

논문 2005-42SP-2-8

광 색역 디스플레이 장치의 색역 사상에 관한 연구

(A Study on the Gamut Mapping Method of the Wide Gamut Display Device)

엄진섭*, 신윤철*, 김문철*

(Jinsub Um, Yoonchol Shin, and Moonchol Kim)

요약

최근 영상 및 광학 소자 산업의 발달과 디지털 방송으로 TV등의 디스플레이 장치들이 슬림화 및 대형화되는 추세에 따라 기존 CRT를 대신하고 있다. 특히 LED, Laser등을 이용한 광 색역 디스플레이 장치들은 CRT에서는 표현할 수 없는 고채도의 색을 표시할 수 있는데 기존의 TV신호를 그대로 적용할 경우 색상의 왜곡이 큰 부작용으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 광 색역 디스플레이 장치에서 색상의 왜곡을 없애고 기존 CRT에 비해 넓은 색역을 충분히 활용할 수 있는 색역 사상에 대하여 연구하였다. 색역 사상은 동일색상에서 채도를 향상 시키는 방법이 일반적으로 사용되나 채도의 과도 상승으로 인한 부작용이 나타날 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 부작용을 방지하기 위해 밝기와 채도를 같이 상승 시키는 벡터 사상을 제안 하고자 한다. 이 벡터 사상은 색도가 변하지 않아서 영상이 보다 자연스럽다는 장점이 있다. 또 입력과 출력 색역의 기하학적 특성에 따라서 발생할 수 있는 계조 뭉침이나 윤곽선 효과를 색역 맞춤을 통해 보상하였다. 이와 같은 색역 사상과 색역 맞춤을 이용하여 광색역 디스플레이에서 색상 왜곡을 방지하고 자연스러운 영상을 재현할 수 있다.

Abstract

In these days, the technology development of the imaging/optic industry and the digital broadcasting replace the classic CRT with the new display devices that is getting slimmer and larger. Especially, when the general TV signal is applied directly to the wide gamut display using LED or laser, which can display higher chromatic colors that can't be reproduced on CRT, the color distortion occurs and it causes serious problems. Thus, in this paper the gamut mapping is studied, which gets rids of the color distortion and utilizes the wider color gamut than that of the CRT sufficiently. In the gamut mapping the general mapping concept is the increasement of the chroma on the same hue plane, but it causes the over chromatic enhancement. So, the vector mapping, which increases the lightness and the chroma at the same time, is proposed to prevent the side effect. In the vector mapping the chromaticity is maintained constantly, hence the image can be seen more natural than that of the chroma mapping. By using the gamut fitting, it is compensated that the tone disappearance or the contour effect that is arose from the geometric properties of the input and the output color gamut. These gamut mapping and gamut fitting can prevent the color distortion and reproduce the natural image on the wide gamut displays.

Keywords : color gamut, gamut mapping, wide color gamut display

I. 서론

현재 보편화된 영상장치인 TV와 컴퓨터 모니터는 CRT를 이용하여 제작되어왔다. 이에 따라 현재의 TV

방송 신호 규격인 SMPTE-C, EBU, ITU-R 709 (sRGB) 등은 CRT의 특성에 맞게 규정되어 있다. 하지만 최근 DLP, LCD, PDP, OLED, LED, Laser 등과 같은 영상 및 광학 소자 산업의 발달로 인하여 기존의 CRT를 대신하는 새로운 디스플레이 장치들이 개발되었으며 디지털 방송을 계기로 기존 CRT 시장을 빠르게 대체하고 있다. 특히, TV의 슬림화 및 대형화의 추세로 인하여 40인치 이상에서는 이러한 새로운 디스플레이 장치들의 점유율이

정회원, 삼성전자 디지털 미디어 연구소 A/V Solution team Video Lab.
(Video Lab, A/V Solution team, Digital Media R&D Center, Samsung Electronics)

접수일자: 2004년9월16일, 수정완료일: 2004년10월29일

높아지고 있는 실정이다. 이러한 새로운 디스플레이 장치들은 기존의 CRT와는 다른 특성들을 보이고 있는데, 대표적인 것이 색의 재현 범위인 색역(Color Gamut)으로 이 새로운 장치들은 기존 CRT와 색역이 서로 다르다. 또, CRT의 색역은 사람이 볼 수 있는 자연색의 약 76%만을 표현할 수 있으므로 몇몇 고채도의 색은 표현될 수 없다. 따라서 이런 고채도색을 재현하기위해 넓은 색역을 갖는 LED, Laser등을 이용한 디스플레이 장치나 Cyan, Yellow의 원색을 추가한 다채널 디스플레이(MPD : Multi-Primary Display) 장치^[1-8]들이 개발 되고 있다. 앞에서 언급했듯이 방송 신호의 규격이 CRT를 기준으로 되어있기 때문에 이를 그대로 적용할 원래 의도와는 다른 색이 재현된다. 이와 관련하여 ITU와 IEC에서는 광 색역 신호에 대한 기준인 ITU-R BT. 1361^[12]과 extended sRGB^[13]을 정의 하였으나 미래의 규격으로 아직 사용되고 있지는 않다. 그러므로 현재의 표준 규격인 sRGB신호에서 색상의 왜곡을 줄이면서 넓은 색역을 충분히 사용할 수 있는 색역 사상이 필요하다.

색역 사상^[9,10]은 인쇄 및 프린터 분야에서 많이 사용되어 온 기술로 색채관리에서 꼭 필요한 부분이다. 프린터 분야에서의 색역사상은 프린터의 색역이 sRGB의 색역보다 적어서 압축하는 방향으로 이루어진 것에 반해 반대로 광 색역 디스플레이(WGD : Wide Gamut Display)에서는 확장하는 방향으로 이루어진다는 점이 틀리며, 실시간 구현을 해야 한다는 어려움을 가지고 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 표준신호인 sRGB에서 광 색역 디스플레이 장치의 신호로 색역사상(Gamut Mapping) 방법에 대하여 기술하고자 한다.

II. 배경 이론

2.1 디스플레이 색 특성 분석

대부분의 디스플레이장치는 빨강(Red), 녹색(Green), 파랑(Blue)의 3원색을 이용하여 영상을 표시하고 있으므로 RGB를 기본 좌표계로 사용한다. 하지만 같은 RGB의 값이라도 디스플레이 장치마다 서로 다른 색을 나타내므로 디스플레이의 색 특성을 분석하기위해서는 RGB좌표계에서 표준좌표계인 CIE-XYZ 좌표계로 변환하여야 한다. RGB에서 삼자극치 XYZ로의 변환은 디스플레이의 RGB 출력이 서로 독립이고, black offset이 0이라고 가정하면, additive display model을 적용, 각 R,G,B의 최대값에서 삼자극치를 측정하여 식(1)과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 첨자L은 선형 RGB값을 의미하며 비디오 전압이나 디지털 출력치가 아니다. CRT 디스플레이의 경우 실제 디지털 출력 값인 dr, dg, db 와 R_L, G_L, B_L 는 2.22 gama관계를 가진다. 식(1)계수는 white RGB=(1,1,1)에서 출력 $X_w Y_w Z_w$ 의 휘도 값인 Y_w 가 1이 되게 Y_w 로 정규화하면

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_w} \begin{bmatrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

가 되고, RGB출력이 서로 독립이므로 $Y_w = Y_{r,max} + Y_{g,max} + Y_{b,max}$ 가 된다. 디스플레이의 색역은 CIE-xy 색도도에서 표현할 수 있는데 CIE-xy는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 디스플레이의 색역은 RGB의 각 x_r, y_r 와 x_g, y_g 그리고 x_b, y_b 의 세 점을 연결한 삼각형으로 표시되며 이 삼각형 내의 색이 디스플레이가 표현할 수 있는 색이 된다.

2.2 광 색역 디스플레이

광 색역 디스플레이(WGD)의 구현 방법은 LED나 레이저 같은 협대역(narrow band) 광원을 사용한 방법^[1-3]과 기존의 RGB에 Y(yellow)나 C(cyan)등의 원색을 추가한 다채널 방식^[4-8](MPD)으로 색역을 넓히는 방법이 이용된다. 레이저의 경우는 프로젝션 디스플레이에 적용하는 방법이 있으며, LED는 프로젝션에 적용하거나 LCD의 Back light로 기존의 CCFL 대신 적용하는 방법이 있다. 다채널 디스플레이의 경우는 프로젝션에서 3등분된 RGB Color wheel을 5등분하여 원색을 추가하는 방법이 있다. RGB를 이용하는 LED나 레이저 디스플레이는 2.1에서 언급한 것과 같은 방식으로 색 특성을 얻을 수 있다. 하지만 다채널 디스플레이는 식(1)과 식(2)에서 원색의 정보를 추가하여야 한다. Y와 C를 추가한 경우를 예로 들면 식(2)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

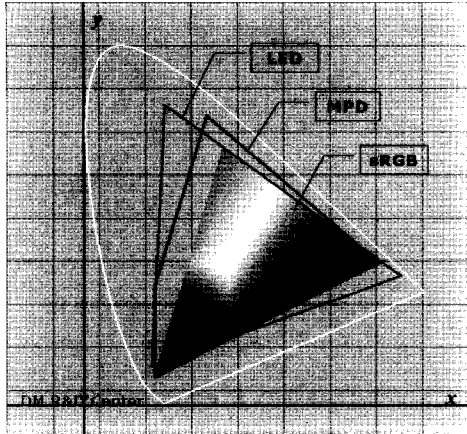


그림 1. sRGB, LED, MSD의 색역
Fig. 1. Color Gamut of sRGB, LED, MPD.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_w} \begin{bmatrix} X_{r,max} & X_{g,max} & X_{b,max} & X_{y,max} & X_{c,max} \\ Y_{r,max} & Y_{g,max} & Y_{b,max} & Y_{y,max} & Y_{c,max} \\ Z_{r,max} & Z_{g,max} & Z_{b,max} & Z_{y,max} & Z_{c,max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \\ Y_L \\ C_L \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 $Y_w = Y_{r,max} + Y_{g,max} + Y_{b,max} + Y_{y,max} + Y_{c,max}$ 가 된다. 그림 1.은 sRGB와 LED 및 다채널 디스플레이의 색역을 CIE-xy 색도도 상에 표시한 것이다.

III. 색역 사상(Gamut Mapping)

앞에서 언급했듯이 현재 표준 신호인 sRGB는 CRT를 기준으로 하였기 때문에 그 색역이 제한적이어서 WGD의 넓은 색역을 제대로 충분히 이용하지 못할 뿐만 아니라 직접 적용할 경우 심각한 색상의 왜곡을 가져오게 된다. 따라서 색역 사상을 통해 표준 신호를 WGD의 신호에 맞게 변환해야 한다.

3.1 WYV 색 공간

색역 사상은 보통 신호의 색상(hue)왜곡이 발생하지 않게 하는 것을 기본으로 한다. 따라서 동일 색상 평면(constant hue plane)에서 밝기(lightness)와 채도(chroma)를 사상하는 방법이 주로 이용된다. RGB 신호는 장치종속(device dependant) 색채계로서 장치마다 서로 다른 색을 나타내므로 색역 사상에 이용하기에는 부적합하므로 색채관리시스템(color management system)에서는 장치독립(device independent) 색채계의 사용이 권장된다. 대표적인 장치 독립 색채계로는 CIE-XYZ 좌표가 있으나 색역 사상에는 전통적으로 밝

기, 색상, 채도로 표현이 가능한 균일한 색공간(uniform color space)인 CIE- $L^*a^*b^*$ 를 주로 사용한다. XYZ에서 $L^*a^*b^*$ 로의 변환은 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{16}{116} \right] \\ a^* &= 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b^* &= 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, X_n, Y_n, Z_n 는 기준 백색에 대한 삼자극치이다. Y/Y_n 이 0.008856 보다 크면 $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$ 이고, 이하이면 $f(Y/Y_n) = 7.787(Y/Y_n) + 16/116$ 이다. $f(X/X_n)$ 과 $f(Z/Z_n)$ 도 동일하게 적용된다.

색역 사상에서는 색역의 경계(gamut boundary)정보를 주로 사용하는데, 식(5)에서와 같이 비선형 변환이 이용되는 $L^*a^*b^*$ 의 경우 3차원 색역 경계의 검출이 복잡하고, 색역 사상 알고리즘을 하드웨어로 실시간 구현할 경우 비선형 변환으로 인해 구현이 용이하지 않다. 따라서 본 논문에서는 삼자극치 XYZ에서 Y를 밝기 축으로 하고, RGB 원색의 hue가 각각 120, 240, 0도에 위치하며, 원색의 채도가 0.5가 되게 하는 선형변환으로 이루어진 WYV 공간을 이용하였다. 선형변환을 이용할 경우 색역 공간(gamut volume)이 각 원색(RGB)과 2차색(CMY) 그리고 Black과 White의 8개 점을 연결한 육면체가 되어 색역 경계가 직선으로 나타나 쉽게 구할 수 있다. 다음 식(6)은 sRGB에 대한 XYZ에서 WYV로의 변환 행렬을 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} W \\ Y \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.53 & -0.687 & 0.643 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1.82 & -1.48 & -0.23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

WYV에서 W와 V축이 색채 성분을 나타내므로 밝기(L), 색상(H), 채도(C)는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} L &= Y \\ H &= \tan^{-1}\left(\frac{V}{W}\right) \\ C &= \sqrt{W^2 + V^2} \end{aligned} \quad (7)$$

WYV 좌표계는 $L^*a^*b^*$ 와 같은 uniform color space는 아니지만 디스플레이의 입장에서 $L^*a^*b^*$ 보다 색상이 균등하게 배열되어 있는 특징을 가지고 있다. 그림 2.는 $L^*a^*b^*$ 공간에서 각 sRGB와 LED TV의 색 공간과 WYV에서의 색 공간을 나타낸 것이다. 여기서 선으로 연결된

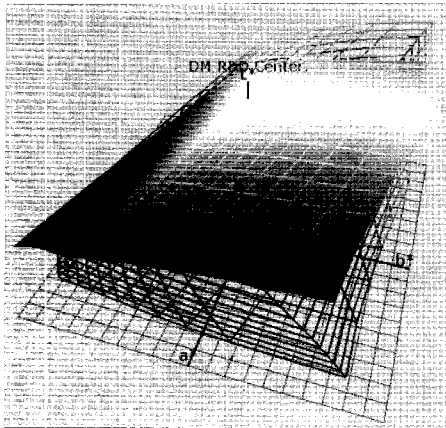


그림 2a. L*a*b* 공간에서 색역
Fig. 2a. Color Gamut on L*a*b* space.

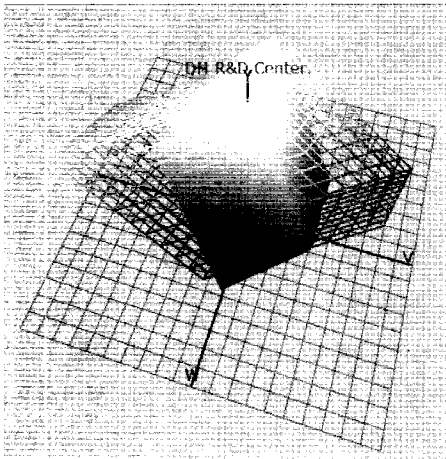


그림 2b. WYV 공간에서 색역
Fig. 2b. Color Gamut on WYV space.

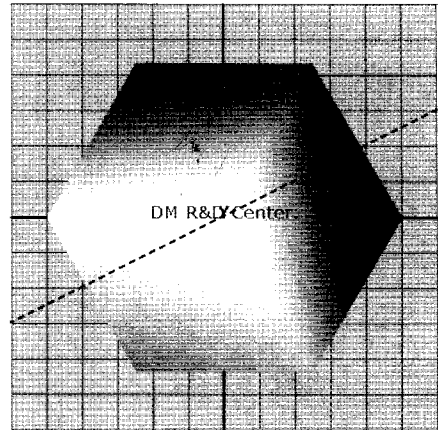


그림 3a. WYV에서 h=30 인 평면
Fig. 3a. Plane of h=30 on WYV.

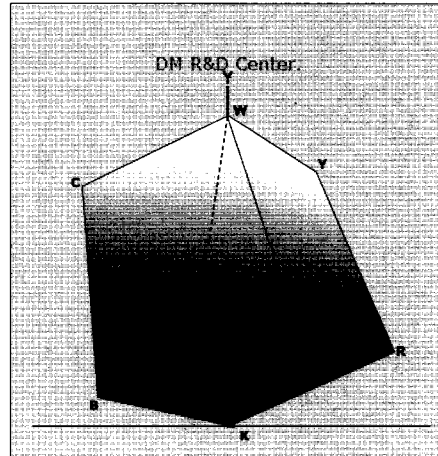


그림 3b. WYV상의 h=30인 색역경계
Fig. 3b. Gamut Boundary of h=30 on WYV.

큰 쪽이 LED TV이고 작은 쪽이 sRGB이다.

3.2 색역 경계 검출

WYV공간은 RGB의 선형 변환이므로 구하고자 하는 hue의 색역 경계는 hue 평면과 3차원 색역 공간이 만나는 교선이 된다. 그림 3은 sRGB의 hue = 30도에서의 색역 경계를 나타낸 것이다. hue=30인 hue평면은 평면 WCBM과 평면 KBMR을 지나간다. 따라서 그 교선이 hue=30에서의 색역 경계가 된다. 먼저 hue=30인 평면과 평면 WCBM과 평면 KBMR의 교선 BM이 만나는 교점을 $P(w_p, y_p, v_p)$ 라하면 색역 경계는 선분 WP와 선분 PK가 된다. 교점 P를 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 hue= θ 인 평면은 다음과 같다.

$$v = \tan(\theta) \cdot w = k \cdot w \tag{8}$$

점 $B(w_b, y_b, v_b)$ 와 점 $M(w_m, y_m, v_m)$ 의 교선 BM은

$$\frac{w - w_b}{w_m - w_b} = \frac{y - y_b}{y_m - y_b} = \frac{v - v_b}{v_m - v_b} \tag{9}$$

이다. 먼저 w_p, v_p 를 구하기 위해 식 (9)에서 w 와 v 에 대해서 다시 쓰면

$$v = \frac{v_m - v_b}{w_m - w_b} \cdot (w - w_b) + v_b = a \cdot w + b \tag{10}$$

가 된다. 식 (8)과 식 (10)을 풀면 교점 w_p, v_p 는

$$\begin{aligned} w_p &= \frac{b}{k - a} \\ v_p &= \frac{kb}{k - a} \end{aligned} \tag{11}$$

이다. 따라서 식 (9)와 식 (11)로부터 y_p 는

$$y_p = \frac{y_m - y_b}{w_m - w_b} \cdot (w_p - w_b) + y_b$$

$$y_p = \frac{y_m - y_b}{v_m - v_b} \cdot (v_p - v_b) + y_b \quad (12)$$

가 된다. 따라서 점 P에서의 채도 $c_p = (w_p^2 + v_p^2)^{1/2}$ 이고 밝기 $l_p = y_p$ 가 된다. 그러므로 그림 4에서 hue=θ에서의 밝기에 따른 색역 경계를 나타내는 채도 c는

$$c = \begin{cases} \frac{c_p}{l_p} \cdot l, & 0 \leq l < l_p \\ \frac{c_p}{l_p - 1} \cdot (l - 1), & l_p \leq l \leq 1 \end{cases} \quad (13)$$

가 된다.

3.3 색역 사상 알고리즘

색역 사상은 색채 관리 시스템에서 기준 매체와 특정 출력 장치 사이의 색역 차이를 해결하기 위해 사용하는 알고리즘으로 주로 프린터와 모니터사이의 색역차이를 극복하기 위해 사용되며 다양한 알고리즘들이 사용된다^[10]. ICC(International Color Consortium)에서는 연색 개념(rendering intents)이라는 몇 가지 원칙을 제시하고 있는데 포화도(saturation), 측색(colorimetric), 지각(perceptual)의 세 가지가 있다^[11]. 포화도 연색은 입력 장치의 원색 및 제 2색이 출력 장치의 원색 및 제 2색에 사상되도록 하는 것으로 주로 차트 등과 같은 그래픽 출력에 사용된다. 측색 연색은 입력과 출력의 공통된 색역은 그대로 재현하고 출력 불가능한 부분만 재사상하는 방법으로 상표나 중요한 색채를 포함하는 영상의 출력에 사용된다. 지각 연색은 사람의 색채 지각에 따라 입력 장치의 색역을 출력 장치의 색역으로 사상하는 방법으로 일반 사진이나 영상에 적용에 사용하므로 일반적으로 가장 많이 사용되며 다양한 방법들이 소개 되고 있으며, 본 논문에서 제시하는 색역 사상 역시 지각연색에 해당한다.

3.3.1 색 순응(chromatic adaptation)

입력과 출력장치의 색역 사상에서는 입력장치의 백색(white)이 출력 장치의 백색(white)이 되도록 색 순응을 한다. 색 순응은 입력장치의 색온도를 출력장치의 색온도로 변환해주면 되는데 보통 von Kries^[11]나 Bradford 모델^[11]을 이용하여 변환행렬을 구한다. 이 모델들은 물체에 입사하는 광원의 변화에 따라 사람의 시각특성이 변한다는 것에 기초하여 광원의 변화를 예측하고 있으므로 이를 디스플레이에 적용할 경우 원색 RGB의 색도

가 틀어져서 색역 공간이 변하게 된다. 하지만 디스플레이에서는 원색 RGB의 세기를 조정하여 색온도를 조정하므로 디스플레이를 기준으로 했을 때 RGB의 색도는 변하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 RGB의 이득 값을 조정하는 방식으로 색 순응을 적용하였다. 먼저 식(2)의 입력장치 색 특성 행렬을 M 이라고하고, 출력장치의 백색을 X_{wo}, Y_{wo}, Z_{wo} 라면 $R = 1, G = 1, B = 1$ 에 대하여 이를 만족하는 이득 값 kr, kg, kb 라하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} k_r \\ k_g \\ k_b \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_{wo} \\ Y_{wo} \\ Z_{wo} \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서 kr, kg, kb 를 취하는 대각 행렬을 M 에 곱하면 색 순응된 변환 행렬을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} k_r & 0 & 0 \\ 0 & k_g & 0 \\ 0 & 0 & k_b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (15)$$

3.3.2 채도 사상(chroma mapping)

일반적으로 쉽게 사용하는 색역 사상은 밝기를 유지하면서 채도를 사상하는 방법(chroma mapping)으로 그림 4에 표시되었다. 채도 사상은 출력채도가 넓은 경우 채도를 늘리고(stretching) 좁을 경우는 줄이는(compressing)는 방법을 사용한다. 채도 사상법은 구현이 쉽고 채도 향상으로 영상이 선명해 지는 등 그 효과가 확실히 나타나 대부분의 경우 잘 들어맞는다. 하지만 저 채도나 중간 채도의 색들의 채도가 과도하게 향상되는 경향이 있어서

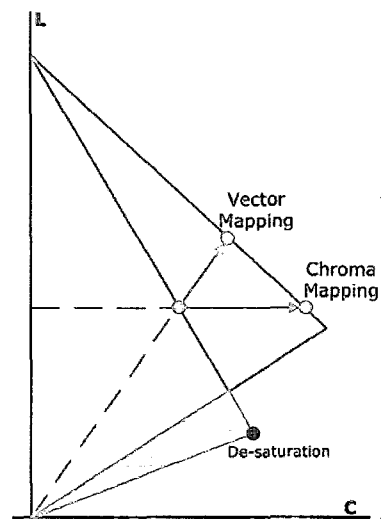


그림 4. 채도사상과 벡터사상
Fig. 4. Chroma and Vector Mapping.

영상이 부자연스러워지는 단점을 보이며, 그림 5의 아래 쪽 빗금 부분과 같이 출력의 색역이 입력보다 적은 영역은 채도가 줄어드는 탈색 현상(de-saturation)이나 계조 뭉침의 부작용이 나타난다. 채도 사상은 식 (16) 와 같이 계산된다.

$$l_t = l_s$$

$$c_t = \frac{c_{tg}}{c_{sg}} \cdot c_s \tag{16}$$

여기서 (c_s, l_s) 는 입력 색의 채도와 밝기이고, (c_t, l_t) 는 출력될 색이고, (c_{sg}, l_{sg}) 와 (c_{tg}, l_{tg}) 는 각각 사상에 사용되는 입력과 출력 색역의 경계에 있는 값들이다.

3.3.3 벡터 사상(vector mapping)

벡터 사상은 제로(black)를 원점으로 현재 채도에 대한 밝기의 기울기 방향으로 입력과 출력의 색역의 차이만큼 대상 색의 밝기와 채도를 모두 향상 시키는 방법으로 그림 4에 나타내었다. WYV공간에서의 벡터 사상은 색도(CIE-xy)를 일정하게 유지시키고(constant saturation) 휘도를 변화시킨다. 따라서 채도 사상법이 색도 변화를 일으켜서 왜곡을 가져올 수 있는 반면에 벡터 사상은 색도를 변화 시키지 않아 보다 자연스러운 영상을 제공한다. 하지만 벡터 사상법의 단점은 그림 4의 아래쪽 빗금 영역과 같이 입력 색역이 출력 장치보다 클 경우 입력장치의 색역 중 사상을 할 수 없는 부분이 생겨 black으로 사상되거나 출력장치의 색역이 더 클 경우 출력장치의 색역 중 일부가 사상되지 못하고 남는 경우가 생기게 된다. 벡터 사상은 식 (17)와 같이 계산된다.

$$l_t = \frac{l_{tg}}{l_{sg}} \cdot l_s$$

$$c_t = \frac{c_{tg}}{c_{sg}} \cdot c_s \tag{17}$$

3.3.4 색역 맞춤(Gamut Fitting)

3.3.2와 3.3.3에서 언급하였듯이, 색역 사상은 입력과 출력 색역의 경계정보를 이용하기 때문에 색역의 기하학적 특성에 따라 문제점이 유발된다. 3.3.2와 3.3.3에서도 문제점이 언급되었다. 이러한 문제들은 색역 맞춤(gamut fitting)을 이용하여 해결할 수 있다. 그림 5는 색역 맞춤에 대하여 설명한 것이다. 그림 5a는 입력 영역 일부가 출력 영역 바깥쪽으로 돌출된 경우로 입력과 출력 색역의 교점 P_c 를 중심으로 사상이 확장, 축소되고 있다. 이

렇듯 사상의 확장, 축소가 동시에 일어날 경우 입력의 연속된 색들이 확장과 축소의 경계를 중심으로 변화가 커서 부드럽게 렌더링 되지 못하고 등고선과 같은 윤곽선(contour) 현상이 발생한다. 특히 채도 사상에서는 입력의 고채도의 색들이 과도하게 탈색(de-saturation)되고 벡터 사상에서는 색들이 사상되지 못하는 문제가 발생한다. 이와 같은 경우는 입력 색역의 첨점 C_s 를 교점 P_c 로 옮겨 색역을 압축함으로써 해결할 수 있다.

그림 5b는 입력 색역이 출력 색역에 완전히 포함되는 경우로 벡터 사상의 경우로 출력 색역의 영역이 사상되지 못하고 남는 것을 방지하기 위해 입력 색역의 첨점 C_s 를 출력 색역의 black과 첨점 C_t 와의 선상의 점 P_e 로 옮

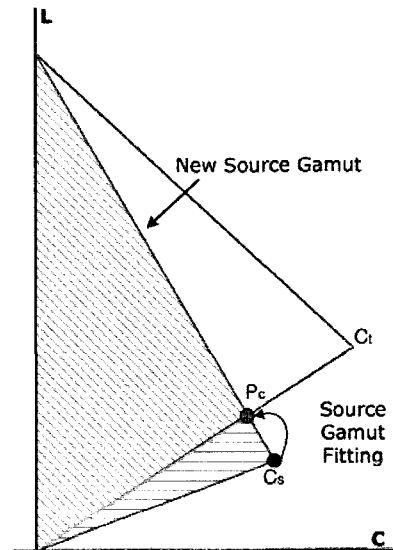


그림 5a. 색역 축소
Fig. 5a. Gamut Compression.

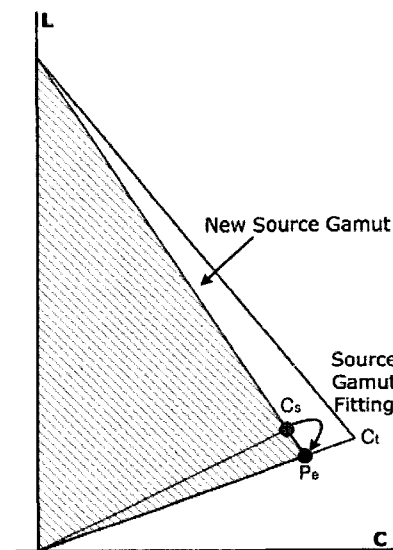


그림 5b. 색역 확장
Fig. 5b. Gamut Expansion.

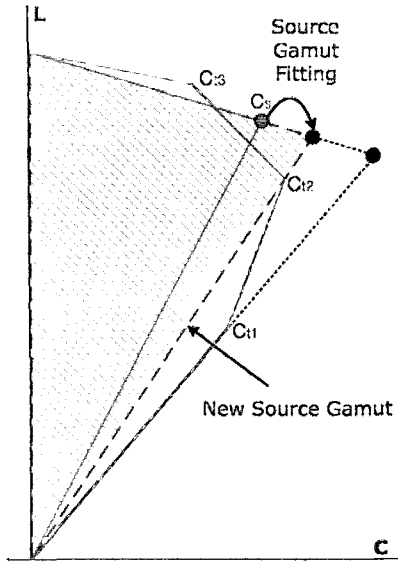


그림 5c. 색역 확장 조정
Fig. 5c. Adjustive Gamut Expansion.

겨 입력 색역을 확장 시키는 것이다. 그림 5c는 출력이 4 채널 이상일 경우로 여기서는 5채널에 해당한다. 이 경우 입력 색역 첨점 C_s 를 출력의 첨점 C_{t1} 의 연장선상으로 옮길 경우 벡터 사상시 C_s 의 색들이 C_{t1} 쪽으로 모여 심각한 부작용을 발생하게 된다. 이와 같은 경우는 첨점 C_{t2} 의 연장선상으로 옮겨 입력 색역을 확장한 후 벡터 사상을 한다. 하지만 이때 출력 색역에는 C_{t1} 부근에 사상 되지 않고 남는 부분이 발생한다. 이 경우는 채도 사상을 추가로 수행하여 출력 색역의 남는 부분을 없앨 수 있다. 색역 맞춤전의 입력 색역 첨점(cusp)을 $P_0(c_0, l_0)$, 색역 맞춤후의 새로운 첨점을 $P_n(c_n, l_n)$ 이라면 입력 색역 내의 색들은 식 (18)과 같이 이동한다.

$$l' = l + (l_n - l_0) \cdot \begin{cases} \frac{l}{l_0}, & 0 \leq l \leq l_0 \\ \frac{l - l_0}{1 - l_0}, & l_0 \leq l \leq 1 \end{cases} \quad (18)$$

$$c' = c \cdot \frac{c_n}{c_0}$$

3.3.5 적응 색역사상(adaptive gamut mapping)

앞에서 설명한 채도 사상은 좁은 입력 색역을 넓은 출력 색역으로 확장시킴으로써 채도 향상을 통해 색채 대비를 높여서 보다 선명한 영상을 얻을 수 있다. 하지만 저채도 영역의 색들도 같이 확장됨으로 인해 오히려 부작용스러운 결과를 가져올 수 있다. 이와 같은 경우 식 (16)에 입력의 채도에 따른 이득 요소(gain factor)를 추가하여 저 채도영역의 확장을 조절한다. 벡터 사상은 색

도가 일정하게 유지되므로 채도 증가에 따른 부작용은 적으나 출력 색역이 입력 색역 보다 상당히 큰 경우는 채도 사상과 같은 현상이 일어날 수 있으므로 이득 요소를 추가한다. 이득 요소는 채도에 따라 식 (19)와 같이 결정할 수 있으며 식 (16)와 식(18)에 적용하면 각각 식(20)과 식(21)과 같다.

$$\alpha = \begin{cases} 0, & 0 \leq c < c_l \\ \frac{c - c_l}{c_h - c_l}, & c_l \leq c < c_h \\ 1, & c_h \leq c \end{cases} \quad (19)$$

$$l_t = l_s$$

$$c_t = \alpha \cdot \frac{c_{tg}}{c_{sg}} \cdot c_s \quad (20)$$

$$l_t = \alpha \cdot \frac{l_{tg}}{l_{sg}} \cdot l_s$$

$$c_t = \alpha \cdot \frac{c_{tg}}{c_{sg}} \cdot c_s \quad (21)$$

IV. 실험 및 결과

III절에서 기술한 채도 및 벡터 사상을 색역 맞춤을 적용하기 전과 적용한 후에 대하여 실험하였다. 출력장치는 LED TV를 이용하였다. 먼저 LEDTV의 원색 RGB의 XYZ값을 분광 방사계(spectral radiometer)인 Minolta CS-1000을 측정하여 변환 행렬을 구하였다. 식 (22)는 정규화된 LCD TV의 변환 행렬이다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.488 & 0.162 & 0.231 \\ 0.206 & 0.646 & 0.149 \\ 0.010 & 0.127 & 1.225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (22)$$

색역 사상을 위해 입력인 sRGB의 white를 LED TV의 white 좌표로 식 (14)와 식 (15)를 이용하여 색 순응 하였으며 새로 얻어진 변환식은 다음 식 (23)과 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.266 & 0.385 & 0.231 \\ 0.137 & 0.771 & 0.092 \\ 0.013 & 0.128 & 1.215 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (23)$$

식 (23)을 3.1절에서와 같이 WYV로 변환행렬을 구하면

$$\begin{bmatrix} W \\ Y \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.010 & 0.081 & 0.597 \\ 0 & 1 & 0 \\ 2.566 & -1.783 & -0.352 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (24)$$

와 같다. 따라서 LCD의 WYV변환은 식 (22)와 식 (24)을 이용하여 구할 수 있다. 색역 사상은 그림 6.과 같이 수행

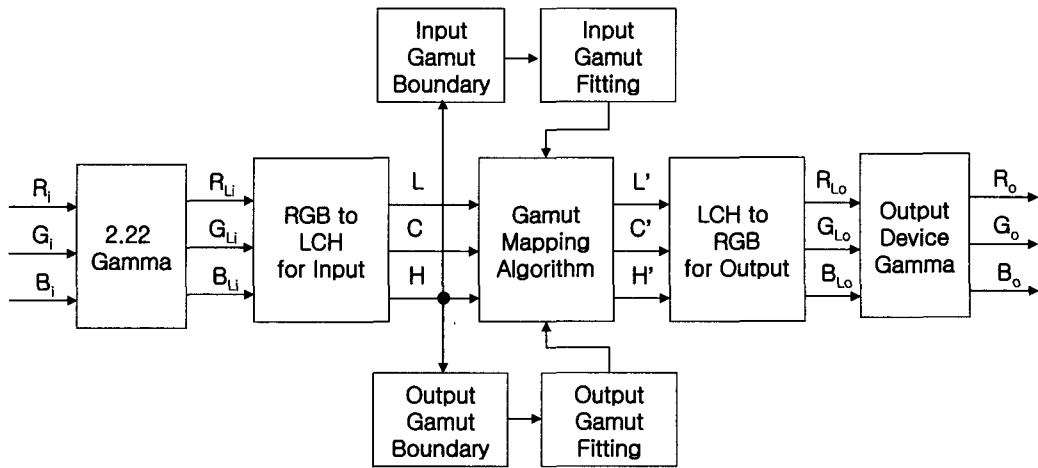


그림 6. 색역 사상 순서도
Fig. 6. Block Diagram of Gamut Mapping.

된다. 입력 RGB가 들어오면 sRGB의 2.2 gamma를 취해 선형 RGB로 변환한다. 그리고 WYV로 변환한 후 LCH로 변환하고 색상(hue)에 따라 색역경계를 구한다. 색역 경계에 따라 색역 맞춤 후 색역사상을 수행한다. 색역 사상의 출력 L'C'H'는 다시 출력장치의 선형 RGB로 변환되고 출력장치의 감마특성에 맞게 감마 조정된 후 출력된다. 그림 6의 순서에 따라 GretagMacbeth ColorChecker 24색에 대하여 색역 사상을 실험하였다. 표 1은 24색의 색채값을 CIE-xyY와 RGB로 표시한 것이다. CIE-xyY 값은 분광 반사율로부터 2도 시야 D65 광원에서 계산한 것이고 RGB는 sRGB 변환공식을 이용하여 XYZ로부터 계산하였다. 색역 사상에서는 LED white로 식 (23)을 이용하여 색 순응한 값이 이용된다. 표 1에서 18번 cyan의 R값이 음수가 되는 것은 sRGB 색역 바깥쪽에 위치해있기 때문이다. 색역 사상의 결과는 그림 7, 8, 9에 각각 도시하였다. 그림 7은 직접 사상의 결과인데 입력 RGB를 출력 RGB에 직접사상하게 되면 RGBCMY 등의 1차와 2차색들은 고채도의 밝은 색을 얻을 수 있으나 색상의 왜곡을 심하게 가져온다. CMY의 2차색 및 혼합색들의 경우 CIE-xy색도에서 RGB의 위치에 따라 표현됨으로 색상의 변화를 심하게 가져온다. 그림에서 알 수 있듯이 red가 좀 더 진하고 밝은 쪽으로 옮겨 감에 따라 장미 등과 같은 빨간색의 표현은 좋아지나 yellow, orange 계열의 색이 red로 옮겨감을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 사람의 얼굴이나 피부색이 심하게 붉어지는 현상을 가져온다. Blue 계열의 색을 살펴보면 Blue sky와 같은 색은 출력의 green의 영향으로 인해 cyan 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 그림 8은 색역 맞춤 후 채도 사상한 것이고 그림 9는 색역 맞춤 후 벡터 사상한

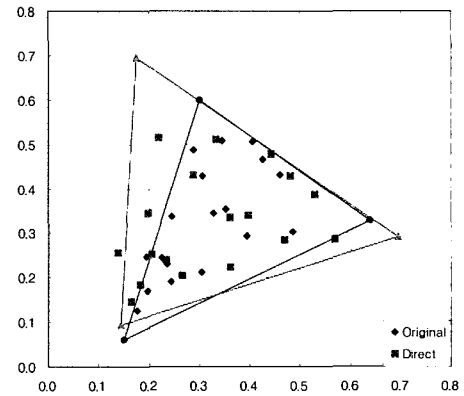


그림 7. 직접 사상 결과
Fig. 7. Result of Direct Mapping.

것이다. 그림 8, 9를 살펴보면 색역 사상에 의해 색상의 왜곡이 많이 줄어들었음을 알 수 있다. yellow, orange, green 계열의 색도는 색역 사상 전후가 일치하고 있으며 red 계열도 직접 사상한 경우보다 색상의 변화가 줄고 채도만 향상되었다. blue 계열의 색들도 green의 영향으로 cyan쪽으로 치우쳤던 부분이 줄어들고 채도가 향상됨을 알 수 있다. 그림 10과 그림 11은 색상 평면에서 어떻게 색역 사상이 이루어지는지를 시뮬레이션한 결과이다. 그림 10은 hue=0 과 hue= 180인 blue와 yellow에서의 색역 사상을 보여준 것인데 입력 색역 일부가 출력 색역보다 큰 경우로 각각 그림 10a는 채도, 그림 10b는 채도/색역 맞춤, 그림 10c는 벡터 사상에 대한 것이다. 오른쪽 blue 부분을 살펴보면 그림 10a 채도사상의 경우 입력의 점점 아래 부분은 안쪽으로 사상되어 탈색되고 뭉쳐져 영상에서 계조가 사라지는 현상이 발생하며 이로 인해 점점 휘도를 중심으로 위 아래쪽에서 윤곽선 현상이 보

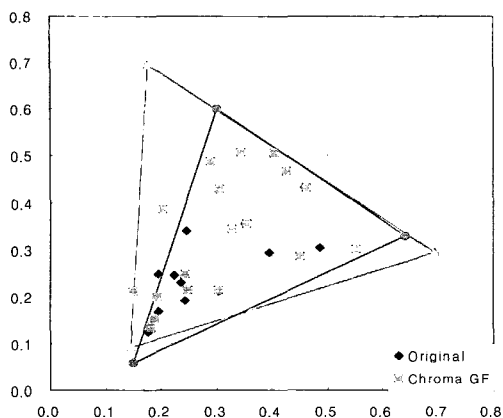


그림 8. 색역 맞춤 채도 사상 결과
Fig. 8. Result of Chroma Mapping After Gamut Fitting.

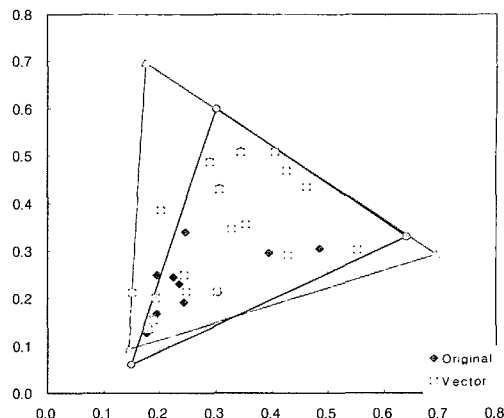


그림 9. 벡터 사상 결과
Fig. 9. Result of Vector Mapping.

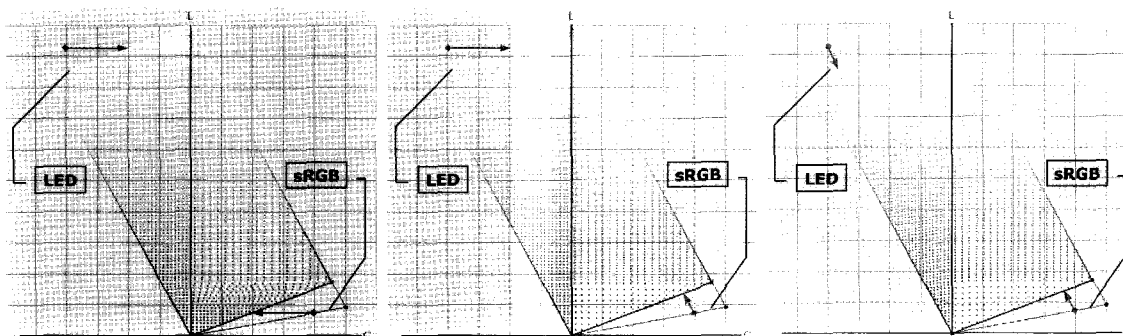


그림 10. hue=0,180에서의 색역 사상 : (a) 채도 (b) 채도/색역 맞춤 (c) 벡터
Fig. 10. Gamut Mapping on hue=0,180 : (a) Chroma (b) Chroma/Gamut Fitting (c) Vector.

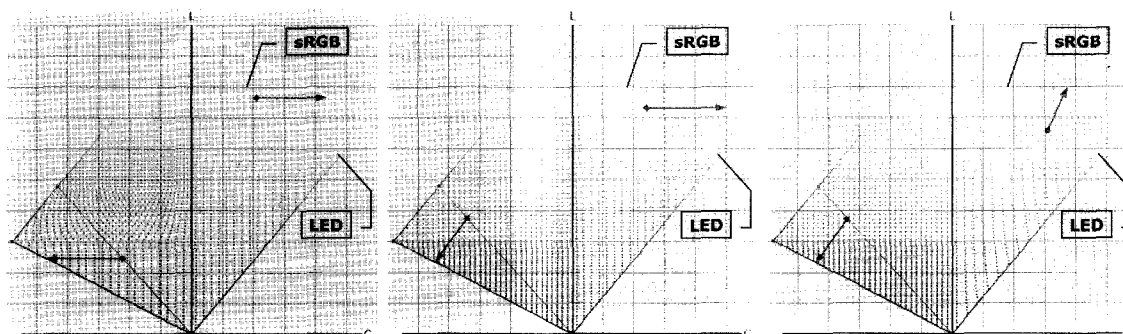


그림 11. hue=150,330에서의 색역 사상 : (a) 채도 (b) 채도/색역 맞춤 (c) 벡터
Fig. 11. Gamut Mapping on hue=150,330 : (a) Chroma (b) Chroma/Gamut Fitting (c) Vector.

일 수 있다. 그림 10b와 10c와 같이 색역 맞춤을 한 경우는 이와 같은 문제를 방지할 수 있다. 반대편 yellow 경우는 그림 10a와 10b의 채도사상의 경우 오른쪽 blue부분과 같은 현상이 발생하는데 그림 10c와 같이 벡터사상을 하는 경우는 휘도의 저감을 가져오지만 이를 방지할 수 있다. 그림 11은 hue = 150 과 hue = 330인 orange와 cyan의 경우로 입력 색역 전체가 출력 색역에 포함되는 경우이다. 마찬가지로 그림 11a는 채도, 그림 11b는 채도/

색역맞춤, 그림 11c는 벡터 사상이다. 먼저 오른쪽 orange의 경우 그림 11a와 11b의 채도사상은 입력의 침점 윗부분에서 과도하게 채도가 상승하여 영상에서 저채도의 색들이 포화되어 버리므로 색의 왜곡이 심하게 나타난다. 더하여 침점 아래 부분과 위부분의 채도 차가 과도해져 경계면효과를 유발한다. 그러나 그림 11c는 색의 왜곡이 없이 휘도상승의 효과를 나타내고 있으며 경계면효과를 줄일 수 있다. 실제로 그림 8, 9에서 orange계열의

표 1. GretagMacbeth ColorChecker
Table 1. GretagMacbeth ColorChecker.

| No. | Name | Y | x | y | R | G | B |
|-----|---------------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 1 | dark skin | 0.097 | 0.410 | 0.363 | 45 | 20 | 13 |
| 2 | light skin | 0.356 | 0.383 | 0.357 | 143 | 79 | 57 |
| 3 | blue sky | 0.191 | 0.250 | 0.267 | 29 | 51 | 86 |
| 4 | foliage | 0.130 | 0.339 | 0.436 | 24 | 38 | 13 |
| 5 | blue flower | 0.244 | 0.270 | 0.255 | 60 | 58 | 113 |
| 6 | bluish green | 0.427 | 0.263 | 0.360 | 34 | 132 | 103 |
| 7 | orange | 0.293 | 0.508 | 0.409 | 179 | 51 | 6 |
| 8 | purplish blue | 0.118 | 0.215 | 0.189 | 17 | 27 | 96 |
| 9 | moderate red | 0.192 | 0.463 | 0.313 | 142 | 23 | 31 |
| 10 | purple | 0.065 | 0.290 | 0.218 | 27 | 11 | 37 |
| 11 | yellow green | 0.436 | 0.377 | 0.496 | 89 | 128 | 12 |
| 12 | orange yellow | 0.431 | 0.472 | 0.441 | 202 | 93 | 7 |
| 13 | blue | 0.062 | 0.188 | 0.140 | 7 | 12 | 79 |
| 14 | green | 0.236 | 0.305 | 0.495 | 15 | 78 | 15 |
| 15 | red | 0.118 | 0.542 | 0.318 | 114 | 7 | 11 |
| 16 | yellow | 0.596 | 0.447 | 0.476 | 217 | 148 | 3 |
| 17 | magenta | 0.193 | 0.372 | 0.244 | 129 | 23 | 76 |
| 18 | cyan | 0.199 | 0.196 | 0.269 | -8 | 63 | 98 |
| 19 | white | 0.887 | 0.314 | 0.331 | 226 | 227 | 223 |
| 20 | neutral 8 | 0.584 | 0.313 | 0.329 | 149 | 149 | 148 |
| 21 | neutral 6.5 | 0.358 | 0.313 | 0.329 | 91 | 91 | 91 |
| 22 | neutral 5 | 0.203 | 0.313 | 0.329 | 52 | 52 | 52 |
| 23 | neutral 3.5 | 0.093 | 0.310 | 0.327 | 23 | 24 | 24 |
| 24 | black | 0.034 | 0.308 | 0.323 | 8 | 9 | 9 |

색들이 색도는 같게 나타나지만 벡터 사상의 경우 휘도가 더 높아 Hunt 효과^[11]에 의해 채도 사상한 경우 보다 채도를 더 높게 느끼게 된다. 반대편 cyan의 경우는 그림 11a의 경우 입력 칩점 아래에서 채도가 상승함을 알 수 있다. 하지만 black과 입력 칩점 라인이 사상되는 과정을 살펴보면 출력 칩점의 휘도아래 쪽의 채도 증가량 보다 위쪽의 채도 증가량이 적음으로 인해서 채도의 계조 상승에 따라 오히려 채도가 상대적으로 줄어드는 현상이 발생하여 색이 탈색되는 효과를 발생시킨다.

그림 11b와 11c는 색역 맞춤을 적용하여 이와 같은 역효과를 방지하였다. 하지만 채도는 상승하지만 휘도가 감소하는 현상이 발생하고 입력 칩점 아래쪽이 출력 칩점 이하의 휘도로 압축되어 계조가 뭉치고 입력 칩점 위쪽은 확장되어 경계면이 나타날 수 있다. 하지만 동일한 휘도에서 채도가 높아지면 인지되는 밝기가 증가하는 것을 설명한 Helmholtz-Kohlausch 효과^[11]에 따라 채도 상승이 휘도 저감을 어느 정도 보상할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 좁은 스펙트럼 대역을 갖는 LED나

laser를 이용하거나 cyan, yellow 등의 원색을 추가한 광 색역 디스플레이 장치에서 기존 CRT의 색역을 기준으로 하는 영상신호 sRGB 신호를 광 색역 디스플레이 신호로 변환하는 색역사상에 대하여 기술하였다. sRGB 신호의 원색인 RGB를 광 색역 디스플레이의 원색 RGB로 직접 사상하였을 경우 고채도의 밝은 색을 얻을 수 있지만 두 장치간의 색역의 차이로 인해서 색상이 보존되지 못하고 심하게 왜곡 되었다. 색상 왜곡을 방지하기 위해서는 동일한 색상(hue)에서 색신호가 사상되어야 하는데 기존의 프린터 시스템에서는 균일한 색공간인 CIE- $L^*a^*b^*$ 좌표계를 사용했으나 비선형 변환으로 인해 색역 경계를 검출하기 힘들고 TV등과 같은 실시간 처리가 필요한 시스템에서는 알고리즘의 하드웨어 구현이 용이하지 않은 관계로 CIE-XYZ의 선형변환인 WYV를 제안하였다. 가장 일반적으로 사용하는 색역 사상은 동일 색상공간에서 채도 사상을 하는 방법으로 입력보다 출력의 채도가 높은 곳은 채도를 향상 시키고 반대인 경우는 감소시킨다. 이 방법은 구현이 간단하다는 장점이 있으나 색역의 기하학적 특성에 따라서 채도가 과도하게 상승하거나 감소하여 색채의 변화가 심해 영상이 부자연스러워지는 경향이 있다. 이에 따라서 본 논문에서는 제로(black)를 원점

으로 현재 채도에 대한 밝기의 기울기 방향으로 입력과 출력의 색역 차이만큼 대상 색의 밝기와 채도를 모두 향상 시키는 벡터 사상을 제안하였다. 벡터 사상은 색도인 CIE-xy값을 변화시키지 않아 색채가 그대로 유지되면서 휘도 상승을 가져와 보다 자연스러운 영상을 제공한다. 그러나 벡터 사상의 경우 입력과 출력 색역의 기하학적 특성에 따라 입력 신호가 출력신호에 사상되지 못하거나 출력 색역을 모두 이용하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 경우를 보상하기 위해 입력 색역을 출력 색역에 알맞게 조정하는 색역 맞춤방법을 제안하였다. 벡터 사상의 경우 색역 맞춤을 적용할 경우 본래 의도와는 달리 색역이 변함으로써 색도가 변할 수 있으나 색역을 효율적으로 이용할 수 있다. 더하여 색역 맞춤을 채도 사상에 적용하였을 경우에도 효과적으로 작용함을 알 수 있었다. 광 색역 장치의 장점은 고채도의 색을 표현할 수 있는 점인데 색역 사상을 이용하여 기존의 sRGB 색신호를 확장할 경우 발생하는 문제점 중 하나는 회색조에 가까운 저채도나 중채도 부근의 색들이 채도가 상승하여 사용자에게 따라서 부자연스러워 보이는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 저채도나 중채도 영역에서는 사상되는 양을 적절히 조절하는 적응 색역 사상에 대해서도 제안하였다.

본 논문에서 제안한 색역 사상의 문제점은 사람의 시각특성에 기반하지 않고 실시간 구현에 따른 복잡도를 줄이기 위해 디스플레이 장치의 특성에 기반 하였다는 점이다. 따라서 색역 사상의 결과가 사람의 시각특성에 적합한지에 대한 평가가 추가 되어야 할 것으로 사료된다. 더하여 앞으로 더 연구해야할 내용은 사람의 시각 특성에 기반한 CIE- $L^*a^*b^*$, DIN99^[14] 등과 균등한 색공간을 이용하는 방법이다. 이러한 색공간을 이용할 경우 본 논문에서 제안한 복잡한 조율과정이 없이 색역 사상이 보다 간략해 질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] G. Hollemann et al, "High power laser projection displays," Proc. SPIE, Vol. 4294, pp. 36-64, 2002.
 [2] M.C. Kim, S.H. Dho and I. Moon, "Colorimetric aspect and development status of RGB laser displays," CLEO-Europe 2003 Conference
 [3]. H. Sigiura et al, "Wide color gamut monitor: LED backlighting and new phosphor CRT," IS&T/SPIE 16th Annual symposium 5289, 2004.
 [4] B. Hill, "Aspect of total multi-spectral image reproduction systems," Proc. 2nd Intern. symposium on High Accurate Color

Reproduction and Multispectral Imaging, Chiba University, Japan, Oct. 2000.
 [5] Ajito et al, "Color conversion method for multiprimary display using matrix switching," Optical review, Vol. 8, No. 3, pp. 191-197, 2001.
 [6] M. Yamaguchi et al, "Color image reproduction based on the multispectral and multiprimary imaging: Experimental evaluation," SPIE vol. 4663, pp. 15-26, 2001.
 [7] M.C Kim, Y.C Shin, Y.R Song, S.J. Lee, and I.D. Kim, "Wide Gamut Multi-Primary Display for HDTV," CGIV 2004, Aachen, Germany, pp. 248-253, April, 2004.
 [8] 엄진섭, 신운철, 김문철, "5채널 DLP 디스플레이 장치," 2004 한국색채학회 하계학술대회, pp. 78-82, 6월, 2004.
 [9] Morovic J. and Luo M. R, "The Fundamentals of Gamut Mapping: A Survey", *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 45, No. 3, pp 283-290, 2001.
 [10] Roy S. Berns, *Principles of Color Technology 3/e*, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
 [11] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, 1998.
 [12] ITU-R. BT. 1361, <http://www.itu.int>
 [13] IEC619660-2-2, <http://www.iec.ch>
 [14] Cui G, Luo M. R, Rigg B, Roesler G, Witt K, "Uniform color spaces based on the DIN99 colour difference formula," *Color Res. & Appl.* Vol. 27, No. 4, pp. 282-290, 2002.

저 자 소 개



엄진섭(정회원)
1995년 전북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1997년 전북대학교 전자공학과
석사 졸업.
2000년 전북대학교 전자공학과
박사 졸업.

2000년~2003년 한국표준과학연구원 박사후
연구원

2003년~현재 삼성전자 DM연구소 책임연구원
<주관심분야 : Video Signal Processing, Color
Processing, Color Management>



신윤철(정회원)
1996년 중앙대학교 제어계측
공학과 학사 졸업.
2002년 중앙대학교 제어계측
공학과 석사 졸업.
2002년~현재 삼성전자
DM연구소 선임연구원

<주관심분야 : Video Signal Processing, Color
Processing>



김문철(정회원)
1990년 독일 아헨공과대학
전기전자공학부 Vordiplom
1995년 독일 아헨공과대학
전자통신공학부 Diplom
2000년 독일 연방공화국
Nordrhein-Westfalen주
교육공무원

(BAT2)Scientific Researcher, 독일 아헨공과대학
2000년 독일 아헨공과대학 Institute for
Technical Electronics 전자공학박사
2000년~현재 삼성전자 DM연구소 수석연구원
2002년~현재 IEC/TC100/TA2 국내 전문위원
2003년~현재 KCIE(한국 조명위원회) 이사
<주관심분야 : Color Management System, Color
Device Calibration, Color 표준화, Video Signal
Processing>