

실험적 출력수정의 방법

李 成 烈

<成均館大 工大 機械工學科 · 工博>

1. 서 론

피스톤기관의 출력은 흡입공기량(W_a)에 의하여 대략 그 한계가 정해지며, 이 흡입 공기량은 대기조건에 따라 변화한다. 또한, 대기조건은 지역이나 계절의 기상조건에 따라 변화한다. 따라서 기관의 동력을 평가하는데 있어서는 표준 대기상태를 설정하며 표준대기 상태에서 발생하는 출력으로 환산하여 평가할 필요가 있다. 이와같이 임의대기상태에서 발생한 출력을 표준대기상태의 출력으로 환산하는 것을 출력수정이라 한다.

이와같은 출력수정의 필요성에 대하여 각 나라에서는 각각 독자적인 출력수정 방법을 규정하고 있다. 스파아크 점화기관에 관한 대표적인 출력수정식으로서, 예를 들면 SAE J 816b, B.S. 765, DIN 70020, JIS B 8013 등은 $L_{e0} = KL_e$, $K = \frac{P_{a0} - P_{aw0}}{P_a - P_{aw}} \left(\frac{T_a}{T_{a0}} \right)^{0.5}$ 과 같은 일반식으로 표시된다. 다만, L_e 및 K 는 제동출력(brake power) 및 출력수정계수이며, P_a 및 T_a 는 대기의 압력 및 온도이고, P_{aw} 는 대기의 수증기분압이다. 또한, 첨자 0는 표준대기상태를 표시한다.

이 수정식의 근거는 도시출력(indicated power)을 L_i 라고 하면, $L_i \propto W_a$ 라 하고, $W_a \propto P_a / \sqrt{T_a}$ 가 되는 것으로 생각하고 있다. SAE J 816 b에서는 L_i 를 수정하여 기계효율 η_m 을 고려함으로써 L_e 의 수정에 대한 배려를 하고 있지만, 기타는 η_m 을 일정으로 간주하여 L_e 의 수정을 하

고 있다.

이들 수정식의 문제점은 첫째, 대기온도의 수정에 있어서 $W_a \propto 1/\sqrt{T_a}$ 로 하고 있지만, 이것의 근거는 기관의 흡입과정을 등엔트로피 과정으로 하여 유도한 것인데, 실제의 스파아크점화기관의 흡입과정은 등엔트로피과정이지 않고, 연료의 기화에 의한 온도강하 ΔT_1 , 기관고온부로부터의 열전달에 의한 온도상승 ΔT_2 등의 영향을 받으므로 W_a 는 $(T_a - \Delta T_1 + \Delta T_2)$ 에 역비례하는 것으로 생각해야 한다.

또한, 기계효율의 고려에 있어서도 모우터링 운전시의 마찰동력을 측정하여 편의적인 기계효율의 고려를 하고 있을 따름이다. 모우터링 운전시의 기관 각부의 온도는 발화운전시의 기관 각부의 온도와 다르기 때문에 참 마찰동력을 구하는 것은 어려운 일이다.

더욱, L_i 에 관한 생각은 단순히 $P_i \propto W_a$ 로만 처리하고 있는데, $L_i = \frac{1}{A/F} W_a q \eta$ 에 있어서 공기연료비 A/F 및 열효율 η 가 일정하면 $L_i \propto W_a$ 이지만, 대기조건이 변화하면 A/F 가 변화하고, 이것에 따라 혼합기의 발열량 q 가 변화하며, 또한 연소상태 등의 변화로 열효율 η 가 변화하게 되므로 대기조건의 변화에 대한 $L_i \propto W_a$ 로 될 수 있다는 보장은 할 수 없다.

이상은 종래의 출력수정식에 관한 문제점들을 지적하였지만, 출력수정에 관한 연구는 1900년 대 초기로부터 현재까지 많은 연구¹⁾가 있었지만, 이들의 연구는 종래의 출력수정식의 개선에 관한 연구가 압도적이고, 그 내용은 극히 간단

하게 이용될 수 있는 식, 즉 W_a 에 관한 기존의 식을 적용하여 제안된 방법이므로 상술한 문제점에 대한 해결책은 없고, 종래의 수정방법의 영역에 정제되어 있는 것이 현상이다.

종래의 수정식은 상술한 바와같은 여러인자의 고려가 되어 있지 않은 점에 문제가 있었지만, 이들 인자의 영향을 간단한 수정식에 고려한다는 것은 곤란한 문제이며, 가령 이와같은 영향을 이론적으로 유도할 수 있다하더라도 식이 복잡하여, 실용성이 없게 된다. 또한, 이들 인자의 영향은 기관에 따라 다르므로 통일적인 수정식을 수립하기란 거의 불가능이라 해도 좋을 것이다.

그러므로 저자는 종래의 출력수정식을 개선하겠다는 방침을 버리고, 종래의 수정방법에서도 $L_{e0} = KL_e$ 에서 임의 대기상태의 L_e 는 어차피 측정을 해야 하므로 이 L_e 를 측정하는 점에 필요한 수정치를 정확하게 구할 수 있는 간편하고도 어떠한 내연기관에도 적용될 수 있는 실험적인 방법을 구하고자 하는데 눈을 돌리게 된다. 이와같은 출력수정방법을 실험적 출력수정방법이라 부르기도 한다.

실험적 출력수정방법을 확립하기 위해서는 기관출력과 대기조건 각 변수와의 함수관계를 명확히 하고, 이것으로부터 출력수정량을 구하는 식을 발전시켜야 하며, 둘째로는 실험적 출력수정식을 유도함에 있어서 출력에 대하여 대기조건 각 변수의 함수는 서로 독립이고, 선형이어야 한다는 전제조건을 실험적인 확증이 이루어져야만 한다.

따라서, 저자는 이와같은 문제에 대한 해답을 이미 보고²⁾한 바 있으며, 앞으로 기관의 출력수정에 관한 문제에 관심을 가지는 분들께 자료로서 제공하고자 하는 바이다.

2. 실험적 출력수정방법의 이론

2.1. 기본개념에 관한 이론

왕복형내연기관의 출력은 흡입공기량에 의하여 대략 그 한계가 정해지므로 최대부하시의 기

관출력은, 대기상태의 변화량이 비교적 좁은 범위에 있어서는 기관의 흡입산소량 (O_2)에 대략 비례하는 것으로 생각된다.

그러므로 임의대기조건에 있어서의 기관출력 (L_e)은, 회전수 일정의 경우, 대기의 압력 (P_a), 온도 (T_a) 및 습도 (P_{aw})의 함수로서 다음과 같이 표시된다.

$$L_e = F(O_2) = f(P_a, T_a, P_{aw}) \quad (1)$$

일반으로 기관이 작동하는 대기상태의 변화범위에 있어서 대기조건의 변수 P_a, T_a, P_{aw} 의 연속적인 변화에 따라 기관출력도 연속적으로 변화한다. 이것을 수학적으로 표현하면 기관출력은 기관의 작동구간에 있어서 연속이고, 미분가능하다는 것이 된다. 이것은 대기조건의 변화가 불연속이 아닌 한 성립되며 통상 관찰되고 있는 현상이다.

따라서 (1)식을 Taylor 급수로 전개하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & f(P_a + \Delta P_a, T_a + \Delta T_a, P_{aw} - \Delta P_{aw}) \\ &= f(P_a, T_a, P_{aw}) + \frac{1}{1!} \left(\Delta P_a \frac{\partial}{\partial P_a} \right. \\ & \quad \left. + \Delta T_a \frac{\partial}{\partial T_a} + \Delta P_{aw} \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \right) f(P_a, T_a, P_{aw}) \\ & \quad + \frac{1}{2!} \left(\Delta P_a \frac{\partial}{\partial P_a} + \Delta T_a \frac{\partial}{\partial T_a} \right. \\ & \quad \left. + \Delta P_{aw} \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \right)^2 f(P_a, T_a, P_{aw}) \\ & \quad + \dots \\ & \quad + \frac{1}{(n-1)!} \left(\Delta P_a \frac{\partial}{\partial P_a} + \Delta T_a \frac{\partial}{\partial T_a} \right. \\ & \quad \left. + \Delta P_{aw} \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \right)^{n-1} f(P_a, T_a, P_{aw}) \\ & \quad + R_n \end{aligned} \quad (2)$$

다만,

$$\begin{aligned} R_n = & \frac{1}{n!} \left(\Delta P_a \frac{\partial}{\partial P_a} + \Delta T_a \frac{\partial}{\partial T_a} \right. \\ & \left. + \Delta P_{aw} \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \right)^n f(P_a + \theta \Delta P_a, T_a + \theta \Delta T_a, \\ & P_{aw} + \theta \Delta P_{aw}), \quad 0 < \theta < 1 \end{aligned}$$

여기서 다음과 같은 가정을 둔다.

[가정 1] 함수 f 를 구성하는 3 독립변수 P_a, T_a, P_{aw} 의 함수는 서로 독립이다.

이것을 식으로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial T_a} \left(\frac{\partial f}{\partial P_a} \right) &= \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \left(\frac{\partial f}{\partial P_a} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial P_a} \left(\frac{\partial f}{\partial T_a} \right) = \frac{\partial}{\partial P_{aw}} \left(\frac{\partial f}{\partial T_a} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial T_a} \left(\frac{\partial f}{\partial P_{aw}} \right) = \frac{\partial}{\partial P_a} \left(\frac{\partial f}{\partial P_{aw}} \right) = 0 \end{aligned}$$

[가정 2] 함수 $f(P_a, T_a, P_{aw})$ 는 각각의 독립 변수 P_a, T_a, P_{aw} 에 대하여 선형이다.

이것을 식으로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 f}{\partial P_a^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial T_a^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial P_{aw}^2} = 0$$

이상의 가정은 지리적, 기상적 조건에 의한 대기조건의 변화범위에 있어서 문제가 없으면 좋다. 따라서 실험으로 가정 1 및 2는 확인되어야 한다.

가정 1 및 2가 성립하면 (2)식은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} f(P_a + \Delta P_a, T_a + \Delta T_a, P_{aw} + \Delta P_{aw}) \\ = f(P_a, T_a, P_{aw}) + \frac{\partial f}{\partial P_a} \Delta P_a \\ + \frac{\partial f}{\partial T_a} \Delta T_a + \frac{\partial f}{\partial P_{aw}} \Delta P_{aw} \end{aligned} \quad (3)$$

지금, 표준대기의 압력, 온도 및 습도를 각각 P_{a0}, T_{a0} 및 P_{aw0} 라고 하면 표준대기상태에 대한 대기조건의 각 변수의 변화량은 $\Delta P_a = P_{a0} - P_a, \Delta T_a = T_{a0} - T_a, \Delta P_{aw} = P_{aw0} - P_{aw}$ 로 되며 (3)식의 $f(P_a + \Delta P_a, T_a + \Delta T_a, P_{aw} + \Delta P_{aw}) = f(P_{a0}, T_{a0}, P_{aw0})$ 로 된다.

따라서, 표준대기상태의 기관출력 (L_{e0})는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} L_{e0} = L_e + \frac{\partial f}{\partial P_a} \Delta P_a + \frac{\partial f}{\partial T_a} \Delta T_a \\ + \frac{\partial f}{\partial P_{aw}} \Delta P_{aw} \end{aligned} \quad (4)$$

즉, 표준대기상태에 대한 기관출력의 변화량 ΔL_e 는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \Delta L_e = L_{e0} - L_e = \frac{\partial f}{\partial P_a} \Delta P_a + \frac{\partial f}{\partial T_a} \Delta T_a \\ + \frac{\partial f}{\partial P_{aw}} \Delta P_{aw} \end{aligned} \quad (5)$$

(5)식의 각 편미분계수는 실험적으로 구할 수 있는 각 변수의 출력수정계수이다.

표준대기상태의 기관출력 L_{e0} 는 이상과 같이 구할 수 있지만, 실험장치를 간략화하기 위해서는 흡기압력을 내리고, 배기압력을 높이는 것은 흡·배기계의 관로에 드로틀밸브를 설치함으로써 용이하게 실시된다. 또한, 흡기온도의 증가 및 습도의 증가도 흡기가열 및 증기혼입을 하면 용이하게 실현가능하다.

그래서, 이 간이실험장치의 대기조건으로서 흡기서어지탱크(inlet surge tank)의 압력(P_i), 온도(T_i), 습도(P_{iw}) 및 배기서어지탱크(exhaust surge tank)의 압력(P_e)으로 하고, 이들의 함수가 전술한 가정 1 및 2를 만족하면 표준대기상태에 대한 기관출력의 변화량 ΔL_e 는 다음과 같이 표시된다.

$$L_e = g(P_i, P_e, T_i, P_{iw}) \quad (1)^*$$

$$\begin{aligned} \Delta L_e = \frac{\partial g}{\partial P_i} \Delta P_i + \frac{\partial g}{\partial P_e} \Delta P_e + \frac{\partial g}{\partial T_i} \Delta T_i \\ + \frac{\partial g}{\partial P_{iw}} \Delta P_{iw} \end{aligned} \quad (5)^*$$

(5)*식의 각 편미분계수는 간이실험장치를 사용하여 실험적으로 구하는 각 변수의 출력수정계수이다.

이상에 기술한 바와 같이 실험적 출력수정방법은, 내연기관의 출력에 대한 대기상태의 영향은 대기의 압력, 온도 및 습도를 각각 독립으로 변화시킨 경우의 출력에 대한 영향량을 더한 것과 같다는 기본개념을 바탕으로 하고 있으며, 보통의 실험실에서 기관출력을 측정할 때, 겸하여 그 기관고유의 출력수정계수를 구한다는 것이다.

2.2. 독립 및 선형에 관한 조건

실험적 출력수정방법에 있어서 기관출력과 대기조건 각 변수와의 관계는 가정 1 및 2에 의하여 대기조건 각 변수의 함수는 서로 독립이고, 기관출력은 각각의 변수에 대하여 선형이었다. 이 조건은 실험적 출력수정방법의 전제조건이 되는 것이다.

그림 1에 이 전제조건을 나타낸다. 즉, 그림 1(a)의 윗그림과 같이 변수 P_a 에 대한 기관출력 P_b 의 편미분계수 $\frac{\partial L_e}{\partial P_a}$ 가 매개변수로 취한

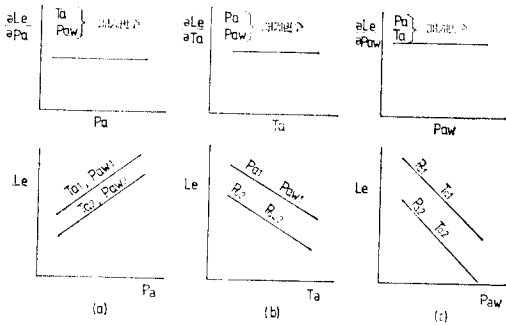


그림 1. 대기조건 각 변수의 함수의 독립 및 선형

T_a , P_{aw} 에 관계없이 일정하면, P_a 의 L_e 에 대한 영향은 독립이고, 선형이다. 이것은 아래 그림과 같이 매개변수(parameters) T_{a1} , P_{aw1} 에 대한 기관출력을 L_{e1} , 매개변수 T_{a2} , P_{aw2} 에 대한 기관출력을 L_{e2} 라 하면 이것들은 직선적 변화이고, 또한 직선의 구배 b 가 동일해야 함을 말한다.

즉, $L_{e1} = a_1 + bP_a$, $L_{e2} = a_2 + bP_a$ 로 된다.

또한, 변수 T_a 및 P_{aw} 에 대하여도 그림 1(b) 및 (c)에 표시하는 바와같이 (a)의 경우와 동일하다.

2.3. 출력수정계수를 구하는 방법

각 변수의 출력수정계수는, 실험에 의하여 그림 3에서 그림 7에 표시하는 바와같이 구한다. 이 경우, 대기의 압력, 온도, 습도의 출력수정계수를 각각 $N_{P_a} = \frac{\partial f}{\partial P_a}$, $N_{T_a} = \frac{\partial f}{\partial T_a}$, $N_{P_{aw}} = \frac{\partial f}{\partial P_{aw}}$ 로 하고, 흡기압력 및 배기압력의 출력수정계수를 각각 $N_{P_i} = \frac{\partial g}{\partial P_i}$, $N_{P_e} = \frac{\partial g}{\partial P_e}$ 로 한다.

또한, 흡기온도 및 흡기습도의 출력수정계수를 각각 $N_{T_i} = \frac{\partial g}{\partial T_i}$, $N_{P_{i,w}} = \frac{\partial g}{\partial P_{i,w}}$ 라고 하면, 본질적으로 다를바 없으므로 $N_{T_a} = N_{T_i} = \frac{\partial f}{\partial T_a} = \frac{\partial g}{\partial T_i}$ 및 $N_{P_{aw}} = N_{P_{i,w}} = \frac{\partial f}{\partial P_{aw}} = \frac{\partial g}{\partial P_{i,w}}$ 이다.

그러나, 대기압력의 출력수정계수 N_{P_a} 는, 실험적 출력수정방법의 기본개념에 따라 $N_{P_a} =$

$N_{P_i} + N_{P_e}$ 로서 얻어진다.

출력수정계수만을 구하고자 할 때의 실험장치는 그림 2에 나타난 실험장치에서 송풍기 쪽의 배기관로, 공기연료비계, $P_i = P_e$ 를 측정하기 위한 마노미터 등은 필요하지 않으며, 또한 지압선도를 측정하기 위한 장치도 필요없다. 이들의 장치는 여러 문제를 해석하기 위해 사용될 따름이다.

이 경우, 출력수정량은 (5)식에 의하여 구해진다. 이 경우, 흡기압력 P_i 는 저하시키고, 배기압력 P_e , 흡기온도 T_i , 흡기습도 $P_{i,w}$ 는 높이는 실험을 하며, 수정범위는 필요에 따라 취하면 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1. 실험장치의 개요

(5)식에 의하여 출력수정량을 구하는 경우, 실험장치는 기본적으로 흡기압력, 배기압력, 흡기온도 및 흡기습도를 변화시키는 장치가 필요하다. 이 경우, 흡기압력을 내리고, 배기압력을 높이는 실험에 의하여 구한 출력수정계수사이에 $N_{P_a} = N_{P_i} - N_{P_e}$ 인 관계가 확인되면 실험장치를 간단화할 수 있다.

장치로서는 흡입관입구 및 배기관출구의 압력 변동이 없도록 충분히 큰 용적의 흡기 및 배기 서어지탱크(본 실험장치에서는 각각 100l)를 두고, 이 서어지탱크내의 압력을 각각 흡기압력 P_i , 배기압력 P_e 로 하면 된다.

흡기온도 T_i 를 높이기 위해서는 가열기를 사용하고, 흡기습도 $P_{i,w}$ 의 변화는 증기가습을 하면 된다.

3.2. 실험장치에 대한 고려사항

실험적 출력수정방법은 대기상태 대신, 흡·배기상태를 변화시켜 행하므로 실험장치에 대하여는 다음과 같은 고려가 필요하다.

(1) 기화기 플로우트릴 및 연료탱크의 압력 대기압력이 변화하는 경우는 기화기 플로우트릴 및 연료탱크의 압력은 대기압력의 변화에 따

라 변화한다. 그러므로 기화기 플로우트실 및 연료탱크의 압력변화는 공기연료비에 영향을 주는 요인이 되므로 기화기를 흡기서어지탱크내에 부착하고, 연료탱크도 밀폐하여 흡기서어지탱크와 파이프로 연결하면 된다.

(2) 기관 주위온도의 영향

본 실험방법에서는 기관 주위온도의 출력에 미치는 영향을 무시하고 있으므로 기관외벽의 방열상태에 차이를 발생하는 것과, 연료온도의 차이에 의하여 공기연료비가 변화할 염려가 있다.

기관외벽의 방열상태의 차이는, 공냉식기관의 경우는 약간의 문제가 있으리라 생각되지만, 수냉식기관의 경우는 냉각수 온도를 소정의 온도로 유지하면 겨울이나 여름을 통해서 출력수정계수에 영향을 미치게 할 만큼의 문제는 없었다.

또한, 연료온도의 차이에 관해서는 기화기를 흡기서어지탱크내에 부착하여, 필요하면 서어지탱크내의 연료파이프를 충분한 길이로 하면 흡기온도와 동일온도로 할 수 있다.

3.3. 실험장치

(1) 실험용 기관

실험용 기관의 주요제원을 표 1에 나타낸다. 기관은 농공용 기관이며 방열기를 제거하고, 일정해드를 가지는 냉각수탱크를 설치하여 연속적으로 냉각수를 흐르게 하여 냉각수 유량조절 밸브로 냉각수 온도를 일정하게 조절하도록 하였다. 기관은 전기 동력계에 직결된다.

표 1. 실험기관의 주요제원

형식	4 사이클, 수냉식, 농공용기관
내경×행정	85mm×85mm
행정체적	482cm ³
압축비	4.8
실린더수	1

(2) 실험장치

그림 2는 실험장치의 약도이다. 기관의 흡기쪽은, 흡기입구로 부터 가슴용공기실, 흡입공기 유량측정용의 오리피스(φ12), 드로틀밸브, 가열

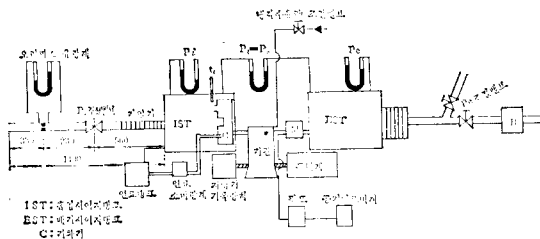


그림 2. 실험장치 약도

기(1.5kW 2개를 안지름 42mm의 흡기관내에 설치), 또한, 용적 100l의 흡기서어지탱크를 두고, 흡기서어지탱크에 흡기압력(P_i) 측정용의 수은마노미터 및 흡기온도(T_i) 측정용의 수은막대온도계를 부착한다.

기화기는 흡기서어지탱크내에 설치하여 연료온도를 흡기온도와 동등하게 하기 위하여 흡기서어지탱크내의 연료파이프를 동파이프로 하고, 코일상으로 감아 약 2m의 길이로 하였다.

또한, 연료탱크는 밀폐하여 흡기서어지탱크와 파이프로 연결하였다.

배기쪽은, 기관의 배기공으로 부터 배기공출구에 열전대(CA, 1.6mm)를 삽입하여 배기가스 온도 측정을 하도록 하였고, 기관과 배기서어지탱크와의 중간에 배기추출관을 부착하여 공기연료비계로 연결한다. 배기압력을 강하하여 변화시키는 경우를 고려하여 공기연료비계의 전방에 펌프를 부착하여 배기추출을 펌프구동에 의하여 행하도록 하였다.

100l 용적의 배기서어지탱크에는 수은마노미터를 설치하여 배기압력(P_e)을 측정하도록 하였다.

또한, 대기압력이 변화하는 경우와 동등한 실험을 하기 위하여 배기서어지탱크 후방의 배기관은 2개의 통로로 하고, 그 각각에 드로틀밸브를 부착하여 한쪽은 송풍기(Root's blower)로 흡입함으로써 흡기압력과 배기압력을 같게($P_i = P_e$) 유지하면서 강하하여 변화시키도록 하였다.

(3) 공기연료비

공기연료비계(Rauter 식)는 공기연료비의 조절 및 기관운전중의 모니터로 사용한다. 해석에 사용하는 공기연료비는 오리피스유량계에 의한 흡입공기량의 측정과 연료탱크와 기화기의 중간에

설치한 광전식 연료소비량계로 측정한 연료유량으로 부터 산출한다.

3.4. 실험방법

(1) 운전조건

기화기의 드로틀밸브를 전개로 하여 최대토오 크발생의 회전수인 1800 rpm 으로 운전한다.

점화진각은, 흡기조건 10%의 변화 범위 에 있어서 최적점화진각(24°btc)으로 한다.

사용연료는 가솔린이며, 공기연료비는 목적에 따라 조절한다. 예를 들면, 통상의 운전과 같이 어느 값으로 초기설정하여 조절하지 않거나, 또는 어느 일정공기연료비로 조절하기도 한다.

냉각수온도는 방각수유량 조절밸브를 사용하여 80°C로 조절한다.

4. 실험결과

4.1. 독립 및 선형에 관한 실증

그림 3에서 그림 5까지는 그림 2의 실험장치를 사용하여 P_a , T_a 및 P_{aw} 의 함수가 독립이고 선형임을 실증하기 위한 실험결과이다. 매개변수의 변화범위는 비교적 좁지만 대기조건 각 변수의 함수는 독립이고, 선형임을 나타내고 있다. 따라서, 가정 1 및 2가 성립됨을 알 수 있다. 여기서, P_a 의 변화는 $P_i = P_e$ 인 실험을 한 것이다.

또한, 전술한 바와같이 실험을 더욱 간략화하

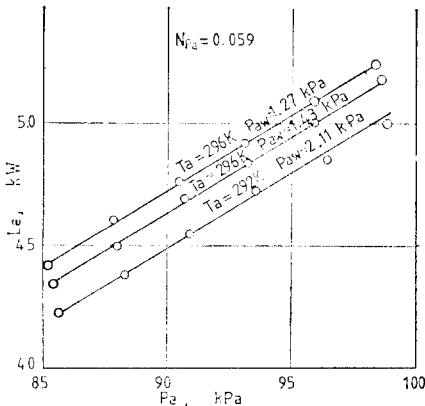


그림 3. 함수 P_a 의 독립 및 선형

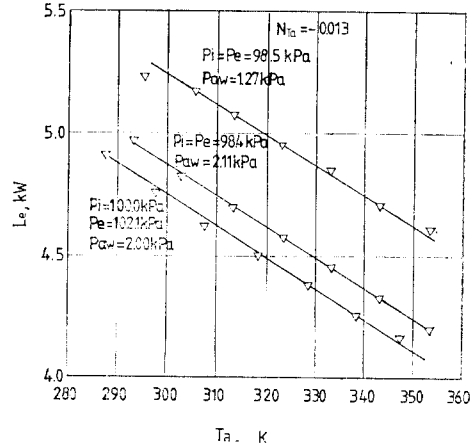


그림 4. 함수 T_a 의 독립 및 선형

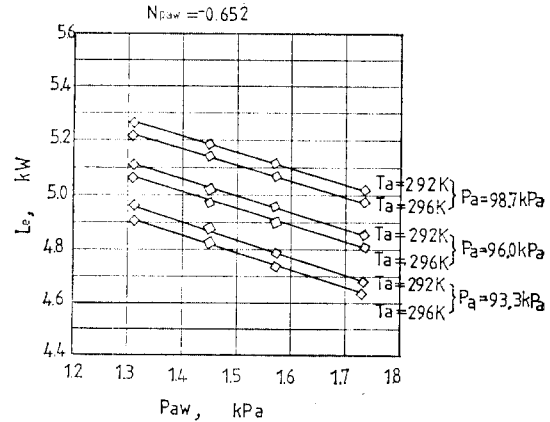


그림 5. 함수 P_{aw} 의 독립 및 선형

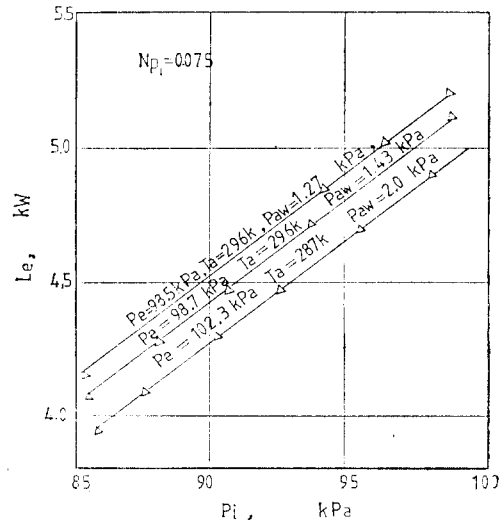


그림 6. 함수 P_i 의 독립 및 선형

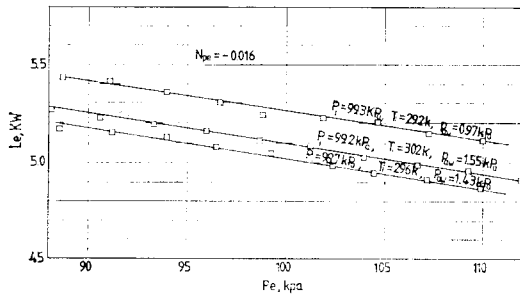


그림 7. 함수 P_e 의 독립 및 선형

기 위해서는 (5)식을 적용하므로 P_i 와 P_e 의 함수가 독립이고, 선형임을 증명할 필요가 있다.

이것은 그림 6 및 7에 의하여 확인할 수가 있었지만, 한편 $N_{pa} = N_{Pi} + N_{Pe}$ 인 조건이 성립 되어야만 한다.

이것은 표 2에 표시하는 바와같이 아주 정확하게 성립함을 확인할 수 있다.

표 2. 대기조건 각 변수의 출력수정계수

N_{Pa}	N_{Ta}	$N_{P_{e0}}$	N_{P_i}	N_{P_e}	$N_{P_i} + N_{P_e}$
0.059	-0.013	-0.652	0.075	-0.016	0.059

4.2. P_a 와 P_i , P_e 변화에 있어서의 각인자의 영향

실험적 출력수정 방법에 의한 출력수정계수에는 공기연료비, 열손실, 펌프손실, 기계효율의 영향이 포함되어 있으므로 그 정확성은 본질적으로 높다.

그러나, 흡기압력 P_i 와 배기압력 P_e 를 각각 독립으로 변화시켰을 때와 대기압력 P_a 변화와는 내용적으로 동등한 것인지의 여부에 대한 검토를 해 두는 것이 좋을 것이다. 이하에 이들 검토결과를 기술한다.

(1) 공기연료비 (A/F)

그림 8의 상단은 P_a , P_i , P_e 를 각각 변화시킨 경우의 공기연료비의 변화를 구한 것이다. P_a 와 P_i 의 변화에 대하여는 공기연료비의 변화는 동일하고, P_e 변화에 대하여는 공기연료비 변

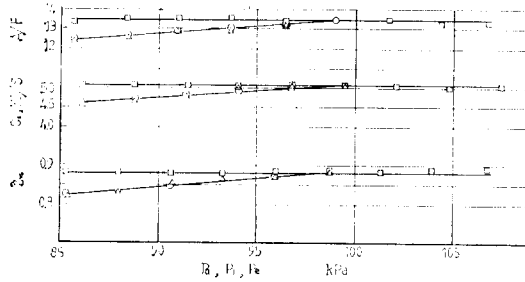


그림 8. P_a , P_i 및 P_e 변화에 대한 공기연료비, 열손실, 기계효율의 변화

A/F : 공기연료비

Q_i : 열손실

η_m : 기계효율

○: 대기압력 P_a 변화

△: 흡기압력 P_i 변화

□: 배기압력 P_e 변화

화는 거의 없다.

이것으로 보아 기화기의 공기연료비특성은 흡기계만에 관계하며, 배기압력 P_e 에는 거의 관계없음을 나타낸다.

그러나, 밸브중합각(valve overlap angle)이 큰 기관에서는 P_e 를 높인 경우, 잔류가스의 흡기관으로의 팽창유동량이 증가하여 공기연료비가 농후(rich)해 지는 수가 있다. 이 경우에 있어서는 공기연료비의 수정이 필요하다.

(2) 열손실(Q_i)

그림 8의 중단은 P_a , P_i , P_e 를 각각 변화시킨 경우의 열손실 Q_i 의 변화를 나타낸다. P_a 와 P_i 를 변화시킨 경우의 열손실의 변화는 동일하다.

이 경우, 압력의 저하에 따라 열손실이 감소하는 이유는 주로 흡입혼합기량의 감소 및 공기연료비가 농후하게 되어 사이클의 온도가 저하하기 때문이라 생각된다.

(3) 기계효율(η_m)

그림 8의 하단은 P_a , P_i , P_e 를 변화시킨 경우의 기계효율의 변화를 나타낸다. 이 경우의 기계효율은 지압선도로부터 구한 도시출력과 동력계로부터의 제동출력에 의하여 구한 것이다.

P_a 와 P_i 의 저하에 있어서는 동일한 저하를 나타내며, P_e 변화에 있어서는 거의 일정하다.

P_a 및 P_i 의 저하에 따라 기계효율이 저하하

는 주요한 이유는, 기계마찰의 약간의 증가에 비하여 제동출력의 저하비율이 크기 때문이다. 이 기계마찰의 약간의 증가는 전술한 공기연료비가 농후하게 되어 ($A/F=13.4\sim 12.4$) 사이클의 온도가 저하하기 때문에 실린더내벽의 윤활유점도의 증가에 기인하는 것으로 생각된다.

(4) 펌프손실

그림 9는 P_a , P_i , P_e 를 변화시킨 경우의 저압지압 선도를 비교한 것이다.

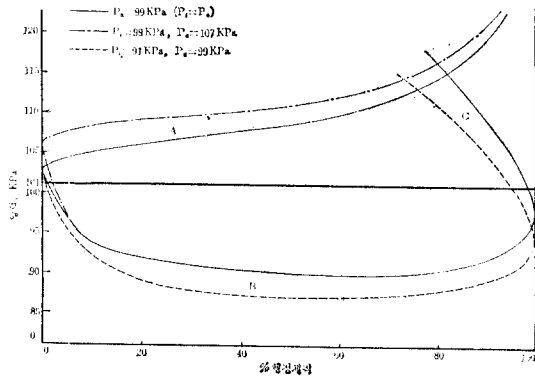


그림 9. P_a , P_i 및 P_e 변화에 대한 저압지압 선도의 비교

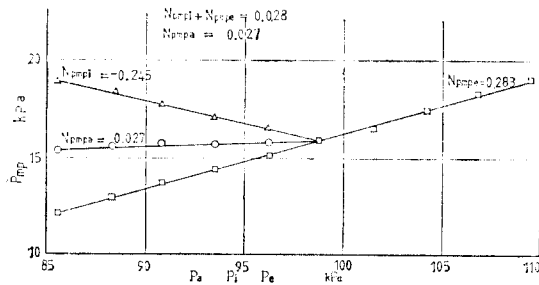


그림 10. P_a , P_i , P_e 변화에 대한 펌프손실 평균유효 압력의 변화, P_{mp} 및 펌프손실 수정계수

P_e 변화(실선)에 비하여 P_e 를 높인 경우(일점 쇄선)의 펌프손실의 증가는 면적 A 에 상당하고, P_i 를 저하시킨 경우(점선)의 펌프손실의 증가는 면적 B 에 상당하며 동시에 면적 C 에 상당하는 펌프손실의 감소를 동반한다.

출력수정계수에 미치는 펌프손실의 영향은 펌프손실수정계수($N_{P_a P_a}$, $N_{P_a P_i}$, $N_{P_a P_e}$)로서 평가해야 한다.

그러므로 P_a , P_i , P_e 변화에 대한 펌프손실수정계수를 각각 $N_{P_a P_a}$, $N_{P_a P_i}$, $N_{P_a P_e}$ 라고 하면, $N_{P_a P_e} = N_{P_a P_i} + N_{P_a P_e}$ 가 되면 문제가 없다. 그림 10에 표시하는 바와같이 $N_{P_a P_a} = 0.027$, $N_{P_a P_i} = -0.245$, $N_{P_a P_e} = 0.283$ 이다. 따라서 $N_{P_a P_i} + N_{P_a P_e} = 0.028$ 로 되어 $N_{P_a P_a}$ 와는 꼭 일치하지는 않지만, 그 차이는 극히 적다. 따라서 이것이 출력수정계수에 영향을 미칠 정도의 것은 되지 못한다.

5. 출력수정의 정밀도

5.1. 출력수정의 예

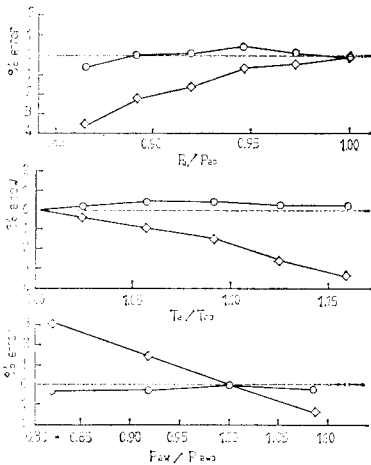
표준대기상태의 압력 760mmHg, 온도 20°C, 습도 11.4mmHg(65%)로 한 경우에 대한 본 실험적 출력수정의 예를 표 3에 나타낸다. 이 경우의 사용기관은 표 1의 기관이다. 또한 이 기관에 대한 출력수정계수는 표 2에 따른다.

5.2. 출력수정의 정밀도

그림 11은 본 실험적 출력수정방법과 JIS B 8013에 의하여 수정한 경우의 오차를 비교한 것이다.

표 3. 실험적 출력수정의 예

관		찰			수					정	
L_c (kW)	P_i (kPa)	P_e (kPa)	T_i (K)	P_{iw} (kPa)	$\frac{\partial g}{\partial P_i} \Delta P_i$	$\frac{\partial g}{\partial P_e} \Delta P_e$	$\frac{\partial g}{\partial T_i} \Delta T_i$	$\frac{\partial g}{\partial P_{iw}} \Delta P_{iw}$	$\frac{\Delta L_c}{(kW)}$	L_{c0} (kW)	
3.975	85.86	101.86	301	1.55	1.16	0.008	0.104	0.019	1.291	5.266	
4.194	99.99	102.12	343	2.00	0.10	0.013	0.650	0.313	1.071	5.270	
4.994	98.66	98.66	292	1.69	0.20	-0.042	-0.013	0.111	0.256	5.250	



○ 실험적 출력수정방법

◇ JIS B 8013 $L_0 = kL_e$, $K = \frac{749}{P - P_w} \sqrt{\frac{273+t}{273}}$

그림 11. 출력수정의 정밀도

그림 11의 각각은 임의상태에 있어서의 압력, 온도 및 습도의 수정이 되어 있지만, 상단은 주로 압력을, 중단은 온도를, 하단은 습도의 수정 범위를 크게 한 것이다.

본 실험적 수정방법의 경우, 약 15%의 수정 범위에 걸쳐 어느 것이나 1% 미만의 오차를 나타내고 있으며, 이것은 기관출력의 측정오차 범위 안에 있으며 수정정밀도가 극히 높은 것을 나타내고 있다.

6. 결 론

기관출력과 대기조건 각 변수와의 함수관계에서 이 함수가 서로 독립이고, 기관출력은 이들의 선형결합으로 표시됨을 실험으로 확인하였으

며, 대기압력 변화 대신 흡기압력과 배기압력을 각각 변화시켜도 지장이 없음을 알았다.

이상과 같은 것으로 부터 실험적 출력수정 방법의 타당성을 확인함과 동시에 통상의 대기 상태의 변화에 있어서 수정 정밀도가 극히 높다는 것이 입증 되었으므로 출력수정에 관한 충분한 자료가 되리라는 것을 믿는 바이다.

참 고 문 헌

(1) Gagg, R.F., E.V. Farrar; Altitude Performance of Aircraft Engines Equipped with Gear-driven Superchargers, SAE Trans., Vol.29 (1934)

Hersey, D.S; The Correction of Engine Output to Standard Conditions, J. Aeronaut. Sci., Vol. 9, No.10 (1942)

Johnson; Supercharged Diesel Performance vs Intake and Exhaust Conditions, SAE Trans., Vol. 5 (1951)

Zinner, Wunsch; Leistungsbemessung und Prüfung von aufgeladenen Viertakt-Dieselmotoren unter geänderten atmosphärischen Bedingungen-Erläuterungen zur CIMAC-Empfehlung 1971, MTZ 32, (1971)

Benson, Annand, Baruah; A simulation Model Including Intake and Exhaust system for a single cylinder Four-stroke cycle Spark-ignition Engine, Int. J. Mech. Sci, Vol. 17(2), No. 97 (1975)

(2) Seong-yol LEE, Method of Experimental Output Correction on Spark-ignition Engine, JSAE Review, No. 7 (1982)