

# 등색함수 필터의 설계와 이 필터를 사용한 색좌표 측정의 오차 분석

## Design of color matching function filters and error analysis in color chromaticity coordinates measurement using the filters

전지호, 조재홍, 박승남\*, 박철웅\*, 정기룡\*

한남대학교 대학원 물리학과, \*한국표준과학연구원 기반표준연구부

snpark@kriss.re.kr

빛은 복사(radiation)으로써 모든 파장의 전자기 스펙트럼을 가지고 있으나 사람의 눈은 이 중에서 약 380 nm에서 780 nm 사이 파장에 대해서만 반응을 한다. 색은 일정한 분광분포를 갖는 광원의 빛이 눈에 들어와 어떠한 감각을 일으키는 자극을 말하는 것으로 인간의 개인적인 시감특성에 의하여 다른 색으로 인지될 가능성이 있기 때문에 1931년 국제조명위원회(CIE)에서는 색측정(colorimetry)을 위해 인간의 시감을 분석하여 파장에 따라 3가지 시감분포를 갖는 등색함수(color matching function)  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ 를 정의하였다.<sup>[1]</sup> 이 함수에 의해 삼자극치(Tristimulus value)를 구하면 다음과 같이 표현이 된다.

$$X = 683 \int_0^\infty P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = 683 \int_0^\infty P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda = 683 \int_0^\infty P(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$Z = 683 \int_0^\infty P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

여기서  $P(\lambda)$ 는 측정에 사용된 광원의 복사휘도(radiance)이고, 등색함수에서  $\bar{y}$ 는 국제조명위원회에서 1924년에 광측정(photometry)을 위해 정의한 분광시감효능함수인  $V(\lambda)$ 함수와 같은 양이므로 삼자극치 중에서 Y는 광휘도(luminance)가 된다. 따라서 색도계(colorimeter)를 제작하기 위해서는 등색함수  $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 에 대응되는 분광 감응도의 조합 필터가 필요하고, 이 조합 필터가 각각의 함수에 일치하는 정도에 따라 측정기의 정밀도가 좌우된다.<sup>[2]</sup>

이 연구에서는 상용화된 색 필터들을 가지고 인간의 시감 분포와 좀 더 일치하는 측정 장치를 제작하기 위해서 보정 필터를 설계하는 프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 각각의 등색함수  $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 에 일치하는 조합 필터들을 설계하였으며, 설계된 조합 필터를 실제 제작하여 투과도를 측정하고 설계에서의 투과도와 비교하였다. 그리고 이 실험에서 설계된  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  보정필터로 LCD 광원의 색도를 측정하였을 때의 오차를 분석하였다.

설계 프로그램 개발에 있어서 주안점은 조합한 색 필터의 투과도와 특정 곡선과의 일치이고, 이 두 곡

선의 일치정도는 국제조명위원회(CIE)에서 명시한  $f_1'$  값에 의해 결정하였는데 두 곡선이 정확히 일치하면  $f_1'$  값은 '0'이 되므로  $f_1'$  값을 최소로 함으로써 필터 조합을 최적화하였다. 프로그램에 사용한 각 필터에 대한 데이터는 색 필터 제작 회사에서 제공하는 제원에 나와 있는 투과도 값을 사용하였으며, 필터의 투과도 곡선이 두께에 따라 변하기 때문에 이를 곡선맞춤변수로 사용하여 비선형 최소제곱법으로 결정하도록 프로그램을 개발하였다. 이렇게 개발된 프로그램으로 각 함수에 대응되는 조합필터 군을 설계하였고 그 결과는 표 1.에서 보는 것과 같다. 여기서  $x$  는 피크점이 두 개인 곡선이므로  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ 로 나누어 설계하였다.

표 1. 등색함수( $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ )에 대응하는 각 조합 필터의  $f_1'$  값

	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{y}, V(\lambda)$	$z$
$f_1'$	2.706%	1.158%	3.72%	2.914%

이 연구에서 개발한 프로그램으로 설계한 조합 필터들이 실제 제작하였을 경우와 얼마나 일치하는지를 알아보기 위해 대표적으로  $\bar{y}$  대한 조합필터를 제작하여 투과도를 측정 한 결과  $f_1'$  값이 3.58 %로 프로그램에서 설계되어진 값보다 오히려 좋은 결과를 얻었다. 설계 값과 제작 후 측정값에 차이가 생기는 것은 필터 두께 가공 시 제작 공차에 의해 생기는 것으로 사용하는 필터의 두께가 얇을수록 작은 공차에도 투과도가 크게 변하게 되므로 얇은 필터를 사용할 경우 정밀가공이 요구된다.

이렇게 설계된 조합 필터를 가지고 LCD 광원의 색 좌표를 측정하기 위해 D<sub>65</sub>표준광원을 사용하여 각각의 등색함수에 대한 색 보정계수를 계산한 결과  $K_{x1}=0.34956075, K_{x2}=1.07619596, K_y=1.0011807, K_z=1.77306469$ 를 얻었다. 그림 1.은 LCD광원의 실제 RGB 값과 이 연구에서 설계한 조합 필터들을 가지고 얻어진 값을 비교하기 위해 L'u'v'균등 색도 좌표에 표시한 것이고 그림 2.는 각 색좌표에서의 색차를 보여주는 그림이다.

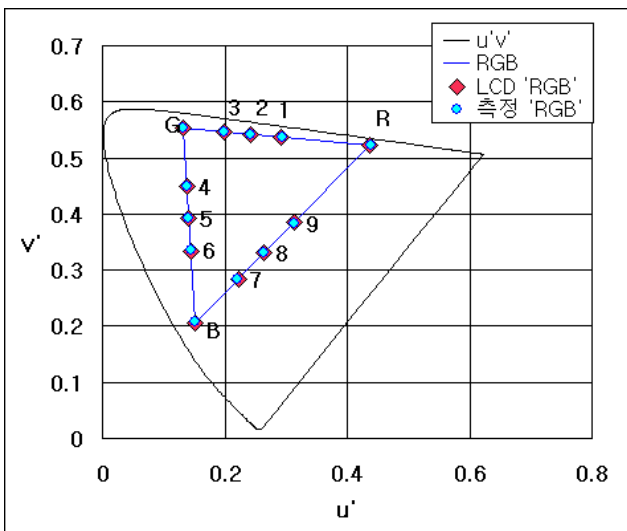


그림 1. LCD에 대한 L'u'v' 좌표

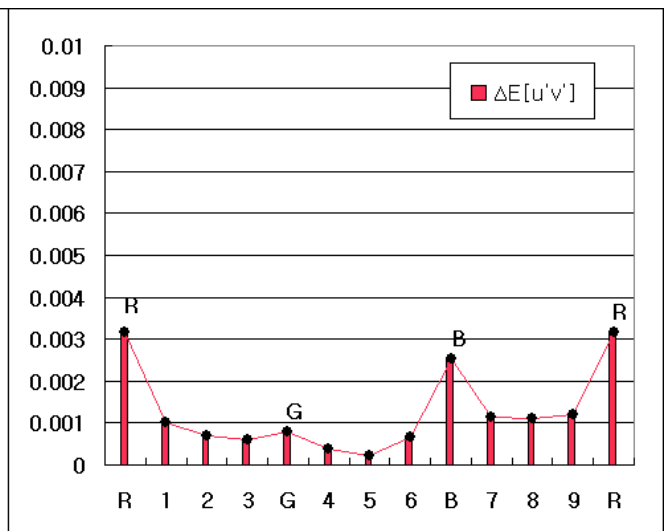


그림 2. 설계 필터에 의한 LCD의 색차

참고문헌

[1] Daniel Malacara, "Color vision and Colorimetry", SPIE (2002).  
 [2] Casimer DeCusatis, "Handbook of Applied Photometry", Springer-Verlag New York (1996).