

논문 2005-42SP-4-6

고화질 색 재현을 위한 추가적인 잉크와 정량적인 난알 무늬 측정자를 이용한 6색 분리

(Six Color Separation Using Additional Colorants and Quantitative
Granularity Metric for Photography Quality)

손 창 환*, 조 양 호*, 권 오 설*, 하 영 호*

(Chang-Hwan Son, Yang-Ho Cho, Oh-Seol Kwon, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 측색적인 오차와 난알 무늬 현상을 동시에 감소시키기 위해 추가적인 잉크와 정량적인 난알 무늬 측정자를 이용한 6색 분리 방법을 제안한다. 기존의 6색 분리 방법에서는 3색이나 4색 프린터에서 나타나는 도트의 가시성을 줄이기 위해 밝은 영역에서 사용되는 붉은 잉크(light magenta와 light cyan)를 진한 잉크(magenta와 cyan)로 대체한다. 그러나 붉은 잉크와 진한 잉크의 색상의 차이로 인해서 밝은 영역에서 정확한 측색적인 색 재현이 어렵게 되었다. 이러한 측색적인 오차를 줄이기 위해 추가적인 잉크(additional colorants)인 yellow와 light magenta 잉크를 밝은 영역에서 사용한다. 따라서 밝은 영역에서 magenta 잉크는 light magenta와 yellow로 대체되고 cyan은 light cyan과 light magenta로 대체된다. 이러한 추가적인 잉크의 사용은 진한 잉크의 색상과 유사한 색을 만들 수 있기 때문에 측색적인 오차를 줄일 수 있게 된다. 또한 추가적인 잉크는 작은 도트의 가시성을 갖고 있기 때문에 부드러운 영상도 재현될 수 있다. 한편 중간 영역에서도 부드러운 영상을 획득하기 위해 magenta는 light magenta와 magenta로 대체되고 cyan은 light cyan과 cyan으로 대체된다. 그러나 농도가 다른 두 잉크의 사용은 거친 도트 패턴을 생성하게 된다. 이러한 현상을 반영하기 위해 정량적인 난알 무늬 측정자가 사용된다. 어두운 영역에서는 붉은 잉크를 사용해도 더 이상 난알 무늬가 감소되지 않기 때문에 magenta와 cyan 잉크만 사용한다.

Abstract

This paper proposed a six-color separation using additional colorants and quantitative granularity metric to reduce color difference and graininess. In the conventional method, light magenta and light cyan are used in the bright region instead of magenta and cyan. However, the hue value of light magenta and light cyan is different from the one of magenta and cyan in CIELAB space, so that this makes the colorimetric reproduction more or less inaccurate. To improve this inaccuracy, the proposed method uses yellow and light magenta colorants as the additional colorants. In the bright region, magenta is replaced with light magenta and yellow, while cyan is replaced with light cyan and light magenta. This selection reduces hue difference because it creates the color of similar hue to magenta and cyan. In addition, smooth image can be simultaneously obtained by the less dot visibility of additional colorants. In the middle region, magenta is replaced with light magenta and magenta, while cyan is replaced with light cyan and cyan. The use of two colorants having a different concentration makes the dot pattern coarse. To reflect this phenomenon, quantitative granularity metric is used. In the dark region, only magenta and cyan colorant is used as usual. Through experiments, it is shown that the proposed method improves both colorimetric and smooth tone reproductions.

Keywords : Six color separation, Granularity, GCR, Halftoning

* 정희원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science, Kyungpook National Univ.)
접수일자: 2005년3월8일, 수정완료일: 2005년6월14일

I. 서 론

고해상도를 지원하는 칼라 장치의 기술 개발에 따라

고화질 영상을 출력하기 위해 기존의 4색(CMYK) 프린터에 묶은 잉크를 추가한 6색(CMYKLcLm) 프린터가 등장하게 되었다.^[1] 6색 프린터에는 색상이 다른 잉크를 추가시키거나 색상은 같으나 농도가 다른 잉크를 추가시키는 프린터가 있다. 색상이 다른 잉크를 추가시키는 6색 프린터는 표현할 수 있는 색역을 확장시키고 메타메리즘을 줄일 수 있다. 이때 사용되는 잉크는 색역을 확장하는 범주에 따라 다르지만 주로 주황색과 녹색 잉크 사용된다. 한편 색상은 같으나 농도가 다른 잉크를 추가시키는 6색 프린터는 출력된 영상의 낱알 무늬를 줄이고 부드러운 톤을 재현할 수 있으며 해상도까지도 높일 수 있다. 주로 사용되는 잉크는 C와 M을 희석시킨 light cyan(Lc)과 light magenta(Lm)이다. 이러한 4색 프린터에 묶은 잉크를 추가한 6색 프린터의 보급과 함께 4가지 잉크를 6가지 잉크로 분리해주는 6색 분리 과정이 필요하게 되었다.

6색 분리 방법에는 색차를 이용한 6색 분리, 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리, 잉크의 제한 양을 고려한 6색 분리 방법 등이 있다. 색차를 이용한 6색 분리 방법은 정확한 측색적인 색 재현은 이룰 수 있지만 밝은 영역에서 C나 M의 사용으로 인해 낱알 무늬가 발생하여 영상의 화질을 저하시키는 단점이 있다.^[2] 반면에 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법은 부드러운 톤을 재현하며 3색 프린트보다 높은 해상도를 얻을 수 있지만, 진한 잉크와 묶은 잉크의 색상의 차이로 인해서 측색적인 오차가 밝은 영역에서 발생한다.^[3] 또한 주관적인 낱알 무늬 값의 할당으로 관찰자의 의존적인 문제가 발생한다. 이러한 낱알 무늬 값을 수치적으로 계산한 6색 분리 방법도 있다. 4후처리 과정으로서 잉크 양의 제한을 고려한 6색 분리 방법도 있다. 일반적으로 400% 이상의 잉크의 양이 출력 될 때, 종이가 얼룩해지며 영상이 몽롱화되는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 잉크 한계량을 벗어난 잉크의 조합을 종이 흡수 할 수 있는 잉크 한계 영역 안으로 사상하거나 잉크의 양은 다르지만 동일한 농도로 사상하는 방법도 있다.^[5]

본 논문에서는 기존의 6색 분리 방법에서 발생하는 측색적인 오차를 줄이면서 부드러운 톤을 재현하는 6색 분리 방법을 제안한다. 먼저, 밝은 영역에서 묶은 잉크가 진한 잉크로 대체될 때, 두 잉크의 색상의 차이로 인해 정확한 측색적인 색 재현이 떨어지게 된다. 이러한 측색적인 오차를 보정하기 위해 진한 잉크의 색상과 유

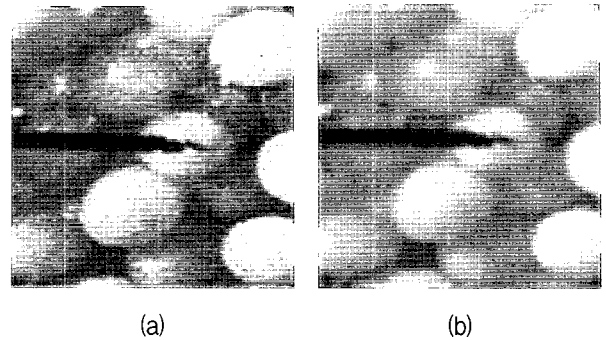


그림 1. 기존의 6색 방법의 결과; (a) 색차를 이용한 6색 분리의 결과 (b) 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리의 결과

Fig. 1. The result of the conventional six color separations; (a) six color separation using the color difference (b) six color separation using the lightness value and subjective granularity.

사한 색상을 만들 수 있는 추가적인 잉크를 묶은 잉크와 함께 사용한다. 그리고 중간 영역에서는 농도가 다른 두 잉크가 혼합될 때, 진한 잉크가 묶은 잉크에 비해 잡음처럼 보이는 낱알 무늬 현상이 발생하게 된다. 이러한 낱알 무늬는 도트 패턴을 거칠게 만들고 영상의 화질을 저하시킨다. 따라서 이러한 낱알 무늬 현상을 반영하기 위해 정량적인 낱알 무늬 측정자가 사용되었다. 이렇게 제안된 6색 분리 방법을 줄무늬 영상과 자연 영상의 실험을 통해 색차와 낱알 무늬를 동시에 감소시킨 결과를 얻었다.

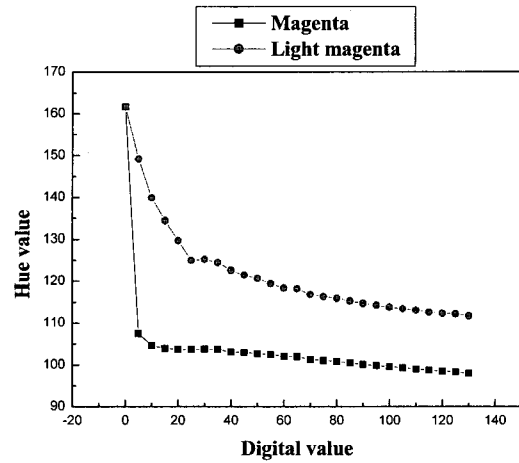
II. 기존의 6색 분리 방법

기존의 6색 분리 방법에는 색차를 이용한 6색 분리와 밝기와 낱알 무늬 값을 이용한 방법이 있다. 먼저, 색차를 이용한 6색 분리 과정은 C를 (Lc,C)로 M을 (Lm,M)으로 분리하는 1차원 룩업 테이블을 사용하여 CMYK를 CMYKLcLm으로 분리한다.^[2] 1차원 룩업 테이블은 입력 C나 M 패치에 대해서 색차(ΔE_{ab})를 가장 작게 하는 $f_c : C \rightarrow (C, Lc)$ and $f_m : M \rightarrow (M, Lm)$ 단조 증가 색 분리 함수를 통해 구현된다. 이 방법은 색차가 가장 적은 조합을 찾기 때문에 정확한 측색적인 색 재현은 가능하지만 그림 1(a)에서와 같이 밝은 영역에서 진한 잉크(C)가 사용된다. 이러한 6색 분리는 밝은 영역에 도트 가시성이 높은 진한 잉크의 사용으로 인해 도트 패턴을 거칠게 되어 6색 프린터의 장점인 부드러운 톤을 형성할 수 없다.

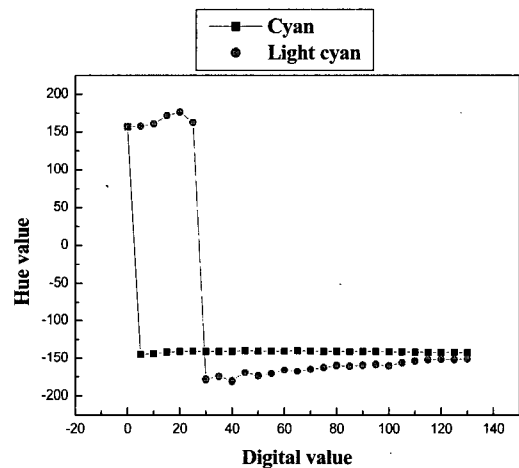
밝기와 주관적인 난알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법은 밝기에 따라 3가지 영역으로 분리한다.^[3] 밝은 영역에서는 C나 M의 입력 디지털 값에 해당하는 밝기에 가장 가까운 밝기를 가지는 묽은 잉크로 대체된다. 중간 영역에서는 C나 M의 입력 디지털 값의 밝기 값이 미리 정해진 문턱치 범위 안에서 주관적인 난알 무늬 값이 가장 작은 묽은 잉크와 진한 잉크의 조합으로 색 분리된다. 어두운 영역에서는 종이가 흡수할 수 있는 잉크 양의 제한과 묽은 잉크를 사용하지라도 더 이상 난알 무늬의 감소를 가져 올 수 없기 때문에 입력 디지털 값의 밝기에 가장 가까운 진한 잉크만을 사용한다. 그림 1(b)는 밝기와 주관적인 난알 무늬 값을 이용한 6색 분리의 결과이다. 색차를 이용한 방법과는 달리 밝은 영역에서는 묽은 잉크만을 사용하기 때문에 부드러운 패턴이 형성됨을 알 수 있다. 또한 진한 잉크의 밝기 값을 표현하기 위해서는 더 많은 면적을 차지하는 묽은 잉크로 출력해야 되기 때문에 해상도가 더 높아진 것을 알 수 있다. 그러나 밝은 영역에서 진한 잉크가 묽은 잉크로 대체될 때, 두 잉크의 색상의 차이로 인한 착색적인 오차가 발생하게 된다. 그림 2에서는 진한 잉크인 M과 C (■-)와 묽은 잉크인 Lm과 Lc(-●-)의 색상의 차이를 보여주고 있다. 그림에서 가로축은 입력 디지털 값을 의미하고 세로축은 CIELAB 색 공간에서의 색상 값을 의미한다. 특히 M과 Lm의 색상의 차이가 C와 Lc의 차이보다 더 큰 것을 알 수 있으며 이 색상의 차이가 밝기와 주관적인 난알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법에 적용될 때, 착색적인 오차를 일으키며 원 영상과 다른 색을 재현할 수 있다.

III. 추가적인 잉크와 정량적인 난알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법

기존의 6색 분리 방법은 착색적인 색 재현과 부드러운 톤을 동시에 만족하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 추가적인 잉크와 정량적인 난알 무늬 값을 이용하여 착색적인 오차를 줄이고 부드러운 톤을 재현하는 방법을 제안한다. 제안한 6색 분리 방법은 입력 디지털 값을 3가지 영역으로 분할한다. 밝은 영역은 C나 M의 입력 디지털 값이 6색 분리될 때, 묽은 잉크의 디지털 값이 최대 값에 도달하는 그때의 입력 디지털 값으로 정의된다. 그리고 그 지점에서부터 묽은 잉크의



(a)



(b)

그림 2. 진한 잉크와 묽은 잉크의 색상 값; (a) M과 Lm의 색상 값 (b) C와 Lc의 색상 값

Fig. 2. Hue value of the saturated colorant and diluted colorant; (a) magenta and light magenta (b) cyan and light cyan.

값은 점점 줄어들어 0의 값까지 도달한다. 이 지점까지를 중간 영역으로 설정하고 나머지 영역을 어두운 영역으로 설정한다. 이 3가지의 영역에 따라 묽은 잉크, 진한 잉크, 추가적인 잉크 중에서 1-2개의 적절한 잉크가 선택된다. M과 C 입력에 대한 잉크 선택은 다음과 같다.

$$f_i(M) = \begin{cases} Lm \text{ and } Y & \text{for } i = 0 \\ Lm \text{ and } M & \text{for } i = 1 \\ M & \text{for } i = 2 \end{cases} \quad (1)$$

$$f_i(C) = \begin{cases} Lc \text{ and } Lm \text{ for } i = 0 \\ Lc \text{ and } C \text{ for } i = 1 \\ C \text{ for } i = 2 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 f 는 색 분리 함수를 의미하고 $i=0,1,2$ 는 3가지 영역(밝은 영역, 중간 영역, 어두운 영역)을 나타낸다. M, Lm, Y, C, Lc는 사용된 잉크의 종류이고, 특히 밝은 영역에서 사용되는 Y와 Lm은 추가적인 잉크(additional colorants)로 정의된다.

그림 3은 제안한 6색 분리를 하기 위해 필요한 추가적인 잉크, 묽은 잉크, 진한 잉크에 대한 룩업 테이블을 만드는 과정이다. 밝은 영역에서는 묽은 잉크와 진한 잉크의 색상의 차이로 발생하는 측색적인 오차를 줄이기 위해 추가적인 잉크(Y, Lm)를 사용한다.

따라서 C나 M 패치의 입력 디지털 값(x)은 색차($\Delta E_{x, Lut(k,j)}$)가 가장 작은 추가적인 잉크의 디지털 값(k)과 묽은 잉크의 디지털 값(i)으로 색 분리된다. 중간 영역에서는 묽은 잉크와 진한 잉크가 조합될 때, 두 잉크의 농도의 차이로 인해서 난알 무늬가 발생하게 된다. 이러한 난알 무늬 현상을 반영하기 위해 정량적인 난알 무늬 측정자가 사용된다. 따라서 C나 M 패치의 입력 디지털 값(x)은 색차($\Delta E_{x, Lut(i,j)}$)가 미리 정해진 색차의 문턱치 값(TH)보다 작고 난알 무늬 값(NGS)이 가장 작은 묽은 잉크와 진한 잉크의 디지털 값(j)으로 색 분리된다. 어두운 영역에서는 C나 M 패치의 입력 디지털 값(x)은 색차($\Delta E_{x,i}$)가 가장 작은 진한 잉크의 디지털 값으로 대체된다.

1. 밝은 영역에서 묽은 잉크와 추가적인 잉크의 룩업 테이블 구현

기존의 6색 분리 방법을 사용했을 때에는 밝은 영역에서 측색적인 오차가 발생하기 때문에 추가적인 잉크를 묽은 잉크와 함께 사용하여 M은 (Lm,Y)로 C는 (Lc,Lm)으로 분리한다. Y를 Lm과 혼합하거나 Lc를 Lm과 혼합하는 것은 니게바우어 혼합 모델에 의해 입력 M이나 C와 유사한 색상을 만드는 것이 가능하다.^[6] 니게바우어 혼합 모델에 따르면 어떤 임의의 패치의 반사율은 니게바우어 주 파장의 반사율에 가중치를 곱한 평균적인 값으로 구할 수 있다. 예를 들면, 전체 면적의 20%를 차지하는 M의 줄무늬와 Y의 줄무늬가 혼합될 때, 겹쳐지는 부분의 Red-파장의 가중치 $a_c a_m$ 은

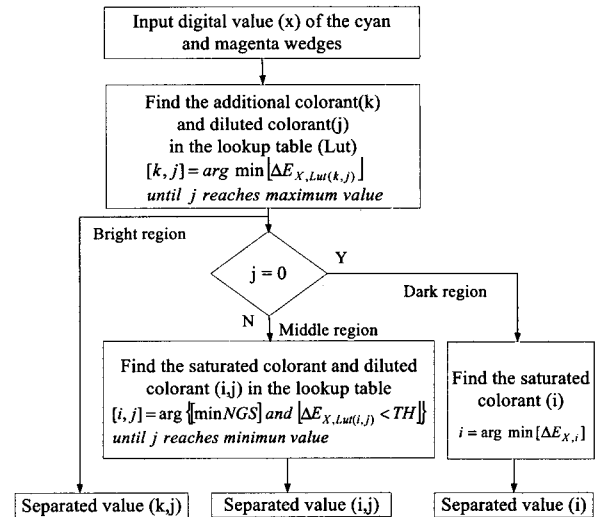


그림 3. 추가적인 잉크, 묽은 잉크, 진한 잉크에 대한 룩업 테이블을 만드는 과정

Fig. 3. Block-diagram to construct three lookup tables of the additional, diluted, and saturated colorants.

C와 M의 면적인 a_c 와 a_m 의 곱인 $a_c a_m = 0.2 \times 0.2$ 로 표현된다. 따라서 M에 Y를 첨가하는 것은 붉은 계통의 색상을 표현할 수가 있다. 동일한 원리에 의해서 Lm을 Lc와 혼합하는 것과 Y를 Lm에 혼합하는 것은 C나 M의 색상을 만들 수가 있다. 이 가정은 실험을 통해서 증명 될 것이다. 추가적인 잉크를 사용하는 것은 측색적인 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 난알 무늬 값도 묽은 잉크만을 사용했을 때와 거의 동일한 값을 유지 할 수 있다. 왜냐하면 추가적인 잉크인 Y나 Lm은 잉크 자체의 입자가 매우 작기 때문에 묽은 잉크에 첨가해도 난알 무늬 특성이 거의 증가하지 않는다. 따라서 밝은 영역에서 추가적인 잉크의 사용은 측색적인 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 난알 무늬 값도 작게 유지할 수 있다. 밝은 영역에서 묽은 잉크와 추가적인 잉크의 룩업 테이블은 다음과 같이 만들어 진다. 첫째, 묽은 잉크와 추가적인 잉크로 조합할 수 있는 패치의 디지털 값과 CIELAB 값을 가지는 2차원 룩업 테이블 만든다. 먼저, Lm과 Y의 조합으로 만들 수 있는 17×17 패치를 만든 후, 스칼라 오차 확산법을 사용해서 출력한다. 그리고 분광 측색계를 사용하여 289개의 패치에 대한 CIELAB 값을 측정한다. Lc와 Lm의 경우에도 동일한 과정을 수행한 후, 선형 보간법을 사용하여 255×255 2차원 룩업 테이블을 구성한다. 둘째, 입력 영상의 프로파일을 구성하는 단계이다. 입력 영상은 진한 잉크(M, C)로만 5단계식 52개의 패치를 만

들고 스칼라 오차 확산법을 이용하여 출력한 후, 분광 측색계를 사용하여 CIELAB 값을 측정한다. 그리고 입력 디지털 값을 인덱스로 하며 CIELAB 값을 저장한 1차원 룩업 테이블 구현한다. 이 입력 프로파일은 중간 영역과 어두운 영역에서도 동일하게 사용된다. 셋째, C나 M의 입력 디지털 값에 대한 6색 분리를 실행한다. 입력 디지털 값의 CIELAB값과 색차가 가장 적은 값을 가지는 (Y,Lm) 또는 (Lm,Lc)의 조합을 2차원 룩업 테이블에서 선택한다. 그리고 이 과정은 묶은 잉크인 Lm이나 Lc가 최대 값에 도달하면 종료된다. 마지막으로 입력 C나 M 값에 대해 분리된 결과가 추가적인 잉크와 묶은 잉크를 위한 1차원 룩업 테이블에 저장된다.

2. 중간 영역에서 묶은 잉크와 진한 잉크의 룩업 테이블 구현

중간 영역에서는 농도가 다른 두 잉크가 혼합될 때, 두 잉크의 농도차이에서 기인한 낱알 무늬가 발생하게 된다. 6색 프린트에서 낱알 무늬(graininess)란 색상은 같으나 농도가 다른 Lc와 C 또는 Lm와 M이 혼합될 때 농도가 진한 C나M의 잉크가 인간 시각에 거슬리는 현상을 말한다. 따라서 중간 영역에서는 낱알 무늬 특성을 반영할 수 있는 측정자가 필요하다. 낱알 무늬 현상은 주관적인 방법이나 정량화된 방법으로 수치화 될 수 있다. 주관적인 낱알 무늬 계산은 묶은 잉크와 진한 잉크로 조합될 수 있는 패치들에 대해서 관찰자에 의해 0-100까지의 값으로 할당된다. 이러한 주관적인 낱알 무늬 계산은 관찰자에 의존적이며 많은 실험을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 저자에 의해서 제안된 정량적인 낱알 무늬 값을 사용한다.^[4] 정량적인 낱알 무늬 값은 다음과 같이 계산된다. 먼저, (C,Lc) 또는 (M,Lm)의 조합으로 패치를 만든 후, 모니터 장치 특성화 과정을 통해서 입력 RGB 영상을 CIELAB 값으로 변환시켜 준다. 그리고 인간 시각의 공간적인 주파수 특성을 반영한 SCIELAB 색 공간 좌표에서 색도와 밝기 값을 구한다.⁷ 이 색도와 밝기 값의 표준 편차의 합을 0-100까지의 값으로 정규화함으로써 낱알 무늬 값을 구한다.

$$X_{sd,z} = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (X_{i,j} - X_{mean,z})^2}{N}}, \text{ for } z = 0, 1, 2 \quad (3)$$

$$GS_k = X_{sd,0} + X_{sd,1} + X_{sd,2} \text{ for } k = 0, \dots, 289 \quad (4)$$

$$NGS_k = 100 \times \frac{GS_k - \min_k}{\max_k - \min_k}, \text{ for } k = 0, \dots, 289 \quad (5)$$

여기서 N 와 (i,j) 는 k 개의 패치에 대한 픽셀 수와 공간 좌표계이고, $X_{mean,z}$ 와 $X_{sd,z}$ 는 밝기와 색도의 평균과 표준 편차에 해당한다. 이 밝기와 색도의 표준 편차를 더한 값이 GS_k 이고 이 값을 최대값과 최소값으로 정규화한 값이 NGS_k 이다. 이 값을 정량적인 낱알 무늬 값으로 정의한다.

중간 영역에서 색을 분리하는 과정은 밝은 영역에서 색을 분리하는 과정과 유사하다. 먼저, 밝은 영역에서의 2차원 룩업 테이블과 다른 점은 사용되는 패치가 (Lm,Y)와 (Lc,Lm)이 아니라 (Lc,C)와 (Lm,M)의 조합으로 구성된다는 것이다. 그리고 2차원 룩업 테이블에 저장되는 값도 측정된 CIELAB 값뿐만 아니라, 낱알 무늬 값도 동시에 저장된다는 점에서 밝은 영역에서의 룩업 테이블과 차이점이 있다. 또한 C나 M의 입력 디지털 값을 색 분리하는 과정에서도 차이가 있다. 밝은 영역에서는 입력 디지털 값의 색 자극치와 가장 작은 색차를 가진 패치가 2차원 룩업 테이블에서 선택되었지만, 중간 영역에서는 미리 정해진 색차의 허용 범위 안에서 낱알 무늬가 가장 작은 값을 선택한다. 이 과정은 묶은 잉크의 값이 0이 될 때까지 수행되고 선택된 디지털 값은 묶은 잉크와 진한 잉크의 룩업 테이블에 저장된다. 한편, 색차의 문턱치 값은 인간 시각에서 거의 구별할 수 없다고 판단되는 3%로 정해졌다.^[8]

3. 어두운 영역에서 진한 잉크의 룩업 테이블 구현

어두운 영역에서는 묶은 잉크를 추가해도 더 이상 낱알 무늬가 감소되는 현상이 없기 때문에 진한 잉크만 사용된다. 또한 묶은 잉크와 진한 잉크를 동시에 사용하지 않으면, 종이가 흡수 할 수 있는 잉크의 제한 범위를 벗어나기 때문에 종이가 일그러지게 된다. 따라서 C나 M의 입력 디지털 값은 색차가 가장 적은 진한 잉크인 C나 M의 디지털 값으로 대체된다.

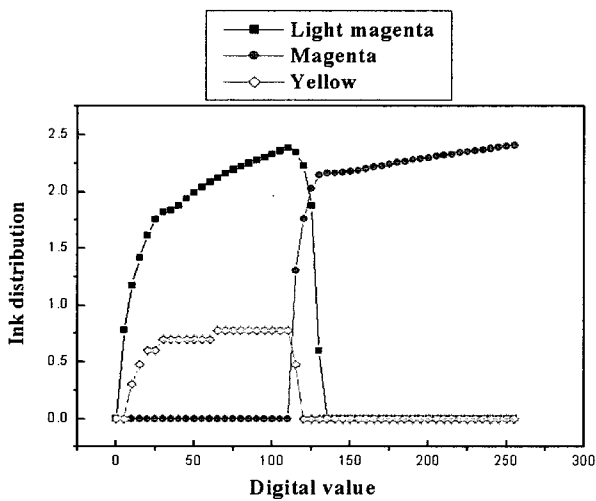
IV. 실험

실험에서 사용된 6색 프린터는 EPSON STYLUS PHOTO 700(360dpi)이다. 실영상을 찍기 위한 6색 프린터의 전 과정은 먼저 입력 장치 모니터의 RGB 값을 전방향 사면체 보간법으로 CIELAB 값으로 바꾼다. 출력 장치인 프린터 CMY 값은 역방향 사면체 보간법으로 CIELAB 값으로 바꾼다. 그리고 입력과 출력 장치간의 색역 차이를 색역 사상을 통해서 입력 장치의 CIELAB 값을 출력 장치의 CIELAB 값으로 바꾼다.^[9]

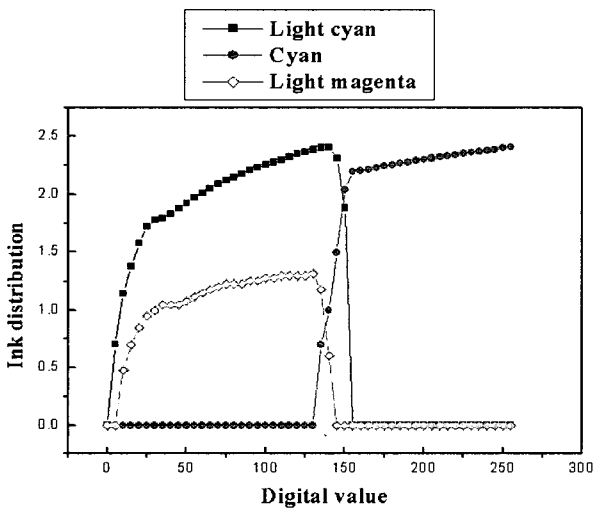
이 과정을 통해서 획득된 CMY 값은 다시 그레이 성분 대체법(gray component replacement, GCR) 통해서 4색으로 변환된다.^[10]

$$\begin{aligned} X &= \min(C, M, Y) \\ K &= f_1(X) \\ C &= C - f_2(X), M = M - f_2(x), Y = Y - f_2(X) \end{aligned} \tag{6}$$

여기서 min는 최소 값 함수이며, $f_1(X)$ 와 $f_2(X)$ 는 각각 BG(black generation)과 UCR(under color removal)의 함수이다. 본 논문에서는 $f_1(X) = f_2(X) = X$ 로 두었다.



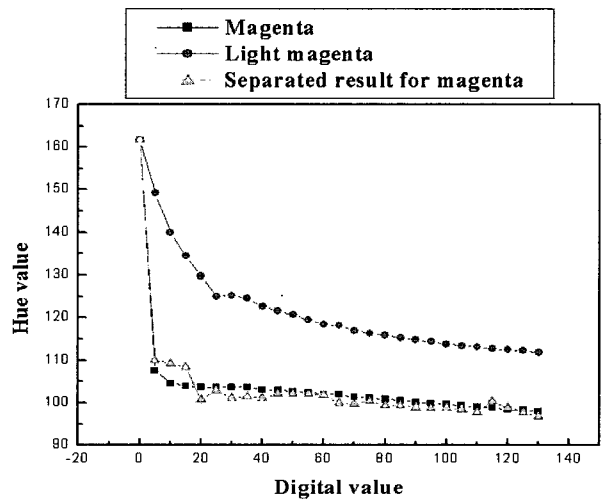
(a)



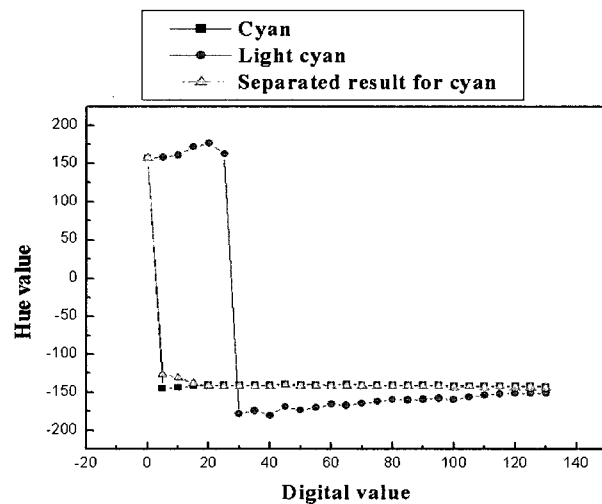
(b)

그림 4. 포토 잉크 분리 곡선; (a) M (b) C

Fig. 4. Photo ink separation pass; (a) magenta colorant (b) cyan colorant.



(a)



(b)

그림 5. 묽은 잉크, 진한 잉크, 제안한 방법을 사용해서 색 분리된 색상 값; (a) M (b) C

Fig. 5. Hue value of the diluted colorant, saturated colorant, and separated colorant; (a) magenta (b) cyan.

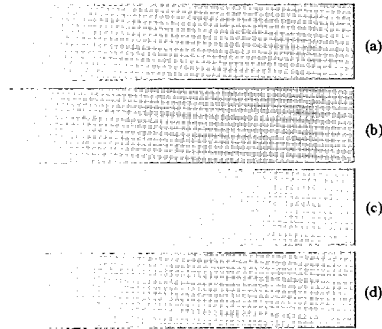


그림 6. M 줄무늬 영상에 대해 색 분리된 결과; (a) 4색 출력 (b) 색차를 이용한 6색 분리 (c) 밝기와 주관적인 낱알 무늬를 이용한 6색 분리 (d) 제안한 6색 분리

Fig. 6. The results of six color separation for magenta patch; (a) four color printing (b) six color separation using the color difference (c) six color separation using lightness and subjective granularity (d) proposed six color separation.

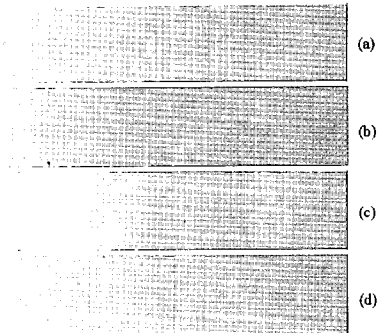


그림 7. C 줄무늬 영상에 대해 색 분리된 결과; (a) 4색 출력 (b) 색차를 이용한 6색 분리 (c) 밝기와 주관적인 낱알 무늬를 이용한 6색 분리 (d) 제안한 6색 분리

Fig. 7. The results of six color separation for cyan patch; (a) four color printing (b) six color separation using the color difference (c) six color separation using lightness and subjective granularity (d) proposed six color separation.

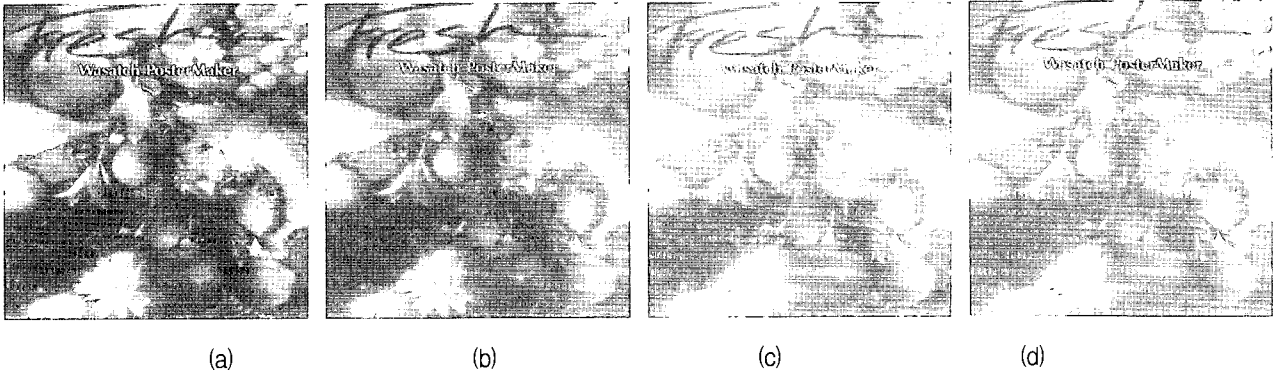


그림 8. 6색 분리의 결과; (a) 4색 출력 (b) 색차를 이용한 6색 분리 (c) 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리 (d) 제안한 6색 분리

Fig. 8. The results of six color separation; (a) four color printing (b) six color separation using the lightness and subjective granularity (d) proposed six color separation.

그림 4는 제안한 6색 분리 방법을 사용해서 구한 포토 잉크 분리 곡선을 보여주고 있다. 가로축은 입력 디지털에 값에 해당하고 세로축은 추가적인 잉크, 묽은 잉크, 진한 잉크의 룩 업 테이블에 저장된 색 분리된 디지털 값을 log 스케일로 변환한 값이다. 그림에서 보듯이 밝은 영역에서는 묽은 잉크와 추가적인 잉크가 사용되었고, 중간 영역에서는 묽은 잉크와 진한 잉크의 조합으로, 어두운 영역에서는 진한 잉크만 사용되었다. 그리고 밝은 영역에서 정확한 측색적인 색 재현을 위해 사용된 추가적인 잉크의 양이 적은 것을 볼 수 있다. 그림 5는 밝은 영역에서 추가적인 잉크를 묽은 잉크와 혼합했을 때, 색상의 값을 보여 주고 있다. 그림에서 보듯

이 제안한 방법을 통해서 색 분리된 색상의 값이 M이나 C의 색상과 유사하다는 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 방법을 통해서 기존의 밝은 영역에서 나타나는 측색적인 오차를 줄일 수 있었다.

1. 줄무늬 영상 실험

줄무늬 영상이 색차를 이용한 6색 분리, 밝기와 주관적인 낱알 무늬를 이용한 6색 분리, 제안한 6색 분리 방법의 성능을 비교하기 위해 사용되었다. 그림 6(b)와 7(b)는 색차를 이용한 6색 분리의 결과로서 밝은 영역에서 진한 잉크의 사용이 인간 시각에 거슬리는 것을 알 수 있으며, 이런 낱알 무늬 현상이 영상의 화질을 열

하시킴을 볼 수 있다. 또한 진한 잉크의 사용으로 인해 6색 프린트의 장점인 부드러운 톤과 높은 해상도를 얻을 수 없음을 보게 된다. 그러나 측색적인 측면에서는 4색 출력 영상과 가장 유사함을 알 수가 있다. 그림 6(c)와 7(c)는 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법이다. 색 분리 된 결과는 다른 어떤 방법보다 줄무늬의 영상이 부드럽고 해상도도 높아진 것을 볼 수 있다. 그러나 밝은 영역에서 진한 잉크와 묽은 잉크의 색상의 차이로 인해 4색 출력 영상의 색과 많이 다른 것을 알 수 있다. 그림 6(d)와 7(d)는 제안한 6색 분리의 결과이다. 밝은 영역에서 추가적인 잉크를 사용함으로 4색 출력의 색상과 유사한 결과가 얻었다. 이는 추가적인 잉크의 사용으로 측색적인 오차를 보정했음을 의미한다. 또한 추가적인 잉크가 묽은 잉크에 혼합되었을지라도 낱알 무늬 현상이 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 결과만큼 부드러운 패턴을 형성한 것을 볼 수 있다. 이는 Y와 Lm의 잉크의 도트가 인간 시각에 거의 보이지 않는 특성이 반영되었기 때문이다. 따라서 제안한 방법을 통해서 부드러운 톤과 측색적인 색 재현을 동시에 얻게 되었다.

2. 자연 영상 실험

'Fresh' 영상이 자연 영상 실험에 사용되었다. 그림 8은 4색 출력, 색차를 이용한 6색 분리, 밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리, 제안한 6색 분리 방법의 결과이다. 그림 8(b)의 포도송이와 바나나 부분에서 그림 8(c)나 8(d)보다 도트들의 가시성이 높고 패턴들이 거칠게 된 것을 볼 수 있다. 그러나 색상은 4색 출력물과 유사한 것을 볼 수 있다. 반면에 그림 8(c)는 꽃잎과 딸기 부분에서 부드러운 영상을 획득했지만 색이 많이 왜곡된 것을 볼 수 있다. 이에 반해서 제안한 6색 분리의 결과인 8(d)에서는 포도송이와 바나나 부분에서 부드러운 영상을 획득하였을 뿐만 아니라, 정확한 측색적인 색 재현까지도 달성하였다.

3. 성능 평가 실험

3가지 6색 분리 방법의 성능을 평가하기 위해 색차와 낱알 무늬 값을 비교하였다. 실험 영상으로는 M과 C의 5 단계씩 증가는 램프 패치를 사용되었다. 이 램프 패치를 3가지의 색 분리 방법을 적용하여 색차와 낱알 무늬 값을 구했다. 색차는 원 영상의 CIELAB 값과 색 분리 방법을 사용해서 출력된 결과물을 분광측색계로 측

표 1. M패치에 대한 색차와 낱알 무늬 값
Table 1. Color difference and granularity for magenta wedges.

6색 분리 방법	색차	낱알 무늬 값
색차를 이용한 6색 분리	1.22	3.833
밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리	10.068	3.749
제안한 6색 분리 방법	1.255	3.498

표 2. C패치에 대한 색차와 낱알 무늬 값
Table 2. Color difference and granularity for cyan wedges.

6색 분리 방법	색차	낱알 무늬 값
색차를 이용한 6색 분리	1.64	6.813
밝기와 주관적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리	6.077	3.802
제안한 6색 분리 방법	1.247	5.403

정된 CIELAB 값으로부터 구해졌다. 반면에 낱알 무늬 값은 4번 수직을 사용하여 계산되었다. 표 1과 2는 3가지 색 분리 방법의 성능을 보여주고 있다. 줄무늬실험에서 예상했듯이, 색차를 이용한 방법은 색차가 가장 적지만 낱알 무늬 값이 가장 높은 것을 알 수 있으며 밝기와 낱알 무늬 값을 이용한 색 분리 방법은 낱알 무늬 값은 제일 작지만 색차가 가장 큰 것을 알 수 있다. 반면에 제안한 방법은 색차와 낱알 무늬 값을 동시에 감소시킨 것을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 추가적인 잉크와 정량적인 낱알 무늬 값을 이용한 6색 분리 방법을 제안했다. 먼저, 밝은 영역에서는 추가적인 잉크를 묽은 잉크와 혼합하여 측색적인 오차를 줄였다 또한 추가적인 잉크의 도트의 가시성이 적은 특성을 이용하여 낱알 무늬 값도 동시에 줄이게 되었다. 중간 영역에서는 두 잉크의 농도의 차이로 발생하는 낱알 무늬 특성을 반영하기 위해 정량적인 낱알 무늬 측정자를 도입하였고 미리 정해진 색차의 문턱치

하에서 낱알 무늬 값이 가장 적은 값을 룩 업 테이블에서 선택하여 색차와 낱알 무늬를 반영하였다. 어두운 영역에서는 묽은 잉크의 불필요한 사용으로 색차 측정자만 사용하여 입력 값을 진한 잉크로 분리하였다. 제안한 6색 분리 방법은 줄무늬 영상과 자연 영상의 실험을 통해서 부드러운 출력과 정확한 측색적인 색 재현을 동시에 달성하였다

CMYK printer as an RGB printer," *Proceedings of SPIE Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts*, San Jose, U.S.A., vol. 4663, pp.150-161, Jan. 2002.

참 고 문 헌

- [1] A. U. Agar, "Photo quality printing on a digital press," *IS&T's NIP 18: 2002 International Conference on Digital Printing Technologies*, San Diego, U.S.A., pp. 87-90, Sep. 2002.
- [2] A. U. Agra, "Model based color separation for CMYKcm printing," *Ninth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering*, Scottsdale, U.S.A., pp. 298-302, Nov. 2001.
- [3] X. C. Huang and B. D. Nystrom, "Multilevel ink mixing device and method using diluted and saturated color inks for inkjet printer," U.S. patent, no. 6,172,692, Jan. 2001.
- [4] C. H. Son, Y. T. Kim, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Six color separation for improving graininess in a middle tone region," *Proceedings of SPIE Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts*, San Jose, U.S.A., vol. 5293, pp. 110-120, Jan. 2004.
- [5] D. W. Couwenhoven, R. L. Miller, and K. E. Spaulding, "Method for multicolorant printing of digital images using reduced colorant amounts," U.S. patent, no. 6,435,657, Aug. 2002.
- [6] R. S. Berns, *Principle of color technology*, Wiley-Interscience, pp. 172-173, U.S.A., 2000.
- [7] X. M. Zhang and B. A. Wandell, "A spatial extension to CIELAB for digital color image reproduction," *Society for Information Display Symposium Technical Digest*, vol. 27, pp.731-734, 1996.
- [8] J. Y. Hardeberg, *Acquisition and reproduction of color image: colorimetric and multispectral approaches*, Dissertation.com, USA, 2001.
- [9] C. S. Lee, C. H. Lee, and Y. H. Ha, "Parametric gamut mapping algorithm using variable anchor points," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 68-73, Jan./Feb. 2000.
- [10] J. Z. Chang and J. C. Dalrymple, "Modeling a

 저 자 소 개



손 창 환(정회원)

2002년 경북대학교 전자전기
공학부 학사 졸업.

2004년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.

2004년~현재 경북대학교 전자
공학과 박사과정 재학중

<주관심분야 : 디지털 칼라 프린팅, 색 재현>

권 오 설(정회원)

제 41권 SP편 제 5호 참조

조 양 호(정회원)

제 41권 SP편 제 2호 참조

하 영 호(정회원)

제 38권 SP편 제 3호 참조