

미강유 적용 소형 디젤엔진의 배기배출물 특성⁺

Exhaust Emissions Characteristics of a Small Diesel Engine using Rice-bran Oil

나 우 정*

정회원

W. J. La

유 병 구**

B. G. Yu

정 진 도***

J. D. Chung

ABSTRACT

It seems possible, by use of vegetable oils, to solve the pollution problem caused by the exhaust gas from diesel-engine vehicles. Recently vegetable oils has received considerable attention as an alternative and clean energy source to the foreseeable depletion of world oil supplies. The objective of this study is to experimentally investigate the characteristics of exhaust emissions of a small diesel engine using light oil, rice-bran oil, heated rice-bran oil, rice-bran oil treated with ultrasonic energy.

SO₂ emission from the pure and the treated rice-bran oils was not detected at speeds higher than 1,800 rpm while that from the light oil was detected at all the speeds at 4/4 load. NOx emission from these vegetable oils was generally higher compared to that from the light oil for most of the test conditions. Smoke emission showed the tendency opposite to that of NOx emission.

The data obtained in this experiment may be applicable for the design of small diesel engine using the alternative fuels.

주요용어(Key Words): 소형디젤엔진(small diesel engine), 미강유(rice-bran oil), 초음파에너지(ultrasonic energy), 배기배출물(exhaust emissions), 이산화유황(sulphur dioxide), 질소산화물(oxides of nitrogen), 매연(smoke)

1. 서 론

전세계에 직면한 시급히 해결을 요하는 과제 중의 하나는 화석에너지 고갈에 대비한 대체에너지 자원 확보와 화석연료의 사용에 따른 환경오염문제에 대처할 청정에너지원개발이다. 내연기관의 연료인 석유는 국내의 경우 전량을 수입에 의존하고 있으며,

1970년대 두 차례의 오일위기로 인해 세계각국은 에너지절약과 탈 석유 방향으로 전환해 가고 있으며, 또한 세계 각국은 석유의 의존도를 경감할 수 있는 대체에너지 개발에 적극적으로 노력하고 있다. 배기가스 기준치의 강화로 연소성능 및 배기가스 특성이 중요한 사회 문제로 대두되어, 1992년 Rio 환경선언 같은 것이 제창된 것을 고려할 때, 대체에너지원의

⁺ 본 연구는 과학재단의 특정기초연구과제(과제번호:93-0600-04-02-2) 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부임.

* 경상대학교 농업기계공학과. ** 충남대학교 대학원. *** 호서대학교 환경공학과.

개발이 매우 중요한 실정이다.

이와 같은 상황아래서 식물유의 경우 그 발열량이 경유의 약 85% 정도에 해당하며, 현재 용이하게 생산 및 소비되고 있으므로 대체연료로서 가능성은 충분하다고 할 수 있다.¹⁾ 단, 식물유의 일반적인 단점으로 고점성과 저휘발성으로 인한 기관내부의 카본 퇴적 현상 또는 왕복동 부분의 윤활 불량 등의 현상이 있으므로 미립화율의 개선²⁾ 또는 기계적인 방법에 의해 해결책이 모색되고 있다.

天葉 近³⁾은 초음파에 의한 미립화를 연구하였으며, 류 등⁴⁾은 초음파를 이용한 경우 연료 무화율이 동일한 공연비에서 5%~10% 증가함을 보였다. 최 등⁵⁾은 디젤 자동차 성능향상을 위한 초음파 분무장치 사용에서 전 압력에 걸쳐 분무 액적의 SMD (Sauter mean diameter)가 감소함을 보였다. 주 등⁶⁾은 고점성 바이오 디젤유의 액침법에 대한 미립화의 기초자료를 제공한 바 있다. 유 등⁷⁾은 미강유의 PDPA (phase doppler particle analyzer)에 의한 끈틀형 노즐의 미립화 특성 실험을 통하여 미강유의 디젤유 대체 연료로서의 타당성에 대한 기초 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 기초 연구와 기존 연구 결과를 바탕으로^{2,3,4,5)} 미강유를 소형 디젤엔진에 적용시 배기배출물 특성을 규명하고 향후 강화될 환경기준치를 만족시킬 수 있는가를 확인하고자 황산화물, 질소산화물, 매연(smoke) 등의 배기가스를 분석, 실험하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료 및 장치

본 실험에 사용된 기관은 국내 농업기계 생산업체인 D회사에서 생산된 단기통 수냉식 4행정 디젤기관으로서 그 제원은 표 1과 같다.

최대 측정 출력이 35 kW인 와전류식 동력계를 이용하여 기관 회전수가 1,200 rpm일 때의 5.3 kW로부터 최대 회전수 2,200 rpm일 때의 9.9 kW인 범위에 걸쳐 전부하상태에서 디젤기관의 주 연료인 경유를 사용했을 때 공시엔진의 성능 곡선을 그림 1에 표시

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 power(kW/rpm)	8.1/2200
Rated 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 nozzle	φ0.3, 4 holes

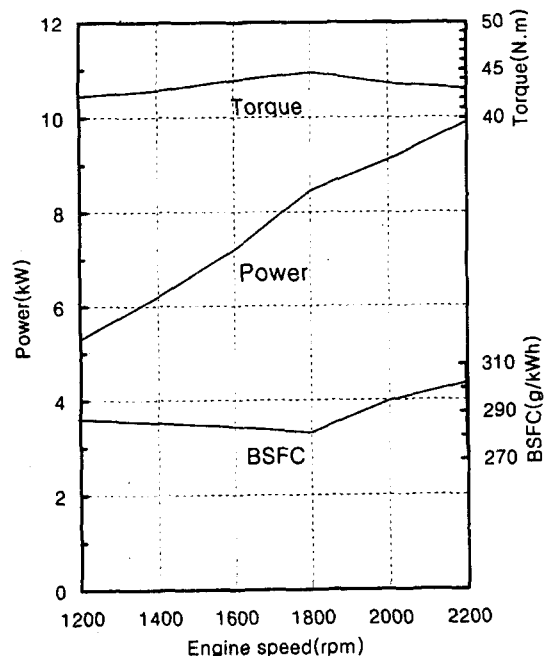


Fig. 1 Full load characteristics curve of the engine tested.

하였다.

그림 2에는 실험장치 전체의 구성도를 나타내었다. 실험장치는 실험기관 및 기관속도 조절장치 동력계 및 조절장치, 흡입공기 surge tank, 연료공급 및 유온 조절장치, 배기계통 및 배기가스 분석 장치 등으로 구성되어 있으며, 기관 각부의 온도 조절을 포함하여 총 5개소에 온도측정 센서를 부착하였다. 또한 미강유에 초음파 에너지를 가하기 위한 초음파 발진자와 진동자 혼을 사용하였다.

기관성능을 시험하는데 있어 공시엔진과 동력계

를 스플라인축으로 직결하고 축의 파손에 대비하여 연결축을 안전카바로 보호하였다. 연료분사량 조절 장치의 개도를 정확하게 조절하는 데는 DC servo type의 throttle actuator와 controller를 이용하였다. 이 throttle actuator에 의해 기관의 연료분사량 조절 장치의 전 개도량에 맞추어, 영점 조정 및 span 조정을 함으로써 개도량 1/1000 단위로 정밀하게 조절할 수 있었다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 냉각수, 윤활유, 배기가스 및 연료 등의 온도를 측정하기 위해 온도 센서들을 설치하였다. 냉각수용 센서는 물 재킷의

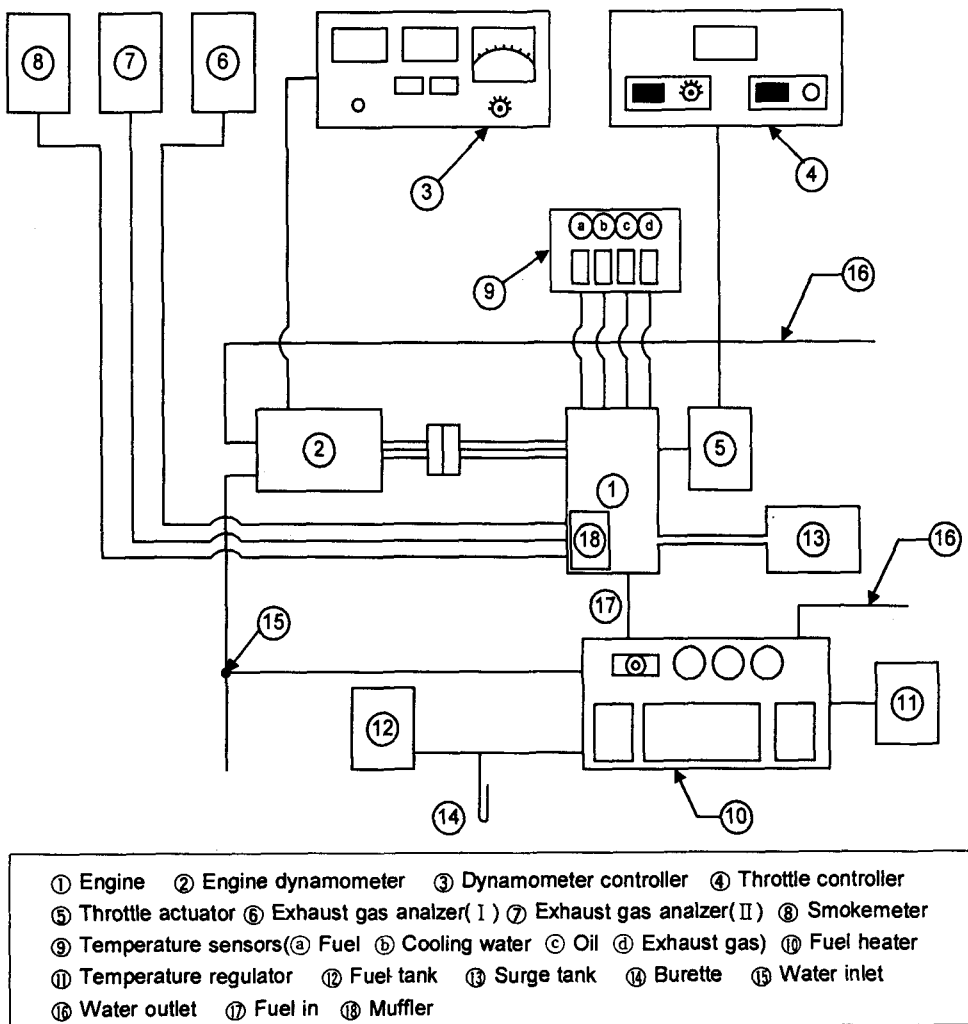


Fig. 2 Schematic diagram of the engine performance test system used.

중심부에, 윤활유용 센서는 oil pan 공간의 중심부에, 배기 가스용 센서는 배기관 연결부 끝으로부터 50 mm 되는 위치에, 그리고 연료용 센서는 연료여과기에 설치하되 특히 기밀에 유의 하였으며 또 하나는 연료 가온기에 설치하였다. 각 온도센서들은 각각 digital indicator에 연결되어 있어서 거기에 나타난 온도값을 읽을 수 있도록 하였다. 그림 3에는 연료 가온기의 구조를 나타내었다. 이 연료 가온기는 용량 20 l, 온도의 범위가 35~80℃이고 가온부, 냉각부, 제어부로 구성되어 있으며, 기본 원리는 수조속의 가열된 물속에 감겨 있는 구리 파이프속을 연료가 통과하면서 가온이 되는 구조로 되어 있으며, 엔진에 연료가 공급되지 않을 때는 연료가 가온기 내부에서만 자체 순환하도록 되어 있다. 또한, 머플러에 연결된 배기파이프의 출구부분에 배기가스의 원활한 배출을 위하여 송풍기를 설치하였다. 본 실험에 사용한 연료의 화학적 및 물리적 성질과 그 조성비를 각각 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 4, 5에는 본 실험에 사용한 배기가스분석기와 매연측정기의 제원을 나타내었다.

Table 2 Chemical and physical properties of the fuels used

Item	Light Oil	Ricebran 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℃)	0.844	0.920
Kinematic Viscosity (37.8℃, cSt)	3.455	41.43
Higher Calorific Value (cal/g)	10,870	9,430
Lower Calorific Value (cal/g)	10,135	8,793
Flash Point(℃)	52	241
Pour Point(℃)	-7.5℃	-5.0
Total acid NO. (mg KOH/g)	0.08	0.08

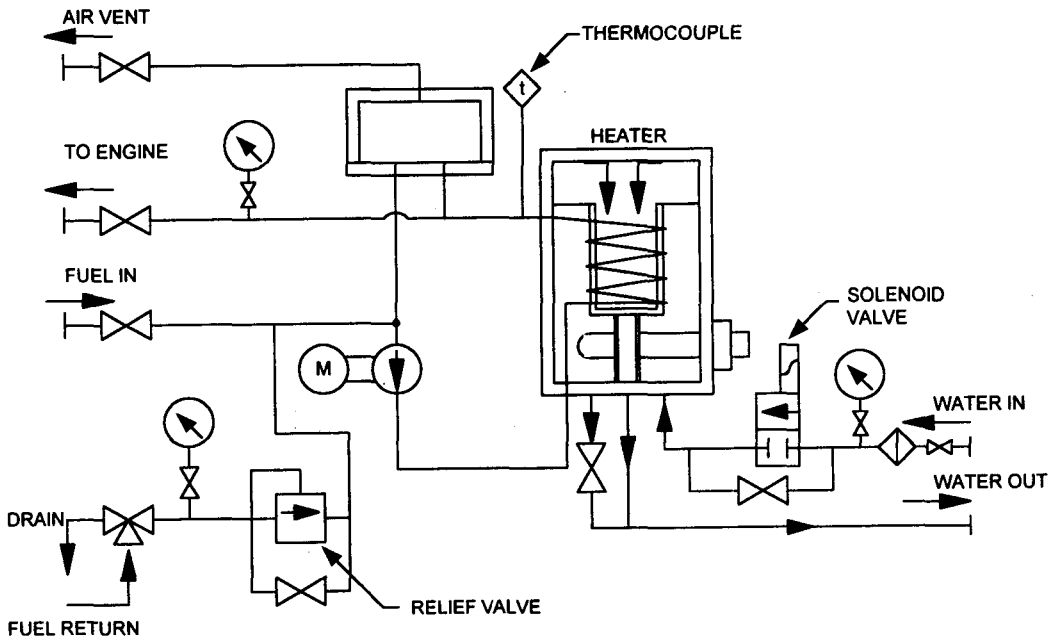


Fig. 3 Schematic diagram of the fuel heater used.

Table 3 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℃)	Rice Bran Oil (100%)	HRB

Table 4 Specifications of the exhaust gas analyzer used

Dimensions (mm)	450×230×300
Weight (kg)	9.5
Flue Temperature (℃)	0~1200
Inlet Temperature (℃)	0~ 600
O ₂ (%)	0~ 25
CO (ppm)	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 5 Specifications of the smokemeter used

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

(note: * means estimation)

나. 실험 방법

실험 기관의 예비 실험을 위하여 2/4~3/4 정도의 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 실시 하였다. 본 실험에서는 부하 고정법에 의하여 1/4 부하에서 4/4 부하까지의 각 조건을 설정하고, 각 특성치를 측정하였다. 연료 소비율은 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 digital indicator에 나타나는 값을 직접 읽었다. 시험중 실내대기온도는 22℃~34℃ 상대 습도는 48~63%, 연료 온도는 가온 미강유의 경우 41℃~61℃, 기관의 연료 분사시기는 BTDC 22° 였다. 이 시험 중에는, 기관의 회전속도가 안정된 최적 상태로 유지함을 확인한 후 토오크, 엔진 회전수, 엔진 각부의 온도, 연료소비율, 배기배출물농도 등을 측정 하였다. 시험 처리별 측정값은 약 10분 동안 동일조건으로 운전하면서 구하였다.

3. 결과 및 고찰

실험한 각 연료의 배기가스 분석결과는 다음과 같다.

가. 이산화황(SO₂)

그림 4는 본 실험에 사용된 가스분석기로는 4/4 부하의 실험조건에서만 측정된 결과를 나타낸 것이다. 3/4 부하 이하의 저부하 영역에서는 이산화황(SO₂)이 거의 발생되지 않았다.

4/4 부하의 조건에서도 모든 회전수 범위에 걸쳐 2~24 ppm의 이산화황을 배출한 경유의 경우를 제외하고는 모든 연료에 대해서 1,800 rpm 이상에서는 측정되지 않았다. 이는 연료 자체에 0.17%의 유황분을 포함하고 있는 경유 연료 자체의 성질에 직접적인 관련이 있다. 이는 연료 고유의 유황 성분의 연소반응 현상에 의해 이산화황의 발생이 많은 것으로 사료된다.

모든 연료의 경우 1,600 rpm 이하 영역에서는 이산화황의 배출농도가 증가하여 4~26 ppm의 농도를 나타내었는데, 1,200 rpm의 경우 경유의 경우의 24 ppm에 비해 초음파적용 미강유, 가온미강유의 경우는 보다 적은 15~22 ppm의 농도를 보였고, 미강유 경우는 보다 많은 26 ppm의 농도를 보였다. 향후 이

실험 범위 내에서는 좀 더 정밀한 배기가스분석기로 측정, 검토할 필요가 있다고 사료된다.

미강유에는 0.01% 정도의 S가 함유되어 있는데^{4,9)} 1,600 rpm 이하에서는 SO₂가 발생하는 연소화학적 조건은 향후 연구되어야 될 것으로 보인다. 또한 출력과 SOx의 연관성에 대해서 살펴보면 미강유의 경우 최대 토오크를 내는 회전수에서부터 이산화황의 배출이 없었다.

나. 질소산화물(NOx)

앞서 언급한 Kane-May Quintox Combustion Analyser로 질소산화물(NOx)의 배출 농도를 측정된 결과를 그림 5~그림 8에 걸쳐 나타내었다.

1/4 및 2/4 부하의 실험조건에서는 127~300 ppm 정도로 질소산화물(NOx)이 적게 나타났는데 연소실 안의 연소온도의 하강현상에 의한 thermal NOx의 감소 때문인 것으로 사료된다.

모든 부하에 걸쳐서 미강유 경우 1,800 rpm에서 최대의 농도를 나타냈는데 엔진 토오크가 1,800

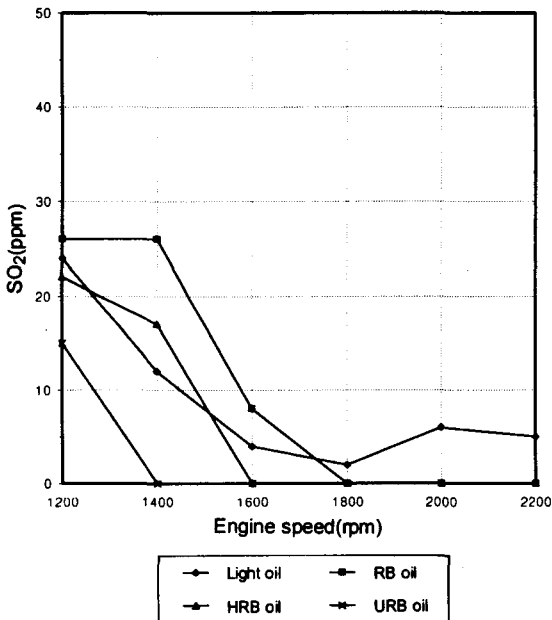


Fig. 4 Sulphur dioxide vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load.

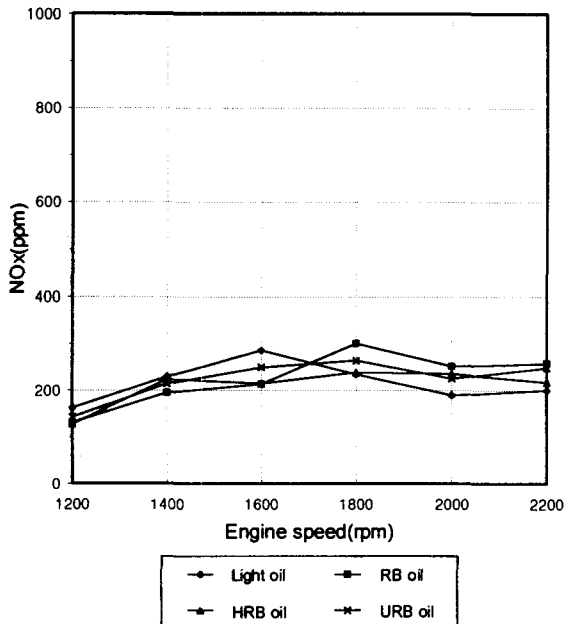


Fig. 5 Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 1/4 load.

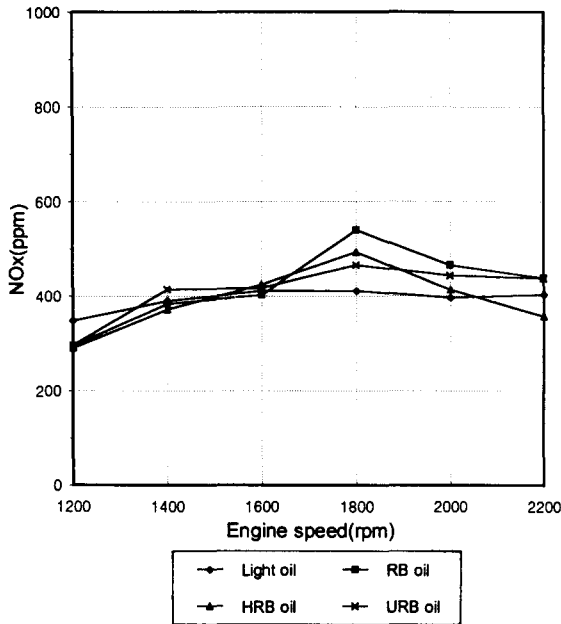


Fig. 6 Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 2/4 load.

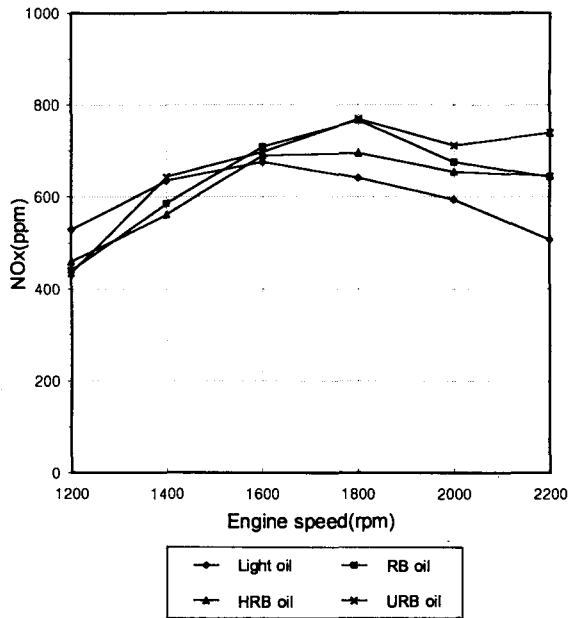


Fig. 8 Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load.

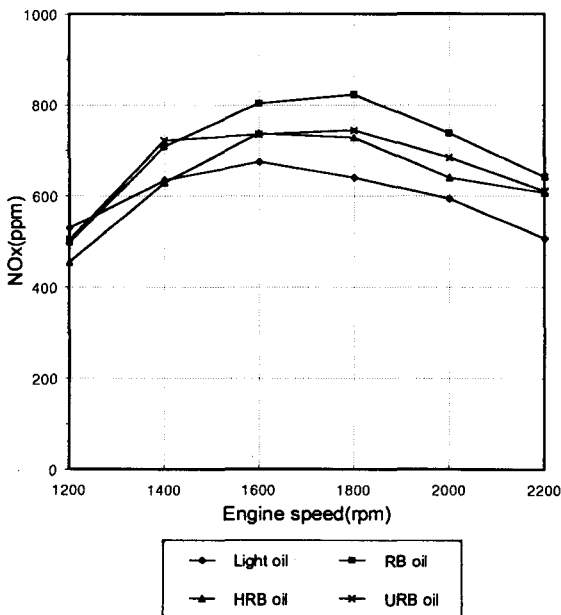


Fig. 7 Oxides of nitrogen emission vs. engine speed for 4 fuels at 3/4 load.

rpm에서 최대가 나타나므로 엔진의 연소에서 연소 반응이 가장 활발한 영역이어서 shift reaction이 일어나 NOx가 집중적으로 생성된 것으로 판단된다. 반면 경유의 경우에는 모든 부하조건을 통하여 1,600 rpm에서 최대 배출 농도를 보였는데 이는 경유와 미강유 계통의 연료의 착화지연기간을 측정하여 좀 더 구체적인 분석을 할 필요가 있을 것으로 사료된다⁷⁾.

상세히 각 연료별로 비교해 보면, 3/4 부하의 경우, 모든 연료 중에서 상온미강유가 제일 불리하였으며, 1,400 rpm 이상에서 미강유의 경우 642~708 ppm의 농도를 보여, 경유의 경우보다 74~135 ppm 정도 더 높은 배출농도를 나타내었다. 또한 1,800 rpm 이상의 영역에서 가온미강유, 초음파적용 미강유 경우에는 715~744 ppm 정도의 범위로 나타나 거의 비슷한 배출농도를 보였는데 이는 경유에 비해 79~100 ppm 정도 더 높은 배출농도의 값이었다. 이 현상은, 출력의 측면에서 미강유의 경우 경유의 경우에 비해 출력증가의 결과가 나타났기 때문에 또한 이 출력증가는 연소반응이 활발하여 나타난 것이

므로, 엔진연소실 내부의 가스의 온도의 상승으로 인한 thermal NOx의 증가로 인한 것으로 사료된다.

3/4 부하의 경우에는 전체적으로 NOx의 발생량이 4/4 부하의 경우보다 약간 높게 나타났는 바 이 현상은 연소실 온도, P- θ 선도, 흡입공기량, swirling 효과와 연료의 혼합상태를 규명해야 하고, 화염전파속도의 측정, 난류특성, 시간파악(turbulent characteristic time) 등의 여러 측면에서 추가 증명할 과제로 보여진다.

4/4 부하의 경우, 전체적으로 prompt NOx의 발생량이 적게 나타났으며, 초음파를 적용한 경우에는 거의 전 회전수 영역에서 NOx의 발생량이 제일 높게 나타났는 바 액체연료의 미립화 증가 및 분무액적의 액경감소에 의해 고온의 산화분위기에서 액적주위의 증발이 활발하여 착화지연이 짧아져서 연소 가스 온도가 상승된 것으로 사료된다.

그림 5~8에서 보는 바와 같이 2/4 부하를 제외하 다른 3 부하조건에서는 1,800 rpm 이상에서 모든 미강유 계통의 연료가 경유보다 높은 질소산화물(NOx)의 배출농도를 보였다. 또한 가온미강유의 경

우가 유리하고, 초음파적용 미강유의 경우가 불리하였는 바, 4/4 부하 조건의 2,200 ppm에서 초음파적용 미강유의 경우 경유의 경우보다 231 ppm 정도 더 높게 배출하여 큰 차이를 보였다.

다. 매연(smoke) 배출 농도

다음의 매연(smoke) 배출 농도 측정결과는 농도 0~100% 범위의 측정이 가능한 일본 光明理化學工業(株)의 ST-100型 北川式 디젤 배기 흑연측정기(표 5)로 측정한 결과이다.

그림 10에서 그림 12까지의 결과를 살펴보면 전체적으로 저부하에서 고부하로 갈수록 매연배출농도는 증가하였다. 1/4 부하에서는 회전수 변화와 관계없이 각 연료별로 거의 일정한 값을 나타내었다. 4/4 부하에서는 초음파적용 미강유의 경우에 최저의 배출농도를 나타내었다.

이는 식물유 중에는 9~10% 정도의 산소가 포함되어 있어^{4,9)} 배기매연 농도의 저감에 영향을 미친 것으로 사료된다. 가온미강유의 경우 상온미강유의

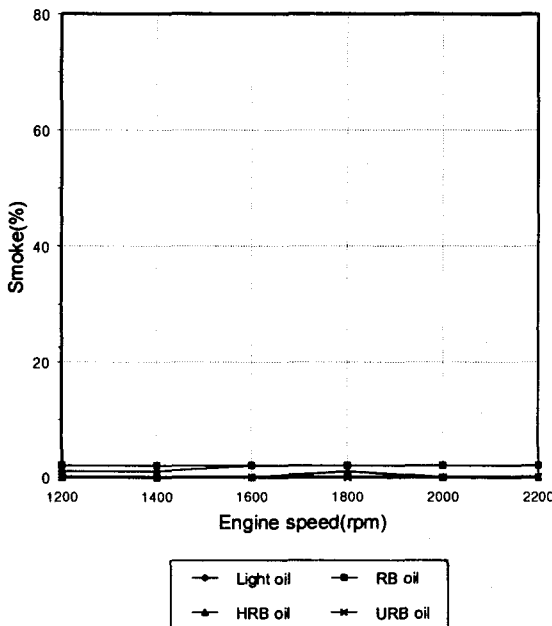


Fig. 9 Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 1/4 load.

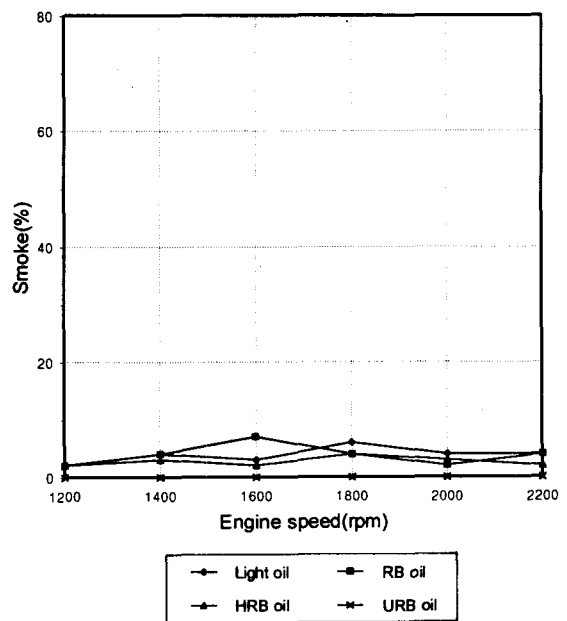


Fig. 10 Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 2/4 load.

경유와 별차이를 보이지 않고 있어 가온의 효과가 적은 것으로 나타났는데, 가온의 효과를 이용하려면 연료필터에서 측정된 값으로 60℃ 이상으로 가온할 필요가 있을 것으로 판단된다.

경유의 경우, 1/4부하에서는 1,600 rpm 이상에서, 2/4 부하에서는 1,600 rpm을 제외한 모든 회전수 영역에서, 3/4 부하에서는 1,600 rpm 이상에서 각각 모든 연료 중에서 최고의 배출농도를 보였다.

이상을 요약하면 미강유를 디젤엔진의 연료로 사용할 경우 경유의 경우보다 이산화황 배출의 측면에서는 비교적 높은 회전수에서 유리하며, 질소산화물 배출의 측면에서는 전반적으로 불리하며, 매연 배출의 측면에서는 전반적으로 유리한 것으로 나타났다.

4. 결 론

대체연료로서 미강유의 디젤엔진에의 사용가능성을 파악하기 위하여 경유, 상온 순수 미강유, 가온 순수미강유, 초음파적용 미강유 등 총 4종류의 연료를 상용출력 5.9 kW의 디젤엔진에 적용하여 1,200

~2,200 rpm의 회전수 범위에 걸쳐서 1/4 부하~4/4 부하의 조건에서 배기가스 측정을 행하고, 그 자료를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 실험에 사용된 배기가스 측정기의 정도 범위에서 배기가스의 특성을 분석한 결과, 이산화유황(SO_2)은 모든 연료에서 4/4 부하 조건에서만 검출되었다. 미강유 및 미강유 처리유의 경우 4/4 부하 조건의 1,600 rpm 미만의 회전수영역에서만 이산화유황이 검출되었는 바 그 범위는 8~26 ppm 정도이었고 저 회전수 영역으로 갈수록 더 높은 농도로 배출되었으며, 상온미강유의 경우에 다른 미강유 처리유의 경우에 비해 비교적 높은 농도를 보였다. 경유의 경우에는 모든 회전수에 걸쳐서 이산화유황을 배출하였으며 그 범위는 2~24 ppm 정도이었고 1,800 rpm에서 최소의 배출농도를 보였다.

2. 질소산화물(NOx)은 모든 미강유 계통의 연료들의 경우 모든 부하조건에서 1,800 rpm에서 최고의 배출농도를 보였으며, 경유의 경우에는 1,600 rpm에서 최고의 배출농도를 나타내었다. 3/4 부하 조건의 모든 회전수에 걸쳐서 모든 연료 중 상온미강유의

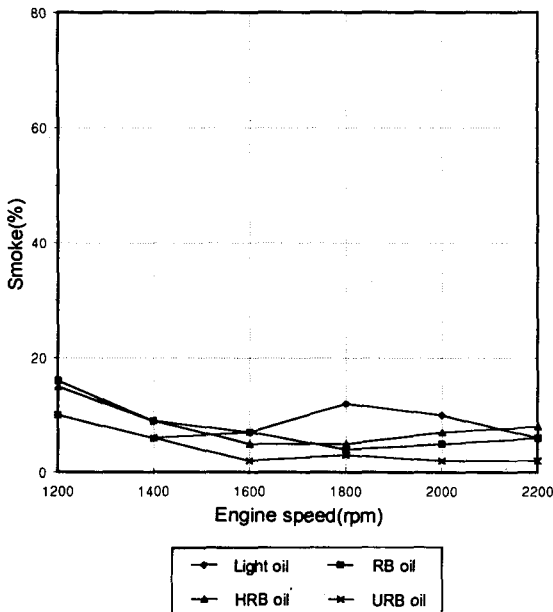


Fig. 11 Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 3/4 load.

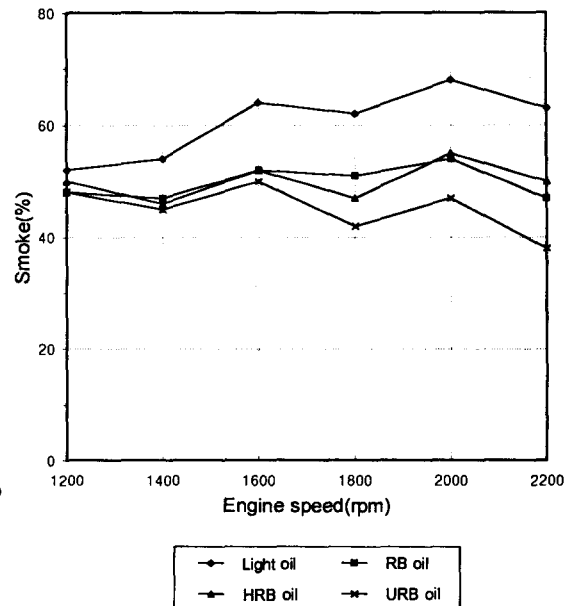


Fig. 12 Smoke emission vs. engine speed for 4 fuels at 4/4 load.

경우에 비교적 가장 높은 배출농도를 나타내었고, 경유의 경우에 비해서는 74~135 ppm 정도 더 높게 배출되었다. 4/4 부하조건의 1,800 rpm 이상의 회전수에서는 거의 모든 미강유계통의 연료에서 경유의 경우보다 14~231 ppm 정도 더 높은 배출농도를 보였고, 그 중 초음파적용 미강유의 경우에 비교적 높은 배출농도를 나타내었다.

3. 매연 배출농도는 1/4 부하에서는 회전수 변화와 관계없이 각 연료별로 거의 일정한 값을 나타내었다. 4/4 부하에서는 초음파적용 미강유의 경우에 최저의 배출농도를 나타내었다. 경유의 경우 1/4 부하에서는 1,600 rpm 이상에서, 2/4 부하에서는 1,600 rpm을 제외한 모든 회전수 영역에서, 3/4 부하에서는 1,600 rpm 이상에서 각각 모든 연료 중에서 가장 높은 배출농도를 보였다. 가온미강유의 경우 가온의 효과를 이용하려면 연료필터에서 측정한 값으로 60℃ 이상으로 가온할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Goering, C. E., et al. 1982. Fuel properties of eleven vegetable oils. Transactions of the ASAE 25 (6):472-1483.
2. 유병구, 정진도, 차경옥, 주은선. 1997. PDPA에 의한 Pintle형 노즐의 미립화 특성 실험(-식물유를 중심으로-). 한국자동차공학회 춘계학술발표대회. pp. 236-241.
3. 天葉 近. 1972. 超音波による液體の微粒化の研究. 内燃機關 11(2):11-22.
4. 류정인. 1987. 초음파를 이용한 흡입 연료의 미립화 성능에 관한 연구. 충남대 산업기술연구소 논문집 2(1):46-54.
5. 최두석, 설진호, 류정인. 1994. 초음파 연료 공급장치용 디젤 자동차의 성능 향상에 관한 연구. 한국자동차공학회 논문집 1.2(1):1-8.
6. 주은선, 정석용, 강대운, 김종천. 1997. 고점성 바이오 디젤유의 분무 미립화에 관한 연구. 한국자동차공학회 논문집 5.1:146-153.
7. 나우정의 8인. 1996. 바이오디젤유 제조기술 개발 및 엔진 적합성 평가(II). 통상산업부연구보고서. pp. 178-201.
8. 나우정의 3인. 1955. 미강유 제조 기술 개발 및 대체연료로서의 활용방안 연구. 과학재단보고서. pp. 65-85.
9. 류정인의 2인. 1994. 초음파 연료공급장치용 디젤 자동차의 성능향상에 관한 연구. 한국자동차공학회 논문집. pp. 1-8.