

# 漁船用 디젤機關에 있어서 魚油 利用에 관한 研究\*

徐 政 周

麗水水產大學

(1992年 2月 20日 接受)

## A Study on the Utilization of Fish Oil in a Diesel Engine for Fishing Boats

Jung-Joo SUH

Yosu National Fisheries University

(Received February 20, 1992)

In this paper, combustion characteristics and engine performance varying with blending rate of fish oil using five test fuels, e.g. pure diesel oil and four types of sardine-oil-blended diesel oils, their blending rates by weight being 20%, 40%, 60% and 80% respectively, and operating condition of engine, were investigated experimentally both in the constant volume combustion bomb and in the engine.

The results are summarized as follows:

1) In the bomb, the influence of temperature on ignition delay of sardine-oil-blended diesel oils was larger than that of pure diesel oil, and it tended to increase as the blending rate of fish oil increase sardine-oil-blended diesel oils.

As far as the influence of pressure on ignition delay concerns, there was no significant difference with all the test fuels.

2) In the engine, the ignition delay of fish-oil-blended diesel oils was longer than that of pure diesel oil, and it tended to increase as the blending rate increases. In the bomb, the ignition delay in high temperature showed no significant difference between with pure diesel oil and with fish-oil-blended diesel oils, and it was especially short with 60% fish-oil-blended diesel oil. In low temperature, however, the delay became longer as the blending rate increase.

3) The combustion duration was shorter with fish-oil-blended diesel oils than with pure diesel oil and it became a little shorter as the blending rate increases.

4) The rate of fuel consumption showed no significant difference between with fish-oil-blended diesel oils and with pure diesel oil, although calorific value of fish oil was lower than that of diesel oil.

5) Smoke density in exhaust gas was lower with fish-oil-blended diesel oils than with pure diesel oil and the higher the blending rate was, the lower the smoke density became.

\* 본 논문은 1991년도 교육부 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음

## 서 론

내연기관의 연료는 거의가 액체연료인 석유계 연료에 의존하고 있고, 그 사용량도 급증하고 있어 에너지 자원의 한계성과 대기오염의 측면에서도 매우 심각한 문제로 대두되고 있다.

따라서, 종래의 석유계 연료에서부터 탈피하여 값싸고 장기간에 걸쳐 안정하게 공급될 수 있는 대체에너지 및 에너지 절약에 대한 기술개발이 시급한 과제이다.

대체연료 개발에 관한 연구로서는 채종유 및 팜유등의 식물유<sup>1),2)</sup>에 대한 보고가 있고, 근래에는 대기오염 측면에서 유리한 알콜<sup>3)</sup>에 관한 연구가 활발이 진행되고 있다. 또한, 어선의 경우 產地에서 어획되는 魚類를 선내에서 가공하여 그때 副產物로 생산되는 魚油를 연료로 사용할 수 있다면 연료비 節減의 연료유 운송이나 조업일수 연장 등의 효과를 기대할 수가 있을 것으로 생각된다.

그러나, 어유는 보일러의 중유 대체연료로 사용된 적은 있으나 어선용 디젤기관의 연료로 이용된 예는 많지 않으며, 일부의 보고<sup>4),5)</sup>도 연료로서의 연소 가능성을 조사한데 지나지 않는다.

따라서, 본 연구는 대체연료 개발의 측면에서 뿐만 아니라 연료비 節減의 목적으로 어유(정어리유)를 채택하여 어선용 디젤기관과 定容燃燒器에 사용했을 때 어유의 혼합비율과 기관운전조건에 따른 연소특성 및 기관성능 등을 경유와 비교 검토 하였다.

## 실험장치 및 방법

## I. 실험장치

실제 엔진에서는 負荷 변동이나 또는 매 사이클마다 실린더내의 연소 분위기가 변화하기 때문에 엔진 시험에 앞서서 定溫, 定壓下에서 실험이 가능한 定容燃燒器의 실험을 실시하였다.

Fig. 1은 定容燃燒器 실험장치의 概略圖로서 주요부분은 定容燃燒器, 연료분사장치 및 데이터

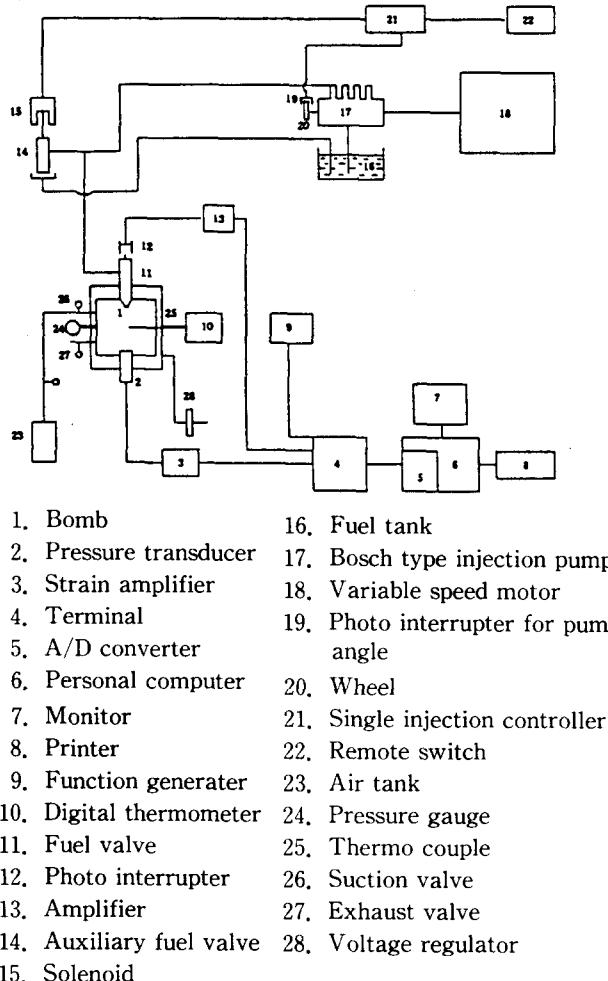


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus (Bomb).

수집장치로 구성되어 있다. 定容燃燒器는 내경 50mm, 길이 120mm, 용적 279cc의 스테인레스 강제의 원통형으로 외부에 연질 내화벽돌을 설치하여 그 내부에 흙을 가공하고 Kantal 热線을 감아넣어서 ceramic wool로 斷熱하였다. 연소기내의 공기온도와 벽온도는 0.5mm의 C.A 열전대로 感知하여 digital 온도계로 나타내고, 공기온도는 전압조정기에 의해 변화시켰으며, 압력은 25kg/cm<sup>2</sup>의 공기탱크압을 압력조정밸브로 조정하여 변화시켰다.

연료분사장치는 분사펌프에서 토출되는 연료가

통상시는 보조 분사밸브를 통하여 연료탱크로 반송되고, solenoid valve로 보조분사밸브를 닫히게 함으로써 실험용 분사밸브로 單發噴射가 이루어 지도록 하였다.

데이터 수집장치로서는 needle의 상승시작점을感知하는 photo interrupter와 연소기내의 변동압력을 전기적 신호로 변환하는 스테레인 게이지식 압력변환기(Model: PE-200KS), 데이터 변환신호를 발생하는 fuction generator로 구성되고, 이들은 A/D 변환기를 통하여 computer로 저장된다.

Fig. 2는 엔진실험장치의 개략도를 보이며 주요 장치로는 어선용 4사이클 豫燃燒室式 디젤기관과 크랭크각을 검출하는 rotary Encoder(Model: TRD-S 360-RE), 스트레인 게이지식 압력변환기, 전기 동력계(Model: DG-100), Bosch식 smoke meter(Model: ST-100W) 및 A/D 변환기로 구성되어 있다.

## 2. 실험방법

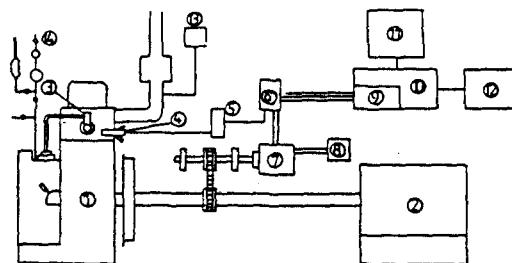
試料油는 경유와, 경유에 정어리유를 20%, 40%, 60% 및 80%의 중량비율로 각각 섞은 혼합유를 사용하였으며, Table 1은 경유와 정어리유의 물성치를 나타낸다.

Table 1. Specification of diesel oil and sardine oil

Specification	Diesel oil	Sardine oil
Specific gravity (15/4°C)	0.8585	0.9042
Flash point (°C)	73	232
Kinematic viscosity (30°C, cSt)	3.8	27.3
Residual carbon (wt.%)	0.81	1.51
Sulfur (wt.%)	1.0	0.02
Pour point (°C)	-7.5	2.5
Net calorific value (kcal/kg)	1,0220	8670

Table 2. Experimental condition of bomb

	Pressure range			
	10	15	20	25 (kg/cm <sup>2</sup> )
Temperature 590°C (constant)				
Pressure 25kg/cm <sup>2</sup> (constant)	445	500	540	590(°C)
Injection quantity (g)	0.022			
Injection Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	120			



- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Diesel engine        | 8. D. C power regulator |
| 2. Dynamometer          | 9. A/D Converter        |
| 3. Fuel injection valve | 10. Computer            |
| 4. Pressure transducer  | 11. Monitor             |
| 5. Strain amplifier     | 12. Printer             |
| 6. Terminal             | 13. Soot analyzer       |
| 7. Rotary encoder       | 14. Burette             |

Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus (Engine).

Table 2는 연소기의 실험조건을 나타내며 연소기내의 압력을 25kg/cm<sup>2</sup>로 유지하여 온도를 각각 445°C, 500°C, 540°C 및 590°C로 변화시키고, 다음 온도를 590°C로 유지하여 압력을 각각 10kg/cm<sup>2</sup>, 15kg/cm<sup>2</sup>, 20kg/cm<sup>2</sup> 및 25kg/cm<sup>2</sup>로 변화시켜서 착화지연에 미치는 온도 및 압력의 영향을 고찰하였다.

착화지연은 매회마다 다소의 변동이 있으므로

Table 3. Experimental condition of engine

Load	1/4	1/2	3/4	4/4	12/10
RPM	939	1202	1363	1500	1603
Torque (ft-lb)	8	12.5	16.5	20	22.5
Output (Ps)	1.45	2.9	4.35	5.8	6.96

동일조건 하에서 10회 실시하여 그 평균값을 이용하였다.

실험용 노즐은 펀들노즐로서 분사압력을  $120 \text{ kg/cm}^2$ , 분사량은  $0.022\text{g}/\text{cm}^2$ 이며 니들 동작은 니들끝에 부착한 철심봉 상부에 photo interrupter를 설치하여 니들이 상승할 때의 신호를感知하여 데이터 수집의 시작점으로 하였다.

한편, function generator에서 발생하는  $5\text{KHz}$ 의 Spure wave를 이용하여 연소기내의 변동압력을 분사 시작점에서부터  $0.2\text{ms}$  간격으로 하여 720개의 데이터를 수집하였다.

Table 3은 엔진의 실험조건으로서, 연속 최대 출력시의 조건 ( $1500\text{rpm}$ ,  $20\text{ft-lb}$ ,  $5.8\text{ps}$ )를 전부하로 하여 박용부하 특성식에 의해 각부하에서의 회전수를 구한 다음 각각의 회전수에 맞게끔 torque를 조정하였으며 실험시의 냉각수 출구 온도는  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

데이터 수집은 흡입행정 시작시의 TDC를 rotary encoder의 TDC 감지 필스와 일치시켜 TDC 감지 필스가 high로 될 때 데이터 수집의 시작점으로 하여 크랭크각 1도마다 실린더내의 변동압력을 1사이클에 720개씩 20사이클 연속 수집하여 연소 해석에 이용하였다.

排氣煙濃度의 측정은 Bosch식 smoke meter로 측정하였으며 연료소비율은 뷰렛내의  $35\text{cc}$  연료가 모두 소비하는데 요하는 시간을 측정하여 구했다.

## 결과 및 고찰

### I. 定容燃燒器에서의 연소 특성

Fig. 3은 연소기내의 압력을  $25\text{kg/cm}^2$ 로 유지하여 온도를  $445^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ ,  $540^\circ\text{C}$  및  $590^\circ\text{C}$ 로 각각 변화 시켰을 때 시료유의 착화지연을 나

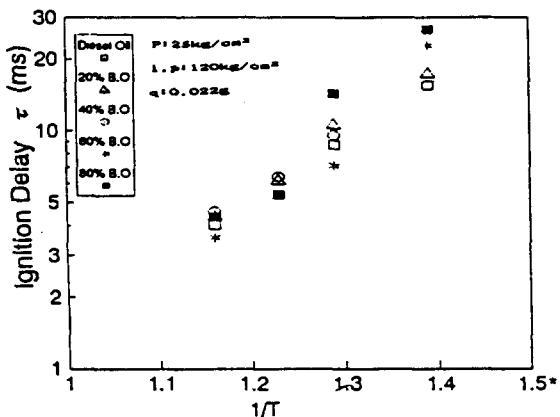


Fig. 3. Correlation of ignition delay with temperature for test fuels in the bomb.

타낸 것으로, 橫軸에 연소기내의 공기의 절대온도를 逆數로 취하고 縱軸에 착화지연을 自然對數로 취한 것이다.

그림에서 착화지연에 미치는 온도의 영향은 경유보다 어유혼합유가 크고, 그 경향은 어유의 혼합비율이 증가할수록 크게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 한편, 착화지연기간은 고온에서는 큰 차이가 없고 특히 60% 어유혼합유에서 짧게 되고 저온에서는 대체로 어유혼합비율의 증가에 따라 길게 나타나고 있다.

60%의 어유혼합유에서 착화지연이 짧은 것은注目할 만하고 이것은 연소기내의 雾圍氣 조건과 어유의 혼합비율에 의한  $\text{H}_2\text{O}$ 의 氣化潛熱의 정도, 어유의 油氣發生量 및 그 발생속도에 關聯되는 것으로 생각되며, 이것은 小田<sup>4)</sup>, 水沼<sup>5)</sup> 등의 결과와도 일치하는 점이 있다.

廣安 등<sup>6)</sup>에 의하면 均一混合氣의 착화지연에 대해서  $\ln \tau$ 와  $1/T$ 는 線形的 관계를 갖는다는 점에서 噴霧의 경우에도 균일혼합기와 같이 동일하게 表示한 적이 있고, Rik<sup>7)</sup>도 最小自乘法을 適用하여  $\ln \tau$ 와  $1/T$ 의 관계를 선형적으로 해석하

여 각종 정수를 구한바 있다.

그러므로, 그림의 결과에서 착화지연과 공기온도 사이에는 다음과 같은 式이 성립한다.

$$\tau \propto \exp(B/T) = \exp(E/RT) \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서 定數  $B$ 는 측정 데이터를 Arrhenius式으로 표시했을 경우의 직선의 기울기이고, 이 값은 活性化 에너지  $E$ 와 관계가 있으며 착화지연에 미치는 물리적 요인도 포함하고 있으며  $T$ 는 공기의 절대온도,  $R$ 는 일반가스정수를 나타낸다.

또, 廣安<sup>6)</sup>등의 보고에서 Wolfer는 균일 혼합기의 착화지연으로부터 類推하여 噴霧의 경우도  $\ln \tau \propto p^{-n}$ 가 성립한다고 보고  $-n$ 을 구하고 있다.

Fig. 4는 이와같은 방법으로 연소기내의 온도를  $590^{\circ}\text{C}$ 로 유지하여 압력을  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $15\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $20\text{kg}/\text{cm}^2$  및  $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 각각 변화시켰을 때 착화지연에 미치는 압력의 영향을 나타낸 것으로, 횡축과 종축의 압력과 착화지연을 각각 자연대수로 취한 것이다.

그림에서와 같이 역시 측정 결과는 하나의 선형적으로 볼수 있으므로 식(1)을 다음과 같이 쓸 수가 있다.

$$\tau = A \exp(B/T) P^{-n} \quad \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $A$ 는 실험조건에 따라 정해지는 常數이고, 식(2)에서  $-n$ 값은 각 시료간에 큰 차이가 없으며 Table 4는 식(2)의 각 정수를 계산한 값을 나타낸다.

Fig. 5는 연소기내의 온도와 압력을 각각  $590^{\circ}\text{C}$  및  $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 유지 했을때의 경유와 60%

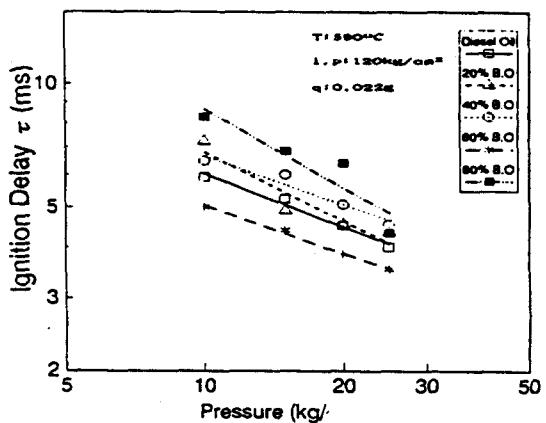


Fig. 4. Correlation of ignition delay with pressure for test fuels in the bomb.

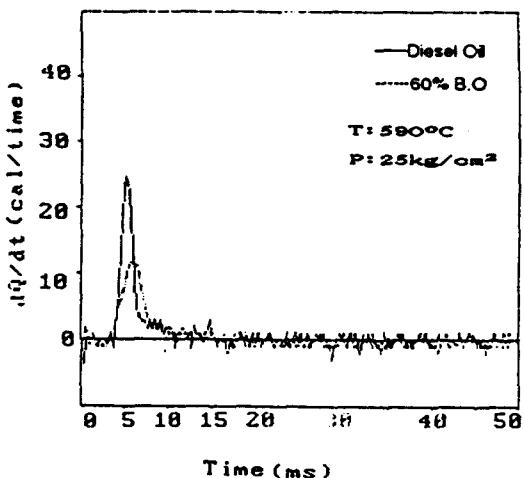


Fig. 5.  $dQ/dt-t$  diagram for diesel oil and 60% blended oil in the bomb.

어유혼합유의  $dQ/dt-t$  선도를 나타낸다.

그림에서와 같이 경유에 비교하여 60% 어유혼합유에서는 热發生率이 크게 감소하고 그 peak

Table 4. The values of the constants in the  $\tau = A \exp(B/T) P^{-n}$

Test oil	Constant A	B	$-n$
Diesel oil	0.0154	6123	0.457
20% Blended oil	0.0224	6211	0.584
40% Blended oil	0.00259	7661	0.419
60% Blended oil	0.00156	7899	0.409
80% Blended oil	0.00213	8559	0.675

도 낮게 나타나고 있다.

이것은 60% 어유혼합유가 경유보다 착화지연기간이 짧고, 또한 어유의 高粘度와 低揮發性으로 인한 착화지연기간중의 可燃性 油氣의 발생량이 적기 때문이라 생각되며 이것은 水沼<sup>8)</sup>의 어유연소 시험에서도 비슷한 결과를 보인바 있다.

## 2. 엔진에서의 연소특성과 기관 성능

Fig. 6은 엔진의 全負荷時에 있어서 경유와 60% 어유혼합유의  $dQ/d\theta - \theta$  선도를 나타낸다.

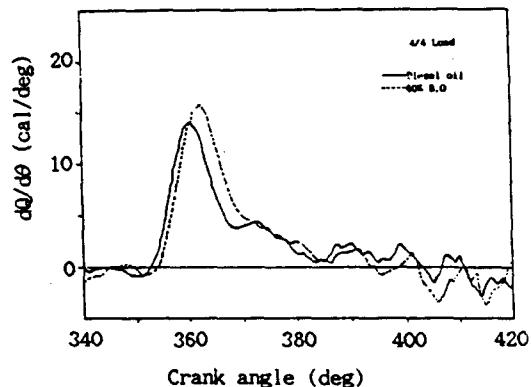


Fig. 6.  $dQ/d\theta - \theta$  diagram for diesel oil and 60% blended oil at full load in the engine.

그림에서와 같이 엔진의 경우는 정용연소기와는 달리 경유가 60% 어유혼합유에 비해서 열발생율이 적고 그 peak도 낮으며 연소기간도 길게 나타나고 있음을 알 수가 있다.

이와같은 원인은 엔진에서의 연소분위기는 연소기에 비교하여 온도와 압력이 매우 높기 때문에 혼합유의 高粘度와 挥發性이 경유보다 감소하더라도 혼합유중의 어유의 증발이 충분히 이루어 진다고 볼 수 있다. 따라서, 착화후에는 어유중에 함유되어 있는 산소의 작용으로 연소가 더욱促進되는 반면, 경유는 局所的 산소농도 부족으로 인하여 연소가 滞害되는 결과라고 생각된다.

Fig. 7과 8은 엔진의 각 부하에 있어서 어유의 혼합비율에 따른 시료유의 착화지연기간 및 연소기간과의 관계를 각각 보인다.

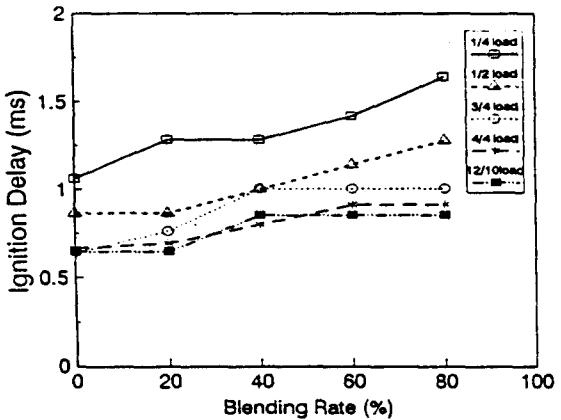


Fig. 7. The relationship between blending rate and ignition delay at different loads in the engine.

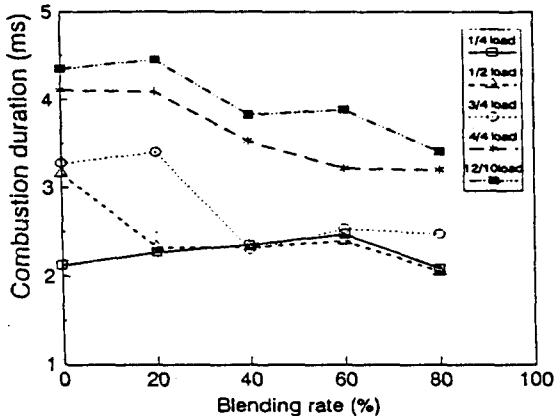


Fig. 8. The relationship between blending rate and combustion duration at different loads in the engine.

그림에서 알수 있는 바와 같이 경유에 비교하여 어유혼합유 측이 착화지연 기간이 길게 되고 어유 혼합비율이 증가할수록 그 경향은 크게 나타나고 있다.

이것은 엔진의 연소분위기 下에서 주로 어유중의 산소는 보통 수소와 결합하여  $H_2O$ 의 상태로 존재하여 이  $H_2O$ 가 蒸發할 때에 氣化潛熱로 인하여 분위기 온도가 低下하는 것으로 생각된다. 따라서, 혼합유중의 어유의 可燃性 混合氣 형성에 필요한 油氣의 발생이 遲延되고 어유의 고분자 구조가 화학적으로 저분자로 분해되는 시간도

길어진다고 생각된다.

한편, 연소기간은 경유에 비하여 어유혼합유가 짧게되고 또 어유혼합비율의 증가에 따라 짧은 경향을 나타내며 저부하에서는 혼합비율이 증가할수록 길게 나타나고 있다.

어유혼합유가 연소기간이 짧게 되는 것은 열발생율에서 언급된 바와 같이 어유중의 산소의 작용과 長尾<sup>9)</sup>에 의한 경유의 평균조성과 정어리유의 평균조성으로 계산한 단위량의 연료가 연소하는 데에 필요한 이론적 공기량이 어유측이 적은 데도 기인한다고 생각된다.

저부하시에 어유혼합비율의 증가에 따라 연소기간이 길게 되는 것은 저온하에서는 증유의 증발이 불충분하고 가연성 유기의 발생이 경유에 의해 지연되기 때문이라 생각된다.

Fig. 9와 10은 엔진의 각부하에서 어유의 혼합비율에 따른 시료유의 연료소비율과 배기연농도와의 관계를 각각 나타낸다. 그림에서 연료소비율은 각부하에서 경유와 어유혼합유가 거의 비슷한 경향이고 어유의 혼합비율에 큰 차이 없다.

이것은 어유의 발열량이 경유보다 낮음에도 불구하고 연료소비율이 비슷하다는 것은 결과적으로 열효율이 어유혼합유가 좋다는 의미가 되고 그 원인은 어유혼합유 측이 연소 기간이 짧은데에 기인하며 飯本<sup>2)</sup>의 油菜油의 시험에도 동일한 결과를 보였다. 배기연 농도는 경유에 비교하여

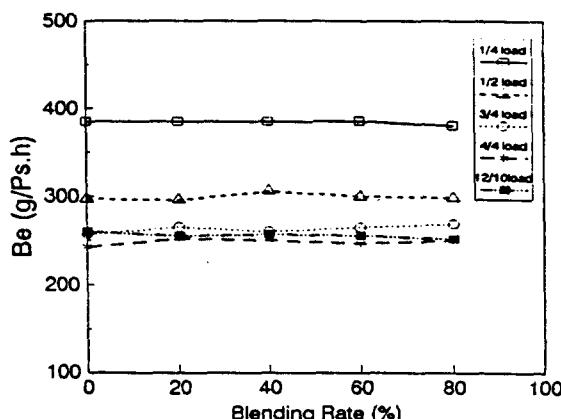


Fig. 9. The relationship between blending rate and rate of consumption at different loads in the engine.

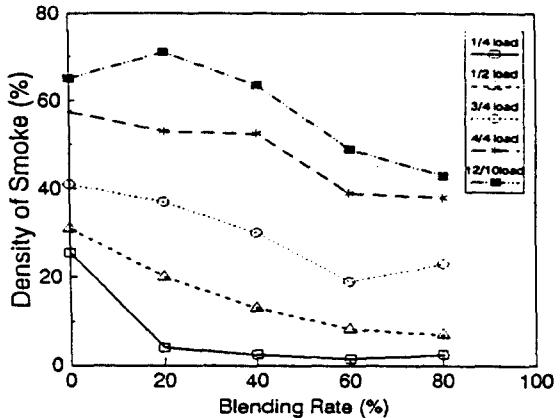


Fig.10. The relationship between blending rate and density of smoke at different loads in the engine.

어유혼합유 측이 대체로 낮고 어유 혼합비율이 증가할 수록 낮아지는 경향을 보인다.

이것은 어유혼합유가 경유에 비하여 연소기간이 짧고 空氣過剩率이 큰데 기인되며, 또한 착화후의 화염속에 분사되는 연료의 油粒이 증발할 때 국소적 산소농도 부족을 어유중의 산소의 작용으로 炭素粒의 연소를 촉진하기 때문이라 생각된다.

## 결 론

경유와 어유혼합유를 사용하여 어유의 혼합비율에 따른 정용연소기와 엔진에서의 연소특성을 비교하여, 엔진의 운전조건을 변화시켰을 때의 기관성능을 경유와 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정용연소기의 경우, 착화지연에 미치는 온도의 영향은 경유에 비해 어유혼합유가 크고 그 영향은 어유혼합비율이 증가할 수록 크며, 압력의 영향은 전시료간에 큰 차가 없었다.
- 2) 착화지연기간은 엔진의 경우, 경유보다 어유혼합유가 길고 어유혼합비율이 증가함에 따라 길게 되나, 정용연소기의 경우, 고온에서는 경유와 어유혼합유가 비슷하고 특히 60%의 혼합유에서 가장 짧았고 저온에서는 어유혼합비율의 증가에 따라 길게 나타났다.

- 3) 연소기간은 어유혼합유가 경유에 비해 짧고 어유혼합비율이 증가할 수록 약간 짧게 나타났다.
- 4) 어유의 발열량이 경유에 비해 낮음에도 불구하고 연료소비율은 경유와 어유혼합유가 비슷하게 나타났다.
- 5) 배기연 농도는 어유혼합유가 경유보다 낮고 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 그 경향은 현저하게 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 1) 村山 正 外 5名(1986) : ディーゼル機関における植物油の利用に関する研究. 内燃機関, 25(314), 9-15.
- 2) 飯本光雄(1976) : ナタネ油を燃料とした農用小型ディーゼル機関の運転(III). 日本農業機械學會誌, 41(2), 201-206.
- 3) 新井雅隆 外 2名(1984) : 軽油および複合燃料の着火おくれ. 日本機械學會論文集, 50(453), 1345-1357.
- 4) 小田健一 外 2名(1990) : 小型高速機関における魚油の燃焼. 日本船用機關學會誌, 25(4), 29-35.
- 5) 松本隆一 外 1名(1984) : トロール漁船主機関における魚油とA重油の混合燃焼運轉について. 日本船用機關學會誌, 19(3), 50-61.
- 6) 廣安博之 外 2名(1975) : 定容燃焼器における燃料噴霧の着火おくれ. 日本機械學會論文集, 41(345), 1559-1566.
- 7) Rik S. G. Baert (1989) : Autoignition of diesel spray at high pressure and temperatures. S.A.E. paper No. 890417, 1-10.
- 8) 水沼達夫(1987) : ディーゼル機関の魚油燃焼試験について. 漁船, 275, 389-399.
- 9) 長尾不二夫(1986) : 内燃機關講義. 養賢堂, 166.