



착색액 침지 횟수와 최종 소결 온도가 지르코니아 세라믹의 굴곡강도에 미치는 영향

공문천¹, 김갑진², 권태엽³, 홍민호^{1,4*}

부산가톨릭대학교 치기공과¹

부산가톨릭대학교 치기공과²

경북대학교 치의학전문대학원 치과생체재료학교실 및 경북대학교 생체재료연구소³

경북대학교 치의학전문대학원 생체재료연구소⁴

<Abstract>

The effects of the number of times dipped in coloring liquid and final sintering temperature on flexural strength of zirconia ceramics: Zirconia ceramics having improved transparency

Moon-Chun Kong¹, Kap-Jin Kim², Tae-Yub Kown³, Min-Ho Hong^{1,4*}

Department of Dental Laboratory Science, School of Dental Technology, Catholic University of Pusan^{1 2}

Department of Dental Biomaterials, School of Dentistry; and Institute for Biomaterials Research & Development; Kyungpook National University³

Institute for Biomaterials Research & Development, Kyungpook National University⁴

The purpose of this study is to investigate the effect of number of times dipped in coloring liquid and sintering temperature on the flexural strength of zirconia ceramic. In this study, using a zirconia block having improved transparency, specimens with size of 25 mm × 2 mm × 1.5 mm were fabricated. The zirconia ceramic specimens were divided into three groups according to the number of times dipped in coloring liquid by 0, 2 and 4 times, and dyed in the coloring liquid to give color to each specimen. Then, after sintering them at the final temperature of 1,450°C and 1,600°C, flexural strength was measured using a universal testing machine (total 6 group, n=10 for each group). Also, a scanning electron microscopy (SEM) was performed to observe its microstructure, and the data obtained through the experiment were analyzed with two-way ANOVA. The results of the flexural strength analysis show that the highest value was measured 762.3±42.3 MPa in EKL2 group, while the lowest value was 516.4±77.1 MPa in EKH4 group. According to the results of the two-way ANOVAs, flexural strength was not related with interaction between sintering temperature and number of times dipped in coloring liquid ($R^2=0.737$). However, there were statistically significant differences in flexural strength depending on sintering temperature ($P<0.001$). The flexural strength of zirconia ceramics having improved transparency was dependent on sintering temperature. The number of times dipped in the coloring liquid did not affect flexural strength of the zirconia ceramic having improved transparency.

Key words: Zirconia, Coloring liquids, three-point flexural strength

* Correspondence: 홍민호 (ORCID ID: 0000-0002-6456-2200)
 (41940) 대구시 중구 달구벌대로 2177 경북대학교 치의학전문대학
 원 생체재료연구소
 Tel: +82-53-660-6882, Fax: +82-53-422-9631
 E-mail: mhhong@knu.ac.kr

Received: Jun. 20, 2017; Revised: Jun. 24, 2017; Accepted: Jun. 26, 2017

* 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2017R1A6A3A11036498)

I. INTRODUCTION

지르코니아 (zirconium, ZrO_2)는 일반적으로 산화지르코늄 (zirconium oxide)을 말하며 우수한 생체친화성, 화학적 안정성, 심미성으로 치과용 재료로 활용도가 높다. 또한, 다상 구조로 상전이 시에 발생하는 체적 팽창이 균열의 진행을 억제하는 상전이 강화에 의한 높은 강도와 인성을 가지고 있다. (Piconi와 Maccauro, 1999). 최근, 치과용 CAD/CAM 방법이 도입되어 보다 정확하고 다양한 형태의 제품 제작이 가능해져 단 일관 (crown), 교의치 (bridge), 임플란트 상부 보철물, 전 부도재관의 코어, 교정용 브라켓 등으로 활용 범위가 더욱 확대되고 있다.

지르코니아를 이용한 보철물은 안정된 기계적 성질을 가지고 있으나 고유의 불투명한 백색의 색상을 가지고 있어 자연 치와의 조화를 이루기가 어렵다. 치과용 보철물의 색조는 심미적인 면에서 매우 중요하며 백색의 불투명한 지르코니아 블록을 이용하여 치과용 보철물로 적용하는 경우 자연치와 같은 색조 재현이 부족하여 완벽한 심미성을 발휘할 수 없는 단점이 있었다 (Al-Amleh 등, 2010; Pecho 등, 2012).

이와 같은 심미적인 단점으로 지르코니아를 이용한 치과보철물 제작 시 구치부에만 제한적으로 사용되었으며, 이를 개선하기 위하여 치과용 지르코니아 블록은 초기 백색 지르코니아 블록으로부터 보다 심미성 활용도가 높아진 백색 투명 지르코니아 블록과 유색 지르코니아 블록이 개발되어 사용하였으나 전치부 치과보철에 있어서는 심미성 재현이 부족한 점이 많은 것으로 평가 받았다. 이에 대한 심미요구 충족을 위하여 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록이 개발되어 전치부 보철에 일부 사용되기 시작하고 있다. 그러나 아직 심미성 재현에는 부족한 부분이 많아 주변 자연치와 적절한 색조, 투명성의 조화를 맞출 수 있는 방법이 필요하여 최근 다양한 착색 방법이 개발되면서 활용 범위가 증가하고 있다.

지르코니아에 색조를 부여하는 방법은 착색법과 혼합법으로 나뉘어진다. 먼저 착색법은 금속산화물 등이 첨가된 착색제 (coloring liquid)를 적용하여 원하는 색조를 얻어내는 방법이며, 혼합법은 지르코니아 분말을 조성하는 과정에서 색상을 재현할 수 있는 금속산화물 등을 혼합한 후 반소결하여, 색조화된 유색 지르코니아 (pre-shaded zirconia) 블록을 제

작하는 방법이다 (Sceeram 등, 2007; Aboushelib 등, 2008). 혼합법은 지르코니아 블록 제작 시 지르코니아 분말과 금속산화물을 균일하게 분포하도록 혼합하기 어려우며, 최종 소성 후 일률적인 색조 재현이 어렵다. 또한 색조 재현을 위해 첨가되는 금속산화물에 의한 지르코니아의 물리적·기계적 성질의 변화로 지르코니아 강도가 저하될 수 있다 (Hjerppe 등, 2008). 반면 착색법은 착색 용액의 종류, 침지 시간 및 착색 농도 등을 조절하여 수복물의 자연스러운 색조를 재현할 수 있으며, 혼합법보다 균일한 색조 재현이 가능하다는 장점이 있다.

따라서 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록을 이용한 심미보철물 제작에서 기본적으로 적용되고 있는 착색법에 사용하는 착색제는 화학성 착색제 (acid-based coloring liquid)와 수성 착색제 (water-based coloring liquid)로 구분된다. 화학성 착색제는 강산인 염화수소 (HCl) 수용액을 포함하고 있고, 산-염기 반응을 이용하여 색조를 발현한다. 지르코니아에 금속산화물을 첨가하면 여러 가지 색조를 표현할 수 있다는 장점으로 인해 임상에서는 화학성 착색제가 주로 사용되어 왔다. 그러나 Hjerppe 등(2008)에 의하면, 화학성 착색제를 지르코니아에 적용 시 지르코니아의 기계적 성질이 감소될 수 있다고 하였다.

자연치와 유사한 색조 조화와 재현을 백색 지르코니아 블록과 유색 지르코니아 블록의 심미적 조건을 높일 수 있는 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록이 출시되고 있다. 그러나 아직 부족한 심미 조건을 보완하기 위해 필수적으로 사용하는 화학성 착색제는 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록에 강도 변화가 일어날 것이라고 알려져 있다. 그러나 백색 지르코니아 블록과 유색 지르코니아 블록의 색조 및 강도에 대한 많은 연구가 있으나 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록에 대한 착색제의 영향에 관한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 착색제의 침지 횟수, 지르코니아 블록의 소결 온도에 따른 굴곡강도 변화를 측정하여 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록의 착색 시의 임상적 활용 자료를 제공하고자 한다.

II. MATERIAS AND METHODS

1. 실험에 사용된 소재

본 실험에서는 새롭게 개발되어 임상에서 많이 활용되고 있는 투명도가 향상된 A3 색조의 유색 지르코니아 블록 (ECLIPSE, AMS, Korea)을 이용하여 시편 제작에 사용하였다. 또한, 착색제는 A3 색조의 Kiss liquid (AMS, Korea)를 사용하였다 (Figure 1).



Block

Coloring liquid

Figure 1. Materials used in this study.

2. 시편제작

시편 제작을 위해서 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록은 반소결 지르코니아로 소결에 따른 수축률을 고려하여 diamond cutter (PICO 155, ACE Technologies, Korea)를 이용하여 30.5 mm × 6.1 mm × 1.22 mm로 최종 시편의 122% 확대된 크기로 각 군당 10개씩 총 60개의 시편을 제작하였다. 제작이 완료된 지르코니아 시편을 Kiss Liquid 착색제를 사용하여 0, 2, 4회 침지한 시편을 제작하였다. 착색제의 균일한 도포를 위하여 10개의 시편을 착색제 용액에 침지시킬 수 있는 플라스틱 용기에 착색제 용액을 충분히 담은 후 10개의 시편을 한꺼번에 핀셋으로 1회 10초씩 착색제에 침지하였고, 1회 침지 후 500℃의 porcelain furnace 밑에서 5분간 건조시켰다. 2회 착색 시편 군은 이 과정을 2회 반복하였고, 4회 착색 시편 군은 동일하게 4회를 반복하였다. 이어서 착색 조건에 맞게 처리된 시편은 지르코니아 시편을 소결 전용의 전기로 (Dentastar P1 plus; Thermo-Star, Spenge, Germany)에

넣고 제조 회사의 지시에 따라서 5℃/min의 승온 속도로 1,450℃까지 온도를 올려서 2시간 동안 유지한 다음 로냉하였다. 또한, 투명도가 향상된 지르코니아의 블록의 최종 온도는 1,450℃이나 통상 지르코니아 블록의 소결 온도는 대부분 1,600℃를 이용하고 있다. 임상에서 보철물을 다량으로 제작하면서 타 지르코니아 블록 보철물과 함께 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록 보철물을 동일한 소결로에서 소결 과정을 수행하는 경우가 있어 1,600℃를 적용하는 경우가 빈번하게 발생한다. 또한, 제조사에서도 1,600℃도 사용이 가능하다고 하고 있다. 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 2가지의 소결 온도 스케줄을 적용 최종적으로 소결된 시편의 크기는 ASTM C 1161-02b에서 정한대로 25 mm × 2 mm × 1.5 mm가 되도록 시편을 준비하였다. 모든 시편은 절삭 후 균일한 표면을 얻기 위해 #1000 grit SiC paper를 사용하여 사체 조정하였다 (전체 6개 그룹, 각 그룹 당 n=10), (Table 1).

Table 1. Classification of the zirconia specimens depending on the application of sintering temperature and dipping times of coloring liquid (total 6 group, n=10 for each group)

Band name	Coloring liquid	Sintering Temperature	Dipping times	Code
ECLIPSE (E)	Not using (N)	1450℃ (L)	0	ENL0
		1600℃ (H)	0	ENH0
	Kiss Liquid (K)	1450℃ (L)	2	EKL2
		1600℃ (H)	2	EKH2
		1450℃ (L)	4	EKL4
		1600℃ (H)	4	EKH4

3. 3점 굴곡강도 시험 (Three-point flexural strength test)

각 시편의 굴곡강도 측정을 위해 시편을 만능시험기 (United, USA)를 이용하여 3점 굴곡강도 측정을 시행하였다 (Figure 2). 하부 지지점 거리를 20 mm로 하고 cross head speed를 0.5 mm/min로 시편이 파절될 때까지 하중을 가하여, 파절되는 순간의 부하 값을 측정하였다. 결과 값은 다음 식에 의해 계산되었다.

$$M=3WL/2BD^2$$

식에서, W는 최대 파절 강도 (MPa), L은 시편의 총 길이 (mm), B는 시편의 가로 폭 (mm)을 의미한다. 또한, D는 시편의 두께이고 가해지는 힘의 방향에서 평행한 면으로의 크기이며 mm로 표기한다.

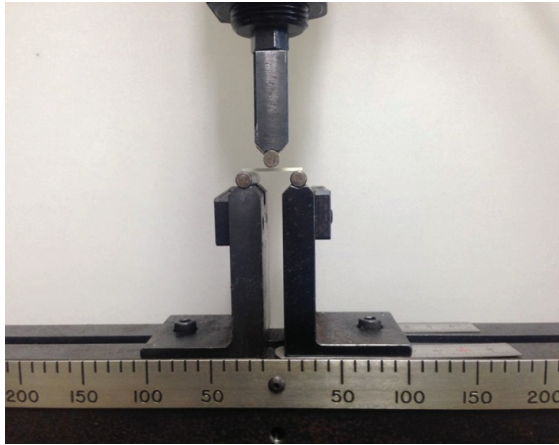


Figure 2. Universal testing machine used in this study for 3-point flexural strength measurement.

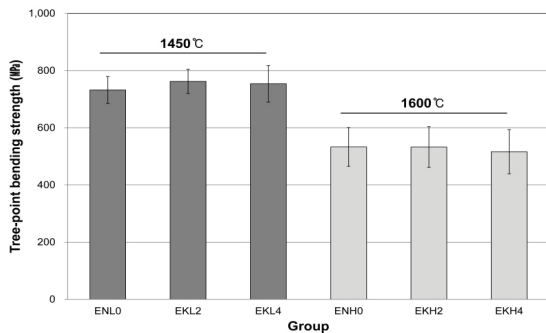


Figure 3. Mean 3-point flexural strength of the all group.

4. 전자현미경을 이용한 미세조직 관찰 (SEM)

각 군 지르코니아 시편의 미세조직 관찰을 위해 표면을 1 μm 다이아몬드 페이스트로 연마한 다음 소결 온도보다 약 250°C 낮은 온도인 1,200°C에서 5분간 계류시켰다. 이후 각 군의 시편 표면을 전자현미경으로 관찰하였다. 또한, 평균 grain의 크기는 liner intercept method를 사용하여 분석하였다 (Kern, 2013).

5. 통계처리

착색제의 침지 횟수, 소결 온도에 따른 굴곡강도 크기의 통계적 유의성을 검정은 SPSS Ver. 22.0 (SPSS Inc, USA)을 이용하여 Two-Way ANOVA 분석을 하였다. 사후 검정은 Duncan의 방법을 사용하였으며, 유의 확률은 0.05수준으로 하였다. 또한, 소결 온도에 따른 grain 크기 결과는 t-test 검정을 사용하였다.

III. RESULTS

1. 굴곡강도 분석 결과

본 연구에서는 지르코니아의 착색 침지 횟수와 소결 온도에 따른 굴곡강도를 분석하기 위해 3점 굴곡강도를 시행하였다. 측정 결과, EKL2 군에서 762.3 \pm 42.3 MPa로 가장 높은 값을 나타내었고, EKH4 군에서 516.4 \pm 77.1 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. Two-way ANOVA의 결과에 따르면, 3점 굴곡강도는 소결 온도와 착색 침지 횟수 사이에 상호 작용이 없는 것으로 나타났다 ($R^2=0.737$) (Table 2). 하지만, 소결 온도에 따라 굴곡강도는 통계학적 유의차가 나타났다 ($P < 0.001$).

Table 2. Two-way ANOVA for flexural strength of zirconia ceramic

Factor	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P
3 point flexural strength					
Sintering temperature ^a	740283.532	1	740283.532	168.79	0.001
coloring time ^b	2485.522	2	1242.761	0.283	0.754
Sintering temperature \times coloring time ^a	4075.385	2	2037.692	0.465	0.631

^aTest within-subjects contrasts.

^bTest between-subjects effects.

2. 미세조직 관찰 및 grain 크기 분석 결과

Figure 4는 소결 온도에 따른 미세조직을 나타낸다. 1450°C 그리고 1600°C 소결 온도 조건에서 각각 등면체 형태의 치밀한 미세구조를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 소결 온도가 150°C 높은 1600°C에서 높은 소결 온도에 의해 결정립의 크기가 조대화된 것을 관찰할 수 있었다.

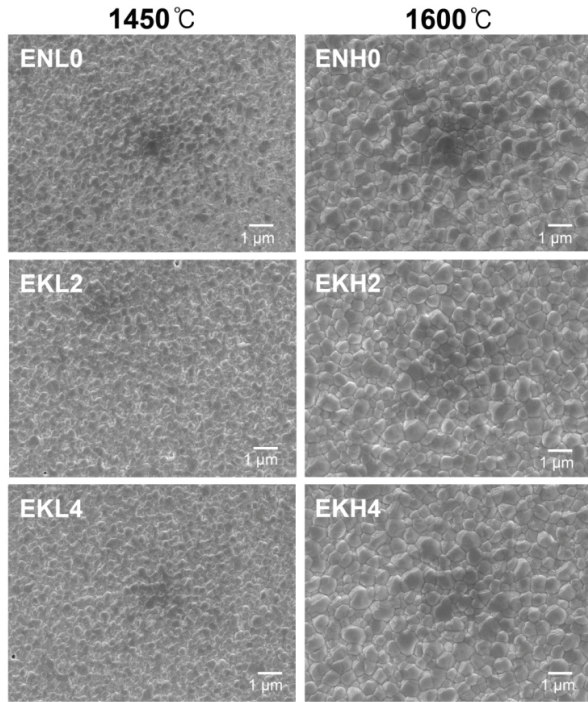


Figure 4. SEM images of sintered at 1450°C and 1600°C ($\times 20,000$).

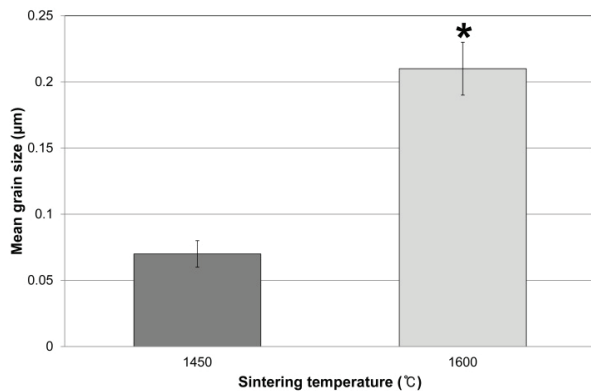


Figure 5. Variation of mean matrix grain size as a function of sintering temperature for 1450°C and 1600°C.

Figure 5는 Liner intercept method을 이용한 평균 grain size 분석 결과를 나타낸다. 1450°C 소결 온도에서는 $0.07 \pm 0.01 \mu\text{m}$ 의 평균 grain size를 나타냈다. 소결 온도가 1600°C 일 때 $0.21 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 로 나타나 1600°C 소결 온도 조건에서 보다 큰 평균 grain size를 보였다 ($P < 0.001$).

IV. DISCUSSION

본 연구결과를 바탕으로, 착색제 침지 횟수는 지르코니아 시편의 굴곡 강도에 영향을 미치지 않은 것으로 나타났으며, 소결 온도가 굴곡강도에 영향을 미치는 주요 인자인 것을 확인할 수 있었다. 특히, 1450°C 소결 온도에서 착색제 침지 횟수와 상관없이 1600°C 보다 확연히 높은 굴곡강도를 나타내었다. 이 결과는 다수의 소결 온도 조건 중 1,400°C와 1550°C 사이에서 소결된 지르코니아에서 가장 높은 굴곡강도를 나타내고, 1,600°C 이상의 소결 온도에서 굴곡강도가 크게 감소함을 보고한 Stawarczyk 등(2013)의 연구 결과와 일치한다.

최근 Orhun (2017)의 연구 보고에 따르면, 지르코니아를 착색 용액에 담그면 시편의 굴곡강도에 부정적 영향을 미치고 제조사의 지침이 중요하다는 사실을 보고하였다. 지르코니아가 착색을 위한 제조사의 추천된 시간인 2 분 동안 착색 액체에 적용될 때 굴곡강도는 감소되지만, 감소되는 굴곡강도는 통계적으로 유의하지 않다고 하였다. Hjeroppe 등(2008)의 연구에서는 장시간의 착색 시간으로 인해 굴곡강도가 크게 감소한 것을 보고했지만, 본 연구결과와는 다르게 나타났다. 이는 본 연구에서 착색 용액에 지르코니아 시편의 침지하는 시간이 1회당 10초로 기존의 선행연구에 비교했을 때 침지 시간이 부족했기 때문에 굴곡강도에 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

취성 파절의 특성을 가지는 세라믹 소재는 압축응력보다 인장응력에 매우 취약하기 때문에 기계적 특성을 알아보는 방법으로 굴곡강도를 측정하는 것을 많이 권장하고 있다 (Ban과 Anusavice, 1990). 본 연구에서 3점 굴곡강도 시험 후 데이터 분석한 결과 (Figure 3, Table 2), 1450°C에서 소결된 그룹이 1600°C에서 소결된 그룹 보다 높은 굴곡강도를 나타내었다. 이는 Figure 4와 Figure 5에서 확인할 수 있듯이

지르코니아가 고온 소결되면서 결정립의 조대화가 원인으로 사료된다. Tekeli와 Erdogan (2002)은 소결 온도가 높을수록 결정립 크기가 증가하여 기계적 특성이 감소된다고 보고하였다. 게다가, Stawarczyk 등(2013)은 소결 온도가 높아지면 결정립의 성장으로 굴곡강도가 낮아진다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 일치하였다.

치과용 세라믹 소재는 최소 800 MPa 이상의 굴곡강도를 가져야 한다. 특히, 지르코니아의 평균 굴곡강도는 900~1,200 MPa로, 기존의 치과용 세라믹 소재 보다 2배 정도 높은 강도를 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 착색제 침지 횟수에 상관없이 1450℃ 소결 온도에서 700 MPa 이상의 값을 나타내었지만, 치과용 지르코니아의 일반적인 굴곡강도 보다 낮게 측정되었다. 이는 하중을 받는 시편의 면적, 시편의 크기, 하중 속도 및 실험 방법 등의 차이에 의한 요인들이 영향을 미친 것으로 판단된다 (Albakry 등, 2003). 하지만, 제6872호 ISO에 따르면 이종구조 전부도재관의 하부구조용 세라믹이 필요로 하는 최소 굴곡강도인 300 MPa를 만족시키므로 임상적 사용이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 착색제의 침지 횟수, 지르코니아 블록의 소결 온도에 따른 굴곡강도 변화를 측정하여 투명도가 향상된 유색 지르코니아 블록의 착색 시의 임상적 활용 자료를 제공하고자 하였다. 향후 연구에서는 착색 용액의 농도 변화와 색조 관찰을 연구를 통해 투명도가 향상된 지르코니아 블록의 심미적, 기계적 특성을 개선하는 연구와 착색 용액의 생물학적 안정성을 평가하는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. CONCLUSION

본 연구를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 투명도가 향상된 지르코니아 세라믹의 굴곡강도는 소결 온도에 의존하는 것으로 나타났다.
2. 착색 용액 침지 횟수는 투명도가 향상된 지르코니아 세라믹의 굴곡강도에 영향을 미치지 않았다.
3. 높은 소결 온도 (1600℃)에서 결정립의 조대화로 굴곡강도가 감소하였다.

VI. REFERENCES

1. Piconi C, Maccauro G (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* 20:1-25.
2. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M (2010). Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehabil* 37: 641-652.
3. Pecho OE, Ghinea R, Ionescu AM, de la Cruz Cardona J, Paravina RD, del Mar Pérez M (2012). Color and translucency of zirconia ceramics, human dentine and bovine dentine. *J Dent* 40:34-40.
4. Sreeram KJ, Srinivasan R, Devi JM, Nair BU, Ramasami T (2007). Cerium molybdenum oxides for environmentally benign pigments. *Dyes Pigm* 75:687-692.
5. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ (2008). Effect of zirconia type on its bond strength with different veneer ceramics. *J Prosthodont* 17:401-408.
6. Hjerppe J, Närhi T, Fröberg K, Vallittu PK, Lassila LV (2008). Effect of shading the zirconia framework on biaxial strength and surface microhardness. *Acta Odontol Scand* 66:262-267.
7. Kern F (2013). Mechanical properties and low temperature degradation resistance of 2,5 Y-TZP-alumina composites. *Materia & Ceramiczne* 65:258-266.
8. Stawarczyk B, Özcan M, Hallmann L, Ender A, Mehl A, Hämmerlet CH (2013). The effect of zirconia sintering temperature on flexural strength, grain size, and contrast ratio. *Clin Oral Investig* 17:269-274.
9. Orhun E (2017). The effect of coloring liquid dipping time on the fracture load and color of zirconia ceramics. *J Adv Prosthodont* 9:67-73.
10. Ban S, Anusavice KJ (1990). Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res* 69:1791-1799.
11. Tekeli S, Erdogan M (2002). A quantitative assessment of cavities in 3 mol% yttria-stabilized tetragonal zirconia specimens containing various grain size. *Ceram Int* 28:785-789.

12. Albakry M, Guazzato M, Swain MV (2003). Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent* 31:181-188.

착색액 침지 횟수와 최종 소결 온도가 지르코니아 세라믹의 굴곡강도에 미치는 영향

공문천¹, 김갑진², 권태엽³ 홍민호^{1,4}

부산가톨릭대학교 치기공과¹

부산가톨릭대학교 치기공과²

경북대학교 치의학전문대학원 치과생체재료학교실 및 경북대학교 생체재료연구소³

경북대학교 치의학전문대학원 생체재료연구소⁴

본 연구의 목적은 착색액 침지 횟수와 소결온도가 지르코니아 세라믹의 굴곡강도에 미치는 영향을 조사하였다. 본 연구에서는 투명도가 향상된 지르코니아 블록을 이용하여 25 mm × 2 mm × 1.5 mm 크기의 시편을 제작하였다. 제작된 지르코니아 세라믹 시편을 0, 2, 그리고 4회로 구분하여 착색 용액에 침지하여 색조를 부여하였다. 그 다음, 1,450°C와 1,600°C로 최종 소결 후, 만능시험기를 이용해서 굴곡강도를 측정하였다 (전체 6개 그룹, 각 그룹 n=10). 미세조직 관찰은 전방전계주사현미경 (SEM)을 사용하였고, 실험을 통해 획득된 자료는 Two-way ANOVA를 이용하여 분석하였다. 굴곡강도 분석결과 EKL2 군에서 762.3 ± 42.3 MPa로 가장 높은 값을 보였다. 대조적으로, EKH4 군에서는 516.4 ± 77.1 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었다. Two-way ANOVA의 결과에 따르면, 굴곡강도는 소결온도와 착색액 침지 횟수 사이에 상호 작용이 없는 것으로 나타났다 (R²=0.737). 또한, 굴곡강도 결과 값에 관련하여, 소결온도에서 통계학적 유의차 가 나타났다 (P<0.001). 투명도가 향상된 지르코니아 세라믹의 굴곡강도는 소결온도에 의존하는 것으로 나타났다. 착색액 침지 횟수는 투명도가 향상된 지르코니아 세라믹의 굴곡강도에 영향을 미치지 않았다.

주제어: 지르코니아, 착색액, 굴곡강도