

〈論 文〉

# 메탄올 스파크 점화기관의 기화특성에 관한 연구

한성빈\* · 문성수\*\* · 이성열\*\*

(1993년 5월 10일 접수)

## A Study of Vaporization Characteristics in the Methanol Spark Ignition Engine

Sung Bin Han, Sung Soo Mun and Songyol Lee

**Key Words :** Vaporization Rate(기화율), Fuel Film Rate(액막율), Fuel Vaporizing Device(기화혼합장치), Fuel Film Separator(액막수거장치), Lean Misfire Limit(희박한계)

### Abstract

The oil crises in 1973 and 1978 stimulated the alternative fuel research activities in many countries around the world. Among the alternative fuels, methanol is one of the highest potential fuels for transportation. Methanol has been considered for use as automotive fuel, but it has a defect of the great latent vaporization heat. Therefore, authors have made the fuel vaporizing device in order to eliminate the fuel film flow heating the mixture. This paper presents a study on the characteristics of vaporization, engine performance, and emission which result from using the fuel vaporizing device.

### 기 호 설 명

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| $A$ : 면적             | $X_e$ : 액막율             |
| $C_{pa}$ : 공기비열      | $\Delta P$ : 동압         |
| $C_{pf}$ : 연료비열      | $\Delta h$ : 속도수두       |
| $G_f$ : 분출된 연료유량     | $\gamma$ : 비중량          |
| $G_s$ : 중심에 흐르는 연료유량 | $\rho$ : 밀도             |
| $G_w$ : 벽면에 흐르는 연료유량 | $\phi$ : 당량비            |
| $g$ : 중력가속도          | $i$ : (하점자), $i$ 번째 측정점 |
| $M_a$ : 공기유량         |                         |
| $M_f$ : 연료유량         |                         |
| $Q_h$ : 혼합기 열량       |                         |
| $R_{af}$ : 공기연료비     |                         |
| $R_{afs}$ : 이론공기연료비  |                         |
| $T_{be}$ : 출구쪽 평균온도  |                         |
| $T_{bi}$ : 입구쪽 평균온도  |                         |
| $t_f$ : 액막두께         |                         |
| $V$ : 속도             |                         |

### 1. 서 론

대체에너지로서 유력시 되는 연료로서 메탄올을 들 수 있다. 현재에는 천연가스, LPG, 증질유, 석탄 등으로부터 쉽게 생산해 낼 수 있고, 특히 매장량이 많은 석탄을 이용할 경우 장기간의 공급을 할 수 있고, 또한 천연가스로부터 화학적 처리에 의하여 용이하게 생산이 가능하다.

메탄올을 사용할 경우의 장점과 단점으로는 다음과 같은 것이 알려져 있다. 메탄올은 가솔린보다 옥

\*정회원, 인덕전문대학 기계과  
\*\*정회원, 성균관대학교 기계공학과

탄가가 높아 기관을 고 압축비로 설계하여 열효율을 높일 수 있으며 가솔린에 비해 화염전파속도가 당량비 증가에 따라 빨라지고, 가연범위가 넓으며, 일산화탄소, 질소산화물이 감소되며, 탄화수소는 가솔린기관보다 많이 배출된다. 그리고 물과 친화성이 좋기 때문에 내부 냉각방식의 채용으로 이상적인 층상 혼합기를 형성하여 연소 중의 열손실을 최소 한도로 억제할 수 있고, 현재의 내연기관의 냉각계통(방열기, 물펌프, 냉간팬 등)을 줄일 수 있다.<sup>(1~4)</sup>

단점으로는 연료실 등의 연료계 재료(피스톤링, 기화기 노즐 등)를 부식하고 윤활유의 점도가 저하되며, 인화점이 높고 기화잠열(latent heat)이 커서 대기온도 10°C 이하에서의 시동이 나쁘다. 또한 세탄가가 낮아서 압축점화는 어렵고, 연료실의 체적이 가솔린기관의 경우에 비해 2배 정도 커야 한다.

이와 같은 장·단점이 있는데 단점으로 큰 문제가 되는 저온에서의 시동성과 포름알데히드 방출에 의한 부식성이 개선된다면 스파크 점화기관에 알콜 연료를 사용할 수 있다. 즉, 흡입밸브, 피스톤링 등을 세라믹재료나 에폭시 수지를 사용하여 부식을 막으려고 연구하고 있고, 시동성 문제는 가솔린과 에탄올의 혼합연료인 가스홀(gashol)을 사용하던지, 기화성이 좋은 이소펜탄(iso-pentane)을 혼합한 혼합연료를 사용하여 좋은 결과를 얻고 있다. 그러나 가솔린과 메탄올의 혼합연료를 사용할 경우 상분리의 문제점이 발생하고 해리 메탄올 가스를 사용할 경우 흡기계통이 복잡화되기 때문에 글로우 플러거나 점화장치를 개선하는 것도 좋은 방법이라 생각된다.<sup>(5~8)</sup>

그러므로 본 연구에서는 부식성이나 시동성 문제는 차후로 하고, 순수한 메탄올을 사용할 경우에 기화잠열이 큰 것을 고려하여 흡기관에서 충분한 열량을 가할 수 있도록 기화혼합장치(fuel vaporizing device)를 제작 설치하여 기화성을 증가시키며 기화혼합 촉진에 따른 기화혼합장치 내의 기화 특성과 각종 성능을 검토해 봄으로써 실용화 가능성을 타진해 본다.<sup>(9)</sup>

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치의 개요

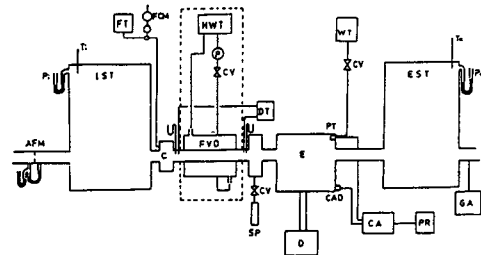
본 실험에 사용한 기관은 4사이클 수냉식 단기통

기관으로서 그 제원은 Table 1과 같다. 또한 실험 장치의 개요를 Fig. 1에 표시한다.

기관에 직류동력계(입력 7.5 kW)를 직결하였고,

**Table 1** Specification of test used

Item	Engine
Type	4 stroke cycle, Horizontal type
No. of cylinder	1 cylinder
Cooling system	Water cooled
Method of ignition	Battery
Bore×stroke	85×85 mm
Displacement volume	482 cc
Compression ratio	4.8
Length of con. rod	150 mm



- AFM : Air flow meter
- C : Carburetor
- CA : Combustion analyzer
- CAD : Crank angle detector
- CV : Control valve for heating water flow
- DCD : D.C. dynamometer
- DT : Digital thermometer
- E : Test engine
- EST : Exhaust surge tank
- FCM : Fuel consumption meter
- FVD : Fuel vaporizing device
- FT : Fuel tank
- GA : Gas analyzer
- HWT : Heating water tank
- IST : Inlet surge tank
- PR : Printer
- Pi, Pe : Inlet, exhaust pressure
- PT : Pressure transducer
- SP : Separator
- WT : Water tank

**Fig. 1** Schematic diagram of experimental apparatus

흡입공기는 흡입공기 입구로부터 오리피스 유량계 (round type, 12 mm)를 설치하고, 기화기와 기관 사이에 기화혼합장치 (fuel vaporizing device)를 설치한다.

기화혼합장치의 가열은 물로 하며, 물탱크 내의 물을 전기가열장치로 가열하여 요구되는 온도로 조절한다. 또한 조절밸브와 순환펌프를 이용하여 가열수량을 조절한다.

또한 연소실내로 압력변환기 (piezo electric pressure transducer)를 삽입하여 이것으로부터 신호를 증폭하여 연소해석장치 (combustion analyzer)에 입력된다. 연소해석장치로부터 압력상승률, P-V선도, 열발생율, 질량연소율 등을 얻는다.

### 2.2 기화혼합장치

Fig. 2에서 보는 바와 같이 유동현상을 개략적으로 설명하면 기화기로부터 공급된 연료는 흡기관을 통하여 흡입된다. 이것을 흡기관의 입구측에서 보면 노즐로부터 분출한 연료유량  $G_f$ 는 분무상으로 되어서 흡입공기와 함께 흡기관 중심부를 흐르는 유량  $G_s$ 와 흡기관 벽에 부착하여 흐르는  $G_w$ 로 나뉘어 진다.

기화기에서 분출된 연료분무는 흡기관 내에서 액적상태와 액막상태로 기관측으로 유동하면서 증발을 계속하며, 이를 대별하면, 기화기 벤츨리내에서 기화하고, 흡기관내에서 증발하여 공기유동과 동반하여 기관내로 흡입되는 연료유동 및 흡기관 벽에 액막을 형성하고 공기유동에 끌려 기관내로 흡입되는 연료유동 등으로 대별할 수 있다. 이 중 관벽에 부착하여 유동하는 액막연료는 기관내에서나 대부분 기화를 완료하게 되므로 이에 따른 배기가스, 연료저감의 문제, 기관의 성능저하의 요인이 되므로 액적연료는 적응성이 좋으므로 기관성능에 별 문제가 없는 것으로 알려져 있으나 입경이 큰 연료 입자의 경우는 기화되었다고 볼 수 없으므로 기관 성능 및 배기가스 등의 문제가 야기될 것으로 생각된다.

이러한 액막유량을 줄이기 위하여 Fig. 3과 같은 기화혼합장치를 설계 제작하였다. 기화혼합장치 내부에 #100인 스테인리스강메시 (stainless steel mesh)를 2 mm 두께로 8겹 원통으로 깔았다. 이러한 메시의 효과는 모세관 현상과 중력장의 영향을 받아 메시사이로 스며들게 되고 액막유량과 메시에 의해 유동저항을 받아 기화혼합장치를 통과하는 시간이

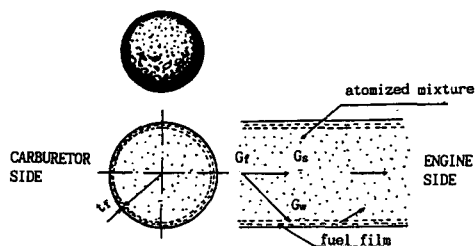


Fig. 2 Mixture behavior in intake manifold

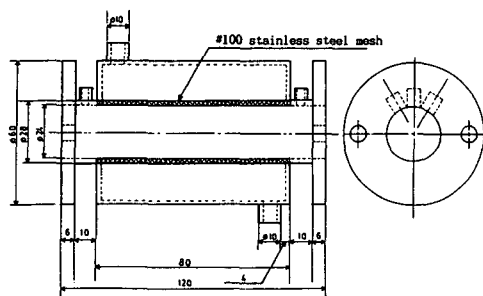


Fig. 3 Specified diagram of fuel vaporizing device

길어져 충분히 기화잠열을 흡수한다. 열량은 가열 탱크내에 가열선을 설치하여 슬라이닥스 (slidax)를 이용하여 물의 온도를 조절하고 가열된 물은 기화혼합장치 외부에 만든 워터재킷 (water jacket)을 통과하면서 혼합기로 열을 전달하고 펌프로 강제순화시킨다. 워터재킷은 대항류 (counter flow)로 한다.

### 2.3 속도 및 온도분포 측정장치

기화혼합장치 전·후의 속도와 온도를 측정하여 연료저동을 해석하기 위하여 Fig. 4와 같은 이송장치를 제작하였다. 이 이송장치는 흡기관내의 높이에 따른 속도와 온도를 측정할 수 있도록 나선식으로 이송할 수 있고 (pitch 1 mm) 기밀을 기하기 위해 우레탄을 삽입하였고 연직 30° 경사진 방향으로 11개 point (2 mm 간격, 흡입관 내경 24 mm)를 측정하였다.

온도는 CA 열전대를 사용하였고 디지털 온도계에 연결하여 온도변화를 측정하였다.

속도는 피토폴 (pitot tube)를 제작하여 총합을 측정하고 위치에 따라서 정압차이는 미소하므로 기화혼합장치 전·후에 정압을 측정하고 식 (1)로 각 부위의 속도를 구하였다.

$$V_i = \sqrt{\frac{2g\Delta P_i}{\gamma_i}} \quad (1)$$

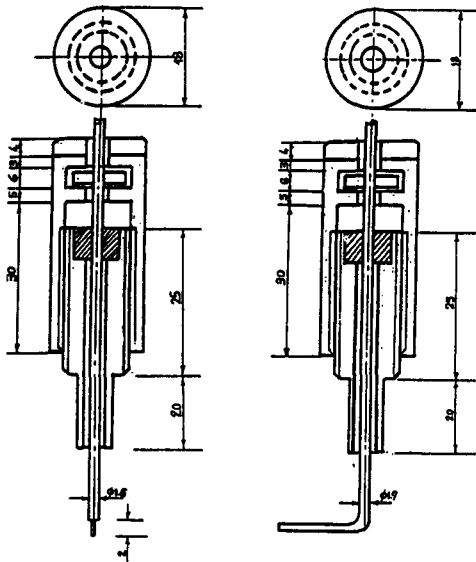


Fig. 4 Travelling device of pitot tube and thermocouple

2.4 액막수거장치

흡기관내에서 기관내로 흘러 들어가는 액막연료 유량을 알기 위해서 Fig. 5과 같은 액막수거장치를 기화혼합장치 전·후에 설치하여 액막유량  $G_w$ 을 측정하였다.

그리고 액막유량이 동심원 방향으로 흘러가기 때문에 원통주위로 흡을 파내고, 액막수거장치 절단부는 액막유량이 흡입관 단에서 공기류에 이끌려 넘어가는 것을 방지하기 위해 30 mm로 하였다.

측정할 때에서 이미 걸려있는 액막유량을 제거하고 액막수거장치 아래쪽에 부착한 매스실린더(용량 10 CC)로 액막유량을 채집하였다. 또한 매스실린더와 액막수거장치 아래쪽에 설치된 쿼크는 기밀을 유지하기 위해 고무로 패킹하였다.

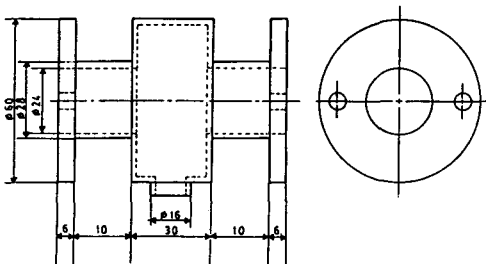


Fig. 5 Specified diagram of fuel film separator

2.5 실험방법

본 실험에서는 당량비( $\phi$ )를  $R_{af}/R_{afs}$ 로 정의하고 기관의 각 성능실험은 최적 점화시기(MBT, minimum spark advance for best torque)를 찾아 수행하였고, 기화회전수는 이 기관의 최대 토크를 내는 1800 rpm으로 하고 기화기는 전개(full throttle)에서 실험하였다.

또한 가열수 탱크내의 가열선을 슬라이드스로 조절하여 기화혼합장치내로 공급되는 가열수 온도를 변화시키면서 공기연료비를 변화하였을 때의 속도와 온도를 측정하고 액막유량을 액막수거장치를 통해서 수거하여 가열수 온도변화에 따른 온도와 속도분포 및 액막유량을 알아보았으며, 지압선도 채취는 연소해석장치에서 얻었고, 배기가스 측정은 가스분석기로 HC와 CO의 농도를 측정하였다.

3. 기화특성

3.1 기화혼합장치내의 속도분포

Fig. 6이 가열수 온도 80°C일 때의 속도분포이다. 입구쪽의 속도분포는 드로틀 밸브와 중심에서 겹치기 때문에 속도가 떨어지고 아래쪽은 많은 액막유량이 흘러가기 때문에 속도가 회복되지 못하고, 위쪽은 공기와 연료가 기화상태로 되기 때문에 출구쪽의 위쪽부근과 거의 같은 속도를 나타낸다.

출구쪽에서는 액막유량이 동심원으로 흘러가기 때문에 벽면에서는 전단력에 의해 속도가 느리고 중심에서 가장 빠른 속도분포를 나타낸다. 속도분포는 가열수의 온도변화에 차이가 없다.

3.2 온도분포

Fig. 7은 기화혼합장치 입구와 출구의 가열수 온도변화에 따른 온도분포이다. 그림에서 보는 바와

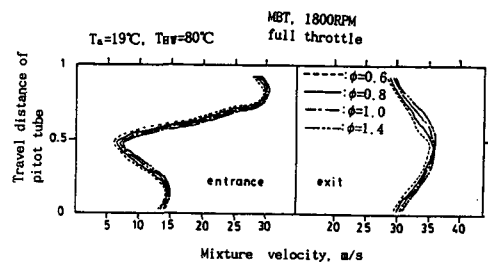


Fig. 6 Velocity profile with equivalence ratio in the fuel vaporizing device

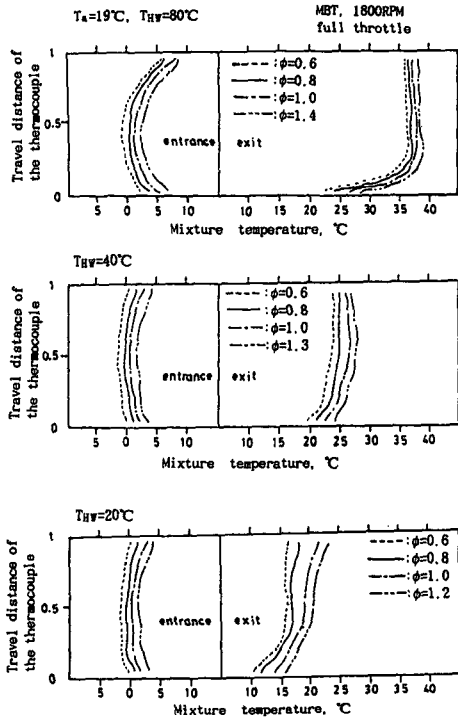


Fig. 7 Temperature profile with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

같이 입구쪽에서의 온도분포는 가열수 온도변화에 따라 차이가 없고, 출구쪽에서는 가열수 온도상승에 따라 온도분포, 즉 혼합기의 온도가 상대적으로 상승되고 있음을 알 수 있다.

기화혼합장치 출구쪽에서 아래쪽의 온도가 떨어지는 것으로 보아 액막유량이 흘러가고 있음을 알 수 있다. 그러나 혼합기의 온도상승에 따라 액막유량이 적어지는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 8은 Fig. 7에서 얻은 온도분포로부터 구한 것인데 다음과 같은 식(2)로부터 입구나 출구쪽의 평균온도(bulk temperature)를 구한다.<sup>(10)</sup>

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i C_p V_i T_i A_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i C_p V_i A_i} \quad (2)$$

입구쪽에서 구한  $T_{bi}$ 와 출구쪽에서 구한  $T_{be}$ 의 차를  $\Delta T_b$ 로 정의하였다.  $\Delta T_b$ 는 기화혼합장치를 통과하면서 상승된 온도이다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 가열수 온도상승에 따라  $\Delta T_b$ 는 증가되고 있고 또한 기화혼합장치를

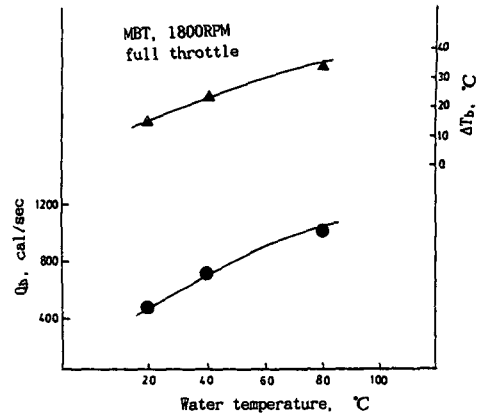


Fig. 8 Heat flow and temperature rise with water temperature in the fuel vaporizing device

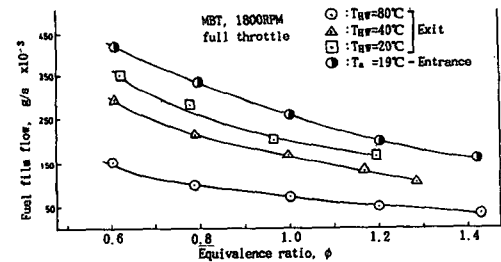


Fig. 9 Change of fuel film flow with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

통과하면서 받은 혼합기의 열량도 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_h = M_a C_{pa} \Delta T_b + M_f C_{pf} \Delta T_b \quad (3)$$

### 3.3 기화율 및 액막울

Fig. 9는 액막수거장치에서 수거한 당량비 변화에 따른 액막유량의 변화이다. 그림에서 보는 바와 같이 당량비가 커짐에 따라 액막유량이 적어짐을 알 수 있고 기화혼합장치 입구쪽에서는 가열수 온도상승에 따라 정량적으로 줄어들고 있고 당량비 1.0에서 입구쪽에서 보다 가열수 온도가 20°C일 때 18%, 40°C일 때 33%, 80°C일 때에는 72% 감소가 되었다.

또한 Fig. 10은 액막울과 기화율을 가열수 온도 변화에 따라 나타낸 그림이다. 액막울은 공급연료 유량에 대한 액막유량의 백분율이고 기화율은 다음과 같이 구하였다.

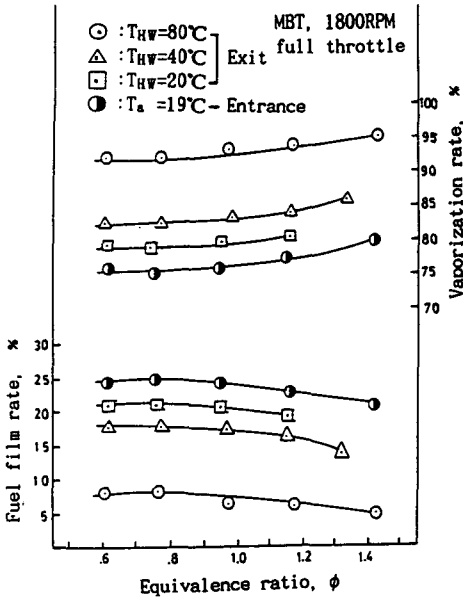


Fig. 10 Vaporization rate and fuel film rate with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

$$X_e = \frac{G_f - G_w}{G_f} \times 100 \quad (4)$$

Fig. 10에서와 같이 액막율은 당량비가 커감에 따라 적어짐을 알 수 있고, 가열수 온도가 80°C일 때는 전체 당량비 구간에서 약 5~7% 정도의 값을 나타내고 있고 상대적으로 기화율은 가열수 온도가 상승함에 따라 비례적으로 상승함을 보여 주고 있다. 가열수 온도가 80°C일 때의 기화율은 거의 95%의 기화율을 나타내고 있다.

#### 4. 동력성능 및 배기성능

Fig. 11은 가열수온도가 20°C, 40°C, 80°C일 때의 출력인데 당량비가 0.8~0.9 부근에서 최대 출력을 나타내고 있다. 가열수 온도증가에 따라 희박한계(lean misfire limit)는 넓어지고 출력도 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 흡입 혼합기를 가열함으로써 연료의 기화능력이 향상되어 혼합기가 균질한 상태로 혼합되어 기관내로 들어가기 때문에 점화성이 향상된 것으로 생각된다. 즉, 가열수 온도상승에 따라 혼합물의 액막유량이 적어지고 액적이나 기화상태로 되어 기관내로 흡입되기 때문에 화염속도가 빨라지고 급격연소가 되어 연소

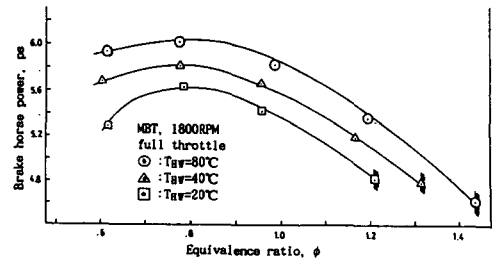


Fig. 11 Change of brake horse power with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

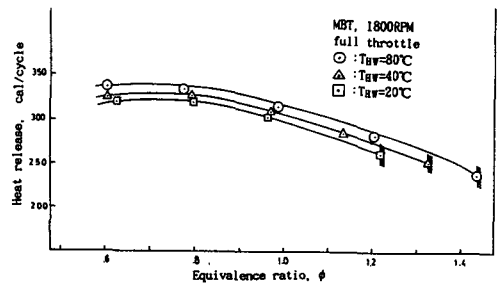


Fig. 12 Change of heat release with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

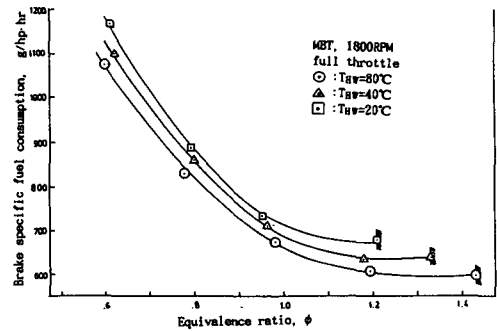


Fig. 13 Change of brake specific fuel consumption with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

시간이 짧아져 열손실이 적어지므로 출력이 향상된 것으로 생각된다.

Fig. 12는 연소실내의 한 사이클당 열발생량을 나타낸 선도로서, 출력과 유사한 경향을 가지고 있다.

Fig. 13은 제동 연료소비율을 나타낸 선도로서 가열수 온도변화에 따라 연료소비율은 80°C의 경우가 20°C의 경우보다 전 당량비 영역에서 약 50 g/hr-hp

절약되었다. 희박영역에서 연료소비 저감효과는 더욱 크게 기대할 수 있다.

Fig. 14는 가열수 온도변화에 대한 CO배출량을 나타낸 선도로서, CO는 혼합기가 희박해짐에 따라 현저히 감소하고 있다. 특히 가열수 온도증가에 따라 CO 배출량의 감소가 두드러지는데 이것은 80°C의 경우가 연소에 적합하게 잘 혼합되어, 완전연소가 되어져가므로 연소상태가 개선된 것이 원인일 것으로 생각된다.

Fig. 15는 HC 배출량을 나타낸 실험결과로서 가열수 온도가 80°C인 경우에서 HC 배출량이 감소하고 있는데, HC는 미연 또는 일부만 연소한 여러 탄화수소의 총칭이며, 불완전 연소성분이므로 농후혼합기 영역에서는 증대되며 어느 정도 이상의 희박영역에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉, 당량비가 1.0~1.2인 부근에서 가장 적고 당량비가 커지면 사이클마다 연소가 균일하지 않게 되어 실화되어 HC는 증가한다.

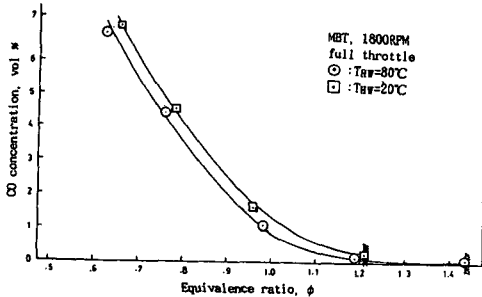


Fig. 14 Change of CO concentration with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

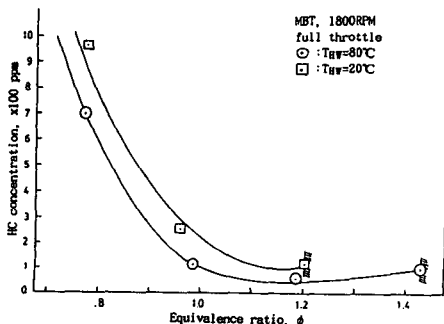


Fig. 15 Change of HC concentration with equivalence ratio and water temperature in the fuel vaporizing device

## 5. 결론

이상과 같은 메탄올의 기화촉진을 위하여 내부에 메시를 깔은 기화혼합장치를 설계, 제작하여 가열수 온도를 변화시킨 실험결과로부터 다음과 같은 것이 명백하여 졌다.

(1) 기화혼합장치를 흡기관에 설치하여 가열수 온도를 상승시킴에 따라 혼합기가 균질화된다. 혼합기로의 전달열량이 상승함에 따라 액막유량의 감소와 혼합기가 균질하게 되어 운전범위를 확대할 수 있다.

(2) 기화혼합장치 입구에 비해 출구쪽의 혼합기 유동상태의 개선은 기화혼합장치 내부에 설치된 메시의 영향으로 단열면적의 향상과 액막유량의 감소, 기화율의 향상에 의한 복합적인 효과에 의존한다.

(3) 기관의 동력성능에 있어서 가열수 온도상승에 따라 출력저하의 원인인 액막유량의 감소와 혼합기의 기화가 촉진됨으로써 동력성능 및 연료경제를 향상시킬 수 있다.

(4) 배기성능에 있어서도 가열수 온도를 상승시킴에 따라 CO 및 HC의 배출농도를 크게 저감시킬 수 있다.

## 참고문헌

- (1) Hagen, D. L., 1977, "Methanol as a fuel: A Review with Bibliography," SAE Paper 770792, pp. 2764~2796.
- (2) Katoh, K., Imamura, Y. and Inoue, T., 1986, "Development of Methanol Lean Burn System," SAE Paper No. 860247, pp. 236~244.
- (3) 吉川英夫, 田中早雷, 1986, "メタノール機関の腐蝕改善に関する研究," 自動車技術會論文集, No. 32, pp. 38~44.
- (4) Baines, T. M., Smith L. R. and Urban C. M., 1982, "Regulated exhaust emission from methanol-fueled cars," SAE Paper No. 820967, pp. 3171~3180.
- (5) Hsia, J., Kuo, L. K., Lin, C. S. and Chou, T. L., 1986, "Effects of methanol-gasoline blends on performance, emissions and wear in SI engines," VII International Symposium on Alcohol Fuels.

- pp. 136~141.
- (6) Harrington, J. A., Shishu, R.C. and Asik, J. R., 1974, "A Study of Ignition System Effects on Power, Emission, Lean Misfire Limit and EGR Tolerance of Single-Cylinder Engine-Multiple Spark Versus Conventional Single Cylinder Spark Ignition," SAE Paper 740188, pp. 837~845.
- (7) Schweikert, J. F., 1976, "Emission Control with Lean Mixture," SAE Paper 760226, pp. 1041~1055.
- (8) Samaga, B. S. and Kumar, Y. S., 1986, "Performance Studies on a Methanol-Fueled Stratified Charge Combustion Engine," VII International Symposium on Alcohol Fuels, pp. 142~147.
- (9) 문성수, 한성빈, 이성열, 1986, "기화혼합장치를 사용한 메탄올 스파크 점화기관의 연료기화특성," 대한기계학회춘계학술대회논문집, pp. 394~397.
- (10) Holman, J. P., 1976, "Heat Transfer," Tower Press, pp. 181~189.