

# 장치간 연속 색 재현을 위한 가변 닷점 방식의 색역 사상 (Gamut Mapping Using Variable Anchor Points for Continuous Color Reproduction between Devices)

이 채 수,\* 윤 태 진,\* 한 찬 호\*  
(Chae-Soo Lee, Tae-Jin Yun, and Chan-Ho Han)

요 약 본 논문에서는 가변하는 닷점을 이용하는 새로운 색역 사상 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 닷점을 사용하는 색역 사상에서 발생하는 휘도 범위의 축소를 가변하는 닷점을 이용하여 보상하여 준다. 또한 이 과정에서 연속 제조 칼라를 재현하기 위하여 색역을 여러 영역으로 구분하여 각각의 영역에서 다른 닷점을 사용하는 다중 닷점 방식을 제안한다. 따라서 본 논문에서는 저가의 칼라 출력장치에서 고품질의 칼라를 재현할 수 있게 한다.

Abstract In this paper, new gamut-mapping algorithm (GMA) that utilizes variable anchor points (center of gravity on the luminance axis) is proposed. The proposed algorithm increases luminance range, which is reduced from conventional gamut mapping toward an anchor point. In this process, this algorithm utilizes multiple anchor points with constant slopes to both reduce a sudden color change on the gamut boundary of the printer and to maintain a uniform color change during the mapping process. Accordingly, the proposed algorithm can reproduce high quality images with low-cost color devices.

## I. 서 론

일반적 출력 시스템은 제한된 범위의 색만을 재현할 수 있다. 이때, 각 장치가 재현할 수 있는 색의 범위를 그 장치의 색역으로서 정의한다. 일반적으로 영상은 목표로 하는 출력 장치의 색역밖에 존재하는 색을 포함하게 된다. 그러한 경우에는 색역 내부의 색으로 사상하는 과정이 필요하게 된다.<sup>[1-4]</sup> 이러한 처리의 방법을 색역 사상으로 정의한다. 전통적인 색역 사상 방법들은 3개의 그룹으로 나누어질 수 있다.

즉 연속적인 방법, 동시적인 방법, 그리고 변수적인 방법이다.<sup>[5]</sup> 연속적인 색역 사상 방법은 색 지각의 기본 특성들을 하나씩 차례로 바꾸는 것이다.<sup>[6-8]</sup> 동시적인 방법은 기본 특성들의 전부가 동시에 바뀌기 위하여 동시에 색역 사상을 수행하게 된다.

위의 두 가지 사상방법은 처리방법이 간단한 장점은 있지만 사상될 각 장치의 색역 범위와 특성을 고려할 수 없다는 단점을 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 변수적 색역 사상은 처리과정에서 특별한 색상 (hue)에서 원래의 모양이나 한쪽의 색역에 의존하여 처리하거나 또는 사용자가 정의한 변수에 따라서 처리하게 된다.<sup>[9,10]</sup> 이러한

\*경운대학교 소프트웨어공학과

사상 방법들 중에서 기존의 닷점 (anchor point 혹은 center of gravity)을 이용한 변수적 사상방법은 한 개의 닷점을 이용하여 색역사상을 하게된다. 그러나 한 개의 닷점만을 이용한 색역사상은 사상될 색의 휘도 (luminance)의 위치에 따라서 닷점을 향해 연결한 선의 기울기들이 모두 다르게되어 사상된 색의 오차가 불균일 하게된다. 이 과정에서 닷점의 위치가 휘도 축의 중간에서 멀어지게 되면 같은 색상에서도 밝은 영역과 어두운 영역에서의 사상된 색의 오차가 다르게 나타나게 된다. 따라서 사상된 결과 영상에서는 영역들 내부의 불균일성과 사상방법들간의 경계 부분에서 발생하는 색의 급격한 변화에 의해 연속계조의 칼라를 정확히 재현할 수 없게된다. 또한 사상과정에서 밝은 영역과 어두운 영역의 색이 닷점을 향해 급격히 감소하여 휘도 대조의 감소를 나타내게 된다.

본 논문에서는, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일정한 기울기의 다중 닷점을 이용한 변수적 색역 사상 방법을 제안한다. 제안된 색역 사상방법은 휘도 사상과 닷점을 이용한 사상의 2단계로 수행된다. 휘도 사상 과정에서는, 일반적으로 모니터와 프린터의 색역에서 휘도 부분의 범위가 다르기 때문에 이를 일치시키기 위하여 모니터의 휘도의 범위를 프린터의 휘도의 범위에 맞추어서 선형적인 압축을 행하게 된다. 그리고 닷점을 이용한 사상과정에서는 기존의 한 개의 닷점을 이용한 사상과정에서 밝은 영역과 어두운 영역의 과도한 감소로 발생하는 휘도 대조의 감소를 보상하기 위하여 가변하는 닷점을 사용하여 기존보다 완만한 기울기로 사상을 행함으로써 휘도의 감소가 줄이게 된다. 또한 연속 계조의 칼라를 재현하기 위하여 휘도에 따라서 여러 영역으로 나누어 각 영역에서 균일한 색의 오차가 발생할 수 있도록 가변하는 다중 닷점들을 이용하여 일정한 기울기를 유지하게된다. 이 과정에서 휘도에 따라서 구분한 각 영역들에서 균일한 색 오차를 유지하기 위하여 각기 다른 닷점들을 설정하

게 된다. 이 과정에서 밝은 영역과 어두운 영역에서 사상된 색들간에 연속적인 색의 천이를 위하여 완충적인 중간 영역을 두게된다. 그리고 다른 색상들의 영역들간에 경계 부분에서 연속적 색 변화를 나타내게 하기 위하여 각 영역에서의 닷점을 향한 기울기를 유사하게 설정하게 된다. 따라서 제안된 방법을 기존의 방법들보다 적은 색의 오차를 나타내면서 입력 영상을 더욱 잘 재현할 수 있게 한다.

## II. 기존의 색역 사상

입력 칼라 영상은 순방향 사면체 보간을 거치면서 CIEL\*a\*b\* 색공간으로 변환되어 색역 사상을 한다. 이 색역 사상을 이루는 구성 요소로는 크게 색, 휘도, 그리고 채도로 나누어진다. 그러므로 색역 사상을 할 때에는 색상 사상, 휘도 사상, 채도 사상에 대해서 고려해 주어야 한다.

### 1. 사상 요소에 따른 색역 사상

서로 다른 색역을 가지는 장치 사이에서 색역 사상을 할 때는 색상에 대한 사상은 하지 않는다. 이는 색이 인간의 시각 속성에 가장 민감한 요소이기 때문에 색을 변형시키는 색상 사상을 하지 않는 것이다. 이것은 색역 사상시 색상을 일정한 값으로 유지시킴으로써 구현할 수 있다.

색역간의 휘도를 고려한 휘도 사상은 넓은 색역의 휘도를 좁은 색역의 휘도로 나타내야 하기 때문에 선형적인 압축 방법이나 절단 방법이 많이 사용된다. 이 때 원래의 휘도를 유지하려는 의도에서 중간 정도의 휘도를 보존하는 방법이나 무채색 비를 고려하는 방법 등을 이용하기도 한다. 그림 1의 (a)에서 점선으로 나타낸 것은 선형적인 압축이고, 실선으로 나타낸 것은 비선형적인 압축으로써 밝은 부분은 약간의 절단을 하고 나머지 부분은 원래의 휘도를 유지하는 방법이다.

채도 사상은 일정 색상 상에서 휘도 사상

후에 처리하는 것이 일반적인 방법이다. 일정한 색상과 휘도값에서 선형적으로 압축하는 방법을 그림 1의 (b)에 나타내었다. 채도 사상도 역시 비선형적인 압축이나 절단의 방법을 이용할 수 있다.

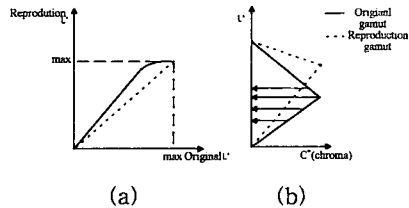


그림 1. 휘도 사상과 채도 사상 (a) 휘도나 채도 사상시의 함수 (b) 휘도값을 유지하면서 채도 사상

Fig. 1. Lightness mapping and chroma mapping. (a) Functions used for lightness or chroma compression. (b) Chroma mapping along lines of constant lightness.

## 2. 휘도와 채도가 같이 변하는 색역 사상

색역 사상의 또 다른 형태는 휘도와 채도 값을 동시에 사상하는 것이다. 이는 색 공간에서 인접한 부분 사이에 부드러운 변화를 주기 위해서이다. 그림 2는 휘도와 채도 값을 동시에 사상하는 방법을 나타내고 있다. 그림 2의 (a)는 색역 밖의 색이 재현될 장치가 가지는 색역의 휘도 중심값을 향해 사상하는 방법이다. 이와 같은 방법은 사상 후 재현된 이미지의 대비가 낮아지는 결과를 나타낸다. 이는 밝은 영역에 있는 색의 휘도값은 사상한 후에 감소하고, 어두운 영역에 있는 색의 휘도값은 사상한 후에 반대로 증가하여 휘도값이 가지는 범위가 줄어들었기 때문이다.

그림 2의 (b)는 모든 색상에 대해서 색역 밖의 색이 재현될 장치 색역의 휘도 중심값보다 큰 값이면 중심을 향하여 사상하고, 그렇지 않으면 일정 휘도값에서 선형적인 사상을 하는 방법이다. 그림 2에서 (c)의 방법은 각각의 색상에 따라 최대 채도값의 휘도를 기준으로, 이 값보다 큰 값이면 최대 채도값의 휘도값을 향해 사상하고, 그렇지 않으면

일정 휘도값에서 선형적인 사상을 하였다. 이는 각각의 색에 대한 밝고 어둠의 구분을 분명히 하기 위한 의도 때문이다. 그림 2(b)와 (c)의 방법은 (a)의 방법보다는 전체적인 대비가 높아지는 장점을 가지나 색역밖의 색과 재현할 색역간의 휘도나 채도의 관계를 고려하지 않았다. 그렇기 때문에 넓은 색역상에서 휘도와 채도값의 정도를 좁은 색역상에서 알맞은 정도로 나타낼 수 없다.

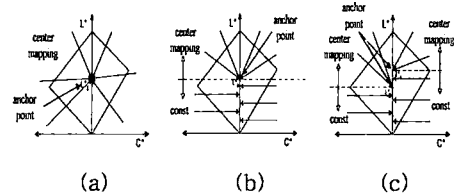


그림 2. 휘도와 채도가 같이 변하는 다양한 사상 방법 (a) 중심점,  $L^*=50$ 을 향한 사상 (b) 모든 색상에 대해서 동일한 복합 사상 (c) 각각의 색상에 대한 다른 닻점을 가지는 복합사상

Fig. 2. Various gamut mapping combined the lightness and chroma. (a) gamut mapping toward the central point,  $L^*=50$ . (b) Same hybrid gamut mapping on every hue angle. (c) Hybrid gamut mapping having the different anchor point on each hue angle.

## 3. Johnson 등이 제안한 색역 사상

위 방법의 단점을 고려한 방법이 Johnson 등이 제안한 방법이다.<sup>[9]</sup> 이 방법은 넓은 색역과 좁은 색역의 포함 관계에 따라 세 가지 방법으로 사상한다. 그림 3은 이 사상 방법을 나타내고 있다. 그림 3 (a)은 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고, 넓은 색역의 최대 채도값을 가지는 휘도값이 좁은 색역의 최대 채도값을 가지는 휘도값과 비슷할 경우에 색역 사상을 나타낸다. 이 때의 색역 사상은 일정 휘도값에 따라 채도값을 선형적으로 사상한다. 그림 3 (b)은 넓은 색역이 좁은 색역을 완전히 포함하고, 각 색역의 최대

채도값을 나타내는 휘도값이 다를 경우에 사용하는 사상 방법을 나타내고 있다. 이 경우의 색역 사상은 색역간의 최대 채도값의 두 정점을 이은 직선이 무채색 축과 만나는 점, 즉 닷점을 향해 이루어진다. 넓은 색역에 속한 색은 이 닷점을 향하는 선을 따라 압축이나 절단의 사상이 이루어진다. 이와 같은 방법은 넓은 색역의 색들을 좁은 색역의 색으로 고려하는 사상 결과를 가져온다. 그림 3 (c)은 위의 조건을 만족하지 않는 경우, 즉 두 색역의 포함 관계가 부분적일 때 사용하는 사상 방법이다. 이 방법은 닷점을 휘도의 중심값에 두고 이 점을 향해 사상한다.

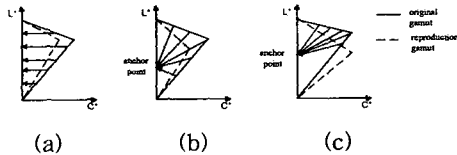


그림 3. Johnson이 제안한 방법 (a) 색역간의 포함관계가 완전하고 비슷한 최대 채도의 휘도값을 가질 경우 (b) 색역간의 포함관계가 완전하고 다른 최대 채도의 휘도값을 가질 경우 (c) 색역간의 포함관계가 부분적일 경우

Fig. 3. Johnson's method. (a) In case that the inclusion between two gamuts is complete and two lightness values of the maximum chromas is similar. (b) In case that the inclusion between two gamuts is complete and two lightness values of the maximum chromas is different. (c) In case that the inclusion between two gamut is partial.

### III. 기존의 보간 기법들

입력 영상은 RGB 색공간에서 표현되고, 출력 영상은 CMY 색공간이며, 색역 사상은 CIEL\*a\*b\* 색공간에서 일어난다. 그러므로 색역 사상을 하기 위해서는 RGB 색공간은 색공간 변환 방법을 통해 색역 사상이 일어

날 CIEL\*a\*b\* 공간으로 변환되어야 한다. 또 색역 사상을 한 칼라 영상의 CIEL\*a\*b\* 값은 프린터 출력을 위해 CMY 색공간으로 변환되어야 한다. 그러나 변환 방정식을 이용한 색공간 변환은 장치의 특성, 즉 모니터에 있는 형광물체의 비선형성이나 프린터 염료의 비선형성 등을 고려할 수 없는 단점이 있다. 이 단점을 개선시킬 수 있는 방법이 보간을 이용한 색공간 변환이다.<sup>[11-13]</sup>

#### 1. Tetrahedral 분할과 보간

사면체 분할은 모든 면이 평탄하기 때문에 육면체 분할보다 색의 포함유무를 판단하기가 쉽다.<sup>[11]</sup> 그리고 이 과정에서 그림 4에서 보여지듯이 기준점의 위치에 따라서 많은 분할 방법들이 있음을 알 수 있다. 그리고 이 과정에서 하나의 육면체에서는 6개의 사면체로의 분할이 가능하다.

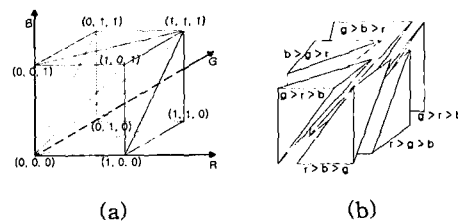


Fig. 4 한 개의 육면체에서 사면체 분할 (a) a에서 h까지의 점의 위치를 지정 (b) 조건을 나타내는 수식

Fig. 4. Tetrahedral division of a subcube: (a) coordinates indicate the location of points a through h and (b) equations indicate conditions.

#### 2. 두 사면체간의 대응

일단 한 색공간에서 사면체로 나누어진 subcube는 다른 색공간에 있는 일치하는 사면체에 있는 점과 선형적으로 연결될 수 있게 된다. 예를 들면, 한 사면체가 RGB 공간에 그리고 또 하나 CIEL\*a\*b\* 공간에 있다고 가정하면, 그림 5에서 보여지는것 처럼 사면체들을 가질 수 있으며 이 사면체들의 내부의 점은 서로 선형적으로 연결되어 진다.

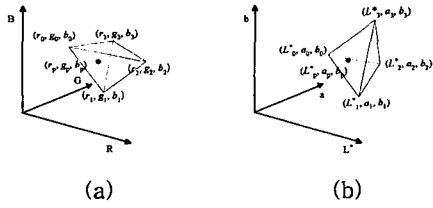


Fig. 5 두 공간에서 사면체간의 대응점  
Fig. 5. Corresponding tetrahedrons in two spaces.

### 3. 삼각형과 맞점을 향한 직선과의 교차점

일반적으로 CRT로부터 반사 물질로의 색 재현 과정에서 CRT의 색역이 인화지와 같은 반사 물질의 색역보다 넓게 나타난다. 따라서, 주어진 점이 색역을 형성하는 사면체중 하나에 포함되지 않을 수도 있다. 예를 들면, 한 장치의 재현된 색의삼자극치로부터 계산된 결과가 다른 색 재현 장치에서는 색역 밖의 값으로 재현될 수도 있게 된다. 그러나 정확한 색 재현을 위해서는 색의 값이 색역 내부에 존재하여야만 한다. 이러한 처리 과정에서 색상의 변화 없이 채도와 휘도를 압축하는 방법들이 주로 사용되어 진다. 이 처리를 위해서 한 직선과 색역의 경계부분의 교차점의 좌표를 얻어내는 것이 필요하다. 그림 6에서는 이러한 과정의 기하학적인 표현을 보여주고 있다.

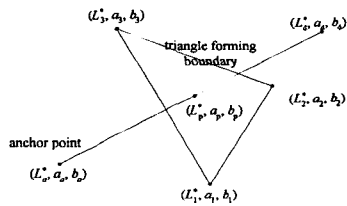


Fig. 6 경계를 형성하는 삼각형과 사상될 선과의 교차

Fig. 6. The crossing of a triangle-forming boundary and a line connecting the target point and achromatic point.

## IV. 제안된 색역사상

기존의 Johnson에 의해 제안된 색역사상 방법에서는 원래 영상의 휘도 범위를 재현하려는 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 먼저 휘도 사상을 한다. 따라서 이 과정에서 원래 색역의 휘도가 변하게 된다. 또한 한 개의 맞점을 이용한 사상과정에서 색역 밖의 색을 재현 장치의 색역 안으로 포함시키기 위하여 과도하게 휘도를 변형시키게 된다. 이러한 사상의 결과로 사상된 영상의 휘도 대조가 감소하게 된다. 그리고 기존의 방법들에서는 원래 영상의 최대 채도를 재현될 장치에서도 유지하기 위하여 그림 3의 (b)에서 처럼 두 장치들의 색역의 두 첨두치를 연결하는 선과 L\* 축이 만나는 점을 맞점으로 설정하여 사상을 하여준다. 그러나 이러한 맞점의 위치가 L\* 축의 중간이 아닐 경우 밝은 부분과 어두운 부분에서 사상된 색의 오차가 다르게 나타나게 된다. 만약 맞점의 위치가 중간에서 점점 더 멀어질수록 두 영역에서의 색 오차는 더욱더 커져서 색의 왜곡이 심하게 되고 두 영역간의 경계부분에서 갑자기 색이 변하는 현상이 나타나게 된다. 또한 기존의 절단 방법을 사용하는 변수적 색역사상에서는 급격한 색의 변화가 위의 두 영역에서만뿐만 아니라 재현될 장치의 색역 밖의 영역과 색역 안의 영역의 경계부분에서도 심하게 나타나게 된다. 이는 절단 방법이 색역 안의 색은 그대로 유지하면서 색역 밖의 색만 맞점을 향하여 사상을 하기 때문에 맞점을 향한 급격한 사상은 색역의 경계부분에서 심한 색의 불연속을 만들기 때문이다. 따라서 기존의 색역 사상 방법을 이용한 경우에는 연속계조의 칼라영상을 재현할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 연속계조의 칼라영상을 재현하면서 원래의 색을 잘 재현해 낼 수 있는 사상 방법을 제안한다. 이 제안된 방법은 기존의 하나의 맞점을 사용하던 방법과 달리 여러개의 맞점을 영역에 따라서 가변적으로 설정해 줌으로써 색역의 전 범위에

서 사상후 거의 일정한 색의 변화를 이룰 수 있게 하였다.

### 1. 순방향 보간 및 휘도 사상

제안된 방법에서, 색역 사상은 균일 색공간이면서, 휘도와 색 성분을 잘 분리해 낼 수 있는 CIEL\*a\*b\* 색공간에서 수행되었다.<sup>[10,11]</sup> 먼저 색역 사상을 하기 전에 각 장치의 색역을 구하기 위하여 모니터와 프린터에서 칼라 샘플들을 만들어서 각각을 spectrophotometer를 이용하여 CIEL\*a\*b\* 값을 얻었다. 이 측정된 결과를 이용하여 입력된 RGB를 CIEL\*a\*b\*값으로 변환하는 과정에서 LUT(Look up Table)과 사면체 보간 방법을 이용하였다. 본 논문에서 RGB 색공간에서 CIEL\*a\*b\* 공간으로의 보간을 순방향 보간(forward interpolation)이라고 정의한다. 그리고 이를 계산하기 위해서 그림 5로부터 다음과 같이 계산되어 진다.

$$\begin{bmatrix} L_p \\ a_p \\ b_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1-L_0 & L_2-L_0 & L_3-L_0 \\ a_1-a_0 & a_2-a_0 & a_3-a_0 \\ b_1-b_0 & b_2-b_0 & b_3-b_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_1-r_0 & r_2-r_0 & r_3-r_0 \\ g_1-g_0 & g_2-g_0 & g_3-g_0 \\ b_1-b_0 & b_2-b_0 & b_3-b_0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} r_p-r_0 \\ g_p-g_0 \\ b_p-b_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_0 \\ a_0 \\ b_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

다음으로 모니터와 프린터의 최대 휘도를 일치시킨 후 두 장치의 색역의 휘도 영역을 보면 일반적으로 두 장치간의 불일치가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이 두 색역간의 휘도를 일치시키기 위하여 두 장치의 최대와 최소를 일치시킨 후 선형적으로 압축하는 방법을 사용한다. 이 선형적 휘도 사상은 다음에서와 같다.

$$L_{lp} = \frac{(L_p - L_{omin}) \times (L_{rmax} - L_{rmin})}{(L_{omax} - L_{omin})} + L_{rmin}$$

$$a_{lp} = a_p$$

$$b_{lp} = b_p$$

(2)

여기서  $L_{lp}$ 는 휘도 사상의 결과이며,  $L_{omax}$ 는 모니터색역의 최대 휘도이며,  $L_{omin}$ 은

모니터 색역의 최소 휘도이며,  $L_{rmax}$ 은 프린터 색역의 최대 휘도이며,  $L_{rmin}$ 은 프린터 색역의 최소 휘도이다.

### 2. 닷점 설정 및 색역 사상

앞에서 언급된 바와 같이 하나의 닷점을 향한 색역 사상은 사상된 영상의 전체적인 색의 범위를 줄여서 대조도를 감소시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 색의 대조도를 높이기 위하여 사상 과정에서 닷점을 향한 선의 기울기를 기존의 한 개의 닷점을 이용하는 색역 사상보다 완만하게 변하게 하여준다. 이 과정에서 만약 닷점을 향한 기울기가 다르게 되면 밝은 영역과 어두운 두 영역뿐만 아니라 같은 영역 내에서도 색역 사상된 오차가 다르게 나타나게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 영역들을 구분하여 여러개의 가변 닷점을 이용함으로써 균일 사상 오차가 발생할 수 있는 방법을 제안한다. 이 닷점들의 위치는 입력된 색의 위치에 관계없이 사상을 위한 일정한 기울기를 가질 수 있도록 변하게 된다. 그러나 동일한 기울기를 밝은 영역과 어두운 영역에 동일하게 적용할 경우 한 영역에서는 재현될 장치의 색역 안으로 사상이 일어나질 못하게 된다. 따라서 본 논문에서는 같은 영역 안에서의 기울기는 동일하게 하면서 다른 영역에서의 기울기는 서로 사상오차가 동일하게 일어날 수 있도록 반대의 기울기를 유지시켜준다. 이러한 과정에서 두 영역의 사상결과가 반대방향으로 다르기 때문에 이 영역들간의 경계부분에서 완충을 위한 영역을 두어서 연속적 색의 변화가 나타날 수 있게 한다. 이러한 영역들의 구분을 위하여 그림 7에서 나타나는 바와 같이 두 장치들의 최대 채도를 가지는 침두치의 휘도를 기준으로 이용하게 된다. 영역구분은 각 색역간의 포함 유무를 고려하지 않고 단지 휘도를 기준으로 그림 7과 같이 세 영역으로 분류하였다.

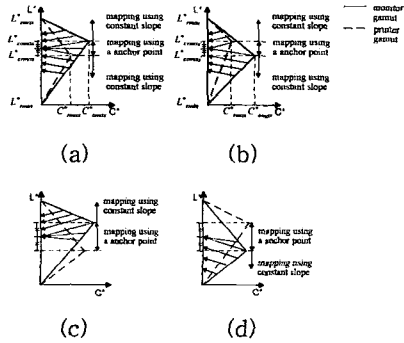


Fig. 7. 제안된 색역 사상 방법  
Fig. 7. The proposed gamut mapping method.

이 분류된 영역을 기준으로 색역 사상을 이루기 위해서는 각 영역에서 다른 닷점을 설정하게 된다. 먼저 하나의 색역이 다른 색역을 포함하고 있을 경우에는, 그림 7 (a) 와 (b)에서처럼 두 장치의 최대 채도를 가지는 점들의 휘도의 중간점과 바깥 색역의 침두치를 연결하는 선의 기울기를 한쪽 영역의 사상을 위한 기울기로 사용하게 된다. 그리고 반대 영역에서는 이 기울기에 부호를 달리한 기울기로 사상을 행함으로써 두 영역에서 동일한 색의 오차를 유지하게 한다. 나머지 가운데 영역에서는 두 최대 채도를 가지는 점의 휘도들의 중간값을 가지는 점을 한 개의 닷점으로 설정하여 사상을 행하게 된다. 먼저 그림 7 (a)에서처럼  $L^*_{comax} > L^*_{crmax}$  일 때를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$L^*_a = \begin{cases} L^*_{lp} - \frac{(L^*_{comax} - L^*_{crmax})/2}{C^*_{omax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{comax} \geq L^*_{crmax} \text{ and } L^*_{lp} \geq L^*_{comax} \\ L^*_{comax} - \frac{(L^*_{comax} - L^*_{crmax})}{2}, & \text{if } L^*_{comax} < L^*_{lp} < L^*_{comax} \\ L^*_{lp} + \frac{(L^*_{comax} - L^*_{crmax})/2}{C^*_{omax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{comax} \geq L^*_{crmax} \text{ and } L^*_{lp} < L^*_{comax} \end{cases}$$

$$a^*_a = 0$$

$$b^*_a = 0$$

(3)

여기서  $C^*_{lp}$ 는 사상될 색의 채도이며,  $C^*_{omax}$ 는 모니터 색역의 최대 채도이다. 그림 7 (b)에서처럼  $L^*_{crmax} > L^*_{comax}$  일 때는 다음의 수식으로 표현된다.

$$L^*_a = \begin{cases} L^*_{lp} - \frac{(L^*_{crmax} - L^*_{comax})/2}{C^*_{omax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{crmax} < L^*_{comax} \text{ and } L^*_{lp} \geq L^*_{crmax} \\ L^*_{crmax} - \frac{(L^*_{crmax} - L^*_{comax})}{2}, & \text{if } L^*_{crmax} < L^*_{lp} < L^*_{crmax} \\ L^*_{lp} + \frac{(L^*_{crmax} - L^*_{comax})/2}{C^*_{omax}} \times C^*_{lp}, & \text{if } L^*_{crmax} < L^*_{comax} \text{ and } L^*_{lp} < L^*_{crmax} \end{cases}$$

$$a^*_a = 0$$

$$b^*_a = 0$$

(4)

이러한 사상의 장점은 사상과정에서 색역 밖의 색들이 다른 색역의 경계로 사상될 때 색들의 순서가 바뀌지 않으면서 모든 영역에서 거의 일정한 색의 변화를 가지면서 사상을 행할 수 있다는 것이다. 만약 두 색역의 최대 채도를 나타내는 침두치의 휘도가 동일하게 될 경우에는 그림 3 (a) 방법과 동일하게 나타나게 된다. 따라서 제안된 방법은 기존 Johnson 방법 등에서 나타나는 여러 가지 조건들을 간소화시킬 수 있는 장점도 나타내고 있다.

그림 7(c) 와 (d)는 두 색역간에 포함관계가 유지되지 않을 때에 사상하는 방법을 나타내고 있다. 이 경우도 그림 7(a) 와 (b)에서와 비슷하게 사상이 일어나야 할 영역에서는 그림 7(a) 와 (b)에서처럼 동일한 방법으로 수식(3) 과 (4)를 이용하여 닷점을 구한 후 사상을 행하고 색들이 색역 안에 포함되어 사상할 필요가 없는 부분에서는 원래의 색을 그대로 유지하게 된다. 이 과정에서 색역 사상이 이루어지는 색은 내부 색역의 경계부분과 만나는 위치로 사상이 일어나게 된다. 따라서 이렇게 사상된 교차점( $L^*_{lp}$ ,  $a^*_{lp}$ ,  $b^*_{lp}$ )은 그림 6에서 보여지듯이 다음의 수식으로 계산될 수 있다.

$$[a \ b \ c] = [1 \ 1 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} L^1 & L^2 & L^3 \\ a^1 & a^2 & a^3 \\ h^1 & h^2 & h^3 \end{bmatrix}^{-1}, \quad (5)$$

$$\delta = [a \ b \ c] \cdot \begin{bmatrix} L^*_a - L^*_4 \\ a^*_a - a^*_4 \\ b^*_a - b^*_4 \end{bmatrix}^{-1}, \quad (6)$$

## VII. 실험 및 결과

제안된 방법의 테스트를 위하여 그래픽 영상인 color chart와 인터넷으로 부터 얻은 fresh 영상을 사용하였다. 이 영상으로 색역 사상을 하기 위한 모니터 출력을 얻기 위하여 삼성 SyncMaster-700p를 사용하였으며, 이 영상들과의 색 일치를 위하여 사용된 프린터는 LG Art-jet 프린터를 사용하였다. 각 장치의 색역을 알기 위하여 6×6의 색의 샘플을 모니터에서 RGB 포맷으로 만들어서 spectrophotometer로 측정하여 CIEL\*a\*b\* 값을 얻었으며, 프린터에서는 CMY 포맷으로 만들어서 spectrophotometer로 측정하여 CIEL\*a\*b\* 값을 얻었다. 모니터와 프린터에서 출력된 결과값을 얻기 위하여 각각 Minolta CA-100 와 Minolta CM-3600d가 사용되었다. 각 샘플들로부터 얻어진 장치의 색역으로부터 색역 사상이 이루어졌다.

제안된 방법과 기존의 방법들과의 비교를 위하여 색차인  $E^*_{ab}$ 가 사용되었다. 이 값을 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^*_O - L^*_R)^2 + (a^*_O - a^*_R)^2 + (b^*_O - b^*_R)^2} \quad (10)$$

여기서  $L^*_O a^*_O b^*_O$ 는 모니터에서 측정으로 얻어진 CIEL\*a\*b\*값이며,  $L^*_R a^*_R b^*_R$ 는 프린터에서 측정으로 얻어진 CIEL\*a\*b\* 값이다. 이 과정에서 그림 9에 출력된 Macbeth 칼라 차트가 비교를 위한 표준색으로 이용되어 오차를 구하였다. 출력된 결과에서 제안된 방법이 기존의 방법들보다 색의 선명도가 높으면서 순수한 색들을 잘 나타내고 있음을 볼 수 있다. 기존의 방법들은 빨간색 등에서 검은 점들이 섞여서 순수색이 잘 나타나지 않고 있다. 결과적으로 얻어진  $E^*_{ab}$  값은 표1에서 보여진다. 표1에서 제안된 방법이 기존의 방법들보다 오차가 적은 것을 볼 수 있다.

$$\eta = \frac{1 - [a \ b \ c] \cdot \begin{bmatrix} L^*_4 \\ a^*_4 \\ b^*_4 \end{bmatrix}}{\delta}, \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} L^*_{lp} \\ a^*_{lp} \\ b^*_{lp} \end{bmatrix} = \eta \cdot \begin{bmatrix} L^*_a - L^*_4 \\ a^*_a - a^*_4 \\ b^*_a - b^*_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L^*_4 \\ a^*_4 \\ b^*_4 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

색역 사상된 결과를 프린트하기 위해서 색 공간 변환이 필요하게 된다. 본 논문에서는, CIEL\*a\*b\* 색공간에서 CMY 색공간으로 변환을 역방향 보간(inverse interpolation)이라고 정의하며 그림 5로부터 역보간 과정이 다음의 수식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} c_{lp} \\ m_{lp} \\ y_{lp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 - c_0 & c_2 - c_0 & c_3 - c_0 \\ m_1 - m_0 & m_2 - m_0 & m_3 - m_0 \\ y_1 - y_0 & y_2 - y_0 & y_3 - y_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L^*_1 - L^*_0 & L^*_2 - L^*_0 & L^*_3 - L^*_0 \\ a^*_1 - a^*_0 & a^*_2 - a^*_0 & a^*_3 - a^*_0 \\ b^*_1 - b^*_0 & b^*_2 - b^*_0 & b^*_3 - b^*_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^*_{lp} - L^*_0 \\ a^*_{lp} - a^*_0 \\ b^*_{lp} - b^*_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_0 \\ m_0 \\ y_0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

그림 8은 색역사상의 전체 과정을 나타내고 있다. 이 논문에서의 색공간 변환은 작은 계산량을 가지고 더욱 높은 정확도를 가지는 사면체 보간 방법을 사용하였다. 먼저 RGB 입력을 CIEL\*a\*b\* 색공간으로 변환하기 위해 순방향 보간을 이용하였다. 보간이 이루어진 후 휘도 사상과 각 영역에서의 닷점 설정과정을 거친 후 색역 사상이 이루어졌다. 마지막 단계로 색역 사상된 결과를 프린트할 CMY 공간으로 변환하기 위하여 역방향 보간을 이용하였다.<sup>[11,12]</sup>

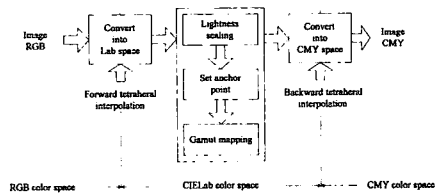


Fig. 8. 제안된 사상 방법의 절차

Fig. 8. The total procedure of the proposed GMA.



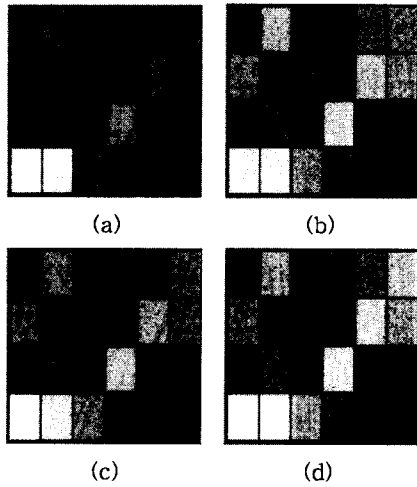


그림 9. 색역사상 후 오차확산법으로 프린트된 Macbeth 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법

Fig. 9. The Macbeth images printed by error diffusion using GMAs. (a) Without GMA. (b) CUSPs algorithm. (c) Johnsons algorithm. (d) Proposed GMA.

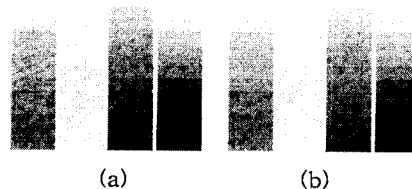
표 1. 모니터에 출력된 색과 프린터에서 재현된 색과의 색오차 ( $E^*_{ab}$ ) 비교

Table 1. The comparison of  $E^*_{ab}$  between colors displayed on the monitor and colors reproduced on the printer.

	CUSP의 방법	Johnson의 방법	제안된 방법
$E^*_{ab}$	9.86574	13.00708	7.911442

그림 10과 11은 오차확산 방법을 이용하여 기존의 색역 사상과 제안된 색역 사상과의 비교를 위하여 프린트된 영상들이다. 그림 10과 11의 (a)는 색역 사상을 하지 않고 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (b)는 CUSP의<sup>[6]</sup> 방법으로 색역사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (c)는 Johnson의 방법으로 색역사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이며, (d)는 제안된 색역사상을 이룬 후 오차확산 방법으로 프린트한 영상이다. 그림 10에서는 그래

픽 영상이 사용되었으며, 그림 10의 (a)에서는 색역사상이 이루어지지 않아서 전체 칼라 차트의 영역구분이 제대로 이루어지지 않을 것이다. 특히 중간 이하의 어두운 부분에서는 거의 영역간 구분이 보이질 않는다. 그림 10의 (b)와 (c)에서도 전체적으로 대조도가 떨어져서 각 영역의 구분이 잘 나타나질 않을 것이다. 또한 어두운 부분에서는 변별력이 감소되었으며, 밝은 부분들은 뒳점을 향하여 지나치게 사상이 되어 조금 어둡게 나타나 보이고 있다. 그림 10의 (d)는 제안된 방법을 이용하여 사상된 결과를 나타내고 있다. 기존의 방법들보다 대조도가 좋아져서 각 영역들의 구분이 잘되며, 밝은 부분들도 기존의 방법들보다 더욱 밝게 나타남을 볼 수 있다. 그림 11에서는 fresh 영상이 사용되었으며, 그림 11의 (a)에서는 색역사상이 이루어지지 않아서 영상이 어두워지면서 제대로 색이 나타나지 않음을 볼 수 있다. 그림 11의 (b)에서는 왼쪽 부분의 흰꽃 부분에서 cyan 색이 조금씩 나타나서 흰색이 제대로 재생되지 않음을 볼 수 있다. 그림 11의 (c)에서는 오른쪽 상단의 청포도 부분에서 영역 뭉쳐짐 현상이 나타남을 볼 수 있다. 그리고 (b)와 (c)에서 전체적으로 대조도가 떨어져서 검은 색 부분들이 제대로 나타나지 않음을 볼 수 있다. 그림 11 (d)는 기존의 방법들보다 대조도도 증가되었으며, 흰색과 검은색 부분들도 잘 재현되었음을 볼 수 있다. 색역사상을 하지 않은 결과와 기존의 방법들에 비해서 제안된 방법이 색을 잘 재현함을 볼 수 있다.



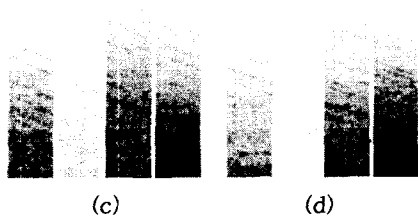


그림 10. 색역사상 후 오차확산법으로 프린트된 그래픽 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법

Fig. 10. The graphic images printed by error diffusion using GMAs. (a) Without GMA. (b) CUSPs algorithm. (c) Johnsons algorithm. (d) Proposed GMA.

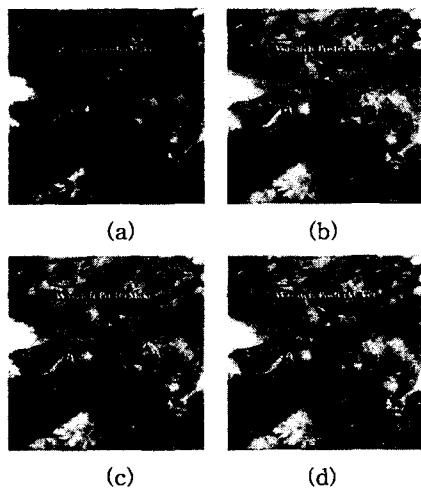


그림 11. 색역사상 후 오차확산법으로 프린트된 fresh 영상 (a) 색역 사상이 안된 영상 (b) CUSP 방법 (c) Johnson 방법 (d) 제안된 방법

Fig. 11. The fresh images printed by error diffusion using GMAs. (a) Without GMA. (b) CUSPs algorithm. (c) Johnsons algorithm. (d) Proposed GMA.

## VII. 결론

본 연구에서는 제한된 색 재현 장치에서 자연색을 출력하기 위한 새로운 방법들이 제

안되었다. 이 제안된 색역 방법은 두 단계로 구성되며, 먼저 두 색역간의 휘도 영역의 불일치를 맞추기 위하여 휘도 사상을 행한 후 다음 단계에서 일정한 기울기의 다중 닷점들을 이용하여 색역 사상을 이루었다. 제안된 방법은 기존의 한 개의 닷점을 이용하여 색역 사상을 하였을 때 발생하던 대조도 감소와 각각의 사상 영역의 경계부분에서 색의 급격한 변화를 줄일 수 있었으며, 또한 모든 색역에 대하여 일정한 색의 오차를 유지할 수 있었다. 제안된 연구의 결과는 색을 표현하는 다른 장치간에서도 각 장치의 색역만 구해지면 적용이 가능할 것이다.

## 참고문헌

1. M. Ronnier Luo and Jan Morovic, "Two Unsolved Issues in Colour Management - Colour Appearance and Gamut Mapping," *Proceedings of the 5th International Conference on High Technology: Image Science and Technology - Evolution & Promise*, pp. 136-147. Chiba, Japan, 1996
2. Patrick G. Hezog and Michael Muller, "Gamut Mapping Using an Analytic Color Gamut Representation," *SPIE, Device-Independent Color, Color Hard Copy, and Graphic Arts*, February 1997.
3. Patrick G. Herzog and Bernhard Hill, "A New Approach to the Representation of Color Gamut," *The 3rd IS&T/SID Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application*, November, 1995
4. Luo, M. R. and Morovic, J.J. "Two Unsolved Issues in Colour Management - Colour Appearance and Gamut Mapping," *Proceedings of 5th International Conference on High Technology: Imaging Science and Technology - Evolution & Promise*, Chiba, Japan, 1996.

5. Jan Morovic and M.Ronnier Luo, "Cross-Media Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms," *Proc. AIC Color 97 Kyoto*, 1997
6. Stone, M.C. and Wallace, W.E., "Gamut Mapping Computer Generated Imagery," *Graphics Interface 91*, pp. 32-39, (1991).
7. Laihanen, P., "Colour Reproduction Theory based on the Principles of Colour Science," *IARAIGAI Conference Proceedings Advances in Printing Science & Technology*, vol. 19, pp. 1-36, (1987).
8. Macdonald, L.W., Morovic, J.J. and Saunders, D., "Evaluation of Colour Fidelity for Reproductions of Fine Art Paintings," *Museum Management and Curatorship*, vol. 14, no. 3, pp. 253-281, (1995).
9. Johnson, A.J., Luo, M. R., Lo, M. C., Xin, J. H. and Rhodes, P. A., "Aspects of Colour Management, Part II Characterization of Four-Colour Imaging Devices and Colour Gamut Compression," *Color Research and Application*, vol. 22, pp. 000-000, (1997).
10. Henry R. Kang, "Color Technology For Electronic Image Devices," *SPIE Optical Engineering Press*, 1996.
11. Gabriel Marcu and Satoshi Abe, "CRT and Ink Jet Printer Models for Device Independent Color Reproduction in Image Transmission," *Proceedings of The 2nd IS&T Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application*, November 1994.
12. Po-Chieh Hung, "Colorimetric Calibration in Electronic Imaging Devices Using a Look-up-Table Model and Interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 2, No. 1, pp. 53-60, January 1993.
13. James M. Kasson, Sigfredo I. Nin, Wil Plouffe, and James L. Hafner, "Performing Color Space Conversions with Three-Dimensional Linear Interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 4, No. 3, pp. 226-250, 1995.