

절대 극저온 복사계에 소급된 검출기 기반 칸델라 눈금의 실현 Realization of a detector-based Candela scale traceable to the absolute cryogenic radiometer

박승남, 이동훈, 김용완, 정영봉, 이인원
한국표준과학연구원
snpark@kriss.re.kr

광도 측정의 기본단위인 칸델라 눈금을 확립하는 방법에는 흑체에서 방출되는 분광복사휘도를 기준으로 사용하는 광원 기반 방법과 극저온 절대 복사계(absolute cryogenic radiometer; ACR)로 부터 출발하여 실현하는 검출기 기반의 두 가지 방법이 사용된다. ACR를 사용하면서 검출기 기반 칸델라 눈금의 불확도가 흑체의 온도 측정 불확도로부터 전파되는 불확도 보다 훨씬 작기 때문에 각국의 국가 측정 표준 대표기관에서 검출기 기반 칸델라 눈금을 실현하고, 교정이나 측정 서비스를 제공하고 있다. ⁽¹⁾

칸델라 눈금을 실현하기 위한 광도계는 LMT사 제품을 사용하였다. 이 광도계는 실리콘광다이오드 앞에 시감효능 필터가 부착되어 있으면 검출기의 온도를 일정하게 유지할 수 있게 되어 있다. 이 검출기의 분광감응도를 측정하기 위하여 Fig.1과 같은 분광 감응도 비교기를 사용하였다. 광원은 QTH를 사용하였으며, 단색화 장치는 넓은 파장 영역에서 사용할 수 있도록 세 쌍의 이중회절격자를 사용하고 있으며, 분광 감응도의 비교 측정에는 1200 g/mm인 회절격자를 사용하였다. 이 측정에서 분광감응도 기준으로 사용된 실리콘광다이오드는 400 nm부터 700 nm까지는 실리콘 합정 검출기와, 400 nm 이하와 700 nm 이하의 파장에서는 ECPR(Electrically calibrated pyro-electric radiometer)과 비교 교정한 것이다.

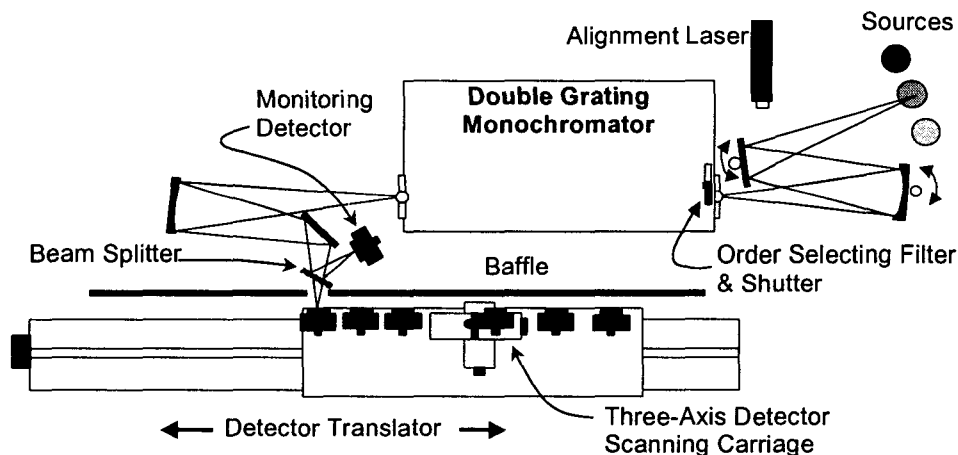


Fig.1. Spectral responsivity comparator

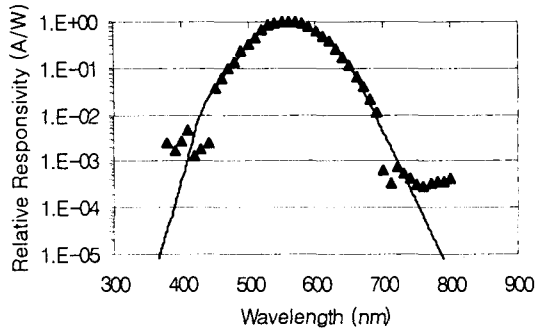


Fig.2. Spectral responsivity of photometer

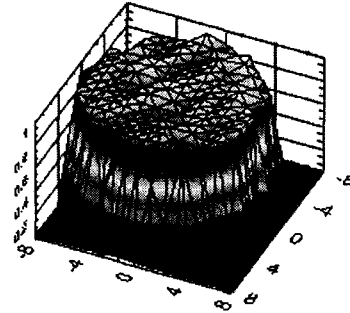


Fig.3. Spatial uniformity of spectral response at 555 nm

이 합정 검출기와 ECPR은 700 nm 이하에서는 클립톤-이온 레이저 라인과 He-Ne레이저로 사용하여 ACR과 비교 교정한 것이고, 700 nm이상에서 ECPR은 파장이 다른 여러 개의 반도체 레이저를 사용하여 ACR과 비교 교정한 것이다.

Fig.2에서 삼각형 데이터 점은 광도계의 분광감응도를 측정한 결과이고, 실선은 국제조명위원회에서 정의한 시감효능곡선이다. 감응도의 공간 균일도를 측정하기 위하여 분광감응도 비교기의 검출기 이송대 위에 설치된 삼축 검출기 이송기에 피교정 광도계를 설치하고, 광속의 직경이 3mm가 되도록 광도계의 검출기 표면에 집속하였다. Fig.3은 분광감응도 파장 555 nm에서 공간 균일도를 1 mm 간격의 격자 점에서 측정한 결과이다.

Fig.2에서 측정한 분광감응도 결과를 시감 효율을 고려하여 적분하면 단위가 A/lm인 광선속 (luminous flux) 감응도를 얻을 수 있다. 즉,

$$\Phi = 683 \int_{380}^{830} R(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

광선속으로부터 조명도(illuminance) 감응도[A/(lm/m²) = lx]를 얻기 위해서 광도계의 앞에 다이아몬드 회전 가공기(diamond turning machine)를 사용하여 직경이 5 mm가 되도록 제작한 개구를 부착하였다. 이 개구 면적의 불확도는 조명도, 광휘도 그리고 광도의 불확도에 그대로 전파되기 때문에 매우 중요하다. 면적은 레이저로부터 나오는 가우스 광속을 격자점 위에서 중첩시켜서 공간적으로 균일한 광속을 만들고, 개구를 통과한 광속을 측정하여 면적을 측정하는 방법을 사용하여 불확도 0.01 %이내에서 측정하였다.^[2,4]

이런 새로운 방법으로 광도 눈금이 매겨진 광도계와 예전부터 광도 눈금을 유지해 오고 있던 광도계의 조경도 차이를 광도 교정 벤치에서 측정하였다. 광도계의 비선형성, 분광감응도 측정의 불확도, 감응도의 공간균일도에 의한 불확도, 개구 면적의 측정 불확도 등을 고려하여 광도 눈금이 실현된 광도계의 조경도 측정 불확도를 산출하고, 앞에서 측정한 두 광도 눈금의 차이에 대하여 논의하였다.

참고문헌

[1] Casimer DeCusatis eds. Handbook of Applied Photometry (AIP Press, NewYok, 1997).
 [2] Lassila A., Toivanen P., Ikonen E., Meas. Sci. Technol., 8, 973-977 (1997).
 [3] Ikonen E., Toivanen P., Lassila A., Metrologia, 35, 369-372 (1998).
 [4] Stock M., Goebel R., Metrologia, 37, 633-636 (2000).