

## 치과용 지르코니아 이장재 처리에 따른 지르코니아와 도재의 전단결합강도 비교

서정일, 박원욱, 김양근  
진주보건대학교 치기공과

### Shear bond strength of a layered zirconia and porcelain according to treatment of zirconia liner

Jeong Il Seo, Won Uk Park, Yang Geun Kim

Dept. of Dental Laboratory Technology, Jinju Health Sciences College

#### [Abstract]

**Purpose:** Physical and chemical properties of gold is most suitable to be restored of teeth to its original state. Recently zirconia was used instead of gold because of esthetical and intimacy of human body. Because of high strength and high abrasion resistance of zirconia, all zirconia artificial tooth lead to wear the original tooth of opposite site. To preserve this original tooth, zirconia artificial tooth covered with dental ceramic glass was used. When joining the zirconia core and dental ceramic glass, difference of their thermal expansion coefficient and wetting ability is generated the residual stress at interface lead to crack. In order to solve this problem, intermediate layer what is called zir-liner was imported to decrease the residual stress and increase the bonding strength.

**Methods:** In this study, to identify the optimum conditions for manufacturing process, various methods to rough the surface of zirconia core were adopted, and vary the thickness of interlayer, and analyzed bond strength.

**Results:** Bond strength of sanding specimens group showed higher than that of non-sanding specimens group, and once applied intermediate layer with sanding specimens showed highest bond strength with 28 MPa. SEM photomicrographs of zirconia cores fired at 1500°C showed parallel straight lines in sanding and pockmarked surface in blasting surfaces as abrasion traces. Observation of the destruction section after shear test by SEM were carried out. Liner applied non-sanding group and non-liner applied sanding group all showed interfacial crack. Sandblasting group with non-liner showed remained dental ceramic glass on the surface of zirconia. Sandblasting group with once applied liner showed partially remained liner and dental ceramic glass on the surface of zirconia. XRD analysis revealed that sandblasting group showed higher monoclinic peaks than other specimens group and this result was due to the high collision energy for stress induced phase transformation.

**Conclusions:** A study on the improvement of bonding strength between zirconia and dental ceramic glass steadily carried out for the future to practical use.

◉ **Key words:** : zirconia, liner, sand-blasting

교신저자	성명	서정일	전화	010-4588-2844	E-mail	mak2875@hanmail.net
	주소	경남 진주시 의병로 51 (상봉동) 진주보건대학교 치기공과				
접수일	2016. 10. 14	수정일	2017. 2. 21	확정일	2017. 3. 5	

## 1. 서론

최근 심미성에 대한 환자의 요구의 증가에 따라 상실된 치아를 대체하여 치아의 형태 기능을 회복시키거나 수복 및 보철 교정 등을 통하여 심미성을 개선시키는 시술이 급증하고 있다(Komine et al, 2004).

현재 치과분야에서는 높은 심미성을 가진 보철물에 대한 요구가 증가하고 있으며 이에 지르코니아는 금속과 달리 반투명성이 있어 심미적이고, 알루미늄 도재에 비해 두 배의 굴곡강도와 파괴인성을 갖는 등 기존의 어떤 치과용 세라믹보다도 뛰어난 기계적 물성을 가져 치과분야에서 그 사용빈도가 증가하고 있다. 높은 내열성과 낮은 열전도도, 높은 내화학적, 낮은 열팽창성, 높은 내마모성, 금속과 유사한 정도의 방사선 불투과성으로 인해 수복물의 변연 적합도, 잔존시멘트, 그리고 이차우식을 확인하는데도 유리한 장점이 있다(Jeon et al, 2005). 이러한 장점들로 인해 오늘날 지르코니아는 심미적 수복에 있어 금속 없이 견고한 하부구조물을 형성할 수 있으며, 전치부는 물론 구치부 계속가공의치로서도 그 사용이 증가하고 있다(Cehreli et al, 2009) 이렇듯 지르코니아가 치과임상에서 그 사용이 증가할 수 있

었던 것은 CAD/CAM 기술이 치과 분야에 도입되어 지르코니아의 가공이 가능해졌기 때문이다. 현재 지르코니아의 주된 용도인 도재관의치 제작을 위한 여러 가지 CAD/CAM 시스템들이 출시되어 있으며, 이들은 빠르게 발전하고 있다(Kim et al, 2001).

현재, 치과용 지르코니아는 CAD/CAM을 이용한 전체가 지르코니아로 만든 프레타우(prettau)와, CAC/CAM으로 코어만 제작해서 나머지 부분은 글라스로 축성한 형태로 나뉜다(Thinschert et al, 2001).

현재 Fig. 1처럼 프레타우(prettau)를 장착한 후 구강 내에서 발생하는 대합치인 자연치아의 교두 마모 현상이나, 지르코니아 코어와 도재와의 파절로 인한 환자의 불편 등 많은 결함이 일어나고 있다.

지르코니아 파절 형상과 원인을 분석한 선행연구결과를 분석하면 지르코니아 코어는 파절되지 않고 일부 세라믹만 떨어져 나가는 파절 양상이 대부분이었으며, 코어와 세라믹간의 낮은 결합력, 열팽창계수 차이에 의한 응력집중, 낮은 젖음성, 소성에 따른 수축, 계면상태의 결정변태, 제작 과정에서 발생한 결함이 원인으로 나타났다(우창우, 2013).

또한 다양한 전장 도재들이 지르코니아 코어 재료들을

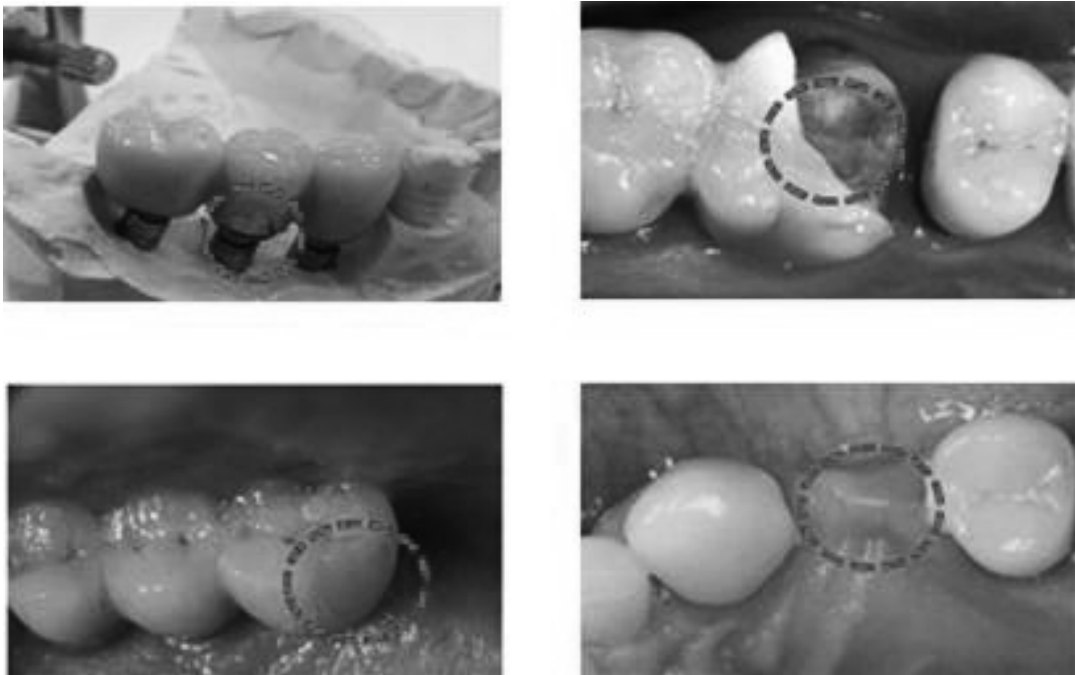


Fig. 1. Fracture of the zirconia tooth.

위해 개발되었으며, 때로는 코어의 색조 개선을 위해 특별한 이장재를 사용하기도 한다.

지르코니아와 전장도재 간의 결합력을 높이려는 연구들이 기계적 결합이나 화학적 결합을 증진시키는 방향으로 진행되어 왔다. 지르코니아 세라믹 코어에 Sand-blasting은 전장도재와의 결합강도에는 영향을 미치지 못하지만, 지르코니아 코어에 이장재를 적용했을 경우에는 결합강도가 유의하게 증가하였음을 보고 하였다 (Yamaguchi et al, 2012).

본 연구에서는 파절방안의 대책으로 지르코니아와 도재간의 결합에 미치는 영향을 알아보기로 하여 코어에 다양

한 표면 거칠기를 부여한 후 결합력 차이를 비교하였고, 코어에 이장재 도포량에 따른 결합력 차이를 분석하여, 지르코니아 코어와 도재와의 균일하고 강하게 결합할 수 있는지를 연구하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 순서

Fig. 2는 전체 실험과정을 도식적으로 나타낸 것이다.

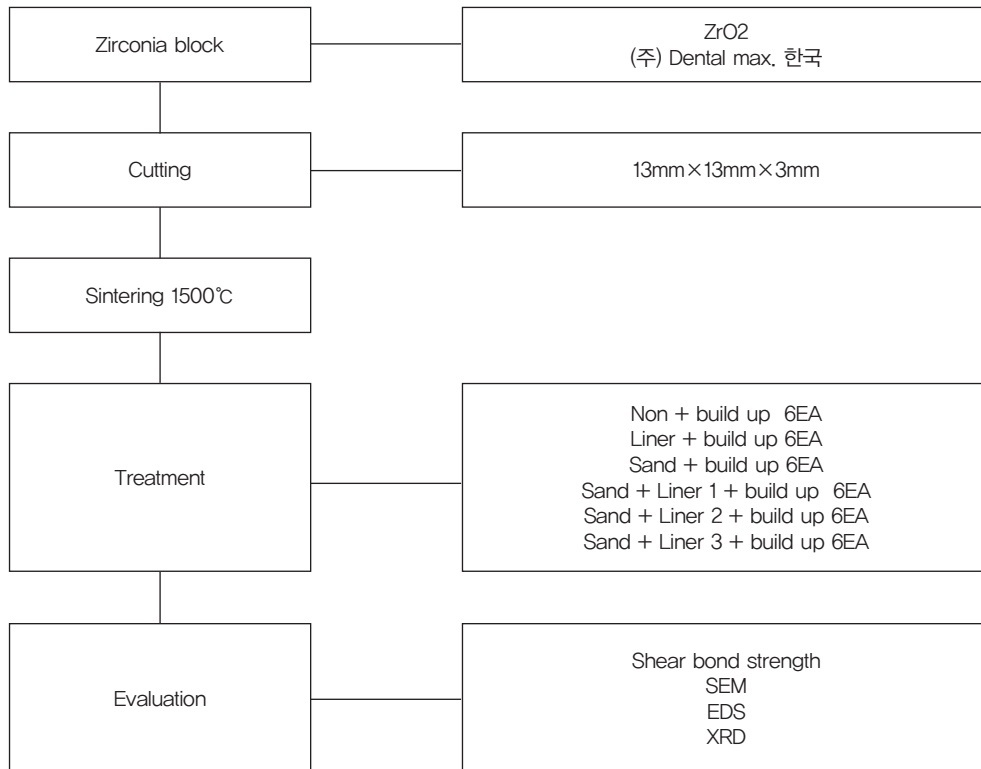


Fig. 2. Flow chart of the experimental procedures.

## 2. 지르코니아 시편 제작

Fig. 3은 제조회사에서 가소결된 블록을 diamond disk를 사용하여 절단하였고 직육면체의 형태로 제작하여 소결 후 13mm×13mm×3mm의 크기로 각 그룹마다 6개의 시편을 제작하였다.

각 군 모두 동일한 diamond disk를 사용하였고, Sand-blasting은 110 $\mu$ m 알루미늄으로 4bar의 압력으로 동일한 표면 거칠기를 주었다.

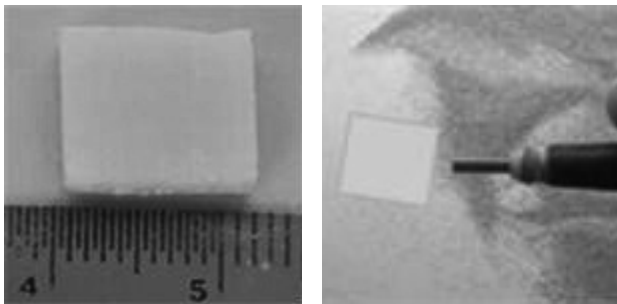


Fig. 3. Zirconia sand-blasting treated specimens.

## 3. 시편의 소성

### 1) Mold 제작

Fig. 4는 각 시편마다 일률적인 VITA VM<sup>®</sup>9 power 두께와 크기를 얻기 위해 아크릴 레진으로 mold를 제작한 후 이를 사용하여 축성 후 소결하였다.



Fig. 4. The photograph of sample preparation before glass ceramic build-up.

### 2) 시편 축성

Fig. 5는 지르코니아 시편 위에 제조사가 제공하는 지시서에 따라 VITA VM<sup>®</sup>9을 축성 한 후 5분간 건조시키고 Firing parameter를 modification하여 소결하였고, 소성으로 인한 수축을 감안하여 2차로 나누어 두께를 부여하였다.

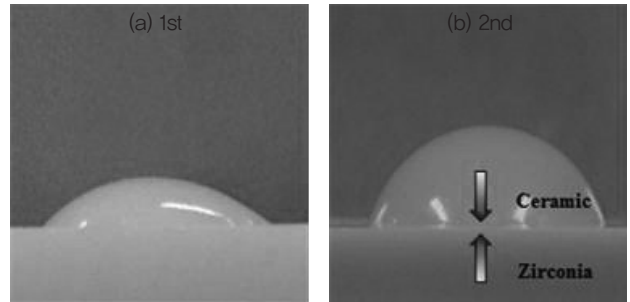


Fig. 5. The photos of sample preparation steps to prepare shear bonding strength test.

### 3) 소성 조건

모든 세라믹의 소성은 치과용 소성로(Programat<sup>®</sup> P500, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)를 이용하였다.

VITA VM<sup>®</sup>9의 파우더와 라이너의 물리적 특징을 Table 1에, 소성조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. VITA VM<sup>®</sup>9

VITA VM <sup>®</sup> 9	단위	함량
열팽창계수	10-6 · K-1	9.0 ~ 9.2
연화점	°C	대략 670
변형온도	°C	대략 600
산성용해도	$\mu$ g/ $\mu$ m <sup>2</sup>	대략 10
평균입자크기	$\mu$ m(d50)	대략 18
3-point 굴곡강도	MPa	대략 100

Table 2. Heating schedules.

	Start °C/F	Dry time	°C/min	Final °C/F	Hold time	Vacuum Start °C/F	Vacuum Release °C/F
VITA Zir-Liner	403/757 500	4min 4:30	40 55	960/1760 960	1min 1:00	450/842 500	959/1758 940
연화점	403/757 500	4min 4:30	40 55	750/1382 940	1min 1:00	450/842 500	749/1380 940

#### 4. 전단결합 강도 측정

Fig. 6은 최종적으로 지르코니아 시편위에 세라믹을 소결시키고 시편을 지름 30mm와 높이 20mm의 원통의 형태로 epoxy resin으로 포매하였다.

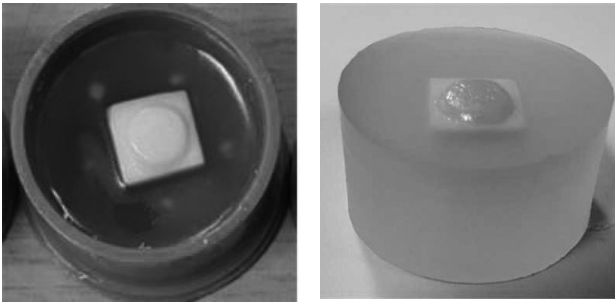


Fig. 6. The photo of sintered specimens after embedding in epoxy resin.

Fig. 7은 전단결합 강도를 측정하는 방법을 나타낸 것이다. 지르코니아와 세라믹 사이의 접착 면에 평행한 방향으로 전달 되도록 전단결합강도 측정용 jig에 고정된 뒤, 만능시험기(Instron 3366, Instron Corp., Nowood, MA, U.S.A.)로 crosshead speed 0.5mm/min의 조건에서 최대하중 값을 각 그룹 6개의 시편을 모두 측정하였다.

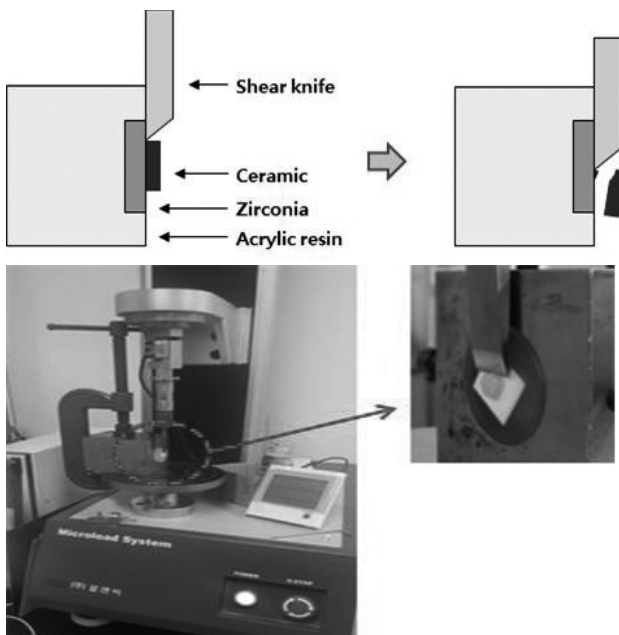


Fig. 7. The photos of universal testing machine & special jig to measured shear bonding strength used in this study.

#### 5. 미세구조 관찰

표면 처리한 지르코니아 시편과 결합강도 실험 후 일부 지르코니아 시편은 파절 양상을 관찰하기 위하여 120초 동안 백금 코팅을 실시한 후, 주사전자현미경 (Joel, JSM-6700F, Japan)을 사용하여 미세구조를 관찰하였다. 그리고 그 성분을 EDS로 분석해 보았다.

#### 6. XRD 관찰

X-선 회절분석기(D8 Advance, Bruker AXS, Germany)를 사용하여 시편의 결정구조를 관찰하였다.

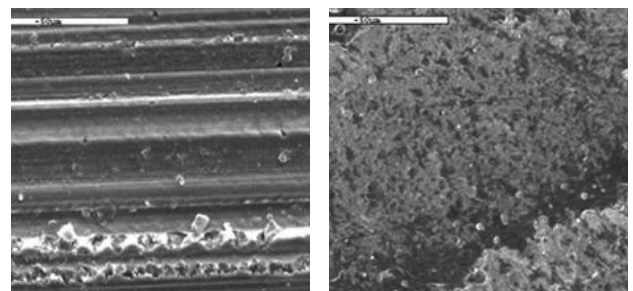
### III. 결 과

#### 1. 초기시편 표면 관찰

Fig. 8 (a)는 가공하지 않은 초기 지르코니아 표면을 관찰한 미세구조를 나타낸 것이다. 관찰된 지르코니아 표면에서는 모든 군에서 선모양의 흔적을 발견되었고, (b) sand-blasting한 군에서는 함몰부위가 많이 발견되었다.

(a) 표면에서 관찰되는 선모양의 흔적은 시편을 연마하는 과정에서 SiC 연마지에 의한 마모 흔적임을 확인할 수 있었으며, 표면 연마과정에서 입자의 박리가 일어남이 관찰되었다.

(b) 표면을 sand-blasting 처리하면 선 모양의 연마 흔적은 사라지고 분사된 입자에 의해 표면에 흠들이 생겨나는 것이 관찰되었다.



(a) non treatment

(b) sand-blasting

Fig. 8. The photos of SEM images of zirconia specimens.

## 2. 전단강도 측정

Table 3은 다양한 표면처리에 따른 전단결합 강도 측정 결과를 나타낸 것이다. 각 시편의 평균 결합강도는 16~28 MPa로 나타났다. NT시편, LT시편, SL3T시편은 다른 시편에 비하여 통계적으로 유의하게 낮은 결합강도를 보였다( $P < 0.05$ ).

표면연마 후 sand-blasting을 하지 않고 라이너만을 1회 도포한 시편은 지르코니아와 세라믹 축성분체와의 결합력이 22MPa로 측정되었다. 이는 라이너의 존재가 지르코니아와 세라믹 축성분체와의 결합력을 향상시킬 수 있음을 보여준다. 이와는 반대로 ST시편과 SL1T시편은 전단결합강도에 유의하게 영향을 미쳤다. 이는 sand-blasting이 지르코니아와 세라믹 축성분체와의 결합력 향상에 라이너 보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며 결합력은 접촉 표면적이 넓을수록 향상됨을 암시한다.

sand-blasting후 라이너를 1회 도포한 군이 28MPa로 가장 높게 나왔으며, sand-blasting후 라이너 2회, 3회 추가 도포할수록 전단결합 강도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 현상으로 미루어볼 때 지르코니아와 세라믹 축성분체 사이에서 중간층을 형성하는 라이너의 두께가 얇은 것이 두꺼운 것 보다 접합에 더 효율적인 것으로 판단된다.

Table 3. Result in shear bonding strength.

Group	n	평균	표준 편차	표준 오차	95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
NT	6	16.85	3.350	2.369	12.207	21.493
LT	6	22.15	1.350	0.955	20.278	24.022
ST	6	26.15	1.950	1.379	23.447	28.853
SL1T	6	27.95	1.450	1.025	25.941	29.959
SL2T	6	24.25	1.900	1.343	21.618	26.882
SL3T	6	21.15	2.800	1.980	17.269	25.031

## 3. 파단면의 미세구조 관찰

Fig. 9는 무처리한 시편과 sand-blasting은 하지않고

라이너만 도포한 시편의 파단면 미세구조를 나타낸 것이다.

무처리한 시편에서는 세라믹 축성 분체 층이 지르코니아의 표면에 분산된 형태로 분포되어 있음이 관찰된다.

라이너를 도포한 시편에서는 세라믹 축성 분체 층 대신 라이너 층이 지르코니아의 표면에 분산된 형태로 분포되어 있어 두 시편 모두 계면에서 파절이 일어났음을 알 수 있었다.

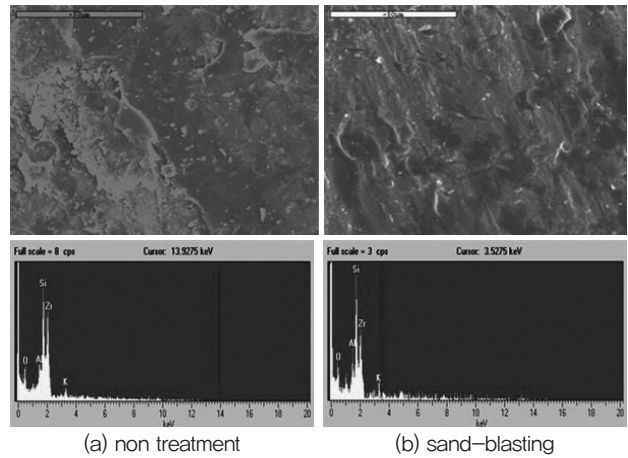


Fig. 9. The photo of SEM images of fractured surface of specimens.

Fig. 10은 sand-blasting한 시편과 sand-blasting후 라이너를 1회 도포한 시편의 파단면 미세구조를 나타낸 것이다.

sand-blasting군의 미세구조는 분리가 일어난 접착면이 지르코니아가 완전 노출되지 않고 sand-blasting에 의해 생겨난 요철 같은 함몰부위와 세라믹 입자들이 지르코니아 표면에 부분적으로 남아 있는 것을 관찰할 수 있었으며, 이러한 현상은 앞서의 Fig. 11에서 관찰된 현상과 동일함을 알 수 있었다.

sand-blasting후 라이너를 1회 도포한 시편은 지르코니아와 세라믹의 경계가 나타남을 확인 할 수 있었다. 이는 파절이 세라믹 축성 층에서 일어났으며 라이너에 의하여 지르코니아와 세라믹 축성 층의 결합강도가 증진된 결과임을 알 수 있었다.

Fig. 11은 sand-blasting후 라이너를 2회, 3회 도포한 시편의 파단면 미세구조를 나타낸 것이다.

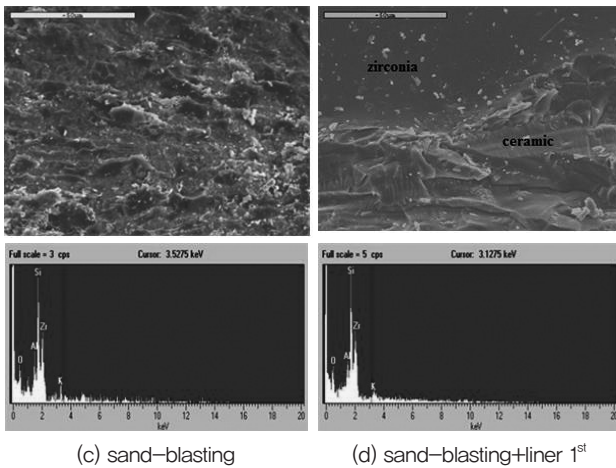


Fig. 10. The photo of SEM images of fractured surface of specimens.

sand-blasting후 라이너를 2회, 3회 도포한 시편의 미세구조는 분리가 일어난 지르코니아 표면은 보이지 않으며, 앞서의 라이너를 1회 도포한 시편에서 관찰된 지르코니아와 세라믹의 경계층도 관찰되지 않는다. 따라서 파절은 라이너 층에서 일어났음을 알 수 있다.

앞서 파절강도 측정에서 나타난 바와 같이 라이너의 두께가 두꺼워지면 균열은 강도가 가장 낮은 부위를 통하여 진행된다고 알려진 바와 같이 라이너가 가장 취약한 재료이기 때문에 두께가 두꺼우면 접합재로서의 효과를 기대할 수 없음을 알 수 있었다.

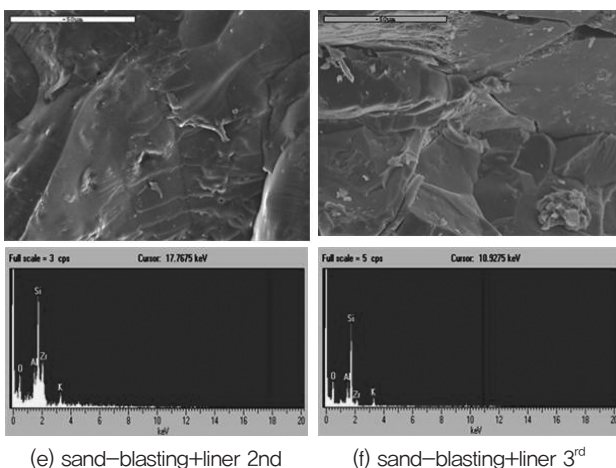


Fig. 11. The photo of SEM images of fractured surface of specimens.

#### 4. 절단면의 미세구조 관찰

Fig. 12는 sand-blasting한 시편과 sand-blasting후 라이너를 1회, 2회, 3회 도포한 시편의 절단면 미세구조를 나타낸 것이다.

(a)시편은 지르코니아와 세라믹이 균일하게 결합된 경계면을 볼 수 있으며, 기공 등의 결합도 나타나지 않았다. (b)시편의 라이너 두께는 1.36mm를 나타내었고, (c) 시편의 라이너 두께는 2.52 $\mu$ m, (d)시편의 라이너 두께는 7.38 $\mu$ m를 나타내었다.

라이너를 도포하는 횟수에 따라 라이너의 두께는 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 (d)에서 보는 바와 같이 시공 후에 존재하는 기공 때문인 것으로 생각된다.

한편, 라이너 위에 축성된 세라믹은 경계면에서 기공이 관찰되며, 축성과정에서 생성되는 결합도 전단강도에 영향을 미칠 수 있는 인자임을 알 수 있었다.

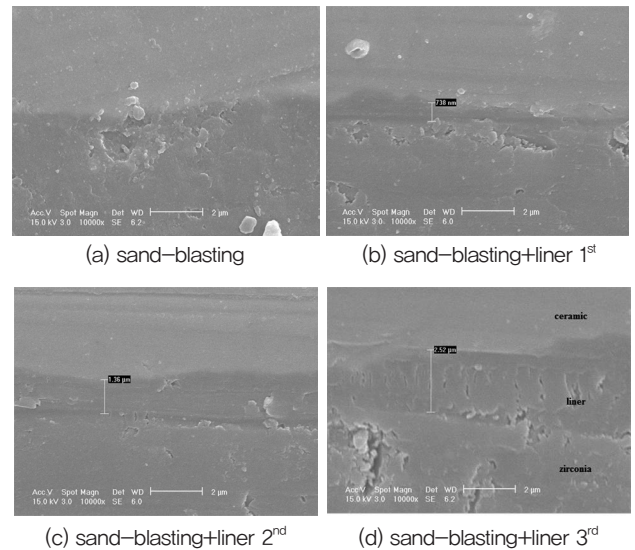


Fig. 12. The photo of SEM images of fractured surface of specimens.

#### 5. 표면 X-선 회절분석

Fig. 13은 무처리 시편과 sand-blasting시편의 XRD를 나타낸 것이다. 치과용 지르코니아 블럭은 Y-TZP로 결정상이 정방정이지만 가공을 통하여 응력유기 상

전이가 일어난다면 표면에 단사정이 생겨날 수 있다.

소결 전에 가공의 영향으로 표면에 약간의 단사정이 생겨났음을 알 수 있으며, 소결 후 sand-blasting에 의하여 단사정의 peak가 성장한 것을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 응력유기 상전이의 결과로 판단된다.

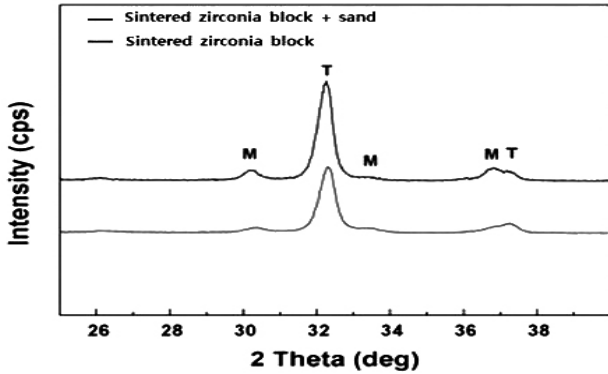


Fig. 13. The XRD pattern of sand-blasting treated specimens.

#### IV. 고찰

전부 세라믹 수복물의 임상적인 성공은 코어와 전장 세라믹간의 결합강도에 많은 영향을 받는다. 지르코니아는 파절강도가 1200MPa에 이르는 우수한 재료이며, 그 표면에 다양한 색상을 입히는 기술도 소개 되었지만 불행히도 아직까지는 지르코니아 만으로는 자연치아와 같은 색상과 투명도를 얻기가 불가능하여 그 표면에 도재를 축성하는 것이 필수적이다.

전부세라믹 수복물의 실패에 영향을 주는 요소로는 코어와 전장용 세라믹의 열팽창 계수 차이와 젖음성, 부적절한 코어 디자인, 과도한 도재 축성 그리고 가공과정에서 발생하는 결함등 많은 요소가 있다. 코어와 전장용 세라믹의 결합강도의 평가는 수복물의 내구성을 예측하는데 매우 유용하며, 결합강도를 측정하는 많은 방법들이 제시되고 있다(우창우, 2013). 그 중 이중 구조를 이루고 있는 금속-세라믹 시스템에서는 굽힘 시험이 널리 이용되고 있고, 25MPa 정도의 결합강도가 임상적인 사용이 가능하다고 알려져 있다. 그러나 시편 표면에 최대 인장응력이 발생하는 3점이나 4점 굽힘 시험은 시편 폭

에 비해 길이가 길기 때문에 표준화된 시편의 제작이 용이하지 않고, 또한 시험중에 지지점에서 응력의 집중으로 파절이 일어날 수 있는 단점을 가지고 있다.

본 실험에서는 지르코니아 시편에 다양한 표면 거칠기를 부여한 후 결합력 차이와 이장재 도포량에 따른 결합력 차이, 세라믹이 균일하고 강하게 결합할 수 있는지를 측정 하였다.

sand-blasting 처리한 시편이 타 시편에 비해 표면에서는 연마 흔적은 사라지고 분산된 입자에 의해 얇고 불규칙한 요철 같은 함몰부위 구조가 관찰된다. 이것은 지르코니아 표면의 요철 구조는 표면에너지를 높이고 지르코니아와 라이너의 접촉 면적을 증가시켜 기계적 화학적 결합력을 향상시키고, 그 결과 지르코니아와 세라믹의 결합강도를 향상 시켰을 것이라고 생각된다. 따라서 전단결합 강도를 높이기 위해서는 지르코니아 표면 처리 과정이 매우 중요하며 특히 표면 거칠기 처리와 라이너를 함께 적용하는 것은 지르코니아 코어와 도재의 결합 여부에 매우 효과적인 요인으로 작용하고 있음을 확인하였다. 그러나 라이너를 도포하는 횟수에 따라 라이너의 두께는 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 시공 후에 존재하는 기공 때문인 것으로 생각된다. 라이너 위에 축성된 세라믹은 경계면에서 기공이 관찰되며, 축성과정에서 생성되는 결함도 전단강도에 영향을 미칠 수 있는 인자임을 알 수 있었다.

무처리한 균에서는 세라믹 축성 분체 층이 지르코니아의 표면에 분산된 형태로 계면 파절 양상을 주를 이루고, 라이너를 도포한 균에서는 세라믹 축성 분체층 대신 라이너 층이 지르코니아의 표면에 분산된 복합 파절 양상이 주를 이룬다. 이것은 지르코니아 코어와 세라믹간의 결합력이 세라믹의 파절 강도보다 높은 경우, 세라믹 내에서 파절이 시작되고, 세라믹의 파절 강도가 낮다면 계면 파절의 형태가 나타남을 알 수 있다. 그리고 지르코니아 전장용 세라믹의 파절 양상은 계면 파괴 형태와 응집 파절 형태가 혼재된 복합 파절 형태가 관찰되었다.

지르코니아 라이너는 기본적으로 지르코니아의 하얀색을 보상하기 위해 사용되었으나, 근래에 들어서는 지르코니아와 전장용 세라믹의 결합강도에 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다(Tada K et al, 2012). 지르



코니아 코어와 세라믹 사이의 전용 라이너 사용이 거의 두배 가까운 결합강도를 보인다고 하였으며, 또 다른 연구에서도 라이너의 사용이 지르코니아와 세라믹의 전반적인 결합강도를 향상시킨다고 보고하고 있다(이현철, 2012). 지르코니아와 세라믹 축성분체 사이에서 중간층을 형성하는 라이너의 두께가 얇은 것이 두꺼운 것보다 접합에 더 효율적인 것으로 판단된다. 향후 라이너의 최적 두께에 대한 연구도 필요할 것으로 생각되나 본 연구에서는 더 이상의 연구는 진행하지 않았으며, 라이너 두께 조절 등의 방법에 관해서는 독립된 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결합강도에 영향을 주는 인자는 하중속도, 응력분산 유형, 두께 비율, 결합면의 길이와 넓이 및 파절 시작점의 위치와 균열확산 경로 등 다양하기 때문에 실험실에서 측정된 전단 결합강도의 절대치를 임상적 결과로 확대 해석하기에는 다소 무리가 있을 수 있으므로, 상대적인 비교 평가의 자료로 활용된다.

지르코니아 전부 세라믹 수복물에서 지르코니아 코어와 전장용 세라믹의 결합력을 높이기 위해 사용된 전용의 이장재의 사용은 전장용 세라믹과 지르코니아 코어 간의 결합력을 개선할 수 있는 수단으로 평가되며, 구강 내에서의 환경이 고려되지 못했기 때문에 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

치과용 지르코니아 이장재 처리에 따른 지르코니아와 도재와의 전단 결합 강도를 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 초기 지르코니아 표면을 관찰한 결과 모든 시편에서 선모양의 흔적이 발견 되었고, sand-blasting한 시편에서는 미세한 함몰부위가 발견되었다.
2. 지르코니아 표면에 sand-blasting 후 라이너를 1회 도포한 시편이 28MPa로 가장 높게 나타났다.
3. sand-blasting 후 라이너를 1회 도포 후, 라이너를 추가 도포 할수록 강도는 낮아졌다.
4. 지르코니아 표면에 무처리한 시편은 라이너를 도포하거나 sand-blasting한 대조 시편에 비해 강도가

현저히 낮았다.

5. 미세구조 관찰 결과 분리가 일어난 접착면은 지르코니아가 완전 노출되지 않고 세라믹입자들이 지르코니아의 표면에 남아 있는 양상을 보였으며, 라이너를 2회 이상 도포한 시편에서는 라이너 층이 지르코니아의 표면에 많이 남아 있는 것을 관찰 할 수 있었다.

## REFERENCES

- Cehreli MC, Kokat AM, Akca K. CAD/CAM Zirconia vs. slip-cast glass-infiltrated Alumina/ Zirconia all-ceramic crowns: 2-year results of a randomized controlled clinical trial. *Journal of applied oral science*, 17, 49-55, 2009.
- Lee HC. The interface study of surface treated zirconia and dental porcelain. Graduate School of Paichai University Daejeon, 2011.
- Jeon MH, Jeon YC, Jeong CM, Lim JS, Jeong HC. A study of precise fit of the CAD/CAM zirconia all-ceramic framework. *J Kor Acad Prosthodont*. 43, 611-621, 2005.
- Kim OK, Cho IH, Lim JH. On the marginal fidelity of all ceramic core using CAD/CAM system thesis, Dankook Univ, 2001.
- Komine F, Tomic M, Gerds T, Strub JR. Influence of different adhesive resin cements on the fracture strength of aluminum oxide ceramic posterior crowns. *J prosthet Dent*, 92(4), 359-364, 2004.
- Tada K, Sato T, Yoshinari M. Influence of surface treatment on bond strength of veneering ceramics fused to zirconia. *Dental materials journal*, 31, 287-96, 2012.
- Thinschert J, Natt GW, Spiekermann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina

and zirconia based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. Oper Dent 26, 367-374, 2001.

Woo CW. Bonding Strength of Zirconia with Glass Ceramic. Graduate School of Paichai University Daejeon, 2012.

Yamaguchi H, Ino S, Hamano N, Okada S, Teranaka T. Examination of bond strength and mechanical properties of Y-TZP zirconia ceramics with different surface modifications. Dental Materials journal, 31, 472-80, 2012.

Shin YH. The influence of Application of ZirLiner® and Surface Treatments on Shear Bond Strength of Zirconia-Porcelain Interface. Graduate School of Wonkwang University, 2007.