

스크래치 시험을 이용한 치과용 지르코니아 블록의 가공성 연구

김영훈

원광보건대학교 치기공과

Processability study of dental zirconia block using scratch test

Yung-Hoon Kim

Department of Dental Laboratory Technology, Wonkwang Health Science University

[Abstract]

Purpose: This study was performed to investigate processability of the dental zirconia block. Most of the CAD/CAM zirconia restorations utilize the partially sintered blocks, which are sintered at a temperature lower than 1100°C.

Methods: Partially sintered zirconia samples were prepared 40×30×10 mm and surface treatment by #2000 sandpaper. Scratch hardness was determined by the procedure of ASTM G171-03 using a scratch hardness tester(KS TECH, Korea) equipped with a real time load detector to measure tangential force during scratching. The scratch rate was 30 mm/min.

Results: Scratch hardness(Hs) increases steeply with increase in the loads. The highest Hs was sampl 1.42 GPa and lowest was sample 0.42 GPa.

Conclusion : The machinability of partially sintered CAD/CAM zirconia blocks can be optimized by manipulation of Hs.

○ **Key words:** CAD/CAM, Zirconia, Machinability, Scratch hardness, Mechanical property

* 본 연구는 2017년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 이루어진 논문임.

Corresponding author	Name	김 영 훈	Tel.	063-840-1244	E-mail	kimyh@wu.ac.kr
	Address	전북 익산시 익산대로 514 원광보건대학교 치기공과				
Received	2017. 10. 11	Revised	2018. 3. 12	Accepted	2018. 3. 20	

I. 서론

치과 보철물 제작에는 금속, 고분자 그리고 세라믹 재료 등이 모두 이용되고 있으며 때로는 금속과 고분자 또는 금속과 세라믹 재료가 연합으로 사용되는 경우도 있다. 치과 보철물을 제작하는 과정에서 가장 중요한 재료적 특성은 물리적 성질이지만 최근에 와서는 심미적 특성을 고려하지 않을 수 없게 되었다(Lee, 2011). 또한 이러한 재료들을 가공하여 보철물을 제작하는 방법이나 절차에 대한 관심도 매우 높아지고 있어 관련된 기술과 장비들이 지속적으로 개발되고 있다.

금속, 특히 금합금의 우수한 물리적 성질로 인하여 고전적인 치과 보철물 제작방법으로 주조가공법이 주로 이용되었으나 현재는 컴퓨터를 이용한 절삭가공법의 한 종류인 캐드캠이 치과산업에 보급되고 상용화 되면서 수년 전부터 치과기공 분야에 변화가 일어나기 시작하였다(Bae, 2011). 그 중에서도 심미성이 뛰어나지만 제작방법이 어렵고 번거로웠던 도재 보철물 제작에 큰 영향을 미치고 있다. 도재의 선택에서는 굴곡강도와 경도가 중요한 자료로 작용하고 있다(Chung et al, 2017).

치과 도재 수복물 제작을 위해 사용되는 세라믹 재료는 알루미노실리케이트 글래스, 리튬실리케이트계 글래스 세라믹, 그리고 다결정 지르코니아 이렇게 세 가지 유형이 있다(Lee, 2013). 이들 유형 중에 캐드캠에 광범위하게 이용되는 세라믹은 지르코니아이며 강도가 높고 파괴인성이 우수한 안정화 정방정계 지르코니아가 주로 사용되고 있다(Denry et al, 2008). 그러나 완전히 소결된 지르코니아 블록은 너무 단단하기 때문에 가공 시간이 길어지고 절삭공구의 조기마모와 취성에 의한 수복물의 손상을 가져오는 등 기계가공성이 좋지 않다. 따라서 대부분은 부분소결된 지르코니아 블록을 사용하여 기계가공을 거친 다음 완전히 소결하는 단계를 이용하게 된다. 하지만 부분소결 지르코니아 블록으로 기계가공된 보철물은 미세균열과 가공표면의 불규칙(Kim et al, 2010) 그리고 절삭파편과 찌꺼기 등을 남기게 되며 변연부 적합성을 저하시키게 된다(Rekow et al, 2011). 따라서 전부도재 보철물 제작을 위해 부분소결된 가소결체 지르코니아 블록을 선택할 때는 그 가공성을 신중히 고려하여야 한다.

이에 본 연구에서는 가소결 상태로 공급되는 여러 회사의 캐드캠용 지르코니아 제품과 자체 제작한 블록을 이용하여 스크래치 테스트를 실시하고 가공성을 연구해 보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 시료준비

스크래치 시험을 통해 가공성을 평가하기 위한 가소결체 지르코니아 블록은 국산 제품 7개와 중국 제품 1개 그리고 일본 제품 1개를 선정하였으며 1개는 본 실험실에서 일반적인 통법에 따라 자체 제작하여 준비하였고 무작위로 A부터 J까지 실험군을 설정하였다.

2. 시편제작

스크래치 시험용 시편은 준비된 원형 블록을 가로 4 cm, 세로 3 cm의 직사각형으로 절단한 후 사포 #300부터 #2000 까지 시편의 표면을 연마하여 2개씩 20개의 시편을 준비하였다.

3. 스크래치 시험

본 시험에는 ASTM G171-03(2009)에 따라 제작된 scratch hardness tester(KS TECH, Korea) 장비를 사용하였으며, 스크래치는 반지름이 200 μm 이고 첨단의 각도가 120°인 다이아몬드 압자를 사용하였다. 하중은 100 g부터 최대 3,500 g까지 100 g 단위로 증가시키면서 실험하였고 1회 시험 시 시험속도는 30 mm/min 그리고 스크래치 길이는 10 mm로 실험하였다. 실험이 이루어지는 동안에 가해지는 탄젠셜 포스는 컴퓨터로 데이터를 전송받아 저장하였다.

4. 광학현미경 측정

스크래치 분석을 위해 실험된 스크래치의 양상과 폭의

넓이는 정립형 금속현미경 BH200M(SUNNY(SOFTOP), Korea)을 사용하여 관찰하고 측정하였으며 위치는 스크래치의 시작점과 중간 그리고 말단에서 1회씩 총 3회 측정하였다.

5. 스크래치 경도

각 시편의 스크래치 경도는 다음의 식에 의해 구하였으며,

$$H_s = \frac{8P}{\pi w^2}$$

P는 하중, $8/\pi$ 는 다이아몬드 압자의 기하적 상수, 그리고 w는 스크래치의 넓이 이다. 스크래치 경도(H_s (GPa))는 3 곳의 측정 지점마다의 상, 중, 하 부위를 광학현미경 사진 상에서 스크래치의 넓이를 측정하였고 총 9개의 측정값에 대해 평균과 표준편차를 구하였다.

III. 결과

스크래치 테스트 결과 가장 높은 스크래치 경도를 나타낸 가소결체 블록은 B 시편이었으며 가장 낮은 스크래치 경도를 나타낸 블록은 H 시편이었다. 각 시편들의 스크래치 경도 값과 단계적인 하중 증가에 따라 변형이

관찰되는 스크래치 하중을 표 1.에 나타내었다.

Figure 1은 A부터 J까지 10개 시편들의 스크래치경도 그래프를 보여준다. 가장 높은 경도 양상을 나타내는 B 시편과 가장 낮은 경도 양상을 나타내는 H 시편을 제외하면 8개의 시편들이 유사한 경도변화 양상을 보여주고 있다. Figure 2는 각 시편들의 스크래치 분석결과 칩핑, 크랙, 그리고 파절이 확인되는 하중의 증가양상을 보여준다. 대부분의 가소결체 블록들이 증가하는 하중에 따라 선형적 변화양상을 보여주는 것을 알 수 있다. Figure 3은 A 시편에서 칩핑이 발생하는 하중과 크랙 그리고 파절이 일어나는 하중에서의 현미경 사진이다. 100 g부터 시작하여 100 g씩 하중을 증가시키면서 스크래치를 형성한 결과 A 시편은 700 g에서 스크래치 가장자리가 살짝 갈라지는 칩핑 현상을 보였고 1500 g에서 갈라진 표면의 높이 차가 생기는 크랙 현상이 발견되었다. 1800 g부터는 스크래치 부분이 뜯겨나가는 파절현상을 관찰할 수 있었다. Figure 4는 스크래치 시험 중 이동하는 시편에 순간적으로 가해지는 힘(tangential force)을 표현하였다. 100 g에서는 이동하는 시편에 저항하는 힘의 크기에 큰 변화가 없지만 700 g부터는 약간의 변화가 생기고 1500 g에서는 좀 더 심해지다가 1800 g에서는 크게 변화하는 양상을 볼 수 있다.

Table 1. Scratch hardness & scratch deformation force.

Sample	scratch hardness (Hs)	chipping start (g)	crack start (g)	fracture start strength (g)
A	1.00	700	1500	1800
B	1.42	800	2200	2300
C	0.91	600	1400	1700
D	0.98	500	1600	2200
E	0.87	400	1200	1300
F	1.06	600	1300	2000
G	0.84	500	1000	1400
H	0.42	500	600	800
I	1.02	700	1000	1300
J	0.86	500	1100	1500

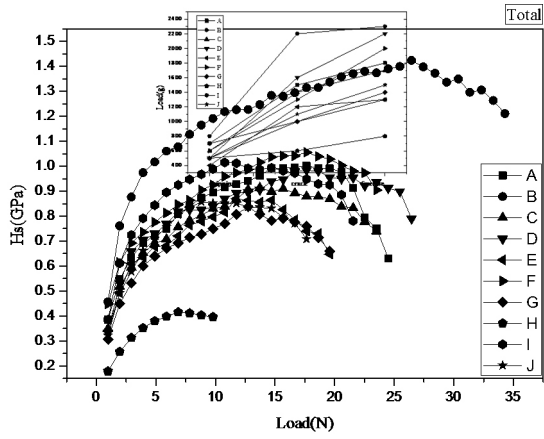


Figure 1. Scratch hardness graph of all samples

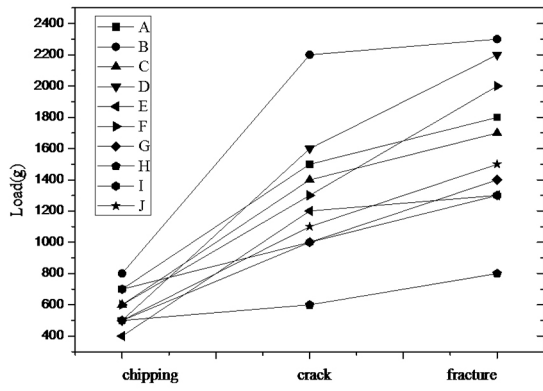
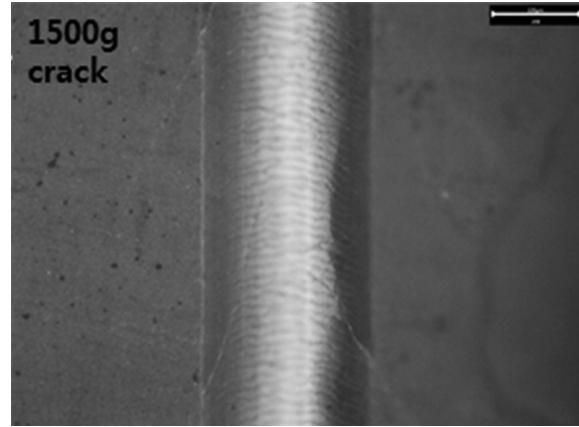
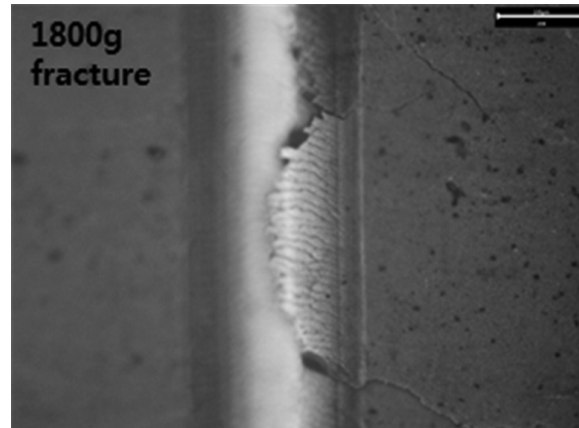


Figure 2. Scratch deformation force graph of all samples

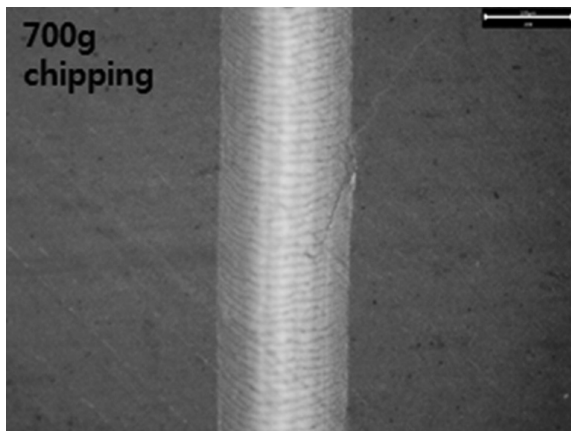


(b)



(c)

Figure 3. Optical micrograph(sample A) of chipping start load(a), crack start load(b) and fracture start load(c)



(a)

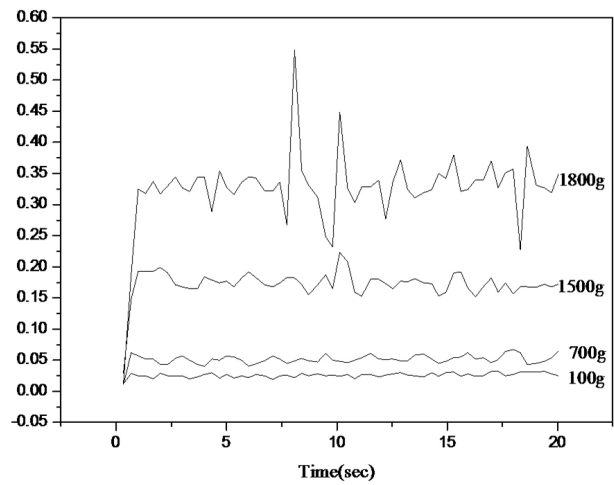


Figure 4. Tangential force of the sample A

Figure 5는 하중 증가에 따른 스크래치의 양상을 보여주고 있다. 낮은 하중에서는 점점 스크래치의 넓이가 증가하다가 어느 하중부터는 칩핑(Fig. 5.(b))이 발생하고 하중을 더 증가시키게 되면 크랙(Fig. 5.(c))과 파절(Fig. 5.(d))이 발생하게 된다. 이러한 결과는 가소결체 지르코니아 블록을 가공함에 있어 적절한 공구의 사용과 회전속도 및 가공력이 존재한다는 것을 보여준다. 즉 지르코니아 블록 가공 시 일정한 힘 이상이 부여되면 마지막 소결과정에서 문제가 발생한다는 의미이다. 대체로 칩핑이 발생하는 하중은 400~800 g 이었으며 크랙은 600~2200 g으로 범위가 넓었고 파절은 800~2300 g의 하중에서 발생하였다. 강한 힘을 이용하여 가공을 하게 되면 쉽고 빠르게 되겠지만 마지막 소결과정을 생각한다면 가소결체 블록의 가공성을 염두하여 적절한 절삭력을 가하여 가공하는 것이 바람직하다고 사료된다.

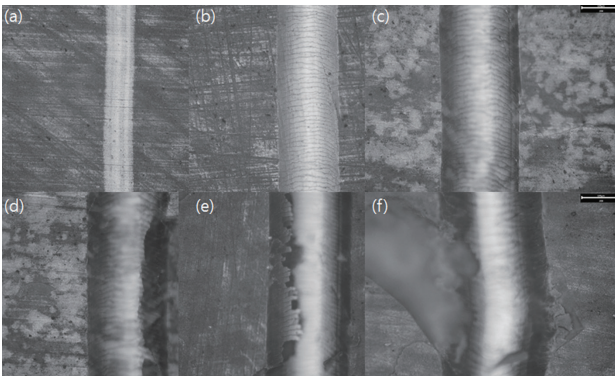


Figure 5. Scratch patterns according to load

IV. 고찰

최근 캐드캠 시스템이 상용화 되면서 많은 치과보철물들이 캐드캠 시스템에 의해 제작되고 있으며 특히 전부도재관(all ceramics) 제작에 유용하게 사용되어지고 있다. 그중에서도 가소결체 블록을 이용하여 가공한 다음 완전소결 과정을 거치는 공법이 주를 이루고 있어 가소결된 지르코니아 블록의 가공성에 대한 연구가 필요하게 되었다. 또한 기존의 지르코니아 강도시험들은 재료

자체가 파괴되는 외력을 알아보는데 그쳤지만 스크래치 시험은 하중에 따라 파괴가 진행되는 과정을 보여주어 가공력을 선택할 수 있도록 해준다.

완전히 소결된 지르코니아 블록을 절삭하여 전부도재관을 제작하게 되면 가공의 마무리가 보철물의 완성을 의미하게 되지만 가소결체 블록은 가공 후에 1500℃ 내외에서 또 한 번의 소결과정을 거치게 된다. 이 때 결정구조의 변화와 소결수축 등이 일어나고 가공된 표면에 결함이 존재하게 되면 여러 가지 문제가 더불어 발생하게 된다(Luthardt et al, 2004). 또한 가공 중에 지르코니아 입자가 떨어져 나가거나 손상을 받은 부위로 인하여 강도가 현저하게 저하된다는 것이 보고되었다(Wang et al, 2008). 따라서 캐드캠 장비의 절삭 조건과 가공 특성에 따라 적절한 가소결체 블록을 선택해야만 바람직한 전부도재 수복물을 제작할 수 있게 된다.

A부터 J까지 10개의 시편 중 가장 큰 스크래치 경도를 보인 시편은 B 시편(1.42) 이었으며 가장 낮은 정도 값을 보인 시편은 H 시편(0.42) 이었다. H 시편의 스크래치 정도가 가장 낮은 것은 전문적인 제조시설이 아닌 실험실에서 자체 제작한 시편이라서 어느 정도 예상된 결과였다. B 시편이 어떤 과정을 통해 얼마나 치밀하게 소결되었는지는 변수가 되겠지만 나머지 시편들이 모두 유사한 정도변화의 양상을 보이고 있었고 분명히 가공 하중에 대한 결함이 발생하는 단계를 확인할 수 있었다. 이는 가소결체 지르코니아 블록을 가공하는 적절한 조건의 구간이 존재함을 의미한다.

V. 결론

현재 많은 치과기공실과 기공소에서 캐드캠 장비가 사용되어지고 있다. 그러나 장비의 성능에 부합하는 가소결체 지르코니아 블록에 대해서는 크게 관심을 갖지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 가소결체 지르코니아 블록의 스크래치시험을 통해 증가하는 하중에 따라 어떠한 변화가 발생하는지 알아보고 블록을 선택하는데 도움이 되고자 지르코니아 블록의 적절한 가공성을 평가해보고자 하였다.

1. 가소결체 지르코니아 블록의 스크래치 정도

현재 제조되어 공급되고 있는 가소결체 지르코니아 블록들의 스크래치 정도는 0.84에서 1.42 μm 로 측정되었으며 실험을 위해 실험실에서 제조된 지르코니아 가소결체의 스크래치 정도는 0.42 μm 로 매우 낮았다.

2. 가소결체 지르코니아 블록의 가공성

스크래치 시험결과 가소결체 지르코니아 블록은 스크래치 하중이 증가함에 따라 칩핑이 발생하는 하중과 크랙 그리고 파절이 발생하는 하중이 존재함을 확인하였다.

3. 지르코니아 블록의 선택

실험결과를 종합해 볼 때 각각의 지르코니아 가소결체 블록마다 스크래치 정도의 최고값에는 차이가 있었지만 칩핑과 크랙 그리고 파절이 진행되는 가공성 양상은 동일한 단계로 진행됨을 알 수 있었다. 따라서 현재 사용하고 있는 캐드캠 장비의 가공력 요소인 톨의 접근속도와 회전력 그리고 회전 수 변화량, 절삭공구의 상태 등을 확인하고 적절한 지르코니아 블록을 선택해야만 양질의 보철물 제작이 가능하다고 하겠다.

REFERENCES

Bae TS. Properties of Dental CAD/CAM Zirconia. Korean Dental Association, 49(5), 260–264, 2011.

Chung IS, Jeon BW, Kim WY, Kang JM. Comparison on marginal fitness and mechanical properties of copings with zirconia block and CAM type. J Kore Aca

Den Tec, 39(2), 75–82, 2017.

Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. Dent Mater, 24, 299–307, 2008.

Kim JW, Covell NS, Guess P, Rekow ED, Zhang Y. Concerns of hydrothermal degradation in CAD/CAM zirconia. J Dent Res, 89, 91–95, 2010.

Lee DJ. Application of Scratch Hardness Tests for Evaluation of Partially Sintered Zirconia CAD/CAM Blocks for All-Ceramic Prosthesis. Sejong University Master degree, 2013.

Lee HH. A clinical consideration of current dental zirconia CAD/CAM restorations. Journal of the Korean Dental Association, 49(5), 279–285, 2011.

Luthardt RG, Holzhueter MS, Rudolph H, Herold V, Walter MH. CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia. Dent Mater, 20, 655–662, 2004.

Rekow ED, Silva NRFA, Coelho PG, Zhang Y, Guess P, Thompson VP. Performance of dental ceramics: Challenges for improvements. J Dent Res 90(8), 937–952, 2011.

Wang H, Aboushelib MN, Feilzer AJ. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. Dent Mater, 24, 633–638, 2008.