



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 2월

석사학위 논문

표면 절삭 및 연마가 지르코니아 상변화와 굴곡강도에 미치는 영향

이지영

2014년 2월
석사학위 논문

표면 절삭 및 연마가 지르코니아 상변이와 굴곡강도에 미치는 영향

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 지 영

표면 절삭 및 연마가 지르코니아
상변이와 굴곡 강도에 미치는 영향

The Effects of Surface Grinding and Polishing
on the Phase Transformation and Flexural Strength of
Zirconia

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 지 영

표면 절삭 및 연마가 지르코니아
상변이와 굴곡강도에 미치는 영향

지도교수 손 미 경

이 논문을 치의학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2013년 10월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

이 지 영

이지영의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 최 한 철 (인)

위 원 조선대학교 교수 정 재 현 (인)

위 원 조선대학교 교수 손 미 경 (인)

2013년 11월

조선대학교 대학원

목 차

표 목 차	ii
도 목 차	iii
영문초록	iv
I. 서 론	1
II. 연구 재료 및 방법.....	3
III. 연구 성적	8
IV. 총괄 및 고찰	12
V. 결 론	14
참고문헌	15

표 목 차

Table 1. Classification of the groups	5
Table 2. Measurement of surface roughness value (Ra) of each specimen	9
Table 3. Relative amount of monoclinic zirconia (Xm)	10
Table 4. Correlation between groups on relative amount of monoclinic zirconia (Mann-whitney test with bonferroni correction)	10
Table 5. The mean biaxial flexural strength values (MPa) for groups	11
Table 6. Correlation between groups on mean biaxial flexural strength (Mann-whitney test with bonferroni correction)	11

도 목 차

Fig. 1. Configuration of the specimen	3
Fig. 2. FE-SEM images of the high speed zirconia grinding bur.....	4
Fig. 3. Preparation for the biaxial flexural strength : ISO standard 6872 for dental ceramic	6
Fig. 4. FE-SEM images of the specimen surface after grinding and polishing.....	9
Fig. 5. FE-SEM images of the fracture surface	11

ABSTRACT

The Effects of Surface Grinding and Polishing on the Phase Transformation and Flexural Strength of Zirconia

Lee Ji Young D.D.S.

Advisor : Prof. Son, Mee-Kyoung D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry

Graduate School of Chosun University

Purpose: The purpose of this in vitro study was to evaluate the effect of surface grinding and polishing procedures using high speed zirconia diamond bur with different grit size on the phase transformation and flexural strength of zirconia.

Methods: Forty five disc shape specimens (15 x 1.25mm) with a cylindrical projection in the center of each disc (1 x 3mm) were fabricated from Yttrium oxide-stabilized zirconium oxide (Prettau, Zirkonzahn, Italy). Each of these specimens was divided into 4 experimental groups (n=10) and control group (n=5) according to the following grinding and polishing procedures : Group 1 - grinding (coarse-grit diamond bur) + polishing, Group 2 - grinding (coarse-grit diamond bur), Group 3 - grinding (fine-grit diamond bur) + polishing, Group 4 - grinding (fine grit diamond bur). The remaining specimens without grinding and polishing were used as a control group.

Each specimens analyzed by 3D-OM, XRD analysis, FE-SEM imaging

and biaxial flexural strength test.

Results: Based on the surface morphology by 3D-OM and FE-SEM images, polished specimens showed more smooth surface and lower roughness value (Ra). In the result of XRD analysis, control group contained only tetragonal zirconia. However partial phase transformation from tetragonal to monoclinic zirconia occurred in all experimental groups. Group 2, ground with coarse grit diamond bur, showed more t→m phase transformation than Group 1 significantly.

In the biaxial flexural strength test, Group 2 showed the lowest mean flexural strength than other groups.

Conclusions: The flexural strength in all specimens after grinding and polishing showed over 500 MPa, and those were clinically acceptable. However, grinding with coarse grit diamond bur without polishing induce the phase transformation and low strength. Therefore, surface polishing is required for the occlusal adjustment using high speed zirconia diamond bur to reduce the amount of monoclinic phase transformation, and increase the flexural strength of zirconia.

Keywords: 3Y-TZP, Phase transformation, XRD, Roughness, Biaxial flexural strength

I. 서 론

최근 지르코니아는 우수한 기계, 화학적 물성 및 생체 친화성, 높은 심미성 등의 장점과, CAD/CAM을 이용한 치과 기공기술의 발달과 더불어 치과 보철 임상에서 사용하는 빈도가 점차적으로 증가하고 있다.^{1,2}

지르코니아는 일반적으로 단사정상 (Monoclonal phase), 정방정상 (Tetragonal phase), 입방정상 (Cubic phase)과 같은 세 가지 동질이상 (polymorphism)을 가진다. 상온에서는 단사정상으로 존재하지만 1170~2370°C에서는 정방정상으로 안정하게 유지되며, 기타 고압 하에서는 사방정상 (Prismatic phase), 절삭 시에는 능면정상 (Rhombohedral phase)이 나타날 수 있다고 알려져 있다.³⁻⁵ 실온에서도 안정된 정방정상을 유지하기 위해 MgO, CaO 또는 T_2O_3 와 같은 금속 산화물을 첨가하여 단사정상으로서의 전이 온도를 실온으로 낮춤으로서 상온에서도 정방정상으로 준 안정화시키는 방법을 사용하는데, 현재는 3% Y_2O_3 를 첨가한 3Y-TZP가 가장 많이 사용된다. 지르코니아의 장점인 우수한 강도와 인성은 이러한 온도에 따른 지르코니아의 상변이와 관련이 있는데, 고온 소결 후 실온으로 냉각하는 과정에서 지르코니아는 정방정상에서 단사정상으로 상변이가 발생하게 되고 이때 3~5%의 체적 증가가 나타난다. 이러한 단일 격자의 체적 증가는 표면에 압축 응력을 유발시켜 균열의 진행을 막고 강도 증가 효과를 보이거나,⁶ 상변이량이 과도하게 많아질수록 오히려 응력 발생 및 균열의 진행으로 물성이 저하된다고 알려져 있다.⁷

지르코니아 보철물은 기공 및 임상 과정에서 보철물의 적합 및 교합 접촉을 위한 조정 과정이 필요하게 된다. 이전 연구들에서, 지르코니아 표면에 절삭이나 연마를 시행할 경우 표면 응력층이 형성되며, 이러한 조정이 오랫동안 지속되거나 과도할 경우 심부 응력 증가로 굴곡강도의 감소를 야기한다고 보고된 바 있다.^{2,5,8,9} 또한 이러한 굴곡 강도의 감소는 정방정상에서 단사정상으로서의 상변이 정도와 관련이 있으며, 이는 절삭 및 연마 정도, 사용 기구의 종류 및 입자 크기, 조정 시 발생하는 열 등의 영향을 받을 수 있다고 알려져 있다.²

3Y-TZP 는 1,200HVN(비커스 경도) 이상의 경도를 보이며 이는 치과용 도재, 법랑질보다 더 단단함을 의미한다.¹⁰ 이러한 단단한 재료의 절삭 및 연마를 위해서는 일반 기구보다 더 절삭 효율이 좋은 기구를 사용하는 것이 요구되며, 따라서 더욱 조밀한 다이아몬드 입자를 가지는 지르코니아 전용 저속 절삭 및 연마 기구들이 현재 개발되어 시판되고 있다. 임상에서 이용되는 지르코니아 전용 저속 절삭 및 연마 기구는 기존 silicone stone에 diamond grit을 식립하거나 ceramic 재료로 되어 있어 절삭 효율을 높이고 열 발생 감소를 도모한다. 그러나 Iseri 등²은 저속 절삭용 기구 사용 시보다 고속 절삭용 bur를 이용할 경우 굴곡 강도의 감소 정도가 더 적으며 열 발생도 덜하다는 연구 결과를 보고하였으며, 최근에는 지르코니아 전용 고속 절삭 및 연마 기구도 개발되고 있다. 임상에서도 지르코니아 보철물의 효율적인 절삭 및 연마를 위해 고속 절삭 기구를 이용하는 경우가 많으나, 현재 시판되는 지르코니아 전용 고속 bur의 종류가 많지 않고, 일반 diamond bur에 비해 전용 bur의 사용에 따른 효과가 명확히 규명되지 않아 전용 bur가 아닌 일반 bur를 이용하는 경우가 많다. 즉, 지르코니아 전용 고속 절삭 및 연마 기구의 사용이 추천되고 있지만 이를 사용했을 때의 지르코니아 물성 변화에 대한 연구는 매우 제한적이며, 적용하는 bur의 입자 크기 정도, 사용 후 연마의 시행 여부 등과 관련한 명확한 적용 기준이 확립되어 있지 않고 임상가의 경험이나 선호도에 의해 좌우되는 경우가 많다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 서로 다른 입자 크기를 가진 지르코니아 전용 고속 절삭용 bur를 이용하여 절삭을 시행하고, 절삭 후 연마 여부에 따른 차이를 비교함으로써, 서로 다른 거칠기의 절삭기구의 사용과 연마 시행 여부가 지르코니아 표면 형태, 상변이, 그리고 굴곡 강도의 변화에 미치는 영향을 비교, 평가하기 위함이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 지르코니아 시편 제작

3Y-TZP 지르코니아 블록 (Prettau, Zirkozahn, Italy)을 이용하여 디스크 모양 (15mm 직경, 1.25mm 두께)으로 중앙에 직경 3mm, 높이 1mm의 작은 원통형 돌출부를 가진 시편 45개를 CAD/CAM (Zirkozahn, Italy)을 이용하여 제작하였다 (Fig. 1). 이러한 돌출부를 갖는 형태의 시편을 제작함으로써, 보철물의 교합조정 시 광범위한 면의 절삭이 아닌 교합이 높은 일부분만을 절삭하는 임상적 교합조정 상황을 재현하고자 하였다.²

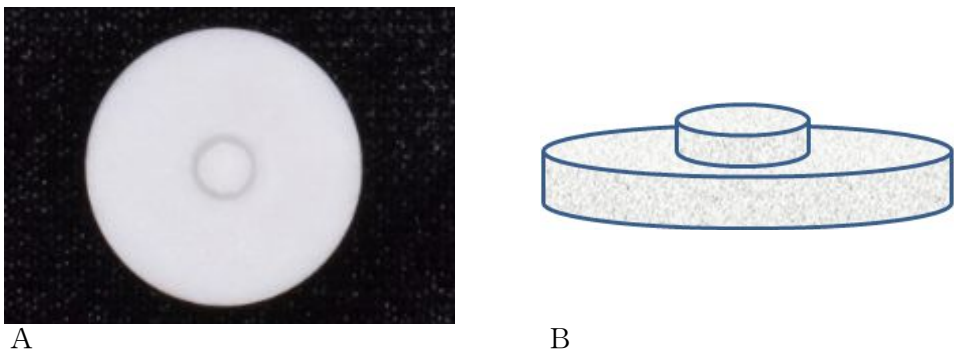


Fig. 1. Configuration of the specimen. A: upper view, B: schematic lateral view.

각 시편은 임의로 10개씩 나누어 절삭 기구의 종류 및 연마 여부에 따라 4개의 그룹(Group 1~4)으로 분류하였으며, 절삭과 연마를 시행하지 않은 나머지 5개의 시편은 대조군으로 분류하였다 (Table 1).

제조사에 따르면, 지르코니아 전용 diamond bur는 일반 diamond bur에 비해 다이아몬드 입자가 더 조밀하게 배열되어 있어 절삭 효율이 증진되고 열 발생 감소 및 절삭 후 표면 거칠기 감소의 효과를 갖는다고 소개하고 있다. 본 연구에서는 지르코니아 전용 고속 절삭 기구 (Komet diamond bur, Germany)를 이용하였으며, 각각 coarse (Komet Zr 6881, ISO 314.016, 150 μ m)와 fine (Komet Zr8881, ISO 314.016, 50 μ m)의 2가지 거칠기의 bur를 사용하였다 (Fig. 2). 균일한 절삭을 위해 상부 원통형 돌출부가 완전히 삭제될

때까지 절삭하여 최종 두께가 1.25 ± 0.02 mm가 되도록 하였다. 절삭 후 Group 1과 3에서는 NTI ceramic polisher (NTI, Kahla, Germany)를 이용하여 절삭된 표면의 연마를 시행하였고 Group 2와 4는 연마를 시행하지 않았다.

절삭은 고속 핸드피스 (Taurus G2, Shinhung, Korea)를 300,000 rpm의 속도로 고정하여 주수 하에 시행하였고, 연마의 경우 저속 핸드피스 (Taurus G2, Shinhung, Korea)를 20,000 rpm의 속도로 고정하여 주수 없이 시행하였다.

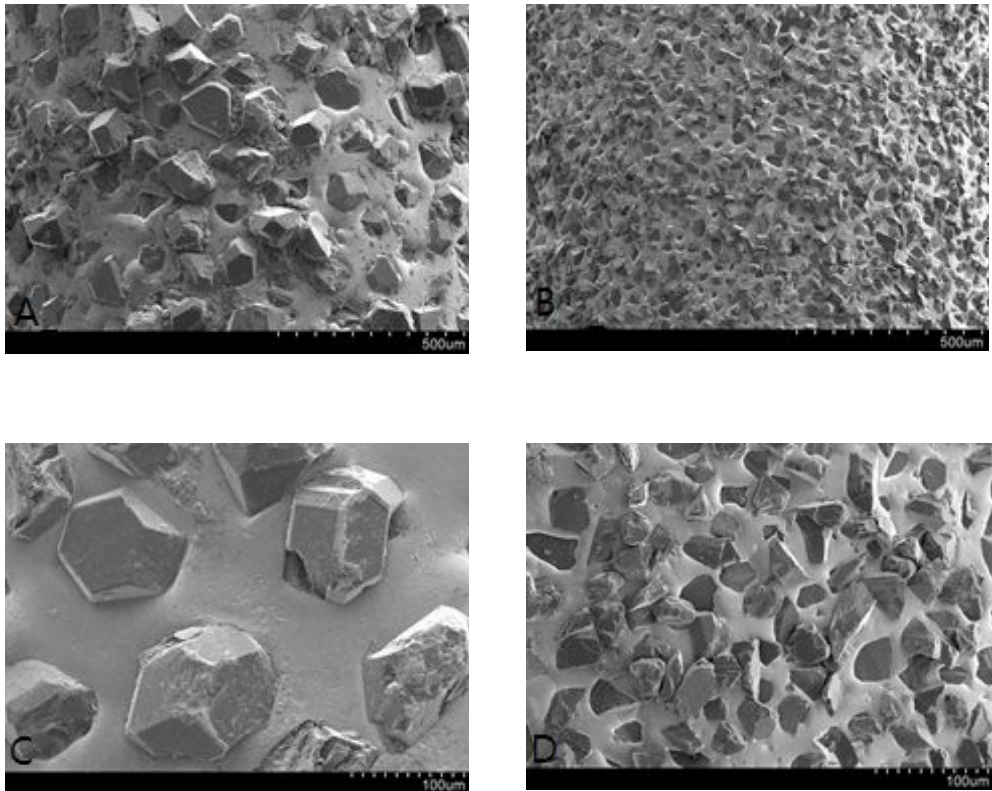


Fig. 2. FE-SEM images of the high speed zirconia grinding bur. A: Coarse bur (x100), B: Fine bur (x100), C: Coarse bur (x300), D: Fine bur (x300).

Table 1. Classification of the groups

Group	Grinding instrument	Polishing
Group 1	coarse diamond bur for zirconia	o
Group 2	coarse diamond bur for zirconia	x
Group 3	fine diamond bur for zirconia	o
Group 4	fine diamond bur for zirconia	x
Control	no grinding	no polishing

2. 표면 미세구조 및 거칠기 분석

(Surface Morphology and roughness analysis)

각 시편의 표면 미세구조를 FE-SEM (Hitach S4700, Japan)을 이용해 관찰하였다. 절삭 및 연마 후 시편의 거칠기는 3 dimensional optical microscopy (3D-OM; Nikon LV150L, Japan)을 이용하여 평균 표면 거칠기 값(Ra)을 측정하였다.

3. 상변이 분석 (XRD Analysis)

4개의 실험군과 대조군의 결정학적 상변이를 관찰하기 위해 X-ray diffractometer (X'pert powder, PANalytical, Almelo, Netherlands)를 사용하였으며, 조사 조건은 Cu Ka radiation, 40kV, 30mA, 0.03°/step, 27~65 θ range로 시행하였다.

표면처리 후 상대적 단사정상 변이량(X_m)의 계산에 Garvie and Nicholson¹¹의 방법이 사용되었다. 이는 정방정상에서 단사정상으로 상변이된 양을 평가하는 방법 중 가장 일반적으로 사용되는 방법으로 다음과 같이 변이량을 산출하였다.

$$X_m = (I_{-(111)_m} + I_{(111)_m}) / (I_{-(111)_m} + I_{(111)_m} + I_{(111)_t})$$

(I: Integral intensity at 2θ , (111)t: tetragonal peak,

-(111)_m&(111)_m: main peak of monoclinic phase)

5. 2축 굴곡강도 실험 (Biaxial flexural strength)

절삭 및 연마 후 각 시편의 강도 변화를 측정하기 위해 ISO standard 6872 for dental ceramic¹² 규격에 따라 2축 굴곡강도 실험 (biaxial flexural strength test)을 시행하였다.

직경 3.4mm의 3개의 볼을 120°도의 각도를 이루며 정삼각형으로 직경 10 mm의 지지 원에 배치하고 Universal testing machine (DSC-500, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)을 이용하여 1.4mm의 편평한 원형 단면을 가진 압인체로 500g의 하중을 가하였으며 crosshead speed는 0.5mm/min로 설정하였다. 하중 분산을 위해 0.05mm 두께의 plastic sheet를 개재하였다.

최대 파절 강도(N)를 기록하였고 Poisson's ratio(0.25)을 사용하여 굴곡강도(S)를 아래 공식에 의해 계산하였다.¹²

$$S = - 0.2387P(X-Y) / d^2$$

$$X: (1 + \nu) \ln(r_2 / r_3)^2 + [(1 - \nu) / 2] (r_2 / r_3)$$

$$Y: (1 + \nu) [1 + \ln(r_1 / r_3)^2] + (1 - \nu) (r_1 / r_3)^2$$

(S: Maximum tensile stress in MPa, P: Total load causing fracture in N

ν : Poisson's ratio, r_1 : the radius of the support circle(mm), r_2 : the radius of the load area(mm), r_3 : the radius of the specimen(mm), d : the specimen thickness at fracture origin(mm))

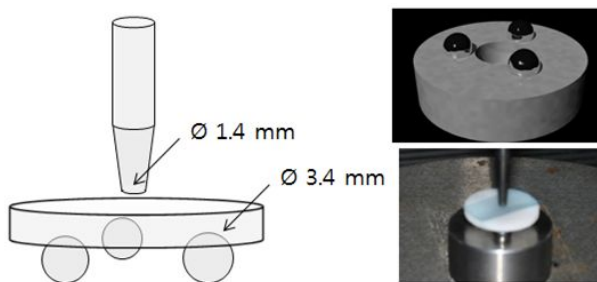


Fig. 3. Preparation for the biaxial flexural strength: ISO Standard 6872 for Dental Ceramic¹².

6. 통계 분석

상변이량 분석 및 굴곡 강도의 평가는 Kruskal wallis test를 사용하였으며 그룹별 통계분석을 위해 Mann-whitney test를 Boneferroni correction하에서 시행하였다($P < .05$).

Ⅲ. 연구 성적

1. 표면 미세구조 및 거칠기 분석 결과

각 그룹의 표면 미세 구조를 FE-SEM으로 관찰한 결과, 대조군은 소결 상태 그대로의 결정구조를 보인 반면, 표면 절삭 후 연마를 시행한 Group 1과 3은 연마에 의한 평활한 표면 양상을, 연마를 시행하지 않은 Group 2와 4는 절삭 기구에 의해 기계적으로 발생한 거친 표면 형태를 보였으며 표면에 절삭 파편이 관찰되었다 (Fig. 4).

3D-OM을 이용하여 각 시편의 표면 거칠기를 분석한 결과, 모든 실험군에서 대조군에 비해 표면 거칠기가 증가되었고 Group 2 > Group 4 > Group 1 > Group 3의 순서의 표면 거칠기 값을 보였다. 즉, coarse bur로 절삭하고 연마를 시행하지 않은 Group 2가 가장 거친 표면을 보였으며 동일한 거칠기의 bur를 사용한 경우 연마를 시행한 그룹(Group 1과 3)이 시행하지 않은 그룹(Group 2와 4)에 비해 더 낮은 표면 거칠기를 보였다 (Table 2).

2. 상변이 분석 결과

각 시편의 상변이 양상을 XRD를 이용해 분석한 결과, 대조군은 100% 정방정상으로 이루어지고 상변이가 관찰되지 않은 반면, 표면 절삭 및 연마를 시행한 모든 실험군에서는 단사정상으로의 상변이가 관찰되었고 변이량은 Group 2 > Group 4 ≥ Group 1 ≥ Group 3 순서로 나타났다. 특히 coarse bur로 절삭하고 연마를 시행하지 않은 Group 2가 다른 실험군에 비해 높은 비율의 단사정상 변이량을 보임으로서 통계적으로 유의한 차이를 보였고 ($P < .05$) 다른 실험군 간에는 유의적 차이를 보이지 않았다 ($P > .05$) (Tables 3,4).

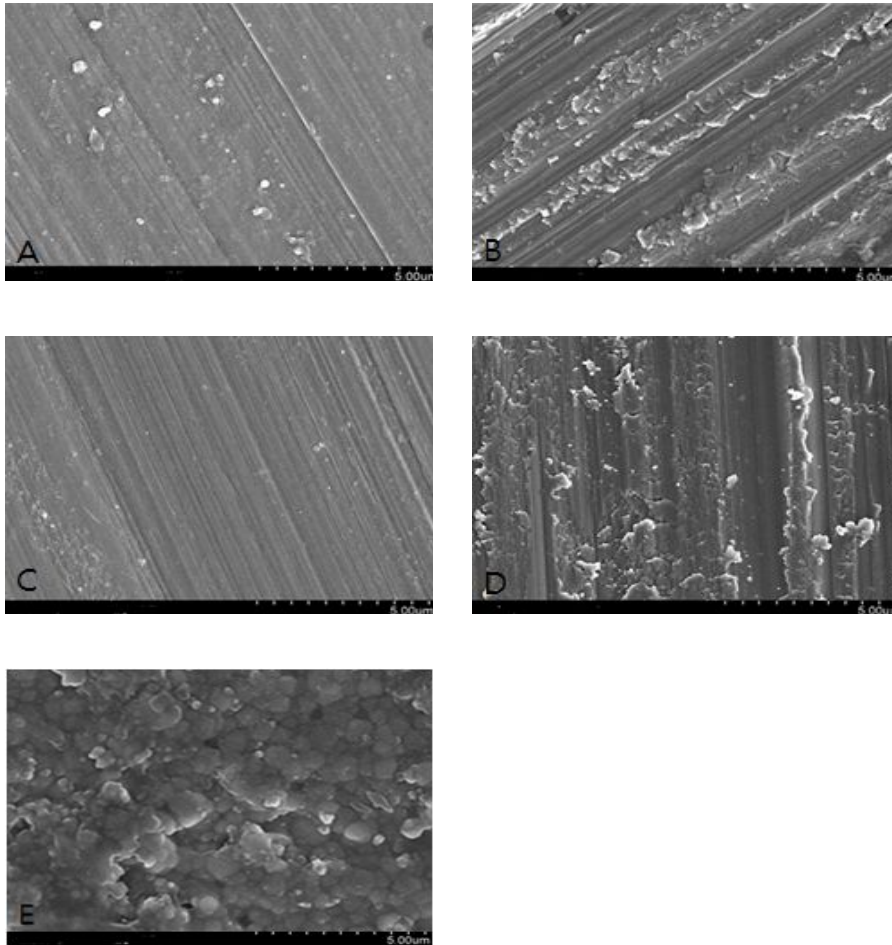


Fig. 4. FE-SEM images of the specimen surface after grinding and polishing. A: Group 1, B: Group 2, C: Group 3, D: Group 4, E: Control (x10,000).

Table 2. Measurement of surface roughness value (Ra) of each specimen

Group	Ra
Group 1	0.383
Group 2	0.483
Group 3	0.270
Group 4	0.408
Control	0.201

Table 3. Relative amount of monoclinic zirconia (Xm, %)

Group	Mean ± SD
Group 1	5.01 ± 0.98
Group 2	7.05 ± 1.77
Group 3	4.78 ± 0.63
Group 4	5.20 ± 1.41

Table 4. Correlation between groups on relative amount of monoclinic zirconia (Mann-Whitney test with bonferroni correction)

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Control
Group 1		0.006*	0.530	0.968	0.000*
Group 2			0.002*	0.023*	0.000*
Group 3				0.646	0.000*
Group 4					0.000*
Control					

* indicate significant difference between groups ($P < .05$)

4. 2축 굴곡강도 실험 결과

대조군 및 실험군의 굴곡강도 실험 결과, 대조군은 연마를 시행하지 않은 그룹(Group 2와 4)에 비해 유의적으로 높은 굴곡강도를 보였으나($P > .05$) 연마를 시행한 그룹(Group 1과 3)과는 유의적 차이가 없었다. 실험군의 굴곡강도는 Group 3 ≥ Group 1 ≥ Group 4 ≥ Group 2 순서로 나타났다. 특히, coarse bur로 절삭한 경우, 연마를 시행하지 않은 그룹(Group 2)에서 시행한 그룹(Group 1)에 비해 유의적으로 더 낮은 굴곡강도를 보였으나 fine bur의 경우에는 연마 시행 여부에 따른 유의적 차이가 없었다 (Tables 5,6).

굴곡강도 실험 후 시편의 파절면을 FE-SEM으로 관찰한 결과, 절삭 후 연마를 시행한 실험군인 Group 1과 3의 시편에서는 표면에서 기시하여 내부로 진행된 균열선이 관찰되었고 (Fig 5 A,C), 연마를 시행하지 않은 실험군인 Group 2와 4의 시편은 절삭되어 파인 부분이 기시점이 되어 파절된 양상을 보였다 (Fig 5 B,D).

Table 5. The mean biaxial flexural strength values (MPa) for groups

Group	Mean \pm SD
Group 1	1209.39 \pm 49.89
Group 2	1076.55 \pm 102.77
Group 3	1216.48 \pm 101.12
Group 4	1159.42 \pm 84.55
Control	1297.48 \pm 72.94

Table 6. Correlation between groups on mean biaxial flexural strength (Mann-whitney test with bonferroni correction)

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Control
Group 1		0.007*	0.813	0.220	0.067
Group 2			0.020*	0.101	0.007*
Group 3				0.342	0.217
Group 4					0.014*
Control					

* indicate significant difference between groups ($P < .05$)

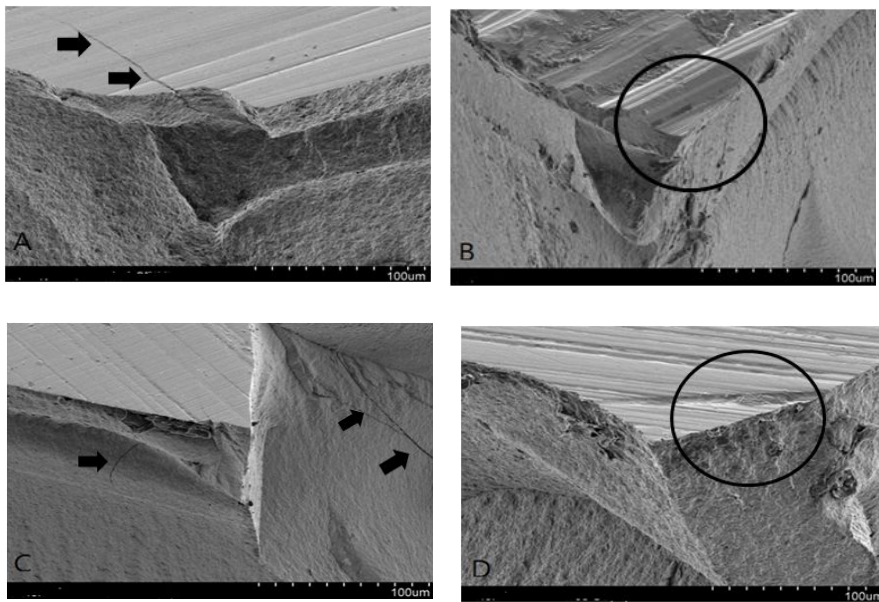


Fig. 5. FE-SEM images of the fracture surface (x500). A: Group 1, B: Group 2, C: Group 3, D: Group 4. Arrows indicate micro-crack lines, and circle line show that fractures start from uneven surfaces by grinding.

IV. 총괄 및 고찰

지르코니아를 이용한 보철 수복 시 특히 구치부에서는 저작력에 저항할 수 있는 높은 강도가 요구된다. 따라서 상부 도재를 veneering하지 않고 지르코니아만으로 보철물을 제작하는 full zirconia 수복이 주로 사용된다. full zirconia의 경우 도재 특성과 같은 술식이 감소되어 과정이 간단하고 오차가 적으며, 가장 문제시 되었던 veneering 도재와의 계면에서 발생할 수 있는 파절을 막을 수 있는 장점이 있어 광범위하게 이용되고 있다.

반면, 일반 도재 수복물과 달리 full zirconia 수복물의 경우는 교합 조정 시 지르코니아의 재료적 특성을 고려한 기구와 방법의 선택이 매우 중요하다. 이는 교합조정 양이나 절삭 효율을 고려한 bur의 선택, 연마의 시행 여부가 지르코니아 물성과 보철물의 임상적 성공에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 본 연구에서도 이러한 임상에서의 과정이 지르코니아 물성에 영향을 미칠 수 있다는 가설 하에 in-vitro 실험을 통해 이를 규명하고자 지르코니아 전용의 고속 절삭 및 저속 연마 기구를 사용하여 절삭과 연마를 시행하였다.

교합 조정 등에 의한 절삭은 지르코니아 표면 거칠기의 증가를 유발하고 이는 대합치 범랑질의 마모에 영향을 미칠 수 있으며⁹, 굴곡 강도의 저하를 야기할 수 있다는 여러 연구결과들이 보고되어 왔다.^{13,14} 본 연구에서도 절삭 후 표면 거칠기가 증가하는 양상을 보였으며, 연마 시행 시 거칠기가 감소하였다. 또한, 표면 거칠기가 클수록 굴곡강도가 감소됨으로서 기존 연구들과 유사한 결과를 보였다.¹⁵

XRD 분석은 x-ray를 조사하여 굴절되는 각을 측정함으로써 상대적 결정구조를 파악하는 방법으로, 상변이 관찰에 일반적으로 사용된다. 본 연구에서 대조군은 상변이가 관찰되지 않아 100% 정방정상의 분포를 보인다고 할 수 있는 반면, 실험군에서는 변화가 관찰됨으로서 절삭 및 연마의 시행이 상변이를 유발함을 확인하였다. 일부 연구에서는 절삭 후 단사정상 peak가 나타나지 않으며, 단사정상보다는 능면정상으로 상변이가 발생함을 보고하였다.^{16,17} 그러나, Hasegawa 등¹⁸에 의하면 능면정상의 최대 강도 peak인 (111) peak의 2 θ 값은 29.72°로 알려져 있으며, 본 실험에서는 28.10°를 보임으로써 능면정상이 아닌 단사정상으로서의 변이가 발생된 것으로 분석되었다.

본 연구에서, 단사정상으로의 변이량(X_m)은 연마를 시행하지 않은 경우가 연마를 시행한 경우보다 높게 나타났고, 특히 coarse bur를 사용하고 연마를 시행하지 않은 경우는 다른 실험군에 비해 유의적으로 높은 변이량을 보였다. 이는 거친 bur의 사용이 단사정상으로의 변이를 더욱 유발할 수 있으며, 절삭 후 연마를 시행한 경우에는 얇은 표면에 국한되어 존재하는¹⁹ 단사정상이 연마에 의해 쉽게 제거되어 더 적은 상변이량을 보인 것으로 여겨진다. 따라서 fine bur를 이용한 경우는 발생한 상변이량 자체가 적기 때문에 연마의 효과가 크지 않지만 거친 bur로 지르코니아 보철물을 조정된 경우에는 상변이로 인한 물성 저하를 최소화하기 위해서는 연마를 시행하는 것이 효과적임을 의미한다.

ISO 13356에 따르면, $134 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 0.2MPa의 압력으로 5시간 autoclave 실행 후 단사정상으로의 상변화가 25%이하, 강도 20% 이하 감소가 지르코니아 보철물의 임상적 허용 기준으로 규정되어 있다.¹⁹ 이에 따라 본 연구에서의 절삭 및 연마에 의한 상변이량은 임상적으로 허용할 만한 수준이라고 할 수 있다. 하지만, 표면에 단사정상이 생겼다는 것은 체적 증가로 인해 표면에 미세 균열을 야기할 수 있음을 의미하고, 이는 지르코니아 강도 저하를 유발한다. 본 연구에서도, 상변이량이 상대적으로 높은 Group 2가 다른 실험군에 비해 낮은 굴곡 강도를 보임으로서 이를 뒷받침하였다.

굴곡강도 실험 후 파절된 시편의 관찰에서는, 거친 표면의 요철을 따라 파절이 진행되는 양상과 표면에서 심부로 진행되는 미세 균열 등이 관찰됨으로서 절삭과 연마로 인한 표면 거칠기 변화와 상변이가 파절에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

본 연구를 기반으로 하여, 향후 구강 내 상황을 재현하기 위하여 저작과정을 모방한 다양한 조건에서의 피로강도를 측정하는 실험 및 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

표면 절삭과 연마가 지르코니아 표면 형태, 상변이 및 굴곡강도에 미치는 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 실험군에서 절삭 및 연마 후 지르코니아 표면 거칠기의 증가가 관찰되었다. 거친 bur로 절삭 후 연마를 시행하지 않았을 때 가장 거친 표면 형태와 거칠기를 보였다. 절삭 후 연마 시행 시 평활한 표면과 거칠기 감소가 관찰되었다.
2. 모든 실험군에서 절삭 및 연마 후 단사정상으로서의 상변이가 관찰되었다. 거친 bur로 절삭 후 연마를 시행하지 않았을 때 가장 많은 상변이를 보였고 연마를 시행한 경우 단사정상은 감소되었다.
3. 거친 bur로 절삭 후 연마를 시행하지 않았을 때 가장 낮은 굴곡강도를 보였다. 그러나 모든 실험군에서 500MPa 이상의 강도를 보여 임상적으로 허용할만한 수준이었다.

이상의 연구를 통해, 지르코니아 교합 조정시에 거친 diamond bur의 사용은 표면 거칠기를 증가시키고, 단사정상으로서의 상변이를 유발하며 이로 인한 굴곡강도의 감소를 야기할 수 있으므로 절삭 후 연마과정이 동반되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 표면 절삭 및 연마는 지르코니아 물성 변화를 야기할 수 있으므로 이를 최소화하기 위하여 정확한 교합 채득 및 기공과정을 바탕으로 한 보철물의 제작이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Kim DJ. Transformation of tetragonal zirconia. *Science and technology of ceramic materials* 1993;8:157-165.
2. Iseri U, Ozkurt Z, Yalniz A, Kazazoglu E. Comparison of different grinding procedures on the flexural strength of zirconia. *J Prosthet Dent* 2012;107:309-315.
3. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? *Nature* 1975;258:703-704.
4. Sakuma T, Yoshizawa YI, Suto H. The rhombohedral phase produced in partially-stabilized zirconia. *J Material Science Letters* 1985;4:29-30.
5. Karakoca S, Yilmaz H. Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation, and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. *J Biomed Mater Res* 2009;91:930-937.
6. Hannink RHJ, Kelly PM, Muddle BC. Transformation toughening in zirconia-containing ceramics. *J Am Ceram Soc* 2000;83:461-487.
7. Kao HC, Ho FY, Yang CC, Wei WJ. Surface machining of fine grain Y-TZP. *J Eur Ceram Soc* 2000;20:2447-2455.
8. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. *J Biomed Mater Res* 2000;53:304-313.
9. G. Mitov, SD.Heinze, S.Walz, K.Woll, F.Muecklich et al. Wear behavior of dental Y-TZP ceramic against natural enamel after different finishing procedures. *Dental Materials* 2012;28:909-918.
10. Nakanishi T, Kobayashi T, Miyazaki T. Mechanical properties and cyclic fatigue of the newly developed ceramic material for artificial joints. *J Ceram Soc Jpn* 2007;115:466-470.
11. Garvie RC, Nicholson PS. Phase analysis in zirconia systems. *J*

- Am Ceram Soc 1972;55:303-305.
12. International Organization for Standardization ISO 6872: 1995(E). Dental Ceramics, 2nd ed. Geneva, Switzerland: ISO;1995.
 13. 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. Dental Materials 1999;15:426-433.
 14. Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. Strength and reliability of surface treated Y-TZP dental ceramics. J Biomed Mater Res 2000;53:304-313.
 15. SB Ha, W Chae, JC Lee. A study on the surface roughness and bending strength for zirconia ceramic grinding. J of the Korean Society of Precision Engineering. 2000;17:131-136.
 16. Kosmac T, Wagner R, Claussen N. X-Ray determination of transformation depths in ceramics containing tetragonal ZrO₂. J Am Ceram Soc 1981;64:72-73.
 17. Dae-Joon Kim, Hong-Lim Lee, Hyung-Jin Jung. Effect of surface grinding on low temperature degradation of 3Y-TZP . J of the Korean Ceramic Society 1993;30:164-168.
 18. H.Hasegawa. Rhombohedral phase produced in abraded surfaces of partially stabilized zirconia. J.Mater. 1983;2:91-93.
 19. JS Lee, JS Shim, HH Jung. Phase transition of zirconia by surface treatments. J of Korean Academy of Dental Technology 2010;32:57-63.