

디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구(I) (기본성능)

A Study on Alternative Fuel as Fuel Substitutes in a DI Diesel Engine (I) (Basic Performance)

吳永澤*, 丁奎祚**, 村山正***
Oh. Y. T., Cheong K.J., M. Tadashi

ABSTRACT

This paper reports the basic performance of a naturally aspirated DI diesel engine which is used widely in industry and agriculture when vegetable oils are used as fuel substitutes. In this paper, the properties of vegetable oils as diesel fuel were investigated and the load-performance of diesel engine when vegetable oils were used, as tested compared against diesel fuel.

The general objective of this investigation is to realize an efficient, clean, and low carbon deposit combustion of the vegetable oils in diesel engines, showing their feasibility as diesel fuel substitutes.

The results of this experiment were as follows;

- (1) Compared with diesel fuel, the droplet size of vegetable oil is very large.
- (2) Compared with diesel fuel, rapeseed oil, palm oil, and their blend fuels offered lower smoke, lower NO_x, lower engine noise, and high thermal efficiency in a D.I. diesel engine. However, there were carbon deposit and piston ring sticking problems with long-term operation.
- (3) For ethanol-rapeseed oil blends, a 10-20% of ethanol content is recommended to enable lower BSHC and less smoke without a remarkable increase in engine noise compared with pure rapeseed oil.
- (4) A 10% oxygen content in the vegetable oils is contributed to reduced smoke emission.

抄 錄

본 연구는 현재 산업용이나 농업용으로 널리 사용되어지고 있는 직접분사식 디젤기관의 대체연료로서 바이오마스 연료의 일종인 식물유 즉, 유채유, 팜유 등을 유효하게 이용할 목적으로, 이들 식물유가 기관의 연료로서의 성질은 물론 분무특성, 연소특성, 기관성능 또는 카본의 퇴적상태나 피스톤 링의 고착 등의 문제점에 관하여 조사, 해석한 것으로, 식물유가 디젤기관의 대체연료로서 이용 가능성을 확실히 한 것이다.

* 전북대학교 공과대학 기계공학과

** 군산수산전문대학

*** 日本 北海道大學

1. 緒 論

內燃機關의 연료는 화석연료인 석유를 이용하여 제조되는데, 그 전량을 수입에 의존하고 있으며, 사용량도 급증하고 있어 에너지 사정의 악화와 대기환경오염이란 측면에서 매우 심각한 실정이다. 이같은 정세에 따라 우리나라에서도 대체 에너지 및 에너지절약 기술개발에 총력을⁽¹⁻²⁾ 기울이고 있고, 그 중에서도 생산성이나 이용하기 쉬운 점 등으로 볼 때, 장래 유망한 대체연료로서 바이오매스연료 (biomass fuel) 즉, 自給生産이 가능한 알콜과 식물유에 대한 관심은 지대하다. 그러나, 식물유의 경우에는 기관성능 및 배기배출물 이외에도 高粘度 또는 低揮發性 등에 기인하는 카본 퇴적물(carbon deposit), 또는 피스톤 링의 고착(stick) 등이 기관 운전상 중대한 문제로 지적된다.⁽³⁻⁴⁾

본 연구에서는 알콜이나 식물유를 디젤기관의 대체연료로서 유효하게 이용할 목적으로, 이들 대체연료가 기관의 연료로서의 여러가지 성질은 물론, 噴霧特性, 燃燒特性, 機關性能 또는 카본의 퇴적상태 및 피스톤 링의 고착의 문제점 등에 관하여 조사, 해석을 함과 동시에, 현단계에서 고려될 수 있는 식물유의 각종 이용수단, 즉 연료의 온도상승, 에스테르화 또는 경유나 에타놀 등과의 혼합 등이 기

관성능에 대해서 미치는 영향에 대해서 단계적으로 연구하여, 그 이용법에 대한 지침을 제시함을 최종적인 목표로 한다.

2. 實驗裝置 및 方法

실험에 사용되어진 기관은 橫型, 水冷式, 單氣筒, 4 사이클, 직접분사식 디젤기관으로 그 주요제원은 Table 1에 표시된 바와 같다.

기관은 회전속도 2500 rpm, 냉각수온도 및 윤활유온도를 $90 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 일정하게 운전하였으며, 연료온도 또는 연료의 종류 등을 변화시켜 각종 性能值, 指壓線圖 또는 배기가스농

Table 1. Specifications of the Test Engine

Description	Specification
Combustion Chamber	Direct injection type
Bore × Stroke	105 × 125 mm
Piston Displacement	1.082 cm ³
Compression Ratio	17.5
Rated Output	16.0 kw/2500 rpm
Injection Pump	Bosch A-type
Plunger Diameter	9.0 mm
Injection Nozzle	ND-DLL A 152S 32 35 ND 98
Nozzle Opening Pres.	24.5 MPa(250kg/cm ²)

Table 2. Specifications of Fuel

Specification	Diesel Fuel	Rapeseed Oil	Palm Oil	Ethanol
Flash Point (°C)	90~120(10)	320~330(10)	—	13
Net Calorific Value (kJ/kg)	43126	36887	36553	20880
Stoichiometric Air-Fuel Ratio	14.37	12.53	12.42	8.956
Cloud Point (°C)	-4.0	5.0	27.0	—
Specific Gravity (15°C)	0.82	0.921	0.904(30°C)	0.795
Carbon	87.5	78.20	76.49	52.20
Hydrogen	12.5	11.71	12.11	13.10
Oxygen	0.0	10.09	11.40	34.70
Kinematic Viscosity (15°C, cSt)	4.8	51.70	63.60(30°C)	—
Average Molecular Weight (g/mol)	226.0	951.4	842.1	46.0
Cetane Number	56.0	39~50	37.0	8.0

도 등을 측정하였다.

연료로서는 주로 바이오매스연료로서 유채유 또는 팜유 등의 식물유와 에탄올 및 경유를 사용하였다. 이들 연료의 特性 및 性狀을 Table 2에 표시한다.

지압선도는 스트레인 게이지식 압력변환기를 연소실에 직접 설치하여 측정하였으며, 연속적인 92사이클의 출력을 전산처리 시스템에 의해 기록, 처리하여 着火時期, 着火遲延期間, 燃燒最高壓力, 熱發生率, 燃燒期間 및 豫混合 또는 擴散燃燒量 등을 구하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 植物油의 物性 및 噴霧特性

실험에 사용된 연료의 밀도는 유채유, 팜유 및 경유 그 어느 연료도 온도의 증가에 따라서 밀도는 단순히 감소하며, 경유에 비하여 식물유의 경우가 약 12% 정도 높게 나타나고 있다.⁽⁶⁾

또 연료온도와 動粘度와의 관계는 윤활유에 대한 動粘度式⁽⁶⁾과 같이 연료온도가 증가함에 따라서 어느 연료의 動粘度도 指數함수적으로 감소하고 있으며, 식물유의 경우가 경유에 비해 10배 이상 높게 나타나고 있으나, 이는 연료가열에 의해 거의 경유정도의 점도를 얻을 수 있다.⁽⁶⁾

한편, 식물유에 대해 원래 점도가 낮은 경유 또는 알콜 등과 혼합하여도 점도를 저하시킬 수 있어, 혼합연료의 점도는 혼합전 연료의 점도와 혼합비율로부터 어느 혼합연료의 점도도 계산할 수 있다.⁽⁷⁾

다음은 각종연료의 분무특성에 대해서 검토하여 보았다.

Fig. 1은 노즐의 분사압력 24.5 MPa의 경우, 유채유와 경유의 噴霧角을, 분사개시후 경과시간에 대하여 표시한 것이다. 그림으로부터, 유채유는 경유에 비해 전체적으로 분무각은 작게 나타나고 있으며, 특히 분무도달거리는 분사직후에는 거의 동일하지만, 시간이 지남에 따라 유채유가 경유보다는 증가함을 알 수 있는데⁽⁶⁾, 이는 Fig. 2에 표시한 바와 같이

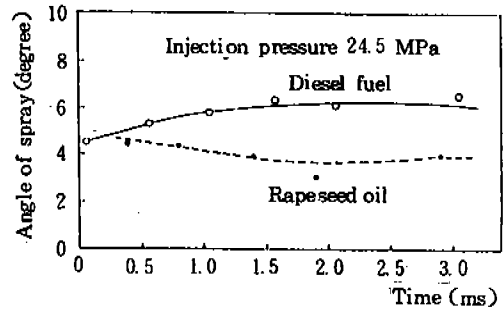


Fig. 1 Spray Angle for Rapeseed Oil and Diesel Fuel

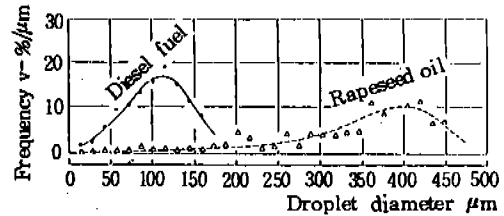


Fig. 2 Droplet Size Distribution of Fuels

噴霧粒徑이 크기때문에 운동량이 증대하였기 때문으로 생각되어진다.

Fig. 2는 유채유와 경유의 분무입자의 빈도 분포를 표시한 것으로, 이때 연료온도는 40 °C이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이, 경유에 비해서 유채유의 平均粒徑은 현저하게 증가하고 있어, 이것이 피스톤 링의 고착과 카본퇴적물의 직접적인 원인으로 생각되어진다.

3.2 유채유 및 팜유를 사용한 경우의 機關性能 및 燃燒特性的의 比較

여기서는 유채유와 팜유를 디젤기관의 연료로 직접 사용했을 경우의 기본적인 기관성능 및 연소특성에 관해서 기술한다.

Fig. 3은 유채유와 팜유를 연료로 사용한 경유 기관의 기본성능 및 배기가스 특성을 경유와 비교해서 표시한 것이다. 이때, 각 연료에 대한 연료분사시기는 정미평균유효압력 (BMEP : brake mean effective pressure) 0.4 MPa에서 열소비율 (BSHC : brake specific heat consumption)이 最良인 시기로 조절하였으며, 연료온도는 팜유가 상온에서 고체이므로 전연료의 온도를 77 °C로 가열하여 실험을 하였다.

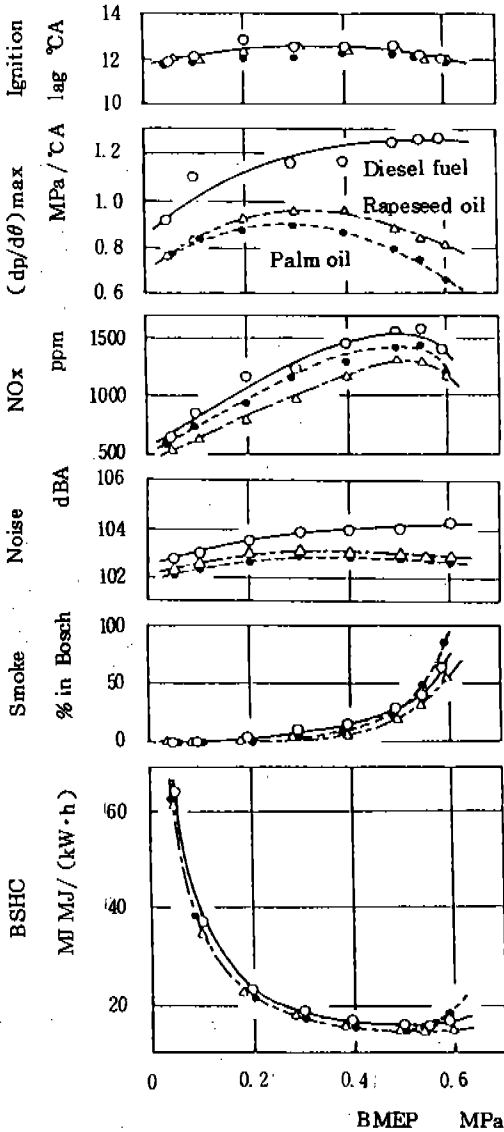


Fig. 3 Engine Performance for Rapeseed Oil, Palm Oil and Diesel Fuel

그림으로부터 경유에 비하여 유채유 및 팜유는 전부하범위에서 열소비율 및 매연(smoke)이 약간 개선됨과 동시에, 기관소음과 NOx 농도가 상당히 저하하고 있음을 알 수 있다. 단, 팜유의 경우에는 특히 고부하영역에서 열소비율 및 매연농도가 경유보다는 약간 악화되는 경향을 보이니, 이는 팜유중에 포함된 고형성분 등 때문에 未燃殘分이 증가하여 열소비율과 배기매연농도에 대하여 영향을 미

쳤을 것으로 생각된다. 여기서, 연료소비율이 아니고 열소비율을 사용한 것은 각연료의 발열량이 相異하므로, 비교를 위하여 단위시간, 단위출력당 소비되어진 열량으로 정의되는 열소비율을 사용하였다.

다음에 이들의 연료를 사용한 경우의 분사율곡선의 형상에 대하여 조사하여 보았다. 이때, 사용되어진 노즐은 홀 노즐로서 그 결과를 Fig. 4에 표시하였다.

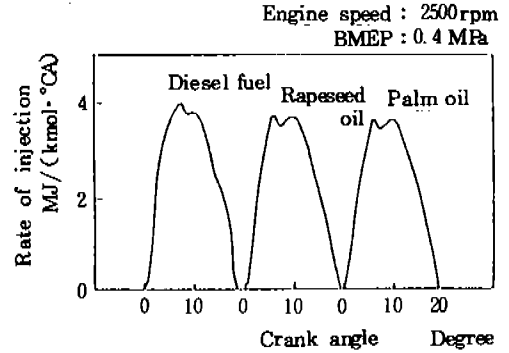


Fig. 4 Shapes of Rate of Injection for Various Fuels

그림에서 알 수 있는바와 같이, 분사율곡선의 차이는 거의 보이지 않아 어느 연료의 경우도 유사한 형상을 나타내고 있어, 적어도 홀 노즐을 사용한 경우는 연료의 점도가 분사율에 대해서 미치는 영향은 매우 적은 것으로 생각된다.

여기서, 식물유의 경우가 경유에 비해 열효율이 개선된 원인을 찾기 위하여 각 연료의 지압선도 및 열발생율 형상을 특징짓는 각특성치를 Fig. 5에 정량적으로 표시하였다. 이 경우 연료분사시기는 BMEP 0.5MPa에서 어느 연료도 열소비율이 最良인 BTDC 17°C A로 설정하였다.

그림에서 식물유의 경우는 경유에 비교해서 연소기간은 거의 변함이 없지만 예혼합연소량이 크게 감소됨을 알 수 있다. 이것은 고점도에 의한 噴霧粒徑의 증대 또는 기화성의 악화에 기인하여 생긴 현상으로 생각된다.

그림으로부터 식물유의 경우 기관소음의 저하는 예혼합연소량의 감소에 따라 최대압력상승을 또는 최고연소압력의 저하에 기인하는 것

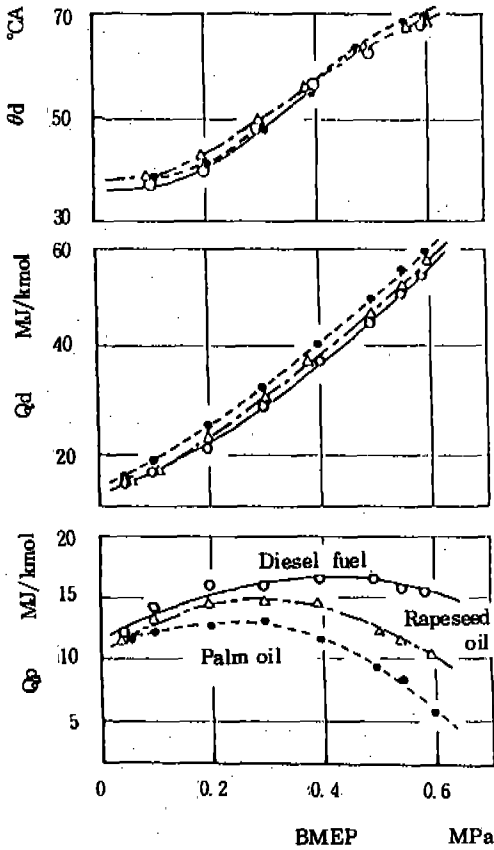


Fig. 5 Amount of Premixed Combustion, Q_p , Amount of Diffusive Combustion, Q_d , and Combustion Duration, θ_d , for Vegetable Oil and Diesel Fuel

으로 생각되며, 식물유의 열효율이 약간 증가하는 것은 예혼합연소량의 감소에 따른 최대 압력상승을 또는 최고연소압력의 저하에 따라 냉각손실 및 기계손실의 개선에 의하여 발생한 것으로 생각되어진다. 한편, 식물유로 기관을 장시간 운전하는 경우에는 노즐선단부에 카본 퇴적물(carbon flower or deposit) 또는 피스톤 링의 고착 등이 생기기 때문에 열효율 또는 매연 등이 크게 변동 악화하는 현상을 확인하였으며, 자세한 것은 第 2 報에서 설명하기로 한다.

다음은 식물유의 유동특성을 확보하기 위하여 연료를 가열하였을 경우, 연료온도가 기관 성능에 미치는 영향을 비교, 검토하여 보았다. 이는 각 연료의 경우 약간의 온도상승이 성능

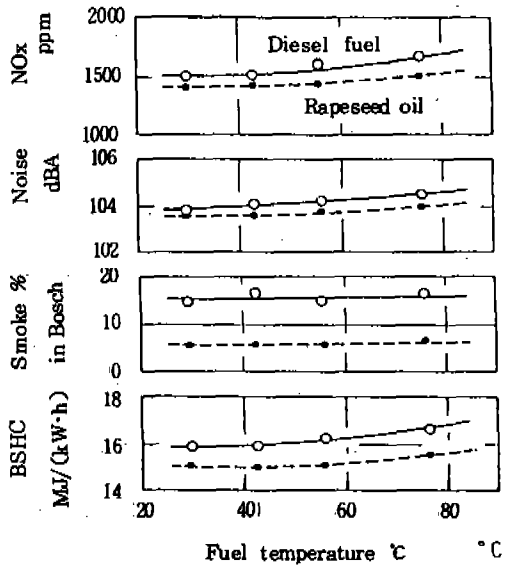


Fig. 6 Effects of Fuel Temperature on Engine Performance and Emissions

에 대해서 영향을 크게 미친다면 각 연료사이의 성능비교가 곤란하기 때문에, 일례로서 유채유를 사용하여, 연료분사펌프에 연료가 모여있는 곳의 온도를 33°C에서 77°C까지 변화시켰을 때의 기관성능에 대하여 조사한 것으로 그 결과를 Fig. 6에 표시하였다. 그럼에서 알 수 있는바와 같이, 연료온도상승에 따라 기관성능은 약간 변화하지만, 80°C 정도까지는 열소비율, 기관성능, NO_x농도 또는 배기매연농도 등의 변화는 비교적 적음을 확인하였다. 즉, 연료의 유동성을 확보하기 위하여 실시했던 80°C까지의 가열에서는 약간의 연료온도의 상승 또는 온도상승에 따른 연료의 점도가 기관성능에 대하여 미치는 영향은 무시해도 좋은 정도이었다.

3.3 混合燃料를 사용한 경우의 機關性能 및 燃燒特性的 比較

앞절에서, 식물유를 디젤기관의 연료로 사용한 경우에 기관성능 및 배기가스농도 등이 경유와 비교해 볼 때 양호한 특성을 가지고 있었으나, 높은점도가 여러문제의 원인이 됨을 알 수 있었다. 그래서, 본절에서는 점도를 저감시키기 위하여 바이오매스 연료의 일종인 에타놀과 혼합하여, 기관을 운전한 경우의 기

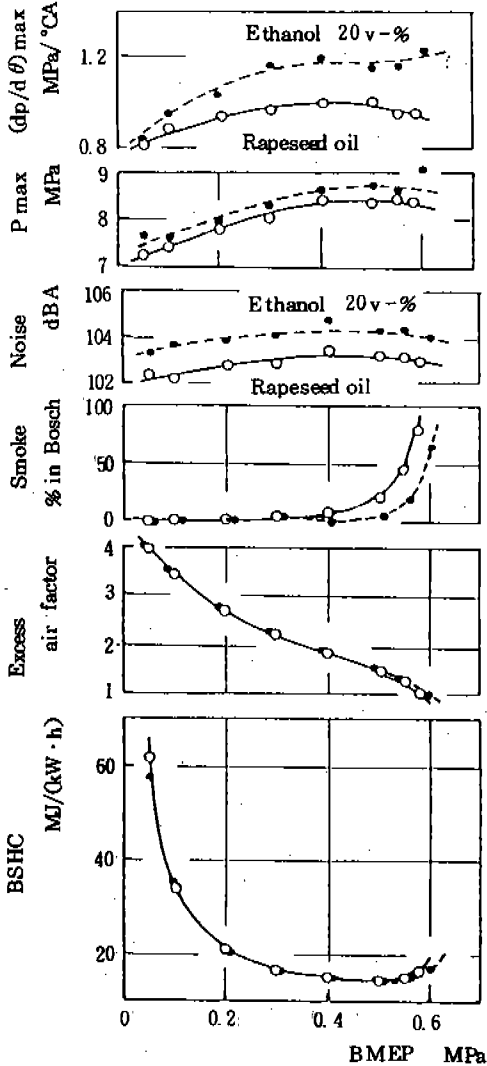


Fig. 7 Engine Performance for Rapeseed Oil and Ethanol Blends Fuel

관출력특성 및 연소성에 관하여 조사하여 보았다.

우선, 유체유와 에타놀 20v-%의 혼합연료로 기관을 운전하여 부하를 변화시켰을때의 기관성능과 유체유와의 경우를 비교하여 보았다. 그 결과는 Fig. 7에 표시하였고, Fig. 8에는 이들 연료의 열발생율을 특징짓는 특성치를 표시한 결과의 일례이다.

이들 두 그림으로부터 알 수 있는바와 같이, 알콜 20v-% 혼합함으로써 특히 고부하역에서의 열소비율의 개선과 배기매연농도의 현저

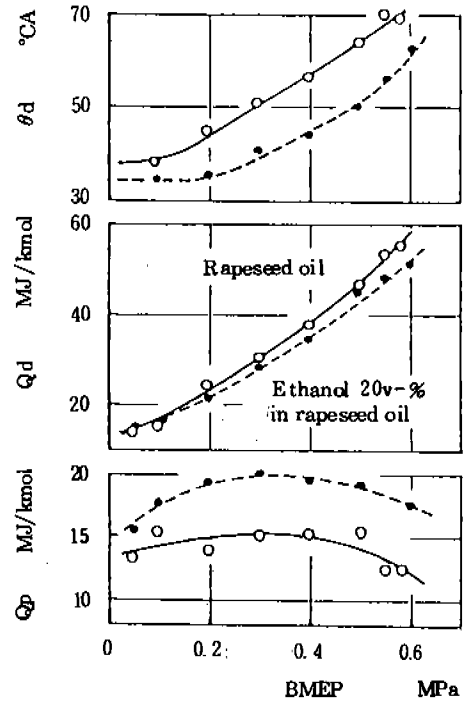


Fig. 8 Amount of Premixed Combustion, Q_p , Amount of Diffusive Combustion, Q_d , and Combustion Duration, θ_d , for Rapeseed Oil and Ethanol Fuel

한 저감을 확인하였다. 이는 알콜 혼합에 따라 예혼합연소량의 증가 및 연소기간의 단축 또는 등용도의 증가에 기인하여 생긴 것으로 생각된다. 여기서 등용도(degree of constant volume)는 압축비가 일정할 경우 열효율은 정적연소를 할때가 최대로 되고, 연소가 상사점으로부터 멀어짐에 따라 저하하므로 정적사이클에 대해 효율이 저하하는 정도를 표시하는 것이다. 또 알콜 혼합연료의 기관소음은 전체적으로 유체유보다 높은것을 나타내고 있으나, 이는 기화성이 양호한 에타놀의 경우에 예혼합기가 보다 많이 형성되어 최대압력상승율 및 최고연소압력이 증가했기 때문으로 생각된다.

또한, 에타놀 혼합비율이 증가함에 따라서 열소비율과 배기매연농도는 크게 개선되었지만, 최대압력상승율 및 기관소음은 현저하게 증가하였다. 배기매연농도가 개선된 점은 10%정도의 에타놀을 혼합함으로써 유체유만의

경우에 비해 배기매연농도는 절반정도로 저감시킬 수 있었지만, 저감의 정도는 에타놀 혼합비율을 그 이상 증가시켜도 거의 변화하지 않음을 알 수 있다. 한편, 기관소음은 에타놀의 혼합비율이 증가함에 따라 직선적으로 증가함을 확인하였다. 즉, 유채유에 대하여 에타놀을 혼합한 경우는 에혼합기의 형성이 촉진되므로 에타놀의 혼합비율이 증가함에 따라서 기관소음은 증가하지만, 배기매연농도는 유채유에는 원래 약간 산소가 포함되어 있어 에타놀을 혼합하여도 어느 정도 이상의 감소는 기대할 수 없는 것으로 생각된다. 따라서, 식물유만의 경우에 대해 기관의 정속성을 그렇게 악화시키지 않고 열소비율과 배기매연농도를 개선하기 위해서는 식물유에 대해서 에타놀을 10~20v-%정도 혼합하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

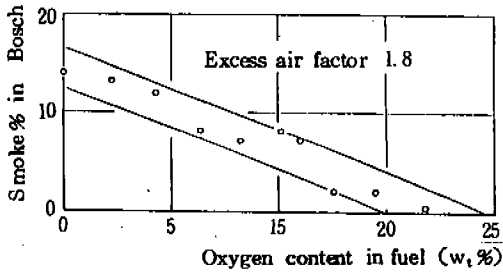


Fig. 9 Relationship between Smoke Density and Oxygen Content

또, 혼합연료중의 산소 농도와 배기매연농도와의 관계를 조사하여 그 결과를 Fig. 9에 표시하였다. 그림에서 가로축은 실험에서 사용한 각종 연료속의 산소농도를 중량비율로 표시한 것이고, 세로축은 공기과잉율 1.8 (BMEP 0.4 MPa 정도)에서의 배기매연농도를 표시한 것이다. 그림에서와 같이 연료중의 산소농도가 높아질수록 배기매연농도는 거의 직선적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 고속디젤기관에서 중질유를 사용하는 경우 연소실 전체의 공기과잉율이 일정한 상태에서는 연료중의 산소는 배기매연농도의 저감에 상당히 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.4 植物油의 이멀전燃料가 機關性能에 미치는 影響

유채유와 물과의 이멀전연료를 이용하여 물의 혼합이 기관성능, 연소성 및 배기가스농도에 미치는 영향에 대하여 조사하여 보았다.

물과 유채유와의 이멀전연료에서는 물의 혼합비율이 증가함에 따라서 점도와 밀도가 동시에 증가하는 경향이 있다. 또 유채유 중의 물의 비율이 20v-% 이상이 되면 물과 유채유의 분리가 심하게 일어나 안전한 연료로서 이용하기가 곤란하며, 보조수단을 이용하여 기관을 운전하였더라도, 연소변동이 격심하여 안전한 기관의 운전이 불가능하다. 그래서 물 10v-%의 이멀전연료를 이용하여 기관을 운전하였을 경우의 결과에 대해서 기술하기로

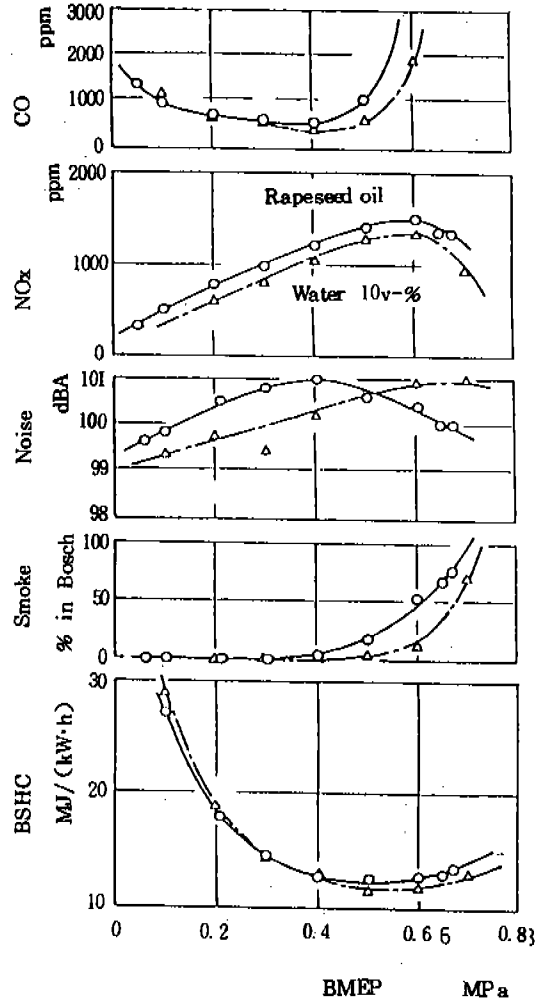


Fig. 10 Change in Engine Performance for Rapeseed Oil and Emulsion

한다.

Fig. 10은 연료분사시기를 일정하게 하고 부하를 변화시켰을 때의 기관성능, 연소성 및 배기가스농도 등을 표시한 것이다. 그림에서 이멀전연료에 있어서는 유채유만의 경우에 비해서, 저·중부하영역에서 열소비율이 약간 증가하는 이외에는 CO농도 및 배기매연농도가 거의 변화하지 않지만, 부하가 그 이상되면 열소비율, CO농도 및 배기매연농도는 현저하게 개선됨을 알 수 있다.

여기서, 저부하영역보다 공기량이 적은 중부하영역 이상에서 열소비율 및 배기가스농도가 개선된 것은, 물을 혼합함으로써 점도가 높은 유채유의 噴霧가 미세적 폭발(micro explosion)효과⁽⁸⁾에 의해 미세화되어 연소성이 향상된 것으로 생각된다. 또 NO_x 농도는 이멀전연료의 경우가 전부하영역에서 개선되었으나, 이는 물을 혼입시킴으로써 연소온도가 전반적으로 저하하였기 때문으로 생각된다.

4. 結 論

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 식물유의 경우, 경유에 비해서 噴霧平均粒徑이 매우 크며, 예혼합연소량이 현저하게 감소하였지만, 전연소기간은 거의 일정하였다. 또, 식물유의 경우 기관소음의 저감은 예혼합연소량의 감소에 의한 것이다.

(2) 식물유의 경우가 경유에 비하여 열소비율, 배기매연농도, NO_x 농도 또는 기관소음 등의 성능이 약간 개선되어 원활한 운전을 할 수 있었으나, 장시간 운전시에는 카본의 부착과 피스톤 링의 고착 등이 큰문제로 대두된다.

(3) 유채유에 대하여 10~20v-%의 혼합 또는 물 10v-%혼입에 의한 이멀전연료에 의해 기관소음이나 연소변동을 증가시키지 않

으면서 열소비율과 배기매연농도를 현저하게 감소시킬 수 있다.

(4) 식물유중에는 10%정도의 산소가 포함되어 있어, 이 산소가 배기매연농도의 저감에 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다.

後 記

본 연구는 한국과학재단의 1987~1988년도 연구비에 의해서 수행한 것으로, 동재단의 관계제외에 심심한 사의를 표한다.

參 考 文 獻

1. 에너지 경제원, “代替에너지 기술개발여건 및 실적평가”, 政策研究資料 88-01, 1988.
2. 한국동력자원연구소, “제 2회 에너지절약 기술 워킹 논문집”, 1987.
3. 日本科學技術廳 資源調査所, “バイオマス資源の生産, 轉換及び利用に関する研究”, 1970.
4. 濱田 彩, “バイオマス資源の開発と利用”, 日本機械學會誌, vol. 48, NO. 757, p. 102, 1981-2.
5. 村山 正 外 5人, “ディーゼル機關における植物油の利用に関する研究”, 日本内燃機關, vol. 35, No. 414, 1986.
6. 古濱 壓一, “自動車エンジンのトライボロジ”, p. 27, ナツメ社, 1982.
7. 小翻 武三, “内燃機關の燃料”, p. 176, 養賢堂, 1961.
8. 山崎 信行, 宮本 登, 村山 正, “燃料の加熱ガディーゼル機關の噴霧特性と性能に對して及びその影響”, 日本機械學會論文集, vol. 49, NO. 444, p. 1810, 1983.