

2. 측온저항체 온도계

금속은 자기의 고유 저항값을 갖고 있으며 그 전기저항은 온도에 따라 일정하게 변하는 성질을 갖고 있다. 이러한 특성을 이용하여 순도가 아주 높은 금속선을 감온부로 만들어 온도 측정대상체에 접촉시켜 온도를 감지하게한다. 그리고 온도크기에 따라 변한 저항값을 저항측정기로 계측하여 온도눈금으로 바꾸어 읽는 전기식 온도계를 만들 수 있다. 이 온도계가 측온저항체온도계(Resistance Temperature Detector;약자로 RTD)이다.

사용도에 따라 교정기기인 표준백금 측온저항온도계(Standard Platinum Resistance Thermometer;SPRT)와 산업체에서 쓰고 있는 측정용인 산업용 저항온도계(Industrial Platinum resistance Thermometer;IPRT)로 구분한다.

산업용 측온저항체는 일반 측온저항체(KS C1603)와 시스측온저항체(KS C1616)으로 2가지 형이 한국 산업표준규격으로 규격화되어 있고,0℃에 대한 공칭저항이 100Ω인 것에 대해 규정하고 있다.

1821년에 Sir Humphry Davy 가 온도가 증가함에 따라 금속들이 전기전도도가 반비례한다는 현상을 발견하여 발표한 것이 측온저항체 온도계의 시초로 볼 수 있다. 1877년에 Sir William Siemens가 백금측온 저항온도계로 온도를 측정하는 방법을 처음으로 제시하였고 그 측정의 실현은 1877에 와서야 Hugh Callendar에 의해 오늘날과 같은 현대적 측온 저항온도계에 의한 온도측정이 시작되었다.

측온저항체의 온도에 대한 저항의 관계식은 Callendar의 방정식을 사용하여 구할 수 있다.

1927년도 국제 온도눈금(International Temperature Scale 1927;ITS-27)에서 중온도대역의 표준온도계로 채택되어 현재 사용중인 1990년도 국제 온도 눈금(ITS-90)에서는 고온으로 확대하여 표준온도계로 채택된 가장 정밀한 온도계이다.이 측온저항체 온도계의 측정신호인 전기저항은 열전대온도계와 달리 기준점점 보상에 따른 오차 발생요인이 없고,보상도선이 필요 없으며,높은 정밀도의 측온이 가능하다. 표준기(SPRT)는 0.001℃,산업용(IPRT)으로는 0.01℃까지 분해 측정이 가능하다.그러므로 측온 저항체온도계의 특성을 3S로 요약할 수있다.

- ①회로의 단순성(Simplicity of Circuits)
- ②측정의 민감성(Sensitivity of Measurements)
- ③감온의 안정성(Stability of Sensors)

측온저항체 온도계는 측온저항체,도선,계측기를 구성하여야 측온을 할 수 있다.

이 장에서는,측정중에 측정전류에 의한 자기가열,도선의 저항등에 의해 생기는 오차요인을 극복하여 가장 정밀한 측정을 할 수있는 것에 대해 설명하고자 한다.

여기서 설명하는 용어에 대해 혼돈을 막기위해 한국산업규격에서 규정하고 있는 용어의 뜻을 설명하였다.

- ① 측은저항체 : 저항소자,내부도선,보호관, 단자등으로 된 백금측온체.
- ② 시스측온저항체: 금속시스와 내부도선 및 저항소자 사이에 분말형태의 무기 절연물을 충전하여 하나의 몸체로한 구조로 가공된 백금 측은체.
- ③ 저항소자 : 피복이 없는 나선 또는 피복된 저항소선과 그것을 유지하는 구조체.
- ④ 내부도선 : 저항소자와 측은 저항체의 단자를 접속하는 도선.
- ⑤ 보호관 : 시스형이 아닌 측은저항체 (이하 일반형 측은저항체)의 저항소자 및 내부도선이 피측온물등에 직접접촉하지 않도록 보호하기위해 사용하는 관.
- ⑥ 표준저항소자 : 저항소자의 저항치가 온도에 따라 표준저항치의 표와 같이 변화하는 가상의 저항소자.여기서 R_t 및 R_0 는 각각 $t^\circ\text{C}$ 및 0°C 에서 저항소자의 저항치로 한다.
- ⑦저항소선 : 스 측은저항체 또는 일반 측은저항체의 측은부의 구성하는 백금선.
- ⑧규정전류 : 저항치의 측정을 하기위하여 저항소자에 연속해서 흘리는 전류치.
- ⑥ 단자 : 측은저항체 저항소자의 온도에 따른 저항변화를 일으키기위해 부착한 쇠붙이 또는 연장도선의 끝부분.

2.1 저항소자

2.1.1. 기본원리

가.금속의 저항특성

균일한 굵기의 순도높은 금속선이 온도 $t^\circ\text{C}$ 에서 나타내는 전기저항 $R_t(\Omega)$ 는 다음식으로 표현할 수 있다.

$$R_t = \rho_t \times l/A \text{ ----- 2.1}$$

여기서, ρ_t 는 온도 $t(^\circ\text{C})$ 에서 금속의 비저항($\Omega\cdot\text{cm}$), A 는 금속선의 단면적(cm^2)이고 l 은 금속선의 길이(cm)이다.

표2.1은 측은저항체의 소자로 사용하는 금속선의 비저항값이다.이 비저항값은 온도에 따라 변하며 그 금속마다 고유의 값을 갖는 특성값이다.

표.2.1. 각종 금속의 비저항과 특성

특성항목	금속류	P t	C u	N i	Balco 70%Ni.30%Fe	Tungsten
온도저항계수 $\frac{R_{100}-R_0}{R_0}$		0.0035850 ~ 003925	0.0042	0.0067	0.0052	0.0045
저항비 Resistivity(Ω m) 20℃ 서		9.81×10^{-6}	1.529×10^{-6}	5.91×10^{-6}	20.0×10^{-6}	4.99×10^{-6}
저항 대 온도의 선형성		아주 좋음	아주 좋음	나쁨	나쁨	매우 나쁨
사용 온도 범위		15K ~ 32℃	-100℃ ~ 50℃	-100℃ ~ 100℃	-100℃ ~ 100℃	-70℃ ~ 700℃

그림 2.1은 각종 금속의 온도에 따른 저항의 관계를 나타낸 것으로, 이를 일반적인 관계식으로 표현하면, 온도 $t(^\circ\text{C})$ 에서 금속의 전기저항 $R_t(\Omega)$ 은 다음과 같다.

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + \dots) \dots\dots\dots 2.2$$

여기서, R_0 은 0°C 에서의 저항, a 는 저항의 온도계수 ($\Omega/\Omega^\circ\text{C}$), $b, c \dots$ 들은 교정으로 정해지는 상수이다. 순순한 금속은 온도가 증가하면, 저항이 증가하므로 온도 1°C 당 변하는 저항비인 a 는 양수이다. 또한 각 금속 및 온도계마다 b, c, \dots 들의 상수가 다르므로, 이 값을 찾아내는 것을 교정이라 하며, 일단 이 값들이 정해지면 측정된 저항값으로 부터 온도를 알아낼 수 있다. 백금측온저항체의 온도-저항특성을 논리적으로 제안한 Callendar Equation을 살펴보면, 측정된 저항값으로 부터 알고자 하는 온도 $t(^\circ\text{C})$ 는 다음과 같다.

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + \delta \left(\frac{t}{100} \right) \cdot \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \dots\dots\dots 2.3$$

여기서 R_t 는 $t^\circ\text{C}$ 때의 저항값 (Ω), α 는 상수(온도 대 저항의 그래프의 선형성과 관련), δ 는 Callendar 상수로 약 1.50이다.

식 2.3을 순수금속의 일반적인 관계식이 식 2.1.2의 형태로 표현하면,

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad \dots\dots\dots 2.4$$

$$A = \alpha \times \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad \dots\dots\dots 2.5$$

$$B = - 10^{-4} \times \alpha \times \delta \quad \dots\dots\dots 2.6$$

이 된다. 여기서 식 2.5 와 식 2.6 으로 구한 A와 B는 교정에 의해 α 값을 알게되면 정해지는 값이다.

나. 저항온도계의 특성값

저항온도계의 특성을 나타내는 것은 다음 세가지가 있다.

(1) R_{100}/R_0

0℃와 100℃에서의 저항비로 1968 국제 실용 온도 눈금(International Practice Temperature Scale 1968:IPTS-68)에서 사용했다.

$$(2) \alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \times 100}$$

앞의 (1)의 저항비와 또다른 표현이다. α 값이 클 수록 금속의 순도가 높다는 것을 의미한다.

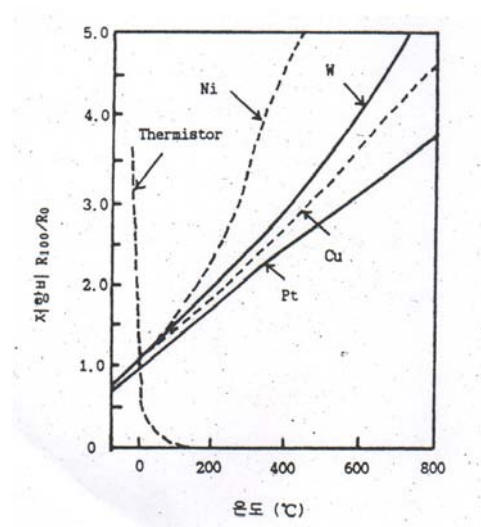


그림.2.1 각종금속의 온도 대 저항특성곡선

2.1.2.측은 저항소자의 종류

측은 저항소자의 소선재료에는 금속재료로서 Pt,Cu,Ni이 가장 많이 사용되며 0.004 ~ 0.007($\Omega/\Omega^{\circ}\text{C}$)의 온도계수를 갖고 있다. 따라서 측은저항체의 소선으로는 고순도로 제조하고 관리된 것을 사용할 필요가 있다.

가. 백금 저항소자

한국산업 표준규격 KS C 1603에서는 0 $^{\circ}\text{C}$ 때의 저항값이 100 Ω 인 백금 측은저항체에 대해 규정하고 있다.

(1) 공칭 저항값

백금 측은저항체에 대해 규정된 사항은 앞에서 설명한 제 2.1.1의 나항 (1)의 기준 저항소자의 저항비(R_{100}/R_0),정확도에 관련된 계급(Class,Grade),규정전류,사용온도의 범위 및 도선의 형식 등이다.

기준저항소자의 온도저항비인 R_{100}/R_0 의 값은 백금소선의 순도가 클 수록 높다.

이 저항비는 국가 산업규격으로 규격화 하여 국제적으로 호환사용토록 하였다.

우리나라 산업 규격에는 다음 두가지를 규격화 하였다.

저항비값이 1.3850 가 되는 저항소자를 Pt 100 Ω 으로 부른다.

저항비값이 1.3916 이 되는 저항소자를 KPt 100 Ω 이라고 부르며 일본 규격에서는 JPt 100 Ω 으로 부르며 한시적으로 사용하고 향후 폐기할 예정이다. 저항비가 틀린 두 가지의 기준소자를 취급하게 되므로 당분간 KPt 100 Ω 이 없어질 때까지는 구분 사용에 유의 해야한다.

저항비는 백금선을 다루는 공정의 횟 수가 많을 수록,세선으로 가공할 수록 순도가 떨어져 저항비가 작아지는데 소선경이 0.3mm인 표준백금측은저항체(SPRT)의 저항비는 1.3925, \emptyset 0.013mm ~ \emptyset 0.13mm의 선경의 백금선을 쓰는 정밀측정용과 일반용(IPRT)은 각각 1.3916이 상을, 1.3850이상의 것을 사용한다.

(2) 정도

백금 측은저항체의 계급 및 허용 온도오차는 대체적으로 각 나라의 규격이 비슷하며 ASTM(American Standard For Testing Materials)은 좀 더 높은 정도관리를 하고 있다.표.2.2 는 대표적인 국가규격들의 계급과 허용오차이며, 표.2.3은 각 온도에 대한 허용오차를 환산한 것이다.

(3) 규정전류

저항을 측정하기 위하여 브릿지회로에 구성시킨 측은저항소자에 전류를 흘려보내 준다.그 전류는 여러 제조사의 제품마다 일정해야하기 때문에 규격화 하였다.

그 규정 전류는1 mA,2mA 및 5mA이다.이중 5mA는 단위 온도변화에 큰폭의 저항값을 측정할 수 있으나 자기가열에 의한 오차가 있어 A급측정에는 적용하지 않는다. 이보다 더 나쁜 정도(精度)를 각오하고 하는 측정에는 10mA 를 쓰기도 한다.

(4) 사용온도

KS C1603에서 정하고 있는 백금저항체의 사용 온도범위는 표.2.4와 같이 -200℃ 에서 650℃

까지이나, ITS-90에서는 표준 백금저항 온도계가 13.81K(평형수소의 삼중점)에서 961.78℃ (銀의 응고점) 구간에서 표준기로 정하였다. 그러므로 측온저항 온도계는 고정밀도를 갖고 저온부터 고온까지 측정할 수있는 온도계임을 알 수 있다. 그러나 고온에서 사용할 때 사용시간에 따라 백금소선의 열충격 등에 의해 저항값이 감소하는 현상이 있어 고온용의 소선은 굵은 것을 선택해야 한다.

표.2.2 각국의 규격에서의 백금측온 저항체의 계급 및 허용 온도오차

규격		계급	허용 온도 오차
번호	제목		
KS C 1603-91 JIS C 1604-89	측온저항체 測溫抵抗體	A 급	$\pm(0.15 + 0.002 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$
		B 급	$\pm(0.3 + 0.005 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$
ASTM E1137-87	Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers	Grade A	$\pm(0.13 + 0.0017 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$
		Grade B	$\pm(0.25 + 0.0042 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$
BS1904-84 DIN,IEC751-83	Industrial Platinum Resistance Thermometer Sensors.	Class A	$\pm(0.15 + 0.002 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$
		Class B	$\pm(0.3 + 0.005 \times) \text{ } ^\circ\text{C}$

표 2.3. 백금측온저항체의 온도에 대한 허용오차

관련규격 계급 허용오차 측정온도℃	KS C 1603-91, JIS C 1604-89 BS1904-84, DIN,IEC751-83				ASTM E 137			
	A		B		A		B	
	온도℃	저항Ω	온도℃	저항Ω	온도℃	저항Ω	온도℃	저항Ω
-200	±0.55	±0.21	±0.13	±0.50	±0.47	±0.20	±0.11	±0.47
-100	±0.95	±0.14	±0.80	±0.31	±0.30	±0.12	±0.67	±0.27
0	±0.15	±0.06	±0.30	±0.12	±0.13	±0.05	±0.25	±0.10
100	±0.35	±0.13	±0.80	±0.31	±0.30	±0.11	±0.67	±0.25
200	±0.55	±0.21	±1.30	±0.50	±0.47	±0.17	±1.10	±0.40
300	±0.75	±0.29	±1.80	±0.693	±0.64	±0.23	±1.50	±0.53
400	±0.95	±0.37	±2.30	±0.89	±0.81	±0.28	±1.90	±0.66
500	±1.15	±0.44	±2.80	±1.08	±0.98	±0.33	±2.40	±0.78
600	±1.35	±0.52	±3.30	±1.27	±1.15	±0.37	±2.80	±0.88
650	±1.45	±0.56	±3.60	±1.39	±1.24	±0.40	±3.00	±0.94

표 2.4 백금측온저항체의 사용온도 범위

기 호	구 분	사용 온도의 범위
L	저온용	-200℃ ~ 0.00℃
M	중온용	0℃ ~ 350℃
H	고온용	0℃ ~ 350℃ ⁽¹⁾

그림 2.2는 백금측온저항체의 온도특성을 나타내는 그래프이며 온도 t(℃)에서의 저항값 R_t(Ω)는 다음의 관계식을 만든다.

$$R_t = R_0 \{1 + At + Bt^2 + C(t-100) \times t^3\} \dots\dots\dots 2.7$$

여기서, R₀ : 0℃일 때의 저항값.

$$A : 3.90802 \times 10^{-3}(\text{℃}^{-1})$$

$$B : -5.802 \times 10^{-7}(\text{℃}^{-2})$$

$$C : \begin{cases} -4.2735 \times 10^{-12}(\text{℃}^{-4}) , & -200\text{℃} \sim 0\text{℃} \text{ 구간에서.} \\ 0 & 0\text{℃} \sim 650\text{℃} \text{ 구간에서.} \end{cases}$$

2.1.3. 저항소자의 구조

저항소자는 제조방법에 따라 구분하고 소재에 따라 구분하여 별도의 이름을 갖는다. 저항소선(백금선)을 어떤 절연물질에 감아서 만든 권선형 측온 저항소자(Wire Wound Type RTD)가 있다.

그리고 얇은 세라믹판에 백금을 증착한 후 저항비를 맞추어 저항회로로 만든 박막형 저항소자(Thin Film Type RTD)가 있다. 대체적으로 저항소선을 권선한 권선형 측온저항소자와 박막형 측온저항소자로 구분하여 사용한다.

가. 권선형 측온저항소자.(Wire Wound Type RTD)

이 권선형에는 저항소선을 용수철처럼 권선하여 고순도의 알루미늄이나 세라믹관에 삽입 조립한 것을 세라믹형 측온저항소자(Ceramic Type RTD)라고, 유리에 감아서 만든 것을 그라스형 측온 저항소자(Glass Type RTD), 그리고 운모판에 감은 것을

마이커형 측온 저항소자(Mica Type RTD)라고 부른다.

권선축(Bobbin)이나 절연재는 사용 온도범위내에서 전기적으로 완전한 절연체로 존재하여야 하고 소선에 해가 되는 가스가 방출하지 않아야 한다. 또한 소선에

기계적 충격 또는 열팽창 및 수축에 의한 응력을 주지 않는 Strain Free 구조가 좋다. 절연재로 사용되는 재료로는 운모(Mica), Fused Silica, 고순도 알루미나(Al_2O_3), 마그네시아(MgO)와 인조 Sapphire 등이 있다.

운모(Mica)는 고순도의 재질이 쉽게 얻을 수 있고, 낮은 온도에서 절연성이 우수하여 일반 산업용으로 가장 많이 사용되었던 권선축 재료이다.

그러나 고온분야로 측정범위가 확장되면서 갖게 되는 문제점으로 600°C 부근 이상에서 증기를 발생하여 저항소선의 취성을 주고, 절연저항이 나빠져 측정에 적합하지 않게 된다.

고순도 알루미나(99.6% ~ 99.99%)는 융점이 높고 거의 단결정에 가까운 안정된 물질이다. 그리고 고온에서 전기절연저항이 높고 안정성이 높아 고온용 축온저항소자의 절연재로 많이 사용되고 있다.

권선형 축온저항체는 일반적으로 고온용, 고정밀 온도측정에 사용된다.

축온 저항소자의 권선 저항소선은 측정온도의 상승 하강이 반복하는 과정에서 팽창·수축하기 때문에 Strain Free 구조로 제작된 것이 좋다. 그림.2.4는 이러한 구조로 만든 권선형 RTD의 투과사진이다.

소자의 연장도선으로는 보통 백금선을 많이 쓰고 Pt-5%Rh 이나 백금을 도금한 Ni-Fe선이 많이 사용된다.

나. 박막형 축온저항 소자(Thin Film Type RTD)

박막형 축온저항 소자는 자동화를 통해 대량생산이 가능하며 그 특징은 다음과 같다.

- ① 값이 싸다.
- ② 대량생산이 가능하며,
- ③ 감도가 권선형보다 빠르고,
- ④ 판상이므로 실측정시 열방사에 의한 오차, 온도분포 불평형에 의한 오차가 방지된다,

단점으로는 정밀도가 권선형보다 떨어지는 점과 소자와 연장선이 수지(樹脂)접착제로 접착되어 고온에서 견디기 어려우므로 고온측정이 어렵다.

2.1.4. 축온저항체의 조립

축온 저항체는 축온 저항 소자, 연장도선, 절연재료, 보호관 및 단자판으로 조립하여 만들어진 온도측정용 감지기이다.

축온저항체는 보호관으로 조립한 일반형 축온저항체와 시스형 축온저항체 등 두 종류가 있다.

가. 일반형 축온저항체

보호관으로 조립한 일반 축온 저항체는 단자형태에 따라 그림2.2와 같이 두가지 규격이 있다.

(1) 보호관

보호관은 1장.열전대에서 설명한 것과 같고 대체로 금속관을 쓰고 특수한 경우 화학물질에는 테프론을 코팅하여 사용하기도 한다.보호관의 규격은 표 2.5와 같다.

표.2.5 축온저항체 보호관의 규격

외 경(mm)	길 이 (mm)
∅ 1.2, ∅ 8, ∅ 8, ∅ 10, ∅ 1.0 ;	250.300.350.400. 500.750.1000

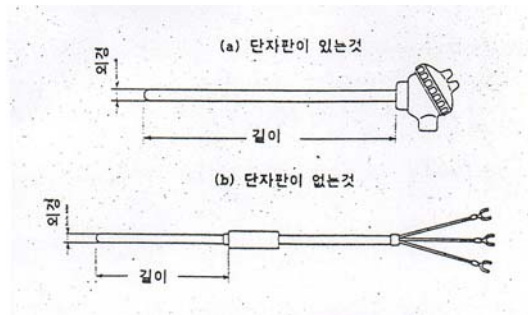


그림.2.2. 일반 축온저항체

(2) 내부도선

보호관내부에 들어 있는 내부도선은 그림 2.3 과 같이 도선저항의 대책으로 계측기의 회로와 결선하는 도선 수에 따라 2 도선식, 3 도선식, 그리고 4 도선식으로 제작된다.

내부도선은 부분적인 온도변화가 크기 때문에, 균질하고 순도 높은 금속선을 사용해야 한다. 또한, 사용 온도범위에서 증발, 산화 및 변질이 없어야 하고, 도선의 저항특성은 1도선에 대한 저항이 0.5Ω/m 이하가 되어야 한다. 다만 보호관의 바깥지름이 ∅4.8mm 미만인 경우에는 이 제약을 두지 않는다. 이러한 조건을 만족하며, 저항값이 비슷한 금속선으로는 고순도 백금선, 고순도 은, 고순도 금등이 가장 좋다.

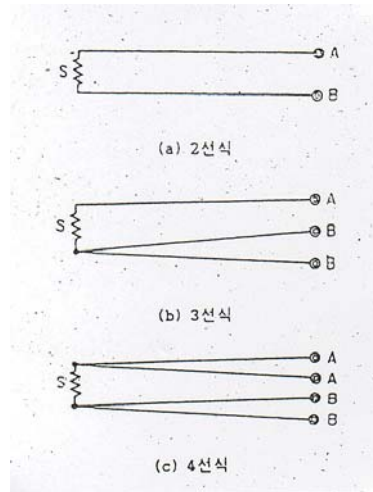


그림.2.3. 축온 저항체의 내부 도선방식

나. 시스 축온저항체

시스축온저항체는 열전대의 경우처럼 보호관을 사용하지 않고, 내부도선을 보호관과 같은 역할을 하는 금속시스에 넣고 분말로된 무기절연재를 충전한 일체화한 "금속보호관"(M.I Cable)인 시스 케이블 내부도선체에 축온저항소자를 연결하여 다시 용접밀봉을 하여 일반 축온저항체와 다른 특수한, 내진동성과 굽힘성이 좋은, 축온저항체이다.

금속시스의 재질 무기절연재는 앞에서 설명한 시스 열전대와 같으나, 내부도선은 Ni선 또는 Cu선등이 시판되고 있다.

2.2. 온도측정

저항온도계의 측정회로 브리지(Bridge)를 기본으로 하여, 여러가지 용도에 적합한 응용회로를 구성하여 측정한다.

감지부인 축온저항체를 측정대상체에 접촉시키는 방법 및 유의사항은 열전대 감지부를 취급하는 방법과 같다.

2.2.1 계측방법

가. 기본원리

저항측정은 브리지로 하는 것이 기본이다.

브리지회로의 종류는 율러 브리지(Muller Bridge), 휘스톤 브리지(Weaston Bridge), 켈빈 브리지(Kelvin Bridge) 등이 있다. 이 브리지의 회로는 저마다 특성이 있다. 여기서는 휘스톤 브리지를 통해 저항측정의 기본원리를 설명한다.

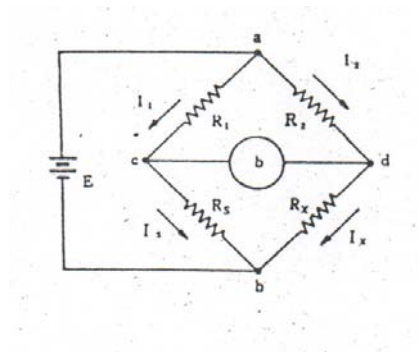


그림.2.4 휘스톤 브릿지(Weaststone Bridge)

그림.2.2.1에서 미지의 저항 R_x 를 측정하기 위하여 저항 R_1, R_2 의 비를 적당히 선택한 후(두 저항값을 같게 한다) 검류계 b 가 0을 지시할 때까지 R_s 를 조절한다.

즉, 절점 (Node)C,D사이의 전위차가 0 V일 때 검류계는 0을 지시하고 이때에 브릿지가 평형이 되었다고 한다.

그러므로 브릿지의 평형조건에 의해

$$i_1 R_1 = i_2 R_2 \quad \dots\dots\dots 2.8$$

이 되며, 검류계의 전류가 영(0)이 되기 위해서는

$$i_1 = i_s = \frac{E}{R_1 + R_s} \dots\dots\dots 2.9$$

$$i_2 = i_x = \frac{E}{R_2 + R_x} \dots\dots\dots 2.10$$

이어야 한다. 식.2.8, 식.2.9, 그리고 식.2.10으로 부터

$$\frac{R_1}{R_1 + R_s} = \frac{R_2}{R_2 + R_x} \dots\dots\dots 2.11$$

$$R_1 \cdot R_x = R_2 \cdot R_s \dots\dots\dots 2.12$$

로 되는데 식.2.11 과 식.2.12를 휘스톤 브릿지의 평형식이라고 한다. 이것으로 부터 측온저항체의 저항값 R_x 를 유도해 낼 수 있다.

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \times R_s \dots\dots\dots 2.13$$

여기서 R_s 의 정밀 정확도에 의해 R_x 의 측정 정확도가 결정된다. 물론 정밀한 전류 i 를 책임지는 표준전지 E 의 정도에 따라 측정의 불확도가 결정 된다.

나. 내부도선종류와 측정회로

(1) 4선식 결선

이 4선식 결선은 표준용 저항온도계의 교정등 극히 고정도 온도측정에 사용한다. 저항 측정회로의 도선과 전류의 측정용 도선을 구분하여 도선의 저항을 등가로 만들어 도선저항에 의한 오차를 배제한 것이다.

그러므로 4선식 측정은 그림 2.6와 같이 측정기의 회로에 두 가지로 결선하여 2회 측정한다. 이것은 저항 측정기에 부착되어 있는 스위치로 절환한다.

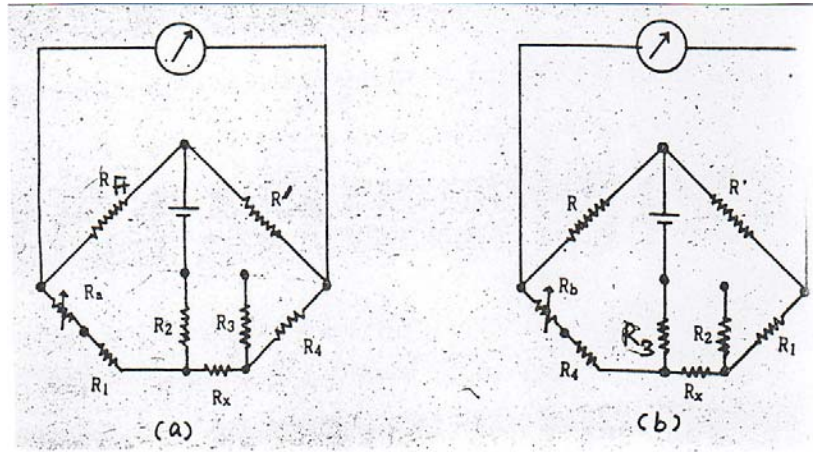


그림.2.6. 4 도선식 저항측정회로

위의 그림.2.6. 에서 R_a 와 R_b 는 가변저항이고 R_1, R_2, R_3 와 R_4 는 4도선들의 저항이다. R 과 R' 은 브릿지 내부의 고정저항으로 같은 저항값을 갖는다. 먼저 회로 (a)를 키르호프(Kirchhof)법칙으로 풀어보면,

$$R + R_a + R_1 + R_2 = R' + R_4 + R_x + R_2 \dots\dots\dots 2.13$$

이것을 정리하면

$$R_a + R_1 = R_4 + R_x \dots\dots\dots 2.14$$

이번에는 (b) 회로를 풀면,

$$R + R_b + R_4 + R_3 = R' + R_1 + R_x + R_3 \dots\dots\dots 2.15$$

$$R_b + R_4 = R_1 + R_x \dots\dots\dots 2.16$$

식 2.14 과 식 2.16 으로 부터 알고자하는 측온 저항값 R_x 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_x = \frac{R_a + R_b}{2} \dots\dots\dots 2.17$$

여기서 식 2.17을 통해 R_x 의 측정값은 도선의 저항 R_1, R_2, R_3, R_4 과는 무관함을 알 수 있다.

(2) 3 도선식 결선

3 도선식은 대부분의 산업용 축온저항체에 적용하는 결선방식이다.

그림 2.7은 위의 4 도선식 측정회로(a)와 같은 회로이다. 그러므로 해석하는 방법도 같다.

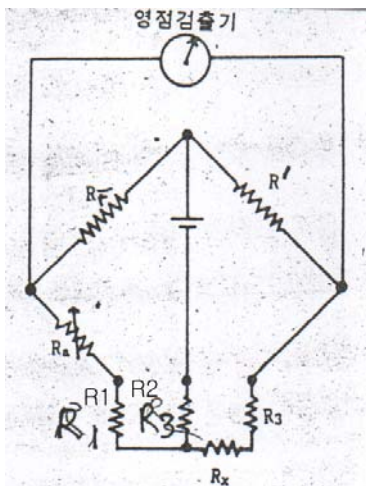
$$R + R_a + R_1 + R_2 = R' + R_3 + R_x + R_2 \dots\dots\dots 2.18$$

$$R_a = R_x + (R_3 - R_1) \dots\dots\dots 2.19$$

가 된다. 여기서 도선의 저항 R_3 와 R_1 같으면 오차가 없어진다.

$$R_a = R_x \dots\dots\dots 2.2.14$$

3 도선식 결선측정은 도선의 저항이 같다고 보고 측정하는 것이다.



그러므로 도선은 재질, 선경, 길이 및 전기저항 계수가 같고, 전체 길이에 걸쳐 동일한 온도분포가 되도록 해야한다.

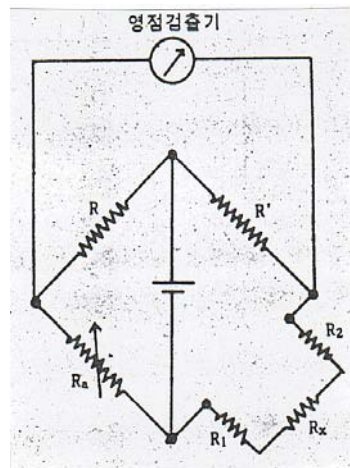


그림.2.27. 3도선식 저항측정기 회로

그림.2.28. 2선식 저항측정회로

(3) 2 도선식 결선

2 도선식의 측정은 도선의 저항이 측온저항소자의 저항값과 직렬합성이 되어 도선의 저항값과 연장도선의 주변온도 변화에 따라 일정하지 않는 합성저항의 오차를 감수해야 하는 측정회로이다. 그림.2.28.회로에 키르호프법칙을 적용하여 풀면,

$$R + R_a = R_1 + R_x + R_2 + R' \quad \dots\dots\dots 2.21$$

$$R_a = R_x + (R_1 + R_2) \quad \dots\dots\dots 2.22$$

2 선식 측정용 계측기에 도선으로부터 합성되는 외부저항을 계기에 표시되어 있는 규정치에 맞게 조정해두어야 한다.

다. 표준측정방식

저항온도계의 표준측정방식은 요구되는 측정정도에 따라 표.2.6과 같이 구분된다.(KS C1606-91)

표.2.6 . 측온 저항체를 사용하는 표준 측정 방식

적 용		A 1 측정	B 1 측정	C 1 측정	D 1 측정
		표준의 선정 또는 상용표준기의 교정	일반계기의 교정 또는 이에 준하는 온도교정	일반 온도측정	저급측정
측정 정밀도		약 ±0.1℃	정격치의 약 ±5.0%	정격치의±10~±1.5%	정격치의 약 ±2.5%
구 성	측온저항체	() : 온저항체로서 A 1보다 정확도가 좋은 것.(0.1℃ 내에서 교정을 한것)	B 1보다 정확도가 좋은 것.	B 1보다 정확도가 좋은 것.	서미스터 측온체로서 1.5보다 정확도가 좋은 것.
	계측기	브릿지, 전우차계, 디지털 전압계 (0.01% 이내의 교정을 한 것)	0.3 : 상당 전자식 자동평형 계기, 브릿지, 디지털 전압계 (0.3)	(1) 항용 변환기를 사용하지 않을 때 1.0 : 전자식 자동평형 계기. 1.0 : 가동코일형 계기 1.0 : 증폭기가 붙은 가동코일형 계기. 디지털 온도계 (1.0) (2) 항용 변환기를 사용할 때 0.5 : 전자식 자동평형 계기. 0.5 : 가동코일형 계기 디지털 온도계 (0.5)	2.0 : 상당 가동코일형 계기 디지털 온도계 (2.0)
	() : 온저항체의 결선방식	4 도선식	4 :선식 또는 3 :선식	3 도선식 또는 2 도선식	-

비고 “0.3급 상당”등의 표현은 유효 측정 범위에서의 백분율을 오차의 값을 가지고 표시한 계측기의 정밀도의 계급을 알기 쉽게함을 뜻한다.

라.측정의 오차 요인

- (1) 자기가열(Self Heating)에 의한 오차
- (2) 기생 열기전력(Thermo Electric Forces)에 의한 오차.

- (3) 브릿지의 온도변화에 의한 오차
- (4) 접촉저항(Contact Resistance)에 의한 오차
- (5) 도선의 온도변화에 의한 오차
- (6) 시간지연에 의한 오차
- (7) 방사열에 의한 오차
- (8) 고속기류에 의한 오차
- (9) Johnson Noise에 의한 오차