

제 9 장 온도측정

* 참조: 참고문헌 (2) *

9.1 측온저항체 (Resistance Temperature Detector: RTD)

* 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

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

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

9.2 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) 芝浦電子製作所(일본)

PBN-41E-K2 공칭 5kΩ(25°C)

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)

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

9.3 Thermocouple

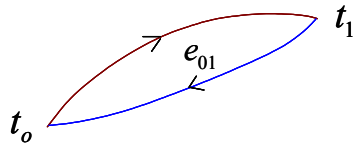
9.3.1 열전대(Thermo-couple, Thermo-junction)

J. Seebeck(1770~1831) 이 1822년에 발견

Seebeck 효과:

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

- 접촉부의 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 접촉부의 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

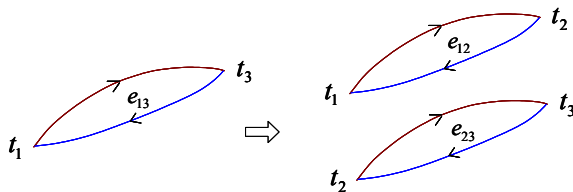
(ii) 중간금속의 법칙

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

* 보상도선 (연장선)

열전대와 계기간의 원거리 연결

구리, 구리-니켈합금

9.3.2 열전대 종류

재료:

(1) B 타입

백금-30% Rhodium(원자번호 45) + 백금- 6% Rh (0°C ~ 1820°C)

(2) K 타입

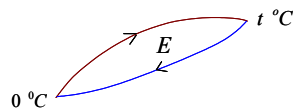
Chromel(90% Ni-10% Cr) + Alumel(95% Ni-2% Mn-2% Al - 1% Si) (-270°C~1372°C)

(3) J 타입

Fe + Constantan (Cu - 43% Ni) (-210°C~1200°C)

(4) T 타입

Copper + Constantan (Cu - 43% Ni) (-270°C~400°C)



* 참고: NIST Monograph 175 *

(1) J type 열전대의 특성:

$$E = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + \dots + c_n t^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

	-210°C to 760°C	760°C to 1200°C
$c_0 =$	0.000 000 000 0	$2.964\ 562\ 568\ 1 \times 10^2$
$c_1 =$	$5.038\ 118\ 781\ 5 \times 10^{-2}$	-1.497 612 778 6
$c_2 =$	$3.047\ 583\ 693\ 0 \times 10^{-5}$	$3.178\ 710\ 392\ 4 \times 10^{-3}$
$c_3 =$	$-8.568\ 106\ 572\ 0 \times 10^{-8}$	$-3.184\ 768\ 670\ 1 \times 10^{-6}$
$c_4 =$	$1.322\ 819\ 529\ 5 \times 10^{-10}$	$1.572\ 081\ 900\ 4 \times 10^{-9}$
$c_5 =$	$-1.705\ 295\ 833\ 7 \times 10^{-13}$	$-3.069\ 136\ 905\ 6 \times 10^{-13}$
$c_6 =$	$2.094\ 809\ 069\ 7 \times 10^{-16}$	.....
$c_7 =$	$-1.253\ 839\ 533\ 6 \times 10^{-19}$	.....
$c_8 =$	$1.563\ 172\ 569\ 7 \times 10^{-23}$	.....

$$t = c_0 + c_1 E + c_2 E^2 + c_3 E^3 + \dots + c_n E^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

Temperature Range:	-210°C to 0°C	0°C to 760°C	760°C to 1200°C
emf Range:	-8.095 mV to 0.0 mV	0.0 mV to 42.919 mV	42.919 mV to 69.553 mV
$c_0 =$	0.000 000 0	0.000 000	$-3.113\ 581\ 87 \times 10^3$
$c_1 =$	$1.952\ 826\ 8 \times 10^1$	$1.978\ 425 \times 10^1$	$3.005\ 436\ 84 \times 10^2$
$c_2 =$	-1.228 618 5	$-2.001\ 204 \times 10^{-1}$	-9.947 732 30
$c_3 =$	-1.075 217 8	$1.036\ 969 \times 10^{-2}$	$1.702\ 766\ 30 \times 10^{-1}$
$c_4 =$	$-5.908\ 693\ 3 \times 10^{-1}$	$-2.549\ 687 \times 10^{-4}$	$-1.430\ 334\ 68 \times 10^{-3}$
$c_5 =$	$-1.725\ 671\ 3 \times 10^{-1}$	$3.585\ 153 \times 10^{-6}$	$4.738\ 860\ 84 \times 10^{-6}$
$c_6 =$	$-2.813\ 151\ 3 \times 10^{-2}$	$-5.344\ 285 \times 10^{-8}$	.....
$c_7 =$	$-2.396\ 337\ 0 \times 10^{-3}$	$5.099\ 890 \times 10^{-10}$	.....
$c_8 =$	$-8.382\ 332\ 1 \times 10^{-5}$	.....	.....

(2) T type 열전대의 특성:

$$E = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + \dots + c_n t^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

	-270 $^\circ$ C to 0 $^\circ$ C	0 $^\circ$ C to 400 $^\circ$ C
$c_0 =$	0.000 000 000 0	0.000 000 000 0
$c_1 =$	$3.874\ 810\ 636\ 4 \times 10^{-2}$	$3.874\ 810\ 636\ 4 \times 10^{-2}$
$c_2 =$	$4.419\ 443\ 434\ 7 \times 10^{-5}$	$3.329\ 222\ 788\ 0 \times 10^{-5}$
$c_3 =$	$1.184\ 432\ 310\ 5 \times 10^{-7}$	$2.061\ 824\ 340\ 4 \times 10^{-7}$
$c_4 =$	$2.003\ 297\ 355\ 4 \times 10^{-8}$	$-2.188\ 225\ 684\ 6 \times 10^{-9}$
$c_5 =$	$9.013\ 801\ 955\ 9 \times 10^{-10}$	$1.099\ 688\ 092\ 8 \times 10^{-11}$
$c_6 =$	$2.265\ 115\ 659\ 3 \times 10^{-11}$	$-3.081\ 575\ 877\ 2 \times 10^{-14}$
$c_7 =$	$3.607\ 115\ 420\ 5 \times 10^{-13}$	$4.547\ 913\ 529\ 0 \times 10^{-17}$
$c_8 =$	$3.849\ 393\ 988\ 3 \times 10^{-15}$	$-2.751\ 290\ 167\ 3 \times 10^{-20}$
$c_9 =$	$2.821\ 352\ 192\ 5 \times 10^{-17}$	.....
$c_{10} =$	$1.425\ 159\ 477\ 9 \times 10^{-19}$	.....
$c_{11} =$	$4.876\ 866\ 228\ 6 \times 10^{-22}$	.....
$c_{12} =$	$1.079\ 553\ 927\ 0 \times 10^{-24}$	.....
$c_{13} =$	$1.394\ 502\ 706\ 2 \times 10^{-27}$	.....
$c_{14} =$	$7.979\ 515\ 392\ 7 \times 10^{-31}$	.....

$$t = c_0 + c_1 E + c_2 E^2 + c_3 E^3 + \dots + c_n E^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

Temperature Range:	-200 $^\circ$ C to 0 $^\circ$ C	0 $^\circ$ C to 400 $^\circ$ C
emf Range:	-5.603 mV to 0.0 mV	0.0 mV to 20.872 mV
$c_0 =$	0.000 000 0	0.000 000
$c_1 =$	$2.594\ 919\ 2 \times 10^1$	$2.592\ 800 \times 10^1$
$c_2 =$	$-2.131\ 696\ 7 \times 10^{-1}$	$-7.602\ 961 \times 10^{-1}$
$c_3 =$	$7.901\ 869\ 2 \times 10^{-1}$	$4.637\ 791 \times 10^{-2}$
$c_4 =$	$4.252\ 777\ 7 \times 10^{-1}$	$-2.165\ 394 \times 10^{-3}$
$c_5 =$	$1.330\ 447\ 3 \times 10^{-1}$	$6.048\ 144 \times 10^{-5}$
$c_6 =$	$2.024\ 144\ 6 \times 10^{-2}$	$-7.293\ 422 \times 10^{-7}$
$c_7 =$	$1.266\ 817\ 1 \times 10^{-3}$	.....

(3) K type 열전대의 특성:

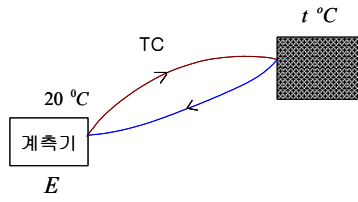
$$E = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + \dots + c_n t^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

	-270 $^\circ\text{C}$ to 0 $^\circ\text{C}$	0 $^\circ\text{C}$ to 1372 $^\circ\text{C}$	0 $^\circ\text{C}$ to 1372 $^\circ\text{C}$ (exponential term)
$c_0 =$	0.000 000 000 0	-1.760 041 368 6 $\times 10^{-2}$	1.185 976 $\times 10^{-1}$
$c_1 =$	3.945 012 802 5 $\times 10^{-2}$	3.892 120 497 5 $\times 10^{-2}$	-1.183 432 $\times 10^{-4}$
$c_2 =$	2.362 237 359 8 $\times 10^{-5}$	1.855 877 003 2 $\times 10^{-5}$	.....
$c_3 =$	-3.285 890 678 4 $\times 10^{-7}$	-9.945 759 287 4 $\times 10^{-8}$	.....
$c_4 =$	-4.990 482 877 7 $\times 10^{-9}$	3.184 094 571 9 $\times 10^{-10}$	.....
$c_5 =$	-6.750 905 917 3 $\times 10^{-11}$	-5.607 284 488 9 $\times 10^{-13}$	.....
$c_6 =$	-5.741 032 742 8 $\times 10^{-13}$	5.607 505 905 9 $\times 10^{-16}$	.....
$c_7 =$	-3.108 887 289 4 $\times 10^{-15}$	-3.202 072 000 3 $\times 10^{-19}$	.....
$c_8 =$	-1.045 160 936 5 $\times 10^{-17}$	9.715 114 715 2 $\times 10^{-23}$	.....
$c_9 =$	-1.988 926 687 8 $\times 10^{-20}$	-1.210 472 127 5 $\times 10^{-26}$	.....
$c_{10} =$	-1.632 269 748 6 $\times 10^{-23}$	.....	.....

$$t = c_0 + c_1 E + c_2 E^2 + c_3 E^3 + \dots + c_n E^n \quad (E \text{ [mV]}, t \text{ [}^\circ\text{C]})$$

Temperature Range:	-200 $^\circ\text{C}$ to 0 $^\circ\text{C}$	0 $^\circ\text{C}$ to 500 $^\circ\text{C}$	500 $^\circ\text{C}$ to 1372 $^\circ\text{C}$
emf Range:	-5.891 mV to 0.0 mV	0.0 mV to 20.644 mV	20.644 mV to 54.886 mV
$c_0 =$	0.000 000 0	0.000 000 0	-1.318 058 $\times 10^{-2}$
$c_1 =$	2.517 346 2 $\times 10^1$	2.508 355 $\times 10^1$	4.830 222 $\times 10^1$
$c_2 =$	-1.166 287 8	7.860 106 $\times 10^{-2}$	-1.646 031
$c_3 =$	-1.083 363 8	-2.503 131 $\times 10^{-1}$	5.464 731 $\times 10^{-2}$
$c_4 =$	-8.977 354 0 $\times 10^{-1}$	8.315 270 $\times 10^{-2}$	-9.650 715 $\times 10^{-4}$
$c_5 =$	-3.734 237 7 $\times 10^{-1}$	-1.228 034 $\times 10^{-2}$	8.802 193 $\times 10^{-6}$
$c_6 =$	-8.663 264 3 $\times 10^{-2}$	9.804 036 $\times 10^{-4}$	-3.110 810 $\times 10^{-8}$
$c_7 =$	-1.045 059 8 $\times 10^{-2}$	-4.413 030 $\times 10^{-5}$	.....
$c_8 =$	-5.192 057 7 $\times 10^{-4}$	1.057 734 $\times 10^{-6}$	.....
$c_9 =$	.....	-1.052 755 $\times 10^{-8}$	.....

예 16.1) 계측기의 기준온도: 20 °C, K형 열전대, 전위차계의 지시량; 2.759 mV
 측정온도 t °C 은 ?



sol)

중간온도의 법칙 사용

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

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

$$E_{20_0} = 0.798 \text{ mV}$$

중간온도의 법칙 적용

$$\Rightarrow E_{x_0} = 2.759 + 0.798 = 3.557 \text{ mV}$$

표 또는 다항식으로부터

$$T_m = 87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

9.4 반도체 온도 측정 소자

* Analog Device AD590

150 °C 이하에서 사용

PIN CONFIGURATIONS

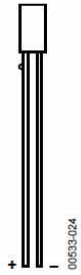
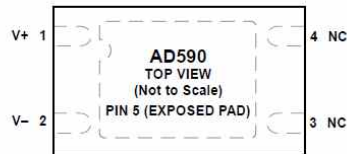


Figure 1. 2-Lead FLATPACK



NOTES
 1. NC = NO CONNECT. THE NC PIN IS NOT BONDED TO THE DIE INTERNALLY.
 2. TO ENSURE CORRECT OPERATION, THE EXPOSED PAD (EP) SHOULD BE LEFT FLOATING.

Figure 2. 4-Lead LFCSP

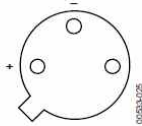


Figure 3. 3-Pin TO-52

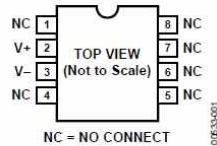


Figure 4. 8-Lead SOIC

GENERAL DESCRIPTION

The AD590 is a 2-terminal integrated circuit temperature transducer that produces an output current proportional to absolute temperature. For supply voltages between 4 V and 30 V, the device acts as a high impedance, constant current regulator passing 1 $\mu\text{A}/\text{K}$. Laser trimming of the chip's thin-film resistors is used to calibrate the device to 298.2 μA output at 298.2 K (25°C).

The AD590 should be used in any temperature-sensing application below 150°C in which conventional electrical temperature sensors are currently employed. The inherent low cost of a monolithic integrated circuit combined with the elimination of support circuitry makes the AD590 an attractive alternative for many temperature measurement situations. Linearization circuitry, precision voltage amplifiers, resistance measuring circuitry, and cold junction compensation are not needed in applying the AD590.

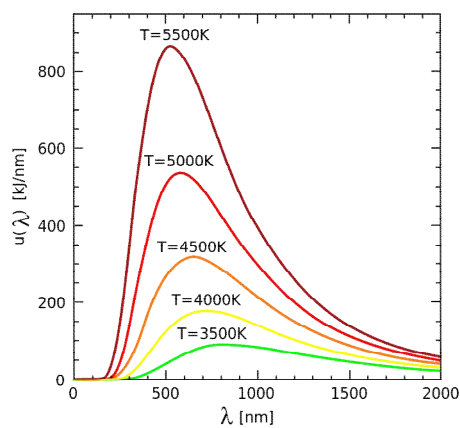
9.5 비 접촉식 고온측정

* 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



<https://www.fluke.com/ko-kr/product/thermal-cameras/rse600>

측정범위: $-10^{\circ}\text{C} \sim +1,200^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
적외선 spectrum:
 $8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$ (장파)