

컬러교정인쇄에 대한 룩업테이블의 적용방법에 관한 연구

송경철 · 강상훈

부경대학교 화상정보공학부

(2000년 1월 20일 접수, 2000년 2월 20일 최종수정본 받음)

A Study on the Application Method of Look-up Table to Color Proofing Systems

Kyung-Chul Song · Sang-Hoon Kang

School of Image Science and Technology, Pukyong National University

(Received 20, Jan. 2000, in final form 20, Feb. 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.

However, most of the digital proofing devices have lower resolution than analog proofing systems and differ with actual color presses in the color gamuts. Therefore, proper color compensations are needed for digital color proofing in order to match colors between the proofs and the press sheets.

This study shows the application method of Look-up Table to the digital color proofer of Rainbow, the analog proofer of Matchprint-II, and an actual offset press is effective on the color compensations.

1. 서 론

프리프레스 공정의 디지털화로 인하여 교정인쇄에서도 저가의 잉크젯 컬러프린터로부터 고가의

염료 승화형 프린터에 이르기까지 다양한 디지털 프린터가 사용되고 있다.

이러한 다양한 디지털 인쇄방식 중에서 염료 승화형 프린터는 색의 재현이 비교적 정확하므로 인쇄물의 색 교정용으로 많이 사용되고 있다. 그러나 대부분의 디지털 교정 장치의 색재현 영역은 실제 인쇄장치의 색역과 차이가 있으므로 적절한 색보정이 필요하다. 일반적으로 이러한 원고의 색 신호($L^*a^*b^*$)와 장치의 색 신호(CMY) 사이의 변환에는 비선형 방식이나 LUT(look-up table)방식이 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 인쇄현장에서 컬러인쇄의 교정장치로 많이 사용되고 있는 염료 승화형의 디지털 교정인쇄기와 아날로그 교정인쇄기 및 실제 오프셋 인쇄기를 이용하여 C,M,Y 3색을 10% 단계의 일정한 망점면적률 비율로 조합하여 구성된 1,331개의 시험 인쇄된 패치로부터 각 장치의 프로파일을 LUT의 형태로 제작하고, 이 LUT와 3차원 보간법을 이용한 원고의 색 신호와 장치의 색 신호 사이의 변환을 통하여 측색적 색재현 방법으로 원고의 측색치와 일치하는 컬러 교정인쇄를 시도하였으며, 그 결과를 Photoshop의 일반적인 설정조건 하에서 색변환 후 출력한 기존의 교정인쇄 방식과 비교함으로써 컬러 교정인쇄에서 LUT를 이용한 색변환 방식의 유용성을 검토하였다.

2. LUT를 이용한 색 변환 방식

컬러 출력장치의 색 보정은 C, M, Y나 R, G, B의 장치의존 색 공간에서 CIE-Lab나 XYZ와 같은 장치독립 색 공간으로의 색 변환을 통하여 이루어진다. 일반적으로 프린터의 색 재현특성을 모델링하여 색을 변환하는 데는 여러 가지 방법이 사용된다. 기존의 Neugebauer^(1~3)식, Yule-Nielsen^(4~5) 모델, Clapper-Yule⁽⁶⁾ 식 등은 망점이론에 근거를 두며, Beer-Bouguer 와 Kubelka-Munk 이론은 감색이론을 기초로 한 것이다. 최근에는 기초 측정데이터를 근거로 하는 회귀분석법(regression)⁽⁷⁾, 신경회로망법(Neural Network), LUT법 등이 색 변환에 많이 이용되고 있다.

LUT 방식은 색 변환이 우수하며 하드웨어에 적용시키기가 상대적으로 간단하고 그 적용이 다양하여 인쇄 산업에서 널리 이용되고 있다. LUT를 이용한 색 변환에서는 임의의 색을 표현하기 위하여 반드시 보간법을 사용해야 하며, 동일한 LUT에 대해서도 보간법의 종류에 따라서 색 변환 결과가 다르게 나타나므로 이 방식에서는 보간법의 선택이 매우 중요하다. 1974년에 최초로 LUT를 이용한 3차원선형 보간법이 Pugsley에 의해 발표된 이래 프리즘 보간법, 피라미드 보간법, 4면체 보간법 등의 여러 가지 방식이 발표되었다. 최근에 ICC(International Color Consortium)에서는 장치 프로파일(device profile)을 제작하고 프로파일 연결공간(Profile Connection Space, PCS)으로 불리는 CIE-Lab나 XYZ와 같은 장치 독립 색 공간 상에서의 색 변환을 통한 원고와 재현물 사이의 정확한 색 재현 방식을 제안하고 있으며⁽⁸⁾ 여기서 제시하는 장치 프로파일의 형식도 LUT 방식이다.

2-1. CMY-to-L*a*b* 색 변환

3차원 LUT와 함께 사용되는 3차원 보간법으로는 3차원 선형보간법,⁽⁹⁾ 프리즘법,^(10~11) 피라미드 법,⁽¹²⁾ 4면체(tetrahedral)보간법^(13~14) 등 여러 가지가 있으며, 3차원 선형 보간법을 제외한 방법들은 분할된 공간의 어느 위치에 입력 값이 있는지를 찾는 추정단계를 포함하고 있다.

프리즘 보간법은 8개의 격자점으로 이루어진 입방체를 1/2로 나누어 2개의 프리즘 형태를 구성하고 임의의 점이 위치하는 프리즘을 추정한 후 6개의 격자 점으로부터 임의의 점의 위치를 계산하는 방식이다. 피라미드 보간법은 입방체를 1/3로 나누어 3개의 피라미드형으로 분할하고 임의의 점이 위치하는 피라미드를 추정한 후 5개의 격자 점으로 임의의 점을 계산한다. 4면체 보간법에서는 입방체를 6개의 4면체로 분할하고 임의의 점이 위치하는 4면체를 추정한 후 3개의 격자 점으로부터 임의의 점의 위치를 계산하는 방식이다. 프리즘법, 피라미드법, 4면체보간법 등은 3차원 선형 보간법에 비하여 데이터 처리량이 적은 반면에 보간의 정확도가 떨어지므로⁽¹⁵⁾ CMY-to-L*a*b* 색 변환에서는 3차원 선형 보간법이 많이 사용된다.

Fig. 1에서 도시한 바와 같이 C, M, Y 공간에서 3차원 선형보간법을 사용하여 CMY를 L*a*b*로 색 변환 할 경우 임의의 점 P(C,M,Y)의 L*,a*,b* 값은 각각 L*(C,M,Y), a*(C,M,Y), b*(C,M,Y)로 나타낼 수 있으므로 P(C0,M0,Y0), P(C1,M1,Y1)를 각각 P000,, P111로 표시하면, 임의의 점 P(C,M,Y)는 Eq.(1)과 같이 나타낼 수 있다. 이 좌표계를 L*a*b* 균등 색 공간에 적용하면 임의의 점 P(C,M,Y)에서의 색도좌표 L*a*b* 는 각각 L*(C,M,Y), a*(C,M,Y), b*(C,M,Y)로 나타낼 수 있으므로 식(1)로부터 L*, a*, b*의 보간 값을 계산할 수 있다.(10)

$$P(C,M,Y) = S_0 + S_1\Delta C + S_2\Delta M + S_3\Delta Y + S_4\Delta C\Delta M + S_5\Delta C\Delta Y + S_6\Delta M\Delta Y + S_7\Delta C\Delta M\Delta Y \dots\dots\dots (1)$$

여기서 ΔC, ΔM, ΔY, 및 계수 S0, S1, S7 은 각각 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \Delta C &= C - C_0 \\ \Delta M &= M - M_0 \\ \Delta Y &= Y - Y_0 \\ S_0 &= P_{000} \\ S_1 &= (P_{100} - P_{000}) / (C_1 - C_0) \\ S_2 &= (P_{010} - P_{000}) / (M_1 - M_0) \\ S_3 &= (P_{001} - P_{000}) / (Y_1 - Y_0) \\ S_4 &= (P_{110} - P_{010} - P_{100} + P_{000}) / [(C_1 - C_0) (M_1 - M_0)] \\ S_5 &= (P_{101} - P_{001} - P_{100} + P_{000}) / [(C_1 - C_0) (Y_1 - Y_0)] \\ S_6 &= (P_{011} - P_{001} - P_{010} + P_{000}) / [(M_1 - M_0) (Y_1 - Y_0)] \\ S_7 &= (P_{111} - P_{011} - P_{101} - P_{110} + P_{100} + P_{001} + P_{010} - P_{000}) / [(C_1 - C_0) (M_1 - M_0) (Y_1 - Y_0)] \end{aligned}$$

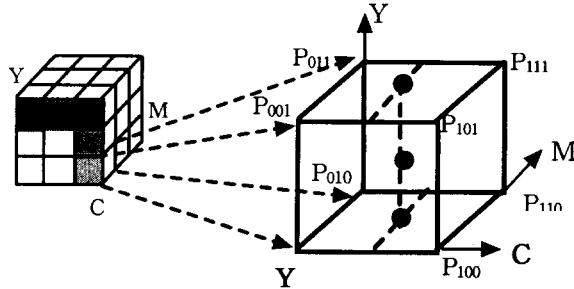


Fig. 1. C,M,Y coordinate system for trilinear interpolation.

2-2 L*a*b*-to-CMY 색 변환

CMY를 L*a*b*로 변환하는 경우에는 3차원 선형보간법에 의하여 쉽게 색 변환이 이루어지지만, L*a*b*를 CMY로 색 변환하는 경우에는 Fig. 2에서 도시한 바와 같이 L*a*b* 공간 상에서 격자점이 6면체 형태를 이루지 않기 때문에 임의의 입력점이 6면체 내에 속하는지를 판단하기가 어려워 3차원 선형 보간법으로는 색 변환이 곤란하게 되므로 이 경우에는 4면체 보간법이 많이 사용된다.

4면체 보간법에서는 L*a*b* 3차원 공간 상에서 무게 중심 보간법(barycentric interpolation)으로 보간이 가능하므로 L*a*b*를 CMY로 색 변환 할 수가 있다.^(16~18)

4면체 보간법은 장치의 색역을 4면체로 분할하고 입력되는 임의의 색이 어느 4면체에 속하는지를 추정하여 보간하는 3가지 단계로 이루어진다.

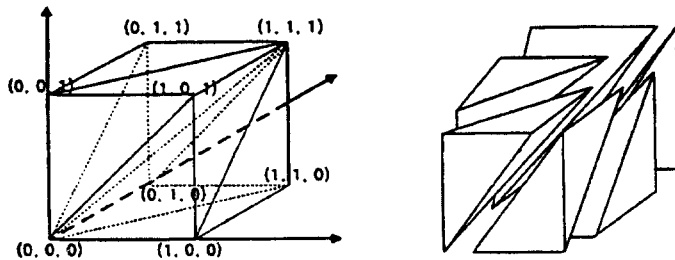


Fig. 2. Color space partitioning for tetrahedral interpolation.

분할단계에서는 입력하는 색 공간에서 n개의 샘플이 있을 때 (n-1)3 개의 6면체와 n3개의 격자점이 생성된다. Fig.2에서와 같이 단위 6면체를 다시 대각선 축에 접하는 6개의 4면체로 나누면 6 × (n-1)3 개의 4면체로 분할 할 수 있으며, 이 때 4면체의 체적 Vt는 식(2)와 같이 표시된다.

$$V_t(\text{volume of tetrahedron}) = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

추정 단계에서는 임의의 값 P가 격자점 위에 있지 않을 경우에 LUT에서 P점을 포함하는 4면체를 찾게 된다. 입력된 임의의 색 P를 포함하는 4면체를 찾으면 4면체와 입력점을 연결하여 다시 4개의 부4면체(sub-tetrahedron)로 분할하며, 이 부4면체의 체적 V_i 는 식(3)으로 표시된다.

$$V_i (\text{volume of subtetrahedron}) = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} P_{i+1} & P_{i+2} & P_{i+3} & P \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, i=1,2,3,4 \quad \dots\dots (3)$$

부4면체의 체적 V_i 와 4면체의 체적 V_t 의 비를 식(4)와 같이 가중치 W_i 로 표시하면, 점 P가 4면체의 내에 있기 위해서는 부4면체의 체적 V_i 의 합이 4면체의 체적 V_t 와 같아야 하므로 식(5)가 만족되어야 한다.

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

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

보간 단계에서는 식(6)의 무게 중심 보간법 (barycentric Interpolation)을 이용하여 P위치에서의 C,M,Y 값을 부4면체에 대응하는 각 꼭지점 P_i 를 이용하여 입력된 색을 다른 색 공간으로 보간 한다.

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=1}^4 W_i C_{p_i} \\ M &= \sum_{i=1}^4 W_i M_{p_i} \quad \dots\dots\dots (6) \\ Y &= \sum_{i=1}^4 W_i Y_{p_i} \end{aligned}$$

여기서 $C_{p_i}, M_{p_i}, Y_{p_i}$ 는 사면체의 각꼭지점 $P_i, i=1,2,3,4$ 에서의 C, M, Y 값이다.

3. 실 험

인쇄 현장에서 많이 사용되는 디지털 교정기(3M Rainbow2730)와 아날로그 교정기 (3M Matchprint II) 및 오프셋 인쇄기(Heidelberg KORD64)의 LUT를 제작하기 위해서 0%에서 100%까지 10% 간격으로 11단계의 C,M,Y 망점 면적율을 조합한 1,331개의 컬러패치를 각 인쇄 장치에서 인쇄하고, 인쇄된 패치를 Minolta CM-2002 Spectrophotometer를 이용하여 $L^*a^*b^*$ 값을 측정하여 LUT를 제작하였으며, 실험용 인쇄원고로는 Mactheth ColorChecker를 사용하였다.

Fig. 3은 LUT를 적용하지 않고 Photoshop 소프트웨어를 이용한 일반적인 교정인쇄의 공정을 도시한 것으로 Photoshop 소프트웨어의 Lab 모드에서 측정된 Mactheth ColorChecker의 $L^*a^*b^*$ 데

이터를 입력하여 이미지를 생성한 후 CMYK 모드로 변환하여 각 교정 장치에서 인쇄하는 과정을 보여준다.

Fig. 4는 LUT를 이용한 교정인쇄의 공정을 도시한 것으로 $L^*a^*b^*$ 를 CMY로 변환하기 위하여 Macbeth ColorChecker의 $L^*a^*b^*$ 측색 데이터를 미리 만들어진 각 교정 인쇄장치의 LUT로부터 4면체 보간법을 사용하여 CMY로 역변환하여 Photosop에서 CMY 이미지를 생성한 후 각 교정 장치에서 인쇄하는 과정을 보여준다.

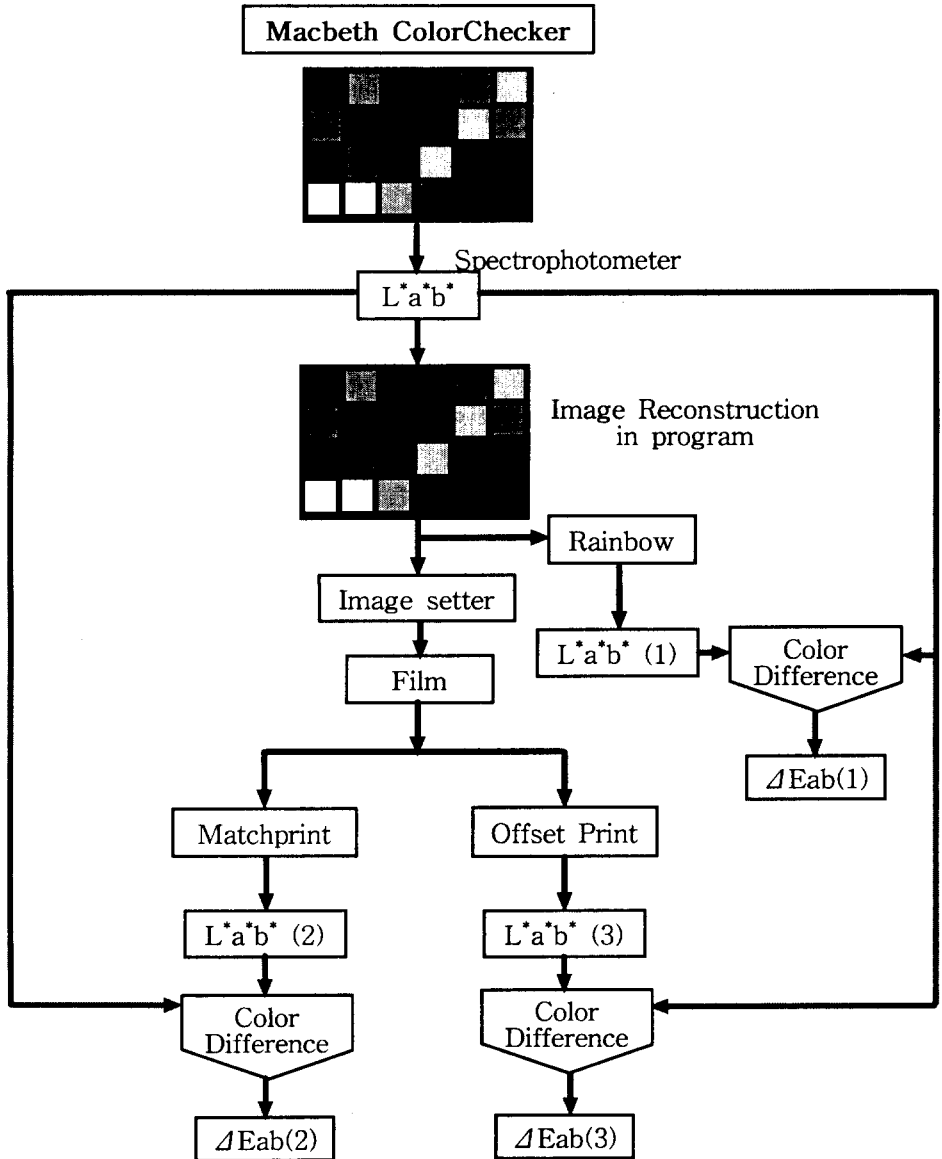


Fig. 3. Schematic diagram of printing processes for general photoshop method.

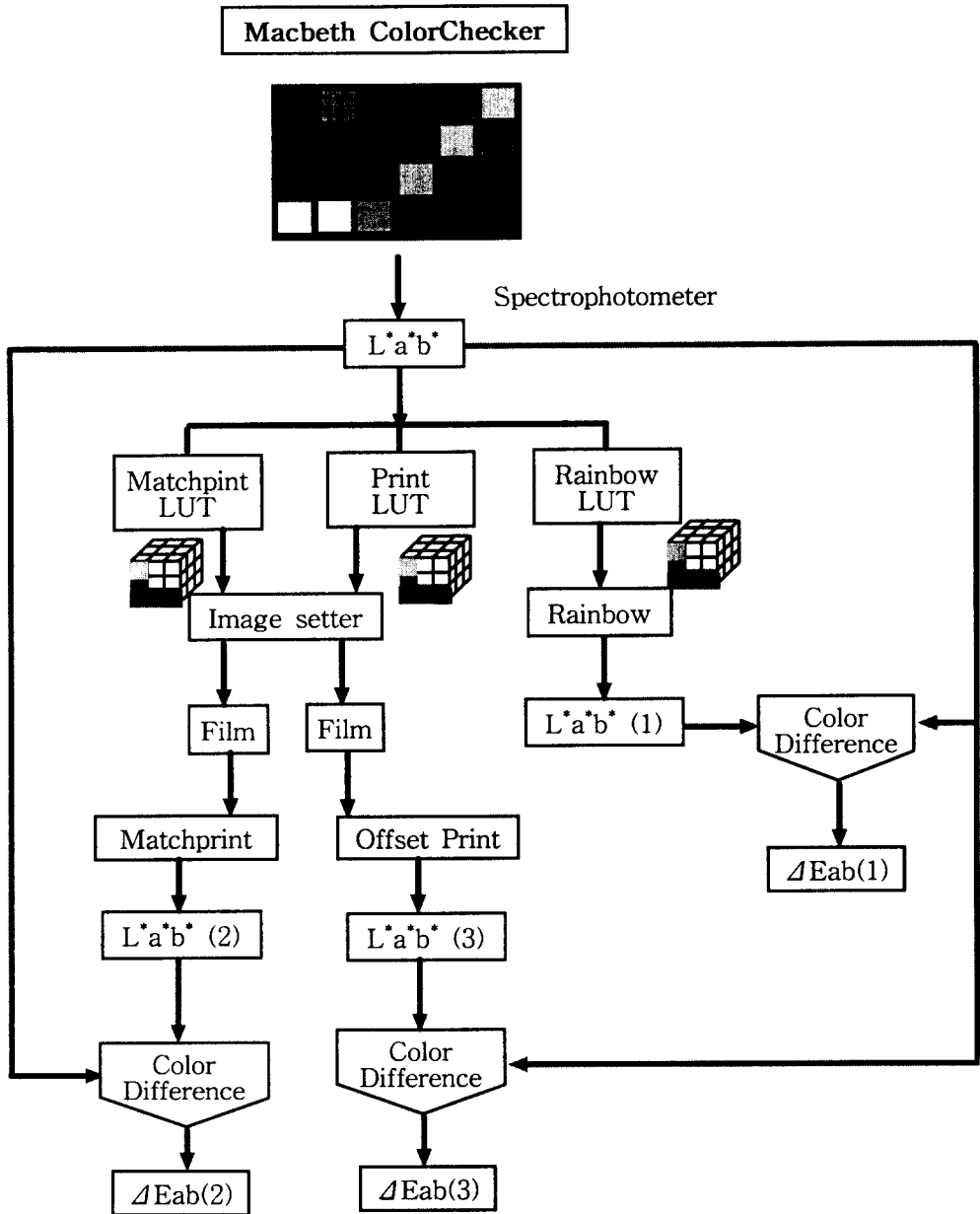


Fig. 4. Schematic diagram of printing processes for LUT method.

4. 실험결과 및 고찰

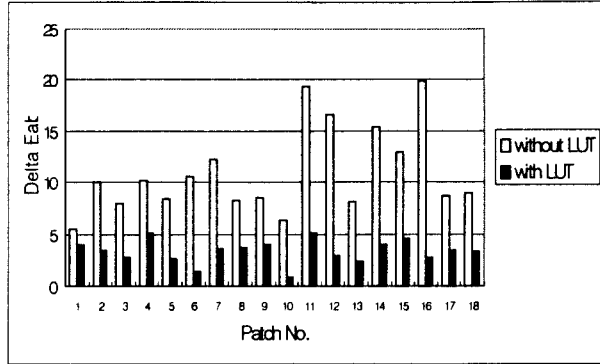
Fig.5는 시험 인쇄를 통하여 미리 만들어진 CMY와 L*a*b* 사이의 1331개의 격자점에 대한 LUT를 이용하여 본 연구에서 실험용 인쇄원고로 사용한 Macbeth Color checker의 18개의 유채색 패치에 대한 측색치를 입력하고 4면체 보간법을 사용하여 L*a*b*를 CMY로 변환하는 LUT를 적용하는 방법과 LUT를 별도로 적용하지 않고 Photoshop 프로그램만을 이용하는 일반적인 방법에 대하여 디지털 교정기(Rainbow2730)와 아날로그 교정기 (Matchprint II) 및 오프셋 인쇄기 (KORD64)를 사용하여 교정인쇄한 결과를 각 패치별로 원고와의 색차를 비교하여 도시한 것이다.

Table 1은 Fig.5의 결과를 각 교정인쇄 장치별로 분석하여 18개의 유채색 원고 패치에 대한 최대, 최소 및 평균 색차를 나타낸 것이다.

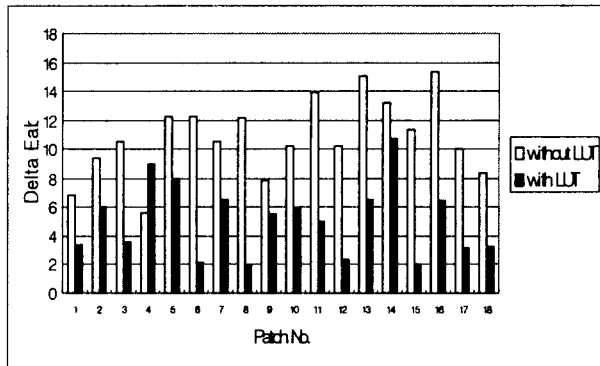
LUT를 적용하지 않은 경우의 평균색차는 디지털 교정인쇄기에서는 11.9, 아날로그 교정기에서는 10.85로 비슷하게 나타났으나 실제의 오프셋 인쇄기에서는 19.5로 가장 크게 나타났다. 그러나 LUT를 적용함으로써 평균색차는 디지털 교정기에서는 3.3, 아날로그 교정기에서는 5.09, 오프셋 인쇄기에서는 8.9로 3가지 교정장치에서 모두 크게 감소하였으며 디지털 방식이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이것은 아날로그교정 장치에서는 빔빔과 현상과정에서, 그리고 실제 오프셋인쇄기에서는 제판 및 인쇄과정을 거치는 사이에 발생하기 쉬운 망점 면적률의 변화에 의하여 색차가 더 크게 나타나는 것으로 생각된다.

Table 1. Analysis of the color differences in Fig. 5.

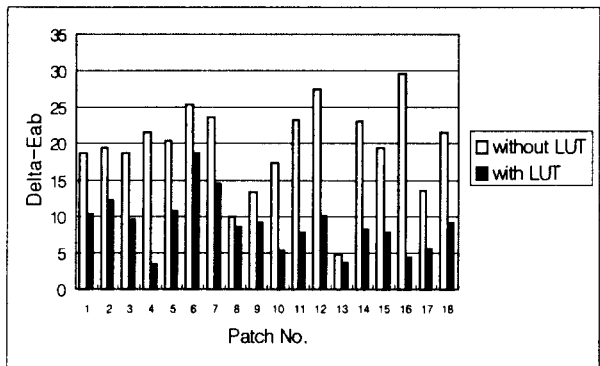
		Color difference(ΔE_{ab}^*)		
		Max.	Min.	Mean
Rainbow	without LUT	19.9	5.5	11.9
	with LUT	5.1	0.8	3.3
Matchprint	without LUT	15.35	5.64	10.85
	with LUT	10.74	1.93	5.09
Offset press	without LUT	26.9	4.7	19.5
	with LUT	18.7	3.3	8.9



(a) digital color proofer



(b) analog color proofer



(c) offset press

Fig. 5. Comparisons of color differences between color proofing methods with and without LUT at typical color proofing systems.

5. 결 론

인쇄현장에서 교정인쇄장치로 많이 사용되는 염료 승화형 디지털 교정기인 Rainbow와 아날로그 교정기인 Matchprint-II 및 실제 오프셋 인쇄기를 이용한 교정 인쇄에서 4면체 보간법을 이용한 LUT 방식을 적용함으로써 기존의 방식에 비하여 더욱 정확한 컬러 인쇄물의 교정이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) H. E. J Neugebauer, "Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendruckes", Z. wiss. Photogr., 36:73-89 (1937).
- (2) R. Rolleston and R. Balasubramanian "Accuracy of various types of Neugebauer model", IS&T/SID Color Conference, (1993)
- (3) H. R. Kang, "Comparisons of color mixing theories for use in electronic printing", IS&T/SID Color Conference, (1993)
- (4) H. Zeng and P. G. Anderson, "An expanded Neugebauer model for printer color formation", Proc. SPIE 3648. pp. 27-36, (1999)
- (5) J. A. C. Yule and W. J. Nielsen, "The Penetration of light into Paper and its Effect on Halftone Reproduction", Proc. TAGA, pp. 65-76 (1951).
- (6) F. R. Clapper and J. A. C. Yule, "The effect of multiple Internal Reflections on the Densities of Halftone Prints on Paper", J. Opt. Soci. America., 43(7) pp. 600-603, (1953).
- (7) R. Balasubramanian and M. S. Maltz, "Refinement of printer transformations using weighted regression", Proc. SPIE 2658, pp. 334-340, (1996)
- (8) ICC Profile Format Specification Version 3.4, International Color Consortium, (1998).
- (9) H. R. Kang, "COLOR Tchnology for electronic Imaging Devices", SPIE optical Engineering Press, (1997)
- (10) 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).
- (11) 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)

- (12) P. Flanklin, "Interpolation Methods and apparatus", US Patent 4334240 (1982).
- (13) N. I. Koman and J. A. C. Yule, "Digital computation of dot areas in a colour scanner", Proc. Eleventh International Vonference of Printing Research Institutes,
- (14) R. Sakamoto and A. Itooka, "Interpolation method for memory device", Japanese Patent Disclosure 53-123201 (1978).
- (15) H. R. Kang, "Comparison of three-dimentional interpolation techniques by simulations", Proc. SPIE 2414, pp. 104-114 (1995).
- (16) K. Kanamori, H. Kotera, "Color Correction Technique for Hard Copies by 4-Neighbors Interpolation Metho", J.of IS&T, Vol. 36, No. 1, pp. 73-80, (1992)
- (17) J. Y. Hardeberg, F. Schmitt, "Color printer characterization using a computational geometry approach", The Fith Color Imaging Conference : Color Science, Systems, and Applications pp. 96-99, (1997).
- (18) P. B. Plaisted, R. Chung, " Construction features of color output device profiles", The Fith Color Imaging Conference : Color Science, Systems, and Applications, pp. 141-146, (1997)