

## 색의 기초와 응용 (5)

### 제 6 장 색과 색의 차를 표현하는 방법

제5장에서 색을 표현하는 방법을 알아 보았는데, 우리들은 색을 취급하는 단계에서 그 자체를 표현하는 것보다도 색과 색을 비교하여 그 차이를 표현하는 경우가 훨씬 많다. 그래서 그 차이를 정량적으로 알기 위한 목적이 색을 수치화하여 표현하는 이유라고도 말할 수 있다. 이 색의 차를 색차라고 한다. 그러나 이제까지 알아 본 것과 같이 색을 표현하는 표색법에는 여러가지가 있으며, 그 표색계의 기준이나 척도가 모두 다르기 때문에 그 계산된 색의 차를 수치로 표현할 수 있어도 그것이 다른 표색계와 어느 정도의 차이가 있는가를 판단할 수는 없다. 현재 어느 표색계의 색차인가를 명시하기로 되어 있는 이유도 거기에 있다.

또 색은 3속성으로부터 구성되어 있기 때문에 색의 차이, 색차는 3차원적인 차가 되며, 그것을 한 개의 수치로 나타내는 것에도 대단한 문제점이 있다. 예를 들면, 1개의 색차치가 있는 색이라 하여도 색상이나 채도에 그다지 차이가 없으며, 명도만이 다른 경우나 명도나 채도는 차이가 없고 색상이 다른 경우등이 있으며, 또 인간의 눈은 그 차이가 같게 보이지 않고 한편은 매우 다르게, 다른 한편은 그다지 차이가 없게 보이기도 한다. 어디까지나 색차라고 하는 것은 색도점의 거리가 어느 만큼 떨어져 있는가 라는 것이 아니고, 어느 만큼 색이 다르게 보이는가라는 것을 관련성이 있는 수치로 표현할 수 있는 것이 이상적이다.

또 인간의 눈은 같은 색차라 하더라도 색상에 따라서 그 차를 크게 느끼는 색상과 작게 느끼는 색상이 있다. 이와 같은 심리적인 면까지도 가미하지

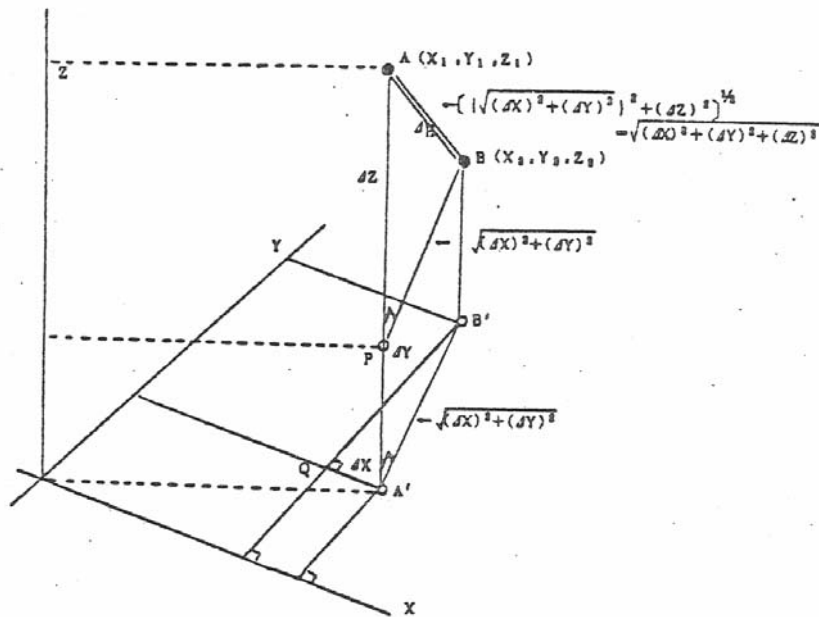
않으면 눈에 보인 색과 색의 차를 수치로 표현할 수는 없다. 이와 같이 생각해 가면 색차를 수치로서 과학적으로 표현하는 것은 불가능에 가깝게 된다. 불가능하다고 해서 포기해 버려서는 색차의 정량화는 할 수 없다. 그래서 차차 여러가지의 연구가 이루어져서 적어도 이상적인 색차를 나타내는 색차치를 얻을 수 있도록 그 계산식에 생각을 첨가한 것이 발표되고 있다. 그리하여 그들의 색차치는  $\Delta E$ 로 표현되고, 색차를 나타내는 단위로서 N.B.S. 단위 (N.B.S.Unit)가 널리 사용되고 있다. 이것은 미구 국립표준국의 D. B. Judd가 발표한 것으로 National Bureau of Standard를 약해서 N. B. S.라 칭한다. 1 N. B. S. 단위는 인간이 겨우 분별할 수 있는 최소의 색차량의 5배에 상당한다고 한다. 즉, 인간은 0.2N.B.S.의 단위까지 분별할 수 있어도 채도에서는 0.5N.B.S. 단위 이상이라도 구별할 수 없으며, 명도는 그 중간정도라고 한다.

## 6.1 표색계로부터 본 색차의 원리

색차식을 이해하기 위해서는 색차란 어떠한 생각을 기초로 무엇을 구할 것인가 아는 것이 중요하며, 이것을 잘 이해한다면 어려운 식도 충분히 그 색이 의미하는 바를 알 수 있게 된다.

A색과 B색의 색차를 계산하는 방법에 대해서 <그림 6.1>을 사용하여 설명한다.

X축과 Y축에 대한 색도면에 Z축이 직교하는 명도축이 있는 색공간에 A색의 점 A와 B색의 점B가 있다. 색차란 이 두점의 거리를 아는 것이며, 이것은 3각형 A'QB'으로부터 A'B'의 거리를 구하여, 그것으로부터 3각형 APB의 A와 B의 거리가 구해지므로 모두 피타고라스의 정리에 의해서 구할 수 있다. 즉, 현재의 색차식은 대부분이 피타고라스 정리에 의해서 만들어졌다고 해도 좋다.



<그림 6.1> X, Y, Z의 색차 ΔE의 계산원리

그림의 점 A, B의 투영을 X축, Y축으로 된 색도면상에 플롯하여 점A', B'을 얻는다. 측정치 ΔX의 길이를 A'로부터 X축에 평행하게 긋고, ΔY의 길이를 B'로부터 Y축에 평행하게 그어서 그 교점을 Q라 하면 직각삼각형 B'QA'가 생긴다. 피타고라스의 정리에 의하여 점A'와 B'의 직선길이를 구할 수 있다.

$$A'B' = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

이 A'B'는 점B에서 AA'에 내린 수선의 교점 P와의 거리 BP가 된다. 또 AP는 ΔZ가 되기 때문에 삼각형 APB에 있어서 AB는 역시 피타고라스의 정리에 의해서

$$AB = [\{ \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \} + (\Delta Z)^2]^{\frac{1}{2}} \text{로 되며}$$

$$AB = \Delta E = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2} \text{ 이 된다.}$$

또 셀면색표계를 이용한 색차식은 상당히 복잡한 것이지만 기본적으로는 역시 3각형의 피타고라스의 정리에 의한 것으로 색상차  $\Delta H$ 의 각도  $\theta$ 로 나타내거나, 채도C나 명도 V가 커지면 색상의 차가 크게 되므로 그 비율을 나타내는 계수가 사용되고 있을 뿐이다. 예를 들면 Nickerson-Balinkin의 식에서는 다음과 같이 되어 있다.

$$\Delta E = \left[ \left( \frac{2}{5} \Delta H \right)^2 + (6 \Delta V)^2 + \left( \frac{20}{\pi} \Delta C \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

## 6.2 각종 색차식에 대하여

색공간내의 색과 색의 차를 눈에 보이는 차이에 관련된 수치로 표현하려는 시도는 매우 곤란한 것이지만 조금이라도 이상적으로 만들고자 차차 개량한 색차식이 발표되어 온 것인데, 다음에 그 대표적인 것에 대해서 간단히 설명한다.

### 1) Godlove의 색차식

이것은 유명한 색차식으로서 색차를 면셀chroma의 단계를 척도로 하여 나타내는 방법이다. 채도(C)가 2배가 되면 색상의 차도 2배로 된다고 하며, 비교하는 2가지 색의 C의 기하평균을 이용하고, 또 색상차의 경우, 면셀의 H는 색상을 나타내는 기호이고 수치는 아니기 때문에 이것을 계산치로 하기 위하여 색환의 원형좌표에 있어서의 중심각으로 나타내며, 면셀의 hue는 100등분 되어 있기 때문에 1hue는  $1/360^\circ$ 의  $3.6^\circ$ 가 되도록 하고 있다. 즉, H의 차  $\Delta H = 3.6^\circ \times (\Delta H)$ 이다.

또 3속성의 C의 스케일과 V의 스케일은 V의 1단계의 색차가 시각적으로 C의 4단계에 상당하기 때문에 면셀표색계에서 색차계산은 C와 V와의 관계를 4 : 1 또는 이것에 가까운 관계치가 사용되고 있는데, 이 식에서는  $4\Delta H$ 를

사용하고 있다. 그리하여 아래에 나타난 식을 구성하고 있다.

$$I = [2C_1C_2\phi(H) + (\Delta C)^2 + (4\Delta V)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\phi(H) = 1 - \cos 3.6^\circ \cdot (\Delta H)$$

I의 1단위는 3~7 N.B.B. 단위에 상당한다.

또 이 Godlove의 식에 보정을 가한 다음의 식이 자주 사용되고 있다.

$$\Delta E = fg\{2fhC_1C_2(1 - \cos 3.6\Delta H) + (\Delta C)^2 + 16(\Delta V)^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$fg = \frac{15 + \{C^2 + 16(\bar{V} - V_s)^2\}^{\frac{1}{2}}}{5 + \{C^2 + 16(V - V_s)^2\}^{\frac{1}{2}}}$$

$\bar{V}, \bar{C}$ 는 평균치,  $V_s$ 는 주위의 명도를 나타낸다.

$$fh = \{4/(3 - \cos 3.6(\Delta H))^2\}$$

주위의 색과 시료의 색이 같은 경우는  $fh = 1$ ,  $fg = 3$ 으로 된다.

## 2) Nickerson - Balinkin의 식

이 식은 간단한 형태로 되어 있으며, 이 식에서 계산된 색차는 거의 N. B. S.의 단위에 상당한다고 되어 있다.

$$\Delta E = [(\frac{2}{5}C\Delta H)^2 + (6\Delta V)^2 + (\frac{20}{\pi}\Delta C)^2]^{\frac{1}{2}}$$

## 3) Adams의 색차식

아담스 · 니커슨의 색차식으로 유명한 것이고, 염색공업에서는 널리 사용되고 있으며, JIS의 견뢰도시험에 사용하는 표준회색색표의 단계에서는 이 색차를 사용하고 있다.

$$\Delta E = 40[\{0.23\Delta V_Y\}^2 + \{\Delta(V_X - V_Y)\}^2 + \{0.4\Delta(V_2 - V_Y)\}^2]^{\frac{1}{2}}$$

계수40이 사용되고 있는 것은 계산한  $\Delta E$ 값이 N.B.S. 단위에 근사하도록 하기 위함이다. 이것을 명도차, 채도차, 색상차로 분리하여 알기 위해서는 다음의 계산을 행한다.

채도차는

$$\Delta E_c = [(V_{x1} - V_{y1})^2 + \{0.4(V_{z1} - V_{y1})\}^2]^{\frac{1}{2}} - [(V_{x2} - V_{y2})^2 + \{0.4(V_{z2} - V_{y2})\}^2]^{\frac{1}{2}}$$

색상차에 대해서는 <그림 6.2>와 같은 방법을 사용하여 계산하든가, 작도하여 그림위에 자를 사용하여 길이를 측정하여 구한다.

#### 4) DIN색차식

DIN표색계의 색상(T)와 포화도(S)와 음도(D)을 이용한 색차식이며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{S}{6} \cdot \frac{10-D}{9} \cdot \Delta T\right)^2 + \left(\frac{10-D}{9} \cdot \Delta S\right)^2 + (\Delta D)^2}$$

이 식에서 S, D는 양색의 평균치를 사용하면 된다.

이 색차식에서 색상의 차는  $\frac{S}{6} \cdot \frac{10-D}{9} \cdot \Delta T$  이고, 포화도에 관한 차는  $\frac{10-D}{9} \cdot \Delta S$  이며, 음도의 차는 그 자체  $\Delta D$ 로 알 수 있다.

이 식으로부터 얻어지는  $\Delta E$ 는 N.B.S 단위와는 다른 것으로서, 1N.B.S 단위는 0.15~0.05DIN단위에 상당하는 것으로 되어있다.

#### 5) 1964 CIE-UCS색차식

이 색차식과 다음에 구하는  $\alpha \cdot \beta$  색차만이 정규의 N.B.S. 단위의 수치가 될 수 있는 것으로서 중요한 것이다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2}$$

이 식은 색상차나 채도차를 직접 구할 수는 없다. 3속성의 차로 계산할 필요가 있다. 명도의 차는  $w^*$ 의 차로부터 직접 구해진다.

$$\text{색도의 차 } \Delta E_c = \sqrt{(U_1^*)^2 + (V_1^*)^2} - \sqrt{(U_2^*)^2 + (V_2^*)^2}$$

색상의 차는  $\Delta U^*$ ,  $\Delta V^*$ 을 각각  $U^*$ ,  $V^*$ 을 가로축, 세로축으로 한 그래프로 부터 작도에 의해서 구한다.

#### 6) Hunter의 $\alpha - \beta$ 색차식

$\alpha - \beta$  표색계는 N.B.S 단위가 기초로 된 것이지만, 실제로 염색공업에서는 거의 사용되고 있지 않는 색차식이다.

$$\Delta E = fg \left[ \left\{ 221 Y^{\frac{1}{4}} (\Delta \alpha^2 + \Delta \beta^2)^{\frac{1}{2}} \right\}^2 + k \Delta (Y^{\frac{1}{2}})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

이 식에서  $Y$ 는 %표시이다.

#### 7) Mac Adam의 색차식

$$\Delta E = \left\{ \frac{1}{k} (g_{11} \Delta X^2 + 2g_{12} \Delta x \cdot \Delta y + g_{22} \Delta y^2 + G \Delta Y^2) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

이 식에서는  $g_{11}$ ,  $g_{12}$ ,  $g_{22}$ 는  $x$ ,  $y$ 의 값에 의하여 정해지는 상수이며,  $G$ 와  $K$ 는  $Y$ 에 의해서 정해지는 값이다.

이 계산을 간단히 하기 위하여 Simon-Goodwin chart가 준비되어 있다.

#### 8) Hunter Lab계에 의한 색차식

이 색차식은 헌터색차계에 적합한 식으로서

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a_L)^2 + (\Delta b_L)^2} \text{로 나타낸다. } \Delta L, \Delta a_L, \Delta b_L \text{은 헌터색차계에}$$

의해 측정되는  $L$ ,  $a_L$ ,  $b_L$ 의 차를 그대로 사용하면 된다. 각종 색차식중에서 가장 사용이 간편한 것이지만, 등색차성은 좋지 않다.

9) CIEL\*a\*b\*표색계에 의한 색차식

1986년 CIE에 의해서 권고된 표색계에 의한 색차식이다.

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

1974년 아담스의 색차식의 수정안으로 제안되어, 1975년 9월 런던 제18회 CIE 총회에서 13:3으로 가결된 것이며, 일본의 JIS8730 색차표시방법도 1980년에 개정하여 채용하였다.

현재 가장 중요한 색차식으로서, 건뢰도시형용 표준회색색표의 색차식도 아담스의 색차식으로부터 CIELAB의 색차로 대신하기로 되어 있다.

10) CIEL\*u\*v\* 표색계에 의한 색차식

1979년의 CIELAB와 동시에 제안된 것으로, UVW계에 의한 색차식의 수정안으로서 나왔다. 그리고 마찬가지로 1975년 9월의 CIE총회에서 가결되고, 1976년 CIE로부터 권고된 것이다.

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

역시, 1980년 개정된 JIS에 의한 공식으로 되어 있다.

참고로 개정전과 개정후의 JIS의 공식을 기술한다.

(개정전)

(1)  $U^*V^*W^*$ 에 의한 색차식(CIE의 색차식이라고도 한다)

(2)  $V_XV_YV_Z$ 계에 의한 색차식(Adams의 색차식이라고도 한다)

(3) Lab계에 의한 색차식(Hunter의 색차식이라고도 한다)

(개정후)

(1)  $L^*a^*b^*$  표색계에 의한 색차식

(2)  $L^*u^*v^*$  표색계에 의한 색차식

(3) 기타 색차식

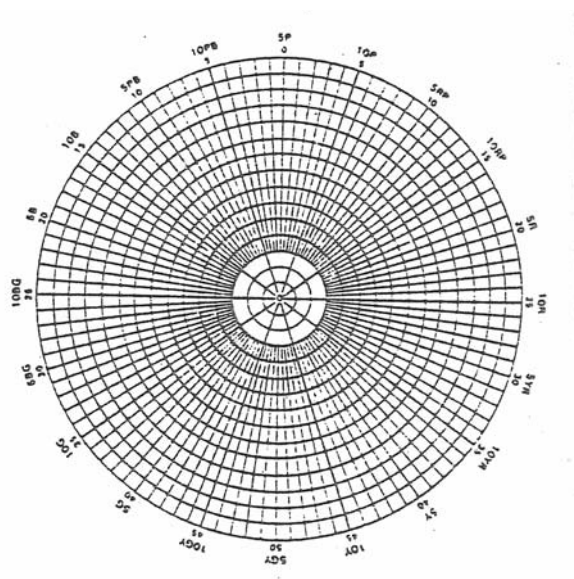
(a) 아담스 · 니커슨의 색차식

(b) 헌터의 색차식

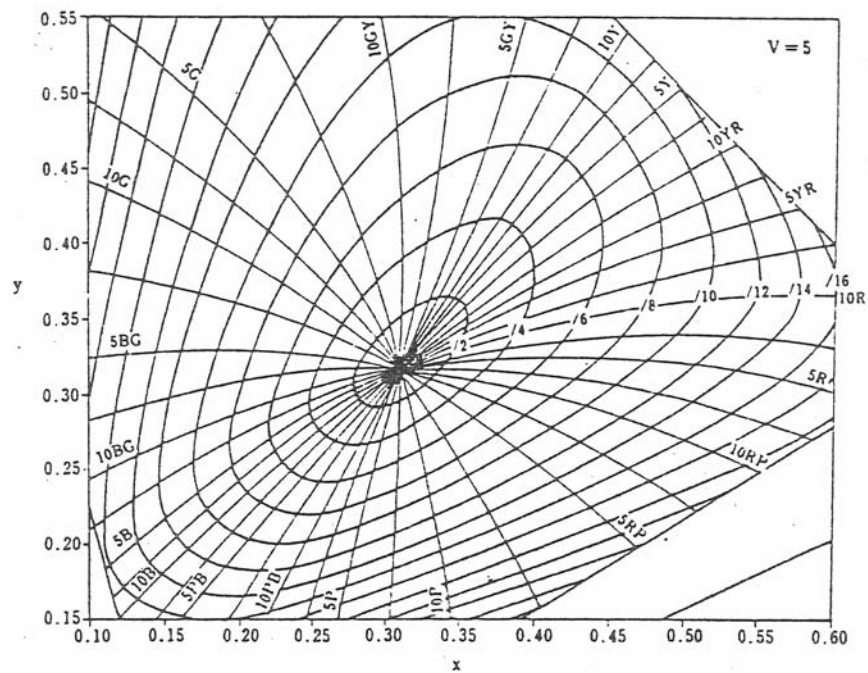
### 6.3 새로운 색차식의 사고방식

염색공업에 있어서의 색의 처리나 색의 관리에 없어서는 안되는 색과 색의 차의 표현에 색차치를 사용하기 위해서는 색차치라는 것은 시각과 일치하는 것과 같은 색의 차이의 수치적 표현이라는 정의가 없으면 안된다.

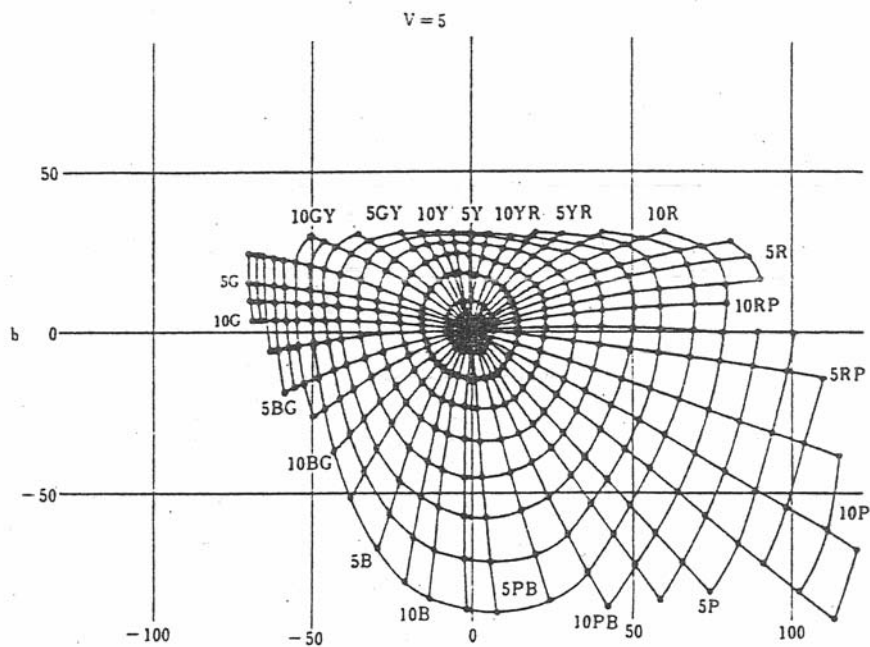
그러나 이제까지 기술한 색차치는 모두 그 기반을 색채학상의 균등색공간에 두고, 그 색공간내에 존재하는 두 가지 색의 입체거리로서 표현하는 것에 의의를 두었다. 더욱이 그 색공간의 시각적 균등성에 대해서는 각각의 표색계에 따라서 상당한 왜곡을 볼 수 있다. 시각적으로 왜곡이 없는 구서오딘 먼셀표색계에 있어서의 색상환을 각각의 표색계가 구성하는 색도도상에 나타낸 것이 <그림 6.3-1>, <그림 6.3-2>, <그림 6.3-3>, <그림 6.3-4>, <그림 6.3-5>, <그림 6.3-6>, <그림 6.3-7>이다.



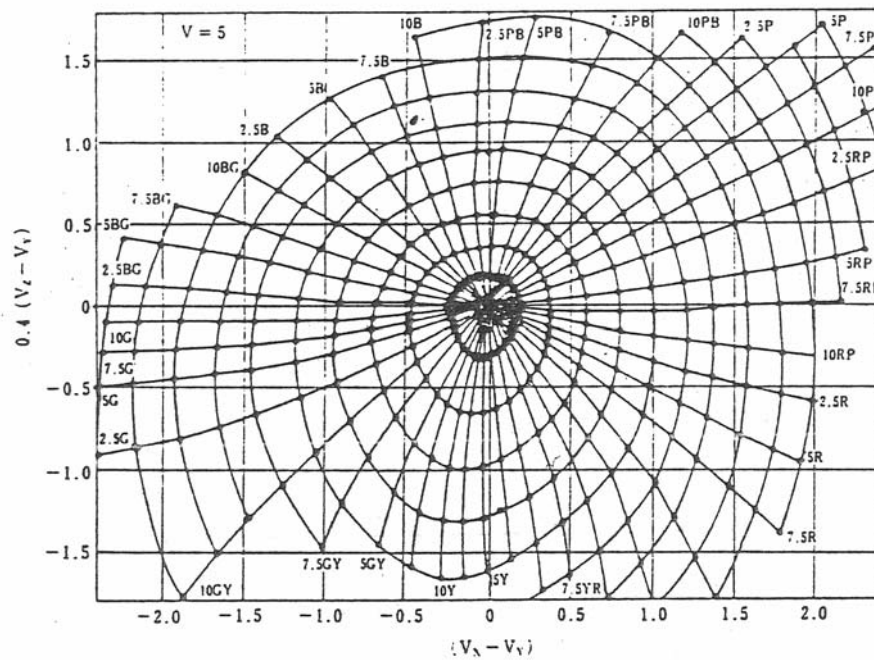
<그림 6.3-1> 먼셀색상환



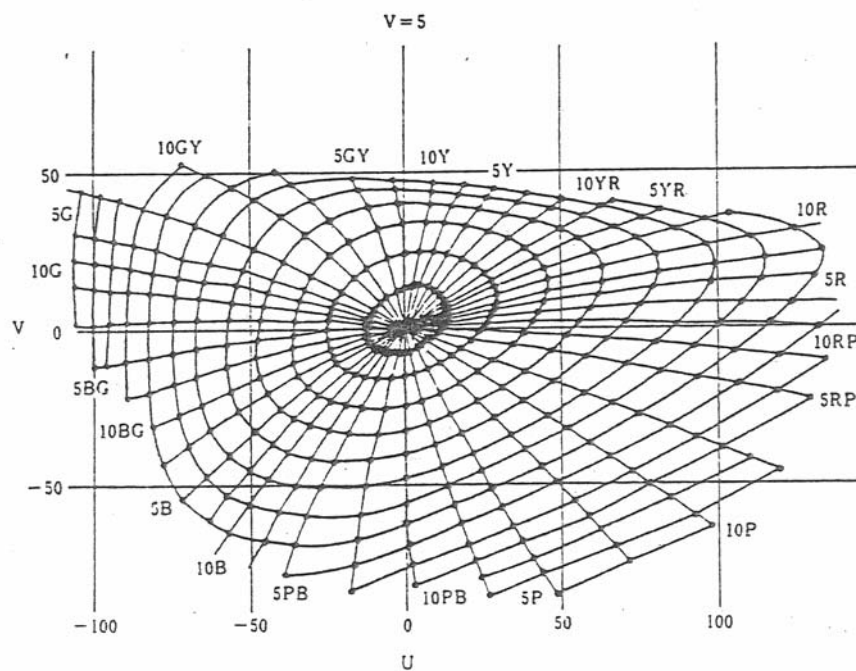
<그림 6.3-2> XYZ표색계의 xy색도도상의 먼셀색상환(명도 5)



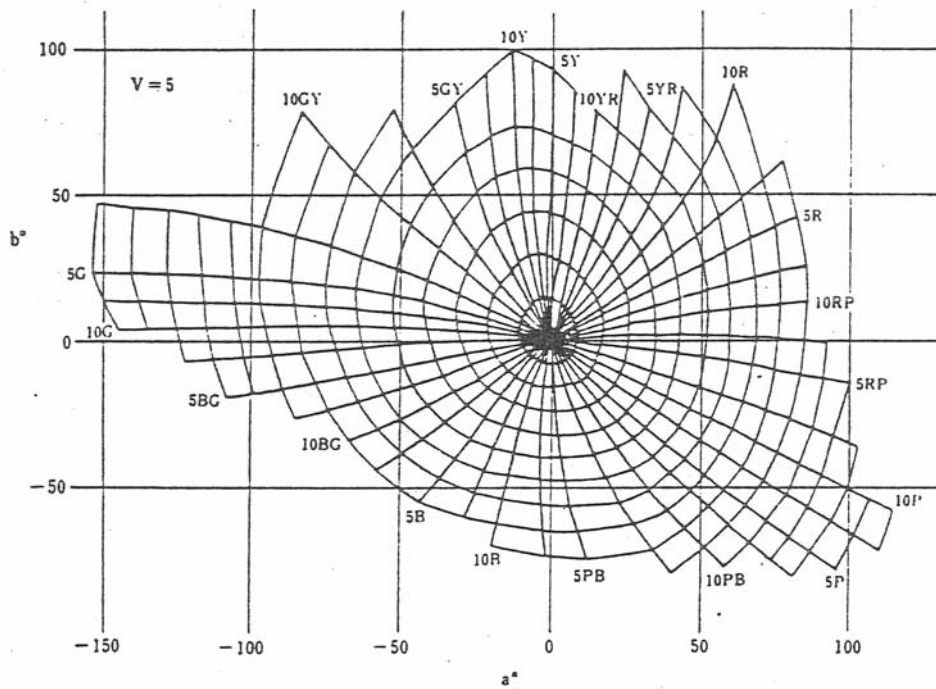
<그림 6.3-3> Hunter 의 LAB표색계의 UCS색도도상이 먼셀색상환(명도 5)



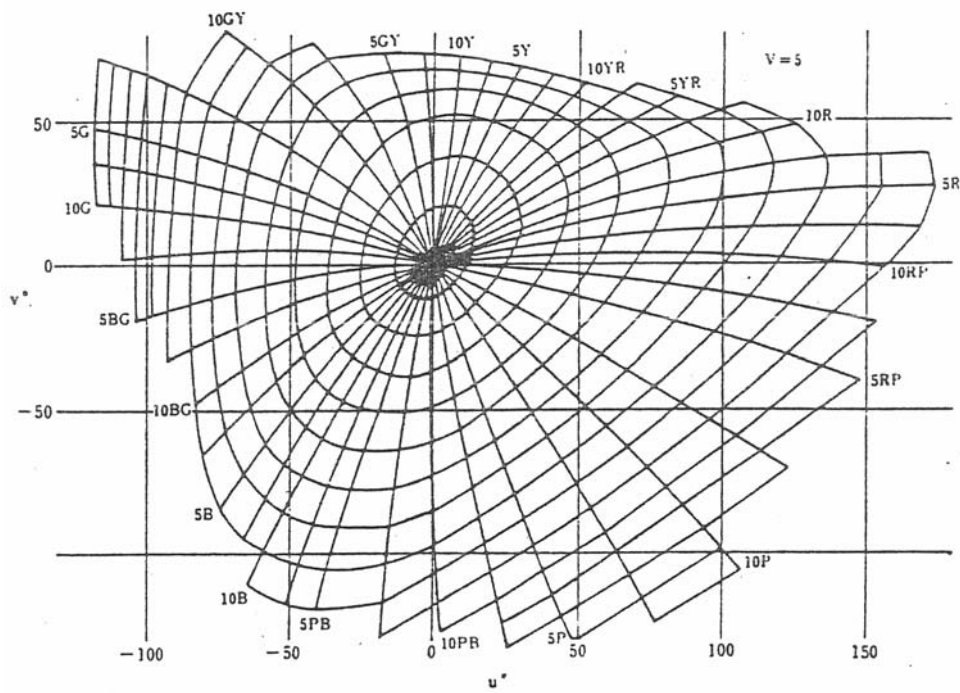
<그림 6.3-4> Adams의  $V_xV_yV_z$  표색계에 의한 UCS색도도상의 먼셀색상환(명도 5)



<그림 6.3-5> 1960CIE-UCS색도도상의 먼셀색상환(명도 5)

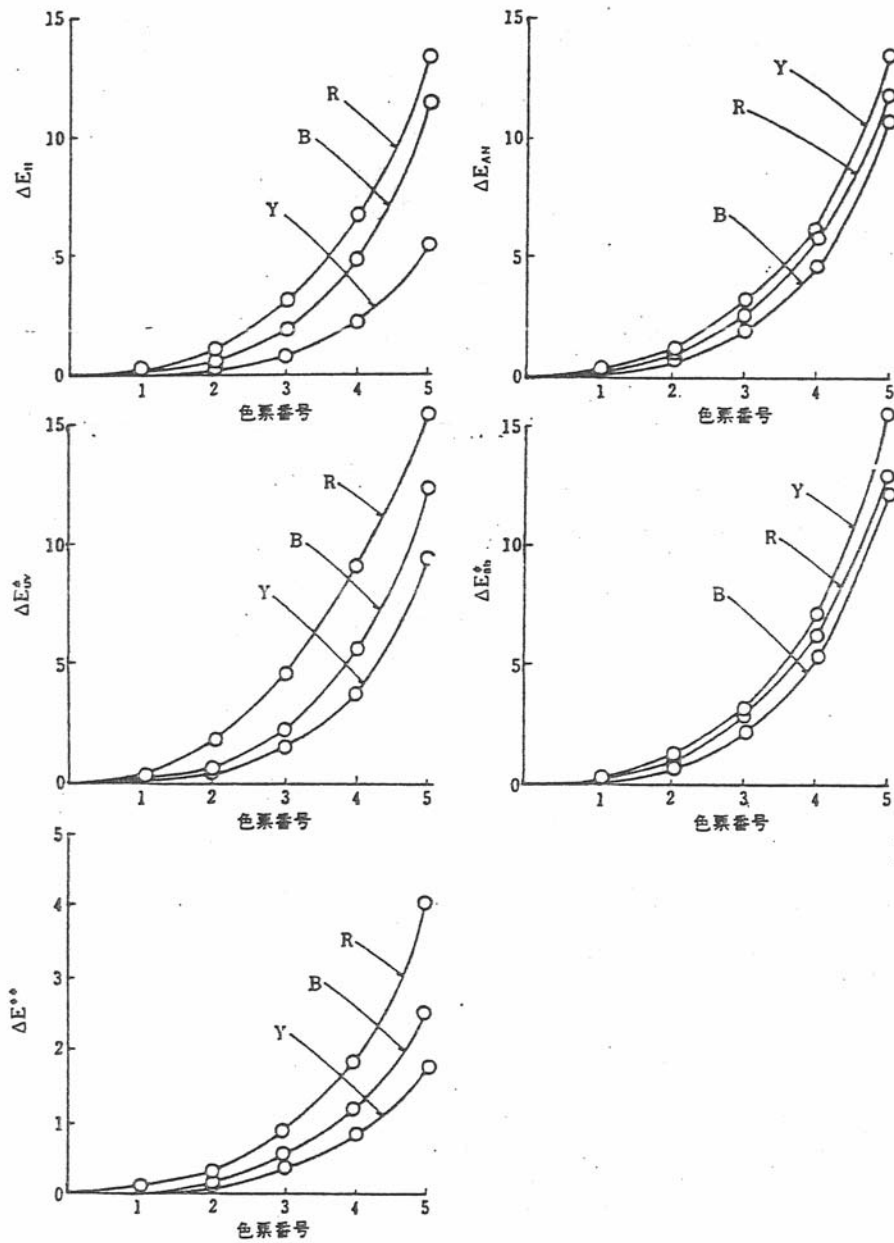


<그림 6.3-6>  $L^*a^*b^*$  표색계의 UCS색도도상의 먼셀색상환(명도 5)



<그림 6.3-7>  $L^*u^*v^*$  표색계의 UCS색도도상의 먼셀색상환(명도 5)

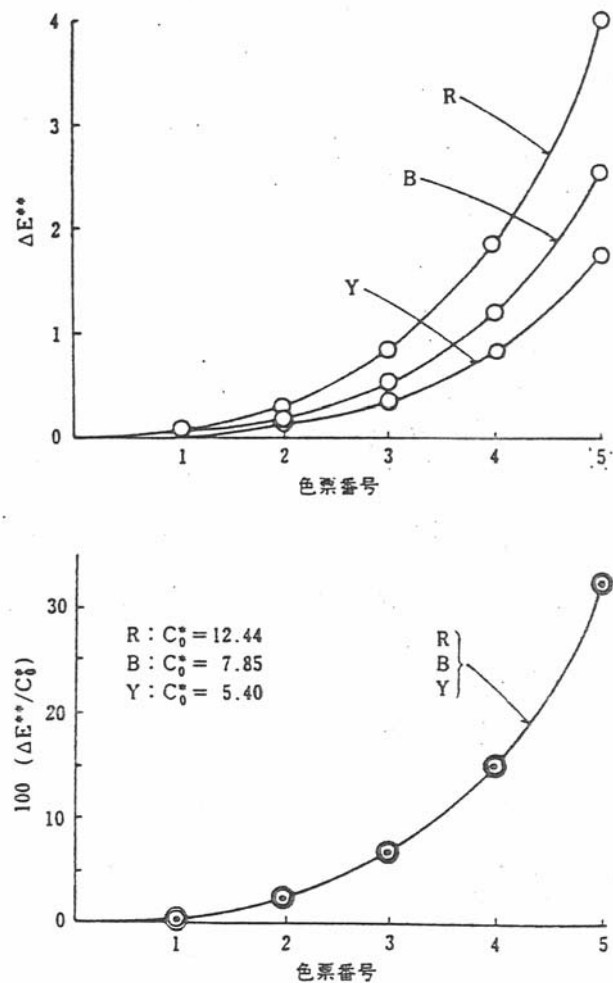
이와 같이 조금씩 개량되어 가고는 있지만, 균등한 원이 되는 것은 하나도 없다.



<그림 6.4> 색차치수열과 계급등급치의 관계

혹시 그것이 균등하게 될 수 있는 표색계가 있었다 하더라도 현재의 색차

치의 사고방식은 면셀명도V의 스텝을 기준으로 하여 생각되어져 있기 때문에 이 면셀명도의 스텝은 색이 밝기에 대해서는 시각적으로 균등성이 있더라도, 색농도개념에서부터 시각적으로 균등하다고 생각되는 색농도의 스텝과는 다른점을 가지고 있기 때문에 시각과 양호한 일치성을 볼 수는 없다.



<그림 6.5> 시각적으로 균등한 3조의 색계열의  $\Delta E^{**}$ 에 있어서의 분리와  $\Delta E^{**}/C_0^*$ 에 있어서의 일체화

색재색채공학의 해설에 따르면, 농도도 선명도도 다르게 한 청색(B), 적색

(R), 황색(Y)의 대표적인 기준색 3색의 5급으로부터 1급까지의 퇴색시험색표의 XYZ 및 HVC로부터 각 색차식에 의해서 색차치를 구한 데이터는 <그림 6.4>와 같이 되며, 동일 데이터에 대해서 계산한 색차치의 크기의 순서가  $R > B > Y$ 인 것과  $Y > R > B$ 인 것을 볼 수 있다.

색상이나 색농도의 수준은 달라도 시각적으로는 동등한 퇴색변화, 즉 색차라고 보이는 것이 색차치에서는 전혀 다른 수치로 되어 있다. 결국, 색차치는 시각색차를 표현하지 않음을 알 수 있다.

또한 그는 이어서 <그림 6.5>에 나타난 바와 같이  $\Delta E^{**}$ 는 각각의 계열의 초기색농도치  $C_0^*$ 로 나누어서  $\Delta E^{**}/C_0^*$ 를 구하면 3조 모두 거의 완전히 일치하는 값으로 됨을 나타내고, 이와 같은 조치에 의해 시각적으로 같게 보일 3시료로부터 된 3조의 곡선이, 각각 분리된 곡선에서 1본을 합쳐지는 것은 색차치가 시각화된 데 기인한 것이다. 바꾸어 말하면, 시각적으로 같게 되도록 색차치가 보정된 것이다. 따라서 모든 색차치의 절대치적인 성격에 대해서  $\Delta E^{**}/C_0^*$ 를 시각색차지수라고 부를 수 있다고 하고 있다.

$\Delta E^{**}$ 는  $HC^*B^*$  표색계에 있어서의 색차치라고도 말할 수 있는 것으로서 다음 식으로 구성되어 있다.

$$\Delta E^{**} = \{f_1 \Delta D_H\}^2 + f_2 (\Delta C^*)^2 + f_3 (\Delta D_B^*)^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$f_1, f_2, f_3$ 는 각각 색상향과 색농도향 및 선명도향이 시각에 주는 영향의 크기에 관계하는 계수이다.

$$f_1 = 0.5, f_2 = 1.0, f_3 = 1.0$$

$$\Delta D_H = [2C_0 Ci\{1 - \cos(3.6^\circ \times \Delta H)\}]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta D_B = \Delta B^* \cdot Vi(10 - Vi)/25$$

이와 같은 지수를 응용하여 충분히 시각화된 색차치야말로 이제부터 우리

들이 필요로 하는 색재응용공업의 각 분야에서 이용할 수 있는 것이 아닌가  
라고 생각한다.

#### 6.4 경뢰도의 계측등급치

경뢰도시험의 판정은 매우 중요한 작업으로 염료의 탈락량이나 재부착량  
에 대해서 측정할 수 있는 것이 가장 바람직한 것이라고도 할 수 있지만, 그  
것은 도저히 불가능한 일이다. 그래서 현시점에서는 시각적으로 비교판단할  
수 있는 스케일(scale)을 준비하여 시각등색에 의하여 그 색농도차의 양을 판  
정하기로 되어 있다.

제1장의 4절에서 설명한 바와 같이 그 스케일로서는 무채색의 색표를 사  
용하여 (엄밀하게는 무채색이 아니지만) 아담스·닉커슨의 색차치에 의해서  
9단계로 규정된 것이 준비되어 있다. 조금 더 자세히 설명하면, 오염의 표준  
회색색표는,

$$(N = 5 \sim 3)\Delta E = 2n$$

$$(N = 3 \sim 1)\Delta E = 2 \times 2^{\frac{n}{2}}$$

변퇴색용 표준회색표는

$$(N = 5 \sim 3)\Delta E = 0.75n$$

$$(N = 3 \sim 1)\Delta E = 0.75 \times 2^{\frac{n}{2}}$$

두 경우 모두  $n = 10 - 2N$   $N =$  색표번호

두가지 모두 3급을 경계로 하여 등차부분과 등비부분으로 나누어져 있다.  
<그림 6.6>과 <그림 6.7>은 그 등급치와 색차치의 관계를 그래프로 나타낸  
것이다.

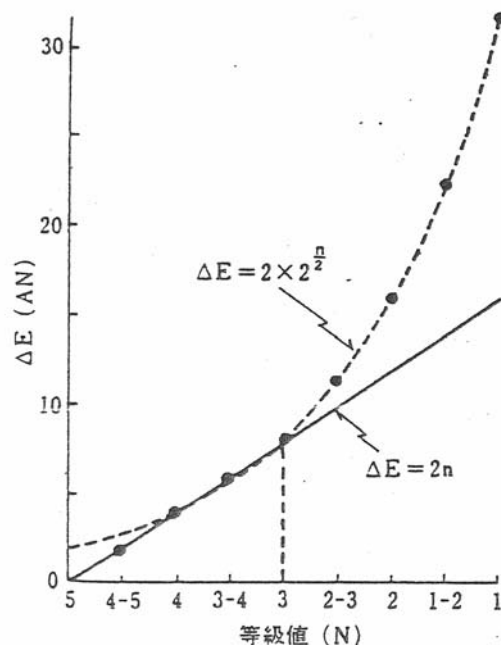
전술한 색차치의 문제점에서, 이 색차치라는 것은 어느 색상에든, 어느 농

도에도 공통된 균등성을 가지는 것이 아니기 때문에 이 색차규정은 어디까지나 표준회색색표에 관한 것으로서 각 색상에 적용하여 생각하는 것은 위험하다. 그래서 시감판정을 대신하는 과학적인 등급판정을 가능하게 하는 방법으로서, 현재의 색차치로서는 해결할 수 없는 각 색상이나 농도간의 색의 농도차가 시감적으로 같은 차로 보이며 색차지수라고도 할 수 있는 수치 즉, 오염용 계측등급치( $N_s$ ), 변퇴색용 계측등급치( $N_c$ )가 사주의  $HC^*B^*$ 표색계로부터 주어져 있다.

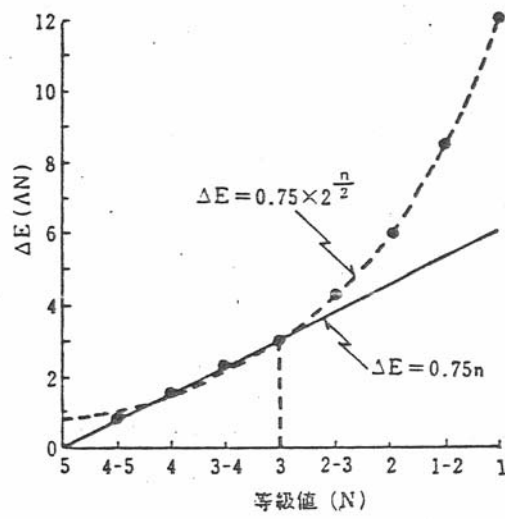
이 이론은  $HC^*B^*$ 표색계의 최대 특징이라고 할 수 있으며, 색재색채공학에 자세히 설명되고 있지만, 여기서는 식의 소개정도로 그치기로 한다.

$$N_s = 5.5 - \log(\Delta C^* / KD + 1) / \log 2$$

$$N_s = 5.5 - \log\{(\Delta E^{**} / C_0^*) / 0.12KD + 1\} \log 2$$



<그림 6.6> 오염용표준회색색표의 등급(N)과 색차치  $\Delta E(AN)$ 의 등급



<그림 6.7> 변퇴색표준회색색표의 등급(N)과 색차치  $\Delta E$ 의 관계