

서로 다른 두께를 가진 복합레진의 색 비교

정재은¹, 정경화¹, 손성애¹, 허 복¹, 권용훈², 박정길^{1*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, ²부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

Comparison of the color of composite resins with different thickness

Jae Eun Jung¹, Kyoung-Hwa Jung¹, Sung-Ae Son¹, Bock Hur¹, Yong Hoon Kwon², Jeong-Kil Park^{1*}

Department of conservative dentistry¹, Department of Dental Material², School of Dentistry, Pusan National University, 626-770, Yangsan, Korea

(Received: Apr. 7, 2014; Revised: Jun. 16, 2014; Accepted: Jun. 16, 2014)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.2.85>

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the color of various composite resins with different thickness. To evaluate the color change of the specimens (n = 10), disk-shaped specimens (diameter: 8 mm, thickness: 1, 2, and 3 mm) were filled with 10 composite resins. After light-curing, the specimens were removed from the mold and kept in a dark chamber at 37°C for 24h. The colors of all specimens were measured by a spectrophotometer based on CIE $L^*a^*b^*$ system, and the color difference (ΔE^*) and translucency parameter (TP) were calculated. Data was statistically analyzed by ANOVA and Tukey's test. For the kinds of composite resins, there was no significantly different between ΔL^*_{12} (L^* in 2 mm thickness - L^* in 1 mm thickness) and ΔL^*_{13} (L^* in 3 mm thickness - L^* in 1 mm thickness) but significantly different between Δa^*_{12} and Δa^*_{13} and between Δb^*_{12} and Δb^*_{13} . For resin thickness, there was no significantly different between ΔE^*_{12} and ΔE^*_{13} . All the ΔE^* values of specimens were below the clinical perceptible range ($\Delta E^* < 3.3$). For TP , as the resin thickness increased, the values of TP was decreased and there was significantly different between ΔTP_{12} and ΔTP_{13} . In conclusion, the color change of composite resin depending on thickness was too low to be perceived by the naked eyes and translucency parameter of composite resin was decreased as the resin thickness increased.

KEY WORDS : Color difference, composite resin, translucency parameter, resin thickness

서 론

치아 수복용 재료로써 광중합형 복합레진은 전치부 및 구치부 수복재로 현재 널리 사용되고 있으며, 아울러 접착 술식의 발전과 복합레진의 발달에 따라 직접복합레진 수복의 적응증이 증가하고 있다. 광중합형 복합 레진은 양호한 물리적 성질, 자연치와 비교할 만큼 우수한 심미성 등과 같은 많은 장점을 가지고 있다(Hahnel 등, 2010;

Malhotra 등, 2011).

광중합형 복합레진의 구성은 레진기질로 이용되는 단량체와 실란 처리된 필러, 색을 띠고 있는 산화 금속 그리고 광 개시제인 camphoroquinone과 반응활성제인 3차 아민 등으로 이루어진다. 광중합형 복합레진의 중합반응은 광원에 의한 광 개시제의 활성화와 3차 아민과의 상호작용에 의해 생긴 자유라디칼 반응으로 중합이 개시되며 단량체가 연쇄적으로 서로 결합하여 다량체를 형성해 가는 부가 중합반응이다(Shintani 등, 1985; Davidson 등, 2000). 광중합형 복합레진에서 중합깊이는 필러 크기와 조성, 색조, 재료의 투명성, 레진단량체의 조성, 중합촉매제의 농도와 같은 복합레진 내인적요인에 의해 좌우되지만 광원의 종류, 광원의 세기, 복합레진과 광원의 거리 등과 같은

* 교신저자 : 경상남도 양산시 물금읍 범어리 부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, 박정길

Acknowledgements: This study was supported by 2014 Clinical Research Grant, Pusan National University Dental Hospital

외인적 요인에도 많은 영향을 받는다(Ferracane 등, 1984; Seghi 등, 1990; Caughman 등, 1991). 광중합형 복합레진을 적절히 중합하기 위해서는 광원으로부터 나오는 빛이 레진을 내면을 통과하여 레진의 바닥까지 충분히 도달하여야 하며, 복합레진에서 빛의 투과도에 영향을 주는 또 다른 주요인은 복합레진의 색상과 두께이다(Shortall 등, 1995). 빛의 투과로 이루어지는 중합은 복합레진의 종류에 따라 영향을 받게 되어 있지만 동일한 레진과 같은 색, 광원 및 광조사 시간을 사용했다 하더라도 레진의 두께와 그에 따른 광 투과도의 차이에 따라 중합도와 레진의 물성은 차이가 나게 된다(Myers 등, 1994). 일반적으로 광중합 시 복합레진의 두께가 두꺼워질수록 빛이 흡수되거나 산란되어 빛의 강도와 효율성은 감소하게 된다(Asmussen과 Peutzfeldt, 2003). 광 투과 관점에서 보면, 레진의 모든 성분은 입사광이 중합되지 않은 레진을 통해 투과하는 것을 방해한다. 결과적으로 입사광은 바닥면까지 동일하게 도달하지 못하며 레진 두께에 따라 다른 중합 양상을 타나낸다. 뿐만 아니라 이러한 중합 정도의 차이는 중합된 레진의 밀도에 영향을 미친다(Dewaele 등, 2006; Tomlins 등, 2007; da Silva 등, 2008).

복합 레진의 성분 중 필러는 많은 물리적, 기계적 성질을 결정하기 때문에 중요성을 갖는다. 현재 사용되고 있는 복합 레진은 필러의 종류, 성분과 함량에 따라 flowable type에서 nanohybrid type 레진까지 다양하게 분류할 수 있다(Lin-Gibson 등, 2009). 필러의 크기, 형태 및 함량은 레진의 종류마다 다르지만, 필러는 복합 레진의 강도와 경도를 증가시킬 수 있다, 하지만 이에 반해 필러는 입사광을 산란 시키고 감소 시킨다. 빛이 광 개시제를 활성화 시켜 중합 과정을 개시하기 때문에, 필러 함량과 빛의 감소 특징은 중합 정도 결과에 영향을 끼칠 것이다.

광중합 레진의 장점 중 하나인 심미성에 있어 중요한 요소 중 하나는 색과 관련된 요소일 것이다. 색은 여러 요소에 의해 좌우 되는데 색상, 채도, 명도, 투명도, fluorescence, opalescence, 빛 투과도 및 확산, 표면 거칠기 등이 영향을 미친다(Fondriest, 2003; Brewer 등, 2004; Joiner, 2004).

이러한 요소는 복합 레진의 종류에 따라 다를 수 있으며, 아울러 레진의 두께도 영향을 미칠 수 있을 것이다. 두께의 증가로 인해 중합광의 광 강도가 약하거나 중합기로부터의 거리가 먼 경우에는 복합레진의 종류에 따라 두께에 따른 중합율의 차이가 존재하며 이로 인한 레진 색 변화 및 투명도 차이가 존재할 수 있을 것이다.

현재까지 다양한 필러 조성을 가진 복합레진의 두께에 따른 색 변화에 대해 평가한 연구는 드물었다. 따라서 본 연구의 목적은 필러 함량이 다른 다양한 복합레진의 색

변화와 투명도에 대한 레진 두께의 영향을 알아보기 위함이다.

재료 및 방법

1. 실험재료 (Composite resin)

본 연구를 위해 10 종류의 복합레진[4가지 nanocomposite 레진: Aelite LS Posterior (ALP), Charisma Diamond (CHD), Grandio (GRD), Premise Packable Posterior (PPP); 3가지 microhybrid 레진: Aelite All Purpose Body (ALP), Clearfil AP-X (CAX), Filtek Z250 (Z25); 3가지 flowable 레진: AeliteFlo (ALF), Heliomolar Flow(HMF), Premise Flow (PRF)]을 선택하였고, 모두 A3색을 사용하였다. 이번 실험에 사용한 복합레진의 구성성분을 Table 1에 나타내었다.

2. 시편제작 (Specimen preparation)

색조 측정을 위해 disc 형태의 금속 몰드(직경 8 mm, 두께 1, 2, 3 mm)를 제작하였다. 편평한 바닥의 표면을 위해 얇은 유리 슬라이드 위에서 원통형태의 금속 몰드를 위치시켜 레진을 채우고 유리 슬라이드로 덮고 압력을 가해 상부 표면을 평탄하게 하였다.

복합레진은 제조사의 지시에 따라 조작되고 재료 당 10개씩 중합되었다. 광중합은 시편으로부터 약 1 mm 떨어진 곳에서 20초 동안 광중합 하였고 광중합기는 텅스텐 할로겐 광중합기(Optilux 501, Kerr, Danbury, CT, USA)를 사용하였다. 광중합기의 출력 광도는 약 900mW/cm²이었다. 광중합 후 중합된 시편을 몰드에서 제거한 후 24시간 동안 37°C의 건조하고 어두운 chamber에서 보관 하였다.

3. 색 측정 (Color measurement)

시편의 색조를 reflectance (%R) mode에서 측정하고, 모든 시편 그룹의 L^* , a^* 와 b^* 값은 CIE (Commission Internationale d'Eclairage) $L^*a^*b^*$ 의 분광광도계(spectrophotometer, CM-3600d, Minolta, Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

4. 색 변화(ΔE^*)와 반투명도지수(TP) 측정을 위한 계산 (Calculation of color change and translucency parameter)

색 변화(ΔE^*)는 다음의 공식을 이용하였다.

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

ΔL^* , Δa^* 와 Δb^* 는 두께 1mm 시편의 L^* , a^* 와 b^* 값과의 차이를 나타낸다. L^* 는 밝기에 따른 명도의 정도를 나타내며 0에서 100까지 수로 표시한다. a^* 는 적색(for $+a^*$ value) - 녹색(for $-a^*$ value) 축을 나타내는 지표이며, -60부터 +80까지의 숫자로 표시한다. 값이 클수록 적색을, 값이 적을수록 녹색을 나타낸다. Δa^* 의 양수부호 값은 적색 쪽으로 음수부호 값은 녹색 쪽으로 변화함을 나타낸다. 그리고 b^* 는 황색(for $+b^*$ value) - 청색(for $-b^*$ value)축을 나타내는 지표로 -80부터 +60까지의 숫자로 표시한다. 값이 클수록 황색을, 값이 적을수록 청색을 낸다. Δb^* 의 양수부호 값은 황색 쪽으로 음수부호 값은 청색 쪽으로 변화함을 나타낸다.

반투명도 지수(TP)는 다음의 식을 이용하여 계산 하였다.

$$TP = [(L^*_B - L^*_W)^2 + (a^*_B - a^*_W)^2 + (b^*_B - b^*_W)^2]^{1/2}$$

아래 첨자 B는 검은색 배경($L^*=2.93$, $a^*=0.38$, $b^*=-0.34$)에서 얻은 색 좌표(color coordinate)를, W는 흰색 배경($L^*=93.26$, $a^*=-0.61$, $b^*=2.09$)에서 얻은 색 좌표를 의미한다.

반투명도 지수 변화(ΔTP)는 다음의 공식을 이용하였다.

$$\Delta TP = [(\Delta L^*_B - \Delta L^*_W)^2 + (\Delta a^*_B - \Delta a^*_W)^2 + (\Delta b^*_B - \Delta b^*_W)^2]^{1/2}$$

ΔTP 는 두께 1mm 시편의 TP 값과의 차이를 나타낸다.

5. 통계 분석 (Statistical analysis)

색 변화 및 반투명도 지수 변화는 통계학 소프트웨어 (SPSS, Version 18.0K, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용한 student T test로 분석하였다. p 값은 <0.05 일 때 유의하게 차이 나는 것으로 간주하였다.

결 과

1. 색 측정 값

(Color coordinates of resin composites)

L^* , a^* 와 b^* 측정 값과 ΔL^* , Δa^* 와 Δb^* 계산 값은 Table 2와 3에 나타내었다.

1) ΔL^* (brightness) values

1mm 와 2mm의 L^* 값의 차이인 ΔL^*_{12} 값은 -2.35에서

0.66범위 사이의 값을 나타내었고 1mm와 3mm의 L^* 값의 차이인 ΔL^*_{13} 는 -2.96에서 0.36 사이의 값을 나타내었다. 레진종류와 관계없이 대부분의 레진에서 1mm 보다 2mm 혹은 3mm에서 L^* 값이 감소되는 경향을 보였다. 그러나 명도 차이 값은 경미했고(slight) 비슷한 값들을 보였다.

특히 GRD, CAX 와 ALF의 경우, -1.75에서 -2.96의 범위 값으로 다른 레진들의 값들의 범위(-1.41에서 0.66)보다 컸다. ΔL^*_{12} 와 ΔL^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

2) Δa^* (change along the red-green axis) values

모든 시편에서 Δa^* 는 0.31에서 1.56범위 사이 값으로 경미한 변화(slight change)를 나타내었고 두께가 2mm에서 3mm로 증가할수록 a^* 값이 증가되는 경향을 보였다. Δa^*_{12} 와 Δa^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

3) Δb^* (change along the yellow-blue axis) values

모든 시편에서 Δb^* 는 -0.40에서 1.28의 값으로 경미한 변화(slight change)를 나타내었고 두께가 2mm에서 3mm로 증가할수록 b^* 값이 감소되는 경향을 보였다. Δb^*_{12} 와 Δb^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

2. 색 변화 값

(Color change (ΔE^*) of each resin composite)

레진의 두께에 따른 색 변화 값을 Table 4에 표시하였고, 모든 시편에서 색 변화 값은 0.73에서 3.19 사이의 값들을 나타내었다. 특히 GRD, CAX 와 ALF의 경우, 1.85에서 3.19의 범위 값으로 다른 레진들의 값들의 범위(0.66에서 2.27)보다 컸다. 모든 시편에서 ΔE^* 값은 3.3 이하였다. ΔE^*_{12} 값과 ΔE^*_{13} 값 사이에는 통계학적 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

3. 반투명도 지수(TP)와 변화(ΔTP)

레진의 두께에 따른 반투명도 지수 값과 그 변화 값을 Table 5에 나타내었다. 복합레진의 종류와 관계없이 레진의 두께가 증가할수록 TP 값은 감소하였다. 두께에 따른 반투명도 지수 변화 값인 ΔTP 는 -5.21에서 -12.22 값을 나타내었으며, ΔTP_{12} 값과 ΔTP_{13} 값 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$).

고 찰

복합 레진은 광 개시제, 무기 필러, 단량체, 그리고 다양한 색을 나타내기 위한 산화 금속 등의 혼합물로 구성되어 있다. 복합레진의 여러 가지 성분 중에서 개시제가 흡수하는 빛만이 광중합과정에 사용되고 다른 것에 의해 흡수되는 빛은 열로 손실된다(Chen 등, 2005).

광중합형 복합레진의 중합 양상은 빛의 투과와 연관되어지며 레진 두께에 따라 다른 중합 양상을 나타낸다. 또한 광 투과는 재료의 투명도와 연관될 수 있으며, 필러함량 및 조성에 의한 레진 종류에 따라 레진의 투명도에 차이가 있다. 이러한 레진의 투명도에 따라 레진 두께에 따른 레진의 중합을 및 그로 인한 레진 색에 영향을 미칠 수 있다. 최근 시판되고 있는 레진 제품은 다양한 조성의 필러와 색과 투명도를 조절하기 위해 다양한 무기산화물을 함유한 복합레진들로 구성되어있으나 이들의 색이 레진의 두께에 따라 어떠한 영향을 받고 또한 투명도가 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가 부족하다.

색 변화는 L^* , a^* , b^* 각각의 변수들의 변화를 하나의 값으로 조합한 ΔE^* 단위를 이용하여 양적으로 표현한다. 이 하나의 숫자는 두 색들 사이의 "거리(distance)"를 나타내며, L^* , a^* , b^* 각각의 변수들의 변화를 포함한다. 색 차이를 인지하는 능력이 개인별로 다르기 때문에 인간의 눈이 탐지해낼 수 있는 가장 작은 색 변화가 논쟁의 대상이 되어왔다. "임상적으로 받아들일 수 있는 clinically acceptable)" 색 변화 값, 즉, 눈에 띄지 않거나, 눈에 띄더라도 매우 미묘한 변화를 평가하기 위해 다른 ΔE^* 값의 차이가 제안되어 왔다(Asmussen, 1981; Dijken, 1986; Ragain과 Johnston, 2005). 일반적으로 색 변화의 임상적인 수용성을 위한 역치로서 3.3이상의 ΔE^* 값을 적용한다(Ruyter 등, 1987).

이번 연구에서 사용한 복합레진들은 methacrylate 기질의 재료들이지만 이들의 필러 크기, 형태, 함량은 서로 달랐다. 본 실험 결과에서 모든 시편은 동일한 A3 색을 가지고 있음에도 색 좌표 값에서 차이를 보였다. L^* , a^* , b^* 값은 시편 두께에 따라 각각 다른 49.95~63.14, -3.31~2.82, 4.01~13.24 범위를 보였다. 1mm에서 3mm로 그 두께가 증가할수록 L^* 값이 감소되는 경향을 보였고 이러한 결과는 두께에 따른 밝기 감소를 의미한다. 일반적으로 시편 두께가 증가할수록 색소 함량이 증가하기 때문에 밝기가 감소한다. 또한 이는 두께가 증가할수록 광 개시제가 흡수하는 빛의 양이 감소하는 결과를 나타낼 것이다. 하지만 ΔL^*_{12} 와 ΔL^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차

이가 없었다. 이는 2mm 시편과 3mm 시편과의 밝기 감소 차이가 크게 나지 않음을 보여주는 것으로 밝기감소가 시편 표면에서부터 두께가 증가할수록 일어나지만 일정 깊이(2mm) 이상에서는 영향을 받지 않는 것으로 보여진다. 아울러 두께가 2mm에서 3mm로 증가할수록 a^* 값이 증가되는 경향을 보였고, Δa^*_{12} 와 Δa^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 또한 두께가 2mm에서 3mm로 증가할수록 b^* 값이 감소되는 경향을 보였고, Δb^*_{12} 와 Δb^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 특히 b^* 값의 이러한 결과는 시편 두께에 따른 노란 색조 감소를 의미하는 것이다. 이러한 노란 색조의 감소는 보색 관계에 의해 파란 색 빛의 흡수가 감소하는 것을 나타낸다고 볼 수 있다(Seghi 등, 1990; Uchida 등, 1998; Cho 등, 2003). 하지만 본 실험결과 두께가 증가함에 따라 a^* 값의 증가나 b^* 값의 감소가 매우 미미하여 색 변화의 임상적인 큰 의미는 없는 것으로 사료된다.

레진 변색의 정도는 전체 색 변화량인 ΔE^* 로 평가되는데 이는 전체적인 색차를 표현하는 것으로 ΔE^* 값은 변색 정도의 육안적 평가에 있어서도 중요한 의미를 갖는다. Ruyter 등은 ΔE^* 값 3.3을 허용상한선이라 했는데(Ruyter 등, 1987), 본 실험결과 모든 시편에서 색 변화 값은 0.73에서 3.19사이의 값들을 나타내었다. 모든 시편에서 ΔE^* 값은 3.3 이하였다. ΔE^*_{12} 값과 ΔE^*_{13} 값 사이에는 통계학적 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 이러한 결과는 복합레진의 종류에 따라 그 두께가 증가함에 따라 색의 차이가 발생할 수 있으나 그 변화 정도는 임상적으로 인지할 수준은 아니며, 두께가 2mm에서 3mm로 증가해도 그 색 변화 차이가 크게 나지 않음을 나타낸다. 따라서 레진종류에 상관없이 두께에 따른 레진의 색 차이는 임상에서 크게 문제가 되지 않을 것으로 예상된다.

복합레진은 필러의 함량에 따라 광 투과 및 레진의 물성에 영향을 받는다. 본 연구에서는 다양한 필러함량 조성을 가진 flowable 레진으로부터 nanohybrid 레진까지 여러 종류의 복합레진으로 두께에 따른 색변화를 비교했으나 실험결과 2mm, 3mm 두께에 따른 색 변화 값의 차이가 없는 것으로 보아 레진 두께에 따른 색변화는 필러의 양과 직접적인 연관이 없는 것으로 보여진다. 오히려 두께에 따른 레진 색 변화는 개별 제품 종류에 의존하는 것으로 보인다.

TP는 검은색과 흰색 배경에서의 일정한 두께를 가진 재료 사이의 색 차이이며 투명도는 복합레진의 두께에 훨씬 더 영향을 많이 받는다고 보고되었다(Powers 등, 1978; Miyagawa 등, 1981; Fujita 등, 2005; Kamishima 등, 2005). 이번 실험 결과에서도 복합레진의 종류와 관계없이 레진

의 두께가 증가할수록 TP값은 확연히 감소하였다. 또한 두께에 따른 투명도 감소율이 색 변화값의 차이보다는 월등히 컸으며, ΔTP_{12} 값과 ΔTP_{13} 값 사이에도 통계학적 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 이는 두께가 두꺼워질수록 복합레진 내부의 필러 입자에서 더 많은 광-산란을 일으키고 광-산란 기회의 증가가 더 낮은 TP값을 유도한다고 설명할 수 있다.

결론적으로 복합레진 두께의 증가는 복합레진을 통한 더 많은 광도 감소를 유발하여 궁극적으로 복합레진의 중합율을 비롯한 물리적 성질에 영향을 미칠 것으로 생각되나 레진 색에 미치는 영향은 크지 않다고 사료된다. 또한 이번 실험을 통해 복합레진 두께의 증가는 레진의 밝기나 색 변화 보다 투명도를 더 많이 감소시키며, 이로 인해 레진중합의 광 투과에 더 크게 영향을 미칠 것으로 사료된다.

결 론

본 연구의 목적은 다양한 필러 조성을 가진 수종의 광중합형 복합레진에 있어 레진 두께에 따른 색변화와 투명도를 비교 평가하기 위함이다.

다양한 필러 조성을 가진 10 종류 methacrylate 기질의 복합레진을 대상으로 각 10개씩의 직경 8mm, 두께 1, 2, 3mm의 시편을 제작 하였다. 각 시편들의 L^* , a^* 와 b^* 값을 분광광도계로 측정하고 두께에 따른 색변화(ΔE^*)와 반투명도 지수(TP) 및 그 변화(ΔTP)를 계산하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

복합레진의 종류와 관계없이 두께에 따른 ΔL^*_{12} 값과 ΔL^*_{13} 값 사이에는 유의한 차이가 없었으며 ($p > 0.05$) Δa^*_{12} 값과 Δa^*_{13} 값 사이와 Δb^*_{12} 값과 Δb^*_{13} 값 사이에는 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 두께에 따른 색 변화 값인 ΔE^*_{12} 와 ΔE^*_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 없었고($p > 0.05$), 모든 시편들에서 3.3 이하의 값으로 임상적 인지 수준 아래였다. 레진의 두께가 증가할수록 반투명도 지수인 TP값은 감소하였고 ΔTP_{12} 와 ΔTP_{13} 사이에는 통계학적 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 결론적으로 레진의 두께가 증가함에 따라 색변화는 임상적으로 인지할 수 있는 차이를 보이지 않으며, 투명도는 레진의 두께가 증가할수록 감소한다.

참고문헌

- Asmussen, E (1981). An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand* 39:329-332.
- Asmussen E, Peutzfeldt A (2003). Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci* 111:277-279.
- Brewer JD, Wee A, Seghi R (2004). Advances in color matching. *Dent Clin North Am* 48:341-358.
- Caughman WF, Caughman GB, Shiflett RA., Rueggeberg F, Schuster GS (1991). Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials* 12:737-740.
- Chen YC, Ferracane JL, Prahl SA (2005). A pilot study of a simple photon migration model for predicting depth of cure in dental composite. *Dent Mater* 21: 1075-1086.
- Cho YG, Seo JI, Kim SM, Jeong JH, Lee YG (2003). Color changes in composite resins exposed to xenon lamp. *J Kor Acad Cons Dent* 28:195-202.
- da Silva EM, Poskus LT, Guimarães JG, de Araújo Lima Barcellos A, Fellows CE (2008). Influence of light polymerization modes on degree of conversion and crosslink density of dental composites. *J Mater Sci Mater Med* 19:1027-1032.
- Davidson CL, de Gee AJ (2000). Light-curing units, polymerization, and clinical implications. *J Adhes Dent* 2:167-173.
- Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G (2006). Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater* 22:359-365.
- Dijken J.W.V (1986). A clinical evaluation of anterior conventional microfilled and hybrid composite resin filling. *Acta Odontol Scand* 44:357.
- Ferracane JL, Greener EH (1984). Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins-methods comparison. *J Dent Res* 63:1093-1095.
- Fondriest J (2003). Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent* 23:467-479.
- Fujita M, Kawakami S, Komatsu H, Sano H (2005). Translucency and characteristics of newly developed poly-

- merbased dental tooth coating material. *Dent Mater J* 24:111-116.
- Hahnel S, Henrich A, Bürgers R, Handel G, Rosentritt M (2010). Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year. *Oper Dent* 35:412-419
- Joiner A (2004). Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 32 Suppl 1:3-12.
- Kamishima N, Ikeda T, Sano H (2005). Color and translucency of resin composites for layering techniques. *Dent mater J* 24:428-432.
- Lin-Gibson S, Sung L, Forster AM, Hu H, Cheng Y, Lin NJ (2009). Effects of filler type and content on mechanical properties of photopolymerizable composites measured across two-dimensional combinatorial arrays. *Biomaterials* 5:2084-2094.
- Malhotra N, Mala K, Acharya S (2011). Resin-based composite as a direct esthetic restorative material. *Compend Contin Educ Dent* 32:14-23.
- Miyagawa Y, Powers JM, O'Brien WJ (1981). Optical properties of direct restorative materials. *J Dent Res* 60:890-894.
- Myers ML, Caughman WF, Rueggeberg FA (1994). Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement. *J Prosthodont* 3:149-157.
- Powers JM, Dennison JB, Lepeak PJ (1978). Parameters that affect the color of direct restorative resins. *J Dent Res* 57:876-880.
- Ragain JC, Johnston WM (2000). Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl* 25:278-285.
- Ruyter IE, Nilner K, Moller B (1987). Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 13:246-251.
- Seghi RR, Gritz MD, Kim J (1990). Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dental Mater* 6:133-137.
- Shintani, H, Inoue, T, Yamaki, M (1985). Analysis of camphoroquinone invisible light cured composite resins. *Dent Mater* 1:124-126.
- Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E (1995). Depth of cure of radiation-activated composite restoratives-influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil* 22:337-342.
- Tomlins PH, Palin WM, Shortall AC, Wang RK (2007). Time-resolved simultaneous measurement of group index and physical thickness during photopolymerization of resin-based dental composite. *J Biomed Opt* 12:014020.
- Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK (1998). Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent* 79:372-377.

Table 1. Characteristics of resins tested in this study

| Full name | Composition | | Filler content* vol%/wt% | Manufacturer |
|----------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------|---|
| | Monomer | Filler | | |
| Aelite LS Posterior (ALP) | Bis-EMA, Bis-GMA, TEGDMA | Glass frit, amorphous silica | 74/88 | Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA |
| Grandio (GRD) | Bis-GMA, TEGDMA, UDMA | Ba-Al-Borosilicate glass filler, SiO ₂ nonofillers | 71,4/87 | VOCO, Cuxhaven, Germany |
| Clearfil AP-X (CAX) | Bis-GMA, TEGDMA | Barium glass, silica, SiO ₂ | 70/86 | Kuraray, Tokyo, Japan |
| Z250 (Z25) | Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA | Zirconia, silica, | 60/84,5 | 3M ESPE, St. Paul, MN, USA |
| Premise Packable Posterior (PPP) | Bis-EMA, TEGDMA | Ba-Al-Borosilicate glass filler, Ba glass, silica nanofiller, prepolymerized filler | 71/84 | Kerr, Orange, CA, USA |
| Charisma Diamond (CHD) | TCD-DI-HEA, UDMA | Ba-Al-F-silicate glass, SiO ₂ ,nanofiller | 64,3/81,2 | Heraeus Kulzer, GmbH, Hanau, Germany |
| Aelite All Purpose Body (AAB) | Bis-EMA, TEGDMA | Glass filler, amorphous silica | 55/76 | Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA |
| Premise flow (PRF) | Bis-EMA, TEGDMA | Ba-Al-Borosilicate glass filler, Ba glass, silica nanofiller, prepolymerized filler | 71/84 | Kerr, Orange, CA, USA |
| AeliteFlo (ALF) | Bis-EMA, TEGDMA | Barium lglass, glass filler | 42/60 | Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA |
| Heliomolar flow (HMF) | Bis-GMA, UDMA TEGDMA | YbF ₃ , SiO ₂ | 30/51 | Ivoclar Vivadent, Schann, Liechtenstein |

** According to the manufacturers

Code ALP:Aelite LS Posterior; GRD:Grandio; CAX:Clearfil AP-X; Z2:Z250; PPP:Premise Packable Posterior; CHD:Charisma Diamond; AAB:Aelite All Purpose Body; PRF:Premise flow; ALF:AeliteFlo; HMF:Heliomolar flow

Table 2. CIE L*a*b* color coordinate values of composite resins with different thickness

| Code | 1 mm | | | 2 mm | | | 3 mm | | |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | L* | a* | b* | L* | a* | b* | L* | a* | b* |
| ALP | 61,15±0,26 | 1,74±0,13 | 12,87±0,14 | 61,03±0,49 | 2,41±0,08 | 12,84±0,09 | 61,24±0,45 | 2,45±0,12 | 12,66±0,44 |
| GRD | 55,66±0,38 | -1,68±0,10 | 4,41±0,23 | 53,90±0,29 | -1,27±0,07 | 4,10±0,14 | 53,57±0,64 | -1,13±0,09 | 4,01±0,39 |
| CAX | 52,90±0,27 | 1,85±0,05 | 11,65±0,38 | 50,55±0,18 | 2,82±0,05 | 12,03±0,20 | 49,95±0,38 | 2,75±0,10 | 10,93±0,41 |
| Z25 | 51,54±0,13 | 0,75±0,14 | 13,24±0,20 | 52,20±0,38 | 1,06±0,03 | 12,11±0,24 | 51,90±0,13 | 1,28±0,12 | 12,32±0,53 |
| PPP | 59,70±0,30 | -0,17±0,10 | 12,88±0,23 | 59,24±0,35 | 0,25±0,12 | 12,67±0,54 | 59,67±0,75 | 0,39±0,16 | 12,68±0,75 |
| CHD | 55,49±0,25 | -0,04±0,16 | 9,51±0,43 | 53,68±0,70 | 0,73±0,07 | 10,23±0,44 | 55,06±0,47 | 0,78±0,10 | 10,15±0,23 |
| AAB | 61,30±0,26 | -0,54±0,07 | 9,69±0,22 | 60,90±0,18 | -0,12±0,09 | 9,50±0,12 | 61,45±0,29 | -0,11±0,05 | 9,29±0,25 |
| PRF | 56,10±0,29 | -0,58±0,06 | 10,53±0,29 | 55,44±0,44 | 0,09±0,10 | 11,81±0,30 | 54,69±0,21 | 0,17±0,04 | 11,29±0,22 |
| ALF | 52,67±0,17 | 0,07±0,16 | 7,64±0,28 | 51,04±0,37 | 1,40±0,20 | 8,11±0,59 | 50,16±0,28 | 1,63±0,11 | 7,56±0,18 |
| HMF | 63,09±0,26 | -3,31±0,12 | 7,82±0,36 | 63,14±0,21 | -2,99±0,09 | 8,42±0,16 | 63,45±0,28 | -2,90±0,10 | 8,31±0,25 |

Code ALP:Aelite LS Posterior; GRD:Grandio; CAX:Clearfil AP-X; Z2:Z250; PPP:Premise Packable Posterior; CHD:Charisma Diamond; AAB:Aelite All Purpose Body; PRF:Premise flow; ALF:AeliteFlo; HMF:Heliomolar flow

Table 3. Mean and standard deviation values of color coordinates(ΔL^* , Δa^* , Δb^*) between the resin thickness

| Code | ΔL^*_{12} | ΔL^*_{13} | Δa^*_{12} | Δa^*_{13} | Δb^*_{12} | Δb^*_{13} |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ALP | -0.12±0.61 | 0.08±0.60 | 0.67±0.10 | 0.71±0.17 | -0.02±0.21 | -0.20±0.47 |
| GRD | -1.75±0.62 | -2.08±0.52 | 0.41±0.13 | 0.55±0.15 | -0.32±0.28 | -0.40±0.41 |
| CAX | -2.35±0.44 | -2.96±0.41 | 0.97±0.05 | 0.90±0.09 | 0.38±0.36 | -0.72±0.29 |
| Z25 | 0.66±0.28 | 0.36±0.19 | 0.31±0.12 | 0.52±0.24 | -1.13±0.25 | -0.91±0.70 |
| PPP | -0.46±0.55 | -0.03±0.55 | 0.42±0.18 | 0.56±0.13 | -0.21±0.50 | -0.20±0.73 |
| CHD | -1.80±0.61 | -0.43±0.54 | 0.78±0.16 | 0.82±0.24 | 0.72±0.86 | 0.64±0.39 |
| AAB | -0.40±0.31 | 0.16±0.49 | 0.42±0.11 | 0.43±0.11 | -0.19±0.16 | -0.40±0.43 |
| PRF | -0.66±0.56 | -1.41±0.33 | 0.66±0.09 | 0.75±0.07 | 1.28±0.29 | 0.76±0.43 |
| ALF | -0.63±0.42 | -2.52±0.33 | 1.33±0.09 | 1.56±0.25 | 0.48±0.40 | -0.08±0.30 |
| HMF | 0.05±0.23 | 0.36±0.31 | 0.32±0.08 | 0.41±0.04 | 0.61±0.34 | 0.50±0.23 |
| <i>p</i> -values | <i>P</i> > 0.05 | | <i>P</i> < 0.05 | | <i>P</i> < 0.05 | |

Code ALP:Aelite LS Posterior; GRD:Grandio; CAX:Clearfil AP-X; Z2:Z250; PPP:Premise Packable Posterior; CHD:Charisma Diamond; AAB:Aelite All Purpose Body; PRF:Premise flow; ALF:AeliteFlo; HMF:Heliomolar flow
 ΔL^*_{12} (L^* in 2 mm thickness - L^* in 1 mm thickness) was calculated for each specimen,
 Δa^*_{12} and Δb^*_{12} were calculated by same method,
 ΔL^*_{13} (L^* in 3 mm thickness - L^* in 1 mm thickness) was calculated for each specimen,
 Δa^*_{13} and Δb^*_{13} were calculated by same method.

Table 4. Color changes (ΔE^*) of the specimens of different thickness (mean ± standard deviation)

| Code | ΔE^*_{12} | ΔE^*_{13} |
|------------------|-------------------|-------------------|
| ALP | 0.87±0.25 | 1.00±0.28 |
| GRD | 1.85±0.61 | 2.23±0.49 |
| CAX | 2.59±0.44 | 3.19±0.38 |
| Z25 | 1.36±0.30 | 1.30±0.13 |
| PPP | 0.91±0.31 | 0.96±0.38 |
| CHD | 2.27±0.37 | 1.24±0.42 |
| AAB | 0.66±0.21 | 0.82±0.24 |
| PRF | 1.68±0.21 | 1.80±0.42 |
| ALF | 2.19±0.41 | 2.98±0.33 |
| HMF | 0.73±0.31 | 0.78±0.24 |
| <i>p</i> -values | <i>P</i> > 0.05 | |

Code ALP:Aelite LS Posterior; GRD:Grandio; CAX:Clearfil AP-X; Z2:Z250; PPP:Premise Packable Posterior; CHD:Charisma Diamond; AAB:Aelite All Purpose Body; PRF:Premise flow; ALF:AeliteFlo; HMF:Heliomolar flow
 ΔE^*_{12} (E^* in 2 mm thickness - E^* in 1 mm thickness) was calculated for each specimen,
 ΔE^*_{13} (E^* in 3 mm thickness - E^* in 1 mm thickness) was calculated for each specimen

Table 5. Translucency parameter (*TP*) values and ΔTP of different resin thickness

| Code | 1 mm <i>TP</i> | 2 mm <i>TP</i> | 3 mm <i>TP</i> | ΔTP_{12} | ΔTP_{13} |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| ALP | 8.42±0.62 | 1.55±0.20 | 0.37±0.14 | -6.87±0.48 | -8.05±0.68 |
| GRD | 16.70±0.44 | 7.73±0.52 | 3.50±0.38 | -8.96±0.83 | -13.20±0.65 |
| CAX | 15.11±0.33 | 7.23±0.22 | 3.96±0.27 | -7.88±0.55 | -11.15±0.26 |
| Z25 | 14.38±0.71 | 7.44±1.23 | 3.42±0.14 | -6.95±1.65 | -10.96±0.84 |
| PPP | 9.18±0.50 | 3.96±0.24 | 1.81±0.08 | -5.21±0.46 | -7.37±0.48 |
| CHD | 11.96±0.65 | 5.95±0.48 | 2.79±0.37 | -6.00±0.97 | -9.17±0.43 |
| AAB | 10.11±0.64 | 2.97±0.21 | 1.12±0.12 | -7.14±0.67 | -8.99±0.72 |
| PRF | 13.33±0.43 | 6.64±0.29 | 2.90±0.46 | -6.69±0.41 | -10.43±0.82 |
| ALF | 16.07±0.71 | 8.08±0.35 | 3.11±0.17 | -7.99±0.96 | -12.96±0.63 |
| HMF | 14.92±1.91 | 7.51±0.15 | 2.69±0.18 | -7.40±1.90 | -12.22±1.90 |
| <i>p</i> -values | | | | P < 0,05 | |

Code ALP:Aelite LS Posterior; GRD:Grandio; CAX:Clearfil AP-X; Z2:Z250; PPP:Premise Packable Posterior; CHD:Charisma Diamond; AAB:Aelite All Purpose Body; PRF:Premise flow; ALF:AeliteFlo; HMF:Helimolar flow

ΔTP_{12} (TP of 2 mm - TP of 1 mm) was calculated for each specimen

ΔTP_{13} (TP of 3 mm - TP of 1 mm) was calculated for each specimen