

분할된 색공간에서 비선형 다중회귀 분석법을 이용한 스캐너 캘리브레이션에 관한 연구

김나나, 구철희*

부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 공과대학 화상정보공학부

(2001년 1월 20일 접수, 2001년 2월 27일 최종 수정본 접수)

A study on scanner calibration method using nonlinear regression analysis in sub-divided color space

*Na-Na Kim, Chul-Whoi Koo**

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

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

(Received 20 January 2001, in final form 27 February 2001)

Abstract

Most important step for the color matching in scanner is the color coordinate transformation from the scanner RGB space to device independent uniform color space. A variety of color calibration technologies have been developed for input device. Linear or nonlinear matrices have been conveniently applied to correct the color filter's mismatch with color matching function in scanners. The color matching accuracy is expected to be further improved when the nonlinear matrices are optimized into subdivided smaller color spaces than in single matrix of the entire color space.

This article proposed the scanner calibration method using subspace division regression analysis and it were compared with conventional method.

I. 서 론

최근 인쇄공정의 디지털화로 인해 각각의 장치에 대한 장치독립적 색 공간상에서의 컬러 매칭에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중에서도 프리프레스 인쇄 공정에서 원고의 입력시 입력장치로 많이 사용하고 있는 스캐너의 컬러매칭을 위한 캘리브레이션(calibration) 기술도 많이 발전되고 있다. 이상적으로, 스캐너의 RGB 신호는 입력되는 빛의 분광에너지와 선형변환이 되어야 한다는 Luther 조건¹⁾을 만족해야 한다. 그러나 실제 대부분의 스캐너들은 이 조건을 만족하지 않는다. 그 결과, 색 재현 품질에도 많은 영향을 준다. 따라서, 이러한 스캐너의 비선형 문제점을 해결하기 위하여 입력된 신호값에 대해서 적절한 색보정 과정을 거치게 되는데, 그 기본적인 방법은 장치 종속 색공간인 RGB 공간과 장치 독립의 색공간인 CIEXYZ 혹은 $L^*a^*b^*$ 색공간 사이의 관계를 이용하여 색변환을 하는 것이다. 현재 스캐너를 위한 측색적 색보정에 이용되고 있는 색변환 방식에는 다중회귀 분석법^{1),2),3)}, 보간과 함께 이용하는 LUT방법²⁾³⁾, 분광추정법에 의한 방법⁸⁾, 신경회로망을 이용한 방법¹²⁾ 등이 사용되고 있다.

그러나 이러한 많은 응용에도 불구하고, 종래의 다중회귀 분석법은 색변환 응용에 있어 한 개의 다중회귀 방정식을 이용함으로써 전체 색영역에 대하여 색변환 효율이 고르지 못하다는 단점을 가진다.

본 연구에서는 이러한 다중회귀 분석법의 단점을 보완하기 위하여 새로운 색변환 방식인 분할 색공간에 따른 비선형 다중회귀 분석법을 제안하고, 그 가능성 검토하였다. 제안된 색변환 방법은 전체 $L^*a^*b^*$ 색공간을 몇 개의 분할 색공간으로 나누고, 분할된 색공간마다 각각의 다중회귀 방정식을 찾아 컬러매칭 매트릭스를 구하여 색변환 하는 것이다. 즉, 기존의 다중회귀 분석법은 한 개의 다중회귀 방정식을 사용하지만 제안한 다중회귀 분석법은 분할된 공간에 따른 여러 개의 방정식을 사용함으로써 전체 색영역에서 뿐만 아니라, 부분적인 색영역에 있어서도 정확하게 스캐너의 색보정을 하고자 하였다.

II. 이 론

2-1. 장치 독립적 색변환에 의한 스캐너 보정

스캐너의 비선형성을 보정하기 위한 색변환 방식의 기본적인 원리는 스캐너의 색공간인 장치 종속적 색공간 RGB에서 표준색공간인 장치 독립적 색공간, CIEXYZ나 $L^*a^*b^*$ 공간으로의 색변환을 기초로 한다.⁶⁾⁷⁾ 따라서 스캔된 원고의 RGB 신호값은 장치독립적 색공간 사이의 상관관계를 분석한 변환 매트릭스를 통하여 표준색공간으로 색변환 후,

각각의 다른 출력장치에서 사용하는 색공간으로 변환 출력될 수 있다.

2-2. 다중회귀 방정식을 이용한 색변환 방식

2-2-1. $L^*a^*b^*$ 색공간에 있어서 비선형 다중회귀 분석법에 의한 색변환

RGB에서 $L^*a^*b^*$ 색공간으로의 색변환 방법 중 다른 방법은 1999년 Hadeberger¹³⁾가 제안한 3승근 방식이 있다.

3승근 방식이란 RGB의 비선형성을 보정하기 위하여 $L^*a^*b^*$ 로의 색변환시 RGB를 각각 1/3승 하여, RGB 신호값을 비선형으로 $L^*a^*b^*$ 색공간으로 직접 변환하는 방법이다. 이 방법은 삼자극치 XYZ는 빛 에너지에 비례하는 값이지만 $L^*a^*b^*$ 값으로 변환 될 때, 3승근으로 비선형 변환되므로 역으로 RGB값에 1/3승을 적용시켜 $L^*a^*b^*$ 와 RGB사이의 비선형성을 보정한 방식이다.

이 과정을 행렬식으로 표현하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} R^{1/3} \\ G^{1/3} \\ B^{1/3} \end{bmatrix} \times [M_3] = \begin{bmatrix} L^* \\ a^* \\ b^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

2-2-2. 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀 분석에 의한 색변환

다중회귀 분석의 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 전체 색공간에 대해 한 개의 다중회귀 방정식이 아닌, 색공간을 몇 개의 분할 공간으로 나누어 분할된 각 공간에 대해 각각의 방정식을 적용시켜 봄으로서 어두운 영역의 색상차와 전체의 색공간에 대한 균일한 정확성을 얻고자 하였다.

본 연구에서는 스캐너 캘리브레이션을 위한 표준 타겟인 IT8.7/2의 색공간을 기준으로 공간을 분할하였다.

실험에 사용한 'KODAK Q-60(IT8.7/2)' 컬러 입력 타겟¹⁴⁾은 $L^*a^*b^*$ 색 공간을 기준으로 만들어졌으며, 세로로는 12단계의 색상각과 각 색상각에 대해서 3단계의 명도로 나누어져 있고, 가로로는 색상각과 명도에 따라서 4단계의 채도로 구성되어 있다.

본 연구에서는 명도와 채도를 기준으로 명도는 4단계, 채도는 2단계로 분할하여 각각의 공간에서 8개의 색변환 매트릭스를 구하였다. 왜냐하면, 색공간의 분할 개수는 많을수록 좀더 정확한 색변환이 가능하지만 다중회귀 방정식의 필수조건인 샘플의 개수는 다항차수의 개수보다 많아야 한다는 조건을 만족해야 한다. 따라서, 본 연구에서 사용한 샘플의 개수는 총 228개이므로 최대의 다항 차수인 3×20 을 만족하기 위해서는 분할된 한 공간에 20개 이상의 샘플 개수가 존재해야 하므로, 최대 8개의 분할 공간으로 나눌 수 있다. 만약, 다항 차수보다 샘플의 개수가 적어지면 색변환 매트릭스를 만족할 수 없게 된다.

다. Fig. 1는 분할된 색공간의 평면도와 모형도이다.

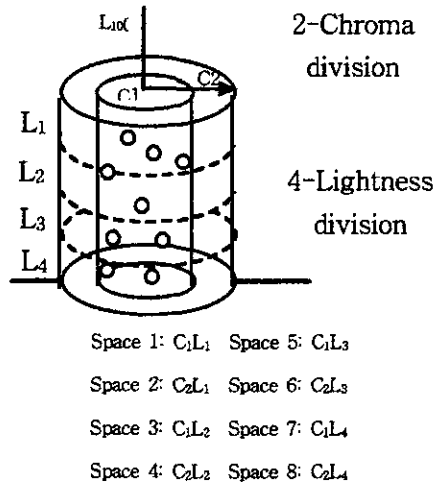


Fig. 1. The plane figure and schematic diagram of sub-divided color space(L^*, C^* division).

III. 실험

3-1. 실험 장치

3-1-1. 표준 입력 타겟

실험에 사용한 표준 입력 타겟은 스캐너 캘리브레이션용인 'KODAK Q60 (IT8.7/2) 컬러 입력 타겟'을 사용하였다. IT8.7/2 타겟은 기본적으로 24개의 그레이 부분, 색상각과 명도의 조합에 따른 4개의 채도 레벨 영역으로 이루어진 144개의 영역, 84개인 C, M, Y, K, R, G, B 영역 그리고 12개의 스킨 컬러 영역을 합쳐 총 264개의 패치로 구성되어 있다. 이와 같이 IT8.7/2타겟은 $L^*a^*b^*$ 색공간에서 시각적으로 명도와 채도 영역을 균등하게 구성하여 만들어진 타겟이다. 본 연구에서는 그레이 영역과 스킨 컬러 부분을 뺀 나머지 228개의 샘플만 사용하였다.

샘플 측정은 미놀타사의 'CM-2002' 분광 측색기(spectrophotometer)를 사용하여 2°시야에서 한 샘플의 $L^*a^*b^*$ 값을 세 번씩 측정, 그 평균값을 사용하였다.

스캐너는 'AGFA ARCUS II' 평판 스캐너를 사용하였으며, 샘플크기는 100×100 화소, 해상도는 600dpi로 스캔하였다.

3-2. 실험 방법

스캔된 각 샘플들은 각각의 스캐너 RGB 값과 측정된 $L^*a^*b^*$ 값 사이의 상관 관계를

다중회귀 분석법을 이용하여 색변환 하였다. 색변환 방법은 먼저, 선형변환인 RGB에서 XYZ로의 변환, 두 번째 RGB에서 $L^*a^*b^*$ 색공간으로의 색변환과 비선형을 보정한 3승근 방식을 이용한 RGB에서 $L^*a^*b^*$ 색공간으로의 색변환, 마지막으로 본 연구에서 제안한 분할된 공간에 있어서의 RGB에서 $L^*a^*b^*$ 색공간으로의 색변환에 의해 색변환 매트릭스를 구하고, 이 색변환 매트릭스를 통해 추정된 $L^*a^*b^*$ 값과 실측된 $L^*a^*b^*$ 값 사이의 ΔE^*_{ab} 를 구해봄으로서 그 효용성을 검토하여 보았다.

또, 본 연구에서는 선행작업으로, 색변환을 위하여 다중회귀 분석의 다항식의 차수에 따라 3×3 , 3×4 , 3×5 , 3×6 , 3×8 의 5가지의 1차 다항식과 3×9 , 3×11 의 2차 다항식, 3×14 , 3×20 의 3차 다항식을 비교, 검토하여 색차의 효용성이 가장 좋은 다항식 차수를 찾고, 그것을 기준으로 각 색공간에 따른 색변환 매트릭스를 구하였다. Fig. 2, Fig. 3에 각각의 색변환 매트릭스를 구하는 모형을 나타내었다.

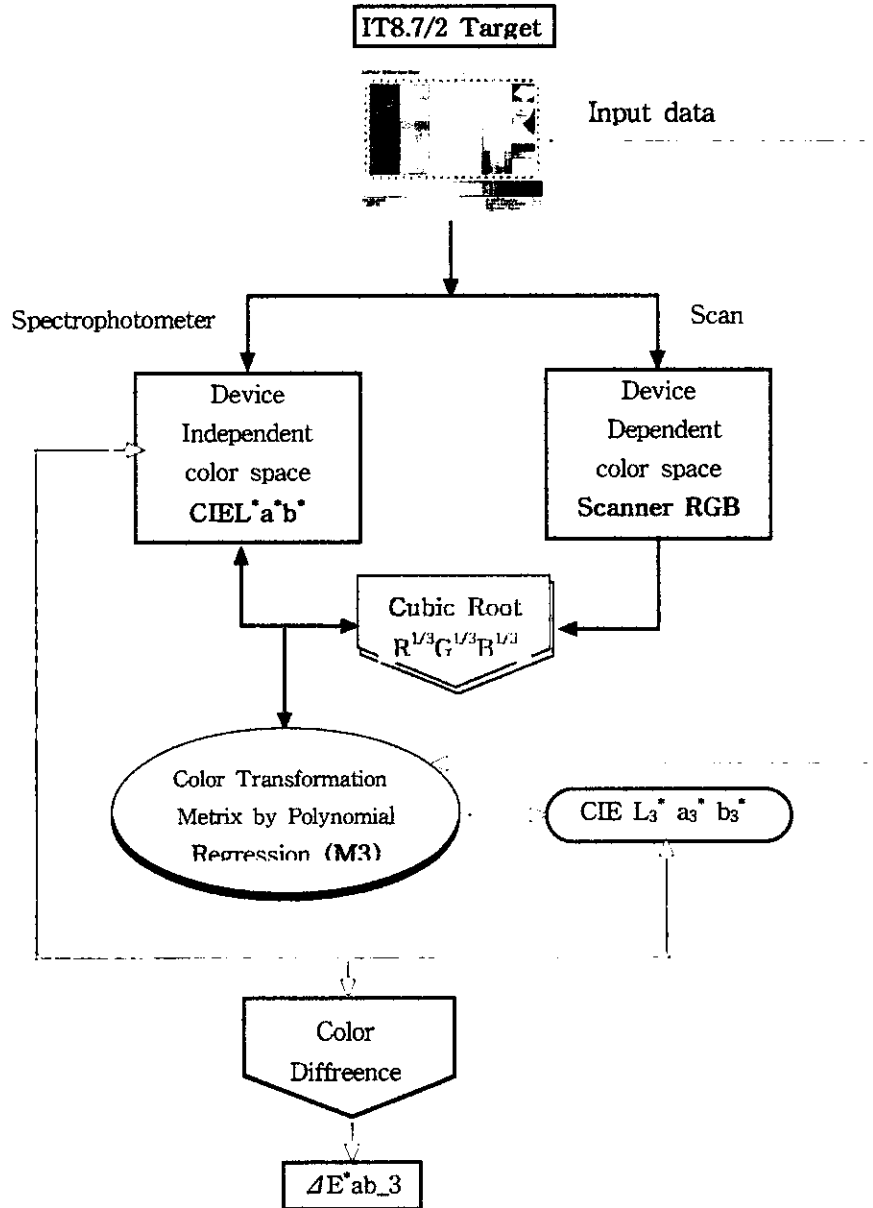


Fig. 2. Schematic diagram for color transformation by cubic root.

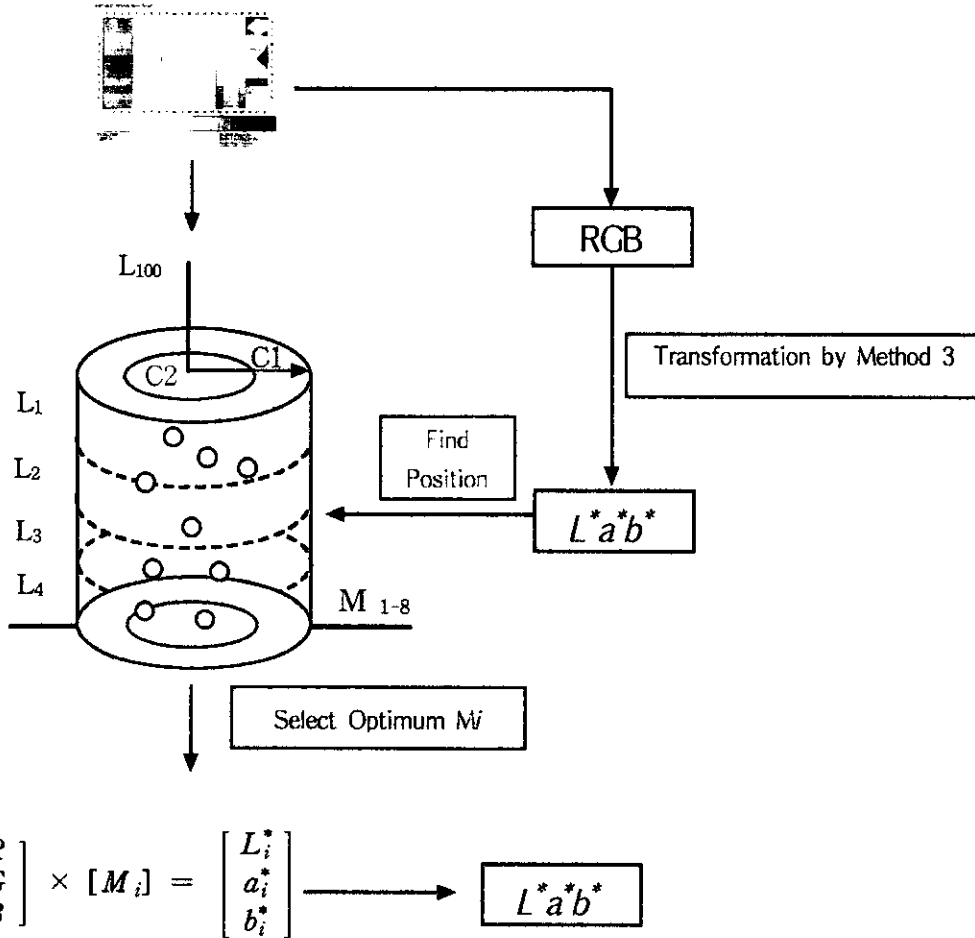


Fig. 3. Schematic diagram for color transformation by sub-divided color space.

IV. 결과 및 고찰

4-1. 비선형 다중회귀 분석에 의한 색변환 결과

비선형을 보정하는 방법은 다중회귀 분석을 실행하기 전에 신호값 RGB의 3승근(cubic root)을 구한 후, 다중회귀 분석을 통하여 회귀계수를 찾아 RGB에서 $L^*a^*b^*$ 로의 색변환을 시도한 것이다. Fig. 13에 그 결과를 나타내었다.

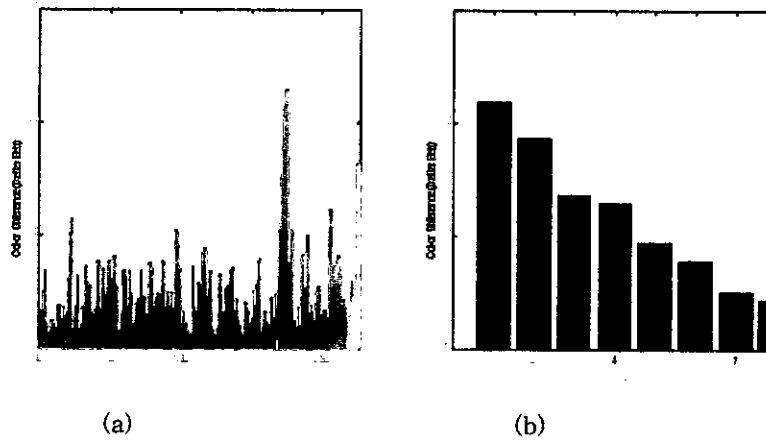


Fig. 4. Color difference for all test samples by Cubic root color transform results(a) and color difference histogram for increasing matrices size.(b)

Fig. 4은 비선형 다중회귀 분석법에 의한 색변환에서 실측한 $L^*a^*b^*$ 값과 계산된 L_3^* , a_3^* , b_3^* 값 사이의 각 샘플에 대한 색차 빈도 분포도와 히스토그램을 나타낸 것이다.

선형회귀 분석에서와 마찬가지로 회귀분석에 사용된 매트릭스의 크기가 증가함에 따라 실측값과 계산된 L_3^* , a_3^* , b_3^* 값 사이의 색차는 감소됨을 알 수 있으나, 평균색차가 1.08, 최대색차 5.15, 최소색차 0.102로서 선형 회귀분석 결과와 비교할 때 색차가 50% 정도로 상당히 감소함을 알 수 있었다.

Table 1은 각 매트릭스의 크기에 대하여 $L^*a^*b^*$ 색차와 ΔL , ΔC , ΔH 를 각 매트릭스에 따라 비교하여 나타낸 것이다.

Table 1에서 선형회귀 분석 결과와 비교할 때 비선형 다중회귀 분석방법을 사용하면, 채도와 색상의 차이를 상당히 감소시킬 수 있으며, 명도의 차이 또한 감소시킬 수 있다.

그러나, Fig. 5에서 보는바와 같이 각 샘플의 명도에 따른 색차를 비교해보면, 비선형 다중회귀 분석방법 또한 밝은 색의 경우 색변환이 우수 하지만 어두운 색의 경우 색 변환이 부정확하여 색차가 크게 나타남을 알 수 있다.

Table 1. Results for nonlinear multiple regression method using various size of transform matrix

Matrix 3	size	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{ab}	ΔL	ΔC	ΔH
		Mean	Max	Min			
1	3×3	12.1760	30.5183	1.5227	10.3040	2.8286	3.9824
2	3×4	4.2284	26.5791	0.3733	1.0529	2.3550	2.6350
3	3×6	3.7898	12.0527	0.2439	1.6715	1.7616	2.2953
4	3×8	3.2694	11.5226	0.2175	0.8783	1.7232	2.1940
5	3×9	2.2588	9.8071	0.0815	1.2153	0.9703	1.1794
6	3×11	1.6006	8.9173	0.1833	0.5260	0.8983	0.9456
7	3×14	1.3395	7.7488	0.1524	0.4750	0.7808	0.7404
8	3×20	1.0859	5.1477	0.1023	0.4569	0.6461	0.5398

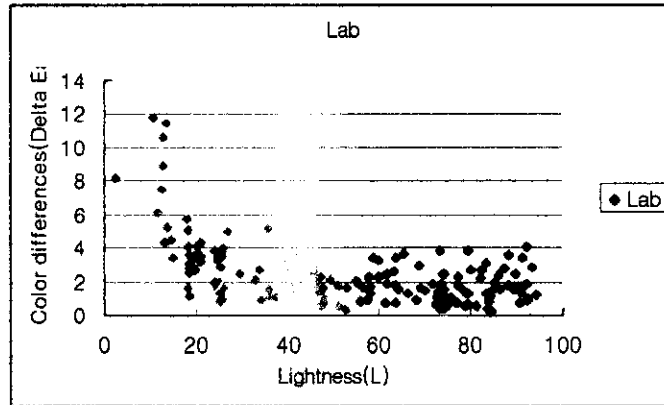


Fig. 5. The color difference correlated to lightness in cubic root transformation.

4-2. 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀 분석법에 의한 색변환 결과

$L^*a^*b^*$ 색공간상에서 명도와 채도를 기준으로 8개의 분할공간으로 나누어, 각각의 공간에 적용되는 8개의 색변환 매트릭스를 3승근 방법으로 비선형 다중회귀 분석을 한 결과이다.

먼저, 다른 방식과 마찬가지로, Fig. 6에 각 샘플의 색차빈도 분포도와 각 매트릭스에 대한 색차 히스토그램을 Table 2에 각 매트릭스의 $L^*a^*b^*$ 색차와 ΔL , ΔC , ΔH 를 비교하여 나타내었다.

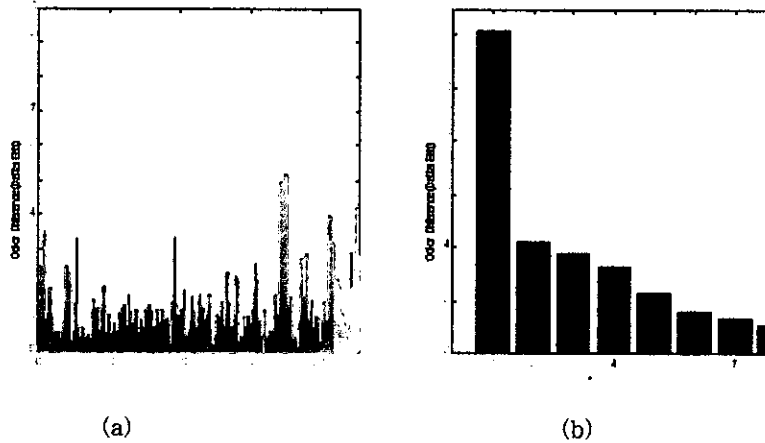


Fig. 6. Color difference for all test samples by subdivided color transform results(a) and color difference histogram for increasing matrices size.(b)

Table 2. Results for subdivided color space method using various size of transform matrix

Matrix	size	ΔE^*_{ab} Mean	ΔE^*_{ab} Max	ΔE^*_{ab} Min	ΔL	ΔC	ΔH
1	3×3	4.1738	14.4	0.4833	2.4578	1.7155	1.9646
2	3×4	2.6565	8.6861	0.1191	0.6353	1.5196	1.6855
3	3×6	1.8939	7.3245	0.1164	0.4150	1.0745	1.2283
4	3×8	1.6165	6.7917	0.0664	0.3659	0.9525	1.0024
5	3×9	0.7396	3.8138	0.0886	0.3157	0.4233	0.3639
6	3×11	0.6555	3.2977	0.0247	0.2724	0.3841	0.3237
7	3×14	0.5329	3.0480	0.0082	0.2280	0.3052	0.2665
8	3×20	0.2973	2.5595	0.0031	0.1384	0.1581	0.1447

Fig. 6와 Table 4에 나타나듯이 앞서 설명한 다른 다중회귀 분석에 비해 각 샘플의 색

차가 상당히 감소함을 알 수 있었고, 특히 평균색차가 0.2973 정도로서 색변환이 우수함을 알 수 있었다. 또한, 명도와 채도뿐만 아니라 색상의 차이도 많이 감소함을 알 수 있었다.

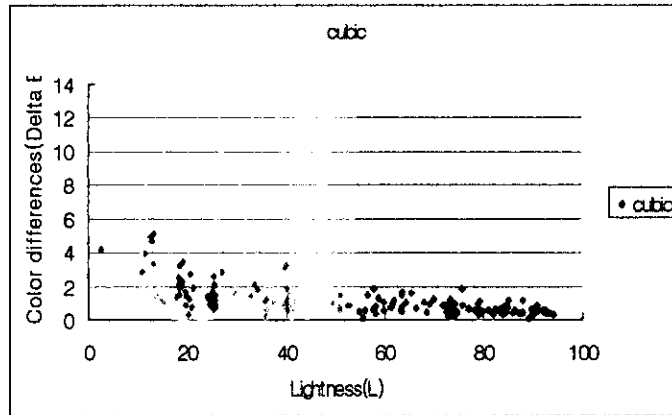


Fig. 7. Color difference correlated to lightness in sub-divided color space transformation

Fig. 6은 각 샘플의 명도(lightness)에 대한 색차를 나타낸 것으로, 다른 방식과 비교하여 전체적인 영역에 있어서 색차가 균일하게 감소함을 알 수 있으며, 특히 어두운 영역들의 색에 대해서 선형회귀 분석법 보다 약 80% 정도, 3승근 방법보다는 70% 정도로 상당히 개선되어졌음을 알 수 있었다. 따라서 분할된 색공간에 있어서의 비선형 다중회귀 분석법은 색변환시 다중회귀의 단점이었던 전체색상에 대한 균일하지 못한 색변환을 보정하고 보다 효율적인 색변환을 제공함을 알 수 있었다.

V. 결 론

분할된 색공간에서 비선형 다중회귀 분석법을 이용한 스캐너 캘리브레이션에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선형 다중회귀 분석법을 이용한 색변환 방법은 매트릭스가 증가할수록 색변환이 우수함을 알 수 있었고, 특히 3×20 매트릭스에서 평균색차 ΔE^*_{ab} 가 2.17로서 색차가 가장 적게 나타났다. 또한 전체 샘플의 명도에 따른 ΔE^*_{ab} 에서는 샘플 중에서 명도가 20이하

의 어두운 색들에서 색차가 12 정도로 크게 나타남을 알 수 있었다.

2. 비선형 다중회귀 분석법을 이용한 색변환 방법은 색차가 가장 적게 나타난 3×20 매트릭스에서 평균색차 ΔE^*_{ab} 가 1.08로서 선형다중회귀분석법보다는 색차가 많이 감소하여 나타남을 알 수 있었다. 또한 명도에 따른 ΔE^*_{ab} 에서는 명도가 20 이하의 어두운 색에서 색차가 6정도로 크게 나타남을 알 수 있었다.

3. 제안된 방식인 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀분석법을 이용한 색변환 방법은 3×20 매트릭스에서 평균색차 ΔE^*_{ab} 가 0.29로서 앞선 두 방식보다 색차가 두드러지게 감소함을 알 수 있었다. 또한 명도가 20 이하의 어두운 샘플에서도 색차가 2 이하로 감소하여 어두운 색상영역의 색차 또한 상당히 개선됨을 알 수 있었다.

이상의 결과로서, 제안된 분할된 색공간에서의 비선형 다중회귀 분석법은 종래의 하나의 방정식을 사용하는 다중회귀 분석법의 단점을 개선하므로써, 장치종속적 색공간에서 장치독립적인 색공간으로의 색변환에 의한 색보정 방법으로 유용함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Henry R. Kang, "Color scanner calibration", *J. Imag. Sci. Tech* pp162~170(1992)
- (2) Henry R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices", *Text Book*(1997)
- (3) P. C. Hung, "Colorimetric calibration for scanners and media", *Proc. SPIE 1448*, pp164~174(1991)
- (4) Jeng-nam Shiao and Leon C. Williams, "Semiautomatic Printer Calibration with Scanners", *IS&T*, pp211~219(1992)
- (5) J.A.S. Viggiano and C.J.Wang, "A novel method for colorimetric calibration of color digitizing scanner", *Proc. TAGA*, pp143~160(1993)
- (6) Murooka, "The color target for color input scanner calibration" *Electronic Imaging*, pp 205~211(1993)
- (7) J.D.Clippeeler, "Device independent color reproduction", *Proc. TAGA*, pp98~106(1993)
- (8) Hideaki Haneishi, Yoichi Miyake, "Colorimetric Precision in Scanner Calibration Using Matrices", *IS&T* pp106~108(1995)
- (9) Sharma G. Trussell HJ. "Set theoretic estimation in color scanner characterization", *J. Electronic Imaging* pp 479~489(1996)
- (10) Sharma G., "Target-less Scanner Color calibration", *IS&T*, pp 69~74 (1998)

- (11) Sabine Süssstrunk, "Standard RGB Color spaces" , *Color Science*, pp127~134(1999)
- (12) Hadeberger, "Colorimetric scanner characterization" , *Text book* (1999)
- (13) Kodak Q-60 Color Input Target - copyright, Eastman Kodak Company (1993)
- (14) R.W.G. HUNT, "Measuring Color" , *Text book* (1998)