

1. 열전대 온도계

열전대는 구조적으로 간단하고 조작이 간편하여 산업현장이나 실험실등에서 많이 쓰이는 전기 신호식 온도계이다. 측정값이 전기적 신호인 전압크기로 출력되어 측정값을 먼 거리까지 전송할 수 있어 중앙제어에 유용하게 활용되고 있는 범용의 온도센서이다.

열전대는 0.5K부터 2500℃까지 광범위한 측정범위를 갖고 있고 0.1 ~ 1%의 정밀도를 갖고 있다. 300여종의 열전대가 있으나 한국 산업 표준규격에는 8 종류를 규격화하였다. 열전대의 제작형태에 따라 일반열전대(KS C 1602)와 시스열전대(KS C 1615)로 나뉘어지고 온도측정 부위에 위치한 열전대로부터 계측기까지는 보상도선(KS C 1609)으로 연장하여 사용하고 있다. 모든 도전성을 갖는 금속선은 서로다른 선과 구성하여 열에 의해 모두 열기전력을 발생시킨다. 그러나 실용화 할 수 있는 열전대가 되려면 다음 요건을 갖추어야 한다.

- ① 온도변화에 따른 열기전력이 클 것.
- ② 고온 또는 저온에서 사용하더라도 열기전력이 안정되고 수명이 길 것.
- ③ 내열성이 좋고 고온에서도 기계적 강도가 유지되는 것.
- ④ 내식성이 좋고 화학적 분위기에 대해 강할 것.
- ⑤ 같은 종류의 열전대 소선에는 그 특성이 균일하여 호환성이 있을 것.

이러한 모든 조건을 완전하게 만족시키는 열전대 재료는 얻기 어려우므로 측정조건에 따라 알맞는 열전대를 선택하여야 한다.

열전대를 만드는 방법은 아주 간단하다. 즉 서로 다른 두가지의 금속선(도전체)으로 그림 1.1과 같이 폐회로를 구성하면 된다. 이때 측정 대상체에 접촉한 온접점(Hot Junction)인 T_h 이 감지한 온도가 나머지 접점인 기준 접점(Reference Junction)인 T_r 과의 온도 차이만큼 열기전력 V 를 발생시킨다. 이것이 열전현상이다.

$$V \propto (T_h - T_r)$$
$$= S_b(T_h - T_r)$$

만약 기준점점의 온도 T_r 가 0℃이면

$$= S_{ab}(T_h - T_r)$$
$$= S_{ab} T_h \quad \text{-----1.1}$$

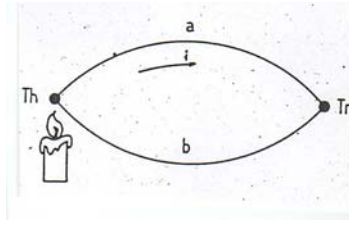


그림 1.1 열전대의 원리

열전대의 열전현상은 1821년에 독일의 제백이 발견하였다.

열기전력은 식 1.1과 같이 측온대상의 온도의 크기만큼, 온점점과 기준점점의 차이만큼, 증가한다. 그렇지만 열전대를 구성한 소선의 종류에 따라 고유의 물리량의 제백계수(S_{ab})를 보유하고 있어서 열전대마다 단위 온도에 대한 열기전력의 크기가 다르다.

그리고 그림 1.1의 열전대 회로에 전압계를 연결하는 대신 전압을 가하면 Th 나 Tr 두 점점의 온도차이 만큼, 구성소선의 종류에 따라 그 크기가 결정되어, 그중 한 점점은 발열을 하고 다른 한 점점은 흡열을 하여 가열기능과 냉각기능을 한다.

이러한 현상은 펠티어가 발견하여 설명한 펠티어효과이다.

제백이 열전현상을 발표한 후 19세기 초반에 많은 과학자들의 열역학적 관점에서의 연구로 열전대의 온도측정에 사용 가능성이 알려졌고 1826년에 베크레르는 고온분야를 측정할 수 있는 획기적인 백금, 팔라듐(Pt/Pd)열전대를 제안하였다.

1885년에 르샤트리(Henri Le Chatelier)가 90%의 백금(Pt)에 10% 로듐(Rh)과 백금(Pt)으로 구성된 S 열전대를 만들어 발표하였다. 그때부터 사실상 고온측정에 사용되기 시작하였다.

이 S 열전대는 1927년 국제온도논금(ITS-27)부터 1968년 국제 실용 온도논금(IPTS-68)까지 630°C부터 1068°C 구간의 보간식을 갖고 표준온도계로 사용되어 왔다.

그후 S 열전대보다 단위 온도 변화에 대해 높게 발생하는 R 열전대, S.R 열전대와 고온에서 사용할 수 있는 B 열전대등 귀금속 열전대가 개발이 되었다.

값싼 금속으로 1000°C이하에서 경제적으로 사용할 수 있는 비금속열전대인 K, E, J, T열전대가 개발되고 이상의 열전대는 20세기 중엽에 산업국가에서 국가규격으로 규격화 하게 되었다. 그리고 고온용으로 쓰이는 B 열전대보다 더 높은 온도(3000°C)를 측정할 수 있는 열전대

로 텅스텐, 레니움 열전대를 1955년에 슈나이더가 개발하였다.

한편 극저온대역을 측정할 수 있는 Au-0.07%Fe와 Chromel로 구성된 열전대가 있다. 이 열전대는 미항공우주국(NASA)가 아폴로계획의 일부로 NBS(미국 표준국, 현재는NIST)에 의뢰하여 개발한 열전대로서 0.5K ~ 20K에서 실용성이 입증되어 사용하고 있다. ⁽³⁾

열전대는 극저온에서 고온영역까지 광범위하게 측정할 수 있는 특징을 갖은 실용적인 온도계이다.

1.1 열전대

1.1.1 열전대 회로

어떠한 금속선이라도 종류가 다른 두개의 금속선을 결선하면 그림 1.1과 같은 열전대가 된다. 즉 어떠한 종류의 금속이라도 그 열전효과가 발생할 수 있는 절대 제벡계수를 갖고 있는데 그 열전효과는 두개의 금속선(a, b)이 각각 소유하고 있는 그 절대 제벡계수(S_a, S_b)에 따라 다른 상대 제벡계수 (S_{bB})가 성립된다. 이 상대 제벡계수가 온도에 따라 열전대의 열기전력 크기를 결정한다. 그리고 열전대 소선의 절대 제벡계수의 크기의 차에 따라 상대 제벡계수의 크기가 결정되고 프라스(+)측과 마이너스(-)측이 결정된다. 각 열전대 소선의 절대 제벡계수를 구하기 위해서는 $S_{AB} = S_A - S_B$ 의 관계에 의해 정의되는 상대 제벡계수가 사용된다. 여기서 b 물질은 통상 관습적으로 순수한 백금선을 사용한다. 그림 1.1.1에서는 규격화된 열

전대의 백금에 대한 절대 제벡계수를 나타내고 있다.

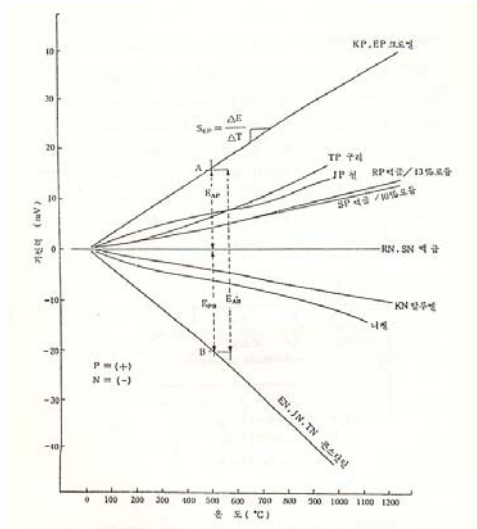
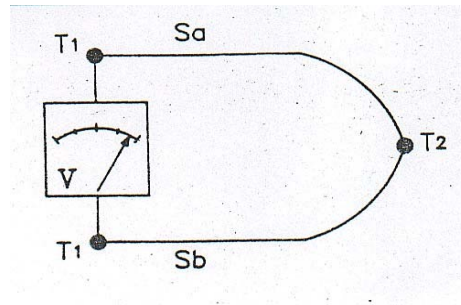


그림 1.1.1 백금선에 대한 금속들의 열기전력

다음은 열전대의 원리를 바탕으로 회로를 이해하고자 한다. 우선 열전대의 회로방정식을 물리적 의미를 갖는 선적분의 수학적 번거로움을 피하기 위해 다음과 같이 모파트(Moffat)의 관계식을 도입한다.



$$S_a - S_b = S_{ab} \text{ ----- } 1.1.1$$

$$S_{ab} = -S_{ba} \text{ ----- } 1.1.2$$

$$S_{ac} = S_{ab} - S_{cb} \text{ ----- } 1.1.3$$

$$S_{ac} = S_{ab} + S_{bc} \text{ ----- } 1.1.4$$

가. 기본적 열전대 회로

$$V = S_{ab} (T_2 - T_1)$$

그림 1.1.2 기본적 열전대 회로

식 1.1 은 열전대의 기본적 원리를 표현한 것이다. 그 식을 그림 1.1.2의 기본적인 열전대 회로를 통해 설명하고자 한다. 일반적으로 a 금속은 플러스(+)선으로 b 금속은 마이너스(-)선으로 정하기로 한다. 모파트해법에 의해 식을 전개하는 방식은 우선 플러스(+)측 Sa부터 기준점온도(T₁)부터 시작하여 T₂로 T₂에서 S_b 를 거쳐 T₂에서 T₁으로 순환하여 식을 만든다.

즉 ,

$$\begin{aligned}
V &= S_a (T_2 - T_1) + S_b (T_1 - T_2) \\
&= S_a (T_2 - T_1) - S_b (T_1 - T_2) \\
&= (S_a - S_b)(T_1 - T_2) \\
&= S_{ab} (T_2 - T_1) \quad \text{-----} \quad 1.1.5
\end{aligned}$$

여기서 측정된 열전대의 기전력은 a 금속과 b 금속의 상대 제벡계수 S_{ab} 와 측온 접점부위 온도(T_2)와 기준접점온도(T_1)차이 값에 의해 기준점 열기전력($V_1=S_{ab} \times T_1$)이 발생되어 오차값으로 측정값 V 에 포함되어 나타난다.

사실 우리는 측온 접점의 온도(T_2)만을 측정하고 싶으나 기준 접점온도(T_1)에 의해 생기는 오차값인 V_1 에 의해 실질적으로 온도측정이 제약받고 있는 것이다.

그러므로 기준 접점온도(T_1)에 의해 T_1 에서 발생하는 열기전력을 제거해야 한다. 그러면 V 는 T_2 의 온도에 의한 열기전력값만 나타나게 될 것이다. (식 1.1.6)

$$V = S_{ab} \cdot T_2 \quad \text{-----} \quad 1.1.6$$

기준 접점온도(T_1)을 제거하는 방법은 T_1 을 Ice Bath의 빙점분위기에 위치시켜 0°C 로 만들면 된다.

나 연장도선과 보상도선 열전대 회로

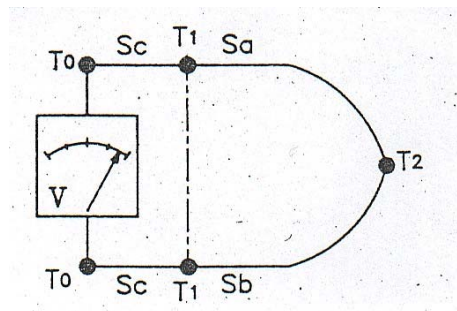
만약, 열전대를 구성한 소선이 백금.로듐과 같이 비싼 귀금속이고, 측정장소로 부터 계측기의 설치위치가 먼 거리에 있을 경우 귀금속 열전대 소선이 길게 연장되므로 측정비용이 비싸지므로 경제적 측정을 위해 값이 싼 연장도선을 사용한다. 연장도선을 동선(銅線)으로 사용했을 경우에 측정이 적당한 지를 그림 1.1.3와 식 1.1.7에서 검토한다.

$$\begin{aligned}
V &= S_c(T_1 - T_0) + S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) + S_c(T_0 - T_1) \\
&= S_c(T_1 - T_0 + T_0 - T_1) + (S_a - S_b)(T_2 - T_1) \\
&= S_{ab} (T_2 - T_1) \quad \text{-----} \quad 1.1.7
\end{aligned}$$

그림 1.1.3 동(Cu)도선을 연장한 열전대회로.

여기서 T_0 가 계측기에 연결되는 기준점점이고 T_1 은 열전대 소선과 동선(S_c)과 연결된 부분의 온도이다. T_1 의 존재가 T_2 의 실제 열기전력 값에다 더해주고 또는 빼어주어 그만큼의 오차를 생기게 한다. 즉, 온도 측정값인 열기전력값 V 가 T_1 에 의해 변화하는 것이 이 회로의 문제이다. 그러므로 열전대 소선을 대체할 수 있는 열전대 규격에 따라 제작한 별도의 보상도선을 사용하여 연장해야 한다. 그림 1.1.4는 보상도선으로 연장한 열전대 회로이다.

$$\begin{aligned}
 V &= S_a'(T_1 - T_0) + S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) + S_b'(T_0 - T_1) \\
 &= S_a'(T_1 - T_0) + S_b'(T_0 - T_1) + S_a(T_2 - T_1) + S_b(T_1 - T_2) \\
 &= S_a'(T_1 - T_0) - S_b'(T_1 - T_0) + S_a(T_2 - T_1) - S_b(T_2 - T_1)
 \end{aligned}$$

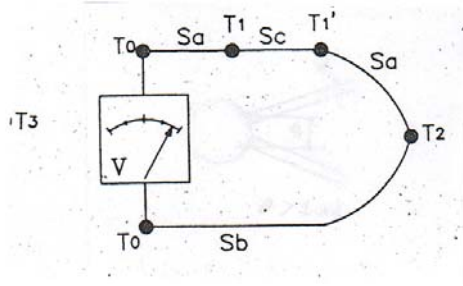


$$\begin{aligned}
 &= (S_a' - S_b')(T_1 - T_0) + (S_a - S_b)(T_2 - T_1) \\
 &= S_{ab}(T_2 - T_1) + S_{ab}'(T_1 - T_0)
 \end{aligned}$$

여기서 $S_{ab} = S_{ab}'$ 이면

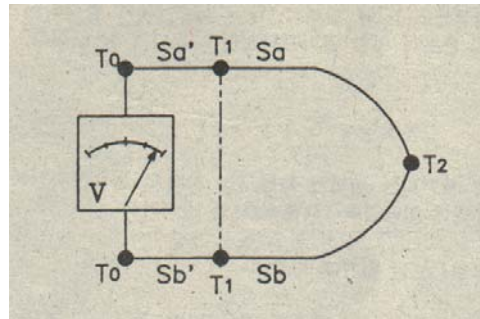
$$\begin{aligned}
 &= S_{ab}(T_2 - T_1 + T_1 - T_0) \\
 &= S_{ab}(T_2 - T_0) \text{ ----- } 1.1.8
 \end{aligned}$$

그림 1.1.4 보상도선을 연장한 열전대회로.



기준온도가 계측기의 단자 접점 온도 T_0 가 되므로 T_0 의 온도보정이 용이하게 된다. 이 회로의 설명은 보상도선을 연장도선으로 사용할 수 있다는 것을 보여준다.

보상도선은 규격 열전대와 같이 호환성을 같도록 국가 산업규격으로 규격화하였다. 이에 대한 설명은 “ 열전대 보상도선”부문에서 별도로 설명한다.



다. 제 3의 금속이 포함된 열전대 회로

그림 1.1.5은 열전대를 현장에 설치하는 과정에서 열전대소선 중간에 다른 금속선인 C금속을 연결하였을 경우에 어떤 문제가 있는 지를 보여준다.

그림 1.1.5 중간 금속의 법칙 열전대회로

$$V = S_a(T_1 - T_0) + S_c(T_1' - T_1) + S_a(T_2 - T_1') + S_b(T_0 - T_2)$$

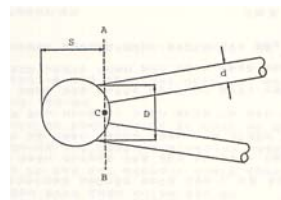
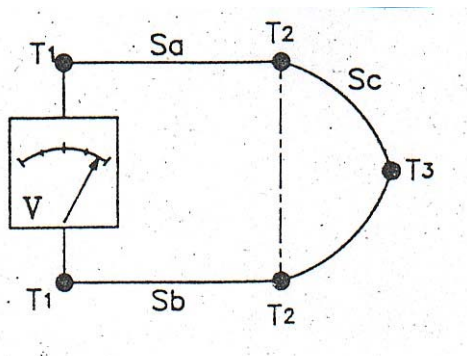
$$\begin{aligned}
 &= S_a(T_2 - T_0) + S_a(T_1 - T_1') - S_b(T_2 - T_0) - S_c(T_1 - T_1') \\
 &= (S_a - S_b)(T_2 - T_0) + (S_a - S_c)(T_1 - T_1') \\
 &= S_{ab}(T_2 - T_0) + S_{ac}(T_1 - T_1')
 \end{aligned}$$

여기서 T_2 에서 측정된 값은 $S_{ac}(T_1 - T_1')$ 만큼의 측정오차를 갖게 된다. 만약에 $T_1 = T_1'$ 가 같은 온도라면 측정값 V 는,

$$V = S_{ab}(T_2 - T_0) \quad \text{-----} \quad 1.1.9$$

가 된다. 이때, 기준점점은 계측기의 접점단자 온도가 된다. 측온접점부위가 그림 1.1.6과 같이 제 3의 금속일 경우,

그림 1.1.6 측온접점이 제 3의 금속인 열전대회로.



$$\begin{aligned}
 V &= S_a(T_1 - T_0) + \\
 &S_c(T_2 - T_1) + \\
 &S_c(T_1 - T_2) + \\
 &S_b(T_0 - T_1) \\
 &=
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &S_a(T_1 - T_0) - S_b(T_1 - T_0) \\
 &= S_{ab}(T_1 - T_0) \quad \text{-----} \quad 1.1.10
 \end{aligned}$$

이때 측정되는 온도는 T_3 이 아니고 T_2 지점의 온도이다. 여기서 T_2 양측의 온도가 동일해야 한다.

라. 열전대 중간부위에 온도가 가해질 경우의 열전대 회로

열전대는 측정점의 온도에 의해 열기전력이 결정된다. 열전대를 현장에서 사용하다 보면 중간부위가 열에 노출될 경우가 있다. 이때 그 열이 열전대의 측정값에 영향을 주는 지를 확인한다.

여기서는 T_1, T_2 의 온도는 온도 T_3 를 측정하는 열전대의 열기전력 V 에 영향을 전혀 주고 있지 않다. 그리고 열전대가 온도를 측정하는 것은 오로지 측정점인 T_3 에 의한 열기전력을 발생시키는 것을 알 수 있다. 여기서는 a, b 소선의 전구간에 대해 재질이 균질하다는 것과 소선간에 절연저항이 유지되는 것을 전제한다.

(시스열전대의 경우 MgO절연재의 순도가 낮을 경우 고온에서 절연특성이 나빠져 열기전력을 누설시키는 썬트에러 (Shunt Error)현상이 있고, 일반 열전대의 경우도 절연관의 절연특성에 의해 동일한 현상이 발생된다.)

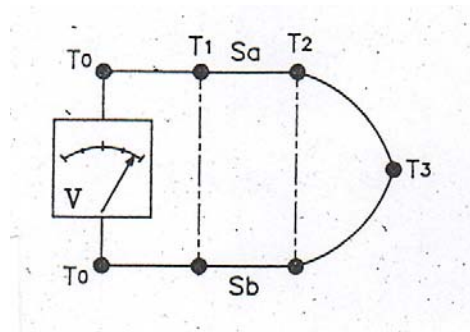


그림 1.1.7 열전대 소선 중간부위 온도가 가해진 열전대 회로

$$\begin{aligned}
 V &= S_a(T_1 - T_0) + S_a(T_2 - T_1) + S_a(T_3 - T_2) + S_b(T_2 - T_3) + S_b(T_1 - T_2) + S_b(T_0 - T_1) \\
 &= S_a(T_1 - T_0 + T_2 - T_1 + T_3 - T_2) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &S_b(T_2 - T_3 + T_1 - T_2 + T_0 - T_1) \\
 &= S_a(T_3 - T_0) - S_b(T_3 - T_0) \\
 &= S_{aa}(T_3 - T_0) \quad \text{-----} \quad 1.1.11
 \end{aligned}$$

마. 열전대 소선의 균질성

열전대 재료를 만드는 과정중에 구성성분이 부분적으로 편석되거나 균질하지 않을 경우

에는 열전대 회로 전체적으로 열전대 측정값이 영향을 받는다.

바. 열전대의 회로법칙의 요약

앞에서 설명한 열전대의 회로를 정리, 요약하면 다음과 같은 법칙을 알 수가 있을 것이다.

① 동일금속의 법칙 (Law of Homogeneous Materiale)

한 종류로 된 동일한 금속으로 열전대를 구성한 폐회로에서는 접점에 열을 가하여도 열전류가 흐를 수 없다.

$$\begin{aligned} V &= S_a (T_h - T_c) - S_a (T_h - T_c) \\ &= (S_a - S_a) (T_h - T_c) \text{ ----- } 1.1.12 \end{aligned}$$

즉, 동일금속으로 구성된 열전대는 식 1.1.12 와 같이 V 는 “0” 이 된다. 그러므로 이종금속으로 구성해야 열전대가 될 수 있다.

② 중간금속의 법칙 (Law of Intermediate Materials)

서로 다른 금속으로 구성된 열전대 회로에서 열기전력의 대수적합은 그 회로의 모든 부분이 균질한 온도에 있을 때는 0이다. 이 법칙은 열기전력의 근원이 온도 불균일 또는 차에 있는 것을 강조하고 있다.

$$V = S_a(T_1 - T_1) + S_b(T_1 - T_1) + S_c(T_1 - T_1) + \dots = 0 \text{ ----} 1.1.13$$

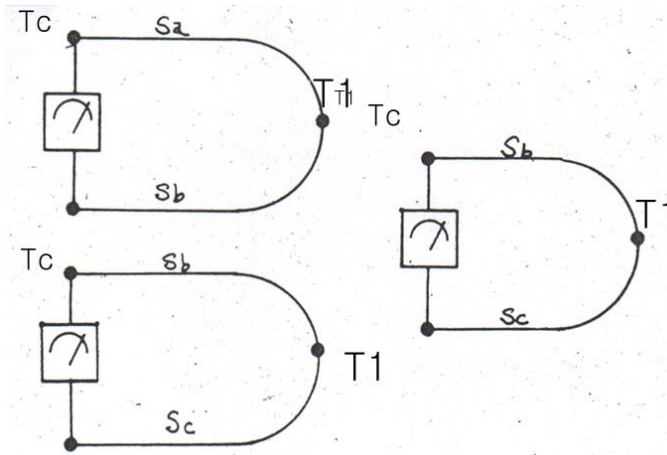


그림 1.1.8
중간금속의 법칙

③ 중간온도의 법칙 (Law of Successive or Intermediate Temperature)

두개의 서로 다른 금속으로 된 폐회로에서 그 접점이 T_1 과 T_2 에 있을 때 생기는 기전력을 V_1 , 그리고 T_2 와 T_3 에 있을 때의 기전력을 V_2 하고 하면 이 열전대들의 접점들이 T_1 과 T_3 에 있을 때의 기전력을 $V_1 + V_2$ 가 된다. 그림 1.1.8의 그림을 보고 방정식을 만들면,

$$\begin{aligned}
 V_1 &= S_a(T_3 - T_2) - S_b(T_3 - T_2) \\
 &= S_{ab}(T_3 - T_2) \text{ ----- 1.1.14}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_2 &= S_a(T_2 - T_1) - S_b(T_2 - T_1) \\
 &= S_{ab}(T_2 - T_1) \text{ ----- 1.1.15}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= S_a(T_2 - T_1) + S_a(T_3 - T_2) + S_b(T_2 - T_3) + S_b(T_1 - T_2) \\
 &= S_a(T_2 - T_1 + T_3 - T_2) + S_b(T_2 - T_3 + T_1 - T_2) \\
 &= S_a(T_3 - T_1) - S_b(T_3 - T_1) \\
 &= (S_a - S_b)(T_3 - T_1) \\
 &= S_{ab}(T_3 - T_1) \text{ ----- 1.1.16}
 \end{aligned}$$

1.1.14 와 식 1.1.15 를 합하면 식 1.1.16 과 같고 결국 다음식 1.1.17과 같다.

$$V = V_1 + V_2 = S_{ab}(T_3 - T_1) \text{ ----- 1.1.17}$$

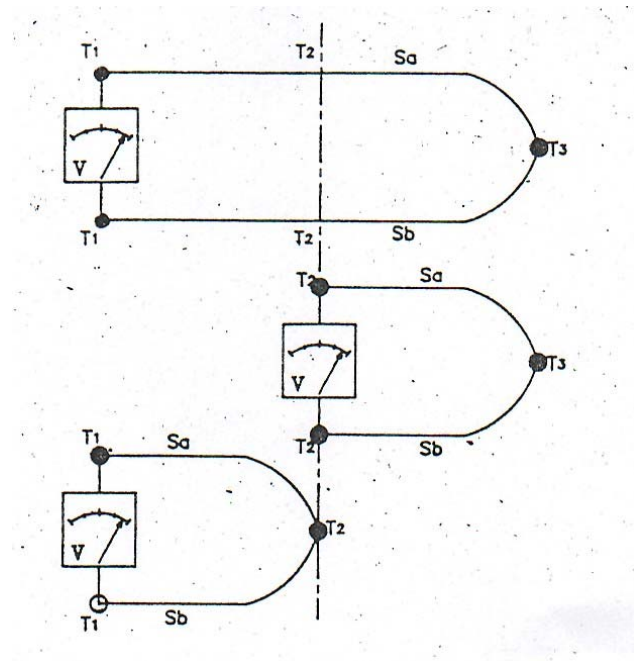


그림 1.1.9 중간 온도의 법칙

1.1.2 규격화된 열전대의 종류와 그 특성

열전대는 구성 재료가 서로 다른 금속선이면 온도 변화에 따른 열기전력을 상대 제백계수에 의해 발생시킨다. 그러나 온도에 따라 열기전력의 직선성과 단위 온도에 의한 열기전력 크기가 문제이다. 그리고 전 세계의 측정현장을 대상으로 한다면 열전대의 온도변화에 따른 열기전력이 상호 통일되어야 한다. 현재까지 선별된 금속선으로 조합한 열전대가 300여종류가 있다. 그러나 국제적으로 표준화하기 위해 한국 산업규격에서는 7 종류의 열전대를 규격화하였다. 규격화된 열전대는 표 1.1.1 에 구성 성분을 설명하였다. 여기서 설명하고 있는 열전대의 종류별 특성은 측정현장에서 사용할 열전대의 선택기준이 될 것이다.

표 1.1.1 규격화된 열전대

기 호		구 성 성 분	
		+	-
귀금속	B	70%Pt, 30% Rh	94%Pt, 6% Rh
	S	90%Pt, 10% Rh	Pt
	R	87%Pt, 13% Rh	Pt
비금속	N	84%Ni, 14-14.4%Cr, 13-1.65%Si	95%Ni, 4.2-4.6%Si, 0.5-1.5%Mg
	K	89-90%Ni, 9-9.5%Cr, 0.5%Si, Fe	95-90%Ni, 1-1.5%Si, 1-2.3%Al, 1% Mn, 0.5%Co
	J	99.5%Fe	55%Cu, 45%Ni
	E	니켈- 10% 크롬	콘스탄탄
	T	99.95%Cu	55%Cu, 45%Ni

표 1.1.1 의 규격화 된 열전대는 각자의 특성과 온도측정범위 및 정밀도를 갖고 있다. 열전대는 소선의 굵기, 모양에 따라 소선의 사용수명이 달라지기 때문에 온도측정범위에 제약을 받는다. 또한 온도측정범위에 따라 측정정밀도가 제약을 받는다. 표 1.1.2에서는 열전대 소선의 굵기에 따른 최대 사용온도를 나타냈고 표 1.1.3에서는 열전대의 허용오차를 나타냈다.

가. R 및 S형 열전대

대표적인 귀금속 열전대이고 S형은 비교 교정시 국가표준온도의 소급용으로 기준기급 열전대로 사용되고 있으며 유럽에서는 산업용으로도 많이 사용하고 있다. 그리고 R형 열전대는 주로 한국등 아시아에서 많이 쓰이고 있다. 이들 열전대의 특징은 다음과 같다.

① R, S형 열전대는 1400℃(용융온도의 70%이상) 부근에서 사용할 때는 소선내부의 조직이 재결정되어 사용시간에 따라 동일온도에서의 열기전력이 변화하므로 측정오차가 발생 및 증가한다.

② 귀 금속 열전대는 산화성, 불활성 분위기에서는 사용이 가능하나 환원성 분위기와 금속 증기, 혹은 비금속 증기가 있는 분위기에서 사용하면 열전대 소선이 극단적 손상을 받을 뿐만 아니라 열기전력의 심한 변화로 오차가 발생된다.

③ R, S형 열전대를 고온에서 오랫동안 사용하면 열전대 소선내에 조직의 크기가 성장되면 열전대 소선이 끊어지게 될 경우가 있다. 특히 열전대 소선을 취급하는 과정중에 오염되면, 예를 들면 맨 손으로 만진 손자욱, 먼지, 기름등이 소선에 묻어 있으면 고온중에서 금속내부로 급속하게 확산되어 끊어진다.

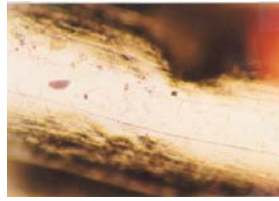
그러므로 기계적 강도가 약하지만 세라믹 또는 석영을 보호관을 사용해야 한다. 물론 백금으로 된 금속보호관으로는 보호관을 사용할 수 있으나 가격적인 측면을 고려해야 한다.

또한 R, S의 마이너스(-)측 소선은 순도 높은 백금으로 플러스(+)측의 소선에 있는 로듐(Rh)성분이 고온중에 백금선의 금속조직내로 확산되어 식 1.1.10 과 같이 제 3의 금속의 크기가 확대되어 양단 T₂ 온도가 측온지점으로 부터 이탈되므로서 온도오차를 만든다. 그러므로 교정검사시 측온 접점 부위를 약 10mm 를 절단하여 측온접점을 재작업한다.

나. B형 열전대

B형 열전대는 양측소선에 로듐이 포함되어 있다. 그러므로 소선의 용융점이 높아 비교적 R, S형 열전대보다 높은 온도 영역(1700℃)에서 사용하고 있다. 그리고 R, S형 열전대보다 조직성장이 느리고 사용시간에 따른 열기전력 변화가 적은 장점이 있다. 또한 B형 열전대는 열기전력이 작은 편이어서 상온부근에서는 거의 열기전력이 없어 기준 접점온도에 대한 보상이 필요가 없어 보상도선으로는 흔히 구하기 쉬운 구리선을 사용한다.

B형 열전대의 사용 환경은 귀금속 열전대로서 R, S형 열전대와 같이 환원성 분위기, 금속 증기에 취약하여 금속 보호관을 사용하지 않는다.



a. 정상적인 측은접점
b. 금속증기에 오염된 측은접점

오염된 측은접점



①상단은 측은접점부위라 고온속에서 반응이 빨리 진행되어 백금선 표면에 제삼의 물질로 코팅이 되어있다.
②중단부는 온도가 높은 편(400℃ 이상)이라 오염되어 부식이 진행되었음. ③하단부위는 터미널쪽-온도가 낮은 부위라 동일 수준으로 오염되어도 부식되지 않았음.

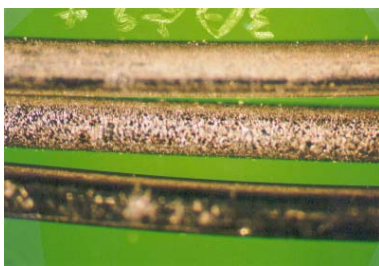
(카메라 스트로보 빛에 의해 검게 나타남)

c. 귀금속열전대의 부위별 오염상태

오염부위에 확산,
침식부분이 성장하는
것을 확대



d. 오염부위중 접촉오염부위가 빠르게 확산되어 그레인 침식됨



e. 귀금속 열전대 소선이 손접촉에 의해 오염된 부위가 오염물질이 그레인경계층을 확산침식해서 단산이 된 현상.

그림 1.11 귀금속 열전대의 오염에 의해 손상된 모양

다. N형 열전대

N형 열전대는 1997년도에 산업표준 규격으로 규격화된 열전대이다. 고온 영역에서 K형 열전대가 갖고 있는 결점에 대해 N형 열전대의 대체 요구가 점차 높아가고 있어 중요하게 인식되고 있는 열전대이다. N형 열전대는 호주의 N.A.Burley가 1972년에 발표한 새로운 열전대이다. 미국 NIST의 특성평가가 완료되었고 열기전력표가 작성되어 있다. IEC에서는 규격으로 채용하였다. 그리고 일본에서는 일본 학술 진흥회에서 특성 시험을 완료하였고 K형 열전대보다 고온에서 특히 1000℃ ~ 1250℃에서 내산화성이 좋다는 평가를 하였다. 1995년도에 JIS규격에서 규격열전대로 채용하였다. 향후 K형 열전대를 대체할 것으로 예측되며 현재 상품화된 제품이 사용되고 있다. 이 열전대는 고온에서, 유황분위기, 환원 분위기 혹은 산화-환원이 반복되는 분위기에서 보호관이 없는 상태로 사용하지 않는다. ASTM[5]에서 0℃에서 1250℃구간에서 $\pm 2.2\%$ (또는 0.75%)이다.

라. K형 열전대

이 열전대는 비교적 고온(1260℃)까지 측정이 가능하여 귀금속인 R, S형 열전대를 대신해서 사용할 수 있는 저렴한 비금속류의 열전대이다. K형 열전대는 산화성 분위기에서 다른 비금속 열전대보다 특성이 우수하여 측정 현장에서 많이 사용되고 있다.

K형 열전대의 특징은 아래와 같으며 특히 금속가스와 산화분위기에 강하여 금속보호관을 사용할 수 있다. 소선의 산화는 일반적으로 열기전력의 증가를 유발시킨다.

- ① 보호관 없이 노출된 상태에서 환원분위기, 산화-환원이 반복되는 분위기에서 취약하다.
- ② 보호관 없이 노출된 상태에서 유황분위기에서 사용하지 않는다. 유황은 소선의 금속 조직내부를 부식시켜 열전대 소선이 부식 단절된다.
- ③ 진공에서 장시간 사용할 경우 KP(크로멜선)에 함유되어 있는 크롬이 쉽게 증발하여 기전력이 변하게 된다.
- ④ KP(크로멜선)은 800℃ ~ 1050℃ 영역에서 녹색부식(Green-rot)이 심하게 일어나는데 열전대 주위에 산소함유량이 희박하여 크롬이 우선적으로 산화되기 때문이다.

이 녹색부식은 소선의 조성을 변화시키므로 열기전력이 떨어지게 된다. 그러므로 열전대 소선에 산화피막처리를 하여 사용한다.

- ⑤ KP(크로멜)은 비 자성체이고 KN(알루멜)은 자성체이므로 자석으로 극성 구별을 할 수 있다.

마. J형 열전대

이 열전대는 온도에 대한 열기전력이 높으며 값이 싸서 산업체에서 가장 흔하게 사용하고 있다. 그러나 정확한 측정에는 적합하지 않다. 그 이유는 열전대소선을 제조한 회사마다 열기전력의 선형성이 달라서 생기는 불규칙한 편차때문이다.

J형 열전대의 JP(+)측 소선은 철선(99.5%)이므로 540℃부터 600℃가 넘으면 산화되는 정도가 급격하게 증가하나 굵은 소선을 사용하면 높은 온도에서도 오래 사용할 수 있다. JN(-) 소선인 콘스탄탄은 55%의 Cu와 45%의 Ni 그리고 불순물로 Co, Fe, Mn 등을 함유하고 있다. 여기서 E형 또는 T형의 마이너스(EN 또는 TN) 소선인 콘스탄탄과 같은 명칭으로 부르고 있으나 서로 바꿔서 열전대를 구성하여 사용하면 않된다. 앞에서 말했듯이 각 제조사에서 J형 열전대의 콘스탄탄을 JP(+) 소선인 철의 순도에 따라 짝을 맞추어 생산하기 때문에 호환성이 미흡하므로 동일 롯데제품이 아니면 콘스탄탄은 교환사용하지 않는다. 이 열전대는 진공, 산화, 환원분위기등에서 760℃까지 사용할 수 있다. 유황분위기에서 540℃ 이상에서 보호관없이 사용해서는 않되며 오랜 시간동안 측정하기 위해서는 되도록 굵은 소선을 쓰도록 한다. 그리고 소선중 하나가 철선이기 때문에 물기가 있는 장소에서는 쉽게 녹슬기 때문에 사용할 때 주의가 필요하다. 대체적으로 소선을 방청처리하여 녹문제를 해결한다. 영하(零下)의 온도에서도 안정된 열기전력 특성을 갖고 있으나 취성을 갖게 되므로 주의해야 한다. D.H Dahl의 보고에 의하면 537℃의 공기중에서 1000시간에 약 0.4℃의 변화한다고 한다.

바. E형 열전대

이 열전대는 -200℃ ~ 900℃ 사이에서 산화성, 불활성 분위기에서 사용가능하다. 500℃ 이상에서, 공기중에서 오랫동안 사용하고자 할때는 굵은 소선을 사용한다. 산화 분위기로 부터, 환원분위기로 변화하는, 산화-환원이 반복되는 분위기에서 또는 진공 분위기에서는 K 열전대와 같이 제약받는다. 이 열전대는 영하의 저온 영역에서 -250℃에서 0℃구간에서 ±1℃ (또는 ±0.5%)의 허용오차를 갖는 좋은 열기전력 특성을 갖고 있다. E형 열전대는 규격 열전대중에서 가장 열기전력이 크므로 많이 사용하고 있다.

사. T형 열전대

이 열전대는 습기가 많은 분위기에서 내식 특성이 강하므로 영하의 저온 측정에 적합하다. 최고 사용 온도는 370℃로 비교적 낮은 온도이므로 진공, 산화, 환원, 불활성 분위기에서 사용할 수 있고 아주 낮은 저온대역(-250℃)까지 측정이 가능하다. 수소분위기에서 사용할 때는 소선의 취성이 생기므로 주의해야 한다.

TP(+)소선은 99.95%순도의 무산소동(無酸素銅)으로 극저온에서 소선의 종류에 따른 차이가 거의 없다. TN(-)소선은 콘스탄탄선으로 55%의 Cu와 45%의 Ni 및 불순물인 Co, Fe, Mn을 함유하고 있다.

그러나 J, E형 열전대의 콘스탄탄과 서로 교환하여 사용하지 않는다. 이 열전대의 소선 모두는 열전도율이 높아 공기중에 노출된 연장선을 통해 축온점점으로 실내온도가 전도되어 측정 오차를 나게 하므로 충분한 깊이로 삽입해야 한다. 특히 저온을 측정할 때는 소선의 열전도 특성이 매우 좋아져서 이러한 오차를 발생시킨다.

표 1.1.2 KS에서 규격화한 열전대의 소선의 굵기에 따른 상용온도 한계 (°C)

KS C 1602-'97

열전대 기호	소선의 경(mm)	사용한도(°C)	과열사용한도(°C)
B	0.50	1500	1700
S R	0.50	1400	1600
N	0.65	850	900
	1.00	950	1000
	1.60	1050	1100
	2.30	1100	1150
	3.20	1200	1250
K	0.65	650	850
	1.00	750	950
	1.60	850	1050
	2.30	900	1100
	3.20	1000	1200
J	0.65	400	500
	1.00	450	550
	1.60	500	650
	2.30	550	750
	3.20	600	750
E	0.65	450	500
	1.00	500	550
	1.60	550	650
	2.30	600	750
	3.20	700	750
T	0.32	200	250
	0.65	200	250
	1.00	250	300
	1.60	300	350
	3.20		

표 1.1.3 KS에 규격화 된 일반열전대의 허용오차(KS C 1602, JIS C1602, JIS C1605-95)

열전대 기호		허용오차(°)의 분류		
		클래스 1	클래스 2	클래스3
B	온도범위 허용차	-	-	600℃ 이상 800℃ 미만 ±4℃
	온도범위 허용차	-	600℃ 이상 1700℃ 미만 ±0.0025· t	800℃ 이상 1700℃ 미만 ±0.005· t
	구계급*	-	-	0.5급
S, R	온도범위 허용차	0℃ 이상 1100℃ 미만 ⁽³⁾ ±1℃	0℃ 이상 +600℃ 미만 ±1.5℃	-
	온도범위 허용차	-	600℃ 이상 1600℃ 미만 ±0.0025· t	-
	구계급*	-	0.25급	-
N	온도범위 허용차	-40℃ 이상 +375℃ 미만 ±1.5℃	-40℃ 이상 +333℃ 미만 ±2.5℃	-167℃ 이상 +40℃ 미만 ±2.5℃
	온도범위 허용차	+375℃ 이상 1000℃ 미만 ±0.004· t	+333℃ 이상 1200℃ 미만 ±0.075· t	-200℃ 이상 -167℃ 미만 ±0.015· t
	구계급*	-	-	-
K	온도범위 허용차	-40℃ 이상 +375℃ 미만 ±1.5℃	-40℃ 이상 +333℃ 미만 ±2.5℃	-167℃ 이상 +40℃ 미만 ±2.5℃
	온도범위 허용차	+375℃ 이상 1000℃ 미만 ±0.004· t	+333℃ 이상 1200℃ 미만 ±0.075· t	-200℃ 이상 -167℃ 미만 ±0.015· t
	구계급*	0.4급	0.75급	1.5급
E	온도범위 허용차	-40℃ 이상 +375℃ 미만 ±1.5℃	-40℃ 이상 +333℃ 미만 ±2.5℃	-167℃ 이상 +40℃ 미만 ±2.5℃
	온도범위 허용차	+375℃ 이상 800℃ 미만 ±0.004· t	+333℃ 이상 1200℃ 미만 ±0.075· t	-200℃ 이상 -167℃ 미만 ±0.015· t
	구계급*	0.4급	0.75급	1.5급
J	온도범위 허용차	-40℃ 이상 +375℃ 미만 ±1.5℃	-40℃ 이상 +333℃ 미만 ±2.5℃	-
	온도범위 허용차	+375℃ 이상 750℃ 미만 ±0.004· t	+333℃ 이상 1200℃ 미만 ±0.075· t	-
	구계급*	0.4급	0.75급	-
T	온도범위 허용차	-40℃ 이상 +125℃ 미만 ±0.5℃	-40℃ 이상 +133℃ 미만 ±1℃	-67℃ 이상 +40℃ 미만 ±1℃
	온도범위 허용차	+125℃ 이상 350℃ 미만 ±0.004· t	+133℃ 이상 +350℃ 미만 ±0.075· t	-200℃ 이상 -67℃ 미만 ±0.015· t
	구계급*	0.4급	0.75급	1.5급

주 (2) 허용차란 열기전력을 기준 열기전력표에 의해서 환산한 온도에서 측온점점의 온도를 뺀 값의 허용되는 최대 한도를 말한다.

(3) R, S 열전대의 허용차분 클래스 1은 표준열전대에 적용한다.

- 비고 1. |t|는 측정 온도의 +, -의 기호에 무관한 온도(°)로 표시되는 값이다.
2. *는 참고를 위해 표시한다.

1.1.3 비규격, 특수 열전대에 대한 특성

수백종류의 규격화 되지않은 열전대들은 규격화된 열전대가 심도있게 다루지 못하는 온도범위 등 일반적으로 측정하기에는 용도가 낮은 특수종이 있고, 규격화된 열전대의 문제점을 개선한 신개발품으로 규격화하기 전에 신뢰성시험과 기준열기전력 및 규격을 작성하고 있는 열전대등이 있다.

가. 크로멜 對 금.철 0.07mol % 열전대

이 열전대는 극저온 0.5K ~ 300K 의 측정에 사용한다. K 열전대의 KP(+)측 소선인 크로멜선과 마이너스(-)측 소선인 금(Au)을 기본으로한 0.07 %의 철이 포함된 합금선으로 구성되었다. 이 열전대는 미국 우주항공국(NASA)에서 아폴로계획의 일환으로 미국 표준국(NBS, 현재 NIST)에 의뢰하여 개발되었으며 20K 이하에서 열기전력이 비교적 크고 전반적으로 측정범위에서 기전력의 직진성이 좋다. 온도의 정확도는 0.2K이며 안정성은 $\pm 0.015K$ 이다. 그러나 극저온(極低溫)에서 자장(磁場)에 영향에 의해 오차가 발생한다.

나. 금. 철 0.07 mol % 對 노말실버(Normal Silver) 열전대

이 열전대는 나항의 “크로멜 대 금.철 열전대”와 같이 극저온 측정용이며 특히 3 ~ 40K 범위에서 고자장(高磁場)의 저온영역에서도 자장의 영향을 크게 받지않는다. 기본 금속인 은(Ag)과 0.37 mol %의 금(Au)으로 만든 합금인 노말실버와 금을 기본으로 하고 0.07 mol %와 철(Fe)을 섞은 합금선으로 열전대를 구성한다. 안정도는 3 ~ 40K 정도이다.

다. 텅스텐 對 레늄 5 % 텅스텐 열전대

고온 측정용 열전대중 하나로 0 ~ 3000℃에서 사용할 수 있다. 환원성 분위기, 불활성 기체, 수소기체에 적합하다. 열기전력은 고온용 열전대중 열기전력이 비교적 크다. 이 열전대는, 중국에서 귀금속 열전대 소선의 대체품으로 적용연구가 활발하게 되고 있다.

1.1.4 열전대의 구조

열전대는 제작 형태에 따라 일반 열전대(KS C1602)와 시스 열전대(KS C1615) 두 가지로 분류한다.

가. 일반 열전대

열전대 소선을 설계된 길이에 맞게 절단 및 측은 접점을 용접하여 세라믹재질로 된 절연관에 삽입, 조립하고 보호관과 단자판을 그림 1.1.11과 같이 조립한 열전대이다. 열전대소선은 표 1.1.2와 같이 산업규격으로 규격화 하였다.

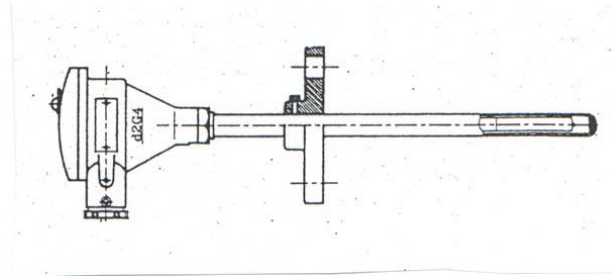


그림 1.1.11 일반 열전대

보호관의 외경과 길이의 규격은 표 1.1.4와 같다.

표 1.1.4 보호관의 규격

보호관의 바깥지름(ømm)	보호관의 길이(MM)
6, 8, 10, 12, 15, 22	500, 750, 1000

보호관은 비금속 열전대일 경우 또는 1000℃이하의 경우에는 금속, 비금속 보호관을 사용한다. 보호관의 재질선택은 다음 조건에 따라 한다.

- ① 측정하고자 하는 온도와 그 온도의 압력에서 충분히 견딜 수 있는 것.
- ② 피측정물에 의해 부식 및 여타의 화학반응을 일으키지 않는 것.
- ③ 기체의 유통을 막을 수 있는 것.
- ④ 급격한 온도변화에 의해 파손되지 않는 것.
- ⑤ 진동, 충격등의 기계적힘에 충분히 견딜 수 있는 것.
- ⑥ 보호관 자신이 측온부에게 유해가스를 발생하지 않는 것.
- ⑦ 외부온도 변화를 신속히 열전대 측온점점에 전달하는 감응속도가 좋은 것.

위와 같은 조건을 만족 시키는데에는 재질선택 뿐만 아니라 구조설계의 중요성도 크다.

그러나 1000℃이상의 고온에서 이러한 조건을 모두 만족시키는 재료를 구한다는 것은 매우 어렵다. 그러므로 측정장소의 분위기, 진동조건등을 미리 조사하여 적당한 재료를 선택하는 것이 좋다. 귀금속 열전대에는 자기(세라믹)류나 석영으로 만든 보호관을 사용해야 한다. 그러나 내열성은 좋으나 기계적 강도가 약하다. 자기류는 알칼리에 약하므로 주의해야 한다.

단자형태는 그림 1.1.11과 같이 덮개가 있는 헤드형과 노출형 두 가지가 있다. 덮개가 있는 헤드형은 노천현장에 설치하는 열전대에 적용한다. 가연성이 가스 분위기등에서 사용할 경우는 방폭구조로 설계 제작되어야 한다. 노출형은 보통 우천에 영향을 받지 않는 설비장치 품 부속으로 조립할 때에 사용한다.

절연관은 열전대의 소선간 절연 및 보호관의 내벽과 격리시키는 기능을 가진 일반 열전대 부품이다.형상은 대체로 원형막대에 열전대 소선을 삽입시킬 수 있도록 두 개 이상의 세로 구멍이 있다.

자기 절연관은 일반적으로 치밀조직체(Impervious Materials)와 다공질(Porus Materials)이 있는데 SiC를 제외하고는 알루미나(Al_2O_3) 재결정 자기류로 알루미나의 함유량이 99.7%에서 55%까지 여러 종류가 있다. 고온용(高温用)일 수록 알루미나의 함유량이 높은 것을 사용하는 데 측정환경에 따라 열충격이라 든가 열팽창 또는 고온에서의 절연 저항 특성을 고려하여 선택한다.

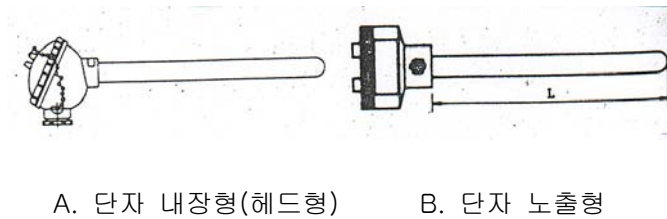


그림.1.1.11. 일반 열전대의 단자함.

나. 시스 열전대 (Sheath Thermocouple)

시스 열전대를 정확하게 표현하면“ 무기질 절연 금속시스 열전대” (Mineral Insulated Metal Sheathed Thermocouple)로 부를 수 있다. 그래서 M.I Cable로 부르기도 한다.

이 시스 열전대는 무기 절연재 (MgO, Al_2O_3, ZrO_2 등)금속 보호관속에 분말을 단단하게 충전하여 금속 보호관과 열전대 소선의 사이를 절연시킴으로써 보호관 소선, 절연재를 일체화한 열전대이다. 그림 1.1.12에 시스 열전대 구조를 표시하였다. 그림1.1.13에는 시스열전대의 단면그림을 표시했다.

시스 열전대는, 일반형 열전대의 보호관에 상당하는 금속 시스의 두께는 얇고, 내부 절연체는 고압으로 충전되어 있어 굽혀도 내부 소선의 이동이 없어, 자유자재로 구부러 사용할 수 있고 강도, 내열, 내진성이 우수하다. 이러한 특징으로 일반 열전대를 적용하기 어려운 제강, 제트엔진, 터빈 핵반응로등 신뢰성을 요구하는 특수 분야에서 광범위하게 사용한다.

시스열전대 소선에 따른 열전대형의 표시방법은 일반 열전대의 표시와 구별하기 위해 열전대 형을 표시하는 영문자 앞에 시스의 영문 첫 글자인 S를 붙인다.

표 1.1.5 금속시스의 외경에 대한 소선경과 두께

시스의 외경(D) ↓ 허용오차(mm)	시스선단 가공부의 외경(D) ↓ 허용오차(mm)	열전대의 소선경 d	금속시스의 두께 t
0.5 ± 0.025	0.5 ± 0.05	금속시스의 외경(D) ↓ 15% 이상	금속시스의 외경(D) ↓ 10% 이상
1.0 ± 0.025	1.0 ± 0.05		
1.5 ± 0.025	1.5 ± 0.05		
(1.6 ± 0.025)	(1.6 ± 0.05)		
2.0 ± 0.025	2.0 ± 0.05		
3.0 ± 0.030	3.0 ± 0.05		
(3.2 ± 0.030)	(3.2 ± 0.05)		
4.5 ± 0.045	4.5 ± 0.05		
(4.8 ± 0.050)	(4.8 ± 0.05)		
6.0 ± 0.060	6.0 ± 0.10		
(6.4 ± 0.060)	(6.4 ± 0.10)		
8.0 ± 0.080	8.0 ± 0.10		

() 안의 숫자는 인치를 환산한 값으로 장래에는 폐지한다.

(1) 소선과 시스두께

보통 시스외경의 10%이상으로 산업규격으로 정해져 있으나 소선의 경우, 새로 개정된 일본산업규격(JIS C 1605-95)에서는 15%이상으로 바뀌었고 이미 바뀌기 전에도 현재 시장에 유통되고 있는 상품은 안정성이 충분히 확보된 15~17%의 규격으로 제작되어 있다.

(표 1.1.5참조)

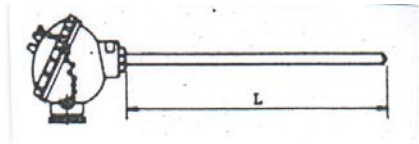
(2) 시스 재질

시스는 금속 보호관 같이 표 1.1.6 사용 환경의 측정 온도범위, 화학적 분위기, 열전도 등에 따라 적절하게 사용하나 보통 스테인레스 304, 316또는 316L을 사용하고 고온 내열용으로는 인코넬을 ,열전대는 N형을 주로 사용한다. 그러나 Ni성분이 높은 금속은 내산성 부식에 강하다고 하지만 S분위기에서는 매우 나약하므로 Fe-Cr합금강을 사용한다. 1300℃ 더 열악한 분위기에는 열전대를 귀금속 열전대 소선으로 써야 하는데 시스열전대로 제작할 때는 주로 고온 측정용이기 때문에 금속 시스재료는 INCONEL600을 사용한다. 그러나 귀금속 열전대 소선을 제대로 보호하려면 백금을 시스재로 사용해야 하는 것이 원칙이다.

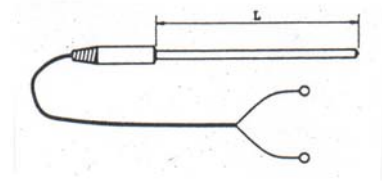
표 1.1.6 규격화된 금속시스의 재질

KS 기호	금속시스 재질	주 성 분
A ()	STS 304	18% Cr . 8% Ni
	STS 321	18% Cr . 9% Ni+Ti
	STS 347	18% Cr . 9% Ni+Nb
	STS 316	18% Cr . 12% Ni . 2.5% Mo
B (耐蝕耐熱超合金)	NCF 600	72% Ni . 15% Cr . 8% Fe
	*STS 310S	25% Cr . 20% Ni

* KS에서 스테인레스 시스의 기호를 A, 인코넬기호를 B로 표시한다.
SUS 310은 조성상으로는 A에 속하나 사용상으로는 B에 속한다.
B의 합금은 JIS Z 8704에 따른다



A. 단자판 부착형(헤드형)



B. 단자판이 없는 형(아답타형)

그림 1.1.12 제작된 시스열전대

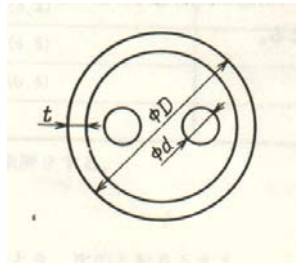


그림 1.1.13 시스열전대의 단면모양

(3) 절연재

절연재 MgO는 시스 열전대의 절연재로 사용되고 있는 여러가지 무기 절연재중 대표적으로 많이 사용하고 있는 것으로 99.8% 부터 95%이상의 순도를 사용한다. 600℃이하의 낮은 온도에서 또는 정밀도를 높이 요구하지 않는 경우에는 95%~98%순도의 MgO를 사용한다. 고온에서 높은 안정도와 정밀도가 요구되는 측정에는 99.4% 이상의 MgO를 사용해야 한다.⁽¹⁾

물론 MgO 순도에 따라 시스 열전대의 케이블값의 가격 차가 크다.

절연재는 600℃가 넘어가면 절연 저항능력이 떨어지므로 열기전력이 절연재를 통해 누설되어 정밀도, 안정도가 떨어진다. 또한 가공할 때 시스열전대의 절연재에 공기중의 습기가 침투가 되지 않도록 주의해야 한다. 시스열전대를 원자재 상태에서 절단할 때 그 절단부위는 반드시 에폭시류 또는 다른 적당한 재료로 밀봉하여 습기를 차단해야 한다. 시스 열전대를 가공,조립하기 전에 건조로에서 200℃정도에서 충분히 건조한 후에 작업한다.(표1.1.7)

표 1.1.7 시스열전대의 전기적 특성시험 기준표

항 목	금속시스의 외경(mm)	평 가 기 준	구 규 격
절연저항	0.5, 1.0 , 1.5 , (1.6) ,2.0	20MΩ 100Vdc 이상	5MΩ 100Vdc 이상
	3.0 ,(3.2),	100MΩ 500Vdc 이상	5MΩ 250Vdc 이상
	4.5 , (4.8), 6.0, (6.4), 8.0		5MΩ 500Vdc 이상
내 전 압	1.0 , 1.5 ,(1.6), 2.0	100 Vdc 1	
	3.0 , (3.2)	500 Vdc 1	250Vdc 1 시간
	4.5 , (4.8), 6.0, (6.4), 8.0		500 Vdc 1 시간

(4) 시스 열전대의 축온접점구조와 특징.

시스 열전대의 축온 접점구조와 특징은 그림 1.1.14와 같다.
KS에는 접지형 기호를 G로 비접지형 기호를 U로 표시한다.

- A. 접지형- KS표시기호 G (Ground) B. 비접지형 - KS 표시기호 U(Unground)

그림 1.1.14 시스열전대의 선단부 작업형태에 따른 구분.

표 1.1.9 시스열전대의 외경과 상용온도 범위

시스외경 (mm)	상 용 온 도					
	S K		S T	S J	S E	
	SUS316,347	SUS310 INCONEL	SUS 316	SUS316,347	SUS347	INCONEL
1.0	450	-	200	250	450	-
1.6	600	700	250	350	600	700
3.2	700	900	250	450	700	900
4.8	800	1000	300	500	800	1000
6.3	850	1050	300	550	850	1050
8.0	900	1050	300	600	900	1050

⁽¹⁾ASTM :E235-reap.96 Standard Specification for Thermocouples, Sheathed, Type K, for Nuclear or for Other High-Reliability Applications.를 참조할 것.

(5) 상용한도

시스 열전대가 공기중에서 연속적으로 사용할 수 있는 온도의 한도인 상용 한도는 표 1.1.8에 나타냈다. 시스 열전대는 일반 열전대의 상용 한도보다 다소 높다. 그 이유는 일반 열전대보다 산화가 적기 때문에 비교적 고온에서 사용할 수 있다. 상용한도를 결정 짓는 기준은 시스 외경에 따른다.

(6) 허용오차

시스 열전대의 정도는 일반 열전대보다 다소 열등한 편이다. 이것은 시스 열전대를 신선할 때 주로 금속시스의 재료의 가공성 때문에 금속 시스에 대한 열처리를 반복하게 되는데 이러한 과정중에 합체되어 있는 열전대의 소선에 원치않는 기계적 무리를 주게되어 오차에 대한 배려가 미흡하게 된다. KS 규격의 시스열전대의 허용오차는 표 1.1.3과 같다.

(7) 응답속도

시스 열전대는 일반 열전대보다 온도 측정시 응답시간이 빠른 것이 장점이다. 금속 시스의 외경이 가늘 수록 응답속도가 빠르나 측정온도의 범위가 제약된다. 표 1.1.9는 시스열전대의 외경크기에 따라,선단 가공 형태에 따라 응답속도가 다른 것을 보여주고 있다.

표 1.1.9. 금속시스의 외경에 따른 응답시간.

금속시스의 외경(mm)	응답시간(sec)	
	접지형(G)	비접지형(U)
1.0	0.2	0.2
1.6	0.4	0.5
3.2	1.2	1.4
4.8	2.9	3.8
6.4	4.3	6.9
8.0	6.1	8.3

(8) 열기전력 안정도

완성된 시스 열전대는 한국산업표준 규격(KS C 1615)에서 규정한 검사 및 소비자가 요구한 사항에 대한 검사를 해야한다.

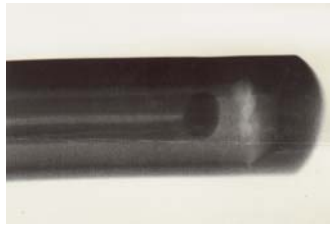
그 검사 항목중 열기전 안정도검사는 표 1.1.10의 온도로 3시간 동안 일정하게 가열한 후의 열기전력을 기준 열전대와 함께 측정 비교하여 3시간 동안 측정한 값이 기준 열전대의 측정값과 비교하여 최대 오차값과 최저 오차값의 폭이 표 1.1.10의 허용차의 20% 이내가 되어야 한다.

표 1.1.10. 열기전력 안정도 시험온도

시스 열전대	시험온도
SN	400℃ 이상 상용한도 이하
SK	
SE	
SJ	
ST	200℃ 이상 상용한도 이하

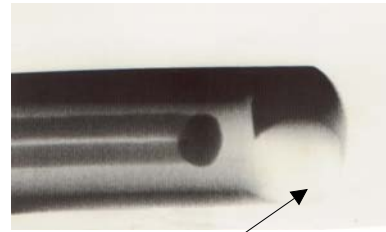
(9) 축온접점의 용접상태

시스 열전대는 축온접점 작업후 금속시스 선단을 용접으로 밀봉처리하기 때문에 작업후 축온 접점부를 포함한 선단부의 내부 용접 상태가 건전한 지를 반드시 확인해야 한다. 아무리 숙달된 작업자도 20~30%이상의 결함을 내나 그림 1.1.15과 같이 X-ray투과 사진을 보아 축온접점과 선단부위의 용접상태를 확인하여 최적의 용접방법을 찾아 표준화 하여 작업의안정성과 신뢰성을 확보해야한다. 또한,선단 용접부위에 핀홀이 있는 지의 여부를 침수검사 또는 액체 탐상 시험검사를 해야한다.



선단용접시 내부에 기포가 발생

a. 정상품



b. 부적합품

그림 1.1.15 시스열전대의 축온접점부와 선단용접부의 X-Ray사진

(10) 선단부의 용접 및 가공 상태

앞의 마.항과 같이 축온 접점부에 분말의 무기절연물을 채워서 그림 1.1.14의 B와 같이 가공한다.

(11) 표시규격

시스 열전대는 한국 산업 규격 표시 품목이다.(KS C-1615 시스열전대)

그러므로 이 제품의 표시는 산업규격에서 규정에 따라 다음 항목과 순서대로 표시하도록 한다.

- ① 구성 열전대 소선의 타입 (표 1.1.1의 열전대형의 기호앞에 S를 첨자함)
- ② 금속시스의 재질 (표 1.1.7를 따름)
- ③ 축온접점의 형상 (그림 1.1.14에 따름)
- ④ 구성 열전대 소선의 허용차 분류 (표 1.1.3을 따름)
- ⑤ 금속시스의 굵기 (표 1.1.5에 따름)
- ⑥ 금속시스의 길이 (주문자의 요구에 의해 제작된 헤드 또는 아답터를 제외한 시스 열전대 길이)

예를 든다면,

- | | |
|--------------------------|-----------|
| ① K형 시스 열전대이고 | -S K- |
| ② 금속 시스가 SUS 이고 | -A- |
| ③ 축온 접점은 비접지이고 | -U- |
| ④ 허용오차,계급이 | -CLASS2,- |
| ⑤ 금속 시스가 φ6.0mm 이고 | -6.0- |
| ⑥ 금속 시스의 길이가 3000mm 일 때는 | -3000mm- |

위의 ①~⑥의 내용을 종합하여 표시하는 방법은 다음과 같이 한다.

S(K - A - U)CLASS2, 6.0x 3000mm

가 된다.

1.2 열전대 보상도선(熱電對 補償導線)

보상도선은 열전대의 소선으로부터 기준점점(또는 계측기단자)까지 연장할 때에 사용하는 도선이다. 열전대의 소선과 다른 금속인 연장선이 열전대에 회로적으로 접속하는 접점의 온도에 의해 발생하는 열기전력으로 인하여 오차를 갖게 된다. 실험실에서는 그 접점부위를 얼음으로 냉접점(冷接點)을 만들어 열기전력 발생을 억제하여 오차방지를 한다.

그러나 일반 측정현장에서는 냉접점 구성이 불가능하므로 보상도선을 사용한다.

보상도선의 경우는 열전대소선과 다른 재료의 금속이지만 열전대소선과 한정 온도(~150℃)내에서 절대 제백계수가 같아 열기전력오차를 방지할 수 있어 마치 열전대 소선을 연장한 것과 같이 사용할 수 있는 도선이다.

규격화된 열전대마다 제각기 전용 보상도선이 있고 한국산업표준화 표시품목(KS C 1609)으로 되어 있다. 보상도선의 보상능력과 정도(精度), 식별 방법등을 이해해야 계측현장에서 올바른 온도측정이 가능하다.

1.2.1 보상도선 재질

보상도선은 보상도선 심선을 절연및 내열 피복한 한쌍을 내열용 또는 일반용 피복재료로 피복시킨, 전기 케이블과 비슷한, 구조로 되어 있다. 이중 보상도선의 심선은 열전대의 단자부위에서 부터 접속 또는 연결되어 작업장을 지나 계측기에 연결되는 총연장 구간에서 열전대와 같은 성질을 갖고 같은 행동을 해야 한다.

즉, 열전대 소선과 회로적으로 접촉하는 접점온도에서 열전대 소선의 절대 제백계수와 보상도선의 절대 제백계수가 같아 마치 열전대 소선과 동일한 소선을 연결한 것과 같이 그 접점부의 온도에 따른 열기전력이 발생되지 않아야 한다. 그러나 어느정도의 오차가 발생되는데, 그 오차는 열전대가 측정한 값에 큰 영향을 주지 않는 범위내에서 허용오차를 규정하도록 하였다. 허용오차는 한국산업규격(KS C 1609)에서 규정하였고 보상도선의 열기전력은 표준열기전력표(KS C 1602 부표)를 보고 온도로 환산하여 오차를 계산한다.

$$\Delta t(^{\circ}\text{C}) = (e_t - E_t) / \Delta E_t = (t' - t) \text{-----} 1.19$$

여기서,

Δt : 온도 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 보상도선의 오차

e_t : 온도 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 보상도선의 열기전력

E_t : 온도 $t^{\circ}\text{C}$ 에서 조합하여 사용하는 열전대의 기준열기전력

ΔE_t : 온도 $t^{\circ}\text{C}$ 부근에서 온도차

t' : 보상도선과 열전대와의 접속점온도

t : 보상도선의 +측심선과 -측심선으로 열전대를 구성하였을

때의 온도 (e_t 및 기준열기전력표에서 산출한다.)

보상도선은 심선(芯線)에 각각 용도에 따른 적당한 피복을 하고, 충분한 기계적 성질과 내

구성이 있는 것을 선택할 필요가 있지만, 그 재료등에 대해서는 KS에서 특별히 정하고 있지 않다. 그러나 보상도선의 종류를 식별할 수 있도록, 표면피복의 색은 IEC의 권장하는 표기에 따라 정하고 있다.

표 1.11 보상도선의 규격

사용 열전대	기 호	구기호	구 성 재 료 (%)		열전대와의 접속온도℃	온도허용 오차 μV		표 면 피복의 색 상	
			P (+) †	N (-) †		CLASS1	CLASS2	신표기	구표기
B	BC	BX	Cu *	Cu *	0~ 00	**	**	회색	회색
R	RCA RCB	RX		Cu Ni 0.5~7.0	0~ 50	-	±30	황색	흑색
S	SCA SCB	SX							
K	KX	KX	Ni. Cr7.0~10.5 Mn1.5 Si1.0 이하	Ni Mn 5.0 이하 Al 3.0 이하 Si 2.5 이하	-25~200	±60	±100	녹색	청색
	KCA	-			0~ 50	-	±100		
	KCB	WX	Fe 99.0 이상 Mn 1.0 이하 C 0.1 이하	Cu,Ni16.0~25.0 Mn 1.5 이하	0~ 50	-	±100		
	KCC	VX	Cu *		0~ 00	-	±100		
E	EX	EX	K X † 같음	Cu Ni 42.0~48.0 Mn 2.5 이하	-25~200	±120	±200	청자주색	자색
J	JX	JX	WX † 같음			±85	±140	흑색	황색
T	TX	TX	Cu *		-25~100	±30	±60	갈색	갈색

* 동(銅)은 JIS C 3102(電氣用 軟銅線)에서 규정한 전기용 연동선.

N	NX	-	Ni84 이상 ,Cr14-14.4, Si13-1.65	Ni95 ,Si4.2-4.6 ,Mg0.5-1.5	-25~ 00	±60	±100	핑크색	-
	NC	-	CONSTANTAN	CONSTANTAN	0~ 50	-	±100		

** B X는 +측과 -측이 동일 재질인 동선을 사용하기 때문에 허용오차를 규정하지 않음. 색표시중 절연피복색은 +측은 외피색과 동일하고 -측은 흰색이다.

1.2.2 보상도선의 종류

보상도선의 분류에 따른 표시방법은 KS 규격에 따른다. 보상도선의 종류로는 조합하여 사용하는 열전대의 종류에 따라 분류하는 것이 좋다. 이에 대응하는 기호로는 IEC의 안에 따라서 열전대소선을 그대로 사용하는 연장형(Extention)에는 열전대기호에 X자를 붙여표시 한다.(KX등.) 열전대소선보다 저렴한 금속으로 보상기능을 부여한 보상형(Campansating)에는 과거 규격과는 달리 CA,CB 및CC 같이 표시한다. C자 뒤에 붙는 A,B,C 는 정밀급순으로 표시한다. 사용온도의 범위에 따라 분류로는 일반용의 기호로는 -G로 표시하고 주로 난연성 비닐계를 쓰고 내열용의 기호로는 -H로 표시하는데 유리섬유로 편조피복하여 사용한다. 또한 고내열용으로는 -S로 표시하고 불소수지계(테프론)을 사용한다.

표 1.11 절연재에 따른 절연저항

단위 MΩ.km

사용구분	기호	절연체 재료	절연저항치
일반용	G	비닐계	50
내열용	H	유리섬유계	0.05
고내열용	S	4-불화 에틸렌	1000

허용오차에 대한 구분으로는 CLASS 1 과 CLASS 2 로 분류한다
 신규격에 추가된 항목으로 보상도선에 잡음차폐(Shield)에 대한 것이다.

표 1.12 보상도선의 차폐기능

종 별	기 호	비 고
銅 테- 차폐	S1	단면구조가 원형
연동선편조차폐	S2	단면구조가 평형
알루미늄차폐	S3	단면구조가 원형

보상도선을 열전대소선의 재질과 관련하여 분류하면 다음의 두 가지로 크게 나눌 수 있다.
 그 하나는 보상도선의 재질을 열전대의 소선과 같은 재질을 사용하는 경우이고(단 열기전력특성은 보상도선의 사용온도 범위에 한해 보증함) 다른 하나는 보상도선의 사용온도 범위내에서 열전대의 열기전력 특성과 거의 같은 값을 얻는 대용합금(代用合金)으로 사용하는 보상도선이 있다.전자를 연장형(延長型;Extention)으로, 후자를 보상형(補償型;Campanstating)으로 부르며 표1.13에서 표시한 것과 같이 KX,EX,JX등 정밀급 이 연장형에 속하고 BX,RX(SX), WX 및 VX 등 보통급이 보상형이다.그림 1.17은 RX의 오차 특성곡선을 설명하였다.

표 1.13는 연장형과 보상형의 특성비교를 정리하여 설명하였다.

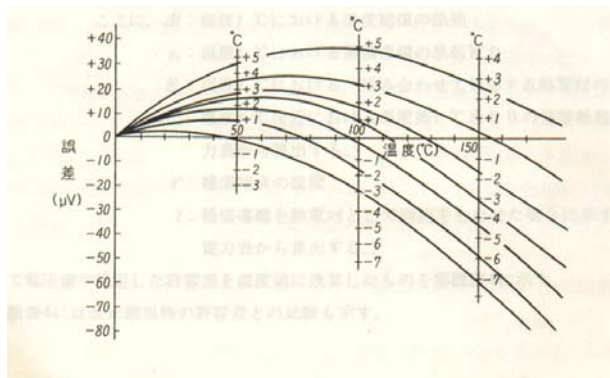


그림 1.17 RCA,RCB의 오차특성 곡선

표 1.13 연장형과 보상형 보상도선의 특성비교

구 분	종 은 점	나 뿐 점
연장형 (Extention) K X, E X, J X, T X	<ol style="list-style-type: none"> 1. 은 온도범위에서 높은 정도를 갖는다. 2. 의 이유에 의해 오차곡선의 직선성이 양호. 3. , 사용가능한 온도범위를 필요에 따라 확대가능. 4. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.
보상형 (Compansating) BC, RCA, KCA,	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2. 사용온도의 범위를 좁혀 재질을 선택하면 연장형과 비슷한 높은 정도를 얻을 수 있다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. !전대와 다른 재질이기 때문에 넓은 범위에서는 오차를 작게 갖기어렵다. 2. !차곡선의 벌어짐이 크고 온도에 오차값이 변동한다. 3. 4. !상접점이 이종금속이 접촉하므로 문제발생의 가능성이 있다.

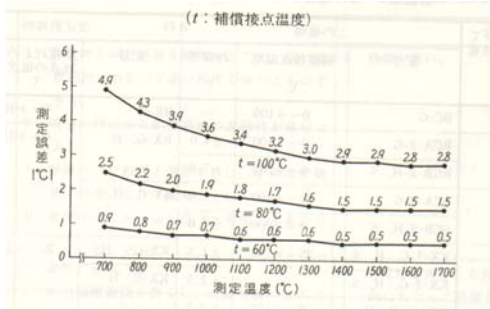


그림 1.18 B열전대에 BC보상도선을

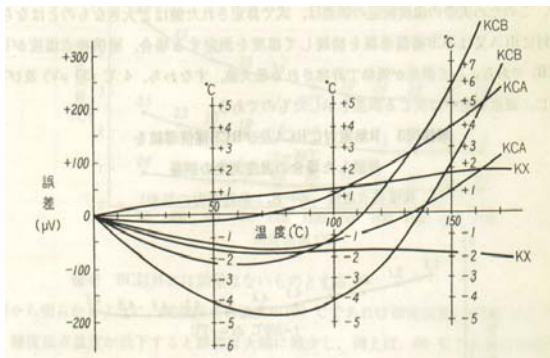


그림 1.19 B열전대에 BC보상도선을

접속했을 때의 온도측정오차

접속했을 때의 온도측정오차

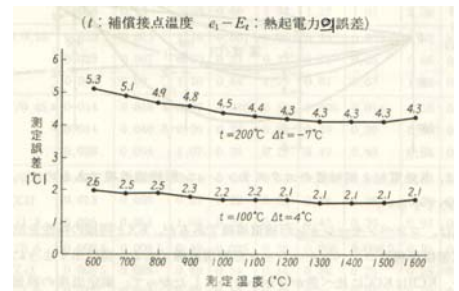


그림 1.20 KX,KCB 및 KCC 의 오차특성

1.3 기준점점(基準接點)

1.3.1 열전대 측정시의 기준점점

열전대는 「1.1 기본적 열전회로」 항의 식 1.17에서 설명한 T_1 를 제거하는 방법에 대한 설명을 하도록 한다. T_1 의 점점온도를 기준점점(Reference Junction 또는 Cold Junction)이라고 부른다.가장 이상적인 방법은 기준점점부위(T_1)를 얼음으로 만든 분위기(0°C)에 놓는 빙점식이다.

기준점점은, 빙점식 기준점점, Thermostat식 기준점점, 보상식 기준점점 또는 실온식 기준점점이 있다. 각각의 기준점점의 용도 및 측정방식을 표 1.14에 나타내었다.

가. 빙점식 기준 점점

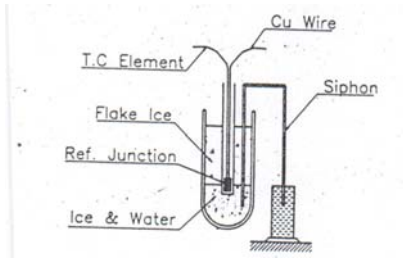
빙점식 기준 점점은 보온병에 얼음과 물을 넣고, 얼음과 물의 열적평형을 유지하여 기준점점을 빙점으로 유지하는 것이다. 이것을 사용할 때는 다음 여러가지를 고려해야 한다.

- ① 증류수로 만든 얼음을 청결한 상태에서 녹두알 크기로 분쇄한다.
- ② 보온병속은 청결하게 한후 분쇄한 얼음을 충분히 넣고 그림1.21과 같이 증류수를 넣는다.
- ③ 얼음의 중심에 한쪽끝이 막힌 유리관을 넣어 유리관 하단에 기준점점을 위치시킨다.
- ④ 오랜 시간동안 사용하면 점점주위의 얼음이 녹고 물이 적으면 얼음사이에 공기가 생겨 빙점이 되지 않는다.그림 1.21과 같이 항상 같은 위치에 수준이 위치하도록 장치하여 사용한다.
- ⑤ 기준점점을 넣은 유리관의 삽입하는 깊이는 유리관의 겉지름의 약 20배가 되도록 하고 유리관을 막아 단열하는 것이 좋다.

표 1.14 기준점점과 측정방식과 관계

기 준 점 점	용 도	측 정 방 식*
빙점식 기준점점	표준열전대의 교정 및 정도높은 온도측정에 사용	A 급 측정방식 B 급 측정방식
전자냉각식 기준점점	일반 열전대용 온도계에 의한 온도측정에 사용	B 급 측정방식 C 급 측정방식
항온조식 기준점점		
보상식 기준점점		
실온식 기준점점	일반적으로 높은 정도가 필요하지 않는 온도측정에 사용.	C 급 측정방식 D 급 측정방식

*측정방식에 대한 설명은 표1.15을 참조할 것



한다솜계기에 KRISS기술이전으로
생산하는 전기식빙점기

그림1.21 빙점식 기준점점

나. 전자 냉각식 기준 점점

반도체 소자로 만든 열전소자에 전류를 흘리면 펠티어 효과에 의해 냉각되는 현상을 이용하여 용기에 채워진 증류수를 빙점으로 유지시키도록 하는 방식이다.

열전냉각은 소형으로 조작이 간단한 점을 이용해서 기준점점용으로 시판되고 있지만, 이 장치의 안정성은 온도 제어방법으로 결정되고, 정확도는 제조사의 온도표준의 정확도에 따라 결정된다. 일반적인 평가에 의하면 안정성은 0.05°C 이내, 정확도는 $0^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 정도이다.

다. 향온조식 기준 점점

향온조식 기준 점점은 기준 점점의 온도를 온도 조절기로 일정한 온도를 유지하도록 조절하는 방식인데, 향온후 기준기급 유리제 온도계로 향온조의 온도를 측정하여 0°C 에 대한 편차를 확인하여 보정해야 한다.

라. 보상식 기준 점점

보상식 기준 점점은 계측기 측정회로의 일부에 온도 계수가 큰 기준 점점저항을 사용하여, 기준 점점의 온도 변화에 따른 전압변화를 열전대의 기전력에 더해지도록 하여 보상하는 방법이다. 자동평형계기의 보급과 바이리스타 등의 온도 보상장치의 개발로 인해 급속히 보급되고 있다. 그림 1.22는, 이 방식에 의한 장치의 예를 나타내고 있다.최근에 산업 현장용으로 생산되는 열전식 계측기에는 이와 같은 보상기기가 내장되어 있다. 현재는 일반적인 보상방법이다. 그림 1.22에서 r_1 의 저항체 온도계가 열전대의 입력단자의 온도에 따라 저항변환을 한다. r_2 와의 차이 만큼 발생하는 전압의 증가값이 열전대가 측정한 열기전력값과 함께 계측기회로에 입력된다. 즉, 열전대의 접속단자에서 상실한 단자온도에 대한 열기전력값을 보상한 것이다. 교정용으로 정밀하게 제작하여 보급된 교정용 보상식 기준점점기가 있다. 일반적으로 부르기를 “전자식 상온 보상기”라고 한다.

교정용으로 사용하는 전자식 보상기는 주기적으로 교정을 하여 보상의 정확도를 확보해야 한다. 교정방법은 그림 1.22의 b와 같이 구성하여 기준전압 발생기에서 인가해준 온도에 대한 기준 열기전력값이 규정된 열전대소선을 통해 보상기를 거쳐 구리선을 통해 디지털 전압계에 입력되어 지시되는 열기전력값을 비교하여 보상기의 오차를 확인하여, 그림 1.22의 a의 보상기내의 조정자(r_2)를 조정하여 교정한다.

이 전자식 보상기는 20℃에서 ±0.2℃의 정밀도를 갖는다.

마. 실온식 기준 접점

실온식 기준 접점은 특별한 기준 접점장치를 사용하지 않는다. 일반적으로, 기준 접점의 온도를 다른 온도계로 측정하여 나중에 기준 접점온도를 보상해 준다. 기준 접점온도를 0℃로 하고 측정할 열전식 온도계를 다른 기준 접점온도 t_0 ℃로 할 때 측온 접점의 온도 t ℃는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

(1) 측정할 열기전력을 E mV 로 하고, 기준 접점온도가 0℃의 경우에 있어서 측온 접점의 온도 t (℃) 및 기준접점의 온도가 t_0 (℃)일 때의 기전력을 각각 E_t (mV) 와 E_{t_0} (mV) 로 하면, 측온 접점의 온도 t (℃)의 E_t (mV)는 t_0 (℃)의 E_{t_0} (mV)에 영향을 받게 된다.

$$\begin{aligned} E &= S (t-t_0) \\ &= E_t - E_{t_0} \end{aligned} \quad \text{----- 1.20}$$

여기서 E_{t_0} 를 0 로 만들기 위해, E'_{t_0} 보상을 하면

$$E = E_t - E_{t_0} + E'_{t_0} \quad \text{----- 1.21}$$

$$E_t = E \quad \text{----- 1.22}$$

가 된다. 이 식은 열전대로 측정된 값을 참값으로 보상($E_{t_0} = 0$)한 것을 뜻한다.

열전대 측정작업은 최종적으로 측정값이 기준 접점온도가 보상되도록 하여 참값을 얻어야 한다. 위에서 설명한 기준접점의 방법은 모두 기준 접점온도의 열기전력 값을 제거하여 ($E_{t_0} = 0$) 식 1.22과 같이 보정한 참값을 얻도록 하는 것이다.

(2) 가동 코일형 계기가 온도눈금으로 되어 있을 때는 계기단자를 단락시킨 경우 지시치가, 기준 접점의 온도 t_0 (℃)를 나타낸 계측기의 지침 조정장치를 조정한다.

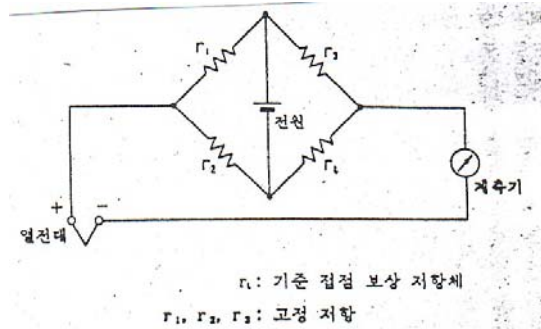
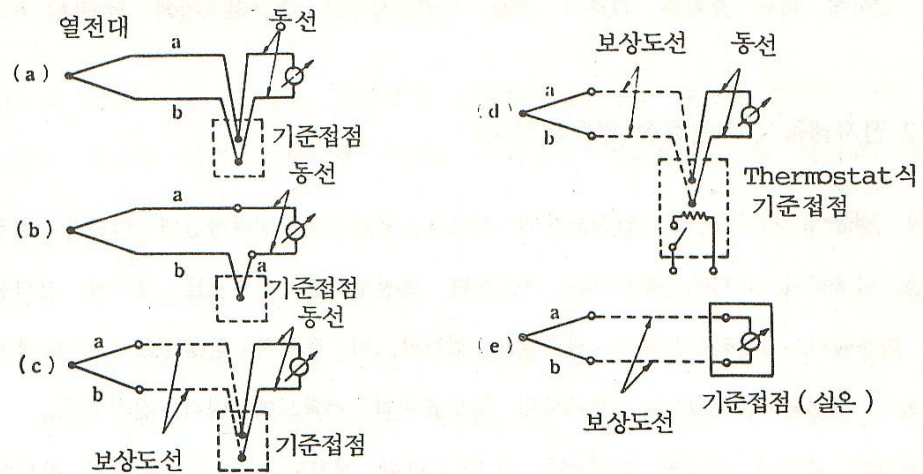


그림 1.22 . 보상식 기준점점의 일반적인 회로



* a, b는 열전대의 소선

그림 1.23 열전대와 기준점점 장치

마. 실온식 기준 점점

실온식 기준 점점은 특별한 기준 점점장치를 사용하지 않는다. 일반적으로, 기준 점점의 온도를 다른 온도계로 측정하여 나중에 기준 점점온도를 보상해 준다. 기준 점점온도를 0°C 로 하고 측정할 열전식 온도계를 다른 기준 점점온도 $t_0^{\circ}\text{C}$ 로 할 때 측온 점점의 온도 $t^{\circ}\text{C}$ 는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

(1) 측정된 열기전력을 E mV 로 하고, 기준 접점온도가 0°C 의 경우에 있어서 측온 접점의 온도 t ($^{\circ}\text{C}$) 및 기준접점의 온도가 t_0 ($^{\circ}\text{C}$)일 때의 기전력을 각각 E_t (mV) 와 E_{t_0} (mV) 로 하면, 측온 접점의 온도 t ($^{\circ}\text{C}$)의 E_t (mV)는 t_0 ($^{\circ}\text{C}$)의 E_{t_0} (mV)에 영향을 받게 된다.

$$\begin{aligned} E &= S (t-t_0) \\ &= E_t - E_{t_0} \end{aligned} \quad \text{-----} \quad 1.23$$

여기서 E_{t_0} 를 0 로 만들기 위해, E'_{t_0} 보상을 하면

$$E = E_t - E_{t_0} + E'_{t_0} \quad \text{-----} \quad 1.24$$

$$E_t = E \quad \text{-----} \quad 1.25$$

가 된다. 이식은 열전대로 측정된 값을 참값으로 보상($E_{t_0} = 0$)한 것을 뜻한다.

열전대 측정작업은 최종적으로 측정값이 기준 접점온도가 보상되도록 하여 참값을 얻어야 한다. 위에서 설명한 기준접점의 방법은 모두 기준 접점온도의 열기전력 값을 제거하여 ($E_{t_0} = 0$) 식 1.25과 같이 보상한 참값을 얻도록 하는 것이다.

(2) 가동 코일형 계기가 온도눈금으로 되어 있을 때는 계기단자를 단락시킨 경우 지시치가, 기준 접점의 온도 t_0 ($^{\circ}\text{C}$)를 나타낸 계측기의 지침 조정장치를 조정한다.

1.4. 계측방법

계측기는 사용에 따라 온도 측정값만 지시하는 지시계(Indicator), 온도 측정값을 기록지 또는 그 외의 매체를 통해 기록하는 기록계(Recorder), 설정한 온도값을 조절하는 기능을 갖춘 조절계(Controller)로 구분한다. 또 지시 기능과 기록 기능을 갖춘 계측기는 지시기록계, 지시와 조절 기능이 있으면 지시 조절계이다.

그리고 감지부(측온부; 열전대 또는 측온저항체) 로 부터 측정된 온도값을 나타내는 방법에 따라 계측기 종류를 분류한다.

1.4.1 계측기의 종류

측정 방법에 사용하는 계측기는 전위차계, 디지털 전압계, 전자식 자동 평형계기, 가동 코일형 계기, 증폭기가 붙은 가동 코일형 계기 또는 디지털 온도계가 있다.

가. 전위차계(Potential Meter)

전위차계는 표준 열전대의 교정 등과 같이 좋은 정확도를 필요로 하는 온도측정에 사용한다. 전위차계의 정밀도는 브리지 회로를 구성하는 가변 저항의 정밀도에 영향을 받으므로 정밀측정시에는 항온실에서 측정해야 하고 가변저항의 오차값을 보정해야한다.

또한 브릿지 회로에 전류를 공급하는 표준전지의 정밀도에 따라 전위차계의 계급이 결정된다.

나. 디지털 전압계(Digital Meter)

디지털 전압계는 측정전압을 숫자로 표시하는 계기로 6개 이상의 숫자를 표시할 수 있는 계기는 표준열전대의 교정의 교정 등과 같이 좋은 정확도를 필요로 하는 온도 측정에 사용한다.

또한 디지털 신호를 GP-IB 또는 RS232C신호 변환 기능을 갖추면 컴퓨터와 함께 구성하여 기능을 확대할 수 있다.

다. 전자식 자동 평형 계기

전자식 자동 평형 계기는 전위차계 회로와 전자식 자동 평형기구를 조합한 계기로 영위법으로 온도를 표시 하는 것으로, 일반적인 온도측정에 사용한다.

보통 사용되고 있는 아날로그식 기록계를 예를 들 수 있다

라. 가동 코일형 계기

가동 코일형 계기는 일반적인 온도 측정에 사용한다.

가동 코일형 계기를 사용할 때는 외부 저항을 계측기에 기재된 공칭치로 조정해주어야 한다. 외부 저항은 계측기의 측정 단자 바깥쪽에 접속되는 열전대와 연장도선으로 구성되는 회로의 왕복 저항을 말한다. 측정 단자 안쪽에 조정 저항을 갖는 계기형은 위의 저항은 조정저항을 더한 것이다. 가동코일형 계기에는 기준 열기전력과 계측기 단자 전압을 구별 해야한다. 이들 두 전압간의 관계는 다음 식으로 주어진다.

$$e_t = E_t \frac{R_m}{R_m + R_e + R_{t_n}} \dots\dots\dots 1.26$$

- 여기서 e_t : 계측기 시험을 하는 단자간의 전압(mV)
- E_t : 시험 온도의 t °C에 대한 기준 열기전력(mV)
- R_m : 계측기의 내부 저항값(Ω)
- R_e : 외부 도선 저항, 외부 저항에서 열전대의 저항값을 뺀 값 (Ω)
- R_{t_n} : 기준 열전대를 표준 사용 상태(열전대의 절반이 t °C로, 나머지 절반이 20°C에 있는 것과 등가인 상태)에서 사용했을 때의 저항치(Ω)

마. 증폭기가 붙은 가동 코일형 계기

증폭기가 붙은 가동 코일형 계기는 가동코일형 계기에 증폭회로를 조합한 것으로서, 입력 임피던스가 높으므로 외부 저항의 조정을 필요로 하지 않고, 또한 지시기구의 토크가 큰 계기이므로, 일반적인 온도측정에 사용한다.

바. 디지털 온도계

디지털 온도계는 열전대로 부터의 신호 또는 통일된 신호(4-20mA, 0-5V 등)를 받아, 이것을 온도값의 숫자로 표시하는 계기로 아날로그 계기처럼 눈금을 읽는데 사전지식을 필요하지 않아 일반적인 온도 측정에 널리 사용되고 있다.

이 온도계도 디지털 신호를 컴퓨터 통신신호를 내장할 수 있어 컴퓨터와 구성하여 기능 확장이 가능하다.

1.4.2 측정회로의 결선 방식

측정회로에 열전대, 계측기 외에 열전용 변환기, 구리도선, 보상 도선의 사용 여부에 따라서 결선 방식을 A 결선, B 결선, C 결선, D 결선, E결선 및 F결선으로 분류하고, 그 열전대, 계측기, 열전용 변환기, 보상점점 2개의 단자는 같은 종류인 도선의 접합점인 경우를 제외하고, 각각 동일한 온도로 유지할 필요가 있다.

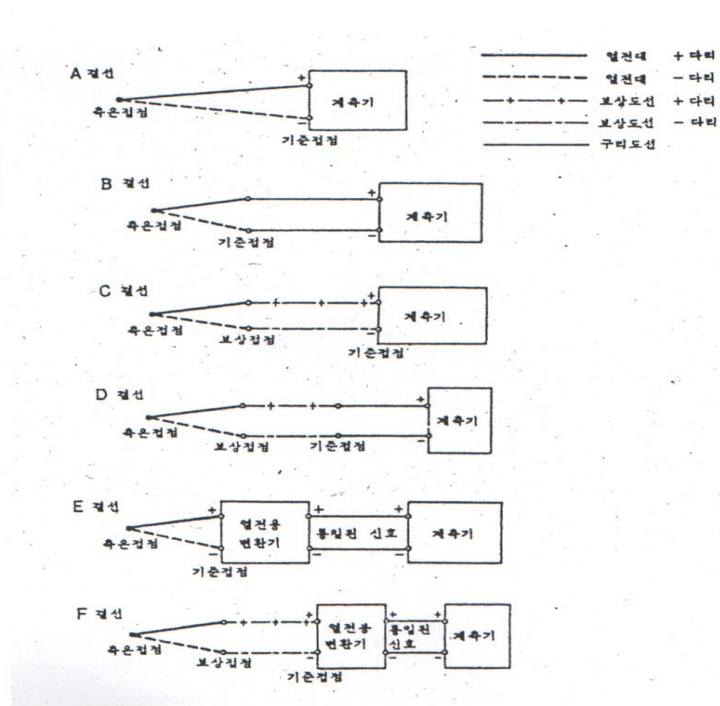


그림 1.24. 측정회로의 결선도

1.4.3. 표준 측정 방식

표준 측정 방식은 그 측정 정확도에 따라 A급, B급, C급 및 D급으로 하고, 표 1.15.에 표시하였다.

표 1.15 열전대를 사용하는 표준 측정 방식

		A급 측정 방식	B급 측정 방식	C급 측정 방식	D급 측정 방식
적용		표준기 설정, 전용 표준기 교정	일반계기의 교정 또는 이에 준하는 온도 측정	일반 온도 측정	일반적으로 좋은 정확도를 필요로 하지 않는 온도 측정
측정 정확도		약 $\pm 1^{\circ}\text{C}$	정격치의 $\pm 0.5\%$	정격치의 $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$	정격치의 약 $\pm 2.5\%$
구성	열전대	0.25 (0.5 $^{\circ}\text{C}$)	0.4보다 정확도가 좋은 것	0.75보다 정확도가 좋은 것	1.5보다 정확도가 좋은 것
	기준접점	빙점식	빙점식 전자 냉각식 항온조식 보상식	전자 냉각식 항온조식 보상식 실온식	실온식
	계측기	전위차계 디지털 전압계 ($\pm 0.5\mu\text{V}$)	o. 전위차계 o. 디지털 전압계 (0.3) o. 0.3상당 전자식 자동 평형 계기 (0.1)	(1) 전용 변환기를 사용하지 않을 때 1.0 전자식 자동 평형 계기 1.0 증폭기가 붙은 자동 코일형 계기 디지털 온도계 (1.0) (2) 전용 변환기를 사용할 때 (0.5% 이내의 변환기) 0.5 전자식 자동 평형 계기 0.5 자동 평형 계기 디지털 온도계 (0.5상당)	2.0상당 자동 코일형 계기 2.0 증폭기가 붙은 자동 코일형 계기 디지털 온도계 (2.0)
	결선방식 그림 1.30	B	B C	A C D E F	A C

비고 0.3급 상당 등의 표현은 유효 측정 범위에서의 백분율 오차로 나타낸 계측기의 정확도 계급의 기준을 뜻한다.