

碩士學位論文

油菜油 燃料를 利用한 디젤機關의 性能  
特性에 關한 實驗的 研究



濟州大學校 産業大學院

機械에너지工學科

吳 英 玉

2002年 6月

油菜油 燃料를 利用한 디젤機關의 性能  
特性에 關한 實驗的 研究

指導教授 權 麒 麟

吳 英 玉

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함  
2002年 6月

吳英玉의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員 印

委 員 印

委 員 印

濟州大學校 産業大學院

機械에너지工學科

2002年 6月

# An Experimental Study on the Diesel Engine Performance with Rape Seed Oil

Yeong-Og Oh

(Supervised by professor Ki-Rin Kwon)



A thesis submitted in partial fulfillment of the  
requirement for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical-Energy Engineering  
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRIAL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 6

# 목 차

목차 .....	i
Nomenclature .....	iii
List of Figures .....	iv
List of Tables .....	v
List of Photographs .....	v
SUMMARY .....	vi
I. 서론 .....	1
II. 실험연료 .....	3
2-1. 유채유 제조 .....	3
2-1-1. 유채유 .....	3
2-1-2. EM 유채유 .....	5
2-1-3. 백토 유채유 .....	5
2-2. 유채유 연료의 사용 조건 .....	7
2-3. 기관성능 .....	9
III. 실험장치 및 실험방법 .....	10
3-1. 실험장치 .....	10
3-2. 실험엔진 .....	11

3-3. 동력계 .....	12
3-4. 실험순서 .....	13
3-5. 실험방법 .....	15
IV. 실험결과 및 고찰 .....	16
4-1. 토오크 .....	17
4-2. 제동마력 .....	17
4-3. 연료소비율 .....	20
4-4. 배출가스 .....	22
4-5. 매연과 배기온도 .....	22
4-6. 연소상태 및 시동성 시험 .....	29
4-6-1. 경유를 사용한 디젤기관의 운전 특성 .....	29
4-6-2. 유채유를 사용한 디젤기관의 운전 특성 .....	29
4-6-3. EM 유채유를 사용한 디젤기관의 운전 특성 .....	30
4-6-4. 백토 유채유를 사용한 디젤기관의 운전 특성 .....	30
4-7. 제동 열효율 .....	34
V. 결론 .....	35
참고문헌 .....	36

## Nomenclature

$n$	:	RPM(Revolution per minute)
$p_e$	:	Brake horse power(ps)
$n_e$	:	Brake thermal efficiency (%)
$B$	:	Fuel consumption per hour( $\ell$ /h)
$r$	:	Specific gravity(kg/m <sup>3</sup> )
$H_\ell$	:	Lower heating value (kcal/kg)
$T$	:	Torque(kg · m)
LO	:	Light oil
RO	:	Rape seed oil
$b_e$	:	Brake specific fuel consumption(g/ps · h)
BSFC	:	Brake specific fuel consumption(g/ps · h)
EMRO	:	Effective micro-organism rape seed oil
CARO	:	Activated clay rape seed oil

## List of Figures

Fig 1. Schematic diagram of the engine performance test system .....	10
Fig 2. Flow chart testing dynamometer .....	14
Fig 3. Torque vs. engine speed for each fuels at full load .....	18
Fig 4. Brake horse power vs. engine speed for each fuels at full load .....	19
Fig 5. BSFC vs. engine speed for each fuels at full load .....	21
Fig 6. CO vs. engine speed for each fuels at full load .....	23
Fig 7. NO <sub>x</sub> vs. engine speed for each fuels at full load.....	24
Fig 8. HC vs. engine speed for each fuels at full load .....	25
Fig 9. SO <sub>2</sub> vs. engine speed for each fuels at full load .....	26
Fig 10. Smoke emissions vs. engine speed for each fuels at quick acceleration .....	27
Fig 11. Exhaust gas temperature vs. engine speed for each fuels at full load .....	28
Fig 12. Brake thermal efficiency vs. engine speed for each fuels at full load .....	34

## List of Tables

Table 1 The property of fuels .....	4
Table 1 The property of rape seed oil .....	4
Table 1 Composition of activated clay .....	6
Table 1 Variation of kinematic viscosity with temperature .....	8
Table 1 Specification of test engine .....	11
Table 1 Specification of eddy current dynamometer .....	13



Photo 1. Photo of activated clay rape seed oil manufacturing process .....	6
Photo 2. Diesel engine & dynamometer .....	12
Photo 3. Shape of cylinder head & piston head before test .....	31
Photo 4. Soot emissions after test by use of LO .....	32
Photo 5. Soot emissions after test by use of RO .....	32
Photo 6. Soot emissions after test by use of EMRO .....	33
Photo 7. Soot emissions after test by use of CARO .....	33



## SUMMARY

A four cycle diesel engine performance test was performed with four kinds of oils such as rape seed oil, effective micro-organism rape seed oil, activated clay rape seed oil and light oil. The experiment was conducted at full load condition with constant injection time of the engine and the test oil temperature was maintained at  $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

1. The torque and the horsepower with rape seed fuel is increased about 10% compare with light seed oil at full load condition of the engine. High viscosity of the rape makes oil films in the combustor which leads to higher compression ratio and explosion. The results of the high viscosity make higher torque of the engine. The brake specific fuel consumption of the rape seed fuel increased 8%~10% than that of the light oil. This effect could be the difference of heating value between the two kinds of oil.
2. The emission of the smoke gas was decreased 29%, 38% and 52% compare with light oil in rape seed oil, effective micro-organism rape seed oil and activated clay rape respectively due to the low volatility and high viscosity of the soot. The NO<sub>x</sub> emission with

rape seed oil is twice larger than that of the light oil at full load condition. The reason is that the fuel temperature increment effects on the combustor temperature and it makes thermal NO<sub>x</sub> of the engine.

3. The test engine could be started over 40°C of the rape seed oil. Engine inspection results shows that the soot adherence amount of the cylinder head piston head is higher in following order; activated clay rape seed oil > effective micro-organism rape seed oil > rape seed oil > light oil.



# I. 서론

디젤기관의 효율 및 성능에 반해 사용되어지는 화석연료는 그 유한성과 배출되는 유해가스가 오늘날 심각한 환경문제로 부각되고 있다. 앞으로 자동차에 사용되어지는 연료는 배출가스로 인한 환경오염문제와 환경오염을 줄일 수 있는 대체에너지 확보에 노력을 경주해야 할 것이다. 이에 발맞추어 에탄올, 메탄올, 알콜 연료,<sup>[1]</sup> 풍력, 태양력, 전기연료, 수소연료,<sup>[2]</sup> 식물유를 이용한 바이오 메스연료<sup>[3~12]</sup> 등 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다. 특히 식물유를 이용한 바이오 메스 연료는 환경 친화적이고 배출가스가 저감된다고 보고되고 있다. 고<sup>[11]</sup>는 대체연료로서 유채유를 사용한 소형농형 디젤기관의 성능 향상에 관한 실험적 연구를 통해 유채유가 디젤기관의 대체연료로서의 가능성을 제시하였고, 유<sup>[12]</sup>등은 미강유 적용 디젤기관의 타당성 검증 및 성능실험에 관한 연구에서 출력향상을 위해 연료를 가열해야한다는 결론을 얻었다.

오<sup>[3]</sup>는 디젤기관의 대체연료로서의 식물유란 논문에서 식물유 특유의 고점도에 의한 분무특성의 악화에 기인한 분무입자의 증대로 미연소분에 의한 카아본이 퇴적, 피스톤링이 스틱등의 문제점을 제시하였고, 해결책으로 경질유와의 혼합, 에스테르 변환, 연료의 가열 등을 제시하였다. 또, 디젤기관 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구<sup>[7]</sup>에서 폐식용유에 함유된 10% 정도의 산소가 연소를 촉진시켜 NO<sub>x</sub>는 경유보다 약간 많이 배출되나 매연은 30%정도로 감소되었다고 보고하고 있다.

본 연구의 목적은 100%유채유를 가열로 공급하여 실재로 디젤기관에서 운전이 가능한지 여부를 확인하기 위해서이다. 식물유인 유채유와 자체 개발한 EM혼합 유채유, 백토가열 유채유 및 경유를 사용하여 실제 운행되는 화물차량용 4기통으

로 행정체적이 2665cc 디젤기관에서 실험하였다. 연료의 점도를 떨어뜨리기 위한 방법은 에스테르화시키는 방법, 미시적 폭발방법, 연료를 가열하는 방법 등 여러 가지가 있지만 이번 실험에서는 연료를 가열하는 방식으로 인젝션 펌프 입구에 항온기를 설치하여 연료의 공급온도를  $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 하고, 점화시기를 상사점 후  $7^{\circ}$ 로 고정하여 전부하 상태에서 회전속도 1000rpm부터 500rpm씩 증가하여 3000rpm까지 변화에 따른 토오크 및 제동마력, 연료소비율, 배출가스에 미치는 영향에 대하여 실험하였다. 그리고 디젤기관의 시동성 및 연소상태, Soot 퇴적량 등은 행정체적이 79cc인 4사이클 단기통 디젤기관을 사용하여 각각의 연료마다 30시간씩 운전한 후 실린더 헤드를 개방하여 사진으로 찍어 비교 실험하였다.



## II. 실험 연료

### 2-1. 유채유 제조

제주도 농가에서 직접 생산한 한라유채를 잘 건조시켜 유채유를 압축 추출법으로 착유하였다. 착유된 유채유에 유용한 미생물 활성액 및 백토의 성분을 추가하여 숙성, 가열 및 정제하여 아래와 같은 종류의 유채유를 제조하였다.

- 1) 유채유 100%(rape seed oil)
- 2) EM 유채유(effective micro-organism rape seed oil)
- 3) 백토 유채유(activated clay rape seed oil)

이들 제조된 유채유의 물성치는 Table 1과 같다. Table 1에서 경유의 저위발열량은 10,500kcal/kg인데 비해 유채유의 발열량은 9,720kcal/kg으로 약간 유채유가 떨어지고 있다. 비중은 15℃에서 경유가 0.82이고 유채유는 0.92로 유채유가 조금 높게 나타내고 있다. 경유에는 산소함유량이 없지만 유채유에는 대략 10% 정도의 산소를 함유하고 있으며, 동점도는 경유에 비해 대략 11배정도 높게 나타나고 있음을 알 수 가 있다.

#### 2-1-1. 유채유

유채유 종류로는 아사히, 영산유채, 한라유채, 單交 13호, 單交 19호 등이 있으나 이번 실험에 사용된 한라유채의 특징은 유분함유량이 45%정도로 많고, 10a당 225kg 정도로 수확량도 많은 편이다. 착유율이 38%정도로 높고 착유된 유채유는 150mm의 종이필터를 사용하여 분쇄물을 제거하여 일반 플라스틱 용기에 저장, 보관하였다. 유채유의 각 종의 품질 특성을 보면 Table 2와 같다.

Table 1 The properties of fuels

Fuel Property	Light oil	Rape seed Oil	EM - rape seed Oil	CA- rape seed Oil
Lower calorific value(kcal/kg)	10,500	9,720	9,740	9,790
Specific gravity (at 15°C)	0.82	0.92	0.93	0.94
C % (wt)	87.50	78.20	79.19	79.28
H % (wt)	12.50	11.70	12.00	12.40
O % (wt)	0.00	10.09	8.80	8.30
Kinematic viscosity (cSt, at 15°C)	4.80	51.70	56.60	59.00

Table 2 The property of rape seed oil

Cultivars	Oil content (%)	High fatty acid(%)			Unsaturated fatty acid(%)		Glucosinolate		
		Oleic acid	Linoleic acid	Linolenic acid	Eicosenoic acid	Erucic acid	B.I*	P.I**	OZT***
A Sa Hi	41.9	12.7	12.5	9.3	9.1	53.1	5.22	0.69	3.78
Yeong San	43.9	66.0	17.1	9.2	1.5	0	0.03	0.01	0.34
Han Ra	44.5	64.8	18.9	9.7	0.7	0	0.45	0.30	0.75
Dan Kyo 13	43.5	54.2	28.9	8.9	1.4	0	0.63	0.29	0.59
Dan Kyo 19	44.8	61.0	21.6	10.7	1.5	0	0.36	0.47	0.06

\* 3-Butenyl-isothiocyanate.  
 \*\* 4-Pentenyl-isothiocyanate.  
 \*\*\* 5-Vinyl - 2- oxazolidinethione.

### 2-1-2. EM 유채유

EM 유채유는 유채유에 시판되고 있는 유용한 미생물 활성액을 100:1의 부피 비율로 혼합하여 30일간 15℃에서 숙성시켜 가열 후, 150mm 종이필터로 정제하여 EM 유채유를 만들었다. 유용한 미생물이란 자연계에 존재하는 수많은 미생물 중 인간이나 식물에 유익한 기능을 수행하는 다수의 미생물이 공존 공생하면서 상승효과를 발휘하도록 한 것으로 광합성 세균을 중심으로 유산균, 효모균, 방선균 등 주로 혐기성, 호기성의 각기 다른 10속 80종류 이상의 미생물이 특수한 기법에 의해 동액 중에 활성 상태로 공존하고 있는 미생물 집합배양체이다. EM에 의한 발효와 항산화 작용은 산화·열화된 폐기물을 새로운 원료로 재생시킬 수 있다.

### 2-1-3. 백토 유채유

활성백토는 우리나라 법적광물인 고령토에 준하고 있는 화학명 몬모릴로나이트계 점토광물의 일종으로서 벤토나이트, 점토, 토양, 유리질 화산암의 변질물 등에서 활성 가능한 원광을 엄선하여 이를 산 반응 등의 복잡한 과정을 통해 얻어지며, 단사정계로 결정형은 탁상형이고, 경도는 1~2정도, 비중은 2.5 정도의 백색 분말상태로 활성백토는 활성화 처리에 의해 그 구조내의 가용성 물질을 용출하여 미세한 세공이 있는 표면을 형성하고 있다. 활성백토의 표면적은 150~300m<sup>2</sup>/g세공의 평균 지름은 30~50Å정도이며, 백토는 3층 구조로 되어 있어 이온 교환수지가 유사한 양이온 교환성이 있다. 활성화 처리에 의해 양이온의 일부는 수소 이온으로 치환된다. 이의량은 100g당 10~30m·e정도이며 타의 흡착제에 없는 화학 활성을 나타낸다. 활성백토의 표면에서 물질의 흡착은 선택적이어서 석유중의 수분이나 황·질소·산소 등의 화합물, 아스팔트질 등의 불순물이나 불용성분을 우선적으로 흡착하는 성질을 갖고 있고, 각종 탄화수소에 대해서는 방향족>올레핀>포화의 순으로 흡착하므로 이들 흡착제는 석유의 정제나 방향

죽 탄화수소의 분리 등에 이용된다. 백토의 화학성분 분석은 Table 3과 같다.

백토 유채유의 제조과정은 Photo. 1과 같이 유채유에 활성백토를 무게비로 100:1로 넣어 잘 혼합하고, 가열장치를 이용해 100℃로 가열하여 24시간 식힌 다음 종이필터로 정제하여 백토 유채유를 만들었다.

Table 3 Composition of activated clay

	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$Na_2O+K_2O$	$Ig$
(%)	60 -70	10 -20	1 -4	0.5 -3	0.5 -4	0.6 - 4	4 -10



Photo. 1 Photo of activated clay rapeseed oil manufacturing process



## 2-2. 유체유 연료의 사용조건

디젤기관의 연소특성을 좌우하는 중요한 인자의 한가지로서 분무특성이 있다. 또 분사유체의 물성치, 예를 들면 동점도, 표면장력, 밀도 등이 분무특성에 영향을 미친다. 그렇기 때문에 디젤분무에 의한 미립화 현상을 액체분류의 분열과 미립화 과정으로서 얻어진 분무의 평균입경, 입도분포, 분열길이, 분무각, 분무선단 도달거리 등과 분사조건과의 관계에 관한 기초적 연구<sup>[13]</sup>가 많이 연구되어 왔다. 일반적으로 분사류는 동점도에 의해 영향을 많이 받으며, 일정한 분사압력에서 동점도가 높을수록 분무 평균입경은 크게된다. 예연소실 기관은 직접분사식에 비해 그 영향을 적게 받는 것으로 사료되나, 내연기관의 운전 상태가 원활하려면 최저의 점도가 5.7~13.3cSt 정도 되어 한다. 하지만 경유의 동점도가 15℃에서 4.8cSt인데 반해 식물유의 동점도는 50~60cSt 정도로 평균 11배 높게 나타나고 있고, 내연기관의 연료로 원활히 사용되어지기 위해서는 점도문제를 해결하여야 한다. 점도를 떨어뜨리는 방법으로는 에스테르화 방식 또는 경유나 에탄올과의 혼합방식, 연료의 가열방법, 미시적 폭발방식이 주목받고 있고, 더욱 더 점도를 낮추기 위한 방법은 앞으로 연구해 나가야 할 과제이다.

식물유의 점도로 인한 문제로는 연료휠터의 눈막힘으로 인한 연료공급 악화, 분사압력의 증가 또는 분사의 끝맺음 악화, 기화성이 저조하기 때문에 시동성 및 연소성에 문제, 분무입경의 증가로 인한 카아본의 퇴적 등이 우려된다고 보고<sup>[3]</sup>되고 있다.

Table 4는 유체유의 가열온도에 따른 동점도를 나타내고 있다. 경유의 동점도는 15℃에서 4.80cSt이고 90℃에서는 0.70cSt로 가열온도에 따라 동점도가 변하고 있음을 보여주고 있다. 반면 유체유는 15℃에서 51.70cSt이고 95℃에서 5.88cSt로 변화되며, 특히 40~50℃에서 급격히 동점도가 변화되는 것을 보여주고 있다.

Table 4 Variation of kinematic viscosity with temperature (unit : cSt)

Temperature(°C)	Rape seed oil	EM-rape seed oil	CA-rape seed oil	Light oil
15	51.70	56.60	59.00	4.80
25	49.00	52.40	54.20	4.40
35	39.20	43.00	46.40	3.30
45	24.50	30.60	34.80	2.80
55	19.60	24.20	29.50	2.30
65	14.70	18.70	22.30	1.40
75	9.80	12.40	17.20	1.10
85	6.86	9.70	11.40	0.80
95	5.88	7.80	8.80	0.70

### 2-3. 기관 성능

이 실험의 모든 경우에 대하여 부하는 전부하로 실험을 하였고, 각 측정치로부터 신뢰도를 높이기 위해 기관 시동 후, 기관 회전수 및 부하가 안정되고 엔진 냉각수 온도가  $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지될 때에 토크, 연료소비량, 시간 등을 Control box로부터 측정하였다. 기관성능 실험에 있어서의 제동 성능 비교를 위한 연료소비율, 제동마력 및 제동열효율 계산식은 (2.1),(2.2), (2.3)와 같다.

$$b_e = \frac{1000 \times B \times \gamma}{Pe} \text{ [g/ps} \cdot \text{h]} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$Pe = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{(60 \times 75)} = \frac{T \cdot n}{716.20} \text{ [ps]} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$n_e = \frac{632 \times pe}{B \cdot \gamma \cdot H\ell} = \frac{632}{Pe \cdot H\ell} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

### Ⅲ. 실험장치 및 실험방법

#### 3-1. 실험장치

실험용기관은 화물차량에 사용되는 4 사이클 4기통으로 행정체적이 2665cc인 디젤엔진이며 그 외 주요구성으로는 동력계, 동력계 컨트롤러, 연료가열장치, 연소 및 온도분석장치, 배출가스 측정기, 연료 소모량계 등으로 구성되어 있다. 그리고 연소상태 및 Soot퇴적량 확인은 농업용 4 사이클 단기통으로 행정체적이 79cc 디젤엔진에서 실험하였다. Fig. 1은 성능시험을 위한 장치의 개략도이다.

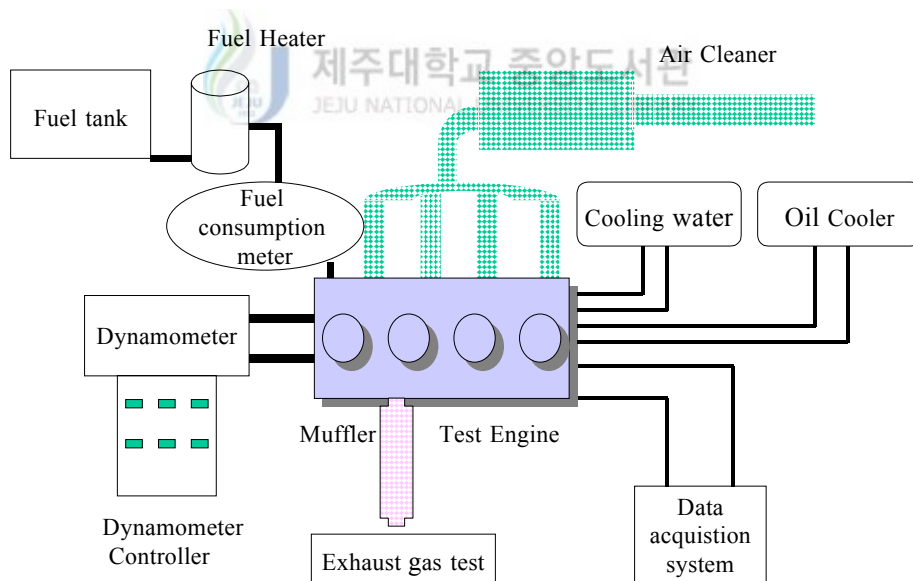


Fig. 1 Schematic diagram of the engine performance test system

### 3-2. 실험엔진

우선 토오크, 제동마력, 연료소비율 및 배출가스 측정실험은 화물차량용으로 사용되는 4사이클 4기통 디젤엔진으로 행정체적이 2665cc이며, Soot발생량 비교 실험은 농업용 4사이클 단기통으로 행정체적이 79cc인 디젤엔진으로 실험을 진행하였다. 주요 제원은 Table 5에 나타내었고, 엔진은 Photo. 2에 나타내었다.

Table 5 Specifications of test engine

Engine model		4 Cylinder diesel engine(J2)	1 Cylinder diesel engine(ND100)
Items			
Combustion type		Swirl chamber	Pre-combustion chamber
Engine displacement(cc)		2665	79
Bore×stroke(mm)		94.5×95.0	96×110
Compression ratio		21.5	20
Max. power(PS/rpm)		80/4000	14/2200
Max. torque(kg · m/rpm)		17.5/2000	10/2200
Specific fuel consumption(g/ps · h)		200	190
Injection timing		ATDC 7°	BTDC 17°
Firing order		1-3-4-2	1
Valve clearance(mm)	Inlet	0.30	0.35
	Exhaust	0.38	0.35
Nozzle injection pressure(kg/cm <sup>2</sup> )		135	135±10



Photo. 2 Diesel engine & dynamometer



### 3-3. 동력계

본 실험에서 사용된 와전류 동력계(EDM-100)는 기본적으로 동력계를 제어하는 동력계 컨트롤러와 동력을 흡수하는 동력계 본체로 구성되어 정 회전속도제어, 정 토크제어, 급 구배특성, 정 전류특성 제어기능이 있다. 흡수토크 검출은 스트레인 게이지형의 로드셀에 의해 검출된 전기적 신호를 컨트롤러 내부에 구성되어 있는 증폭기로 증폭하여 정확한 토크를 디지털미터로 표시가 되며 회전속도 검출은 전자식 펄스 제네레이터에 의해 발생하는 전기적 신호를 컨트롤러 내부에 구성되어 있는 전자회로에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜 디지털미터로 표시된다. 동력계의 여자전류를 제어하기 위해서는 싸이리스터를 사용하여 교류전원의 위상각을 제어하도록 되어 있다. 주요 사양은 Table 6에 나타내었다.

Table 6 Specification of eddy current dynamometer

Contents	Specification
Absorption capacity	180 ps
Absorption torque	35 Kg · m
Max. rpm	9000 rpm
Torque detector	Load cell type (sensibility : 2mV/V)
Cooling method	Water cooling system
Lubrication system	Grease
Dynamometer weight	300Kg



### 3-4. 실험순서

실험순서는 경유, 그 다음 유채유, EM유채유, 백토 유채유 순으로 각각의 연료를 바꾸어 운전을 하였고, 충분히 에어빼기 작업을 통해 연료가 혼합되는 일이 없도록 30분씩 충분한 시운전 시간을 가지고 실험을 하였다. 우선 실험용 4기통 엔진을 시동하고 동력계 전원을 작동시킨다. 오실로스코프를 이용하여 토오크 영점 조정을 하고 엔진을 워밍업 시킨다. 엔진 냉각수 온도가 80±5℃로 되었을 때 실험용기관의 엔진 회전수를 1000 rpm에서부터 3000rpm까지 500rpm 단위로 순서대로 고정시키며, 부하를 전부하 상태로 조정하고 10분간 운전 후 계측에 들어갔다. 동력계 및 사용엔진의 실험을 위한 실험순서는 Fig 2와 같다.

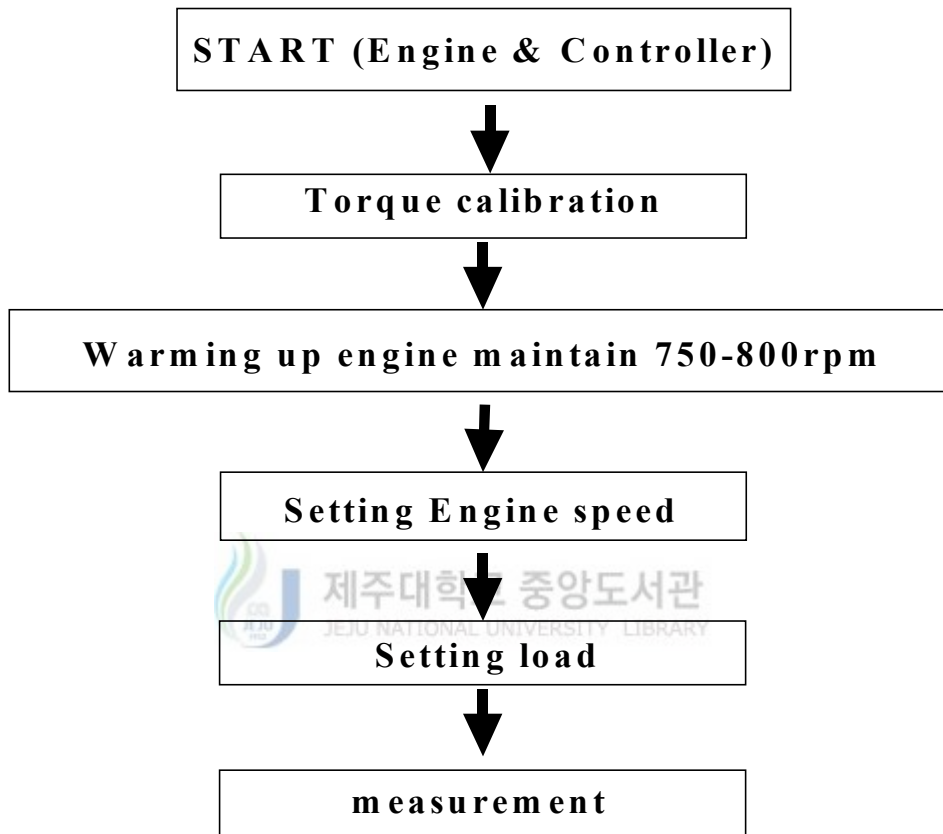


Fig. 2 Flow chart testing dynamometer



### 3-5. 실험방법

엔진의 성능 및 배출가스 측정과 실험방법은 4기통 디젤엔진으로 일반적인 연료공급장치에 연료가열 시스템(항온기)을 부착하여 연료유입 온도의 신뢰성을 높이기 위해 K형 열전대를 인젝션 펌프 입구와 출구에 각각 설치하여 온도를  $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 일정하게 공급하였고, 점화시기를 상사점 후  $7^\circ$ 로 고정하여 인젝션 펌프 컨트롤 레버를 완전히 개도하여 엔진의 회전수를 제어하는 방식인 속도고정법으로 회전수를 1000rpm에서 500rpm씩 증가하여 3000rpm까지 변화시키면서 전부하 상태로 실험을 행하였다. 사용엔진의 예비실험을 위하여 무부하에서 약 30분 정도 운전을 실시하여 엔진의 사용회전수, 윤활 및 냉각장치의 이상 유무, 진동 및 소음 등에서 전반적으로 이상의 없음을 우선적으로 확인하여 특정치를 측정하였다.

배출가스 농도는 연소가스 분석기(BACHARACH-300) 및 측정의 신뢰성을 확인하기 위하여 CRT-285를 부가적으로 이용하여 배기다기관 후방 1m지점에서 프로브를 삽입하여 측정하였고, 매연측정은 매연 테스트기(SHC-1000)를 이용하여 무부하 급가속 상태로 3회 이상 측정을 하여 최고값과 최저값을 버리고 평균하여 구하였다. 연료소비량 측정은 인젝션 펌프 입구와 출구에 연료 소비량계(FC-9500)를 설치하여 측정하였고, 마력을 계산하여 연료 소비율( $\text{g/ps} \cdot \text{h}$ )으로 계산해 내었다. 실험 중 대기온도는  $8^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C}$  상대습도는 60%로 거의 균일한 상태로, 경유로 먼저 실험을 하였고, 순차적으로 유채유, EM유채유, 백토유채유로 각 연료마다 에어빼기를 통해 연료가 혼합되는 일이 없도록 30분씩 무부하 상태로 기초운전을 하여 엔진의 회전속도 및 연료가 최적상태로 안정된 상태로 유지함을 확인한 후에 엔진 성능 및 배출가스를 측정하였다. 시험 처리별 측정값은 10분동안 동일 조건으로 전부하 상태로 운전하면서 측정하였다. 단기통 79cc 디젤엔진의 연료로 경유 및 유채유, EM유채유, 백토유채유를 사용해 30시간씩 3-4일간에 걸쳐 각각 운전하여 Soot 발생 및 기관 시동상태를 비교 실험하였다.

## IV. 실험결과 및 고찰

식물유의 단점으로는 점도로 인한 시동성의 문제 및 연소성과 저 휘발성으로 인한 연소실, 흡.배기 밸브 사이의 Soot 부착, 그로 인해 기관의 내구성을 현저하게 단축시킬 수 있다는 점 등이다. 특히 냉시동시, 무부하 공회전시 고부하 고회전시 이러한 문제를 더욱 악화시키고 있다고 생각된다. 하지만 식물유의 장점으로 출력 증가하고 배출가스가 줄어든다는 점과 앞으로의 대체 연료로서의 연료 가능성 등을 제시할 수가 있다.

본 실험에서 확인된 결과는 유채유 동점도가 급격히 변화하는 온도 40°C 이상 이상이 되면 시동이 가능했고, 토오크 및 출력이 10% 정도 증가되고, 매연 배출가스가 30%정도 저감되는 사실과 연료소비율이 10%정도 증가한다는 것을 확인할 수가 있었다. 특히 Soot 발생원인이 점도와 화학적 성분에 기인한다는 사실도 알 수가 있었다. 2001년 제주 농시보고<sup>[12]</sup>에 따르면 내연기관의 연료로 사용함에 있어서는 가격이나 생산, 저장, 공급, 이용 등 여러 가지 문제가 표출된다. 결국 대량생산 및 관광, 환경 친화적인 측면, 지역 에너지로서 유채유를 농기계 등 가끔씩 운전되는 디젤기관의 연료로 사용한다면 운전 가능하리라 사료된다.

#### 4-1. 토크

전부하 상태에서 Fig. 3과 같이 경유를 사용했을 때 토크는 기관의 회전수에 따라 2500rpm까지는 계속 증가하다가 이후 감소하는 모습으로 일반적인 경향을 보여주고 있다. 유채유 및 EM유채유, 백토 유채유는 1500rpm에서 최고치를 보이고 있으며, 이후 서서히 감소되는 모습을 보이고 있다. 경유와 비교했을 때 유채유가 최소7%에서 최고 13% 정도로 높은 토크를 나타내고 있음을 알 수 있다. 토크가 높은 원인은 유채유 자체의 점도로 인하여 연소실내에서의 유막을 형성하고, 이로 인해 압축압력 및 폭발압력이 커지고 결국 토크가 증대되는 것이라 추정된다. 본 실험에서 향후 측정예정인  $P-\theta$ 선도를 해석하기 위해서 연소실에 압전형 압력센서를 설치하고 최대압력 상승률을 측정하여 비교 검토해야 할 것으로 판단된다.



#### 4-2. 제동마력

제동마력은 발생토크 및 회전수에 따라 계산공식에 의해서 계산된 값이다. Fig. 3과 같이 저속보다는 고속으로 갈수록 제동마력이 증가되며, 경유보다는 유채유 및 EM유채유, 백토유채유가 높게 나타나고 있다. 유채유, EM유채유, 백토유채유의 제동마력이 비슷한 원인은 서로의 발생토크가 비슷하고 연료소비율이 비슷하기 때문이다. 전부하 상태에서 회전수가 증가할수록 제동마력이 증가되는 일반적인 경향을 보이고 있다. 하지만, 경유보다는 유채유가 10%정도 제동마력이 증가되는 경향은 유채유가 발생토크가 크게 나타남으로 해서 발생마력도 증가되고 있는 것으로 보인다.

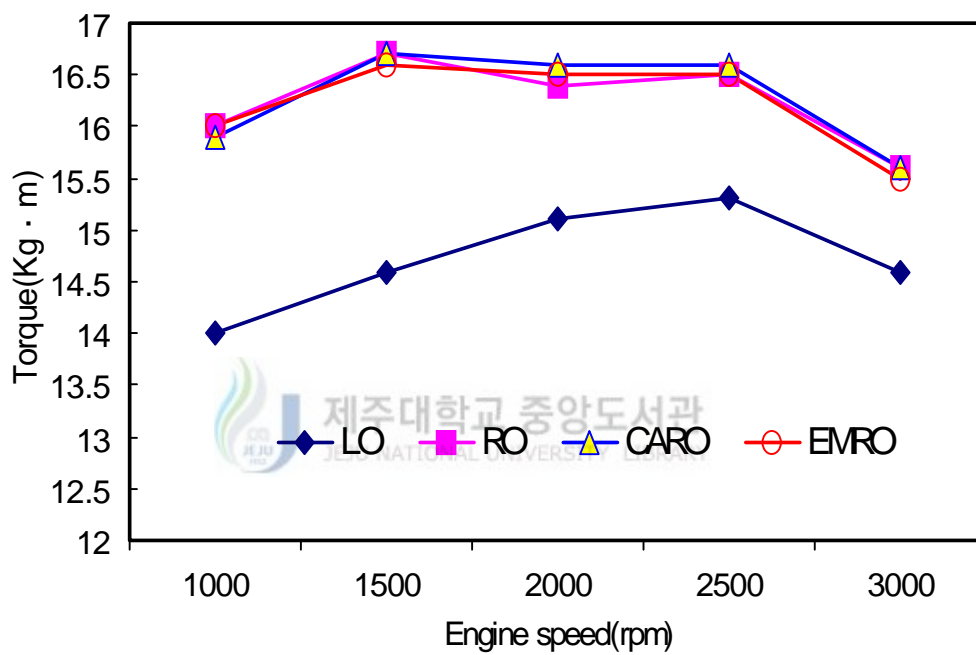


Fig. 3 Torque vs. engine speed for each fuels at full load

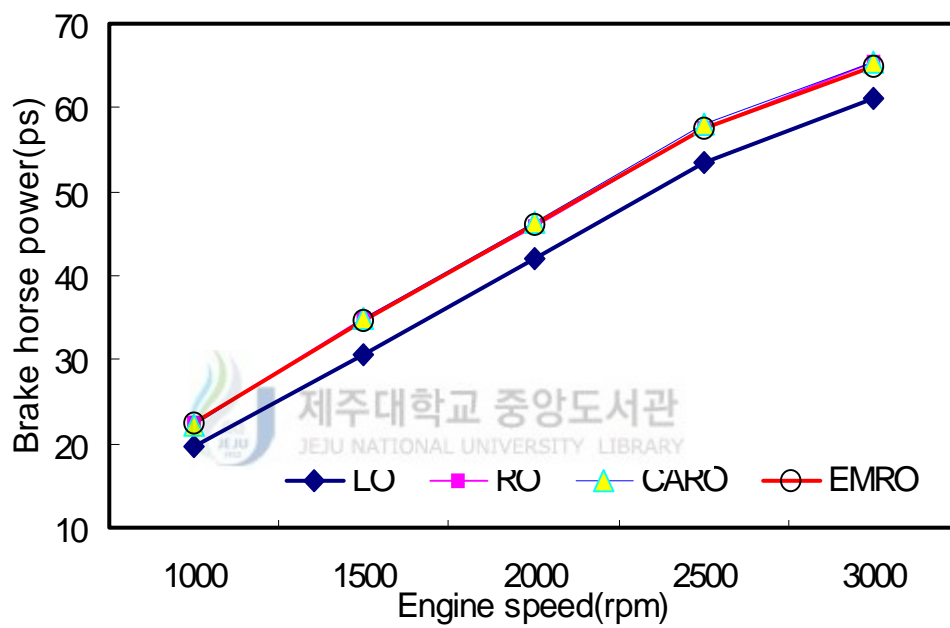


Fig. 4 Brake horse power vs. engine speed for each fuels at full load

### 4-3. 연료소비율

경유, 유채유, EM유채유, 백토유채유를 사용한 디젤기관의 실험에서 연료소비율( $\text{g/ps} \cdot \text{h}$ )의 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 경유의 연료소비율( $\text{g/ps} \cdot \text{h}$ )은 일반적인 경향을 따라가고 있음을 보여주고 있다. 2000rpm부근에서  $230\text{g/ps} \cdot \text{h}$ 으로 최소로 나타났고, 저속이나 고속으로 갈수록 연료소비율이 조금씩 증가되는 것을 볼 수가 있고, 특히 1000rpm에서는 최대  $250\text{g/ps} \cdot \text{h}$ 가 되었고, 3000rpm에서는  $243\text{g/ps} \cdot \text{h}$ 으로 나타났다. 유채유의 연료소비율( $\text{g/ps} \cdot \text{h}$ )은 저속에서는  $276\text{g/ps} \cdot \text{h}$ 이고, 3000rpm에서는  $257\text{g/ps} \cdot \text{h}$ , 2000rpm에서는  $243\text{g/ps} \cdot \text{h}$ 으로 유채유가 경유에 비해 1000rpm~3000rpm 사이에서, 대략 11%에서 8%정도로 평균 10% 많이 소비되었고, 고속으로 갈수록 별반 차이가 없음을 알 수가 있다. 이것은 경유의 발열량  $10,500 \text{ kcal/kg}$ , 유채유 발열량  $9,720\text{kcal/kg}$ , EM 유채유 발열량  $9,740\text{kcal/kg}$ , 백토 유채유 발열량이  $9,790\text{kcal/kg}$ 으로 각 연료의 발열량 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

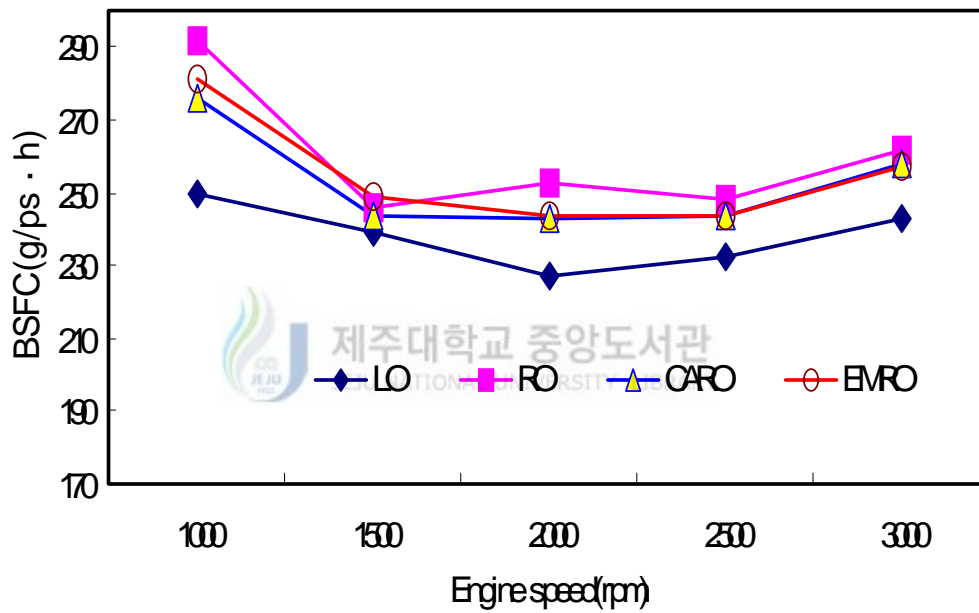


Fig. 5 BSFC vs. engine speed for each fuels at full load

#### 4-4. 배출가스

배출가스 중 CO, HC, NO<sub>x</sub> 등은 전부하 상태에서 증가하는 편이나 매연이나 이산화황 등은 현저히 줄어드는 경향을 보이고 있다. CO는 경유에서는 거의 일정한 발생량을 보이고 있지만, 유채유에서는 저속과 고속에서 많이 배출되고 있음을 알 수 있다. HC가스는 경유와 유채유와 큰 차이가 없었다. NO<sub>x</sub>는 고속으로 갈수록 꾸준히 증가되는 경향을 보이고 있으며, 경유에 비해 유채유가 전부하 상태에서 NO<sub>x</sub> 발생량이 2배 정도로 증가됨을 알 수가 있었고, 이는 가열온도의 영향을 받아 연소실내의 온도변화에 의한 것으로 생각된다. 특히 식물유 속에 황 성분은 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

#### 4-5. 매연과 배기온도



매연은 경유 > 유채유 > EM 유채유 > 백토 유채유 순으로 발생되었다. Fig 5에서처럼 경유를 기준하면 각각 29%, 38%, 52% 정도로 감소되는 경향을 보이고 있는 반면, Soot 발생율은 경유 < 유채유 < EM 유채유 < 백토 유채유로 이루어지고 있다. 이것은 저 휘발성 및 고점도 탄소성분으로 인해 발생하는 것으로 추측된다. 배기온도는 배기밸브에서 매니홀드쪽으로 40cm 떨어진 곳에서 K형 열전대를 설치하여 측정했으며, 유채유가 경유보다 약간 배기가스온도가 낮게 나타나고 있다. 하지만 NO<sub>x</sub> 발생은 유채유가 더 높게 발생되고 있다. 이는 가열온도의 영향을 받아 연소실내의 온도변화에 의한 것으로 생각된다.



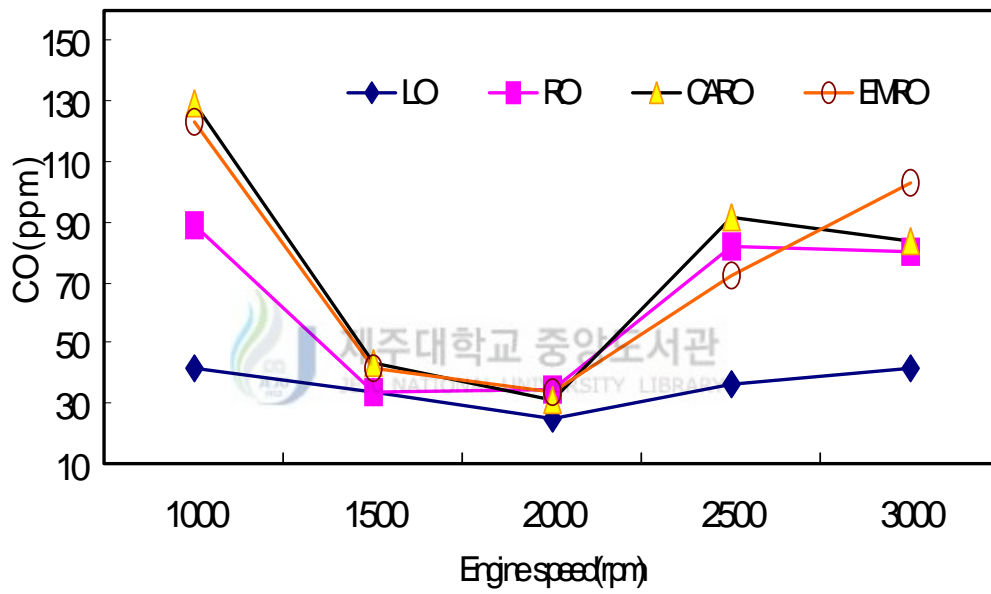


Fig. 6 CO vs. engine speed for each fuels at full load

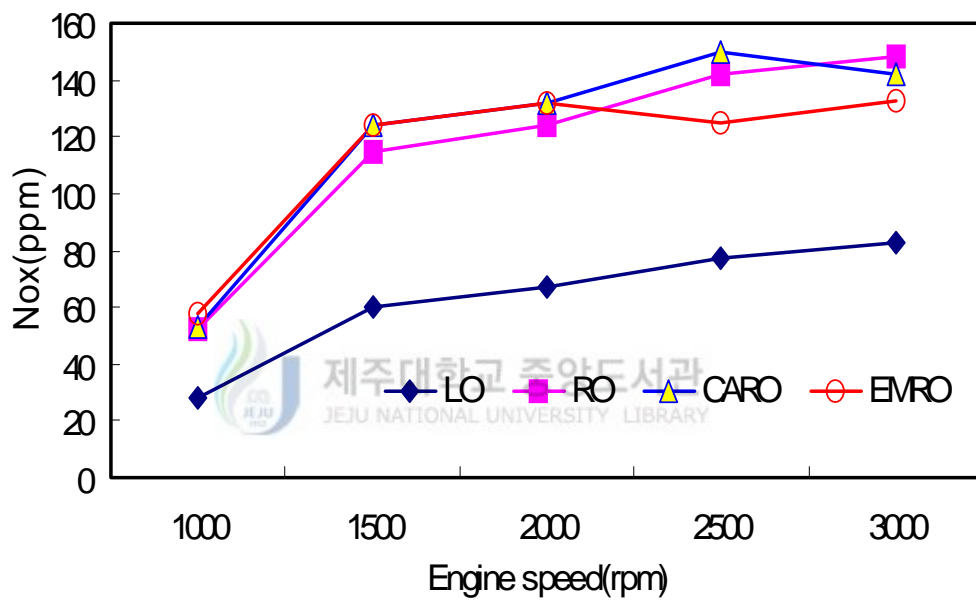


Fig. 7 NO<sub>x</sub> vs. engine speed for each fuels at full load

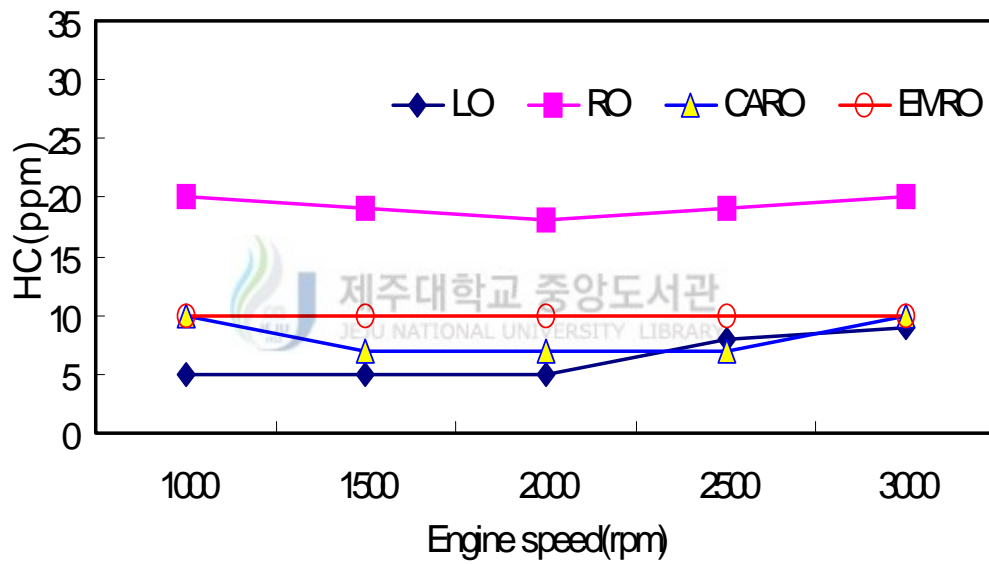


Fig. 8 HC vs. engine speed for each fuels at full load

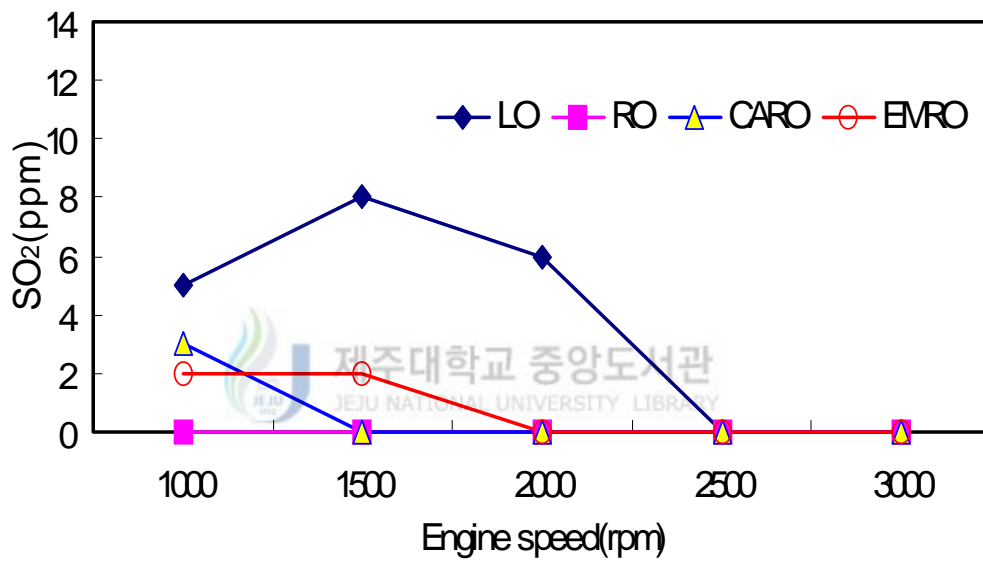


Fig. 9 SO<sub>2</sub> vs. engine speed for each fuels at full load

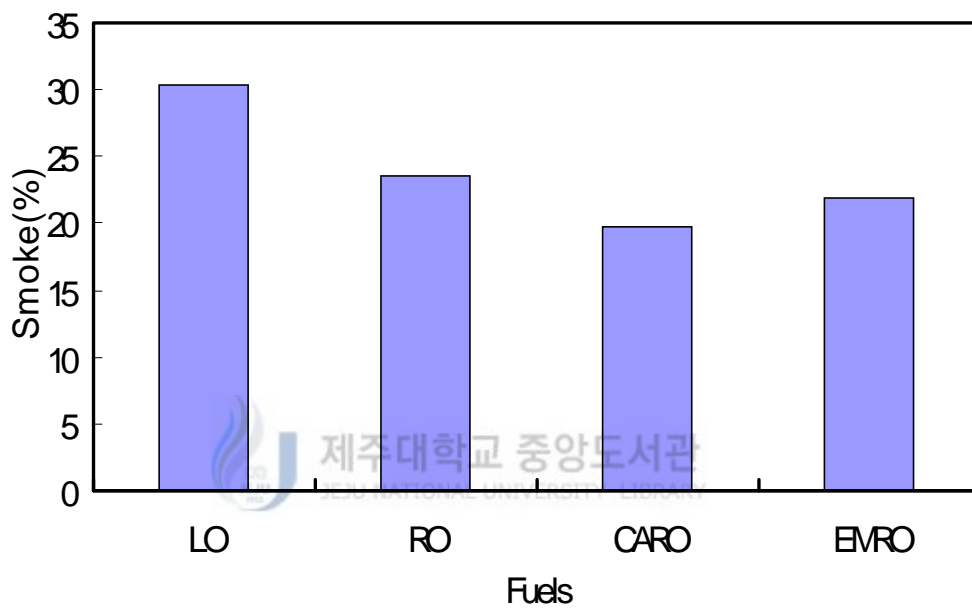


Fig. 10 Smoke emissions vs. engine speed for each fuels at quick acceleration

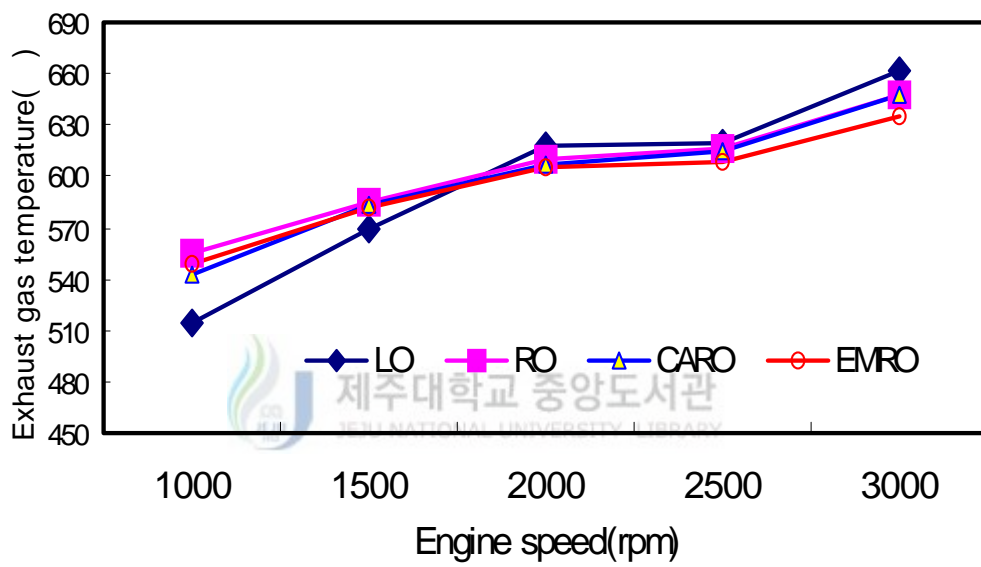


Fig. 11 Exhaust gas temperature vs. engine speed for each fuels at full load

## 4-6. 연소상태 및 시동성 시험

### 4-6-1 경유를 사용한 디젤기관의 운전특성

회전수는  $1000 \pm 50$  rpm, 대기온도 및 습도는  $10^{\circ}\text{C}$ , 60% 초기 시동시 인젝션펌프 입구의 연료온도는  $10^{\circ}\text{C}$ 이고 가열장치를 통과하여 인젝션 펌프 입구에서의 연료유입온도는  $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 로 균일하게 하여 30시간 운전한 후 실린더 헤드를 개방하여 보니 Soot 생성량이 Photo. 4와 같다. 운전하기전인 Photo. 3과 비교해보면 피스톤 헤드부분에 약간의 Soot가 발생되었을 뿐 실린더 헤드부분에는 Soot가 거의 없음을 볼 수가 있다. 운전상태도 정속하였으며, 배출가스도 인체에 자극을 주는 부분은 없었다.

### 4-6-2. 유채유를 사용한 디젤기관의 운전

유채유 100%를 가지고 4사이클 단기통 디젤 농기계로 대기온도  $10^{\circ}\text{C}$  상대습도 65%에서 30시간 4일간 운전하면서 연소상태 및 실린더 헤드를 개방하여 Soot 상태를 확인하였고, 그 결과는 Photo. 5에 나타내었다.

Soot가 흡입밸브 주변과 노즐 주변에 많이 누적되어 있었다. 특히 노즐 부근에는 딱딱하게 발생되어 있음이 확인되었다. 30시간 운전하면서 유채유 소비량은 대략 8ℓ 정도 소비되었고, 운전중 에어빼기 작업시 유채유의 점도로 인하여 에어빼기 작업이 순조롭지 못하였다. 유채유 100%를 연료로 하여 시동을 걸어본 결과 엔진의 온도가 상온 상태에서 유채유 온도가 상온일 때 초기 시동에 어려움이 많았다. 초기시동이 어려워 시동보조 액(quick starter)를 사용하다 보니 운전 초기에 노킹이 많이 발생되었다. 연료를 가열하여  $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  이상이 되면 점도 변화가 급격히 되어 유동성이 확보되며, 초기 시동이 가능함을 실험을 통해 보여 주었다. 결국 시동성은 연료의 점도와 휘발성, 세탄가 및 엔진온도 등에 영향을 받는 것으로 사료되며, 초기시동을 원활히 하려면 유채유의 점도를 떨어뜨려야

한다는 결론을 얻을 수 있었다. 단기통 엔진보다는 4기통 엔진이 시동이 수월하게 이루어졌고 대기온도가 차가울 때보다는 대기온도가 높을수록 시동이 확실하였다. 특히 운전초기 인젝션 펌프입구에서의 유채유 온도를 10℃로 운전하였을 때, 눈이 따가울 정도로 알데히드로 추정되는 배출가스가 많이 발생되었다. 알데히드 발생은 공연비가 희박한 영역 또는 화염 연소실이나 낮은 온도에서의 완전한 연소 등에 의해 발생하며, 이는 탄화수소의 불완전 산화에 기인하는 것으로 판단된다. 예열장치를 이용하여 유채유를 가열하여 인젝션 입구의 온도를 40~50℃가 되도록 한 결과 운전상태 및 배출가스 상태가 양호함을 보였다.

#### 4-6-3. EM유채유를 사용한 디젤기관의 운전

유채유와 EM을 혼합한 연료로 운전을 대기온도 평균 대기온도 10℃ 상대습도 80%에서 4일간에 30시간 운전한 결과, 연소상태는 대체로 양호함을 보였으나 파란색 연기가 꾸준히 발생되었고, 유채유 냄새가 많이 발생했다. 연소실 개방하여 연소상태 확인하여 보니 Soot 부착량이 유채유 보다 더 많다. Photo. 6처럼 Soot는 전반적으로 균일하게 분포되어 있었으며, 시동성은 유채유와 별다른 점이 없었다. 다만 인젝션 펌프 에어빼기 작업이 유채유보다 좀더 시간이 걸려 어려움이 있었다.

#### 4-6-4. 백토 유채유를 사용한 디젤기관의 운전

백토 유채유를 대기온도 평균 대기온도 7℃, 상대습도 60%에서 4일간에 30시간 운전한 결과 연소상태는 대체로 양호함을 보이고 있으나, Soot 부착량은 EM 유채유보다도 더 많이 연소실 전 구역에 균일하게 발생하는 것을 Photo. 7을 통해서 확인할 수가 있었다.



결과적으로 점도가 높을수록 Soot 발생이 증가되는 경향을 볼 수가 있다. 이는 고점도로 인한 분무입경이 증대로 Soot 발생이 많아지는 것으로 사료된다. 점도를 떨어뜨리기 위해 유체유를 고온으로 가열할 경우, 15℃에서 경유의 점도와 운전상태가 비슷해지려면 최소한 110℃ 이상 되어야하고, 최적 연소조건을 점도를 맞추려면 300℃라는 오<sup>[1]</sup>의 보고를 보더라도 기계 효율적으로 가열로 점도를 저하시키고, 운전하는 데는 약간의 무리가 있는 듯 하다. 결국 기계적으로 변형없이 운전되는 온도에서, 가열로 점도를 떨어뜨릴 수 있는 점도의 범위는 정해져 있고, 디젤기관에 유체유를 가열로 공급하여 장시간을 경유처럼 운전하기는 비효율적인 것으로 판단된다.



Cylinder head

Piston head

Photo. 3 Shape of cylinder head and piston head before test



Cylinder head

Piston head

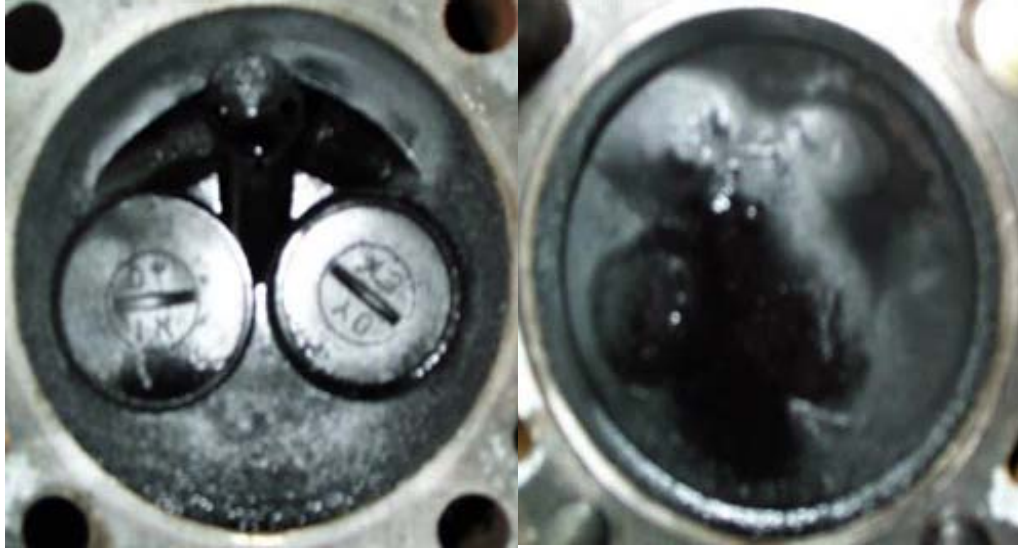
Photo. 4 Soot emissions after test by use of LO



Cylinder head

Piston head

Photo. 5 Soot emissions after test by use of RO

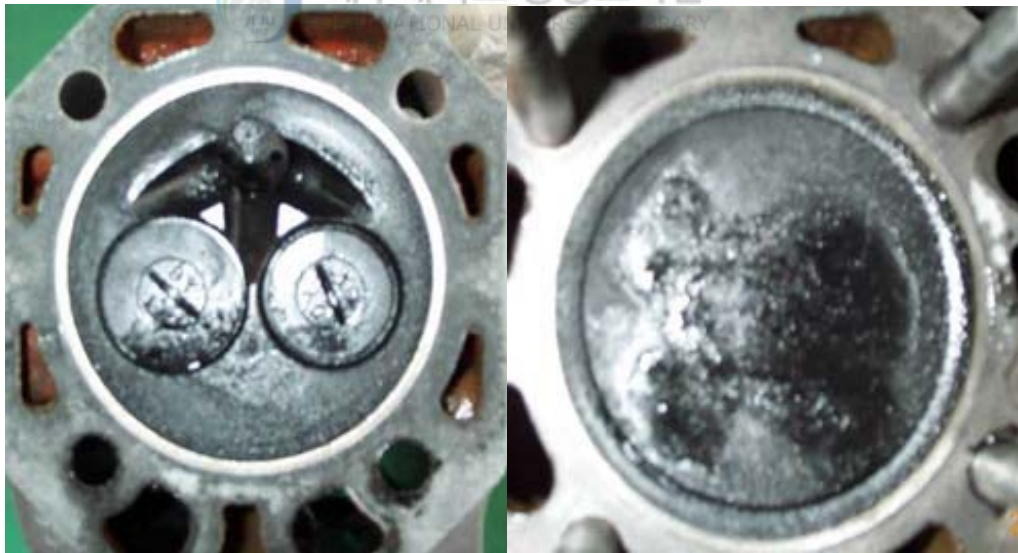


Cylinder head

Piston head

Photo. 6 Soot emissions after test by use of EMRO

제주대학교 중앙도서관



Cylinder head

Piston head

Photo. 7 Soot emissions after test by use of CARO

#### 4-7. 제동 열효율

Fig. 12는 엔진속도 1000rpm에서 3000rpm까지 500rpm단위로 전부하 상태에서 경유, 유채유, EM유채유 및 백토 유채유를 사용하였을 때 제동 열효율의 특성을 나타내고 있다. 저속에서 유채유가 제동 열효율이 경유에 비해 약 6%정도 떨어지고 있으며, 이것은 저속에서 출력에 비해 연료소비량이 많아진 것 때문이다. 결국 유채유로 운전했을 때 발생하는 문제는 고부하 고속에서의 문제보다는 저속운전에서의 문제가 많은 것으로 나타나고 있다.

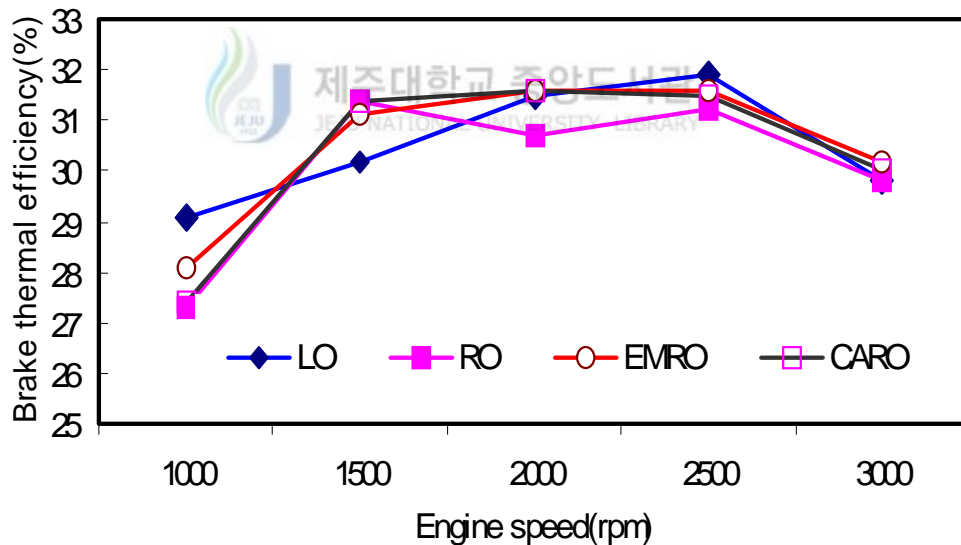


Fig. 12 Brake thermal efficiency vs. engine speed for each fuels at full load

## V. 결론

유채유를 100% 사용하여 실제로 디젤기관에서 운전이 가능한지 여부를 확인하기 위하여 식물유인 유채유와 자체 개발한 EM혼합 유채유, 백토가열 유채유와 경유 등 4가지 연료를 사용하여 행정체적이 2665cc인 차량용 4기통 디젤기관에서 성능실험을 수행하였다. 실험조건은 인젝션 펌프 입구에 항온기를 설치하여 연료의 공급 온도를  $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 하고, 점화시기를 상사점 후  $7^{\circ}$ 로 고정하여 전부하 상태에서 회전속도 1000rpm부터 3000rpm까지 500rpm씩 증가하여 4가지 종류의 연료가 토오크 및 제동마력, 연료소비율, 배출가스에 미치는 영향에 대하여 실험하였다. 디젤기관의 시동성, 연소상태 및 Soot 퇴적량 등은 행정체적이 79cc인 4사이클 단기통 디젤기관을 30시간 운전하여 각 연료에 대하여 운전 후 상태를 비교하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 전부하 운전시 경유에 비해 유채유를 사용했을 때 토오크 및 제동마력이 평균 10% 정도 증가한다. 반면에 연료소비율( $\text{g/ps}\cdot\text{h}$ )은 유채유가 경유보다 평균 8%에서 11% 정도로 증가됨을 알 수 있었다.
2. 경유에 비해 유채유, EM유채유 및 백토 유채유가 매연 배출가스 발생량이 각각 29%, 38% 및 52% 감소됨을 알 수 있었고,  $\text{NO}_x$  발생량은 유채유가 경유보다 2배 정도로 많이 발생하는 경향을 나타낸다.
3. 상온에서 유채유를 사용한 엔진이 기동할 수 있는 최저 연료공급 온도는  $40^{\circ}\text{C}$  이상이면 가능하였고, Soot부착량은 연료의 점도 및 연료의 화학적 성질에 의하여 경유 < 유채유 < EM 유채유 < 백토 유채유 순으로 발생되었다.

## 참고문헌

1. 김문헌, 홍종준, 이영우, “저공해 승용차 대체연료의 특성 및 연구현황“ 자동차 공학회 논문집, 제 10권 제 3권, PP. 32-42, 1992.
2. 조우흠, 이형승, 이석재, 김응서, “연소실내 분사식 수소연료기관의 특성에 관한 연구” 대한기계학회지 논문집, 제 19권 제 7호 pp.1702-1708. 1995.
3. 오영택, “디젤기관의 대체연료로서의 식물유”, 한국자동차 공학회 논문집, 제 18권 제 2호, pp.72-92, 1996.
4. 오영택, 정규조, T. Murayama, “디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구(I)(기본성능)”, 한국자동차 공학회 논문집, 제 10권 제 5호, pp.61-68. 1988.
5. M. Ziejewski, H. Goettler, G. L. Pratt, "Comparative Analysis of the Long-Term performance of a Diesel Engine on Vegetable Oil Based Alternate Fuels," SAE 860301, 1986.
6. X. Montagne, "Introduction of Rapeseed Methyl Ester in Diesel Fuel-The French National Program, " SAE 962065, 1996.
7. 권기린, 부영진, “초음파 에너지가 부가된 혼합연료를 이용한 기관의 성능에 관한 연구”, 한국동력기계학회 2002춘계학술대회 논문집, pp.33 - 37, 2002.
8. 권기린, 홍성수, “냉각수온도 변화에 따른 가솔린 기관 특성에 관한 실험적 연구”, 제주대학교 산업기술연구소 논문집, 제11권 1호, pp.1-6, 2000.
9. 유경현, 오영택, “디젤기관에서 연료중의 산소성분이 배기가스 배출특성에 미치는 영향” 한국자동차공학회 논문집, 제 8권 제 4호, pp.59-67, 2000.
10. 康希亮, “混合燃料를 사용한 디젤機關의 性能에 關한 研究” 濟州大學校 大學院 碩士學位論文, 1993.
11. 高長權, “代替燃料로서 油菜油를 使用한 小型 農用 디젤機關의 性能向上에 關

- 한 實驗的 研究” 慶常大學校 大學院 博士學位論文, 1987.
12. 유병구, 차경옥, 나우정, 정진도, “미강유 적용 소형 디젤기관의 타당성 검증 및 성능실험에 관한 연구” 한국액체 미립화학회지 제2권 제 3호 pp.44-50. 1997.
  13. 허종철, 고경남, “분위기 압력이 디젤분무 특성에 미치는 영향” 제주대학교 산업기술 연구소 논문집, 제 7권 1호, pp35-44, 1996.
  14. 제주도, 濟州農試報告 pp.39-44. 2001
  15. 이경환, “디젤엔진의 배기가스 저감기술 동향,” 자동차공학회지, 제19권 제5호, 1997.
  16. 김홍석, “저온 플라즈마 장치를 이용한 디젤기관의 유해배출물질 저감에 관한 실험적 연구”, 國民大學校 大學院 工學博士學位 論文, 1999.



## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 격려를 하여주신 권기린 지도 교수님께 감사 드리며, 심사를 통해 좋은 논문이 완성될 수 있도록 조언을 해주신 허종철 교수님과 최경현 교수님, 박윤철 교수님께 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 논문이 완성되기까지 몸과 마음으로 이끌어 주신 김귀식 교수님, 조경호 교수님, 현명택 교수님, 임종환 교수님, 정동원 교수님, 강철웅 교수님께 감사 드립니다.

실험장치 제작에 여름방학을 땀방울과 유채유속에서 함께 보낸 제주산업정보대학에 김홍석 교수님, 장호 교수님, 박윤범 교수님 고맙습니다. 추위 속에서 오그라진 몸을 녹이며 실험에 동참했던 양은필, 양경진, 김종구와 후배들에게도 고마움을 전합니다.

바쁜 대학원 생활동안 여러모로 힘이 되어준 제주공업고등학교에 강찬근 교장선생님, 오영호 교감선생님과 직장동료 선생님께 감사 드립니다.

또한 어려운 상황에서도 서로간에 힘이 되어주던 강남훈, 정승현 그리고 대학원생 여러분들께도 고마움을 전하며, 하는 일 모두 잘되기를 기원합니다. 학문은 배움의 길이요, 고행이 길이요, 기쁨의 길이다. 이 길로 인도해 주신 우리 부모님과 형제가족들에게 뜨거운 사랑의 마음을 드립니다.

보이지 않는 곳에서 무언의 눈길을 보내며, 열심히 살아 갈 것을 당부하는, 그래서 아무 어려움 없이 서로를 도와주는 나를 아는 모든 분들께 감사 드리며, 이제 작은 가슴에 고마운 분들의 주는 기쁨만큼 더욱 더 열심히 후배를 지도하며, 참신한 사랑을 베풀어 나가겠습니다.

2002년 6월

오 영 옥 올림