

온도구배 측정용 다중접점 열전대

김 용규 (金 容圭), 감 기술 (甘 基述)

Multi-junction thermocouple for temperature gradient measurements

Yong-Gyoo Kim and Kee Sool Gam

요 약

항온 유지 장치의 온도구배를 측정하기 위한 다중 접점을 갖는 K형 열전대를 제작하였다. 이 온도계를 사용하여 800 °C 로 유지되고 있는 전기로의 온도구배를 측정하였으며, 교정용 기준급의 S형 열전대와 비교한 결과 K형 열전대의 허용오차 범위 내에서 일치하였다. 더 정확한 온도구배측정을 위해서는 귀금속 열전대를 사용하는 것이 바람직하다는 것을 제안하였다.

Abstract

Type K thermocouples having multi-junction for measuring the temperature gradient of the furnace were fabricated. The obtained results on the temperature gradient of the electric furnace maintained at 800°C were consistent with those for the reference grade type S thermocouple, which was carefully calibrated, within the permitted error limit of the type K thermocouple. It was suggested that noble metal multi-junction thermocouples be suitable for more accurate temperature gradient measurements.

1. 서론

생산현장에서 광범위하게 사용되는 항온유지 장치가 정상적으로 사용되기 위해서는 먼저 설정온도에 따른 실제 내부의 온도구배를 측정해야만 한다. 내부온도 측정 방법에 있어서 대부분의 경우 열전대, 저항온도계, 유리온도계 등의 온도센서를 사용하여 한 부분의 온도를 측정한 다음 다른 위치로 이동시켜 온도가 다시 안정화되기를 기다리는 것을 반복적으로 수행하여 온도구배를 측정하였다. 이 방법은 비교적 정확하게 온도

구배를 측정할 수 있으나 그 시간이 매우 오래 걸리고 반복적인 작업을 해야 한다는 단점을 가지고 있다. 이와는 달리 여러 개의 온도센서를 사용하여 측정하고자 하는 항온장치의 여러 부분에 장착시켜 온도를 측정하는 방법이 있는데 이것은 측정시간을 단축시킬 수 있으나 장착시켜야 할 센서가 많은 경우에는 경제적으로 비용이 많이 들기 때문에 어려움이 있다.

위에서 언급한 여러 문제점들은 다중접점을 갖는 열전대를 사용하면 해결될 수 있다. 열전대를 이용한 온도측정은 그 원리상 서로 다른 계백계수를 갖는 금속 쌍을 사용하여 측온접점을 형성시키면 되므로 하나의 금속선에 여러 개의 다른 금속선을 연결시키더라도 온도측정에 영향을 미치지 않는다. 실제적으로는 각 접점에서 형성된 불균질성으로 인하여 기전력의 변화가 일어나지만 [1-2], 요구되는 불확도가 작지 않으면 총

한국표준과학연구원, 양자연구부 온도그룹
(Temperature Group, Division of Quantum
Metrology, Korea Research Institute of
Standards and Science)

<접수일자 : 1994년 12월 30일>

분히 실용적으로 사용할 수 있다. 그러나 현재까지 이에 대한 보고가 거의 전무한 상태이다.

이 연구에서는 전기로 등의 항온유지장치의 온도 구배를 측정할 목적으로 다중접점 열전대를 제작하여 실제 전기로에 적용시켜 보았다. 다중 접점을 형성시키는 한 예를 자세히 설명하였으며 디지털 온도지시계 및 선택스위치를 사용하여 전체 온도계를 구성하였다. 경제적인 관점에서 귀금속 열전대 소선대신 비금속 열전대인 K형 열전대를 사용하여 다중접점 열전대를 제작하였다. 실제 측정 결과의 정확도보다는 다중접점 열전대의 제작방법에 주안점을 두고 연구를 하였으며, 이 결과를 바탕으로 더욱 정확한 온도센서를 제작하는 방법을 모색하고자 하였다.

2. 제조 방법

그림 1은 상용 K형 열전대 (크로멜-알루미넬) 소선을 사용하여 제작한 다중접점을 갖는 온도센서를 나타낸다. 그림에서 굵은 실선은 크로멜 선을 나타내고 짙은 파선은 알루미넬 선을 나타낸다. 양극선인 크로멜(⑤)에 5cm 간격으로 알루미넬(④)을 접합시켜 모두 8개의 측온접점(①)을 제작하였다. 공통선인 크로멜에 5 cm 간격으로 5 mm 정도의 보조 소선(⑦)을 스폿 용접기로 부착하였다. 먼저 열전대를 기계적으로 지지하기 위하여 길이 60 cm, 외경 6 mm, 내경 4 mm 인 석영관(②)에 5 cm 간격으로 지름 2.5 - 3 mm 정도의 구멍

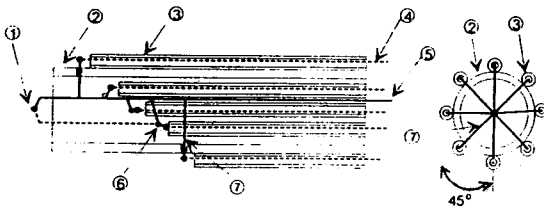


Fig. 1 Schematic diagram of the multi-junction thermocouple unit. ① Measuring junction ② Supporting quartz tube ③ Auxiliary and insulating quartz tube ④ Alumel wire ⑤ Chromel wire ⑥ Auxiliary hole ⑦ Auxiliary chromel wire

그림 1. 다중접점 열전대의 개략도. ① 측온 접점 ② 지지용 석영관 ③ 보조 및 절연 석영관 ④ 알루미넬 선 ⑤ 크로멜 선 ⑥ 보조 구멍 ⑦ 보조 크로멜 선

(⑥)을 뚫었다. 이때 각 구멍은 서로 45° 각도를 이루면서 나선형으로 배치되도록 하였다. 보조소선(⑦)을 부착한 공통선(⑤)을 준비된 석영관에 삽입한 후 각 보조소선이 구멍(⑥)으로 나올 수 있도록 하였다. 그 다음 각 보조소선에 알루미넬 선을 스폿 용접기로 부착한 후 각 소선간의 절연을 위하여 내경 약 1.0 mm, 외경 약 1.5 - 2 mm 정도인 보조석영관(③)을 삽입하였다. 최종적으로 그림 1의 우측 그림과 같이 각 소선이 원형으로 배치되도록 하여 외경 15 mm, 내경 10 mm 인 알루미늄 보호관에 삽입될 수 있도록 하였다.

이 온도센서를 사용하면 최대 40 cm 깊이까지는 단 한번의 실험으로 온도구배 측정이 완료될 수 있다. 측정하고자 하는 항온장치의 깊이가 깊은 경우에는 단지 열전대 소선의 길이만 증가시키면 되므로 어떠한 형태의 항온장치에도 사용이 가능하다. 또한 측온접점의 간격을 조정함으로써 측정부위의 분해능을 변화시킬 수 있다.

그림 2는 위와 같이 제작한 다중접점 열전대를 선택스위치와 디지털 온도지시계에 연결한 개략도를 나타낸다. 보호관으로 사용된 알루미늄 튜브를 콘넥터와 접합시키고 외관을 좋게 하기 위하여 알루미늄으로 헤드를 제작하여 흑염처리 하였다. 이 온도센서를 사용한 온도측정 방법은 다음과 같다. 먼저 그림 1에 나타낸 바와 같이 공통선인 크로멜선(①)을 디지털 온도지시계(그림 2의 ⑤)의 양극에 연결시킨다. 그 다음 알루미넬 선들은 그 개수보다 한개 이상 많은 접점을 갖는 다중

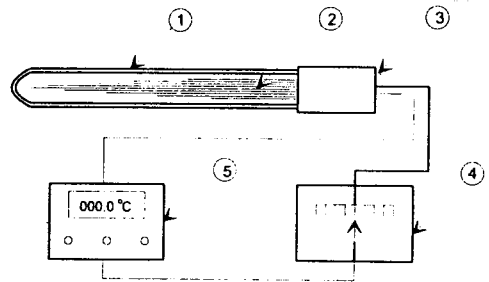


Fig. 2. Schematic diagram of the multi-junction thermocouple thermometer. ① Alumina tube ② Temperature sensor ③ Connector ④ Selector switch ⑤ Digital temperature indicator

그림 2. 다중접점 열전대를 이용한 온도계의 개략도 ① 알루미늄 튜브 ② 온도 센서 ③ 연결 콘넥터 ④ 선택 스위치 ⑤ 디지털 온도지시계

선택스위치에 연결시킨다. 선택스위치의 공통단자는 온도지시계의 음극에 연결시키고 그 외의 단자에는 알루미늄 선을 연결시키면 된다. 이와 같이 각 열전대 소선을 연결시킨 후 센서부분을 측정하고자 하는 항온장치 내에 원하는 깊이만큼 삽입시켜 온도가 안정화되기를 기다린다. 온도가 안정화되었음을 확인한 후 선택스위치를 사용하여 각 부분의 온도를 측정하면 단 한번의 측정으로 온도구배에 대한 정보를 얻을 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3에 이 연구에서 제작한 센서를 사용하여 800 °C 에 설정된 전기로의 위치에 따른 온도구배를 측정된 결과를 각각 나타내었다. 여기서 K형 열전대는 교정을 하지 않았으며, 소선의 직경이 0.5 mm 인 점을 감안하여 실험 최고온도를 800 °C 로 설정하였다. K형 열전대의 경우 ASTM에 규정된 지름 0.5 mm 소선의 사용 최고허용온도는 870 °C 로 명시되어 있다 [3]. 이와 더불어 한국표준과학연구원에서 국제온도준급-90 [4]으로 금속 고정점 (은, 알루미늄, 아연, 주석 용고점)에서 교정된 교정용기준기급의 S형 열전대를 사용하여 동일한 위치에서의 온도를 측정된 결과를 같이 나타내었다. S형 열전대의 온도측정의 불확도는 각 고정점에서 최대 ± 0.2 °C 이다 [3]. 실험결과를 살펴보면 충분한

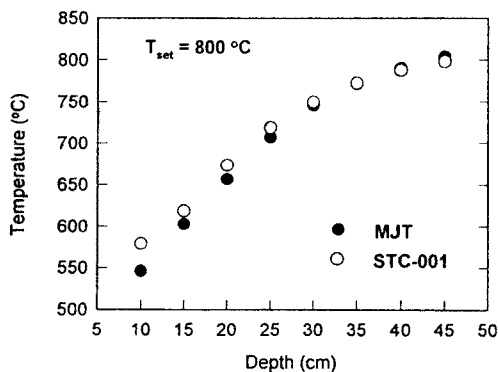


Fig. 3. Temperature gradient profile of a furnace maintained at 800 °C. (MJT : multi-junction thermocouple, STC-001 : the calibrated type S thermocouple)

그림 3. 800 °C 에 유지되고 있는 전기로의 온도구배. (MJT : 다중접점 열전대, STC-001 : 교정된 S형 열전대)

깊이의 위치에서는 K형 열전대의 허용오차 (0.75 %)내에서 다중접점 열전대를 사용하여 측정된 온도가 S형 열전대로 측정된 온도와 일치함을 알 수 있다. 반면 삽입 깊이가 작을 때에는 상당한 온도차가 나타나는데 다중접점 열전대로 측정된 값이 S형 열전대로 측정된 값에 비해 낮은 값을 나타내고 있다. 이것은 이 연구에서 제작한 다중접점 열전대의 보호관으로 사용된 알루미늄 튜브를 통한 열손실이 매우 커 삽입깊이가 작을 때에는 충분한 열적 평형이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 보호관으로 사용된 알루미늄 튜브를 열전도도가 작은 석영관등으로 대체하고 전체 센서의 크기를 줄이면 될 것이다. 이 연구에서 센서 지지대로 사용한 직경 10 mm의 석영관대신 5 mm 정도의 직경을 갖는 것이면 충분할 것으로 생각되며 따라서 전체 센서의 외경이 약 10-12 mm 정도의 것이면 될 것이다.

K형 열전대를 사용하여 다중접점 열전대를 제작할 경우 K형 열전대의 불확도가 매우 크고, 특성 변화가 심하므로 [5] 정확한 측정값을 기대하기 어렵다. 이 연구에서 사용한 K형 열전대 대신 귀금속 (S형 혹은 R형) 열전대를 사용하면 측정점의 정확도 및 장기 안정도를 향상시킬 수 있다. 이와 더불어 다중접점 열전대를 교정함으로써 온도측정 정확도를 더 향상시킬 수 있다. 일반적으로 귀금속 열전대의 교정불확도에 비해 다중접점 열전대의 교정불확도가 더 크게 나오기 때문에 측정하고자 하는 대상물의 요구되는 불확도가 다중접점 열전대의 교정불확도에 비해 훨씬 클 경우에 사용이 가능하고 그렇지 않은 경우에는 사용하지 말아야 한다.

다중접점 열전대의 교정은 일반적으로 귀금속 열전대의 경우 행하는 방법을 사용할 수 없다. 귀금속 열전대의 표준교정 방법은 기준기와 피교정기의 측온접점을 서로 용접, 부착시켜 측온접점 부위의 온도편차를 영으로 한 후 교정을 행한다. 그러나 다중접점 열전대의 각 측온접점에 기준기를 용접시키기 어려우며 측온접점의 수가 많기 때문에 각각의 접점에 기준기를 모두 용접시킬 수 없다. 따라서 다중접점 열전대의 교정은 이 연구에서 제시한 결과에서 사용한 방법과 같이 일정한 온도에 유지되고 있는 상태에서 기준기를 이동시켜가면서 각 측온접점에서의 온도값을 측정해야 한다. 그러나 귀금속 열전대의 경우 동일한 문치에서 제작한 열전대의 교정불확도 변화는 약 ± 0.2 °C 내로

그다지 크지 않다. 따라서 다중접점 열전대를 직접 교정하는 대신 원래의 문치에서 얻은 소선으로 제작한 단일 접점 열전대를 교정하여 이 값을 사용하는 것이 보다 효과적이다.

4. 결론

K형 열전대를 사용하여 8개의 측정 접점을 갖는 다중접점 열전대를 제작하였다. 800 °C 에 유지되고 있는 전기로에서 온도구배를 측정하여 교정용 기준기급의 S형 열전대와 비교한 결과 충분한 삽입 깊이에서는 K형 열전대의 허용오차 범위 내에서 일치하였으나 정확한 온도측정을 위해서는 귀금속 열전대를 사용하여야 한다. 다중접점 열전대를 사용한 항온 유지장치의 온도구배 측정방법은 산업현장에서 쉽게 사용할 수 있으며 한 번의 측정으로 작업이 완료되어 생산성 향상에 기여할 수 있다.

5. 참고 문헌

- [1] C.A.Mossman, J.L.Horton and R.L.Anderson, "Temperature : Its Measurement and Control in Science and Industry", Vol.5, Part 2, ed(s). J.F. Schooley, Am.Inst. Phys., New York, 1982, p.923
- [2] R.P. Reed, "Temperature : Its Measurement and Control in Science and Industry", Vol.6, Part 1, ed(s). J.F.Schooley, Am.Inst. Phys., New York, 1992, p.519
- [3] "Manual on the use of thermocouple in temperature measurement", Fourth edition, ASTM Manual Series: MNL 12, ASTM, Philadelphia, (1993)
- [4] 이호근, 강기훈, 감기술, "국제온도눈금-1990 한글본", KSRI-90-42-SP, (1990)
- [5] T.G.Kollie, J.L.Horton, K.R.Carr, M.B.Herskovitz and C.A.Mossman, Rev. Sci. Instrum., 46 (1975) 1447

著 者 紹 介

甘 基 述

「센서학회지 제3권 제1호」 논문 94-3-1-09, p. 61-67참조.
1986년~현재 한국표준과학연구원 선임연구원

金 容 註

「센서학회지 제3권 제1호」 논문 94-3-1-09, p. 61-67참조.
1993년~현재 한국표준과학연구원 선임연구원