

가상의 3차원 CIELAB 등거리 색표본을 이용한 색역사상

오현수, 곽한봉, 이철희*, 서봉우, 안석출
부경대학교 공과대학 화상정보공학부, *경운대학교 컴퓨터공학과
(2001년 1월 20일 접수, 2001년 2월 27일 최종 수정본 접수)

Color gamut mapping using fictive 3-D CIELAB equidistance sample

H.S.Oh, H.B.Kwak, C.H.Lee, B.W.Seo, S.C.Ahn

Division of Image & Information, College of Engineering Pukyong National University

*Department of Computer Engineering, Kyungwoon University

(Received 20 January 2001, in final form 27 February 2001)

Abstract

Gamut mapping is a technique that acts on cross-media color reproduction to transform a color between devices for the purpose of enhancing the appearance or preserving the appearance of an image. Gamut mapping essentially produces color conversion error which depends the gamut mapping method, source and destination devices, and sample points for gamut modeling. For color space conversion between monitor colors and printer colors, empirical representation using sample measurements is currently widely utilized. Color samples are uniformly selected in the device space such as CMY or RGB, represented as color patches, and then measured. However, in the case of printer, these color samples are not evenly distributed inside the printer gamut and the color conversion error is increased. Accordingly, this paper introduces a equally distributed color sampling method in CIELAB space, a device-independent color space, to reduce color conversion error, and the performance is analyzed via color space conversion experiments using tetrahedral interpolation..

1. 서론

디지털 프린터 모델링에 있어서 색변환의 정확성은 사용되는 색 표본의 분포와 개수, 색 변환 방법에 따라 크게 좌우된다. 그 중에서도 사용될 참조데이블의 색 분포도는 출력색 예측에 커다란 영향을 미친다[1]. 3차원 보간법을 이용한 색변환의 경우 CIELAB의 분포에 따라 조그만 오차에도 보간되는 CMY는 크게 달라지게 된다. 기존의 색 표본화 방법은 프린터의 구동신호인 CMY를 기준으로 같은 간격으로 색 표본을 선택하게 된다. 이러한 방법으로 색을 표본화를 할 경우는 프린터의 여러 가지 비 선형성 때문에 출력되는 색 영역은 전체적으로 어두운 색영역으로 치우치게되며 이것은 색 변환시 상대적으로 밝은 부분에서 상당한 오차를 발생시키게 된다.

따라서, 본 논문에서는 색 변환에서 생길 수 있는 이러한 색변환 오차를 최소화 하기 위해 장치독립적인 색공간(CIELAB)에서 비교적 균등한 색 표본을 선택하는 방법을 제안하며, 가상의 CIELAB 등거리 표본점을 이용해서 보간을 수행한다. 제안된 방법의 성능 평가를 위해 기존의 색역사상 방법에 이를 적용시켜 제안된 방법의 유용성과 타당성을 확인하였다.

II. CIELAB 색공간에 대해 등거리를 갖는 색 표본의 선택

이상적인 프린터 출력 기법은 출력 도트가 정사각형이고 겹침이 없다는 것을 가정하고 있으나, 실제 프린터의 도트는 정사각형 이라기 보다는 원에 가깝고 모양도 일정하지 않아서 도트의 겹침이 발생된다. 그림 1은 CMY를 각각 9×9×9 단계 씩 해서 729개의 균등입력신호에 대한 측정된 CIELAB 출력값을 나타낸다. 그림에서 보여지는 것처럼 디지털 입력값이 같은 간격이라 하더라도 출력되는 색영역은 그림 1 (b)에서처럼 도트의 겹침으로 인해서 전체적으로 어두운 색 영역으로 치우치게 되며, 이것은 해상력이 증가할수록 이러한 현상은 커지게 된다. 따라서 프린터의 전체적인 색 영역을 나타내기 위해서는 프린터의 색역 전체에 대해서 균등한 분포를 갖는 색표본을 선택하는 것이 필요하다. 따라서 색역사상시 구성되는 삼각형 경계면의 데이터를 보게되면 기존의 방법으로 색표본을 선택하면 아주 불규칙한 면적을 갖는 삼각형이 얻어지게 된다. 이것은 색역사상시 구해지는 웨이트에 많은 영향을 미치게 되고 CIELAB 삼각형 데이터의 조그마한 오차에도 보간되는 CMY는 많은 오차를 발생시킨다. 따라서 어느 정도의 일정크기를 갖는 삼각형이 구성되는 것이 필요하다. 이러한 프린터 색역에 균등하게 분포된 색 표본을 생성하기 위해서는 색역의 전체적인 경계가 먼저 구해져야 한다. 이러한 경계면을 이용해서 전체 색역에 대해서 균일한 분포를 얻어내고 이에 대응하는 프린터 구동신호를 얻어낸다.

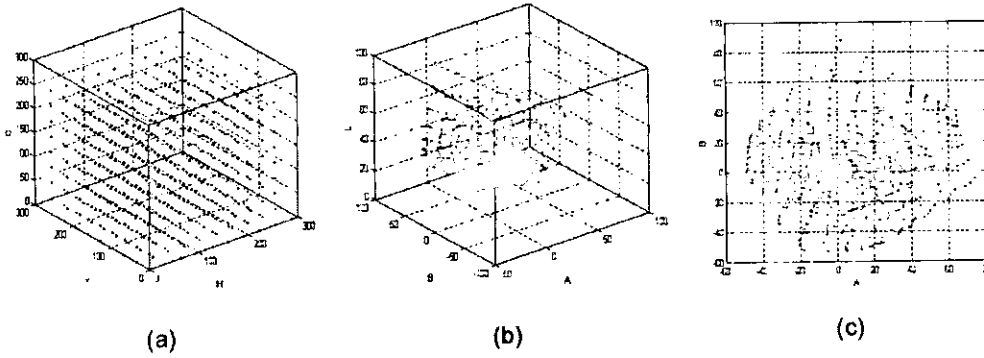


Fig. 1. LUT with equal CMY sample points.

(a) CMY space (b) CIELAB color space (c) CIELAB AB plane

2-1. 가상의 CIELAB 등거리 표본점의 선택

초기 CIELAB 등거리 표본점을 생성시키기 위하여 기존의 방법으로 얻어진 프린터의 전체적인 체적에 대하여 먼저 휘도축을 3차원 좌표상의 거리가 7.0922 되도록 할당한다. 7.0922는 휘도축을 14단계로 나눈값이며 기존의 방법과의 동일한 데이터의 개수를 맞추기 위해 14단계로 나눈다. 그런 다음 각 휘도평면에서 휘도축과 최대 채도값 사이의 거리가 휘도축과 같은 간격이 유지되도록 가상의 CIELAB 등거리 표본점 718개를 구성하며 3차원 분포도는 그림 2와 같다.

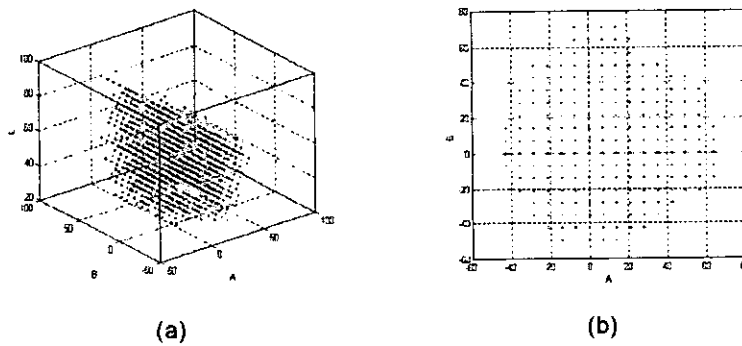


Fig. 2. 3D fictive CIELAB equidistance sample points.

(a) CIELAB color space (b) CIELAB AB plane

2-2. 가상의 CIELAB 등거리 표본점에 대한 프린터 구동 신호 예측

CIELAB 공간에서 선택된 718개의 CIELAB 색표본으로 측정된 CIELAB값을 얻기 위해서는 이 색표본에 대응하는 CMY를 역으로 구해야한다.

본 연구에서는 CIELAB값에 대응하는 CMY를 얻기 위해 균등한 CMY값으로 만들어진 729개의 색 표본을 이용해서 무게중심적 사면체 보간법[2][3]으로 CIELAB 입력에 대한 대응되는 CMY를 구한다. 그림 3은 구해진 CMY 및 이에 대응되는 측정된 CIELAB의 색분포도를 보여준다.

여기서 측정된 CIELAB값은 가상의 표본점들과는 완전히 일치하지는 않지만 비교적 균일한 분포를 가진다. CMY예측에 있어서 색표본의 수를 늘여서 좀 더 정확한 색이 예측된다면 가상의 CIELAB 표본점과 더욱 가까운 데이터를 얻을 수 있다.

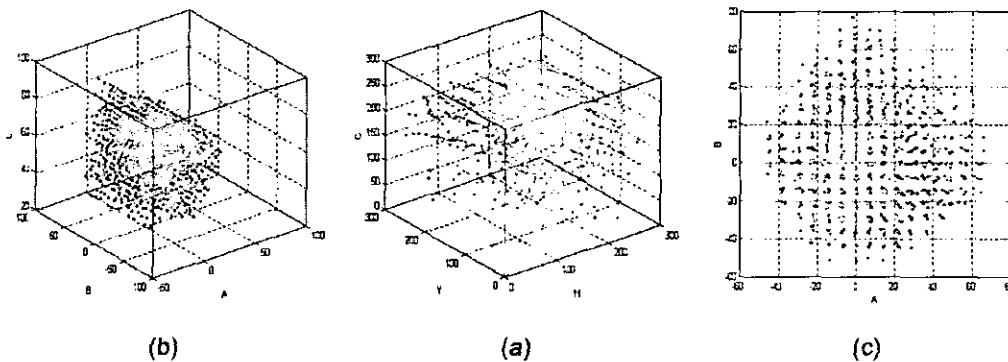


Fig. 3. LUT with 3D fictive CIELAB equidistance sample points.

(a) CMY space (b) CIELAB color space (c) CIELAB AB plane

Ⅲ. 가상의 CIELAB 등거리 표본점을 이용한 보간법

그림 4는 Po-Chieh Hung이 인용한 방법으로 하나의 육면체를 6개의 사면체로 분할한 것이며, RGB 색공간에서 하나의 사면체의 상태를 나타내는 그림이다. 그림 4에서와 같이 RGB 색공간에서는 R,G,B의 크기만으로 육면체 및 사면체를 구분할 수 있다.

측정된 CIELAB 색표본은 비 균일한 분포를 가지게 되므로 CIELAB의 크기만으로 포함되는 육면체나 사면체를 찾는 것은 불가능하다. 따라서 역방향 보간시 보간하고자 하는 색을 포함하는 육면체나 사면체를 찾기 위한 방법이 필요하다.[2][3] 기존의 방법은 CMY의 크기로서 육면체나 사면체 참조 테이블을 작성하고 이에 대응되는 CIELAB 육

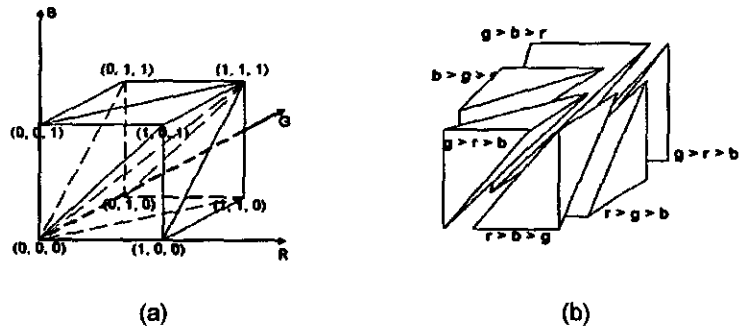


Fig. 4. Tetrahedral division of a subcube.

(a) the location of tetrahedons in a subcube (b) tetrahedron conditions

면체 및 사면체 참조 테이블을 구성한다. 그러나 CIELAB의 값이 균등한 값을 가지고 있다면 CIELAB의 크기만으로 포함하는 육면체를 찾는 것이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 CIELAB값이 등거리를 갖는 가상의 CIELAB 등거리 표본점을 이용해서 포함하는 육면체를 찾고 측정된 표본점과 대응시킨다. 이렇게 될 경우 기존의 방법과 비교해서 포함하는 육면체를 찾기 위한 수행시간의 단축을 가져올 뿐 아니라 입력값이 출력 색역에 포함되는지 여부가 쉽게 가려지게 되며 역변환을 수월하게 수행할 수 있게 한다. 그러나 가상의 표본점과 측정된 표본점과는 완전히 일치하지는 않는다. 따라서 가상의 육면체에서 먼저 포함하는 육면체를 찾고 측정된 표본점에서 다시 한번 포함여부를 가리며, 만약 포함되어 있지 않다면 입력값과 육면체의 각 면과의 오차를 구해 가장 작은 오차를 가지는 면을 공유하는 육면체로 이동시키면서 순차적으로 포함여부를 가린 후 보간을 수행한다.

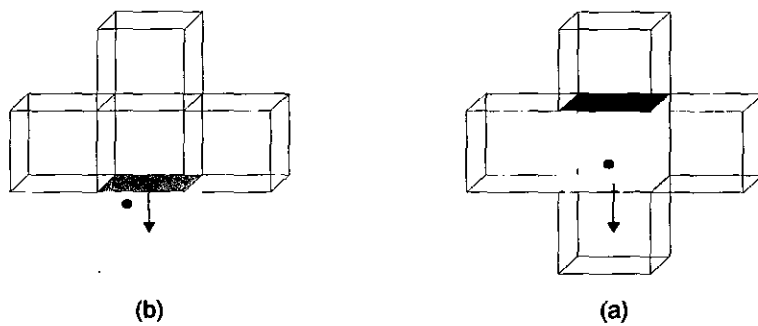


Fig. 5. Corresponding measured cube corresponding to fictive cube in the CIELAB.

(a) Fictive cube table (b) Corresponding measured cube table

Ⅳ. 색역사상

CRT 모니터와 같은 색역이 넓은 장치에서 프린터로 출력을 하게 되면 프린터가 표현할 수 없는 색이 존재하게 된다. 이것은 입출력 장치의 특성상 필연적이다. 실험에 사용된 삼성Syncmaster 700p 모니터와 Epson stylus photo프린터(3색 360dpi)의 색역의 전체적인 체적을 비교하면 그림 6에서와 같이 프린터의 체적이 모니터의 약 30%에 불과하다. 따라서 70%정도의 외부색에 대해서는 프린터가 표현할 수 있는 색으로 변환시키는 색역사상이 필요하게 된다. 색역사상시 프린터의 색역에 대해 먼저 전체적인 경계를 구하게 된다. 여기서 경계면을 이루는 각 삼각형의 크기와 수는 색역사상에 많은 영향은 미치게 된다. 기존의 방법으로 경계 삼각형을 만들 경우 어두운 부분에 있어서는 삼각형의 크기가 너무 작고 상대적으로 밝은 부분은 삼각형의 크기가 너무 크게 된다. 따라서 보간시 사면체라든지 삼각형의 크기는 비 균일한 크기를 가지고 있기 때문에 색변환시에 오차가 크질 수 있다. 제안된 방법은 사면체라든지 삼각형의 크기가 어느 정도 일정한 크기를 가짐으로서 출력되는 웨이트도 안정적으로 나올 수 있다.

그리고, 색역사상 방법과 방향에 있어서는 입출력 장치 및 이미지의 내용에 따라 적당한 방법이 선택되어져야 한다.[6] 기존에 연구된 여러 가지 방법보다 그림 7에서 처럼 출력장치의 최대 색도점을 닷점으로 설정하는 CUSP방법은 결과면에서 더 우수한 것으로 알려져 있다.[5] 따라서, 본 연구에서는 CUSP방법으로 색역사상을 수행한다.

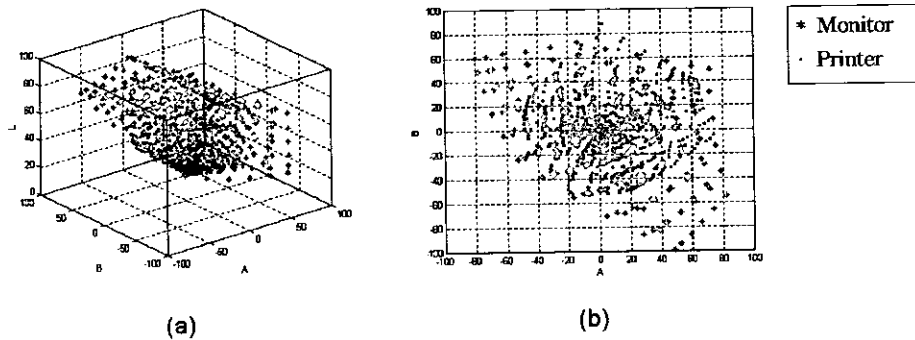


Fig. 6. Color distribution of monitor in the CIELAB.
 (a) CIELAB color space (b) CIELAB AB plane

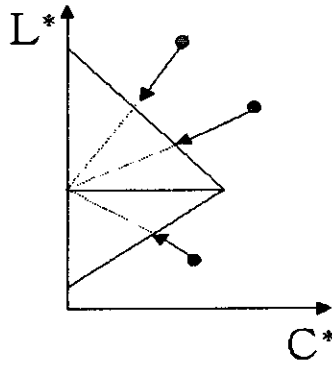


Fig. 7. Gamut clipping using CUSP Algorithm.

V. 실험 및 결과

제안된 방법의 성능평가를 위해서 동일한 조건을 갖는 기존 및 제안된 방법으로 색표본으로 구성하고 이를 이용하여 3차원 보간법을 이용해서 테스트한다. 테스트에 사용될 샘플은 Fuji color target IT8.7/1과 Macbeth ColorChecker를 이용해서 테스트 한다. Fuji color target의 경우 264개 중 84개가 프린터 색역역 외부에 존재하고, Macbeth ColorChecker는 7개의 색이 프린터 색역역 외부에 존재한다. 테스트 샘플의 색분포도는 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 색 표본을 출력하기 위해 사용된 프린터는 Epson Photo Stylus이고, Blue noise mask[4]을 사용해서 하프토닝한 후 PCL(Printer control language)을 이용해서 360dpi 해상력으로 출력한 후 측색기 (TECHKON SP820A)로 D65, 2도시야의 관측조건으로 측정한다.

표 1과 그림 10은 테스트 원고와 재현된 샘플 간의 평균 및 최대, 최소 색차를 나타내며, 이에 사용된 색차공식은 식 (1)과 같다.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

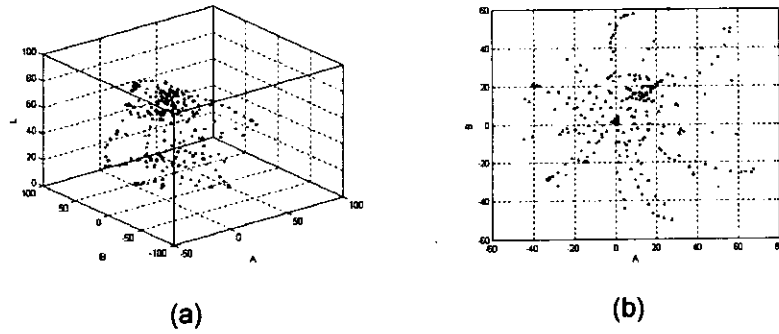


Fig. 8. Color distribution of Fuji color target in the CIELAB.
 (a) CIELAB color space (b) CIELAB AB plane

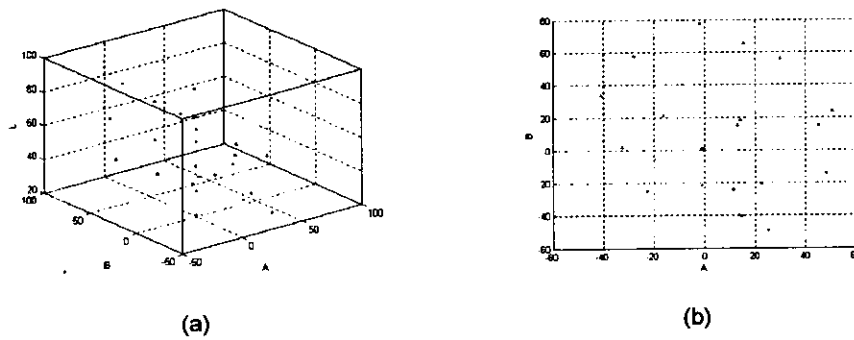


Fig. 9. Color distribution of Meebth ColorChecker in the CIELAB.
 (a) CIELAB color space (b) CIELAB AB plane

Table 1. Color difference comparison with Fuji color target () represents the maximum color difference

| Test Color | Average color difference for conventional method | Average color difference for proposed method |
|-------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Skin Colors | 2.96 (3.77) | 1.74 (3.82) |
| Gray Ramps | 4.04 (13.52) | 2.95 (9.23) |
| Primary Color Ramps | 5.31 (44.03) | 3.96 (21.25) |
| Entire Color Difference | 4.44 (44.03) | 3.21 (21.25) |

Table 2. Color difference comparison with Macbeth ColorChecker () represents the maximum color difference

| Test Color | Average color difference for conventional method | Average color difference for proposed method |
|------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 24 colors | 4.51(21.44) | 2.84 (8.47) |

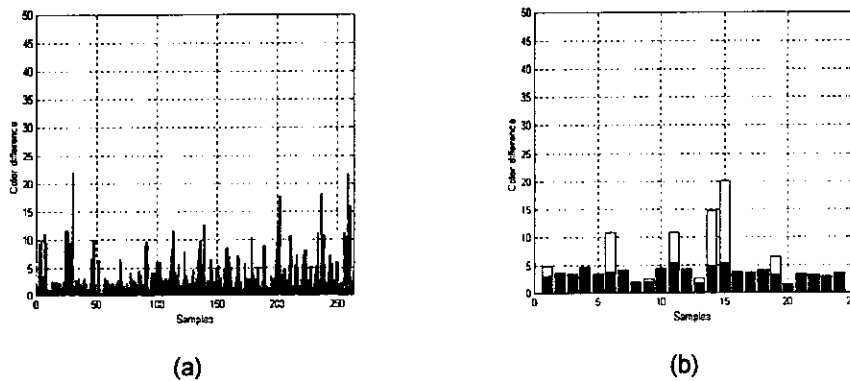


Fig. 10. Color difference comparison.

(a) Fuji color target (b) Macbeth ColorChecker

결과에서 제안된 방법은 색변환에 있어서 중요한 부분인 그레이 발란스라든지 중요한 특정색인 피부색 및 컬러 램프에 있어서 모두 기존의 방법과 비교해서 평균색차와 최대색차가 감소되는 것을 알 수 있다. 색역사상이 이루어진 부분에 있어서는 색차의 크고 작음은 그리 중요하지 않다. 시각적으로 더 나은 결과를 얻는 것이 필요하다. 그러나 색차라는 것은 인간의 눈과의 상관관계가 거의 같다는 결과[7]가 있으므로 객관적인 색차의 비교를 통해서 제안된 방법은 기존의 방법보다 더 나은 결과를 제공한다고 볼 수 있겠다.

V. 결론

프린터 모델링을 위한 색 표본 선택에서 표본의 크기 및 분포는 색공간의 변환시 성능을 좌우하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 색 표본 생성시 장치의 색역을 잘 나타내면서 색 변환시 발생

되는 오차를 최소화하는 색 표본 생성 방법과, 3차원 가상의 CIELAB 등거리 표본점을 이용한 보간법을 제안 했다. 결과에 있어서 CIELAB 색공간에서 색 샘플들의 좌표가 비균등한 기존의 방법과 비교적 균일한 영역이 얻어지는 제안된 방법과 성능을 비교해본 결과 제안된 방법은 동일한 조건으로 평균 및 최대 색차를 감소시켰다. 여기서 기존의 방법은 색역의 비균일함 때문에 생기는 색오차에서 제안된 방법에 비해 상당한 오차가 생김을 알 수 있다. 이러한 이유는 제안된 방법은 참조 테이블이 어느 정도의 일정한 크기를 가지기 때문이다. 사면체 보간법 같은 경우 사면체 크기가 어느 정도의 일정한 크기를 가지기 때문에 비균일한 크기를 갖는 기존의 방법과 비교하면 보간시 생기는 오차가 많이 줄어들게 된다. 그리고 역변환시 생기는 계산적인 시간을 줄이게 되고 역변환의 수월성의 제공한다. 제안된 색표본 생성 방법은 비선형적인 출력특성을 갖는 장치의 모델링 및 색보정에 널리 사용될 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- (1) Henry R. Kang, Color Technology for Electronic Imaging Devices, SPIE Optical Engineering Press, 1997.
- (2) P.C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolation," Journal of Electronic Imaging, Vol. 2(1), pp. 53-61, Jan. 1993.
- (3) Jon Yngve Hardeberg and Francis Schmitt "Color Printer Characterization Using a Computational Geometry Approach" The Fifth Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application, pp. 96-99, Nov. 1997
- (4) T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital halftoning technique using a blue-noise mask", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 9, No. 11, pp. 1920-1929, Nov. 1992.
- (5) J. Morovic and M.R. Luo, "Cross-Media Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms" Proc. AIC color 97 Kyoto, 1997.
- (6) Naoya Katoch, ITO and Shin "Three-dimensional gamut mapping using various color difference formulae and color spaces" Journal of Electronic Imaging, vol. 8(4), pp. 365-379, October 1999.
- (7) 4.Jong-Pil Kim, Eul-Hwan Lee, Suk-Chul Ahn, "Development of CIELa*b*-CMYK color conversion system by Neural Network," Journal of the Korean Printing Society, Vol. 16, 4.