

복합레진의 광중합 전·후와 shade guide의 색차 비교

전이주 · 조성식 · 엄정문

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

COLOR DIFFERENCES BETWEEN RESIN COMPOSITES
BEFORE- AND AFTER-POLYMERIZATION, AND SHADE GUIDES

Yi-Ju Chon, D.D.S., Sung-Shik Cho, D.D.S., MS.D, Ph.D.,

Chung-Moon Um, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

The composite resin, due to its esthetic qualities, is considered the material of choice for restoration of anterior teeth. With respect to shade control, the direct-placement resin composites offer some distinct advantages over indirect restorative procedures. Visible-light-cured (VLC) composites allow dentists to match existing tooth shades or to create new shades and to evaluate them immediately at the time of restoration placement. Optimal intraoral color control can be achieved if optical changes occurring during application are minimized. An ideal VLC composite, then, would be one which is optically stable throughout the polymerization process. The shade guides of the resin composites are generally made of plastic, rather than the actual composite material, and do not accurately depict the true shade, translucency, or opacity of the resin composite after polymerization. So the numerous problems associated with these shade guides lead to varied and sometimes unpredictable results. The aim of this study was to assess the color changes of current resin composite restorative materials which occur as a result of the polymerization process and to compare the color differences between the shade guides provided with the products and the actual resin composites before- and after-polymerization. The results obtained from this investigation should provide the clinician with information which may aid in improved color match of esthetic restoration.

Five light activated, resin-based materials (Ælitedfil, Amelogen Universal, Spectrum TPH VeridonFil-Photo, and Z100) and shade guides were used in this study. Three specimens of each material and shade combination were made. Each material was condensed inside a 1.5mm thick metal mold with 10mm diameter and pressed between glass plates. Each material was measured immediately before polymerization, and polymerized with Curing Light XL 3000 (3M Dental products, USA) visible light-activation unit for 60 seconds at each side. The specimens were then polished sequentially on wet sandpaper. Shade guides were ground with polishing stones and rubber points (Shofu) to a thickness of approximately 1.5mm. Color characteristics were performed with a spectrophotometer (CM-3500d, Minolta Co., LTD). A computer-controlled spectrophotometer was used to determine CIELAB coordinates (L^* , a^* and b^*) of each specimen and shade guide. The CIELAB measurements made it possible to evaluate the amount of the color difference values (ΔE^*_{ab}) of resin composites before the polymerization process and shade guides using the post-polishing color of the composite as a control. CIE standard D65 was used as the light source.

The results were as follows.

1. Each of the resin composites evaluated showed significant color changes during light-curing process. All

the resin composites evaluated except all the tested shades of Z100 showed unacceptable level of color changes (ΔE^*_{ab} greater than 3.3) between pre-polymerization and post-polishing state.

2. Color differences between most of the resin composites tested and their corresponding shade guides were acceptable but those between C2 shade of Δ Elitefil and IE shade of Amelogen Universal and their respective shade guides exceeded what is acceptable.
3. Comparison of the mean ΔE^*_{ab} values of materials revealed that Z100 showed the least overall color change between pre-polymerization and post-polishing state followed by Δ Elitefil, VeridonFil-Photo, Spectrum TPH, and Amelogen Universal in the order of increasing change and Amelogen Universal, Spectrum TPH, Z100, VeridonFil-Photo and Δ Elitefil for the color differences between actual resin and shade guide.
4. In the clinical environment, the shade guide is the better choice than the shade of the actual resin before polymerization when matching colors. But, it is recommended that custom shade guides be made from resin material itself for better color matching.

Key Words : color changes, color differences, resin composites, polymerization process, shade guides, ΔE^*_{ab}

I. 서 론

수복치과의 궁극적인 목표는 결손된 치아조직을 자연치와 유사한 형태와 기능, 외관을 갖도록 수복하는 것이다. 치아의 외관을 똑같이 수복하는 것은 수복물의 형태, 표면질감, 투명도와 색상 등의 여러 가지 요소의 조화가 요구되는 복잡한 과정이며, 이러한 요인들중 어느하나의 변화도 수복물의 전체적인 외관을 변형시킬 수 있으며 수복물에 대해 환자가 만족하지 못하는 결과를 낳게 된다. 이러한 요인들의 각각은 수복물의 전체적인 외관을 결정하는데 있어 모두 중요한 역할을 하지만 색상과 관련된 실패는 수복과정 중 발생하는 변이에 있어 중요한 부분을 차지하게 된다. 따라서, 색상과 투명도와같은 광학적 특성이 심미수복재료의 연구와 개발에 있어 중요한 사항으로 고려되어 왔다. 그 결과, 새로운 도재와 적층충전법과 함께 새로운 복합레진이 개발되어 자연치아구조의 외관과 유사하게 수복할 수 있는 능력이 증가되었다. 그러나, 색상은 여전히 임상에서 가장 조절하기 어려운 광학적 특성중의 하나로 남아 있다.

복합레진은 우수한 심미적 특성 때문에 전치부의 수복에 가장 우선적으로 사용되어 왔다. 복합레진의 성공적인 수복은 본래의 색조 조화¹⁾와 복합레진의 색 안정성^{2,3)}에 달려있으며, 색조 조화와 색 안정성은 임상에서 달성하기 어려운 요소이다. 색조 조절의 관점에서, 직접수복 복합레진은 간접 수복 방법에 비해 우수한 장점을 지니고 있다. 광중합 복합레진은 기존의 치아색조와 잘 조화되도록 수복하고 새로운 색조를 만들어낼 수 있으며, 레진을 와동에 적합시킨 즉시 그 색조를 평가할 수 있는 가능성을 제공해 준다. 환자

구강 내에서 적절한 색조 조절은 복합레진의 수복과정중에 발생하는 광학적 변화를 최소화함으로써 달성할 수 있다. 따라서, 중합과정을 통한 광학적 안정성은 이상적인 광중합 복합레진의 한 요건이 된다.

현재 통용되는 색조 조절과정과 관련된 문제는 많은 연구⁴⁻⁸⁾가 이루어져 왔지만 그 과정은 상대적으로 오랜동안 변하지 않고 있다. 가장 많이 이용되는 색조 조절과정은 표준화 되어있지 않은 shade guide나 재료를 이용하여 두명 이상의 사람들 사이에 통용되는 일련의 시각적인 평가에 의한 것이다. 이러한 shade guide와 관련된 많은 문제점들이 다양하고도 때로는 예측 불가능한 결과를 낳는다. 많은 복합레진은 아직도 universal, light, yellow 등과 같은 색조의 이름으로 통용되고 있으며, 이러한 명칭은 임의적이고 주관적이며 실제로 제조회사들마다 다양하다⁹⁾. 또한 shade guide는 레진 자체로 만들기보다는 플라스틱으로 만들어지기 때문에 중합후의 복합레진의 실제적인 색조와 투명도나 불투명도를 정확히 예측하기 어렵다^{10,11)}.

이러한 shade guide의 단점 때문에 소량의 레진을 수복할 치아에 적용하여 중합한 후 그 shade를 수복할 치아의 shade와 비교하는 "dab on" technique을 이용하기도 하지만 이 방법 역시 수복할때마다 재료와 시간을 낭비하게 되는 단점이 있어¹⁾ 실제 임상에서는 종종 중합전의 레진의 색조를 수복할 치아와 직접 비교하는 방법을 이용하기도 하며 이러한 경우 처음 선택한 색조와 최종적인 수복물 사이에 큰 색차가 있음을 발견하게 된다.

본 연구의 목적은 현재 통용되는 복합레진 수복재의 광중합 전·후와 shade guide의 색을 측정하고 색차(ΔE^*_{ab})

값을 비교하여 복합레진 수복시 보다 나은 색 조화를 얻어 심미성을 향상시키는데 도움이 되고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 시편제작

5종의 광중합 복합레진(Ælitefil, Amelogen Universal, Spectrum TPH, VeridonFil-Photo, Z100)과 shade guide를 사용하였으며, 각 제품별, shade별로 3개씩의 시편을 제작하였다(Table 1).

각각의 레진을 지름 10mm, 두께 1.5mm의 금속주형에 응축시킨 후 기포가 발생하지 않도록 주의하여 유리판에 접촉하고 압착하여 편평한 표면을 만들어 중합직전에 색측정을 하고 가시광선중합기(Curing Light XL 3000, 3M)로 양측 면을 60초씩 광중합하였다.

실온에서 24시간 보관 후 젖은 상태의 320-, 500-, 800-, 1000-, 1200-grit의 sandpaper상에서 순차적으로 연마하고 색측정하였으며 shade guide는 polishing stone과 rubber points(Shofu)를 이용하여 시편과 동일한 두께인 1.5mm 두께로 연마한 후 각각 색측정하였다.

2. 색측정

색의 특성은 분광광도계(CM-3500d, Minolta Co.,

LTD)를 이용하여 10° standard observers, 표준광선 D65 하에서 측정하고, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 색공간좌표인 CIELAB값으로 기록하였다. 매 측정시마다 영점조정과 백색조정을 하였으며, 각 두 점을 세 번씩 측정하여 평균을 기록하였다. 3mm직경의 감지부 위에 cover glass를 놓고 레진과 shade guide의 색을 측정하였다. 각 시편의 반사값대 파장이 400 - 700nm사이에서 20nm의 간격으로 구해졌다. 분광광도계는 CIE 3차극치 X, Y, Z값을 얻은 후 수학적 변형에 의하여 CIE L*, a*, b*값으로 표현한다¹²⁾. 중합과 연마 과정을 통한 색변화의 크기를 표현하기 위하여 CIELAB 색차식을 사용하였으며 연마한 후의 복합레진의 색을 기준으로 한 광중합 전의 레진 그리고 shade guide와의 각각의 색차(ΔE^*ab)값을 구하였다.

CIELAB측정값은 각 시편의 인지가능한 색변화량을 평가할 수 있게 해준다. CIELAB는 밝기 즉 흰색-검은색(L*), 적색-녹색(a*)과 황색-청색(b*)의 요소를 가진 일정한 색공간이다. 이러한 색체계는 색차에 대한 시각적 인식과 깊은 관계가 있다. 전체적인 색차는 다음과 같은 식으로부터 계산된다.

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

3. 통계처리

각 group의 L*, a*, b*요소에 대한 평균과 표준편차를 구하기 위해 SPSS/PC와 Sigastat 통계처리 프로그램을

Table 1. The five resin composites investigated

Product	Shades	Filler composition, size	Manufacturer & Batch No.
Ælitefil	A1 A2 A3.5 C2 D3	Barium glass 0.7 μ m 66% by vol.	Bisco 089197
Amelogen Universal	A1 A2 A3 A3.5 OA2 OA3 OA3.5 B2 B3 C2 IE	Barium glass 0.7 μ m(0.1-1.8) 60% by vol.	Ultradent 13005
Spectrum TPH	A2 A3 A3.5 A4 OA2 OA3.5 B1 B2 B3 IB C2 C3	Bariumaluminium -borosilicate Silicon dioxide 0.04-5 μ m 77% by wt. 57% by vol.	Dentsply Detrey 9703000158
VeridonFil-Photo	A1 A2 A3 A3.5 B2 B3 C2	Barium glass silica 1 μ m (0.016-1.9) 76-79% by wt.	Hyosung T&C 9701H22
Z100	A2 A3 A3.5 A4 B2 C2 D3	Zirconia/silica 0.6 μ m (0.01-3.5) 66% by vol.	3M 19960422

이용하였다. 평균 ΔE_{ab}^* 값 사이의 통계적 차이를 0.05 유의수준에서 구하기 위해 one-way ANOVA와 Student-Newman-Kuels test를 이용하였다.

III. 실험 결과

Fig. 1에서 5는 각각의 복합레진과 shade guide의 평균 L^* , a^* , b^* 값을 나타내며, L^* , a^* , b^* 값의 차이 (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) 또한 알 수 있다. Table 2에서 6은 전체적인 색차 (ΔE^*_{ab})를 보여준다.

Fig. 1은 세가지 다른 조건에서 Δ Elitefil의 L^* , a^* , b^* 값을 보여준다. 각각의 색조에서 L^* 과 b^* 값의 변화가 a^* 값에 비해 더 크며, 세 값중에서 b^* 값이 중합전과 연마후 간에 가장 큰 변화를 보인다. L^* 값에 대해서는 모든 색조에서 연마후에 감소하여 어두어지는 경향을 보이고, a^* 값 역시 모든 색조에서 감소하는 경향을 보여 녹색 영역으로 이동한다. 모든 색조에서 중합후에 b^* 값은 감소하여 푸른색 영역으로 이동한다. 결국 중합전과 연마후의 전체적인 변화는 감소하는 경향을 보인다. 모든 색조에서 shade guide가 복합레진보다 a^* 값과 b^* 값 모두 높아 더 붉고 노란 경향을 보인다.

Fig. 2는 세가지 다른 조건에서 Amelogen Universal의

L^* , a^* , b^* 값을 보여준다. 각각의 색조에서 L^* 과 b^* 값의 변화가 a^* 값에 비해 더 크며, 세 값중에서 b^* 값이 중합전과 연마후 간에 가장 큰 변화를 보인다. L^* 값에 대해서는 모든 색조에서 연마후에 증가하여 밝아지는 경향을 보이고, a^* 값에 대해서는 모든 색조에서 감소하는 경향을 보여 녹색 영역으로 이동한다. 또한 모든 색조에서 중합후에 b^* 값은 감소하여 푸른색 영역으로 이동한다. 결국 중합전과 연마후의 전체적인 변화는 감소하는 경향을 보인다. OA3를 제외한 모든 Amelogen Universal의 색조에서 shade guide가 복합레진보다 더 밝은 경향을 보인다.

Fig. 3은 세가지 다른 조건에서 Spectrum TPH의 L^* , a^* , b^* 값을 보여준다. 각각의 색조에서 L^* 과 b^* 값의 변화가 a^* 값에 비해 더 크며, 세 값중에서 b^* 값이 중합전과 연마후 간에 가장 큰 변화를 보인다. L^* 값에 대해서는 모든 색조에서 연마후에 감소하여 어두어지는 경향을 보이고, a^* 값 역시 IB shade를 제외한 모든 색조에서 감소하는 경향을 보여 녹색 영역으로 이동한다. 모든 색조에서 중합후에 b^* 값은 감소하여 푸른색 영역으로 이동한다. 결국 중합전과 연마후의 전체적인 변화는 감소하는 경향을 보인다. 또한 대부분의 색조에서 shade guide가 복합레진보다 a^* 값과 b^* 값 모두 높아 더 붉고 노란 경향을 보인다.

Table 2. Mean ΔE^*_{ab} Values of each shade of Δ Elitefil at different conditions.

Shade	PPR-PCR	Shade	PPR-SG
A2	8.79(0.20)	C2	4.44(0.30)
D3	7.86(0.34)	A1	3.27(0.14)
A1	7.72(0.08)	A3.5	2.94(0.08)
A3.5	7.60(0.12)	A2	2.80(0.03)
C2	7.24(0.16)	D3	2.72(0.16)
Mean	7.84(0.58)		3.23(0.71)

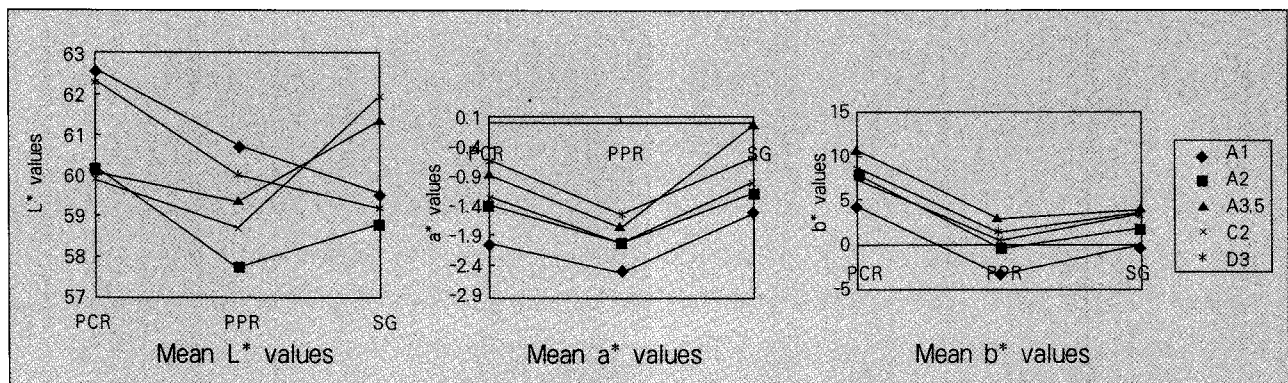
PCR : pre-cured resin

PPR : post-polished resin

SG : shade guide

Vertical bar represents no significant difference between groups at $\alpha < .05$ level.

Numbers in parentheses represent standard deviations.

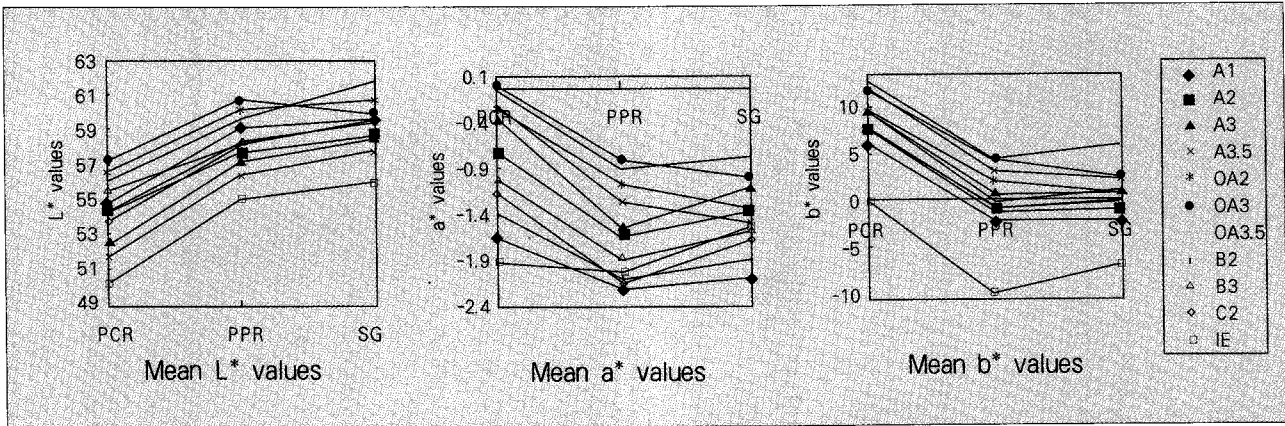


PCR : pre-cured resin

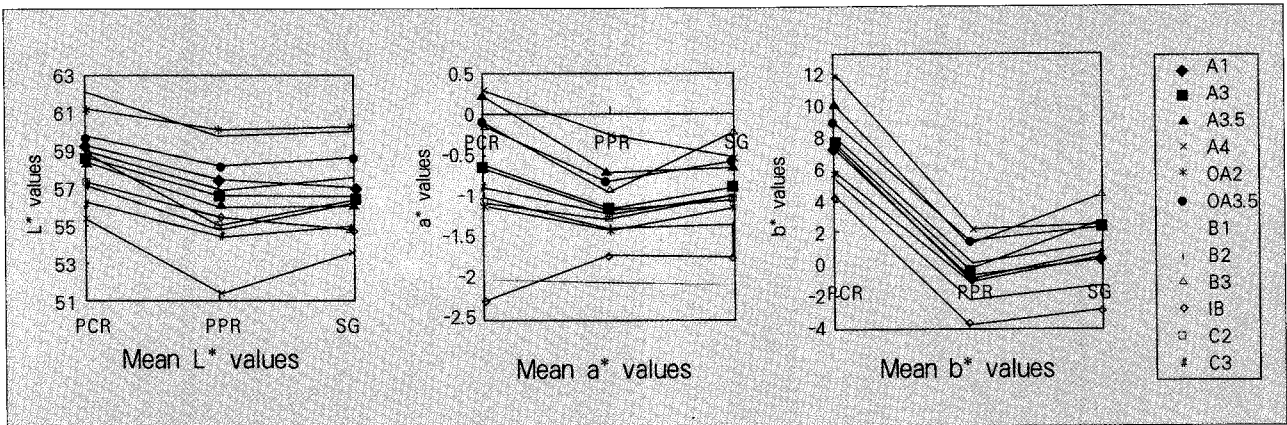
PPR : post-polished resin

SG : shade guide

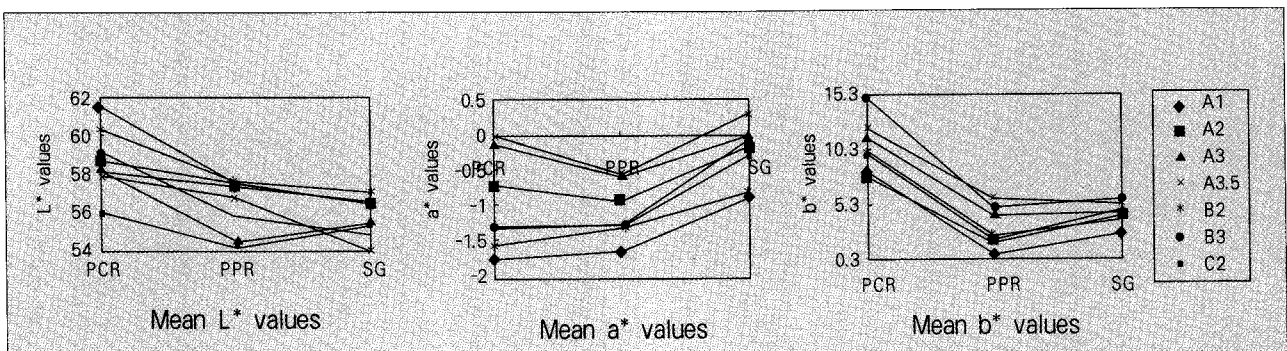
Fig. 1. Mean L^* , a^* , b^* values of Δ Elitefil under 3 different conditions



PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
Fig. 2. Mean L*, a*, b* values of Amelogen Universal under 3 different conditions



PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
Fig. 3. Mean L*, a*, b* values of Spectrum TPH under 3 different conditions



PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
Fig. 4. Mean L*, a*, b* values of VeridonFil-Photo under 3 different conditions

Fig. 4는 세가지 다른 조건에서 VeridonFil-Photo의 L*, a*, b*값을 보여준다. 각각의 색조에서 L*과 b*값의 변화가 a*값에 비해 더 크며, 세 값중에서 b*값이 중합전과 연마후

간에 가장 큰 변화를 보인다. L*값에 대해서는 모든 색조에서 연마후에 감소하여 어두어지는 경향을 보인다. 모든 색조에서 중합후에 b*값은 감소하여 푸른색 영역으로 이동한

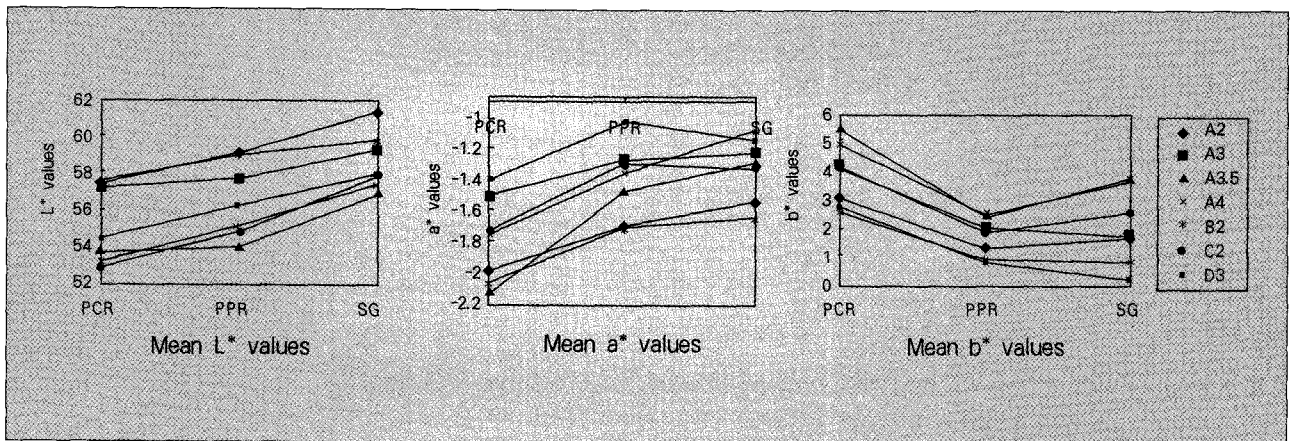
다. 결국 중합전과 연마후의 전체적인 변화는 감소하는 경향을 보인다. 모든 색조에서 shade guide가 복합레진보다 a*값이 높으며 A3.5 shade를 제외한 모든 색조에서 b*값 역시 높아 더 붉고 노란 경향을 보인다.

Fig. 5의 a, b, c는 세가지 다른 조건에서 Z100의 L*, a*, b*값을 보여준다. 각각의 색조에서 L*과 b*값의 변화가 a*값에 비해 더 크다. L* 값에 대해서는 모든 색조에서 연마 후에 증가하여 밝아지는 경향을 보이고, a*값 역시 중합전과 연마후 간의 전체적인 변화는 증가하여 붉은색 영역으로 이동한다. 모든 색조에서 중합후에 b*값은 감소하여 푸른색 영역으로 이동한다. 결국 중합전과 연마후의 전체적인 변화는 감소하는 경향을 보인다. 실험에 사용된 5개의 복합레진 중에서, Z100은 중합과정을 통한 b*값의 변화가 가장 작았다. 또한 모든 색조에서 shade guide가 복합레진보다 더

밝은 경향을 보인다.

Table 2에서 6은 각 재료의 shade별로 세가지 다른 조건인 중합전, 연마후와 shade guide 사이의 평균 색차(ΔE^*ab)를 나타내고 있다. 수직선은 Student-Newman-Keuls test로 0.05수준에서 검정한 결과 통계적으로 유의한 차이가 없는 것을 의미한다. 색 변화량은 중합전후 사이에서 더 컸으며, 중합후 연마하는 동안엔 차이가 그리 크지 않았다.

중합후와 연마후 간의 최종적인 변화는 Amelogen Universal의 IE shade가 11.07로 가장 크고, Z100의 A3 shade가 2.21로 가장 작았다. 중합후 연마한 레진 시편과 shade guide와의 색 조화의 관점에서는, Amelogen Universal의 A1 shade가 0.54로 가장 우수했으며 AElite-fil의 C2 shade가 4.44로 가장 큰 색차를 보였다.



PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
Fig. 5. Mean L*, a*, b* values of Z100 under 3 different conditions

Table 3. Mean ΔE^*ab Values of each shade of Amelogen at different conditions.

Shade	PPR-PCR	Shade	PPR-SG
IE	11.07(0.18)	IE	3.62(0.10)
B3	9.73(0.07)	OA3.5	2.44(0.05)
A3	9.66(0.17)	OA3	1.79(0.15)
C2	9.58(0.12)	B3	1.66(0.11)
B2	9.15(0.09)	C2	1.55(0.13)
A2	9.06(0.19)	A3	1.31(0.25)
A3.5	8.94(0.08)	A2	1.19(0.24)
A1	8.92(0.25)	B2	1.17(0.28)
OA3.5	8.72(0.12)	OA2	1.05(0.33)
OA2	8.15(0.12)	A3.5	0.97(0.05)
OA3	8.02(0.15)	A1	0.54(0.26)
Mean	9.18(0.84)		1.57(0.84)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Vertical bar represents no significant difference between groups at $< .05$ level.
 Numbers in parentheses represent standard deviations.

Table 4. Mean ΔE^*ab Values of each shade of Spectrum TPH at different conditions.

Shade	PPR-PCR	Shade	PPR-SG
A4	10.26(0.07)	B3	3.17(0.34)
IB	8.97(0.27)	A3	2.90(0.14)
B3	8.90(0.36)	A4	2.27(0.39)
A3.5	8.89(0.23)	C2	1.86(0.11)
B2	8.20(0.50)	OA2	1.66(0.11)
C3	8.19(0.20)	IB	1.63(0.29)
A2	8.19(0.31)	C3	1.59(0.09)
A3	8.14(0.15)	B2	1.41(0.24)
C2	8.11(0.14)	A2	1.25(0.12)
B1	8.00(0.08)	OA3.5	1.24(0.03)
OA3.5	7.61(0.22)	B1	1.14(0.16)
OA2	6.89(0.23)	A3.5	0.96(0.04)
Mean	8.36(0.83)		1.76(0.69)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Vertical bar represents no significant difference between groups at $< .05$ level.
 Numbers in parentheses represent standard deviations.

Table 5. Mean ΔE^*ab Values of each shade of VeridonFil-Photo at different conditions.

Shade	PPR-PCR	Shade	PPR-SG
B3	10.70(0.21)	C2	3.16(0.07)
A1	8.85(0.32)	A3.5	3.02(0.20)
B2	8.39(0.01)	A2	2.69(0.14)
C2	8.13(0.09)	A1	2.19(0.15)
A3	8.06(0.16)	B2	1.88(0.07)
A3.5	6.84(0.06)	B3	1.69(0.11)
A2	6.13(0.14)	A3	1.04(0.28)
Mean	8.16(1.46)		2.24(0.77)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Vertical bar represents no significant difference between groups at $< .05$ level.
 Numbers in parentheses represent standard deviations.

Table 6. Mean ΔE^*ab Values of each shade of Z100 at different conditions.

Shade	PPR-PCR	Shade	PPR-SG
A4	3.25(0.14)	A3.5	3.01(0.06)
A3.5	3.20(0.08)	C2	3.00(0.29)
C2	3.00(0.12)	A4	2.57(0.34)
D3	2.60(0.22)	A2	2.29(0.21)
A2	2.51(0.13)	D3	1.73(0.09)
B2	2.41(0.30)	A3	1.68(0.13)
A3	2.21(0.02)	B2	0.87(0.31)
Mean	2.74(0.41)		2.16(0.78)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Vertical bar represents no significant difference between groups at $< .05$ level.
 Numbers in parentheses represent standard deviations.

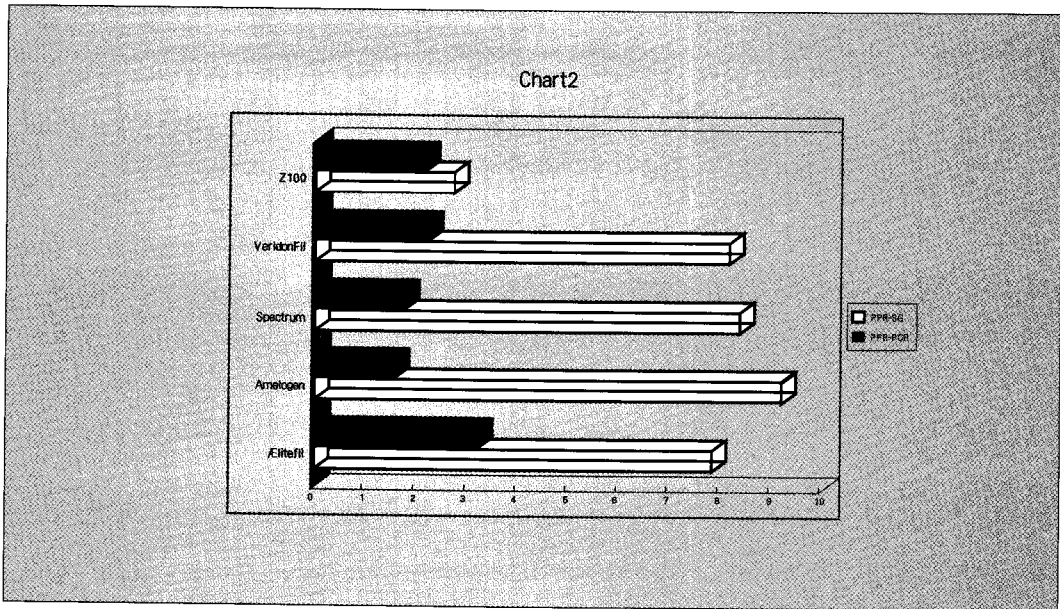
Table 7과 Fig. 6은 각 재료의 중합전, 연마후, shade guide사이의 색차(ΔE^*ab)의 평균을 구한 값을 나타낸다. 재료의 종류별로 보면, 중합전과 연마후 간의 전체적인 색

차는 Z100이 가장 좋은 결과를 보였으며, Amelogen Universal이 가장 큰 값을 보였다. 중합후 연마한 복합레진 과 shade guide 간의 색차를 보면 Aelitefil이 상대적으로

Table 7. Mean of the mean ΔE^*ab values of each shade in the respective materials.

Material	PPR-PCR	PPR-SG
Elitefil	7.84 (0.58)	3.23 (0.71)
Amelogen Universal	9.18 (0.84)	1.57 (0.84)
Spectrum TPH	8.36 (0.83)	1.76 (0.69)
VeridonFil-Photo	8.16 (1.46)	2.24 (0.77)
Z100	2.74 (0.41)	2.16 (0.78)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Numbers in parentheses represent standard deviations.



PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide

Fig. 6. Mean of the mean ΔE^*ab values of each shade in the respective materials.

Table 8. Mean ΔE^*ab Values of A2 shades of the five resin composites at different conditions.

Resin	Shade	PPR-PCR	PPR-SG
Elitefil	A2	8.79(0.20)	2.80(0.03)
Amelogen Universal	A2	9.06(0.19)	1.19(0.24)
Spectrum TPH	A2	8.19(0.31)	1.25(0.12)
VeridonFil-Photo	A2	6.13(0.14)	2.69(0.14)
Z100	A2	2.51(0.13)	2.29(0.21)

PCR : pre-cured resin PPR : post-polished resin SG : shade guide
 Numbers in parentheses represent standard deviations.

큰 값을 나타내고 Amelogen Universal이 작은 값을 보였다. 모든 종류의 레진에서 연마한 복합레진을 shade guide와 비교한 색차값이 중합전과 비교한 값보다 낮게 나타났으며, Z100에서는 통계적 유의성은 없었다.

Table 8은 다섯종류의 레진의 A2 shade의 중합전, 연마 후, shade guide간의 평균 ΔE^*ab 값을 보여준다. 중합전

과 연마후간의 최종적인 색 안정성은 Z100이 2.51로 가장 우수하였다. 연마후의 레진과 shade guide간의 색차는 Amelogen Universal에서 가장 작았다. 이러한 결과는 측정된 색차의 양은 사용된 재료의 종류와 색조의 선택에 의해 영향을 받음을 암시한다.

IV. 총괄 및 고안

치아 색의 평가에 이용되는 방법은 크게 시각적 방법과 기계적 방법의 두가지 범주로 나눌 수 있다¹³⁾. 표준 색채(color standard)와 치아를 비교하는 시각적 색 측정법은 치과 영역에서 가장 많이 이용되는 방법으로 치아와 표준 색채를 같은 조명하에서 동시에 관찰하여 비교하는 것이다. 치아와 어울리는 색조를 선택하는 데는 shade guide가 표준 색채로 사용되고 있으나 그 방법에는 여러요소들이 관계되어 있기 때문에 개인 간 또는 개인 내에서의 일관성의 결여 등의 한계가 있다. 즉, 색, 모양, 구조, 광택도, 치아 중간과 외측 부위가 다른 점 등의 이러한 요소들의 효과를 서로 다른 관찰자들이 달리 해석할 수 있기 때문이다.

기계적인 색 측정법은 객관적이고 보다 신속하기 때문에 최근 대부분의 연구에서 시각적 색 측정법보다 더 선호하는 경향이 있다. 이러한 객관적인 색 평가 방법은 물체의 색분석을 위한 중요한 도구이며 치과분야에서 많이 이용된다. 다양한 기계와 방법을 이용한 치과용 재료와 방법에 대한 기계적 색 분석법이 많은 문헌에서 보고되고 있다^{5,13-16)}. 실제 사용되고 있는 대부분의 색채계측기에 의한 평가가 색차의 구별 및 평가와 관련되어 있다.

전통적으로 치과 영역에서는 Munsell system의 색상, 명도, 채도의 용어로 치아 색을 표현해왔다⁸⁾. 그러나 색차를 정량적으로 평가하기 위해서는 1976년에 고안된 CIE L*, a*, b* 색채계가 주로 이용된다. 이 색채계는 색을 L*, a*, b*의 세가지 요소로 정의하고 있으며 L*값은 Munsell 명도와 관련이 있고, a*(red-green axis), b*(yellow-blue axis) 값은 채도를 표현한다. CIE색차는 다음과 같은 식으로 계산한다¹⁷⁾.

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

CIELAB색채계와 그와 관련된 색차식의 사용은 측정자료의 시각적 해석을 증진시키기 위해 특별히 고안되었으며 색차의 정확한 평가를 위한 표준화된 방법으로 개발되어 왔다.

색의 개개 요소의 분석은 색 변화의 방향에 대한 중요한 정보를 제공하지만, 색 조절 문제는 삼차원적 색공간에서의 색변화의 결합인 색차에 대한 평가를 요구한다. 따라서 CIELAB 색차식은 두 물체 사이에 인지되는 색차의 양을 표현하는 수적 자료 (ΔE^*ab)를 제공하도록 고안된 것이다. ΔE^*ab 의 차이는 육안으로 판별이 가능한 수치 (just noticeable differences)의 단위로 보고되는 양이다¹⁸⁾. 이 식은 시각적 역치에 대한 다양한 실험적 자료로부터 얻어진다. CIELAB 색차식은 시각적으로 평가한 평균 색차와 계산된 색차 사이에 상관관계가 있다는 것을 알게 해준다. 대부분의 색 조절의 경우는 두 물체가 색이 일치하거나 일치하지 않는다고 판단함으로써 이루어진다. ΔE^*ab 가 1인 값

을 가진 두 물체는 관찰자가 50%의 빈도로 인정할 수 있는 색 조화를 보인다고 판단하였다^{18,19)}.

Seghi 등¹⁹⁾은 측정된 색차값과 관찰자간의 비교연구에서 단위가 2 이상의 색차를 보인 경우에는 100%의 관찰자 group에서 정확히 판정하였다. 측정값이 1~2의 범위에서는 종종 부정확한 판단을 하였으며, 1 이하일 때에는 부정확한 판단이 더 빈번해졌다. 그의 연구에 의하면, 두 물체 사이의 색차가 1 단위 이상이면 관찰자가 상대적인 차이를 정확히 판단할 가능성이 매우 컸으며, 1 단위 이하의 색차는 평균 관찰자에서 부정확한 판단을 내릴 가능성이 높았다. 1 단위의 색차는 이상적인 조명 하에서 시각적 역치의 상한선 또는 관찰자가 인식가능 수준의 상한선에 대한 좋은 평가 기준이 된다.

Ruyter 등¹⁷⁾은 약 3.3 이하의 값의 색차는 받아들일 수 있다고 하였다. Johnston과 Kao¹⁵⁾는 색이 일치한다고 판단할 수 있는 평균 ΔE^*ab 값을 3.7이라고 하였다. 색조(shades) 사이의 색차는 그 색조가 다른 것 대신에 사용할 수 있는지를 결정하는데 있어서 중요하다. Wozniak²⁰⁾에 의하면 색차를 평가하기 위해 ADA는 CIELAB색차(ΔE^*ab)의 사용을 제안하고 shade guide의 허용한도를 2의 ΔE^*ab 값으로 정하였다. O'Brien 등²¹⁻²³⁾은 색조 사이의 작은 색차의 평가와 일치 혹은 불일치의 관찰에 대한 객관적인 평가는 2~4의 단위의 ΔE^*ab 값 범위 내에서 이루어진다고 하였다. ΔE^*ab 값이 1 이하이면 우수한 색 조화를 보이며 두 색조 사이에 2 이내의 ΔE^*ab 값이면 임상적으로 별 문제는 없으며 3.7 이상의 ΔE^*ab 값은 임상에서 불일치하여 색차를 쉽게 판별할 수 있다. Kueni와 Marcus¹⁸⁾, 그리고 Seghi²⁴⁻²⁶⁾와 Johnston²⁴⁾은 1 단위의 ΔE^*ab 값은 대략 육안판별이 가능한 수치라고 하였다.

치과 영역에서 색을 분석하고 평가하는 데에 3자극치 측색계(tristimulus colorimeter)와 분광광도계(spectrophotometer)를 이용하고 있으며 이러한 색 측정기구는 색의 물리적 특성을 평가하는 것이다. 3자극치 측색계는 인간의 눈에 있는 수용기와 똑같은 특징을 지니고 있는 3색 여과기를 이용하여 반사된 빛의 적, 녹, 청색에 대한 값을 분석하는 기계이다. 분광도계는 반사광의 가시광선 파장 범위에서 spectral power distribution을 측정한다⁴⁾. 색채계의 사용으로 색의 인식에 대한 명확하고 객관적인 진술로서 물리적 측정값의 해석이 가능하다. 분광광도계에 의해 측정된 빛은 400~700nm 사이의 가시광선 파장 내에서 illumination spectrum S와 반사도(reflective property) R의 곱으로 표현된다.

색변화 또는 색차에 대한 정확한 방향적 평가는 매우 유용하며 그러한 결과에 대한 원인을 분석할 수 있게 한다. L*값의 차이(ΔL^*)는 명도 즉 밝기의 차이를 의미한다. Seghi¹⁹⁾에 의하면 자연치에서와 같이 복합레진의 채도는 상

대적으로 낮아서 명도의 차이가 복합레진 사이의 전체적인 색차에 큰 영향을 미친다고 하였으나 본 연구에서는 b*값의 차이가 전체적인 색차를 평가하는데 주된 역할을 했다.

본 연구에서, 중합전, 연마후, shade guide 간의 L*, a*, b*값의 차이는 상대적으로 독특한 경향을 보여준다. 예를 들어, Amelogen Universal과 Z100은 중합과정 중 L*값이 증가하는 경향을 보이는 반면 다른 재료들에서는 감소한다. 또한 Z100은 중합 후 a*값이 증가하지만 *Ælitefil*, Amelogen Universal, Spectrum TPH는 감소하며 VeridonFil-Photo은 일정한 양식을 따르지는 않는다. b*값에 대해서는 모든 레진이 감소하는 경향을 보이나 Z100이 가장 변화가 작다. 이 결과는 L*, a*, b*값의 변화의 양과 방향은 사용된 재료의 종류와 색조에 의해 모두 영향을 받을 수 있다.

중합전과 연마후 간의 색변화는 모든 종류의 복합레진에서 육안으로 판별이 가능했으며 ($\Delta E^*ab > 1.0$), 또한 shade guide와 복합레진의 색차는 Amelogen Universal의 A1과 A3.5 shade, Spectrum TPH의 A3.5 shade, Z100의 B2 shade를 제외하고는 육안으로 판별가능한 수치($\Delta E^*ab > 1.0$)를 보였다. Z100 이외의 모든 복합레진은 중합전과 연마후의 상태간에 만족스럽지 못한 색변화($\Delta E^*ab > 3.3$)를 보였으며, 중합 후 연마한 대부분의 복합레진은 shade guide와의 색차(ΔE^*ab)값이 3.3 이하였으나, *Ælitefil*의 C2 shade, Amelogen Universal의 IE shade는 3.3이상의 ΔE^*ab 값을 나타내었다.

ΔE^*ab 의 평균값을 비교한 결과, 중합 후 연마한 복합레진의 색을 중합전과 비교할 때 Z100이 가장 작았고, *Ælitefil*, VeridonFil-Photo, Spectrum TPH, Amelogen Universal의 순서로 색변화가 증가하였으며, shade guide와의 색차는 Amelogen Universal이 가장 작았고 Spectrum TPH, Z100, VeridonFil-Photo, *Ælitefil*의 순으로 나타났다.

또한 ΔE^*ab 값의 통계적 유의성은 Table 2에서 6사이의 수직선에 의해 표현되었으며 이는 Student-Newman-Kuels test에 의해 0.05 수준에서 통계적으로 유의하지 않음을 나타낸다.

본 연구는 각각의 광중합형 복합레진이 중합과정의 결과 중요한 색변화가 일어남을 보여준다. Seghi 등²⁷⁾은 대조군으로 사용한 화학중합형 복합레진은 중합과정 결과 색 변화가 매우 적다고 보고하였다. 반투명한 물질의 빛반사 특성의 변화 즉 그로 인한 색은 물질의 흡수도 또는 산란도에 있어서의 변화로부터 유래한다²⁸⁾. 현재 통용되는 모든 광중합형 복합레진은 가시광선을 흡수하여 중합과정을 개시하는 자유기(free radical)를 형성하는 화합물을 이용한다. 여기에는 diketone이 organic amine과 결합하는데 이용된다. diketone은 420~450nm 파장 범위에 있는 빛을 흡수하여

홍분된 3가 상태를 형성하고 이 3가 상태는 amine과 함께 중합과정을 개시하는 이온기를 만든다. 이 실험에서 측정된 특징적인 푸른색 영역으로의 이동은 물질의 흡수 특성의 변화결과로 볼 수 있다. 첫 번째 측정 시에는 중합되지 않은 레진에 존재하던 diketone에 의해 푸른 빛이 흡수되고 그 결과 450nm 파장범위 주변에서의 반사가 감소하게 된다. 일단 레진의 중합이 완료되면, 청색 파장 범위내의 빛이 레진에 의해 덜 흡수된다. 즉, 기계의 감지부로 푸른 빛이 더 많이 반사되어 색 공간에서 푸른색 영역으로 색이 이동함을 설명할 수 있다. 이러한 특징적인 반사의 변화는 레진의 노란색조가 감소하는 채도의 변화를 시각적으로 인식할 수 있게 한다. 이러한 정보는 광중합형 복합레진의 색조를 선택하는 과정에서 직접적인 색조선택을 쉽게 하기위해 치아의 실제 색조보다 더 노랗고 채도가 높은 색조를 선택하는 것이 현명하다는 견해를 뒷받침해준다.

Hosoya와 Goto²⁹⁾는 shade guide와 레진 시편 간의 색차는 진하고 어두운 색에서 더 컸다고 보고하였으나 Seghi 등²⁷⁾은 같은 색 계열에서 어두운 색조가 밝은 색조에서보다 작은 색변화를 보이는 경향이 있다고 보고하였다. 그러나, 이 실험에서는 ΔE^*ab 값의 양과 각 색조의 밝기 정도와의 사이에는 특별한 상관관계가 없음을 보여준다.

편평한 시편과 표면에 굴곡이 있는 Vita shade guide tab의 색차 비교시의 기술적인 문제가 색차 측정의 정확성을 제한하고, 또한 색조 tab은 치경부부터 절치부까지 조금씩 색조의 변화를 주고 있다. 그러나, 이러한 문제점에도 불구하고 Vita shade guide에 관한 연구가 이루어졌다^{9,21,30)}. O'Brien등²¹⁾은 A2, B3, C2, D3 색조에 관한 실험에서, L*값은 70보다 큰 값을 보였고, a*값은 C2의 -0.22에서 D3의 0.62까지의 값을 보였고, b*값은 16 이상의 값을 가진다고 보고하였다.

본 연구에서 측정된 색차의 양은 사용된 재료의 종류와 선택된 색조에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 결과 임상에서 복합레진의 색조 결정시 예상되는 변화를 염두에 두어야 하고, 훌륭한 색조 조화를 위해서는 레진 자체로 만든 custom shade guide의 제작이 추천된다.

V. 결 론

5종의 광중합형 복합레진을 이용하여 세가지 다른 조건인 중합전, 연마후, shade guide간의 색차를 분광광도계로 측정하여 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 복합레진의 광중합 전과 후는 유의한 색변화를 보였다 ($p < 0.05$). Z100이외의 모든 복합레진은 중합전과 연마후의 상태간에 만족스럽지 못한 색변화($\Delta E^*ab > 3.3$)를 보였다.
2. 중합 후 연마한 대부분의 복합레진은 shade guide와의

색차(ΔE^*ab)값이 3.3이하였으나, *Ælitefil*의 C2 shade, Amelogen의 IE shade는 3.3이상의 ΔE^*ab 값을 나타내었다.

3. ΔE^*ab 의 평균값을 비교한 결과, 중합 후 연마한 복합 레진의 색을 중합전과 비교할 때 Z100이 가장 작았고, *Ælitefil*, VeridonFil-Photo, Spectrum TPH, Amelogen Universal의 순서로 색변화가 증가하였으며, shade guide와의 색차는 Amelogen Universal이 가장 작았고 Spectrum TPH, Z100, VeridonFil-Photo, *Ælitefil*의 순으로 나타났다.
4. 임상에서 중합전의 실제적인 레진 색조로 치아의 색조와 조화시키는 것보다는 shade guide를 이용하여 색조를 결정하는 것이 더 좋은 방법이나, 보다 나은 색조 조화를 위해서는 레진 자체로 만든 custom shade guide의 제작이 추천된다.

참고 문헌

1. Kim H.S., Um C.M. : Color differences between resin composites and shade guides. *Quintessence Int.* 27: 559-567, 1996.
2. Eldiwany M., Friedl K.H., Powers J.M. : Color stability of light-cured and post-cured composites. *Am J Dent.* 8: 179-181, 1995.
3. Rueggeberg F.A., Harvey D.K., Evans A.L. : Color changes in post-cured heat-treated resin composites. *Am J Dent.* 4: 171-176, 1991.
4. Knispel G. : Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence Int.* 22 : 525-531, 1991.
5. Macentee M. : Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth. *J Oral Rehabil.* 8: 203-208, 1981.
6. Powers J.M., Dennison J.B., Lepeak P.J. : Parameters that affect the color of direct restorative resins. *J Dent Res.* 57: 876-880, 1978.
7. Preston J.D. : Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int.* 16: 47-58, 1985.
8. Sproull R.C. : Color matching in dentistry. Part I. The three dimensional nature of color. *J Prosthet Dent.* 29: 416-424, 1973.
9. Wozniak W.T., Fan P.L., McGill S., Moster J.B., Stanford J.W. : Color comparisons of resin composites of various shade designations. *Dent Mater.* 1: 121-123, 1985.
10. Swift E.J., Hammel S.A., Lund P.S. : Colorimetric evaluation of Vita shade resin composites. *Int J Prosthodont.* 7: 356-361, 1994.
11. Weider S. : A custom shade guide system for composite resins. *J Esthet Dent.* 64: 425-431, 1990.
12. Recommendations on Uniform Color Spaces, Color-Difference Equations, Psychometric Color Terms. CIE publication 15, suppl 2. Paris: Bureau de la CIE, 9-12, 1978.
13. Goldstein G.R. : Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent.* 69: 616-619, 1993.
14. Goodkind R.J. : Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent.* 58: 535-542, 1987.
15. Johnston W.M., Kao E.C. : Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 68 : 819-822, 1989.
16. Jorgenson M.W., Goodkind R.J. : Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimension of color, porcelain thickness, and repeated firings. *J Prosthet Dent.* 42: 96-105, 1979.
17. Ruyter I.E., Nilner K., Moller B. : Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* 3: 246-251, 1987.
18. Kuehni R.G., Marcus R.T. : An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl.* 4:83-91, 1979.
19. Seghi R.R., Hewlett E.R., Kim J. : Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences of translucent dental porcelain. *J Dent Res.* 68 : 1760-1764, 1989.
20. Wozniak W.T. : Proposed guidelines for the acceptance program for dental shade guides. Chicago: American Dental Association. pp. 1-2, 1987.
21. O'Brien W.J., Boenke K.M., Groh C.L. : Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont.* 4: 45-50, 1991.
22. O'Brien W.J., Groh C.L., Boenke K.M. : A one-dimensional color order system for dental shade guides. *Dent Mater.* 5: 371-374, 1989.
23. O'Brien W.J. : A new, small-color-difference equation for dental shades. *J Dent Res.* 69: 1762-1764, 1990.
24. Seghi R.R., Johnston W.M. : Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res.* 68: 1755-1759, 1989.
25. Seghi R.R. : Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. *J Dent Res.* 69: 1180-1183, 1990.
26. Seghi R.R. : The accuracy and precision of two Minolta colorimeters on dental porcelains. *J Dent Res.* 65:230 Abst No 543, 1986.
27. Seghi R.R., Gritz M.D., Kim J. : Colorimetric changes in composites resulting from risible-light-initiated polymerization. *Dent Mater.* 6: 133-137, 1990.
28. Bosch J.J. : Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res.* 74(1) : 374-380, 1995.
29. Hosoya Y., Goto G. : Color differences between light-cured composite resin made shade guides and manufactured shade guides. *Shikwa Gakuho.* 8: 1077-1087, 1990.
30. Schwabacher W.B., Goodkind R.J. : Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent.* 64 : 425-431, 1990.