

# 분할된 색공간에서 비선형 다중회귀분석법을 이용한 스캐너 캘리브레이션에 관한 연구

김나나\* · 구철희\*\*

\*부경대학교 대학원 인쇄공학과 \*\*부경대학교 화상정보공학부

## 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

\*\*School of Image Science and Technology, Pukyong National University

### 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.

### 1. 序 論

최근 인쇄공정의 디지털화로 각각의 장치에 대한 장치독립의 색 공간상에서의 컬러 매칭에 관한 연구가 활발해지고 있다. 그 중에서도 프리프레스(prepress) 인쇄 공정에서 원고의 입력을 위한 입력장치로 많이 사용하고 있는 스캐너의 컬러매칭을 위한 캘리브레이션(calibration) 기술도 많이 발전되고 있다. 일반적으로, 스캐너는 원고를 스캔할 때 광학적인 빛의 세기를 전기적인 세 가지 신호인 Red, Green, Blue로 구성된 디지털 신호로 변환한다. 이상적으로, 스캐너 RGB 신호 값은 입력되는 빛의 분광에너지와 선형변환이 되어야 한다

는 Luther 조건을 만족해야 한다. 그러나 실제 대부분의 스캐너들은 이 조건을 만족하지 않으며, 그 결과 색 재현 품질에도 많은 영향을 준다. 이러한 비선형의 문제점을 해결하기 위해서 스캐너는 적절한 색보정 과정을 거치게 되는데, 그 기본적인 방법은 장치 종속 색공간인 RGB 공간과 장치 독립 색공간인 CIEXYZ, 혹은 CIELab 색공간 사이의 관계성을 이용한 색변환 매트릭스를 통하여 색을 보정하는 것이다.

현재 스캐너를 위한 측색적 색보정에 이용되고 있는 색변환 방식에는 다중회귀분석법<sup>1),2),3)</sup>, 보간과 함께 이용하는 LUT<sup>2),3)</sup> 방법, 분광추정법에 의한 방법<sup>8)</sup>, 신경회로망을 이용한 방법<sup>12)</sup> 등이 사용되고 있다.

이러한 방법들 중 다중회귀분석법은 다른 방법에 비해 적은 샘플 수를 이용하여 빠르게 색변환을 할 수 있다는 점과 역변환이 간단하고 샘플점들이 균일하게 위치해 있을 필요가 없다는 등의 장점으로 많은 응용기술들이 제안되어지고 있다. 그러나 다중회귀분석법은 색변환 응용에 있어 몇 가지 단점을 가진다. 먼저, 한 개의 다중회귀방정식을 이용함에 있어 전체 색영역에 대한 색변환 효율이 고르지 못하다는 것이다. 특히 어두운 영역에서 사람의 시지각 색차인  $\Delta E_{ab}$ 가 크고, 사용되는 매트릭스의 차수가 증가할수록 색차는 감소하지만, 색변환 속도와 비용이 증대되며, 무조건적인 차수증가에 따라 색변환 효율이 증대되는 것이 아니기 때문이다.

이에 본 연구에서는 이러한 다중회귀분석법의 단점을 보완하기 위해서 새로운 색변환 방식인 분할 색공간에 따른 다중회귀분석법을 제안하고자 한다. 이 색변환 방법은 전체 Lab 색공간을 몇 개의 분할 색공간으로 나누고 분할된 공간에서의 각각의 다중회귀방정식을 이용한 컬러매칭매트릭스를 구하여, 지역적인 색변환을 유도하는 것이다. 즉, 기존의 다중회귀분석법은 한 개의 다중회귀방정식을 사용하지만 제안한 다중회귀분석법은 분할된 공간에 따른 여러 개의 방정식을 사용함으로써 전체 색영역에서 뿐만 아니라, 부분적인 색영역에 있어서도 정확한 스캐너 색보정을 하고자 하였다.

## 2. 實 驗

### 3-2. 실험 방법

스캔된 각 샘플들은 각각의 스캐너 RGB 값과 측정된 CIELab 값 사이의 상관 관계를 다중회귀 분석을 통하여, 다음 4 가지 방식- 먼저, 선형변환인 RGB에서 XYZ로의 변환, 두 번째 RGB에서 Lab 색공간으로의 색변환과 비선형을 보정한 Cubic root 방식을 이용한 RGB에서 Lab 색공간으로의 색변환, 마지막으로 본 연구에서 제안한 분할된 공간에 있어서의 RGB에서 Lab 색공간으로의 색변환에 의해 색변환 매트릭스를 구하고, 이 색변환 매트릭스를 통해 추정된 CIEL'a'b' 값과 실측된 CIELab 값 사이의  $\Delta E_{ab}^*$ 를 구해봄으로써 그 효용성을 검토하여 보았다.

또, 본 연구에서는 선행작업으로, 색변환을 위하여 다중회귀분석의 다항식의 차수에 따라 3

$3 \times 3$ ,  $3 \times 4$ ,  $3 \times 5$ ,  $3 \times 6$ ,  $3 \times 8$ 의 5가지의 1차 다항식과  $3 \times 9$ ,  $3 \times 11$ 의 2차 다항식,  $3 \times 14$ ,  $3 \times 20$ 의 3차 다항식을 비교, 검토하여 색차의 효용성이 가장 좋은 다항식 차수를 찾고, 그것을 기준으로 각 색공간에 따른 색변환 매트릭스를 구하였다.

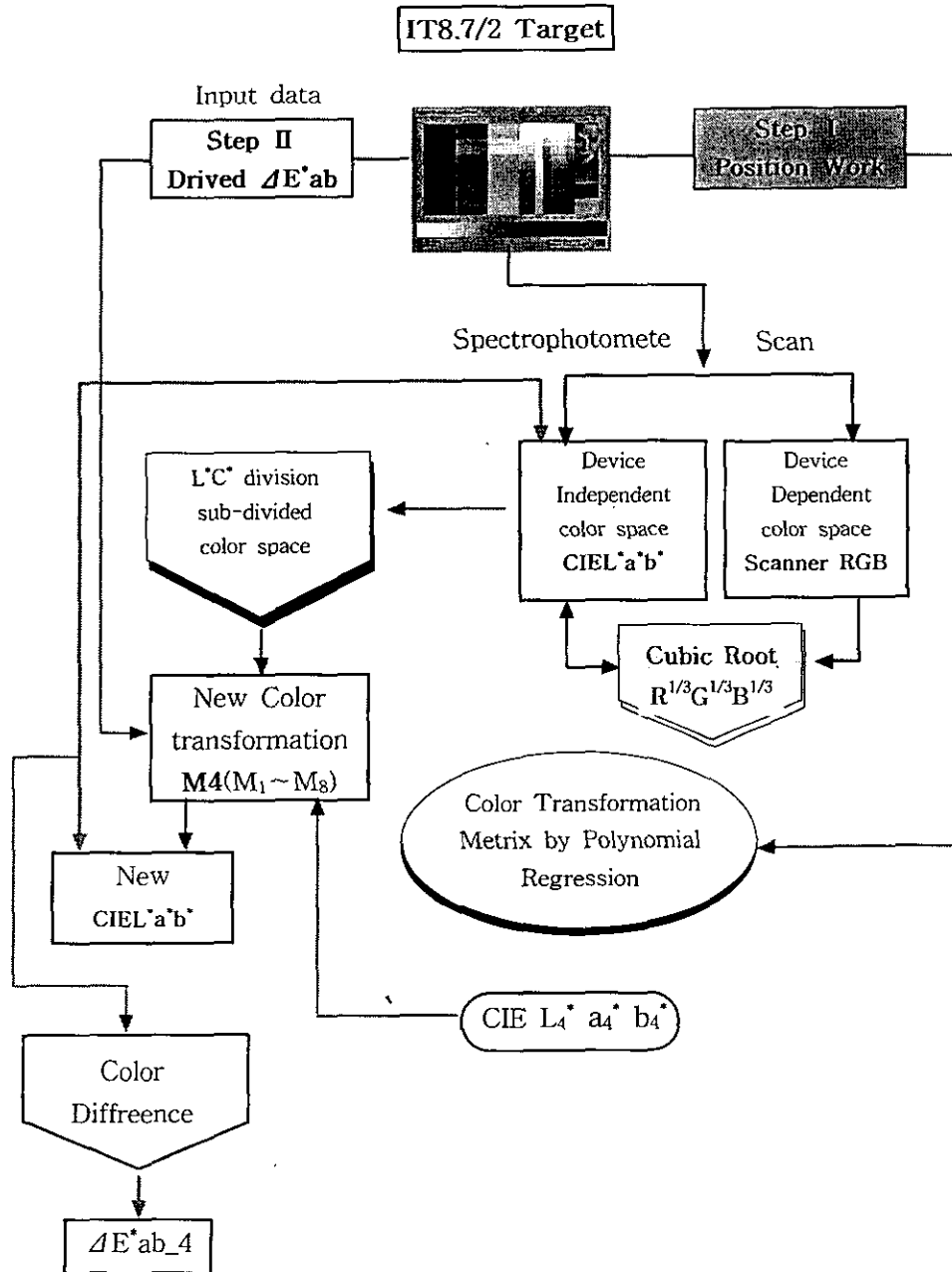


Fig. 10. Schematic diagram for color transformation by subdivided color space

### 3. 結果 및 考察

#### 4-1. 선형 다중 회귀분석법에 의한 결과

##### 4-1-1. $L^*a^*b^*$ 색공간에서의 색변환 결과

선형다중회귀분석법에 의해 스캐너 신호값인 RGB와 실측된  $L^*a^*b^*$  공간 사이의 상관 관계를 매트릭스로 구한 후, 이 매트릭스를 이용하여 계산된  $L_2^*, a_2^*, b_2^*$  실측된  $L^*a^*b^*$  와 사이의 색차를 비교한 결과이다.

여기서 매트릭스 크기는 각각  $3 \times 3, 3 \times 4, 3 \times 6, 3 \times 8, 3 \times 9, 3 \times 11, 3 \times 14, 3 \times 20$  의 8개를 사용하여 비교 검토하였다. Fig. 11은 선형 다중회귀분석법에 의한 각 샘플에 대한 색차 빈도 분포도와 히스토그램을 나타낸 것이다.

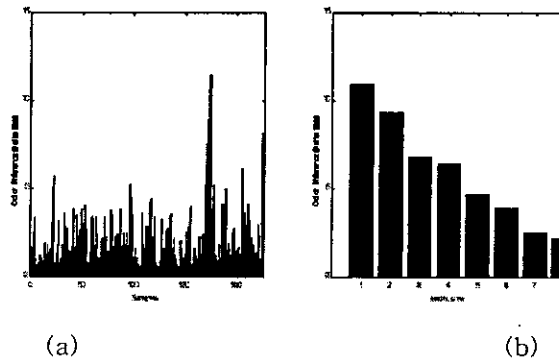


Fig. 11. (a) Color difference for all test samples by RGB to Lab color transform results and (b) color difference histogram for increasing matrices size

그래프에서 나타난 것처럼 매트릭스 크기가 증가할수록 색차가 감소함을 알 수 있으며, Table 2에 각 매트릭스의 크기에 대하여  $L^*a^*b^*$  색차와  $L^*C^*H^*$  색차를 비교한 결과를 나타내었다.

Table 2. Results for linear multiple regression method using various size of transform matrix

Matrix 2	size	$\Delta E^*_{ab}$ Mean	$\Delta E^*_{ab}$ Max	$\Delta E^*_{ab}$ Min	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
1	$3 \times 3$	10.9263	36.8252	1.0309	4.4598	7.7566	3.8961
2	$3 \times 4$	9.3712	41.6928	0.7753	2.8367	7.3484	3.2015
3	$3 \times 6$	6.7870	26.4325	0.6182	1.2013	4.7092	3.5496
4	$3 \times 8$	6.4744	27.4443	0.1623	0.9736	4.5896	3.3815
5	$3 \times 9$	4.7647	23.0261	0.3887	1.0875	3.2514	2.5790
6	$3 \times 11$	3.9094	24.6673	0.1856	0.7703	2.8850	1.9058
7	$3 \times 14$	2.5442	15.5817	0.1059	0.6190	1.6945	1.3660
8	$3 \times 20$	2.1792	11.8095	0.2412	0.5722	1.4720	1.1033

Table 2.에서 보이는 바와 같이 차수가 증가함에 따라 색변환 과정에서 전체적인 평균색차, 최대색차, 최소색차가 감소함을 알 수 있으며, 전체 색차에 영향을 주는 요인으로서 chroma의 영향이 가장 크게 나타났다. 그러나 다음의 Fig. 12에서 나타난 샘플의 Lightness에 따른 색차의 차이를 보면,  $L^*$ 값이 40 이상이 되는 밝은 색상의 색들은 실제 측정값과 회귀분석으로 계산된 값 사이의 색차가 적은 반면, 어두운 색상에서는 색차가 크게 나타남을 알 수 있다.

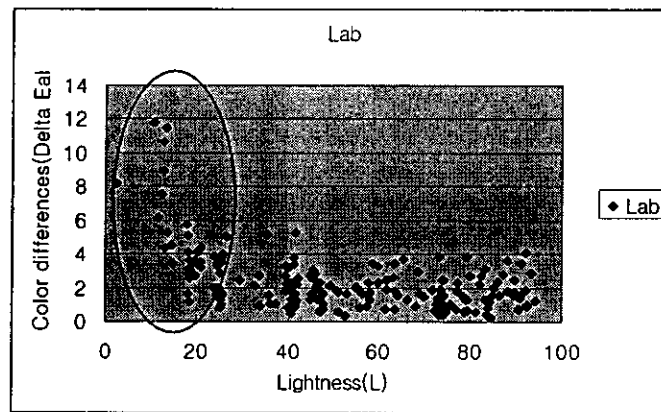


Fig. 12. The color difference correlated to lightness in RGB to Lab Color transformation

#### 4-2. 비선형 다중회귀분석(Cubic Root)에 의한 색변환 결과

비선형을 보정하는 방법은 다중회귀분석을 실행하기 전에 신호값 RGB에 1/3승(cubic root)을 적용시킨 후, 다중회귀분석을 통하여 회귀계수를 찾아 RGB에서  $L^*a^*b^*$ 로의 색변환을 시도한 것이다. Fig. 13에 그 결과를 나타내었다.

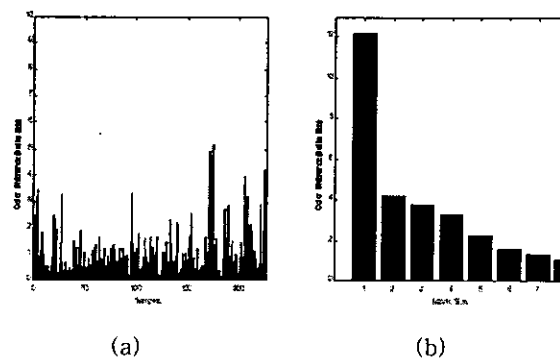


Fig. 13 . (a) Color difference for all test samples by Cubic root color transform results and (b) color difference histogram for increasing matrices size

Fig. 13은 비선형 다중회귀분석법에 의한 색변환에서 실측한  $L^*a^*b^*$ 값과 계산된 Lab값 사이의 각 샘플에 대한 색차 빈도 분포도와 히스토그램을 나타낸 것이다.

선형회귀분석에서와 마찬가지로 회귀분석에 사용된 매트릭스의 크기가 증가함에 따라 실측값과 계산된  $L^*a^*b^*$  값 사이의 색차는 감소됨을 알 수 있으나, 평균색차가 1.085  $\Delta E_{ab}$ , 최대색차 5.1477  $\Delta E_{ab}$ , 최소색차 0.1023  $\Delta E_{ab}$ 로서 선형 회귀분석결과와 비교할 때 색차가 1/2 정도로 상당히 감소함을 알 수 있었다.

Table 3은 각 매트릭스의 크기에 대하여  $L^*a^*b^*$ 색차와  $L^*C^*H^*$  색차를 비교한 결과를 나타낸 것이다.

Table. 3 Results for nonlinear multiple regression method using various size of transform matrix

Matrix 3	size	$\Delta E^*_{ab}$ Mean	$\Delta E^*_{ab}$ Max	$\Delta E^*_{ab}$ Min	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
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

Table 3에서 선형회귀분석 결과와 비교할 때 비선형 다중회귀분석 방법을 사용하면, chroma와 hue의 차이를 상당히 감소시킬 수 있으며, lightness의 차이 또한 감소시킬 수 있다.

그러나, Fig. 14에서 보는바와 같이 각 샘플의 lightness에 따른 색차를 비교해보면, 비선형 다중회귀분석 방법 또한 밝은 색의 경우 색변환이 우수 하지만 어두운 색의 경우 색 변환이 부정확하여 색차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

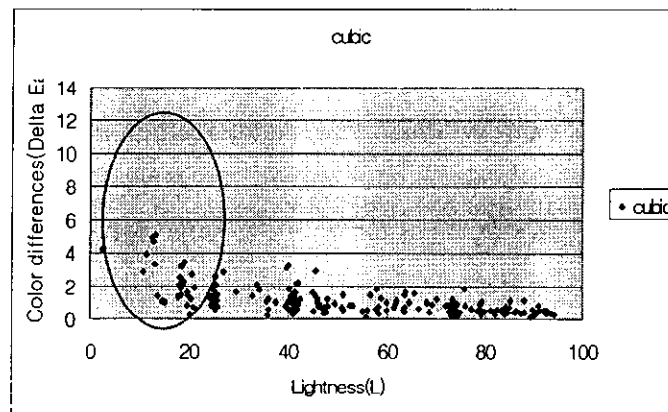


Fig. 14. The color difference correlated to lightness in cubic root transformation

4-3. 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀분석법에 의한 색변환 결과

L\*a\*b\* 색공간상에서 L\*, C\*를 기준으로 8개의 분할공간으로 나누어, 각각의 공간에 적용되는 8개의 색변환 매트릭스를 비선형 다중회귀분석을 한 결과이다. 먼저, 다른 방식과 마찬가지로, Fig. 15에 각 샘플의 색차빈도 분포도와 각 매트릭스에 대한 색차 히스토그램을, Table 4에 각 매트릭스의 L\*a\*b\* 색차와 L\*C\*H\* 색차와의 비교 내용을 나타내었다.

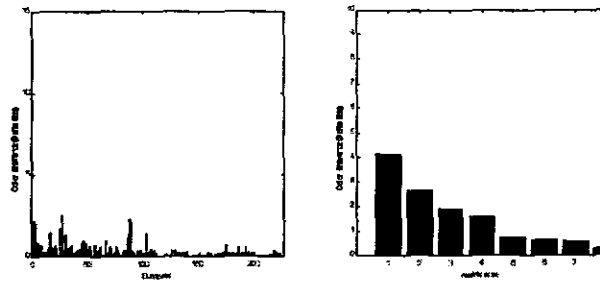


Fig. 15. (a) Color difference for all test samples by subdivided color transform results and (b) color difference histogram for increasing matrices size

Table 4. Results for subdivided color space method using various size of transform matrix

Matrix	size	$\Delta E^*_{ab}$ Mean	$\Delta E^*_{ab}$ Max	$\Delta E^*_{ab}$ Min	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
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. 15와 Table 4에 나타나듯이 앞서 설명한 다른 다중회귀분석에 비해 각 샘플의 색차가 상당히 감소함을 알 수 있고, 특히 평균색차가 0.2973 정도로서 색변환이 우수함을 알 수 있다. 또한, lightness와 chroma 뿐만 아니라, hue의 차이도 많이 감소함을 알 수 있다.

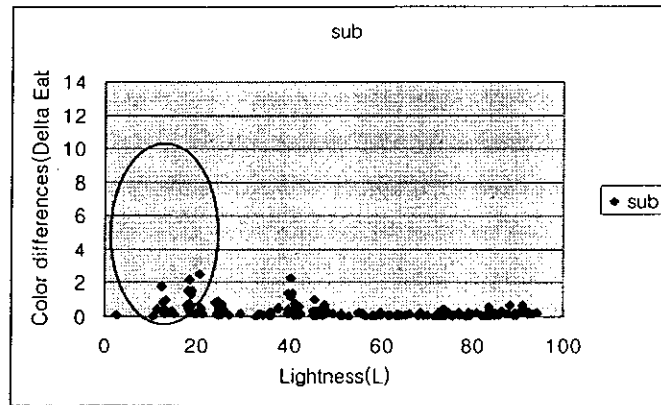


Fig. 16. color difference correlated to lightness in subdivided color space transformation

Fig. 16은 각 샘플의 lightness에 대한 색차를 나타낸 것으로, 다른 방식과 비교하여 전체적인 영역에 있어서 색차가 균일하게 감소함을 알 수 있으며, 특히 어두운 영역들의 색에 대해서도 상당히 개선되어졌음을 보여주고 있다. 따라서 분할된 색공간에 있어서의 비선형 다중회귀분석법은 색변환시 다중회귀의 단점이었던 전체에 대한 균일하지 못한 색변환을 보정하고 보다 효율적인 색변환을 제공할 수 있다.

## 5. 結 論

분할된 색공간에서 비선형 다중회귀 분석법을 이용하여 스캐너의 측색적 켈리브레이션을 위한 색변환 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 선형 다중회귀분석법을 이용한 스캐너 켈리브레이션을 위한 색변환 매트릭스를 구한 결과  $3 \times 20$  매트릭스에서 색차가 가장 적게 나타났으며, 평균색차  $\Delta E^*_{ab}$ 는 2.1792,  $\Delta L^*$  0.5722로 나타났다.
- (2) 비선형 다중회귀분석법을 이용한 스캐너 켈리브레이션을 위한 색변환 매트릭스를 구한 결과, 색차가 가장 적게 나타난  $3 \times 20$  매트릭스의 평균색차  $\Delta E^*_{ab}$ 는 1.0859,  $\Delta L^*$  0.4569로서 선형 다중회귀분석법보다는 색차가 많이 감소함을 알 수 있었다.
- (3) 제안된 방식인 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀분석법을 이용하여 스캐너 켈리브레이션을 위한 색변환 매트릭스를 구한 결과,  $3 \times 20$  매트릭스에서 평균색차  $\Delta E^*_{ab}$ 는 0.2973,  $\Delta L^*$  0.1384로 다른 색변환 방식보다 색차가 두드러지게 감소하였고, 특히 Lightness에 따른 전체 색차 비교 그래프 Fig. 12, Fig. 14, Fig. 16에서 보여지듯이 어두운 영역에서의 색차 또한 상당히 개선됨을 알 수 있었다.



이상의 결과로 스캐너의 신호값에 대한 분할된 색공간상에서의 비선형 다중회귀분석법은 선형다중회귀분석법의 단점인 장치종속적 색공간에서 장치독립적인 색공간상으로의 색변환 시 일어나는 큰 색차 에러를 감소시키고 한 개의 방정식을 이용하는 종래의 다중회귀분석법이 갖는 어두운 영역에서 나타나는 큰 색차 또한 상당히 감소시킴으로서, 장치 종속적인 색공간에서 장치 독립적인 색공간으로의 색변환 방식에 큰 효용성이 있다고 사료된다.

## 參考文獻

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 Shiau 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. Trussell "Digital Color Imaging" *Imaging Processing* pp 901\_932(1997)
11. Sharma G. "Target-less Scanner Color calibration" , *IS&T* pp 69\_74 (1998)
12. Sabine Süssstrunk "Standard RGB Color spaces" *Color Science*, pp127\_134(1999)
13. Hadeberger "Colorimetric scanner characterisation" *Text book* (1999)