

배열 LED 광원을 이용한 조명도계의 비교 교정

Comparison calibration of illuminance meters using LED array sources

박승남, 김용완, 박성중, 이동훈
한국표준과학연구원(KRISS) 광기술표준부
snpark@kriss.re.kr

광도(luminous intensity)는 모든 광학 측정의 기본이 되는 양으로 단위는 입체각 당 광선속인 칸델라(candela, cd = lm/sr)로 정의된다. 따라서 점광원으로 근사할 수 있는 광원은 거리에 무관하게 일정한 광도 값을 가진다. 그러나 전구 형태의 LED는 일반적으로 배광 곡선이 균일하지 않고, 렌즈를 포함하고 있기 때문에 그 광도는 측정 거리, 측정 입체각의 크기와 모양에 따라 달라진다. 이렇게 점광원으로 근사할 수 없는 LED의 광도 측정에서 그 일치를 보장하기 위하여 국제조명위원회는 권고안(CIE 127)에서 측정조건을 A와 B로 구분하여 CIE LED 평균광도를 정의하게 되었다.⁽¹⁾

현재 이와 같은 권고안이 존재하고 있는 상황에서도 시험소에 따른 CIE LED 평균광도 측정결과의 차이가 수십 % 이상, 심한 경우에는 100 %를 상회하고 있다. 권고안은 성능 계수 f_1 이 작은 조명도계(illuminance meter)를 사용할 것을 권장하고 있지만, 비록 f_1 이 작더라도 LED와 같은 단색광을 측정할 때는 조명도계의 분광감응도가 시감효능함수와 일치하지 않는 파장 영역에서 큰 오차가 발생한다. f_1 이 다소 큰 조명도계라도 상대 분광감응도를 정확히 측정하여 색보정을 하여 주면 이런 문제를 해결할 수 있지만, 상대 분광감응도 측정은 까다롭고 피교정 광원이 바뀔 때 마다 그 광원의 분광분포를 고려하여 색보정 계수를 계산해야 하기 때문에 실제 사용에서 이런 절차를 세밀하게 따르는 어렵다. 이러한 현실적인 어려움 때문에 조명도계의 사용자들은 조명도계를 표준광 A에서 교정하고 이 교정계수를 LED로 측정한 결과에 적용하여 사용하고 있는 실정이다. 한편, 측정 오차를 극복할 수 있는 또 다른 방법으로 표준 LED의 사용을 권하고 있지만 표준 LED를 구하기 어려운 것이 현실이다.

이 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 배광이 균일한 배열 LED(LED array) 광원을 사용하여 조명도계를 비교 교정하는 방법을 제시하고, 국내에서 주로 사용되고 있는 몇 가지의 조명도계를 표준광 A와 LED 광원을 사용하여 교정한 결과를 보여준다. 실험 결과를 통해 특별한 주의 없이 표준광 A로 교정한 결과만을 적용했을 때 발생하는 LED 광도 측정의 오차를 정량적으로 확인할 수 있다.

조명도계를 비교 교정하기 위하여 실험에 사용한 광원은 4가지 색깔(청색, 녹색, 황색, 적색)의 배열 LED 광원으로 약 50 여개의 발광 pn 접합이 평면 위에 배열되어 배광이 매우 균일하다. 그림 1은 실험에 사용한 4가지 배열 LED의 상대분광분포를 측정하여 표준광 A의 분광분포와 같이 그린 것이다. 녹색은 그 폭이 가장 넓어서 분광분포의 반치폭이 약 40 nm이고 황색과 적색은 반치폭이 약 15 nm 이다.

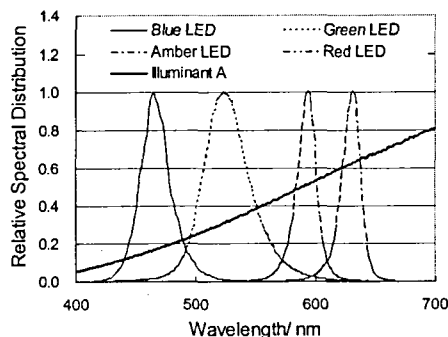


그림 1. 비교 교정용 배열 LED의 분광분포

비교 교정은 먼저 각 LED 광원의 조명도를 분광감응도가 알려진 표준 조명도계로 측정하고 다시 피 교정 조명도계로 측정하여 두 값을 비교하는 절차로 이루어 졌다. 분광감응도가 알려진 표준 조명도계의 조명도 감응도(illuminance responsivity; A/lx)는 다음의 식으로 구하였다.

$$R_{vi} = \frac{A \cdot S_{555} \int_{\lambda} E(\lambda) s(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{\lambda} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda} = \frac{A \cdot S_{555}}{K_m \cdot f(e)} \quad (\text{in A/lx}) \quad (1)$$

여기서 $E(\lambda)$ 는 피측정 광원의 분광복사조도, $s(\lambda)$ 는 조명도계의 상대 분광감응도로서 파장 555 nm에 대해서 규격화한 것, S_{555} 는 555 nm에서 조명도계의 분광감응도, A 는 조명도계의 개구 면적, $V(\lambda)$ 는 시감 효능함수이고 K_m 은 683 lm/W로 복사도-광도의 변환 상수이다. 함수 $f(e)$ 는 조명도계의 색보정 계수이고 이는 광원의 상대 분광복사조도 $e(\lambda)$ 를 사용하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$f(e) = \frac{\int_{\lambda} e(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda} e(\lambda) s(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

앞에서 언급한 것처럼 전구 형태의 단일 LED는 점광원으로 근사할 수 없어 거리에 따라 광도가 다르므로 측정의 일치성을 위해 측정 거리를 고정하여 측정한다. 그러나 표 1에 정리한 것처럼 녹색 배열 LED는 거리를 10 cm에서부터 320 cm까지 변화시키면 조명도는 약 1000배 변화하지만 거리의 역제곱 법칙으로 계산한 광도는 평균값 19.10 cd에서 0.2 % 이내에서 같은 값을 주고 있다. 이 결과를 보면 사용한 배열 LED 광원이 거리에 무관하게 CIE LED 평균 광도를 측정을 위한 조명도계를 교정하기에 적합한 광원임을 알 수 있다.

그림 2는 국내에서 많이 사용되고 있는 4가지 상용 조명도계를 배열 LED 광원을 사용하여 비교 교정한 결과를 보인 것이다. Custom LX-1332의 경우 표준광 A에서 대해서는 잘 맞지만 LED 광원에 대해서는 보정값이 청색 LED의 경우 -60 %, 적색의 경우 +50 % 인 것을 알 수 있다. 그 성능이 비교적 우수한 Minolta CL-200의 경우라도 청색의 보정값은 20 %를 상회하는 것을 알 수 있다. 또한 성능이 가장 우수한 것으로 판명된 Topcon IM-2D와 Yokogawa 51002의 경우에도 어떤 색깔의 LED에서는 보정값이 10 %를 상회하는 것을 알 수 있다.

결론적으로, 우리는 균일한 배광을 가지는 배열 LED 광원을 이용한 비교 교정법을 LED 측정에 사용하는 조명도계를 간단하면서도 측정 목적에 맞도록 정확하게 평가할 수 있는 방법으로 개발하였으며 이를 통해 그동안 통용되던 표준광 A에 기준한 교정방법이 LED 측정에서 얼마나 큰 오차를 야기할 수 있는지를 정량적으로 확인할 수 있었다.

Distance (cm)	Illuminance (lx)	Luminous Intensity (cd)
10	1.907E+03	19.07
20	4.785E+02	19.14
40	1.195E+02	19.12
80	2.985E+01	19.10
160	7.458E+00	19.09
320	1.865E+00	19.10

표 1. 녹색 배열 LED의 거리에 따른 조명도 및 광도 측정 결과

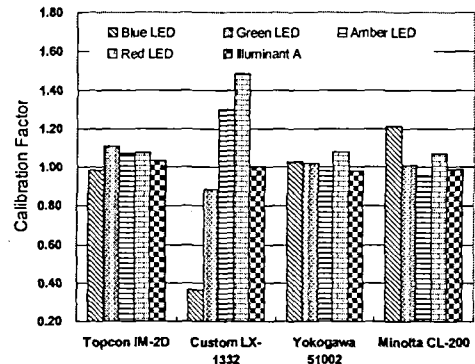


그림 2. 상용 4가지 조명도계의 각 LED 광원에 대한 교정 인자

참고문헌

[1] Commission Internationale de l'Éclairage, Measurement of LEDs, Publication CIE 127-1997.