

논문 2012-49-9-13

# 동적 원추 세포 응답을 이용한 높은 동적 폭을 갖는 영상 색상 보정 방법

(Color Correction Method for High Dynamic Range Image Using  
Dynamic Cone Response Function)

최 호 형\*, 윤 병 주\*\*

(Ho-Hyoung Choi and Byoung-Ju Yun)

## 요 약

최근 들어, 실제 환경 영상과 디스플레이 영상간의 인지적 불일치를 위해, 인간 시각 시스템을 흉내 낸 높은 동적 범위를 갖는 영상 촬영 기술이 LCD/LED 디스플레이 장치에 사용되고 있다. 그러나 HDR 영상에는 섬광 한계뿐만 아니라 국부 영상 대비 등의 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 중심/주변 레티넥스, 다중 스케일 영상 레티넥스, 톤 매핑 방법, iCAM06 등 여러 가지 색상 보정 방법들이 제안되었다. 그러나 기존의 방법들에서는 결과 영상내의 전반적으로 특정 색상 두드러짐 현상이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 동적 원추 세포 응답을 이용한 영상 보정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 톤 매핑과 동적 원추 세포 응답으로 구성된다. 색도 성분과 비색도 성분의 선형적인 보간을 이용하여 톤 매핑을 수행하고, 톤 매핑의 결과 영상에서 동적 원추 세포 응답 함수를 이용하여 원추세포 응답을 획득한다. 획득된 원추세포 응답을 이용하여 색상 보정을 수행한다. 이는 인간 눈의 동적 응답을 예측함과 동시에 보정된 영상이 실제 환경과 최대한 일치하도록 한다. 실험 결과에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 색상 보정 효과가 우수함을 보인다.

## Abstract

Recently, the HDR imaging technique that mimics human eye is incorporated with LCD/LED display devices to deal with mismatch between the real world scene and the displayed image. However, HDR image has a veiling glare limit as well as a scale of the local contrast problem. In order to overcome these problems, several color correction methods, CSR(center/surround Retinex), MSR (Multi-Scale Retinex), tone-mapping method, iCAM06 and so on, are proposed. However, these methods have a dominated color throughout the entire resulting image after performing color correction. Accordingly, this paper presents a new color correction method using dynamic cone response function. The proposed color correction method consists of tone-mapping and dynamic cone response. The tone-mapping is obtained by using a linear interpolation between chromatic and achromatic. Thereafter, the resulting image is processed through the dynamic cone response function, which estimates the dynamic responses of human visual system as well as deals with mismatch between the real scene image and the rendered image. The experiment results show that the proposed method yields better performance of color correction over the conventional methods.

**Keywords** : HDR 영상, LCD/LED 디스플레이, 섬광의 한계, 톤 매핑, 동적 원추 세포 응답

\* 정회원, 경북대학교 모바일통신학과  
(Dept. of Mobile Communication, Kyungpook National University)

\*\* 평생회원-교신저자, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(School of EECS, IT College, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 한국과학기술정보연구원에서 수행하는 지능형 첨단 과학기술연구망 설계 및 구축운영사업의 공동연구로 수행되었습니다.

접수일자: 2012년1월4일, 수정완료일: 2012년7월4일

## I. 서 론

별빛에서 햇빛까지 인간의 시각시스템 (human visual system)은 실제 환경에서  $10^{14}$  크기의 동적 폭 (dynamic range)을 갖는다. 그러나 대부분의 디스플레이 기술들은  $10^2 \sim 10^3$  크기의 낮은 동적 폭을 갖는 장치들이다. 이러한 인간 시각시스템과 디스플레이 장치간의 인지적 불일치를 극복하는 기술로써 높은 동적 폭을 갖는 영상 촬영 기법 (HDR: High Dynamic Range)이 사용되고 있다. HDR 영상 촬영 기술은 카메라의 다중 노출 시간을 이용한 기술로써 인간 시각시스템을 흉내 낸 매력적인 기술로써  $10^6$  크기의 동적 폭을 갖는다. 이러한 이유에서 LCD/LED와 같은 디스플레이 장치에 이용된다. 그러나 HDR 영상은 섬광의 한계<sup>[1~2]</sup>(veiling glare limit)의 문제점을 갖는다. 여기서 섬광은 밝은 조명 조건하에서 영상을 촬영하였을 때, 영상 내에서 원하지 않는 빛의 퍼짐을 말한다. 섬광은 노출시간, 렌즈, 환경의 휘도의 요소들의 영향으로 인해 발생할 수 있으며, 섬광으로 인해 영상 내의 동적 폭이 제한된다. 따라서 보정의 목적은 HDR 영상 내의 섬광을 제거함과 동시에 영상 대비를 조절하는 것이다.

영상 내의 영상 대비를 조절하기 위해 히스토그램 기반 방법과 감마 조정 기반 방법들이 일반적으로 사용된다. 이들 방법들은 간단하며, 영상의 전역 대비 (global contrast)를 개선하는 방법이다<sup>[3]</sup>. 그러나 이들 방법들은 지역적 영상 대비(local contrast)를 개선하지 못한다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 공간 필터 (spatial filter)를 이용하여 영상 내의 지역적 대비를 개선하는 방법이 필요하게 되었다. 이러한 요구로 중심/주변 레티넥스(center/surround retinex)와 다중 스케일 레티넥스(MSR: Multi-Scale Retinex)가 제안되었다<sup>[4~5]</sup>.

MSR 알고리즘에서, 여러 개의 영상들이 다양한 크기의 가우시안 필터(Gaussian filter)를 이용한 중심/주변 레티넥스 알고리즘으로 만들어지며, 후광효과(halo-artifact)와 영상 내의 지역적 대비를 개선하기 위해 이들 영상들의 가중 합을 이용하여 결과 영상을 획득한다. 그러나 MSR의 경우 비선형적인 로그 공간(non-linear logarithmic space)에서 영상 보정이 이루어진다. 이로 인해 색상의 변화 (graying-out)와 두드러짐 (dominated color)이 발생한다. 그리고 MSR은 그레이 가정(Gray-World Assumption)을 기반으로 하기 때

문에, 빈약한 보존(color constancy)이 이루어진다. 따라서 결과 영상에서 후광효과(halo-artifacts)가 나타난다<sup>[6~7]</sup>.

비선형적인 로그 공간 사용에 의한 색상 왜곡(color distortion)을 피하기 위해, 적응적 스케일 이득 레티넥스 (ASR: Adaptive Scale-gain Retinex)<sup>[8]</sup> 모델이 제안되었다. 이 방법에서, 휘도 영상 (Y 성분 영상)으로부터 표현되는 주변영상은 일반적인 R, G, B를 사용하였으며, 이렇게 함으로써 색상 균형 (color balance)을 유지한다. ASR에서는 스케일 이득(scale gain)에 적용하기 위한 가중치를 자동으로 설정하는 방법을 사용하였다. 그러나 가중치는 가우시안 필터의 다중 크기에 따른 휘도 히스토그램 SSR (histogram luminance SSR)이 필요하기 때문에 가우시안 커널 크기 증가에 따라 많은 시간이 소요된다.

이러한 이유로, 휘도 값을 사용한 통합 주변 레티넥스 (ISR: Integrated-Surround Retinex method)<sup>[9]</sup> 방법이 제안되었다. 그 결과는 안정되고 높은 휘도를 갖는다. 그러나 ASR과 ISR은 통합 주변 다중 처리를 기반으로 하기 때문에, 밝은 영역 부근에 후광효과가 발생한다.

Kuang et. al에 의해서 iCAM06<sup>[10]</sup>으로 디자인된 새로운 영상 표현 모델이 HDR 영상 보정을 위해 개발되었다. iCAM06은 인간 시각시스템을 기반으로 하며, 디스플레이 영상과 보정 영상 간의 불일치를 해결하기 위해 색도 적응 변환 (CAT: Chromatic Adaptive Transform)을 사용한 간상세포 응답 예측 (rods response prediction)과 원추세포 응답 예측 (cones response prediction)을 사용한다. 그러나 휘도 요소 (luminance factor)는 휘도 순응 성능을 줄일 수 있다. 그리고 높은 휘도값에 대해, 그 응답은 최댓값을 나타내게 되고, 이 경우 휘도 요소로 인해 색감을 줄어든게 되어 특정 색상이 두드러지게 된다.

본 논문에서는 동적 원추 세포 응답 방법<sup>[11]</sup>을 이용한 색상 보정 방법을 제안한다. 이는 CIECAM97<sup>[12~13]</sup> 프레임워크를 기반으로 하며, 변환에 사용한 멱함수 모델은 CMCAT2000이다. 제안한 방법은 톤 매핑과 동적 원추 세포 응답 방법으로 구성된다. 톤 매핑에서는 휘도 성분의 원영상과 이 영상에 비선형적 멱함수를 적용한 영상을 이용하여 톤 매핑을 수행한다. 그 후, 톤 매핑된 영상에 동적 원추 세포 응답 방법을 적용하여 보

정된 영상을 얻는다. 이와 같은 방법을 적용하여 실제 환경에서 바라보는 인간 시각시스템의 동적 응답을 예측함과 동시에 실제 환경의 영상과 보정 영상간의 불일치를 해결할 수 있다. 제 II장에서는 기존의 방법인 iCAM06에 대해서 설명한다. III장에서는 제안한 방법인 동적 원추세포 응답을 이용한 보정방법에 대해서 설명한다. IV장에서는 실험 결과를 나타 낼 것이며 V장에서 결론을 맺는다.

## II. iCAM06 모델

새로운 색상 표현모델인 iCAM06<sup>[9]</sup>은 HDR 영상 보정(HDR image rendering)을 위해 개발 되었다. iCAM 프레임워크를 기반으로 하는 iCAM06 모델은 영상 대비를 개선하기 위한 인간 시각 시스템 (HVS: Human Visual System)의 공간처리 모델, 하이라이트와 그림자에서 영상 내의 국부적 세부정보를 개선하는 광수용기 (photoreceptor)의 빛 적응 기능 (light adaptation function), 광범위한 표현 현상을 예측하는 기능 등의 조합으로 이루어진다. iCAM06의 입력 데이터는 CIE 삼자극치(CIE tristimulus value)인 XYZ이며, 영상은 기반 계층(base layer)와 세부 계층(detail layer)로 나눈다. 기반 계층은 영상 내의 윤곽선을 보존하는 이방성 필터(bilateral filter)를 이용하여 획득되며, 다음과 같다.

$$J_s = \frac{1}{k(s)} f(p-s)g(I_p - I_s)I_p \quad (1)$$

여기서,  $k(s)$ 는 평활화이며, 다음과 같다.

$$k(s) = \sum_{p \in \Omega} f(p-s)g(I_p - I_s) \quad (2)$$

여기서  $f(\cdot)$ 는 커널 크기  $\sigma_s$ 인 공간도메인의 가우시안 함수이며,  $g(\cdot)$ 는 크기  $\sigma_r$ 인 밝기 값 도메인에서 또 다른 가우시안 필터이다.  $I_s$ 는 화소  $s$ 에 대한 밝기 값이다. 이방성 필터를 사용함으로써 윤곽선의 선명도를 유지하는 동시에 효과적으로 뭉뚱화 되며, 이로 인해 영역 톤 매핑 연산에서 일반적인 후광효과를 제거 할 수 있다. 그러나 입력영상에 잡음이 포함 되어 있을 때 그 잡음을 제거하지 못 한다<sup>[14]</sup>.

기반 계층 영상은 첫 번째로 색도 적응을 통해서 처리 된다. CIECAM02<sup>[15]</sup>을 근간으로 하는 색도 적응 변

환은 iCAM06에 도입되었으며, 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_{CA702} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, M_{CA702} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$D = 0.3F \left[ 1 - \left( \frac{1}{3.6} \right) e^{\left( \frac{-(L_A - 42)}{92} \right)} \right] \quad (4)$$

$$R_c = \left[ \left( R_{D65} \frac{D}{R_w} \right) + (1-D) \right] R \quad (5)$$

$$G_c = \left[ \left( G_{D65} \frac{D}{G_w} \right) + (1-D) \right] G \quad (6)$$

$$B_c = \left[ \left( B_{D65} \frac{D}{B_w} \right) + (1-D) \right] B \quad (7)$$

여기서,  $R_c$ ,  $G_c$ ,  $B_c$ 는  $D$  원추세포 응답을 적용한 원추 세포 응답이며,  $R_w$ ,  $G_w$ ,  $B_w$ 는  $R$ ,  $G$ ,  $B$  값에 대한 흰색 점이다. 완전하지 않은 적응 요소  $D$ 는 적응 휘도  $L_A$ (적응 흰색의 20%)와 주변 요소  $F$ (평균적 주변에서  $F=1$ ) 함수로 획득된다.

iCAM06 모델은 낮은 스코토픽(scotopic)에서 포토픽(photopic)단계에서 부터 휘도 단계로 확장된다. iCAM06에서 톤 압축은 원추세포와 간상세포 응답의 조합으로 이루어지며, CIECAM02의 후 적응 모델은 원래 환경에 적용되는 모든 시각데이터를 원추세포 응답 예측을 위해 도입하며, 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_{HPE} M^{-1_{CAM2}} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$M_{HPE} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$M^{-1_{CAM2}} = \begin{bmatrix} 1.096124 & -0.2788 & 0.182745 \\ 0.454369 & 0.473533 & 0.072098 \\ -0.009628 & -0.005698 & 1.015326 \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서,  $R'$ ,  $G'$ ,  $B'$ 은 역변환 행렬  $M_{CA702}^{-1}$ 를 사용한 색도 적응 값이며, 후 적응 비선형 압축을 적용하기 전 헌트 포인트 에스테베즈(Hunt-Pointer-Estevéz)공간 변환을 위해 사용하며, 식 (9)에서  $M_{HPE}$ 이다<sup>[16]</sup>. iCAM06 모델에서 비선형적인 톤 압축은 CIECAM02의 형태와 비

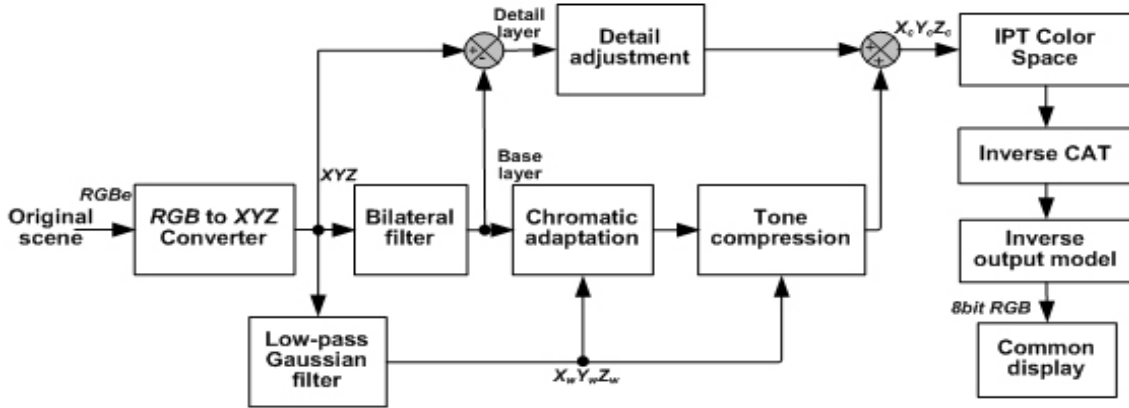


그림 1. iCAM06 구성도  
Fig. 1. block diagram for the iCAM06.

숫하며, 다음과 같이 나타낸다.

$$R'_a = \frac{400(F_L R' / Y_w)}{27.13 + (F_L R' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (11)$$

$$G'_a = \frac{400(F_L G' / Y_w)}{27.13 + (F_L G' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (12)$$

$$B'_a = \frac{400(F_L B' / Y_w)}{27.13 + (F_L B' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (13)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (14)$$

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (15)$$

여기서,  $p$  값은 사용자 정의 상수 값이며, 0.6-0.85 범위이며, 휘도 요소인  $F_L$  은 CIECAM02에서 다양한 휘도 표현 효과(luminance-dependent appearance effects)를 예측하기 위해 적용한다.  $Y_w$ 는 회색 영상에 적용된 영역 휘도이다. 식 (14)에서 휘도 요소는 휘도 적응을 줄일 수 있다. 게다가 도입된 회색의 휘도 보다 큰 휘도 자극에 대해서, 그 응답은 최대 단계일 것이며, 이 경우에 색상을 줄이는 경향이 있다<sup>[17]</sup>. 이로 인해 결과 영상에서 색상이 두드러짐이 나타난다. 그림 1은 iCAM06의 전체 구성도를 보여 준다.

### III. 제안한 방법

제안한 방법에서 입력 값은 CIE 삼자극값(X, Y, Z)이다. 입력 데이터의 절대 휘도 Y는 헌트 효과 (Hunt effect)와 스티븐 효과 (Stevens effect)<sup>[18]</sup>와 같은 여러 가지 휘도 현상을 예측하기 위해 필요하며, CIEXYZ 색도 변환은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.2127 & 0.0193 \\ 0.3576 & 0.7152 & 0.1192 \\ 0.1805 & 0.0722 & 0.9504 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (16)$$

#### 1. 톤 매핑 (tone mapping)

기존의 방법에서 색상보정을 위해, 가우시안 필터, 이방성 필터 등을 포함한 저역 통과 필터들이 많이 사용된다<sup>[19]</sup>. 이러한 방법은 입력되는 빛이 일정하다는 가정 하에서 조도성분(illumination component) 혹은 국부적 적응 단계(local adaptation level)등을 얻기 위한 방법이다. 그러나 인간의 시각 시스템 내부의 원추세포와 간상세포는 환경과 입력 영상에 대해서 비선형적으로 반응한다. 이러한 관점을 고려하여, 제안한 방법에서는 첫 번째로 식 (16)에서 획득한 절대 휘도 Y값에 대해서 비선형적인 멱함수(non-linear power function)를 수행한다. 이는 영상의 동적 폭을 조절할 수 있을 뿐만 아니라 가우시안 필터를 사용함으로써 나타나는 후광효과를 제거할 수 있다. 따라서 제안한 방법에서 절대 휘도 Y값  $f_Y(x, y)$ 에 대해 멱함수를 수행한 결과는 다음과 같다.

$$L_{out}(x, y) = f_Y(x, y)^a \quad (17)$$

여기서  $L_{out}(x, y)$ 은 절대 휘도 값  $Y$ 에 대한 멱함수 수행 결과 값이며,  $f_Y(x, y) \neq L_{out}(x, y)$ 을 만족한다.  $\alpha$ 는 영상의 동적 폭을 조절하기 위한 멱함수이다.

식 (17)을 기반으로 한 톤 매핑 방법은 휘도를 보존하는 것과 색도 성분(chromatic)과 대응되는 비색도 성분(achromatic) 사이의 선형적 보간을 포함하며, 제안한 톤 매핑 방법에서 입력  $f_i(x, y)$ 에 대한 톤 매핑 결과는 다음과 같다.

$$C_{out,i}(x, y) = \frac{f_i(x, y)}{L_{out}(x, y)}; i \in \{X, Y, Z\} \quad (18)$$

여기서  $C_{out,i}(x, y)$ 은 톤 매핑 결과 영상이다.

## 2. 동적 원추세포 응답(dynamic cone response)

CIECAM97 표현 모델은 쌍곡선 함수(hyperbolic function)를 사용함으로써 원추 세포 응답을 획득한 후 색상변화가 일어난다. 제안한 방법에서 휘도의 변화에도 동일한 값의 채도와 색도 성분을 얻기 위해, 원추세포의 동적 응답 함수로부터 잡음을 제거하는 것이 필요하며, 무엇보다 중요한 것은 쌍곡선 함수의 동적 원추세포 응답을 멱함수(power function)로 바꾸는 것이 필요하다. 이러한 이유에서 제안한 보정 방법에서 동적 원추세포 응답을 도입하며, 변환에 사용된 멱함수 모델(power model)은 CMCCAT2000<sup>[20]</sup>을 기반으로 한다. 식 (18)의 결과를 기반으로 하여, 동적 원추세포 응답 함수에 적용하기 위한 변환은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.7982 & 0.3389 & -0.1371 \\ -0.5918 & 1.5512 & 0.0406 \\ 0.0008 & 0.0239 & 0.9753 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$D_{oos} = F[0.08 \log(L_A) + 0.76] \quad (21)$$

$$\begin{aligned} R_c &= R[D_{oos}(Y_w/Y_{rw})(R_{rw}/R_w) + 1 - D_{oos}] \\ G_c &= G[D_{oos}(Y_w/Y_{rw})(G_{rw}/G_w) + 1 - D_{oos}] \\ B_c &= B[D_{oos}(Y_w/Y_{rw})(B_{rw}/B_w) + 1 - D_{oos}] \end{aligned} \quad (22)$$

여기서  $R_c, G_c, B_c$ 는  $D_{oos}$  원추세포 응답을 적용한 적용된 원추세포 응답이다.  $R_w, G_w, B_w$  값과  $X_w, Y_w, Z_w$  은  $R, G, B$ 와  $X, Y, Z$  값에 대한 흰색 점이다.

$R_{rw}, G_{rw}, B_{rw}$ 와  $X_{rw}, Y_{rw}, Z_{rw}$ 는 참조한 조건하에 서의 참조 흰색 점다. 불완전한 적응 요소 (incomplete adaptation factor)  $D_{oos}$ 는 적응 휘도  $L_A$  (적응 흰색 (adaptation white)의 20%)와 주변 요소 (surround factor)  $F$ 를 이용하여 획득한다. 제안한 방법에서  $X_w = Y_w = Z_w = 100$ 으로 정의하였다. 식 (22)로부터 대응되는 CIEXYZ 삼자극치  $X_c, Y_c, Z_c$ 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} 1.076450 & -0.237662 & 0.161212 \\ 0.410964 & 0.554342 & 0.034694 \\ -0.010954 & -0.013389 & 1.024343 \end{bmatrix} \quad (24)$$

식 (25)에서,  $R', G', B'$ 는  $M_H$  행렬을 사용한 색도 적응 값이며, Hunt-Pointer-Estevéz 공간 변환은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = M_H \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$M_H = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.68898 & 0.07866 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix} \quad (26)$$

동적 원추세포의 응답을 획득하기 위해, 비선형적인 톤 압축(non-linear tone compression)은 파워 모델을 이용하였으며, CMCCAT2000을 기반으로 한다. 제안한 방법에서 사용한 변형된 멱함수 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R'_{amp} &= 400[(F_L R'/100)^{0.42}/[27.13 + (F_L R'/100)^{0.42}]] + 0.1 \\ G'_{amp} &= 400[(F_L G'/100)^{0.42}/[27.13 + (F_L G'/100)^{0.42}]] + 0.1 \\ B'_{amp} &= 400[(F_L B'/100)^{0.42}/[27.13 + (F_L B'/100)^{0.42}]] + 0.1 \end{aligned} \quad (27)$$

$$k = 1/(5L_A + 1) \quad (28)$$

여기서  $R'_{amp}, G'_{amp}, B'_{amp}$ 은 예측한 동적 원추세포 응답 결과 이다. 주어진 식 (27)에서,  $F_L$  함수는 다양한 휘도 의존 표현 효과를 예측하기 위해 사용된다.

## IV. 실험 및 평가

제안한 영상 보정 방법의 성능 평가를 위해 HDR영

상을 사용하였다. 실험에 사용된 HDR 영상은 <http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/pages/originals.html>에서 획득하였다. 이들 영상들은 보정 방법의 평가를 위해 빈번하게 사용된다.

그림 2와 3은 색상 보정 방법을 수행한 결과 영상이다. 그림 2(a)와 그림 3(a)는 원 영상이고, 그림 2(b)와 그림 3(b)는 iCAM06<sup>[10]</sup>을 수행한 결과 영상이며, 실험에 사용한 Matlab소스 코드는 <http://www.cis.rit.edu/mcsl/icam06/>에서 획득하여 실험에 사용하였다. 실험 결과에서 원 영상에 비해서 후과효과 없이 국부 영상 대비가 잘 개선되었다. 그러나 원추 세포 응답과 간상 세포 응답을 예측하는 과정에서 색상 왜곡(distortion)이 발생한다. 특히 간상세포 응답을 예측하는 과정에서 휘도 요소 (luminance factor)를 사용함으로써 색감(colorfulness)이 떨어지는 경향이 있으며, 이로 인해 붉은 색이 두드러진다. 그림 2(c)와 그림 3(c)는 톤 매핑<sup>[21]</sup> 결과 영상이며, Ref.<sup>[21]</sup>에 따라 Matlab 코드로 코딩하였다. 그 결과 영상은 국부 적응 단계 (local adaptive level)로 나누어 줌으로써 획득되며, 그 결과 전체 영상에서 색상 밸런스가 변하였다. 즉, 결과 영상에서 특정 색상이 두드러진다. 반면, 제안한 방법인 그림 2(d)와 그림 3(d)의 경우 기존의 방법에서 문제점을 해결하기 위해 색도 성분과 비색도 성분 사이의 선형적인 보간 방법을 적용하였으며, 동적 원추세포 응답함수를 사용하였다. 그 결과, 국부 영상 대비가 잘 개선되었을 뿐만 아니라 기존의 방법에 비해 색상의 두드러짐 현상이 줄어들었다.

그림 4는 제안한 방법의 정량적인 평가를 위해 디지털 카메라를 이용하여 정오에 촬영한 영상이며, 정오에 영상을 촬영함으로써 어떤 다른 외적인 조명성분에 영향을 받지 않은 영상을 획득할 수 있다. 또한 어떤 조명 성분에도 영향을 받지 않고 촬영한 영상 실험에 적용함으로써 색상의 왜곡정도를 주관적이 아닌 객관적으로 측정할 수 있다. 즉, 정오에 촬영한 영상을 이용하여 보정을 수행했을 때 색상이 왜곡 되었을 경우 그 보정 방법은 보정 후 색상 왜곡의 문제점을 갖고 있다고 말할 수 있다. 이러한 이유에서 그림 4(a)를 원 영상으로 하여 기존 방법인 iCAM06을 이용하여 보정을 수행한 결과를 그림 4(b)에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 운동장 트랙부분에 원래의 영상 보다 붉은 색상이 두드러졌으며, 건물 주변에 후광효과가 발생한다. 또 다른

방법인 톤 매핑(그림 4(c))의 경우 영상의 전반적인 영역에서 붉은 색상이 두드러짐을 알 수 있다. 그러나 제안한 방법인 그림 4(d)의 경우 특정 색상의 두드러짐이 줄어들었다. 그림 5는 그림 4에 대한 거뭇트 영역 (gamut area)을 측정한 결과를 보여준다. 그림 5는 실험 결과 영상을 거뭇트 영역으로 나타내었다. 여기서 거뭇트 영역은 ICC3D version 1.2.9, copyright(c) 2002-2003 Gjovik university college을 사용하였다. 그림 5(a)는 원 영상에 대한 거뭇트 영역을 나타내고 있으며 중심부에 고르게 색상들이 분포한다. 그러나 iCAM06을 기반으로 한 그림 5(b)의 경우 붉은 색 영역이 넓어 졌으며, 붉은색 방향으로 편향되어 있다. 따라서 붉은 색상이 두드러졌음을 알 수 있다. 그리고 또 다른 방법인 톤 매핑의 경우 원래의 영상과 비교했을 때 거뭇트 영역이 줄어들었다. 그러나 원 영상과 비교했을 때 푸른색의 영역이 현저히 줄었지만, 그 영역이 붉은 색 부분으로 편향됨을 알 수 있다. 이로 인해 그림 4(c)에서 보는 것과 같이 붉은 색상이 두드러지게 보인다. 그러나 제안한 방법 그림 5(d)의 경우 그림 5(b)와

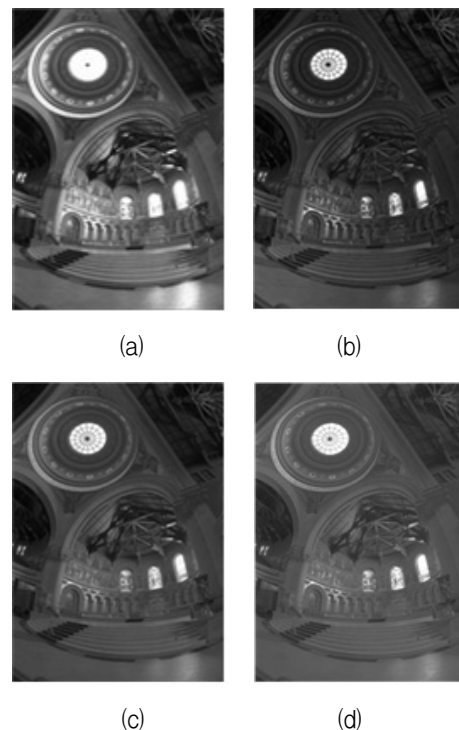


그림 2. “memorial\_o876”영상 (a) 원 영상, (b) iCAM06, (c) 톤 매핑, (d) 제안한 방법

Fig. 2. “memorial\_o867” image with (a) original, (b) iCAM06, (c) tone-mapping, and (d) proposed method.

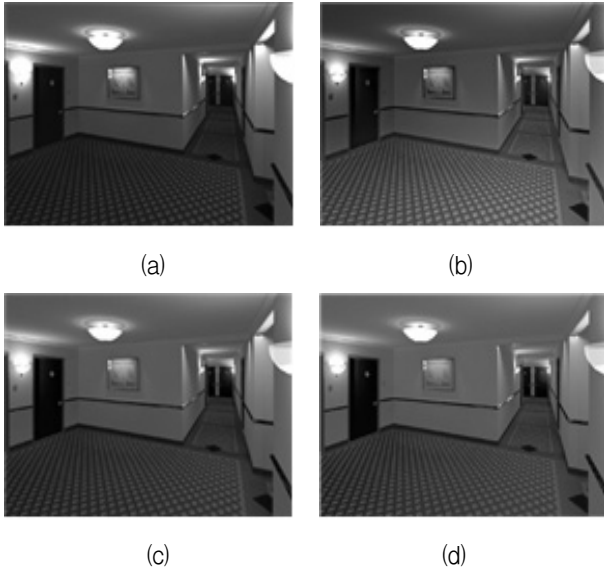


그림 3. “rend02\_oC95”영상 (a) 원 영상, (b) 톤 매핑, (c) iCAM06, (d) 제안한 방법.  
 Fig. 3. “rend02\_oC95” image. (a) original image, (b) iCAM06, (c) tone-mapping, and (d) proposed method.

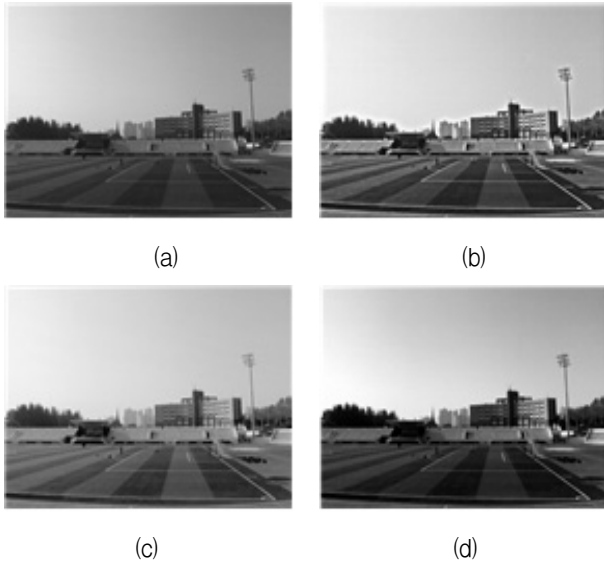


그림 4. 원래환경에서 촬영한 영상 (a) 원 영상, (b) iCAM06, (c) 톤 매핑, (d) 제안한 방법.  
 Fig. 4. Real world scene image. (a) original image, (b) iCAM06, (c) tone-mapping, and (d) proposed.

비교했을 때 거무트 영역이 현저하게 줄어들었다. 반면 그림 5(c)와 비교했을 때 거무트 영역이 비슷한 크기를 갖는다. 그러나 원영상과 비교했을 때 그림 4(c) 보다 근접한 분포를 갖는 것을 그림 5(d)를 통해 확인할 수 있다. 따라서 기존의 방법과 비교했을 때 붉은 색상의 두드러짐 현상이 줄어들었음을 알 수 있다.

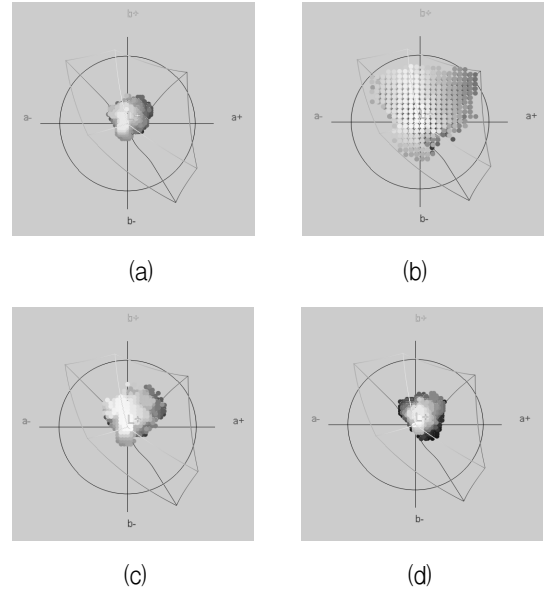


그림 5. 그림 4 영상에 대한 거무트 영역 (a) 원 영상, (b) iCAM06, (c) 톤 매핑, (d) 제안한 방법.  
 Fig. 5. Gamut area for Fig. 4 image. (a) original image, (b) iCAM06, (c) tone-mapping, and (d) proposed.

표 1. 다섯 개의 서로 다른 표준 조명에 대한 예측 에러 비교.

Table 1. Comparison of estimation error according to five standard illuminations.

illumination	iCAM06	Tone mapping	Proposed
A	0.012809	0.017144	0.009755
CWF	0.010984	0.010719	0.001368
D	0.014373	0.014224	0.001610
TL84	0.011529	0.017628	0.001379
UV	0.010584	0.019281	0.001497

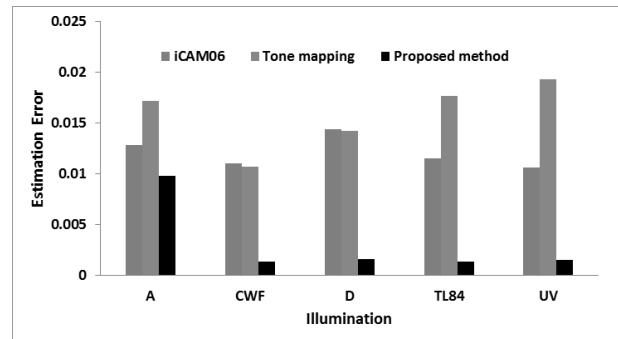


그림 6. 다섯 개의 표준 조명에 대한 예측 에러 비교  
 Fig. 6. Comparison of estimation error according to five standard illuminations.

표 1은 객관적인 측정방법으로 실험하기 위해서 A,

CWF, D, TL84, UV와 같은 표준 조명하에서 촬영한 영상을 통해서 실험 하였다<sup>[22~24]</sup>. 실험 결과 A 조명하에서 촬영한 영상을 적용한 결과 iCAM06의 경우 0.012809이며, 톤 매핑의 경우 0.017144를 나타내었다. 그러나 제안한 방법의 경우 0.009755의 수치를 나타내었다. 다른 4개의 표준 조명하에서 촬영 한 영상에 대해서 기존의 방법과 비교했을 때 제안한 방법의 예측이 가장 낮음을 표 1을 통해서 볼 수 있다.

그림 6은 표 1의 예측 에러 값들을 그래프로 나타낸 것이다.

## V. 결 론

HDR 영상 촬영기법은 기존의 촬영 기법과 비교했을 때 보다 넓은 동적 폭을 갖는다. 그러나 HDR영상은 영상 대비의 문제 점 뿐만 아니라 섬광의 한계를 갖는다. 지난 수십 년 동안 이러한 문제점들을 해결하기 위해 CSR 기법부터 시작하여 iCAM06, ASR, ISR, 톤 매핑 방법 등에 이르기 까지 다양한 방법들이 제안되었다. 그러나 기존의 방법은 후광효과, 색상의 두드러짐, 영상 대비의 문제 등이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 동적 원추세포 응답을 이용한 보정 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 톤 매핑과 동적 원추세포 응답으로 구성된다. 기존의 방법들은 주로 그레이 가정을 기반으로 색상 보정이 이루어진다. 이러한 이유로 후광효과가 발생하게 된다. 이러한 후광효과 의 문제점을 해결하기 위해 톤 매핑 방법에서 색도 성분과 비색도 성분 사이의 선형적인 보간을 이용하였다. 그리고 CAT02를 적용함으로 발생하는 색상의 두드러 짐의 문제를 해결하기 위하여 동적 원추세포 응답 방법을 제안한 방법에 적용하였으며, 이는 CMCCAT2000을 기반으로 한다. 실험에서, 기존의 방법의 문제점인 특정 색상의 두드러짐을 줄일 수 있었다. 이는 거무트 영역 을 통해서 확인 할 수 있었다. 결과에서와 같이 섬광은 원영상과 비교했을 때 현저히 줄어들었으며, 국부 영상 대비와 영상의 세부적인 정보를 영상 왜곡 없이 개선되었다. 보다 객관적인 측정을 위해서 5개의 표준 조명하에서 촬영한 영상을 통해서 예측 에러를 측정하였다. 그 결과 제안한 방법이 가장 작은 예측 에러를 갖는 것을 보여주었다. 향후, 보다 인간 시각에 근접한 영상 보정방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Rizzi, and J. J. McCann, "Glare-limited appearance in HDR images," Journal of the Society for Information Display, Vol. 17, No. 1, pp. 3-12, 2009.
- [2] J. J. McCann and A. Rizzi, "Camera and visual veiling glare in HDR images," Journal of the Society for Information Display, Vol. 15, No. 9, pp. 721-730, 2007.
- [3] R. C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2002.
- [4] Z. Rahman, D. J. Jobson, and G. A. Woodell, "Retinex processing for automatic image enhancement," Journal of Electronic imaging, Vol. 13, pp.100-110, 2004.
- [5] G. A. Woodell, D. J. Jobson, and Z. Rahman, "Method of improving a digital image having white zones," US Patent Application 2003/0,026,494 A1, 2003.
- [6] M. Ebner, Color Constancy, Wiley, London, 2007.
- [7] 최호형, 윤병주, "변형된 영상 생성 모델을 이용한 컬러 영상 보정", 전자공학회논문지 제 48권 SP 편 제 1호, pp. 71-79, 2011.
- [8] H. Korter, and M. Fujita, "Appearance improvement of color image by adaptive scale-gain retinex model," Proc. 10th Color Imaging Conference, pp. 166, 2002.
- [9] L. Wang, T. Horiuchi, and H. Kotera, "High dynamic range image compression by fast integrated retinex method," Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 51, pp.34-43, 2007.
- [10] J. Kuang, G. M. Johnson, M. D. 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.
- [11] Hunt R. W. G, Li C. J, and Luo M. R., "Dynamic Cone Response Function for Model of Color Appearance," Color Research & Application, Vol. 28, pp. 82-88, 2002.
- [12] M. D. Fairchild, Color Appearance models, 2th Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [13] Hunt, R. W. G., The reproduction of color, 6th Edition, John Wiley and Son, Ltd 2004.
- [14] Durand F. and Dorsey J., "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range image," in: Preceeding of ACM SIGGRA 2002, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference



- Proceedings, pp.257-266, 2002.
- [15] N. Noroney, M. D. Fairchild, R. W. G. Hunt, C. J. Li, M. R. Luo, and T. Newman, "the CIECAM02 Color Appearance Model," IS&T/SID 10th Color Imaging Conference, Scottsdale, pp. 23-27, 2002.
- [16] H. R. Kang, Computational Color Technology, SPIE PRESS, 2006.
- [17] Hunt R. W. G, The reproduction of color, 6th edition, John wiley and sons, Ltd, 2004.
- [18] M. D. Fairchild, Color Appearance Model, 2th ed., John Wiley&Sons, 2005.
- [19] G. Ward, High Dynamic Range Imaging, ELVIER, 2005.
- [20] Li C. J. , Luo M. R. , Rigg B, Hunt R. W. G, "CMC 2000 chromatic adaptation transform: CMCAT2000," Color Research and Application, Vol. 27, pp. 49-58, 2002.
- [21] M. Ashikhmin, "A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images," Eurographics Workshop on Rendering, pp. 1-11, 2002.
- [22] In-Su Jang, Kee-Hyon Park, and Yeong-Ho Ha, "Color Correction by Estimation of Dominant Chromaticity in Multi-Scaled Retinex," Journal of imaging science and Technology, Vol. 53, No. 5, 050502-050502-11(2009).
- [23] Oh-Seol Kwon, Yang-Ho Cho, Yun-Tae Kim, and Yeong-Ho Ha, "Illumination Estimation Based on Valid Pixel Selection from CCD Camera Response," Journal of Imaging science and Technology, Vol. 49, No. 3, pp. 308-316 (2005).
- [24] Byoung-Ju Yun, Hee-Dong Hong, Ho-Hyoung Choi, "A Contrast Enhancement Method for HDR Image Using a Modified Image Formation Model," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E95-D, No. 4, pp. 1112-1119, 2012.

---

 저 자 소 개
 

---


**최 호 형**(정회원)

2001년 경주대학교 컴퓨터전자공학부 공학학사 졸업.

2003년 경주대학교 컴퓨터전자공학과 석사 졸업.

2012년 경북대학교 모바일통신공학과 박사

&lt;주관심분야 : 칼라 영상 처리, 컴퓨터 비전, 머신비전&gt;


**윤 병 주**(정회원)-교신저자

1993년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.

2002년 한국과학기술원 전자전산학과 박사

2003년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 계약교수(교수)

&lt;주관심분야 : 3D융합기술, 멀티미디어 신호처리, 영상압축, SVC, HCI, 컴퓨터 비전&gt;