

論文98-35S-9-9

3판식 액정 프로젝션 시스템의 다이크로익 미러의 색채학적 설계

(Colorimetric Design of Dichroic Mirrors in 3-LCD Projection Systems)

金志泓 *

(Jee-Hong Kim)

요 약

3판식 액정 프로젝션 시스템에서 색분리/합성용으로 사용되는 다이크로익 미러의 새로운 설계 방법을 제안한다. 색재현 성능의 기준으로 단순히 밝기나 색순도에 근거한 방법이 아닌, 3차원 균등색공간에서의 색영역의 체적을 최대화 시키도록 설계 변수를 최적화한다. 제안된 설계 방법에서는 액정 프로젝션 시스템의 색재현의 색채학적 분석을 통해, 2개의 대표적 시청 조건에서 CIELUV 균등색공간의 재현 가능한 색영역의 체적을 최대화하도록 Dichroic Mirror/Filter의 경계 파장의 최적치가 구해진다.

Abstract

A new method is proposed for the design of the dichroic mirrors in 3-LCD projection systems for color separation/composition. Rather than simply basing the color performance criterion on luminance or chromatic saturation only, the optimum design parameters can be found by maximizing the perceived color gamut in a 3-D uniform color space. In this method, the half-power wavelengths were optimized by maximizing the volume of the reproducible color gamut in a CIELUV uniform color space for 2 typical viewing conditions, with proper colorimetric analysis of color reproduction in 3-LCD projection systems.

I. 서 론

최근 액정 기술이 발달함에 따라 대화면, 고해상을 위한 프로젝션 시스템으로 응용 분야가 확장되고 있다. 액정을 적용한 프로젝션은 투사 구조에 따라 배면 투사형과 전면투사형으로, 사용되는 패널의 수에 따라 단판식, 3판식으로 구별되어 진다. 프로젝션 시스템에서 화질을 결정짓는 주요 요소로는 최대 휘도와 Contrast, 해상도, 잡음, 계조 및 색조의 재현성 등이 있으며, HDTV와 같은 고해상의 Display에서는 선명한 색, 농담부의 정확한 표현, 자연스러운 색, 기호성

등도 무시할 수 없는 요소가 된다. 색감이나 색의 선명성을 위해서는 휘도와 색도를 모두 고려하여 인간의 시각에 가장 효과적인 색재현을 구현하여야 한다. 예를 들면, 색순도 개선을 위한 설계가 휘도의 감소를 수반한다면, 결과적으로 휘도의 저하 및 Peak White의 색온도 변화로 인하여 원하는 만큼 색감의 증가나 선명한 원색을 얻을 수 없는 경우가 발생한다.^[1] 3판식 액정 프로젝션 시스템의 경우, 색재현 성능은 주로 색분리/합성을 수행하는 Dichroic Mirror와 광원의 특성에 의해 결정되는데, 광원은 색재현 성능 외에도 효율, 수명 및 안정성 등 많은 기술이 필요하며, 본 연구에서는 전문 램프 업체의 제품이 주어지는 것으로 한다. 현재의 Dichroic Mirror설계 방법은 설계자의 직관적 실험에 의해, 순도가 증가하는 동시에 휘도 감소로 인한 색감의 저하가 심각하지 않도록 이미 제작

* 正會員, (주)LG電子 디스플레이研究所
(LG Electronics Inc. Display R&D Center)
接受日字: 1998年3月4日, 수정완료일: 1998年8月12日

된 다수의 샘플 중에서 선정하는 경우가 대부분이다.^[2]
 1 체계적인 방법의 시도로서, 2차원 색도표에서 기본 색의 색도 좌표 혹은 색영역을 설정한 후, 여러 설계 변수를 의해 제작된 Dichroic Mirror 중에서 색채학적 설정치를 만족하는 것을 선정하는 정도만 알려져 있고^[3], 이를 구현하기 위해 설계 변수를 직접적으로 구하는 설계 방법은 알려져 있지 않다. 따라서, 실제 사용되는 Dichroic Mirror의 설계 파라메타에 대해 보다 체계적인 설계 방법 및 기술의 확보가 요구된다. 본 논문에서는, 인간의 시각 특성을 잘 나타낸 CIE 균등색공간 (Uniform Color Space)을 이용하여, 단순한 순도 (Saturation)만이 아니라, 상대적인 시각 인식량으로서의 채도 (Chroma)를 최대화 시키는 설계 방법을 제시한다. 이를 위해, 프로젝션 시스템의 구성과 인간의 색지각 특성을 간단히 기술한 후, 3판식 액정 프로젝션을 대상으로 색분리/합성 광학계의 최적화 문제 구성과 설계 방법, 실험 결과를 기술한다.

II. System의 구성과 균등색공간

프로젝션 시스템은 회로부, 광학부와 기구부로 구성되어, 종합적인 설계 기술에 의해 화질이 결정된다. 기본적인 색재현은 주로 광학적 성능에 의해 결정되며, 색재현성 개선을 위해 회로적인 신호 처리도 가능하다. 3판식 액정 프로젝션 시스템의 경우, 기본적으로 광원, 색분리/합성부, 액정부와 투사렌즈의 광학계로 구성되어 있고^[4], 광원으로 부터의 백색광은 색분리 광학계에 의해 Red, Green Blue의 3기본색으로 분리된 후, 각 색에 해당하는 액정에 의해 변조된 후, 스크린상에 투사, Full Color의 화상을 재현한다.

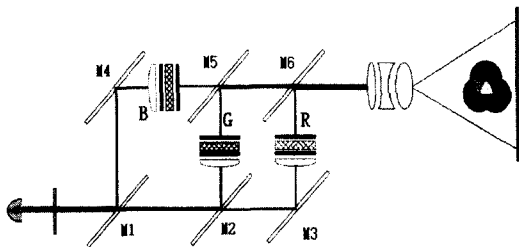


그림 1. 3판식 액정 프로젝션의 원리와 스크린상의 색 합성
 Fig. 1. Basic Structure of 3-LCD Projection Systems.

그림(1)은 이 같은 프로젝션 시스템의 기본 구조를 간단히 도해한 것이며, 배면투사형이나 전면 투사형이냐에 따라 반사형 (Reflective) 스크린 혹은, 투과형 (Transmitive) 스크린을 사용한다. 그림(2)에 보인 배면투사형은 전면투사형과는 달리 어느 정도 밝기의 주위 환경하에서도 시청이 가능하며, 가정용 대화면 TV로서 적합하다^[5].

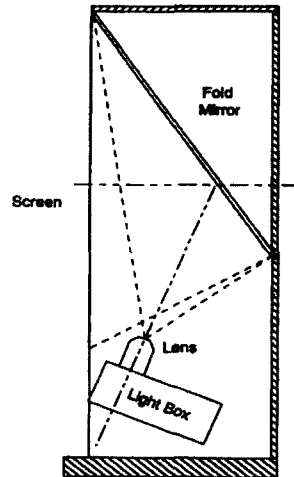


그림 2. 배면 투사형의 구조 예
 Fig. 2. Typical Structure of Rear-type Projection Systems.

구체적으로 3판식 액정 프로젝션 시스템의 색재현 영역은 램프의 발광 특성과 색분리/합성에 사용되는 Dichroic Mirror의 파장 투과/반사 특성에 의해 결정된다. 투과 혹은 반사 특성의 표현에 따라 Mirror 혹은 Filter가 혼용되나 본 논문에서는 Mirror로 표현하기로 한다. 그림(1)의 구성도와 같이 광원으로부터의 빛은 UVIR 필터를 통과한 후 Dichroic Mirror M₁을 거치면서 Blue색의 빛만 반사되어 Blue색의 빛을 변조하는 LCD를 통과한다. 나머지 Red 및 Green 색의 빛은 M₁을 투과하여 Dichroic Mirror M₂에 의해 Green색의 빛이 반사되어 분리된다. 이 같이 Red, Green, Blue의 색으로 분리되고, 해당 LCD에 의해 변조된 후, Dichroic Mirror M₄, M₅, M₆에 의해 합성된 후, 최종적으로 스크린에 투사되어 색을 재현하게 된다. 따라서, 분광 스펙트럼을 갖는 광원에서의 빛이 기본색별로 통과되는 광로상의 분광 투과율과 반사율 등을 이용하여 최종적으로 합성된 빛의 분광 분포

를 구함으로써, 색재현 성능을 정량화할 수 있다.

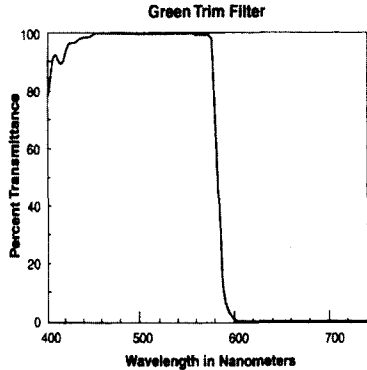


그림 3. R/G 분리용 Dichroic Mirror의 분광 투과율 예
Fig. 3. Example of Spectral Transmittance of Dichroic Mirror.

그림(3)은 Red색과 Green색의 분리용으로 사용되는 Dichroic Mirror의 분광 투과 특성의 예를 보인 것으로, 여기서 Red색의 경우, Green색의 빛과 분리를 결정하는 경계 파장을 장파장 방향으로 이동시키면 Red색의 빛에 포함된 장파장 성분의 에너지 비율이 증가하여 기본색의 순도(Saturation) - 주파장 성분의 에너지 비율-를 증가시킬 수 있다. 즉, 전체 에너지의 양, 즉, 휘도는 감소해도 순도의 개선은 가능하다. 물론, 이 경우 Green색은 반대의 현상이 발생한다. 따라서, 이 Dichroic Mirror의 설계는 Red와 Green색의 기본색을 포함하는 모든 색에 영향을 주게 되므로, Red, Green, Blue의 기본색과 기본색의 조합에 의해 재현되는 모든 색의 재현 성능을 최선으로 하는 Dichroic Mirror의 설계가 필요하다. Dichroic Mirror는 투명 유리판에 금속 산화물을 다층으로 코팅하여 분광 투과 혹은 반사율을 조정할 수 있으며, RGB 기본색의 분리용으로 서로 다른 분광 투과/반사 특성을 갖도록 설계된다. 일정한 입사 각도에 대해 설계 변수로서는, 전 파장 영역을 투과 영역과 반사 영역으로 구분하는 경계(Half-power) 파장, 각 영역의 투과율과 반사율, 투과 반사 영역 사이의 Transition 영역의 범위와 그 변화율 등이 있으며, 코팅하는 산화물의 굴절률, 두께 및 코팅 층의 수 등 조건에 따라 제작한다. 본 논문에서는 설계 문제를 간단히 하기 위해 색재현 성능에 가장 영향이 큰 경계 파장의 설계 문제를 해결하고, 그 외의 변수들은 경제적 비용에서 구현되는 대표치를 사용하기로 한다.

이외의 광학적 요소들, 예를 들면, Mirror, Screen과 투사 렌즈 등은, 분광 반사/투과 특성이 거의 Flat하여 색도에는 거의 영향이 없으므로 본 논문에서는 파장에 대한 상수값을 적용하기로 한다.

빛은 함수 형태의 에너지의 파장 분포 특성으로 표시되나, 시각적 감각량으로서의 색은 3차원적인 물리량으로 표시할 수 있다. 색채 실험에 의한 색의 3요소(색상, 명도, 채도 등) 및 생물학적 실험 결과가 이와 일치되고 있다. 색을 나타내는 물리량으로서는 CIE(국제조명위원회)에서 표준화한 CIEXYZ 3자극치가 널리 사용되며, 3자극치를 구할 때 사용되는 CIE Color Matching Function $\hat{x}(\lambda)$, $\hat{y}(\lambda)$, $\hat{z}(\lambda)$ 는 IV장의 실험에서 분광 분포 그림(6)에 함께 보였으며 x_{10} , y_{10} , z_{10} 는 10도 시야각의 실험을 통해 구한 함수, 각각 Red, Green (정확히는 휘도), Blue색의 감도 특성과 유사하다. 표현 가능한 색의 범위, 즉, 색영역(Color Gamut)은 그림(4)에 보인 1931 CIE (x,y) 색도표(Chromaticity Diagram) 혹은, 1976 CIE (u,v) 색도표를 사용하여 성능을 비교할 수 있으며¹⁶⁾, 이 색도표에서 기준백색점 (x_w, y_w)으로부터의 거리가 순도로서 인간이 시각적으로 느끼는 색감에 영향을 주는 값이다. 그림(4)에는 NTSC방식의 기본색의 색도 규격에 의한 색영역과 대표적인 LCD 디스플레이의 색영역이 CIE에서 표준으로 정한 광원인 D₇₅, B의 색도 좌표와 함께 제시되어 있다.

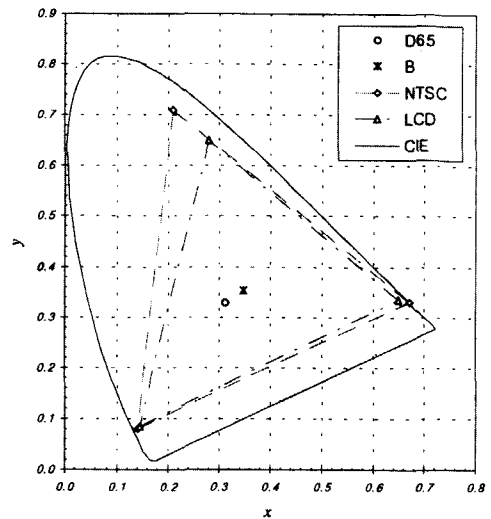


그림 4. CIE 1931 (x,y) 색도표
Fig. 4. CIE 1931 (x,y) Chromaticity Diagram.

색은 Hue(색상), Colorfulness(색감), Brightness(밝기) 3가지의 속성이 있다. 인간이 느끼는 지각색(Perceived Color)은 물체로부터 눈에 입사되는 빛의 3차극치 이외에도 색순응을 포함하며, 암순응 하에서의 상대적 밝기가 명도(Lightness)가 되며, 색순응 현상에 의한 상대적 Colorfulness를 채도(Chroma)라고 한다. 같은 순도의 색을 갖는 물체는 그 밝기가 클수록, 주변 밝기가 어두울수록, 명도가 클수록 더 큰 채도를 갖게 된다. 이같이 색에 대한 상대적 지각량을 나타내는 시스템으로서 1976 CIELUV -또는 CIELAB- 균등색공간이 사용되고 있으며^{[7], [8]}, 입사되는 빛의 3차극치와 기준백색의 휘도/색도값으로부터 명도와 색도 정보로서의 3차원 공간상의 좌표점 (L^*, u^*, v^*) 을 구할 수 있다. 또한 다음 장에서 보이는 바와 같이 균등색공간의 채도 C*도 구할 수 있다. 본 논문에서는 CIELUV 색공간을 색재현 성능 분석에 이용하기로 한다.

III. 색재현 성능 지수의 최적화

본 장에서는 3판식 액정 프로젝션 시스템이 구현할 수 있는 최대의 색재현 영역을 갖도록 색분리/합성 광학계의 설계 문제를 제시하고 이에 대한 해결을 보이 고자 한다. 배면 프로젝션 TV의 일반적 시정 환경은 전면 투사형보다 상대적으로 밝으므로, 시정 환경에 따른 표시색의 영향이 크며 그에 의거하여 광학계를 최적 설계할 필요가 있다. 광학계 설계 시에는 순도(Saturation)뿐 아니라 휘도까지 고려한 채도를 개선 하는 것이 타당한 방법으로, 이는 2차원 평면상의 재현색영역(Color Gamut) 대신 3차원 색공간에서의 채도량 혹은 색재현 영역을 성능 지수로 하여, 이를 최적화함으로써 인간의 시각적 특성과 일치하는 색재 현 개선의 효과를 얻을 수 있다. 여기서는 균등색공간에서의 3차원적 색영역의 크기를 성능 지수로 사용한 다^[2]. 프로젝션 시스템의 색합성은 가색합성 방법이므로, 공간상에서 재현 가능한 색좌표로 구성된 영역 은 Red, Green, Blue의 기본색, Cyan, Magenta, Yellow의 2차색과 백색, 원점(혹을 의미)의 색공간 좌표를 꼭지점으로 하는 다면체의 형태를 가지며, 따 라서, 성능 지수는 이 같은 다면체의 부피를 구하는 함수의 형태로 나타낼 수 있다^[9].

이상에서 보인 최적 설계 문제를 벡터 공간 방식으 로 기술하면 다음과 같다^[10]. 우선, 표준 조건만을 생 각한 색채학적 전개를 기술 한다. 가시 파장 범위를 $\lambda \in [\lambda_{min}, \lambda_{max}] = [380, 780]$ 로 하고, n을 샘플링 수, 즉 벡터의 차원이라 할 때, 광원의 분광 벡터를 다음과 같이 표기한다.

$$\text{Lamp} = [l_1 \quad l_n]^T \tag{1}$$

앞서 설명한 바와 같이 다른 광학적 요소들은 색도 에는 거의 영향이 없으므로, 근사화 하여 상수로 설정 한다. R, G, B의 LCD 모듈에 대해서는 편광판과 액 정 자체의 투과율을 측정하여 $T_{LCD,R}, T_{LCD,G}, T_{LCD,B}$ 로 하였고, 그 외에 열선차단필터와 렌즈 등의 투과율 을 측정하여, 하나의 상수 T_{OTHER} 로 하여 다음의 값 을 적용하였다.

$$\begin{aligned} T_{LCD,R} &= T_{LCD,G} = T_{LCD,B} = 0.8 \\ T_{OTHER} &= 0.1 \end{aligned}$$

그림(1)에서 보인 바와 같이, 3판식 액정 프로젝션 시스템의 색분리/ 합성에는 6개의 Dichroic Mirror가 사용되며, 각 Mirror의 투과/반사율의 분광 벡터를 각 각 다음과 같이 표기한다.

$$\begin{aligned} \text{TSM}^i &= [t_1^i \quad \dots \quad t_n^i]^T \\ \text{RFL}^i &= [r_1^i \quad \dots \quad r_n^i]^T \end{aligned} \quad i=1,2,\dots,6 \tag{2}$$

이 경우, R,G,B의 기본색이 투사될 때의 분광 벡터 는 해당 액정을 통과하는 빛의 광로에 의해 다음과 같 이 결정된다.

$$\begin{aligned} R &= \text{Lamp} \otimes \text{TSM}^1 \otimes \text{TSM}^2 \otimes \text{RFL}^3 \otimes \text{RFL}^6 \\ &\quad \cdot T_{LCD,R} \cdot T_{OTHER} \\ G &= \text{Lamp} \otimes \text{TSM}^1 \otimes \text{RFL}^2 \otimes \text{RFL}^5 \otimes \text{TSM}^6 \\ &\quad \cdot T_{LCD,G} \cdot T_{OTHER} \\ B &= \text{Lamp} \otimes \text{RFL}^1 \otimes \text{RFL}^4 \otimes \text{TSM}^5 \otimes \\ &\quad \text{TSM}^6 \cdot T_{LCD,B} \cdot T_{OTHER} \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, 연산자 \otimes 은 벡터의 각 요소간의 곱을 나 타낸다. 기본색의 분광 벡터 R, G, B 와 CIE Color Matching 벡터 $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ 로부터 기본색의 3차극치 $(X_r, Y_r, Z_r), (X_g, Y_g, Z_g), (X_b, Y_b, Z_b)$ 를 구할 수 있으며, 다음 식은 Red 색에 대한 3차극치의 예를 보 인 것이다.

$$\begin{aligned} X_r &= R^T \hat{x} \\ Y_r &= R^T \hat{y} \\ Z_r &= R^T \hat{z} \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 Color Matching 벡터는 다음과 같이 표현되며, 다음 장의 그림(6)에 도시되어 있다.

$$\begin{aligned} \hat{x} &= [x_1 x_2 \cdots x_n]^T \\ \hat{y} &= [y_1 y_2 \cdots y_n]^T \\ \hat{z} &= [z_1 z_2 \cdots z_n]^T \end{aligned} \tag{5}$$

액정 프로젝션 시스템은 가색 시스템 이므로, R,G,B 기본색의 분광 벡터와 3차극치로부터 백색 및 2차색(Secondary Colors)인 C,M,Y의 분광 벡터와 3차극치를 구할 수 있으며, 다음 식은 R,G,B 기본색의 합성인 백색의 분광 벡터와 3차극치 X_w, Y_w, Z_w 를 보여준다.

$$W = R + G + B \tag{6}$$

$$X_w = X_r + X_g + X_b$$

$$Y_w = Y_r + Y_g + Y_b \tag{7}$$

$$Z_w = Z_r + Z_g + Z_b$$

이 경우, 백색의 색도 좌표 (x_w, y_w) 는 다음 식으로 구해지며, Dichroic Mirror의 분광 투과/반사 특성이 바뀔 때는 백색의 색좌표도 역시 바뀌게 된다.

$$\begin{aligned} x_w &= \frac{X_w}{X_w + Y_w + Z_w} \\ y_w &= \frac{Y_w}{X_w + Y_w + Z_w} \end{aligned} \tag{8}$$

따라서, 색재현 설계는 백색의 색도 변화를 수반하게 되며, 필요에 따라 백색의 색좌표를 정해진 기준 좌표로 재조정하여야 한다. 이것을 일반적으로 White Balancing으로 언급하며, 이 같은 White Balancing 방법은 색재현 설계 시 동시에 고려할 수도 있고, 색재현 설계 후에 회로적으로 기본색의 광량에 이득을 인가함으로써 구현될 수 있다^[8]. 본 논문에서는 White Balance는 고려 않기로 한다.

다음은 기본색, 2차색과 백색이 표준 조건하에서는 어떻게 지각되는가를 보인 1976 CIELUV 균등색공간의 좌표를 구할 수 있으며, Red색에 대한 색좌표

(L_r^*, u_r^*, v_r^*) 와 채도 C_r^* 를 구하는 예가 다음식에 보인다. 여기서 Y_n 과 (u'_n, v'_n) 은 기준 백색의 휘도와 색도- D_{65} 일 때 (0.1978, 0.4684), B인 경우 (0.3485, 0.3517)-를 나타낸다.

$$\begin{aligned} L_r^* &= 116(Y_r / Y_n)^{1/3} - 16 \\ u_r^* &= 13L_r^* [4X_r / (X_r + 15Y_r + 3Z_r) - u'_n] \\ v_r^* &= 13L_r^* [9Y_r / (X_r + 15Y_r + 3Z_r) - v'_n] \\ C_r^* &= \{ (u_r^*)^2 + (v_r^*)^2 \}^{1/2} \end{aligned} \tag{9}$$

이 경우, 식(9)에 의해 CIELUV 균등색공간의 좌표를 구할 수 있으며, 표시색의 색채학적 분석이 가능해진다.

전술한 바와 같이 액정 프로젝션 시스템의 재현 가능한 색영역은 LUV공간상의 흑색, 백색, R,G,B 기본색, C,M,Y의 2차색으로 이루어진 다면체로 다음 그림과 같은 6면체로 근사화 될 수 있다.^{[9], [10]}

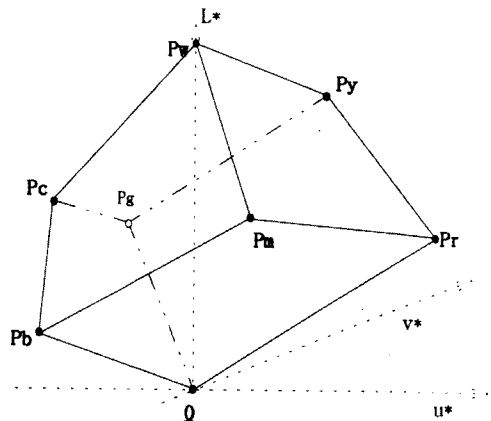


그림 5. CIELUV 색공간에서의 프로젝션 시스템의 재현색영역
Fig. 5. CIE Gamut of Projection Systems in CIELUV Uniform Color Space.

재현색영역의 크기는 그림(5)에 보인 6면체의 체적으로, 꼭지점 $P_r, P_g, P_b, P_c, P_m, P_y, P_w$ 은 각각 Red, Green, Blue의 기본색, Cyan, Magenta, Yellow의 2차색과 백색에 해당하며, 좌표는 해당색의 균등색공간의 색좌표이다. 본 논문에서 최적화하려는 성능 지수로서 위에 보인 색재현 영역의 체적의 크기를 선정하였다. 위와 같은 6면체의 체적은 $(P_w, P_r, P_m, P_b, 0)$ 로 이루어진 4면체 등과 같이 3개의 4면체로 분리한 후, 각 4면체의 체적을 구하여 합하는 방법을 사용하였으며, 각각의 꼭지점의 좌표로 유도 과정은 평범

한 반면, 복잡하게 표현되므로, 구체적 기술은 생략한다.

IV. 실험 및 결과

앞 절까지 기술한 최적화 설계 방법을 개발 중인 액정 프로젝션 시스템에 직접 적용하였다. 우선 다음 그림에서, 사용된 광원의 분광 특성의 측정 결과를 보인다.

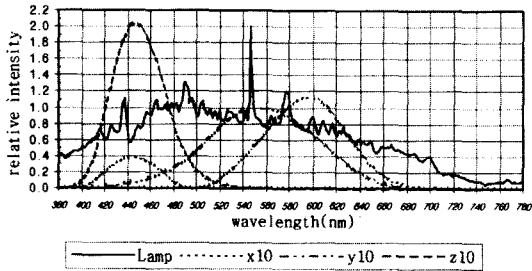


그림 6. Lamp의 발광 특성과 CIEXYZ Color Matching Functions
Fig. 6. Spectral Radiance and CIEXYZ Color Matching Functions.

Dichroic Mirror의 색재현 설계 시, 성능 지수를 최대화 하는 구체적인 설계 변수로서, 아래의 그림과 같이 Dichroic Mirror의 분광 투과 특성을 선형 근사화 시키고, 그 경계 파장 λ_0 를 구하는 문제를 제시하고, 이를 해결하였다.

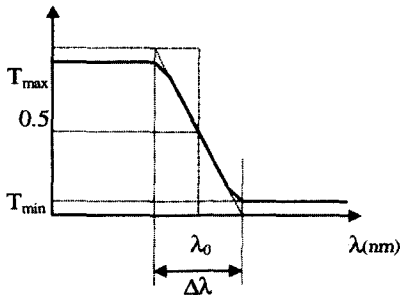


그림 7. 근사화 된 Dichroic Mirror의 분광 투과 특성의 설계
Fig. 7. Example of Approximated Spectral Transmittance of Dichroic Mirror.

그림(7)에서 그 외의 가능한 설계 변수는 비용과 제조 기술 관례로 다음과 같이 고정값을 적용하였다 [6]

$$\Delta \lambda = 40(\text{nm}), T_{\max} = 0.95, T_{\min} = 0.01$$

그림(1)에 보인 바와 같이 액정 프로젝션 시스템에는 총 6개의 Mirror가 있으며, 그 중에서 M_1 과 M_5 는 경계 파장 λ_1 , M_2 과 M_6 는 경계 파장 λ_2 의 특성치를 갖는다고 하였다. M_3 과 M_4 는 전반사의 특성을 갖는다. 따라서, 주어진 설계 문제는 색재현 영역의 크기를 최대화 하는 경계 파장 λ_1 과 λ_2 를 구하는 것이다.

본 논문에서 다루고 있는 문제는 매우 복잡한 비선형 관계로 해석적 최적화는 불가능하며, Newton 방법 등 수치적으로 최적치를 구할 수 있다. 우선 경계 파장 λ_1 과 λ_2 의 변화에 따른 성능 지수의 변화를 그림으로 보인다. 경계 파장 λ_1 과 λ_2 를 각각 [455,505] (nm), [555,605] (nm)의 범위로 변화시킬 때 시정 조건에 따른 표시색의 색재현영역의 크기가 유일한 극대값이 존재함을 알 수 있다.

그림(8)~(10)은 표준 시정 조건하에서의 성능 지수의 변화를 보인 것으로, J는 균등색공간의 색영역의 체적이며, 여기서 기준 백색의 휘도는 경계 파장의 변화 범위 이내에서 TV의 백색의 가장 높은 값으로, 색도는 CIE에서 표준으로 정한 D_{65} 와 B로 하였다. 위의 경우에 대해, 색재현 영역의 크기를 최대화 하는 경계 파장을 Newton 방법을 이용하여 구해보면 표(1)의 결과와 같으며, 다른 시정 조건에 대해서도 같은 방법으로 최적 설계를 수행할 수 있다.

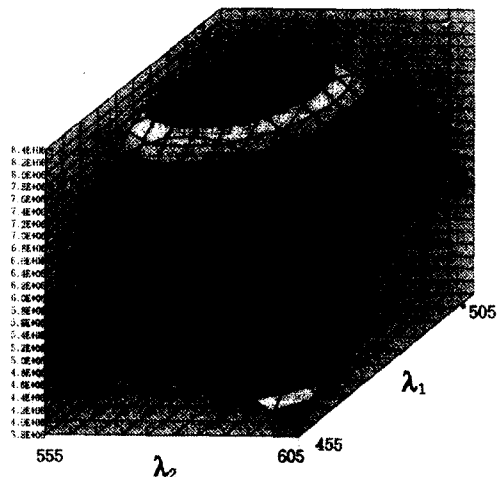


그림 8. 경계 파장의 변화에 따른 성능 지수의 변화 (D_{65} 조건 시)
Fig. 8. Variation of Performance Criterion (D_{65} Viewing Condition).

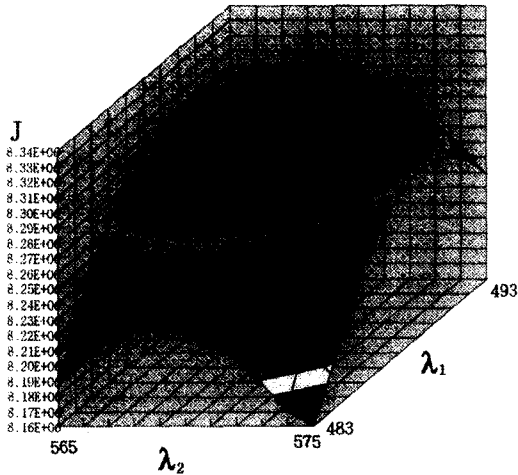


그림 9. 경계 파장의 변화에 따른 성능 지수의 변화 (D₆₅조건 시, 상세 파장 대역)
 Fig. 9. Detailed Variation of Performance Criterion (D₆₅).

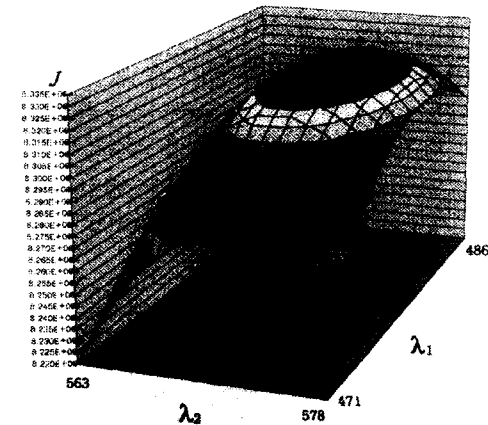


그림 10. 경계 파장의 변화에 따른 성능 지수의 변화 (B 조건 시, 상세 파장 대역)
 Fig. 10. Variation of Performance Criterion (B Viewing Condition).

표 1. 최적 설계된 경계 파장
 Table 1. Optimized Half-Power Wavelengths.

| 시청 조건 | λ_1 (nm) | λ_2 (nm) |
|-----------------|------------------|------------------|
| D ₆₅ | 477 | 569 |
| B | 481 | 572 |

위의 결과를 보면, 식(9)에 적용된 D₆₅와 B의 색도 좌표로부터 알 수 있듯이 B 광원의 색은 D₆₅보다 옐렌지와 GREEN의 색으로 치우쳐 있으므로 이를 기준으로 한 색재현 성능 면에서도 같은 색조의 광량을

증가시킴으로써 성능 지수를 극대화 하려는 경향을 관찰할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 인간의 시각 특성과 시청 조건을 고려한 최적의 색재현 특성을 분석하고, 3판식 액정 프로젝션 시스템에 사용되는 광학계에 대해 재현 색영역을 최대화하는 것을 목적으로, 3판식 액정 프로젝션 시스템의 구성과 인간의 색지각 특성을 기술한 후, 배면형 3판식 액정 프로젝션 시스템을 대상으로 색분리/합성 광학계의 최적화 문제 및 설계 방법의 제시, 실험 결과를 설명하였다. 또한 이를 위해 성능 지수와 기준 백색의 선정에 대해서 언급하였다. 결과로서, 가장 일반적 시청 환경하에서 인간이 시각적으로 느끼는 채도를 최대로 만드는 Dichroic Mirror의 설계 변수인 경계 파장의 최적치를 구하였다. 이는 현 Set의 직관적 설계 방법의 문제점을 개선한 체계적인 최적 설계 방법으로서, 현재 출시하고 있는 제품에 직접 적용이 가능하다.

본 논문에서 제안된 설계 방법은 CRT 투시형 TV, 직시형 칼라 브라운관의 형광 물질의 개선과 직시형 액정 디스플레이 장치의 Color Filter 설계 시의 기반 기술로서 그 효과가 기대되며, 계속적인 연구, 개발을 수행할 것이다.

참고적으로 본 논문에서는 객관적 성능 지수의 선정 후 이를 최적화하는 설계 방법이 제시되었으나, 이 결과가 주관적인 평가 방법에 의한 성능치의 최적화를 의미하는 것은 아니다. 본 논문에서는 성능 지수로서 인간의 시각적 특성에 가까운 균등색공간과 상대적 인식량으로서의 지각색의 명도, 채도를 동시에 고려한 색영역의 크기를 선정하였으므로 색재현에 관련된 주관적 평가치와 어느 정도 유사성의 관계를 가질 것으로 추정은 가능하나, 과연 어떤 주관적 평가치와 얼마만큼의 상관 관계가 존재하는 객관적 성능 지수인가를 분석하기 위해서는 지속적인 실험이 요구된다.

참고 문헌

[1] Jee-Hong Kim, "A Simulation Method for TV Color Compensation," *SID Digest*, Int'l Symposium, Orlando, 1995.

- [2] Jee-Hong Kim, J. P. Allebach, "Color Filters for CRT-Based Rear-type Projection Television," *IEEE Tr. Consumer Electronics*, Vol. 42, No. 4, pp 1050-1054, 1996.
- [3] W. Ma, et al., "Color Design for a LCD Projector," *DISPLAY Technologies*, SPIE Vol. 1815, pp81-85, 1992.
- [4] H. Yasto, *The Design of Projection TV*, White Series No. 107, Triceps, Tokyo, 1990.
- [5] H. Stupp, et al., "LCD Rear-Projection Television for Consumer Application," *SID Digest*, Int'l Symposium, 1993.
- [6] H. Pritchard, "US Color Television Fundamentals - A Review," *IEEE Tr. Consumer Electronics*, Vol. CE-23, pp467-478, 1977.
- [7] W. G. Hunt, *The Reproduction of Colour*, 4th edition, Fountain Express, England, 1987.
- [8] Wyszecki, W. Stiles, *Color Science*, 2nd edition, Wiley, New York, 1982.
- [9] W. Meyer, et al., "A Color Gamut Visualization Tool," *Proc. Color Imaging Conf.*, IS&T, pp197-201, 1993.
- [10] Jee-Hong Kim and H. B. Lee, "Colorimetric Design of Dichroic Mirrors in 3-LCD Projection Systems," *Proceeding 3140*, SPIE Annual Meeting, San Diego, pp178-183, 1997.

 저 자 소 개

金 志 淵(正會員)

1982년 서울대 전기공학과 졸업(공학사). 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사, 박사). 1995 ~ 1996년 미국 퍼듀대학교 (Visiting Scholar) 1984년 ~ (주) LG 전자 근무, 카메라 및 프린터 개발, 화질 평가 및 개선연구 현재 디스플레이연구소에서 차세대칼라디스플레이시스템 개발 중 주관심 분야는 칼라화상처리, 디스플레이시스템, Machine Vision 색채 공학