도는 20.6~27.0이였으며 대조군(Cont)과 비교하여 결합강도가 낮게 나타났으나 Al 실험군만 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 또한 표면처리한 실험군에서 Al 실험군보다 Ro 실험군의 결합력이 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). 표면처리한 실험군(20.6~27.0)보다 표면처리 후 열처리한 실험군의 결합강도(25.4~32.6)가 다소 높았으나 열처리 유무에 따른 유의한 차이는 Al 실험군과 Al.h 실험군 사이에서만 볼 수 있었다($p < 0.05$). 모든 실험군 중에서 Ro.h 실험군의 결합강도(32.6 ± 4.52)가 가장 높았으나 대조군과 비교하여 유의한 차이는 없었다(Table 5).

Table 5. Mean bond strength of tested groups

Code	Mean Strength(SD)	95%-CI
Cont ^{bc}	29.13 (3.84)	26.38-31.88
Gr ^{ab}	25.68 (6.58)	20.97-30.39
Al ^a	20.67 (3.13)	18.42-22.91
Ro ^{bc}	27.05 (2.59)	25.19-28.91
Gr.h ^{ab}	25.44 (5.08)	21.81-29.08
Al.h ^{bc}	29.53 (4.35)	26.41-32.64
Ro.h ^c	32.69 (4.52)	29.45-35.93

SD=standard deviation, CI=confidence interval, a,b,c=Tukey

IV. 고찰

Kosmac 등(1999)에 따르면 수복물 제작 시 혹은 조정 시 일반적으로 행해지는 그라인딩이나 샌드블라스팅은 지르코니아의 표면에서 상(phase) 변화, 손상 및 결점을 유발하며 또한 이러한 표면처리는 확실히 표면을 거칠게 만든다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 표면처리를 하지 않은 대조군(Cont)과 비교하여 표면처리를 시행한 실험군에서 표면 거칠기가 증가한 것을 볼 수 있었으나 표면처리 방법 간에 Ra값의 차이는 거의 없었다. 이러한 결과는 알루미늄보다 Silica가 코팅된 분말이 표면을 더 거칠게 하였다는 Sato 등(2008)의 주장과 달랐다. 그러한 이유는 본 연구의 표면처리에 사용한 Diamond burr의 입자의 사이즈가 $125\mu\text{m}$ 이고 Al, Ro 실험군에 사용한 Al₂O₃와 Rocatec plus의 입자 사이즈도 $110\mu\text{m}$ 로 동일한 크기의 재료를 사용했기 때문으로 생각된다. 즉 표면의 거칠기는 그라인딩 조건, 지르코니아의 타입, Al₂O₃ 입자의 크기 및 분사압력에 영향을 받을 수 있다는 것을 말해 준다.

지르코니아의 기계적 성질은 스트레스에 의해 유발된 상 변화($t \rightarrow m$)와 밀접한 관련이 있다. 지르코니아에 스트레스가 가해질 경우 정방정계 지르코니아에서 단사정계 지르코니아로 상 변화되는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 본 연구의 XRD 분석 결과에서 표면 처리한 실험군은 대조군인 Cont 실험군 보다 정방정계 지르코니아가 현저히 감소하고 단사정계 지르코니아가 증가한 것을 볼 수 있다. 그중에서도 정방정계 지르코니아의 감소는 Rocatec plus를 처리한 Ro 실험군에서 가장 컸으며 Al, Gr 실험군 순으로 나타났다. 이러한 결과는 Al₂O₃보다 Silica가 코팅된 Al₂O₃를 분사처리 했을 경우 단사정계의 지르코니아 양이 증가 하였다고 보고한 Sato 등(2008)의

연구 결과와 일맥상통한다고 볼 수 있다. 또한 표면처리한 실험군을 열처리한 경우 단사정계의 상은 거의 사라지고 대조군 수준에 미치지지는 못했지만 정방정계의 상이 현저하게 증가한 것을 알 수 있었다.

라이너는 일반적으로 흰색의 지르코니아 코어에 도포하여 최종 보철물의 색조 개선을 위해 사용된다. 그러나 Guazzato 등(2005)은 라이너를 사용할 경우 전장 도재와 지르코니아 사이의 결합력을 감소시키고 파절율을 높인다고 보고하였다. 또한 본인의 이전 연구에서도 라이너를 적용한 그룹에서 결합강도가 유의하게 낮은 것을 확인할 수 있었다. 제조회사에서는 최종 보철물의 색조 개선을 위해 추천하고 있으나 본 연구에 라이너를 도포하지 않고 도재를 축성한 가장 중요한 이유는 라이너의 소성온도가 960℃로 표면처리한 실험군의 상 변화(m→t)를 유발하여 결합강도에 영향을 줌으로써 열처리로 인한 효과를 파악하는데 혼동을 줄 수 있기 때문이다.

3점 굽힘 시험 결과 전장도재와 지르코니아 코어의 결합강도는 20.67~32.69MPa이었다. 실험방법의 구성이 비슷한 Tada 등(2012)의 결과(26~28.9MPa)보다 다소 범위가 넓게 나타났으며 ISO9693에 명시된 기준(25MPa)과도 표면 처리 방법에 따라 차이를 보여주고 있다.

우리는 일반적으로 어떤 물질의 표면을 거칠게 할 경우 매끈할 때보다 그물질의 표면적이 넓어져 기계적 결합력이 증가하는 것을 잘 알고 있다. 그러나 Fisher와 Staearczyk(2007)는 전장도재와 지르코니아의 결합강도에 영향을 주는 요인으로 지르코니아의 상 변화에 의한 열팽창계수의 변화를 주장하고 있다. 정방정계 상의 열팽창계수는 $10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이고 단사정계 상의 열팽창계수는 $7.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 결합강도의 변화는 단사정계의 결정이 정방정계 지르코니아로 변하는 비율에 달려 있다고 언급하고 있다.

본 실험에서 표면처리한 각 실험군의 결합강도는 대조군과 비교하여 감소하였으나 Ro실험군의 값이 상대적으로 높았다. 이러한 결과는 표면처리 방법에 따라 결합강도에 영향을 줄 수 있다는 것이며 Al₂O₃를 분사 처리한 실험군에서 전단결합강도가 낮게 나타났다고 보고한 Kim 등(2010)의 결과와 일치하였다. 이러한 결합력 감소에 대한 이유는 위에서 언급한 지르코니아의 상 변화로 설명되

어질 수 있다. 다시 말하면 표면의 거칠기보다 지르코니아 코어 표면의 상 변화(t→m)로 인한 열팽창 계수의 불일치가 전장도재와의 결합력 감소에 더 많은 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 그러나 다른 의견으로 Nakamura 등(2009)은 전장도재와 지르코니아의 결합력은 샌드블라스팅에 의해 표면 거칠기가 발생하기 때문에 증가한다고 보고 하였으며, Tada 등(2012)은 표면 거칠기가 결합강도에 미치는 유의한 증거를 찾을 수 없었다는 다른 결과를 보고하였다.

표면처리한 실험군에서 Al실험군보다 Ro실험군의 결합력이 높았다. 이러한 결과는 silica 코팅이 결합강도 증진에 영향을 미친 것을 의미한다. 본 연구에서 XRD실험 결과 Ro실험군은 정방정계 지르코니아 피크(Peak)가 가장 낮게 나타났고 단사정계 지르코니아 피크가 증가함으로써 상 변화에 의해 결합강도가 가장 낮게 나타날 것으로 예상할 수 있다. 그럼에도 불구하고 Al실험군보다 상대적으로 결합강도가 높게 나타난 이유는 Al₂O₃ 입자를 감싸고 있는 Silica(Rocatec plus)성분이 결합력 증가에 도움을 준 것으로 판단된다.

제회사는 도재를 축성하기 전에 지르코니아 코어의 열처리를 추천한다. 본 연구에서 열처리 유무에 따른 전장도재와 지르코니아 코어의 결합력은 Al실험군과 Al.h 실험군 간에만 통계적으로 유의한 차이가 있었지만 표면처리 후 열처리한 실험군의 결합력은 25.4~32.6으로 표면처리만 시행한 실험군 18.42~25.19보다 높게 나타났으며 대조군(29.13±3.84)과는 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 표면처리 후 감소한 결합력이 열처리로 인해 다소 증가된 것을 알 수 있다. 즉 열처리에 의해 지르코니아의 상 변화가 회복(m→t)되고 그 결과 전장도재와의 열팽창계수 차이가 좁혀져 결합력 또한 증가하였을 것으로 생각된다. Sato 등(2008)의 연구에서도 표면처리는 단사정계 상을 발생시켜 인장 응력, 균열의 발생과 전장도재의 칩핑(chipping)을 유발하므로 표면처리 후 열 처리는 단사정계 지르코니아를 정방정계 상으로 바꾸어 줌으로써 인장응력을 풀어주고 정방정계 지르코니아의 열팽창계수를 회복하기위해 실시할 수 있는 방법이라고 설명하고 있다.

본 연구의 XRD결과는 표면처리와 열처리에 따라 상

변화가 어떻게 달라지는지, 이러한 변화와 결합강도와 어떠한 관련이 있는지 확인한 수준이므로 좀 더 확실한 연관성을 찾기 위해서는 표면처리와 열처리 후 각 실험군의 단사정계 지르코니아의 정량분석과 열팽창계수를 측정하여 결합강도와 통계적 유의성을 확인하는 것이 필요하다고 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 도재 축성 전 지르코니아(Y-TZP) 코어의 표면처리 방법과 열처리에 따라 지르코니아 코어와 전장도재 사이의 결합강도에 미치는 영향을 확인하기 위해 3점 굽힘 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Nanosurface 3D Optical Profiler 관찰결과 표면처리는 대조군(Cont)과 비교하여 지르코니아 시편의 표면 거칠기를 증가시켰다.

2. X-ray 회절 분석 결과 표면처리는 단사정계 지르코니아를 증가시켰고 열처리 후 단사정계에서 정방정계로 상 변화(m-t)가 관찰되었다.

3. 표면처리는 전장도재와 지르코니아의 결합력을 감소시켰으나 Silica 코팅(Rocatec plus) 실험군의 결합력이 상대적으로 높았다.

4. 전장도재와 지르코니아 코어간의 결합력은 표면처리 한 실험군에 비해 표면처리 후 열처리 한 실험군에서 상대적으로 높은 결합력을 나타내었다.

REFERENCES

De Jager N, Pallav P, Feilzer AJ. The influence of design parameters on the FEA-determined stress distribution in CAD-CAM produced all-ceramic crowns. *Dent Mater*, 21, 242-251,

2005.

Fischer J, Stawarczyk B. Compatibility of machined Ce-TZP/Al₂O₃ nanocomposite and a veneering ceramic. *Dent Mater*, 23, 1500-1505, 2007.

Garvie RC, Nicholson PS. Phase analysis in zirconia systems. *J Am Ceram Soc*, 55, 303-305, 1972.

Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain M V. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent*, 33, 9-18, 2005.

International Organization Standardization. Metal-ceramic dental restorative systems: ISO 9693. ISO, 1999.

Isgro G, Pallav P, van der Zel JM, Feilzer AJ. The influence of the veneering porcelain and different surface treatments on the biaxial flexure strength of a heat-pressed ceramic. *J Prosthet Dent*, 90, 465-473, 2003.

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

Kim ST, Cho HJ, Lee YK, Choi SH, Moon HS. Bond strength of Y-TZP-zirconia ceramics subjected various surface roughening methods and layering porcelain. *Surf Interface Anal*, 42, 576-580, 2010.

Kosmac T, Oblak C, Jevnikar 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, 426-433, 1999.

Lüthy H, Loeffel O, Hämmerle CHF. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater*, 22, 195-200, 2006.

Nakamura T, Wakabayashi K, Zaima C, Nishida H,

- Kinuta S, Yatani H. Tensile bond strength between tooth-colored porcelain and sandblasted zirconia framework. *J Prosthodont Res*, 53, 116-119, 2009.
- Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hämmerle CHF. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont*, 20, 383-388, 2007.
- Sailer I, Fehér A, Filser F, Lüthy H, Gauckler LJ, Schärer P, Hämmerle CHF. Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up. *Quintessence Int*, 37, 41-49, 2006.
- Sato H, Yamada K, Pezzotti G, Nawa M, Ban S. Mechanical properties of dental zirconia ceramics changed with sandblasting and heat treatment. *Dent Mater J*, 27, 408-414, 2008.
- Tada K, Sato T, Yoshinari M. Influence of surface treatment on bond strength of veneering ceramics fused to zirconia. *Dent Mater J*, 31 (2), 287-96, 2012.