

# 선박용 센서 기술 (4)

이 일 영/부경대학교 공과대학 교수

## 8. 온도의 측정

선박에서 온도 측정 대상은 윤활유, 청수, 해수, 공기(각종 용도의 실내 공기), 연료유, 증기, 배기 가스 등과 같은 유체와 각종 기계 장치의 베어링, 전동기 또는 발전기의 계자 권선(stator coil) 등으로 다양하다. 측정 온도의 범위는  $-200\sim 700^{\circ}\text{C}$  정도이며, 측정 대상의 압력, 기타 주위 환경 조건이 각각 다르기 때문에 적절한 방법을 채택하여 직접 또는 간접으로 측정하게 된다.

선박용으로 온도 제어, 원격 지시, 경보 등에 사용되는 온도 센서로는 압력식 온도 센서, 전기 저항식 온도 센서, 열전쌍 등이 있다.

온도 센서의 측정 부위는 외부의 물리적, 화학적 자극으로부터 보호하기 위하여 적합한 보호관을 씌워서 사용하며, 이는 아래 조건들을 만족시키는 것이 좋다.

- 고온에서도 기계적 강도를 유지하고, 진동 및 충격에 잘 견딜 것.
- 내열성이 양호하고, 온도의 급변에도 잘 견딜 것.

주요 온도 센서들의 작동 원리와 사용법을 아래에서 설명한다.

### 8.1 압력식 온도 센서

그림 8.1은 압력식 온도 센서의 일 예이며, 감온부(bulb) A, 연결관 B, 압력 계기 C 및 내부 충전 매체로 구성된다. 측정 매체로는 액체, 가스, 액체와 증기의 혼합물이 사용된다.

이 온도 센서는 지시장치 또는 조절장치(on/off 스위치 등)를 직접적으로 움직일 수 있는 충분한 출력을 낼 수 있는 점이 가장 두드러진 장점이며, 구조가 간단하고 비교적 가격이 저렴한 것이 특징이다. 그러나, 측정 정밀도가 양호하지 못하고( $\pm 1\sim 2\%$  정도의 오차를 허용), 리드선(lead line)의 역할을 하는 모세관(capillary tube)이 길이에 제한이 있으므로, 주로 경보(alarm) 및 안전(safety, 기기의 trip 등)용 온도 스위치(temperature switch)로서 사용한다.

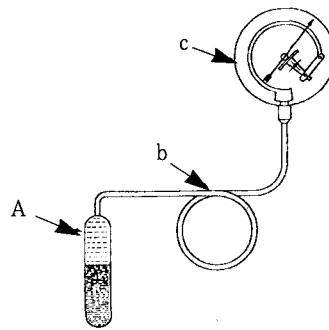


그림 8.1 압력식 온도계의 일 예

리드선은 보통  $2\sim 5\text{m}$ 이지만, 그 길이가 길수록 오차가 크므로 가능한 한 짧게 해야 하고, 리드선 주위의 온도변화가 적어야 하므로, 리드선이 기름 가열기, 고온의 기름관, 증기관, 배기 가스관 등과 가까운 위치에 놓이지 않도록 주의해야 한다. 또한 설치시에 감온부(sensing point)에 외상을 주거나 사용중 규정 이상의 압력이 작용하면 감온부에 영구 변형이 생겨서 오차를 발생시킬 수 있으므로 주의해야 한다.

압력식 온도 스위치는 리드선 즉, 모세관을

통하여 부르동관이나 벨로즈까지 연결한 액체 충전식 센서와 온도변화에 따라 개폐되는 접점(contactor)으로 구성된다.

## 8.2 전기 저항식 온도 센서

대부분의 금속은 온도의 변화에 따라 그 저항이 변화하는 성질을 가지며, 이러한 원리를 이용한 것이 전기 저항식 온도 센서이다. 온도 변화에 민감한 금속들은 보통 도전성이 좋은 금속들이며, 예를 들면 동, 백금, 은, 니켈 등이 있다.

최근에는 서미스터(thermistor)라 불리는 반도체 센서도 전기 저항식 온도 센서로 사용된다. 도체의 저항을 측정하는 데는 종래부터 여러 가지 방법들이 사용되고 있다. 위의 두가지 전기 저항 온도 센서의 저항 변화치 측정에는 종래의 모든 저항 측정법이 사용될 수 있으며, 이 중에서 휘스톤 브리지(Wheatstone bridge)를 이용한 측정법이 가장 널리 사용되고 있다.

### (1) 금속선 저항 온도 센서

금속선 저항 온도 센서에 요구되는 조건으로는, ①온도변화에 따른 응답성이 크도록 하기 위하여 소형으로 제작되어도 큰 저항치를 가질 것, ②온도 변화에 따른 저항의 변화가 클 것, ③온도와 저항과의 관계가 가능하면 직선적일 것, ④히스테리시스가 적을 것, ⑤내식성이 우수할 것, ⑥동일한 특성을 갖는 센서를 다량으로 제작하기 쉬운 것 등이다. 이러한 조건들을 비교적 잘 만족시키는 것으로는 백금, 니켈, 동 등이 있으며, 백금이 가장 널리 사용된다.

일반적으로 온도  $t(^{\circ}\text{C})$ 와 금속선의 전기 저항치( $R$ )사이에는 다음 관계식이 성립한다.

$$R = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (8.1)$$

여기서,  $R: t(^{\circ}\text{C})$ 에서의 금속 저항체의 저항값,  $R_0: 0^{\circ}\text{C}$ 에서의 저항값( $\Omega$ ),  $A, B$ : 금속의 종류에 따라 정해지는 상수이다.

그림 8.2에 각 금속선 저항체에 대한 온도와

저항 사이의 관계 곡선을 나타내었다. 한정된 온도 범위 내에서는 그림 8.2의 특성선들은 근사적으로 직선으로 표시할 수 있으며, 이한 경우 식(8.1)에서  $B$  및  $C$ 는 0이 된다.

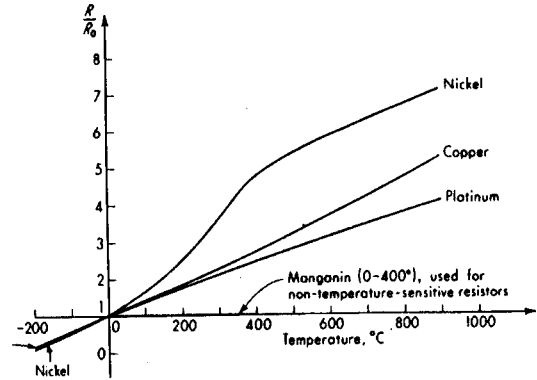


그림8.2 금속 저항선의 저항-온도 관계 곡선

금속선 저항 온도 센서의 온도 측정 범위는  $-250 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 이다. 금속선 저항 온도 센서의 온도 감지부 구조는 그림 8.3(a)에 나타난 바와 같이 백금선을 운모(雲母)판에 감아서 다른 2개의 운모판 사이에 샌드위치식으로 끼워 넣은 것을 보호관에 넣은 형태, 그림 8.3(b)와 같이 열전도가 잘되는 금속 심봉에 에나멜 피복 백금선을 감은 형태의 것이 있다.

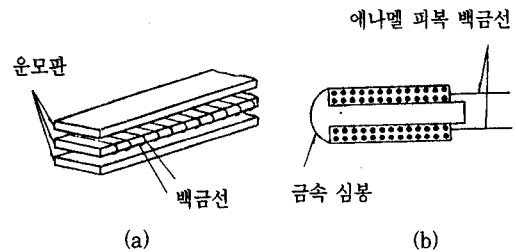


그림8.3 금속선 저항 온도 센서의 온도 감지부

금속선 저항 온도 센서의 원리적으로 저항형 스트레인 게이지와 매우 유사하다. 스트레인 게이지와의 차이는 스트레인 게이지는 스트레인에 대하여 고감도이면서 온도에 대해서는 저감도인데 반하여, 금속선 저항 온도 센서는 온도에 대하여 고감도인 점이다. 따라서 금속선 저항 온

도 센서의 신호 증폭과 지시 계기로서 스트레인 증폭기를 사용할 수 있다.

휘스톤 브리지(Wheatstone bridge)를 이용하여 금속선 저항 온도 센서의 저항 변화를 측정할 때의 측정 회로 예를 그림 8.4에 나타내었다.

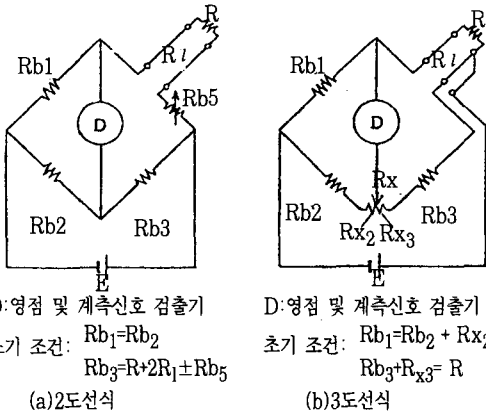


그림 8.4 금속선 저항 온도 센서의 측정 회로

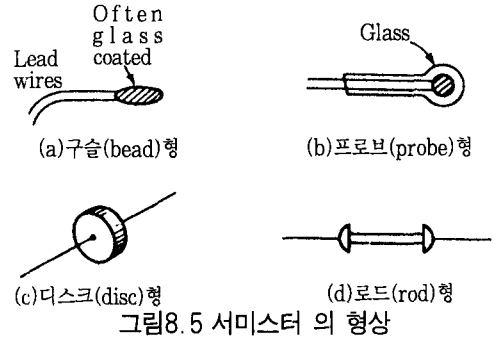
온도 측정부로부터 측정 회로까지의 거리가 비교적 가까운 경우는 그림 8.4(a)와 같이 2도선식으로 하며, 이대 도선 저항( $2R_1$ )의 온도 변화에 따른 변화는 없는 것으로 간주한다. 그러나 거리가 비교적 먼 경우는 그림 8.4(b)와 같은 3도선식으로 하여 도선 저항 변화에 따른 영향이 측정치에 나타나지 않도록 하는 등의 고려가 필요하다.

## (2)서미스터(thermister)

반도체 온도 센서의 일반적인 명칭이 서미스터(thermister)이며, 금속 산화물(NiO, MnO, Ca<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)의 분말을 혼합 소결하여 만든다. 이러한 반도체는 금속선 저항체와 마찬가지로 온도 변화에 따라 저항이 변화하기 때문에 저항식 온도 센서로 사용된다. 서미스터가 금속선 저항체와 다른 점은 온도 상승에 따라 저항이 오히려 감소하는 점이다.

그림 8.5에 서미스터의 대표적인 형상을 나

타내었다.



서미스터는 일반적으로 저항 온도 계수가 백금의 10배 이상으로 높으며, 측온체가 소형이어서 열용량이 작기 때문에 속응성이 우수한 장점이다. 그러나, 서미스터는 개체에 따른 특성의 차이 때문에 호환성이 나쁘고, 경년변화(經年變化)가 있으며, 자기가열성(自己加熱性, 측정시 저항체 내부에 미소한 전류가 흐름에 따른 가열로 인한 온도 상승이 측정치에 오차를 유발하는 성질)이 큰 점 등의 단점이 있다.

온도 측정 범위는  $-200 \sim 600^\circ\text{C}$  정도이며, 선형성이 그다지 좋지 않기 때문에 하나의 센서로서 이렇게 넓은 범위의 온도 영역에 걸쳐 사용하는 일은 드물다.

## 8.3 열전쌍

### (1)열전쌍의 측정 관리

서로 다른 두종류의 금속선이 그림 8.6과 같이 연결되어 있으며, 하나의 접점은 온도  $T_1$ , 다른 접점은 온도  $T_2$ 로 유지될 때, 무한 내부 저항의 전압계를 사용하는 그림(a)에서는 열기전력  $E$ 를 측정할 수 있고, 전류계를 연결한 그림(b)에서는 전류  $I$ 를 측정할 수 있다. 기전력  $E$ 의 크기는 금속선의 종류와 온도  $T_1, T_2$ 에 따라 정해지며, 이 원리를 제백 효과(Seebeck effect)라 한다.

그리고 전류  $I$ 는 단순히 기전력  $E$ 를 전회로의

저항으로 나눈 값과 같다. 따라서, 온도  $T_1$ 을 알고 있으면 기전력  $E$ 를 측정함으로써 온도  $T_2$ 를 구할 수 있으며, 온도 측정을 위하여 그림 8.6과 같이 다른 종류의 금속선을 접합한 것을 열전쌍(thermocouple)이라 부른다.

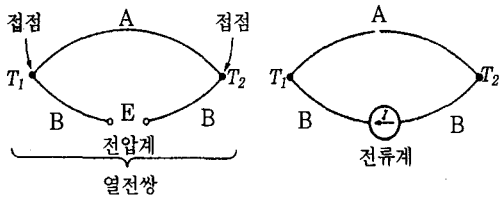


그림 8.6 열전쌍의 원리

열전쌍의 결합 방법에 관한 두가지 법칙을 아래에 설명한다.

(가) 중간 금속의 법칙

그림 8.7(a)와 (b)는 제3의 금속선 C를 접합한 두 종류의 열전쌍을 나타낸다. 금속선 C의 양쪽 끝온도는 동일하며, 그림(a)의 경우는  $T_1$ 으로, 그림(b)의 경우는  $T_3$ 로 유지하면 그림 8.6의 경우(2종류의 금속만을 사용하는 경우)와 동일한 열 기전력이 발생한다. 이것을 중간 금속의 법칙이라 한다.

이 법칙은 열전쌍 조립시에 연납이나 경납과 같은 접합 물질의 사용이 가능함과, 열전쌍 회

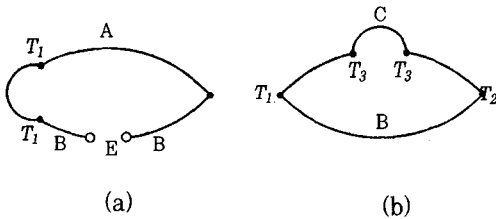


그림 8.7 3종류의 금속선에 의한 열전쌍

로속에 전압 측정 장치를 직접 설치하여 기전력 측정이 가능함을 뒷받침해준다.

(나) 중간 온도의 법칙

그림 8.6과 같은 열전쌍에서 양 접점의 온도

가  $T_1, T_2$ 일때의 기전력이  $E_1$ 이고, 또 온도가  $T_2, T_3$ 일 때의 기전력이  $E_2$ 이면, 양측의 온도가  $T_1, T_3$ 일 때 기전력은  $E_1+E_2$ 로 된다.

이것을 중간 온도의 법칙이라 한다.

이 법칙은 열전쌍의 두 접점 중 하나인 기준 접점의 온도가  $0^\circ\text{C}$ 가 아닌 경우의 온도 보정의 원리를 제공해 준다. (이러한 온도 보정이 필요한 이유는 일반적으로 이용 가능한 열전쌍의 온도~기전력 곡선 또는 표가 기준 접점 온도  $0^\circ\text{C}$ 일때의 것이기 때문이다.) 예를 들어, 어떤 열전쌍의 기준 접점 온도가  $22^\circ\text{C}$ 이고 계측된 기전력이  $1.23\text{mV}$ 라 한다. 이 때

$T_1 = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 22^\circ\text{C}$ ,  $T_3$ 를 계측점의 온도라 하자. 그러면  $E_1$ 은 온도~기전력 곡선에서 바로 읽을 수 있으며,  $E_1 = 0.71\text{mV}$ 였다고 하자. 이 경우  $E_1+E_2 = 1.94\text{mV}$ 이며, 기전력 값  $1.94\text{mV}$ 에 대응하는 온도를 온도~기전력 곡선에서 읽어서 계측하고자하는 온도  $T_3$ 를 구할 수 있다.

(2) 열전쌍 소재(금속선)의 종류와 특성

열전쌍의 소재로는 큰 기전력이 얻어지는 재료가 사용된다. 일반적으로 널리 사용되는 열전쌍의 특성을 표 8.1 및 그림 8.8에 나타내었다. 열전쌍 소재중 합금 소재의 성분 조성은 다음과 같다.

- 백금 Rhodium(백금87%, 로듐13% 또는 백금 90%, 로듐10%)
- Chromel(니켈90%, 크롬10%)
- Alumel(니켈94%, 알루미늄3%, 실리콘1%, 망간 2%)
- Constantan(동55%, 니켈45%)

표 8.1 열전쌍의 특성

열 전 쌍	기 호	상용 온도 범위(°C) (사용 가능온도(°C))	열 기전력(mV/K)
백금-백금로듐	PR	200~1400 (0~1600)	0.005(0°C) 0.013(1000°C)
크로멜-알루미넬	CA	0~1000 (-200~1200)	0.04(0°C)
철-콘스탄탄	IC	0~600 (-200~800)	0.05(0°C)
동-콘스탄탄	CC	-180~300 (-200~350)	0.04(0°C) 0.06(300°C)

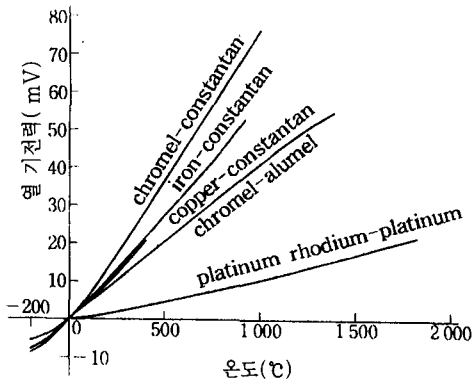


그림 8.8 열전쌍의 특성

선박이나 산업 기계에서 사용되는 열전쌍의 부식, 파손 방지를 위하여 그림 8.9와 같은 보호관 속에 넣어서 사용한다. 금속 보호관은 낮은 온도에서 사용되며, 고온 측정용 비금속 보호관으로는 석영 보호관(1300℃), 카보랜덤(SiC) 보호관(1600℃) 등이 있다.

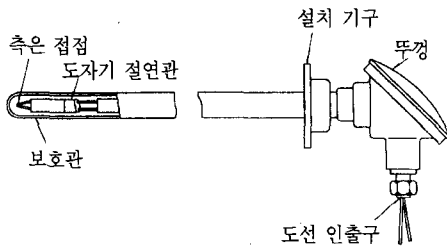


그림 8.9 열전쌍 보호관

### 3) 측정회로

열 기전력의 측정에는 자동 평형식 전위차계 (potentiometer)가 널리 사용되며, 이것은 열 기전력 측정 단자에 열 기전력과 동일한 전압을 역으로 가하여 열전쌍에 전류가 흐르지 않도록 하면서 측정하기 때문에 열전쌍이 자가열(自己加熱)되는 것이 방지된다.

그림 8.10은 그다지 높은 정밀도를 필요로 하지 않는 온도 측정에 사용되는 측정 회로의

예이다. 이 경우, 열전쌍의 단자가 직접 계측기 단자에 접속되어, 측은 접점 p, 기준 접점이 q사이의 온도차를 측정하게 되며, q점의 온도는 실온이다. 그림 8.10의 측정 회로는 그림 8.7(a)에 상당하며, 계측기 단자 사이의 내부 회로가 제 3의 도선 C에 해당된다.

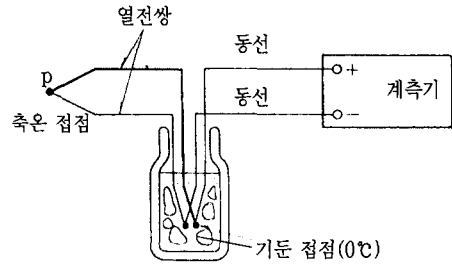


그림 8.10 측정 회로의 예

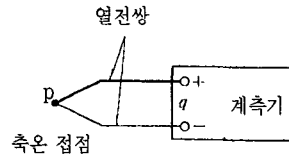


그림 8.11 측정 회로의 예

그림 8.11과 같이 열전쌍의 기준 접점을 보온병 속의 빙점(0℃)로 유지하면 정밀도가 높은 온도 측정이 가능하다. 열전쌍 소재 금속선은 동선에 비하여 비싸므로 제 3의 금속선으로서 기준 접점으로부터 계측기까지의 리드선으로는 동선을 사용한다.

측은 지점으로부터 기준 접점까지의 거리가 긴 경우에는 열전쌍 소재선만을 사용하면 가격이 비싸지므로, 그림 8.12와 같이 열전쌍 소재선 도중에서 기준 접점까지를 보상 도선으로 연결하여 사용하기도 한다. 이 때 사용하는 보상 도선은 온도 측정 범위(보통 온도 범위 : 200℃) 내에서는 열전대와 매우 유사한 특성을 갖는 것이라야 하며, 동과 동/니켈 합금(여러가지 조성비의 것)을 사용한다. 이 경우 열

전쌍이 q점까지 연장된 것과 마찬가지로이다.

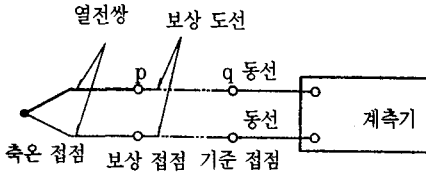


그림8.12 보상 도선을 사용한 회로

선박에서는 열전쌍과 보상 도선을 원격 감시 시스템(monitering system)에 직접 연결하는 방법, 보상 도선과 원격 감시 시스템 사이에 접속상(connection box)을 설치하여 조선소 공급의 전선과 연결하는 방법, 아래 8.13과 같이 신호 변환기(자동 평형식 전위차계의 기능을 가짐)를 사용하여 원격 감시 시스템에 연결하는 방법 등이 있으며, 아래 그림 8.13과 같은 방법이 일반적으로 많이 쓰인다.

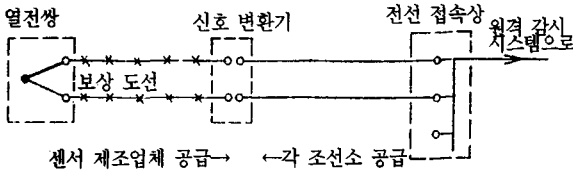


그림8.13 신호 변환기를 사용한 연결 예

## 8.4 온도 센서 설치상의 주의 사항

선박에는 여러 장비 및 계기가 한정된 공간에 집중되어 있으므로 센서 설치 장소 선정에 어려움을 겪을 때가 많다. 온도 센서 설치와 관련하여 주의해야 할 사항을 열거하면 아래와 같다.

- (가) 측정 대상의 온도를 정확히 인지할 수 있는 장소에 설치한다.
- (나) 진동이 적은 장소에 설치한다.

- (다) 가능한 한 습도가 낮고 부식성 가스가 적은 곳에 설치한다.
- (라) 발열체(기름 가열기, 증기관 등) 주위를 피하여 설치한다.
- (마) 유체가 항상 흐르는 곳에 설치한다.
- (바) 방열관 등에 설치하는 경우는 설치 부위까지 충분히 보온을 해야 한다.

## 8.5 선미관 축 베어링 온도 센서

각 선급의 요구에 따른 선미관 축 베어링(stern tube bearing)부위의 온도 측정에는 일반적으로 백금제 금속선 저항 온도 센서를 사용한다. 온도 센서와 측정 회로 사이의 연결 도선(sheath, lead line)의 길이는 선미관의 크기에 따라 1.5~10m이며, 선미관 내 베어링 내면에 홈을 내어 온도 센서를 온도 측정 부위까지 삽입하여 설치한다.

온도 센서 및 도선의 고정을 위한 부속품 및 고정 방법은 각 센서 제조사에 따라 표준화되어 있으며, 공급 업체의 도면에 따르는 것이 좋다.

(다음 호에 계속)

