

제 10 장 온도측정

10.1 가변저항 변환기 요소

* 금속선의 저항변화

- 길이의 변화
- 온도의 변화

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

ρ ; 도체의 고유저항 (비저항, 저항률) (resistivity) ($\Omega \cdot cm$)

L; 도체의 길이

A; 도체의 단면적

- 온도의 변화

$$\begin{aligned} \text{고유저항 } \rho_t &= \rho_0(1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \dots) \\ &\simeq \rho_0(1 + \alpha_1 t) \end{aligned}$$

온도에 따른 열팽창계수 << 온도계수 => 물체의 저항을 온도의 함수로 간주

물질	고유저항 ($\times 10^{-8} \Omega m$) 20°C	온도계수	
은	1.62	0.0038	
동	1.69	0.00393	
알루미늄	2.83	0.009	
백금	10.5	0.003	
철	10.0	0.0050	
강	10~20		
운모	$(0.04 \sim 200) \times 10^{13}$		

* 텅스텐; 온도계수 0.0045

20°C에서 8.2 Ω -> 2500°C에서 100 Ω (100V, 100W)

* 측온저항체: resistance temperature detector (RTD)

온도에 민감한 동, 백금, 은

저항온도계: 온도계수: +, 미소

사용범위: -200 ~ 1000°C

10.2 Thermistor

Ni, Co, Mn, Fe, Cu 화합물을 혼합 압축소결

온도계수: -

저온영역: -100 ~275°C

$$R_1 = R_0 \exp\left(B\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

저항온도계수

$$a = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{dR_1}{dT_1}$$

$$= -\frac{B}{T_1^2}$$

특징: 고감도, 소형

0.001°C 측정가능

다양한 형태

사용법: bridge 이용

풍속, 유속계

일정한 전류를 흘려서 정상상태의 온도유지

이때 기류가 존재하면 thermistor가 냉각, 저항상승

-> 전류가 일정하므로 전압상승

예)

PBN-41E-K2 공칭 5KΩ(25°C), 芝浦電子製作所(일본)

온도 (°C)	저항 (KΩ), ±5% 공차		
	하한값	기준값	상한값
1	13.36	14.35	15.38
10	9.16	9.76	10.38
20	6.166	6.516	6.869
30	4.209	4.448	4.688
50	2.055	2.203	2.355
80	0.08014	0.8745	0.9520
100	0.4609	0.5082	0.5590

PBN-43-D2 공칭 10KΩ(25°C), 芝浦電子製作所(일본)

온도 (°C)	저항 (KΩ), ±5% 공차		
	하한값	기준값	상한값
0	29.175	30.00	15.38
10	18.825	19.531	20.248
20	12.458	13.033	13.624
30	8.4382	8.3965	9.3725
50	4.1203	4.4057	4.7073
80	1.6065	1.7492	1.9031
100	0.92386	1.0165	1.1176

10.3 Thermocouple

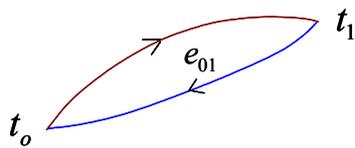
열전대(Thermo-couple, Thermo-junction)

J. Seebeck(1770~1831) 이 1822년에 발견

Seebeck 효과:

2종금속 (동, 납)을 접합하고 루프를 만든 후에, 접합점을 가열하면 루프에 전류가 발생

- 접속부의 온도(t_0)과 단자의 온도(t_1)간에 차이가 있으면, 기전력 (전류) 발생
- Peltier 효과와 Thomson 효과에 의하여 발생



Peltier 효과 기전력: 2개의 이종금속의 접합한 루프에 전류를 가하면 접속부의 온도가 변화

Thomson 효과 기전력: 도체를 따른 온도구배에 기인 (Peltier 효과 기전력에 비하여 매우 적으므로 무시한다)

(i) 한가지 종류의 균일한 성질의 금속의 회로에서는 형상, 온도분포, 가열등에 무관, 전류가 없음

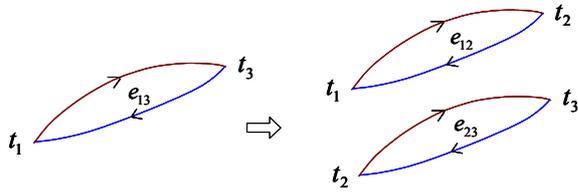
(ii) 중간금속의 법칙

회로의 일부에 중간금속을 삽입하여도 그 중간금속의 양단의 온도가 같으면, 열기전력에 영향을 주지 않는다.

(iii) 중간온도의 법칙

열전대의 양단의 온도가 t_1, t_3 일 때의 기전력(e_{13})은, $t_1 \sim t_2$ 일 때의 기전력(e_{12})와, $t_2 \sim t_3$ 일 때의 기전력(e_{23})의 합과 같다.

$$e_{13} = e_{12} + e_{23}$$



중간 온도의 법칙

재료:

(B) 백금 30%, Rhodium(원자번호 45) + 백금 6% Rh

(K) Chromel(90% Ni-10% Cr) + Alumel(95% Ni-2% Mn-2% Al)

(J) Iron + Constantan (구리54% 니켈40~50% Mn 1%의 합금)

(T) Copper + Constantan

J type 열전대의 특성:

$$E = (5.0372753027 \times 10^{-2} xC + 3.0425491284 \times 10^{-2} xC^2 - 8.5669750464 \times 10^{-5} xC^3 + 1.3348825735 \times 10^{-7} xC^4 - 1.7022405966 \times 10^{-10} xC^5 + 1.9416091001 \times 10^{-13} xC^6 - 9.6391844859 \times 10^{-17} xC^7) \times 10^{-3} \text{ mV}$$

(0°C 기준, -210 ~ 760 °C)

$$C = 1.9750953 \times 10 xE - 1.8542600 \times 10^{-1} xE^2 + 8.3683958 \times 10^{-3} xE^3 - 1.3280568 \times 10^{-4} xE^4 \quad (^\circ\text{C}) \quad (0 \sim 400 \text{ } ^\circ\text{C})$$

K type 열전대의 특성:

$$E = (-1.8533063273 \times 10 + 3.8918344612 \times 10 xC + 1.6645154356 \times 10^{-2} xC^2 - 7.8702374448 \times 10^{-5} xC^3 + 2.2835785557 \times 10^{-7} xC^4 - 3.5700231258 \times 10^{-10} xC^5 + 2.9932909136 \times 10^{-13} xC^6 - 1.2849848798 \times 10^{-16} xC^7 + 2.2239974336 \times 10^{-20} xC^8 + 125e^{-\frac{1}{2}((C-127)/65)^2}) \times 10^{-3} \text{ mV}$$

(0°C 기준, 0 ~ 1372 °C)

$$C = -2.4707112 \times 10 + 2.9465633 \times 10 xE - 3.1332620 \times 10^{-1} xE^2 + 6.5075717 \times 10^{-3} xE^3 - 3.9663834 \times 10^{-5} xE^4 \quad (^\circ\text{C})$$

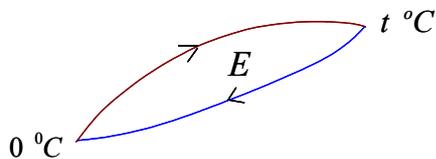
(400 ~ 1000 °C)

T type 열전대의 특성:

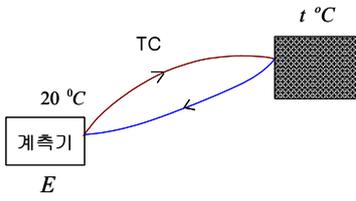
$$E = (3.8740773840 \times 10 xC + 3.3190198092 \times 10^{-2} xC^2 + 2.0714183645 \times 10^{-4} xC^3 - 2.1945834823 \times 10^{-6} xC^4 + 1.1031900550 \times 10^{-8} xC^5 - 3.0927581898 \times 10^{-11} xC^6 + 4.5653337165 \times 10^{-14} xC^7 - 2.7616878040 \times 10^{-17} xC^8) \times 10^{-3} \text{ mV}$$

(0°C 기준, 0 ~ 400 °C)

$$C = 2.5661297 \times 10 xE - 6.1954869 \times 10^{-1} xE^2 + 2.2181644 \times 10^{-2} xE^3 - 3.5500900 \times 10^{-4} xE^4 \quad (^\circ\text{C}) \quad (0 \sim 400 \text{ } ^\circ\text{C})$$



예 16.1) 계측기의 기준온도: 20 °C, T형 열전대, 전위차계의 지시량; 2.877 mV
 측정온도 $t^{\circ}C$ 은 ?



sol)

중간온도의 법칙

$$E_{x_0} = E_{x_{20}} + E_{20_0}$$

E_{x_0} ; 0 °C를 기준한 기전력

$E_{x_{20}}$; 20 °C를 기준한 측정온도에서의 기전력

E_{20_0} ; 0 °C를 기준한 20 °C에서의 기전력

표 또는 다항식으로부터

$$E_{20_0} = 0.789mV$$

$$\Rightarrow E_{x_0} = 2.887 + 0.789 = 3.666mV$$

표 또는 다항식으로부터

$$T_m = 86^{\circ}C$$

* 보상도선 (연장선)

열전대와 계기간의 원거리 연결

구리, 구리-니켈합금

10.4 비 접촉식 고온측정

* Pyrometry

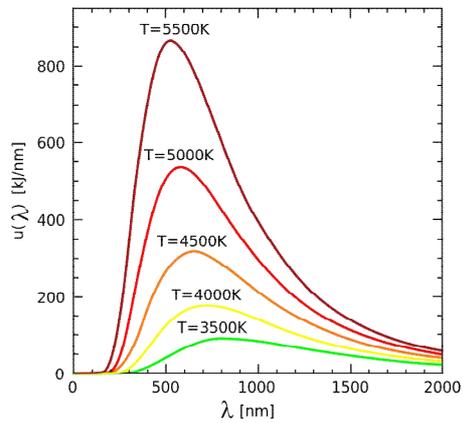
Wien 변위법칙 (Wien's displacement law) 이용

1893년 빌헬름 빈이 실험 결과를 바탕으로 발표

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}$$

복사에너지가 최대가 되는 파장은 절대온도에 반비례한다.

$$b = 2.897721 \times 10^{-3} \text{ mK}$$



흑체 복사 스펙트럼의 에너지 분포

적외선 고온 측정과 IR 온도 기록

열화상

적외선 온도기록

10.5 광학적인 고온 측정

물체의 색과 필라멘트의 색이 같게 되도록 하여 온도측정

(참고문헌 1; Fig.16.23)

복사고온계

Stefan - Boltzman 법칙 응용

흑체의 온도와 비교

$$W_T = (W_b)_R = \epsilon (W_b)_T$$

$(W_b)_R$; R K의 흑체의 복사에너지

$(W_b)_T$; T K의 흑체의 복사에너지

ϵ ; 전복사율

pyrometry에서 측정되는 온도; R °K

$$\sigma R^4 = \epsilon \sigma T^4$$

$$T = \frac{R}{\sqrt[4]{\epsilon}}$$

예) 복사온도계로 강괴의 온도를 측정

측정된 온도; 970°C, 전복사율; 0.84

$$\text{참된 온도; } T = \frac{(970 + 273)}{\sqrt[4]{4 \cdot 0.84}} = 1298 \text{ } ^\circ K \Rightarrow 1025^\circ C$$