

복사 측정에 의한 열역학적 온도 측정 및 국제온도눈금-90의 실현

박승남, 한재원
 한국표준과학연구원
 snpark@kriss.re.kr

1. 서론

플랑크(Planck)의 법칙은 흑체(blackbody) 내부에서 열 평형을 이루고 있는 광자들의 에너지 분포함을 설명한다. 복사온도 측정법은 기본 물리 법칙인 플랑크 복사법칙을 사용하기 때문에 열역학적 온도를 측정할 수 있는 한 가지 방법을 제공하며 고온에서 국제온도눈금을 정의하는데 사용된다.^(1, 2) 은의 응고점 이상에서 ITS-90은 플랑크 복사법칙에 따라 다음과 같이 정의된다.⁽¹⁾

$$\frac{N_\lambda(T)}{N_\lambda(T_x)} = \frac{\exp(C_2/\lambda T_x) - 1}{\exp(C_2/\lambda T) - 1} \quad (1)$$

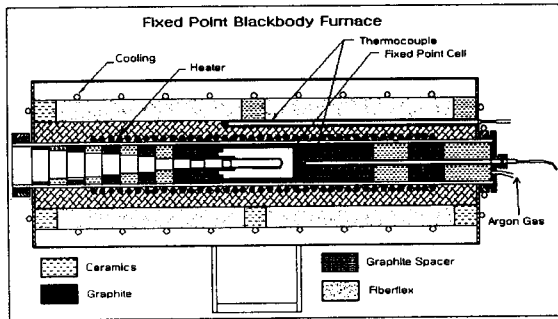


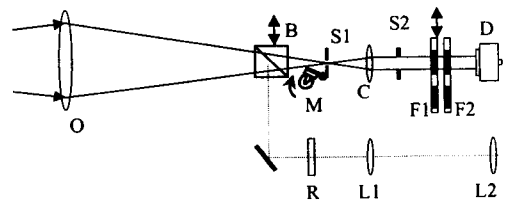
Fig.1. Copper fixed point furnace as a temperature reference for radiation pyrometry.

여기서 $N_\lambda(T)$ 와 $N(T_x)$ 는 파장 λ 에서 절대온도가 각각 T 와 T_x 인 두 흑체의 분광 복사 휘도이고, C_2 는 복사 제2상수로 0.014388 mK로 정의되어 있다, T_x 는 은, 금, 또는 구리의 응고점 온도이다. ITS-90에서 은 점의 온도는 961.78 °C, 구리 점의 온도는 1084.62 °C로 정의되어 있다. 여기에서 T_x 를 열역학적 온도로 대입하면 측정되는 온도 T 도 열역학적 온도가 되는 것이다. 이것이 복사온도 측정에 의한 열역학적 온도의 측정 원리이다. 식(1)은 단색 파장 λ 에서 정의된 두 흑체의 휘도 비이고, 실제로 비교기를 사용하여 휘도 비를 측정할 때는 비교기의 측정 파장 대역을 고려하여야 한다.

측정장치 및 결과

Fig.1은 기준 휘도를 얻기 위한 구리와 은의 응고점 흑체로이며, Fig. 2는 표준광고온계의 광학계를 보인 그림이다. 대물렌즈(O; acromatic, f=25 cm, 지름 5 cm)를 통하여 필드 스톱(S1) 위에 1:1의 상을 맺는다. 필드 스톱의 지름은 0.8 mm으로 구멍의 지름이 2 mm인 정점 흑체 뿐만 아니라 고안정 텅스텐 스트립 전구도 측정이 가능하다. 이 광학계에는 중심파장이 650 nm와 850 nm인 두개의 간섭필터로 두 가지의 분광 영역을 선택할 수 있도록 하였다. 측정을 할 때마다 시작하기 전과 후에 셔터를 사용하여, 검출기(Hamamatsu, S1337-1010BQ)의 암 전류를 측정하고, 어떤 온도에서 측정한 광 전류에서 그 암 전류를 빼서 규격화 신호를 얻는다.

Fig.3은 응고점 흑체로의 온도를 올리면서 표준광고온계로



O: Objective Lens; S1, S2: Field Stop; M: Mechanical Shutter
 B: Beam Splitter; C: Condenser Lens; F1, F2: Filter holders
 D: Silicon Detector; R: Rattle; L1; Relay Lens; L2: Eyepiece

Fig.2. The standard radiation pyrometer.

측정한 구리의 용융곡선과 응고곡선이다. 용융점과 응고점은 5 mK 이내에서 잘 일치하고 있으며 약 12 분 이상 지속되는 응고 평단부의 불확정도는 10 mK 이내이다. Table 1은 구리점을 기준으로 이미 ITS-90에서 정의되어 있는 은점의 온도를 이 표준 광온계로 측정한 것을 정리한 것이다. 6 개월 동안 측정한 은점의 온도는 정의된 온도 961.78 °C와 잘 일치하여 실현한 온도눈금의 신뢰도를 확인할 수 있었다. 이 확신을 바탕으로 최근 고온 고정점으로 주목을 받고 있는 Platinum-Carbon, Ruthenium-Carbon eutectic의 열역학적 온도를 측정하였다. Fig.3은 고온 흑연관 전기로에서 실현과 Ru-C의 용융 응고곡선의 측정 결과를 보인 것이다. 결정한 Ru-C 응고점의 열역학적 온도는 2226.02 ± 0.37 K이고, Pt-C은 2010.59 ± 0.31 K이다.

Table 1. Determination of the silver point temperature to confirm the scale of the standard pyrometer.

Date	Band	Radiance Ratio	ITS-90 of Silver Point (C)
1998-12-23	850 nm	0.290097	961.781
1998-12-23	650 nm	0.197763	961.798
1998-12-24	650 nm	0.197717	961.782
1998-12-29	850 nm	0.289907	961.722
1999-5-14	650 nm	0.197831	961.822
1999-5-14	850 nm	0.290108	961.784
Average			961.782
Std. Deviation			0.033

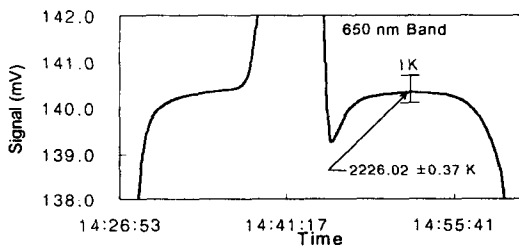


Fig.4. Measurement results of the melting and freezing curve of the ruthenium-carbon eutectic points in terms of the thermodynamic temperature.

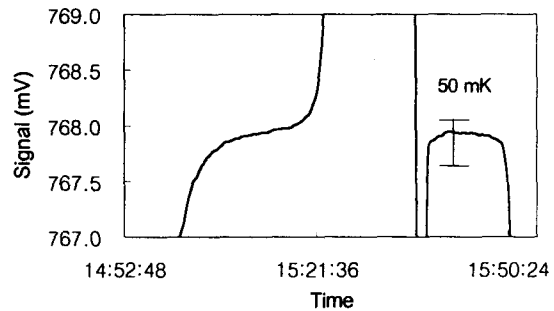


Fig.3. Copper melting and freezing curve.

참고문헌

1. H. Preston-Thomas, Metrologia 27, pp. 3 (1990).
2. J.W. Andrews, and Chuanxin Gu, "Thermodynamic temperature of the gold and silver points, BIPM Com. Cons. Thermométrie 15, Doc. CCT/84-39, (1984).