

컴퓨터 모니터의 Contrast/Brightness가 색재현에 미치는 영향

박승옥*, 김홍석*, 최재호**

* 대진대학교 물리학과

** 대진대학교 산업공학과

ABSTRACT

컬러영상은 흑백 영상에 비해 보기 아름다울 뿐만 아니라 보다 다양하고 현실적인 정보를 나타낼 수 있으며, 특히 색의 대비를 이용하여 특정한 부분의 가시도를 높일 수 있는 장점이 있다. 최근에는 컬러 모니터의 대중화와 멀티미디어 기술의 보급으로 인하여 대부분의 컴퓨터 사용자가 칼라 디스플레이를 사용하고 있으며, 이를 이용한 영상의 재현 및 제품 디자인이 자연스러운 영상색의 재현은 정확한 정보의 전달 뿐만 아니라 사용자의 만족도 및 감성적 제품 개발에 중요한 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 색을 가장 자연스러운 상태로 재현할 수 있는 Contrast/Brightness 상태를 알아보고, Contrast/Brightness 변화가 화면에 재현된 영상색에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

1. 서론

종래에는 의료용이나 원격탐사등의 특수분야에서 흑백영상에 Pseudo-color를 사용한 칼라영상이 주로 사용되어 왔다. 칼라영상은 흑백영상에 비해 보기 아름다울 뿐 아니라 보다 다양한 정보를 나타낼 수 있으며, 특히 색의 대비를 이용하여 특정한 글씨나 부분의 가시도를 높일 수 있는 큰 장점을 지니고 있다. 최근에는 디스플레이 기술의 발달로 Full-color 표현이 가능하여 상품 디자인이나 자료 작성시 생활 주변을 그대로 묘사한 자연색 칼라영상을 활용하는 경우가 급증하고 있다.

칼라영상은 모니터나 VGA 보드의 종류 및 설정 상태 등에 따라 화면에 나타나는 색이 다르게 된다. 따라서 칼라영상에 대해서는 모니터의 색조절이 수반되어야 한다. 그러나 대부분의 조절은 모니터 출고시 교정절차를 거쳐 확정되므로 사용자의 임의 수정이 어렵고, 주로 모니터 전면 에 돌출되어 있는 Contrast단자와 Brightness단자를 사용하여 조명상태나 관측자의 연령, 취향 등에 따라 색을 조절하게 된다.

Pseudo-color 영상에서는 문서나 그래프에 몇 개의 대표적인 색을 사용하여 자료를 구분하기

쉽게 하거나, 색으로써 몇가지 정보를 가시화시키는 것이 목적이므로 색의 휘도가 높을수록 효과를 잘 나타낼 수 있다. 따라서 모니터의 effective contrast(Contrast와 Brightness의 합)가 최대가 되도록 Contrast와 Brightness상태를 조절해 주면 최고의 효과를 얻을 수 있다⁽¹⁾.

그러나 Full-color 영상에서는 모니터가 낼 수 있는 모든 색이 실제 물체의 색과 동일하게 재현되어야 자연스러움을 느낄 수 있다. 즉, 모니터상에 재현되는 모든 색의 색도좌표가 물체색의 색도좌표와 정확히 일치하여야 할 뿐만 아니라, 재현색의 휘도는 가능한 높아야하지만 백색에 대한 각 색들의 휘도비가 물체색의 $Y(\%)$ 와 일치되어야 한다.

모니터에서는 Contrast와 Brightness 상태에 따라 모니터가 낼 수 있는 최대 휘도 뿐만 아니라 최저 휘도나 각 삼원색의 입력 디지털값에 따른 휘도 증가율도 달라지므로, 재현된 색의 색도좌표와 휘도는 Contrast/Brightness 상태에 크게 영향을 받는다.

모니터에서 Phosphor constancy, Gun independence, Spatial uniformity, Temporal stability 등의 특성이 유지된다고 가정하면, 모니터 삼원색 빛의 색도좌표와 휘도 함수만을 측정함으로써

간단히 선형 변환 행렬식에 의해 임의의 색을 재현시킬 수 있다. 실제로 모니터가 위의 가정들 중 어느 정도 만족시키는데 따라 자연색의 재현 정확도가 결정된다.

저자들은 실제 모니터를 사용하여 자연색을 재현할 때 위의 네 가지 가정 중 Phosphor constancy가 색재현의 정확도에 미치는 영향을 분석하고, 이에 대한 보정 방법을 제시한 바 있다⁽²⁾. 또한 Contrast/Brightness 조절상태에 따른 모니터의 적색, 녹색, 청색 및 무채색의 색도좌표와 휘도 변화를 세밀히 측정하여, Contrast/Brightness 조절상태가 Phosphor constancy 가정과 Gun independence 가정에 미치는 영향을 분석한 바 있다⁽³⁾. 본 논문에서는 모니터의 Contrast/Brightness 상태에 따른 영상색의 변화를 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 색공간에서 분석하여, 칼라영상의 자연색 재현에 적절한 최적의 Contrast/Brightness 조절상태를 결정하였다.

2. 자연색 재현기술

삼원색 빛의 가법혼합으로 생성되는 영상색에 대해서 자연색의 CIE 1931 (XYZ) 삼자극치와 모니터의 삼원색 빛들의 휘도 사이의 관계는 다음의 행렬식으로 주어진다.

$$T = CY \quad (1)$$

여기서 T는 재현시키기 원하는 자연색의 X, Y, Z 삼자극치를 포함하는 3×1 행렬이며, Y는 모니터 삼원색 빛들의 휘도 Y_R, Y_G, Y_B 로 구성된 3×1 행렬이다. 또한

$$C = \begin{pmatrix} \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{z_r}{y_r} & \frac{z_g}{y_g} & \frac{z_b}{y_b} \end{pmatrix} \quad (2)$$

이 된다. 여기서 $x_i, y_i, (i=R, G, B)$ 는 삼원색 빛의 CIE 1931 (x, y) 색도좌표를 나타낸다.

그러나 실제 모니터의 경우에는 디지털 값이 입력되지 않은 상태에서 나타나는 바탕 화면색의 삼자극치 X_0, Y_0, Z_0 가 고려되어야 한다. 따라서 모니터 화면에 삼자극치 X_c, Y_c, Z_c 를 지닌 색을

나타내기 위한 Y_R, Y_G, Y_B 는 식(1)과 식(2)로부터 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{z_R}{y_R} & \frac{z_G}{y_G} & \frac{z_B}{y_B} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_c - X_0 \\ Y_c - Y_0 \\ Z_c - Z_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 삼원색 빛의 $x_i, y_i, z_i (i=R, G, B)$ 색도좌표도 다음과 같이 바탕화면의 영향이 보정되어야 한다.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{X_i - X_0}{(X_i - X_0) + (Y_i - Y_0) + (Z_i - Z_0)} \\ y_i &= \frac{Y_i - Y_0}{(X_i - X_0) + (Y_i - Y_0) + (Z_i - Z_0)} \\ z_i &= 1 - (x_i + y_i) \end{aligned} \quad (4)$$

삼원색 형광소자로부터 Y_R, Y_G, Y_B 의 휘도를 방출시키기 위한 입력값 R, G, B 는 각 형광소자의 입력값에 대한 빛의 휘도함수 $f_r(R), f_g(G), f_b(B)$ 로부터 다음과 같이 예측될 수 있다.

$$\begin{aligned} f_r(R) - Y_0 &= Y_R, \\ f_g(G) - Y_0 &= Y_G, \\ f_b(B) - Y_0 &= Y_B \end{aligned} \quad (5)$$

이와같이 구한 R, G, B 를 모니터에 입력하여 화면에 나타난 영상색과 원래 나타내고자 원했던 색의 색도좌표를 CIE 색공간(Colour space)에서 비교하였다. 색차를 나타내는 색공간으로는 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 색공간(CIELUV)과 CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) 색공간(CIELAB)을 들 수 있는데, TV나 디스플레이 시스템 등의 영상색은 주로 CIE-LUV로 표현되고, 페인트나 염료색은 주로 CIE-LAB으로 표현되고 있다.

CIELUV 색공간은 L^* 를 수직축으로 하고, u^* 과 v^* 이 한 평면을 이루는 공간으로 세 직교축에 대한 좌표는

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 ; Y/Y_n > 0.008856$$

$$L^* = 903.3(Y/Y_n) ; Y/Y_n \leq 0.008856$$

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

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

으로 정의된다. 여기서 u' 과 v' 은 각각 $u' = 4x/(-2x+12y+3)$, $v' = 9y/(-2x+12y+3)$ 이며, u'_n , v'_n 은 선택된 기준 백색의 u' , v' 값이다.

CIELUV 색공간에 표시된 두 색간의 거리를 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 색차 혹은 CIELUV 색차라 하며 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2} \quad (7)$$

색이 다르게 인지되기 시작하는 최소한의 색차 (Minimum Perceptible Color Difference; MPCD) 는 약 2~3 CIELUV 단위가 된다⁽⁴⁾.

3. 측정장치 및 방법

Panasonic사의 BT-H 1450Y를 Color image frame grabber가 내장된 컴퓨터에 연결하여 사용하였다. Color image frame grabber는 미국의 Data Translation사의 DT 2871로써 Red, Green, Blue 입출력이 8 Bit의 A/D, D/A converter를 사용하여 각각 256 단계로 조절될 수 있어 Full-color 재현이 가능하다.

모니터의 Contrast와 Brightness 조절단자의 위치는 그림1과 같이 각각 3단계로 구분하여 이들의 조합에 의한 9가지의 상태에 대해서 색 특성을 측정하였다(Contrast단자는 ①로 조절되고

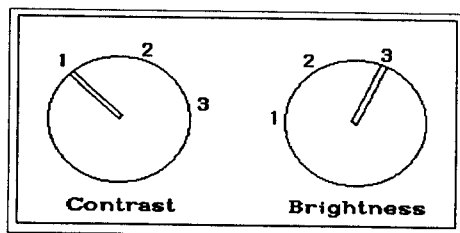


그림1 모니터의 Contrast와 Brightness 조절상태

Brightness단자가 ③으로 조절된 상태는 앞으로 c1b3으로 표현하겠음). 측정 회수를 줄이기 위하여 입력값은 0에서 255사이에서 16씩 증가되는 17단계의 값을 택하였다.

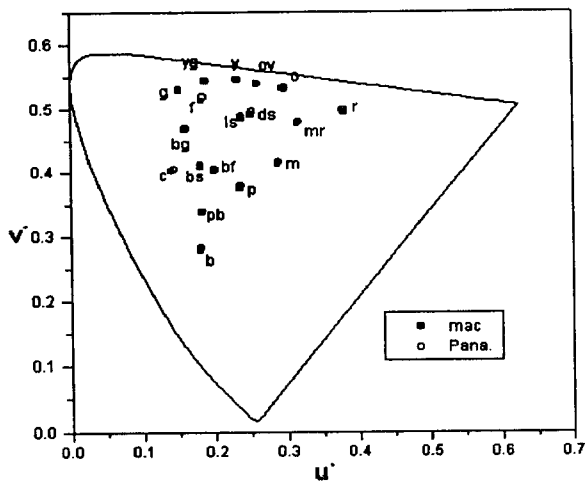
측정장비로는 Minolta사의 Color analyser(CA-100)를 사용하였다. CA-100은 광검출기 주위가 암막으로 둘러싸여 있어서 측정시 주변의 조명에 영향을 받지 않는다. 화면 전체에 한 색씩 나타내고 측정위치는 화면 중앙부분으로 한정하여 Spatial uniformity 가정에 위배되지 않도록 하였다.

자연색으로는 모니터로 나타낼 수 있는 전 영역의 색을 고루 포함하고 있는 Macbeth Colorchecker의 유채색 18색과 무채색 6색을 택하였다.

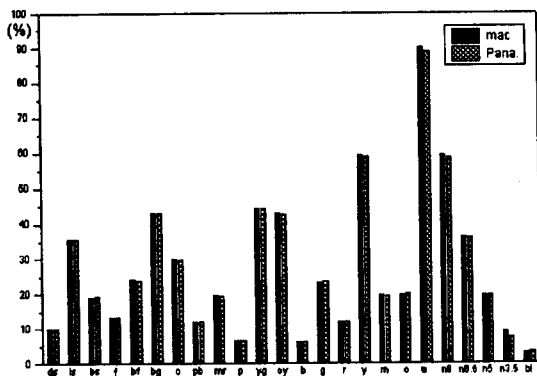
4. 측정결과 및 분석

그림2는 모니터의 Contrast/Brightness 상태가 c1b2일 때 자연색 재현기술⁽²⁾에 의해 영상으로 재현된 Macbeth ColorChecker 24색의 색도좌표와 휘도를 측정된 결과이다(재현과정은 참고문헌에 자세히 보고되어 있음). 그림2-a는 CIELUV 색공간에 자연색과 영상색의 색도좌표를 함께 나타낸 것이고, 그림2-b는 휘도를 막대그래프로 비교해 본 것이다. 여기서 자연색은 물체의 색이므로 반사도 $Y(\%)$ 로 지정되므로 휘도는 물체를 비추는 조명의 세기에 따라 결정된다. 따라서 Macbeth ColorChecker white의 휘도를 임의로 택하고, 각 색의 휘도는 이에 대한 $Y(\%)$ 로 정하면 된다. 그림 2-a, b로부터 24색 모두를 한 화면에 재현시키면 Macbeth ColorChecker chart의 색과 정확하게 일치됨을 알 수 있다.

영상색이 재현된 상태에서 Contrast와 Brightness가 바뀔 경우 색에 미치는 영향을 CA-100으로 측정하여 분석해 보았다. 그림3은 Contrast 증가에 따른 색의 변화를 보여주고 있다. 그림3-a는 색도좌표의 변화를 나타내는데, Contrast 증가에 따라 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 또한 그림3-b는 Contrast가 ①일 때 각색의 휘도를 1로 두고, Contrast가 ②로 증가되었을 때 각색의 휘도 증가율을 막대 그래프로 나타낸 것이다. 거의 모든 막대의 크기가 일정하게 증가하므로 각 색의 밝기 비도 변화가 없음을 알 수 있다. 그러나



(a)

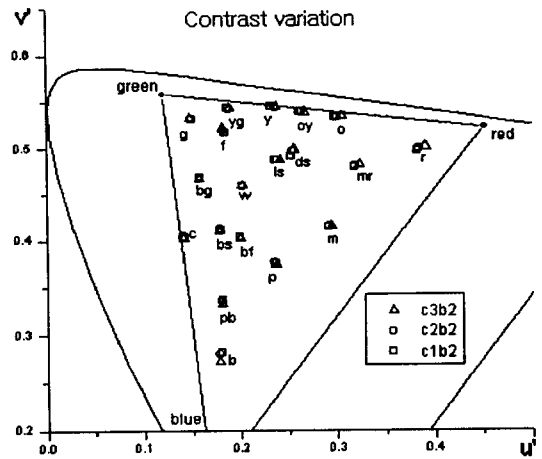


(b)

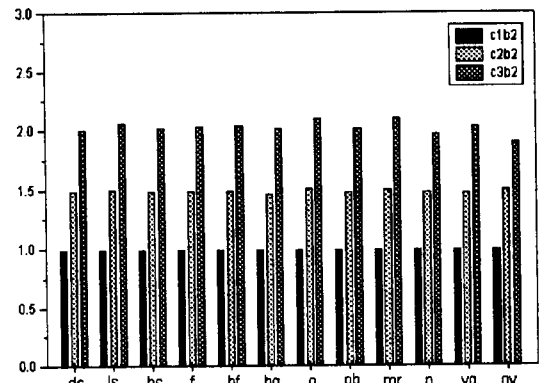
그림2 Macbeth colorchecker 24색의 재현색과 원래색 비교 (a)색도좌표, (b)휘도

모니터가 낼 수 있는 최대 휘도가 한정되어 있으므로 휘도가 가장 높은 white색의 증가율은 다른 색에 비해 다소 떨어지게 된다. 이러한 이유로 Contrast가 ③으로 더욱 증가하게 되면 휘도가 다음으로 높은 n8.5, yellow... 등의 휘도 증가율도 떨어져 처음 제시된 24색의 밝기 비가 유지되지 못함을 보여준다. 이에 따라 24색 모두를 한 화면에 재현시키면 Macbeth ColorChecker chart에 비해 무채색의 단계가 불균등하여 자연스럽게 못함을 느끼게 된다.

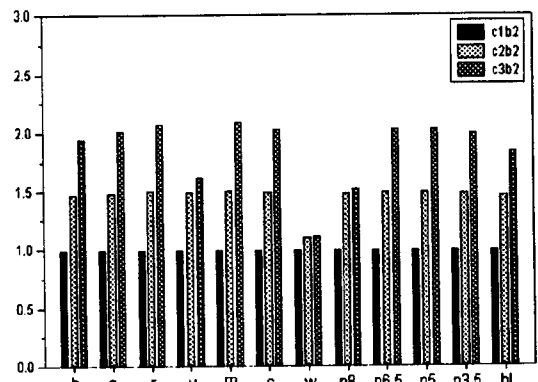
그림4는 Brightness의 변화에 따른 색의 변화를 보여준다. 그림4-a에서 보면 Brightness가 ②에서 ①으로 감소하면 24색 모두 색좌표가 색영역의 경계선 쪽으로 향하므로 순도가 높아짐을 알 수 있고, Brightness가 ②에서 ③으로 증가하



(a)



(b)-1

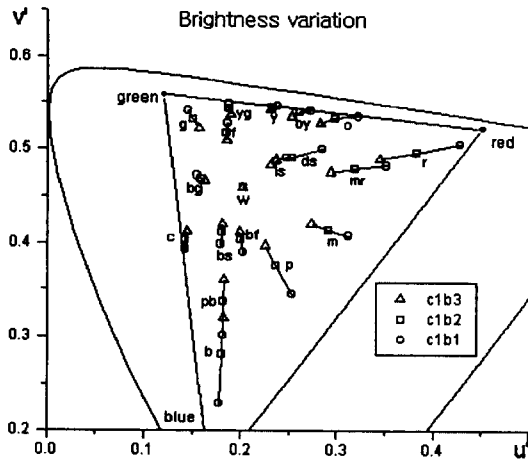


(b)-2

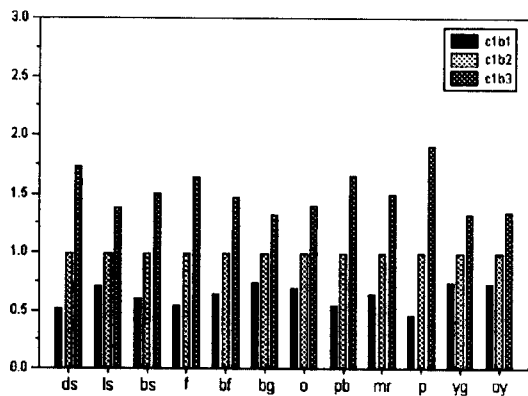
그림3 Contrast 조절에 따른 영상색의 변화

면 색도좌표가 중앙을 향하므로 순도가 떨어짐을 알 수 있다. 그림3-a에 비해 크게 색의 변화가 생김을 알 수 있다. 또한 그림4-b는 휘도 증가율

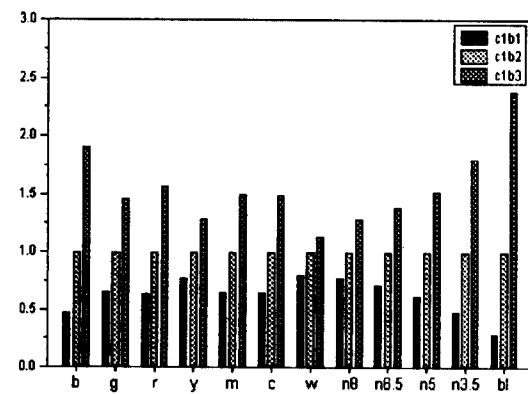
의 변화를 보여주는데, 그림3-b에 비해 24색 모두 증가율이 달라짐을 알 수 있다. 따라서 24색 모두를 한 화면에 재현시키면 각 색의 색도 뿐만 아니라 밝기 비도 달라져서 원래의 Macbeth ColorChecker chart의 색과는 크게 달라지게 된다.



(a)



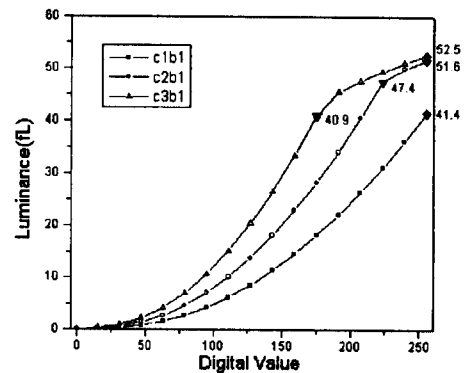
(b)-1



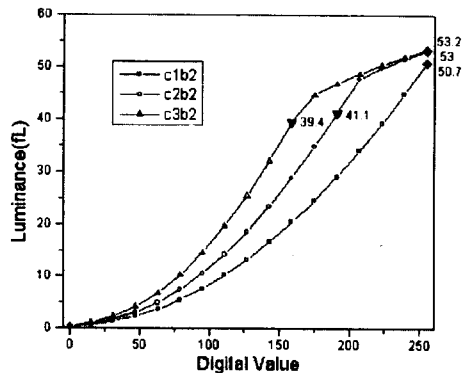
(b)-2

그림4 Brightness 조절에 따른 영상색의 변화

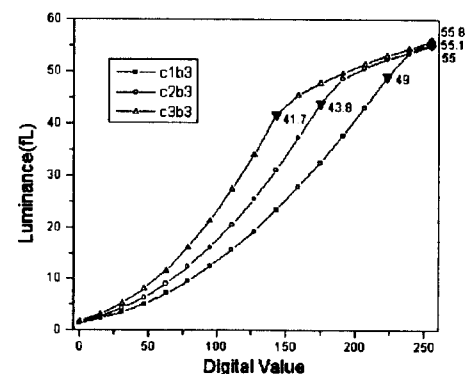
이로부터 임의의 Contrast/Brightness 상태에서 제시된 영상색은 Contrast/Brightness 상태가 달라지면 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 주위 환경이나 개인의 취향에 따라 Contrast와 Brightness 상태가 결정된 후, 그 상태에서의 색 특성을 측정하여 이를 고려한 색 재현이 이루어져야 한다.



(a)



(b)



(c)

그림5 9가지 경우의 Contrast/Brightness 상태에서의 무채색의 휘도특성

다음으로 각 Contrast/Brightness 상태에서 재현된 자연색의 정확도를 분석하여 보았다. 그림5는 9가지 경우의 Contrast/Brightness 상태에서 R, G, B 입력값 모두 동일한 값으로 변화시켜 만든 17단계의 밝기를 지닌 무채색의 휘도를 측정 한 결과이다. Contrast나 Brightness가 증가할 수록 백색의 휘도가 입력값이 커져도 더 이상 증가 하지 않는 포화현상이 일어난다. 이로써 모니터의 Contrast나 Brightness가 높게 조절되면 휘도 특성에 있어서 Gun independence 가정이 성립되지 않는 입력 구간이 생기게 됨을 알 수 있다³⁾. 이러한 상태에서는 빛의 가법혼합이 성립되지 않으므로 식(3)에 의해 자연색을 재현할 경우 오차가 크게 발생된다. 따라서 본 연구에서는 각 상태마다 가법혼합이 성립되는 구간내에서의 최대 값(그림5에 표시된 수치)을 Macbeth Color-Checker white의 휘도로 정하였다.

각 상태마다 식(3)을 이용하여 모니터 화면에 Macbeth ColorChecker 24색을 재현시켜 보았으며, 이때 색도좌표와 휘도를 측정하여 각 색의 ΔE^*_{uv} 를 구하였다. 표 1에 각 색의 색차와 24색 전체의 평균 색차, 그리고 4 이상의 색차를 지닌 색의 수를 나타내었다. 표 1로부터 Contrast가 낮을수록, Brightness가 높을수록 평균색차가 작을 뿐 아니라 4 이상의 색차를 지닌 색의 수가 줄어들음을 볼 수 있다.

이는 다음과 같은 이유로 설명될 수 있다. 사용하는 모니터로 자연색을 나타낼 수 있는 입력값 R, G, B는 기준 삼원색의 휘도특성을 나타내는 함수 $f_r(R), f_g(G), f_b(B)$ 로부터 구하였다. 본 방법에서는 측정 회수를 줄이기 위하여 입력값을 0에서 255사이에서 16씩 증가되는 17가지의 입력값에 대해서만 휘도를 측정 한 후, 최소자승법을 사용하여 데이터를 연결한 곡선의 함수를 근사하였다. 일반적으로 입력값의 증가에 따른 휘도값의 변화는 Contrast가 높을수록 기울기가 급해지면서 White의 휘도가 포화되고, Brightness가 낮을수록 휘도변화가 없는 낮은 입력값 영역이 확대되어 Black 및 저채도의 색이 구별되지 않는다. 따라서 Contrast가 높을수록, Brightness가 낮을수록 부정확한 함수가 구해진다.

그러나 Brightness가 높을수록 입력값이 0인 상태의 바탕화면의 휘도가 높아져서 순도가 높은

색의 경우 불필요한 성분의 빛이 합쳐지는 경우가 생긴다. 이에 의해 표 1에서와 같이 Brightness가 ③인 c1b3, c2b3, c3b3 상태에서는 foliage, yellow, cyan색이 모두 4이상의 색차를 지니게 된다. 따라서 화면에 재현된 색이 자연스럽지 못하게 느껴진다. 한편, Contrast와 Brightness가 모두 낮을 때는 white의 휘도가 낮으므로 전 색의 휘도가 이에 준해 감소하게 된다. 즉, 영상색의 휘도가 낮아 색의 선명도가 떨어져 보이게 된다. 그러므로 모든 색의 색도좌표 및 휘도 분포가 실제색과 정확히 일치할 뿐만 아니라 휘도도 가장 높은 영상색을 재현시킬 수 있는 상태는 9가지 경우 중에서 c1b2 상태라 할 수 있다.

표 1 재현색과 원래색의 ΔE^*_{uv}

color name	b1			b2			b3		
	c1 (0.03-38(R))	c2 (0.06-47.4(R))	c3 (0.08-40.9(R))	c1 (0.34-47.8(R))	c2 (0.37-41.1(R))	c3 (0.43-39.4(R))	c1 (1.48-49(R))	c2 (1.58-43.8(R))	c3 (1.77-41.7(R))
ds	3.16	3.94	2.65	1.59	0.91	2.06	0.53	0.94	1.68
ls	2.90	3.92	4.58	3.06	2.76	4.10	1.55	2.65	3.91
bs	2.58	3.35	4.05	3.87	4.44	3.58	2.57	2.14	2.22
f	2.99	3.20	2.82	3.07	2.93	3.47	7.31	6.91	6.28
bf	2.42	4.92	4.27	3.04	4.25	2.56	1.89	2.12	1.54
bg	3.61	5.02	4.90	4.21	3.64	4.94	2.80	2.76	1.96
o	3.80	2.02	2.21	1.99	0.61	2.72	2.47	4.12	5.04
pb	1.76	5.06	3.79	3.61	3.37	3.33	2.17	2.53	1.68
mr	2.81	2.82	4.78	2.46	1.83	3.55	1.15	1.28	3.07
p	1.95	4.98	5.22	3.53	4.51	4.64	2.22	1.22	2.18
yg	2.21	1.59	1.48	0.94	1.19	3.34	1.04	1.88	1.94
oy	2.94	1.93	1.75	0.97	0.18	2.74	2.51	3.39	3.67
b	1.22	4.89	5.15	1.89	3.23	2.78	2.16	1.75	1.27
g	3.25	3.03	2.53	2.31	1.74	2.71	2.16	1.58	2.53
r	1.83	2.08	1.93	1.12	3.88	2.99	0.57	1.74	2.43
y	3.54	1.92	1.86	1.83	1.57	2.02	5.21	4.95	5.93
m	3.25	4.00	5.39	2.82	3.34	4.63	2.28	3.29	3.78
c	4.07	5.86	4.64	4.44	4.57	4.72	6.49	6.78	7.79
w	2.60	2.19	2.23	1.91	1.58	1.57	1.04	0.82	1.60
n8	2.97	4.20	3.65	2.22	3.11	2.66	1.44	2.07	1.37
n6.5	3.54	5.07	5.64	3.10	4.09	4.68	2.69	3.00	2.43
n5	3.48	4.71	4.72	3.10	3.69	3.61	2.76	2.17	2.75
n3.5	3.39	3.87	4.42	3.70	1.93	3.16	1.98	0.94	2.03
bl	1.56	2.68	2.18	3.16	1.80	3.50	0.31	3.00	3.78
mean	2.80	3.60	3.65	2.66	2.72	3.27	2.41	2.62	3.00
number	1	9	12	1	5	6	3	3	3

5. 결론

모니터의 Contrast와 Brightness 조절상태에 따른 화면에 재현된 색의 변화를 CIELUV 색공간에서 분석하였다. 영상색이 재현된 상태에서 Brightness가 달라지면 색이 크게 변화되지만 Contrast는 어느정도 증가되어도 색의 변화가 거의 없었다. 따라서 모니터 주변의 조명세기가 변할 때는 Contrast만을 조절하면 색의 변화없이 영상의 선명도를 높일 수 있음을 알았다.

또한 선정된 9가지의 Contrast/Brightness 상태에서 재현된 Macbeth colorchecker 24색의 색차를 비교하였다. 모니터가 낼 수 있는 white의 휘도가 포화되지 않고 Black을 비롯한 저채도 색이 구별되면서 바탕 화면의 휘도가 높지않은 Contrast/Brightness 상태인 c1b2 상태에서 가장 작은 색차를 지닌 색재현이 이루어짐을 보였다.

참고문헌

- [1] H. John Durrett, Color and the computer pp.111(1987)
- [2] 박승욱, 김홍석, 조대근, CRT 디스플레이의 바탕 화면 영향을 고려한 색 재현 알고리즘, 한국광학회지, 9(1), 1998
- [3] 박승욱, 김홍석, 조대근, CRT 모니터의 Contrast/Brightness가 Phosphor constancy와 Gun independence 가정에 미치는 영향, 응용 물리, 11(3), 1998
- [4] W N Sprosonl, Colour Science in Television and Display Systems pp.197(1983)