

복합레진의 색에 대한 이해

박정원

연세대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

Understanding of the color in composite resin

Jeong-Won Park

Department of Conservative Dentistry, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea

In clinic, esthetic restoration of a defective natural tooth with composite resin is challenging procedure and needs complete understanding of the color of tooth itself and materials used. The optical characteristics of the composites are different because the chemical compositions and microstructures are not same.

This review provided basic knowledge of the color and the color measurement devices, and analyze the color of the natural tooth. Further, the accuracy of the shade tab, color of the composite resins before and after curing, effect of the water, food and bleaching agent, and translucency, opalescence, and fluorescence effects were evaluated. [J Kor Acad Cons Dent 2011;36(4):271-279.]

Key words: Color; Colorimeter; Dental composite; Spectrophotometer; Tooth color

-Received 24 June 2011; revised 4 July 2011; accepted 5 July 2011-

임상에서 복합 레진 수복을 하는 경우 자연치와 색이 잘 맞지 않는 경우가 종종 있다. 치과 임상에서 가장 일반적으로 사용되는 색의 기준은 Vita shade guide일 것이다. 대부분 이를 기준으로 레진의 색을 고르고, 기공소에 기공물 제작을 의뢰하고, 재료를 구입하며 기록을 할 것이다. 그러나 심미 수복에서 중요한 색의 본질이나 수복 재료의 광학적 특성에 대해서 정확한 정의를 내리거나 이해를 하기란 쉽지 않다.

본 논문에서는 색에 대한 기본적인 개념을 살펴보고 복합 레진 수복에서 고려하여야 할 색의 개념과 재료의 특성에 대해 살펴보고자 한다.

색을 표현하는 시스템

사람은 외부에서 들어오는 물체의 빛을 눈의 망막을 통해 받아들여 원추 혹은 간상세포의 시세포를 통해 색을 지각하고 이를 대뇌에서 인지하여 색을 구별하게 된다. 이때 사람의 눈으로 느낄 수 있는 빛은 그 파장이 약 400 nm에서 700 nm 사이에 위치하는데 이를 가시광선이라 한다. 색은 사람마다 느끼는 주관적인 감각이 개입되므로 이를 표준화하기 위하여 표색계(color system)를 고안하게 되었다.

이러한 표색계 중 널리 알려진 것이 먼셀 표색계(Munsell color system)인데 이는 1905년 먼셀이 처음 고

*Correspondence to Jeong-Won Park, DDS, PhD.

Associate Professor, Department of Conservative Dentistry, Yonsei University College of Dentistry, 146-92 Dogok-dong, Gangnam-gu, Seoul, Korea 135-720

TEL, +82-2-2019-1350; FAX, +82-2-3463-4052; E-mail, pjw@yuhs.ac

안한 색 표시법으로 색을 색상(hue), 명도(value), 채도(chroma)의 세 가지 속성으로 나누어 표현하며 1943년 미국광학회 측색위원회에서 수정하여 현재 국제적으로 널리 사용되고 있다.¹ 이 시스템에서는 색을 기본적으로 빨강(R), 노랑(Y), 녹색(G), 파랑(B), 보라(P)의 기본색으로 나누고 그 사이를 다시 반분하여 주황(YR), 연두(GY), 청록(BG), 남색(PB), 자주(RP)로 구별하여 총 10개의 기본색을 이용한다. 이를 색의 순도(chroma)에 따라 다시 12까지의 수로 구별하고, 여기에 밝기(명도)에 따라 0 - 10까지의 수를 부여하여 색을 표시한다(Figure 1a).

다른 색 표시법 중 널리 쓰이는 것으로 CIE color system이란 것이 있다. 이것은 1931년에 국제조명 위원회(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage)에서 정한 것으로 분광광도계(spectrophotometer)를 이용하여 색을 계측하여 표시하는 방법이다. 이는 인간의 감각이 아닌 과학적인 방법으로 색을 계측하므로 현재까지 알려진 방법 중 가장 정확한 색의 계측 방법이며 물체의 색 뿐만 아니라 광원에도 적용이 가능한 장점을 가지고 있다. 이 방법에서는 X, Y, Z라 불리는 삼자극치(tristimulus value)를 이용하여 색을 표시하게 된다.

이를 수정하여 1976년 CIELAB color space라는 것이 개발되었는데 현재는 이 방법이 더 널리 쓰이고 있으며, 이 색공간에서 L은 밝기를 표시하며 a와 b는 각각 녹(-)-적(+), 청(-)-황(+)을 표시한다(Figure 1b).

색의 측정

현재 색을 측정하는 기구로 많이 사용되는 것에는 분광 광도계(spectrophotometer)와 비색계 혹은 측색계나 색도계

라고 하는 colorimeter가 있다. 두 기구는 색을 측정하는데 이용한다는 점이 비슷하여 혼동되기도 하지만 전혀 다른 원리를 가지고 있어 구별하여야 한다.

분광 광도계는 광원의 빛을 단색광으로 필터링하여 이 빛이 물체에 흡수, 투과되는 양을 측정하는 방법으로 색을 평가하는데 반해 colorimeter는 광원의 빛을 물체가 반사하는 빛을 계측기에서 삼원색의 파장으로 나누어 분석하고 이를 각각의 값으로 표시해주는 원리를 사용한다(Figure 2). 이 방법은 현재까지 가장 정확한 방법으로 알려져 있으며 육안으로 색을 결정하는 방법에 비해 33% 이상의 정확도를 가지며 93.3%의 증례에서 객관적인 색을 선택할 수 있다고 알려져 있다.²

비색계는 물체에 반사되는 가시광선 영역에서 적, 녹, 청 삼색광의 값을 측정하는 계측기로 분광 반사율(spectral reflectance-파장별 반사율을 의미함)을 이용하는 분광 광도계에 비해 정확도는 떨어지는 것으로 알려져 있으며 필터가 오래되는 경우 정확도에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다.³

이 외에 일반적으로 디지털 카메라의 사용이 늘면서 이를 이용한 방법도 소개되고 있다. 기본적으로 디지털 카메라에서 색을 나타내는 원리는 RGB 색을 이용하여 색을 나타내므로 비색계와 유사한 원리를 가지고 있지만 광원과 촬영조건, 회사에 따른 차이, 모니터에 따른 차이 등 변수가 다양하므로 정확한 색의 분석에는 한계를 가지고 있다. 그러나 술자와 기공사간의 정보 교환에는 편리하고 모양, 크기, 질감 등 치아의 색 이외의 정보를 제공할 수 있으므로 임상에서 널리 사용되고 있다.⁴

대표적인 계측기구인 분광 광도계와 비색계의 특징을 비교해보면 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of the colorimeter and spectrophotometer

Colorimeter	Spectrophotometer
Measure the color psychophysically, like human eye and brain perception, as analyze the reading of tristimulus values (XYZ, L, a, b, etc.).	Measure the color physically, provides wavelength-by-wavelength spectral analysis of the reflecting and/or transmitting properties of objects. Indirectly calculate the colorimetric information
Consists of sensor and simple data processor	Consist of sensor plus complex data processor or computer with software
Using a tristimulus absorption filter, isolate a broad band of wavelength	Using a prism, grating or interference filter, isolate a narrow band of wavelength
Less complex and cheaper than spectrophotometer	More complex and expensive than colorimeter
Works well for routine comparison of similar color and for adjustment of small color differences under constant condition	Works well for color formulation, measurement of metamerism and variable illuminant observer conditions. Optimal for quality inspection, research and development

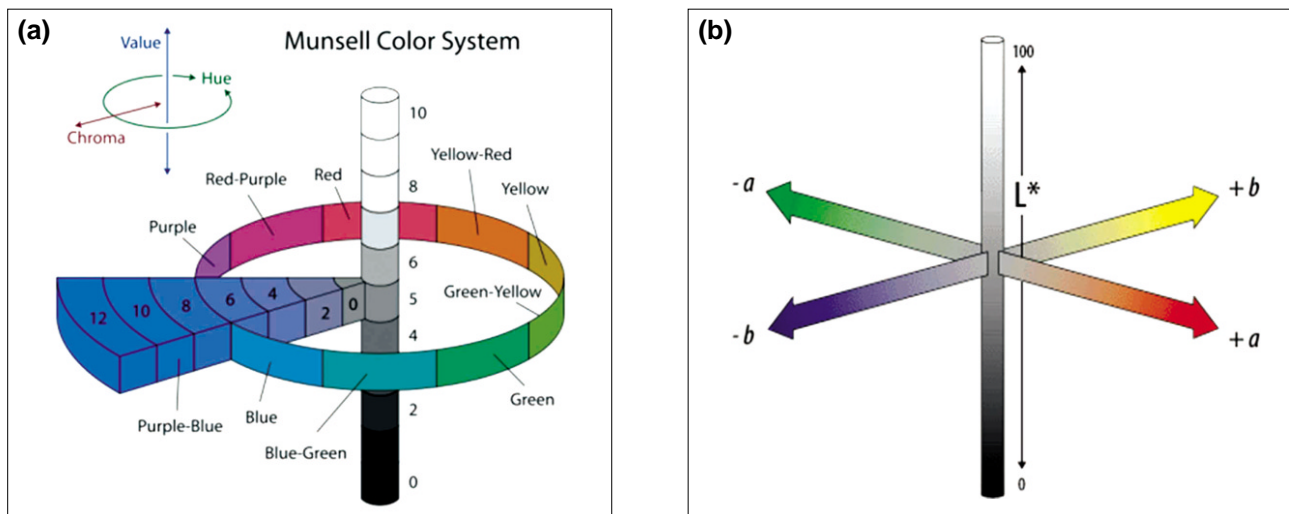


Figure 1. Most commonly used color systems. (a) Munsell color system, (b) CIELab system.

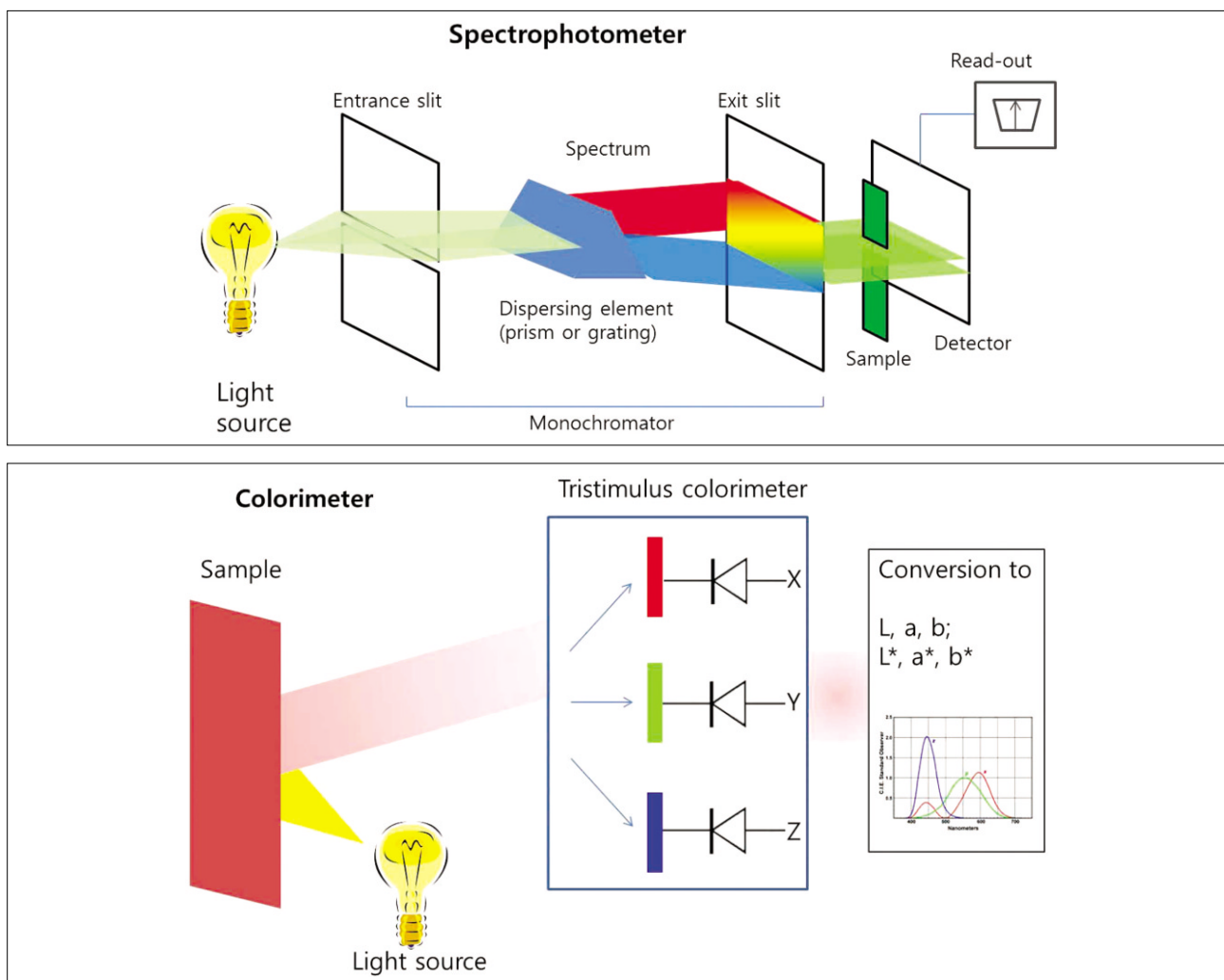


Figure 2. Comparison of the measuring theory of the spectrophotometer and colorimeter.

몇 가지 치과용 색 계측기는 Table 2에 정리되어 있으며 최근 들어 이러한 기기가 더 많이 소개되고 있다.

치아면 전체를 측정하는 분광 광도계의 경우 색에 대한 정보는 제공해 줄 수 있지만 형태, 질감, 수복재의 두께, 지대치의 타입, 코어 재료의 정보 등에 대해서는 정확한 정보를 제공해 줄 수 없으며 치아 면 전체의 색 정보를 평균값으로 보여주는 경우가 있으므로 각 부위별 색 정보에 대해서는 알 수 없는 경우가 생기게 된다.

반면에 제한된 직경의 팁을 가진 측정 기구는 치아 색을 치경부, 중앙부, 절단면부로 나누어 분석할 수 있는 장점은 있지만 치아 전체면을 측정하는 경우와 비교해 보았을 때 낮은 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 보인다는 보고가 있으며⁵ 이는 치아의 투명도로 인해 계측기의 변연 부위에서 빛의 소실이 나타나기 때문인 것으로 알려져 있다.⁶

그러나 아직까지 임상에서는 가장 널리 사용되는 방법은 이러한 계측기구를 이용하기 보다는 shade guide를 이용한 색의 비교와 결정이 더 일반적인 방법으로 사용되고 있다.⁷ 이러한 방법은 제품마다의 편차가 있으며 주관적인 부분이 많이 작용하여 정확한 색의 결정과 의사소통에는 문제가 있는 것으로 알려져 있다.^{8,9} 이를 극복하기 위해서는 기본적으로 치아의 치경부, 중앙부, 절단면부의 색을 선택하여 이를 사진촬영 후 기록하고, 기본색으로 선택한 색보다 한 단계 어두운 색과 한 단계 밝은 색을 선택하여 같이 촬영한 사진을 이용하는 것이 추천되고 있다.

자연치의 색

자연치의 색은 법랑질과 상아질의 빛 흡수와 산란에 의한 내적인 요인과 외부 색소의 침착에 의한 외적인 요인에 의해 결정된다.¹⁰ 이때 치아는 (1) 빛이 투과되거나 (2) 빛이 치아 표면에서 정반사(specular reflection) 되거나 (3) 빛이 치아 표면에서 확산반사(diffuse reflection) 되거나 (4) 흡수 혹은 산란되는 현상에 의해 색이 결정된다.¹¹

일반적으로 법랑질에서는 수산화인회석이 빛의 산란에 주된 역할을 하며, 상아질에서 관찰되는 이방성(anisotropic)의 성질은 상아 세관에 의한 산란에 의해 주로 나타나는 것으로 알려져 있다.¹²

완전한 치아의 색과 법랑질을 제거한 치아의 색 관계를 비교한 실험 결과, 둘 사이에 높은 상관 관계를 보였으며 이 실험의 결과는 치아의 색이 주로 상아질에 의해 결정 된다는 것을 확인시켜 주었다.¹³ Zijp 등의 실험에 의하면 사람의 법랑질은 반사광에서는 연한 파란색을 나타내며, 투과광에서는 연한 노란색을 띄고 있다고 보고하였다.¹⁴

두 개의 서로 다른 연구에서 자연치의 색을 Vita Easyshade (Vident, Brea, CA, USA)를 이용하여 측정 한 결과 유사한 관계를 가지고 있다고 하였으며 그 범위는 $L^* = 55.5 - 89.6$, $58.7 - 88.7$, $a^* = 4.2 - 7.3$, $3.6 - 7.0$, $b^* = 3.6 - 38.9$, $3.7 - 37.3$ 로 보고되었다.^{15,16}

사람의 치아는 일반적으로 상악 전치가 하악 전치에 비해 약간 더 노란색을 띄고 있으며¹⁷ 상악 중절치가 측절치나 견치에 비해 높은 명도를 가지고 있는 것으로 알려져 있다.^{18,19} 남성과 여성 사이에는 유의차가 없었고¹¹ 치아의 색은 치경부에서 절단면으로 갈수록 L , a , b 값이 모두 감소하는 것으로 보고되었다.¹⁹

자연치의 경우 나이가 증가함에 따라 더 어둡고 노랗게 보인다고 알려져 있으며^{11,17,18,20} 마모로 인해 전치부 절단면이 마모되면 붉은색이 증가하는 것으로 보고되고 있다.²¹ 이 외에 치수강이 좁아지면서 이차 상아질이 침착되는 것, 색소와 이온이 법랑질을 침투해 들어가 법랑-상아경계에 침착되는 것, 법랑질의 두께가 얇아지는 것 등이 변색의 원인이 될 수 있다고 알려져 있다.^{13,22}

치아가 건조되는 경우도 색을 변화시키는 것으로 알려져 있는데²³ Russel 등의 실험에 의하면 러버뱀을 하고 15분 경과 후 색을 측정했을 때 L^* 값은 증가했으며 a^* 값도 0에 가깝게 증가한 반면 b^* 값은 변화를 보이지 않았다고 하였고, 러버뱀을 제거하고 20분 경과 후 치아의 색은 원래대로

Table 2. Color matching system in dentistry: types, measurement area

Product	Manufacturer	Device type	Measuring area
ClearMatch	Clarity Dental, Salt Lake city, UT, USA	Software, digital image analysis	Complete tooth image
CrystalEye	Olympus America, Center Valley, PA, USA	Imaging spectrophotometer	Complete tooth image
Easyshade Compact	Vident, Brea, CA, USA	Spectrophotometer	5-mm probe diameter
Shade-X	X-Rite, Grandville, MI, USA	Spectrophotometer	3-mm probe diameter
ShadeVision	X-Rite, Grandville, MI, USA	Imaging colorimeter	Complete tooth image
SpectroShade Micro	MHT, Niederhasli, Switerland	Imaging spectrophotometer	Complete tooth image
ShadeEye	Shofu, Japan	Colorimeter	3-mm probe diameter

돌아왔다고 하였다.²⁴

복합 레진의 색

복합 레진 수복물은 최대한 자연치와 유사한 색을 재현할 수 있어야 한다. 그러나 치아와 복합 레진은 전혀 다른 물질로 이루어져 있으므로 자연치와 동일한 느낌의 색을 재현하는 것은 쉽지 않은 과정이다.

우리가 가장 일반적으로 사용하고 있는 Vitapan shade tab A3.5, B2, C1, C3, D2를 같은 색상의 복합 레진과 비교한 실험에서 보면 4.2%만이 임상적으로 받아들일 정도의 차이를 보이고 나머지 95.8%는 임상적으로 사용하기 부적절한 정도의 차이를 보이고 있다고 하였다.²⁵ 서로 다른 두 가지의 shade guide를 자연광과 백열등 하에서 비교하였을 때 Vitapan Shade guide (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)는 그 차이가 1.63에서 2.46까지 나타났으며 Chromascop (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)의 경우 이보다 큰 2.45에서 3.14까지 보고되었다.²⁶ 심지어는 Vitapan shade guide 25개의 색을 scanning spectrophotometer를 이용하여 비교한 실험에서 같은 색을 가진 shade tab이라 하더라도 제품에 따라 측정 범위의 오차가 0.75에서 3.05까지 난다는 보고가 있다.⁸ 일반적으로 E값 ($\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2}$)의 차이가 2.75 혹은 3.3이 넘어가면 육안으로 인식할 수 있다는 보고^{27,28}가 있으므로 Vitapan shade guide를 절대적으로 믿고 사용하는 것에 주의가 필요하다. 또한 shade tab 사이에 나타나는 색의 차이를 계속하였을 때 A1, A2, A3, A4와 같이 숫자로 나타나는 차이와 실제 계속값의 차이는 그 간격이 일치하지 않으므로 임상에서 사용할 때 이를 고려하여야 한다.²⁹ Shade tab의 차이와 오차 뿐만 아니라 복합 레진 자체도 색이 항상 일정하게 유지되지 않는 것으로 알려져 있다.

Barutçigil 등³⁰에 따르면 최근 복합 레진의 성질이 많이 개선되었다고 하지만 현재 판매되는 17가지의 복합 레진, 콤포머, 혹은 글래스 아이오노머의 A3 색을 비교하였을 때 중합 전과 중합 후에 나타나는 색의 변화(ΔE)는 거의 모든 제품에서 3.0을 넘었다. Admira (Voco, Cuxhaven, Germany), Filtek silorane (3M ESPE, St. Paul, MN, USA), Majesty Esthetic (Kuraray Medical, Okayama, Japan), Dyract eXtra (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany)의 경우 10이 넘어간다고 보고하였고, Vita Classical shade guide의 A3와 비교했을 때 대부분의 제품이 3.0 이상의 차이를 나타낸다고 보고하였다. 이는 이전의 연구와도 일치하는 결과이다.³¹⁻³⁵

중합된 복합 레진을 물속에 보관하는 경우에도 색 변화가 나타날 수 있는데 Çelik 등은 제품에 따라 시각적으로 인지

할 수 있는 정도의 차이가 나타나는 제품과 그렇지 않은 제품이 있다고 보고하였다.³² 이 실험에 따르면 일반적으로 수복 직후 치아의 색이 탈수로 인해 복합 레진의 색과 부조화를 이룰 수 있다고 알려져 있는 것 외에 복합 레진의 색 자체도 구강내에서 수분의 영향을 받아 변화할 수 있음을 보여주고 있으며 이러한 변화의 요인으로 oligomer와 monomer의 순도, 광중합 개시제, 촉진제, 억제제의 농도와 종류, 미반응 이중 탄소결합 분자의 산화, 충전제 등의 차이를 들 수 있다고 하였다.

레진의 색 변화는 물 속에서 단기간에 일어나는 변화 외에 장기간에 걸쳐서도 일어나는데 주로 붉은 색이 증가하며 어두운 색을 띠게 된다고 하였으며,³⁶ 또한 우리가 섭취하는 음식 중 커피, 레드 와인, 차에 의해서도 착색이 잘 일어난다고 알려져 있다.³⁷ 반대로 변색된 복합 레진 수복물에 미백제를 적용할 경우 자연치와 마찬가지로 L*값의 변화로 인하여 밝은 색을 띄게 되는 것으로 알려져 있다.³⁸

복합 레진의 기본 색상 외에도 자연치와 유사한 특성을 표현하기 위해서는 투명도(translucence), 형광성(fluorescence), 유백광(opalescence)에 대한 고려도 하여야 한다. 현재 판매되는 대부분의 제품이 복합 레진의 layering 술식에서 법랑질의 투명도를 재현하기 위한 색조를 가지고 있는데 일정한 두께의 복합 레진 시편을 제작하여 이 시편을 검정 배경과 흰색 배경에서 색을 측정하고 이를 아래의 공식으로 계산하여 Translucency Parameter (TP)를 정의내리고 비교하였다.³⁹

$$TP = \sqrt{(L^*_W - L^*_B)^2 + (a^*_W - a^*_B)^2 + (b^*_W - b^*_B)^2}$$

(W, white background; B, black background).

그 결과 Li 등의 연구에 의하면 복합 레진이 가지고 있는 투명도는 자연치의 법랑질과 비교했을 때 기본 색조에 차이가 뚜렷하였고, 일부 제품의 경우 TP는 유사한 결과를 보였지만 반사되는 파장은 자연치와 다르다고 하였으며⁴⁰ 하나의 제품에서도 중합 전후에 TP의 변화가 관찰된다고 하였다.⁴¹

또한 각 제조사의 복합 레진 제품마다 다양한 투명도를 보이고 있으므로 이에 대한 분석이 임상적으로 심미적인 수복을 위해 필요하다고 하였다(Figure 3).⁴²

오팔은 같은 크기의 무정형 구상의 이산화규소(amorphous sphere silica)가 이보다 더 무정형인 이산화규소에 의해 서로 접합되어 규칙적인 결정을 이루고 있는 광물이다. 구상의 이산화규소와 이들을 연결하는 이산화규소 사이의 굴절률 차이에 의해 보는 방향에 따라 색이 달라 보이는데 이러한 광학적 현상을 유백광(opalescence)이라 하며 빛이 반사될 때 짧은 파장의 빛이 산란되면 재료가 푸른색을 띄는 것으로 보이고, 투과되는 경우에는 오렌지/갈색을 띄는 것으로 보이는 것을 말한다. 산란되는 빛이 투명한 성질을 가진 법랑질을 투과하면 청백색(bluish-white)로 나

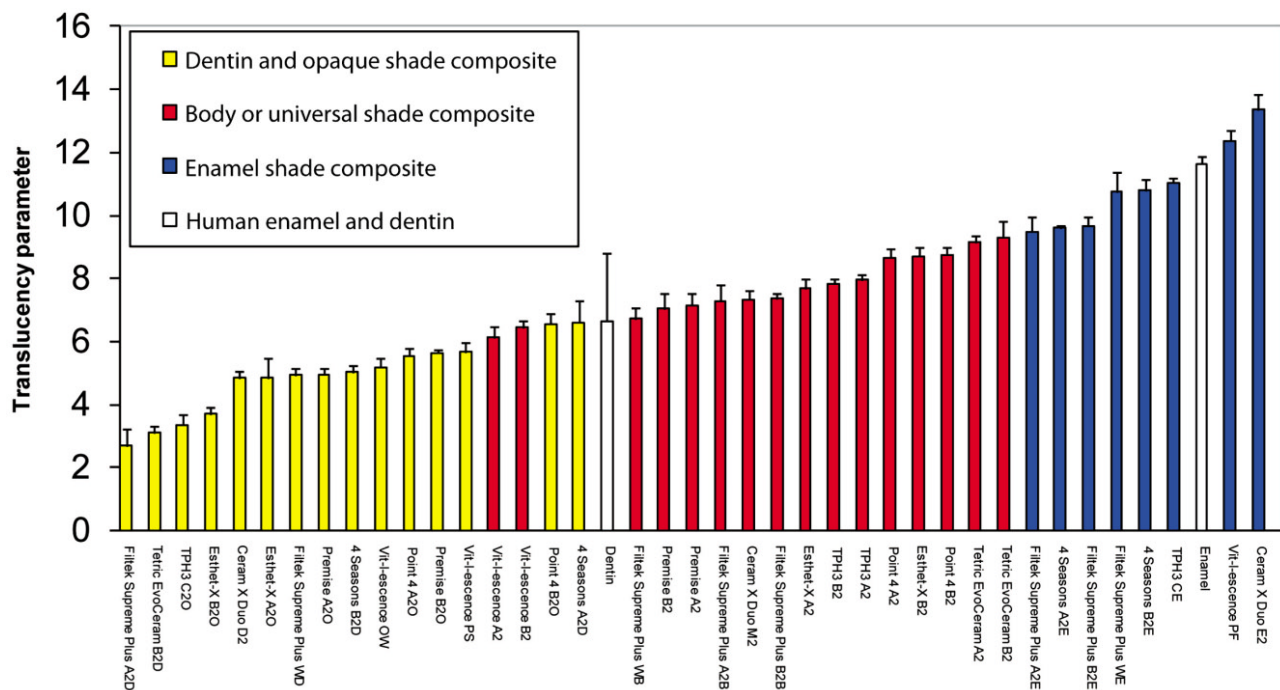


Figure 3. Comparison of translucency parameter values of various composite resins and natural dentin and enamel (Reprinted with the permission of the Canadian Dental Association. Originally published as J Can Dent Assoc 2010;76:a84).

타나면서 자연치 법랑질에서 관찰되는 유백광 효과를 보여 주게 된다. 법랑질의 투명한 특성에 의해 가시광선에서 짧은 파장의 빛이 부딪히게 되면 밝은 청-회색의 반사되는 색으로 관찰되는데 이것이 절단면 후광(incisal halo)이 되는 것이다.⁴³ 복합레진의 유백광은 복합레진의 배경색을 가리는데 기여한다고 알려져 있다.⁴⁴ 유백광을 비교하기 위해 opalescence parameter (OP)라는 것을 이용하는데 이는 다음의 공식으로 구할 수 있다.⁴³

$$OP = \sqrt{(CIEa^*_T - CIEa^*_R)^2 + (CIEb^*_T - CIEb^*_R)^2}$$

(T, transmittance color; R, reflectance color)

사람의 법랑질에서 측정된 OP는 19.8 - 27.6의 값을 보여주고 있으며 일반적으로 OP값이 9 이상인 경우를 유백광을 띤다고 정의내리고 있다. Lee 등이 복합 레진에서 측정된 값을 비교해 보면 Esthet-X improved (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany)의 경우 일반색인 A2에서 16.3, 법랑질 색인 GE와 TE에서 측정된 값이 18.4와 18.9로 나타나 모두 유백광의 성질을 보이고 있으며 Filtek Supreme (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)의 경우 A2에서는 5.7로 유백광 성질이 없었으나 투명한 색인 GT와 YT에서는 23.7, 22.6으로 자연치와 유사한 정도의 유백광 성질을 나타내었고, Palfique Estelite (Tokuyama,

Tokyo, Japan)와 Palfique Sigma (Tokuyama, Tokyo, Japan)에서는 A2와 투명한 IS 색 모두에서 유백광 성질을 나타내지 않았다.⁴⁴ 만약 복합 레진의 기질이 불투명하다면 충전재에서 반사되는 빛이 기질에 의해 차단되므로 기질이 투명하여야 유백광을 나타낼 수 있다. 재료에서 최대의 유백광을 얻기 위해서는 내부에 입자가 380 - 500 nm 크기를 가진 것이 존재하여야 청색광의 산란이 일어나며, 기질과 충전재 사이에 굴절율의 차이가 커야하고, 충전재가 많이 분산되어 있어야 한다.⁴⁵ 또한 광원에 의해서도 OP 값이 달라질 수 있는데 일반적으로 백열등, 형광등, 자연광의 순으로 OP 값이 높게 나타난다고 하였다.⁴⁶

형광(fluorescence)이란 일정한 빛을 물질에 비추었을 때 그 물질에서 빛을 흡수하고 전혀 다른 파장의 빛을 나타내는 현상을 말한다. 자연치를 자외선 아래서 관찰하면 파란색을 나타내는데 이러한 현상을 형광성이라 하며 이로 인해 치아를 자연광에서 보았을 때 더 밝고 희게 보이게 된다.⁴⁷⁻⁴⁹ 자연치에서 나타나는 형광성은 365 nm의 빛을 받았을 때 440 - 450 nm에서 가장 강한 빛을 나타내며 680 nm 까지 서서히 감소한다고 알려져 있다.^{50,51} 심미 수복에 사용된 복합 레진이 다양한 빛에서 자연치와 유사한 특성을 나타내기 위해서는 형광성이 자연치와 유사할 필요가 있다. 이러

한 형광성에 대한 연구가 진행되면서 최근에 판매되는 제품의 경우 형광성을 나타내도록 제조하고 있으며 연구에 의하면 그 제품에 따라 파장의 피크는 410 - 460 nm 사이에 분포하고 그 강도에도 차이가 있다고 알려져 있으며 이로 인해 푸른색 방향으로 색의 이동이 일어나며 자외선이 포함된 빛을 받는 경우 밝기가 증가한다고 보고되었다.⁵²

우리가 복합 레진의 색에 대해 얘기할 때 접하는 용어 중 metameric effect란 것이 있다. Metamer란 보기에 같은 색을 가지고 있지만 그 안에 포함된 빛의 파장이 서로 다른 분포를 가지고 있는 물체를 말한다. 즉 하나의 광원에서는 같은 색으로 보일 수 있지만 광원이 달라질 경우 서로 다른 색으로 보이는 물체를 metamer라 말하며 이러한 현상을 일컫는 말이 metamerism 이다. 우리가 치과용 유닛체어의 광원 아래서 봤을 때 치아와 동일한 색으로 보이던 수복물이 다른 조명에서 봤을 때는 차이가 나는 것은 이러한 현상에 의한 것이다. 상아질과 복합 레진에 대한 metamerism 비교 실험에서 보면 a^* 값이 자연광(daylight) 파장과 비교했을 때 백열등 아래서는 붉은색으로, 형광등 하에서는 녹색으로 이동하였고 b^* 값은 백열등과 형광등 하에서 모두 노란색 쪽으로 이동하는 결과를 보여주었다.⁵³ 따라서 복합 레진과 자연치가 서로 다른 metameric 효과를 나타내므로 복합 레진의 색을 선택하는 경우는 일상 생활에서 주로 놓이는 상황의 빛을 기준으로 선택하여야 할 것이다.

결 론

본 논문에서는 색에 대한 기본적인 이해와 계측기의 원리, 그리고 자연치와 복합 레진의 색의 차이에 대해 살펴 보았다. 자연치와 복합 레진은 서로 다른 재료와 구조로 이루어져 있으므로 광학적인 특성에서 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 임상가의 입장에서는 그 차이에 대한 이해를 하고 재료를 선택하고 사용하여야 할 것이며 향후 자연치와 더 유사한 특성을 가지는 재료의 개발이 이루어져야 할 것이라 생각된다.

REFERENCES

- Munsell AH. A color notation. Boston: G.H. Ellis Co..
- Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hammerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;81:578-582.
- Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 2009;101:193-199.
- Blaes J. Today's technology improves the shade-matching problems of yesterday. *J Indiana Dent Assoc* 2002;81:17-19.
- Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol* 1994;39:1133-1142.
- Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent* 2009;37(Supplement 1):e2-6.
- Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010;38(Supplement 2):e2-16.
- King KA, deRijk WG. Variations of $L^*a^*b^*$ values among Vitapan Classical Shade Guides. *J Prosthodont* 2007;16:352-356.
- Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesercioglu A, Kose T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. *J Oral Rehabil* 2004;31:483-491.
- Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. *Br Dent J* 2001;190:309-316.
- Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent* 2002;87:149-152.
- Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonchot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine. *Caries Res* 1995;29:8-13.
- ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995;74:374-380.
- Zijp JR, ten Bosch JJ, Groenhuis RA. HeNe-laser light scattering by human dental enamel. *J Dent Res* 1995;74:1891-1898.
- Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA, Jr., Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent* 2007;98:110-119.
- Paravina RD, O'Keefe KL, Kuljic BL. Color of permanent teeth: a prospective clinical study. *Balkan Journal of Stomatology* 2006;10:93-97.
- Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for *in vivo* color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 1987;58:535-542.
- Zhao Y, Zhu J. *In vivo* color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *Chin J Dent Res* 1998;1:49-51.
- Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of *in vivo* natural central incisors. *J Prosthet Dent* 2000;83:418-423.
- Odioso LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic, behavioral, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 2000;29:S35-41, quiz S43.
- Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. *Color Res Appl* 2000;25:43-48.
- Morley J. The esthetics of anterior tooth aging. *Curr Opin Cosmet Dent* 1997;4:35-39.
- Mayekar SM. Shades of a color. Illusion or reality? *Dent Clin North Am* 2001;45:155-172, vii.
- Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. *In vivo* measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil* 2000;27:786-792.
- Browning WD, Contreras-Bulnes R, Brackett MG, Brackett WW. Color differences: polymerized composite and corresponding Vitapan Classical shade tab. *J Dent* 2009;37(Supplement 1):e34-39.
- Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *J Prosthet Dent* 2006;96:402-411.

27. Ragain JC, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl* 2000;25:278-285.
28. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987;3:246-251.
29. Lee YK, Yu B, Lim HN. Lightness, chroma, and hue distributions of a shade guide as measured by a spectroradiometer. *J Prosthet Dent* 2010;104:173-181.
30. Barutçigil C, Harorli OT, Yildiz M, Ozcan E, Arslan H, Bayindir F. The color differences of direct esthetic restorative materials after setting and compared with a shade guide. *J Am Dent Assoc* 2011;142:658-665.
31. 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.
32. Çelik EU, Aladag A, Turkun LS, Yilmaz G. Color Changes of Dental Resin Composites before and after Polymerization and Storage in Water. *J Esthet Restor Dent* 2011;23:179-188.
33. del Mar Perez M, Saleh A, Pulgar R, Paravina RD. Light polymerization-dependent changes in color and translucency of resin composites. *Am J Dent* 2009;22:97-101.
34. Lee YK, Lim BS, Kim CW. Difference in polymerization color changes of dental resin composites by the measuring aperture size. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2003;66:373-378.
35. Yap AU, Sim CP, Loganathan V. Polymerization color changes of esthetic restoratives. *Oper Dent* 1999;24:306-311.
36. Hosoya Y. Five-year color changes of light-cured resin composites: influence of light-curing times. *Dent Mater* 1999;15:268-274.
37. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent* 2005;33:389-398.
38. Monaghan P, Trowbridge T, Lautenschlager E. Composite resin color change after vital tooth bleaching. *J Prosthet Dent* 1992;67:778-781.
39. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont* 1995;8:79-86.
40. Li Q, Xu BT, Li R, Wang YN. Spectrophotometric comparison of translucent composites and natural enamel. *J Dent* 2010;38(Supplement 2):e117-122.
41. Johnston WM, Reisbick MH. Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. *Dent Mater* 1997;13:89-97.
42. Ryan EA, Tam LE, McComb D. Comparative translucency of esthetic composite resin restorative materials. *J Can Dent Assoc* 2010;76:a84.
43. Lee YK, Yu B. Measurement of opalescence of tooth enamel. *J Dent* 2007;35:690-694.
44. Lee YK, Lu H, Powers JM. Measurement of opalescence of resin composites. *Dent Mater* 2005;21:1068-1074.
45. Primus CM, Chu CC, Shelby JE, Buldrini E, Heckle CE. Opalescence of dental porcelain enamels. *Quintessence Int* 2002;33:439-449.
46. Yu B, Lee YK. Difference in opalescence of restorative materials by the illuminant. *Dent Mater* 2009;25:1014-1021.
47. McLaren EA. Luminescent veneers. *J Esthet Dent* 1997;9:3-12.
48. Zena R. Evolution of dental ceramics. *Compend Contin Educ Dent* 2001;22:12-14, quiz 19.
49. Spitzer D, Bosch JJ. The total luminescence of bovine and human dental enamel. *Calcif Tissue Res* 1976:201-208.
50. Matsumoto H, Kitamura S, Araki T. Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperature measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Arch Oral Biol* 1999;44:309-318.
51. Monsenego G, Burdairon G, Clerjaud B. Fluorescence of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 1993;69:106-113.
52. Lim YK, Lee YK. Fluorescent emission of varied shades of resin composites. *Dent Mater* 2007;23:1262-1268.
53. Lee YK, Powers JM. Metameric effect between resin composite and dentin. *Dent Mater* 2005;21:971-976.

국문초록

복합 레진의 색에 대한 이해

박정원

연세대학교 치과대학 보존학교실

임상에서 복합 레진을 이용하여 자연치를 재현하는 과정은 매우 어려우며 이를 위해서는 색과 사용하는 재료에 대한 충분한 이해가 필요하다. 복합 레진은 자연치와 화학적 조성 및 미세구조가 다르기 때문에 광학적 특성도 다를 수 밖에 없다.

본 논문에서는 색에 대한 기본적인 지식과 색을 측정하는 장비에 대한 이해, 그리고 자연치의 색에 대한 분석을 살펴보고, shade tab의 정확도에 대한 평가, 복합 레진의 중합 전후의 색 변화, 수분과 물에 의한 영향, 미백제의 의한 영향 및 투명도, 유백광 성질(opalescence), 형광성(fluorescence)에 대해 알아보려고 하였다.

주요단어: 복합 레진; 분광 광도계; 비색계; 색; 자연치 색