

# 광센서 출력비를 이용한 조명광 판별 시스템의 구현

(Implementation of the Discriminating System for  
Surround Illuminants Using Output Voltage Ratio of  
Photo Sensor)

김은수\*, 박경남\*\*  
(Eun-Su Kim and Kyung-Nam Park)

**요약** 본 논문에서는 광센서를 이용하여 컬러 디스플레이 장치를 사용하는 다양한 주위 조  
명광을 판별할 수 있는 시스템을 구현하였다. 디스플레이를 사용하는 외부 조명광을 판별하기  
위해서 Ye와 Cy 두 출력을 갖는 광센서를 사용하여 조명광 판별 시스템을 구현하였고, 구현한  
실제 시스템에 대한 실험 결과, 조도가 변하는 다양한 조명광에 대해서 광센서의 출력 전압비  
(Ye/Cy)로 조명광의 판별이 가능한 것을 확인하였다.

핵심주제어 : 조명광, 판별 시스템, 광센서

**Abstract** In this paper, We implemented discriminating system for various surround  
illuminants using photo sensor. To discriminate surround illuminants of display device we  
implemented discriminating system using photo sensor which has output of Ye and Cy.  
Experimental results shows that we could discriminate surround illuminants by output voltage  
ratio (Ye/Cy) of photo sensor in the variable luminous intensity of surround illuminants.

**Key Words** : Surround Illuminant, Discriminating System, Photo Sensor

## 1. 서론

TV와 같은 컬러 디스플레이 장치에 표준 시 환경 [1]에서의 색을 재현하기 위해서는 원 피사체에 비례하는 자극치를 재현 하는 측색적 색 재현법과 살색이나 나뭇잎 색과 같은 특정 색에 대한 선호색 재현법을 병용하는 색 재현 방법이 연구되어 왔다[2]. 그러나 실제 컬러 디스플레이 장치를 사용하는 환경은 표준

시 환경과 상당히 다를 수 있다. 실제 일반 가정이나 사무실에서 컬러 디스플레이 장치를 사용하는 경우, 주간에는 자연광 하에서 사용하나 자연광이 부족할 때나 야간에는 백열등, 형광등과 같은 인공 조명광 아래에서 사용하게 된다.

이러한 시 환경의 차이에 의하여 인간 시각계에서는 최대 감도가 각각 575, 530, 및 455 nm 인 3 종류로 색을 구별하는 원추 세포 L (long), M (middle), 및 S (short)의 이득비가 달라지는 색 순응 (chromatic adaptation) 현상이 나타나게 되고[3]-[9], 색 순응 현

\* 선문대학교 전자공학과, 제1저자

\*\* 나사렛대학교 멀티미디어학과, 교신저자

상으로 인하여 사용자는 디스플레이 상에 재현되는 색을 다르게 느끼게 된다.

따라서 시 환경이 표준의 것과 다를 때도 재현된 영상이 원 피사체와 동일한 색으로 보이도록 하는 것이 매우 중요하다.

인간 시각의 색 순응 특성을 고려하여 대응색을 재현하는 방법으로는 여러 가지 모델[3]-[10]이 제안되어 왔고, 이들을 간단히 소개하면, von Kries[4]와 Breneman[9] 등의 대응색 모델은 특정 조명하의 색 순응에서 다른 조명하의 색 순응으로의 인간 시각의 비례 계수 비의 변화가 선형적으로 변화한다고 가정한 선형 순응 변환이 있고, 인간 시각의 자극치 변화를 비선형적으로 가정하여 대응색을 예측한 Bartleson [8], Fairchild[7], CIECAM97s (Commission International de l'Éclairage Color Appearance Model 97 simplified) [10] 및 Modified von Kries Model [11] 등의 비선형 순응 모델이 있다.

이러한 모델을 실제 디스플레이 장치에 적용하여 구현하기 위해서는 주위의 조명광을 판별해야하는 선행 문제가 해결되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 표준 시 환경과 다른 환경 하에서 컬러 디스플레이 장치를 사용할 때, 인간 시각의 색 순응 현상을 고려하여 표준 시 환경에서의 원 피사체의 색과 동일하게 보이는 색 재현 시스템을 구현하기 위한 선행 과제로 광센서를 이용하여 주위 조명광의 판별할 수 있는 방법을 제안하였다.

## 2. 조명광의 판별을 위한 Ye 및 Cy의 2 자극치로부터 CIE X, Y, 및 Z 3 자극치로의 변환 관계

본 논문에서는 디스플레이를 시청하는 외부 조명광을 판별하기 위해서 옐로우 (yellow, Ye)와 사이안 (cyan, Cy)의 두 출력을 갖는 광센서를 사용하였다.

광센서의 Ye 및 Cy의 출력을 파장에 대한 상대적인 감도 특성과 xy 좌표는 각각 <그림 1>과 <표 I>에서와 같다.

이 광센서를 사용하여 색온도를 측정하려면 입력 조명광의 xy 좌표를 구할 필요가 있다. 이를 위하여

Ye 및 Cy의 2 자극치로부터 CIE X, Y, 및 Z 3 자극치로 변환 관계를 매트릭스로 표현하면 다음식과 같이 되고, 여기서 파장은 380 ~ 750 nm 까지 5 nm 간격으로 샘플하여 구하였다.

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \cdots & \bar{x}_n \\ \bar{y}_1 & \bar{y}_2 & \cdots & \bar{y}_n \\ \bar{z}_1 & \bar{z}_2 & \cdots & \bar{z}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{y}_{e1} & \bar{y}_{e2} & \cdots & \bar{y}_{en} \\ \bar{c}_{y1} & \bar{c}_{y2} & \cdots & \bar{c}_{yn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

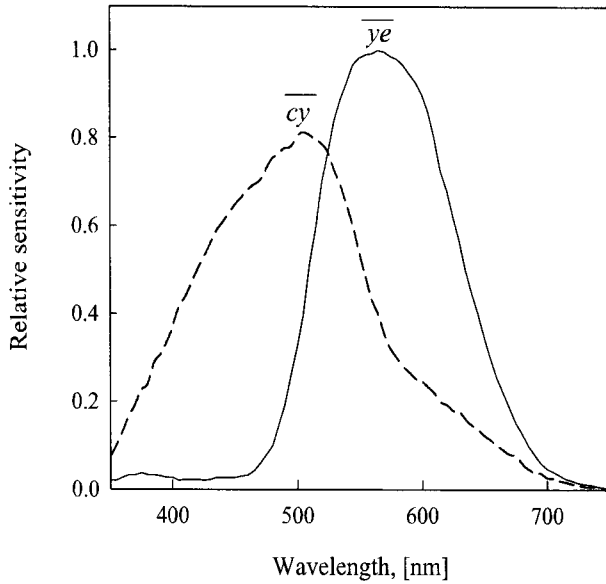
위 식의 첫 행을 정리하여 매트릭스 형태로 다시 표현하면

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y}_{e1} & \bar{c}_{y1} \\ \bar{y}_{e2} & \bar{c}_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ \bar{y}_{en} & \bar{c}_{yn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \end{bmatrix} \quad (2)$$

가 되고, 이 식은 방정식의 수가 많고 미지수의 수가 적은 경우이므로 일반화된 역 행렬 (generalized inverse matrix) 방법을 사용하여 최소 오차를 갖는 미지수를 구할 수가 있다. 따라서 미지수  $a_{11}$  및  $a_{12}$  는

$$\begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} \bar{y}_{e1} & \bar{c}_{y1} \\ \bar{y}_{e2} & \bar{c}_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ \bar{y}_{en} & \bar{c}_{yn} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \bar{y}_{e1} & \bar{c}_{y1} \\ \bar{y}_{e2} & \bar{c}_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ \bar{y}_{en} & \bar{c}_{yn} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} \bar{y}_{e1} & \bar{c}_{y1} \\ \bar{y}_{e2} & \bar{c}_{y2} \\ \vdots & \vdots \\ \bar{y}_{en} & \bar{c}_{yn} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

로 주어진다. 이와 같은 방법으로 나머지 미지수를 구하면 다음식과 같이 Ye 및 Cy의 2 자극치로부터 CIE X, Y, 및 Z 3 자극치로의 변환 관계를 구할 수 있다.



<그림 1> 광센서의 파장에 따른 상대 감도

<표 I> CIE 1931과 광센서의 옐로우 및 사이안의 xy 색 좌표

	Ye		Cy	
	x	y	x	y
CIE 1931	0.4446	0.5498	0.2186	0.3528
AM-32-CY-02	0.3810	0.6122	0.2270	0.4085

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} Ye \\ Cy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ye \\ Cy \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.7619 & -0.0623 \\ 0.8111 & 0.0845 \\ -0.6667 & 1.3505 \end{bmatrix} \quad (5)$$

앞의 식에 다음 식 (6)을 적용하고[3], 양 변을 자극치 Y 로 나누어 다시 정리하면 식 (7)로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} X/Y \\ Y/Y \\ Z/Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x/y \\ 1 \\ z/y \end{bmatrix} = \frac{1}{Y} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ye \\ Cy \end{bmatrix} \quad (7)$$

또한 식 (7)의 첫째 행과 세째 행을 취하여 역 변환하면

$$\begin{bmatrix} Ye \\ Cy \end{bmatrix} = Y \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x/y \\ z/y \end{bmatrix} \quad (8)$$

로 표현되고, 여기서 자극치 Y는 다음과 같은 식이 되며,

$$Y = a_{21}Ye + a_{22}Cy \quad (9)$$

이다. 식 (8)의 역 행렬을 아래의 식 (10)과 같이 표현하면, 식 (8)은 다음 식 (11)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}^{-1} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} Ye \\ Cy \end{bmatrix} = (a_{21}Ye + a_{22}Cy) \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x/y \\ z/y \end{bmatrix} \quad (11)$$

따라서 광센서의 출력 전압 Ye 와 Cy 의 관계는

$$Ye = \frac{b_{11}x + b_{12}z}{b_{21}x + b_{22}z} \cdot Cy \quad (12)$$

로 주어진다.

예를 들면 식 (12)의 관계로부터 <표 II>의 디스플레이 기준 백색과 대표광에 대해서 광센서의 Ye와 Cy의 출력 전압비를 구해 보면 <표 III>과 같이 나타나고, Cy 출력 전압에 대한 Ye 출력 전압의 관계는 <그림 2>에서와 같다.

그리고 구해진 Ye와 Cy의 출력 전압비에 대해서 식 (4)를 적용하여 얻어진 자극치 X, Y, 및 Z에 식 (6)을 적용하면 조명광의 xy 좌표를 얻을 수 있다.

일반 가정의 조명광은 주로 백열등이나 형광등을 사용하므로 TV 수상기나 PC 모니터에 적용하기 위해서는 조명광의 정밀한 색온도 측정보다는 조명광의 분류가 더 필요하다.

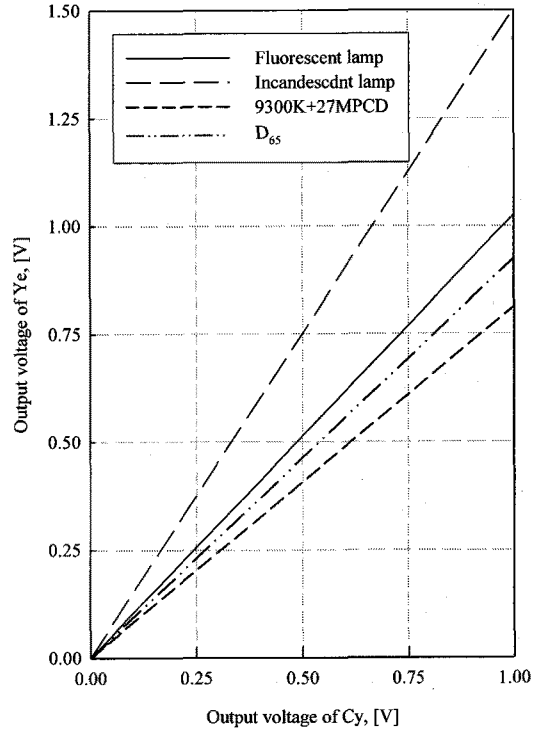
식 (12)의 관계로부터 조명광의 대표적인 xy 좌표가 주어지면 광 센서의 Cy 출력 전압에 대한 Ye 출력 전압비로 조명광을 분류할 수 있다. 즉, 광 센서의 Cy 출력 전압에 대한 Ye 출력 전압비가 1.5 정도이면 백열등이고, 1.0정도이면 형광등으로 판별할 수 있다.

<표 II> 디스플레이 기준 백색과 대표광원의 색도 좌표

Display white and illuminant	Chromaticities, $W_D$ or $W_L$			
	$u$	$v$	$x$	$y$
D <sub>65</sub>	0.1978	0.3122	0.3127	0.3290
9300 K + 27 MPCD	0.1822	0.3024	0.2810	0.3110
Incandescent lamp	0.2560	0.3495	0.4476	0.4075
Fluorescent lamp	0.1675	0.3360	0.3060	0.4100

<표 III> 기준 백색과 대표광원에 대한 광센서의 Ye/Cy 비

Display white and illuminant	Ye/Cy
D <sub>65</sub>	0.924
9300 K + 27 MPCD	0.813
Incandescent lamp	1.501
Fluorescent lamp	1.025



<그림 2> 대표 조명광에 대한 Ye와 Cy의 출력 전압

### 3. 주위 조명광 판별 시스템의 구현

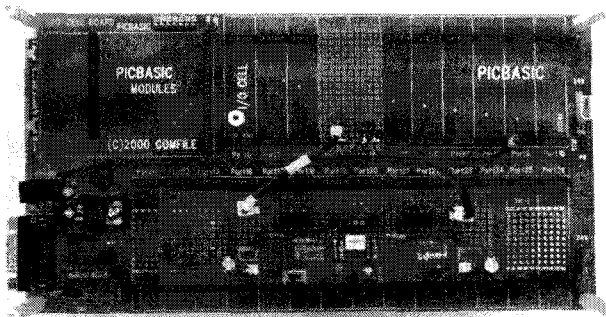
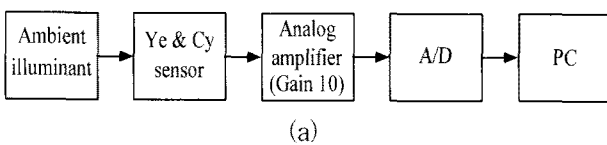
주위 조명광의 판별을 위한 시스템의 실제 구현하기 위해 실생활에서 사용하고 있는 여러 가지 조명광들을 대신하여 GretagMacbeth 사의 viewing box (The Judge II model)에 설치되어 있는 광원을 대상으로 하여 실험을 하였다. Viewing box에는 A, CWF, D50, D65, 및 D75광의 조명을 나타낼 수 있도록 백열등과 형광등이 설치되어 있으며, 내부 벽면은 조명광의 특성을 viewing box 안의 모든 장소에 대해서 균일하게 유지하기 위해서 무광택 재질로 되어 있다. Viewing box에 설치되어 있는 광원의 특성과 광센서의 실제 동작 특성을 측정하는 실험은 다른 주위 조명의 영향을 최소화 하기 위해서 2 lx 이하의 암실 [12]과 같은 상황에서 이루어졌으며, 측정 장비로는 chroma meter (MINOLTA CS-100, CL-100), LCD color analyzer (MINOLTA CA-210), 및 디지털 오실로스코프를 사용하였다. 설치되어 있는 백열등 및 형광등의 모델명과 측정된 색 좌표 및 색온도는 <표

IV>와 같다.

주위 조명광의 판별을 위한 시스템을 구현한 하드웨어의 전체적인 블록도와 구현한 하드웨어는 <그림 3>에서와 같다. 주위 조명으로부터 입사되는 광이 광센서에 의해 Ye 및 Cy의 전압값으로 출력되고, 이들 전압값들은 A/D 컨버터의 full range를 고려해서 하드웨어에 적용할 수 있도록 약 10배의 증폭이 이루어지고, 증폭된 광센서의 전압값들은 A/D 컨버터에서 8 Bit의 디지털 값들로 변환된다. 디지털 값들은 조명광의 세기와 주위 조명광의 색 좌표를 추정하기 위해서 RS-232c 통신으로 PC로 전달되도록 하였다.

<표 IV> Viewing box 설치 광원의 색 좌표 및 색온도

Illnminant	x	y	Color temp.	Model
A	0.453	0.412	2500K+0MPCD	Incandescent lamp
CWF	0.376	0.407	4300K+30MPCD	Cool White F20T12/CW
D <sub>50</sub>	0.341	0.370	5200K+20MPCD	5000 F20T12/50
D <sub>65</sub>	0.308	0.336	6700K+18MPCD	6500 F20T12/65
D <sub>75</sub>	0.300	0.317	7400K+7MPCD	7500 F20T12/75



<그림 3> (a) 조명광 판별 시스템의 블록도 및 (b) 하드웨어

#### 4. 실험 및 고찰

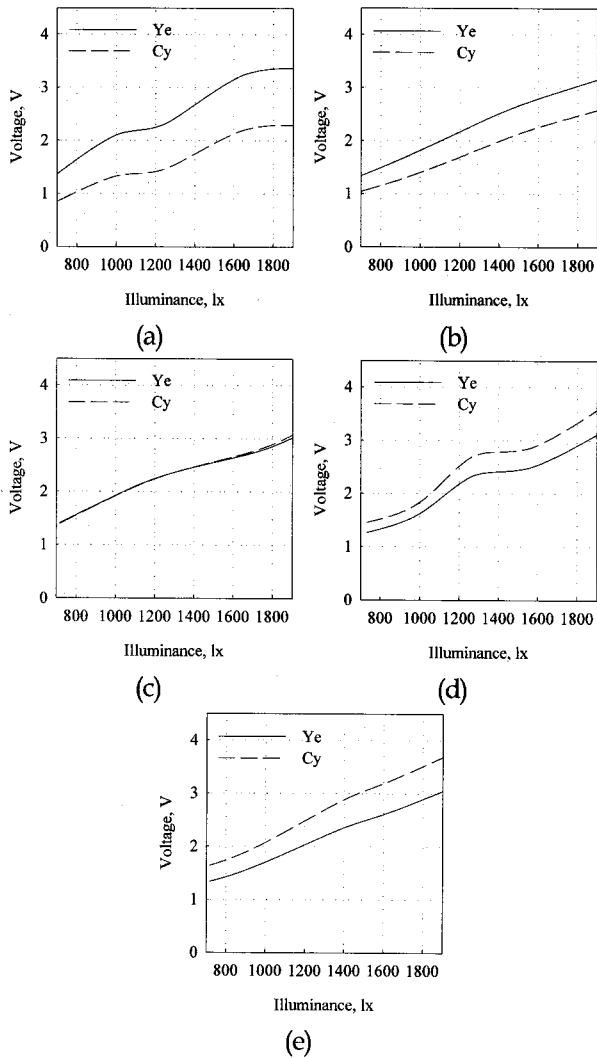
주위 조명광의 판별을 위한 시스템은 다음과 같은 실험을 통해 구현하였다. 앞의 식 (17)에 보인 것과 같이 광센서의 출력 전압비 (Ye/Cy)로써 주위의 조명광을 판별하기 위해 <그림 3>에 구현한 하드웨어를 이용하여 viewing box에 설치되어 있는 광원들에 대한 조도에 따른 광센서의 출력 전압을 측정하는 실험을 하였다.

광원들을 각각 단일 조명상태에서 조명광의 조도 650, 950, 1250, 1550 및 2000 lx 로 달리한 상태에서 광센서의 출력 전압 특성을 <그림 4>에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 조명광의 조도에 상관없이 광센서의 출력 전압비가 거의 일정함을 알 수 있다.

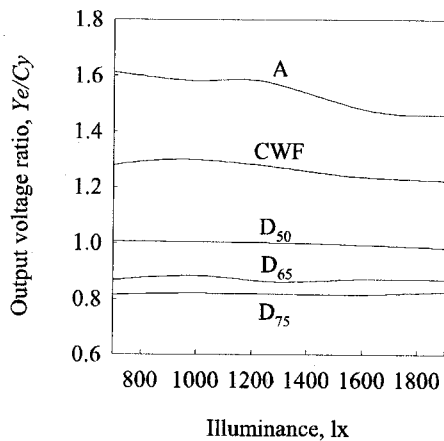
즉, <그림 5>의 광센서의 출력 전압비(Ye/Cy)에 나타난 것과 같이 대표광원 하에서 광센서의 출력 전압비는 A광원의 경우에는 1.54 정도이고, D65광원의 경우에는 0.86 정도임으로 광센서의 출력 전압비로써 주위 조명광을 명확하게 판단하여 분류할 수 있었다. 실험을 통해 측정한 각 광원들에 대한 광센서 출력 전압비의 최대, 최소, 및 평균치를 계산하여 <표 V>에 나타내었다.

최종적으로 구현한 주위 조명광의 판별을 위한 시스템은 앞의 <그림 3>과 같이 구현한 하드웨어로부터 입력신호를 받아 소프트웨어에서 각 조명에 대한 광센서 Ye 및 Cy의 전압값을 디지털 값으로 받아 들이게 된다. 이렇게 하드웨어부분에서 받은 광센서의 출력전압을 이용하여 조명광을 판별해본 결과, 실험에 사용한 각 조명광들에 대해서 <그림 6>에서와 같이 출력 전압비가 서로 상충되어지는 값들이 없는 것을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 조명광 판별 시스템은 다양한 조명광에 대해서 조도가 변함에도 불구하고 각 조명광을 정확히 구별할 수 있는 광센서의 출력 전압비의 범위가 출력되어 여러 가지 조명을 정확하게 구별할 수 있다는 것을 확인하였다.



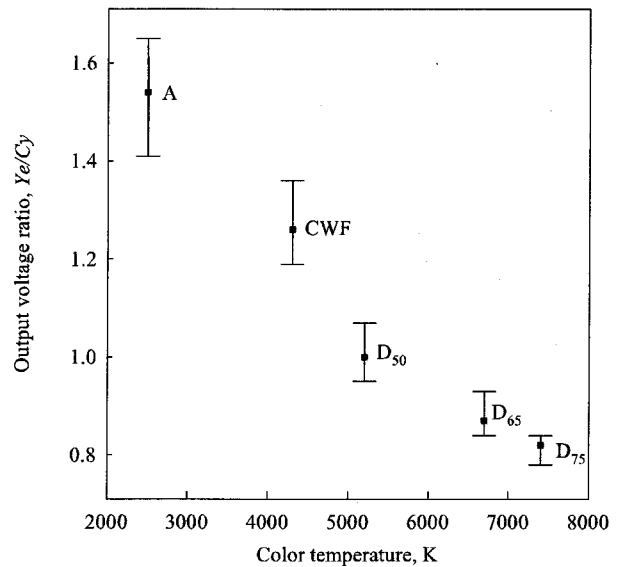
<그림 4> 증폭기를 통과한 후의 광센서의 출력 전압 특성: (a) A; (b) CWF; (c) D50 (d) D65 (e) D75



<그림 5> 대표광원들의 조도에 따른 출력 전압비 (Ye/Cy)

<표 V> 대표광원들에 대한 광센서의 출력 전압비

Illuminant	Ye/Cy (before amplification)			Ye/Cy (after amplification)		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
A	1.63	1.47	1.54	1.61	1.46	1.54
CWF	1.28	1.19	1.24	1.30	1.22	1.26
D <sub>50</sub>	0.99	0.96	0.97	1.00	0.98	1.00
D <sub>65</sub>	0.86	0.84	0.85	0.88	0.86	0.87
D <sub>75</sub>	0.82	0.79	0.80	0.83	0.82	0.82



<그림 6> 구현한 조명광 판별 시스템의 주위 광원에 대한 출력 전압비

## 5. 결론

본 논문에서는 표준과 다른 시 환경 하에서 컬러 디스플레이 장치를 사용할 때, 인간 시각의 색 순응 현상을 고려하여 표준 시 환경에서의 원 피사체의 색과 동일하게 보이는 재현 시스템을 구현하기 위한 선행 과제로 광센서를 이용하여 주위 조명광의 판별할 수 있는 방법을 제안하였다.

앞장의 설명한 것과 같이 디스플레이를 시청하는 외부 조명광을 결정하기 위해서 옐로우 (yellow, Ye) 와 사이안 (cyan, Cy) 두 출력을 갖는 광센서를 사용하여 주위 조명광의 판별을 위한 이론적인 방법과 이를 실제 구현한 시스템에 대한 실험 결과, 제안한 조

명광 판별 시스템은 다양한 조명광에 대해서 조도가 변함에도 불구하고 각 조명광을 정확히 구별할 수 있는 광센서의 출력 전압비의 범위가 출력되는 것을 확인하였다.

따라서 제안한 주위 조명광 판별 시스템을 이용할 경우 다양한 외부 조명광에 대해서 광센서의 출력 전압비를 알아 내는 것만으로 그 조명을 정확하게 판별할 수 있어, 조명광의 판별이 필요한 다양한 응용 분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

[1] Michael Stokes and Matthew Anderson, "A Standard Default Color Space for the Internet-sRGB," <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>, 1996.

[2] R. W. G. Hunt, *The Reproduction of Colour in Photography, Printing & Television*, Fountain Press, England, pp. 177-196, 1987.

[3] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science*, John Wiley & Sons, New York, pp. 117-451, 1982.

[4] D. L. MacAdam, *Color Measurement*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, pp. 200-208, 1981.

[5] C. J. Bartleson, "Comparison of Chromatic-Adaptation Trans-forms," *Color Res. Appl.*, vol. 3, pp. 129-136, Fall 1978.

[6] C. J. Bartleson, "Changes in Color Appearance with Variations in Chromatic Adaptation," *Color Res. Appl.*, vol. 4, pp. 119-138, Fall 1979.

[7] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison-Wesley, New York, pp. 173-214, 1998.

[8] C. J. Bartleson, "Predicting Corresponding Colors with Changes in Adaptation," *Color Res. Appl.*, vol. 4, pp. 143-155, Fall 1979.

[9] Edwin J. Breneman, "Corresponding Chromaticities for Different States of Adaptation to Complex Visual Fields," *J. Opt. Soc. Am. Vol. 4*, pp. 1115-1129, June 1987.

[10] CIE TC1-34 Final Report, *The CIE 1997 Interim Colour Appearance Model (Simple Version)*, CIECAM97s, 1998.

[11] E.S. Kim, S.W. Jang, Y.D. Kwon, C.H. Han, and K.I. Sohng, "Corresponding-Color Reproduction Model According to Surround Viewing Conditions," *IEICE Trans. Vol. E87-A*, pp. 1514-1519, June 2004.

[12] Video Electronics Standards Association, *Flat panel display measurements standard version 2.0*, VESA, p115. June 2001.



김 은 수 (Eun-Su Kim)

- 1998년 경북대학교 전자공학과 졸업.
- 2000년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 2005년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.
- 2004년~2005년 HIT 책임 연구원.
- 2006년~현재 선문대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 DTV 신호처리, Multimedia 장치 간의 색 표현, Display & Camera 화질 개선, Color management system, 인간감성공학 등



박 경 남 (Kyung-Nam Park)

- 중신회원
- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 2월 경북대학교 대학원 전자 공학과 졸업(공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2010년 1월 : University of California, San Diego 방문교수
- 2003년 3월 ~ 현재 : 나사렛대학교 멀티미디어학과 부교수
- 관심분야 : 영상처리, 영상통신, 디지털 TV 등