

칼라 CRT 모니터의 화면밝기와 명암대비 레벨 조절에 의한 분해능과 색재현의 최적화

김태희

삼성전자(주) 중앙연구소 정보미디어 Lab.

이윤우 · 조현모 · 송재봉 · 이인원

한국표준과학연구원

박승욱

대전대학교 물리학과

(1999년 1월 21일 받음, 1999년 7월 1일 수정본 받음)

칼라 CRT(cathode ray tube) 모니터의 화면밝기와 명암대비 레벨에 따른 화질 특성을 연구하였다. 화면밝기와 명암대비 레벨을 변화시키면서 SQRI(square root integrals)를 측정하여 시각효과를 고려한 분해능을 조사하였다. 또한 이들 레벨에서 삼색 채널의 색도 좌표와 휘도를 측정하여 채널의 색도 좌표 일정, 색재현 영역, 그리고 채널의 독립을 만족하는 흰색의 최대 휘도를 분석하였다. 결과를 바탕으로 최적의 분해능과 색재현 특성을 가지는 화면밝기와 명암대비 레벨을 제시하였다.

I. 서 론

컴퓨터 시스템에서 모니터로 널리 사용되는 칼라 CRT(cathode ray tube)는 외부에서 조절할 수 있는 화면밝기와 명암대비 레벨이 있으며 사용자는 이들을 조절하여 시각에 가장 적합한 화질을 재현하는 레벨을 선택한다. 칼라 디스플레이의 화질은 분해능과 색재현성에 의존하므로, 모니터는 명암대비와 화면밝기 레벨의 조절에 의해 고분해능과 우수한 색재현성을 가지는 영상을 재생하도록 최적화된다.

디스플레이의 분해능을 결정하는 주요 요소는 화면에 재생되는 화점 크기와 신호대 잡음비가 있다. 고분해능의 영상을 재생하기 위해서는 작은 크기의 화점과 높은 신호대 잡음비가 필요하다.^[1,2] 화면밝기와 명암대비 레벨의 조절은 각각 배경 화면과 신호 화면의 휘도에 영향을 미쳐서 이러한 요소들을 변화시키므로, 분해능은 이들 레벨에 의존하게 된다.^[2]

디스플레이의 색재현성은 최대 휘도, 색재현 영역(color gamut), 이상적인 모니터 가정(채널의 색도 좌표 일정-삼색(red, green, blue) 채널의 색도 좌표는 각 채널에 가해지는 전압에 의존하지 않음, 채널의 독립-각 채널의 출력은 다른 채널의 출력에 영향을 받지 않음)에 의해 결정되며, 우수한 색재현을 위해서는 높은 휘도, 넓은 색재현 영역, 이상적인 모니터 가정의 만족이 요구 된다.^[3-8] 화면밝기와 명암대비 레벨은 화면에 재생된 영상의 색도 좌표와 휘도와 영향을 미치므로, 색재현성은 이들 레벨의 조절에 의존한다.^[4,6]

본 연구에서는 칼라 CRT 모니터가 고해상도와 우수한 색재현성을 가지도록 하는 화면밝기와 명암대비 레벨의 최적 결합에 대하여 연구하였다. 화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 분해능과 DAC(digital-to-analog converter) 값의 함수

로써 삼색 채널의 색도 좌표와 휘도를 측정하였다. SQRI(square root integral)를^[9,10] 사용하여 분해능을 나타내었으며, 채널의 색도 좌표 일정, 색재현 영역, 그리고 채널의 독립을 만족하는 흰색의 최대 휘도를 분석하였다.

II. 화면밝기와 명암대비 레벨에 대한 칼라 CRT의 휘도와 색도 좌표 의존성

Fig. 1은 컴퓨터에 의해 제어되는 칼라 CRT 디스플레이 시스템의 개략도를 나타내었다. 이상적인 칼라 CRT에서 삼색 채널은 선형성을 가지므로 수식을 간략하게 하기 위하여 청색 채널로 제한하여 전개하였다.

주 컴퓨터와 CRT를 연결하는 역할을 하는 그래픽 카드는 디스플레이 메모리, LUT(lookup table), 그리고 DAC로 구성되어 있다.^[6,11] 주 컴퓨터에서 전송된 영상 정보는 삼색으로 분리되어 각 색당 8 비트 분해능으로 디스플레이 메모리에 저장된다.^[11] LUT에서 DAC 비트수 n 에 적합하도록 0에서 $2^n - 1$ 범위의 DAC 값 d_b 로 처리된 후 DAC에서

$$v_b = (v_{\max} - v_{\min}) \left(\frac{d_b}{2^n - 1} \right) + v_{\min} \quad (1)$$

의 비디오 전압을 형성한다. 여기서 v_{\max} 와 v_{\min} 은 최대, 최소 비디오 신호 전압이다. 비디오 전압이 CRT에 입력되면 비디오 증폭기를 거쳐 전자총에

$$v_{G,b} = \alpha_b v_b + \beta_b \quad (2)$$

인 전압이 인가되고

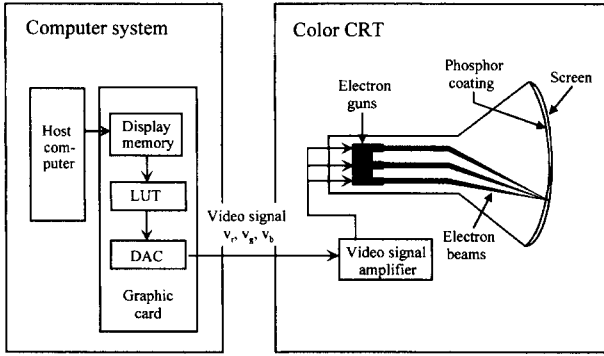


Fig. 1. Block diagram of a computer-controlled color CRT display system.

$$j_b = (v_{G,b} - v_{C,b})^{\gamma_b}, \quad v_{C,b} \leq v_{G,b}$$

$$= 0, \quad v_{C,b} > v_{G,b}$$
(3)

의 빔 전류를 가지는 전자가 방출된다. 식 (2)의 α_b 는 비디오 증폭기의 증폭율이고 β_b 는 오프셋 전압이며 식 (3)의 $v_{C,b}$ 는 차단 전압이고 γ_b 는 감마 인자이다.

전자가 형광체에 부딪쳐 화면에 재생되는 영상의 분광 복사 에너지는

$$M_{\lambda,b} = k_{\lambda,b} j_b$$
(4)

로 주어지고, $k_{\lambda,b}$ 는 형광체의 분광상수이다. 식 (1)-(3)을 식 (4)에 대입하면

$$M_{\lambda,b} = k_{\lambda,b} \left\{ \alpha_b \left[(v_{\max} - v_{\min}) \left(\frac{d_b}{2^n - 1} \right) + v_{\min} \right] + \beta_b - v_{C,b} \right\}^{\gamma_b}$$
(5)

이 된다. 특정 그래픽 카드와 CRT에서 v_{\min} , v_{\max} , $v_{C,b}$ 은 일정한 값으로 주어지므로 식 (5)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M_{\lambda,b} \cong \left[\alpha_b \left(\frac{d_b}{2^n - 1} \right) + \beta_b \right]^{\gamma_b}$$
(6)

식 (6)에서 증폭률과 오프셋 전압은 모니터의 명암대비와 화면 밝기 레벨에 의해 조절되어지므로, 명암대비와 화면밝기의 조절은 각각 신호 화면(DAC 값에 의존)과 배경 화면의 분광 복사에너지에 영향을 미침을 알 수 있다.

루멘(lumen) 단위로 측정된 청색 채널의 CIE 삼자극치는

$$X_b = 683 \int_{360nm}^{830nm} \frac{M_{\lambda,b}}{\pi} \bar{x}_{\lambda} d\lambda$$

$$Y_b = 683 \int_{360nm}^{830nm} \frac{M_{\lambda,b}}{\pi} \bar{y}_{\lambda} d\lambda$$

$$Z_b = 683 \int_{360nm}^{830nm} \frac{M_{\lambda,b}}{\pi} \bar{z}_{\lambda} d\lambda$$
(7)

로 주어지며, \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} 는 CIE 1931 표준 관측자의 등색 함수(color matching function)이다.

이상에서는 청색 채널만을 고려하였다. 화면에 재생된 임의의 영상에 대해 검출기가 삼색 채널의 출력을 적분하여 검출

한다고 가정하면 CIE 삼자극치는

$$X = X_r + X_g + X_b$$

$$Y = Y_r + Y_g + Y_b$$

$$Z = Z_r + Z_g + Z_b$$
(8)

로 쓸 수 있으며, 색도 좌표 x , y 와 휘도 L 는 식 (9)와 (10)에 의해 얻어진다.^[12]

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
(9)

$$L = Y.$$
(10)

그러므로 분해능과 색재현성 평가를 위하여 측정되는 색도 좌표와 휘도는 명암대비와 화면밝기 레벨에 의존함을 알 수 있다.

III. 실험 장치

측정 대상 디스플레이로는 Table 1에 특성이 정리된 칼라 CRT 모니터(Samsung, SyncMaster 17GLSi)를 선정하였다. 이를 그래픽 카드(ATI, mach64 PCI, 4M, 8bits/gun)가 내장된 컴퓨터(Pentium, 586, 32M)에 연결한 후 800 도트×600 라인의 분해능 모드와 24 비트의 트루칼라 모드로 설정하였다. 이러한 모드에서 측정에 사용된 모니터는 각 채널당 256 가지의 색을 재현할 수 있다. 마이크로소프트사의 비주얼 C 언어로 프로그램을 작성하여 분해능 측정에서는 흰색의 도트 패턴, 색도 좌표와 휘도 측정에서는 삼색과 무채색의 라스터 패턴을 재생한 후 DAC 값을 0부터 255 까지 17단계로 입력하여 라스터 패턴의 휘도를 변화시켰다.

CCD(charge coupled device)를 사용한 MTF(modulation transfer function) 측정장치^[11] 사용하여 SQRI를 얻었고, CRT 칼라 분석기(Minolta, CA-100)를 사용하여 휘도(cd/m²)와 색도 좌표(x , y)를 측정하였다. 측정에 사용한 화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합은 Table 2에 정리하였다. 최소 레벨인 C1B1에서는 측정장비에 의한 한계치 이하의 낮은 신호가 측정되어 분석에서 제외하였다.

측정 모니터는 30분 이상을 미리 작동시키고 각 측정 패턴

Table 1. Specifications of a color CRT monitor (Samsung, SyncMaster 17GLSi).

Item	Description
Color display tube	17 inch, 90° deflection 0.26 mm dot pitch, In-line gun Non-Interlaced scanning
Scanning frequency	Horizontal : 46.88 kHz (selection) Vertical : 75.00 Hz (selection)
Maximum Resolution	Horizontal : 1280 dots Vertical : 1024 lines
Resolution	Horizontal : 800 dots (selection) Vertical : 600 lines (selection)
Bandwidth	49.5 MHz (selection)

을 90초 이상 재생시킨 후 측정하였으며, 화면밝기와 명암대비는 각각 낮은 레벨에서 높은 레벨 순으로 조합을 선택하였다.^{14,8,11,13} 측정하는 화면의 위치는 화면 중심으로 제한하였고 모든 측정은 암실에서 수행하였다.

IV. 실험 및 결과

화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 측정한 배경과 흰색 화면의 휘도를 Table 2에 나타내었다. 레벨의 변화에 따라 배경 화면의 휘도는 0.15~4.40 cd/m², 흰색 화면의 휘도는 0.67~114 cd/m²까지 증가하였다. 배경과 흰색 화면의 휘도는 C2B2에서 화면밝기가 B3로 높아진 경우 각각 2412%, 83%가 증가하였으며, C2B2에서 명암대비가 C3로 높아진 경우 각각 12%, 148%가 증가하였다. 그러므로 배경 화면의 휘도는 화면밝기 레벨에 신호 화면의 휘도는 명암대비 레벨에 주로 영향받음을 알 수 있다.

Fig. 2는 화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 측정한 MTF를 나타내었다. Fig. 2의 MTF, Table 2의 흰색 화면의 휘도, 그리고 500 mm로 가정한 viewing distance를 사용하여 식 (12)로부터 계산한 SQRI 값을 Table 3에 정리하였다. SQRI 값은 명암대비 레벨이 고정된 경우 화면밝기가 높아짐에 따라 작아졌으며, 화면밝기 레벨이 고정된 경우 명암대비 레벨이 높아짐에 따라 커졌다. 이것은 화면밝기의 증가는 신

호대 잡음비를 낮게 하고 명암대비의 증가는 신호대 잡음비를 높게 하기 때문이다. Table 2에서 명암대비를 C3로 고정시키고 화면밝기를 B1에서 B3로 높이는 경우 신호대 잡음비는 1에서 0.93로 낮아졌으며, 화면밝기를 B3로 고정시키고 명암대비를 C1에서 C3로 높이는 경우 신호대 잡음비는 0.26에서 0.93로 높아졌음을 알 수 있다.

여기서 신호대 잡음비는

$$\text{신호대 잡음비} = \frac{\text{흰색 화면의 휘도} - \text{배경 화면의 휘도}}{\text{흰색 화면의 휘도} + \text{배경 화면의 휘도}} \quad (11)$$

에 의해 계산하였다. 그러므로 모니터의 분해능은 명암대비 레벨이 고정된 경우 화면밝기가 높아짐에 따라 나빠지며 화면밝기 레벨이 고정된 경우 명암대비가 높아짐에 따라 좋아져서, 가장 좋은 분해능을 가지는 레벨은 C3B1임을 알 수 있다.

부가적으로 SQRI 값과 신호대 잡음비는 C3B3를 C3B1으로 조절할 경우 10.3%와 7.5%가 증가한 반면, C1B3를 C3B3로 조절할 경우는 101%와 258%가 증가하였다. 이로부터 명암대비 레벨의 조절이 화면밝기 보다 SQRI 값에 더 많은 영향을 미치는 이유는 전자가 후자보다 신호대 잡음비를 많이 변화시키기 때문임을 알 수 있다.

화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 DAC 값에 따라 측정한 삼색의 색도 좌표를 Figs. 3, 4, 5에 나타내었다. 적색인 Fig. 3, 녹색인 Fig. 4, 청색인 Fig. 5를 보면 명암대비가 C3이고 화면밝기가 B1인 C3B1의 경우 색도 좌표는 낮은 DAC 값에서 급격하게 증가하거나 감소하여 50 이상의

Table 2. Definition of the test levels by changing the brightness and contrast values, luminance of a white pattern and background screen, and SNR (signal-to-noise ratio).

No.	Position		Luminance (cd/m ²)		SNR
	Contrast	Brightness	White pattern	Background	
C1B1	Minimum	Minimum	-	-	-
C1B2	Minimum	Medium	0.67	0.15	0.63
C1B3	Minimum	Maximum	6.64	3.93	0.26
C2B1	Medium	Minimum	17.3	-	1.0
C2B2	Medium	Medium	40.4	0.17	0.98
C2B3	Medium	Maximum	74.0	4.27	0.89
C3B1	Maximum	Minimum	80.9	-	1.0
C3B2	Maximum	Medium	100	0.19	0.99
C3B3	Maximum	Maximum	114	4.40	0.93

Table 3. SQRI values measured at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

Position No.	SQRI value
C1B2	35.43
C1B3	30.
C2B1	61.30
C2B2	62.07
C2B3	56.70
C3B1	66.61
C3B2	65.52
C3B3	60.40

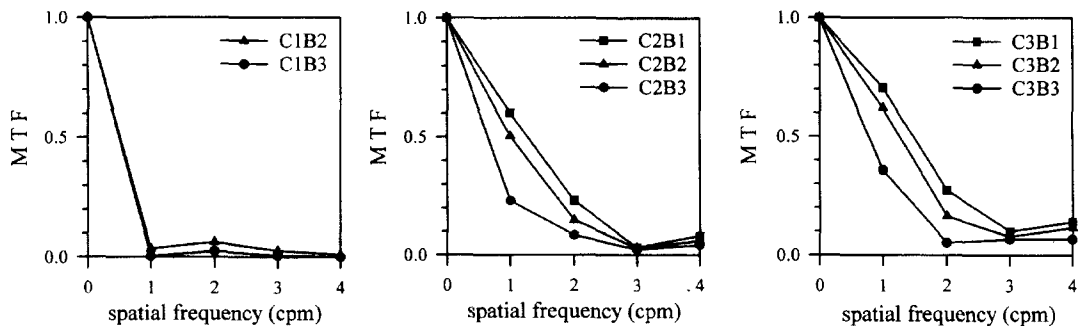


Fig. 2. MTF measured at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

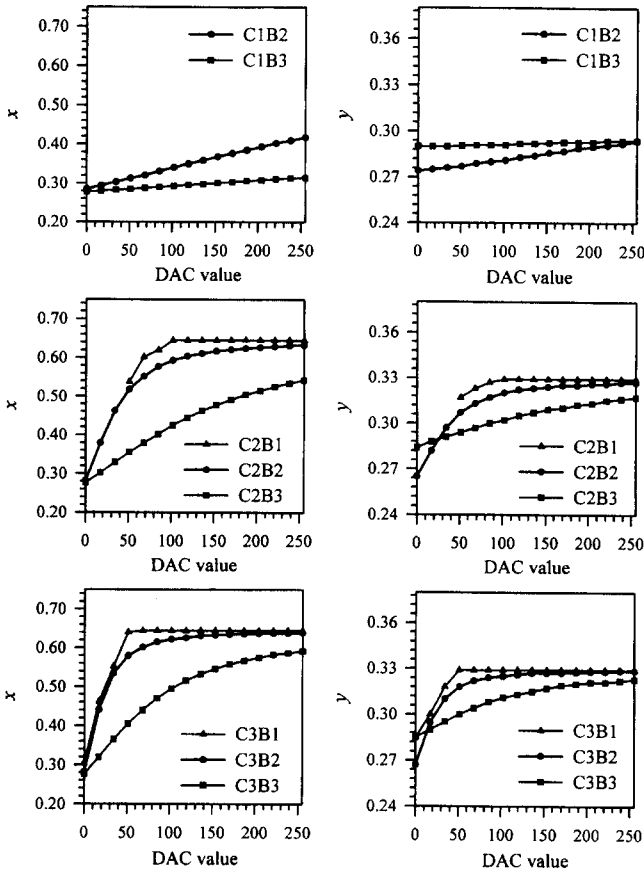


Fig. 3. Chromaticity coordinates of the R channel as a function of the DAC value at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

DAC 값에서 일정하게 유지되었다. 그러나 화면밝기가 B2, B3로 높아지거나 명암대비가 C2, C1으로 낮아짐에 따라 DAC 값에 대한 색도 좌표의 증가율이나 감소율은 C3B1에서 보다 감소하여 대부분이 일정한 값에 도달하지 못하였다. 그러므로 채널의 색도 좌표 일정을 가장 잘 만족하는 레벨은 C3B1임을 알 수 있다. C1B1에서의 모든 DAC 값과 C2B1에서 34 이하의 DAC 값에서의 색도 좌표는 측정장비에 의한 한계치 이하의 낮은 신호가 측정되어 분석에서 제외하였다.

화면밝기와 명암대비 레벨에 따른 1931 CIE(x, y) 색도표(chromaticity diagram)에서 색재현 영역의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 여기서는 Figs. 3-5의 색도 좌표를 사용하였고, 밑줄 친 숫자는 가장 넓은 삼각형의 크기를 100으로 두고 계산한 삼각형의 상대적인 크기를 나타낸다. 각 명암대비에서 화면밝기가 B1에서 B3로 높아짐에 따라 삼각형의 크기가 작아지고 있다. 즉, C3B1에서 C3B3로 화면밝기 레벨이 높아짐에 따라 삼각형의 크기는 34%가 감소하였다. 또한 각 화면밝기에서 명암대비가 C1에서 C2로 높아짐에 따라 삼각형이 커지다가 C2와 C3에서는 거의 일정한 크기를 유지하였다. 즉, C1B2에서 C2B2, C2B2에서 C3B2로 명암대비 레벨이 높아짐에 따라 삼각형의 크기는 362%와 2%가 증가하였다. 그러므

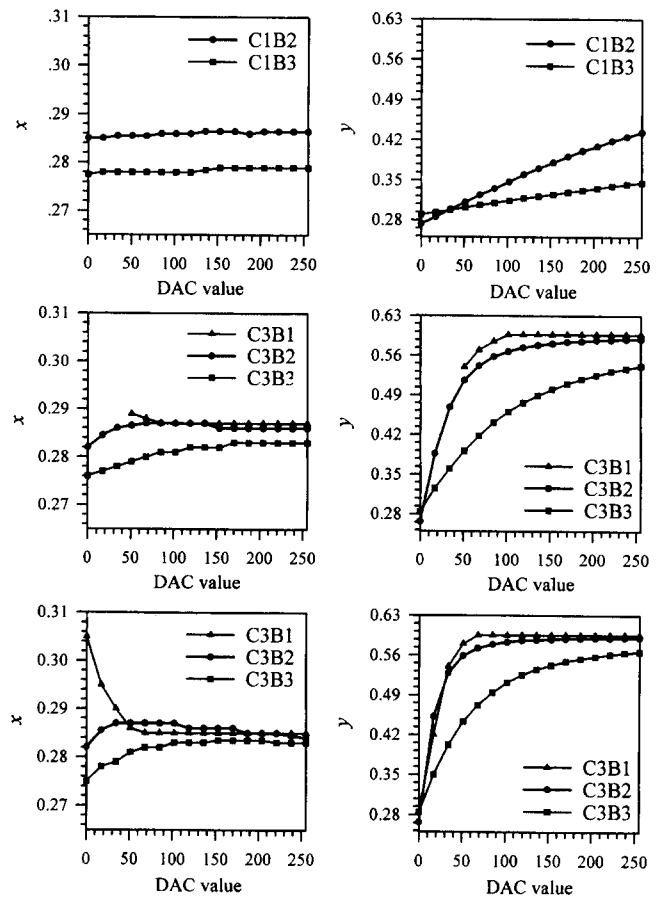


Fig. 4. Chromaticity coordinates of the G channel as a function of the DAC value at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

로 화면밝기 레벨의 증가는 디스플레이에 재현할 수 있는 색의 영역을 감소시키며 명암대비의 증가는 색재현 영역을 확장시키지만 중간이상에서는 색재현 영역을 거의 일정하게 유지시켜, 가장 넓은 색재현 영역을 가지는 레벨은 C3B1임을 알 수 있다.

화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 DAC 값에 따라 측정된 삼색과 무채색의 휘도를 Fig. 7에 나타내었다. 삼색의 휘도는 모든 레벨의 조합에서 DAC 값에 대해 지수함수적으로 증가하였다. 반면 무채색의 휘도는 C3B1까지는 지수함수적으로 증가하다가 C3B2에서부터 점차 증가율이 감소하여 C3B2와 C3B3에서는 무채색의 휘도가 삼색 휘도의 합보다 작게 되어 채널의 독립이 성립하지 않았다. 그러므로 채널의 독립을 잘 만족하면서 가장 높은 흰색의 휘도를 가지는 레벨은 C3B1임을 알 수 있다. 이는 참고문헌 [14]의 채널 독립의 위배는 명암대비 레벨이 높게 조절될수록 더욱 심해진다는 결과와 상반된다. 식 (5)에서 분광 복사에너지는 그래픽 카드와 CRT의 종류에 의존한다. 참고문헌에서는 Panasonic 사의 모니터(BT-H1450Y)를 Matrox사의 그래픽 카드(MGA Mystique, 4M)에 연결시켰다. 그러므로 참고문헌과 다른 결과가 나온 것은 실험에 사용된 모니터와 그래픽 카드의 종류가 서로 다르

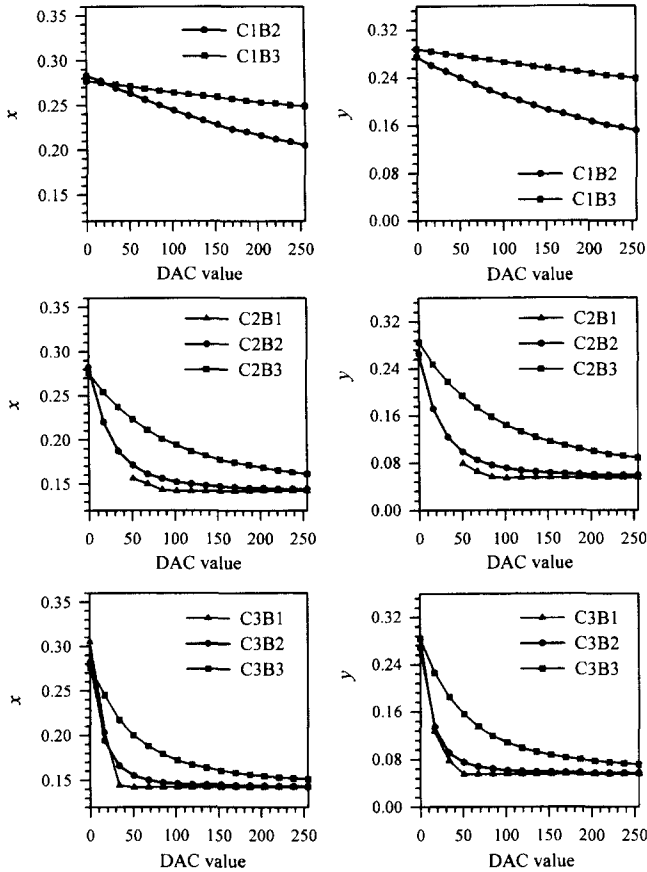


Fig. 5. Chromaticity coordinates of the B channel as a function of the DAC value at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

기 때문으로 판단된다.

V. 결 론

칼라 모니터의 화면밝기와 명암대비 레벨의 9가지 조합에서 분해능과 DAC 값에 따른 색도 좌표와 휘도의 변화를 측정하였다. 배경과 흰색 화면의 휘도 분석을 통해 배경 화면은 화면밝기 레벨에 신호 화면은 명암대비에 영향을 많이 받음을 알

수 있었다. 분해능은 신호대 잡음비가 높아질수록 좋아져서 화면밝기가 낮고 명암대비가 높은 C3B1 레벨에서 가장 우수하였다. 또한 C3B1은 다른 레벨의 조합보다 채널의 색도 좌표 일정을 가장 잘 만족하였으며 재현할 수 있는 색영역도 가장 넓었다. 그리고 채널의 독립이 성립되면서 이것이 성립되는 다른 조합들 중에서 가장 높은 흰색의 휘도를 가지고 있었다. 이로부터 칼라 모니터에 분해능과 색재현 특성이 모두 우수한 영상을 재생하기 위해서는 화면밝기 레벨을 낮게 조절하고 명암대비 레벨을 높게 조절하는 것이 적합함을 알 수 있다.

부록 : SQRI 이론

디스플레이의 분해능을 나타내는 척도인 SQRI는 무차원의 값으로 SQRI 값이 큰 디스플레이는 SQRI 값이 작은 경우보다 상대적으로 높은 분해능을 가진다.

SQRI는

$$SQRI = \frac{1}{\ln 2} \int_0^\infty \frac{MTF(u)}{M_t(u)} \frac{du}{u} \tag{12}$$

로 정의되고

$$u = \frac{\pi}{180} lv \tag{13}$$

$$\frac{1}{M_t(u)} = a u \exp(-bu) \sqrt{1 + c \exp(bu)} \tag{14}$$

로 주어진다. 여기서 v 는 디스플레이의 공간주파수로 cpm (cycles per mm) 단위를 사용하며, u 는 눈에서의 공간주파수로 cpd(cycles per degree)의 단위를 사용하고 l 은 viewing distance로 mm의 단위를 사용한다. MTF 는 디스플레이의 분해능을 나타내고 M_t 는 modulation threshold function으로 눈의 분해능을 나타낸다. 그리고 a, b, c 는

$$a = 440(1 + 0.7/L)^{-0.2} \tag{14}$$

$$b = 0.3(1 + 100/L)^{0.15} \tag{15}$$

$$c = 0.06 \tag{16}$$

로 주어진다. 식 (14)와 (15)에서 L 은 디스플레이의 휘도로

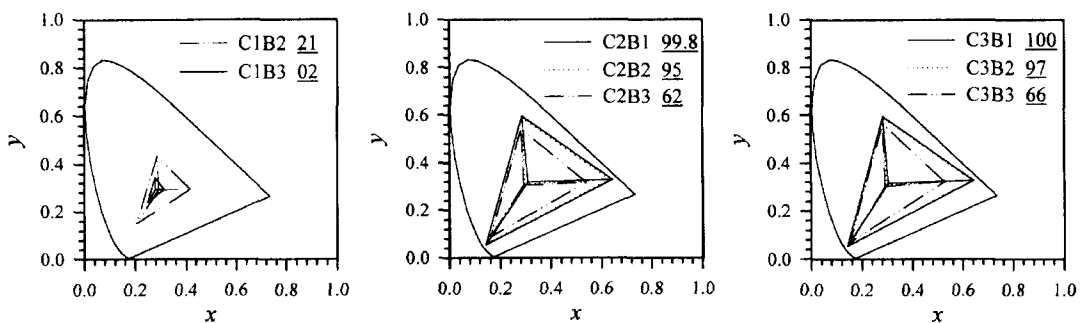


Fig. 6. Color gamuts of the color CRT display at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2 in the CIE-1931 chromaticity diagram. Numerical drawn underline indicates the relative size of the RGB chromaticity triangle calculated by (the triangle size/the largest triangle size) × 100.

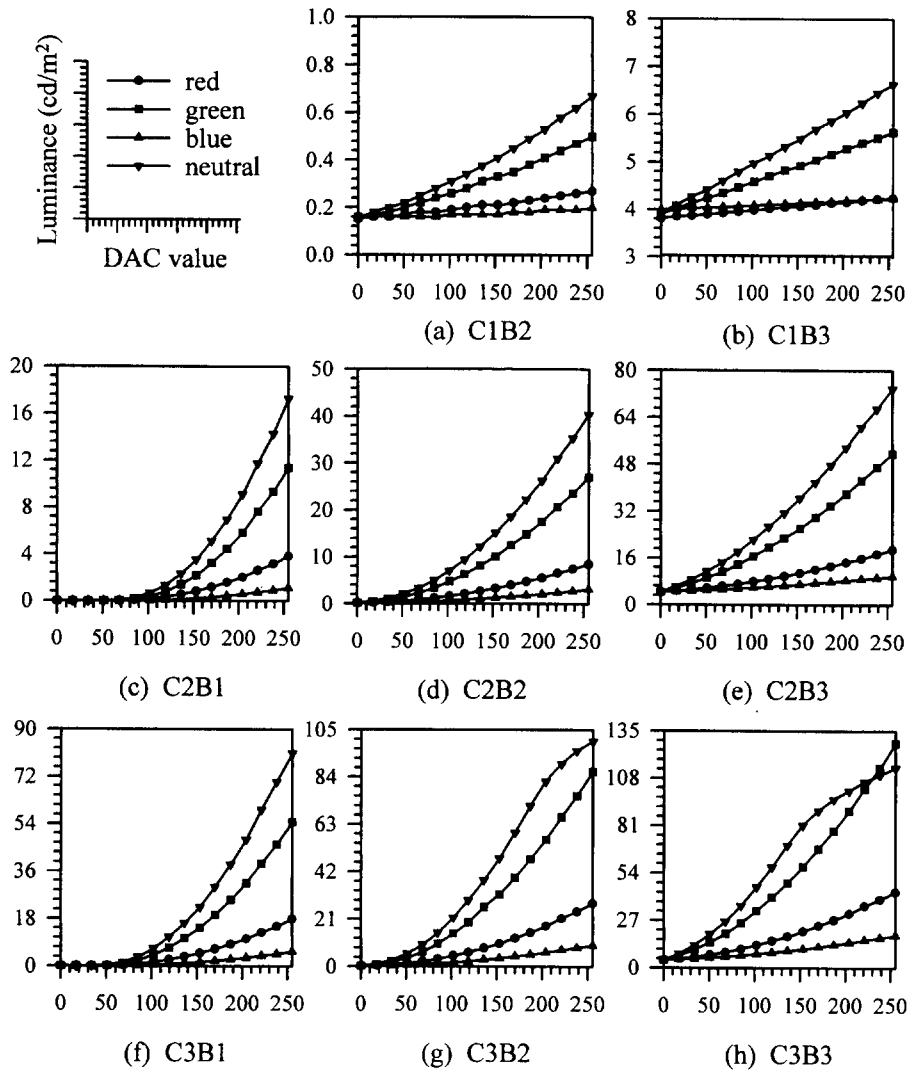


Fig. 7. Luminance of the red, green, and blue channels as a function of the DAC value at the brightness and contrast control positions tabulated in Table 2.

cd/m²의 단위를 사용한다.

감사의 글

논문의 구성과 내용에 대하여 유익한 지적을 해 주신 심사 위원님들께 감사드립니다. 본 연구는 과학기술부의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 김태희, 이윤우, 조현모, 이인원, 김준현, 최옥식, 한국광학회지 **9**, 205 (1998).
 [2] T. H. Kim, Y. W. Lee, H. M. Cho, and I. W. Lee, Opt. Eng. **38**, 1671 (1999).
 [3] 김지홍, 한국광학회지 **9**, 373 (1998).
 [4] Jose A. Diaz, Jose R. Jimenez, Enrique Hita, and Luis Jimenez del Barco, Appl. Opt. **35**, 1711 (1996).
 [5] J. N. Cook, P. A. Sample, and R. N. Weinreb, Color Res.

Appl. **18**, 334 (1993).
 [6] R. S. Berns, R. J. Motta, and M. E. Gorzynski, Color Res. Appl. **18**, 299 (1993).
 [7] L. J. Berco, J. A. Diaz, J. R. Jimenez, and M. Rubino, Color Res. Appl. **20**, 377 (1993).
 [8] R. S. Berns, M. E. Gorzynski, and R. J. Motta, Color Res. Appl. **20**, 315 (1983).
 [9] 김태희, 이윤우, 조현모, 이인원, 최옥식, 정봉교, 한국광학회지 **10**, 138 (1999).
 [10] Istvan Gorog, Proc. IEEE **82**, 520 (1992).
 [11] H. R. Kang, Color technology for electronic imaging devices (SPIE optical engineering press, Washington, 1996) Chap. 14.
 [12] F. W. Billmeyer and M. Saltzman, Principles of color technology (A wiley-interscience publication, second edition) p. 47.
 [13] L. J. Barco, J. A. Diaz, J. R. Jimenez, and M. Rubino, Color Res. Appl. **20**, 377 (1995).
 [14] 박승욱, 김홍석, 조대근, 응용물리, **11**, 115 (1998).

**Optimization of resolution and color reproduction for color CRT monitor
by control of contrast and brightness levels**

Tae Hee Kim

Corporate R & D Center, Samsung Electronics Co. Ltd., Suwon, 442-742, Korea

Yun Woo Lee, Hyun Mo Cho, Jae Bong Song and In Won Lee

Korea Research Institute of Standards and Science, P.O. Box 102, Yusong, Taejon 305-600, Korea

Seung-ok Park

Department of Physics/Optical Engineering Laboratory, Daejin University, Pocheon, 487-800, Korea

(Received January 21, 1999, Revised manuscript received July 1, 1999)

The characteristics of image quality of a color CRT (cathode ray tube) monitor are studied by changing the contrast and brightness levels. The resolution is assessed by SQRI (square root integral) measured at 9 different combinations of the contrast and brightness levels. The chromaticity coordinates and luminances of red-green-blue channels as a function of the digital value are measured at these combinations and the relationships among the constant-channel chromaticity, color gamut, maximum luminance of a white point with the channel independence are analyzed. From the results, the optimized combination of levels is obtained.