

## 디젤機關의 魚油燃燒에 관한 研究(배기에미션, 내구시험)

서정주 · 왕우경 · 안수길\*  
여수대학교, \*부경대학교  
(1998년 12월 20일 접수)

### A Study on the Combustion of Fish Oil in a Diesel Engine(Exhaust Emission, Endurance Test)

Jung-Joo SUH, Woo-Kyung WANG and Soo-Kil AHN

Yosu National University, Pukyong National University

(Received December 20, 1998)

#### Abstract

This study was conducted on the properties of exhaust emissions of diesel oil and fish oil blended with diesel oils using a direct injection diesel engine at different loads, and on the conditions of carbon deposits of diesel oil and 40% blend oil in the combustion chamber after 20 hours operation at 1/2 load. The properties of exhaust emissions by fish oil blended with diesel oils showed no significant difference with diesel oil. However, soot emissions decreased, increasing the ratio of fish oil. Carbon deposits by fish oil blended with diesel oils were high level compared with diesel oil, which might be overcome by preheating of fuel oil and operating conditions.

#### 緒 論

19세기에 內燃機關이 발명된 이래 오늘날까지 각종 산업기계의 原動機로서 뿐만 아니라 인간 생활에 있어서 없어서는 안될 기계로서, 그 성능 향상을 위한 추구가 계속되어 현재의 그 위치는 극대화에 이르렀다. 특히 내연기관에 사용되는 연료는 석유계 연료가 대부분이고 이에 따라 기관에서 배출되는 가스성분이 대기오염의 주범으로 대두되면서 기관의 성능향상 뿐만 아니라 배기배출물의 저감에 대한 대책이 중요한 사회적 문제로 주목되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 수단으로 이전부터 석유계 연료의 대체연료로서 비석유계인 식물유에 대한 연구(飯本<sup>1)</sup>, 村山<sup>2)</sup>, 吳<sup>3)</sup>,

裴<sup>4)</sup>, 李<sup>5)</sup>, 등)가 진행되어 왔으며, 최근에는 魚油에 대한 연구(水沼<sup>6)</sup>, 長谷川<sup>7)</sup>, 原<sup>8)</sup>, 서<sup>9)</sup>, 등)도 일부 진행되고 있다.

그러나 식물유나 어유는 이들 특유의 고점도와 저휘발성에 起因하는 카본퇴적물 및 피스틴 고착 등의 문제점이 남아 있어 장시간 운전은 쉽지 않은 것으로 알려져 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 어유나 식물유를 가열하여 점도를 저하시키거나, 다른 연료와 혼합하여 사용하는 방법, 에스테르화하는 방법 또는 초음파를 적용하는 방법 등이 있으며, 이러한 방법들에 의하여 대체 연료가 경유와 대등한 성능을 발휘할 수 있다는 가능성을 보고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 석유계 연료의 대체연료

로써 가격이 싸고 공급이 비교적 용이한 명태유 (*Alaska pollack oil*)와 경유를 혼합한 혼합유를 직접분사식 4행정디젤기관의 연료로써 사용할 때 기관의 부하 변동에 따른 排氣排出物의 특성을 조사하고, 이들 연료를 장시간 사용하였을 때, 연소실내 카본퇴적물의 부착상태를 순수 경유를 사용했을 때와 비교하여 석유계 연료의 대체연료로써의 이용 가능성을 검토하였다.

實驗裝置 및 方法

Fig.1은 본 실험에 사용된 장치의 개략도를 나타낸 것으로, 그 주요 부분은 실험기관, 데이터 수집장치, 전기동력계, 배기가스분석기 및 스모크미터로 구성되어 있다. 실험기관은 직접분사식 4행정자연급기 수냉식 디젤기관으로, 주요 諸元은 Table 1과 같으며, 배기가스분석기의 제원은

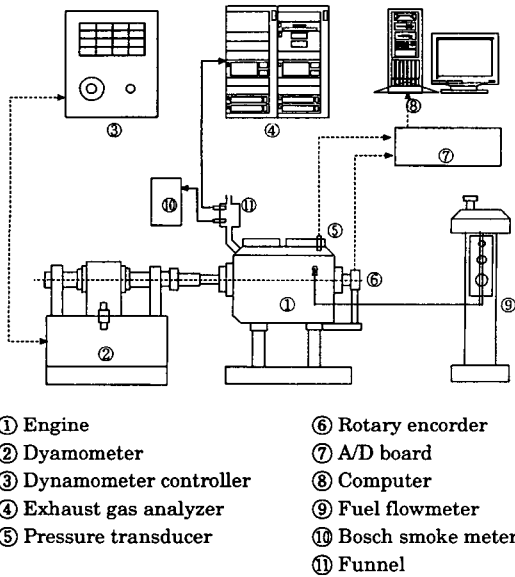


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 2에 나타내었다.

본 실험에 사용된 試料는 순수 경유와 경유에 명태유를 각각 20%, 40% 및 60%의 중량비로 섞은 혼합유를 사용하였으며, Table 3은 시료유의 공업분석과 원소분석의 결과를 나타낸다.

운전조건은 실험기관의 연속최대출력 (2100rpm, 8.87kgf-m, 26Ps)을 4/4부하로 하고, 선박부하 특성식에 의해 각 부하에서의 회전수를 구한 다음 각각의 부하에 맞게 토크를 결정하였으며, Table 4에 실험기관의 운전조건을 나타낸다.

그리고 실험기관의 냉각수 출구온도는 45±5°C로, 연료유 입구온도는 40±5°C로 각각 유지하였

Table 1. Specifications of the test engine

Item	Specification
Model	KWANG YANG-YANMAR 2TD
Type	2-cylinder water-cooled 4-stroke direct-injection diesel engine
Bore × Stroke(mm)	100 × 115
Compression Ratio	17 : 1
Fuel Injection Timing(°CA)	BTDC 18
Injection Pressure(MPa)	20
Rated Output(Ps)	26

Table 2. Specifications of exhaust gas analyzer

Item	Specification
Model	EMIRAK3
Dimensions(mm)	800 × 1200 × 2100
Weight(kg)	500
Heated Line Temp.	180
Sample pressure(psi)	about 7
HC(ppm)	0~5000
NOx(ppm)	0~5000
CO(ppm)	0~1000
CO <sub>2</sub> (%)	0~20
SO <sub>2</sub> (ppm)	0~1000
O <sub>2</sub> (%)	0~25

Table 3. Proximate and ultimate analysis of test fuel oils

Test fuel oils	Proximate analysis(% wt)				Ultimate analysis(% wt)				
	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Axh	C	H	N	S	O
Diesel oil	0.008	21.13	78.31	0.56	85.1	13.1	0.2	0.3	0.59
Alaska pollack oil	0.1	0.35	99.58	0.07	77.1	12.2	Trace	Trace	10.56

Table 4. Experimental conditions of the engine

Load	1/4	1/2	3/4	4/4
RPM	1323	1666	1908	2100
Torque(kgf-m)	3.52	5.59	7.32	8.87
Output(ps)	6.5	13	19.5	26

다.

배기가스 중의 각 성분에 대한 가스농도는 기관 연돌의 소음기측에 설치된 프로브(Probe)를 통해 들어오는 배기가스가 가열기에서 180℃로 일정하게 가열된 후 배기가스분석기에서 1분마다 분석되어 컴퓨터에 저장되어지며, 본 실험에서는 20분간 연속 수집된 값들을 평균하여 나타내었다. 그 을음(Soot)농도는 보쉬(Bosch)식 스모크미터(ST-100N)로 측정하여 그 오염정도를 백분율로 나타내었다.

그리고 연소실내의 汚染정도를 확인하기 위하여 경유와 40% 어유혼합유를 1/2부하에서 각각 20시간 연속 운전한 후 실린더헤드를 개방하여 연소실내와 노즐선단부, 흡·배기밸브 부근의 카본부착상태를 서로 비교하였다.

### 實驗結果 및 考察

#### 1. 질소산화물(NOx)

Fig.2는 본 실험의 운전조건(1/4, 1/2, 3/4, 4/4부하)하에서 순수 경유(어유 혼합비 0%)와 어유혼합유(어유혼합비 20%, 40%, 60%)의 혼합 변화에 따른 배기 배출물 중 NOx 농도 측정결과를 나타낸 것이다. 그림에 의하면 저부하에서 부하가 증가할수록 Nox의 농도는 증가하고, 특히 3/4부하에서는 어유혼합비와 관계 없이 4/4부하의 경우보다 약간 높게 나타났다. 저부하 상태에서 NOx 배출물이 감소하는 원인은 연소효율의 저하로 연소가스온도가 낮아지기 때문이고, 이와 반대로 고부하로 갈수록 연소효율의 개선으로 화염온도가 높아지는 외에 고부하에서의 연소특성상 그 배출량은 증가하게 되는 것으로 생각된다.

한편 3/4부하에서 그 배출량이 4/4부하인 경우보다 높게 나타난 것은 李(1998) 등의 米糠油를 사

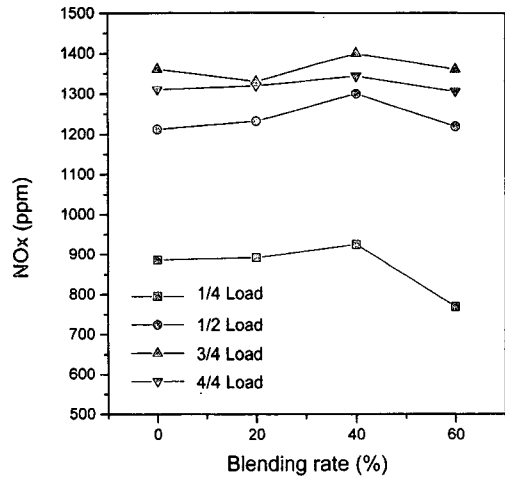


Fig. 2. Variation of NOx emissions with blending rate of fish oils at different loads.

용한 연구에서도 동일한 결과를 보였는데, 이는 NOx의 근본적인 생성인자인 연소영역에서의 산소농도, 화염온도 및 연소의 지속시간 등이 관련된 열발생율, 연소최고압력, 연소압력상승률 및 연소최고온도 등 연소특성의 다각적인 측면에서 검토되어야 할 것으로 생각된다.

또한 동일부하에서의 경우, 20% 혼합유 및 40% 혼합유는 거의 비슷한 값을 보이거나 60% 혼합유에서 약간 낮게 나타난다. 이것은 어유 혼합유가 증가함에 따라 혼합유의 점도가 높아지고, 또한 휘발성이 저하되어 연료의 혼합기 형성에 필요한 시간이 길게 되어 연소지연이 일어나고 따라서 연소온도가 낮기 때문이라 생각된다.

#### 2. 일산화탄소(CO)

Fig.3은 기관의 부하 변화와 어유혼합비율에 따른 배기배출물중 일산화탄소(CO)의 농도를 나타낸 것이다. CO는 탄화수소계 연료의 불완전연소로 인해 연소의 중간단계에서 생성되는 화합물이며, 디젤기관에서 CO의 생성량은 공기과잉율과 연소온도 그리고 연소실내에서 연료와 공기의 균일분포 등의 함수관계에 있다.

그림에서 4/4부하일때 일산화탄소(CO)의 농도가 가장 높게 나타난 것은 고부하운전에 따른 높은 연소온도와 낮은 공기과잉율 때문인 것으로 생

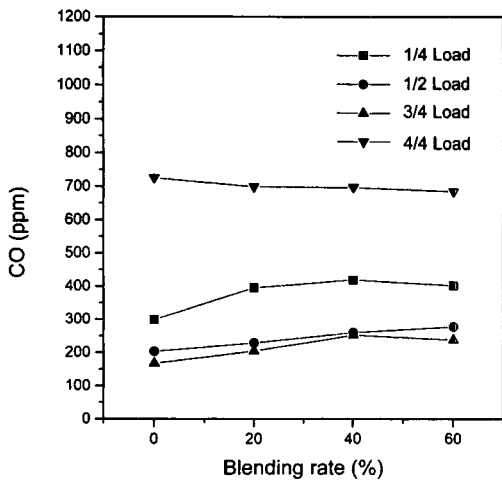


Fig. 3. Variation of CO emissions with blending rate of fish oils at different loads.

각된다. 한편 1/4부하에서 1/2, 3/4부하보다 CO의 배출농도가 오히려 높게 나타난 것은 저부하운전에 따른 불완전연소와 낮은 연소온도 때문인 것으로 생각된다.

그리고 순수 경유보다 어유혼합유쪽이 4/4부하를 제외하고 CO의 배출농도가 높은 것은 어유 혼합에 의해 혼합유의 높은 점도에 의한 불충분한 미립화와 낮은 휘발성에 의한 연료의 불완전연소에 의한 것이라 생각된다.

한편, CO의 농도가 3/4부하에서 가장 적게 나타난 것은 앞서 NOx의 농도가 같은 부하에서 가장 높게 보인 것으로 유추해 보면 본 실험의 3/4부하의 운전조건(1908rpm, 7.32kgf-m)인 때가 CO의 농도가 가장 낮게되는 最適의 운전상태가 아닌가 생각된다.

### 3. 未燃 炭化水素(HC)

Fig.4는 각 부하에서의 어유혼합비율에 대한 미연탄화수소(HC)의 농도를 나타낸 것이다. 디젤기관에서 배기배출물 중의 미연탄화수소는 원래의 연료분자나 분해된 연료분자, 또는 재결합된 중간화합물로 구성되는데, 연료의 2차분사와 연료분무의 지나친 관통이나 연료의 비등점이 낮을수록 많은 미연 HC배출물을 발생시키는 경향이 있다. 그리고 화염의 급냉이나 저온공기와와의 혼합 등에

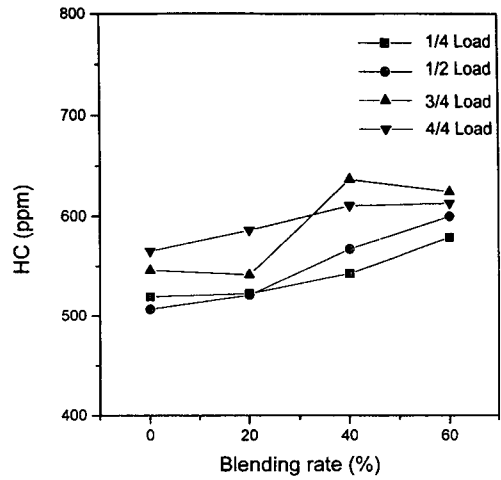


Fig. 4. Variation of HC emissions with blending rate of fish oils at different loads.

의해 연소반응이 동결되면 중간생성물이 연소되지 않은 상태로 배출되고, 또 액체연료의 미립화 특성이 나쁘면 큰 유적이 증발을 끝내지 못한 채 고온영역을 통과해 버리는 경우도 있다.

그림에서 부하와 어유혼합비율이 증가할 수록 대체로 HC 배출량이 많아지나, 40% 및 60% 혼합유는 3/4부하에 있어서는 오히려 4/4부하 보다도 더 높게 나타나고 있다. 부하와 어유혼합비율의 증가에 따라 그 배출량이 증가하게 되는 것은, 역시 고부하로 됨에 따라 공기과잉율이 감소하게 되고 또한 어유 농도가 짙어짐에 따라 혼합유의 점도가 높아 분무의 霧化상태가 불량하기 때문인 것으로 생각된다.

### 4. 煤煙 배출물(Soot)

Fig.5는 각 부하에 있어서 어유혼합비율에 따른 배기가스중의 매연 배출물의 변화량을 나타낸 것이다. 그림에 의하면 고부하에서 저부하로 갈수록, 또한 동일부하에서는 어유혼합비율이 증가함에 따라 매연 배출량은 낮게 나타났다.

디젤기관에서의 매연 배출원인은 아직 정확히 규명된 것은 없으나 長尾(1986)와 大八木(1990) 등에 의하면 공기량이 부족할 때나 공기량이 충분할 때도 연소실내의 공간적 및 시간적으로 산소가 부족할 경우, 또는 화염의 온도를 저하시키는 요

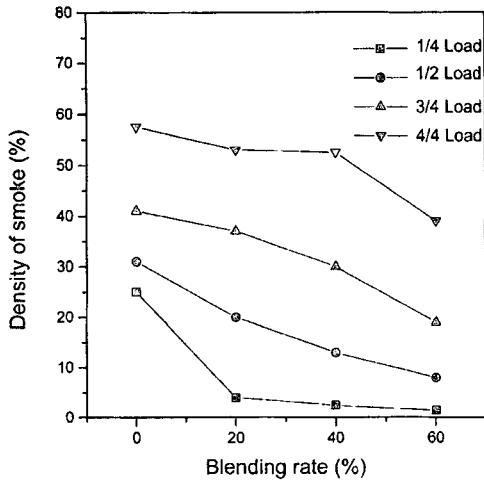


Fig. 5. Variation of soot emissions with blending rate of fish oils at different loads.

인에 의해서 매연을 증가시킨다고 보고하였다. 따라서 저부하에 비하여 고부하에서 매연 배출물이 상대적으로 많은 것은 공기과잉율의 감소에 따른 불완전연소와 저부하에 비해 착화지연이 짧기 때문에 착화 후에 공급되는 後續油粒에 의해 화염이 냉각되므로 炭素粒의 연소를 저해시키는 요인이라 생각된다.

동일부하에서 경유에 비해 어유혼합비율이 높아짐에 따라 매연배출물이 감소하는 것은 경유의 이론적 공기량이  $10.93(Nm^3/kgf)$ , 명태유는  $9.76(Nm^3/kgf)$ 인 것을 감안하면 동일 흡기량에 대하여 경유에 비해 어유의 혼합비율이 높을수록 공기과잉율이 큰 점과 또한 명태유에 함유된 10.56% 정도의 산소량이 연소에 기여하는 것으로 생각된다.

### 5. 카본 부착상태

Fig.6과 7은 경유와 40% 어유혼합유를 1/2부하에서 연속 20시간 운전한 후의 노즐선단부, 피스톤 頂部 및 실린더헤드 하부의 흡, 배기밸브 부근의 카본 부착상태를 각각 나타내고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 경유에 비하여 40% 혼합유쪽이 전체적으로 각 부분에 있어서 카본퇴적물 부착상태가 현저히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 경유와 40% 어유혼합유 모두 연소실벽

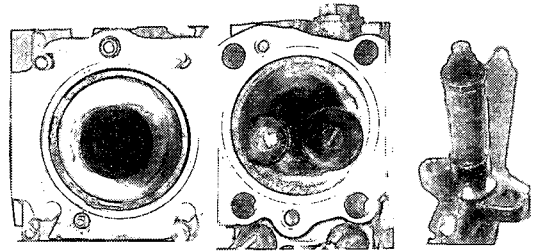


Fig. 6. Comparison of the carbon deposits in the combustion chamber. (Diesel oil)  
(a) Piston crown  
(b) Bottom of the cylinder head  
(c) nozzle tip

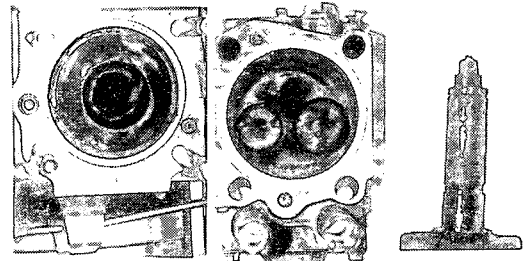


Fig. 7. Comparison of the carbon deposits in the combustion chamber. (40% blend oil)  
(a) Piston crown  
(b) Bottom of the cylinder head  
(c) nozzle tip

부근의 가장자리와 배기밸브 보다 흡기밸브 부근 등, 온도가 낮은 곳에서 카본 부착이 심하게 나타나고 있다. 경유에 비해 40% 어유혼합유쪽이 카본 부착이 심하게 나타나는 것은 앞에서 언급한 바와 같이 어유의 높은 점도 때문으로 생각되고, 이와 같은 문제에 대해서 뮌 등(1988)은 연료를 200℃ 정도 가열하여 점도를 낮추어 사용함으로써 카본 퇴적물을 상당히 감소시킬 수 있음을 확인한 바가 있다.

본 실험은 시료를 가열하지 않은 상태(기관입구 온도:40℃ 정도와 냉각수출구온도:45℃ 정도)에서 사용하였고, 또한 기관의 부하를 1/2부하(중부하)에서 실시하였으나, 연료의 가열과 기관의 부하를 적당히 증가시켜 연소실 周壁의 온도를 가능한 높이므로써 연료가 연소하기 쉬운 상태로 기관을 운전하는 것이 바람직하다고 생각된다.

## 結 論

경유와 어유혼합유를 직접분사식 디젤기관에 사용하여 부하변동에 따른 배기배출물을 조사하고, 1/2부하에서 경유와 40% 혼합유를 20시간 연속 운전한 후 실린더헤드를 개방하여 연소실내의 카본 부착상태를 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 질소산화물은 부하가 증가함에 따라 높아지나, 3/4부하에서는 4/4부하 때보다 전체적으로 약간 높게 나타났다

2) 일산화탄소의 농도는 4/4부하에서 최대의 값을 갖고 다음으로 1/4, 1/2, 3/4부하 순으로 나타났으며, 동일부하에서는 4/4부하를 제외하고는 경유에 비해 어유혼합유쪽이 약간 증가하였다.

3) 未燃탄화수소의 농도는 부하와 어유혼합비율이 증가할 수록 대체로 증가하나 40% 및 60% 혼합유는 3/4부하 때가 오히려 4/4부하 보다도 더 크게 나타났다.

4) 煤煙배출물은 부하가 낮을수록, 동일부하에서는 어유혼합비율이 증가함에 따라 낮게 나타났다.

5) 카본 퇴적물은 경유에 비해 어유혼합유쪽이 전체적으로 심하게 나타났다.

## 후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 1997년도 공모 과제 연구비에 의해 수행되었으며 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

## 參考文獻

1. 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轉, (1), (2), (3), 日本農業機械學會誌, 28(4), 40(1), 41(2), 483 - 487, 5 - 9, 201 ~ 206.
2. 村山 正, 오영택, 高木伸和, 宮本 登(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.
3. 오영택, 정규조, 村山 正(1988) : 디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구 (1), (2), (3), 한국 자동차공학회지, 10(5,6), 11(1), 61 ~ 68, 48 ~ 53, 31 ~ 43.
4. 배명환, 하정호(1998) : 미강유 연료에 의한 농용 디젤기관의 성능 및 배기배출물에 관한 연구, 한국박용기관학회지, 22(6), 816 ~ 825.
5. 이민호, 이준서, 유병구, 차경옥(1998) : 미강유를 사용한 디젤기관에서의 배기오염물질 저감에 관한 연구, 한국박용기관학회지, 22(6), 754 ~ 762.
6. 水沼 達夫(1987) : ディーゼル機関の魚油燃焼試験, 漁船, No. 271, 389 ~ 399.
7. 長谷川 勝男, 小田 健一, 山田 敏夫(1990) : 小型高速機関における魚油燃焼, 日本船用機関學會誌, 25(4), 277 ~ 285.
8. 原 盡造, 松本隆一(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, 日本船用機関學會誌, 19(3), 274 ~ 285.
9. 서정주(1995) : 어유의 연소특성과 기관성능에 관한 연구, 부산수산대학교, 공학박사학위논문, 9 ~ 108.
10. 大八木, 吉原計一, 森下普一, 金岡 浩(1990) : 小型ディーゼル機関の性能特性(1), 内燃機関, 29(330), 9 ~ 21.
11. 長尾不二夫(1986) : 内燃機関講義, 養賢堂, 229, 232, 292 ~ 296.