

〈논 문〉 SAE NO. 933735

## 정용연소장치에 의한 어유의 착화지연에 관한 연구 A Study on the Ignition Delay of Fish Oil Using a Constant Volume Combustion Bomb

서 정 주\*, 왕 우 경\*, 안 수 길\*\*  
J. J. Suh, W. K. Wang, S. K. Ahn

### ABSTRACT

The ignition delay of diesel oil and fish oil blended with diesel oils was investigated at various pressure and temperature conditions in a constant volume combustion bomb.

The evaporation and combustion duration of diesel oil and fish oil blended with diesel oils were respectively different in 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 773 K.

The dependence of ignition delay on the pressure was almost linear, regardless of the test fuels at the constant temperature(863K).

The ignition delay became longer as the blending rate of fish oil increases at the constant temperature and pressure, but it was especially short with 20% fish oil blended with diesel oils.

주요기술용어 : Constant Volume Combustion Bomb(정용연소장치), Fish Oil(어유), Ignition Delay(착화지연), Fish Oil Blended with Diesel Oils(어유혼합유), Activation Energy(활성화 에너지), Heat Release(열발생)

### 1. 서 론

내연기관의 연료는 대부분 화석연료인 석유를 이용하여 제조되고 그 전량을 수입에 의존하고 있는 형편이다.

최근에는 석유화학공업의 발달과 함께 석유 소모량은 증가되고, 육·선박용 기관에서도 그 수요가 급증함에 따라 석유자원 고갈의 위기가

고조되어, 대기오염의 측면에서도 매우 심각한 문제로 대두되고 있다.

이와같은 정세에 따라 종래의 석유계 연료로부터 탈피하여 값싸고 장기적으로 안정하게 공급될 수 있는 대체연료의 개발과 연료비 절약 기술에 관한 연구가 시급한 과제이다.

디젤기관용 대체연료의 연구에는 최근 주목되고 있는 알콜<sup>1)</sup>과 식물유<sup>2,3)</sup> 등이 있고, 비석유

\* 정회원, 여수수산대학교 기관공학과

\*\* 정회원, 부산수산대학교 공과대학 기관공학과

계연료와의 혼합, 에틸전연료등의 방법을 이용하여 연료비 절감을 꾀하고 있다.

최근에는 일본에서 어분 제조시 부산물로 생산되는 어유(fish oil)를 디젤기관용 대체연료로 이용하려는 움직임이 있으며, 어선용 디젤기관에 적용하여 그 연소가능성을 타진한 예<sup>4-6)</sup>가 있다.

이같은 대체연료는 단순히 가격면에서 뿐만 아니라 장기적 공급이 가능해야 하는 점에서도 어유는 魚類의 자원이 고갈되지 않는 한 생산이 계속 가능하므로 미래의 석유대체연료로서 그 이용가치가 충분히 있다고 생각된다.

그러나, 디젤기관의 연소특성에 크게 영향을 미치는 착화지연(ignition delay)은 지금까지 주로 디젤유를 중심으로 연구되어 왔으며, 어유에 대해서는 아직 미흡한 상태이고 불명확한 점도 많아 향후 이 분야에 대한 연구가 계속 추진되어야 할 것으로 본다.

따라서 본 연구에서는 대체연료개발 및 연료비 절감을 목적으로 합산소유인 어유(정어리유)를 경유와 혼합한 어유혼합유(fish oil blended with diesel oils)를 정용연소장치(constant volume combustion bomb)에 분사시켜 어유의 혼합비율과 연소기내의 온도와 압력변화에 따른 착화지연관계를 경유와 비교검토 하였다.

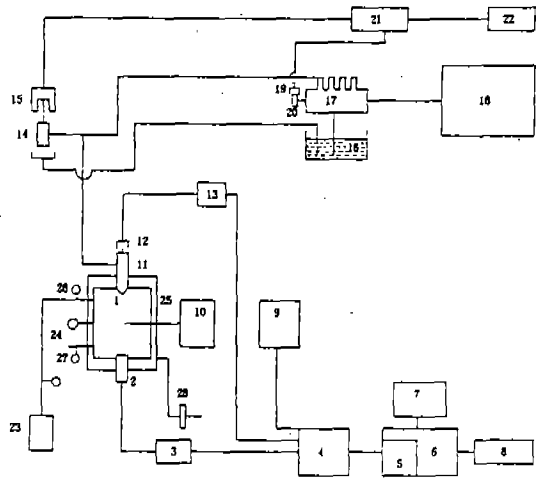
## 2. 실험장치 및 방법

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

정용연소기 본체는 내경 50mm, 길이 120mm 및 용적이 279cc의 스테인레스강제의 원통형으로 외부에 연질의 내화벽돌을 설치하여 그 내부에 흠을 가공하고 칸탈 열선을 감아넣어 세라믹울(ceramic wool)로 단열하였다.

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

연료분사장치는 분사펌프에서 토출되는 연료



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

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

가 통상시는 보조분사밸브를 통하여 연료탱크로 반송되고 솔레노이드밸브로 보조분사밸브를 닫히게 함으로서 실험용 분사밸브로 단발분사가 이루어 지도록 하였다.

데이터 수집장치는 니들의 상승 시작점을 감지하는 포토인터럽터와 연소기내의 변동압력을 전기적 신호로 변환하는 스트레인 게이지식 압력변환기(Model : PE-200KS), 데이터 변환신호를 발생하는 함수발생기(function generator)로 구성되고 이들은 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터로 저장된다.

시료유는 경유와, 경유에 정어리유를 각각 20%, 40%, 60% 및 80%의 중량비율로 섞은 혼합유를 사용하였으며, Table 1, 2 및 3은 시료유의

Table 1 Specification of test fuels

Specification	Specific gravity (15/4°C)	Kinematic viscosity (30°C, cSt)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Diesel oil	0.8585	3.8	0.842
20% Blended oil	0.8676	5.4	0.859
40% Blended oil	0.8768	8.0	0.877
60% Blended oil	0.8859	11.6	0.895
80% Blended oil	0.8951	18.9	0.914

Table 2 Experimental condition

Outer temperature(K)	303± 2
Fuels Temperature(K)	303± 1
Cooling water temperature(K)	303± 2
Injection quantity(g)	0.022
Injection pressure(MPa)	11.76
Ambient temperature 863K(constant)	Press. ragne 1.08 1.57 2.06 2.55(MPa)
Ambient Pressure 2.55(constant)	Temp. ragne 653 718 773 813 863(K)

Table 3 The apparent activation energy for test fuels at different pressures(kJ/mol K)

Test fuels	Tem. \ Pre.	1.08MPa	1.57MPa	2.06MPa	2.55MPa
Diesel oil	T ≤ 773K	35.24	37.21	34.49	40.89
	T ≥ 773K	20.25	23.73	17.28	18.79
40% Blended oil	T ≤ 773K	25.66	29.29	34.66	33.86
	T ≥ 773K	19.50	15.49	15.74	18.25
80% Blended oil	T ≤ 773K	29.51	35.29	37.29	34.61
	T ≥ 773K	10.29	14.90	17.91	20.76

물성치, 실험조건 및 각 압력하에서 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 활성화에너지(activation energy)값을 각각 나타낸다.

정어리유는 석유계 연료와는 달리 탄소, 수소 외에 산소를 다소 함유하고 있으며 이중결합을 포함한 고분자의 장쇄지방산으로 구성되어 있고 경유에 비교하여 비중, 점도 및 밀도 등이 큰 특징이 있다.

연소기내의 온도는 노즐축으로부터 30mm 간격의 세 위치에서 측정하여 각 위치에서의 온도를 평균하여 대표온도로 하였다.

실험용 노즐은 핀틀형(DN 4SK1)으로서 온도

상승에 의한 연료의 점도변화를 방지하기 위하여 일정온도(30°C)로 냉각하였으며 분사압력을 11.76MPa, 분사량은 0.022g으로 하였다.

한편 연소기내의 압력은 함수발생기에서 발생하는 5kHz의 스케어파를 이용하여 연소기내의 변동압력을 분사시작점에서부터 0.1ms 간격으로 720개의 데이터를 컴퓨터에 의해 수집하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 착화과정

착화지연의 정의에는 여러가지가 있으나 본

연구에서는 압력상승지연 즉 니들밸브의 상승 시작점으로 부터 분무의 증발에 의해 압력이 일단 하강한 후 열발생으로 연소기내의 압력이 초기압력으로 회복하기까지의 기간으로 정의하였다.

Fig.2는 고온고압( $p=2.55\text{MPa}$ ,  $T=863\text{K}$ )하에서 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 착화과정의 예를 압력-시간선도로 나타낸 것으로, 연료분사후 분무의 증발로 인해 일단 압력이 하강하다가 어느 지점에서 열발생(heat release)이 시작되면 압력이 점차 상승하여 연소기내의 초기압력으로 회복되는 과정을 알 수 있다.

Fig.3은 연소기내에 연료를 분사한 후에 증발

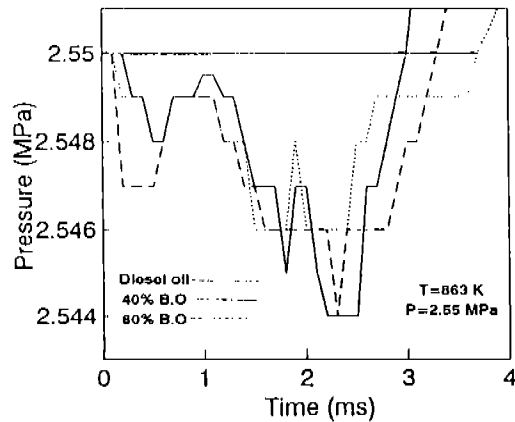


Fig.2 The example of ignition process for diesel oil, 40% and 80% fish oil blend by P-t Diagram

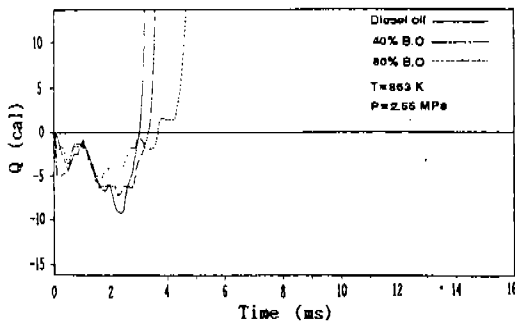


Fig.3 The pattern of ignition process for diesel oil, 40% and 80% fish oil blend by Q-t diagram at 863K

및 착화과정을 상세히 알기 위하여 압력과 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 분사시작점으로 부터 2ms 시점에서의 흡열량은 경유가 -7.1cal로 가장 크고 다음 40%어유혼합유가 -6.3cal이고 80% 어유혼합유는 -5.3cal 순으로 나타났다. 또한 분사후로 부터 최대흡열점까지의 기간은 80% 어유혼합유가 2ms, 40% 어유혼합유가 2.24ms 그리고 경유는 2.33ms 순으로 길게 되고, 최대흡열점에서 누적열발생량이 0으로 회복하기까지의 기간은 반대로 경유가 0.67ms, 40% 어유혼합유가 1.08ms, 80% 어유혼합유는 1.65ms 순으로 길게 나타났다.

흡열량이 어유혼합유가 경유보다 작은 이유는 어유혼합유는 경유에 비해 점도와 비중이 높으므로 무화(atomization)가 불량하고 또 기화성이 나쁜데에 기인 한다고 생각된다.

분사후로부터 최대흡열점까지의 기간은 가열 및 증발에 요하는 시간으로, 이 기간이 어유혼합유가 경유보다 짧은 것은 경유는 어유에 비해 무화와 휘발성이 우수하므로 연소기내에서의 초기증발은 어유혼합유중의 경유분이 먼저 일어난다고 본다. 이때 연소기내의 일정한도하에서 증발량이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 크게 되어 분무의 증발잠열이 증가한다.

또한 어유의 혼합비율이 증가하면 합산소량도 증가하여 어유중의 수소와 결합하여 물을 발생하여 결국 물의 증발잠열과 분무의 증발잠열로 인하여 분위기온도(ambient temperature)가 저하되는 것으로 본다.

한편, 최대흡열점에서 누적열발생량이 0으로 회복되는 기간은 최대흡열점에서 열발생이 일어나 앞의 증발에 의한 흡열과 상쇄되면서 마침내 누적열발생량이 0으로 회복하게 된다.

이 기간이 경유에 비하여 어유혼합유가 길게 되는 것은 분사후로 부터 최대흡열점까지의 기간이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 길기 때문에 그 동안에 연료의 증발과 확산이 충분히

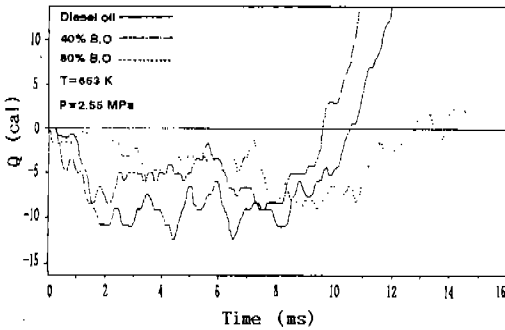


Fig. 4 The pattern of ignition process for diesel oil, 40% and 80% fish oil blend by Q-t diagram at 653K

이루어지고 활성화된 가연혼합기량이 증가하여 열발생속도가 크게되기 때문으로 생각된다.

Fig.4는 연소기내의 압력을 2.55MPa, 온도를 비교적 저온인 653K로 유지했을 때 역시 경유, 40% 80% 어유혼합유의 누적열발생량의 흡열부분을 확대하여 각각 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 흡열량은 고온시와 마찬가지로 경유, 40%, 80% 어유혼합유 순으로 크게 나타났고 증발에 의한 흡열의 형태는 대단히 완만하며, 분사후로부터 최대흡열점까지의 기간은 고온시와 반대 현상을 보이는데, 이는 경유의 증발량이 어유혼합유보다 큼에도 불구하고 짧게 되는 것은 분사후로부터 최대흡열점까지의 도중에 부분적으로 미소한 열발생이 일어나서 연소기내의 분위기 온도가 상승된 결과라 생각된다.

최대흡열점에서 누적열발생량이 0으로 회복되는 기간은 경유와 80% 어유혼합유는 비슷하고 40% 어유혼합유에서 특히 짧게 나타났다.

어유의 혼합비율에 따라 이 기간이 일정하지 않는 이유는 고온 및 저온분위기 하에서의 어유혼합유의 가열 및 증발형태가 근본적으로 상이하고 어유혼합비율에 따라 함산소량의 차이로 인한 복합적인 요소가 존재하는 것으로 생각된다.

### 3.2 분위기 온도의 영향

Fig.5, 6, 7은 연소기내의 압력을 변수로 하여

연료분사시의 분위기 온도 변화에 따른 경우, 40% 및 80% 어유혼합유의 착화지연관계를 아래 니우스(Arrhenius)로 각각 나타낸 것으로서, 가로축에 연소기내 공기의 절대온도를 역수로 취하고 세로축에 착화지연기간을 자연대수로 취한 것이다.

그림에서와 같이 일정압력하에서 분위기 온

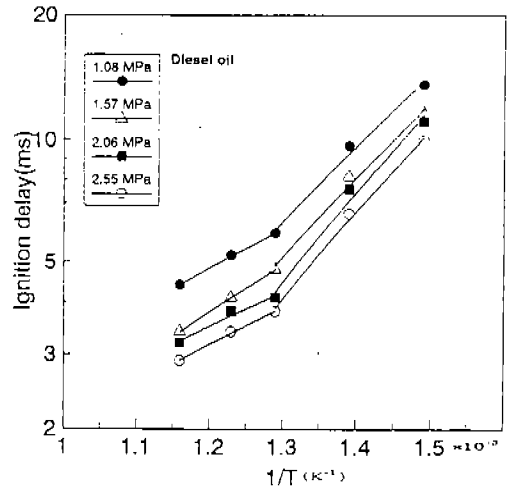


Fig.5 Correlation of ignition delay with temperature for diesel oil at different pressures.

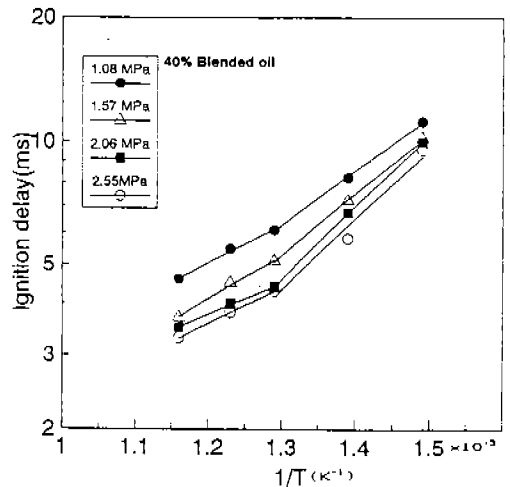


Fig.6 Correlation of ignition delay with temperature for 40% fish oil blend at different pressures

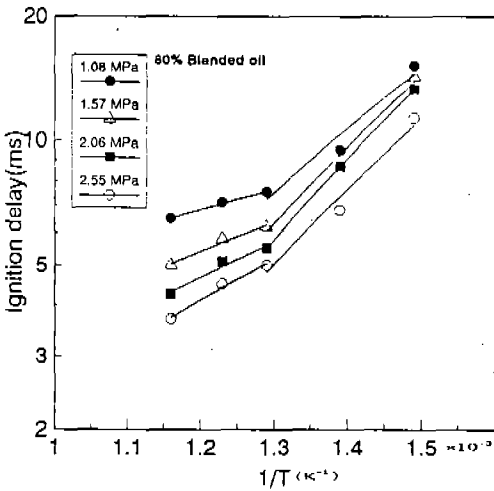


Fig.7 Correlation of ignition delay with temperature for 80% fish oil blend at different pressures

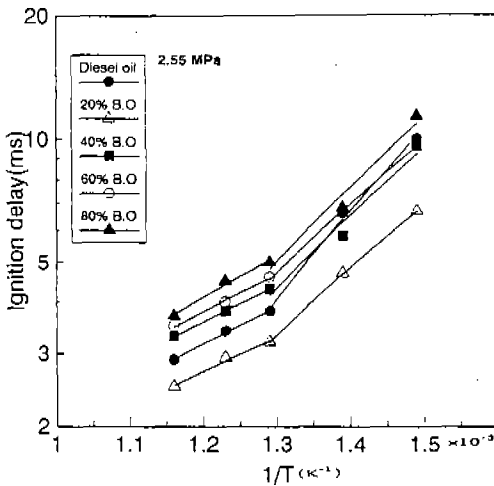


Fig.8 Correlation of ignition delay with temperature for test fuels at 2.55MPa

도를 변화시키면 착화지연기간은 도중에 일단 변곡되고 이것은 압력에 관계없이 773K를 경계로 하여 저온부와 고온부로 나누어짐을 알 수 있다.

결국 착화지연기간에 대한 온도의존성이 고온 및 저온부에서 상이하고 고온부에 비하여 저온부가 온도영향을 크게 받게 되고 고온 및 저온부에서의 활성화에너지 값이 다르기 때문에 착

화지연에 대한 인자가 변화 한다는 것을 의미한다.

Fig8은 연소기내의 압력을 2.55MPa로 일정히 유지했을 때의 분위기 온도변화에 따른 시료유의 착화지연기간을 나타낸 것이다.

그림에서 저온영역에서 경유가 어유혼합유에 비해서 그 변화율이 크게 나타남을 알 수 있고 이것은 Table 3에서 보이는 바와 같이 저온영역에서 경유의 활성화에너지의 값이 큰데 기인되는 것으로 생각된다.

### 3.3 분위기 압력의 영향

착화지연을 지배하는 인자로서 분위기 온도와 함께 분위기 압력을 들 수 있고, 이는 연료의 미립화나 분무의 관통력(penetration) 및 산소분압등의 인자로서 착화지연에 직접 영향을 미친다.

Fig.9, 10, 11은 연소기내의 분위기 온도를 변수로 하여 연료분사시의 분위기 압력변화에 따른 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 착화지연기간을 각각 나타낸 것으로, 가로축과 세로축의 압력과 착화지연기간을 자연대수로 취한 것이다.

그림에서와 같이 일정온도하에서 압력을 변화시키면 착화지연기간은 연료의 종류에 관계없이 거의 선형적으로 변화하였다.

Fig.12의 분위기 온도 863K의 일정하에서 압력변화에 따른 시료유의 착화지연기간도 위와 동일한 결과를 보이나, 특히 20% 어유혼합유에서 압력의존성이 크게 나타나는 것은 연소기내의 분위기조건, 어유의 혼합비율 및 어유의 중기발생속도 등에 관련되는 것으로 생각되고 결국 20%의 어유혼합비율을 그 최적값으로 볼 수 있다.

이상의 결과를 정리하면 廣安<sup>7,8)</sup> 및 Rik<sup>9,10)</sup> 등이 보고한 다음의 Wolfer식으로 나타낼 수가 있다.

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

여기서 A는 실험조건에 따라 결정되는 정수이고 B는 측정데이터를 아레니우스로 표시했을 경우 직선의 기울기로서 활성화에너지와 관계가

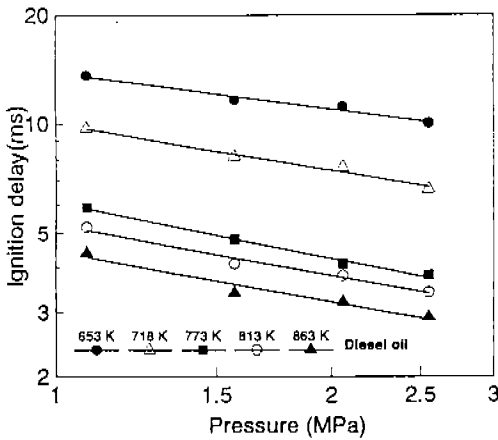


Fig.9 Correlation of ignition delay with pressure for diesel oil at different temperatures

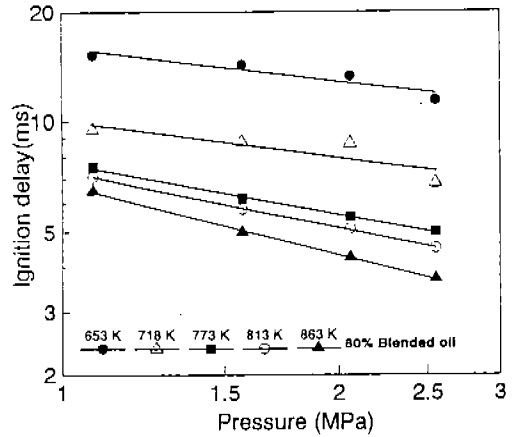


Fig.11 Correlation of ignition delay with pressure for 80% fish oil blend at different temperatures

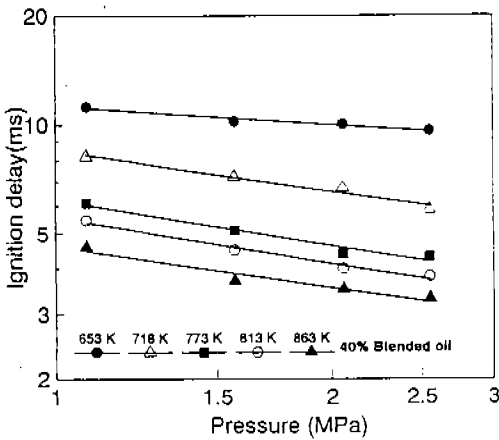


Fig.10 Correlation of ignition delay with pressure for 40% fish oil blend at different temperatures

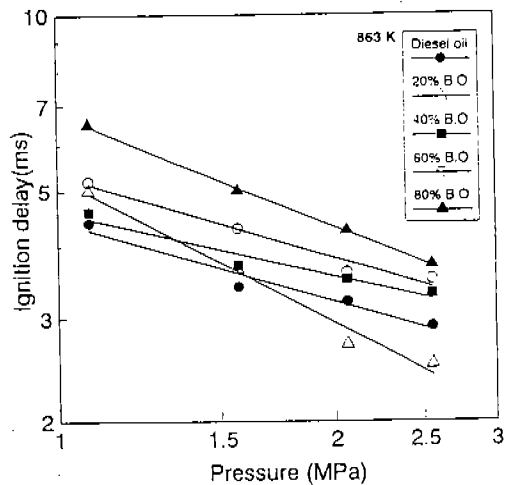


Fig.12 Correlation of ignition delay with pressure for test fuels at 863K

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

Test fuels	Constants		B		n
	A		T ≤ 773K	T ≥ 773K	
Diesel oil	0.0098	0.3246	4917	2259	-0.4697
20% Blended oil	0.0564	0.5052	3701	2057	-0.8444
40% Blended oil	0.0289	0.3643	4074	2195	-0.3797
60% Blended oil	0.0473	0.4004	3842	2248	-0.4867
80% Blended oil	0.0388	0.3762	4160	2495	-0.6525

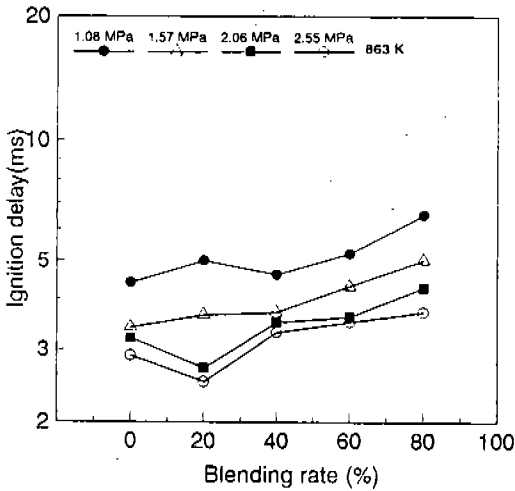


Fig.13 The relationship between blending rate and ignition delay at different pressures

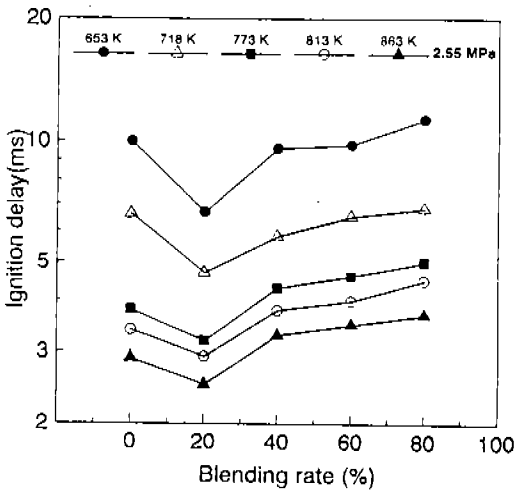


Fig.14 The relationship between blending rate and ignition delay at different temperatures

있으며 착화지연에 미치는 물리적 요인도 포함하고 있다.  $T$ 는 공기의 절대온도,  $n$ 는 압력지수를 나타내며 Table 4는 윗식의 각 정수를 계산한 값을 나타낸다.

Fig.13, 14는 연소기내의 온도를 863K로 유지하고 압력을 변화시켰을 때와, 압력을 2.55MPa로 유지하여 그때의 온도를 변화시켰을 때 어유의

혼합비율에 따른 착화지연기간의 변화를 각각 나타낸다.

그림에 의하면 착화지연기간에 미치는 온도 및 압력의 영향은 비슷한 유형을 보이고 경유에 비하여 어유혼합유가 착화지연기간이 약간 길게 되고 그 경향은 어유의 혼합비율이 증가할수록 길게 되나 20% 어유혼합유에서는 짧게 나타났다.

이것은 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 분사후로부터 최대흡열점까지의 기간이 짧아져 가연혼합기의 형성량이 적기 때문에 열발생속도가 늦어지는데 기인한다고 생각된다.

또한 長尾<sup>13)</sup>에 의해 계산한 경유의 이론적공기량은  $11.10\text{Nm}^3/\text{kg}$ 에 비해 정어리유의 이론적 공기량은  $9.65\text{Nm}^3/\text{kg}$ 으로 연소기내에 공급된 공기량이 일정하므로 어유혼합유가 공기과잉율이 크게되어 분위기온도를 저하시키는 것도 한 요인이라 생각된다.

#### 4. 결 론

경유와 어유혼합유등의 시료유를 정용연소장치내에 분사시켜 어유의 혼합비율과 연소기내의 온도 및 압력변화에 따른 착화지연관계를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고온하에서 분사후로부터 최대흡열점까지의 시간은 경유보다 어유혼합유가 짧고 최대흡열점에서 누적열발생량이 0으로 회복되는 시간은 길었으며, 저온하에서는 대체로 그 반대현상으로 나타났다.
2. 착화지연에 대한 온도의존성은 773K를 경계로 하여 저온 및 고온영역하에서 각각 달리 나타났다.
3. 착화지연에 대한 압력의존성은 일정 온도하에서 시료유에 관계없이 거의 선형적으로 나타났다.
4. 일정온도 및 압력하에서의 착화지연기간은 어유의 혼합비율이 증가할수록 길게 되나 20% 어유혼합유에서 가장 짧았고, 고온 및 고압하에서는 착화지연기간의 증가율이 작았다.



## 참 고 문 헌

1. 山田貴延 外 3名, “アルコール駆動ディーゼル機関に関する研究”, 日本機械學會論文集, Vol.49, NO.441, pp.1087-1094, 1983.
2. 村山 正 外 1名, “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, Vol. 25, No.314, pp.9~15, 1986.
3. 飯本光雄, “ナタネ油を燃料とした農用小型ディーゼル機関の運轉(III)”, 日本農業機械學誌, Vol.41, No.2, pp.201~206, 1976.
4. 水沼達夫, “ディーゼル機関の魚油燃焼試験について”, 漁船, No.271, pp.389~399, 1987.
5. 長谷川 勝男 外 2名, “小型高速機関における魚油の燃焼”, 日本舶用機關學會誌, Vol.25, No.4, pp.29~35, 1990.
6. 原 盡造 外 1名, “トロール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”, 日本舶用機關學會誌, Vol.19, No.3, pp.50~61, 1984.
7. 廣安博之 外 2名, “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, Vol.41, No.345, pp.1559~1566, 1975.
8. Ryan, T. W., III and Timothy J. Callahan, “Diesel Fuel Ignition Quality as Determined in a Constant Volume Combustion Bomb”, SAE Paper No.870586, 1987.
9. Rik S. G. Baert, “Autoignition of diesel Spray at High Pressure and Temperatures”, SAE Paper NO. 890417, 1989.
10. 藤本 元 外 2名, “定容燃焼装置によるディーゼル機関の燃焼に関する研究”, 日本機械學會論文集, Vol.45, No.392, pp.599~606, 1979.
11. 長尾不二夫, “内燃機関講義”, 養賢堂, pp. 226~237, 1986.