

## 자동차 엔진의 혼합연료가 엔진 성능과 배기가스에 미치는 영향에 관한 연구

### A Study on the Engine Performance and Emission of Gasoline-Methanol Blend in Vehicle Engine

조행목\*  
H. M. Cho

#### ABSTRACT

The engine performance and combustion characteristics of methanol blended fuel of spark ignition engine were discussed on the basics of experimental investigation. The effects of methanol blending fuel on combustion in cylinder were investigated under various conditions of engine cycle and blending fuel on combustion in cylinder were investigated under various conditions of engine cycle and blending ratios. The results showed that the engine performance was influenced by the methanol blending ratio and the variations of operating conditions of test engine. The increase of fuel temperature brought on the improvement of combustion characteristics such as cylinder pressure, the rate of pressure rise and heat release in an engine. The burning rate of fuel-air mixture, the exhaust emissions and the other characteristics of performance were discussed also.

주요기술용어: Evaporation Rate(기화율), Combustion Characteristic(연소특성), Exhaust Gas Characteristic(배기특성)

#### 1. 서론

자동차 대체 연료로서 특히 메탄올 연료가 주목을 받게 된 것은 옥탄가가 높아 고압축비로서 운전이 가능하고 고효율 및 출력에 있어서 유리할 뿐만 아니라 배기 가스에 있어서도 다른 연료에 비하여 매년 공해물 줄일 수 있기 때문이다.

지금까지 기관에 공급되는 연료의 특성 변화 및 온도 변화에 관한 연구는 메탄올 혼합 가솔린이 차량 성능에 미치는 영향에 관한 연구<sup>(1)</sup>를 비롯하여 메탄올 기관의 배기와 연소 특성에 대한 EGR의 영향<sup>(2)</sup>, 가솔린과 메탄올 연료가 엔진의 성능 및 배기 가스 특성에 관한 연구<sup>(3)</sup> 메탄올 기관의 흡배기 밸

\* 정회원, 천안공업대학 자동차과

브에서의 열유속 특성<sup>(4)</sup> 등이 보고되고 있다. 이와 같이 연료-공기 혼합기의 연소 특성에 관한 연구가 다양화 되고 있으나 연료의 기화 촉진으로 운전 성능을 향상시키기 위하여 지나친 기화는 베이퍼록(Vapor Lock)을 발생시켜 운전의 불안정성을 야기시키는 문제를 안고 있다.<sup>(5)(6)(7)</sup>

따라서 본 연구에서는 정적 연소실에서 연료의 연소 특성을 파악하고 기존 가솔린 자동차에 가솔린과 메탄올을 혼합한 연료를 사용하여 혼합연료의 공급 온도와 혼합 연료 중 메탄올의 비율을 변화시킨 경우의 기관 성능 및 연소 특성을 구하고 배출 가스 중의 CO, HC 배출 저감 특성을 규명하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 연료의 당량비와 온도 변화에 따른 연소 특성

### 2.1 실험 장치 및 방법

#### 2.1.1 실험 장치

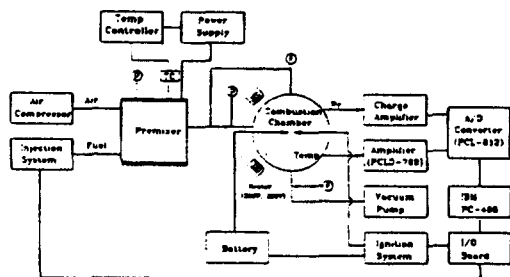


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험 장치는 정적 연소실, 예연소실, 단발 점화장치, 온도 조절 장치, 온도 측정 장치, 압력 측정 장치, 데이터 획득 및 처리장치, 동기 제어장치 등으로 구성되어 있다.

정적 연소실은 체적이 314cc이고 재질은 알루미늄으로 제작하였으며 연소실의 전후면에는 화염가시화를 위하여 석영 유리를 설치하였다. 사진 촬영을 통한 화염 전파 특성 연구에 적합하도록 점화 플러그 전극의 위치는 연소실 중앙에 위치시켰으며 양 전극 중심간의 간격은 1.5mm로 고정하였다.

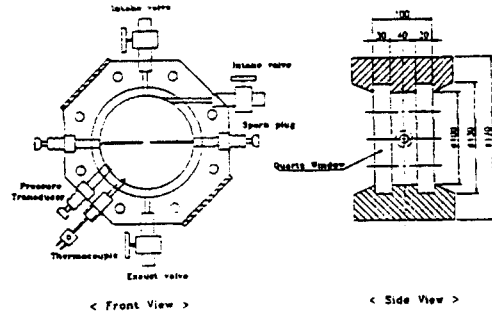


Fig.2 Schematic diagram of constant volume combustion chamber

압력 측정은 압전형 압력 변환기를 사용하였으며 온도 측정은 R형 열전대를 연소실 벽면으로부터 3mm 돌출시켜 장착하였다.

연소실 벽면에는 100W 판히터 2개를 부착하여 온도 조절이 가능토록 하였으며 연소실 내의 초기 공기 온도는 K형 열전대를 사용하여 측정하였고 벽면 온도의 영향을 최소화하기 위하여 벽면으로부터 15mm 돌출시켜 설치하였다.

예혼합실의 재질은 열전도성이 우수한 동을 사용하였으며 양측면에 1kW 용량의 판히터를 부착하여 벽면의 온도차가 없도록 하였다. 예혼합실의 용량은 2650cc이고 인젝터 어댑터 부분과 열전도율이 낮은 테프론 봉을 연결하여 고온의 열을 차단하였다.

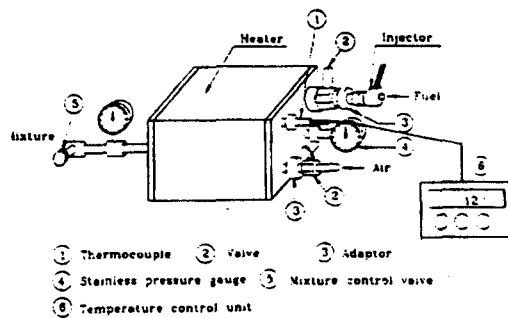


Fig.3 Schematic diagram of premixer

#### 2.1.2 실험 방법

공기는 이상기체라 가정하고 공기의 질량을 산출하였으며 연료는 인젝터의 통전시간에 따른 분사량으로 조절하였다.

연료의 당량비와 예혼합기의 온도에 따른 실험 조건은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Experimental conditions of mixture fuel

Experimental parameter	Experimental condition
Equivalent ratio	0.8 ~ 1.3
Initial pressure [bar]	1, 2, 3
Combustion chamber temperature [°C]	40,80
Premixture chamber temperature [°C]	40,60,80,160
Plug gap[mm]	1.5

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 당량비 변화에 따른 연소 특성

Fig.4는 가솔린 연료의 당량비에 따른 최대 압력 변화를 나타낸 그림으로 동일 당량비에서 최고 연소 압력은 혼합기의 압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며 기화는 초기 압력이 높아질수록 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 최대 연소 압력은 당량비 1.1 ~ 1.2 부근에서 나타나고 있으며 이론 최대 출력 당량비 1.13 ~ 1.18의 범위와 잘 부합됨을 알 수 있다.

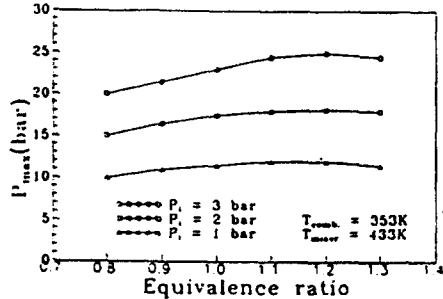
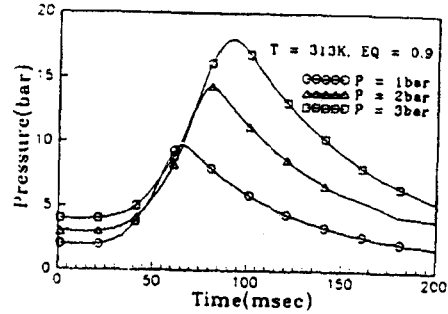


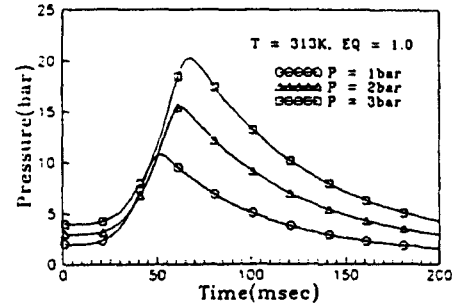
Fig.4 Effect of initial pressure on max. combustion pressure

Fig.5는 동일한 온도 조건인 연소실의 온도가 353K이고 예혼합실의 온도가 433K인 경우의 당량비에 대한 압력선도의 시간 변화를 나타내었다.

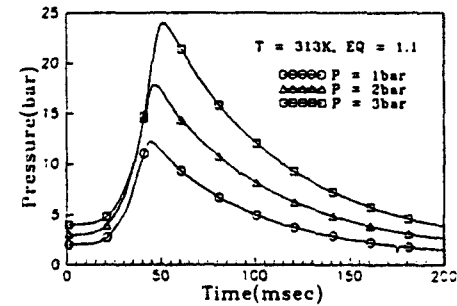
연소실 내의 혼합기의 초기 압력이 높아질수록 각각의 당량비에서 압력은 증가하고 있으며 당량비가 높아질수록 점화 지연 시간은 짧아지고 최고압력 상승률은 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 그 압력의 하강폭이 이상적인 정적 연소과정의 압력선도에 비하여 급격히 감소하는 현상을 보이고 있는데 이것은 알루미늄으로 제작되어 열전달에 의한 에너지 감소 현상에 기인되는 것으로 사료된다.



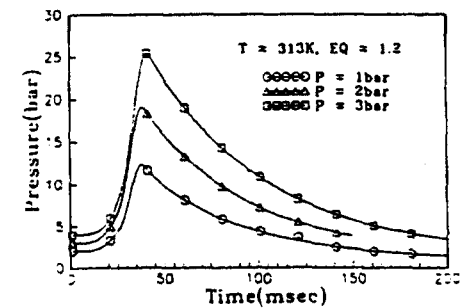
(a)  $\phi = 0.9$



(b)  $\phi = 1.0$



(c)  $\phi = 1.1$



(d)  $\phi = 1.2$

Fig.5 Combustion pressure with initial mixture pressure

2.2.2 연소실 온도 변화에 따른 연소 특성

연소실 내의 온도가 가화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 연소실 내의 온도를 353K로 낮추어 실험하였다. 연소실 내로 공급되는 혼합기의 압력이 일정할 경우에 대한 당량비 변화에 따른 최고 압력에 도달되는 시간을 측정하여 Fig.6에 나타내었다.

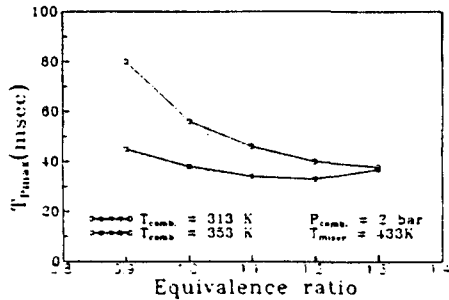
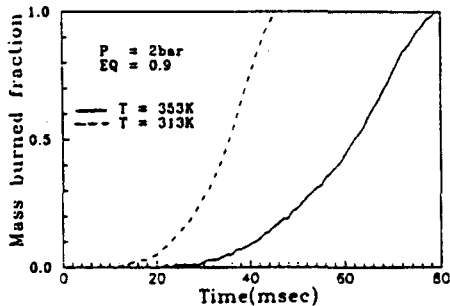
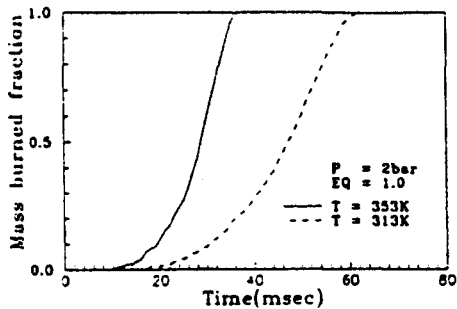


Fig.6 Effect of initial pressure on max. combustion pressure

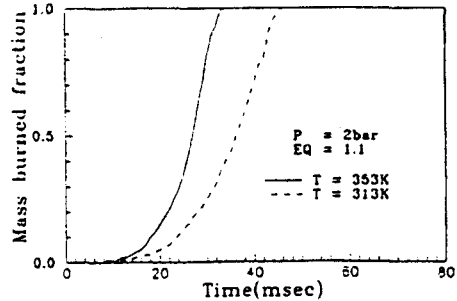
Fig.7은 혼합기의 초기 압력이 2bar로 일정하고 연소실의 온도를 353K, 313K로 변화하였을 경우 연소율을 비교한 그림이다.



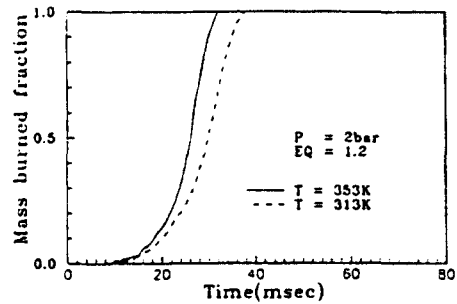
(a)  $\phi = 0.9$



(b)  $\phi = 1.0$



(c)  $\phi = 1.1$



(d)  $\phi = 1.2$

Fig.7 Effect of initial temperature on the burned fraction

이 경우 당량비가 증가할수록 2경우 모두 연소 속도가 빨라지고 있으며 연소실 온도 313K의 경우가 당량비 증가에 따른 연소 속도 증가율이 현저하게 증가되고 있는 현상을 나타내고 있다. 따라서 기관의 냉시동시에는 연소실 내의 온도가 상승되지 못한 상태이므로 연료의 분사량을 농후하게 공급하여야 함을 알 수 있다.

3.기관 연소 특성 시험

3.1 실험 장치 및 방법

3.1.1 실험 기관

실험 기관은 Table 3.1에 제시한 것과 같은 단기통기관을 대상으로 실험하였으며, 기관의 주요 제원은 실린더 지름이 76.5, 행정이 81.5, 행정용적은 1498cc, 압축비는 9.0인 가솔린기관이다.

Table 3.1 Specification of test engine

Type	4-Stroke four cylinder engine
Engine type	Water-cooled MPI type gasoline engine
Displacement volume[cc]	1498
Bore×stroke[mm]	76.5×81.5
Number of cylinder	4
Compression ratio	9.0

3.1.2 실험 방법

기관의 성능 및 연소 특성을 측정하기 위한 실험 장치는 Fig.8과 같이 실험 기관, 동력계, 고압 압력 변환기, A/D 변환기, 크랭크각 검출기, PC 등으로 구성하였다. 가솔린에 메탄올을 체적비로 10%, 20%로 혼합하여 가솔린과 메탄올 혼합 연료의 연소 및 배출물 특성을 분석하였다. 기관의 회전속도는 1000rpm으로부터 4000rpm까지 500rpm 간격으로 변화시켰으며 이때 냉각수 온도는 정상온도는 80℃로 일정하게 유지하면서 실험하였다.

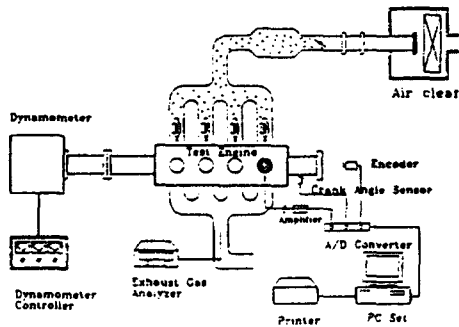


Fig.8 Schematic diagram of experimental apparatus

연료의 증발 효과 측정하기 위하여 인젝터로 유입되는 연료를 가열할 수 있는 가열장치를 설치하여 연료를 가열하였다. 연료 가열 장치는 가변 저항기로써 온도를 25℃에서 85℃범위까지 조절할 수 있도록 하였다.

실린더의 연소 압력은 압력 변환기(Kistler 601A)와 차지 앰플리파이어, 크랭크각 검출 시스템을 사용하여 측정하였으며, 측정된 데이터는 데이터 처리 시스템에서 압력, 압력상승률, 연소율 등을 분석하여 연소 특성을 규명하였다.

3.2 실험 결과 및 고찰

3.2.1 기관의 출력 성능

Fig.9는 가솔린을 연료로 한 경우와 메탄올 혼합 연료를 사용한 경우의 기관 토크, 재동마력, 연료소비율 등의 기본 성능을 나타낸 것이다. 실험조건은 냉각수 온도를 정상 온도로 일정하게 유지하고 기관의 회전속도, 공급 연료온도, 연료의 메탄올 혼합 비율을 변화시켜 가면서 기관의 성능, 연소 특성, 배출물 특성 등을 측정하였다.

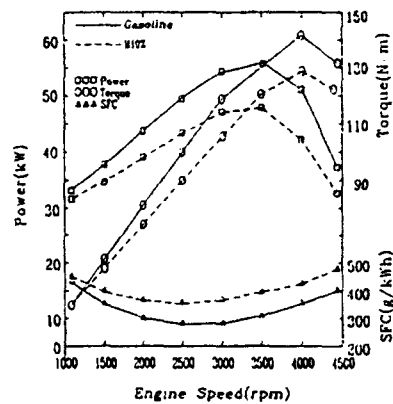


Fig.9 Performance characteristics of test engine

연료 소비율은 메탄올 혼합 가솔린 연료를 사용하였을 때가 순수 가솔린 연료를 사용하였을 때 보다 높게 나타나고 있는데 그 이유는 단위 질량당 발열량이 낮기 때문이다. 한편, 기관의 연료 소비율은 회전 속도 2500rpm일 때가 최저로 나타났다.

3.2.2 기관의 연소 특성

(1) 기관 실린더 내의 압력

Fig.10은 메탄올 혼합연료의 증발특성을 향상시키기 위하여 기관으로 공급하는 연료를 50℃로 가열한 것과 가열하지 않은 것을 비교한 것이다.

이 선도에서 알 수 있는 바와 같이 연료를 가열하여 증발을 촉진 시킴으로써 연소실 내의 압력은 가열하지 않은 경우에 비하여 상승하는 효과를 가져왔다. 이러한 경향은 연료의 온도가 높을수록 혼합 연료의 미립화된 액적들의 증발이 촉진되어 연소 성능이 개선됨을 의미한다. 연료의 증발시간은 연료 액적의 초기 온도가 높을수록 짧아지므로 연료의 공급 온도를 상승시키면서 액적이 증발하는 시간이 단축되어 연소 성능이 개선되는 것으로 볼 수 있다.

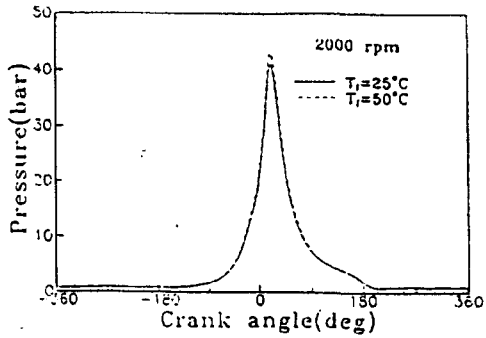


Fig.10 Effect of fuel temperature on cylinder pressure

이와 같은 이유는 기관의 연료 시스템이 모두 가솔린 기관의 최적 혼합비의 형태로 조정되어 있으므로 메탄올 혼합 연료의 경우도 가솔린 공연비에 상당하는 연료량이 공급되어 연소압력 상승은 저하하는 것으로 볼 수 있다. 또한 Fig.11은 메탄올 혼합 비율이 일정할 때 연료 온도 변화에 따른 최고 압력의 변화를 나타낸 것으로서 연료 온도가 높은 경우가 최고 압력이 높게 나타남을 알 수 있다.

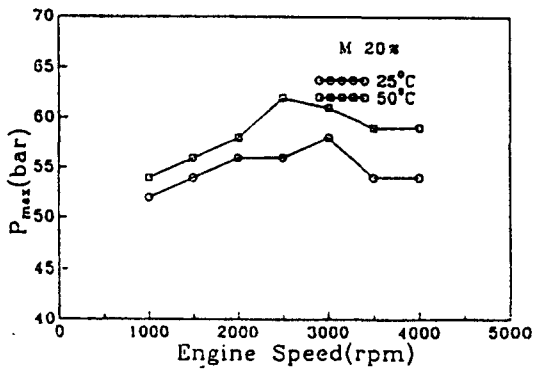


Fig.11 Effect of fuel temperature on maximum pressure

(2) 압력 상승률

Fig.12는 기관의 회전 속도 변화에 따른 실린더 내의 압력 상승률을 비교한 것으로서 최고 압력 상승률은 메탄올 10% 혼합 연료가 20% 혼합 연료보다 향상되는 것으로 나타났다.

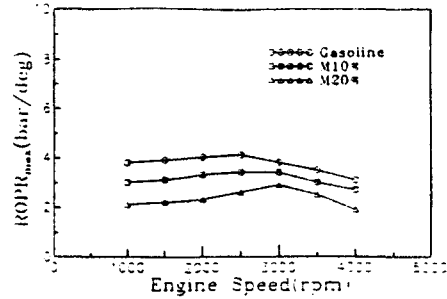


Fig.12 Comparison of maximum rate of pressure rise in cylinder

Fig.13은 기관으로 공급되는 연료 온도의 변화에 따른 최대 압력 상승률을 기관 회전 속도에 대하여 비교한 것으로서 혼합 연료 온도가 25°C의 경우보다 50°C의 경우가 높게 나타났으며, 이는 연료의 증발이 촉진되었기 때문이다. 이것은 앞에서 언급한 실린더 내의 압력 변화와 일치하는 결과라고 할 수 있다. 또한 메탄올 혼합 비율의 영향을 비교해 보면 메탄올 10% 혼합 연료의 경우가 메탄올 20% 혼합 연료의 경우보다 압력 상승률이 높게 나타나고 있다.

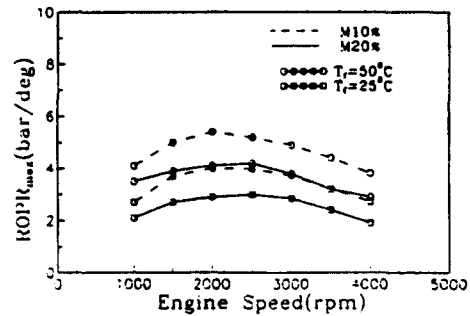


Fig.13 Comparison of maximum rate of pressure rise

(3) 실린더 내의 연소 기간

Fig.14는 실린더 내의 연소 기간을 기관 회전 속도 2000rpm 및 3000rpm에 대하여 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 메탄올 혼합 연료의 경우가 가솔린에 비하여 연소 기간이 짧았으며, 메탄올 비율이 증가함에 따라 연소 기간은 짧아지는 경향을 보였다.

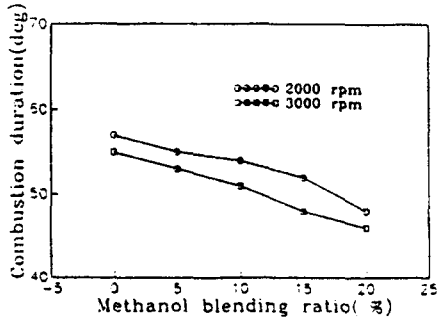


Fig.14 Effect of engine speed on the combustion duration

(4) 배출 가스 농도

Fig.15는 연료 온도를 25°C로 유지하였을 경우 HC 배출 농도를 분석한 결과를 도시한 것이다.

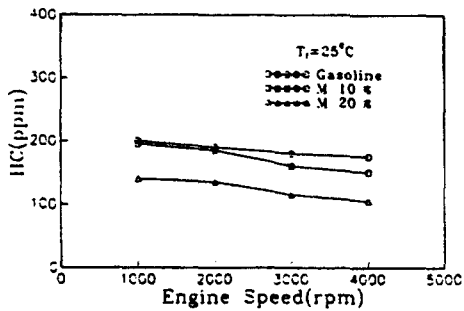


Fig.15 Effect of fuel temperature on HC concentration(25°C)

이 선도에서 나타난 바와 같이 가솔린보다 메탄올 연료를 혼합하였을 때가 HC 배출량이 적게 나타남을 알 수 있으며, Fig.16은 연료 온도를 50°C로 상승시켰을 때의 HC 배출농도를 나타낸 선도로서 연료를 가열함에 따라 연료액적의 증발 시간이 단축되어 연소 상태가 개선되기 때문인 것으로 볼 수 있다.

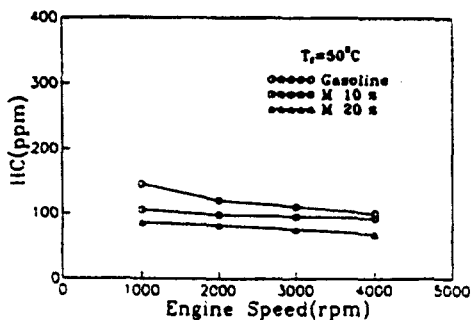


Fig.16 Effect of fuel temperature on HC concentration(50°C)

Fig.17, 18은 가솔린과 10%, 20%로 메탄올을 혼합하여 사용하였을 때의 CO배출 농도를 나타낸 것으로서 가솔린을 사용한 경우보다 메탄올 혼합 연료를 사용하였을 경우가 CO 배출 농도가 감소함을 알 수 있다.

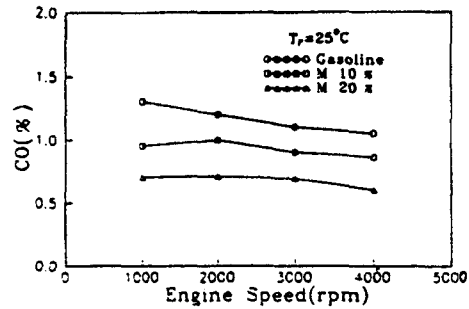


Fig.17 Effect of fuel temperature on CO concentration(25°C)

또한 Fig.18은 연료 공급 온도를 50°C로 상승시켰을 경우의 CO 배출 농도를 나타낸 것으로서 메탄올 혼합 비율이 20%의 경우가 CO 배출 농도가 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

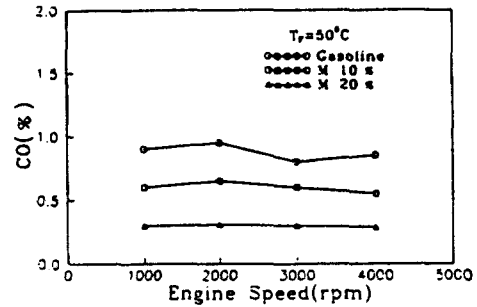


Fig.18 Effect of fuel temperature on CO concentration (50°C)

따라서 기관 구조를 그대로 두고 메탄올 혼합 연료를 사용할 경우 연료의 공급 온도를 높게 하면 미립화된 연료의 증발 특성이 향상되어 연소 성능이 개선되고 이에 따라 배출 가스 중의 HC, CO 배출 농도는 저하 함을 알 수 있다.

4. 결론

연료의 기화율 변화에 따른 연소 특성의 기초 실험 결과를 분석하고 기관의 구조를 변경하지 않은 상태로 메탄올 혼합 연료를 적용하여 기관의 성능,

연소 특성, 배출물 중 HC 및 CO 배출 농도 특성을 실험한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

Vehicle Fueled with Methanol-Gasoline Mixture," Congress, Michigan, Feb., 1979, SAE paper 890428.

- (1) 연료펌프의 공급 압력이 높을수록 최대 연소 압력이 증가하며 최대 압력은 당량비 1.1~1.2 사이에 존재 함을 알 수 있다.
- (2) 분사된 연료가 충분히 기화하였어도 연소실 내 온도에 따라서 유해 배출가스가 급격하게 저하되는 현상을 볼 수 있었다.
- (3) 연료의 기화에 대하여 분사된 직후의 주위 온도의 영향도 중요하지만 최종적으로 공급되는 연소실 내의 온도의 영향이 지배적이다.
- (4) 기관에서 메탄올 혼합 연료를 가열하여 공급 온도를 높게 공급하면 연료의 미립화 및 증발이 촉진되므로 기관 실린더 내의 연소 압력 및 열 발생률은 높아져서 기관의 성능이 개선되었다.
- (5) 메탄올 혼합 연료를 사용한 경우 배출 가스 중의 CO, HC 배출 농도가 가솔린의 경우와 비교한 결과 메탄올 혼합 연료의 경우가 배출량이 현저하게 저하하는 경향을 나타내었다.
- (6) CO 및 HC의 배출량은 연료 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

#### 참고문헌

- (1) 相原久元, 丹下昭二, 1985, "Methanol混合 Gasoline의性狀が車輛性能に及ぼす影響", 日本自動車技術會 秋季學術講演會 論文集, pp. 37.
- (2) 堀昭三, 深淵弘, 1977, "Methanol機關の排氣と燃燒特性におよぼすEGRの影響", 日本自動車技術會 秋季學術講演會 論文集, pp. 24.
- (3) 조원진, 정영식, 정성찬, 황계상, 채재우, 1994, "가솔린-메탄올 SI 엔진의 성능 및 배기 가스 특성에 관한 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 231~237.
- (4) 김문현, 임연기, 이종태, 1996, "메탄올 기관의 흡배기 밸브에서의 열유속 특성". 한국자동차공학회 논문집 제4권 제1호 pp.208~217.
- (5) Garrett, T. K., 1991, "Automotive Fuel and Fuel System," pp. 10-12.
- (6) Maleev, V. I., Dr. Am, M. E., "Internal Combustion Engine Theory and Design," 2th pp. 70-84, McGraw-hill Company.
- (7) Mooney, J. J., Hansel, J.G. and Burns, K. R., 1989, "Three-Way Conversion Catalysts on