

論文 98-35S-11-15

# 시각계 색 순응을 고려한 텔레비전 수상기에서의 색 재현

## (Color Reproduction in Television Receiver Based on Chromatic Adaptation of Human Visual System)

崔 德 圭 \* , 韓 纘 豪 \* , 李 健 一 \* , 宋 奎 翼 \*

(Duk Kyu Choi, Chan Ho Han, Kuhn Il Lee, and Kyu Ik Sohng)

### 요 약

시청자가 일반 가정에서 텔레비전을 시청할때 주로 백열등이나 형광등의 실내 조명광을 켜 상태에서 시청하게 된다. 시각이 표준 조명과 다른 주위 조명광에 색 순응되어졌을때, 텔레비전 수상기의 동일한 색도는 꽤 다른 색으로 느껴진다. 따라서 텔레비전 색 재현에서는 인간 시각의 색 순응 현상을 고려한 원 피사체의 결보기를 재현하는 대응색 재현이 바람직하다. 본 논문에서는 텔레비전을 표준 조명 ( $D_{65}$ )이 아닌 백열등이나 형광등 조명하에서 시청할 때 인간 시각의 색 순응 현상을 고려하여 원 피사체의 색과 동일한 느낌을 갖도록 수상관 상에서 대응색을 재현하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 주위 조명광에 의한 눈의 순응 화이트 좌표를 Hunt의 실험결과로부터 얻었으며, 색 순응 현상에 의한 대응색의 좌표를 Bartleson의 색 순응 예측으로부터 구하였다. 또한 제안한 방법을 실제 텔레비전에 적용시키기 위하여 텔레비전 수상기 내부의 색 복조축 위상 및 이득을 독립적으로 변화시켜 주위 조명에 따른 대응색이 디스플레이 되도록 하였다. 제안된 방법을 실험한 결과 형광등과 백열등 조명에 대한 대응색으로 실제의 수상기에 디스플레이시켜서 텔레비전을 시청했을 때, 보정하지 않은 경우에 비하여 원 피사체의 색에 매우 가깝게 느껴짐을 확인하였다.

### Abstract

The viewers primarily watch a television under the surround light source of an incandescent or a fluorescent light. When human visual system has been adapted chromatically under the different surround light, the same chromaticities elicit quite different color appearances. Therefore, the corresponding color reproduction is the most suitable objective of a color television system.

In this paper, an efficient corresponding color reproduction method based on the chromatic adaptation of human visual system is proposed in which colors in the display have the same appearance as the colors in the original would have had if they had been illuminated by standard illuminant ( $D_{65}$ ). The chromaticities that appeared neutral in human visual system were determined by the Hunt's experimental results of the color adaptation in picture viewing situations and the corresponding chromaticity coordinates of stimuli in chromatic adaptation were obtained by the Bartleson's theory. Also, the corresponding color reproduction is realized by changing the phase and the gain of the demodulation axes in television receiver.

Experimental results show that the proposed corresponding color displayed on the television is better than that of the conventional colorimetric color reproduction under the surround light sources.

\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic & Elec. Eng., Kyungpook National Univ.)

接受日字: 1998年8月27日, 수정완료일: 1998年10月24日

### I. 서 론

NTSC (National Television System Committee) 컬러 텔레비전 시스템에서는 NTSC 제정 당시의

형광체 (phosphor) 좌표와 C (6774 K) 광원의 기준 백색 (reference white)을 표준 모니터의 기준으로 정하였다. 그러나 수상기에 사용된 형광체와 기준 백색이 NTSC 표준의 것과 달라질 때 수상기에 재현된 색에는 좌표적 색 오차 (colorimetric color error)가 유발된다.<sup>[1]-[3]</sup> 이러한 재현색 오차를 줄이기 위하여 좌표적 색 재현 (colorimetric color reproduction) 측면에서 오차 정정 매트릭스 (error correction matrix)로써 보정하거나 복조축의 위상 및 이득을 표준과 달리 변화시켜 오차를 저감시키는 방법 등으로 사용하여 왔다.<sup>[2],[3]</sup>

한편, 시청자가 일반 가정에서 텔레비전을 시청할 때 주로 실내 조명광 (surround light source)을 켜진 상태에서 시청하게 되므로 텔레비전 수상기에 재현된 색에 대한 시청자의 느낌은 텔레비전 자체의 디스플레이 색만에 의존하지 않고 주위 조명광에 의한 영향을 받게 된다. 이러한 영향은 주위 조명광이 텔레비전 수상기 상에 조사되어 색도를 변화시키는 경우<sup>[4]</sup>와, 텔레비전 수상기의 동일한 색도가 주위 조명광에 따라 인간 시각이 색 순응 (chromatic adaptation)<sup>[5]-[7]</sup>되어 달리 느껴지는 두가지 경우로 나눌 수 있다. 이 중에서 어느 것이 더 많은 영향을 미치는지를 알아 보기 위하여 본 논문에서 텔레비전 수상기 상에 재현된 칼라바를 표준 카메라로 획득하여 벡터스코프로 관찰하는 실험의 결과에 의하면 후자에 의한 영향이 더 심한 것으로 조사되었다.

따라서 주위 조명광에 의한 시각의 색 순응 특성을 고려한 텔레비전 수상기의 색 재현 오차를 저감시킬 필요가 있다. 색 순응 특성을 고려할 경우 수상기에 재현된 화상의 평균 휘도가 원 피사체의 평균 휘도에 비례한다고 가정할 때, 원 피사체의 겉보기 (appearance)를 재현하는 대응색 재현 (corresponding color reproduction)이 필요하다. 여기서 대응색 (corresponding color)이란 인간 시각의 색 순응 현상에 의하여 조명이 변화했을 때 변화전의 색과 같은 느낌을 주는 색을 뜻한다.<sup>[5]-[7]</sup>

본 논문에서는 텔레비전을 표준 조명 (D<sub>65</sub>)이 아닌 백열등이나 형광등 조명하에서 시청할 때 인간 시각의 색 순응 현상을 고려하여 표준 조명광 하에서 원 피사체의 색과 동일한 느낌을 갖도록 수상관상에서 대응색을 재현하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 주위 조명광과 텔레비전 디스플레이 광에 의한 혼합광

에 대한 눈의 순응 화이트 좌표를 Hunt<sup>[8]</sup>의 실험결과로부터 얻었으며, 눈의 색 순응에 따른 대응색의 좌표는 Bartleson<sup>[7]</sup>의 색 순응 예측으로부터 구하였다. 그리고 텔레비전 수상기 내부의 색 복조축 위상 및 이득을 독립적으로 변화시켜 주위 조명과 디스플레이 화이트에 눈이 순응 되었을때의 그 대응색이 디스플레이 되도록 하는 방법으로 실제 텔레비전에 적용시켰다.

제안한 대응색 재현을 복조축 위상 및 이득을 독립 변화시킬 수 있는 세 채널 복조 방식으로 모의 실험을 행하여 균일 좌표계로 비교하였을때 전반적으로 대응색을 제대로 재현할 수 있음을 확인 하였다.

## II. 이 론

### 1. 색 좌표계

CIE  $xy$  색 좌표계에서 임의의 색에 대한 좌표  $x$ ,  $y$ , 및  $z$ 는

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (1)$$

로 주어진다.<sup>[5]</sup> 여기서  $X$ ,  $Y$ , 및  $Z$ 는 빛의 3자극치 (tristimulus values)이다.

또한 좌표상의 색차와 시각으로 느끼는 색차 간의 비균일성 (visual nonuniformity)을 줄인 1960년의 CIE  $uv$ 좌표계와 1976년의 CIE  $u'v'$ 좌표계는 각각

$$\begin{aligned} u &= \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3} \\ v &= \frac{6Y}{X+15Y+3Z} = \frac{6y}{-2x+12y+3} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} u' &= u = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3} \\ v' &= 1.5u = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3} \end{aligned} \quad (3)$$

로 주어진다. 한편, 밝기 정보까지 포함하는 좀 더 균일한 공간 좌표계인 1976년 CIE  $L^*u^*v^*$  좌표계는

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ u^* &= 13L^*(u' - u'_n) \\ v^* &= 13L^*(v' - v'_n) \end{aligned} \quad (4)$$

로 주어진다.<sup>[5]</sup> 여기서  $u_n$  및  $v_n$ 는 각각 기준 백색에 대한  $u'$  및  $v'$ 좌표 값이다.

2. 비디오 카메라 및 수상기 디스플레이에서의 색 자극치 XYZ와 RGB 신호와의 관계

비디오 카메라에 있어서 색 자극치 X, Y, 및 Z로부터 R, G, 및 B신호로의 변환과 수상기 디스플레이에 있어서 R, G, 및 B신호로부터 색 자극치 X, Y, 및 Z로의 변환 관계를 구하기 위해서는 각각 적용될 형광체 및 기준 백색의 좌표 값이 필요하다. R, G, 및 B신호로부터 X, Y, 및 Z로의 변환하기 위한 변환 매트릭스는

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

로 주어진다.<sup>[1]</sup> 여기서  $x_R$ ,  $y_R$ , 및  $z_R$ 는 각각 R형광체의 좌표를 나타내며, G 및 B형광체에 대해서도 마찬가지이다. 한편 채널이득  $K_R$ ,  $K_G$ , 및  $K_B$ 는

$$\begin{bmatrix} K_R \\ K_G \\ K_B \end{bmatrix} = \frac{1}{y_W} \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_W \\ y_W \\ z_W \end{bmatrix} \quad (6)$$

로 주어지며,  $x_W$ ,  $y_W$ , 및  $z_W$ 는 기준 백색의 좌표이다. 카메라에서의 각 채널이득은 기준 백색의 자극치가  $X_W$ ,  $Y_W$ , 및  $Z_W$ 일 때  $R=G=B=1$ 이 되도록 조정하고, 수상기 디스플레이에서의 각 채널이득은 각 채널 자극치  $R=G=B=1$ 일 때 기준 백색의 자극치  $X_W$ ,  $Y_W$ , 및  $Z_W$ 가 되도록 한다.

3. 색 순응

눈이 주위 조명에 순응하여 주위 조명에 따라 동일한 발광체의 색이 달리 보이는 시각 특성을 색 순응 현상이라고 한다. 이때 한 관찰자가 특정 조명하에서 보았던 색과 다른 조명하에서 동일하게 보이는 색을 대응색이라 한다.<sup>[5]-[7]</sup> Bartleson의 색 순응 현상 실험<sup>[6]</sup>에서 인간 시각이 D65 주광(daylight)에 순응되었을 때의 색좌표와, A광원(incandescent light)에 순응되었을 때에 동일한 색으로 보이는 대응색들의 좌표를 그림 1에  $u'v'$  좌표계로 나타내었다. 이 그림에서 화살표의 꼬리 부분은 D65광원에 순응되었을 때

의 색도 좌표를 나타내고, 머리 부분은 A광원에 순응되었을 때의 그 대응색을 나타낸다.

이러한 대응색을 예측하기 위한 Bartleson의 예측 변환식은

$$\begin{aligned} R' &= a_R R \\ G' &= a_G G \\ B' &= k(a_B B)^p \end{aligned} \quad (7)$$

와 같이 주어진다.<sup>[7]</sup> 여기서 X, Y, 및 Z로부터 R, G, 및 B로의 변환은 각각

$$\begin{aligned} R &= 0.0713(X/Y) + 0.9625(Y/Y) - 0.0147(Z/Y) \\ G &= -0.3925(X/Y) + 1.1668(Y/Y) + 0.0815(Z/Y) \\ B &= 0.5610(Z/Y) \end{aligned} \quad (8)$$

로 주어지고, 비례계수  $a_R$ ,  $a_G$ , 및  $a_B$ 는 각각

$$\begin{aligned} a_R &= R_n/R_n \\ a_G &= G_n/G_n \\ a_B &= B_n/B_n \end{aligned} \quad (9)$$

로 주어지며,  $n$ 은 조명광을 나타낸다. 식 (7)에서 B채널의 멱수  $p$ 와 추가적인 비례계수  $k$ 는 각각

$$\begin{aligned} p &= 0.326(a_R)^{27.45} + 0.325(a_G)^{-3.91} + 0.340(a_B)^{-0.45} \\ k &= a_B B_n / (a_B B_n)^p \end{aligned} \quad (10)$$

로 구할 수 있다. 임의 색의 대응색의 자극치  $R'$ ,  $G'$ , 및  $B'$ 로부터 그의  $xy$ 좌표는

$$\begin{aligned} x'' &= \frac{2.1494r'' - 2.4439g'' + 0.3676}{1.2194r'' - 4.076g'' + 2.1501} \\ y'' &= \frac{0.8525r'' - 0.1538g''}{1.2194r'' - 4.076g'' + 2.1501} \end{aligned} \quad (12)$$

로 변환한다. 여기서  $r''$  및  $g''$ 는 각각

$$\begin{aligned} r'' &= R'' / (R'' + G'' + B'') \\ g'' &= G'' / (R'' + G'' + B'') \end{aligned} \quad (13)$$

로 주어진다.

한편 텔레비전을 시청할 때 시청자가 주위 조명광에 순응되는 경로는 조명광으로 부터 직접 또는 벽에 반사되어 오는 광과 텔레비전 자체의 디스플레이 광 두 가지를 고려할 수 있다.

Hunt는 실험을 통하여 두 종류의 혼합된 조명광에 의한 눈의 순응 화이트는  $uv$ 좌표계에서 백열등의 조도에 따라 주위 조명광으로 이동하는 경향이 있으며,

두 광원을 잇는 직선상에 존재함을 밝혔다.<sup>[8]</sup> Hunt의 실험 결과로서 백열등 조명하에서 텔레비전을 시청할 경우 조도에 따른 시청자 눈의 순응 화이트 좌표의 변화를 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 \*는 텔레비전의 디스플레이 기준 백색 좌표를 나타내고, ●는 실험에 사용된 디스플레이 화상 자체의 평균색 좌표를 나타내며 이는 텔레비전의 기준 백색의 좌표와 거의 유사함을 알 수 있다. 그리고 백열등 조명의 조도에 따라 순응된 눈의 화이트는 ▲로써 표시하고 있다.

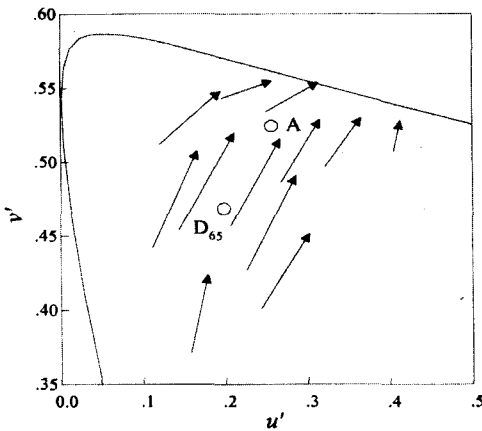


그림 1. Bartleson의 색 순응 실험에 의한 대응색  
Fig. 1. Corresponding colors in the Bartleson's experiment.

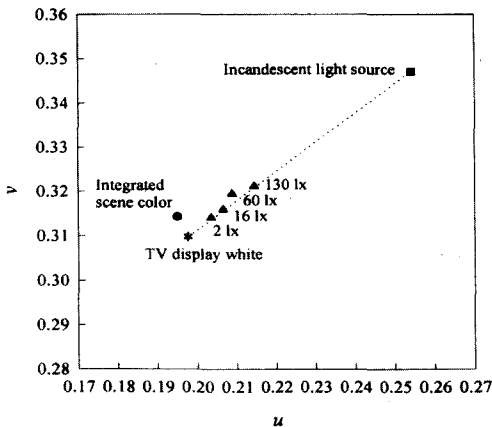


그림 2. 백열등 조명하에서 TV 시청시의 주위 조도에 따른 눈의 순응 화이트<sup>[8]</sup>  
Fig. 2. Subjective neutral points found with various levels of the surround incandescent light in the presence of the TV displayed.<sup>[8]</sup>

### Ⅲ. 시각계 색 순응을 고려한 텔레비전 수상기에서의 색 재현

주위 조명광에 따라 텔레비전 수상기 화상의 색도를 달리 느끼게 하는 하나의 원인으로서는 주위 조명광이 텔레비전 수상기 표면에 조사되어 색도를 변화시키는 것을 고려할 수 있다. 이에 의한 변화의 양을 관찰하기 위하여 텔레비전 수상기 상에 재현된 칼러바를 표준 카메라로 획득하여 벡터 스코프로 관찰하는 실험을 하였다. 이러한 실험으로 표준 카메라에서 얻어진 칼러바 신호의 벡터스코프상의 위치를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 △은 텔레비전 수상기 표면에 조사되는 백열등의 조도가 80 lx 일때 칼러바 신호의 위치이고, ○은 조명하지 않은 경우이다. 이 그림에서 주위 조명을 한 경우와 하지 않은 경우를 비교하였을때 약간의 색농도 차이는 있으나 색상 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

한편 다른 하나의 원인으로서는 눈이 주위 조명에 순응하여 텔레비전 수상기 화상의 동일한 색도가 주위 조명광에 따라 달리 느끼게 되는 것을 고려할 수 있다. 이에 의한 변화의 양을 관찰하기 위하여 표준 카메라의 화이트 밸런스 조정 과정이 색 순응 이론의 선형 변환과 대응 관계<sup>[1]</sup>에 있으므로 카메라의 화이트 밸런스를 변화시켜 동일한 색도 좌표를 카메라로 획득하여 벡터스코프상에서 그의 변화를 조사하는 실험을 하였다. 이러한 실험으로 얻어진 칼러바 신호의 벡터스코프상의 위치를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 ○은 카메라를  $D_{65}$  ( $x=0.3129, y=0.329$ ) 광원에 화이트 밸런스 시켰을 때의 위치이며, 이는 시각이  $D_{65}$  광원에 순응되었음을 의미한다. 그림 4에서 △은 카메라를  $x=0.331, y=0.342$  좌표에 화이트 밸런스 시켰을 때의 위치이며, 이는 시각이 색온도 5580 K인 주위 조명광에 순응되었음을 의미한다. 그림 4로부터 카메라의 화이트 밸런스의 변화에 따라 동일한 색도 좌표가 완전히 다른 색 신호로 표현됨을 알 수 있다. 그러므로 주위 조명광에 의한 시청자가 느끼는 색감 변화는 인간 시각의 색 순응 현상에 더 큰 영향을 받으며, 이로 인하여 칼러 텔레비전 수상기에서 표준 광원의 조명을 받은 원 피사체와 동일한 색도를 재현한다 하더라도 시청자는 수상기에 재현된 색을 다른 색으로 느끼게 된다. 따라서 시청자가 원 피사체와 동일한 색도로 인식하기 위해서는 수상기 디스플레이에 재현되

어야 할 목표 색도 좌표를 송신측에서 전송한 표준 색도 좌표와 다르게 디스플레이 해야 한다.

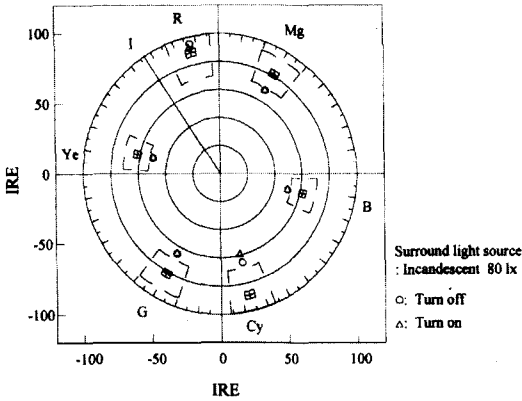


그림 3. 주위 조명광이 텔레비전 수상기 표면에 조사되는 경우의 색 변화  
 Fig. 3. Changes of color by the surround light illuminated on CPT.

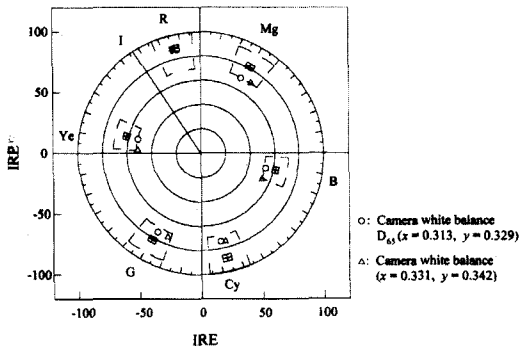


그림 4. 표준 카메라의 화이트 밸런스 변위에 따른 색 변화  
 Fig. 4. Changes of color by the white balance shift of the standard camera.

1. 일반 가정의 조명하에서 눈의 순응 화이트

일반 가정에서 백열등 조명하에서 텔레비전을 시청할 때 조명광에 의한 주위 평균 밝기는 약 50 lx 정도로 알려져 있다.<sup>[9]</sup> 그러므로 조명광에 의한 주위 밝기가 50 lx 일때의 눈의 순응 화이트 좌표점은 Hunt 실험의 결과인 그림 2에서 찾아야 한다. 이를 위하여 그림 2에서 TV 디스플레이 화이트 좌표점에서 백열등 좌표점까지의 유클리디안 (Euclidian) 거리를 100%로 두고, 주위 조명광의 임의의 밝기  $L$ 에 대한 눈의 순응 화이트 좌표점이 TV 디스플레이 화이트

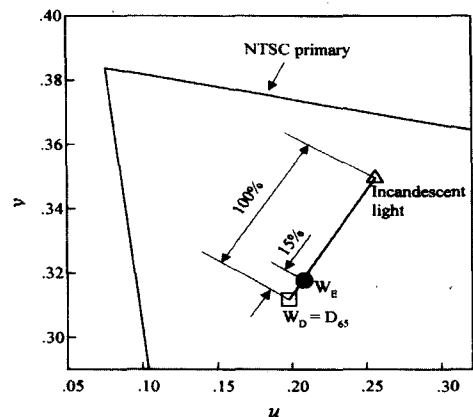
좌표점으로부터 백열등 좌표점 사이의 거리상에서 몇 %에 위치하는지를 모델링 하였다. 이때 모델링에 사용한 함수는 밝기  $L$ 의 함수로서

$$f(L) = \frac{1}{(a + bL^c)} \quad (14)$$

를 사용하였으며, 최소 오차 자승법을 이용하여 찾아낸 최적의 파라미터값들은  $a=0.571$ ,  $b=-0.445$ , 및  $c=0.037$ 이었다.

한편 실험적 결과에 의하면 텔레비전 디스플레이 색온도는 주위 조명광보다 3000 ~ 4000 K 정도 높게 하는 것이 좋다고 알려져 있다.<sup>[10]</sup> 따라서 일반 가정에서 대략 3000 K 전후 색온도인 백열등 조명하에서 텔레비전을 시청할 때, 디스플레이 기준 백색은 상관 색온도가 6500 K인  $D_{65}$ 광원으로 설정하고 조명광에 의한 주위 밝기는 약 50 lx이므로 이들 조건을 식 (14)에 적용하면 눈의 순응 화이트 좌표점  $W_E$ 는  $u=0.2074$ ,  $v=0.3184$ 가 되며, 이는  $D_{65}$ 광원에서 백열등까지의 전체 유클리디안 거리에 대하여 디스플레이 기준 백색인  $D_{65}$ 광원으로부터 약 15%의 거리에 해당한다. 이를 그림 5의 (a)에 나타내었다.

마찬가지로 조명광에 의한 주위 밝기를 50 lx로 가정한 6500 K 전후 색온도인 형광등 ( $u=0.180$ ,  $v=0.337$ ) 조명하에서 텔레비전을 시청할 경우 디스플레이 기준 백색을 형광등의 색온도 보다 약 3000 K 정도 높은 9300 K + 27 MPCD로 설정할때, 눈의 순응 화이트 좌표점  $W_E$ 는 Hunt의 실험 결과로부터 유추하여 디스플레이 기준 백색으로부터 형광등 좌표점 사이에 15% 거리에 놓이는  $u=0.176$ ,  $v=0.308$ 가 된다. 이를 그림 5의 (b)에 나타내었다.



(a)

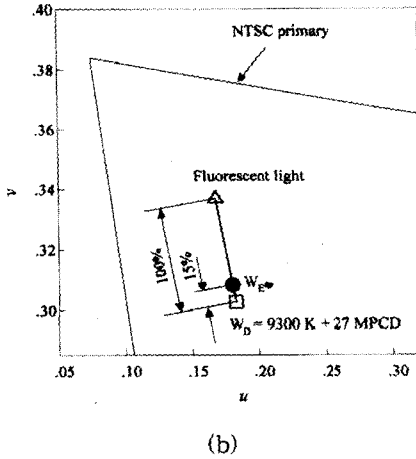


그림 5. 주위 조명 조건에 따른 눈의 색 순응의 좌표: (a)  $W_D = 6500$  K과 백열등; (b)  $W_D = 9300$  K + 27MPCD와 형광등

Fig. 5. uv chromaticity coordinates of subjective neutral points under the surround light source: (a)  $W_D = 6500$  K and incandescent light; (b)  $W_D = 9300$  K + 27 MPCD and fluorescent light.

2. 표준 칼러바의 대응색 좌표

주위 조명에 따른 눈의 순응 화이트의 좌표가 주어질 때, NTSC 채도 100%의 칼러바에 대한 원래의 색감을 느끼도록 하기 위하여 수상기 디스플레이에 발광 되어야 할 그의 대응색의 좌표는 눈이 순응되는 화이트  $W_E$ 와 표준 조명광인  $D_{65}$ 광원으로부터 구해야 한다.

첫째 과정으로서 표준 조명광인  $D_{65}$ 광원 및 특정 주위 조명에 따른 눈의 순응 화이트  $W_E$ 의 xy좌표를 입력받아 식 (7) ~ 식 (11)를 이용하여 비례계수  $a_R$ ,  $a_G$ , 및  $a_B$ 와 B채널의 역수  $p$  그리고 부가적인 비례계수  $k$ 를 각각 구한다.

둘째 과정으로서 NTSC 채도 100%의 표준 칼러바에 대한 3자극치  $R$ ,  $G$ , 및  $B$ 를 식 (8)를 이용하여 구한다.

그리고 셋째 과정으로서 첫째 과정에서 구한 비례계수  $a_R$ ,  $a_G$ , 및  $a_B$ 와 B채널의 역수  $p$  및 부가적인 비례계수  $k$ 를 식 (7)에 적용하고, 둘째 과정에서 구한 NTSC 채도 100%의 칼러바의 3자극치  $R$ ,  $G$ , 및  $B$ 를 대입하여 그의 대응색에 대한 3자극치  $R'$ ,  $G'$ , 및  $B'$ 를 구한다. 최종적으로 3자극치  $R'$ ,  $G'$ , 및  $B'$ 를 식 (12)에 적용하여 대응색의 xy좌표

를 얻고, 다시  $u'v'$  좌표로 변환한다.

상기의 처리 과정에 따른 텔레비전 수상기의 디스플레이 화이트가  $D_{65}$ 광원이고 주위 조명이 백열등일 경우에 대한 칼러바의 대응색을  $u'v'$  좌표계로 그림 6의 (a)에 나타내었다. 이 그림에서  $\circ$ 는 NTSC 채도 100%의 칼러바의 좌표를 나타내며, 화살표의 끝점은 그의 대응색 좌표를 나타낸다. 그림 6의 (a)에서 옅로

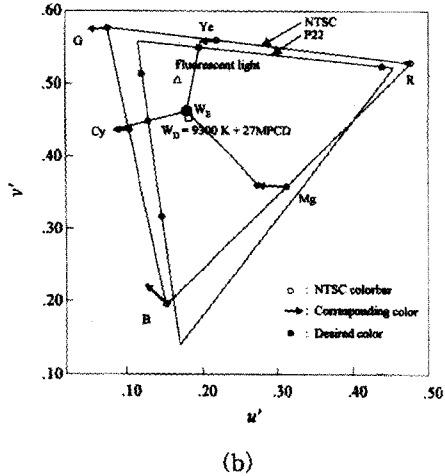
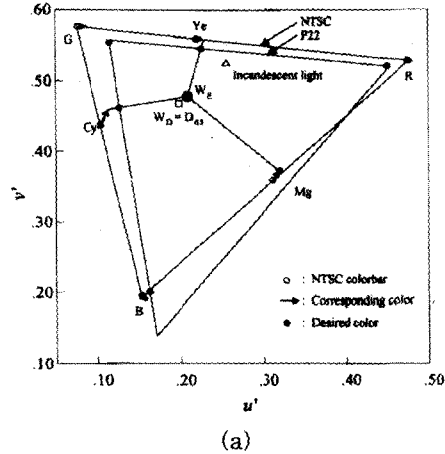


그림 6. 주위 조명광 및 디스플레이 화이트에 따른 NTSC 채도 100%의 칼러바에 대한  $u'v'$  좌표상에서의 대응색 좌표: (a) 백열등과  $W_D = 6500$  K; (b) 형광등과  $W_D = 9300$  K + 27 MPCD

Fig. 6.  $u'v'$  chromaticity coordinates of the corresponding color of NTSC 100% saturation colorbar color under the surround light and the display white: (a) incandescent light and  $W_D = 6500$  K; (b) fluorescent light and  $W_D = 9300$  K + 27 MPCD.

우와 마젠타 색은 NTSC 표준 좌표점보다 약간 적색 쪽으로 그리고 사이안은 녹색쪽으로 조금 변위 시켜 발색시켜야 원래의 NTSC 칼러바에 대한 색감을 느낄 수 있음을 알 수 있다. 한편 현재의 상용 디스플레이 형광체는 주로 P22계열을 사용하고 있으며, 이의 색재현 범위는 NTSC 표준 형광체보다 좁아져 있다.<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup> 따라서 본 논문에서는 P22계열의 디스플레이 형광체 색 재현 범위 밖의 대응색은 그의 색상을 유지하기 위해 눈의 순응 화이트  $W_E$ 로부터 대응색으로 이은 직선과 P22계열의 형광체 가장자리와의 교점을 디스플레이해야 할 목표 색도 좌표 (desired color)로 하였으며, 이를 그림 6에서 ●로 표시하였다.

텔레비전 수상기의 디스플레이 화이트가 9300 K + 27 MPCD이고 주위 조명이 형광등일 경우에 대한 대응색을 그림 6의 (b)에 나타내었다. 이 그림에서 옐로우와 사이안 색은 NTSC 표준 좌표점보다 약간 녹색 쪽으로 그리고 마젠타 색은 청색쪽으로 조금 변위 시켜 발색시켜야 원래의 NTSC 칼러바에 대한 색감을 느낄 수 있음을 알 수 있다.

3. 세 채널 복조 방식을 이용한 대응색 재현

제한한 대응색으로 수상기 디스플레이에 재현하기 위해서는 색 신호 변환이 필요하다. 이 변환은 TV 수상기의 복조축 위상 및 이득을 독립적으로 조절함으로써 조정 가능하다. 이를 위한 세 채널 복조 방식의 구성도는 그림 7에서와 같다.<sup>[11]</sup> 이 방식에서는 기존의 R-Y 및 B-Y의 두 채널 복조축 뿐만 아니라 발진기의 위상을 B-Y를 기준으로 235.7° 지연시켜서 G-Y신호도 복조시킨다. 또한 세 채널 복조 방식에서는 기존의 색농도 조절을 위한 이득  $G_s$  및 색상 (tint) 조절을 위한 색상 변화 위상  $\phi$  뿐만 아니라 R-Y축의 이득 조절  $G_{R-Y}$  및 변화 위상  $\alpha$ , 그리고 G-Y축의 이득 조절  $G_{G-Y}$  및 변화 위상  $\beta$ 의 여섯 가지의 조절 파라미터를 갖는다.

세 채널 복조 방식에서 송신측의 색차신호  $R_c-Y$  및  $B_c-Y$ 로부터 수신측의 복조된 색차신호  $R_d-Y$ ,  $G_d-Y$ , 및  $B_d-Y$ 와의 관계를 매트릭스 수식으로 나타내면

$$\begin{bmatrix} R_d-Y \\ G_d-Y \\ B_d-Y \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} R_c-Y \\ B_c-Y \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.877G_S G_{R-Y} \cos(\phi + \alpha) & -0.493G_S G_{R-Y} \sin(\phi + \alpha) \\ -0.877G_S G_{G-Y} \sin(55.7^\circ + \phi + \beta) & -0.493G_S G_{G-Y} \cos(55.7^\circ + \phi + \beta) \\ 2.03 \times 0.877G_S \sin \phi & 2.03 \times 0.493G_S \cos \phi \end{bmatrix} \quad (16)$$

가 된다. 여기서  $\phi$ 는 색상 조절을 위한 변화 위상이며,  $\alpha$  및  $\beta$ 는 각각 R-Y 및 G-Y의 기준 복조 축으로부터의 각도 변화량이다. 또한  $G_S$ 는 색농도 조절을 위한 이득이며,  $G_{R-Y}$  및  $G_{G-Y}$ 는 각각 R-Y 및 G-Y복조 축의 이득이다. 이렇게 복조된 색차신호는 Y신호와 합해져서  $R_d$ ,  $G_d$ , 및  $B_d$  신호를 생성한다.

따라서 복조 축 변화 파라미터  $\phi$ ,  $\alpha$ , 및  $\beta$ 와 이득 조절 파라미터인  $G_S$ ,  $G_{R-Y}$ , 및  $G_{G-Y}$ 를 조정하여 수상기에 재현할 대응색으로의 목표 색도에 가깝게 근접시킬 수 있다.

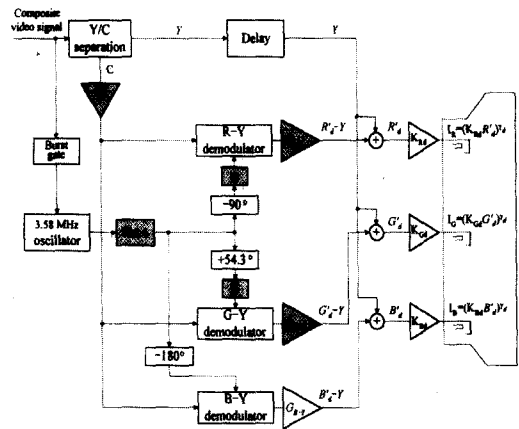


그림 7. 세 채널 복조 방식을 갖는 수신부의 색 신호 처리

Fig. 7. Signal processing for three channel decoding receiver.

IV. 실험 결과 및 고찰

특정 주위 조명에 따른 눈의 순응 화이트로의 제한한 대응색을 재현하는 모의 실험을 하였다. 모의 실험의 전체 흐름도는 그림 8에서와 같다.

흐름도의 Part I과정에서는 TV 수상기의 디스플레이 화이트  $W_D$ 와 주위 조명 및 그의 밝기가 주어질 때 그에 따른 눈의 순응 화이트 좌표  $W_E$ 를 얻고, 표준 조명인  $D_{65}$ 광원에서 눈의 순응 화이트로의 샘플 색에 대한 대응색의  $xy$  좌표를 예측한다.

흐름도의 Part II과정에서는 샘플 색의 3자극치로부터 NTSC 표준 카메라에서의 전압신호를 생성한다.

흐름도의 Part III과정에서는 복조 축의 위상 및 이득을 변화시켜 색차신호를 복조하고, 현재 사용되는 P22계열의 형광체를 가정한 수상기에 샘플 색을 재현한다. 먼저 카메라축의 색차신호는 송신 과정에서 변복조가 이상적으로 수행된다는 가정하에 카메라축에서 전송한 색차신호  $R_c-Y$  및  $B_c-Y$ 를 식 (15) ~ 식 (16)에 직접 적용하고, 복조 축 변화 위상  $\phi$ ,  $\alpha$ , 및  $\beta$ 와 이득  $G_s$ ,  $G_{R-Y}$ , 및  $G_{G-Y}$ 변화시켜 수신된 색차신호  $R_d-Y$ ,  $G_d-Y$ , 및  $B_d-Y$ 로 복조하고, 휘도신호  $Y$ 를 더하여 전압 신호  $R_a$ ,  $G_a$ , 및  $B_a$ 를 얻는다. 그런 다음 CPT (color picture tube)의 빔 전류로 변환될때 존재하는 감마를 전압신호  $R_a$ ,  $G_a$ , 및  $B_a$ 에 수행하여 3자극치  $R_d$ ,  $G_d$ , 및  $B_d$ 를 얻는다. 이 3자극치  $R_d$ ,  $G_d$ , 및  $B_d$ 를 디스플레이에 적용될 형광체 및 기준 백색의 좌표를 식 (5)과 식 (6)에 대입하여 얻어진 변환 매트릭스에 작용시켜 수상기 디스플레이에 재현된 3자극치  $X_d$ ,  $Y_d$ , 및  $Z_d$ 로 변환한다.

그리고 흐름도의 Part IV 과정에서는 예측된 대응색의 목표 색도와 실제 재현된 색과의 평균 색도 오차  $\Delta E_{avg}$ 를 구하고, 이 오차가 최소화되는 복조 축의 변화 위상  $\phi_{min}$ ,  $\alpha_{min}$ , 및  $\beta_{min}$ 와 이득  $G_{Smin}$ ,  $G_{R-Ymin}$ , 및  $G_{G-Ymin}$ 을 구할때까지 반복 수행한다. 이때 평균 색도 오차  $\Delta E_{avg}$ 는  $L^*u^*v^*$ 좌표계로

$$\Delta E_{avg} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=1}^M (\Delta E)^2} \quad (17)$$

로 정의한다. 여기서 M은 샘플색의 갯수이다. 식 (17)에서 개별적인 색오차  $\Delta E$ 는

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2 + (0.25\Delta L^*)^2} \quad (18)$$

로 정의하였고, 여기서

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L_d^* - L_r^* \\ \Delta u^* &= u_d^* - u_r^* \\ \Delta v^* &= v_d^* - v_r^* \end{aligned} \quad (19)$$

이며, 아래첨자  $d$ 는 목표하는 색도를 나타내고 아래첨자  $r$ 은 재현된 색도를 나타낸다.

이상의 절차로 평균 색도 오차  $\Delta E_{avg}$ 가 최소화되

는 복조 축의 변화 위상  $\phi_{min}$ ,  $\alpha_{min}$ , 및  $\beta_{min}$ 와 이득  $G_{Smin}$ ,  $G_{R-Ymin}$ , 및  $G_{G-Ymin}$ 를 찾고 이 값들을 복조 시에 사용함으로써 주위 조명이 변화하더라도 샘플색의 원래 색감을 느낄 수 있도록 수상기 디스플레이에 그의 대응색이 재현되도록 할 수 있다.

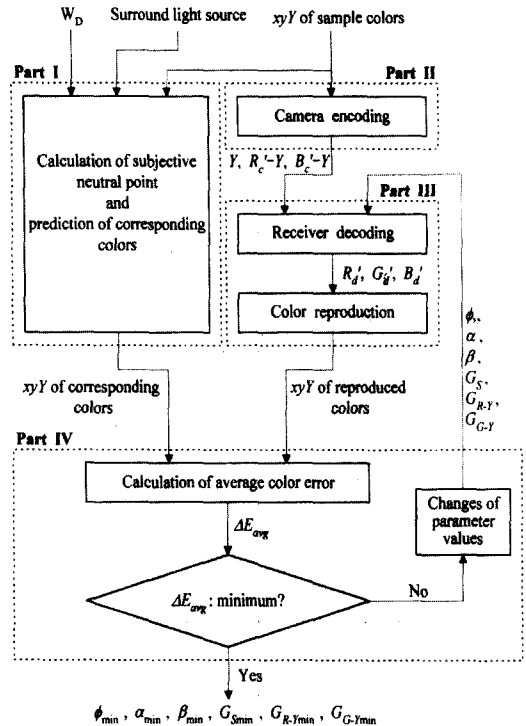


그림 8. 세채널 복조 TV 수신기를 사용하여 대응색을 재현하기 위한 모의 실험의 흐름도

Fig. 8. Flow chart of the simulation for the corresponding color reproduction using three channel decoding TV receiver.

모의 실험에 사용한 샘플 색은 컬러 텔레비전의 색에 대한 평가를 하기 위해 CIE에서 권장하는 17가지의 색을 사용하였으며, 이를  $u^*v^*$ 좌표계로 그림 9에 나타내었다.<sup>[3]</sup>

그림 9에 주어진 샘플 색들에 대하여 주위 조명이 백열등일때, 세 채널 복조 방식에서 색상  $\phi$ , 복조 축의 변화 위상  $\alpha$  및  $\beta$ 와 이득  $G_{R-Y}$  및  $G_{G-Y}$  조절에 의한 눈의 순응 화이트트의 대응색 재현과 기존의 두 채널 복조 방식에서 색농도 이득  $G_s$ 과 색상 변화 위상  $\phi$  조절만으로 대응색을 재현하는 모의 실험을 하였다. 이 실험에서는 수상기 디스플레이는 P22계열의 형광체와 D65광원을 기준 백색으로 정하였고, 디스플



레이의 감마는  $\gamma_c = 2.6$ 으로 가정하였다. 실험한 결과로서 색 재현 오차를 최소화하는 세 채널 복조 방식의 복조축 변화 위상  $\phi_{min}$ ,  $\alpha_{min}$ , 및  $\beta_{min}$ 와 이득  $G_{R-Ymin}$  및  $G_{G-Ymin}$  과 기존의 두 채널 복조 방식의 색농도 이득  $G_{Smin}$  및 색상 변화 위상  $\phi_{min}$ , 그리고 두 방식의 평균 색오차  $\Delta E_{avg}$ 를 도표화하여 표 1의 좌측에 제시하였다.

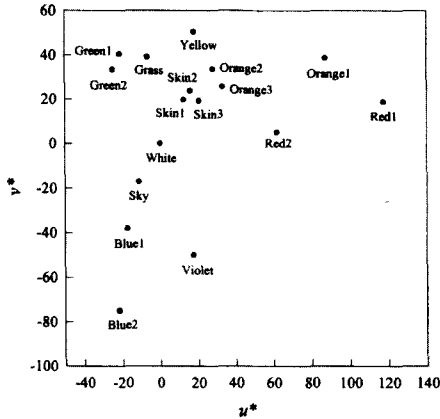
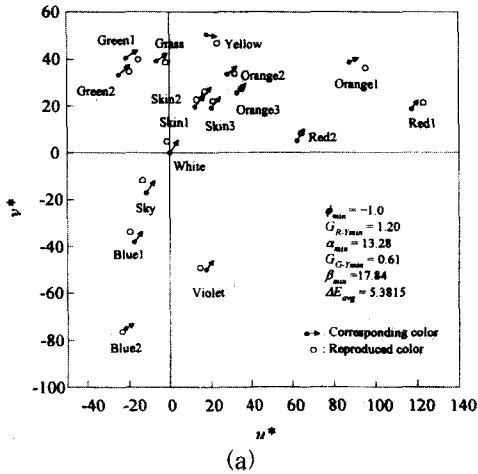


그림 9. 모의 실험에 사용한 샘플 색  
Fig. 9. Sample colors used in the simulation

또한 재현색이 그의 대응색으로부터 벗어난 정도를  $u^*v^*$  좌표계로 그림 10에 나타내었다. 이 그림에서 ●는 샘플색을 나타내며 화살표의 끝점은 목표하는 대응색을 나타내고, 또한 ○는 실제 재현색을 나타낸다.



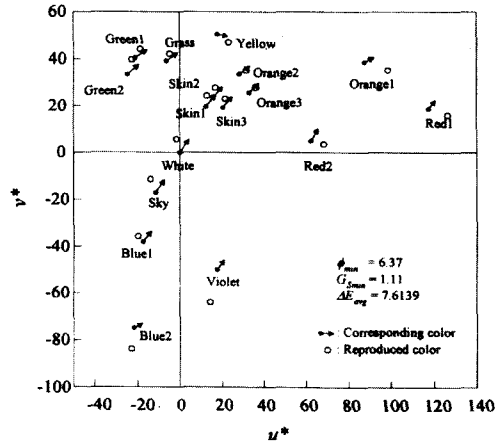
(a)

표 1. 주위 조명 및 디스플레이 기준 백색 설정 조건에 따른 그의 대응색을 재현하기 위한 복조축 위상 및 이득

Table 1. Phase and gain of the demodulation axes for corresponding color reproduction under the surround light source and display white.

	Surround incandescent light and display white of D <sub>65</sub>		Surround fluorescent light and display white of 9300 K + 27 MPCD	
	Three channel demodulator	Two channel demodulator	Three channel demodulator	Two channel demodulator
$\phi_{min}$	-1.0	6.37	7.0	6.67
$G_{Smin}$	1.0	1.11	1.0	1.05
$\alpha_{min}$	13.28	-	-20.49	-
$G_{R-Ymin}$	1.20	-	2.04	-
$\beta_{min}$	17.84	-	70.51	-
$G_{G-Ymin}$	0.61	-	0.29	-
$\Delta E_{avg}$	5.3815	7.6139	3.6896	11.1548

그림 10의 (a)에서 세 채널 복조 방식을 통한 대응색 재현은 전반적으로 대응색의 색상과 색농도에 가깝게 재현함을 알 수 있으나, (b)에서와 같이 두 채널 복조 방식의 색농도와 색상 조절만으로는 대응색을 제대로 재현할 수 없음을 알 수 있다. 여기서 색상은  $u^*v^*$  좌표계상에서 원점으로부터 이루는 각도이며, 색농도는 원점으로부터의 거리를 나타낸다.



(b)

그림 10. 디스플레이 기준 백색이 D<sub>65</sub>이고 주위 조명이 백열등 조명일 경우, 복조축 위상 및 이득 변화에 의한 샘플색의 대응색 재현: (a) 세 채널 복조 방식; (b) 두 채널 복조 방식  
Fig. 10. Corresponding color reproduction of sample color by adjusting phase and gain of the demodulation axes under the surround incandescent light and display white of D<sub>65</sub>: (a) three channel demodulation; (b) two channel demodulation.

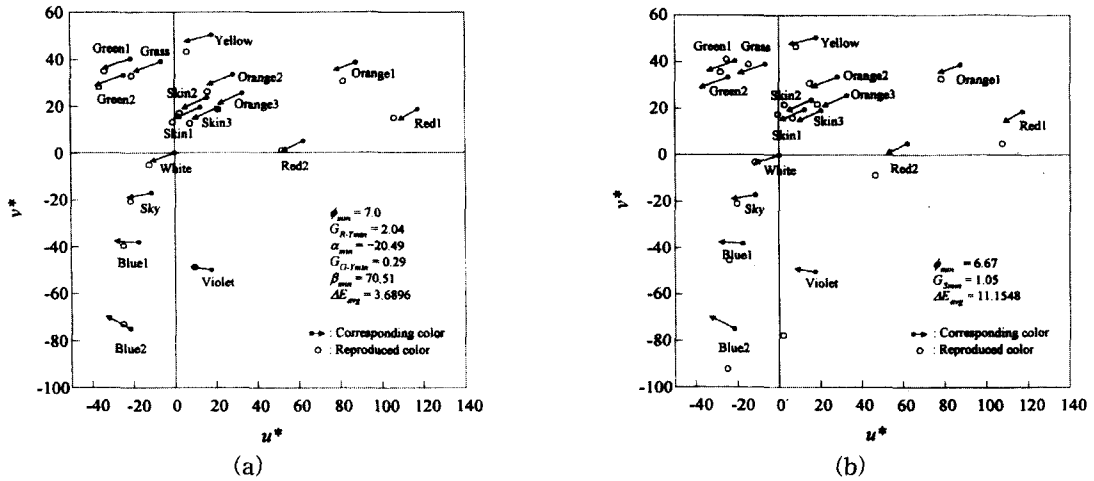


그림 11. 디스플레이 기준 백색이 9300 K + 27 MPCD이고 주위 조명이 형광등 조명일 경우, 복조축 위상 및 이득 변화에 의한 샘플색의 대응색 재현: (a) 세 채널 복조 방식; (b) 두 채널 복조 방식  
 Fig. 11. Corresponding color reproduction of sample color by adjusting phase and gain of the demodulation axes under the surround fluorescent light and display white of 9300 K + 27 MPCD: (a) three channel demodulation; (b) two channel demodulation.

또한 주위 조명광이 형광등일때 백열등의 경우에서의 동일한 방법으로 대응색을 재현하는 모의 실험을 하였다. 이 모의 실험에서는 기준 백색의 색온도를 9300 K + 27 MPCD로 정하였다. 실험 결과를  $u^*v^*$  좌표계로 그림 11에 나타내었다. 이때 색 재현 오차를 최소화하는 복조축 변화 위상과 이득 및 평균 색오차를 표 1의 우측에 제시하였다. 그림 11의 (a)에서도 세 채널 복조 방식을 통한 대응색 재현은 전반적으로 대응색의 색상과 색농도에 가깝게 재현함을 알 수 있으나, (b)에서와 같이 두 채널 복조 방식의 색농도와 색상 조절만으로는 대응색을 제대로 재현할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 세 채널 복조 방식을 채용하면 제안한 방식을 효과적으로 실현할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

인간 시각의 색 순응 현상으로 인하여 컬러 텔레비전 수상기에서 원 피사체와 동일한 색도를 재현한다 하더라도 텔레비전을 시청하는 주위 조명이 표준과 다를 경우 시청자는 수상기에 재현된 색을 다른 색으로 느끼게 된다.

본 논문에서는 텔레비전을 표준 조명이 아닌 백열등이나 형광등 조명하에서 시청할 때 인간 시각의 색 순

응 현상을 고려하여 원 피사체의 색과 동일한 느낌을 갖도록 수상관상에서 대응색을 재현하는 방법을 제안 하였다.

제안한 방식의 대응색 재현성을 알아 보기 위하여 복조축 위상 및 이득을 독립 변화시킬 수 있는 세 채널 복조 방식과 기존의 색농도 및 색상만 조절할 수 있는 두 채널 복조 방식으로 모의 실험을 행하여 균일 좌표계인  $L^*u^*v^*$  좌표상에서 비교하였다. 그 결과 세 채널 복조 방식을 채용하면 제안한 대응색 재현색의 색상과 색농도에 가깝게 재현할 수 있었고, 기존의 두 채널 복조 방식에서 색농도와 색상 조절만으로는 대응색을 제대로 재현할 수 없음을 확인 하였다.

참 고 문 헌

[1] K. Blair Benson and Jerry C. Whitaker, *Television Engineering Handbook*, McGraw-Hill, 1992.  
 [2] C. Bailey Neal, "Television Colorimetry for Receiver Engineers," *IEEE Trans. BTR*, vol. BTR-19, pp. 149-162, Aug. 1973.  
 [3] L. E. DeMarsh and J. E. Pinney, "Studies of Some Colorimetric Problems in Color Television," *J. of SMPTE*, vol. 79, pp.

338-342, April 1970.

[4] E. J. Lee, I. G. Jeong, Y. W. Park, and Y. H. Ha, "Color Enhancement of TV Picture Using RGB Sensor," *IEEE Trans. CE*, vol. 42, no. 2, pp. 182-191, May 1996.

[5] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, 1982.

[6] C. J. Bartleson, "Changes in Color Appearance with Variations in Chromatic Adaptation," *Color Res. Appl.*, vol. 4, pp. 119-138, Fall 1979.

[7] C. J. Bartleson, "Prediction Corresponding Colors with Changes in Adaptation," *Color Res. Appl.*, vol. 4, pp. 143-155, Fall 1979.

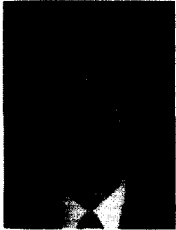
[8] R. W. G. Hunt and Miss L. M. Winter, "Colour Adaptation in Picture-Viewing Situations," *J. of Photo. Sci.*, vol. 23, pp. 112-115, 1975.

[9] 장진, "HDTV용 디스플레이 기술발전 전망," *전자공학회지*, 제 19권, 제 12호, pp. 83-89, 1992년 12월.

[10] 大西他, "カラーテレビにおける好みの白測定," *テレビ至大*, pp.15-16, 1976.

[11] 박동호, "색 복조측 독립 가변에 의한 평균 색 재현 오차 저감," *경북대학교 전자공학과 석사학위논문*, 1995년 12월.

저 자 소 개



崔 德 圭(正會員)

1965년 1월 14일생. 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 ~ 1991년 포항제철 전산시스템부 근무. 1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1998년 3월 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 국제계약교수. 주관심분야는 색 공학, 비디오 공학, 디지털 신호처리



韓 續 豪(正會員)

1968년 2월 1일생. 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 ~ 1997년 8월 현대전자 미디어연구소 연구원. 1997년 8월 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 중. 주관심분야는 영상신호처리, 비디오 공학, 음향 공학

李 健 一(正會員)

第 34卷 S編 第 9號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 교수



宋 奎 翼(正會員)

1952년 8월 15일생. 1975년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1977년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1977년 ~ 1982년 국방과학연구소 연구원. 1990년 3월 일본 동북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1983년 3월 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수. 주관심분야는 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공학