

3점 굽힘강도 시험을 통한 Lithium disilicate glass ceramic의 표면 연마 정도에 따른 강도 평가

이하나, 김어빈, 강신영, 이경은, 김지환, 김웅철
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Evaluation of strength according to surface abrasion of lithium disilicate glass ceramic by 3-point bending strength test

Ha-Na Lee, Eo-Bin Kim, Seen-Young Kang, Kyung-Eun Lee, Ji-Hwan Kim, Woong-Chul Kim
Department of Public Health Science, Graduate School, Korea University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study is to investigate the effect of lithium disilicate glass ceramic polishing on the strength of the final prosthesis.

Methods: Fourteen lithium disilicate glass ceramic specimens were prepared. These were randomly divided into two groups of seven(LPG: low polishing group, HPG: high polishing group). In LPG, SiC paper was sequentially polished using 300, 600, 800, 1000 grit, and the specifications of the test piece were adjusted. HPG was sequentially polished using 300, 600, 800, 1000, 1200, 1500, and 2000 grit. Two groups of specimens are executed 3- point bending test. Using the statistical program SPSS 22.0, the average values of the strengths of the two groups were compared in the Mann-Whitney test. The significance level was set at 0.05.

Results: The mean strength value of HPG was measured at 307.14 ± 23.28 MPa significantly higher than LPG($p < 0.001$).

Conclusion : The final polishing of the prosthesis is aesthetically important but has proven to play an important role in the flexural strength, early fracture, and prolongation of the prosthesis.

◉ **Key words:** Lithium disilicate, Glass ceramic, 3-point bending test, Strength, Polishing

* 본 논문은 2016년도 중소기업청 산학협력기술개발의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(1425103002).

Corresponding author	Name	김 웅 철	Tel.	02-3290-5665	E-mail	kuc2842@korea.ac.kr	
	Address	서울시 성북구 안암로145 고려대학교 보건과학대학 치기공학과					
Received	2018. 1. 3		Revised	2018. 2. 23		Accepted	2018. 3. 5

I. 서론

삶의 질이 향상함에 따라 환자들의 치아 치료에 대한 수요와 요구는 치아의 기능회복이 주가 된 실용주의에서 심미주의로 옮겨가고 있다(Kim et al, 2013). 과거 금관(crown)의 보철물의 주된 재료로 사용되던 귀금속 금관(gold crown)이나 비귀금속 금관(metal crown)은 구강 내에서 연성, 강도, 적합도, 화학적 안정성 등이 뛰어나 흔히 쓰였지만 치아와 차이가 큰 색상으로 인해 심미성이 매우 떨어진다.

이런 단점을 보완하기 위해 1950년대에 Brecker에 의해 metal coping 위에 세라믹을 올린 PFM(porcelain fused to metal)이 개발되어 지금까지 많이 사용되고 있다(Brecker, 1956). 하지만 이 또한 metal이 ceramic에 투과되고 인접 자연치와 완벽하게 어우러지지 못하는 점, 변연부의 metal 노출과 이로 인한 치은부의 금속산화물 생성 등의 한계점이 나타났다. 이는 자연스레 치아와 비슷한 색을 내는 재료의 발전을 촉진시켜 한때는 지르코니아가 코어 재료로 주목을 받았다. 그러나 지르코니아 역시 보철물로서 단점을 지니고 있었다. 지르코니아의 불투명도, 너무 강한 강도 때문에 대합치의 마모원인, 상부 도재와의 낮은 결합강도 및 열팽창 계수의 차이(도재: $13.4\sim 14.5\times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$, 정방정상의 지르코니아: $8.5\sim 10.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) 등의 특징 때문에 상부 도재의 깨짐이 빈번히 일어났다(Woo, 2013).

이러한 이유로 자연스럽게 여러 종류의 세라믹의 발전이 이루어졌다. 일반적으로 세라믹은 우수한 생체 친화성, 치아와 비슷한 반투명도와 색상을 띠어 심미성이 뛰어나고, 치아와의 적합도가 좋은 재료로 알려져 있다(Lawson et al, 2014). 기존의 장석을 토대로한 세라믹은 축성(build up) 방식으로 보철물을 제작하기 때문에 색상 구현에는 용이했지만 취성에 약한 단점이 있다. 하지만 글라스 세라믹은 유리 기질상 속의 결정들이 핵을 형성하고 이를 중심으로 입자가 성장해 부분적 결정화를 이루는 매커니즘을 가지고 있기 때문에 세라믹의 취성에 약한 단점을 보완할 수 있는 재료로 부상했다. 이후로도 계속되는 세라믹 재료에 대한 개발로 유리 기질 속에서 바늘처럼 길쭉한 형태의 리튬 디실리케이트

(Lithium disilicate) 결정이 70%이상의 부피로 함유된 리튬 디실리케이트 글라스 세라믹이 치과계에도 등장하였다. 이것은 기존의 세라믹 재료들과 비교하여 강도가 월등히 향상되어 단일 보철물로 세라믹을 이용 할 수 있게 되었다(Kim & Kham, 2015; Lim et al, 2014). 선행연구에 따르면 리튬 디실리케이트 글라스 세라믹은 인곳(ingot) 형태의 반소결 세라믹을 고온 고압에서 Pressing하는 방법으로 비교적 제작방법이 쉽고 간단하며, 변연 적합도가 우수하고(Roh et al, 2013) 내인성 결합 또한 적다고 보고되었다(Kelly, 2008; Etman, 2009). 또한 왁스업을 통해 형태를 완성하므로 최종 보철물의 형태를 왁스업 단계에서 수정하기 때문에 주변 치나 대합치와 조화롭게 형태조절이 용이한 장점이 있다(Roh et al, 2013).

치과용 세라믹은 취성이 높은 재료로 구강 내에서 저작압을 견딜 수 있는 강도를 확보하는 것이 매우 중요하다. 따라서 치과용 세라믹에 있어서 강도에 대한 물성평가가 중요한 요소이다. 세라믹의 강도에 영향을 미칠 수 있는 요인으로는 소성한 시간, 횟수, 온도, 보철물의 최종 표면 처리방법 등이 있다. 여기에는 최종보철물의 표면 상태 즉, polishing의 완성 정도 역시 포함이 된다.

따라서 본 연구의 목적은 polishing의 정도가 리튬 디실리케이트 보철물의 강도에 미치는 영향을 3점 굽힘강도 측정을 통해 비교, 평가하는 것이다. 귀무가설(H0)은 “리튬 디실리케이트 글라스 세라믹 보철물의 low polishing group과 high polishing group의 굽힘강도의 평균값은 유의한 차이가 없다”이다.

II. 연구 방법

1. 시편제작

본 연구에서는 3점 굽힘강도의 측정을 위해서 국제표준규격인 ISO 6872에 준하여 시편을 제작하였다. 시편은 CAD(computer-aided design)로 $3.5\times 4.5\times 35$ mm 프로그램을 이용해 크기의 직사각형 형태로 디자인 한 후 wax disc(DMAX-W12, DMAX, Korea)

를 5축-milling machine(DWX-50, Roland DG Corporation, Japan)을 이용해서 총 14개의 wax 시편을 만들었다. 준비된 wax 시편을 실리콘 매몰링의 내벽에 닿지 않게 주의하며 시편의 좁은 측면에 sprue를 달았다. 일련의 매몰, 소환, pressing 과정을 거쳐 ingot(Rosetta SP-HT A2, HASS, Korea)으로 pressed 글라스 세라믹 시편으로 만들었다. Pressing된 14개의 글라스 세라믹 시편을 무작위로 7개씩 총 2 그룹으로 나누었다. 이 중 한 그룹은 low polishing group(LPG)으로 지정했다. 7개의 LPG는 SiC paper를 300 grit, 600 grit, 800 grit, 1000 grit(Daesung Abrasive CO, Korea)의 순서로 grinder(M-Prep 3, Allide high tech, Canada)를 이용해서 일률적인 힘으로 시편의 표면을 연마했다. High polishing group(HPG)의 시편들은 SiC paper를 300 grit, 600 grit, 800 grit, 1000 grit, 1200 grit, 1500 grit, 2000 grit을 순서대로 연마하여 표면에 기포나 스크래치가 완벽히 제거되도록 high polishing을 진행했다(Table 1). 두 group의 시편 모두 polishing을 순차적으로 진행했고, 버니어 캘리퍼스(CD-20PSX; Mitutoyo Co., Japan)를 이용하여 3×4×35 mm의 규격을 맞췄다. 완성된 두 group의 시편은 모서리 4면을 0.1 mm정도 삭제해주는 모따기를 실시했다(Fig. 2). 이어서 10분간 ultrasonic cleaner(SD ultrasonic cleaner; Mujigae, Korea)에 담귀 세척했다.

Table 1. Description of polishing adjustment procedures

	SiC grit	speed	water cooling
Low Polishing	300	300 rpm	yes
	600		
	800		
	1000		
Low Polishing procedures			
High Polishing	1200	300 rpm	yes
	1500		
	2000		



Figure 1. Low polishing group (Left): 7 specimens polished with abrasive paper of 300~1000grit. High polishing group (Right): 7 specimens polished abrasive paper of 300~2000grit.

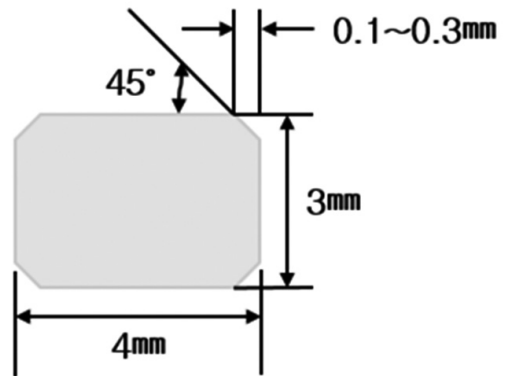


Figure 2. Side section of chamfered specimen.

2. 3점 굽힘강도 측정

두 그룹의 시편(14개)은 만능시험기(Instron3345®, Instron Co., USA)를 사용하여 3점 굽힘강도를 측정했다. 시편의 지지 span간 거리는 30±0.1 mm, 크로스헤드 속도는 0.5 mm/min으로 설정했다. ISO 6872에 제시된 공식에 따라 3점 굽힘강도를 계산하였다.

$$s = \left[\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1} \right]^{1/2} \sum$$

s : 표준편차(MPa)

n : 측정 수

x : 시편 각각의 굽힘 강도 계산치(MPa)



Figure 3. Specimens placed on the support span for three-point bending strength measurements

3. 통계분석

통계 분석은 SPSS 22.0(IBM SPSS Statistics 22.0, IBM SPSS INC., USA) 통계 프로그램을 사용하여 분석 했다. Shapiro-wilk test로 정규성 검정을 하였다. LPG는 정규성을 만족 하였지만 HPG는 정규성을 만족하지 못하였으므로 비모수 통계 방법인 Mann-Whitney test로 두 그룹의 강도의 평균값을 비교하였다. 유의수준은 .05로 설정했다.

III. 결과

LPG의 평균 및 표준편차는 204.60 ± 3.69 MPa로 측정되었고, HPG의 평균값은 307.14 ± 23.28 MPa로 LPG보다 약 100 MPa 이상 높게 측정되었다(Table 2).

LPG의 굴곡강도는 HPG의 굴곡강도 평균값보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p < .001$).

Table 2. Mean values obtained after flexural strength measurements of 2 groups.

Group	n	mean	SD	p-value
LPG	7	204.60	3.69	<.001
HPG	7	307.14	23.28	

IV. 고찰

치과용 세라믹 재료의 물리적 성질을 평가하기 위해서는 일반적으로 굴곡강도, 탄성계수, 파괴인성, 표면경도, 열팽창 계수, 색차분석 등이 이용된다. 특히 세라믹과 같이 취성에 약한 재료는 압축응력보다 인장응력에 더 취약하므로 물성평가에 이것을 이용한 인장강도를 사용하는 것이 더 의미가 있는 실험이다(Jin et al, 2004). 하지만 인장력에 저항하는 힘인 굴곡강도를 측정하기 위한 시편이 인장강도를 측정하는 시편보다 비교적 쉽게 제작할 수 있고 측정 방법이 간단하기 때문에 강도측정에 주로 사용되고 있는 실정이다(Kang et al, 2014; Ban & Anusavice, 1990). 이것은 또한 구강내의 저작압에 얼마나 잘 견딜 수 있는지를 평가하는 지표로 사용될 수 있다. 특히 표면 결함에 민감한 실험방법이기 때문에 굴곡강도가 높은 세라믹은 표면결함이 적어 파절 저항성이 좋다고 할 수 있다(Chung et al, 2004; Lee & Lee, 2004).

본 실험에서 리튬 디실리케이트 글라스 세라믹은 LPG에서는 표면에 완벽하게 제거하지 못한 스크래치, 미세 기포가 시각적으로도 관찰 된 반면, HPG는 유리처럼 매끈한 표면을 보였다. 실험 결과 (Table. 2)에서 나타난 LPG와 HPG사이의 유의한 강도차이는 이러한 LPG 표면의 불완전한 polishing으로 인해 파절시 제거되지 못한 결함 부위에 응력이 집중되어 조기 파절이 일어난 것으로 사료된다.

두 그룹의 굽힘강도는 제조사에서 제시한 수치보다 낮은 값을 보였는데 그 이유는 본 실험에서는 3축 굽힘강

도를 측정하였고, 제조사에서는 이축 굽힘강도로 측정하여 측정방법이 서로 달랐기 때문이다. 3점 굽힘강도 시험 방법은 재료의 파괴가 시작되는 시편의 아랫면에서 응력을 측정하는 것이다(Bryant & Mahler, 1986). 그러나 이 방법은 시편을 준비할 때 야기되는 모서리 효과(edge effect)가 측정되는 강도에 영향을 미칠 수 있고, 표면을 polishing하는 과정에서 생성되는 결함이 강도 측정값에 영향을 끼치기 때문에 표면처리에 각별히 신경을 써야 정확한 결과를 분석할 수 있다. 본 실험에서는 모서리 효과를 방지하고자 ISO6872에서 제시한 대로 각 모서리를 0.1 mm 정도 삭제하는 모따기를 수행하여 실험의 정확성을 높였다.

제조사에서 사용된 이축 굽힘강도 시험은 시편의 형태가 디스크 모양으로 방사응력(radial stress)과 접선응력(tangential stress)이 발생되어 균열 방향의 영향을 적게 받아서 비교적 정확한 강도 측정이 가능하다. 또한 모서리 파괴(edge failure) 현상도 일어나지 않는다. 최대 인장응력이 시편 중심부에 집중되어 모서리에서는 응력이 거의 발생되지 않기 때문이다(Seo & Roh, 2006). 따라서 본 실험에서 진행한 3점 굽힘강도의 측정값보다 2축 굽힘강도의 측정값이 더 높게 나타난다.

선행 연구에서 세라믹 시편의 표면처리법에 있어 다이아몬드 연마와 자가 글레이징을 실시한 결과, 통계적 유의성은 나타나지 않았지만, 전체적으로 다이아몬드 연마를 시행할 때 더 작은 평균 조도 값을 나타냈고 다이아몬드 연마 후 자가 글레이징 처리를 하면 평균 조도가 상승하는 경향이 나타난다고 보고했다(Bae et al, 2009). 치과용 세라믹의 거친 표면을 삭제한 후 글레이징을 시행하면 굽힘강도는 증가하는 것으로 알려져 있다(Anusavice et al, 2013; Rosenstiel et al, 1989). 이것은 표면의 미소결함이 글레이징으로 인해 무더지게 되어 응력이 결함에 집중되고 균열의 발생을 최소화시키기 때문이다. 그러나 단순한 글레이징 처리만으로 세라믹의 표면결함을 완벽하게 제거할 수 없다. 세라믹의 거친 표면을 세심하게 연마한 다음 글레이징 처리를 하는 것이 연마만 시행하거나 sand blasting 진행 후 글레이징을 처리한 면보다 더 매끈한 표면을 얻을 수 있다(Albakry et al, 2004).

최근 심미보철물의 수요가 급증하면서 많은 종류의 세라믹 재료들이 개발되고 있다. 이에 따라 최적의 polishing 시스템과 표면 처리법에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것이다. 본 실험은 임상적 적용에 빚대어 보았을 때 polishing의 중요성에 대해 반증할 수 있다. 완벽하지 못한 polishing은 완성된 보철물이 구강 내에 시적 시 저작압에 잘 견디지 못하고 기대수명보다 낮은 결과를 초래할 수 있다고 사료된다. 따라서 뛰어난 강도 덕분에 단일 보철물로 많이 사용되는 리튬 디실리케이트 글라스 세라믹이라도 polishing을 제대로 행하지 않으면 질 높은 보철물의 역할을 다할 수 없을 것이다.

HPG에서 LPG보다 큰 SD값을 보였다. 이는 HPG에 outlier 값을 가진 표본이 존재했기 때문이라 사료된다. 만약 시편수가 많았다면 SD값이 줄었을 것이다. 이처럼 본 연구에서는 적은 시편 수와 굽힘강도에 의한 강도 측정만 수행하였기 때문에 결과 값을 일반화하기에는 한계가 존재한다. 따라서 보다 타당성을 높이기 위해서는 후속연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 열가압 방식을 사용하는 리튬 디실리케이트 글라스 세라믹의 최종 polishing의 완성도에 따른 강도를 3점 굽힘강도 test를 통해 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. High polishing group의 굴곡강도는 low polishing group의 굴곡강도보다 높은 강도를 보였다.
2. 두 그룹은 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < .001$)

보철물의 최종 polishing은 심미적으로도 중요하지만 굴곡강도와 조기 파절, 보철물의 수명에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

REFERENCES

- Albakry M, Guaazzato M, Swain MV. Effect of sandblasting, grinding, polishing and glazing on the flexural strength of two pressable all-ceramic dental materials. *J Dent*, 32, 91–99, 2004.
- Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' Science of Dental Materials*. 12th, Elsevier Health Sciences, 657–662, 2013.
- Bae JY, Kim SC, Lee HH. Evaluation of Surface Roughness of Dental Porcelains by Two Polishing Systems. *Kor J Dent Mater*, 36(4), 283–292, 2009.
- Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res*, 69(12), 1791–1799, 1990.
- Brecker SC. Porcelain baked to gold—A new medium in prosthodontics. *J Prosthet Dent*, 6(6), 801–810, 1956.
- Bryant RW, Mahler DB. Modulus of elasticity in bending of composites and amalgams. *J Prosthet Dent*, 56, 243–248, 1986.
- Chung SM, Yap AUJ, Chandra SP, Lim CT. Flexural strength of dental composite restoratives: Comparison of biaxial and three-point bending test. *J Biomed Mater Res*, 71(2), 278–283, 2004.
- Etman MK. Confocal examination of subsurface cracking in ceramic materials. *J Prosthodont*, 18, 550–559, 2009.
- Jin JG, TAKAHASHI H, IWASAKI N. Effect of test method on flexural strength of recent dental ceramics. *Dent Mater J*, 23.(4), 490–496, 2004.
- Kang SH, Ahn JS, Seo DG, Cho BH, Son HH. Physical/mechanical properties and microstructure of dental lithium disilicate ceramics for chairside CAD/CAM restoration. *Kor J Dent Mater*, 41(1), 19–28, 2014.
- Kelly JR. Dental ceramics: what is this stuff anyway?. *J Am Dent Assoc*, 139, 4S–7S, 2008.
- Kim JH, Kim WS, Kim KB. Evaluation of fitness of metal-ceramic crown fabricated by cobalt-chrome alloy. *J Korean Soc Dent Hyg*, 13(2), 361–368, 2013.
- Kim SJ, Kahm SH. Translucency of ceramic veneers on glazing effect. *J Korean Acad Prosthodont*, 53(2), 138–143, 2015.
- Lawson NC, Janyavula S, Syklawer S, McLaren EQ, Burgess JO. Wear of enamel opposing zirconia and lithium disilicate after adjustment, polishing and glazing. *Journal of dentistry*, 42(12), 1586–1591, 2014.
- Lee HH, Lee BT. Mechanical Properties and Microstructure of Dental Heat-Pressable Glass-Ceramics. *J Kor Ceram Soc*, 41(2), 143–150, 2004.
- Lim CH, Shin JW, Seok JJ, Ji JH, Lee MH, Bae TS. Effect of repeat processing on mechanical properties of two pressable glass-ceramic dental materials. *Kor J Dent Mater*, 41(1), 1–8, 2014.
- Roh HS, Woo YH, Pae AR. Full-mouth rehabilitation with pressed ceramic technique using provisional restorations. *J Korean Acad Prosthodont*, 51(1), 47–51, 2013.
- Rosenstiel SF, Baiker MA, Johnston WM. A comparison of glazed and polished dental porcelain. *Int J Prosthodont*, 2, 524–529, 1989.
- Seo DG, Roh BD. The comparison of relative reliability on biaxial and three point flexural strength testing methods of light curing

composite resin, Restor Dent Endod, 31(1),
58-65, 2006.

Woo CH. Bonding Strength of Zirconia with Glass
Ceramic. Paichai University School of
Materials Engineering Master's Thesis, 2013.