

디스플레이 특성화과정에서 감마변화를 이용한 컬러이미지 재현에 관한 연구

이성철[†], 조가람, 구첵회

부경대학교 대학원 인쇄공학과[†], 부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2005년 1월 6일 접수, 2005년 2월 4일 채택)

A Study on Reproduction of Color Image using Gamma Variation on Display Colorimetric Characterization

Sung-Chul Lee[†], Ga-Ram Cho, Chul-Whoi Koo

Depart. of Graphic Arts Engineering[†], Graduate school, Pukyong National University,
Division of Image & Information Engineering, College of Engineering, Pukyong National University

[†]e-mail : cyanplate@naver.com

(Received 6 January 2005, Accepted 4 February 2005)

Abstract

The propose of this study investigated the reproduction of color image on a CRT monitor, for a range of different values of monitor gamma. We have used the GOG(gain-offset-gamma) model of the behavior of CRT. Color difference have been computed in a color space, based on the CIELAB color appearance model. The 133 patch defined linearly color sample and 24 patch defined printing color target were used, and were subjected to the influence of nine different gamma value.

The result shows that netural color is increasing the decrease range of luminance black color than white color. These results concern correct in the context display of color reproduction.

1. 서 론

컬러 이미지 재현은 인쇄에 있어서 매우 중요한 표현 요소의 하나로 현재는 디지털 기술이 보급되면서 색에 대한 개념도 변하고 있다. 인간의 육안으로 인식하는 색에 대한 시각 범위와 각각의 디지털 장비가 표현할 수 있는 색의 범위에서 서로 간에 차이가 있다. 특히 현재의 컴퓨터 산업의 발달은 인터넷 환경의 급속한 발전과 더불어 발달하고 있으며, 컴퓨터와 인터넷 환경에 익숙하지 않는 사용자에게도 손쉽게 정보를 제공하고 있다. 이러한 정보의 대부분이 컬러 이미지로 이루어졌기에 시각정보를 접할 수 있는 대표적인 장치가 컬러 모니터 시스템이다. 또한 시각정보는 인터넷에 국한된 문제가 아니라 컬러 이미지를 재현하는 모든 산업분야에서 적용되고 있다.

시각정보를 재현하는 컬러 모니터 시스템의 경우 여러 제조사들이 있으며 각기 다른 종류의 디스플레이 장치를 제조해 내고 있다. 하지만 현실적으로는 모든 디스플레이 장치가 동일할 수는 없다. 디스플레이 장치의 밝기 재현에 대한 차이와 형광소자 및 기준 백색면의 색도차이 뿐만 아니라, CRT(Cathode ray tube)감마 특성의 차이, 주변 환경 및 인간 시각 등의 다양한 조건에 의해 동일한 시각정보를 재현할 수 없다.^{1),2)}

특히 현재 일반 사용자들은 CRT 모니터에서 크게 두 가지의 감마 설정을 이용하고 있다. PC(Personal computer)시스템일 경우 2.2의 감마를 이용하고, 인쇄나 영상출판 분야에서 주로 사용하는 매킨토시 시스템의 경우 1.8의 감마를 사용한다. 또한 웹 인쇄물에서도 동일한 컬러 정보를 다수의 사용자들이 다운로드받아서 사용하더라도 각기 다른 디스플레이 장치의 감마 설정으로 인해 컬러 이미지가 다르게 재현된다.³⁾

따라서 본 논문에서는 CMS(Color management system)의 디스플레이 장치에 해당하는 CRT 모니터에서 감마 특성에 따른 컬러 이미지의 재현에 대하여 연구하였으며, 이러한 감마 특성에 따른 올바른 컬러 이미지 재현방법에 관한 방안을 제시하고, 또한 제시한 방법이 타당한지를 검토하였다.

2. 실 험

2-1. 샘플 제작

샘플에 필요한 패치는 두 가지 단계로 나누어 제작하였다. 먼저 GOG모델의 gain, offset 및 gamma를 구하기 위해 디스플레이 장치에서 최소의 레벨 입력 신호인 0에서부터 최대의 레벨 입력 신호인 255단계까지 8단계씩 증가시키면서 RGB의 삼원색 샘플 99개와 무채색 샘플 33개를 프로그래밍을 통해 디스플레이 장치에 재현하였다. 또한 CRT 모니터에서 GOG모델을 평가하기 위해 GretagMacbeth의 Color Checker에서 RGB

값을 이용하였다.

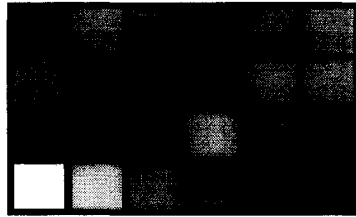


Fig. 1. Color Checker of GretagMacbeth.

2-2. 실험 방법

2-2-1. CRT 모니터의 특징 및 설정 조건

디스플레이 장치인 CRT 모니터의 감마를 측정하기 위해 초기 설정조건을 sRGB 색공간의 조건으로 한정하였다. sRGB 색공간의 조건인 감마를 2.2 값으로 설정하며, white point는 D65, 휘도는 $80\text{cd}/\text{m}^2$ 의 조건으로 설정한 국내 A사의 제품을 GretagMacbeth의 EyeOne을 사용하여 측색하였다.^{1),2),7)}

2-2-2. CRT 모니터의 GOG 모델

감마에 따른 디지털 이미지의 재현을 실험하기 위해 모니터의 특성화 단계가 필요하다. 여러 가지의 특성화 모델 중 Berns가 제안한 GOG 모델이 가장 우수한 결과를 나타내는 것으로 보고되어져 있다.^{1),4),5),6)} GOG의 수학적 모델을 제작¹⁰⁾하기 위해 앞에서 제작한 132개의 샘플을 이용하였다.

2-2-3. 감마 변화에 따른 컬러 이미지 재현 평가

실험을 통해 구해진 GOG 모델의 매개변수 중 감마값을 1.4에서 3.0까지 ± 0.2 씩 9단계로 변화시켜 적용하였다.^{3),6),8),9)} 이 때 감마의 변화에 따른 컬러 이미지의 변화를 비교하기 위하여 CIE Yxy에서 컬러를 시각적으로 체계화하여 나타내었다. 또한 GretagMacbeth Color Checker에 감마값의 변화를 적용시켜 CIE 색도도에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3-1. CRT모니터의 GOG 모델의 평가

디스플레이 장치의 특성화를 하기 위해 총 36개의 삼자극치를 table 1에 나타내었다. Table 1에서 상단의 3행 값은 선형변환 매트릭스를 평가하는데 사용하였으며, 나머지

하단의 33행의 값은 GOG 모델의 gain과 offset, 그리고 gamma 값을 구하는데 사용하였다.

각 채널의 최대 입력 값에 대한 삼자극치를 측정된 결과 다음과 같은 3×3의 변환 매트릭스를 구할 수 있었다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 32.83 & 28.11 & 14.42 \\ 16.91 & 55.45 & 6.81 \\ 1.83 & 9.33 & 74.85 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 때 매트릭스에 부합하는 white point의 값은 79.17lx로 측정되었다.

또한 GOG 모델에 필요한 무채색의 RGB 삼자극치를 구하기 위해 식 (1)의 역행렬을 구한 식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0410 & -0.0197 & -0.0061 \\ -0.0126 & 0.0244 & 0.0002 \\ 0.0006 & -0.0026 & 0.0135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (3)에 측정된 CIE XYZ 삼자극치를 대입하여 RGB를 구한 결과 fig. 2와 같다. Fig. 2에서 각 채널의 매개변수인 gain, offset, gamma를 각각 구하기 위하여 최소오차자승법을 사용하여 다중회귀분석 프로그램으로 계산한 결과는 table 2와 같다. 이상적인 모니터에서의 변수 값과는 약간의 차이를 보였는데, 이것은 디스플레이 장치나 측정 장치의 특성으로 나타나는 오차라 사료된다.

$$\begin{aligned} R/R_{\max} &= \begin{cases} [1.0134(\frac{d_r}{2^{N-1}}) - 0.0131]^{2.1451} & ; [1.0134(\frac{d_r}{2^{N-1}}) - 0.0131] \geq 0 \\ 0; & [1.0134(\frac{d_r}{2^{N-1}}) - 0.0131] < 0 \end{cases} \\ G/G_{\max} &= \begin{cases} [1.0111(\frac{d_g}{2^{N-1}}) - 0.0108]^{2.1509} & ; [1.0111(\frac{d_g}{2^{N-1}}) - 0.0108] \geq 0 \\ 0; & [1.0111(\frac{d_g}{2^{N-1}}) - 0.0108] < 0 \end{cases} \\ B/B_{\max} &= \begin{cases} [1.0044(\frac{d_b}{2^{N-1}}) - 0.0070]^{2.1698} & ; [1.0044(\frac{d_b}{2^{N-1}}) - 0.0070] \geq 0 \\ 0; & [1.0044(\frac{d_b}{2^{N-1}}) - 0.0070] < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

(단, dr, dg, db는 RGB 각각의 채널당 입력값이고, N은 DAC의 bit 수이다.)

식 (3)은 gain, offset, gamma 값을 각각 대입하여 구한 GOG 모델 함수이다. 실험시 sRGB 색공간에 준하는 조건으로 실험을 하였지만, 각 채널별 감마값을 분석해 본 결과 감마값 2.2에는 못 미치는 것을 나타냈다. 특히 R채널의 경우 G채널, B채널보다 조금 낮게 값이 나타난다. 이러한 특성은 무채색을 재현할 때 각각의 형광소자가 동일한 값을 방출하는 것이 아니라 서로의 상관관계에 의해 색을 재현하는 방법의 차이가 생기는 것

으로 사료된다. 그리고 이상적인 모니터에서는 gain과 offset의 합이 1로 나타나지만, 실제 모니터에서는 각 채널당 나타나는 GOG 모델의 gain, offset의 합은 1이 되지 않음을 알 수 있었다. 이러한 것은 측정시의 측정장비의 오차나 모니터 브라운관 표면의 flare현상에 의한 결과라 사료된다.

Table 1. Sample Measurement using Colorimetrically Characterize in Display System

dr/255	dg/255	db/255	X	Y(Lm/m ²)	Z
1	0	0	32.83	16.91	1.83
0	1	0	28.11	55.45	9.33
0	0	1	14.42	6.81	74.85
	0.0000		0.00	0.00	0.00
	0.0314		0.08	0.10	0.09
	0.0627		0.21	0.24	0.21
	0.0941		0.43	0.49	0.47
	0.1255		0.74	0.80	0.84
	0.1569		1.24	1.30	1.43
	0.1882		1.94	2.04	2.21
	0.2196		2.68	2.83	3.06
	0.2510		3.59	3.78	4.23
	0.2824		4.77	5.01	5.47
	0.3137		5.98	6.28	6.86
	0.3451		7.36	7.72	8.40
	0.3765		8.84	9.28	10.13
	0.4078		10.51	11.14	12.12
	0.4392		12.41	13.09	14.22
	0.4706		14.47	15.22	16.55
	0.5020		16.74	17.55	19.14
	0.5333		19.18	20.25	21.88
	0.5647		21.81	22.95	24.84
	0.5961		24.43	25.74	27.95
	0.6275		27.41	28.80	31.34
	0.6588		30.77	32.37	35.31
	0.6902		34.05	35.76	39.08
	0.7216		37.47	39.35	43.15
	0.7529		40.96	43.04	46.93
	0.7843		44.72	47.03	51.34
	0.8157		48.55	51.18	55.52
	0.8471		52.58	55.37	60.27
	0.8784		57.03	59.91	65.32
	0.9098		61.69	65.01	70.67
	0.9412		66.60	70.04	76.17
	0.9725		71.48	75.13	81.89
	1.0000		75.89	79.77	87.49

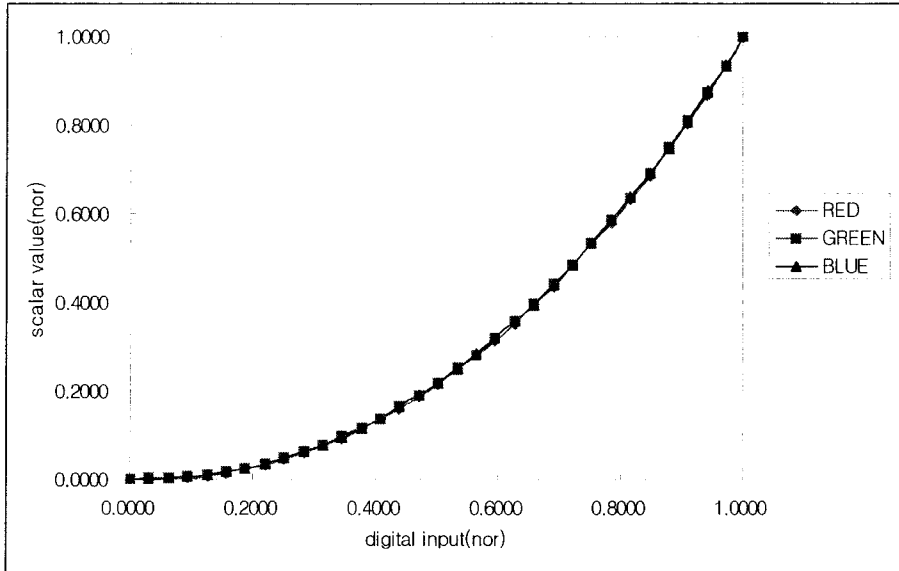


Fig. 2. Opto-electronic transfer function of CRT Display.

Table 2. Comparison Gain, Offset and Gamma between ideaical CRT Display and Real measured CRT Display

	Ideaical CRT Display			Real Measured CRT Display		
	Red	Green	Blue	Red	Green	Blue
Gain	1.0000	1.000	1.000	1.0134	1.0111	1.0044
Offset	0	0	0	-0.0131	-0.0108	-0.0070
Gamma	2.200	2.200	2.200	2.1451	2.1509	2.1698

3-2. 감마 변화에 따른 컬러 이미지 재현평가

3-2-1. 휘도의 변화

감마 변화에 따른 휘도의 변화를 알아보기 위해 무채색의 GOG모델에서 gain과 offset의 값을 고정시킨 뒤 감마값 1.4에서 3.0까지 0.2단계씩 변화시켰다. 그 결과 fig. 3과 같은 결과를 얻었다. Fig. 3에서와 같이 감마값이 1.4와 1.6일 경우에는 선형적인 곡선을 나타내다가 감마값이 증가할수록 점점 비선형적인 곡선으로 변화되었다. 특히 감마값이 증가할수록 입력되는 RGB 신호 값에 따라 낮은 경우보다 높은 경우에 휘도의 변화가 크게 나타났다.

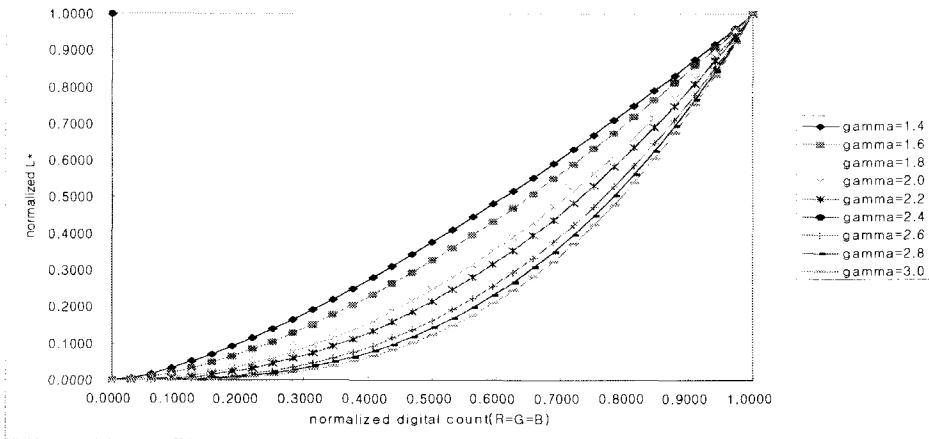


Fig. 3. Predicted L^* for different gamma values.

3-2-2. Target을 이용한 색차

GretagMachbeth의 Color Checker 24가지 색을 이용하여 식 (6)의 GOG 모델에 적용하였다. 먼저 입력된 신호값의 CIE Lab값을 측정하고, GOG 모델을 이용하여 계산한 CIE Lab값 사이의 색차 ΔE_{ab}^* 를 구하였다. 그 결과를 table 3, fig. 4에 나타내었다. Table 3의 결과와 같이 black 패치에서 3.4415로 가장 적은 색차를 얻었으나, yellow와 green이 포함되어 있는 패치의 경우 다른 패치보다 5이상의 색차를 나타내었으며, 특히 yellow 패치에서는 9이상의 큰 색차를 나타내었다. 따라서 GOG 모델의 적용에서 큰 색차를 나타내는 컬러의 경우 올바른 재현을 위하여 추가적인 보정 방법의 연구가 필요하다고 사료된다. 그러나 전체적으로 주어진 패치의 root mean square error 식

($\Delta E_{abms}^* = \sqrt{\frac{\sum \Delta E_{ab}^{*2}}{N_s}}$)으로 계산하면, 평균 색차가 2.5139로 양호한 결과를 나타내었다.

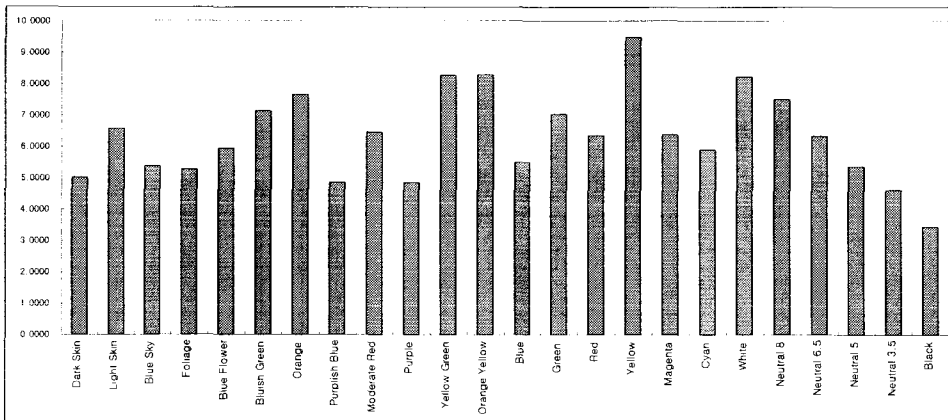


Fig. 4. Color difference of 24 color patch.

Table 3. Comparison Color Difference of Target Measurement and GOG Model

Target Name	Target Measurement			GOG Model			ΔE_{ab}^*
	L	a	b	L	a	b	
Dark Skin	39.2416	11.3213	12.2520	43.9031	12.0613	13.9786	5.0258
Light Skin	64.6918	11.3562	14.5370	70.9770	12.7955	15.8276	6.5758
Blue Sky	51.2901	-1.1151	-19.1079	56.5697	-1.0448	-20.0333	5.3605
Foliage	46.8694	4.1652	-25.9339	52.0056	4.2158	-27.0899	5.2650
Blue Flower	56.1778	9.3334	-20.9703	61.8668	10.1412	-22.4239	5.9271
Bluish Green	68.4897	-25.5344	-0.1932	75.2014	-27.8164	0.6053	7.1339
Orange	60.1319	22.7693	52.1070	66.1430	24.7947	56.3692	7.6422
Purplish Blue	33.0059	21.0528	-20.5388	36.9518	23.4003	-22.0899	4.8463
Moderate Red	51.4048	36.1043	11.9663	56.8187	39.3493	13.2810	6.4474
Purple	33.0276	20.9595	-20.5902	36.9518	23.4003	-22.0899	4.8586
Yellow Green	69.1908	-21.8480	51.4464	75.9241	-23.5727	55.8988	8.2544
Orange Yellow	68.6497	9.9809	59.1504	75.3178	11.2056	63.9158	8.2868
Blue	32.1908	19.3304	-45.4438	36.0273	21.1052	-48.9676	5.5033
Green	54.3964	-34.8624	29.1947	60.1018	-38.0066	31.7970	7.0149
Red	41.6577	44.5963	21.5261	46.1476	48.4109	23.8614	6.3375
Yellow	76.5820	-2.5820	70.7942	83.9235	-2.9414	76.7658	9.4703
Magenta	51.7126	40.7487	-13.8571	57.0637	44.1295	-14.6509	6.3792
Cyan	51.3934	-20.3473	-23.8084	56.7337	-22.4827	-25.1100	5.8969
White	89.5520	-0.0390	0.2091	97.7574	0.2062	0.4482	8.2126
Netural 8	77.1011	0.4913	-0.0831	84.5878	0.7040	0.1357	7.4929
Netural 6.5	64.9546	0.5160	-0.5767	71.2453	0.3889	0.0101	6.3192
Netural 5	51.7353	-0.1227	0.3216	57.0909	0.2417	0.4925	5.3707
Netural 3.5	37.5537	-0.0216	-0.2747	42.1286	-0.1433	0.2831	4.6104
Black	23.2369	0.0258	-0.8781	26.5250	-0.1448	0.1236	3.4415

3-3-3. 감마 변화에 따른 재현특성

식 (3)에서 디스플레이 장치의 gain과 offset을 고정시킨 후 감마값만 1.4에서 0.2 단계씩 3.0까지 증가시킨 후 Color Checker의 RGB를 입력하여 감마 변화에 따른 색차를 구한 결과는 table 4와 같다. 디스플레이 장치의 특성화 과정으로 구해진 식 (3)을 참조하여 감마값을 변화시켰을 경우 감마값이 2.2일 때 2.7695로 가장 적은 색차를 보였으며, 감마값이 낮은 1.4과 1.6의 경우가 가장 큰 색차를 나타내었다. 또한 감마값이 높은 2.6, 2.8, 3.0에서도 색차가 크게 나타났다. 이것은 실험에 사용한 디스플레이 장치의 감마값 조정이 2.2에 근접하였기 때문이라 사료된다.

Table 4. Root Mean Square Error according to Variety of Gamma

Gamma	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
$\Delta E^*_{ab,rms}$	4.0323	3.5905	3.1601	2.7695	2.5414	2.6504	2.9368	3.2272	3.4978

Fig. 5는 24개의 패치중 감마의 변화를 가장 많이 표현하는 white, neutral 8, neutral 6.5, neutral 5, neutral 3.5, black에서의 L값을 비교한 것이다. 휘도가 100에 가까운 white의 경우는 감마 변화에 따른 차이가 적었지만, black에 가까워질수록 감마에 따른 색의 L 값이 낮아짐을 알 수 있었다. 이것은 감마의 변화가 휘도에 영향을 주므로 휘도가 높은 white 색상인 경우는 상대적으로 영향을 적게 받지만, black 색상인 경우는 감마의 영향을 많이 받음을 알 수 있었다.

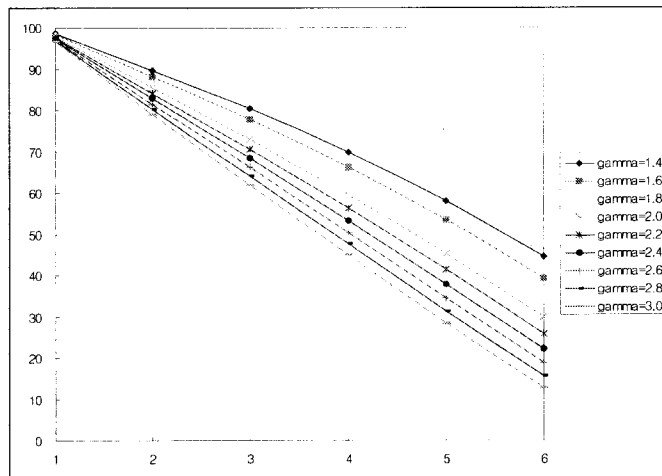


Fig. 5. Variety of lightness values in achromatic color according to variety of gamma.

Fig. 6은 감마 2.2를 기준으로 cyan, magenta, yellow, red, green, blue 패치에서 상대 감마 색차를 구한 것이다. 그 결과 blue 색상의 경우 감마의 값이 감소함에 따라 색차값이 다른 색상에 비해 크게 증가하였고, 감마값이 증가하면 그 색차가 두드러지게 작아짐을 알 수 있었다. 또한 yellow 색상의 경우는 가장 적은 색차를 나타내었지만, yellow 색상도 감마값이 감소함에 따라 색차가 많이 일어남을 알 수 있다. 따라서 모니터에서 감마값의 변화는 색재현에 영향을 줌으로 올바른 컬러 이미지 재현을 위하여 정확한 감마 설정이 필요하다고 사료된다.

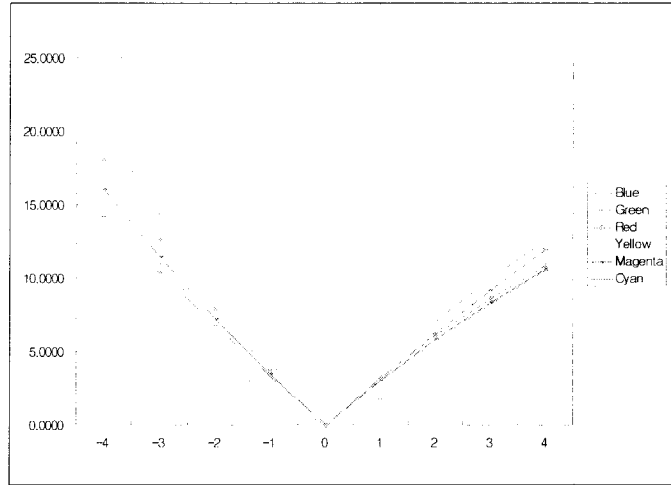


Fig. 6. Color difference of main color according to relative sensitivity.

4. 결 론

디스플레이 장치의 특성화 과정에서 이용한 감마변화에 따른 컬러 이미지의 색재현에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

디스플레이 장치의 특성을 가장 잘 표현하는 방법이 GOG 모델이지만, 각 채널별 감마의 값은 캘리브레이션 설정 값과는 다르게 채널별 차이를 보였으며, 감마 변화에 따라 같은 변화량이라도 감마 2.2를 기준으로 했을 경우 감마값이 증가하는 것보다 감소하는 쪽의 색차가 더 크게 발생하였다. 특히 무채색의 경우 감마가 증가함에 따라 white 색의 변화는 적었지만, black으로 갈수록 휘도의 감소폭이 증가하였다. 주요색(cyan, magenta, yellow, red, green, blue)의 색상을 감마값 2.2를 기준으로 하여 상대감마 색차를 구한 결과, blue 색상은 상대적으로 색차가 크게 났지만, yellow의 경우는 가장 적은 색차를 보였다. 감마 변화에 따라 색차가 많이 발생하므로 컬러 매니지먼트의 선행과제로 모니터의 특성화에서 감마 변화에 따른 컬러 이미지의 변화를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Roy S. Berns, Ricardo J. Motta, and Mark E. Gorzynski. "CRT colorimetry. part I: Theory and practice". *Color Research and Application*, 18(5): p. 29~314, October (1993).

- 2) Henry R. Kang. "Color Technology for Electronic Imaging Devices". SPIE Optical Engineering Press, (1997).
- 3) Poynton, C. Frequently asked questions about gamma, http://www.inforamp.1.net/~poynton/notes/colour_and_gamma/GammaFAQ.html (2002).
- 4) Roy Berns, Naoya Katoh. Color Engineering "Methods for characterizing displays" L.W. MacDonald (Eds), John Wiley & Sons (2002).
- 5) E. Day, Colorimetric characterization of a computer-controlled (SGI) CRT display, Technical Report April, (2002), http://www.art-si.org/PDFs/CRT_Colorimetry_Ap_2002.pdf (2003).
- 6) S. Soltic, A.N. Chalmers, Modeling the effects of gamma on the colors displayed on CRT monitors, *J. Electron. Imaging*, 16(4): p. 173~182 (1996)
- 7) M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, R. Motta, A standard default color space for the Internet sRGB, Version 1.10, (1996), <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html> (2003).
- 8) 김호성, 박승욱, 백정기 CRT 디스플레이 시스템의 색재현성 평가, *한국광학회지*, Volume 10, Number 3, p. 259~264 June (1999).
- 9) S.-O. Park, H.-S. Kim, and J.-K. baek, "Optimum brightness level and simplified characterization of CRT color monitors." *Color Research and Application*, 25(6): p. 408~415 (2000).
- 10) Stephen Westland, Caterina Ripamonti, "Characterization of Computer Displays" Computational Colour Science using MATLAB, p. 111~125 (2004).