

은점 이상 복사온도 눈금실현을 위한 복사휘도 비교기의 특성측정

Metrological Characteristics Measurement of Radiance Comparator for Realizing the International Temperature Scale above the Freezing Point of Silver

박철웅, 박승남, 이동훈, 김봉학
한국표준과학연구원 기반표준연구부
cwpark@kriss.re.kr

휘도비교기(radiance comparator)는 은점 이상(961.78 °C)의 국제온도눈금-90(International Temperature Scale 1990 ITS-90)을 실현하는데 사용한다. ITS-90의 정의에 따르면은점 이상에서 온도눈금은 기준이 되는 구리점, 은점 또는 금점 흑체의 휘도와 임의 온도를 유지하고 있는 흑체의 휘도 비로 아래 식으로 정의 된다.^{[1][2]}

$$\frac{L_\lambda(T)}{L_\lambda(T_x)} = \frac{\exp(C_2/\lambda \cdot T_x) - 1}{\exp(C_2/\lambda \cdot T) - 1} \tag{1}$$

여기서 Tx는 은(1234.93K, 961.78 °C) 금(1337.33 K, 1064.18 °C) 또는 구리(1357.77 K, 1084.62 °C) 응고점 중의 하나이다. 이 정의에 따라 ITS-90를 실현하기 위해서는 복사 휘도를 측정하여 고정점과 비교하는 광전식 복사휘도 비교기가 필요하다. 흑체를 복사 휘도 비교기로 측정할 때 출력 신호는 흑체로부터 나오는 분광복사 휘도를 비교기의 분광 감응 특성을 고려하여 측정 파장 범위에서 적분하면 된다. 복사휘도 비교기의 선폭을 고려하여 두 흑체를 비교할 경우 측정된 복사 휘도 비는 아래식과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{S(T)}{S(T_x)} = \frac{\int_0^\infty L_\lambda(T) \cdot R_\lambda \cdot d\lambda}{\int_0^\infty L_\lambda(T_x) \cdot R_\lambda \cdot d\lambda} \tag{2}$$

비교기의 분광 감응도 R,는 광원과 검출기 사이에 있는 투과성 광학 부품의 분광 투과율과 복사온도계 검출기의 분광 감응도를 곱한 것이다. 따라서 이 방식으로 복사온도눈금을 만들려면 장치의 안정성, 크기효과, 선형성등 장치특성을 측정 하여야 한다. 특히 휘도비로부터 구한 복사온도의 오차는 온도값의 제곱으로 증가하기 때문에 고온에서 복사온도계를 정확하게 사용하기 위해서는 관련 장치특성 특히 장치의 선형성의 정확한 측정이 반드시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 휘도비교기의 장치특성을 측정하고, 두 개의 기준점에서의 온도 비교를 통하여 휘도비교기의 측정오차를 알아보고 기준에 사용 중인 휘도 비교기의 온도 눈금과 비교하여 새로 사용할 휘도 비교기의 특성을 알아보려고 한다.

복사휘도 비교기의 안정성측정을 위하여 텅스텐 안정전구와 구리 고정점을 사용하였다. 고안정화 텅스텐 전구의 온도를 구리점(1084.62 °C) 근처에서 고정하고 수분동안 측정한 복사휘도 비교기의 안정도는 5 mK 이내 였다. 구리의 어는점 근처에서 측정한 안정도도 9 mK 이내로 장치의 최소 잡음 전류가 수

fA 인 것을 고려하면 휘도 비교기의 장치 안정도는 기준기급으로 사용 가능 함을 알 수 있다.

휘도의 공간 분포나 광원의 크기가 다른 두 복사원의 휘도 비를 측정할 때, 복사원 크기 효과 (Size of Source Effect; SSE) 때문에 휘도 비 측정의 계통 오차가 발생한다. 일반적으로 고정점 흑체로 고정점을 실현할 때 사용하는 흑체로 광원은 그 크기는 물론 휘도 분포가 온도 눈금을 이전하려는 고안정 텅스텐 전구와 크게 다르므로, 그 효과를 측정하여 기준 조건의 값으로 보정하여야 한다. 이 효과를 보정하거나 이 보정의 불확도를 추정하기 위해서 SSE를 측정하여야 하는데 SSE 측정에는 오팔(opal) 투과 확산체를 할로겐 전구로 균일하게 조사하고 모양이나 크기가 다른 마스크로 확산체 크기를 조정하면서 광온계의 신호 변화를 측정하였다. 측정결과가 그림 1에 있다. 측정결과는 기존의 측정결과와 비슷하며, 2000 °C에서 휘도 비 증가에 따른 온도증가는 650 nm에서 0.1mK 으로 기준 비교기로 사용하기에 충분히 작다.

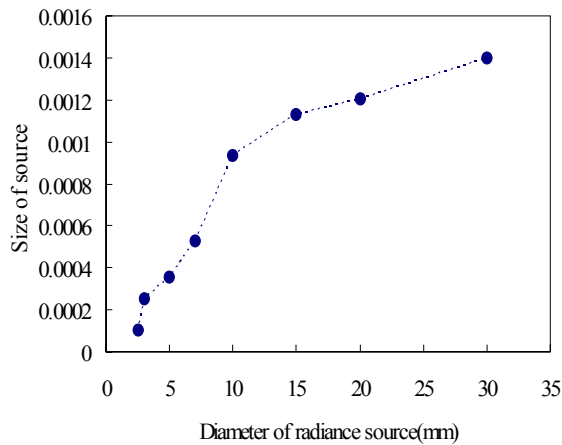


Fig.1. Size of source effect measured by stable tungsten lamp.

고휘도 LED를 이용하여 측정과장에서 복사온도계의 선형성 측정 하였다. 선형성 측정에는 복사온도계에서 주로 측정 과장으로 사용되는 과장근처인 625 nm 와 880 nm 고휘도 LED를 사용하여 10^4 세기 변화까지 측정오차가 10^{-4} 정확도로 측정하였다. 복사온도계의 측정결과에서 880 nm 과장 고휘도에서 뚜렷한 비선형성을 보였는데, 적외선 과장에 의한 영향으로 판단된다. 위의 특성 측정한 결과를 바탕으로 기존에 사용하던 복사휘도 비교기의 온도 눈금과 새 복사휘도 비교기의 온도 눈금을 가변흑체에서 비교하였는데 800 °C에서 2500 °C 온도 영역에서 350 mK 이내로 일치하였다.

참고문헌

1. J.W.Hahn, S.N.Park, E.S.Lee and C.Rhee, "Realization of International Temperature Scale-90 above 961.78°C and study on the calibration system for radiation thermometers by using a standard optical pyrometer with a silicon detector," Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry.6, 1992, 227-235.
2. 박승남, 김봉학, “은 점을 기준으로 고온에서 열역학적 온도의 측정 불확정도,” 한국물리학회지 “응용물리”12(5), pp.417-424, 199