

3관식 프로젝션 HDTV의 기준 백색 설정

정재영, 구병준, 권용대, 이광순, 송규익
경북대학교 전자공학과
전화 : 053-950-5533 / 핸드폰 : 011-541-2771

The Most Suitable Reference White Setting for Three-tube Projection HDTV

Jae-Young Jung, Byung-Joon Goo, Yong-Dae Kwon, Gwang-Soon Lee, Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
E-mail : lcdyoung@hanmail.net

Abstract

The color television signal and color receivers should be balanced for the same value of reference white to achieve colorimetric fidelity and to minimize interference. The NTSC signal is balanced for white at 6774 K and most existing receivers are balanced between 6500 K and 10000 K for many reasons.

In this paper, we analyze beam current ratio, lightness, and channel gain ratio according to the color temperature for the three-tube projection HDTV. We also propose the brighter reference white for the three-tube projection HDTV based on the Helmholtz-Kohlrausch effect and the optical resolution of the image.

In computer simulation we confirmed the most suitable reference white using the proposed analysis method.

I. 서론

최근 대형 TV 화면에 대한 소비자의 선호도가 증가함에 따라 3관식 프로젝션 (projection) 텔레비전의 수요가 늘고 있다.

3관식 프로젝션 HDTV에서는 영상의 충분한 밝기가 요구되기 때문에 발광 효율과 인광체 좌표가 NTSC

(National Television System Committee) 표준과 다른 것을 사용하고 있다.

그러나 기준백색 (reference white)의 경우 지금까지는 막연히 주관적 판단에 의해서 제조회사마다 아주 다르게 설정되어 왔다.

본 논문에서는 3관식 프로젝션 HDTV의 RGB 인광체에 대해 기준 백색 설정과 RGB 빔 전류비의 관계를 해석하였다. 그리고 모의 실험을 통하여 빔 전류비에 따른 흑백 경계 영역에서의 상승거리 (rising distance)의 변화를 고려하면서 더욱 밝은 백색 영상을 구현하는 기준 백색의 범위를 제안하였다.

II. Projection TV의 기준 백색 설정

1. 기준 백색에 따른 인광체 좌표와 자극량 RGB의 관계

칼러 수상관에서 사용되는 RGB 인광체의 XYZ 3 자극치는

$$\begin{aligned} X &= X_R + X_G + X_B \\ Y &= Y_R + Y_G + Y_B \\ Z &= Z_R + Z_G + Z_B \end{aligned} \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 X_R, Y_R, Z_R 는 각각 R 인광체의 3자극치 X, Y, 및 Z를 나타내며, G 및 B 인

광체에 대해서도 마찬가지이다. 또한 인광체의 X , Y , 및 Z 자극치는

$$\begin{aligned} X &= x_R K_R R + x_G K_G G + x_B K_B B \\ Y &= y_R K_R R + y_G K_G G + y_B K_B B \\ Z &= z_R K_R R + z_G K_G G + z_B K_B B \end{aligned} \quad (2)$$

로 달리 표현할 수 있다.^[1] 여기서 x_R , y_R , 및 z_R 는 각각 R 인광체의 좌표를 나타내며, G 및 B 인광체에 대해서도 마찬가지이다. 또한 K_R , K_G , 및 K_B 는 RGB 채널의 이득에 의해 결정되는 상수이다. 이때 $R = G = B = 1$ 일 때 색도 좌표 x_W , y_W , 및 z_W 가 기준 백색이 되도록 K_R , K_G , 및 K_B 를 결정하여야 한다. 그리고 식 (2)를 $Y_W = 1$ 로 정규화 하면

$$\begin{aligned} X_W &= \frac{x_W}{y_W} = x_R K_R + x_G K_G + x_B K_B \\ Y_W &= 1 = y_R K_R + y_G K_G + y_B K_B \\ Z_W &= \frac{z_W}{y_W} = z_R K_R + z_G K_G + z_B K_B \end{aligned} \quad (3)$$

로 주어진다.

식 (3)에서 K_R , K_G , 및 K_B 를 구하면

$$\begin{bmatrix} K_R \\ K_G \\ K_B \end{bmatrix} = \frac{1}{y_W} \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_W \\ y_W \\ z_W \end{bmatrix} \quad (4)$$

와 같다. 그리고 식 (2)로부터 자극량 XYZ와 RGB관계를 행렬식으로 나타내면

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_R & 0 & 0 \\ 0 & K_G & 0 \\ 0 & 0 & K_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

와 같이 주어진다.

2. 기준 백색과 RGB 빔 전류비의 관계

수상관에서 수신된 신호로부터 임의의 기준 백색을 재현할 경우, 식 (3)으로부터 기준 백색의 자극량 Y_W 는

$$Y_W = y_R K_R + y_G K_G + y_B K_B \quad (6)$$

로 주어진다.

한편, 인광체에 따른 빔 전류와 빛 밝기 관계가 선형임을 가정하면 기준 백색에 대한 휘도신호 Y_W 는

$$Y_W = L_R I_R + L_G I_G + L_B I_B \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 L_R , L_G , 및 L_B 는 각 인광체의 전류에 대한 발광 비례 계수이며 I_R , I_G , 및 I_B 는 RGB의 각 빔 전류이다. 따라서 식 (6)과 식 (7)로부터 기준 백색을 재현할 경우 RGB 인광체에 대한 빔 전류비 및 비디오 전압 증폭기의 이득비는 각각

$$I_R : I_G : I_B = \frac{y_R K_R}{L_R} : \frac{y_G K_G}{L_G} : \frac{y_B K_B}{L_B} \quad (8-1)$$

$$A_R : A_G : A_B = \left[\frac{y_R K_R}{L_R} \right]^{\frac{1}{\gamma_d}} : \left[\frac{y_G K_G}{L_G} \right]^{\frac{1}{\gamma_d}} : \left[\frac{y_B K_B}{L_B} \right]^{\frac{1}{\gamma_d}} \quad (8-2)$$

임을 알 수 있다. 여기서 A_R , A_G , 및 A_B 는 비디오 전압 증폭기의 이득비이고, γ_d 는 수상관의 감마 값이다.

3. 빔 주사시 공간 밝기 분포^{[2]-[3]}

CRT에서 전자 빔 프로파일은 일반적으로 가우스 분포를 하고 있으며, 빔 전류가 증가할수록 그 분포가 더욱 넓어진다. 스크린 상의 공간 밝기 분포는 빔의 중심에서부터 거리 r 만큼 떨어진 곳 (x, y) 의 밝기 $\rho(r)$ 은

$$\rho(r) = \rho_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right) = \rho_0 \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{r_0^2}\right) \quad (9)$$

로 주어진다. 여기서 ρ_0 는 빔 중심에서의 밝기이고, r_0 는 빔의 중심에서부터 $\rho(r)$ 값이 ρ_0/e 로 떨어지는 곳까지의 거리이며, 빔 프로파일의 분포 폭을 나타내는 요소이다. 또한 단일 빔 프로파일의 중심에서의 공간 밝기 ρ_0 는

$$\rho_0 \propto \frac{I}{r_0^2} \quad (10)$$

로 주어진다.

여기서 I 는 전체 빔 전류이다. 또한 빔 폭 r_0 는 빔 전류에 따라 선형적으로 증가함으로 수상관의 중앙 영역에서는 근사적으로

$$r_0 = \alpha I + \beta \quad (11)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 α 와 β 는 상수로서 빔 전류 값에 따른 r_0 를 측정함으로써 구할 수 있다.

식 (9), 식 (10), 및 식 (11)로 모델링 되는 프로파일의 전자빔이 주사될 때 스크린 수평 공간상의 임의의 위치 x 에서의 밝기 $B(x)$ 는

$$B(x) \propto \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r) dy dx = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) dx \quad (12)$$

$$h(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r) dy \quad (13)$$

로 계산된다.

III. 모의 실험 결과 및 고찰

광원의 분광 분포와 색도가 동일한 흑체 (black body)의 절대 온도를 그 광원의 색온도 (color temperature)라 한다. 광원색의 색도와 가장 근접한 색도를 가지는 흑체의 절대 온도를 상관 색온도 (correlated color temperature)로 정의한다.^[1]

기준 백색의 좌표를 결정하기 위하여 흑체의 궤적 및 상관 색온도에 대하여 백색의 최대 밝기와 흑체 경계 영역에서의 상승거리 변화를 조사하는 모의 실험을 하였다. 이 실험에서는 허용 가능한 기준 백색의 범위를 흑체 궤적의 색온도 5000 K 에서부터 12000 K 까지 제한하였으며 상관 색온도는 -10 MPCD (minimum perceptible color difference)부터 10 MPCD 까지 10 MPCD 간격으로 증가시키면서 모의 실험을 하였다. 모의 실험에 사용된 52인치 3관식 (모델명: P16LNM- 07RJA, P16LNM07HKA, P16LNM07BMB) 프로젝션 HDTV의 인광체 좌표와 휘도에 대한 전류의 관계를 나타내는 비례상수 L은 표 1에서와 같다.

표 1. 모의 실험에 사용된 인광체 좌표와 비례상수 L

	x	y	z	L
R	0.644	0.347	0.009	3.725
G	0.337	0.575	0.088	8.686
B	0.145	0.0560	0.799	0.490

1. 기준 백색의 휘도

3관식 프로젝션 HDTV에서 RGB 각각의 관의 전류 중 가장 많은 전류가 흐르는 관의 전류를 최대 0.7 [mA]가 되도록 제한하였을 경우 흑체의 색온도 및 상관 색온도에 따른 기준 백색의 휘도는 그림 1에서와 같다. 여기서 상대적 휘도 신호의 최대 밝기는 흑체 궤적에서 5000 K의 백색 휘도를 100이 되도록 정규화 하였다.

기준 백색의 측색적 밝기 측면에서 보면 3관식 프로젝션 HDTV인 경우에는 색온도가 증가할수록 휘도는 감소하였다. 또한 기준 백색의 휘도는 MPCD가 증가할수록 밝게 나타나는데 이는 기준 백색의 위치가 발광 효율이 가장 높은 G 인광체의 좌표 방향으로 이동

하기 때문이다.

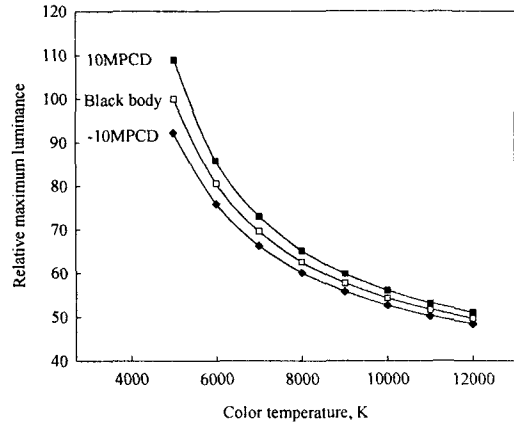


그림 1. 색온도에 따른 기준 백색의 휘도

2. Helmholtz-Kohlrausch 현상을 고려한 밝기

그림 1에서의 기준 백색의 휘도는 디스플레이면 상에서 측색적인 밝기이며 눈이 느끼는 심리 물리적인 밝기는 Helmholtz-Kohlrausch 현상에 의해서 달라진다.^{[4]-[5]} Helmholtz-Kohlrausch 현상은 동일한 휘도의 색광에서 고채도의 색이 더 밝게 느껴지는 현상으로 그 측정 결과는 그림 2에서와 같다.

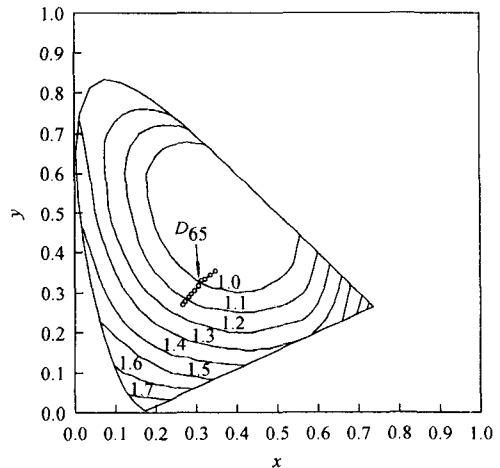


그림 2. Helmholtz-Kohlrausch 현상도

이 그림에서 등고선은 백색광 D₆₅와 밝기가 같게 느껴지는 색광의 휘도를 구하고, 그 역수값이 같아지는 색좌표를 연결하여 그린 등휘도 곡선이다.

그림 2의 Helmholtz-Kohlrausch 현상의 가중치

(weighting)를 고려하여 그림 1의 수상기 디스플레이 기준 백색의 밝기를 다시 표현하면 그림 3에서와 같다.

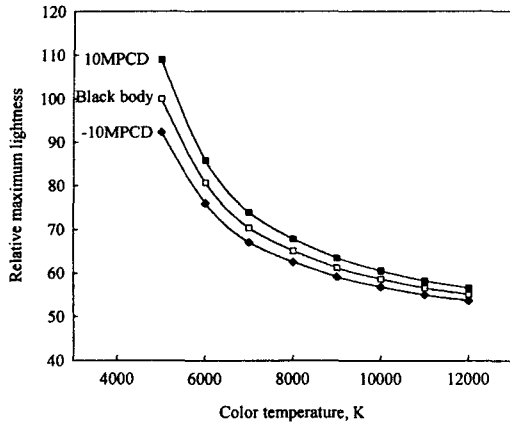


그림 3. Helmholtz-Kohlrausch 현상을 고려한 색온도에 따른 기준 백색의 밝기

그림 2와 그림 3을 비교하면 7000 K 이상의 색온도에서 눈이 느끼는 밝기는 그림 1에서 보다 상승함을 알 수 있다.

3. 흑백 경계 영역에서의 상승거리

빔 전류비의 변화에 따른 RGB 전자 빔 프로파일은 스크린상의 공간 밝기 분포에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저, 입력되는 계단과 영상 전압 신호를 HDTV의 주파수 대역 30 [MHz]로 제한한 후, 프로젝션 CRT의 감마 특성에 따라 비선형적인 전류로 변환한다. 그 다음에 프로젝션 스크린 상에 빔 전류 값에 해당하는 단일 빔 프로파일을 생성한 후 전류 변화에 따라 주사되는 모든 단일 빔 프로파일을 적분하여 스크린 상의 공간 밝기 분포를 계산하였다. 이 과정에서 증폭기의 이득과 대역폭의 좁은 일정하다는 사실에 근거하여 모의 실험을 하였다.

그 결과 상관 색온도를 매개변수로 한 상승거리의 변화는 그림 4에서와 같다. 이 그림에서 색온도가 증가 할수록 계단과 신호에 대한 경계영역의 공간 밝기 분포의 상승거리는 감소하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 Helmholtz-Kohlrausch 현상을 고려한 밝기와 빔 프로파일에 의한 화질의 열화를 모두 고려하여 3관식 프로젝션 HDTV인 경우 최적의 기준 백색 설정을 위한 범위를 그림 4에 나타내었다.

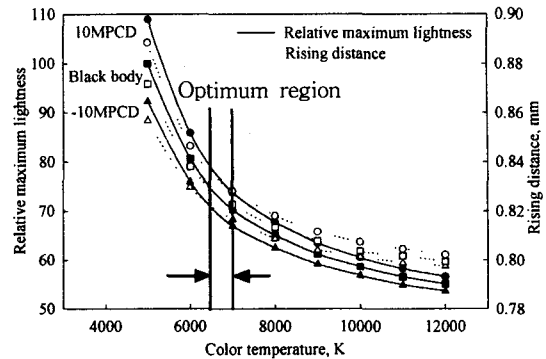


그림 4. 색온도 및 상관 색 온도에 따른 기준 백색의 밝기 및 상승거리

IV. 결론

본 논문에서는 3관식 프로젝션 HDTV의 RGB 빔 전류비와 기준 백색의 관계를 해석하고 최대 밝기를 조사하였다. 또한 빔 프로파일에 의한 화질의 열화를 알아보기 위해 계단과 입력신호에 대한 상승거리를 컴퓨터 모의 실험을 통하여 밝혔다.

제안한 방식에 의해 설정된 기준 백색의 설정에서 기존의 P22 계열 인광체를 사용하는 CRT TV에서는 NTSC 표준 광원의 기준 백색 보다 높은 9300 K 에서 밝은 백색을 구현할 수 있었지만, 3관식 프로젝션 HDTV에서는 그림 4에서 제안한 6500 K 에서 7000 K 사이의 범위를 기준백색을 설정하는 것이 최적임을 제안하였다.

참고 문헌

- [1] 송규익 강의자료, 색채 디스플레이 공학, 도서출판 화성, Aug. 1999.
- [2] G. Haenen and H. Simons, Scan velocity modulation increases TV picture sharpness, *Electronics Components and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 38-41, Nov. 1981.
- [3] S. Yoshida, A. Ohkoshi, and K. Shinkai, "Achievement of High Picture Quality in Color CRTs with the Beam Scan Velocity Modulation Method," *IEEE Trans. CE*, vol. 23, no. 3, pp. 366-374, Aug. 1977.
- [4] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*. John Wiley & Sons, 1982.
- [5] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.