

리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 성형이 색 안정성에 미치는 영향

전병욱

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

The effect of repeat processing on the color stability of lithium disilicate glass-ceramic

Byung-Wook Jeon

Department of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan, Busan, Korea

Article Info

Received November 15, 2021

Revised November 23, 2021

Accepted November 23, 2021

Corresponding Author

Byung-Wook Jeon

Department of Dental Laboratory Science,
College of Health Science, Catholic University
of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeonggu,
Busan 46252, Korea

E-mail: bwjeon@cup.ac.kr

https://orcid.org/0000-0002-6180-8199

*This paper was supported by 2020

RESEARCH FUND offered from Catholic
University of Pusan.

Purpose: This study investigates the effect of repeated use of lithium disilicate glass-ceramics on color stability.

Methods: In this study, 2 types of lithium disilicate glass-ceramics were used and they were divided into 4 groups after 1st, 2nd, 3rd, and 4th heat pressing. The L*, a*, and b* values of all specimens were measured using the VITA Easys shade Advance 4.0. These values were used to determine the ΔE value and transparency. IBM SPSS Statistics ver. 24.0, a statistical significance level of 0.05 and one-way ANOVA were used for all data.

Results: In all groups, the L* and b* values were the lowest in the specimens subjected to the 4th heat pressing and the corresponding a* value was the highest. All specimens showed ΔE values of ≤ 3.3 , indicating color changes that were not visible with the naked eye, and the color difference increased with the number of repeated heat pressing. The transparency of all specimens decreased as the number of repeated uses increased.

Conclusion: According to the number of repeated heat pressing, the color difference of Rosetta SP (HASSBIO) was larger than that of IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent), but it was clinically acceptable in all groups. Moreover, transparency decreased as the number of heat presses increased in all groups. According to the above findings, the lithium disilicate glass-ceramic has high color stability due to repeated heat pressing, implying that it can be used in clinical settings regularly.

Key Words: Color, Glass ceramics, Lithium disilicate, Reuse

INTRODUCTION

글라스-세라믹은 유리 상태의 기질과 다결정형 세라믹 재료로서 결정 핵 생성과 결정 성장을 조절함으로써 형성되며[1], 이 중에 리튬디실리케이트 글라스-세라믹은 미세한 막대 모양의 결정상을 고밀도로 석출시켜 맞물림 구조를 생성하고 있어 강도와 파괴인성이 다른 글라스 세라믹보다 우수하다[2,3]. 또한, 불화수소산(HF)에 의한 산부식과 실란 처리가 가능해 레진과의 높은 결합력을 얻을 수 있어 전치부와 구치부 단일치 수복에 사용이 증가하고 있으며[4], 타 시스템에 비해 비교적

우수한 투명도로 인해 자연치 색조와 유사하다[5].

전통적인 치과용 세라믹은 저온 소결로 제작되어 소결 시 20% 정도의 수축량으로 정확도에 문제를 유발하였고, 1,100°C 이상의 고온이 필요한 도재 분말을 이용한 직접 소결은 적절한 내화재가 없으면 정확한 크기의 세라믹 보철물을 얻기 힘들었다. 이를 해결하기 위하여 최근에는 비교적 높은 정확도를 자랑하는 열가압 성형 세라믹의 사용이 증가하였다. 열가압 성형 세라믹은 로스트 왁스법에 의하여 형성된 주형 내에 글라스를 미리 열처리하여 결정화한 글라스-세라믹 잉곳을 가열 상태에서 주입하는 방식으로 제작되는 방식으로 상대적으로 짧은 제작

시간과 낮은 기공율, 우수한 변연적합도 및 강도가 높다는 장점이 있다 [6,7].

리튬디실리케이트 글라스-세라믹은 높은 가격의 장비 및 재료로 인해 경제적인 부담이 증가하는 단점이 있어 대부분의 치과기공소에서는 열가압 성형 후 주입선 부분을 포함하는 잉곳의 나머지 부분을 재사용하고 있다[8]. 이처럼 입상에서 리튬디실리케이트 글라스-세라믹을 적용하는데 어려움이 있어 잉곳을 재사용하여 경제적인 부담을 줄이고자 한다.

치의학 분야에서도 대체 재료의 개발 및 재활용(recycling)에 관한 연구가 진행되고 있지만 대부분의 연구가 금속의 재활용에 대한 연구가 대부분이며 세라믹에 관한 연구는 미비하다. 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 재사용에 대한 연구들이 미약하나마 진행되어 왔는데, Won [9]은 2회 반복 열가압 성형 후 파괴인성의 변화에 대해 연구하였고, 3회 반복 열가압 성형 후 Son 등[10]은 표면경도와 파괴인성에 대해, Song 등[11]은 굽힘강도에 관해 연구하였다. 4회 반복 열가압 성형 후 Chung 등[12]은 굴곡강도에 대해, Gorman 등[13]과 Lim 등[14]은 굴곡강도, 비커스 경도, 파괴인성에 관한 연구보고를 하였다. 이처럼 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 사용이 기계적 성질에 미치는 영향에 관한 연구는 다양하게 다루어져 왔으나 색조에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

심미적인 수복재료에서 형태와 더불어 색의 안정성은 매우 중요한 요소이므로 색 변화 없이 안정적으로 리튬디실리케이트 글라스-세라믹이 재사용되어야 한다. 심미적인 세라믹 수복물을 제작하기 위해서는

색조의 객관적 평가를 위한 연구가 필요하며, 색조뿐만 아니라 투명도에 대한 평가 또한 이루어져야 한다[15,16].

본 연구에서는 입상에서 많이 사용하고 있는 2종의 국산과 수입산 열가압 성형용 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 사용이 색조에 미치는 영향을 비교해 보고자 색 측정기를 이용하여 Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) 색체계를 적용하여 L*, a*, b* 값을 측정 분석하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 실험 재료

본 연구에서는 현재 시판되고 있는 2종의 열가압 성형용 리튬디실리케이트 글라스-세라믹 재료 IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Rosetta SP (HASSBIO, Gangneung, Korea)를 사용하였으며, shade A2의 높은 투명도를 갖는 high translucency (HT) 잉곳을 선택하였다(Table 1).

2. 실험 방법

1) 시편 제작

IPS e.max Press와 Rosetta SP 2종의 열가압 성형용 글라스-세라믹 재료를 성형 횟수에 따라 1회, 2회, 3회, 4회로 나누어 시편을 총 24개 제작하였다(Fig. 1, Table 2).

크기 10.0 mm×10.0 mm×1.5 mm의 판상의 시편을 제작하기 위해서 왁스를 동일한 크기로 제작하였다. 왁스 패턴에 주입선을 부착하고 원추대에 고정된 후 매몰재(Prime Vest HS; BK Giulini, Ludwigshafen, Germany)로 매몰하고 실온에서 40분 동안 방치하였다. 이후 주형을 850℃에서 50분간 소환한 다음 예비가열을 하지 않은 잉곳을 주형과 함께 열가압 성형 전기로(Programat EP 3000; Ivoclar Vivadent)에 넣고서 제조회사의 지시에 따라 Table 3의 조건으로 열가압 성형을 하였다. IPS e.max Press HT 잉곳은 920℃에서 15분간 유지하고 Rosetta SP HT 잉곳은 900℃에서 20분간 유지한 후, IPS Alox Plunger (Ivoclar Vivadent)로 crosshead speed 300 μm/min으로 압축력을 가하여 열가압 성형을 하였으며, 완료 후 전기로에서 주형을 빼내고 실온이 될 때까지 냉각하였다. 50 μm 글라스 비드(Rolloblast;

Table 1. Materials used in this study

Product	Main composition	Manufacturer	Color
IPS e.max Press	SiO ₂ , Li ₂ O, K ₂ O, MgO, ZnO, Al ₂ O ₃ , P ₂ O ₅ and other oxides	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	HT/A2
Rosetta SP	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O and other oxides	HASSBIO, Gangneung, Korea	HT/A2

HT: high translucency.

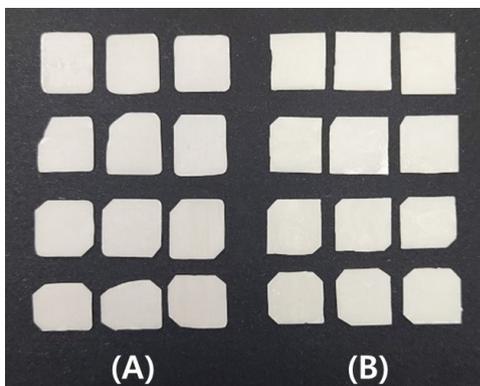


Figure 1. The specimen after heating press. (A) IPS e.max Press, (B) Rosetta SP.

Table 2. Classification of experimental groups used in this study

Group	Product name	Number of pressing
E1	IPS e.max Press	1st Press
E2	IPS e.max Press	2nd Press
E3	IPS e.max Press	3rd Press
E4	IPS e.max Press	4th Press
R1	Rosetta SP	1st Press
R2	Rosetta SP	2nd Press
R3	Rosetta SP	3rd Press
R4	Rosetta SP	4th Press

Table 3. Pressing schedule of specimens used in this study

Product	Start temperature	Heating rate	Final temperature	Holding time	Vacuum on	Vacuum off
IPS e.max Press	700°C	60 °C/min	920°C	15 min	500°C	920°C
Rosetta SP	700°C	60 °C/min	900°C	20 min	700°C	900°C

Table 4. Means and standard deviations L*, a*, b* for repeat processing

Group	L*	a*	b*
E1	79.36±0.56	-1.81±0.04	7.01±0.26
E2	79.28±0.73	-1.67±0.07	6.90±0.29
E3	79.21±0.24	-1.51±0.08	6.75±0.51
E4	77.61±0.58	-1.45±0.09	6.63±0.19
R1	79.61±0.43	-3.78±0.13	11.43±0.35
R2	79.55±0.85	-3.65±0.12	10.25±0.34
R3	79.31±0.63	-3.50±0.13	10.16±0.25
R4	78.93±0.39	-3.45±0.10	9.00±0.15

Values are presented as mean±standard deviation.

Renfert, Hilzingen, Germany)를 2기압으로 분사 처리하여 시편의 표면에 부착된 매몰재를 제거하였고, #600, #1,200, #2,000의 SiC 연마지로 순차적으로 연마하여 표면을 균일화하였다. 1 µm Diamond paste (Buehler, Lake Bluff, IL, USA)를 이용하여 연마과정에서 생성된 미세 결함을 제거하기 위해서 미세연마를 하였다.

1회차 열가압 성형으로 각각 3개씩의 시편을 제작하였고, 2회차로부터 4회차에 이르는 열가압 성형 과정에서는 열가압 성형 후 잔류하는 부분을 2기압, 50 µm 글라스 비드로 분사한 다음 증류수로 초음파 세척하여 재사용하였다.

2) 색 측정

정확한 데이터를 얻기 위하여 치과 전용 색 측정기인 VITA Easys-hade Advance 4.0 (VITA, Stuttgart, Germany)을 사용하였으며 색 측정을 위하여 검은색 판에 시편을 올려놓은 후, 측정경을 시편에 밀착시켰다. 각 시편당 중앙부위를 5회씩 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

3) 통계처리

시편의 L*, a*, b* 값을 구한 후 아래의 식을 이용하여 ΔE 값을 산출하였다. 색조 차이는 L*, a*, b*값을 구한 후 ΔE값을 계산하여 평균 처리하였으며, ΔE값의 산출 공식은 다음과 같다. 모든 데이터는 IBM SPSS Statistics ver. 24.0 (IBM, Armonk, NY, USA)을 이용하여 통계적 유의 수준은 0.05로 일원배치분산분석을 사용하였으며, Scheffe test로 사후 검정하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L_2 - L_1, L_2 = \text{실험 후의 값}, L_1 = \text{실험 전의 값}$$

$$\Delta a^* = a_2 - a_1, a_2 = \text{실험 후의 값}, a_1 = \text{실험 전의 값}$$

$$\Delta b^* = b_2 - b_1, b_2 = \text{실험 후의 값}, b_1 = \text{실험 전의 값}$$

Table 5. Means and standard deviations ΔE for repeat processing

Group	ΔE	p
E1 (control)	0	
E2	0.30±0.12 ^a	<0.001
E3	0.59±0.16 ^b	
E4	1.83±0.04 ^c	
R1 (control)	0	
R2	1.25±0.08 ^A	<0.001
R3	1.35±0.10 ^A	
R4	2.54±0.22 ^B	

Values are presented as mean±standard deviation.

^{a,b,c,A,B}The same letters are not significantly different (p>0.05).

반투명도(translucency parameter, TP)는 균일한 두께를 지닌 재료의 흑색 바탕과 백색 바탕 위에서의 색차를 의미하며 다음과 같은 식을 이용하였다. B는 흑색바탕, W는 백색바탕에서 측정된 재료의 값을 의미한다. 표준 백색판과 표준 흑색판의 배경에서 정반사광을 포함하는 방식으로 시편의 L*, a*, b* 값을 측정하였다. 완전히 불투명한 재료의 TP 값은 0이 될 것이며, TP 값이 커질수록 반투명도가 높아지는 것을 나타낸다[17].

$$TP = \sqrt{(L_B + L_W)^2 - (a_B + a_W)^2 - (b_B + b_W)^2}$$

RESULTS

1. 명도 및 색도 변화

열가압 반복 성형에 따른 명도 및 색도를 측정하여 얻은 CIE L*, a*, b* 값의 평균과 표준편차의 결과는 Table 4와 같다. L* 값은 모든 그룹에서 4회 열가압 성형한 E4, R4 시편이 가장 낮았고, 1회 열가압 성형한 E1, R1 시편이 가장 높았다. a* 값은 모든 그룹에서 1회 열가압 성형한 E1, R1 시편이 가장 낮았고, 4회 열가압 성형한 E4, R4 시편이 가장 높았으며, b* 값은 모든 그룹에서 4회 열가압 성형한 E4, R4 시편이 가장 낮았고, 1회 열가압 성형한 E1, R1 시편이 가장 높았다.

2. 색차 변화

색차를 측정하여 얻은 ΔE 값의 평균과 표준편차의 결과는 Table 5와 같다. E 그룹에서는 E2 시편이 0.30±0.12로 가장 낮았고, E4 시편이 1.83±0.04로 가장 높았으며(p<0.05), R 그룹에서는 R2 시편이 1.25±0.08로 가장 낮았고, R4 시편이 2.54±0.22로 가장 높았다(p<0.05). 모든 시편에서 ΔE 값이 3.3 이하로 나타나 육안으로는 식별될 수 없는 정도의 색 변화를 보였으며, 반복 사용횟수가 증가할수록 색차 변화도

Table 6. Means and standard deviations translucency parameter for repeat processing

Group	TP	p
E1	178.14±0.52 ^a	<0.001
E2	178.06±0.67 ^a	
E3	177.10±0.76 ^{ab}	
E4	175.67±1.01 ^b	
R1	176.81±0.30 ^A	0.205
R2	176.71±1.05 ^A	
R3	176.68±0.62 ^A	
R4	175.96±0.45 ^A	

TP: translucency parameter.

Values are presented as mean±standard deviation.

^{a,b,A}The same letters are not significantly different (p>0.05).

증가하였다.

3. 투명도 변화

투명도 비교를 위해 얻은 TP 값의 평균과 표준편차의 결과는 Table 6과 같다. E 그룹에서는 E4 시편이 175.67±1.01로 가장 낮았고, E1 시편이 178.14±0.52로 가장 높았으며(p<0.05), R 그룹에서는 R4 시편이 175.96±0.45로 가장 낮았고, R1 시편이 176.81±0.30으로 가장 높았지만 통계학적인 유의차를 보이지는 않았다(p>0.05). 모든 시편에서 반복 사용횟수가 증가할수록 투명도가 낮아졌다.

DISCUSSION

세라믹 재료의 제조 및 가공기술이 크게 발전하면서 심미적인 측면에서 한계를 보이는 금속-도재관 대신 글라스-세라믹 재료를 사용한 심미보철물이 증가하고 있으며, 그중 리튬디실리케이트 글라스-세라믹 재료는 광투과성이 양호하며, 강도가 우수하여 사용이 증가하고 있다 [18]. 본 연구에서는 경제적인 이유로 반복 사용이 증가하고 있는 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 열가압 성형이 색 안정성에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위해 IPS e.max Press와 Rosetta SP를 시험재료로 1~4회 열가압 성형을 하고서 명도 및 색도, 색차, 투명도 변화를 관찰하였다.

치과 임상에서는 세라믹 수복물의 색조 평가 시 제조회사에 의해 미리 제작된 shade guide를 이용하여 치아의 색상을 선택하는 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 이러한 방법은 주관적이기 때문에 색 지각에 차이가 있을 수 있고, shade guide 또한 제조회사에 따라 색 범위가 제한적이기 때문에 치아의 색상을 선택 시 어려움이 있다. 게다가 치아의 색은 광원에 따라 색상이 변하기 때문에 이를 해결하기 위해서는 객관적인 색조의 평가가 요구되는 경우에는 색 측정 장비가 사용된다 [19]. 본 연구에서는 색조 측정을 위해 VITA Easyshade Advance 4.0 (VITA)을 사용, 검은색 판을 이용하여 시편을 올려놓은 후 측정경을 시편에 밀착하는 방식으로 L*, a*, b* 값을 측정하였다. 색 분석 장치를

이용하여 색상을 CIE L*, a*, b* 값의 정량화된 수치로 나타내는 방법은 미세한 색상 차이를 정확히 측정할 수 있으며, 재현성, 민감도, 객관성에서 우수하다[20].

본 연구에서는 열가압 성형 횟수가 증가함에 따라 모든 군에서 명도를 나타내는 L* 값은 감소하고, 적색과 녹색의 정도를 나타내는 a* 값은 증가하고, 황색과 청색의 정도를 나타내는 b* 값은 감소하였다. 이는 Dong-Dong 등[16]의 연구와 일치하였으며, 반복 사용으로 인해 처음보다 명도는 더 어두워지고, 색도는 더 적색과 황색으로 변해가는 것을 나타냈다. 또한 모든 군에서 L* 값이 79대여서 명도가 밝은 편이다.

색차는 L*, a*, b* 값의 변화를 조합한 ΔE 값을 이용하여 양적으로 표현하고 있으며, ΔE 값이 증가하면 색안정성이 낮다는 것을 의미한다. 관찰자가 인지할 수 없는 정도는 ΔE 값이 1보다 작을 경우이고, 숙련된 술자가 차이를 인지할 수 있는 정도는 ΔE 값이 1과 3.3 사이일 경우이고 임상적으로 수용 가능한 정도이며, 일반인도 인지할 수 있는 정도는 ΔE 값이 3.3보다 클 경우이고 임상적으로 수용되지 않는다[21]. 본 연구에서는 IPS e.max Press를 2회, 3회 반복 열가압 성형한 시편의 ΔE 값이 1보다 작아 색변화는 감지되지 않으므로 색 안정성 차원에서 매우 안정적으로 사용할 수 있음을 나타낸다. IPS e.max Press를 4회 반복 열가압 성형한 시편과 Rosetta SP를 2, 3, 4회 반복 열가압 성형한 시편에서 ΔE 값이 1과 3.3 사이로 나타났으나 육안으로 차이를 인지하기는 어려웠다. 미국 치과의사 협회(American Dental Association)에서 제시하는 색 차이를 인지할 수 있는 기준값(ΔE 값>2)으로[22] 비교하여도, R4 시편(2.54±0.22)만 제외하고 모두 색 안정성이 높게 나왔다. 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 사용 횟수가 증가할수록 색차 변화도 함께 증가하였지만[16], 육안으로 확인될 정도의 변화가 없는 임상적으로 허용 가능한 수치였다.

자연스러운 치아 색조의 재현을 위해 투명도 역시 매우 중요하며, 명암비, 투과율 그리고 반투명도를 이용하여 측정할 수 있다. 본 연구에서는 반투명도 변수를 이용하여 투명도를 측정하였으며, 모든 군에서 열가압 성형 횟수가 증가할수록 TP 값이 감소한 것으로 나타났다. 이러한 TP 값의 차이는 미세구조, 평균입자 크기에 기인한 것으로 설명할 수 있다[23]. 이를 개선하기 위해 글레이징을 시행하면 TP 값이 높아져 반투명도가 증가하는 효과를 얻을 수 있다[24]. 도재수복물 제작 과정에서 마지막에 시행되는 글레이징 이후 투명도가 증가하고, 글레이징을 시행하지 않고 환자에게 시적하여 색조를 판단할 경우에는 최종 글레이징 후 투명도가 증가하여 색조 재현성이 달라질 수 있음을 인지하고 있어야 한다.

이러한 점들을 고려한다면 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 사용은 그 가능성이 있다고 생각되나 재활용에 따른 시간 투자와 여러 조각을 모아서 사용해야 한다는 불편함을 해결해야 하는 과제가 남아 있다. 또한, 본 연구는 단지 2종의 리튬디실리케이트 글라스-세라믹으로 한정된 연구이며, 시편수가 비교적 적었다는 문제와 시편 두께에 차

이가 발생할 수 있다는 한계가 있다. 추후에 두께, 글레이징, 명암비 및 투과율 비교 등 다양한 연구가 계속 필요할 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 열가압 성형이 색 안정성에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위해 IPS e.max Press와 Rosetta SP를 시험재료로 1~4회 열가압 성형을 하고 명도 및 색도, 색차, 투명도 변화를 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 반복 열가압 성형 횟수에 따라 IPS e.max Press보다 Rosetta SP의 색상 차이가 더 크지만, 모든 군에서 임상 허용 기준에 수용되었다. 모든 군에서 열가압 성형 횟수가 증가할수록 투명도가 낮아졌다. 이상의 결과로 리튬디실리케이트 글라스-세라믹의 반복 열가압 성형 시 색안정성이 높으므로 임상에서 반복 사용이 가능함을 의미한다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Byung-Wook Jeon, <https://orcid.org/0000-0002-6180-8199>

REFERENCES

- Oh SC, Dong JK, Lüthy H, Schärer P. Flexure strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic on heat-pressing and heat treatments. *J Korean Acad Prosthodont.* 2000;38:575-582.
- Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res.* 2000;53:297-303.
- von Clausbruch SC, Schweiger M, Höland W, Rheinberger V. The effect of P₂O₅ on the crystallization and microstructure of glass-ceramics in the SiO₂-Li₂O-K₂O-ZnO-P₂O₅ system. *J Non Cryst Solids.* 2000;263-264:388-394.
- Gresnigt MM, Özcan M, van den Houten ML, Schipper L, Cune MS. Fracture strength, failure type and Weibull characteristics of lithium disilicate and multiphase resin composite endocrowns under axial and lateral forces. *Dent Mater.* 2016;32:607-614.
- Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys D, Neiva G. A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report. *J Am Dent Assoc.* 2010;141 Suppl 2:10S-14S.
- Gorman CM, McDevitt WE, Hill RG. Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. *Dent Mater.* 2000;16:389-395.
- Lee HH, Lee BT. Mechanical properties and microstructure of dental heat-pressable glass-ceramics. *J Korean Ceram Soc.* 2004;41:143-150.
- 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. *Korean J Dent Mater.* 2014;41:1-8.
- Won DH. Effect of repeating the heat pressing procedure on the fracture toughness of heat-pressable glass-ceramics. *Korean J Dent Mater.* 2002;29:363-368.
- Son OS, Kim YL, Lee KJ, Jin TH. Surface hardness and pressing accuracy of reused IPS Empress 2. *J Korean Acad Prosthodont.* 2003;41:596-605.
- Song YK, Kim YL, Kim SH, Ahn HY, Jin TH. Flexure strength and color change of reused IPS Empress 2. *J Korean Acad Prosthodont.* 2003;41:71-80.
- Chung KH, Liao JH, Duh JG, Chan DC. The effects of repeated heat-pressing on properties of pressable glass-ceramics. *J Oral Rehabil.* 2009;36:132-141.
- Gorman CM, Horgan K, Dollard RP, Stanton KT. Effects of repeated processing on the strength and microstructure of a heat-pressed dental ceramic. *J Prosthet Dent.* 2014;112:1370-1376.
- 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. *Korean J Dent Mater.* 2014;41:1-8.
- Kang W, Kim JH. Effect of translucency on CAD/CAM ceramic according to different core/veneer thickness. *J Korean Soc Dent Hyg.* 2018;18:1037-1045.
- Dong-Dong Q, Lei Z, Xiaoping L, Wenli C. [Effect of repeated sintering on the color and translucency of dental lithium disilicate-based glass ceramic]. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2015;33:50-53. Chinese.
- Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont.*

- dont. 1995;8:79-86.
18. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J.* 2011;56 Suppl 1:84-96.
 19. Bangtson LK, Goodkind RJ. The conversion of Chromascan designations to CIE tristimulus values. *J Prosthet Dent.* 1982;48:610-617.
 20. Hyun HK. A study on the colors of the anterior primary resin teeth. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2007;34:639-645.
 21. Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent.* 1996;21:73-80.
 22. Wozniak WT. Proposed guidelines for the acceptance program for dental shade guides. *Am Den Assoc.* 1987;1-2.
 23. Della Bona A, Nogueira AD, Pecho OE. Optical properties of CAD-CAM ceramic systems. *J Dent.* 2014;42:1202-1209.
 24. Kim SJ, Kahm SH. Translucency of ceramic veneers on glazing effect. *J Korean Acad Prosthodont.* 2015;53:138-143.