열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2 Glass-Ceramic의 색 안정성

원광대학교 치과대학 치과보철학교실

송기범·이상권·김유리·오상천

Color Stability of IPS Empress 2 Glass-Ceramic after Heat-Pressing and Heat-Treatments

Kie-Bum Song, Sang-Kwon Lee, Yu-Ree Kim, Sang-Chun Oh.

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Wonkwang University

This study was performed to investigate the color stability of IPS Empress 2 glass-ceramic after heat-pressing and/or heat-treatments. Three types of IPS Empress 2 ingots (shade 100, 300, 500) were tested. For this study, three groups were prepared as follows: group 1 is as-received material, group 2 is heat-pressed material, and group 3 is fully heat -treated material. The color of the specimens was measured with a colorimeter. The data were statistically evaluated with one-way ANOVA and Scheffe's multiple test. The results obtained were as follows: 1. IPS Empress 2 glass-ceramic demonstrated less color stability according as the shade is lighter. Namely, the shade 500 showed the lowest color shifts and the shade 100 showed the greatest color shifts after heat-pressing and heat-treatments. 2. In the cases of shade 100 and 300, the changes of ΔE^* were affected mostly by the changes of L^* and b^*. 3. In ΔE^* of the shade 100, there were significant differences among the group 1, 2, and 3 ($P<0.001$). 4. In ΔE^* of the shade 300, there were significant differences between the group 1 and 2, and the group 1 and 3 ($P<0.001$). 5. In ΔE^* of the shade 500, there was significant difference only between the group 1 and 3 ($P<0.001$).

열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2 Glass-Ceramic의 색 안정성

원광대학교 치과대학 치과보철학교실

송기범·이상권·김유리·오상천

Ⅰ. 서 론

도재는 그 성상이나 사용 영역이 인류문명의 진보와 발전에 따라 더욱 다양해지고 있고,[1] 치과의 료계에서는 치과용 보철물의 심미성과 강도증진을 위해 금속 위에 도재를 축성한 금속도재관이 널리 사용되어 왔다.[2] 그러나 금속도재관의 투명도, 빛의 투과, 산란 및 굴절 등이 자연치와 달라서 발생되는 심미적 문제점 때문에 자연치와 유사한 색상과 투명성, 높은 강도 그리고 변연 적합성 및 생체 친화성 등의 장점을 지닌 전부도재관의 수요가 늘고 있다.[3,4]

1990년 Zürich 치과대학과 Ivoclar 회사는 결정화된 도재를 열가압해서 수복물을 얻는 IPS Empress system을 개발하였다.[5] 이 IPS Empress glass-ceramic은 왁스 소환법을 통해 열가압하여 사용되는 백류석 강화 도재이다.[6] 이 유리-세라믹은 단일관이나 인레이 혹은 온레이같은 심미적 수복물에 10년 이상을 성공적으로 사용되고 있다.[7,8] 그러나 이 IPS Empress 세라믹은 굴곡강도가 200 MPa 이하이므로 소구치까지의 단일 수복물에서는 안정적으로 사용되나 계속가공의치(bridge)로는 사용이 어려운 단점이 있었으며 이러한 단점을 극복하기 위해 심미적 특성을 유지하면서도 강도가 강화되어 단일수복물뿐만이 아니라 계속가공의치로도 사용이 가능한 IPS Empress 2 system이 최근에 소개되었다.[9,10] 이 시스템은 기존의 IPS Empress 층형성용 세라믹을 대체하므로 350 MPa 이상의 높은 굴곡 강도(flexure strength)와 In-Ceram system과 유사한 800-1600 N의 파절강도(fracture strength)를 나타내는 lithium disilicate 골격구조의 glass-ceramic과 자연치의 hydroxyapatite와 유사한 구조를 보이는 fluoroapatite glass-ceramic의 전장도재로 구성되어 있으며, 이로써 완성된 최종 수복물은 심미적 우수성, 자연치와 유사한 마모도 그리고 우수한 기계적 강도 등의 장점을 보인다.[11]

일반적으로 치과용 장석 도재의 색조는 불투명도재의 색조,[12] 표면조도,[13] 반복되는 소성,[14] 그리고 합금 속의 은의 농도[15] 등에 영향을 받으나, 유리-세라믹인 IPS Empress 세라믹의 색조 변화에 대한 연구는 미비한 형편으로 신 등[16]의 표면처리에 따른 외부 stain된 IPS Empress 도재의 칫솔질에 의한 색 안정성, 진 등[17]의 IPS Empress 세라믹의 재사용에 따른 색 안정성에 대한 보고가 있었다.

IPS Empress 2 system에 사용되는 lithium disilicate glass-ceramic ingot은 미리 색상화된 상태에서 그 색조에 따라 shade 100, 200, 300, 400, 그리고 500으로 나뉘어 출고된다.[9] 이에 따라 임상에서는 상아질 색상을 선택하여 기공소로 보내고 이를 기준으로 비슷한 색조의 ingot을 선택해서 ceramic framework으로 사용하게 된다.

본 연구는 열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2의 lithium disilicate glass-ceramic의 색 안정성을 평가하고자 비교적 간편하면서도 색차가 적은 시편의 측색에 유리한 측색색차계(colorimeter)를 이용하여 계측 분석한 결과 IPS Empress 2 수복물 제작에 도

움이 될 수 있는 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1.시편제작

실험을 위하여 열가압 전(1군)과 열가압 후(2군) 그리고 열가압 및 열처리 후(3군) 등의 3개 군으로 나누어 시편을 제작하였다 (Table 1).

1 군의 시편은 회사에서 원통형으로 제공되는 IPS Empress 2 glass-ceramic (Ivoclar, Liechtenstein)의 shade 100, 300, 500 ingot을 1.6 mm의 두께로 잘라 SiC paper로 #400, #800, #1200 grit까지 단계적으로 연마하여 최종 1.5㎜의 두께로 각각 5개씩 준비되었다. 2 군과 3 군의 시편을 위해서는 두께가 약 1.7mm인 왁스(S-U Esthetic Wax, Schuler-Dental)를 이용하여 총 30개의 왁스 시편을 제작하고, IPS Empress 2 system의 전용 매몰재로 회사의 지시에 따라 진공 매몰한 뒤, 잉곳을 제외한 매몰링과 AlOx plunger를 지침에 따라 실온부터 5℃씩 높여 250℃에서 30분간 계류시키고 850℃에서 다시 1시간 계류시켜 500℃로 예열된 EP500 퍼니스(EP500 press furnace, Ivoclar, Liechtenstein)에서 IPS Empress 2 glass-ceramic을 각 shade 별(shade 100, 300, 500)로 10개씩 열가압 성형하였다. 열가압이 끝난 후 소성로에서 바로 꺼내 서서히 냉각시킨 후, Pen-blaster (Shofu Co.,Japan)를 이용하여 50-100μm의 glass bead를 분사시켜 매몰재를 제거하였고, 다이아몬드 디스크로 주입선을 자른 후, 세라믹 시편을 SiC paper로 #400, #800, #1200 grit까지 단계적으로 연마시켜, 최종 1.5㎜두께로 균일하게 조정한 후, 플라스틱 용기에 넣어 초음파 세척기로 10분간 세척 건조시켰다. 이들 중 2 군을 위해서 각 shade별로 5개씩 남겼고, 나머지 각 5개씩을 3 군을 위해 최종 보철물 제작을 가상한 열처리(wash firing 1회, dentin/incisal firing 1회, staining firing 1회, glazing firing 1회)를 시행하였다 (Table 2).

Table 1. Classification of experimental groups used in this study

Group	Material
1	as-received material
2	heat-pressed material
3	heat-pressed and simulated heat-treated material (a wash, dentin/incisal, staining, glazing firing)

2. 색 측정

측색색차계 (Model Tc-6FX, Tokyo Denshoku Co., Japan)로 XYZ filter방식의 CIE표준 C광원을 이용하였으며 측정방법은 2광로 교조측정방식에 의한 적분구식 0-45법이었고 측정경은 3㎜였다. 색조측정을 위하여 광학부에 흡광통을 놓고 영점조정을 한 후 광학부에 표준백색판 을 놓고 표준조정 (X=90.19, Y=92.16 Z=108.26)을 시행하였다.

기기의 영점조정과 표준조정 후 시편에 광학부를 밀착시킨 후 색조측정을 하였다. 각 시편 당 서로 다른 세 부위를 색조 측정하여 X, Y, Z 의 평균 3자극치를 구하였으며 구하여진 X, Y, Z치는 기기 내

Table 2. Firing Schedules of the IPS Empress 2 System

Firirngs	B	t↑	T	S	H	V1	V2
Pressing	700	60	920	·	20	500	920
Wash firing	403	60	800	6	1	450	799
Dentin/Incisal firing	403	60	800	6	2	450	799
Glaze/Stain firing	403	60	770	6	2	450	769

B: stand-by temperature(℃); t↑: temperature increase(℃/min); T: pressing temperature(℃); S: re-pressing time(min); H: holding time (min); V1: vacuum on(℃) ; V2: vacuum out(℃)

장의 컴퓨터프로그램으로 색 공간 좌표인 L^*, a^*, b^* 및 ΔE^*(총 색 변화량)로 변환되어 출력되었다.

총 색 변화량 ΔE^* 는 다음 식으로 구하였다.

$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2}$

여기서 ΔL^*,Δa^*,Δb^*는 각각 L^*,a^*,b^*수치의 차이를 의미한다

3. 통계처리

계측된 열가압 및 열처리에 따른 각 군 간의 색 변화의 유의성을 검정하기 위해 SPSS program (SPSS, Chicago, IL.)의 one way ANOVA test와 Scheffe's multiple test를 시행하였다.

Ⅲ. 연구성적

각 shade별로 회사에서 제공된 최초의 ingot 상태, 열가압된 상태 그리고 열가압 후 최종 보철물을 위해 필요한 모든 열처리를 거친 상태로 분류하여 L^*, a^*, b^*그리고 ΔE^*를 측정한 결과, 열가압 및 열처리에 따른 색 안정성은 밝은 계열일수록 불안함을 보였다. 즉 shade 500 glass-ceramic보다는 shade 300 glass-ceramic 그리고 shade 100 glass-ceramic 순으로 색 변화량이 컸으며, Shade 100과 300에서 ΔE^*의 변화는 주로 L^*과 b^*에 의한 영향으로 나타났다.

이를 구체적으로 살펴보면 shade 100에서 a^*는 유의한 변화가 없었으나 L^*, b^* 그리고 ΔE^*가 열가압 및 열처리 전후로 모든 군간에서 유의한 변화를 보였다($P<0.001$, Table 3). Shade 300에서는 L^* 및 ΔE^*는 열가압 및 열처리 전후로 유의성있는 차이를 보였으나 열가압 후에는 유의성있는 변화가 없었고, a^*는 모든 군간에 유의한 변화가 없었으나 b^*는 모든 군간에 유의성있는 차이를 보였다($P<0.001$, Table 4). 또한 shade 500에서 L^*는 열가압 및 최종 열처리 한 군과 나머지 군 사이에서, a^*는 단지 열가압만 한 군과 다른 군 사이에서, 그리고 b^*는 최초의 잉곳 상태와 열가압 및 열처리를 한 군들 사이에서 유의한 차이를 보였으며, ΔE^*는 최초의 잉곳과 최종 열가압 및 열처리한 군 사이에서만 유의성있는 변화를 보였다($P<0.001$, Table 5).

Table 3. Results of colorimetric test of IPS Empress 2 glass-ceramic(#100)

Mean(SD)

Group	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	83.26(0.11)^A	-2.06(0.20)^A	1.02(0.10)^A	13.84(0.10)^A
2	81.82(0.47)^B	-2.30(0.19)^A	-1.44(0.19)^B	15.48(0.49)^B
3	81.22(0.14)^C	-2.27(0.16)^A	-0.96(0.16)^C	15.96(0.15)^C

Groups with the same letter were not significantly different between the groups($P>0.001$).

Table 4. Results of colorimetric test of IPS Empress 2 glass-ceramic(#300)

Mean(SD)

Group	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	78.80(0.07)^A	-1.34(0.09)^A	1.74(0.05)^A	18.29(0.07)^A
2	80.19(0.25)^B	-1.52(0.17)^A	1.19(0.18)^B	16.90(0.29)^B
3	80.20 0.22)^B	-1.37(0.09)^A	1.39(0.14)^C	16.89(0.22)^B

Groups with the same letter were not significantly different between the groups($P>0.001$).

Table 5. Results of colorimetric test of IPS Empress 2 glass-ceramic(#500)

Mean(SD))

Group	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
1	80.53(0.03)^A	-0.72(0.10)^A	1.37(0.09)^A	16.51(0.38)^A
2	80.45(0.17)^A	-0.89(0.13)^B	-0.40(0.08)^B	16.66(0.17)^{AB}
3	80.03(0.27)^B	-0.69(0.09)^A	-0.33(0.10)^B	16.87(0.27)^B

Groups with the same letter were not significantly different between the groups($P>0.001$).

Ⅳ. 총괄 및 고찰

치과에서 쓰이는 유리-세라믹(glass-ceramic)은 유리상태의 기질과 한 개 혹은 그 이상의 결정 형태로 구성된 다결정형 재료로 핵화(nucleation)와 결정의 성장(growth of crystalization)을 조절함으로써 형성

된다.[18] 그간 치과에 소개된 유리-세라믹은 Dicor (Dentsply)와 같은 mica based glass-ceramic,[19] Cerapearl (Kyocera)과 같은 hydroxyapatite based glass-ceramic,[20] IPS Empress system의 leucite based glass-ceramic[21] 그리고 IPS Empress 2 system의 lithium based glass-ceramic[11]으로 분류된다.

IPS Empress system은 최종 보철물을 위해 열가압 및 열처리가 필수적이고 이에 따른 세라믹의 물성 변화가 연구되었다. 동 등[21]은 IPS Empress 시스템에서 수복물 제작을 위한 열가압 과정이 수복물 형태 형성뿐만이 아니라 강도를 증가시키는 역할을 하고 최종 보철물을 위한 수 차례의 열처리가 강도를 더욱 강화시키는 것으로 보고하였고, 오 등[18]은 IPS Empress 2 system에서 열가압에 따라 굴곡강도 증가와 미세구조 변화가 있었지만 그 후 이어지는 열처리에 의해서는 추가적인 강도 증가와 뚜렷한 미세 구조 변화는 관찰할 수 없고 최종 보철물 제작을 가상하여 꼭 필요한 열가압과 열처리를 시행했던 시편과 이미 회사에서 소결되어 제공되는 잉곳 상태의 시편 사이에서는 유의성 있는 강도 차이를 발견할 수 없어 IPS Empress 2 유리-세라믹은 기존의 IPS Empress 유리-세라믹과는 달리 열가압과 열처리 같은 기공과정이 그들의 굴곡강도 증가에 큰 영향을 주지 않음을 보고했다.

색의 측정방법에는 시각적 색 측정법과 물체의 3자극치를 직접 측정하는 자극치 직독 방법이나 분광학적 특성을 측정하는 분광 측색 방법의 기기적인 측정 방법 등이 있다.[22-25] 시각적인 색 측정법의 대표적인 예는 Munsell 표색법으로 색의 3가지 속성인 색상(hue), 명도(value), 채도(chroma)로 색을 표시하여 색채에 고유번호를 정해두고 물체의 색을 그것과 비교하여 표시하는 방법이며,[22] 여기서 3자극치(tristimulus) 란 어떤 색이나 빛을 만드는데 필요한 적색, 녹색, 청색의 3원색의 각 량을 의미하고, 광원에 대한 적색, 녹색, 청색의 평균 반사율을 각각 X, Y, Z로 나타낸다.[24] 기계를 이용하는 방법으로는 분광 측광기(분광 광도계, spectrophotometer)를 이용하여 분광 반사율 또는 분광 투과율을 측정하고 이를 색채계 표시로 전환하여 그 측정값을 얻는 방법[23,24]과 3자극 색채 측정계(3자극 색채계, tristimulus colorimeter)를 이용하여 국제 조명 위원회(International Commission on Illumination; CIE)에서 규정한 표준 광원을 물체에 조사시켜 그 반사광을 3개의 여과기를 사용하여 색을 측정하는 방법이 있다.[26] 특히 이 기계는 CIE 3자극치인 X, Y, Z를 얻은 후 수학적 변형에 의하여 L^*, a^*, b^* 값으로 변환시켜 시편 색 좌표의 절대치를 얻게된다.[25,26]

본 실험에 사용된 측색 색차계는 3자극 색채 측정계로 C 광원을 사용했는데, 표준광 C는 북위 40°지역에서 흐린 날 오후 2시경 북쪽 창문을 통하여 들어오는 평균 자연광의 분광분포를 기준으로 정의되며,[26]이 외에 표준광 A는 일반적인 텅스텐광이고 D/65는 대낮의 태양광을 의미하는데 이 중 표준광 C가 일반적인 광원으로 가장 많이 사용되므로, 본 실험에서도 표준광 C를 사용하였다. CIE 표색계는 1931년에 CIE XYZ 표색계, 1964년에 CIE $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 표색계, 1976년에 CIE LAB 표색계로 변천되어 왔으며 CIE LAB 표색계가 치의학 분야에서 사용되기에 충분한 균일한 색 공간을 가지고 있다는 Seghi 등[23,24]의 보고와 Binns[27]와 Clarke[28]의 보고에 따라 본 연구에서도 CIE 표색계를 이용하게 되었다. 이 CIE 표색계는 L^*, a^*, b^*, ΔE^*로 구성되는데 L^*은 0에서 100까지의 값으로 표시되며 100이 완전한 흰색이고 0이 완전한 검은 색을 의미한다. a^*는 적색 및 녹색 정도를 나타내는 지표로 -60으로부터 +80까지의 값으로 표시하며, 값이 클수록 적색, 값이 적을수록 녹색을 나타낸다. b^*는 황색과 청색의 정도를 나타내는 지표로 범위는 -80부터 +60까지이며, 값이 클수록 황색을, 값이 적을수록 청색을 나타낸다. 본 연구에 사용된 IPS Empress 2 유리-세라믹은 열가압 및 열처리에 의해서 a^*에서는 큰 영향이 없었으나 b^*는 shade 100, 300에서 유의성 있는 변화를 보여 약간 청색화 되는 것으로 판단되었다. 두 색채간의 색차(ΔE^*)는 L^*,a^*,b^* 색차 간 좌표상의 거리를 의미하며, 치과 수복재 평가 시에 ΔE^*가 1이상이면 눈으로 색 변화를 인지할 수 있는 수치이고, ΔE^*가 3.3이하이면 수용 가능한 수치이며, 3.7이상일 때는 육안판별이 확연하여 문제가 된다고 하였는데,[29] 본 연구에서 ΔE^*는 밝은 계열인 shade 100과 300의 세라믹에서는 열가압 전후로 약 1.4-2.0의 차이를 보여 육안으로 색 변화를 느낄 수 있었으나 3.3이하이므로 수용 가능한 범주였고, 진한 계열인 shade 500에서는 ΔE^*가 1이하이어서 육안으로는 감별이 어려운 수준이었다. 한편 본 연구

에서 사용된 시편들(shade 100, 300, 500)은 L^*가 모두 80대여서 명도가 밝은 편이었으며 가장 밝은 계열인 shade 100이 열가압, 열처리에 대한 영향을 가장 크게 받아, 색조 선택에 주의를 요하였다.

치과계에서 색 안정성에 대한 연구는 다양한 수복재료, 콤포짓 레진, 도재 등에서 수행되어 왔다. 그중 Empress system과 관련된 도재의 색 안정성에 대한 연구로 이 등[30]은 포스트의 종류에 따른 Empress 2 도재관의 색상에 관한 비교 연구에서 불투명 도재를 도포한 골드 포스트, In-ceram포스트 및 Cosmopost 에 Empress 2 도재관을 겹쳐본 경우에 상호 간의 L^*는 유의성 있는 차이는 없었지만 골드 포스트보다는 유의성 있게 높게 나타나 더욱 밝게 느껴질 수 있다고 했고, 신 등[16]은 여러 표면처리 방법에 따라 외부 stain된 IPS Empress 도재의 칫솔질에 의한 색 변화연구에서 불산 처리를 한 IPS Empress 보다는 알루미나 입자로 전 처리한 것이 색조의 안정성을 높일 수 있고, 이러한 경우 8년 정도의 칫솔질로는 육안으로 구별할 수 있는 색조의 변화를 가져오지는 않는다고 보고했다. 진 등[17]은 반복사용된 IPS Empress 세라믹의 색 안정성에 대한 연구에서 3회까지 반복 사용된 IPS Empress system의 세라믹이 메틸렌 블루 염색에 재사용을 전후하여 약간의 저항성 감소를 보였지만 그 차이가 미세하여 색 안정성에 한해서는 재활용이 가능함을 보고했고, Preston[31]은 구강 내에서 인접치의 색과 조화되도록 수복물의 색을 적용시키기 위해서는 도재가 자연치의 분광곡선을 재현하거나 적어도 그 근사치를 가져야 하며, 색조의 발현이 자연치와 동일한 발현방식을 보여야 하는 것으로 보고하였는데 이는 도재가 자연치와 유사한 색의 깊이와 분포 그리고 빛의 투과, 반사, 분산이 있어야 함을 의미하는 것이다.

본 연구에서 사용된 골격구조용 IPS Empress 2 유리-세라믹은 자연치의 상아질과 유사한 시각적 특성을 보이는 재료로 밝은 색조일수록 열가압 및 열처리 후 더욱 청백색으로 느껴지는 색상의 변화를 보였는데 이는 이러한 변화를 고려하지 않고 밝은 계열의 IPS Empress 2 glass-ceramic을 선택했을 경우 전장 도재(fluoroapatite glass-ceramic)와 골격 세라믹(lithium disilicate glass-ceramic) 사이에 더욱 명확한 색조차가 생겨 시각적 경계가 분명한 비심미적 결과를 가져올 수 있음을 의미한다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 기공과정에서는 임상에서 선택한 상아질 색상이 비교적 밝은 경우에 그보다 한 단계 더 진한 색상의 ingot을 선택해야 하고, 이렇게 함으로써 전장 도재와 세라믹 골격구조 사이의 경계부가 시각적으로 자연스럽게 이행되어 더욱 심미적인 결과를 얻게 될 것으로 사료되었다.

V. 결 론

열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2 glass-ceramic의 색 안정성을 평가하기 위해, IPS Empress 2 glass-ceramic의 shade 100, 300, 500을 각각 회사에서 제공되는 잉곳 상태와 열가압 및 열처리 후로 나누어 이들의 색 변화를 측색색차계를 이용하여 분석해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열가압 및 열처리 후 IPS Empress 2 glass-ceramic은 밝은 계열일수록 색 안정성이 떨어졌다. 즉 shade 500 glass-ceramic이 가장 낮은 색차를 보였고, shade 100 glass-ceramic이 가장 큰 색차를 보였다.
2. shade 100과 300에서 ΔE^*의 변화는 L^*과 b^*에 의한 영향이 컸다.
3. shade 100에서 ΔE^*는 group 1, 2 그리고 3 등, 모든 군 상호간에 유 의성 있는 차이를 보였다 ($P<0.001$).
4. shade 300에서 ΔE^*는 group 1과 2 그리고 group 1과 3 사이에서 유의성 있는 차이를 보였다 ($P<0.001$).
5. shade 500에서 ΔE^*는 단지 group 1과 3 사이에서만 유의성 있는 차이를 보였다($P<0.001$).

참 고 문 헌

1. Derek W, Ceram FI. Development of ceramics. Dental Clinics of North America 1985;29:44.
2. Burke FJT, Watts DC. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns. Quintessense Int 1994;25:335-340.
3. Luca L, Dalloca UD. A new esthetic material for anterior crowns: IPS-Empress. *QDT* 1995;171-175.
4. Ferrari M. Cement Thickness and microleakage under

Dicor crowns. Int J Prosthet 1991;4:126-131.
5. Beham G. IPS-Empress: A new ceramic technology. Ivoclar-Viva dent Report 1990;6:1-13.
6. IPS-Empress working procedures. Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein, 1991.
7. Studer S, Lehner C, Schärer P. Seven-year results of leucite-reinforced glass-ceramic inlays and onlays [abstr 1375]. J Dent Res 1998;77:803.
8. Lehner CR, Studer S, Schärer P. Seven-year results of leucite-reinforced glass-ceramic crowns[abstr 1368]. J Dent Res 1998;77:802.
9. IPS-Empress 2 working procedures. Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein, 1998.
10. Höland W. Materials science fundamentals of the IPS Empress 2 glass-ceramic. Ivoclar Vivadent-Report 1998;12:3-10.
11. Oh SC, Dong JK, Lüthy H, Schärer P. Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatments. Int J of Prosthodontics 2000;13: 468-472.
12. Brodbelt PH, O'Brien JO, Fan PL. Translucency of dental porcelain. J Dent Res 1980;59:70-82.
13. Obregon A, Goodkind RJ, Schwabacher WB. Effect of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramometal restoration. J Prosth Dent 1987;46:330-340.
14. Jorgenson MW, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness and repeated firings. J Prosth Dent 1979;42:96.
15. Doremus RH. Optical properties of small silver particles. J Chem Phys 1965;42:414-417.
16. 신우진, 전영식, 한동우. 표면 처리 방법에 따라 칫솔질이 IPS Empress 도재의 외부 stain에 미치는 영향에 대한 분광 측색 방 법적 분석. 대한치과보철학회지 1997;35(2).
17. 진태호, 송영국. 반복 사용된 IPS Empress ceramic의 물리적 성질 에 관한 연구 Part III.염색 저항성에 관한 연구. 대한치과보철학회 지 1999;37(6):776-781.
18. 오상천, 동진근, Heinz Lüthy, Peter Schärer. 열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2 세라믹의 굴곡강도와 미세구조. 대한치과보철 학회지 2000;38(5):575-582.
19. Grossman DG. Cast glass ceramics. Dental Clinics of North America 1984;4:32.
20. Hobo S, Iwata T. Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material, I. Theoretical considerations. Quintessence Int 1985;16:135-141.
21. Dong JK, Lüthy H, Wohlwend A. Heat pressed Ceramics : Technology and strength. Int J Prothodont 1992;9(5):9-16.
22. Lund TS, Piotrowski TJ. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. Int J Prothodont 1992;5:22-27.
23. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent 1986;56:35-40.
24. Lund TW, Schwabacher WB, Chem B, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of the relationship between body porcelain color and applied metallic oxide pigments. J Prosthet Dent 1985;53:790-796.
25. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differrences on translucent dental porcelain. J Dent Res 1989;68: 1760-1764.
26. Bangtson LK, Goodkind RJ. The conversion of chromascan designation to CIE tristimulus values. J Prosthet Dent 1982;48:610-617.
27. Binns D. The chemical and physical properties of dental porcelain. In: McLean JW, editor. Dental ceramics. Proceedings of the first International Symposium on Ceramics.Chicago: Quintessence; 1983. p. 41.
28. Clarke FJJ. Measurement of colour in human teeth. In: McLean JW, editor. Dental ceramics. Proceedings of the first International Symposium on Ceramics. Chicago: Quintessence; 1983. p. 441-488.
29. Josephine FE, John C, Wayne TW. Color stability of low-fusing porcelain for titanium. Int J Prothodont 1995;8:479.
30. 이영수, 유동엽. 포스트의 종류에 따른 Empress 2 도재관의 색상에 관한 비교연구. 대한치과보철학회지. 2001;39(2):197-207.
31. Preston JD. Current status of shade selection and color matching Quintessence Int 1985;1:47-58.