

논문 2007-44SP-2-6

색역 확장을 위한 멀티 칼라 프린터의 역 특성화 방법

(Inverse characterization method for color gamut extension in multi-color printer)

장인수*, 손창환*, 박태용*, 하영호**

(In-Su Jang, Chang-Hwan Son, Tae-Yong Park, and Yeong-Ho Ha)

요약

현재 프린터 산업에서는 다른 출력장치에 비해 색역이 작은 프린터의 색역을 확장하기 위해 CMY 이외의 색료를 추가하여 사용하고 있는 추세이다. 그러나 이러한 색료의 추가는 여러 가지의 색료 조합이 하나의 색 자극치를 나타내는 프린터 역 특성화 과정에서 잉여 문제를 일으킨다. 이에 본 논문에서는 색료간의 상관도를 고려하여 이러한 잉여 문제를 해결하는 프린터 역 특성화 방법을 제안한다. 먼저 동일한 색 자극치를 나타내는 여러 가지 색료 조합을 분석하기 위해 Cellular Yule-Nielsen Spectral Neugebauer 프린터 모델을 이용하여 모든 색료의 조합에 대한 색 자극치를 추정한다. 이 후 잉여 문제를 일으키는 색료의 조합들에 대해 색 공간에서의 주위 다른 색 조합들과의 상관도를 고려하여 가장 유사한 색료 조합을 선택한다. 이를 통해 임의의 입력 색 자극 값에 대한 출력 색료 값을 얻는 3차원 사면체 보간법을 사용하는 과정에서 오차를 줄일 수 있다. 이렇게 선택된 색료의 조합들과 색 자극치는 참조표로 저장된다. 실험에서는 CMYKGO 프린터를 사용하였으며 어두운 영역에서 색역이 확장 되었고, 좀 더 자연스러운 톤을 표현하였다.

Abstract

In current printer industry, four or more colorants are added for color gamut extension because the gamut of printer is smaller than other devices. However, these additional colorants make a redundancy problem that several combinations of colorants reproduced same color stimulus in colorimetric inverse characterization process. Thus, we propose a method of colorimetric inverse characterization using color correlation between colorant's amount. First, for analyzing the combination of colorants which represent the same color stimulus, we estimate the color stimulus for all combination of colorants by Cellular Yule-Nielsen Spectral Neugebauer printer model. The combination of colorants which has higher color correlation factor comparing combinations of colorant around itself in color space is selected. It can reduce the color difference from the tetrahedral interpolation process which is estimation of the output value(colorants combination) for arbitrary input(color stimulus). The selected combinations of colorants and their color stimulus are stored to the lookup table. In experiment, the CMYKGO printer was used. As a result, the dark region of color gamut was extended and the color tone was more naturally represented.

Keywords : 멀티칼라 프린터, 색역, 특성화, 상관도

I. 서론

디스플레이에 비해 색역이 작은 프린터의 색역을 넓히기 위한 연구가 계속되고 있다. 프린터에서의 색 재

현은 감산혼합이 적용되어 색을 혼합할수록 채도가 떨어져 색역이 작아지게 되고 최대 밝기도 종이의 밝기를 넘어서지 못하는 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 Cyan, Magenta, Yellow에 Black 색료를 추가하여 어두운 영역에서 색역을 넓히고 흑백영상이나 문서의 출력에 있어서 잉크의 경제성을 높이게 되었다. 즉 CMY의 조합으로 검은색을 나타내는 것 대신 Black 색료 하나만으로 표현을 하여 사용되는 잉크의 양도 줄이고 CMY의 조합보다 더 밝기 값이 낮은 색을 재현할 수 있게 되었다^[1]. 그러나 Black 색료의 추

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

접수일자: 2006년8월28일, 수정완료일: 2007년2월12일

가는 단순한 어두운 영역의 색역을 확장할 수 있었으나 이는 사진과 같은 포토 이미지의 출력에는 도움이 되지 못 하였다. Black 색료의 경우 밝기 값은 CMY 색료의 조합보다 낮으나 도트의 가시성으로 인해 검은 색 영역이 아닌 다른 색을 가지는 어두운 영역에서는 Black 색료의 사용이 출력이미지의 화질 저하에 원인이 된다^[2]. 이에 전체적인 프린터의 색역을 넓히면서 도트의 가시성을 줄이기 위해 Light Cyan 과 Light Magenta 색료를 추가하였다. 이는 기존의 Cyan과 Magenta 보다 물기 때문에 가시성이 낮으며 이를 통해 좀 더 부드러운 색의 재현과 색역 또한 확장 할 수 있었다^[3,4]. 그러나 이러한 잉크의 추가 또한 프린터의 색역 문제를 해결할 수 없었다. 이는 디스플레이에 비해 작은 프린터의 색역 부분이 주요 색료인 CMY가 나타내는 부분이 아니라 이 3가지 색료 중 두 가지를 혼합하여 나타내는 RGB부분이기 때문이다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 RGB 부분에 해당하는 색료를 추가하여 CMY의 조합 대신 추가된 색료를 사용하여야 한다. 그러나 이러한 시도에는 여러 가지 문제점들이 뒤 따른다. 장치의 독립적인 값(RGB, CIELAB)과 장치 의존적인 값(CMYKRGB) 사이의 관계를 도출하는 프린터 특성화 과정에서 추가된 색료로 인해 표현할 수 있는 색의 수(CMYKRGB의 조합)는 증가 하였으나 이들 중 동일한 색 자극(CIELAB, RGB)을 나타내는 색료의 조합이 다수 존재한다. 이에 하나의 색 자극을 재현해 내기위해 여러 개의 색료 조합이 가능하게 되어 이들 중 하나를 선택해야하는 문제가 발생하게 된다^[5]. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존에는 전체 색료 CMYKRGB로 이루어진 색역을 나누어 사용함으로써 이를 해결하고자 하였다. 전체 색역을 3, 4개의 부분 색역으로 나누고 각각의 색역에서 특성화를 수행하였다. 즉 부분 색역에서는 해당하는 색료가 3, 4개로 제한되어 있기 때문에 동일한 색 자극을 나타내는 색료의 조합이 발생할 확률이 아주 낮게 된다^[6,7]. 그러나 이러한 접근은 나누어진 색역의 경계부분처리가 모호하며 가능한 모든 색료의 조합을 사용할 수 없기에 프린터 전체 색역을 다 사용할 수 없게 된다. 또 다른 방법은 CMY로 이루어진 색역 내의 색은 그대로 CMY의 조합으로 재현하고 색역 밖의 색은 CMY의 조합에 색상에 따른 일정 비로 추가된 색료의 양을 교체하여 색을 재현한다^[8,9].

이 방법은 아주 간단하게 색을 재현할 수 있다는 장점이 있지만 정확한 색 재현이 어렵고 색역 또한 다른 방법에 비해 작다는 단점이 있다.

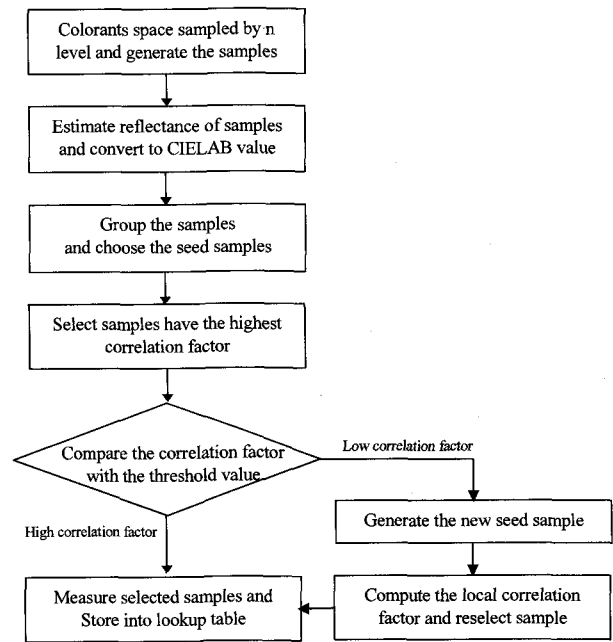


그림 1. 제안한 특성화 과정의 순서도
 Fig. 1. Flowchart of proposed characterization method.

본 논문에서는 기존의 방법과는 달리 색역을 나누지 않고 프린터 전체 색역을 색의 상관도를 고려하여 사용하는 특성화 방법을 제안한다. 동일한 색자극을 나타내는 색료의 조합들 중 하나를 선택하는 문제에 있어서 임의의 선택은 색의 순차적인 변화를 표현하는데 노이즈로 작용하게 된다. 이에 색료의 조합들 사이의 상관도를 고려하여 노이즈를 최소화하는 선택 방법을 제안한다. 그림 1은 제안한 방법의 순서도이다.

II. 프린터 모델을 이용한 분광 분포 추정

측정을 기반으로 하는 프린터 특성화 과정에서는 색료 공간에서 일정한 간격으로 샘플링 한 뒤, 각 샘플링된 색료의 조합을 직접 프린팅하고 측정을 통해 참조표를 작성한다. 그러나 만일 색료가 추가된다면, 색료의 수에 따라 측정해야 할 샘플의 수가 지수적으로 증가하여 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 프린터 모델을 이용하여 샘플링된 색료 조합의 분광분포를 추정한다. 이를 위해 Cellular Yule Nielsen Spectral Neugebauer 모델을 이용한다. 일반적인 Yule Nielsen Neugebauer 모델은 식 (1)과 같이 모델링 된다^[10].

$$R_{\lambda} = \left(\sum_i F_i R_{\lambda,i}^{1/m} \right)^m \quad (1)$$

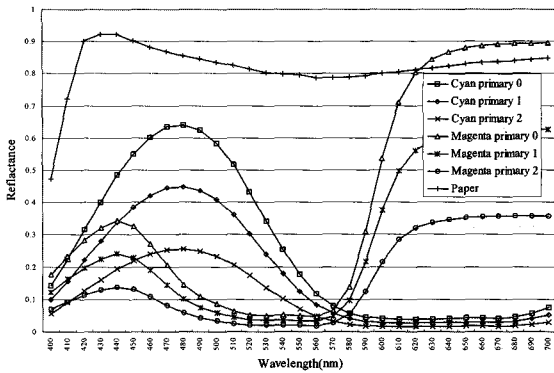


그림 2. 세분화된 Cyan, Magenta 의 분광분포
Fig. 2. Subdivided reflectance of cyan and magenta primaries.

$R_{\lambda,i}^{1/m}$ 는 각 색료의 분광분포를, R_{λ} 는 추정된 분광분포를 나타내며, m 은 Yule Nielsen 변수로서 도트의 빛에 의한 확산 정도를, λ 는 파장을 나타낸다. F_i 는 색료의 양을 나타내며 식 (2)와 같이 결정된다.

$$F_i = \prod_j \begin{pmatrix} a_j & \text{If ink } j \text{ is in Neugebauer primary } i \\ (1-a_j) & \text{If ink } j \text{ is not in Neugebauer primary } i \end{pmatrix} \quad (2)$$

결과적으로 분광분포는 각 색료의 분광분포의 합으로 추정이 된다. 여기에 추정 값의 정확성을 높이기 위하여 CYNSEN 모델에서는 이러한 색료들의 분광분포를 좀더 세분화 하여 추정 오차를 줄이고자 하였다^[11]. 그림 2에서와 같이 식 (1)에서 각 색료의 분광 분포에 대해 색료 값을 0 과 1 로 이분화 하지 않고 이를 4 가지로 구분하여 사용한다. 이렇게 추정된 각 색료 조합의 분광 분포는 색 자극치 값인 CIE XYZ 값으로 식 (3)과 같이 변환한다.

$$\begin{aligned} X &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \Delta \lambda \\ Y &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta \lambda \\ Z &= k \sum_{\lambda} S_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} \Delta \lambda \end{aligned} \quad (3)$$

$$k = \frac{100}{\sum_{\lambda} S_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \Delta \lambda}$$

여기서 \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} 는 인간 시각 특성을 나타내는 CMF(color matching function)을 나타내고 S 는 이때 쓰이는 광원(D50)의 분광분포를 나타낸다. 계산된 CIE XYZ 값은 완전한 반사체의 경우 계산된 Y 값이 100이 되게 하기 위해 k 에 의해 표준화된다. CIE XYZ 값으로 변환된 색료 조합의 분광 분포는 보다 균등한 색

공간인 CIELAB 공간으로 식 (4)를 통하여 변환한다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - \frac{16}{116} \right] \\ a^* &= 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right] \\ b^* &= 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{where } f(s) = \begin{cases} s^{1/3} & s > 0.008856 \\ 7.787s + 16/116 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 각 CIE XYZ의 최대값을 나타낸다.

III. 색의 상관도를 고려한 색료 조합의 선택

CYNSEN 모델을 이용하여 추정한 샘플링 된 색료 조합의 CIELAB 색 자극 값들은 공간 내에서 서로 동일한 값을 가지는 경우가 발생하여 이를 참조표로 저장하여 사용할 경우 입력 색 자극치에 대해 대응하는 색료의 조합이 여러 개가 존재하여 시스템이 불안정하게 된다. 또한 임의의 색료 조합을 선택하여 사용하게 되면 사면체 선형보간 과정에서 오차가 발생하게 된다. 이는 색료 공간이 서로 독립적이지 않고 의존적인 것에 기인한다. 예를 들어 그림 3 에서와 같이 CIELAB 공간에서 두 샘플 1과 2 사이의 값을 선형 보간법을 사용하여 CMYKGO 색료값을 보간할 경우 첫 번째 샘플의 색료 값은 Orange 값이 큰 반면 두 번째 샘플은 Magenta와 Yellow 값이 크다면 보간되는 이들의 중간 색료의 조합에 해당하는 CIELAB 값은 원하는 값과 오차가 발생하게 된다. 즉 Magenta 와 Yellow의 조합으로 표현되는 Orange의 양의 비가 선형적이지 않다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 샘플링 된

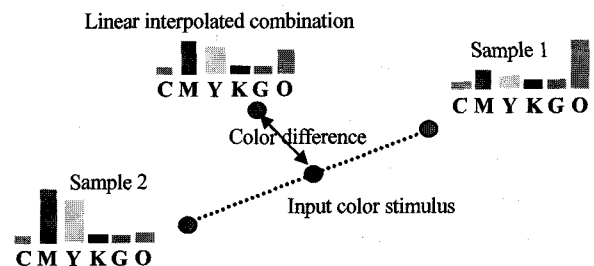


그림 3. 참조표를 이용한 선형 보간 시 발생하는 색차
Fig. 3. Color difference generated by the Linear interpolation using lookup table.

색료 조합 중 보간 과정에서 발생하는 오차를 최소화 하는 샘플들을 추출하고자 한다. 즉 샘플링 된 색료의 조합들 중 CIELAB 공간에서 서로 가까이 존재하는 색료의 조합들 사이에는 색료 조합의 분포가 비슷한 것들을 선택하여 보간 과정의 오차를 줄인다.

1. 후보 샘플과 기준 샘플 추출

CIELAB 공간을 균일한 간격의 격자로 나누고 각 격자에 해당하는 하나의 샘플을 추출하기 위해 격자와 일정 거리에 있는 샘플을 격자에서 선택될 후보 샘플로 추출한다. 이때 사용되는 일정 거리는 CIELAB 공간에서 격자와 추정된 샘플의 CIELAB 값 사이의 유클리드 거리를 다음과 같이 구하여 사용한다.

$$d = \sqrt{(L_l - L_s)^2 + (a_l - a_s)^2 + (b_l - b_s)^2} \quad (5)$$

L_l, a_l, b_l 은 격자의 CIELAB 값을 나타내고 L_s, a_s, b_s 는 샘플 패치의 CIELAB 값을 나타낸다. 이렇게 추출된 후보 샘플들 중 유사한 색료의 분포를 가지는 샘플들을 추출하기 위한 기준이 되는 샘플들을 정하기 위해 회색조 보정방법을 사용한다. 인간의 시각은 그레이 톤의 변화에 아주 민감하다. 이를 반영하여 일반적으로 프린터 특성화 과정에서 그레이 톤을 보다 정확하게 표현하기 위해 보정해 주는 과정을 수행한다. 따라서 이렇게 보정된 그레이 톤을 나타내는 색료의 분포와 유사한 분포를 가지는 샘플들을 추출하고자 한다. 회색조 보정방법은 여러 가지의 CMYK 조합 중 그레이 축 상의 샘플 패치를 선택한 다음 그것을 기준으로 선형적 회귀 방정식을 통해 톤 커브를 그림 4와 같이 생성한다. 이렇게 생성된 톤 커브를 기반으로 각각의 밝기 축에 해당하는 CMYK 조합을 각각의 기준 샘플로 정한다.

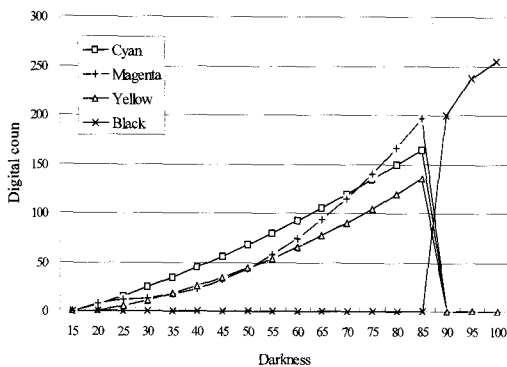


그림 4. 회색조 보정에 의해 선택된 샘플
Fig. 4. Samples selected by gray-balanced calibration.

2. 전역적 상관도를 고려한 샘플 선택

각 격자에 대해서 추출된 후보 샘플들 중 동일한 밝기 축상에 존재하는 기준 샘플과 유사한 색료의 분포를 가지는 샘플을 선택하기 위해 각 샘플의 기준 샘플과의 상관도를 고려한다. 이를 위해 기준 샘플과 후보 샘플을 식 (6)과 같이 6차원의 벡터로 정의 한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{s} &= \{s_c, s_m, s_y, s_k, s_g, s_o\} \\ \mathbf{c} &= \{c_c, c_m, c_y, c_k, c_g, c_o\} \end{aligned} \quad (6)$$

각 샘플의 평균과 표준 편차는 식 (7)로 구한다.

$$\begin{aligned} \mu_s &= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 s_i, & \mu_c &= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 c_i \\ \sigma_s &= \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (s_i - \mu_s)^2}, & \sigma_c &= \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (c_i - \mu_c)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

이렇게 구한 평균과 표준 편차를 이용하여 전역적 상관도를 식 (8)과 같이 구한다.

$$\eta = \frac{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (s_i - \mu_s)(c_i - \mu_c)}{\sigma_s \cdot \sigma_c} \quad (8)$$

이러한 과정을 통해서 구한 전역적 상관도를 이용하여 샘플 패치를 선택하게 된다. 즉 그림 5와 같이 각 격자에 대해 후보 샘플과 그 격자와 동일한 밝기 값을 가지는 기준 샘플과의 전역적 상관도를 구한 후 가장 높은 값을 가지는 샘플을 선택한다.

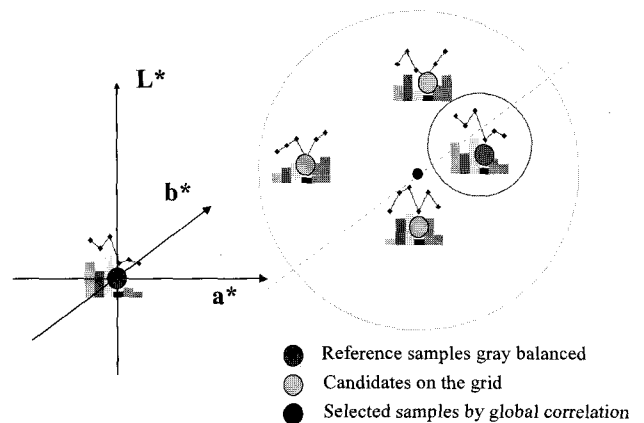


그림 5. 전역적 상관도를 고려한 샘플 선택
Fig. 5. Sample selection using global correlation.

3. 지역적 상관도를 고려한 샘플 선택

전역적인 상관도를 고려하여 각 격자에 해당하는 하나의 샘플을 선택하였다. 그러나 선택된 샘플의 상관도

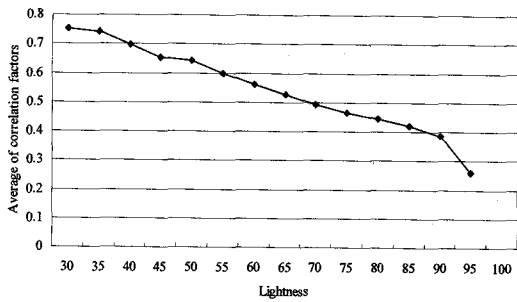


그림 6. 각 밝기 당 평균 전역적 상관도
Fig. 6. Averaged global correlation factors for each lightness plane.

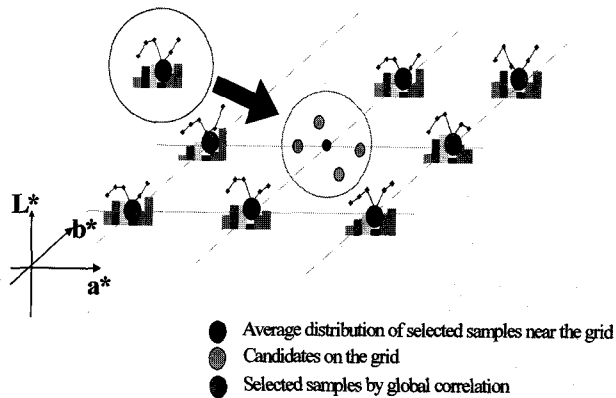


그림 7. 주위 샘플들의 분포를 고려한 새로운 기준 샘플
Fig. 7. New reference sample considering the distribution of near selected samples.

가 CIELAB 공간에서 주위의 선택된 패치의 평균 상관도 보다 현저히 낮을 경우 샘플들 사이의 색료 분포의 유사도가 낮아져 보간 과정에서 오차를 유발하게 된다. 이를 보완하고자 지역적인 상관도를 고려하여 샘플을 후보 샘플 중에서 재 선택 한다. 우선 이러한 지역적 상관도 고려의 여부를 결정하기 위한 기준을 정하고자 각 밝기 당 선택된 샘플의 평균 전역적 상관도를 구한다. 즉, 각 밝기 평면상의 선택된 샘플의 전역적 상관도를 평균하여 그것을 기준으로 재 선택의 여부를 결정한다. 그림 6은 밝기 당 평균 전역적 상관도를 나타낸다. 이를 기준으로 이보다 낮은 값을 가지는 격자의 경우는 지역적 상관도를 고려하여 재 선택한다. 지역적 상관도는 전역적인 상관도를 고려 할 때와는 다르게 각 밝기 평면 당 기준이 되는 샘플을 정하지 않고 해당 격자 주위의 다른 격자들에 해당하는 샘플들의 색료 값 분포를 고려하여 선택한다. 식 (9)에서처럼 새로운 기준 샘플을 주위의 선택된 상관도가 높은 샘플 패치들의 색료 값의 평균을 사용한다.

$$s = \frac{1}{k} (c_{s,1} + c_{s,2} + c_{s,3} + \dots + c_{s,k}) \quad (9)$$

여기서 k 는 해당 격자 주위의 높은 상관도를 가지는 격자의 수이며, $c_{s,k}$ 는 주위 샘플의 색료 값으로 구성된 6 차원 벡터를 나타낸다. 예를 들어, 그림 7에서와 같이 주위의 값보다 선택된 샘플이 낮은 전역적 상관도를 나타내는 경우 주위 높은 상관도를 나타내는 샘플 패치를 이용하여 식 (9)에서처럼 새로운 기준 샘플 패치를 생성한다. 이렇게 생성된 새로운 기준 샘플 패치는 식 (8)를 통하여 각각의 후보 샘플 패치와의 지역적 상관도를 고려하여 가장 높은 값을 나타내는 후보 샘플이 이 격자에 해당하는 샘플로 재 선택 된다. 이렇게 선택된 샘플들은 정확한 색 자극 값을 알기위해 측정을 통해 CIELAB값을 얻고 이를 참조표로 저장한다.

IV. 실험 및 결과

실험을 위해서 Epson Stylus Photo 700의 LcLm 색료 대신 Orange와 Green 색료로 교체하여 사용하였다.

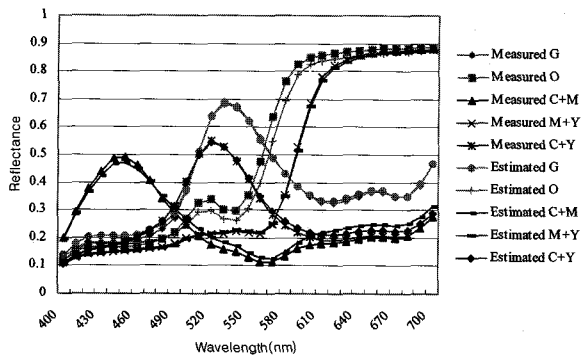
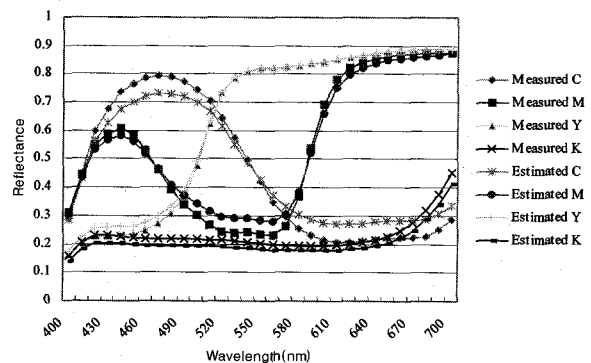


그림 8. 주요 색료의 분광분포
Fig. 8. Reflectance of primary colorants.

먼저 프린터 특성화를 통한 색 자극치를 추정하기 위해 트레이닝 샘플로 각 색료의 256 단계 패치 분광분포를 측정하여 이를 기반으로 CYNNSN 모델을 적용하였다. 임의의 150개 테스트 패치에 대한 분광분포 추정결과 그림 8에서와 같이 주요 색료의 색 자극치에 대한 추정 값을 보여주고 있다. 실제 측정한 결과와 유사하게 추정이 되고 있음을 알 수 있다. 그림 9에서는 추정된 값들을 정량화 하여 비교하였다. CIEDE2000 평균 색차가 1.1, 최대 색차가 4.9, RMS 평균 오차가 0.0223, 최대 오차가 0.05를 보여 높은 정확도를 보였다. 이를 통해 프린터 역 특성화 과정을 수행하기 위해서 CYNNSN 모델을 적용하여 CMYKGO 색료를 12단계로 샘플링한 뒤 300만개의 샘플의 색 자극치를 추정하고 이중 잉크 얼룩이 발생하는 샘플은 제외하고 제안한 방법으로 샘플을 추출한 결과 3000여개의 샘플을 추출하였다^[11]. 이렇게 추출한 샘플들이 제안한 방법으로 재현할 수 있는 CMYKGO 프린터의 색역이 된다. 그림 10은 기존의 색역을 나누고 각각을 특성화 하는 방법과 CMY 색역에서 일정한 비로 GO를 교체하는 방법이 나타내는 색역을 제안한 방법의 색역과 비교하였다. 그림 10(b)의 일정한 비율로 OG를 CMY 대신 교체하여 사용한 방법은 전체적으로 색역이 CMY보다는 증가하였으나 제안한 방법과 비교하였을 때는 색역이 작으며 10(a)의 부분색역을 특성화하는 방법은 제안한 방법과 색역이 유사하

나 어두운 영역에서 5%정도 제안한 방법의 색역이 더 증가하였다.

실제 영상에 적용을 하기 위해서는 테스트 이미지를 생성하여야 한다. 이를 위해 모니터 특성화 과정을 통해 RGB값으로 이루어진 테스트 이미지를 CIELAB의 값으로 변환한 뒤 CMYKGO 프린터의 색역으로 색역 사상을 한다. 이렇게 얻어진 이미지의 CIELAB 값은 추출한 샘플의 참조표를 기반으로 사면체 보간법을 사용하여 해당하는 CMYKGO 색료 값을 결정한다.

정량적 평가를 위해 Macbeth color checker를 사용하였다. 우선 상관도를 고려한 방법과 그렇지 않고 격자와 가장 가까운 샘플을 선택한 방법으로 색차를 비교하였다. 그림 11에서 전반적으로 상관도를 고려한 방법의 색차가 낮으며 특정 패치에 대한 최대 색차도 상관도를 고려했을 때가 낮게 나왔다. 이는 색료사이의 분포가 다르기 때문에 선형 사면체 보간과정에서 색차가

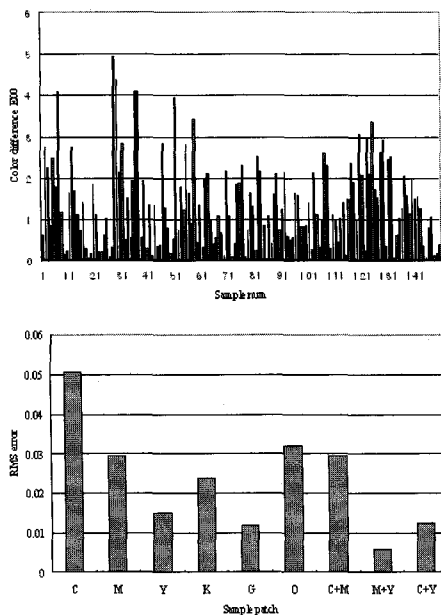


그림 9. 테스트 샘플 150개의 CIEDE2000 색차와 주요 9개 샘플의 RMS 오차
Fig. 9. CIEDE2000 color difference about 150 test samples and RMS error about 9 test samples.

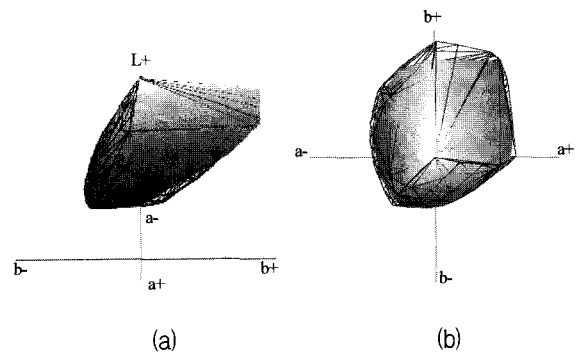


그림 10. 제안한 방법(wired)과 (a) 부분색역의 특성화 방법(solid), (b) 일정비율로 OG를 교체한 방법(solid)에 대한 색역비교
Fig. 10. Comparison of gamut with proposed method; (a) method using sub-gamut characterization and (b) method using substitution OG.

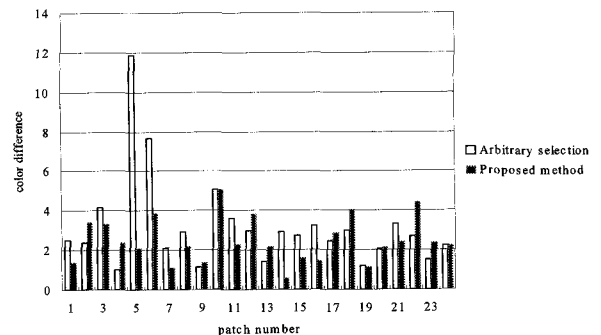


그림 11. 제안한 방법과 임의의 방법 간의 색차 비교
Fig. 11. Evaluation of selection methods, proposed method and arbitrary selection method.

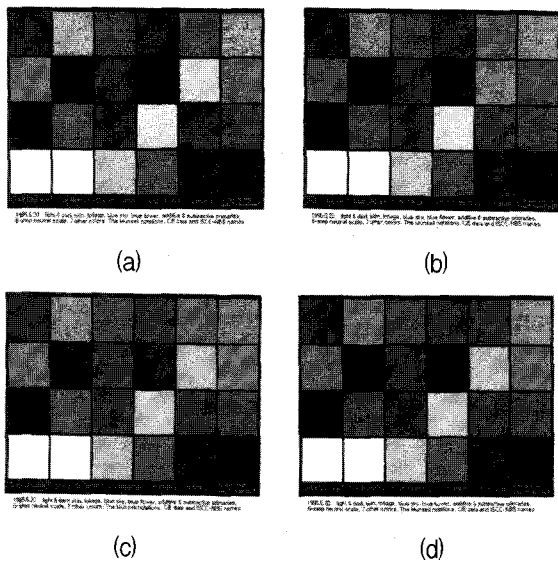


그림 12. Macbeth Color Checker를 이용한 비교 (a) CMY 색료만 사용, (b) 일정비율로 GO를 교체, (c) 부분색역의 특성화, (d) 제안한 방법

Fig. 12. Comparison with Macbeth Color Checker; (a) method using CMY, (b) method using substitution OG (c) method using sub-gamut characterization, and (d) proposed method.

표 1. Macbeth Color Checker를 이용한 CIELAB 색차 비교; (a) CMY 색료만 사용, (b) 일정비율로 GO를 교체, (c) 부분색역의 특성화, (d) 제안한 방법

Table 1. Comparison of color difference with Macbeth Color Checker; (a) method using CMY, (b) method using substitution OG (c) method using sub-gamut characterization, and (d) proposed method.

	(a)	(b)	(c)	(d)
mean	10.2	11.9	10	9.5
max	27.8	28.1	30.6	21.9
stdev.	7.37	7.75	8.18	6.19

발생하는 것이다. 다음으로 기존의 방법들과 비교를 하였다. 그림 12에서는 기존의 방법들과 제안한 방법에 대한 Macbeth Color Checker를 비교하고 있다. 일정비율로 GO를 CMY와 교체하는 방법인 그림 12(b)는 CMY만을 사용한 12(a)에 비해 Orange, Green, Red 부분의 채도가 높은 것을 볼 수 있으나 원 영상과는 색차가 많이 남을 볼 수 있다. 이에 비해 부분 색역을 특성화한 방법 12(c)는 기존의 CMY 색역 이외의 확장된 부분의 색역에서만 Orange와 Green 색료를 사용하였기에 결과적으로 Orange와 Green 부분을 제외한 나머지 부분에서의 변화는 볼 수 없다. 제안한 방법 (d)는 동일 영역에서 뚜렷한 채도의 증가를 보이며 가장 작은 색차

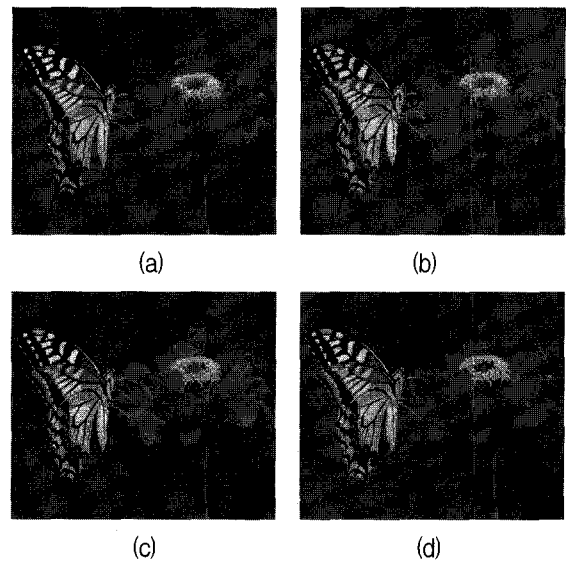


그림 13. '나비' 이미지; (a) CMY 색료만 사용, (b) 일정비율로 GO를 교체, (c) 부분색역의 특성화, (d) 제안한 방법

Fig. 13. 'butterfly' image; (a) method using CMY, (b) method using substitution OG (c) method using sub-gamut characterization, and (d) proposed method.

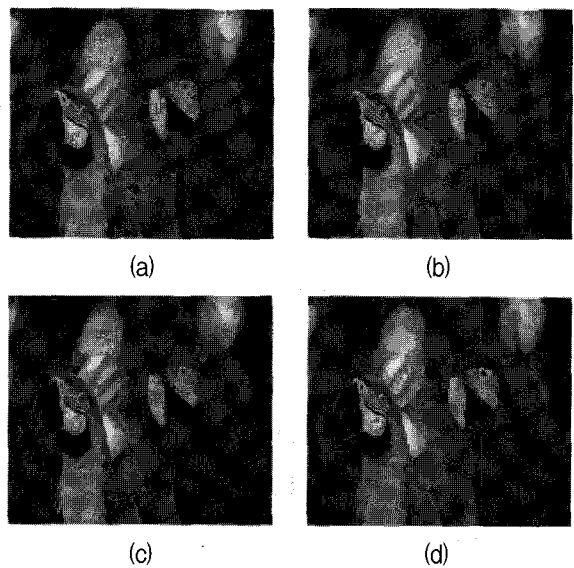


그림 14. '앵무새' 이미지; (a) CMY 색료만 사용, (b) 일정비율로 GO를 교체, (c) 부분색역의 특성화, (d) 제안한 방법

Fig. 14. 'parrot' image; a) method using CMY, (b) method using substitution OG (c) method using sub-gamut characterization, and (d) proposed method.

를 나타낸다. 표 1은 정량적인 결과 값을 나타낸다. Macbeth Color Checker의 실제 입력 CIELAB값과 출력 후 값과의 차이를 비교하였다. 제안한 방법이 다른 기존의 방법들에 비해 평균 색차, 표준편차가 작게 나

왔고 최대 오차도 작다.

그림 13과 14에서는 실제 영상을 비교하고 있다. CMY 색료만을 사용한 (a) 방법의 경우 입력 영상 자체가 대체적으로 어둡기 때문에 실제 영상과 비교했을 때 꽃잎 부분과 붉은 앵무새의 배 부분의 채도가 많이 떨어져 보인다. CMY를 일정비의 OG로 교체한 (b)의 방법은 또한 OG로 대체된 CMY의 양이 작아서 CMY 색료만을 사용한 특성화 방법 (a)와 유사하다. (c)의 경우 꽃잎 부분과 노란 앵무새의 배 부분의 채도는 증가하였으나 전체적인 밝기 또한 증가하여 CMY만을 사용하여 어둡고 채도가 높은 부분의 색 재현에는 한계가 있음을 보여준다. 이에 비해 제안한 방법을 적용해 출력된 (d)의 경우 꽃잎과 앵무새의 배 부분, 배경의 녹색 잎 부분을 표현하기 위해서 채도가 높은 Orange와 Green 색료를 사용하였으며, 또한 어두운 부분을 나타내기 위해 가시성이 높은 Cyan 대신 Green 색료를 사용함으로써 명암을 잘 표현하고 있다.

V. 결 론

색역을 넓히기 위해 추가적으로 색료를 사용하는 프린터의 입력 색 자극치에 해당하는 색료의 조합을 추정하는 역 특성화 방법을 제안하였다. 3색 프린터의 경우 3차원의 색공간에서(RGB, CIELAB)에서 CMY 3차원의 색공간으로 사상되기 쉽게 추정을 통해서 관계를 도출할 수 있으나, 3색 이상의 경우 3차원에서 6차원으로 사상에서는 하나의 색 자극이 여러 색료의 조합으로 사상되는 잉여 문제가 발생한다. 이를 해결하고자 추출되는 색료 조합의 샘플 사이의 상관도를 고려하여 차후 발생하는 색 재현 오차를 최소화하는 색료 조합들을 선택하였다. 이로 인해 기존의 방법들보다 색역이 확장되었으며, 색 재현의 정확도 또한 향상되었다.

참 고 문 헌

- [1] H. Zeng, "Gray component replacement by direct colorimetric mapping," *Proceedings of SPIE Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts*, San Jose, U.S.A., vol. 3963, pp. 317-322, Jan. 2000.
- [2] Y. T. Kim, Y. H. Cho, Y. H. Ha and C. H. Lee, "Halftoning Method Using Dispersed CMY Dithering and Blue Noise Mask," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 48, no. 1, pp. 37-44, Jan./Feb. 2004.
- [3] 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.
- [4] Y. X. Noyes, J. Y. Hardeger, and A. M. Moskalev, "Linearization curve generation for CcMmYK printing," *Eighth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering*, Scottsdale, U.S.A., pp. 247-251, Nov. 2000.
- [5] M. R. Rosen, E. F. Hattenberger, and N. Ohta, "Spectral redundancy in a six-ink in jet printer," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 48, no. 3, pp. 194-202, May. 2004.
- [6] P. C. Hung, "Colorimetric characterization beyond three colorants," *Proceedings of SPIE Color Imaging; Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts*, San Jose, U.S.A., vol. 3963, pp. 196-207, Jan. 2000.
- [7] P. C. Hung, T. Mitsuhashi, and T. Saitoh, "Inkjet printing system for textile using hi-fi colors," *IS&T's 2001 PICS Conference Proceedings*, pp. 46-50, 2001.
- [8] R. Balasubramanian, "System for printing color images with extra colorants in addition to primary colorants," *U.S. patent*, no. 5,870,530, Feb. 1999.
- [9] E. N. Dalal, Thyagarajan, R. Balasubramanian, and R. V. Klassen, "System for printing color images with extra colorants in addition to primary colorants," *U.S. patent*, no. 5,892,891, Apr. 1999.
- [10] R. Balasubramanian, "Optimization of the spectral neugebauer model for printer characterization," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 8, no. 2, pp. 156-166, Apr. 1999.
- [11] Y. Chen, R. S. Berns, and L. A. Taplin, "Six color printer characterization using an optimized cellular yule-nielsen spectral neugebauer model," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 48, no. 6, pp. 519-528, Nov. 2004.

 저 자 소 개



장 인 수(학생회원)
 2004년 2월 경북대학교
 전자전기공학부 졸업
 2006년 2월 경북대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2006년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 칼라 영상 처리, 프린터 장치특성
 화, 디스플레이 화질평가>

손 창 환(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 43권 SP편 제 3호 참조

박 태 용(학생회원)
 대한전자공학회논문지
 제 41권 SP편 제 5호 참조

하 영 호(정회원)
 대한전자공학회논문지
 제 38권 SP편 제 3호 참조