Thermocouple (열전대)

온도 및 열전대 개요

온도는 입자의 평균 운동 에너지를 나타낸 측정값으로써, 표준 스케일에서는 도(degrees)로 나타낸다. 여러 다른 방식으로 온도를 측정할 수 있는데 그 방법은 기기의 가격 및 정확도 등에 따라 다양하다. 열전대는 비교적 저렴한 가격에 정확한 센서로써, 광범위한 온도 범위에서 작동가능하기 때문에 온도 측정을 위해 가장 보편적으로 사용되는 센서이다.

열전대는 두 개의 다른 종류의 금속이 접촉하고 그 접점이 소형의 개방 회로 전압을 생성할 때 만들어진다. 여기서의 열전기적 전압을 제벡 (Seebeck) 전압이라고 하며, 이는 1821년에 이 전압을 발견한 토마스 제벡 (Thomas Seebeck)의 이름에서 유래한다. 전압은 온도와 관련하여 비선형적이다. 그러나, 작은 변화의 온도에서, 전압은 거의 선형적이다.

<latex> \Delta V = S \Delta T \mspace{18mu} (1) </latex>

ΔV는 전압의 변화, S는 제벡 계수, ΔT는 온도 변화를 나타낸다.

열전대는 여러 가지 종류가 있으며 이 같은 종류는 미국 표준 협회 (American National Standards Institute: ANSI)의 협약에 따라 구성요소를 명시하는 대문자로 나타낸다. 예를 들어 J-유형의 열전대에는 철 (iron) 도체 한 개와 콘스탄탄 (구리-니켈 합금) 도체가 있다. 다른 열전대 유형에는 B, E, K, N, R, S, T가 있다.

열전대 측정 방법

배경 이론

열전대 측정 방법을 이해하려면 열전대가 어떻게 작동하는지를 이해해야 한다.

열전대 제벡 전압 측정은 열전대를 볼트미터 또는 기타 측정 시스템에 그냥 연결하기만 해서 되는 것이 아니다. 그 이유는 열전대 와이어를 측정 시스템에 연결하면 추가의 열전기 회로가 생기기 때문이다.

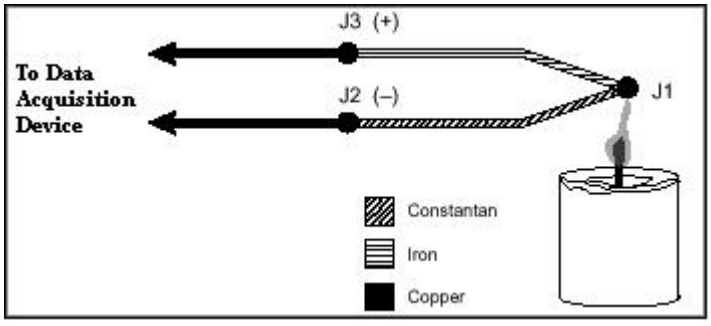

그림1. J-유형열전대

그림 1에 설명된 회로를 보자. 여기서 측정하고자 하는 온도의 J-유형 열전대는 촛불 형태이다. 두 개의 열전대 와이어는 데이터 수집 디바이스의 구리 선에 연결된다. 회로에 세 가지 이종 메탈 접점 (J1, J2, J3)이 있다. 열전대 접점 J1은 촛불 온도에 비례하여 제벡 전압을 생성한다. J2 및 J3는 각각 제벡 계수가 있고, 데이터 수집 터미널에서 온도에 비례하여 열전기 전압을 생성한다. J1에서 전압이 얼마나 분배되었나를 확인하기 위해서는 J2 및 J3접점 온도 및 접점에서의 전압-온도 관계를 알아야 한다. 그 다음 접점 J1

에서 측정된 전압으로부터 J2와 J3의 잔류 접점에서 나온 전압을 뺀다.

열전대는 원치 않는 " 냉 " 접점을 보상하기 위해 온도 참조의 일정 형태를 요구한다. 가장 보편적인 방법은 직접 측정 온도 센서로 참조점에서 온도를 측정하고 접점에 남아있는 전압을 빼는 방식이다. 본 방식을 냉접점 보상이라고 한다. 일부 열전대 특성을 잘 활용하면 냉접점 보상 연산을 간단히 진행할 수 있다.

Thermocouple Law of Intermediate Metals (중간 금속의 열전대 법칙)를 사용하고 간단한 가정을 적용하면, 데이터 수집 시스템이 측정하는 전압은 열전대 유형, 열전대 전압 및 냉접점 온도에 의해 결정됨을 알 수 있다. 측정된 전압은 측정선의 조합 및 냉접점, J2, J3와 독립적이다.

그림 2에 따르면 열전대 회로에 모든 유형의 와이어를 삽입하여도 와이어의 양쪽이 온도가 같으면 (등온) 출력에 영향이 없다.

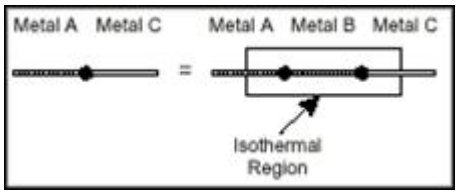

그림2. Thermocouple Law of Intermediate Metals

그림 3의 회로를 살펴보자. 본 회로는 그림 1에서 설명한 회로와 유사하지만 접점 J3 전에 짧은 길이의 콘스탄탄 와이어가 삽입되어 있으며, 접점들은 동일한 온도에 맞춰져 있다고 가정한다. 접점 J3과 J4가 동일한 온도라고 가정하면, Thermocouple Law of Intermediate Metals에 따라 그림 3의 회로가 그림 1의 회로와 전기적으로 동일하게 된다. 결과적으로, 그림 3의 회로로부터 측정값은 그림 1에 설명된 회로에 적용된다.

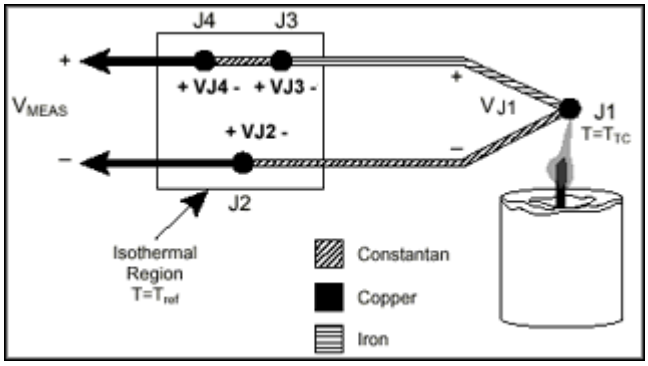

그림3. 등온지역에추가 리드선삽입

그림 3에서 접점 J2와 J4는 등온 지역에 있고, J2 및 J4 또한 같은 온도이므로 동일한 유형 (구리-콘스탄탄)이다. 회로를 통한 전류의 방향 때문에, J4는 (+) 제벡 전압에 제공하며, J2는 (-) 전압에 공급한다. 따라서 접점에서 서로 상쇄되어, 측정 전압에 대한 총 공급은 0이 된다. 접점 J1과 J3은 모두 철-콘스탄탄 접점이지만, 등온선 지역을 공유하지 않으므로 온도가 다를 수 있다. 온도가 다르기 때문에 접점 J1과 J3은 모두 제벡 전압을 생성하지만, 서로 다른 크기이다. 냉접점 J3를 보상하기 위해서 온도가 측정된 후 공급된 전압은 열전대 측정에서 감산된다.

온도 T_y 에서 접점 J_x 에 의해 생성되는 전압을 표시하기 위한 $V_{Jx} (T_y)$를 사용하면, 일반적인 열전대 식은 다음과 같이 바뀐다.

<latex> V_{MEAS} = V_{J1} (T_{TC}) + V_{J3} (T_{ref}) \mspace{18mu} (2) </latex>

여기서 V_{MEAS} 은 데이터 수집 디바이스가 측정하는 전압이며, T_{TC} 은 V_{J1}에서의 열전대 온도이며, T_{ref} 은 참조 접점의 온도이다.

등식 2에서, $V_{Jx} (T_y)$는 참조 온도와 관련 온도 T_y 에서 생성된 전압이다. V_{J1} 와

V_{J3} 가 동일한 참조 온도와 관련된 온도 함수라는 가정하에 등식 2는 유효한 등식이다. 앞에서 설명한 바와 같이, 한 예로 NIST 열전대 참조 테이블은 0 °C에서의 참조 접점을 바탕으로 생성되었다.

J3 접점이 J1과 같은 유형이며 반대 전압을 제공하므로, $V_{J3} (T_{ref}) = -V_{J1} (T_{ref})$로 설명할 수 있다. V_{J1} 은 테스트를 진행하는 열전대가 생성한 전압이기 때문에 본 전압을 T_{TC} 로 이름을 바꾼다. 따라서, 등식 2는 다음과 같이 재작성된다.

<latex> V_{MEAS} = V_{TC} (T_{TC}) - V_{TC} (T_{ref}) \mspace{18mu} (3) </latex>

따라서, V_{MEAS} 와 T_{ref} 를 측정하고 열전대의 전압-온도 관계를 알면, 열전대의 열접점 온도를 결정할 수 있다.

냉접점 보상을 실행하는 기술은 하드웨어 보상과 소프트웨어 보상 두 가지 방식이 있다. 두 가지 방식 모두 참조 접점에서의 온도가 직접-수집 센서로 감지되어야 한다는 조건이 있다. 직접 수집 센서에는 측정점의 온도에만 의존하는 출력이 있다. 반도체 센서, 서미스터, 및 RTD는 참조 접점 온도를 측정하는 데 일반적으로 사용된다.

하드웨어 보상을 이용하여, 다양한 전압 소스는 회로에 삽입되어 남아있는 열전기 전압을 없앤다. 가변 전압 소스는 내부 온도에 따라 보상 전압을 생성하므로, 원치 않는 열전기 신호를 없애기 위해 정확한 전압을 추가한다. 이렇게 남아있는 신호가 제거되면, 데이터 수집 시스템이 측정한 신호는 열전대 접점에서의 전압이 된다. 하드웨어 보상을 통해 남아있는 열전대 전압이 제거되었으므로 데이터 수집 시스템 터미널의 온도는 관계가 없다. 하드웨어 보상의 주요 단점으로는 각 열전대 유형이 정확한 보상 전압을 추가할 수 있는 개별 보상 회로를 가져야 하므로 회로가 고가라는 점이다. 하드웨어 보상은 소프트웨어 보상과 비교하였을 때 정확성이 떨어진다.

따라서 대체용으로 냉접점 보상을 위해 소프트웨어를 사용할 수 있다. 직접 수집 센서가 참조 접점 온도를 측정하면, 소프트웨어는 잔류 열전대 효과를 제거하기 위해 측정된 전압에 적절한 전압 값을 추가한다. 측정된 전압을 V_{MEAS} 로 표시하였던 등식 3을 기억해보면, 열점접 (열전대) 및 냉접점 간의 차이가 동일하다.

열전대 측정 전압은 매우 비선형적이다. 제벡 계수는 몇몇 열전대의 작동 범위에서 세 가지 또는 그 이상의 요인에 따라 다양하다. 이 때문에 다항식을 사용하여 열전대 전압 대 온도 커브의 근사치를 계산하거나 룩업 테이블을 사용해야 한다.

참고

- NI - 열전쌍 측정 방법