

광중합원에 따른 복합레진의 색채변화

조영곤 · 김명조

조선대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

COLOR CHANGES IN COMPOSITES
ACCORDING TO VARIOUS LIGHT CURING SOURCES

Young-Gon Cho, Myung-Cho Kim

Department of Conservative Dentistry, College of dentistry, Chosun University

The purpose of this study was to evaluate the color changes of composite resin polymerized with three type of light curing units. Composite resin (Z100, shade A2) were applied in a cylindrical metal mold(2 mm thick, 7 mm diameter).

Twenty specimens according to light curing units were made.

Group1 : the specimens were polymerized with Apollo 95E for 3seconds(1370 mW/cm²).

Group2 : the specimens were polymerized with XL 3000 for 40seconds(480 mW/cm²).

Group3 : the specimens were polymerized with Spectrum 800 for 10 seconds(250 mW/cm²) and 30 seconds(700 mW/cm²).

The microhardness values(VHN) of upper and lower surfaces specimens after light polymerization were measured for the degree of polymerization. All specimens were stored in distilled water at 60℃ for 30 days.

The color characteristics(L*, a*, b*) of the specimens before and after immersion were measured by spectrophotometer and the total color difference (ΔE^*) was computed.

The results obtained were as follows :

1. The microhardness values of Group I showed significantly lower than those of Group II and III (p<0.05).
2. In all groups the ΔE^* values presented below 2.0.
3. Group I showed the highest ΔE^* values followed order from highest to lowest by Group II and III (p<0.05).

Key words : Color changes, Composite, Light curing sources

I. 서 론

광중합 복합레진이 처음 소개된 이후 최근까지 물리적 성질 등의 많은 개선이 이루어져 왔고, 중합방법 또한 계속적으로 발전되고 있다. 1980년대에 소개된 가시광선 중합법은 $468 \pm 20\text{nm}$ 파장¹⁾의 광원이 광중합 복합레진의 성분 중 camphoroquinone이나 다른 diketone을 triplet상태로 활성화시켜 N, N-dimethylaminoethyl methacrylate와 같은 비방향족(지방족이라 불리는) 3차 아민과 상호 작용하여

생긴 자유 라디칼 반응으로 중합이 개시된다²⁾. 이러한 가시광선 중합법은 자가 중합법에 비해 작업시간이 길고, 중합시간이 짧으며, 마무리 과정이 쉽고, 색안정성이 좋은 장점을 가진다.

현재 가시광선 광중합기는 광원으로 tungsten 할로젠 램프를 일반적으로 사용하고 있으며, 이 광중합기는 $400 \sim 600\text{mW/cm}^2$ 의 광도로서 최소 40초의 조사시간이 추천되며³⁾, 비교적 가격이 저렴하다. 그러나, 반복된 사용으로 인한 램프의 흑색화나 백색화, 필라멘트의 소환, 반사기의 기

능저하 등으로 광도의 출력이 감소되고 장시간 조사시 과열되는 단점이 있다⁴⁾. 또한 최대 광도로 연속 40초간 광조사시 레진 점도의 급속한 증가로 인해 중합속도가 가속화되면서 레진의 흐름성이 저하되므로 잔존 응력이 상존하게 되어 이에 따라 수복물의 물성이 저하된다⁵⁾. 이러한 문제점을 개선하고자 1990년대 이후, 광강도와 중합시간을 달리하여 중합하는 "2단계 광중합" (soft-cure photopolymerization 또는 soft start-polymerization) 방법이 소개되었다. Uno와 Asmussen⁶⁾, Unterbrink와 Muessner⁷⁾, Mehl⁸⁾, Koran과 Kurschner⁹⁾ 등은 저 광강도로 초기 중합한 후 고 광강도로 최종 중합하였을 때 변연적합도와 물성이 증가하였다고 보고하였다.

최근, 할로겐 램프에서 발생된 빛을 이용하는 중합기의 단점을 개선하고 긴 조사시간으로 인한 술자와 환자의 불편감을 해소하고자 plasma arc curing (PAC) system이 소개되었다¹⁰⁾. 플라즈마 (plasma)는 미국의 물리학자 Langmuir에 의해 처음 사용된 물리학 용어로서 전기적 방전으로 인해 생기는 전하를 띤 양이온과 전자들의 집단으로 정의되며, 기체가 더 큰 에너지를 받았을 때 상전이와는 다르게 생성되는, 전체적으로 전기적 중성을 띠는 물질의 제4상태라고 불린다¹¹⁾. 플라즈마 arc 램프는 두 전극 사이에서 전자 arc가 형성되고 램프내의 제논(xenon) 가스가 가열되면 강력한 빛을 내는 플라즈마가 형성되는 원리를 이용한 것이다. 빛은 이온화된 분자와 전자의 가스 혼합체 조성에 의한 플라즈마의 증가로 방사된다.

임상적으로 널리 사용되고 있는 가시광선 중합형 복합레진의 초기 중합도는 레진의 조성, 와동의 크기와 변연의 치질, mylar strip의 광투과성, 가시광선의 광도 및 조사시간에 의해 영향을 받게 된다¹²⁾. 특히 광원의 강도와 중합시간은 복합레진의 중합도에 절대적 영향을 주는데, 이러한 중합도는 광중합된 복합레진의 물성을 결정지으며, 체적 안정성, 색조 안정성 및 생체 적합성 등에도 영향을 준다고 보고된 바 있다^{13,14)}.

지난 30여년간 복합레진은 자연치와 유사한 색조의 특성을 지녀 전치부 심미 수복재로 많이 사용되고 있는데, 구강 내에서 환자의 심미적 요구를 충족시켜 주고 성공적인 복합레진 수복을 위해서 복합레진의 색안정성은 상당히 중요한

요소이다. 복합레진을 심미수복재로 사용함에 따라 복합레진의 색안정성에 대한 관심이 증가하였고, 이에 관한 연구도 발표되기 시작하였다. Brauer¹⁵⁾는 제논 램프와 같은 광원에 따른 복합레진의 색안정성에 관한 연구에서 밝은 색조가 어두운 색조보다 더 큰 색변화를 나타냈다고 보고하였다. Seghi 등¹⁴⁾은 9종의 광중합 복합레진의 광중합 과정 동안의 변색에 대한 연구에서 모든 복합레진이 광중합 과정 동안 현저한 변색을 보였음을 보고하였다. Powers 등¹⁶⁾은 복합레진의 가속 시효처리시 수복물에서 유색 반응생성물이 지속적으로 형성되고 마모나 화학적 침식으로 표면에 이물질이 착색할 가능성이 높아져 색안정성의 문제가 발생할 수 있다고 보고하였다. 대부분의 색안정성에 관한 연구는 홍차, 커피 및 콜라와 같은 유색 수용액에 레진 시편을 침적하여 색소의 침투 및 흡착에 따른 색변화를 관찰한 경우와 수분 흡수에 따른 색변화를 관찰한 것으로 광원에 따른 복합레진의 색변화에 관한 보고는 희소하다.

따라서, 본 연구에서는 복합레진(Z100, 색조 A2)을 PAC unit(Apollo 95E), 2종의 할로겐 광중합기(XL 3000과 Spectrum 800)로 중합한 세 군으로 나누어 광중합하여 24시간 보관후 중합도를 평가하기 위해서 각 시편의 상, 하면의 미세경도치(VHN)를 미세경도기(Type M, Shimadzu Co., JAPAN)로 측정하였고, 시편을 60℃ 증류수에 30일간 보관한 가속시험(accelerated test)전, 후에 분광광도계(Spectrophotometer)로 색의 특성변화를 측정하고 전체 색변화량(ΔE^*)을 산출하여 3종의 광중합원에 따른 복합레진의 색변화를 평가하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서는 복합레진으로 Z-100 (3M Dental Products, U.S.A) 색조 A2를 사용하였으며, 광중합기는 PAC unit(Apollo 95E), 2종의 할로겐 광중합기(XL 3000과 Spectrum 800)를 사용하였다(Table 1).

Table 1. Light curing units used in this study

Group	Curing unit	Output,	Curing time	Serial No.	Manufacture
I	Apollo 95E (AP)	1370mW/cm ² ,	3s	11560	DMD, Fleury d' Aude, France
II	XL 3000 (XL)	480mW/cm ² ,	40s	116065	3M, st.paul, MN, USA
III	Spectrum 800 (SP)	250mW/cm ² , → 700mW/cm ² ,	10s 30s	9650	Dentsply Caulk;Miltard, USA

2. 실험방법

1) 시편제작

3종의 광중합기에 따른 미세경도와 색변화 측정을 위해 각각 20개의 시편, 총 60개의 시편을 제작하였다. 시편은 두께 2mm, 내경 7mm의 금속주형을 이용하여 제작하였다(Fig. 1). 시편 제작시 기포발생을 줄이기 위해 금속주형에 플라스틱 기구를 사용해 Z-100(색조 A2)을 충전하고 상, 하 양쪽에 투명한 mylar strip을 위치시킨 후, 두께 1mm의 슬라이드 글라스를 이용하여 금속주형의 상, 하 양쪽에서 압착시켰다.

각 시편의 윗 부분에서 Apollo 95E를 사용해 $1370\text{mW}/\text{cm}^2$ 으로 3초간 광중합한 군을 I 군, XL 3000을 사용해 $480\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 40초간 광중합한 군을 II 군, Spectrum 800을 사용해 초기 $250\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 10초간 광중합한 후 $700\text{mW}/\text{cm}^2$ 로 30초간 광중합한 군을 III 군으로 분류하였다(Table 1).

XL 3000 광중합기는 중합시마다 광도측정기(Curing Radiometer Model 100, Demetron, CT)를 이용하여 검사하였다.

중합이 끝난 시편은 증류수가 채워진 차광용기에 37°C 에서 24시간 동안 보관하였다. 각 시편의 상, 하면은 주수하에서 320-, 400-, 600-, 800-, 1000- & 1200-grit sandpaper (Daesung Abrasive Co., Korea)로 연마하였다. 모든 시편은 2000-grit sandpaper로 양면을 최종 연마하여 시편의 표면 상태가 측정치에 미치는 영향을 줄였다.

2) 미세경도 측정

변사이의 각이 모두 136° 인 피라미드형의 다이아몬드 인덴터가 부착된 미세경도기(Type M, Shimadzu Co., JAPAN)를 이용하여 각 시편의 상, 하면에 25g의 하중을 10초간 적용하였다. 한 시편의 상, 하면 당 3회 측정된 압

흔의 길이는 Vickers hardness number(VHN)로 환산되었고, 그 평균값을 기록하였다.

3) 색의 측정

각 시편의 색특성이 분광광도계(Spectrophotometer, CM-3500d, Minolta, Japan)를 이용하여 SCI(Specular Component Include)모드, 10° standard observer, 표준 광원 D65하에서 지름 3mm의 원형 감지판으로 측정되었고, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 색 공간 좌표인 CIE L^* , a^* , b^* 값으로 기록하였다. 색측정은 시편의 위치를 변화시켜 한 시편 당 3회 시행하여 그 평균값을 기록하였다.

분광광도계는 반사된 빛중 가시광 에너지의 양을 측정하여 CIE 삼자극치(tristimulus) X, Y, Z 값을 얻은 후 수학적 변형에 의해 CIE L^* , a^* , b^* 값으로 표현한다¹⁷⁾. L^* 은 밝기(lightness)를, a^* 는 적색-녹색 정도를, b^* 값은 황색-청색의 정도를 나타낸다¹⁸⁾(Fig. 2). ΔC^* 는 색도 혹은 채도(chromaticity)의 차이를 나타내고 0부터 60까지의 값을 갖는다.

미세경도 측정이 끝난 시편을 증류수로 세척 및 건조시킨 직후 L_0^* , a_0^* , b_0^* 값을 측정하였고, Asmussen¹⁹⁾의 색안정성에 대한 가속시험(accelerated test)에 근거하여 시편을 60°C 증류수에 30일간 광선이 차단된 항온조에서 보관한 후 증류수로 세척 및 건조시킨 직후 L_{30}^* , a_{30}^* , b_{30}^* 값을 측정하였다. 전체 색변화량(ΔE^*)과 색도 혹은 채도의 차이(ΔC^*)는 다음과 같은 식으로 계산하여 평균값을 구하였다.

$$\begin{aligned}\Delta E^* &= \{(L_{30}^* - L_0^*)^2 + (a_{30}^* - a_0^*)^2 + (b_{30}^* - b_0^*)^2\}^{1/2} \\ &= \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \\ \Delta C^* &= \{(a_{30}^* - a_0^*)^2 + (b_{30}^* - b_0^*)^2\}^{1/2} \\ &= \{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}\end{aligned}$$

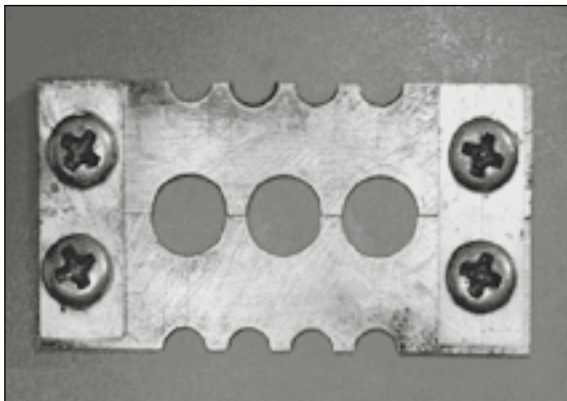


Fig. 1. Separable cylindrical metal mold for sample fabrication

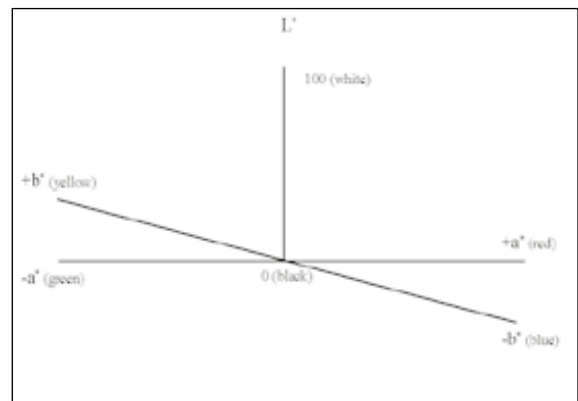


Fig. 2. Diagram of the CIE L^* , a^* , b^* color space

4) 통계학적 분석

통계 프로그램 SPSS 7.5를 이용해서 각 광중합원에 따른 중합후 미세경도치를 비교하기 위해 One-way ANOVA test를 시행하였으며, 중합후 색변화량을 비교하기 위해 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 그리고 Student-Newman-Keuls test로 사후 검정하여 각 군간의 유의성을 평가하였다.

Ⅲ. 실험결과

1. 미세경도 측정

각 군의 미세경도치의 평균과 표준편차는 Table 2와 Fig. 3에 나타나 있다. 모든 군에서 상면의 미세경도치가 하면보다 높게 나타났다. 각 군의 상면과 하면의 미세경도치는 II 군과 III 군이 I 군보다 높게 나타났으며($p < 0.05$) (Table 2, Fig. 3), II 군과 III 군간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$) (Table 2).

Table 2. Microhardness values(VHN) of upper surfaces and lower surfaces of each group(Mean \pm SD)

Group	No. of Sample	Upper surface	Lower surface
I	20	132.0 \pm 12.2*	106.2 \pm 12.0*
Ⅱ	20	162.0 \pm 15.7	138.9 \pm 13.6
Ⅲ	20	158.7 \pm 17.5	140.8 \pm 13.9

I : Apollo 95E, Ⅱ : XL 3000, Ⅲ : Spectrum 800

* : Statistically significant difference between groups ($p < 0.05$)

2. 색변화 측정

각 군의 색특성 ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* 와 전체 색변화량 ΔE^* 는 Table 3에 나타나 있다. ΔL^* 값은 I 군에서 증가를 보였으며 Ⅱ 군과 Ⅲ 군에서는 감소를 나타냈다. I 군이 가장 큰 L^* 값의 변화량을 나타냈고, Ⅲ 군이 가장 작은 변화량을 나타냈다. a^* 값은 I 군, Ⅱ 군, Ⅲ 군 모든 군이 음(-)의 값에서 0에 가까워지는 변화를 나타냈다. b^* 값은 I 군에서는 증가하였으나 Ⅱ 군과 Ⅲ 군에서는 감소를 나타냈다(Fig. 4). ΔC^* 는 I 군에서 가장 큰 C^* 값의 변화량을 보였으며, Ⅲ 군이 가장 작은 변화량을 나타냈다. 전체 색변화량(ΔE^*)은 세 군 모두에서 2이하의 ΔE^* 값을 나타냈으며(Fig. 5), I 군, Ⅱ 군, Ⅲ 군 순으로 큰 ΔE^* 값을 나타냈다($p < 0.05$) (Table 3, Fig. 5).

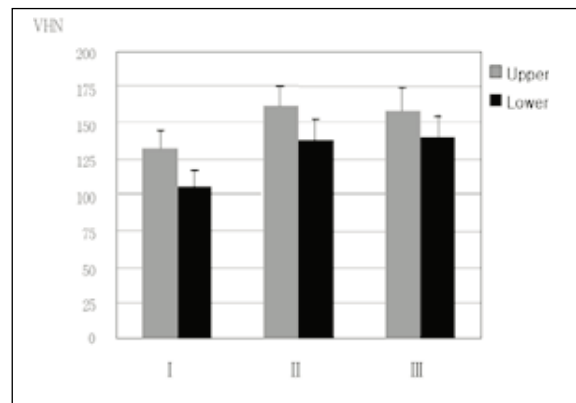


Fig. 3. Graphic representing of mean microhardness values(VHN) of each group

I : Apollo 95E, Ⅱ : XL 3000, Ⅲ : Spectrum 800

Table 3. Result of color changes of group I, Ⅱ and Ⅲ after storing for 30 days in distilled water at 60°C expressed as means

Group	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔE^*
I	0.607 (0.758)	0.578 (0.092)	0.713 (0.564)	0.989 (0.427)	1.256* (0.718)
Ⅱ	-0.532 (0.908)	0.328 (0.043)	-0.176 (0.155)	0.401 (0.054)	0.889* (0.681)
Ⅲ	-0.500 (0.232)	0.277 (0.052)	-0.197 (0.145)	0.366 (0.070)	0.630* (0.212)

ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔC^* : color difference, ΔE^* : total color difference.

I : Apollo 95E, Ⅱ : XL 3000, Ⅲ : Spectrum 800

Standard deviations are in parentheses. * : significant differences ($p < 0.05$)

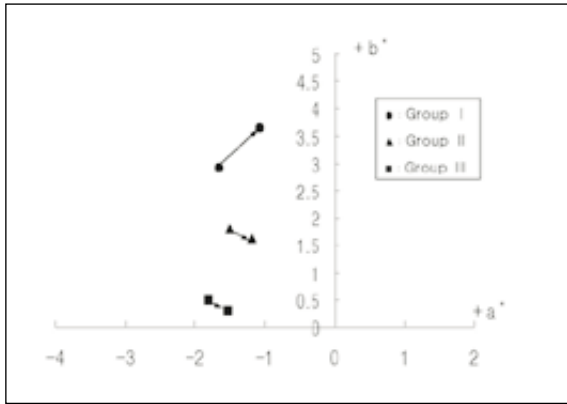


Fig. 4. Graphic representation of the chromatic color changes of group I, II and III produced by storing for 30 days in distilled water at 60°C

IV. 총괄 및 고안

복합레진의 중합반응은 단량체인 methylmethacrylate (MMA)가 개시제(initiator)에 의해 연쇄적으로 서로 결합하여 다량체를 형성해가는 부가 중합반응으로서²⁰⁾, 중합시 모든 단량체가 중합체로 전환되는 것이 바람직하다. 광중합 복합레진에서 중합깊이는 필러크기와 조성, 색조, 재료의 투명성, 레진 단량체의 조성, 중합 촉매제의 농도, 광원의 강도, 광선이 도달되는 거리 등에 좌우된다고 할 수 있다²¹⁾. 광중합 복합레진은 적절한 중합을 얻는데 있어서 광강도에 많이 의존하게 되며, 광중합시 복합레진의 두께가 두꺼워질수록 빛이 흡수되거나 산란되어 빛의 강도와 효율성은 감소하게 된다²²⁾. 현재까지 tungsten 할로겐 광중합기로 복합레진을 중합할 때 400~600mW/cm²의 광도로 연속 40초간³⁾ 광중합하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다. 그러나 이러한 중합방법은 반응시 열을 발생시켜 중합 속도를 더욱 가속화시키며, 레진 점도가 급격히 증가하는 젤 효과로 인해 치질과의 접촉 면에서 수복물의 물성이 저하되게 된다²³⁾. 이를 개선하고자 1990년대 초반, “2단계 광중합”방법이 Goracci 등²⁴⁾에 의해 소개되었는데, 제 5급 복합레진 수복물을 30mW/cm²에서 250mW/cm²로 광강도를 4분동안 점진적으로 변화시켜 광중합하면 250mW/cm²로 40초간 광중합할 때보다 변연적합도가 증가하였다고 보고하였다.

Tungsten 할로겐 광중합기 제품들은 몇 가지의 단점을 가지고 있다. Martin²⁵⁾의 연구에 의하면, 할로겐 전구는 중합을 효과적으로 시킬 수 있는 수명이 100시간 정도로 매우 짧았으며, 할로겐 전구와 반사체 필터는 중합하는 도중 열 발생이 많아 시간이 흐를수록 그 효과가 감소되었다고 보고하였다.

최근에 개발되어 시판되고 있는 PAC unit은 조사되는 광

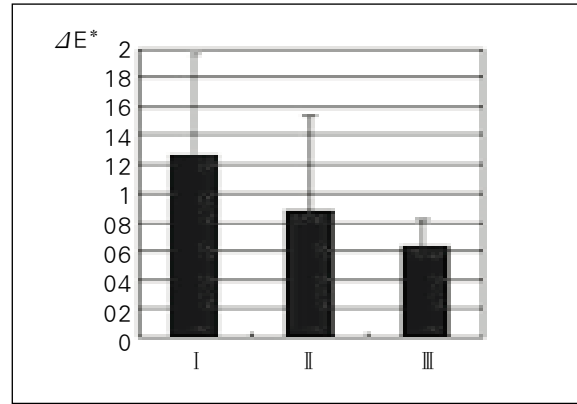


Fig. 5. Total color difference(ΔE^*) in group I, II and III
I : Apollo 95E, II : XL 3000, III : Spectrum 800

도를 1000mW/cm²이상으로 크게 증가시켜 광중합 시간을 5초 이하로 단축시킴으로써, 시술 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있다¹⁰⁾고 소개되고 있어 큰 관심을 모으고 있다. 그러나 아무리 높은 광도를 발생시킨다 할지라도 5초 이하의 짧은 중합시간으로 충분한 중합도를 얻을 수 있는가에 대한 점에는 의문이 생기며, 만약 충분한 중합도가 얻어진다고 해도 다른 문제점들이 발생할 우려도 무시될 수 없다고 생각된다.

복합레진의 중합도를 측정하는 방법으로 여러 가지 방법이 제시되었다. Rueggeberg 등²⁶⁾은 Fourier 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy)을 이용하여 표면의 중합률을 직접 측정하는 방법과 복합레진 표면의 미세경도를 이용하여 간접적으로 측정하는 방법이 복합레진의 표면중합률을 평가하는데 가장 효과적이라고 보고하였다. 미세경도와 중합률의 상관관계 연구에서 Asmussen²⁷⁾, Hansen²⁸⁾과 Backer²⁹⁾ 등은 일반적으로 높은 미세경도치는 중합도가 높다는 것을 시사한다고 보고하였다. Leung 등³⁰⁾은 광중합 복합레진의 중합도를 미세경도로 측정한 결과, 복합레진은 중합 후 1일까지는 지속적으로 중합이 진행되었으나 그 이후로는 차이가 없었다고 보고하였다.

이에 근거하여 본 실험에서는 PAC unit(Apollo 95E)와 2종의 할로겐 광중합기(XL 3000과 Spectrum 800)로 복합레진(Z100, 색조 A2)을 중합하여 24시간 보관한 후, 복합레진의 중합도를 평가하고자 미세경도를 측정하였다.

Peutzfeldt 등¹⁰⁾은 PAC unit를 이용한 복합레진의 중합은 짧은 시간에 가능하지만 전반적인 물성이 낮게 나타나며, 중합수축은 같거나 적다고 보고한 바 있다. Munksgaard 등³¹⁾은 할로겐 광중합기와 PAC unit로 중합한 복합레진(Z100, 색조 A2)의 미반응 단량체량을 비교한 연구

에서 XL 3000(40 seconds)으로 중합한 것에 비해 Apollo 95E(3 seconds)로 중합시 미반응 단량체량이 4배나 많았으며, Apollo 95E(6 seconds)로 중합시에는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.

본 실험에서도 PAC unit(Apollo 95E)로 3초간 광중합한 I 군이 할로겐 광중합기(XL 3000)로 40초간 광중합한 II 군에 비하여 미세경도치가 상, 하면 모두에서 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과는 PAC unit(Apollo 95E)로 중합하는 경우 제조회사의 지시에 따른 3초의 짧은 중합시간으로 복합레진의 충분한 중합도를 얻을 수 없다는 것을 시사한다.

Silikas 등³²⁾은 750mW/cm^2 광강도로 40초간 광중합 할 때와 200mW/cm^2 의 저광강도로 10초간 초기중합 후 750mW/cm^2 고광강도로 30초간 최종중합할 때("2단계 광중합")의 중합률이 비슷했다고 보고하였다. Mehl 등⁸⁾에 의하면 "2단계 광중합"방법이 전통적인 다량 연속 광중합법과 비교하였을 때 미세경도치는 유의한 차이가 없었으나 물성과 변연적합도는 증가하였다고 보고하였다.

본 실험에서도 XL 3000을 사용해 480mW/cm^2 로 40초간 광중합한 II 군과 Spectrum 800을 사용해 초기 250mW/cm^2 로 10초간 광중합한 후 700mW/cm^2 로 30초간 광중합한 III 군 간에는 상, 하면 미세경도치의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). 이러한 결과로 보아 "2단계 광중합"방법과 전통적인 다량 연속 광중합 방법간에 중합도 차이는 없는 것으로 생각된다.

레진의 변색은 내인성 변색과 외인성 변색으로 나눌 수 있다. 내인성 변색은 레진의 기질, 기질과 무기 첨가물의 결합면의 변성과 같은 레진 자체의 변색으로서 아민 경화 촉진제^{3,34)}, 중합체 기질(polymer matrix) 또는 미반응 pendant methacrylate 군의 산화³⁵⁾가 이에 속한다. 외인성 변색은 외인성 색소의 흡착 또는 흡수에 의해 발생되는데³⁴⁾ 이는 표면의 연마 상태³⁶⁾와 연마 방법³⁷⁾에 따라 변색의 정도에 차이를 보이며 커피와 차^{34,38,39)}, 유색 음료⁴⁰⁾, 청량 음료^{38,41)}, 흡연⁴²⁾ 등에 의한 레진의 변색이 보고되었다 또한 Satou 등⁴⁰⁾은 재료의 친수성/소수성의 관계도 수분의 흡수와 변색에 관련한다고 보고하였다.

변색의 정도는 전체 색변화량인 ΔE^* 로 평가되는데 이는 전체적인 색차를 표현하는 것으로 서로 다른 재료간의 L^* , a^* , b^* 값의 차이나 동일재료 내에서 시간의 경과에 따른 L^* , a^* , b^* 값의 차이를 의미한다. ΔE^* 값은 변색 정도의 육안적 평가에 있어서도 중요한 의미를 갖는다. Ruyter 등⁴³⁾은 ΔE^* 값 3.3을 허용 상한선이라 했고, ΔE^* 값이 1보다 크면 색의 변화를 인지할 수 있는 수치라고 보고하였다. Seghi 등⁴⁴⁾은 이상적인 조명하에서 ΔE^* 가 2보다 크면 대부분의 관찰자가 구분해낼 수 있고, 1보다 작으면 덜 분명하다고 보고하였다. Gross와 Moser³⁹⁾는 ΔE^* 값이 0내지 2

이면 변색을 인지할 수 없으나, 2내지 3이면 겨우 인지될 수 있는 정도이고, 3내지 8이면 보통 인지할 수 있으며, 8 이상이면 현저하게 인지할 수 있다고 보고하였다. 그러나 임상과 실험에서 측정치간의 명확한 상관관계를 갖기는 힘들다. 일반적으로 ΔE^* 값이 7이상이면 구강내에서 현저한 변색을 보이며 ΔE^* 값이 2이하이면 색안정성이 있는 것으로 평가한다^{19,45)}. 이에 본 실험에서는 $\Delta E^*=2$ 값을 색변화를 육안으로 인지할 수 있는 기준으로 하였다.

본 실험 결과, 모든 군에서 색변화를 육안으로 인지 가능한 한계치 $\Delta E^*=2$ 이하의 값을 보여 본 실험에 사용된 3종의 광중합원에 따른 복합레진의 색안정성은 임상적으로 식별될 수 있는 큰 색변화가 없는 것으로 생각된다. 김 등⁴⁶⁾의 연구에 의하면 할로겐 광중합기(Visilux II, 3M, U.S.A.)로 중합한 복합레진을 증류수, 인공타액, 초산, 에탄올, 과산화수소 등의 유기용매에 140일 동안 시효처리한 결과, 유기용매중 증류수에서 광중합형 복합레진의 색안정성이 우수하였고 여러 광중합형 복합레진중에서 Z100의 경우가 ΔE^* 값이 2이하로 가장 낮았다고 보고하였다. 이러한 결과는 시편을 증류수에 보관시 중합한 레진기질에 수분이 흡수되면 가소제 역할을 하여 연화작용만 하고 레진기질에 큰 영향을 주지 않기 때문으로 생각된다. Dietschi 등⁴⁷⁾은 복합레진과 글래스 아이오노머 시멘트의 색안정성 연구에서 치석이나 색소의 물리적 흡착, 표면층의 손상이나 착색제의 침투, 재료 내부의 물리-화학적 반응 등으로 변색이 크게 일어날 수 있으나, 단지 수분 흡수만으로 광중합 복합레진이 크게 변색될 수 없다고 보고하였다.

본 실험 결과, 각 군간의 색변화량(ΔE^*) 비교에서 I 군이 II 군과 III 군에 비해 큰 색변화를 보였는데($p < 0.05$), 이러한 결과는 미세경도 측정결과에서 언급된 I 군이 II 군과 III 군에 비해 낮은 중합도를 나타낸 결과때문으로 사료된다.

그러나, II 군과 III 군에서 상, 하면의 미세경도치는 두 군간에 차이가 없었으나($p > 0.05$), 색변화량(ΔE^*)은 III 군이 II 군에 비해 낮게 나타났다($p < 0.05$). 이는 두 군간에 중합도는 비슷하지만 III 군이 II 군에 비해 색안정성이 높다고 할 수 있다. 이러한 결과로 보아 색변화량 측정이 복합레진의 중합도를 평가하는 데 있어서 간접적인 방법으로 고려될 수 있으며, 색변화량 측정이 미세경도 측정보다 정밀한 방법으로 간주될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 60°C 에서 1개월간 보관한 레진의 색변화와 37°C 에서 12개월간 보관한 레진의 색변화가 높은 상관관계를 갖는다는 Asmussen¹⁹⁾의 가속시험을 근거로 중합 24시간 경과 후와 60°C 증류수에서 30일간 보관한 후의 색변화를 비교 관찰하였다. 본 연구에 사용된 60°C 증류수에서의 30일간의 기간은 실제 환자에 적용한 시간으로 환산하면 1년 이상의 기간에 해당된다. 그러나 임상 적용시 발생할 수 있는 응력의 집중, 변색 물질과 광선에의 노출 그리

고 pH나 온도 변화와 같은 외부적 요인들을 배제한 상태에서 증류수에 보관시 발생되는 내적 요소에 의한 변색을 관찰하기 위한 실험이므로 실제 임상에서는 복합적인 여러 요인들에 의해 더욱 큰 변색이 초래될 것으로 생각된다.

본 연구 결과에 의하면, 복합 레진(Z100, shade A2)을 PAC unit(Apollo 95E)로 3초간 중합한 경우에서 2종의 할로젠 광중합기(Spectrum 800, XL 3000)로 중합한 경우보다 중합도가 낮게 나타났으며, 색변화량은 크게 나타났다. 이러한 결과는 PAC unit(Apollo 95E)로 복합레진 중합시 제조회사 지시에 따른 3초로는 적절한 중합이 이루어질 수 없으므로 보다 더 연장된 중합시간이 필요하리라 사료된다.

또한 2종의 할로젠 광중합기로 중합시 "2단계 광중합" 방법(Spectrum800)이 전통적인 다량 연속 광중합 방법(XL 3000)보다 작은 색변화량을 보인 반면, 미세경도값은 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과로 보아 색변화량 측정이 복합레진의 중합도를 평가하는 데 있어서 간접적인 방법으로 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 복합레진을 PAC unit와 할로젠 광중합기로 중합한 후 색변화를 평가하였으나, 향후 더 다양한 광원과 광강도, 조사시간에 따른 복합레진의 색안정성에 대한 연구와 색변화량 측정과 복합레진의 중합도를 평가하는 여러 가지 방법들간의 상관관계에 대한 연구가 더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 복합레진(Z100, 색조 A2)을 PAC unit (Apollo 95E), 2종의 할로젠 광중합기(XL 3000과 Spectrum 800)로 중합한 세 군으로 나누어, 24시간 동안 보관한 후 중합도를 평가하기 위해서 각 시편의 상, 하면의 미세경도치(VHN)를 미세경도기(Type M, Shimadzu Co., JAPAN)로 측정하였고, 시편을 60℃ 증류수에 30일간 보관한 가속시험(accelerated test)전, 후에 분광광도계로 색의 특성변화를 측정하고 전체 색변화량(ΔE^*)을 산출하여 3종의 광중합원에 따른 복합레진의 색변화를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. I 군은 상, 하면 모두에서 II 군과 III 군보다 낮은 미세경도치를 나타냈으며 ($p(0.05)$, II 군과 III 군간에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).
2. 모든 군에서 색변화를 육안으로 인지 가능한 한계치인 $\Delta E^* = 2$ 이하의 색변화량(ΔE^*)을 나타냈다.
3. 전체 색변화량(ΔE^*)은 I 군, II 군, III 군 순으로 큰 색변화를 나타냈다($p(0.05)$).

참고문헌

1. Ruyter, I.E. : Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand.* 40:179-182, 1982.
2. Shintani, H., Inoue, T., Yamaki, M. : Analysis of camphoroquinone invisible light cured composite resins. *Dent Mater.* 1:114-126, 1985.
3. Leung, R., Fan, P., Johnson, W. : Post-irradiation polymerization of visible light activated composite resin. *J Dent Res.* 62:363-365, 1983.
4. Friedman, J. : Care and maintenance of dental curing light. *Dent Today.* 10:1-2, 1991.
5. Carvalho, R.M., Pereira, J.C., Yoshiyama, M., and Pashley, D.H. : A review of polymerization contraction: the incidence of stress development versus stress relief. *Oper Dent.* 21(1):17-24, 1996.
6. Uno, S., Asmussen, E. : Marginal adaptation of restorative resin polymerized at a reduced rate. *Scand J Dent Res.* 99:440-444, 1991.
7. Unterbrink, G.L., Muessner, R. : Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent Res.* 23(3):183-9, 1995.
8. Mehl, A., Hickel, R., Kunzelmann, K.H. : Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without soft start-polymerization. *J Dent Res.* 25(3):321-330, 1997.
9. Koran, P., Kurschner, R. : Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion and degree of polymerization. *Am J Dent.* 11(1):17-22, 1998.
10. Peutzfeldt, A., Sahafi, A., Asmussen, E. : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater.* 16(5):330-6, 2000.
11. Hanyang University Department of Physics. Plasma Application. Laboratory, 2000.
12. Eldiwan, M., Komatsu, S., Powers, J.M. : Curing light intensity affects mechanical properties of composites. *J Dent Res.* 76:73, 1997.
13. Caughman, W.F., Caughman, G.B., Shiflett, R.A., et al. : Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials.* 12:737-740, 1991.
14. Seghi, R.R., Gritz, M.D., J. Kim. : Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dental Mater.* 6:133-137, 1990.
15. Brauer, G.M. : Color changes of composites on exposure to various energy sources. *Dent Mater.* 4:55-59, 1988.
16. Powers, J.M., Barakat, M.M., Ogura, H. : Color and optical properties of posterior composites resin restoration. *Dent Mater.* 4:62-67, 1985.
17. Noie, F., O'Keefe, K.L., Powers, J.M. : Color stability of resin cements after accelerated aging. *Int J Prosth.* 8:51-55, 1995.
18. Swift, E.J., Hammel, S.A., Lund, P.S. : Colorimetric evaluation of vita shade resin composites. *Int J Prosth.* 7:356-361, 1994.
19. Asmussen, E. : An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand.* 39:329-332, 1981.
20. 노병덕·박성호. : 수중 이원중합 레진 시멘트의 중합률 및 세 포 독성에 관한 실험적 연구. *대한치과보존학회지.* 20(1):33-53, 1995.

21. DeWald, J.P., Ferracane, J.L. : A comparison of four modes of evaluation depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res.* 66:727-730, 1982.
22. Vargas, M.A., Cobb, D.S., Schmit, J.L. : Polymerization of composite resins: Argon laser vs conventional light. *Oper Dent.* 23:87-93, 1998.
23. Sakaguchi, R.L., Sasik, C.T., Bunczak, M.A., Douglas, W.H. : Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J Dent Res.* 19(5):312-326, 1991.
24. Goracci, G., et al. : Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. *Quintessence Int.* 27(5):355-362, 1996.
25. Martin, F.E. : A survey of the efficiency of visible light curing units. *J Dent Res.* 26(3): 239-243, 1998.
26. Rueggeberg, F.A., Craig, R.C. : Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 67:932-7, 1988.
27. Asmussen, E. : Restorative resins: hardness and strength vs quality of remaining double bonds. *Scand J Dent Res.* 90:484-489, 1982.
28. Hansen, E.K. : After-polymerization of visible light activated resins : surface hardness vs. light source. *Scand J Dent Res.* 91:406-410, 1983.
29. Backer, J., Dermaut, L., Bruynooghe, W. : The depth of polymerization of visible light-cured composite resins. *Quintessence Int.* 10:693-699, 1985.
30. Leung, R.L., Kahn, R.L., Fan, P.L. : Comparison of depth of polymerization evaluation method for photo-activated composite. *J Dent Res.* 61:300, IADR Abstract # 1095, 1982.
31. Munksgaard, E.C., Peutzfeldt, A., Asmussen, E. : Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. *Eur J Oral Sci.* 108(4):341-5, 2000.
32. Silikas, N., Eliades, G., Watts, D.C. : Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater.* 16(4):292-6, 2000.
33. Asmussen, E. : Factor affecting the color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand.* 41:11-18, 1983.
34. Um, C.M., Ruyter, I.E. : Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int.* 22:377-386, 1991.
35. Ruyter, I.E., Svendsen, S.A. : Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odontol Scand.* 36:75-82, 1978.
36. Hayashi, H., Maejima, K., Kezuka, K., Ogushi, K., Kono, A., Fusayama, T.T. : In vitro study of discoloration of composite resins. *J Prosth Dent.* 32:66-69, 1974.
37. Dodge, W.W., Dale, R.A., Colley, R.L., Duke, E.S. : Comparison of wet and dry finishing of resin composites with aluminium oxide discs. *Dent Mater.* 7(1):18-20, 1991.
38. 엄정문 · 이명중. : 복합레진 변색에 관한 실험적 연구. *대한치과의사협회지.* 15:1009-1012, 1977.
39. Gross, M.D., Moser, J.B. : A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resins. *J Oral Rehab.* 4:311-322, 1977.
40. Satou, N., Khan, A.M., Mastsumae, I., Satou, J., Shintani, H. : In vitro color change of composite-based resins. *Dent Mater.* 5:384-389, 1989.
41. Wozniak, W.T., Muller, T.P., Silverman, R., Moser, J.B. : Photographic assessment of colour changes in cold and heat-cure resins. *J Oral Rehab.* 8:333-339, 1981.
42. Raptis, C.N., Powers, J.M., Fan, P.L., Yu, R. : Staining of composite resins by cigarette smoke. *J Oral Rehab.* 9:367-371, 1982.
43. Ruyter, I.E., Nilner, K., Moller, B. : Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* 13:246-251, 1987.
44. Seghi, R.R., Jonston, W.M., O'Brien, W.J. : Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelain. *J Dent Res.* 68:1755-1759, 1989.
45. Dijken J.W.V. : A clinical evaluation of anterior conventional microfilled and hybrid composite resin filling. *Acta Odontol Scand.* 44:357, 1986.
46. 김철위 · 임범순 · 문현정. : 유기용매에서 치과용 콤포짓트 레진의 시효처리에 따른 표면조도 및 색변화. *대한치과보존학회지.* 26(1):19-33, 1999.
47. Dietchi, D., Campanile, G., Holz, J., Meyer, J.M. : Comparison of the color stability of ten new-generation composites : An in vitro study. *Dent Mater.* 10:353-362, 1994.