

미강유를 사용한 디젤기관에서의 배기오염물질 저감에 관한 실험적 연구

李珉湖* · 李焜瑞* · 兪炳玖* · 車京玉**

An Experimental Study on the Exhaust Pollutant Reduction in Diesel Engine using a Rice - bran Oil

M. H. Lee · J. S. Lee · B. G. Yu · K. O. Cha

주요기술용어 : Rice - bran oil(미강유), Ultrasonic energy(초음파 에너지), Exhaust gas analyzer(배기가스 분석기), Smokemeter(매연측정기), Eddy - current type dynamometer(와류식 전기 동력계), Sulphur dioxide(SO₂, 이산화유황), nitrogen oxide(NOx, 질소산화물), Smoke(매연)

Abstract

Exhaust emissions in diesel engine are affected by fuel properties, but the reason for this is not clear. Especially, the recent strong interest in using low - grade fuel such as the rice - bran oil for alternative diesel fuel demands extensive investigation in order to clarify the exhaust emissions. Bio - Diesel oil has a great possibility to solve the pollution problem caused by the exhaust gas from diesel engine vehicles. 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 for alternative and clean energy source. The purpose of this paper is to evaluate the feasibility of the rice - bran oil for alternative fuel in a diesel engine with regard to exhaust emissions.

1. 서 론

대기오염이 국내에서 문제화된 것은 공업의 근대화가 시작된 1970년대 이후라고 할 수 있겠다.

오늘날 자동차에 의한 도시의 대기오염은 우리나라뿐만 아니라 전세계의 대도시가 직면하고 있는 환경오염 문제중의 하나이다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 이미 1970년대 이전에 자동차 배출

* 명지대 기계공학과 대학원(원고접수일 : 98년 3월)

** 명지대 기계공학과

가스에 의한 스모그가 발생하여 식물 및 재산에 피해를 나타내었을 뿐만아니라, 인간에까지 피해를 주어 1960년대 말부터 자동차 배출가스규제를 실시하고 강화함으로써 자동차 배출가스에 의한 대기오염을 현저히 저감시킬 수 있게 되었다. 그러나 개발도상국에 있어서는 아직도 배출가스규제를 하고 있지 않거나 배출가스규제가 엄격하지 못하며, 자동차의 급격한 증가에 따른 오염물질의 배출량이 급격히 증가함으로써 대도시 대기오염이 크게 문제시되고 있다. 또한 최근 화석연료의 유한성과 지구온난화, 산성비 및 도시의 열섬(thermal island)현상 등의 상당부분은 화석연료를 사용한 내연기관의 배기배출물에 의한 것으로 밝혀졌다. 이와같은 지구규모의 환경오염문제가 심각해지면서, 대체연료의 개발 및 저공해 연료에 대한 관심이 집중되고 있는 실정이다. 특히, 대체연료 이용의 일환으로 바이오연료의 일종인 에탄올은 물론 동·식물유 이용에 관한 연구가 활발히 진행되어 디젤기관 대체연료로서의 이용 가능성이 어느 정도 입증되었다¹⁻⁴⁾. 또한 오래전부터 대체연료에 관한 연구자들은 Table 1과 같은 디젤연료의 조건을 갖춘 식물유에 관한 연구를 수행해 오고 있다. 식물유의 경우 발열량이 경유의 약85%정도에 해당하며, 생산 및 사용이 용이하다. 그러나 고점도를 가지고 있어 분사시에 많은 문제점을 가지고 있다⁵⁻⁷⁾.

Goering, Engleman, Hawkinse 등은 많은 식물유중 유채유, 대두유, 옥수수유, 목하씨유 등을 엔진

Table 1. Chemical and Physical properties of the fuels used

Contents	Light Oil	Rice bran Oil
Carbon(%)	85.7	77.2
Hydrogen(%)	13.6	11.6
Carbon residue(%)	0.20	0.307
Sulfur(%)	0.093	0.002
Ash(%)	0.001	<0.01
Specific Gravity(15/4℃)	0.8484	0.920
Kinematic Viscosity(37.8℃, cSt)	2.982	63.50
Higher Calorific Value(cal/g)	10920	9500
Lower Calorific Value(cal/g)	10244	8939
Flash Point(℃)	47	>150
Pour point(℃)	-22	5.0

에 분사시켜 본 결과 연료로서의 이용 가능성이 있음을 확인했다. 미강유는 대체에너지원이 갖추어야 할 조건인 연료로서의 특성과 또한 생산량이 대체로 많아 경제성이 있을 것으로 예상되며 디젤엔진의 대체에너지원으로서 개발될 여지가 많을 것으로 생각된다. 현재 일부 바이오유는 경제적인 타당성에 있어 양산 단계에까지 이르고 있다. 식물유의 단점으로 고점성과 저휘발성으로 인한 기관 내부의 탄소 퇴적 등의 현상이 야기되는데 이는 미립화를 개선하는 방법에 의해서 해결해야 할 것이다.

그러므로, 본 실험에서는 고점성 식물유에 초음파를 가하여 연료입자의 cavitation, 분자간의 분산 등에 의한 저점도화 및 미립화를 가하는 물리적 방법을 채택했다. 분무미립화를 위한 초음파 에너지의 이용에 대한 연구들을 살펴보면, B. Niemczewski⁸⁾는 액체에 초음파에너지를 이용하여 cavitation강도를 조사하였고, Kazuyoshi등⁹⁾은 S. I. 엔진에 초음파 분무장치의 적용을 연구하였다. 天燁近¹⁰⁾은 초음파 분무장치의 적용을 연구하였다. Ryu¹¹⁾ 등은 초음파를 이용하여 연료 무화율 개선, 디젤자동차의 적용 등에 관한 실험결과를 제공하고 있고, Joo¹²⁾ 등은 고점성 바이오 디젤유의 액침법에 대한 미립화 연구를 기초 데이터로 제공한 바 있다.

본 연구에서는 기초연구와 기존 연구결과를 바탕으로 실험에 사용했던 8kW 단기통 수냉식 4행정 농업용 소형 디젤엔진에 대체연료의 일종인 미강유를 적용했을 때 배기가스 특징을 규명하고 향후 강화될 환경기준치를 만족시킬 수 있는가를 확인하고자 황산화물, 질소산화물, 매연(Smoke) 등의 배기가스 특성 분석에 관한 실험을 시도하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험장치

본 실험에 사용된 기관은 국내 농업기계 생산업체 D회사에서 생산된 단기통 4행정 디젤기관으로서 제원을 Table 2에 나타내었다. 또한 주연료인 경유를 사용할 때의 성능특성을 Fig.1에 표시하였다. Fig.2는 실험장치 전체의 구성도를 나타낸 것이다. 이 실험장치는 실험기관 및 기관속도 조절장

치, 흡입공기의 써어지 탱크, 연료공급 및 유온 조절장치, 배기계통 및 배기가스 분석장치 등으로 구성되어 있으며, 기관 각부의 온도조절을 포함하여 다섯위치에 온도측정센서를 부착하였다. 또한 미강유에 초음파 에너지를 가하기 위한 초음파 발진

자와 진동자 혼을 사용하였다. 기관성능을 시험하는데 사용한 엔진동력 측정장치로는 35kW급 와류식 전기 동력계를 사용하였으며, 공시엔진과 동력계를 스플라인축으로 직결하고 축의 파손에 대비하여 연결축을 안전카바로 보호하였다. 거버너의 개도를 정확하게 조절하는데는 DC servo type의 throttle actuator와 controller를 이용하였다. 이 throttle actuator에 의해 기관 거버너의 전 개량도에 맞추어, 영점조정 및 span조정을 함으로써 개량도 1/1000 단위로 정밀하게 조절할 수 있었다.

Table 2. 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)	9.9/2200
Maximum torque (N · m / rpm)	44.2/1800
Continuous cruising power (kW/rpm)	5.9/2200
Specific fuel consumption (g/kW · h)	252(0.29l)
Using fuel	KS No.2 Diesel Fuel
Fuel injection pump	special Bosch type
Injection pump	0.3φ, 4 holes
Starting system	manually driven handle
Lubricating system	forced circulation
Cooling system	pressurized radiator

Fig.2에 나타난 것과 같이 냉각수, 윤활유, 배기가스 및 연료 등의 온도를 측정하기 위해 온도센서들을 설치하였다. 냉각수용 센서는 물재킷의 중심부에, 윤활유용 센서는 Oil pan 공간의 중심부에, 배기가스용 센서는 배기관 연결부 끝으로부터 50mm의 위치에, 그리고 연료용 센서는 연료여과기에 설치하되, 특히 기밀에 유의하였으며 또 하나는 연료가온기에 설치하였다. 온도센서들은 각각 digital indicator에 연결되어 있어서 온도값을 바로 읽을 수 있도록 하였다. Fig.3는 연료가온기의

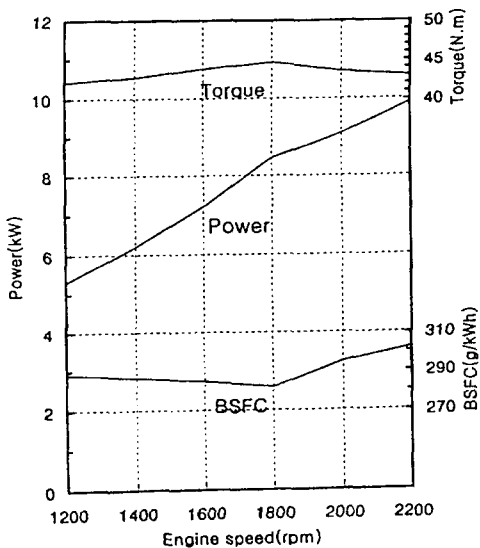
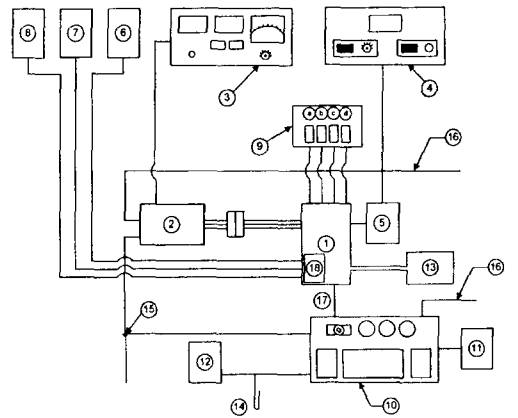


Fig. 1. Full load characteristics curve of the tested engine.



- 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(a Fuel b Cooling water c Oil
- ⑩ Fuel heater
- ⑪ Temperature regulator
- ⑫ Fuel tank
- ⑬ Surge tank
- ⑭ Burette
- ⑮ Water inlet
- ⑯ Water outlet
- ⑰ Fuel in
- ⑱ Muffler

Fig. 2. Schematic diagram of the engine performance test system

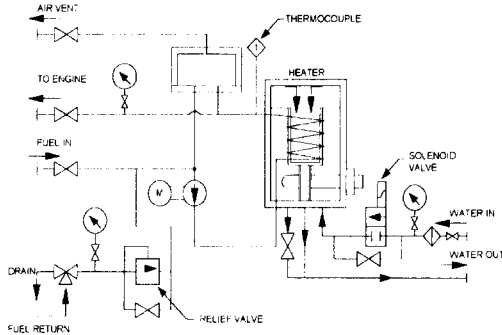


Fig. 3. Schematic diagram of the fuel heater

Table 3. Specifications of the exhaust gas analyzer used

Dimensions(mm)	450 × 230 × 300
Weight(kg)	9.5
Fuel Temperature(℃)	0~1200
Inlet Temperature(℃)	0~600
O ₂ (%)	0~25
CO(%)	0~4000
CO ₂ (%)	0~20
NO(ppm)	0~5000
NO ₂ (ppm)	0~800
SO ₂ (ppm)	0~500
Pressure(mbar/hPa)	0~150
Efficiency(%)	0~100

Table 4. Specifications of the smokemeter

Method	Filter paper reflection type
Range	0~100%(pollution)
Accuracy	±3%(full scale)*
Response time	< 2 sec
Voltage	AC 100V ± 10V
Dimensions(mm)	400 × 220 × 370

구조를 나타낸다. 이 연료가온기는 용량20L, 온도의 범위가 35~80℃이고 가온부, 냉각부, 제어부로 구성되어 있으며, 기본원리는 수조안의 가열된 물속에 잠겨 있는 구리파이프속을 연료가 통과하면서 가온이 될 수 있는 구조로 되어 있으며, 엔진에 연료가 공급되지 않을 때에는 연료가 가온기내부에서만 자체순환하도록 되어있다. 또한, 머플러에 연결된 배기파이프의 출구부분에 배기가스의 원활한 배출을 위하여 송풍기를 설치하였다. 한편, 본 실험에 사용한 연료와 미강유의 화학적 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. Table 3, 4는 본 실험에

사용한 배기가스분석기와 매연측정기의 제원을 나타낸다.

2-2. 실험방법

실험기관의 예비실험을 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 공회전상태에서 30분간 시운전한 후, 기관이 정상적인 안정상태가 된 후에 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 부하 고정법에 의하여 1/4부하에서 4/4부하까지의 조건을 설정하고, 각각의 특성치를 측정하였다. 연료소비율은 용적식 측정방법으로, 뷰렛의 30cc의 연료를 소비하는데 걸리는 시간을 2개의 초시계로 동시에 측정하여 단위출력 시간당의 연료소비율(g/kW-h)로 나타내었다. 기관 주요부의 온도는 온도센서에 연결된 digital indicator에 나타나는 값을 직접 읽었다. 시험중 실내대기온도는 22℃~34℃, 상대습도는 48~63%, 연료 온도는 가온미강유의 경우 41℃~61℃, 기관의 연료분사시기는 BTDC 22CA였다. 실험중에는 기관의 회전속도가 안정된 최적상태로 유지함을 확인한 후 토오크, 엔진회전수, 엔진 각 부의 온도, 연료소비율, 배기배출물 농도 등을 측정하였다. 시험 처리별 측정값은 약 10분 동안 동일조건으로 운전하면서 구하였다.

3. 결과 및 고찰

다음의 배기가스 분석결과는 측정가능범위가 NO의 경우 0~5000ppm, NO₂는 0~800ppm, SO₂는 0~500ppm인 영국Kane international Ltd의 Kane - May Quintox Combustion Analyzer (Table 3)으로 측정한 결과이다. 여기에서 Light Oil은 경유이고, RB Oil은 미강유이며, HRB Oil은 가온된 미강유, URB Oil은 초음파 에너지를 가한 미강유의 경우이다. Fig.4는 실험엔진에서 1200rpm에서 2400rpm의 범위에 걸쳐 경유, 미강유, 가온미강유, 초음파적용 미강유를 사용하여 실험한 제동마력을 나타낸 선도이다.

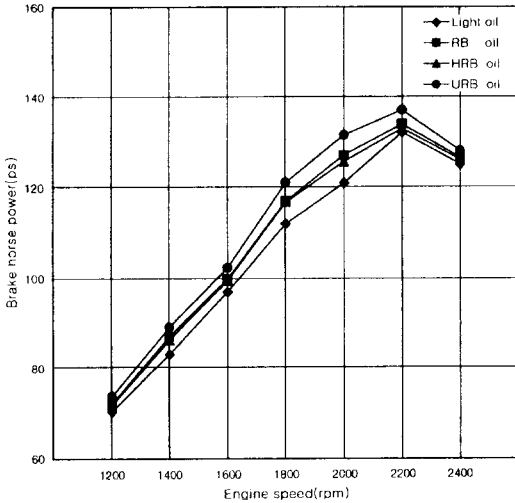


Fig. 4. Brake horse power vs. engine speed for 4 fuels

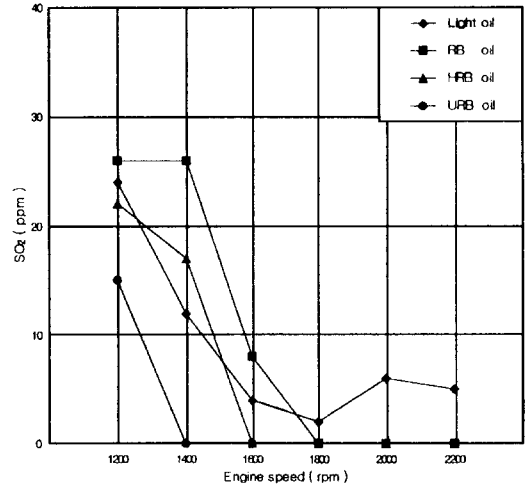


Fig. 5. Sulphur dioxide vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load

3-1. 이산화유황(SO₂)

이산화유황의 경우, 3/4부하 이하의 조건에서는 거의 배출되지 않았기 때문에 4/4부하에서의 측정 결과를 Fig.5에 나타낸다.

Fig.5에서 알 수 있는 바와 같이, 경유의 경우 SO₂는 회전수의 전 범위에 걸쳐 2~24ppm 정도 배출되었으나, 미강유 계통 연료의 경우에는 1800rpm 이상에서는 배출되지 않았다. 이는 연료 자체에 0.093%의 유황분을 포함하고 있는 경유의 성질과 직접적인 관련이 있는 것으로 연료 고유의 유황성분에 대한 연소반응 때문으로 사료된다. 모든 연료에 대해서 SO₂의 배출농도가 최대 값을 나타낸 회전수는 1200rpm으로 경유의 24ppm에 비해 초음파 적용 미강유와 가운 미강유의 경우에는 각각 14ppm, 22ppm으로 경유보다 낮은 값을 보였다. 그러나 미강유의 경우에는 경유보다 낮은 유황분(0.002%)을 포함하고 있음에도 불구하고 SO₂의 농도가 26ppm으로 오히려 경유보다 높은 값을 나타내었다. 이 점에 대해서는 앞으로 보다 많은 배기가스 분석 데이터를 확보하여 검토할 필요가 있다고 생각된다. 또한, 출력과 SO₂의 연관성에 대하여 살펴보면, 미강유의 경우 최대토크가 발생하는 회전수(1800rpm)이상의 영역에서는 SO₂의 배출이 확인되지 않았다. 이 변곡점에 대해서도 항

후 집중적으로 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3-2. 질소산화물(NO_x)

Fig.6~Fig.9에 질소산화물의 배출농도의 측정 결과를 나타내었다. 1/4부하의 실험조건에서는 127~300ppm 정도로 질소산화물(NO_x)이 비교적 적게 나타났는데, 이는 연소실내 연소온도의 하강현상에 의한 thermal NO_x의 감소 때문으로

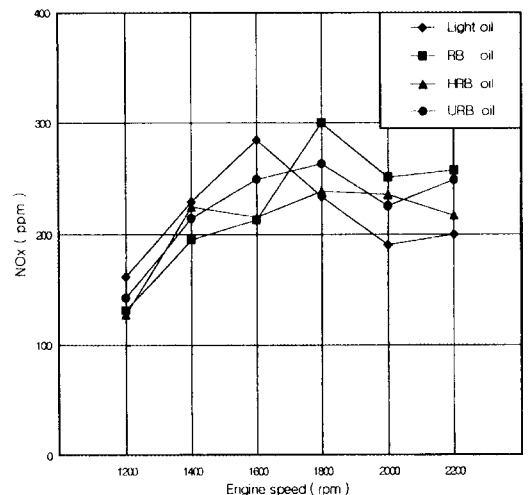


Fig. 6. Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 1/4 load

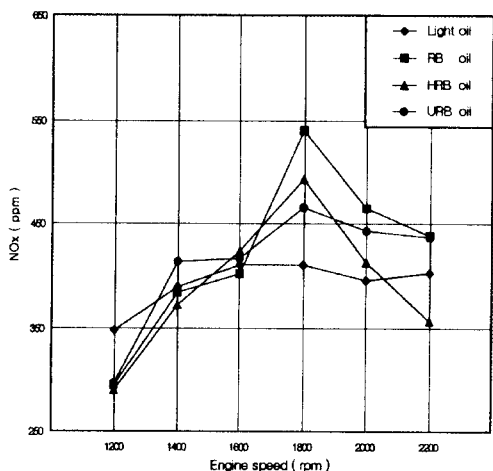


Fig. 7. Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 2/4 load

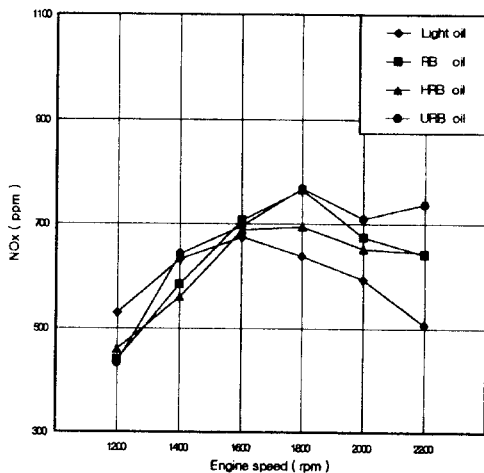


Fig. 9. Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load

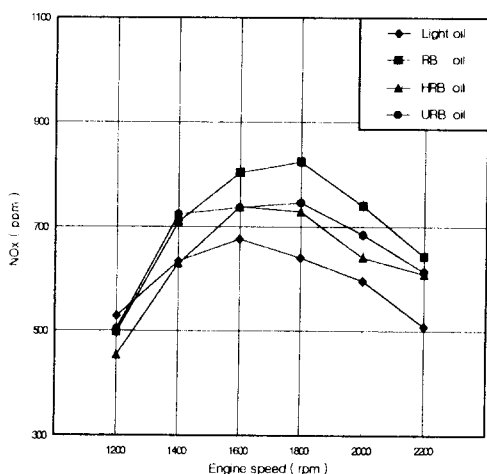


Fig. 8. Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 3/4 load

사료된다.

모든 부하에 걸쳐서 미강유의 경우 1800rpm에서 최대의 농도를 나타냈는데 엔진토크가 1800rpm에서 최대로 나타나므로 엔진연소의 연소반응이 가장 활발한 영역이어서 상반응이 일어나 NOx가 집중적으로 생성된 것으로 판단된다. 반면 경유의 경우에는 모든 부하조건을 통하여 1200rpm에서 최대배출농도를 보였는데 이는 경유와 미강유계통 연료의 착화지연기간을 측정하

여 좀 더 구체적인 분석을 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

세밀히 각 연료별로 비교해보면, 3/4부하의 경우, 모든 연료중 미강유가 제일 불리하였으며, 1400rpm이상에서 미강유의 경우 642~808ppm의 농도를 보여, 경유의 경우보다 74~135ppm정도 더 높은 배출농도를 나타내었다. 또한 1800rpm 이상의 영역에서 가온미강유와 초음파적용 미강유의 경우에는 715~744ppm정도의 범위로 나타나 거의 비슷한 배출농도를 보였는데, 이는 경유에 비해 79~100ppm정도 더 높은 배출농도의 값이었다. 이 현상은 출력의 측면에서 미강유의 경우가 경유에 비해 출력증가의 결과가 나타났기 때문이며, 이 출력증가는 연소반응이 활발하여 나타난 것이므로 엔진연소실 내부가스온도의 상승으로 인한 thermal NOx의 증가에 따른 것으로 사료된다.

부하가 3/4인 경우에는 전체적으로 NOx의 발생량이 4/4부하의 경우보다 약간 높게 나타났는데, 이 현상은 연소실 온도, P-θ선도, 흡입공기량, swirling 효과와 연료의 혼합상태를 규명해야하고, 화염전파속도의 측정, 난류특성시간과약(turbulent characteristics time) 등의 여러 측면에서 추가 증명할 과제로 보여진다.

부하가 4/4인 경우, 3/4부하에 비해 전체적으로 thermal NOx의 발생량이 적게 나타났으며, 초음

파를 적용한 경우에는 거의 전 회전수 영역에서 NOx의 발생량이 제일 높게 나타났는데, 액체연료의 미립화증가 및 분무액적의 액경감소에 의해 고온의 산화분위기에서 액적주위의 증발이 활발하여 착화지연이 짧아져서 연소가스온도가 상승된 것으로 사료된다.

그림에 보인 것과 같이 2/4부하를 제외한 다른 세가지 부하조건인 1800rpm 이상에서는 모든 미강유계통의 연료가 경유보다 높은 질소산화물(NOx)의 배출농도를 보였다. 특히, 4/4부하의 2200rpm에서는 초음파 적용 미강유의 경우가 경유에 비해 231ppm 정도 더 많이 배출되어 가장 큰 차이를 보였다. 또한 NOx의 배출농도 측면에서는 가온미강유가 초음파 적용 미강유보다 유리한 조건임을 알 수 있다.

3-3. 매연배출농도

다음의 매연(smoke)배출농도 측정결과는 농도 0~100%범위의 측정이 가능한 디젤배기 매연측정기(Table 4)로 측정된 결과이다.

Fig.10~Fig.13까지의 결과를 살펴보면 전체적으로 보아 저부하에서 고부하로 갈수록 매연배출농도는 증가하였다. 1/4부하에서는 회전수 변화와 관계없이 각 연료별로 거의 일정한 값을 나타내었다. 4/4부하에서는 초음파 적용 미강유의 경우에

가장 낮은 배출농도를 나타내었다.

이는 식물유중 9~10%정도의 산소가 포함되어 있어 배기매연농도의 저감에 영향을 미친 것으로 사료된다. 가온미강유의 경우가 상온미강유의 경우와 별차이를 보이지 않고 있는 것으로 보아 가온의 효과가 적은 것으로 나타났는데, 가온의 효과를 이용하려면 연료필터에서 측정된 값으로 60℃ 이상으로 가온할 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편, 경유의 경우 1/4부하에서는 1600rpm 이상, 2/4부하에서는 1600rpm을 제외한 모든 회전수 영

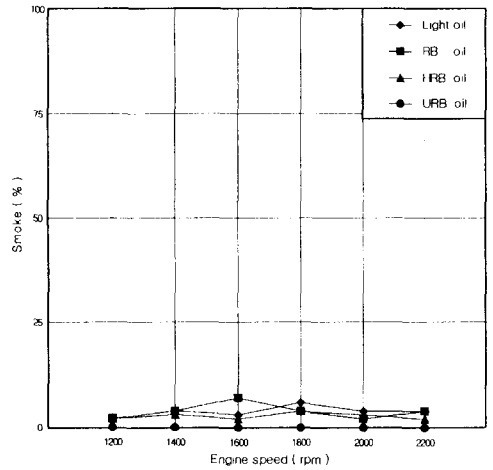


Fig. 11. Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 2/4 load

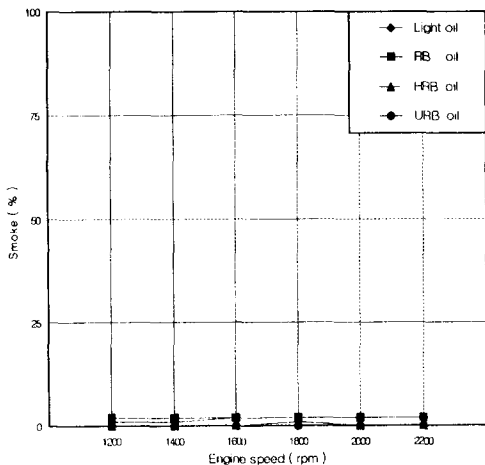


Fig. 10. Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 1/4 load

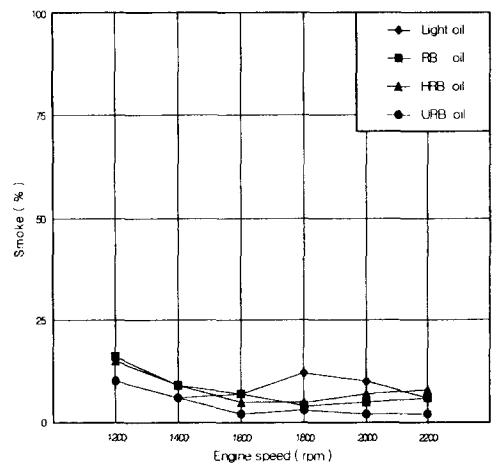


Fig. 12. Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 3/4 load

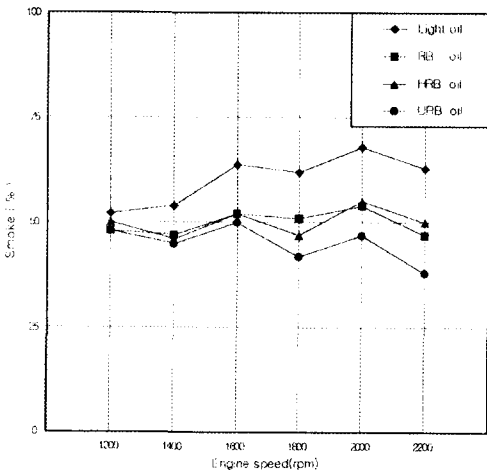


Fig. 13. Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load

역, 3/4부하에서는 1600rpm 이상, 4/4부하에서는 전 회전수 영역에 걸쳐 각각 매연배출농도가 모든 연료중에서 최고 값을 나타내었다.

4. 결 론

식물유인 미강유를 디젤기관의 대체연료용의 사용가능성을 살펴보고자 실험하여 배출가스들 분석·조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 배기가스 측정기로 배기가스의 특성을 분석한 결과, 이산화유황(SO₂)은 모든 연료에서 4/4부하조건에서만 검출되었다. 특히, 미강유의 경우는 4/4부하조건하에서 회전수가 1600rpm 이하의 영역에서만 이산화유황이 검출되었는데 그 범위는 8~26ppm정도이었고 저 회전수 영역으로 갈수록 더 높은 농도로 배출하였다. 경유의 경우에는 모든 회전수에 걸쳐서 이산화유황을 배출하였으며, 그 범위는 2~24ppm정도이고, 1800rpm에서 최소의 배출농도를 보였다.
2. 질소산화물(NOx)은 미강유의 경우 모든 부하조건으로부터 1800rpm에서 최고의 배출농도를 보였으며, 경유의 경우에는 1200rpm에서 최고의 배출농도를 나타내었다. 3/4부하 조건의 모든 회전수에 걸쳐서 모든 연료중 상

온 미강유인 경우에 비교적 가장 높은 배출농도를 나타내었고, 경유에 비해서는 74~135ppm정도 더 높게 배출되었다. 4/4부하조건하에서 회전수가 1600rpm이상에서는 모든 미강유계통의 연료가 경유의 경우보다 14~231ppm정도 더 높은 배출농도를 보였고, 그중 초음파 적용 미강유의 경우에 가장 높은 배출농도를 나타내었다.

3. 매연배출농도는 부하와 회전수에 관계없이 초음파 적용 미강유가 최저의 배출농도를 나타내었다. 경유의 경우, 1/4부하에서는 1600rpm 이고, 2/4부하에서는 1600rpm을 제외한 모든 회전수영역이며, 3/4부하에서는 1600rpm 이상, 4/4부하에서는 전 회전수 영역에 걸쳐 각각 매연배출농도가 모든 연료중에서 최고값을 보였다.

참고문헌

1. T. Murayama, Y. T. OH, N. Miyamoto, T. Chikahisa, N. Takaki and K. Itow, "Low carbon flower build up, low smoke and efficient diesel operation with vegetable oil by conversion to mono esters and blending with diesel oil or alcohol", SAE Trans. 841161, 1984
2. T. Murayama, Y. T. OH, A. Kido, T. Chikahisa, N. Miyamoto and K. Itow, "Effect of super heating of heavy fuels on combustion and performance in DI diesel engine", SAE Trans. 860306, 1986
3. 吳永澤, 城戶 章廣, 近久 武美, 宮本 登, 村山 正, 伊藤 光一郎, "디젤기관における植物油の利用に関する研究", 日本内燃機関, No. 314, p.9~15, 1986
4. 吳永澤, 城戶 章廣, 近久 武美, 宮本 登, 村山 正, 伊藤 光一郎, "디젤기관における重質燃料加熱の効果", 日本自動車學會論文集, No. 34, p.21~28, 1987
5. Goering, G. E., et al., "Fuel properties of eleven vegetable oils", Transaction of the ASAE, Vol. 25(6), 1982, pp.1472~1483
6. Engleman, H. W., D. A. Guenther and T. W. Sivia, "vegetable oil as a diesel fuel", ASME

paper No. 78 - DG, 1978

7. Hawkins, C. B., et al., "Sunflower oil esters : An alternate fuel for direct injection diesel engine", SAE paper No. 831356, 1983
8. Niemczewski, B., "A comparison of ultrasonic cavitation intensity in liquids", Ultrasonic, May, 1980, pp.107~110
9. Kazuyoshi Namiyama, Hiromi Nakamura, Kakuro Kokubo, Daijro Hosogari, "Development of ultrasonic atomizer and its application to S. I. engines", SAE 890430, 1987, pp.1~11
10. 天燁 近, "超音波による液體の微粒化の研究", 內燃機關, 11卷 2, pp.11~22
11. Jeong, M. J., Cho, G. S. and Ryu, J. I., "The performance improvement of the diesel engine by the ultrasonic vibrations", J. KSAE, Vol. 13, No. 6, pp.65~71
12. 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, Vol. 5, No. 1, 1997, pp.146~153

저 자 소 개



이준서(李煥瑞)

1967년 6월생, 1991년 명지대학교 공과대학 기계공학과 졸업, 1993년 명지대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1998년 동대학원 기계공학과 졸업(박사), 1996~현재 명지대학교 부설 산업기술연구소 연구원, 당 학회 회원



차경옥(車京玉)

1945년 1월생, 1972년 한양대학교 공과대학 기계공학과 졸업, 1977년 단국대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1984년 동대학원 기계공학과 졸업(박사), 1986년 일본도요다공업대학 기계공학과 객원교수, 1981년~현재 명지대학교 기계공학과 교수, 당 학회 회원