

잉크젯 프린터에 의한 디지털 이미지의 바람직한 피부 색재현

徐 奉 雨* · 李 永 鎬*** · 崔 煥 堰** · 安 錫 出*

*釜慶大學校 印刷工學科

** 東釜山專門大學 電子計算學科

*** 서울技能大學, 印刷技術學科

(1996년 12월 30일 받음, 1997년 3월 31일 최종 수정본 받음)

Preferred Skin Color Reproduction of Digital Image by Ink-jet Printer

Bong Woo Seo · Young Ho Lee*** · Hwan Eon Choi** · Suk Chul Ahn**

*Dept. of Graphic Arts Eng., Pukyong National University

**Dept. of Computer Science, Dong-Pusan College

*** Dept. of Graphic Arts Tech., Seoul Polytechnic College

(Received 30 December 1996, in final form 31 March 1997)

Abstract

In this paper, we describe the Color Correction and Preferred Skin Color Reproduction in a ink-jet color printer. The fundamental color correction that converts RGB densities into CMY densities has been ordinarily used. This method can reduce the hue error, but color difference between the preferred skin colors and hardcopy skin colors are large.

We have been able to reduce color differences between original skin color and hardcopy skin color by transforming hardcopy skin colors' coordinates into Preferred Skin Colors' coordinates. Experimental results show that the described method is useful and valid for the skin color reproduction in a digital color printer.

I. 서 론

최근 컴퓨터 화상처리 시스템, 비디오, 디지털 카메라 등의 발전에 의해 칼라 이미지를 취급할 기회가 많아 졌으며, 하드 카피 기술의 발달로 인하여 DTP 시스템을 이용하여 각종 입력 장치를 통해 읽어 들인 이미지를 사진과 같은 연속 계조를 가지는 자연의 색을 재현할 수 있는 색재현 시스템이 상용화되어 있다.

하드 카피의 색재현 기술에는 노우젠 바우어의 색망점 모델과 사진적인 색농도 모델이 있으며,^{1),2)} 마스크 방정식은 하드웨어화되어 스캐너에 장착되어 인쇄 분야의 색수정에 이용되고 있다. 그리고, 1980년대부터 디지털 프린터에 마스크 이론이 이용되기 시작하였고, 재판 기술의 디지털화에 따른 이미지 처리 기술 분야에 마스크 이론이 더욱 필요하게 되었다.³⁾

디지털 프린터의 색재현에 관해서 H. Kotera는 고속 색변환을 위한 프리즘 보간 방식을 제안하였고, Y. Miyake 등은 측색적 색재현을 위한 망점화 방법과 멀티 미디어간의 색재현에 관해서 보고한 바 있으며,^{4),5),6)} J.H. Kim은 디지털 프린터의 잡음 제거를 위한 새로운 오차 확산 계수를 결정하였으며, Y.H. Ha 등은 색재현을 위한 새로운 양자화 방법을 발표하였다.^{7),8)} 그리고, S.C. Ahn 등은 잉크젯 프린트의 출력 특성을 이용한 색수정과 충실한 피부색 재현에 관한 색수정 방법을 보고한 바 있다.^{9),10)}

디지털 색재현에 관한 실용화와 충실한 색재현을 위한 연구가 진행되고 있으나, 국내의 경우는 디지털 색재현을 위한 망점화 또는 양자화에 관한 연구 보고서는 있으나, 출력 특성을 이용한 색재현에 관해서는 거의 보고되지 않은 상태이다.

본 논문에서는 디지털 프린터에 의한 색재현에 있어서 잉크 특성을 고려한 충실한 색재현을 위한 색수정 모델과 바람직한 피부색 재현의 한 방법을 제시하고, 실험을 통해서 제시한 방법의 유용성과 타당성을 확인하였다.

II. 이 론

2.1. 색재현

2.1.1 색재현의 목표와 분류

Hunt²⁾는 색재현의 목표를 통합적으로 고찰하고, Table 1과 같이 6개의 종류로 분류하고 있다. 여기서 $E_1(\lambda)$, $E_2(\lambda)$ 는 촬영할 때의 빛과 관찰할 때의 빛에 대한 각각의 분광 분포

이고, L_1, L_2 는 그 때의 휘도를 나타내며, (X_1, Y_1, Z_1) 와 (X_2, Y_2, Z_2) 는 피사체의 색과 재현색의 3자극치를 나타낸다. 그리고, $\rho(\lambda)$ 는 피사체의 분광 분포이고, $\tau(\lambda)$ 는 재현색의 분광 분포를 나타내며, (X_p, Y_p, Z_p, L_p) 는 바람직한 색(preferred color)을 나타낸다.

Table 1 Objectives in color reproduction

Category	Condition	Target
Spectral color reproduction	—	$\rho(\lambda) = \tau(\lambda)$
Colorimetric color reproduction	$E_1(\lambda) = E_2(\lambda)$	$(X_2, Y_2, Z_2) = (X_1, Y_1, Z_1)$
Exact color reproduction	$E_1(\lambda) = E_2(\lambda)$	$(X_2, Y_2, Z_2, L_2) = (X_1, Y_1, Z_1, L_1)$
Equivalent color reproduction	$P_1 \neq P_2, L_1 \approx L_2$	$(X_2, Y_2, Z_2, L_2) \sim (X_1, Y_1, Z_1, L_1)$
Corresponding color reproduction	$P_1 \neq P_2, L_1 \neq L_2$	$(X_2, Y_2, Z_2, L_2) \sim (X_1, Y_1, Z_1, L_2)$
Preferred color reproduction	—	$(X_2, Y_2, Z_2, L_2) = (X_p, Y_p, Z_p, L_p)$

2.1.2 측색적 색재현

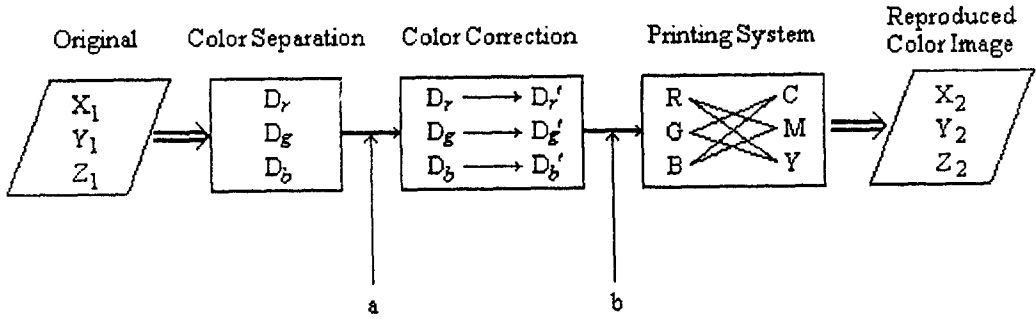
우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 색재현 시스템 중에서 TV, 사진, 인쇄, 그리고 프린트 등의 실용적인 색재현 시스템은 기본적으로 측색적 색재현을 목표로 설계되어 있다. 측색적 색재현은 촬영 시의 빛 $E_1(\lambda)$ 과 관찰 시의 빛 $E_2(\lambda)$ 가 같을 때, 피사체와 재현색의 3자극치가 같게 되도록 재현하는 것이다. 단, 관찰 광원의 휘도가 촬영 광원의 휘도와 달라도 된다. 일반적으로 3자극치의 Y 값은 이미지의 여백 부를 기준으로 하여 규격화 ($Y=100$)되어 있으므로 피사체와 재현색의 Y 값은 백색 기준에 대해서 상대적으로 일치시킨다.

2.2 색수정 시스템의 구성

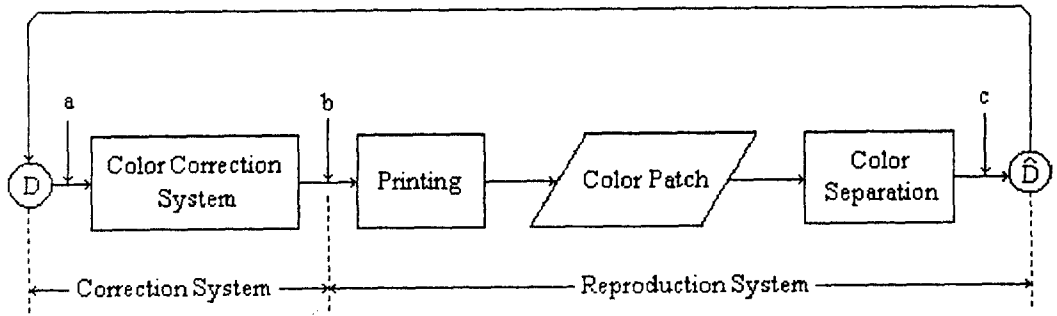
2.2.1 이상적인 색수정 모델

피사체에 대해서 재현색이 측색적으로 충실한 색재현이 되기 위한 시스템은 Fig. 1 과 같이 모델화 할 수 있다. 이 시스템의 목표는 피사체의 3자극치와 재현색의 3자극치가 같은 관찰 조명에서 식 (1)로 되는 등색 조건을 만족하는 것이며, 색수정 시스템은 이 조건을 근사적으로 성립시키기 위한 것이다.

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X_2 \\ Y_1 &= Y_2 \\ Z_1 &= Z_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



(a) Color reproduction system



(b) An ideal system of the loop model

Fig. 1 An ideal loop model of Color Reproduction

2.2.2 기본 마스크

색재현에 이용되고 있는 C(Cyan), M(Magenta), 그리고 Y(Yellow)의 3색 잉크는 인쇄 용지에서 반사되는 3원색 빛을 조절하지만, 독립적이지는 못하다. Fig. 1의 (b)와 같이 이상적인 시스템으로 생각하여, 원고를 3원색의 R(Red), G(Green), B(Blue)의 농도 분포로 고려하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 D_r &= c_r C + m_r M + y_r Y \\
 D_g &= c_g C + m_g M + y_g Y \\
 D_b &= c_b C + m_b M + y_b Y
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서, C, M, Y는 각 필터의 주농도를 나타내며, c_r, c_g, c_b 는 C잉크 부에서 반사된

빛을 C잉크의 보색 필터로 측정된 농도에 대한 R,G,B필터로 측정된 농도의 비를 나타낸다. 식 (2)에서 잉크의 특성을 고려하여 C, M, Y에 대해서 기술하면 식 (3)과 같고, 이 식을 1차 색수정 또는 기본 색수정이라 한다.

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = [a_{ij}] \begin{bmatrix} D_r \\ D_g \\ D_b \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2.3 색상별 마스크

색공간 전역에 걸쳐서 1개의 선형 계수를 적용하면 원고의 색과 재현된 색과의 오차가 크게 줄어들지 않는다. Fig. 2는 독립적인 제어를 위해 분할한 7색상을 나타내며, 각 영역마다 다른 계수를 적용하는 방법을 2단 마스크이라고 한다.

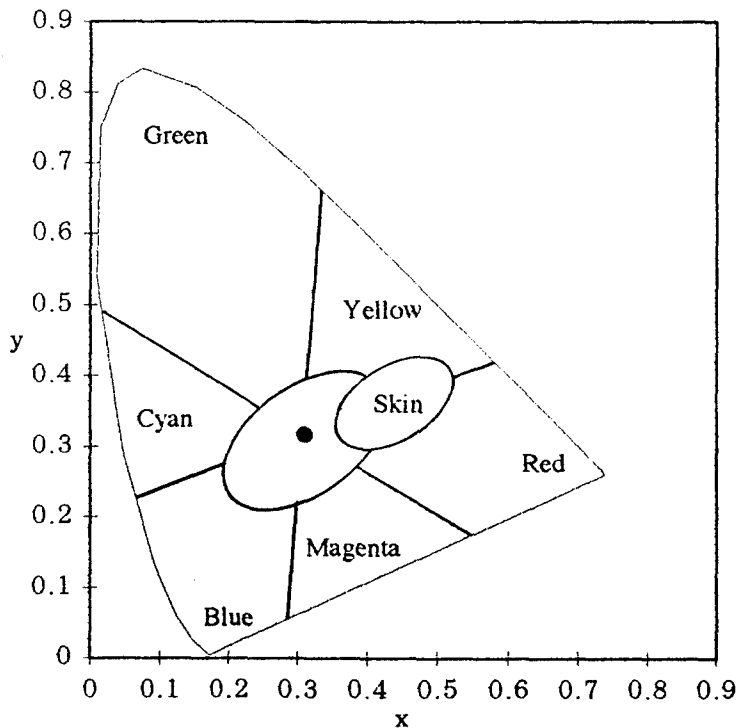


Fig. 2 Hue division masking

분리되어진 R, G, B, C, M, Y 의 6색상에 피부색 영역을 추가하여 3×7 의 보정 계수 행렬을 작용시키면 식 (5)와 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} C' \\ M' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(B) \\ f(C) \\ f(G) \\ f(Y) \\ f(R) \\ f(M) \\ f(Skin) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ⅲ. 실험

3.1 실험방법

컴퓨터의 출력기로 많이 이용하고 있는 잉크젯 프린터를 대상의 측색적 색재현 시스템으로 하고, 인쇄 분야의 칼라 스캐너에 이용되고 있는 식 (3)의 1차 색수정 모델을 사용하여 잉크 특성에 따른 기본 색수정과 바람직한 피부색 재현을 위한 식 (5)의 색상분할 마스크 방정식을 이용하였다.

색재현 시스템은 Fig. 1의 (b)와 같은 이상적인 시스템으로 가정하고, 실험용 색표를 출력하였다. Table 2는 실험용 색표를 작성한 디지털 값이다.

Table 2 Color patch

Digital Value	Colors					
	Red	Green	Blue	Yellow	Magenta	Cyan
Red	255	0	0	255	255	0
Green	0	255	0	255	0	255
Blue	0	0	255	0	255	255

3.1.1 기본 색수정 시스템 구성과 처리 과정

대상으로한 측색적 시스템에서 색수정 모델의 유용성과 타당성을 실험을 통해서 확인하기 위하여 실험용 시스템은 C언어로 구성하였고, 식 (3)의 $[a_{ij}]$ 는 Table 2의 색표를 DM-400형의 반사농도계로 농도를 측정 한 후, 다음과 같은 단계로 실험하였다.

Step 1

Determination of the color correction's coefficients [a_{ij}]

Step 2

Reading the digital color data form 0 to 255 : $R_{8bit}, G_{8bit}, B_{8bit}$

Step 3

Transforming the digital data into the density : D_r, D_g, D_b

Step 4

Computation the color corrected principle density : Y, M, C

Step 5

Transforming the principle data Y, M, C into the new digital color data.

Step 6

Print out the new digital color data by RGB mode.

Step 7

Confirmation the described method by checking the original image and reproduced image.

3.1.2 색상 마스크 시스템 구성과 처리 과정

선형 마스크에서 색공간 전역에 걸쳐서 1개의 계수를 적용하면 색재현 오차가 크게 줄어지지 않으며, 특히 피부색의 제어는 매우 어렵다. 식 (5)의 7색상 중에서 피부색에 대해 색상을 분할하여 C언어로 구성한 시스템으로 다음과 같은 단계로 실험하였다.

Step 1

Decision the area of the preferred skin color. : X_p, Y_p, Z_p

Step 2

Separation the face pattern from test image. : $R_{skin}, G_{skin}, B_{skin}$

Step 3

Transformation the face pattern's data to 3 stimulus. : $X_{skin}, Y_{skin}, Z_{skin}$

Step 4

Transformation the face pattern's color to the preferred skin color.

Step 5

Print out the transformed test image.

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 기본 색수정의 계수

잉크 특성의 불완전 흡수를 보완하는 기본색수정 방정식의 계수 $[a_{ij}]$ 를 구하기 위하여 잉크의 3원색인 C, Y, M 에 대한 색표를 사용하는 칼라 프린터로 출력한 후, 반사농도계로 각색 필터로서 농도를 측정해 값을 Table 3과 같다.

Table 3 Optimized Density of Epson Stylus Color Ink

filter \ ink	Cyan	Magenta	Yellow
Red	1.00	0.08	0.08
Green	0.38	1.00	0.18
Blue	0.14	0.27	1.00

여기서 c_r 은 C 잉크를 R 필터로 측정한 농도값을 1.0에 정규화 하였으며, c_g 는 0.38, 그리고 c_b 는 0.14이다. 이들 값을 이용하여 $[a_{ij}]$ 의 계수를 구할 수 있다.

3.2.2 기본 색수정의 검토

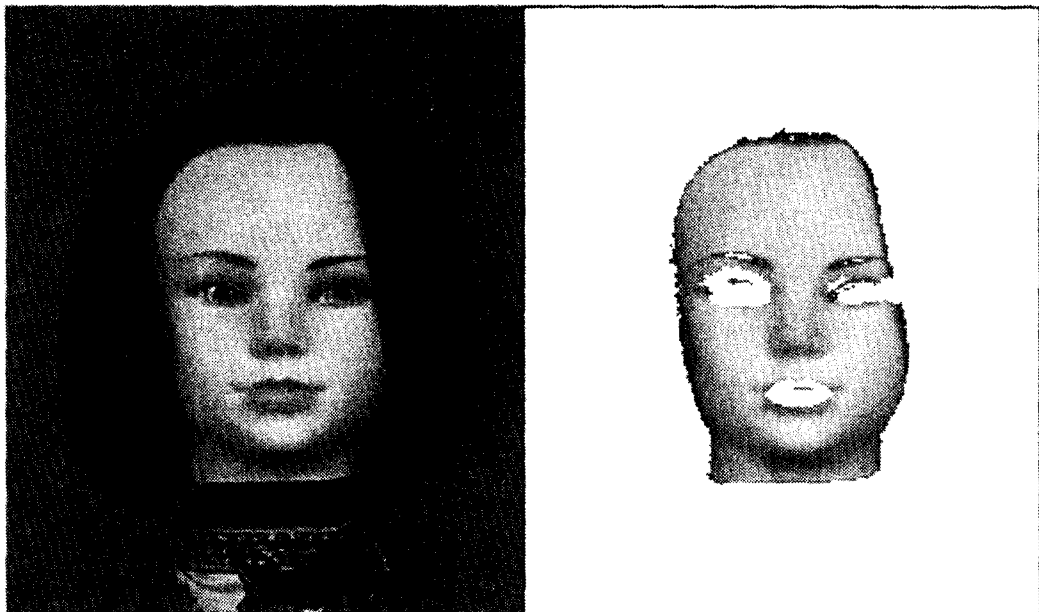
$[a_{ij}]$ 의 계수로 식 (3)의 처리가 기본 색수정이며, 실험용 색표를 입력 이미지로 하여 기본 색수정 처리 후, 사용한 칼라 프린트로 출력한 결과와 색수정 처리를 하지 않고 출력한 색표에 대한 색상 오차는 Table 4와 같다.

Table 4 Hue errors of the original and processed color patch

Color	Original Color Patch		Processed Color Patch	
	Hue Error(%)	Gray(%)	Hue Error(%)	Gray(%)
Red	82.9	10.7	86.3	9.8
Green	49.4	45.1	58.6	43.6
Blue	91.2	33.3	82.9	25.4
Yellow	10.7	8.8	10.7	8.8
Magenta	19.8	31.1	19.8	31.1
Cyan	28.5	14.4	28.5	14.4

3.2.3 색상별 영역분할

입력 이미지에 대해서 7색상 중 피부색 영역을 분할하기 위해서, 바람직한 색재현이 된 고급 인쇄물의 색상을 발체하여 3자극치를 측정한 후, X, Y, Z 3자극치를 NTSC의 RGB로 변환하였다. 특히 피부색은 화장품 선전용 칼라 인쇄물에서 20대 여성의 얼굴 부위에서 100종류 발체하여 그 데이터를 사용하였으며, Fig. 3은 입력 이미지로부터 피부색 영역을 분할한 결과이다.



(a) Original Image

(b) Facial pattern

Fig.3 An example of separated facial pattern

3.2.4 장치에 따른 피부색 재현영역

고급 오프셋 인쇄물에서 발췌한 피부색과 기본 색수정 후 분리된 얼굴 패턴을 사용한 칼라 프린터로 출력한 후, 측정한 좌표 값을 CIExy 색도도에 표시한 것이 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 칼라 프린터로 출력한 피부색 영역과 오프셋 인쇄기로 인쇄한 피부색 영역을 나타낸다.

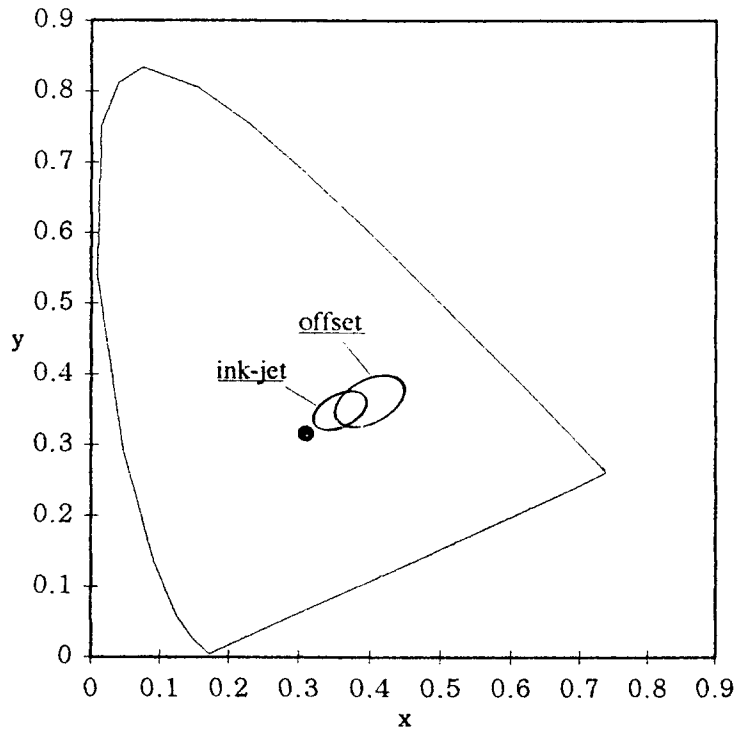
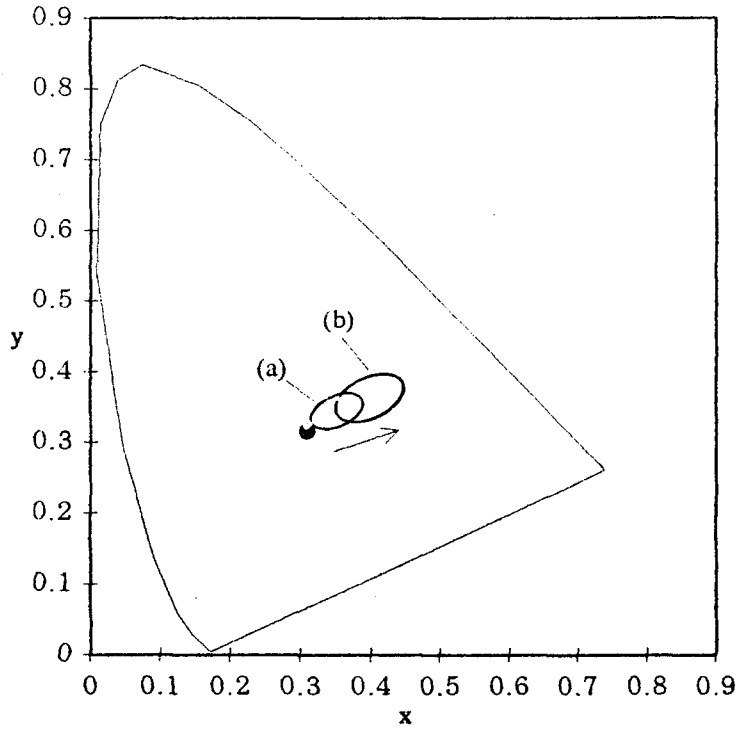


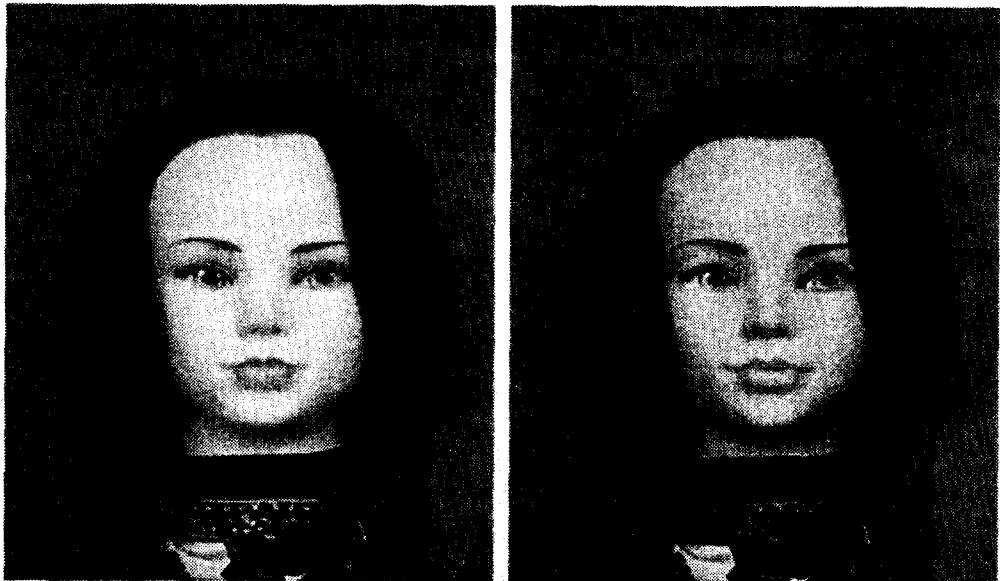
Fig.4 Reproduced skin color ranges by ink jet printer and offset printer

3.2.5 칼라 프린트에 의한 바람직한 피부색 재현

바람직한 피부색 재현을 위해 Fig. 4에서 (a) 영역으로 나타난 출력물의 칼라 패치가 색수정 후의 출력물에 대한 칼라 패치의 색도 좌표가 (b) 영역으로 이동될 수 있도록 처리하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 피부색을 재현한 결과, 처리전의 피부색에 비해 색차가 약 50%정도 감소하였으며, 주관적 평가에서 색수정 후의 피부색 재현이 보다 바람직한 피부색으로 평가되었다.



(a) Processed skin color range of the ink jet printer



(b) Original image

(c) Processed image by described method

Fig.5 Experimental result example of preferred skin color reproduction

4. 결 론

디지털 프린터에 의한 색재현에 있어서 잉크특성을 고려한 충실한 색재현을 위한 기본 색수정 모델과 바람직한 피부색 재현을 위해서 한 방법을 제시하고, 제시한 방법으로 실험한 결과 다음과 같은 사실을 알았다.

1. 잉크젯 프린터의 3색 잉크에서 색상오차가 가장 큰 것은 C잉크이고, 색상오차가 가장 작은 것은 Y잉크였다.
2. 잉크 특성을 고려한 기본 색수정에서 Red와 Green은 색상오차가 개선되었으나, Blue는 개선되지 않았다.
3. 제시한 방법으로 피부색을 재현한 결과, 처리전의 피부색에 비해 색차가 약 50%정도 감소하였다.
4. 주관적 평가에서 색수정 후의 피부색 재현이 보다 바람직한 피부색으로 평가되었다. 칼라 패치에 대해서 제시한 방법의 처리 결과, 최고색차 3.4에서 최저색차 1.3으로 되어, 잉크젯 프린터의 색재현에 아주 유용한 것으로 사려되지만, 실제의 인물사진의 경우는 경계 부분의 에지 현상이 나타났다. 향후, 에지 부분의 유연한 처리와 피부색과 같은 기억색의 독립적인 색수정에 관한 보다 많은 연구가 필요하다고 사려된다.

참 고 문 헌

1. J. A. C. Yule, Principles of Color Reproduction, Jhon Wiley & Sons, (1967)
2. H. W. G. Hunt, The Reproduction of Color in Photography, Printing and Television, 4th edition, Fountain Press, (1987)
3. Noriaki Seki, Toru Yamasaki and Hiroaki Ikegami, "Improvement and Color Correction Accuracy by Optimizing Color Signal", System Tec. Research Lab., Fuji Xerox Co., (1988)
4. H.Haneishi, N.Shimoyama, Y.Miyake, "Color Digital Halftoning for Colorimetric Color Reproduction", IS&T's 10th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, pp.380~pp.385, (1994)
5. Y.Miyake, "Color Reproduction in Various Imaging Systems", Color Forum JAPAN '94 Proceedings, pp.75~pp.78, (1994)

6. H.Kotera, K.Kanamori, "A Fast Color Processor Using PRISM Interpolation", Display and Imaging, Vol.2, pp.17~pp.25, (1993)
7. J.S.Park, K.S.Son, J.H.Kim, "A New Error Diffusion Coefficient-Set Reducing Artifacts", The Annual Conference of Japan Hardcopy for the Society of Electrophotography of Japan, pp.201~204, (1996)
8. Y.W.Park, E.J.Lee, K.M.Kim, C.S.Lee, Y.H.Ha, "Color Enhancement by Quantization of Fast Clustering Method", Proceedings of 5th International Conference on High Technology, pp.275~281, (1996)
9. B.W.Seo, H.E.Choi, S.C.Ahn, "Color Correction Modeling for Color Printer by a Characteristic of Ink", The 2nd. Conference of The Korean Printing Society, (1996)
10. B.W.Seo, J.J.Lee, J.H.Shin, H.E.Choi, S.C.Ahn, "Study on the color reproduction of skin color by dividing areas", The Conference of The Korean Institute of Electronics Engineers and The Korean Institute of Communication Sciences(Pusan and Kyong Nam Section), Vol.5, No.2, pp.157~pp.160, (1996)