

4장 온도 센서 (A)

온도 센서

- RTD (Resistance Temperature Detector)
- 써미스터 (Thermistor)
- 열전대 (Thermocouple)
- 반도체 온도센서

4.1 온도센서의 개요

■ 온도

- 온도(溫度; temperature) : 물체의 차고 뜨거운 정도를 수량으로 나타낸 것
- 분자의 열 운동의 활발함의 척도
물질을 구성하고 있는 분자는 고체, 액체, 기체 등 어느 상태에 있어서도 정지해 있지 않고 불규칙한 운동을 하고 있다. 이와 같이 물질을 구성하고 있는 분자의 불규칙한 운동을 열 운동(thermal motion)이라고 하는데, 온도는 분자의 열 운동의 활발함과 관계가 있다.
- 우리 주위에 있는 대부분의 물리, 화학, 전자, 기계, 생체 시스템이 온도에 의해서 영향을 받기 때문에 온도는 가장 자주 측정되는 환경과 관련된 양

■ 온도 눈금

- 섭씨(celsius or centigrade scale) $K = ^\circ C + 273.16$
- 화씨(fahrenheit scale) $^\circ C = K - 273.16$
- 절대온도(Kelvin or absolute temperature) $^{\circ}F = 1.8^{\circ}C + 32$

■ 온도센서의종류

- **접촉식(contact temperature sensor)**
측정점의 온도가 **열전도(thermal conduction)**에 의해서 센서에 전달됨
- **비접촉식(noncontact temperature sensor)**
비접촉식에서는 열이 **방사(radiation)**를 통해서 전달됨
- **온도센서에 이용되고 있는 물리량과 온도센서의 종류**

각종 온도센서의 종류와 사용 온도 범위

이용하는 물리현상	온도센서의 종류	사용 온도범위	
전기저항변화	RTD(Pt)	-200 [°C]~850 [°C]	
	NTC	-50 [°C]~300 [°C]	
	PTC	BaTiO ₃ 계	< 300 [°C]
		Si PTC	-50 [°C]~150 [°C]
열기전력	열전대	-200 [°C]~1600 [°C]	
	서모파일	-40 [°C]~100 [°C]	
실리콘 다이오드, 트랜지스터의 온도특성	IC 온도센서	-50 [°C]~150 [°C]	
초전현상	초전온도센서		

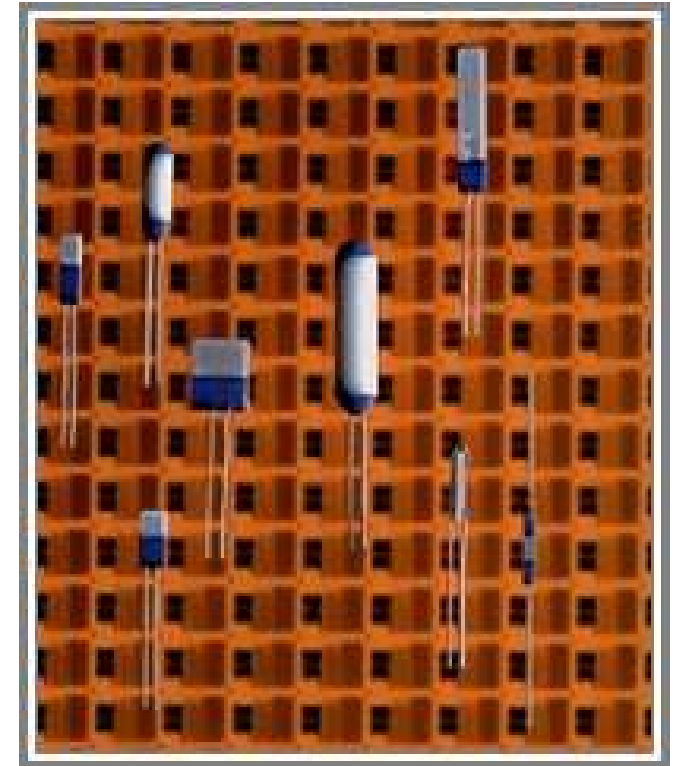
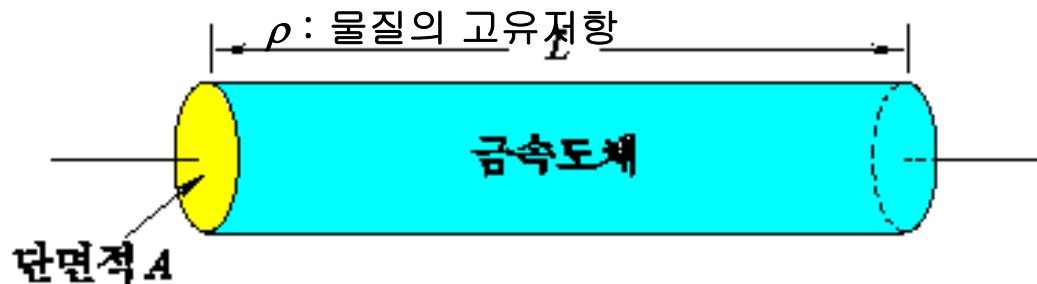
4.2 RTD

- RTD(resistance temperature detector)
 - 온도변화에 따른 금속의 전기저항변화를 이용한 온도센서
 - 일부에서는 측온저항체라고도 부름

■ 금속의 전기저항과 온도관계

- 금속의 전기저항
 - 물질의 전기저항(electric resistance)은

$$R = \rho \frac{L}{A}$$



- 전기저항과 온도의 관계

- 금속의 전기저항 값은 온도에 따라 증가한다

$$R = R_o[1 + \alpha_1(T - T_o) + \alpha_2(T - T_o)^2 + \dots + \alpha_n(T - T_o)^n]$$

R_o : 기준온도 T_o (보통 0 °C)에서 금속의 저항 값

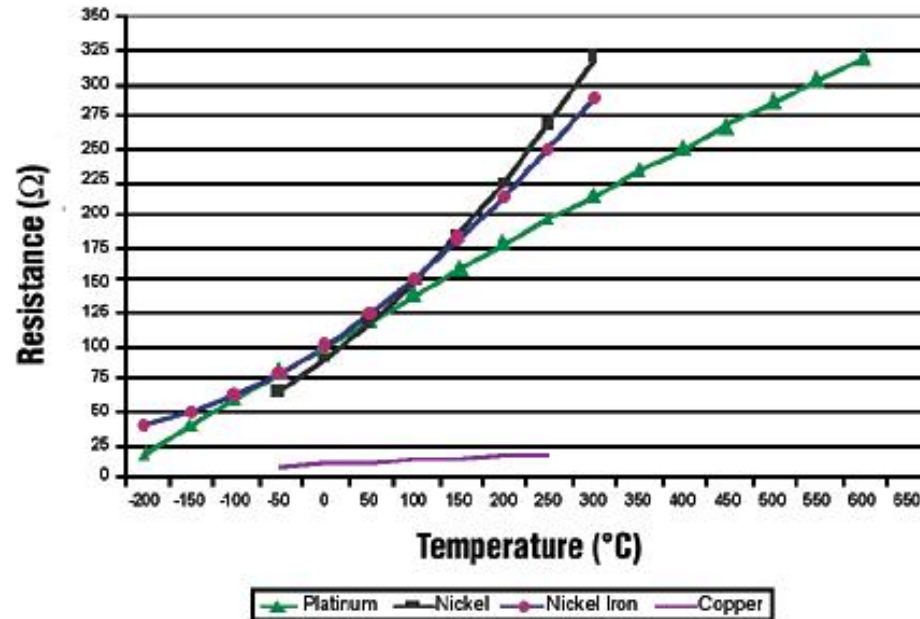
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$: 각 온도에서 저항측정으로부터 결정되는 계수

백금선에 대해서

$$\alpha_1 = 3.95 \times 10^{-3} \text{ [1/K]}$$

$$\alpha_2 = -5.83 \times 10^{-7} \text{ [1/K}^2\text{]}$$

Resistance vs. Temperature



- 제한된 온도범위(예를 들면 0 °C~100 °C)에서, 다음과 같이 직선 근사식으로 쓸 수 있다.

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

α : 저항의 온도계수(temperature coefficient of resistance; 약해서 TCR)

- 두 기준온도를 0 °C와 100 °C라고 하면 TCR은

$$\alpha = \frac{1}{R_0} \frac{R_{100} - R_0}{T_2 - T_1} = \frac{1}{R_0} \frac{R_{100} - R_0}{100[^\circ\text{C}]}$$

α 를 때로는 상대감도(relative sensitivity)라고도 부르며, 그 값은 기준온도에 의존한다.

- 순 금속에 대한 전기저항의 온도계수는 0.3~0.7[%/°C]이며, 이 저항변화를 검출하여 온도를 검출한다.
- 순 금속의 비저항은 작으므로 길고 가는 선으로 만들어 사용한다.

■ RTD용 금속의 특성

- 기계적, 화학적으로 강해야 된다.
- 백금은 온도범위가 넓고, 재현성, 안정성, 내화학성, 내부식성이 우수하여 가장 널리 사용된다.
- 니켈은 감도가 가장 높지만, 백금에 비해 직선영역(linear range)이 좁다.
- 구리는 넓은 직선 영역을 가지나 산화되기 쉽다.

여러 RTD 용 금속의 특성

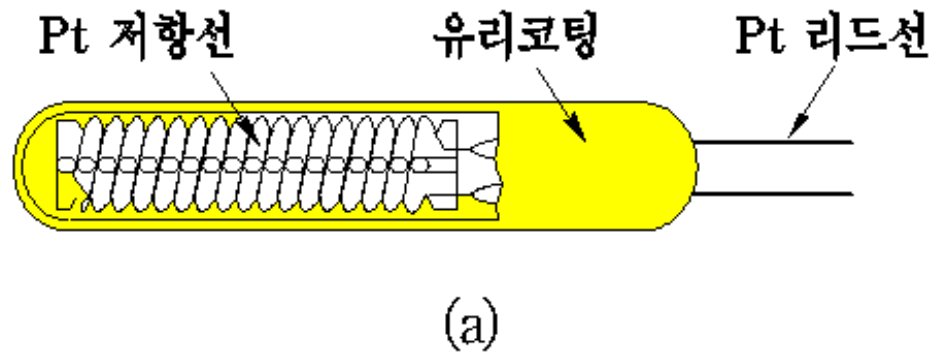
파라미터	Platinum	Copper	Nickel	Molybdenum
스팬, [°C]	-200 ~ +850	-200 ~ +260	80 ~ +320	-200 ~ +200
α^a (0 [°C]) (Ω/Ω)/K	0.00385	0.00427	0.00672	0.003786
$R(0 [°C]), \Omega$	25, 50, 100 200, 500 1000, 200	10 (20 [°C])	50, 100, 120	100, 200, 500 1000, 200
비저항 (20 [°C]), $\mu\Omega\text{-m}$	10.6	1.673	6.844	5.7

a : 온도계수는 금속의 순도에 의존한다. 99.999 [%] 백금에 대해서, $a = .00395 [1/°C]$ 이다.

■ RTD의 구조와 종류

- 권선형 (wire wound element)

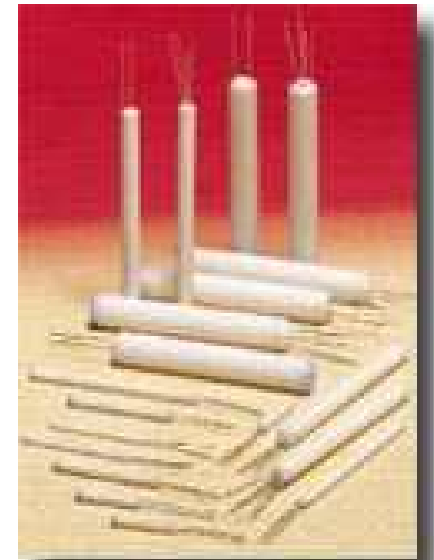
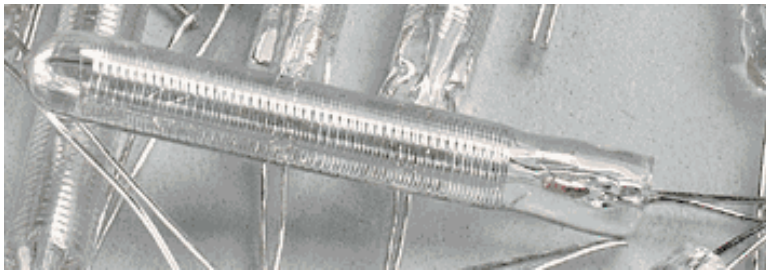
- 직경 0.05[mm] 정도의 고순도 백금선을 백금과 동일한 열팽창 계수를 갖는 유리 봉이나 운모 봉에 감고 피복한다. 전체 직경은 2~3[mm]이다.



유리를 피복한 백금 RTD



세라믹 봉입 RTD



Glass wire wound platinum RTD

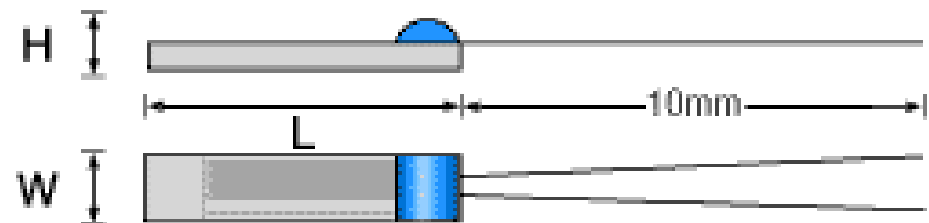
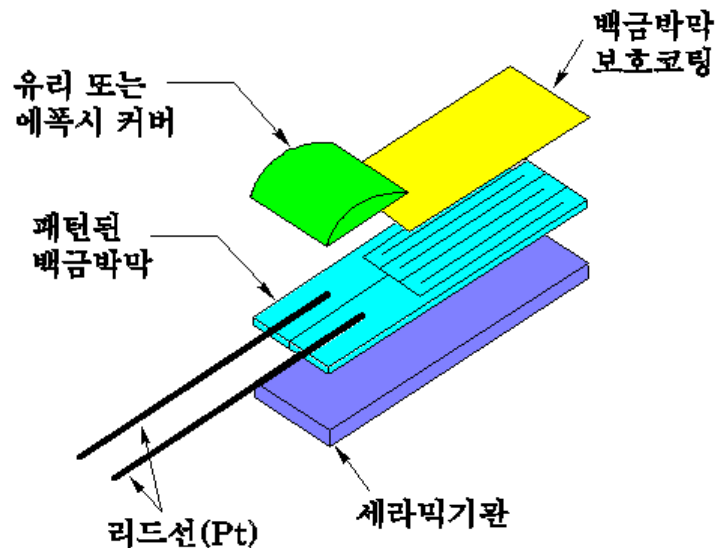
Ceramic-wound Pt temperature sensors

- 백금 박막 온도센서 (thin film RTD)

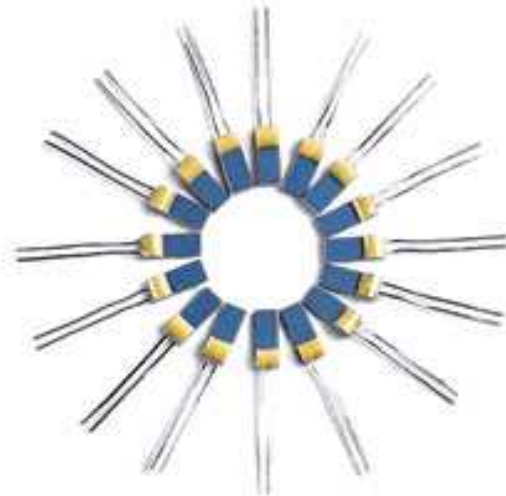
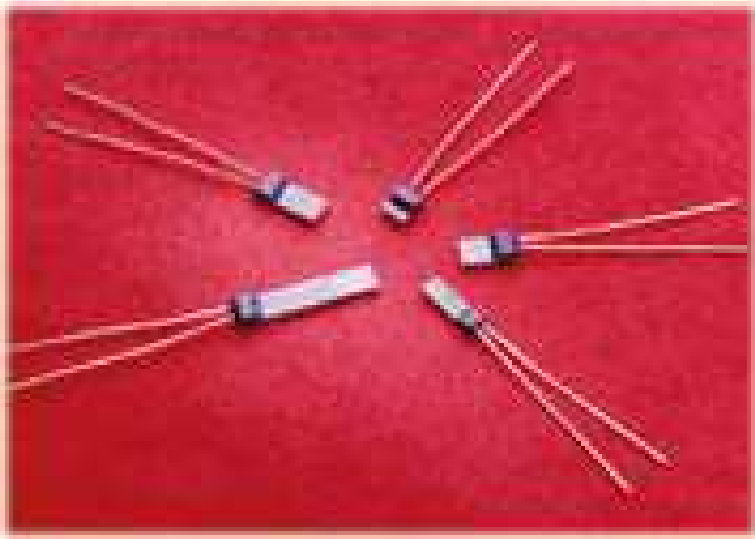
- 세라믹 기판(또는 실리콘 멤브레인) 위에 백금 박막을 특정의 패턴으로 증착한 소형 RTD

- 특징

- 고저항 (0 °C 에서 1000 Ω) 이기 때문에 저항 값 변화율이 크고 고감도
- 선로 도선의 저항(lead wire resistance)에 기인하는 오차가 작으므로 3선식 배선이 불필요
- 크기가 작고 박막이므로 열 응답성이 우수
- 넓은 온도범위(-200 °C ~ 540 °C)에 걸쳐 직선성이 우수



Platinum Thin Film RTD Elements

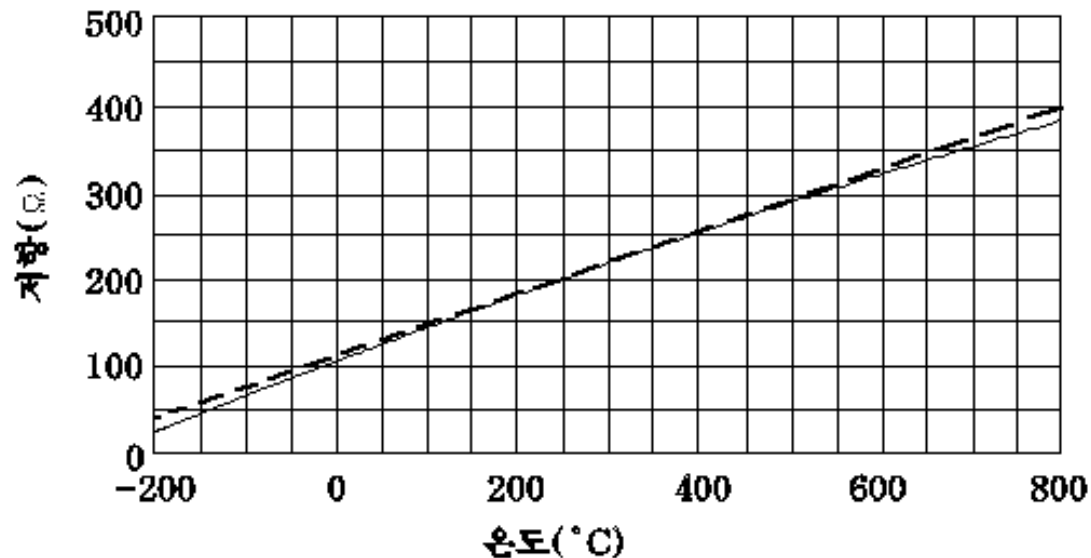


Platinum Thin Film RTD Elements

■ RTD 특성

• 감도

- 백금 RTD의 저항온도 특성이다. RTD의 감도는 저항 온도계수 α 의 값으로부터 결정될 수 있다.
- 백금의 온도계수는 약 $0.004[/^{\circ}\text{C}]$: 이것은 온도가 약 1°C 만큼 변하면, $100\ \Omega$ RTD의 저항이 $0.4\ \Omega$ 만큼 변함을 의미한다.



백금 RTD의 저항-온도 특성

- **확도**

- IEC751 표준에는 백금 RTD의 허용 오차에 대해서 2 종류(class A와 class B)를 규정하고 있다. 0 °C 에서 허용오차(tolerance)는

클래스 A : $\pm(0.15+0.002 [T \text{ } ^\circ\text{C}]) \text{ } ^\circ\text{C}$

클래스 B : $\pm(0.3+0.005 [T \text{ } ^\circ\text{C}]) \text{ } ^\circ\text{C}$

Class A		
Temperature °C	Deviation	
	ohms	°C
-200	±0.24	±0.55
-100	±0.14	±0.35
0	±0.06	±0.15
100	±0.13	±0.35
200	±0.20	±0.55
300	±0.27	±0.75
400	±0.33	±0.95
500	±0.38	±1.15
600	±0.43	±1.35
650	±0.46	±1.45

Class B		
Temperature °C	Deviation	
	ohms	°C
-200	±0.56	±1.3
-100	±0.32	±0.8
0	±0.12	±0.3
100	±0.30	±0.8
200	±0.48	±1.3
300	±0.64	±1.8
400	±0.79	±2.3
500	±0.93	±2.8
600	±1.06	±3.3
650	±1.13	±3.6
700	±1.17	±3.8
800	±1.28	±4.3
850	±1.34	±4.6

- 응답시간

- 일반적으로, RTD의 응답시간은 0.5~5 s 정도이다. 응답이 느린 이유는 센서가 주위온도와 평형상태로 되는 데 시간이 걸리기 때문이다

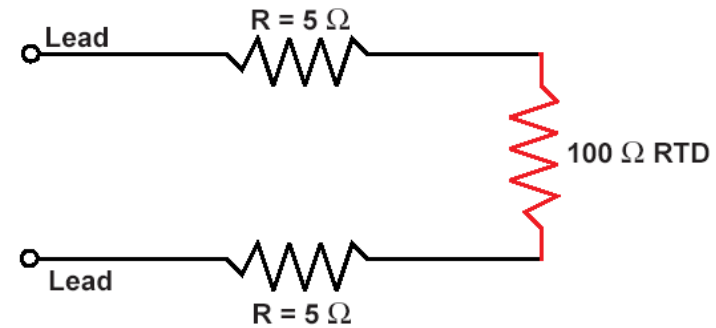
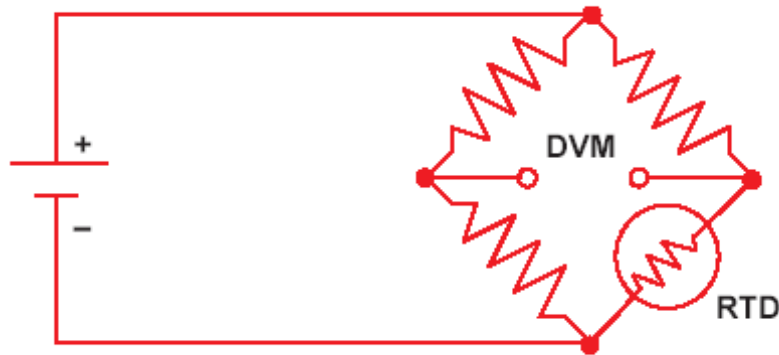
- 소비전력

- 자기가열(自己加熱; self heating)에 의한 영향으로 센서의 지시온도는 실제의 온도보다 약간 더 높다
- 필요한 정밀도를 얻기 위해서는 가능한 한 RTD에 흐르는 전류를 충분히 작고 일정하게 유지해야 한다.
- RTD의 소비전력(dissipation constant)은 RTD 온도를 1°C 증가시키는데 필요한 전력[W/°C]으로 주어진다. 예를 들면, 25 mW/°C는 소비전력 I^2R 이 25[mW]이면, RTD는 1 °C만큼 가열됨을 의미한다.
- 일반적인 사용에서 RTD에 흐르는 전류는 2~10 mA 이하이다.

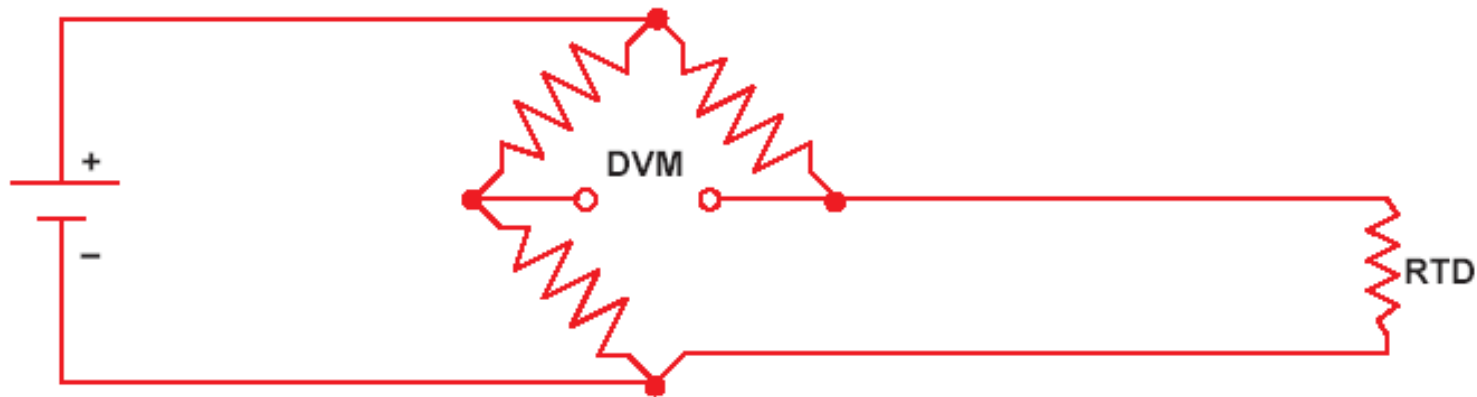
■ 응용 회로

• 리드 선의 영향

- 백금 RTD로 온도를 측정하는 경우 통상 휘트스톤 브리지를 사용한다. 이 경우 백금선의 저항이 작기 때문에 도선의 저항을 무시할 수 없다.

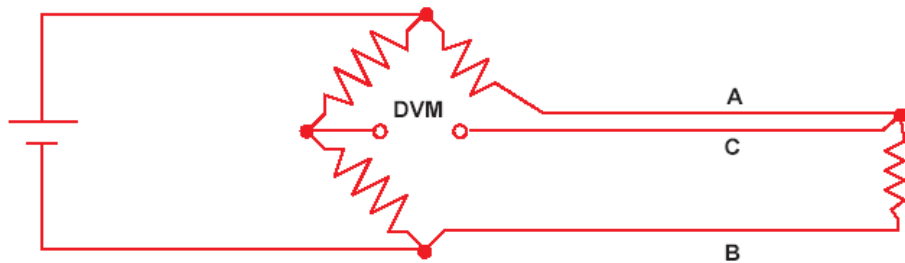


Effect of lead resistance

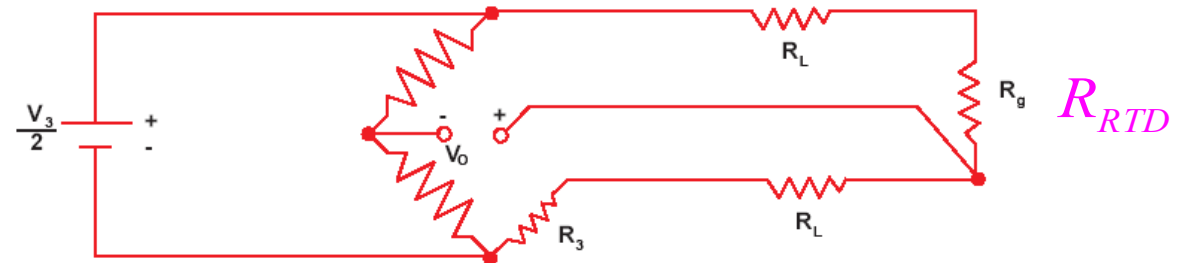


• 3선식 브리지

- 3선식의 브리지 접속법을 사용하여 리드선의 저항을 상쇄시킨다.
- 만약 A와 B의 길이가 완전히 매칭되면, 각각은 브리지의 반대 변(arm)에 있기 때문에 그들의 임피던스 영향은 상쇄된다.
- 3번째 선 C는 sense lead로만 작용하고, 전류는 흐르지 않는다.



3-wire bridge



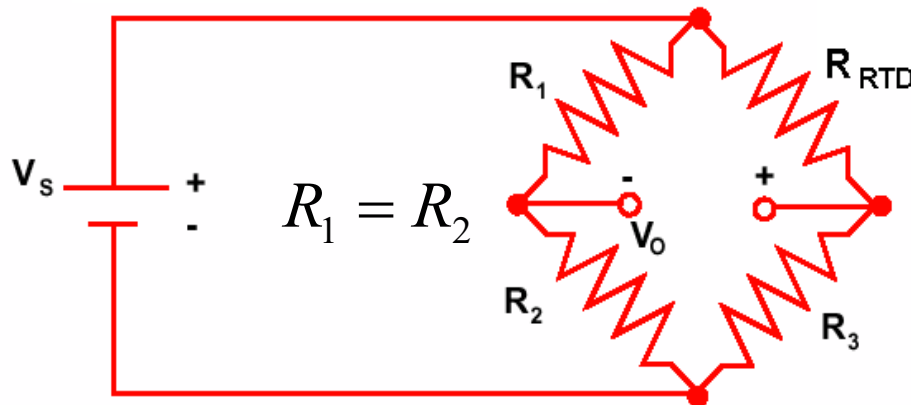
- 3 선식 브리지는 저항변화-출력전압변화 사이를 비직선 관계로 만든다.
- 이 경우, 브리지 출력전압을 등가의 RTD 저항으로 변환하기 위한 추가의 방정식이 요구되기 때문에 RTD의 비직선 온도-저항 특성을 심화시킨다

- 3선식의 브리지 접속법의 오차
만약 리드 선의 영향이 없다면, V_S 와 V_O 을 안다면, R_{RTD} 을 구할 수 있고, 그 다음 온도에 대해서 풀면 된다.

$$V_o = \frac{R_3}{R_3 + R_{RTD}} V_S - \frac{1}{2} V_S$$

$$R_{RTD} = R_3 \frac{V_S - 2V_o}{V_S + 2V_o}$$

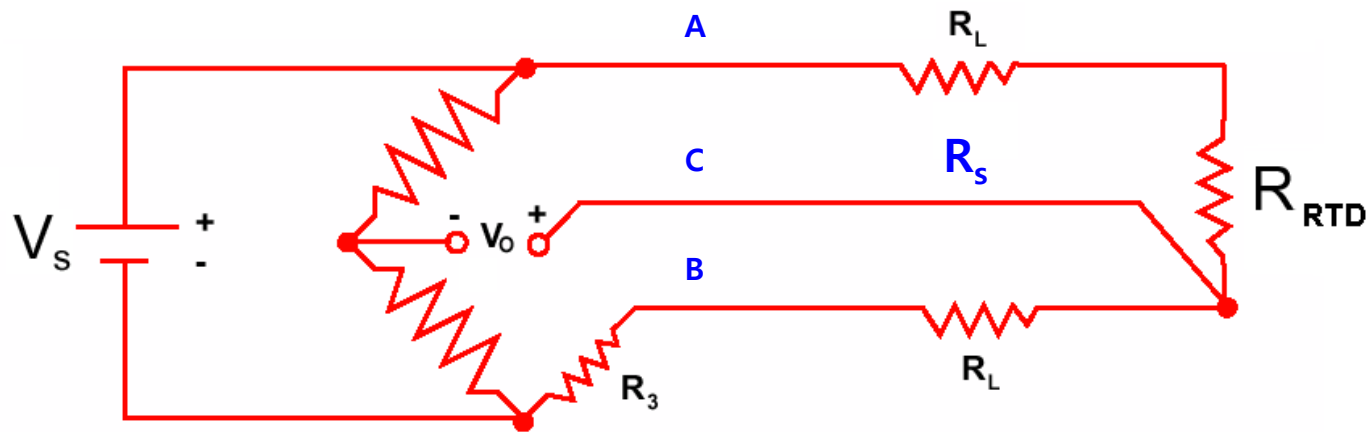
만약 $R_3 = R_{RTD}$ 이면, $V_o = 0$ 이다.



만약 R_{RTD} 가 3선식 브리지로부터 어느 거리만큼 떨어져 위치하면, 리드 선 저항 R_L 이 나타난다.

3선의 길이 같은 경우 ($R_L = R_S$) : B와 C 선으로 리드 선 저항 측정하여 보상함 $\rightarrow R_{RTD} = (R_L + R_{RTD} + R_S) - (R_S + R_L)$

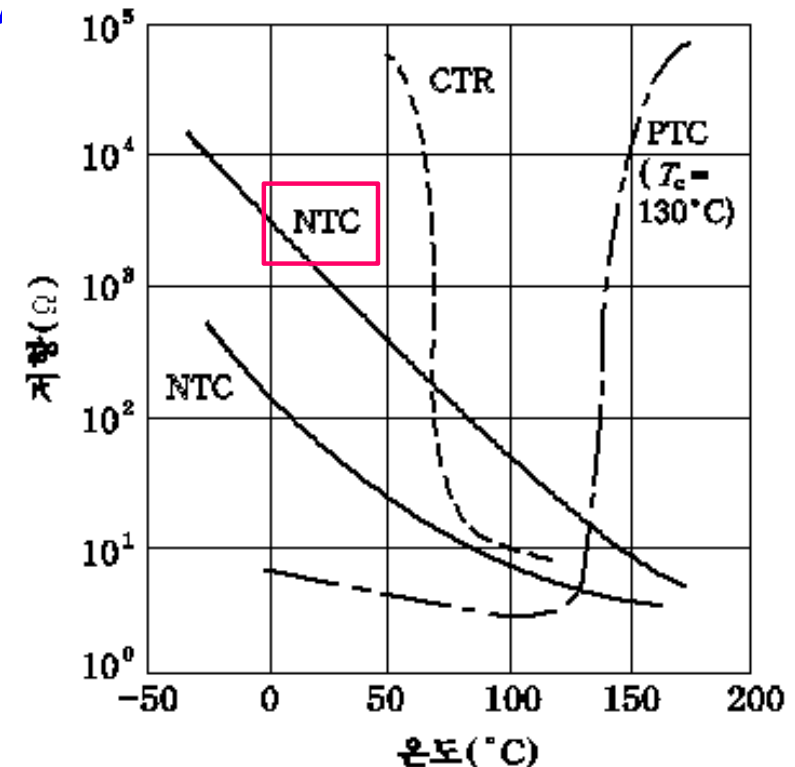
$$R_{RTD} = R_3 \frac{V_S - 2V_o}{V_S + 2V_o} - R_L \frac{4V_o}{V_S + 2V_o}$$



4.3 서미스터

- 서미스터 (thermistor)

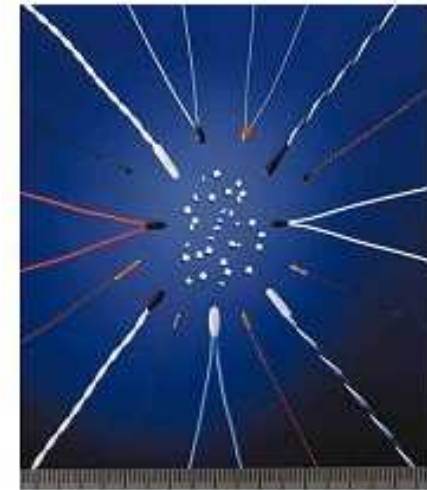
- 서미스터(thermistor; thermal resistor 또는 thermally sensitive resistor의 줄임)는 주로 반도체의 저항이 온도에 따라 변하는 특성을 이용한 온도센서
- 저항온도 특성에 따라 다음과 같이 분류
 - * NTC(negative temperature coefficient)
 - * PTC(positive temperature coefficient)
 - * CRT(Critical temperature resistor)
- 보통 서미스터라고 부르는 것은 NTC를 말한다.
- PTC와 CRT는 특정한 온도영역에서 저항이 급변하기 때문에 넓은 온도영역의 계측에는 부적합하다.



■ NTC 서미스터

• 구조와 동작원리

- Ni, Mn, Co계 금속산화물(Mn_2O_3 , NiO , Co_2O_3 , Fe_2O_3)의 분말을 두 개의 측정용 도선과 함께 소결(燒結; sintering)한 것.
- NTC 서미스터에는 여러 형태가 있다.

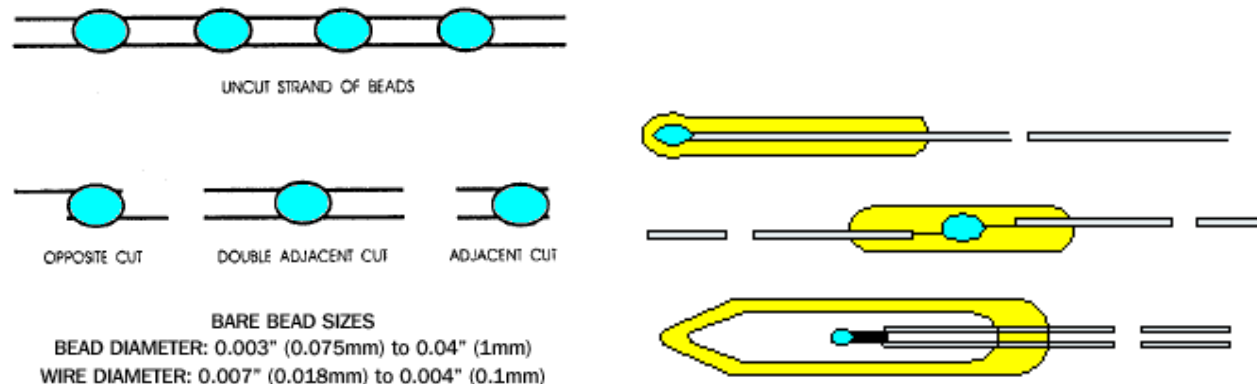


* 비드형(bead type)

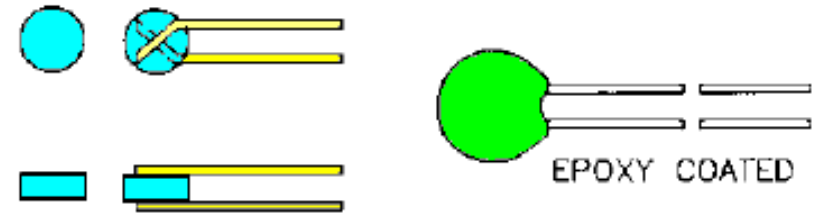
표면이 유리가 코팅되어 있어 안정성이 우수하고, 소형이고 열용량(熱容量)이 작아 열 응답 속도가 빠르다 (공기 중에서 1.5~10 s 정도).

이는 백금 RTD로서는 얻을 수 없는 응답 속도이다.

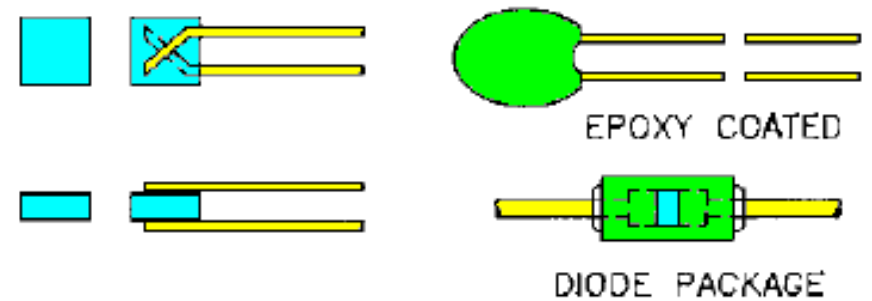
고온에 견디고, 호환성, 재현성 등이 좋은 특징을 갖는다.



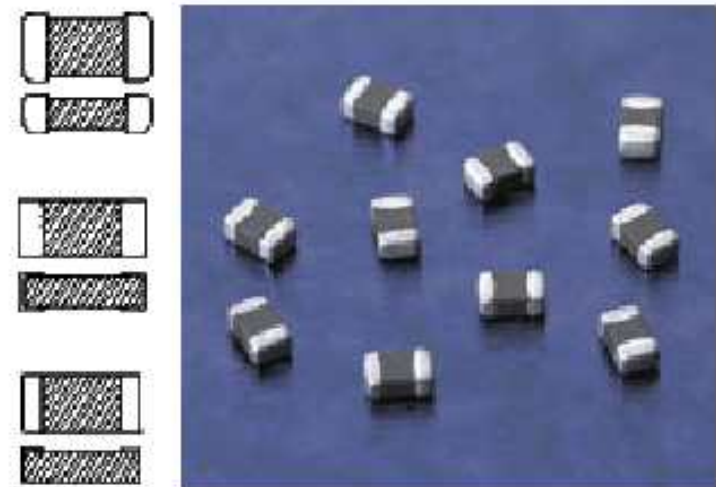
* **디스크형(disc type)** : 내환경성 등이 문제가 있어 사용조건이 제한적이거나 가격이 저렴하므로 엄격한 조건을 필요로 하지 않는 경우에 사용된다.



* **칩형(chip type)** : 소형으로, 안정도가 높고 양산에 적합하기 때문에 저가이며, 디스크형에 비해서 응답속도가 빠르다.



* **표면 실장형(surface mount)** : 리드를 부착하지 않은 서미스터이며, 하이브리드 IC 또는 PCB에서 금속 패드(pad)에 솔더링이나 도전성 에폭시로 직접 부착한다.



■ NTC 서미스터의 특성

- β 와 감도 : 저항-온도특성

- NTC 서미스터의 저항 값은 온도가 증가함에 따라 감소한다.

$$R = R_o \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right]$$

R_o : T_o 에서 서미스터 저항

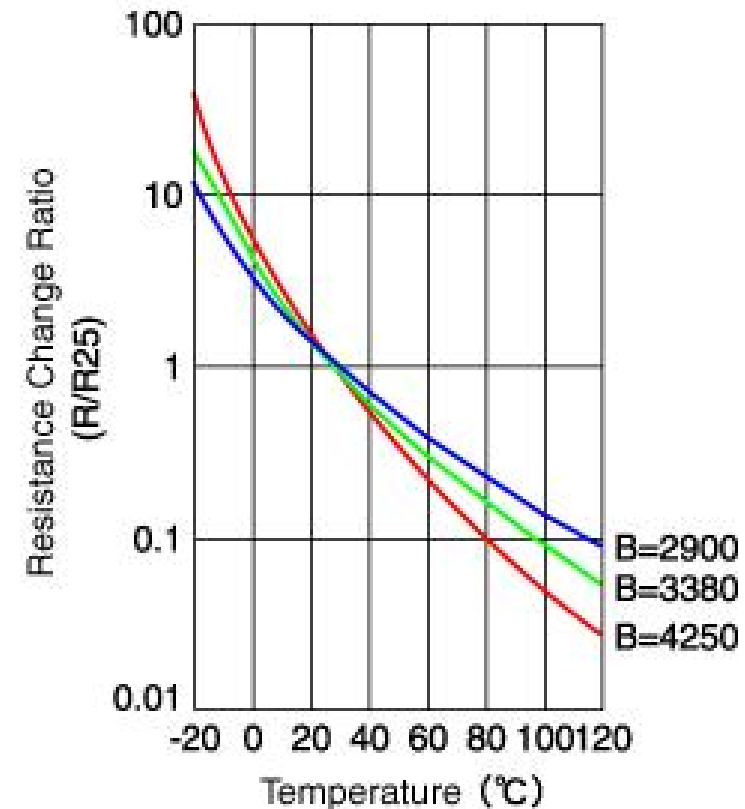
β : 특성온도(characteristic temperature)

- β 표현식

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)} \ln \left(\frac{R}{R_o} \right)$$

- β 값 : 보통 2000~6000 K (고온용에서는 6000~12000 K)

- 초기 저항 값이 같더라도 β 가 다르면 특성은 달라진다.



- β 에 의해서 서미스터의 특성이 결정되기 때문에 서미스터 정수라 한다.
- β 정수는 서미스터를 제작할 때의 성분이나 열처리 방법에 따라 정해지는데, 각각의 서미스터에 고유한 것이다.
- β 정수는 온도에 따라 증가하는 온도 의존성을 갖는다.
- 서미스터 저항의 온도계수(TCR) 또는 상대감도(relative sensitivity) : α

$$\frac{dR}{dT} = B \left(-\frac{1}{T^2} \right) R$$

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2}$$

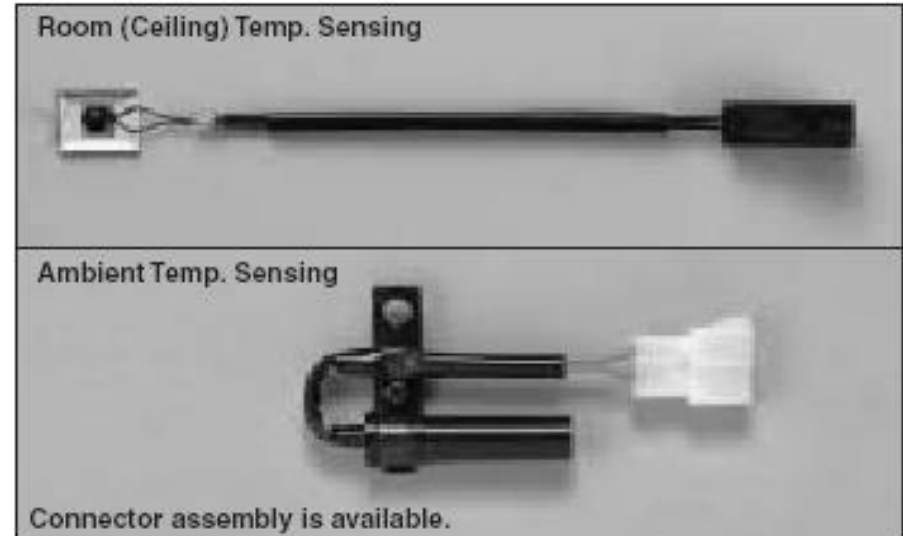
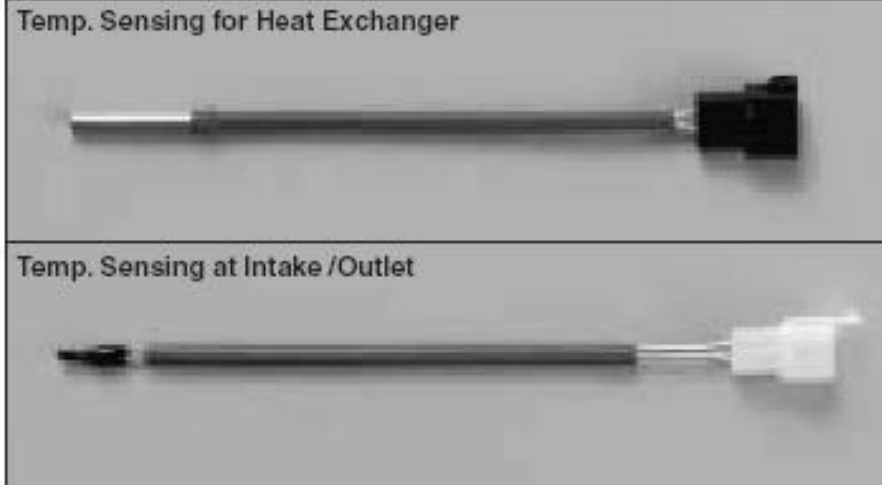
- α 가 온도에 반비례하므로 NTC는 낮은 온도에서 더 감도가 높다.
- (예) : 25 °C에서 $\beta = 4000 \text{ K}$ 라면

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} = -\frac{4000}{(298.15)^2} \approx -0.045$$

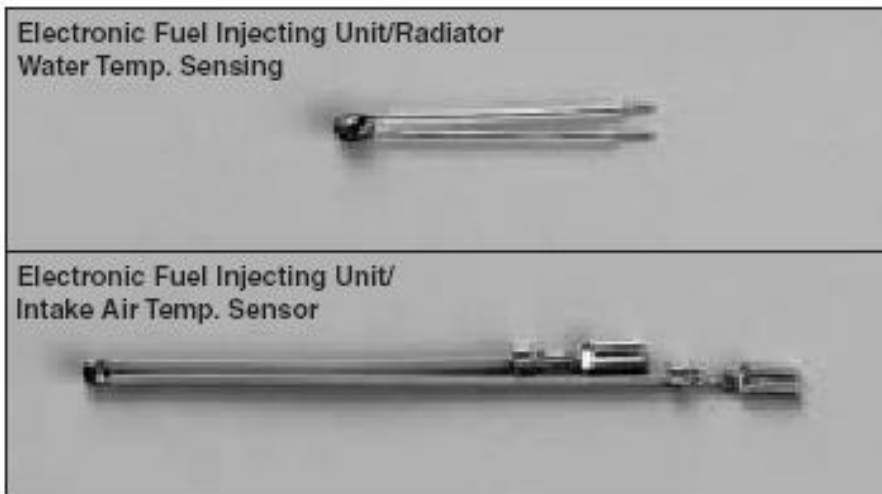
- α 의 대표적인 값은 -5[%/K]이며, 온도계수는 백금 저항선의 약 10배.

NTC thermistor 자동차에 응용

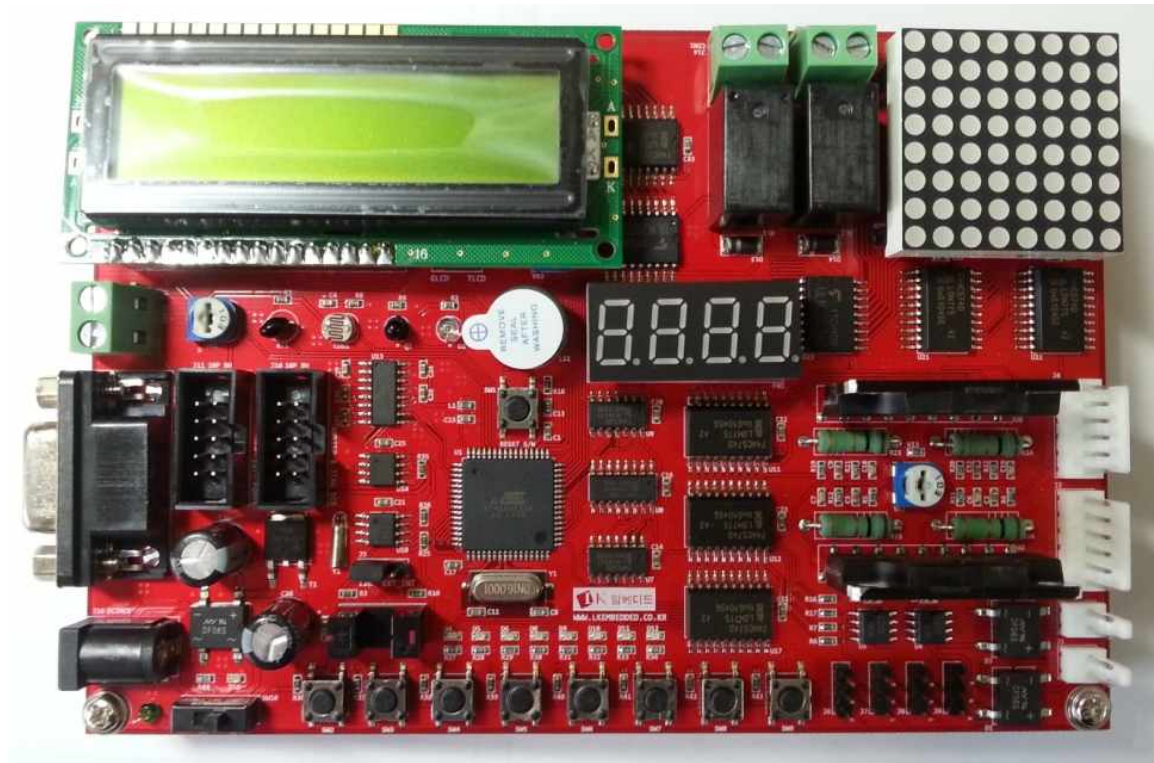
■ Automobile Airconditioner



■ For Electronic Fuel Injection Devices



Sensor System Design



- Text LCD
- Text LCD 동작 원리

- 과제내용

- 기본 예제 프로그램 이해 및 발표
- 예제 프로그램을 수정하여 예제 프로그램과 다르게 표현
- 4주차에 이어 스위치와 FND의 프로그램 합치기를 계속 진행