

R&B 온도측정의 기초

주로 열전대의 기본적인 이론 및 선택 사용 범위에 대하여 기술한 자료

Content

1. 온도의 개념과 단위
 - 1-1. 온도의 개념
 - 1-2 온도 단위
 - 1-2-1 열역학적 온도 눈금
 - 1-2-2 국제온도 눈금
 - 섭씨온도: °C
 - 화씨온도: °F
 - 절대온도: K
 - 섭씨온도, 화씨온도, 절대온도와의 관계
 - 1-3 측정방법 및 온도계 종류
 - 1-3-1 측정방법에 의한 분류
 - 접촉방법
 - 비접촉방법
 - 1-3-2 측정원리에 의한 각종 온도계
 - 1-3-3 온도계의 종류
2. 열전식 온도계
 - 2-1 원리 및 열전효과
 - 2-1-1 열기전력 원리
 - 2-1-2 열전회로 법칙
 - 균질회로의 법칙
 - 중간금속의 법칙
 - 중간온도의 법칙
 - 2-2 열전대
 - 2-2-1 열전대별 특징
 - B, R, S 열전대
 - K 열전대
 - J 열전대
 - T 열전대
 - 2-2-2 열전대의 분류 (한국 공업규격 KSC 1602- 1982)
 - 2-2-3 열전대의 배선방법 및 보상도선
 - 열전대별 보상도선의 분류
 - 열전대와 재질관계에 의한 분류
 - 2-2-4 쉬스형 열전대
 - 쉬스형 열전대의 종류
 - 쉬스 재질
 - 2-2-5 보호관
 - 재질상 분류
 - 비금속 보호관 종류 및 특성
 - 금속보호관 종류 및 특성
3. 측정 오차
 - 3-1 온도계 정밀도
 - 3-2 검출단이 측정대상에 주는 영향
 - 3-3 검출단의 응답속도
 - 3-4 설치에 의한 영향
 - 3-5 유체 유속의 영향
 - 3-6 검출단에 부착하는 먼지 등의 영향

1. 온도의 개념과 단위

1-1 온도의 개념

덥고 차가운 정도를 나타낸 척도가 온도이고, 이를 물리적으로 측정하기 위하여 물체에 접촉시키는 계기가 온도계이다. 이는 물체의 온도 측정에 사용되는 열 평형의 원리를 이용하고 있는 것이다.

일상 생활에서 많이 사용하는 온도계로는 유리 온도계인 수은온도계나 알코올온도계이다. 이러한 온도계는 상온 부근에서는 사용 방법이 간단하고, 공업용 온도계에 비해 정확도도 어느 정도 보증되어 있고, 온도를 읽는 것도 편리하다. 공업용 온도계로서는 공정에서의 측정대상들의 온도범위가 $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 $2,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 되고, 측정 시 압력, 분위기 등의 조건이 다양하므로 여기에 대응하기 위한 다양한 온도계가 요구된다.

1-2 온도 단위

온도계를 이용하여 열평형된 상태를 나타내는 방법으로는 영도의 위치와 눈금 간격을 정하기 위한 온도 정점을 사용하여 표시하며, 1990년 국제 도량형 총회에서 결정 된 것으로, 온도를 표현하는 눈금에는 열역학적인 온도 눈금(열역학적 켈빈온도, 열역학적 셀시우스온도)와 실용온도 눈금(켈빈온도, 셀시우스 온도)이 있다.

1-2-1 열역학적 온도 눈금

"일과 열은 에너지의 형태로서 일을 열로 변환시키는 것이나 열을 일로 변환시키는 것이 가능하다" 는 열역학 제1법칙에 의해 열과 일은 에너지 형태로서 같다 열로부터 일로의 에너지 변환, 마찰에 의한 열의 발생, 열의 전도, 확산 등을 포함하는 상태변화는 비가역 변화이다. 그러므로 열역학 제1법칙 만으로는 자연적인 열의 이동을 설명할 수 없고 상태 변화의 방향성을 나타낼 수 있는 별도의 법칙이 필요한데, 이 법칙이 열역학 제2법칙이다.

이상기체는 존재하지 않지만 이상기체 상태에서는 온도에 따른 체적 팽창의 비율이 일정하므로 정압 하에서는 온도 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 상승함에 따라 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 체적에 비해서 $1/273.15$ 씩 증가한다. 즉, $\beta = 1/273.15$ 은 체적의 팽창계수이다.

보일샤를의 법칙에 의거 이상기체를 이용한 정적기체 온도계로 물의 3중점과 물의 비점에서의 온도변화에 따른 체적변화를 실측하고, 그 연장선을 그었을 때 체적계수 값이 구해짐과 동시에 완전 체적이 0이 되는 지점의 온도가 -273.15 이다. 우리는 흔히 이 온도를 절대영도라 칭하거나 절대값을 켈빈값 이라고도 칭하고 있다.

그러므로 절대 영도를 기점으로 물의 3중점을 273.16 K 라 정하고, 순수한 물이 어는 지점과 비점을 373.15 K 라 정해서, 그 사이를 100등분 시킨 것을 온도의 기본 눈금으로 정함으로써 열역학 온도 눈금이라 칭한다. 1 K 는 물의 삼중점 열역학 온도의 $1/273.16$ 로 정의한다. 즉, 순수한 물이 얼거나 끓는점을 사용하지 않고 에너지로 온도를 표현된 것이라는 것을 알 수 있다.

1-2-2 국제온도 눈금

국제 도량형 위원회(CGPM)에서 국제 실용 온도 눈금이 1927년부터 채택 되어 현재 쓰고 있는 ITS-90이 제정되었다. ITS-90에서 정한 국제 온도 눈금은 아래와 같이 온도 측정범위를 4개로 나누고, 각각의 측정 영역에 따라 정확도 및 재현성을 유지하기 위하여 다른 온도계를 사용하였으며, SI 국제 단위계에 따라 계량단위는 켈빈도(K)를 사용하고 있다.

- $0.65\text{ K} \sim 5.0\text{ K}$: 헬륨 증기압
- $3.0\text{ K} \sim 24.556\text{ K}$ (네온 3중점): ^3He 또는 ^4He 을 이용한 온도계
- 13.8033 K (평형수소 3중점) $\sim 961.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ (은의 응고점): 백금저항 온도계
- $961.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상: 플랑크 복사법칙 (복사온도계)

▪ 섭씨온도: $^{\circ}\text{C}$

순수한 물이 끓고 있을 때의 수증기 온도를 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 하고, 물과 얼음이 공존하고 있을 때 온도를 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 하여 그 사이를 100등분 하여 1눈금을 1도로 한다.

- 현재 가장 널리 사용되고 있는 온도 눈금이다
- 1742년 스웨덴의 Celsius 가 제창하였다.
- $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 크기는 1 K 의 크기와 같고, 온도 차이는 K 나 $^{\circ}\text{C}$ 로 표시한다.

▪ 화씨온도: $^{\circ}\text{F}$

인간의 체온을 예로 이것을 96도로 하고, 낮은 쪽은 당시 얻을 수 있는 저온도 (얼음과 소금을 3:1로 섞은 한계)를 0으로 하여 180등분 한 것이다.

- 현재 미국이나 영국에서 널리 쓰이고 있다.
- 세계 최초의 온도 눈금으로 1714년 독일의 파렌하이트(Fahrenheit)가 제창

▪ 절대온도: K

국제단위계 (SI)에서 1 K 는 물의 3중점으로, 열역학적 온도의 $1/273.16$ 으로 정한 것이다.

- 학문적으로 가장 엄밀한 의미를 가진 온도 눈금이다.
- 1848년 영국 켈빈(Kelvin)이 정한 열역학적 온도이다.

- 물의 3중점: 물, 얼음, 수증기가 공존하는 온도로 273.16 K 이다

- 섭씨온도, 화씨온도, 절대온도와의 관계
 $K - 273.15 = ^\circ C = 5 / 9 (^{\circ} F - 32)$

1-3 측정방법 및 온도계 종류

1-3-1 측정방법에 의한 분류

일반적으로 온도계 구성은 온도를 감지하는 측온부 (온도검출단), 측온부에서 감지한 온도를 표시하는 표시부(수신계기) 및 측온부와 표시부를 연결시켜 주는 도선 또는 배관으로 구성된다. 그러나 액체 글라스 온도계와 같이 측온부와 표시부가 일체형으로 된 것도 있다. 온도계는 측정 방법에 의해 측온부를 피측정 물체에 직접 접촉시켜 온도를 측정하느냐, 접촉시키지 않고 측정하느냐에 따라서 접촉법과 비접촉법으로 분류한다.

▪ 접촉방법

온도를 측정하고자 하는 피측정 물체에 측온부를 접촉, 열 평형 상태에 이를 때 감온부의 물리적 변화량 즉, 공업적 신호를 측정함으로써 피 측정물체의 온도를 감지하는 방식이다. 이 방법에 의한 온도 계측에서는 감온부와 측정대상의 접촉의 정도에 의해서 측정 정도 크기가 좌우된다. 그래서 측온부를 측정대상에 접촉 할 수 없는 경우는 측정이 불가능하며, 접촉에 의해서 측정대상이 영향을 받게 되는 경우는 큰 오차가 생긴다. 이와 같이 접촉방식을 이용한 온도계로는 유리제온도계, 압력식온도계, 열전대, 바이메탈식 온도계, 저항식 온도계 등이 사용된다.

▪ 비접촉방법

피 측정 물체에 감온부를 직접 접촉하지 않는 상태에서 고온의 피측정 물체로 부터 방사하는 방사에너지 즉, 빛 또는 열을 감지하여 감지 온도와 방사에너지와의 일정한 관계를 이용하여 온도를 감지하는 측정방식이다. 측정대상으로부터 방출된 에너지의 강도는 절대온도의 4승에 비례하기 때문에 1000 °C 이하의 온도 범위에서는 측정정도가 나쁘나, 장점으로는 움직이는 피측정 대상 및 검출하고자 하는 대상이 보이기만 하면은 쉽게 접촉하지 않고 온도를 측정할 수 있다. 비접촉 방식에 의한 온도계측에 사용되는 것으로는 방사온도계, 광 고온계, 색 온도계, 적외선 온도계(열선) 등이 있다.

접촉, 비 접촉 방식의 비교

구분	접촉방식	비 접촉 방식
필요조건	1. 대상과 검출 소자를 잘 접촉 2. 대상에 검출 소자를 접촉 시켰을 때, 온도 측정량이 실제 변하지 말 것.	1. 대상에서 방사가 검출 소자에 도달할 것 2. 측정대상의 실효 방사율을 알고 있는가, 또는 재현성이 좋은가?
특징	1. 열용량이 작은 측정 대상에서는 검출소자 접촉에 의한 측정변화가 생기기 쉽다 2. 운동하는 물체의 온도는 측정이 어렵다. 3. 측정 개소를 임의적으로 지정한다.	1. 검출소자 접촉을 필요로 하지 않기 때문에 측정에 따른 측정량 변화는 일반적으로 없다. 2. 운동하고 있는 물체의 온도도 측정 가능 3. 일반적으로 표면 온도를 측정 한다.
측정범위	1,000 °C 이하 온도 측정 용이	고온측정에 적합함
정도	눈금 SPAN 의 1 % 정도	일반적으로 10 °C 정도
시간지연	크다	작다

1-3-2 측정원리에 의한 각종 온도계

원리	종류		사용온도 범위	체계적인 온도범위	정도	직진성	응답	기록 제어	비용
팽창	수은봉입 유기액체 봉입	유리제 온도계	-50~650	-50~550	0.1~2	가능	보통	부적	저렴
			-200~200	-100~200	1~4	가능			
	바이메탈식 온도계	-50~500	-50~500	0.5~5	가능	지연	적합	저렴	
압력	액체 충전식 온도계		-30~600	-30~600	0.5~5	가능	보통	적합	저렴
	증기압식 온도계		-20~350	-20~350	0.5~5	비			

저항	백금저항 온도계		-260~1064	-260+630	0.01~5	양호	보통	적합	높다
	써미스터 온도계		-50~350	-50~350	0.3~5	비	빠름		보통
열전대	B	열전온도계	600~1700	600~1700	1.0~10	가능	빠름	적합	높다
	R		0~1600	0~1554	0.5~5	가능			
	S		0~+160	1~1554	0.5~5	가능			
	K		-200~1200	-180~1000	2~10	양호			보통
	E		-200~800	-180~700	3~5	양호			
	J		-200~800	-180~600	3~10	양호			
	T		-200~350	-180~300	2~5	양호			
열복사	광온계		700~3000	900~200	3~10	비	-	적합	보통
	광전온도계		100~3000	-	1~10		빠름		높다
	복사온도계		100~3000	-	5~20		보통		
	2색온도계		180~3500	-	5~20		빠름		

1-3-3 온도계의 종류

온도계종류	온도계의 특징	오차 요인
저항온도계	<ul style="list-style-type: none"> 수cm² 정도의 온도평균치 측정에 적합 약 -273℃ ~ 500℃ 범위의 온도측정에 적합 강한 진동이 있는 대상에는 적합하지 않음. 	<ul style="list-style-type: none"> 온도의 변화속도 검출기의 경연 변화 열복력에 의한 변화 자기가열 측정도선에서의 열의 유출 입
THERMISTER 온도계	<ul style="list-style-type: none"> 수mm² 정도의 온도 평균치 측정 도선저항에 비해서 검출기의 저항이 크다. 하나의 검출기에서의 사용온도 범위가 좁다 충격에 약하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 검출기의 경연변화 자기가열 측정도선에서의 열의 유출 입
열전 온도계	<ul style="list-style-type: none"> 원리적으로는 접점의 크기의 공간 온도측정 응답이 좋다. 진동, 충격에 약하다. 온도차를 측정할 수 있다. 고온에서의 측정이 가능하다. 기준접점이 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 기준접점의 안정도 보상도선의 영향 기생 기전력 검출기의 경연변화 열 이력에 의한 변화 열전대 등으로 부터 열의 유출 입
GLASS 온도계	<ul style="list-style-type: none"> 간편하고 신뢰도가 높다. 고정도의 온도측정도 가능하다. 충격에 약하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 액절 노출부 영향 경연변화
총만식 온도계	<ul style="list-style-type: none"> 진동, 충격에 강하다. 간편하게 사용할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 도관으로부터의 열의 유출 입 이력에 의한 변화 도관부, 노출부 영향 경연변화
방사온도계	<ul style="list-style-type: none"> 고온 온도측정에 적합하다. 원격측정이 가능하다. 이동/회전하고 있는 물체의 표면온도 측정가능 피 측정물의 온도를 교란하는 것이 적다 원리적으로 지연이 적은 측정 가능하다 	<ul style="list-style-type: none"> 방사율의 부 정확성 방사율의 변동 광로 중의 흡수, 산란 미광(외래, 반사광) 경연변화

2. 열전 식 온도계

2-1 원리 및 열전효과

2-1-1 열기전력 원리

열전대는 여러 공정에서 온도를 감지하는 방법을 제공하며, 구조가 간단하고 가격이 싸며, 내구성이 있고 많은 응용면에서 비교적 정확히 온도를 측정할 수 있는 온도계이다. 열전대는 또한 $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하부터 $2,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 근처까지의 넓은 온도 범위를 $0.1\sim 1\%$ 정도의 정확도로 측정할 수 있으며, 출력을 측정하는데 측정 계기가 간단하고 회로상의 잡음을 덜 받는 낮은 임피던스를 갖는 장치이다. 열전대는 필요에 따라 1 ms 정도의 응답시간을 갖는 머리가락 보다 가는 열전대도 있으나, 보통은 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 의 직경을 가진 소선으로 만들어지고, 금속 산화물의 분말로 절연이 되고 금속 쉬스에 의해 보호된 열전대도 있다.

근본적으로 열전대는 열에너지를 전기에너지로 변환시키는 것으로서 세가지 열전효과가 열전대 안에서 작용되고 있다. 제벡효과는 서로 다른 두 금속으로 폐 회로를 구성하고, 양 접점에 온도 차를 주었을 때 저온측 접합점으로부터 고온측으로 열 전류가 이동하게 되는 것이다. 이러한 현상을 이용하여 한쪽을 일정한 기준점으로 만들고 측정하고자 하는 고온 측을 미지 온도차로 하면 측정하고자 하는 접속점의 온도가 변하면 미지의 온도에 대응되는 열기전력 만을 정확히 측정함으로써 공업적으로 양측 변화측정이 아닌 온도측정 개념이 되는 것이다.

이때 일정한 온도 유지 점을 기준점점이라 칭하며, 측정하고자 하는 지점인 점을 측온접점이라 부른다. 즉, 열전효과는 서로 다른 금속을 접속하여 양단의 온도차가 발생하면 열전류가 흐르고, 한 끝을 개방하였을 때는 양단에 기전력이 존재하는 것인데 이 효과를 이용하여 열전대를 온도 측정에 이용하게 하는 것이다. 열과 전기의 관계 현상으로서 제벡효과 외에 펠티어 효과, 톰슨효과를 가지고 설명이 되어야 하는데, 펠티어 효과는 제벡효과와 역 현상으로서 2개의 서로 다른 금속 접속 점에 전류를 흘리면 그 전류의 방향에 따라서, 한쪽은 열을 발생시키고 다른 쪽은 열을 흡수하는 현상을 말한 것으로 열전 대를 이용하여 측정할 때 현상은 고온의 측온접점에서는 열의흡수가, 저온인 기준 접점에서는 열의 발생이 일어나므로 실제 사용시 열전대 자신의 열전류에 의한 온도 변화는 지극히 작다. 톰슨 효과는 온도 기울기가 있는 도선상에 전류에 의한 열의 수송에 관한 효과로 동종 금속 내에서도 부분적으로 온도 차가 있는 경우 그 곳을 흐르는 전류에 의해서 열을 발생 또는 흡수하는 현상을 말하며, 이 현상으로 인한 영향은 펠티어효과 보다 작게 나타난다.

2-1-2 열전회로 법칙

열전대 회로의 특성을 설명하는 데는 온도와 기전력과의 관계 이론을 실제화 하고자 할 때 열전효과의 3 법칙이 요구되는데, 이 법칙들은 모두 실험적으로 유도된 것이다.

▪ 균질회로의 법칙

균질 한 금속재료의 도체로 구성된 회로에 있어서는 그 형상 및 부분적 온도 분포와 관계없이 측온접점을 가열시킨다 해도 열 전류는 발생하지 않는다. 즉 열기전력이 0이 된다는 법칙으로 이 법칙을 설명하기 위해서는 열역학적 고찰에 의해서 증명될 수 있으며, 하나의 절대 제벡계수만 가지는 회로의 선적 분 평가에 의해서 증명된다.



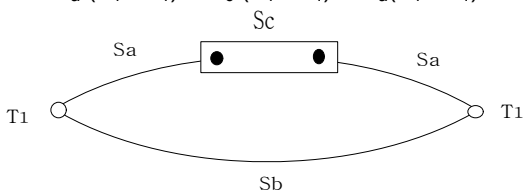
$$V = S_a (T_1 + T_2) + S_b (T_2 - T_1) = 0$$

결과가 0이 되는 이유는 a, b 금속으로 동일한 제벡 계수를 가지고 있기 때문이다.

▪ 중간금속의 법칙

서로 다른 금속들로 이루어진 열전회로에서 열기전력 대수적인 합은 그 회로의 모든 부분이 동일한 온도에 있을 때 항상 0이다 라는 중간 금속의 법칙은 열전대의 기초원리인 온도의 균일 또는 불균일의 차에 있는 것을 근거로 하고 있다.

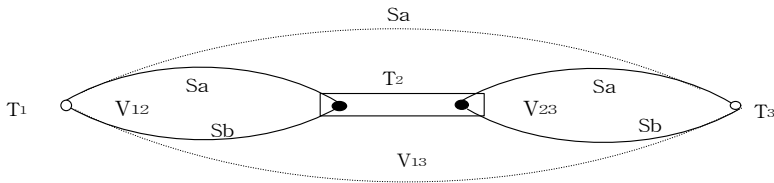
$$V = S_a (T_1 - T_1) + S_c (T_1 - T_1) + S_a (T_1 - T_1) + S_b (T_1 - T_1) = 0$$



▪ 중간온도의 법칙

두 개의 서로 다른 균질 한 금속으로 된 폐회로에서 그 접 접점이 T_1 과 T_2 에 있을 때, 생기는 기전력을 V_{12}, T_2

과 T_3 에 있을 때 생기는 기전력을 V_{23} 이라 하면, 접점이 T_1 과 T_3 에 있을 때 기전력은 $T_{12} + T_{23}$ 가 된다는 법칙이 중간온도의 법칙이다. 이 법칙은 한쪽에서 기준 접점의 온도를 유지하고 교정된 열전대가 다른 온도에서 기준접점을 유지하고 사용될 때 그 출력을 해석하는데 사용된다.



$$V = S_a (T_2 - T_1) + S_a (T_3 - T_2) + S_b (T_2 - T_3) + S_b (T_1 - T_2) = S_{ab} (T_2 - T_1) + S_{ab} (T_3 - T_2) = V_{12} + V_{23}$$

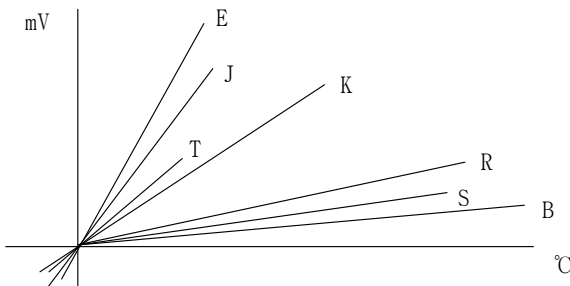
2-2 열전대

서로 다른 두 종류의 금속도체 A, B를 접합하고, 양 접점간에 온도 차를 주면 그 사이에 열기전력이 발생하여 회로 내에 열전류가 흐르는데 이 원리는 1821년 영국의 Zeeback이 구리와 안티몬 사이에서 발견한 현상으로 발견자의 이름을 따서 제벡효과라고 한다. 발생하는 열기전력과 A,B 간의 온도 차와는 일정한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한 발생하는 열기전력은 두 종류의 금속과 양 접점간의 온도 차이에 의해 정해지며, 금속의 형상이나 치수, 도중의 온도 변화에는 영향을 받지 않는다.

열전대로서 이용되는 것은 다음 조건을 만족시키는 것이 바람직하다.

- 열기전력이 높을 것
- 내열성 내식성이 양호하고 기계적으로 튼튼할 것
- 장기간 사용하더라도 열기전력이 안정하고, 열전대 손상과 마모가 적을 것
- 동종의 열전대에서는 항상 동일한 특성이 얻어지며, 호환성이 있을 것
- 전기저항 및 온도계수가 작을 것 (고온측정의 경우)

아래 그림은 각 열전대의 열기전력을 나타내고 있다.



열기전력의 비교

2-2-1 열전대별 특징

▪ B, R, S 열전대

B열전대는 순 백금에 로듐을 가하면 합금의 용점이 높아져 R, S 열전대 비해 내열성 및 기계적 강도가 양호하여 진다. 순백금의 용점은 1769 °C이나 3% 로듐 함유 시 1800 °C, 20% 함유 시 1900 °C, 40% 함유 시 1950 °C 정도로 높아지나, 그 이상은 상승되지 않는다.

R 열전대는 순 백금에 로듐을 가하는데, 일반적으로 백금 87 %, 로듐 13 %로 구성되어있는 것으로 알려져 있으나 실제로는 백금 87.3 %, 로듐 12.7 %로 구성되어 있으며 주로 현장용으로 사용되고 있다. 또한 S 열전대에 비해 기전력 및 내열도가 양호하다.

S 열전 대는 타 열전대에 비해 재현성이 양호하고 그 측정 정도가 가장 높은 관계로 국제 실용논금의 630.74 ~ 1064.43 °C 온도 범위의 표준열전대로 채택하고 있다

열기전력은 로듐 함량이 높아질수록 동일 온도에서 낮아지며, 특히 저온에서는 지극히 낮아서 상온에서의 (0 ~ 100 °C) 기준접점 온도 변화는 실용상 무시한다.

산화성 분위기에는 강하고, 환원성 분위기 (CO₂, H₂, H₂S, SO₂, GAS중에서는 1000 °C이상) 중에서는 약하다. 따라서 주로 비금속 보호관을 사용한다.

▪ K 열전대

K 열전대에 쓰이는 양 금속선은 모두 니켈을 주로 한 합금으로 된 열전대로서 K, E, J, T 열전대 중에서 가장 높은 온도측정이 가능하며 R 이나 S 열전대의 약4.5배의 열기전력을 발생하고 열기전력 특성은 거의 직선적이다. 고온에서의 산화방지를 위하여 +금속선에 산화피막을 입혀 사용하고 있으며, 이 피막은 강인하고 치밀하며, 합금과의

밀착성도 양호하여 내측금속 보호를 한다. 크로멜선의 산화는 표면 크롬의 산화에 의한 것이고 또한 노화의 진행도 산화와 밀접한 관계가 있다. 주위조건은 산화, 불활성 가스등의 분위기에는 강하나 탄소 계의 가스 등 환원성분 분위기에는 약해서 기전력이 현저히 저하한다.

R 열전대와는 달리 금속증기에 대해서는 강하고 보호관을 금속보호관으로 사용할 수 있다.

K 열전대는 1000 °C 정도의 고온에서 공업적으로 가장 많이 사용되는 종류이나 최근 산업의 다양화에 따라 새롭게 인식되는 다음과 같은 문제도 발생되고 있다.

- 단 범위 규격화 오차가 발생하는데, 오차는 온도 250 ~ 550 °C 범위에서 사용 초기 시 정방향의 커다란 Drift가 가열, 냉각 양쪽에 발생하는 현상으로써 원인은 +측 소선인 크로멜의 원자 배열의 변태 현상에 따른 제백지수가 변화 곧 열전대 특성이 1 ~ 1.5 % 증가하는 현상으로서 그 만큼 오차가 된다.
- 자기효과에 의한 오차로서 직교하는 온도분포와 자장공간 내에 설치된 도체에는 양방향의 직각인 제 3의 방향으로 기전력이 발생하는 현상으로서 -극성인 자성체 알루미늄은 150 °C 이하에서는 측정온도의 10%정도로 자속밀도 B의 극성에 따라 정 역으로 급, 증감하는 오차가 발생하는 현상으로 즉 온도의 자기 의존성 오차이다.
- K 열전대는 소선의 외관상 크로멜측은 비자성체로써 다소 푸른빛을 띠고 있으며, -측 소선인 알루미늄은 자성체로 어둡다. 또한 알루미늄측은 내열적으로 약하기 때문에 선단 부에서 알루미늄을 중심으로 크로멜을 둥글게 감아 용접하기도 한다.

▪ J 열전대

사용 주위조건은 환원성 분위기에 강하고, 수소, 일산화탄소 등에도 안정되며 탄소에도 대체로 안정한 편이다. 산화성 분위기, 공기 중에서도 고온에서는 급격히 철의 산화가 일어나고, 수증기에도 취약하다. 소선의 판별은 철 측은 방청시키고 있으므로 쉽게 알 수 있고. 장시간 사용시는 붉은 녹이 쓸고 또한 철은 자성체이므로 자석을 사용 쉽게 구분할 수 있다.

▪ T 열전대

동의 산화성 때문에 공기 중에서의 사용 한계는 비교적 낮은 300°C 로 정하고. 주위조건은 산화성 분위기에는 약하나 환원성 분위기 중에서는 안정되며, 동은 비교적 용이하게 고순도의 것을 얻을 있으므로 측정 정도가 높은 것을 얻을 수 있다. 최근에는 -250 °C까지의 저온 측정에 자주 사용한다. 소선의 극성 판별은 동선은 붉은색이고 코스탄탄 측은 광택이 있는 백동색으로서 쉽게 구분할 수 있으며, 장시간 사용 시 동선은 푸른빛을 띤다.

2-2-2 열전대의 분류 (한국 공업규격 KSC 1602- 1982)

종류	구성재료		소선지름 (mm)	상용한도 (°C)	과열상용한도(°C)	전기저항 (Ω /m)
	+금속	-금속				
B	Pt-Rh 30%	Pt-Rh 6%	0.50	1500	1700	1.75
R	Pt-Rh 13%	Pt-100%	0.50	1400	1600	1.47
S	Pt-Rh 10%	Pt-100%	0.50	1400	1600	1.43
K	Ni : 90% Cr : 10%	Ni 주로 한 합금 Ni : 94% Al : 3% Si : 1% Mn : 2%	0.65	650	850	2.95
			1.00	750	950	1.25
			1.60	850	1050	0.49
			2.30	900	1100	0.24
			3.20	1000	1200	0.12
E	Ni : 90% Cr : 10%	Cu 및 Ni을 주로 한 합금 Ni : 45% Cu : 55%	0.65	450	500	3.56
			1.00	500	550	1.50
			1.60	550	650	0.59
			2.30	600	750	0.28
			3.20	700	800	0.15
J	Fe : 100%	Cu 및 Ni을 주로 한 합금 Ni : 45% Cu : 55%	0.65	400	500	1.70
			1.00	450	550	0.72
			1.00	500	650	0.28
			2.30	550	750	0.14

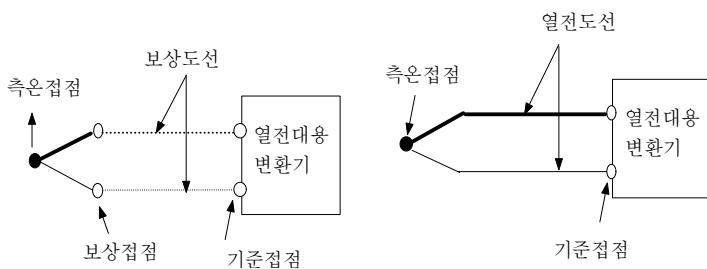
			3.20	600	750	0.07
T	Cu : 100%	Cu 및 Ni을 주로 한 합금 Ni : 45% Cu : 55%	0.32	200	260	6.17
			0.65	200	250	1.50
			1.00	250	300	0.68
			1.00	300	350	0.25

열전대의 허용 오차

종류	계급	측정온도 범위	허용차
B	0.5급	600 ~ 1700℃	±4 ℃ 또는 측정온도의 ±0.5 %
R	0.25	0 ~ 1600℃	±1.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.25 %
S	0.25	0 ~ 1600℃	±1.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.25 %
K	0.4	0 ~ 1000℃	±1.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.4 %
	0.75	0 ~ 1200℃	±2.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.75 %
	1.5	-200 ~ 0℃	±2.5 ℃ 또는 측정온도의 ±1.5 %
E	0.4	0 ~ 800℃	±1.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.4 %
	0.75	0 ~ 800℃	±2.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.75 %
	1.5	-200 ~ 0℃	±2.5 ℃ 또는 측정온도의 ±1.5 %
J	0.4	0 ~ 750℃	±1.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.4 %
	0.75	0 ~ 750℃	±2.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.75 %
T	0.4	0 ~ 350℃	±0.5 ℃ 또는 측정온도의 ±0.4 %
	0.75	0 ~ 350℃	±1 ℃ 또는 측정온도의 ±0.75 %
	1.5	-200 ~ 0℃	±1 ℃ 또는 측정온도의 ±1.5 %

2-2-3 열전대의 배선방법 및 보상도선

열전대의 열기전력은 측온접점과 기준 접점 과의 온도 차에 의해 정해진다. 보통 열전대 단자 (보상접점) 에서 기준접점 까지는 거리가 떨어져 있어서 보상접점과 기준접점 사이의 온도변동을 보상하기 위해 열전대와 거의 특성이 비슷한 열기전력 특성을 갖는 보상도선을 사용하여 연결한다. 열전대의 배선 방법에는 열전대용 변환기, 구리도선, 보상도선을 사용하는 것에 따라 여러 방법이 있으나 대표적인 방법의 결선방법은 다음의 그림과 같다.

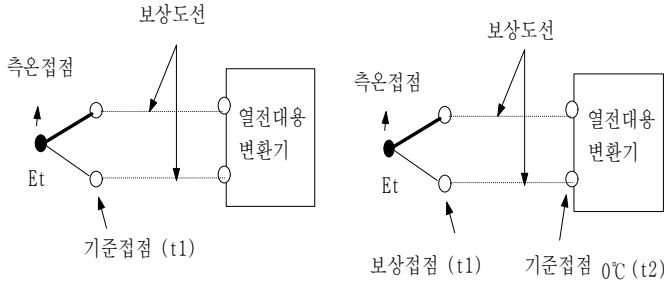


온도보상이라 함은 온도 측정회로가 구성될 때 측온접점 만의 온도가 피 측정 물체의 온도로서 표시되어야 하는 것에 비해 측온체 외에 도선, 도관 등의 신호전달부 주위 또는 열전대용 변환기 등의 주위온도 변화가 측정의 오차를 발생시킴으로 측정온도를 기준으로 주위온도의 변화에 따른 오차를 수정시키는 의미이다.

보상을 행하는 의미에서 계속적으로 변화해 가는 측온부 이외의 주위온도 변화에 무관하게 변화가 일어나지 않도록 함으로써 자체 유지적 보상이 있고, 일단 주위온도 변화에 따른 발생된 오차를 임의방법에 의해 상쇄시키는 방법이 있다. 따라서 보상도선은 주위온도와 무관하게 자체 유지적 보상의 의미를 갖고 있다.

보상도선의 기능을 아래 그림 a)에서와 같이 보상접점의 온도가 0 ℃ 이면 발생전력은 $E(t-0) = E_t - 0 = E_t$ 가 되며, 만약 보상접점의 온도가 0이 아닌 임의의 t_1 ℃ 이라면 발생기 전력 $t - t_1$ 에 상당하는 기전력인 $E(t - t_1) = E_t - E_{t_1}$ 이 되면서 E_{t_1} 만큼의 오차를 발생하게 될 것이다.

그림 b)에서의 발생기전력은 t_1 에 해당하는 기전력인 $E_t - E_{t_1}$ 가 되고, $t_1 - t_2$ 에서의 기전력은 $E_{t_1} - E_{t_2}$ (보상도선 또는 열전도선) 이므로 $t - t_2$ 에 해당하는 기전력의 합은 다음과 같이 나타낼 수 있다.
 $(E_t - E_{t_1}) + (E_{t_1} - E_{t_2}) = E_t - E_{t_2} = E_t - 0 = E_t$ 가 된다. 따라서 보상도선 또는 열전도선을 사용하면은 주위온도 변화에 따른 오차를 보상한 형태로서 보상도선을 사용시 측온접점부터 기준접점까지 등가회로 되는 즉, 열전도선을 쓴 것과 같은 효과를 가지고 있다.



▪ 열전대별 보상도선의 분류 (KSC 1609)

열전대 종류	보상도선 종류	사용구분 및 허용차에 따른 구분	구성재료		피복 색	전기저항 (Ω/m)
			+ 금속	- 금속		
B	BX-G	일반용 보통 급	순동	동	회색	0.05
R	RX-G	일반용 보통 급	순동	동과 니켈 합금 동99.0-99.5% 니켈0.5-1.0%	흑색	0.1
S	SX-G					
K	RX-H	내열용 보통 급	순동	동과 니켈 합금 동99.0-99.5% 니켈0.5-1.0%	청색	1.5
	SX-H					
	KX-G	일반용 보통 급	니켈 및 크롬 합금 니켈 90% 크롬 10%	니켈 합금 니켈 94% 알루미늄3% 실리콘 1% 망간 2%	0.5	
	KX-GS	일반용 정밀 급				
	KX-H	내열용 보통 급				
	KX-HS	내열용 정밀 급				
	WX-G	일반용 보통 급	순철	동 및 니켈합금	0.8	
WX-H	내열용 보통 급					
VX-G	일반용 보통 급	순동	동 및 니켈합금			
E	EX-G	일반용 보통 급	니켈크롬 합금	동 및 니켈합금	자색	1.5
	EX-H	내열용 보통 급				
J	JX-G	일반용 보통 급	순철	동 및 니켈합금	황색	0.8
	JX-H	내열용 보통 급				
T	TX-G	일반용 보통 급	순동	동 및 니켈합금	갈색	0.8
	TX-GS	일반용 정밀 급				
	TX-H	내열용 보통 급				
	TX-HS	내열용 정밀 급				

비고

1. KX-G, KX-GS, KX-H, KX-HS, EX-G, EX-H, JX-G, JX-H, TX-G, TX-GS, TX-H, TX-HS는 조합하여 사용하는 열전대와 동일 재료이다.
2. BX-G, RX-G, RX-H, SX-G, SX-H, WX-G, WX-H, VX-G는 조합하여 사용하는 열전 대와는 다른 종류의 재질이나 사용온도 범위인 일반용은 $-20 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$, 내열용은 $0 \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$ 내에서는 열전대와 동일한 특성을 가져야 한다.
3. 보통 급 보상도선은 온도측정에 적당하다.
4. 정밀 급 보상도선은 오차의 허용 차가 보통 급의 1/2로써 특히 정밀을 요하는 온도측정에 사용한다

▪ 열전대와 재질관계에 의한 분류

열전대 재질과 관련하여 Extension형과 Compensation 형으로 분류한다. Extension형은 열전대와 동일한 재질의 보상도선이고, Compensation은 보상도선 사용온도 범위 내에서 열전대의 열기전력 특성을 갖고 있으면서 열전대 재질 보다는 가격이 저렴한 대용합금 재질의 보상도선이다.

Extension과 Compensation의 비교

구 분		특 징	결 점
Extension형	KX-G KX-GS KX-H KX-HS EX-G EX-H JX-G JX-H TX-G TX-GS TX-H TX-HS	<ul style="list-style-type: none"> 열전 대와 같은 재질을 사용하므로, 넓은 온도범위에 걸쳐 높은 정도를 유지 할 수 있다. 오차곡선의 직선 성이 양호하다. 절연재료 선택에 따라 사용범위를 확대시키는 것이 가능 보상접점에서의 문제발생이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> 가격이 고가이다.
Compensation 형	BX-G RX-G SX-G RX-H SX-H WX-G WX-H VX-G	<ul style="list-style-type: none"> 가격이 저렴하다. 사용온도 범위를 좁혀서 재질을 선택 하면 Extension형과 같은 정도의 고정도를 얻을 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> 열전 대와 다른 재질로 인해 넓은 온도범위에 걸쳐 오차를 적게 유지할 수 없다. 오차 곡선의 만족도가 크고 온도에 따라서는 오차 값이 변동한다. 사용온도범위가 제약된다. 보상접점에서 다른 종류의 금속이 접촉하므로 트러블 가능성이 있다

2-2-4 쉬스형 열전대

쉬스와 열전도선 사이에 산화마그네슘, 산화 알루미늄 등의 무기절연물을 고압으로 견고하게 충전시켜 절연을 함과 동시에 내부를 기밀상태로 하여 공기나 고온 하에서 온도 측정 시 가스 등에 의한 부식을 방지한다.

쉬스형 열전대가 열전대에 비해 비교된 특징은 다음과 같다.

- 응답성과 감도가 양호하다.
- 내열, 내진성, 내식성이 우수하다.
- 외경이 가늘므로 삽입경이 작고 길이를 임의로 변경할 수 있다.
- 유연성이 양호함으로 굽힘 가공이 용이하다.
- 내부의 기밀성 유지로 소선 열화가 작고 단선이 우려가 적음

▪ 쉬스 재질

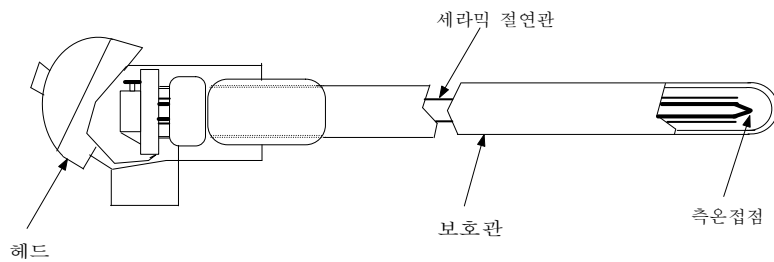
열전대는 쉬스형을 포함하여 열전소선의 굵기와 길이는 발생 기전력의 크기와는 무관하고 다만 소선 선경이 커질수록 사용시간이 증가하게 되는 것이다. 그래서 재질의 선경이 커질수록 그 사용온도 한계를 높이고 있는 것은 기전력의 대소와는 관계없이 사용시간 한계 때문이다. 일반적으로 소선경이 커질수록 열 전달의 지연은 커지고, 공기 중에서의 R열전대는 선경이 커질수록 선경의 자승에 비례해서, K열전대는 3승에 비례해서 그 수명이 길어지고, 열화현상은 사용온도가 높아질수록 빨라져서 곧 수명이 단축되며, 열화 현상에 의한 측정오차는 R열전대는 부방향으로, K열전 대는 정방향으로 발생하게 된다.

열전대 상용 및 과열 사용온도에 따른 연속 사용시간

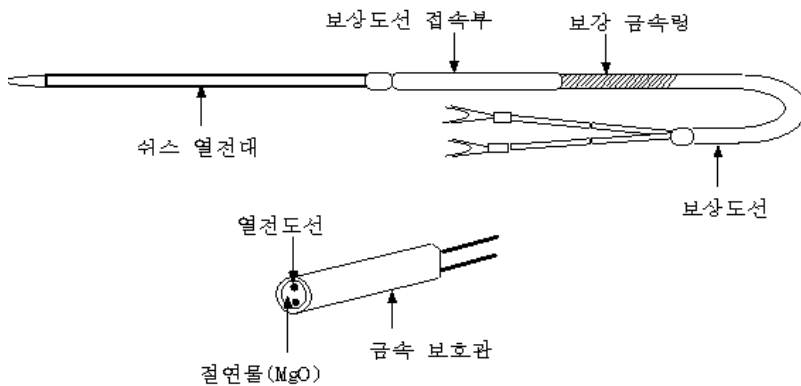
재질	CODE	상용온도	최고한도	특징
SUS 316	32 S	900 ℃	850 ℃	SUS 316보다 환원 성이 산에 대한 내 식성이 양호
SUS 310S	42 S	1000 ℃	1150 ℃	내 식성이 좋음 소황분을 포함한 고온 고농도 가스에 약함
SUS 347	43 S	900 ℃	950 ℃	내 식성은 SUS 304와 같음
Inconel	IN	1000 ℃	1150 ℃	니켈 합금으로 SUS 310S와 동등의 내열성이 있음 용융아연처리로 도시가스 등에 비교적 적합

열전대 종류	연속 사용시간 (Hr)		각 온도에서의 열기전력 변화(%)
	사용 한도	과열 사용 한도	
B	2000	50	± 0.5
R	2000	50	± 0.5
S	2000	50	± 0.5
K	10000	250	± 0.75
E	10000	250	± 0.75
J	10000	250	± 0.75
T	10000	250	± 0.75

■ 열전대 구조



■ 스위스형 열전대 구조



2-2-5 보호관

보호관은 나열전대 및 측온저항체 소자를 측온대상의 물리적 (내진성, 내열성, 내충격성) 화학적(내산성, 내알칼리성 등의 내식성, 내방폭성)상태로부터 보호하며, 나아가서는 측정 대상 안의 주위 분위기로부터도 보호하여 주는 목적으로 사용되는 관이다. 보호관에 요구되는 일반적인 성질은 다음과 같다.

- 내열성이 양호하고 급열 급랭동등의 열 충격에 강할 것
- 고온 중에서도 내진성, 내충격성 등이 양호한 기계적 강도가 있을 것
- 고온 중에서도 내식성(화학적인 안정성)이 양호할 것
- 가스체에 대해 기밀성이 높고 내압 성이 양호할 것
- 고온 중에서 보호관 자신이 측온소자에 유해한 증기 또는 가스 방출이 없을 것
- 열전달의 시간지연이 작을 것

이상의 조건을 만족시키는 것은 이상적인 상태이며, 사용목적이 조건에 적합한 보호관 선정 시 충분한 검토는 열전대 선정과 같이 중요하다

■ 재질상 분류

재질상 비금속과 금속보호관으로 분류하며, 금속 보호관과 비금속 보호관과의 비교는 다음과 같다.

- 비금속보호관은 귀금속 열전대에, 비금속 열전대는 금속보호관을 사용한다.
- 비금속보호관은 금속보호관보다 고온용으로 사용한다.

- 비금속보호관은 금속보호관보다 기계적 강도가 약하고 기밀성이 떨어진다.
- 비금속보호관은 금속보호관보다 내열성 및 내 식성이 우수하다.
- 금속보호관은 인발관을 사용하고 표준의 것은 내압 20 kg/ cm²이다.
(특히 내압용 및 내 식성용은 환봉 또는 주물을 인발시킨 것을 사용한다.)
- 비금속보호관 중에서 glass 관 이외는 일반적으로 알칼리성에 약하다.
- 고온측정에서 보호관을 이중보호관으로 사용해야만 하는 경우 바깥 측 보호관은 기계적 충격, 열적 충격에 강한 것(금속보호관)을 사용하고, 내측 보호관은 내산, 내알칼리성에 양호한 것(비금속 보호관)을 사용한다.
- 비금속보호관 종류별 특성은 한국 공업규격 (KSC 4006- 86년)에 그 종류별 기호, 사용온도 및 시험 방법(굴곡시험, 내 급열 급냉시험, 기밀시험), 호칭 방법 등이 명시되어 있다

▪ 비금속 보호관 종류 및 특성

명칭	상용한도(°C)	특성
염화 Vinyl	50	-부식성 유체의 보호 -굽히기 쉬운 것도 있다. -10°C이하가 되어서는 안된다.
Polyethylene	80	-부식성 유체의 보호 -굽히기 쉬운 것도 있다. -10°C이하가 되어서는 안된다.
불소수지	250	-부식성 유체의 보호 -굽히기 쉬운 것도 있다.
Glass	500	-산화 및 GAS체의 침입의 보호 -경질 GLASS 에 한한다. -급열, 급냉에 약하다.
석영(QT)	1000	-급냉, 급열에 강하다. -고온 연속사용에는 강하나 사용 공기 노출 시 취성 발생 -1회 사용하면 1700°C정도까지 사용 가능하다. -800°C이상에서는 규소를 방출한다.
자기(PT-2)	1400	-급열, 급냉에는 약하나 기계적으로 충분하다.
자기(PT-1)	1500	-PT-2에 비해 내열도가 높다.
재결정 알루미늄 (PT-0)	1600	-가장 고온에서 사용할 수 있다. -급열, 급냉에 특히 약하다.
내화점토	1300	-기밀이 되지 않으므로 이중 보호관의 외관으로 사용한다.
아란덱	-	
Ccrbotundum	1400	
비소결	1600	-급열, 급냉에 비교적 강하다.

▪ 금속보호관 종류 및 특성

제품명 및 성분	상용한도(°C)	특성
동	250	-산화동 피복의 생장이 빠르고 벗겨져 떨어진다.
황동	300	-가동이 용이하며 저온에 강하다.
연강	600	-습기가 있으면 산화가 심하다 -산화철이 염류에는 타의 합금이나 특수강 보다 저항력이 강하다
카로라이스 연강	800	-850°C에서 굽이며, 한번 굽히면 피복이 파손되어 산화가 심하다. -산화에 대해 강하고,환원성 가스에는 약하다.
13Cr 강	900	-내열, 내식성이 있고, 환원성 가스에는 약하다.
스테인레스 강 SUS304, SUS321	850	-산류에 대한 내식성이 강하다. -공기 중에서는 800°C부터 산화피복이 생긴다.
20% Ni, 30%Cr 강	1000	-900°C에서 구부린다.
샌드빅 P4 27% Cr-Fe	1050	-가장 많이 사용되는 내열강, 내열성이 양호하다. -유황과 환원염에도 강하다.

		측온부에 유해 가스 발생이 없다.
인코넬 600 76%Ni,,25%Cr-Fe	1100	고온강도가 가장 크다. 산화성 분위기에 적합하다. 유황과 환원염에 약하다.
스테인레스 강 SUS 310S 20% Ni, 25% Cr-Fe	1100	스테인리스강 중에서 고온강도가 가장 크다. 내산화성이 양호하다.
칸 탈 알루미늄 5.5% Al,24% Cr 2.5% Co-Fe	1200	1200℃에서 구분된다. 염류에는 연강보다 약간 강하다. 티타늄이나 음의 합금재질은 400℃이상에서는 산화가 심하다. 백금 및 백금 로듐 합금에서는 내열성이 최고(상용온도1400℃)이며, 용융 GLASS등에 이용 된다.

3. 측정 오차

열전대 온도계를 사용하여 온도 측정 시 측정 정도에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

- 온도계의 정밀도
- 검출단이 측정대상에 주는 외란
- 검출단의 응답속도
- 검출단의 설치에 의한 영향
- 측정대상의 유속
- 보호관에 부착된 먼지 등의 영향

3-1 온도계 정밀도

온도계의 정도는 온도계의 출력(지시, 기록)이 온도표준측정방식(KSC 1606)과 어느 정도 일치하는가를 표시하므로 온도계의 기능의 양부를 결정하는 것이다. 표준 온도측정 방식은 측정 정도에 따라 A급, B급, C급 및 D급으로 구분하며, 그 내용은 아래 표와 같다.

구 분	A 급	B급	C급	D급
적용	표준의 설정 표준기의 교정	일반계기의 교정	일반온도측정	고정밀도를 필요로 하지 않는 측정
측정정밀도	약 ±1.0℃	정격치의 ±1.0%	정격치의 ±1.0~ ±1.5 %	정격치의 ±2.5%
열전대	0.25급 (0.5℃ 교정)	0.4급 이하	0.75급 이하	1.5급 이하
기준점점	빙점식	빙점식, 항온조식 보상식	실온식, 항온조식, 보상식	실온식
계측기	전위차 계 디지털전압계 (±0.5μV 이내 교정을 한 것)	전위차계 디지털전압계 (0.3급 상당) 디지털온도계 (0.3급 상당)	온도변환기 (1.0급 상당) 디지털 온도계(1.0급 상당)	2.0급 지시계기 디지털온도계(2.0급 상당)

3-2 검출단이 측정대상에 주는 영향

검출단을 측정대상에 접촉시키면 측정대상의 온도는 변화한다. 이것이 검출단이 측정 대상에 주는 영향이다. 즉, 검출단을 측정대상에 접촉하기 전의 참값 온도를 t_1 , 열 용량 M 의 측정 대상에 온도 t_2 이고, 열 용량 m 인 검출단을 검출대상에 접촉시켰다면 일정한 시간을 경과하게 되면 최종적으로 여적 평행 상태에 도달하여 t 온도가 된다. 이때 열이 외부로 전혀 나가지 않는다면 열량은 보존이 되므로 다음식이 성립한다.

$$M(t_1 - t) = m(t_1 - t_2)$$

위의 식에서 좌변은 온도 t 의 열평형에 도달하는 사이에 측정대상으로부터 방출된 열량이며, 우변은 열평형에 도달하는 사이에 검출단으로부터 유입된 손실 열량이다. 따라서 t 에 대해 정리하면 $t = t_1 - [m(t_1 - t_2)/(M + m)]$ 가 되며, t

가 온도계로 측정된 온도이다. 그러나 실제 알고 싶은 온도는 t_1 이나 검출단의 온도와 측정대상의 온도차로 오차가 발생되어 측정정도에 영향을 주는 인자이다. 이 영향을 없애기 위해서는 다음의 방법으로 오차를 줄일 수 있다.

- 검출단을 예열하거나 예냉하여서 검출단 온도를 측정대상의 온도와 비슷하게 한 다음 설치할 것, 이렇게 하면 부의적 응답의 지연을 단축하거나 소자를 급랭, 급열하는 단점을 막을 수 있다.
- 검출단의 열용량이 가능한 한 작은 것을 선정할 것. 즉, 쉬스형 열전대나 쉬스형 측온 저항체, 써미스터 등은 열 용량이 작은 검출단을 취하면 오차를 줄일 수 있다.

3-3 검출단의 응답속도

검출단의 응답속도는 온도 변화량의 63.2% 또는 90%까지의 응답에 요하는 시간으로 정의되는 것이 일반적이다. 응답속도를 다시 말해 검출단을 측정대상에 접촉시켰을 때 상호 열평형이 일어나서 일정시간 후 열적 평행이 되었을 때까지의 속도이며, 이것은 검출단의 구조, 열 용량, 또는 측정대상의 조건 즉 액체인가, 기체인가, 또는 흐르는 유체인가 정지된 것인가 등 응답속도에 영향을 주는 요인은 여러 가지가 있다. 정지하고 있는 기체가 측정 대상일 경우에는 최악의 조건으로써 검출단이 기체의 온도를 지시하는데 검출단을 사용하는 경우에는 급격한 온도변화에 대해서는 추종할 수 없으며, 어떤 시점의 온도를 알고 싶을 경우에도 그 시점의 온도를 지시하는 것이 아니다. 따라서 이때에도 열 평형에 도달할 때까지의 시간을 가능한 한 짧게 하려는 노력과 또 열용량이 작은 소형의 검출단을 사용하도록 해야 한다. 동 특성에 의한 시간지연 요인으로 응답성은 검출단의 크기 질량, 접점과 보호관과 같은 주위 환경과의 열 교환 형태 등에 따라 복잡하게 결정된다. 센서의 질량에 비하여 표면적이 클수록 일정한 열 전달 조건이라면 시간응답이 빠르다.

3-4 설치에 의한 영향

설치에 의한 영향은 검출 단, 측정대상 등의 상태에 의해 생기는 열의 전달 영향이다. 이러한 영향을 작게 하기 위해서는 다음 3가지를 열거하면 다음과 같다.

- 열전도를 작게 하는 방법
- 방사 열전 달을 작게 하는 방법
- 대류 열전달계수를 크게 하는 방법

열전도에 의한 영향을 적게 하는 방법으로는 열의 전달량 $Q = \lambda A / L(t - t_1)$ 로 표시한다. 따라서

- 열전도도가 작은 재료를 검출단으로 사용한다.
- 검출단의 단면적을 작게 한다.
- 검출단 금속보호관 외경의 15 ~ 20배 이상의 삽입 장을 가지고 설치한다.
- 설치부분은 단열재를 사용하며 설치부분과 측정대상의 온도 차를 가능한 한 작게 한다.

설치 시의 영향은 측정대상의 상태 검출단의 구조 등 여러 가지 조건에 의해서 서로 작용하기 때문에 실측하거나 정량적으로 값을 구하는 것은 곤란하며, 간단한 모델을 구성하여 열의 상태를 해석한 후 그 영향을 제어하는 것은 가능하다. 방사열전달을 작게 하는 방법에서 방사율이란 검출단의 재료, 표면상태 (광택의 유무), 산화의 정도 표면 상태에 따라 달라지며, 반사체에서는 0이며, 흑체에서는 1이 된다. 온도 측정 시 방사열에 의한 영향을 적게 하기 위해 실제 이용되고 있는 방법으로서

- 검출 단에 방사 율이 적은 재료나 내 식성이 양호한 재료를 사용하며, 측정대상은 표면을 깨끗이 할 것
- 방사열 전달은 절대온도의 4승에 비례하므로 보호관으로 부터 볼 수 있는 주위의 온도를 측정대상과 동일 온도로 하여야 한다. 이때 측정대상의 온도가 낮을 경우에는 그다지 큰 영향은 없다.
- 검출 단의 외경을 작게 하여 열전도에 의한 영향을 감소시킨다.

끝으로 대류 열 전달계수를 크게 하는 방법이 있다.

대류 열 전달계수는 유체가 가지고 있는 점성 등의 특성 ϕS , 검출 단의 외경 D 및 유체의 속도 V 의 관계는

$$dc = (Va / D^b) \phi S \quad (a, b \text{는 각각 } V \text{ 와 } D \text{의 지수})$$

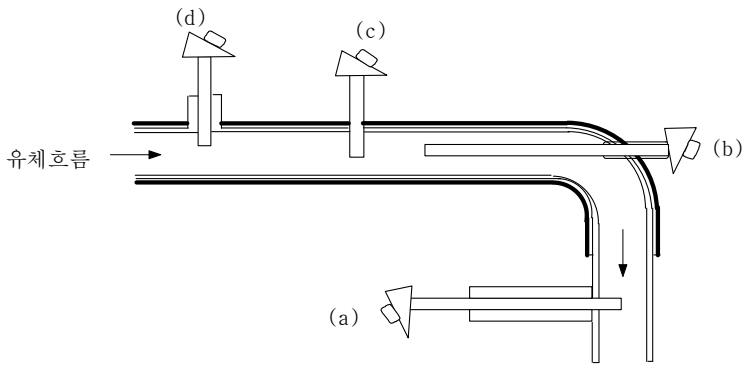
전달계수인 dc 를 크게 하기 위한 방법으로는 아래와 같다.

- 유체의 유속을 증가 시킨다.
- 검출단의 외경을 작게 한다.

3-5 유체 유속의 영향

유체의 유속은 온도 계측에 있어서 대단히 중요하다. 유속은 대류 열 전달계수를 크게 하기 때문에 온도의 정도 향상을 위해서 유속을 크게 향상 시킬 필요가 있다. 그러나 너무 크게 되면 유체의 압축 성이나 내부 마찰의 영향에 의해서 지시가 높게 나타나며 검출단의 강도도 문제가 되는 폐해현상이 발생하게 된다.

열전 대 설치 방법에 따른 오차 발생



설치 개소 별 오차 원인 (주철관 안에 흐르는 가스의 온도를 측정)

- (a) 삽입 심도가 얇고 보온이 안된 외기 노출부가 있기 때문에 -45°C 편차 발생
- (b) 삽입길이가 충분하고 외기 노출부가 짧고, 보온이 있으므로 오차도 없이 가장 이상적인 설치방법
- (c) 삽입심도가 얇고 측정온도는 -2°C 이다. 배관의 수직부분에 삽입 심도를 충분히 하고 싶을 때는 흐름의 역으로 경사지게 설치
- (d) 삽입심도가 얇고 외기 노출부가 길어서 오차가 크다.

3-6 검출단에 부착하는 먼지 등의 영향

측정대상에 먼지 등이 검출 단 주위에 부착함으로써 검출소자 열 저항이나 용량의 증가 등이 생겨 오차의 원인이 되므로 정기적인 점검과 검출 단 설치 장소에 대한 확인이 필요하다. 이 외에도 자기가열, 외부로부터의 노이즈 등 영향이 있다. 때문에 온도계 취급 시에는 각각의 온도계 원리, 구조를 잘 이해 해야 하며, 측정대상의 측정 제반 조건을 검토한 후 적절한 온도계 선택 및 조치 하여야 한다.