

논문 2010-47SP-4-9

모니터에 적응적인 칼라 레이저 프린터의 색 변환 방법

(Adaptive Color Correction Method to Monitor in Color Laser Printer)

장 인 수*, 손 창 환**, 김 경 만**, 하 영 호***

(In-Su Jang, Chang-Hwan Son, Kyung-Man Kim, and Yeong-Ho Ha)

요 약

프린터와 모니터 장치간의 색 일치를 위한 색 관리 시스템으로 ICC 프로파일을 사용한다. 그러나 모니터 각각의 실제 출력 색 자극은 색온도, 밝기, 대비와 같은 모니터의 사용자 설정 값에 따라 달라지고 이를 ICC 프로파일은 반영하지 않기 때문에 실제 이러한 색 관리 시스템을 이용하여 모니터의 색을 프린터에 그대로 재현하기는 어렵다. 또한 LCD 모니터의 경우 사용 시간에 따라 백라이트의 밝기와 색이 변하기 때문에 모니터의 출력 색 자극값은 시간에 따라 달라진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 모니터의 ICC 프로파일 정보를 보정하여 실제 모니터의 출력 색 자극 값을 추정한다. 테스트 영상의 출력물과 모니터, 프린터 ICC 프로파일을 이용한 소프트 프루핑 과정으로 모니터에 재현된 테스트 영상을 칼라 매칭을 통하여 일치하는 과정에서 모니터 ICC 프로파일 정보를 보정한다. 추정된 모니터 ICC 프로파일은 일반적인 색 관리 시스템에서 동일하게 적용하여 입력 영상을 프린터로 출력한다. 실험 결과 기존의 ICC 프로파일을 사용한 경우보다 보정된 ICC 프로파일을 사용해서 출력한 영상의 모니터의 색과 비교하였을 때 더 작은 색차를 나타내었다.

Abstract

The Color Management System in recent printers adopts ICC profiles for both monitors and printers. However, the ICC profile doesn't contain the characteristics of reproduced color on each monitor, because the color on each monitor is changed by user adjustment such as color temperature, brightness, and contrast adjustment. It is also depended on the backlight type and lifetime. As a result, unwanted color is reproduced on the printed paper, not like that on the monitor. To overcome the color difference between monitors and printers, it is needed to control the information of ICC profile. That is, first, the ICC profile is generated by the measurement of monitors having user set, then, through the CMS, the color on monitors can be produced on printed paper. However, it is difficult to apply the above system for normal users due to absence of measuring equipment and time consuming process. Therefore, this paper proposes a novel color matching technique based on the estimation of condition for each monitor having user set. The estimation is performed by a simple comparison visual test using a test image on printed paper and monitor. Then, the condition of monitor is applied to the ICC profile. As a result, the new ICC profile contains the color difference between user monitor and printer. The experimental results show the printed images using our proposed method have almost similar color with those on monitors.

Keywords : ICC 프로파일, 소프트 프루핑, 프린터, 모니터, 색 매칭

I. 서 론

프린터에서의 색 재현은 일반적으로 Cyan, Magenta, Yellow, Black 잉크를 사용하는 감법 혼색에 기반하며 출력물이 자체적으로 빛을 낼 수 없기 때문에 다른 출력 칼라 영상 장치들과 비교하여 나타낼 수 있는 색역이 작다. 이러한 이유로 모니터의 색을 프린터로 재현하기 위해서는 색 관리 시스템이 필요하다^[1]. 모니터와

* 학생회원, *** 정회원, 경북대학교 전자공학부
(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

** 정회원, 삼성전자
(Samsung Electronics Co., Ltd.)

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2010년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2010년2월20일, 수정완료일: 2010년6월21일

프린터 사이의 색 차이를 최소화하기 위해서는 일반적으로 장치 독립적인 색 공간인 CIELAB나 CIEXYZ 색 공간으로 색 변환을 하고 장치 간의 색역 사상 과정을 거쳐 색을 재현한다^[2~3]. 이러한 과정을 수행하기 위해서는 각 장치, 즉, 모니터와 프린터의 색 재현 특성 정보가 필요하다. 이를 위해 국제 컬러 협회(International Color Consortium)에서는 장치의 색 재현 특성 및 색 관리 시스템의 일관성을 위하여 장치의 색 재현 특성이 저장되는 ICC 프로파일과 이를 이용한 색 관리 시스템의 표준을 제안하였다^[4]. ICC 프로파일은 장치의 주요 색이나 샘플 색의 정보를 담고 있으며, 장치 독립적 색 공간과 장치의 색공간 사이의 변환이 용이하다. 따라서 대부분의 칼라 관련 영상 장치들이 이 색 관리 시스템을 사용하고 있다.

일반적으로 ICC 프로파일에는 생산 공정의 마지막 단계나 모델의 개발 당시에 측정된 정보가 저장된다. 그러나 칼라 영상 장치, 특히 모니터의 경우 사용 시간에 따라 그 색 재현력의 차이가 많다. 일반적으로 사용하는 LCD 모니터의 경우 CCFL로 된 백라이트를 사용한다. 이 백라이트의 수명은 제한되어 있으며, 사용 시간에 따라 색도도 많이 바뀐다. 또한 모니터 제조사마다 다른 색 재현 특성을 가지고 있으며, 사용자 또한 색 재현 특성을 색온도, 대비, 밝기 등의 모드 조절로 변환할 수 있다. 따라서 생산 초기에 저장된 ICC 프로파일을 사용해서는 모니터의 정확한 색 재현 특성을 알 수 없으며, 이를 이용해서는 프린터로의 색 재현을 정확하게 할 수 없다.

이에 본 논문에서는 모니터의 색 재현 특성을 추정하고 이를 이용하여 모니터의 색을 프린터로 재현하는 방법을 제안한다. 모니터의 색 재현 특성 추정을 위해서는 소프트프루핑(softproofing)을 이용한 칼라 매칭 테스트(color matching test)를 수행하고 이를 통해 추정된 색 변환 정보를 이용하여 모니터 ICC 프로파일을 수정하여 색 관리 시스템에 적용한다.

II. 모니터의 색 재현 특성

1. ICC 프로파일에서의 색 재현 특성

ICC 프로파일에 저장되어 있는 모니터의 색 재현 특성은 크게 RGB 각 채널의 색도 값, 백색의 색도 값, 각 채널의 톤 커브 특성으로 나뉜다. 일반적으로 모니터에서의 표준 색 공간은 sRGB 색공간이기 때문에 채널의

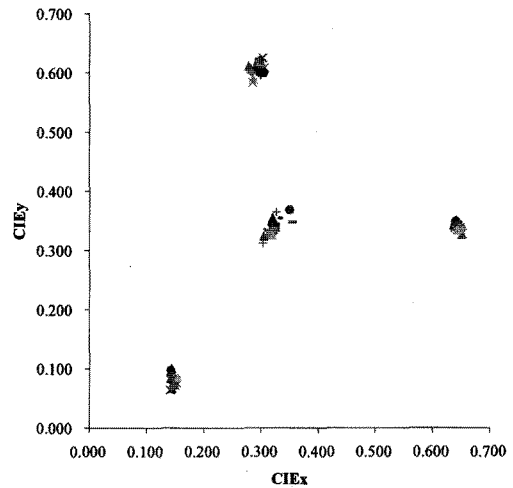


그림 1. 다양한 모니터들의 RGB 색도 분포
Fig. 1. RGB chromaticity distribution of various monitors.

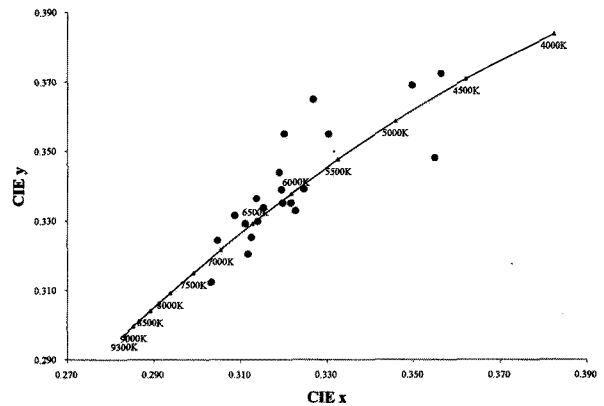


그림 2. 다양한 모니터들의 백색 색도 분포
Fig. 2. White chromaticity distribution of various monitors.

색도 값 및 백색의 색도 값은 sRGB의 값들과 같으며, 톤 커브 특성 역시 2.2의 감마 곡선의 특성을 나타낸다^[5]. 그러나 이러한 특성들은 실제 모니터가 나타내는 색 재현 특성과는 많은 차이가 있다. 이를 분석하기 위해 사용 중인 모니터 20여대에 대해서 색 재현 특성을 측정하였다.

그림 1은 RGB 색도를 나타낸다. RGB 색도는 sRGB 색 공간에서의 RGB 색도 값과 거의 유사한 것을 볼 수 있다. 이는 RGB 색 재현을 위해 사용되는 칼라 필터의 물리적 특성이 비슷한 것으로 추정된다. 그러나 가운데 백색의 색도의 경우 약간의 차이가 발생한다. 그림 2는 모니터들의 백색 색도 분포를 장치 독립적인 색 공간인 CIExy 색 공간에 나타 내었다. 모니터의 백색 색도 값들이 표준 색온도 곡선인 플랑키안 궤적(Planckian Locus)을 따라 다양하게 분포하는 것을 확인할 수 있

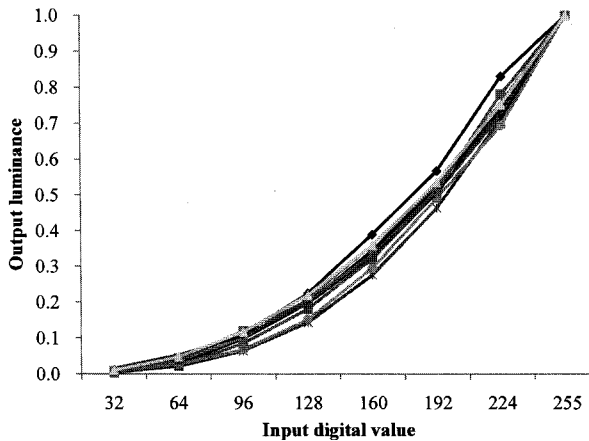


그림 3. 다양한 모니터들의 톤 커브 특성
Fig. 3. Tone curve characteristic of various monitors.

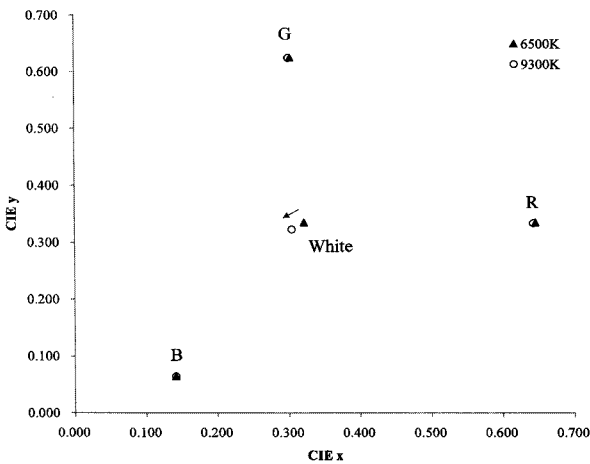


그림 4. 색온도 변경에 따른 색도 변화
Fig. 4. Chromaticity change varying color temperature.

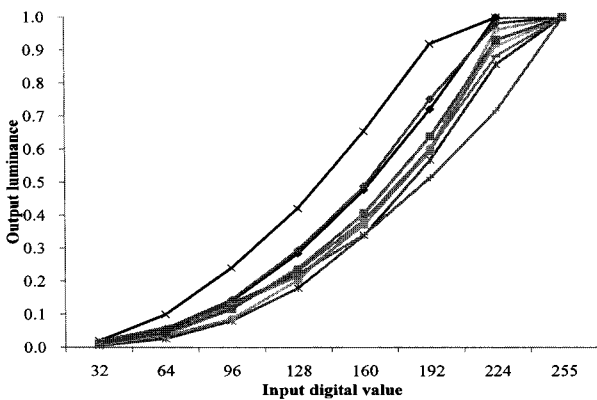


그림 5. 대비 변경에 따른 톤 커브 변화
Fig. 5. Variation of tone curves by changing contrast.

다. 특히 오래된 모니터의 경우 색온도가 낮은 값 쪽으로 분포하며, 최근 출시된 모니터의 경우 표준 색온도인 6500K보다 더 높은 색온도를 나타내는 경우도 확인할 수 있었다.

RGB 각 채널의 톤 커브 특성 또한 sRGB 색 공간의 2.2 감마 특성과는 많은 차이를 나타냈다. 그림 3과 같이 전반적으로 감마특성을 나타내고 있지만 Red 채널과 Green 채널에서 2.2가 아닌 2.4에 가까운 특성을 보였다. 또한 Blue 채널에서는 2.2보다 작은 2.1에 가까운 특성을 보였다.

2. 모니터 설정에 따른 색 재현 특성

모니터의 색 재현 특성은 모니터의 설정에 따라 달라진다. 일반적으로 색온도, 밝기, 대비의 설정 값이 모니터의 색을 변화 시키며 사용자는 이를 조절할 수 있다. 이러한 변화를 분석하기 위하여 모니터의 각 설정 값을 변화 시켰을 때에 대한 색 재현 특성을 분석하였다. 그림 4는 모니터의 색온도를 6500K에서 9300K로 변화 시켰을 경우의 RGB와 백색의 색도 값을 나타낸다. RGB의 색도 값은 거의 변화가 없으나 백색의 색도 값은 이동한 것을 볼 수 있다. 백색은 RGB의 합으로 재현되는 것을 고려해 볼 때, 백색의 색도 변화는 RGB의 색도 변화가 아니라 RGB의 휘도변화에 의해 결정된다는 것을 유추할 수 있다. 따라서 아래와 같은 식을 이용해 색온도 변화에 따른 RGB의 색도 변화를 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_e^R & X_e^G & X_e^B \\ Y_e^R & Y_e^G & Y_e^B \\ Z_e^R & Z_e^G & Z_e^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_m^R & X_m^G & X_m^B \\ Y_m^R & Y_m^G & Y_m^B \\ Z_m^R & Z_m^G & Z_m^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_R & 0 & 0 \\ 0 & g_G & 0 \\ 0 & 0 & g_B \end{bmatrix} \quad (1)$$

RGB 채널의 색도를 유지하기 위해 각 채널에 대해 동일한 이득 값을 곱하여 추정한다.

그림 5는 모니터의 대비 설정을 최대값으로 설정 하였을 경우의 톤 커브 특성을 나타낸다. 대부분의 모니터 톤 커브의 기울기가 증가하고 높은 입력 값에 대해서는 출력 휘도가 밝은 부분에서는 최대 휘도 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 따라서 대비 설정에 대한 톤 커브의 변화는 GOG 모델의 이득 값인 k_g 를 이용하여 추정할 수 있다^[6].

$$Y_i = \left[k_{g,i} \left(\frac{d_i}{2^N - 1} \right) + k_{o,i} \right]^{r_i} \quad i = R, G, \text{ and } B \quad (2)$$

밝기 설정에 대한 모니터의 특성 변화는 절대 휘도 값에 대해서만 영향을 미친다. 즉, 밝기가 증가하면 톤 커브 특성을 그대로 유지하며, 절대 휘도 값만 증가한다. 상대적인 칼라 데이터를 이용하는 모니터와 프린터 사이의 색 정합 과정에서 절대 휘도는 아무런 영향을

미치지 못한다. 프린터의 경우 절대 휘도는 종이에 반사되는 빛에 의해 결정되기 때문에 표준 환경에서는 종이의 반사율에 의해 고정되어있다. 따라서 밝기의 변화에 대한 특성은 반영하지 않는다.

III. 칼라 매칭 테스트를 통한 모니터 특성 추정

1. 칼라 매칭 테스트

모니터의 특성을 추정하기 위해서 간단한 칼라 매칭 테스트를 수행한다. 그림 6과 같이 입력 RGB 영상을 프린터로 출력하고 이 출력물의 영상이 매칭의 기준이 된다. 모니터 부분에서의 영상은 소프트 프루핑(soft proofing) 과정을 통하여 획득한다^[7~8]. 입력 영상의 RGB값을 프린터 ICC 프로파일을 이용하여 CIEXYZ 값으로 변환한다. 이때의 CIEXYZ 값은 이 영상을 프린팅 했을 때 출력물의 색 자극치를 나타낸다. 이 값을 다시 모니터의 ICC 프로파일을 이용하여 RGB 값으로 변환하고 이를 모니터로 재현하면 모니터의 영상은 입력 영상을 프린팅 했을 경우의 출력물의 색 자극치와 동일한 색 자극치를 나타내게 된다. 프린터 ICC 프로파일과 RGB, XYZ 사이의 변환이 정확하다고 가정할 때 모니터의 ICC 프로파일의 정보가 소프트 프루핑의 결과를 좌우한다. 프린터 ICC 프로파일의 경우 프린터의 색 특성을 좌우하는 잉크를 교환하게 되면 그 특성을 계속 유지할 수 있기 때문에 신뢰할 수 있다. 따라서 색 신호 변환과정의 오차를 제외하면 모니터 ICC 프로파일이 실제 모니터의 색 재현 특성과 얼마나 일치 하느냐에 따라 매칭의 결과가 결정된다.

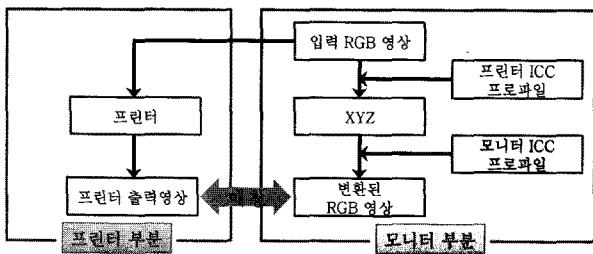


그림 6. 소프트 프루핑을 이용한 칼라 매칭 테스트
Fig. 6. Color matching test using soft proofing.

2. 모니터 ICC 프로파일 보정

칼라 매칭 테스트 과정에서 모니터 ICC 프로파일이 실제 모니터의 출력 특성과 일치하도록 보정하기 위해서는 모니터 특성 분석을 통하여 얻은 특성 모델을 이

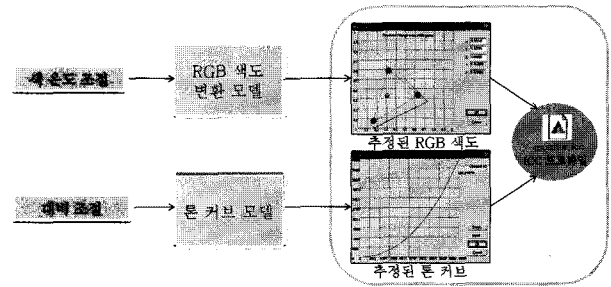


그림 7. 모니터 특성 모델을 이용한 ICC 프로파일 보정
Fig. 7. Correction of ICC profile using monitor characteristic model.

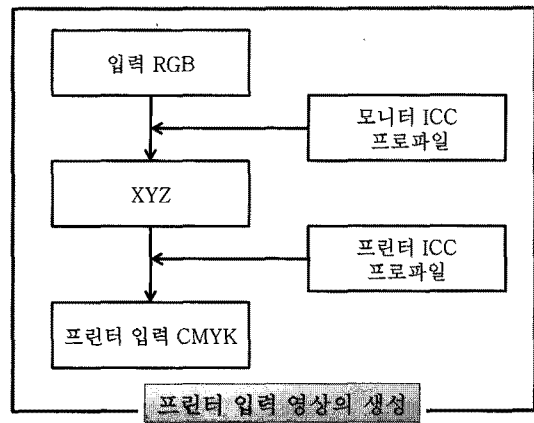


그림 8. 프린터 입력 영상의 생성
Fig. 8. Generation of input image for printer.

용한다. 색온도 변화에 따른 모니터의 RGB 색도 변환 모델인 식(1)과 대비 변화에 따른 톤 커브 모델인 식(2)를 이용하여 그림 7과 같이 변환된 RGB의 색도와 톤 커브를 추정하고 이를 이용하여 모니터의 ICC 프로파일을 보정한다. 색온도의 조절 정보를 이용하여 RGB 색도 변환 모델로 모니터의 RGB 색도를 추정한다. 또한 대비 조절 정보를 이용하여 톤 커브 모델을 통해 모니터의 실제 톤커브를 추정한다. 이렇게 추정된 RGB 색도와 톤 커브 정보를 가지고 모니터 ICC 프로파일을 보정한다. 각 조절 정보에 대한 모델에서 사용되는 이득은 실험을 통해 결정한다.

이렇게 보정된 모니터 ICC 프로파일을 이용하여 칼라 매칭 테스트를 매칭이 이루어 질 때 까지 반복하여 수행한다. 결과적으로 매칭이 이루어질 때 모니터 ICC 프로파일의 색 재현 정보는 실제 모니터의 색 재현 정보와 일치하게 된다.

3. 프린터 입력 영상의 생성

실제 모니터에 대한 ICC 프로파일이 추정되면 이를

이용하여 모니터의 색을 프린터로 재현하기 위해 입력 영상을 그림 8과 같이 변환한다. 입력 RGB 값을 모니터 ICC 프로파일로 XYZ 값으로 변환한다. 이때의 XYZ 색 자극치 값은 실제 모니터의 출력 색 자극치를 나타내며, 이를 프린터의 ICC 프로파일로 변환하게 되면 변환된 CMYK 값을 프린팅 했을 경우 모니터의 색이 그대로 프린터로 재현되게 된다. 이러한 과정은 많은 연산을 필요로 하기 때문에 실제 프린터 장치에서 구현하기 힘들다. 따라서 입력 RGB 색 공간을 샘플링하여 샘플들의 변환 CMYK 값들을 참조표로 저장하고 이를 이용하여 색 변환을 수행한다.

IV. 실험

제안된 알고리즘을 평가하기 위하여 5대의 LCD 모

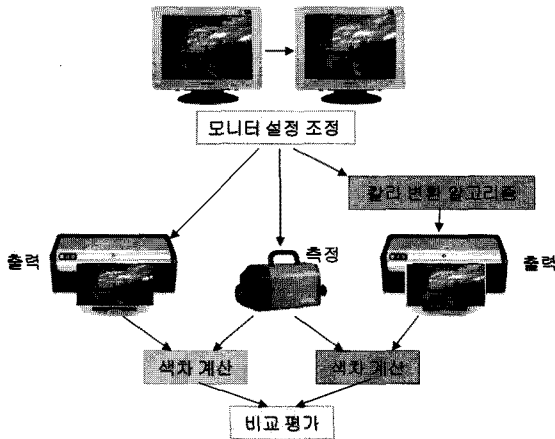


그림 9. 색차 비교를 통한 정량적 평가

Fig. 9. Quantitative evaluation by comparison of color difference.

표 1. 모니터 설정 모드에 따른 향상된 색차

Table 1. Improved color difference for configuration of monitors.

No.	모델	Mode	향상된 색차	모니터 평균
1	Eizo	Cool	0.21	4.27
		Default	4.76	
		Warm	6.99	
		sRGB	5.33	
2	LG L1720P	9300K	1.15	3.30
		6500K	2.65	
		5000K	6.08	
3	Sony SDM- HS74P	9300K	2.56	4.58
		6500K	6.64	
		sRGB	4.56	
4	Samsung T220G	Cool	1.54	3.57
		Default	3.97	
		Warm	5.21	
5	Samsung CX701N	Cool	5.38	3.12
		Default	1.6	
		Warm	2.38	

니터와 1대의 칼라 레이저 프린터가 사용되었다. 먼저, 정량적인 평가를 위하여 RGB 색공간을 6단계로 샘플링한 216개의 테스트 패치를 이용한다. 그림 9와 같이 모니터의 설정을 변경하고 테스트 패치를 출력하여 이를 측정한다. 또한 이 테스트 패치들을 그대로 출력하여 얻은 결과물과 제안된 칼라 변환 알고리즘을 통하여 출력된 결과물을 측정하고 모니터의 측정 데이터를 기준으로 아래의 수식을 이용하여 색차를 계산하게 된다.

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_m^* - L_p^*)^2 + (a_m^* - a_p^*)^2 + (b_m^* - b_p^*)^2} \quad (3)$$

직접 출력한 결과의 색차와 제안한 방법을 통한 결과



(a)



(b)



(c)

그림 10. 결과 영상 (a) 모니터 영상, (b) 직접 출력한 영상, (c) 제안한 방법으로 변환 후 출력한 영상

Fig. 10. Resulting images (a) image on the monitor, (b) directly printed image, (c) printed image by proposed.

의 색차는 수식 (4)를 이용하여 향상된 색차를 구하여 평가한다.

$$D = \Delta E_{proposed} - \Delta E_{conventional} \quad (4)$$

표 1은 실험에 사용된 5대의 모니터에 대해 각 모드를 변경시키고 색차를 구한 결과이다. 높은 색 온도에 해당하는 경우 색차가 낮게 나오는데 이는 종이의 백색이 푸른색을 띄어 결과적으로 프린터 출력물이 전반적으로 푸르게 나타나기 때문이다. 전반적으로 평균 향상된 색차가 3이상으로 제안한 방법을 사용하였을 경우 좀 더 모니터의 색에 가깝게 재현되는 것을 확인 할 수 있다.

그림 10은 실영상을 이용하여 테스트한 결과이다. 영상 획득을 위해 Canon 10D 카메라의 세팅환경을 고정시켜 놓고 촬영하였다. 모니터의 설정은 모니터의 설정을 변경하지 않았을 때의 결과 평가를 위해 초기화하여 공장 출고 시의 모드로 설정 하였다. 그림 10(a)는 원본 영상을 모니터에 출력하고 이를 촬영한 영상이다. 전반적으로 모니터의 색 재현 특성으로 영상이 노란 색을 많이 띄는 것을 확인할 수 있다. 그림 10(b)는 원본 영상을 아무런 알고리즘의 적용 없이 그대로 출력 한 결과 영상이다. 종이의 색과 프린터 색 재현 특성의 영향으로 결과영상이 모니터 상의 영상에 비해 푸른색을 띤다. 그림 10(c)는 제안한 방법의 결과 영상으로 모니터의 색에 가까운 색 재현을 보여준다.

V. 결 론

모니터에서 재현되는 영상들은 모니터의 종류와 사용 시간에 따라 다르게 나타난다. 이에 모니터의 색을 프린터로 재현하기 위해서는 실제 모니터 출력에 대한 색 재현 특성 정보가 필요하다. 모니터의 색 재현 특성을 추정하기 위해 프린터 출력물을 기준으로 모니터의 칼라 매칭 테스트를 수행한다. 모니터에 재현되는 영상은 프린터 출력물의 색을 재현하는 소프트 프루핑 방법을 이용하였으며, 이때 사용되는 모니터의 ICC 프로파일 정보를 보정하여 칼라 매칭을 수행하고 결과적으로 모니터의 실제 색 재현 정보를 추정한다. 보정된 모니터의 ICC 프로파일을 이용하여 프린터의 입력 영상을 생성하게 된다. 실험을 통하여 제안한 방법을 적용하였을 경우 모니터의 색에 좀 더 가까운 결과를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 장인수, 손창환, 박태용, 하영호, "색역 확장을 위한 멀티 칼라 프린터의 역 특성화 방법", 전자공학회논문지, 제 44권 SP편, 2호, 46-54쪽, 2007년 3월
- [2] H. Zeng and M. Nielsen, "Color Transformation Accuracy and Efficiency in ICC Color Management," *IS&T Ninth Color Imaging Conf.*, pp. 224-232, 2001.
- [3] T. Kohler, "The next Generation of Color Management System," *Proc. IS&T/SIC 8th Color Imaging Conf.*, pp. 61-64, 2000.
- [4] www.color.org/ICC1v42_2006-05.pdf
- [5] 박기현, 권오설, 손창환, 하영호, "RGBCMYK 성분의 XYZ 전광 변환 함수를 이용한 모바일 LCD의 특성화", 전자공학회논문지, 제 43권 SP편, 6호, 1-10쪽, 2006년 11월
- [6] G. Sharma, *Digital color imaging handbook*, CRC press, 2003.
- [7] C. J. Edge, "Correction techniques for soft proofing," *US patent*, US 7,209,147 B2, 2007.
- [8] C. J. Edge, "Color Correction Using A Device-Dependent Display Profile," *US patent*, US 7,215,343 B2, 2007.

저 자 소 개

장 인 수(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 45권 SP편 제 2호 참조

손 창 환(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 44권 SP편 제 4호 참조

김 경 만(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38권 SP편 제 2호 참조

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