불확도 성분 간 상관관계를 고려한 CIE 평균 LED 광도의 측정 불확도 분석

Uncertainty Evaluation of the CIE Averaged LED Intensity Measurement including Correlation

박성종, 이동훈, 김용완, 박승남
한국표준과학연구원(KRISS) 기반표준부
spark@kriss.re.kr

"평균 LED 광도"[1]는 LED의 광특성 평가 항목 중 대표적인 광도관련 측정량으로 LED관련 산업 현장에서 중요한 품질관리 지표로 이용된다. 한편, 상대적으로 단순한 측정방정식을 통해 측정이 이뤄짐에도 불구하고, 최근 국내 측정소를 대상으로 수행하였던 숙련도 검사 결과 측정소간 측정값의 편차가 측정 불확도를 훨씬 상회하는 것으로 나타났다[2]. 이러한 측정 불일치는 당연히 해결되어야만 하는 것으로, 이를 위한 첫 걸음은 측정 일치도를 가늠하는 기준인 측정 불확도를 적절하게 평가하는 것이다. 본 연구에서는 국내외 측정 현장에서 널리 쓰이는 배열형 광검출기를 탑재한 분광복사도계 기반 광도 측정장치를 대상으로 측정 불확도 평가법를 소개하고자 한다.

LED 광도 측정의 불확도는 측정기의 표준 소급성을 전달해주는 전달표준기와 기기 자체의 특성으로부터 기인한다. 그 예로 전달표준기인 분광복사조도 표준전구가 갖는 불확도를 비롯한 파장 불확도, 광검출기 선형성, 떠돌이 광, 반복성 등이 가능한 불확도 요인이며, 각각의 성분들은 서로 상관관계를 가지고 전파된다[3].

분광 복사계를 이용한 평균 LED 광도 측정 시 측정방정식은 다음 식으로 표현된다.

$$I_{LED} = E_v d^2,\ E_v = K_m \sum_i E_i V_i \Delta_i,\ \text{그리고}\ E_i = y_i / y_i^s \times E_i^s. \quad (1)$$

단, K_m은 최대시감효능으로 683 lm/W 이고, E_i는 분광복사조도, E_i^s는 표준전구의 분광복사조도값, V_i는 시감효율, y_i와 y_i^s는 각각 측정시와 교정시의 지시값을 나타낸다. 위 측정방정식 (1)로부터 아래의 식 (2)와 식 (3)과 같은 불확도 전파식을 유도할 수 있다.

$$u_r^2(I_{LED}) = \sum_X u_r^2(E_v)|_X + 2^2 u_r^2(d), \quad (2)$$

$$u^2(E_v) = K_m^2 [V_i \Delta_i] \sum_Y [u(E_i, E_j)]|_Y [V_j \Delta_j]^T. \quad (3)$$

식 (2)의 X는 조명도 E_v에 기여하는 불확도 성분을 나타내며, 그 성분으로는 측정 LED와 수광부의 광축정렬상태, LED에 공급하는 전류의 불확도, 분광복사조도로부터 전파된 불확도가 있다. 다시, 분광복사조도로부터 조명도에 전파되는 불확도는 식 (3)을 통해 전파되며, 분광복사조도의 상관불확도 성분 Y는 분광복사조도 표준전구의 불확도[4], 표준전구와 측정기 사이 거리의 불확도, 표준전구에 공급하는 전류에 의한 불확도, 분광복사계의 반복성 불확도, 분광복사계의 파장 불확도, 광선속 및 노출시간 따른 검출기 선형성, 떠돌이 빛[5]이 있다. 각각의 불확도 성분은 표 1에 보이는 것과 같이 파장 간에 상관관계를 맺고 있으며, 성분에 따라서 파장 의존성을 갖는다. 앞서 나열한 분광복사조도로부터 전파되는 총 7가지 성분의 불확도 전파는 식 (1)의 분광복사조도에 대한

측정방정식으로부터 유도할 수 있으며, 각 성분이 맺고 있는 상관관계를 모두 고려하여 전파식을 유도하였다.

지금까지 서술한 불확도 전파법의 적용 예를 보이기 위해 직경 5 mm의 램프형 백색 LED에 대해 평균 LED 광도를 측정하고, 이에 대한 불확도를 산출하였으며 이는 표 1과 같다. 불확도 요인 중에서 떠돌이 빛의 효과가 1.5 % (k = 1)로 가장 크며, 평균 LED 광도 측정의 전체적인 확장불확도는 4.1 % (k = 2)에 달하였다. 떠돌이 빛에 의한 계통효과와 검출기 선형성을 보정한다면 측정불확도는 2 % 이내로 향상될 것으로 기대된다. 덧붙여, 비교적 큰 값을 갖는 불확도 성분들은 대부분 파장 간에 강한 상관관계를 맺고 있는 것으로 나타나, 상관관계를 무시하고 불확도를 평가할 경우 상당 수준 과소평가할 위험이 있어 상관 불확도의 고려가 매우 중요함을 알 수 있다. 결과적으로 이와 같은 불확도 평가법의 현장 보급은 측정 일치도 향상에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

Description	Type	Unit	Distribution	DoF	Correlation	Wavelength dependence	Contribution (k=1.0)
Uncertainty propagation of the spectral irradiance standard data through cubic spline interpolation	B	%		Infinity	O	O	0.45
Detector/Standard lamp distance	B	%	Rectangular	Infinity	O	X	0.23
Standard lamp current stability	B	%	Rectangular	Infinity	O	X	0.04
Readout repeatability at calibration	A	%		9	X	O	0.00
Readout repeatability at measurement	A	%		9	X	O	0.50
Wavelength accuracy	A	%		29	O	O	0.01
Linearity on flux level	B	%		Infinity	X	X	0.00
Linearity on exposure time	B	%		Infinity	X	X	1.00
Spectral stray light	B	%		Infinity	O	O	1.53
LED mechanical axis alignment	A	%		7	X	X	0.30
LED current feeding accuracy	B	%		Infinity	X	X	0.03
Detector/LED distance	B	%	Rectangular	Infinity	X	X	0.58
					Combined uncertainty in quadrature sum		**2.06**
					Expanded uncertainty at k = 2.0		**4.13**

표 1 백색 LED에 대한 평균 LED 광도 측정의 불확도 산출표

1. Measurement of LEDs [CIE 127-1997] (Commision Internationale de l'Éclairage, Vienna, 1999).
2. S.-N. Park, S. Park, Y.-W. Kim, Y.-I. Cho, and C.-H. Hong, International Conference AdMet (New Delhi, India, 2006) to be presented.
3. J. L. Gardner, Uncertainties in Photometric Integrals [NMI TR 9] (Commonweath of Australia, 2005).
4. C. E. Gibson and G. T. Fraser, Report of Calibration: Spectral Irradiance Standard, Quartz-Halogen Lamp (Serial # F-522) (NIST, Gaithersburg, Maryland, 2001).
5. Y. Zong, S. W. Brown, B. C. Johnson, K. R. Lykke, and Y. Ohno, Applied Optics 45, 1111 (2006).