논문 2008-45SP-5-2

# 평균화면밝기에 기반한 PDP 디스플레이의 특성화 및 색 재현

# ( Characterization and Color Reproduction Based on Average Picture Level of PDP Displays )

권 오 설*, 고 경 우*, 하 영 호**

( Oh-Seol Kwon, Kyung-Woo Ko, and Yeong-Ho Ha )

요 약

본 논문은 PDP TV에서 주위 환경을 고려한 색 재현 방법을 제안한다. 관찰자의 시공간적인 위치에 따라 주변 환경이 변하기 때문에, 디스플레이의 색 재현 과정에서 주위 조명은 반드시 고려되어야 한다. 주변 환경을 고려하기 위한 기존의 방법은 각 채널에서 전압의 이득을 조절함으로써 계조와 포화도를 향상시키기 때문에 인간의 순응 현상을 구현하는데 한계가 있으며, 이에 따라 다양한 주위 조건하에서 정확한 색을 재현하는데 어려움이 있었다. 따라서 이를 해결하기 위해, 본 논문은 먼저 PDP의 물리적 특성인 플레어 현상을 고려하였으며, 디스플레이의 밝기 변화에 따른 특성화 과정을 수행하였다. 또한, 센서로 획득된 주위 조명의 색온도 및 밝기값의 정보를 이용하여 색 순응현상을 적용하였다. 마지막으로 이를 토대로 순응모델을 적용함으로써 가변하는 주변 환경에서도 정확한 색을 재현할 수 있었다. 실험을 통해 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 시각적 평가에서 더 우수함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a method of color reproduction considering the viewing conditions of a PDP TV. Because of a change of peripheral environments by a temporal and spatial location of observers, the ambient lightings should be considered in the process of color reproduction of displays. A conventional method enhances the contrast and saturation of images by controlling voltage gains in each channel, so that there is a limit to implementing the phenomenon of human adaptation. This method also faces difficulties in reproducing the perceived colors under a variety of viewing conditions. Accordingly, in order to solve this problem, we first characterize the device by considering the brightness and the flare effect. The chromatic adaptation is finally applied to reproduce colors in a PDP TV using the information from the viewing conditions by the sensor. The images reproduced by the proposed method are visually more superior to those reproduced by a conventional method in the experiments.

**Keywords**: PDP 특성화, APL, 혼합 색 순응

## Ⅰ. 서 론

디스플레이에서 색 재현을 위한 테스트 시 특정한 표준 환경을 유지하기 위하여 주로 암실에서 실험하고 평가하게 된다. 그러나 TV 시청자가 디스플레이를 시청하는 환경은 늦은 밤을 제외하면 암실환경과 같지 않다. 또한, 관찰자의 주위 환경은 내부 조명 및 태양광의 영향을 받게 된다. 따라서 인간 시각은 주위 환경에 따라 시감특성이 변하는 특성이 있기 때문에 주변 광원에 따른 디스플레이에서 색 재현 알고리즘이 필요하다.[1]

인간의 LMS 시감 특성 곡선들은 주위 환경이 변함에 따라 각기 독립적으로 변하게 되고, 이것을 순응 현상이라고 한다.

주위 환경이 변할 경우 인간의 시각 특성 곡선인 LMS 곡선은 서로 독립적으로 가변한다. 예를 들어 주위 광원이 백열등일 경우 LMS 시각 특성 곡선 중에서 더해진 장파장의 에너지를 보상하기 위해서 L 성분의

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 2008년도 BK21 사업의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2008년1월23일, 수정완료일: 2008년8월7일

감도는 떨어지게 된다. 반대로 주위 광원이 주광등일 경우 형광등에 비해서 단파장을 많이 포함하고 있고, 이로 인해 단파장의 에너지를 보상하기 위해서 인간 시각 특성 곡선의 S 성분은 감소하게 된다. 결국 주위 환경에 따라 인간 시각 특성을 고려하여 백열등하에서는 더 붉게 주광등하에서는 상대적으로 푸르게 영상을 변화시켜야 시각적으로 동일하게 인지된다.

최근에 국제조명위원회 기술 위원회 TC8-04의 몇몇 연구자들은 다양한 주변광의 조건하에서 자발광 디스플레이의 영상과 프린트물 영상의 비교시 시각 시스템의 상태를 조사하기 위하여[2] 시감특성에 따른 색 순응 방법을 연구하였다. 이와 유사하게, Kato는 디스플레이 영상에 적용하기 위하여 S-LMS 공간을 사용한 순응 모델을 제시하였다.[3] 이 방법은 인간 시각 시스템이 주위 광원과 디스플레이의 기준 백색에 각각 부분적으로 순응한다고 가정을 함으로써, 시각이 주위 광원뿐만 아니라 디스플레이에 의하여 일정부분 영향을 받음을 실험으로 확인하고, 이에 대한 모델링 방법을 제시하였다. 그러나, 기존의 방법이 정지영상에서 순응 알고리즘을 적용하기 때문에 실시간 처리 및 주위환경 분석에서 한계가 있다.

제안한 방법은 센서를 이용하여 가변하는 주위 환경을 실시간으로 분석하고, 이를 토대로 동영상에 적용하는 확장된 색 재현 방법을 제시한다. 또한, PDP TV의 특성화 과정에서 발생하는 불안정성을 해결하기 위하여 전체 밝기에 따른 특성화 모델을 적용하였으며, 플레어 현상에 의한 색 표현력 감소를 해결하기 위하여 계조 표현을 향상시켰다. 제안한 방법은 다음과 같은 세 단계로 구성된다. 먼저, PDP TV의 APL(Average Picture Level)을 고려한 특성화를 통해 장치 독립적인 좌표계로 변환하고, 일반 시청 환경과 유사한 TV 밝기에 기반한 특성화 모델을 생성한다. 다음으로 센서를 이용하여 주위 환경 정보를 도출하고, 최종적으로 주위 환경 및 플레어 현상을 해소하기 위한 색 재현 알고리즘을 적용한다.

## Ⅱ. PDP 디스플레이의 특성화

주위 환경을 고려하기 위한 실험에 앞서 장치 독립적인 색 정합을 위해서 PDP 디스플레이의 장치 특성화 과정이 필요하다. 디스플레이의 장치 특성화란 특정 디스플레이 장치에 인가되는 RGB 디지털 신호와 PDP TV의 출력으로 나오는 표준 색 자극치 사이의 관계를 도출하는 것이다. 따라서 특성화가 잘 이루어져 있으면 입력 RGB 값에 따른 출력되는 색 자극 값을 정확히 재현할 수 있고, 역으로 출력 자극 값에 따른 입력 RGB 값도 정확하게 재현할 수 있게 된다. 이를 이용하여 각 장치마다 동일한 색 자극을 표현하기 위한 입력 RGB 값을 찾을 수 있게 된다.

장치 특성화를 수행하는 대표적인 모델로써 GOG 모델과 S-curve 모델 그리고 측정 데이터에 기반한 모델이 있다.[4~5] 그 중에서 GOG 모델은 비록 CRT의 전기-빛 입출력 곡선의 지수적인 특징을 모델링 하였음에도 불구하고 PDP에서도 비교적 정확할 뿐만 아니라 측정한 데이터의 양이 많지 않더라도 사용할 수 있기 때문에 본 실험에서는 GOG 모델을 이용하여 특성화 과정을 수행한다. 즉 PDP에 주어지는 디지털 값과 PDP의 빛 밝기와의 입출력 특성은 gain, offset, gamma로써 나타낼 수 있고 각 채널에 대한 휘도값 (luminance, Y)을 각 red, green, blue 채널별로 다음과 같이 모델링 한다.

$$
R=\begin{cases}\left[k_{g,r}\left(\dfrac{d_r}{2^N-1}\right)+k_{o,r}\right]^{\gamma_r}, & \left[k_{g,r}\left(\dfrac{d_r}{2^N-1}\right)+k_{o,r}\right]\geq 0\\ 0, & \left[k_{g,r}\left(\dfrac{d_r}{2^N-1}\right)+k_{o,r}\right]<0\end{cases}
$$

$$
G=\begin{cases}\left[k_{g,g}\left(\dfrac{d_g}{2^N-1}\right)+k_{o,g}\right]^{\gamma_g}, & \left[k_{g,g}\left(\dfrac{d_g}{2^N-1}\right)+k_{o,g}\right]\geq 0\\ 0, & \left[k_{g,g}\left(\dfrac{d_g}{2^N-1}\right)+k_{o,g}\right]<0\end{cases} \qquad (1)
$$

$$
B=\begin{cases}\left[k_{g,b}\left(\dfrac{d_b}{2^N-1}\right)+k_{o,b}\right]^{\gamma_b}, & \left[k_{g,b}\left(\dfrac{d_b}{2^N-1}\right)+k_{o,b}\right]\geq 0\\ 0, & \left[k_{g,b}\left(\dfrac{d_b}{2^N-1}\right)+k_{o,b}\right]<0\end{cases}
$$

여기서 $d_r$, $d_g$, $d_b$는 입력 디지털 값을 나타내고, $N$은 디스플레이 장치의 입력 디지털 값의 비트 수이다. 또한 $k_{g,x}$ 는 $x$ 채널의 이득이고, $k_{o,x}$ 는 오프셋을 $_x$ 는 감마를 나타낸다. 즉 $2^N$-1을 하면 입력 디지털 값의 최대값이 되고, 입력 디지털 값을 0에서 1까지 정규화하기 위하여 나누는 데 사용된다. R, G, B는 각 채널에서의 입력 디지털 값에 따른 휘도 값을 0에서 1까지 정규화 했을 때의 값이다. 각 채널의 파라미터 값이 추정되면 디지털 값과 빛 밝기간의 모델링이 완성된다.

이때, 디스플레이의 장치 특성화를 수행하기 위해서, RGB 입력 값을 각 6 단계로 나누고 실험 환경에 따라 측정한다. 측정에 사용된 장비는 분광 방사 휘도계

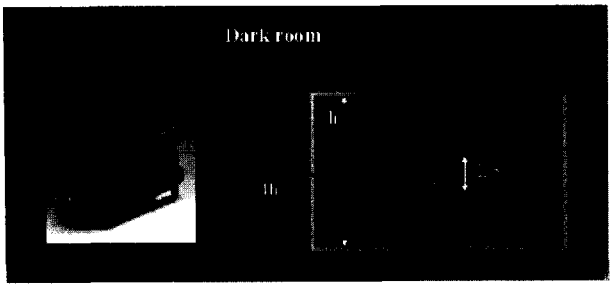



그림 1. 표준 디스플레이의 측정 환경
Fig. 1. Conditions of standard measurement.

(Minolta, CS1000)로써 표준 자극치 CIEXYZ값을 획득할 수 있다. 입력에 사용된 데이터는 표 1에 나타나 있다.각 디스플레이는 GOG 모델에 대해서 추정된 값과 실제 측정값을 비교 분석하였다. 그림 1에서는 IEC (국제전자기술위원회)에서 제시한 PDP 디스플레이의 표준 측정 방법을 보여주고 있다. 1시간 이상 예열된 디스플레이 장치를 디스플레이 장치 높이의 4배 이상 떨어진 거리에서 측정한다. 측정 패치의 크기는 디스플레이 높이의 1/5에 해당하는 크기를 가운데 지점에 위치하고, 배경색은 검은색으로 하였다. 각 PDP TV는 GOG 모델에 대해서 추정하고, 추정된 값과 실제 측정값을 비교 분석하였다.

일반적으로 디스플레이 개발 단계에서는 표준 실험 방법과 같이 암실 환경에서 특정 샘플에 대해서 측정한다. 그러나, 일반 사용자가 TV를 시청하는 환경은 주위의 다양한 색들이 나타나 있는 상태이다. 이는 주위 밝기의 따라 색을 달리 재현하는 PDP의 APL(Average Picture Level) 특성을 고려하지 않은 이상적인 방법이다. 그림 2는 서스테인 수와 APL 상관관계를 나타내고 있다. 서스테인 수는 화소의 밝기를 표현하는데 필요한 펄스 횟수로써, 밝기에 비례한다. PDP 디스플레이는 전체 밝기가 밝은 경우, 서스테인 수를 줄임으로써 절대 밝기를 감소시킨다. 이것은 주위 샘플에 따라 화소의

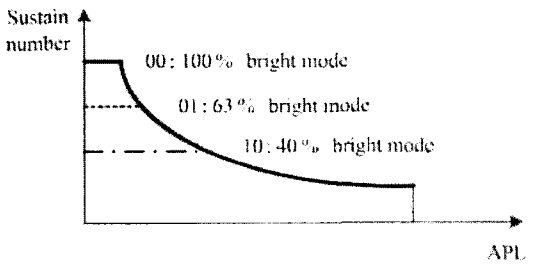



그림 2. 서스테인 수와 APL의 상관관계
Fig. 2. Relation between a sustain number and the APL in bright mode.

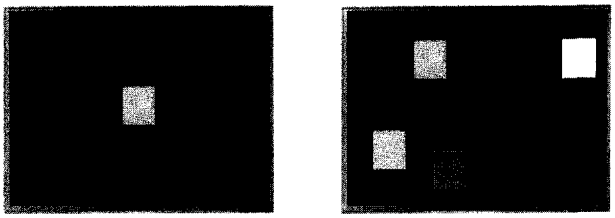


그림 3. 주위에 다양한 샘플을 배치한 예
Fig. 3. An example of various samples around the target.

표 1. 디스플레이 밝기에 따른 삼자극치 값의 변화
Table 1. The change of tristimulus values according to the display's luminance.

| 동일한 입력 | | | 표준 측정 방법의 결과 | | | 제안한 측정 방법의 결과 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | G | B | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 0 | 0 | 0 | 0.21 | 0.2 | 0.17 | 0.21 | 0.2 | 0.17 |
| 0 | 0 | 255 | 101 | 38 | 517 | 78.2 | 29.6 | 399 |
| 0 | 255 | 0 | 78.3 | 186 | 20.3 | 62.1 | 150 | 15.5 |
| 255 | 0 | 0 | 138 | 70.2 | 2.83 | 108 | 55.4 | 2.21 |
| 0 | 255 | 255 | 176 | 209 | 554 | 134 | 164 | 415 |
| 255 | 0 | 255 | 234 | 107 | 482 | 178 | 82.1 | 363 |
| 255 | 255 | 0 | 217 | 255 | 23.5 | 166 | 197 | 17.2 |
| 255 | 255 | 255 | 309 | 290 | 513 | 228 | 218 | 367 |

절대 밝기가 변한다는 것을 의미한다. 따라서 전체 디스플레이의 밝기를 고려한 색 재현이 필요하다.

그림 3은 PDP의 APL을 고려한 색 재현 모드의 예이다. 주위에 다양한 샘플들을 띄워둔 상태로 샘플을 측정할 때와 표준 측정 방법의 결과를 비교 분석해 보았다. 이 방법은 주위 샘플을 제시함으로써 일반 시청 환경과 보다 유사한 상태를 만들 수 있다는 가정을 기반으로 한다. 실험 결과, PDP 디스플레이의 백색의 신호를 인가했을 경우 주위에 샘플이 없을 때는 최대 휘도는 290의 값을 나타내는 반면에 주위 샘플이 있을 때는 218의 비교적 낮은 휘도를 발광함을 알 수 있었다. 이것은 일반 시청자가 단일 샘플만을 시청하지 않는다는 가정에서 볼 때 주위 샘플을 배치한 후 특성화를 수행해야한다는 결론을 내릴 수 있다. 이를 보다 정확하게 수행하기 위해 디스플레이의 주위 샘플을 다르게 변화시키면서 PDP 특성을 조사하였다. 표 1은 디스플레이 내의 주위 샘플의 밝기에 따른 디스플레이 삼자극치 값의 변화를 나타내고 있다.

이를 일반화하기 위하여 디스플레이의 밝기값을 조절하여 전체 밝기값을 향상시키면서 샘플 패치에 최대값을 인가하였을 때의 결과가 그림 4에 나타나 있다.

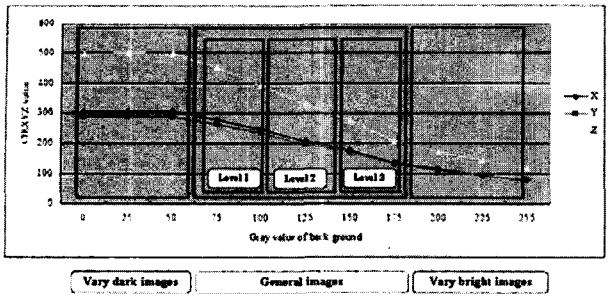



그림 4. PDP 디스플레이의 배경값에 따른 최대 휘도 변화

Fig. 4. The change of maximum values according to the background luminance in PDP displays.

표준 측정 방법은 주위 샘플의 밝기 값을 "0"으로 두고 측정하는 방법으로써 Y값이 300 정도로 나타난다. 그러나, 주위 샘플의 밝기값이 밝아질수록 점차 최대값은 감소하여 주위 배경에 255가 인가되었을 경우 측정샘플의 밝기(Y)는 80정도로 떨어짐을 알 수 있다. 일반적인 TV 시청환경은 복잡한 영상이 다양한 밝기값을 가지게 된다는 가정한다면 표준 특성화 측정 방법은 가장 특수한 경우이므로 일반 시청환경과 동떨어짐을 알 수 있다. 따라서 특성화 과정에서 디스플레이의 밝기를 적절하게 선택하는 것이 필요하다. 여기서 모든 주위 배경의 밝기에 따라 특성화 과정을 수행하고 LUT를 이용하는 것이 정확도 면에서 최선의 방법이나, 이는 실제적으로 적용하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 주위 샘플의 밝기를 5 단계로 결정하여 특성화를 수행하였다. 또한 사용된 PDP TV는 X canvas DN-50PX 40M (50'' PDP)로써 PDP의 특성상 동일 기종이라 할지라도 다른 특성화 곡선을 나타낼 수 있기 때문에 각각에 대해서 특성화 실험을 수행하였다.

## Ⅲ. 센서를 이용한 주변광 획득

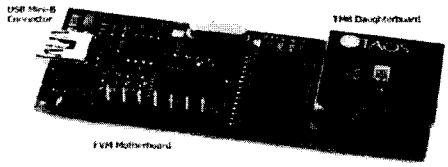
인간의 시각 특성은 주위 환경의 변화에 따라 인지 상태가 달라지기 때문에 주위 환경에 대한 정확한 판단이 우선적으로 이루어져야 한다. 주위 환경은 조명의 밝기값 및 색 온도 등에 의해서 결정된다. 일반 시청환경의 경우 가정에서 TV를 본다고 가정할 때 조명 환경은 형광등 혹은 태양광의 조합으로 결정되며 태양광의 밝기가 변함에 따라 밝기 값이 변하게 되고, 두 광원의 색온도의 조합으로 조명 색상이 결정된다. 따라서 센서를 이용하여 실시간으로 변화하는 조명을 판단하는 실험을 수행하였다.

본 논문에서 사용된 센서는 TSL 2571로써 밝기값과

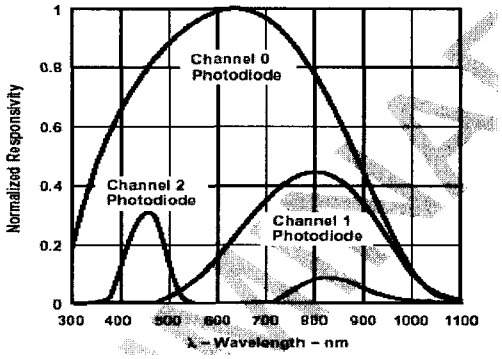
표 2. TSL 2571 센서를 이용한 조명 정보 결과

Table 2. The results of illumination information using TSL 2571 sensor.

| 광 원 | CS-1000 분광 휘도계 | | TSL 2571 센서 | |
|---|---|---|---|---|
| | 밝기값(LUX) | 색온도(CCT) | 밝기값(LUX) | 색온도(CCT) |
| A(부스) | 690 | 2688K | 620 | 3040K |
| D5500(부스) | 571 | 5681K | 520 | 5600K |
| D6200(부스) | 872 | 6200K | 940 | 6000K |
| D6300(부스) | 957 | 6300K | 1060 | 8200K |
| D6500(부스) | 1064 | 6479K | 1220 | 8700K |
| D6500(실내환경) | 138 | 6400K | 109 | 6450K |



(a)




(b)

그림 5. TSL 2571 센서; (a)하드웨어 (b)센서 민감도

Fig. 5. TSL 25751 sensor; (a)hardware and (b) sensitivity.

색온도를 직접적으로 획득하는 센서이다. 이 센서는 가시광선 영역의 파장의 범위뿐만 아니라 300-1100 nm 파장의 넓은 대역을 대상으로 정보를 획득하기 때문에 보다 더 정확하게 색온도의 특성을 알아낼 수 있는 장점이 있다. 그림 5는 TSL 2571 센서와 민감도를 나타낸다. 표 2는 TSL 2571 센서를 이용하여 각 조명에 대한 정보를 획득한 결과이다. 실내 표준 환경은 정확히 정의되지 않았기 때문에 광원을 기준으로 수직 거리로 130Cm 위치에 센서 및 조도계 및 CS-1000을 이용하여 측정하였으며, Gretag Macbeth Judge Ⅲ 부스는 수직 거리 50Cm에서 같은 방법으로 측정하였다. 또한 부스의 광원은 같은 광원이라도 밝기 값을 조절할 수 있기 때문에 다양한 광원에서 실험이 가능하였다. 센서에

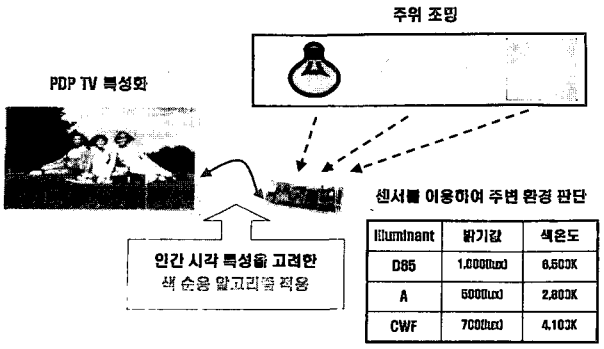



그림 6. 센서를 이용한 주변 환경 정보 검출 과정
Fig. 6. Detection process of information about viewing conditions using sensors.

는 누적시간 조절 등 몇 가지 기능이 추가되어 있지만, 밝기 값이 일정 수준이상이 되면, 채널별로 포화가 되어 밝기 값이나 색도 값을 정확히 표현하지 못하는 단점이 발견되었다. 특히 6000K에서 8000K의 색온도에서 동일 색도를 제시하였음에도 불구하고 오차가 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 만약 이 센서를 이용하여 야외에서 측정하게 된다면, 오차가 더 클 것이라는 것이 예상되나 본 실험에서 요구하는 부분이 아니므로 측정결과는 고려하지 않겠다. 왜냐하면 직사광선과 같은 아주 밝은 부분을 제외하면, 전반적으로 색온도 및 밝기 값이 10% 내의 오차이며, 실험의 디스플레이는 가정용이기 때문에아주 밝은 주위 환경은 배제된다. 센서를 이용하여 주위 환경을 판단하게 되면, 주위 환경을 고려한 색 재현이 가능하다. 그림 6은 센서를 통한 주변 환경 정보 획득과 인간의 순응 특성의 전반적인 과정을 나타내고 있다.

## IV. 주변광을 고려한 색 재현 기법

최근 디스플레이의 연구는 암실과 명실 환경이 다르기 때문에 두 환경에 대해 동시에 특성화를 수행하는 것이 일반적이다. 이것은 암실 환경과 달리 명실 환경하에서 플레어가 발생하는 현상을 고려하기 위함이다. 플레어는 주위 광원이 디스플레이의 표면에서 반사되어 발생하는 것으로써 디스플레이 영상의 색상 및 대비를 감소시키는 원인이 된다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Flare} = R_{bk} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{External\ Flare} = R_{bk} \cdot \frac{M}{\pi} \cdot \frac{1}{y_{Ambient}} \cdot \begin{bmatrix} x_{Ambient} \\ y_{Ambient} \\ 1-x_{Ambient}-y_{Ambient} \end{bmatrix} \quad (2)$$

표 3. 주위 조건에 따른 반사율 데이터
Table 3. Measured data and reflection ratio according to viewing conditions.

| Illuminations | X | Y | Z | $R_{bk}$ |
|---|---|---|---|---|
| 500[lux] | 1.78 | 1.91 | 2.63 | 0.01 |
| 4,000[lux] | 12.76 | 13.5 | 14.63 | 0.01 |
| 9,000[lux] | 29.20 | 30.4 | 39.73 | 0.01 |
| 15,000[lux] | 47.92 | 49.5 | 59.7 | 0.01 |

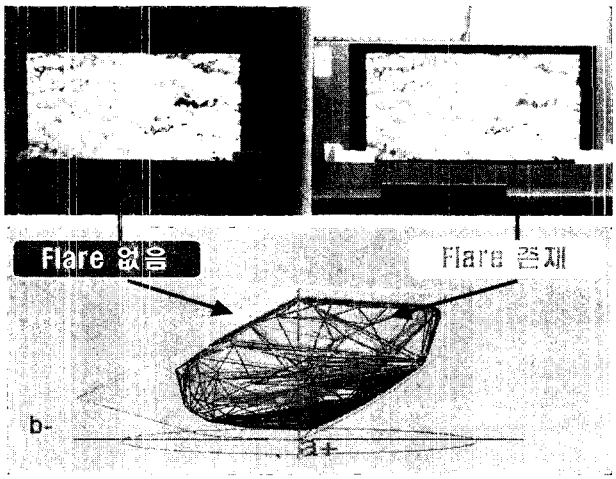



그림 7. 플레어에 의한 화질의 감소
Fig. 7. Image quality decrease by flare effect.

여기서 $M$은 주위 광원의 휘도값이고, $R_{bk}$는 디스플레이에 의한 외부광의 반사율을 나타낸다. 단, 내부 플레어는 무시하였다. 그림 7은 주위 광원에 의해 발생하는 플레어로 인한 화질 감소를 나타낸다. 전반적으로 계조 표현이 떨어짐을 확인할 수 있으며, 이는 색역의 분포를 통해 정량적으로 입증된다.

본 논문은 명실 환경에서 플레어를 고려한 특성화 과정을 거친 후 암실 상태에서 색 순응을 고려한 알고리즘을 적용하는 과정을 적용한다. 명실 환경은 특정한 값으로 고정된 것이 아니라 100cd/㎡의 밝기에서 오차를 가지고 있으며 PDP의 밝기는 300cd/㎡로 측정되었다. 표 3은 주위 광원의 밝기에 따른 플레어의 반사율을 나타낸다. 그 결과로 주위 광원에 대한 PDP에서의 반사율 0.01%로 결정한 후, PDP에서 플레어를 고려하여 새로운 밝기값을 다음과 같이 도출하였다.[6]

$$f(Y) = \{Y/(Y_p + Y_{ill})\}^{\gamma} \quad (3)$$

여기에서 $Y_p$는 PDP 디스플레이의 휘도이며, $Y_{ill}$는 광원에 의한 플레어의 값이다. APL과 플레어가 고려된 새로

운 밝기값은 디스플레이에서 인간 시각 특성을 고려한 값으로 변환해야 한다. 1998년 국제 조명 위원회는 다양한 주변 광원하의 조건에서 출력된 피사체와 자발광 디스플레이를 비교하여 시각 시스템의 순응 상태를 조사하기 위하여 기술 위원회(TC8-04)를 만들었다. 이 위원회의 색 순응의 연구는 프린트된 피사체와 디스플레이의 장치 사이의 대응색을 찾는 모델에 중점을 두었다. 따라서 실험 방법 또한 동일 광원하에 피사체와 디스플레이의 물체가 동일하도록 모델링하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 본 논문은 피사체에 포함된 광원을 알지 못하는 경우 즉, 디스플레이가 원본이 되는 경우에 인간 시각이 주변 광원에 얼마나 영향을 받는가에 관한 결과를 얻는 것이 목적이다. 따라서 실험 방법 또한 각 디스플레이에 다른 색온도의 광원을 다른 밝기로 제시하여 각 조건에서 피실험자가 순응하는 대응색을 찾아내는 실험을 수행하였다.[7~8] 혼합 색 순응은 주위 환경 및 디스플레이에 대하여 인간 시각이 순응한다는 이론으로 일반적인 CAM02 모델에 다음과 같은 수식이 추가된다.[3]

$$\bar{L}'_{n(PDP)} = R_{adp}\left(\frac{Y'_{n(PDP)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{L}'_{n(PDP)} + (1-R_{adp})\left(\frac{Y'_{n(Ambient)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{L}_{n(Ambient)}$$

$$\bar{M}'_{n(PDP)} = R_{adp}\left(\frac{Y'_{n(PDP)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{M}'_{n(PDP)} + (1-R_{adp})\left(\frac{Y'_{n(Ambient)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{M}_{n(Ambient)}$$

$$\bar{S}'_{n(PDP)} = R_{adp}\left(\frac{Y'_{n(PDP)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{S}'_{n(PDP)} + (1-R_{adp})\left(\frac{Y'_{n(Ambient)}}{Y_{adp}}\right)^{1/3}\bar{S}_{n(Ambient)} \quad (4)$$

여기서, $Y'_{n(PDP)}$은 PDP의 백색이고, $Y'_{n(Ambient)}$는 주위 환경의 백색이며, $R_{adp}$는 PDP와 주위 환경에 순응 하는 비이다. 마지막으로 $Y_{adp} = \{R_{adp}Y'^{1/3}_{n(PDP)} + (1-R_{adp})Y^{1/3}_{n(Ambient)}\}^3$ 이다. 그림 8은 전체 알고리즘의 흐름도이다. 먼저 장치 특성화를 통해서 입력 RGB 값을 장치 독립적인 값으로 변환시킨다. 다음으로 주위 환경의 특성을 고려하여 각 요소들에 대한 정확한 값을 획득하고 불완전 순응 모델을 적용한다. 다음으로 주위 환경 및 디스플레이의 특성을 고려한 혼합 모델을 적용하면, 순방향 순응 모델은 완료된다. 이제 최종적인 출력값을 획득하기 위해서 지금까지의 방법을 역순으로 진행한다. 순응된 자극치 값을 장치 독립적인 값인 XYZ 값으로 역 순응 모델을 적용하고 최종적인 디스플레이의 출력값을 획득한다.

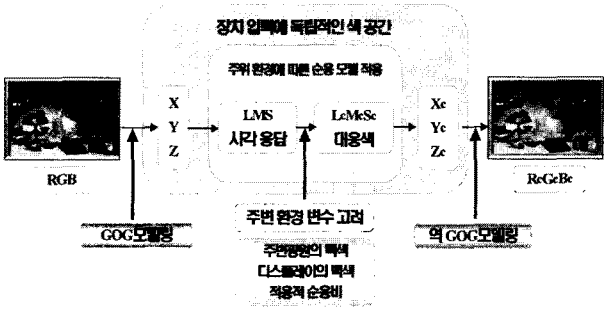
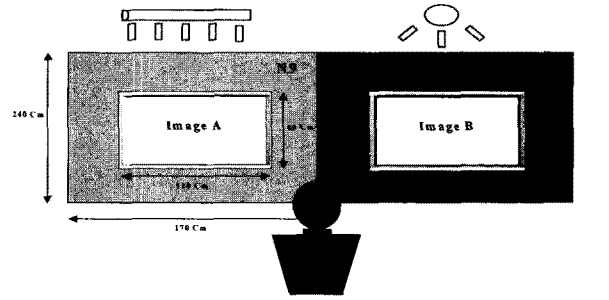



그림 8. 제안한 알고리즘의 흐름도
Fig. 8. Flowchart of the proposed algorithm.

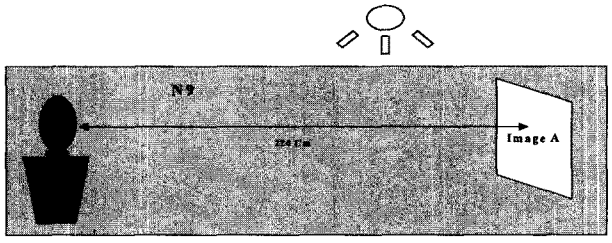
## Ⅳ. 실험 및 결과

실험 환경을 구성하기 위해서 국제 조명 위원회의 표준에 따라 그림 9와 같이 구성하였다. 주위 환경은 조명에 따라 색도와 밝기가 변화시킬 수 있도록 구성하였으며, 각각의 조명이 다른 공간에 영향을 주지 않도록 하기위해서 모든 영역은 Munsell Color Book의 N9 천으로 차단할 수 있도록 하였다. 이 환경에서 주위 광원에 대한 순응 정도를 도출하기 위하여 샘플이 아닌 영상을 이용하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 주위 환경과 디스플레이에 혼합적으로 순응하기 위한 비율을 찾아내는데 사용된다.

PDP의 APL을 고려하기 위한, PDP 디스플레이의 APL에 따른 삼자극치 값의 변화는 표 4와 같다. 즉 5단계의 APL에 따른 특성화를 수행 후, 입력영상의 APL에 맞는 색 재현을 수행한다. 다음으로 주위환경에 대하 순응 비를 실험적으로 도출하기 위해 각 입력 영




(a)




(b)

그림 9. 실험 환경의 구조도; (a)앞면, (b) 옆면
Fig. 9. Experimental specifications; (a) front view and (b) side view.

표 4. 배경의 APL에 따른 삼자극치 값
Table 4. Tri-stimulus values according to APL of background.

| Input value | | | APL (100%) (conventional method) | | | APL (80%) | | | APL (60%) | | | APL (40%) | | | APL (20%) | | | APL (0%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | G | B | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 32 | 0 | 0 | 1.48 | 0.84 | 0.3 | 0.65 | 0.43 | 0.3 | 0.51 | 0.36 | 0.29 | 0.46 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.32 | 0.35 | 0.33 | 0.31 | 0.36 |
| 64 | 0 | 0 | 6.16 | 3.22 | 0.38 | 4.04 | 2.15 | 0.34 | 3.3 | 1.79 | 0.33 | 2.58 | 1.45 | 0.4 | 1.99 | 1.14 | 0.38 | 1.62 | 0.96 | 0.38 |
| 96 | 0 | 0 | 15.4 | 7.9 | 0.53 | 11.6 | 5.97 | 0.45 | 9.51 | 4.98 | 0.43 | 7.72 | 4.06 | 0.47 | 5.89 | 3.13 | 0.43 | 4.9 | 2.63 | 0.43 |
| 128 | 0 | 0 | 29.1 | 14.9 | 0.77 | 23.4 | 12 | 0.66 | 19.5 | 10.1 | 0.57 | 16.2 | 8.34 | 0.6 | 12.6 | 6.53 | 0.52 | 10.4 | 5.4 | 0.5 |
| 160 | 0 | 0 | 47.6 | 24.3 | 1.09 | 39.2 | 20.1 | 0.94 | 32.4 | 16.6 | 0.8 | 27.3 | 14.1 | 0.77 | 21.4 | 11.1 | 0.65 | 17.9 | 9.28 | 0.61 |
| 192 | 0 | 0 | 71.6 | 36.5 | 1.53 | 60 | 30.7 | 1.3 | 50.2 | 25.9 | 1.12 | 42.5 | 21.8 | 1.03 | 33.7 | 17.4 | 0.86 | 27.9 | 14.4 | 0.76 |
| 224 | 0 | 0 | 103 | 52.5 | 2.17 | 87.4 | 44.7 | 1.84 | 73.2 | 37.4 | 1.56 | 61.5 | 31.5 | 1.4 | 48.1 | 24.7 | 1.12 | 39.8 | 20.5 | 0.97 |
| 255 | 0 | 0 | 143 | 72.1 | 2.96 | 121 | 61.4 | 2.49 | 102 | 51.8 | 2.09 | 84.6 | 43.2 | 1.82 | 64.7 | 33.2 | 1.4 | 53.7 | 27.5 | 1.22 |
| 0 | 32 | 0 | 1.01 | 2.14 | 0.42 | 0.48 | 0.84 | 0.32 | 0.39 | 0.64 | 0.3 | 0.39 | 0.56 | 0.36 | 0.33 | 0.44 | 0.34 | 0.29 | 0.38 | 0.34 |
| 0 | 64 | 0 | 4.11 | 9.56 | 1.11 | 2.49 | 5.65 | 0.77 | 2.09 | 4.71 | 0.68 | 1.71 | 3.71 | 0.66 | 1.29 | 2.71 | 0.56 | 1.09 | 2.24 | 0.52 |
| 0 | 96 | 0 | 9.48 | 22.3 | 2.35 | 7.03 | 16.6 | 1.8 | 5.81 | 13.6 | 1.52 | 4.72 | 11 | 1.34 | 3.66 | 8.4 | 1.1 | 3.01 | 6.84 | 0.96 |
| 0 | 128 | 0 | 17.9 | 42.1 | 4.29 | 14.2 | 33.4 | 3.51 | 11.8 | 27.9 | 2.94 | 9.99 | 23.4 | 2.57 | 7.7 | 18 | 20.4 | 6.42 | 15 | 1.73 |
| 0 | 160 | 0 | 28.9 | 67.9 | 6.84 | 23.8 | 56.1 | 5.8 | 19.7 | 46.8 | 4.84 | 16.8 | 39.6 | 4.17 | 13.2 | 31.1 | 3.34 | 11.1 | 26 | 2.84 |
| 0 | 192 | 0 | 42.8 | 101 | 10.1 | 36.1 | 84.7 | 8.69 | 30.3 | 71.3 | 7.33 | 25.8 | 60.6 | 6.29 | 20.6 | 48.5 | 5.08 | 17 | 40.1 | 4.24 |
| 0 | 224 | 0 | 61.2 | 143 | 14.5 | 52 | 122 | 12.5 | 43.9 | 103 | 10.6 | 37.3 | 87.7 | 9.06 | 29.4 | 69 | 7.16 | 24.5 | 57.6 | 5.99 |
| 0 | 255 | 0 | 81.5 | 190 | 19.2 | 70 | 163 | 16.7 | 59.2 | 138 | 14.2 | 50.2 | 118 | 12.1 | 39 | 91.7 | 9.36 | 32.6 | 76.7 | 7.89 |
| 0 | 0 | 32 | 0.98 | 0.5 | 4.22 | 0.44 | 0.31 | 1.5 | 0.37 | 0.28 | 1.09 | 0.38 | 0.33 | 0.91 | 0.33 | 0.3 | 0.67 | 0.3 | 0.3 | 0.55 |
| 0 | 0 | 64 | 3.94 | 1.64 | 19.3 | 2.3 | 1.01 | 11 | 1.94 | 0.88 | 9.15 | 1.58 | 0.79 | 7.02 | 1.22 | 0.64 | 5.2 | 1.03 | 0.57 | 4.23 |
| 0 | 0 | 96 | 9.61 | 3.79 | 48.3 | 6.96 | 2.8 | 34.8 | 5.81 | 2.37 | 28.9 | 4.64 | 1.97 | 22.7 | 3.61 | 1.53 | 17.5 | 2.96 | 1.29 | 14.1 |
| 0 | 0 | 128 | 18.4 | 7.11 | 93.6 | 14.2 | 5.54 | 72 | 11.5 | 4.5 | 58.1 | 9.59 | 3.84 | 47 | 7.34 | 2.98 | 36.5 | 6.12 | 2.52 | 30.2 |
| 0 | 0 | 160 | 31.2 | 11.8 | 159 | 25.3 | 9.63 | 129 | 20.3 | 7.81 | 103 | 17 | 6.59 | 85.7 | 13 | 5.11 | 65.6 | 10.8 | 4.3 | 54.3 |
| 0 | 0 | 192 | 48.5 | 18.7 | 247 | 39.8 | 15.3 | 202 | 32.6 | 12.7 | 166 | 26.8 | 10.2 | 136 | 21 | 8.09 | 106 | 16.8 | 6.54 | 85.1 |
| 0 | 0 | 224 | 73.5 | 28 | 374 | 61.1 | 23.5 | 312 | 50.4 | 19.4 | 256 | 41.6 | 16.1 | 211 | 31.6 | 12 | 161 | 25.7 | 9.81 | 131 |
| 0 | 0 | 255 | 98.5 | 37.4 | 501 | 82.1 | 31.3 | 418 | 67.7 | 25.9 | 345 | 55.8 | 21.4 | 283 | 41.7 | 16.1 | 211 | 33.8 | 12.8 | 173 |
| 0 | 0 | 0 | 0.13 | 0.13 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | 0.25 | 0.18 | 0.19 | 0.26 | 0.24 | 0.25 | 0.34 | 0.24 | 0.25 | 0.34 | 0.24 | 0.25 | 0.34 |
| 255 | 255 | 255 | 306 | 289 | 409 | 246 | 234 | 394 | 207 | 199 | 329 | 176 | 170 | 275 | 135 | 132 | 207 | 113 | 111 | 172 |

상에 대해 혼합 순응 모델을 적용한 영상을 다양하게 제시한 다음, 사용자가 동일하다고 판단되는 영상을 선택하는 방법을 사용하였다. 이때 영상에 따라 순응 비는 0~1 에서 0.1 단위로 총 10개를 구성하였다. 테스트 영상은 국제 조명위원회에서 표준 테스트 영상으로 사용하고 있는 Picnic, Party, Portrait 영상을 포함한 7 가지 영상을 사용하였다.

피실험자의 순응을 위해 실험 방법은 SMH (simultaneous haploscopic) 방법으로 두 눈을 각각의 주위 환경에 적응시켜 물체를 바라보는 방법을 사용하였다. 그림 10은 주위 광원의 색도 및 밝기에 따른 실험의 예를 보여준다. 특히 그림 10(a)의 경우, 피실험자는

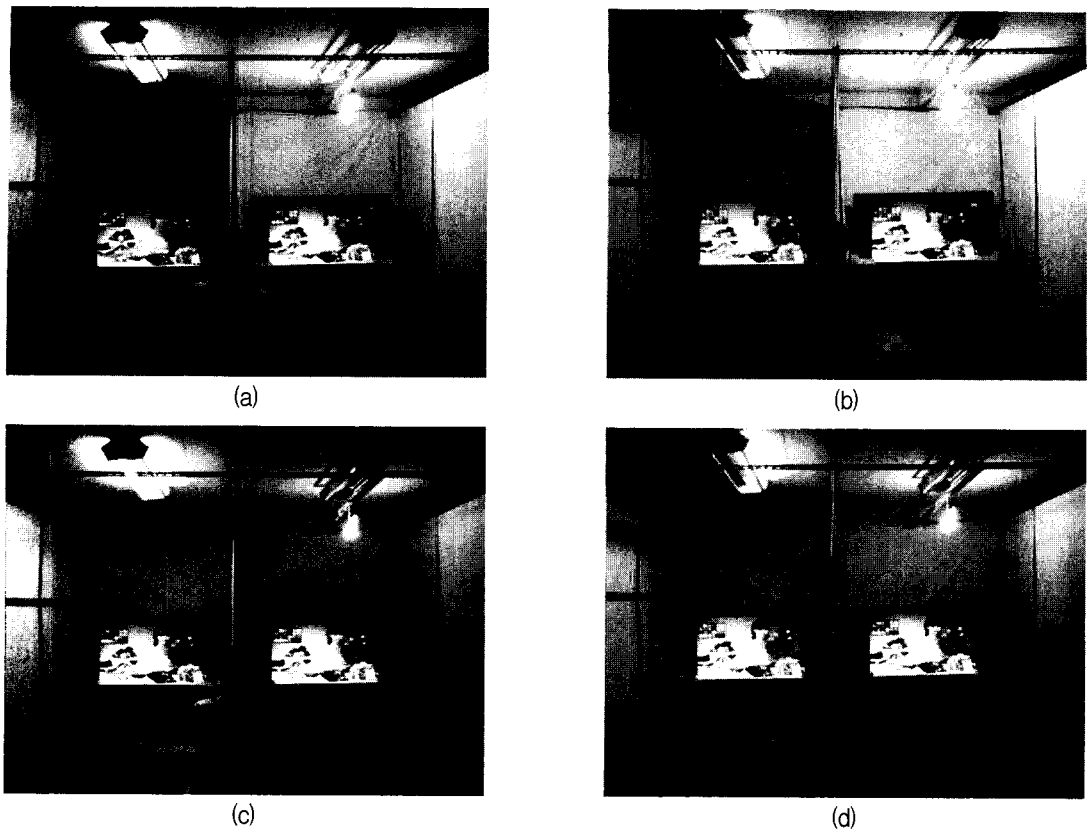



그림 10. SMH 방법을 통한 Picnic 영상 선택 결과의 예; (a) 왼쪽 54cd/m$^2$, 오른쪽 72cd/m$^2$ (b) 왼쪽 29cd/m$^2$, 오른쪽 72cd/m$^2$, (c) 왼쪽 54cd/m$^2$, 오른쪽 33cd/m$^2$ (d) 왼쪽 29cd/m$^2$, 오른쪽 33cd/m$^2$

Fig. 10. Examples of picnic images by observer's selection; (a) left 54cd/m2 and right 72cd/m2 (b) left 29cd/m2 and right 72cd/m2, (c) left 29cd/m$^2$ and right 33cd/m$^2$, and(d) left 29cd/m$^2$ and right 33cd/m$^2$.

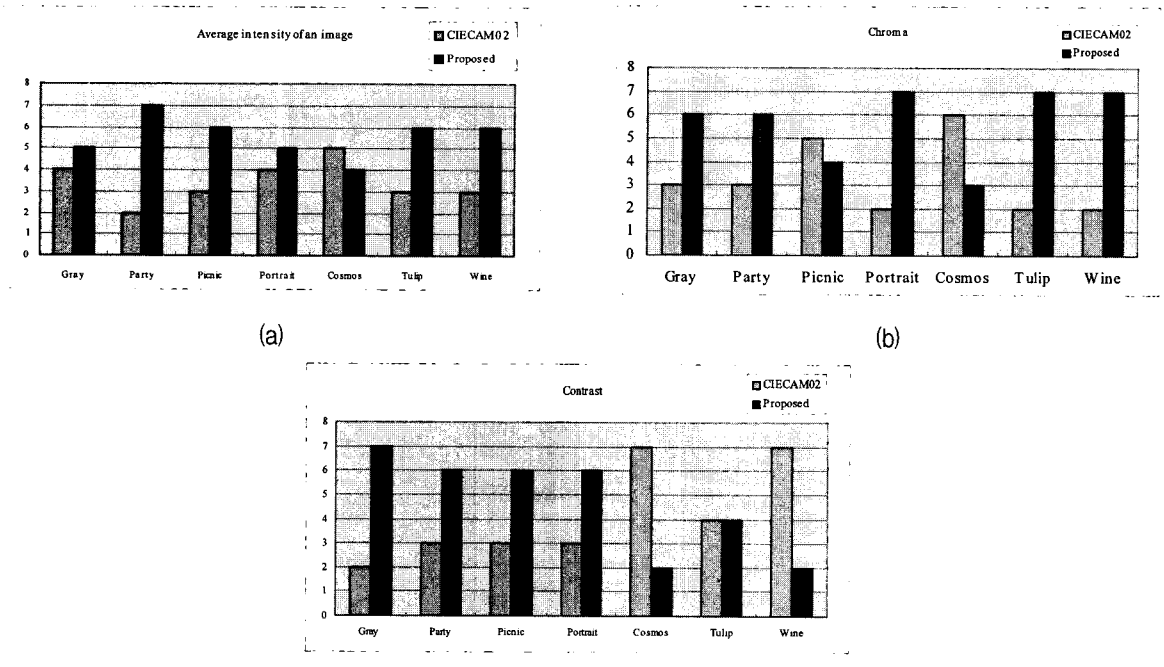



그림 11. 실험 결과 비교; (a)평균밝기, (b)채도, (c)대비

Fig. 11. Experimental results; (a)average picture level, (b) chroma, and (c) contrast.

동일하게 인지되는 영상을 선택한 결과이다. 그림의 영상에서 우영상은 순응 알고리즘을 적용함으로써 조금 붉게 표현되나, 피실험자는 동일하게 인지하였다. 이것은 피실험자의 눈이 각각 다른 환경에 순응하였기 때문에 발생하는 현상으로 시각 특성을 고려한 대응색 재현의 필요성을 나타내고 있다. 그림 11은 Z-score 방법을 이용하여 기존의 방법과 제안한 알고리즘 적용한 후의 영상에 대한 결과이다. 피실험자에게 7 가지의 영상들에 대하여 영상의 채도, 밝기 및 대비에 대한 항목의 유사도를 평가하였으며, 대부분의 영상에서 제안한 방법이 기존 방법보다 우수한 결과를 나타내었다. 유사도를 평가하기 위하여 그림 10에서와 같이 원본 영상을 좌측에 위치시키고, 우측에 제안한 방법과 기존 방법에 의해서 재현된 영상을 각각 나타낸다. 피실험자는 모두 9명으로 순응된 상태에서 좌측에 제시된 원본과 유사한 영상을 택하는 방법으로 실험을 수행하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 PDP TV의 장치 특성화 과정과 센서를 이용한 주위 환경 정보 획득 및 색 현시 모델을 통한 화질 개선을 구현하였다. 이때, PDP의 평균화면밝기에 따른 특성화를 수행함으로써, 시청환경과 유사한 조건을 구성 및 정확한 삼자극치를 표현할 수 있었다. 디스플레이에 대한 특성화 과정을 수행한 후, 센서를 이용하여 주위 조명에 대한 밝기값과 색온도를 검출하여 인간 시각 특성을 고려한 순응 모델을 적용함으로써 인지적으로 동일한 영상을 재현할 수 있었다.

## 참 고 문 헌


[1] M. D. Fairchild, *Color appearance models*, John Wiley and Sons, 2005.

[2] [Online]. Available: http://www.cis.rit.edu/fairchild/PDFs/CIECAM97s REV.pdf

[3] N. Katoh and K. Nakabayashi, "Applying mixed adaptation to various chromatic adaptation transformation (CAT) models," *IS&T 2001 PICS Proceedings*, Montreal, Canada, pp. 299-305, 2000.

[4] R. S. Berns, R. J. Motta, and M. E. Gorzynski, "CRT Colorimetry. Part I: Theory and Practice," *Color Research and Application*, vol. 18, no. 5, pp. 299-314, Oct. 1993.

[5] G. Sharma, "LCDs versus CRTs-Color calibration and gamut considerations," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, no. 4, pp. 605-622, April 2002.

[6] N. Katoh, K. Nakabayashi, M. Ito, and S. Ohno. "Effect of ambient light on the color appearance of softcopy images: Mixed chromatic adaptation for self-lumious displays," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 7, no. 4, pp. 794-806, 1998.

[7] N. Moroney, "The CIECAM02 color appearance model," *Proceeding of the Tenth Color Imaging Conference*, Scottsdale, U.S.A., pp. 23-27, 2002.

[8] Li CJ, Luo MR, Hunt RWG, Moroney N, Fairchild MD, Newman T. "The performance of CIECAM02," *Proceeding of the Tenth Color Imaging Conference*, Scottsdale, U.S.A., pp. 28-32, 2002.


### 저 자 소 개


권 오 설(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 40 권 2 호 참조

고 경 우(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 45 권 1 호 참조

하 영 호(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38 권 3 호 참조