

# iCAM06을 적용한 HDR 영상 톤 압축을 위한 PT 색차 정보 기반의 색 보정

채석민<sup>†</sup>, 이성학<sup>\*\*</sup>, 송규익<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

HDR (High Dynamic Range) 영상 렌더링을 위하여 다중 노출 영상 기반의 iCAM06 영상 재생 모델이 많이 사용되고 있다. iCAM06은 HDR 영상을 표현하기 위하여 여러 단계의 색 공간 변환 및 스케일 변환을 거치게 된다. 이러한 여러 단계의 변환 중에서 높은 휘도 범위의 영상을 낮은 휘도 범위를 갖는 디스플레이에 출력하기 위한 톤 압축 (tone compression) 과정이 반드시 필요하다. 하지만 iCAM06에서의 톤 압축 시 자극치 간섭 및 색 절단 (color clipping)으로 인한 색 왜곡 (color distortion)이 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 톤 압축 과정에서 발생한 색 왜곡을 IPT (Image Processing Transform)공간에서의 색차 정보를 이용하여 색 보정 (color correction)을 하는 방식을 제안하였다. 실험 결과를 통하여 제안한 색 보정 방식이 iCAM06를 비롯한 기존의 개선된 모델보다 우수한 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

## Color Correction of the Color Difference in the PT Space for HDR Image Tone Compression using iCAM06

Seok-Min Chae<sup>†</sup>, Sung-Hak Lee<sup>\*\*</sup>, Kyu-Ik Sohng<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

The iCAM06 has been used as an image appearance model for HDR image rendering. The iCAM06 goes through the color space conversions and scale conversions of the several steps to present HDR images. The dynamic range of an HDR image needs to be mapped on the range of output devices, which is called the tone mapping. However, tone compression process of the iCAM06 causes color distortion because of color-clipping and cross-stimulus. Therefore, we proposed that a color correction method in IPT space which compensates the color distortion in tone compression process. Through the experimental results, we conformed that proposed color correction method had better performance than the iCAM06 and enhanced models.

**Key words:** iCAM06 (영상 색재현 모델), HDR (하이 다이내믹 레인지), tone compression (톤 압축), color distortion (컬러 왜곡), color correction (컬러 조정)

## 1. 서 론

우리가 생활하는 환경은 휘도의 범위가 아주 넓은

조건으로서 이를 관찰하는 인간의 시각 또한 매우 넓은 휘도 범위를 가지고 있다. 대체로 인간 시각 시스템 (Human Visual System)은 넓은 휘도 범위의

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이성학, 주소 : 대구광역시 북구 산격동 1370번지 경북대학교 공대 10호관 523호(702-701), 전화 : 053) 950-5533, FAX : 053) 950-5505, E-mail : shak2@ee.knu.ac.kr

접수일 : 2012년 8월 28일, 수정일 : 2012년 11월 19일  
완료일 : 2012년 12월 28일

<sup>†</sup> 준회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부  
(E-mail : astindew@ee.knu.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부  
(E-mail : kisohng@ee.knu.ac.kr)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2011-0025905).

휘도 환경에 순응하지만 일반적인 컬러 영상 매체의 휘도 범위는 인간의 눈에 비해 매우 좁다. 따라서 좁은 휘도 범위를 가진 디스플레이에 실제 휘도 범위의 장면을 담아내기 위해 HDR 기술이 연구되고 있다. 이렇게 좁은 휘도 범위의 디스플레이에 HDR 영상을 눈으로 보는 장면과 유사하게 출력하기 위해서는 별도의 영상 재생 과정이 필요하다[1]. 이러한 HDR 영상 렌더링(rendering) 기술은 인간 시각의 휘도 순응 특성을 기반으로 하고 있으며, 대표적으로 다중 노출 영상을 기반으로 하는 iCAM 모델이 있다. 최근 개선된 모델인 iCAM06 모델은 공간 필터링(spatial filtering) 부분과 인간의 다양한 시각 현상을 고려한 부분이 추가되었다[2]. HDR 영상을 디스플레이 장치의 휘도 범위에 제한하여 재현하기 위해서는 톤 압축 과정이 필수적인데, 이를 톤 재현(tone reproduction) 또는 톤 맵핑(tone mapping)이라고 한다. iCAM06 모델의 톤 압축 과정은 입력 RGB 신호를 XYZ 자극치로 변환하는 단계, 기준 조명에 대한 색순응 단계, 그리고 시각의 원추세포(cone) 응답에 대한 S-자 곡선 형태의 비선형 휘도 영역 압축 단계 등으로 구성된다. 하지만 이 과정에서 3 채널 자극치에 대한 동일한 비선형적인 함수를 적용함으로써 인한 자극치 간섭 및 색 절단(color-clipping) 현상 등으로 입력 영상과 비교했을 때 결과 영상에서 색상 이동(hue shift)과 색 포화도(color saturation) 감소 등과 같은 색 왜곡 문제가 발생한다[3,4]. iCAM06의 색 왜곡 문제를 개선하기 위하여 주어진 시 환경에 따라 사용자 입력 변수를 조정하여 contrast를 개선한 방법[5]이 제안되었으며, iCAM06의 색 순응 단계에서 국부적인 조명 예측으로 인하여 발생하는 채도 저하를 줄이기 위하여 전역 조명 예측을 적용하여 색 왜곡을 방지한 방법이 연구되었다[6]. 또한 톤 압축의 색 절단 문제를 개선하기 위하여 역수 보상 계산법을 이용한 색 포화도 보상 방법도 연구되었다[7]. 최근 개선된 iCAM06 모델에서는 톤 압축 처리 전후를 비교하여 기존 iCAM06 모델의 화이트 밸런스가 맞지 않는 점을 개선하기 위하여 기준 백색 점에 대해 3 자극치의 비율을 보정해서 색상을 보상하는 기법을 제안하였다[8]. 그러나 이 방법은 원 영상과 비교하여 백색 점에 가까운 저채도 부분에만 보상이 국한되는 단점이 발견된다.

본 논문에서는 IPT 색 공간은 휘도와 색의 분리

성능과 색 포화도 변화에 대해 시각적으로 색상 균일성(uniformity)이 우수한 특징을 나타내는 연구결과[9]를 바탕으로 iCAM06의 톤 압축 과정을 거치기 전의 색을 기준으로 톤 압축 과정을 거친 후에 발생하는 색 왜곡량을 계산하고, IPT 색 공간에서 톤 압축에 의해서 발생하는 색차를 보상하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 색 왜곡량은 색상과 색 포화도의 차이를 의미하고 색상과 색 포화도의 독립된 색 축 정보를 PT 공간에서 계산하였다. HDR 영상을 이용한 시뮬레이션을 결과를 통하여 꽃, 하늘, 건물, 및 라이트 부스 영상 등에서 색 왜곡 현상이 효과적으로 개선됨을 확인할 수 있었다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 iCAM06의 톤 압축

iCAM06의 목적은 넓은 휘도 범위를 갖는 영상을 인간의 시각 특성에 맞게 정확하게 예측하고 그 HDR 영상을 디스플레이 장치를 이용하여 인간의 시각 시스템과 유사하게 영상을 출력하는 것이다[3]. iCAM06은 휘도 범위가 아주 낮은 스코토픽(scotopic) 영역에서 아주 높은 포토픽(photopic) 영역까지 포함한다. iCAM06의 톤 압축 과정에서는 넓은 영역의 값을 압축하기 위해 원추세포(cone)와 간상세포(rod)를 포함하는 광 수용체 응답(photoreceptor response)을 기초로 하여 저휘도와 고휘도 부분은 압축을 많이 하고 중간 계조 부분은 상대적으로 적은 압축을 하는 S자형 비선형 압축 곡선을 사용한다[2]. iCAM06에서는 모든 시각적 데이터에 대해 좋은 예측 성능을 보이는 CIECAM02 색재현 모델을 원추세포 응답 예측 방법으로 채택하여 사용하였다[10]. D65 광원에 색 순응된 시각의 3 자극치  $R_C G_C B_C$  응답은

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_{HPE} M_{CAT02}^{-1} \begin{bmatrix} R_C \\ G_C \\ B_C \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$M_{HPE} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

$$M_{CAT02}^{-1} = \begin{bmatrix} 1.096124 & -0.278869 & 0.182745 \\ 0.454369 & 0.473533 & 0.072098 \\ -0.009628 & 0.005698 & 1.015326 \end{bmatrix}$$

와 같이 CIECAM02 식을 이용하고, 먼저 CAT02 영역 변환( $M_{CAT02}$ )에서부터 Hunt-Pointer-Estevéz 변환( $M_{HPE}$ )을 거친다. 이러한 변환을 거치고 난 후 자극치  $RGB$ 에 적용된 비선형 톤 압축 함수는

$$R_a' = \frac{400(F_L R' / Y_w)^p}{27.13 + (F_L R' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (2)$$

$$G_a' = \frac{400(F_L G' / Y_w)^p}{27.13 + (F_L G' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (3)$$

$$B_a' = \frac{400(F_L B' / Y_w)^p}{27.13 + (F_L B' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (4)$$

$$F_L = 0.2k^4 (5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2 (5L_A)^{1/3} \quad (5)$$

$$k = 1 / (5L_A + 1) \quad (6)$$

와 같다. 여기서  $R$ ,  $G$ , 및  $B$ 는 각각 톤 압축되기 전의  $RGB$  신호로 D65 광원에 색 순응된 값이고,  $R_a'$ ,  $G_a'$ , 및  $B_a'$ 는 톤 압축된 신호를 나타낸다.  $Y_w$ 는 화이트 신호의 휘도 값이다.  $L_A$ 는 순응 휘도의 함수로 일반적으로 순응 화이트의 20% 수준으로 결정한다.  $F_L$ 은 배경 휘도에 대한 함수이다.

이 과정의 기본적인 항목들은 CIECAM02 모델에서 가져왔다[10]. 그러나 거듭제곱 값 (power value)  $p$ 를 가변적으로 조작할 수 있도록 변경되었다. 이 파라미터는 log-log 축 상에서의 입출력 관계 그래프에서 응답 변환 곡선의 기울기를 결정하는 역할을 한다. 그리고  $Y_w$ 는 원 영상에서 가우시안 함수 (Gaussian function)를 사용하여 국부적으로 구한 화이트 (white)에 대한 휘도 값이다. 따라서  $Y_w$ 는 영상의 화소마다 달라질 수 있고 순응 휘도 또한 각 화소마다 다른 값을 가진다. 수식에서 사용된  $F_L$ 은 Hunt 효과와 같은 휘도와 관련한 다양한 시각 현상들을 예측하기 위한 함수이다. 최종적인 톤 압축 응답의 값은 원추세포와 간상세포 응답의 합으로 계산되지만 간상세포 응답 값의 영향은 매우 적게 나타난다. 위의 함수들은 일반화된 Michaelis-Menten 방정식과 Valeton 및 van Norren의 실험 자료를 근거로 한다[11,12]. 이 함수들의 세부 사항과 장점에 대해서는 Hunt에 의해 논의되었다[13].

## 2.2 톤 압축으로 인한 색 포화도 왜곡

Kim 등이 제안한 논문에서는 iCAM06 모델에는

톤 압축에서 발생하는 색 포화도 왜곡에 대하여 고려한 파라미터가 없음을 고려하여 색 포화도 보상 방법으로 색 왜곡을 개선하였다[7]. 색 포화도  $S_{uv}$ 는

$$S_{uv} = 13 \sqrt{(u' - u_n')^2 + (v' - v_n')^2} \quad (7)$$

와 같다. 식 (7)에서  $(u_n', v_n')$ 는 기준 백색 (reference white)의 색도 좌표이고, 비례 상수 13을 제외하면  $u'v'$  색도도 상에서 영상의 각 화소색의 색도 좌표로부터 백색 점 (white point)까지의 거리를 의미한다. 톤 압축된 영상에서 각 화소의 색 포화도 값을 구한 후 입력 영상의 색 포화도 값과 비율을 구해서 색 포화도 감소 정도를 나타내는 감소 지수  $\alpha$ 를 얻는다. 그 다음 보상된 색 포화도 값  $Sat_{sc}$ 는

$$Sat_{sc} = \frac{Sat_c}{\alpha} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{Sat_c}{Sat_{in}} \quad (9)$$

와 같다. 여기서 감소 지수  $\alpha$ 가 톤 압축된 색 포화도 값에 역수로 곱해진다. 색 포화도 지수  $Sat_c$  및  $Sat_{in}$ 은 각각 톤 압축 후 그리고 입력 영상의 색 포화도 값을 의미한다. 그 다음 이렇게 얻은  $Sat_{sc}$ 로부터 새로운 색도 좌표  $(u', v')$ 는

$$u_{sc}' = Sat_{sc} \cdot \cos\theta + u_n' \quad (10)$$

$$v_{sc}' = Sat_{sc} \cdot \sin\theta + v_n' \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{v' - v_n'}{u' - u_n'} \right) \quad (12)$$

로 계산된다. 이를 적용하여 iCAM06의 색 포화도를 보상하였다. 색 포화도 보상 방법에서는 기본 iCAM06의 색 왜곡에 대한 보상에서는 효과적이긴 하지만 톤 압축에서 발생하는 색상 이동에 대한 개선은 할 수 없는 단점이 있다.

## 2.3 톤 압축으로 인한 백색 점 왜곡

iCAM06 모델의 처리 과정은 sRGB, CAT02, Hunt-Pointer-Estevéz, 톤 압축, IPT 등과 같이 여러 색공간 및 시각 응답 변환 과정을 거치게 되는데 이렇게 여러 단계를 거친 iCAM06의 렌더링 영상은 렌더링 이전의 원 영상과 비교하여 화이트 포인트의 색온도 이동이 발생하며, 톤 압축 과정을 지난 후에 가장 큰 왜곡이 발생함을 확인할 수 있다[8]. 이러한

문제점을 해결하기 위하여 화이트 포인트 보상 기법 제안되었다. 톤 압축에 입력되는  $R':G':B'=1:1:1$  일 때  $R'_a'G'_a'B'_a'$ 에서의 채널 왜곡은

$$R_d = R'_a' / G'_a' \tag{13}$$

$$B_d = B'_a' / G'_a' \tag{14}$$

로 주어지고,  $R_d$ 와  $B_d$ 는  $R$ 과  $B$ 채널의  $G$ 채널에 대한 톤 압축 후의 왜곡량을 각각 의미한다. 그리고 조 명 성분에 대한  $R/G$ ,  $R/B$ 와  $R_d$ ,  $B_d$  사이의 변화에 대해서만 보상하기 위해서 보상 영역을 제한하였으며 보상 정도를 결정하는 함수는

$$D_R = 1.016 \times \exp\left(-0.5 \left(\frac{(R'/G'-1)}{0.13}\right)^2\right) \tag{15}$$

$$D_B = 1.016 \times \exp\left(-0.5 \left(\frac{(B'/G'-1)}{0.13}\right)^2\right) \tag{16}$$

와 같이 주어지며,  $D_R$ 와  $D_B$ 는 각각  $R$ 과  $B$  채널에 대한 각각의 보상 정도를 나타낸다. 그림 1은 과포화 를 방지하기 위한 보상의 범위를 나타내고 있다. 톤 압축 후의 입력 색차에 대한  $R$ 과  $B$  채널의 보상 이득  $R_{com}$ ,  $B_{com}$ 에 대한 식은

$$R_{com} = \left(\frac{R'}{G'}\right) D_R + R_d (1 - D_R) \tag{17}$$

$$B_{com} = \left(\frac{B'}{G'}\right) D_B + B_d (1 - D_B) \tag{18}$$

와 같이 나타나고, 최종 변환 보상식은

$$\begin{bmatrix} R_a'' \\ G_a'' \\ B_a'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{com} / R_d & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & B_{com} / B_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a' \\ G_a' \\ B_a' \end{bmatrix} \tag{19}$$

와 같이 주어진다. 여기서  $R_a''G_a''B_a''$ 는 톤 압축 과정

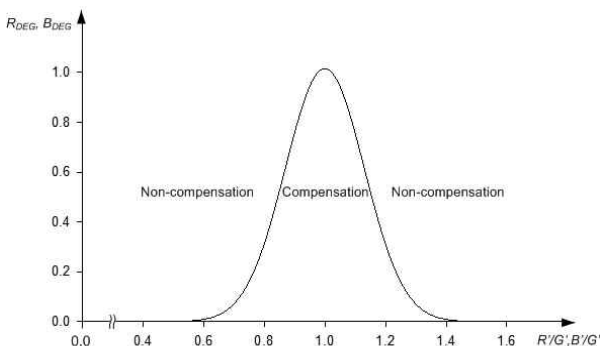


그림 1. 과포화 방지를 위한 보상 범위 (if RDEG, BDEG >1, RDEG, BDEG = 1)

에서 화이트 포인트 이동에 대한 최종 보상 출력의 의미한다.

하지만 이 논문에서 제안한 톤 압축 전후의 입력 색차에 대한  $RGB$  이득 보상을 이용한 방법은 화이트 포인트 근처의 저채도 영역에서는 톤 압축에 대한 왜곡에 대한 보상 효과가 있지만, 고채도 영역으로 갈수록 색의 과포화 (over-saturation) 현상이 발생 되어 보상영역이 제한되는 단점이 있다.

### 2.4 톤 압축으로 인한 색 왜곡

백색 점 이동 문제 뿐 만 아니라, iCAM06의 영상 재생 처리 과정을 거친 결과 영상은 렌더링 이전의 영상과 비교하여 색 역 전반에 걸쳐 색 왜곡이 일어난다. 여러 단계의 변환 중 톤 압축 과정에서 자극치 간섭과 색 클리핑 (color clipping)에 의한 색상 이동 (hue shift)과 색 포화도 (color saturation) 저하가 가장 많이 발생한다. 실제 iCAM06의 톤 압축 과정에서 발생하는 색상 이동과 색 포화도의 변화를 알아보기 위하여, iCAM06 렌더링 과정에서 톤 압축을 수행한 결과와 톤 압축 과정을 생략한 결과를 비교하여 PT 색 공간에 표현하였다. IPT 색 공간은 색상 정보를 표현하기 위해 기존에 알려져 있던 Munsell[14], Hung과 Eerns's[15], 및 Ebner와 Fairchild 데이터 셋[16]보다 더 균일한 특징을 가지고 포화도 변화에 대해 색상 균일성이 유지된다. IPT 색 공간은 밝기를 나타내는 lightness를 I로 나타내고, Red-green에 대한 정보를 P로, yellow-blue에 대한 정보를 T로 나타냄으로써 밝기, 색상, 포화도의 독립적인 색 조정에 유리한 특징을 가지고 있다[9]. 실험에는 MacBeth 컬러 차트의 무채색을 제외한 18 가지 컬러를 사용하였다. 그림 2의 (a)는 MacBeth 컬러들의 iCAM06 렌더링 중 톤 압축 유무에 따른 18 가지 컬러의 왜곡을 보여준다. 동그라미로 표시된 부분이 톤 압축을 생략한 결과이고, 삼각형으로 표현된 부분이 톤 압축을 거친 후 결과이다. 처리 전 후의 컬러 좌표가 크게 차이 남을 확인할 수 있다. 그림 2의 (b)는 MacBeth 컬러 차트 중 RGBCMY에 해당하는 6가지 컬러에 대해서만 표시한 것으로, 색상 포화도 변화량  $\Delta S$ 와 색상 이동  $\Delta H$ 가 발생함을 보여준다.

### 3. 제안한 톤 압축 후처리 색 보정 모델

톤 압축은 HDR 영상의 넓은 휘도 범위를 좁은

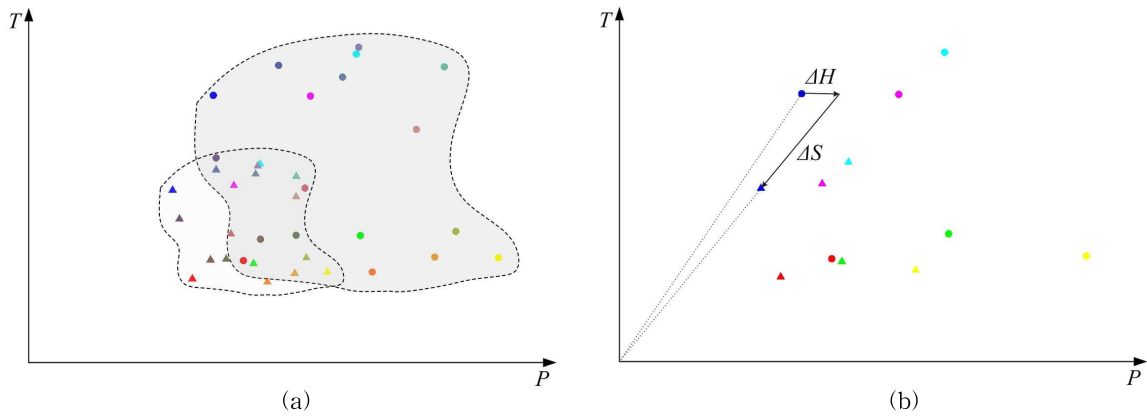


그림 2. (a) MacBeth 컬러 차트의 18 컬러에 대한 iCAM06의 톤 압축 과정 유무에 따른 컬러 왜곡, (b) MacBeth 컬러 차트의 RGBCMY 6가지 색에서 발생하는 색상 포화도 및 색상 변화

휘도 범위 디스플레이의 제한된 휘도 범위로 시각적으로 유사하게 대응시키는 것이 주된 목적이다. 본 논문에서는 iCAM06의 톤 압축 성능을 유지하면서 색 왜곡에 대한 후처리 보상 방법을 제안한다. 먼저, 색 순응 단계를 거친 후 톤 압축 과정에서 발생하는 색 왜곡의 정도를 정량화 시킨다. 이때 색 왜곡에 대한 값은 IPT 색 공간에서의 색상과 색 포화도 두 측면에서 측정된다. 톤 압축 과정을 거치면서 색 왜곡이 발생하므로 톤 압축 과정의 이전 단계인 색 순응 단계까지 거친 색상과 색 포화도 값을 계산한 후, 톤 압축 과정 이후의 색상과 색 포화도를 계산한 값의 차이를 이용하여 IPT 변환 단계에서 색 보정을 수행함으로써 톤 압축으로 인한 색 왜곡 현상을 최소화하

였다. 톤 압축 전후의 색상과 포화도를 PT 색 축 상에서 계산한 후 색 보정을 하기 위한 처리 블록도는 그림 3에 나타내었다.

그림 4는 그림 2에서 색 순응 단계와 톤 압축 단계를 거친 후의 색상과 포화도를 PT 평면상에 나타낸 것을 확대 표현한 것으로서 색 순응 단계 이후의 포화도  $S$ 와 색상  $H$ 는

$$S = \sqrt{P^2 + T^2} \tag{20}$$

$$H = \tan^{-1}(T/P) \tag{21}$$

와 같이 나타낼 수 있고, 색 순응 단계 이후와 톤 압축 단계 이후의 색 포화도의 차  $\Delta S$ 와 색상의 차  $\Delta H$ 는 각각

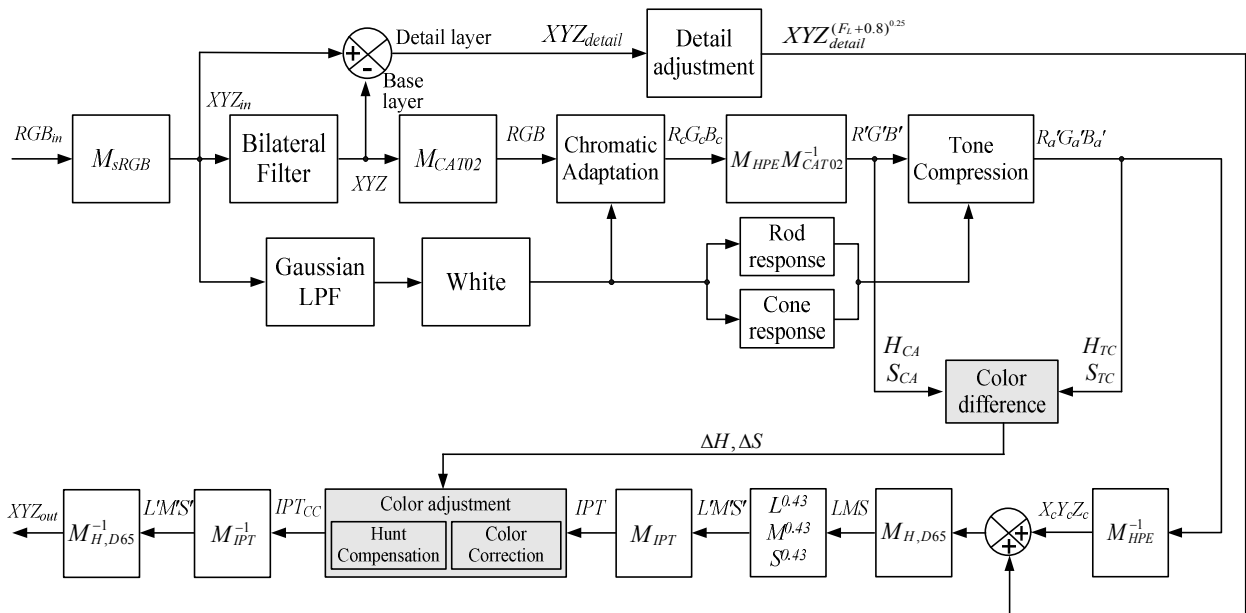


그림 3. iCAM06에서 톤 압축 전후의 색 정보를 이용한 색 보정 블록도

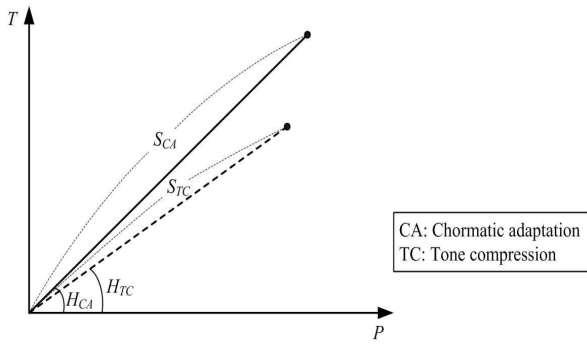


그림 4. PT 평면 상에 표현한 색 순응 단계와 톤 압축 단계 후의 포화도와 색상

$$\Delta S = S_{CA} - S_{TC} \tag{22}$$

$$\Delta H = H_{CA} - H_{TC} \tag{23}$$

와 같이 표현된다.  $S_{CA}$ 와  $S_{TC}$ 는 각각 톤 압축 전후의 색 포화도를 나타내고,  $H_{CA}$ 와  $H_{TC}$ 는 각각 톤 압축 전후의 색상을 나타낸다. 톤 압축 단계를 거친 후 디테일 성분과 합해진 포화도와 색상  $S_{out}$ 과  $H_{out}$ 은

$$S_{out} = S_{TC} + S_{detail} \tag{24}$$

$$H_{out} = H_{TC} + H_{detail} \tag{25}$$

와 같이 나타낼 수 있다.  $S_{detail}$ 과  $H_{detail}$ 은 디테일 레이어를 통해 구해진 포화도와 색상을 의미한다. 그리고 톤 압축 이후에 디테일 성분과 합하여 PT를 보상한 식인  $P_{cc}$ 와  $T_{cc}$ 는

$$P_{cc} = (S_{out} + \Delta S) \times \cos(H_{out} + \Delta H) \tag{26}$$

$$T_{cc} = (S_{out} + \Delta S) \times \sin(H_{out} + \Delta H) \tag{27}$$

와 같이 나타낼 수 있다. IPT 성분 중에서 톤 압축에 의해서 변화되는 밝기 변화율인

$$\alpha_I = \frac{I_{TC}}{I_{CA}} \tag{28}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $I_{CA}$ 는 색 순응 단계 이후

의 휘도이며,  $I_{TC}$ 는 톤 압축 단계 이후의 휘도이다. 이렇게 계산된  $P_{cc}$ 와  $T_{cc}$ 에 대하여 톤 압축 과정에 휘도의 변화 비율을 고려한 최종 색 보상식은

$$P_{cc}' = \alpha_I P_{cc} \tag{29}$$

$$T_{cc}' = \alpha_I T_{cc} \tag{30}$$

와 같이 계산할 수 있다. 이렇게 구해진 PT 색 보상을 이용하여 IPT 변환을 거쳐 기존의 iCAM06보다 색차가 줄어든 결과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 먼저 기존 iCAM06의 화이트 밸런스 변화에 대한 개선 성능을 확인하기 위하여 제안한 방법을 적용하여 5 단계 그레이 패턴으로 렌더링한 결과를 비교하였다. 그림 5의 결과 영상을 통해서, iCAM06에서 발생하는 화이트 포인트 이동 문제를 본 논문에서 제안한 보상 방법으로 화이트 밸런스 보상 방법을 이용한 것과 동등 수준의 결과를 나타냄을 확인할 수 있다.

본 실험에서는 HDR 영상을 렌더링 시에 톤 압축에서 발생하는 색 왜곡에 대한 객관적 및 주관적 평가를 수행하였다. 그림 6에서는 iCAM06의 톤 압축 과정에서 발생하는 색 왜곡을 제안한 방법으로 얼마나 보정이 되었는가를 확인하기 위하여 톤 압축 과정을 거치지 않았을 때와 iCAM06 방법, 색 포화도 보상 방법 및 제안한 방법의  $u'v'$  좌표를 각각 비교하였다. 그림 6에서 보는 것과 같이 톤 압축을 수행하지 않은 결과와 비교할 때 제안한 방법의  $u'v'$  좌표가 iCAM06 방법과 색 포화도 보상 방법[7]보다 더 색 왜곡이 적음을 확인할 수 있다. 표 1은 그림 6에 나타난 red, green, blue, cyan, magenta, yellow, 및 purple 각 색의 최외각에 표시된 색 좌표에 대한 색차를



그림 5. 5 단계 그레이 패턴: (a) 입력 영상 ( $R:G:B=1:1:1$ ), (b) iCAM06 렌더링 결과 영상, (c) 화이트 밸런스 보상을 이용한 렌더링 결과 영상, (d) 제안한 보상 방법을 이용한 렌더링 결과 영상

표 1. 7 가지 색 패치에 대한 HDR 영상 렌더링 후의 색차 비교

Color	Color Difference, $\Delta u'v'$							Ave.
	Red	Green	Blue	Cyan	Magenta	Yellow	Purple	
iCAM06	0.0935	0.0399	0.1185	0.0354	0.0721	0.0103	0.1006	<b>0.0672</b>
color saturation compensation	0.0831	0.0381	0.1015	0.0273	0.0569	0.0075	0.0756	<b>0.0572</b>
proposed	0.0384	0.0142	0.0386	0.0148	0.0304	0.0053	0.0379	<b>0.0257</b>

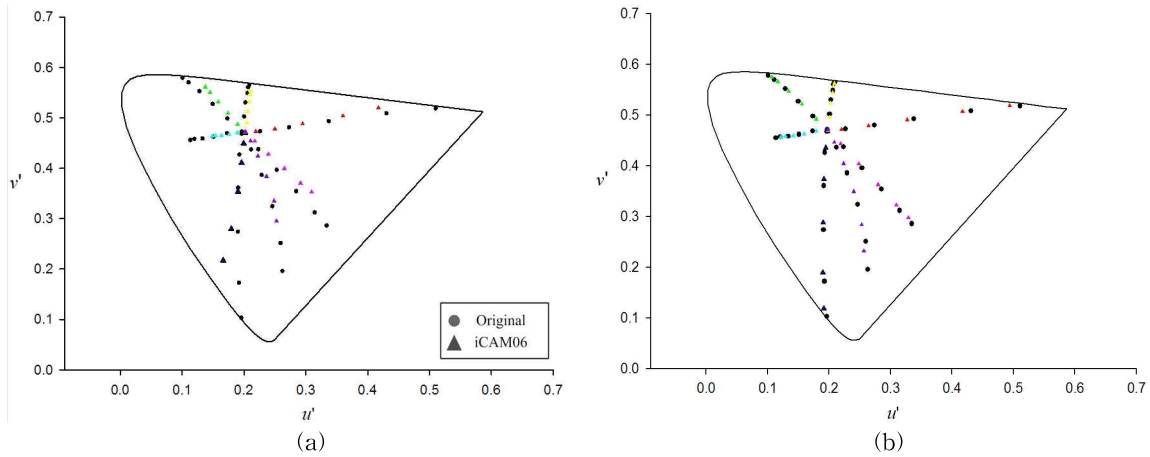


그림 6. 색 왜곡을 비교하기 위한  $u'v'$  좌표: (a) 톤 압축을 거치지 않은 결과와 iCAM06  $u'v'$  좌표 비교, (b) 톤 압축을 거치지 않은 결과와 제안한 방법의  $u'v'$  좌표 비교

나타내고 있다. 7가지 색 패치의 평균 색차가 iCAM06 방법은 0.0672이고, Kim 등이 제안한 색 포화도 보상 방법은 0.0572, 그리고 제안한 방법은 0.0257로 제안한 방법의 평균 색차가 더 적음을 확인할 수 있다.

그리고 색 왜곡에 대한 주관적인 평가를 위하여 iCAM06의 톤 압축을 거치지 않은 영상을 기준으로 톤 압축을 포함한 iCAM06 렌더링 결과 영상과 제안한 방법의 렌더링 결과 영상을 비교하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 제안된 방법의 렌더링 결과 영상이 톤 압축을 포함한 iCAM06 결과 영상보다 색 왜곡이 적으며, 색상과 색 포화도를 잘 보존하면서 넓은 휘도 범위를 표현하고 있음을 확인할 수 있다. 제안한 방법으로 렌더링한 영상이 톤 압축을 포함한 iCAM06 렌더링 방법보다 꽃, 하늘, 건물, 및 라이트 부스 등에서 원 영상의 색에 더 가까운 것을 확인하였다.

### 5. 결 론

HDR 렌더링 알고리즘인 iCAM06은 HDR 영상을

디스플레이 장치의 휘도 범위로 줄이기 위해서 톤 압축을 위한 비선형 톤 맵핑 함수를 가진다. 하지만 iCAM06의 톤 압축 과정은 휘도 범위를 줄임과 동시에 화이트 밸런스 변화 및 색 왜곡을 일으킨다. 본 논문에서는 톤 압축 전후의 색차 성분을 PT 공간에서 색상과 색 포화도의 변화량으로 정량화하고, iCAM06의 IPT 단계에서 후처리 색 보상을 통한 방법을 이용하여 톤 압축 과정에서 발생한 색 왜곡을 줄이는 방법을 제안하였다. 여러 HDR 실험 영상에 대해서 색 순응 단계 직후의 색상과 색 포화도를 톤 압축 이후에도 보존됨을 확인할 수 있다. 본 실험에서 사용된 7 가지 색 패치에 대하여 HDR 영상을 렌더링한 후 톤 압축 과정을 거치지 않았을 때와 iCAM06 방법, 제안한 방법의  $u'v'$  좌표를 각각 비교한 결과, 평균 색차가 iCAM06 방법은 0.0672이고, 색 포화도 보상 방법은 0.0572, 제안한 방법은 0.0257로 제안한 방법의 평균 색차가 더 적음을 확인할 수 있었다. 제안한 방법으로 렌더링한 영상이 iCAM06 등 기존 방법으로 렌더링한 영상보다 색 왜곡이 더 적음이 정량적으로 확인하였고, 실험에 사용된 HDR 영상들의 렌더링 결과 영상들은 제안한 방법이 관찰





그림 7. HDR 렌더링 결과 영상: (a) iCAM06에서 톤 압축을 거치지 않은 영상, (b) iCAM06 렌더링 결과 영상, (c) 화이트 밸런스 보상 방법의 렌더링 결과 영상, (d) 색 포화도 보상 방법의 렌더링 결과 영상, (e) 제안한 방법의 렌더링 결과 영상

자의 주관적 평가에서도 기존의 방식들보다 원 영상의 색을 더 잘 보존함을 보여준다.

참 고 문 헌

[1] G. Johnson and M. Fairchild, "Rendering HDR Images," *In IS&T/SID 11th Color Imaging Conference*, pp. 36-41, 2003.

[2] J. Kuang, G. Johnson, and M. Fairchild, "iCAM06: A Refined Image Appearance Model for HDR Image Rendering," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 18, No. 5, pp. 406-414, 2007.

[3] O. Pirinen, A. Foi, and A. Gotchev, "High Dynamic Range (HDR) Imaging in Luminance-Chrominance Space," *Proc. Of the Third International Workshop on Video*

*Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, pp.121-124, 2007.

[4] R. Mantiuk, A. Tomaszerska, and W. Heidrich, "Color Correction for Tone Mapping," *EUROGRAPHICS 2009*, Vol. 28, No. 2, pp. 193-202, 2009.

[5] 장재훈, 이성학, 송규익, "Modified iCAM06 기법을 이용한 HDR 영상의 Tone Compression 개선과 평가," *멀티미디어학회논문지*, 제12권, 제8호, pp. 1055-1065, 2009.

[6] H.J. Kwon, S.H. Lee, T.W. Bae, S.M. Chae, M.H. Park, and K.I. Sohng, "Compensation of De-saturation Effect in HDR Images Based on Real Scene Adaptation Analysis," *Image Processing, Computer Vision, & Pattern 2011*, Vol. 2, No. 1, pp. 786-790, 2011.

[7] H.G. Kim, S.H. Lee, T.W. Bae, and K.I. Sohng,



“Color Saturation Compensation in iCAM06 for High-Chroma HDR imaging,” *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E94-A, No. 11, pp. 2353-2357, 2011

[ 8 ] 채석민, 이성학, 권혁주, 송규익, “HDR 렌더링으로 인한 화이트 포인트 이동의 보상을 위한 톤 압축 모델,” *멀티미디어학회논문지*, 제15권, 제1호, pp. 9-17, 2012.

[ 9 ] F. Ebner and M. Fairchild, “Development and Testing of a Color Space (IPT) with Improved Hue Uniformity,” *IS&T 6<sup>th</sup> Color Imaging Conference*, Scottsdale, pp. 8-13, 1998.

[10] N. Moroney, M. Fairchild, R. Hunt, C. Li, M. Luo, and T. Newman, “The CIECAM02 Color Appearance Model,” *IS&T/SID 10<sup>th</sup> Color Imaging Conference*, Scottsdale, pp. 23-27, 2002.

[11] L. Michaelis and M. Menten, Die Kinetik der Invertinwirkung, *Biochemische Zeitschrift*, 49, pp. 333-369, 1913.

[12] J. Valetton and D. van Norren, “Light Adaptation of Primate Cones: An Analysis Based on Extracellular Data,” *Vision Res.* 23, Vol. 23, No. 12, pp. 1539 - 1547, 1983.

[13] R. Hunt and C. Li, M. Luo, “Dynamic Cone Response Functions for Models of Color Appearance,” *Color Res. & Appl.* Vol. 28, No. 2, pp. 79-80, 2003.

[14] Munsell renotation data, RIT VAX computer database, 1943.

[15] Hung and Berns, “Determination of Constant Hue Loci for a CRT Gamut and Their Predictions using Color Appearance Spaces,” *Col Res. & Appl.*, Vol. 20, No. 5 pp. 285-295, 1995.

[16] Ebner and Fairchild, “Finding Constant Hue Surfaces in Color Space,” *Proc. SPIE.*, Vol. 3300, pp. 107-117, 1998.

채 석 민



2004년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사  
 2006년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사  
 2006년 1월~2008년 3월 LG Display IT사업부 주임연구원  
 2008년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 공학박사과정 재학  
 관심분야: Digital Image Processing, MPRT improvement, HDR 영상처리

이 성 학



1997년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사  
 1999년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사  
 1999년 2월~2004년 6월 LG전자 영상제품연구소 선임연구원  
 2008년 2월 경북대학교 전자공학과 공학박사  
 2008년 2월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 초빙교수  
 관심분야 : Color Image Processing, Color Management, HDR 영상처리, DTV 신호처리

송 규 익



1975년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사  
 1977년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사  
 1990년 3월 일본 동북대학교 전자공학과 공학박사  
 1977년~1982년 국방과학연구소 연구원  
 1982년 3월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수  
 관심분야 : 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공학