

# Modified iCAM06 기법을 이용한 HDR 영상의 tone compression 개선과 평가

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

## 요 약

HDR(high dynamic range) 렌더링 기술은 다이내믹 레인지가 9 log unit이 넘는 휘도 범위의 일반 장면을 눈으로 보는 장면의 느낌과 최대한 유사하게 일반적인 영상매체에 출력이 가능하도록 8 bit 해상도의 다이내믹 레인지로 변환하는 기술이다. 최근 가장 우수한 성능을 보이는 iCAM06 알고리즘은 iCAM (Image Appearance Modeling)과 CIECAM02를 토대로 만들어 졌으며, 기존 iCAM 모델에서는 제대로 고려하지 못한 공간 필터링 (spatial filtering) 처리와 여러 시각현상을 고려하여 설계하였다. 그러나 iCAM06 모델은 상당히 뛰어난 성능을 가지고 있음에도 불구하고, 몇 가지 문제점을 가지고 있는데, 그 중의 하나가 사용자 설정 변수들이다. iCAM06에서 필요한 입력 변수들은 렌더링 영상에 큰 영향을 끼치지만, 실험적인 최적치로 결정되는 모호한 변수들이다. 본 논문에서는 iCAM06 모델에서 사용되는 사용자 설정 입력 변수들에 대해 다양한 시조건이 고려된 최적의 값을 제공할 수 있도록 정량화된 수식을 제공하고, 또한 개선된 모델을 통하여 향상된 톤 압축의 가시성 결과를 다양한 조건에서의 HDR 영상으로 확인하였다.

## Performance Improvement of Tone Compression of HDR Images and Qualitative Evaluations using a Modified iCAM06 Technique

Jae Hoon Jang<sup>†</sup>, Sung Hak Lee<sup>\*\*</sup>, Kyu Ik Sohng<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

High-dynamic-range (HDR) rendering technology changes the range from the broad dynamic range (up to 9 log units) of a luminance, in a real-world scene, to the 8-bit dynamic range which is the common output of a display's dynamic range. One of the techniques, iCAM06 has a superior capacity for making HDR images. iCAM06 is capable of making color appearance predictions of HDR images based on CIECAM02 and incorporating spatial process models in the human visual system (HVS) for contrast enhancement. However there are several problems in the iCAM06, including obscure user controllable factors to be decided. These factors have a serious effect on the output image but users get into difficulty in that they can't find an adequate solution on how to adjust. So a suggested model gives a quantitative formulation for user controllable factors of iCAM06 to find suitable values which corresponds with different viewing conditions, and improves subjective visuality of displayed images for varying illuminations.

**Key words:** HDR(high dynamic range), iCAM(영상 색재현 모델), Tone compression(톤 압축)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이성학, 주소 : 대구광역시 북구 산격3동 1370(702-701), 전화 : (053)940-8633, FAX : (053)940-8533, E-mail : shak2@ee.knu.ac.kr

접수일 : 2009년 1월 2일, 완료일 : 2009년 5월 29일

<sup>†</sup> 준회원, (주)삼성전자 무선통신사업부 연구원

(E-mail : jh37.jang@samsung.com)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조빙교수

<sup>\*\*\*</sup> 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

(E-mail : kisohng@ee.knu.ac.kr)

## 1. 서 론

일반적으로 눈은 바라보는 장면 (scene)에 대해서 감각할 수 있는 휘도의 범위가 아주 넓지만, 일반적인 영상 저장 및 출력 매체가 가지는 휘도에 대한 다이내믹 레인지 (dynamic range)는 상대적으로 좁다. 따라서 눈으로 보는 넓은 다이내믹 레인지의 느낌과 최대한 유사하게 일반적인 영상 출력이 가능하도록 하기위한 HDR (high dynamic range) 렌더링 (rendering) 기법이 필요하다[1]. 카메라로 장면을 촬영하는 경우 저장된 영상이 눈이 보는 장면과 비슷한 휘도 범위를 가지도록 만들기 위해서는 카메라의 휘도 다이내믹 레인지가 좁기 때문에 노출 값을 달리한 여러 사진을 합성하여 넓은 다이내믹 레인지의 파일로 만들어야 한다. 이렇게 만들어진 HDR 영상은 일반적으로 다이내믹 레인지가 9 log unit이 넘기 때문에,  $R$ ,  $G$ , 및  $B$  각 8 bit씩 할당되어 있는 일반적인 디스플레이 혹은 TV에서는 정상적인 출력이 불가능하다. 따라서 톤 압축 (tone compression) 알고리즘을 사용하여 우리가 눈으로 보는 다이내믹 레인지가 넓은 장면의 느낌과 최대한 유사하게 일반적인 영상 매체에 출력이 가능하도록 만든다. HDR 렌더링 알고리즘들은 많은 수가 개발되어 있으며, 그 중에 최근 가장 우수한 성능을 보이는 것이 iCAM06[1] 알고리즘이다. 이 알고리즘들은 iCAM (Image Appearance Modeling)과 CIECAM02[2]를 토대로 만들어졌으며, 기존 iCAM 모델에서는 제대로 고려하지 못한 공간 필터링 (spatial filtering) 부분과 여러 시각현상을 고려한 알고리즘이다.

그러나 iCAM06 모델은 상당히 뛰어난 성능을 가지고 있음에도 불구하고, 몇 가지 문제점을 가지고 있는데, 그 중의 하나가 사용자가 원래의 장면에 대한 여러 물리 값을 이용하여 모델의 입력 변수를 정해야 한다는 것이다. iCAM06에서 필요한 설정 입력 파라미터 (parameter)는 렌더링 영상에 큰 영향을 끼치지만, 정량화된 관계식이 없기 때문에 반복적인 실험을 통해 사용자 주관으로 최적 치를 찾아야 하는 어려움이 있고, 그것 또한 촬영 환경과 시청 환경을 모두 반영하기 어렵다. 즉, 재현되는 시 환경에 따라서 결과 영상이 다르게 보일 수가 있는데 이에 관한 고려가 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 iCAM06 모델에 사용되는

설정 입력 파라미터에 대한 정량적 관계식을 제공하고, 결과 영상이 재현되는 곳의 시 환경을 고려하기 위해 조명의 존재 유무에 따른 주위 순응 휘도 (surround adaptation luminance)의 크기를 관계 변수로 도입하였다. 제안 모델에 의한 복원 영상의 톤 압축 성능의 개선 정도는 HDR 렌더링 평가 알고리즘을 통해 iCAM06 모델과 비교하는 방법을 사용하여 평가하였다. 복원된 렌더링 영상은 특히 원 장면의 주위 휘도가 낮은, 즉 배경이 어두운 상태 (dim surround)에서 기존의 모델과 비교하여 뛰어난 성능을 보이는 것으로 판단된다.

## 2. iCAM 영상 재현 모델

iCAM06 모델의 알고리즘들은 크게 바이레터럴 필터링 과정[3] (bilateral filtering process), 톤 압축 과정 (tone compression process)을 포함한 색 순응 과정 (chromatic adaptaion process), IPT (Image Processing Transform) [4] 색 공간 (color space)에서의 처리 과정 이 세 부분으로 나눌 수 있다. 그림 1은 iCAM06의 일반적인 처리과정을 나타내고 있다[1].

먼저 iCAM06 모델이 결과 영상을 출력하기 위해서 HDR 포맷의 파일과 입력 파라미터가 필요하다. 여기서 주로 사용하는 HDR 포맷의 파일은  $RGBe$  혹은  $XYZe$ 이다. 입력 파라미터의 종류는 세 가지이며, 원 장면에서 가장 밝은 부분의 휘도  $L_{max}$ , 순응 휘도 (adaptation luminance)의 값에 따라 달라지는 비선형 지수 값  $p$ , 주위 휘도에 따라 선택되는 감마 (gamma) 값이 그 구성요소이다. 이러한 입력 파라미터는 물리적인 측정 값이 존재하는 경우에는 그 값에 따라서 선택되고, 존재하지 않는 경우에는 사용자의 주관에 따라 반복 실험을 통해 최적 값을 설정한다. iCAM06 모델의 초기 입력 값은 CIE 3 자극치 (tristimulus values)이므로, 포토샵 CS3에 의해서 만들어진 HDR 포맷의 파일을 플로팅  $RGB$  값으로 변환한 후, 카메라 모드를  $sRGB$ [5]로 설정하여 촬영한 경우에는  $sRGB$  매트릭스 적용하고, 그 외 경우는 카메라 전달 특성식 (camera transfer function)을 사용하여  $XYZ$  3 자극치 값으로 변환을 시킨다.

### 2.1 바이레터럴 필터

바이레터럴 필터[3]는 눈이 민감하게 반응하는 부

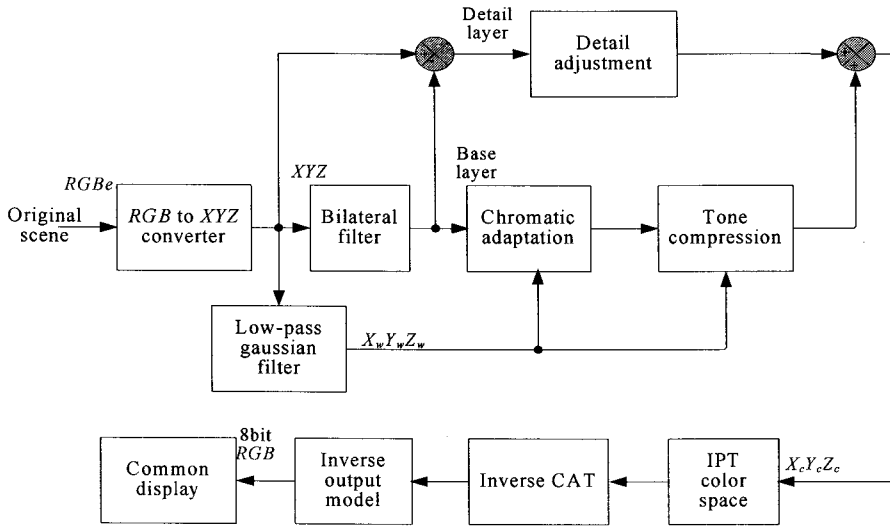


그림 1. iCAM06 순서도

분을 효율적으로 보존하면서 원 장면의 다이내믹 레인지를 줄이기 위해서 사용된다. 인간의 시각 특성 중 CSF (contrast sensitivity function) 감각 특성에 대해 다음 두 가지의 가정이 널리 인정된다. 첫 번째 가정은 눈으로 보는 색 및 휘도는 자극이 가지고 있는 고유의 특성인 반사도 (reflectance)와 조도 (illumination)의 곱으로 결정이 되며, 이 중에서 특히 자극의 반사도에 더욱 민감하다. 두 번째는 인간의 시각은 장면의 전체적인 콘트라스트 (global contrast)보다는 로컬 콘트라스트 (local contrast)에 더 민감하다. 바이레터럴 필터는 눈이 민감하게 반응하는 영상의 로컬 콘트라스트는 최대한 보존하면서 전체적인 영상의 대역폭을 줄여, 제한된 다이내믹 레인지 안에서 영상이 디스플레이를 통해서 출력이 가능하도록 만든 필터이다. 또한 이 필터는 이전의 모델에서 다이내믹 레인지를 줄이기 위해 사용하는 단순한 가우시안 필터링 (Gaussian filtering)이 가지는 치명적인 단점인 후광효과 (halo artifact)를 개선하는 큰 장점을 가진다.

## 2.2 색순응과 톤 압축

색순응 과정에는 디스플레이의 화이트 점 (white point)  $R_w, G_w,$  및  $B_w$  상에 순응되어 있는 원 영상의 색 성분을 D65 광원 하에서 동일한 색으로 보이도록 색 매칭 (color matching)을 시키는 과정과 인간의

눈이 행하는 처리과정과 유사하도록 시세포 반응 함수 (photoreceptor response function)를 사용하는 톤 압축 과정이 포함되어 있다. 여기서 순응 화이트 점을 D65 광원으로 옮기도록 계산하는 이유는 색 순응 과정 이후의 처리 과정인 IPT 색 공간이 D65 광원 하에서 계산되기 때문이다. 색 순응 과정을 거쳐 D65 광원에 순응된  $R', G'$  및  $B'$ 는 톤 압축 과정을 통하여  $R'_a, G'_a$  및  $B'_a$ 로 변환되며, 이들은 각각

$$R'_a = \frac{400(F_L R' / Y_w)^p}{27.13 + (F_L R' / Y_w)^p} + 0.1 \quad (1)$$

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

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

로 계산된다. 여기서  $Y_w$ 는 원 영상에서 가우시안 함수를 사용하여 국부적으로 구해진 화이트의 휘도 값이다. 따라서  $Y_w$ 는 영상의 픽셀마다 달라질 수가 있고, 순응 휘도  $L_A$  또한 각 픽셀마다 다른 값을 가진다. 위의 식 (1)에서 식 (3)까지에서 필요한 변수들인  $F_L, k$  는

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

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

과 같이 계산된다.  $F_L$ 은 위의 식 (1) ~ (3)에서 뿐만

아니라 이후 처리 과정에서 휘도와 관련된 시각 현상을 보상해주는 변수로 사용이 된다. 순응 휘도  $L_A$ 의 단위는 nits를 사용하며, 원 영상의 화이트 휘도의 20%로 가정한다[1]. 톤 압축 과정의 최종 결과 값은  $R'_a$ ,  $G'_a$  및  $B'_a$ 와 로드 (rod) 시세포의 각각의 합으로 계산되며, 이 값은 CIECAM02 에서 소개된 Hunt-Pointer-Estevéz fundamentals 변환 매트릭스로 광원 D65에 순응된 XYZ 3 자극치 값으로 변환된다.

### 2.3 IPT 색공간

IPT는 iCAM06 모델이 CIECAM02 와 CIECAM97s 등과 같은 이전의 현색 모델 (color appearance model)에서 적용이 불가능 했던 Hunt 효과[6] 의 고려를 위해서 사용하는 색 공간으로, I는 명도 채널 (lightness channel)을 의미하고, P와 T는 색도 채널 (chromaticness channel)을 의미한다[4]. 그 중에서도 P는 개략적으로 red-green 채널을 의미하고, T는 yellow-blue 채널을 의미한다. D65광원에 순응된 X, Y, 및 Z의 3 자극치를 IPT 색 공간의 I, P, 및 T의 자극치로 변환하는 과정은

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4002 & 0.7075 & -0.0807 \\ -0.2280 & 1.1500 & 0.0612 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.9184 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} L' &= L^{0.43} \\ M' &= M^{0.43} \\ S' &= S^{0.43} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} I \\ P \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4000 & 0.4000 & 0.2000 \\ 4.4550 & -4.8510 & 0.3960 \\ 0.8056 & 0.3572 & -1.1628 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L' \\ M' \\ S' \end{bmatrix} \quad (8)$$

와 같다.  $L$ ,  $M$ , 및  $S$  자극치는 원추 세포의 반응에 대응되는 값으로 I, P, 및 T의 자극치의 중간 변수에 해당한다. Hunt 효과를 설명하기 위한 관계식은 P와 T의 함수로 다음 식

$$P = P \times \left[ (F_L + 1)^{0.2} \left( \frac{1.29C^2 - 0.27C + 0.42}{C^2 - 0.31C + 0.42} \right) \right] \quad (9)$$

$$T = T \times \left[ (F_L + 1)^{0.2} \left( \frac{1.29C^2 - 0.27C + 0.42}{C^2 - 0.31C + 0.42} \right) \right] \quad (10)$$

으로부터 계산된다. 여기서  $C$ 는 좌표축 PT상에서 원점과의 거리를 의미한다. 위 식에서  $C$ 의 값이 고정일 때, 결과 값 P와 T의 크기가 변화하는 것은  $F_L$ 의 값이 변화함에 따라 달라진다는 것을 알 수 있다.  $F_L$ 의 함수는 순응 휘도  $L_A$ 에 따라 단조 증가하는 함수이기 때문에 주어진 자극의 휘도가 커지면 지각되는 컬러풀니스 (colorfulness)가 증가한다는 Hunt 효과와 일치한다.

### 3. 제안한 상호 시조건을 고려한 iCAM

iCAM06은 파라미터  $p$ 의 값을 0.6에서 0.85까지 범위에서 적당한 값을 할당하도록 제안하고 있다. 예를 들어 실내 장면을 촬영한 경우에는  $p$ 의 값을 낮게 설정하고, 일반적인 주광하의 시 환경이나 원 장면의 정확한 시 환경을 모르는 HDR 영상을 렌더링 하는 경우에는  $p$ 를 기본 값으로 0.7을 설정한다. iCAM06 모델이  $p$ 를 지정하는 방법을 생각해 볼 때  $p$ 는 원 장면의 순응 휘도와 관련이 있다고 생각할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 파라미터  $p$ 를 사용자의 선택에 맡기는 것이 아니라, 원 장면에서 하나의 순응 휘도를 구해내는 동시에 이를 이용한 정량적인  $p$ 의 설정이 바람직하다.

원장면의 순응 휘도를 구하기 위해서는 촬영 환경이 실험실처럼 고정되어 있는 환경이 아니기 때문에 카메라로 원 장면을 촬영하여 그 결과 데이터를 이용해야 한다. 그렇기 때문에 순응 휘도를 얻기 위해서는 카메라의 전달 특성식과 노출 값이 다른 출력 영상 간에 휘도 값의 측정이 가능하도록 일정한 조명하에서 화이트 점 (white point)을 선택하여 휘도와 색도 좌표 (chromaticity coordinates)를 측정하는 것이 필요하다.

카메라의 전달 특성식은 각 카메라 제조사마다 상당히 다르기 때문에 일괄적인 적용이 어렵다. 그래서 대부분의 카메라가 지원하는 sRGB 모드로 원 장면을 촬영하고, sRGB의 알고리즘에 따라 X, Y, 및 Z의 3 자극치를 얻어내는 방법을 사용하였다. sRGB 알고리즘의 입력 값은 카메라 디지털 값 R, G, 및 B가 완전한 선형이라고 가정하고, 그 값은 0에서 1까지로 정규화 되어 있다[5]. 그러나 대부분의 카메라가 촬영 영상의 다이내믹 레인지를 늘리기 위하여 니 쾀트를 (knee control)을 사용하고, 저휘도(low light) 부

의 개선을 위해 비선형적인 보상을 하므로, 카메라가 지원하는 0 ~ 255까지 모든 디지털 값 (digital value)에 역 감마 (inverse gamma)를 적용해서는 이상적인 선형을 구해낼 수가 없다. 따라서 본 논문에서는 계산 과정을 간편하게 하고 정확성을 향상시키기 위해서 0 ~ 255까지의 값을 가지는  $R$ ,  $G$ , 및  $B$  디지털 값 중에서 50 ~ 220까지 값만을 사용하여 0에서 1사이의 값으로 정규화 시키고, 그 후 역 감마를 적용한다. 최종 결과 값인  $X$ ,  $Y$ , 및  $Z$ 의 3 자극치는

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} \quad (11)$$

과 같이 계산되며, 여기서  $R_{sRGB}$ ,  $G_{sRGB}$ , 및  $B_{sRGB}$ 의 3 자극치는 디지털 값  $R$ ,  $G$ , 및  $B$ 를 선형화한 값이다. 식 (11)에서 결과로 출력되는  $XYZ$  3 자극치는  $R_{sRGB}$ ,  $G_{sRGB}$ , 및  $B_{sRGB}$ 의 3 자극치가 0에서 1까지로 정규화 되어 있으므로 0에서 1.089까지 값을 가지는 상대적인 값이다. 그러나 순응 휘도를 구하기 위해서는  $XYZ$  3 자극치의 절대치가 필요하기 때문에, 이를 구하기 위해서는 블랙에서 화이트 점까지 색도 좌표는 동일하나 휘도만 다른 테스트 패치 (test patch)를 여러 노출 값에서 촬영한 영상의 디지털 값들과 각 패치의  $XYZ$  3 자극치의 측정치가 필요하다. 그 다음 과정은 여러 노출 값을 가지는 영상 중에서 테스트 패치를 촬영한 영상의 디지털 값이 포화되지 않고 50 ~ 220사이에 만 존재하는 영상을 고르고, 임의의 화이트 점을 선택하여 카메라 출력  $RGB$ 와  $XYZ$  3 자극치 값 사이에 가장 오차가 적게 맵핑 (mapping)이 되는 화이트 점을 선택한다. 여기서 화이트 점은 선정된 특정 노출 값에서 촬영한 영상에서 변환된  $XYZ$ 의 3 자극치 중에서  $Y$  값이 1일 때의 휘도 값을 의미하며, 촬영한 영상의 노출 값이 다른 경우에는 기준으로 구한 화이트 점의 휘도에 대한 배수로서 원하는 노출 값에서의 화이트 점의 휘도를 구할 수 있다.

결과 영상의 입력이 되는 일반적인 야외 장면은 다이내믹 레인지가 아주 넓다. 따라서 순응 휘도를 구하기 위하여 촬영하는 영상의 개수가 하나로는 부족하다. 또한 카메라 출력 디지털 값의 사용대역을 50 ~ 220으로 제한하기 때문에, HDR 파일 포맷을 만들기 위해서 촬영한 영상의 숫자보다 촬영 횟수가

많아질 수가 있다.

카메라의 노출 값을 변경하면서 촬영할 때는 오차 변인 (error variable)을 최대한으로 줄이기 위하여 ISO감도는 100으로 조리개 수치는  $f/5.6$ 으로 고정하고, 셔터 스피드 (shutter speed)만을 변화시켜 최종적인 노출 값을 결정한다. 최종적으로 화이트로 보이는 자극의 휘도인  $L_w$ 는

$$L_w = 5 \times L_A \quad (12)$$

와 같이 계산되며, 순응 휘도  $L_A$ 는 식 (11)으로부터 구해진  $Y$  자극치의 평균치에 카메라의 노출 값에 따른 화이트 점의 곱으로 구할 수 있다.

$L_w$ 를 입력 값으로 한  $p$ 의 관계식은 Breneman[7] 등이 행한 대응색 실험 데이터 (corresponding color data sets)를 바탕으로 최적의 결과 치를 가지도록 설계했다. Breneman의 실험은 관찰자 각각의 눈이 서로 다른 광원에 순응하도록 하는 색 순응 실험을 하였으며, 본 논문에서 중점적으로 사용하는 데이터는 동일한 D55 광원 하에서 서로 다른 휘도에 눈을 순응시킨 동일 색도간의 다른 광원 휘도간 실험이다 [7]. 실험의 데이터 쌍은 15 와 270  $cd/m^2$ , 130 와 2120  $cd/m^2$ , 및 850 과 11100  $cd/m^2$ 이다. 장면에서 화이트로 보이는 휘도레벨  $L_w$ 로 구할 수 있는  $p$ 는

$$p = 0.391 + 0.114 \times \log(L_w) \quad (13)$$

와 같이 계산된다. 여기서  $p$ 는 식 (1) ~ (3)에서 쓰인 함수의 지수로 사용된다. 제안된  $p$ 에 대한 수식으로 색 순응 모델에 적용했을 때 iCAM06과 비교하여 약 55%의 측색적 평균 오차 개선율을 보였다.

또 다른 파라미터인  $L_{max}$ 는 원 장면 중에서 휘도가 가장 높은 부분을 의미한다. 일반적으로 HDR 영상은 휘도의 다이내믹 레인지가 넓기 때문에 화이트 점보다 더 밝아 보이는 영역의 휘도가 포함될 수 있다. 따라서  $L_w$ 는  $L_{max}$ 보다 항상 작거나 같은 값을 가진다. iCAM06 모델의  $L_{max}$ 가 최대 20000  $cd/m^2$ 으로 고정되어 있다고 가정하면  $p$ 의 값의 범위는 대략 0.5에서 0.854까지 선택될 수 있다.

식 (13)은 전체적으로 어두운 장면을 촬영했을 때  $p$ 의 값을 조절함으로써 영상의 어두운 부분이 너무 어두워서 잘 보이지 않거나 혹은 색의 구별이 불가능하게 되는 것을 막아준다.  $L_w$ 의 변화에 따른  $p$ 의 함수는 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 나타난 6개

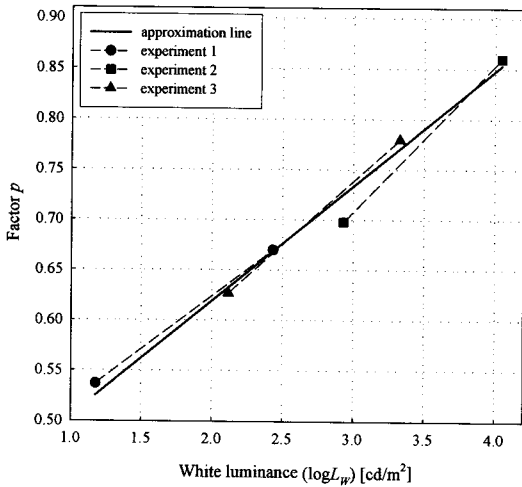


그림 2. Breneman 실험에 따른 화이트의 휘도에 따른  $p$

의 점은 각기 다른 모양으로 두 개씩 짝이 지어있는데 이것은 Breneman 실험상에서 행해진 실험 쌍으로 짝지어져 있고, 각 점은 해당 휘도에서 가지는 실험 데이터와 비교하여 가장 최적화된 값을 표시하고 있으며, 직선은 이를 근사화한 것이다.

iCAM06 모델은 원 장면에 대해서 노출 값을 다르게 촬영한 여러 장의 사진을 합성한 HDR 파일만을 가지고, 모델의 알고리즘에 따라 영상 처리 (image processing)한 결과를 영상으로 렌더링하고 있다. 이는 iCAM06 모델이 원 장면에 대한 시각적 고려만을 하고 있으며, 결과 영상을 보는 시 환경 (viewing condition)은 고려가 되어 있지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 우리가 거실에서 동일한 내용의 영상을 TV를 통해 서로 다른 시간대에 보고 있다고 가정할 경우, 오후에 보는 TV의 밝기 및 명암 정도와 저녁에 보는 TV의 밝기 및 명암 정도가 차이가 남을 충분히 느낄 수 있다. 그러므로 결과 영상을 디스플레이 하여 보는 경우, 출력 시 환경을 고려하여 원 장면과 유사한 느낌이 들도록 결과 영상을 보정해 주어야 한다.

위의 가정은 CSAJ (Color Science Association of Japan), Breneman-L 등에서 행해진 대응색 실험 데이터에서도 확인할 수 있다. 위 사실을 제안한 모델의 알고리즘에 적용하기 위하여, 원 장면의 순응 휘도를 측정하는 것 이외에 렌더링 영상이 디스플레이 되는 곳의 순응 휘도를 측정하여 사용하였다. 측정한 순응 휘도는 새로운 파라미터를 만드는데 사용한다.

원 장면의 파라미터를  $p_1$ 이라 하고, 출력 영상에 대한 주변 시 환경을 고려한 파라미터를  $p_2$ 로 정의하였다. 기존의 모델이 입출력 영상에 대해  $p$  하나만을 이용하였다면, 제안된 모델은 주어진 시 환경에 따라 상호 시조건 변수로  $p_1, p_2$  두 가지를 사용한다. 그림 3은 iCAM06과 제안한 알고리즘을 비교하는 개념도를 나타낸다. 그림에서와 같이 iCAM06은 출력 환경에 대해 고려할 수 없는 구조지만, 제안한 알고리즘은  $p_2$ 에 의해 영상이 렌더링 되는 주위 휘도 (surround luminance)에 영향을 받도록 하였다.

원 장면과 결과 영상을 디스플레이 하는 환경의 휘도차 비를 고려하기 위하여 사용하는 변수  $p_a$ 는

$$p_a = 0.89 + 0.411 \left( 1 - e^{-0.6976 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)} \right) \quad (14)$$

와 같이 계산된다. 수식은 Breneman 실험에와 같은 3쌍의 화이트 휘도 환경에 대해 실제 원 영상과 복원된 HDR 영상간의 톤 맵핑 실험을 통해 유도되었다. 이러한 변수  $p_a$ 를 이용하여 시각 특성을 고려한 최종 원추세포 반응 값  $R'_a, G'_a, B'_a$ 는 각각

$$\begin{aligned} R'_a &= (R_a)^{p_a} \\ G'_a &= (G_a)^{p_a} \\ B'_a &= (B_a)^{p_a} \end{aligned} \quad (15)$$

와 같이 계산된다. 만약 원 장면과 디스플레이 하는 환경의 순응 휘도가 같다면, iCAM06과 식이 동일하게 된다. 위에서 언급한 바와 같이 파라미터  $p_2$ 를 선택하기 위해서 필요한 순응 휘도  $L_{A2}$ 의 환경은 주로 사무실이나 집 등의 실내공간이 주를 이루기 때문에,

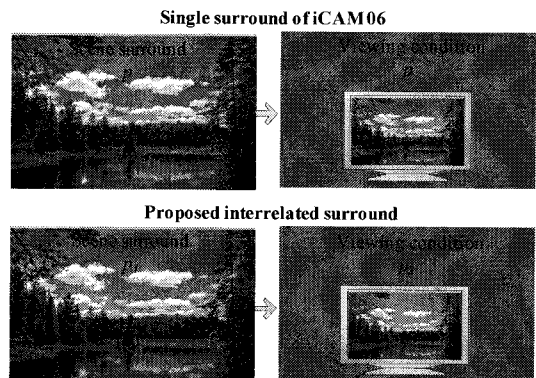


그림 3. iCAM06과 제안 모델의  $p$  사용비교

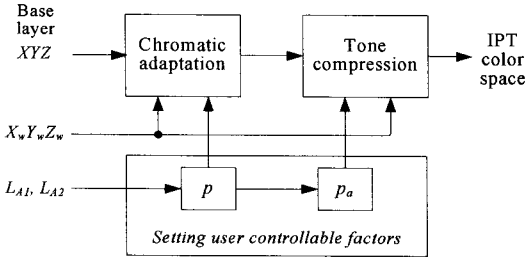


그림 4. 제안한 p 파라미터 자동설정 블록도

순응 휘도  $L_{A2}$ 의 계산을 위해서 필요한 사진의 숫자는 HDR 장면을 촬영한 영상의 다이내믹 레인지 보다 상당히 작으므로 한 장으로 충분하다. 제안한 자동 설정 파라미터  $p, p_a$ 의 블록도를 그림 4에 나타내었다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 모델의 성능을 평가하기 위하여 주관적인 영상 화질 평가를 실시하였다. Fairchild 등이 개발한 HDR 렌더링 평가 알고리즘 [8] (Evaluating HDR rendering algorithms)을 통해 iCAM06 모델과 제안한 모델을 비교하는 방법을 사용하여 제안한 모델의 성능을 평가하였다. 실험 평가 사용한 방법은 HDR 렌더링 영상 평가 방법에서 채택한 방식인 두 영상 대조 비교 방식 (paired of comparison)을 사용하여 실험했으며[1,8], 실험 대상은 포토샵을 통하여 렌더링된 영상, iCAM06모델의 파라미터를 기본 값으로 두고 렌더링한 영상, 논문에서의 파라미터  $L_{max}$ 와  $p$ 의 변화된 값을 적용하여 렌더링한 영상, 및  $p_1, p_2$  모두를 적용하여 서로 비교하는 방식을 사용했다. 두 영상 대조 비교 방식은 여러 샘플 (sample)을 한 시야에 두고, 동시에 비교하는 것이 아니라, 단 두 개의 샘플만을 동시에 비교하여 선호도에 따라 영상을 선택하는 방식이다.

실험을 위해서 참가한 실험자는 색에 대한 전문지식이 있는 20명이 참가했으며, 한 장면을 각 알고리즘마다 하나씩 출력영상을 만들어 동일한 장면 당 2장씩 짝을 지어 서로 비교하였다. 시 환경은 고선명 텔레비전 (High-definition television, HDTV)에서 기준이 되는 시야 거리 (viewing distance)와 시야각 (viewing angle)을 기준으로 실험을 시행했다[9]. 두 렌더링 영상을 디스플레이 할 때, 백그라운드 (background)는

순응 화이트 점의 20%로 고정하여 디스플레이 하였다. 영상을 보는 환경은 순응 휘도를 바꾸어 가며 실험하여, 출력 환경의 변화에 따른 출력 영상의 변화가 고려되도록 실험하였다.

실험은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 원 장면을 고려하지 않고 동시에 디스플레이 된 두 렌더링 영상을 관찰자에게 보여주고, 관찰자가 렌더링 영상에 대한 컬러풀니스, 로컬 혹은 전체적인 콘트라스트, 및 영상의 선명도 등의 전체적인 장면에 대한 느낌으로 선호하는 영상을 선택하는 방식으로 실험을 수행하여 관찰자 한사람마다 66쌍의 실험 쌍에 대해서 선호를 표시하는 방식이다. 두 번째는 원 장면과 그에 해당하는 각 렌더링 영상을 순차적으로 비교하는 방식으로 원 장면이 가지는 색의 휘도 및 컬러풀니스를 어느 정도로 유사하게 표현했는가에 대한 정확도를 평가하는 실험이다. 두 번째 실험의 결과 또한 상대적인 선호를 표시하여 순서를 매기는 방식에 사용하였다. 그림 5와 6은 원 장면을 iCAM06에서

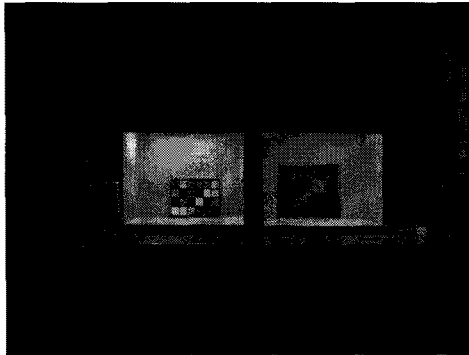


(a)

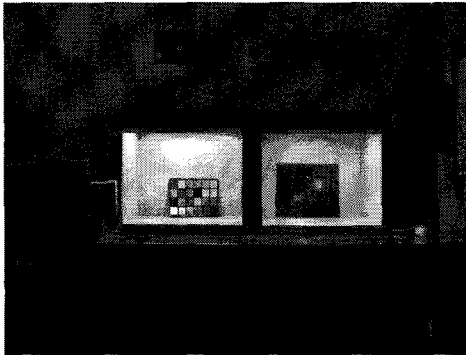


(b)

그림 5. iCAM06과 제안한 모델의 렌더링 영상: (a)  $L_{max}=20000 \text{ cd/m}^2, p=0.7$ ; (b)  $800 \text{ cd/m}^2, p_1=0.5736, p_2=0.6190$



(a)



(b)

그림 6. iCAM06과 제안한 모델의 렌더링 영상: (a)  $L_{max}=20000 \text{ cd/m}^2$ ,  $\rho=0.7$ ; (b)  $800 \text{ cd/m}^2$ ,  $\rho_1=0.5795$ ,  $\rho_2=0.6190$

사용하는 기본 파라미터 값을 적용한 모델과 제안한 모델로 렌더링한 영상이다. 그림 5의 (a)는 전체적으로 선명한 느낌은 들지만 책상 윗부분의 어두운 영역이 너무 어둡게 보이며, (b)는 책상 윗부분의 영역이 보다 선명하게 보이고, 어두운 부분의 컬러풀니스가 높아졌음을 알 수 있다. 그림 6에서는 두 모델이 렌더링한 영상의 차이는 테이블 아래의 박스에서 극명하게 느낄 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 주관적인 평가 실험을 위하여 직접 주변을 촬영한 후, 합성하여 만든 6장의 HDR 파일을 제안한 모델로 렌더링한 영상이다. 그림 (a) ~ (c), (e)는 어두운 실내의 장면을 촬영한 영상이며, (d)는 오후의 밝은 실내 장면을 촬영한 영상이며, (f)는 저녁의 실외 장면을 촬영한 영상이다. 오후의 실외 장면을 촬영하여 HDR 영상을 만들어 디스플레이에 영상을 출력하는 경우에는  $p$ 의 값이 어느 정도 큰 경우에는 결과 영상에 큰 영향을 끼치지 않으므로 실험에서 제외 하였다.

제안한 모델의 주관적인 성능을 알아보기 위해 그림 7의 6개의 영상이 사용 되었으며, 그림 (d)의 경우에는 원 장면의 시야환경과 결과 영상을 제한하는 시야환경과 순응 휘도가 같으므로 제안한 알고리즘을 빼고, 실험을 행하였다. 또한 원본과의 정확도를 평가한 실험은 (a)영상에 한해서만 실험을 했다. 각



(a)



(b)



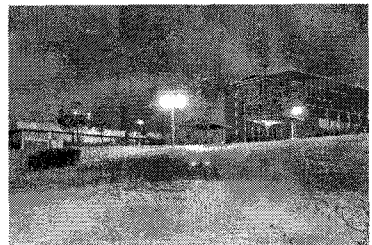
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 7. 실험에서 사용된 HDR 영상: (a) 저녁 연구실1; (b) 저녁 연구실2; (c) 오후 연구실1; (d) 오후 연구실2; (e) 저녁 연구실3; (f) 저녁 야외1



실험원의 선호도의 수치화를 위해서 써스톤 법칙 (Thurstone's Law)의 케이스 5 (case V)에 따라 정량화했으며, 신뢰구간이 95%가 되도록 한정했다 [10]. 그림 8은 각 모델에 대한 선호도를 나타낸 그래프로 각 영상간의 선호도를 평균하여 표시하였다. 주로 원 장면의 순응 휘도가 낮은 경우에는 본 논문에서 제안한 방법에 대한 선호도가 높음을 알 수 있다.

그림 9와 10은 영상에 대한 상대 선호도를 각 영상 및 모델에 따라 나타낸 그래프이다. 그림 8과 9에서 오후 연구실2의 영상에 대한 제안한 알고리즘의 평가가 없는 이유는  $p_1$ 과  $p_2$ 의 값이 같기 때문에, 즉 실험 장소의 순응 휘도와 원 장면의 순응 휘도가 같으므로 제안한 모델의 결과 치는  $p$ 를 식에 따라 변형시킨 알고리즘과 같다. 또한 오후 연구실2에서 iCAM06 과 modified  $p$ 의 실험결과에서도 보듯이 실제로도 구분이 거의 불가능함을 알 수 있다. 원 장면의 순응 휘도가 높은 경우에는, 즉  $p_1$ 의 크기가 어느 정도 큰 경우에는  $p$  값의 변화가 결과 영상에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수가 있다.

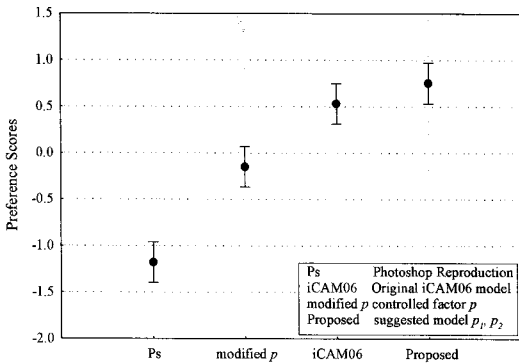


그림 8. 6가지 영상에 대한 각 모델의 전체적인 선호도

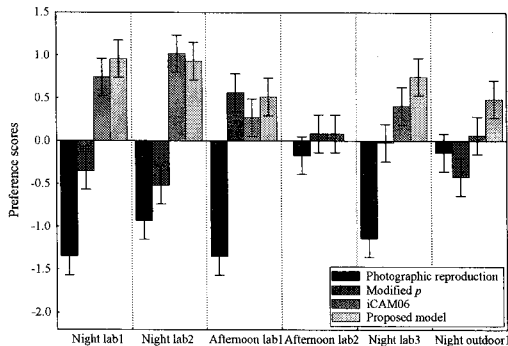


그림 9. 6가지 영상에 대한 선호도

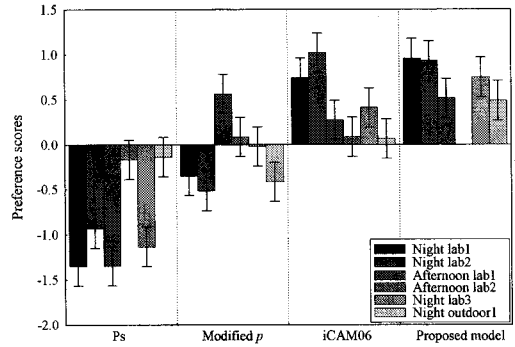


그림 10. 4가지 알고리즘 각각의 6개의 영상에 대한 선호도

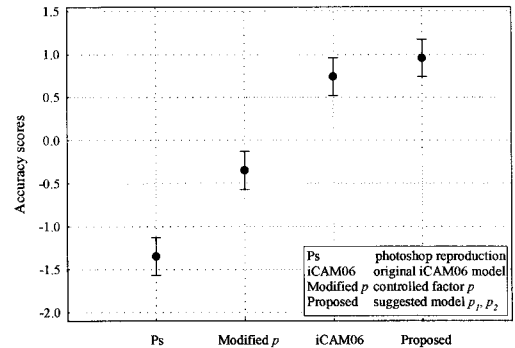


그림 11. 실험 원 영상에 대한 각 모델의 정확도에 대한 선호

그림 9, 10 두 그래프에서 보듯이 영상마다 차이는 있지만 전반적으로 제안한 알고리즘에 대한 선호도가 높음을 알 수 있다. iCAM06에서 기본적인 파라미터 값을 사용한 경우 영상의 컬러풀니스 및 밝기 (Brightness)는 만족스러운 결과를 나타내었지만, 영상에서 어두운 영역에 해당하는 부분의 가시성 (visibility)이 상당히 떨어짐을 느낄 수가 있다.

두 번째 해당하는 영역인 원 장면과 각 알고리즘의 결과 영상 간의 비교는 시간적, 공간적인 제한으로 인하여 하나의 영상만으로 평가하였다. 이 실험의 방법은 눈을 원 장면의 순응 휘도에 충분히 적응시킨 후 바라본 원 장면의 전체적인 밝기, 컬러풀니스, 및 부분적인 사물의 밝기 등을 기억한 후 불을 켜고 기억한 장면과 결과 영상을 비교하는 방식으로 수행하였고, 결과는 그림 11에 나타내었다. iCAM06 모델과 비교하여 제안한 모델이 우수한 결과를 보인다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 iCAM06을 이용한 영상의 톤 압축

시 사용자 설정 파라미터  $p$ 의 변화에 대한 렌더링 영향을 조사하고, 효과적으로 톤 압축된 영상을 복원하기 위해서 가시성 실험 결과와 잘 부합되는 시조건을 고려한 파라미터 선택을 위한 관계식을 유도하였다. 또한 iCAM06 모델이 원 장면의 환경만을 고려해서 결과 영상을 렌더링한 반면, 제안 모델은 원 장면의 시조건과 시청 환경의 시조건 관계에 의해 결과 영상이 우리 눈에 달리 보이는 점을 고려하여 설계되었다. 렌더링 영상의 시청환경의 순응 휘도에 따라 결과 영상에 대한 보정을 해주는 식을 적용하여 최대한 원 장면과 유사한 느낌이 들도록 렌더링 영상을 만들 수 있었다.

차후 연구 과제로서 복원 영상의 중요 파라미터인  $L_A$ 와  $L_W$ 에 대한 정확한 측정과 시각적 정의에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다. 우리가 촬영하는 장면은 물건들의 반사체가 다양하기 때문에 순응 휘도  $L_A$ 에 대한 정의를 명확히 해 둘 필요가 있으며, 또한  $L_A$ 를 구할 때 눈의 시야각의 중요도를 어떻게 적용해야하는가 등도 연구 대상이 되며, 비로소 HDR 영상에 대한 인간의 시각 특성의 정확한 적용이 가능해질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] J. Kuang, Garrett M. Johnson, and M. D. Fairchild, "iCAM06: a refined image appearance model for HDR image rendering," *Journal of Visual Communication*, 2007.

[2] N. Moroney, 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.

[3] F. Durand, J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range image," *In Proceeding of ACM SIGGRAPH 2002, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Proceedings*, pp. 257-266, 2002.

[4] Fritz Ebner and M. D. Fairchild, "Development and testing of a color space (IPT) with improved hue uniformity," *IS&T/SID 6th*

*Color Imaging Conference*, Scottsdale, pp. 9-13, 1998.

[5] M. Stokes and M. Anderson, "A standard default color space for the internet-sRGB," <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>, 1996.

[6] R. W. G. Hunt, *The reproduction of colour*, 6th edition, Fountain Press Ltd., 2004.

[7] E. J. Breneman, "Corresponding chromaticities for different states of adaptation to complex visual fields," *Journal of Optical Society of America*, Vol.4, pp. 1115-1129, June 1987.

[8] J. Kuang, H. Yamaguchi, C. Liu, Garrett M. Johnson, and M. D. Fairchild, "Evaluating HDR rendering algorithms," *ACM Transactions on Applied perception*, 2007.

[9] Charles A. Poynton, *A technical introduction to digital video*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.

[10] L. L. Thurstone "A law of comparative judgement," *Psychological review*, Vol.34, pp. 273-286, 1927.



장 재 훈

2007년 2월 경북대학교 전자전기 공학부 공학사  
 2009년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사  
 2009년 2월~현재 삼성전자 무선 통신사업부 연구원  
 관심분야 : 영상신호처리, Color Appearance Model, HDR



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, DTV 신호처리



송 규 익

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