

# HDR 렌더링으로 인한 화이트 포인트 이동의 보상을 위한 톤 압축 모델

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

## 요 약

최근 HDR (High Dynamic Range) 영상 렌더링을 위하여 다중 노출 영상 기반의 iCAM06 영상 재생 모델이 개발되었다. HDR 영상을 좁은 다이내믹 레인지를 갖는 디스플레이 장치에 출력하기 위해서는 톤 재현(tone reproduction) 또는 톤 맵핑(tone mapping) 과정을 거쳐야 하는데, HDR 렌더링 알고리즘을 대표하는 iCAM06은 출력 장치의 다이내믹 레인지에 영상을 재현하기 위해 S자 곡선 3 자극치 톤 압축(tone compression) 기법을 사용한다. 그러나 동일한 톤 맵핑 곡선의 사용으로 인한 톤 압축과정 중에서는 화이트 포인트 이동이 발생하는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 3 자극치의 조명 영역의 입력에 대한 왜곡된 채널 이득을 보정하여 화이트 포인트 이동을 보상하는 방법을 제안하였다. 실험 결과는 제안한 방법이 iCAM06보다 정량 정성적으로 개선된 결과를 보임을 확인할 수 있다.

## A Tone Compression Model for the Compensation of White Point Shift Generated from HDR Rendering

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

## ABSTRACT

Recently, a new image appearance model, named iCAM06, was developed for High-Dynamic-Range (HDR) image rendering. The dynamic range of a HDR image needs to be mapped on the range of output devices, which is called the tone reproduction or tone mapping. The iCAM06, the representative HDR rendering algorithm also uses the tone compression using a S-curve mapping function for image reproduction on the dynamic range of output devices. However the iCAM06 occurs white point shift during its tone compression process. Therefore, we propose a compensation method for white point shift problem using the corrected channel gain function. Experiment results show that the proposed method has better performance than the iCAM06.

**Key words:** iCAM06, HDR(하이 다이내믹 레인지), Tone Compression(톤 압축), White Point Shift(화이트 포인트 이동)

※ 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: 2011년 7월 4일, 수정일: 2011년 10월 4일

완료일: 2011년 11월 1일

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

<sup>\*\*</sup> 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부

<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 (E-mail: olin1223@ee.knu.ac.kr)

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

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

1. 서 론

자연 환경에서 인간의 시각은 아주 넓은 다이내믹 레인지를 가지는 휘도 조건에 놓이게 된다. 일반적으로 인간 시각 시스템(HVS)은 넓은 다이내믹 레인지의 휘도 환경에 순응하지만 대부분의 컬러 디스플레이 장치는 제한된 다이내믹 레인지를 가짐으로 실감 영상 재현에는 제약이 따른다. 따라서 HDR 영상을 좁은 다이내믹 레인지의 디스플레이를 통하여 볼 때 눈으로 보는 장면과 유사하게 출력하기 위한 영상 재생 과정이 필요하다[1]. 일반적으로 HDR 영상의 다이내믹 레인지를 압축하여 디스플레이 상에 재현하는 것을 HDR 렌더링(rendering)이라 하고 다이내믹 레인지가 넓은 장면과 유사한 느낌의 출력이 가능하도록 연출하는 영상 재생 알고리즘을 HDR 렌더링 알고리즘이라고 한다. HDR 영상 재현을 위한 HDR 렌더링 알고리즘은 꾸준히 발전해왔으며 최근의 알고리즘 중 하나가 다중 노출 영상을 기반으로 하는 iCAM06 기법이다. HDR 렌더링 알고리즘을 대표하는 iCAM06은 출력 장치의 다이내믹 레인지에 영상을 재현하기 위해 톤 압축(tone compression) 과정을 거치게 된다. 먼저, 입력 RGB 신호는 XYZ 자극치로 변환되고 기준 광원(D65)에 대한 색순응 단계를 거치게 된다. 다음으로 시각의 3 채널 원추세포(cone) 응답에 대한 S-자 곡선 형태의 비선형 휘도 압축 처

리를 하게 되는데 이 과정이 톤 압축이다. 그러나 영상의 입력 신호는 다양한 색공간 변환과 시각 응답 변환, 그리고 톤 압축 등의 HDR 영상 처리 과정을 통해 색 포화도 변화, 색상(hue) 이동, 화이트 밸런스 변동 등의 문제가 발생한다. 세 개의 컬러 응답 채널은 톤 압축 과정에서 등식에 의해서 나란히 변환되기 때문에 톤 압축을 사용하는 HDR 기술은 화이트 밸런스 문제를 해결하기 위해 후 보상 처리를 필요로 한다[2]. 실제로 iCAM06 톤 압축 과정에서 화이트 포인트 이동 문제가 발생한다[3]. 본 논문에서는 iCAM06을 이용한 HDR 영상 재생 과정에서 발생하는 화이트 밸런스 왜곡 문제를 분석하고 톤 압축 과정에서 보상하는 기법을 제안한다. 문제의 해결을 위해 먼저 세 개의 컬러 응답 채널에 각각 처리된 값으로부터 발생하는 컬러 왜곡 량을 찾아낸 다음 상대적으로 컬러 왜곡이 심한 저채도 영역에 대한 컬러 보상을 실시한다. HDR 영상 실험에서 iCAM06의 톤 압축을 통해 렌더링 후 결과 영상에서 화이트 포인트 근처의 값들이 붉은 색 쪽으로 이동하는 현상이 관찰된다. 본 논문에서는 톤 압축 과정을 거친 후 화이트 포인트 이동을 발생시키는 화이트 점 주위의 컬러 왜곡 량을 예측하고 이를 보상하는 알고리즘을 제안하였다. 실험 영상을 이용한 시뮬레이션을 통해 하늘, 구름, 눈, 및 호수 영상 등에서 화이트 밸런스가 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

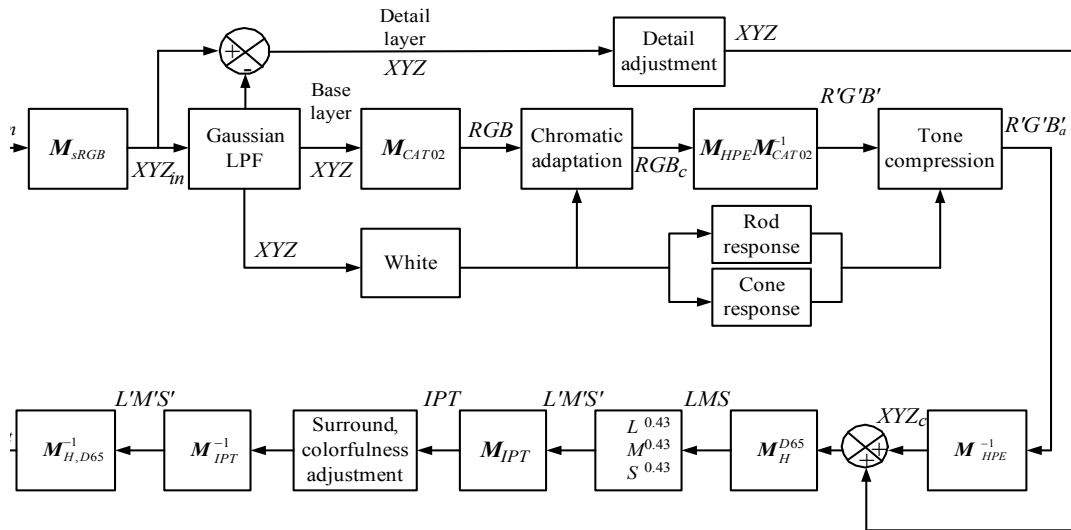


그림 1. iCAM06의 순서도

## 2. 관련 연구

iCAM06 영상 재생 모델의 목적은 넓은 휘도 범위를 갖는 영상에 대해 인간 시각 특성을 정확하게 예측하고 동시에 또 그 HDR 영상을 출력 장치를 통해 인간의 시각 시스템과 유사하게 디스플레이하는 것이다[4]. 그림 1은 iCAM06 모델의 요약된 처리 과정을 나타내는 순서도이다.

### 2.1 iCAM06에서의 톤 압축

iCAM06은 휘도 범위를 아주 낮은 스크토폭 (scotopic) 영역으로부터 높은 포토포픽 (photopic) 레벨 (level)까지 확장한다. 톤 압축에서는 확장된 값의 압축을 위해 원추세포 (cone) 그리고 간상세포 (rod)를 포함하는 광 수용체 응답 (photoreceptor response)을 기초로 한 비선형 압축 곡선을 사용한다. iCAM06에서는 CIECAM02 색채현 모델이 모든 시각적 데이터에 대해 좋은 예측 성능을 보이므로 원추세포 응답 예측 방법으로서 채택되었다. D65 광원에 색 순응된 시각의 3 자극치  $R_C G_C B_C$  응답은 식 (1)에서와 같이 CIECAM02 식을 이용하여 먼저 CAT02 영역 변환 ( $M_{CAT02}$ )에서부터 Hunt-Pointer-Estevéz 변환 ( $M_{HPE}$ )까지 거친다.

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

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

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

변환된 자극치  $R'G'B'$ 에 적용된 비선형 톤 압축 함수는 식 (2)-(6)에서와 같다.

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

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

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

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

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

여기서  $R'$ ,  $G'$ , 및  $B'$ 는 각각 압축되기 전의  $RGB$  신호로 D65 광원에 색 순응된 값이고,  $R'_a G'_a B'_a$ 는 톤 압축된 신호이다.  $Y_w$ 는 화이트 (white) 신호의 휘도 값이다.  $L_A$ 는 순응 휘도의 함수로 일반적으로 순응 화이트의 20% 수준에서 결정된다.  $F_L$ 은 배경 휘도에 대한 함수이다.

이 과정은 기존의 CIECAM02 모델과 유사하다 [5]. 그러나 가변적으로 조작 가능한 거듭제곱 값 (power value)  $p$ 가 수정되었다. 이는 log-log 축 상에서의 입출력 관계 그래프에서 응답 변환 곡선의 기울기를 결정한다. 또한  $Y_w$ 는 원 영상에서 가우시안 함수 (Gaussian function)를 사용하여 국부적으로 구한 화이트 (white)의 휘도 값이다. 따라서  $Y_w$ 는 영상의 화소마다 달라질 수 있고 순응 휘도 또한 각 화소마다 다른 값을 가진다. 최종 톤 압축 응답 값은 원추세포와 간상세포 응답의 합으로 계산되지만 간상세포 응답 값의 영향은 매우 적다. 위 함수들은 일반화된 Michaelis-Menten 방정식과 Valetton 및 van Norren의 실험 자료에 근거한다[6,7]. 이 식들의 세부 사항과 장점은 Hunt에 의해 논의되었다[8].  $F_L$ 은 Hunt 효과와 같은 휘도와 관련한 다양한 시각 현상들을 예측하기 위한 함수이다[7]. 최종 톤 압축 응답 값은 원추세포와 간상세포 응답의 합으로 계산되지만 간상세포 응답 값의 영향은 매우 적다.

### 2.2 iCAM06에서의 화이트 포인트 이동 문제

일반적으로 iCAM06 처리 과정은 sRGB, CAT02, Hunt-Pointer-Estevéz, 톤 압축, IPT 등과 같이 많은 색공간 및 시각 응답 변환 과정을 거치게 된다. 이러한 여러 단계를 거친 iCAM06을 통한 렌더링의 결과 영상은 화이트 포인트 이동이 발생한다. 먼저 iCAM06 과정 중 어느 단계에서 화이트 포인트 이동이 심하게 발생하는지를 찾아볼 필요가 있다. 실험적으로 휘도 맵핑을 위한 톤 압축과정에서 화이트 포인트 이동이 가장 많이 발생함을 알아낼 수 있었다. 그림 2에서는

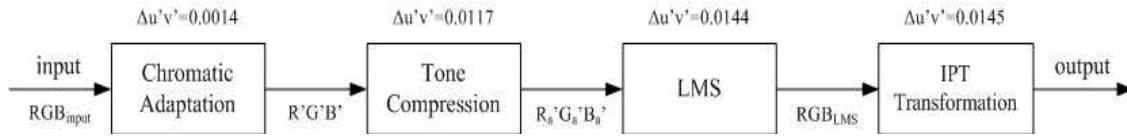


그림 2. 입력 RGB에 대한 iCAM06의 각 단계에서의 Δu'v' 값

iCAM06 과정 중 입력 RGB 값에 대해 주요 단계를 거친 후의 기준 화이트 좌표에 대한 CIE  $u'v'$  좌표 상에서의 유클리디안 거리 차이 값을 나타낸다. D65 조명하에서 실험한 결과 iCAM06 처리 과정 중에 톤 압축 후에  $\Delta u'v'$ 의 값이 가장 크게 증가함을 확인할 수 있다.

2.3 시환경 순응 톤압축 모델

Jang은 iCAM06 모델에서 사용되는 사용자 설정 입력 변수들의 최적값을 찾는 방법으로 톤 압축 과정에서의  $R'_a, G'_a$  및  $B'_a$ 에서 거둬 제공 값  $p$ 를 조정하였다[9]. 파라미터  $p$ 를 사용자의 선택이 아닌 원 장면에선 하나의 순응 휘도를 구해내고 이를 이용한 정량적인  $p$ 를 설정하였다. Jang의 논문에서는 주어진 시 환경에 따라 상호 시조건 변수로  $p_1, p_2$  두 가지를 사용하였고, 원 장면과 결과 영상을 디스플레이 하는 환경의 휘도차 비를 고려하기 위해 사용하는 변수  $p$ 와  $p_a$ 는

$$p = f(L_A) \tag{7}$$

$$p_a = 0.89 + 0.411(1 - e^{-0.6976(\frac{p_1}{p_2})}) \tag{8}$$

와 같이 계산되며, 여기서  $L_A$ 는 순응 휘도를 나타내고,  $p_1$ 은 실제 시각 환경 변수,  $p_2$ 는 실내 시청 환경 변수를 각각 나타낸다. 이러한 변수  $p_a$ 를 이용하여 시각 특성을 고려한 최종 원추세포 반응 값  $R'_a, G'_a$  및  $B'_a$ 로 계산되는 식은

$$\begin{aligned} R'_a &= R_a^{p_a} \\ G'_a &= G_a^{p_a} \\ B'_a &= B_a^{p_a} \end{aligned} \tag{9}$$

와 같다. Jang이 제안한 시각 특성을 고려한 톤 압축 기법에서는 렌더링 후 결과 영상에서의 contrast가 개선되는 효과는 있으나 iCAM06에서와 마찬가지로 여전히 화이트 포인트 이동 문제는 발생한다.

3. 제안한 톤 압축 보상

톤 압축의 주된 목적은 HDR 영상의 휘도 범위를 LDR 디스플레이의 제한된 휘도 범위로 시각적으로 유사하게 대응시키기 위함이다. 그러나 RGB 입력이 iCAM06 처리과정을 따라 XYZ,  $R_cG_cB_c, R'G'B', R'_aG'_aB'_a$ 로 변화되면서 원하지 않는 색 왜곡을 일으키게 된다. 그래서 색 채널 각각의 톤 압축으로부터 화이트 포인트 이동 성분을 예측하고 보정할 필요가 있다. D65 조명 환경 하에서 일반적으로 iCAM06의 톤 압축 과정에서 화이트 포인트 이동으로 인해 영상의 밝은 부분의 색이 붉게 보이는 현상이 발생한다. 즉, iCAM06 렌더링에서 톤 압축의 입력 값의 비가  $R':G':B'=1:1:1$  일 때, 톤 압축된  $R'_a:G'_a:B'_a$ 의 비는 1:1:1이 아니게 된다. 본 논문에서는 톤 압축 후에  $R'_a:G'_a:B'_a$  비를 이용하여 화이트 포인트 이동 량을 예측하고 보정 방법을 제안한다.

제안한 화이트 밸런스 보정 기법은 영상의 화이트 영역 부근의 저채도 신호에 대해 보상을 실행한다. 즉, 높은 채도 신호들은 이 보상에 영향을 받지 않도록 한다. 높은 채도 신호에 대한 보상은 톤 매핑 결과에 영향을 주고 과포화(over-saturation)와 색상 이동(hue-shift)을 초래할 수 있기 때문이다.  $R':G':B'=1:1:1$  일 때  $R'_a:G'_a:B'_a$ 에서의 채널 왜곡은

$$R_d = R'_a / G'_a \tag{10}$$

$$B_d = B'_a / G'_a \tag{11}$$

와 같이 주어진다. 여기서  $R_d, B_d$ 은 톤 압축 과정에서 R과 B채널의 G채널에 대한 각각의 왜곡 량이다. 또한, 보상 영역 제한을 위해 입력 신호( $R'G'B'$ )에 대해 보상 정도를 나타내는 파라미터를 도입하였다. 이유는 조명 성분에 대한  $R'/G, R'/B$  와  $R_d, B_d$  사이의 변화에 대해서만 보상을 하기 위해서이다. 보상 영역을 결정하기 위한 가우시안 형태의 보상 정도 함수의 식은

$$D_R = 1.016 \times \exp\left(-0.5 \left(\frac{(R'/G'-1)}{0.13}\right)^2\right) \quad (12)$$

$$D_B = 1.016 \times \exp\left(-0.5 \left(\frac{(B'/G'-1)}{0.13}\right)^2\right) \quad (13)$$

와 같이 주어진다. 여기서  $D_R, D_B$ 는 각각  $R$ 과  $B$  채널에 대한 각각의 보상 정도를 나타낸다. 가우시안 함수의 보상 영역 폭을 결정하기 위한 표준편차 값은 사용자가 조정 가능하며 본 논문에서는 실험적으로 최적의 표준 편차 값을 결정하였다. 과포화를 막기 위한 보상의 범위는 그림 3에 나타내었다. 보상 범위를 결정하는 가우시안 함수에서의 표준편차의 값은 구름, 눈, 및 하늘 등 조명에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 영상을 가지고 실험적으로 결정하였다. 전체 영역에 대한 보상은 톤 압축의 효과를 줄일 수 있으므로 보상의 영역을 한정하였다.

톤 압축 전후의 입력 색차에 대한  $R$ 과  $B$  채널의 보상 이득  $R_{com}, B_{com}$ 에 대한 식은

$$R_{com} = \left(\frac{R'}{G'}\right)D_R + R_d(1-D_R) \quad (14)$$

$$B_{com} = \left(\frac{B'}{G'}\right)D_B + B_d(1-D_B) \quad (15)$$

와 같이 주어진다. 그리고 최종 변환 매트릭스는

$$\begin{bmatrix} R_a'' \\ G_a'' \\ B_a'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{com}/R_d & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & B_{com}/B_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_a' \\ G_a' \\ B_a' \end{bmatrix} \quad (16)$$

와 같이 주어진다. 여기서  $R_a'', G_a'', B_a''$ 는 톤 압축 과정에서 화이트 포인트 이동에 대한 최종 보상 출력이다.

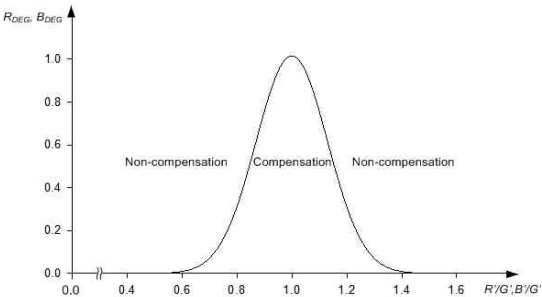


그림 3. 과포화 방지를 위한 보상 범위 (if  $R_{DEG}, B_{DEG} > 1, R_{DEG}, B_{DEG} = 1$ )

#### 4. 실험결과 및 고찰

제안된 보상 매트릭스의 적용 전 후의 화이트 포인트 이동 현상 확인을 위해 iCAM06 알고리즘과의 비교 실험을 실행하였다. 먼저 입력 영상으로 5단계의 그레이 패턴 ( $R:G:B=1:1:1$ )을 사용한 iCAM06과 제안한 방법의 렌더링 결과 영상을 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 (a)는 5단계 그레이 패턴 입력 영상이며, (b)는 iCAM06의 톤 압축을 거친 후에 붉게 보이는 현상이 나타난 영상이다. (c)에서 제안된 방법으로부터 화이트 포인트 이동이 보상되었음을 확인할 수 있다. 그림 5는 그림 4의 5단계 그레이 패턴의 (a), (b), 및 (c)에 대한  $RGB$  각각의 값을 보여주는 그래프이다. 그림 5의 (b)에서 볼 수 있듯이 iCAM06으로 렌더링한 후의 영상의  $R$  값이 특히  $G$  값에 대해 오프셋(offset)이 발생됨을 확인할 수 있다. 반면에 그림 5의 (c)는 개선된 영상의  $RGB$  값이 그래프 상에서 거의 일치함을 볼 수 있다.

그림 6에서는 CIE  $u'v'$  좌표를 이용하여 톤 압축 후의 화이트 포인트 이동을 나타내었다. 그림에 나타난 값들은 D65, 5000K, 4000K, 및 2800K 각각 조명에 대하여, 색 순응 이후의 값을 기준 화이트 점과 iCAM06, Jang의 방법, 및 제안한 방법에 의한 톤 압축 후의 이동된 좌표 점을 의미한다. 원으로 표시된 값은 색 순응 후의 기준 화이트의 좌표를 나타내고, 사각형은 iCAM06 방법, 마름모는 Jang의 방법, 그리고 삼각형은 제안된 방법으로 톤 압축한 후의 좌표를 각각 나타낸다. 결과를 통해서 톤 압축 후의 화이트 포인트가 제안한 방법이 iCAM06보다 기준 화이트에 더 가깝다는 것을 확인할 수 있다.

제안한 모델의 성능을 정량적 평가하기 위한 CIE  $u'v'$  좌표계에서의 측색적 좌표 오차는

$$\Delta u'v' = \sqrt{(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2} \quad (17)$$

와 같고, CIE  $L^*u^*v^*$  좌표계를 이용한 휘도  $Y$  성분을 고려한 색재현 오차는

$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(\Delta L^*/4)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad (18)$$

와 같다. 여기서, 휘도 값에 1/4이 곱해진 이유는 컬러 디스플레이 장치에서는 색재현 오차 계산 시 휘도에 대한 가중치를 1/4로 줄이는 것이 좋다고 알려져 있기 때문이다[10].

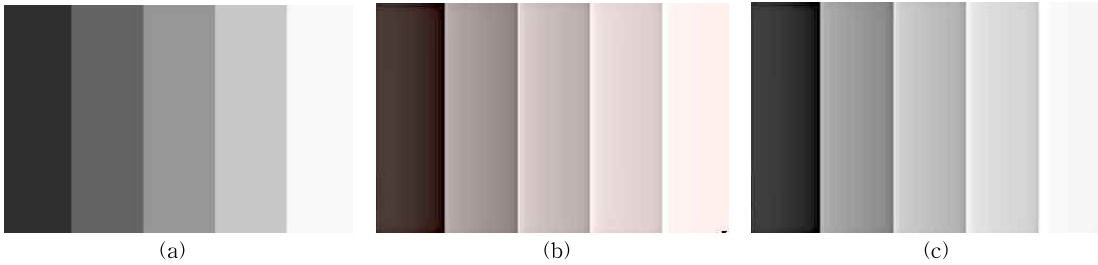


그림 4. 실험에 사용된 5단계 그레이 패턴: (a) 입력 영상(R:G:B=1:1:1), (b) iCAM06 렌더링 결과 영상, (c) 제안된 방법을 이용하여 렌더링한 결과 영상

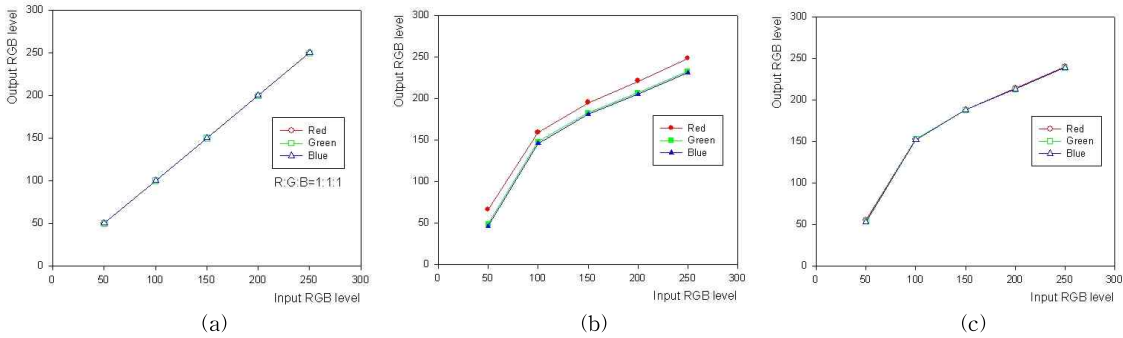


그림 5. 실험에 사용된 영상의 RGB 값 그래프: (a) 입력 영상(R:G:B=1:1:1), (b) iCAM06 렌더링 결과, (c) 제안된 방법으로 렌더링한 결과

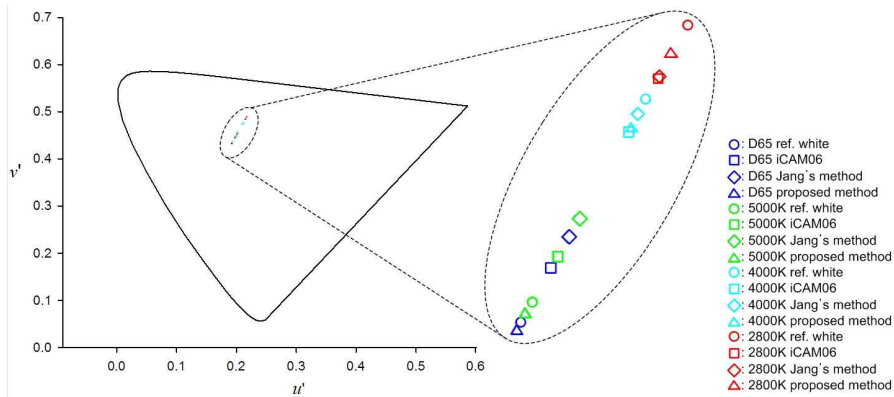


그림 6. 화이트 포인트 이동을 비교하기 위한 각 조명(D65~2800K)과 개선 전 후의 화이트 포인트의  $u'v'$  좌표

표 1은 기준 화이트로부터 iCAM06, Jang의 방법, 및 제안한 방법을 통한 톤 압축 후의 측색적 좌표 오차  $\Delta u'v'$ 와 색재현 오차  $\Delta E^*_{uv}$ 를 보여준다. 제안 방법에서 화이트 포인트 이동 현상의 보상이 제대로 이루어졌음을 알 수 있다. 그림 7에서는 iCAM06, Jang의 방법, 및 제안한 방법으로 렌더링한 결과 영상을 비교하였다. 그림 7의 (a)의 iCAM06 과 (b)의 Jang의 방법으로 렌더링한 영상보다 (c)의 제안한 방

법으로 렌더링한 영상이 구름, 눈, 및 하늘 등에서 붉은 색이 사라진 자연스러운 영상임을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

대표적인 HDR 렌더링 알고리즘인 iCAM06은 HDR 영상의 다이내믹 레인지를 출력 장치의 다이

표 1. 기준 화이트 좌표와 iCAM06, Jang의 방법 및 제안한 방법의 톤 압축 후의 측색적 좌표 오차 및 색 재현 오차

	Color difference					
	iCAM06		Jang's method		Proposed method	
	$\Delta u'v'$	$\Delta E_{uv}^*$	$\Delta u'v'$	$\Delta E_{uv}^*$	$\Delta u'v'$	$\Delta E_{uv}^*$
D65	0.0121	26.8573	0.0192	29.5605	0.0018	21.0315
5000K	0.0103	38.5412	0.0187	43.2559	0.0029	28.8698
4000K	0.0069	18.2590	0.0031	18.9486	0.0062	17.6917
2800K	0.0118	12.9570	0.0114	11.8536	0.0064	13.0220
Average	<b>0.0103</b>	<b>24.1536</b>	<b>0.0131</b>	<b>25.9047</b>	<b>0.0043</b>	<b>20.1538</b>

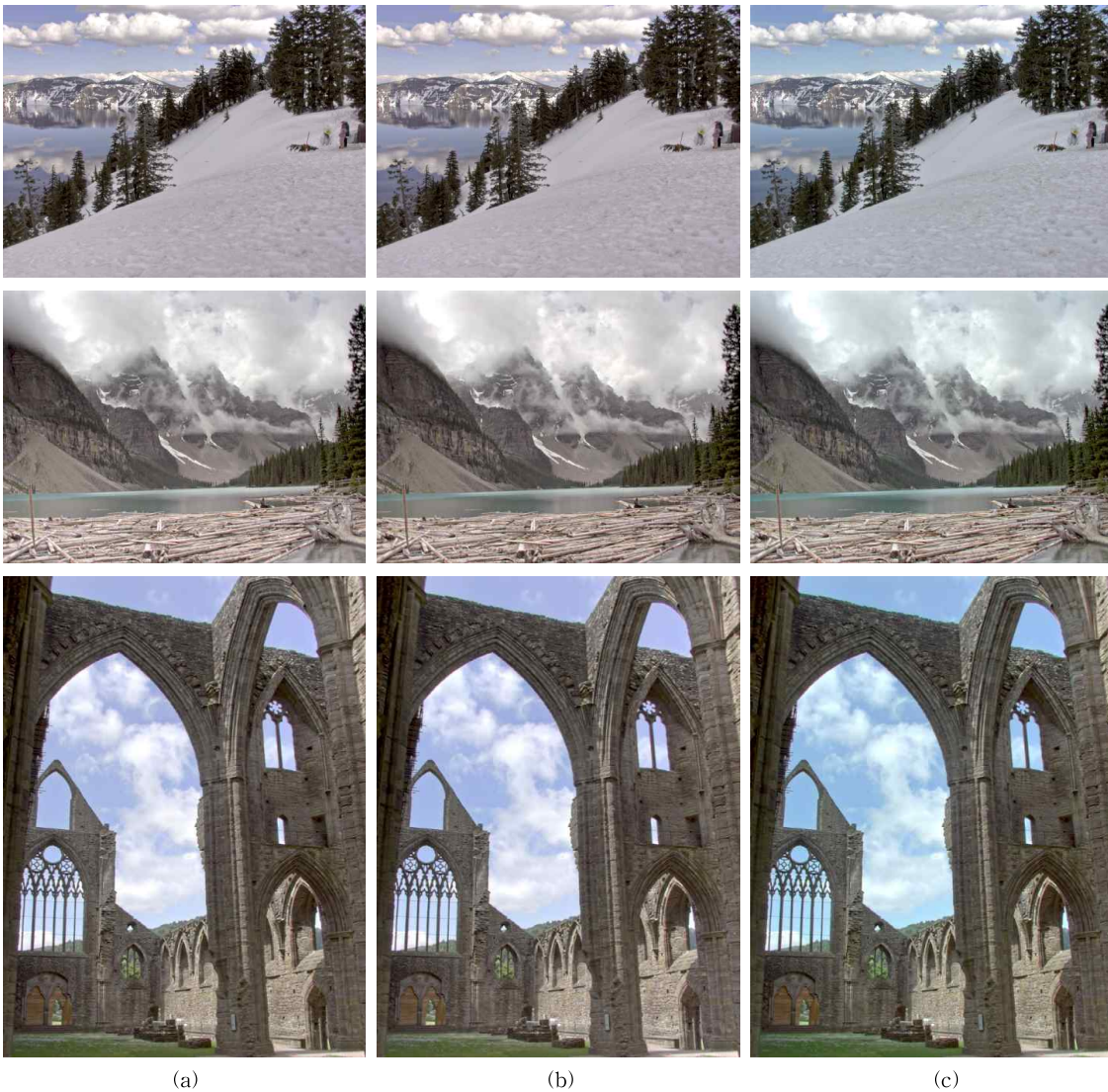


그림 7. HDR 렌더링 결과 영상 : (a) iCAM06 렌더링 결과 영상, (b) Jang이 제안한 방법의 렌더링 결과 영상, (c) 제안된 방법의 렌더링 결과 영상

믹 레인지로 줄이기 위해서 톤 압축을 이용한다. 그러나 iCAM06을 이용한 방법은 톤 압축 과정을 거치는 동안 화이트 포인트 이동에 의해 화이트 밸런스가 왜곡되는 현상이 발생한다. 그래서 본 논문에서는 채널 이득 보상을 이용한 톤 압축 방법으로 색 왜곡 현상을 개선하였다. 실험 결과들은 제안한 방법이 기존의 iCAM06 방법보다 주관적 평가에서 더 좋은 성능을 나타낸다. 그리고 제안한 방법의 결과 영상에서 iCAM06 방법보다 화이트 포인트에 더 가까운 것을 확인하였다. 재생된 영상은 화이트 포인트 이동에 대해 만족할만한 보상 결과를 보여주었다.

### 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 ] O. Pirinen, A. Foi, and A. Gotchev, "Color High Dynamic Range (HDR) Imaging in Luminance-Chrominance Space," *In Proc. Of the Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, pp. 121-124, 2007.
- [ 3 ] R. Mantiuk, A. Tomaszewska, and W. Heidrich "Color Correction for Tone Mapping," *EURO-GRAPHICS 2009*, Vol.28, No.2, pp. 193-202, 2009.
- [ 4 ] 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.
- [ 5 ] 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.
- [ 6 ] L. Michaelis, M. Menten, *Die Kinetik der Invertinwirkung*, Bochemische Zeitschrift, 1913.
- [ 7 ] J. Valeton and D. van Norren, "Light Adaptation of Primate Cones: An Analysis Based on Extracellular Data," *Vision Res.* Vol.23, pp. 1539-1547, 1983.
- [ 8 ] R. Hunt, C. Li, and M. Luo, "Dynamic Cone Response Functions for Models of Color Appearance," *Color Res. Appl.* Vol. 28, Issue 2, pp. 82-88, 2003.
- [ 9 ] 장재훈, 이성학, 송규익, "Modified iCAM06 기법을 이용한 HDR영상의 tone compression 개선과 평가," 멀티미디어학회논문지, 제12권, 제8호, pp. 1055-1065, 2009.
- [10] L. E. DeMarsh and J. E. Pinney, "Studies of Some Colorimetric Problems in Color Television," *J. of SMPTE*, Vol.79, pp. 338-3472, 1970.





**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



**권 혁 주**

2010년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사  
2010년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 공학석사과정 재학

관심분야: Color Image Processing, Color Management, 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 전자전기컴퓨터학부 초빙교수

관심분야: Color Image Processing, Color Management, HDR 영상처리, DTV 신호처리



**송 규 의**

1975년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사  
1977년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사  
1977년~1982년 국방과학연구소 연구원

1990년 3월 일본 동북대학교 전자공학과 공학박사  
1983년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수  
관심분야: 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공학