

디스플레이 장치에서 인쇄원고의 컬러 재현특성에 관한 연구

조가람[†], 구철회

부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2005년 1월 10일 접수, 2005년 2월 11일 채택)

A Study on the Color Reproduction Characteristic of Original Copy in Display Device

Ga-Ram Cho[†], Chul-Whoi Koo

Division of Image and Information, College of Engineering, Pukyong National University

[†]e-mail : gang1660@hanmail.net

(Received 10 January 2005, Accepted 11 February 2005)

Abstaract

An accurate characterization of the display device is essential for better color matching. The calibration and characterization process in display device is needed to transform the device dependent color to the device independent color. The process of characterization performs a linearization and transforms the linearized values into the CIE XYZ tristimulus values. The purposes of this paper is to propose optimal color transformation method for accurate reproduction of original copy in display device and to explain the propriety of transformation method using specific variable for the power of gradation expression.

1. 서 론

전자출판 원고에 이용되는 컬러 이미지 재현은 다양한 디스플레이 장치를 통하여 디

지털 이미지 정보를 재현하고 있다. 이러한 이미지 정보를 활용하는 사용자는 디스플레이 장치의 캘리브레이션을 기본으로 하여 컬러 관리 시스템(CMS)과 표준색공간(sRGB)을 주로 사용하여 서로 다른 디스플레이 장치간에 영향을 적게 받는 장치독립적인 컬러 작업을 하고 있다.

그러나 여전히 환경이 다른 장치들 간의 컬러를 맞추는 작업은 완벽하지 못하므로 다수의 디지털 이미지 사용자는 컬러 이미지를 작업할 경우 입력 장치의 특성으로 인해 나타나는 색차를 해결해야만 한다. 일반적인 해결방법으로 사용하는 것이 장치의 올바른 캘리브레이션과 이미지의 컬러 정보를 기록한 ICC(International Color Consortium) 프로파일을 제작하는 것이다.¹⁾ 이 때 사용하는 장비들의 특성화 과정이 무엇보다도 중요하다. 특히 인쇄원고로 이용되는 컬러 이미지를 확인하는 디스플레이 장치에서 정확한 특성화 작업은 무엇보다도 중요한 부분이다.

따라서 본 논문에서는 현재 많이 사용하는 디스플레이 장치 중 LCD 모니터를 기본으로 하여 인쇄원고를 정확하게 재현하기 위한 최적의 컬러 변환 방법을 찾고자 한다. 또한 변환 방법에서 LCD 모니터의 이미지 계조표현력을 좌우하는 휘도의 매개변수를 기본으로 한 방법의 타당성을 알아보았다.

2. 이 론

본 논문에서 사용한 모니터의 특성화 모델은 매개변수 gamma값만 간단하게 이용하는 simple 모델과 GOG(gain-offset-gamma), GOGO(gain-offset-gamma-offset)을 적용하는 모델 등을 각각 활용하여 컬러 이미지의 컬러 재현을 실험하였다.^{2)~4)}

일반적으로 디스플레이 장치 상에서 재현되는 컬러는 R, G, B의 삼원색 휘도와 그것에 맞는 비선형 변환에 의해 이루어진다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r, \max} & X_{g, \max} & X_{b, \max} \\ Y_{r, \max} & Y_{g, \max} & Y_{b, \max} \\ Z_{r, \max} & Z_{g, \max} & Z_{b, \max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 때 각 채널의 R, G, B 컬러 값을 비선형화 하기 위해 다음의 식을 이용하여 변환시킨다.⁵⁾

(1) Simple model

$$\begin{aligned}
 R &= \begin{cases} [\frac{d_r}{2^{N-1}}]^{\gamma_r} ; [\frac{d_r}{2^{N-1}}] \geq 0 \\ 0 ; [\frac{d_r}{2^{N-1}}] < 0 \end{cases} \\
 G &= \begin{cases} [\frac{d_g}{2^{N-1}}]^{\gamma_g} ; [\frac{d_g}{2^{N-1}}] \geq 0 \\ 0 ; [\frac{d_g}{2^{N-1}}] < 0 \end{cases} \\
 B &= \begin{cases} [\frac{d_b}{2^{N-1}}]^{\gamma_b} ; [\frac{d_b}{2^{N-1}}] \geq 0 \\ 0 ; [\frac{d_b}{2^{N-1}}] < 0 \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

(2) GOG model

$$\begin{aligned}
 R &= \begin{cases} [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_r} ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \\
 G &= \begin{cases} [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_g} ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \\
 B &= \begin{cases} [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_b} ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

(3) GOGO model

$$\begin{aligned}
 R &= \begin{cases} [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_r} + o ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \\
 G &= \begin{cases} [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_g} + o ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \\
 B &= \begin{cases} [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o]^{\gamma_b} + o ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

위 식에서 각각 g 는 gain이고, o 는 offset, γ 는 gamma를 나타내는 변수들이다. 또한 d_r 은 0에서부터 255까지 RGB 채널에서 디지털 밝기의 범위를 의미하며, N 은 디스플레이 장치에서의 색재현에 필요한 bit 수를 나타낸다. 본 실험에서는 8bit를 적용하였다.^{(6)~(7)}

3. 실험

실험에 이용한 패치는 table 1과 같이 디스플레이 장치의 특성화에 필요한 R, G, B의

삼원색 샘플 99개와 중성색 샘플 33개를 프로그래밍을 통해 디스플레이 장치에 재현하였다. 또한 LCD 디스플레이 장치에서 디지털 인쇄원고에 적용할 3가지 모델의 컬러 재현 평가를 위해 GretagMacbeth의 Color Checker를 이용하였다.

디스플레이 장치는 국내에서 널리 사용하는 LCD 모니터를 장치독립적 컬러공간에서 특성화한 후 그 중에서 컬러 재현이 양호한 한 기종을 선택하였다. 또한 LCD 모니터를 측색하기 위하여 Gretag Macbeth의 EyeOne를 사용하였고, 모니터 특성화를 위한 3가지 모델 적용 실험은 MATLAB를 통해 처리하였다.^{8)~9)}

그리고, 실험에 적용한 특성화 모델에서 디지털 이미지 색재현의 정확도를 평가하기 위하여 CIE XYZ 삼자극치의 실측치와 모델 적용에 따른 계산치를 각각 비교하였으며, CIE Lab를 통하여 재현된 이미지의 색차를 검토하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 디스플레이 장치에 이용한 모델의 평가

디스플레이 장치의 특성화를 최적화하기 위하여 캘리브레이션이 이루어진 측색 장치로 총 36개의 삼자극치를 측정하여 table 1에 나타내었다. Table 1에 기록한 데이터는 선형변환을 위한 3×3 매트릭스 결정에 사용하였고, 나머지 33행의 데이터는 디스플레이 장치에서 정확한 특성화 처리에 필요한 모델의 매개변수 결정에 이용하였다. 본 실험에서는 gamma값을 이용하는 simple, GOG(gain-offset-gamma), GOGO(gain-offset-gamma -offset) 모델을 각각 사용하였다.

디스플레이 장치의 원색인 R, G, B에 대한 최대 입력 값 255에서의 삼자극치를 측정 한 결과 디스플레이 장치에서 장치의존 색공간 RGB를 장치독립적 색공간인 XYZ로 변환하기 위한 3×3 변환 매트릭스를 구할 수 있었다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 52.1659 & 27.0269 & 1.6881 \\ 40.7385 & 81.9944 & 15.6851 \\ 20.057 & 9.7073 & 112.8472 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

또한 모델 적용에 필요한 변수 gamma, gain, offset를 결정하기 위하여 gray level의 R, G, B를 구하였다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0255 & -0.0120 & -0.0035 \\ -0.0085 & 0.0164 & 0.0001 \\ 0.0008 & -0.0021 & 0.0089 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)에 디스플레이 장치에서 측정 한 CIE XYZ 삼자극치를 대입하여 R, G, B를 구하

였다. 계산된 R, G, B 값을 이용하여 계산치인 CIE XYZ를 구하기 위한 매개변수 gain, offset, gamma 값을 구하였다.

Table 1 Sample Measurement using Colorimetrically Characterize in LCD Display Device

Dr/255	Dg/255	Db/255	X	Y(Lm/m ²)	Y
1	0	0	52.1659	40.7385	20.057
0	1	0	27.0269	81.9944	9.7973
0	0	1	1.6881	15.6851	112.8472
0			0.13	0.14	0.20
0.0314			0.21	0.20	0.32
0.0627			0.43	0.45	0.64
0.0941			0.87	0.92	1.08
0.1255			1.55	1.63	1.80
0.1569			2.43	2.56	2.83
0.1882			3.57	3.79	4.17
0.2196			4.82	5.14	5.66
0.2510			6.37	6.72	7.31
0.2824			8.10	8.54	9.52
0.3137			10.09	10.66	11.61
0.3451			12.21	12.90	14.23
0.3765			14.58	15.31	17.03
0.4078			17.18	18.15	19.77
0.4392			20.05	21.21	23.07
0.4706			23.30	24.60	26.81
0.5020			26.55	28.18	30.76
0.5333			29.94	31.68	34.43
0.5647			33.79	35.85	38.94
0.5961			38.05	40.19	44.10
0.6275			42.57	45.01	48.57
0.6588			47.20	49.88	54.02
0.6902			52.07	54.99	59.76
0.7216			56.95	60.27	65.78
0.7529			62.00	65.43	71.42
0.7843			67.52	71.42	77.34
0.8157			73.26	77.23	83.81
0.8471			79.67	84.16	91.19
0.8784			86.33	91.27	98.79
0.9098			92.48	97.73	105.77
0.9412			99.27	104.96	113.53
0.9725			106.52	112.37	122.83
1.0000			113.34	119.67	130.05

실험시 sRGB 색공간에 준하는 조건으로 실험을 하였지만, 각 채널별 감마값을 분석해 본 결과 감마값이 대부분 2.2에는 못 미치는 것을 나타냈다. 특히 simple 모델에서는 B 채널이 R, G 채널보다 낮게 나타났는데 이러한 특성은 무채색을 재현할 때 각각의 형광소자가 동일한 값을 방출하는 것이 아니라 서로의 상관관계에 의해 색을 재현하는 방법이므로 이와 같은 차이가 생긴 것이라 사료된다. 또한 GOG, GOGO model에서 gamma를 gain, offset의 상관관계에서 구해진 값과 gamma 값을 2.4로 고정한 후 구한 gain, offset 값이 서로 다를 수 있다. 이것은 변수 gamma 값이 gain과 offset에 상호관계에 있기 때문이다.

Table 2. Comparison Gain, Offset, and Gamma of Simple and GOG, GOGO Model in LCD Display Device

	Simple Model			GOG-1 Model			GOGO-1 Model		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Gain				0.99894	0.97982	1.00618	1.00424	1.00749	1.00648
Offset1				0.00068	0.01239	-0.00291	-0.00522	-0.01847	-0.00325
Gamma	2.12135	2.28322	2.1074	2.12116	2.27389	2.10887	2.10872	2.19523	2.10809
Offset2							0.00109	0.00423	0.00005

	GOG-2 Model			GOGO-2 Model		
	R	G	B	R	G	B
Gain	0.92527	0.95040	0.93584	0.89637	0.94508	0.91125
Offset1	0.07825	0.04500	0.07389	0.11262	0.05078	0.10099
Gamma	2.40000	2.40000	2.40000	2.40000	2.40000	2.40000
Offset2				-0.01853	-0.00257	-0.01312

4-2. CIE LAB를 이용한 모델의 평가

본 실험에서 제시된 모니터 특성화 모델의 적합성을 평가하기 위하여 CIE LAB로 나타낸 결과를 fig. 2, 3, 4에 각각 나타내었다.

Fig. 2와 같이 LCD display 장치에서 본래 원고 R, G, B 채널의 L*와 실험에 적용한 모델의 L*를 비교한 결과 simple 모델의 L*가 원고의 L*와 가장 유사한 결과를 나타내었다. 또한 R, G, B의 신호 값이 작을수록 GOG, GOGO 모델에서 L*의 차이가 컸지만, 신호 값이 증가할수록 비교적 유사한 경향을 보였다. 이것은 LCD 장치는 백라이트에 인가되는 전압을 조정으로써 휘도를 조절하기 때문에 신호 값이 낮은 쪽보다 높은 쪽의 재현이 우수하기 때문인 것으로 사료된다.

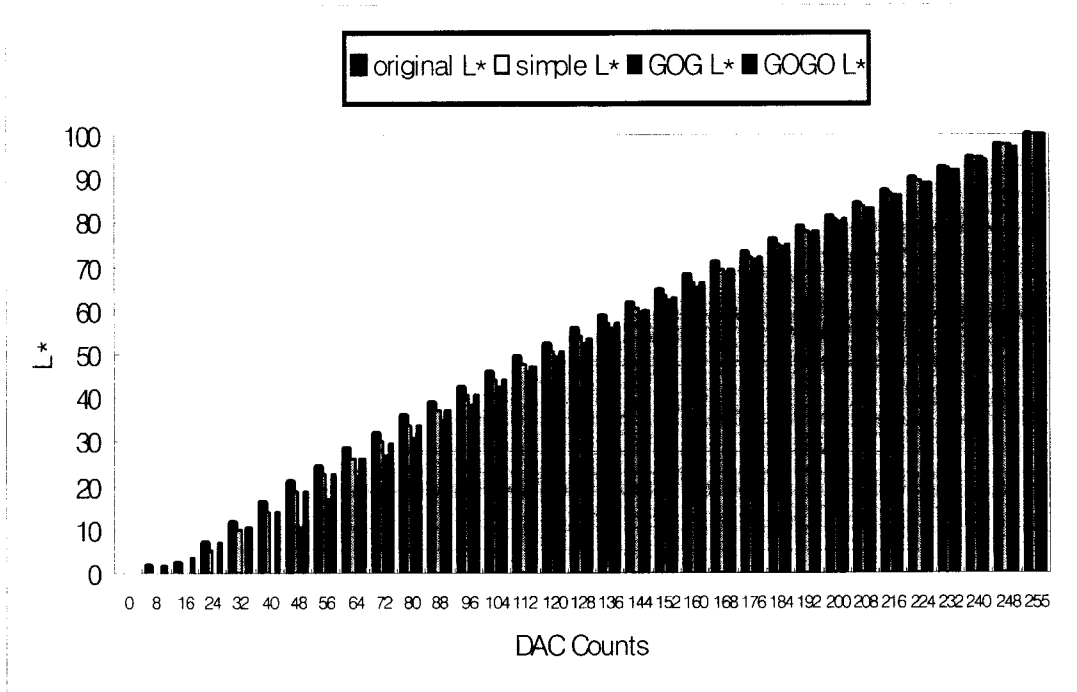


Fig. 2. Comparison relative to L* of original sample and simple, GOG, GOGO model.

Fig. 3은 샘플로 제작한 패치를 측정된 원고와 3가지 모델을 적용하여 계산한 계산치의 CIE a*b*를 비교한 것이다. 원고와 비교하여 simple, GOG-1 모델이 GOGO-1 모델보다 휘도 차이를 나타내었다. 원고 이미지인 경우는 a*와 b*값의 범위가 0에 가까운 중성색 범위에 있는 반면에 GOG-1 모델은 점점 magenta 컬러로 증가하다가 다시 중성색으로 이동하는 경향이 있고, GOGO-2 모델은 0에 가까운 중성색 범위를 나타내었으며, simple 모델은 green과 magenta 컬러-축에 걸쳐 나타났다. 이것은 R, G, B 채널이 각각 독립된 동일한 신호 값을 나타내지 않고, 서로 간에 영향을 주기 때문이라 사료된다.

또한 fig. 4와 같이 gamma 값을 고정하여 변수를 구한 GOG-2 모델과 GOGO-2 모델인 경우 원고와 비교했을 때 두 모델 모두 원고와는 큰 색차를 보였으며, red과 magenta축의 사이에서 컬러가 재현되었다. 이것은 sRGB 색공간에서 올바른 변수 gamma 값은 2.2와 근접한데 2.4로 고정하였기 때문에 생긴 결과라 사료된다.

따라서 LCD 모니터에서 gamma가 컬러 재현에 영향이 있음을 알 수 있었고, 특성화 모델에서 중성색 재현에는 GOGO-1 모델이 가장 적합한 것으로 사료된다.

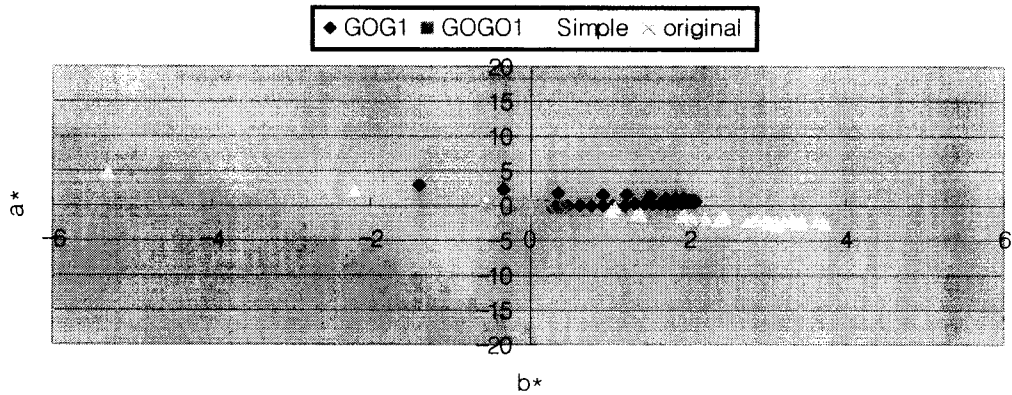


Fig. 3. Comparison relative to CIE a*b* of original sample and simple, GOG-1, GOGO-1 model.

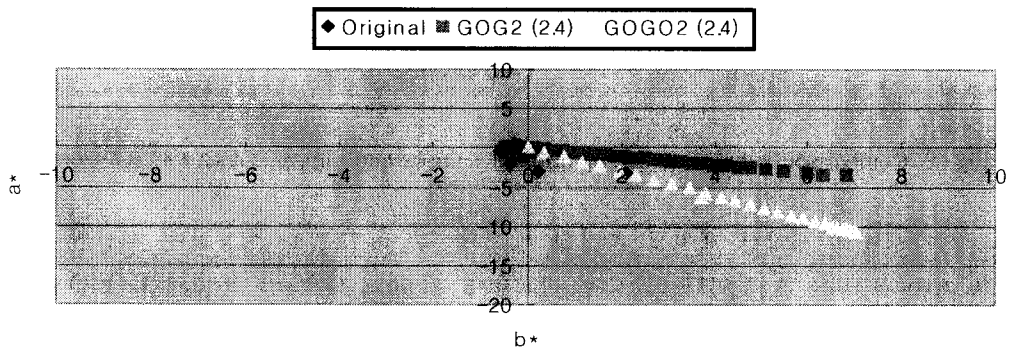


Fig. 4. Comparison relative to CIE a*b* of original sample and simple, GOG-2, GOGO-2 model.

4-3. 이미지 원고와 적용한 모델의 색차 비교

이미지 원고와 실험에서 적용한 모델과의 색차를 구한 결과는 fig. 5와 같다. 단계별 색차를 보면 GOG-1, GOG-2 모델의 경우는 R, G, B 채널의 값이 낮아 black에 가까울수록 색차가 높지만, 채널 값이 증가하면 색차가 감소함을 알 수 있었다. 또한 어떤 특정한 변수를 고정시킨 GOG-2가 다항식을 통해 상호관계로 변수를 결정한 GOG-1 보다 색차가 크게 나타나는 것을 확인하였다.

GOGO-1인 경우에는 R, G, B의 값이 50에서 60사이에 다른 영역보다 큰 색차를 보였는데 이것은 장치간의 특성에서 나타난 오차라고 생각되며, 특히 LCD 디스플레이 장치는 휘도가 낮은 경우가 높은 경우보다 정확도가 떨어지므로 다른 부분보다 색차가 크게

나타난 것이라 사료된다. 그러나 각 채널 값이 증가할수록 컬러 재현이 우수함을 알 수 있다. GOGO-2 모델에서는 전반적으로 다른 모델에 비해 색차가 높게 나타났다. 이것은 GOG-2와 같이 어떤 특정한 변수 값의 고정으로 인해 특성화 모델의 정확도를 감소시킨 것과 sRGB 색공간의 기본 calibration gamma가 2.2로 조정된 상태이므로 gamma 값을 0.2 증가시킨 경우에 색차가 증가한 것이라 사료된다. 또한 GOG-2가 GOGO-2 보다 색차가 작음을 알 수 있었다. Simple 모델에서는 R, G, B 채널 값이 증가하더라도 2.2 이하의 양호한 색차를 나타내었는데 이것은 sRGB 프로파일의 기본 gamma 값과 유사함으로 단일 변수로 처리했지만, 컬러 재현의 정확도는 GOGO-2 모델보다 우수하게 나타났다.

또한 실험에서 fig. 5의 값을 이용하여 평균 색차를 계산한 결과 table 3과 같이 나타났다. Table 2에서 GOG-1, GOGO-1, GOG-2 모델이 각각 1.4795, 1.6009, 1.6434의 평균 색차 값을 나타내었고, GOGO-2 모델이 4.2932로 가장 큰 평균 색차를 나타내었다. 이것은 변수 gamma를 고정시킨 결과라 사료된다.

따라서 LCD 디스플레이 장치를 특성화하기 위하여 사용한 모델의 컬러 재현은 R, G, B 채널 전체에서 GOG-1 모델이 가장 우수하였고, 다음으로 GOGO-1 모델이 적합한 것으로 시료된다.

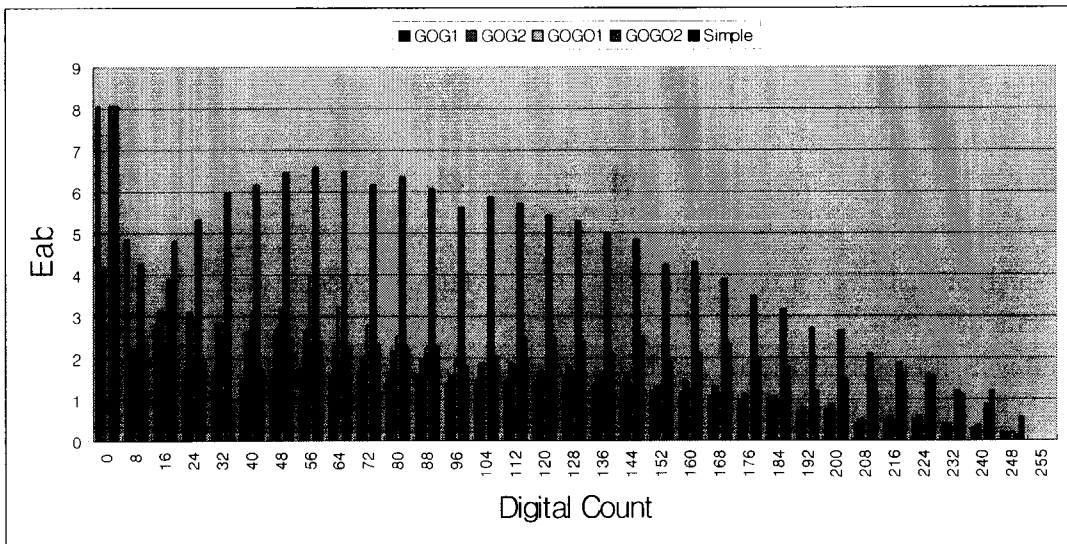


Fig. 5. Color differences between simple, GOG-2, GOGO-2 model

Table 2. Mean Color Differences between Simple, GOG2, GOGO2 Model

Model	GOG-1	GOG-2	GOGO-1	GOGO-2	Simple
Mean ΔE_{ab}^*	1.4795	1.6434	1.6009	4.2932	2.1075

5. 결 론

디스플레이 장치에서 인쇄원고의 정확한 컬러 재현특성을 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

LCD 모니터에서 white point가 D65, 장치독립적 색공간 sRGB를 장치프로파일로 제작하여 동일한 조건으로 환경 설정을 한 후 특성화 변환 방법을 이미지에 적용한 결과 CIE Lab에서 휘도는 simple 모델의 재현성이 우수하였고, CIE ab 공간에서는 GOGO-1 모델이 원고 이미지와 근접하게 재현 되었다. 평균 색차를 구한 결과는 GOG-1이 1.4795, GOGO-1이 1.6009, simple이 2.1075로 GOG-1 모델의 색차가 가장 작았다. 또한 모델 특성화를 위하여 결정한 매개변수 gamma는 LCD 모니터의 이미지 계조표현력을 좌우하는 변수중의 하나로 간단한 보정만으로도 컬러 재현을 향상시킬 수 있음을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- 1) International Color Consortium, "ICC Profile Format Specification", Version 3.4, August (1997).
- 2) Roy S. Berns and Ricard J. Motta, Mark E. Gorzynski, "CRT Colorimetry, Part 1 : Theory and Practice", Vol. 18, No. 5 (1993).
- 3) Naoya Katoh, Tatsuya Deguchi and Roy S. Berns, "An Accurate Characterization of CRT Monitor(1) Verification of Past Studies and Clarification of Gamma", Optical Review, Vol. 8, No. 5 (2001).
- 4) Snjezana Soltic and Andrew N. Chalmers, "Modeling the Effects of on the Colors Displayed on Cathode Ray Tube Monitors", *Journal of Electronic Image*, Vol. 13, No. 4 (2004).
- 5) Jason E. Gibson and Mark D. Fairchild, Colorimetric Characterization of Three

Computer Displays, Munsell Color Science Laboratory Technical Report (2000).

- 6) Roy S. Berns, "Methods for Characterizing CRT Displays", *Displays*, Vol. 16, No. 4 (1996).
- 7) Naoya Katoh, Tatsuya Deguchi and Roy S. Berns, "An Accurate Characterization of CRT Monitor(2) proposal for an Extension to CIE Method and Its Verification", *Optical Review*, Vol. 8, No. 5 (2001).
- 8) John Wiley & Sons, Ltd, *Computational Color Science Using MATLAB*, Chapter 7 p. 111~116 (2004).
- 9) Roy S. Berns, JOHN WILEY & SONS, INC., *Principles of Color Thchnology*, Chapter 4, p. 107~130 (2000).