

CRT 디스플레이 시스템의 색재현성 평가

김홍석 · 박승옥 · 백정기

대진대학교 물리학과 광공학연구소 색채과학연구실

(1999년 2월 8일 받음, 1999년 5월 19일 수정본 받음)

CRT 디스플레이 시스템의 입력 신호와 방출되는 빛의 세기 관계를 유도하였다. 빛의 세기는 입력 신호뿐만 아니라 비디오 보드, 전자회로부, 그리고 CRT 특성에도 의존한다. 특히 전자회로부의 증폭률과 옵셋 전압에 따라 회도 곡선이 크게 달라진다. 본 연구에서는 디스플레이의 contrast 누름 단추와 brightness 누름 단추를 사용하여 전자총의 독립성이 최대로 유지되는 최적상태로 시스템을 설정하였다. 최적상태에서의 디스플레이 시스템의 시간 안정성과 화면 균일도, 그리고 색 선명도를 평가하고, 실제 사용환경을 고려하여 암실과 명실에서의 명암대비를 비교하였다.

I. 서 론

근래에 컴퓨터를 활용한 제품 디자인 개발이 활발해지고 인터넷 보급이 확산되면서 디스플레이는 컴퓨터의 부속품쯤으로 여겨지던 과거와는 달리 정보제공의 중요한 요소로 인식되고 있다. 전자 상거래가 활성화됨에 따라 다양한 색상으로 디자인된 갖가지 제품들을 그대로 재현할 수 있어야 하는 시스템의 색 재현성 면에서 기술향상이 크게 요구되고 있다.

디스플레이의 색향상을 위해서는 먼저 디스플레이 시스템에 대한 객관적인 평가가 이루어져야 한다. 일반적으로 CRT 디스플레이 시스템은 컴퓨터와 전자회로부, 그리고 CRT로 구분될 수 있다. 현재 CRT 생산라인에서 CRT 자체에 대한 평가는 이루어지고 있으나, 실제로 시스템이 구성되었을 때 재현되는 색에 대한 평가는 아직 이루어지지 못하고 있다. 이는 동일한 CRT로 제조된 디스플레이라도 제조회사에 따라 전자회로부 조절의 정확도에 차이가 있고, 연결 컴퓨터의 사양이나 디스플레이 조절상태가 사용자 선택에 의존하게 되므로 시스템 상태에 대한 객관적인 기준을 정할 수 없기 때문이다.

이에 본 연구에서는 디스플레이 시스템의 구성요소가 CRT 화면의 형광소자에서 방출되는 빛의 세기에 미치는 영향을 이론적으로 분석하고 디스플레이 시스템의 contrast와 brightness 누름 단추 조절상태에 따른 회도 곡선의 변화를 측정한 결과, contrast와 brightness 조절에 의해 전자총의 독립성이 최대로 유지되는 최적상태로 시스템을 설정할 수 있음을 알아내었다. 측정대상 시스템의 최적상태에서 시간 안정성과 화면 균일도를 평가하였으며, Phosphor constancy 유지정도를 측정하여 색 선명도를 평가하였다. 또한 측정환경을 암실과 명실로 구분하여 사용환경을 고려한 명암대비도 평가하였다.

II. 이 론

CRT 디스플레이 시스템은 그림 1과 같이 컴퓨터와 신호처리 전자회로부, 그리고 CRT로 간략히 나타낼 수 있다. 컴퓨터에 내장된 비디오 보드의 DAC을 통해 R, G, B 디지털 신호

가 다음 식과 같이 전압으로 입력된다. 비디오 보드의 DAC 비트 수가 N 일 때 빨간색 신호의 디지털 값이 R 이라면 CRT 제어회로에 입력되는 전압은 다음과 같이 선형적으로 결정된다.

$$V_r = (V_{\max} - V_{\min}) \left(\frac{R}{2^N - 1} \right) + V_{\min} \quad (1)$$

는 비디오 보드의 최대, 최소 전압을 나타내며 녹색 신호와 파란색 신호에 대해서도 식(1)이 동일하게 적용된다.

전자회로부의 증폭기를 거쳐 CRT의 빨강 형광소자를 겨냥하는 전자총에 인가되는 전압은

$$V_{G,r} = a_r V_r + b_r \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서 a_r 은 증폭기의 증폭률이며 b_r 은 옵셋 전압이다. 인가 전압에 따라 제1 그리드를 통과하여 형광면에 도달되는 빔 전류 j_r 은 다음 식과 같이 비선형적인 관계를 지니고 있다(그림 2).

$$j_r = (V_{G,r} - V_{C,r})^{\gamma_r}, \quad V_{C,r} \leq V_{G,r} \\ = 0, \quad V_{C,r} < V_{G,r} \quad (3)$$

$V_{C,r}$ 와 γ_r 은 컷오프 전압과 감마값을 나타내는데 이들은 CRT 특성에 따라 결정된다. 전자가 CRT 전면에 도포된 빨강 형광소자를 때리면 빛이 방출되는데, 그 세기는 빔 전류에 비례하므로 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$M_{\lambda,r} = k_{\lambda,r} j_r \quad (4)$$

여기서 $k_{\lambda,r}$ 은 디스플레이 전면 유리나 형광물질의 특성에 따라 결정되는 비례상수이다. 식(1-3)에 의해 빨강, 초록, 그리고 파랑 빛의 세기는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[1]

$$M_{\lambda,r} = k_{\lambda,r} \left[a_r \left\{ (V_{\max} - V_{\min}) \left(\frac{R}{2^N - 1} \right) + V_{\min} \right\} + b_r \cdot V_{c,r} \right]^{\gamma_r} \quad (4a)$$

$$M_{\lambda,g} = k_{\lambda,g} \left[a_g \left\{ (V_{\max} - V_{\min}) \left(\frac{G}{2^N - 1} \right) + V_{\min} \right\} + b_g \cdot V_{c,g} \right]^{\gamma_g} \quad (4b)$$

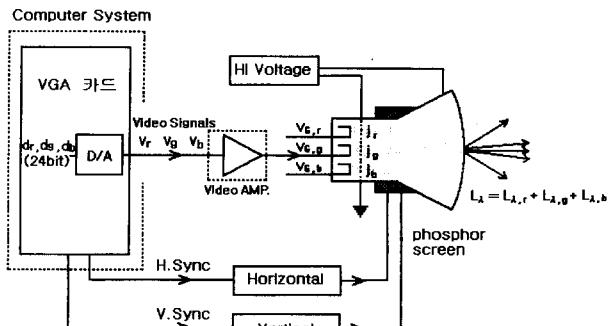


그림 1. CRT 디스플레이의 구조.

$$M_{\lambda, b} = k_{\lambda, b} \left[a_b \left((V_{\max} - V_{\min}) \left(\frac{R}{2^N - 1} \right) + V_{\min} \right) + b_b - V_{c, b} \right]^{\gamma} \quad (4c)$$

식 (4-a)~(4-c)는 각 전자총에 가해지는 입력 신호에 대한 해당 형광소자에서 방출되는 빛의 세기관계(휘도 곡선)를 나타낸다. 각 원색 빛의 세기는 입력 신호만의 지수 함수로 증가하는 것이 아니라, 비디오 보드의 설정 전압, 전자회로부의 증폭률과 옵셋 전압, 그리고 CRT의 컷오프 전압 등 모든 시스템 구성요소가 함께 기여하여 휘도 곡선을 이름을 알 수 있다. 특히 증폭률이 높아지면 신호값이 0일 때를 제외하고 높은 신호값일수록 방출되는 빛의 세기가 더욱 증가하고, 옵셋 전압이 높게 조절되면 0을 포함한 모든 신호값에 대해 세기가 증가하게됨을 예측할 수 있다.^[1]

한편 일반적으로 디스플레이에는 전면에 몇 개의 누름 단추가 나와 있어 사용자가 직접 화면상태를 조절할 수 있는데, 그 중에서 contrast와 brightness는 화면의 밝기를 조절할 수 있는 누름 단추이다. 이 때, contrast 누름 단추는 삼원색 신호의 증폭율을 같은 비율로 증감시키고, brightness 누름 단추는 삼원색 신호의 옵셋 전압을 같은 비율로 증감시키므로 이를 적절히 조절하면 시스템의 휘도 곡선을 변화시킬 수 있다. 즉, 각 시스템마다 디스플레이의 contrast와 brightness 누

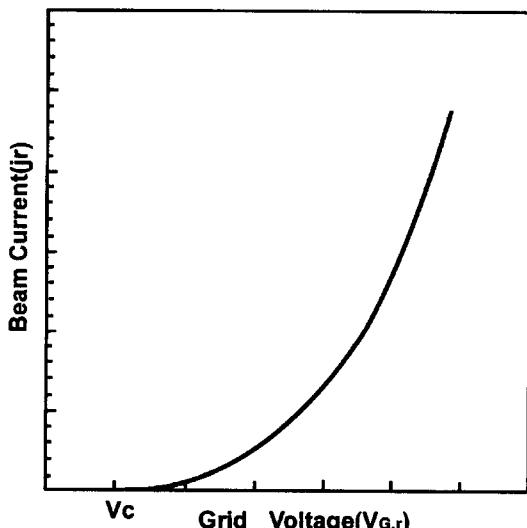


그림 2. 인가전압과 빔 전류와의 관계.

름 단추를 사용하여 세 전자총의 독립성이 최대로 유지되도록 조절하면 가장 자연스러운 색을 재현할 수 있는 최적상태로 설정할 수 있다.

III. 시스템의 최적상태 설정

CRT 디스플레이의 색은 이론적으로 삼원색의 형광소자가 방출하는 빨강, 초록, 그리고 파랑 빛의 가법 혼합으로 취급되고 있다. 그러나 각 형광소자에서 방출되는 빛의 세기가 해당 전자총에 가해지는 입력값에만 의존하고 다른 두 전자총에 가해지는 입력값에는 전혀 영향을 받지 않는 전자총의 독립성(Gun independence)이 유지될 때만 가법혼합이 성립된다.^[2] 즉, 세 형광소자가 모두 빛을 방출하여 생성된 혼합색의 휘도는 각 형광소자가 독립적으로 방출한 빛의 양을 더한 것과 일치하게 된다. 일반적으로 입력값이 클 때 전자총의 독립성이 유지되지 않아 혼합색의 휘도가 삼원색의 휘도를 더한 양보다 훨씬 적게 되고 더 큰 입력 신호에 대해서도 휘도가 증가하지 않는 휘도 곡선의 포화가 일어나 화면의 색이 부자연스럽게 된다. 따라서 전자총의 독립성이 최대로 유지되는 상태를 디스플레이 시스템의 최적상태로 정의할 수 있다.

앞 절에서 논한 바와 같이 디스플레이의 휘도 곡선은 contrast와 brightness 누름 단추를 사용하여 조절할 수 있다. 그림 3은 CRT 디스플레이 시스템의 휘도 특성을 측정하기 위해 구성한 장치도이다. 대상 CRT 디스플레이로는 SONY사의 Multiscan 200sf를 선정하였으며, Matrox사의 Mystique 220 보드(MGA chipset, VGA RAM:4M)가 내장된 컴퓨터에 연결하였다. R, G, B 각각 8 Bit씩 256단계의 표현이 가능하여 총 1,600만 가지의 색(트루칼라)을 재현할 수 있다. 측정장비로는 Minolta사의 Spectroradiometer인 CS-1000을 사용하여 디스플레이 화면에 재현된 색의 색도 좌표 u' , v' 와 휘도 $L(fL)$ 을 측정하였다. CS-1000은 카메라 형태의 비접촉식 측정기로서 그림 3과 같이 설치하여 디스플레이 화면상의 원하는 지점에 초점을 맞추어 측정하였다.^[3]

그림 4는 디스플레이의 contrast와 brightness 조절상태에 따른 무채색 톤의 휘도 변화를 측정하여 비교한 그래프이다. contrast와 brightness를 모두 40% 정도로 낮게 조절하면 ($C_{40}B_{40}$) 흰색을 비롯하여 전 톤의 휘도가 낮아지고, 이 상태에서 brightness만 80% 정도로 높이면 ($C_{40}B_{80}$) 전체적으로 휘도가 약간 높아지나 검정색의 휘도도 함께 높아져 명암대비가 떨어진다. 그러나 contrast만 80% 정도로 높이면 ($C_{80}B_{40}$) 검정

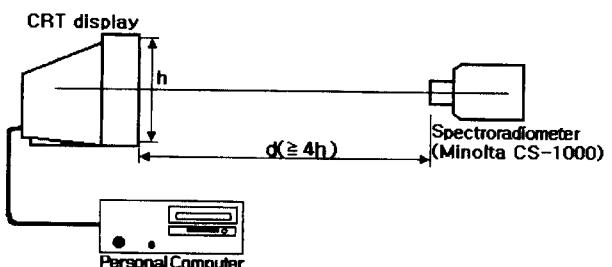


그림 3. 측정 장치도.

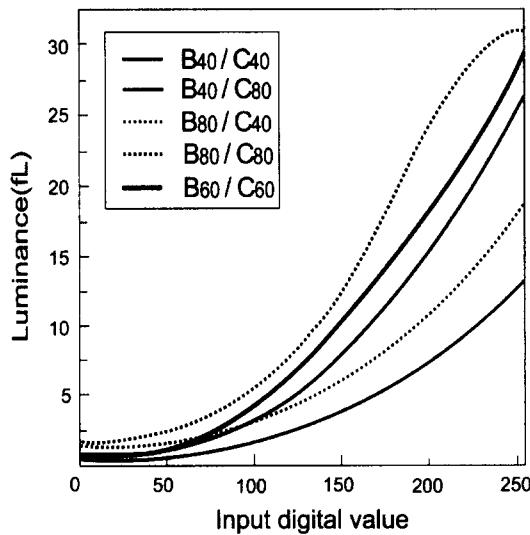
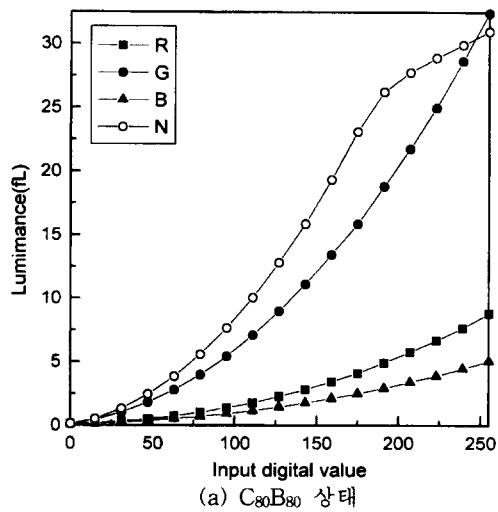
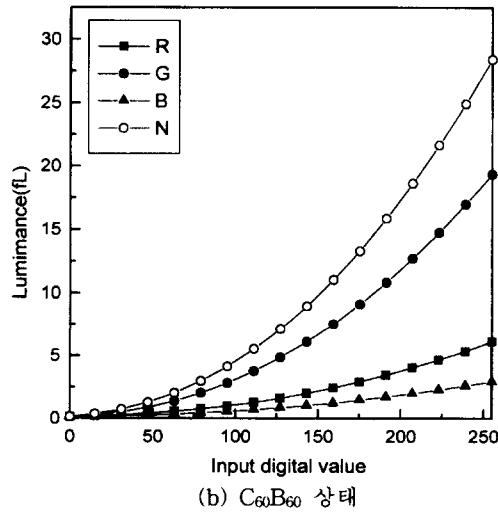


그림 4. contrast와 brightness 지정상태에 따른 휘도 특성.

(a) C₈₀B₈₀ 상태(b) C₆₀B₆₀ 상태그림 5. 빨강, 초록, 파랑과 무채색 톤의 휘도 (a) C₈₀B₈₀ 상태, (b) C₆₀B₆₀ 상태.

색 뿐만 아니라 낮은 입력 신호의 휘도 변화가 거의 없으므로 어두운 톤들의 휘도가 구분되지 않는다. 또한 contrast와 brightness를 모두 80% 정도로 높이면(C₈₀B₈₀) 검정색을 비롯하여 전 톤의 휘도가 높아져서 밝은 톤들의 휘도가 구분되지 않는다. 반면에 contrast와 brightness를 적절히 조절하면(C_{최적}B_{최적}) 검정색의 휘도는 낮으면서도 이웃하는 어두운 톤들의 휘도 차가 인지되고, 흰색의 휘도는 충분히 높으면서 이웃하는 밝은 톤들의 휘도 구분이 명확하게 된다.^[4] 본 실험에서 사용한 SONY Multiscan 200sf의 경우 contrast와 brightness가 각각 60% 정도일 때 최적상태를 나타내었다.

그림 5는 무채색 각 톤을 재현시키기 위해 세 전자총에 가해진 입력값을 각각 독립적으로 가하여 생성한 빨강, 초록, 그리고 파란색 톤의 휘도를 측정한 결과와 함께 나타내었다. 그림 5(a)는 C₈₀B₈₀ 상태에 대한 것이고 그림 5(b)는 C₆₀B₆₀ 상태에 대한 것이다. 그림 5(a)에서는 무채색의 휘도가 삼원색의 휘도를 더한 양에 비해 훨씬 적으며, 흰색을 비롯한 밝은 톤들의 휘도가 초록 원색만의 휘도 보다 감소된 현상을 볼 수 있다. 이로부터 C₈₀B₈₀ 상태에서는 전자총의 독립성이 전혀 유지되지 않음을 알 수 있다. 이에 비해 그림 5(b)에서는 전 톤에 대해 무채색의 휘도와 삼원색의 휘도를 더한 양이 거의 일치하여 전자총의 독립성이 잘 유지됨을 알 수 있다.

IV. 색재현성 평가

4.1. 시간 안정성

디스플레이 시스템의 최적상태에서 시간 안정성(Temporal stability)이 유지되기 위해 필요한 시간 즉 휘도 안정화 시간을 알아보기 위하여 디스플레이 전 화면에 White가 재현되도록 설정한 후 디스플레이를 켠 직후부터 1분 간격으로 60분 동안 중앙지점의 휘도를 측정하였다. 디스플레이의 전원을 끄고 다음 날 다시 측정하여 5회 측정한 결과 거의 비슷한 경향을 얻었으며 이들을 평균한 결과는 그림 6과 같다. 디스플레이를 켠 직후의 휘도는 평균값보다 높았으나 그 후 약 10분 가량 감소하다 다시 증가하였다. 시간이 지나면서 서서히

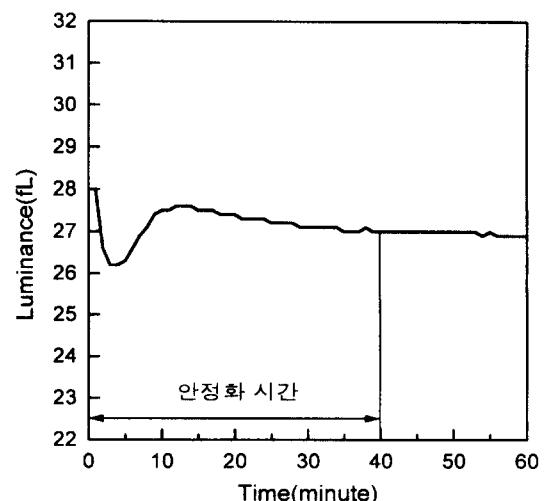


그림 6. 시간 안정성.

감소하다가 약 40분이 경과되면서 27.2 fL의 휘도로 안정되었다. 그러나 그림 6에 보면 약 50분이 경과된 후에 약간 변화가 생긴 후 다시 안정되는 것을 알 수 있다. 따라서 정확한 안정화 시간을 평가하기 위해서는 보다 장기간(Long-term)의 측정이 요구된다.^[3] 본 연구에서는 단기간(Short-term) 안정화 시간을 40분으로 평가하고, 모든 측정은 디스플레이 시스템을 켜고 2시간 경과된 후에 실시하였다.

4.2. 화면 균일도

디스플레이 화면의 균일도(Spatial uniformity)를 평가하기 위하여 전 화면에 흰색을 재현시키고 그림 7과 같이 화면상의 9지점에 대해 휘도와 색도 좌표 u' , v' 을 측정하였다. 각 지점에서 10회 측정된 값의 평균치와 표준편차를 구하여 표 1에 나타내었다. 휘도 균일도와 색도 균일도는 다음의 식으로 구하였다.^[3]

$$\text{휘도 균일도} =$$

$$\frac{\max(L_0, L_1, \dots, L_8) - \min(L_0, L_1, \dots, L_8)}{\max(L_0, L_1, \dots, L_8)} \times 100(\%) \quad (5)$$

$$\text{색도 균일도} :$$

$$u'_a = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 u' \quad \Delta u' = \max(|u'_i - u'_a|) \quad (6)$$

$$v'_a = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^8 v' \quad \Delta v' = \max(|v'_i - v'_a|)$$

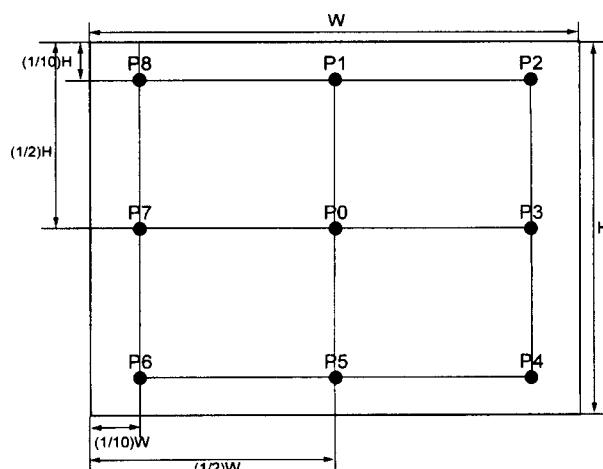


그림 7. 디스플레이 화면상의 9지점.

표 1. 화면의 9지점에서의 백색의 휘도와 색도

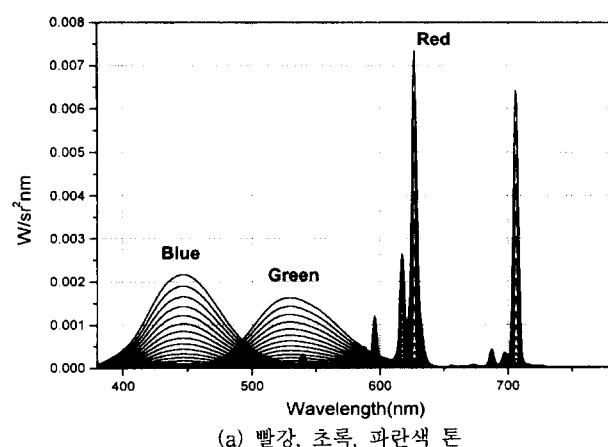
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
휘도 (fL)	27.34 ± 0.03	27.87 ± 0.03	27.50 ± 0.00	26.30 ± 0.00	26.50 ± 0.00	27.70 ± 0.00	27.47 ± 0.03	27.20 ± 0.00	27.70 ± 0.00
색도	u' 0.1900 ± 0.0004	u' 0.1938 ± 0.0003	u' 0.1900 ± 0.0001	u' 0.1900 ± 0.0002	u' 0.1907 ± 0.0002	u' 0.1925 ± 0.0001	u' 0.1894 ± 0.0003	u' 0.1899 ± 0.0002	u' 0.1910 ± 0.0002
	v' 0.4450 ± 0.0004	v' 0.4492 ± 0.0002	v' 0.4461 ± 0.0003	v' 0.4451 ± 0.0002	v' 0.4458 ± 0.0001	v' 0.4458 ± 0.0003	v' 0.4449 ± 0.0002	v' 0.4435 ± 0.0004	v' 0.4476 ± 0.0002

계산 결과 휘도 균일도는 약 5.6%, 색도 균일도는 $\Delta u'$ 가 0.0030, $\Delta v'$ 가 0.0033으로 평가되었다.

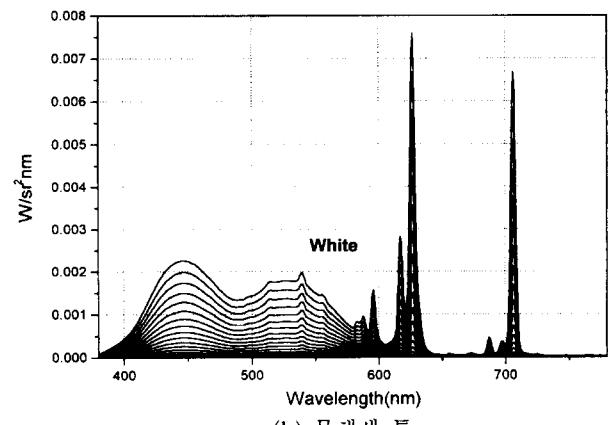
4.3. 색선행도

디스플레이의 색선행도는 빨강, 초록, 그리고 파랑 형광소자의 Phosphor constancy 유지정도를 측정하여 평가하였다. Phosphor constancy는 입력값의 크기가 감소하여도 각 형광소자가 방출하는 빛의 스펙트럼 분포는 항상 일정하며 단지 세 기만이 변함을 의미한다.^[2] 입력값을 0에서 255까지 16씩 증가시키면서 무채색과 삼원색의 17단계 톤에 대한 분광스펙트럼을 측정하였다.^[5]

그림 8은 각 색의 17단계 톤에 대한 분광 스펙트럼 분포



(a) 빨강, 초록, 파란색 톤



(b) 무채색 톤

그림 8. C₆₀B₆₀에서의 스펙트럼 (a) 빨강, 초록, 파란색 톤, (b) 무채색 톤.

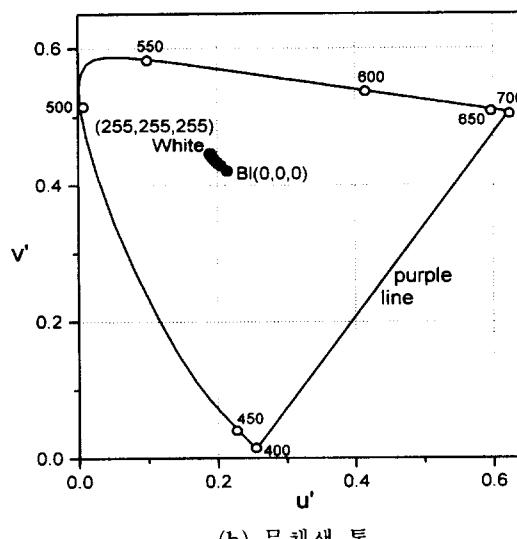
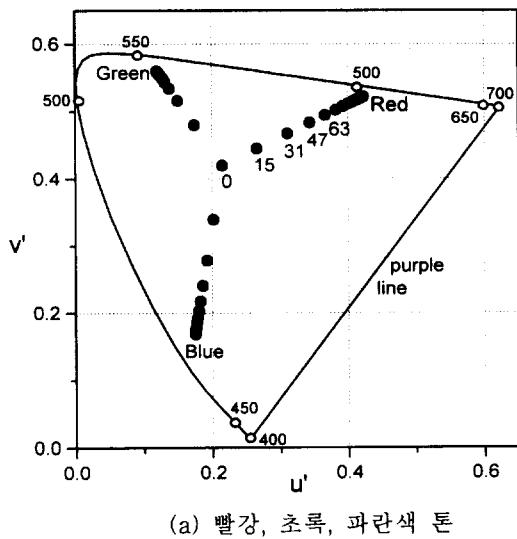


그림 9. $C_{60}B_{60}$ 에서의 색도 좌표 (a) 빨강, 초록, 파란색 톤, (b) 무채색 톤.

그래프로서 (a)는 삼원색, (b)는 무채색에 대한 것이다. (a), (b) 모두 입력값이 감소함에 따라 스펙트럼의 세기가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 스펙트럼분포의 변화를 알아보기 위하여 그림 8의 스펙트럼으로부터 색도 좌표를 계산하여 그림 9에 나타내었다. 색도 좌표는 스펙트럼의 파장별 세기분포에 의존하고 세기에는 무관하므로 그림 8에 나타낸 각 색의 17단계 톤의 스펙트럼 분포가 일정하다면 색도 좌표도 일정해야 한다.

그러나 그림 9(a)에서 보면 각 원색의 입력 신호가 255로 최대일 때는 색도 좌표가 가장자리에 위치하나 입력 신호가 작아질수록 점차 변이 되어 신호가 0인 바탕화면의 색도 좌표쪽으로 향하고 있다. 그림 9(b)에서도 마찬가지로 삼원색의 입력 신호가 모두 255일 때 생성되는 흰색에 비해 신호가 작아질수록 보라색 쪽으로 치우치고 있다. 이로써 측정 대상 디스플레이 시스템의 Phosphor constancy는 잘 유지되지 않음을

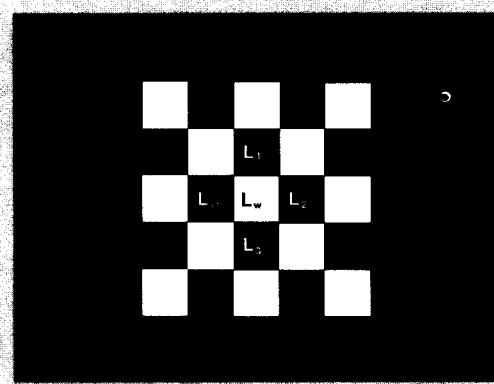


그림 10. 명암대비 측정을 위해 고안된 패턴.

알 수 있다. 디스플레이 바탕색의 휘도가 높고 보라색 기미를 띠고 있어 적은 입력값에 의해 발광되는 빛일수록 바탕색의 영향을 크게 받아 색변이가 일어나게 된다. 이와 같은 색변이로 디스플레이 시스템의 색선택도가 낮아지게 되는데, 바탕색의 휘도가 낮고 흰색의 색도 좌표와 일치할수록 Phosphor constancy 유지정도가 높아진다.^[6]

4.4. 명암대비

그림 10은 명암대비를 알아보기 위해 고안된 패턴으로서 흰색과 검정색을 바둑판식으로 배열한 것이다. 패턴의 중앙에 위치한 흰색의 휘도 L_w 와 주변 검정색의 휘도 L_1 , L_2 , L_3 , L_4 의 휘도를 측정하였다. 암실과 명실에서 각각 10회 측정하여 평균한 결과를 표 2에 나타내었다. 이 때 명실은 형광등이 설치된 일반 사무실로서 디스플레이가 놓인 탁자 면에서의 조도가 약 300 lx였다. 디스플레이 화면의 균일도와 화면에 비춰지는 조명의 비균일성을 고려하여 명암대비 C_{ratio} 를 다음 식으로 정의하면

$$C_{ratio} = \frac{4L_w}{(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)} \quad (7)$$

암실과 명실에서의 명암대비는 각각 27:1과 5:1로 구해진다. 명실에서는 주위 조명이 디스플레이 표면유리에서 반사되어 디스플레이에 재현된 색의 빛과 함께 관측된다. 일반적으로 조명에 의한 반사광의 세기는 디스플레이 재현색에 비하여 미약하지만 검정색에는 큰 영향을 미치게 되므로 명암대비가 크게 감소된다. 명실에서 요구되는 명암대비는 3:1 보다는 높고 15:1 보다는 낮으며, 최적상태가 7:1이므로 본 디스플레이 시스템의 명암대비는 적절하다고 평가된다.^[7]

표 2. 암실과 명실에서 측정된 L_w 와 주변 검정색 L_1 , L_2 , L_3 , L_4 의 휘도

	L_w (fL)	L_1 (fL)	L_2 (fL)	L_3 (fL)	L_4 (fL)
암실	27.68	0.336	0.362	0.312	0.306
명실	28.68	1.374	1.413	1.399	1.392

V. 결 론

디스플레이 시스템의 구성요소가 CRT 화면의 형광소자에서 방출되는 빛의 세기에 미치는 영향을 이론적으로 분석하고 디스플레이 시스템의 contrast와 brightness 조절상태에 따른 휘도 곡선의 변화를 측정한 결과, contrast와 brightness 조절에 의해 전자총의 독립성이 최대로 유지되는 최적상태로 시스템을 설정할 수 있음을 알아내었다.

측정대상 디스플레이 시스템은 SONY사의 Multiscan 200sf를 Matrox사의 Mystique 220 보드(MGA chipset, VGA RAM:4M)가 내장된 컴퓨터에 연결하여 구성하였으며, contrast와 brightness는 전자총의 독립성이 최대로 유지되도록 조절하였다. 단기간 안정화 시간은 40분으로 측정되었으며, 화면 균일도에서 휘도 균일도는 약 5.6%, 색도 균일도는 $\Delta u' = 0.0030$, $\Delta v' = 0.0033$ 으로 측정되어 매우 균일한 화질을 나타내는 것으로 평가되었다. 또한 무채색과 삼원색의 17단계 톤의 색도가 일정하지 않고 낮은 톤일수록 바탕색에 가깝게 색변이가 일어나므로 Phosphor constancy는 유지되지 않았다. 그리고 암실

에서의 명암대비는 27:1이었으나 실제로 디스플레이 시스템을 사용하는 사무실 환경에서는 명암대비가 5:1이었다.

앞으로 측정회수를 줄인 보다 효율적인 평가기술을 개발하여 시스템간의 비교평가를 실시할 예정이다.

참고문헌

- [1] Roy S. Berns, Ricardo J. Motta, Mark E. Gorzynski, *Color Res. Appl.* **18**, 299 (1993).
- [2] David H. Brainard, *Color Res. Appl.* **14**, 23 (1989).
- [3] IEC(International Electrotechnical Commission), IEC/100/PT61966 (1998).
- [4] 김홍석, 박승옥, 백정기, 98 한국감성과학회 추계학술대회 논문집 (한국감성과학회, 1998), 70.
- [5] 박승옥, 김홍석, 제8회 광기술 워크샵 논문집 (한국광학회, 1998).
- [6] 박승옥, 김홍석, 조대근, 응용물리 **11**, 115 (1998).
- [7] Robert J. Beaton, SPIE/IS&T Symposium Short course notes (1991).

Evaluation of color reproduction characteristics of CRT display system

Hong-Suk Kim, Seung-Ok Park and Jung-Ki Baek

Physics/Optical Engineering Lab. Daejin University, Pochon 487-800, Korea

(Received February 8, 1999, Revised manuscript received May 19, 1999)

The relationship is derived for color CRT display system between the spectral radiant existence emitted and digital inputs. The amount of spectral radiant existence depends on the characteristics of the video board, electric circuits, and CRT as well as digital inputs. Especially, the function of this relationship changes as the amplifier gain and offset voltage of electric circuits. In this study, we set the test display system on the optimum state which satisfies gun independence characteristics by using the contrast and the brightness controls of display. Temporal stability, spacial uniformity, and color distinction of CRT display system are evaluated at the optimum state. Also contrasts in dark room and illuminated room are compared.