

## &lt;기술논문&gt;

**메탄올 혼합연료가 기관 연소 특성에 미치는 영향**

조행목\* · 이창식\*\*

(1996년 6월 14일 접수)

**Effect of Methanol-Blended Fuel Properties on the Combustion Characteristics of a Gasoline Engine**

Haeng Muk Cho and Chang Sik Lee

**Key Words:** Methanol-Blended Fuel(메탄올 혼합연료), Combustion Characteristics(연소특성), Exhaust Emissions(배출물), Output Performance(출력성능)

**Abstract**

The engine performance and combustion characteristics of methanol blended fuel in spark ignition engine were discussed on the basis of experimental investigation. The effects of methanol blending fuel on combustion in cylinder were investigated under various conditions of engine cycle and blending ratio. 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.

**I. 서 론**

메탄올 연료가 대체연료로써 주목을 받게 된 것은, 1973년의 제1차 오일파동 이후 많은 연구자들이 자동차 기관의 적용에 관한 연구를 활발히 하게 된 이후이다. 그 후 20여년에 걸쳐서 여러 가지 메탄올 이용 기술이 보고되어 왔으며, 특히 최근 대기오염에 의한 환경오염문제가 크게 대두됨에 따라 새로운 연구과제로 되고 있다.

지금까지 알려진 메탄올 연료의 이용 기술은 여러 가지가 있으나 오토 사이클식 메탄올 연료의 적용 기술과 디젤 사이클식 적용 기술로 크게 나눌 수 있다.

메탄올 연료는 가솔린에 비하여 기화 잡열이 크

기 때문에 연소기관에 이용할 경우, 시동성, 응답 성 등이 문제가 되는 결점을 가지고 있으므로 그 개선을 위하여 연료의 기화 특성을 향상시킬 수 있는 분위기 형성과 금속, 수지, 고무 등에 대한 부식과 재료를 열화시키는 특성이 있으므로 이들에 대한 대책이 필요하다.

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 흡기관에서 연료의 기화가 기관 성능과 배기 가스에 미치는 영향,<sup>(2)</sup> 자동차용 메탄올 기관에 관한 연료 연소 및 적용에 관한 실험적 연구<sup>(3,4)</sup> 등이 보고되고 있다. 가솔린 기관의 알콜 연료 이용에 관한 연구로는 가솔린-에탄올 기관의 성능 및 배기 특성<sup>(5)</sup>에 관한 연구를 비롯하여 메탄올 기관의 흡·배기 브브의 열유속에 관한 연구,<sup>(6)</sup> 메탄올 기관의 기본 성능 평가<sup>(7)</sup> 등이 있다. 이와 같이 메탄

\*회원, 상지전문대학 자동차공학과

\*\*회원, 한양대학교 기계공학과

을 연료의 연소 특성은 여러 연구자들에 의하여 많은 연구가 다양하게 진행되고 있으나 연료의 물성과 메탄을 적용에 따른 기관 출력 향상 및 배출가스 저감에 대하여는 더욱 많은 연구가 요망되고 있다. 특히 메탄올의 경우 증발점열이 크므로 연료의 공급 온도를 높게 하는 것은 메탄올의 연소 및 배출물 저감에 효과적인 방법의 하나가 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 가솔린 자동차를 대상으로 가솔린과 메탄올의 혼합한 혼합연료를 사용하여 혼합 연료의 공급 온도와 가솔린 메탄올 혼합 연료 중 메탄올의 비율을 변화시킨 경우의 기관성능 및 연소특성을 실험적으로 구하고, 환경오염의 원인이 되고 있는 배출가스 중의 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(HC) 배출 저감 특성을 규명하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험 기관

실험 기관은 Table 1에 제시한 것과 같은 4실린더 기관을 대상으로 실험하였으며, 기관의 주요 제원은 실린더 지름이 76.5mm, 행정이 81.5mm, 행정용적은 1498cc, 압축비는 9.2인 가솔린 기관이다.

### 2.2 실험 방법

기관의 성능 및 연소 특성을 측정하기 위한 실험장치는 Fig. 1과 같이 실험기관, 동력계, 고압 압력변환기, A/D 변환기, 크랭크각 검출기, PC 등으로 구성하였다. 가솔린에 메탄올을 체적비로 10%, 20%로 혼합하여 가솔린과 메탄올 혼합연료의 연소 및 배출물 특성을 분석하였다. 엔진의 회전속도는 1000 rpm으로부터 4000 rpm까지 500 rpm 간격으로 하여 변화시켰으며 이때 냉각수 온

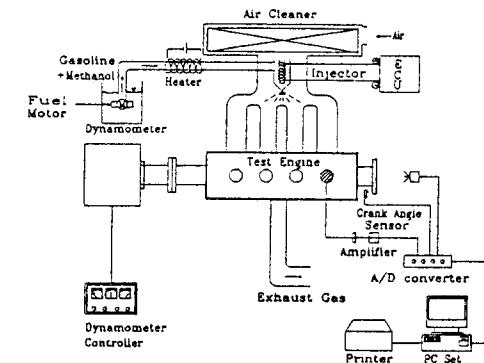


Fig. 1 The schematic diagram of experimental apparatus

도는 정상온도로 일정하게 유지하면서 실험하였다.

연료의 증발 효과를 촉진하기 위하여 인젝터로 유입되는 연료를 가열할 수 있는 가열장치를 설치하여 연료를 가열하였다. 연료가열장치는 가변 저항기로써 온도를 25°C에서 85°C 범위까지 조절할 수 있도록 하였다.

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

기관 실린더내의 압력을 구하여 실린더내의 압력상승률, 열발생률, 연소율 등의 연소 특성치를 구하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 기관의 출력성능

Fig. 2는 가솔린을 연료로 한 경우와 메탄올 혼합연료를 사용한 경우의 기관 토크, 세동마력, 연료소비율 등의 기본 성능을 나타낸 것이다. 실험은

Table 1 Specification of test engine

Type	4-stroke four cylinder engine
Engine type	Water-cooled TBI Type Gasoline engine
Displacement volume(cc)	1498
Bore×Stroke (mm)	76.5×81.5
Number of cylinder	4
Compression ratio	9.2

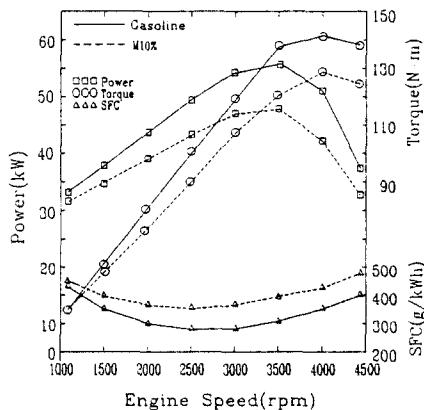


Fig. 2 Performance characteristics of test engine (M10%)

WOT 상태에서 냉각수온도를 정상온도로 일정하게 유지하고 기관의 회전속도, 공급 연료 온도, 연료의 메탄을 혼합비율을 변화시켜 가면서 기관의 성능, 연소 특성, 배출물 특성 등을 측정하였다. 가솔린 연료를 사용한 경우 최고 토크는 3500 rpm에서 130 N·m 정도이고 가솔린에 메탄을 체적비로 10%, 20% 혼합연료를 사용하였을 때는 3500 rpm에서 각각 112N·m, 102 N·m 정도로 나타났으며 채동마력 또한 메탄을 혼합연료의 경우가 가솔린 연료를 사용했을 때보다 낮게 나타났다. 이 경우는 가솔린을 공급한 경우와 같은 양의 혼합연료를 공급하여 측정한 결과이다.

연료소비율은 메탄을 혼합 가솔린 연료를 사용하였을 때가 순수 가솔린 연료를 사용하였을 때보다 높게 나타나고 있는데 그 이유는 단위질량 당 발열량이 낮기 때문이다. 한편, 기관의 연료소비율은 회전속도 2500 rpm일 때가 최소로 나타났다.

### 3.2 기관의 연소특성

#### 3.2.1 기관 실린더내의 압력

Fig. 3는 기관의 회전 속도를 2000 rpm으로 운전하였을 때 실린더내 압력을 표시한 것으로서 가솔린에 메탄을 10%, 20%를 혼합한 연료를 사용한 경우의 실린더내의 압력을 나타낸 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 실린더내의 가스 압력은 가솔린을 사용한 경우가 가장 높고, 메탄을 혼합 연료의 경우는 혼합비율이 20%인 경우가 혼합비율이 10% 경우보다 낮게 나타났다. 이러한 경향은 메탄

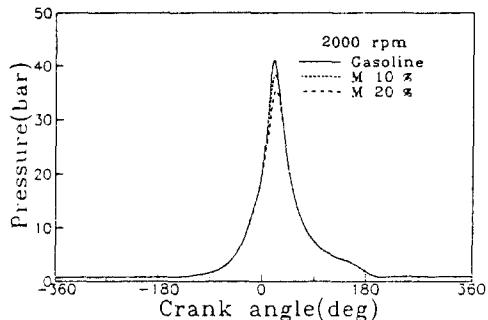


Fig. 3 Effect of blended fuel on cylinder pressure

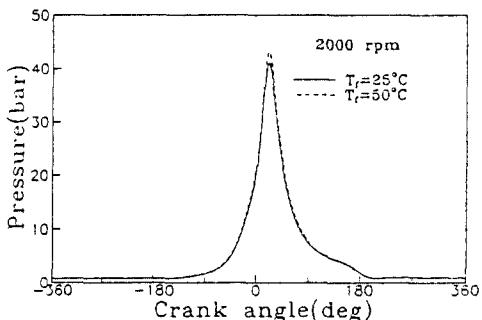


Fig. 4 Effect of fuel temperature on cylinder pressure

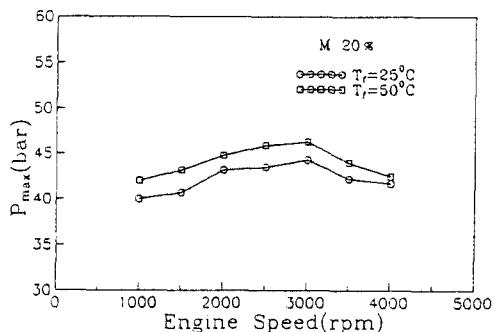


Fig. 5 Effect of fuel temperature on maximum pressure

올의 연소열이 가솔린보다 낮기 때문에 총발생열량이 작은 데 그 원인이 있는 것으로 생각된다.

Fig. 4는 메탄을 혼합연료의 증발 특성을 향상시키기 위하여 기관으로 공급하는 연료를 50°C로 가열한 것과 가열하지 않은 것을 비교한 것이다. 이 선도에서 알 수 있는 바와 같이 연료를 가열하여 증발을 촉진시킴으로써 연소실내의 압력은 가열하지 않은 경우에 비하여 상승하는 효과를 가져왔다.

이러한 경향은 연료 온도가 높을수록 혼합연료의

미립화된 액적들의 증발이 촉진되어 연소 성능이 개선됨을 의미한다. 연료의 증발 시간은 연료 액적의 초기 온도가 높을수록 짧아지므로,<sup>(8)</sup> 연료의 공급온도를 상승시키면 액적이 증발하는 시간이 단축되어 연소성능이 개선되는 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 이유는 기관의 연료시스템이 모두 가솔린 기관의 최적 혼합비의 형태로 조정되어 있으므로 메탄올 혼합연료의 경우도 가솔린 공연비에 상당하는 연료양이 공급되어 연소압력 상승은 저하하는 것으로 볼 수 있다.

또 Fig. 5는 메탄올 혼입비율이 일정할 때 연료 온도 변화에 따른 최고압력의 변화를 나타낸 것으로서 연료 온도가 높은 경우가 최고 압력이 높게 나타남을 알 수 있다.

### 3.2.2 압력 상승률

Fig. 6은 기관의 회전속도변화에 따른 실린더내의 압력 상승률(ROPR<sub>max</sub>)을 비교한 것으로서 최고압력상승률은 메탄올 10% 혼합연료가 20% 혼합연료보다 향상되는 것으로 나타났다. 한편 Fig. 7은 기관으로 공급되는 연료 온도의 변화에 따른 최

대 압력 상승률을 기관회전속도에 대하여 비교한 것으로써 혼합연료온도가 25°C의 경우 보다 50°C의 경우가 높게 나타났으며, 이는 연료의 증발이 촉진되었기 때문이며 Fig. 5에 제시된 경향과 대체로 일치하는 결과이다. 이것은 앞에서 언급한 실린더내의 압력 변화와 일치하는 결과라고 할 수 있다. 또한 메탄올 혼입률의 영향을 비교해 보면 메탄올 10% 혼합연료의 경우가 메탄올 20% 혼합연료의 경우보다 압력 상승률이 높게 나타나고 있다.

### 3.2.3 실린더내의 연소 기간

Fig. 8은 실린더내의 연소 기간을 기관 회전속도 2000 rpm 및 3000 rpm에 대하여 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 메탄올 혼합연료의 경우가 가솔린에 비하여 연소 기간이 짧았으며, 메탄올 비율이 증가함에 따라 연소 기간은 짧아지는 경향을 보였다.

### 3.2.4 HC, CO 가스의 배출 농도

Fig. 9는 연료 온도( $T_f$ )를 25°C로 유지하였을 때 HC 배출 농도를 분석한 결과를 도시한 것이다.

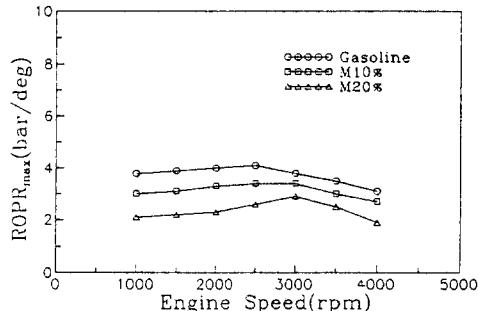


Fig. 6 Comparison of maximum rate of pressure rise in cylinder

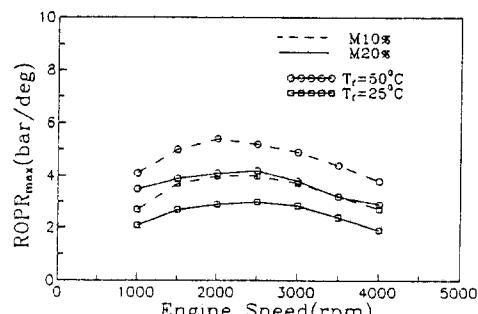


Fig. 7 Comparison of maximum rate of pressurerise rise

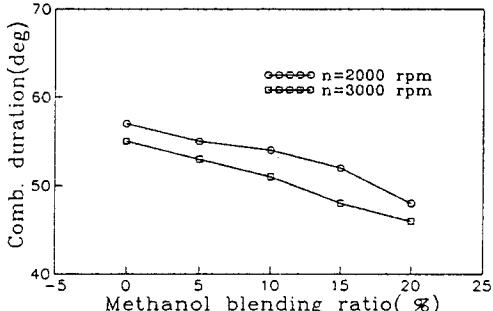


Fig. 8 Effect of engine speed on the combustion duration

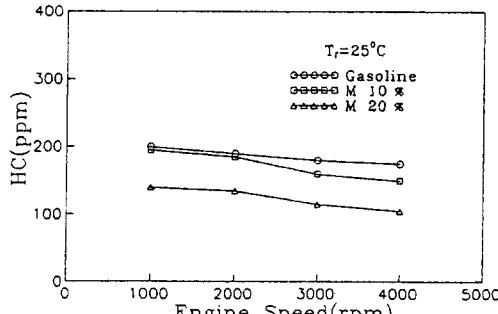


Fig. 9 Effect of fuel temperature on HC concentration ( $T_f = 25^\circ\text{C}$ )

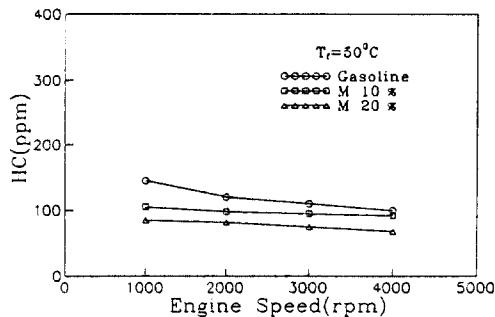


Fig. 10 Effect of fuel temperature on HC concentration ( $T_f=50^\circ\text{C}$ )

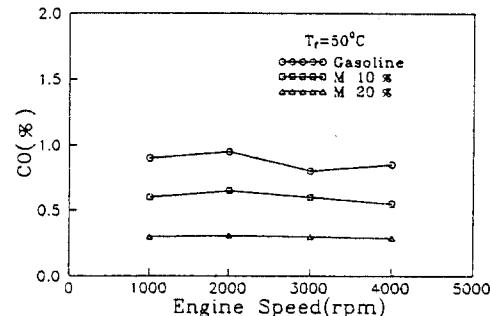


Fig. 12 Effect of fuel temperature on CO concentration ( $T_f=50^\circ\text{C}$ )

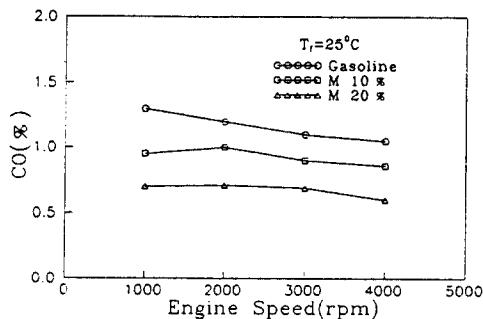


Fig. 11 Effect of fuel temperature on CO concentration ( $T_f=25^\circ\text{C}$ )

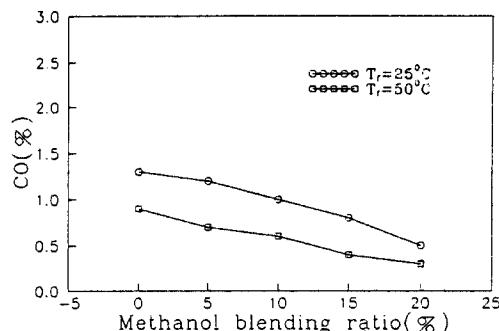


Fig. 13 Effect of fuel temperature on concentration at 2000 rpm

이 선도에서 나타난 바와 같이 가솔린보다 메탄을 연료를 혼합하였을 때가 HC 배출량이 적게 나타남을 알 수 있으며, Fig. 10은 연료 온도를  $50^\circ\text{C}$ 로 상승시켰을 때의 HC 배출 농도를 나타낸 선도로 연료를 가열함에 따라 HC의 배출량이 감소함을 알 수 있다. 이러한 경향은 연료 온도가 증가함에 따라 연료 액적의 증발 시간이 단축되어 연소 상태가 개선되기 때문인 것으로 볼 수 있다.

Fig. 11, 12는 가솔린과 10%, 20% 메탄을 혼합연료를 사용하였을 때의 CO 배출농도를 분석하여 비교한 것이다.

Fig. 11은 연료 온도가  $25^\circ\text{C}$ 일 때의 CO 배출 농도를 나타낸 것으로써 가솔린을 사용한 경우보다 메탄을 혼합연료를 사용하였을 경우가 CO 배출농도가 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 12는 연료공급온도를  $50^\circ\text{C}$ 로 상승시켰을 경우의 CO 배출농도를 나타낸 것으로서 메탄을 혼합비율이 20%인 경우가 CO 배출농도가 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

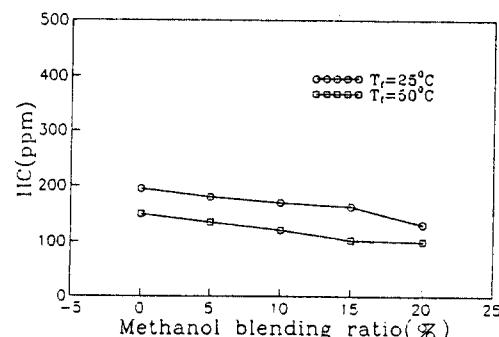


Fig. 14 Effect of fuel temperature on the HC concentration at 3000 rpm

이상에서 살펴본 메탄을 혼합연료를 사용한 경우의 배출가스 중의 HC 및 CO 배출농도를 연료 온도의 변화에 따라서 비교한 것이 Fig. 13과 Fig. 14이다.

이들 두 선도에서 나타난 바와 같이 HC 및 CO

배출농도는 연료 중에 메탄올 혼합량이 큰 경우가 낮았으며 동일한 메탄올 혼합비에서도 연료의 온도가 높은 경우가 CO, HC 배출량이 낮게 나타났다.

따라서 기관 구조를 그대로 두고 메탄올 혼합연료를 사용할 경우 연료의 공급 온도를 높게 하면 미립화된 연료의 증발 특성이 향상되어 연소 성능이 개선되고 이에 따라 배출가스 중의 HC, CO 배출농도는 저하함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

가솔린 기관의 구조를 변경하지 않은 상태로 메탄올 혼합연료를 적용하고, 연소성능개선을 위하여 연료 온도와 사이클 인자 등을 변화시킨 경우의 엔진의 성능, 연소 특성, 배출물 중 HC 및 CO 배출농도 특성을 실험한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 메탄올 혼합연료를 가열하여 공급온도를 높게 공급하면 연료의 미립화 및 증발이 촉진되므로 기관 실린더내의 연소 압력 및 열발생률은 높아져서 기관의 성능이 개선되었다.

(2) 실린더내의 가스 압력, 압력 상승률, 최대 압력 상승률 등의 연소 특성치는 메탄올 혼합연료의 온도가 높을수록 증가하며 그 최고치는 중속에서 최대가 되며 고속에서는 저하하는 경향을 나타내었다.

(3) 메탄올 혼합연료를 사용한 경우 배출가스 중의 일산화탄소, 탄화수소 배출농도를 가솔린의 경우와 비교한 결과 메탄올 혼합연료의 경우가 일산화탄소, 탄화수소의 배출량은 현저하게 저하하는 경향을 나타내었다.

(4) 탄화수소 및 일산화탄소의 배출량은 연료 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 동일한 연료공급온도에서는 메탄올 혼입량이 20%인 경우가 가장 효과적이었다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정 연구의 연구 지원에 의하여 이루어진 것의 일부로서 연구를 지원하여 주신 한국과학재단에 감사드리는 바입니다.

#### 참고문헌

- (1) 相原久元, 丹下昭二, 1985, “メタノール混合ガソリンの性状が車輛性能に及ぼす影響,” 日本自動車技術秋季學術講演會 論文集, p. 37.
- (2) 堀昭三, 澤則弘, 1977, “メタノール 機關の排氣と燃燒特性におよぼすEGRの影響,” 日本自動車技術秋季學術講演會 論文集, p. 24.
- (3) Iwakiri. M. et al, 1991, “Development of Mitsubishi Flexible Fuel Vehicle,” SAE paper, 910861
- (4) Kachi, H., Akiyama, K., Nakano, N. and Igash, N., 1991, “Development of Practical Simultaneous Analysis of Methanol and Formaldehyde from Methanol Fueled Vehicle,” Transactions of the Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 22, No. 1, pp. 77~81.
- (5) 조원진, 정영식, 정성찬, 황계상, 채재우, 1994, “가솔린-메탄올 SI 엔진의 성능 및 배기ガス 특성에 관한 연구,” 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 231~237.
- (6) 김문현, 임연기, 이종태, 1996, “메탄올 기관의 흡·배기 벨브에서의 열유속 특성,” 한국자동차공학회논문집 제4권 제1호, pp. 208~217.
- (7) 조국환, 김문현, 이성열, 1992, “메탄올 기관의 기본 성능 평가,” 자동차공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 162~168.
- (8) 長尾不二夫, 1972, “内燃機關講義”, p. 227.