

광중합형 복합레진의 중합 전, 후의 색 성분이 중합률과 굴곡강도에 미치는 영향

유지아¹ · 조병훈^{2*}¹서울대학교 치의학대학원 치의학과, ²서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실, 치의학연구소

ABSTRACT

Effects of the color components of light-cured composite resin before and after polymerization on degree of conversion and flexural strength

Ji-A Yoo¹, Byeong-Hoon Cho²¹Department of Dentistry, Seoul National University School of Dentistry,²Department of Conservative Dentistry, Seoul National University School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul, Korea

Objectives: This study investigated the effects of the color components of light-cured composite resin before and after polymerization on degree of conversion (DC) and biaxial flexural strength (FS).

Materials and Methods: Four enamel shades (A1, A2, A3, A4) and two dentin shades (A2O, A3O) of Premisa (Kerr Co.) and Denfil (Vericom Co.) were evaluated on their CIE L*, a*, b* color components using the spectrophotometer before curing, after curing and at 7 day. The DC of same specimens were measured with Near-infrared spectrometer (Nexus, Thermo Nicolet Co.) at 2 hr after cure and at 7 day. Finally, the FS was obtained after all the other measurements were completed at 7 day. The correlations between each color component and DC and FS were evaluated.

Results: The light-curing of composite resin resulted in color changes of Premisa in red-blue direction and Denfil in green-blue direction. The DC and FS were affected by product, time and shade (3-way ANOVA, $p < 0.05$) and product and shade (2-way ANOVA, $p < 0.05$), respectively. Premisa only showed a significant correlation between the DC and CIE a* component - before and after polymerization (Pearson product moment correlation, $p < 0.05$). The FS of Premisa showed significant negative correlations with CIE a* and CIE b* components.

Conclusions: The DC and FS of the light-curing composite resin were affected by the color components of the material before and after polymerization. [J Kor Acad Cons Dent 2011;36(4):324-335.]

Key words: Biaxial flexural strength; CIE Lab*; Degree of conversion; Light-cured composite resin; Shade
-Received 29 January 2011; revised 8 March 2011; accepted 5 July 2011-

¹Yoo JA, BS, Graduate Student, Department of Dentistry, Seoul National University School of Dentistry²Cho BH, DDS, Ph.D, Professor, Department of Conservative Dentistry, Seoul National University School of Dentistry and Dental Research Institute, Seoul, Korea

*Correspondence to Byeong-Hoon Cho, DDS, PhD.

Professor, Department of Conservative Dentistry, Seoul National University School of Dentistry and Dental Research Institute, 28-2 Yeongeondong, Jongro-gu, Seoul, Korea 110-749

TEL, +82-2-2072-3514; FAX, +82-2-764-3514; E-mail, chobh@snu.ac.kr

※ This work was supported by the Korea Research Foundation (KRF) grant funded by the Korean government (MEST, No. 2009-0070771).

서론

1970년대 후반 광중합형 복합레진(composite resin)이 소개된 이래, 수복용 복합레진은 지속적인 기질 레진(matrix)과 충전재(filler)의 개발을 통해 현재는 매우 다양한 종류의 제품이 시판되어 치과용 수복재로서 널리 사용되고 있다.¹ 수복용 복합레진의 물리적, 기계적 성질은 단량체(monomer)로서 각각 존재하던 탄소 이중결합($C=C$)이 단일결합($C-C$)으로 연결된 중합체 구조를 형성하는 중합과정에서의 전환(conversion) 수준에 따라 결정된다. 그러나 중합전환은 중합체 연결구조(polymer network)의 유리화(vitrification)에 의해 제한을 받기 때문에, 광중합 복합레진의 중합전환 수준은 전형적으로 55 - 75% 범위에 머물게 된다.^{2,3} 복합레진의 중합이 부적절하면, 색 안정성이 떨어지고 수복물의 수명이 단축된다.⁴ 또한, 중합률(DC, degree of conversion)이 불충분한 경우 내마모성이 떨어지고 치아조직과의 접착력도 약해진다. 여러 연구에 의하면, 중합 반응 동안 중합되지 않고 수복물 속에 남아있던 단량체가 방출되면, 박테리아의 성장을 촉진하고 과민반응을 일으키는 것으로 알려져 있다.⁵⁻⁷ 또한 단량체는 가소제(plasticizer)로 작용하여 기계적인 물성을 떨어뜨린다.⁸

광중합은 복합레진의 조성, 와동의 기하학적 형태, 광개시제(photoinitiator)의 농도와 조사광의 강도, 등에도 영향을 받게 된다. 복합레진의 중합 깊이에 영향을 미치는 요인에는 무기 충전재의 조성, 색조, 투명도, 광원 그리고 광중합기 끝으로부터의 거리 등이 있다.⁹⁻¹⁸ 이 중에서도, 중합광의 광강도가 약하거나 중합기로부터의 거리가 먼 경우에는 복합레진의 색조에 따라 동일한 중합 깊이에서도 중합률이 달라지며,¹⁹ 중합광의 종류에 따라서는 색조별로 어두운 색조일수록 중합깊이가 얕아지며 깊은 부위에서 경도가 낮고,²⁰ light yellow 색조에서 중합률과 파절강도가 가장 크고 universal, dark yellow 색조의 순서로 감소된다는 보고도 있다.²¹

복합레진의 여러 가지 성분 중에서 개시제(initiator), 단

량체(monomer)/comonomer 레진, 그리고 치아 색조를 위해 첨가되는 tint 세 가지만 빛을 흡수하는데, 개시제가 흡수하는 빛만이 광중합 과정에 사용되고 다른 것에 의해 흡수되는 빛은 열로 손실 된다.²² 따라서, 색조(shade)나 불투명도(opacity)를 위해 첨가된 무기 산화물의 조성에 따라 중합률과 기계적 물성에 영향을 미칠 수 있다. 최근 시판되고 있는 제품은 다양한 색조와 불투명도를 재현하기 위해 다양한 무기 산화물을 함유한 복합레진들로 구성되어 있으나, 이들 제품들의 색조, 특히 색성분 중 어느 성분요소가 중합률과 물성에 영향을 미치는가에 대한 연구가 부족하다. 또한, 복합레진의 중합 깊이에 영향을 미치는 요인인 무기 충전재의 조성, 색조, 투명도, 광원 그리고 광중합기 끝으로부터의 거리 중, 복합레진의 색조는 대개 주관적인 Vita shade scale에 따라 분류되어 정량화된 연구가 어려웠다.

이에 본 연구에서는 복합레진의 중합 전, 후의 색조의 차이에 의한 중합 후의 중합률과 물성의 차이는 없다는 귀무가설을 검증하기 위하여, 복합레진의 각 시편에서 색조를 색 성분요소인 CIE Lab* 각 성분요소로 측정하고, 동일 시편에 대해서 중합률과 2축 굴곡강도(biaxial flexural strength)를 측정하여 이들의 상관관계를 비교함으로써 복합레진의 색 성분요소가 중합률과 물성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

실험 재료 및 방법

1. 실험재료

시판되고 있는 두 종류의 복합레진 Premisa (Kerr Co, Orange, CA, USA)와 Denfil (Vericom Co., Anyang, Korea)을 선정하여, 범랑질 색조와 상아질 색조를 각각 4단계와 2단계로 준비하였다. 범랑질 색조 A1, A2, A3, A4 그리고 A2, A3의 상아질 색조(Premisa는 dentin-A2, dentin-A3, Denfil은 A2O, A3O가 각각 이에 해당)를 사용하였다(Table 1).

Table 1. Compositions of resin matrix and fillers of the resin composites used in this study

Resin composite	Type	Resin matrix	Filler	% Filler by weight	Mean particle size of filler	Manufacturer
Denfil	Microhybrid	Bis-GMA, TEGDMA	Barium aluminosilicate Fumed silica	80	Glass: < 1 μ m Silica: 0.04 μ m	Vericom, Anyang, Korea
Premisa	Nanohybrid	Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA	Barium aluminosilicate glass, silica nanofiller, PPF, barium glass, discrete nanofiller	84 (69 vol.%)	Glass: 0.4 μ m Silica: 0.02 μ m	Kerr, Orange, CA, USA

*Data described in this table were provided by the manufacturers.

Bis-GMA, Bisphenol A glycidyl methacrylate; TEGDMA, Triethylene glycol dimethacrylate; Bis-EMA, Ethoxylated bisphenol A dimethacrylate; PPF, Prepolymerized filler.

2. 실험방법

1) 시편의 준비

한 개의 시편에서 분광광도계(spectrophotometer)를 이용한 색 측정과 근적외선분광기(NIR, Near Infra-Red spectroscopy)를 이용한 중합률을 측정한 후, 마지막으로 2축 굴곡강도(ISO 규격 6872-1995) 측정을 모두 실시하여 이들의 상관관계를 얻기 위하여 지름 14 mm, 두께 2 mm의 원판형의 시편을 고안하였다.

가로, 세로 각 20 mm, 두께 2 mm의 정사각형 테플론판 중앙에 지름 14 mm의 원형 구멍을 뚫어 시편의 주형을 제작했다. 중합 전 복합레진의 외형 유지와 균일한 표면 형성을 위하여, 130 μ m 두께의 cover glass 위에 시편의 주형을 얹고 주형 중앙의 구멍에 복합레진을 압입한 후 상면에 동일한 cover glass를 덮은 후 문구용 집게로 고정하였다. 중합 전 각 주형의 두께와 cover glass의 두께를 마이크로 미터(No. 193-111, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)로 측정하고, 전체 시편의 두께에서 cover glass의 두께를 감하여 실제 복합레진의 두께를 산출하였다. 중합 전의 시편에 대하여, 분광광도계를 사용하여 중합 전의 색을 측정하고, 근적외선분광기를 이용하여 중합 전의 근적외선 스펙트럼을 얻은 후에 IR (Infra-Red) holder에서 집게로 고정된 시편을 꺼내어 가시광선 중합기(Hilux Ultra+, Benlioglu Dental Inc., Ankara, Turkey; Intensity: more than 500 mW/cm²)로 40초간 조사하여 중합하였다. 중합 직후, 색을 다시 측정하고, 중합 후 2시간에 각 시편의 두께를 다시 측정한 후, 중합 후의 근적외선 스펙트럼을 얻었다. 중합 후 7일에 각 시편의 두께를 측정하고, 색 측정치와 근적외선 스펙트럼을 얻은 후, 마지막으로 cover glass와 주형을 제거하고 원판형의 시편에 대해 2축 굴곡강도 측정 기구를 이용한 파절실험을 시행하였다.

2) 색 측정

색조의 평가는 분광광도계(Color-Eye 7000A, GretagMacbeth, Regensdorf, Switzerland)를 사용하여 각 시편의 중합 전과 중합 직후, 중합 7일 후의 색조를 CIE L*, a*, b* 값으로 측정하였다. 광원은 D65를 사용하였고, 배경으로는 백색교정판을 사용하였다. 각 색조 당 10개의 시편에 대해 매 시편 당 세 부위에서 CIE L*, a*, b* 값을 측정하고 그 평균값을 취하였다.

3) 중합률 측정

복합레진의 물성을 평가하기 위해 널리 사용되는 평가지표로 중합률이 있다. 복합레진의 중합률은 중합수축, 경도, 및 강도 등에 영향을 미치기 때문이다. 중합률은 중합하는 동안 반응한 탄소 이중 결합의 백분율이다. 근적외선에 의

한 methacrylate (=CH₂)기는 대략 6,165 cm⁻¹ 부근에서 측정되며, 단량체의 종류에 따라 6,162 cm⁻¹에서 6,167 cm⁻¹까지 흡수 위치의 차이가 있다.²³ 본 연구에서는 중합수축에 의한 두께의 변화를 보정하기 위하여 중합 전, 후 각각 측정한 시편의 두께와 standard baseline technique을 이용하여 근적외선 스펙트럼의 6,163.8 cm⁻¹에서 얻은 methacrylate기의 흡수 peak 값으로 다음의 식에 의해 중합률을 구하였다.

$$DC(\%) = \left(1 - \frac{\text{absorbance}(6163.8 \text{ cm}^{-1}) / \text{thickness (mm)} [\text{after - cure}]}{\text{absorbance}(6163.8 \text{ cm}^{-1}) / \text{thickness (mm)} [\text{before - cure}]}\right) \times 100$$

근적외선분광기(Nexus, Thermo Nicolet Co., Madison, WI, USA)의 광원은 white light를 사용하였고, absorbance mode하에서 해상도(resolution) 8, 스캔횟수(scan number) 256의 조건으로 4,000 cm⁻¹에서 7,000 cm⁻¹ 영역의 근적외선 스펙트럼을 구하였다. 배경 스펙트럼(background spectrum)은 IR 몰드를 비운 상태에서 측정하였다.

4) 강도 측정

2축 굴곡강도는 재료의 기계적 성능을 평가하는 항목으로 널리 사용된다. 본 연구에서는 각 군에서 색조와 중합률을 측정한 10개의 시편에 대해 측정용 assembly를 이용하여 만능시험기(Universal testing machine, Instron model 4465, Instron, Darmstadt, Germany)에서 2축 굴곡강도를 측정하였다. 측정용 assembly는 ISO규격 6872-1995에 따라 제작하였다(Figure 1). 시편이 위치하는 곳은 지름 14 mm의 시편 지지대이다. 시험용 시편의 지지를 담당하는 부분은 지름 3 mm인 3개의 철구(steel ball)를 120° 간격으로 배치하여 각 철구의 중심을 연결하였을 때, 10 mm의 원(지지대 원, support circle)을 이루게 하였다. 하중은 이 원의 중심을 향하며, 하중을 가하는 철봉(steel rod)의 하단 부분(하중 영역, loading area)은 지름 1.5 mm의 원형 평면이다. 시험용 시편, 지지대, 그리고 하중 영역의 중심은 모두 일치하였다. 또한, 만능시험기로부터 측정용 assembly로 하중을 전달하는 철봉의 상단은 지름 5 mm의 철구로 고안하였다.

만능시험기에 측정용 assembly를 위치시킨 후, 시편 지지대에 시편을 놓고 하중을 가하여 파절실험을 진행하였다. 만능시험기의 하중속도(loading speed)는 1 mm/min을 유지하였다. 시편이 부러질 때의 최대 하중(peak load)을 kg중 단위로 측정하여 다음의 식을 통해 2축 굴곡 응력(biaxial flexural stress, maximum center tensile stress) 값을 계산하여 단위크기의 재료의 2축 굴곡강도 값으로 사용하였다. 계산 시에는 측정한 최대 하중에 철봉의 무게(38.735 g)를 가산하였다.

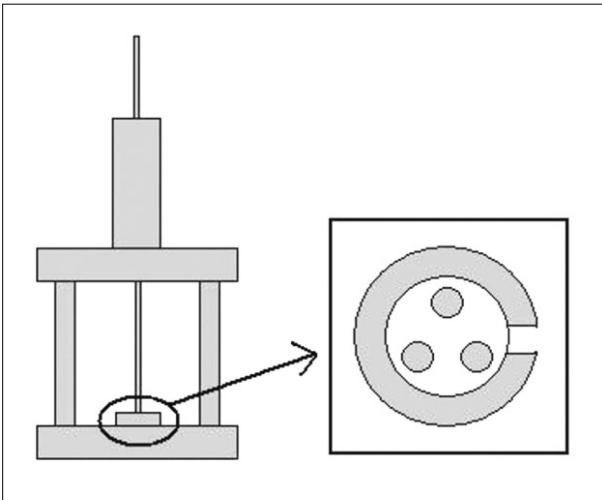


Figure 1. Measurement assembly for measuring biaxial flexural strength. The assembly had a specimen support and a loading steel rod, which was used in a universal testing machine. For the support of the test specimen, three steel balls with a diameter of 3.0 mm, positioned 120° apart on a support circle with a diameter of 10 mm, was provided. The sample was placed concentrically on these supports and the load was applied with a flat punch with a diameter of 1.5 mm at the center of the specimen.

문헌에 의하면 치과용 복합레진의 Poisson's ratio는 0.24 - 0.35 범위인 것으로 알려져 있다.^{24,25} 본 실험에 사용된 복합레진의 기질 레진과 비슷한 Bisphenol A glycidyl methacrylate (BisGMA), Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA), Urethane dimethacrylate (UDMA), Ethoxylated bisphenol A dimethacrylate (BisEMA)로 구성되며, 충전제(0.01 - 3.5 μ m)를 60 vol%의 비율로 포함한 복합레진인 Z-250 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)의 Poisson's ratio인 0.308을 임의로 사용하였다.²⁶

$$S = -0.2387P(X - Y) / d^2$$

여기서,

S = 2축 굴곡 변형력(maximum center tensile stress, MPa)

P = 파절을 일으킨 총 하중(철봉의 무게 포함, N)

$$X = (1 + \nu) \ln(r_2/r_3)^2 + [(1 - \nu)/2](r_2/r_3)^2$$

$$Y = (1 + \nu)[1 + \ln(r_1/r_3)^2 + (1 - \nu)(r_1/r_3)^2]$$

ν = Poisson's ratio

r_1 = 지지대 원의 반지름(5 mm)

r_2 = 하중 영역의 반지름(0.75 mm)

r_3 = 시험용 시편의 반지름(mm)

d = 시편의 두께(mm)

5) 통계처리

2제품, 6개 색조에 대해, 2시간과 7일에 중합률을 측정된 결과에 대하여 삼원분산분석(3-way ANOVA)을 시행하였다. 제품, 색조, 시간대 별 차이를 비교하고, 제품, 색조, 시간 요소 간의 교호작용을 평가하였다. 색과 중합률을 측정된 동일 시편에 대해 강도를 측정하였기 때문에, 강도는 최종적으로 7일 후에만 측정하였고 이원분산분석(2-way ANOVA)을 시행하여 비교하였다. 중합률과 강도 분석에서 사후검증은 Tukey test를 사용하였다. 모든 통계 분석은 95% 신뢰수준에서 검증하였다. 색 요소인 CIE L^* , a^* , b^* 각각의 값과 중합률, 및 2축 굴곡강도의 상관관계는 Pearson product moment correlation 방법으로 구하였다.

결 과

1. 색(CIE L^* , a^* , b^*) 측정

중합 전과 중합 직후, 그리고 중합 7일 후의 색조를 비교하기 위한 분광광도계 분석에서, 두 제품의 시편은 모두 각 측정 시점에서 색 요소가 변하였으며, 서로 다른 색 변화 양상을 보였다.

명도에 해당하는 CIE L^* 값이 Denfil과 Premisa 모두 중합 직후에 크게 감소하였지만, 중합 7일 후에는 중합 직후에 비해 조금 증가하였다(Figure 2). CIE a^* (red-green axis) 값의 변화는 두 제품의 시편에서 각각 다른 양상을 보였는데, Denfil의 경우 중합 직후에 CIE a^* 값은 감소하였지만, 중합 7일 후에는 조금 증가되는 경향을 보였다. 반면에 Premisa에서는 CIE a^* 값이 점점 증가하여 붉은 색조가 증가되었다(Figures 3a and 3b). CIE b^* (yellow-blue axis) 값은 Denfil과 Premisa 모두 중합 직후에 서부터 중합 7일 후까지 지속적으로 감소하여 청색조가 증가되었다. 단, 한 경우의 예외가 관찰되었는데, Premisa의 A3 색조에서는 중합 직후 CIE b^* 값이 감소한 이후 중합 7일 후에는 다시 조금 증가되는 변화를 보였다(Figures 4a and 4b). CIE a^* 값 및 CIE b^* 값 모두 Denfil에서는 중합 전후에 급격하게 변하고, 이후 그 변화가 적은 반면, Premisa의 경우에는 초기 변화가 적고 이후에는 지속적으로 더 큰 변화를 보인다. 즉, CIE a^* 값과 CIE b^* 값의 변화를 종합하면, Premisa는 지속적으로 적청(red-blue)의 방향으로 색조가 변화하고, Denfil은 녹색(green-blue)의 방향으로 변화하였다.

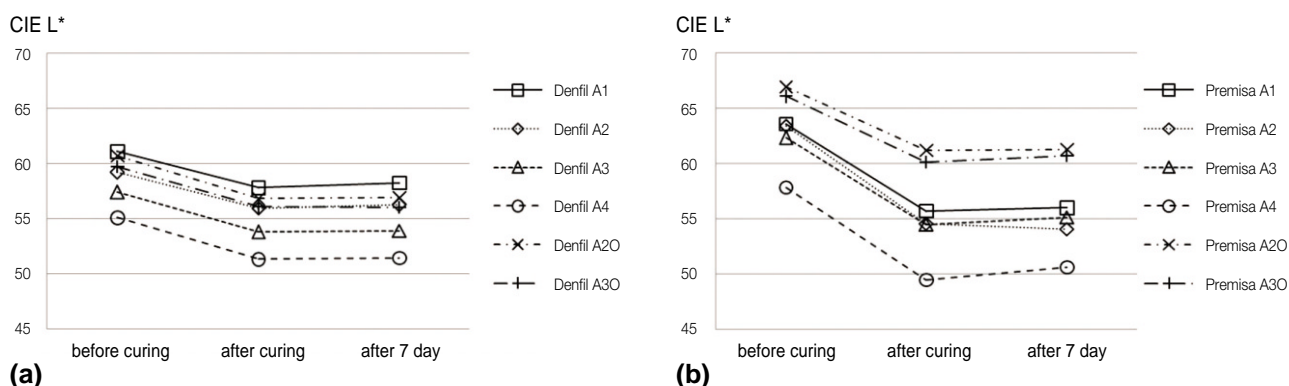


Figure 2. Changes in CIE L* values of each shade of (a) Premisa and (b) Denfil. Both products showed a relatively great decrease in the value (lightness) of each shade after curing. However, until 7 days, the values were a little increased.

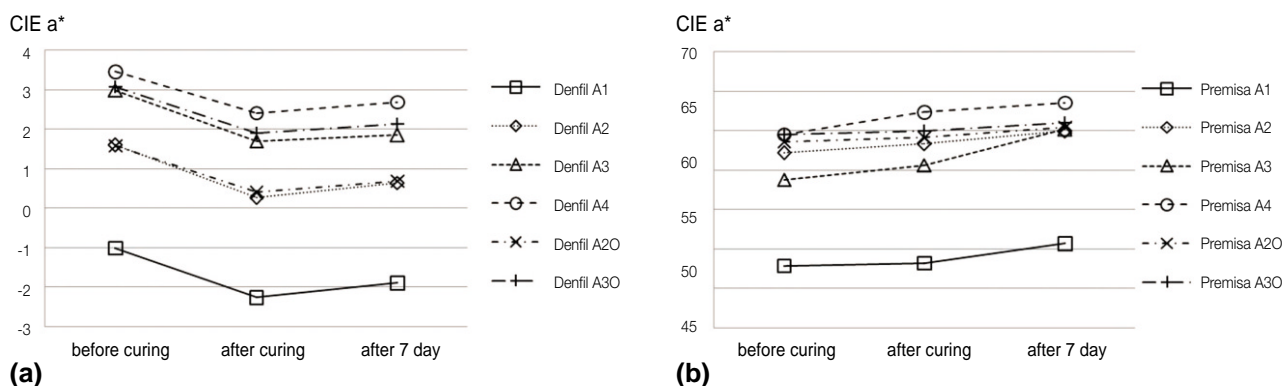


Figure 3. Changes in CIE a* values of each shade of Premisa and Denfil. (a) The products of Denfil showed a relatively great decrease in the redness of each shade after curing. However, until 7 days, the values were a little increased. (b) The products of Premisa showed a gradual increase in the redness of each shade after curing.

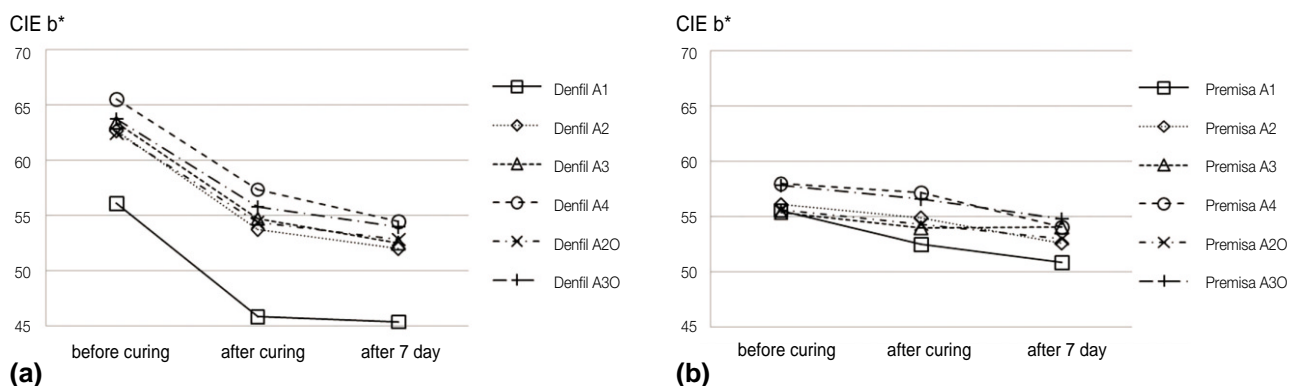


Figure 4. Changes in CIE b* values of each shade of (a) Denfil and (b) Premisa. Both products showed a gradual decrease in the yellowness of each shade after curing.

2. 중합률 측정

두 제품 간의 중합률은 통계적으로 유의한 차이가 있었으며(3-way ANOVA, $p < 0.05$, Table 2), Denfil보다 Premisa에서 높은 중합률을 보였다. 이러한 차이는 중합 2 시간 후의 중합률에서 현저한 차이를 보였기 때문이며($p < 0.05$), 중합 7일 후의 중합률은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 중합 2 시간 후에 비하여, 중합 7일 후의 중합률이 유의하게 상승하였다(3-way ANOVA, $p < 0.05$). 2시간 후의 중합률 분석에서, Denfil은 평균 68.2% (A2) - 69.4% (A3)의 분포를 보였고(Figure 5a), Premisa는 평균 68.9% (A1) - 72.7% (A2)의 분포를 보였고(Figure 5b). 중합 7일 후의 중합률은 Denfil에서 75.1% (A2) - 75.9% (A2O), Premisa에서 73.9% (A4) - 76.4% (A3)로 나타났다(Table 2). 또한, 중합률은 색조의 영향을 받는 것으로 나타났다(3-way ANOVA, $p = 0.002$). 측정시간에 따른

중합률은 재료에 따라서 서로 달라지게 되므로 교호작용이 있다고 할 수 있다($p < 0.05$). 또한 색조도 재료에 따라 서로 다른 결과를 보였으나($p = 0.003$), 시간에 따른 차이는 색조와 관계없이 항상 차이가 있어 교호작용이 없었다($p = 0.129$, Table 2).

3. 강도 측정

중합 7일 후 2축 굴곡강도의 측정 결과, Denfil이 Premisa에 비해 통계적으로 유의하게 높은 강도를 보이는 것으로 분석되었다(2-way ANOVA, $p < 0.05$, Table 3). 각 제품 내 색조 간의 비교에서, Denfil은 178.9 (A3) - 202.1 (A1) MPa의 분포를 보였으나, 각 색조 간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 그러나 Premisa에서는 각 색조 간 2축 굴곡강도가 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 전체적으로 색조에 따라 강도는 통계적으로 유

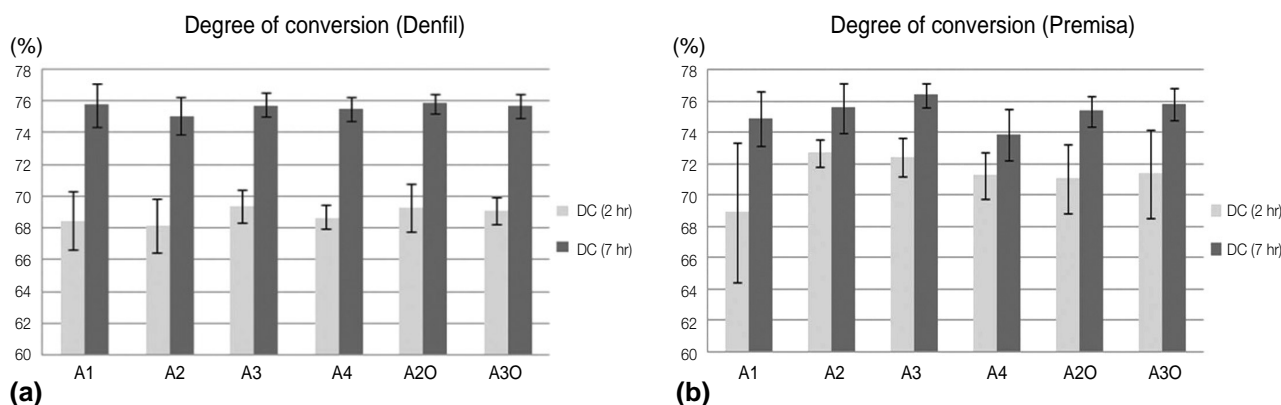


Figure 5. Changes in degree of conversion (%) of each shade of (a) Denfil and (b) Premisa. Both products showed a gradual increase in the degree of conversion of each shade from 2 hours after curing to 7 days.

Table 2. Degree of conversion (DC) of two commercial dental composite resins measured at 2 hours and on 7 days after light-curing according to the shades (DC, mean \pm SD; No., 10; unit, %)

Material	Time	Shade						Result of Three-Way ANOVA		
		A1	A2	A3	A4	A2O	A3O		DF	p value
Denfil	2 hr	68.5 \pm 1.9	68.2 \pm 1.7	69.4 \pm 1.0	68.7 \pm 0.8	69.3 \pm 1.5	69.2 \pm 0.8	Main effect		
	7 day	75.8 \pm 1.4	75.1 \pm 1.2	75.8 \pm 0.8	75.5 \pm 0.7	75.9 \pm 0.6	75.7 \pm 0.7	Material	1	$p < 0.001$
								Shade	5	$p = 0.002$
								Time (2 hr < 7 day)	1	$p < 0.001$
Premisa	2 hr	68.9 \pm 4.5	72.7 \pm 0.9	72.4 \pm 1.2	71.3 \pm 1.5	71.1 \pm 2.2	71.4 \pm 2.8	Interaction effect		
	7 day	74.9 \pm 1.8	75.6 \pm 1.6	76.4 \pm 0.8	73.9 \pm 1.6	75.4 \pm 1.0	75.8 \pm 1.0	Material * Shade	5	$p = 0.003$
								Material * Time	1	$p < 0.001$
								Shade * Time	5	$p = 0.129$
								Material * Shade * Time	5	$p = 0.28$

의한 차이($p < 0.05$)가 있으며 이는 재료와 색조 사이에 교호작용이 있음을 알 수 있다(2-way ANOVA, $p < 0.05$, Table 3).

4. 색조와 중합률의 상관관계

앞서 두 제품의 각 색조 간에 시행한 중합률의 삼원분산분석 결과, 색조는 중합률에 유의한 영향을 미쳤다. 이를 중합 전, 후의 CIE L^* , a^* , b^* 에 대해 중합률과의 상관관계를 살펴보면, Denfil은 중합 전, 후 CIE L^* , a^* , b^* 와 중합률이 상관관계를 보이지 않았으며, Premisa는 중합 전($r = 0.336$)과 중합 후($r = 0.365$)의 CIE a^* 값이 중합률과 유의한 상관관계를 보였다(Pearson product moment correlation, $p < 0.05$, Table 4). 즉, 중합 전, 후의 색 요소에 대해 Premisa에서는 각 시편의 CIE a^* 값이 높을 때 중합률이 높은 양의 상관관계를 보였다. CIE b^* , 명도(CIE L^*)와 색 좌표(CIE E^*)는 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았다.

5. 색조와 2축 굴곡강도의 상관관계

2축 굴곡강도의 이원분산분석 시, Denfil에서는 색조 간의 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 Premisa에서는 각 색조 간 2축 굴곡강도가 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 이를 중합 전, 후 색조의 각 성분요소와의 상관관계를 살펴본 결과, Denfil은 중합 전의 CIE a^* ($r = -0.259$)와 만 약한 음의 상관관계를 보였고, Premisa는 중합 전 CIE a^* ($r = -0.790$), CIE b^* ($r = -0.643$)와 중합 후 CIE a^* ($r = -0.684$), CIE b^* ($r = -0.587$)가 각각 2축 굴곡강도와 통계적으로 유의한 음의 상관관계를 보였다(Pearson product moment correlation, $p < 0.05$, Table 4).

6. 중합률과 2축 굴곡강도의 상관관계

중합 2시간 후 나타났던 두 제품 간에 중합률의 차이가 중합 7일 후 다시 측정한 결과에서는 유의한 차이를 보이지

않았다. 한편, 중합 7일 후 측정한 2축 굴곡강도는 Premisa에 비해 Denfil에서 유의하게 높게 나타났다. 그렇지만 중합률과 2축 굴곡강도의 상관관계 분석에서 Denfil ($r = -0.119$)과 Premisa ($r = 0.120$) 모두 중합률과 2축 굴곡강도는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

고 찰

색조가 중합률과 물성에 끼치는 영향에 대해서는 다소 상반된 보고가 있다. 복합레진은 색조가 깊어질수록 중합 깊이가 감소하고 중합률과 파절강도가 낮아진다는 보고가 있는^{19-21,27} 반면에, 동일한 보고에서도 재료에 따라서는 색조의 차이가 중합률과 파절강도에 영향을 미치지 못하였다는 보고가 있으며,²³ 레진의 색조와 충전재의 종류는 중합 깊이에 큰 영향을 끼치지 않는다는 보고도 있다.²⁸ 본 연구에서는 과거 연구에서 주관적인 Vita shade code에 의한 분류에 근거하여 중합률과 물성을 측정함으로써 나타난 이와 같은 상반된 결과를 해소하기 위하여 분광광도계를 이용하여 정량적인 평가가 가능한 CIE Lab* 값을 구하여 각 색 성분요소가 중합률 및 물성에 미치는 영향을 비교하였다.²⁹ 제품, 색조, 시간에 따른 복합레진 중합률에 대한 삼원분산분석 결과는 중합률은 제품, 색조 그리고 측정 시간의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 2축 굴곡강도에 대한 이원분산분석 결과 또한, 제품과 색조의 영향을 받는 것을 보여준다. 이를 색의 성분요소인 CIE L^* , a^* , b^* , E^* 중 어느 요소가 중합률과 2축 굴곡강도에 영향을 미치는 지를 알아보기 위해 중합 전, 후의 CIE L^* , a^* , b^* , E^* 값과 중합률 및 2축 굴곡강도와의 상관관계를 구해보았다. 그 결과, Denfil은 중합률이 중합 전, 후 CIE L^* , a^* , b^* 및 E^* 와 상관관계를 보이지 않았고, 2축 굴곡강도는 중합 전 CIE a^* 만이 상관관계를 보였다. Premisa에서는 중합 전, 후 CIE a^* 와 중합률이 상관관계를 보였으며, 중합 전, 후 CIE a^* , b^* 와 2축 굴곡강도가 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 이는 이원분산분석에서 색조의 차이에 따라 유의한 차이를 보인 Premisa에서 색성분 중 CIE a^* , b^* 에 의해 중합률과 2

Table 3. Biaxial flexural strength of two commercial dental composite resins measured on 7 days after light-curing according to the shades (FS, mean \pm SD; No., 10; unit, MPa)

Material	Shade						Result of two-way ANOVA		
	A1	A2	A3	A4	A2O	A3O			
Denfil	202.1 \pm 27.3	197.6 \pm 19.1	178.9 \pm 33.5	187.7 \pm 25.4	195.6 \pm 17.4	183.8 \pm 23.0	Main effect	DF	p value
							Material	1	$p < 0.001$
							Shade	5	$p < 0.001$
Premisa	188.2 \pm 35.6	146.1 \pm 16.3	158.4 \pm 30.4	102.9 \pm 5.87	118.7 \pm 12.1	109.1 \pm 10.5	Interaction effect		
							Material * Shade	5	$p < 0.001$

Table 4. Pearson product moment correlation between degree of conversion and biaxial flexural strength and shade components of each product measured before and after light-curing

Properties	Materials	Time	Shade components	<i>r</i>	<i>p</i> value
Degree of conversion	Denfil	before cure	L*	0.0493	0.709
			a*	0.14	0.285
			b*	0.123	0.351
			E	0.126	0.339
		after cure	L*	-0.0585	0.657
			a*	0.126	0.338
			b*	0.127	0.334
			E	-0.0449	0.734
	Premisa	before cure	L*	-0.0178	0.893
			a*	0.336	0.0087
			b*	0.0561	0.67
			E	-0.0139	0.916
		after cure	L*	-0.0685	0.603
			a*	0.365	0.0042
			b*	0.245	0.0596
			E	-0.0512	0.698
Biaxial flexural strength	Denfil	before cure	L*	0.169	0.201
			a*	-0.259	0.0477
			b*	-0.214	0.104
			E	0.116	0.382
		after cure	L*	0.198	0.132
			a*	-0.242	0.0651
			b*	-0.212	0.106
			E	0.193	0.144
	Premisa	before cure	L*	0.0447	0.743
			a*	-0.743	< 0.001
			b*	-0.554	< 0.001
			E	-0.0794	0.547
		after cure	L*	-0.0707	0.591
			a*	-0.67	< 0.001
			b*	-0.553	< 0.001
			E	-0.103	0.432

축 굴곡강도가 영향을 받는다는 것을 의미한다. 따라서, 복합레진의 색조와 중합률 또는 물성의 관계는 재료에 따라 서로 다른 결과를 보이며, 본 연구에 사용된 두 재료에 있어서는 본 연구에서 검증하고자 한 복합레진의 중합 전, 후의 색조의 차이에 따른 중합 후의 중합률과 물성의 차이는 없다는 귀무가설은 거부되었다.

복합레진의 중합 전, 후와 7일 후의 색을 관찰한 결과, Denfil과 Premisa 모두 명도는 감소 후에 증가하였고, CIE b*는 지속적으로 감소하여 청색조가 증가하였다. 그러나 CIE a*는 다소 다른 결과를 보였다. Denfil은 중합 직후 녹

색조가 증가한 후, 시간이 지나 다시 약간의 적색조가 증가하였고, Premisa는 중합 이후 지속적으로 적색조가 증가하였다. 일반적으로 복합레진은 광조사를 받은 후에 결정화가 시작되면서 밝고 투명한 쪽으로 색이 변한다고 알려져 있다.³⁰ 광중합 레진은 중합 후에 확산반사율(diffuse reflectance)이 증가하는 경향을 보이는데, 이것은 충전재의 확산반사율은 변하지 않는 반면 단량체가 중합체로 전환하여 상이 변화하는 데 따른 굴절율(refractive index)의 증가를 반영하는 것이다.³¹ 이와 같은 선행연구에서는 투명도는 CIE L*과 양의 상관관계를 보이는 것으로 보고되었지

만,³² 한편으로는 여러 제품의 중합 전과 후의 색 변화를 측정하였을 때, 8개의 복합레진 제품 중 7개에서 중합 후에 CIE L*값이 떨어진다는 보고도 있다.³³ 본 실험에서도 색 측정 시에 백색교정판을 배경으로 사용하였으므로, 결정화로 인해 투명도가 증가되고 밝아져야 함에도 불구하고 CIE L*값이 감소하였다. Denfil과 Premisa 두 제품에서는 중합 직후 명도가 감소하는 것으로 보아 결정화되기 전에는 빛이 산란되고 tint가 잘 드러나지 않아 명도가 높았으나, 결정화가 진행되면서 tint의 색이 반영되어 CIE a* 및 b*의 변화를 초래하고, 이 색을 가진 tint가 불투명하므로 명도가 낮아지는 것으로 보인다. 광중합 복합레진은 다양한 색조를 내기 위한 여러 가지 색소(pigment) 외에도, 황색을 띤 광개시제인 camphorquinone을 사용한다.^{34,35} 이러한 광개시제가 빛을 흡수하면서 중합이 시작되고, 중합이 진행됨에 따라 탄소 이중결합이 단일결합으로 되어 연결구조를 형성하는 과정에서 활성화된 광개시제는 자신의 황색 빛을 잃게 된다. 따라서 광중합 복합레진은 중합 초기에 CIE b* 값은 변화를 일으키게 되어 특징적으로 색공간에서 청색조로 변하여 황색조가 떨어진다.³⁶⁻³⁸ 이런 경향을 보상하기 위해서 중합 전의 색조가 더 진하거나 노란색인 것으로 선택하기를 권장하기도 한다.³⁷

본 연구에서 복합레진의 중합률은 근적외선분광기를 사용하여 측정하였다. 중합률의 결정에는 scrape-back length, microhardness testing과 같은 간접적인 방법, 또는 적외선 분광법과 같은 직접적인 방법이 사용된다.³⁹ 이 중에서 적외선 분광법을 이용하여 methacrylate기의 변화를 직접 측정하는 방법이 가장 많이 사용된다. 근적외선 영역은 가시광선과 중간적외선(mid-IR) 사이의 12,500 - 4,000 cm^{-1} 구간에 해당하는 전자기파의 영역이다. 근적외선을 이용하여 측정된 중합률은 중간적외선을 이용하여 측정된 중합률과 큰 차이를 보이지 않고, 근적외선이 중간적외선에 비해서 민감도가 높은 것으로 알려져 있다.²³ 또한, 시편을 파절하지 않고 측정하기 때문에 중간적외선에 비해서 편리하여 치과용 레진의 중합률 측정에서 유용하게 쓰일 수 있다.²³ 본 실험에서 근적외선을 이용하여 두 제품의 중합률을 측정한 결과, 68 - 76%의 값을 얻었으며, 이 값은 일반적으로 알려진 복합레진 중합률의 범위에 속하는 것이다.

복합레진은 충전재의 종류에 따라 물성에 영향을 받는다. 복합레진의 충전재가 물성에 끼치는 영향을 비교한 연구에서 microhybrid 충전재를 사용한 복합레진이 nanofill 충전재를 사용한 복합레진에 비해 높은 굴곡강도를 나타냈지만 복합레진의 중합률은 두 경우에 차이를 보이지 않았다.⁴⁰ 여러 연구에 의하면 파절에너지의 증가 효과는 충전재의 부피비에 따라 커진다.^{41,42} 따라서, 충전재의 함량이 높은 hybrid 형에서 강도의 증가효과가 커진다.⁴³ 본 연구에 사용한 복합레진 Denfil과 Premisa는 충전재로 각각 microhy-

brid, nanohybrid를 사용하며, 실험 결과 중합률은 Premisa가 더 높았지만, 2축 굴곡강도는 Denfil이 더 높게 나타났다. 이는 앞선 연구와 같은 경향을 보인 결과였다. 본 연구에서는 시편의 물성을 평가하기 위하여 2축 굴곡강도를 측정하였다. 굴곡강도를 측정하기 위한 방법에는 3점 휨 시험(three-point bending test)과 4점 휨시험을 포함하는 1축 방향의 굴곡시험과 2축 시험(biaxial test)이 있다. 구강 내에서 복합레진을 사용하여 수복할 때, 구치부의 수복 재료는 근원심 폭경과 절단-치은연의 길이가 짧은 형태가 된다. 따라서, 두께에 비해 길이가 긴 시편을 사용하는 3점 휨 시험에 비하여 시편의 길이-대-두께의 비가 더 작은 2축 시험이 구강 내에서 수복재료가 나타내는 상황을 좀 더 근접하게 재현할 수 있다.⁴⁴ 다만, 본 연구에서는 Poisson's ratio의 측정이 이 실험의 범위를 넘어서기 때문에, microhybrid인 3M사의 Z250의 값을 인용하여 계산하였으므로, 재료 간의 2축 굴곡강도 비교는 큰 의미를 갖지 못한다. 따라서 재료 내에서의 비교 결과만을 의미있게 해석할 수 있다.

색조가 굴곡강도에 끼치는 영향에 대해, 상아질 색조가 절단면 색조에 비해 높은 굴곡강도를 보였다는 보고가 있다.⁴⁵ 이 연구에서 상아질 색조의 충전재 함량이 높은 것에서 그 이유를 찾고자 하였으나, 실험에 사용한 나머지 제품에서는 상아질 색조와 법랑질 색조와의 굴곡강도 차이가 나타나지 않았다.⁴⁵ 본 연구에서는 Premisa의 상아질 색조 중 A30는 법랑질 색조(A3)에 비해 2축 굴곡강도가 더 작게 나타나, 앞선 연구와 상반된 결과를 보였으며, A20는 A2와 굴곡강도의 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아, 법랑질 색조와 상아질 색조 사이의 차이는 일정하지 않았다. 다만, Premisa의 경우, 색조에 따라 법랑질 색조 내에서도 일정한 강도를 보이지 않아 tint사용에 따른 물성의 조정에서 개선의 여지가 있다고 하겠다.

본 실험의 결과에서 색조를 정량적으로 표기하기 위하여 측정된 CIE L*, a*, b*값은 제품에 따라 약간의 차이가 있지만, 중합률과 물성에 영향을 미쳤다. 따라서, 색조가 중합률과 물성에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 복합레진의 성분인 개시제, 단량체, tint중에서 tint로 사용되는 금속산화물(metal oxide)에 대해 주목할 필요가 있다. 복합레진의 색조를 내기 위해 금속산화물 중에서 CIE a* (red-green axis) 값 또는 CIE b* (yellow-blue axis) 값을 변화시키는 작용을 할 수 있는 붉은색, 노랑색, 검정색 등의 채도가 높고, 명도가 낮은 다양한 tint를 첨가할 수 있다. 색조를 어둡게 하기 위해 사용하는 청색 또는 흑색조의 tint 충전재가 첨가되면, 광중합 후 초기 결정화에 의해 tint의 색이 두드러지게 된다. Tint의 색이 두드러지면, CIE L*(명도)는 감소하게 되고, 재료에 따라 CIE a* 또는, CIE b* 값이 변화하게 된다. 그리고 이러한 tint는 빛을 흡수하는 성질이 있기 때문에 광중합에 사용되어야 할 빛 에너지

를 흡수함으로써 복합레진의 중합률을 떨어뜨린다. 본 연구에서는 CIE a* 값이 낮아 녹색조를 보이는 두 제품의 A1 shade 중, Premisa에서만 tint의 함량과 관련이 있는 CIE a* 값이 중합률과 양의 상관관계를 나타냈다.

복합레진의 강도는 충전재의 함량에 영향을 받는다. 일반적으로 충전재의 무게 함량이 증가할수록 복합레진의 강도는 증가하는 경향을 보인다.⁴⁶ Tint 역시 이러한 충전재로 작용하여 복합레진의 강도에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서 Premisa의 강도는 CIE a* 및 CIE b*와 매우 강한 음의 상관관계를 보임으로써 tint의 양에 따라 강도가 유의하게 변화하는 경향을 나타냈다. 즉, Premisa에서는 이들 tint에 의해 빛을 소진하게 되면서 중합률과 강도가 감소되고, 색은 결정화로 인해 tint가 더 잘 보이게 되어 어둡고, 청색 쪽으로 이동하게 되었다. 복합레진의 tint로 사용되는 금속산화물은 제품에 따라 다양하게 혼합되어 다양하고 독특한 색조를 나타낸다. 이 때문에 색이 중합률과 굴곡강도에 미치는 영향은 재료에 따라 다른 결과를 보인다. 강도가 크게 감소하지 않은 Denfil의 경우가 색에 의해 강도가 영향을 적게 받도록 잘 설계된 제품이라고 평가할 수 있다.

결론적으로, 두 종의 광중합형 복합레진은 중합 전과 후에 색 성분요소, 즉 색조의 변화가 있었고, 광중합 후에도 시간이 경과하면서 중합률이 증가되었다. 본 실험을 통해서 광중합형 복합레진의 중합률은 제품에 따라 차이가 있지만 CIE a* 값이 증가되면 중합률이 증가되었고, 2축 굴곡강도도 제품에 따라 차이가 있지만 CIE a* 및 CIE b* 값에 의해 영향을 받았다. 즉, 적색조 및 황(노랑)색조가 강해질수록 강도가 감소하였다.

REFERENCES

- Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E. Depth of cure of radiation-activated composite restoratives-influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil* 1995;22:337-342.
- Ruyter IE, Oysaet H. Composites for use in posterior composites: composition and conversion. *J Biomed Mater Res* 1987;1:11-23.
- Ferracane JL. Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Biol Med* 1995;6:302-318.
- de Gee AJ, ten Harkel-Hagenaar E, Davidson CL. Color dye for identification of incompletely cured composite resins. *J Prosthet Dent* 1984;52:626-631.
- Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2003;24:655-665.
- Carmichael AJ, Gibson JJ, Walls AW. Allergic contact dermatitis to bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate (Bis-GMA) dental resin associated with sensitivity to epoxy resin. *Br Dent J* 1997;183:297-298.
- Hansel C, Leyhausen G, Mai UE, Geurtsen W. Effects of various resin composite (co) monomers and extracts on two caries-associated micro-organisms *in vitro*. *J Dent Res* 1998;77:60-67.
- Lovell LG, Stansbury JW, Sympes DC, Bowman CN. Effects of composition and reactivity on the reaction kinetics of dimethacrylate/dimethacrylate copolymerizations. *Macromolecules* 1999;32:3913-3921.
- Ruyter IE, Oysaet H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 1982;40:179-192.
- Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. Visible light activated resins - depth of cure. *J Am Dent Assoc* 1983;106:634-637.
- Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Marker VA. Relationship between shade and depth of cure for light activated dental composite resins. *Dent Mater* 1986;2:80-84.
- Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ, de Gee AJ, Erdilek N. The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater* 1997;13:344-352.
- Yearn JA. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 1985;35:218-225.
- Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 1994;19:26-32.
- Unterbrink GL, Muessner R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 1995;23:183-189.
- Sakaguchi RL, Berge HX. Reduced light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites. *J Dent* 1998;26:695-700.
- Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993;24:517-521.
- Hansen EK, Asmussen E. Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand* 1997;55:162-166.
- Leloup G, Holvoet PE, Bebelman S, Devaux J. Raman scattering determination of the depth of cure of light-activated composites: influence of different clinically relevant parameters. *J Oral Rehabil* 2002;29:510-515.
- Aravamudhan K, Floyd CJ, Rakowski D, Flaim G, Dickens SH, Eichmiller FC, Fan PL. Light-emitting diode curing light irradiance and polymerization of resin-based composite. *J Am Dent Assoc* 2006;137:213-223.
- Omaira MS, Hamza A, Taheya A, Moussa. Influence of shade and time on the degree of conversion and fracture strength of light-cured composite resin. *J Egyptian Dent Assoc* 1999;45:4487.
- Chen YC, Ferracane JL, Pahl SA. A pilot study of a simple photon migration model for predicting depth of cure in dental composite. *Dent Mater* 2005;21:1075-1086.
- Stansbury JW, Dickens SH. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater* 2001;17:71-79.
- Wei W, Sadeghipour K, Boberick K, Baran G. Predictive modeling of elastic properties of particulate-reinforced composites. *Mater Sci Eng A* 2002;332:362-370.
- Braem M, Van Doren VE, Lambrechts P, Vanherle G.

- Determination of Young's modulus of dental composites: a phenomenological model. *J Mater Sci* 1987; 22:2037-2042.
26. Chung SM, Yap AU, Koh WK, Tsai KT, Lim CT. Measurement of Poisson's ratio of dental composite restorative materials. *Biomaterials* 2004;25:2455-2460.
27. Cho YG, Kim MC. Color changes in composites according to various light curing sources. *J Kor Acad Cons Dent* 2002;27:87-94.
28. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent* 1993;6:91-95.
29. Park SJ, Noh EY, Cho HG, Hwang YC, Oh WM, Hwang IN. Color difference of the dental composites measured by different color measuring instruments. *J Kor Acad Cons Dent* 2009;34:199-207.
30. Makinson OF. Colour changes on curing light-activated anterior restorative resins. *Aust Dent J* 1989;34:154-159.
31. Taira M, Okazaki M, Takahashi J. Studies on optical properties of two commercial visible-light-cured composite resins by diffuse reflectance measurements. *J Oral Rehabil* 1999;26:329-337.
32. Yu B, Lee YK. Influence of color parameters of resin composites on their translucency. *Dent Mater* 2008; 24:1236-1242.
33. Kim IJ, Lee YK. Changes in color and color parameters of dental resin composites after polymerization. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2007;80:541-546.
34. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible light-activated resin composites. *J Dent Res* 1994;73:516-521.
35. Watts DC, Cash AJ. Analysis of optical transmission by 400-500 nm visible light into aesthetic dental biomaterials. *J Dent* 1994;22:112-117.
36. Seghi RR, Gritz MD, Kim J. Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dent Mater* 1990;6:133-137.
37. Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK. Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent* 1998;79:372-377.
38. Cho YG, Seo JI, Kim SM, Jeong JH, Lee YG. Color changes in composite resins exposed to xenon lamp. *J Kor Acad Cons Dent* 2003;28:195-202.
39. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29:698-704.
40. Rodrigues SA Jr, Scherrer SS, Ferracane JL, Della Bona A. Microstructural characterization and fracture behavior of a microhybrid and a nanofill composite. *Dent Mater* 2008;24:1281-1288.
41. Spanoudakis J, Young RJ. Crack propagation in a glass particle-filled epoxi resin. *J Mater Sci* 1984; 19:473-486.
42. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR. *In vitro* aging of dental composites in water-Effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 1998;42:465-472.
43. Kim KH, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent* 2002;87:642-649.
44. Chung SM, Yap AU, Chandra SP, Lim CT. Flexural strength of dental composite restoratives: comparison of biaxial and three-point bending test. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;71:278-283.
45. Cesar PF, Miranda WG Jr, Braga RR. Influence of shade and storage time on the flexural strength, flexural modulus, and hardness of composites used for indirect restorations. *J Prosthet Dent* 2001;86:289-296.
46. Lin-Gibson S, Sung L, Forster AM, Hu H, Cheng Y, Lin NJ. Effects of filler type and content on mechanical properties of photopolymerizable composites measured across two-dimensional combinatorial arrays. *Biomaterials* 2009;5:2084-2094.

국문초록

광중합형 복합레진의 중합 전, 후의 색 성분이 중합률과 굴곡강도에 미치는 영향

유지아¹ · 조병훈^{2*}¹서울대학교 치의학대학원 치의학과, ²서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실, 치의학연구소

연구목적: 복합레진의 색조를 색 성분요소인 CIE Lab* 각 성분요소로 측정하고, 동일 시편에 대해서 중합률과 2축 굴곡강도(biaxial flexural strength)를 측정하여 이들의 상관관계를 비교함으로써 복합레진의 중합전,후의 색 성분요소가 중합률과 물성에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

연구 재료 및 방법: 두 종류의 복합레진 Premisa (Kerr Co.)와 Denfil (Vericom Co)의 법랑질 색조(A1, A2, A3, A4)와 상아질 색조(A2O, A3O)에 대해 원판형의 시편을 제작하여 색성분, 중합률 및 2축 굴곡강도를 측정하였다. 분광광도계를 이용하여 중합 전, 후 및 7일에 CIE L*, a*, b* 값을 측정하고, 같은 시편에 대해 근적외선분광기를 이용하여 중합 후 2시간과 7일에 중합률을 측정하였다. 중합 7일 후에 색 성분과 중합률을 측정한 후 만능시험기에서 2축 굴곡강도를 측정하였다. 색 성분요소인 CIE L*, a*, b* 각각의 값과 중합률, 및 2축 굴곡강도의 상관관계를 분석하였다.

결과: 두 종의 광중합형 복합레진은 중합 전과 후에 색 성분요소, 즉 색조의 변화가 있었고, 광중합 후에도 시간이 경과하면 중합률이 증가되었다. 중합률은 제품, 기간, 및 색조의 영향을 받고(3-way ANOVA, $p < 0.05$), 굴곡강도는 제품 및 색조의 영향을 받았다(2-way ANOVA, $p < 0.05$). 중합률은 Premisa 한 제품에서만 중합 전,후의 CIE a* component와 유의한 상관관계를 보였고, 굴곡강도도 Premisa에서 CIE a* 및 CIE b* component와 음의 상관관계를 보였다(Pearson product moment correlation, $p < 0.05$).

결론: 광중합 복합레진의 중합률과 굴곡강도는 제품의 중합 전,후의 색 성분에 의해 영향을 받았다.

주요단어: 광중합형 복합레진 색조; 중합률; 2축 굴곡강도; CIE Lab*