

룩업테이블을 이용한 스캐너 캘리브레이션에 관한 연구

신춘범, 강상훈*

부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 화상정보공학부
(2002년 1월 26일 접수, 2002년 2월 16일 최종본 접수)

A Study on the Scanner Calibration Method Using Look-up Table

*Chun-Beom Shin, Sang-Hoon Kang**

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

*Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

(Received 26 January 2002, in final form 16 February 2002)

Abstract

Recently, the research about color matching for the input/output devices of printing process is progressing rapidly by the digitization. The calibration method of flatbed scanner widely used as an input device for prepress process is especially important for color proofing of high quality color prints.

In this paper, scanner calibration method using 3-dimensional look-up table and tetrahedral interpolation was examined and analysed comparatively on the three kinds of original copies, such as photograph, dye sublimation proof and ink jet print for IT8.7/2 target.

1. 서 론

최근 인쇄공정의 디지털화로 인하여 각각의 입·출력 장치들에 대한 컬러 매칭에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 프리프레스 인쇄공정에서 원고의 입력장치로 사용되고 있는 평판 스캐너에 관한 캘리브레이션(calibration)¹⁾ 기술 연구는 전체 인쇄공정 측면에서

볼 때 재현될 원고를 입력하는 단계이므로 그 중요성이 크다고 할 수 있다. 일반적으로 색재현 시스템에서 스캐너는 장치의 색 신호(RGB 또는 CMYK)와 원고의 색 신호(CIEXYZ 또는 $L^*a^*b^*$) 사이에서 선형적으로 변환되는 조건을 만족해야 하지만 대부분의 스캐너는 이러한 조건을 만족하지 않기 때문에 색재현 품질에 많은 영향을 주게 된다. 이와 같이, 장치와 원고의 색 신호 사이에서의 비선형성을 해결하기 위해 입력된 신호에 대한 색보정을 하여 색변환을 하게 된다. 즉, 장치 종속 색공간인 R(red), G(green), B(blue) 공간과 장치 독립 색공간 CIEXYZ 또는 $L^*a^*b^*$ 공간 사이의 관계를 이용하여 색변환을 하는 것이다.

현재 입·출력장치의 측색적 색보정에 사용되는 색변환 방식에는 기초 측정 데이터를 근거로 하는 회귀분석법(regression)²⁾, 신경회로망(neural network), 룩업테이블(Look-up Table, LUT)³⁾등이 이용되고 있다. 회귀분석법은 가장 간단한 방법으로 색변환을 할 수 있지만 색변환 에러가 크다는 단점을 가지며, 신경회로망을 이용한 색변환 방식은 프로세싱 속도가 빠른 반면 하드웨어에 적용하는 것이 어려운 점이 있다. 이에 비하여, LUT는 비교적 색변환 결과가 정확하지만 많은 양의 계산을 수행하기 때문에 프로세싱 속도가 느리다는 단점이 있었다. 그러나, 현재 컴퓨터의 발전에 힘입어 이러한 단점은 없어졌다고 볼 수 있을 만큼 큰 문제가 되는 것은 아니다.

본 연구에서는 선행연구자들의 보고에 따라 색변환이 가장 우수하다고 알려져 있는 LUT 방식과 3차원 보간법(interpolation)을 이용하여 인쇄현장에서 원고의 입력장치로 많이 사용되고 있는 평판 스캐너와 염료승화형 디지털 교정인쇄기를 통해 원고의 측색치와 일치하는 색변환 결과를 검토하였다. 또한, 입력장치에서 서로 다른 미디어 3종류를 입력 타겟으로 사용하여 미디어에 따른 색변환 결과를 검토하였다.

2. 실험

2-1. LUT를 이용한 색변환 방식

컬러 입력장치인 스캐너의 색보정은 RGB의 장치종속 색공간에서 장치 프로파일 연결공간(PCS : Profile Connection Space)이라 불리는 CIE-Lab나 XYZ와 같은 장치 독립적 색공간으로 색변환을 통해서 이루어진다.^{4, 5)} 일반적으로, 기초 측정 데이터를 근거로 하는 회귀분석법, 신경회로망법, LUT^{6, 7)}등이 색변환에 많이 이용되고 있다. LUT 방식의 경우 색변환이 우수하며, 하드웨어에 적용시키기에 상대적으로 간단하고 그 적용이 다양하여 인쇄 산업에서 널리 이용되고 있다.

LUT와 보간법을 이용한 3차원 보간법으로는 3차원 선형(Trilinear), 프리즘(Prism)법, 피라미드(Pyramid)법, 4면체보간(Tetrahedral)법 등 여러 가지가 있다. 3차원 선형 보간법을 제외한 다른 방법들은 분할된 공간상에서 어느 위치에 입력값이 존재하는지를 찾

는 추정단계를 포함하고 있다.

RGB-L*a*b* 변환의 경우 Fig. 1과 같이 L*a*b* 공간상에서 격자점이 6면체 형태를 이루지 않는다. 따라서, 임의의 입력점이 6면체에 속하는지 판단하기 어렵기 때문에 3차원 선형 보간법으로는 색변환을 할 수 없다.

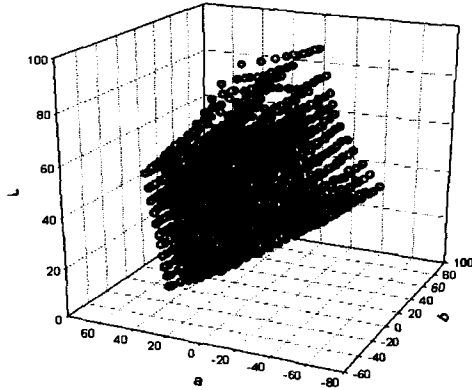


Fig. 1. 1,331 lattice points in CIE-Lab device independent color space.

따라서, 본 연구에서는 여러 보간법 중에서 Fig. 2와 같이 단위 6면체를 대각선 축에 접하는 6개의 4면체로 분할하여 입력되는 임의의 색을 포함하는 4면체를 찾고, 4면체와 입력 점을 연결하여 다시 4개의 부4면체(sub-tetrahedron)로 분할하여 보간하는 4면체 보간법을 사용하였다. 4면체 보간법의 경우 L*a*b* 3차원 공간상에서 무게중심 보간법(barycentric interpolation)으로 보간이 가능하므로 RGB-L*a*b* 색변환을 할 수 있다.¹⁰⁾ 4면체 보간법은 장치의 색역을 4면체로 분할하고 입력되는 임의의 색이 어느 사면체에 속하는지 추정한 후에 보간이 이루어지는 3단계로 이루어진다.

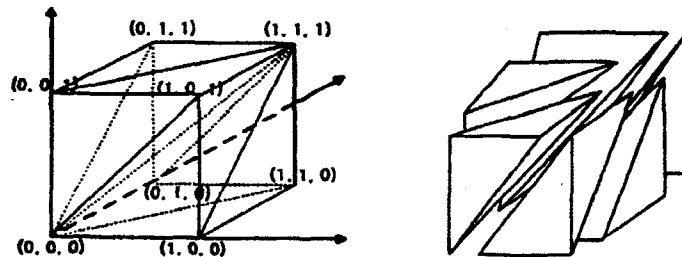


Fig. 2. Color space partitioning for tetrahedral interpolation.

2-2 실험 장치 및 방법

본 연구의 실험 과정을 요약하여 도시하면 Fig. 3과 같다.

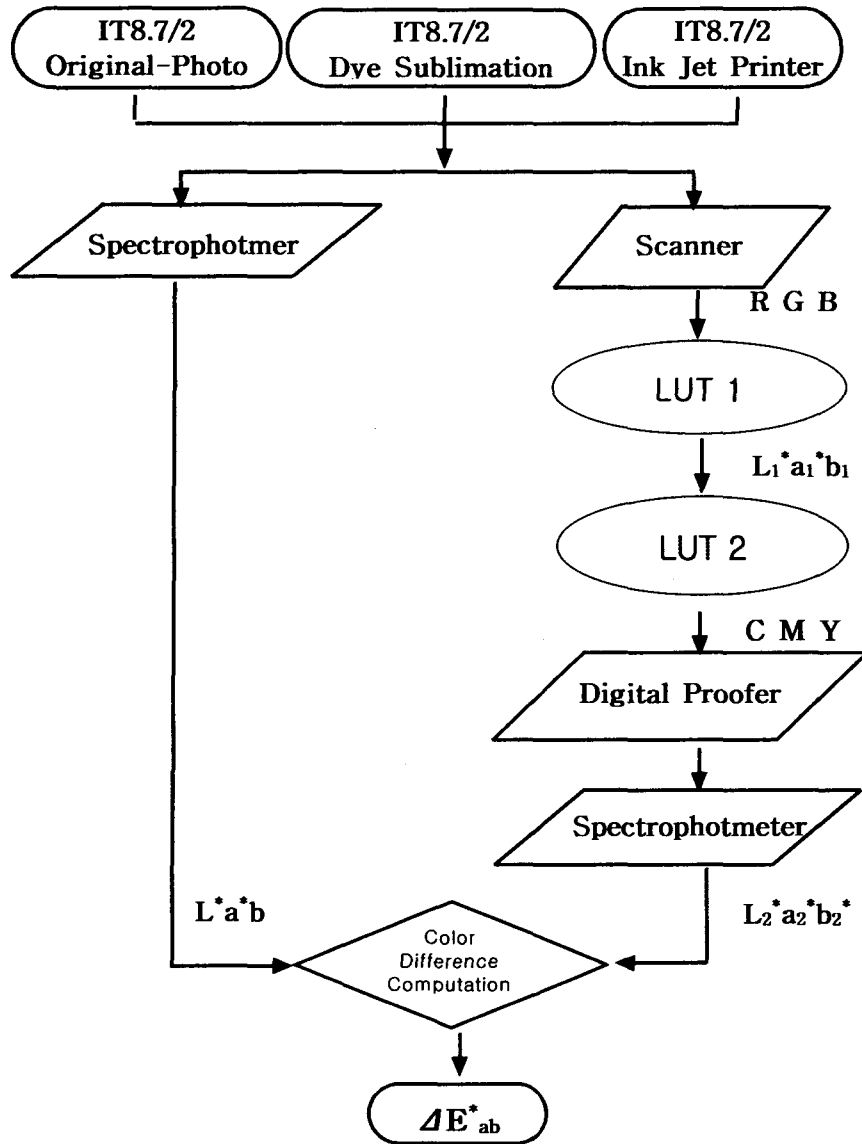


Fig. 3. Schematic diagram for scanner calibration using 3D-LUT

LUT 제작에 사용될 원고를 작성하기 위해 'photoshop 5.5' 프로그램을 사용하여 Fig. 4와 같이 0%에서 100%까지 10%단계로 C(cyan), M(magenta), Y(yellow) 망점 면적률을 10%단계로 변화시켜 1,331개의 패치를 제작한 후 염료승화형 디지털 교정인쇄기인 '3M Rainbow 2730'으로 출력하였다.

출력된 패치를 오리지널 원고로 사용하여 'UMAX Power LookIII' 평판스캐너를 통해 감마 1.8, 해상도 600dpi로 스캐닝을 한 후 X-Rite사의 'Digital Swatchbook'을 사용하여 D_{50} 광원 조건과 2° 시야 조건에서 $L^*a^*b^*$ 측색을 실시하였다. 스캐닝한 패치를 각각 R, G, B 레벨값을 계산하여 측색값과 함께 $11 \times 11 \times 11$ 의 LUT를 제작하였다.

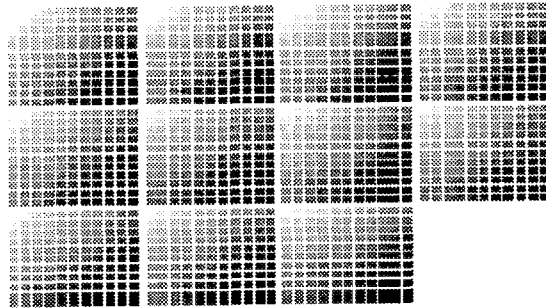


Fig. 4. Test pattern used for LUT construction.

제작된 LUT와 3차원 보간법을 통해 색변환 결과를 확인하기 위해 스캐너 캘리브레이션용인 'KODAK Q60(IT8.7/2)' 표준 컬러 입력 타깃을 사용하였다. IT8.7/2 타깃은 색상각과 명도의 조합에 따라 4개의 채도 영역으로 144개의 영역과 24개의 그레이 부분, 12개의 스킨 컬러 부분, R, G, B, C, M, Y, K(black) 영역으로 구분되어 있는 사진 인화물이다. 그 중에서 그레이와 스킨 컬러 부분을 제외한 228개의 샘플만을 사용하여 LUT에 의해 색변환을 하였다.

입력 타깃을 사진 인화물 뿐만 아니라 다른 종류의 미디어로 테스트하기 위해 사진 인화물인 IT8.7/2 타깃을 LUT 제작에 적용된 동일한 조건으로 스캐닝하여 염료승화형 디지털 교정기인 Rainbow와 'Epson-3000' 컬러 잉크젯 프린터를 통해 출력을 하였다. 이렇게 출력된 재현물과 사진원고 IT8.7/2 타깃의 3종류를 사용하여 LUT을 제작할 때와 같은 조건으로 스캐너에서 스캐닝을 하였다. 스캐닝 된 패치의 R, G, B값을 계산하여 RGB- $L^*a^*b^*$ 의 색변환 LUT1에 적용하여 $L_1^*a_1^*b_1^*$ 로 변환한 후, 다시 최종 출력장치인 CMY로 색변환을 하기 위해 $L^*a^*b^*$ -CMY의 LUT2에 적용하여 최종 C, M, Y 데이터로 변환하였다. 변환된 C, M, Y 값을 근거로 새로운 패치를 제작하여 디지털 교정기를 통해 출력하였다. 출력된 재현물을 측색하여 얻은 $L_2^*a_2^*b_2^*$ 값과 각 원고의 $L^*a^*b^*$ 값을 사용하여 색차 ΔE^*_{ab} 를 계산하여 원고와 얼마나 근접하게 출력이 되었는지 색변환 결과에 대해서 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. LUT의 적용이 불가능한 패치의 분석

서로 다른 3종류의 미디어 테스트 타겟을 스캐닝하여 입력장치 신호인 RGB를 계산한 후 11×11 개의 LUT1과 사면체 보간법을 거쳐 $L^*a^*b^*$ 색공간으로 변환하고 다시 LUT2를 적용하여 출력장치 CMY신호로 변환을 하였다. 그 결과 Fig. 5, 6, 7에 도시한 것과 같이 입력 타겟 일부 패치가 LUT의 색역 밖에 위치하여 최종 CMY로 올바르게 변환되지 않는다는 것을 알 수 있었다. 오리지널 IT8.7/2 사진 인쇄물을 원고로 하였을 때 전체 228개 중에서 120개의 패치가 LUT 색역 밖에 위치하였으며 그 패치들을 Fig. 5에 도시한 것과 같이 a^*-b^* , L^*-a^* 평면상에 나타내었다.

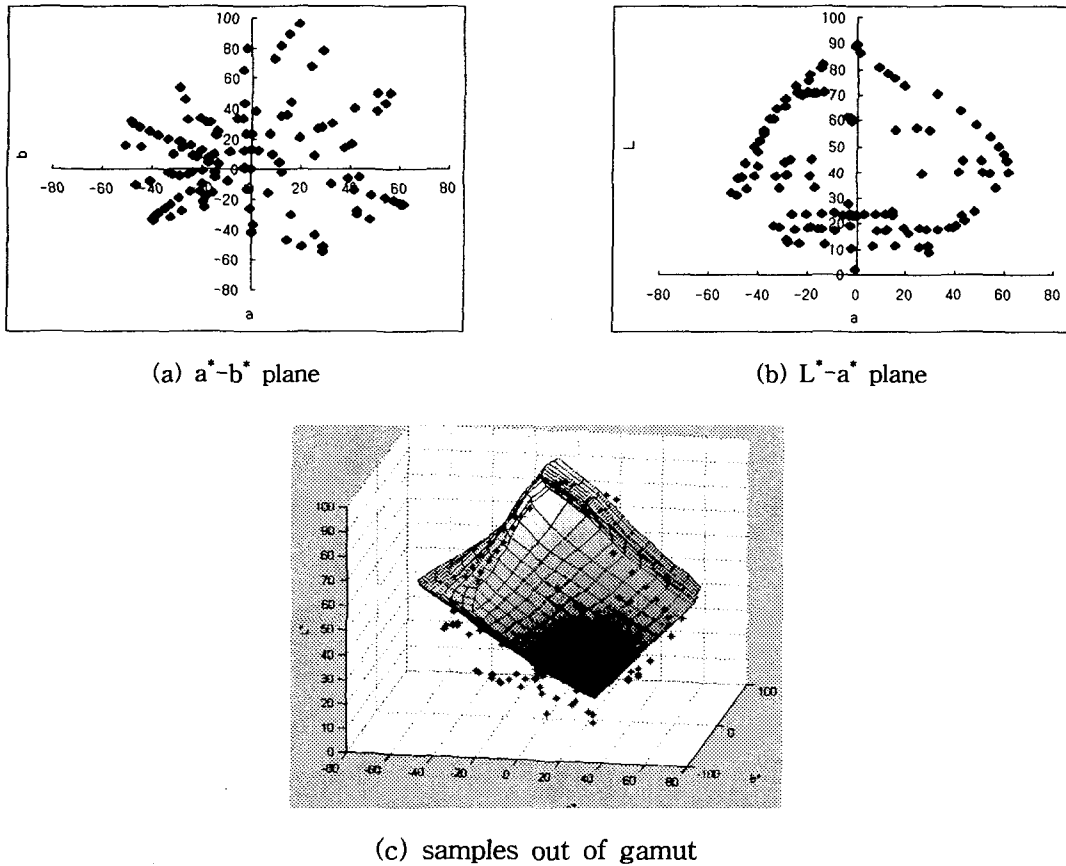


Fig. 5. Analysis of the patches out of LUT gamut for the photograph original of IT8.7/2 target.

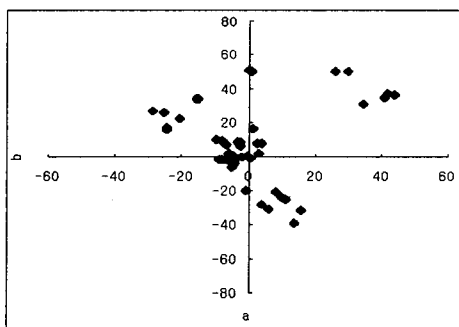
색역 밖에 위치하는 패치들은 대부분의 색상, 명도, 채도에서 광범위하게 발생한다는 것을

알 수 있다. 일반적으로 사진 인쇄물의 색영역이 다른 미디어 보다 비교적 넓다는 사실이 잘 알려져 있는데 본 실험에서도 마찬가지로 LUT로 제작된 염료승화형 디지털 교정기가 나타낼 수 있는 색역이 입력 타깃인 사진 보다 더 작다는 것을 알 수 있었다.

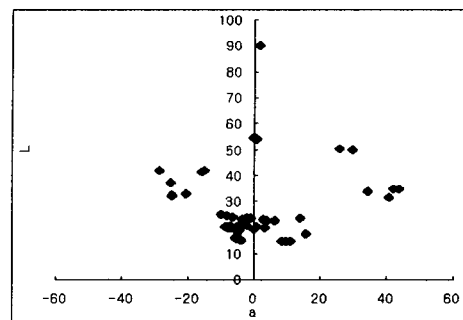
Fig. 6은 IT8.7/2 타깃을 스캐닝하여 염료 승화형 디지털 교정기로 출력한 하드카피를 오리지널 원고로 사용하여 LUT1, LUT2, 사면체 보간을 거쳐 색변환을 하였을 때 LUT 색역을 벗어난 46개의 결과를 도시한 것으로, R, G, B 영역과 명도가 낮은 새도우 영역, 채도가 낮은 부분의 패치들이 색역을 벗어난다는 것을 알 수 있다. 그러나 비교적 염료승화형 출력장치 색역 경계에 위치하기 때문에 이 부분을 보완하면 좋은 색변환 결과가 나타날 것으로 생각된다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 방법으로 오리지널 IT8.7/2 타깃을 스캐닝하여 컬러 잉크젯 프린터를 통해 얻은 하드카피를 원고로 사용하여 LUT1, LUT2, 4면체 보간을 적용하였을 때 LUT의 색역을 벗어나는 51개의 패치에 대한 결과를 각 평면상에 도시한 것이다. C, M, Y, G 영역과 대부분의 명도와 채도 레벨에서 색역 밖에 위치하며 Fig. 5의 사진 원고와 유사한 경향을 가지지만 색역을 벗어나는 수는 훨씬 감소하였다. 이것은 컬러 잉크젯과 교정기에 사용되는 잉크의 색재 및 용지등의 미디어 특성이 서로 유사하여 색재현이 비슷하게 이루어질 수 있지만, 은염 사진방식은 재현 범위가 훨씬 크기 때문에 교정기나 잉크젯에서는 재현이 될 수 없는 경우가 있을 것이라 생각된다. 즉, 염료승화형 디지털 교정기에 의하여 제작된 LUT의 색역은 컬러 잉크젯 보다 크고 사진 영역보다 작다는 것을 알 수 있으며, 테스트 타깃으로 사용된 미디어의 종류에 따라 색역을 벗어나는 샘플의 수가 달라질 수밖에 없다고 생각한다.

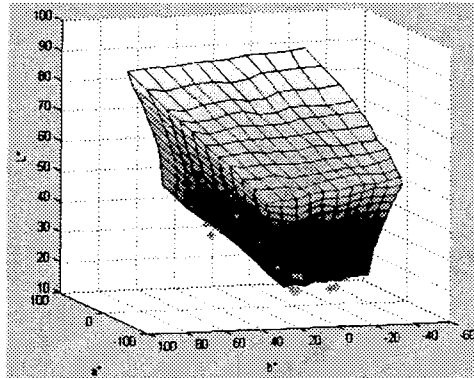
이와 같이 색역을 벗어나게 되면 이미지 전체에 대하여 부정확한 색변환 결과를 얻게 되므로 색차가 상당히 증가하게 된다. 따라서 색역을 벗어나는 부분에 대하여 적절한 보정 방법이 필요하다. 이러한 방법으로는 가장 넓은 색역을 재현할 수 있는 사진인화물에 대해 LUT를 제작하거나 색역을 벗어난 부분에 대하여 색역 경계면으로 색역을 사상(color gamut mappng)하는 방법이 있다. Hung¹¹⁾은 색역사상과는 반대로, LUT와 보간법을 사용하여 색역을 벗어난 색에 대해서는 색역의 경계를 확장시키는 개념의 외삽법(extrapolation)을 포함시켜 LUTIE 방식을 제안한 바가 있다.



(a) a^*-b^* plane

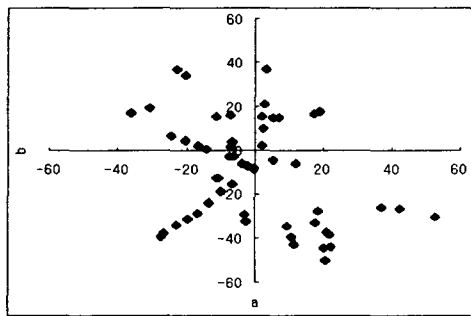


(b) L^*-a^* plane

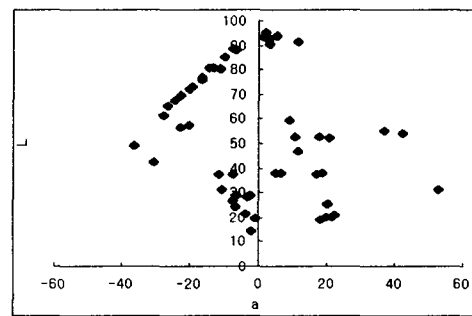


(c) samples out of gamut

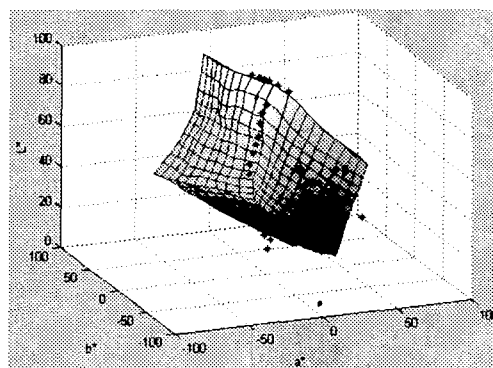
Fig. 6. Analysis of the patches out of LUT gamut for the dye sublimation proof original of IT8.7/2 target.



(a) a^*-b^* plane



(b) L^*-a^* plane



(c) samples out of gamut

Fig. 7. Analysis of the patches out of LUT gamut for the ink jet print original of IT8.7/2 target.

3-2. LUT의 적용이 가능한 패치의 색차

입력 타깃으로 사용된 3종류의 원고를 스캐너로 스캐닝하여 얻은 R,G,B, 데이터를 4면체 보간법과 함께 LUT1, LUT2를 적용하여 LUT의 색역을 벗어나는 패치를 제외하고 색역 안에 포함되는 패치들을 색변환 하였다. 색변환 후 얻은 CMY 데이터를 근거로 새로운 패치를 제작하고 디지털 교정기를 사용하여 출력한 후, 출력된 패치를 측색하여 원고의 측색값과 색차를 분석한 결과 LUT와 동일한 미디어로 테스트하였을 때 평균색차 ΔE^*_{ab} 가 가장 적게 나온다는 것을 확인하였다.

Table. 1은 3종류의 원고를 색변환하여 재현된 하드카피의 동일한 패치에 대해 원고와 최종 출력물과의 색차를 정리한 것이다.

Table. 1 Color differences between original and reproduction patches according to the kinds of original

Sample Number	Color		ΔE^*_{ab}		
	L*	hue angle (θ^*)	Photography	Digital proofer	Ink jet printer
B-16	80.2	248.24	4.75	2.32	3.71
-17	83.92	37.37	5.86	3.32	4.50
-18	85.37	219.67	3.30	2.55	8.44
-19	80.82	263.33	4.41	3.13	4.28
F-15	84.97	86.48	12.87	5.02	8.30
-16	50.51	224.12	13.79	1.32	10.93
-17	64.45	33.60	11.26	3.83	12.88
-19	53.73	261.22	7.74	3.36	13.01
H-15	83.59	85.24	16.76	4.58	9.20
-16	35.48	207.13	19.66	2.41	13.73
I-17	49.82	35.57	13.94	4.01	17.77
L-2	17.82	189.70	13.52	3.27	13.36
-6	39.35	187.67	10.54	2.18	10.06
-10	70.11	2.08	7.74	2.69	9.17

3-2-1. 일정한 명도 범위내에서 색상에 따른 원고별 색차

Table. 1에서 샘플 번호 B-16, 17, 18, 19는 하이라이트 부분으로 명도가 유사하고 색상이 다른 패치들로 구성되어 있다. 대체로 모든 미디어에서 색차가 작게 나타나는 경향

을 보이지만, LUT 제작에 사용된 동일한 미디어를 입력타겟으로 했을 때 가장 작은 색차를 보이는 우수한 색변환 결과가 나타났다. F-15, 16, 17, 19는 미들톤 부분으로 유사한 명도와 다른 색상으로 구성되어 있는데 동일한 미디어일 경우 색차가 작게 나타나는 반면, 사진원고와 잉크젯 원고는 색차가 크게 나타났다. 그리고 H-15, 16과 I-17은 새도우 부분으로 명도가 유사하며 색상이 다른 패치로서 미들톤 부분과 마찬가지로 LUT와 동일한 미디어인 염료승화형 교정기로 출력한 원고인 경우 색차가 작게 나타나며 종류가 다른 미디어에서는 색차가 아주 크게 나타났다.

이상과 같이 일정한 명도 범위에서 색상이 다른 패치에 대해 색차를 분석한 결과 염료승화형 디지털 교정기에서 출력한 미디어로 LUT를 제작한 후 동일한 미디어를 원고로 사용하여 스캐너의 입력 타겟으로 사용한 경우 명도와 색상에 관계없이 가장 작은 색차를 나타내고 종류가 다른 미디어를 입력 타겟으로 사용한 경우에는 색차가 크게 나타남을 알 수 있었다. 그리고, 3종류의 모든 미디어를 입력 타겟으로 사용했을 때, 하이라이트 부분에서는 비교적 색차가 작게 나타나는 경향을 보였다. 또한 미들톤, 새도우 부분과 같이 명도가 낮아질수록 염료승화형 미디어를 사용한 경우 모든 영역에서 색차가 작은 경향을 보이지만, 다른 종류의 미디어를 사용했을 때에는 색차가 점점 증가하는 것을 알 수 있었다. 즉, 미디어가 다른 경우에는 어두운 색상일수록 색변환이 정확하게 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있었다.

3-2-2. 일정한 색상 범위내에서 명도에 따른 원고별 색차

Table. 1에서 샘플 번호 L-2, 6, 10과 B-16, F-16, H-16과 B-17, F-17, I-17은 명도가 다르고 동일한 색상으로 구성된 패치이다. 명도가 낮아질수록 LUT 제작에 사용된 염료승화형 미디어를 스캐너 입력 타겟으로 사용한 경우에는 색차가 작게 나타났으며 미디어가 다른 경우에는 명도가 낮을수록 색차가 증가하는 경향이 나타났다.

이상과 같이 본 연구에서 색변환에 사용될 LUT를 제작하기 위해 염료승화형 디지털 교정기를 사용하여 1,331개의 패치를 출력하였으며, 이것을 바탕으로 스캐너 입력 타겟을 사진원고, 염료승화형 원고, 잉크젯 원고 3종류의 원고를 사용하여 색변환을 통해 원고와의 색차를 분석한 결과 동일한 미디어를 사용한 경우에는 명도와 색상에 관계없이 색변환이 우수하게 나타났다. 미디어가 다른 경우에는 동일한 미디어를 사용했을 때 보다 모든 색상에서 색차가 크게 나타났다. 그러나, 하이라이트 부분에서는 상대적으로 작은 색차가 나타나 비교적 정확한 색변환이 이루어지지만, 새도우부분 즉, 명도가 낮은 어두운 색상일수록 색변환이 부정확하여 색차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

IT8.7/2 타깃을 이용하여 각각 다른 방식으로 출력한 사진, 염료승화형 디지털 교정지 및 잉크젯 프린터의 3가지 원고에 대하여 3차원 보간법과 함께 LUT를 사용한 스캐너 캘리브레이션 연구를 통하여 LUT의 유용성을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 3가지 IT8.7/2 타깃 원고에 대하여 3차원 보간법과 함께 LUT 방식을 이용하여 색 변환 한 결과 사진원고에서는 120개, 염료승화형 디지털 교정지 원고에서는 46개, 컬러 잉크젯 프린터 원고에서는 51개의 패치가 LUT 색역을 벗어났으며, LUT와 동일한 원고를 입력 원고로 사용했을 때에는 R, G, B 색상과 채도우 영역 및 채도가 낮은 부분에서, 그리고, 다른 종류의 미디어를 사용했을 때에는 대부분의 색상과 명도, 채도 레벨에서 색역을 벗어난다는 것을 알 수 있었다.

(2) 원고의 종류에 관계없이 색역을 벗어나는 부분이 있지만 이 부분을 제외하고 색역에 포함되는 패치에 대해 색차를 비교한 결과 원고와 LUT를 동일한 미디어로 사용할 경우 다른 종류의 미디어를 사용하는 경우 보다 색차가 훨씬 감소한다는 것을 알 수 있었다.

(3) 동일한 종류의 원고를 사용한 경우 전체 명도 레벨에 대해 색차가 비교적 작게 나타났으며, 다른 종류의 원고를 사용한 경우에 하이라이트 부분은 색차가 작게 나타나는 반면, 미들톤과 채도우 부분에서는 상대적으로 색차가 크게 나타남을 알 수 있었다. 그리고, 동일한 색상에 대해서 명도 레벨에 따라 색차를 비교한 결과에서는 동일한 원고의 경우에는 색차가 큰 차이가 없었지만, 종류가 다른 원고의 경우 명도 레벨이 낮아질수록, 즉 어두운 색상일수록 부정확한 색변환이 이루어져서 색차가 증가함을 알 수 있었다.

(4) 이상의 결과로부터 3차원 4면체 보간법과 함께 LUT를 이용한 스캐너 캘리브레이션 방법을 통하여 색변환 한 결과 동일한 원고를 사용했을 경우에는 다른 종류의 원고에 비하여 비교적 정확한 색변환이 이루어짐을 알 수 있었고, 색역을 벗어나는 샘플에 의하여 색변환 상의 문제가 발생하므로 이 방법을 보완하기 위해서 색역사상 방법, 최대 색역을 가지는 원고를 사용하여 LUT를 제작한 후 적용하는 방법 및 외삽법을 사용하여 LUT의 색역을 확장하는 방법들에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) H. R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices", SPIE Optical

- Engineering Press, (1997).
- (2) H. R. Kang, "Color scanner calibration", IS&T, pp. 162~170 (1992).
 - (3) P. C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media", Proc. SPIE 1448, pp. 164~174 (1991).
 - (4) ICC Profile Format Specification Version 3.4, International Color Consortium, (1998).
 - (5) Murooka, "The color target for color input scanner calibration", Electronic Imaging, pp. 205~211 (1993).
 - (6) H. R. Kang, "Comparison of three-dimensional interpolation techniques by simulatons", Proc. SPIE 2414, pp. 104~114 (1995).
 - (7) K. J. Heuberger, Z. M. Jing, and S. Persiev, "Color transformation and Look-up tables", Proc. TAGA, vol 2, pp. 863~881 (1992).
 - (8) R. E. Groff, D. E. Koditschek, and P. P. Khargonekar, " Representation of Color Space Transformations for Effective Calibration and Control", IS&T NIP16, pp. 255~260 (2000).
 - (9) R. Balasubramanian, "Color Transformations for Printer Color Correction", IS&T and SID's 2nd Color Imaging Conference, pp. 62~65 (1994).
 - (10) P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look,-up table model and interpolations", Journal of Electronic Imaging, vol 2, No. 1, pp. 53~61 (1993).
 - (11) P. C. Hung, "A Smooth Colorimetric Calibration Technique Utilizing the Entire Color Gamut of CMYK Printers", Journal of Electronic Imaging, 3(4), pp. 415~424 (1994).
 - (12) K. Kanamori, H. Kotera, "Color Correction Technique for Hard Copies by 4-Neighbors Interpolation Method", IS&T, vol. 36, No.1, pp. 73~80 (1992).