

지르코니아 CAD/CAM block의 강도에 관한 연구

이 정 수
TEM치과기공소

A study on the Flexural strength of zirconia CAD/CAM block

Jung-Soo Lee
TEM Dental laboratory

[Abstract]

Recently, zirconia is widely used in the field of dental ceramics thanks to the proliferation of CAD/CAM systems. Accordingly, different types of zirconia block are being solid in the market.

However, there are no precise, objective standards for properties of zirconia.

This study concerns the flexural strength of zirconia ceramic for CAD/CAM block.

The test specimens used for this study were ZirBlank(Acucera), ZirBlank shade(Acucera), VITA, Cercon(Densply) and Cerasys.

The test results suggest that ZirBlank shade block shows the highest flexural strength and density among the zirconia blocks tested.

Its flexural strength was $971 \pm 58 \text{ MPa}$ and its density was 99.89%.

On the other hand, Cerasys block shows the lowest flexural strength of $576 \pm 36 \text{ MPa}$ and the lowest density of 94.85%.

Given all, the density of the specimens is found to be directly proportional to strength and inversely to grain size.

○Key word : CAD/CAM block, Density, Flexural strength, Grain size, Zirconia

교신저자	성명	이 정 수	전화	017-334-4132	E-mail	temlab28@naver.com
	주소	서울 강북구 미아4동 87-54, 청우B/D 4층 TEM치과기공소				

I. 서 론

질병, 사고 또는 선천적 결손에 의해 상실된 치아 경조직을 대체함으로써 치아의 형태와 기능을 대체하는 재료로 지금까지는 금속코어를 사용하는 PFM(Porcelain-fused to metal crown) 이나 PFG(Porcelain-fused to gold)가 주로 사용되어 왔다. 오랜 기간 동안 사용되어온 금속 재료는 높은 성공률에도 불구하고 금속과 세라믹층 간의 열팽창 불일치, 도재에 의한 대합치 치질의 지나친 마모, 도재와의 접착을 위한 금속표면을 산화시켜 생성된 금속산화물과 불 투광(opaque) 세라믹 층 사이의 파절 등에 따른 도재관의 실패율 또한 간과할 수 없는 정도에 이른다. 특히 도재관을 이용한 전치부 수복 시 금속의 불 투광성으로 인한 치관주위의 변색에 따라 심미성이 떨어져, 심미성에 대한 욕구와 금속에 의한 잠재적인 체내 부작용 및 과민반응에 관한 우려가 환자들에 의해 팽배해지고 있다. 이러한 문제점들은 해결하기위해서 Opec HSP, IPS-Empress, Cerastore, In-Ceram, Cerec 등 다양한 형태의 세라믹 소재들이 출시되었으나(김대준과 한중석, 1995) 치아 수복재료의 요건인 생체친화성, 제작의 용이성, 심미성, 구강 내 응용에 적합한 강도, 그리고 경제성 등을 모두 만족시키기에 부족하였다. 그러나 최근 세라믹스 재료들 중 가장 높은 파괴인성과 강도를 가지면서도 생체친화성을 갖는 지르코니아(ZrO₂) 세라믹스의 치과계로의 도입과 CAD/CAM 기술의 발전 및 보편화에 따라 수복재료로의 상기 조건들이 만족됨으로서 금속도로 지르코니아가 금속재료들을 대체해 가고 있다(고영학과 정종현, 2008).

CAD/CAM용 지르코니아가 수복재료로 각광을 받게 됨에 따라 다양한 가공시스템들이 시장에 출시되고 있으며 동시에 각 시스템에 사용되는 지르코니아 블록의 강도 값이 마치 각 시스템의 우수성을 반영하는 것처럼 홍보되고 있지만 국내 가공계에서는 이에 대한 객관적인 검증이 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 각 시스템 제조사들의 CAD/CAM 블록으로부터 동일한 형태의 시편들을 준비하고 또한 동일한 조건에서 강도 및 소결밀도의 측정과 미세구조의 관찰을 통하여 비교분석함으로써 치과의료 종사자들에게 보다 객관적인 정보를 전달하고자

한다.

II. 실험 방법

시편은 현재 국내에서 많이 쓰이고 있는 수입제품인 VITA, Cercon, Cerasys 와 국산제품인 Acucera사의 ZirBlank, ZirBlank shade 블록을 각 제조사의 시스템에서 제조사의 소결 스케줄에 의거하여 소결하고 소결된 블록을 4×3×40mm가 되도록 절단한 후 표면을 1 μ m 다이아몬드 슬러리로 경면 연마하여 강도시편을 제조하였다. 가공 시 시편표면에 발생된 잔류응력을 제거하기 위하여 1200 $^{\circ}$ C에서 2시간 열처리 한 후 강도를 측정하였다. 강도는 ASTM C1161-94에 따라 각 제품 당 10개의 시편을 4-point bending방법으로 만능 측정기(Model 3365, Instron Co, U.S.A)를 사용하여 cross head speed 0.5 mm/min의 조건으로 파괴 하중을 구한 뒤 다음 식에 따라 굴곡강도를 계산하였다(ASTM C1161-94).

$$\sigma = \left(\frac{6P}{2bd^2} \right) \left(\frac{h-l}{2} \right) \text{ 수식1}$$

여기서 σ , P , h , l , b , d 파괴강도, 하중(Newton), 외부스팬(mm), 내부스팬(mm), 시편의 폭, 그리고 시편 길이를 각각 의미한다.

소결 밀도는 측정은 각 ISO 5017 에 따라 시편의 건조 무게와 포수무게 및 수중무게를 각각 측정하여 아르키메데스 법으로 벌크밀도를 계산 하였다 (ISO 5017). 계산된 밀도는 3Y-TZP의 이론밀도(6.08g/cm³)의 백분율로 비교 밀도 값으로 표시하였다. 미세구조는 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)을 사용하여 관찰하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서 사용된 제품들의 홍보물이나 홈페이지에 의하면 각 블록들의 강도가 Cercon 1,200MPa, VITA 1,000MPa, Cerasys 1200MPa, ZirBlank 810MPa, ZirBlank Shade 970MPa으로 표기되어있다. 세라믹스

의 강도값 이 시편의 크기, 표면조도, 측정방법, 측정하중 속도, 측정분위기 등에 의해 크게 좌우됨에도 불구하고 각 제품의 홍보물에는 이와 같은 측정에 관련된 정보를 제공하지 않음에 따라 각 블록 강도에 대한 객관적인 신뢰성이 결여되어있다. 일반적으로 시편의 크기가 작을수록, 표면의 조도가 낮을수록, 측정방법이 4-point 법보다 3-point법일 때, 그리고 측정하중속도가 빠를수록 측정된 강도값 은 실제보다 높게 결정된다.

시편이 작을수록 높은 강도값 을 나타내는 이유는 세라믹의 강도가 주어진 하중 하에서 균열이 성장하는 임계크기를 갖는 결합에 의해 결정되며 이 임계크기 결합이 시편 내 존재할 확률은 그 부피에 비례하기 때문이다. 이러한 관계를 수식 2 에 나타내었는데,

$$\sigma_1 = \sigma_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1/m} \quad \text{수식2}$$

여기서 σ_1 은 V_1 의 부피를 갖는 시편의 강도 값, σ_2 는 V_2 의 부피를 갖는 시편의 강도값 그리고 m 은 재료의 신뢰성 정도를 나타내는 Weibull 상수 값이다. 수식 2 에 의하면 시편의 크기가 강도에 미치는 영향 외에도 그 영향의 정도는 재료의 Weibull 상수 값이 클수록 더 적어진다는 것을 알 수 있다. 표면조도가 강도에 미치는 영향은 세라믹스의 강도가 표면에 존재하는 결합의 크기에 의해 결정되기 때문이다. 즉, 결합크기가 클수록 강도는 저하되고 그 크기는 조도에 비례한다. 실험방법이 강도에 미치는 영향을 4-point 법과 3-point법의 경우를 비교해보면 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 시편에서 균일한 하중을 받는 부위가 4-point법의 경우 3-point법에 비해 크기 때문에 상기 기술한 임계결합의 존재확률이 더 높아 강도값 은 낮게 측정된다. 일반적으로 3-point법으로 측정된 강도값 은 4-point법에 비해 약 30% 높게 측정되는 것으로 알려져 있다. 측정하중속도가 빠를수록 측정된 강도값 은 높아지는데 이는 결합의 균열선단이 그 주위에 존재하는 수분과 반응하여 균열성장을 촉진시켜 강도의 저하를 가져오는 여유를 주지 않기 때문이다. 이에 따라 하중속도는 일정해야하며 동일한 이유로 측정이 장마찰에 행해졌을 때의 강도 값이 건조한 겨울에 측정된 값보다 낮게 결정되기 때문에 측정분위기 또한 일정하게 유지

하는 것이 신뢰성 높은 측정을 위해 중요하다.

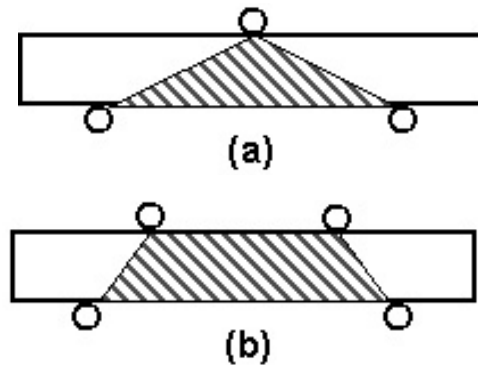


Fig. 1. Load of limits. (a) 3-point bending test (b) 4-point bending test

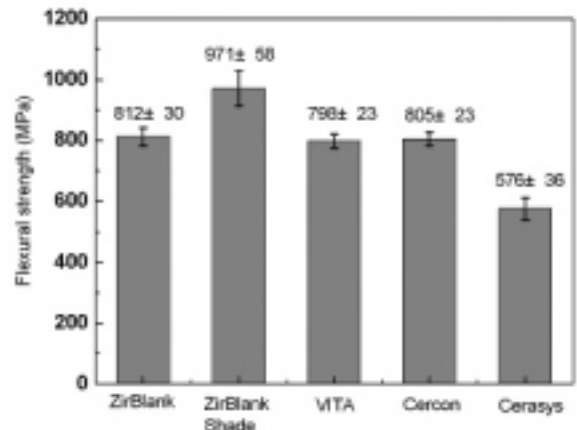


Fig. 2. Flexural strength of zirconia block

각 제품들의 시편을 4-point법으로 측정된 강도값 을 Fig. 2에 나타내었다. VITA, Cercon, ZrBlank는 측정 오차범위 내에서 약 800MPa의 동일한 값을 보였으나 Cerasys의 경우 이보다 약 30% 낮은 강도 값을 보였으며 ZrBlank Shade의 경우는 약 20%이상 높은 강도 값을 보였다. 측정된 강도 값은 VITA와 Cercon의 경우 홍보물에서의 강도 값 보다 아주 낮았는데 이는 이들 제품의 경우 본 실험에서 사용된 시편보다 작은 시편을 사용했거나 또는 3-point법에 의해 측정했거나 하중속도가 표준속도보다 빨랐거나 아니면 이들이 복합적으로 사용된 측정방법에 의해 얻어진 결과 때문으로 사료된다. 그에 비해 국내 제조사인Acucera 사의 블록 강도값 은 홍보물과 거의 일치하였다. <Fig.2>의 결과로 볼 때 CAD/CAM용 블록으로 사용되는 3 mol% 이트리아 (Y_2O_3)가 첨가되어 정방

정상이 안정화된 지르코니아(3Y-TZP)의 강도는 일반적으로 800MPa이라고 할 수 있다. Cerasys의 강도값이 특히 낮은 것은 Table 1에서 보인바와 같이 소결밀도가 상대적으로 낮기 때문이다. 소결밀도가 세라믹의 강도에 미치는 영향은 소결밀도가 낮을수록 세라믹스 내 결함의 수와 크기가 크며 존재하는 결함들 중 많은 결함이 상기 기술한 입계결함크기보다 큼에 기인한다. 일반적으로 세라믹스의 소결밀도(ρ)와 강도(σ_f)와의 관계는 수식 3을 따르는 것으로 알려져 있다. 수식 3에서 σ_0 는 이론밀도를 갖는 시편(즉, 기공이 전혀 존재하지 않는 시편)의 강도, c 는 상수, P 는 기공률로 $(100 - \text{상대밀도})/100$ 으로 표시된다. 상대밀도는 $(\rho/6.08) \times 100$ 으로 여기서 6.08g/cm^3 은 3Y-TZP의 이론밀도이다. 즉, 다른 모든 조건들이 동일할 때 세라믹스의 강도는 소결밀도에 지수 적으로 비례한다 (Dockworth, 1953; Knudsen, 1959).

$$\sigma_f = \sigma_0 \times \rho^c \quad \text{수식3}$$

Table 1. Density of zirconia block

Product	Relative Density (%)
ZirBlank	99.85
ZirBlank Shade	99.89
VITA	99.79
Cercon	98.84
Cerasys	94.85

Table 1에서 Cercon의 밀도가 ZirBlank, ZirBlank Shade, VITA보다 낮음에도 불구하고 동등한 강도를 보이는 것은 Fig. 3에서 Cercon의 입경크기가 다른 제품에 비해 작는데 기인한다. 이는 입경크기(d)가 일반적으로 입계결함크기에 비례하여 수식 4에서 보인바와 같이 강도가 입경의 제곱근에 반비례하기 때문이다 (Orowan, 1948; Petch, 1953). 즉, Cercon의 낮은 밀도에 따른 강도저하를 작은 입경이 보상해 주기 때문이다. Cercon의 작은 입경은 소결온도가 1350°C 로 다른 제품들의 온도인 1500°C 에 비해 낮기 때문에 소결 시 입성장이 덜 일어난 데 기인한다. 한편 ZirBlank Shade가 측정된 제품들 중에서 가장 높은 강도값을 보였는데 이는 치아색상발현을

위한 착색제의 첨가가 Table 1에서의 높은 소결밀도의 결과에 기인하는 것으로 사료된다.

$$\sigma_f \propto d^{-\frac{1}{2}} \quad \text{수식4}$$

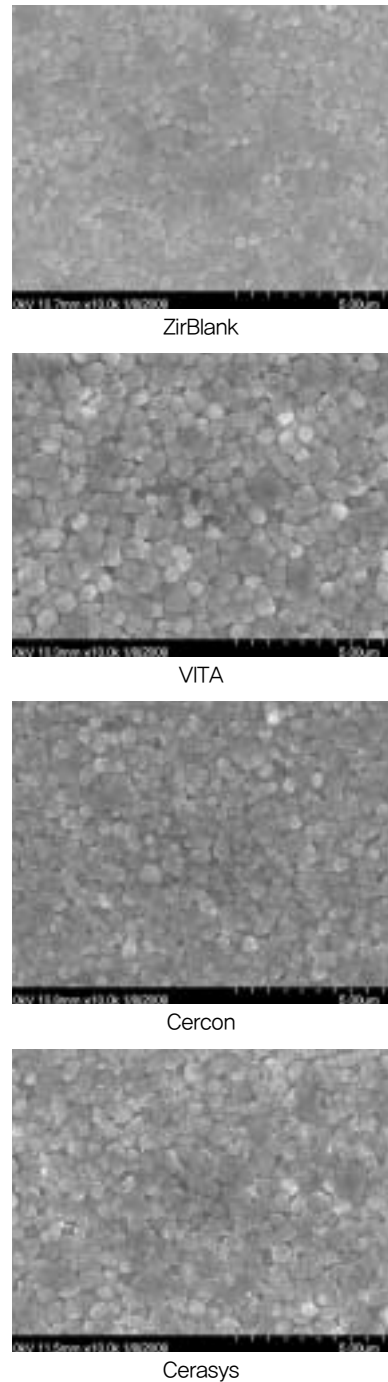


Fig. 3. Microstructure of zirconia block

강도값 하나로 CAD/CAM block의 좋고 나쁨을 평가

할 수는 없다.

강도 뿐 만 아니라 각 시스템에 알맞은 수축률, 투광도, 가공성 등의 많은 요인들이 복합적으로 평가되어 블록의 품질을 좌우하게 된다. CAD/CAM System의 보급률이 점차 늘어남에 따라 국내에서도 활발한 연구가 진행 중이고 하루가 다르게 새로운 제품이 출시되고 있다. 하지만 소비자들의 입장에서는 기존에 사용해 왔던 외국산 제품이 품질이 더 우수할 것이라는 선입견을 가지고 새로 출시된 국산 제품의 성능을 불신하고 객관적인 비교를 등한시 하고 있다. 이에 따라 기존 시장을 지배하고 있는 회사들이 A/S 등의 이유로 가격을 높게 책정 하고 블록 등의 다른 소모품 사용을 제한하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 강도값 만을 실험하여 비교하였으나, 다른 요인들에 대하여도 객관적인 실험을 통하여 상호 비교하여 소비자가 제품의 성능과 품질을 객관적이고 명확하게 알 수 있어 건전한 소비를 할 수 있어야 하겠다.

IV. 결 론

본 연구는 시판되고 있는 CAD/CAM용 지르코니아 블록들의 강도를 객관적으로 비교하기 위한 것으로 각 블록의 강도, 밀도, 미세구조를 측정해 본 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 세라믹스의 강도값이 시편의 크기, 표면조도, 측정방법, 측정하중속도, 측정분위기 등에 의해 크게 좌우됨에도 불구하고 각 제품들이 제시한 data에는 이와 같은 측정에 관련된 정보를 제공하지 않음에 따라 본 실험과 차이를 보였다.
2. 각 제조사별 블록의 4-point 법에 의해 측정된 강도는 (주)에큐세라 사의 ZirBlank shade 블록이 $971 \pm 58\text{MPa}$ 로 가장 높았으며 Cerasys 블록의 강도는 $576 \pm 36\text{MPa}$ 로 가장 낮았다.
3. 블록의 강도는 소결 밀도 값에 정비례하고 입경크기에 반비례하였다.

참 고 문 헌

- 고영학, 정종현. 치과용 세라믹 소재 개발동향. 제44차 (자)대한치과기재협의회 종합학술대회 및 치기공기자재 전시회지, 37, 2008.
- 김대준, 한중석. 치아수복용 세라믹 재료. 한국세라믹학회지, 10(5) 411-418, 1995.
- ASTM 1161-94. Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.
- Dockworth WH. Discussion of Ryshkewitch Paper by Winston Duckworth. J Amer Ceram Soc, 36, 68, 1953.
- ISO 5017. Dense shaped refractory products - Determination of bulk density apparent porosity and true porosity.
- Knudsen FP. Dependence of Mechanical Strength of Brittle Polycrystalline Specimens on Porosity and Grain Size. J Amer Ceram Soc, 42 376-387, 1959.
- Orowan E. Fracture and Strength at Solids. Rept Proger Phys, 12 185-232, 1948.
- Cercon block. www.dentsply-korea.co.kr.
- VITA block. VITA In-Ceram Directions for us Fabrication of the substructure.
- Cerasys block. CERASYS ZR-CAD/CAM SYSTEM.
- ZirBlank block. ZirBlank Shade; www.acucera.com.