

광중합복합레진의 두께에 따른 투명도 차이가 수복물의 색상에 미치는 영향

황인남 · 이광원

전북대학교 치과대학 치과보존학교실, 구강생체과학연구소

ABSTRACT

TRANSLUCENCY OF LIGHT CURED COMPOSITE RESINS DEPENDS ON THICKNESS & ITS INFLUENCE ON COLOR OF RESTORATIONS

In-Nam Hwang, D.D.S., M.S.D, Kwang-Won Lee D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Dept. of Conservative Dentistry, Institute for Oral Bioscience, College of Dentistry, Chonbuk National University

Esthetic availabilities used as an esthetic restorative materials can be determined by the optical coincidence among materials, enamel and dentin. Enamel is highly translucent. That's why esthetic materials need to correspond the close translucency of enamel. But the translucent materials are affected by the background color. So it should be predicted that the color of restorative materials depend on the any thickness and the spectral reflectance of the background on which they are placed.

The object of this investigation, under above hypothesis, was to determine and analyze how they affect the final color according to the thickness, translucency and background color(white, black and dentin) for three commercial light cured composite resins(Charisma, Spectrum TPH and Z100). And correlation was analyzed to find out the possibility of the prediction when using the certain background color and thickness of materials.

Followings are the result

1. The I shade of CHA showed the lowest contrast ratio(C₀₇) while the B3 shade of Z100 showed the highest contrast ratio(p<0.05)
2. The value of L* and b' on the white and dentin background is increased with decreasing thickness. And there are significant relationships between increasing thickness and each value(R>0.85). But there is a little change of L* and b* value on the black background regardless of the thickness(p>0.05).
3. For the a' value, there was little difference in values as a function of thickness and changed irregularly regardless of thickness in all background
4. The pattern of increasing value of L* and b' with decreasing thickness was similar to the group of white and dentin background. In both dentin one showed lesser change of value.
5. The values of L*a*b* measured on the different background with same thickness showed the recognizable color difference(ΔE*2) when the thickness was below 2.6mm.
6. Contrast ratio was increased with increasing thickness with significant relationship (R>0.9).
7. Spectral reflectance of composite resins that calculated from Kubelka-Munk equation was showed little difference compared with observed value with decreasing thickness

1. 서론

복합 레진에 의한 치아 수복은 형태와 기능만을 회복시켜

주던 과거의 수복 개념에 심미 수복이라는 새로운 개념이 부기되게 하였다. 복합 레진 이외에도 도재 및 클래스아이 오노더 시퀀트와 같은 심미 수복 재료들이 있지만 사용의

편이성과 지속적인 물리적, 광학적 성질의 증진으로 인하여 사용 범위는 더욱 넓어져 가고 있다. 하지만 심미 수복이라는 용어가 무색할 정도로 심미성 증진을 위한 재료의 선택이나 조작성에 관한 기술의 개발은 개발 초기의 술자의 감각에 의존하던 형태를 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 그 중에서도 수복을 위한 재료 조작 시 가장 먼저 부딪치게 되는 어려움이 색상의 결정이다. 이는 객관적이고 과학적인 색상 결정 방법의 부재와, 결정된 색상을 표현하는 방법이 표준화된 보편적인 색체계를 따르지 않고 기존의 색상에 대한 지식이나 개념으로는 이해하기 어려운 몇몇 재료 제작 회사에서 제시한 체계를 따르고 있는 것이 근본적인 이유이다. 게다가 시판되고 있는 재료들의 색상 범위가 한정적이고 이전의 많은 연구가들¹⁻⁸⁾에 의해 측정된 치아의 색상 범위를 재현하기에는 재료들의 색상이 크게 부족하다는 것이다. 이러한 근본적인 원인 외에도 shade guide와 재료간의 색상 차이⁹⁾ 및 동일한 색상을 가진 레진들 간의 색상 차이¹⁰⁾ 등과 같은 많은 문제점들이 있다.

색상을 결정하는 방법에는 현재 치과 임상에서 주로 사용되고 있는 색상 표준물을 측정하고자 하는 측정물과 육안으로 비교하여 색상을 결정하는 방법과 삼자극치 색채 계측기(tristimulus colorimeter)나 분광광도계(spectrophotometer)와 같은 측정 기기를 이용하는 방법이 있다¹¹⁻¹⁵⁾. 전자는 검사자의 시각각 특성이나 훈련 정도 그리고 주관에 따라 결정되기 때문에 객관적이지 못할 뿐만 아니라 광원의 종류, 빛의 양 그리고 주위의 색상과 같은 환경적 요소에 의해서도 변화할 수 있다. 후자의 방법에 의한 색상의 측정은 광학적 특성과 표준화된 색체계에 바탕을 두고있기 때문에 과학적이며 재현 가능하다. 그렇지만 이러한 기기를 치과 영역에 도입해 사용하기에는 아직은 많은 문제점들을 가지고 있는 것도 사실이다.

이러한 방법들에 의해 측정된 색상은 여러 가지 색체계에 의해 표현된다. 그 중 많이 쓰이는 방법으로는 Munsell color order system과 CIELAB system이 있다. Munsell system은 Hue, Value 그리고 Chroma로 색을 표현하는 방법으로 색의 재현이나 전달시 인자하기가 용이¹⁶⁾한 반면 CIELAB system은 1931년 CIE(국제 조명 기구)에서 개발되어 1976년 L*a*b* system으로 변형된 색체계로서 색량과 색차의 분석에 주로 사용되고 있다.

현재 임상에서 사용되는 광중합 복합 레진의 색상은 제조 회사에서 치아의 색상에 바탕을 두고 한정된 10 내지 20여종의 색상으로 시판되고 있다. 하지만 이전의 많은 연구에서 문제시 된 것처럼 치아의 색상을 10여종의 색상만으로 재현하는 것은 불가능하다. 여기에 치아의 투명도까지 고려하면 치아의 색상 재현은 더욱 어려워진다. 적절한 색상의 재현에 성공했다 하더라도 치아의 범랑질과 같은 투명도의 재현에 실패하게 되면 사용된 수복체의 깊이에 대한 느낌을

부여하는 것이 불가능해지고 더 나아가 치아는 생활력을 상실한 것처럼 부자연스럽게 보이게 된다.

투명도는 투명한 재료에 입사하는 빛의 강도에 대한 투과된 빛의 강도의 비율로 투과계수(transmission coefficient)를 결정하는 방법과 투명도의 반대 개념인 contrast ratio 혹은 opacity를 측정함으로써 투명도를 예측하는 방법이 있다. Opacity는 빛이 한가지 이상의 상(phase), 즉 연속적인 상이나 분포상(disperse phase)을 갖는 재료를 투과 시 여러 차례의 굴절, 반사와 같은 빛의 산란에 의해 나타난다. 그리고 이것은 기질과 분포상의 굴절률, 그리고 분포된 미립자의 종류, 수 그리고 크기에 따라 결정되며, 시편의 얇은 disc를 각각 백색 배경판과 흑색 배경판에 위치시켰을 때 산란에 의해 반사되는 빛의 강도의 비율로 평가된다¹⁷⁾. Brodbelt 등^{18, 19)}은 첫 번째 방법으로 치아와 도재의 투명도를 측정하였으며, Crisp 등¹⁷⁾ 그리고 Cook와 McAree²⁶⁾는 두 번째 방법으로 치아와 여러 심미 수복재료의 contrast ratio를 측정하였다. Asmussen²⁰⁾은 글래스아이오노머 시멘트와 복합 레진의 contrast ratio를 측정하여 복합 레진이 더 높은 투명도를 가짐을 보고했고, Dennison 등²¹⁾은 무기 첨가물이 포함된 레진이 포함되지 않은 레진에 비해 투명도가 높다고 보고하였다.

많은 연구가들은 투명한 물질의 광학적 성질을 결정하는데 있어서 배경색과 두께의 영향에 대한 Kubelka-Munk 이론^{31, 32)}을 이용하여 수복물의 분광 반사율과 색상을 계산하고 실제 측정값과의 차이를 비교 분석했다²²⁻²⁸⁾. 대부분의 연구가들은 예측값과 측정값의 상당한 일치를 보고하고 있다. Kubelka-Munk 이론은 재료의 투명도와 반사율과 같은 광학적 특성에 영향을 미치는 매개 변수들 중에서 산란계수(scattering coefficient)와 흡수계수(absorption coefficient)의 단순한 쌍곡선 함수로 표현된다. Cook와 McAree²⁶⁾는 K-M 이론을 적용해 서로 다른 배경판과 두께에서 복합 레진과 도재의 반사율과 색상을 예측하였으며, Grajower 등²⁷⁾은 다양한 외동 이장재 상에서 서로 다른 두께를 갖는 복합 레진의 분광 반사율을 예상하는데 적용하였다. Yeh 등²⁵⁾은 미세 입자형 복합 레진과 거대 입자형 복합 레진의 투명도와 색상을 측정하고 비교해 봄으로써 무기 첨가물의 크기와 광학계수들간의 관계를 연구하였으며, Campbell 등²⁹⁾은 무기 첨가물의 크기와 양의 차이에 따른 빛의 산란에 대해 보고하였고, 표면 광택도와와의 관계에 대해서도 기술하였다^{29, 30)}.

본 연구의 목적은 광중합 복합 레진의 두께 차이에 따른 색상과 투명도를 측정하고, 배경 색상이 수복물의 색상에 미치는 영향을 레진의 두께에 따라 평가하여 치아 수복 시 발생할 수 있는 상아질의 다양한 색상에 의한 수복물의 색상 변화를 Kubelka-Munk 이론과 통계적인 분석법으로 예측하고 측정값과 비교해 봄으로써 수복물의 색상 결정에 두

께, 투명도 및 배경색이 어떠한 영향을 미치는지 고찰하고자 함이다. 이러한 일련의 실험과 분석을 통해 실제 임상에서 접하게 되는 적절한 색상 선택의 과정에 도움이 되리라 생각되는 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

Vita shade의 색상을 기초로 하여 만들어진 3종의 혼합형 광중합 복합 레진(Charisma[†], Spectrum[™] TPH, 및 Z100[™])을 이 연구에서 사용했다(Table 1). Charisma는 I, A1, A2, A3, B1, B2, B3 및 C2 색상을, Spectrum TPH는 I, A2, A3, B1, B2, B3 및 C2 색상을 그리고 Z100은 I, A1, A2, A3, B2, B3 및 C2 색상을 연구 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 시편 제작

시편은 직경 10mm, 두께 1mm, 2mm 그리고 3mm의 금속 주형을 이용하여 각 제품의 shade 당 contrast ratio

를 측정하기 위한 1mm 두께의 시편 3개, 표준 색상을 측정하기 위한 2mm 두께의 시편 3개를 제작하였고 두께에 따른 투명도의 차이와 배경색이 레진의 두께에 따라 색상에 미치는 영향을 연구하기 위한 3mm 두께의 시편 6개를 제작하였다. 복합 레진을 금속 주형에 주입하고 기포 발생을 줄이기 위해 플라스틱 기구로 충전하였으며, 양측이 얇고 투명한 셀룰로이드지를 위치시킨 후 투명한 유리판과 U-클램프를 사용해 양측에서 압축하였다. 압축된 레진은 기시광선 중합기(Curing unit XL 3000, 3M Dental Products, USA)를 사용해 양면에 각각 60초씩 광중합하였다. 중합이 끝난 시편은 상온에서 24시간 보관 후 #800, #1000, #1200, #1500 및 #2000 Tamiya finishing abrasives (Tamiya Plastic Model Co., Japan)로 젖은 상태에서 양면을 연마하여 각각 $1.0 \pm 0.02\text{mm}$, $2.0 \pm 0.02\text{mm}$ 및 $3.0 \pm 0.02\text{mm}$ 의 시편을 제작하였다. 연마 과정동안 시편의 양면에 스펀이나 불순물이 묻지 않도록 주의하였으며 모든 시편은 #2000 사포로 양면을 최종 연마하여 시편의 표면 상태가 측정치에 미치는 영향을 줄였다.

2) 치아 배경판의 제작

본 연구에는 3종의 배경판(background)를 사용하였다. 백색 배경판은 본 연구에 사용된 측색색차계의 초기화에 사

Table 1. Products, shade, filler composition, filler size and manufacturers of tested composite resins

Product (Code)	Shade (batch no.)	Filler composition	Filler size	Manufacturer
Charisma [†] (CHA)	I(00.06.30.038)	Bariumaluminium-borosilica glass ceramic silicium dioxide 0% by volume [*]	0.02~2 μm	Heraeus Kulzer GmbH, Germany
	A1(00.06.30)			
	A2(00.06.30.87)			
	A3(00.06.30.73)			
	B1(00.06.30)			
	B2(00.06.30.46)			
	B3(00.06.30)			
Spectrum [™] TPH (TPH)	C2(00.06.30)	Bariumaluminium-borosilicate silicon dioxide 77% by weight [*] 57% by volume [*]	0.04~5 μm	DENTSPLY [†] DeTrey, Germany
	I(068)			
	A2(01434)			
	A3(00560)			
	B1(231)			
	B2(00305)			
Z100 [™] (Z100)	B3(201)	Zirconia/silica 66% by volume [*]	0.01~3.5 μm	3M Co., USA
	C2(00151)			
	I(5906I)			
	A1(5904A1)			
	A2(5904A2)			
	A3(5904A3)			
B2(5904B2)				
B3(5904B3)				
C2(5904C2)				

* Inorganic filler vol % obtained from manufacturers

용하는 magnesium oxide 백색 표준판(X=91.4, Y=92.83, Z=108.82, L*=97.16, a*=0.64 및 b*=0.55)을 사용했으며, 흑색 배경판으로는 무광택의 표준 검정 색지(X=1.33, Y=1.34, Z=1.2, L*=11.55, a*=0.33 및 b*=4.2)를 사용하였다. 치아 배경판은 최근 3개월 이내에 발거되고, 수복치료나 근관 치료가 시행되지 않은 10개의 상악 중절치로 제작하였다. 후방의 색상이 측정치에 미치는 영향을 줄이기 위해 치아의 설면에 증류수와 혼합한 barium sulfate를 도포하고 석고로 치근 부위를 고정 한 후 치관의 순면이 약간 노출되게 투명한 아크릭 레진에 포매하였다. 치아 순면을 #400, #800 및 #1000 사포로 평편하게 연마하여 상아질을 완전히 노출시켰다. 10개의 치아 배경판 상아질의 CIE L*a*b*값을 측색색차계로 측정하여 평균값을 구하고, 평균값에 가장 근접한 치아를 치아 배경판(X=33.12, Y=33.79, Z=32.82, L*=64.88, a*=-1.29 및 b*=9.07)으로 선택하였다.

3) 색 측정

연마된 시편의 3자극치 XYZ 값을 측색색차계(Color & Color difference meter, Model TC-6FX, Tokyo Denshoku Co., Japan)를 이용하여 측정 후 컴퓨터 프로그램을 이용하여 색공간 좌표인 CIE L*a*b*의 값 및 색 변화량 ΔE*을 구하였다. 본 연구에서 사용된 측색색차계는 XYZ filter 방식의 CIE 표준 C광원을 이용하며 측광 방법은 2광로교조측광방식(二光路交照測光方式)에 의한 적분 구식 0~45° 법이며 측정경의 직경은 3mm이다. 매 측정 시마다 서로 다른 부위를 3회 측정하여 평균한 값을 기기로부터 얻었으며, 양면을 측정하여 평균값을 구하여 대표값으로 정했다.

각 레진의 표준 색상을 측정하기 위한 2mm 두께의 시편은 백색 표준판 위에 시편을 올려놓고 3자극치 XYZ의 값을 측정하였으며, 3mm 두께의 시편은 양면을 #1200, #1500 및 #2000 Tamiya finishing abrasives로 0.2±0.02mm 씩 연마하면서 백색 표준판, 흑색 배경판 및 치아 배경판 위에 시편을 올려놓고 각각의 3자극치 XYZ 값을 측정하였다. 측정된 모든 시편의 3자극치 XYZ값은 L*a*b*값으로 측색 색차계에 연결된 컴퓨터에 의해 산출되었다.

3mm 시편의 색측정은 레진의 중합 과정동안 발생한 수축으로 인해 3±0.02mm의 두께를 얻지 못한 경우가 많아 2.8mm 두께부터 1.0mm까지 0.2mm 간격으로 측정하였다. 연마와 측정을 반복하는 동안 상당한 시간이 소모되었으며 이 과정 동안 발생할 수도 있는 레진의 변색을 감지하기 위해 측정 시작 전에 동일한 조건에서 보관한 2mm 두께 시편의 L*a*b*값을 측정해 처음 측정값과 비교하였다. 비교 결과 1이상의 색차(ΔE*)를 보인 시편은 없었다. 또한 연마 과정 동안 원하는 두께 이하로 연마된 시편은 측정과

정에서 제외하였다.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

4) Contrast ratio의 측정

재료의 투명도는 반대 개념인 opacity 또는 contrast ratio의 측정에 의해 결정된다. Contrast ratio는 측정하고자 하는 재료의 시편을 흑색 배경판 위에 올려놓았을 때와 반사율을 이미 알고있는 백색표준판 위에 올려놓았을 때의 분산에 의한 빛의 반사의 비율로 정의한다. 이를 간단한 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CR = \frac{r_0}{r_w} \dots\dots\dots 1)$$

R : reflectivity of the white background

Cr : Contrast ratio

r₀ : light reflectance of the sample on a black background

r_w : light reflectance of the sample on a white background

Contrast ratio는 재료의 절대적인 특징은 아니며, 백색 배경판의 표면 반사율(R)과 시편 두께(θ)에 의존한다. 이러한 이유에서 미국치과의사협회(ADA)의 직접 수복 레진의 opacity에 대한 규격³⁴⁾을 보면 1mm 두께의 시편과 magnesium oxide(MgO)의 시감반사율(luminous reflectance)의 70%에 해당하는 백색 배경판을 사용해 측정된 C₀₇로 contrast ratio를 표현한다. 하지만 실제로 MgO의 70%에 해당하는 시감반사율을 갖는 백색배경판을 구한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 측정된 contrast ratio의 값과 백색배경판의 시감반사율을 Judd의 공식에 적용해 C₀₇을 얻는다¹⁷⁾.

$$C_{07} = \frac{RCr(1 - 0.7 r_0)}{RCr + 0.7(1 - r_0R - Cr)} \dots\dots\dots 2)$$

여기서 시편의 시감반사율을 나타내는 r₀와 r_w는 측정된 시편의 3자극치 XYZ의 Y_b(검정배경판 상에서 측정된 Y값)와 Y_w(백색배경판 상에서 측정된 Y값)과 일치한다. 따라서 1)과 2)의 공식은 다음의 수식으로 변환된다.

$$CR = \frac{Y_b}{Y_w} \dots\dots\dots 3)$$

$$C_{07} = \frac{RCr(1 - 0.7 Y_b)}{RCr + 0.7(1 - Y_wR - Cr)} \dots\dots\dots 4)$$

본 연구에서는 먼저 각 레진의 shade에 따른 contrast

ratio(C₀₇)를 측정하기 위해 1.0±0.02mm 두께로 제작된 레진 시편을 MgO 백색배경판(X=91.4, Y=92.8, Z=108.8)과 흑색배경판 위에 올려놓고 3자극치 XYZ를 측정하였다. 측정된 Y_b와 Y_w값으로 식 3)을 이용해 C₀₇를 계산하였으며, 계산된 C₀₇와 Y_b를 식 4)에 적용해 각 레진의 C₀₇를 얻었다.

또한 3.0±0.02mm 두께로 제작된 시편은 두께에 따른 투명도의 차이를 측정하기 위해 0.2±0.02mm의 두께만큼 양면을 연마하면서 백색배경판과 흑색배경판 상에서 3자극치 XYZ를 측정했다. 측정된 Y_t와 Y_w값으로 C₀₇를 계산하였다.

5) Kubelka-Munk 공식에 의한 산란계수, 흡수계수 및 반사율의 계산

Kubelka-Munk 공식은 다음과 같다.^{3), 23)}

$$R = 1 + KS^1 - \sqrt{K^2 S^2 + 2KS^1}$$

$$R_\infty = \frac{R_\infty^1(Rb-R_\infty) - R_\infty(Rb-R_\infty^1) \exp S h(R_\infty - R_\infty^1)}{(Rb-R_\infty) - \alpha(Rb-R_\infty^1) \exp S h(R_\infty^1 - R_\infty)}$$

위의 식에서 S는 산란계수, K는 흡수계수, R_s는 시편의 반사율, R_b는 배경판의 반사율 그리고 R_∞는 배경색의 영향을 받지 않는 두께의 시편의 반사율을 나타낸다. 여기서 다시 R_∞의 값을 구하기 위해선 두 번째 광학 계수 a와 b를 다음의 식에 의해 구해야 한다.²⁴⁾

$$a = \frac{[R(B)-R(W)-R_B + R_W - R(B)R(W)R_B + R(B)R(W)R_W + R(B)R_B R_W - R(W)R_B R_W]}{2[R(B)R_W - R(W)R_B]} \dots\dots\dots 5)$$

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \dots\dots\dots 6)$$

$$RI(R_\infty) = a - b \dots\dots\dots 7)$$

R_B와 R_W는 흑색 배경판과 백색 배경판의 반사율을 나타내며 R(B)와 R(W)는 흑색 배경판과 백색 배경판 상에서의 시편의 반사율을 나타낸다.

특정 두께에서의 산란 계수(S)와 흡수 계수(K)는 다음의 식에 의해 구할 수 있다

$$S = (1/bX) \operatorname{Arctgh} \{1 - a(R+Rg) + RRg / b(R-Rg)\}, \text{mm}^{-1} \dots\dots\dots 8)$$

$$K = S(a - 1), \text{mm}^{-1} \dots\dots\dots 9)$$

X는 시편의 두께이고 Arctgh는 inverse hyperbolic cotangent이다. 그리고 R은 Rg의 반사율을 갖는 배경판 상에서 측정된 시편의 반사율이다. 위에서 구해진 광학 계수들을 이용해 배경색의 영향을 받지 않는 시편의 두께(XI)

는 다음의 식에 의해 구한다.

$$XI = (1/bS) \operatorname{Arctgh} \{(1 - 0.999aRI) / (0.999bRI)\} \dots\dots\dots 10)$$

재료의 반사율은 흑색 배경판과 백색 배경판 상에서 측정된 삼자극치 Y_w와 Y_b값을 적용했으며, 배경판의 반사율은 각각의 Y값인 흑색 배경판은 0.013 그리고 백색 배경판은 0.9283을 적용해 a, b, S, K, RI 및 XI 값을 구하였다

6) 자료처리

두께와 배경판에 따른 L*a*b*의 차이는 ΔE*를 계산하여 육안으로 인지가능한 색차(ΔE*≥2)²⁵⁾를 보이는지 분석하였다. 통계 프로그램을 이용해 각 레진간의 그리고 shade 간의 contrast ratio(C₀₇)의 차이를 one-way ANOVA와 Student-Newman-Keuls test를 이용해 비교하였으며, 두께, 시편의 색상, 배경판의 색상 및 C₀₇의 관계를 Pearson product moment correlation과 회귀분석법으로 검사하였다.

III. 연구 결과

1. 색상 측정 결과

2mm 두께의 3종의 광중합 복합레진(Charisma, Spectrum TPH, 및 Z-100)의 색상을 측정색차계로 측정하여 Table 2와 같은 CIE L*a*b*의 값을 얻었다

3종의 광중합 복합 레진들은 Vita shade guide(Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co)를 기초로 하고 있다. 하지만 이전의 많은 연구들에서 보여주었듯이 동일한 색상을 갖는 각 재료간의 L*a*b*의 값을 비교 시 색상에 따라 차이를 보이고 있다. L*의 값은 B3 색상을 제외한 모든 색상에서 CHA가 다른 재료들 보다 높은 값을 보였으며(p<0.05), TPH와 Z100의 1색상과 CHA와 Z100의 B3색상을 제외한 모든 색상에서 재료간에 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 그리고 전체적으로는 CHA의 B1 색상이 58.37로 가장 높은 값을 그리고 TPH의 C2 색상이 48.01로 가장 낮은 값을 보였으며, 1색상을 제외한 나머지 색상간에는 CHA에서는 B1, A1, A2, B2, B3, A3 및 C2, TPH에서는 B1, A2, B2, A3, B3 및 C2, 그리고 Z100에서는 B3, A2, B2, A3, A1 및 C2의 순으로 L*의 값이 높게 나타났다.

a*의 값은 동일한 색상의 각 재료간의 비교에서 TPH와 Z100의 A3를 제외하고 모두 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 1색상을 제외한 동일한 재료의 색상간의 비교에서 CHA는 C2와 B2 그리고 A3와 B2간에는 유의한 차이가 있었으나(p<0.05) 나머지 색상간에는 차이가 없었다. TPH는 B2와 C2 그리고 A3와 A2간에 유의한 차이를 보이

Table 2. CIE L*a*b* values of 3 composite resins

	L*			a*			b*		
	CHA	TPH	Z100	CHA	TPH	Z100	CHA	TPH	Z100
I	55.68 (0.18)	51.16* (0.18)	50.78* (0.34)	1.66 (0.38)	-0.63 (0.24)	-1.13 (0.43)	-3.29 (0.34)	0.27 (0.20)	4.62 (0.28)
A1	56.71 (0.29)	-	52.13 (0.38)	-1.41 (0.40)	-	-0.86 (0.20)	2.43 (0.31)	-	5.09 (0.18)
A2	55.85 (0.22)	53.26 (0.28)	55.03 (0.66)	-1.21 (0.22)	-0.09 (0.15)	-0.68 (0.35)	5.28* (0.26)	4.43 (0.35)	5.81* (0.40)
A3	54.96 (0.24)	52.29 (0.32)	53.59 (0.41)	-1.10 (0.18)	0.17* (0.27)	0.39* (0.16)	7.18 (0.35)	4.35 (0.24)	7.64 (0.40)
B1	58.37 (0.39)	57.29 0.12	-	-1.59 (0.20)	-1.17 (0.13)	-	0.03 (0.20)	2.60	- (0.15)
B2	55.68 (0.36)	52.93 0.20	54.63 (0.26)	-2.25 (0.20)	-0.73 (0.14)	-0.45 (0.19)	5.45* (0.36)	5.18* (0.12)	4.68 (0.14)
B3	55.59* (0.29)	49.49 0.18	55.59* (0.56)	-1.70 (0.29)	2.20 (0.18)	-1.26 (0.38)	6.64* (0.60)	6.29* (0.19)	9.16 (0.21)
C2	53.92 (0.20)	48.01 0.24	49.49 (0.34)	-0.95 (0.22)	1.99 (0.34)	-0.14 (0.42)	4.99 (0.24)	3.06 (0.26)	6.94 (0.24)

* There is no significant difference between materials with same shades(p>0.05). Standard deviations are in parentheses

Table 3. Contrast ratio(Co7) of 3 composite resins

	Charisma		Spectrum TPH		Z-100	
	Co7	S.D	Co7	S.D	Co7	S.D
I	0.457	0.022	0.577	0.023	0.582	0.025
A1	0.666	0.031	-	-	0.597	0.019
A2	0.636	0.012	0.665	0.015	0.676	0.017
A3	0.653	0.008	0.660	0.015	0.673	0.016
B1	0.659	0.003	0.679	0.012	-	-
B2	0.620	0.027	0.657	0.010	0.682	0.013
B3	0.645	0.014	0.652	0.026	0.702	0.019
C2	0.633	0.023	0.643	0.020	0.638	0.015

지 않았다(p>0.05). Z100은 C2와 B2, B2와 A2, B2와 A1 그리고 A1과 B3간에 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

b*의 값은 B2와 B3색상의 CHA와 TPH 그리고 A2색상의 CHA와 Z100간에 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). I색상을 제외한 동일한 재료의 색상간의 비교에서 CHA는 A3와 A1, A3와 B1 그리고 B3와 B1간에만 유의한 차이를 보였다(p<0.05). TPH는 A2와 A3를 제외한 모든 색상간에 유의한 차이를 보였으며, Z100은 모든 색상간에 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

2. Contrast ratio 측정 결과

연구에 사용된 각 레진과 shade간의 contrast ratio (Co7) 차이를 비교하기 위해 1.0±0.02mm 두께로 제작된 레진 시편을 MgO 백색배경판(X=91.4, Y=92.8,

Z=108.8)과 흑색배경판 위에 올려놓고 3자극치 XYZ를 측정하였다. 측정된 Yb(흑색배경판 상에서 측정된 Y값)와 Yw(백색배경판 상에서 측정된 Y값)값으로 식 3)을 이용해 Co92를 계산하였으며, 계산된 Co92와 Yb를 식 4)에 적용해 각 레진의 Co7값을 얻었다(Table 3.).

각 레진의 shade간의 Co7을 비교한 결과 CHA와 TPH에서는 I 색상이 다른 색상에 비해 낮은 contrast ratio를 보였으나 Z100에서는 A1과 I색상간에 차이를 보이지 않았다(Table 4, 5, 6)

CHA의 I 색상은 연구에 사용된 모든 레진들 중에서 가장 낮은 Co7값을 보였으며 Z100의 B3 색상이 가장 높은 Co7값을 보였다(Fig. 1). 동일한 색상의 각 레진 간의 비교 시 A3 색상과 C2 색상은 서로 다른 레진 간에 Co7값은 차이를 보이지 않았으며, I 색상의 Z100과 TPH, A2 색상의 Z100과 TPH 그리고 B3 색상의 CHA와 TPH간에도 Co7값의 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

Table 4. Comparison of C₀₇ of CHA between each shade

	A1	B1	A3	B3	A2	C2	B2	I
A1								
B1	*							
A3								
B3			*					
A2			*	*				
C2			*	*	*			
B2					*	*		
I								

* There is no significant difference between shades (p>0.05)

Table 5. Comparison of C₀₇ of TPH between each shade

	B1	A2	A3	B2	B3	C2	I
B1							
A2	*						
A3	*	*					
B2	*	*	*				
B3	*	*	*	*			
C2		*	*	*	*		
I							

* There is no significant difference between shades (p>0.05)

Table 6. Comparison of C₀₇ of Z100 between each shade

	B3	B2	A2	A3	C2	A1	I
B3							
B2	*						
A2		*					
A3		*	*				
C2							
A1							
I							

* There is no significant difference between shades (p>0.05)

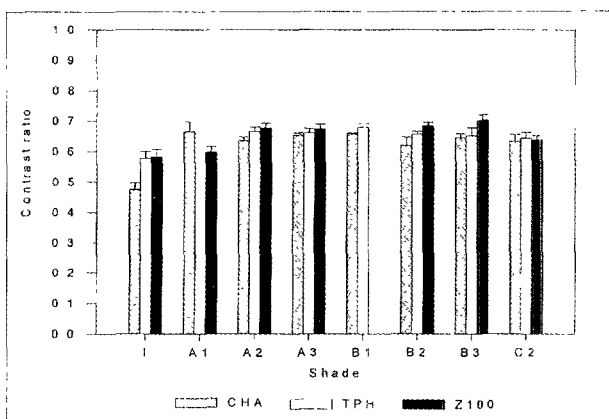


Fig. 1. Contrast ratio of 3 composite resins

3. 레진의 두께에 따른 L*a*b*값의 변화

백색 배경판 상에서 측정된 CHA의 L*값은 모든 색상에서 두께가 증가할수록 감소하는 매우 높은 상관관계를 보였다 (p>0.01). 반면 흑색 배경판 상에서 I, A1, A2 및 B1 색상은 상관관계를 보이지 않았으며 (p>0.05), 나머지 색상들은 약등 상관관계를 보였다.

백색 배경판 상에서 측정된 a*값은 A2와 C2색상에서는 두께의 변화에 대해 상관관계를 보이지 않았지만 (p>0.05), 다른 색상에서는 두께가 증가함에 따라 a*값이 감소하는 비교적 약한 상관관계를 보였다. 흑색 배경판 상에서의 a*값은 I, A3, B3 및 C2 색상에서는 두께의 변화에 대해 상관관계를 보이지 않았으며 (p>0.05), 나머지 색상들은 약한 상관관계를 보였다.

CHA의 b*값은 모든 색상의 레진들이 백색 배경판 상에서 두께가 증가할수록 값이 감소하는 매우 높은 상관관계를 보이고 있다. 하지만 흑색 배경판 상에서는 I와 C2 색상은 상관관계를 보이지 않았고, A2, B2 및 B3 색상은 두께가 증가할수록 b*값이 증가하는 비교적 높은 상관관계를 보였다. 또한 A1, B1 및 A3 색상은 비교적 높은 상관관계를 보이나 b*값은 두께가 증가할수록 증가하다가 2.2mm 이후 감소하는 양상을 보였다.

TPH의 모든 색상의 레진들은 백색 배경판 상에서 두께가 증가할수록 L*값이 감소하는 매우 큰 상관관계를 보였다 (R>0.9) 흑색 배경판 상에서는 I 색상을 제외한 모든 색상에서 2mm까지는 두께의 증가에 따라 L*값이 감소하다 그 이후 증가하는 비교적 높은 상관관계를 보였다. I 색상은 두께의 증가에 따라 L*값이 감소하였다.

백색 배경판 상에서 a*값은 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 보이는 비교적 높은 상관관계를 보이고 있으나 전체적인 변화량은 2mm 이하로 각 두께 차이에 유의한 차이를 보이지 않은 경우가 많았다. 흑색 배경판 상에서의 a*값은 B3와 C2 색상에서는 두께 변화와 상관관계를 보이지 않았으며, 나머지 색상들은 두께의 증가에 따라 감소하는 비교적 높은 상관관계를 보였다.

b*값은 백색 배경판 상에서는 두께가 증가할수록 감소하는 매우 높은 상관관계를 보이고 있으나 흑색 배경판 상에서는 I, B1, B3 및 C2 색상이 상관관계를 보이지 않았으며 (p)0.05), A2와 B2 색상은 두께 증가 시 b*값이 증가하다 감소하는 양상을 그리고 A3색상은 두께 증가에 따라 감소하는 상관관계를 보였다.

Z100의 L*값은 백색 배경판 상에서는 CHA와 TPH처럼 두께의 증가에 따라 감소하는 매우 높은 상관관계를 보였다. 흑색 배경판 상에서도 두께의 증가에 따라 감소하는 비교적 높은 상관관계를 보이고 있으나 변화량이 백색 배경판 상에서 보다 더 적었다.

a*값은 I와 A2 색상을 제외한 모든 색상이 백색 배경판과 흑색 배경판 상에서 두께 증가에 따라 감소하는 비교적 높은 상관관계를 보였으나, A2 색상은 상관관계를 보이지 않았고 I 색상은 두께에 따라 감소하다 2.2mm 이후 증가하는 양상을 보였다.

b*값은 백색 배경판에서는 두께의 증가에 따라 감소하는 높은 상관관계를 보였으나, 흑색 배경판 상에서는 I와 A2 색상은 상관관계를 보이지 않았고 A1, A3, B2 및 B3 색상은 두께의 증가에 따라 증가하는 비교적 높은 상관관계를 보였으나 2mm 이후에는 증가량에 유의한 차이가 없었다.

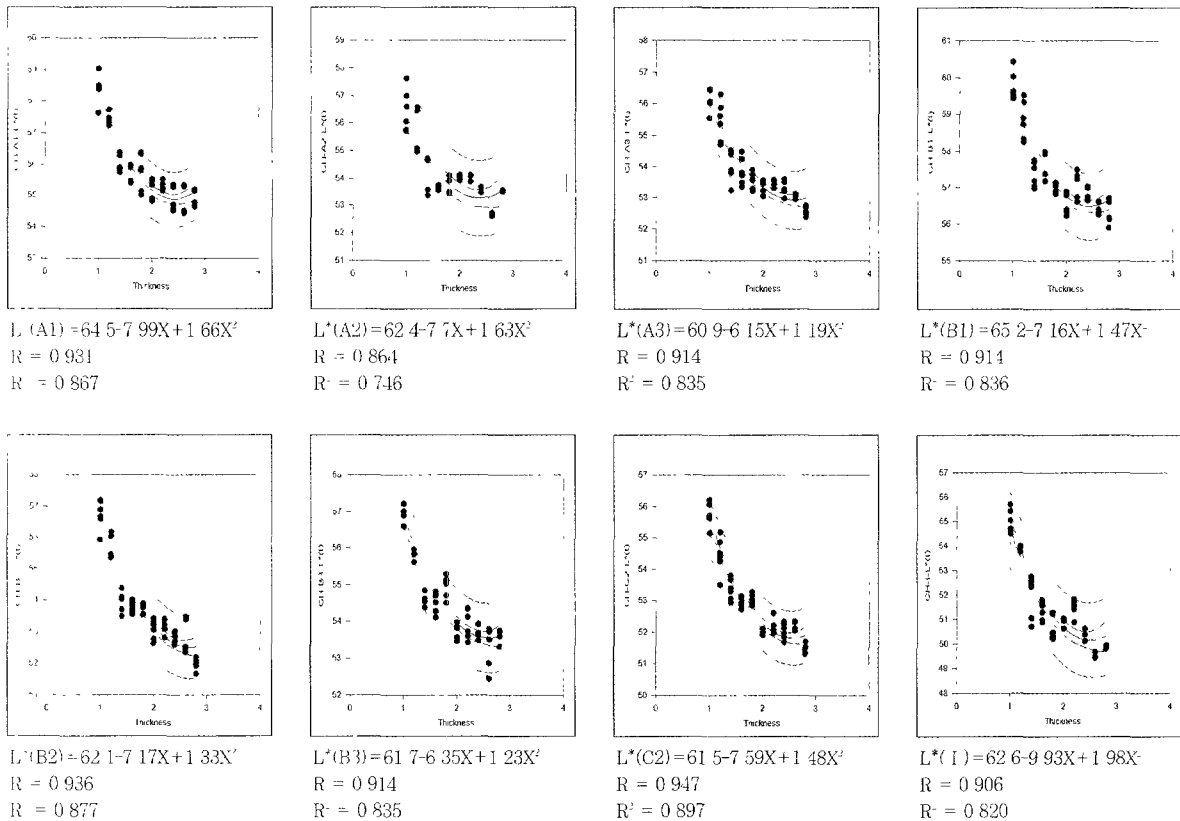


Fig. 2. L* value of CHA measured on the tooth background as a function of thickness

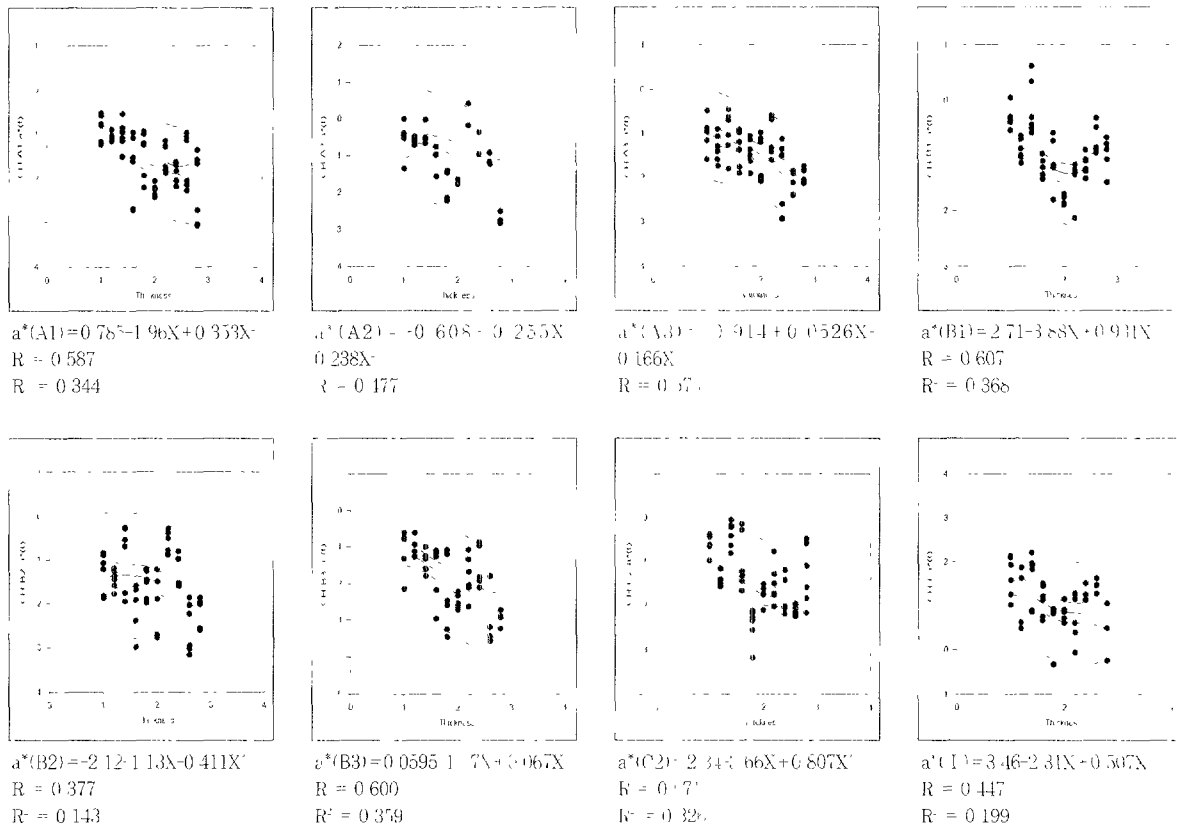


Fig. 3. a^* value of CHA measured on the tooth background as a function of thickness

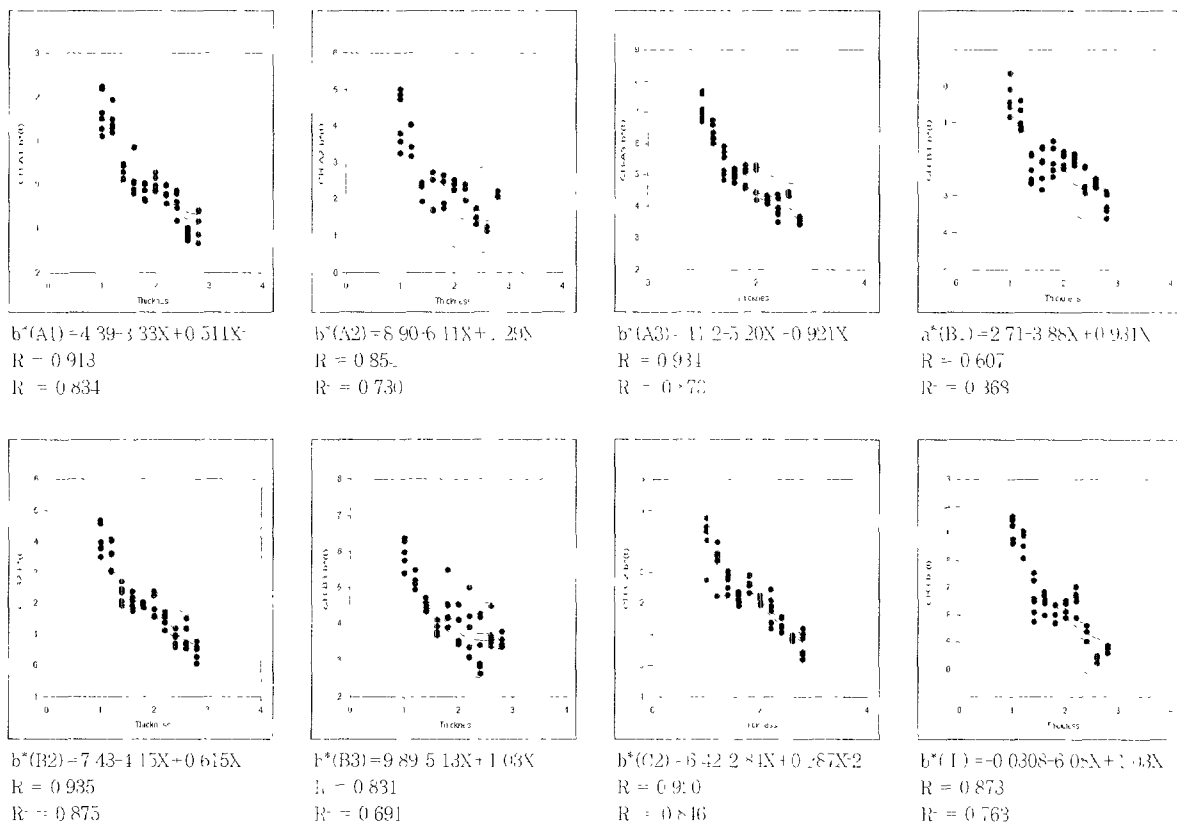


Fig. 4. b^* value of CHA measured on the tooth background as a function of thickness

Table 7. L*a*b* value of TPH measured on the tooth background as a function of thickness

	Shade		R	R ²
L*	A2	$L^*(A2) = 62.8 - 9.73X + 1.99X^2$	0.955	0.912
	A3	$L^*(A3) = 62.4 - 9.70X + 1.99X^2$	0.952	0.907
	B1	$L^*(B1) = 64.7 - 7.91X + 1.61X^2$	0.939	0.881
	B2	$L^*(B2) = 61.2 - 8.12X + 1.65X^2$	0.928	0.862
	B3	$L^*(B3) = 60.0 - 8.92X + 1.81X^2$	0.829	0.687
	C2	$L^*(C2) = 61.1 - 10.8X + 2.24X^2$	0.856	0.733
	I	$L^*(I) = 62.1 - 9.65X + 1.69X^2$	0.958	0.918
a*	A2	$a^*(A2) = 0.520 - 0.219X + 0.0579X^2$	0.534	0.285
	A3	$a^*(A3) = -0.59 + 0.988X - 0.374X^2$	0.536	0.287
	B1	$a^*(B1) = 0.837 - 1.58X + 0.307X^2$	0.492	0.242
	B2	$a^*(B2) = 1.09 - 1.70X + 0.365X^2$	0.403	0.163
	B3	$a^*(I) = 2.15 - 2.48X + 0.513X^2$	0.583	0.340
	C2	There is no significant relationships between thickness and a*(B3) values in the correlation table (p > 0.05)		
	I	There is no significant relationships between thickness and a*(C2) values in the correlation table (p > 0.05).		
b*	A2	$b^*(A2) = 4.18 - 0.975X - 0.0123X^2$	0.835	0.697
	A3	$b^*(A3) = 7.81 - 3.56X + 0.48X^2$	0.952	0.906
	B1	$b^*(B1) = 2.83 - 1.14X - 0.00862X^2$	0.895	0.801
	B2	$b^*(B2) = 6.27 - 1.53X - 0.0163X^2$	0.931	0.867
	B3	$b^*(B3) = 10.9 - 4.10X + 0.655X^2$	0.885	0.784
	C2	$b^*(C2) = 7.60 - 4.19X + 0.746X^2$	0.784	0.614
	I	$b^*(I) = 0.976 - 1.14X$	0.888	0.789

X : Thickness of composite resin R : correlation coefficient R² : coefficient of determination

Table 8. L*a*b* value of Z-100 measured on the tooth background as a function of thickness

	Shade		R	R ²
L*	A1	$L^*(A1) = 61.8 - 9.55X + 1.78X^2$	0.934	0.873
	A2	$L^*(A2) = 62.8 - 7.66X + 1.46X^2$	0.913	0.833
	A3	$L^*(A3) = 59.5 - 5.70X + 0.959X^2$	0.925	0.856
	B2	$L^*(B2) = 61.5 - 6.63X + 1.23X^2$	0.926	0.857
	B3	$L^*(B3) = 61.6 - 6.53X + 1.26X^2$	0.910	0.828
	C2	$L^*(C2) = 59.8 - 10.2X + 2.06X^2$	0.938	0.880
	I	$L^*(I) = 60.0 - 9.07X + 1.56X^2$	0.940	0.884
a*	A1	$a^*(A1) = 3.08 - 3.53X + 0.70X^2$	0.747	0.558
	A2	$a^*(A2) = 0.818 - 1.32X + 0.209X^2$	0.527	0.278
	A3	$a^*(A3) = 2.20 - 1.93X + 0.387X^2$	0.494	0.244
	B2	$a^*(B2) = 1.25 - 1.15X + 0.0969X^2$	0.647	0.418
	B3	$a^*(B3) = -0.595 + 0.00922X - 0.14X^2$	0.567	0.322
	C2	$a^*(C2) = -0.532 + 0.776X - 0.362X^2$	0.523	0.273
	I	$a^*(I) = 1.71 - 2.28X + 0.495X^2$	0.496	0.246
b*	A1	$b^*(A1) = 5.06 - 1.38X + 0.119X^2$	0.813	0.661
	A2	$b^*(A2) = 7.50 - 2.46X + 0.363X^2$	0.845	0.715
	A3	$b^*(A3) = 7.61 - 1.27X$	0.857	0.734
	B2	$b^*(B2) = 5.90 - 2.01X + 0.299X^2$	0.832	0.692
	B3	$b^*(B3) = 8.81 - 0.929X$	0.849	0.721
	C2	$b^*(C2) = 10.6 - 4.13X + 0.632X^2$	0.943	0.890
	I	$b^*(I) = 5.07 - 1.42X$	0.870	0.757

X : Thickness of composite resin R : correlation coefficient R² : coefficient of determination

반면 C2색상은 두께가 증가할수록 b*값이 감소하였다

치아 배경판 상에서 두께에 따른 CHA의 L*a*b*값의 변화는 Fig. 2~4와 같다 또한 치아 배경판 상에서 TPH와 Z-100의 두께와 L*a*b* 값과의 상관 관계는 Table 7과 8에 나타나 있다. L*값과 b*값은 백색 배경판에서와 비슷한 양상으로 두께가 증가함에 따라 감소하는 높은 상관관계를

보이고 있으나 값의 변화량은 백색 배경판 상에서 측정된 값에 비해 적었다. 그리고 L*값은 전반적으로 두께 2mm 이전까지는 곡선의 기울기, 즉 값의 변화량이 많지만 2mm 이후 곡선의 기울기가 감소하는 2차 회귀 곡선을 따라 변화하는 양상을 보인 반면 b*값은 CHA의 A2와 B3를 제외하고는 1차 회귀식에 가까운 직선형의 감소 경향을 보이고 있다

Table 9. Color difference(ΔE^*) of same specimen measured on the white background and black background

		2.8mm	2.6mm	2.4mm	2.2mm	2.0mm	1.8mm	1.6mm	1.4mm	1.2mm	1.0mm	
CHA	I	5.601	6.247	7.611	9.216	11.353	12.907	15.126	17.114	20.513	23.621	
	SD	0.374	0.230	0.274	0.792	0.236	1.126	0.301	0.933	1.861	1.323	
	A1	1.853	2.758	3.320	3.623	4.593	5.113	7.361	9.013	11.417	14.148	
	SD	0.179	0.269	0.229	0.289	0.326	0.646	0.459	0.650	0.404	1.460	
	A2	2.170	2.172	3.831	4.091	5.067	7.256	7.458	9.164	12.248	15.746	
	SD	0.115	0.167	0.292	0.066	0.277	1.145	1.452	0.379	0.214	0.408	
	A3	1.803	1.860	3.147	3.571	4.470	5.970	7.040	9.745	11.628	15.338	
	SD	0.144	0.732	0.335	0.328	0.278	0.480	0.500	0.386	0.551	0.559	
	B1	1.993	2.528	3.175	3.541	4.027	5.357	6.965	8.161	10.984	13.561	
	SD	0.292	0.168	0.283	0.166	0.245	0.529	0.439	0.689	0.572	0.198	
	B2	2.621	3.387	4.212	5.802	6.101	7.532	9.198	10.775	13.980	16.816	
	SD	0.207	0.337	0.503	0.515	0.745	0.405	0.426	0.359	1.154	1.519	
	B3	2.391	3.051	3.321	4.368	4.873	6.792	8.282	10.128	8.602	5.873	
	SD	0.338	0.231	0.212	0.098	0.345	0.572	1.357	0.703	6.665	0.684	
	C2	2.258	2.517	3.252	4.195	5.484	6.554	8.693	10.464	12.712	5.732	
	SD	0.378	0.223	0.207	0.370	0.461	0.314	0.999	0.315	0.368	0.007	
TPH	I	2.650	3.455	3.892	4.919	6.017	7.094	9.133	9.496	12.824	14.318	
	SD	0.361	0.372	0.409	0.454	0.211	0.629	1.055	0.577	0.634	0.993	
	A2	1.654	2.131	2.747	3.592	4.293	5.010	6.785	8.329	10.256	12.161	
	SD	0.257	0.154	0.257	0.334	0.405	0.237	0.385	0.230	0.486	0.526	
	A3	1.667	1.909	2.738	3.435	4.068	5.138	6.357	7.682	9.482	12.516	
	SD	0.101	0.284	0.257	0.350	0.442	0.282	0.361	0.513	0.247	0.287	
	B1	2.023	2.500	3.215	3.821	4.717	5.682	6.482	8.032	9.785	11.400	
	SD	0.434	0.219	0.256	0.502	0.278	0.779	0.598	0.405	0.498	0.463	
	B2	2.009	2.293	2.805	3.664	4.428	5.428	6.484	8.002	10.252	13.049	
	SD	0.235	0.347	0.327	0.553	0.134	0.405	0.540	0.429	0.238	0.500	
	B3	1.816	2.110	2.739	3.526	4.086	6.052	6.952	9.068	11.071	13.353	
	SD	0.183	0.257	0.264	0.352	0.622	0.360	0.137	0.822	0.783	0.912	
	C2	1.470	1.994	2.194	3.220	3.812	5.214	6.107	8.630	10.518	12.679	
	SD	0.224	0.340	0.408	0.539	0.500	0.309	0.406	0.571	0.279	0.787	
	Z100	I	2.081	3.127	3.549	4.973	5.797	7.158	8.411	9.757	12.792	14.651
		SD	0.326	0.157	0.237	0.419	0.469	1.278	0.415	0.614	0.507	1.092
A1		2.228	2.726	3.461	4.869	4.945	5.859	7.444	8.685	11.030	14.478	
SD		0.245	0.152	0.280	0.762	0.297	0.402	0.502	0.293	1.487	0.881	
A2		1.912	2.149	2.805	3.101	3.508	4.454	6.185	7.345	9.707	12.023	
SD		0.139	0.211	0.271	0.302	0.324	0.767	0.590	0.685	0.321	0.687	
A3		1.783	2.109	2.581	3.048	4.630	5.095	6.229	7.598	9.987	12.309	
SD		0.495	0.185	0.086	0.281	0.227	0.214	0.175	0.559	0.287	0.678	
B2		1.575	2.149	2.754	3.102	3.735	4.764	5.651	7.533	9.301	11.449	
SD		0.158	0.209	0.122	0.241	0.560	0.316	0.312	0.486	0.410	0.529	
B3		1.540	1.874	2.785	3.578	4.000	5.131	6.379	7.353	9.750	11.601	
SD		0.244	0.381	0.628	0.186	0.420	0.666	0.360	0.379	0.567	0.773	
C2		1.540	1.828	2.785	3.102	3.800	5.475	6.125	7.785	10.106	13.131	
S.D		0.146	0.200	0.330	0.261	0.415	0.741	0.240	0.396	0.738	0.638	

a*값은 두께의 차이에 따른 변화량이 L*나 b*값에 비해 적었으며 변화 양상도 크게 2가지 형태의 2차 회귀 곡선은 따르고 있다. 그중 하나는 "a* = A + BX + CX"에서 음(-)의 "C" 값을 갖는 군으로 CHA의 A2, A3, B2, B3, TPH의 A3, 그리고 Z100의 B3와 C2가 여기에 포함되며, 다른 한 군은 양(+)"의 "C" 값을 보이는 군으로 나머지 색상

들이 여기에 포함된다. 첫 번째 군은 두께가 두꺼워 질수록 변화량도 증가하는 군이며, 두 번째 군은 두께가 두꺼워 질수록 변화량이 감소하는 군이다. 또한 두 번째 군 중 일부는 특정 두께를 기점으로 감소하던 a*값이 다시 증가하는 양상을 보이고 있다(Table 8).

Table 10. Color difference (ΔE^*) of same specimen measured on the white background and tooth background

		2.8mm	2.6mm	2.4mm	2.2mm	2.0mm	1.8mm	1.6mm	1.4mm	1.2mm	1.0mm	
CHA	I	3 286	4 098	4.008	4.966	6.554	9.182	9.977	11.755	12.591	15 006	
	S.D	0.451	0.389	0 498	0.778	0.169	0.812	0 272	1.260	1.791	0.991	
	A1	1.431	2.328	2.235	2.222	3.043	4.338	5.226	6.372	7.286	9.106	
	S.D	0.102	0.408	0.198	0 460	0 340	0.527	0.569	0 454	0.535	1 262	
	A2	1.486	1.496	2 992	3 697	3.464	5.324	5 206	6.449	7.582	10 103	
	S D	0.192	0.093	0.108	0 460	0.219	1 368	1.292	0.374	0 210	0.801	
	A3	1.056	1.882	2.107	2.211	3.022	4.292	4.964	6 906	7.297	9 993	
	S.D	0.096	0.736	0.295	0.334	0 375	0.444	0.641	0.400	0.443	0.427	
	B1	2.072	1 757	1.845	2.188	2.744	3.873	5.288	6 031	7.201	8 481	
	S.D	0.114	0.171	0 105	0.118	0 122	0.434	0.446	0.682	0.387	0.463	
	B2	1.861	2.539	2 574	3.717	4.385	5 210	6.214	7.471	9 139	10.712	
	S.D	0.178	0.321	0.474	0 874	0 465	0.373	0 286	0 349	1.163	1 267	
	B3	1.563	1.969	2 232	2.636	3.451	4.673	6.140	7.074	5 596	10.223	
	S.D	0.187	0.216	0.724	0 364	0.384	0.600	1.248	0.528	4.345	0.469	
	C2	1.900	2.023	1 844	2.486	3.663	4 488	6 042	7.112	8 531	10.321	
	S.D	0.610	0.374	0.291	0.290	0.342	0.548	1.022	0.295	0.730	0.920	
TPH	I	1 454	2 308	1.960	2.508	2.899	4.602	5.778	5 980	8.070	9 239	
	S.D	0.385	0 311	0.409	0 638	0.542	0.653	1.219	0.307	0.614	0.399	
	A2	1 000	1.426	1 754	2.122	2.525	3.730	4 544	5 283	6.401	7 834	
	S D	0.395	0.269	0.209	0.125	0.265	0.413	0.274	0 324	0.426	0.382	
	A3	1.222	1.418	1.365	1.991	2.438	3.242	3.957	5.073	6.058	7 770	
	S D	0.120	0 314	0.227	0.384	0 618	0 448	0.296	0.469	0 414	0.358	
	B1	1 443	1.699	2 112	2.143	2.915	3 821	4.408	5.413	6.306	7 077	
	S D	0 278	0.270	0 346	0.284	0.139	0.637	0.693	0.453	0 366	0 475	
	B2	1 665	1 694	1.750	2 404	2.301	3 554	4.786	5.283	6.404	8.757	
	S.D	0.174	0 275	0.202	0.540	0.300	0.284	0.263	0.757	0 223	0.992	
	B3	1.274	1.234	1.844	2 103	2 282	3.888	4 393	5 860	7.006	9.018	
	S.D	0.157	0 379	0.881	0.213	0.540	0.397	0 260	0 675	0.951	0 847	
	C2	1.146	1.446	1.247	1.736	1 992	3.230	4.160	5.698	6.869	7.919	
	S.D	0.563	0 133	0.301	0.570	0 518	0.406	0.274	0.648	0 334	0.597	
	Z100	I	1.659	1.779	2.089	2.813	3 172	4.853	5.675	6.096	8.008	9.169
		S D	0 360	0 252	0.227	0.634	0.608	1.181	0.786	0 847	0.209	0 482
A1		1.225	1.836	2 098	2.383	2.725	3 850	4.689	5.576	7.458	9.228	
S.D		0.463	0 204	0 304	0.453	0.351	0.329	0.341	0 204	1.179	0 707	
A2		1.560	1.533	1.750	1.934	2.032	2.949	4 107	4.820	6.321	7 773	
S D		0.378	0 342	0 115	0 274	0.217	0 554	0 489	0.710	0 419	0 518	
A3		1.910	1.312	1.612	1 680	2.823	3.185	4.302	4.888	6 361	7 868	
S.D		1.103	0.240	0 095	0.207	0 342	0.197	0.380	0.528	0 289	0.745	
B2		1 080	1.571	1.520	1.999	2.281	3.038	3.672	4.966	6.079	7.436	
S.D		0.172	0.154	0 143	0.273	0.234	0.344	0.391	0.527	0.485	0.651	
B3		1.174	1 175	1 781	2.222	2.584	3 639	4.312	4.826	6.111	7 789	
S.D		0 334	0.307	0 463	0.238	0.436	0.467	0.307	0 475	0.465	0.663	
C2		1.134	1.100	1.827	1.798	2.559	3.776	4 049	5.044	6.327	8.267	
S.D		0.358	0.206	0.226	0 196	0.399	0.573	0.185	0 532	0.771	0 782	

4. 주어진 두께에서 배경판에 따른 각 레진의 색차

백색 배경판과 흑색 배경판 상에서 측정된 $L^*a^*b^*$ 값으로 색차(ΔE^*)를 계산하였다(Table 9). 2.8mm 두께에서 가장 적은 색차를 보인 레진은 TPH의 C2 색상으로 1.47의 ΔE^* 값을 보였다

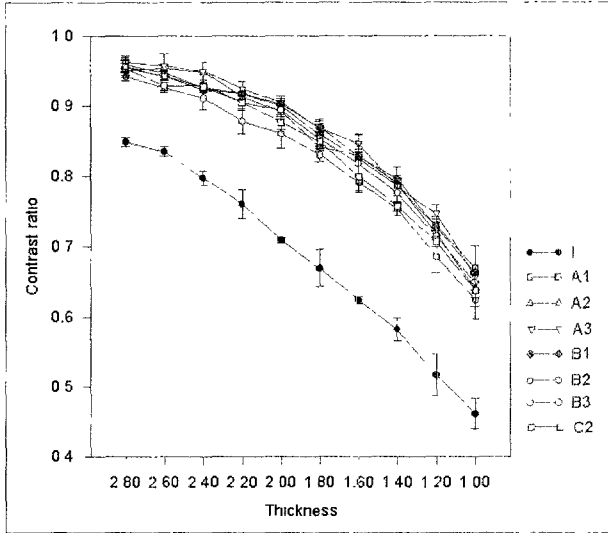


Fig. 5. Contrast ratio of CHA as a function of thickness.

모든 1색상과 CHA의 A2, B2, B3, C2, TPH의 B1, B2 및 Z100의 A1 색상은 2.8mm에서 2 이상의 ΔE^* 값을 보였다. 2.6mm 두께에서 2 이하의 ΔE^* 를 보인 레진은 CHA의 A3, TPH의 A3, C2, 그리고 Z100의 B3와 C2 색상이며, 2.4mm 두께에서는 모든 레진이 2 이상의 ΔE^* 값을 보였다.

Table 10은 백색 배경판과 치아 배경판에서 측정된 $L^*a^*b^*$ 값으로 계산된 ΔE^* 값과 표준 편차를 나타내고 있다. 2.8mm 두께에서는 CHA의 1색상만이 3.29의 ΔE^* 값을 보이고 나머지 레진들은 2이하의 ΔE^* 값을 보이고 있다. 그중 TPH의 A2색상이 가장 적은 1.0의 색차를 보였다. 2mm의 두께에서는 TPH의 C2 색상을 제외한 모든 색상에서 2 이상의 ΔE^* 값을 보이고 있다.

5. 두께에 따른 contrast ratio의 변화

두께에 따른 contrast ratio의 변화 양상은 Fig. 5, 6, 그리고 7에 나타나 있다. 모든 레진들은 두께가 증가할수록 contrast ratio가 감소하는 높은 상관관계를 보이고 있다. CHA와 TPH의 1색상은 모든 두께에서 다른 색상들에 비해

Table 11. Second-degree polynomial regression of thickness versus contrast ratio

		MSRes	R	R ²
CHA	$CR=0.246+0.497x-0.0877x^2$	0.00023	0.989	0.977
TPH	$CR=0.29+0.454x-0.0768x^2$	0.000106	0.995	0.989
Z100	$CR=0.282+0.472x-0.0828x^2$	0.000483	0.975	0.95
Total	$CR=0.271+0.476x-0.0827x^2$	0.000281	0.985	0.971

CR : Contrast ratio

x : Thickness of composite resin

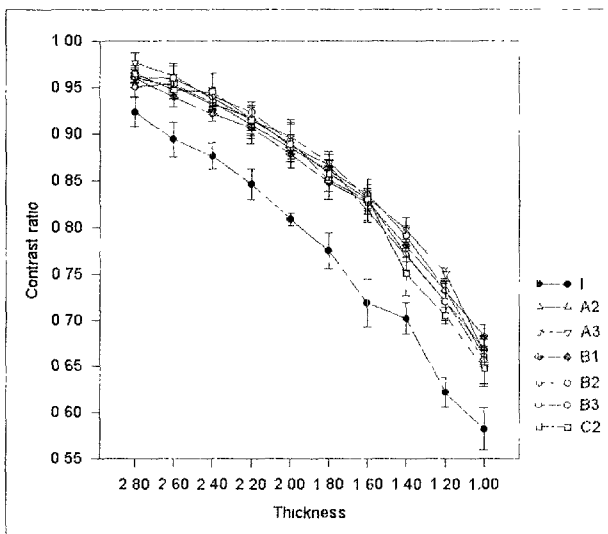


Fig. 6. Contrast ratio of TPH as a function of thickness

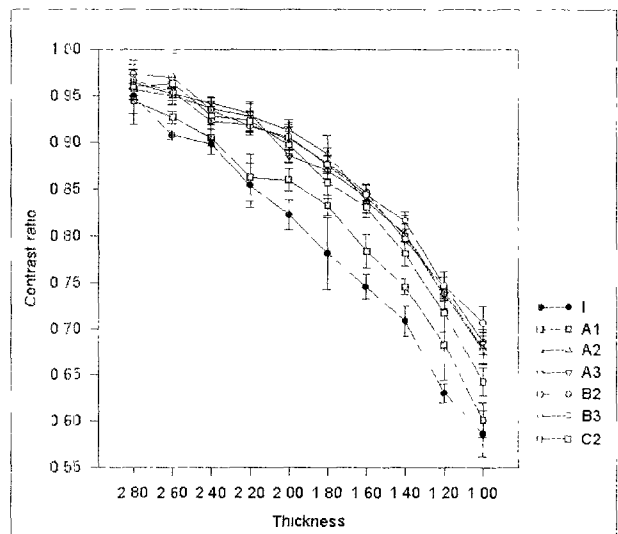


Fig. 7. Contrast ratio of Z100 as a function of thickness

Table 12. a, b, S, K, RI & XI values of 3 composite resins

	a	b	S	K	RI	XI
CH-I	2.4631	2.2507	0.3568	0.5216	0.2123	6.0778
CH-A1	2.0877	1.8326	0.6021	0.6550	0.2551	3.1125
CH-A2	2.2679	2.0355	0.5335	0.6759	0.2324	3.2983
CH-A3	2.2803	2.0493	0.5476	0.7010	0.2310	3.1079
CH-B1	1.9878	1.7179	0.6203	0.6127	0.2699	3.2111
CH-B2	2.2552	2.0213	0.5206	0.6533	0.2339	3.3419
CH-B3	2.2227	1.9850	0.5509	0.6736	0.2377	3.1589
CH-C2	2.3265	2.1005	0.5206	0.6906	0.2259	3.2435
TPH-I	2.5385	2.3331	0.4417	0.6786	0.2054	3.8097
TPH-A2	2.3913	2.1720	0.5396	0.7495	0.2194	-
TPH-A3	2.4367	2.2219	0.5267	0.7569	0.2147	3.1143
TPH-B1	2.1151	1.8637	0.6102	0.6804	0.2514	3.0971
TPH-B2	2.4165	2.1998	0.5271	0.7466	0.2167	3.0402
TPH-B3	2.6471	2.4508	0.4879	0.8023	0.1963	3.7342
TPH-C2	2.6919	2.4993	0.4737	0.8014	0.1927	3.0369
Z100-I	2.6805	2.4868	0.4276	0.7185	0.1936	3.6713
Z100-A1	2.4563	2.2433	0.4681	0.6815	0.2130	4.5542
Z100-A2	2.1996	1.9591	0.5880	0.7053	0.2405	2.9851
Z100-A3	2.3993	2.1809	0.5453	0.7632	0.2184	2.9658
Z100-B2	2.2758	2.0443	0.5786	0.7383	0.2315	2.9440
Z100-B3	2.2363	2.0002	0.6090	0.7530	0.2361	2.8802
Z100-C2	2.7760	2.5895	0.4593	0.8146	0.1865	3.5547

낮은 contrast ratio를 보이고 있지만 Z100은 2.2mm, 2.4mm 및 2.8mm에서 유의한 차이를 보이지 않고 있다 ($p > 0.05$).

I 색상을 제외한 CHA, TPH 와 Z100의 나머지 색상들의 다항 회귀분석 결과는 Table 11과 같다.

복합 레진의 두께와 contrast ratio간에는 매우 높은 상관 관계를 보이고 있다($R > 0.95$).

6. Kubelka-Munk 공식으로 예측한 복합 레진의 반사율

연구 방법의 식 5)~10)을 이용하여 산란계수(S), 흡수계수(K), a 및 b값을 구하고 배경판의 색상의 영향을 받지 않는 복합 레진의 두께(XI)와 이때의 반사율Y(RI)를 구하였다.

CHA의 I 색상은 연구에 사용된 모든 레진들 중에서 가장 낮은 산란 계수와 흡수 계수를 보이고 있으며 가장 큰 XI값을 보이고 있다. 각 레진들 중에서 가장 큰 산란 계수를 갖는 색상은 CHA의 B1, TPH의 B1 그리고 Z100의 B3이며, 가장 큰 흡수 계수를 갖는 색상은 CHA의 A3, TPH의 B3 그리고 Z100의 C2이다. 그리고 가장 큰 RI값은 CHA의 B1 색상이 보이고 있으며, 가장 낮은 RI값은 Z100의 C2 색상이 보이고 있다(Table 12).

IV. 총괄 및 고찰

복합 레진의 색상은 배경색의 영향을 전혀 받지 않는 두께에서 측정되어야 할 것이다. 하지만 이전의 많은 연구에서 측정에 사용된 복합 레진의 두께는 2mm나 3mm가 보편적으로 사용되었다. 본 연구에서 두께에 따른 복합 레진의 contrast ratio와 색상을 측정해 본 결과 2.8mm의 두께에서도 배경판의 색상에 따라 색상의 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 2.8mm의 두께를 가진 레진 시편의 contrast ratio가 완전히 불투명한 상태의 값인 "1"에 미치지 못함을 의미한다. 결국 특정 두께에서 어느 정도의 투명도를 갖는 가 하는 것이 재료의 색상을 결정하는데 중요한 의미를 갖게 되는 것이다.

재료의 투명도를 측정하는 방법에는 3가지 방법이 있다¹⁹⁾. 첫 번째는 본 연구에서 사용한 백색 배경판과 흑색 배경판 상에서 측정된 재료의 분광 반사율의 비율로 투명도의 반대 개념인 contrast ratio를 측정하는 방법이 있고 두 번째는 시편에 입사된 빛의 강도에 대해 직접 시편을 투과한 빛의 강도의 비율인 투과 계수(transmission coefficient)로 투명도를 나타내는 방법이며, 마지막은 직접 투과한 빛에 산란된 빛을 포함해 투과 계수를 환산하는 방법이 있다. Brodbelt 등¹⁸⁾은 세 번째 방법으로 치아 법랑질의 투명도를 측정한 결과 525nm의 파장에서 0.481의 투과 계수를 보였으며 파장이 증가할수록 투명도는 높아졌고 이는 파장이

짧아질수록 빛의 산란의 증가에 의한 것이라 보고하였다. 또한 범랑질을 건조시키면 시간이 지날수록 투명도는 감소하였으며 수분을 가하면 점차 원래의 투명도를 회복했는데 이는 굴절률 1.7의 범랑질과 1.33의 수분과의 굴절률 차이보다 제거된 수분 대신 채워진 굴절률 1인 공기와의 굴절률의 차이가 더 크기 때문이라 보고했다. Brodbelt 등²⁹은 또한 두 번째와 세 번째 방법을 이용해 치과용 도재의 투명도를 측정했는데 두 번째 방법에 의해서는 1% 미만의 투과 계수가 측정된 반면 세 번째 방법에 의해서는 평균 26.8%의 투과 계수를 갖는다고 보고했다. 반면 첫 번째 방법에 의해 측정된 치아와 여러 재료들의 contrast ratio는 연구자들마다 약간의 차이는 있지만 Cook과 McAree³⁰의 측정에 의하면 범랑질은 0.34 ± 0.11 , 상아질은 0.56 ± 0.12 , 범랑질형 도재는 0.227 ± 0.067 , 상아질형 도재는 0.406 ± 0.052 그리고 복합 레진은 0.436 ± 0.085 의 contrast ratio를 갖는다고 보고하였다. 첫 번째 방법과 두 번째 그리고 세 번째 방법간의 상관 관계나 차이를 언급한 연구는 거의 없다. 하지만 두 번째와 세 번째 방법이 모든 가시 광선 영역의 파장별 투명도를 측정하여 좀 더 정확한 분석이 가능하리라 생각되지만 특정 파장 영역대의 혹은 자극 순도가 가장 높은 파장의 측정값을 연구 대상의 대표치로 선택한다면 다른 연구 결과와의 비교에 다소 어려움이 있으리라 사료되어 본 연구에서는 측정 방법도 용이하고 항상 일정한 측정치를 보이는 첫 번째 방법을 선택하였다. 본 연구에 사용된 1mm 두께의 3종 복합 레진들의 contrast ratio ($C_{0.9}$)는 CHA의 I색상의 0.457과 TPH의 I색상의 0.577 그리고 Z100 I색상의 0.582를 제외하고 0.6에서 0.7사이의 값을 보이고 있다. 이는 다른 연구자들이 보고한 복합 레진의 contrast ratio에 비해 비교적 높은 값이며, TPH의 경우 제조 회사에서 제시하고있는 0.41 ± 0.02 의 $C_{0.9}$ 값에 비해서 상당히 높은 값이다³¹. 하지만 이전의 시간 경과에 따른 contrast ratio의 변화에 관한 연구에서 측정했던 $C_{0.9}$ 값과는 다른 기기를 사용했음에도 거의 일치되는 값을 보이고 있다³⁰. 여러 결과에서 보여 주듯 범랑질은 다른 치과용 수복 재료들에 비해 높은 투명도를 갖는다. 따라서 복합 레진과 같은 수복 재료를 이용해 치아를 수복하기 위해서는 재료의 투명도와 두께 그리고 배경색을 고려하여 높은 투명도를 가진 범랑질을 통해 비추어 나오는 상아질의 색상을 낮은 투명도를 가진 복합 레진으로 예측, 재현할 수 있어야 한다.

여러 연구자들^{1, 2, 29, 31, 32, 33, 34}은 어느 정도의 투명도를 가진 물질의 광학적 성질을 결정하는데 있어 배경색과 두께의 효과에 대한 Kubelka-Munk(K-M) 공식^{3, 32}을 이용하여 두께와 배경색의 차이에 따른 치과용 도재와 복합 레진의 색상을 예측하고 실제 측정값과의 비교를 통해 예측된 값과 측정치간에 어느 정도의 일치를 보고하고 있다. 복합 레진

의 투명도와 색상은 여러 가지 인자들에 의해 영향을 받는다. 여기에는 레진의 두께, 표면의 거친 정도, 기질의 종류, 무기 첨가물의 크기와 형태 그리고 함량 등이 포함된다. 또한 위의 여러 인자들은 절대적이지는 않지만 두 가지의 파장 의존 변수인 흡수 계수(absorption coefficient, K)와 산란 계수(scattering coefficient, S)와 관련지어진다. 결국 복합 레진의 투명도와 색상은 흡수 계수와 산란 계수에 의해 특성이 기술된다^{12, 17, 22, 24, 35, 37}. K-M 공식도 배경색과 두께에 대한 영향을 흡수 계수와 산란 계수의 단순한 쌍곡선의 함수로 표현한 것이다. 본 연구에서도 위의 5)~10)의 식을 이용하여 각각의 광학 계수의 값을 구하였고 배경색에 관계없이 레진 자체의 색을 측정할 수 있는 두께(XI)와 이 두께에서의 반사율(RI)를 구하였다(Table. 12).

이렇게 구해진 광학 계수들을 이용하여 다시 역으로 특정 두께에서의 시감 반사율(Y)을 예측해본 결과 2mm 이하의 비교적 얇은 두께에서는 측정값과 예측값간의 차이가 크지 않았지만 그 이상의 두께에서는 재료에 따라 큰 차이를 보였다. 이는 K-M 이론의 입사광은 확산광이며, 산란을 일으키는 인자들은 재료 내에 특정한 규칙 없이 균일하게 분포되어야 하며 표면 반사는 무시되어야 한다는 기본적인 제한 조건에 본 연구의 접근 방법이 적절하지 못했을 가능성이 가장 크며 Yeh 등^{33, 35}의 주장처럼 각 파장에 따른 재료의 반사율을 직접 구하지 않고 3자극치의 Y값을 반사율로 사용했기 때문일지도 모른다.

본 연구에서 K-M 공식에 의해 계산된 산란계수와 흡수계수는 contrast ratio가 가장 낮은 CHA의 I 색상이 가장 낮았으며, 산란계수가 가장 높은 재료는 CHA의 B1 색상이었으며 흡수계수가 가장 높은 재료는 Z100의 C2 색상이었다. I 색상을 제외한 나머지 색상들의 산란계수와 흡수계수를 비교해보면 산란계수는 재료간에 큰 차이를 보이지 않으나 흡수계수는 CHA가 다른 재료들에 비해 낮았는데 이는 레진 기질의 차이에서 나타난 결과가 아닌가 생각된다. XI 값은 contrast ratio가 낮은 I 색상들이 높게 나왔으며 가장 높은 흡수계수를 보인 Z100의 C2 색상도 3.55mm의 높은 값을 보이고 있다 또한 Z100의 A1 색상은 I 색상보다 높은 XI값을 보였다.

Grajower 등³⁴은 동일한 두께의 시편에서 파장이 길어질수록 산란 계수는 점진적으로 감소하는 반면 흡수 계수는 급격히 감소하였으며, 파장이 길어질수록 재료의 투명도는 증가한다고 보고하였다. 또한 복합 레진 내부의 빛의 산란은 레진 기질과 무기 첨가물 입자의 경계면과 레진 기질과 기질내 빈 공간의 경계면에서의 빛의 굴절과 반사에 의해 나타나며 입자의 직경과 입사광의 파장이 일치할 때 산란 계수가 가장 크다고 보고한 반면 Cook과 McAree⁶는 무기 첨가물의 크기가 가시 광선의 파장 보다 큰 경우와 작은 경우 모두 동일한 양상이 나타나며 단지 입자의 직경이 $\lambda/2$ 에

가깝거나 그 이하일 때 산란에 대한 효과가 가장 크게 나타난다고 보고하였다.

빛의 파장과 흡수 계수와 산란 계수의 관계에 있어서도 연구가들에 따라 약간씩 다른 견해를 보이고 있다. 흡수 계수와 산란 계수는 모두 파장이 길어질수록 감소한다. 그러나 산란 계수에 있어 Grajower 등²²⁾과 Yeh 등²³⁾은 현저한 감소를 보고한 반면 Cook과 McAree²⁶⁾는 치아의 법랑질, 상아질 그리고 도재에서는 50% 이상의 감소를 보이지 않았지만 복합 레진에서는 최소 4배의 감소가 나타났다고 보고하였다. Miyagawa와 Powers²⁸⁾도 파장의 증가에 따라 두 변수는 감소했으며 빛의 반사력은 파장이 길어질수록 K/S 비율이 감소하는 만큼 증가하였다고 보고하였다.

복합 레진 표면의 광택도 또는 연마 정도도 투명도에 영향을 미친다. 이런 이유에서 Nagai 등³⁷⁾은 시편을 제작하는 과정에서 시편의 양면에 투명한 슬라이드 글라스를 위치시켜 최고의 광택을 얻었으며 직접 수복 레진의 contrast ratio에 대한 ADA Specification³⁴⁾에서 제시한 1.0mm 두께에 대한 보정을 위해 다음의 식을 이용하였다.

$$\text{Contrast ratio} = 1 - (1 - Y_b/Y_w)^{1/L}$$

L : 시편의 두께(mm)

하지만 Crisp 등¹⁷⁾과 Powers 등³⁵⁾이 주장했던 것처럼 재료의 투명도는 시편의 두께에 매우 민감하다. 두께와 표면의 광택 중 어느 것이 투명도에 더 많은 영향을 미치는가에 대한 보고는 없지만 본 연구에서는 두께에 더 비중을 두었으며 표면 광택을 최대한 얻기 위해 모든 시편을 2000번 사포로 최종 연마하였다. 표면 광택의 영향에 대한 다른 연구에서 Campbell 등²⁹⁾은 표면의 contrast-gloss ratio는 확산 반사의 증가에 의해 표면의 거친 정도와 산란 계수에 반비례하며, 무기첨가물의 함량이 5%~20% 범위 내에서 증가할수록 산란도 증가하였다고 보고하였다. 또한 3.3 μ m~15 μ m 범위내의 직경을 갖는 구형의 무기첨가물은 크기가 작을수록 산란 효과가 크다고 보고하였고, O'Brien 등³⁰⁾은 최근 만들어지는 복합 레진들처럼 높은 함량의 무기첨가물을 포함하게 되면 산란 계수는 plateau 값을 갖게되기 때문에 contrast-gloss ratio간에 차이가 없다고 보고하였다. 거친 재료의 표면은 시각 반사율을 증가시키고 확산 반사율은 감소시켜 표면이 거칠수록 더 밝게 보이나 채색 정도는 덜해 보인다^{25, 31)}.

Dennison 등³¹⁾의 보고에 의하면 무기첨가물을 포함하지 않은 레진에 비해 무기 첨가물이 포함된 복합 레진의 contrast ratio가 더 낮다. 거대 입자형 복합 레진과 미세 입자형 복합 레진은 파장이 길어질수록 산란 계수와 흡수 계수 모두 감소하며 투명도는 증가한다. 405nm~460nm 사이에서는 거대 입자형 복합 레진의 산란 계수가 미세 입자형

에 비해 더 크지만 465nm~700nm 사이에서는 거대 입자형의 산란 계수가 더 적어진다²⁵⁾. 본 연구에 사용된 복합 레진들의 무기 첨가물의 함량은 제조 회사에서는 CHA는 60 vol%, TPH는 57vol% 그리고 Z100은 66vol%를 포함하고 있다고 보고하고 있으나 Willem 등³³⁾에 의하면 CHA는 50.7vol% 그리고 Z100은 64.3vol%로 나타나 CHA와 TPH는 ultrafine midway filled 복합 레진으로 그리고 Z100은 ultrafine compact-filled 복합 레진으로 분류할 수 있다. 각 레진의 contrast ratio (C₀₇)를 비교해 본 결과 적은 양의 무기 첨가물이 포함된 CHA가 Z100에 비해 더 낮은 C₀₇을 보이고 있으며, 비슷한 정도의 무기 첨가물을 가진 TPH 보다도 낮은 C₀₇ 값을 보이고 있다. 하지만 이것은 복합 레진의 다른 구성 성분들의 특성을 고려하지 않은 비교이기 때문에 무기 첨가물의 함량이 적을수록 투명도가 높다고 하기에는 무리가 있다. CHA, TPH 및 Z100은 레진 기질로 BIS-GMA와 그 변형체를 사용하고 있지만 입체 화학적으로 완전 동일한 구조를 가지고 있지는 않으며, Z100의 주된 무기 첨가물인 zirconium glass의 굴절률은 1.52인 반면 CHA와 TPH의 무기 첨가물인 barium borosilicate의 굴절률은 1.554이다³³⁾. 따라서 본 연구에 사용된 3종 복합 레진의 구성 성분과 투명도의 관계는 이러한 여러 조건들의 상호 작용에 의한 것이라 사료된다. 서로 다른 기질과 무기 첨가물간의 굴절률 차이도 이러한 상호 작용들 중의 하나일 것이다. Mount³⁴⁾는 경화 초기 glass-ionomer cement의 contrast ratio가 시간에 따라 감소하는 이유를 glass-ionomer cement의 경화가 진행됨에 따른 무기 첨가물과 기질간의 굴절률 차이의 감소에 있다고 하였다. 하지만 광중합 복합 레진에서는 중합률을 높이기 위해 시행한 광중합 후의 열중합에 의해 contrast ratio의 증가가 보고되기도 했다³⁵⁾.

이와 같은 복합 레진 내부의 기질과 무기 첨가물간의 굴절률 차이뿐만 아니라 연구에 사용된 배경판과 시편 사이에 확산 매체의 존재도 배경판과 시편간의 굴절률에 영향을 미친다고 Cook과 McAree²⁶⁾는 주장하고 있다. 이러한 이유에서 이들은 Grajower 등²²⁾의 연구에서 시편의 두께가 감소할수록 흡수 계수와 산란 계수의 증가가 기대되며 이는 내면에서 증진된 반사 효과 때문이라는 보고가 자신들의 연구 결과 차이를 보이는 이유가 자신들의 연구에서는 확산 매체를 사용하지 않았기 때문이라고 하였다. 이들의 연구에서는 시편의 두께증가에 대해 흡수 계수는 어떠한 변화를 보이지 않았으며 산란 계수는 일반적으로 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 배경판과 시편 사이에 확산 매체를 사용하지 않았다. 이는 시편과 배경판 사이에 확산 매체로 물을 사용하여 L*a*b*값을 측정 비교한 결과 두 경우간에 유의한 차이를 발견하지 못했기 때문이다. Anusavice 등⁴⁰⁾도 치과용 도재의 투명도에 관한 연구에서 확산 매체의 유무에 관계없

이 색상에 차이가 없다고 보고하였다.

위에서 언급한 여러 가지 변수들은 결국 재료의 투명도에 영향을 미치게 되고 재료의 두께와 배경판의 색상에 의해 관찰자가 시각적으로 판단할 수 있는 색상과 같은 외형적 특성을 갖게 된다. Cook과 McAree²⁴⁾는 백색 배경판 상에서 예상되는 분광 반사율은 산란 계수보다는 흡수 계수에 크게 의존하지만 흑색 배경판 상에서는 반대 양상이 발생할 것이라 예상했으며, 백색 배경판 상에서 측정된 법랑질과 상아질의 분광 반사율은 상당히 비슷하며 이는 Sproull 에 의해 보고된 법랑질의 양상과 유사하다고 했다. 하지만 백색 배경판에서와는 달리 흑색 배경판에서는 상아질의 분광 반사율이 법랑질에 비해 훨씬 높았으며 이는 법랑질의 낮은 contrast ratio 때문이라 보고하였다. Miyagawa 등²⁵⁾은 심미 수복재의 색상은 흑색 배경판에 비해 백색 배경판에서 더 밝고, 붉고 그리고 색상이 짙어진다고 했다. Yeh 등²⁶⁾과 Powers 등²⁷⁾은 두께가 증가할수록 시각 반사율과 자극 순도는 흑색 배경판 상에서는 증가하나 백색 배경판 상에서는 감소하였으며, 복합 레진의 contrast ratio는 1.3mm~3.9mm 사이에서 두께가 두꺼워질수록 증가한다고 보고하였다. Grajower 등²⁸⁾은 liner상에 놓인 복합 레진의 색상에 대한 연구에서 liner의 백색도 차이에 의한 복합 레진의 색상 차이는 얇은 두께에서만 인지되며 레진의 종류나 두께에 의한 영향보다 적었으며 흑색 배경판처럼 어두운 배경에서는 두께와 레진의 종류에 따른 색상 차이가 백색 배경판에서보다 두드러지지 않았다고 보고하였다. Grajower 등²⁹⁾은 백색 배경판 상에서 측정된 복합 레진의 명도(value)는 두께가 증가하는 동안 감소하는 반면 흑색 배경판에서 측정된 명도는 두께가 증가할수록 증가하였으며, 색상(hue)은 배경판에 관계없이 불규칙하게 변화하였고, 채도(chroma)는 백색 배경판 상에서는 두께의 증가에 따라 증가하다 1.6mm를 기점으로 감소하는 경향을 보였고 흑색 배경판 상에서는 두께의 증가에 따라 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 명도 지수인 L*값은 백색 배경판과 치아 배경판 상에서 두께의 감소에 따라 높은 상관 관계를 가지며 증가했다. 하지만 흑색 배경판 상에서는 두께의 변화에 상관없이 거의 변하지 않았다. a*값은 모든 배경판 상에서 두께의 변화에 관계없이 불규칙하게 변화했으며 변화량도 적었다. b*값은 백색 배경판과 치아 배경판 상에서는 두께가 감소할수록 증가하는 높은 상관 관계를 보인 반면 흑색 배경판 상에서는 재료마다 약간의 차이는 있지만 두께의 변화에 상관없이 거의 변하지 않았다. 그리고 백색 배경판과 치아 배경판 상에서의 L*와 b*값의 변화량은 백색 배경판에서의 변화량이 더 많았다.

서로 다른 배경판 상에서 측정된 같은 두께의 복합 레진간의 색차는 두께가 감소할수록 증가하였으며 이는 두께가 감소할수록 투명도가 증가하여 배경색의 영향이 커지기 때문

으로 사료된다. 또한 백색 배경판과 흑색 배경판 상에서 측정된 복합 레진의 색차는 대부분의 레진이 2.6mm에서 육안으로 지이를 인지할 수 있는 2 이상의 ΔE*값을 보이고 있으며 일부 레진은 2.8mm 에서도 2 이상의 ΔE*값을 보이나, 그리고 각 배경판 상에서 0.2mm의 두께 변화에 따른 ΔE*는 두께에 관계없이 불규칙하였지만 백색 배경판과 치아 배경판 상에서는 두께가 얇은 시편의 두께 변화에 따른 색차가 두꺼운 시편에서의 색차보다 일반적으로 많았으며 흑색 배경판 상에서는 반대의 양상을 보였다. 복합 레진의 contrast ratio는 두께가 증가할수록 높은 상관 관계를 보이며 증가하였으며 일정 두께의 증가에 따른 증가량을 두께가 증가할수록 감소하였다.

본 연구의 결과를 토대로 특정 배경색을 갖는 복합 레진의 두께에 따른 색상을 예측해 보았다. L*, b* 그리고 contrast ratio는 연구에 적용한 두께의 범위 내에서 회귀 분석 결과 얻어진 회귀식을 이용해 어느 정도의 예측은 가능했지만 측정값과 완전히 일치하지는 못했다. 또한 a*값은 두께의 변화와 값의 변화간에 별다른 상관 관계를 보이지 않았는데 이는 연구에 사용된 배경판들의 a*값과 레진 자체가 가진 a*값간에 차이가 크지 않고 "0" 근처의 값을 보이기 때문인 것으로 생각된다. 차후 복합 레진과 치아의 광학적 특성에 대한 연구와 이러한 특성에 영향을 미치는 외적, 내적 인자들에 대한 정확한 고찰이 필요할 것으로 사료되며 이런 정보를 바탕으로 같이 모든 심미 수복재료에 적용할 수 있는 새로운 이론이나 체계가 확립되어야 할 것이다.

V. 결 론

심미 수복재로 사용되는 재료들의 심미적 우수성은 재료의 광학적 특성들이 치아 법랑질과 상아질의 광학적 특성에 어느 정도 일치하는가에 따라 결정될 수 있다. 치아의 법랑질은 상당히 높은 투명도를 갖는다. 따라서 심미 수복재로 사용되는 재료들도 이에 상응하는 투명도를 가져야 한다. 하지만 투명한 재료는 배경색의 영향을 받게되므로 수복 후 수복물의 색상은 재료가 갖는 자체의 색과 내면의 배경색의 영향으로 수복물의 두께에 따라 처음 기대했던 색상과 전혀 다른 색상을 나타내게 될 수도 있을 것이다. 이러한 가정에 본 연구에서는 3종의 광중합 복합레진(Charisma[®], Spectrum[™] TPH 및 Z-100[™])의 두께에 따른 opacity의 차이와 백색 배경판, 흑색 배경판 그리고 치아(상아질) 배경판 상에서 두께에 따른 복합 레진의 색상(L*a*b*)을 측정해 배경판의 색상과 재료의 두께 및 투명도가 수복물의 최종 색상에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다. 그리고 이러한 분석을 바탕으로 배경색과 재료의 두께를 이용해 수복물의 색상을 예측할 수 있을지 서로간의 상관 관계를 분석해본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다

1. CHA의 I 색상은 가장 낮은 contrast ratio(C_{07}) 값을 보였으며, Z100의 B3색상은 가장 높은 C_{07} 값을 보였다 ($p < 0.05$). 그리고 A3와 C2 색상은 서로 다른 레진 간에 C_{07} 값의 차이를 보이지 않았으며, I 색상과 A2 색상의 Z100과 TPH 그리고 B3 색상의 CHA와 TPH 간에도 C_{07} 값의 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).
 2. 백색 배경판과 치아 배경판 상에서 L^* 와 b^* 값은 두께가 감소할수록 증가하였으며 두께의 변화와 각 값간에 높은 상관 관계를 보였다($R > 0.85$). 그러나 흑색 배경판 상에서는 L^* 와 b^* 값 모두 두께의 변화에 관계없이 거의 변하지 않았다($p > 0.05$).
 3. a^* 값은 모든 배경판 상에서 두께의 변화에 관계없이 불규칙하게 변하였으며, 변화량도 적었다.
 4. L^* 와 b^* 값의 두께 감소에 따른 증가 양상은 백색 배경판과 치아 배경판 상에서 비슷하게 나타났지만 백색 배경판 상에서의 변화량이 더 많았다.
 5. 서로 다른 배경판 상에서 측정된 $L^*a^*b^*$ 값은 2.6mm 이하의 두께에서 인지 가능한 색차($\Delta E^* > 2$)를 보였다.
 6. Contrast ratio는 두께가 증가할수록 증가하였으며, 상호간에 높은 상관 관계를 보였다($R > 0.9$). 그리고 일정 두께에 대한 contrast ratio의 변화량은 두께가 증가할수록 감소하였다.
 7. Kubelka-Munk 공식에 의해 계산된 복합 레진의 반사율은 두께가 얇아질수록 측정값과 큰 차이를 보이지 않았다.
- 이상의 연구 결과들에 의하면 광중합 복합 레진의 색상은 두께에 따라 배경색의 영향을 받으며, 두께가 증가할수록 contrast ratio의 증가에 의해 레진 자체의 색상에 가까워짐을 알 수 있다.

참고 문헌

1. Spioull RC. Color matching in dentistry. Part III color control. *J Prosthet Dent* 31:521-527, 1974.
2. Clark EB. Tooth color selection. *J Am Dent Assoc* 20:1065-73, 1933.
3. Clark EB. An analysis of tooth color. *J Am Dent Assoc* 18:2093-2103, 1931.
4. Miller LL. Organizing color in dentistry. Special Issue *J Am Dent Assoc* 26E:40E, 1987.
5. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimeter. *J Dent Res* 68(5):819-822, May 1989.
6. Goodkind RJ, Keenan KM, Schwabacher WB. A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurement of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 53:105-9, 1985.
7. Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guide. *J Prosthet Dent* 64(4):425-431, 1990.
8. 황인남, 오원만. 발거된 자연치와 5종 shade guide의 색채 계측기를 이용한 색상 비교. *대한치과보존학회지* 22(2):769-781, 1997.
9. 김희선, 엄정문, 강명희. 복합 레진과 shade guide의 색차에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 21(1):107-120, 1996.
10. 조경이, 황인남, 최홍란, 오원만. 분광색채계측기를 이용한 Vita shade 광중합형 복합레진의 색상 비교. *대한치과보존학회지* 23(1):424-432, 1998.
11. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimeter. *J Dent Res* 68(5):819-822, 1989.
12. Burgt TP, Bosch JJ, Borsboom PCF, Kortsmit WJPM. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent* 63:155-162, 1990.
13. Miller LL. Shade matching. *J Esthet Dent* 5(4):143-153, 1993.
14. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quint Int* 16:47-58, 1985.
15. Swepston JH, Miller LL. Esthetic matching. *J Prosthet Dent* 54:623-625, 1985.
16. Grajower R, Revah A, Sorin S. Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth. *J Prosthet Dent* 36(5):570-579, 1976.
17. Crisp S, Abel G, Wilson AD. The quantitative measurement of the opacity of aesthetic dental filling materials. *J Dent Res* 58(6):1585-1596, 1979.
18. Brodbelt RHW, O'Brien WJ, Fan PL, Franzer-dib JG, Yu R. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res* 60(10):1749-1753, 1981.
19. Brodbelt RHW, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res* 59(1):70-75, 1980.
20. Asmussen A. Opacity of glass-ionomer cements. *Acta Odontol Scand* 41:155-157, 1983.
21. Dennison JB, Powers JM, Koran A. Color of dental restorative resins. *J Dent Res* 57(4):557-562, 1978.
22. Grajower R, Wozniak WT, Lindsay JM. Optical properties of composite resins. *J Oral Rehabil* 9:389-399, 1982.
23. Yeh CL, Powers JM, Miyagawa Y. Color of selected shades of composites by reflection spectrophotometry. *J Dent Res* 61(10):1176-1179, 1982.
24. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthet* 8(1):79-86, 1995.
25. Yeh CL, Miyagawa Y, Powers JM. Optical properties of composites of selected shades. *J Dent Res* 61(6):797-801, 1982.
26. Cook WD, McAree DC. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. *J Biomed Mater Res* 19:469-488, 1985.
27. Grajower R, Fuss Z, Hirschfeld Z. Reflectance spectra of composite resins on liners. *J Prosthet Dent* 41(6):650-656, 1979.
28. Miyagawa Y, Powers JM. Prediction of color of an esthetic restorative material. *J Dent Res* 62(5):581-584, 1983.
29. Campbell PM, Johnston WM, O'Brien WJ. Light scattering and gloss of an experimental quartz-filled composite. *J Dent Res* 65(6):892-894, 1986.
30. O'Brien WJ, Johnston WM, Lambert S. The surface roughness and gloss of composites. *J Dent Res* 63(5):685-688, 1984.
31. Kubelka P, Munk F. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. *Z Tech Physik* 12:593-601, 1931.
32. Kubelka P. New contributions to the optics of intensely light scattering materials. Part I. *J Opt Soc Am* 38:448-457, 1948.
33. Willems G, Lambrechts P, Braem M, Celis JP, Vanherle

- G. A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater* 8: 310-319, 1992
- 34 Report of Councils and Bureaus. New American Dental Association Specification No. 27 for direct filling resins. *JADA* 94: 1191-1194, 1977.
- 35 Technical manual of Dyract[®] AP. Dentsply DeTrey GmbH.
- 36 Powers JM, Dennison JB, Lepeak PJ. Parameters that affect the color of direct restorative resins. *J Dent Res* 57(9-10): 876-880, 1978.
- 37 Nagai SI, Sato R, Furukawa K, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 1. Application of CCM to the opaque layer. *Int J Prosthet* 5(6): 495-502, 1992.
- 38 Mount GJ. Clinical placement of modern glass-ionomer cements. *Quint Int* 24: 99-107, 1993.
- 39 황인남, 오원만. 광중합 복합 레진의 색안정성 및 투명도 변화에 관한 가속 시험. *대한치과보존학회지* 18(1): 215-226, 1993.
- 40 Anusavice KJ, Zhang NZ, Moorhead JE. Influence of P_2O_5 , $AgNO_3$, and $FeCl_3$ on color and translucency of lithium-based-ceramics. *Dent Mater* 10: 230-235, 1994.
- 41 Seghi RR, Gutz MD, Kim J. Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dent Mater* 6: 133-137, 1990.
- 42 Gross MD, Moser JB. A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resins. *J Oral Rehab* 4: 311-322, 1977.
- 43 Southan DE. Factors affecting the translucency of dental porcelain. *Quint Int* 18(3): 197-202, 1987.
- 44 Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent* 21: 73-80, 1996.
- 45 Rhyte IE, Nilner K, Evans AL. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 3: 246-251, 1987.
- 46 Woolsey GD, Johnson WM, O'Brien WJ. Masking power of dental opaque porcelains. *J Dent Res* 63(6): 936-939, 1984.
- 47 Terada Y, Maeyama S, HiraYasu R. The influence of different thickness of dentin porcelain on the color reflected from thin opaque porcelain fused to metal. *Int J Prosthet* 2(4): 352-356, 1989.
- 48 Saeski CG. Color light and shade matching. *J Prosthet Dent* 27: 263-268, 1972.
- 49 박도양. 실용색채학 제2판. 이우출판사. p99-120, 1989.
- 50 김공주. 색채과학, 대광서림, 1985.