전부도재수복물을 위한 수종의 코어 세라믹의 반투명도 및 색 안정성

원광대학교 치과대학, 치과보철학교실·단국대학교 치과대학 생체재료학교실*

오상천·이해형*·신미란·박광수

Ⅰ. 서 론

도재수복물은 일반적으로 심미성이 강조되는 가시영역의 보철치료를 위해 사용된다. 최초의 전부도재수복물이 Land[1]에 의해서 소개되었으나 파절강도가 약해 오래 사용되지 못했고, 내부에 금속코핑을 첨가하여 도재의 취약성을 보강한 금속-도재관[2]이 오늘날까지 심미보철을 위해 많이 활용되고 있다. 그러나 금속-도재관의 금속 코핑으로 인한 변연치은의 변색 그리고 빛의 차단에 의한 시각적 특성의 차이점 등이 자연치와는 근본적으로 다른 심미적 문제점이 되었고[3] 이를 해결하기 위해 최근 지르코니아 세라믹까지 물성이 향상된 새로운 전부도재수복물의 사용이 심미적 요구가 강한 환자를 중심으로 다시 대두되었다.[4-10]

지르코니아는 3가지 동소체를 갖는 다형(polymorphic)의 재료로 외부에서 발생한 충격에 의해 정방정계의 상(t)에서 단사정의 상(m)으로 상전이가 일어나면 3-5% 체적확장이 일어나고 이로 인해 균열의 진행이 억제되고 기존의 도재에 비해 매우 높은 파절강도 및 인성(toughness)을 나타낸다.[11] 지르코니아 세라믹은 이러한 우수한 물리적 성질 때문에 일반적인 주조나 축성가공이 어려워서 주로 CAD/CAM시스템을 이용한 기계적인 절삭을 통해 수복물의 형태로 제작되고 세라믹 포스트,[12] 단일관 및 브릿지,[13] 임플란트 지대치,[14] 교정용 브라켓[15] 등으로 그 적용범위가 점차로 넓어지고 있다.

그러나 일반적으로 지르코니아 세라믹은 색상이 불투명한 백색을 띄고 있어 이러한 시각적 특성이 전치 수복시 오히려 밝음을 감춰야 하는 색조 재현의 어려움이 발생되기도 한다. 따라서 각 지르코니아 수복물 제조사들은 이러한 단점을 보완하기 위해서 색조가 가미된 유색 지르코니아(colored zirconia)를 최근에 소개하기 시작하였고,[16] 이러한 유색 지르코니아에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다. 제작 방법에는 크게 두 가지, 즉 Cercon system[17]처럼 지르코니아 분말의 조성 과정에서 미리 색소체(colorant)를 혼합해서 처음부터 색조화된 원주(blank) 형태로 출시되는 경우와 LAVA system[18]처럼 부분 소결된 원주를 일정 형태의 다공성 세라믹 하부구조(substructure)로 만들고 이를 색소체 용액에 침전시켜 원하는 색조를 얻어내는 방법이 있다.

수복물의 색조는 심미적 관점에서 매우 중요하며, 술자의 능력, 조명의 조건, shade guide, 도재의 종류 및 두께에 의해 수복물 색조가 영향을 받는다.[19] 특히 도재의 시각적 특성은 중요하며 세라믹 코어를 갖는 전부도재수복물에서 코어의 색조와 투명도는 수복물의 심미성에 영향을 주는 일차적 요인이 되며, 재료를 선택함에 있어 중요한 고려사항 중의 하나가 된다.[20] 지르코니아를 포함한 도재의 투명도에 관한 연구는 Heffernan등[21,22]의 코어와 veneer 도재의 투명도에 관한 연구를 비롯하여 Antonson[23], Johnston[24] Zhang등[25]의 연구가 있었으나, 지르코니아의 색조에 관한 연구는 미비한 상태이며, Devigus[26,27]

등이 Y-TZP의 색조에 대한 연구를 Koutayas[28] 등이 코어 종류에 따른 도재 수복물의 색조변화에 대한 연구가 보고 되고 있을 뿐이다

이에 본 연구는 분광측색장치를 이용하여 CIE L*a*b* 색체계로 임상에서 상용되고 있는 수종의 유무색 코어 세라믹들을 대상으로 그들의 색안정성을 평가하기 위해 상부도재 소성을 위한 열처리전후 각 코어세라믹의 반투명도와 열처리에 따른 색조 변화를 비교 분석하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 IPS e.max Press(Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)의 lithium disilicate glass-ceramic과 유색 지르코니아 세라믹 제조법이 각기 다른 지르코니아 세라믹 시스템, 즉 LAVATM All Ceramic(3M-Espe/Seefeld, Germany)과 Cercon Smart Ceramic(Dentsply, Germany) 그리고 Cercon 기법으로 제작된 Z-match Ceramic (DentAim, Korea) 유색 지르코니아를 사용하여 시편을 제작하였다(Table 1). 색조를 객관적으로 측정하기 위한 장치로는 분광측색계(Specto-photometer; CM-2600d, Minolta, Japan)를 이용하였다.

2. 시편제작 및 열처리

1) 시편 제작

유, 무색 Cercon, Z-match 및 무색 LAVA 지르코니아 시편은 각 제조사의 지시에 따라 완전 소결된 블록을 사용하였다. 각 시편은 다이아몬드 절삭기를 사용하여 절단한 후 평면 연삭기에서 400-grit resin-bonded 다이아몬드 휠을 이용하여 디스크 모양으로 가공하였다. 시편들은 10 ㎛/pass 이하의 속도에서 각 시편의 두께는 0.4 ㎜, 0.8 ㎜, 1.5 ㎜로 균일하게 가공되었으며 이때 오차는 ±0.02 ㎜로 하였다. 유색의 LAVA 지르코니아 시편은 먼저 예비 소결된 블록을 두께 2.0 ㎜로 절단한 후 채색액(FS3, FS4)에 침적시켜 소결시킨 시편을 이용하여 최종 두께 0.8 ㎜로 가공하였다. 가공된 시편의 평균 조도를 측정한바, Ra = 0.2±0.05 ㎛ 이었다. 최종 시편은 Cercon / LAVA는 직경 20 ㎜의 원형 디스크 형태로 Z-match는 14 ㎜ × 15 ㎜ 의 사각형 디스크 형태로 각각 6개씩 제작하였다.

IPS e.max Press 세라믹 시편을 위해서는 회사에서 출시되는 잉곳을 두께 0.8 ㎜ 직경 10 ㎜의 디스크 형태로 밀링하여 최초 시편을 얻었고, 이후 열처리를 위한 시편을 위해서는 원하는 규격보다 조금 더 크게(두께 2.0 ㎜, 직경 12 ㎜) 납형을 만들어 이를 매몰, 소환한 후 열가압하여 나

Table 1. Materials used in this study

Ceramic systems	Material	Color	Code	Manufacturer
Cercon Smart	Zirconia	Uncolored	CUZ	Dentsply, USA
		Colored (A2)	CCZ	
Z-match	Zirconia	Uncolored	ZUZ	DentAim, Korea
		Colored (YZ-C)	ZCZ	
LAVATM	Zirconia	Uncolored	LUZ	3M ESPE, USA
		Colored (FS3)	LCZa	
		Colored (FS4)	LCZb	
IPS e.max Press	Lithium disilicate glass-ceramic	MO1	EM1	Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein
		MO3	EM2	

온 주조체를 0.8 ㎜의 두께가 되도록 150, 400, 600 grit SiC 연마지를 이용하여 단계적으로 연마하였으며, 이렇게 준비된 시편은 증류수에서 5분간 초음파 세척을 하여 두께 0.8 ㎜ 직경 10 ㎜의 디스크 형태 시편을 6개 얻었다.

2) 열처리

Cercon 세라믹은 liner 소성온도가 970℃이며 바디 도재가 850℃이고, LAVA와 Z-match는 840-800℃의 범위 내에 있다. 따라서 본 연구에서는 동일한 열처리 조건을 부여하기 위하여 보다 높은 온도인 Cercon의 소성온도에서 열처리를 실시하였다. 즉 Table 2의 스케줄에 따라 0.8 ㎜의 유색 지르코니아 디스크 시편을 각 시편 공히 paste liner 2회 소성, 바디 소성 4회 등 총 6회의 열처리를 실시하였다.

세라믹 시편을 각 제조 회사별로 열처리에 따라 아래와 같이 분류하였고 lithium disilicate 위한 열처리로는 Table 3에 따라 잉곳을 녹여 주입선을 통해 짜 내는 열가압 성형 과정, 최종수복물 완성을 위해 필요한 열처리 순환, 즉 wash firing 2회, dentin incisal firing 2회, staining firing, glazing firing 등 총 6회의 소성을 시행하였다.

열처리는 치과용 포세린 진공 퍼니스(Multimat Touch & Press; Dentsply, USA)를 이용하였다.

3. 분광측색장치를 이용한 색측정과 반투명도 측정

시편의 색 측정은 CIE No.15에 준거한 측정파장간격 10 ㎚의 분광측색계((Model CM-2600d, Minolta, Japan)를 이용하여 실시하였다. 측정 시 한 지점에서 2회 반복 측정하여 평균값을 구하고 다시 서로 다른 세 부위를 측정하여 한 시편의 평균값을 구하였다. 사용한 표준광원은 D65을 사용했으며 감지부의 직경은 3 ㎜ 이었고 10°의 관찰각에서 정반사광을 제거하여 육안에 가까운 측정방식(SCE 모드)을 사용하였다. 시편들

Table 2. Firing Schedules of the Zirconia ceramic

Firings	ST	DT	TV	FT	HT	Ht
Paste liner firing	450	4	55/min	970	1	1
Margin, Dentine firing	450	4	55/min	850	1	2
Glaze/Stain firing	480	2	55/min	790	0	2

ST: start temperature(℃); DT: drying time(min); TV: temperature(℃) increase under vacuum; FT: final temperature; HT: hold time(min) under vacuum; Ht: hold time(min) without vacuum

Table 3. Firing Schedules of the IPS e.max

Firings	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(℃)

은 백색 표준판 (L*=87.0, a*=-0.1, b*=2.8, Y=69.7)과 흑색 표준판 (L*=4.2, a*=-0.2, b*=1.1, Y=0.5) 위에서 측정되었다.

반투명도는 Contrast ratio(CR) 및 Translucency parameter (TP)로 측정되었으며 다음의 식으로 산출되었다.

CR = Yb/Yw
TP = [(L*b-L*w)2+(a*b-a*w)2+(b*b-b*w)2]1/2

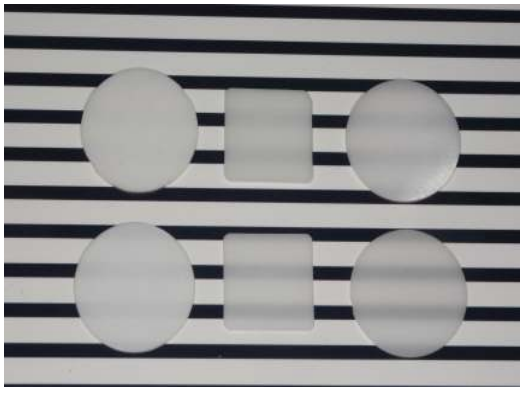
여기서 b는 흑색 표준판, w는 백색 표준판을 배경으로 한 값을 나타낸다. CR=0은 완전 투명을 나타내고 CR=1은 불투명을 나타낸다.

열처리에 따른 색변화를 보기 위해 L*, a*, b* 값 및 ΔE*ab를 구했다.

L* = 116 (Y/Yn)1/3-16
a* = 500 [(X/Xn)1/3-(Y/Yn)1/3]
b* = 200 [(Y/Yn)1/3-(Z/Zn)1/3]

두 색채간의 색차 (ΔE*ab)는 L*, a*, b* 색차 간 좌표상의 거리이며 다음의 공식에 의해 산출된다.

ΔE*ab = [(ΔL*)2+(Δa*)2+(Δb*)2]1/2



A B C

Fig. 1. Specimens having 0.8㎜(above) and 0.4㎜(below) in thickness on black-and-white backing with reflected light. A: Cercon Smart; B: Z-match; C: LavaTM .

4. 통계분석

실험군은 각각 6개의 시편에서 측정하고 평균과 표준편차를 구하였다. 투과도 데이터는 SPSS V12.0 for Win(SPSS Inc., U.S.A.)을 사용하여 이원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. CR과 TP의 상관관계는 Pearson's test를 이용하였다. ΔE*ab 값은 일반적으로 3.3이상이어야 임상적으로 차이를 인식할 수 있다고 하였다.19,44 따라서 ΔE*ab 값의 3.3 이하의 차이에 대해서는 통계처리를 하지 않았다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 반투명도(CR, TP) 측정 결과

각 지르코니아 시편의 두께에 따른 평균 CR 및 TP는 Table 1, 2에 나타나있다. 반투명도에 대한 이원배치분산분석에서 CR 및 TP는 지르코니아의 종류나 두께에 따라서는 통계적으로 낮은 유의성을 보였다 (P≤0.1). 그러나 지르코니아의 종류와 두께의 상관관계는 매우 높은 유의성을 보여 (P<0.0001), 지르코니아의 반투명도는 두께에 따라 종류별로 다르게 나타남을 알 수 있었다 (Fig. 1, Table 1, 2).

열처리하지 않은 0.4 ㎜ 두께, 무색 지르코니아 시편에서 CR은 LUZ < ZUZ < CUZ 순으로 LavaTM ceramic이 가장 낮은 값을 보여 가장 높은 반투명도를 보였으며, LUZ와 ZUZ는 0.8 ㎜ 두께의 e.max Press 세라믹과 유사한 값을 보였다. 0.8 ㎜ 두께, 무색 지르코니아 시편에서는 ZUZ ≤ LUZ < CUZ 순이었고 모두 글라스 세라믹인 e.max Press 세라믹보다 높게 나타났다. 1.5 ㎜ 두께, 무색 시편에서는 모든 지르코니아 세라믹 군이 0.8 ㎜ 두께의 e.max Press 세라믹보다 월등히 높아 불투명 상태를 의미하는 0.95 이상이었고 서로 간의 유의성있는 차이는 없었다(Fig. 2).

열처리하지 않은 0.4 ㎜ 두께, 무색 지르코니아 시편에서 TP는 LUZ > ZUZ > CUZ 순으로 LavaTM ceramic이 가장 반투명도가 좋은 높은 값을 보였으나 모두 글라스 세라믹인 0.8 ㎜ 두

께의 e.max Press 세라믹보다는 낮은 값을 보였다. 0.8 ㎜ 무색 시편에서는 ZUZ > LUZ > CUZ 순으로 Z-match 세라믹이 가장 높은 값을 보였으나 모두 e.max Press 세라믹보다는 월등히 낮게 나타났다. 1.5 ㎜ 무색 시편에서는 모든 지르코니아 세라믹 군이 0.8 ㎜ 두께의 e.max Press 세라믹보다 월등히 낮아 불투명 상태를 의미하는 3.0 이하였고 LUZ와 ZUZ는 유의성이 없었으나 CUZ는 그보다 더 낮게 나타났다 (Fig. 3).

한편 0.8 ㎜ 두께, 시편에서 2회의 liner 또는 wash firing의 소성(initial firing)과 다시 4회의 body 소성(body firing), 즉 총 6회의 열처리 후 CR은 eM1, eM2 ≤ LCZa, LCZb < ZCZ < CCZ순으로 e.max Press 와 LavaTM ceramic이 상대적으로 높은 반투명도를 보였고 CCZ는 거의 불투명한 소견을 보였다. TP는 eM1, eM2 ≥ LCZa, LCZb > ZCZ > CCZ 순으로 각 군 간에 유의성있는 차이를 보였으며 CCZ가 가장 불투명한 소견을 보였다 (Table 3). 그러나 모든 군에서 초기 열처리(initial firing)와 추가적인 body 소성에 따른 투과도 비교에서는 CR, TP 모두 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 3).

본 연구에서 사용된 지르코니아 세라믹들의 투과도를 나타내는 CR과 TP들의 상관 계수는 매우 높은 상관성(r2=0.997, Fig. 4)을 나타내었다. 따라서 지르코니아 세라믹의 투과도를 평가할 때 CR과 TP를 따로 평가할 필요는 없을 것으로 보였다.

Table 1. Summary of two-way ANOVA for contrast ratio of zirconia specimens

Source		SS	df	MS	F.	Sig.
Intercept	Hypothesis	44.743	1	44.743	322.475	.000
	Error	.427	3	.139a		
Material(A)	Hypothesis	.139	2	6.971E-02	3.962	.113
	Error	7.038E-02	4	1.760E-02b		
Thickness(B)	Hypothesis	44.173	2	8.661E-02	4.922	.083
	Error	7.038E-02	4	1.760E-02b		
	Hypothesis	7.038E-02	4	1.760E-02	66.919	.000
	Error	1.183E-02	45	2.629E-04c		

a: MS(A) + MS(B) - MS(A*B); b: MS(A*B); c: MS(Error)

Table 2. Summary of two-way ANOVA for translucency parameter(TP)of zirconia specimens

Source		SS	df	MS	F.	Sig.
Intercept	Hypothesis	734.849	1	743.849	3.429	.158
	Error	676.357	3	216.946a		
Material(A)	Hypothesis	226.788	2	113.394	4.240	.103
	Error	106.981	4	26.745b		
Thickness(B)	Hypothesis	260.595	2	130.297	4.872	.085
	Error	106.981	4	26.745b		
A*B	Hypothesis	106.981	4	26.745	58.128	.000
	Error	20.705	45	.460c		

a: MS(A) + MS(B) - MS(A*B); b: MS(A*B); c: MS(Error)

Table 3. CR and TP of the specimens(thickness, 0.8㎜) after heat treatments

Code	No.	initial firing		initial + body firing	
		CR	TP	CR	TP
CCZ	6	0.99(0.00)	0.29(0.17)	1.00(.00)	0.26(0.16)
ZCZ	6	0.94(0.01)	3.55(0.39)	0.94(0.01)	3.48(0.44)
LCZa	6	0.82(0.01)	8.82(0.21)	0.82(0.01)	8.83(0.16)
LCZb	6	0.84(0.01)	8.97(0.18)	0.84(0.01)	8.87(0.24)
eM1	6	0.75(0.01)	12.80(0.58)	0.76(0.02)	12.37(0.79)
eM2	6	0.80(0.01)	11.35(0.43)	0.80(0.01)	11.43(0.55)

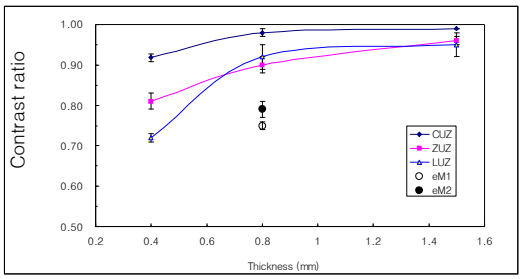


Fig. 2. Variation of contrast ratio with zirconia thickness.

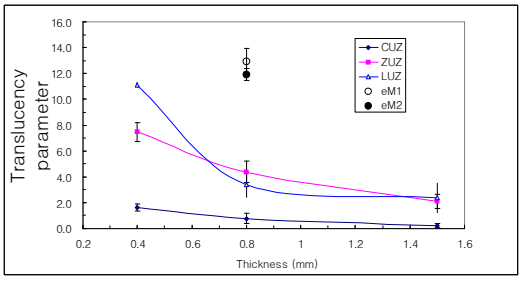


Fig. 3. Variation of translucency parameter with zirconia thickness.

2. 색 측정 결과

열처리를 하지 않은 각 군의 0.8 ㎜ 두께 지르코니아 시편의 평균 L*, a*, b* 값은 Table 4에서

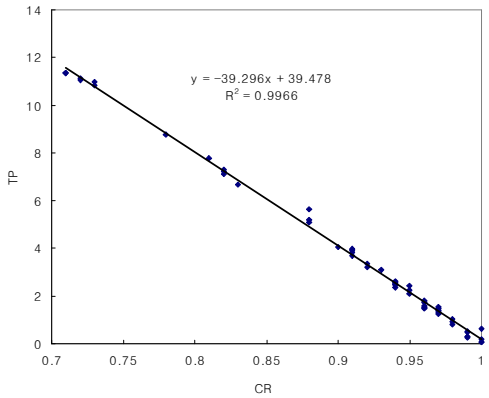


Fig. 4. Correlation between CR and TP values.

보여준다. 유색과 무색 지르코니아 색상을 비교했을 때 모든 군에서 a*의 차이는 미미했으나 L*,와 b*에서는 큰 차이를 보였고 특히 b*에서 크게 증가된 차이를 보여 유색이 무색에 비해 다소 어둡고 황색 계열의 색상을 보였다 (Table 4).

Table 5에서 보여 주듯 e.max Press세라믹은 가압 성형 후 비교적 높은 ΔE*ab를 나타내었고, 그 수치는 채도가 높은 eM2(6.8)에서 eM1(4.1)보다 더 크게 나타났다. 특히 L*,값의 변화가 상대적으로 더 크게 나타나 잉곳(ingot) 상태에서 열가압 성형 후 색상이 더 밝아지는데 색상이 진할수록 더욱 더 밝아지는 경향을 보였다. 그러나 Table 6에서 보여 주듯 가압 성형 후, 최종 수복

Table 4. Comparison of mean value of L*, a*, b* in zirconia

Code	L*(SD)	a*(SD)	b*(SD)
CUZ	93.52(0.98)	-0.39(0.15)	2.63(0.64)
CCZ	89.07(0.98)	0.52(0.27)	14.67(0.72)
ZUZ	88.39(0.94)	-0.50(0.28)	3.91(0.85)
ZCZ	86.33(0.72)	-1.03(0.08)	13.82(0.49)
LUZ	90.10(0.99)	0.06(0.06)	2.59(0.19)
LCZa	81.78(1.69)	1.89(1.23)	16.03(1.23)
LCZb	78.44(2.06)	3.20(1.36)	22.70(1.56)

Table 5. Comparison of mean value of L*, a*, b* and ΔE*ab in e.max Press

Code	L*(SD)	a*(SD)	b*(SD)	ΔE*ab
eM1 ingot	79.19(0.23)	-0.66(0.05)	12.58(0.19)	4.1(0.8)
eM1	83.17(0.78)	-1.01(0.07)	12.89(0.19)	
eM2 ingot	73.30(0.25)	0.90(0.06)	18.45(0.18)	6.8(0.3)
eM2	79.77(0.30)	0.66(0.16)	20.86(0.24)	

eM1, eM2 ingot: before heat-pressing; eM1, eM2: after heat-pressing

물을 위해 추가로 가해지는 열처리에 의해서는 더 이상의 색변화가 일어나지 않았다.

한편 0.8 ㎜ 두께, 유색 지르코니아 시편에서 2회의 liner 또는 wash firing의 소성(initial firing)과 다시 4회의 body 소성(body firing) 후 색을 측정하여 소성 전 색좌표 값(Table 4)과 비교한 결과 총 6회의 소성 후에도 유색 지르코니아 색변화는 거의 보이지 않았다(Table 6).

Table 6. ΔE*ab value of specimens(thickness, 0.8㎜) after heat treatments

Code	ΔE*ab	
	initial firing	initial + body firing
CCZ	0.77(0.34)	0.76(0.30)
ZCZ	0.63(0.19)	0.82(0.28)
LCZa	0.98(1.24)	1.41(0.94)
LCZb	0.68(0.23)	0.48(0.37)
eM1	4.35(0.48)	4.90(0.35)
eM2	7.09(0.23)	7.07(0.25)

Ⅳ. 총괄 및 고찰

자연치아와 유사한 빛의 투과도를 갖는 전부도재관은 가시영역에서 심미적 수복이 필요할 경우 우선적으로 고려될 수 있다. 그러나 초기의 전부도재관들은 파절에 대한 취약성이 커,[29] 그들의 심미적인 장점에도 불구하고 임상에서의 활용이 위축되어 왔으며, 이를 극복하기 위한 노력이 꾸준히 계속되었다. 그 결과 1900년대 후반부터는 수종의 전부도재관 제품들이 적합성과 심미성 그리고 강화된 파절강도의 특징을 강조

하면서 소개되기 시작했다.

열가압 도재계인 IPS-Empress 2와 IPS e.max Press system은 변연의 적합도나 심미성이 돋보이는 전부도재관 시스템 중 하나이다.[30] 이는 납형을 제작하여 매몰, 소환한 후, 고온으로 가열된 가압소성로에서 열가압 성형되는 왁스 소환법의 비교적 간편한 술식을 활용하고 있다. 이 system은 빛의 투과도가 자연치(상아질)와 유사하고, 미리 색상화된 상아질 잉곳(ingot)을 사용하므로 인접 자연치와 자연스러운 시각적 조화를 얻을 수 있고 또한 미리 결정화되어서 체적변화를 단지 냉각하는 동안에 팽창률이 비슷한 매몰재로 조절하기 때문에 다른 시스템들에 비해 비교적 변형률이 적은 장점을 지닌다. 따라서 이 IPS-Empress 2 system은 심미성이 강조되는 부위의 단순관, 인레이, 온레이 그리고 라미네이트 비니어 등에 사용되어 왔고,[7,31] Stappert 등[32]은 이와 더불어 IPS e.max Press로 구치부 부분 피개관으로도 사용할 수 있는 가능성을 보고하기도 하였다.

수복물의 색조는 형태와 더불어 심미적 관점에서 매우 중요한 요소가 되며, 술자의 능력, 조명의 조건, shade guide 종류, 도재 층의 역할 및 두께에 의해 영향을 받는다.[19] 특히 투명도가 좋은 전부도재수복물의 세라믹 코어 및 하부구조(substructure)는 상아질 색조를 띄게 된다. 이러한 색소체(colorant)에 대한 연구는 아직 미미한 실정으로 Anusavice 등[33]은 P_2O_5와 더불어 co-nucleating agent로써 $AgNO_3$와 FeC_3 같은 색소체를 사용하는 것이 P_2O_5를 단독으로 사용한 것보다 lithia-based glass-ceramics의 파괴인성과 같은 기계적 특성을 강화하고 nucleating agent로써 결정화에 더욱 도움이 되는 것으로 보고했다. 또한 이러한 색소체에 대한 연구로 Lund와 Piotrowski[34]는 열처리에 의해 도재 표면 색소체(surface colorant)로부터 일정치 않은 크롬의 상실에 따라 예측이 쉽지 않으며, 색 변화를 측색계로 관찰한 결과, 노랑색(yellow)의 변화가 가장 심한 것으로 보고하였다.

지르코니아는 3가지 동소체를 갖는 다형(polymorphic)의 재료이다. 즉, 1170℃ 까지는 안정한 단사정 상(monoclinic phase)을 갖고, 1170℃와 2370℃사이에서는 정방정계 상(tetragonal phase)으로 변형되며, 그 이상의 온도에서 2680℃ 녹는점까지는 입방형 상(cubic phase)으로 존재한다. 그러나 외부로부터 충격 혹은 파절로 인해 스트레스가 야기되면 정방정계 상에서 단사정 상으로 변형이 생기고 이때 상 변태와 더불어 3-5%의 체적확장이 일어나 각 지르코니아 입자 사이에는 강한 압축응력이 발생되고 이를 균열이 통과하기 위해서는 더 큰 에너지가 필요하게 된다. 즉 이로 인해 일반적인 도재보다 훨씬 높은 파절강도와 인성을 보이게 된다. 평상시엔 지르코니아의 상 변태를 안정시키는 산화물(CaO, MgO, CeO_2, Y_2O_3)의 첨가에 의해 억제되어, 준안정상태로 유지되다가 외적 스트레스를 받으면 상 변태가 일어나서 내부 압력이 생겨 균열의 진행을 막게 된다. 초기에는 위 4가지 첨가물의 지르코니아가 사용되어 왔지만, 현재는 지르코니아-이트리아(zirconia-yttria, $ZrO2-Y_2O_3$)도재, 즉 Yttria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystals (Y-TZP)가 많이 활용되고 있다.[35-37]

그러나 이러한 지르코니아는 너무 하얗고 불투명해서 채도가 낮은 감이 있는 상악 전치의 색조를 재현할 때는 오히려 너무 밝아, 결과적으로 명도가 높게 되는 경향을 보이므로 이를 피하기 위해서는 세라믹 코핑을 얇게 하고 전장도재를 두껍게 하던지, 금속-도재관처럼 불투명도재(opaque porcelain)로 이를 피개하던지 아니면 채도를 높여 명도를 상쇄시키던지 해야 했다. 따라서 각 지르코니아를 다루는 회사들은 이러한 단점을 보완하기 위해서 색조가 가미된 유색 지르코니아(colored zirconia)를 최근에 소개하기 시작했다.[16]

3M ESPE사에서 소개된 LAVA™ All Ceramic System은 전치부나 구치부 영역 모두에서 적용가능하며 CAD-CAM을 활용하여 세라믹 하부구조를 제작하는 시스템이다.[38] 모델을 광 스캔닝하여 컴퓨터 상에서 개개인에 맞게 하부구조를 설계한 다음, 일부 소결된 green state zirconia를 밀링 가공하여, 이를 필요에 따라 8가지 색조 부여가 가능한 특수 염료로 색조를 부여하여 완전

소결함으로써 20-25% 수축이 일어나 실제 크기와 밀도로 강한 세라믹 하부구조 수복물을 제공하는 시스템이다. DENTSPLY ceramco사에서 출시되는 Cercon Smart Ceramic System 역시 전악에서 단일관 및 브릿지로 사용이 가능하며 CAM을 활용하여 세라믹 하부구조를 제작하는 고강도 도재 시스템이다. Filser 등[10]은 이 시스템의 모태가 되는 Direct Ceramic Machining(DCM)의 최초 임상보고에서 이 DCM은 높은 기계적 강도와 좋은 생체 적합성을 가진 전부도재수복물로써 In-Ceram이나 IPS Empress2로 만들어진 것보다 월등히 높은 파절강도를 보이며, 구치부 3-unit bridge로 임상 적용 1년 경과 후 아무런 문제점이 없는 것으로 보고하여 그 가능성을 긍정적으로 평가하였다. 그러나 이 시스템은 LAVA와 같은 CAD 기능이 없고 직접 조각된 납형의 하부구조를 직접 스캔닝 함으로 이 하부구조를 만드는 치과기공사의 기술 의존도가 높아지게 된다. 국내 DentAim사에서 출시되는 Z-match Ceramic System은 구강 내 모든 영역에서 사용이 가능하도록 지르코니아 세라믹을 기반으로 하는 CAD/CAM 시스템으로 이 시스템의 유색화 과정은 Cercon처럼 지르코니아 분말의 조성 과정에서 미리 색소체(colorant)를 혼합해서 처음부터 색조화된 상태로 출시되는 혼합형의 경우와 LAVA처럼 일정 형태의 다공성 세라믹 하부구조를 만들고 이를 색소체 용액에 침전시켜 원하는 색조를 얻어내는 침전형의 방법, 모두를 활용한다.

이처럼 대부분의 시스템에서 지르코니아 하부구조를 유색으로 사용할 수 있는 제품을 출시하고는 있으나 각 회사마다 이 유색 지르코니아에 대한 자세한 자료를 공개하지 않아, 일반적으로 극소량의 산화철(Fe_2O_3)이 옅은 브라운(Brownish)을, 산화세륨(CeO_2)이 크림(Cream)색을, 산화비스무스(Bi_2O_3)가 진한 크림(Deep Cream)색을 부여하는데 사용되는 것으로 이해되는 정도이며, Huang 등[39]이 희귀 토류 산화물(rare earth oxide) 첨가가 지르코니아 세라믹의 유색화에 미치는 영향을 평가하고 색조 산화물의 농도가 기계적 특성과 미세구조에 어떠한 영향을 미치는지 분석한 연구에서 tetragonal zirconia poly crystals 내에 첨가된 각기 다른 농도의 CeO_2 (cerium oxide), Er_2O_3(erbium oxide) 그리고 Pr_6O_{11}(praseodym oxide)들에 의해 특정 색이 얻어졌으며, Er_2O_3의 첨가는 a* value를 높게 하고, CeO2와 Pr_6O_{11}의 첨가는 b* value를 상승시켰으나, 이 3가지 산화물들은 L* value를 낮추는 데는 모두 실패하여 소결체가 너무 밝아 보이는 것으로 보고했다.

본 연구에서 사용된 lithia-based glass-ceramics인 e.max Press 세라믹에서는 최초 열가압 성형 후에 ΔE*값이 4.1(eM1), 6.8(eM2)을 나타내어 육안 판별이 가능할 정도로 색변화가 나타났고, 특히 L*값이 증가되어 더욱 밝아지는 경향을 보이므로 임상에서 최초에 잉곳(ingot)을 선택할 때는 원하는 색상보다 약간 더 진한 것을 선택하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 그 후 열처리에서 변화는 거의 없으므로 안정적인 사용이 가능하며, 본 연구에서 사용한 지르코니아 역시 특정 열처리에 의해서 색변화(ΔE*<1)는 감지되지 않으므로 색 안정성 차원에서 더욱 안정적으로 사용될 수 있음을 의미하는 것이다. 또한 회사에서 동일한 색상으로 제공된 6개의 최초 시편의 L*, a*, b* 분석에서 특히 Lava™ ceramic에서 그 값의 변이(SD)가 크게 나타났는데 이는 유색 지르코니아를 부분 소결시킨 소결체를 각각 색소 용액에 침전시켜 색조를 재현시키는 침전 제작법에 따른 불균질한 색재현 결과라고 판단되며 이러한 변이를 최소화하기 위한 조건 확립에 대한 노력이 더 필요할 것으로 사료되었다.

색이란 광원으로부터 나오는 광선이 물체에 부딪혀 반사, 산란, 투과, 굴절, 흡수를 통해 안구의 망막으로 되돌아오는 빛의 총체적 결과가 시지각기(추상체와 간상체)를 자극하여 대뇌에서 주관적으로 해석하는 시지각의 일종으로 치아를 수복하는데 중요한 요소 중의 하나이다.[40] 따라서 색조를 조절하기 위해서는 정확한 색의 분석과 측정이 필수적이다. 이를 위해서는 시각적 측정법과 기계적 측정법이 활용되는데, 시각적 측정법은 기존의 기성 shade guide를 기준으로 술자의 경험을 바탕으로 직접 비교하여 선택하는 방법으로 매우 주관적이며 주변의 광원에 따라

색지각에 혼돈을 주는 조건등색현상(metamerism) 등이 나타날 수 있다. 따라서 좀 더 과학적이고 객관적인 색 평가를 위해서는 이를 정량화 할 수 있는 기계에 의존하는 기계적 측정법을 사용하는데 이를 위해 3자극 색체계(tristimulus colorimeter)와 분광측색장치(spectrophotometer)가 활용된다.[41] 3자극색채계는 국제조명 위원회에서 규정한 표준광원을 조사시켜서 반사광을 3개의 여과기, 즉 RGB(red, green, blue) value를 사용하여 색을 측정하는 기구로써 시편간의 근소한 색차를 측정하는데 사용되며, 분광측색장치는 빛을 사물에 조사하여 전 가시영역에 걸쳐서 각각의 파장에 따른 분광 반사율, 분광 투과율을 측정하여 시편 색좌표의 절대치를 얻을 수 있는 것으로 3자극 색채계 보다 좀 더 정확한 데이터를 얻을 수 있다.[42] 따라서 본 연구에서는 분광 측색장치를 사용해 색조평가를 실시하였다.

일반적으로 분광측색장치는 측정 결과를 L*, a*, b*로 나타낸다. L*은 명도를 나타내고 0(검정)에서 100(흰색)까지의 수치로 표현되는데, a*는 적색과 녹색의 정도를 나타내고 -60에서 +80까지의 수치로 표현되며 값이 (+)이면 적색을, (0)이면 회색을, (-)이면 녹색을 나타낸다. b*는 황색과 청색의 정도를 나타내고 -80에서 +60까지의 수치로 표현되며 값이 (+)이면 황색을, (0)이면 회색을, (-)이면 청색을 나타낸다.[43] 여기서 두 색 간의 색차인 ΔE*값은 ΔE*=[(ΔL*)2+(Δa*)2+(Δb*)2]1/2 라는 공식으로 산출되는데 색차가 증가하면 색안정성이 감소된다는 것을 의미한다. 일반적으로 색차가 1 이상이면 눈으로 색변화를 인지 할 수 있고, 색차가 3.3 이하이면 치과수복재로 사용할 수 있는 허용 가능한 수치로 이해되며,[19,44] O'Brien 등[45]은 ΔE*값이 1이하일 때는 우수하고 2이하일 경우에도 임상적으로 받아드려 질만 하나 3.7 이상이면 육안판별이 가능할 정도여서 임상적으로 사용하기에는 부적절하다고 보고하였다.

자연치의 색조 재현에 반투명성 부여는 중요한 요소 중의 하나이다. 따라서 이에 대한 연구에서 주로 재료의 투과도를 나타내는 CR과 TP를 다루게 되는데 이 둘의 상관성을 연구한 Lee[46]는 치과용 컴포짓트와 포세린에서 비교적 높은 상관관계(r=0.95)를 갖는 것으로 보고했다. 본 연구에서 각 지르코니아 세라믹들의 상관계수는 이들 보다 매우 더 높은 상관성을 나타냈으므로 (r2=0.999) 지르코니아 세라믹의 투과도를 평가할 때 CR과 TP를 따로 평가할 필요는 없을 것으로 보인다.

또한 본 연구에서 지르코니아 코아의 두께를 0.4 ㎜로 유지할 때 투명성이 자연치와 유사한 것으로 평가되는 글라스 세라믹인 e.max Press 세라믹과 유사한 투명도를 보임으로 해서 이 두께의 코어에서 전장도재가 올라간 전부도재 수복물의 투명도는 e.max Press 0.8mm 수복물의 투명도와 유사하게 나타낼 수도 있음을 의미하나 상대적으로 내부 지지가 없이 약한 전장도재만 두껍게 형성되면 수복물의 파절강도가 취약해 질 수 있으므로 이에 대한 적절한 코어 디자인을 찾는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 단지 내부의 코어 세라믹만을 평가한 것으로 추후에 라이너(liner)를 포함한 전장도재의 축성에 따른 영향도 평가해 볼 필요성이 있으며, 만약 상아색과 유사한 유색 지르코니아 세라믹의 시각적, 물리적 특성이 안정된 것으로 판명된다면 이 상아질 대용 세라믹 하부구조의 디자인을 과거 불투명한 백색의 지르코니아 색조의 영향을 줄이기 위해 얇고 작게 적용했던 것을 좀 더 자연치 상아질에 가까운 모습으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 임상에서 상용되고 있는 수종의 전부도재수복물을 위한 코어 세라믹들, lithium disilicate glass-ceramic인 IPS e.max Press 세라믹과 유색 지르코니아 세라믹 제조법이 각기 다른 지르코니아 세라믹 시스템, 즉 LAVA™ All Ceramic과 Cercon Smart Ceramic 그리고 국내에서 제작된 Z-match Ceramic의 유·무색 지르코니아를 대상으로 분광측색계를 이용하여, 그들의 투과도와 색상 그리고 최종 수복물을 만들기 위해 필요한 열처리에 따른 각 세라믹의 투과도

와 색조 변화를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 투과도는 유리-세라믹인 e.max Press 세라믹이 가장 높았고, 지르코니아 군에서는 Cercon Smart 세라믹보다 Z-match와 Lava™ 세라믹에서 더 높은 투과도를 보였다.
2. 열처리에 따른 투과도의 변화는 모든 군에서 보이지 않았다.
3. 무색 지르코니아에 비해 유색 지르코니아 세라믹은 L* 값이 낮아 다소 어둡고 b* 값이 높아 황색 계열의 색상을 보였다.
4. 열처리에 따른 색상의 변화로 e.max Press 세라믹은 열가압 성형 후 특히 L* 값이 증가하여 높은 ΔE*ab 수치(eM1 4.1, eM2 6.8)를 보였다. 그러나 그 이후의 열처리에서는 색상 변화가 없었다.
5. 열처리에 따른 유색 지르코니아 군의 색상 변화는 보이지 않았다.

이상의 결과를 토대로 최종 수복물 완성을 위해 반투명도 측면에서는 e.max Press 세라믹이 유리하고 열처리에 따른 세라믹 하부구조의 색안정성을 고려한다면 e.max Press 세라믹보다 유색 지르코니아 세라믹이 더욱 안정될 것으로 판단되며, 이는 강하고 질긴 지르코니아 세라믹의 물리적 특성을 충분히 살리면서 심미적인 결과에 매우 민감한 상악 전치부에서 시각적으로 자연스런운 지르코니아 수복물 제작이 가능함을 의미한다

참 고 문 헌

1. Land CH. A new system of restoring badly decayed teeth by means of an enamelled metallic coating. Independent Practitioner 1886;7:407.
2. Christensen GJ. The use of porcelain-fused-to-metal restorations in current dental practice: A survey. J Prosthet Dent 1986;56:1-3.
3. Belles DM, Cronin RJ, Duke ES. Effect of metal design and technique on the marginal characteristics of the collarless metal ceramic restoration. J Prosthet Dent 1991;65:611.
4. Wohlwend A, Strub JR, Schärer P. Metal ceramic and all-porcelain restorations: current consideration. Int J Prosthodont 1989;2:13-26.
5. Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. Int J Periodont Rest Dent 1984;4(2):32-46.
6. Sadoun Levy H. Working with the In-Ceram porcelain system, Prothese Dentaire, 44/45: 1, 1990.
7. Dong JK, Luthy H, Wohlwend A, Schärer P. Heat-Pressed ceramics: Technology and strength. Int J Prosthodont 1992;5:9-16.
8. Höland W. Materials science fundamentals of the IPS Empress 2 glass-ceramic. Ivoclar-Vivadent-Report 1998;12:3-10.
9. Oh SC, Dong JK, Luthy H, Scharer P. Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different heat treatments. Int J Prosthodont. 2000;13: 468-472.
10. Filser F, Kocher P, Weibel F, Luthy H, Scharer P, Gauckler LJ. Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by direct ceramic machining (DCM). Int J Comput Dent 2001;4: 89-106.
11. Piconi C, Maccauro G. Review zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials 1999;20:1-25.
12. Meyenberg KH, Luthy H, Scharer P. Zirconia posts: a new all - ceramic concept for nonvital abutment teeth. J Esthet Dent 1995; 7:73-80.
13. Luthardt R, Weber A, Rudolph H, Schone C, Quaas S, Walter M. Design and production of dental prosthetic restorations: basic research on dental CAD/CAM technology. Int J Comput Dent 2002;5: 165-76.
14. Wohlwend A, Studer S, Scharer P. The zirconium oxide abutment: an all-ceramic abutment for the esthetic improvement of implant super structures. Quintessence Dent Technol 1997;1:63-74.
15. Keith O, Kusy RP, Whitley JQ. Zirconia brackets. an evaluation of morphology and coefficients of fricition. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1994;106: 605-14.
16. Beuer F, Erdelt KJ, Schweiger J, Eichberger M, and Gernet W. Flexural strength and coloured and aged zirconia. 2004 IADR: abstract no 0113
17. Komine F, Gerds T, Witkowski S, Strub JR. Influence of framework configuration on the marginal adaptation of zirconium dioxide ceramic anterior

four-unit frameworks. Acta Odontol Scand 2005;63: 361-366.
18. Suttor D. Lava zirconia crowns and bridges. Int J Comput Dent. 2004 ;7(1):67-76.
19. Seghi R, Johnston W, O'Brien W. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent 1986;56:35-40.
20. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. J Prosthet Dent 1996;75:18-32.
21. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. J Prosthet Dent. 2002 l;88(1):4-9.
22. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. J Prosthet Dent. 2002 ;88(1):10-5.
23. Antonson SA, Anusavice KJ. Contrast ratio of veneering and core ceramics as a function of thickness. Int J Prosthodont. 2001 ;14(4):316-20.
24. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. Int J Prosthodont. 1995 ;8(1):79-86.
25. Zhang Y, Griggs JA, Benham AW. Influence of powder/liquid mixing ratio on porosity and translucency of dental porcelains. Prosthet Dent. 2004 ;91(2):128-35.
26. Devigus A, Lombardi G. Shading Vita YZ substructures: influence on value and chroma, part I. Int J Comput Dent. 2004 ;7(3):293-301.
27. Devigus A, Lombardi G.Shading Vita In-ceram YZ substructures: influence on value and chroma, part II. Int J Comput Dent. 2004 Oct;7(4):379-88.
28. Koutayas SO, Kakaboura A, Hussein A, Strub JR. Colorimetric evaluation of the influence of five different restorative materials on the color of veneered densely sintered alumina. J Esthet Restor Dent. 2003;15(6):353-60;361.
29. Southan DE and Jorgensen KD. Faulty porcelain jacket crowns. Aust Dent J 1973;18:152-156.
30. Beham G. IPS-Empress: A new ceramic technology. lvoclare Vivadent Report 1990;6:1-13.
31. El-Mowafy O, Brochu JF. Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations-a literature review. Evid Based Dent 2004;5:73.
32. Stappert CF, Att W, Gerds T, Strub JR. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. J Am Dent Assoc 2006;137:514-522.
33. Anusavice KJ, Zhang NZ, Moorhead JE. Influence of colorants on crystallization and mechanical properties of lithia-based glass-ceramics. Dent Mater 1994;10: 141-146.
34. Lund PS, Piotrowski TJ. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. Int J Prosthodont 1992;5:22-27.
35. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. J Biomed Mater Res 1989;23:45-61.
36 Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. Dent Mater 1999;15:426-33.
37. Luthardt RG, Holzhuter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, et al. Reliability and properties of ground Y-TZP -zirconia ceramics. J Dent Res 2002;81:487-91.
38. Suttor D, Bunke K, Hoescheler S, Hauptmann H, Hertlein G. LAVA-the system for all-ceramic ZrO2 crown and bridge frameworks. Int J Comput Dent 2001 ;4:195-206.
39. Huang H, Zhang FQ, Sun J, Gao L. Effect of three kinds of rare earth oxides on chromaticity and mechanical properties of zirconia ceramic. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi 2006;41:327-330.
40. Chiche GJ, Pinault A. Esthetics of anterior fixed prosthodontics. Chicago: Quintessence; 1994.
41. Goodkind RJ, Banghston LK. The conversion of chromascan designation to CIE tristimulus values. J Prosthet Dent 1982;48:610.
42. Michael WJ, Richard JG. Spectrophometric study of five porcelains relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. J Prosthet Dent 1979;2:96- 105.
43. Bangtson LK, Goodkind RJ. The conversion of chromascan designation to CIE tristmulus values. J Prosthet Dent 1982;48:610-617.
44. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on

translucent dental porcelain. J Dent Res 1989;68:1760-1764.
45. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small color difference equation for dental shade. J Dent Res 1990;69:1762-1764.
46. Lee YK. Changes in the translucency of porcelain and repairing resin composite by theillumination. Dent Mater. 2006 Apr 21;

Correspondence to : Sang-Chun Oh, DDS, MSD, PhD.
Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University
1142, Sanbon-Dong, Gunpo, Gyeonggi-Do, 435-040, Korea
E-mail : scoh@wku.ac.kr

- ABSTRACT -

Translucency and Color Stability of Various Core Ceramics for All-Ceramic Restoration

Sang-Chun Oh·Hae-Hyoung Lee*·Mee-Ran Shin·Kwang-Su Park

Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University·Dept. of Biomaterials, College of Dentistry, Dankook University*

Purpose: This investigation was designed to determine the translucency and color stability of various core ceramics for all-ceramic restoration using the CIE L*a*b* system. Material and Methods: IPS e.max Press ceramic(Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein), LAVA™ All Ceramic(3M-Espe, Germany), Cercon Smart Ceramic(Dentsply, Germany), and Z-match Ceramic(DentAim, Korea) were used for this study. For the specimens of zirconia oxide ceramics, the as-sintered cylindrical blanks(11.0×25.0 ㎜) were machined into the shape of a disk(0.4, 0.8, 1.5 ㎜ in thickness, 10 ㎜ in diameters) with a diamond grind machine. The IPS e.max Press specimens (0.8 ×10 ㎜) were fabricated using the "lost wax" technique. CIE L*a*b* coordinates and light transmission were recorded for each specimen with a spectrophotometer(CM-2600d, Minolta, Japan). Color differences were calculated using the equation, ΔE*ab = [(ΔL*)2+(Δa*)2+(Δb*)2]1/2 Results: The results were obtained as follows: 1. The most translucent group was IPS e.max Press ceramic that is a glass-ceramic, and Lava™ and Z-match ceramic were more translucent than Cercon Smart ceramic in zirconia ceramic group. 2. In the all groups, there was no significant translucent change after 6 times heat-treatments required to make a final restoration. 3. Colored zirconia was showed more yellowish and dark than uncolored zirconia. 4. After heat-pressing, IPS e.max Press ceramic was showed high ΔE*ab value(4.1 of eM1, 6.8 of eM2) that means to be more whiter than before heat-pressing. However, there was no color change after additive heat treatments for final restoration. 5. In the colored zirconia groups, there was no significant color change after some heat-treatments required to make a final restoration.

Key words: color stability and light transmission, core ceramics, the CIE L*a*b* system