

고정도 엔진 지압계에 관한 연구(I)

〈온도특성에 의한 영점이동의 보상〉

박 상 길* · 문 덕 홍* · 안 수 길*

A Study on the Precision Engine Indicator(I)

(Zero-shift Compensation of the Engine Indicator with a Electronic Device)

Sanggil Park, Dukhong Moon, Sookil Ahn

Abstract

Development of modern internal combustion engine requires more precise indicator. In the case of strain gage-strain tube type indicator, thermal expansion of the indicator's fixed part makes zero-shift in spite of water cooling.

Therefore, the authors analyzed the cause of zero-shift phenomenon on strain gage-strain tube type indicator and proposed a new device to compensate the zero-shift of indicator by electrical method without deteriorating the dynamic characteristic.

As the results, we found that the zero-shift is varied linearly according to temperature variation of the indicator's fixed part and applying a new device, we can improve the zero-shift of indicator about 0.63%(0.63kg/cm²) of full scale, though we got 10% of it without the device at the cylinder head operating temperature(c. a. 200°C).

1. 서 론

최근 내연기관의 발달과 더불어 내연기관의 연구에는 보다 정도가 높은 지압계가 요구되고 있다.

현재까지 연구된 고정도의 지압계는 압전소자를 이용한 것과 strain gage를 이용한 것으로 크게 대별된다.^{1),2)} 압전소자를 이용한 지압계의 경우 압전소자의 내부임피던스가 매우 크며, 입력임피던스가 무한대인 전치증폭기를 실현할 수 없으므로 대기압을 기준으로 하는 절대압력의 측정이 곤란할 뿐만 아니라 지압계의 정적검정

이 어렵다.²⁾ strain gage를 이용한 지압계의 경우는 수냉을 함에도 불구하고 기계적인 열팽창에 의한 영점 이동을 완전히 제거치 못하며³⁾ 적극적으로 이를 방지할 경우 지압계의 주파수 대역폭을 떨어뜨리게 된다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 현재 사용되는 strain gage-strain tube type indicator의 영점이동 원인을 검토하여 주파수 대역폭을 줄이지 않고 전기적인 방법에 의해 영점 이동을 보상하는 장치를 고안하여 온도에 의한 영점 이동량을 보상하였다.

* 正會員, 釜山水産大學

2. 영점이동량의 계측과 영점이동의 원인

2.1 온도검출회로

온도가 지압계의 출력에 미치는 영향을 검토하기 위해 온도검출회로를 구성하였다. 직선적인 온도를 검출하기 위해 Fig.1(a)와 같이 정전류를 temperature sensor에 가하는 방법을 착안했다. 즉 temperature sensor의 저항치를 R_T , 0°C 에서의 저항치를 R_0 , 저항온도계수를 α , 온도를 T 라 할 때,

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \dots \dots \dots (1)$$

가 되며, temperature sensor의 출력 e_T 는

$$e_T = R_0(1 + \alpha T)i_T - \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{cc}$$

로 된다. 여기서,

$$R_0 i_T = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{cc} \dots \dots \dots (2)$$

일때 $e_T = \alpha i_T R_0 T$ 가 된다.

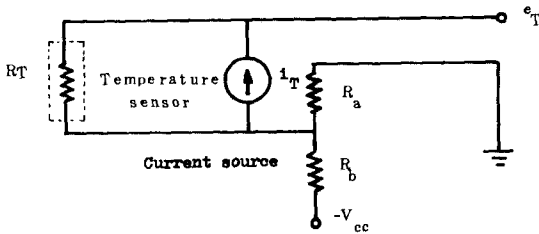


Fig. 1. (a) Equivalent circuit.

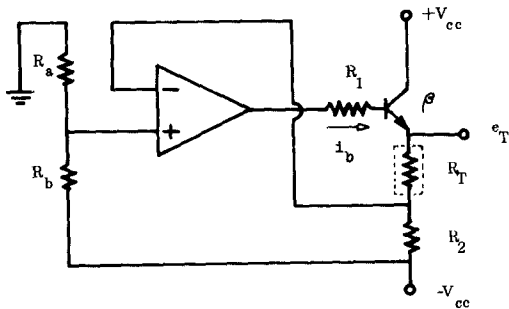


Fig. 1. (b) Designed circuit.

Fig. 1. Circuit diagram of temperature detection.

그리고, Fig.1(a)와 같은 등가회로를 실현하기 위해 Fig.1(b)와 같은 회로를 설계하였다. Fig.1(b)에서, transistor의 전류이득을 β 라 하면,

$$\left. \begin{aligned} e_T &= (1 + \beta)i_b(R_2 + R_T) - V_{cc} \\ i_b R_1 &= V_{out} + V_{cc} - V_D - (1 + \beta)(R_T + R_2)i_b \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

이며, 연산증폭기의 inverting input terminal 및 noninverting input terminal의 전압 e_{in} , e_{no} 는 각각,

$$\left. \begin{aligned} e_{in} &= (1 + \beta)R_2 \frac{V_{out} + V_{cc} - V_D}{R_1 + (1 + \beta)(R_T + R_2)} - V_{cc} \\ e_{no} &= -\frac{R_a}{R_a + R_b} V_{cc} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

이므로,

$$e_T = \frac{R_b}{R_a + R_b} \frac{R_T + R_2}{R_2} V_{cc} - V_{cc} \dots \dots \dots (5)$$

가 된다.

식 (1), (2)를 식 (5)에 대입하면,

$$e_T = \frac{R_b}{R_a + R_b} \frac{\alpha R_0 T}{R_2} V_{cc}$$

가 되므로 e_T 는 온도와 직선적인 특성을 가지게 된다.

2.2 영점이동의 계측

Fig. 2는 본 실험에 사용된 지압계의 단면을 나타내며 감도는 $0.043\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}/\mu\text{ strain}$ 이었고

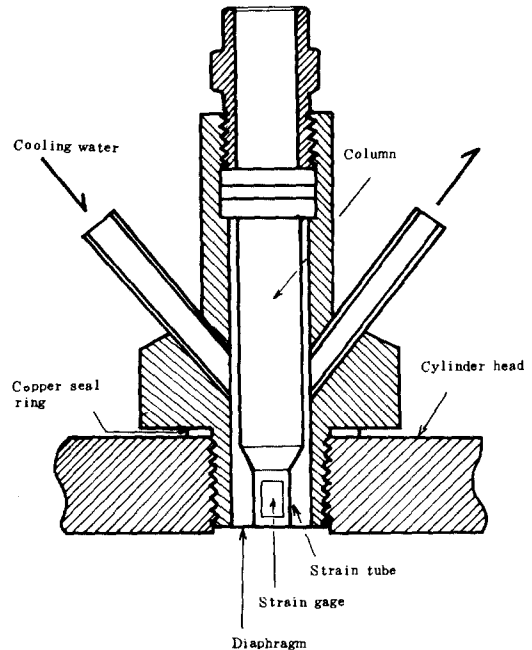


Fig. 2. Cross section of strain gage-strain tube type indicator.

사용최대압력은 100kg/cm^2 이었다. Temperature sensor는 Fig. 3과 같이 설치했으며 동작전류는 10mA 로 결정했다.

사용된 temperature sensor의 $R_0=12\Omega$
 $\alpha=3.89 \times 10^{-3}$ 이였으므로 온도에 대한 온도계

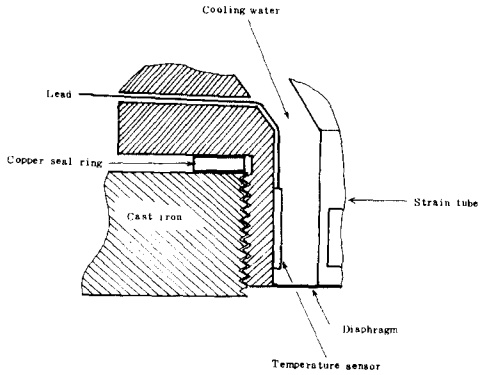


Fig. 3. Cross section of temperature detected part.

출부의 출력전압은 $0.467\text{mV}/^\circ\text{C}$ 였다. 온도계출부의 후단에 L. P. F. (Low pass filter)를 걸어 잡음을 강하시켰으며, 이때 L. P. F.의 시정수는 0.1sec 였다. L. P. F.를 통과한 신호를 다시 34dB 의 DC amp.로 증폭하였고, 증폭된 출력을 X-Y recorder의 X축에 가하였으며, 지압계의 출력을 strain amp.로 증폭하여 Y축에 가하였다.

Fig. 4는 온도에 의한 영점이동량의 계측을 위한 실험장치도를 나타내며, 영점이동량을 계측하기 위하여 실린더 헤드 재질로 사용되는 주철판에 지압계를 고정하고 지압계를 전기히이터로 가열하였다. Fig. 5의 (a), (b), (c)는 Fig. 4의 실험장치에 의해 영점이동을 계측한 결과를 나타낸다.

Fig. 5의 (a), (b)중 상부의 선도는 온도에 따른 영점이동량을 나타내고, 하부의 선도는 가열온도가 운전중의 실린더 헤드온도(약 200°C)에⁵⁾ 근접하는지를 확인키 위한 지압계 고정부 재질의

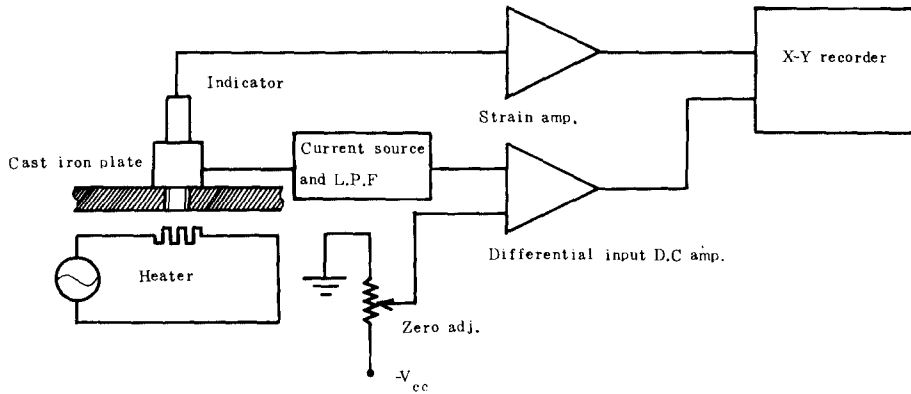
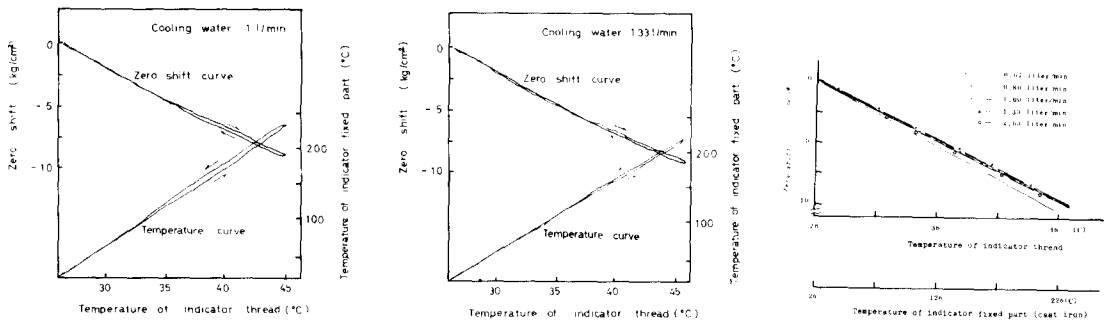


Fig. 4. Schematic diagram of zero shift measuring apparatus.



(a) Zero-shift vs. temperature curve. (cooling water 1 l/min) (b) Zero-shift vs. temperature curve. (cooling water 1.33 l/min) (c) Zero-shift vs. temperature curve with various cooling water.

Fig. 5. Zero-shift curves with temperature variation.

온도와 지압계 나사부 내측의 온도를 나타내고 있다. Fig. 5의 (a), (b)의 선도에서 지압계 고정부재질의 온도와 지압계 나사부 내측의 온도는 비례함을 나타내고, 영점이동량은 온도 변화에 따라 매우 직선적으로 부의 방향으로 이동함을 알 수 있다.

Fig. 5(c)는 냉각수량을 0.67, 0.80, 1.00, 1.33, 2.00l/min로 변화시켰을 때의 영점이동량을 나타내고 있으며 냉각수량이 증가함에 따라 영점이동량이 감소하는 경향이 있으나 0.8l/min 이상이면 냉각수량에 의한 영점이동량의 변화는 거의 없었다. 이때 지압계 나사부 내측 온도에 대한 영점이동량의 관계는,

$$\Delta P = -0.48\Delta T (\pm 0.005\Delta T)$$

이었으며, 지압계 고정부의 온도가 200°C 정도 일때 영점이동량은 F.S의 약 10%였다.

2.3 영점이동의 원인

지압계는 연소실내의 순수한 압력만을 측정해야 함에도 불구하고 Fig. 5(c)에 나타난 바와 같이 온도에 의한 영향을 받는다. Fig. 2와 같이 strain tube는 냉각수에 의해 열이 차단되므로 온도에 의한 영향을 무시할 수 있다고 생각되나, 지압계 나사부분은 실린더 헤드에 고정되어야 하므로 연소온도에 의한 실린더 헤드의 열팽창의 영향을 받는다고 생각된다. 따라서 diaphragm과 연결된 strain tube에 인장력이 작용하게 되며 diaphragm 자신도 표면온도 상승에 의한 팽창과 내면의 냉각에 의한 수축으로 strain tube에 인장력이 작용하게 된다고 생각된다. 그러므로 지압계의 출력은 온도상승에 따라 부의 압력 방향으로 이동하게 된다.

3. 영점이동의 보상

3.1 보상원리

Fig. 5(c)에 나타난 바와같이 지압계의 출력은 순수한 압력만을 지시하지 않고 온도에 의한 영향을 받는다. 따라서 지압계의 출력을 e_p , strain amp.의 이득을 A_p 라 하면 지압계 strain amp.의 출력 변화량 de_{out} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$de_{out} = \left(\frac{\partial e_p}{\partial P} dP + \frac{\partial e_p}{\partial T} dT \right) A_p \dots\dots\dots (6)$$

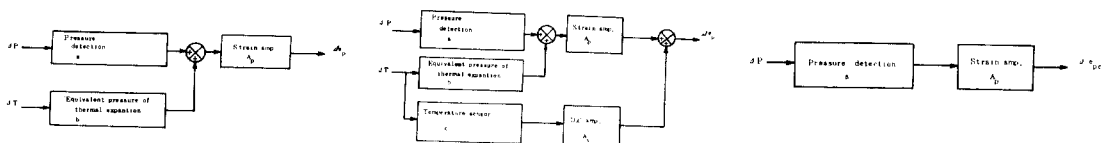
온도 검출부의 감도가 $\frac{\partial e_T}{\partial T}$ 인 온도검출기를 이용하여 지압계 나사부 내측의 온도를 검출하고 이에 대한 영점이동량을 strain amp.의 출력에 보상하면, 순수한 압력만을 측정할 수 있다. 즉 온도에 의한 영점이동이 보상된 지압계 strain amp.의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$de_{out} = \left(\frac{\partial e_p}{\partial P} dP + \frac{\partial e_p}{\partial T} dT \right) A_p + \frac{\partial e_T}{\partial T} dT A_v \dots\dots\dots (7)$$

여기서 A_v 는 온도검출부의 이득을 나타낸다. 식 (6)에서 지압계의 출력은 압력에 비례하고 Fig. 5에서와 같이 영점이동량은 온도에 비례하므로 $\frac{\partial e_p}{\partial P} = a$, $\frac{\partial e_p}{\partial T} = b$ 인 상수로 두면 지압계 strain amp.의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$\Delta e_{out} = (a\Delta P + b\Delta T) A_p \dots\dots\dots (8)$$

Fig. 6(a)와 같은 블록선도로 나타낼 수 있다. 또한 온도검출부의 출력이 온도에 비례할 때,



(a) Block diagram of indicator system without temperature compensation. (b) Block diagram of indicator system with temperature compensation. (c) Block diagram of ideal indicator system.

Fig. 6. Block diagram of indicator system.

$\frac{\partial e_T}{\partial T}$ 는 상수 c 로 둘 수 있으므로 영점이동이 보상된 지압계 strain amp.의 출력은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며 Fig. 6(b)와 같은 블록선도로 나타낼 수 있다.

$$\Delta e_{out} = (a\Delta P + b\Delta T)A_p + c\Delta TA_v \dots\dots\dots(9)$$

식 (9)에서 $-bA_p = cA_v$ 일 때, $\Delta e_{out} = aA_p\Delta P$ 가 되어 Fig. 6(c)와 같이 영점이동이 없는 지압계를 실현할 수 있다.

3.2 보상장치 및 실험

Fig. 6(b)와 같은 블록선도를 실현키위해 Fig. 7과 같은 장치를 시험제작 하였다. Fig. 5(c)에서 냉각수량이 0.8l/min 이상이면 $dP/dT = -0.48$ 이며, 사용한 지압계의 감도가 $0.043\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}/\mu\text{ strain}$, strain amp.의 이득이 $0.357\mu\text{ strain/mV}$ 이었으므로, $A_p(\partial e_p/\partial P) = 65.14 \times 10^{-3}$

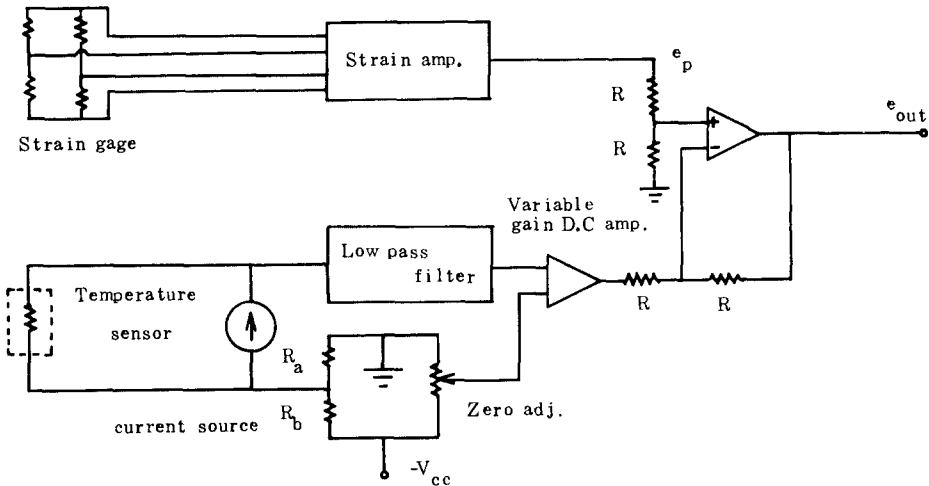


Fig. 7. Schematic circuit diagram of temperature compensated indicator system.

이다. 또한 $\partial e_p/\partial T = (\partial e_p/\partial P)(dP/dT)$ 이므로, $A_p(\partial e_p/\partial T) = bA_p = -31.27 \times 10^{-3}$ 이 된다.

따라서, $\partial e_T/\partial T = c = 0.467 \times 10^{-3}$ 이므로 $-bA_p = cA_v$ 의 조건을 만족하여 완전한 보상을 가하기 위해서 $A_v = 66.96$ 이 되어야 한다. Fig. 4의 장치에 Fig. 7과 같은 온도보상장치를 부가하여 $A_v = 67$ 로 두어, 온도보상을 했을 경우의 영점이동량을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 8의 (a), (b)는 영점이동을 보상했을 경우의 온도에 의한 영점이동량을 나타내며 지압계 부착 재질의 온도가 정상 운전중의 실린더 헤드 온도인 200°C 부근일 때 영점이동량은 지압계 F.S의 0.63%로 감소되었다. 따라서 지압계 나사부 내측에 temperature sensor를 부착하고 온도 출력을 증폭하여 strain amp.의 출력에 부가

함으로서 고정도의 압력측정이 가능함을 나타낸다. Fig. 8의 영점이동 선도에서 미소한 hyste-

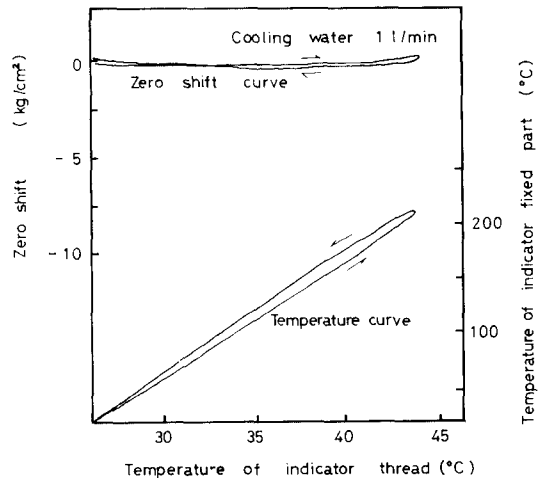


Fig. 8. (a) Zero-shift vs. temperature curve with temperature compensation. (cooling water 1l/min)

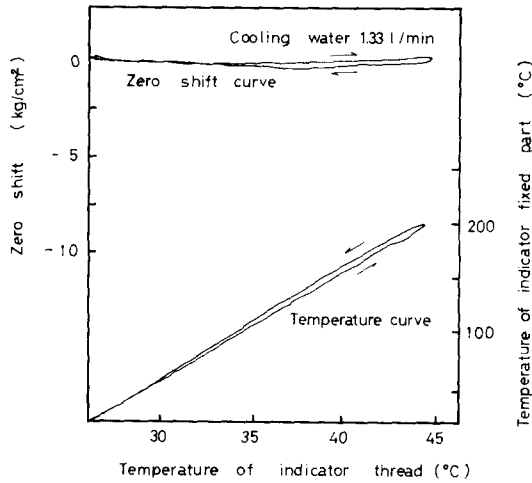


Fig. 8. (b) Zero-shift vs. temperature curve with temperature compensation. (cooling water 1l/min)

Fig. 8. Zero-shift curves with temperature compensated indicator.

resis는 지압계 고정부의 온도 분포가 불균일하여 온도검출점의 온도가 가열, 냉각시의 열팽창 및 수축을 대표하는 온도를 나타낼 수 없으며 선펡창계수의 2차항 이상의 고차항 계수가 엄밀히 0이 아니기 때문인 것으로 생각된다.

5. 결 론

현재 사용되는 strain gage-strain tube type indicator의 영점이동을 검토하고 이를 방지하기

위해 보상회로를 고안하여 보상한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지압계의 영점이동은 부의 압력방향으로 이동하고 그 이동량은 온도에 비례한다.

(2) 지압계가 장치되는 재질부의 온도와 지압계 나사부 내측의 온도는 직선적인 관계를 가지고 있다.

(3) 지압계의 영점이동량은 부착재질부의 온도가 200°C일 때 F.S의 10%가 발생했으나, 시험제작한 보상장치에 의해 0.63%로 감소시킬 수 있었다.

끝으로 본 연구는 산학협동재단의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것이며 동재단에 감사를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

- 1) 戸田 忠秀; 壓電形指壓計の取扱いと精度, 内燃機關, Vol. 16(臨時増刊), 1977/11, p.96-103.
- 2) 松岡 信; 内燃機關の壓力測定系, 内燃機關Vol. 11(臨時増刊), 1972/8, p. 25-46.
- 3) 松岡 信; 零點移動のない新しい水冷ひずみ計〈MPRE-MV〉式インジケータ, 日本機械學會誌, Vol. 65, No. 52, 1962/5, p. 118-128.
- 4) Kazuo Tsuchiya, I. Fuzi and H. Miyabe; Improvement of Zero-shift characteristic of Engine Indicator, Journal of the M.E. S. J., Vol. 14, No. 5, 1979, p. 43-50.
- 5) 吉田正一; 溫度の測定(I), 内燃機關, Vol. 15 (臨時増刊), 1976/9, p. 47-53.