

디젤機關用 代替燃料로서의 魚油燃燒에 관한 研究*

徐 政 周

麗水水産大學校

(1996년 4월 12일 접수)

A Study on the Combustion of Fish Oil as Alternative Fuels for Diesel Engines

Jung - Joo SUH

*Yeosu Fisheries University

(Received April 12, 1996)

Abstract

The combustion characteristics of diesel oil and fish oil blended with diesel oils were investigated at various blending rate of fish oil in diesel engine and constant volume combustion bomb. The evaporation and combustion duration of diesel oil and fish oil blended with diesel oils were respectively different high and low temperature. The dependence of ignition delay on the temperature was different in high and low temperature ranges which were divided at the 773K. The ignition delay become longer than that of diesel oil as the blending rate of fish oil increases, and its difference were larger at different loads. The density of smoke was lower as the blending rate of fish oil increases, and the rate of fuel consumption showed no significant difference between diesel oil and fish oil blended with diesel oils.

緒 論

내연기관은 19세기에 발명되어 20세기에 이르는 약 100여년에 걸쳐 계속 발달하여, 오늘날은 육해공의 각종 원동기로 사용되어 인간생활에 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하고 있다.

사용연료는 거의가 액체연료인 석유계가 대부분을 차지하고 있고, 이의 수요가 날로 증가됨으로써 석유자원의 고갈 위기와 함께 유해성 배출가스의 방출에 기인되는 환경오염의 측면에서도 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서, 종래의 석

유계 연료로부터 탈피하여 값싸고 장기적으로 안정하게 공급될 수 있는 대체연료 개발과 에너지 절약기술에 대한 다각적인 연구가 전 세계적으로 확산되고 있다.

대체연료 개발에는 오래전부터 동·식물유가 연구되어 왔으나, 이들 특유의 고점도와 저휘발성에 기인하는 카본퇴적물 및 피스톤고착 등의 해결문제가 남아 있고, 가격과 양적인문제도 제약을 받고 있다.

알코올은 1976년 국제알코올 심포지움(A.F.T)이 조직되면서 부터 바이오매스(bio-mass)자원이 풍부한 브라질을 비롯하여 미국, 일본 및 독일

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

등지에서 활발히 연구되고 있다. 특히, 메탄올은 천연가스, L.P.G 및 나프타 외에 석탄이나 가연성 폐기물 등의 원료로부터 생산이 가능하고 에탄올에 비하여 가격 및 공급면에서 유리하므로 미래의 대체연료로서 크게 주목된다.

최근에는 어유를 디젤기관용 대체연료로 이용하려는 움직임이 보이며 실제 어선용 디젤기관에 사용하여 그 연소가능성을 시험한 예^{1,2,3)}도 있다. 연료로서의 어유는 종래 대형선박의 보일러용 연료로 사용된 적이 있으나, 현재는 주로 식품제조, 도료 및 화장품 등의 원료로 이용되고 있다. 이러한 대체연료는 단순히 가격면에서 뿐만 아니라 장기적 공급이 가능해야 하고 또한 석유자원의 고갈과 비상시의 대비를 위한 관점에서도 취급되어야 할 것으로 본다. 이러한 관점에서 어유는 어류의

자원이 고갈되지 않는 한 생산이 계속 가능하므로 대체연료로서의 이용가치를 검토할 필요가 있다고 본다.

따라서, 본 연구에서는 디젤기관용 대체연료로서 가격이 싸고 공급이 비교적 용이한 정어리유 (sardine oil)를 경유와 여러비율로 혼합한 경유 - 어유 혼합유를 정용연소기와 선박용 디젤기관에 사용하여 그 연소특성을 기존의 경유 사용시와 비교 검토하고자 한다.

實驗裝置 및 方法

Fig. 1은 실험장치의 개략도로서 그 주요부분은 정용연소기 본체, 연료분사장치 및 데이터 수집장치로 구성되어 있다. 연소기의 본체는 내경

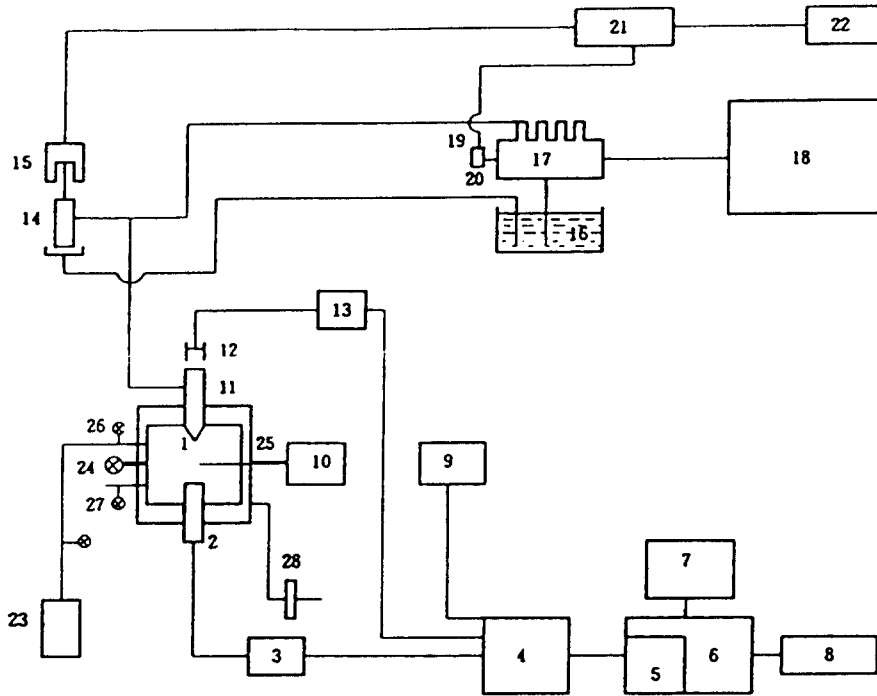


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus in the constant volume combustion bomb.

- | | | | |
|------------------------|--------------------------|---|-----------------------|
| 1. Bomb | 8. Printer | 15. Solenoid | 22. Remote switch |
| 2. Pressure transducer | 9. Function generator | 16. Fuel tank | 23. Air tank |
| 3. Strain amplifier | 10. Digital thermometer | 17. Bosch type injection pump | 24. Pressure gauge |
| 4. Terminal | 11. Fuel valve | 18. Variable speed motor | 25. Thermocouple |
| 5. A/D converter | 12. Photo interrupter | 19. Photo interrupter for pump angle | 26. Intake valve |
| 6. Personal computer | 13. Amplifier | 20. Injection pump angle detective disk | 27. Exhaust valve |
| 7. Monitor | 14. auxiliary fuel valve | 21. Single injection controller | 28. Voltage regulator |

50mm, 길이 120mm 및 용적이 279cc의 스테인레스강제의 원통형으로 외부에 연질의 내화벽들을 설치하여 그 내부에 흡을 가공하고 칸탈열선을 감아넣어 세라믹울(ceramic wool)로 단열하였다.

연소기내의 공기온도와 벽면온도는 0.5mm의 K형 열전대를 이용하여 측정하였고, 온도변화는 전압조정기로 조절하였으며 압력은 2.7MPa의 공기탱크압을 압력조절밸브로 조절하여 변화시켰다.

연료분사장치는 분사펌프에서 토출되는 연료가 통상시는 보조분사밸브를 통하여 연료탱크로 반송되고 솔레노이드밸브로 보조분사밸브를 닫히게 함으로서 실험용 분사밸브로 단발분사가 이루어지도록 하였다.

데이터 수집장치는 니들의 상승시작점을 감지하는 포토인터럽터와 연소기내의 변동압력을 전기적 신호로 변환하는 스트레인 게이지식 압력변환기(Model : PE - 200K), 데이터 변환신호를 발생하는 함수발생기(function generator)로 구성되고 이들은 A/D변환기를 통하여 컴퓨터로 저장된

다. 연소기내의 압력은 함수발생기에서 발생되는 10kHz의 구형파(square wave)를 이용하여 연소기내의 변동압력을 분사시작점에서부터 0.1ms 간격으로 컴퓨터에 의해 수집하였다.

Table 1. Experimental condition

Injection pressure	11.76MPa
Injection quantity	2.5×10^{-3} kg
Fuel temperature	303 ± 1 K
Bomb pressure(MPa)	Bomb temperature(K)
	653
	718
2.55(constant)	773
	813
	863
1.08	863(constant)
1.57	
2.06	
2.55	

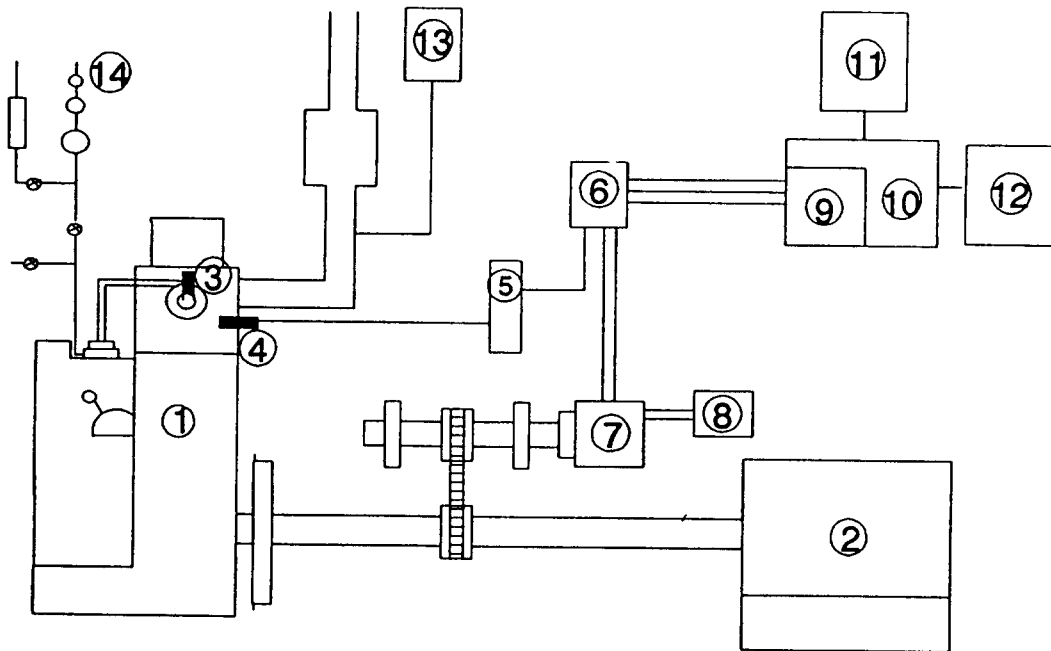


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus in the engine.

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

Table 2. Test engine specifications

Model	Jam - 10
Number of cylinder	1
Combustion chamber	Pre - combustion chamber
Bore × Stroke	96 × 105mm
Rated output	5.8PS/1500rpm
Compression ratio	18 : 1

Table 3. Experimental condition of engine

Load	1/4	1/2	3/4	4/4
RPM	939	1202	1363	1500
Torque(kg.m)	1.11	1.73	2.28	2.77
Output(PS)	1.45	2.9	4.35	5.8

시료유는 경유와, 경유에 정어리유를 각각 20, 40, 60 및 80%의 중량비율로 섞은 혼합유를 사용하였으며 Table 1은 실험조건을 나타낸다.

Fig. 2는 엔진실험장치의 개략도로서 그 주요 부분은 실험기관, 전기동력계, 데이터 수집장치, 연료소비율 측정장치 및 스모크미터로 구성되어 있다. 본 실험에 사용된 기관은 소형선박용 예연소실식 4행정 디젤기관으로 Table 2와 3은 그 제원과 운전조건을 나타낸다.

실린더내 변동압력은 예연소실에 설치된 스트레인 게이지식 압력변환기에서 전기적 신호로 바뀌어 증폭기에서 증폭된 후 A/D 변환기에서 디지털신호로 변환되어 컴퓨터에 저장된다. 데이터 수집은 1사이클에 720개의 압력데이터를 20회 연속 수집하여 평균하였다. 연료분사밸브의 분사압력은 11.76MPa, 분사시작점은 상사점전 16도, 냉각수 출구온도는 60±2℃로 유지하였다.

또한 피스톤 상사점과 로터리 엔코더의 Z펄스(TDC 감지용)를 일치시키기 위하여 기관을 모터링 상태로 운전하여 최고압축압력이 Z펄스상에 나타나도록 하여 데이터 수집의 시작점으로 하였다.

結果 및 考察

1. 정용연소기^{4,5,6}에서의 어유의 연소특성

(1) 착화특성

Fig. 3은 연소기내에 연료를 분사한 후에 증발 및 착화과정을 상세히 알기 위하여 연소기내의 초

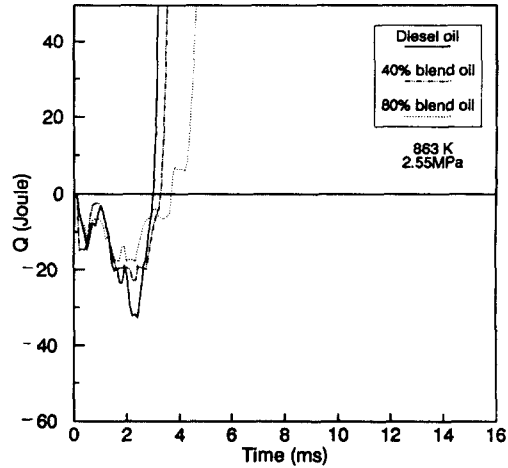


Fig. 3 The pattern of ignition process for diesel oil, 40% and 80% fish oil blend

기압력과 온도를 2.55MPa 및 비교적 고온인 863K로 각각 유지했을 때의 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 누적열발생량(cumulative heat release)의 흡열부분을 확대하여 각각 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 분사 시작점으로부터 최대 흡열점까지의 흡열량은 경유가 가장 크고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 80% 어유혼합유 순으로 나타났다. 또한 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간은 80% 어유혼합유가 가장 짧고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 경유 순으로 길게 되고, 최대흡열점에서 누적열발생량이 零으로 회복하기 까지의 기간은 반대로 경유가 가장 짧고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 80% 어유혼합유 순으로 길게 나타났다.

흡열량이 어유혼합유가 경유보다 적은 이유는 어유혼합유는 경유에 비해 점도와 비중이 크므로 무화(atomization)가 불량하고 또 기화성이 나쁜 데에 기인 한다고 생각된다. 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간은 가열 및 증발에 요하는 시간으로서, 이 기간이 어유혼합유가 경유보다 짧은 것은 경유는 어유에 비해 무화와 휘발성이 우수하므로 연소기내에서의 초기증발은 어유혼합유중의 경유분이 먼저 일어난다고 본다. 이때 연소기내의 일정 온도하에서 증발량이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 크게 되어 분무의 증발잠열이 증가한다. 또한 어유의 혼합비율이 증가하면 합산소량도 증

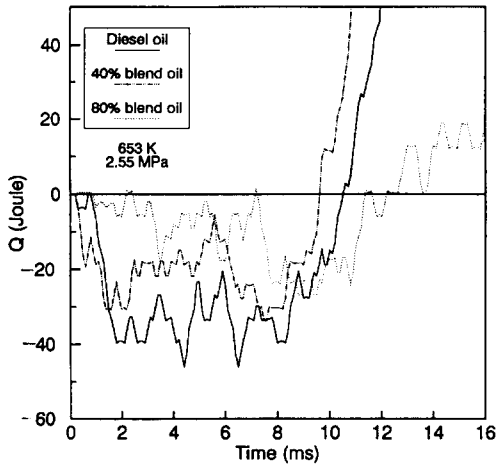


Fig. 4 The pattern of ignition process for diesel oil, 40% and 80% fish oil blend

가하여 어유중의 산소는 수소와 결합하는 결과로 합수율이 높아져 결국 물의 증발잠열과 분무의 증발잠열로 인하여 초기 분위기온도(ambient temperature)가 저하되는 것으로 본다. 한편, 최대흡열점에서 누적열발생량이 ㄹ으로 회복되는 기간은 최대흡열점에서 열발생이 일어나 이전의 증발에 의한 흡열과 상쇄되면서 마침내 누적열발생량이 ㄹ으로 회복하게 된다. 이 기간이 경유에 비하여 어유혼합유가 길게 되는 것은 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 길기 때문에 그 동안에 연료의 증발과 확산이 충분히 이루어지고 활성화된 가연혼합기량이 증가하여 열발생속도가 크게 되기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 연소기내의 초기압력을 2.55MPa, 초기온도를 비교적 저온인 653K로 유지했을 때의 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 누적열발생량의 흡열부분을 확대하여 각각 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 흡열량은 고온시와 마찬가지로 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 크게 나타났고 증발에 의한 흡열의 형태는 대단히 완만하며, 분사후로부터 최대흡열점까지의 기간은 고온시와 반대 현상으로 나타났다. 최대흡열점에서 누적열발생량이 ㄹ으로 회복되는 기간은 경유와 80% 어유혼합유는 비슷하고 40% 어유혼합유에서 특히 짧게 나타났다. 이와 같이 저온분위기하에서 어유의 혼

합비율에 따라 이 기간이 일정하지 않는 이유는 어유혼합유의 가열 및 증발형태가 고온분위기때와 근본적으로 상이하고 어유혼합비율에 따라 합산소량의 차이로 인한 복합적인 요소가 존재하는 것으로 생각된다.

(2) 착화지연

Fig. 5는 연소기내의 초기압력을 2.55MPa로 일정히 유지했을 때의 연료분사시의 온도변화에 따른 시료유의 착화지연 관계를 아레니우스(Arrhenius)로 나타낸 것으로, 가로축에 연소기내 공기의 절대온도를 역수로 취하고 세로축에 착화지연을 자연대수로 취한 것이다.

그림에 의하면 일정압력하에서 초기 분위기온도를 변화시키면 착화지연기간은 도중에 일단 변곡되고, 이것은 압력에 관계없이 773K를 경계로 하여 저온부와 고온부로 나누어 짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 결국 착화지연에 대한 온도의존성이 고온 및 저온부에서 상이하고 고온부에 비하여 저온부가 온도영향을 크게 받게 된다. 이것은 고온 및 저온부에서의 활성화에너지 값이 다르기 때문에 착화지연에 대한 인자가 변화한다는 것을 의미한다⁴⁾.

Fig. 6은 연소기내의 분위기온도를 863K로 일정히 유지했을 때의 압력변화에 따른 시료유의 착

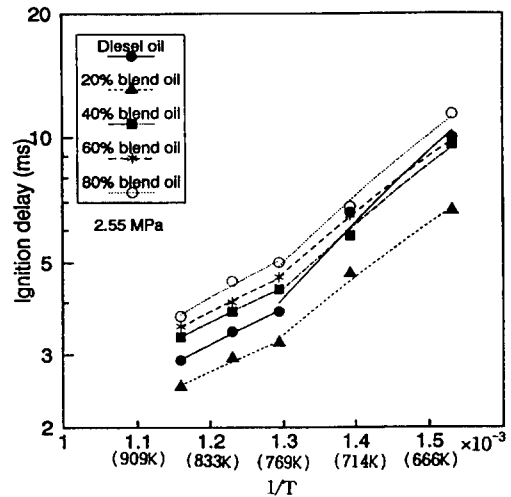


Fig. 5 Correlation of ignition delay with temperature for test fuels at 2.55MPa.

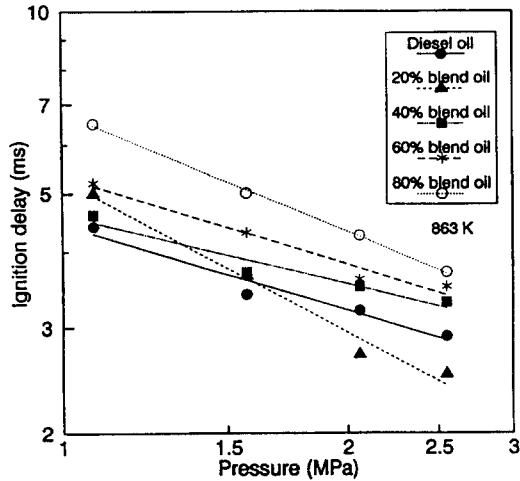


Fig. 6 Correlation of ignition delay with pressure for test fuels at 863K.

화지연을 나타낸 것으로, 그림에서와 같이 연료의 종류에 관계없이 거의 선형적으로 변화하였다. 이러한 결과는 압력이 상승함에 따라 연료의 미립화나 분무의 관통력 및 산소분압 등이 개선되는 원인이 아닌가 생각된다.

(3) 열발생률

Fig. 7은 연소기내의 압력을 2.55MPa, 온도를 863K로 유지했을 때의 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 열발생률 변화를 각각 나타낸다. 연료분사 시간은 연소기내의 배압이 2.55MPa, 분사압력

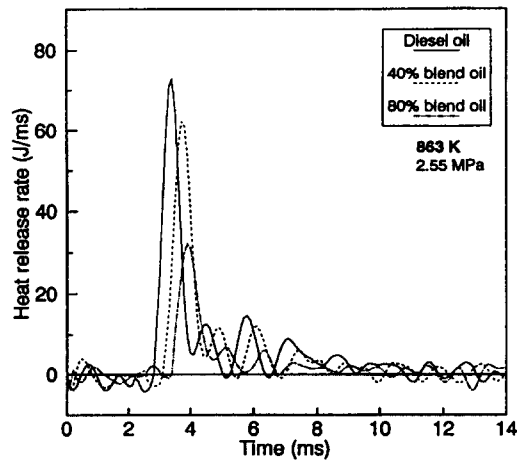


Fig. 7 Heat release rate of diesel oil, 40% and 80% fish oil blend.

11.76MPa일때 2.5ms이다. 그림에 의하면 열발생 시기와 최고열발생률의 크기는 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 나타났다. 이러한 결과는 착화 과정에서 알 수 있는 바와 같이 경유는 혼합유에 비하여 착화시기가 빠르고 분사후로부터 착화시가지의 증발량이 많고, 일정 온도하에서 활성화된 혼합기의 연소속도가 빨라지기 때문으로 생각된다.

2. 디젤기관에서의 어유의 연소특성

(1) 열발생률

저부하(분사시간은 크랭크각으로 8°)에 있어서 경유와 혼합유의 예연소실내에서의 크랭크 각도에 대한 열발생률선도(dQ/dθ - θ)를 Fig. 8에 나타낸다. 그림에 의하면 분사 직후의 흡열반응 유형을 보면 경유에 비해 혼합유는 어유혼합비율이 높을 경우에는 흡열량이 적고 그 시기도 크랭크 각도로 늦게 나타나고, 착화 이후의 열발생시기도 어유혼합비율이 높을 수록 늦고 최고열발생률은 크게 나타났다. 이것은 경유에 비해 혼합유는 점도가 높고 휘발분의 함량이 적기 때문에 증발량이 적고, 착화 지연기간이 길어 착화시기가 늦어지기 때문으로 생각된다.

착화 이후의 최고열발생률이 경유보다 어유혼합비율이 높은 혼합유일 경우 크게 나타나는 것은 최고 압력점까지에 형성되는 혼합기량이 경유보

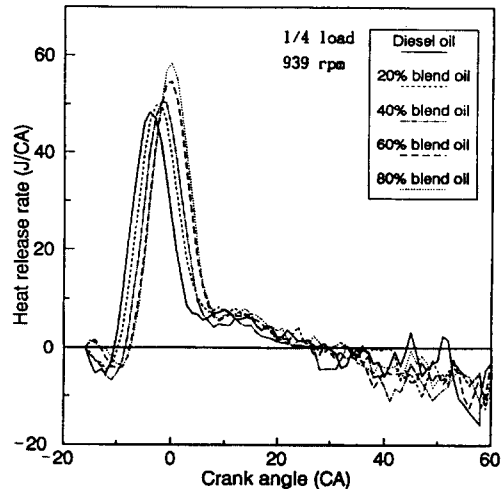


Fig. 8 Rate of heat release diagram of test fuel oils at 1/4 load.

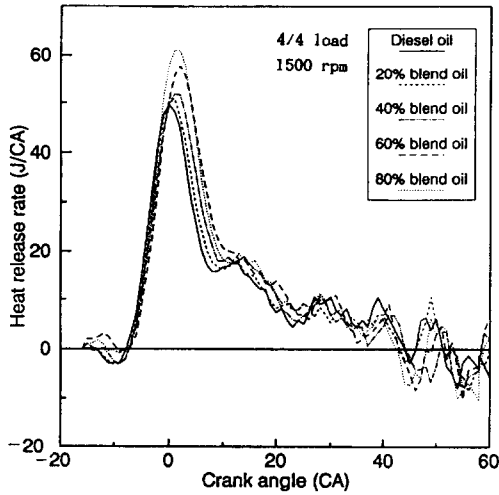


Fig. 9 Rate of heat release diagram of test fuel oils at 4/4 load.

다 어유혼합비율이 높은 혼합유가 많은 데에 기인한다고 생각된다. 또한 저부하에서 경유의 착화지연은 혼합유에 비하여 크게 짧기 때문에 착화후의 유립은 화염속으로 분사되므로 산소농도가 부족하여 연소가 억제되는 반면 혼합유는 어유중의 산소작용으로 연소가 촉진되는 것으로 생각된다.

Fig. 9는 고부하(분사시간은 크랭크각으로 14°)에서의 경유와 혼합유의 열발생률선도를 나타낸 것으로, 60% 및 80% 혼합유는 분사 초기부터 발열반응을 보이다가 뒤늦게 미소한 흡열반응을 나타내고, 착화 이후의 열발생시기는 각 시료간에 비슷한 경향으로 나타났다. 그러나 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 초기 연소시간이 크랭크 각도상 늦게 되고 최고열발생률은 역시 크게 나타났다. 이것은 저부하에 비해 고부하에서는 착화지연기간이 극히 짧아 60% 및 80% 혼합유중의 경유분의 증발에 의한 흡열량보다 공기의 압축열에 의한 영향이 크기 때문으로 생각된다. 착화 이후는 고부하에서의 착화지연기간이 경유와 혼합유간에 큰 차이가 없고, 어유분의 지속적인 증발과 동시에 연소가 일어나는 소위 확산연소가 일부 이루어 짐으로써 연소가 지연되기 때문이라 생각된다.

(2) 착화지연

착화지연을 정의하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 해설에서는 Fig.8 및 9의 열발생률선도에

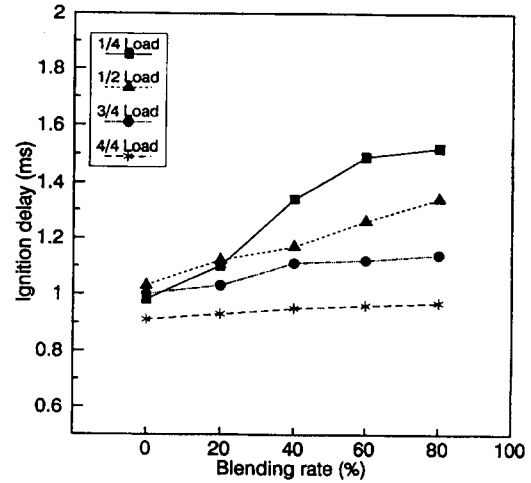


Fig. 10 Variation of ignition delay with blending rate of fish oil at different loads.

서 분사시작점의 열발생률이 높게 되는 지점부터 분사후 분무의 증발로 인해 흡열반응을 거쳐 열발생률이 다시 높게 회복되는 지점(착화점)까지의 시간으로 정의하였다.

Fig. 10은 각 부하에 있어서 경유와 혼합유의 착화지연기간의 변화를 나타낸 것으로, 동일 부하에서는 어유의 혼합비율이 증가할 수록 착화지연이 크게 되고 부하가 증가함에 따라 혼합비율에 따른 착화지연의 차이는 작게 나타났다. 이것은 경유에 비하여 어유는 점도가 높고 휘발성이 떨어지므로 혼합기 형성에 필요한 가열과 증발에 요하는 시간이 길어지고 어유의 고분자 구조가 화학적으로 분해되는 시간도 함께 길어지기 때문이다. 특히 저부하의 저온저압 분위기중에서 어유의 혼합비율이 증가되면 어유의 물리적 및 화학적 성질이 강하게 작용하여 착화지연에 미치는 영향은 더욱 크게 될 것으로 본다. 徐 등⁷⁾의 정용연소장치에 의한 어유의 착화지연에 관한 보고에 의하면 일정압력하에서 온도를 변화시켰을때 773K를 경계로 하여 저온 및 고온부로 나누어 지고, 고온부에 비하여 저온부에서 착화지연의 온도의존성이 크게 나타난 것으로 보아 저온의 저부하에서는 어유의 혼합비율이 증가할 수록 착화지연의 변화율이 크게 됨을 알 수 있다. 그러나 池上 등⁸⁾과 藤本 등⁹⁾의 정용연소장치 및 급속압축장치를 이용한 연구에서는 온

도와 압력이 어느 일정치를 초월하면 착화지연은 거의 변화하지 않는다고 지적하였으며, 이것은 결국 고부하의 고온고압하에서의 착화지연은 주로 물리적 과정에서 지배되고 온도와 압력의존성이 모두 작게 된다고 볼 수 있다.

(3) 그을음농도

Fig. 11은 각 부하에 있어서 어유혼합비율에 따른 배기가스중의 그을음농도 변화를 나타낸 것이며, 고부하에서 저부하로 갈수록, 또한 동일부하에서는 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 그을음농도는 낮게 나타난다.

디젤기관의 그을음의 생성원인은 아직 정확히 규명된 바는 없으나, 大八木 등¹⁰에 의하면 공기량이 부족할 때나 공기량이 충분하더라도 연소실내의 공간적 및 시간적으로 산소가 부족한 부분이 있을 때 또는 화염의 온도를 저하시키는 요인에서는 탄소립을 증가시킨다고 보고하였다. 고부하가 될수록 연료의 매회 분사량은 증가하는 반면 공기과잉률은 감소하고, 압축행정중 주연소실에서 예연소실로 유입하는 공기의 속도가 최대가 되는 상사점전 10-20°에서 연료가 분사됨으로써 결국 고부하의 경우, 예연소실내에서는 공기가 부족한 상태로 되어 그을음이 증가하는 것으로 생각된다. 또한 고부하시는 착화지연이 짧기 때문에 착화후에 공급되는 유입에 의해 화염이 냉각되므로 탄소립

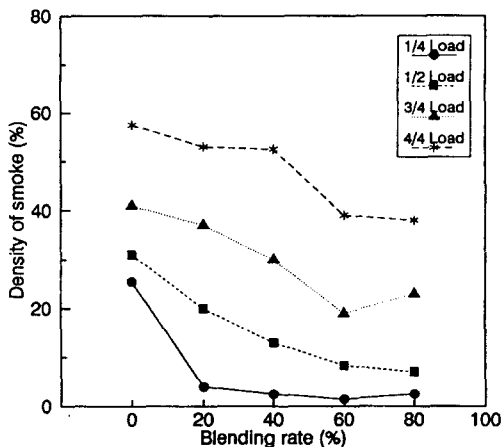


Fig. 11 Variation of smoke density in exhaust gas with blending rate of fish oil at different loads

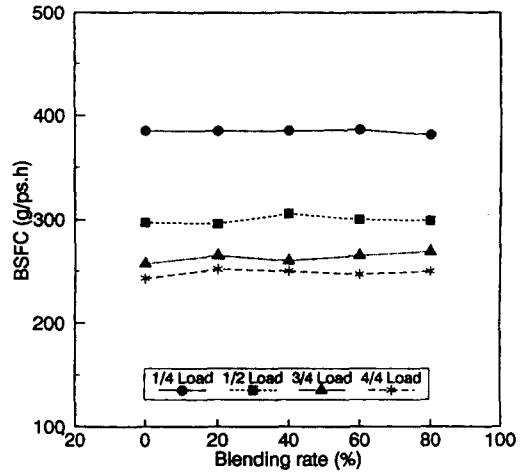


Fig. 12 Variation of fuel consumption rate with blending rate of fish oil at different loads.

의 연소를 저해시키는 것도 하나의 요인이라 생각된다. 동일부하에서는 일정한 흡기량에 대하여 경우유에 비하여 어유의 혼합비율이 높을수록 공기과잉률이 크게 되는 이유와 어유중의 산소가 연소의 개선에 기여하는 것으로 생각할 수 있다.

(4) 연료소비율

각 부하에 있어서 어유의 혼합비율에 따른 연료소비율의 변화를 Fig. 12에 나타냈으며, 그림에서 연료소비율은 어유의 혼합비율에 관계없이 거의 비슷한 경향이고 고부하로 갈수록 연료소비율은 현저히 감소함을 알 수 있다. 어유의 발열량이 경우유보다 낮음에도 불구하고 동일부하에서 각 시료유가 비슷한 소비율을 보이는 것은 결과적으로 어유혼합비율이 증가할수록 열효율이 좋다는 의미가 된다. 이러한 원인은 어유의 혼합비율이 증가할수록 연소기간이 짧고⁷⁾ 합산소량의 증가로 연소율이 높아지기 때문이라 생각되며, 飯本¹¹⁾의 채종유 실험에 대한 연구 결과와도 일치한다.

要 約

경유와 어유혼합유를 정용연소기와 디젤기관에 각각 사용하여 어유의 혼합비율에 따른 연소특성을 경유와 비교 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 고온하에서 분사후로부터 최대흡열점까지의 시간은 경유보다 어유혼합유가 짧고 최대흡열점에서 누적열발생량이 0으로 회복되는 시간은 길었으며, 저온하에서는 그 반대현상으로 나타났다.

2) 착화지연에 대한 온도의존성은 773K를 경계로 하여 저온 및 고온영역하에서 달리 나타났다.

3) 기관에서의 착화지연은 경유에 비해 어유혼합비율이 증가함에 따라 길고 각 부하간의 차이도 크게 나타났다.

4) 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 그을음농도는 낮으며 연료소비율은 경유와 혼합유가 비슷하게 나타났다.

參考文獻

- 1) 原 盡造 松本隆一(1984) : 트롤漁船主機關における魚油とA重油の混合燃焼運轉について. 日本船舶機關學會誌. 19(3) : 274 - 285.
- 2) 水沼達夫(1987) : 디젤機關의魚油燃焼試驗について. 漁船. No.271 : 389 - 399.
- 3) 長谷川 勝男 小田健一 山田敏夫(1990) : 小型高速機關における魚油의燃焼. 日本船舶機關學會誌. 25(4) : 277 - 285.
- 4) 新井雅隆 壺安博之(1984) : 輕油および複合燃料の着火おくれ. 日本機械學會論文集(B編). 50(453) :

1345 - 1351.

- 5) B. Freedman and M. O. Bagby(1990) : Cetane Numbers of Fatty Esters, Fatty Alcohols and Triglycerides Determined in a Constant Volume Combustion Bomb. SAE Paper, No. 900343 : 1 - 9.
- 6) T. W. Ryan and B. Stapper(1987) : Diesel Fuel Ignition Quality as Determined in a Constant Volume Combustion Bomb. SAE Paper, No. 870586 : 1 - 16.
- 7) 徐政周 王宇慶 安秀吉(1993) : 定容燃焼裝置에 의한魚油의着火漏延에 관한研究. 韓國自動車工學會論文集. 1(1) : 50 - 58.
- 8) 池上 詢 三輪 惠 西谷敏雄(1987) : 急速壓縮裝置によるディーゼル噴霧の着火漏れに關する研究. 日本機械學會論文集(B編). 53(485) : 274 - 279.
- 9) 藤本 元 島田俊夫 佐藤 豪(1979) : 定容燃焼裝置によるディーゼル機關の燃焼に關する研究. (燃焼室内初期溫度の影響). 日本機械學會論文集(B編). 45(392) : 599 - 609.
- 10) 大八木 吉原計一 森下晋一 金岡 浩(1990) : 小形ディーゼル機關の性能特性(1). 内燃機關. 29(370) : 9 - 21.
- 11) 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關の運轉(1), (2), (3). 日本農業機械學會誌. 38(4), 40(1), 41(2) : 483 - 487, 5 - 9, 201 - 206.