

디젤기관의 대체연료로서 미강유의 특성 연구(I)

A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)

오영택*, 최승훈**, 김승원**
Youngtaig Oh, Senughun Choi, Seungwon Kim

ABSTRACT

Lately, our world is faced with very serious problems related to the increased air pollution of the exhaust emissions from automobiles. In particular, the exhaust emissions of diesel engines are recognized as a main cause which strongly influence environment. Lots of researchers have attempted to develop various alternative fuels to reduce these harmful emissions in diesel engine. The purpose of this investigation is to evaluate the possibility of esterified rice bran oil for diesel fuel substitution in a naturally aspirated D. I. diesel engine, and also find means to reduce smoke emissions in esterified rice bran oil combustion. The smoke emission of esterified rice bran oil is reduced remarkably in comparison with commercial gas oil, that is, it was reduced approximately 58.2% at 2500rpm. But, power, torque and brake specific energy consumption didn't have no large differences. It was concluded that esterified rice bran oil can utilize effectively as an alternative and renew- able fuel for diesel engine.

주요기술용어 : Rice bran oil(미강유), Exhaust emission(배기배출물), Oxygenated fuel(함산소연료), Alternative fuel(대체연료), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Diesel engine(디젤기관)

1. 서 론

루돌프 디젤(R. Diesel)이 1893년 내연기관의 작동 사이클과 실행방법에 관한 특허를 받은 이후, 디젤 기관은 가솔린 기관과 더불어 동력을 얻을 수 있는 대표적인 열기관으로서 발전을 거듭하여 왔다.

이러한 디젤기관은 높은 열효율을 낼 수 있고, 저급연료를 포함한 여러 종류의 연료를 사용할 수 있으며, 또한 고출력을 낼 수 있어 그 수요가

증가되는 추세에 있지만, 기관 특성상 연소 후 배출되는 매연으로 인하여 전 지구총적인 대기오염의 주범으로 주목받고 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로써는 자동차의 수를 저감시키는 극단적인 방안으로부터 고압분사에 의한 연소개선과 배출물 저감,^{1,2)} 분사시기 및 연료공급량의 제어,³⁾ 촉매에 의한 NOx의 저감,⁴⁾ 연소실 형상변화로 스월과 텁블에 의한 NOx와 매연의 동시저감^{5,6)} 등이 있으며, 최근의 커먼 레일 방식(common rail system)⁷⁾을 사용함으로써 가솔린기관처럼 디젤기관도 전자제어 방식에 의해 배기ガ스를 저감하기 위

* 회원, 전북대학교 기계공학과, 자동차신기술 연구소
** 회원, 전북대학교 대학원

한 방안까지 제시되고 있으며, 일부는 실용화 단계에 이르고 있다.

또 다른 방법의 하나로는 연료 자체의 성상을 변화시키는 방법을 들 수가 있다. 이는 기존의 화석연료는 연료 자체속에 산소성분이 전혀 존재하지 않는 탄화수소 화합물이기 때문에 디젤기관의 특성상 저부하영역에서는 물론 고부하영역 즉, 농후한 혼합기 영역 및 연소말기에 불완전 연소가 될 가능성이 농후하므로 연료자체에 산소를 다량 함유하고 있는 함산소연료를 기존의 경유와 혼합하여 사용함으로써 배출가스의 저감을 시도하고자 하는 것이다.

이러한 함산소연료를 이용한 여러 가지 실험들을 살펴보면, Liotta 등은 글리콜 에테르, 방향족 알콜, 지방족 알콜, 폴리에테르 폴리올 등을 이용한 연구⁸⁾에서 글리콜 에테르가 매연과 알데히드, 케톤, 포름알데히드 등을 저감시키는데 매우 유용함을 밝혔고, 또한, Murayama 등은 함산소연료와 EGR 방법을 병용하여 매연과 NOx를 동시에 저감시키는 연구⁹⁾에서 함산소연료가 매연과 NOx를 동시에 저감할 수 있는 가능성을 입증하였으며, 또한 함산소연료의 일종인 고점도의 사용유를 알콜과의 화학반응으로 연료의 고점도 성분을 감소시키는 에스테르화 방법을 이용¹⁰⁾하여 매연저감 가능성 등을 보고하고 있고, 오와 쇄는 DMC(dimethyl carbonate)를 디젤기관에 적용한 연구¹¹⁾와 기타의 함산소연료를 이용한 연구¹²⁾에서 함산소연료에 포함된 산소성분이 고부하영역에서 디젤기관의 공기이용율을 향상시켜 준 결과 매연이 현저히 저감되었음을 보고하고 있다.

바이오메스 연료의 일종인 바이오디젤유(B.D.F. : biodiesel fuel)는 지방산 글리세린 에스테르를 단쇄기 알코올(메탄올, 에탄올)의 지방산 에스테르로 전환시킨 것으로 미강유를 비롯한 각종 식물성 기름에서 생산할 수 있는 디젤엔진의 대체연료로서,^{13,14)} 우리나라와 같은 비산유국에서 화석연료의 소비량을 억제할 수 있고, 매연, 이산화탄소, 미연탄화수소 및 아황산가스 등의 오염물

질의 배출량을 현저하게 저감할 수 있는 친환경적인 관점에서 관심이 고조되고 있다.

또한, 경유에 필수적으로 함유되어 있는 유황성분이 전혀 없어 산성비의 주요 원인인 SOx와 같은 유해 배기배출물의 저감이 더욱 가능할 것으로 보인다.

본 연구에서는 바이오디젤유의 일종인 미강유를 에스테르 전환한 연료를 디젤기관의 연료로 사용할 경우, 기관 성능 및 배기ガ스 배출 특성을 디젤기관의 상용연료인 경유와 비교·분석하여 미강유를 비롯한 바이오디젤유가 디젤기관의 대체연료로서의 이용가능성을 확인하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임으로 조정할 수 있도록 하였다.

실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 각각 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

본 실험은 일반적인 상용 경유와 함산소연료인 에스테르화한 미강유, 그리고 이를 각각의 혼합비율에 따른 혼합연료를 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하 경우의 기관 성능과 배기배출물을 측정하였으며,

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130 DIE
Bore × Stroke	95 × 95(mm)
Displacement	673(cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber type	Toroidal
Injection timing	BTDC 23°CA
Coolant temp.	80 ± 2°C

이하는 에스테르화한 미강유를 단지 미강유로 표시하였다.

기관부하를 변화시키는 경우에는 스로틀을 완전히 개도한 상태를 전부하로 설정하고, 전부하의 토크값을 측정하여, 기관 회전속도를 일정하게 유지시키며 부하를 %별로 변화시키면서 실험하였다.

매연 농도의 측정은 매연측정장치(HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

Table 2 Properties of test fuels

	Gas oil	B.D.F. (biodiesel fuel)
Flash point(°C)	40	178
Kinematic viscosity (40°C, cSt)	1.9~5.5	4.182
Pour point (°C)	0	-2.5
Calorific value(kcal/kg) [MJ/kg]	10,500 [43.96]	9460 [39.61]
Cetane number	45	57
Sulfur(Wt%)	0.05	0
Carbon(Wt%)	86.76	77.25
Hydrogen(Wt%)	13.05	11.83
Oxygen(Wt%)	0	10.50

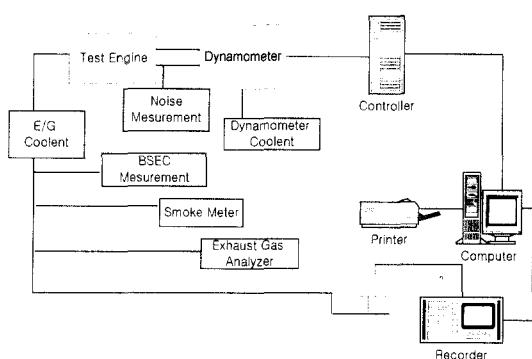


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

CO₂, O₂ 및 NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(Mod. 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 배기가스는 분석기의 나이어프램 펌프로 흡입하여 측정 셀로 이동시켰고, 샘플링 튜브 중간에 필터를 설치하여 측정 조건의 변화에 따라 새로운 필터로 교환하여 배기가스 샘플링 농도의 오차를 줄였다.

또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW·h)로 계산하였다.

분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23° CA로 고정하였다.

또한, 실험조건이 변경될 때마다 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며 동력계 및 기관의 냉각수는 강제순환방식을 채택하여 적용하였다.

특히, 연료 공급계통, 연료 필터 및 연료탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하고, 전 실험이 다음의 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간 동안 예비운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

실험연료는 경유 100%(gas oil)와 미강유 100% (rice bran oil) 및 미강유를 20, 40, 60, 80% 혼합한 연료로 실험하여 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 전부하시 기관 회전속도와 기관 출력 특성과의 관계를 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 모든 연료 공히 전 회전범위에 걸쳐 기관 출력 특성은 거의 유사함을 알 수 있다.

실제로 미강유를 기관의 연료로 사용시에, 미강유의 발열량이 경유의 것에 비해 약 9.9% 정도가 낮지만, 함산소성분의 영향에 기인한 열효율의 향상으로 전체적인 기관 작동 영역에서의 기관출력에는 그 차이가 거의 없음을 알 수 있었다.

이와 같은 상황을 살펴보기 위해서 각 실험조건에서 에너지 소비율을 조사하여 보았다.

Fig. 3은 각 기관 회전수의 경우, 부하변화에 따

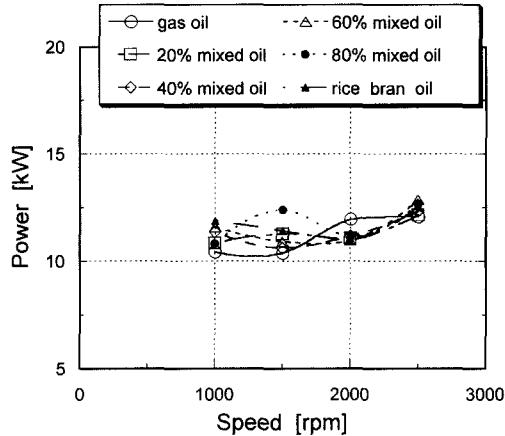


Fig. 2 Performance of power at full load

른 에너지소비율(BSEC)의 변화를 미강유의 함유량에 따라 나타낸 것이다.

그림에서와 같이, 연료중의 미강유 함유량의 차이에 따른 에너지 소비율의 변화는 각 회전수 별로 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 저회전 영역의 경우는 미강유 100%를 연료로 사용한 경우가 경유의 경우에 비하여 약간 악화되었으나, 고회전영역일수록 미강유의 함유량이 증가할수록 에너지 소비율은 거의 동일하거나 약간 개선됨을 알 수 있다.

이는 중부하 이하 또는 저회전영역에서는 혼합기속의 산소성분이 충분하여 연료속의 합산소성분이 커다란 영향을 미치지 못하였지만, 고부하 · 고회전 영역에서 미강유속의 산소성분에 기인하여 기관의 연소효율이 향상되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 경유와 미강유, 그리고 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우에, 각 회전수와 부하의 변화에 따라서 매연의 배출 특성을 나타낸 그림이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이, 고회전과 고부하 영역으로 갈수록 경유와 미강유, 혼합연료사이의 현격한 매연의 배출농도 차이를 보이고 있다.

이는 저회전영역 및 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 미강유와 비교하여 매연 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, 고부하 · 고회전

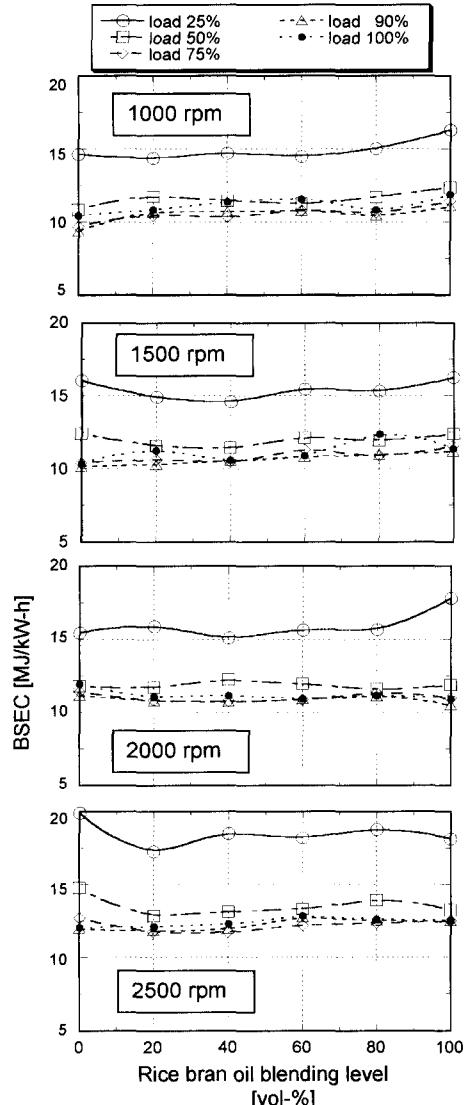


Fig. 3 Comparison of BSEC at varying engine load and speed on rice bran oil blending level

수로 갈수록 미강유 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

또한, 경유의 경우는 고회전일수록 부하변화에 따른 매연 배출특성이 현저하게 차이를 보이고 있으나, 미강유를 혼합한 경우에는 혼합률이 증가함에 따라 부하변화에 따른 매연 배출특성

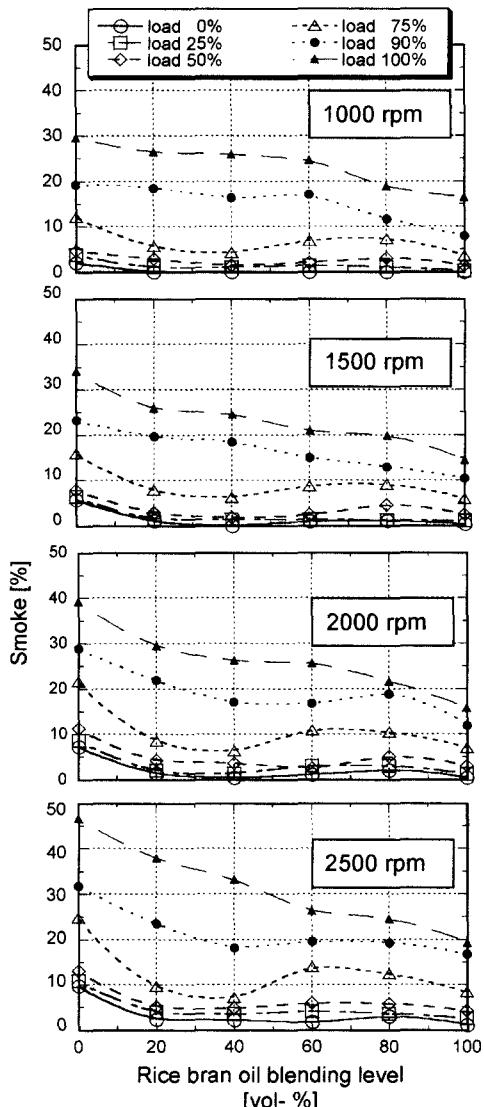


Fig. 4 Comparison of smoke density at varying engine load and speed on rice bran oil blending level

의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

즉, 미강유를 사용한 경우에 실린더내의 고온 상태에서 잔존하는 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 줄어들었기 때문이며, 미강유에 포함된 산소성분이 탄화수소성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜주었기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 기관의 부하변화에 따른 NOx의 배출 특성을 기관 회전수별로 나타낸 그림이다.

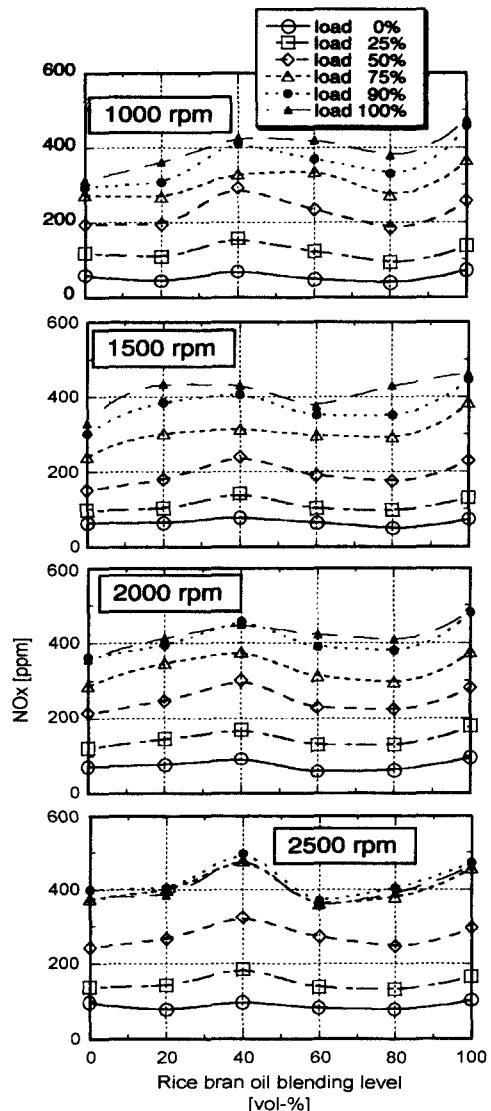


Fig. 5 Comparison of NOx concentration at varying engine speed and load on rice bran oil blending level

그림에서와 같이 NOx의 배출특성은 회전수가 증가할수록, 부하가 고부하로 진행할수록 미강유의 함유량에 따라서 전체적으로 약간 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 고부하와 고회전수에서 실린더내의 온도가 상승함에 따라 NOx 생성에 영향을 준 것으로 생각된다.

또한, 미강유의 함유량에 따라 살펴보면, 저부하·저회전 영역에서의 배출량의 차이보다 고

부하와 고회전 영역에서의 배출량의 차이가 약간 증가하였는데, 이는 미강유에 포함된 10% 정도의 산소성분이 연소실내의 온도를 높여주어 NOx의 증가를 가져온 것으로 생각된다.

Fig. 6은 전부하와 무부하 상태에서 배출되는 매연의 배출특성을 비교하여 나타낸 것이다.

저부하에서는 연료속의 산소농도가 2% 이상만 되어도 매연이 현저하게 저감되어 미강유를 첨가한 모든 경우에 매연배출농도가 5% 미만임을 알 수 있다.

또한, 전부하 상태에서는 연료속의 산소성분 양에 비례하여 매연 배출이 현저하게 저감되며, 저회전인 경우보다 고회전인 경우가 연료속의 산소농도의 영향으로 매연저감효과가 현저함을 알 수 있으며, 연료속의 산소농도가 8% 이상이면 어느 회전영역에서나 매연 배출량이 거의 20% 수준에 머무르고 있다는 것을 알 수 있다.

이는 디젤기관의 연소특성상 연료내의 산소가 흡입과정시 흡입된 공기속의 산소보다는 연소를 위한 탄화수소와의 화학반응 속도가 빨라 거의 완전 연소를 이루었기 때문으로 분석된다.

Fig. 7은 전부하와 무부하 상태에서 산소성분양에 비례하는 NOx의 배출특성을 나타낸 그림이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이, 무부하상태에

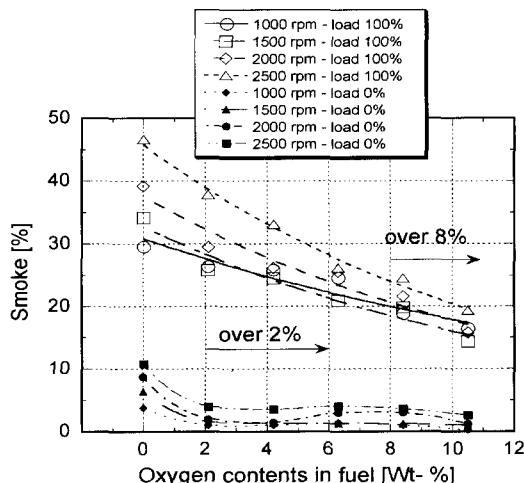


Fig. 6 Comparison of smoke density of load 0% vs. full load with various oxygen contents

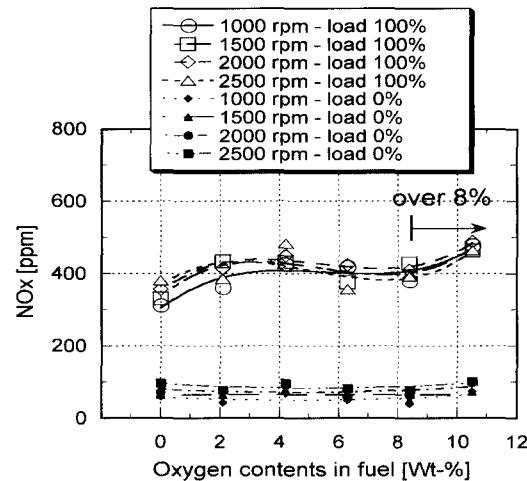


Fig. 7 Comparison of NOx concentration of load 0% vs. full load with various oxygen contents

서는 경유의 경우와 미강유를 혼합한 각각의 경우에 있어서 NOx 배출량의 차이가 거의 없음을 알 수 있으며, 전부하상태에서는 전체적인 산소 함량의 증가와 함께 경유의 경우보다 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다.

그러나, 경유에 미강유를 혼합한 연료의 경우에 NOx의 배출차이는 경유의 경우와 비교하여 그리 현저하지 않음을 알 수 있으며, 순수한 미강유만을 연료로 사용한 경우에 NOx가 약간 증가하고 있음을 알 수 있다.

이는 앞에서 설명한 바와 같이, 미강유를 연료로 사용한 경우에 기관이 고부하로 진행함에 따라서 연료의 산화 작용시에 발생하는 발열반응이 활발하여 실린더내의 온도를 높여준 것으로 생각되지만, 매연의 저감효과와 비교하여 볼 때 그 증가폭은 그리 크지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 8과 Fig. 9는 비교적 운행조건이 빈번한 50% 부하와 75% 부하에서 매연 배출특성과 에너지소비율의 관계를 나타낸 것이다.

Table 2에서 알 수 있듯이, 미강유의 발열량이 경유의 경우보다 약간 낮으면서도 연료속의 함산소량에 의한 완전연소에 기인하여 75%의 고부하·고회전 영역의 경우가 매연을 현저하게 저감시키는 반면, 에너지 소비율은 거의 비슷하

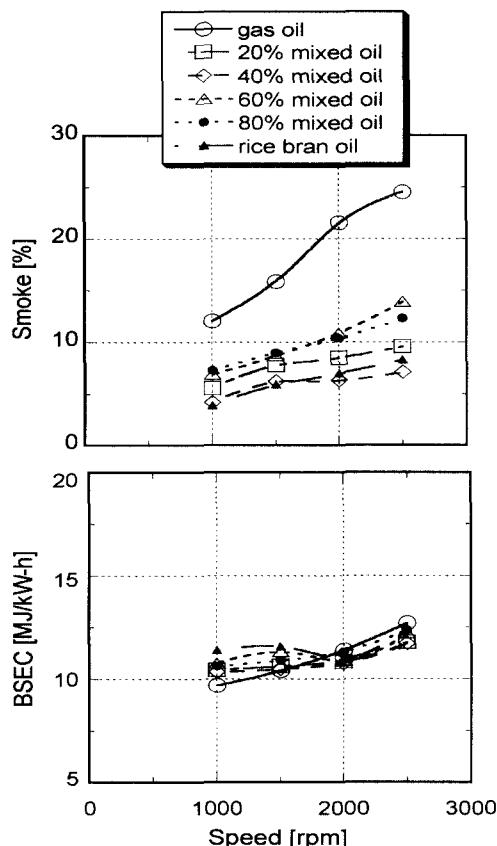


Fig. 8 Comparison of smoke density vs. BSEC on rice bran oil blending level at load 50%

며, 특히 고회전수에서는 오히려 경유를 사용한 경우보다 에너지소비율이 약간 개선됨을 알 수 있다.

4. 결 론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유, 미강유 및 일정한 체적비율로 경유에 미강유를 혼합한 연료를 사용하여, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 출력과 에너지 소비율의 측면에서 경유만을 사용한 경우와 미강유를 첨가한 경우, 또는 미강유만을 사용한 경우가 큰 차이를 보이지 않아

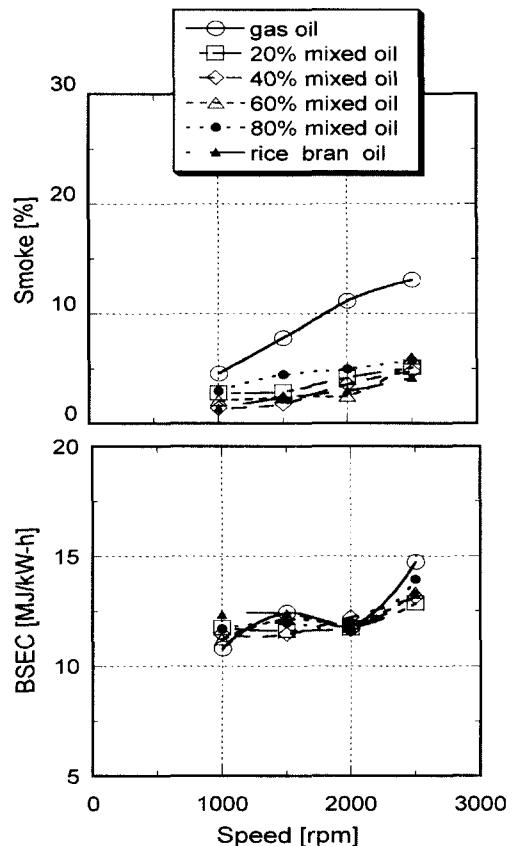


Fig. 9 Comparison of smoke density vs. BSEC on rice bran oil blending level at load 75%

디젤기관의 대체연료로서 미강유의 유용성을 확인할 수 있었다.

2) 미강유를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 연료내 산소함량이 증가할수록 매연의 배출이 급격히 감소하며, 저부하에서는 약 2% 이상, 고부하에서는 8% 이상의 산소함량에서는 매연의 저감폭이 현저함을 알 수 있었으며, 그 효과는 고회전 · 고부하로 갈수록 매연의 전체적인 저감폭이 크다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 농림부 농림기술 개발사업(관리번호 201041-2)의 지원에 의해서 이루어진 것으로 관계 제위께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 小森正憲, 辻村欽司, “高圧燃料噴射によるディーゼルの機関の燃焼改善, 排出物の低減,” 日本自動車技術會 Symposium, No.8, 1990.
- 2) 渡部哲, “高圧噴射による直噴ディーゼルの燃焼改善, 日本自動車技術會 Symposium, No.8, 1990.
- 3) 石渡宏, “高圧噴射のタイミング, 送油率の制御,” 日本自動車技術會 Symposium, No.8, 1990.
- 4) 岩本正和, “觸媒による含酸素化物の低減,” 日本自動車技術會 Symposium, No.8, 1990.
- 5) 吉田清英, “觸媒によるNOx, 吐煙の同時低減,” 日本自動車技術會 Symposium, No.8, 1990.
- 6) M. Konno, T. Chikahisa, T. Murayama, “An Investigation on the Simultaneous Reduction of Particulate & NOx by Controlling Both the Turbulence & the Mixture Formation in DI Diesel Engine,” SAE 932797, 1993.
- 7) 이경환, “디젤엔진의 배기ガ스 저감기술 동향,” 자동차공학회지, 제19권 제5호, 1997.
- 8) F. J. Liotta, Jr., D. M. Montalvo, “The Effect of Oxygenated Fuels on Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Engine,” SAE 932734, 1993.
- 9) T. Murayama, Y. T. Oh, T. Chikahisa, Y. Fujiwara, S. Tosaka, M. Yamashita, H. Yoshitake, “Simultaneous Reductions of Smoke and NOx from a DI Diesel Engine with EGR and Dimethyl Carbonate,” SAE 952518, 1995.
- 10) 村山正, 吳永澤, “ディーゼル機関における植物油利用に関する研究,” 日本自動車技術會學術講演會論文集, 842071, 1984.
- 11) 오영택, 최승훈, “디젤엔진에서 DMC를 사용한 경우의 배기ガ스의 농도분석에 관한 실험적 연구,” 한국자동차공학회 논문집, 제8권 제2호, pp.1-8, 2000.
- 12) 오영택, 최승훈, “디젤기관의 배기배출 물중 가스 크로마ト그래피를 이용한 탄화수소 분석에 관한 실험적 연구,” 한국동력기계공학회지, Vol.4, No.3, pp.12-18, 2000.
- 13) 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.
- 14) X. Montagne, “Introduction of Rapeseed Methyl Ester in Diesel Fuel-The French National Program,” SAE 962065, 1996.