

## 내연기관의 출력수정에 관한 평가

### Estimation for Output Correction of Internal Combustion Engine

김 문 현\*  
Mun Heon Kim

#### 1. 머리말

기관의 성능에 영향을 주는 인자로서는 외적 인자(outside factor), 작동인자(operating factor) 및 설계인자(design factor)의 3가지로 나눌 수 있다. 작동인자로서는 기관회전수, 공기연료비, 점화시기 또는 분사시기 등이며 설계인자로서는 행정체적, 압축비, 흡배기계통의 구조 및 치수, 냉각방식 등으로 기관에 따라 고유한 값을 가지는 인자이다.

그러나 외적인자인 대기조건 즉 대기압력, 대기온도 및 대기습도는 계절, 지역 및 기상조건에 따라 달라지므로 이것에 따라 기관이 흡입하는 공기의 압력, 온도 및 습도도 변화하게 된다. 그러므로 대기조건의 변화에 따라서는 기관작동인자인 공기연료비에도 영향을 미치게 할 것이고 또한 연소상태의 변화로 유효압축비에도 영향을 미치게 할 것이므로 대기상태의 변화는 곧 바로 기관출력의 변화를 초래하게 될 것이다.

그러므로 같은 운전조건에서의 기관출력도 대기상태의 변화에 따라 변화하게 되므로 임의의 대기상태에서 측정된 기관출력을 표준대기상태의 기관출력으로 환산해서 평가할 필요가 생긴다. 이것을 일반적으로 출력수정(output correction)이라 하고 있으며 각 나라마다 공업규격 또는 기타 규격으로 출력수정식을 제정

하고 있다. 예를 들면 K.S.B 9102, SAE J 816b, B.S. 765, DIN 70020, JIS B 8013 등이다.

이들 출력수정식들은 많은 문제점을 가지고 있으므로 종래의 출력수정식으로 출력수정을 하여도 정확하게 맞지 않은 경우가 많다. 출력수정에 관한 문제는 수 10년전부터 많은 연구자에 의하여 연구되고 거론되어 왔으나 과거의 연구자들이 제안하고 있는 출력수정식, 또는 규격으로 정하고 있는 출력수정방법은 어느 것이나 실용상 만족스러운 것이 아직 없다.

그러므로 본 자료는 스파이크 점화기관의 흡기습도에 관한 출력수정의 문제를 실험적으로 수행한 실험적 출력수정방법에 의한 것과 종래의 출력수정방법에 의한 것과의 비교 검토하였다.

#### 2. 종래의 출력수정식의 문제점과 실험적 출력수정의 배경

스파이크 점화기관에 적용되는 대표적인 출력수정식은  $L_{eo} = k L_e$ ,  $k = P_{ao}/P_a \cdot (T_a/T_{ao})^{1/2}$  과 같은 일반식으로 된다.  $L_e$  및  $k$ 는 기관출력 및 출력수정계수이고,  $P_a$ 는 전공기의 압력,  $T_a$ 는 대기의 온도이다. 또한 첨자  $o$ 는 표준대기상태를 표시한다. 여기서 대기공기의 습도를 고려하기 위하여 임의 측정상

\* 정회원, 송전대학교 공과대학

태 및 표준상태의 흡공기압력  $P$ 는  $P_0$ 로부터 수증기분압  $P_w$  및  $P_{w0}$ 를 각각 감하여 즉  $P_0 = P - P_w$  및  $P_{a0} = P_0 - P_{w0}$ 로 하여 건공기압력을 고려함으로써 습도의 영향을 고려하고자 한 것이다.

이들 출력수정식의 근거는 도시출력을  $L_i$ 로 하면  $L_i \propto G_a$ 로 하여 흡입공기량  $G_a$ 가  $G_a \propto P_a / \sqrt{T_a}$ 로 된다는 것이 이들 출력수정식의 근거이다.

이것의 문제점으로서서는 대기온도의 수정으로서  $G_a \propto 1/\sqrt{T_a}$ 로 하고 있지만 이것의 근거는 기관의 흡입과정을 가역단열과정으로 하여 유도한 것이다. 그러나 실제의 스파아크점화기관의 흡입과정은 가역단열과정이 아니며, 연료의 기화에 의한 온도강하, 기관고온부로부터의 열전달에 의한 온도상승의 영향을 받으므로 출력수정식에서와 같은 간단한 식으로 흡입공기량을 결정될 수는 없다.

또한 도시출력  $L_i$ 에 대한 생각에 있어서도 단순히  $L_i \propto G_a$ 로 하고 있지만 기관출력에 영향을 주는 여러 인자의 영향이 고려되어 있지 않는 점에 문제가 있다. 즉, 도시출력  $L_i$ 는 흡입공기량  $G_a$ 만이 아니고 공기연료비 AF, 연소효율  $\eta_c$  등의 함수로 표시된다.

대기조건의 변화에 따라 공기연료비 AF 및 도시열효율  $\eta_i$ 가 변화하지 않고 일정하면  $L_i \propto G_a$ 하는 것으로 생각해도 좋지만 대기조건이 변화하면 공기연료비가 변화하여 혼합기의 발열량 및 연소효율이 변화한다. 또한 공기연료비의 변화에 따라 사이클의 온도가 변화하기 때문에 열손실에 영향을 주어 열이용효율 및 사이클의 폴리트로프지수에도 영향을 주어 이들 인자의 영향은 도시열효율  $\eta_i$ 를 통하여 도시출력  $L_i$ 에 영향을 미치게 한다.

종래의 출력수정식은 이상 기술한 바와 같은 각 인자의 영향을 고려하지 못한 점에 문제점이 있었다.

출력수정에 관한 연구는 1900년 초기부터 현재에 이르기까지 많은 연구가 되어 왔으나 그들의 연구는 종래와 같은 출력수정식의 개선에 관한 연구가 압도적이고 그 내용은 극히

간단히 이용될 수 있는 식, 즉  $G_a$ 에 관한 기존의 식을 적용하여 제안된 방법이다.

한편 1960년대의 컴퓨터를 사용하여 반복 계산에 의한 기관의 열역학적 사이클의 이론 계산에 의한 방법이 있지만 완전한 계산식 및 대기조건이 변화하는 경우의 연소 변화에 대한 평가가 확립되어 있지 않고, 또한 임의의 기관으로의 적용성은 한층 더 곤란하므로 장애에 있어서도 이 방법으로는 해결이 쉽지 않을 것으로 본다.

이와 같이 종래의 출력수정에 관한 연구는 획기적인 발전이 없고 종래의 출력수정방법의 영역에 정체되어 있는 것이 현상이다.

그런데 실용적 출력수정방법으로서 간편하고도 어떠한 기관에도 적용할 수 있는 「실험적 출력수정 방법」을 Hirao<sup>(1)</sup>가 제안하였다.

이 제안은 일본 기계학회의 「내연기관의 출력수정에 관한 연구 분과회」(1965.6~1968.5)의 발족에 이르고, 참가회사 22개 회사의 협력과 대학 및 연구소의 연구자 20명의 찬동을 얻어 내연기관의 출력수정량을 실험에 의하여 간편하게 구하기 위한 실험방법을 확립할 것을 목적으로 실험연구를 행하여 왔다.

그 연구성과보고서<sup>(2)</sup>에 제시되어 있는 바와 같이 많은 연구 성과를 얻고 있지만 기본적인 문제의 해결이 없었기 때문에 실용적 단계에 도달하지 못한 것이 실정이었다.

그 큰 이유로는 실험적 출력수정법의 기본 개념에 관한 이론, 즉 대기조건, 각 변수의 함수가 서로 독립이고 출력은 대기조건 각 변수에 대하여 선형이 된다는 전제조건이 충분히 이루어지지 못하였고 또한 충분히 확인되지 못한 점이다.

그런데 Lee<sup>(3)</sup>는 이상과 같은 실험적 출력수정방법의 기본적이고 전제조건이 되는 대기조건 각 변수와 출력과의 함수관계로부터 실험적 출력수정에 있어서의 출력수정량을 구하는 관계식을 유도함으로써 실험적 출력수정방법의 기본 개념에 관한 이론을 확립하였고, 또한 그 타당성을 입증하였다.

### 3. 종래의 출력수정방법과 실험적 출력수정방법과의 비교

종래의 출력수정식은 식(1)과 같이 된다.

$$L_{eo} = L_e \cdot \frac{P_o - P_{wo}}{P - P_w} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_o}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $L_{eo}$ 는 표준대기상태에서의 출력이고, 즉 표준대기상태로 수정된 출력이며  $L_e$ 는 임의 대기상태에서 측정된 출력이다. 또한  $P_o$  및  $P_{wo}$ 는 표준대기상태에서의 흡공기의 압력 및 수증기분압이며, 따라서  $(P_o - P_{wo})$ 는 표준대기상태에서의 건공기 압력이 된다.  $P$  및  $P_w$ 는 임의 대기상태에서의 흡공기 압력 및 수증기 분압이다. 따라서  $(P - P_w)$ 는 임의 대기상태에서의 건공기 압력이며,  $T_o$  및  $T$ 는 표준대기상태의 온도 및 임의 대기상태의 온도이다.

그러므로 식(1)로 수정되는 출력수정량은 건공기량을 위주로 수정되는 셈이다.

한편, 실험적 출력수정방법의 개요는 다음과 같다.

어차피 임의 대기상태에 있어서의 기관출력은 실험에 의하여 측정해야 하므로 이것을 측정할때 Fig.1과 같은 간단한 실험장치를 구성하여 흡기 서어지탱크의 습도( $P_{iw}$ ), 압력( $P_i$ ) 및 온도( $T_i$ )를 변화시켜 이들에 대한 기관출력의 변화를 Fig.2 및 Fig.3에 나타낸 바와 같이 구하면 흡기의 습도, 압력 및 온도에 대한 출력수정계수를 구할 수 있다.

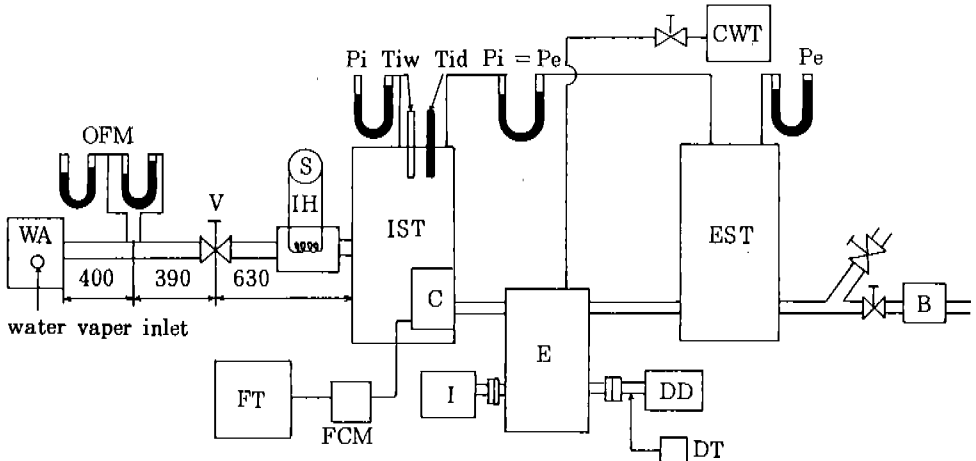
즉, 실험적 출력수정에 의한 출력수정식은 다음과 같다.<sup>(3)</sup>

$$L_e = f(P_i, T_i, P_{iw})$$

$$\Delta L_{eo} = L_e + \Delta L_e \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta L_e = \frac{\partial f}{\partial P_i} \cdot \Delta P_i + \frac{\partial f}{\partial T_i} \cdot \Delta T_i + \frac{\partial f}{\partial P_{iw}} \cdot \Delta P_{iw}$$

식(2)에서  $\Delta L_e$ 는 출력수정량이며 각항의 편미분계수는 출력수정계수이다.



- |                              |   |
|------------------------------|---|
| C : carbureter               | IH : inlet air heater                   |
| CWT: coolina water tank      | IST : inlet surge tank                  |
| DD : D-C dynamometer         | B : blower                              |
| DT : digital tachometer      | OFM: orifice flow meter                 |
| E : engine                   | Pi : pressure in the inlet surge tank   |
| EST: exhaust surge tank      | Pe : pressure in the exhaust surge tank |
| FCM: fuel consumption meter  | S : slidax                              |
| FT : fuel tank               | Tid : thermometer for dry temperature   |
| I : indicator recording unit | Tiw : thermometer for wet temperature   |
| WA : wet air chamber         | V : pressure control valve              |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

즉,  $\frac{\partial f}{\partial P_i}$ 는 흡기압력  $P_i$ 의 출력수정계수

이고,  $\frac{\partial f}{\partial T_i}$ 는 흡기온도  $T_i$ 의 출력수정계수

이며,  $\frac{\partial f}{\partial P_{i_w}}$ 는 흡기습도  $P_{i_w}$ 의 출력수정계수

이다. 또한  $\Delta P_i$ ,  $\Delta T_i$  및  $\Delta P_{i_w}$ 는 표준대기상태로부터의 흡기의 압력, 온도 및 수증기분압의 변화량이다.

이상과 같은 출력수정계수는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같은 실험결과로부터 쉽게 얻을 수 있다. Fig. 2 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 기관의 종류가 다르면 각 변수에 대한 출력수정계수도 다르다는 것을 지적할 수 있다.

실험에 사용에 두 종류의 기관A 및 기관B의 제원은 Table 1 및 2에 나타내었다.

Fig. 2는 기관A에 대한 것이며 흡기의 압력, 온도 및 습도의 출력수정계수는 각각 다음과 같다.

흡기압력의 수정계수  $\dots \frac{\partial f}{\partial P_i} =$

$$1.48 \times 10^{-2} \text{ kw/mm Hg}$$

흡기온도의 수정계수  $\dots \frac{\partial f}{\partial T_i} =$

$$-1.65 \times 10^{-2} \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

흡기습도의 수정계수  $\dots \frac{\partial f}{\partial P_{i_w}} =$

$$-4.40 \times 10^{-2} \text{ kw/mm Hg}$$

Fig. 3은 기관B에 대한 것이며 흡기의 압력, 온도 및 습도의 출력수정계수는 각각 다음과 같다.

흡기압력의 수정계수  $\dots \frac{\partial f}{\partial P_i} =$

$$6.0 \times 10^{-3} \text{ kw/mmHg}$$

흡기온도의 수정계수  $\dots \frac{\partial f}{\partial T_i} =$

$$-7.5 \times 10^{-3} \text{ kw/}^\circ\text{C}$$

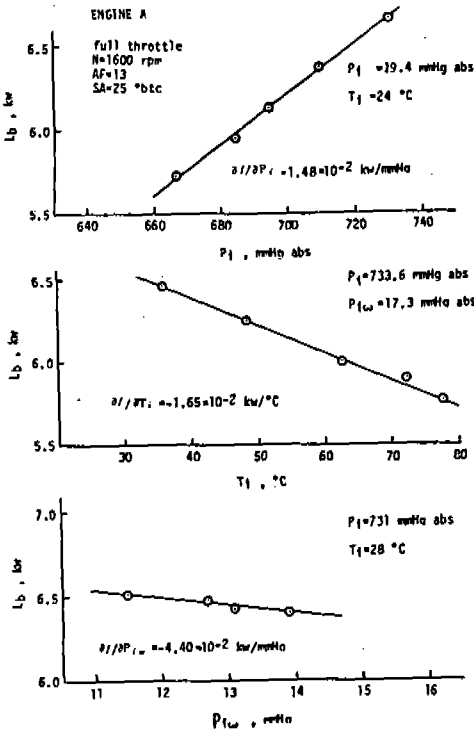


Fig.2 Change of output with  $p_i$ ,  $T_i$ ,  $P_{i_w}$

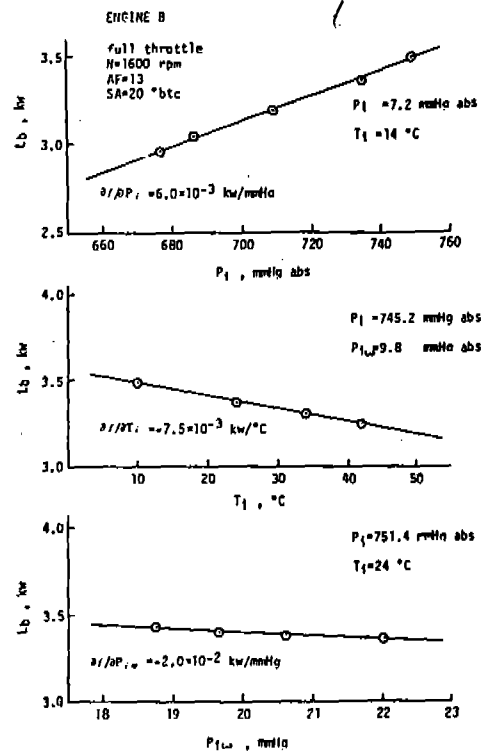


Fig.3 Change of output with  $p_i$ ,  $T_i$ ,  $P_{i_w}$

$$\begin{aligned} \text{흡기습도의 수정계수} \dots \frac{\partial f}{\partial P_{iw}} &= \\ &= -2.0 \times 10^{-2} \text{ kw/mmHg} \end{aligned}$$

Table 1. Specification of Engine Used (Engine A)

Engine Type	Four cycle kerosene engine, water cooled horizontal type valve in head
Bore × Stroke	90 × 105 mm
Displacement	667 cm <sup>3</sup>
Compression ratio	4.5
Number of cylinder	1
Length of con. rod	180 mm
Method of ignition	Magneto ignition

Table 2. Specification of Engine Used (Engine B)

Engine Type	Four stroke cycle engine, Air cooling vertical type, L- Head type
Bore × Stroke	90 × 70 mm
Stroke volume	445 cm <sup>3</sup>
Compression ratio	4.5
Number of Cylinder	1
Length of Connecting Rod	133 mm
Method of Ignition	Battery Ignition

이것에 비하여 종래의 출력수정식을 사용하여 출력수정을 한 것이 Table 4 및 Table 6 이다.

이상과 같은 출력수정계수를 기관A 및 기관

B에 대하여 구하고 식(2)로부터 출력을 수정한 것을 기관A에 대하여는 Table 3에 나타내고, 기관B에 대해서는 Table 5에 나타내었다.

이들의 오차는 거의 0%에 가까울 정도로 정확성이 매우 높다.

Table 4는 기관A에 대한 것이며 Table에서 보는 바와 같이 수정출력은  $(L_{eo})_{mean} = 6.79 \text{ kw}$  인데 실험적 출력수정방법으로 구한  $(L_{eo})_{mean} = 7.09 \text{ kw}$ 이다. 따라서 종래의 출력수정방법 0.3 kw만큼 출력의 수정이 부족한 셈이다. 그 오차( $\frac{L_{eo}}{7.09}$ )는 -3.5% ~ -4.8%로 출력수정량이 부족했다는 결과로 된다.

기관B에 있어서도 이와 같은 사항은 크게 다름이 없다.

이상과 같은 결과를 종합하면 실험적 출력수정방법으로 출력수정을 한 경우는 흡기습도, 흡기압력 및 흡기온도의 영향이 기관출력에 모두 영향을 미치고 있고, 다시 말해서 이들에 대한 연소, 사이클, 각종 손실 등 모든 영향이 출력수정계수안에 포함되므로 그 출력수정에 대한 오차가 거의 0%에 가깝게 얻어지는 것이다.

종래의 출력수정식으로는 건공기량을 위주로 출력수정을 했기 때문에 출력수정량이 부족한 것은 당연하며 수정오차도 3~4%를 초과하고 있다.

이와같은 수정오차 3~4%는 비교적 적은 값같이 보이지만, 대출력기관이 될수록 그 오차에 대한 절대량은 무시 못할 정도로 크게 된다.

Table 3. Example of experimental output correction (Engine-A)

Items Test Engine	observed				corrected				errors		
	$L_e$ (kw)	$P_i$ (mmHg)	$T_i$ (°C)	$P_{iw}$ (mmHg)	$\frac{\partial f}{\partial P_i} \Delta P_i$	$\frac{\partial f}{\partial T_i} \Delta T_i$	$\frac{\partial f}{\partial P_{iw}} \Delta P_{iw}$	$\Delta L_e$ (kw)	$L_{eo}$ (kw)	$(L_{eo})_{mean}$ (kw)	$\frac{L_{eo}}{(L_{eo})_{mean}}$ (%)
Engine A	6.51	731	28	11.51	0.43	0.132	0.02244	0.584	7.09	7.09	0.0
	6.47			12.69			0.07434	0.636	7.10		0.1
	6.42			13.08			0.09152	0.654	7.07		-0.3
	6.40			13.93			0.12892	0.691	7.09		0.0

$$\Delta P_i = 29 \text{ mmHg} \quad \Delta T_i = -8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{\partial f}{\partial P_i} = 1.48 \times 10^{-2} \text{ kw/mmHg} \quad \frac{\partial f}{\partial T_i} = -1.65 \times 10^{-2} \text{ kw/}^\circ\text{C} \quad \frac{\partial f}{\partial P_{iw}} = -4.40 \times 10^{-2} \text{ kw/mmHg}$$

Table 4. Example of conventional output correction(Engine A)

$$L_{eo} = L_e \times \frac{P_o - P_{wo}}{P_i - P_{iw}} \sqrt{\frac{T_i}{T_o}}$$

Test Engine	observed				corrected					errors	
	$L_e$ (kw)	$P_i$ (mmHg)	$T_i$ (°C)	$P_{iw}$ (mmHg)	$P_i - P_{iw}$ (mmHg)	$P_o - P_{wo}$ (mmHg)	$\sqrt{\frac{T_i}{T_o}}$	$L_{eo}$ (kw)	$(L_{eo})_{mean}$ (kw)	$\frac{L_{eo}}{(L_{eo})_{mean}}$ (%)	$\frac{L_{eo}}{7.09}$ (%)
Engine A	6.51	731	28	11.51	719.49	749	1.01	6.84	6.79	0.7	-3.5
	6.47			12.69	718.31			6.81		0.3	-3.9
	6.42			13.08	717.92			6.76		-0.4	-4.7
	6.40			13.93	717.07			6.75		-0.6	-4.8

In errors column, numerical number 7.09 is mean output corrected ( $L_{eo})_{mean}$  for experimental output correction.

Table 5. Example of experimental output correction(Engine B)

Test Engine	observed				corrected					errors	
	$L_e$ (kw)	$P_i$ (mmHg)	$T_i$ (°C)	$P_{iw}$ (mmHg)	$\frac{\partial f}{\partial P_i} \Delta P_i$	$\frac{\partial f}{\partial T_i} \Delta T_i$	$\frac{\partial f}{\partial P_{iw}} \Delta P_{iw}$	$\Delta L_e$ (kw)	$L_{eo}$ (kw)	$(L_{eo})_{mean}$ (kw)	$\frac{L_{eo}}{(L_{eo})_{mean}}$ (%)
Engine B	3.43	751.4	24	18.76	0.052	0.03	0.155	0.237	3.67	3.66	0.3
	3.40			19.67			0.173	0.255	3.66		0.0
	3.39			20.58			0.192	0.274	3.66		0.0
	3.36			22.04			0.221	0.303	3.66		0.0

$$\frac{\partial f}{\partial P_i} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ kw/mmHg}$$

$$\frac{\partial f}{\partial T_i} = -7.5 \times 10^{-3} \text{ kw/°C}$$

$$\frac{\partial f}{\partial P_{iw}} = -2.0 \times 10^{-2} \text{ kw/mmHg}$$

Table 6. Example of conventional output correction(Engine B)

Test Engine	observed				corrected					errors	
	$L_e$ (kw)	$P_i$ (mmHg)	$T_i$ (°C)	$P_{iw}$ (mmHg)	$P_i - P_{iw}$ (mmHg)	$P_o - P_{wo}$ (mmHg)	$\sqrt{\frac{T_i}{T_o}}$	$L_{eo}$ (kw)	$(L_{eo})_{mean}$ (kw)	$\frac{L_{eo}}{(L_{eo})_{mean}}$ (%)	$\frac{L_{eo}}{3.66}$ (%)
Engine B	3.43	751.4	24	18.76	732.6	749	1.007	3.53	3.50	0.9	-3.6
	3.40			19.67	731.7			3.50		0.0	-4.4
	3.39			20.58	730.8			3.50		0.0	-4.4
	3.36			22.04	729.4			3.47		-0.9	-5.2

$$L_{eo} = L_e \times \frac{P_o - P_{wo}}{P_i - P_{iw}} \sqrt{\frac{T_i}{T_o}}$$

In errors column, numerical number 3.66 is mean output corrected ( $L_{eo})_{mean}$  for experimental output correction.

## 4. 끝 맺 음

기관 성능에 영향을 주는 인자중 외적인 인자 인 흡기압력, 흡기온도 및 흡기습도가 변화하면 첫째로 화염속도가 변화하고 이것에 의하여 질량연소가 변화하며 또한 이것이 사이클을 변화시켜 이들이 기관성능에 영향을 주게 되는데 간단한 출력수정식에 이와 같은 사항을 고려한다는 것은 곤란하며, 이와 같은 모든 영향을 고려하기 위해서는 실험적 출력수정방법에 의존해야 할 것으로 생각하며 본인이 수행한 흡기습도에 관한 실험적 출력수정을 자료로 제공하니 참고해 주시기 바라는 바이다.

## 참 고 문 헌

1. 平尾收 ; 内燃機關の出力修正に關する諸問題, 日本機械學會誌, Vol. 73, No. 617, 1945 - 6.
2. 日本機械學會 ; 内燃機關の出力修正に關する研究分科會 研究成果報告書, 1969 - 2.
3. 李成烈 ; 火花點火機關の實驗的出力修正法, 日本自動車技術會論文集, No. 24, pp. 3~10, 1982.