

논문 2011-48SP-3-11

# 컬러 결점을 줄이기 위한 수정된 segment maxima 기반의 색역 추정

( Estimation of Gamut Boundary based on Modified Segment Maxima  
to Reduce Color Artifacts )

하 호 건\*, 장 인 수\*, 이 태 형\*, 하 영 호\*\*

( Ho-Gun Ha, In-Su Jang, Tae-Hyoung Lee, and Yeong-Ho Ha )

## 요 약

본 논문에서는 수정된 segment maxima을 기반으로 한 색역 추정 방법을 제안한다. Segment maxima은 CIELab 공간을 일정한 간격으로 분할하고, 각 분할된 영역의 최외각 측정 데이터를 계산하여 색역을 추정하는 기법이다. 그러나 이 방법은 색공간의 분할 개수에 따라서 지역적인 색역 왜곡이 나타나 색역 사상시에 컬러 결점(color artifact)을 발생시킨다. 색공간 분할 개수가 적으면 높은 채도 부근에서 추정된 색역 정보가 분실되어 컬러 컨투어(color contour) 현상이 발생한다. 이와 반대로 색공간 분할 개수가 많으면 CIELab 밝기 축 부근에서 색역이 오목하게 되는 왜곡이 발생한다. 이러한 지역적인 색역 왜곡은 색역 사상시 결과 영상에 컬러 결점이 유발한다. 제안한 논문에서는 실험을 통하여 측정된 데이터 수에 따른 적절한 색공간 분할 개수를 설정하여 높은 채도 부근에 색역 축소를 줄이며, 오목하게 나타나는 지역적인 색역 왜곡을 다양한 색역 분할에 따른 색역 경계 서술자(gamut boundary descriptor) 비교를 통해 이를 수정하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 제안한 방법이 기존의 segment maxima보다 정확한 장치의 색역을 추정할 수가 있었고, 결과 영상에서도 컬러 컨투어나 반점과 같은 컬러 결점이 줄어들음을 확인 할 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we proposed a method for estimating an accurate gamut based on segment maxima method. According to the number of segments in the segment maxima, a local concavity is generated in the vicinity of lightness axis or a gamut is reduced in high chroma region. It induces artifacts or deterioration of the image quality. To remove these artifacts, the number of segment is determined according to the number of samples, and a local concavity is modified by extending a detected concave point to the line connecting two adjacent boundary points. Experimental results show that the contours in a uniform color region and speckle artifacts from the conventional segment maxima algorithm are removed.

**Keywords :** 색역, 색역사상, segment maxima

## I. 서 론

색역이란 장치가 표현할 수 있는 모든 색의 범위를

의미한다. 그러나 각각의 장치가 가진 색역이 다르기 때문에 동일한 입력 영상이라도 장치마다 서로 다른색으로 재현된다. 따라서 두 장치간 색역 차이에 의해 재현되는 색의 차이를 줄이기 위해 색역 사상(gamut mapping)이 필요하다. 색역 사상에 대한 연구는 그 목적에 따라 많은 연구가 되어왔다<sup>[1-2]</sup>. 그러나 색역 사상이 정상적으로 수행되더라도 색역 사상의 기반이 되는 색역 추정이 잘 수행되지 않으면 재현 장치에서 색이 정확히 표현되지 않는다. 따라서 색역 사상을 수행하기

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

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No.2010-0000401)임.

접수일자: 2010년8월17일, 수정완료일: 2010년12월2일

전에 장치들의 색역을 정확하게 추정하는 것이 선행되어야 한다.

색역의 추정은 장치가 표현할 수 있는 색과 표현할 수 없는 색의 경계를 추정하는 것으로 실제로 장치에서 여러 단계의 샘플 패치를 측색기로 측정하여 얻은 데이터를 이용하여 추정한다. 색역 경계를 결정하는 가장 기본적인 방법은 convex hull 이다<sup>[3]</sup>. convex hull은 측정된 패치의 샘플들로부터 얻은 데이터를 모두 포함하는 가장 작은 convex hull을 결정하고 이를 장치의 색역이라고 정의한다. 그러나 이러한 방법은 장치들의 모든 색역이 볼록한 형태를 가진다고 가정한다. 따라서 오목한 형태의 색역을 가지는 장치에서는 정확한 색역을 추정할 수 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해 수정된 convex hull이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 수정된 convex hull은 먼저 모든 측정데이터들을 좌표의 중심으로부터 떨어진 거리를 지수에 따른 비율만큼 밖으로 확장시켜 오목한 형태의 색역을 볼록한 형태로 변환한다. 그리고 나서 convex hull으로 색역의 경계를 결정한 뒤 다시 확장시킨 비율만큼 추정된 색역 경계를 줄여서 원래 장치의 색역을 결정한다. 또 다른 색역 추정방법은 alpha shape 이 있다<sup>[5]</sup>. Alpha shape에서는 일정크기의 반지름을 가지는 원과 측색 데이터의 외접하는 점들을 연결하여 색역의 경계를 결정한다. 그러나 수정된 convex hull이나 alpha shape 방법 모두 정확한 색역을 추정하는데 있어서 필요한 데이터 확장의 지수 비율이나 외접하는 원의 반지름과 같은 최적의 파라미터를 찾기가 어렵다.

Segment maxima 방법은 Morovic과 Luo에 의해서 제안된 방법으로 색공간의 분할을 통하여 각 분할된 공간의 최외각 측정 데이터를 그 영역의 색역 경계라는 가정을 기반으로 한다<sup>[6]</sup>. 이 방법은 매우 간단하며 효과적으로 색역을 추정할 수 있다. 그러나 segment maxima 방법 역시 측정된 데이터 샘플의 개수에 따라서 적절한 색공간 분할 개수를 결정해 주어야 하는 어려움이 있다. 만약 색공간 분할 개수가 적으면 높은 채도 부근에서 색역이 줄어 들어서 컬러 컨투어(color contour) 현상이 발생한다. 이와 반대로 분할 개수가 많으면 지역적으로 오목한 색역 왜곡이 발생하여서 색역 사상을 통한 결과 영상에서 반점 결점(speckle artifacts)가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 컬러 결점들을 줄이기 위해서 측정된 데이터 샘플에 따른 적절한 색공간 분할 개수를 설정하였고, 지역적으로 오목

한 색역 왜곡이 발생할 경우 이를 발견하고 수정하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 II장에서 기존의 색역 추정 방법인 segment maxima 방법에 대하여 설명하고 문제점을 분석한다. III장에서는 제안한 색역 추정 방법에 대해서 설명하고, IV장에서는 제안한 방법과 기존의 색역 추정 방법을 비교하여 실험하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 서술한다.

## II. 기존의 색역 추정 방법

### 1. Segment maxima

Segment maxima 방법은 색공간을 분할하여 각 분할된 공간의 최외각 측정 데이터를 추정하여 색역을 결정한다. 그림 1은 segment maxima에서 색역을 추정하는 방법을 나타내고 있다. 먼저 CIELab 공간을 중심이 (50, 0, 0)인 구 좌표계 공간으로 변환하여  $M \times N$  개의 색공간으로 영역을 분할한다. 그리고 각 측정된 데이터 샘플들 역시 구 좌표계의 위도, 경도와 반지름으로 변환한다. 다음으로, 측정된 데이터들을 분할된 각 공간별로 정렬하여 중심에서 가장 멀리 떨어진 데이터를 최외각 측정데이터로 결정하고 이를 그 공간의 대표 극값(extreme point)로 간주한다. 분할된 공간의 대표 극값이 존재하지 않을 경우는 이웃한 주변의 대표 극값들을 보간하여 추정한다. 마지막으로, 주어진 색상(hue)에 대하여 2차원 색역 평면(gamut plane)을 추정한다. 2차원 색역 평면은 주어진 색상의 색각도(hue angle)를 가지는 평면과 평면 좌우의 대표 극값들을 연결한 교점의 색역 경계 서술자(gamut boundary descriptor)를 계산하여 연결함으로써 결정되어진다.

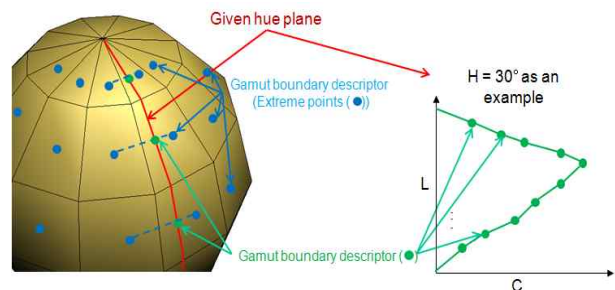


그림 1. Segment maxima 방법을 이용한 2차원 색역 평면의 추정

Fig. 1. Estimating two dimensional gamut plane using segment maxima method.

2. Segment maxima의 문제점

그림 2에서 보는 것과 같이 segment maxima 방법을 이용하여 2차원 색역 평면을 추정할 때 사용되어지는 측정 데이터가 제한되어질 경우 분할된 개수에 따라 동일한 장치이더라도 서로 다른 색역 평면이 추정된다. 분할 개수가 너무 많으면 (a)처럼 지역적인 오목함이 발생할 수도 있고, 분할된 개수가 너무 작으면 (c)처럼 원래 장치가 가지고 있는 색역보다 더 적은 색역이 추정된다. 즉, 그림 2의 노란색 부분으로 나타나는 색역의 지역적인 왜곡이 발생하게 된다. 그림 3은 지역적인 색역 왜곡이 색역 사상에 미치는 영향을 나타내고 있다. (b)와 같이 지역적인 색역 왜곡이 존재하는 경우에 색역 사상된 값은 왜곡이 존재하지 않는 (a)와 비교해 볼 때 밝기와 채도가 낮아져서 컬러 결점을 발생시킨다. 그림 4는 왜곡된 색역을 이용한 색역 사상의 결과 영상

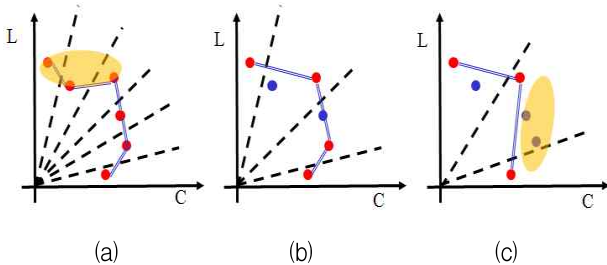


그림 2. 분할된 개수에 따른 색역 모양의 변화; (a) 많은 수의 색공간 분할 (b) 적당한 수의 색공간 분할 (c) 적은 수의 색공간 분할

Fig. 2. Shape of gamut plane according to the number of segment; (a) large number of segment, (b) adequate number of segment, and (c) small number of segment.

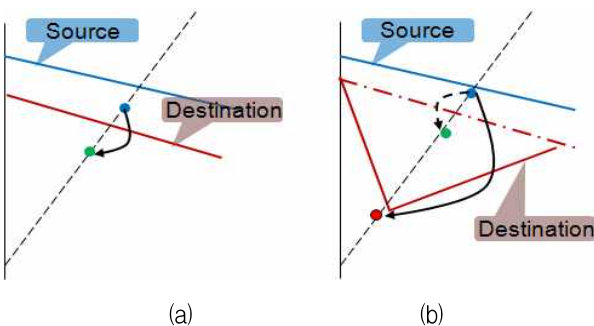


그림 3. 지역적인 색역 왜곡이 색역 사상에 미치는 영향; (a) 지역적인 색역 왜곡이 없는 경우 (b) 지역적인 색역 왜곡이 존재하는 경우

Fig. 3. Effect of local gamut distortion in gamut mapping; (a) gamut mapping with no local distorted gamut (b) gamut mapping with a local distorted gamut.

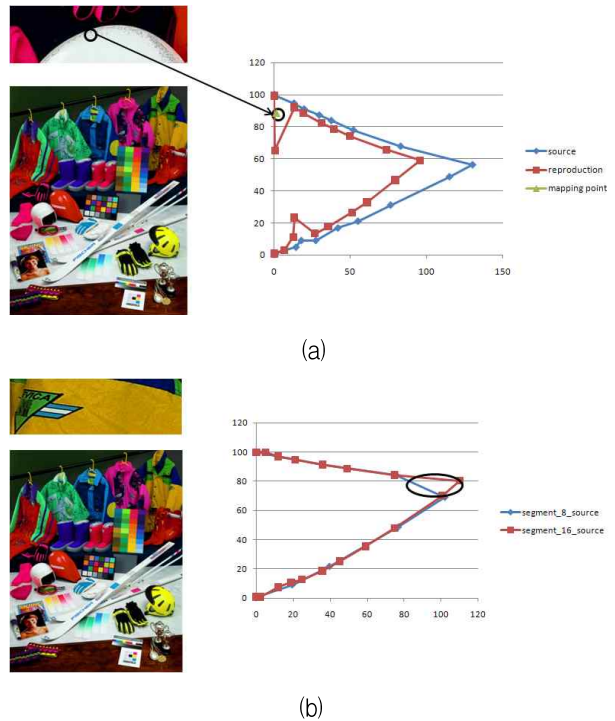


그림 4. 왜곡된 색역으로 인한 색역 사상 결과 영상; (a) 많은 수의 분할에 따른 지역적인 오목함으로 나타나는 반점 (b) 적은 수의 분할에 따른 색역 축소로 나타나는 컬러 컨투어

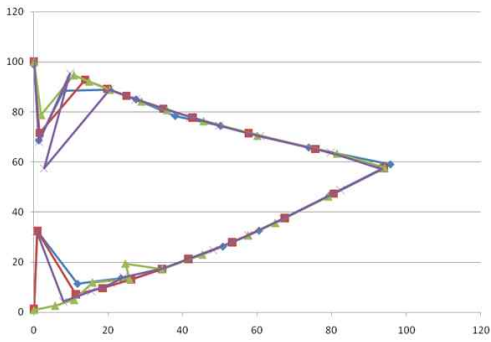
Fig. 4. Color artifacts in resulting image; (a) local concavity due to large number of segment (b) small gamut plane due to small number of segment.

에 나타나는 컬러 결점을 보여준다. (a)는 많은 색공간 분할에 따라 출력 장치의 색역에 지역적인 오목함이 나타나서 흰색 헬멧 부근에서 검은 반점이 나타남을 볼 수가 있다. (b)는 입력 장치의 색역 추정시 색역 분할 개수를 각각 8, 16으로 적은 분할과 많은 분할로 나누어 추정한 색역 평면을 비교한 것이다. 색역 분할 개수가 작아지면 높은 채도 부근의 색역이 작게 추정되는 경우가 발생할 수 있으며 결과 영상의 노란색 부근에 컬러 컨투어를 야기시킨다.

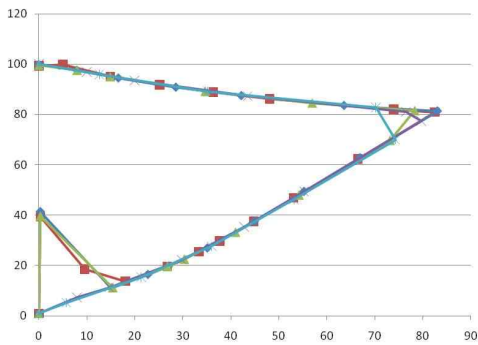
III. 제안된 색역 추정 방법

1. 색공간 분할 개수의 추정

색공간 분할된 개수에 따른 2차원 평면의 색역 모양을 분석해 보면 분할 개수에 따라 여러 가지 형태의 왜곡된 색역이 추정됨을 알 수 있다. 그림 5(a)와 같은 경우는 색공간의 분할 개수를 늘여 가면 지역적인 오목함 발생이 많아진다. 그리고 개수가 커질수록 이러한 지역



(a)



(b)

그림 5. 색공간 분할 개수에 따른 2차원 색역 평면; (a) 색공간 분할 개수에 따른 지역적인 오목함 변화 (b) 색역 분할 개수에 따른 높은 색상 영역의 색역 변화

Fig. 5. Comparing gamut plane according to the number of segment: (a) variation of a local concavity (b) variation of gamut shape in high chroma.

적인 오목함의 개수나 정도가 더 커져간다. 이와 반대로, 그림 5(b)와 같이 분할 개수를 줄여 가면 지역적인 오목한 색역 왜곡은 줄어들지만 높은 채도를 가진 부근에서 추정되는 색역이 원래보다 적게 나타난다. 그래서 본 논문에서는 색공간 분할에 따른 높은 채도 부근의 색역 축소가 일어나지 않으면서 최소한의 지역적인 오목함이 나타나는 적절한 색공간 분할 개수를 실험을 통해서 결정하였다. 실험에 사용된 장치는 LED, LCD 모니터 이외에 DLP 프로젝터와 프린터를 이용하였다. 그 결과, 그림 5에서 보는 것과 같이 색공간 분할을 대략 14-16로 정하면 색역 축소도 현상도 줄어들며 최소한의 지역적 오목함이 나타남을 알 수 있다.

2. 지역적으로 오목한 색역 왜곡 수정

실험을 통해 결정된 색공간 분할 개수를 사용하면 높

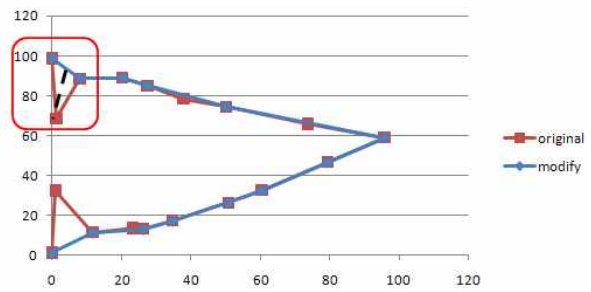


그림 6. 지역적 오목함을 수정하는 방법 Fig. 6. Correction of a local concavity.

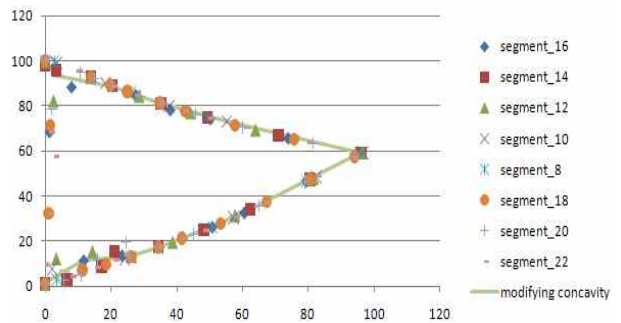


그림 7. 다양한 색역 분할에 따른 색역 경계 서술자 비교

Fig. 7. Comparing corrected gamut boundary descriptor and gamut boundary descriptor from various number of segments.

은 채도의 색역 축소는 거의 일어나지 않는다. 그러나 지역적으로 오목한 색역 왜곡은 적게 나타나지만 여전히 존재한다. 이러한 지역적인 오목함을 제거하기 위해 그림 6에서처럼 오목함을 나타내는 색역 경계 서술자들 주변의 다른 서술자들 직선으로 연결한 위치로 이동시켜서 오목함을 제거한다. 이러한 수정 방법은 그림 7에 색공간을 다양한 개수로 분할한 후 얻은 색역 경계 서술자들을 분석하여 얻은 사실을 기반으로 한다.

그림 7에서 보면 밝기 축(y축) 주변에서 분할 개수에 따른 지역적인 오목함이 발생함을 알 수 있다. 그러나 색공간이 적게 분할된 경우에 오목한 지역에서 색역 경계 서술자가 존재하므로 표현가능한 색역이라 할 수 있다. 또한 색역의 연속성을 고려해 볼 때 일반적으로 이웃한 영역에서 색역의 급격한 감소는 나타나지 않는다. 그러므로 이 영역은 색역이 존재하는 영역인데 많은 수의 색공간 분할로 인해 그림 2 (a)와 같이 색역을 잘못 추정 한 것이다. 그림 7의 직선으로 나타나는 색역은 제안한 방법을 통해 지역적인 오목함을 수정해서 얻은 2차원 색역 평면이다. 거의 모든 색역 경계 서술자들을



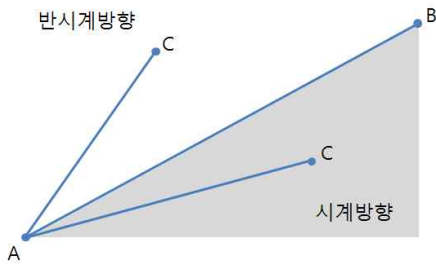


그림 8. 반시계방향 알고리즘  
Fig. 8. Contercolckwise(CCW) algorithm.

포함하면서 밝기축 주변에 지역적으로 오목한 색역 왜곡이 나타나지 않는다.

지역적인 색역 왜곡을 수정하기 위해서 먼저 지역적인 오목함을 나타내는 색역 경계 서술자를 찾아야 한다. 제안한 방법에서는 반시계방향 알고리즘(CCW algorithm)을 이용하였다. 그림 8에서 나타낸 것처럼 점 A와 B를 이은 직선을 기준으로 점 C의 위치에 따라서 오목함을 찾는다. 세 점으로 식 (1)과 (2)를 이용하여 두 개의 벡터를 생성하여 식 (3)의 벡터의 외적을 계산한다. 식 (3)의 결과가 음수이면 점 C는 시계방향에 존재하게 되고 오목함을 나타내는 색역 경계 서술자로 판단한다.

$$V_1 = B - A = (B_x - A_x, B_y - A_y) \quad (1)$$

$$V_2 = C - A = (C_x - A_x, C_y - A_y) \quad (2)$$

여기서  $V_1$  는 점 A와 B를 연결하는 벡터를 의미하고,  $V_2$  는 점 A와 C를 연결하는 벡터를 의미한다.

$$V_1 \times V_2 = B_x C_y - A_y B_x - A_x C_y - B_y C + A_x B_y + A_y C_x \quad (3)$$

여기서  $V_1 \times V_2$  는 두 벡터의 외적을 의미한다. 그림 9는 ICC 3D를 사용하여 색역 분할 개수를 달리하며 추정된 장치의 3차원 색역을 나타낸 것으로 검은선은 16으로 색공간 분할하여 추정된 색역이고 빨간선은 8개로 색공간 분할하여 추정된 색역이다. 검은선으로 표현된 색역이 높은 채도 부근에서 좀 더 큰 색역을 가지지만 밝기축 주변에서는 많은 지역적인 오목함이 존재한다.

#### IV. 실험

실험에서는 여러 가지 장치를 이용하여 각 장치간에 색역 사상이 이루어 질 때 제안된 색역 추정 방법과 기

존의 색역 추정 방법으로 결정된 두 개의 색역을 사용하여 색역 사상 한 결과 영상을 비교해 보았다. 실험에 사용된 색역 사상 방법은 압축 색역 사상으로

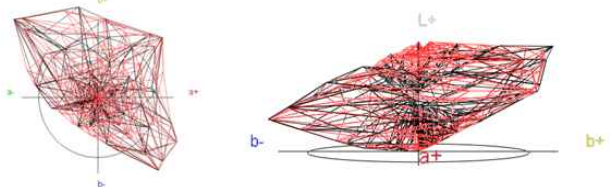
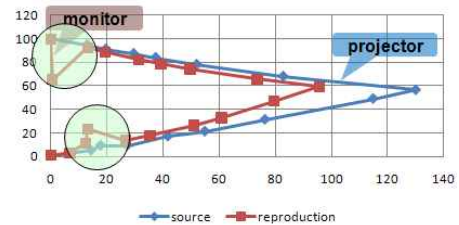
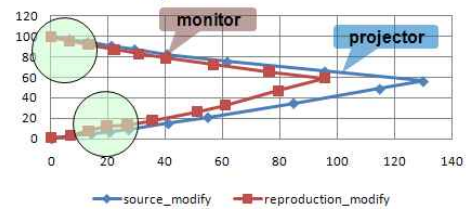


그림 9. 색역 분할 개수를 달리하며 추정된 프로젝터의 3차원 색역 비교

Fig. 9. Comparison of 3 dimensional gamut of the projector according the number of segment.



Plugging concavities



(a)



(b)

그림 10. 디지털 시네마 프로젝터와 LCD 모니터 사이 색역 사상 결과 영상 (a) 2차원 색역 평면 (b) 결과 영상 비교

Fig. 10. Resulting image of gamut mapping between digital cinema projector and LCD monitor; (a) two dimensional gamut plane (b) comparison of resulting images.

SGCK(sigmoidal lightness mapping and cusp knee scaling)방법을 사용하였다. 그리고 segment maxima를 통해 분할된 각 영역의 극값을 구할 때 사용되어진 데이터 샘플을 개수는 5832로 장치의 특성화를 통해서 생성된 측정 데이터를 사용하였다. 또한 색공간 분할 개수는 16개로 결정하여 사용하였다. 세 가지의 경우의 색역 사상 결과를 비교하였는데, 디지털 시네마 프로젝터와 LCD모니터, LED 모니터와 LCD 모니터 그리고 LCD 모니터와 프린터 간의 색역 사상을 수행하였다. 그림 10 (a)는 검은 반점이 나타나는 위치에서 색역 사상이 이루어지는 2차원 색역 평면을 나타낸 것이다. 빨간선은 LCD 모니터(EIZO ColorEdge CG242W) 색역을

나타내고 파란색은 디지털 시네마 프로젝터(Barco DP-1500)의 색역을 나타낸다. 전체적으로 디지털 시네마 프로젝터가 모니터 색역보다 더 크며, 모니터 색역에서는 지역적으로 오목한 왜곡이 나타남을 알 수 있다. 디지털 시네마 프로젝터와 LCD 모니터 간의 색역 사상을 한 결과 영상을 비교해 보면 제안한 방법을 이용한 것이 기존의 방법에서 나타나는 흰 헬멧의 검은 반점이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 그림 11 과 그림 12은 각각 LED 모니터(Samsung SyncMaster XL24)와 LCD 모니터(Samsung T220G) 그리고 LCD 모니터(Samsung T220G)와 프린터(HP 1515N)사이 색역 사상한 결과 영상을 비교하였다. 두 가지의 실험

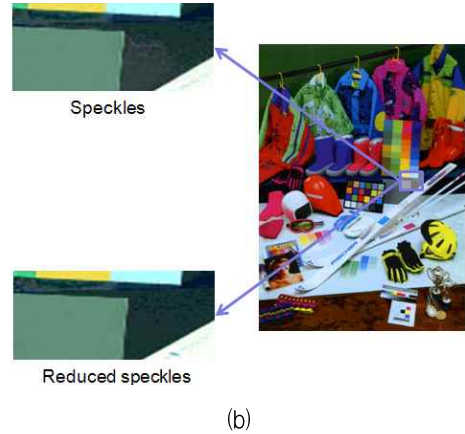
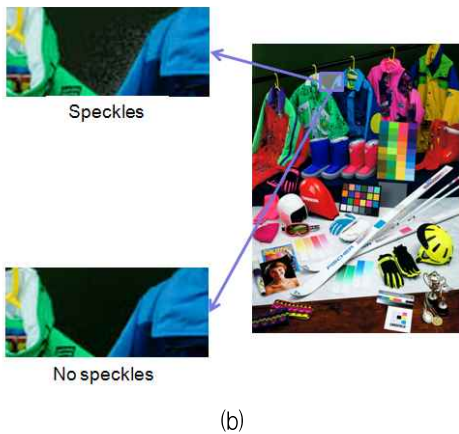
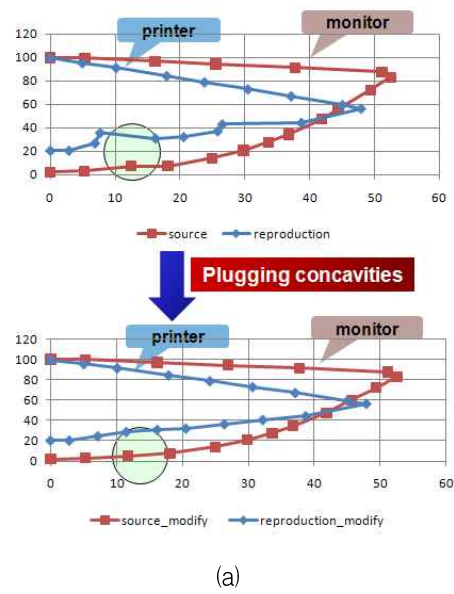
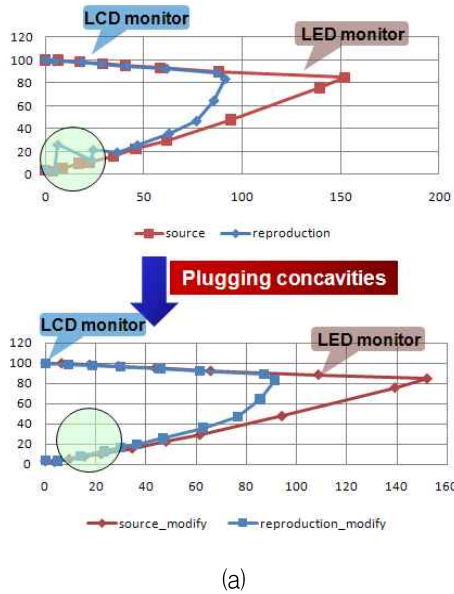


그림 11. LED모니터와 LCD 모니터 사이 색역 사상 결과 영상 (a) 2차원 색역 평면 (b) 결과 영상 비교

그림 12. LCD 모니터와 프린터 사이 색역 사상 결과 영상 (a) 2차원 색역 평면 (b) 결과 영상 비교

Fig. 11. Resulting image of gamut mapping between LED monitor and LCD monitor (a) two dimensional gamut plane (b) comparison of resulting images.

Fig. 12. Resulting image of gamut mapping between LCD monitor and printer; (a) two dimensional gamut plane (b) comparison of resulting images.

결과에서도 디지털 시네마 프로젝터와 LED 모니터 실험에서와 같이 추정된 색역 평면에서 지역적인 오목함이 나타났다. 그러나 그림 10과 달리 두 실험 모두 밝기가 낮은 부분에서 오목함이 나타남을 알 수 있다. 제안한 방법을 통해 지역적 오목함을 제거하면 어두운 부분에 주변보다 밝게 나타나는 반점을 줄어듦을 결과영상을 비교하여 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 컬러 결점을 줄이기 위한 수정된 segment maxima 기반의 색역 추정방법을 제안하였다. segment maxima를 이용한 색역 추정 방법에서 하나의 색공간 분할 개수만으로 정확한 색역 평면을 추정하기가 어렵다. 또한 다른 장치들은 서로 다른 색역을 가지고 있기 때문에 일반적으로 모든 장치에는 적용이 가능한 적절한 하나의 색공간 분할 개수를 찾는 것은 불가능하다. 그래서 제안된 방법에서는 14-16의 색공간 분할 공간의 개수를 가지고 색역 추정을 하였으며, 이때 밝기 축 주변에서 나타나는 지역적인 오목함은 잘못 추정되어진 색역이라고 가정하고 이를 근접한 색역 서술자를 이어주는 직선으로 이동함으로써 지역적인 색역 왜곡인 오목함을 제거하였다. 그 결과 높은 채도부근의 색역 축소로 인한 컬러 컨투어를 제거하였으며, 지역적인 오목함으로써 나타나는 반점도 제거한 정확한 색역을 추정할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] CIE TC 8-03, "Guidelines for the evaluation of Gamut Mapping Algorithms," CIE, (2004).
- [2] Jan Morovic, "Color gamut mapping," Wiley (2008)
- [3] Kress W. and Stevens M., "Derivation of 3-dimensional gamut descriptors for graphic arts output devices," TAGA Proceeding, pp. 199-214 (1994).
- [4] Raja Balasubramanian and Edul Dalal, "A method for quantifying the color gamut of an output device," Proceedings of SPIE, vol. 3018, pp. 110-116 (1997)
- [5] Bakke A. M., Hardeberg J. Y., and Farup I., "Evaluation of gamut boundary descriptors," IS&T/SID, 14th Color Image Conference, pp. 50-55 (2006).
- [6] Morovic J, and Luo. M. R, "Calculating medium and image gamut boundary for gamut mapping," Color Research and Application, vol. 25, pp. 394-401 (2000)

## 저 자 소 개

하 호 건(학생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 47권 SP편 제 1호 참조

이 태 형(학생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 47권 SP편 제 4호 참조

장 인 수(학생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 41권 SP편 제 1호 참조

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