

논문 94-3-1-09

R형 열전대의 열처리 방법에 따른 알루미늄과 은 응고점에서의 기전력 변화

金容圭*, 甘基述**

Change of the thermoelectric voltage of type R thermocouples in the freezing points of aluminum and silver cells with the heat treatment methods

Yong Gyoo Kim and Kee Sool Gam

요 약

R형 열전대의 열기전력에 미치는 열처리효과에 대하여 살펴보기 위하여 알루미늄 및 은 금속 응고점 셀에서 깊이에 따른 열기전력의 변화를 조사하였다. 사용전 열처리 방법에 따라 최대기전력 차이는 660.323℃ 에서 17.1 μ V, 961.78℃ 에서 18.1 μ V 를 보였다. 또한 충분한 열처리를 거치지 않은 열전대는 동일한 온도로 유지되고 있는 응고점 셀내에서도 삽입깊이에 따라 기전력 차이를 나타냈으며, 그 정도는 알루미늄 응고점에서 최대 7.8 μ V, 은 응고점에서 18.9 μ V 를 보였다. 따라서 열전대를 사용하여 정확한 온도를 측정하기 위해서는 충분한 열처리를 거쳐야 함을 알 수 있었으며, 본 논문에서 얻어진 실험결과를 바탕으로 R형 열전대의 열처리방법을 제시하였다.

Abstract

In order to investigate the effects of heat treatment on the thermoelectric motive force (EMF) of type R thermocouples, the changes of EMF in the freezing points of aluminum and silver cells were measured with the immersion depth of themocouples. With the variation of heat treatment methods before use, it was found that the EMF values were different from each other, maximum 17.1 μ V at 660.323℃ and 18.1 μ V at 961.78℃. Additionally a thermocouple, which was not heat-treated fully, showed an EMF difference with the immersion depth even though it was located on the region maintained at the constant temperature. The measured differences were about maximum 7.8 μ V at the Al freezing point and 18.9 μ V at the Ag freezing point. It was recongnized that a thermocouple for the precise temperature measurement should be heat-treated carefully before service. In this report, the proper heat treatment methods for the type R thermocouple were given on the basis of the obtained experimental results.

I. 서 론

* 韓國標準科學研究院, 量子研究部 溫度그룹
(Temperature Group, Division of Quantum Metrology, Korea Research Institute of Standard and Science)

** 正會員 : 韓國標準科學研究院, 量子研究部 溫度그룹
(Temperature Group, Division of Quantum Metrology, Korea Research Institute of Standard and Science)

<접수일자 : 1993년 12월 20일>

열전대를 이용한 온도측정방법은 그 구성장치가 간단하고 상당한 정확도를 얻을 수 있는 장점으로 인하여 산업계를 비롯한 많은 분야에서 이용되고 있다. 서로 다른 두 금속의 쌍으로 이루어진 열전대는 측정하고자 하는 부위의 온도와 기준이 되는 온도사이의 온도차에 의해 발생하는 열기전력(thermoelectric motive force)을 측정하여 온도를 측정하게 된다. 이상적으로

완전한 열전대의 경우, 열기전력은 전적으로 온점과 냉점간의 온도차이에만 의존하게 된다. 그러나 실제에 있어서 열전대의 열기전력은 온도차이 뿐만 아니라 소선자체에 존재하는 열기전 불균질성 (thermoelectric inhomogeneity)에 따라 달라지게 된다.^[1-4] 이러한 현상의 요인들로는 불순물 오염(impurity contamination), 소성변형(plastic deformation), 과잉공공(excess vacancy), 표면산화(surface oxidation) 등을 들 수 있다. 이와같은 불균질성이 열전대소선에 존재하게 되면 열기전력의 감소를 유발시켜 정확한 온도 측정을 어렵게 만들게 된다.

각국의 표준기관에서는 열전대를 사용하여 정확한 온도를 측정하고자 할 때 이와같은 불균질성을 제거하고자 나름대로의 열처리를 거치게 된다.^[5] 열처리 대상이 되는 열전대는 정확도가 뛰어나고 열적안정성이 좋은 귀금속열전대(noble metal thermocouples)에 한하여 하고 있고, 비금속열전대(base metal thermocouples)는 일반적으로 열처리를 하지 않고 사용하고 있다. 귀금속열전대 중에서 R형(Pt vs Pt-13%Rh) 열전대는 S형(Pt vs Pt-10%Rh)과 더불어 국제온도준금-90(ITS-90^[5])에서 기준기급으로 사용되고 있다.^[6] 이 열전대는 온도측정의 정확도와 재현성이 좋고 S형에 비해 가격이 저렴하여 1300°C 정도의 온도영역에서 정밀한 측정이 요구되는 반도체 산업등에서 많이 사용되고 있다.

비록 전 세계적으로 채택된 표준열처리 방법은 없으나 호주, 캐나다 등 많은 국가에서 귀금속열전대의 열처리방법으로 채택하고 있는 것은 다음 3단계 과정이다.^[4,7]

A1 열처리 : 열전대 소선에 교류 혹은 직류 전류를 흘려주어 백금선 자체의 저항을 이용하여 1300~1450°C 에서 열처리를 한다. 열처리시간은 30분에서 1시간 정도가 적당하다고 보고되고 있다. 이 열처리의 목적은 소선에 가해진 소성변형 및 잔류응력을 제거하고 표면의 백금산화물을 환원시키는데 있다.

A2 열처리 : 열전대소선을 알루미늄 절연관에 삽입하고 열전대 조립중 소선에 가해진 응력을 제거하기 위하여 1100°C 정도의 온도에서 1시간 정도 열처리를 한 후 백금의 산화를 방지하기 위하여 공기중에서 급냉시킨다.

A3 열처리 : A2 열처리에서 소선에 과잉으로 남아

있는 과잉공공을 제거하기 위하여 백금의 산화가 발생하지 않는 450°C에서 장시간 밤샘열처리(over-night annealing)를 한다.

미국에서는 이와는 달리 A2 와 A3 열처리를 생략하고 750°C 에서 30분간 열처리하는 것으로 대체하고 있다. 이와같이 열처리를 한 뒤에 열전대를 교정한 후 실제 온도측정에 사용하게 된다.^[6]

그러나 이러한 열처리 효과가 온도측정의 정확도에 얼마만큼의 영향을 미칠것인가에 대해서는 아직까지 자료가 부족한 상황이며, 이에 대한 연구도 주로 국제실용온도준금(IPTS-68)에서 표준기로 사용된 S형 열전대에 치중되어 있는 상황이다.^[2-4]

본 연구에서는 산업계에서 보다 많이 사용되고 있는 R형 열전대의 열기전력이 열처리 방법에 따라 어떠한 영향을 받는가에 대하여 조사하고자 하였다. 각각 다른 열처리 방법으로 조립된 R형 열전대를 국제온도준금-90 에서 제1차 고정점으로 채택되고 본 연구원이 보유하고 있는 알루미늄과 은 용고점에서 열전대의 기전력 변화를 측정하였다. 이러한 연구결과로부터 열전대의 열기전력에 미치는 열처리 효과에 대하여 규명하고 그 정도를 파악하여 정확한 온도측정의 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 실험 방법

실험에 사용된 R형 열전대는 99.999% 순도를 갖는 것으로 직경 0.51mm 소선을 Johnson-Matthey사에서 구입하였다. RTC-001 은 본 연구에서 정한 표준열처리 방법(A1, A2, A3 열처리)을 거친 것이고, RTC-002 는 구입한 상태에서 어떠한 열처리없이 바로 조립한 것이다. 실험에 사용된 절연관은 순도 99.7% 이상의 고순도 알루미늄 튜브로써 길이 60cm 짜리였다.

전기로는 Inconel로 제작된 열관(heat pipe)을 장착한 것으로 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 내에서 PID 방식으로 조절되는 것이다. 알루미늄과 은 고정점 셀은 석영관내에 흑연도가니를 넣고 도가니 내에 고순도 알루미늄 혹은 은을 채운 것으로 전체 길이는 약 60cm, 흑연도가니 길이는 약 20cm 이다. 각 금속의 용고점 온도는 고온백금 저항온도계로 측정된 결과 알루미늄의 경우 $\pm 1.0\text{mK}$, 은의 경우 $\pm 1.4\text{mK}$ 정도의 정확도를 보여 주고 있다.^[8] 용고점의 실험은 먼저 용고점보다 약 10°C 위로

전기로의 온도를 설정하여 금속을 완전히 녹인다. 용탕의 온도가 안정화된 후 용고점 직하의 온도에 전기로의 온도를 설정하여 금속의 용고가 매우 천천히 진행되도록 하였다. 열기전력 측정기준점으로 증류수로 얼린 얼음가루와 증류수를 혼합한 빙점(ice point)을 제작하여 사용하였으며, 연장선으로 고순도 구리선을 사용하였다. 기전력은 Keithley DVM 182 모델을 이용하여 온도가 충분히 안정하게 유지된 다음 측정을 하였다.

III. 실험 결과

그림 1에 RTC-001 과 RTC-002 의 알루미늄 용고점 셀 깊이 에 따른 열기전력의 변화를 나타내었다. 그림에서 *i* 와 *w* 는 각각 삽입(immersion)과 방출(withdrawal)을 의미한다. 열전대 접점이 셀의 밑 바닥에 닿았을 때를 기준으로 하여 깊이에 따른 열기전력을 측정하였다. 열기전력은 먼저 열전대를 삽입시키면서 위치에 따라 측정한 다음 방출시키면서 다시 동일한 위치에서 측정하였다. 이 때 열전대의 위치는 $\pm 1\text{mm}$ 정도의 오차를 갖는다. RTC-001 의 경우 삽입시와 방출시에 기전력 차이를 보이지 않으나, RTC-002 는 방출시에 열기전력 값이 점차 증가하는 양상을 보여주고 있다. 특히 정점(cell bottom)에서의 열기전력 값이 RTC-001 이 더 크게 나타나고 있다.

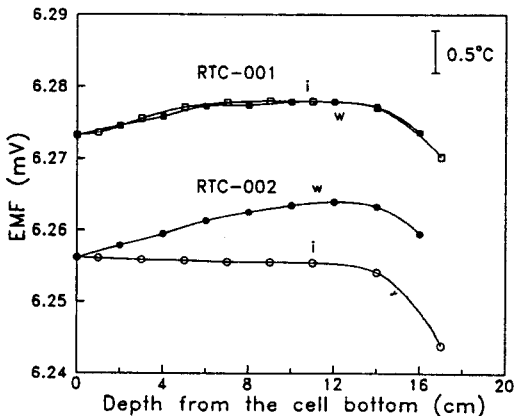


그림 1. 알루미늄 고정점 셀에서 RTC-001과 RTC-002 의 삽입특성 (글자 *i* 와 *w* 는 각각 삽입과 방출을 의미한다.)

Fig. 1. Immersion characteristics of the RTC-001 and RTC-002 in freezing Al cell. (The letters *i* and *w* denote the insertion and withdrawal, respectively.)

정점에서의 RTC-001 과 RTC-002 의 기전력차이는 약 $17.1\mu\text{V}$ 정도로 이를 온도로 환산하면 약 1.47°C 정도로 나타났다.

RTC-001 의 깊이에 따른 기전력값의 차이는 최대 $4.6\mu\text{V}$ (0.4°C) 정도로 나타났다. 충분한 열처리를 거친 열전대에서도 깊이에 따른 기전력 차이가 나타나는 것은 깊이에 따른 셀내의 온도변화와 더불어 백금의 표면산화 정도가 소선의 길이를 따라 불균일하게 발생하였기 때문인 것으로 생각된다. 열전대에서 백금의 산화는 기전력의 감소를 유발시키며 주로 $500\text{--}900^\circ\text{C}$ 영역에서 심하게 발생한다고 보고되었다.^[2,7] RTC-001 에 대한 A2 열처리과정중 열전대소선의 일부분은 1100°C 영역에 놓여있으나 그외 부분은 1100°C 보다 온도가 낮으면서 온도구배가 크게 형성된 부분에 놓여있게 되어 백금의 산화가 발생하고 그 정도가 온도에 따라 달라지게 되어 원하지 않는 소선의 불균일성을 발생시키게 된다. McLaren 등은 S형 열전대에 대한 금속 고정점에서의 삽입-방출 실험결과 안티몬 셀에서 표준열처리를 거친 열전대의 경우 $3.6\mu\text{V}$ 정도의 기전력변화를 확인하였으며 이것은 백금소선의 산화에 기인한 것이라 하였다.^[3] 또한 이러한 기전력변화는 온도가 증가함에 따라 그 폭이 커졌으며 또한 열전대가 삽입되는 깊이가 증가할수록 그 경향이 커진다고 보고하였다. 이러한 현상은 귀금속 열전대를 공기중에서 사용하는 경우에는 피할 수 없으며 가장 최선의 방법은 표면산화 거동이 포화되어 열전대의 열전기적 성질이 더 이상 변하지 않고 안정화되었을 때 사용하는 것이다. Anscin 은 귀금속열전대의 열기전력이 안정화되어 재현성을 유지하기 위해서는 은 고정점에서 장시간에 걸친 삽입과 방출 작업을 반복해야 한다고 보고하였다.^[9]

RTC-002 열전대의 경우 특이한 점은 삽입시에 열기전력의 변화가 거의 없고, 방출시에는 점차 증가하여 깊이 12cm 부근에서 최대치인 약 $7.8\mu\text{V}$ (0.67°C) 정도의 변화를 보이고 있다. 고온 백금 저항온도계 (Chino, 2.5Ω)를 사용하여 알루미늄 고정점셀의 온도 분포를 측정한 결과가 그림 2에 나와있다. 그림에서 *W*는 측정된 저항값과 물의 삼중점에서의 저항값의 비이다. 저항센서의 크기가 약 5cm 이고 외부보호관에서 센서 중앙까지의 거리가 약 3cm 이므로 열전대의 경우로 환산하여보면 셀 바닥에서 약 $12\text{--}15\text{cm}$ 위까지는 20mK 이내에서 일정한 상태로 유지됨을 알

수 있다.

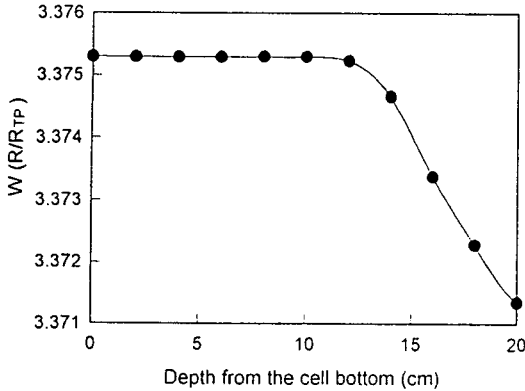


그림 2. 셀 정점에서부터 거리에 따른 저항비 W의 변화

Fig. 2. Variations of the resistance ratio W with the depth from the cell bottom.

따라서 본 실험에서 확인한 열전대의 삽입깊이에 따른 기전력변화가 셀내부의 온도변화에 기인한 것이 아니고 자체의 특성변화에 기인한 것임을 확인할 수 있다. 이것은 열전대소선이 660°C에 해당하는 어떤 열적효과를 받기 때문인 것으로 생각된다. 이미 충분한 열처리를 거친 RTC-001은 적은 영향을 받기 때문에 삽입시와 방출시의 차이가 작은 것으로 생각된다.

그림 3에 알루미늄 응고점에서의 실험과 동일한 방법으로 다시 은 응고점에서 실험한 결과를 나타내었다. RTC-001 과 RTC-002 의 뚜렷한 차이는 두 열전대 사이에 기전력의 차이가 발생하고, 깊이에 따른 기전력 변화 기울기가 RTC-002 의 경우 알루미늄에 비해 훨씬 더 커졌다는 점이다. 정점에서의 기전력차이는 약 18.1μV (1.39°C) 정도를 나타내며 이 값은 알루미늄 셀에서의 값과 유사하다. Bentley 등은 심한 소성변형을 인위적으로 가한 R형 열전대의 기전력변화를 측정된 결과 1000°C 에서 최대 16 μV 정도의 값을 얻었다. 이 값은 본 실험에서 얻은 결과와 매우 유사하며 RTC-002 의 낮은 기전력은 아마도 소선에 존재하는 소성변형에 기인된 것으로 생각된다.^[4]

RTC-001 은 알루미늄 셀에서와 유사하게 삽입시와 방출시에 기전력의 큰 변화가 발생하지 않았다. 다만 삽입시에 비해 방출시의 경우 좀더 직선적인 형태를 보여주고 있다. 그러나 RTC-002의 경우 삽입깊이에 따라 기전력 변화가 매우 크게 나타나고 있으며 그 값은 삽입시에 최대 약 8.2μV (0.63°C), 방출시에 약

15.9μV (1.22°C) 정도를 보이고 있다. 이것은 열전대소선이 온도구배가 존재하는 영역에 놓여있게 됨에 따라—다시 말하면 고정점 셀의 바닥에서 약 12cm 까지는 온도가 일정하나 그 윗부분에서는 온도구배가 심하게 존재함에 따라—열처리 효과를 받는 부분과 그 정도가 소선의 위치에 따라 다르게 되어 제백계수의 변화가 발생하기 때문인 것으로 생각된다.

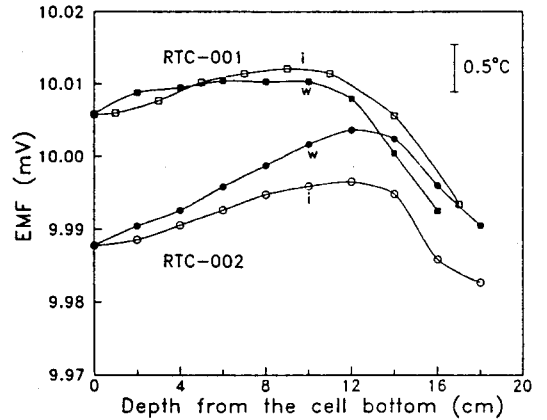


그림 3. 은 고정점 셀에서 RTC-001 과 RTC-002 의 삽입특성

Fig. 3. Immersion characteristics of the RTC-001 and RTC-002 in freezing Ag cell.

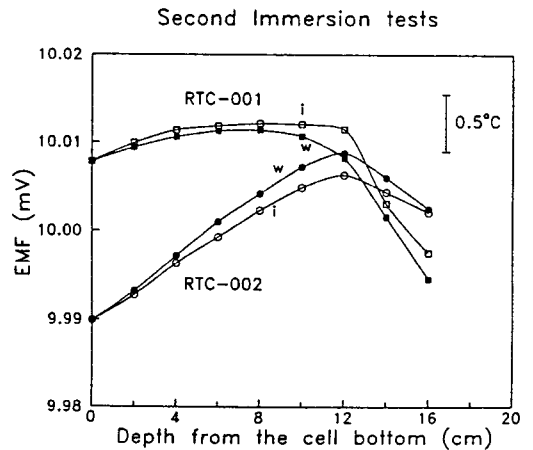


그림 4. 은 고정점 셀에서 RTC-001과 RTC-002의 두번째 삽입특성

Fig. 4. Second immersion characteristics of the RTC-001 and RTC-002 in freezing Ag cell.

그림 4에 은 고정점에서 두번째 삽입실험을 한 결과를 나타내었다. RTC-001 은 그림 3의 결과와 유사하게 삽입깊이에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으며

[삽입시 $4.4\mu\text{V}$ (0.34°C), 방출시 $3.6\mu\text{V}$ (0.28°C)], 삽입시와 방출시의 차이가 매우 작았다. 그러나 RTC-002는 첫번째 삽입시에 비해 삽입깊이에 따른 기전력 변화의 기울기가 더욱 심해졌다. 삽입시에는 최대 $16.4\mu\text{V}$ (1.26°C), 방출시에는 최대 $18.9\mu\text{V}$ (1.45°C) 정도를 나타내었다. 이것은 계속되는 열처리 효과에 의해 소선의 열전기적 성질의 변화가 더욱 심해졌다는 것을 의미한다. 정점에서의 기전력 차이는 $17.9\mu\text{V}$ 정도로 첫번째 삽입시와 비교해 볼때 거의 변화가 없었다.

RTC-002 열전대의 회복여부를 살펴보기 위하여 RTC-001과 동일한 방법으로 표준열처리를 행한 후 알루미늄 고정점에서 기전력변화를 조사하였다. 그림 5는 그 결과를 나타낸다. 참고로 as-received 상태의 결과를 같이 나타내었다. 충분한 열처리를 거침에 따라 초기의 낮은 기전력값이 그림 1의 RTC-001 열전대의 기전력값으로 회복이 되었고, 삽입과 방출시의 경향도 RTC-001의 경우와 매우 유사한 거동을 보이고 있다. 이러한 결과는 R형 열전대가 표준열처리를 거침으로써 소선자체의 불균일성이 사라지고 상당히 안정화되었음을 나타낸다. 그러나 소성변형에 의하여 형성된 열전대 소선의 불균일성은 열처리에 의하여 완전히 제거되지 않는다고 보고되었으며 이는 주로 Rh이 함유된 PtRh 소선에 의한다고 알려져 있다.^[4]

A1 열처리(1450°C 에서 1시간)만을 거친 열전대를 알루미늄 고정점에서 실험한 결과를 그림 6에 나타내었다. 삽입시에는 기전력의 변화가 거의 없이 직선적으로 나타나며, 반면 방출시에는 기전력이 점차 증가하는 거동을 보여주고 있다. 이 결과는 그림 1에 보여준 RTC-002의 경우와 매우 흡사하다. 다만 전체적인 기전력의 크기가 그림 1의 RTC-002 경우에 비해 높게 나타나고 있다. 이 열전대의 정점에서의 기전력 값은 표준열처리를 행한 것에 비해 약 $2.9\mu\text{V}$ (0.25°C) 정도 낮게 나타나고 있다. 열전대를 방출시킬때 열기전력이 점차 증가하여 표준상태의 값에 거의 접근하고 있다. 이것은 1450°C 에서 열처리한 후 곧바로 상온으로 냉각되면서 과포화된 공공들이 소선내에 잔류하여 기전력의 감소를 가져오고, 660°C 에 유지됨에 따라 점차 과잉공공들이 소멸되면서 회복이 일어나는 것으로 생각된다.^[3]

열처리 조건으로써 A3 열처리 작업에 대한 영향을 본 연구에서 조사한 결과 기전력변화에 뚜렷한 영향을 보이지 않았다. A1 과 A2 열처리 작업이 열전대 소선의 열전기적 특성에 매우 크게 영향을 미치고 있

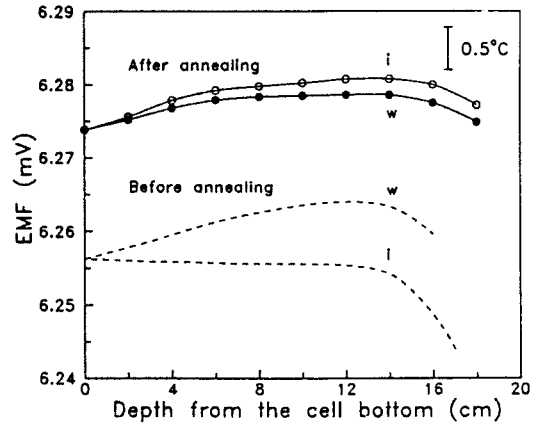


그림 5. 알루미늄 고정점 셀에서 표준열처리 전후의 R형 열전대의 삽입특성

Fig. 5. Immersion characteristics of the type R thermocouple before and after the standard heat treatments in freezing Al cell.

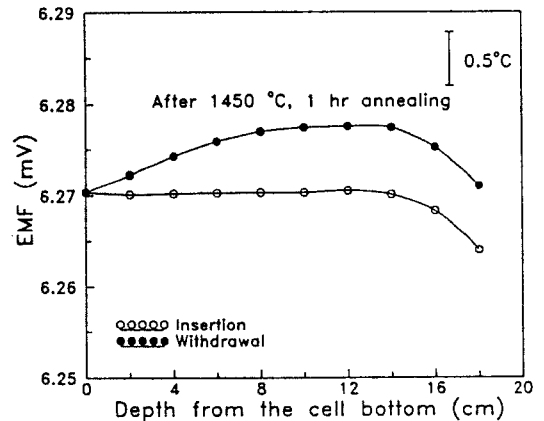


그림 6. 알루미늄 고정점 셀에서 A1열처리 후의 R형 열전대의 삽입특성

Fig. 6. Immersion characteristics of the type R thermocouple after the A1 heat treatment in freezing Al cell.

음을 알 수 있었다. 본 실험의 결과로부터 표준열처리 방법을 대신하여 A3 열처리하는 과정을 생략하는 대신 1100°C 에서 1 시간 열처리후 급냉시키지 않고 상온까지 서서히 노냉 (furnace cooling) 함으로써 원하는 R형 열전대의 기전력 특성을 얻을 수 있다.

IV. 토 의

열전대의 열기전력은 전체 소선에 대한 Seebeck 계

수의 온도에 대한 적분식으로 표시되며 다음과 같다.

$$E = \int^l \sigma(T) dT \quad (1)$$

여기서 E 는 열기전력, σ 는 Seebeck 계수, l 은 소선의 전체길이를 나타낸다. Seebeck 계수는 일반적으로 온도에 의존하는 특성을 가지고 있다. 열처리를 거치지 않은 R형 열전대의 열기전력이 동일한 온도를 유지하고 있는 금속고정점에서 삽입시와 방출시에 상당한 온도차이가 발생함을 알 수 있었다. 이것은 열전대의 총 열기전력이 온도구배가 존재하는 영역에서 발생한 열기전력의 합으로 검출되기 때문이다.

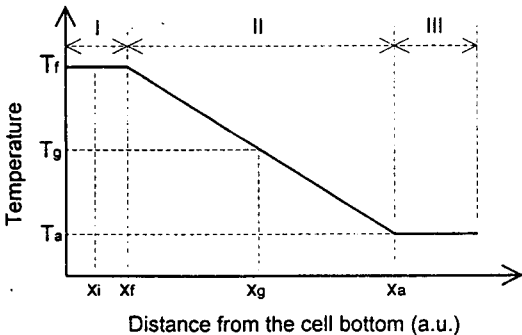


그림 7. 금속 응고점 셀에서의 개략적인 온도분포도 [첨자 f, g 와 a 는 각각 응고(freezing), 구배 (gradient), 상온(ambient) 을 의미한다.]

Fig. 7. Schematic diagram of the temperature distribution profile in a metal freezing cell. (The subscripts f, g and a mean the freezing, gradient and ambient.)

삽입시와 방출시의 기전력변화가 발생하는 원인을 살펴보기 위하여 전기로의 온도분포가 그림 7의 개략적인 형태를 갖는다고 가정하였다. 영역 I 은 금속 고정점에서 균일한 온도를 갖는 부분이고, II 영역은 온도구배가 존재하는 곳이다. 그리고 영역 III 은 상온에 유지되는 부분으로 이 부분은 전체 열기전력에 매우 작은 영향을 끼치므로 무시하기로 하자. 영역 II 에서 거리에 따른 온도가 관계식 (2) 로 표현되고, 이 열전대의 Seebeck 계수 온도의존성은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$T=f(x) \quad (2)$$

$$\sigma=f(T) \quad (3)$$

삽입의 경우, 열전대가 거리 x_g 위치에 있을때 기전력 $E^i(x=x_g)$ 는 (4) 식으로 표시될 수 있다.

$$\begin{aligned} E^i(x=x_g) &= \int_{T_o}^{T_s} \sigma(T) dT \\ &= \int_{x_o}^{x_g} \sigma(f(x)) dx \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 삽입깊이가 증가함에 따라 E^i 역시 증가하게 된다. 최종적으로 II 영역의 최고온도 지점인 x_f 에 위치할때 기전력 $E^i(x=x_f)$ 는 다음과 같이 된다.

$$E^i(x=x_f) = \int_{x_o}^{x_f} \sigma(f(x)) dx \quad (5)$$

열전대의 삽입깊이가 더욱 증가하여 x_i 위치에 있을 때 x_f 에서 x_i 까지는 일정한 온도를 유지하므로 Seebeck 계수의 변화가 발생하지 않는다면 기전력은 일정하게 유지될 것이다. 열전대의 열전기적 특성이 매우 균일하고 온도에 영향을 받지 않는다면 온도가 일정한 영역에서는 동일한 열기전력을 나타낼 것이다. RTC-002와 같이 열처리를 거치지 않은 경우 혹은 단순히 A1 열처리만을 거친 열전대의 경우 삽입시에 일정한 기전력을 보인다는 것은 이 열전대들의 열전기적 성질이 초기에는 상당히 균일하다는 것을 의미한다.

그러나 방출시에 기전력이 점차 증가하는 것은 고정점 온도에 해당하는 열처리효과를 받게 되어 Seebeck 계수가 증가하는 방향으로 변화가 발생한 것으로 생각된다. Seebeck 계수가 회복되어 증가하게 되면 기전력은 커지게 될 것이다. 이와같은 변화는 소선 전체길이에 걸쳐 발생하나 그 변화의 정도는 열전대 소선이 위치하는 부분의 온도가 틀리므로 서로 다르게 될 것이다. 정점부근의 온도가 가장 높으므로 $x=0-x_f$ 까지는 동일한 효과를 받고 그 이상에서는 점차적으로 Seebeck 계수가 회복되는 정도가 작아질 것이다. 방출시에 x_f 위치에 있을때 최대의 온도구배가 형성되므로 가장 큰 기전력을 나타 낼 것이다. 따라서 그림 1 혹은 그림 6에서 볼 수 있듯이 RTC-002와 A1 열처리만을 거친 열전대는 알루미늄 고정점셀의 x_f 위치 (약 12~15cm)에서 방출시 최대 기전력을 나타내고 있다.

V. 결 론

R형 열전대의 열처리 방법에 따른 열기전력의 변화를 알루미늄 및 은 고정점셀에서 측정하였다. 표준열처리를 거친 열전대는 삽입깊이에 따른 열기전력의 변화가 작았으며 안정된 거동을 보여주었다. 반면 어

떠한 처리도 거치지 않은 열전대는 기전력이 낮게 나타났고 삽입깊이에 따른 기전력의 변화가 크게 나타났다. 1450°C 에서의 열처리만을 거친 열전대는 무처리 상태의 열전대와 유사한 열기전력의 변화거동을 보여주었다. R형 열전대를 사용하여 안정된 기전력을 얻기에 필요한 최소한의 열처리 방법으로써 소선상태에서 1450°C, 1 시간 열처리후 열전대로 조립한 다음 전기로에서 1100°C, 1시간 열처리하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] T. D. McGee, "Principles and Methods of Temperature Measurements", Wiley-Interscience Pub., 1988.
- [2] R. E. Bentley and T. P. Jones, High Temp.-High Press., 12, 33, 1980.
- [3] E. H. McLaren and E. G. Murdock, "Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry", vol. 5, Part 2, ed(s). J. F. Schooley, Am. Inst. Phys., New York, p. 953, 1982.
- [4] R. E. Bentley and T. L. Morgan, Metrologia, 20, 61, 1984.
- [5] H. Preston-Thomas, Metrologia, 27, 3 and 107, 1990.
- [6] "Manual on the use of thermocouples in temperature measurement", ASTM, Philadelphia, 1993.
- [7] E. H. McLaren and E. G. Murdock, "The Properties of Pt-PtRh Thermocouples for Thermometry in the range of 0-1100 °C", Mat. Res. Coun. Can., Mono., NRCC 17408, 1979.
- [8] 감기술, 이호근, 응용물리, 5, 489, 1992.
- [9] J. Anscin, Metrologia, 28, 339, 1991.

著 者 紹 介



金 容 圭

1986년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 1992년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(공학박사). 1992년 한국과학기술원 응용과학연구소 박사후 연수과정. 1993년 (現)한국표준과학연구원 온도그룹

연구원. 주관심 분야 : 온도센서, 비정질 재료.



甘 基 述

1976년 울산공대 재료공학과 졸업(공학사). 1982년 서강대학교 대학원(이학석사). 1982년 (現)한국표준과학연구원 온도그룹 연구원. 주관심 분야 : 온도센서(백금 저항온도계, 열전대) 및 국제온도

눈금실현.