
Yellow(x)-Blue(1-x) 칼라렌즈의 광흡수 특성과 color 분석

박상안[†] · 김용근

동강대학 안경광학과

혼합색에 의한 착색 렌즈의 칼라는 감산혼합 법칙을 따르며 착색 렌즈 평가는 광흡수의 특성과 칼라 분석에 의한다. Yellow(x)-Blue(1-x) 칼라 렌즈의 광흡수 특성은 500 nm 이하 단 파장에서 황색에 의해(x) 의존하고 550~650 nm 영역 흡수는 청색에 의존하며, 이 흡수 band는 전이금속의 ion화에 의한 peak이다. CIE system인 $L^*a^*b^*$ 에 의해 분석한 Yellow(x)-Blue(1-x) 칼라 렌즈의 color 특성은 x가 작아질수록 $+a^*$ 쪽으로 이동하였고 모두 +0.6이내 존재해 채도가 낮은 순수 칼라를 형성하였다.

The Color Analysis and The Optical Absorption Properties of Yellow(x)-Blue(1-x) Color Lens

Sang An Park[†] · Yong Geun Kim

Dept. of Ophthalmic Optics Dongkang College

The colors of a tinted lens for a mixed color could be applied to a subtractive mixture's law, and the estimation of a tinted lens used the properties of optical absorptions and the color analysis. The optical absorption properties of Yellow(x)-Blue(1-x) depended on the yellow color in short wavelength below 500 nm, the absorption in the 550~650 nm wavelength regions depended on the blue color. The absorption band in the 550~650 nm wavelength regions was a peak for an ion of transition metal. The color properties of Yellow(x)-Blue(1-x) analysing by the $L^*a^*b^*$ of CIE system shifted to toward $+a^*$ decreasing x, it was formed of a pure color because of a low saturation existing in +0.6

I 서 론

안경용 Lens의 설계는 시력교정 렌즈설계와 외부 광학적 환경을 적용하기 위한 설계로 구분할 수 있다. 외부 광학적 환경은 유해광선, 낮은 contrast, 안정피로에 영향을 주는 광선들이며 이것을 개선하기 위해 대표적인 설계는 특정파장의 차단, contrast 조절, 별광을 조절 등이 있다. 가장 쉽게 접근된 설계가 칼라렌즈이며 착색물질의 조합

에 의해 색 감산혼합 법칙에 따라 다양한 색조의 표현이 가능하다. 혼합 착색의 경우 각각의 착색액으로 부터 각각 착색시간을 변화시켜 다양한 혼합색을 표현할 수 있고 또 다른 방법은 혼합 할 각 착색액을 일정 비율로 혼합하여 단일 혼합 착색액을 만들어 착색시간을 조절하여 색상 농도를 조절하는 방법^[1, 2]이 있다. 현재 두 색조의 혼합착색에 대한 방법과 혼합비율에 따른 광흡수 특성과 칼라분석은 아직 학회에 보고되어 있지 않은 실정이다.

본 연구는 이런 취지에서 기본색들(황색과 청색의 착

본 연구는 대구산업정보대학 안경광학연구소 지원에 의해 수행되었음.
[†]동강대학 외래교수

색(액)을 택하여 이들 기본색이 일정 비율로 혼합된 칼라 렌즈를 제작하여 광흡수 특성과 칼라분석을 하였다. 두 색 이 갖고 있는 기본 광흡수 band가 혼합색에서의 변화를 규명하였고 이에 따른 칼라변화에 대해서도 규명하였다.

II 칼라분석의 이론⁽¹⁾

칼라 CIE system의 표색법은 표준삼원색의 조합에 의 해 모든 색을 표현할 수 있다. W.D. wright의 혼합실험의 측정결과 특정 자극광 R(700 nm), G(546.1 nm), B(435.8 nm)의 원색광을 혼합하여 모든 색광과 감각적으로 구별할 수 없는 색광을 만들 수 있다. 측정시료의 색광 C는 R, G, B 3원색 광과 이들 삼원색광의 각각의 양을 XYZ라 하면 다음과 같이 쓸 수가 있다.

$$XR + YG + ZB = C \dots\dots\dots (1)$$

R, G, B는 색자극 중에서도 혼색의 기본이 자극 색광을 원자극이라하며 측정시료의 색광 C를 만들기 위해서는 X, Y, Z는 R, G, B의 각각의 량이며 이 량은 3자극치 (tristimulus values)라 한다. 어떤 색광 색을 표시하는 방 법은 이들 3극치를 측정 함으로써 가능하다. 백색광인 경우는 R = G = B = 1인 값을 갖는다. 1931년 CIE에서 정한 RGB의 spectrum의 3극치를 Fig. 1과 같다.

어떤 시료에 대한 반사 spectrum 분포 $\phi(\lambda)$, 3 자극치 \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} 인 경우 RGB 값은 380~780 nm 파장영역에

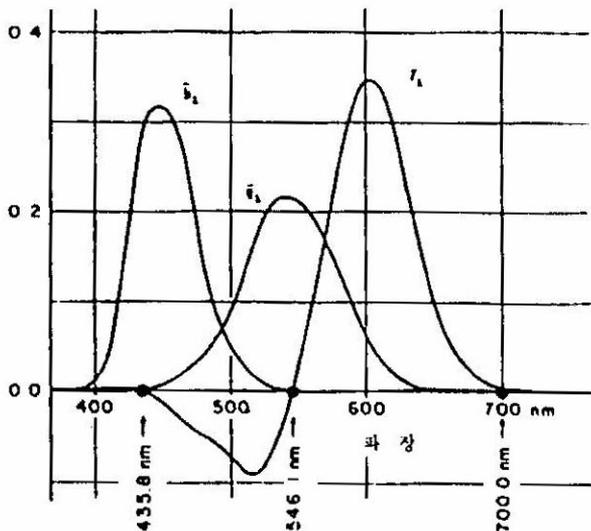


Fig. 1. Spectral tristimulus Values for the CIE RGB System of Colorimetry.

서 구하면 되므로 Fig. 1의 면적을 구하면 된다.

$$\begin{aligned} R &= \int \phi(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda \\ G &= \int \phi(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda \\ B &= \int \phi(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

\bar{r} , \bar{g} , \bar{b} 는 파장(λ)에 있어서의 spectrum 3극치이며 $d\lambda$ 는 분광 파장간격이다. R, G, B 값은 적절한 상대치를 위한 상수로 K를 도입하고 R, G, B의 일부 (-)값을 없애기 위해 RGB 대신 새로운 3극치 X, Y, Z로 표현하고 \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} 도 같은 방법으로 XYZ의 좌표변환에 맞춰 (+)값만으로 변화시킨 Color matching function 인 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 로 표현하면

$$\begin{aligned} X &= K \int \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

여기서 상수 K는

$$K = \frac{100\%}{\int S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (4)$$

이며 3차원 3극치공간을 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

x, y, z를 색도 좌표(chromaticity coordinates)라고 하면 이 값은 항상 $x+y+z=1$ 이다. 그러므로 x와 y만으로 z값을 알 수 있다. 그러므로 z값을 없앤 평면상에서 x, y를 색도 좌표로 사용할 수 있으며 이것은 곧 색의 채도와 색상으로 표현된 모든 색을 나타낼 수 있다. 이러한 CIE XYZ system의 spectrum 3자극치는 Fig. 2와 같다.

CIE가 1976년에 정의한 chromaticity diagram(u' , v')는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u' &= \frac{4X}{X+15Y+3Z} \\ v' &= \frac{9X}{X+15Y+3Z} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

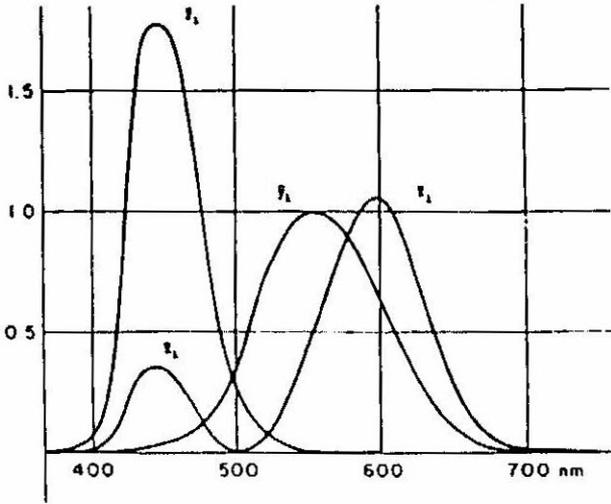


Fig. 2. Spectral tristimulus values for the CIE XYZ System of Colorimetry.

이러한 좌표에 의한 color space를 만들 수 있다. 1976년 CIE가 만든 CIE 1976(L*a*b*)의 color space인 CIELAB system에서는 색의 보색관계인 녹색(G) - 적색(R), 청색(B) - 황색(Y)를 각각 a*, b*로 나타낸 2차원 평면 좌표(luminosity index)로 나타낼 수 있고 이것을 명암(light/dark)을 한 축(L*)으로 하여 3차원 CIELAB L*a*b*를 만들 수 있다. 즉 a*, b*, L*값을 3차원 좌표로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \\
 a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \\
 b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

이것은 원통좌표로 전환하면 (C*_{ab}, h_{ab}, L*)

$$\begin{aligned}
 C^*_{ab} &= (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \\
 h_{ab} &= \tan^{-1}(b^*/a^*) \\
 L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

또한 CIE 1976(L*u*v*)의 color space인 CIELUV system은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\
 u^* &= 13L^*(u' - u'_n) \\
 v^* &= 13L^*(v' - v'_n) \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \\
 V &= \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \\
 u'_n &= \frac{4X_n}{X + 15Y + 3Z} \\
 v'_n &= \frac{9X_n}{X + 15Y + 3Z} \dots\dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

식(7)에 대한 근사 식인 Hunter's Lab space로 표현하면

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \cdot Y^{1/2} \\
 a &= 17.5(X \cdot Y_n / X_n) Y^{1/2} \\
 b &= 7.0(Y - Z \cdot Y_n / Z_n) Y^{1/2} \dots\dots\dots (11)
 \end{aligned}$$

으로 표현된다.

L*a*b* color system, L*U*V* color system, Hunter's color system 에 대한 표준색도로부터 어떤 시료의 색차(color difference)는 좌표 위치에 관계되므로 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta E^*_{ab} &= [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \\
 \Delta E^*_{UV} &= [(\Delta L^*)^2 + (\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2]^{1/2} \\
 \Delta E^*_{ab} &= [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (12)
 \end{aligned}$$

이것은 표준색과 시료 색과의 작간의 기하학적 거리로 표현되는 공간적 의미를 갖는다.

III 실험 [2, 3]

CR 렌즈에 착색할 두 색상은 황색(Y)과 청색(B)을 택하였다. 착색분말 물질을 미세 분말로 만들어 두 분말의 총 중량이 1g이 되게 하기 위한 황색 착색분말 중량을 x로 하고 청색 착색 분말 중량(1-x)가 되게 하여 이 두 중량의 합이 1g으로 일정하게 하였다. 이때 중량비율 x는 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9, 1.0으로 하였고 착색시간은 15분으로 일정하게 유지하였다. 단 x=0.9만 완전 포화 될 때까지는 30분을 유지하였다. BPI 착색 system의 항온조의 온도를 90°C로 유지한 다음 초음파 세척기로 깨끗하게 세척한 CR렌즈는 동일두께 평면 렌즈를 사용하였다. 이런 방법으로 제작한 Y(X)-B(1-X)착색렌즈의 광학적 특성 실험

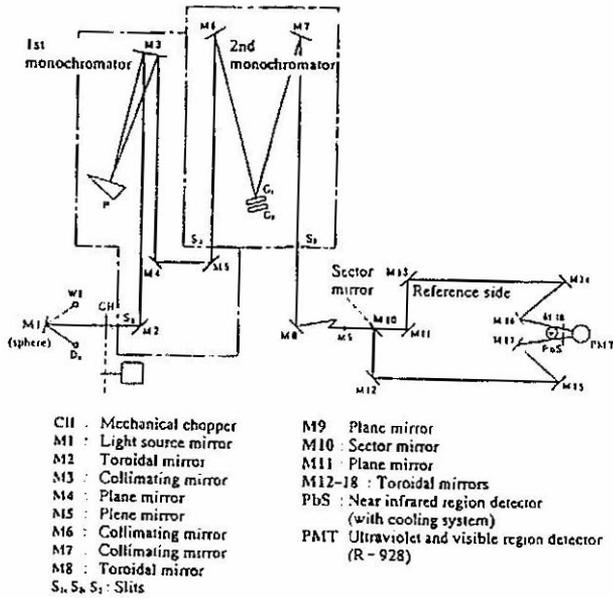


Fig. 3. spectrophotometer(Hitachi, U-3501)의 광흡수 system과 칼라측정 system(visual angle : 2°) 광학적 구성

협은 광학적 구성이 Fig. 3과 같은 spectrophotometer (Hitachi, U-3501)의 광흡수 system과 칼라측정 system (반사A형, visual angle : 2°)을 이용하였다. 광흡수 특성 실험에서 광흡수 계수(α)의 정량 값은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$I = I_0 \exp(-ad) \dots\dots\dots (13)$$

여기서, I_0 는 입사광의 세기, I 는 투과광의 세기, d 는 시료의 두께이다. 투과 광은 시료 두께에 의해 지수 함수적으로 감소하게된다. 식(13)으로부터 구한 흡수 계수 α 는

$$\alpha = -\frac{2.303}{d} \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{2.303}{d} O.D \dots\dots\dots (14)$$

여기서 O.D는 optical density 값이며 광 투과율(%)은

$$T(\%) = \frac{I}{I_0} \times 100 = 100 \exp(-ad) \dots\dots\dots (15)$$

로 표현된다. 광 반사에서 사용된 reference는 알루미늄 광학거울을 사용하여 알루미늄에 대한 상대적 반사율을 측정한 후 보정하여 절대치 반사율을 계산하여 칼라 분석에 사용하였다.

IV 결과 및 고찰

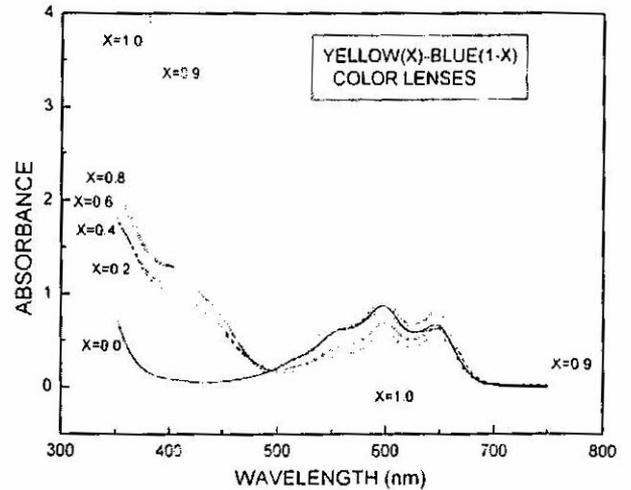


Fig. 4. 350~780 nm 영역에서 Y(x)-B(1-x)착색 렌즈 광흡수 spectra.

황색Y(x) - 청색B(1-x) 착색 렌즈를 제작하여 350~780 nm 영역에서 광흡수를 측정된 결과 Fig. 4에 보였다. $x = 1$ 인 경우 순수황색렌즈 흡수 band가 380 nm 영역에서 강한 광 흡수가 일어나고 400~500 nm 영역에서 약한 흡수 band, 500 nm 이상 장파장에서는 흡수가 없는 투명성 band를 형성하고 있다. $x = 0.2$ 인 경우 500 nm이하 단파장 영역의 황색 흡수 band가 $x = 0$ 인 경우에 비해 낮은 흡수 band가 형성하고 있으며 또한 x 가 0.2~0.8까지 모두 거의 같은 형태의 흡수 band를 보여주고 있다. 이러한 원인은 청색으로 들어간 착색 염료가 황색의 500 nm 흡수 band를 감소시키고 있기 때문이다. 500~700 nm 영역의 흡수 band는 착색염료에 들어 있는 전이금속에 의한 것이고 3개의 peak는 전이 금속이 주위 ligand들에 의해 분리된 energy 준위간의 전자전이에 의해 흡수된 것이다. x 가 0.2~0.8에서 500 nm를 중심으로 단파장 쪽에서는 x 가 커질수록 광 흡수는 커지고 장파장쪽 영역에서는 x 가 커질수록 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 이것은 500 nm 이하 영역에서는 청색흡수가 우세함을 의미한다. $x=0.9$ 인 경우의 spectrum은 매질내 착색염료가 포화상태가 될 때까지 착색시간을 30분의 장시간으로 한 경우이다. 이때 황색으로만 착색된 $x = 1$ 인 경우보다 흡수 edge 영역이 장파장 쪽으로 shift하였고 특히 400~500 nm band의 흡수가 크게 일어나고 있어 상대적으로 많은 양을 갖고 있는 황색 착색 염료가 포화 상태임을 알 수 있다. 또한 550~650 nm의 전이금속에 의한 흡수 band는 다른 $x = 0.2\sim 0.8$ 에서 큰 변동 없이 거의 같음을 볼 수 있어 $x = 0.2\sim 0.8$ 에서 청색 착색염료가 먼저 포화상태에 도달함을 알 수 있다.

다음으로 칼라분석을 위해 380~780 nm 영역에서 반사

을 측정하여 Hitachi의 칼라분석 프로그램(H-1325661-00) 사용하여 색 3극치 값과 색도도 좌표로부터 색상의 보색관계 평면(R-G), (B-Y)과 명암 축으로 하는 3차원 색분석을 위해 CIELAB system을 도입하여 $L^*a^*b^*$ 를 계산한 결과 Fig. 5에 보였다.

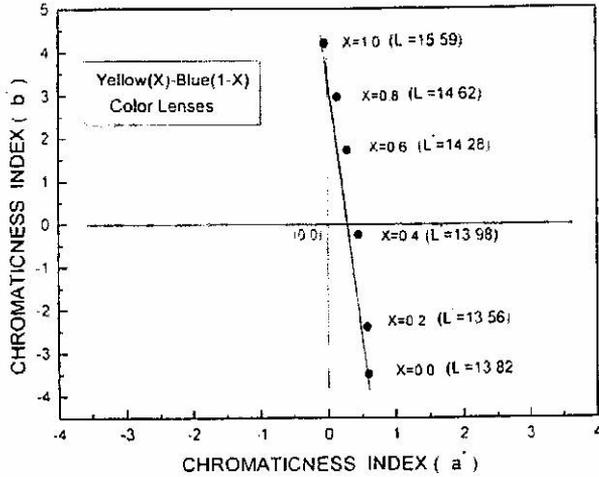


Fig. 5. CIELAB a^*b^* system에 의한 색좌표 평면

구성비가 $x = 1.0$ 인 렌즈의 경우 Y-B line인 a^* 축상 존재하게 되어 채도가 거의없는 순수한 황색렌즈이고, $x = 0.0$ 인 청색렌즈의 경우 $+b^*$ 축으로 0.5 정도 shift함을 볼 수 있어 순수한 청색이 아님을 알 수 있다. $x = 0.2$ 에서 $x = 0.4$ 에 대한 a^*b^* 값은 $(+a^*, -b^*)$ 이며 $x = 0.6$ 에서 $x = 0.8$ 에서는 $(+a^*, +b^*)$ 값을 갖게 되어 모든 x 값에 대해 $+a^*$ 쪽으로 shift 하게 되고 x 가 작아질수록 shift값은 0.5 이내로 점점 커진다. $x = 0.2 \sim 0.8$ 모두 $+a^*$ 쪽으로 shift 한 것은 혼합할 청색($x = 0.0$)이 $+a^*$ 쪽으로 shift 하였기 때문에 이 영향을 받고 있음을

볼 수 있다. 명암(light-dark)의 경우 $x = 1.0$ 인 렌즈가 가장 큰 L^* 값을 갖고 x 가 작을수록 작아짐을 볼 수 있다. 이런 칼라분석을 통해서 만이 혼합색 렌즈의 제작의 표준화가 가능하고 칼라 재현에 있어 오차를 줄일 수 있다.

V | 결 론

혼합색 착색렌즈의 광흡수 및 칼라분석을 위해 두 착색염료의 중량을 일정 비율 $Y(x)-B(1-x)$ 로 변화시켜 혼합착색렌즈를 제작하였다. 광흡수의 경우 500 nm를 중심으로 단파장 영역 band에서는 x 가 클수록 흡수가 커졌고 장파장 영역의 band는 작아진다. 550~650 nm 영역의 흡수 band는 착색 염료에 들어있는 전이금속이 이온화되어 crystal field 내에 존재하여 나타난 band이고 3개 peak들은 spin-orbit 쌍에 의해 분리된 energy level 간의 전자 전이에 대응하는 광흡수 band이다. 칼라분석의 경우 CIELAB system을 도입하여 $L^*a^*b^*$ 측정한 결과 좌표 위치가 거의 line하게 변하고 $x = 0.2 \sim 0.8$ 렌즈에서 모두 $+a^*$ 쪽으로 shift하고 L^* 값은 x 가 작을수록 작아짐을 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] M. D. Fairchild, color appearance models, (Wesley 1997), p. 81-95.
- [2] 김용근, 박상안, 한국안광학회지 4(2), 65 (1999).
- [3] 김용근, 박상안, 대한시과학회지 1(1), 1 (1999).