

# 디젤 기관의 저질유 연소에 관한 연구

A Study on the Combustion of Low Grade Fuel Oil in Diesel Engine

이 창 식\*  
Chang Sik Lee

## ABSTRACT

This paper describes briefly the effect of low-grade fuel oil on the performance of four cycle diesel engine. Experiments were carried out to clarify the effect of blended fuel on the characteristics of viscosity-temperature, fuel consumption, exhaust gas temperature and cylinder pressure of engine. The increase in mixing ratio of low grade fuel under the constant temperature results in the increase of kinematic viscosity, specific weight, and ignition delay of fuel.

Some characteristics of fuel viscosity, thermal efficiency and engine performance due to the use of low-grade fuel oil in diesel engine are discussed.

## 1. 서 론

세계적인 에너지 자원의 고갈과 유한성은 에너지 자원의 소비 절감을 비롯하여 석유 대체 연료의 개발과 연소 에너지를 이용하는 각종 연소 기기 및 열기관의 효율 증대를 위한 연구의 필요성을 더욱 증가시키게 되었다. 이러한 관점에서 연료 소비가 많은 열기관과 연소 기기에 대한 대체 연료 이용기술 개발과 저질 연료의 사용에 관한 연구는 최근 다른 무엇보다도 중요한 과제의 하나로 대두되고 있다.

특히 연료의 소비 절감의 일환으로 석탄 액화유를 비롯하여 유화유의 연소, 알콜 연료의 이용 기술의 개발, 저질 중유의 연소에 관한 연구가 많은 연구자들에 의하여 보고된 바 있다.<sup>(1)~(6)</sup>

저질 중유를 사용할 경우에는 기관 실린더

내의 연료 공급 장치와 연료 여과기의 막힘을 비롯하여 연료 공급 펌프 및 분사 기구의 손상 등이 수반되기 쉽고, 분무 미립화의 특성, 연소 생성물 중의 미연 탄소 퇴적물의 생성, 부식성 마찰분의 배출 등의 문제점에 관한 사항이 일부 보고되고 있으나 아직 저질유 연소 적용성, 연소 장치 등에 대하여는 더욱 많은 연구가 요망되고 있다.

본 연구에서는 특수 예혼합 연소실을 갖는 소형 디젤 기관의 연료로 사용되는 경유와 경질 중유의 혼합 연료를 만들고, 저질 연료의 디젤 기관의 적용성을 비교 검토하기 위한 연구의 일환으로 경유와 경질 중유의 혼합 연료의 점도 특성과 혼합 연료의 착화 지연 및 경질 중유 사용에 따른 기관 성능과의 관계를 실험적으로 규명하기로 한다.

\* 정회원, 한양대학교 공과대학

## 2. 실험장치 및 실험방법

실험용 기관은 실린더 지름 85mm, 행정 90mm, 인 4행정 외류 예연소실식 기관으로서 압축비 21 이고, 출력은 9 PS/2,200rpm 인 단 실린더 기관을 사용하였다. 실험용 기관의 운전 조건은 냉각수 출구 온도  $60 \pm 2^\circ\text{C}$ , 회전 속도를 1,200, 1,500, 1,800, 2,000rpm의 4종에 대하여 실험 하였으며, 흡기 온도는  $15^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지 하였다.

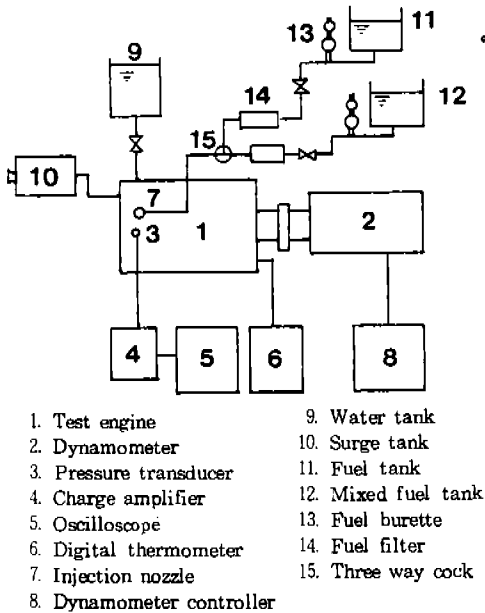


Fig. 1 Experimental apparatus

한편 실험용 연료는 경유와 경질 중유를 사용하였으며, 경질 중유의 연소 성능을 비교하기 위하여 경유와 경질 중유의 혼합유를 만들고 이들 혼합유의 점도와 기관의 적용 실험을 통하여 그 성능치를 비교·검토하였다. 실험에 사용한 연료는 경유에 경질 중유를 혼합하고 경질 중유의 체적 혼합 비율을 0%(경유)로부터 100%까지로 하고 이를 실험 연료로 하여 실험하였다. 연료의 교반은 시험할 연료를 각각 소정의 체적 비율로 혼합하고 교반기를 사용하여 충분히 혼합하였다.

Table 1은 본 실험에 사용한 경유와 경질 중유의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

Table 1. Characteristics of fuels

Characteristics	fuel	
	Gas oil	Heavy oil
Gravity	0.83	0.883
Kinematic viscosity(cSt)	2.71 (37.8°C)	9.40 (50°C)
Pour point(°C)	-22.5	-12.5
Carbon residue (Wt. %)	0.08	2.6
Sulfur (Wt. %)	0.62	1.40
Ash (Wt. %)	0.001	0.03
Water and sediment(Vol. %)	0.005	0.1
Heating value (kcal/kg)	10,250	9,958

연료의 점도 측정은 스펀들 회전식 점도계(Brookfield Viscometer, Model RV 6)를 사용하여 연료 온도 일정인 상태에서 시험하였다. 실험은 항온조의 온도를  $54^\circ\text{C}$ 로 일정히 유지하고 시료 용기 내의 온도를  $50^\circ\text{C}$ 로 유지시켜서 점도를 측정할 다음 시험 연료의 온도를 변화시켜 가면서 온도 변화에 따른 혼합 연료의 점도 변화를 측정하였다.

한편 기관의 축출력 측정은 와전류식 전기 동력계를 사용하여 측정하였고 실린더 내의 가스 압력은 차이지 앰플리파이어와 오실로스코프를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 혼합 연료의 점도-온도 특성

Fig.2는 경질 중유를 혼합한 시험 연료의 동점도와 혼합 비율과의 관계를 도시한 것이다. 이 선도에서 혼합 연료의 동점도는 스펀들 회전식 점도계를 이용하여 측정하였으며, 여기서 0%는 경유만의 경우이고 100%는 경질 중유 만일 때를 가리킨다. 이 선도에서 보는 바와 같이 경질 중유의 혼합 비율이 20% 정도 가지는 동점도의 변화는 크게 나타나지 않고 있으나 혼합율이 증가함에 따라 점도는 크게 증가하였다. 동점도 측정시의 연료의 온도는  $50^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 점도는 3가지 회전 속도에 대한 측정치로부터 평균치를 구하였다.

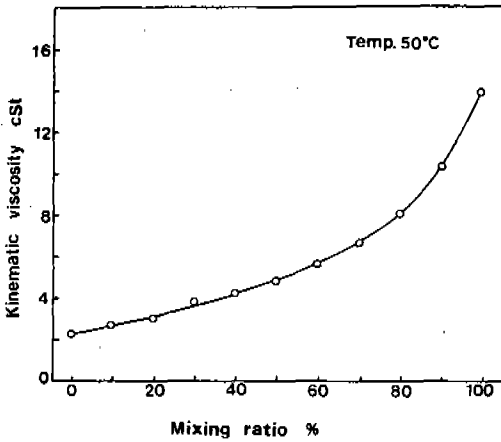


Fig.2 Kinematic viscosity curve of test fuel

Fig.3은 혼합 연료의 점도와 온도 특성을 앞에서와 같은 방법으로 측정하여 비교한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 연료의 점도는 온도가 상승함에 따라 현저하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 문헌(1), (5)의 연구에서 지적된 바와 유사한 경향을 보인 것이다. 특히 경질 증유의 경우에는 연료의 온도가 증가함에 따라 점도는 현저하게 저하하는 경향을 나타내었으며, 점차 경질 증유

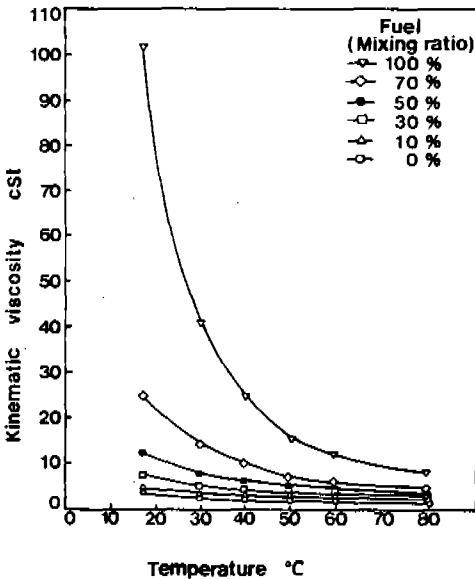


Fig.3 Kinematic viscosity as a function of mixing ratio and fuel temperature

의 혼합 비율이 낮아질수록 온도 변화에 따른 점도 변화는 작았다. 경질 증유의 혼합 비율이 30% 이하에서는 온도 변화에 대한 점도의 의존성은 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

### 3.2 연료 미립의 증발과 가열

연소실 내로 분사된 연료 미립의 초기 지름을  $D_0$ , 증발 시간  $t$  초 후의 지름을  $D$ 라 하면,

$$D^2 = D_0^2 - k_e t \quad \dots\dots\dots (1)$$

가 된다. 여기서 증발계수  $k_e$ 는 다음 식<sup>(6)</sup>으로 표시된다.

$$k_e = \frac{8 \lambda_m (t_g - t_b)}{\gamma_f L} \quad \dots\dots\dots (2)$$

단,  $\lambda_m$ 은 혼합기의 열전도율,  $\gamma_f$ 는 연료의 비중,  $L$ 은 증발에 요하는 열량<sup>(7)</sup>,  $t_g$ 는 가스 온도,  $t_b$ 는 연료의 비점이다.

한편 분사된 연료 미립이 초기 온도  $t_{oi}$ 로부터 연료의 비점  $t_b$ 까지 가열하는 데 요하는 시간  $\tau_h$ 는 다음 식으로 표시된다.

$$\tau_h = \frac{C_f \gamma_f D_0^2}{12 \lambda_a} \ln \frac{t_g - t_{oi}}{t_g - t_b} \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $\lambda_a$ 는 공기의 열전도율,  $C_f$ 는 연료의 비열이며 다음 식<sup>(8)</sup>으로 구한다.

$$C_f = (0.403 + 0.00081 t_{oi}) / \sqrt{\gamma_f} \quad \dots\dots\dots (4)$$

이들 식으로부터 보는 바와 같이 연료 미립의 지름은 증발 정수  $k_e$ 에 따라서 변화하며  $k_e$ 는 연료의 혼합 비율에 따라 변하는  $\gamma_f, L$ 에 크게 의존됨을 알 수 있다.

Fig.4는 식 (3)으로부터 연료의 물리적 착화 지연 시간  $\tau_h$ 를 구하여 혼합 비율에 대하여 도시한 것이다. 식 (3)에서 연료의 물리적인 지연  $\tau_h$ 는 연료의 입경, 비중과 비열에 따라 변화함을 알 수 있다. 혼합 비율이 증가하면 연료의 입경과 비중이 증가하고 또한 증발 계수  $k_e$ 는 감소한다. 따라서 착화 지연  $\tau_h$ 는 증가하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 혼합 비율이 많아질수록 연료의 분사 시기는 더욱 전각시켜 주어야 한다.

Fig.5는 동력계 하중을  $T=7kg$ 으로 일정하게

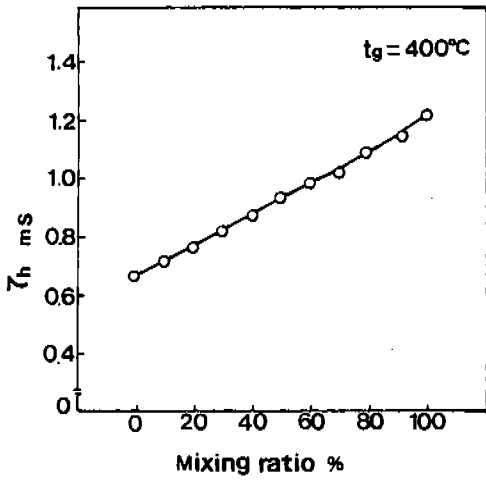


Fig. 4 Ignition delay of blended fuel

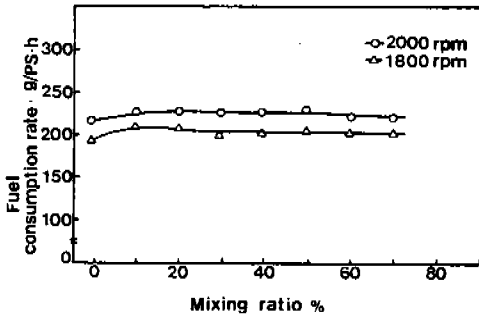


Fig. 5 The effect of mixing ratio on the fuel consumption rate

유지하였을 경우 혼합 연료 사용에 따른 연료 소비율을 회전 속도 변화에 대하여 비교한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 연료 소비율은 경유일 경우와 혼합 연료의 경우에 대하여 비교하여 보면 혼합 비율이 증가함에 따라 연료 소비율은 다소 증가하는 경향을 보였다. 그러나 혼합 비율이 60~70%의 범위에서는 경유일 때와 큰 차이를 보이지 않았으나 기관의 운전 상태는 혼합 비율이 낮은 경우에 비하여 상당한 부조화 작동을 하는 것으로 나타났다. 대체로 혼합 비율이 높은 경우에는 혼합비가 낮은 영역에 비하여 연료 소비율의 변화 폭이 작게 나타나고 있는데 이것은 특히 혼합 비율이 높아질수록 연료관을 통하여 유동하는 연

료의 점도가 증가하고 연료 공급관, 분사관 및 분사 노즐에서 관마찰 저항에 따른 유동 저항의 영향을 더욱 크게 받으므로 연료 펌프의 흡입율이 감소하는 것으로 볼 수 있다. 이것은 또한 기관으로 들어가는 연료 공급의 불균일과 기관의 부분적인 부조화를 일으키는 원인의 하나로도 생각할 수 있다.

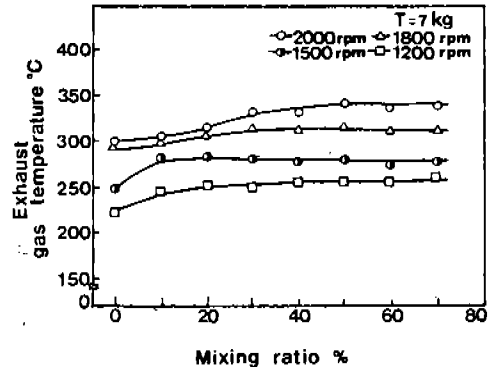


Fig. 6 Exhaust gas temperature dependence on mixing ratio and engine speed

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 조건하에서 경질 증유의 혼합 비율에 따른 배기 온도를 여러가지 회전 속도에 대하여 비교한 것이다. 배기 온도는 혼합 비율이 증가함에 따라 대체로 높아지는 것으로 나타났다. 경질 증유가 혼합되는 비율이 높아짐에 따라 배출 가스의 온도는 상승하는 결과를 보이고 있는데 이것은 식 (3)에서 표시된 바와 같이 경질 증유 혼합에 따라 실린더 내의 혼합기의 증발과 착화가 경유만 일 때 보다 늦어지고 또 연소도 피스톤이 상사점 후 상당 기간까지 진행되는 것에 따르는 현상의 하나로 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 경질 증유의 혼합 비율이 증가함에 따라 연료의 점도는 커지고 연소실 내로 분사된 연료의 미립의 지름이 증가하여 유립이 증발하면서 공기와 혼합하여 착화할 때까지의 물리적 지연 기간이 길어져서 연소가 팽창 과정까지 지속되고 있음을 의미하는 것이다. 이것은 또한 유립으로부터 연료가 증발하여 착화 온도에 달하는 기간이 유립의 지름의 제곱에 비례하여 길어지므로<sup>(8)</sup> 연소 지속 기간은 경유만의 경

우보다 길어지는 것으로 생각할 수 있다.

또한 경질 증유의 혼입의 경우에는 미연 탄소 잔류분의 연소가 배기 과정 기간 동안에도 이루어지므로 연소 생성물의 온도가 높아져서 배기 온도는 상승하는 것으로 볼 수 있다. 물론 경질 증유의 혼입 비율이 증가할수록 연료 미립의 화학적 지연의 영향도 더욱 크게 받을 것으로 생각된다.

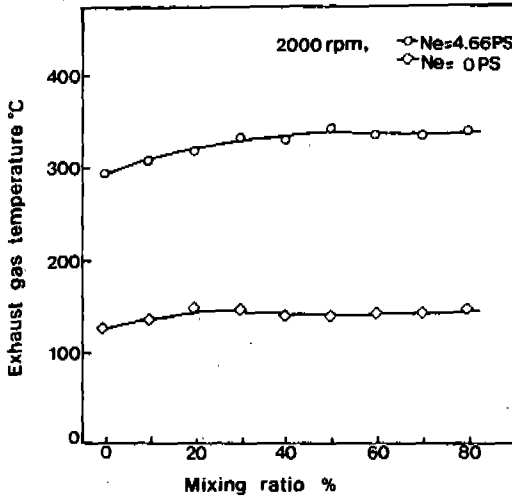


Fig. 7 Exhaust gas temperature dependence on mixing ratio and engine load

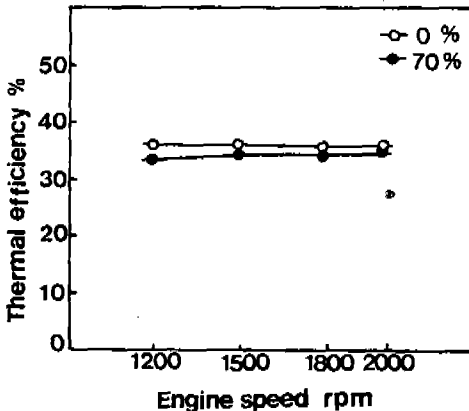


Fig. 8 Effect of mixing ratio on the thermal efficiency

한편 Fig. 7은 Ne = 4.66PS일 때와 Ne = 0일 때의 배기 온도를 도시한 것이다. 배출 가스의 온도는 무부하일 경우 혼합 비율이 증가함에 따라 큰 차이는 없었으나 제동 마력이

4.66PS일 경우에는 혼합 비율이 증가함에 따라 배기 온도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 경질 증유의 혼입 비율이 0%인 경우와 70%인 경우에 대한 제동 열효율을 비교한 것이다. 이 선도에 도시된 바와 같이 혼합 연료의 경우가 열효율은 낮았으며, 기관의 회전 속도가 증가함에 따라 열효율은 증가하는 경향을 보였다. 이것은 회전 속도가 정격 회전 속도에 접근함에 따라 혼합유의 연소 성능이 어느 정도 향상되고 있음을 의미한다.

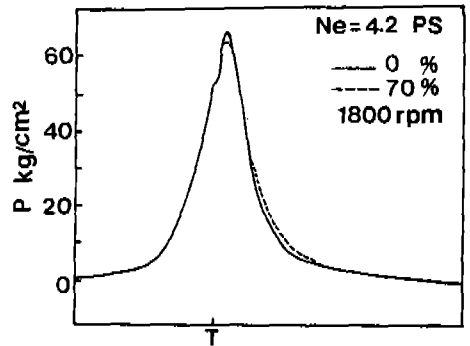


Fig. 9 Effect of mixing ratio on the pressure-time diagram

Fig. 9는 회전 속도가 1.800rpm일 경우 경유와 혼합 연료 70%일 경우에 대한 압력-크랭크각 선도를 도시한 것이다. 실린더 내의 가스 압력은 현저한 차이는 나타나지 않았으나 경유일 경우보다 혼합 연료의 경우가 최고 압력이 낮고 상사점 후의 압력 분포가 넓어지는 것으로 나타났다. 이것은 혼합 연료가 경유에 비하여 연료의 점도가 크고 증발 성능이 나쁜 관계로 연소 지속 기간이 길어져서 압력 변화는 그림과 같이 나타나는 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

경유와 경질 증유를 혼입한 혼합 연료를 디젤 기관에 적용하여 실험한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 경유-경질 증유 혼합 연료의 점도-온도 특성을 비교한 결과 혼합 연료의 점도는 온

도의 증가와 더불어 현저하게 저하하였으며 일정 온도하에서도 혼합 비율이 증가함에 따라 점도는 급격히 증가하는 경향을 갖는다. 또한 중유의 혼합 비율이 증가할수록 연료의 착화 지연 기간은 길어진다.

(2) 경질 중유 혼합 연료 사용에 따른 기관의 연료 소비율 변화는 경유 사용의 경우 보다 약간 증가하는 경향을 가지나 혼합 연료 사용에 대한 현저한 차이는 나타나지 않았다.

(3) 경질 중유 혼합 연료를 사용하는 경우 배출 가스의 온도는 경유의 경우보다 높아지며 또한 배출 가스 온도의 부하에 따른 변화도 혼합 연료의 경우가 높은 것으로 나타났다.

(4) 실린더 내의 가스 압력을 경유의 경우와 경질 중유 혼합 연료를 사용한 경우를 비교한 결과 실린더내의 압력-시간 선도상의 현저한 차이는 나타나지 않았다.

## 후 기

본 연구는 1987년도 문교부 학술 연구 조성비의 지원에 의하여 이루어진 것으로서 연구를 지원하여 주신 관계 제위에 대하여 감사의 뜻을 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. 登坂·村山·宮本·近久·山崎·前河: "小形高速ディーゼル機関における石炭液化油の燃

焼と排氣特性", 日本舶用機關學會誌 第21卷 第5號, pp.317~324, 1985.

2. T. Murayama, Y. Morishima, M. Tsukahara, and N. Miyamoto: "Experimental Reduction of NOx, Smoke, and BSFC in a Diesel Engine Using Uniquely Produced Water to Fuel Emulsion", SAE paper 780224.

3. C. P. Chiu and Y. W. Liang: "The Effect to Methanol Injection on Emission and Performance in Diesel Engine", Proc. 5th Int. Symp. on AFT, Vol., p. 2-317, 1982.

4. S. R. Bell and J. A. Caton: "Cycle Simulations of Coal-Fueled, Reciprocating, Internal Combustion Engine: The Role of Volatiles and Liquid Carriers", Combustion Science and Technology, Vol. 50, pp. 185~203, 1986.

5. 西野·金岡·吉原·森下: "小形ディーゼル機関における低質重油使用について", 内燃機關 第25卷, 第6號, pp. 9~17, 1986.

6. 長尾: "内燃機關講義", pp. 227~228, 1972.

7. G. Sitkei: "Kraftstoffaufbereitung and Verbrennung bei Dieselmotoren", p. 107, 1963.

8. 八田·淺沼: "内燃機關ハンドブック", p. 83, 1960.