

색의 기초와 응용 (3)

제 4 장 색을 수치로 표현하는 방법(표색법)

제3장에서 색을 측정하는 방법을 알아 보았는데, 측정된 색은 색의 3자극치 X , Y , Z 으로 나타내지만, $X = 4.25$, $Y = 8.32$, $Z = 6.12$ 라는 색, $X = 12.30$, $Y = 21.25$, $Z = 16.63$ 이라는 색이라 하더라도 이것은 그 색물체의 반사광이 인간의 색감각을 자극하는 양을 수치로 나타내고 있는 것으로서, 우리들은 이 수치로부터 어떠한 색인가를 추정하는 것은 곤란하다. 그래서 우리들이 색으로서 느끼고 있는 적색이나 청색이나 황색 등의 실제의 색과 관계가 있는 형태로 표현하는 방법이 필요하게 된다. 현재 여러가지 방법이 고안되어 각 분야에서 사용되고 있는데, 그 방법을 표색법 그리고 기호나 식으로써 시스템화한 것을 표색계라고 하고 있다.

이 표색방법을 대별하면, 각 파장의 스펙트럼광의 색을 기준으로 하여 나타내는 광학적인 표색법과 실제로 색을 나타내는 색표면을 가진 색표를 기초로 한 시각적인 표색법의 2가지로 나누어진다. 이것은 기본적으로 큰 차이를 가지지만, 색을 표현한다는 점에서 색에 관한 3가지의 속성이 직접 또는 간접적으로 표시되도록 되어 있는 점은 같다.

그 3가지의 속성이란 색상(적, 등, 황, 녹, 청, 자색 등 색의 계통을 나타내는 것)과 명도(벚꽃색과 팔색과 같이 반사광의 강약에 의한 색의 명·음의 성질을 나타내는 것)과 채도(레몬색과 배의 색과 같이 색의 선명함의 정도를 나타내는 것)이다. 이들을 색의 삼속성이라고 한다.

4.1 CIE 색도좌표에 의한 표색방법

이 방법은 광학적 표색법의 기본이 되는 것으로 X , Y , Z 에 의한 3자극치만

으로는 인간의 눈에 느끼는 색으로서의 표현이 곤란한 점을 개량하여 고안된 것이다.

우선 인간이 색으로서 느끼는 3자극치가 어떤 비율로 혼합되어 있는가를 알기 위하여 각각의 비율을 계산한다. 이것을 x, y, z 로 표시한다.

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

이 경우 $x + y + z = 1$ 이 되므로 x 와 y 가 정해지면 z 는 저절로 정해지기 때문에, x 와 y 만으로 색의 성질을 나타내기로 하고 있다.

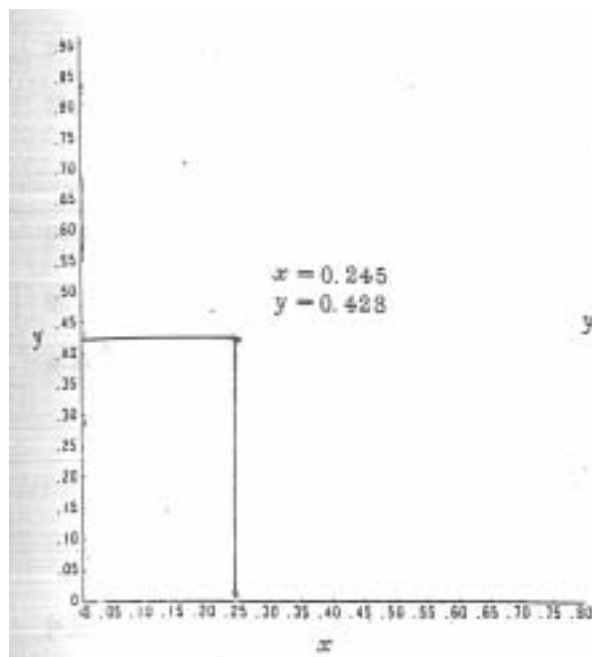
X, Y, Z 로부터 구한 x 값, y 값을 x 를 가로축으로, y 를 세로축으로 한 좌표상에 그리면 그 색물체의 색도점을 얻을 수 있다.

(예) $X = 12.30 \quad Y = 21.25 \quad Z = 16.63$

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} = 0.245$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} = 0.423$$

이것만으로는 아직 어떤 색인가를 추정하는 것은 곤란하다<그림 4.1-1>.



<그림 4.1-1>

다음에 스펙트럼광은 각 파장마다 일정한 값을 가지고 있기 때문에 각 파장마다 색도점을 기입한다. 이 각 파장마다의 스펙트럼광은 제2장에서도 설명했지만, 프리즘에 의해서 실제로 색으로서 눈으로 볼 수도 있고, 색표현도 할 수 있다.<표 4.1>

<표 4.1> 스펙트럼광의 파장과 색상의 관계

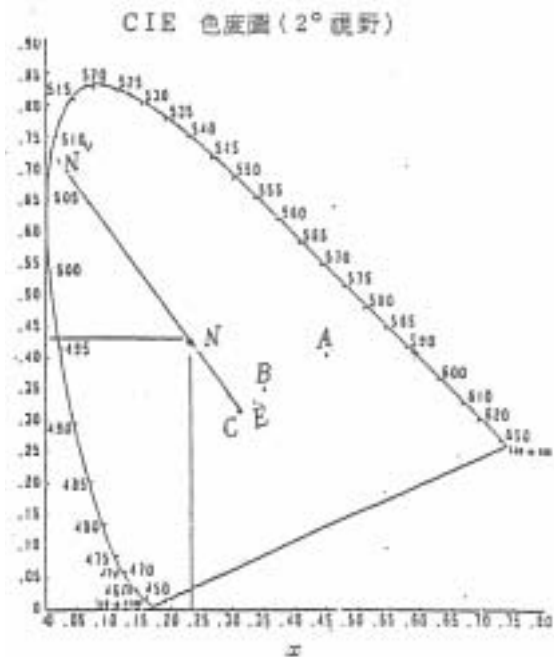
波 長 nm	色 相
400 ~ 450	紫 (青紫)
450 ~ 500	青
500 ~ 570	綠
570 ~ 590	黃
590 ~ 610	橙
610 ~ 700	赤

이와 같은 도표를 CIE색도도, CIE색도도의 x, y를 CIE색도좌표라 한다. 또, 표준광의 A광원, B광원, C광원 등의 색도점도 기입할 수 있다.

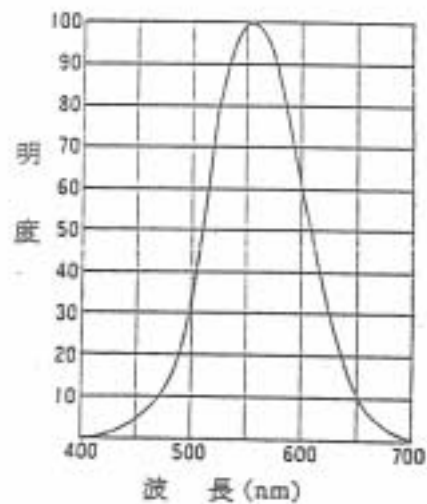
CIE색도도에 있어서는 2가지의 빛이 혼합된 빛의 색도점은, 그 2가지의 빛의 색도점을 연결하는 직선상에 있다는 원리(색도도상의 광혼합의 법칙)로부터, 색물체의 색도점(N)과 조명의 색도점(C)를 연결한 선을 연장하여 각 파장의 스펙트럼광의 색도점을 연결한 스펙트럼궤적과 만나는 점을 구한다. 예로 보는 색물체의 주파장(N'')는 509nm가 되며, <표 4.1>로부터 그 색은 청색에 가까운 녹색임을 알 수 있다 <그림 4.1-2 참조>.

또 명도는 반사율이 높고, 눈에 들어가는 반사광의 양이 많을수록 밝게 보

이는 것이지만, 인간의 눈은 가시범위의 전파장에 대해서 균등하게 느끼는 것이 아니고 <그림 4.2>와 같이 느낀다.



<그림 4.1-2>



<그림 4.2> 정상적인 눈의 균등에너지의 스펙트럼광에 대한 감도곡선
 눈은 555nm 부근에 최고의 감도를 가지며 400및 700nm에서 0에 가깝다.

이것은 CIE로부터 제공되어 있는 $\tilde{y}_\lambda$ 의 분포와 일치하고 있다. 그러므로 이 색물체의 $\tilde{y}_\lambda$ 의 적분치인 Y값은 그대로 색물체의 명도라고 할 수 있다.

또 채도는 어떠한 색이라도 순수한 스펙트럼광의 순색과 무채색의 혼합으로 치환하여 나타낼 수 있다는 원리로부터 무채색의 색도점(C)과 순색의 색도점(N")의 사이에 있는 N점의 양쪽으로부터의 거리에 의해서 판단할 수가 있다. 즉, 순색에 가까운 방향에 있는 점일수록 선명한 색이고, 무채색에 가까운 방향에 올수록 회색을 많이 포함한 색이 된다는 것이다.

CIE 색도좌표에 의한 표색법은 Y_{xy} 로 표시하는 것이 되며, Y는 반사율의 총합량으로서 명도에 대응하는 것이고, x, y는 색상과 채도의 양쪽을 한번에 나타내고 있는 것으로 이것을 색도라고 한다.

색에는 광원색과 물체색이 있으며, 또 물체색도 그 물체의 종류에 따라서 투과색과 표면색으로 나누어지는데, 이 Y_{xy} 에 의한 표색법은 그 어느 것에도 사용할 수가 있다. 그러나 주로 광원색이나 투과색에 사용되며, 표면색을 주체로 하는 염색공업에서는 거의 사용되고 있지 않다.

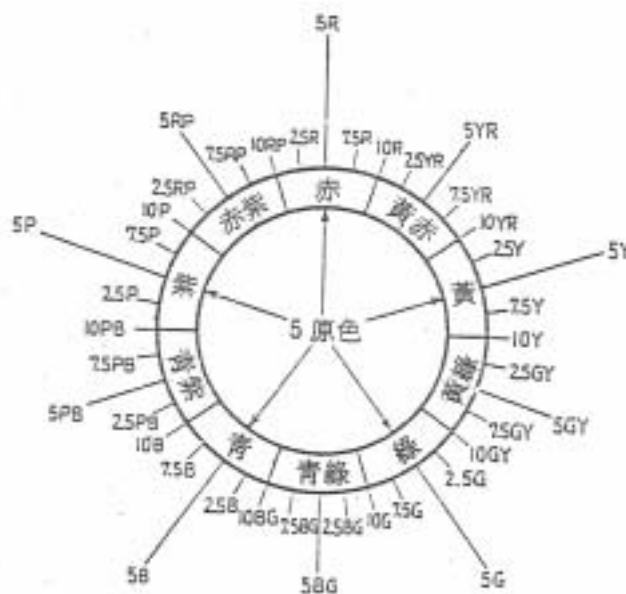
4.2 먼셀기호에 의한 표색계

먼셀기호에 의한 표색계는 가장 유명한 것으로, 3속성에 의한 색의 표시방법으로서 JIS Z8721에 규정되어 있다.

이것은 미국의 화가 A.H. Munsell에 의해서 창안된 것이며, 지금으로부터 약 50여년전의 1929년에 완성되었다. 그러나 현재 사용되고 있는 것은 수정 먼셀표백치로 이것은 그날부터 10여년 후의 1943년에 미국의 O.S.A에서 발표된 것이다.

먼셀표색계의 기본이 되는 구성은 색상(Munsell hue)과 명도(Munsell value)와 채도(Munsell chroma)에 의해 색을 표시하도록 되어 있다.

우선 색상 Hue(H)는 10종류의 기호로 되어 적(R), 황(Y), 녹(G), 청(B), 자(P)의 기본 5색상과 그 중간의 색상 황적(YR), 황록(GY), 청록(BG), 청자(PB), 적자(RP)의 5색상의 합계 10종류이며, 1색상을 0~10의 번호로 표시하도록 하며 계 100의 색상을 표현한다. 실제로 Munsell Book of Color나 JIS 표준색표는 2.5단계마다 40색상으로 만들어져 있다. <그림 4.3>은 먼셀색상환이라고 불리우는 것이다.

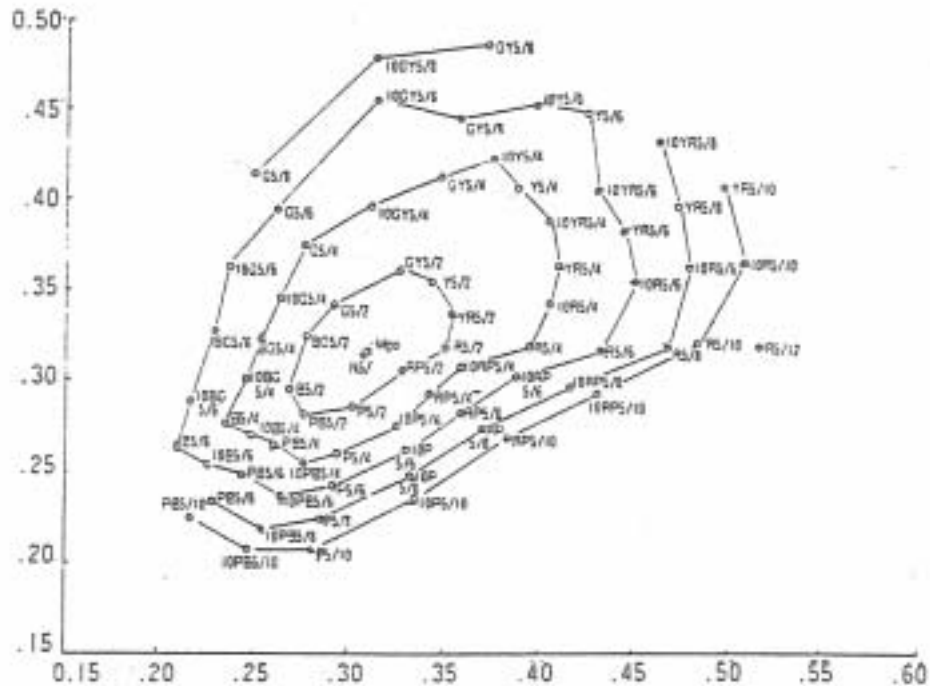


<그림 4.3> 색상환

명도 Value(V)는 완전한 배색을 10으로 하고 완전한 흑색을 0으로 하여 그 사이를 감각적으로 10등분하여 명도의 기호로 하고 있다.

채도 Chroma(C)는 같은 명도에 있어서 무채색보다 순색에 가까운 정도를 나타내는 것이다. 무채색 채색이 들어가면 색이 나타나게 되며, 그 순색의 정도가 증가함에 따라서 선명한 색이 된다. 먼셀표는 2단계마다 만들어져 있다. 이 표색법의 표시방법은 HV/C로 표시한다. 예를 들면, 5R6/8로 읽는다.

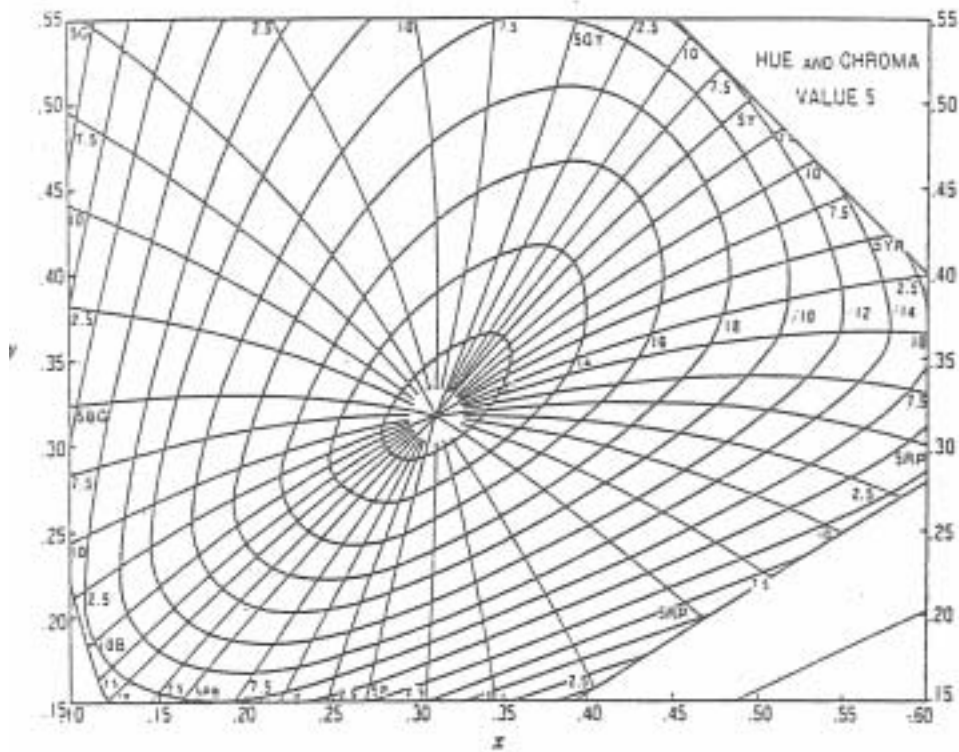
먼셀표색법은 그림물감으로 작성된 색표를 시각적으로 같은 간격이 되도록 배열하여 만들어진 것이며, 색표를 기초로 하여 그 시각비색에 의해서 기호를 정하도록 고안된 것인데, 측색치 X, Y, Z의 색이 3자극치로부터 이 먼셀표색계로 변환하는 방법이 연구되었다. 즉, Munsell Book of Color의 전색표를 분광광도계로 측정하여 그 3자극치 X, Y, Z를 구하고, CIE 색도좌표 x, y 및 명도 Y를 구하여 CIE 색도도상에 플로트하고 먼셀표색계를 CIE 표색계로 바꾸어 보면 <그림 4.4>와 같이 된다.



<그림 4.4> Munsell Book of Color(수정되지 않은 것)의 색표를 CIE 색도도에 플로트 한 것. (V = 5). 등 chroma선의 굴곡이 눈에 띈다. 수정먼셀표 색계에서는 이것이 수정되어 있다.

각 색도점을 연결해 보면 상당히 굴곡이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은

그림물감을 사용하여 인간의 색감각을 기초로 하여 만든 것이기 때문에 할 수 없는 것이며, 이것을 이론적으로 수정하여 매끄러운 선으로 한 것이 <그림 4.5>이다. 이것을 수정먼셀치라 부르고 있다.



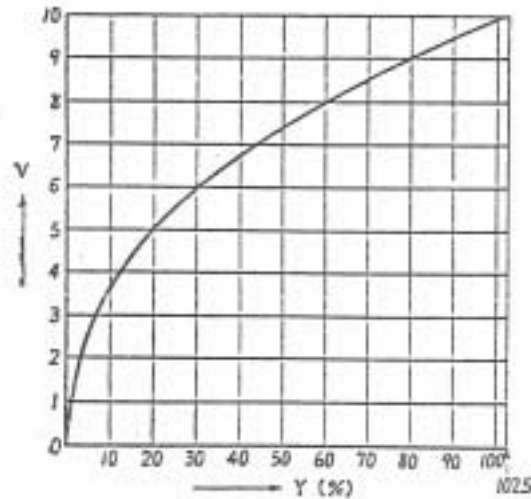
<그림 4.5> 수정먼셀표색계의 색표의 색도를 CIE 색도도에 플롯한 것. (V=5). <그림 4.4>와 같은 등 Chroma선의 굴곡은 없어지고, 부드러운 곡선으로 되어 있다.

그리고 먼셀명도V도 색물체의 반사광의 양이기 때문에 CIE표색계의 명도 (Luminance) Y와 같은 것이다. 그리고 그 관계는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Y = 1.2219V - 0.23111V^2 + 0.2395V^3 - 0.021009V^4 + 0.0008404V^5$$

이 식에서 볼 때, V를 알면 Y는 계산될 수 있지만, Y를 측정할 수 있더라도 V는 계산될 수 없음을 알 수 있다. 그래서 조금씩 V의 값을 달리하여 Y

를 계산하고, 그것을 표로 하여 그래프를 작성할 필요가 있다. <그림 4.6>은 그 그래프를 축소, 간이화한 설명도이다.



<그림 4.6> Y와 V와의 관계

이와 같은 표의 보다 정밀한 것을 작성함으로써 측정한 3자극치의 값 Y로부터 V를 얻을 수 있다. 현재 우리들이 먼셀기호로서 사용하고 있는 것은 모두 이 수정먼셀치이다. 그리고 광학적으로 밖에 측정할 수 없는 색을 과학적으로 시각적 표색법인 먼셀표색계를 CIE표색계로 변환시킨 색도도나 Y와 V의 관계도는 가치가 높은 것이다.

그리고 오랜 세월에 걸쳐서 X, Y, Z로부터 H, V, C로의 변환은 이 2가지의 도표에 의한 도표변환으로 행해지고 있었는데, 요즈음은 일렉트로닉스(electronics)의 발달에 따라 컴퓨터를 이용하여 손쉽게 변환할 수 있도록 되었으며, 오늘날의 색수치화시대를 맞이하는 발단이 된 것이다.

현재, 염색공업에서는 오로지 이 표색계가 사용되고 있다. 그것은 시각인 눈으로 확인할 수 있는 색표가 있어서 숫자나 기호로 표현할 수 있더라도 인간의 색감각으로 확인할 수 있기 때문이다.

그러나 염색공업에서 색의 3요소로 하고 있는 색상, 농도, 선명도에 대해서 이 명도나 채도는 각 색상에 있어서의 농도나 선명도와의 호환성이 없는 점에서, 각 분야에서 널리 응용되기까지는 이르지 않고 있다.

4.3 Adams표색계

이 표색계는 1942년 E. Q Adams에 의해서 발표된 것으로, Munsell value function을 기초로 하여 개량된 생각으로부터 만들어진 것이다.

Munsell value function은 먼셀표색계에서는 Y에만 적용하지만, 아담스표색계에서는 X, Y, Z 전부에 적용된다. 그리고 Munsell value를 V_X , V_Y , V_Z 로 표시하고 있다. 이것은 먼셀표색계에서는 표준광 C밖에 표색이 가능하지 않는 것에 대하여 인간의 눈은 순응성을 가지고 있어서 순응상태가 되면 어떤 조명에 있어서도 무채색은 항상, 백색, 회색, 흑색으로 보이는 것임을 고려하여 색순응(color adaption)을 포함시켜 만들어졌다.

<표 4.2>

照 明 의 種 類	k_x	k_y	k_z
標 準 光 A	0.9105	1.0000	2.8160
B	1.0094	1.0000	1.1734
C	1.0200	1.0000	0.8467
크세논標準白色光源	1.008	1.000	0.934
CIE 合成晝光 D_{5000}	1.0524	1.0000	0.9197

직교좌표를 사용한 등색차성 표색계에 있어서는 무채색의 색도점은 직교좌표의 교점에 오도록 되어 있는데, 이를 위해서는 $V_X = V_Y = V_Z$ 가 될 필요가

있다. 조명의 빛에 있어서 표준광C는 산화마그네슘표준백색면의 3자극치가 $X = 98.041$, $Y = 100.000$, $Z = 118.103$ 이기 때문에 $V_X = V_Y = V_Z$ 로 하는데에는 계수를 곱할 필요가 있다. 그 계수는 $X = 1.020$, $Y = 1.000$, $Z = 0.847$ 이 된다. 이 보정계수 K_X, K_Y, K_Z 를 각 표준광에 대해서 나타내면 <표 4.2>와 같이 된다.

C광원으로부터 측정한 X, Y, Z 를 보정한 3자극치는 X_C, Y_C, Z_C 로 표시된다.

아담스표색계의 명도는 Munsell value의 0.23배, 즉 $0.23V_Y$ 가 사용되고 있다. 그래서 $0.23V_Y$ 와 $(V_X - V_Y)$ 와 $0.4(V_Z - V_Y)$ 가 감각적인 것과 대응하는 좌표스케일로 되어 있다.

색상은 $0.4(V_Z - V_Y)/(V_X - V_Y) = \tan \theta$ 의 식으로 표현되고 있다.

각도 θ 가 Hue가 되는 것이다. $\theta = 0 \sim 90^\circ$ 는 적 · 등 · 황색, $\theta = 90 \sim 180^\circ$ 는 황 · 녹색, $\theta = 180 \sim 270^\circ$ 는 녹 · 청색, $\theta = 270 \sim 360^\circ$ 는 청 · 자 · 적색이 된다.

채도는 무채색의 색도점부터 시료의 색도점까지의 거리로 나타낸다.

$$\text{Adams 채도} = [(V_X - Y_Y)^2 + \{0.4(V_Z - V_Y)\}^2]^{\frac{1}{2}}$$

이 아담스의 표색계는 JIS에서 염색견뢰도 결과의 판정용 표준회색색표의 규정에 사용되고 있다.

4.4 DIN표색계

DIN표색계는 독일공업규격에서 정해진 표색방법으로서 아직 새로운 것이다.

먼셀표색계와 같이 색표가 준비되어 있다. 이것은 감각적인 양과 대응하는 간격을 가지도록 만들어진 표색계이다. CIE표색계를 사용하여 이상적인 연관성을 가지는 표색계를 만들고 그것을 기초로 하여 색표를 작성한 것이며, 다소 감각과의 차이를 일으키고 있다.

CIE표색계로부터 도표변환하는 경우, 먼셀표색계에서는 V 가 1~9까지의 9

매의 색도도가 필요하지만, DIN표색계에서는 1매 색도도가 있으면 된다.

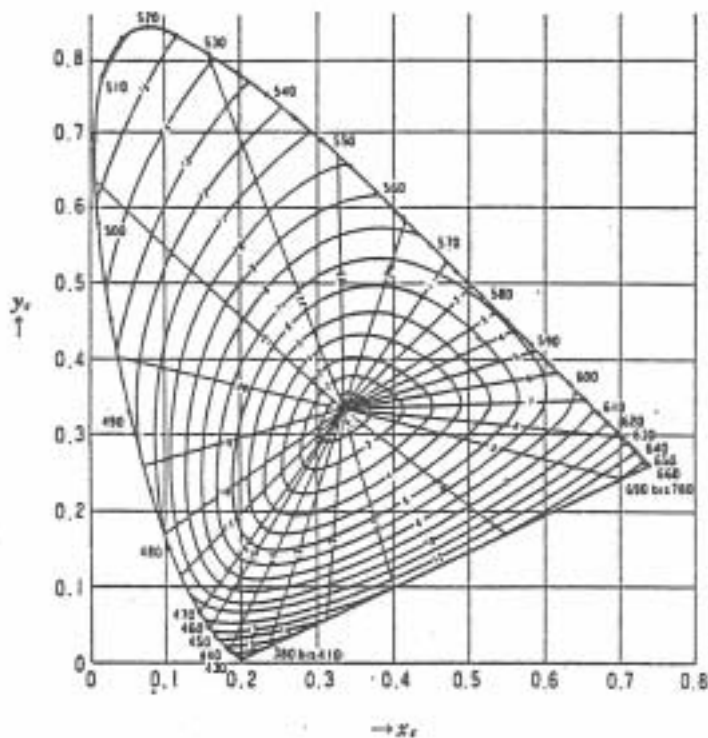
이 표색계는 색상 T(farbton)과 포화도S(Sattigungsstufe), 암도D(dunkelstufe)로 구성되어 있다.

색상(T)는 먼셀표색계의 (H)에 해당하는 것이며, $T = 1 \sim 24$ 의 24색상으로 된다.

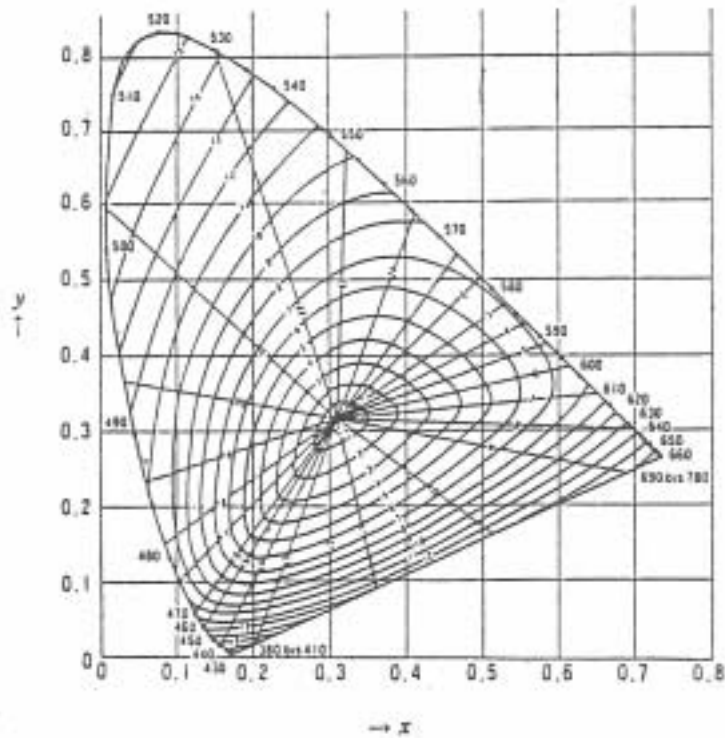
포화도(S)는 먼셀표색계의 채도(C)에 해당하는 것이며, 무채색의 경우 $S = 0$ 이고, 포화도가 올라가면 색이 선명하게 되며 S값은 커진다.

T와 S에 의해서 색도가 구성되기 때문에 CIE색도도상에 DIN표색계의 T와 S의 관계를 그은 DIN색도도를 사용하여 색상 T의 색을 볼 수 있다.

T가 1~3 = 황색, 4~6 = 등색, 7~9 = 적색, 10~12 = 적자색, 13~15 = 자색, 16~18 = 청색, 19~20 = 청자색, 21~22 = 녹색, 23~24 = 황녹색이 된다.



<그림 4.7> DIN 색도도



<그림 4.8> DIN torehch

DIN색도도에는 <그림 4.7>과 <그림 4.8>의 2가지가 있다. 이것은 DIN 5033(색의 측정방법)에서는 조명의 색도점을 $x = y = z = 0.3333$ 으로 하고 있으며, CIE표색계에서는 $x = 0.3101$, $y = 0.3163$ 이고, DIN6164(색의 표시법)으로 변환하는 데에는 2가지의 색도도가 필요하기 때문이다. 그러나 $X_C = 1.020x$, $Y_C = 1.000y$, $Z_C = 0.847z$ 의 계수에 의해서 DIN 5033에 관한 색도도만으로 변환시킬 수 있다.

명도(D)는 CIE표색계의 명도Y이며, %표시값이 사용된다.

$$D = 10 - 6.1723 \log \left(40.7 \frac{A}{A_0} + 1 \right) \quad \text{단, } A = Y\%$$

이 DIN표색법은 염료공업국인 독일의 규격이기 때문에 염료관계의 연구논문이나 기술자료에 많이 사용되고 있다.

4.5 CIE-UCS표색계

(CIE-Uniform Chromaticity Scale)

1960CIE-UCS색도도에 G. Wyszecki가 1963년에 Munsell value의 개념을 도입하여 명도축을 더해서 완성한 것으로서, X, Y, Z로부터 간단한 계산에 의해 변환시킬 수 있는 것이며, 실용을 목적으로 하여 만든 것이다. 그리고 1964CIE-UCS 표색계로 하여 CIE로부터 권장되기에 이르렀다.

아래식으로 나타낸다.

$$W^* = 25Y^{\frac{1}{3}} - 17$$

$$U^* = 13W^*(U - U_0)$$

$$V^* = 13W^*(V - V_0) \quad (U_0, V_0 \text{는 조명의 색도 좌표})$$

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

또는

$$U = \frac{6Y}{X + 15Y + 3Z} \qquad U = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}$$

W^* 는 명도, U^*, V^* 는 색도를 나타내는 표색치

W^* 는 V 의 스케일과 거의 일치하고 있다. *표는 1964CIE-UCS 표색치라는 것을 나타내는 표시이며, 반드시 붙이기로 되어 있다.(이 표를 asterisk mark라 한다.)

4.6 기타 표색계

1) α - β 표색계(Scofield-Judd-Hunter의 RUCS)라고 부르고 있다. 명도는 $100\sqrt{Y}$ 이며, α 와 β 로 색도를 나타낸다.

2) Mac Adam의 타원에 의한 표색계

3) Hunter L-a-b계

이것은 색차계를 위하여 만들어진 등색차성을 가진 표색성을 주안점으로 하고 있으며, 등색차성표색계라고 불리우고 있다.

명도 = L a_L, b_L = 색도

아래 기술한 바와 같이 X, Y, Z로부터 간단한 계산으로 변환시킬 수 있다.

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

$$a_L = 175(1.02X)/\sqrt{Y}$$

$$b_L = 70(Y - 0.8472)/\sqrt{Y}$$

4) $L^* a^* b^*$ 표색계

1976년에 CIE로부터 권고된 것으로서, CIE1976($L^* a^* b^*$)로 나타내고, CIELAB라고 부른다. Adams Nickerson 표색계를 간이화한 것이다.

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

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

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

L^* 는 명도지수, a^*, b^* 는 크로매틱스(Chromaticness)지수로 불리우고 있다.

5) $L^* U^* V^*$ 표색계

1976년에 $L^* a^* b^*$ 와 동시에 CIE로부터 권고된 것으로서, CIE 1976($L^* U^* V^*$)로 나타내고, CIELUV라고 부른다. $W^* U^* V^*$ 표색계를 개량한 것이다.

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

$$U^* = 13L^*(U' - U_n)$$

$$V^* = 13L^*(V' - V_n)$$

$$U' = 4X/(X + 15Y + 3Z)$$

$$V' = 9X/(X + 15Y + 3Z)$$

$$U'_n = 4X_n/(X_n + 15Y_n + 3Z_n)$$

$$V'_n = 9X_n/(X_n + 15Y_n + 3Z_n)$$

L^* 는 명도지수, U^* , V^* 는 크로매틱니스지수로 불리우고 있다.