

포세린 소성시 냉각속도가 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아의 광학적 특성에 미치는 영향

신혜정, 권용훈, 설효정*

부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

Effect of cooling rate during porcelain firing on the optical properties of 3 mol% yttria-stabilized zirconia

Hye-Jeong Shin, Yong-Hoon Kwon, Hyo-Joung Seol

*Department of Dental Materials, School of dentistry, Pusan National University,
Yangsan-Si, Republic of Korea*

This study investigated the effect of the difference in the cooling rates on the optical properties of zirconia during the simulated firing of porcelain, without a porcelain layer on a zirconia core ceramic. No difference was observed in the average transmittance of zirconia with the cooling rate during simulated firing ($p > 0.05$). In all groups, the average transmittance decreased from approximately 44% to approximately 28% ($p < 0.001$) as the thickness increased from 0.51 mm to 2.0 mm. No difference was observed in the translucency and opalescence parameters of zirconia with the cooling rate during the simulated firing of porcelain ($p > 0.05$). In all groups, the translucency decreased from approximately 16 to approximately 5 ($p < 0.001$), while the opalescence increased from approximately 6 to approximately 11 ($p < 0.001$) as the thickness increased from 0.51 mm to 2.00 mm. Thus, the average transmittance and translucency parameter decreased exponentially as the thickness increased in all groups regardless of the cooling rate during simulated porcelain firing, while the opalescence parameter increased in a parabolic manner. Therefore, in this study, even if porcelain is fired at a cooling rate higher or lower than the typical cooling rate when manufacturing a prosthesis with a zirconia core, the optical properties of zirconia are not expected to be significantly affected.

Keywords: Zirconia core ceramic, Simulated firing, Cooling rate, Optical properties

Hye-Jeong Shin (ORCID: 0000-0001-7631-9964)
Yong-Hoon Kwon (ORCID: 0000-0001-8097-2114)

*Correspondence: Hyo-Joung Seol (ORCID: 0000-0002-6177-2616)
49 Busandaehak-ro Mulgeum-eup, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do
50612, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental materials, School of Dentistry,
Pusan National University, Yangsan-si, Gyeongsangnam-do,
Republic of Korea
Tel: +82-51-510-8229, Fax: +82-51-510-8228
E-mail: seol222@pusan.ac.kr

Received: Dec 06, 2021; Revised: Dec 14, 2021; Accepted: Dec 14, 2021

서론

세라믹은 기존의 메탈-세라믹(metal-ceramic) 수복물에 비해 뛰어난 심미성, 화학적 안정성 및 생체 적합성 때문에 치과 응용 분야에서 널리 사용되고 있다. 치과에서 사용되는 모든 세라믹 수복재 중 지르코니아(zirconia)는 가장 선호되는 세라믹이다. 순수한 지르코니아는 대기압하에서 온도변화에 따라 세가지 형태, 즉 단사정(monoclinic), 정방정(tetragonal), 입방정(cubic)을 띤다. 이 중에서 단사정계는 상온에서 안정하며, 정방정 및 입방정계 지르코니아는 고온에서 안정하다. 고온형인 정방정계 지르코니아는 응력을 받는 경우 단사정계로 응력유기 상전이가 일어나면서 부피 팽창을 일으켜 응력을 받은 부위에 압축응력장을 형성하므로 인성을 강화시킨다. 순수한 지르코니아에 상안정화제를 첨가하면 실온에서도 정방정계나 입방정계가 생성될 수 있다(1, 2). 지르코니아의 상안정화제로는 이트리아(yttria, Y_2O_3), 산화 칼슘(CaO), 산화 마그네슘(MgO), 산화 세륨(CeO_2) 등이 주로 사용되고 있다(3).

지르코니아는 상안정화제의 하나인 이트리아의 함량을 증가시키기에 따라 반투명도가 크게 향상되는 것으로 알려져 있다(4). 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아의 경우 정방정계를 나타내는데, 정방정계는 입방정계와는 달리 광학적으로 등방성이 아니므로 복굴절로 인한 빛의 산란이 일어나 투명도가 낮다. 따라서 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아로 제작된 수복물은 자연치아의 광학적 특성을 그대로 재현하기에는 심미성이 부족하다. 이트리아의 함량을 높여 입방정계를 도입한 부분 안정화 지르코니아(partially stabilized zirconia)는 입방정계와 정방정계가 공존함에 따라 투명도가 더욱 향상된다. 그러나 상안정화제인 이트리아의 함량이 증가할수록 지르코니아의 기계적 특성은 저하되는 것으로 알려져 있다(4). 이러한 이유는 입방정계 지르코니아는 정방정계와는 달리 응력에 의한 변형을 일으키지 않으므로 응력유기상전이에 의한 인성의 증가를 기대할 수 없기 때문이다(5). 투명도의 향상을 위해 이트리아 함량을 높이는 외에도 알루미늄(alumina, Al_2O_3) 함량을 0.05% 미만으로 줄이는 방법(5, 6), 산화 란타넘(La_2O_3) 첨가(5) 등의 다양한 방법이 소개되어 왔다.

전부 지르코니아 수복물은 자연치와 유사한 정도의 심미

성을 만족시키기에는 재료가 갖는 투명도 부족으로 인한 한계가 있어 지르코니아를 코어(core)로 제작후 치과용 포세린을 전장에 비니어링하는 방법을 사용하여 자연치가 갖는 반투명도를 재현해 왔다. 지르코니아 코어를 이용한 보철물 제작을 위해서는 지르코니아를 최종 소결후 포세린 상부구조의 형성을 위해 다시 열처리 과정을 시행해야 한다. 이때 열처리는 주로 두세 단계를 거쳐 시행되는데, 각 단계를 거칠때마다 약 900 °C에서 열처리 후 약 600 °C까지 냉각시킨 다음, 실온까지 벤치쿨링하는 과정을 반복하게 된다. 일반적으로 열처리후 약 600 °C까지 냉각시 냉각속도는 제조사에 의해 제시되며 일반적으로 3-4분만에 이루어진다. 지르코니아는 고온에서 소결후 냉각되는 동안 냉각속도에 따라 생성상이 달라질 수 있으며 이는 투명도에 영향을 미치는 것이 보고되었다(4). 한편 지르코니아 코어의 소결후 포세린 상부구조를 형성하기 위한 열처리시 냉각속도에 따른 지르코니아의 광학적 특성의 변화는 아직 밝혀져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 이를 알아보기 위하여 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아 세라믹을 급속 소결후 포세린 및 글레이즈액(glazing paste)를 축성하지 않고 다양한 냉각 속도에서 모의소성을 진행하여 광학적특성의 차이를 관찰하였다. 시험할 귀무가설은 '3 mol%의 이트리아를 함유한 무색 지르코니아의 모의소성 시 냉각속도는 평균 투과율, 반투명도 매개변수 그리고 유백광도 매개변수에 영향을 미치지 않을 것이다'.

재료 및 방법

1. 시편 제작

이트리아 함량이 3 mol%인 무색 지르코니아 블록(Lava Plus, 3M ESPE, Maplewood, MI, USA)을 반소결 상태에서 다이아몬드 휠을 장착한 절단기(Accutom-100, Struers Company, Copenhagen, Denmark)로 절단하였다. 그 후 시편을 SiC 연마지로 1000에서 5000(991A ST 5000, STARCKE GmbH & Co. KG, Melle, Germany) grit까지 순차적으로 건식연마 하였다. 절단한 시편을 제조회사의 지시에 따라 소결로(Inlab prosinter, Dentsply, Bensheim, Germany)에서 1500 °C에서 0.5시간 동안 급속 소결을 시행

하였다. 시편은 약 20%의 소결 수축을 보였으며, 소결 후 시편의 최종크기는 가로 약 10 mm × 세로 약 10 mm에 두께 각 0.51 mm (±0.01), 1.01 mm (±0.01), 1.51 mm (±0.01), 2.00 mm (±0.01)이었다.

2. 모의 소성

급속 소결된 지르코니아 시편을 Table 1의 조건으로 도재 소성로(Multimat 2 Torch, Dentsply, Bensheim, Germany)에서 포세린을 축성하지 않고 모의로 소성하였다. 소성 스케줄(Table 1)은 지르코니아용 포세린 분말(CZR, Kuraray Noritake, Nagoya, Japan)의 소성 스케줄이며 이는 일반적인 포세린 소성 스케줄에 해당한다. 이때 최종온도(930 °C)에서 시작온도(600 °C)까지의 냉각속도는 세 그룹으로 나누어 시행하였고, 600 °C부터 실온까지는 벤치쿨링 하였다. 냉각 속도는 제조회사에서 제시한 냉각속도인 분당 82.5 °C로 냉각한 그룹(FC-4min)과, 소성이 끝나면 바로 소성로에서 꺼내어 냉각한 그룹(FC-0min), 소성로를 닫은 상태에서 600 °C까지 냉각(33 °C/min)한 그룹(FC-10min)으로 나누어 실험을 시행하였다. 소성전의 시편(Before-F)은 지르코니아를 급속 소결 후 모의소성하지 않은 시편에 해당한다.

3. 분광 투과율 및 반사율 기록 및 색좌표 계산

색측정을 위해 컴퓨터 제어 분광광도계(CM-3600d, KonicaMinolta Sensing, Inc., Osaka, Japan)를 사용하였다. CIE 표준 광원 D65 및 2°(관찰자)에서 360~740 nm의 파장범위를 10 nm 간격으로 측정하였고, 분광 투과율 및 반사율을 기록하였다(n=5/group). 측정은 각 시편당 3회 시행하였다. 분광 반사율 데이터는 UV 포함 모드에서 흰색 및 검정색

배경 위에 시편을 위치하여 반사 모드에서 기록하였다. 분광 투과율 데이터는 투과 모드에서 기록하였다. 이를 통해 아래와 같이 다양한 광학 파라미터를 얻었다. 평균 투과율(Average Transmittance, AT)은 각 파장에서 투과율(%)의 합을 데이터 포인트의 수로 나눈 값(7)이다. 샘플의 반투명도 매개변수(Translucency parameter, TP)는 다음 식에 따라 계산되었다.

$$TP = [(L_w^* - L_B^*)^2 + (a_w^* - a_B^*)^2 + (b_w^* - b_B^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 아래 첨자 W는 흰색 배경 위에서 측정한 색 좌표를 나타내고 아래 첨자 B는 검은색 배경 위에서 측정한 색 좌표를 나타낸다(8-10). 샘플의 유백광도 매개변수(Opalescence parameter, OP)는 다음 식에 따라 결정되었다.

$$OP = [(a_T^* - a_R^*)^2 + (b_T^* - b_R^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

여기서, 아래 첨자 T는 투과된 빛을 나타내고, 아래 첨자 R은 검은색 배경에서 측정된 반사광을 나타낸다(8).

각 시편에 대한 두께와 AT 및 TP 값 사이의 관계는 지수 함수의 회귀 분석으로 분석되었다(11).

$$y = a \cdot \exp^{(bx)} \quad (3)$$

여기서, y는 관측된 AT 또는 TP 값, x는 샘플의 두께, a와 b는 상수를 나타낸다.

4. 통계 분석

통계 프로그램인 SPSS 25.0 (Statistical Product and Service Solutions 25.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 시험 결과를 분석하였으며, 0.05의 통계적 유의

Table 1. Simulated porcelain-firing cycles

Firing Cycles	Pre-drying (min)	Heat Rate (°C/min)	Start Temp. (°C)	Final Temp. (°C)	Hold Time (min)	Vacuum Level (cm/HG)	Start Vacuum (°C)	Vacuum Release (°C)
Dentin firing	7	45	600	930	1	55	600	930
Glaze firing	5	50	600	930	0	-	-	-

수준이 유의미한 것으로 간주되었다. 평균 투과율(AT) 및 유백광도 매개변수(OP)에 대한 냉각속도 및 재료 두께의 영향은 two way ANOVA로 분석 후 Tukey HSD로 다중 비교하였다. 반투명도 매개변수(TP)는 정규분포를 만족하지 않아, 일반화 선형모형으로 통계분석 하였다.

결 과

1. 빛 투과율의 변화

Figure 1에서 Figure 4는 다양한 두께의 시편에 대해 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 분광 투과율을 보여준다. 실험결과, 모든 군에서 유사한 결과가 나타났다. 분광 투과율 값의 두께 의존성을 살펴보면 측정된 모든 파장에서 샘플 두께가 증가함에 따라 투과율이 감소했다. 모든 샘플에서 파장이 감소함에 따라 투과율이 점차 감소했는데, 특히 420 nm 근처부터는 파장이 감소함에 따라 투과율이 급격하게 감소했다.

Figure 5는 다양한 두께의 시편에 대해 냉각속도에 따른 평균 투과율(AT)곡선이다. 각 군에서 얻은 평균 투과율에

대해 통계분석한 결과(Table 2) 모의소성시 냉각속도는 평균 투과율에 영향을 미치지 않았고($p > 0.05$), 두께는 평균 투과율에 영향을 미쳤다($p < 0.01$). 두께와 냉각속도간의 교호작용 또한 평균투과율에 영향을 미치지 않았다($p > 0.05$). 두께에 따른 평균 투과율의 유의차는 모든 군에서 나타나, 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 두꺼워질수록 평균 투과율은 약 44%에서 약 28%로 감소하였다($p < 0.001$).

두께와 평균 투과율간의 관계에 대한 회귀 분석을 시행하였고, 계산된 회귀 방정식과 상관 계수(R^2)는 Table 3과 같다. x 는 샘플의 두께, y 는 평균 투과율이다. 각 냉각속도 그룹 간의 회귀방정식($y = a \times \exp^{(bx)}$)의 a , b 값은 모두 유사하였다.

2. 반투명도 매개변수(TP)의 변화

Figure 6과 Table 4는 다양한 두께의 시편에 대해 포세린 소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 반투명도 매개변수(TP)를 보여준다. 통계분석한 결과 모의소성시 두께는 반투명도 매개변수에 영향을 미쳤고($p < 0.001$), 두께와 냉각속도간의 교호작용은 없었다($p > 0.05$). 0.51 mm 두께의 시편에서만 Before-F 그룹에 비해 FC-0, 10min 그룹의 반투명도

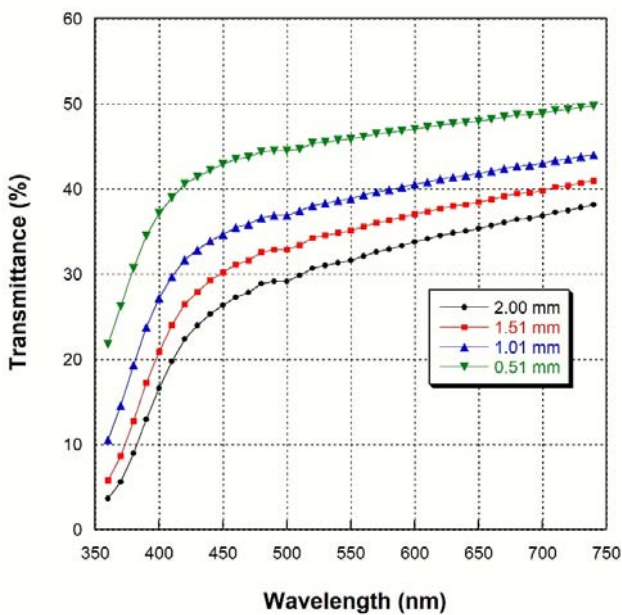


Figure 1. Spectral transmittance curves of the Before-F group with various thicknesses.

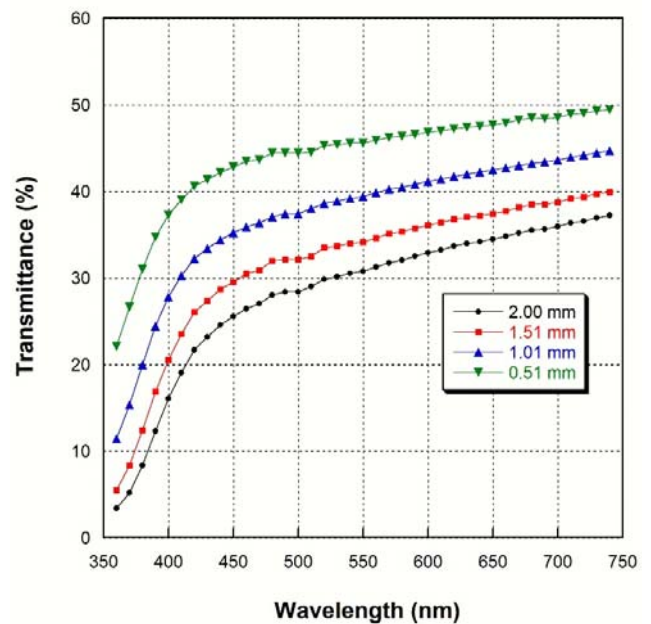


Figure 2. Spectral transmittance curves of the FC-0min group with various thicknesses.

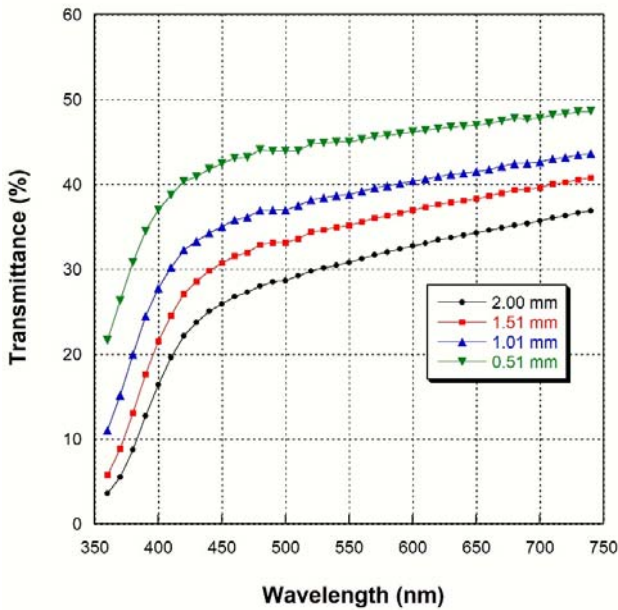


Figure 3. Spectral transmittance curves of the FC-4min group with various thicknesses.

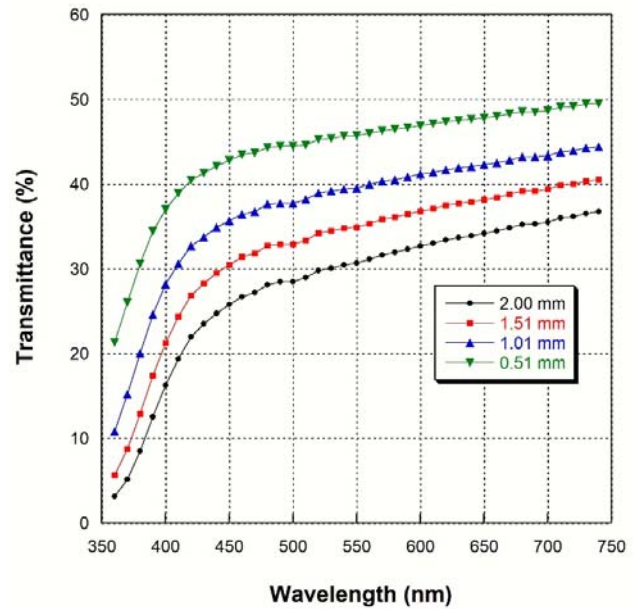


Figure 4. Spectral transmittance curves of the FC-10min group with various thicknesses.

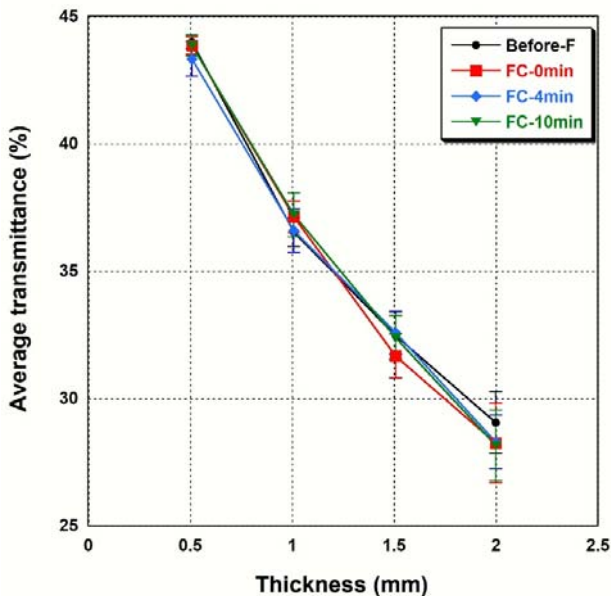


Figure 5. Changes in average transmittance as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses.

매개변수가 높았다. 그러나 FC-0, -4, -10min 군 간의 유의차는 없었다. 두께에 따른 반투명도 매개변수의 유의차는 모든 군에서 나타났으며 두께가 0.51 mm에서 2.00 mm로 두꺼워

질수록 반투명도 매개변수는 약 16에서 5로 감소하였다 ($p < 0.001$). 두께와 반투명도 매개변수간의 관계에 대한 회귀 분석을 시행하였고, 계산된 회귀 방정식과 상관 계수(R^2)는 Table 5와 같다. x 는 샘플의 두께, y 는 반투명도 매개변수이다. 각 냉각속도 그룹 간의 회귀방정식($y = a \times \exp^{(bx)}$)의 a , b 값은 모두 유사하였다.

3. 유백광도 매개변수(OP)의 변화

Figure 7과 Table 6은 다양한 두께의 시편에 대해 냉각속도에 따른 유백광도 매개변수(OP)의 변화를 보여준다. 통계 분석한 결과 냉각속도는 유백광도 매개변수에 영향을 미치지 않았다($p > 0.05$). 두께는 유백광도 매개변수에 영향을 미쳤고($p < 0.01$), 두께와 냉각속도 간의 교호작용은 없었다($p > 0.05$). 모든 군에서 두께가 두꺼워질수록 유백광도 매개변수는 증가하였는데($p < 0.01$), 모든 군에서 두께 0.51 mm 일 때 약 6에서 두께 2.0 mm 일 때 약 11로 증가하였다. 유백광도 매개변수의 두께에 따른 변화는 지수 함수에 따르지 않았으며, 두께가 증가할수록 유백광도 매개변수는 포물선적으로 증가하였다.

Table 2. Average transmittance as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses (Mean±SD)

Thickness (mm)	Before-F	FC-0min	FC-4min	FC-10min
0.51	43,99 ^{Da} (±0,28)	43,85 ^{Da} (±0,35)	43,32 ^{Da} (±0,68)	43,85 ^{Da} (±0,41)
1.01	36,53 ^{Ca} (±0,57)	37,12 ^{Ca} (±0,62)	36,58 ^{Ca} (±0,85)	37,21 ^{Ca} (±0,86)
1.51	32,47 ^{Ba} (±0,94)	31,65 ^{Ba} (±0,86)	32,58 ^{Ba} (±0,84)	32,37 ^{Ba} (±0,88)
2.00	29,04 ^{Aa} (±1,21)	28,24 ^{Aa} (±1,56)	28,28 ^{Aa} (±1,05)	28,15 ^{Aa} (±1,39)

Same uppercase letters indicate that there are no statistical differences among the thickness ($p > 0,05$), and same lowercase letters indicate that there are no statistical differences among groups ($p > 0,05$)

Table 3. Regression analysis of the relationship between average transmittance and thickness in each group

Code	Regression Equation	R ²	P
Before-F	$y=49,348\exp^{-0,273x}$	0,960	<0,001
FC-0min	$y=50,300\exp^{-0,297x}$	0,964	<0,001
FC-4min	$y=49,268\exp^{-0,279x}$	0,972	<0,001
FC-10min	$y=50,435\exp^{-0,294x}$	0,971	<0,001

Table 4. Translucency parameter as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses (Mean±SD)

Thickness (mm)	Before-F	FC-0min	FC-4min	FC-10min
0.51	15,79 ^{Da} (±0,85)	16,53 ^{Db} (±0,37)	16,05 ^{Dab} (±0,88)	16,37 ^{Db} (±0,69)
1.01	11,45 ^{Ca} (±0,23)	11,38 ^{Ca} (±0,11)	11,20 ^{Ca} (±0,71)	10,96 ^{Ca} (±0,54)
1.51	7,88 ^{Ba} (±0,26)	8,03 ^{Ba} (±0,14)	7,55 ^{Ba} (±0,80)	8,08 ^{Ba} (±0,23)
2.00	5,44 ^{Aa} (±0,29)	5,59 ^{Aa} (±0,20)	5,60 ^{Aa} (±0,14)	5,20 ^{Aa} (±0,55)

Same uppercase letters indicate that there are no statistical differences among the thickness ($p > 0,05$), and same lowercase letters indicate that there are no statistical differences among groups ($p > 0,05$)

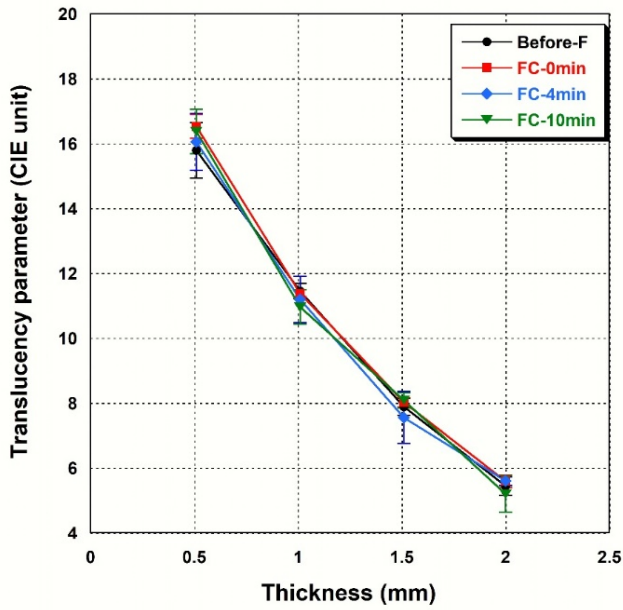


Figure 6. Changes in translucency parameter as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses.

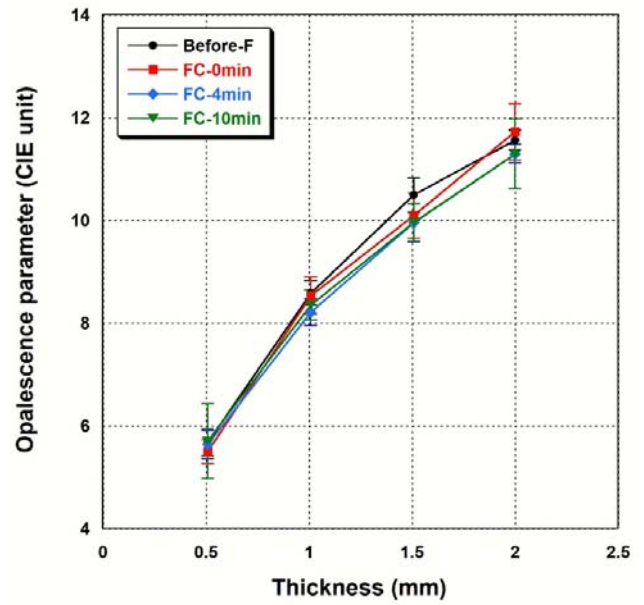


Figure 7. Changes in opalescence parameter as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses.

Table 5. Regression analysis of the relationship between translucency parameter and thickness in each group

Code	Regression Equation	R ²	P
Before-F	$y=22,894\exp^{-0,714x}$	0.990	<0,001
FC-0min	$y=23,583\exp^{-0,720x}$	0.997	<0,001
FC-4min	$y=22,643\exp^{-0,710x}$	0.971	<0,001
FC-10min	$y=23,814\exp^{-0,752x}$	0.976	<0,001

Table 6. Opalescence parameter as a function of cooling rate for specimens of various thicknesses (Mean±SD)

Thickness (mm)	Before-F	FC-0min	FC-4min	FC-10min
0,51	5,67 ^{Aa} (±0,26)	5,49 ^{Aa} (±0,23)	5,63 ^{Aa} (±0,28)	5,70 ^{Aa} (±0,73)
1,01	8,58 ^{Ba} (±0,24)	8,53 ^{Ba} (±0,36)	8,21 ^{Ba} (±0,26)	8,35 ^{Ba} (±0,29)
1,51	10,49 ^{Ca} (±0,34)	10,09 ^{Ca} (±0,44)	9,95 ^{Ca} (±0,37)	9,96 ^{Ca} (±0,36)
2,00	11,56 ^{Da} (±0,19)	11,72 ^{Da} (±0,55)	11,29 ^{Da} (±0,18)	11,29 ^{Da} (±0,68)

Same uppercase letters indicate that there are no statistical differences among the thickness ($p>0,05$), and same lowercase letters indicate that there are no statistical differences among groups ($p>0,05$).

고 찰

본 연구에서는 급속소결된 지르코니아를 다양한 냉각속도에서 포세린없이 모의 소성하고 냉각속도에 따른 지르코니아의 광학적 특성의 변화를 조사하였다. 그 결과 3 mol%의 이트리아를 함유한 무색 지르코니아의 모의소성 시 냉각속도는 평균 투과율, 반투명도 매개변수 그리고 유백광도 매개변수에 영향을 미치지 않을 것이라는 귀무가설은 채택되었다. 사용한 지르코니아의 분광 투과율은 모든 시험군에서 유사하게 나타나, 측정된 모든 파장에서 샘플 두께가 증가함에 따라 투과율이 감소했다. 모든 샘플에서 파장이 감소함에 따라 투과율이 점차 감소했는데, 특히 420 nm 근처부터는 파장이 감소함에 따라 투과율이 급격하게 감소했다. 이러한 경향은 4 mol% 이트리아 함유 지르코니아에서도 보고되었다(4).

포세린 소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 평균 투과율의 유의차는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 두께에 따른 평균 투과율의 유의차는 냉각속도와 상관없이 모든 군에서 나타났으며 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 평균 투과율은 약 44%에서 약 28%로 감소하였다($p < 0.001$). 두께 증가에 따른 투과율 감소는 유색의 3 mol% 이트리아를 함유한 지르코니아에서도 보고되었다(12). 그룹별로 두께와 평균 투과율간의 관계에 대한 회귀 분석을 시행한 결과, 각 냉각속도 그룹 간의 회귀방정식($y = a \times \exp^{(bx)}$)의 a , b 값은 모두 유사하였다. 냉각속도와 상관없이 모든 군에서 상관 계수가 매우 높게 나타나 평균 투과율이 두께에 따라 지수함수적으로 변하는 것을 알 수 있었다. 균일한 재료에서 빛의 투과율은 다음과 같은 두께의 지수함수로 주어진다(13); $T = \exp^{(ax)}$. 이때 알파(a)는 선형 감쇠 계수에 해당하는데, 감쇠는 물질과 빛이 산란 또는 흡수의 방식으로 상호 작용하여 생긴다(13). 따라서 알파값이 클수록 빛의 산란 및/또는 흡수 정도가 커져서 물질이 불투명해진다. 본 연구에서는 다결정체를 사용하였으므로 균일한 재료가 아니지만 빛의 평균 투과율이 식 $T = \exp^{(ax)}$ 와 유사한 지수 함수에 따라 두께에 따라 변하였다. Shiraiishi와 Watanabe (2016)는 치과용 all-ceramic 수복물의 하부 구조로 사용되는 yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals (Cercon[®] base)의 평균 투과율을 분석한 결과 두께가 약 0.5 mm 일 때

6.4%을 얻어 본 실험결과에서 얻어진 값인 약 44%에 비해 상당히 낮은 값을 보고하였다(7). Cercon[®] base의 두께와 평균 투과율 간의 관계에 대한 회귀분석 결과 얻어진 회귀방정식($y = a \times \exp^{(bx)}$)에서 b 의 절대값은 2.503 이었다(7). 한편, 본 실험에서 얻어진 값은 이보다 훨씬 낮은 값인 0.273-0.297이었다(Table 3). 따라서 본 실험에 사용된 지르코니아의 빛의 산란 및/또는 흡수 정도는 Cercon[®] base보다 더욱 작으며, 빛 투과율이 상대적으로 높아 all-ceramic 수복물의 하부 구조 외에도 monolithic 보철로도 사용이 가능하다고 생각되었다.

포세린 소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 반투명도 매개변수(IP)를 분석한 결과, 0.51 mm 두께의 시편에서만 소성전의 그룹에 비해 FC-0, 10 min 그룹의 반투명도 매개변수가 높았다. 그러나 FC-0, 4, 10 min 군 간의 유의차는 없었다. 두께에 따른 반투명 매개변수의 유의차는 모든 군에서 나타났으며 두께가 두꺼워질수록 반투명 매개변수는 감소하였다($p < 0.001$). Wang 등 (2013)은 다양한 덴탈 세라믹의 두께에 따른 반투명도를 조사한 결과, 반투명도가 높은 세라믹의 경우 덜 반투명한 세라믹보다 두께 감소에 따른 반투명 매개변수 증가가 더 크다고 보고하였다(14). 본 실험에서 사용한 지르코니아는 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아이며, 이는 일반적으로 4 mol% 및 5 mol% 이트리아 안정화 지르코니아의 반투명도에 비해 낮은 값을 보인다(15). 유백광(Opalescence)은 오팔스톤의 출현으로 명명되었으며, 이로 인해 물질이 투과광에서는 황색을 띄고 투과광에 수직인 산란광에서는 청색을 띄는 현상이다(16). 사람의 법랑질에 대한 유백광도 매개변수 값의 범위는 두께가 0.9-1.3 mm일 때 19.8-27.6으로 보고되어 있다(17). 사람의 치아와 같이 치과용 포세린의 유백광 특성이 향상되면 자연 치아와 같은 방식으로 빛에 반응하는 심미 수복물을 얻을 수 있다(18). 포세린 소성시 냉각속도에 따른 유백광도 매개변수(OP)의 변화를 분석한 결과, 냉각속도에 따른 유백광도 매개변수의 유의차는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 모든 군에서 시편의 두께가 0.51 mm에서 2.00 mm로 증가할수록 유백광도 매개변수는 약 6에서 약 11로 증가하였다($p < 0.001$). Alghazzawi (2017)은 A2 pre-colored 혹은 A2 colouring liquid처리한 다양한 조성의 지르코니아의 유백광도 매개변수를 조사하여 0.4 mm 두께일 때 7.5-12.4의 값을

보고하였다(19). 무색 지르코니아를 사용한 본 연구에서 얻은 유백광도 매개변수는 조금 더 두꺼운 0.51 mm 시편에서 약 6의 값인 것을 감안하면, 유색 지르코니아의 유백광도 매개변수가 무색 지르코니아의 유백광도 매개변수보다 더욱 큰 것을 보여준다.

본 실험에서 광학적 특성 분석을 위해 사용한 시편의 두께는 약 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm였는데, 0.5 mm 두께는 주로 코어용으로 사용되는 경우에 적용되며, 1.0-2.0 mm의 두께는 주로 monolithic 보철물로 사용되는 경우에 적용된다. 본 실험 결과, 모든 군에서 시편의 두께가 증가할수록 평균 투과율과 반투명도 매개변수는 감소하였으나 유백광도 매개변수는 증가하였다. 따라서 동일한 재료를 사용하더라도 monolithic 보철용에 비해 core용으로 쓰일 때 더 얇은 두께가 적용되므로 반투명도가 높아지고 유백광도가 낮아지게 됨을 알 수 있다. 이상으로부터 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 광학적 특성을 관찰한 결과, 시험된 두께범위에서 냉각속도에 따른 평균투과율, 반투명도 및 유백광도 매개변수의 유의차는 나타나지 않았다. 따라서 임상에서 지르코니아 코어를 사용한 보철물의 제작시 제조사의 지시보다 높거나 낮은 냉각속도로 포세린을 소성하더라도 지르코니아 코어의 광학적특성에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다. 그러나 이러한 냉각속도의 차이가 광학적 특성 이외에 기계적 특성 및 미세구조와 결정구조의 변화에 미치는 영향은 아직 밝혀져 있지 않으므로 이와 관련된 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

결 론

본 연구에서는 급속소결된 지르코니아 코어 세라믹에 포세린을 축성하지 않고 모의 소성 시 냉각 속도의 차이가 지르코니아의 광학적 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 평균 투과율의 유의차는 나타나지 않았다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 평균 투과율은 약 44%에서 약 28%로 감소하였다 ($p<0.001$).

2. 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 반투명도 매개변수의 차이는 없었다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 반투명 매개변수는 약 16에서 약 5로 감소하였다 ($p<0.001$).

3. 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 유백광도 매개변수의 차이는 없었다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 유백광도 매개변수는 약 6에서 약 11로 증가하였다 ($p<0.001$).

이상으로부터 임상에서 지르코니아 코어를 사용한 보철물의 제작시 제조사의 지시보다 높거나 낮은 냉각속도로 포세린을 소성하더라도 지르코니아 코어의 광학적특성에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. Nam KW. Mechanical Characteristics and Crack-Healing of ZIRCONIA(ZrO_2) Composite Ceramics with SiC and TiO_2 . Trans Kor Soc Mech Eng A. 2016;40(3): 267-73.
2. Kang JB. Mechanical Properties Observation of Ce-TZP Ceramics by Quantity Change of CeO_2 . J Kor Ceram Soc. 2010;47(5):439-44.
3. Xiwen S, Min X, Fen Z, Xihong H. High-temperature thermal properties of yttria fully stabilized zirconia ceramics. J Rare Earths. 2011;29(2):155-9.
4. Kim HK. Effect of a rapid-cooling protocol on the optical and mechanical properties of dental monolithic zirconia containing 3-5 mol% Y_2O_3 . Materials. 2020;13(8):1923.

5. Gibson IR, Irvine JTS. Qualitative x-ray diffraction analysis of metastable tetragonal (t') zirconia. *J Am Ceram Soc.* 2001;84(3):615-8.
6. Lümekemann N, Stawarczyk B. Impact of hydrothermal aging on the light transmittance and flexural strength of colored yttria-stabilized zirconia materials of different formulations. *J Prosthet Dent.* 2020;125(3): 518-26.
7. Shiraishi T, Watanabe I. Thickness dependence of light transmittance, translucency and opalescence of a ceria-stabilized zirconia/alumina nanocomposite for dental applications. *Dent Mater.* 2016;32(5):660-7.
8. Shiraishi T, Wood DJ, Shinozaki N, van Noort R. Optical properties of base dentin ceramics for all-ceramic restorations. *Dent Mater.* 2011;27(2):165-72.
9. Johnston WM, Ma Tsun, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont.* 1995;8(1):79-86.
10. Lee YK, Lu H, Powers JM. Measurement of opalescence of resin composites. *Dent Mater.* 2005;21(11):1068-74.
11. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent.* 2013;110(1):14-20.
12. Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Kaya BM. Light transmittance of zirconia as a function of thickness and microhardness of resin cements under different thicknesses of zirconia. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2013;18(2):e212-8.
13. Tilley RJD. *Colour and the Optical Properties of Materials.* 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd; 2011. pp. 33-6.
14. Wang F, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent.* 2013;110(1):14-20.
15. Sen N, Isler S. Microstructural, physical, and optical characterization of high-translucency zirconia ceramics. *J Prosthet Dent.* 2019;123(5):761-8.
16. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: A review. *Dent Mater.* 2011;27(1):97-108.
17. Lee YK, Yu B. Measurement of opalescence of tooth enamel. *J Dent.* 2007;35(8):690-4.
18. Zena R. Evolution of dental ceramics. *The Compendium of Continuing Education in Dentistry.* 2001;22:S12-4.
19. Alghazzawi TF. The effect of extended aging on the optical properties of different zirconia materials. *J Prosthodont Res.* 2017;61(3):305-14.

포세린 소성시 냉각속도가 3 mol% 이트리아 안정화 지르코니아의 광학적 특성에 미치는 영향

신혜정, 권용훈, 설효정*

부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

본 연구에서는 지르코니아 코어 세라믹에 포세린을 축적하지 않고 모의 소성 시 냉각 속도의 차이가 지르코니아의 광학적 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 그 결과 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 평균 투과율의 유의차는 나타나지 않았다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 평균 투과율은 약 44%에서 약 28%로 감소하였다($p<0.001$). 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 반투명도 매개변수의 차이는 없었다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 반투명 매개변수는 약 16에서 약 5로 감소하였다($p<0.001$). 포세린 모의소성시 냉각속도에 따른 지르코니아의 유백광도 매개변수의 차이는 없었다($p>0.05$). 모든 군에서 시편 두께가 0.51 mm에서 2.0 mm로 증가할수록 유백광도 매개변수는 약 6에서 약 11로 증가하였다($p<0.001$). 이상으로부터 포세린 모의소성시 냉각속도에 상관없이 모든 시험군에서 두께가 증가할수록 평균 투과율과 반투명도 매개변수는 지수함수적으로 감소하였으며 유백광도 매개변수는 포물선적으로 증가하였다. 따라서 본 연구의 한계내에서 지르코니아 코어를 사용한 보철물의 제작시 제조사에 의해 제공되는 일반적인 냉각속도보다 높거나 낮은 냉각속도로 포세린을 소성하더라도 지르코니아의 광학적특성에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다.

색인단어 : 지르코니아 코어 세라믹, 모의 소성, 냉각속도, 광학적 특성
