

# 출력장치의 인쇄특성을 고려한 디지털 컬러교정에 관한 연구

송경철, \*강상훈

부경대학교 대학원 인쇄공학과, \*부경대학교 화상정보공학부

(2000년 7월 22일 접수, 2000년 8월 19일 최종수정본 접수)

## A Study on digital color proofing method considering the printing characteristics of output device

*Kyung-Chul Song, \*Sang-Hoon Kang*

Dept. of Graphic Arts Eng., Graduate School of Pukyong National University

\*Division of Image Information, Pukyong National University

(Received 22 July 2000, in final form 19 August 2000)

### Abstract

Recently, as the prepress mainstream is changed to the digital workflow, various digital proofing systems such as high price dye sublimation printers and low price ink jet printers are widely used in printing industry.

CRT monitors are also often used as a soft proofing device. However, it is very difficult to match the color image displayed on CRT monitors to the actual images printed on papers, because the color space of CRT monitors is RGB color system, and it is different with the CMY color system of the printing devices. Therefore, proper color compensations are needed to match the colors between hard-copy proofs on the printing device and soft copy proofs on CRT monitors.

This paper shows the LUT and gamut mapping method considering the printing characteristics of output device is useful for the compensation.

## 1. 서 론

인쇄공정에서 컬러교정은 최종 인쇄물의 상태를 미리 볼 수 있는 방법을 제공하고 있으며, 프리프레스 공정의 디지털화로 인하여 디지털 프린터가 인쇄물의 컬러교정에 널리 사용되고 있다. 디지털 인쇄방식 중에서 염료 승화형 프린터는 색의 재현이 비교적 정확하므로 인쇄물의 색 교정용으로 많이 사용되고 있다.

그러나 염료승화방식의 디지털 교정 장치는 고가이므로 저가의 잉크젯프린터를 색 교정용으로 사용하기도 한다. 프리프레스 작업공정에서는 이러한 하드카피(hard-copy)를 이용하지 않고 모니터 상에서 색 교정이 이루어지기도 하는데 이것을 소프트 프루빙 (soft-proofing) 이라고 한다.

모니터는 CRT(cathode ray tube)의 표면에 RGB의 빛을 만들어 내는 장치로서 정확한 색을 재현할 수 있는 장점을 가진다. CRT모니터는 실제 인쇄장치의 색역과 비교하여 상당히 넓은 색 재현 영역을 가지고 있으나, 컬러 교정 장치로 사용하기 위해서는 모니터 상에서 재현되는 색이 실제 인쇄물과 일치하는 색으로 재현되어야 한다.

본 연구에서는 CRT의 색을 인쇄물의 색에 일치시키는 방법으로 장치 독립 색공간 내에서의 색변환과 색역 매핑(gamut mapping)을 이용하였다. 인쇄현장에서 컬러인쇄의 교정장치로 많이 사용되고 있는 염료 승화형의 디지털 교정인쇄기를 사용하여 CMY 3색의 조합으로 구성된 1,331개의 시험 인쇄된 패치로부터 출력 장치의 프로파일을 LUT의 형태로 제작하였으며, CRT에 대해서는 RGB 3색의 조합으로 구성된 729개의 패치로서 CRT의 장치 프로파일을 LUT로 제작하였다. 제작된 LUT를 이용한 3차원 보간과 색역 매핑을 이용한 장치 독립 색공간에서의 색 변환을 통하여 실제 교정인쇄물의 측색치와 일치하는 CRT상의 컬러 교정인쇄를 시도함으로써, CRT를 이용한 색 교정방식의 유용성을 검토하였다.

## 2. CRT의 보정

장치의 캘리브레이션은 반복하여 출력할 때 같은 데이터를 얻을 수 있도록 조정하는 단계이다. CRT 모니터의 캘리브레이션의 경우 컴퓨터와 모니터로 이루어진 시스템의 감마(gamma)값과 백색점(white point)의 조정을 의미한다.<sup>(1, 2)</sup>

본 연구에서는 「X-Rite」사의 「Monitor Optimizer」라는 캘리브레이션 장치를 이용하였다. 모니터 옵티마이저는 모니터 측색계(colrimeter)로서 자체 소프트웨어를 이용하여 모니터 컬러를 측색하고 표준 컬러에 맞게 보정해 준다.

실험에 사용한 CRT모니터는 「삼성 syncmaster 700p」로서 CRT의 크기는 17 inch, 도트피치(dot pitch)는 0.25 mm, 최대해상도는 1280×1024dpi 이다. 컴퓨터는 「Macintosh 7300/132」에서 「Mac OS 7.5」를 사용하여 CRT를 제어하였으며, 표준 백색점은 D<sub>65</sub>, 시스템의 감마값은 이

컴퓨터의 표준 감마값인 1.8로 캘리브레이션을 하였다. CRT모니터의 측색시 주변광을 차단한 암실에서 측정할 컬러 패치만을 화면전체에 디스플레이 한 후 측색 하였다.

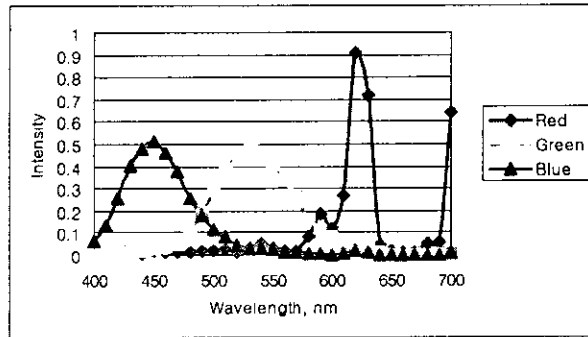


Fig. 1 Spectral power distribution of the CRT monitor used in experiment.

그림(1)은 본 실험에서 사용한 CRT R,G,B의 분광분포특성을 나타낸 것이며, 표(1)은 사용한 CRT의 백색점과 RGB의 CIExyY 색도도상의 색도좌표를 나타낸 것이다.

Table 1. The Chromaticity coordinates of the RGB and the white point on CRT.

color	x	y
R	0.6074	0.3485
G	0.2817	0.5924
B	0.1541	0.0772
white(D65)	0.3130	0.3268

목표한 D65광원과 보정된 CRT 백색점 사이의 차이는  $\Delta x=0.0003$   $\Delta y =0.0022$ 로 나타났으며, 이것은 측정장비의 오차범위인  $\pm 0.003$  이내이므로 정확하게 보정되었다고 할 수 있다.

모니터 옵티마이저를 이용하여 캘리브레이션을 한 후 그 결과를 분석하기 위해 동일 RGB 레벨값으로 이루어진 16레벨단계의 그레이패치 17개를 실험에 사용한 CRT에서 휘도값(luminance factor) Y( $Y_{max}=1$ )를 측색하여, RGB 값에 대한 휘도 특성곡선으로부터 캘리브레이션 된 CRT의 감마값을 계산하여 목표값으로 설정한 1.8에 맞게 보정되었는지를 확인하였다.

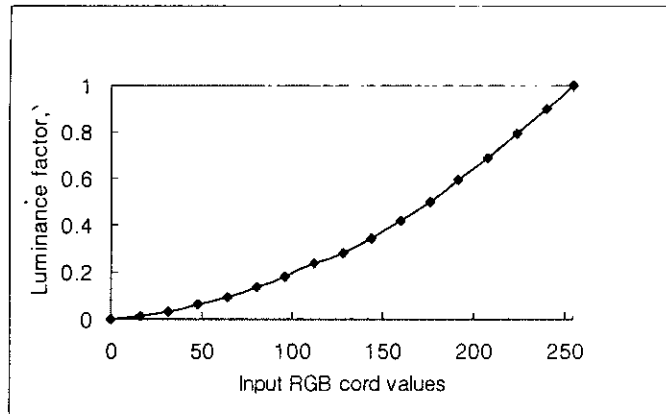


Fig. 2 The typical grayscale characteristic curve of the CRT.

그레이 재현 특성곡선은 그림(2)에서와 같이 지수곡선적인 재현성을 가지므로 지수곡선의 일반 수식에서 각 계수값을 회귀 분석(regression analysis)법으로 계산한 결과 식(1)과 같은 결과를 얻었으며, 수식의 지수에 해당하는 CRT의 감마값은 1.85로 목표치와 근접하게 보정되었음을 알 수 있었다.<sup>(3)</sup>

$$Y = 0.9985 \left( \frac{C_{rgb}}{255} \right)^{1.85} + 0.100 \quad (1)$$

Crgb : input RGB cord value

### 3. 장치 독립 색변환

컬러 출력장치의 색보정은 C, M, Y나 R, G, B의 장치 의존 색공간에서 CIE-Lab나 XYZ와 같은 장치독립적 색공간으로의 색변환 (color space transform)을 통해서 이루어진다. 일반적으로 출력장치의 색재현 특성을 모델링하여 색을 변환하는데는 여러 가지 방법이 사용된다.

기초 측정데이터를 근거로 하는 회귀분석(regression analysis)방식<sup>(4)</sup>, LUT방식 등이 색 변환방식으로 많이 이용되고 있다. LUT 방식의 경우, 색 변환이 우수하며 하드웨어에 적용시키기가 상대적으로 간단하고 그 적용이 다양하여 인쇄 산업에서 널리 이용되고 있다.<sup>(5, 14)</sup>

최근 ICC(International Color Consortium)에서는 장치의 프로파일(device profile)을 제작하고 프로파일 연결공간(PCS : Profile Connection Space)으로 불러오는 CIE-Lab 혹은 XYZ와 같은 장치 독립적 색 공간 (device independent color space)상에서의 색 변환을 통한 원고와 재현물의 정확한 색 재현방식을 제안하고 있다.<sup>(15)</sup>

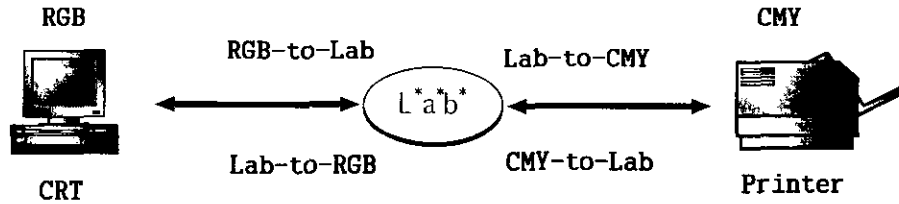


Fig. 3 Color transformation in device independent color spaces.

### 3-1 RGB에서 L\*a\*b\*로의 색변환

LUT(look-up table)와 보간법(interpolation)을 이용한 색변환에 사용되는 3차원보간법으로는 3차원선형(trilinear)법,<sup>(16)</sup> 프리즘(prism)법,<sup>(7,8)</sup> 피라미드(pyramid)법,<sup>(9)</sup> 4면체보간(tetrahedral)법<sup>(10,11)</sup> 등 여러 가지가 있다.

본 연구에서 사용한 4면체 보간법은 장치의 색역을 4면체로 분할(packaging or partition)하고 입력되는 임의의 색이 어느 4면체에 속하는지를 추정(extraction or find)하고 보간(interpolation or computation)하는 3가지 단계로 이루어진다.

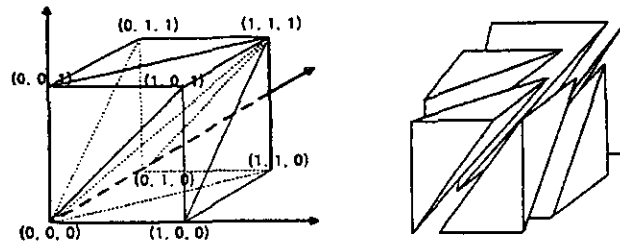


Fig. 4 Color space partitioning for tetrahedral interpolation.

분할단계에서는 입력되어지는 색 공간에서  $n$ 개의 샘플이 있을 때  $(n-1)^3$  개의 6면체와  $n^3$ 개의 격자점(lattice point)이 생성된다. 그림(4)와 같이 단위 6면체를 다시 대각선 축에 접하는 6개의 4면체로 나누면  $6 \times (n-1)^3$  개의 4면체로 분할할 되며, 4면체의 체적  $V_t$ 는 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$V_t = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

추정 단계에서는 임의의 값 P가 격자점 위에 있지 않을 경우 LUT에서 P점을 포함하는 4면체를 찾게 된다. 입력된 임의의 색 P를 포함하는 4면체를 찾으면 4면체와 입력 점을 연결하여 다시 4개의 부4면체(sub-tetrahedron)로 분할한다.

분할된 부4면체의 체적  $V_i$ 는 다음의 식(3)에 의해 계산된다.

$$V_i = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_{i+1} & P_{i+2} & P_{i+3} & P_i \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, i=1,2,3,4 \quad (3)$$

식(4)와 같이 부4면체의 체적  $V_i$ 와 4면체의 체적  $V_t$ 의 비를 가중치  $W_i$  라하고 다음의 식으로 정의된다.

$$W_i = V_i / V_t, i=1,2,3,4 \quad (4)$$

여기서 입력되는 점 P가 4면체의 내적에 있기 위해서는 부4면체의 부피  $V_i$ 의 합이  $V_t$ 와 같아야 하므로 다음의 식(5)를 만족해야 한다.

$$\sum_{i=1}^4 W_i = 1, \text{ or } V_t = \sum_{i=1}^4 V_i \quad (5)$$

보간 단계에서 무게 중심 보간법(barycentric interpolation)을 이용하여 P위치에서의 Lab 값을 부4면체에 대응하는 각 꼭지점  $P_i$ 를 이용하여 입력된 색을 다른 색 공간으로 보간한다.

$$\begin{aligned} L^* &= \sum_{i=1}^4 W_i L^*_{P_i} \\ a^* &= \sum_{i=1}^4 W_i a^*_{P_i} \\ b^* &= \sum_{i=1}^4 W_i b^*_{P_i} \end{aligned} \quad (6)$$

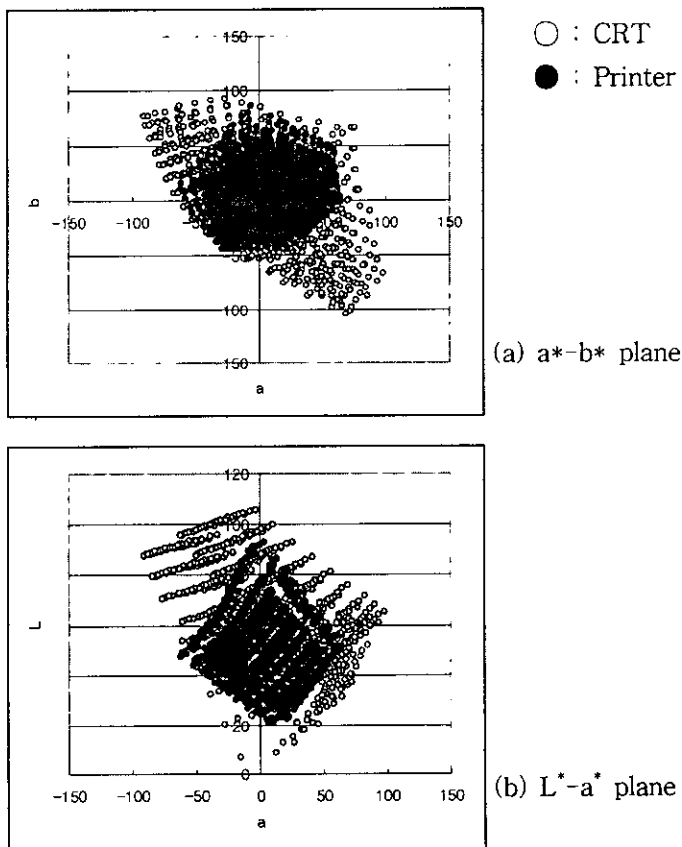
여기서  $L_{Pi}$ ,  $a_{Pi}$ ,  $b_{Pi}$ 는 사면체의 각 꼭지점  $P_i(i=1,2,3,4)$ 에서의  $L^*a^*b^*$  값이다. 위와 같은 방법을 사용하면 입력되는 임의의 RGB에 대한  $L^*a^*b^*$  값을 계산할 수 있다.

### 3-2 $L^*a^*b^*$ 에서 CMY로의 색변환

$L^*a^*b^*$  색공간에서 CMY 공간으로 변환할 때도 4면체 보간법을 사용하였다. 그러나 원고가 디스플레이 된 CRT의 RGB로부터 변환된  $L^*a^*b^*$  값은 그림(5)에서 도시한 바와

같이  $L^*a^*b^*$  색공간에서 실제 인쇄물의 색 공간보다 재현영역이 넓으므로, 프린터의 색 재현영역 밖의  $L^*a^*b^*$  값은 프린터에서 재현 가능한 색역 안으로 색역 매핑(gamut mapping)이 이루어져야 한다.

기존의 색역 매핑 방법은 여러 가지가 있지만 그 중에서 많이 사용되는 매핑 방법은 색역절단(color gamut clipping)법, 색역 압축(color gamut compression)법 등이 있다. 본 실험에서는 색역 밖의 색을 출력 장치의 색역의 경계영역으로 매핑하는 색역 절단 법을 사용하였다. 이 방법은 출력 장치의 색역 안의 색은 그대로 유지되고 출력 장치의 색역 밖의 색만 색역의 경계영역으로 압축된다. 여러 가지의 색역 절단법 중에서 최소 색차를 가지는 경계영역으로 매핑되는 방식을 사용하였다.<sup>(17)(18)</sup>



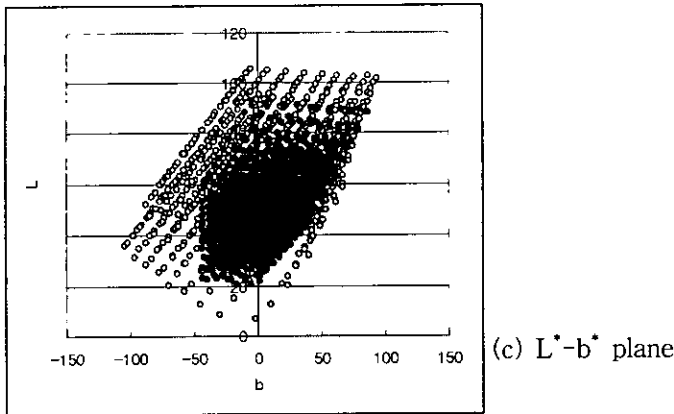


Fig. 5 Color gamut differences between printer and CRT in CIE-Lab color space.

#### 4. 실험 방법

CRT의 RGB로부터  $L^*a^*b^*$ 로의 색 변환과  $L^*a^*b^*$ 로부터 RGB로의 변환을 위해 CRT의 백색점은  $D_{65}$ , 감마 값은 1.8로 캘리브레이션 한 후, RGB 각 채널당 32 레벨 단계로 증가시킨  $9 \times 9 \times 9$  개의 RGB 값의 조합으로 된 729개의 패치를 모니터 측색 장비인 모니터 옵티마이저를 이용하여  $L^*a^*b^*$  값을 측색 하였다. 측색한  $L^*a^*b^*$  값으로 CRT의 프로파일을 LUT 형태로 작성하였다.

출력 프린터는 「3M Rainbow 2730 Digital Color Proofer」를 사용하였으며,  $L^*a^*b^*$  값으로부터 프린터의 CMY로 변환하기 위해서 CMY 각 10% 단계의 조합으로  $11 \times 11 \times 11$ 의 1,331개의 패치를 시험 출력하고 인쇄물의  $L^*a^*b^*$  값을 「Minolta CM-2002」 분광광도계를 사용하여  $D_{65}$ 광원,  $2^\circ$ 시야 조건에서 측색 하였다. 측색된 인쇄물의  $L^*a^*b^*$  값으로 출력장치의 프로파일을 LUT 형태로 제작하였다. 출력 장치의 인쇄특성을 고려한 CRT상의 컬러교정 가능성을 확인하기 위하여 「GATF Digital Test Form」 중에서 182개의 패치로 이루어진 「IT8.7 Basic Target」을 원고로 하여 원고의 RGB 데이터를 CRT의 LUT와 4면체 보간법으로  $L^*a^*b^*$ 로 변환하였다.

원고의  $L^*a^*b^*$  값 중에서 프린터의 색 재현 영역 밖의  $L^*a^*b^*$  값은 그림(6)에서와 같이 Katoh 등<sup>(18)</sup>이 제안한 방식을 사용하여 최소 색차를 가지는 프린터 영역의 표면으로 매핑시켜 주었다.



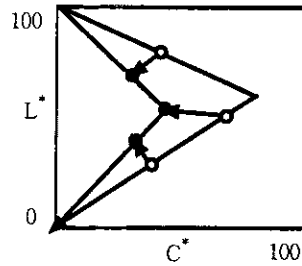


Fig. 6 The gamut mapping method for minimizing color difference

프린터의 색재현 영역으로 매핑 된  $L^*a^*b^*$ 를 프린터의 LUT와 4면체 보간법으로 CMY로 변환하여 출력하고 또한 CRT의 RGB로 변환하여 디스플레이 시켰다.

출력된 인쇄물은 분광광도계를 이용하여 측정하고, CRT상에 디스플레이 된 화상 또한 모니터 옵티마이저를 이용하여 측정 하여 CRT상의 컬러 교정의 유용성을 프린터 상에서 인쇄된 교정색과 CRT상의 교정색과의 색차로서 평가하였다. 그림(6)에서 CRT상에서 재현된 교정인쇄물의 색 재현 평가 방법을 나타내었다.

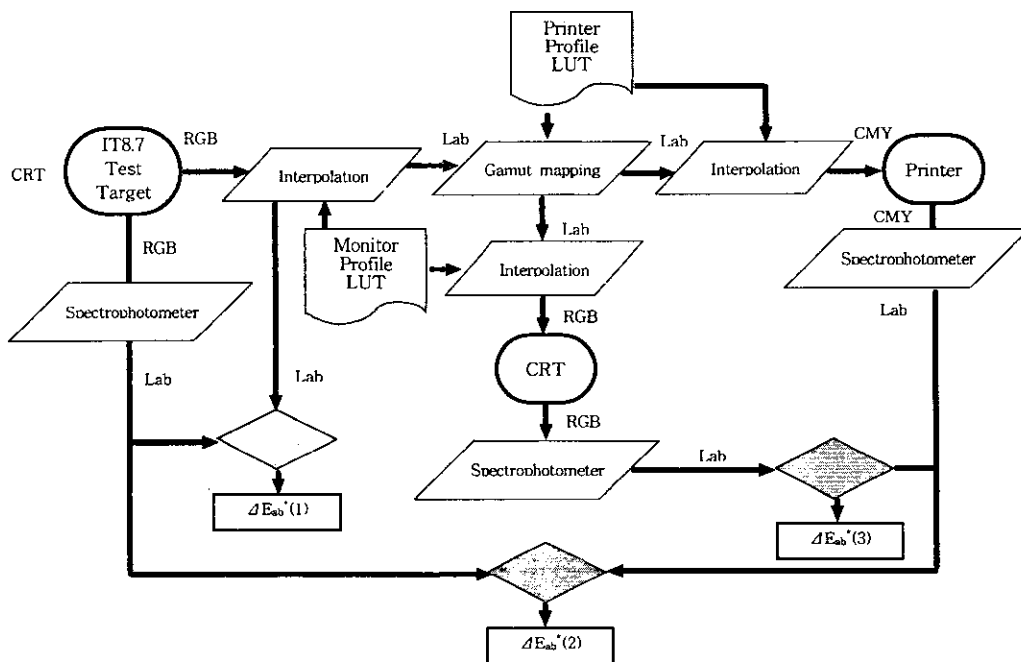


Fig. 7 Schematic diagram for digital color proofing and the color difference evaluation.

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5-1 LUT를 이용한 색변환 결과

CRT의 RGB신호로부터 장치독립 색 공간인 Lab로 변환을 위해  $9 \times 9 \times 9$ 개의 LUT와 사면체 보간법을 이용하였다. LUT의 제작에 이용하지 않은 「GATF Digital Test Form」 중에서 「IT8.7 Basic Target」의 182개 패치를 원고로 하여 LUT와 사면체 보간법을 이용한 RGB에서  $L^*a^*b^*$ 로의 색 변환 결과를 검토하기 위해 CRT상에 디스플레이 된 원고의 측정  $L^*a^*b^*$  값과 LUT와 사면체 보간법으로 계산된  $L^*a^*b^*$  사이를 색차( $\Delta E_{ab}$ )로써 비교하여 도시한 것이 그림(8)과 표(2)다.

CRT RGB에서  $L^*a^*b^*$ 로의 색변환에서 LUT와 사면체 보간법을 이용한 결과 182개의 패치의 평균 색차가 1.22 정도로서 LUT를 이용한 색 변환이 우수함을 확인하였다.

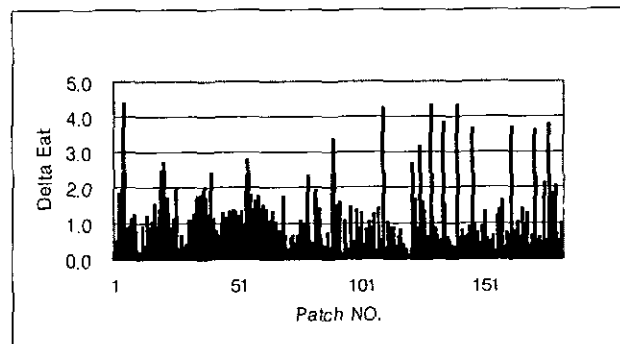


Fig. 8 Color differences between the measured and calculated colors on CRT for the RGB to Lab color transformation.

Table 2. Color difference analysis of Fig. 8.

color difference( $\Delta E_{ab}$ )	
Max	4.4
Min	0.1
Mean	1.22

## 5-2 색 변환 전 CRT상의 원고와 교정인쇄물의 색차

장치 독립적 색 변환 과정과 색역 매핑을 거치지 않고 CRT상의 디스플레이 한 원고가 디지털 교정기에서 인쇄된 교정인쇄물에 얼마나 다르게 재현되었는가를 검토하기 위해서 CRT상에 디스플레이 된 원고를 측색한  $L^*a^*b^*$ 값과 디지털 교정 인쇄기에서 출력한 교정인쇄물을 측색한  $L^*a^*b^*$ 값 사이를 색차로서 비교하여 도시한 것이 그림(9)와 표(3)이다.

디지털 컬러 교정기에서 출력한 교정인쇄와 색변환 과정을 거치지 않은 CRT상의 원고와의 평균 색차는 7.188 정도로 나타났으며 최대 29.5의 색차를 나타내었다. 이러한 결과는 출력장치의 인쇄재현영역과 CRT의 색 재현 영역이 다르기 때문이며, 프린터에서 표현 할 수 없는 색들이 CRT 상에 표현되기 때문으로 생각된다.

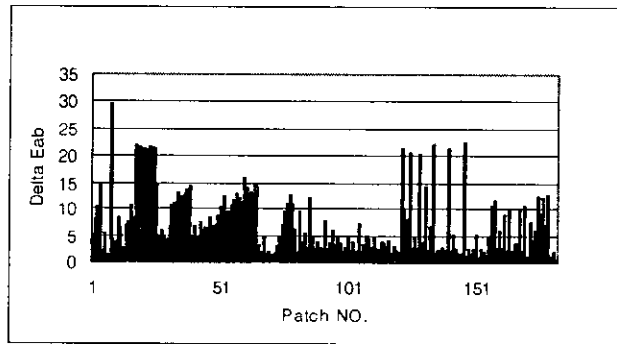


Fig. 9 Comparisons of color differences between CRT and hard-copy proof before color transformation.

Table 3. Table 2. Color difference analysis of Fig. 9.

color difference( $\Delta E^*ab$ )	
Max	29.5
Min	0.3
Mean	7.188

## 5-3 Gamut Mapping의 적용 결과

CRT에 디스플레이 된 원고의  $L^*a^*b^*$ 값을 프린터의 색역으로 매핑(mapping)시킨 후, 다시 CRT에 디스플레이 시킨 원고를 측색하여, 측색값  $L^*a^*b^*$ 와 디지털 교정 인쇄기에서 출력된 교정쇄의 측색값  $L^*a^*b^*$ 와의 색차를  $\Delta E^*ab$ 로서 비교한 결과를 그림(10)과 표(4)에 나타내었다.

장치 독립적 색 변환과 색역 매핑(color gamut mapping)을 거치지 않고 CRT에 디스플레이 된 화상은 프린터에서 재현되지 않는 색을 포함하고 있으나, 색 변환 과정에서 프린터의 색 재현 역

으로 사상된 화상은 모든 색이 프린터에서 재현되는 색으로 디스플레이 되었으므로 평균 색차( $\Delta E_{ab}^*$ )가 2.435로 상당히 감소되었다. 14.4의 최대색차는 모니터와 프린터의 기본적인 색역의 차이로 인해 발생하는 색차라고 생각된다.

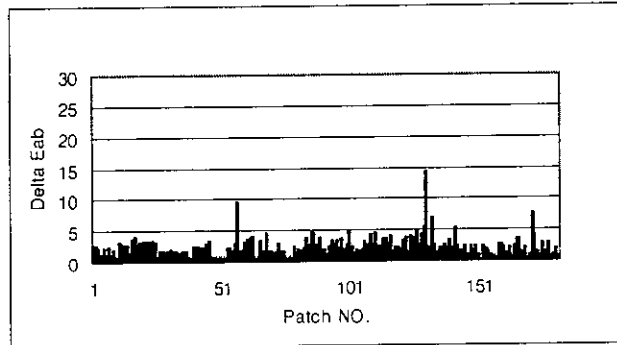


Fig. 10 Comparisons of color differences between CRT and hard-copy proof after color transformation and gamut mapping.

Table 4. Table 2. Color difference analysis of Fig. 10.

color difference( $\Delta E_{ab}^*$ )	
Max	14.4
Min	0.33
Mean	2.435

## 6. 결 론

LUT와 색역 매핑 방법을 이용하여 인쇄현장에서 교정인쇄장치로 많이 사용되는 염료 승화형 디지털 교정기의 출력 특성을 고려한 CRT상에서의 컬러인쇄물의 교정 방법에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 최종 출력장치의 인쇄특성을 고려하지 않고 디스플레이 된 CRT상의 원고와 교정인쇄물과의 평균 색차( $\Delta E_{ab}^*$ )는 7.188 정도로 상당히 크게 나타났으며, 특히 출력장치에서 재현할수 있는 색역의 바깥에 위치하는 CRT상의 색은 최대 색차가 29.5 정도로 매우 크게 나타났다.

(2) 출력 장치의 인쇄특성을 고려하여 장치 독립적 색 변환 과정에서 CRT의 색 역을 출력장치의 색역으로 매핑시켜서 인쇄한 교정인쇄물과의 평균색차는 2.435 정도로 상당히 감소하였다.

(3) 이상의 결과로부터 실제 인쇄공정에서 LUT와 색역 매핑 방법을 이용하여 출력 장치의 인쇄 특성을 고려한 CRT상에서의 의 컬러 교정방법이 유용함을 확인하였다.

## 참고문헌

- (1) R. S. Berns, R. J. Motta, "CRT Colorimetry Part I : Theory and Practice", color research and application, Vol.18 No.5 (1993).
- (2) R. S. Berns, M. E. Gorzynski, R. J. Motta "CRT Colorimetry. Part II : Metrology" color research and application, Vol.18 No.5 (1993).
- (3) G. Madden, "Digital color Management" Addison Wesley.
- (4) R. Balasubramanian and M. S. Maltz, "Refinement of printer transformations using weighted regression", Proc. SPIE 2658, pp. 334-340, (1996)
- (5) R. Y. Chung and Y. Komori, "ICC based CMS & Its color matching performance", Proc. TAGA, (1998)
- (6) H. R. Kang, "Comparisons of color mixing theories for use in electronic printing", IS&T/SID Color Conference, (1993)
- (7) K. Kanamori, T. Fumoto, and H. Kotera, "A color transformation algorithm using prism interpolation", IS&T 8th International Congress on Ad. NIP, pp. 477-482 (1992).
- (8) K. Kanamori, T. Fumoto, O. Yamada, and H. Motomura, "A single chip color processor for device independent color reproduction", IS&T/SID Color Conference, (1993)
- (9) P. Franklin, "Interpolation Methods and apparatus", US Patent 4334240 (1982).
- (10) N. I. Koman and J. A. C. Yule, "Digital computation of dot areas in a colour scanner", Proc. Eleventh International Conference of Printing Research Institutes,
- (11) R. Sakamoto and A. Itooka, "Interpolation method for memory device", Japanese Patent Disclosure 53-123201 (1978).
- (12) H. R. Kang, "Comparison of three-dimensional interpolation techniques by simulations", Proc. SPIE 2414, pp. 104-114 (1995).
- (13) K. Kanamori, H. Kotera, "Color Correction Technique for Hard Copies by 4-Neighbors Interpolation Method", J. of IS&T, Vol. 36, No. 1, pp. 73-80, (1992)
- (14) J. Y. Hardeberg, F. Schmitt, "Color printer characterization using a computational geometry approach", The Fifth Color Imaging Conference : Color Science, Systems, and Applications pp. 96-99, (1997).
- (15) ICC Profile Format Specification Version 3.4, International Color Consortium, (1998).

- (16) H. R. Kang, "COLOR Technology for electronic Imaging Devices", SPIE optical Engineering Press, (1997)
- (17) J. Morovic, "To develop a Universal gamut mapping algorithm" thesis, University of Derby, (1998)
- (18) M. Ito & N. Katoh, "Three-dimensional Gamut Mapping Using Various Color Difference Fomulae and Color Spaces", SPIE Vol. 3648 pp. 83-93, (1999)