Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 4, pp.12-23 (2004)

Copyright © 2004 KSAE
1225-6382/2004/070-02

디젤기관에 있어서 개선 미강유 연료의 배기 배출물 특성에 관한 연구

배 명 환[*1] · 하 정 호[2]

경상대학교 기계항공공학부, 공학연구원[1] · 경상대학교 공학연구원[2]

A Study on Characteristics of Exhaust Emissions in a Diesel Engine with Improved Rice Bran Oils as a Fuel

Myung-whan Bae[*1] · Jung-ho Ha[2]

[1]*Engineering Research Institute, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

[2]*Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

(Received 6 August 2003 / Accepted 18 June 2004)

Abstract : The effects of improved rice bran oil on the characteristics of exhaust emissions have been experimentally examined by a single cylinder, four cycle, direct injection, water-cooled agricul- tural diesel engine operating at several loads and speeds. The experiments are conducted with light oil, rice bran oil, and improved rice bran oil as a fuel. The fuel injection timing is fixed to 22° BTDC regardless of fuel types, engine loads and speeds. To reduce the viscosity of rice bran oil, it is used with the methods of heating, methyl ester and ultrasonic system in a highly viscous rice bran oil. In this study, it is found that the brake specific fuel consumption rate of light oil is the lowest and that of improved rice bran oils is lower than that of pure rice bran oil, and NO_x emissions of light oil are the lowest and those of pure rice bran oil are the high- est, while soot emissions of light oil are the highest and those of pure and improved rice bran oils are lower than that of light oil. However these results are not amply satisfied with the emissions regulation limit using the pure and improved rice bran oil as fuels in diesel engines.

Key words : Improved rice bran oil(개선 미강유), Exhaust emissions(배기 배출물), Diesel engine(디젤기관), Methyl ester(메틸 에스테르), Viscosity(점도)

1. 서 론

최근 고유가로 인한 화석에너지 수급의 불안 때문에, 대체에너지 개발에 대한 관심도가 다시 높아지고 있다. 특히 특정한 에너지원의 의존도를 낮추기 위한 내연기관 연료의 다양화를 향해서 여러 가지 대체연료의 개발 및 사용이 검토되고 있다. 그 중, 재생산이 가능한 식물유를 디젤기관 연료로서 활용하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있어 일부는 실용단계까지 다다르고 있다.[1-4]

식물유는 종류에 따라 다르기는 하지만, 경유에 비하여 약 80~100% 정도의 발열량을 가지고 있고, 저유황 성분의 함유량, CO_2의 저배출량 등에 대한 이점 때문에, 부존자원이 풍부한 식물유를 청정의 대체에너지원으로 활용하는 것은 바람직하다고 알려져 왔다.[5-7]

그러나 식물유는 높은 점도 때문에, 휘발성이 낮

*To whom correspondence should be addressed.
mwbae@nongae.gsnu.ac.kr

고 미립화가 나쁘다. 또한, 연소화학에 영향을 미치는 다른 화학적 구조, 불완전 연소로 인한 윤활유 오염 등의 문제가 발생된다. 따라서 연료 및 공기의 부적당한 혼합에 의해 연소가 불완전하게 이루어지고, 기관부품에 매연성분이 퇴적되어 마모를 일으키는 등 여러 가지 문제가 발생되어 기관의 장시간 운전에는 용이하지 않다.[8)]

대체연료로서 식물유에 대한 연구의 대부분은 단기 및 장기의 내구성, 기관마모, 매연성분의 퇴적형성, 미립화, 연소특성, 윤활유 오염 등에 관한 것이며, 이러한 문제들을 극복하기 위해 많은 노력을 기울이고 있지만, 아직은 완성된 단계에 이르지 못하고 있다.[7,8)] 식물유의 고점도를 개선하기 위한 연구는 식물유와 경유를 혼합한 혼합유로서 사용하는 경우, 촉매에 의해 미강유와 알코올을 반응시켜 에스테르화하여 활용하는 경우 등이 이전부터 이루어져 왔다.[2)] 특히, 식물유의 가열, 식물유 유화연료, 초음파 적용, 자체성분 개선 등에 의한 부분적 연구가 많이 수행되고 있지만, 본질적인 연소개선은 아직까지 이루어지고 있지 않다.[9,10)]

저자들은 농용 디젤기관의 연료로서 미강유를 사용하여 연료의 특성을 조사하고, 이러한 연료들이 기관성능 및 배기 배출물에 미치는 영향을 실험적으로 연구하여 미강유의 점도를 개선하면 디젤기관에 대한 대체연료로서 충분히 적용이 가능함을 보고했다.[11)]

본 연구에서는 직접분사식 농용 4행정 디젤기관에 연료로서 사용하는 미강유의 점도를 개선하기 위한 몇 가지 방법을 적용하여 기관회전속도 및 부하를 변화시켰을 경우의 이산화탄소, 산소, 질소산화물 및 매연 배출물에 미치는 영향을 실험에 의해 조사하고, 경유와 순수 미강유를 사용한 경우와 비교해 보았다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 장치의 개략도 를 나타낸 것인데, 실험기관은 수냉, 단기통, 직접분사식 4행정 농용 디젤기관이며, 주요제원은 Table 1과 같다.

와류식 전기동력계를 사용하여 기관토크를 측정하였고, 기관회전속도 및 부하를 조절하기 위하여 스로틀 액추에이터(throttle actuator)를 사용하였다. 배기 배출물중, NOx는 Quintox 배기 분석기(영국 Kane-May사) 에 의해, 매연은 스모크 측정기(DST 210)에 의해 계측하였다.

수조속의 동파이프를 가열기로 가열하여 미강유가 통과되면서 미강유가 가열되도록 기관과 연료탱크 사이에 가열시스템이 설치되어 있다. 또한, 미강유의 미립화를 개선하기 위하여 초음파 에너지를 가하는 초음파 발진장치와 진동자로 구성된 초음파 시스템을 기관과 연료탱크 사이에 설치하였다.

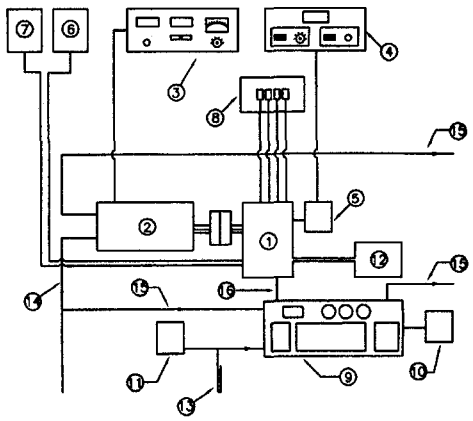

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of test engine

Items	Specifications
Engine / Model	Agricultural diesel engine / ND80DI
Type	Single cylinder, H type, Water-cooled, 4 cycle, Direct injection
Bore × Stroke	92 mm × 95 mm
Piston displacement	631 cc
Maximum power	8.2 kW / 2200 rpm
Fuel injection timing	BTDC 22 °
Compression ratio	19 : 1

냉각수, 윤활유, 배기 및 연료의 온도를 측정하기 위하여 냉각수는 물재킷의 중심부에, 윤활유는 오일팬 공간의 중심부에, 배기는 배기관 끝으로부터 50 mm되는 위치에, 연료는 연료여과기 및 연료가열기에 각각 온도감지장치를 부착시켰다.

그 외에도 공기흡입시 맥동을 줄이기 위하여 기관의 흡기부에 서지탱크를, 식물유와 경유를 혼합하는 경우, 비중차이에 의한 층분리를 일으키지 않도록 연료탱크안에 소형 교반기를, 배기관에서 거리 1 m, 높이 80 cm되는 지점에 소음기를, 머플러에 연결된 배기관의 출구부에 배기의 원활한 배출을 위하여 송풍기를 설치하였다. 그리고 연료탱크는 기관으로부터 약 1.8 m의 높이에 설치하여 중력에 의해 연료가 공급되도록 하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 및 부하를 파라미터로 하여 연료로서 경유 및 미강유만을 100% 사용하였을 경우와 미강유를 가열한 경우, 에스테르화한 경우 및 초음파 에너지를 가한 경우에 대하여 실험을 하였다. 기관회전속도를 변화시키는 경우에는 토크를 고정하여 회전속도를 1200 rpm부터 200 rpm 간격으로 증가시키면서 실험을 하였고, 기관부하를 바꾸는 경우에는 스로틀 액추에이터를 완전개도한 상태를 전부하로 놓고, 전부하의 토크값을 측정하여 기관회전속도를 고정하고 부하를 25%씩 변화시키면서 실험을 하였다. Fig. 2는 전부하에서 경유를 사용한 경우의 연료소비율, 토크 및 출력에 대한 시험기관의 특성곡선에 대해[11] 나타낸 것이다.

연료소비율의 측정은 뷰렛의 일정한 용량(30 cc)의 연료가 소비되는데 걸리는 시간을 측정하는 체적식 방법을 사용하였고, 측정시의 온도에 따른 비중을 적용하여 단위시간 출력당 연료소비율 값(g/kWh)으로 계산하였다. 분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 22°로 고정하였고, 실험을 하는 동안 동력계 및 가열기의 냉각수는 강제순환을 시켰고, 이때 냉각수, 윤활유 및 배기관에는 K형 열전대, 연료여과기는 R형 열전대를 장착하여 기관의 작동상태를 수시로 점검하면서 실험을 하였다.

본 실험에서 사용한 연료는 경유 및 미강유인데, 이들에 대한 화학적 및 물리적 특성[11]을 Table 2에 나타내고 있다. 그런데 물성치에서 주목할 점은 순수 미강유의 점도로서 41.43 cSt이다. 이 값은 경유의 점도 3.46 cSt보다 약 12배 정도 높은 고점성이다. 연료의 점도가 높으면 연료의 이송이 어려워져 송출압력이 증가할 뿐만 아니라, 분사할 때 입자가 커져 분산성이 나빠지고, 착화지연과 불완전연소를 일으켜 연료소비량이 증가하게 되고, 유해성 배기 배출물이 증가하게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선시키기 위하여 미강유를 가열하는 경우, 에스테르화하는 경우 및 초음파 에너지를 가하는 경우의 방법을 적용하

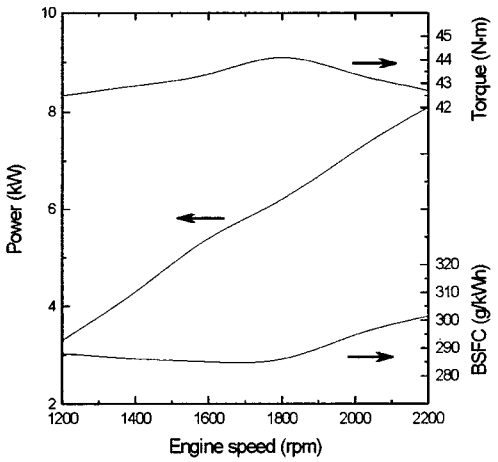

Fig. 2 Full load characteristics of test engine

Table 2 Chemical and physical properties of fuel used

Item \ Oil	Rice Bran	Rice Bran (50%)	Light Oil
Kinematic viscosity (cSt/310.8 K)	41.43	11.53	3.46
Specific gravity (293 K/277 K)	0.920	0.880	0.844
Sulfur (%)	0.00	0.07	0.17
Ash (%)	<0.01	<0.01	<0.01
Carbon residual (%)	0.401	0.299	0.002
Higher calorific value (MJ/kg)	39.61	42.54	45.65
Lower calorific value (MJ/kg)	36.93	39.69	42.57
Flash point (K)	514	337	325
Pour point (K)	268	260.5	265.5

였다. 가열 미강유의 경우에는 333 K되도록 가열기를 사용하여 가열하였는데, 가열된 연료가 연료관을 지날 때 온도가 떨어지는 것을 방지하고 연료여과기내의 온도가 일정하게 유지되도록 관을 가열시켰다.

초음파 에너지를 가하는 경우에는 연료분사펌프의 입구에 호른(horn)이 장착된 진동자와 발진장치로 구성된 초음파 시스템을 사용하여 진동자에 의해 초음파를 가하였다. 초음파 발진장치는 발진부(oscillating part), 증폭부(amplifying part) 및 정합부(match- ing part)로 구성되는데, 발진부에서는 28.5 kHz의 주파수를 발진하며, 증폭부에서는 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 준다. 정합부에서는 증폭된 구형파 동주파수의 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해 준다.

미강유를 에스테르화하기 위한 알코올로는 메탄올을 사용하였고, 촉매로는 나트륨 메토키시드(sodium methoxide)를 사용하였다. 미강유의 에스테르화 전환율에 영향을 미치는 인자는 메탄올 혼합비, 촉매농도 및 반응온도인데, 미강유와 메탄올의 몰비는 1 : 7, 촉매농도는 나트륨 메토키시드 1 wt%, 반응온도는 60°C일 경우, 98%의 전환율을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 다른 연료 혹은 방법을 적용하여 연속실험을 할 경우에는 동일 연료 혹은 방법에 대한 기관회전속도 및 부하 변동의 실험을 끝낸 후, 다른 연료 혹은 방법으로 교체하였고, 실험을 시작할 때와 끝마칠 때는 항상 경유를 사용하여 일정 시간 동안 기관을 작동시켰다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 2는 기관부하를 25%씩 증가시켰을 경우, 경

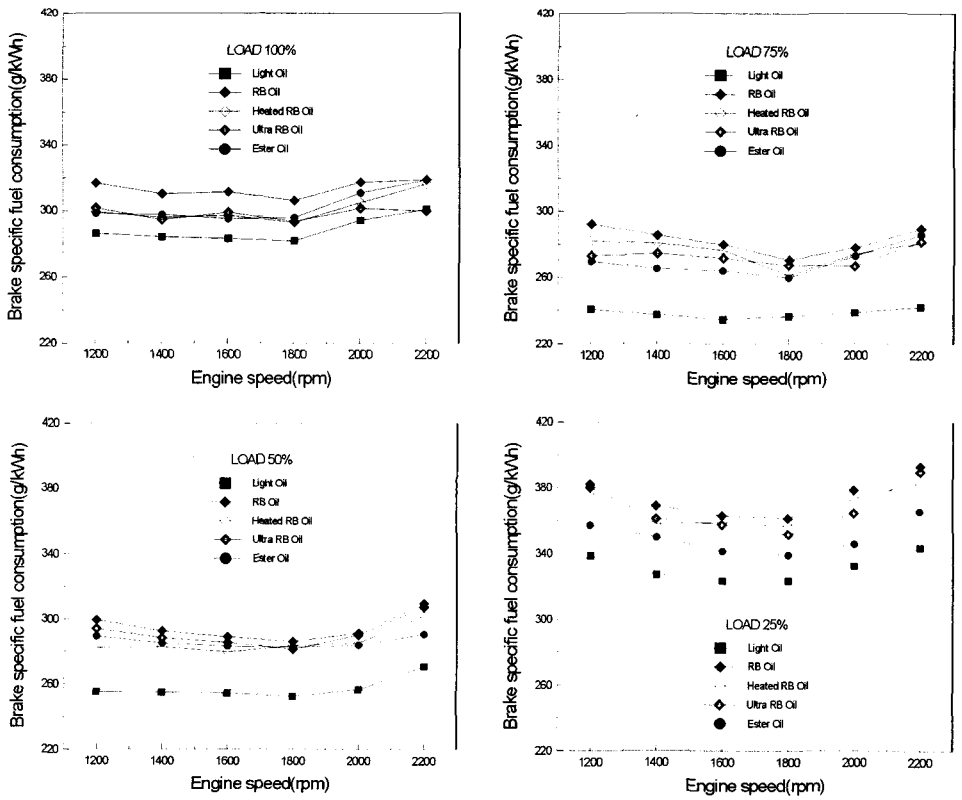

Fig. 3 Comparison of brake specific fuel consumption with different fuels including improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

유(Light Oil), 미강유(RB Oil), 가열 미강유(Heated RB Oil), 초음파 미강유(Ultra RB Oil) 및 에스테르화 미강유(Ester RB Oil)를 연료로 사용하여 기관회전속도를 1200~2200 rpm까지 200 rpm씩 변화시켰을 때의 제동 연료소비율을 나타낸 것이다. 그림에서 부하에 관계없이 미강유의 연료소 비율은 경유만의 경우보다도 증가하고, 점도를 개선시키기 위하여 활용된 3 방법의 개선미강유 연료소비율에 대한 증가 및 감소 경향은 뚜렷하게 나타나지 않고 있으나, 미강유만의 경우보다는 연료소비율이 감소되고, 경유만의 경우보다는 증가되고 있음을 알 수 있다. 또한 연료의 종류 혹은 방법에 관계없이 부하가 증가할수록 연료소비율이 감소하나, 전부하에서는 다시 연료소비율이 증가하고 있음을 알 수 있다. 기관회전속도에 대한 연료소비율은 전부하 특성곡선에 나타난 것과 같이 대체적으로 1800 rpm 부근에서 최소의 연료소비율을 보이고, 1800 rpm 이전에는 기관회전속도의 증가에 따라 연료소비율은 감소하지만, 1800 rpm 이후에는 기관회전속도의 증가에 따라 연료소비율도 증가되고 있다.

미강유만을 사용하는 경우는 경유만을 사용하는 경우에 비해 연료소비율이 약 6~18% 정도 증가하였는데, 그 이유로서는 점도가 높기 때문에 분무 미립화의 효율이 나쁘고, 또한 미강유의 밀도가 커서, 단위시간당의 분사량이 증가하기 때문이라고 추정된다. 이러한 점도를 개선하기 위하여 사용된 3 방법들은 실험조건에 따라 다르기는 하지만, 미강유만의 경우보다는 연료소비율이 감소되고 있다. 그러나 이 들 3 방법에 대한 연료소비율의 증감 차이를 명확하게 구분할 수 없음을 알 수 있다.

3.2 배기 배출물

3.2.1 CO_2 배출물

지구온난화에 대한 온실효과가스는 CO_2의 기여도가 55% 정도를 차지하고 있기 때문에, CO_2 배출물에 대한 저감이 중요한 과제가 되고 있을 뿐만 아니라, 세계각지에서 이산화탄소 등의 온실효과가스 농도에 대한 감시가 이루어지고 있다. 대기중의 이산화탄소 농도는 산업혁명 이전에는 280 ppm 정도였지만, 세계의 인구가 증가하여 산업이 발전함에 따라 배출량이 증가하여 현재는 350 ppm을 넘어서고 있고, 매년 0.5% 정도의 비율로 증가하여 가고 있다고 추측하고 있다.[12)]

현재, CO_2 배출물 저감에 대한 논의가 진행되고 있지만, 가까운 장래에 규제의 대상이 되리라 예상되기 때문에, 본 논문에서는 미강유의 점도를 개선하기 위하여 활용된 방법에 있어서의 CO_2 배출물을 비교하고, 그 결과를 검토해 본다.

본 논문에는 나타내지 않았지만, 각 부하에 있어서 기관회전속도에 따른 CO_2 배출물은 부하의 증가에 따라 대체적으로 증가되고 있는 것처럼 나타나고 있다. 부하가 작을수록 연료소비율이 증가함에도 불구하고, CO_2 배출물이 적게 나타나고 있는 것처럼 보이는 것은 저부하에서 연소효율이 나쁘기 때문인지 혹은 다른 이유 때문인지를 정확히 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 각 실험조건의 출력에 대한 CO_2 배출물을 나타내 보았다.

Fig. 3은 각 실험부하에 있어서 각 방법의 연료를 사용하여 기관회전속도에 따른 CO_2 배출물을 각 실험조건의 출력에 대하여 나타낸 것이다. 여기서 출력에 대한 CO_2 배출물은 각 실험조건에 대해 측정 CO_2 배출물을 출력으로 나눈 값이다.

부하 50%까지는 기관회전속도에 따른 출력당의 CO_2 배출물이 미강유만을 사용했을 경우에 가장 많다. 이것은 미강유 중에 함유된 산소농도가 연료중의 탄소와 반응하여 CO_2로 변하고 있음을 매연 배출물이 감소되고 있는 것으로부터 알 수 있다.

그러나 부하 100%에서는 에스테르화 미강유의 경우에 CO_2 배출물이 가장 많이 나타나고 있는데, 이것은 뒤에서 고찰하는 배출산소농도와는 반대의 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 완전연소가 많이 이루어져 CO_2 배출물이 증가되면서 배출산소농도는 감소되는 것으로 예측된다.

점도개선에 의한 3가지 방법의 출력에 대한 CO_2 배출물은 초음파를 가한 미강유의 경우가 어느 부하에서나 가장 적음을 알 수 있었다. 나머지 2가지 방법의 경우에는 실험조건에 따라 다르게 나타나고 있어 어떤 뚜렷한 경향을 나타내고 있지는 않았다.

본 연구 및 이전 연구[11)]에서 CO_2 배출물이 자동차용 등의 다른 디젤기관에서보다 전반적으로 적게

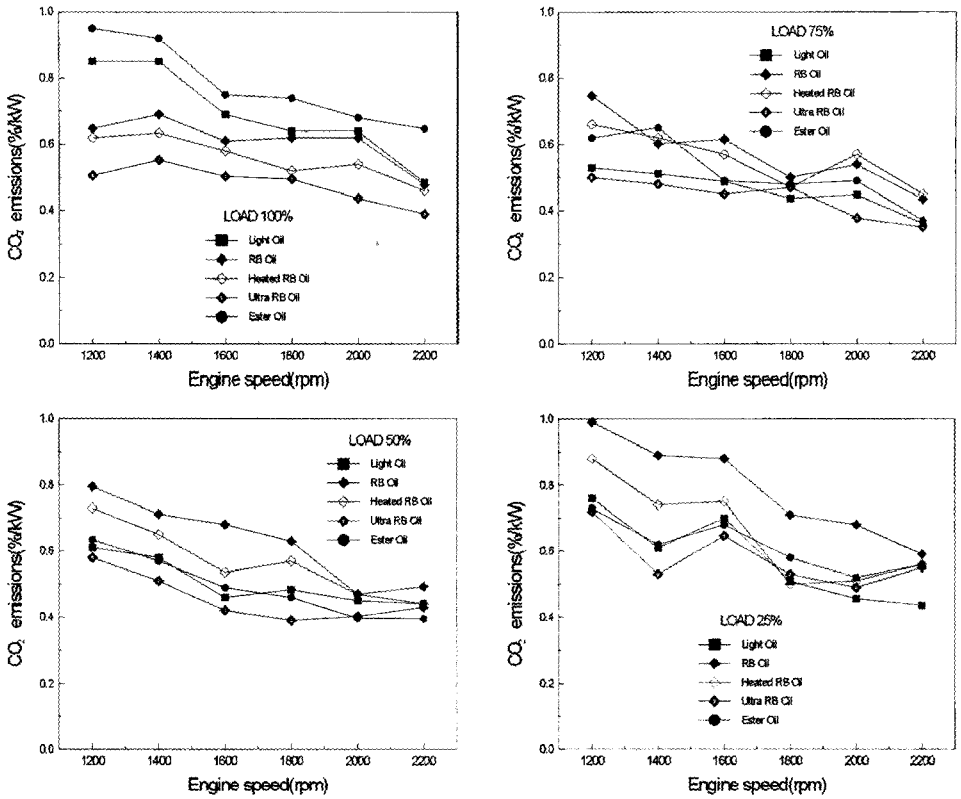

Fig. 4 Comparison of CO_2 emissions per output with different fuels including improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

나타나고 있음을 알 수 있는데, 이것은 사용된 농용 단기통 디젤기관의 연소효율이 좋지 않기 때문인 것으로 추정된다.

3.2.2 산소(O_2) 배출물

배출산소농도는 규제대상물질은 아니지만, 연소효율을 파악하고 다른 배출물을 고찰하는 데 중요하게 활용할 수 있는 값이다. 특히 최근에는 디젤기관의 후처리 시스템 처리장치 등을 배기관에 설치하게 되는데, 이러한 설치를 할 경우에 검토되고, ECU에서 연료분사량을 조정하는 제어인자의 하나로서 활용되는 배출물이다.

본 논문에는 나타내고 있지 않지만, O_2 배출물을 단순하게 실험조건에 대하여 나타내면, CO_2 배출물과는 반대로 부하가 증가할수록 감소되고 있다. 특히, 각 실험조건에 의한 O_2 배출물의 변화 폭은 부하가 증가할수록 크게 나타나는 것처럼 보인다.

본 연구에서는 각 실험부하에 있어서 각 방법의 연료를 사용하여 기관회전속도에 따른 O_2 배출물을 각 실험조건의 출력에 대하여 나타낸 것이 Fig. 4이다. 그림에서 연료소비율 및 출력에 대한 CO_2 배출물의 경우와 함께 고찰할 수 있는데, 연료소비율이 가장 많은 미강유만의 경우에 부하 75%까지는 출력에 대한 CO_2 배출물이 가장 많았고, 반면에 출력에 대한 O_2 배출물은 가장 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이것은 저자들의 이전 연구에서 밝힌 것처럼 순수 미강유의 경우에 저위발열량은 경유의 87%에 해당되지만, 정미 열효율은 오히려 높게 나타나고 있다.[1] 따라서 순수 미강유의 경우, 경유에 비하여 O_2 배출물이 감소하고, CO_2 배출물은 증가되고 있다.

Fig. 3에 의하면 전부하에서의 에스테르화 미강유가 출력에 대한 CO_2 배출물은 가장 많았다. Fig. 4를 보면 같으면 출력에 대한 O_2 배출물은 대신에 가

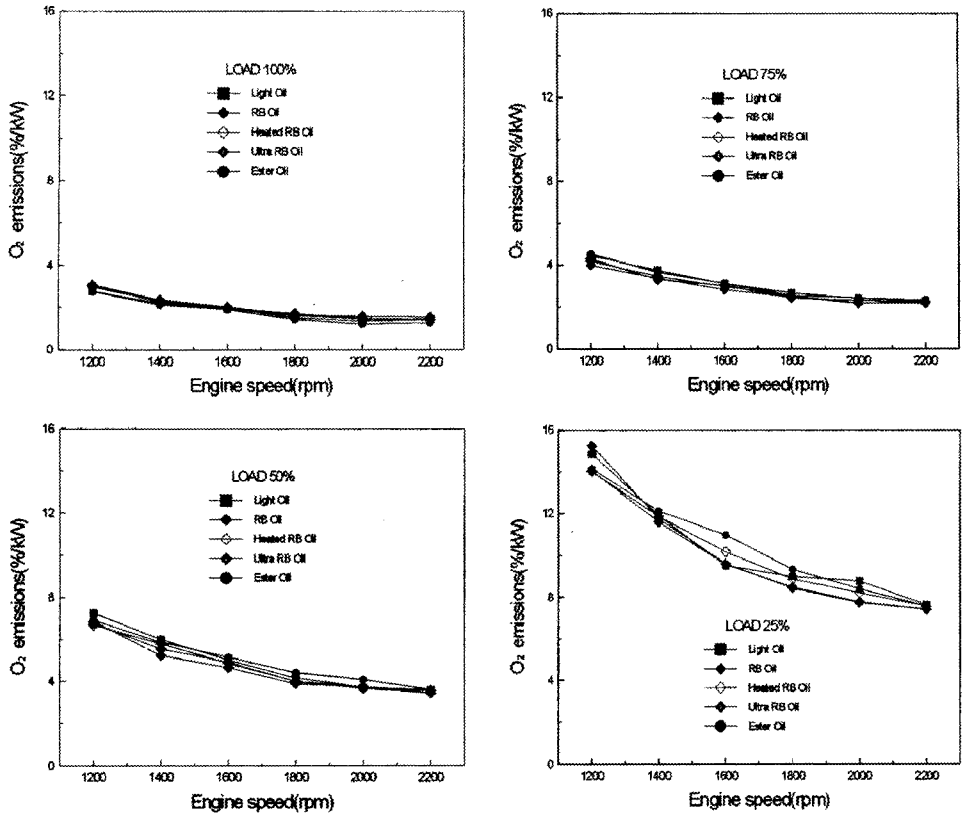

Fig. 5 Comparison of O_2 emissions per output with different fuels including improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

장 적게 나타나고 있어 논리적으로 잘 들어맞고 있음을 알 수 있다.

그런데 점도를 개선시키기 위하여 사용된 3가지 방법의 경우에 CO_2 및 O_2 배출물이 다른 두 연료에서와 같이 명확하게 비교되지 않은 것은 연료소비율, 각 방법의 점도개선 특징, 정미 열효율 등에 의한 둘 이상의 복합적인 요인이 혼합되어 나타날 수 있기 때문에, 단순하게 비교할 수 없는 값으로 나타난다고 생각된다.

3.2.3 질소산화물(NO_x) 배출물

Fig. 5는 경유, 순수 미강유 및 3가지 방법에 의한 개선 미강유의 연료를 파라미터로 하여 실험조건의 부하에 있어서 NO_x 배출물의 측정결과를 기관회전속도에 따라 나타낸 것이다.

그림에서 본 연구의 기관회전속도 1800 rpm 부근을 중심으로 이 보다 낮은 기관회전속도에서는 기관회전속도의 증가에 따라 NO_x 배출물이 증가하고, 그 이상의 기관회전속도에서는 기관회전속도의 증가에 따라 NO_x 배출물이 감소되고 있음을 알 수 있다. 전체의 부하에 걸쳐서 경유만을 사용하였을 경우에 NO_x 농도가 가장 적게 배출되고 있고, 전부하의 기관회전속도를 제외하고는 대체적으로 미강유만을 사용하였을 경우에 NO_x 농도가 가장 많이 배출되고 있음을 알 수 있다. 특히 전부하에 있어서는 초음파를 가한 미강유의 경우에 NO_x 배출물이 가장 많이 나타나고 있다.

한편, 저속의 기관회전수에서는 미강유의 경우, 경유에 비해 기화성이 나쁠지라도 연소가스온도의 차가 크지 않기 때문에 경유만의 경우와 NO_x 배출물의 차이가 크지는 않지만, 부하가 높을수록 기관회전수가 고속이 될수록 발열량은 다소 떨어질지도 연소실의 연소가스온도도 증가되고, 미강유

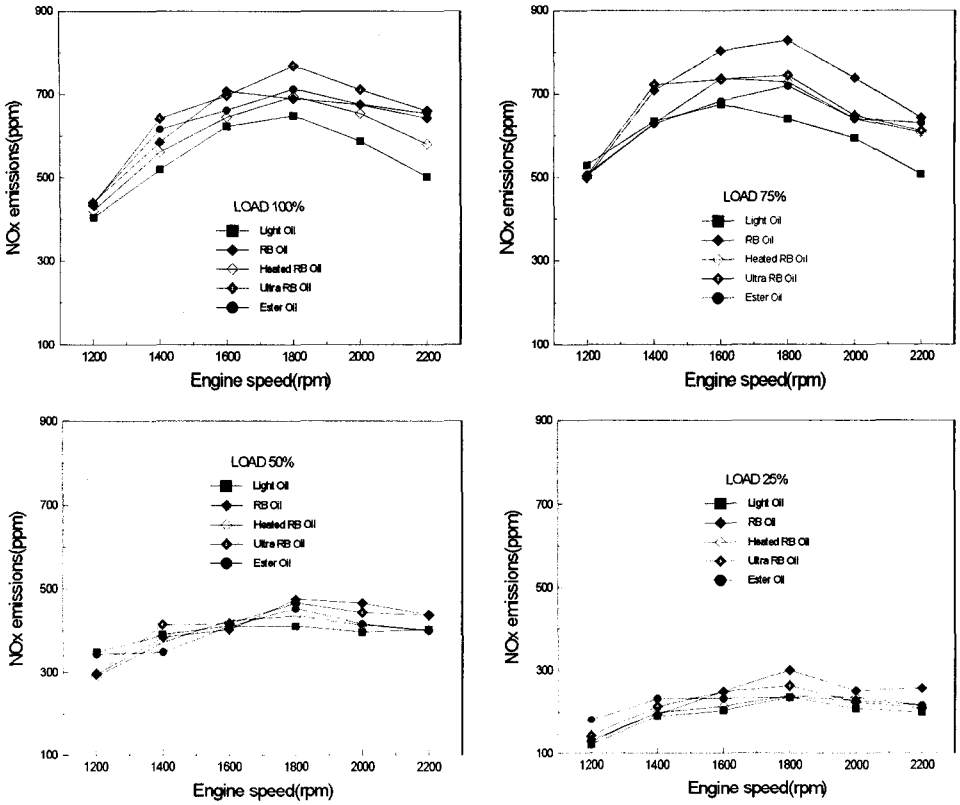

Fig. 6 Comparison of NOx emissions with different fuels including improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

연료소비율이 많아 전체적인 연소효율이 개선되어 NO_x 배출물은 증가한다.

또한 NO_x 배출물은 연소가스온도 뿐만 아니라, 산소농도와도 관계가 있기 때문에, 미강유의 경우, 함유된 10.7% 정도의 산소농도가 영향을 미치리라 예상된다.

3.2.4 매연 배출물

동실험조건의 부하와 연료유에 있어서 매연 배출물을 기관회전속도에 따라 나타낸 것이 Fig. 6이다. 매연은 NO_x 배출물과 생성기구 과정 등이 상반되기 때문에, 앞에서 고찰한 NO_x 배출물과는 일반적으로 상반되는 경향을 나타내고 있다. 그림에 의하면 전반적으로 미강유만의 경우가 경유만의 경우보다 배출량이 감소함을 알 수 있는데, 이것은 미강유에 함유된 10.7% 정도의 산소량이 연소중 산화과정에 기여하기 때문이다고 생각된다.

3가지 방법에 의한 개선 미강유의 매연 배출물은 경유만의 경우보다 감소되고 있지만, 부하 25%에서는 미강유만의 경우가 가장 배출농도가 적다. 그러나 이 들 값은 부하 혹은 기관회전속도에 따라 각각 다르게 나타나기 때문에 비교할 수가 없다. 특히 전부하에서초음파를 가한 미강유의 경우는 앞에서 고찰한 것처럼 O_2 농도와 NO_x 농도가 가장 많이 배출되었고, CO_2와 매연 배출물이 가장 적음을 알 수 있다.

디젤기관은 부분부하에 비하여 전부하에서 어느 기관회전속도에서나 매연 농도가 많이 배출되는데, 이것은 고부하가 될수록 연료소비율에 비하여 공기과잉률이 감소하기 때문에 국소적으로는 산소량이 부족하고, 상대적으로 산소농도와 반응할 할 수 기회가 줄어들어 불완전연소가 발생하여 매연 배출물이 증가한다고 생각된다.

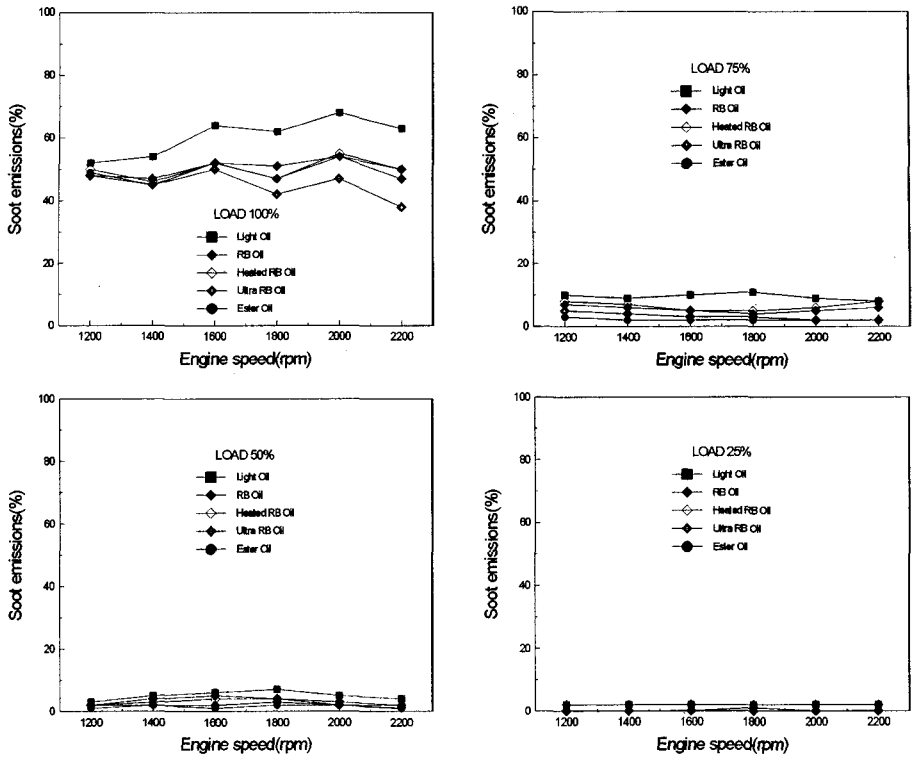

Fig. 7 Comparison of soot emissions with different fuels including improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

3.3 대체연료로서의 개선 미강유의 검토

미강유는 원료인 쌀겨에 따라 성상이 다르지만, 본 실험에 사용된 미강유의 화학적 조성은 이전의 연구보고[11]에서 밝힌 것처럼 탄소 77.5%, 수소 11.8%, 산소 10.7%로 이루어져 유황이 전혀 들어있지 않기 때문에, SO_x가 전혀 배출되지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 동보고에 의하면 미강유의 함유량이 증가할수록 점성계수가 크고, 저위발열량은 경유에 비해 낮지만, 앞에서 고찰한 것처럼 연료소비율은 증가하나 열효율은 오히려 약간 높게 나타나고 있다. 한편, 미강유 자체에 함유되어 있는 다량의 산소농도는 연소에 기여하여 매연 배출물의 저감효과를 가져온다고 생각된다. 이와 같은 면에서 미강유는 점성계수를 낮추는 방법만 모색된다면, 환경오염문제를 개선하는 측면에서 대체연료로서의 사용 가능성이 높음을 이전의 연구보고에서 밝힌 적이 있다.

본 연구에서는 디젤기관의 대체에너지로서 미강유의 점성계수를 낮추는 3가지 방법에 대하여 개선 미강유의 배기 배출물 특성을 검토하여 보았는데, 이렇게 조사된 NO_x 및 매연 배출물의 데이터를 Fig. 7에 나타내었다.

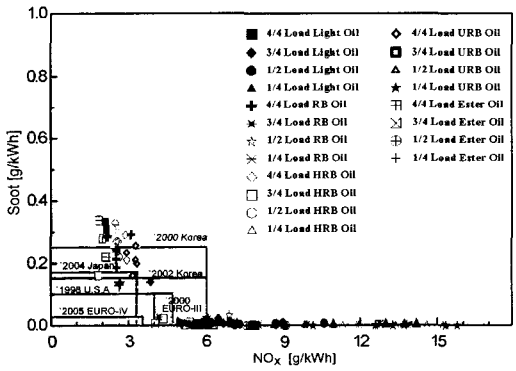

Fig. 8 Schematic illustration for correlation between NOx and soot emissions

본 연구에서는 NO_x 및 매연 배출물을 총량이 아닌 농도로서 측정하기 때문에, Fig. 7과 같이 나타내기 위해서는 계측된 농도값을 총량값으로 환산하여야 한다. NO_x 배출물은 육용기관에 실시되고 있는 덴마크의 배기 규제[13]를, 매연 배출량은 Bosch수와 배기중 매연 배출량과의 관계[14,15]를 이용하여 환산하였다.

그림에서 한국의 규제값은 중형 디젤자동차에 적용되는 수치를 나타내고 있다. 2000년도 매연의 규제값에 대해서 100% 부하인 경우, 몇 가지의 실험조건에서 만족시키지 못하고 있음을 알 수 있다. NO_x 배출물의 규제값에 있어서는 매연 배출물보다는 상당히 많은 실험조건에서 만족시키지 못하고 있다. 이와 같이 매연 및 NO_x 배출물의 규제값을 동시에 만족시키기가 간단하지 않음을 알 수 있다.[16,17]

본 연구결과는 2002년도의 한국 규제값을 비롯하여 선진 외국의 규제값에 대하여 거의 만족시키지 못하고 있어 앞으로 배기 배출물 저감대책에 대한 이러한 문제의 해결이 상당히 심각함을 의미한다.[18,19]

개선 미강유를 사용하는 경우에는 저부하보다는 중·고부하에서 배기 배출물의 규제값을 더 만족시킬 수 있음을 나타내고 있는 특이한 결과를 보여주고 있다. 이전 연구[11]에서 검토한 경유, 혼합유 및 순수 미강유보다는 전체적으로 규제값을 만족시키는 조건이 증가되었지만, 이러한 값들은 데이터 환산 등의 문제가 있기 때문에, 앞으로 보다 정확한 배기량값을 구하는 방법 등을 강구하여 NO_x 및 매연 배출물의 규제값 관계를 나타낼 필요가 있다.

Fig. 8은 미강유, 혼합유 및 경유에 대한 저위발열량, 동점성계수, 유황 함유량 및 잔류탄소 함유량을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 미강유의 함유량이 증가할수록 점성계수가 크게 나타나는데, 이 때문에 분사압력이 증가하고 분무상태가 악화될 뿐만 아니라, 탄소퇴적물이 기관운전에 지장을 가져오고 있다. 저위발열량은 경유에 비해 낮기 때문에, 앞에서 고찰한 것처럼 연료소비율은 증가하지만, 열효율은 오히려 약간 높게 나타나고 있다.

한편, 미강유 자체에 함유되어 있는 다량의 산소는 연소에 기여하여 매연 배출물의 저감효과를 가져오고 있다. 이와 같은 면에서 볼 때, 미강유는 점성계수를 낮추는 방법만 모색된다면, 환경오염문제를 개선하는 측면에서 대체연료로서의 사용 가능성이 높음을 본 연구의 결과로서 확인할 수 있다.

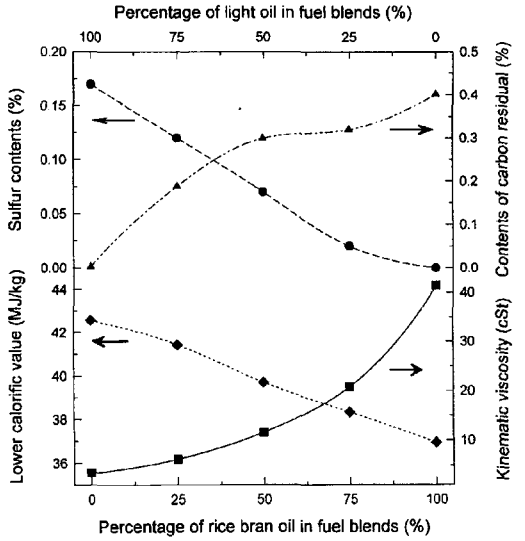

Fig. 9 Comparison of chemical and physical pro- perties as a function of the percentage of rice bran oil in fuel blends

4. 결 론

수냉, 단기통, 4행정, 직접분사식 농용 디젤기관에 연료로서 경유, 미강유 및 개선 미강유를 사용하여 부하 및 기관회전속도를 변화시켰을 경우, 이들 연료들이 연료소비율 및 배기 배출물 특성에 미치는 영향에 대해 실험적으로 조사하여 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

1) 연료소비율은 부하에 관계없이 경유가 가장 적었고, 순수 미강유의 경우에 가장 많았다. 개선 미강유의 경우에는 경유와 순수 미강유의 중간에 위치하고 있지만, 부하에 따른 이 들 값의 비교가 부하 혹은 기관회전속도에 따라 일정하지 않았다.
2) 출력에 대한 CO_2 배출물은 부하 75%까지는 순수 미강유의 경우가 가장 많았고, 초음파 미강유의 경우가 가장 적었다. 부하 100%에서는 개선 미강유인 에스테르화 미강유가 가장 많았다.

3) O_2 배출물은 CO_2 배출물과는 반대로 부하 75%까지는 대체로 순수 미강유의 경우가 가장 적었고, 대체적으로 경유의 경우가 가장 많았다. 부하 100%에서는 개선 미강유인 에스테르화 미강유가 가장 적었고, 초음파 적용 미강유가 가장 많았다.
4) NO_x 및 매연 배출물의 농도는 연료소비율, CO_2 및 O_2 배출물과 관계가 있는데, NO_x 배출물의 농도는 부하에 관계없이 대체로 경유의 경우가 가장 낮았고, 순수 미강유를 사용한 경우에 가장 많았다. 매연 배출물은 부하에 관계없이 경유에서 가장 많았지만, 부하 100%에서는 초음파 적용 미강유가 가장 적게 나타났다. 나머지 경우에는 부하 혹은 기관회전속도에 따라 각각 다르게 나타나고 있어 비교를 할 수 없었다.
5) 점도를 개선한 미강유의 경우, 경유 혹은 순수 미강유보다는 규제값을 더 많은 조건에서 만족시키고 있지만, 디젤기관의 대체에너지로서 사용하여 여러 부하의 실험조건에서 규제값을 만족시키기 위해서는 다른 대책을 강구하여야 한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2000-000-00307-0), 산업자원부 지역특화기술개발사업(과제번호 10003737), BK21사업, 항공기부품기술연구소로부터 연구비를 부분적으로 지원을 받아 수행되었고, 실험은 경상대학교 농업시스템공학부의 장치를 활용하여 이루어진 것으로 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드리며, 자료제공과 실험결과의 토론에 도움을 주신 일본 토카이대학교 카미모토 타케유키 교수님(TIT 명예교수)께도 감사드립니다.

References

1) Y. Akasaka, T. Suzuki, Y. Sakurai, "Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with Blends of Biodiesel and Low Sulfur Diesel Fuel," SAE 972998, pp.1-7, 1997.
2) C. Y. Choi, G. R. Bower, R. D. Reitz, "Effects of Biodiesel Blended Fuels and Multiple Injections on D. I. Diesel Engines," SAE 970218, pp.1-20, 1997.
3) J. Krahl, G. Vellguth, A. Munack, K. Stalder, M. Bahadir, "Exhaust Gas Emissions and Environmental Effects by Use of Rape Seed Oil Based Fuels in Agricultural Tractors," SAE 961847, pp.1-14, 1996.
4) S. A. Niemi, P. E. IIIikainen, M. L. K. Mäkinen, V. O. K. Laiho, "Performance and Exhaust Emissions of a Tractor Engine Using Mustard Seed Oil as Fuel," SAE 970219, pp.21-32, 1997.
5) S. S. Rho, M. W. Bae, "An Experimental Study on the Performance and the Exhaust Emissions of Gasoline Using Water-Gashol Blends as a Fuel," Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol.8, No.2, pp.25-38, 1984.
6) J. Schramm, I. Foldager, N. Olsen, L. Gratz, "Emissions from a Diesel Vehicle Operated on Alternative Fuels in Copenhagen," SAE 1999-01-3603, pp.1-8, 1999.
7) L. L. Stavinoha, S. Howell, "Potential Analytical Methods for Stability Testing of Biodiesel and Biodiesel Blends," SAE 1999-01-3520, pp.1-15, 1999.
8) N. N. Clark, C. M. Atkinson, G. J. Thompson, R. D. Nine, "Transient Emissions Comparisons of Alternative Compression Ignition Fuels," SAE 1999-01-1117, pp.1-14, 1999.
9) K. Hamasaki, A. Hirotsu, C. Jaqin, K. Takasaki, T. Oyama, "Utilization of Emulsified Vegetable Oil Methyl Esters of Diesel Fuel," Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers(B), Vol.67, No.663, pp.266-272, 2001.
10) K. Hamasaki, E. Kinoshita, Y. Matsuo, W. Jazair, "Utilization of Palm Oil for Diesel Fuel," Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers (B), Vol.68, No.667, pp.322-327, 2002.
11) M. W. Bae, J. H. Ha, "A Study on the Performance and Exhaust Emissions of Agricultural Diesel Engines by Use of Rice Bran Oil as a Fuel," Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol.22, No.6,

pp.816-826, 1998.

12) Z. Dulger, C. Kaplan, "Utilization of Sunflower Methyl Ester as a Diesel Engine Fuel," SAE 2001-01-3633, pp.1-6, 2001.
13) O. Grøne, "Countermeasure of Exhaust Emissions Control in Low Speed Marine Diesel Engines," Journal of the Marine Engineering Society in Japan, Vol.29, No.1, pp.14-23, 1994.
14) Robert Bosch Gmbh, "Zusammenhang Zwischen Russgehalt Anzeigewert und Bosch ETD 020.00/ETD 020.50," Bosch Panphlet.
15) Y. Matsui, T. Kamimoto, S. Matsuoka, "Formation and Oxidation Process of Soot Particulate in a D. I. Diesel Engine - An Experimental Study via the Two-color Method," SAE 820464, pp.1923-1935, 1983.
16) M. W. Bae, J. H. Ha, "A Study on Effects of Recirculated Exhaust Gas upon NOx and soot Emissions of a Marine Diesel Engines with Scrubber EGR System," Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol.24, No.3, pp.330-338, 2000.
17) M. W. Bae, "A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas upon NO_x and Soot Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System," SAE 1999-01-3266, pp.78-87, 1999.
18) M. W. Bae, J. K. Lim, "A Study on Effect of EGR upon Fuel Consumption Rate and NO_x Emissions in Diesel Engines," Transactions of KSAE, Vol.3, No.1, pp.76-88, 1995.
19) M. W. Bae, J. K. Lim, "A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas on Soot Emissions in Diesel Engines," Transactions of KSAE, Vol.6, No.6, pp.142-154, 1998.