

접착형 박막측온 Gauge의 온도특성에 관한 연구

The Study on the Temperature characteristics of the Contact-Type Thin Film Temperature Gauge

한 응 교,** 이 명 호*, 박 준 서*, 전 준 탁*
E. G. Han, M. H. Lee, J. S. Park, J. T. Jun

기 호 설 명

A_w : Section of the leading wire (cm²)
 b : Width of thin film elements(cm)
 d : Thickness of thin film elements(cm)
 h : Heat conductivity of circumference of leading wire (W/cm °C)
 i : Electric current (mA)
 K_w : Heat conductivity of leading wire (W/cm °C)
 l : Length of the elements (cm)
 n : R/R_p
 P : Electrical power (W)
 P_w : Circumference of the leading wire
 ppm : Parts per million
 q_f : Heat flux (W/cm²)
 R_p : Resistance of temperature gauge (Ω)
 R_B : Resistance in the adaptor (Ω)
 R_T : Resistance in the T °C (Ω)
 R_0 : Resistance in the 0 °C (Ω)
 R_1 : Resistance in the T_1 °C (Ω)
 R_2 : Resistance in the T_2 °C (Ω)
 r : Resistance of lead line (Ω)
 r_w : Radius of a leading wire (cm)
 S : Section of the elements (cm²)
 S_a : Self-generation of heat (mv/°C)

T_w : Temperature of leading wire
 ΔT : Infinitesimal variation of temperature
 U : The coefficient of linear expansion
 U_m : Average value of the coefficient of linear expansion
 ΔV : Infinitesimal variation of voltage
 α : Resistance temperature coefficient (ppm/°C)
 α' : Attenuated α in the adaptor
 α_s : Strain sensitivity in the measuring instrument
 ρ : Specific resistance (μ Ω cm)
 ϵ : The rate of the coefficient of linear expansion
 ξ : Error of generation of heat

1. 서 론

센서는 인간이 외계로부터 정보를 얻는 데 있어서 필수불가결한 도구이다. 이 센서는 Process 공업, 기계공업, 전자공업 등의 각종 공업분야로부터 가정전기용품이나 안전방재기기, 그 외에도 넓은 분야에서 사용되어 왔다.

일반적으로 측온센서¹⁾는 온도상승에 따른 전기적 저항치의 비례특성을 이용하고, 센서의 재료로서는 전기저항의 온도계수가 크고,

* 한양대 정밀기계공학과 대학원

** 정희원, 한양대 정밀기계공학과

고품질이며, 제작이 용이한, 고순도의 금속저항선이 많이 사용되어지고 있다.^{2,3)} 측온센서를 이용한 특성실험은 여러 분야에서 많은 사람들에게 의해 연구되어져 왔는데 P. J. Giarratano와 F. L. Lioid⁴⁾는 측온센서를 액체질소의 전열실험에 응용하여 실험하였고 新井優⁵⁾는 고온에서의 백금의 저항특성을 실험하였으며 永田眞一⁶⁾은 온도센서를 응축열전달의 실험에 응용하여 저온에서의 미세한 과냉도를 측정하는 등 다양한 연구가 진행되어 왔다. 측온저항체용 재료의 사용조건으로서는 직선성이 양호하고 넓은 온도범위에서 안정하게 사용할 수 있으며 가공이 용이한 금속선이어야 한다. 이런 의미에서 Cu, Ni보다 Pt 센서가 널리 이용되고 있으나^{7,8)} 고가이기 때문에 경제성과 대중화가 미흡하다. 그리고 측온센서는 일반적으로 검출부의 열용량이 크기 때문에 필요한 응답속도가 얻어지지 않아 순간적인 온도측정이 어려우며 진동에 약할 뿐만 아니라 좁은 장소의 측정에 부적합한 면 등 여러가지 결점이 있다. 이러한 결점을 상당 보완하여 개발된 센서가 접촉형 박막 측온 Gauge이다.^{10,22)}

접촉형 박막 측온 Gauge는 측정하고자 하는 물체에 소자수감부를 접촉시켜 저항체의 저항변화를 이용하여 물체의 표면온도를 측정하는 센서이다. 또한 이 센서는 열용량이 작고 안정성, 응답성이 매우 높아 온도차가 작은 경우에도 충분한 감도가 얻어지는 장점이 있으며 얇은 막 형태로 제작되기 때문에 제조시 원가절감 등 경제적인 측면에서 유리하고 열처리를 함으로써 감도와 직선성을 개선하고 실용성, 대중성을 높여서 저가격으로도 널리 보급할 수 있는 잇점을 보완하였다. 본 논문에서는 Electro-Forming법^{11,12)}으로 열처리의 유무에 따라 제작된 Cu, Ni, Pt 박막 측온 Gauge를 20°C~140°C까지 온도변화를 주고 온도변화에 따른 각 게이지의 저항온도특성⁹⁾과 직선성정도 및 자기발열에 따른 열유속변화를 계산하고 피측정재료의 열흡수로 인한 열팽창과 자기발열이 Gauge의 응답성과 직선성 등에 어떠한 영향을 미치는지 실험하고 이를 비교분석 하였다.

2. 이 론

2.1 측온 Gauge저항온도계수 α ¹³⁾

일반적으로 도체의 전기저항 R 은 길이 l 에 비례하고 단면 S 에 반비례한다.

$$R = \rho \frac{l}{S} \dots\dots\dots (1)$$

비례상수 ρ 는 저항율이라 부르고 Ωcm 혹은 $\mu\Omega \text{cm}$ 로 표시된다.

또 금속의 전기저항은 온도에 비례해서 증가하고 어느 온도의 한정된 범위 내에서는 저항 R_t 와 온도 t 의 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$R_t = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) = R_0(1 + \alpha \Delta T) \quad (2)$$

α 는 재료의 저항온도계수로서 금속재료에서는 0.0038~0.0068/°C로 되는 것이 보통이다. 온도범위가 넓은 경우에는 다음 (3)식과 같이 표시하는 것이 보다 정확하다.

$$R_T = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2 + \dots\dots) \quad (3)$$

α 를 구하는 데는 온도구배를 가지는 2점간의 온도와 저항치를 측정하여 계산한다. 즉 온도 T_1 에 있어서 저항을 R_1 , 온도 T_2 에 있어서 저항을 R_2 로 하여 (2)식에 따라 계산하면

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots (4)$$

과 같이 표시된다.

저항치 변화를 측정하는 데에는 보통 휘트스톤 브릿지 또는 켈빈 브릿지와 같은 방식을 이용하여 측정하고 α 가 결정되어지면 (4)식에 따라 $(R_2 - R_1)/R_1$ 를 측정하면 $(T_2 - T_1)$ 이 결정되고 이에 따라 온도측정이 가능해진다. 이 저항 변화율 $(R_2 - R_1)/R_1$ 를 측정하는 데는 여러가지 방법이 있지만 주로 Strain 측정기를 이용하여 저항의 변화분에 대한 Strain량을 온도로 환산하여 측정한다.

2.2 측정 회로용 아답터(Adaptor)¹⁴⁾

측온 Gauge는 온도에 대한 저항변화가 스트레인 게이지에 비해서 크기 때문에 스트레

인 측정기로 직접 접속하게 되면 스트레인 측정기의 게이지율을 2.0으로 할 때, 1°C 당 약 1.750×10^{-6} (Strain 환산)의 출력을 얻는 것이 되고 스트레인 측정기를 이용한 관계에서 측정온도범위가 좁게 되거나 브릿지 회로의 비직선성이 문제가 되기 때문에 보통 아답터를 부착하여 감도를 충분히 저하시킨 후에 스트레인 측정기로 접속하여 측정한다.

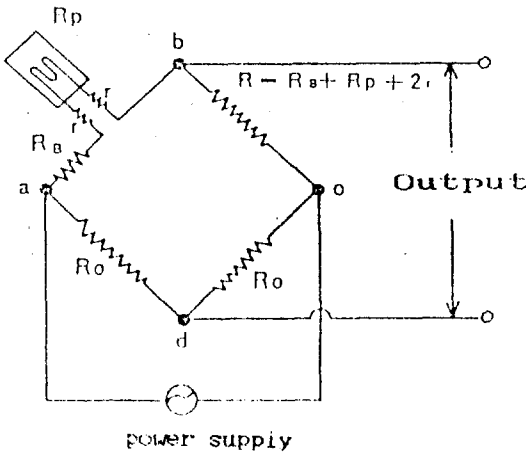


Fig.1 Circuit of 2 Line Type Adaptor

아답터는 Fig. 1과 같이 ab변에 측온 Gauge R_p 와 직렬로 R_B 가 들어가고 브릿지의 출력을 저하시켜 스트레인 측정기로 한다. bc 변의 R 은 브릿지의 평형조건으로부터 $R=R_p + R_B + 2r$ 로 된다. R_0 는 일반적으로 120Ω 의 고정저항을 이용한다.

여기서 α 와 α' 의 관계를 구해 보면, 브릿지의 평형조건에 따라

$$R = R_p + R_B \dots\dots\dots (5) \text{ (Lead 선 저항 무시)}$$

측온게이지 R_p 의 온도변화에 따른 저항변화를 ΔR_p 로 한 경우 R 의 저항변화 ΔR 을 구하면,

$$\Delta R = \Delta R_p \dots\dots\dots (6)$$

따라서,

$$\alpha' = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_p}{\Delta R_p} \cdot \frac{\Delta R_p}{R_p} \cdot \frac{R_p}{R} \dots\dots\dots (7)$$

이고, $\alpha = \Delta R_p / R_p$, $R = nR_p$, $\Delta R / \Delta R_p = 1$ 로 되는 관계식에 따라 위의 식 (7)은

$$\alpha' = \frac{1}{n} \cdot \alpha \dots\dots\dots (8)$$

가 되고 α 가 $1/n$ 로 감소된 것으로 된다. 이에 따라 스트레인 측정기의 지시치의 온도 스트레인 감도¹⁵⁾ α_s 와 α' 와의 사이에는다음의 관계가 있다.

$$\alpha_s = \frac{\alpha}{\text{Strain 측정기의 Gauge Factor 설정치}} \dots\dots\dots (9)$$

2.3 Gauge의 오차에 영향을 미치는 요소

2.3.1 자기발열에 따른 열유속¹⁶⁾

측온 저항체를 이용하여 온도 측정을 하는 경우에는 일반적으로 브릿지 회로를 사용한다. 브릿지의 측정감도는 측온 저항체에 흐르는 전류치가 큰 만큼 높게 되지만 높은 만큼 주열($i^2 R$)에 따라 자기가열시, 측정오차가 크게 생긴다.

온도상승 ΔT 는 정전류 i 를 이용하고, 전력 P 를 구함에 따라 계산 가능하다.

$$P = i^2 R \dots\dots\dots (10)$$

$$\Delta T = P / S_A \quad (S_A : \text{자기발열량}) \dots\dots\dots (11)$$

$(S_A : \text{mW}/^\circ\text{C})$

저항 R 의 박막에 일정전류 i 를 흘리고 박막의 저항온도계수를 α 로 하면 박막의 온도 변화 ΔT 에 대하여 전압변화는,

$$\Delta V = \alpha \Delta T i R \dots\dots\dots (12)$$

가 된다. 이 때 감온박막의 자기 발열에 따른 열유속 q_f 는,

$$q_f = i^2 R / bl = (\Delta V / \alpha \Delta T)^2 \cdot (d / \rho l^2) \dots\dots\dots (13)$$

$q_f : (\text{W}/\text{cm}^2)$

로 된다.

2.3.2 재료의 열팽창¹⁷⁻¹⁹⁾

일반적으로 재료를 가열하면 온도의 증가에 따라 그 크기가 증가한다. 이러한 증가는 길

이나 너비 또는 두께 모두에 일어나므로 온도의 증가에 따라서 고체의 밀도는 감소한다.²⁰⁾

만약 온도의 변화가 크지 않다고 가정하고 가열과정중 상의 변화가 없을 경우 온도가 T_1 에서 T_2 로 상승함에 따라 재료의 길이가 L_1 에서 L_2 로 변화한다고 가정하면 평균 선팽창계수 U_m 은 (14)식과 같이 된다.

$$U_m = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (14)$$

또 압력이 일정할 때 U_m 의 극한값, 즉 순간 선팽창계수 U 는 다음과 같이 정의된다.

$$U = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right) \dots\dots\dots (15)$$

U 는 단순히 선팽창 계수라 부르기로 하고 팽창도라고도 한다.

선팽창을 ϵ 은

$$\epsilon = \frac{L_2 - L_1}{L_1} = U_m(T_2 - T_1) \dots\dots\dots (16)$$

으로 된다.

그러나 보통 $t^\circ\text{C}$ 에서의 길이를 l_t , 0°C 에서의 길이를 l_0 라 하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$l_t = l_0(1 + At + Bt^2) \dots\dots\dots (17)$$

여기서 A 및 B 는 재료에 따른 상수, 즉 선팽창 계수²¹⁾이다.

3. 실험

3.1 Gauge와 시험편

Photo 1은 Gauge와 시험편의 사진인데 Cu-Gauge, Ni-Gauge, Pt-Gauge의 3종류, Gauge의 열처리 유무에 따라, 그리고 4가지의 시험편으로 하여 모두 24가지의 시험편이 필요하게 된다. Photo 1은 Ni-Gauge가 부착된 것으로서 그 중 한 예를 나타낸 것이다. Table 1은 시험편의 치수와 선팽창계수를 나타낸 것이고 Table 2는 실험에 사용된 축은 Gauge 저항소자의 물성치이다. Photo 2는 실험에 사용된 Cu-Gauge, Ni-Gauge, Pt-

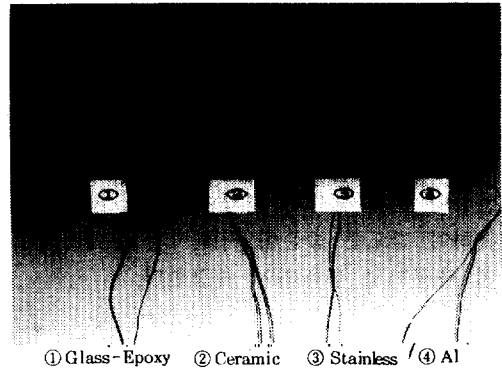


Photo 1 Gauge & Testing material

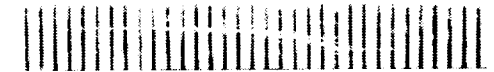
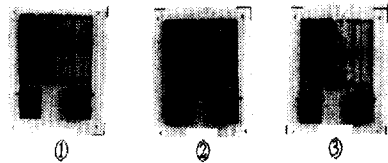


Photo 2 Cu-Gauge, Ni-Gauge, Pt-Gauge used in experiment

Table 1 Dimension & Mechanical properties of testing materials

Item	Horizontal dimension (cm)	Vertical dimension (cm)	Thickness (cm)	Linear expansion coefficient ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)
Al	3	5	0.3	25
Stainless steel	3	5	0.3	16.2
Ceramic	3	5	0.3	7.5
Glass-Epoxy	3	5	0.3	31

Table 2 Physical properties of resistance element of temperature gauge

Item	Linear expansion coefficient ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	Thermal conductivity ($\text{W}/\text{cm}\cdot^\circ\text{C}$)	Specific resistance ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
Cu	16.6	3.98	1.72
Ni	13	0.899	7.24
Pt	9	0.73	10.6

Gauge의 사진이다. 사진에서 Gauge의 형상은 모두 같게 제작되었으며 Cu-Gauge는 황동색, Ni-Gauge, Pt-Gauge는 은백색을 띠

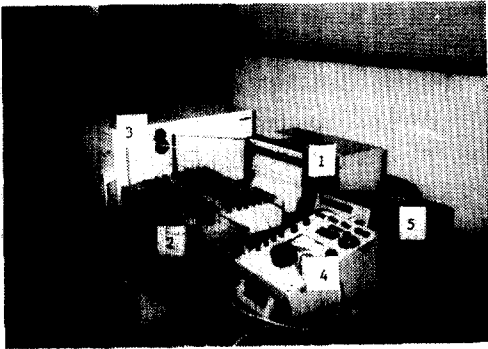


Photo 3 Experimental apparatus of strain measurement

으로써 눈으로 식별 가능하다. 그리고 Table 3은 Gauge의 치수 및 초기저항을 나타낸 것이다. 측은 Gauge는 Electro-Forming을 이용하여 절연 base 위에 얇은 저항막을 형성하여 저항조정을 한 센서로서 절연 base는 Polyimide계통의 절연막이고 두께는 25 μm 이며 저항막의 두께는 10 μm 이다.

시험부재에 측은 Gauge를 부착하는 방법은 Strain gauge와 동일한 방법으로 하였고 사용 접착제는 시아노아크릴레이트 계통의 접착제로써 수 분간 공기속에서 사용하지 않고 노출된 상태로 있어도 고착화 되지 않으나 얇게 발라서 가압하게 되면 급속히 접착하는 순간 접착제의 일종이다.

3.2 실험장치

Fig. 2는 본 실험에서 사용한 실험장치의 Block-diagram이다. 먼저 항온조 내에 접착형 박막측은 Gauge가 부착된 시험편을 장치하고 Multitester와 연결하여 각 온도구간에서의 전기적 저항치를 측정하고 Adaptor, Switch Box와 연결하고 Strain meter와 연결, 각 온도에 해당하는 Strain량을 얻고 2-Pen Recorder와 연결, Data를 기록, 최종적으로 PC Computer를 이용하여 처리한다. Photo 3은 실험장치의 사진인데 사진에서 3번은 항온정온기로서 20 $^{\circ}\text{C}$ ~200 $^{\circ}\text{C}$ 까지 온도변화가 가능하고 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 온도분포 정도는 약 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 이며, Table 4는 각 실험기기의 사양을 나타낸 것이다.

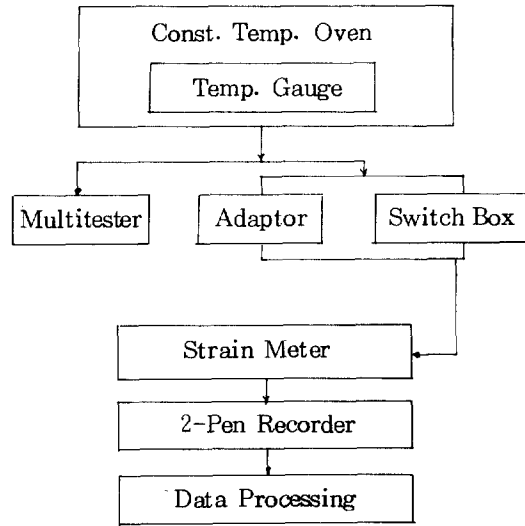


Fig. 2 Block Diagram of Experimental Apparatus

Table 3 Dimension and initial resistance of gauge

Item	Horizontal dimension (mm)	Vertical dimension (mm)	Thickness (μm)	Initial resistance (Ω)
Cu-Gauge	7	9.5	35	4
Ni-Gauge	7	9.5	35	8
Pt-Gauge	7	9.5	35	106

Table 4 Specification of experimental apparatus

Number	Item	Specification
1	Pen Recorder	Type 3056(YOKOGAWA). Japan
2	6 Dial Variable Resistance Instrument	Type 2703
3	Const. Temp. Oven	Yamato DN 63. Japan
4	Strain Meter	Tokyo Sokki Kenkyujo. IS-1B. Japan
5	Multitester	3478 A. Japan
6	Switch Box	Tokyo Sokki Kenkyujo. SW-12D. Japan

3.3 실험방법

먼저 각 온도구간에서의 gauge의 저항변화를 측정하기 위하여 Al. Stainless steel. Ceramic, Glass-Epoxy의 재료를 가로 3cm, 세로 5cm, 두께 0.3mm의 크기로 절단하고

이 시편의 중앙에 각각의 gauge를 부착하여 시험편을 제작하였다. 송풍정온항온기(Constant Temperature Oven)속에 장치하여 Cu, Ni, Pt-Gauge의 온도변화에 따른 전기적 저항치를 구하기 위해 20°C부터 일정시간으로 140°C까지의 온도구간을 설정하고 20°C마다의 저항치를 Multitester로 측정하였다. Gauge가 부착된 피 측정체의 온도전달속도를 고려하여 20°C 구간마다 15~20분의 Holding time을 주고 보다 정확한 각각 온도에서의 저항치를 구했다. 실험에 사용된 gauge는 Cu, Ni, Pt-gauge이고 gauge의 저항온도계수 α 값은 20°C~140°C 사이의 저항치를 이용하여 계산하였다. 열처리하여 제조된 게이지의 저항측정도 동일한 방법으로 실험하였으며, 온도 변화에 따른 스트레인의 측정도 같은 방법으로 시험편을 장치한 후에 gauge로부터 나오는 전기적 저항치의 변화를 스트레인으로 환산하면 값이 지나치게 커지므로 측정온도의 범위가 충분히 크게 되도록 아답터를 설계하여 Fig. 3과 같이 감도를 충분히 감소시킨 후에 측정하였다.

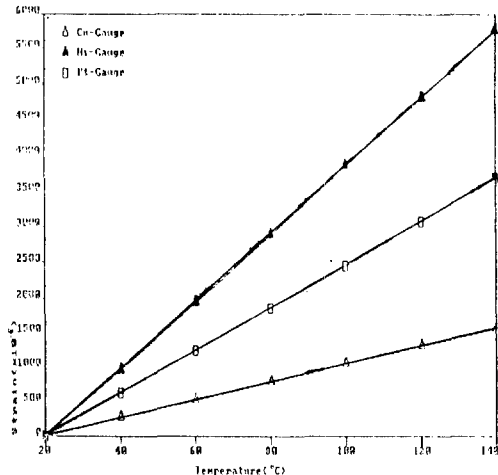


Fig. 3 Sensitivity of Cu-Gauge, Ni-Gauge, Pt-Gauge through adaptor

이 경우 스트레인 측정범위는 각각 gauge의 저항온도 계수를 고려하여 이론적으로 계산한 후에 측정기의 측정범위에 알맞게 설정하였다. 그리고 아답터로부터 나오는 신호를

스트레인 측정기를 이용하여 아날로그 식으로 변환한 후 Pen recorder를 연결해서 각 온도에 있어서의 스트레인 값을 기록했고 Data처리하는 Personal computer를 이용하여 처리하였다. 이때 Cu, Pt-Gauge는 온도변화에 따른 저항치의 변화폭이 작으므로 데이터 처리가 가능하도록 감도를 높이고, Ni-Gauge는 변화가 크므로 0.03 Ω이 50 $\mu\epsilon$ 에 상당하도록 스트레인 측정기의 감도를 저하시켜 측정했다. 또한 스트레인 측정기의 Gauge factor switch는 2로 setting하여 측정했다. 비직선성 편차의 측정에 있어서는 초기저항(상온 20°C)에서부터 실험의 최대범위인 온도 140°C까지의 전기적 저항치를 측정 한 후 20°C, 140°C의 온도점을 기점으로 한 직선방정식을 Computer를 이용하여 각 온도구간에서의 이상적 직선과의 저항의 차이를 Deviation %로 표시하였다. 자기 발열에 따른 열유속의 측정은 박막의 저항온도계수 α 값을 실험을 통하여 얻은 뒤 이 값을 이용하고 각 온도 구간에서의 발열량에 따른 온도오차와 전압변화를 측정한다.

여기서 Cu, Ni, Pt-Gauge의 비저항을 각각 1.72, 7.24, 10.6 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 로 하였고 Gauge의 저항소자 부분의 두께는 10 μm , Gauge의 Base 재료는 Polyimide계통이고 선팅창계수는 약 $10-15 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이며 측정기의 측정전류는 3 mA로 제한하였다.

4. 결과 및 고찰

일반적으로 금속은 온도상승에 따라 전기저항치가 1°C당 0.4~0.6% 정도 증가하므로 이러한 성질을 이용하면 온도의 측정이 가능하다. Fig. 4~Fig. 9에 Cu, Ni, Pt-Gauge의 온도변화에 따른 저항의 변화를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Cu-Gauge, Ni-Gauge는 Pt-Gauge보다 직선성의 정도가 떨어지고 온도의 상승에 따라 기울기가 증가함을 알 수 있다. 그러나 이러한 Gauge는 열처리 과정을 통하여 값이 비싼 Pt-gauge와 같은 정도의 직선성이 향상됨을 알 수 있었다.

피 측정재료에 따라서는 Al, Glass-Epoxy

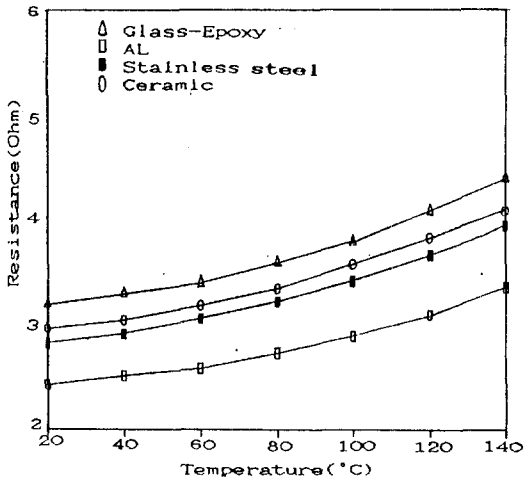


Fig. 4 Resistance variation with temperature Cu-Gauge(Before heat treatment)

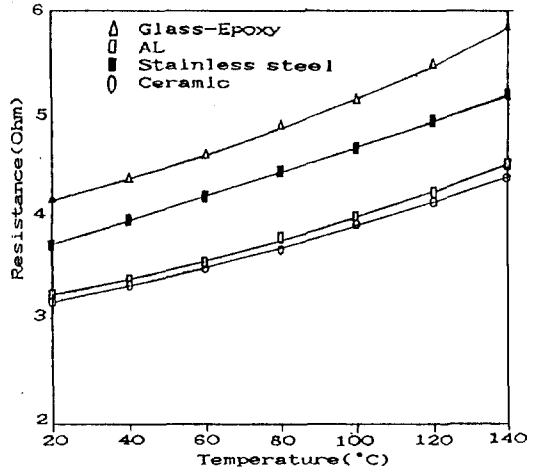


Fig. 5 Resistance variation with temperature Cu-Gauge(After heat treatment)

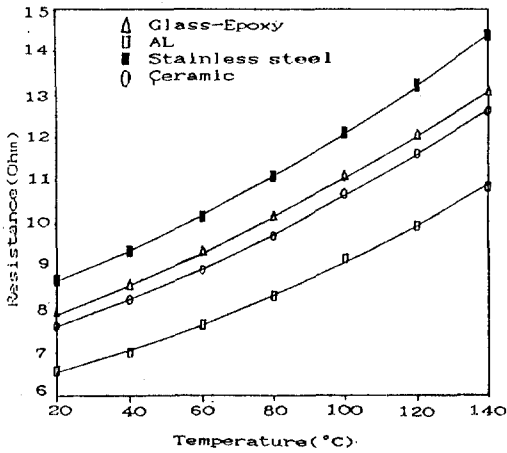


Fig. 6 Resistance variation with temperature Ni-Gauge(Before heat treatment)

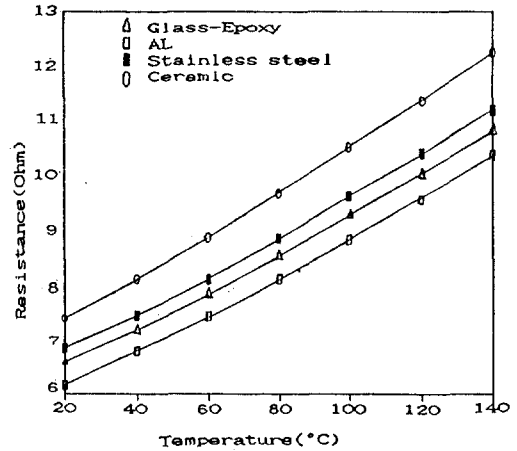


Fig. 7 Resistance variation with temperature Ni-Gauge(After heat treatment)

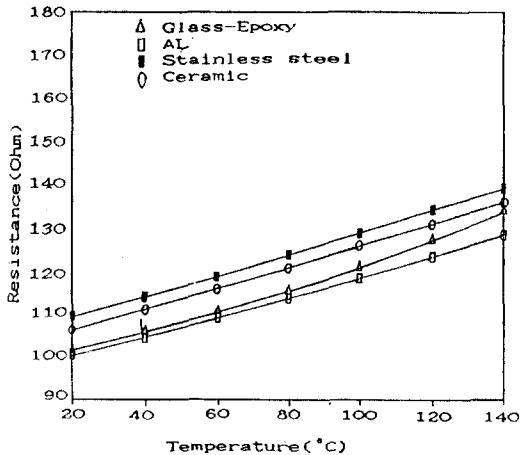


Fig. 8 Resistance variation with temperature Pt-Gauge(Before heat treatment)

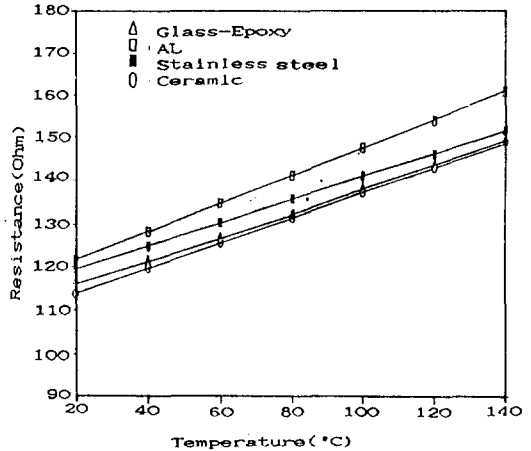


Fig. 9 Resistance variation with temperature Pt-Gauge(After heat treatment)

Table 5 Values of resistance temperature coefficient α

α Gauge	Material	Heat Treatment (H. T)	α of Gauge (ppm/°C)	Reduction % of Temp. Coefficient (%)	Standard Temp. Coefficient of Gauge
Cu	Al	before H. T.	3008.3	30	4.300 ppm/°C
		after H. T.	3390.3	21	
	Stainless Steel	before H. T.	3264.8	24.1	
		after H. T.	3391.7	21	
	Ceramic	before H. T.	3245.5	24.5	
		after H. T.	3254.0	24.3	
Glass - Epoxy	before H. T.	3207.2	25.4		
	after H. T.	3393.6	21.1		
Ni	Al	before H. T.	5418.6	19.7	6.750 ppm/°C
		after H. T.	5699.6	15.6	
	Stainless Steel	before H. T.	5352.3	20.7	
		after H. T.	5446.9	19.3	
	Ceramic	before H. T.	5387.5	20.2	
		after H. T.	5457.5	19.2	
Glass - Epoxy	before H. T.	5361.7	20.6		
	after H. T.	5601.4	17		
Pt	Al	before H. T.	2384.0	39.2	3.920 ppm/°C
		after H. T.	2546.7	35	
	Stainless Steel	before H. T.	2318.7	40.8	
		after H. T.	2360.6	39.8	
	Ceramic	before H. T.	2157.3	45	
		after H. T.	2163.5	44.8	
Glass - Epoxy	before H. T.	2328.3	40.6		
	after H. T.	2433.1	37.9		

의 경우 그 외의 재료보다 온도에 따라 저항의 증가율이 크게 나타났고 같은 Gauge 라도 열처리를 함으로써 직선성도 향상되고 저항온도계수 α 값도 대체로 증가함을 알 수 있었다.

4.1 저항온도계수 α 값 측정

Table 5에 Cu, Ni, Pt-Gauge의 저항온도계수 α 값과 모재에 대한 박막 측은 Gauge의 저항온도계수값의 감소율을 표시하였다.

각 Gauge의 α 값은 20~140°C 범위를 측정구간으로 설정하여 계산하였고 실험결과 Cu-Gauge의 α 값은 약 3.300 ppm/°C, Pt-Gauge는 2.300 ppm/°C, Ni-Gauge는 5.500 ppm/°C로서 Ni-Gauge의 α 값이 가장 크게 나타

났으며 일반적인 Cu, Ni, Pt 모재의 저항온도계수와 비교해 볼 때 Cu-Gauge의 α 값은 25%, Ni-Gauge는 18.5%, Pt-Gauge는 41%로서 Pt-Gauge가 가장 큰 폭의 감소를 보였다.

피측정재료에 따라서는 α 값의 분포가 대체로 비슷한 성향을 보였으나 Al, Glass-Epoxy 같은 연성의 재료나 비금속계의 재료에서는 α 값이 비교적 크게 측정되었으며 이는 재료의 온도상승에 의한 열팽창이 원인이라 생각된다. 그리고 각 Gauge를 열처리하여 제조한 결과 열처리 하지 않은 Gauge보다 Cu, Ni, Pt-Gauge 모두 α 값이 3~10% 향상됨을 알 수 있었다.

실험에서 사용한 Gauge의 α 값이 일반 금속 소재의 저항온도계수 α 값보다 작은 것은 Gauge 저항 막의 형성과정에 있어서 이중금속의 유입에 따른 순도의 저하나 격자 결함, 제조과정에서의 열이력, 격자 진동에 따른 전자 산란 등의 영향에 의해서 α 값이 작아졌을 것이라 생각된다.

4.2 비선형성 편차(Nonlinearity deviation)

Fig.10~Fig.15는 온도저항 선도에서의 비직선성 정도를 표시한 그림이며 그림에서 알 수 있듯이 Fig.10과 Fig.11의 Cu-Gauge에서의 AI이 가장 큰 6%의 비직선성 편차를 나타내었고 재료에 따라서 4.5%~6%의 편차를 보였으며 이러한 편차는 열처리를 함으로써 1.5% 이내의 범위로 편차가 줄어 들었고 AI의 경우 1.2% 정도로서 가장 큰 편차가 생겼다.

Ni-Gauge는 열처리전 4%의 편차가 열처리후 1.5% 이내로 줄어 들었고 Ceramic이 가장 작은 편차를 나타내었다. Pt-Gauge의 경우 Ni-Gauge나 Cu-Gauge보다 대체로 작은 편차폭을 가지며 열처리의 영향도 가장 작음을 알 수 있었다.

그리고 그림에서 공통적으로 알 수 있는 사실로서 Stainless steel나 Ceramic 등의 경질 재료보다 Al, Glass-Epoxy가 큰 편차를 나타냈고 60~80°C 사이의 구간에서 가장 큰 비직선성 편차가 생김을 알 수 있는데, 이것은 재료의 온도에 의한 변형이나 열전도성 등에 의한 것이라 생각되며 열처리를 함으로써 Gauge 접착시 전열면에서의 기포나 저항막에서의 잔류응력 격자결함 등의 요소들이 제거됨으로써 보다 정도가 향상되어 안정화된 상태로 변하게 된다고 생각된다.

4.3 자기 발열에 의한 열유속 변화

Fig.16~19까지는 측온 Gauge의 자기 발열에 의한 열유속의 변화를 표시하였다. 열유속은 온도가 증가함에 따라 비례하여 증가하게 되고 초기 20°C에서 140°C까지 변화하는 동

안 Cu-Gauge는 약 2배, Ni-Gauge는 3배, Pt-Gauge는 1.5배 가까이 증가를 보였고 Pt-Gauge의 증가율이 가장 낮았다.

그림에 나타난 바와 같이 Glass-Epoxy를 피측정체로 사용할 때 열유속의 증가가 비교적 규칙적으로 나타났고 Cu-Gauge나 Pt-Gauge보다 Ni-Gauge의 경우가 온도의 상승에 따라 열유속이 비직선적으로 증가함을 알 수 있다. 열처리의 유무에 따라서는 거의 같은 크기의 비율로 나타났지만 열처리를 함으로써 온도상승에 따른 유속의 크기가 조금 증가함을 알 수 있다.

그림에서 80°C~100°C 구간에서 보다 많은 열유속이 생김으로써 이 온도 구간에서 보다 큰 측정오차가 생겨 측온 Gauge의 직선성에 큰 영향을 주게 된다고 생각되며 전열면에서의 열유속의 영향을 Pt-Gauge가 가장 작게 받음을 알 수 있고 이 때문에 직선성이 다른 Gauge보다 양호한 상태로 된다고 생각된다.

4.4 열팽창의 영향

Fig. 20, 21, 22는 각 온도구간에서 이론적으로 계산한 열팽창값에 실험값이 접근하는 정도를 Percentage로서 나타낸 그래프이다.

Cu-Gauge, Ni-Gauge, Pt-Gauge 모두 공통적으로 Glass-Epoxy의 재료를 피측정체로 하였을 경우 피측정체가 열팽창의 영향을 크게 받으며 Ceramic은 이론치에 비하여 작음을 알 수 있다.

대체로 Cu-Gauge에서는 이론적인 열팽창으로 인한 Strain값의 20~40% 정도, Pt-Gauge는 30~50% 정도 실험치로서 나타났고, Ni-Gauge는 실험값이 이론값의 60~20% 사이에 위치함으로써 보다 큰 폭의 분포를 나타냈다.

Fig.21의 Ni-Gauge는 Cu-Gauge보다 100°C까지는 급격한 감소를 나타내었고 대체로 100°C 이후에서는 두 Gauge 모두 열팽창의 영향이 고른 분포를 나타냈고 이론적인 열팽창으로 인한 Strain값의 60~20%로서 가장 큰 폭의 분포를 나타내었다.

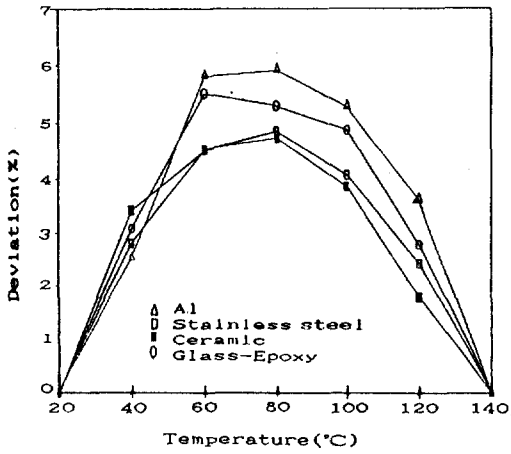


Fig. 10 Nonlinearity deviation of Cu-Gauge

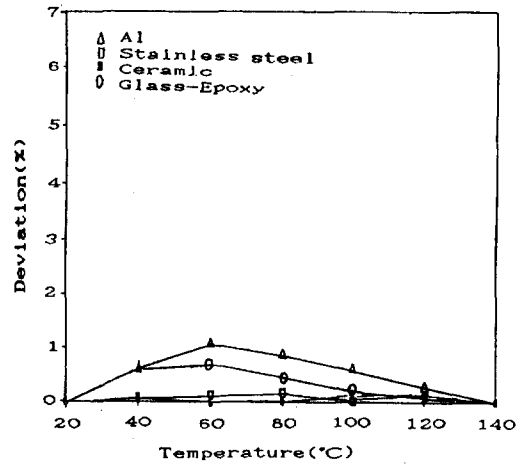


Fig. 11 Nonlinearity deviation of Cu-Gauge

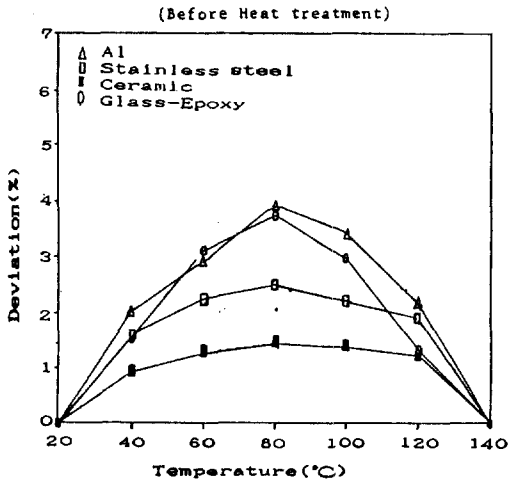


Fig. 12 Nonlinearity deviation of Ni-Gauge

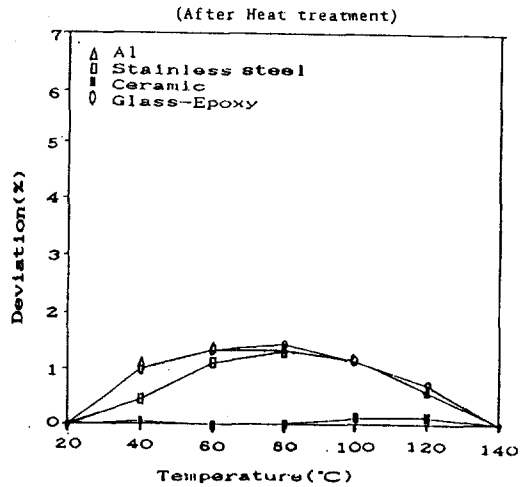


Fig. 13 Nonlinearity deviation of Ni-Gauge

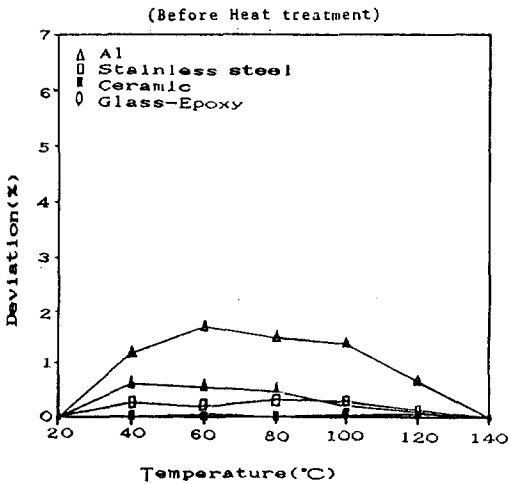


Fig. 14 Nonlinearity deviation of Pt-Gauge

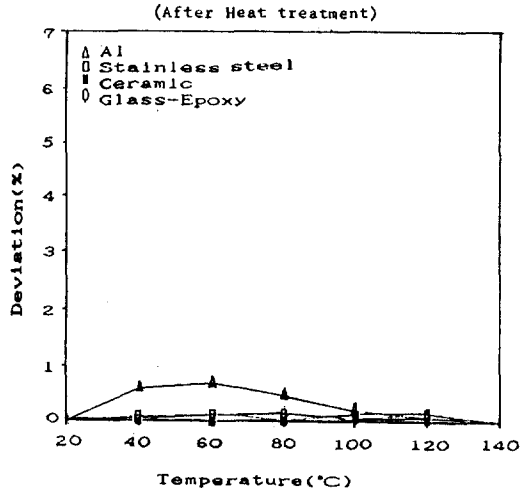


Fig. 15 Nonlinearity deviation of Pt-Gauge

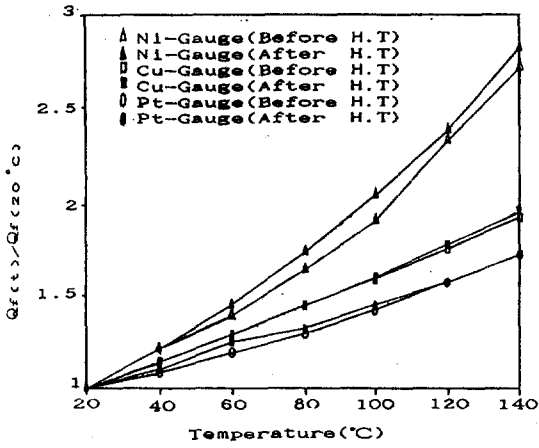


Fig. 16 Heat flux ratio of Al

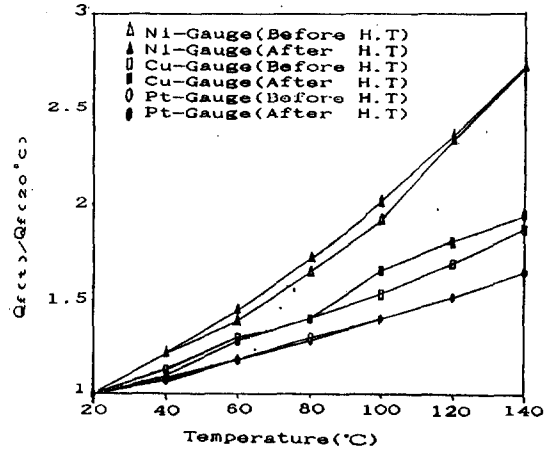


Fig. 17 Heat flux ratio of stainless steel

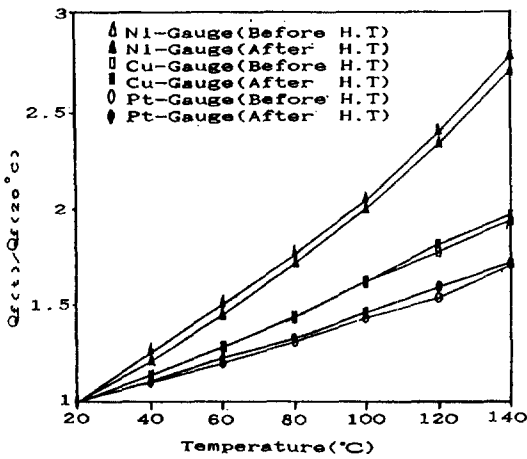


Fig. 18 Heat flux ratio of glass-epoxy

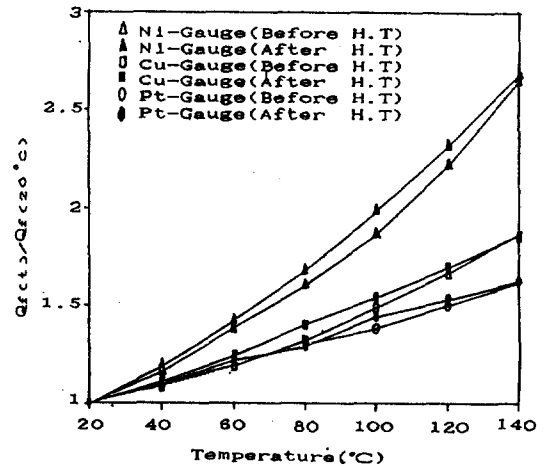


Fig. 19 Heat flux ratio of ceramic

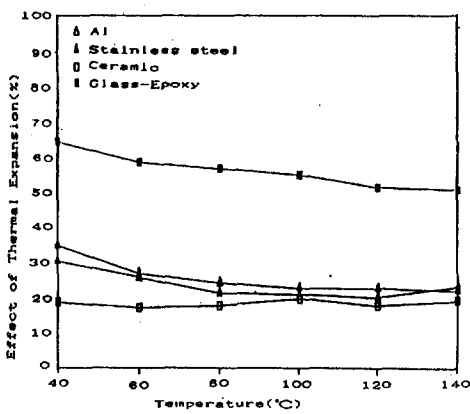


Fig. 20 The effect of thermal expansion according to material (Cu-Gauge)

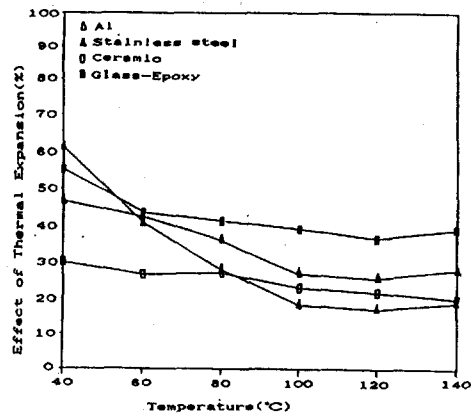


Fig. 21 The effect of thermal expansion according to material (Ni-Gauge)

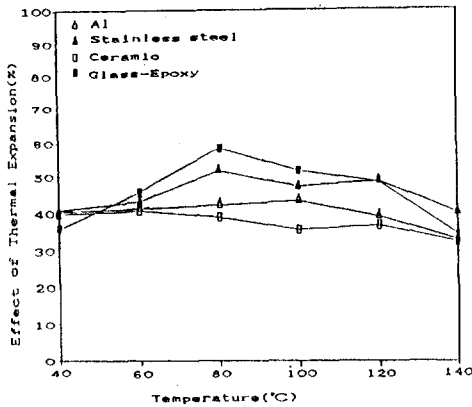


Fig. 22 The effect of thermal expansion according to material (Pt-Gauge)

Fig. 22의 Pt-Gauge에서는 Stainless steel, Glass-Epoxy의 경우 Cu-Gauge, Ni-Gauge와는 달리 80°C까지는 Percentage가 증가함으로써 열팽창의 영향이 서서히 증가하는 현장을 나타냈고 이 후의 온도에서 감소하였다.

이와 같이 각각의 재료에 따라 실험값이 완전히 이론적인 열팽창값에 미치지 못한 것은 온도에 따른 접착제의 유연성으로 인하여 Base가 피측정체에 고정되지 못하고 선펡창에 따라서 어느정도 미끌어지는 현상을 추측할 수 있고 실험기기의 응답성 정도와 실험할때 생기는 측정상 오차 등 여러가지 요인에 의하여 변화를 나타낸다고 생각된다.

5. 결 론

접착형 박막측온 Gauge의 온도에 관한 특성을 조사하기 위해서 Cu, Ni, Pt-Gauge를 4가지 재료에 부착하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Gauge의 직선성 정도는 열처리와 밀접한 관계를 가지며 열처리를 함으로써 직선성이 향상되고 Gauge가 안정화 됨을 알 수 있었고 Gauge의 저항온도계수 α 값도 증가하였다. 그리고 비직선성 편차는 재료의 열팽창의 차이에 따라 열팽창이 큰 재료를 사용하는 경우 비교적 크게 나타났으며 백금 Gauge는 Cu, Ni-Gauge와는 달리 열처리의 효과를 작

게 받음을 알 수 있었다.

2) 백금 Gauge보다 값이싼 Cu, Ni-Gauge를 열처리 과정을 통하여 백금 Gauge와 같은 정도로 직선성과 감도를 향상시킴으로써 백금 Gauge의 대체품으로 Cu-Gauge와 Ni-Gauge를 실용화 할 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제로서 접착제의 종류에 따라 Gauge의 온도특성에 미치는 영향을 조사하고 이것과 피측정체의 온도에 의한 선펡창과의 관계를 알아보는 것이다.

참 고 문 헌

- 二木: “民生機器用溫度センサとその使い方, 電子技術, 21, No.2, pp.8~64. 1979.
- T. J. Quinn: Temperature Academic Process, pp.191, 195. 1983.
- J. L. Riddle, G. T. Furukawa: Platinum Resistance Thermometry NBS Monograph, p.126. 6. 1973.
- P. J. Giarratano, F. L. Lioid and L. O. Mullen: TEMPERATURE, Amer. Inst. Phys, p.859. 1982.
- 新井優: “高温における白金の抵抗特性”, 計量研究報告, Vol. 34, No.2, 昭和60年
- 永田眞一, 棚尺一郎: 第21回 日本傳熱シンポジウム講演論文集, p.313. 1984.
- 越川泰直: 薄膜白金溫度センサSDT-101, Electronic Monthly, No.202, p.1~4. 1982.
- 緒方一雄: 薄膜白金溫度センサ, センサ技術2, No.9, pp.111~113. 1982.
- 伊東清次, 松田邦介: “厚膜白金測溫抵抗素子に 대하여”, 計測技術5, No.5, pp.89~92. 1977.
- 西尾茂文, 河村洋: “傳熱研究における溫度測定法”, 養賢堂發行, pp.81~101. 1989.
- WILLIAM. BLUM: “Principles of Electroplating and Electroforming”, McGRAW-HILL BOOK, pp.230~235. 1949.

12. 한응교, 정재호: “寫眞腐植法과 無電解鍍金法으로 製作한 溫度補償用 Gauge의 溫度特性에 관한 研究”, 漢陽大 碩士學位論文, 1989.
13. 工業計測技術大系1: “溫度”, 日刊工業新聞社, pp.25~26. 1965.
14. 計量管理協會: “센서의原理と使い方(3)”, コロナ社, pp.72~76. 1984.
15. National Technical Report (特集/센서), 29-3. 松下電器産業, 1983.
16. “傳熱工學資料”, (第3版), 日本機械學會, 1966.
17. I. D. Peggs: Thermal Expansion, Vol.6. Plenum Press, New York and London, 1978.
18. B. Yates: Thermal Expansion, Plenum Press, New York and London, 1972.
19. 岸證: “熱測定”, Vol.8. pp.81~88. 1981.
20. David Halliday, Robert Resnick: “Fundamentals of PHYSICS”, 19-7. Thermal Expansion, pp.347~348. 1980.
21. Robert Resnick: “Fundamentals of PHYSICS”, pp.322~344. 1980.
22. 二木: “溫度센서”, 日刊工業新聞社, pp.31~44. 1980.