論文97-34S-5-8

점이득 보정과 명도 보정을 이용한 서로 다른 매질 사이의 색정합

(Color Matching Using Dot Gain and Intensity Compensation for Different Substrates)

李 瞰 熙 *, 李 採 守 *, 金 炅 萬 *, 河 永 浩 *

(Cheol-Hee Lee, Chae-Soo Lee, Kyeong-Man Kim, and Yeong-Ho Ha)

요 약

열전사방식의 잉크젯 프린터에서 분사되는 잉크는 매질의 흡수율에 따라 다른 크기를 가지며 이러한 다양한 도트사이즈는 출력 영상 사이에 큰 차이를 만든다. 본 논문에서는 매질에 독립적인 색재현을 위해 채도를 바탕으로 점이득을 보정하여 서로 다른 매질 사이의 색을 정합했다. 또한 점이득 보정으로 야기되는 명도의 변화와 매질 자체의 명도 차이를 보상하기 위해 평균명도를 추정하여 추가적으로 명도 보정을 함으로써 색상의 변화없이 색정합을 이루었다

Abstract

In a drop-on-demand thermal ink-jet printer, the dot size of an ink droplet expelled from a printer depends on the absorption of the paper. This causes severe differences between output images on the different paper materials. In this paper, the color matching algorithm for different papers is proposed. To achieve corresponding color reproduction, dot gain compensation based on saturation was applied to predict color reproduction on a printer. If the dot gain of pigment increases, the white portion of paper decreases while the saturation value increases monotonically. As the result of dot gain compensation, intensity change may appear. Therefore, an intensity compensation without any hue variation is followed to match the colors of different subtrates.

I. 서 론

프린팅시 각 매질의 흡수율은 매질의 특성에 의해 많이 좌우되며 또한 같은 매질이라 할지라도 표면의 코팅 상태에 따라 크게 차이가 난다. 종이의 경우 높은 반사율과 채색으로 인한 구김방지를 위해 종이 위에 하얀 진흙이나 플라스틱 등으로 코팅을 하게 된다. 특히 플라스틱 코팅의 경우, 내부 반사율을 높이기 위해 이중막 구조로써 빛의 반사를 증가시킨다. 이렇게 흡수율이 다른 매질 위에 프린팅을 할 경우, 프린터로부터 종이 표면 위로 분사된 잉크는 종이의 흡수율에 따라 다른 크기의 도트를 갖게 된다. 이러한 도트 크기의 증대를 점이득(dot gain)이라 하며 이것은 프린트된 종이 위에서 현저한 색의 차이를 만드는 요인이 된다.[1] 즉 현재 사용되어지는 CMY좌표계(cyan magenta and yellow coordinate)에서의 프린팅의 경우 3가지 기본 잉크의 조합으로 수많은 색을 만들어 낸다. 이때 특정한 화소에서 점이득의 증대로 인한 주변 화소로의 잉크의 번짐 현상은 색의 변화를 일으키고 또한 잉크의 중복 채색으로 인한 명도의 저하 때문에 전체적인 화질의 열화를 가져온다.

본 논문에서는 이러한 매질의 차이로 인한 점이득을 채도를 바탕으로 보정하는 방법과, 점이득 보정으로 인한 명도의 변화를 추가적으로 보상하는 명도 보정에 의한 색정합 알고리즘을 제안한다. 먼저 점이득 보정에 있어서는 각각의 매질에서 잉크의 양에 따른 채도를

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1997年1月3日, 수정완료일: 1997年5月2日

얻고, 이를 통해 실제의 채색 면적을 추정한다. 이때 프린팅 화질이 가장 좋은 광택지를 기준 용지로 설정하고 색번짐이 심한 전용지에서의 점이득을 보정하여 기준 매질과의 색정합을 이루었다. 이러한 채색 면적 추정에서 채도는 선형적으로 화소당 채색점 수를 늘린 칼라 패치(color patch)[2]로 부터 분광광도계(MCPD)를 이용하여 표면 반사 스펙트럼을 얻고 이 반사 스펙트럼으로부터 얻은 CIEXYZ 3자극치 값을 변환하여 구할 수 있었다. 본 논문에서는 채도를 얻기 위한 좌표계 선택에 있어 HSI와 HSV 그리고 YIQ색 좌표계를 서로 비교하였다. 이때 잉크와 해상도에 따른 채도의 특성을 알기 위해 잉크와 해상도를 모두 달리하며 광택지와 전용지의 칼라 패치를 만들고 이로부터 각 좌표계에서 채도를 구했다. 모든 좌표계에서 선형적인 채색 잉크의 증가에 대응되는 채도는 비선형적이었다. 따라서 세 가지 좌표계 중에서 채도의 활성 영역이 가장 큰 HSI좌표계를 채도를 얻기 위한 좌표계로 선택하였다. 그런데 이러한 점이득 보정후 전체적인 영상에서 명도 변화가 일어날 수 있다. 이러한 명도의 차이는 단지 점이득 보정에 의한 문제는 아니다. 왜냐하면 매질 자체의 표면 반사율이 다르기 때문에 채색되지 않은 순수한 종이에서도 각각의 명도는 차이가 난다. 따라서 이러한 초기 매질의 명도 차이와 점이득 보정으로 인한 명도 차이를 동시에 보정해 주기 위해 점이득 보정후 명도를 보정하였다. 즉 각각의 매질 위에서 프린팅된 영상에 대한 평균 명도를 비교하기 위해 프린팅된 매질 위에서 각각의 결과 영상의 평균 명도를 추정하는 수식을 제안하였다. 이때 평균 명도는 HSI좌표계의 I신호로 표현되며 임의의 프린트된 영상에 대한 전체적인 밝기에 해당한다. 이를 기준으로 색상의 변화 없이 결과 영상의 명도 차이를 주어진 범위까지 최소화하는 과정을 통해 우리는 실제 출력 영상의 명도를 일치시켰다.

Ⅱ. 채색 면적에 따른 염료의 분광 반사율 측정

감법 혼색(subtractive mixture)에서의 색은 기본 염료인 청록(cyan), 자주(magenta) 그리고 황색(yellow)의 조합으로 이루어진다. 이러한 염료는 입사되는 빛의 스펙트럼에 대해 제각기 다른 흡수율 및 반사율을 가지고 반응하는 필터와 같은 역할을 한다.[3] 따라서 혼합된 염료에 입사된 빛은 각 염료의 특성에 따라 흡수 또는 투과 되므로 이후 반사된 빛의 양은 감소하여 인지되는 색은 명도가 저하되며, 세 염료 모두를 혼합할 경우 입사된 빛은 모두 염료에 흡수되어 거의 검정색에 가까워진다. 이러한 과정을 거쳐 빛이 최종적으로 시각 시스템에 의해 인지될 경우에는 이를 다음과 같이 표현할 수 있다.[4]

$$\rho^x = \int E^x(\lambda)\ S^x(\lambda) R(\lambda)\ d\lambda \qquad (1)$$

위 식에서 $E^x(\lambda)$는 x위치에 입사되는 광원의 분광 분포를 나타내며, $S^x(\lambda)$는 해당 위치에서 매질의 표면 반사율을 나타내고 $R(\lambda)$는 이러한 색신호, $E^x(\lambda)\ S^x(\lambda)$에 대한 시각 시스템의 파장별 민감도 함수를 나타낸다. 따라서 같은 매질 위에 빛이 입사된 경우에도 표면에 염료가 용해된 잉크가 채색되거나 매질 표면이 코팅이 된 경우 시각 시스템에서 인지되는 색신호는 원래의 값과 다르게 된다. 하프토닝 기법의 디지털 칼라 프린터의 경우, 감법 혼색과 동일한 방법으로 색을 재현한다. 이때 과도한 채색으로 인한 건조 문제와 색성분이 없는 순수한 검정색 재현의 어려움 그리고 재현되는 영상의 명도 대비를 키우기 위해 black잉크를 첨가해 색을 재현한다. 이러한 경우 각각의 재현되는 화소는 네 가지 기본 잉크(C, M, Y, K)의 조합으로 채색된 점들의 집합으로 구성되어진다. 즉 재현되는 영상을 표현하면 아래와 같다.

$$p = \sum_{k=1}^{h} \sum_{l=1}^{v} (b^{C}_{k,l},\ b^{M}_{k,l},\ b^{Y}_{k,l},\ b^{K}_{k,l}) \qquad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{H} \sum_{j=1}^{V} p_{i,j} \qquad (3)$$

위 식에서 h, v는 각각 프린터의 해상도에 따른 디더 행렬의 가로 방향 및 세로 방향의 크기이며 p는 디더 행렬로 표시된 입력 영상의 각 화소를 나타낸다. 그리고 H×V는 전체 영상의 화소수를 나타낸다. 이때 $b_{k,l}$는 디더행렬내의 (k, l)위치에 해당되는 점에서 각 염료의 채색 유, 무를 결정짓는 성분이다.[5] 예를 들어 CRT를 통해 나타난 영상을 프린트하는데 있어서 모니터 화면의 해상도가 72 ~ 80 [dpi]로 고정되어 있다고 볼 때, 영상의 크기를 그대로 유지하면서 300 [dpi] 해상도의 프린터에서 재현한다고 가정할 경우 입력 영상의 한 화소는 4×4의 디더행렬로 표현되어지며 따라서 각 화소는 16개의 채색된 점집합으로 구성된다.

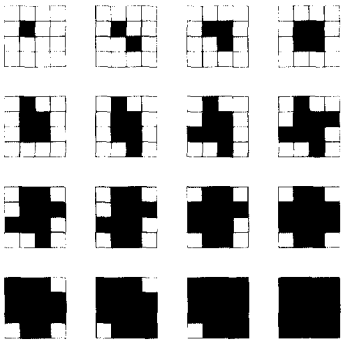
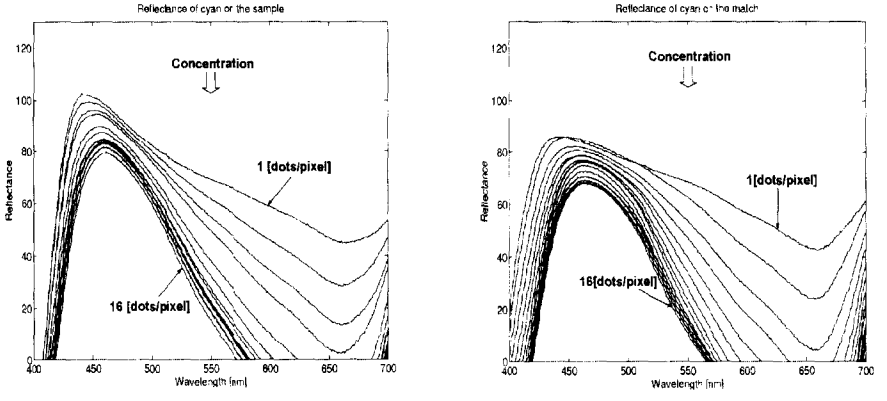
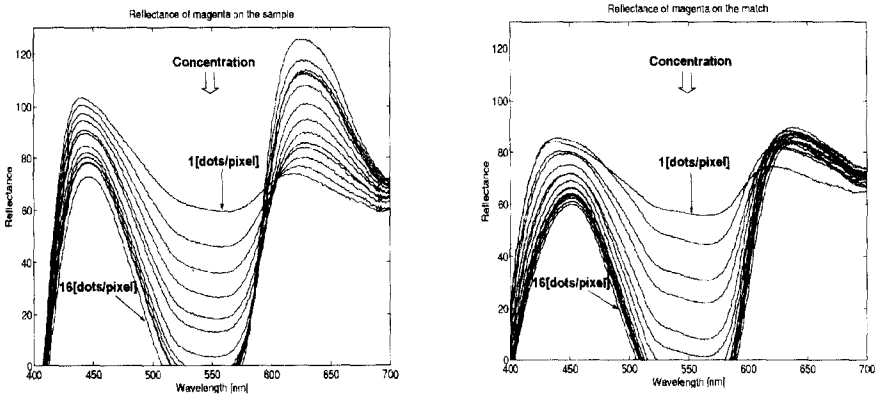


그림 1. 채색 면적에 따른 4×4 이상적인 디더행렬
Fig. 1. Ideal 4×4 dither matrix with respect to printed area.

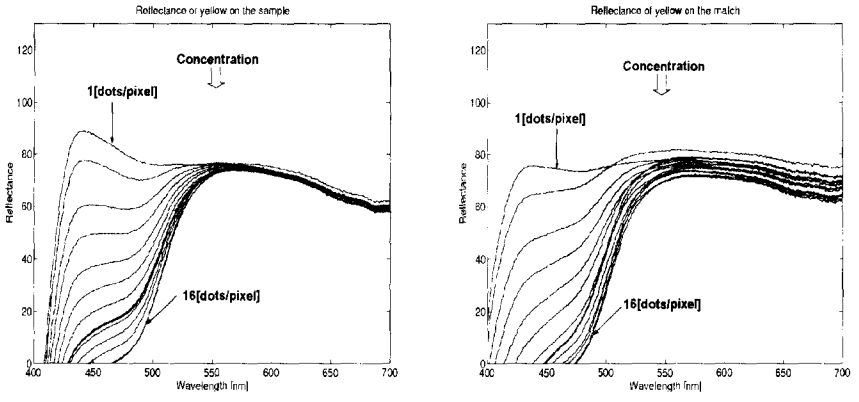
그림 1은 중심으로부터 채색되어진 AM(amplitude modulation)방식의 이상적인 디더행렬을 나타낸다. 그러나 하프토닝 기법의 디지털 프린팅의 경우, 매질 위에 채색된 각 채색점은 이상적인 디더행렬과는 달리 둘레가 매우 거친 원의 형태를 나타내며 또한 잉크가 매질 내부로 흡수되면서, 최초 인쇄된 형태에서부터 채색 면적이 커지게 된다. 따라서 표현되는 매질에 상관없이 동일한 영상의 색 항상성을 유지하기 위해서는 프린팅 과정에서 이러한 비선형적인 특성에 대한 보정 과정이 요구된다. 이를 위해 우리는 실제의 채색 면적에 대한 측정을 바탕으로 표현될 잉크의 양을 보정하였다. 먼저 프린터의 해상도에 따라 단계별로 각 잉크의 채색 영역을 증가시킨 칼라 패치를 제작한 후, 기준 광원에 대한 칼라 패치의 반사 스펙트럼을 얻어 이를 토대로 전용지에서의 보정에 이용하였다. 본 실험에서는 광원으로써 텅스텐-할로겐 전구를 사용하였으며 optical fiber를 통해 광원의 빛을 샘플측정 유니트에 45°로 입사시키고, 측정 시료로 부터 반사되는 빛을 평면으로부터 90°방향에서 분광광도계(MCPD)의 광검출기를 이용하여 반사 스펙트럼을 얻었다.(CIE 추천안 3, 1931) 이러한 색채 측정에서 반사광의 분광 분포는 이상적인 완전 반사체에 가까운 백색 표준판($BaSO_4$)의 반사율을 기준으로 하고 이로부터 측정된 시료들의 반사율과 비교하여 각 시료에 대한 분광 반사율을 측정하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 2. 광택지(왼쪽)와 전용지(오른쪽)위에 채색된 각 염료의 분광반사율 (a)청록 (b)자주 (c)황색
Fig. 2. The spectral reflectance of colorant on the sample(left) and the match(right). (a) cyan. (b) magenta. (c) yellow.

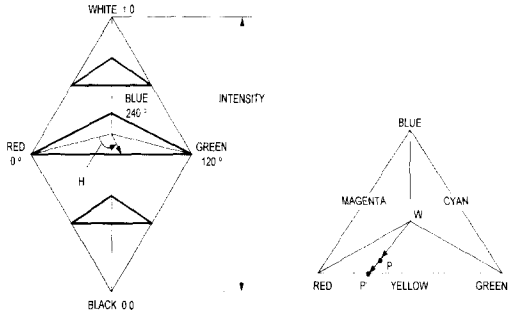
그림 2는 기준 매질인 광택지와 보정을 하려는 매질인 전용지 위에서 cyan과 magenta 그리고 yellow 잉크를 각각 16단계로 채색한 칼라 패치에 대해 측정한 반사광의 분광 반사율을 나타낸다. 그림 2에서 보는 바와 같이 기준 매질인 광택지로 만든 칼라 차트(color chart, sample)와 보정하려는 매질인 전용지로 만든 칼라 차트(match)에서 측정된 분광 반사율은 채색 면적의 증가에 따라 파장별로 서로 차이가 있다. 동일한 양의 잉크로 채색된 매질에 입사된 광원의 반사율을 비교할 때, 고려되는 가시광선의 파장 내에서 광택지의 반사율이 더 크며 화소당 잉크의 채색점을 증가시킬수록 반사광의 분광 분포는 원래의 염료 고유의 특성을 갖게 되어 매질의 배경색인 흰색의 반사가 염료의 반사에 희석되어짐을 알 수 있다.

Ⅲ. 채도를 얻기 위한 좌표계 분석 및 채도의 활성 영역 비교

주관적으로 인지되는 색은 색좌표계를 통해 정량화된 값으로 결정된다. 이러한 색채의 객관화를 위해 C.I.E.(Commission Internationale de l'Eclairage)를 중심으로 많은 좌표계들이 만들어져 왔다. 그러나 이러한 좌표계의 대부분이 제한된 영역에서 제각기 장점을 지니며, 칼라 영상 처리에서 필요한 요구 조건들을 모두 만족시키는 좌표계는 존재하지 않는다. 따라서 사용자는 목적에 맞게 좌표계를 선택하는 것이 중요하다. 본 장에서는 먼저 채도로써 표현되거나 혹은 채도를 얻을 수 있는 HSI와 HSV 그리고 YIQ좌표계에 대한 설명과 각각의 좌표계에서 채도의 활성 영역에 대한 비교를 하고 이를 바탕으로 실험에 필요한 좌표계를 선택했다.

1. HSI 좌표계

HSI좌표계에서는 인간의 색인지에 기초하여 색을 색상(hue)와 채도(saturation) 그리고 명도(intensity)로 표현한다. 그림 3은 HSI좌표계의 기하학적인 모델이다.



(a) (b)

그림 3. HSI 모델 (a) 기하학적 모델 (b) 삼각형 색평면
Fig. 3. HSI color model. (a) HSI color solid. (b) HSI color triangle.

이중 삼각뿔 구조에서 채도는 중심 축으로부터 정규화된 거리 즉, $\frac{WP}{WP'}$ (그림 3. (b))로 표시되며, 색상 성

분은 삼각형 색평면 내에서 적색을 기준으로 하는 각으로써 결정되고 이 평면에 수직하는 방향으로 명도가 정해진다. 따라서 주어진 임의의 색 $c = (R, G, B)$에 대한 HSI좌표계에서의 표현은 아래와 같다.

채도에 대해

$$S(c) = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)] \quad (4)$$

명도에 대해 $$I(c) = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (5)$$

색상에 대해

$$H(c) = \cos^{-1}\left\{\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{\frac{1}{2}}}\right\} \quad (6)$$

그러므로 각각 한 바이트 크기의 RGB값은 HSI좌표계에서 명도와 채도의 경우 0과 1사이로 정규화되고 색상의 경우 0° ~ 360° 사이의 값으로 표현된다.

2. HSV 좌표계

육각뿔 구조의 HSV좌표계는 HSI모델과 거의 동일하나 명도의 표현에 차이가 있다. 즉 HSI모델의 경우, 식(5) 에서와 같이 명도는 R과 G및 B의 평균값에 의존한다. 이러한 특성을 이용하여 HSI좌표계는 흑백 영상에서의 일반적인 영상 향상 기법들을 명도를 기준으로 적용한 칼라 영상 향상 기법에 사용된다. 그러나 HSV 모델에서 명도는 주어진 임의의 색, $c = (R, G, B)$에 대해 입력 성분의 최대치에 의존한다. 이의 채도를 HSV좌표계에서 구하면 아래와 같다. [6]

(RGB and S range of 0 to 1)

$$\text{if} \quad M = 0 \quad \textit{then} \quad S = 0$$

$$\textit{else} \quad M \neq 0 \quad \textit{then} \quad S = \frac{M - m}{M} \quad (7)$$

$$M = \max(R, G, B), \quad m = \min(R, G, B)$$

3. YIQ 좌표계

CIE 색도도에서 중심인 기준 흰색으로부터 멀어질수록 순색에 가까운 색상을 띄게 된다. 이를 바탕으로 NTSC의 I와 Q를 기준축으로 하여 색신호를 색도도에 표시한다. 이때 색도도에서 임의의 색에 대한 (I, Q)좌표값을 이용해 기준 흰색 으로부터 이 좌표까지의 거리를 구하면 대략적으로 색의 채도에 비례하며 이는 다음과 같이 정의된다.

$$S(c) = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (8)$$

식(8)에서 NTSC I, Q색신호와 NTSC 감마보정된 RGB사이의 관계식은 아래와 같다.

$$Y = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$$

$$I = \frac{R' - Y}{1.14}\cos 30^\circ - \frac{B' - Y}{2.03}\sin 30^\circ \quad (9)$$

$$Q = \frac{R' - Y}{1.14}\sin 30^\circ + \frac{B' - Y}{2.03}\cos 30^\circ$$

여기서 R', G', B'는 감마보정된 것을 나타내며 실험에서는 $\gamma = 2.2$ 로 사용하였다. [7]

4. 각 좌표계에서 채도에 대한 활성 영역 비교

채도의 측정에 사용된 칼라 차트는 그림 1에서 보는 것처럼 각각의 매질에서 기본 잉크에 대해 화소당 채색점 갯수를 최소 채색 면적인 CMY = (0, 0, 0) 부터 최대 채색 면적 CMY = (max, max, max)까지 단계적으로 늘여 만든 칼라 패치의 조합이다. 그런데 선형적인 염료의 양에 따른 채도의 값의 분포를 앞서 설명한 HSI좌표계와 HSV좌표계 그리고 YIQ좌표계에서 비교해 본 결과 좌표계마다 다른 분포를 보였다. 우리는 각각의 좌표계에서 이러한 채도 값의 변화를 알아보기 위해 비교 좌표계 내에서 해상도와 염료를 모두 달리하며 만든 칼라 패치로부터 채도의 활성 영역을 구했다. 채도의 활성 영역은 잉크의 양에 따른 채도의 최대치와 최소치의 차이며 표 1과 같다.

표 1. 각 좌표계에서 해상도와 염료에 따른 정규화된 채도 값의 활성 영역 비교

Table 1. The comparison of dynamic range of normalized saturation with respect to both resolution and ink among color coordinates.

(a) 300 [dpi], 광택지, 51625A 잉크

(a) 300 [dpi], sample, 51625A ink

Coordinate / Ink	HSI	HSV	YIQ
Cyan	0.745	0.567	0.251
Magenta	0.760	0.586	0.346
Yellow	0.978	0.950	0.256
Average	0.827	0.701	0.284

(b) 300 [dpi], 전용지, 51625A 잉크
(b) 300 [dpi], match, 51625A ink

Coordinate / Ink	HSI	HSV	YIQ
Cyan	0.779	0.627	0.267
Magenta	0.771	0.639	0.264
Yellow	0.965	0.944	0.250
Average	0.838	0.737	0.260

(c) 600 [dpi], 광택지, 51649A 잉크
(c) 600 [dpi], sample, 51649A ink

Coordinate / Ink	HSI	HSV	YIQ
Cyan	0.841	0.677	0.245
Magenta	0.841	0.685	0.227
Yellow	0.982	0.955	0.250
Average	0.888	0.772	0.241

(d) 600 [dpi], 전용지, 51649A 잉크
(d) 600 [dpi], match, 51649A ink

Coodinate / Ink	HSI	HSV	YIQ
Cyan	0.890	0.759	0.273
Magenta	0.833	0.731	0.228
Yellow	0.960	0.932	0.260
Average	0.894	0.807	0.254

Ⅳ. 채도에 기초한 채색 면적 보정

이 장에서는 실험에 적용한 반사광 측정 모델에 대한 설명과 이를 바탕으로 측정한 각 칼라 차트 사이의 채도를 비교하고 이를 이용한 채색 면적 보정 방법을 제안한다. 우리는 이러한 채색 면적 보정을 위한 접근 방식에 있어 프린터의 기계적 특성과 잉크 자체의 특성을 고정시키고 잉크와 매질 사이의 상호작용을 채도를 통해 추정하여 이를 매질 사이의 색정합에 이용하였다.

1. 반사광 측정 모델

Shafer(1985)의 이색성 반사 모델(dichromatic reflection model)에 의하면 채색된 종이에 입사된 빛은 종이의 표면에서 일어나는 표면 반사(specular reflection)와 매질 내부로 흡수된 빛이 매질 혹은 염료 입자와의 충돌 과정에서 생기는 산란(scattering)에 의한 내부 반사(body reflection)로 단순화되어 그림 4과 같이 표현된다.[8]

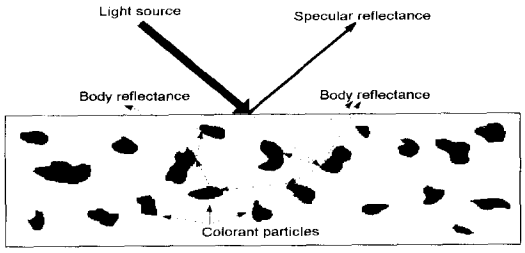


그림 4. 이색성 표면 반사 모델
Fig. 4. The dichromatic reflection model of surface reflectance.

표면 반사는 주로 표면의 매끄러운 정도(smoothness)와 광원의 입사각에 의존한다. 이러한 표면 반사로부터 반사되는 빛의 분광 분포는 광원과 동일하기 때문에 반사되는 빛은 광원의 색을 띤다. 또한 거울에 입사된 빛과 같이 극히 제한된 각도로 반사된다. 반면 내부 반사는 매질 내부의 섬유 조직(cellulose fiber)의 구조와 확산된 채색 염료에 주로 의존한다. 각각의 염료는 투과된 빛의 파장에 대해 선택적으로 반응하여 흡수 또는 반사하는 특성을 갖는다. 또한 염료와 충돌한 반사광의 방향은 불규칙하다. 만일 미세한 염료 입자가 완전 확산했다고 가정할 경우, 반사광의 분포는 거의 모든 방향에서 균일하다. 결국 매질 속으로 투과된 빛에 대한 채색 염료의 선택적인 반응이 바로 채색된 종이의 색을 결정한다. 우리는 실험에서 채색된 종이의 반사광 분광 분포를 이색성 표면 반사 모델에 기초하여 종이로부터 반사되는 빛을 크게 표면 반사와 내부 반사로 나누고 45° / 90° 의 측정 방법으로써 반사광의 표면 반사 성분을 배제하고 내부 반사를 측정해 이를 채색 종이의 분광 분포로 이용하였다.

2. 칼라 패치의 채도 비교

Ⅲ장에서 해상도 및 잉크를 각각 달리한 칼라 차트에 대해 HSI와 HSV 그리고 YIQ 좌표계에서 채도의 활성 영역을 비교한 결과 HSI좌표계가 활성 영역이 가장 넓은 좌표계임을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 두 종류의 칼라 차트에 대해 이색성 반사 모델을 기초로 측정한 반사광의 분광 분포를 가지고 HSI좌표계에서 채도를 구하면 결과는 그림 5, 6과 같다. 두 개의 칼라

차트에서 채도는 채색 면적의 증가에 따라 단조 증가하며 잉크에 대한 흡수력이 큰 전용지에서의 채도가 더 빨리 포화됨을 알 수 있다. 또한 비교되는 두 개의 칼라 패치 모두 cyan과 magenta 그리고 yellow의 순으로 채도 값이 포화되며 선형 영역에서 동일 잉크의 채도의 기울기 또한 두 칼라 차트에서 서로 차이가 난다. 우리는 이 그래프를 기준으로 실제의 채색 면적의 차를 보정하는 두 가지 방법을 제안한다.

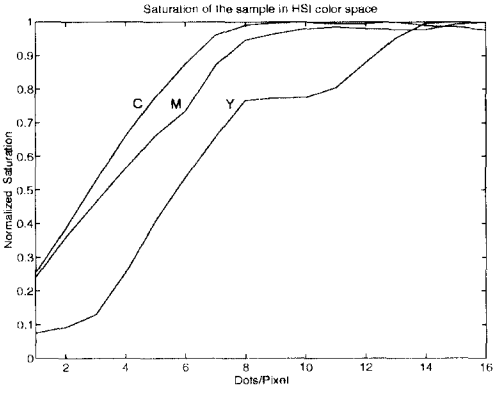


그림 5. 광택지의 채색 면적에 따른 채도
Fig. 5. Saturation of the sample with respect to printed area.

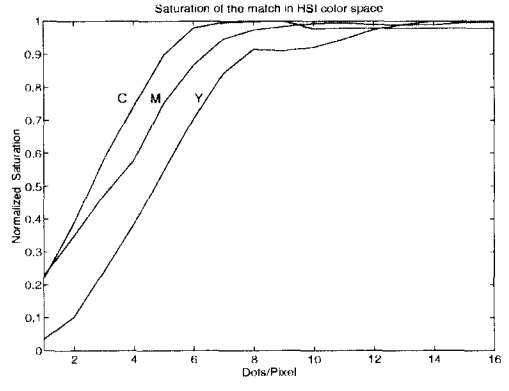


그림 6. 전용지의 채색 면적에 따른 채도
Fig. 6. Saturation of the match with respect to printed area.

1) 동일 잉크 사이의 매질에 따른 상대적 채도 비를 이용한 채색 면적 보정

매질의 흡수력의 차이는 동일 잉크에 대해서 다른 채색 면적을 갖게 한다. 그림 5와 6에서 보는 것처럼 잉크에 대한 흡수력이 큰 전용지에서 채도가 전반적으로 빨리 포화된다. 또한 세 가지 기본 잉크 모두 선형 영역에서의 기울기가 전용지에서 더 높게 나타난다. 잉크의 증가에 따른 채도의 비는 동일한 양의 잉크에 대한 실제의 채색 면적의 비를 나타낸다. 우리는 이러한 잉크의 양에 따른 채도의 비를 이용하여 전용지의 채색시 각 디더행렬 내에 할당되는 잉크의 양을 보정하였다. 채색 면적 보정 전의 임의의 색을 CMY성분으로 표시하면

$$I_{i,j} = [\, C_{i,j},\ M_{i,j},\ Y_{i,j} \,]^T \tag{10}$$

제안한 상대적 채도비를 이용한 채색 면적 보정 후의 색을 CMY성분으로 다시 표시하면

$$I'_{i,j} = [\, C'_{i,j},\ M'_{i,j},\ Y'_{i,j} \,]^T \tag{11}$$

$$C'_{i,j} = \frac{S_A(C_{i,j})}{S_B(C_{i,j})}\, C_{i,j}\ ,\quad M'_{i,j} = \frac{S_A(M_{i,j})}{S_B(M_{i,j})}\, M_{i,j}\ ,\quad Y'_{i,j} = \frac{S_A(Y_{i,j})}{S_B(Y_{i,j})}\, Y_{i,j} \tag{12}$$

위 식에서 A와 B는 각각 광택지 및 전용지를 나타내며 $S_A(C_{i,j})$는 양자화된 cyan성분에 해당하는 광택지 칼라 패치를 측정했을 때 얻은 채도 값이다. 식 (12)에 의해 전용지에서 채색 면적은 원래의 양자화된 CMY값에서 각 양자화 단계별로 채도의 비만큼 곱해져서 보정된다.

2) 채도의 최대값 분포를 이용한 잉크의 채색 면적 보정

그림 5와 6은 실험에서 구한 광택지와 전용지의 정규화된 채도이며 채색 면적이 증가함에 따라 각 매질에서 채도가 선형적으로 단조 증가함을 보여준다. 그러나 채도가 포화되고 난 다음 일부의 영역에서 채도의 불규칙적인 부분이 나타난다. 즉 이는 광원의 시간에 따른 power spectrum의 변화 그리고 채도가 포화된 이후의 영역에서 MCPD의 분해능의 한계 등으로 생각되며 실험에서는 이러한 측정과정에서의 오차를 고려하여 표 2와 같이 채도가 포화되고 난 이후의 채도를 1로 사상하여 사용하였다.

그런데 각 잉크에서 채도의 최대치인 1을 기준으로 포화되는 시점을 광택지와 전용지에서 비교하면 cyan의 경우는 다른 잉크에 비해 전용지에서 상대적으로 빨리 채도의 포화가 일어남을 알 수 있다. 즉 cyan은 다른 잉크에 비해 전용지에서 더 큰 채색 면적의 증가가 일어나며 이러한 cyan의 큰 점이득은 주변 화소에

표 2. 광택지와 전용지에서 잉크 채색 면적에 대한 채도 분포

Table 2. Distribution of saturation with respect to printed primary inks on the sample and the match.

Ink / Dots/pixel	Cyan		Magenta		Yellow	
	Sample	Match	Sample	Match	Sample	Match
1	0.255	0.221	0.240	0.229	0.022	0.035
2	0.386	0.389	0.360	0.349	0.075	0.102
3	0.526	0.583	0.462	0.474	0.129	0.241
4	0.661	0.744	0.564	0.579	0.254	0.385
5	0.776	0.879	0.662	0.753	0.408	0.548
6	0.876	0.979	0.734	0.867	0.537	0.706
7	0.960	0.999	0.871	0.946	0.657	0.843
8	0.990	1	0.946	0.973	0.766	0.915
9	0.997	1	0.965	0.983	0.773	0.915
10	0.999	1	0.979	0.993	0.775	0.921
11	0.995	1	0.985	0.995	0.804	0.945
12	0.995	1	0.980	0.995	0.879	0.974
13	1	1	0.977	0.995	0.952	0.990
14	1	1	0.977	0.995	0.996	1
15	1	1	0.993	0.995	1	1
16	1	1	1	1	1	1

대한 번짐 현상을 일으켜 전용지에서 주된 색의 변화를 일으킨다. 따라서 우리는 상대적 채도비를 이용한 채색면적 보정을 한 후 다시 전용지에서 채도의 최대값의 분포에 대해 광택지와 비교한 후 그 차이를 보정하였다. 실험에서 광택지에서 최대값의 분포는 16단계의 칼라패치에서 (C, M, Y) 각각 (13, 16, 15)일 때 발생하며 전용지에서의 최대값의 분포는 (8, 16, 14)에서 일어난다. 식 (12)로부터 보정된 영상을 C′ M′ Y′ 성분으로 표시하고 이에 대해서 최대치의 분포를 이용해 다시 보정하면

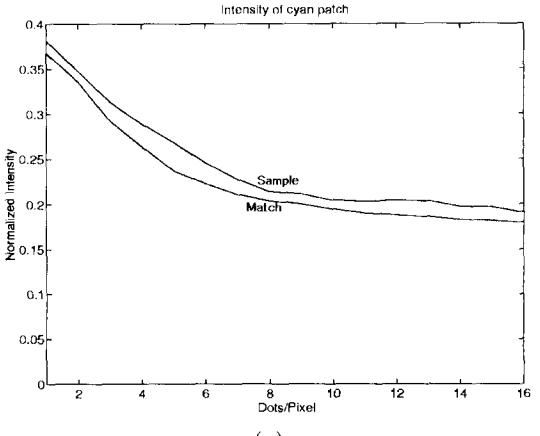
$$I''_{i,j} = [(\frac{L-d_C}{L})C'_{i,j}, (\frac{L-d_M}{L})M'_{i,j}, (\frac{L-d_Y}{L})Y'_{i,j}]^T \quad (13)$$

식 (13)에서 L은 각 기본 잉크의 총 양자화 단계(실험에서는 16단계, 300 [dpi])이며 (d_c, d_m, d_y)는 광택지와 전용지에서 각각의 최대 채도치 1에 해당하는 양자화된 각 CMY성분에 대한 광택지에서 전용지의 차이다. 실험에서는 (5, 0, 1)이다. 식 (11)이 동일 잉크 사이에서 매질의 차에 대한 보정이라면 식 (13)은 각 매질내에서 기본 잉크 간에 채도의 최대치에 대한 포화 분포를 비교하여 채색 면적을 추정하고 보정하는 과정이다. 즉, 본 실험에서는 채도의 최대치에 대한 포화 속도가 동일한 magenta를 제외하고 cyan과 yellow의 채색될 양을 식 (13)을 통해 전용지에서 조정함으로써 전용지 내에서 기본 잉크 사이의 채색 면적비를 광택지의 채색 면적비에 근접시켰다.

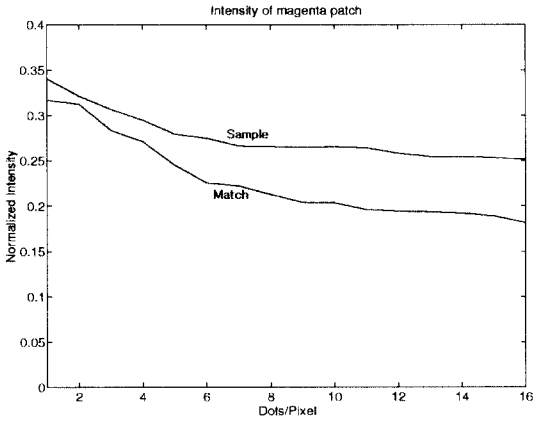
V. 영상의 평균 밝기 추정을 이용한 명도 정합

서론에서 전술한 바와 같이 인쇄되지 않은 두 용지를 Ⅳ장에서 제안한 반사광 측정 모델을 이용하여 반사광의 분광 분포를 얻고 이로부터 구한 삼자극치를 이용해 HSI좌표계에서 명도를 구하면 차이가 있다. 높은 내부 반사를 가지는 광택지가 전용지에 비하여 더 많은 빛을 반사한다. 또한 채도를 이용한 점이득 보정 방법은 실제 채색될 염료의 양에 변화를 줌으로써 채색된 영상의 명도 차이를 일으킬 수 있다. 따라서 입력 영상을 서로 다른 용지에 채색할 때 표현된 영상의 명도를 맞추기 위해서는 도트 게인 보정시 발생하는 명도의 변화와 초기 매질의 다른 반사 특성을 고려한 명도의 보정이 요구된다.

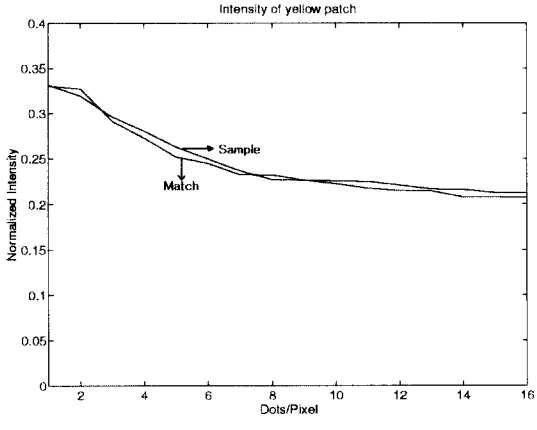
그림 7은 전용지와 광택지의 칼라 패치에서 기본 잉크로 채색된 각 화소내의 채색점 갯수에 따른 명도의 변화를 보여준다. 기본 잉크 모두 채색되는 염료의 양에 따라 명도가 단조 감소함을 알 수 있다. 또한 거의 모든 영역에서 광택지의 명도가 더 높다. 우리는 매질에 따른 잉크의 채색시 매질에 따른 영상의 명도의 차를 보정하기 위해서 채색된 영상의 평균 명도를 추정하는 알고리즘을 제안한다.



(a)



(b)



(c)

그림 7. 채색 잉크의 채색점 갯수에 따른 칼라 패치의 명도 분포 (a) 청록 (b) 자주 (c) 황색

Fig. 7. Distribution of intensity of color patch with respect to the number of dots of printed ink. (a) cyan. (b) magenta. (c) yellow

먼저 입력 영상의 CMY성분에 대해 광택지에서의 평균 명도를 구하고 도트게인 보정 후의 변화된 CMY 성분으로부터 다시 전용지에서의 명도를 구한 다음 평균 명도의 차이가 정해진 범위 내에 수렴할 때까지 전용지에 칠해질 염료의 양을 보정한다. 각 용지에서 기본 잉크로 채색된 전체 영상의 평균 밝기를 추정하기 위해 제안한 식은 아래와 같다.

$$\overline{I} = \frac{1}{HV}\sum_{i=1}^{H}\sum_{j=1}^{V}\{ I_k-(I_kU-I_{i,j}^{\cdot\cdot})^{T}U \}+ I_o \qquad (14)$$

여기에서 I_k는 광택지 혹은 전용지의 채색되지 않은 매질 자체의 명도이며 U는 행렬 $[1,\ 1,\ 1]^T$를 가리킨다. 그리고 I_o는 최대로 잉크가 채색되었을 경우의 명도가 항상 양이 되도록 더해 주는 명도이다. 기본 잉크 성분을 각각 최대로 채색하고 식 (14)로써 명도를 구해 본 결과 전용지의 명도가 더 낮았다. 따라서 이때의 명도가 0이 되도록 조정하여 이 값을 I_o로 정하였다. 식 (14)에서 {}안의 값은 화소 내에서 채색된 잉크로 인하여 채색되지 않은 용지 자체의 명도로 부터 감소되는 명도를 의미한다. 여기에서 우리는 각 잉크의 채색 면적에 따른 개별적인 명도 감소의 효과가 잉크의 동시 채색시에도 거의 동일한 비율을 유지한다고 가정하였다. 즉 하나의 잉크로 채색된 각각의 칼라 패치를 만들고 이에 대해 각각 채색점의 갯수에 따른 실제 명도를 측정하고 이를 바탕으로 한개 이상의 잉크로 채색될 경우의 명도를 개별적인 각 잉크의 채색 면적별 명도를 이용하여 추정하였다. 식 (14)를 이용하여 채색된 광택지와 전용지 사이의 영상의 명도차를 최소화 하는 과정은 다음과 같다. 점이득 보정 후에 변화된 CMY성분에 대해 먼저 식 (14)를 이용하여 전용지에서의 평균 명도를 구하고 이를 광택지의 명도와 비교한다.

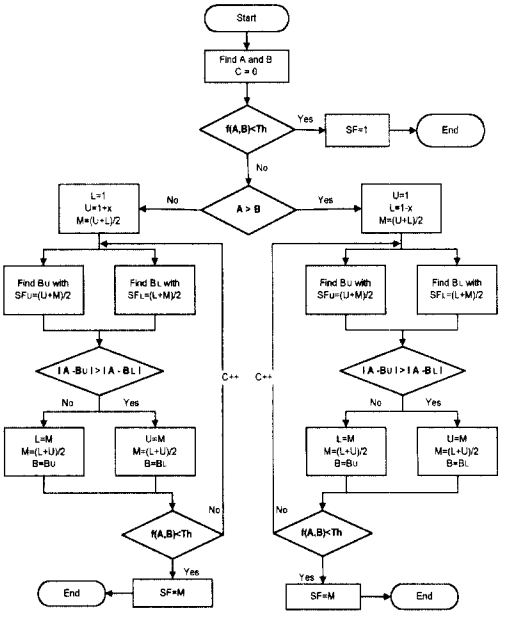


그림 8. 전용지의 명도 보정을 위한 흐름도

Fig. 8. Flow chart for the intensity compensation on the match.

그림 8에서 A는 입력 영상의 CMY성분이 광택지에 채색될 경우 식 (14)에 의해 추정된 명도이며 B는 도트 게인 보정이후의 변화된 CMY성분으로 된 입력 영상이 전용지에서 채색되었을 경우를 추정한 평균 명도이다. 우리는 도트 게인 보정 이후의 CMY값을 식 (14)를 통해 광택지의 명도와 먼저 비교하고 전용지와 광택지의 추정 명도를 기준으로 그림 8과 같이 두 채색된 영상의 명도 차이를 정해진 문턱치(Th) 안에 수렴시키는 전용지의 CMY성분에 동일하게 곱해질 계수를 찾는다. 식 (6)에서 보는 바와 같이 이 명도 정합 계수를 각각의 CMY성분에 동일하게 곱할 경우 색상의 변화없이 명도를 보정할 수 있다. 이때 명도의 수렴 범위는 다음과 같이 결정된다. 즉 입력 영상에 대한 광택지에서의 추정 명도와, 채색 면적 보정으로 변화된 전용지의 추정 명도의 차이를 광택지의 추정 명도로 나눌 경우 문턱치 미만으로 수렴할 때까지 반복해서 전용지의 CMY성분에 곱해질 명도 정합 계수를 찾는다. 즉, 수렴을 결정짓는 방법은 식 (15)과 같다. 이때 C는 수렴 과정에서 반복 횟수를 제한하기 위한 상수이다.

$$f(A,B)\langle \mathrm{Th} \quad = \quad \{(\frac{|A-B|}{A}100) \langle \ \mathrm{Th} \quad \mathrm{or} \quad (C \langle 20)\} \tag{15}$$

실험에서 우리는 수렴 속도를 빨리 하기 위해 명도 정합 계수(SF)의 범위를 결정하는 x를 0.5로 둠으로써 최저치(L, 0.5)와 최고치(U, 1.5)를 미리 고정시켰다. 그리고 이 최저치와 최고치의 중간값(M)을 기준으로 해서 이 중간값의 위쪽 중간값인 $(U+M)/2$와 아래쪽 중간값인 $(L+M)/2$를 각각 명도 정합 계수 SF_U와 SF_L로 사용했다. 이 명도 정합 계수는 전용지에 채색될 CMY성분에 곱하여 재구성된 전용지의 입력 영상을 얻는데 사용된다. 이렇게 보정된 CMY성분으로 재구성된 영상을 식 (14)를 이용하여 전용지에서의 추정 명도를 구한다. 이때 B_U는 SF_U를 곱해 보정한 영상의 전용지에서의 추정 명도이며 B_L은 SF_L로써 보정한 영상의 추정 명도이다. 이렇게 얻은 B_U과 B_L을 광택지의 추정 명도와 비교하여 차이가 작은 쪽의 영역을 명도 정합 계수가 수렴하는 치역으로 삼는다. 그리고 이 영역을 다시 위와 같은 방법으로 이등분해가며 명도의 차이를 제한된 범위까지 수렴시키는 계수를 찾는다. 그런데 그림 7에서 보는 바와 같이 각 잉크의 양의 증가에 따라 명도는 단조 감소하므로 고정된 광택지의 채색 추정 명도에 제한된 범위에서 수렴하는 전용지의 CMY값의 영역은 반드시 존재한다. 그림 9는 채색 면적 보정과 채색된 영상의 평균 명도의 추정을 이용한 명도 정합까지 포함한 칼라 프린팅을 위한 블록도이다.

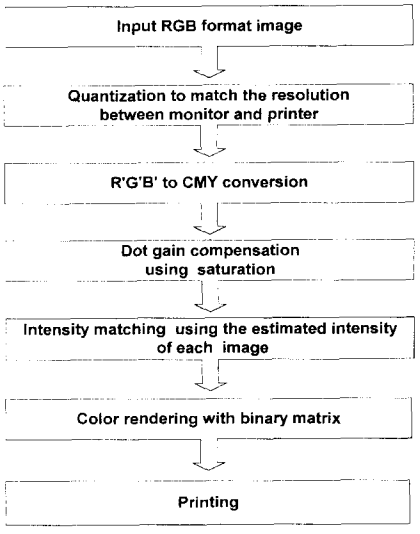


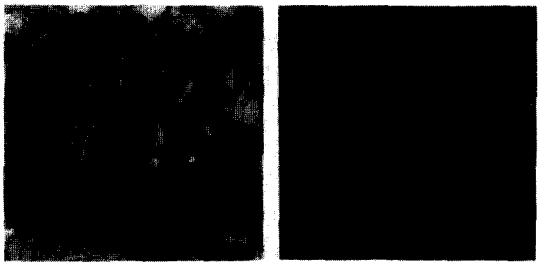
그림 9. 용지 사이의 색정합을 위한 칼라 프린팅의 블록도

Fig. 9. Block diagram for color printing to match the color of printed images on the different substrates.

Ⅵ. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘을 이용한 영상의 색정합을 실험하기 위해 실 영상과 CMY성분을 동일하게 채색한 칼라 차트를 이용하였다. 실험에 사용한 프린터로는 HP-560K 와 HP 660K를 이용하였고 잉크로는 HP 51625A 와 HP-51649A를 사용하였다. 채색 용지로는 광택지로써 HP-C3837A를 사용하였고 전용지로는 한솔HP-51630Z를 사용하였다. 그리고 해상도에 따른 결과 비교를 위해 실영상에 대해서는 300 [dpi] 로 프린팅하고 CMY를 동일하게 채색한 칼라 패치에 대해서는 300 및 600 [dpi] 의 해상도로 프린팅 하였다. 이때 입력 RGB영상으로부터 프린터의 기본 잉크 성분인 CMY로의 변환은 실영상에서는 1 byte형태의 RGB영상을 선형 양자화 기법을 이용해 300dpi해상도에 적합한 4bit로 양자화하고 동일한 성분의 CMY칼라 패치에서는 600 [dpi] 해상도에 적합한 6 bits로 양자화 하였으며 두 경우 모두 각 성분에 대해 C=1−R과 M=1−G 및 Y=1−B의 방법으로 CMY성분으로

변환하였다.



(a) (b)

(c)

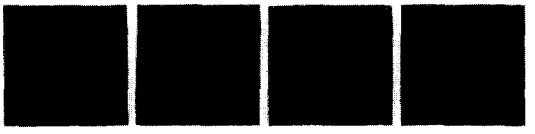
그림 10. 광택지와 전용지에 프린팅된 peppers 영상, Floyd and Steinberg의 오차 확산방법(a) 광택지 (b) 전용지 (c) 전용지, 제안한 색정합방법

Fig. 10. The printed peppers on the glossy paper and the coated paper for ink jet printer, Floyd and Steinberg's error diffusion algorithm. (a) Glossy paper (b) Coated paper (c) Coated paper by the proposed color matching algorithm.

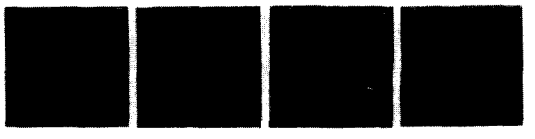
그림 10에서 (a)와 (b)는 동일한 방법으로 프린팅한 영상이며 매질의 차이에 따른 색의 오정합을 잘 보여준다. (a)는 광택지에서 peppers영상을 Floyd and Steinberg[9]의 오차 여파기(error filter)를 사용하여 오차 확산 방법(error diffusion algorithm)[10]으로 디더링한 영상이며 (c)는 전용지에서 제안한 색정합방법를 적용시킨 후 동일한 방법으로 디더링한 영상이다. 이때 전용지에 채색된 영상이 광택지에 잘 정합됨을 알 수 있다.

그림 11의 CMY성분을 동일하게 채색한 칼라 패치의 실험에서도 실영상과 마찬가지로 두 매질사이에서 색이 서로 잘 정합됨을 알 수 있다. 표 3은 그림 11의 칼라 패치를 색채 계측기로 측정한후 색오차를 나타내는데 기준 좌표계로 가장 많이 쓰이는 CIELAB좌표계에서 구한 값과 기준용지인 광택지와의 색오차를 나타낸다. CIELAB좌표계에서의 색오차는 비교되는 색사이의 기하학적 거리를 말하며 이는 식 (16)과 같다.

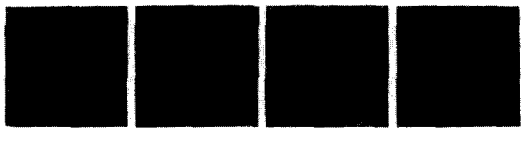
$$\triangle E_{Lab} = \sqrt{[\ (\triangle L)^2 + (\triangle a)^2 + (\triangle b)^2\ ]} \quad (16)$$



(a)



(b)



(c)

그림 11. 광택지와 전용지 칼라 차트(9 ~ 12채색점/화소) (a) 광택지에 CMY를 동일하게 채색한 칼라 차트 (b) 전용지에 CMY를 동일하게 채색한 칼라 차트 (c) 제안한 색정합방법으로 보정한 전용지의 칼라 차트

Fig. 11. Color charts made by the glossy and the coated paper(9 ~ 12dots/pixel). (a) Color chart printed by same amounts of cyan, magenta, and yellow on the glossy paper (b) Color chart printed by same amounts of cyan, magenta, and yellow on the coated paper (c) Color chart printed by the proposed color matching algorithm on the coated paper.

표 3. CIELAB좌표계에서 얻은 칼라패치의 값과 광택지와의 색오차

Table 3. The CIELAB values of color patches and color differences in CIELAB space.

(a) 9 [dots/pixel]

	L	a	b	$\triangle E_{Lab}$
Sample	46.68	16.20	-24.42	-
Match	51.16	4.22	-17.42	14.58
Compensated match	50.63	19.42	-32.30	9.38

(b) 10 [dots/pixel]

	L	a	b	$\triangle E_{Lab}$
Sample	46.24	15.56	-25.42	-
Match	50.49	4.06	-18.96	13.86
Compesated match	50.86	13.82	-27.63	5.41

(c) 11 [dots/pixel]

	L	a	b	$\triangle E_{Lab}$
Sample	41.33	18.14	-26.83	-
Match	49.22	4.23	-18.04	18.25
Compensated match	50.15	13.62	-28.24	10.01

(d) 12 [dots/pixel]

	L	a	b	$\triangle E_{Lab}$
Sample	36.79	21.35	-30.71	-
Match	51.37	4.60	-15.32	27.02
Compensated match	47.93	15.27	-26.04	13.52

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 제안한 방법으로 보정한 전용지의 색이 광택지의 색에 잘 정합됨을 알 수 있다.

Ⅶ. 결 론

제안한 색정합 방법은 최근 활발하게 연구되고 있는 장치 독립적인 색재현 분야중에서 프린팅시 매질에 독립적인 색재현에 관한 연구이다. 이러한 매질에 독립적인 색재현을 위해 먼저 선형적으로 채색 잉크의 양을 증가시켜 만든 칼라 차트에 대한 측정을 바탕으로 각 기본 잉크의 양에 따른 채도 및 명도를 얻었다. 이때 채도를 이용한 채색 면적 보정을 통해 전용지에 채색될 잉크의 양을 결정함으로써 비교 매질 사이에서 색상에 대한 정합을 이루었고 또 제안한 명도 추정 방법을 이용하여 추가적으로 전용지에 채색될 기본 염료의 양을 조절함으로써 명도에 대한 정합을 이루었다. 제안한 알고리즘을 하프토닝 방식의 디지탈 프린터에서 실영상과 칼라패치에 대해 적용해 본 결과 색이 서로 잘 정합됨을 알 수 있었다. 그러나 영상의 아주 밝은 부분에서는 정합이 제대로 이루어지지 않았다. 즉 과도한 채색 면적 보정으로 인해 작은 값의 CMY성분이 양자화 과정에서 버려짐으로 인해 이러한 오정합이 발생하였다. 따라서 앞으로의 연구에서는 양자화 단계에 따른 적응적인 보정 과정을 통해 이러한 밝은 영역에서의 오정합에 대한 고려가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Marc D. Miller and Randy Zaucha, *디지털 컬러의 세계*, 민 근식 譯 성안당. 1996.

[2] Chet S. Hasse and Gary W. Meyer, "Modeling Pigmented Materials for Realistic Image Synthesis," *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 11, No. 4, pp. 305-335, October 1992.

[3] Fred W. Billmeyer, Jr. and Max Saltzman, *Principles of Color Technology*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 1981.

[4] Jian Ho, Brian V. Funt, and Mark S. Drew, "Separating a Color Signal into Illumination and Surface Reflectance Components: Theory and Applications," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 10, pp. 966 977, October 1990.

[5] 이 채수, 김 경만, 이 응주, 정 인갑, 하 영호, "칼라 프린팅을 위한 비선형적 양자화 및 변형 된 점 확산 기법," *제 8회 신호 처리 합동 학술 대회*, Vol. 8. No. 1, pp. 842-846, 1995

[6] Keith Jack, *Video Demystified*, Brooktree Corporation. 1993.

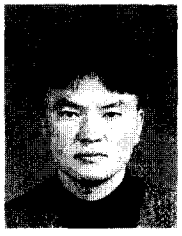
[7] Arun N. Netravali and Barry G. Haskell, *DIGITAL PICTURES Representation, Compression, and Standards*, 2nd ed. New York and London: Plenum Press 1995.

[8] Brian A. Wandell, *Foundations of Vision*, Stanford University, 1995.

[9] Robert Ulichney, *Digital Halftoning*, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 1987.

[10] Donald E. Knuth. "Digital Halftones by Dot Diffusion," *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 6, No. 4, pp. 245-273, October 1987.

저 자 소 개



李 曮 熙(正會員)

1969년 12월 26일생. 1995년 경북대학교 전자공학과(공학사). 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1997년 ~ 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라영상처리, 칼라 프린팅임

金 炅 萬(正會員)

1970년 4월 5일생. 1993년 경북대학교 전자공학과(공학사). 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1995년 ~ 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라영상양자화, 멀티미디어등임

李 採 守(正會員)

1968년 3월 20일생. 1994년 경북대학교 전자공학과(공학사). 1996년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1996년 ~ 현재 동 대학원 박사과정 재학중. 주관심분야는 칼라영상 양자화, 칼라 프린팅, 음성신호처리임

河 永 浩(正會員) 第 32卷 B編 第 12卷 參照

현재 경북대학교 전자공학과 교수