

2011년 8월  
석사학위논문

2011년 8월

석사학위논문

지르코니아의 표면거칠기와  
굽힘강도와의 상관관계

# 지르코니아의 표면거칠기와 굽힘강도와의 상관관계

조선대학교 대학원

치 의 학 과

한 석 동

한 석 동

# 지르코니아의 표면거칠기와 파절강도와의 상관관계

Corelation between with Surface Roughness  
and Flexural Strength of Zirconia Ceramic

2011년 8월 25일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

한 석 동

# 지르코니아의 표면거칠기와 굽힘강도와의 상관관계

지도교수 강 동 완

이 논문을 치의학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2011년 4월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

한 석 동

# 한석동의 석사학위 논문을 인준함

위원장    조선대학교    교 수    최 한 철 인

위 원    조선대학교    교 수    손 미 경 인

위 원    조선대학교    교 수    강 동 완 인

2011년 5월

조선대학교 대학원

# 목 차

ABSTRACT .....	v
I. 서론 .....	1
II. 연구 재료 및 방법 .....	3
III. 연구성적 .....	6
IV. 총괄 및 고안 .....	10
V. 결론 .....	12
참고문헌 .....	13

# 표 목 차

Table 1. The properties of Y-TZP in this study .....	3
Table 2. Classification of the zirconia sample .....	3
Table 3. Surface roughness according to the diamond mesh size .....	6
Table 4. Flexural strength according to the diamond mesh size .....	8
Table 5. Flexural strength according to the direction of scratch lines .....	9

# 도 목 차

Fig. 1. Zirconia sample was fixed to the resin block. ....	4
Fig. 2. Surface roughness measuring instrument - Surcorder SE-1700. (Kosaka Laboratory Ltd, Kosaka, Japan) .....	4
Fig. 3. Measuring surface roughness as stylus moving along the axial line of specimen. ....	5
Fig. 4. Surface roughness according to the diamond mesh size in vertical line. ....	5
Fig. 5. Surface roughness according to the diamond mesh size in vertical line. ....	6
Fig. 6. Surface roughness according to the diamond mesh size in oblique line. ....	7
Fig. 6. Surface roughness according to the diamond mesh size in oblique line. ....	7
Fig. 8. Relationship between with surface roughness and flexural strength in vertical line. ....	8
Fig. 9. Relationship between with surface roughness and flexural strength in oblique line. ....	8

Fig. 10. Relationship between with surface roughness and flexural strength  
in horizontal line. .... 9



# ABSTRACT

## Corelation between with Surface Roughness and Flexural Strength of Zirconia Ceramic

Han, Seok-dong, D.D.S.

Advisor : Prof. Kang, Dong-Wan , D.D.S., M.S.D., Ph. D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

**Statement of problem & Purpose:** 도재는 심미치의학영역에서 매우 중요한 물질이다. 특히 최근에는 심미적 요구사항이 증가하면서 다양한 재료의 완전도재관이 사용되고 있다. 특히, 지르코니아는 transformation toughening를 통해 다른 도재와 달리 매우 높은 flexural strength를 가져 가장 많이 이용되고 있다. 하지만 도재는 일반적으로 높은 brittleness를 가지며, 이러한 물질은 surface indentation의 크기가 증가할 수록 강도의 감소가 나타난다.

본 연구의 목적은 지르코니아의 surface roughness의 변화가 지르코니아의 flexural strength에 영향을 미치는지 알아보는 것이다.

**Materials and methods:** yttrium Tetragonal Zirconia Polycrystal(Y-TZP)을 1500°C에서 완전 소결한 후 가로 25mm, 세로 3mm, 높이 2mm의 크기로 절삭하였다. 대조군은 #1000 diamond mesh를 이용하여 연마하였다. 시험군은 #400, #325, #230, #120의 diamond mesh를 이용하여 각각 시편의 장축에 수직, 사선, 평행한 방향으로 표면 거칠기를 형성하여 12개의 그룹으로 분류하고, 각 그룹별로 5개의 시편을 제작하였다.

surface roughness measuring instrument인 surfcorder SE-1700을 이용하여 surface roughness를 측정하였다. flexural strength는 universal testing machine을 이용하여 측정되었다.

**Result:** 수직과 사선 방향으로 형성된 표면거칠기에서는 diamond mesh의 번호가 작을 수록 더 큰 값을 나타냈다( $P < 0.05$ ). 단 control과 group1-a, group1-a와 group2-a, group1-b와 group2-b 사이에서는 유의한 차이는 없었다.

flexural strength는 표면거칠기에 따른 유의한 차이는 존재하지 않았다( $P < 0.05$ ). 단, control과 group2-c에서만 유의한 차이가 존재하였다.

Conclusion: surface roughness와 flexural strength 사이에 유의한 상관관계가 존재하지 않았다.

# I. 서 론

도재가 치과영역에서 처음 적용되기 시작한 것은 18세기말 약제상인 Alexis Duchateau가 충의치의 인공치아에 사용하기 시작하면서 부터이다. 하지만 당시의 도재는 자연치아에 비해 불투과성이 심하였다. 19세기 말 Elias Wildman은 보다 높은 투과도를 가지며 자연치아와 유사한 색을 가지는 도재를 개발하였다. 이후 충의치 영역에 한정된 도재의 사용은 19세기 말 C.H. Land<sup>1)</sup>가 백금박막위에 도재를 결합시켜 사용하면서 수복영역에서 사용되기 시작하였다. Land의 도재수복물은 내부의 백금박막을 제거하면 현재 사용되는 all ceramic jacket cr.과 거의 유사한 형태를 가졌으나 당시 도재의 물리적성질의 한계로 널리 사용되지는 못하였다. S.C. Brecker<sup>2)</sup>는 백금박 대신 금합금으로 내부 coping을 제작하는 것을 소개하였다. 이후 1950년대 도재의 발전은 주로 심미적인 PFG 제작을 위한 것에 맞춰졌으며 1960년대 PFM이 소개되면서 높은 물리적성질과 심미성을 가진 금속도재관이 널리 사용되어졌다. 그러나 이후에도 완전도재관에 대한 연구는 계속진행되었으며 1965년 McLean과 Huge<sup>3)</sup>는 기존의 장식도재에 aluminum oxide를 첨가하여 강도를 증가시킨 core를 사용하는 aluminous porcelain jacket cr.이 소개되었다. 이러한 aluminous porcelain jacket cr.은 1980년대 들어서 Cerestore<sup>®</sup>과 같은 제품들이 출시되며 상용화 되기에 이르렀다. 1990년대 들어서는 leucite-reinforced ceramic을 사용한 Empress<sup>®</sup>, aluminous core를 사용한 Procera All Ceram<sup>®</sup> 등 다양한 완전도재관 제품들이 등장하기 시작하였고 1990년대 중반 지르코니아 수복물의 등장과 함께 CAD/CAM 시스템이 크게 증가하기 시작하였다.

지르코니아는 전이성 금속인 지르코늄의 이산화물을 뜻한다. 실제 지르코니아는 R.C. Garvie가 1975년 지르코니아의 상변태 강화를 통한 강도의 증가방법을 소개하면서 부터 공학분야와 의학분야에서 먼저 사용되기 시작하였는데, 1)높은 강도및 경도, 2)높은 내마모성, 3)높은 내열성, 4)낮은 열전도도, 5)내화학 안정성, 6)생체 친화성, 7)낮은 열팽창 등의 장점을 가지고 있어 최근 치의학영역에서 사용이 증가하고 있다.

하지만, 세라믹은 일반적으로 높은 강도를 갖는 반면 높은 취성도 갖는다<sup>4)</sup>. 이는 세라믹이 일반적으로 공유결합 또는 이온결합으로 이루어 지는데 이러한 결합은 방향성을 갖지 않으며, 외부에서 힘이 가해졌을 때 변형이 이루어지지 않고 파괴되는 경향을 보이기 때문이다. 이러한 취성을 갖는 물질에서는 표면압흔의 크기가 증가할수록 강도

의 감소가 나타난다<sup>5)</sup>.

R.G. Luthardt등<sup>6)</sup>은 지르코니아 표면거칠기의 증가가 굴곡강도의 감소를 야기할 수 있다고 하였으며, 하 등<sup>7)</sup>은 지르코니아의 연삭 가공시의 표면에서 취성모드에 의해 재료가 제거되며 이러한 표면손상 및 미세크랙은 제품의 표면거칠기와 강도의 감소를 가져 올 수 있다고 하였다. 하지만 하중의 스크레치 방향에 따른 강도 변화에 관한 연구는 부족하였다.

따라서 본 연구의 목적은 치과용 지르코니아의 연삭시 표면 거칠기의 변화와 스크레치의 방향이 굴곡강도에 영향을 미치는지 알아보는 것이다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구 재료

본 연구에서는 Yttrium Tetragonal Zirconia Polycrystal(Y-TZP)-(NaturaZ-B series, DMAX corp., KCM corporation, Japan)를 사용하였다(Table 1). 시편은 1500°C에서 완전 소결된 후 가로 25mm, 세로 3mm, 높이 2mm의 크기로 연삭하였다. 연삭된 시편에서 대조군은 #1000 diamond mesh로 방향성 없이 연마하였으며, 시험군은 #400, #325, #230, #125 diamond mesh로 연마하였다. 각각의 diamond mesh에 따른 시편에는 다시 시편의 장축에 수직, 사선(시편의 장축과 45°), 수평으로 방향성을 형성하여, 총 12개의 그룹으로 분류하였다. 각 그룹별로 시편을 5개씩 제작하였다(Table 2).

Table 1. The properties of Y-TZP in this study

Flexural strength(MPa)	≥1,100
Chemical solubility(ug/cm <sup>3</sup> )	31.4
CTE(50~500°C, 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	11.5

Table 2. Classification of the zirconia sample

	vertical line	oblique line	horizontal line
#1000(control)		control	
#400	Group1-a	Group1-b	Group1-c
#325	Group2-a	Group2-b	Group2-c
#230	Group3-a	Group3-b	Group3-c
#125	Group4-a	Group4-b	Group4-c

\*vertical, oblique, horizontal line - vertical, oblique, horizontal to the longitudinal axis of a specimen

### 2. 연구 방법

#### 2. 1. 표면 거칠기 측정

##### 1) 시편의 고정

원판 형태의 레진블록위에 측정할 시편을 고정하고 측정장치의 탐침이 시편의 장축을 따라 이동하도록 위치시킨다(Fig. 1).

## 2) 측정 방법

표면 거칠기는 Surcorder SE-1700(Kosaka Laboratory Ltd, Kosaka, Japan)을 이용하여 측정하였다(Fig 2). 탐침이 시편의 표면에서 장축방향으로 5mm 이동하면서 표면의 거칠기를 측정하였다(Fig. 3). 측정은 시편별로 3차례씩 반복하여 평균값을 구하였다.

## 3) 표면 거칠기의 표시

표면 거칠기란 작은 간격으로 나타나는 표면의 요철을 뜻한다. 주로 중심선 평균거칠기( $R_a$ ), 최대높이( $R_{max}$ ), 10점 평균 거칠기( $R_z$ )로 표시한다. 본 연구에서 가장 일반적으로 사용되는 중심선 평균거칠기( $R_a$ )를 이용하였으며, 컷오프 값은 0.8mm이다.

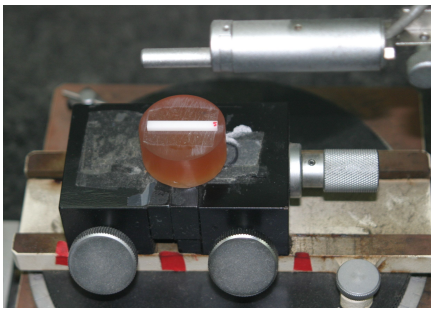


Fig. 1. Zirconia sample was fixed to the resin block.



Fig. 2. Surface roughness measuring instrument - Surcorder SE-1700  
(Kosaka Laboratory Ltd, Kosaka, Japan).

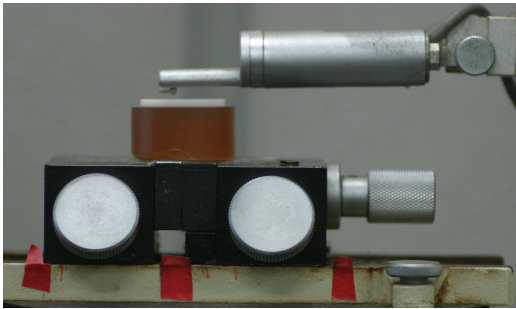


Fig. 3. Measuring surface roughness as stylus moving along the axial line of specimen

## 2. 2. 굽힘 강도의 측정

### 1) 굽힘 강도의 정의

굽힘시험에서 재료의 파괴시 발생하는 최대인장응력을 굽힘강도라 한다. 일반적으로 3점점 굽힘시험과 4점점 굽힘시험으로 측정된다. 본 실험에서는 3점점 굽힘시험이 이용되었다.

### 2) 굽힘 강도의 측정

Universal testing machine인 AGS-1000D(Shimadzu, Japan)을 이용하여 시편 20mm 간격의 2개 지지점으로 지지하고, 그 중간지점에서 1분당 1mm의 속도로 이동하는 크로스헤드로 하중을 가한다(Fig. 4). 시편이 파괴될 때의 최대하중이 측정되면, 굽힘강도는 다음과 같은 공식으로 계산되어진다.

굽힘강도( $\sigma$ ) =  $3 \times \text{최대하중}(P) \times \text{시편의 길이}(L) / 2 \times \text{시편의 폭}(w) \times \text{시편두께}(t)$ 의 제곱

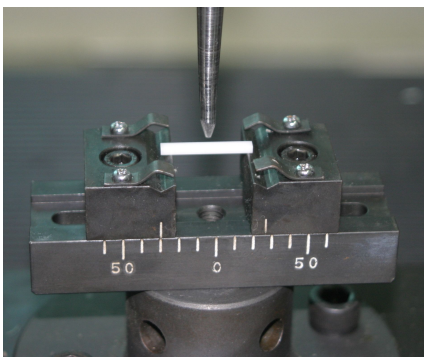


Fig. 4. 3-point bending test.

### 3. 통계분석

SPSS Ver. 17.0(SPSS Inc., IL, USA) 프로그램을 이용해 실험결과를 통계 처리하였다. 굽힘강도와 표면거칠기의 평균과 표준편차를 구하고 diamond mesh size에 따른 차이를 보이기 위해 one way ANOVA와 사후 검증으로 Scheffe test를 시행하였다.

## Ⅲ. 연구성적

### 1. 표면 거칠기( $R_a$ )

#1000 diamond mesh로 연마한 대조군의 평균 표면거칠기는  $0.07 \pm 0.023 \mu\text{m}$  였다. 표면 거칠기가 시편의 장축에 수직으로 형성된 경우 Group1-a와 Group2-a에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만 Group3-a, Group4-a에서는 유의하게 표면거칠기 값이 증가하였다. 표면거칠기가 사선으로 형성된 경우에서도 Group1-b와 Group2-b에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만 Group3-b, Group4-b에서는 유의하게 표면거칠기 값이 증가하였다. 하지만 평행으로 표면거칠기가 형성된 경우 diamond mesh의 size와 표면거칠기간의 일관적인 상관관계가 나타나지 않았다(Table 3).

Table 3. Surface roughness according to the diamond mesh size

	(unit: $\mu\text{m}$ )		
	Vertical line	Oblique line	Horizontal line
#1000(control)		$0.07(\pm 0.023)^a$	
#400	$0.178(\pm 0.021)^{ab}$	$0.192(\pm 0.022)^b$	$0.08(\pm 0.016)^b$
#325	$0.209(\pm 0.019)^b$	$0.226(\pm 0.024)^b$	$0.084(\pm 0.025)^a$
#230	$0.34(\pm 0.098)^c$	$0.316(\pm 0.023)^c$	$0.145(\pm 0.051)^{ab}$
#120	$0.57(\pm 0.065)^d$	$0.624(\pm 0.065)^d$	$0.166(\pm 0.051)^b$

\* a,b,c,d : Non-significant difference between the same letter ( $p > 0.05$ )



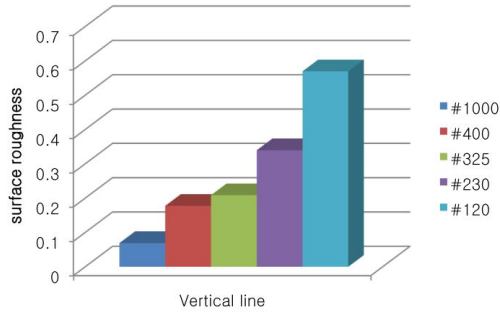


Fig. 5. Surface roughness according to the diamond mesh size in vertical lines.

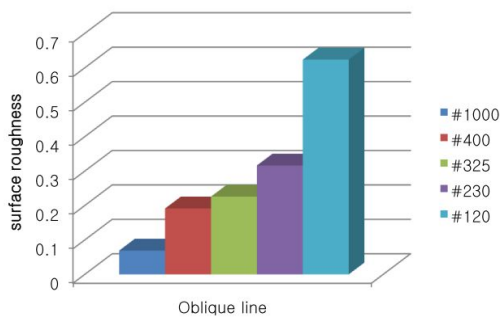


Fig. 6. Surface roughness according to the diamond mesh size in oblique lines.

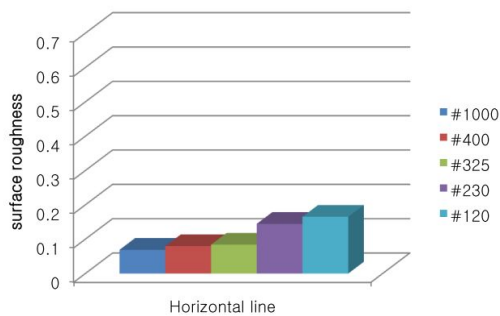


Fig. 7. Surface roughness according to the diamond mesh size in horizontal lines.

## 2. 굽힘 강도

#1000 diamond mesh로 연마한 대조군의 평균 굽힘강도는  $430.275 \pm 32.825$  MPa였다.

표면 거칠기가 수직으로 형성된 경우와 평행으로 형성된 경우 모두에서 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 표면거칠기가 수평으로 형성된 경우 GroupC-2에서만 대조군과 유의한 차이를 보였을 뿐 실험군 간의 차이는 보이지 않았다( $P \leq 0.05$ )(Table 4).

### 3. 표면 거칠기와 굽힘강도

각 표면 거칠기 방향별 그룹에서 표면 거칠기와 굽힘강도의 분포도는 다음 그림과 같았다(Fig. 8, 9, 10). 표면 거칠기와 굽힘강도 사이에 일정한 상관관계는 보이지 않았다.

Table 4. Flexural strength according to the diamond mesh size

	(unit: MPa)		
	Vertical line	Oblique line	Horizontal line
#1000		430.275(±32.825)	
#400	408.2(±153.25)	516.175(±40.6)	496.45(±50.55) <sup>ab</sup>
#325	496.45(±60.825)	532(±30.45)	486.65(±34) <sup>b</sup>
#230	506.25(±52.8)	464.6(±68.125)	481.75(±47.4) <sup>ab</sup>
#120	496.45(±51.65)	464.6(±58.375)	476.9(±47.95) <sup>ab</sup>

\* a,b: Non-significant difference between the same letter( $p > 0.05$ )

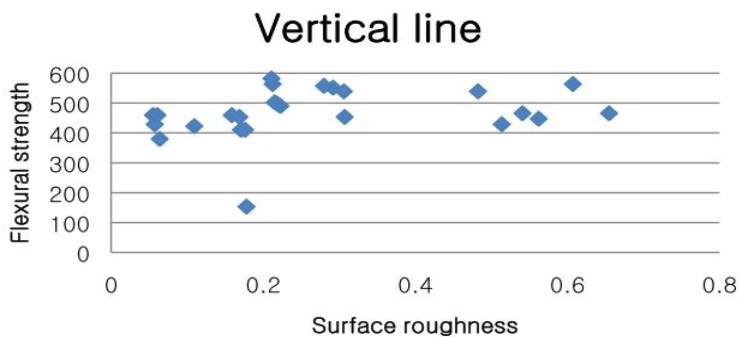


Fig. 8. Relationship between surface roughness and flexural strength in vertical lines.

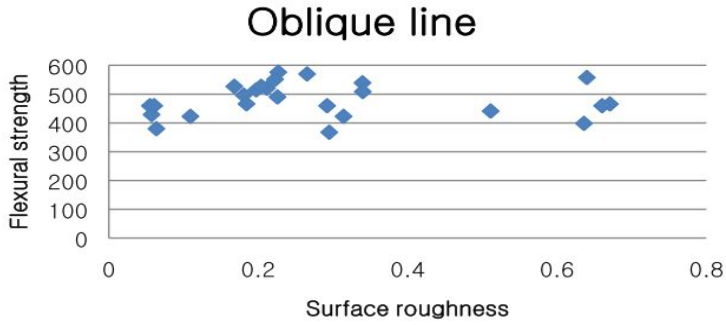


Fig. 9. Relationship between with surface roughness and flexural strength in oblique lines.

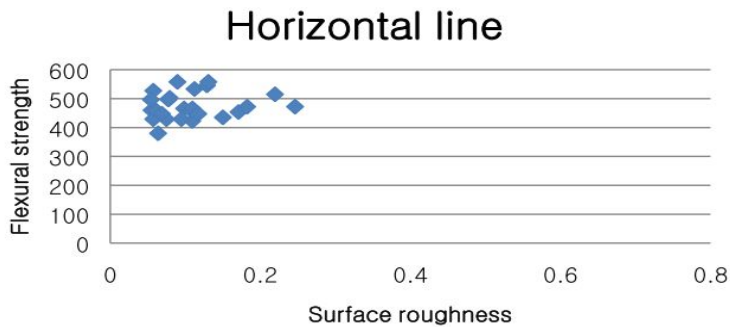


Fig. 10. Relationship between with surface roughness and flexural strength in horizontal lines.

#### 4. 표면거칠기의 방향과 굽힘강도

같은 size의 mesh를 사용한 경우 각각 장축에 수직, 사선, 평행에 따라 비교하였을 때 어떤 size의 mesh에서도 굴곡강도의 유의한 차이는 나타나지 않았다 ( $P \leq 0.05$ )

Table 5. Flexural strength according to the direction of scratch lines

	(unit: MPa)		
	Vertical line	Oblique line	Horizontal line
#400	408.2(±153.25)	516.175(±40.6)	496.45(±50.55)
#325	496.45(±60.825)	532(±30.45)	486.65(±34)
#230	506.25(±52.8)	464.6(±68.125)	481.75(±47.4)
#120	496.45(±51.65)	464.6(±58.375)	476.9(±47.95)

\* Non-significant difference in any combination of parts.(p>0.05)

## VI. 총괄 및 고안

지르코니아는 이전에 사용되는 세라믹에 비하여 매우 높은 강도를 갖는다. R.C Garvie등<sup>8)</sup>은 상변태 강화를 통해 지르코니아가 이러한 높은 강도가질 수 있는 방법에 대해 소개하였다. 일반적으로 지르코니아는 단사정계상과 정방정계상, 입방정계상 3가지의 결정상으로 존재한다. 단사정계는 1170°C까지 안정상태를 유지하고 1170°C에서 2370°C까지는 정방정계로 존재한다. 그 이상의 온도에서 녹는점(2680°C)까지는 입방정계로 존재한다. 고온에서 안정적인 정방정계상은 냉각되면서 단사정계로 상변이를 하여 부피팽창을 한다. 상온에서 안정작인 정방정계상을 얻기위해  $Y_2O_3$  또는  $CeO_2$  등의 산화금속을 첨가한 것을 부분안정화 지르코니아(PSZ)라고 한다. 부분안정화한 지르코니아에 균열등의 외력이 가해지면 단사정계상으로 상변이를 하며 에너지를 흡수한다. 이때 단사정계상이 정방정계상보다 3-5% 부피가 크므로 국소적인 압축응력대가 생성된다. 이 압축응력대는 미세균열의 진행을 억제하여 파괴인성을 증가시키는데, 이것을 상변태 강화라 한다.

Witek과 Butler<sup>9)</sup>는 이러한 상변태 강화는 지르코니아 입자가 상변이 경계에 준안정성의 정방정계상으로 존재할 때 가능하며, 이러한 준안정성은 지르코니아 입자의 조성, 입자의 크기와 형태, 첨가되는 산화물의 유형과 양, 다른 결정상의 지르코니아와 공정과정간의 상호작용에의해 결정된다고 하였다.

Virkar등<sup>9)</sup>은 임상에서 지르코니아의 실패원인은 저온열화 현상과 더불어 가공중 발생하는 결함이 주된 요인이라고 하였다. 지르코니아 소결체는 표면 연삭시 표면의 상이 바뀌면서 구조적인 부피변화를 가져와 강도를 저하시키는 ferroelastic domain switching(FDS) 현상이 발생한다고 보고하였다.

그리고 Kao등<sup>10)</sup>은 가공시 발생하는 주된 표면 결함으로는 크랙(crack), 홈(grooves), 돌출(bulges), 입자 뽑힘(grain pull-out) 등이 있으며, 이러한 결함은 외력에의한 파괴원인으로 작용할 할 수 있다고 하였다.

Kosmáč등<sup>11)</sup>은 임상적으로 지르코니아의 표면처리시 다이아몬드버를 이용한 연삭과 샌드블라스트 두가지 방법을 비교하였다. 결과적으로 샌드블라스트로 표면처리를 한 경우는 굽힘강도가 증가한 반면 다이아몬드버를 이용한 경우에는 굽힘강도의 감소나타났다. 이는 다이아몬드버로 연삭하여 표면처리한 경우, 발열과 표면 손상으로 지르코니아 표면에서 정방정계상이 단사정계상으로 변이되어 이후 크랙이 전파시 상변화양이 적음에 기인한 것으로 생각된다고 하였다.

Wang등<sup>12)</sup>은 연삭가공된 직후의 지르코니아와 여러가지 표면처리 후 지르코니아의 굽힘 강도를 비교하였다. 연마만 시행한 시편에서 가장 높은 굽힘 강도를 보였다. 50 $\mu$ m 크기의 산화알루미늄을 샌드블라스트시에는 강도의 유의한 변화가 없었으나, 120 $\mu$ m의 산화알루미늄을 샌드블라스트시에는 강도의 유의한 감소가 나타났다. 굴곡강도와 표면 거칠기로 표현될 수 있는 표면손상은 강한 상관 관계를 나타냈다.

본 연구에서는 표면 거칠기 측정시 수직과 사선 방향으로 형성된 경우, diamond mesh의 번호가 작아짐에 따라 표면거칠기( $R_a$ )가 증가함을 보였다. 하지만 표면거칠기가 일관적으로 변하지 않았는데, 이는 표면거칠기의 측정이 시편의 장축에 평행하게 시행되어 같은 방향으로 표면 거칠기가 형성된 경우 제대로 측정되지 않았기 때문으로 보인다. diamond mesh의 번호에 따라 표면거칠기가 증가한다고 하였을 때 표면 거칠기에 따른 굴곡강도는 유의한 차이를 보이지 않았다( 단, 대조군과 Group2-에서만 유의한 차이를 보였다.)

지르코니아 시편의 굽힘강도는 단순 표면거칠기에 영향을 받는 것이 아니라, 표면처리의 방법, 지르코니아 표면의 결정상의 분포 비율 등 다양한 요소가 영향을 주는 것으로 생각된다.

## V. 결 론

지르코니아 시편의 표면 거칠기의 정도와 방향이 굽힘강도에 영향을 주는지 알아보기 위해 #1000, #400, #325, #230, #120 diamond mesh를 이용하여 각각 시편의 장축에 수직, 사선, 수평 방향으로 표면거칠기를 형성해 주고, 삼점 굽힘시험을 통해 굽힘강도를 측정하였다.

1. 표면거칠기( $R_a$ )는 평균 0.07-0.624의 범위로 나타났다. 스크래치가 시편장축에 수직과 사선 방향으로 형성된 경우 diamond mesh의 번호가 작아질 수록 표면 거칠기값이 증가하였다. 단, 수평으로 형성된 경우 표면거칠기 값이 상대적으로 작으며, diamond mesh에 따라 일관적으로 변화하지 않았다.
2. 표면거칠기( $R_a$ )의 변화와 굽힘강도에 유의한 상관관계가 존재하지 않았다.
3. 스크래치가 형성된 방향과 굽힘강도에 유의한 상관관계가 존재하지 않았다.

## 참 고 문 헌

- 1) Jones DW. Development of dental ceramics. Dent Clin Am. 1985;29:621-45
- 2) Brecker CS. Porcelain baked to gold—a new medium in prosthodontics. J Prosthet Dent. 1956;6:801-10
- 3) McLean JW, Hughes TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. Brit Dent J. 1965; 119:268-72
- 4) RITTER JE , MAHONEY FM. JR, JAKUS K. Fracture mechanics of ceramics. Plenum New York. 1986;8:213-23
- 5) Bull SJ, Page TF, Yoffe E.H. An explanation of the indentation size effect in ceramics. Philo Mag Letters. 1989; 59:281-8
- 6) Luthardt RG, Holzhüter M, SandKuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, Walter M. Reliability and Properties of Ground Y-TZP-Zirconia Ceramics. J Dent Res. 2002;81:487-91
- 7) Ha SB, Choi W, Lee. A study on the surface roughness and bending strength for zirconia ceramic grinding. J Korea society of Precision Engineering. 2000; 17:131-6
- 8) Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic Steel?. Nature 1975;258:703-704
- 9) Witek SR, Butler EP. Zirconia particles coarsening and the effect of zirconia additions on the mechanical properties of certain commercial aluminas. J Am Ceram Soc 1986;69:523-9.
- 10) Virkar AV, Matsumoto R.L.K, Ferroelastic Domain Switching as a Toughening Mechanism in Tetragonal Zirconia. J. Am. Ceram. Soc. 1986;69: 244-26
- 11) 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;15:426-33
- 12) Hang Wang, Moustafa N, Aboushelib, Albert J. Feilzer. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. Dental materials. 2008;24:633-8



**저작물 이용 허락서**

학 과	치의학과	학 번	20097367	과 정	석사
성 명	한글: 한 석 동    한문 : 한 석 동    영문 : Han Seok-dong				
주 소	광주광역시 동구 서석동 조선대학교 치과병원 보철과				
연락처	010-2090-7720	E-MAIL	hsd04098@naver.com		
논문제목	한글 : 지르코니아 표면거칠기와 굽힘강도와의 상관관계 영문 : Corelation between Surface Roughness and Flexural Strength of Zirconia Ceramic				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다                    음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억 장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(       )

2011년 6월        일

저작자:    한 석 동        (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**