

## 미강유적용 소형 디젤기관의 타당성 검증 및 성능실험에 관한 연구

A Study on the Feasibility Test & the Performance Experiment of Small Type Diesel Engine using the an Rice-bran oil

유 병 구\*, 차 경 옥\*\*, 나 우 정\*\*\*, 정 진 도\*\*\*\*

B. G Yu, K. O. Cha, W. J. La, J. D. Chung

### ABSTRACT

Bio-diesel oil is a great possibility to solve the pollution problem caused by the exhaust gas from diesel engine vehicles. Recently the use of bio-oils in diesel engines has received considerable attention to the foreseeable depletion of world oil supplies. So, Bio-diesel oil has been attracted with attentions as an alternative and clean energy source. The objective of this paper is to experimentally investigate the characteristic of performance using light oil, rice-bran oil, heated rice-bran oil, rice-bran oil treated with ultrasonic energy. We included rice-bran oil and applied ultrasonic energy to highly viscous bio-oils. These methods seems to have never been tried yet. The final data may be able to be applied for the design of the diesel engine using an alternative fuel.

주요기술용어: Rice-bran oil(미강유), Brake specific fuel consumption(연료소비율), Ultrasonic energy(초음에너지), Torque(토크), Power(출력)

### 1. 서론

현재 전세계가 서둘러야 할 중요한 문제는 화석에너지 고갈에 대비한 대체에너지 자원 확보와 이의 사용에 따른 환경오염 문제에 기인한

\* 정희원:명지대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정희원:명지대학교 기계공학과

\*\*\* 경상대학교 농기계공학과

\*\*\*\* 정희원:호서대학교 환경공학과

청정에너지원 개발이 시급한 해결과제로 떠오르고 있다. 한편 디젤기관이 1893년 R. Diesel 의해 개발된 이래 자동차, 선박, 건설기계, 농기계, 발전용 원동기등이 우리 생활 깊숙히 근접하여 눈부신 발전이 이루어지고있다. 내연기관의 연료인 석유계 연료는 국내의 경우 전량을 수입에 의존하고 있으며, 1970년대 두차례의 오일위기로 인해 세계 각국은 에너지절약과 탈 석유 방향으로 전환해 가고 있으며, 또한 세계는 석유의 의존도를 경감할 수 있는 대체에너지 개발에 적극적으로 노력하고 있다. 그러나 배기ガ스 기

준치의 강화로 연소성능 및 배기가스저감이 중요한 사회 문제로 대두되어, 1992년 Rio 환경선언 같은 것이 제창된 것을 고려할 때, 대체에너지원의 개발이 매우 중요한 실정이다. 이와같은 상황 아래서 대체연료의 하나인 식물유의 경우 그 발열량이 경유 발열량의 약 85% 정도에 해당하며 생산 및 이용이 편리 하다는 점을 가지고 있다.<sup>(1)</sup> 특히 식물유의 일반적인 단점으로 고점성과 저휘발성으로 인한 기관내부의 카본퇴적 현상 및 왕복동 부분의 윤활 불량등이 단점으로 되기 때문에 미립화율의 개선<sup>(2)</sup> 또는 기계적인 방법에 의해 해결책이 모색되고 있다. 天葉近<sup>(3)</sup>은 초음파에 의한 미립화 연구를 하였으며, 류 등<sup>(4)</sup>은 초음파를 이용한 경우 연료 무화율이 동일한 공연비에서 5%-10% 증가함을 보였다. 죄 등<sup>(5)</sup>은 디젤 자동차 성능 향상을 위한 초음파 분무장치의 사용에서 전 압력에 걸쳐 분무액적의 SMD(Sauter Mean Diameter) 가 감소함을 보였다. 주 등<sup>(6)</sup>은 고점성 바이오 디젤유의 액침법에 대한 미립화 연구로 기초연구를 제공한바 있다. 유 등<sup>(2)</sup>은 미강유의 PDPA(Phase doppler particle analyzer)에 의한 핀틀형 노즐의 미립화 특성 실험을 통하여 미강유의 디젤유 대체연료로서의 타당성에 대한 기초실험을 수행하였다. 본 연구에서는 기초 연구와 기존 연구 결과를 바탕으로 <sup>(2,3,4,5)</sup> 8kW 단기통 수냉식 4행정농업용 소형 디젤엔진에 경유, 가온미강유, 미강유, 초음파적용 미강유의 연료를 사용하여 기관 성능시험을 수행하므로서 디젤기관용 대체연료로서의 적용 가능성을 파악하고 향후 기관에 적용할 경우 예비운전 기초자료로 제공하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2-1. 실험장치

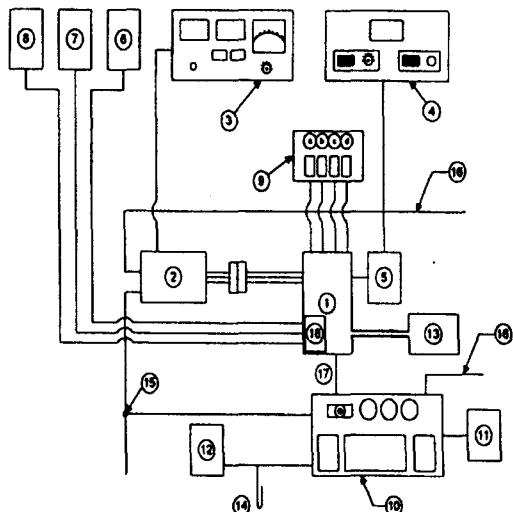
본 실험에 사용된 실험기관은 국내 농업기계 생산업체 D회사에서 생산된 단기통 수냉식 4행정 디젤기관으로서 제원을 Table 1에 나타내었다. Fig. 1에는 실험장치 전체의 구성도를 나타내었다. 실험장치는 실험기관 및 기관 속도 조절

Table 1 Specifications of the engine tested

Item	Specification
Type	Horizontal, water-cooled, 4-stroke cycle diesel engine with a single cylinder
Type of injection	Direct injection
Compression ratio	19:1
Total stroke volume (ℓ)	0.631
Cylinder bore × stroke (mm)	92 × 95
Maximum output (kW/rpm)	8.1/2200
Continuous cruising power (kW/rpm)	5.9/2200
Specific fuel consumption (g/kW · h)	252(0.29 ℓ)
Using fuel	KS NO.2 Diesel fuel
Fuel injection pump	special Bosch type
Injection pump	0.3 #, 4 holes
Starting system	manually driven handle
Lubricating system	forced circulation
Cooling system	pressurized radiator

장치, 동력계 및 조절장치, 흡입공기 서지탱크, 연료공급 및 유온 조절장치, 배기계통 및 배기가스 분석 장치 등으로 구성되어 있으며, 기관 각부의 온도 조절을 포함하여 총 5개소에 온도 측정 센서를 부착 하였다. 또한 미강유에 초음파 에너지를 가하기 위한 초음파 발진자와 진동자 혼을 사용하였다. 기관성능을 시험하는데 사용한 엔진 동력 측정장치로는 35kW급 와류식 전기동력계를 사용 하였으며, 공시엔진과 동력계를 스플라인축으로 직결하고 축의 파손에 대비하여 연결축을 안전카바로 보호하였다. 거버너의 개도를 정확하게 조절하는데는 DC 서보형의 스로틀 액추에이터와 컨트롤러를 이용하였다. 이 스로틀 액추에이터에 의해 거버너의 전 개도량에 맞추어 영점 조정 및 스펜 조정을 함으로써 개도량 1/1000 단위로 정밀하게 조절할 수 있었다. Fig. 1에서 나타낸바와 같이 냉각수, 윤활유, 배기ガ스 및 연료 등의 온도를 측정하기 위해 온도센

서들을 설치하였다. 냉각수용 센서는 물 재킷의 중심부에, 윤활유용 센서는 오일팬 공간의 중심부에, 배기 가스용 센서는 배기관 연결부 끝으로부터 50mm되는 위치에, 그리고 연료용 센서는 연료 여과기에 설치하되 특히 기밀에 유의 하였으며 또 하나는 연료 가온기에 설치하였다. 각 온도센서들은 각각 디지털계기에 연결되어 있어서 거기에 나타난 온도값을 읽을 수 있도록 하였다. Fig. 2에는 연료 가온기는 용량 20l, 온도의 범위가 35 ~ 80 °C이고, 가온부, 냉각부, 제어부로 구성되어 있으며, 기본 원리는 수조속의 가열된 물 속에 감겨 있는 구리 파이프속을 연료가 통과하면서 가온이 될 수 있는 구조로 되어있으며, 엔진에 연료가 공급되지 않을 때는 연료가 가온기 내부에서만 자체 순환 하도록 되어 있다. 또한, 머플러에 연결된 배기 파이프의 출구부분에 배기ガ스의 원활한 배출을 위하여 송풍기를 설치하였다.



① Engine ② Engine dynamometer ③ Dynamometer controller ④ Throttle controller ⑤ Throttle actuator ⑥ Exhaust gas analyzer(I) ⑦ Exhaust gas analyzer(II) ⑧ Smokemeter ⑨ Temperature sensors ⑩ Fuel tank ⑪ Surge tank ⑫ Burette ⑬ Water inlet ⑭ Water outlet ⑮ Fuel in ⑯ Muffler

Fig. 1 Schematic diagram of the engine performance test system

한편 본실험에 사용한 연료와 연료의 화학적 물리적 성질을 Table2와 Table3에 나타내었다.

Table 2 Specifications of the fuels tested

Fuel	Composition(Wt. base)	Abbreviation used
Light Oil	Light oil(100%)	Light
Rice Bran Oil	Rice Bran Oil(100%)	RB
RB Oil treated with ultrasonic wave (28.5 kHz)	Ultra Rice Bran Oil(100%)	URB
Heated Rice Bran Oil (41 ~ 61°C)	Rice Bran Oil(100%)	HRB

Table 3 Chemical and physical properties of the fuels

Item	Light Oil	Rice bran Oil
Carbon(%)	86.7	77.5
Hydrogen(%)	13.0	11.8
Carbon residue(%)	0.002	0.401
Sulfur(%)	0.17	0.01
Ash(%)	<0.01	<0.01
Specific Gravity (15/4°C)	0.844	0.920
Kinematic Viscosity (37.8°C,cSt)	3.455	41.43
Higher Calorific Value (cal/g)	10870	9430
Lower Calorific Value (cal/g)	10135	8793
Flash Point(°C)	52	241
Pour Point(°C)	-7.5°C	-5.0
Total acid NO. (mg KOH/g)	0.08	0.08

### 3. 결과 및 고찰

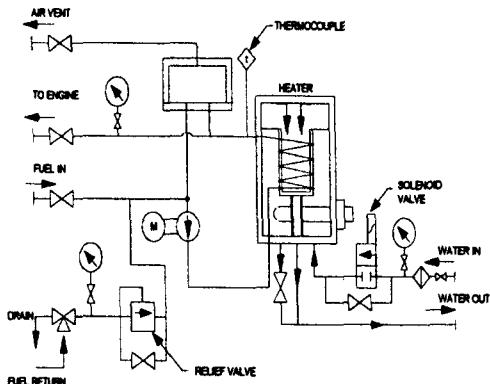


Fig. 2 Schematic diagram of the fuel heater

#### 2-2. 실험 방법

실험 기관의 예비 실험을 위하여 2/4~3/4정도의 부하상태에서 약 50시간 운전을 실시하여, 기관의 상용회전수, 진동 및 소음 등에서 전반적으로 이상이 없음을 우선적으로 확인하였다. 먼저, 실험기관을 순수디젤유로 시동하여 무부하 공회전 상태에서 30분간 준비운전한 후, 기관이 정상적인 안정상태로 들어간 후에 본 실험을 실시하였다. 본실험에서는 부하 고정법에 의하여 1/4부하에서 4/4부하 까지의 각 조건을 설정하고, 각 특성치를 측정하였다. 연료소비율은 용적식 측정방법으로, 뷰렛의 30 cc의 연료를 소비하는데 걸리는 시간을 2개의 초시계로 동시에 측정하여 단위 출력-시간당의 연료소비율(g/kW-hr)로 나타내었다. 기관 주요부의 온도는 온도센서에 연결된 디지털계기에 나타나는 값을 직접 읽었다. 시험중 실내 대기온도는 22°C ~ 34°C 상대습도는 48 ~ 63%, 연료 온도는 가온 미강유의 경우 41°C ~ 61°C, 기관의 연료 분사시기는 BTDC 22°였다. 이 시험 중에는, 기관의 회전속도가 안정된 최적상태로 유지함을 확인한 후 토크, 엔진 회전수, 엔진 각부의 온도, 연료소비율, 배기 배출물농도 등을 측정하였다. 시험 처리별 측정값은 약 10분 동안 동일조건으로 운전하면서 구하였다.

#### 3-1. 성능곡선

Fig. 3은 Table 3에 나타낸 바와 같이 D사의 상용출력 8kW의 농업용 디젤엔진을 실험엔진으로 하여 정격출력 35kW인 와전류 동력계를 사용하여 1200rpm의 5.3 kW에서 최대출력인 2200 rpm의 9.9kW의 범위에 걸쳐 WOT의 상태에서 연료인 경유를 사용하여 시험한 엔진의 성능곡선이다.

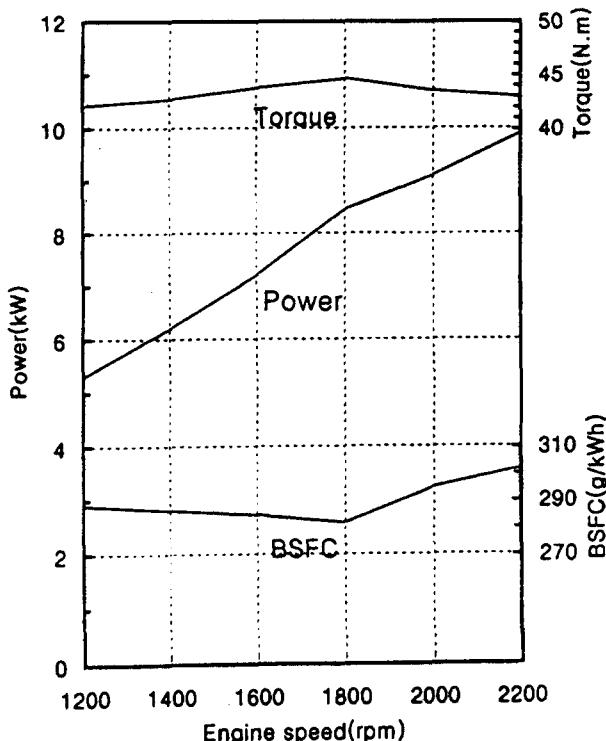


Fig. 3 Full load characteristics curve of the tested engine.

이 결과는 기존 엔진 성능실험과 동일한 경향을 보이고 있으며 출력 감소율은 약 3%정도 낮게 나타나고 있다. 이 결과를 바탕으로 미강유를 기관 연료로 사용시 사전 문제점 도출 및 타당성 검증을 수행함으로서 향후 디젤엔진에 사용할 수 있는지를 판단할 수 있는 자료를 확보할 수 있었다.

## 3-2. 토크

Fig. 4는 4/4부하의 실험조건일 때 경유, 미강유, 가온 미강유, 초음파적용 미강유를 사용하여 토크 실험결과를 나타냈으며 모든 실험 연료가 1800 rpm 부근에서 최대 토크를 나타내었다. 이 결과는 경유를 사용한 실험 결과만을 비교하면 D사의 실험 결과와 일치함을 보이고 있다

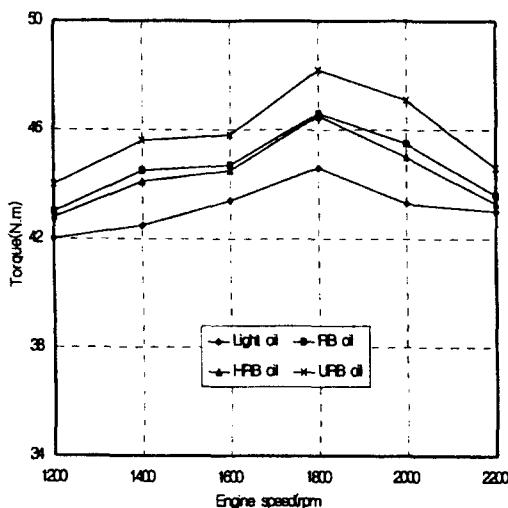


Fig. 4 Torque vs. engine speed for 4 fuels.

초음파를 적용한 미강유의 경우가 모든 회전속도에 걸쳐 제일 높은 토크를 내었는 바 이 결과치는 기존경유를 사용하여 실험한 엔진 토크에 비해 3.7 ~ 8.1% 정도의 토크 향상값을 보였다. 이는 초음파에 의한 연료의 미립화 향상 및 연료의 가온효과로 인하여 미강유 연료의 연소 성능향상에 의한 결과로 사료된다. 상온미강유와 가온 미강유의 경우는 전 회전수에 걸쳐 거의 같은 토크 값을 나타내었으며 경유를 사용한 경우에 비해 1.4 ~ 4.3% 정도의 높은 토크 향상치를 보였다. 상온미강유의 경우에 비해 가온미강유의 경우의 출력 개선효과가 나타나지 않은 것은 본 실험에서 연료 필터에서 측정된

가온 미유강유의 온도가 41°C ~ 61°C의 범위에 있었으므로 이 온도 범위에서는 점도 저하의 효과가 별로 나타나지 않았기 때문일 것으로 사료된다. 또한 연료 필터에서 연료펌프를 거쳐 고압파이프를 지나 분사노즐에 연료가 도달하기까지 연료의 온도가 하강 하므로 실제 분사노즐에서 분사되는 연료의 온도를 측정한다는 것은 불가능한 사실이다. 또한 가온미강유의 출력개선효과가 나타나려면 본 실험에서의 온도범위보다 더 높은 범위까지 미강유를 가온시켜야 될 것으로 사료된다. 가온 방법은 엔진의 외부에서 물에 의한 가온법의 경우 방열 손실이 많아 60°C 이상으로 가온 시키기가 어려우므로 전열선 등을 이용한 방법 등이 효율적인 것으로 판단된다. 경유에 비해 미강유의 토크가 증대된 것은 오동의 연구에 의하면 미강유의 고점도에 의한 분무입경의 증대 또는 기화성의 악화로 예혼합 연소량이 크게 감소하여 최대 압력상승률 또는 최고연소압력의 저하에 따른 엔진의 냉각손실의 감소 및 기계적 손실의 저감에 의한 결과로 설명하였다. 본실험에서는 향후 측정예정인 P-θ선도를 해석하기 위해서, 노즐 주위에 압전형 압력센서를 설치하고 최대 압력상승률을 측정하여 비교 검토하여야 할 것으로 판단된다.

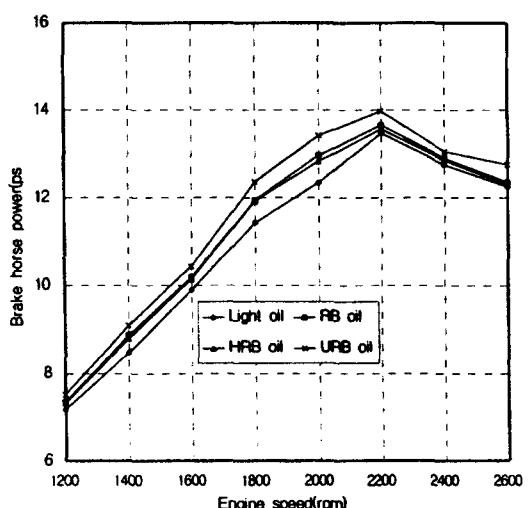


Fig. 5 Brake horse power vs. engine speed for 4 fuels

Fig. 5는 Table 3에 나타난바와같이 D사의 상용출력 8kW의 농업용 디젤엔진을 실험엔진으로하여 1200rpm에서 2600rpm의 범위에 걸쳐 WOT의 상태에서 경유, 미강유, 가온미강유, 초음파적용 미강유를 사용하여 실험한 제동마력(Brake horse power) 선도이다. Fig. 4의 토크선도에서 나타난바와같이 초음파를 적용한 미강유의 경우 5%정도 향상된값을 보이고 있다.

### 3-3. 연료소비율

Fig. 6 ~ Fig. 9는 엔진을 1/4 부하 ~ 4/4 부하에서 실험한 결과인데, 세로축에는 연료소비율, 가로축에는 엔진회전수를 나타내었다. Fig. 6 는 1/4 부하에서 실험한 결과인데 그림에 나타난 바와 같이 연료소비율의 변동폭이 균일하게 나타남을 알수있다. 이 결과는 최 등<sup>(5)</sup> 의 결과와 유사한 경향을 보이고 있다. Fig 7, 8에서 보면 1/4 ~ 4/4의 모든 부하에 걸쳐 경유가 비교적 적은 연료소비율을 보이고 있고 미강유가 비교적 높은 연료소비율을 보이고 있다. Fig. 9에서 보면 4/4 부하에서 미강유는 경유에 비해 5.9 ~ 10.7% 정도 더 높은 소비율을 보였다. 이 현상은 경유와 미강유의 발열량의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

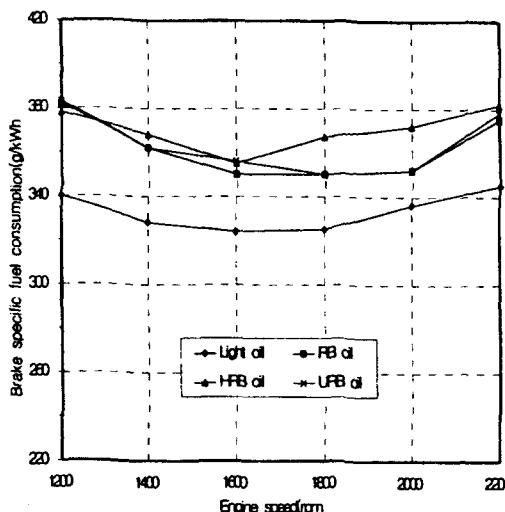


Fig. 6 Brake Specific fuel consumption vs. engine speed for 4 fuels at 1/4 load

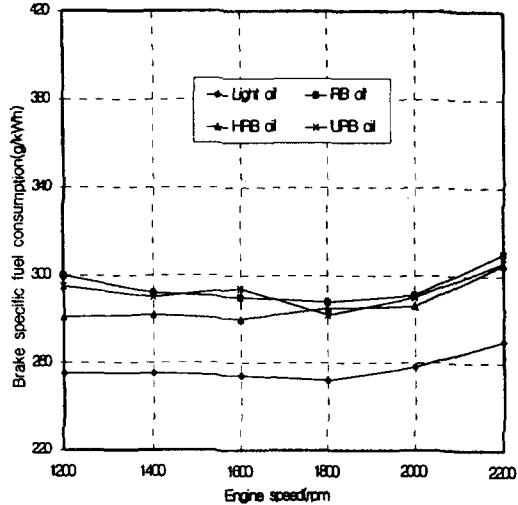


Fig. 7 Brake Specific fuel consumption vs. engine speed for 4 fuels at 2/4 load

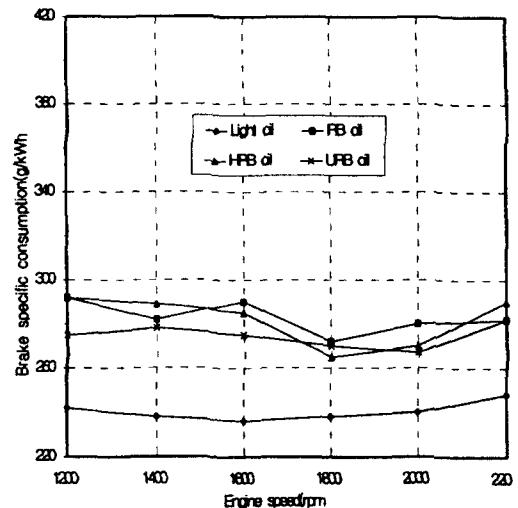


Fig. 8 Brake Specific fuel consumption vs. engine speed for 4 fuels at 3/4 load

## 4. 결론

디젤기관의 대체 연료로서 미강유의 사용 가

능성을 과악하기 위하여 경유, 상온 미강유, 가온 미강유, 초음파적용 미강유 등 4 종류의 연료

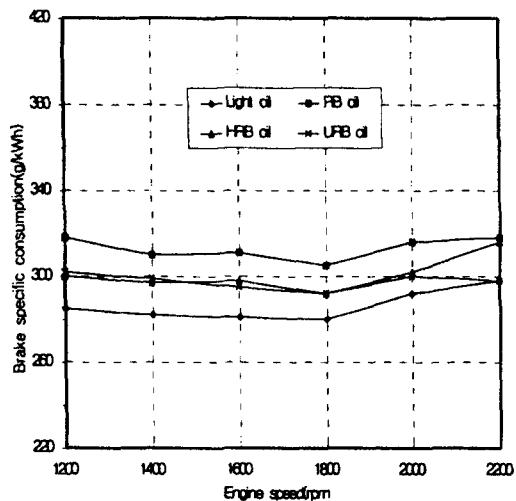


Fig.9 Brake specific fuel consumption vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load

를 상용출력 8 kW의 디젤엔진에 적용하여 1200 ~ 2600 rpm의 회전수 범위에 걸쳐 1/4 부하 ~ 4/4 부하의 조건에서 엔진 성능시험을 행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기관의 토크의 경우 사용 연료에 대해 1800rpm에서 최대 토크를 나타내었으며, 그중 초음파 적용 미강유의 경우가 가장 높게 토크가 나타났으며, 경유를 사용한 경우에 비해 3.7 ~ 8.1% 정도의 향상값을 보였다.

2. 미강유를 가온하여 출력향상의 효과를 얻으려면 연료를 60°C 이상 가온시켜야 한다. 가온 방법은 엔진의 외부에서 물에 의한 가온법이 있지만 방열손실이 많아 60°C 이상으로 가온 시키기가 어려우므로 전열선을 이용한 방법들이 효율적인 것으로 판단되었다.

3. 연료 소비율은 모든부하에서 경유인 경우 비교적 적은 연료 소비율을 나타냈고, 상온 미강유는 비교적 높은 연료 소비율을 보였는 바, 4/4 부하의 조건에서 경유에 비해 5.9 ~ 10.7% 정도 더 높은 연료소비율을 보였다. 이 현상은 경유와 미강유의 발열량 차이에 기인한 것으로 사료된다.

향후, 엔진 연소실내 연소현상 해석, 미세압력 측정 실험등을 통해, 출력향상 원인을 규명해야 할 것으로 사료되며, 장기 운전 및 현장 실험 등을 통해 밝힐 예정이다.

본 연구는 에너지자원기술개발지원센타 및 호서대학교 환경기술연구소의 부분 연구비 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Goering, C.E., et al,"Fuel properties of eleven vegetable oils", Transactions of the ASAE Vol.25(6),1982,pp.472-1483
2. B. G Yu, K. O. Cha, J. D. Chung, E. S. Ju "Atomization Characteristics Experiment of Pintle Type Nozzle by the PDPA", Korea Society of Automotive Engineers Spring Conference Proceeding,1997
3. 天葉近,“超音波による液體の微粒化の研究”, 内燃機関, 11卷2号,1972,pp11-22
4. Ryu, J. I., "A Study on the Atomization Performance of Suction Fuel using Ultrasonic vibration."Industrial Technology Research Institute, Chungnam National University, Vol 2, No. 1, pp. 46-54, 1987
5. Choi, D. S., J. H. Seol, J. I. Ryu, " A Study on the Performance of Diesel Automobile of Ultrasonic Fuel Suply System(I)", KSAE Spring conference proceeding, pp. 583-588, 1993.
6. E.S. Ju, S.Y. Jeong, D.W. Kang, J. C. Kim, "A Study on the Atomization of a Highly Viscous Biodiesel oil",Transactions of Korea Society of Automotive Engineers, Vol5,Nol, 1997,pp146-153
7. 나우정의 8인,“바이오디젤유 제조기술 개발 및 엔진 적합성 평가(II)”, 통상산업부 보고서, 1996.2,pp178-201
9. 조용우,“소형 디이젤 엔진의 대체연료로서 미강유의 이용에 관한 연구”,경상대학교 석사위논문,1987.