

CRT 디스플레이의 바탕 화면 영향을 고려한 색 재현 알고리즘*

박승욱 · 김홍석 · 조대근

대전대학교 물리학과, 광공학 연구소

(1997년 8월 29일 받음)

본 연구에서는 바탕화면의 색도와 휘도의 영향을 고려한 색재현 방법을 제안하고 이를 Panasonic사의 BT-H1450 모니터를 대상으로 실시하여 보았다. 바탕 화면의 영향을 무시한 경우 Macbeth ColorChecker 24색에 대해 재현된 색과 원래 색의 평균 ΔE_{ab} 가 9.0 이상이었었는데 비해, 바탕 화면의 휘도와 색도의 영향을 고려한 보정 알고리즘을 사용한 결과 평균 ΔE_{ab} 가 1.0 이하로 되었다. 본 연구 결과로 CRT 디스플레이 색재현에 있어서 바탕 화면의 색도와 휘도가 정확도에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

I. 서 론

CRT는 TV나 컴퓨터로 제어되는 디스플레이로 널리 사용되고 있다. 사용하고 있는 CRT 디스플레이의 입력 값과 화면상에 나타나는 색에 대한 상호관계를 알 수 있다면, 원하는 색을 나타낼 수 있는 입력 값을 예측할 수 있어 다양한 색의 재현이 용이해질 뿐만 아니라 보다 정확하게 색을 표현할 수 있다.

다음의 몇 가지 가정을 만족하는 이상적인 CRT 디스플레이에 대해서는 화면에 나타나는 색을 일일이 측정하지 않고 몇 가지 특성만을 측정하여 간편하게 적용할 수 있는 방법이 연구되어 왔다.¹⁾²⁾ 즉, 삼원색 빛의 색도 좌표는 입력 값의 크기에 무관하며(phosphor constancy), 원색 빛의 양은 각각의 입력 값에만 의존하고 다른 원색의 입력 값에는 아무런 영향을 받지 않고(gun independence), 재현된 색은 화면상의 위치에 상관없이 일정하고, 시간이 지나도 변하지 않는 특성을 지닌 이상적인 CRT 디스플레이에 대해서는, 삼원색 빛의 색도 좌표와 휘도 함수만을 측정하여 선형 변환 행렬식을 구하면 입력 값과 CIE 삼자극치의 변환이 이루어 질 수 있다. 따라서 실제 CRT 디스플레이에 선형 변환 행렬식 방법을 적용할 때는 사용하는 CRT 디스플레이가 위 가정들을 어느 정도 만족하는가에 따라 색재현의 정확도가 결정된다.

본 연구에서는 실제 CRT 디스플레이에서 phosphor constancy 가정이 색재현의 정확도에 미치는 영향을 분석하였다. 실제 CRT 디스플레이에서는 화면을 켜면 신호 값이 입력되지 않아도 약한 빛이 화면 전체에서 나오게 된다. 따라서 신호 값을 입력하면 이에 의해 생성되는 빛과 바탕 화면(Background)이 합쳐져서 색이 보여진다. 이 때문에 화면에 나타나는 삼원색 빛의 색도 좌표를 측정하면 입력 값의 크기에 따라 달라져서 phosphor constancy 가정에 위배된다고 볼 수 있다. 그러나 본 논문에서는 실제 CRT 디스플레이에서도 이러한 바탕색의 효과를 보정해 줌으로써 phosphor constancy 가정을 만족시키

고, 이에 따라 색재현의 정확도가 크게 향상됨을 보였다.

II. 이 론

CRT 디스플레이의 색은 세 종류의 형광소자가 내는 빨강(Red), 초록(Green), 그리고 파랑(Blue) 빛을 삼원색으로 하는 가법혼합에 의해 생성된다. 삼원색 빛의 세기 비를 조절해 줌으로써 무수히 많은 색을 만들어 낼 수 있다. 이러한 빛의 세기는 세 개의 전자총(gun)에 가해지는 신호 값 R, G, B 에 따라 결정된다. Gun independence 가정이 성립된다면 CRT 디스플레이 색 C 의 CIE 삼자극치 X_C, Y_C, Z_C 는 다음과 같이 각 삼원색 빛의 삼자극치 $X_i, Y_i, Z_i (i=R, G, B)$ 의 합으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X_C &= X_R + X_G + X_B \\ Y_C &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z_C &= Z_R + Z_G + Z_B \end{aligned} \quad (1)$$

한편 빛의 삼자극치는 색도 좌표 x, y, z 와 빛의 세기를 나타내는 휘도 Y 로써 다음과 같이 정의되므로

$$X = \frac{x}{y} Y, \quad Y = Y, \quad Z = \frac{z}{y} Y \quad (2)$$

식 (1)은 삼원색 빛의 색도 좌표와 휘도로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{x_R}{y_R} Y_R + \frac{x_G}{y_G} Y_G + \frac{x_B}{y_B} Y_B \\ Y_C &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z_C &= \frac{z_R}{y_R} Y_R + \frac{z_G}{y_G} Y_G + \frac{z_B}{y_B} Y_B \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $x_i, y_i, z_i (i=R, G, B)$ 는 다음 식으로 정의되는 삼원색 빛의 색도 좌표이다.

$$x_i = \frac{X_i}{X_i + Y_i + Z_i}$$

*본 논문은 과학기술처가 지원하는 96년도 감성공학 기술개발 과제 중 색/조명 환경제시 기술개발(17-02-02)에 의하여 연구되었음.

$$y_i = \frac{Y_i}{X_i + Y_i + Z_i} \quad (4)$$

$$z_i = 1 - x_i - y_i$$

CRT 디스플레이에서 phosphor constancy 가정이 성립될 때 삼원색 빛의 색도 좌표는 입력 값의 크기에 상관없이 일정하다. 일반적으로 최대 입력 값에서의 색도 좌표를 측정하여 삼원색의 색도 좌표를 결정하고 있다. 식 (3)을 행렬식으로 나타내면

$$\begin{pmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} \quad (5)$$

이 되므로 화면에 삼자극치 X_C, Y_C, Z_C 를 지닌 색을 나타내기 위해서 각 형광소자로부터 방출되어야 하는 빛의 휘도 Y_R, Y_G, Y_B 는 식 (5)를 역변환하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{pmatrix} \quad (6)$$

를 X_C, Y_C, Z_C 지닌 색을 나타내기 위한 입력 값 R, G, B 는 휘도 함수 $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$ 로부터 찾아 낼 수 있다.

$$Y_R = f_R(R), \quad Y_G = f_G(G), \quad Y_B = f_B(B) \quad (7)$$

그러나 실제 CRT 디스플레이의 경우에는 전원을 켜면 신호 값이 입력되지 않은 상태에서도 바탕 화면이 뜨게 된다. 이에 영향을 받아 화면에 나타나는 삼원색 빛의 색도 좌표는 입력 값의 크기에 따라 달라지게 된다. 즉, 입력 값에 의해 방출되는 삼원색 빛에 바탕화면의 빛이 합쳐져서 보여지기 때문이다. 따라서 신호 값 R, G, B 가 입력되어 화면에 나타난 색의 삼자극치 X_C', Y_C', Z_C' 는 식 (1)에 바탕 화면의 삼자극치 X_0, Y_0, Z_0 를 고려하여

$$\begin{aligned} X_C' &= X_R + X_G + X_B + X_0 \\ Y_C' &= Y_R + Y_G + Y_B + Y_0 \\ Z_C' &= Z_R + Z_G + Z_B + Z_0 \end{aligned} \quad (1-1)$$

이 된다. 이에 따라 화면에 삼자극치 X_C, Y_C, Z_C 를 지닌 색을 정확하게 재현시키는데 필요한 바탕 화면의 휘도를 제외한 Y_R, Y_G, Y_B 는

$$\begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_C' - X_0 \\ Y_C' - Y_0 \\ Z_C' - Z_0 \end{pmatrix} \quad (6-1)$$

으로 수정된다. 여기서 삼원색 빛의 색도 좌표도 입력값에 따라 달라지므로 바탕화면의 영향이 제거 되어야 한다. 따라서

$x_i, y_i, z_i (i=R, G, B)$ 는 다음 식으로 정의된다.¹⁶⁾

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{X_i' - X_0}{(X_i' - X_0) + (Y_i' - Y_0) + (Z_i' - Z_0)} \\ y_i &= \frac{Y_i' - Y_0}{(X_i' - X_0) + (Y_i' - Y_0) + (Z_i' - Z_0)} \\ z_i &= 1 - x_i - y_i \end{aligned} \quad (3-1)$$

여기서 $X_i', Y_i', Z_i' (i=R, G, B)$ 는 R, G, B 입력 값에 의해 방출된 빛과 바탕 화면의 빛이 섞여서 나타나는 삼원색 빛의 삼자극치이다.

뿐만 아니라 휘도 함수 $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$ 는 각 형광소자의 전자총을 단독으로 동작시켰을 때 화면에 나타난 색의 휘도를 측정 한 것이므로 바탕 화면의 휘도 Y_0 가 포함되어 있다. 따라서 다음의 식이 만족되도록 입력 값 R, G, B 를 구하면 된다.

$$Y_R + Y_0 = f_R(R), \quad Y_G + Y_0 = f_G(G), \quad Y_B + Y_0 = f_B(B) \quad (7-1)$$

이와 같이 구한 R, G, B 를 CRT 디스플레이에 입력하여 화면에 나타난 재현 색과 원래 나타내고자 원했던 색의 색차를 1976($L^*a^*b^*$) 색공간(CIELAB 색공간)¹⁷⁾에서 구하였다. CIELAB 색공간은 L^* 를 수직축으로 하고 a^* 과 b^* 이 한 평면을 이루는 공간으로, 세 직교축에 대한 좌표는

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & ; Y/Y_n > 0.006658 \\ L^* &= 903.3(Y/Y_n) & ; Y/Y_n > 0.008856 \\ a^* &= 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \end{aligned} \quad (8)$$

으로 주어진다. 여기서 X_n, Y_n, Z_n 는 선택된 기준백색의 X, Y, Z 값이며 우리는 Macbeth white의 색좌표를 기준으로 하고 Y_n 은 Macbeth white의 $Y/0.9$ 로 정하였다. CIELAB 색공간에서 두 색의 색차는

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (9)$$

로 정의된다.

III. 장치 및 측정방법

CRT 디스플레이의 색 특성을 측정하기 위하여 칼라영상 입력보드(Data Translation사의 DT2871)가 내장된 컴퓨터에 CRT 디스플레이를 연결하였다. DT2871은 R, G, B 가 8 Bit의 A/D, D/A converter를 사용하여 각각 256단계의 입력 값을 가질 수 있어 총 1600만 가지의 색을 표현할 수 있다.

측정대상 CRT 디스플레이로는 Panasonic사의 BT-H1450Y 모니터를 선정하였다. CRT 디스플레이의 휘도 특성이 Gun independence 가정을 만족하는 콘트라스트와 밝기상태로 단자를 조절하였으며(표 1 참고), 측정위치는 CRT 디스플레이 중앙부분으로 한정하였다.

측정 장비로는 Minolta사의 CRT Color analyser(CA-100)을 사용하여 화면에 나타나는 색의 색도 좌표 x', y' 와 휘도 Y' (fL)를 측정하였다. CA-100은 광검출기 주위가 암막으로 둘

표 1. Gun independence 평가를 위한 삼원색의 휘도 합과 무채색의 휘도 비교

입력값	$Y_{red}(fL)$	$Y_{green}(fL)$	$Y_{blue}(fL)$	$Y_{neutral}(fL)$	$(Y_r+Y_g+Y_b)$	$(Y_r+Y_g+Y_b)-Y_{neutral}$	상대오차(%)
0	0	0	0	0	0	0	0
15	0.09	0.29	0.04	0.40	0.42	0.02	4.8
31	0.23	0.76	0.09	1.10	1.08	-0.02	1.8
47	0.44	1.47	0.16	2.08	2.07	-0.01	0.5
63	0.71	2.46	0.26	3.40	3.43	0.03	0.9
79	1.05	3.72	0.38	5.12	5.15	0.03	0.6
95	1.48	5.32	0.53	7.26	7.33	0.07	0.9
111	2.00	7.18	0.71	9.84	9.89	0.05	0.5
127	2.60	9.38	0.92	12.84	12.90	0.06	0.4
143	3.30	11.84	1.18	16.24	16.32	0.08	0.5
159	4.08	14.64	1.44	20.04	20.16	0.12	0.6
175	4.95	17.64	1.74	24.14	24.33	0.19	0.8
191	5.93	20.84	2.06	28.54	28.83	0.29	1.0
207	7.02	24.34	2.40	33.44	33.76	0.32	0.9
223	8.19	28.04	2.78	38.54	39.01	0.47	1.2
239	9.47	32.04	3.18	44.04	44.69	0.65	1.5
255	10.94	36.44	3.61	50.24	50.99	0.75	1.5

평균 1.1

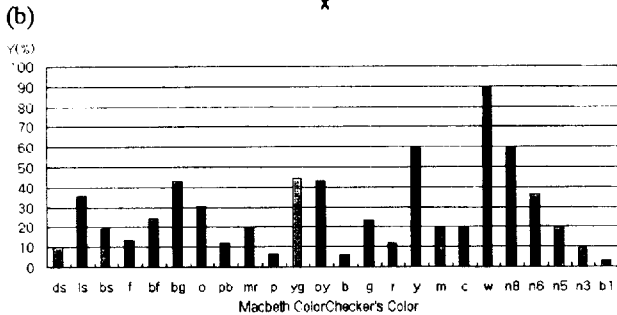
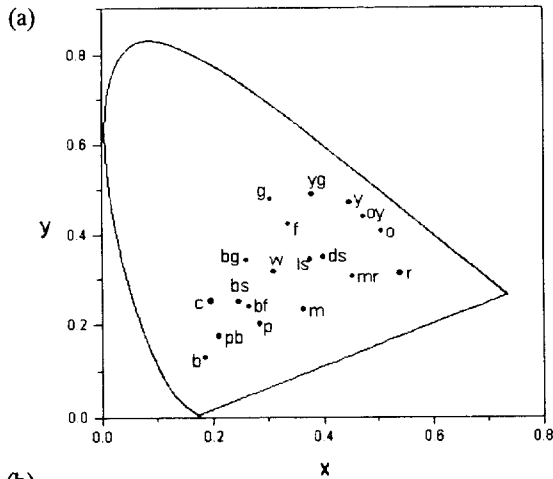


그림 1. Macbeth colorchecker 색표의 (a) 색도 좌표 분포, (b) 휘도 분포

러싸여 있어서 이를 화면상에 부착시키면 주변의 조명 빛이 차단되므로 실내등을 켜 상태에서 사용할 수 있다. R, G, B 디지털 값 중 다른 두 값은 0으로 하고 한 값만을 0에서 255까지 16씩 증가되는 17단계의 값을 입력시켜 화면상에 나타나는 각 원색의 색도 좌표와 휘도의 변화를 측정하였다. 또한 R, G, B 세 값을 모두 동일하게 증가시키면서 화면상에 나

타나는 무채색들에 대해서도 측정하였다.

색으로는 CRT 디스플레이로 나타낼 수 있는 전 영역의 색을 고루 포함하고 있는 Macbeth ColorChecker의 유채색 18색과 무채색 6색을 대상으로 하였다. 그림 1(a)에 표준조명 C 아래에서의 Macbeth 색표의 색도 좌표를 나타내고 각 색의 이름을 약자로 표시하였는데, 무채색 6색의 색도 좌표가 동일하므로 한점 w로 표시하였다. 그림 1(b)에는 각 색의 휘도를 막대그래프로 나타내었다.

IV. 결과 및 분석

그림 2(a)는 입력 값을 0에서 255까지 17단계로 변화시키면서 화면에 나타난 삼원색과 무채색의 휘도를 측정한 결과이다. 최소 입력 값이 0일 때의 휘도는 0.36(fL)이며, 최대 입력 값에서 바탕 화면의 휘도가 합해진 빨강 원색의 휘도는 11.3(fL), 초록 원색의 휘도는 36.8(fL), 파랑 원색의 휘도는 3.97(fL), 그리고 흰색의 휘도는 50.6(fL)이다. 표 1에는 바탕 화면의 휘도를 제외시킨 삼원색과 무채색의 휘도를 나타내었다. 입력 값 전 구간에서 삼원색의 휘도를 합한 양과 무채색의 휘도가 평균오차 1.1% 이내로 잘 일치함을 보여주고 있다. 이로 부터 조절된 콘트라스트/밝기상태에서 Gun independence 가정이 잘 만족됨을 확인할 수 있다.

그림 2(b)는 각 입력 값에 따라 화면에 나타난 삼원색 빛의 색도 좌표를 측정하여 색도도에 나타난 것으로 그림에서 숫자는 각 원색의 입력 값을 나타낸다. 입력 값의 크기에 따라 색도 좌표가 달라지므로 삼원색의 색도 좌표를 정하기는 어렵다. 이는 바탕 화면의 색이 섞이기 때문이며, 입력 값이 낮아질수록 바탕 화면의 영향이 커져서 삼원색 빛의 색도 좌표가 바탕 화면의 색도 좌표로 향하게 된다.

첫 번째로 이러한 바탕 화면의 효과를 무시한 식 (6)과 (7)에 의해 Macbeth 24색을 화면에 재현시켜 보았다. 이때 삼원

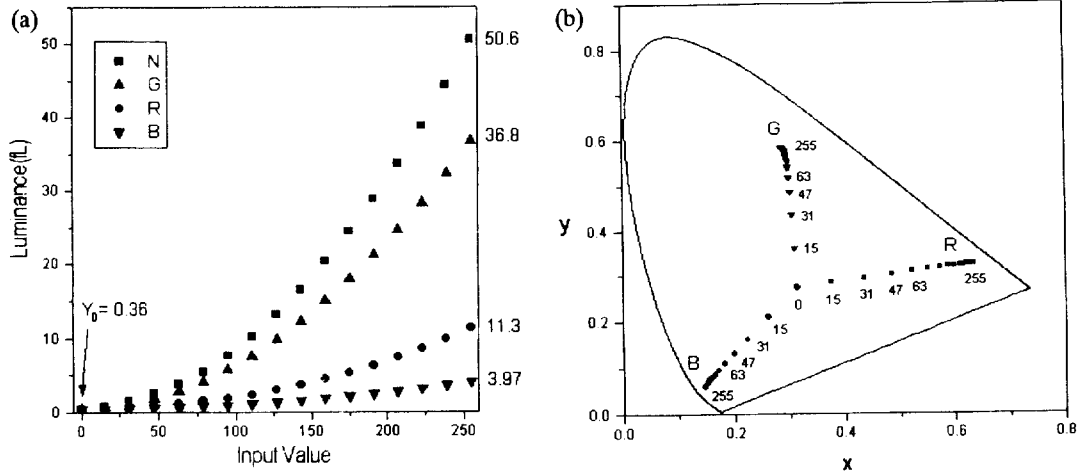


그림 2. 입력 값에 따른 삼원색 빛의 (a) 휘도 변화, (b) 색도 좌표 변화

색 빛의 색도 좌표는 입력 값이 최대일 때 측정된 각 원색의 색도좌표 (x_{i255} , y_{i255})를 R_{255} , G_{255} , B_{255} 로 정하고, 휘도 함수 $f_R(R)$, $f_G(G)$, $f_B(B)$ 는 그림 2 (a)의 데이터로부터 최소자승법에 의해 2차 함수 형태로 구하였다. Macbeth 흰색(w)의 휘도를 CRT 디스플레이가 동일한 색도 좌표의 백색화면을 낼 수 있는 최대 휘도 47(fL)으로 정하고, 다른 23색의 휘도는 그림 1(b)에 나타낸 비율에 따라 정하였다.

각 색에 대해 구한 삼원색 빛의 순수한 휘도 Y_R , Y_G , Y_B 와 이에 대응하는 입력 값 R , G , B 는 표 2와 같다. 그림 3은 표 2의 값을 입력하여 화면에 재현시킨 색을 CA-100으로 측정한

결과이다. 표 2에서 보면 ds, f, o, yg, oy, g, r, y, c, n3.5, bl색에 대해서는 삼원색 중 한 원색의 휘도가 바탕 화면의 휘도 0.36(fL)보다 낮은 값으로 계산되었는데, 이러한 경우에는 식 (7)로부터 음의 입력 값이 구해진다. 그러나 음의 입력 값은 존재하지 않으므로 크기에 상관없이 최소 입력 값인 0으로 정하였다. 이로 인하여 대부분의 색에 있어서 초록이나 빨강 원색에 비해 최대 휘도가 매우 낮은 파랑 원색의 입력 값이 0으로 정해졌으므로 재현된 색은 원래 색보다 파랑색 기미가 적어 오차가 커질 것이 예상된다. 그림 3(a)에는 화면에 재현시킨 색의 색도 좌표를 측정된 결과(□표시)를 원래 색의 좌표

표 2. 바탕 화면의 영향을 무시한 알고리즘 수행 결과

No.	Name	Y_R	Y_G	Y_B	R	G	B
1	ds(dark skin)	2.08	2.98	0.21	103	65	0
2	ls(light skin)	6.55	11.27	0.87	194	137	93
3	bs(blue sky)	1.56	7.16	1.36	84	108	132
4	f(foliage)	1.21	5.55	0.19	69	94	0
5	bf(blue flower)	2.92	7.99	1.78	126	114	158
6	bg(bluish green)	1.99	18.92	1.60	100	180	147
7	o(orange)	8.08	7.59	0.05	216	111	0
8	pb(purplish blue)	.95	3.76	1.56	57	75	145
9	mr(moderate red)	6.38	4.37	0.49	191	71	41
10	p(purple)	1.35	1.49	0.61	76	40	62
11	yg(yellow green)	4.39	18.63	0.11	157	179	0
12	oy(orange yellow)	9.08	13.39	0.03	229	150	0
13	b(blue)	0.43	1.53	1.22	13	41	122
14	g(green)	0.93	11.07	0.22	55	136	0
15	r(red)	5.10	1.01	0.16	170	29	0
16	y(yellow)	9.87	21.03	-0.04	239	191	0
17	m(magenta)	5.97	3.16	1.22	185	67	122
18	c(cyan)	-0.06	8.87	1.53	0	120	143
19	w(white)	11.08	32.43	3.49	254	239	237
20	n8(neutral 8)	7.27	21.30	2.29	205	192	185
21	n6.5(neutral 6.5)	4.46	13.05	1.40	159	148	135
22	n5(neutral 5)	2.44	7.14	0.77	114	108	82
23	n3.5(neutral 3.5)	1.11	3.24	0.35	65	68	0
24	bl(black)	0.38	1.12	0.12	3	32	0

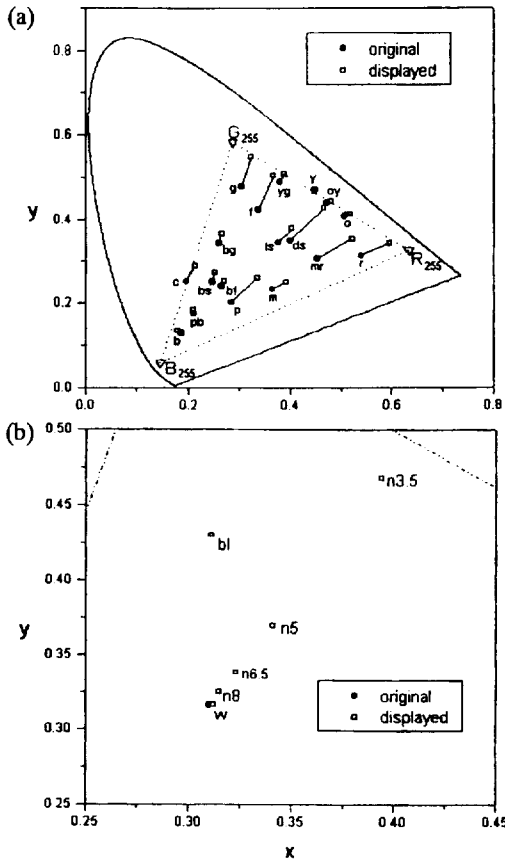


그림 3. 표 2의 입력 값에 의해 재현된 색(□)과 원래 색(●)의 색도 좌표 비교 (a) 유채색(18색), (b) 무채색(6색)

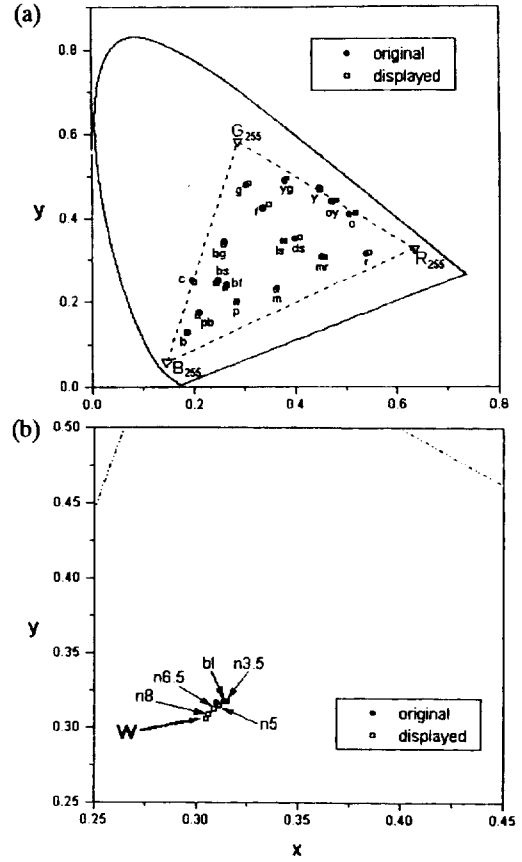


그림 4. 표 3의 입력 값에 의해 재현된 색(□)과 원래 색(●)의 색도 좌표 비교 (a) 유채색(18색), (b) 무채색(6색)

표 3. 바탕 화면의 휘도 영향을 고려한 알고리즘 수행 결과

No.	Name	Y_R+Y_0	Y_G+Y_0	Y_B+Y_0	R	G	B
1	ds	2.33	3.13	0.52	111	67	20
2	ls	6.8	11.42	1.19	198	138	120
3	bs	1.8	7.32	1.69	93	109	153
4	f	1.47	5.69	0.5	81	95	43
5	bf	3.17	8.14	2.11	132	115	176
6	bg	2.23	19.07	1.92	108	181	166
7	o	8.32	7.74	0.37	220	112	5
8	pb	1.2	3.81	1.89	69	76	164
9	mr	1.63	3.62	0.81	195	73	87
10	p	1.59	1.64	0.94	86	43	99
11	yg	4.64	18.78	0.44	162	108	28
12	oy	9.33	13.54	0.36	233	151	0
13	b	0.68	1.68	1.55	39	44	144
14	g	1.17	11.22	0.54	68	137	51
15	r	5.35	1.16	0.48	175	33	39
16	y	10.12	21.18	0.28	242	191	0
17	m	6.21	3.3	1.54	189	69	144
18	c	0.18	9.2	1.86	0	122	162
19	w	11.32	32.58	3.81	255	239	249
20	n8	7.52	21.45	2.61	208	193	200
21	n6.5	4.7	13.2	1.73	163	149	155
22	n5	2.68	7.28	1.09	120	109	112
23	n5.3	1.35	3.39	0.67	76	70	70
24	bl	0.63	1.27	0.44	35	36	31

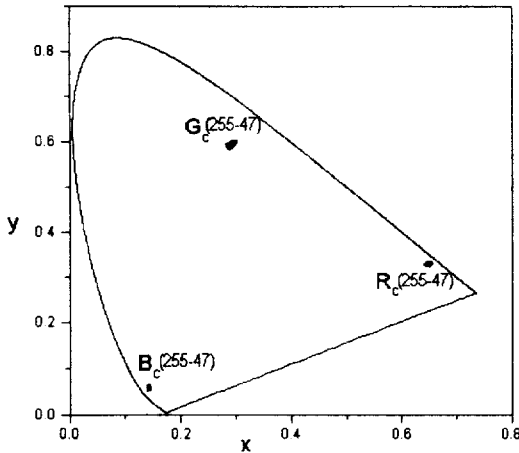


그림 5. 삼원색 빛의 보정된 색도 좌표

(●표시)와 비교해 놓았다. 삼원색 빛의 색도 좌표를 연결한 삼각형 내부는 사용하는 CRT 디스플레이가 표현할 수 있는 색의 영역이 된다. Macbeth 24색에 대해 재현된 색과 원래 색의 좌표가 상당한 차이가 있을 뿐만 아니라, 예상대로 재현된 색들의 좌표는 원래 색보다 파랑 원색에서 멀어지는 쪽에 위치한다. 그림 3(b)에는 Macbeth 무채색 6색에 대한 결과를 확대해서 나타내었다. 명도가 낮아질수록 파랑 원색에서 먼 곳에 위치하고 명도가 가장 낮은 비색은 빨강 원색으로부터도 멀어짐을 볼 수 있다.

두 번째로 바탕 화면의 휘도만을 고려하여 색을 재현시켰다. 식 (6)과 (7)대신에 식 (6-1)과 (7-1)을 이용하였으나, 삼원색 빛의 색도 좌표는 앞 과정에서와 마찬가지로 R_{255} , G_{255} , B_{255} 로 정하였다. 표 3에는 24색에 대해 구한 삼원색 빛의 휘도에 바탕 화면의 휘도가 섞인 Y_r+Y_0 와 이에 대응되는 입력 값 R, G, B 를

표 4. 바탕 화면의 색 영향을 고려한 삼원색 빛의 색도 좌표 보정(바탕화면 : $x_0=0.314, y_0=0.274, Y_0=0.36, X_0=0.41, Z_0=0.54$)

입력값	측정값						보정값		
	x'_R	y'_R	$Y'_R(fL)$	X'_R	Y'_R	Z'_R	x_R	y_R	$Y_R(fL)$
255	0.633	0.326	11.3	21.94	11.3	1.42	0.6456	0.3280	10.94
239	0.632	0.325	9.83	19.12	9.83	1.30	0.6465	0.3273	9.47
223	0.630	0.325	8.55	16.57	8.55	1.18	0.6466	0.3276	8.19
207	0.627	0.325	7.38	14.24	7.38	1.09	0.6462	0.3280	7.02
191	0.62	0.324	6.29	12.11	6.29	1.01	0.6466	0.3276	5.93
175	0.620	0.324	5.31	10.16	5.31	0.92	0.6468	0.3283	4.95
159	0.615	0.323	4.44	8.45	4.44	0.85	0.6469	0.3282	4.08
143	0.609	0.322	3.66	6.92	3.66	0.78	0.6477	0.3282	3.30
127	0.600	0.320	2.96	5.55	2.96	0.74	0.6475	0.3276	2.60
111	0.588	0.319	2.36	4.35	2.36	0.69	0.6474	0.3287	2.00
							$\bar{x}_R=0.6469,$	$\bar{y}_R=0.3280$	
입력값	측정값						보정값		
	x'_G	y'_G	$Y'_G(fL)$	X'_G	Y'_G	Z'_G	x_G	y_G	$Y_G(fL)$
255	0.287	0.583	36.8	18.12	36.8	8.21	0.2864	0.5895	36.44
239	0.288	0.582	32.40	16.03	32.4	7.24	0.2873	0.5894	32.04
223	0.288	0.582	28.4	14.05	28.4	6.34	0.2873	0.5905	28.04
207	0.289	0.581	24.7	12.29	24.7	5.53	0.2882	0.5907	24.32
191	0.290	0.580	21.2	10.6	21.2	4.75	0.2891	0.5914	20.84
175	0.291	0.578	18.0	9.06	18.0	4.08	0.2900	0.5913	17.64
159	0.282	0.576	15.0	7.60	15.0	3.44	0.2908	0.5920	14.64
143	0.293	0.573	12.2	6.24	12.2	2.85	0.2916	0.5926	11.84
127	0.294	0.568	9.74	5.04	9.74	2.37	0.2924	0.5923	9.38
111	0.295	0.562	7.54	3.96	7.54	1.92	0.2930	0.5932	7.18
							$\bar{x}_G=0.2896,$	$\bar{y}_G=0.5913$	
입력값	측정값						보정값		
	x'_B	y'_B	$Y'_B(fL)$	X'_B	Y'_B	Z'_B	x_B	y_B	$Y_B(fL)$
255	0.146	0.059	3.97	9.82	3.97	53.49	0.143	0.0547	3.61
239	0.146	0.060	3.54	8.61	3.54	46.85	0.142	0.0551	3.18
223	0.147	0.061	3.14	7.57	3.14	40.77	0.143	0.0554	2.78
207	0.147	0.062	2.76	6.54	2.76	35.21	0.142	0.0555	2.40
191	0.148	0.063	2.42	5.69	2.42	30.31	0.142	0.0555	2.06
175	0.149	0.065	2.1	4.81	2.1	25.39	0.142	0.0561	1.74
159	0.151	0.067	1.8	4.06	1.8	21.01	0.143	0.0563	1.44
143	0.152	0.070	1.54	3.34	1.54	17.12	0.142	0.0570	1.18
127	0.155	0.074	1.28	2.68	1.28	13.34	0.142	0.0575	0.92
111	0.159	0.078	1.07	2.18	1.07	10.47	0.143	0.0572	0.71
							$\bar{x}_B=0.1423,$	$\bar{y}_B=0.0560$	

수룩하고, 그림 4에 재현색과 원래 색의 색도 좌표를 색도도에 비교하여 나타내었다. 표 3에는 표 2에서 문제가 되었던 대부분의 색들이 0.36(fL)보다 높은 값의 휘도로 계산되어 식(7-1)로부터 각 휘도 값에 대응되는 입력 값들이 구해졌다. 그러나 y색과 c색은 여전히 0.36(fL)보다 낮은 값으로 계산되었는데 이는 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 삼각형 외부에 존재하는 색들이다. 대부분의 색들에서 파랑 원색의 입력 값이 표 2에 비해 훨씬 높아져서, 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 재현된 색의 좌표가 원래 색 근처에 오게 되었다. 그러나 자세히 보면 붉은 색 계통의 색들은 원래 색보다 약간 더 빨강 원색 쪽에, 푸른

색 계통의 색들은 원래 색보다 약간 더 파랑 원색 쪽에 위치함을 알 수 있다. 이러한 경향은 식(6-1)에 실제보다 순도가 낮은 삼원색 빛의 색도 좌표가 대입될 경우에 보이게 된다. 즉, 원색의 순도가 낮을수록 혼합 색을 만들 때 주된 원색의 비율이 높아지게 된다. 그러나 실제로 CRT 디스플레이 원색의 순도가 식(6-1)에 대입된 값보다 높을 경우에는 계산된 입력 값으로 재현된 색에는 그 원색의 기미가 지나치게 된다. 그림 4(b)의 무채색들도 그림 3(b)에서 보다 훨씬 원래 색에 가까이 모여 있으나 다른 무채색들에 비해 w색이 멀리 떨어져 있다.

세 번째로 삼원색 빛의 휘도 뿐만 아니라 색도 좌표까지 보정

표 5. 바탕 화면의 휘도와 색 영향을 고려한 알고리즘 수행 결과

No.	Name	Y_R+Y_0	Y_G+Y_0	Y_B+Y_0	R	G	B
1	ds	2.29	3.18	0.53	109	68	49
2	ls	6.69	44.56	1.17	196	139	118
3	bs	1.82	7.38	1.6	94	110	147
4	f	1.46	5.71	0.5	80	95	43
5	bf	3.17	8.28	2.0	132	116	170
6	bg	2.27	19.12	1.83	109	181	161
7	o	8.14	7.9	0.4	217	113	19
8	pb	1.23	3.98	1.78	71	77	158
9	mr	6.49	3.77	0.8	193	75	85
10	p	1.58	1.68	0.9	85	44	96
11	yg	4.57	18.82	0.46	161	180	35
12	oy	9.13	13.7	0.4	230	152	18
13	b	0.71	1.73	1.46	41	45	139
14	g	1.18	11.22	0.55	68	137	51
15	r	5.23	1.27	0.49	173	36	40
16	y	9.91	21.33	0.34	240	192	0
17	m	6.11	3.47	1.48	187	71	139
18	c	0.25	9.05	1.76	0	122	157
19	w	11.22	32.87	3.63	255	240	242
20	n8	7.45	21.64	2.49	207	193	195
21	n6.5	4.66	13.31	1.65	162	150	151
22	n5	2.66	7.35	1.05	120	109	109
23	n5.3	1.34	3.42	0.66	76	71	68
24	bl	0.63	1.27	0.44	35	36	30

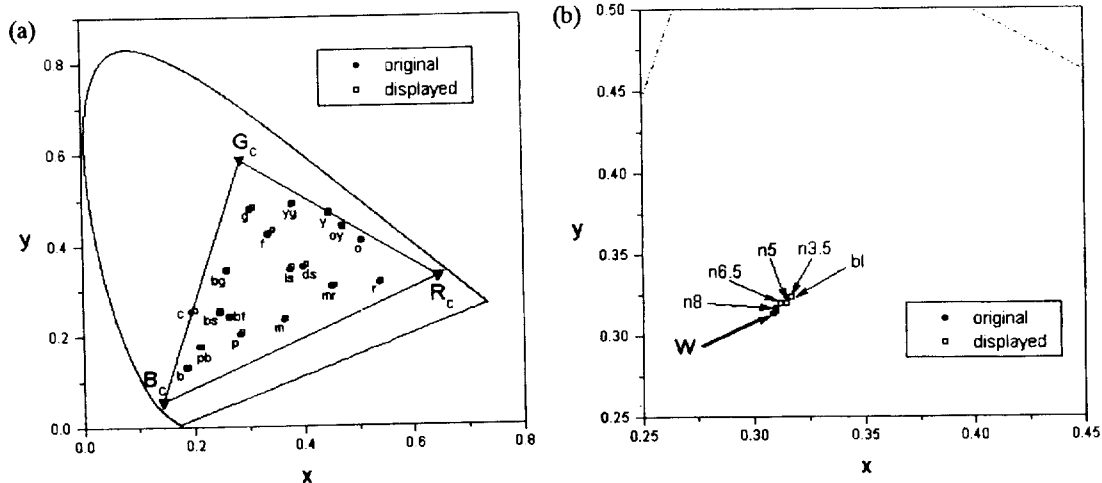


그림 6. 표 5의 입력 값에 의해 재현된 색(□)과 원래 색(●)의 색도 좌표 비교 (a) 유채색(18색), (b) 무채색(6색)

하여 색재현을 수행하였다. 입력 값이 255에서 47까지 변할 때 측정된 값을 식 (3-1)에 의해 보정하여 그 결과를 그림 5의 색도도에 나타내었다. 입력 값에 무관하게 거의 일정한 좌표를 유지하다가 100이하의 입력 값에 대해서는 약간씩 오른쪽으로 이동하게 된다. 표 4에 바탕 화면의 색도 및 휘도(x_0, y_0, Y_0)와 각 원색의 입력 값 255~111 사이에 대한 측정값(x_i, y_i, Y_i), 그리고 보정값(x_i, y_i, Y_i)을 수록하고, 이들의 평균값(\bar{x}_i, \bar{y}_i)을 삼원색 빛의 색도 좌표 R_c, G_c, B_c 로 정하였다.

식 (3-1)과 식(6-1), 그리고 식 (7-1)에 의해 구한 삼원색 빛의 휘도와 이에 대응하는 입력 값 R, G, B 를 표 5에 나타내었다. 표 5는 표 3과 큰 차이가 없으나 예상대로 색마다 빨강이나 파랑 원색의 입력 값이 약간씩 낮아졌다. 그림 6(a)의 색도도에서 재현된 색을 원래 색과 비교해 보면 그림 4(a)에서 문제가 되었던 색들이 원래 색과 잘 일치되었으며, 그림 6(b)에서도 w색이 잘 일치되고 다른 무채색들도 가까이 모여 있음을 볼 수 있다. 그림 6(a)에 삼원색 빛의 색도 좌표 R_c, G_c, B_c 로 나타내었는데, $R_{255}, G_{255}, B_{255}$ 보다 순도가 높아 색 영역을 나타내는 실선의 삼각형이 그림 4(a)의 점선으로 나타난 삼각형보다 약간 넓어졌다. 색 영역의 확대로 y색과 c색의 재현 정확도가 보다 향상되었음을 알 수 있다.(표 3과 표 5를 비교해 보면 y색의 파랑 원색과 c색의 빨강 원색의 입력 값이 모두 0으로 정해졌으나, 표 5에서는 y색의 경우 0.28(fL)에서

0.34(fL)로, c색의 경우 0.18(fL)에서 0.25(fL)로 증가하여 표 3에 비해 오차가 줄어들었다) 그러나 색도도의 중앙 부분에 위치하는 g, f, ds색 등은 원래 색과 약간의 차이가 있는데 이에 관해서는 앞으로 보다 정밀한 분석이 이루어질 예정이다.

각 방법의 색재현 정확도를 정량적으로 나타내기 위하여 재현된 색과 원래 색의 색차 ΔE_{ab}^* 를 구하여 표 6에 수록하였다. CRT 디스플레이의 바탕 화면을 무시한 경우에는 24색의 평균 ΔE_{ab}^* 가 9.0 이상이었으나, 바탕 화면의 휘도만을 보정할 경우는 평균 ΔE_{ab}^* 가 2.0 정도로 급격히 감소되고, 삼원색 빛의 색도 좌표까지 보정하면 평균 ΔE_{ab}^* 가 1.0 이하로 낮아지게 됨을 보였다.

V. 결 론

실제 CRT 디스플레이의 색특성을 고려한 선형 변환 행렬식을 이용하여 임의의 색을 화면에 정확하게 재현시킬 수 있었다. 실제 CRT 디스플레이에서는 각 삼원색의 입력 값을 변화시키면서 색도 좌표를 측정하면 값이 일정하지 않고, 입력 값이 작아질수록 점차로 바탕 화면의 색도 좌표에 가까워진다. 이는 신호 값이 입력되지 않아도 화면 전체에서 나오는 약한 빛의 영향으로 판단되어 이러한 바탕 화면의 영향을 보정하는 알고리즘을 제시하였다. 바탕 화면의 영향을 고려하지 않고 색재현을 한 결과와 바탕 화면의 휘도만을 고려한 결과, 그리고 바탕 화면의 휘도와 색도를 모두 고려한 결과를 원래 색과의 색차 ΔE_{ab}^* 로써 비교하였다.

본 연구에서 사용한 Panasonic사의 BT-H1450 모니터의 경우, 바탕 화면의 영향을 고려하지 않은 경우에는 평균 ΔE_{ab}^* 가 9.0 이상이나 되었는데, 바탕 화면의 휘도만을 고려하여도 평균 ΔE_{ab}^* 가 2.0 정도로 급격히 감소되었으며, CRT 디스플레이 삼원색의 색도 좌표까지 보정해 준 결과 평균 ΔE_{ab}^* 가 1.0 이하가 되는 매우 정확한 색재현이 이루어질 수 있었다.

바탕 화면의 휘도는 매우 적은 양이어서 삼원색 빛의 혼합으로 만들어진 재현색의 전체 휘도에는 거의 영향을 주지 않으나, 삼원색인 빨강, 초록, 그리고 파랑 빛에 대한 바탕 화면의 영향이 각기 달라 이들의 혼합으로 만들어지는 색의 색도 좌표에는 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 바탕화면의 영향은 CRT 디스플레이 제조회사나 콘트라스트/밝기 조절상태 등에 따라 다소 차이가 있으나 대부분의 TV나 컴퓨터 모니터가 가지고 있는 특성이다. 본 논문에서는 예로써 Panasonic사의 BT-H1450 모니터를 대상으로 알고리즘을 실시하여 ΔE_{ab}^* 가 1.0이하의 정확한 색재현이 이루어질 수 있음을 보였으며, 앞으로 CRT 디스플레이의 콘트라스트/밝기 조절상태에 따른 바탕 화면의 영향을 분석하여 자연색(full-color) 재현을 위한 최적의 조절상태를 규명하고, 여러 종류의 CRT 디스플레이의 색특성 측정 및 자연색 재현 알고리즘 적용결과를 분석하고자 한다.

참고문헌

[1] William W. Cowan, Computer Graphics 17(3), 315 (1983).

표 6. 각 경우의 알고리즘 수행결과와 재현된 색과 원래 색의 ΔE_{ab}^* 색차

Macbeth chips	바탕 화면의 영향 무시	바탕 화면의 휘도 영향 고려	바탕 화면의 휘도와 색 영향 고려
ds(dark skin)	17.1	2.2	1.4
ls(light skin)	9.5	1.0	1.1
bs(blue sky)	6.9	2.2	0.9
f(foliage)	15.0	2.6	2.1
bf(blue flower)	4.1	2.6	0.5
bg(bluish green)	6.1	1.5	0.5
o(orange)	4.7	5.4	0.9
pb(purplish blue)	6.5	2.0	0.5
mr(moderate red)	18.0	1.8	1.1
p(purple)	11.7	0.9	0.8
yg(yellow green)	7.0	2.2	0.9
oy(orange yellow)	3.2	4.2	0.4
b(blue)	9.5	1.3	0.3
g(green)	14.8	1.5	1.3
r(red)	16.3	1.7	1.0
y(yellow)	1.7	1.8	1.4
m(magenta)	5.7	2.3	0.7
c(cyan)	6.6	3.6	1.7
w(white)	1.3	4.1	1.3
n8(neutral 8)	2.8	2.5	0.5
n6.5(neutral 6.5)	5.5	1.3	0.7
n5(neutral 5)	10.4	0.9	1.1
n3.5(neutral 3.5)	23.1	1.1	1.1
bl(black)	15.1	1.0	1.1
평 균	9.27	2.15	0.97
표준편차	5.87	1.16	0.43

- [2] James C. Gutmann, Steven P. Rogers, Technical Report TR 459-4, (1982).
- [3] David L. Post, Christopher S. Calhoun, Color Res. Appl. **14**(4), 172 (1989).
- [4] David F. Neri, Naval Submarine Medical Research Laboratory Report NO100.001-5003, (1988).
- [5] David H. Brainard, Color Res. Appl. **14**(1), 23 (1989).
- [6] Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), CIE #122, Bureau Central de la CIE, (1996).
- [7] R. W. G. Hunt, Measuring Colour(John Wiley & Sons, New York) pp.60-69 (1989).

Color reproduction algorithm considering background effect on a CRT display

Seung-Ok Park, Hong-Suk Kim and Dai-Geun Joh
Physics/Optical Engineering Lab. Daejin Univ., Pochon 487-800, Korea

(Received : August 29, 1997)

In this study, the color reproduction algorithm considering both of luminance and chromaticity of the background light is presented and tested to BT-H 1450 monitor(Panasonic). In the case of neglecting the background effect, the Macbeth ColorChecker's 24 colors are reproduced with the average color difference ΔE^*_{ab} more than 9.0. By using this method, the average color difference ΔE^*_{ab} is decreased less than 1.0. From this study, we can find that both of luminance and chromaticity of background light are very important factors in the color reproduction on a CRT display.