

PC 모니터에서의 sRGB 매칭 알고리즘

곽종섭, 송규익

경북대학교 전자공학과 영상시스템공학전공

sRGB Matching Algorithm in PC Monitor

Jong-Seop Kwak, Kyu-Ik Sohng

School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University

Abstract - 인터넷 환경의 발달로 인해 컴퓨터 산업 분야에서는 각 컴퓨터 시스템과 멀티미디어 기기들 상호간의 색 정보 처리의 호환성을 필요로 하게 되었다. 이에 따라 제안된 standard RGB (sRGB) color space는 각 컴퓨터 시스템 및 기기들 간에 명백하고 효율적인 하나의 단일 color space로 색 정보가 표현될 수 있게 하였다. 한편 칼라 디스플레이 모니터에서의 색 재현에 있어 궁극적인 목적은 원 화상의 색과 동일한 색으로 화상을 재현하는 것으로 인간 시각 특성을 고려한 색 재현이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 인터넷 환경의 비표준 모니터 상에 화상을 재현함에 있어, sRGB 표준과의 차이에 의해 발생하는 좌표적 색도 오차를 정정 매트릭스를 사용하여 색도 오차가 저감되는 보정 방법을 제안하였다. 또한 모니터 주변 밝기에 따른 시각 특성 변화에 따라 인지되는 콘트라스트의 변화에 대한 상관관계를 유도함으로써 그 변화를 보정할 수 있는 방안도 함께 제안 하였다.

1. 서 론

컴퓨터의 발달은 인터넷 환경의 급속한 발전과 더불어 새롭게 다양한 신종 정보사업을 계속 만들어 내고 있으며, 컴퓨터와 인터넷 환경에 익숙하지 않은 일반 사용자들에게까지도 수 많은 정보에 쉽게 접근할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 인터넷 환경에서 이런 다양한 정보는 대부분 시각 정보이며, 이 시각 정보의 상당부분이 색과 관련된 정보이다. 또한 이 시각 정보를 접하는데 있어 대표적 단말기기는 칼라 모니터 시스템이다.

한편 컴퓨터 산업의 정보 공유에 있어 가장 중요한 것은 사용자 또는 기기 상호간의 사용 가능성과 호환성이라 할 것이다. IEEE 1394와 같은 표준들은 컴퓨터 기기 사이에 데이터의 전송에 대한 호환성을 제공하는데 이용되고, sRGB와 같은 표준들은 색의 전송에 대한 호환성을 제공한다.

sRGB color space는 여러 컴퓨터 시스템 및 주변 멀티미디어 장치들에 적용 중인 많은 color space들 사이에서 명백하고 효율적인 하나의 단일 color space로 표현하고자 제안된 인터넷을 위한 표준 color space이다.^[1]

이러한 sRGB 표준에 근거하여 색 정보를 지닌 원 화상을 sRGB 표준 칼라 모니터 시스템에 그대로 재현할 수 있다면 원 화상과 동일한 색상을 얻게 될 것이다.

그러나 현실적으로, 디스플레이 모니터의 밝기 재현의 한계, 인광체와 기준 백색 (reference white)의 색도 차이, CRT 감마 특성, 시각 환경 및 인간 시각 특성 등으로 모니터 상에 원 화상과 완전히 같은 색을 재현 하는 것은 불가능하다. 그러므로 모니터의 색 재현 성능은 얼마나 더 원 화상의 색에 가깝게 재현 화상의 색을 구현할 수 있는나 하는 것이 주요 관심 사항이다.

따라서 인터넷 환경의 sRGB 표준에 근거하여 좀 더 정확한 측색적 색 재현 방법의 실현을 본 연구의 첫째 목표로 선정 하였으며, 또한 본 연구에서는 인간 시각 특성과 관련하여 주변 밝기에 따라 사람이 느끼는 밝기의 콘트라스트 변화가 어느 정도 상관관계가 있는지 확인함으로써 모니터 주변 밝기의 변화에 대한 콘트라스트 보정 방안을 제시하고자 한다.

2. PC 모니터의 색 재현 이론

2.1 색 좌표계 이론

광원으로부터 나온 빛은 직접 혹은 피사체에 반사되어 사람 눈의 망막 (retina)에 분포된 시세포를 자극하게 되고, 이 자극이 시신경을 통해 뇌에 전달되어 밝기 (brightness), 색상 (hue), 및 색 농도 (saturation)를 느끼게 된다. 빛의 물리적인 양은 파장 혹은 주파수의 함수로서 나타낼 수 있으며, 이러한 빛의 자극치는 통상 X, Y, 및 Z의 3 자극치로 나타낸다.

CIE xy 색 좌표계에서 임의의 색에 대한 좌표 x, y, 및 z는

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (1)$$

로 주어진다.⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

그러나 xy 좌표계에서는 시각으로 느끼는 색차 (color difference)와 xy 좌표상의 색차가 좌표상의 위치에 따라 균일하게 분포하지 않는다. 그러므로 좌표상의 색차와 시각으로 느끼는 색차 간의 비균일성 (visual nonuniformity)을 줄이는 UCS (uniform chromaticity scale) 좌표계가 사용된다.

이러한 UCS 좌표계에는 1960년의 CIE uv 좌표계와 v 축을 1.5배 늘여서 균일성을 향상시킨 1976년의 CIE u'v' 좌표계인

$$u' = u = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = 1.5v = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3} \quad (2)$$

등이 있다.⁽⁵⁾

2.2 PC 모니터에서의 색 재현 방법

희망하는 색을 모니터 상에 재현하기 위해서는 CIE XYZ 시스템으로부터 칼라 모니터의 RGB 시스템으로의 변환방법이 필요하다. 원 화상의 스펙트럼 분포를 S(λ), 칼라 모니터의 RGB 인광체의 스펙트럼 분포를 각각 R(λ), G(λ), 및 B(λ)로 표현하면 원 화상의 자극치 X_s, Y_s, 및 Z_s는 각각 식 (3)로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X_s &= \int S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y_s &= \int S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z_s &= \int S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (3)$$

모니터상에 재현된 RGB 인광체의 디스플레이 자극치 X_d , Y_d , 및 Z_d 는 각각

$$\begin{aligned} X_d &= \int [R(\lambda) + G(\lambda) + B(\lambda)] \bar{x}(\lambda) d\lambda = X_{Rd} + X_{Gd} + X_{Bd} \\ Y_d &= \int [R(\lambda) + G(\lambda) + B(\lambda)] \bar{y}(\lambda) d\lambda = Y_{Rd} + Y_{Gd} + Y_{Bd} \\ Z_d &= \int [R(\lambda) + G(\lambda) + B(\lambda)] \bar{z}(\lambda) d\lambda = Z_{Rd} + Z_{Gd} + Z_{Bd} \end{aligned} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 X_{id} , Y_{id} , 및 Z_{id} ($i = R, G, B$)는 각각의 R , G , 및 B 인광체에 대한 디스플레이 자극치 X , Y , 및 Z 이다. 상기 식 (4)와 (5)에서 등색조건으로부터 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{Rd} & 0 & 0 \\ 0 & K_{Gd} & 0 \\ 0 & 0 & K_{Bd} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_{Rf} & x_{Gf} & x_{Bf} \\ y_{Rf} & y_{Gf} & y_{Bf} \\ z_{Rf} & z_{Gf} & z_{Bf} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 x_{if} , y_{if} , 및 z_{if} ($i = R, G, B$)는 RGB 인광체의 xyz 좌표이며, K_{Rd} , K_{Gd} , 및 K_{Bd} 는 각각의 모니터의 RGB 채널 이득에 의해 결정되는 상수로서, $R=G=B=1$ 일때 색도 좌표 (x_w, y_w, z_w) 인 기준 백색이 되도록 결정한다. 이때 $Y_w=1$ 로 정규화 하면 K_{Rd} , K_{Gd} , 및 K_{Bd} 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} K_{Rd} \\ K_{Gd} \\ K_{Bd} \end{bmatrix} = \frac{1}{y_w} \begin{bmatrix} x_{Rf} & x_{Gf} & x_{Bf} \\ y_{Rf} & y_{Gf} & y_{Bf} \\ z_{Rf} & z_{Gf} & z_{Bf} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} \quad (6)$$

PC 모니터 상에서 원 피사체와 동일한 색을 재현하기 위해서는 원 피사체의 색 좌표와 동일한 모니터 디스플레이 상에 재현하면 된다. 따라서 XYZ와 RGB의 관계식 (5)에서 모니터의 R , G , 및 B 의 자극량은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} K_{Rd} & 0 & 0 \\ 0 & K_{Gd} & 0 \\ 0 & 0 & K_{Bd} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_{Rf} & x_{Gf} & x_{Bf} \\ y_{Rf} & y_{Gf} & y_{Bf} \\ z_{Rf} & z_{Gf} & z_{Bf} \end{bmatrix}^{-1}$$

따라서 원 피사체의 자극치 XYZ로부터 모니터 인광체의 각 좌표 값과 채널 이득으로 이루어진 변환 행렬 \mathbf{M} 을 이용하여 등색재현을 위한 RGB의 자극치를 구할 수 있다.⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾

2.3 sRGB color space의 정의

단일 sRGB color space에 제안된 표준은 두 부분이 있다. 그것은 인간 시각계에 의존하는 관측 환경 요인 (viewing environment parameter)과 표준 장치계의 측색적 정의와 변환이다.⁽¹¹⁾

sRGB 기준 관측 조건 (viewing condition)은 표 1에서와 같이 실제 모니터 디스플레이의 관측 조건과 유사하다.

표 1. sRGB 관측 환경 요인들
Table 1. sRGB viewing environment parameters

표 1에서, 휘도는 실제 CRT 디스플레이 수준을 나

Condition	sRGB
Luminance Level	80 cd/m ²
Illuminant White	$x=.3127, y=.3290$ (D ₆₅)
Image surround	20% reflectance
Encoding Ambient Illuminance Level	64 lux
Encoding Ambient White Point	$x=.3457, y=.3585$ (D ₅₀)
Encoding Viewing Flare	1.0%
Typical Ambient Illuminance Level	200 lux
Typical Ambient White Point	$x=.3457, y=.3585$ (D ₅₀)
Typical Viewing Flare	5.0%

타내며, 조명 백색의 색도는 CIE D₆₅이다. 또 영상 주변은 최대 백색 밝기의 20%로 정의하고 있다.

부호화 주변 조도는 어둡한 (dim) 관측 환경을 나타내며, 최소한 평균 실의 수준보다 낮은 실제 주변 조도의 1/3 수준이다. 부호화시의 주위 백색 점의 색도는 CIE D₅₀이며, 부호화 viewing flare는 최대 백색 조명의 1.0%로 규정하고 있다.

실제 주변 조도는 실제 사무실 시각 환경을 나타내며, 최소한 평균 실의 조도보다 낮은 크기로 200 lux이다. 실제 주위 백색 점의 색도는 CIE D₅₀에 가까우며, 실제 디스플레이 표면의 외광 반사는 최대 주위 백색 조도의 5.0%로 규정하고 있다.

기준 관측 환경의 조합으로 sRGB는 간단한 변환을 통해 표준 CIE 측색적 값으로부터 정의될 수 있다. CIE 표색계는 칼라 sRGB 부호화의 기본이 되며, CIE 측색적 값 계산을 위해 지정된 장치에 대한 스펙트럼의 감도 조정과 관측 환경의 정의가 필요하다.

ITU-R BT.709 규격에 따른 기준 인광체 및 표준 조명 D₆₅의 CIE 색도 규격은 표 2와 같다.⁽⁹⁾

표 2. ITU-R BT.709 기준 원색과 CIE 표준 조명에 대한 CIE 색도.

Table 2. CIE Chromaticities for ITU-R BT.709 reference primaries and CIE Standard Illuminant.

	Red	Green	Blue	D ₆₅
x	0.6400	0.3000	0.1500	0.3127
y	0.3300	0.6000	0.0600	0.3290
z	0.0300	0.1000	0.7900	0.3583

D₆₅ 표준광원으로 조명된 대상에 대한 sRGB 삼자극치는 1931 CIE XYZ의 단순한 선형 조합으로 다음과 같이 RGB 삼자극치로 유도될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

그리고 R , G , 및 B 값으로부터 X , Y 및 Z 로의 변환은

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (9)$$

와 같이 주어진다.

2.4 PC 모니터에서의 색 오차 발생 요인

사람의 눈은 주어진 환경에 따라 시시각각 변화하는 특성을 지니고 있다. 인간 시각 특성 변화에 영향을 주

는 요인은 실생활의 거의 모든 요소가 요인이 된다고 볼 수 있지만 그 대표적인 현상들을 열거하면 다음과 같다.^[10]

- 1) 밝은 곳에서는 명암의 변별력이 우수하나, 어두운 곳에서는 명암의 변별 능력이 다소 떨어지는 현상 (Weber-Fechner의 법칙)
- 2) 단색광의 밝기 성분만 변화 시키면, 색의 색상이 달라져 보이는 현상 (Bezold-Brücke hue shift)
- 3) 색상을 유지 하면서 채도를 저하 시키면 길보기 색이 yellow (570nm)와 자색 (560nm의 보색) 쪽으로 쉬프트되어 보이는 현상 (Abney effect)
- 4) 동일 휘도의 색이 고채도의 색이 되면 더 밝게 느끼는 현상 (Helmholtz-Kolrausch effect)
- 5) 주어진 색자극이 강할수록 지각되는 colorfulness 가 증가하는 현상 (Hunt effect)
- 6) 주변 휘도가 증가하면 밝기 콘트라스트가 증가하는 현상 (Steven effect)
- 7) 주위의 휘도가 밝으면 디스플레이 영상의 콘트라스트가 증가하고, 반대로 어두워지면 콘트라스트가 낮아지는 현상 (Bartleson-Breneman Equations)

기타 공간 주파수, 화상의 구성, 구조적 영향과 주관적인 경험에 기초한 기억색 등이 본래의 색을 다르게 느껴지게 만든다. 따라서 정확한 색 재현을 위해서는 이러한 특성들이 고려되어야 한다.

sRGB 표준 모니터와 달리 일반 사용자들이 사용하고 있는 비표준 모니터는 인광체와 기준 백색의 색도가 정확히 일치하지 않는다. 이로 인해 비표준 디스플레이 모니터 상에 원 화상을 재현하면 색도 오차가 발생하게 된다. 이 재현 색의 색도 오차를 본 연구에서는 정정 매트릭스 (correction matrix)로 보정한다.

3. PC 모니터에서의 sRGB 매칭 알고리즘

3.1 비표준 모니터에서의 색도 오차 보정 방법

표준 디스플레이 모니터의 기준 백색과 인광체 좌표 M_s 가 주어질 때, 주어진 원 화상의 XYZ 3 자극치 매트릭스 T_s 로부터 RGB 각각의 전압 신호에 해당하는 RGB 3 자극치 매트릭스 V_s 로의 변환 관계식은 식 (7)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = M_s T_s \quad (10)$$

마찬가지로 디스플레이 모니터의 감마 값을 1.0이라 가정하고 기준 백색과 인광체 좌표 M_D 가 주어지면, 전압 신호 RGB 3 자극치 V_D 로부터 XYZ 3 자극치 T_D 로의 변환 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_D = M_D T_D \quad (11)$$

한편 디스플레이 모니터 상에 재현된 화상이 원 화상과 측색적으로 동일하게 되기 위해서는 색 자극치가 같아야 한다. 즉 $T_D = T_s$ 의 조건으로부터 정정 매트릭스 M_C 는 아래와 같이 주어진다.

$$V_D = M_D^{-1} M_s T_D \quad (12)$$

$$M_C = M_D^{-1} M_s$$

그러므로 각각의 입력 전압 신호에 대하여 회로적으로 정정 매트릭스 M_C 를 사용함으로써 색 재현 오차를 저감시킬 수 있다.

3.2 모의실험 결과 및 검토

상기의 정정 매트릭스 보정 방법에 대한 성능을 확인

하기 위하여 모의실험을 행하였다.

실험에 사용된 모니터는 SONY사의 20" 모니터 (CPD-G500)로써 감마 값이 2.2 였으며, 기준 백색은 D65로 설정 하였다. 이 모니터의 R, G, 및 B 인광체 색도와 기준 백색의 색도를 표 3에 나타내었다.

표 3. SONY CPD-G500 모니터의 인광체 및 기준 백색의 색도

Table 3. CIE chromaticities for primaries and reference white on SONY CPD-G500 monitor .

	R	G	B	D65
x	0.622	0.274	0.144	0.3127
y	0.334	0.595	0.065	0.3290
z	0.044	0.131	0.791	0.3583

또한 sRGB 기준 시각 환경을 만들기 위해 모니터의 최대 휘도를 80cd/m²로, 영상 주변(surround, background) 휘도는 최대 휘도의 50%로 설정 하였다.

시험색은 Macbeth color checker를 기준으로 실험의 정밀성을 기하기 위해 암실에서 측정 하였으며 측정 장비는 MINOLTA사의 color analyzer CA-100을 사용하였다.

실험결과, 그림 2에서와 같이 보정전보다 보정후의 좌표가 원 화상의 좌표에 좀 더 가까이 근접하였음을 확인 하였으며, 색 재현 오차는 u'v' 좌표계에서 평균 4% 개선 효과를 얻었다.

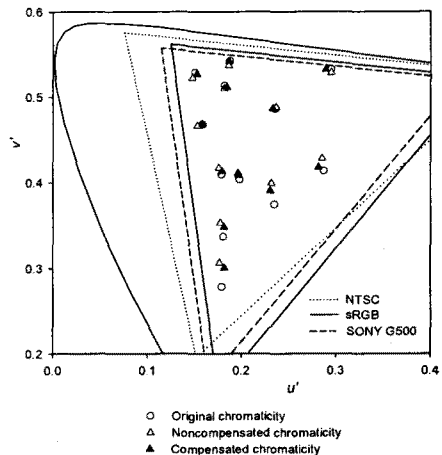


그림 1. CIE 1976 u'v' 좌표계에서 테스트 색에 대한 색도 보정 효과

Figure 1. Compensation effect about test colors at CIE 1976 u'v'

4. 주변 조명 밝기에 따른 시각 Contrast 변화

4.1 주변 밝기에 따른 시각적 Contrast 특성

인간 시각 시스템(human visual system)에 있어서 인지되는 lightness는 절대적 및 상대적 밝기 (luminance) 뿐만 아니라 배경(background)과 주변 영역 (surround)에도 많은 영향을 받고 있다. 즉, 모니터 화면상의 lightness는 화면자체의 상대적인 휘도와 함께 주변 밝기에도 영향을 받고 있음은 Stevens effect와 Bartleson의 실험 결과에서도 밝혀져 있다.^[1] 이는 주위 조명광의 밝기가 증가함에 따라 눈에 인식되는 brightness contrast 또는 lightness contrast

가 증가하는 것을 말한다. 즉, 밝기가 증가함에 따라 인간 시각 특성상 어두운 색은 더욱 어둡게, 밝은 색은 더욱 밝게 느껴지게 된다는 것을 의미한다.

인지된 brightness와 실제 측정된 밝기 사이의 상관 관계를 살펴보면 멱 함수 (power function)의 형태를 나타내고 있다. Steven은 밝기와 인지된 brightness의 관계에서 0.33과 0.50사이의 지수 (exponent) 값을 가진다고 밝혔다.^[10]

4.2 모의실험 결과 및 검토

영상 주변의 조명 밝기에 따른 인간 시각 상에서 느끼는 콘트라스트 변화에 대한 실험은 주관적인 경향이 많다는 실험의 특성상 제한된 조건에서 실시 하였다.

먼저, 실험에 사용된 모니터들은 sRGB 매칭 알고리즘에 대한 실험에 사용된 것과 동일한 기종으로 인 SONY사의 20" 모니터 (CPD-G500)였다. 모니터 설정은 sRGB 기준 조건과 동일한 최대 휘도 80 cd/m², 기준 백색 D65로 두 대의 모니터를 동일하게 조정, 설정 하였다.

실험 환경은 매우 어두운 (very dim) 암실에서 모니터의 주변 영역은 회색 커튼을 드리웠다.

시험 패치 (patch)는 모니터 화면 중형비 4:3과 동일한 중형비를 갖는 16 단계 회색의 수직 패턴을 만들어 모니터에 디스플레이 하였다. 또 기준으로 설정한 모니터는 패치의 배경을 최대 휘도의 50%가 되도록 디스플레이 하였으며, 비교대상 모니터는 배경 휘도를 변경시키면서 시험 패치의 콘트라스트 변화를 감지하도록 하였다.

시험 패치의 시야각은 수평 약 ±8°, 수직 약 ±6°로 정보 수용이 가능한 유효시야 (수평 약 ±15°/수직 상 8°, 하 12°)내에 두었으며, 배경의 시야각은 수평 약 ±25°, 수직 약 ±20°로 정보 식별능력이 있는 유도시야 (수평 약 ±45°/수직 상 40°, 하 45°)내에 두어 배경의 밝기에 눈이 충분히 순응 (adaptation) 될 수 있도록 하였다.

실험 결과, 그림 2에서와 같이 50%로 설정된 기준 배경에서는 상관 휘도 대비 lightness 콘트라스트가 Bartleson과 Breneman의 실험 결과에서와 거의 동일한 약 1.25의 감마 (멱지수, exponent) 특성을 가짐을 확인 하였고, 배경 휘도가 낮아지면 lightness 콘트라스트 특성이 감소되는 경향을 확인 하였다.

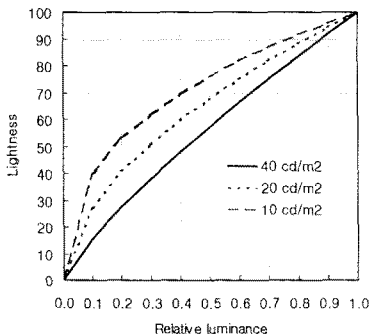


그림 2. 주변 영역의 상관 휘도에 따른 lightness 콘트라스트의 변화

Figure 2. Changes in lightness contrast as a function of surround relative luminance.

한편 그림 3에서와 같이 배경 휘도의 저하에 따른 시각 특성의 변화 시에도 동일한 lightness 콘트라스트를 느낄 수 있도록 시험 패치의 휘도 값을 조정하면 결과, 디지털 입력 값 대비 휘도 특성이 디스플레이 감마 곡선과 형태가 거의 일치한다는 사실을 확인 하였다.

따라서 주변 밝기의 변화를 감지할 수 있으면 디지털 입력 값의 감마를 조정하여 lightness 콘트라스트의 변화를 보정 할 수 있게 된다.

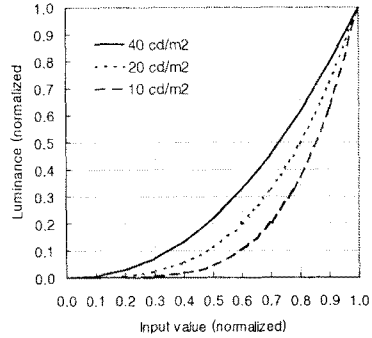


그림 3. 주변 밝기의 변화에도 동일한 lightness 콘트라스트를 얻을 수 있도록 보정된 CRT 감마 특성
Figure 3. Compensated CRT gamma for identical lightness contrast despite changes in surround.

5. 결 론

본 연구에서는 비표준 모니터에서도 정정 매트릭스를 사용하여 보다 원 화상의 색에 측색적으로 가까운 재현색을 구현 할 수 있었으며, 모니터 디스플레이의 주변 조명광의 밝기 변화에도 인간 시각 특성과 반대인 지수 함수 형태로 모니터의 휘도 특성을 보정한다면 선형적인 brightness 보정이 이루어져 조도의 변화에 관계없이 동일한 영상을 느낄 수 있게 될 것이다.

그러나 휘도만의 변화에도 색상이 달라져 보이는 현상이나 조명광의 색온도 차이가 있을 때 색이 다르게 보이는 색 순응 현상 등, 상호 관련된 특성이 많으므로 이에 대해서는 추후 심도 있는 연구가 행해져야 할 것으로 판단된다. 아울러 많은 연구가 진행 중인 색 순응 알고리즘과 함께 병용되면 보다 정확한 색 재현을 실현하여 원 화상의 느낌 그대로를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Michael Stokes, "A Standard Default Color Space for the Internet - sRGB," Ver. 1.10, 1993.
- [2] G. Wyszecki and W. S. Stiles, "Color Science," John Wiley & Sons, 1982.
- [3] Fred W. Billmeyer and Max Saltzman, "Principle of Color Technology," John Wiley & Sons, 1981.
- [4] D. L. MacAdam, "Color Measurement," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.
- [5] 송규익, "색채 디스플레이 공학," 경북대학교 Audio/Video 신호처리 연구실, 2001.
- [6] K. Blair Benson and Jerry C. Whitaker, "Television Engineering Handbook," McGraw-Hill, 1992.
- [7] Jerry C. Whitaker, "Electronic Display," McGraw-Hill, 1994.
- [8] Keith Jack, "Video Demystified. A Handbook for the Digital Engineer," HighText, 1993.
- [9] ITU-Radiocommunication Sector Information Handling Services, "Recommendation ITU-R BT.709-2," International Telecommunication Union, 2000.
- [10] Mark D. Fairchild, "Color Appearance Models," Addison-Wesley, pp.133-157, 1998.