

전자출판에서 입·출력 장치의 컬러 관리에 관한 연구 (I)

조가람[†], 김재해*, 구철희

[†]부경대학교 공과대학 화상정보공학부, *산업인력관리공단
(2007년 4월 9일 접수, 2007년 5월 7일 최종 수정본 접수)

A Study on Color Management of Input and Output Device in Electronic Publishing (I)

Ga-Ram Cho[†], Jae-Hae Kim, Chul-Whoi Koo*

[†]Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University,
Human Resources Development Service of Korea, Seoul
(Received 9 April 2007, in final from 7 May 2007)

Abstract

In this paper, an experiment was done where the input device used the linear multiple regression and the sRGB color space to perform a color transformation. The output device used the GOG, GOGO and sRGB for the color transformation.

After the input device underwent a color transformation, a 3×20 size matrix was used in a linear multiple regression and the scanner's color representation of scanner was better than a digital still camera's color representation. When using the sRGB color space, the original copy and the output copy had a color difference of 11. Therefore it was more efficient to use the linear multiple regression method than using the sRGB color space.

After the input device underwent a color transformation, the additivity of the LCD monitor's R, G and B signal value improved and therefore the error in the linear formula transformation decreased. From this change, the LCD monitor with the GOG model applied to the color transformation became better than LCD monitors with other

models applied to the color transformation. Also, the color difference varied more than 11 from the original target in CRT and LCD monitors when a sRGB color transformation was done in restricted conditions.

1. 서 론

일반적으로 입력 장치의 색변환 방법의 경우는 다중회귀 분석법을 이용한 선형 변환,^{1,2)} LUT를 함께 이용한 방법,³⁾ 특히 분광추정을 이용한 방법^{4,5)}도 이미 실행된 바가 있다. 본 논문에서는 이러한 다양한 방법 중 가장 적은 샘플에도 정확도가 높으면서 색변환을 빠르게 할 수 있는 다중회귀 분석법을 이용하였다.

또한 입력 장치를 통하여 입력된 이미지의 재현은 전자출판에서 일반적으로 대표적인 CRT나 LCD 모니터에서 디스플레이된다. 이러한 디스플레이 장치의 경우 많은 회사들이 각기 다른 종류의 디스플레이 장치를 제조해 내고 있다. 또한 현실적으로 디스플레이 장치에서 동일한 컬러를 표현할 수는 없다. 왜냐하면 디스플레이 장치의 밝기 재현에 대한 차이와 형광소자 및 기준 백색면의 색도차이, 장치의존적인 색공간의 활용뿐만 아니라 디스플레이 gamma 특성의 차이, 주변 광원의 연색성 및 인간 시각 등의 다양한 조건 때문에 동일한 컬러 이미지를 재현할 수 없다.⁶⁾

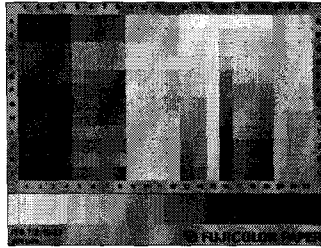
따라서 이러한 문제점 해결의 한 방안으로 출력 장치인 모니터에서도 입력 장치와 동일한 방법의 컬러 매니지먼트 시스템(Color Management System : CMS)이 적용되어진다. 특히 모니터에서 색변환을 위하여 활용되는 특성화 모델로는 GOG (Gain-Offset-Gamma)와 LUT (Look Up Table)가 가장 일반적이다.^{7,8)} 하지만 2001년 Katoh가 모니터의 black 레벨 내부 플래어 보정방법을 제안한 GOGO (Gain-Offset-Gamma-Offset) 모델도 모니터 특성화에 효율성이 있다는 보고⁹⁾에 따라 본 연구에서도 이 방법을 함께 사용하여 실험한 후 그 결과를 검토하였다.

2. 실 험

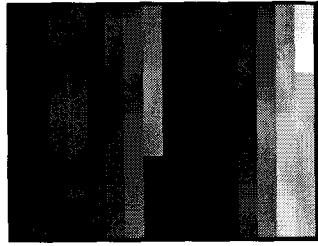
2-1. 표준 target과 모니터 gray patch 제작

실험에 이용한 원고는 Fig. 1과 같이 입력 장치의 캘리브레이션용 FUJI color input target IT 8.7/2와 출력 장치의 특성 분석과 색변환에 필요한 매트릭스를 구하기 위하여 gray patch를 제작하였다. IT 8.7/2 target은 22개의 중성색 부분과 hue angle, 시각적으로 lightness와 chroma 영역을 균등하게 하여 제작한 144개의 영역, 84개인 C, M, Y, K, R, G, B 영역, 그리고 36개의 스킨 컬러 영역을 합쳐 총 286개의 패치로 구성되어져 있다.

또한 linear target은 모니터에서 선형변환 계산에 활용할 3×3 매트릭스와 R, G, B 각 채널에서 장치의 입력값에 대한 응답특성을 분석하기 위하여 필요하다. 따라서 linear target은 R, G, B 각 채널당 0에서 255레벨 사이를 4레벨 단계씩 65개와 gray 0에서 255레벨까지 65개로 전체 260개의 patch로 제작하였다.



(a) IT 8.7/2 target



(b) linear target

Fig. 1. Test target for use in experiment [(a) IT 8.7/2 target, (b) linear target].

2-2. 입력 장치의 색변환

본 실험에 사용한 입력 장치는 FUJI사의 FineScan 2058 스캐너와 Finepix S2pro 디지털 카메라를 사용하였다. 입력 장치는 최적의 인쇄원고 재현을 위하여 장치 캘리브레이션을 하였고, 입력 조건도 최적화 하였다. 특히 디지털 카메라의 target 촬영시 주변광원에 따른 연색성을 방지하기 위하여 암실조건으로 한 다음, 라이트부스에서 촬영했다. 이때 촬영광원의 색온도는 출력 장치의 조건에 부합하는 표준광원 D_{65} 를 선택하였다. 또한 조명 각도는 조명 효율이 가장 우수한 45도로 설정하고, 채널당 쥘러는 8 bit, 해상도는 300 ppi로 하였다. 또한 각각의 입력 장치를 통하여 입력된 target의 RGB 값은 샘플의 부분적인 색오차를 줄이기 위하여 장치독립 색공간인 LAB에서 가로, 세로 40 pixel로 샘플 이미지를 자른 후, Raw 파일포맷으로 저장했다. 저장된 이미지는 Matlab 7.0 프로그램을 이용하여 이미지의 평균 RGB 값을 구하여 scanner RGB, camera RGB 값으로 적용하였다.

입력 장치의 회귀분석을 이용한 색변환은 입력된 RGB 값을 측색된 XYZ의 상관관계에서 3×3 , 3×8 , 3×9 , 3×11 , 3×14 , 3×16 , 3×20 매트릭스를 계산하였다. 계산된 매트릭스를 곱하여 XYZ를 계산하였고, 계산된 XYZ를 이용하여 LAB로 색변환하였다.

또한 전자출판 사진원고 제작에 일반적으로 활용되는 장치독립 색공간으로 이루어진 sRGB의 색변환 방법을 이용하여 본 실험에 사용된 색변환 방법과 비교 평가하였다. sRGB 색변환 방법은 입력 장치를 통하여 입력된 RGB 값을 gamma 2.2의 조건으로 선형화한 후 3×3 매트릭스를 이용하여 표준광원 D_{65} 의 조건으로 XYZ를 계산하였다.

Fig. 2와 같이 색변환 결과를 확인하기 위하여 각각의 LAB를 구하였다. 먼저 회귀분

색 방법과 sRGB 방법으로 구한 XYZ를 LAB로 변환하였고, 또한 원고인 IT 8.7/2 target의 LAB를 직접 측색기로 측색하였다. 비교 평가는 색변환 모델을 적용하여 계산 LAB와 측색한 LAB을 이용하였다.

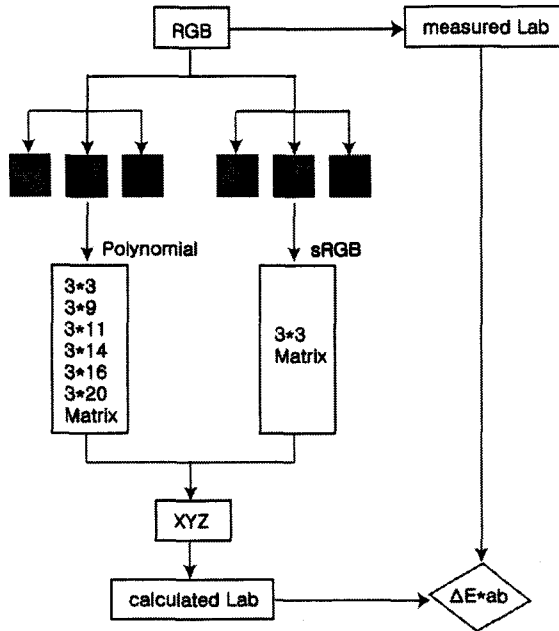


Fig. 2. Input device RGB to CIELAB color transformation methods.

2-3. 출력 장치의 색변환

본 실험에 사용한 모니터는 Samsung SyncMaster 917MB 17inch CRT 모니터와 EIZO FlexScan L568 LCD 모니터를 사용하였다. 출력 장치의 색변환 방법은 GOG, GOGO에 의한 선형변환 방법과 CIE가 정한 sRGB 색공간을 이용한 색변환 방법을 선택하였다. 출력 장치인 모니터의 캘리브레이션 조건은 표준 whit point가 6,500K, gamma 값은 2.2로 설정하였고, 또한 최대 밝기를 CRT는 80 cd/m², LCD는 120 cd/m²으로 조정하였으며, 이때 contrast는 최대로 설정하였다. 모니터의 캘리브레이션에 사용된 소프트웨어는 GretagMachbeth사의 Profile maker 5.0이고, 측색에 사용된 장비는 GretagMachbeth의 Eye-One을 사용하였으며, 주변 광원에 의한 플레어를 최소화하기 위하여 암실조건을 선택하여 측색하였다.

모니터 R, G, B 채널의 최대 입력값 255, 255, 255 레벨에서 삼자극치 XYZ를 측색하여 선형변환 계산에 활용한 3×3 매트릭스를 구하였다. 또한 각각 0에서 255레벨 사이를 4레벨 단계씩 65개의 패치를 제작한 후 삼자극치 XYZ를 측색기로 측정하였다. Table 1

과 같이 측정된 값은 Matlab 7.0 프로그램에서 회귀분석을 통하여 GOG, GOGO의 선형 변환에 필요한 매개변수 gain, offset, gamma 값을 구하였다. 표에서와 같이 디스플레이 장치의 캘리브레이션에서 설정한 gamma 값이 2.2와 정확하게 일치하지 않음을 알 수 있었다. 또한 여기서 구한 매개변수 중 CRT의 gain, offset, gamma 값을 식 (1), (2)에 각각 대입하여 RL, GL, BL을 계산하였고, sRGB는 식 (3)과 같이 계산한 RL, GL, BL에 3×3 매트릭스를 곱하여 삼자극치 XYZ로 선형 변환하였다.

또한 모니터에서 색변환 결과를 평가하기 위하여 특성화 하지 않은 IT 8.7/2 target의 원고를 FUJI FILM FineScan 2750에서 200 ppi로 스캐닝하여 Raw 파일 포맷으로 저장하였다. 저장한 이미지는 Matlab 7.0 프로그램으로 각각의 target에 대한 RGB 평균값을 구한 후 CRT, LCD 모니터의 Photoshop 7.0 응용프로그램에서 디스플레이한 후 모니터 측색기를 이용하여 측색하였다. Fig. 3과 같이 IT 8.7/2 target를 측색하여 얻은 LAB와 target에 Table 1의 매개변수를 적용하여 선형 변환한 GOG, GOGO 모델과 3×3 매트릭스를 곱하여 선형 변환한 sRGB 모델을 각각 적용한 후 LAB를 구였고, 여기서 구한 측정 LAB와 계산 LAB 간의 ΔE^*_{ab} 를 구하여 비교 평가하였다.

Table 1. The Variable Values of GOG, GOGO Model in CRT & LCD

Model	Display Device	Channel	Gain	Offset	Gamma	Offset
GOG	CRT	R	0.9836	0.0185	2.2547	-
		G	0.9953	0.0041	2.1983	-
		B	0.9996	0.00003	2.1844	-
	LCD	R	1.0049	-0.0040	2.1947	-
		G	1.0066	-0.0075	2.1879	-
		B	0.9947	0.0058	2.2794	-
GOGO	CRT	R	1.0125	-0.0119	2.2189	0.0012
		G	1.0211	-0.0208	2.1845	0.0019
		B	1.0171	-0.0160	2.2197	0.0004
	LCD	R	1.0262	-0.0290	2.0434	0.0052
		G	1.0008	-0.0072	2.1118	0.0005
		B	0.9900	0.0116	2.2006	0.0017

$$\begin{aligned}
 RL &= \begin{cases} [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o]^{v_r} ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_r}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \\
 GL &= \begin{cases} [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o]^{v_g} ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_g}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \\
 BL &= \begin{cases} [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o]^{v_b} ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{d_b}{2^{N-1}}) + o] < 0 \end{cases} \\
 RL &= \begin{cases} [0.9836(\frac{d_r}{255}) + 0.0185]^{2.2547} ; [0.9836(\frac{d_r}{255}) + 0.0185] \geq 0 \\ 0 ; [0.9836(\frac{d_r}{255}) + 0.0185] < 0 \end{cases} \\
 GL &= \begin{cases} [0.9953(\frac{d_g}{255}) + 0.0041]^{2.1983} ; [0.9953(\frac{d_g}{255}) + 0.0041] \geq 0 \\ 0 ; [0.9953(\frac{d_g}{255}) + 0.0041] < 0 \end{cases} \\
 BL &= \begin{cases} [0.9996(\frac{d_b}{255}) + 0.00003]^{2.1844} ; [0.9996(\frac{d_b}{255}) + 0.00003] \geq 0 \\ 0 ; [0.9996(\frac{d_b}{255}) + 0.00003] < 0 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 RL &= \begin{cases} [g(\frac{R}{2^{N-1}}) + o]^v + o ; [g(\frac{R}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{R}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \\
 GL &= \begin{cases} [g(\frac{G}{2^{N-1}}) + o]^{v_g} + o ; [g(\frac{G}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{G}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \\
 BL &= \begin{cases} [g(\frac{B}{2^{N-1}}) + o]^{v_b} + o ; [g(\frac{B}{2^{N-1}}) + o] + o \geq 0 \\ 0 ; [g(\frac{B}{2^{N-1}}) + o] + o < 0 \end{cases} \\
 RL &= \begin{cases} [1.0125(\frac{d_r}{255}) - 0.0119]^{2.2189} + 0.0012 ; [1.0125(\frac{d_r}{255}) - 0.0119] - 0.0012 \geq 0 \\ 0 ; [1.0125(\frac{d_r}{255}) - 0.0119] + 0.0012 < 0 \end{cases} \\
 GL &= \begin{cases} [1.0211(\frac{d_g}{255}) - 0.0208]^{2.1845} + 0.0019 ; [1.0211(\frac{d_g}{255}) - 0.0208] + 0.0019 \geq 0 \\ 0 ; [1.0211(\frac{d_g}{255}) - 0.0208] + 0.0019 < 0 \end{cases} \\
 BL &= \begin{cases} [1.0171(\frac{d_b}{255}) - 0.0160]^{2.2197} + 0.0004 ; [1.0171(\frac{d_b}{255}) - 0.0160] + 0.0041 \geq 0 \\ 0 ; [1.0171(\frac{d_b}{255}) - 0.0160] + 0.0004 < 0 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} 33.4700 & 28.2300 & 14.5200 \\ 17.3400 & 56.0100 & 6.8300 \\ 1.9100 & 9.5600 & 75.6100 \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} RL \\ GL \\ BL \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3)$$

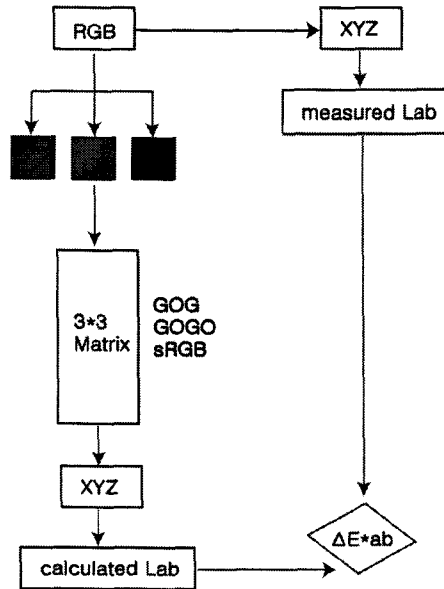


Fig. 3. Output device RGB to CIELAB color transformation methods.

3. 결과 및 고찰

3-1. 입력 장치의 색변환 결과

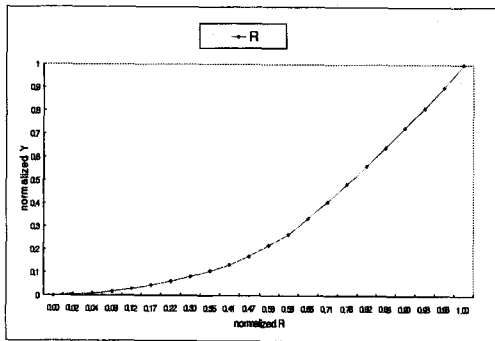
디지털 카메라와 스캐너의 주된 차이점은 스캐너는 장치에 설치되어 고정된 광원을 사용하지만, 디지털 카메라는 외부에서 촬영시 광원이 제공되어야만 한다. 또한 입력 장치에서 캡처한 RGB 신호값은 장치의존적인 색공간으로 고정세 컬러 재현을 위하여 장치독립적인 색공간인 XYZ, LAB로 색변환하는 것은 필수적이다. 스캐너와 디지털 카메라의 RGB 신호 값과 CIE 삼자극치 간의 측색적 mapping으로 조정하여 RGB 값을 특성화하는 것이다. 일반적으로 컬러 특성화 방법은 분광 감도에 기초를 두는 것과 본 연구에서와 같이 color target에 기초를 두어 특성화한 것이다. IT 8.7/2 target의 gray patch 22개를 scanner로 스캔했을 경우 입력된 R, G, B 신호에 따른 각각의 출력되는 lightness 값을 구한 결과 Fig. 12와 같은 응답특성을 나타내었다. 이때 입력 신호값과 출력 신호값은 최대 1로 하여 정규화 시켰다. Fig. 4에서와 같이 스캐너의 CCD 센스는

광학 에너지에 대한 디지털 신호의 비가 지수 로그함수로써 비선형인 것을 알 수 있었다. 따라서 스캐너를 통하여 얻은 RGB 값은 gamma 보정을 하여 얻은 값이기 때문에 선형화 과정이 필요하다고 사료된다.

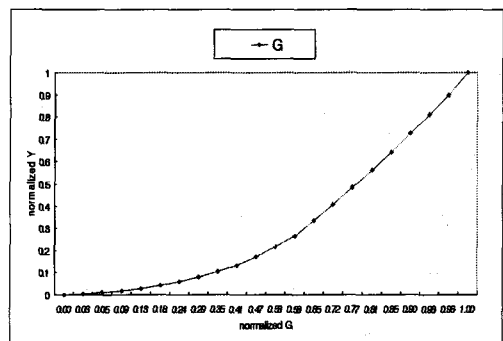
또한 디지털 카메라에서 기록되는 RGB 신호들은 장치 의존적이므로 서로 다른 디지털 카메라에서 동일한 색에 대하여 다른 RGB 값의 응답을 나타내었다. Fig. 5와 같이 스캐너와 동일한 원고를 촬영하여 22개의 gray patch만 RGB 입력값에 대한 출력 값 lightness를 구한 결과 스캐너와 유사한 지수 로그함수로써 비선형 응답특성의 경향을 보였다. 따라서 CIE 표준 관측자에 기초한 장치독립 삼자극치로 선형적인 변환을 할 수 없으므로 RGB 값의 선형화 과정이 필요하다고 사료된다.

또한 Fig. 6과 같이 매트릭스의 크기가 증가할수록 색차가 감소함을 알 수 있었다. 입력 장치가 스캐너인 경우 매트릭스의 크기가 작은 3×3 , 3×6 , 3×9 에서 디지털 카메라보다 색차가 높게 나타났지만, 3×14 이상의 매트릭스 크기를 사용할 경우 2 이하의 색차를 나타내었다. 또한 3×14 이상에서는 매트릭스 크기를 증가시켰지만, 색차의 감소 폭이 현저하게 작아지는 것을 알 수 있었다. 디지털 카메라인 경우는 스캐너와 경향은 유사하지만 색차는 3×14 이상의 매트릭스 크기를 사용할 경우 3 이상의 색차를 나타내었다.

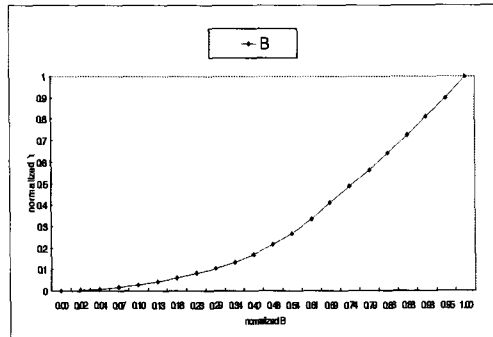
Table 2와 같이 입력 장치에 선형 다중회귀분석과 sRGB를 이용하여 색변환한 결과, 스캐너인 경우는 선형 다중회귀분석에서는 평균색차가 1.1109로 양호한 결과를 보였지만, 최고 색차가 15.4979로 매우 높게 나타났다. 이것은 다중회귀분석을 통하여 구한 매트릭스가 패치마다 효율적인 상호관계에 의한 것이 아니라 전체 색영역의 상호관계로써 구한 것이므로 XYZ로 선형 변환시에 큰 색차를 나타낸 것이라 사료된다. 또한 디지털 카메라인 경우는 스캐너보다 평균색차에서 1이상 더 높은 색차를 나타내었으며, 최고 색차도 29.0076으로 매우 높은 색차를 나타내었다.



(a) R channel

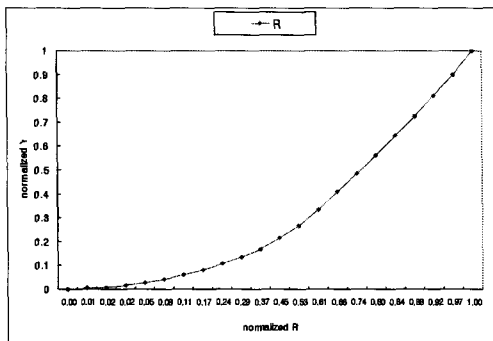


(b) G channel

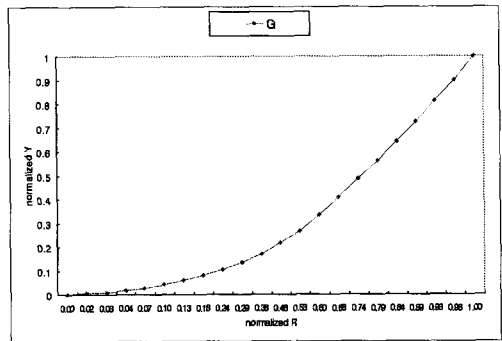


(c) B channel

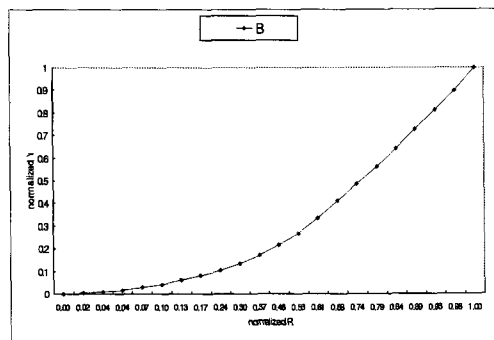
Fig. 4. Non-linear response for input RGB value and output Y in scanner
 [(a) R channel, (b) G channel, (c) B channel].



(a) R channel



(b) G channel



(c) B channel

Fig. 5. Non-linear response for input RGB value and output Y in digital camera
 [(a) R channel, (b) G channel, (c) B channel].

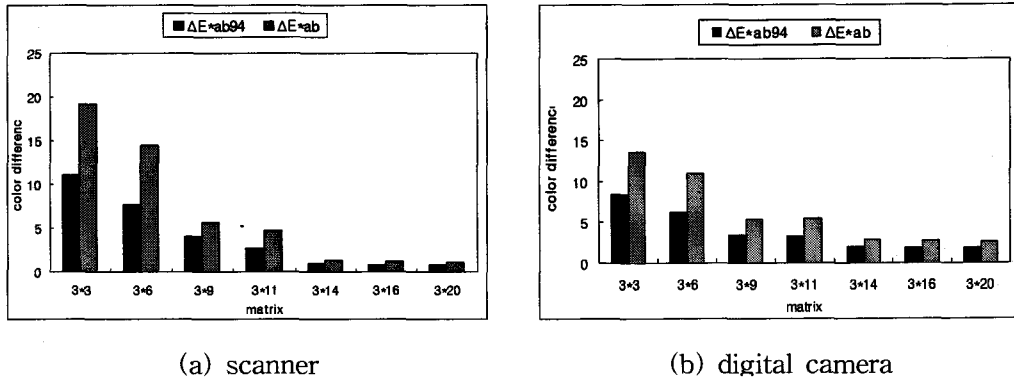


Fig. 6. Color difference for increasing matrices size in input device [(a) scanner, (b) digital camera].

Table 2. Results for Color Transformation Methods in Input Device

Method	Input Device	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{ab}	ΔL	ΔC	ΔH
		Avg.	Max.	Min.			
Regression	Scanner	1.1109	15.4979	0.1016	0.4729	0.6429	2.9788
	Digital camera	2.6348	29.0076	0.2715	1.5073	1.4909	2.3560
sRGB	Scanner	11.7266	28.1681	0.6298	4.7012	8.2848	17.3603
	Digital camera	18.3239	30.0331	4.4181	4.4484	11.9987	49.6729

3-2. 출력 장치의 색변환 결과

출력 장치의 특성화는 R, G, B 채널의 톤 재현 곡선과 선형화된 RGB 신호값을 삼자극치 XYZ로 변환하는 매트릭스로 나타낼 수 있다. 톤 재현 곡선은 입력 신호와 출력 휘도와 비선형 관계를 보정하는데 이용되고, 이러한 보정에 매개변수 gain, offset, gamma를 적용하는 GOG, GOGO 모델을 사용한다. 또한 CIE가 정한 sRGB 색공간을 이용한 변환방법을 선택하였다. R, G, B 채널당 4레벨 단계로 0에서 255레벨까지 65개씩 총 195개의 패치를 제작하여 색변환 효율성과 색변환에서 나타나는 색차를 알기 위하여 측정하였다. 측정된 R, G, B 입력 신호값에 대한 출력 휘도 특성곡선에서 회귀분석을 이용하여 매개변수를 계산하였다. 여기서 구한 매개변수와 R, G, B 채널의 255 레벨에서 측정된 XYZ 값을 선형적 변환 매트릭스로 이용하여 색변환한 결과를 Fig. 7, 8, 9에 각각 나타내었다. Fig. 7(a)와 같이 CRT 모니터는 GOG 모델로 특성화하여 변환한 XYZ를 다시 CIELAB로 색변환했을 경우 평균 색차가 2이하에 존재하는 것을 히스토그

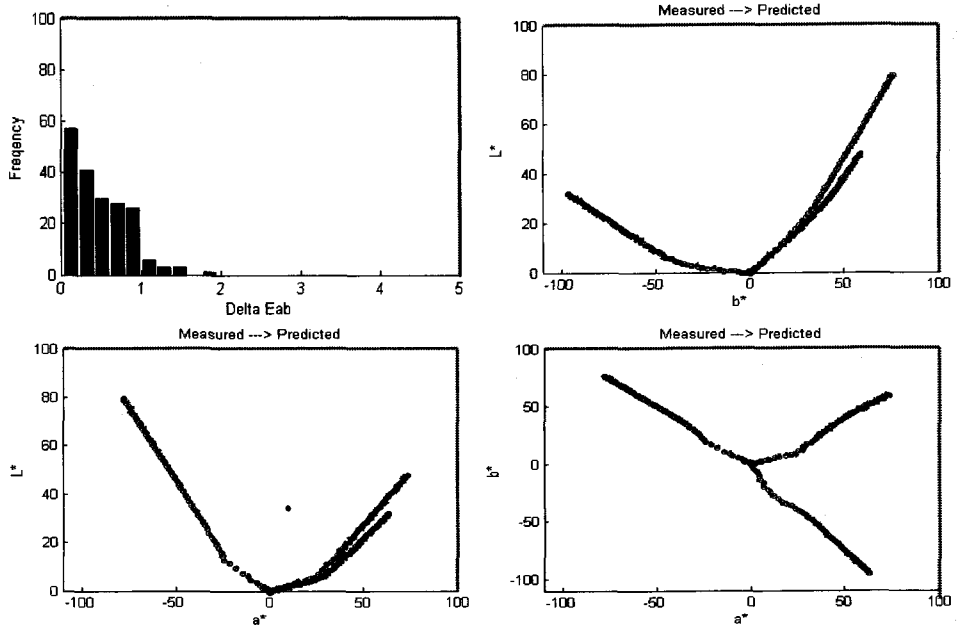
램에서 확인할 수 있었다. Fig. 7(b)의 LCD 모니터인 경우에는 색차가 CRT 모니터보다 2이상 발생하는 패치가 있음을 확인할 수 있는데 이것은 LCD가 원색의 입력 신호에 대한 출력 신호의 특성 변화가 강하기 때문이라 사료된다. 그러나 CRT, LCD 모니터 모두 R, G, B 원색의 입력 레벨 세기변환에 따른 응답특성의 변환에서 부드러운 형태의 곡선을 LAB 공간에서 나타내었다.

Fig. 8과 같이 GOGO 모델에서는 CRT, LCD 모니터 모두에서 색차가 GOG 모델보다 높게 나타남을 알 수 있었다. GOGO 모델은 내부 플레어를 고려하여 R, G, B 입력 신호값이 0일 때 발생하는 응답 신호값인 black 레벨을 각 채널의 삼자극치에서 감산함으로써 보정한 방식이지만, 원색의 색변환에서 2001년 Katoh가 얻은 결과만큼 향상된 결과를 얻지 못하였다. 또한 black 레벨 플레어 보정 방식은 입력 신호값에 따라 플레어양이 변화함으로써 앞으로 고려되어야 할 사항이라 사료된다.

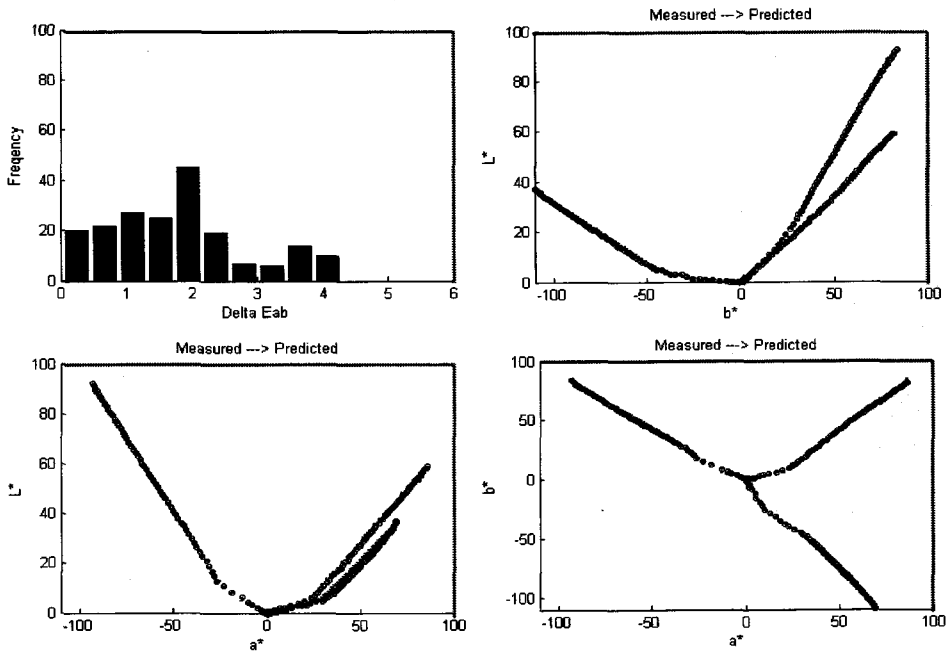
Fig. 9의 sRGB 색공간을 이용한 색변환에서 모니터는 색재현에서 휘도의 영향을 많이 받는데 이런 휘도를 좌우하는 gamma 값을 2.2, white point D_{65} 로 고정함으로써 제한된 조건에 의하여 GOG, GOGO 모델보다 CRT, LCD 모니터 전체에서 높은 색차를 나타내었다. 특히 G, B 신호값의 색차가 R 신호값보다 높게 나타났다. 따라서 장치들의 호환성과 보편적이고, 색조정법에 확고한 지원을 하지만, 색을 축소하거나 단순화시킴으로써 전자출판의 원고제작에서는 GOG, GOGO 모델의 색변환이 더 효율적이라 사료된다. CRT, LCD 모니터에서 R, G, B 원색의 입력 레벨 세기변환에 따른 응답특성의 변화도 레벨별로 증가하는 부드러운 곡선을 CIELAB 공간에서 나타내었다.

Table 3은 R, G, B 채널당 4레벨 단계로 0에서 255레벨까지 65개씩 총 195개의 패치와 IT 8.7/2 target의 286 패치를 특성화 모델 GOG, GOGO, sRGB에 적용하여 색변환한 후 각각의 색차를 구하여 나타낸 것이다. Linear target인 경우 CRT에서 평균색차가 GOG는 0.4908, GOGO는 0.9820으로 LCD의 1.5999, 1.1920보다 적은 색차를 보였지만, sRGB인 경우는 CRT에서는 12.3592, LCD에서는 6.7355로 LCD 모니터가 더 적은 색차를 나타내었다.

최고 색차도 linear target, IT 8.7/2 target에서 모두 유사한 경향을 나타내었다. IT 8.7/2 target의 경우는 GOG와 GOGO 모델에서 CRT가 1.9974, 2.7890이었고, LCD는 1.0099, 1.1920으로 색차가 적게 나타났다. 이것은 LCD가 black 레벨 보정함수를 이용하여 보정한 결과뿐만 아니라 LCD 모니터는 R, G, B 신호값의 가색 혼합성이 우수하므로 선형 수식변환에서 오차가 작아져 색재현이 CRT 모니터 보다 향상된 것이라 사료된다. sRGB 색공간을 이용한 색변환에서는 CRT, LCD 모니터에서 11이상의 색차를 나타내었다. 이것은 sRGB 색공간 적용에서 색변환시 제한된 조건에 따른 결과라 사료된다.

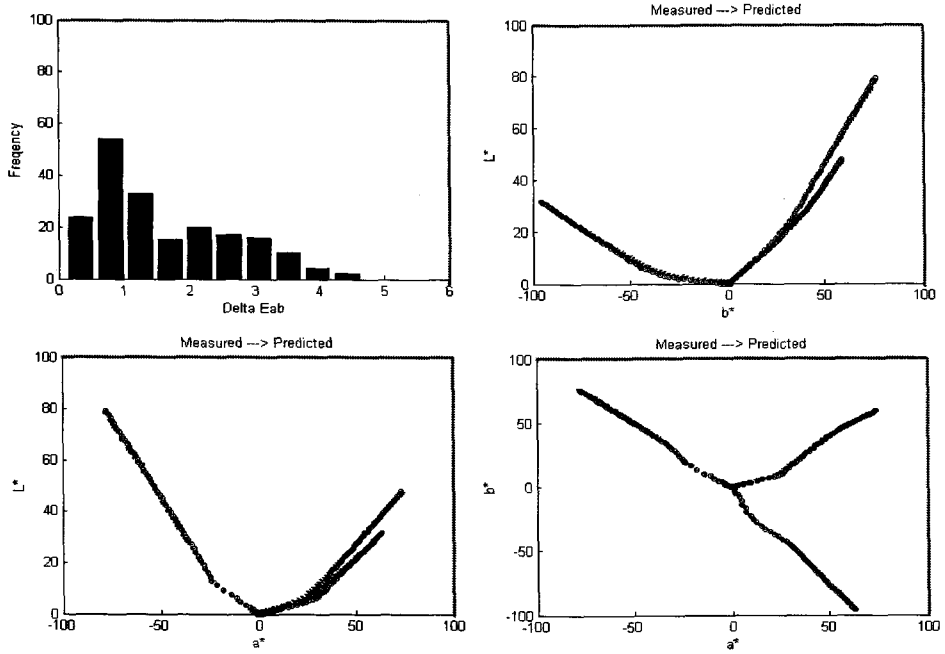


(a) CRT monitor

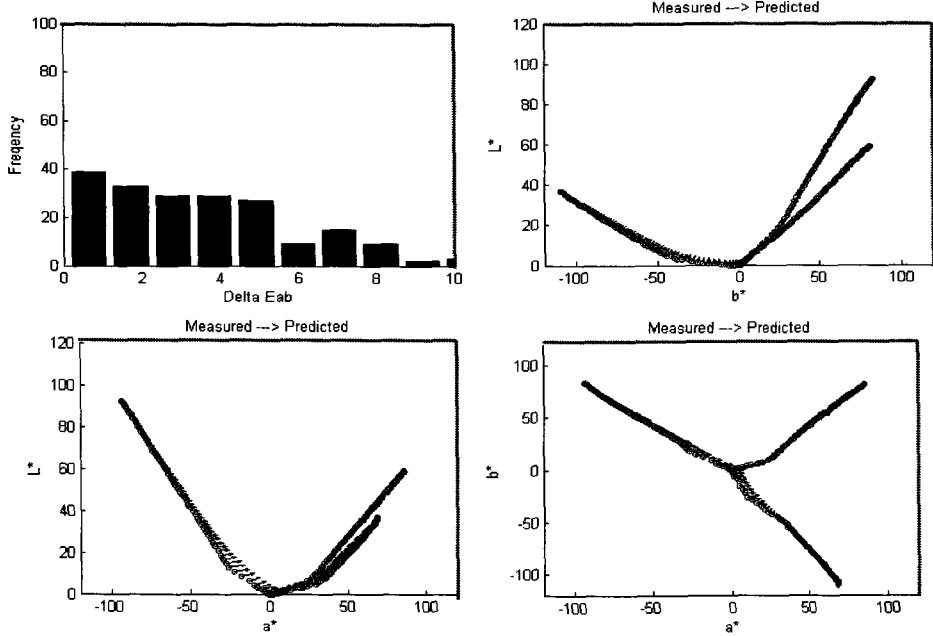


(b) LCD monitor

Fig. 7. RGB to CIELAB color transformation results by GOG model
 [(a) CRT monitor, (b) LCD monitor].

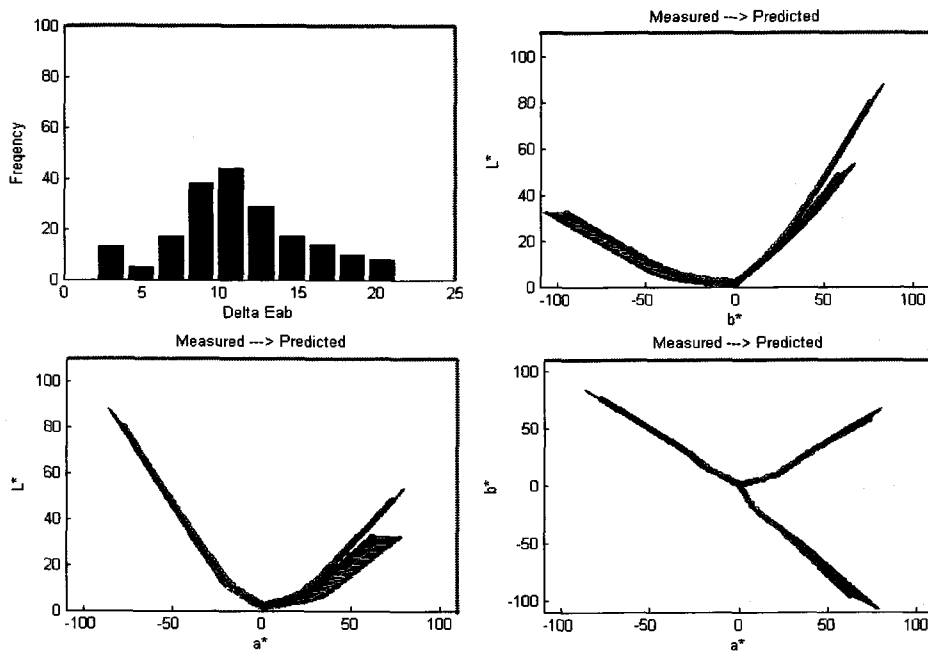


(a) CRT monitor

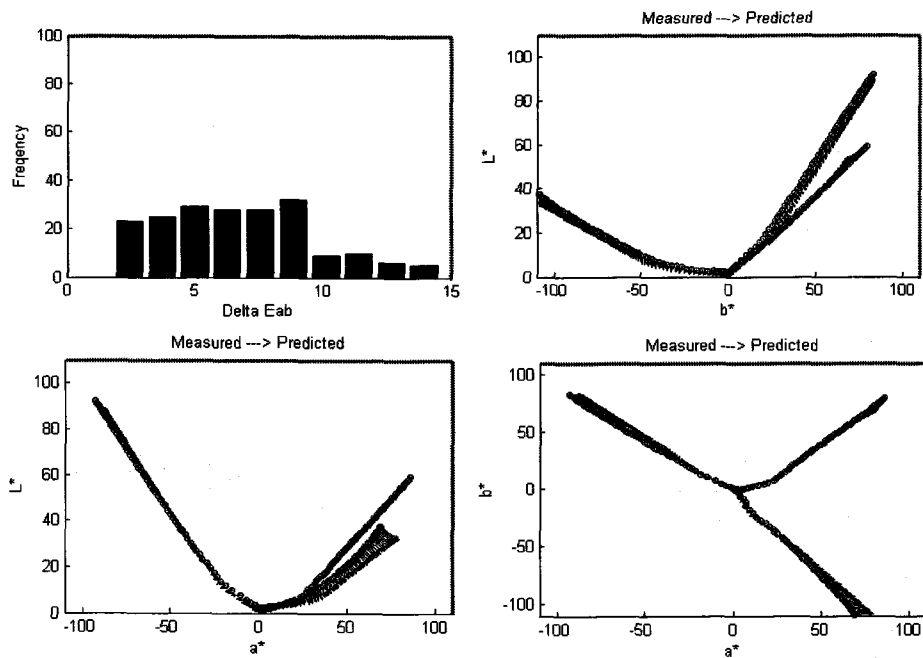


(b) LCD monitor

Fig. 8. RGB to CIELAB color transformation results by GOGO model
 [(a) CRT monitor, (b) LCD monitor].



(a) CRT monitor



(b) LCD monitor

Fig. 9. RGB to CIELAB color transformation results by sRGB model [(a) CRT monitor, (b) LCD monitor].

Table 3. Color Difference Results for Characterization Metho

Output Device	Test Target	GOG	GOGO	sRGB
		ΔE^*_{ab}		
CRT	Linear Target	Avg.= 0.4908 Std.= 0.3404 Max.= 1.9615	Avg.= 0.9820 Std.= 0.8816 Max.= 4.4267	Avg.=12.3592 Std.= 4.1269 Max.=19.5519
	IT 8.7/2 Target	Avg.= 1.9974 Std.= 1.0120 Max.= 5.3149	Avg.= 2.7890 Std.= 2.3330 Max.=17.6020	Avg.= 11.6412 Std.= 3.9512 Max.=18.0916
LCD	Linear Target	Avg.= 1.5573 Std.= 0.9146 Max.= 3.7984	Avg.= 3.7321 Std.= 2.4201 Max.= 9.8429	Avg.= 6.7355 Std.= 2.9302 Max.=14.5712
	IT 8.7/2 Target	Avg.= 1.0099 Std.= 0.8959 Max.= 4.6568	Avg.= 1.1920 Std.= 0.9115 Max.= 5.7680	Avg.=12.4953 Std.= 4.8276 Max.=21.6737

4. 결 론

전자 출판의 원고제작에서 입력 장치에서 색변환, 출력 장치에서 색변환 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

입력 장치인 스캐너와 디지털 카메라에서 선형 다중회귀분석 방법과 sRGB 색공간을 이용하여 색변환한 결과, 선형 다중회귀분석에서 3×20 사이즈의 매트릭스를 이용했을 경우 스캐너가 1.1109, 디지털 카메라가 2.6348로 스캐너가 디지털 카메라보다 색재현이 양호하였다. 또한 sRGB 색공간을 이용한 방법에서는 원고와의 색차가 입력 장치가 스캐너인 경우 11.7266, 디지털 카메라인 경우 18.3239로 sRGB 색공간으로 하는 것보다 선형 다중회귀분석 방법을 이용하는 것이 색변환에서 더 효율적이었다.

또한 출력 장치인 CRT, LCD 모니터에서 GOG, GOGO, sRGB 색공간을 이용하여 색변환한 결과, LCD 모니터에서 R, G, B 신호값의 가색 혼합성이 우수하므로 선형 수식

변환에서 오차가 작아져 GOG 모델로 색변환한 것이 가장 우수하였다. 제한된 조건의 sRGB 색공간을 이용하여 색변환한 결과는 CRT, LCD 모니터 모두에서 IT8.7/2 target 원고와 11이상의 색차를 나타내었다.

참 고 문 헌

- (1) H. R. Kang, "Color Scanner Calibration", *J. Imag. Sci. Tech*, 162 ~ 170 (1992).
- (2) P. C. Hung, "Colorimetric Calibration for Scanners and Media", *Proc. SPIE 1448* 164 ~ 174 (1991).
- (3) P. C. Hung, Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices using a Look-up Table Model and Interpolation, *J. Electronic Imaging*, 2(1), 53 ~ 61 (1993).
- (4) L. T. Maloney, B. A. Wandell, "Color constancy : A Method for recovering Surface Spectral Reflectance", *J. Opt. Soc. Amer. A*, 3(1), 29 ~ 33 (1986).
- (5) H. Haneishi, Y. Miyake, "Colorimetric Precision in Scanner Calibration using Matrices", *IS&T*, pp. 106 ~ 108 (1995).
- (6) R. S. Berns, R. J. Motta, and M. E. Gorzynski, "CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice", *Color Res. Appl.* 18, pp. 299 ~ 314 (1993).
- (7) R. S. Berns, "Methods for characterizing CRT Displays", *Displays*, 16(4), ISSN 0141 ~ 9382, 173 ~ 182 (1996).
- (8) Y. S. Kwak, L. W. MacDonald, "Characterization of a Desktop LCD Projector", *Displays*, 21, 179 ~ 194 (2000).
- (9) K. Naoya, T. Deguchi, and R. S. Berns, "An Accurate Characterization of CRT Monitor(1) Verification of Past Studies and Classification of Gamma", *Optical Review*, 8(5) (2001).