

논문 2005-42SP-6-2

# 멀티프라이머리 디스플레이를 위한 3D-LUT 색 신호 분리 방법

(Color decomposition method for multi-primary display using 3D-LUT  
in linearized LAB space)

강 동 우\*, 조 양 호\*, 김 윤 태\*, 최 원 희\*\*, 하 영 호\*\*\*

(Dong-Woo Kang , Yang-Ho Cho, Yun-Tae Kin, Won-Hee Choe, and Yeong-Ho Ha)

## 요 약

본 논문에서는 멀티 프라이머리 디스플레이(multi-primary display; MPD)에서 색 재현을 위해 선형LAB 색공간에서 3차원 look-up-table(3D-LUT)을 이용한 색신호 분리방법을 제안한다. 제안한 방법은 인간 시각의 3가지 속성을 반영하는 선형 LAB 색공간에서 작성된 MPD 색역의 경계를 적은 용량의 메모리를 가지는 3D-LUT로 작성한다. 이때 색역 경계점의 자극치와 MPD의 색신호의 선형관계를 이용하여 3D-LUT에는 휘도 및 색상에 대한 채도와 색신호 조합이 저장된다. 작성된 3D-LUT에 기반하여 입력 자극치에 대응하는 MPD 색신호를 주변 색역 경계점의 색신호 변화를 고려하여 색역 경계점과 입력의 채도비로 보간한다. 그 결과, MPD 색신호가 연속적 계조를 가지도록 하였다. 또한 선형 LAB 색공간에서 색역 경계 LUT를 사용하여 연산의 복잡도를 감소시키고 MPD의 부드러운 색신호 변화를 유도하였다.

## Abstract

This paper proposes the color decomposition method for multi-primary display (MPD) using a 3-dimensional look-up-table (3D-LUT) in a linearized LAB space. The proposed method decomposes conventional three-primary colors into the multi-primary control values of a display device under constraints of tristimulus match. To reproduce images on the MPD, the color signals should be estimated from a device-independent color space, such as CIEXYZ and CIELAB. In this paper, the linearized LAB space is used due to its linearity and additivity in color conversion. The proposed method constructs the 3-D LUT, which contain gamut boundary information to calculate color signals of the MPD. For the image reproduction, standard RGB or CIEXYZ is transformed to the linearized LAB and then hue and chroma are computed to refer to the 3D-LUT. In the linearized LAB space, the color signals of a gamut boundary point with the same lightness and hue of an input point are calculated. Also, color signals of a point on gray axis are calculated with the same lightness of an input. With gamut boundary points and input point, color signals of the input points are obtained with the chroma ratio divided by the chroma of the gamut boundary point. Specially, for the hue change, neighboring boundary points are employed. As a result, the proposed method guarantees the continuity of color signals and computational efficiency, and requires less amount of memory.

**Keywords:** Multi-primary display, linearized LAB, Color Gamut, 3D-LUT

## I. 서 론

현재 사용되는 대부분의 디스플레이 장치들은 3색 (RGB)을 주요색으로 색을 표현한다. 이런 디스플레이 장치들은 인간이 인지 할 수 있는 모든 범위의 색을 표현하지 못한다. 색역(gamut) 한계의 문제점을 해결하기

\* 학생회원, \*\*\* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터 공학부

(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

\*\* 정회원, 삼성종합기술원

(Samsung Advanced Institute of Technology)

접수일자: 2005년6월1일, 수정완료일: 2005년9월22일

위해 RGB-레이저 디스플레이나 멀티프라이머리 디스플레이(multi-primary display; MPD)가 있다. 협대역의 3색을 사용하는 RGB-레이저 디스플레이는 저채도 및 혼합 색상의 표현이 어렵고, 시스템의 복잡도가 높으며 고가이다<sup>[1]</sup>. 이에 반해 3색 이외의 다른 주요색을 추가한 MPD의 경우, 확장된 색역을 가지며 관찰자 등이색성(observer metamerism)을 최소화 할 수 있고 구현이 간단하여 주목받고 있다. MPD를 구동하기 위해서는 스펙트럼 영상 또는 3차원의 입력신호를  $N$ -차원의 출력신호로 변환하는 알고리즘이 필요하다. 이와 관련한 연구로서 임의의 광원에서 자연색을 표현하기 위해 스펙트럼 기반의 MPD 색 재현 방법<sup>[2]</sup>과 표준신호(sRGB) 또는 CIEXYZ를 MPD의 보다 넓은 색역에 표현하기 위해 색역 구조를 이용한 색 신호 분리방법<sup>[3]-[5]</sup>이 있다. MPD를 이용하여 영상을 표현하는 경우, 입력 자극치에 대응 되는  $N$ -차원의 유일해를 얻기 위한 색 신호 분리 방법이 필요하다. 이때, MPD를 이용한 HDTV 시스템을 위해 색 신호 분리 방법은 연산이 간단하고 분리된 MPD 색 신호가 연속적 계조를 나타내야 한다. 관찰자의 색인지 특성이 표준 관찰자와 다르거나 장치 특성화 오차가 존재할 경우, 색 신호가 불연속적이라면 MPD에 표현된 이미지는 부드러운 계조를 표현하지 못하고 의사윤곽을 가지게 된다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서 제안하는 3D-LUT 색 신호 분리방법은 색역 경계를 3D-LUT로 작성하여 동일한 색 자극치를 가지면서 연속적인 계조를 표현하는 유일 색 신호를 도출함으로써 MPD에 영상을 재현했을 때 부드러운 계조를 표현할 수 있고 연산의 복잡도를 낮추어 하드웨어 구현이 용이하다. 실험에서 입력으로 sRGB를 사용해 출력으로 얻어진 MPD의  $N$ -색 신호를 CIELAB 색 공간으로 변환하여 입 출력간의 색차 비교를 통해 동일 자극치 색 재현 성능을 평가하였다. 그리고 CIELAB 색 공간에서 휘도, 채도, 색상에 대해 분리된 색 신호의 연속적 계조 특성을 그래프로 표현하였다. 또한 MPD에 재현된 영상을 획득하여 이미지의 화질을 평가하였다.

본 논문에서는 II장에서 MPD 색 재현 모델에 대해 살펴보고 III장에서는 기존의 색 분리 방법에 대해 설명한다. IV장에서는 제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법을 이루는 LUT의 구성 및 보간 방법에 대해 알아보고 V장에서 실험을 통해 결과를 비교 분석하고 이를 통해 VI장에서 결론을 내린다.

## II. 멀티프라이머리 디스플레이의 색 재현 모델

디스플레이 장치의 색 재현 모델은 장치의 선형성과 가법 혼색성을 기본 가정으로 한다. 선형성은 디스플레이 장치의 특성화와 관련된다<sup>[3]</sup>. MPD를 위한 색 신호의 순방향 변환 모델은 CIEXYZ 자극치와 색 신호의 스칼라 값으로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = T_{N\text{-signal to XYZ}} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ M \\ S_N \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{bias} \\ Y_{bias} \\ Z_{bias} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$T_{N\text{-signal to XYZ}} = \begin{pmatrix} X_{S_1} & X_{S_2} & \Lambda & X_{S_N} \\ Y_{S_1} & Y_{S_2} & \Lambda & Y_{S_N} \\ Z_{S_1} & Z_{S_2} & \Lambda & Z_{S_N} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서  $S_i$  ( $0 \leq S_i \leq 1$ )는  $i$  번째 색 신호에 스칼라 값에 해당하고,  $N$ 은 사용되는 색의 개수이다. 또한  $[X_{bias} \ Y_{bias} \ Z_{bias}]^t$ 는 디스플레이 장치가 0의 색 신호를 인가하였음에도 불구하고 나타내는 색 자극치인 최소 신호 자극치 값이고  $T_{N\text{-signal to XYZ}}$ 는  $N$  차원의 색 신호를 CIEXYZ로의 변환하기 위한  $3 \times N$  행렬이다. 이때 변환 행렬이 정방행렬이 아니기 때문에 MPD를 위한 역 변환 모델 즉, 색 신호 분리 방법이 필요하다.

## III. 기존의 색 신호 분리 방법

기존의 색역 구조를 이용하여 3색에서 동일한 색 자극치를  $N$ -색 신호로 변환하는 색 신호 분리방법에는 매트릭스 스위칭(matrix switching; MS)방법<sup>[3]</sup>과 등휘도 평면에서 선형 보간(linear interpolation on equaluminance; LIQUID)방법<sup>[4]</sup> 등이 있다.

### 1. 매트릭스 스위칭 방법

매트릭스 스위칭(MS) 방법<sup>[3]</sup>은 CIEXYZ 색 공간에서 MPD 색역을 여러 개의 피라미드 형태로 나누고, 영역에 해당하는 역 변환 행렬을 주어지는 입력 자극치의 CIE-xy값에 따라 선택하여 색 신호를 분리한다. 이 방법은 CIE-xy 채도 평면에서 각 피라미드 정보를 2D-LUT로 구현하여 연산의 복잡도는 낮지만 분할된 피라미드의 경계에서 색 신호의 불연속성이 나타난다.

2. 등휘도 평면에서 선형 보간 방법

등휘도 평면에서 선형 보간 방법(LIQUID)<sup>[4]</sup>은 주어진 입력 자극치와 동일한 휘도 평면에서 색역 경계의 주요색 조합으로 나타나는 색 자극치를 연결한 선과 나타나는 색역 경계점들을 구한다. 그리고 입력 자극치에 유효한 색역 경계의 두 점과 회색조축의 한 점에 대응하는 MPD 색 신호를 선형 보간을 통해 얻는다. 이런 방법은 휘도와 채도에 대해서 MPD 색 신호의 연속적 계조를 나타내지만, 색상에 대해서는 불연속적 계조를 보인다. 또한 입력 자극치에 유효한 두 개의 색역 경계 점을 찾는 과정과 입력 자극치마다 대응되는 역변환 함수를 계산하는 과정이 연산의 복잡도를 높인다.

IV. 제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법

제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법은 색역 경계점의 자극치와 MPD 색 신호의 선형 관계를 이용하여 MPD의 색역을 휘도와 색상에 대해 양자화하고 대응되는 채도와 색 신호 조합으로 3D-LUT를 작성한다. 그리고 LUT에 기반하여 입력 자극치에 대응하는 MPD 색 신호를 색역 경계의 양자화된 구간을 보간하여 입력 자극치의 채도비로 도출한다.

그림 1은 제안한 방법을 이용하여 MPD에 임의의 영상을 재현을 하기 위한 흐름도이다. 표준신호(sRGB)나 Multi-spectral camera (MSC)로부터 획득된 CIEXYZ 색자극치가 입력으로 사용되고 신호처리를 위해 선형 LAB로 변환된다. 최종 MPD의 구동신호는 LUT로부터 휘도와 색상에 대해 양자화된 색역 경계의 채도와 색

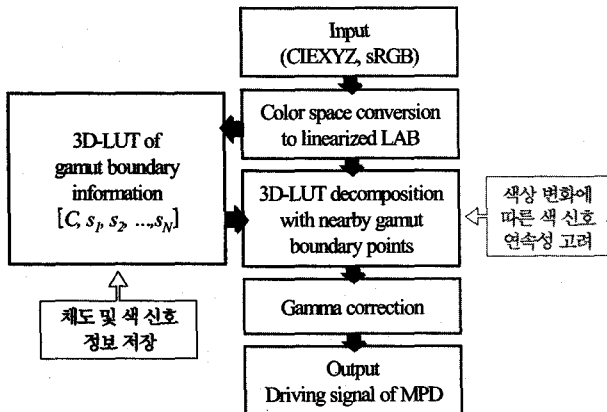


그림 1. 제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법의 흐름도.  
Fig. 1. Block diagram of the proposed 3D-LUT decomposition method.

신호값을 받아 색 신호의 연속성을 고려한 채도비 보간과 MPD의 감마특성을 고려하여 계산된다.

1. 선형 CIEXYZ 색 공간에서 순방향 변환 모델

제안한 방법은 CIEXYZ 색 공간과 변환의 선형성이 보장되는 선형 LAB 색 공간을 이용한다. CIEXYZ를 선형 LAB로 변환하는 수식은 CIEXYZ 변환식에서 지수를 제거하고 휘도를 정규화 한 것<sup>[7]</sup>으로 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} L \\ a \\ b \end{pmatrix} = T_{Lab} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 100/Y_n & 0 \\ 500/X_n & -500/Y_n & 0 \\ 0 & 200/Z_n & -200/Z_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3)$$

$[X_n Y_n Z_n]$ 은 백색 기준 자극치이다. 이와 같은 선형 변환은 입력 신호가 표준 방송신호 또는  $YC_b C_r$  형태의 신호인 경우 간단히 변환 할 수 있는 장점이 있다. 식(3)과 선형 RGB를 CIEXYZ로 변환하는 행렬과의 곱으로써 선형 RGB에서 선형 LAB로의  $3 \times 3$  변환 행렬이 유도된다.

$$\begin{pmatrix} L \\ a \\ b \end{pmatrix} = T_{LinearRGB} \cdot \begin{pmatrix} R_{Linear} \\ G_{Linear} \\ B_{Linear} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$T_{LinearRGB} = T_{Lab} \cdot T_{RGB-XYZ} = \begin{pmatrix} L_{max,R} & L_{max,G} & L_{max,B} \\ a_{max,R} & a_{max,G} & a_{max,B} \\ b_{max,R} & b_{max,G} & b_{max,B} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$[L_{max,R} a_{max,R} b_{max,R}]^t$ 는 선형 LAB 색 공간에서 R의 최대 색 자극치이다.  $T_{Lab}$ 는 백색기준의 CIEXYZ 값을 선형 LAB로 변환하는 행렬이고  $T_{RGB-XYZ}$ 는 선형 RGB 신호를 CIEXYZ로 변환하는 행렬이다. 동일한 방법으로 MPD의 N-색 신호에서 선형 LAB로 순방향 변환 모델은 주요색의 최대 자극치와 최소 자극치를 고려하여 나타내면 다음 수식과 같다.

$$\begin{pmatrix} L \\ a \\ b \end{pmatrix} = T_{MPD} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ M \\ S_N \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L_{bias} \\ a_{bias} \\ b_{bias} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$T_{MPD} = T_{Lab} \cdot T_{N-signaltoXYZ} = \begin{pmatrix} L_{max,S_1} & L_{max,S_2} & \Lambda & L_{max,S_N} \\ a_{max,S_1} & a_{max,S_2} & \Lambda & a_{max,S_N} \\ b_{max,S_1} & b_{max,S_2} & \Lambda & b_{max,S_N} \end{pmatrix} \quad (7)$$

이때  $S_i$ 는 범위가  $[0, 1]$ 인  $i$ 번째 색 신호의 값이고,  $[L_{bias} \ a_{bias} \ b_{bias}]^t$ 는 최소 색 신호의 자극치이다. 그리고  $T_{N-signaltoXYZ}$ 는  $N$ -차원의 색 신호를 CIEXYZ로 바꾸는  $3 \times N$ 행렬이고,  $T_{MPD}$ 는 식 (7)에서와 같이  $T_{Lab}$ 와의 곱으로써 MPD 색 신호를 선형 LAB로 변환하는  $3 \times N$ 행렬이다.

2. 색역 경계 정보를 포함하는 3D-LUT 구성

색역 경계 정보는 양자화된 휘도와 색상에 대해 채도와 대응하는 색 신호로 구성된다. 휘도와 색상을 양자화한 값에 따른 색역 경계를 3D-LUT로 구성하면 적은 메모리를 사용하게 되고 연산의 복잡도가 낮아져 하드웨어 구현이 용이하다. 선형 LAB 색 공간에서 MPD 주요색의 자극치와 대응되는 색 신호는 다음과 같다.

$$P_i = [L_{P_i} \ a_{P_i} \ b_{P_i}]_{Linearized\ LAB} = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ s_4]_{4-Dim} \quad (8)$$

$$s_i = \begin{cases} 1, & i = k, k = 1, 2, 3, 4 \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

여기서  $\bar{P}_i$ 는 선형 LAB 색 공간에서 주요색의 기본 벡터이고  $s_i$ 는 4색 MPD의  $i$ 번째 색 신호에 해당한다. 색역 경계를 양자화하기 위해 그림 2에서 보는 바와 같이 선형 LAB 색 공간에서 MPD 색역의 임의의 한 점은 각 주요 색의 벡터 합에 의한 조합으로 계산된다.

$$M_i = \alpha \cdot P_1 + \beta \cdot P_2 + \gamma \cdot P_3 + \delta \cdot P_4$$

$$= [L_{M_i} \ a_{M_i} \ b_{M_i}]_{Linearized\ LAB} \quad (9)$$

$$= [L_{M_i} \ H_{M_i} \ C_{M_i}]_{Linearized\ LAB}$$

$$= [\alpha \ \beta \ \gamma \ \delta]_{4-Dim}$$

이때  $\bar{M}_i$ 는 색역 경계의 임의의 점이고  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 범위가  $[0, 1]$ 인 스칼라값이다. 식 (9)에서 휘도와 색상에 대한 양자화를 위해 선형 LAB 공간에서 Lab

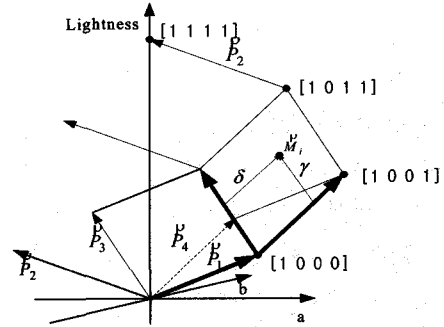


그림 2. 선형LAB 색공간에서 4색 디스플레이의 색역구성. Fig. 2. Gamut of 4-primary display in linearized LAB.

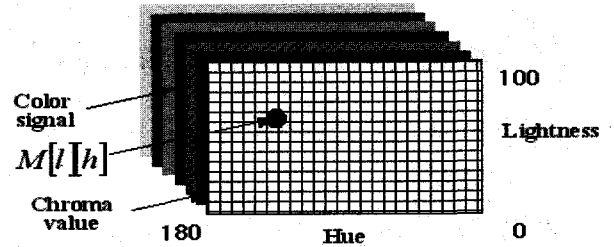


그림 3. 채도 및 색 신호 정보를 저장하고 있는 3D-LUT. Fig. 3. 3D-LUT with gamut boundary information (chroma and color signals).

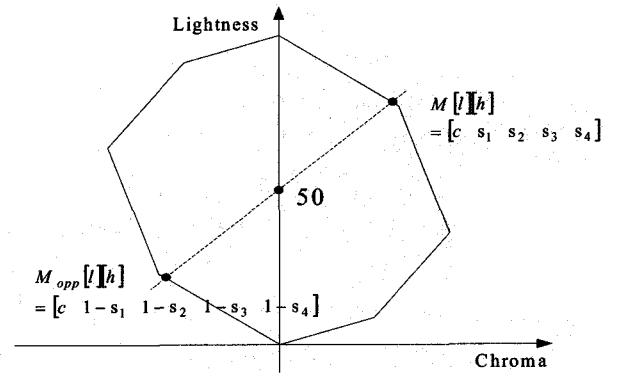


그림 4. 4색 디스플레이의 색역의 대칭성. Fig. 4. Symmetrical characteristic of MPD gamut on constant hue plane.

자극치는 휘도, 채도와 색상 성분으로 계산된다. 식 (9)를 이용해 MPD의 색역 경계를 자극치와 색 신호의 선형성을 이용하여 3D-LUT로 구성하면 MPD 색역 경계를 휘도에 대해 100단계, 색상에 대해 360단계로 양자화 한다. 이때 색역 경계의 채도와 MPD의  $N$ -색 신호가 LUT에 저장되므로 필요로 하는 메모리의 크기는 양자화 단계에 따라  $100 \times 360 \times (N + 1)$ 이 된다. 하지만 그림 4에서 MPD의 색역은 선형 LAB 색 공간

에서 휘도 중심에 대해 대칭이므로 LUT의 크기는  $100 \times 180 \times (N + 1)$ 로 줄어든다.

$$M[I][h] = [c \ s_1 \ s_2 \ \Lambda \ s_N],$$

$$M[I][h+180] = [c \ 1-s_1 \ 1-s_2 \ \Lambda \ 1-s_N] \quad (10)$$

### 3. 3D-LUT를 이용한 채도비 보간

입력 자극치와 동일한 자극치를 가지는 MPD의 색 신호를 얻기 위한 채도비 보간 방법은 LUT에 기반한다. 먼저 입력 자극치를 선형 LAB로 변환하고 채도와 색상을 계산한다. 그림 5에서 보는 바와 같이 LUT에서 입력의 휘도와 색상에 대한 4개의 양자화된 색역 경계 점을 선택한다. 이때 입력 자극치와 동일 휘도에서 색역 경계값  $M_{hue-L}$ 와  $M_{hue-H}$ 점의 채도 및 색 신호는 다음과 같이 계산된다.

$$C_{M_{hue-L}} = \frac{L_K - L_{low}}{L_{high} - L_{low}} \cdot (C_{M_{HL}} - C_{M_{LL}}) + C_{M_{LL}} \quad (11)$$

$$S_i^{M_{hue-L}} = \frac{L_K - L_{low}}{L_{high} - L_{low}} \cdot (S_i^{M_{HL}} - S_i^{M_{LL}}) + S_i^{M_{LL}} \quad (12)$$

경계점  $M_{hue-L}$ 는  $[C_{M_{hue-L}}, S_1^{M_{hue-L}}, S_2^{M_{hue-L}}, \dots, S_N^{M_{hue-L}}]$ 를 대표하고,  $C_{M_{hue-L}}$ 는  $M_{hue-L}$ 점의 채도를,  $S_i^{M_{hue-L}}$  ( $[0, 1]$ )는  $M_{hue-L}$ 점에 대응되는  $i$  번째 색 신호이다. 위 두 점  $M_{hue-L}$ 과  $M_{hue-H}$ 를 이용해 입력점 (INPUT)과 동일한 휘도와 색상을 가지는 색역 경계점

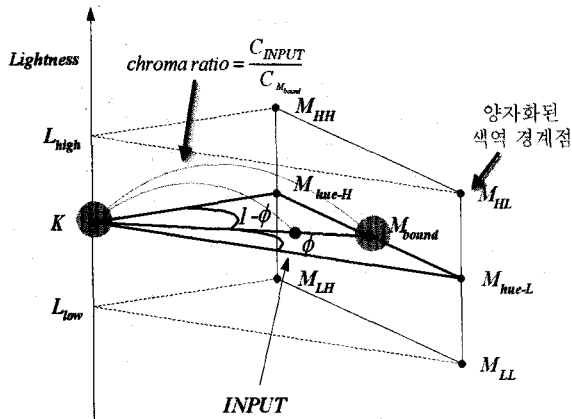


그림 5. 동일 휘도평면에서 채도비(chroma ratio) 보간방법.  
Fig. 5. Chroma ration interpolation referring to 3D-LUT.

( $M_{bound}$ )의 채도( $C_{M_{bound}}$ )와 색 신호( $S_i^{M_{bound}}$ )는 다음과 같다.

$$C_{M_{bound}} = \sin(\phi + (1-\phi)) \cdot \frac{C_{M_{hue-L}} C_{M_{hue-H}}}{C_{M_{hue-L}} \sin\phi + C_{M_{hue-H}} \sin(1-\phi)} \quad (13)$$

$$S_i^{M_{bound}} = \frac{dist(M_{bound}, M_{hue-L})}{dist(M_{hue-H}, M_{hue-L})} \cdot (S_i^{M_{hue-H}} - S_i^{M_{hue-L}}) + S_i^{M_{hue-L}} \quad (14)$$

$$\frac{dist(M_{bound}, M_{hue-L})}{dist(M_{hue-H}, M_{hue-L})} = \frac{C_{M_{hue-L}} \sin\phi}{C_{M_{hue-L}} \sin\phi + C_{M_{hue-H}} \sin(1-\phi)} \quad (15)$$

여기서  $dist(A, B)$ 는 주어진 색 공간에서 임의의 두 점 A, B의 거리이고,  $\alpha$ 는 양자화 구간을 보간하기 위한 입력점과 양자화된 색역 경계점들과 색상 차이이다. 그리고 채도비의 기준이 되는 입력점의 휘도와 동일한 값을 가지는 회색조 축의  $K$ 점이 계산된다.  $K$ 점의 채도는 0이고 대응되는 색 신호( $S_i^K$ )는 최대 휘도와 입력점의 휘도비로 계산된다.

$$S_i^K = \frac{L_K}{100}, \quad i = 1, 2, \Lambda, N \quad (16)$$

마지막으로 동일한 휘도와 색상을 가지는 색역 경계점과 휘도축상의  $K$ 점의 채도비에 따른 색 신호의 선형 보간을 통해 입력자극치에 대응하는 MPD의 색 신호 ( $S_i^{INPUT}$ )을 계산한다.

$$S_i^{INPUT} = \frac{C_{INPUT}}{C_{M_{bound}}} \cdot (S_i^{M_{bound}} - S_i^K) + S_i^K, \quad (17)$$

여기서  $L_K$ 는 입력자극치의 휘도이며 최종 MDP 색 신호는  $S_i^{INPUT}$ 이다. 하지만 위와 같은 단순 채도비 보간 방법으로 MPD의 색 신호를 계산하면 그림 6과 7에서 보는 바와 같이 채도가 고정된 동일 휘도 평면에서 색상의 변화에 대해 모서리 부분(A, B, C)에서 사용되는 색 신호들의 천이가 나타난다. 이것은 경계선을 따라 사용되는 기본 색 신호들이 벡터합으로 구성되어 모서리를 연결한 선(A-B, B-C)을 구성하는 기본색이 한정되어 있기 때문이다. 따라서 불연속적 계조의 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 그림 8에서와 같이 입력

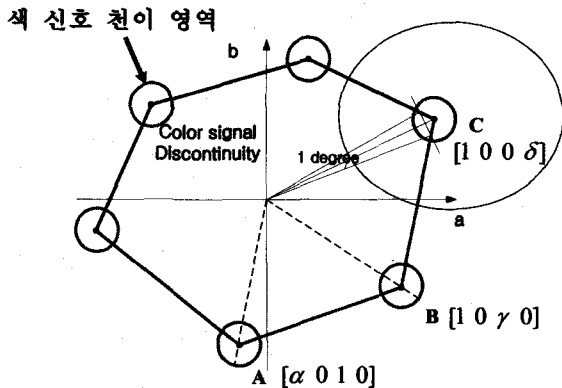


그림 6. 동일 휘도평면에서 선형 보간 방법.  
Fig. 6. Color signal transition on constant lightness plane.

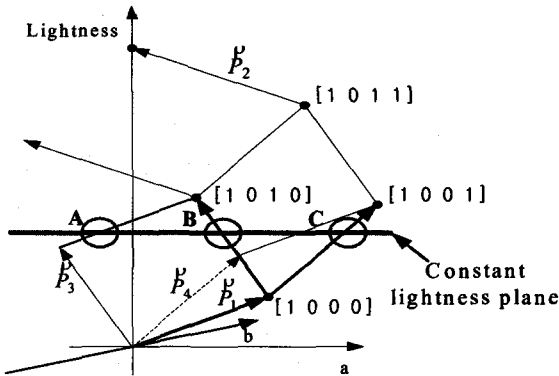


그림 7. 동일 휘도평면에서 선형 보간 방법.  
Fig. 7. Color signal transition in linearized LAB space.

색상에  $\pm \theta$ 만큼의 각도를 주어 추가된 인접 4개의 색역 경계점과의 색 신호 변화를 고려하여 계조를 부드럽게 할 필요가 있다. 그림 5에서  $M_{hue-L}^{\theta}$ ,  $M_{hue-H}^{\theta}$  두 점의 채도와 색 신호는 계조의 변화를 고려하기 위해 식 (11), (12)와 동일한 방법으로 계산된다. 색 신호 변화를 고려한 색역 경계점( $M_{bound}^{\theta}$ )은 식 (13), (14), (15)를 이용하여 계산된다. 이 경우 입력의 채도가 새로운 색역 경계점( $M_{bound}^{\theta}$ )의 채도보다 작을 경우와 큰 경우가 존재 하는데 이때 채도의 연속적 계조를 유지하기 위해 입력의 채도가  $M_{bound}^{\theta}$  점의 채도보다 작은 경우는 휘도 축상의 K점과  $M_{bound}^{\theta}$  점, 큰 경우는  $M_{bound}^{\theta}$  점과  $M_{bound}$  점의 채도비(chroma ratio) 보간한다. 결과적으로 인접한 4개의 색역 경계점을 더 고려하여 휘도, 색상, 채도차의 순서로 간단히 계산되는 MPD 색 신호는

모든 자극치의 변화에 대해서 연속적인 계조를 가진다.

### V. 실험 및 고찰

실험에서 사용한 MPD는 6가지의 기본색(red, green, blue, cyan, magenta yellow)으로 표현되는 6색 LCD (6-primary liquid crystal display)이다.<sup>[1]</sup> 주색들의 삼 자극치는 분광방사계로 측정되어 선형 LAB 색 공간으로 변환 및 색 신호 분리 알고리즘에 적용된다. 그리고 최종 MPD에서 색 재현을 위해 감마보정(gamma correction)을 한다.

#### 1. 칼라 패치를 이용한 색 신호 분리 방법 성능 실험

색 재현 성능 평가를 위해 입력과 출력 색 신호를 CIELAB 색 공간으로 변환함으로써 sRGB와 MPD의 색역의 공통 영역에 존재하는 24개의 패치를 사용하여 색차 비교를 하였다. 그림 9는 CIELAB  $a^*b^*$  평면에서 패치들의 색 좌표 값으로 3가지 방법이 모두 유사

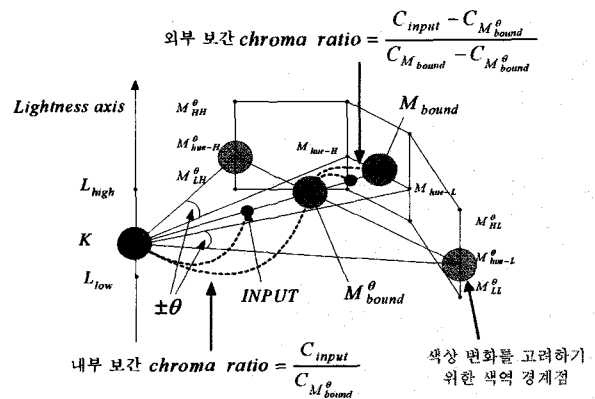


그림 8. 인접 색역 경계점을 고려한 채도비 보간.  
Fig. 8. Chroma ratio interpolation considering nearby points.

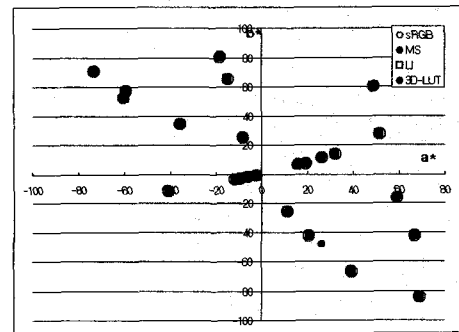


그림 9. CIELAB- $a^*b^*$  평면에서 패치들의 색 좌표.  
Fig. 9. Simulated colors in CIELAB  $ab$ -plane.

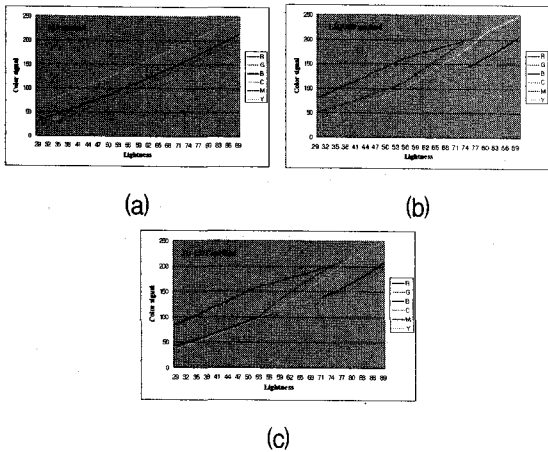


그림 10. 휘도 변화에 따른 색 신호의 변화 곡선 (a) 매트릭스 스위칭 방법, (b) 등휘도 평면에서 선형 보간 방법, (c) 제안한 3D-LUT 방법.  
 Fig. 10. Color signal graph along with lightness change using (a) matrix switching method, (b) linear interpolation method and (c) the propose 3D-LUT method.

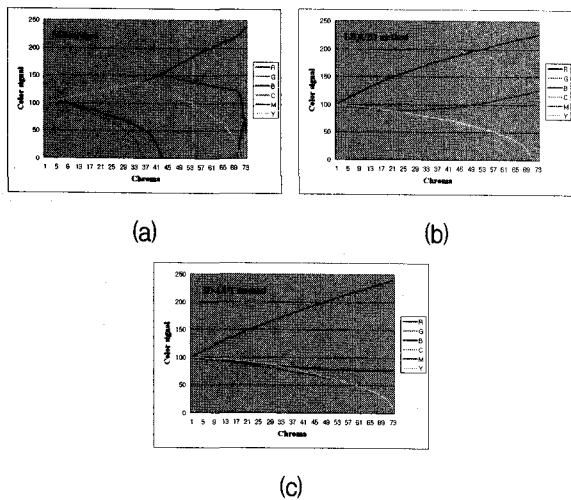


그림 11. 채도 변화에 따른 색 신호의 변화 곡선 (a) 매트릭스 스위칭 방법, (b) 등휘도 평면에서 선형 보간 방법, (c) 제안한 3D-LUT 방법.  
 Fig. 11. Color signal graph along with chroma change using (a) matrix switching method, (b) linear interpolation method and (c) the propose 3D-LUT method.

한 색 자극치를 표현함을 보인다. 표 1은 기존의 색 신호 분리 방법과 제안한 방법의 평균과 및 무채색 (achromatic), 유채색(chromatic)요소에 대한 색차를 나타낸 것이다. 기존 방법과 제안한 방법이 동일 자극치를 가지는 MPD의 색 신호 분리하는데 있어 유사한 성능을 가짐을 보인다. 하지만 MS방법은 색역을 여러 개의 피라미드 형태로 구성하여 각 피라미드의 경계에서

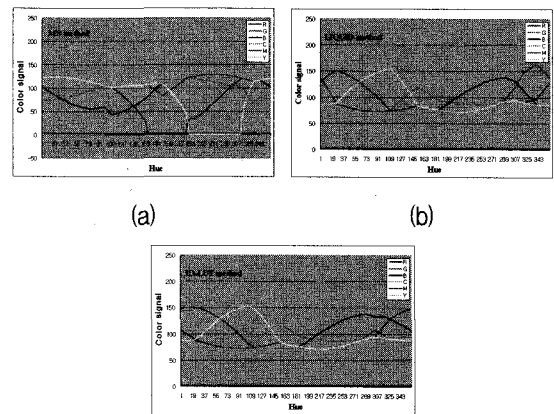


그림 12. 색상 변화에 따른 색 신호의 변화 곡선 (a) 매트릭스 스위칭 방법, (b) 등휘도 평면에서 선형 보간 방법, (c) 제안한 3D-LUT 방법.  
 Fig. 12. Color signal graph along with hue change using (a) matrix switching method, (b) linear interpolation method and (c) the propose 3D-LUT method.

표 1. 시뮬레이션을 통한 CIELAB 색 공간에서 색차 비교.

Table 1. Color difference in CIELAB color space under simulation condition.

	$\Delta E_{ab}$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*b^*$
Matrix switching	0.5165	0.1962	0.4695
Linear interpolation	0.2045	0.0572	0.1852
3D-LUT	0.1641	0.0492	0.1456

표 2. 색 자극치의 변화 패턴.

Table 2. Gradation pattern in CIELAB color space.

Gradation pattern	L*	C*	H*
Pattern #1	15-90	20	20.25
Pattern #2	50	0-73	25
Pattern #3	50	20.25	1-360

발생하는 오차가 크다.

## 2. 색 자극치 변화에 따른 색 신호 변화 곡선

CIELAB 색 공간에서 휘도, 채도, 색상 성분의 연속적인 계조를 가지는 자극치 변화를 이용해 MPD 색 신호의 계조를 평가하였다. 표 2의 패턴을 이용하여 기존 방법과 제안한 방법에 의한 색 신호의 계조 변화를 그래프로 나타내었다. 그림 10과 11에서 휘도 및 채도 변화에 대해 MS방법은 색 신호의 불연속 계조를 보이지만 LIQUID방법과 3D-LUT 방법은 부드러운 색 신호 계조를 가짐을 보인다. 하지만 그림 12에서 색상의 변

화에 있어 대해 제안한 방법이 보다 연속적인 계조를 보임을 알 수 있다. 그림 13은 분리된 색 신호 중 RGB(red, green, blue)만 분리하여 표현한 이미지이다. 부드러운 계조 표현을 위해 모든 색 신호가 연속성을 보여야하나 가중치가 높은 RGB 만을 이용하여 MPD가 아닌 3색 디스플레이에서 색 신호의 연속성을 보이기 위한 것이다. 그림 13의 MS방법과 LIQUID방법을 적용한 (b)와 (c)에서는 색상과 휘도의 변화에 대해 RGB 색 신호가 불연속성을 보인다. 반면 (d)는 제안한 3D-LUT를 사용하여 RGB 색신호의 조합이 원 이미지와 가장 유사한 색 신호 계조를 표현함을 보인다.

3. MPD에 재현된 이미지를 이용한 화질 평가

MPD에 재현된 이미지의 화질 평가를 위해 부드러운 계조를 가지는 그래픽 이미지를 사용하였다. 만약 분리된 색 신호가 불연속적이라면 장치 특성화 오차가 존재할 경우 MPD에 표현된 이미지는 부드러운 계조를 표현하지 못하고 의사윤곽을 가지게 된다. 그림 14에 보인 이미지들은 디지털 카메라를 통해 획득된 것으로 CCD와 6색 디스플레이의 픽셀간 엘리어싱(aliasing)과 카메라 자체 색 보정으로 색 표현이 원 이미지와 다소

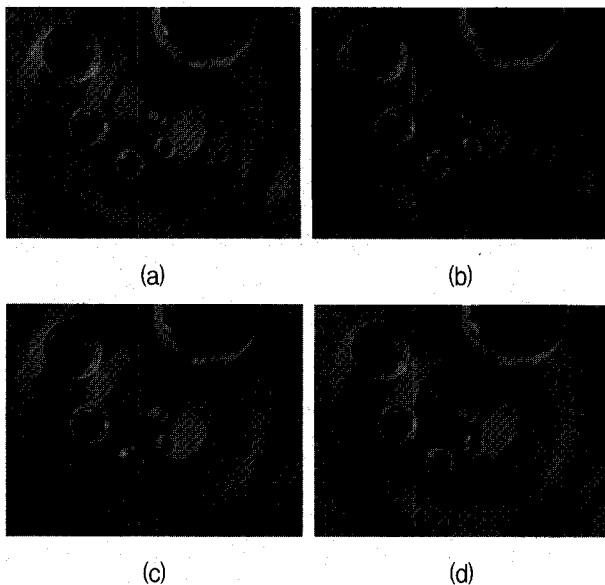


그림 13. RGB 색 신호만을 추출하여 표현한 이미지 (a) 원 이미지 (b) 매트릭스 스위칭 방법 적용 (c) 등휘도 평면에서 선형 보간 방법 (d) 제안한 3D-LUT 방법 적용.

Fig. 13. Separated RGB signal image using (a) original image (b) matrix switching method (c) linear interpolation method (d) the proposed 3D-LUT method.

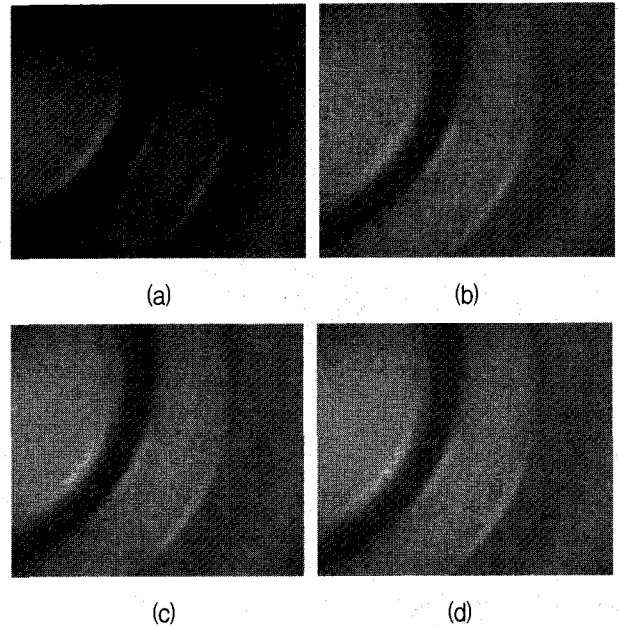


그림 14. 멀티프라이머리 디스플레이에 재현된 이미지 (a) 원 이미지 (b) 매트릭스 스위칭 방법 (c) 등 휘도 평면에서 선형 보간 방법 (d) 제안한 3D-LUT 방법 적용.

Fig. 14. Image reproduction on multi-primary display (a) original image (b) matrix switching method (c) linear interpolation method (d) the proposed 3D-LUT method.

다르지만 의사윤곽을 확인하기에 충분하다. 그림 14의 MS와 LIQUID방법을 이용한 (b), (c) 이미지는 색상 및 휘도가 변하는 영역에서 의사윤곽이 나타난다. 이에 반해 제안한 방법을 적용한 (d) 이미지는 (b), (c)보다 부드러운 색 신호의 계조를 보인다.

따라서 제안한 방법이 색 신호의 연속적인 계조를 가짐으로써 디스플레이 장치의 특성화 오차에 의한 의사윤곽이 나타나지 않음을 알 수 있다. 그리고 그림 13의 분리된 색 신호 중 RGB(red, green, blue) 색 신호만으로 표현된 이미지와 그림 14의 MPD에 재현된 이미지 비교를 통해 원 이미지에서 신호의 색상 변화가 일어나는 곳에서 의사윤곽이 뚜렷하게 나타남을 확인 할 수 있다. 따라서 색 신호의 불연속성은 디스플레이 장치의 특성화 오차에 민감하게 반응하여 화질에 영향을 준다.

VI. 결 론

본 논문에서 제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법은 MPD의 색역 경계를 양자화하고 이에 대응되는 채도와 색 신호 조합으로 LUT를 작성하였다. 그리고 작성된 LUT에 기반하여 입력 자극치에 대응하는 MPD 색 신



호를 주변 색역 경계점의 보간을 통해 색상 변화에 따른 연속성을 개선하였다. 실험에서 입력으로 sRGB를 사용 출력으로 얻어진 MPD의 N-색 신호를 CIELAB 색 공간으로 변환하여 입출력간의 색차 비교를 통해 색 재현 성능을 평가하고 CIELAB 색 공간에서 휘도, 채도, 색상에 대해 분리된 색 신호의 연속적 계조 특성을 그래프로 표현하였다. 또한 MPD에 재현된 영상을 획득하여 이미지의 화질을 평가하고 RGB 색 신호만을 분리한 이미지와 실제 MPD에 재현된 이미지를 통해 제안한 방법이 부드러운 색 신호 변화를 표현함을 보였다.

결과적으로, 제안한 3D-LUT 색 신호 분리 방법은 적은 메모리를 요구하고 3D-LUT를 이용하여 연산의 복잡도를 줄임과 동시에 기존 방법들의 색 신호의 비연속적인 계조 문제를 해결함으로써 확장된 색역을 가지는 HDTV 시스템에 적합하다.

system model for vector error diffusion halftoning," *IEEE Signal processing letters*, vol. 10, no. 4, April 2003.

## 참 고 문 헌

- [1] M. C. Kim, Y. C. Shin, Y. R. Song, S. J. Lee, and I. D. Kim, "Wide gamut multi-primary display for HDTV," *The Second European Conference on Color Graphics, Imaging and Vision*, pp. 248-253, 2004.
- [2] M. Yamaguchi, T. Teraji, K. Ohsawa, T. Uchiyama, H. Motomura, Y. Murakami and N. Ohshima, "Color image reproduction based on the multispectral and multi-primary imaging: Experimental evaluation," *Proc. of SPIE*, vol. 4663, pp. 15-26, Jan. 2002.
- [3] T. Ajito, K. Ohsawa, T. Obi, M. Yamaguchi, and N. Ohshima "Color conversion method for multi-primary display using matrix switching," *Optical Review*, vol. 8, pp. 191-197, Mar. 2002.
- [4] H. Motomura, "Color conversion for a multi-primary display using linear interpolation on equi-luminance plane method (LIQUID)," *Journal of the SID*, vol. 11(2), pp. 371-378, 2003.
- [5] F. Konig, K. Ohsawa, M. Yamaguchi, N. Ohshima, and B. Hill, "A multi-primary display: Optimized control values for displaying tristimulus values," *IS&T's PIC Conference*, pp. 215-220, 2002.
- [6] Y. Murakami, N. Hatano, M. Yamaguchi, and N. Ohshima, "Evaluation of smoothness tonal change reproduction on multi-primary display: Comparison of color conversion algorithm," *Proc. of SPIE*, vol. 5289, pp. 275-283, Jan. 2004.
- [7] V. Monga, "Linear color-separable human visual

---

 저 자 소 개
 

---



강 동 우(학생회원)  
 2003년 경북대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2005년 경북대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 현재 LG Philips LCD 재직

<주관심분야 : 칼라 신호처리, 디지털 TV, 영상  
 처리>

김 윤 태(학생회원)  
 제 39 권 SP편 제 5 호 참조

최 원 희(정회원)  
 제 37 권 SP편 제 5 호 참조

하 영 호(정회원)  
 제 38 권 SP편 제 3 호 참조

조 양 호 (학생회원)  
 제 39 권 SP편 제 5 호 참조