

기화혼합장치를 사용한 스파크 점화기관의 기관성능 및 배기성능에 관한 연구

A Study on the Power Output and Exhaust Emission using the Fuel Vaporizing Device in Spark-Ignition Engine

이 성 열*, 김 성 필**, 장 종 관**
S. Y. Lee S. P. Kim J. K. Jang

Abstract

The effect of the three types of fuel vaporizing device on the engine torque and exhaust emission was investigated. Among the three types of fuel vaporizing device designed for the experiments, a 88mm long device with mesh around the inside pipe showed stable lean mixture combustion up to 21:1 air-fuel ratio and reduced the exhaustion of CO and HC.

Compared with the general trend in the decrease of engine torque it was observed that the decrease of engine torque in this lean mixture combustion with the new device was small.

1. 서 론

스파크 점화기관의 연소에 있어서 흡입혼합기의 완전혼합에 의한 혼합기의 균질성이 향상되면 기관의 연소도 개선됨을 쉽게 추측할 수 있다. 따라서 기관의 운전 영역의 확대를 기대할 수 있으므로 회박혼합기의 연소 한계의 확대가 가능하게 되며, 이것으로 배기성능의 향상을 기대할 수 있다.

완전혼합, 즉 균질혼합기의 형성을 위해서는 흡기관을 유동하는 혼합기를 가열하는 방법이 되겠는데, 이것이 합리적으로 이루어지지 못할 경우에는 체적효율의 저하로 기관의 토크저하를 초래하게 된다.

따라서 본 연구는 완전혼합을 이루기 위한 합리적인 기화혼합장치를 설계 제작하여 이것을 실제기관의 흡기계체에 부착하여 실험을 통하여 회박연소의 실험과 또한 그 경우의 기관성능과 배기성능을 검토하여 저배기공해 기관으로서의 가치를 판단하고자 하는 것이다.

2. 기화혼합장치의 설계

기화혼합장치(Fuel Vaporizing Device; F. V. D.)의 설계에 있어서 기화혼합장치의 안지름 D 를 흡기관의 안지름과 동일하게 하여 길이 L 을 정하면 된다.

먼저 기관의 실린더로 공급되는 연료유량 G_f (Kg/s)은 기화혼합장치를 통하여 기관에

* 정회원, 성균관대학교 공과대학

** 정회원, 성균관대학교 대학원

흡입될 동안 완전히 기화된다고 하면, 이때 가열해야 할 열량 $Q(KJ/s)$ 는 다음과 같이 된다.

$$Q = G_f [(C_{pa} \cdot R_{af} + C_{pf})(T_v - T_b) + L_f] \quad (1)$$

여기서, R_{af} 는 공기연료비이고 C_{pa} , C_{pf} 는 각각 공기와 액체연료의 정압비열이고, T_v 는 증발온도이며 ASTM 증류실험에서 증류곡선에 의해서 결정할 수 있다. 또한 T_b 는 혼합기의 체적온도(Bulk Temperature), L_f 는 연료의 기화잠열이다.

연료유량 G_f 는 흡입공기량 $G_a(Kg/s)$ 로 바꾸면 다음과 같이 된다.

$$G_f = G_a / R_{af} = (\eta_v \cdot \rho_a \cdot V_d \cdot N) / (120 R_{af}) \quad (2)$$

여기서, R_{af} 는 공기연료비이고, η_v , ρ_a , V_d , N 은 각각 체적효율, 공기밀도, 행정체적, 기관회전수이다.

또한 가열량 Q 가 대류열전달에 의하여 혼합기에 전달된다고 하면 다음과 같다.

$$Q = hA(T_w - T_b) \quad (3)$$

여기서, h 는 대류열전달계수, A 는 열전달면적, T_w 는 기화혼합장치의 내벽의 온도이다.

그러므로 기화혼합장치의 가열부의 길이 L_1 은 (1)식과 (3)식의 우변을 등식으로 놓고, 연료유량 G_f 를 (2)식으로 대치하여 열전달면적 $A = \pi DL$ 으로 하면 다음과 같이 된다.

$$L_1 = \frac{\eta_v \cdot \rho_a \cdot V_d \cdot N \cdot [(C_{pa} \cdot R_{af} + C_{pf})(T_v - T_b) + L_f]}{120 \cdot R_{af} \cdot [\pi Dh(T_w - T_b)]} \quad (4)$$

여기서 대류열전달계수 h 는 다음 식으로 부터 결정할 수 있다.

$$h = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.4} K/D \quad (5)$$

여기서 R_e , P_r 및 K 는 각각 레이놀즈수, 프란틀 수 및 총괄열전달계수이다.

실제의 흡기관내 혼합기의 유동은 기화된 연료유량 G_v , 액적유량 G_d (fuel droplet) 및 액막유량 G_1 (fuel film)으로 된다.

만약 액막유량이 없다면 가열부의 길이 L_2

는 (4)식의 L_1 에 액막을 $\gamma < 1.0$ 을 곱한 길이만큼 짧아지게 되며 다음과 같이 된다.

$$L_2 = \frac{\eta_v \cdot \rho_a \cdot V_d \cdot N \cdot \gamma [(C_{pa} \cdot R_{af} + C_{pf})(T_v - T_b) + L_f]}{120 \cdot R_{af} \cdot [\pi Dh(T_w - T_b)]} \quad (6)$$

그러나 기화혼합장치의 경량화와 실용적인 측면에서 기화혼합장치의 가열부의 길이를 더욱 짧게 해야 할 필요가 있다. 그러므로 이것을 위해서는 열전달면적을 증대시켜야 하는데 종래 사용되어온 안벽에 핀(fin)을 두는 방법도 있겠으나, 저자들은 기화혼합장치의 내벽에 금속망을 여러 겹 깔도록 하면 열전달면적의 증대와 더불어 액막유동의 정체에 의한 열전달 효과와 모세관 현상에 의한 증발효과를 아울러 얻을 수 있을 것으로 판단되며 #150 brass mesh를 9점으로 내부에 깔아 2mm 두께로 하고자 한다.

이와 같이 하면 가열부의 길이는 다음에 표시하는 $1/\delta$ 만큼 감소하며, 또한 가열부의 메시(mesh)에서 대부분의 액막유량이 증발되면 그 증발잠열에 해당하는 온도강화로 체적효율의 저하를 극소화시킬 수 있으므로 기관의 토크 저하를 극소화시킬 수 있을 것이다.

$$\delta = \frac{A_a}{A_o} \quad (7)$$

여기서 A_o 는 original heat flux area 이고, A_a 는 argued heat flux area 이다.

따라서 가열부의 길이 L_3 은 다음과 같이 된다.

$$L_3 = \frac{\eta_v \cdot \rho_a \cdot V_d \cdot N \cdot \delta [(C_{pa} \cdot R_{af} + C_{pf})(T_v - T_b) + L_f]}{120 \cdot R_{af} \cdot \delta \cdot [\pi Dh(T_w - T_b)]} \quad (8)$$

Fig. 1은 3종류의 기화혼합장치를 나타낸다. 기화혼합장치의 안지름은 흡기관의 안지름과 같고, $D=28mm$ 를 취했으며, 그림의 (a)는 (4)식에 의한 설계이고, 가열부의 길이는 1,080mm이다. 이것을 F. D. A-A로 부르기로 한다.

그림(b)는 (6)식에 의한 설계이며, 가열부의 길이는 300mm로 된다. 이것을 F. D. A-B로 부르기로 한다.

그림(c)는 내부에 메시(mesh)를 깔은 경우의

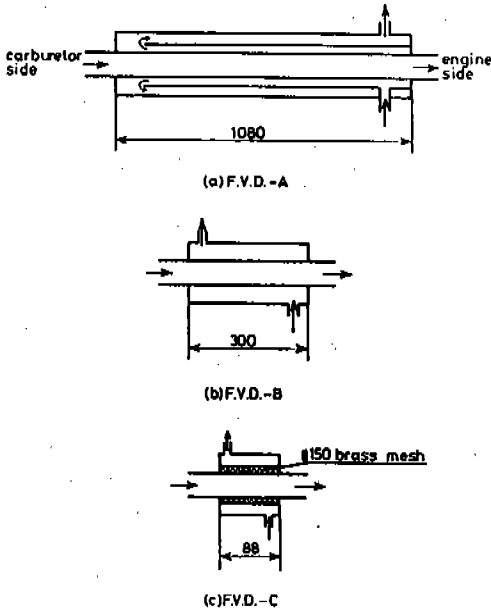


Fig. 1 Three types of the Fuel Vaporizing Device

(8)식에 의한 설계이며, 가열부의 길이는 88mm로 된다. 이것을 F. D. A-C로 부르기로 한다.

3. 실험 장치

3.1 실험장치의 개요

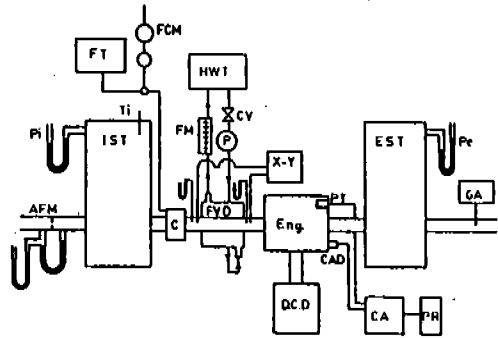
실험에 사용된 기관은 단기통 공냉식 기관이며 주요제원은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 본 실험장치의 개략도이며 기관에 직류동력계(입력 7.5 Kw)를 직결하였고, 흡입공기는 흡입공기 입구로부터 오리피스 유량계($\phi=12mm$, Round type), 흡입저지탱크(용량 205 liter), 기화기, 기화기와 기관 사이에 기화혼합장치를 설치한다.

기화혼합장치의 가열은 물로 하며, 물탱크 내의 물을 전기 가열장치로 가열하여 요구온도로 조절하도록 하고, 또한 조절밸브와 순환펌프를 사용하여 순환가열수량을 조절하여 기화혼합장치의 가열수 온도를 조절하도록 하였다. CO 및 HC 배출농도는 배기가스분석기(HORIBA, MEXA-324 F)에 의하여 측정한다. 연료유량은 연료탱크와 기화기 사이에 광전

Table 1. Specification of engine used

Engine type	Four stroke cycle engine, Air cooling vertical type, L-Head type
Bore × Strok	90 × 70 mm
Stroke volume	445 cm ³
Compression ratio	4.5
Number of cylinder	1
Length of connecting rod	133 mm
Method of ignition	Battery ignition



- CV: control valve for heating water flow
- GA: gas analyzer
- Eng.: test engine
- D. C. D.: D. C. dynamometer
- IST: intet surge tank
- EST: exhaust surge tank
- AFM: orifice air flow meter
- C: carburetor
- FT: fuel tank
- Pi, Pe: inlet & exhaust pressure
- Ti: thermometer for inlet air temperature
- CAD: crank angle detector
- PT: pressure transducer
- HWT: heating water tank
- FVD: fuel vaporizing device
- CA: combustion analyzer
- PR: printer
- FM: flow meter
- X-Y: x-y plotter

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

식 연료유량계를 설치하여 측정하며 이것과 공기유량의 측정으로부터 공기연료비를 산출한다. 지압선도 해석을 위하여 연소실에 Piezo-electric Pressure Transducer(Kistler, 601A)

를 삽입하여 연소해석장치(ONO SOKKI, CB-366)로부터 해석한다.

그 밖에 기화혼합장치의 가열수 입구 및 출구 온도, 기화혼합장치의 입구 및 출구의 혼합기 온도, 흡입공기 온도, 배기가스 온도 등 필요한 부분의 온도를 측정하기 위하여 열전대를 삽입하였다.

3.2 실험방법

기관의 운전은 이 기관의 전개운전에서 최대토크를 발생시키는 회전수인 1,600 rpm으로 하고, 주로 공기연료비와 기화혼합장치의 가열수 온도를 변화시켰다. 이 경우 각각의 공기연료비에 있어서 점화진각은 최적점화진각으로 하였다.

(1) 공기연료비의 변화는 기화기의 연료노즐의 니들밸브를 조절하여 연료분무량을 조절함으로써 단계적으로 공기연료비를 변화시켰다.

(2) 기화혼합장치를 가열하는 가열수 온도는 40°C에서 90°C까지 단계적으로 변화시켰는데, 이것은 가열수 탱크내에 있는 전기가열장치의 전압변화에 의한 가열량 조절과 순환유량 조절밸브의 조절로 하였다.

4. 기관성능

4.1 가열수 온도와 희박연소한계와의 관계

Fig. 3은 대표적으로 기화혼합장치 C형(F.V.D.-C)에 대한 가열수 온도와 희박연소한계와의 관계를 나타낸다. 가열수 온도는 70°C 이하에서는 희박연소한계가 급격히 감소하고 있음을 나타내며, 80°C 이상에서는 희박연소한계가 더 이상 확장되지 않고 거의 안정함을 보여주고 있다. 따라서 가열수 온도는 80°C가 적당함을 알 수 있으며, 이 온도는 자동차용 가솔린 기관에 있어서 기관 냉각수 온도와 상용하므로 이것을 자동차용 가솔린 기관에 사용하여도 가열에 대한 다른 부가장치 없이 적당하다는 것을 알 수 있다.

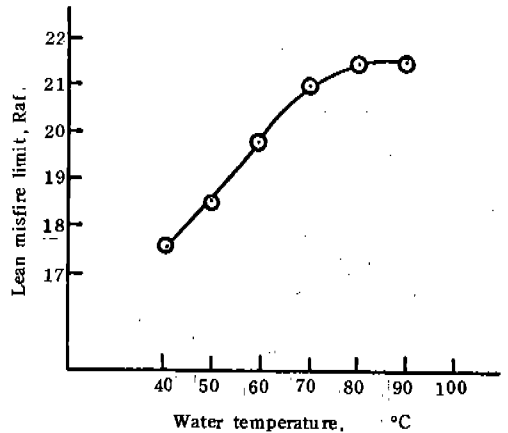


Fig. 3 Lean misfire limit VS. heating water temperature of the Fuel Vaporizing Device

이 경우, 희박연소한계는 공기연료비 21:1을 약간 넘는다. 기화혼합장치를 사용하지 않는 경우, 이 기관의 희박연소한계는 17:1 정도이며, 이것에 비하여 공기연료비를 4만큼 희박쪽으로 확장할 수 있었으며 이것에 의하여 희박연소 기관의 실현의 가능성을 타진할 수 있었다.

4.2 기관성능

Fig. 4는 공기연료비 변화에 대한 토크변화를 3종류의 기화혼합장치를 사용한 경우에 대하여 비교한 것이다. 기화혼합장치를 사용하지 않은 통상의 기관의 토크는 기화혼합장치 F.V.D.-A를 사용한 경우의 토크와 거의 같으나 통상의 기관의 희박연소의 한계는 17:1

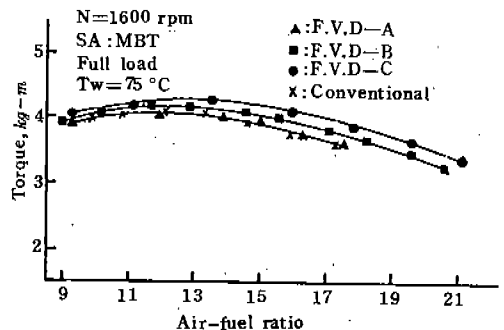


Fig. 4 Engine torque variation against air-fuel ratio

정도이다.

메시(mesh)를 깔은 기화혼합장치 F.V.D.-C를 사용한 경우가 토크의 향상에 있어서나 희박연소한계의 확장에 있어서도 효과적이라는 것을 알 수 있다. Fig.5는 대표적으로 F.V.D.-B와 F.V.D.-C에 대한 기화혼합장치 출구의 혼합기온도와 입구의 혼합기온도와의 온도차를 공기연료비 변화에 대하여 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 가열수에 의하여 기화혼합장치를 가열하는 F.V.D.-B의 기화혼합장치는 10°C를 약간 넘을 정도의 혼합기의 온도상승이 있는 반면 F.V.D.-C의 기화혼합장치는 5°C를 약간 넘을 정도이다. 이것으로 보

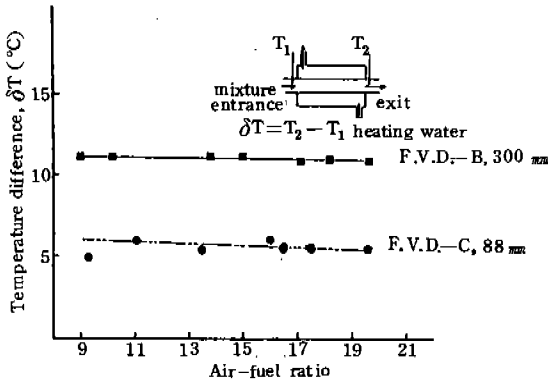


Fig.5 Temperature difference between exit and entrance of the Fuel Vaporizing Device

아 F.V.D.-C의 기화혼합장치는 가열에 의한 체적효율의 저하를 극소화시킬 수 있다는 것을 알 수 있으며, 다른 기화혼합장치를 사용한 경우에 비하여 토크가 큰 이유도 이것으로 설명이 가능하다.

Fig.6은 연소해석장치에서 채취한 질량연소율을 나타낸다. 1,600rpm의 운전에서 대표적으로 공기연료비 19.5:1에 대한 기화혼합장치의 B형(F.V.D.-B)과 C형(F.V.D.-C)을 사용한 경우에 있어서의 질량연소율의 비교이다. 질량 10% 연소로부터 90% 연소까지의 주연소기간을 비교하면 F.V.D.-C를 사용한 경우 31크랭크각인데 비하여 F.V.D.-B를 사용한 경우는 43크랭크각으로 된다. 이와 같이 기화

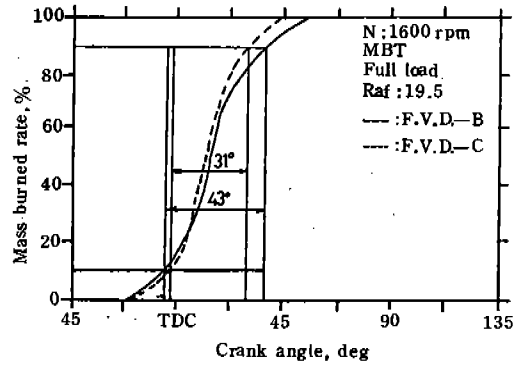


Fig.6 Comparison of mass burned rate among the Fuel Vaporizing Device B and C

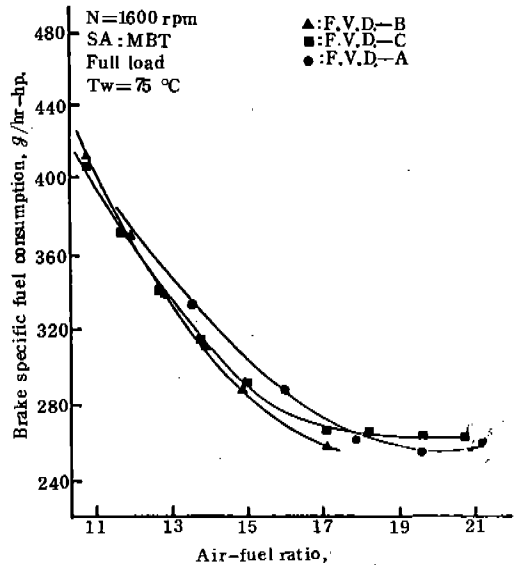


Fig.7 Comparison of brake specific fuel consumption of the Fuel Vaporizing Device A, B, and C under changing air-fuel ratio

혼합장치 내면에 메시(mesh)를 깔은 F.V.D.-C가 더욱 빠른 연소가 되고 있음을 알 수 있으며, 따라서 연소기간 동안의 냉각손실의 감소와 앞에서 말한 체적효율의 저하를 극소화시킬 수 있는 복합적인 효과에 의하여 F.V.D.-C를 사용한 경우 토크가 향상되는 것으로 본다.

Fig.7은 각 기화혼합장치를 사용한 경우의

제동연료소비율을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 회박연소가 됨에 따라 제동연료 소비율은 크게 절감되며, F. V. D.-C를 사용한 것에 대하여 3원축매 변환장치를 사용하여 배기가스조정을 하는 경우의 공기연료비 14.7:1에 비하여 공기연료비 21:1에 있어서는 18% 정도의 연료소비율의 절감효과가 있다. 그러나 이 경우 토크는 20% 정도 저하한다.

5. 배기성능

5.1 CO 배출농도

CO의 배출농도는 혼합기중의 산소의 부족에 의한 불완전연소가 주된 원인이므로 공기연료비 변화에 대하여 민감한 반응을 나타낸다.

Fig. 8은 공기연료비 변화에 대한 CO 배출농도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 농후 공기연료비로부터 공기연료비를 희박쪽으로 변화시키에 따라 CO의 배출농도는 급격히 저감하며, 공기연료비 17:1 이상의 희박연소 영역에서는 CO의 배출농도에 대해서는 문제가 되지 않을 정도의 극소량으로 거의 일정한

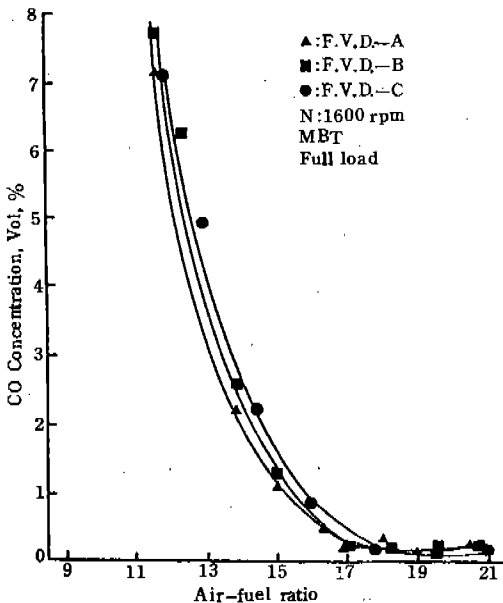


Fig. 8 Comparison of CO concentration among the Fuel Vaporizing Device A, B and C

배출농도를 유지한다.

5.2 미연 HC배출농도

연소실에서 방출되는 미연 HC는 연소실 벽 부근의 비교적 온도가 낮은 소염층에서의 미연소 HC가 배기과정에 있어서 배출되는 것으로 알려져 있으며 일반적으로는 Fig. 9에 나타내는 측정결과와 같이 농후 공기연료비로부터 공기연료비를 희박쪽으로 변화시키면 미연 HC 배출농도는 감소하며 더욱 희박영역으로 가면 연소온도의 저하로 소염층이 두터워지기 때문에 배출농도는 약간 증가하는 것이 일반적인 추세이다.

그림에서 보는 바와 같이 공기연료비 20 또는 21:1의 희박연소에 있어서는 미연 HC 배출농도는 50 ppm 미만이다.

이와 같이 기화혼합장치에 의한 회박연소가 실현되면 미연 HC의 배출에 있어서도 그다지 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

5.3 배기성능에 대한 평가

CO 및 HC 배출농도는 전술한 바와 같이 기화혼합장치를 사용하여 공기연료비 21:1의 희박연소가 가능하므로 이 운전영역에서의 CO 및 HC 배출농도는 배기가스 공해문제에 있어서 그다지 문제가 되지 않을 정도라는 것을 확

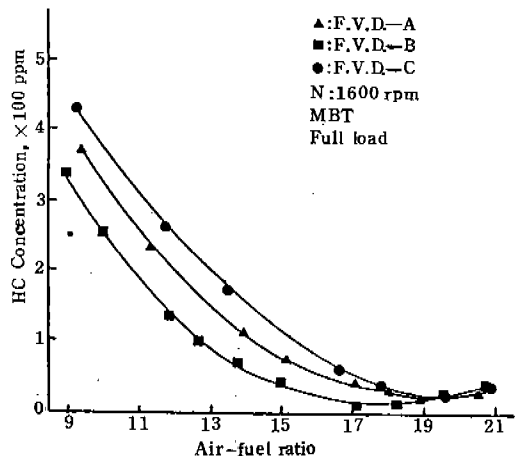


Fig. 9 Comparison of HC concentration among the Fuel Vaporizing Device A, B and C

인할 수 있다.

또한, NO의 배출농도는 분석기 미비로 직접 측정하지는 않았으나 많은 연구자들의 측정 결과에서 희박운전영역이 확대됨에 따라 NO 배출농도가 급격히 저감된다는 것은 널리 알려져 있는 일이며 이것으로 미루어 보아 본 연구에서와 같이 기화혼합장치를 사용하여 공기연료비 20:1 이상의 희박운전 영역에서 NO 배출농도는 극히 저감될 것으로 추정된다.

6. 결 론

기화혼합장치를 합리적으로 설계 제작하여 기관과 기화기 사이에 설치하여 흡입혼합기를 가열하는 방식을 취하고, 실기운전의 실험을 통하여 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

(1) 기화혼합장치 내면에 메시(mesh)를 깔아 기화혼합장치의 길이를 실용적인 측면에서 지장이 없을 정도의 길이로 할 수 있었고, 이것의 사용에 의하여 공기연료비 21:1 까지의 희박연소를 실현시킬 수 있었다.

(2) 기화혼합장치의 가열수의 온도는 80°C 정도가 적당하며 이 온도는 통상의 기관의 냉각수 온도와 같으므로 별도의 가열장치를 설치함이 없이 기관의 냉각수를 그대로 사용할 수 있다.

(3) 희박연소영역에서 기관운전을 하면 연료 공급량의 감소에 기인하는 약간의 토크의 저하를 면할 수는 없지만 연료소비율의 절감과 배기성능을 향상시킬 수 있는 점이 특징이다.

후 기

이 논문은 성균학술 연구비 지원에 의한 것이다.

참 고 문 헌

1. A. A. Quader; Lean Operation and Misfire Limit in Spark Ignition Engines, SAE Trans., 741055, pp. 3274~3296. 1974
2. A. A. Quader; What Lean Operation In Spark Ignition Engines-Flame Initiation or Propagation, SAE Trans., 760766, pp. 2374~2387. 1976
3. Jhon F. Schweikert, James J. Gumbleton; Emission Control With Lean Mixture, SAE Trans., 760226, pp. 1041~1055. 1976
4. R. F. Stebar and F. B. Parks; Emission Control With Lean Operation Using Hydrogen-Supplemented Fuel, SAE Trans., 740187, pp. 821~836. 1974
5. 장종관, 이성열; 완전혼합에 의한 배기성능 향상에 관한 연구, 대한자동차학회 학술강연회 초록집, pp. 3~10. 1985. 11.
6. 장종관, 김성필, 이성열; 기화혼합장치에 의한 희박연소기관에 관한 연구, 1986년도 대한기계학회 춘계학술대회 초록집, No. 7-5. 1986. 6.