

색 공간의 기원

이진우 <오세대학교 전기정보통신공학부 교수>

1 2° 표준 관찰자와 10° 보완 표준 관찰자

눈의 색 감도는 시각의 크기(물체의 크기)에 따라 변화한다. 처음에는 CIE가 1931년에 2° 시야를 사용하는 표준 관찰자를 정의하였으나, 이후에 CIE는 부가적인 표준 관찰자를 정의하였다. 이때 10° 시야에 기초를 두었으며, 이것이 10° 보완 표준 관찰자의 정의이다. 2° 시야를 10° 시야와 개념적으로 비교하면, 관측거리가 50[cm]일 때, 2° 시야는 지름 1.7[cm]의 원이 되는 반면 10° 시야는 같은 거리에서 지름 8.8[cm]의 원이 된다. 보통 사용하는 대부분의 정보는 2° 표준 관찰자에 기초하고 있다. 2° 표준 관찰자는 1°부터 4° 시각의 경우 사용하며, 10° 보완 표준 관찰자는 시각이 4°를 초과하는 경우 사용한다.

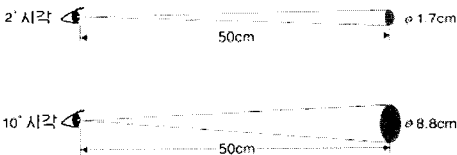


그림 1. 시각의 크기와 거리

2. 색 정합 함수(Color-Matching Function)

색 정합 함수는 파장의 함수로 동일 에너지 스펙트

럼의 3자극치(tristimulus values)이다. 이 함수들은 사람 눈의 감도에 일치하도록 되어 있다. 세 개의 색 정합 함수의 분리된 세트들은 2° 표준 관찰자와 10° 보완 표준 관찰자에 대한 것으로 구분된다.

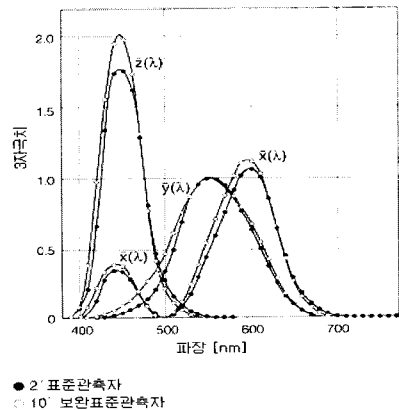


그림 2. 색 정합 함수

3. XYZ 3자극치(CIE 1931)

XYZ 3자극치는 CIE에 의하여 1931년에 정의된, 색 정합 함수 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ 와 $\bar{z}(\lambda)$ 에 기초하여 정하여 졌으며, 2° XYZ 3자극치에 관계가 있다. 그것들은 4°이하의 시각에 적합하며 다음 식들에 의하여 반사 대상물에 대하여 정의된다.

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

여기서, $S(\lambda)$: 광원의 상대적인 분광 파워 분포, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$: CIE 2° 표준 관찰자(1931)에 대한 색 정합 함수들, $R(\lambda)$: 시료의 분광 반사율.

4. $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 삼자극치(CIE 1964)

$X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 3자극치는 CIE에 의하여 1964년에 정의된, 색 정합 함수 $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda)$ 와 $\bar{z}_{10}(\lambda)$ 에 기초하여 정하여 졌으며, 10° XYZ 삼자극치에 관계가 있다. 그것들은 4°를 초과하는 시각에 적합하며 다음 식들에 의하여 반사 대상물에 대하여 정의된다.

$$X_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda}$$

여기서, $S(\lambda)$: 광원의 상대적인 분광 파워 분포, $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$: CIE 10° 보완 표준 관찰자(1964)에 대한 색 정합 함수들, $R(\lambda)$: 시료의 분광 반사율.

5. xyz 색도 좌표계

xyz 색도 좌표계는 XYZ 삼자극치로부터 다음 식에 따라 계산된다.

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

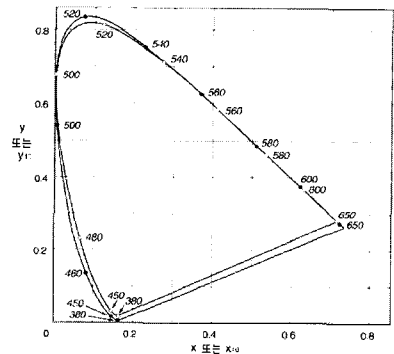
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

만약 위 식들에 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 삼자극치를 사용하면, 색도 좌표계는 $x_{10} y_{10} z_{10}$ 이 된다.

6. xy와 $x_{10} y_{10}$ 색도 도표

xy 혹은 $x_{10} y_{10}$ 색도 좌표를 2차원 도표로 나타낼 수 있다.



● 2° 표준 관찰자 (CIE 1931)
 ○ 10° 보완 표준 관찰자 (CIE 1964)

그림 3. CIE xy와 $x_{10}y_{10}$ 색도 도표

7. $L^*a^*b^*$ 색 공간

$L^*a^*b^*$ 색 공간(또는 CIELAB 공간)은 1976년

CIE에 의하여 정의된 균일 색 공간 중 하나이다. L^* , a^* , b^* 값들은 다음의 식에 따라 계산된다.

명도 변수 L^* :

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

색도 좌표계 a^* 와 b^* :

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

여기서, X, Y, Z : 시료의 삼자극치 XYZ (2° 표준관측자의 경우) 혹은 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ (10° 보완표준관측자의 경우), X_n, Y_n, Z_n : 완전 반사 확산체의 삼자극치 XYZ (2° 표준관측자의 경우) 혹은 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ (10° 보완표준관측자의 경우).

$X/X_n, Y/Y_n$ 혹은 Z/Z_n 이 0.008856보다 작을 경우, 위 식은 다음과 같은 표현으로 변화시킬 수 있다.

$$\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \text{ 은 } 7.787 \left(\frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116} \text{ 으로 대신한다.}$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \text{ 은 } 7.787 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116} \text{ 으로 대신한다.}$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \text{ 은 } 7.787 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116} \text{ 으로 대신한다.}$$

$L^*a^*b^*$ 색 공간에서 색 편차의 정도를 나타낼 뿐 방향을 나타내지 못하는 색 편차 ΔE^*_{ab} 는 다음 식으로 정의된다.

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

여기서, $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$: L^*, a^*, b^* 에서의 편차로 시료 색과 목표 색 사이의 값.

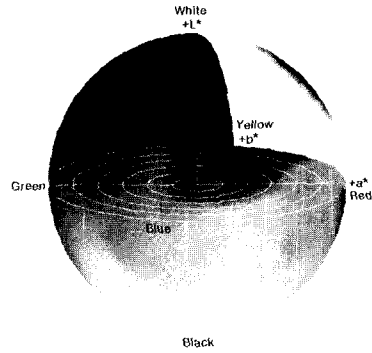


그림 4. $L^*a^*b^*$ 색 공간에 대한 색 입체의 표현

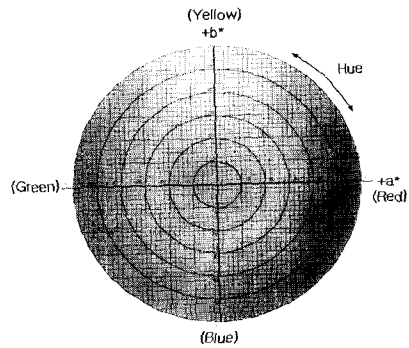


그림 5. a^*, b^* 색도도

8. $L^*C^*h^*$ 색 공간

$L^*C^*h^*$ 색 공간은 $L^*a^*b^*$ 색 공간과 동일한 도표로 사용되나 원통좌표를 사용하는 점이 다르다. 명도 L^* 는 $L^*a^*b^*$ 색 공간의 L^* 와 같으며; 채도 거리 C^* 와 색상각 h 는 다음 식으로 정의된다.

$$\text{채도거리 : } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{색상각 : } h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) [^\circ]$$

여기서, a^*, b^* : $L^*a^*b^*$ 색 공간에서의 색도 좌표.

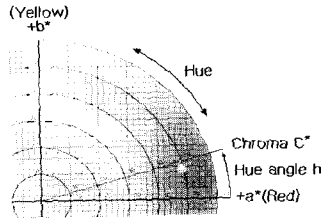


그림 6. L*c*h* 색도 도표

다른 측정에서는, 색상각의 편차를 계산하는 대신 색상 편차 ΔH^* 를 다음 공식에 따라 계산한다.

$$\Delta H^* = \frac{\sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2}}{\sqrt{(\Delta a^*)^2 - (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}}$$

시료의 색상각 h가 목표색의 색상각보다 크면 색상 편차가 양의 부호를 갖으며, 시료의 색상각이 목표색의 색상각보다 작으면 음의 부호를 갖게 된다.

9. 먼셀 색 시스템

먼셀 색 시스템은 시료와의 시각적 비교에 사용하기 위한 일련의 색 도표로 구성된다. 색들은 먼셀 색상(H; indicates hue), 먼셀 명도(V; indicates lightness)와 먼셀 채도(C; indicates saturation)로 정의되며, H V/C와 같이 표시한다. 예를 들면, H=5.0R, V=4.0이고 C=14.0인 색은 먼셀 표기법으로 5.0R 4.0/14.0으로 표기한다.

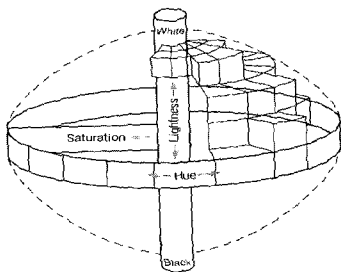


그림 7. 3차원(색상, 명도, 채도) 입체

10. 헌터 실험 색 공간

헌터 실험 색 공간은 1948년 R. S. Hunter에 의하여 광전측색계(3자극치법)를 사용하여 직접 읽을 수 있는 균일 색 공간으로 개발되었다. 이 색 공간에서의 값은 다음 공식으로 정의된다.

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}}$$

$$a = 175 \sqrt{\frac{0.0102 X_0}{(Y/Y_0)}} \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0} \right) - \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right]$$

$$b = 70 \sqrt{\frac{0.00847 Z_0}{(Y/Y_0)}} \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right) - \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right]$$

여기서, X, Y, Z : 시료의 3자극치(X_{10} , Y_{10} , Z_{10} 3자극치도 사용된다.), X_0 , Y_0 , Z_0 : 완전 반사 확산체의 3자극치.

2° 표준 관측자와 표준 광원 C의 경우, 윗 식은 다음과 같이 된다.

$$L = 10\sqrt{Y}$$

$$a = \frac{17.5(1.02X - Y)}{\sqrt{Y}}$$

$$b = \frac{7.0(Y - 0.847Z)}{\sqrt{Y}}$$

헌터 실험 색 공간에서 색 편차의 정도를 나타내나 방향은 나타내지 못하는 색 편차 ΔE_H 는 다음 공식으로 정의된다.

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

여기서, ΔL , Δa , Δb : L, a, b 값에서 시료색과 목표색 사이의 편차

11. 균일 색 공간

좌표도에서 동일하게 인지되는 색 편차를 동일한 거리로 나타내는 색 공간이다.

12. L*u*v* 색 공간

L*u*v* 색 공간(또는 CIELUV 공간)은 1976년 CIE에 의하여 정의된 균일 색 공간 중 하나이다. L*, u*, v*의 값은 다음의 공식에 의하여 계산된다.

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \text{ 이 때 } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_0)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

여기서, Y : 3자극치 Y (3자극치 Y10도 사용될 수 있다.), u', v' : CIE 1976 USC 도표로부터의 색도 좌표계, Y0, u'0, v'0 : 3자극치 Y (혹은 Y10)와 완전 반사 확산체의 색도 좌표계 u', v'.

L*u*v* 색 공간에서 색 편차의 정도를 나타내거나 방향을 나타내지는 않는 색 편차 ΔE^*_{uv} 는 다음의 식으로 정의된다.

$$\Delta E^*_{uv} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

여기서, ΔL^* , Δu^* , Δv^* : L*, u*와 v* 값에서 시료색과 목표색 사이의 편차.

13. CIE 1976 USC 도표

CIE 1976 USC 도표는 1976년 CIE에 의하여 정의되었다. 이것은 비슷한 휘도의 색에 대하여 지각적으로 더욱 균일한 색 간격을 제공할 의도로 제안되었다. u'과 v'의 값은 3자극치 XYZ(또는

X10Y10Z10) 혹은 다음의 식에 따르는 색도 좌표 xy로부터 계산될 수 있다.

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

여기서, X, Y, Z : 3자극치 (3자극치 값을 X10Y10Z10를 사용하면 결과는 u'10과 v'10이 된다.), x,y : 색도 좌표 (색도 좌표 x10y10를 사용하면 결과는 u'10과 v'10이 된다.).

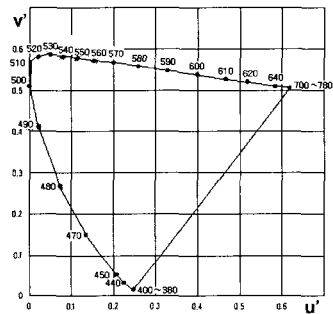


그림 8. CIE 1976 USC 색도도표 (2°표준 관측자)

◇ 저 자 소 개 ◇



이진우(李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 세명백트론(주) 연구실장. 현재 호서대 전기정보통신공학부 부교수, 본학회 편수위원장.