

칼라 모니터의 감성색채 재현에 관한 연구

박승욱* · 김홍석* · 최재호**

*대진대학교 물리학과, 광공학 연구소

**대진대학교 산업공학과

요약

본 연구에서는 칼라모니터의 바탕화면의 색과 휘도를 보정하고, 물체색과 모니터색의 기준 백색을 일치시킴으로써 매체가 다른 두 색이 같아 보이도록 하는 색재현 방법을 제시하였다. Macbeth ColorChecker 24색에 대해 재현색의 색도좌표 측정값과 계산값이 잘 일치하는 결과를 얻음으로써, 본 방법은 간편하면서도 전 영역의 색에 적용가능함을 보였다.

1. 서론

디자인 분야에서는 제품의 용도나 특성을 부각시킬 수 있는 디자인을 개발하기 위하여 컴퓨터 그래픽 프로그램을 사용하고 있다. 화면위에 다양한 정보를 나타내 보이므로 매우 편리한데, 특히 색채는 광범위한 색변환이 가능하여 소비자의 감성까지도 색채 디자인이 가능하다. 색채는 감성과 1대1 대응이 되는 요소로써 원하는 감성에 일치되는 정확한 색을 디자인하는 것이 무엇보다도 중요하다. 일본에서는 감성을 세분화 시키고 이에 대응되는 색을 mapping시킨 칼라 이미지 스케일을 완성시켜 감성 제품 디자인의 척도로 삼고 있다.⁽¹⁾

대부분의 프로그램에서 색상 팔레트는 R, G, B 입력 값을 임의로 조절하여 색을 만들 수 있도록 되어 있다. 그러나 모니터로 보여지는 색이 실제 물체로 구현되었을 때의 색을 예상하기 어려워 디자이너가 색을 선택하는데 많은 어려움을 지니고 있다. 이에 일본의 칼라 시뮬레이션 시스템인 Hulis 나 Faims 에서는 색상 팔레트를 Munsell 색 체계로 이루고 있다.⁽²⁾ 체계적인 색채디자인이 이루어질 수 있고, 출력과정에서 색이 왜곡되어도 본인이 선택한 색을 Munsell 기호로 지정할 수 있어 최종 제품은 원하는 색으로 나타낼 수 있다.

그러나 모니터마다 색특성이 달라서 같은 R, G, B 값을 입력하여도 화면에 나타나는 색이 다르게 된다. 따라서 Munsell 색 체계로 분류된 표준색들을 모니터에 정확히 나타내기 위해서는 모니터 종류나 조절상태에 무관한 영상색 재현기술이 연구되어야 한다. 본 연구에서는 모니터 바탕화면의 색과 휘도를 보정하고, 물체색과 모니터색의 기준 백색을 일치시키는 입력값-휘도 곡선의 재조정 방법을 제시하였다. 그 결과 Macbeth 24색을 실제색표와 같게 모니터로 재현시킬 수 있었으며, Munsell 표준색의 영상화를 이룰 수 있음을 보였다.

2. 이론

칼라 모니터의 색은 세 종류의 형광소자가 내는 빨강(Red), 초록(Green), 그리고 파랑(Blue) 빛을 삼원색으로 하는 가법혼합에 의해 생성된다. 삼원색 빛의 세기 비에 따라 무수히 많은 색을 만들어 낼 수 있다. 따라서 컴퓨터 모니터에 재현되는 색의 CIE 삼자극치 X, Y, Z 는 다음과 같이 각 삼원색 빛의 삼자극치의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} X &= X_R + X_G + X_B \\ Y &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z &= Z_R + Z_G + Z_B \end{aligned} \quad (1)$$

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 휘도로써 다음과 같이 행렬식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{z_R}{y_R} & \frac{z_G}{y_G} & \frac{z_B}{y_B} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 x_R, y_R, z_R 은 R 형광소자의 색도좌표를 나타내며, G 와 B 에 대해서도 같은 방식으로 나타내었다.

따라서 모니터 화면에 삼자극치 X, Y, Z 를 지닌 색을 나타낼 수 있기 위해 먼저 각 형광소자로부터 방출되어야 하는 빛의 휘도 Y_R, Y_G, Y_B 를 식(3)으로부터 다음과 같이 구하여야 한다.

$$\begin{pmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{z_R}{y_R} & \frac{z_G}{y_G} & \frac{z_B}{y_B} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (4)$$

다음으로 이에 해당하는 R, G, B 입력값은 각 원색의 R, G, B 와 Y_R, Y_G, Y_B 와의 관계함수 $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$ 로부터 예측할 수 있다.

그러나 실제 모니터의 경우에는 신호 값이 입력되지 않은 상태에서도 바탕 화면이 존재한다. 바탕 화면의 색이나 휘도는 모니터 제조회사나 모델에 따라서 다를뿐 아니라 콘트라스트와 밝기 조절상태에 따라서도 달라지게 된다. 동일한 신호값이 입

력되어도 이러한 바탕 화면의 삼자극치 X_0, Y_0, Z_0 가 합쳐짐으로써 모니터 마다 다른 색을 나타내게 된다. 따라서 원하는 색을 모니터로 재현시키기 위해서는 원하는 색의 삼자극치에서 각 모니터의 바탕 화면 삼자극치를 뺀 값을 식(4)에 대입해야 한다. 또한 삼원색 빛의 색도 좌표도 각 원색에 대해 측정된 삼자극치 X'_i, Y'_i, Z'_i ($i=R, G, B$)에서 다음과 같이 바탕 화면의 삼자극치를 뺀 값이 대입되어야 한다.⁽³⁾

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{X'_i - X_0}{(X'_i - X_0) + (Y'_i - Y_0) + (Z'_i - Z_0)} \\ y_i &= \frac{Y'_i - Y_0}{(X'_i - X_0) + (Y'_i - Y_0) + (Z'_i - Z_0)} \\ z_i &= 1 - x_i - y_i \end{aligned} \quad (5)$$

뿐만 아니라 휘도 함수 $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$ 는 각 형광소자의 입력값에 따라 방출되는 빛의 휘도를 측정된 것으로 바탕 화면의 휘도 Y_0 가 포함되어 있다. 따라서 다음의 식이 만족되는 입력값 R, G, B 를 구하면 된다.

$$\begin{aligned} Y_R + Y_0 &= f_R(R) \\ Y_G + Y_0 &= f_G(G) \\ Y_B + Y_0 &= f_B(B) \end{aligned} \quad (6)$$

그러나 위 식들에 의해 구한 R, G, B 를 모니터에 입력하면 화면에 나타난 색의 색도좌표는 물체 색의 색도좌표와 정확하게 일치하나 색은 다르게 보인다. 이는 두 매체의 기준 백색이 다르기 때문이다. 물체색은 일반적으로 표준광원 C를 기준으로 색도좌표를 나타내고, 모니터색은 주로 9300K 광원의 색온도를 지니도록 조정되어 있다. 모니터의 백색이 표준광원 C 아래에서 보여지는 백색보다 푸른 기미를 띠므로, 모니터에서 표준광원 C 하에서의 색과 똑같은 색도좌표를 지닌 색이 재현되면 물체색보다 붉은 기미를 더 띄게 된다. 따라서 모니터로 물체색과 똑 같은 색을 재현시키기 위해서는 표준광원 C 하에서의 물체색의 색도좌표 대신 모니터와 동일한 색온도를 지닌 광원하에서의 색도좌표를 식(4)에 대입하여야 한다. 그러나

9300K 광원 하에서의 물체색의 색도 좌표는 잘 알려져 있지 않으므로 각 색의 반사스펙트럼을 일일이 측정해야만 하는 문제점이 발생된다.

본 연구에서는 표준광원 C 하에서의 색도좌표로부터 물체색과 동일한 색을 재현시킬 수 있는 입력값 R', G', B' 을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 여러단계의 명도를 지닌 무채색들에 대해 표준광원 C의 색도좌표(0.3101, 0.3163)를 재현시킬 수 있는 Y_R, Y_G, Y_B 와 R, G, B , 그리고 9300K 광원의 색도좌표 (0.2831, 0.2971)를 재현시킬 수 있는 Y'_R, Y'_G, Y'_B 과 R', G', B' 를 구하였다. 여기서 Y_R, Y_G, Y_B 와 R', G', B' 의 관계를 나타내는 $f'_R(R), f'_G(G), f'_B(B)$ 을 구하여 입력값-휘도 곡선을 재조정하였다. 이로부터 모든 색에 대해 표준광원 C 하에서의 색도좌표를 알면 그 색과 똑같은 색으로 보일 수 있는 모니터색의 입력값 R', G', B' 를 구할 수 있다.

3. 장치 및 측정방법

컴퓨터 모니터의 색 특성을 측정하기 하여 비디오 보드(MGA, 4M)가 내장된 컴퓨터에 모니터를 연결하였다. MGA보드는 R, G, B 가 모두 8Bit의 A/D, D/A 변환기를 사용하여 각각 256단계의 입력 값을 가질 수 있어 총 1600만 가지의 색을 표현할 수 있다.

측정대상 모니터로는 SONY사의 200sf를 선정하였다. 모니터의 휘도 특성이 Gun independence 가정을 만족할 수 있도록 콘트라스트와 밝기 단자를 조절하였으며⁽⁴⁾, 측정위치는 컴퓨터 모니터의 중앙 부분으로 한정하였다.

측정 장비로는 Minolta사의 Spectroradiometer-(CS-1000)를 사용하여 모니터색의 색도 좌표 (x', y')와 휘도 Y' (fL)를 측정하였다. CS-1000은 카메라 형태로 되어 있어 주변 조명의 빛이 함께 들어오므로 외부광이 없는 상태에서 사용하였다. 입력 값에 따른 모니터 삼원색 빛의 색도 좌표 및 휘도 함수를 측정하기 위하여, 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.

물체색으로는 컴퓨터 모니터로 나타낼 수 있는 전 영역의 색을 고루 포함하고 있는 Macbeth ColorChecker의 24색을 대상으로 하였다.

4. 결과 및 분석

그림1의 실선은 입력 값을 0에서 255까지 17단계로 변화시키면서 화면에 나타낸 각 원색의 휘도를 측정하여 얻은 입력값-휘도 곡선들 $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$ 이다. 최소 입력 값이 0일 때의 휘도는 0.1477(fL)이며, 최대 입력 값에서 바탕 화면의 휘도가 합해진 빨강 원색의 휘도는 7.15(fL), 초록 원색의 휘도는 22.45(fL), 파랑 원색의 휘도는 3.38(fL), 그리고 흰색의 휘도 32.70(fL)이다.

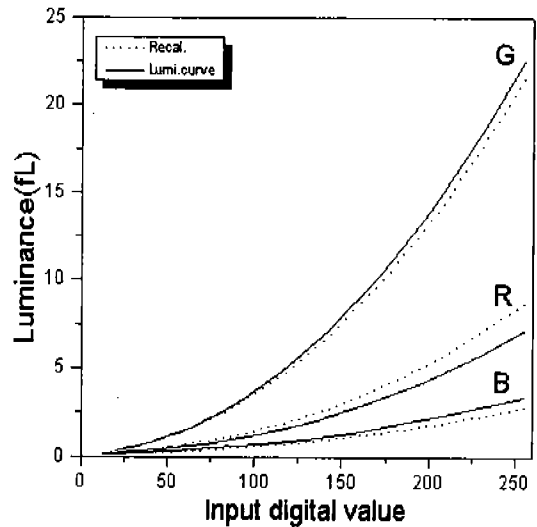


그림1 입력값-휘도 곡선
(—; $f_R(R), f_G(G), f_B(B)$, ...; $f'_R(R), f'_G(G), f'_B(B)$)

표1에는 여러단계의 명도를 지닌 무채색들에 대해 식(4)에 의해 구한 표준광원 C의 색도좌표 (0.3101, 0.3163)를 재현시킬 수 있는 Y_R, Y_G, Y_B 와 R, G, B 그리고 9300K 광원의 색도좌표

(0.2831, 0.2971)를 재현시킬 수 있는 Y'_R, Y'_G, Y'_B 와 R', G', B' 를 나타내었다. 이들로부터 구한 Y_R, Y_G, Y_B 와 R', G', B' 와 관계를 나타내는 휘도곡선 $f'_R(R), f'_G(G), f'_B(B)$ 는 그림1의 점선으로 나타내었다.

표1 기준광원의 색도좌표에 따른 물체색의 휘도값과 입력값의 변환

Value	Y (%)	C(0.310, 0.316)						9300K(0.2831,0.2971)					
		Y_R	Y_G	Y_B	R	G	B	Y'_R	Y'_G	Y'_B	R'	G'	B'
9	78.66	7.55	18.75	2.42	262	233	213	6.21	19.6	2.95	238	238	237
8	59.1	5.69	14.01	1.85	228	201	184	4.72	14.71	2.24	208	206	201
7	43.06	4.19	10.30	1.38	196	172	156	3.46	10.75	1.68	178	176	174
6	30.05	2.95	7.17	1.00	164	143	129	2.45	7.47	1.21	149	146	144
5	19.77	1.99	4.78	0.71	133	116	103	1.65	4.94	0.84	120	118	115
4	12.0	1.25	2.89	0.48	102	88	77	1.43	3.01	0.56	91	90	87
3	6.55	0.73	1.62	0.32	72	63	53	1.01	1.67	0.37	64	64	61
2	3.128	0.41	0.80	0.22	45	40	32	0.73	0.83	0.21	39	41	37
1.5	2.02	0.30	0.53	0.19	33	29	22	0.65	0.55	0.20	28	30	26
1	1.20	0.22	0.34	0.16	21	19	12	0.59	0.36	0.17	17	20	16

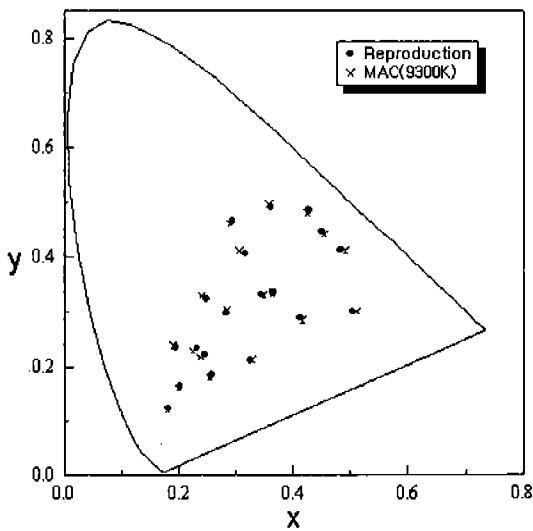


그림2 모니터에 재현된 Macbeth 24색의 색도좌표 (·; 측정값, ×; 계산값)

Macbeth 24색에 대해 표준광원 C 하에서의 색도좌표를 재현하기 위해 각 삼원색이 방출하는 빛의 휘도 Y_R, Y_G, Y_B 를 식(4)에 의해 구하고, $f'_R(R), f'_G(G), f'_B(B)$ 로부터 물체색과 같

게 보이는 모니터색을 재현시킬 수 있는 입력값 R, G, B 를 예측하였다. 그림2에 모니터에 재현된 24색을 측정하여 색도좌표를 나타내었다. 또한 24색의 반사스펙트럼과 9300K 모니터의 발광스펙트럼을 5nm 간격으로 측정하여 계산된 각색의 색도좌표를 측정결과와 함께 그림2에 나타내었다. 두 결과가 비교적 잘 일치함을 볼 수 있는데, 약간의 차이가 있는 것은 600nm 근처에서 두 개의 Peak를 이루고 있는 모니터 발광스펙트럼을 5nm 간격으로 측정하였기 때문에 발생한 색도좌표의 계산오차로 판단된다. 1nm 간격의 정밀한 측정이 이루어질 수 있다면 그림2의 두 결과는 보다 일치될 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서 제시된 휘도곡선 재조정 방법은 간편하게 물체색과 모니터색이 같아 보이도록 일치시킬 수 있음을 보였다. 본 방법은 전 영역의 색에 적용가능하므로 현재 인간의 색지각에 가장 일치하게 자연색을 분류한 Munsell 색체계의 영상색 재현에 관한 연구가 수행되고 있다. Munsell 색체계는 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)의 3속성을 근거로 등감각적으로 색을 분류한 것으로 약 1600가지의 자연색에 대한 색표와 표준광원 C 하에서의 색도좌표가 지정되어 있다.⁽⁵⁾ Munsell 색의 영상화가 이루어지면 그래픽 디자인 분야나 Vision research 분야에서 보다 세밀하고 정확한 색재현이 이루어질 수 있어 감성색채의 구현이 기대된다.

참고문헌

- [1] 권은숙, 색으로 승부하는 21세기, 웅진출판, 1995
- [2] 長町三生, 感性工學-감성을 디자인에 활용하는 테크놀로지, 1989
- [3] 박승옥, 김홍석, 조대근, 한국광학회, 9(1), 1998
- [4] 박승옥, 김홍석, 조대근, 감성과학회 학술대회는 문집, 1997
- [5] G.Wyszecki, Color Science, JW&S, 1982