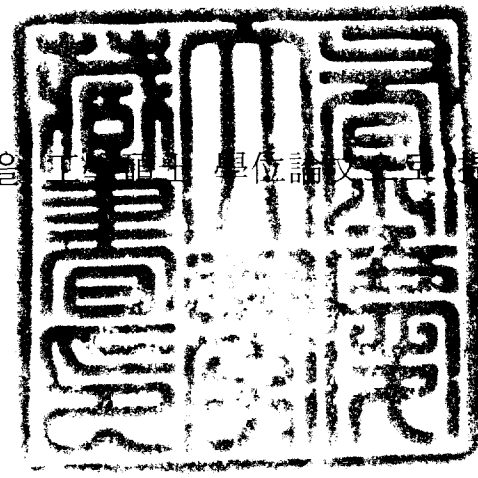
工 學 碩 士 學 位 論 文

디스플레이 특성화과정에서 감마변화를 이용한 컬러이미지의 재현에 관한 연구

指導敎授 具 哲 會



이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2005년 8월

釜 慶 大 學 校 大 學 院

印 刷 工 學 科

李 星 澈

李星澈의 工學碩士 學位論文을 認准함

2005年 8月 31日

主　　審　工學博士　尹 鐘 太

委　　員　工學碩士　孫 世 模

委　　員　工學博士　具 哲 會

목 차

목 차 ····· i

List of Figures ····· iii

List of Tables ····· iv

Abstract ····· v

1. 서 론 ····· 1

2. 이 론 ····· 3

2-1. 디스플레이 장치의 감마 ····· 3

2-2. CRT 컬러 디스플레이 장치의 특성화 ····· 4

2-2-1. 비선형변환 ····· 4

2-2-2. 선형변환 ····· 6

2-3. sRGB(standard RGB) ····· 6

3. 실 험 ····· 8

3-1. 샘플 제작 ····· 8

3-2. 실험 방법 ····· 9

3-2-1. CRT 모니터의 특성 평가 ····· 9

3-2-2. CRT 모니터의 특징 및 설정 조건 ····· 9

3-2-3. CRT 모니터의 GOG 모델 ····· 10

3-2-4. 감마변화에 따른 컬러 이미지의 재현 평가 ····· 10

4. 결과 및 고찰 ····· 11

4-1. CRT 모니터의 특성 평가 ·····11
4-1-1. 시간 안정성 ·····11
4-1-2. 휘도 균일도 ·····12
4-1-3. 형광소자의 특성 ·····13
4-1-4. 색도 균일도 ·····14
4-2. CRT 모니터의 GOG 모델 평가 ·····14
4-3. 감마 변화에 따른 컬러 이미지의 재현 평가 ·····22
4-3-1. 휘도의 변화 ·····22
4-3-2. Target을 이용한 색차 ·····23
4-3-3. 감마 변화에 따른 재현특성 ·····27

5. 결 론 ·····36

참고문헌 ·····37

List of Figures

Fig. 1. Typical transfer function of a CRT display at three different settings of the picture control. ·····3
Fig. 2. Color Checker of GretagMacbeth. ·····8
Fig. 3. Stability time of CRT display. ·····11
Fig. 4. Nine point in CRT display. ·····12
Fig. 5. Spectra sensitivities distribution for $C_{100}B_{50}$. ·····15
Fig. 6. Chromaticity of red, green, blue primaries and neutrals. ·····16
Fig. 7. Color temperature of experiment CRT display. ·····17
Fig. 8. Opto-electronic transfer function of CRT display. ·····20
Fig. 9. Predicted L^* for different gamma values. ·····23
Fig 10. CIE RGB reference data of GretagMacbeth Color Checker. ··24
Fig. 11. Color difference of twenty four color patch. ·····24
Fig. 12. Variety of Lightness values in achromatic color according to variety of gamma. ·····31
Fig 13. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in neutral six color patch. ··31
Fig 14. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch. ·····32
(Dark skin, Light skin, Blue skin, Foliage, Blue flower, Bluish green)
Fig 15. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch. ·····33
(Orange, Purplish blue, Moderate red, Purple, Yellow green, Orange yellow)
Fig 16. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch. ·····34
(Blue, Green, Red, Yellow, Magenta, Cyan)

List of Tables

Table 1. sRGB Parameters of Viewing Environment·····7

Table 2. Physical Characteristics of CRT Display·····9

Table 3. Luminance and Chromatic of White Color at Nine Point in Full Screen·····13

Table 4. Sample Measurement Using Colorimetrically Characterization in Display System·····19

Table 5. Comparison Gain, Offset and Gamma of Ideal CRT Display and Real Measured CRT Display·····20

Table 6. CIE XYZ Tristimulus and CIE L^*_{ab} Value of GOG Model in CRT Display·····21

Table 7. Color Difference of Between Measurement CIE Lab and Calculation GOG Model in CIE Lab·····22

Table 8. Comparison Color Difference of Target Measurement and GOG Model·····25

Table 9. Comparison ΔL^*, ΔC^*_{ab}, ΔH^*_{ab}, of Target Measurement and GOG Model in Color Checker·····26

Table 10. Root Mean Square Error According to Variety of Gamma··27

Table 11. Comparison of ΔL^*, ΔC^*_{ab}, ΔH^*_{ab}, ΔE^*_{ab} for between Gamma Max. Value(3.0) and Gamma Min. Value(1.4) in Color Checker·····35

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

Sung Chul Lee

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School,

Pukyong National University

Abstract

The reproduction of the color image is one of the most important expression factors in graphic arts. The idea of the color has been changed by distributing digital technology. there are differences between the range of the sensation about color which is recognized by human's eyes and the range of color that can be expressed by each digital equipments.

Color monitor system is the representative equipment to contact visual information because most of the information consist of color image.

In case of color monitor system reproducing the visual information, there are several manufacturing companies which separately produce different kinds of display equipments. but not every display can be equal.

The visual information can not be equally reproduced because of differences in reproducing brightness of display equipment, chromaticity of a fluorescent element and the white reference, the property of CRT(Cathode Ray Tube) gamma as well as surrounding circumstances and human's vision.

Current users use two kinds of gamma settings. In case of PC(Personal Computer) system, they use 2.2 gamma value and in case of Mac. system which is mainly used for printing and publishing of a

image, they use 1.8 gamma value.

Besides, even if a number of users download and use the same color information, color images are differently reproduced by separately different gamma setting of display equipment.

The propose of this study is to investigate 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 neutral 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 지각 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 손쉽게 접할 수 있는 대표적인 장치가 컬러 모니터 시스템이다. 또한 시각정보는 인터넷에 국한된 문제가 아니라 컬러 이미지를 재현하는 모든 산업분야에서 적용되고 있다.

시각정보를 재현하는 컬러 디스플레이 시스템의 경우 여러 제조사들이 있으며 각기 다른 종류의 디스플레이 장치를 제조하고 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.

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. 하지만 웹 인쇄물의 경우 동일한 컬러 정보를 다수의 사용자들이 다운로드받아서 사용하므로 각각 다른 디스플레이 장치의 감마 설정으로 인해 컬러 이미지가 사용자의 설정에 따라 다르게 재현된다.

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. 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 CMS의 디스플레이 장치에 해당하는 CRT 모니터에서 특성화 모델을 제작한 뒤 감마 특성에 따른 컬러 이미지의 재현에 대하여 연구하였으며, 이러한 감마특성에 따른 올바른 컬러 이미지의 재현방법에 대해 검토하였다.

2. 이 론

2-1. 디스플레이 장치의 감마

디스플레이 장치는 입력된 전압에 반응하여 이미지를 재현하는 시스템으로 일반적으로 모니터에서 발생된 휘도는 입력된 신호에 대해서 선형으로 반응하지 않는다. 특히 디스플레이 표면인 CRT브라운관에서 생성된 휘도는 거의 2.35~2.55(Poynton, 2002) 범위의 세기에 대략 비례하여 적용된 전압에 의해 올라간다.[1] 이러한 power function의 지수값을 디스플레이 장치에서 감마라 한다.

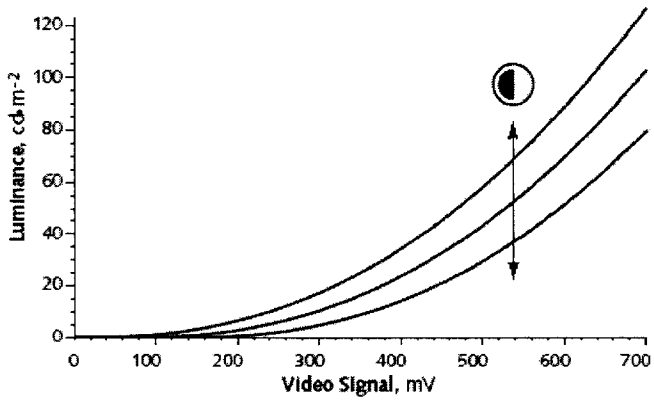


Fig. 1. Typical transfer function of a CRT display at three different settings of the picture control.

Fig. 1은 콘트라스트를 세 가지 다른 방법으로 설정할 때 일반적인 CRT 모니터에 대해 적용된 전압과 디스플레이 된 휘도의 관계를 나타낸 것이다.[1)9)] 그래프에서 x축은 0에서 700㎷까지의 전압을 가진 비디오 신호를 가리킨다. 일반적인 8bit 디지털-아날로그 변환기(Digital Analog Count : DAC)에서 검정색은 0으로, 흰색은 255로 인코딩된다.

CRT 형광소자에 적용된 전압과 디스플레이된 휘도사이의 상관관계는 감마로 설명할 수 있다.[6]

$$L = V^{\gamma} \tag{1}$$

여기서 L은 디스플레이의 휘도이고, V는 적용된 전압(선형적인 RGB 값에 관계)이다.

2-2. CRT 컬러 디스플레이 장치의 특성화

CRT 컬러 디스플레이 장치는 RGB의 가산 혼합에 의해 이미지를 재현하기 때문에 비선형변환과 선형변환의 두 단계를 사용하여 특성화한다.

2-2-1. 비선형변환

비선형변환은 CRT 컬러모니터 상에서 재현되는 컬러의 특별한 RGB의 삼원색 휘도와 그것에 맞는 수학적 픽셀 값 사이의 비선형변환에 의해 나타낸다. 이러한 비선형 특성은 일반적으로 디스플레이 시스템에서 전체적인 광-전기적 전달함수가 비선형적으로 적용되기 때문이다. 특히 Berns는 디지털 모니터 값(DAC값이라고도 함)과 일반적인 CRT장치에 디스플레이 되는 휘도사이의 상관관계에 대해 연구했다.[2)4)] 식 (2)는 Red 채널에서 휘도 L_r과 DAC 값 d_r의 상관관계를 실제적으로 나타낸 식이다.

$$L_{\lambda r} = \begin{cases} k_{\lambda,r}[a_r[(v_{\max} - v_{\min})(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N - 1}) + v_{\min}] + b_r - v_{c,r}]^{\gamma r}; \\ \qquad V_{c,r} \le a_r[(v_{\max} - v_{\min})(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N - 1}) + v_{\min}] + b_r \\ 0; \quad V_{c,r} > a_r[(v_{\max} - v_{\min})(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N - 1}) + v_{\min}] + b_r \end{cases} \tag{2}$$

LUT : 비디오룩업테이블, N : DAC의 bit 수,
v_{min} : 비디오 신호발생기의 최저신호,
v_{max} : 비디오 신호발생기의 최고신호,
a_r : CRT 비디오증폭기의 gain, b_r : CRT 비디오증폭기의 offset,
$v_{c,r}$: cut-off 전압, λ_r : 채널의 감마,
$k_{\lambda,r}$: CRT 형광소자와 브라운관 화면의 조합에 대한 분광상수

식 (2)는 컴퓨터에 의해 조절되는 CRT 디스플레이에서 일반적으로 사용되는 신호처리 과정에 대한 식이다. 따라서 DAC, 비디오 LUT, 비디오 신호 발생기, 비디오 증폭기가 포함된다. 또한 분광방사는 그래픽 디스플레이 카드와 CRT에 의해 의존되기 때문에 디지털 입력함수와 같은 디스플레이 분광의 특성화 또는 컬러매트릭 특성이 그래픽 디스플레이 카드에 독립되게 해야 된다. 디스플레이 장치는 식 (3)과 같이 설명할 수 있다.

$$L_{\lambda,r}=\begin{cases} L_{\lambda,r\,max}[k_{g,r}(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]^{\gamma_r} & ; \quad [k_{g,r}(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]\geq 0 \\ 0; & [k_{g,r}(\dfrac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]<0 \end{cases} \quad (3)$$

$L_{\lambda,rmax}$: Red 채널의 최대 분광방사률,
LUT : 비디오룩업테이블, N : DAC의 bit 수,
$k_{g,r}$: Red 채널의 gain,
$k_{o,r}$: Red 채널의 offset

이것은 디스플레이 장치의 특성인 gain, offset, gamma의 세 가지 요소로 이루어진 것으로 GOG(gain-offset-gamma) 모델이라고 할 수 있다. 이 등식의 내용은 CRT가 고유의 고정된 감마를 가지고 있더라도 시스템의 효과적인 감마는 어떻게 offset과 gain을 조절하는가에 따라 달라진다. 디스플레이 장치에서 Blue와 Green 채널도 비슷한 상관관계로 나타낼 수 있다.

$$R=\begin{cases}[k_{g,r}(\frac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]^{\gamma_r} & ; \ [k_{g,r}(\frac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]\geq 0 \\ 0; & [k_{g,r}(\frac{LUT_r(d_r)}{2^N-1})+k_{o,r}]<0\end{cases}$$

$$G=\begin{cases}[k_{g,g}(\frac{LUT_g(d_g)}{2^N-1})+k_{o,g}]^{\gamma_g} & ; \ [k_{g,g}(\frac{LUT_g(d_g)}{2^N-1})+k_{o,g}]\geq 0 \\ 0; & [k_{g,g}(\frac{LUT_g(d_g)}{2^N-1})+k_{o,g}]<0\end{cases}$$

$$B=\begin{cases}[k_{g,b}(\frac{LUT_b(d_b)}{2^N-1})+k_{o,b}]^{\gamma_b} & ; \ [k_{g,b}(\frac{LUT_b(d_b)}{2^N-1})+k_{o,b}]\geq 0 \\ 0; & [k_{g,b}(\frac{LUT_b(d_b)}{2^N-1})+k_{o,b}]<0\end{cases} \quad (4)$$

2-2-2. 선형변환

선형변환은 세 개의 형광소자와 장치독립적인 CIE XYZ 삼자극치 사이의 다중 선형 변환이다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r,\max & X_g,\max & X_b,\max \\ Y_r,\max & Y_g,\max & Y_b,\max \\ Z_r,\max & Z_g,\max & Z_b,\max \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

XYZ : 각각의 전자총에서 최고의 DAC 값(2^N-1, 여기서 N은 DAC에서 비트의 수),
RGB : 정규화(0~1범위)된 DAC값

실험에 사용되는 값은 DAC에 입력되는 RGB 각각의 최대 삼자극치로 만들어진 3×3 매트릭스의 역변환을 이용하여 계산할 수 있다.

2-3. sRGB(standard RGB)

sRGB 색공간은 현재 존재하는 여러 종류의 색공간들을 하나의 표준 색공간으로 정의하여 인터넷 사용 환경을 평준화한 표준 색공간이다. sRGB 색공간의 장점은 색정보 전달에 있어 저비용, 계산의 효율성, 최종 사용자들에게 신뢰성

제공, 그리고 무엇보다도 간단하게 색정보를 처리할 수 있는 특성을 가진 sRGB 색공간은 장치독립적인 색공간이다. sRGB 색공간에서 제안된 표준은 두 부분이 있다. 하나는 인간 시각계에 영향을 주는 기준 가시 환경에 대한 정의이고, 다른 하나는 표준 장치계의 측색적 정의와 변환들이다. 가시 환경은 표준과 대상 가시 환경간의 변환을 위해 필요한 정보를 제공하는 것이고, 측색적 정의는 sRGB 색공간과 CIE 2° 관찰자 색공간의 변환을 위해 필요한 정보를 제공한다.

sRGB 기준 가시 환경은 table 1에서와 같이 실제 모니터 디스플레이를 볼 때의 조건과 유사하다.[7]

Table 1. sRGB Parameters of Viewing Environment

Condition	sRGB
Luminance Level	80 cd/㎡
Illuminant White	D_{65} (x=0.3127, y=0.3290)
Image Surround	20% Reflectance
Encoding Ambient Illuminance Level	64 lux
Encoding White Point	D_{50} (x=0.3457, y=0.3585)
Encoding Viewing Flare	1.0%
Typical Ambient Illuminance Level	200 lux
Typical White Point	D_{50} (x=0.3457, y=0.3585)
Typical Viewing Flare	5.0%

3. 실 험

3-1. 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 GOG모델를 다른 매체에 적용 평가하기 위해 fig 2.에 나타낸 GretagMacbeth의 Color Checker는 이용하였는데, Colo Checker는 색영역 전반에 걸쳐 골고루 분포되어 있는 24색으로 구성되어 있으며, 무광택 원고로 인쇄물 평가 사용에 용이하다. Color Checker는 캘리브레이션 되어 있는 FIJIFILM의 FineScan 2750에서 150ppi 해상도로 스캔 받아 MATLAB 7.0 에플리케이션의 히스토그램기술을 이용하여 입력되는 RGB 컬러값을 구하였다.

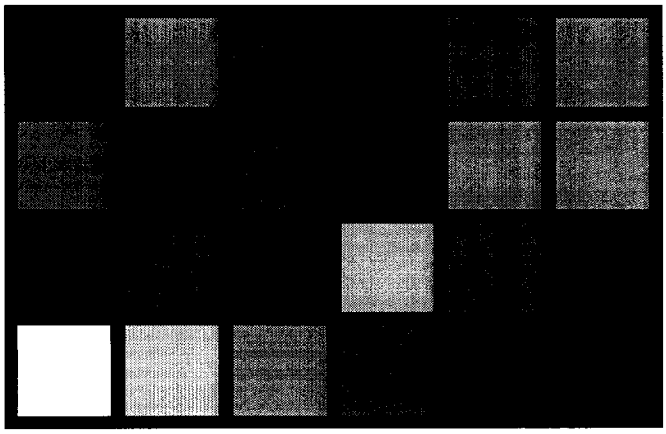


Fig. 2. Color Checker of GretagMacbeth.

3-2. 실험 방법

3-2-1. CRT 모니터의 특성 평가

실험에 사용된 CRT 모니터의 기본 특성을 평가하기 위해 모니터의 시간 안정성, 휘도 균일도, 형광소자의 특성 및 색도 균일도를 측정하였다. 이때 측색에 사용된 장비는 GretagMacbeth의 EyeOne을 사용하였으며, MATLAB 7.0 에플리케이션을 통해 측색값을 비교하였다.[8)10)]

3-2-2. CRT 모니터의 특징 및 설정 조건

디스플레이 장치인 CRT 모니터의 감마를 측정하기 위해 캘리브레이션 조건을 sRGB 색공간 조건으로 한정하였다. sRGB 색공간의 조건인 감마값은 2.2, white point는 D65, 휘도는 80cd/㎡의 조건으로 설정한 국내 A사의 제품을 GretagMacbeth의 EyeOne을 사용하여 측색하였다. 실험에 사용한 A사 모니터의 자세한 사양은 table 2와 같다.[7)]

Table 2. Physical Characteristics of CRT Display

Condition	Parameter
Viewing Size	19" Diagonal
Cathode Ray Tube	Dynamic Flat
Resolution	72ppi
Pixel Pitch	0.22mm
Number of Pixels	1920×1200V @ 64Hz
Bit per Channel	8

3-2-3. CRT 모니터의 GOG 모델

감마에 따른 디지털 컬러이미지의 재현을 실험하기 위해서 모니터의 특성화 단계가 필요하다. 여러 가지의 특성화 모델 중 Berns가 제안한 GOG 모델이 가장 우수한 결과를 나타내는 것으로 보고되어져 있다.[2)4)5)] 따라서 본 실험에서는 GOG의 수학적 모델을 선택하여 앞에서 제작한 132개의 샘플에 모니터 특성화모델을 적용하였다.

3-2-4. 감마 변화에 따른 컬러 이미지의 재현 평가

실험을 통해 구해진 GOG 모델의 매개변수 중 감마값을 1.4에서 3.0까지 0.2씩 더하여 9단계로 적용하였다. 이 때 감마의 변화에 따른 컬러 이미지의 변화를 비교하기 위하여 CIE ΔE^*_{ab}의 색차를 이용하였으며, 또한 CIE Lab에서 평가를 하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. CRT 모니터의 특성 평가

4-1-1. 시간 안정성

디스플레이 장치는 전기 신호의 변화에 따라 색 재현의 특성이 달라지므로, 이러한 까닭에 모니터가 일정한 휘도를 발산하게 하기 위하여 준비 시간이 필요하다. 이것을 시간 안정성이라 한다. 이를 위해서 먼저 암실의 조건에서 디스플레이 전체 화면에 RGB를 각각 255, 255, 255의 값으로 설정하여 white가 재현되도록 하였다. 그리고 디스플레이 장치에 전원을 켠 직후부터 1분 간격으로 60분 동안 short term stability를 진행하며, 그 후 1시간동안 long term stability를 실험하였다. 그리고 다시 전원을 끄고, 모니터의 열이 제거된 후 다시 실험을 하였다. 이 실험 과정을 총 3회 실시하였고, 측정한 결과 값은 거의 비슷한 경향을 얻을 수 있었으며, 그 결과를 fig. 3에 나타내었다.

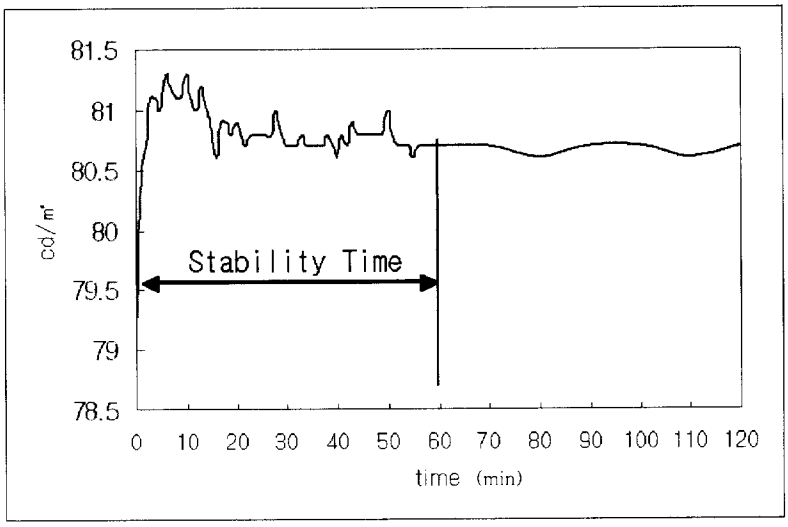


Fig. 3. Stability time of CRT display.

Fig. 3의 결과와 같이 CRT 디스플레이 장치에 전원을 켠 후 휘도가 급격히 증가하다가 시간이 경과하면서 조금씩 감소하는 결과를 보였다. 또한 60분이 경과된 후 모니터의 휘도는 80.7 cd/㎡으로 안정화되었다. 따라서 이 실험모니터의 경우 최소 한 시간이 경과 후 휘도의 안정성을 보였으므로, 연구에서는 정확한 평가를 위해서 모든 실험은 디스플레이 장치에 전원을 켠 후 1시간이상 경과된 후부터 진행하는 것이 바람직하다고 사료된다.

4-1-2. 휘도 균일도

디스플레이 장치의 휘도 균일도를 평가하기 위하여 디스플레이 장치의 전화면(full screen)에 white(255, 255, 255)를 재현시키고, fig. 4와 같이 9지점에서 휘도와 u'v'를 측정하였다. 각 지점에서 10회 측정된 값의 평균치와 표준편차를 구하여 table 3에 나타내었다. 이 때 휘도 균일도와 색도 균일도는 식(5), (6)으로 계산하였다.[8]

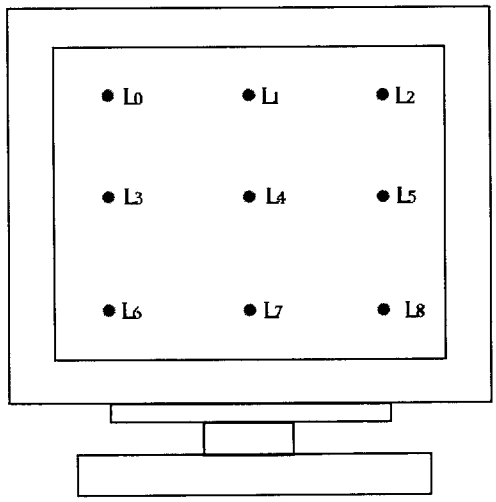


Fig. 4. Nine point in CRT display.

$$Luminance\ uniformity = \frac{\max(L_0, L_1, \cdots L_8) - \min(L_0, L_1, \cdots L_8)}{\max(L_0, L_1, \cdots L_8)} \times 100(\%) \qquad (5)$$

$$Chromatic\ uniformity \quad u'_a = \frac{1}{9}\sum_{i=0} u' \qquad \Delta u' = \max(|u'_i - u'_a|)$$
$$v'_a = \frac{1}{9}\sum_{i=0} v' \qquad \Delta v' = \max(|v'_i - v'_a|) \qquad (6)$$

Table 3. Luminance and Chromatic of White Color at Nine Point in Full Screen

		L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
Average	X	76.11	76.25	76.51	73.86	80.42	76.65	82.01	80.87	78.47
	Y	80.23	80.54	80.43	77.97	80.83	80.83	86.51	85.06	82.67
	Z	92.60	91.35	91.78	91.10	93.98	89.36	99.57	96.20	92.52
Chromatic	u'	0.1955	0.1957	0.1964	0.1948	0.1968	0.1969	0.1955	0.1966	0.1967
	v'	0.4637	0.4651	0.4645	0.4627	0.4670	0.4672	0.4653	0.4653	0.4662

그 결과 휘도 균일도는 약 9.8%이며, 색도 균일도는 Δu'가 0.0204, Δv'가 0.0486으로 평가되었다. 전체 휘도균일도와 이후 본 실험에서는 L_4지점에서 색재현을 실행하여 측정하였다.

4-1-3. 형광소자의 특성

실험에 이용한 디스플레이 장치 형광소자의 특성을 알아보기 위하여 최적의 대비(contrast)와 밝기(brightness)를 각각 100과 50($C_{100}B_{50}$)으로 설정한 후 디스플레이 장치의 L_4부분에서 400pixel × 400pixel의 컬러 이미지를 고정시킨 후 각 형광소자 방출량을 0에서 255까지 16단계씩 증가시키면서 무채색과 삼원색의 17단계를 측정한 결과를 fig. 5에 나타내었다. Fig. 5의 (a)와 같이 디스플레이 장치에서 삼원색중 R형광소자는 630nm, G형광소자는 530nm, B형광소자는 450nm에서 최대의 Y value를 나타내고, 신호의 pitch가 가장 크게 나타났다.

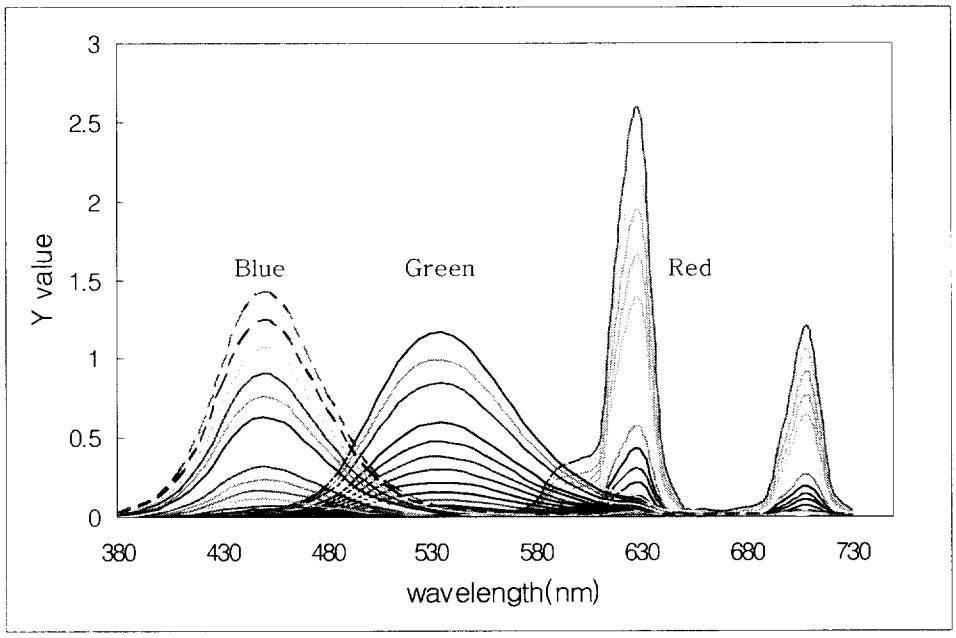
특히 모니터의 Green, Red 형광소자가 각각 독립적으로 발광하는 것이 아니라 파장의 경계부분에서 상호 영향을 줌으로써 Blue와 Green 혼합된 색이나 Green과 Red가 혼합된 색을 재현하면서, 어느쪽 형광소자의 발광량이 많은가에 따라 색이 달라질 것이라고 사료된다. 또한 Red 형광소자의 파장영역이 상대적으로 650㎚~680㎚에서는 발광량이 매우 낮음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 5(b)와 같이 무채색의 경우는 RGB 형광소자를 모두 이용하므로 RGB형광소자의 적산량과 비슷하다고 할 수 있다.

4-1-4. 색도 균일도

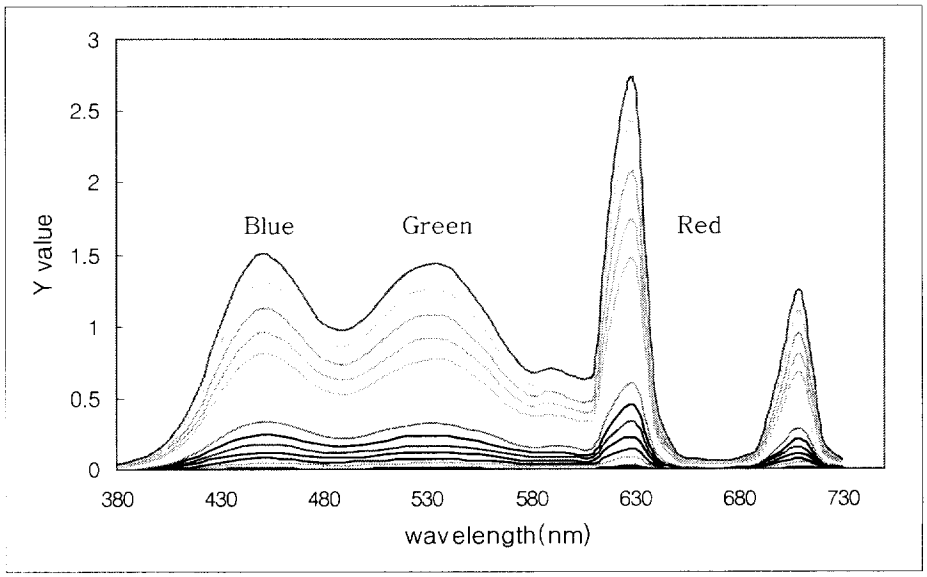
본 실험에서는 앞에서 제작한 RGB 삼원색과 무채색을 0에서 8단계씩 증가하여 총 33단계를 만들어 총 132의 패치를 측정했던 결과는 fig. 6과 같다. CIE xyY색도도를 보게 되면 RGB 삼원색의 높은 입력 값에서는 white point에 가깝게 나타났으며, 또한 RGB 삼원색의 입력 값이 증가할수록 색영역 가장자리로 이동하는 것을 알 수 있다. 적색 실선은 sRGB 색공간을 가리킨다. sRGB 색공간과 비교하였을 때 Red, Blue, Green색상이 sRGB 색공간범위에 비교적 완벽하게 들어가 있다고 볼 수 있다. 하지만 Blue의 경우 높은 입력값일 때 sRGB 색공간을 조금 벗어나 있지만, 실험모니터를 sRGB 색공간조건에 맞추어 캘리브레이션한 결과는 비교적 잘 교정되었다고 할 수 있다. 무채색의 경우 white의 경우 D65에 상당히 근접한 결과를 나타내고 있다.

4-2. CRT 모니터의 GOG 모델의 평가

디스플레이 장치의 특성화를 하기 위해 총 36개의 삼자극치를 table 4에 나타내었다. Table 4에서 상단의 3행 값은 선형변환 매트릭스를 평가하는데 사용하였으며, 나머지 하단의 33행의 값은 GOG 모델의 gain과 offset, 그리고 gamma 값을 구하는데 사용하였다.



(a) Strength of Red, Green, Blue



(b) Strength of neutral color

Fig. 5. Spectra sensitivities distribution for $C_{100}B_{50}$.

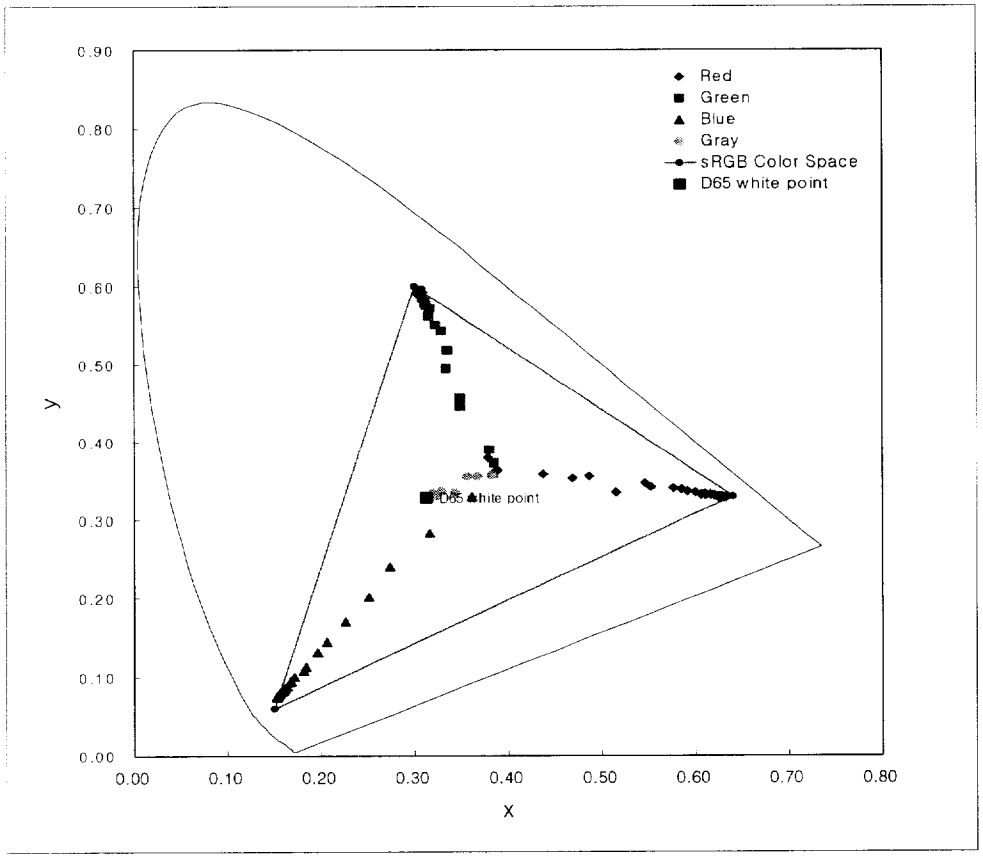


Fig. 6. Chromaticity of red, green, blue primaries and neutrals.

각 채널의 최대 입력 값에 대한 삼자극치를 측정한 결과 식 (7)과 같은 3×3 변환 매트릭스를 구할 수 있었다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33.85 & 29.50 & 14.94 \\ 17.41 & 58.06 & 7.10 \\ 1.86 & 9.82 & 77.63 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{7}$$

이 때 매트릭스에 부합하는 white point의 값은 6482.4K(82.57lx)로 측정되었으며, fig. 7에 나타내었다. 실험 모니터의 white point는 색온도 곡선상에

존재하지만 원래 캘리브레이션 설정광원 D_{65}에 조금 못 미치게 캘리브레이션 되어 있다고 볼 수 있다.

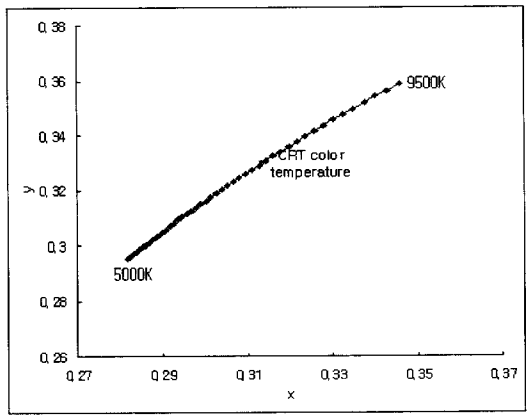


Fig. 7. Color temperature of experiment CRT display.

또한 GOG 모델에 필요한 무채색의 RGB 삼자극치를 구하기 위해 식 (7)의 역행렬을 구한 식은 식 (8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0397 & -0.0192 & -0.0059 \\ -0.0120 & 0.0233 & 0.0002 \\ 0.0006 & -0.0025 & 0.0130 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{8}$$

식 (8)에 측정된 CIE XYZ 삼자극치를 대입하여 RGB를 구한 결과는 fig. 8과 같다. Fig. 8에서 각 채널의 매개변수인 gain, offset, gamma를 각각 구하기 위하여 회귀 분석(regression analysis)프로그램의 최소자승법의 최적화 방법으로 변수를 계산한 결과는 table 5와 같다. 이상적인 모니터에서의 변수 값과는 gamma 값을 제외하고는 약간의 차이를 보였다. 이상적인 모니터에서는 gain과 offset의 합이 1이지만 실제 모니터에서 측정하여 계산한 결과 gain과 offset의 합은 1이 되지 않음을 알 수 있었다.

$$R/R_{\max}=\begin{cases}[0.9923(\frac{d_r}{2^N-1})+0.0083]^{2.2224}\ ;\ [0.9923(\frac{d_r}{2^N-1})+0.00083]\geq 0\\ 0;\qquad\qquad\qquad\qquad\quad [0.9923(\frac{d_r}{2^N-1})+0.0083]<0\end{cases}$$

$$G/G_{\max}=\begin{cases}[0.9996(\frac{d_g}{2^N-1})+0.0003]^{2.2015}\ ;\ [0.9996(\frac{d_g}{2^N-1})+0.0003]\geq 0\\ 0;\qquad\qquad\qquad\qquad\quad [0.9996(\frac{d_g}{2^N-1})+0.0003]<0\end{cases}$$

$$B/B_{\max}=\begin{cases}[1.0030(\frac{d_b}{2^N-1})-0.0003]^{2.1964}\ ;\ [1.0003(\frac{d_b}{2^N-1})-0.0003]\geq 0\\ 0;\qquad\qquad\qquad\qquad\quad [1.0003(\frac{d_b}{2^N-1})-0.0003]<0\end{cases} \quad (9)$$

dr, dg, db : RGB 각각의 채널당 입력값, N : DAC의 bit 수

실험시 sRGB 색공간에 준하는 조건으로 실험을 하였기에, 각 채널별 감마값을 분석해 본 결과 유효소수점 2자리까지를 볼 경우, 감마값 2.2에는 거의 비슷하게 나타났다. 하지만 각 채널별 gain과 offset값은 동일하지 않았는데, 이러한 특성은 무채색을 재현할 때 각각의 형광소자가 동일한 값을 방출하는 것이 아니라 서로의 상호관계에 의하여 색을 재현하는 결과에서 발생한 오차라고 사료된다. 특히 모니터 브라운관의 flare 현상이나 측정장비의 오차로 인한 것으로 판단되며, 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 모니터의 특성화가 필요한 것으로 사료된다.

식 (9)는 table 5의 gain, offset, gamma 값을 각각 대입하여 구한 GOG 모델 함수이다. 이렇게 만들어진 GOG모델은 실험 모니터의 측정 데이터와 검증과정이 필요하다. table 6은 식 (9)에 RGB 입력값(0~255 level)을 대입하여 구해진 RGB값을 식 (7)의 3×3 매트릭스에 대입하여 CIE Lab값으로 나타내었다. L의 값은 최소 0에서 최대 100으로 한정하였다.

Table 4. Sample Measurement using Colorimetrically Characterization in Display System

$d_r/d_{r.max}$	$d_g/d_{g.max}$	$d_b/d_{b.max}$	X	Y(Lm/m²)	Z
1	0	0	33.85	17.41	1.86
0	1	0	29.50	58.06	9.82
0	0	1	14.94	7.1	77.63
$d_{r,g,b}/d_{r,g,b\ max}$			X	Y(Lm/m²)	Z
0.0000			0.0000	0.0000	0.0000
0.0314			0.1500	0.1300	0.0800
0.0627			0.3100	0.3200	0.2700
0.0941			0.5500	0.5400	0.5700
0.1255			0.9000	0.9400	1.0000
0.1569			1.3800	1.4400	1.5600
0.1882			2.0400	2.1000	2.2700
0.2196			2.8400	2.9800	3.1700
0.2510			3.7800	3.9500	4.3800
0.2824			4.8800	5.1100	5.6000
0.3137			6.1900	6.4900	7.0500
0.3451			7.6100	7.9700	8.6400
0.3765			9.1700	9.6100	10.4200
0.4078			10.9000	11.4000	12.4100
0.4392			12.8700	13.5300	14.8300
0.4706			15.0000	15.7400	17.2000
0.5020			17.3300	18.2800	20.0000
0.5333			19.8500	20.9100	22.7000
0.5647			22.3500	23.5700	25.6700
0.5961			25.2600	26.6200	28.9300
0.6275			28.0900	29.5800	32.3200
0.6588			31.3600	32.9400	36.0100
0.6902			34.9700	36.7800	39.9400
0.7216			38.3800	40.4000	44.1500
0.7529			42.0500	44.2500	48.3900
0.7843			46.0600	48.4500	52.4300
0.8157			50.0800	52.7500	57.1700
0.8471			54.7500	57.6200	62.7200
0.8784			59.1500	62.2600	67.9600
0.9098			64.0700	67.3400	73.4000
0.9412			68.7600	72.2500	79.1000
0.9725			73.9900	77.9600	85.0400
1.0000			78.5400	82.7400	89.6700

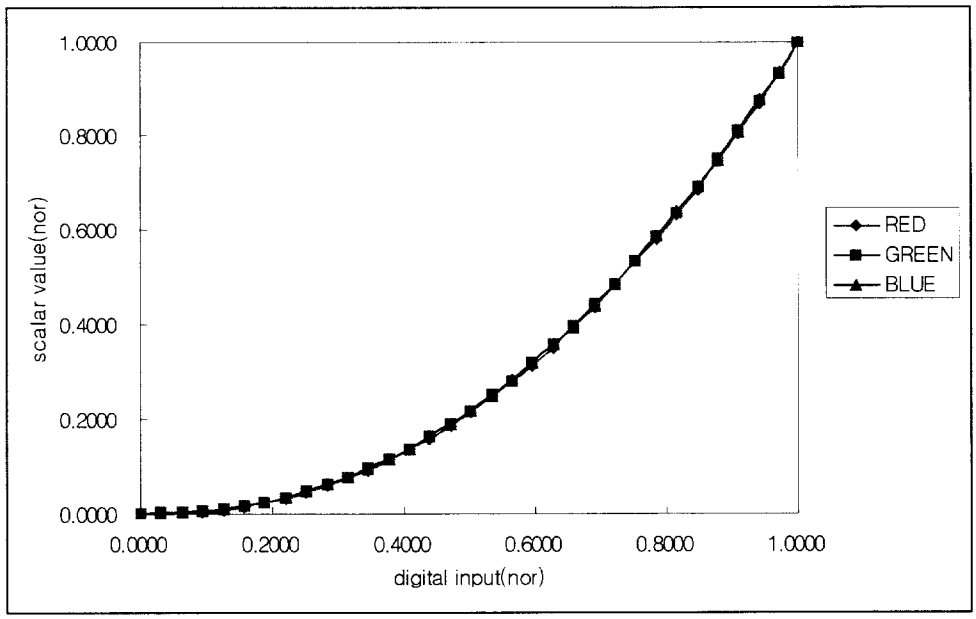


Fig. 8. Opto-electronic transfer function of CRT display.

Table 5. Comparison Gain, Offset and Gamma of Ideal CRT Display and Real Measured CRT Display

	Ideal CRT Display			Real Experiment CRT Display		
	Red	Green	Blue	Red	Green	Blue
Gain	1.0000	1.000	1.000	0.9923	0.9996	1.0030
Offset	0	0	0	0.0083	0.0003	−0.0003
Gamma	2.200	2.200	2.200	2.2224	2.2015	2.1964

Table 6. CIE XYZ Tristimulus and CIE Lab Value of GOG Model in CRT Display

L	X	Y	Z	L^*	a^*	b^*
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0314	0.0493	0.0465	0.0452	0.5086	1.5640	0.5772
0.0627	0.1970	0.1986	0.2063	2.1721	1.0129	0.3576
0.0941	0.4558	0.4670	0.5003	5.1075	0.8608	0.1152
0.1255	0.8462	0.8751	0.9383	9.4803	0.7201	0.1285
0.1569	1.3663	1.4218	1.5279	13.9547	0.5773	0.1119
0.1882	2.0288	2.1178	2.2860	18.2097	0.5054	0.0402
0.2196	2.8322	2.9625	3.2050	22.2593	0.4542	−0.0043
0.2510	3.7889	3.9706	4.3023	26.1828	0.3871	−0.0430
0.2824	4.8957	5.1362	5.5771	29.9620	0.3484	−0.1026
0.3137	6.1611	6.4681	7.0229	33.6335	0.3285	−0.1096
0.3451	7.5856	7.9705	8.6637	37.2124	0.2849	−0.1508
0.3765	9.1778	9.6481	10.4922	40.7106	0.2655	−0.1764
0.4078	10.9345	11.4991	12.5083	44.1273	0.2492	−0.1957
0.4392	12.8634	13.5317	14.7209	47.4797	0.2353	−0.2104
0.4706	14.9612	15.7443	17.1297	50.7664	0.2121	−0.2254
0.5020	17.2376	18.1460	19.7362	54.0021	0.1876	−0.2229
0.5333	19.6925	20.7326	22.5549	57.1816	0.1848	−0.2432
0.5647	22.3227	23.5067	25.5711	60.3099	0.1696	−0.2507
0.5961	25.1363	26.4723	28.7928	63.3928	0.1641	−0.2539
0.6275	28.1344	29.6344	32.2287	66.4359	0.1518	−0.2586
0.6588	31.3174	32.9889	35.8780	69.4358	0.1510	−0.2696
0.6902	34.6884	36.5416	39.7416	72.3988	0.1501	−0.2788
0.7216	38.2472	40.2924	43.8196	75.3254	0.1491	−0.2864
0.7529	42.0018	44.2496	48.1208	78.2223	0.1480	−0.2928
0.7843	45.9443	48.4050	52.6364	81.0839	0.1469	−0.2981
0.8157	50.0844	52.7679	57.3677	83.9172	0.1484	−0.2938
0.8471	54.4183	57.3361	62.3298	86.7212	0.1471	−0.2979
0.8784	58.9543	62.1183	67.5164	89.5011	0.1436	−0.2950
0.9098	63.6879	67.1036	72.9332	92.2512	0.1529	−0.3013
0.9412	68.6202	72.3011	78.5743	94.9768	0.1553	−0.3024
0.9725	73.7595	77.7151	84.4477	97.6804	0.1611	−0.3018
1.0000	78.4163	82.6229	89.7685	100.0000	0.1618	−0.2989

Table 7은 측정된 데이터의 CIE Lab값과 GOG 모델에서 계산해서 얻은 CIE Lab값을 이용하여 CIE ΔE^*_{ab}를 나타내었다. Table 7과 같이 최대 색차는 7.1345이였으며, 또한 측정값과 계산값의 차이를 알아보기 위하여 식 (10)을 사용하여 평균제곱근오차(Root Mean Square Error)를 구한 결과 2.0596으로 상당히 양호했으므로 모니터 특성화 모델에 GOG모델의 타당하다고 사료된다.

$$\Delta E^*_{abrms} = \sqrt{\frac{\sum \Delta E^{*2}_{ab}}{N_S}} \tag{10}$$

Table 7. Color Difference of Between Measurement CIE Lab and Calculation GOG Model in CIE Lab

$\Delta E_{ab.average}$	$\Delta E_{ab.rms}$	$\Delta E_{ab.highest}$
4.2421	2.0596	7.1345

4-3. 감마 변화에 따른 컬러 이미지의 재현평가

4-3-1. 휘도의 변화

감마 변화에 따른 휘도의 변화를 알아보기 위해 무채색을 GOG모델에서 gain과 offset의 값을 고정시킨 뒤 감마값 1.4에서 3.0까지 0.2단계씩 변화시킨, 결과 fig. 9와 같은 결과를 얻었다. Fig. 9에서와 같이 감마값이 1.4와 1.6일 경우에는 선형적인 곡선을 나타내다가 감마값이 증가할수록 점점 비선형적인 곡선으로 변화되었다. 특히 감마값이 증가할수록 입력되는 RGB 신호값에 따라 저입력보다 고입력에서 휘도의 변화가 크게 나타났다. 이것은 모니터의 감마값은 휘도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

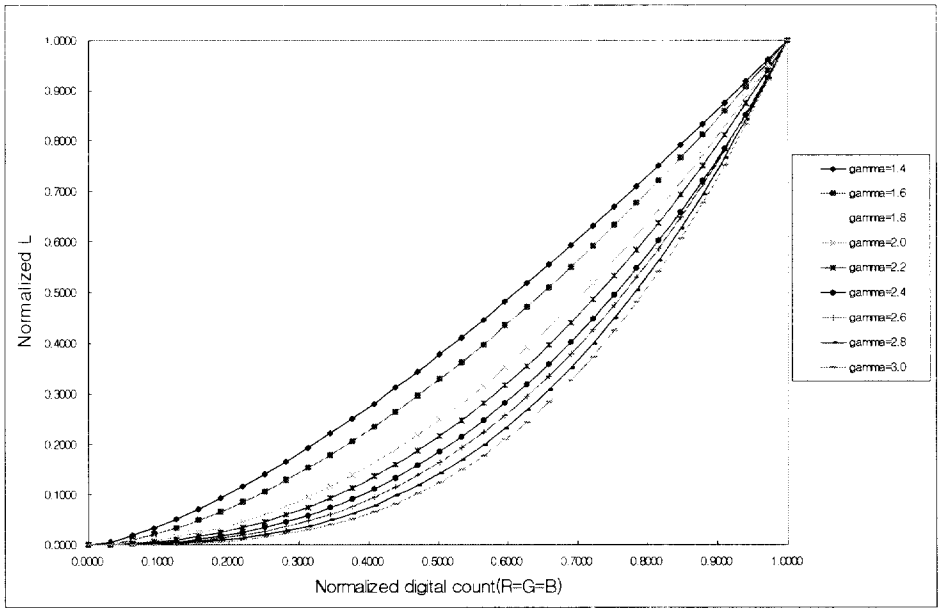


Fig. 9. Predicted L^* for different gamma values.

4-3-2. Target을 이용한 색차

Fig. 10은 인쇄물에 적용시키기 위해서 스캔 받아진 GretagMacbeth의 Color Check의 RGB입력 신호값을 측정한 것이다. Fig. 10에서 측정된 RGB 신호값을 식 (6)의 GOG모델에 적용하였다. 먼저 입력된 신호값에 대한 CIE $L^*a^*b^*$값을 측정하고, GOG모델을 이용하여 계산한 CIE $L^*a^*b^*$값 사이의 색차 ΔE^*_{ab}를 구하였다. 그 결과를 table 8, fig. 11에 각각 나타내었다. Table 8의 결과와 같이 색차가 2이하인 purple 패치에서 가장 적은 색차를 얻었으나, Green 색성분이 포함되어 있는 패치의 경우 다른 패치보다 11이상의 높은 색차를 나타내었으며, 특히 green 패치에서 11.9434로 가장 큰 색차를 나타내었다. 이러한 것은 table 9에서 살펴보면, Green 색성분이 많이 포함되어 있는 패치의 경우 11이상의 명도차로 인해 색차에 많은 영향을 준 것이라고 사료된다. 또한 파장별 Green과 Blue 형광소자 경계부분에 있어서 불확실한 상호관

계가 영향을 미친것이라 사료된다. 또한 이때, 주어진 패치의 식 (10)의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error)는 2.4359이였다.

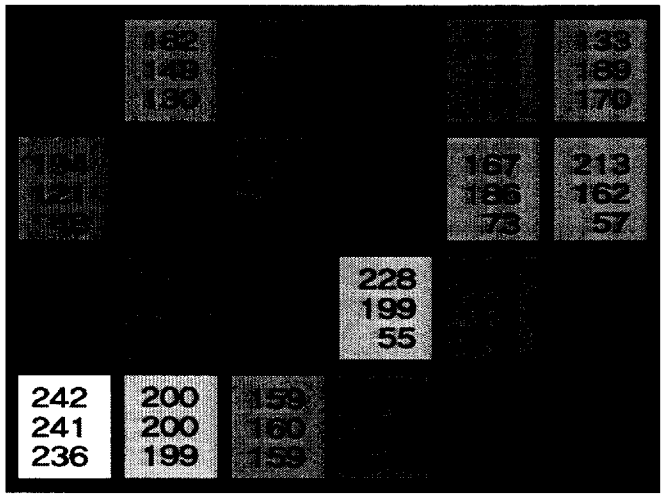


Fig. 10. CIE RGB reference data of GretagMacbeth Color Checker.

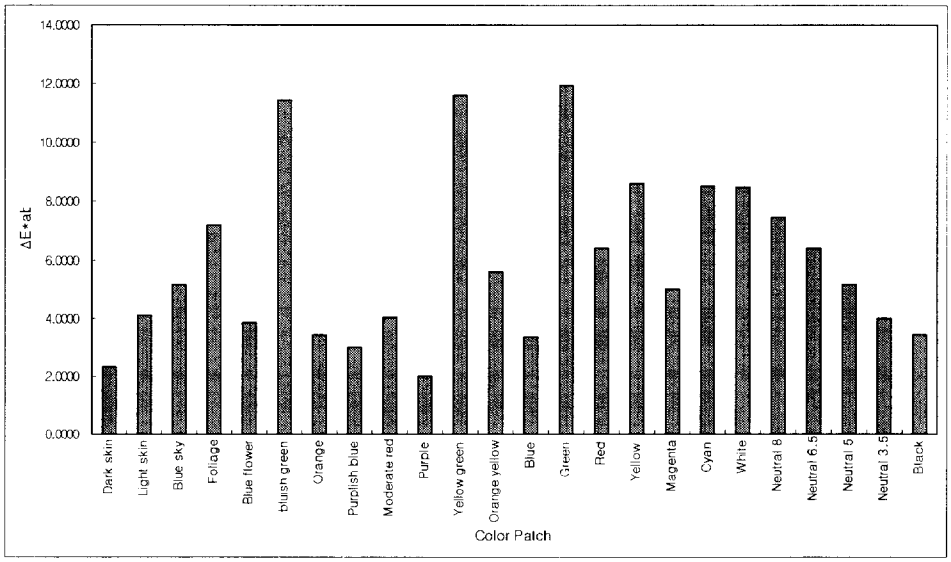


Fig. 11. Color difference of twenty four color patch.

Table 8. 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	34.3345	8.4092	11.8314	36.3205	9.2621	12.7019	2.3301
Light Skin	60.7198	8.9959	13.4879	64.6194	9.9221	14.2648	4.0827
Blue Sky	46.3918	0.4510	-18.3768	51.4153	0.3908	-19.5991	5.1703
Foliage	36.4612	-11.4562	19.6751	43.5522	-11.8002	20.8702	7.1992
Blue Flower	52.6638	8.6657	-22.4604	55.9764	9.8996	-24.0399	3.8719
Bluish Green	61.4899	-20.7540	3.3998	72.8711	-21.7777	3.3765	11.4272
Orange	56.8016	21.5857	47.8901	57.4798	23.5181	50.6330	3.4231
Purplish Blue	40.1143	13.3057	-37.5243	41.3771	14.2861	-40.0721	3.0079
Moderate Red	49.9897	34.3283	8.6697	46.9169	36.9146	9.0452	4.0338
Purple	30.4000	18.1152	-20.8278	29.9616	19.2812	-22.3716	1.9837
Yellow Green	61.0367	-20.0269	50.7499	72.2173	-20.9490	53.7040	11.6009
Orange Yellow	65.2316	8.7197	56.1801	69.7749	9.7734	59.2616	5.5900
Blue	31.9205	21.9131	-46.7092	30.6533	23.3429	-49.4829	3.3680
Green	44.9416	-27.6053	31.7329	56.6927	-28.9215	33.4133	11.9434
Red	41.4220	43.1507	18.0177	35.7682	45.9051	19.0675	6.3761
Yellow	72.6741	-2.7982	66.8346	80.4778	-2.9351	70.5071	8.6258
Magenta	51.5420	38.7837	-17.9868	47.5084	41.4734	-19.1768	4.9920
Cyan	44.9416	-14.1488	-20.4463	53.2723	-14.3501	-22.1463	8.5048
White	86.7708	-0.3819	1.9833	95.2434	-0.2781	2.1033	8.4741
Neutral 8	73.6492	-0.3895	0.7821	81.0549	-0.0163	0.1888	7.4387
Neutral 6.5	59.9429	-0.5545	0.2836	66.3225	-0.3734	0.1216	6.3842
Neutral 5	46.0829	0.3315	0.2856	51.2287	0.4091	0.4686	5.1497
Neutral 3.5	31.4630	-0.1254	0.0401	35.4365	0.3038	-0.1311	4.0003
Black	17.3670	0.2736	-0.4900	20.7562	0.4668	-0.0072	3.4289

Table 9. Comparison ΔL^*, ΔC^*_{ab}, ΔH^*_{ab} of Target Measurement and GOG Model in Color Checker

Target Name	ΔL^*	ΔC^*_{ab}	ΔH^*_{ab}
Dark Skin	1.9861	1.2048	0.1834
Light Skin	3.8996	1.1636	0.3279
Blue Sky	5.0234	1.2207	0.0873
Foliage	7.0910	1.2078	0.2963
Blue Flower	3.3127	1.9244	0.5607
Bluish Green	11.3812	1.0073	0.1841
Orange	0.6782	3.2983	0.6156
Purplish Blue	1.2628	2.7290	0.0701
Moderate Red	-3.0727	2.6005	0.2599
Purple	-0.4384	1.9303	0.1290
Yellow Green	11.1806	3.0868	0.2204
Orange Yellow	4.5433	3.2094	0.5533
Blue	-1.2672	3.1185	0.1130
Green	11.7511	2.1318	0.1071
Red	-5.6538	2.9463	0.0898
Yellow	7.8037	3.6750	0.0163
Magenta	-4.0336	2.9408	0.0503
Cyan	8.3307	1.5247	0.7784
White	8.4726	0.1019	0.1216
Neutral 8	7.4056	-0.6843	0.1521
Neutral 6.5	6.3795	-0.2301	0.0780
Neutral 5	5.1458	0.1845	0.0740
Neutral 3.5	3.9736	0.1992	0.4170
Black	3.3892	-0.0944	0.5114

4-3-3. 감마 변화에 따른 재현특성

식 (9)에서 디스플레이 장치의 gain과 offset을 고정시킨 후 감마값만 1.4에서 0.2 단계씩 3.0까지 총 9단계로 증가시킨 후 fig. 10의 Color Checker RGB값을 입력하여 감마 변화에 따라 식 (10)을 사용하여 평균제곱근오차(Root Mean Square Error)과 패치의 색차중 최소 · 최대값을 구한 결과는 table 10과 같다. 디스플레이 장치의 특성화 과정으로 구해진 식 (9)를 참조하여 감마값을 변화시켰을 경우 감마값이 낮은 1.4와 1.6의 경우가 같은 단계로 증가한 감마값 3.0으로 증가한 경우보다 비교적 큰 색차를 나타내었고, 감마값이 2.4일 때 2.3463으로 가장 적은 색차를 보였다. 그러나 2,4의 감마의 경우 캘리브레이션 설정 감마값 2.2일 때 보다 적은 색차를 보였는데, 이것은 fig. 5에 나타난 결과와 같이 R, G, B 각각의 형광소자는 독립적이지 못하고 상호영향을 주기 때문이라 사료되며, 특히 Color Checker의 24개의 패치의 색분포가 감마값 2.2를 기준으로 할 경우 보다 2.4일 경우 좀더 색차가 작게 나는 것으로 사료된다. 감마값의 변화에 따라 패치마다의 최소 · 최대 패치값의 차이를 보였다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 패치로 실험이 필요가 있으며, 또한 이러한 오차를 줄일 수 있는 시스템이 강구되어야 한다.

Table 10. 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
$\Delta E^*_{ab,rms}$	4.2182	3.7201	3.2147	2.7545	2.4514	2.3463	2.4888	2.7513	3.0327
$\Delta E^*_{ab,low}$	10.2055	5.8712	2.6397	1.2954	1.9283	0.8819	1.2687	0.9710	1.5254
$\Delta E^*_{ab,high}$	25.4724	21.5350	18.0037	14.8378	12.0090	10.2863	11.5617	13.7796	15.7940

Fig. 12는 24개의 패치 중 감마의 변화를 가장 많이 알 수 있는 무채색계열(white, neutral 8, neutral 6.5, neutral 5, neutral 3.5, black)에서의 L^*값을 비교한 것이다. 휘도가 100에 가까운 white패치의 경우는 감마 변화에 따른 차이가 적었지만, black에 가까워질수록 감마에 따른 휘도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이것은 감마의 변화가 휘도에 영향을 주므로 휘도가 높은 white 패치인 경우는 상대적으로 영향을 적게 받지만, black 패치인 경우 40정도의 휘도차이를 발생시킴으로 감마 변화에 따라 black 패치의 왜곡이 두드러짐을 알 수 있었다.

Fig. 13은 GretagMacbeth Color Checker의 4번째 행의 6가지 무채색(White, Neutral 8, Neutral 6.5, Neutral 5, Neutral 3.5, Black)을 감마 변화에 따라 L^*, a^*을 나타낸 결과이다. 무채색의 패치에서 감마 2.2를 기준으로 한다면, white패치의 경우 L^*값 차이가 감마의 증가나 감소에 따라 1이상 발생하지 않아 거의 변화가 없었지만, 무채색의 성분이 강해질수록 L^*의 차이가 크게 발생함을 알 수 있었다. 특히 black의 패치에서 L^*는 감마값 2.2를 기준으로 1.4 감마값과 비교하면 휘도차가 18.6970이며, 3.0 감마값과 비교하면 휘도가 감마값 2.2에 비해 13.0183으로 감소하였다. 감마값 2.2를 기준으로 하여 감마 변화에 따라 패치의 채도차(ΔC^*_{ab})와 색상차(ΔH^*_{ab})를 측정한 결과 약 0의 값이 측정되었다. 따라서 무채색의 경우 휘도의 변화만 있었으므로, 감마 변화에 따른 ΔE^*_{ab}는 휘도차에 의해 색차가 좌우된다고 사료된다.

Fig. 14는 GretagMacbeth Color Checker의 1번째 행의 6가지 색상(Dark skin, Light skin, Blue sky, Foliage, Blue flower, Bluish green)의 CIE Lab의 값이다. Fig. 14를 통해 비교해 본 결과, 각 색상은 감마값의 증가에 따라 휘도가 감소하였는데, 특히 a와 b의 값이 0에 가까워졌다. 이것은 감마값의 증가에 따라 R, G, B 각각의 색요소가 줄어들어 gray 성분이 많이 섞이는 것이라 사료된다. 감마값을 2.2를 기준으로 하여 각각의 감마값의 변화에 따라 패치의 명도차(ΔL^*), 채도차(ΔC^*_{ab}), 색상차(ΔH^*_{ab})를 측정한 결과, 명도차의

경우 dark skin의 패치가 감마의 변화에 따라 3~5정도 휘도가 증가하므로 명도차가 가장 크게 나타났으며, blue flower의 경우는 다른 패치와 비교하여 명도차보다 채도차가 크게 나타났다.

Fig. 15는 GretagMacbeth Color Checker의 2번째의 6가지 색상(Orange, Purplish blue, Moderate red, Purple, Yellow green, Orange yellow)을 감마변화에 따라 비교한 값이다. 감마값이 증가할수록 purple, purplish blue 패치의 경우 가장 휘도의 변화가 컸으며, yellow green의 경우 휘도의 변화율이 ±2씩 증가하여 가장 휘도의 변화가 작았다고 사료된다. 감마값 2.2를 기준으로 하여 각각의 감마값의 변화에 따라 패치의 명도차(ΔL^*), 채도차(ΔC^*_{ab}), 색상차(ΔH^*_{ab})를 측정한 결과, purplish blue 패치의 채도차는 감마가 감소할 경우 3씩 감소하였고, 감마가 증가할 경우 2씩 증가였다. 색상차의 경우 orange, orang yellow에서 다른 패치에 비해 색상차가 크게 나타났다.

Fig. 16은 GretagMacbeth Color Checker의 3번째 행의 6가지 색(Blue, Green, Red, Yellow, Magenta, Cyan)을 감마 변화에 따라 나타낸 결과이다. 감마값의 증가에 따른 휘도의 변화는 yellow패치의 경우 가장 작게 나타나며, blue의 패치의 경우 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 다른 색과 다르게 red 패치의 경우 감마값 2.2를 기준으로 하여 a값의 경우 감마의 증감에 따라 감소의 경향을 나타내었으나, 다른 패치에 비해 색상차가 크게 나타났다.

전체적으로 살펴보면 Yellow의 색의 성분이 많이 포함된 색의 경우 휘도의 변화폭이 작았으며 다른 색들은 거의 비슷한 휘도 변화를 보였다. 채도변화의 경우 중간톤의 색의 경우가 가장 채도차이가 적게 남을 알 수 있다. 하지만 원색에 가까운 색일수록 감마의 변화에 따라 채도가 많이 나게 되므로 감마의 증감에 따라 이런 색을 보정할 수 있는 시스템이 구축되어야 된다고 사료된다.

Table 11은 감마변화에 따른 타겟의 변화를 무채색을 제외한 유채색부분의 감마값 1.4와 3.0의 색차를 수치로 표현한 것으로 명도차(ΔL^*), 채도차(Δ

C^*_{ab}), 색상차(ΔH^*_{ab})로 나타내었다. 명도차의 경우 purple과 dark skin의 색이 가장 큰 30에 가까운 차이가 났으며, 채도차는 purplish blue가 15의 색차가 났으며, 색상차는 orange색이 차이가 13으로 가장 크게 났다. 하지만 전체 색차를 비교해 본다면 purplish blue가 가장 큰 색차가 났으며, yellow의 경우 가장 작은 색차를 보였다. Purplish blue색의 경우 채도차가 크게 나므로 이러한 경향이 색차를 증가시키는 것으로 사료되며, yellow의 경우 명도차가 가장 작게 나므로 이러한 경향이 색차를 감소시킨 것으로 사료된다.

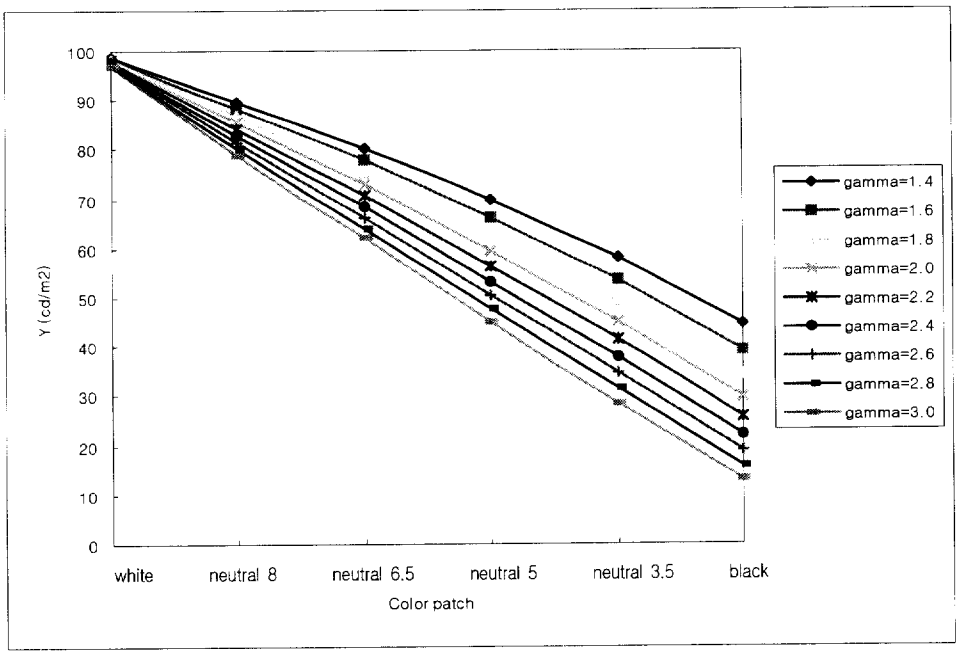


Fig. 12. Variety of lightness values in achromatic color according to variety of gamma.

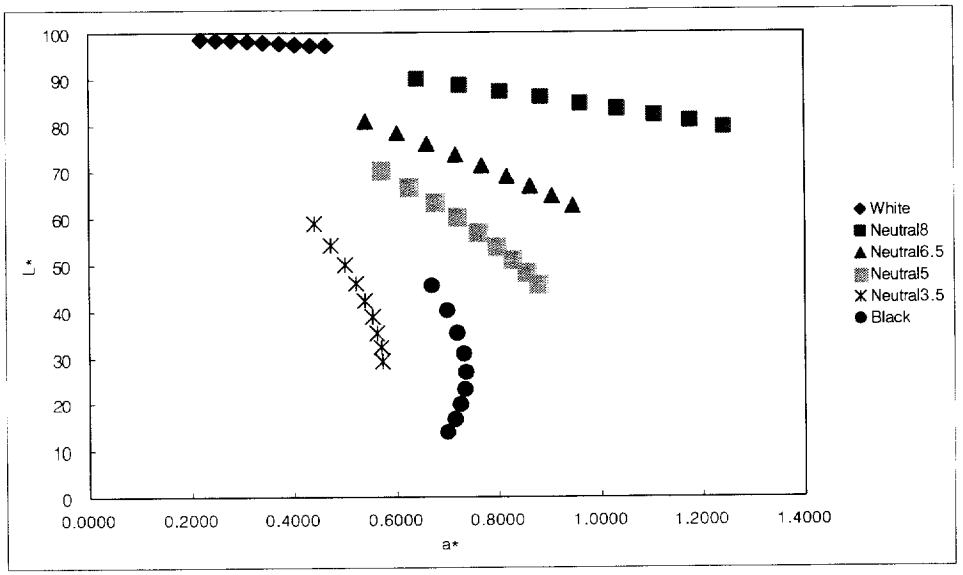
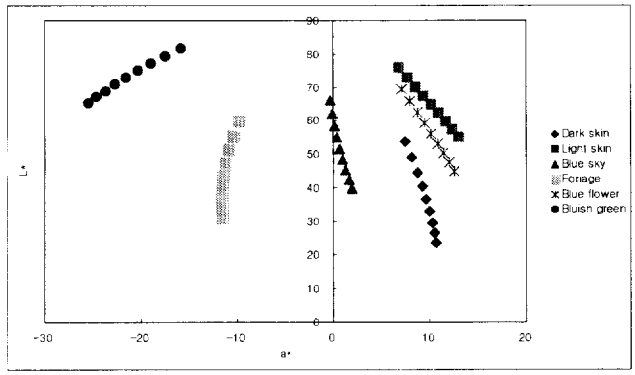
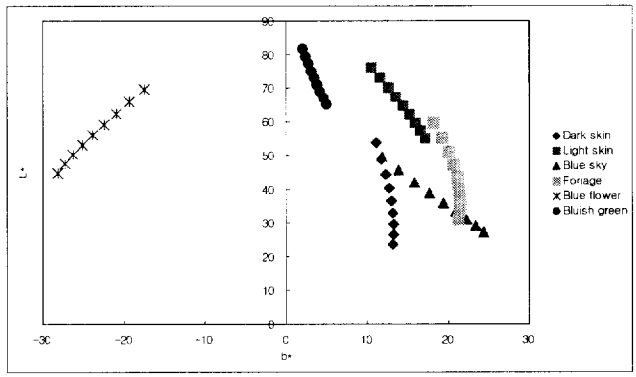


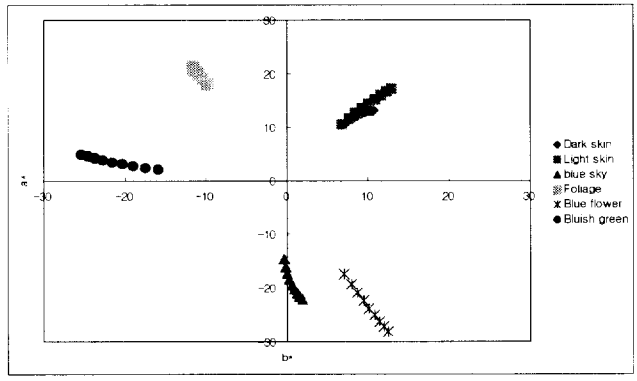
Fig. 13. Comparison of CIE L^*a^* diagram in neutral color.



(a) a^*L^* diagram

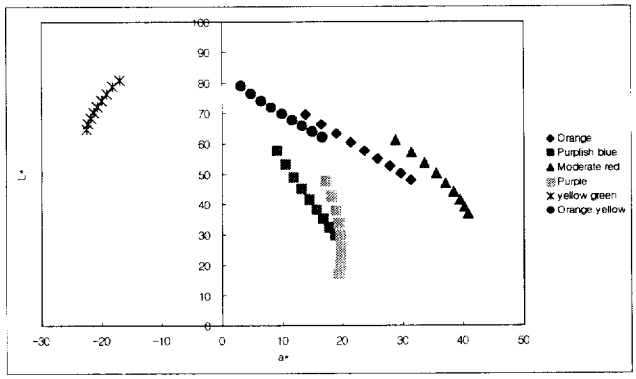


(b) b^*L^* diagram

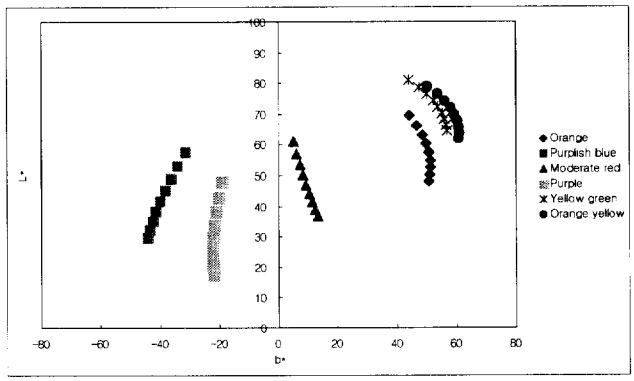


(c) a^*b^* diagram

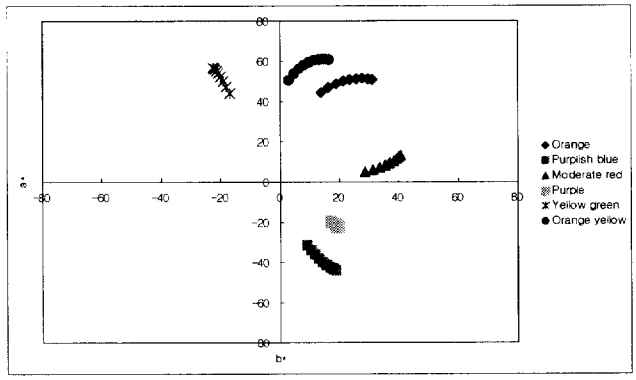
Fig. 14. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch.
(Dark skin, Light skin, Blue skin, Foliage, Blue flower, Bluish green)



(a) a^*L^* diagram

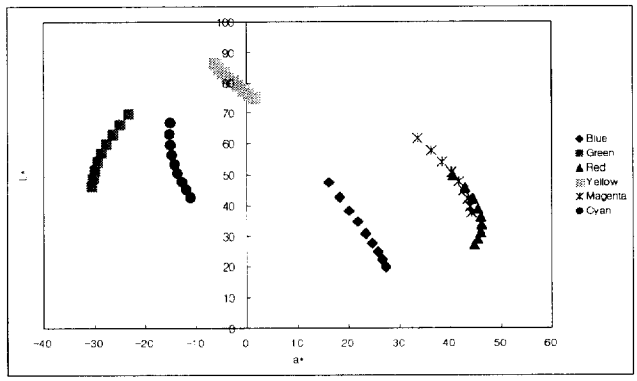


(b) b^*L^* diagram

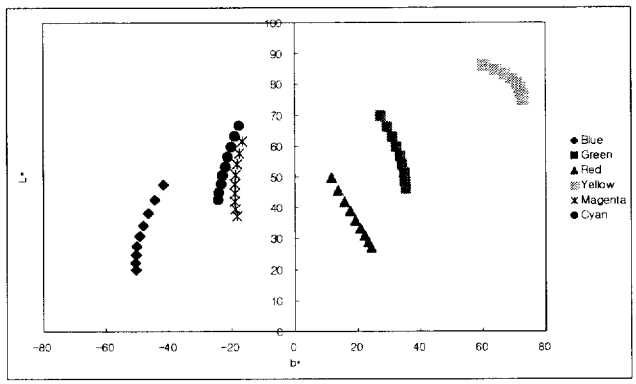


(c) a^*b^* diagram

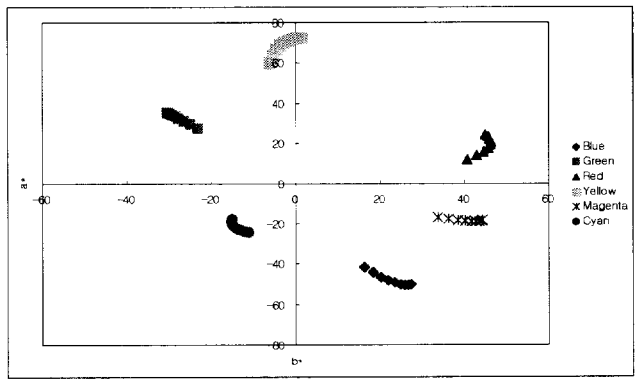
Fig. 15. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch.
(Orange, Purplish blue, Moderate red, Purple, Yellow green, Orange yellow)



(a) a^*L^* diagram



(b) b^*L^* diagram



(c) a^*b^* diagram

Fig. 16. Comparison of CIE L^*_{ab} diagram in six color patch. (Blue, Green, Red, Yellow, Magenta, Cyan)

Table 11. Comparison of ΔL^*, ΔC^*_{ab}, ΔH^*_{ab}, ΔE^*_{ab} for between Gamma Max. Value(3.0) and Gamma Min. Value(1.4) in Color Checker

Target Name	ΔL^*	ΔC^*_{ab}	ΔH^*_{ab}	ΔE^*_{ab}
Dark Skin	30.1190	3.5862	1.3547	30.3620
Light Skin	20.8943	8.9919	1.1898	22.7781
Blue Sky	26.3429	7.5633	1.9628	27.4774
Foliage	28.7968	3.4947	0.0696	29.0082
Blue Flower	24.6456	11.9599	0.7862	27.4055
Bluish Green	16.5027	9.9270	1.2954	19.3019
Orange	21.3060	13.2581	13.0725	28.2951
Purplish Blue	27.8347	15.1975	4.7418	32.0658
Moderate Red	24.3277	13.5690	4.9595	28.2940
Purple	30.4637	3.5428	0.2162	30.6698
Yellow Green	16.4191	13.4916	3.5096	21.5390
Orange Yellow	16.8190	12.5953	11.5208	23.9635
Blue	27.4712	12.6592	6.3923	30.9158
Green	23.5748	10.7426	0.3862	25.9099
Red	22.6462	8.7795	9.8757	26.2194
Yellow	11.1562	12.1800	8.0346	18.3676
Magenta	24.3345	10.4095	2.9198	26.6281
Cyan	24.2432	3.6123	6.9330	25.4725

5. 결 론

디스플레이 장치의 특성화 과정에서 감마변화의 따른 컬러이미지의 색재현에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 감마값 변화에 따른 휘도의 경우 감마값이 증가할수록 입력되는 RGB 신호값의 영향으로 휘도의 변화가 크게 나타났으며, 특히 입력신호가 높은 부분에 비해 낮은 부분에서 휘도의 변화가 크게 나타나 색차가 크게 발생하였다.
2. 인쇄용 타겟에서 감마의 변화에 따른 색의 변화를 비교해본 결과 Yellow색 성분이 많이 포함된 색일수록 휘도의 변화폭이 작았고, 채도차는 중간톤의 색일수록 차가 작게 났으며, 원색에 가까운 색일수록 채도차이가 크게 나타났다.
3. 인쇄용 타겟에서 살펴본 결과 명도차가 큰 패치일수록 색차가 많이 나며 채도차와 색상차의 경우 크게 좌우되지 않았으므로, 감마변화에 따른 휘도의 영향으로 색차가 좌우된다고 할 수 있었다.

따라서 CMS의 선행과제인 특성화단계 중 모니터특성화 GOG 모델에서 명도차가 큰 색일수록 색차가 많이 발생하므로, 감마값의 조절을 통해 어느 정도의 색차를 줄이는 색재현은 가능할 것으로 사료된다. 앞으로 CMS에서 감마선택은 중요하므로, 아울러 감마의 변화에 따라 원색의 채도차를 보정할 수 있는 시스템의 보완연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Poynton, Frequently asked questions about gamma, http://www.inforamp.1.net/~poynton/notes/colour_and_gamma/GammaFAQ.html (2002).
2. R.S. Berns, R.J. Motta, M.E. Gorzynski, CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice, *Color Research and Application.* 18, No. 5 (1993).
3. H.R. Kang, Color technology for electronic imaging devices, "Color Display Systems", p. 342~360, SPIE Optical Engineering Press, (1997).
4. R.S. Berns, "Methods for Characterizing CRT Displays", *Displays*, Vol. 16, No.4 (1996).
5. E. Day, Colorimetric characterization of a computer-controlled (SGI) CRT display, Munsell Color Science Laboratory Technical Report (2002).
   http://www.art-si.org/PDFs/CRT_Colorimetry_Ap_2002.pdf
6. S. Soltic, "Modeling Effects of on the Colors Displayed on Cathode Ray Tube Monitors", *Journal of Electronic Image*, Vol. 13, No. 4 (2004).
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
8. 김호성, 박승옥, 백정기 CRT 디스플레이 시스템의 색재현성 평가, *한국광학회지*, Volume 10, Number 3 (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*, vol. 25, No. 6 (2000).
10. John Wiley & Sons, Ltd, Computational Color Science Using MATLAB, Chapter 7 p. 111~125 (2004).