

## 농업용 디젤기관 대체연료로서 바이오디젤유와 함산소제 적용시의 배기배출물 특성

최승훈 오영택 서정덕

### Characteristics of Exhaust Emission by the Application of Biodiesel Fuel and Oxygenates as an Alternative Fuel in an Agricultural Diesel Engine

S. H. Choi Y. T. Oh J. D. So

#### Abstract

Our environment is faced with serious problems related to the air pollution from automobiles in these days. In particular, the exhaust emissions from diesel engine are recognized main cause which influenced environment strong. In this study, the potential possibility of biodiesel fuel and oxygenates additives (dimethoxy methane) was investigated as an alternative fuel for a naturally aspirated direct injection diesel engine. The smoke emission of blending fuel (biodiesel fuel 90vol-% + DMM 10vol-%) was reduced in comparison with diesel fuel, that is, it was reduced approximately 70% at 2500 rpm, full load. But, power, torque and brake specific energy consumption didn't have no large differences. But, NOx emissions from biodiesel fuel and DMM blended fuel were increased compared with commercial diesel fuel.

**Keywords :** Biodiesel fuel, Dimethoxy methane, Alternative fuel, Diesel engine, Smoke

#### 1. 서론

환경문제로 인해 더욱 엄격해지는 배기가스규제와 매장량의 한계에 접한 석유계 에너지원의 대체연료로 디젤기관에 기관자체의 개조나 수정과정을 거치지 않고 적용가능한 바이오디젤유(Choi 등, 2002; Oh 등, 2002)에 대한 관심이 고조되고 있다. 바이오디젤유는 식물성 및 동물성 기름을 화학처리하여 디젤기관으로 대표되는 압축착화기관의 연료로 사용가능하도록 한 것이다. 국내에서 전체차량의 15%를 차지하는 경유차량이 내뿜는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점으로 인해 환경오염에 대한 인식이 바뀌면서 바이오디젤유가 환경부와 산업자원부의 적극적인 지원을 받아서 농업용 디젤기관을 비롯한 상용 디젤기관에 적용

가능한 실용화 단계에 이르렀다. 이미 미국을 비롯한 선진국에서는 바이오디젤유에 대한 많은 연구가 수행되어 바이오디젤유를 사용할 수 있는 입법을 추진하여 상업적인 연료로 사용(Choi 등, 2006)하고 있다. 경유 적용 차량의 급격한 증가로 인해 바이오디젤유 중 유채유를 권장하고 있는 유럽국가에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유를 경유에 혼합하여 사용하였으며 현재 경유대비 1.0%미만인 보급률을 2010년까지 12%까지 보급 및 확대하는 것을 추진 중에 있다.

현재까지 바이오디젤유에 관한 연구는 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성에 주안을 두어 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC(Hydrocarbon), CO(Carbon Monoxide), PM (Particulate Matter)등 대부분의 배기배출물은 감소하는 경향으로 나타나고 있으며 NOx(Nitrogen Oxides)는 약간 증가되

The article was submitted for publication in September 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2006. The authors are Seung Hun Choi, Researcher, Young Taig Oh, Professor, Automobile Hi-Technology Research Center at CBNU, Division of mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, and Jung Duck So, Professor, Dept. of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University, Jeonju, Korea. Corresponding author: S. H. Choi, Researcher, Division of mechanical Engineering, Chonbuk National University, 664-14 Dockjin-dong, Dockjin-gu, Jeonju, 561-756, Korea; Fax: +063-270-2316; E-mail: <medr@chonbuk.ac.kr>.

는 경향을 보이고 있는 것으로 보고하고 있다(Sheet, 1992). 또한, 바이오디젤유 제조시 원료의 구성성분 및 기관의 분사압력이나 분사제어 방법 등의 엔진조건에 따라 배기 배출물의 배출 정도가 다르게 나타나고 있다. 한편, 교토기후협약 이후 국가간의 쟁점으로 급부상되는 CO<sub>2</sub>의 저감효과에 대하여 원료의 재배과정에서 연소시까지 이루어지는 바이오디젤유 적용시의 CO<sub>2</sub> 저감효과가 있는 것으로 기대된다(Oh 등, 2002).

더불어, 함산소연료의 효과에 관한 기존의 연구(Choi 등, 2005)에서 매연의 저감 가능성에 대한 함산소연료 적용 가능성은 많은 언급이 이루어졌으며, 비교적 저가에 공급가능한 함산소연료인 dimethoxy methane(이하 DMM)(Choi 등, 2004)은 자체내에 약 42%의 산소를 포함하고 있어 현저한 매연 저감이 가능한 연료첨가제로서의 가능성이 확인되었다.

본 연구에서는 대두유를 원료로 제조된 바이오디젤유를 기본 연료로 사용하고 함산소성분 첨가방법의 일환으로서 디에테르 계열의 함산소제인 DMM을 바이오디젤유와 최대 10vol-% 까지 혼합하여 사용할 경우, 경운기용 기관으로 적용되는 농업용 디젤기관의 각 회전속도와 부하에서 배기배출물의 특성 변화를 경유 및 바이오디젤유를 사용한 경우와 비교하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험에 사용된 기관의 사양은 표 1에, 사용된 연료의 특성은 표 2에 각각 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 그림 1과 같다. 표 1에 나타난 바와 같이 실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 농업용 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 표 2에 나타난 바와 같이 경유와 비교하여 발열량이

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130
Bore×Stroke	95×95 (mm)
Displacement	673 (cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber	Toroidal

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	BDF	DMM
Molecular formula	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Gravity (15/4°C)	0.8373	0.8796	0.8668
LHV [MJ/kg]	45.88	39.17	23.26
Oxygen content (%)	0	11.03	42.5

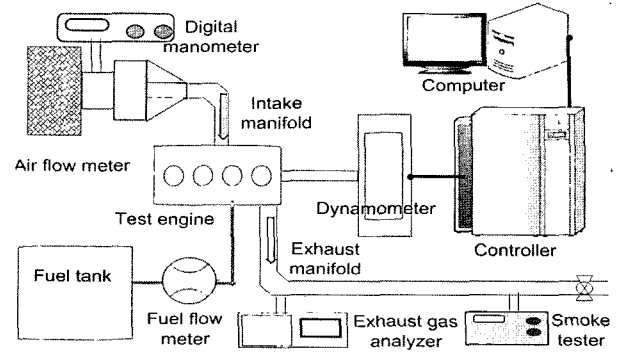


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

바이오디젤유는 약 15%, DMM은 약 49%가 낮으나, 경유가 포함하고 있지 않은 산소성분을 바이오디젤유는 약 11%, DMM은 약 42%를 포함하고 있다. 실험은 바이오디젤유와 함산소연료인 DMM을 0~10vol.% 혼합한 연료를 사용하여 기관의 회전속도 1000 rpm에서 2500 rpm까지 500 rpm의 간격에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 농업용 디젤기관의 성능과 매연 및 NO<sub>x</sub>를 측정하였다. 매연 농도의 측정은 국제 측정기기 표준기준인 Bosch 타입의 매연 측정장치(HBN-1500 Hesbon, Korea)를 사용하여 기관으로부터 300 mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 것을 측정하였으며, 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NO<sub>x</sub>의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 배기가스 분석기(Mod. 588 Motor branch, Korea)로 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간출력당의 에너지소비율(MJ/kW·h)로 계산하였으며, 정적분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC(Before Top Dead Center) 23°C A(Crank Angle)로 고정하였다. 또한, 실험조건이 변경될 때마다 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며 동력계 및 기관의 냉각수는 강제순환 방식을 채택하여 적용하였다. 특히, 연료 공급계통, 연료 필터 및 연료탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하고, 전 실험이 다음의 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 예비운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 기관 회전속도 및 부하가 변화할 때 농업용 디젤 기관의 출력특성의 변화를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 경유만을 적용한 경우와 비교하여 바이오디젤유 및 바이오디젤유내의 DMM의 혼합율이 증가함에 따라서 기관 출력은 약간 저하됨을 알 수 있다.

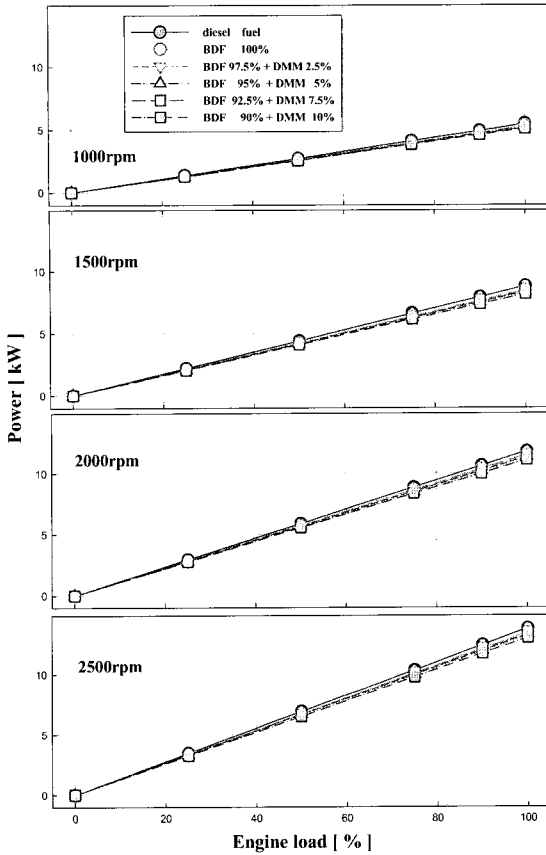


Fig. 2 Comparison of power at various engine loads.

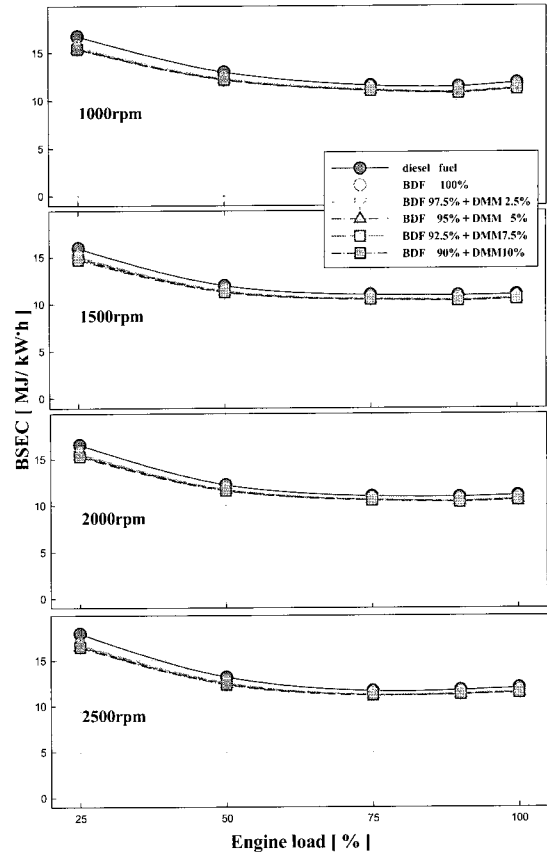


Fig. 3 BSEC versus engine loads at various engine speeds.

즉, 기관의 운전 최대 약조건인 2500 rpm, 전부하의 경우에 경유에 비해서 바이오디젤유만을 적용한 경우 약 2.6%, DMM 2.5%의 경우 약 2.8%, DMM 5%의 경우 약 3.5%, DMM 10%의 경우 약 5.6%의 출력저하가 나타나고 있다. 이는 합산소연료가 혼합된 연료를 사용할 경우, 본 연구의 바이오디젤유와 DMM의 최대 혼합율(BDF 90%+DMM 10%)에서 경유에 비하여 발열량의 차이는 약 22%가 낮지만, 기관출력에서의 차이는 최대 6%이하에 불과하여 바이오디젤유 및 DMM을 혼합하여 농업용 디젤기관에 사용할 경우 기존의 연구결과(최 등, 2006)와 같이 합산소성분에 기인한 연소효율 개선이 있음을 알 수 있었다. 또한, 농업용 경운기에 적용되는 기관은 2200 rpm에서 최대 토크를 발휘하지만, 본 연구에서는 연료내의 산소성분이 배기배출물에 미치는 영향을 고찰하고자 하였기 때문에 1000 rpm부터 2500 rpm까지 500 rpm의 간격을 두어가며 실험하였다.

그림 3은 기관의 회전속도별, 부하변화에 따른 에너지소비율의 변화를 바이오디젤유 및 DMM의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 연료중의 합산소연료 함유량의 차이에 따른 에너지소비율의 변화는 각 회전속도별로 거의 유

사한 경향을 나타내었으며, 모든 회전 영역과 부하의 경우에 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료를 사용한 경우가 경유 사용에 비하여 약간 저감되었고, 합산소연료의 함유량이 증가할수록 에너지소비율은 거의 동일하거나 소폭 개선됨을 알 수 있다. 즉, 그림 2에서 언급한 바와 같이 바이오디젤유와 DMM의 최대 혼합율을 적용한 경우에 무부하영역에서는 최대 6.5%, 전부하영역에서는 약 4%정도 에너지소비율의 우위를 보이고 있으므로, 그림 2와 3에 나타난 바와 같이 기관출력과 에너지소비율면에서는 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료를 디젤기관에 적용시 경유의 대체연료로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

또한, 고회전속도 영역인 2000 rpm, 전부하의 경우에 경유의 경우와 비교하여 바이오디젤유만을 적용한 경우 약 3.3%, DMM 10%의 경우 약 4.77%의 에너지소비율의 개선이 나타나고 있으며, 전체적인 기관 운전영역에서 에너지소비율의 악화 현상이 발생하는 저회전속도, 무부하 영역에서의 에너지소비율은 합산소성분 혼합연료의 경우가 약 7%이상 개선되는 것으로 나타났다.

그림 4는 경유와 바이오디젤유, 그리고 DMM의 혼합율을

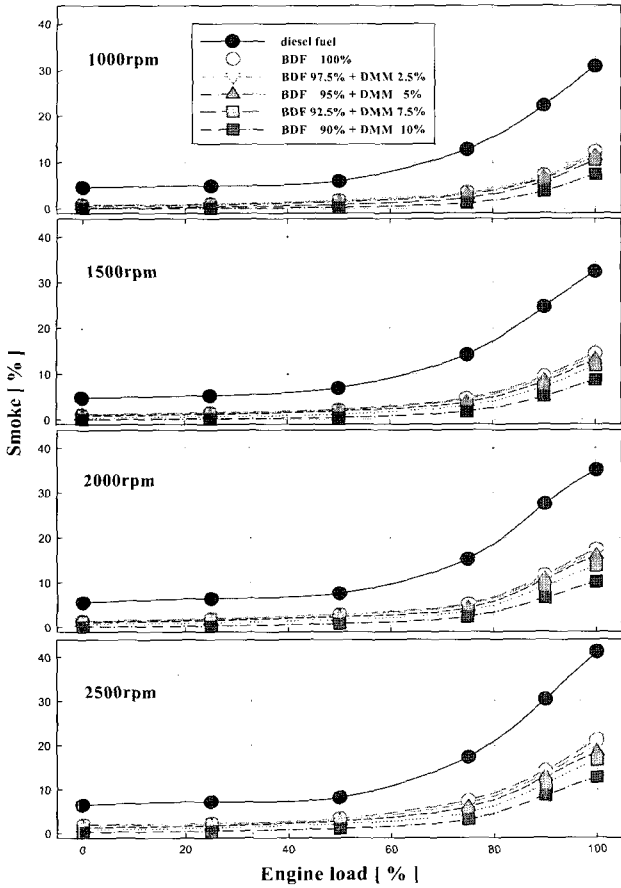


Fig. 4 Smoke versus engine loads at various engine speeds.

각각 연료로 사용한 경우에, 농업용 디젤기관의 각 회전속도 및 부하변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 경유와 바이오디젤유, 혼합연료 사이에는 현격한 매연 배출 농도 차이를 보이고 있으며, 고회전속도 영역으로 갈수록 그 차이가 현저해지고 있다. 이는 저회전영역인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 바이오디젤유 및 혼합연료와 비교하여 매연 배출에 대한 산소성분의 영향이 크지 않았으나, 고회전영역으로 갈수록 바이오디젤유 및 혼합연료 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간 동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다. 경유의 경우는 전체적인 기관의 회전속도영역에서 부하 변화에 따른 매연 배출특성이 현저하게 차이를 보이고 있으나, 바이오디젤유 및 혼합연료를 사용한 경우에는 혼합율이 증가함에 따라 부하변화에 따른 매연 배출특성의 차이가 경유와 비교하여 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 기존의 연구(Oh 등, 2002)에서와 같이 바이오디젤유를 사용한 경우에 실린더 내의 고온상태에서 잔존하는 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 줄어들었기 때문이며, 바이오디젤유에 포함된

산소성분이 탄화수소성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜 주었기 때문으로 생각된다.

그림 5는 2500 rpm의 기관회전속도에서 연료내의 산소량에 따른 매연의 배출특성을 재정리하여 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 농업용 디젤기관에서 연료내의 산소량이 증가함에 따라서 매연의 저감량이 현저해지는 것을 알 수 있다. 특히, 50%이하의 부하에서는 매연 배출량의 차이가 크게 나타나지 않았으나, 75% 이상의 부하에서는 연료내의 산소성분의 영향이 크게 나타났다.

그림 6은 그림 5와 같은 조건에서 농업용 디젤기관에 경유만을 연료로 적용한 경우와 비교하여 바이오디젤유 및 DMM의 혼합비율에 대한 매연의 저감 비율을 나타낸 것이다. 그림 5

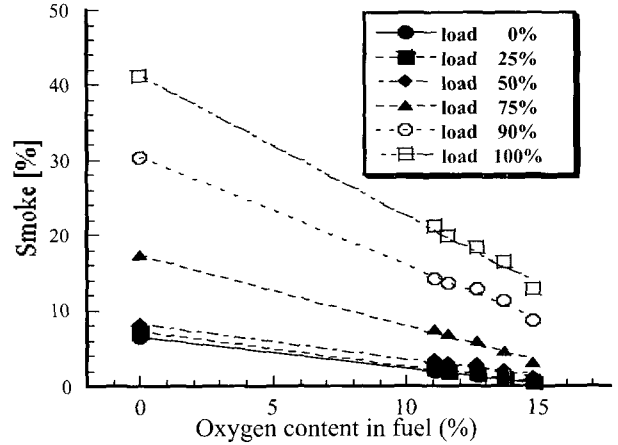


Fig. 5 The comparison of smoke versus oxygen contents of fuels at 2500 rpm.

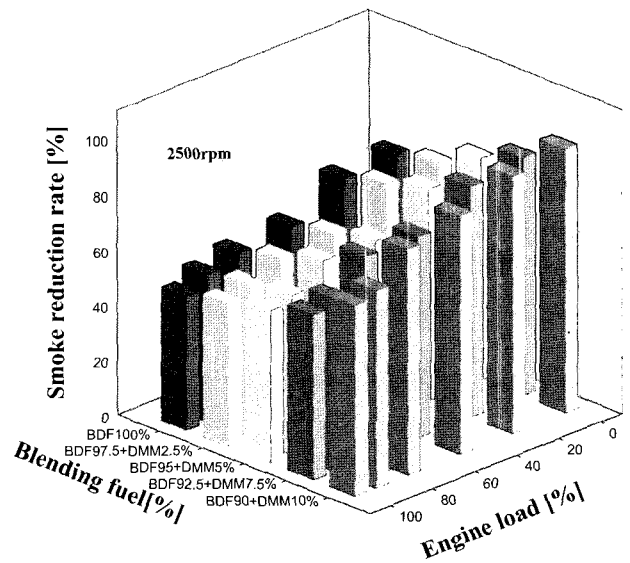


Fig. 6 The comparison of smoke reduction rate versus oxygenates contents of fuels at 2500 rpm.

에서 설명한 바와 같이 연료 내에 함산소연료의 혼합량이 증가할수록 매연의 저감량이 증가되는 것을 확인하였다.

그림 7은 그림 4와 동일한 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 농업용 디젤기관에서 바이오디젤유 및 DMM 적용시 NOx의 배출특성은 바이오디젤유 및 DMM의 함유량이 증가함에 따라서 전체적으로 약간 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 고부하와 고회전수에서 연료내의 산소성분으로 인하여 실린더내의 온도가 상승함에 따라 NOx 생성에 영향을 준 것으로 생각된다(Choi 등, 2006). 즉, 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 NOx배출량의 차이가 증가하였는데, 이는 바이오디젤유에 포함된 약 11.3% 정도의 산소성분 및 DMM 혼합연료에 포함된 산소성분이 연소시에 연소실내의 온도를 높여주어 NOx의 증가를 가져온 것으로 생각된다. 즉, 그림 7을 그림 4와 비교하여 살펴보면 바이오디젤유와 DMM 혼합유는 일종의 함산소연료로서 연소실의 온도를 상승시키기 때문에 탄화수소가 주성분인 매연은 산화과정을 거쳐 저감되는 반면에 thermal NOx의 증가로 인하여 NOx는 증가되는 상반관계인 것으로 생각된다.

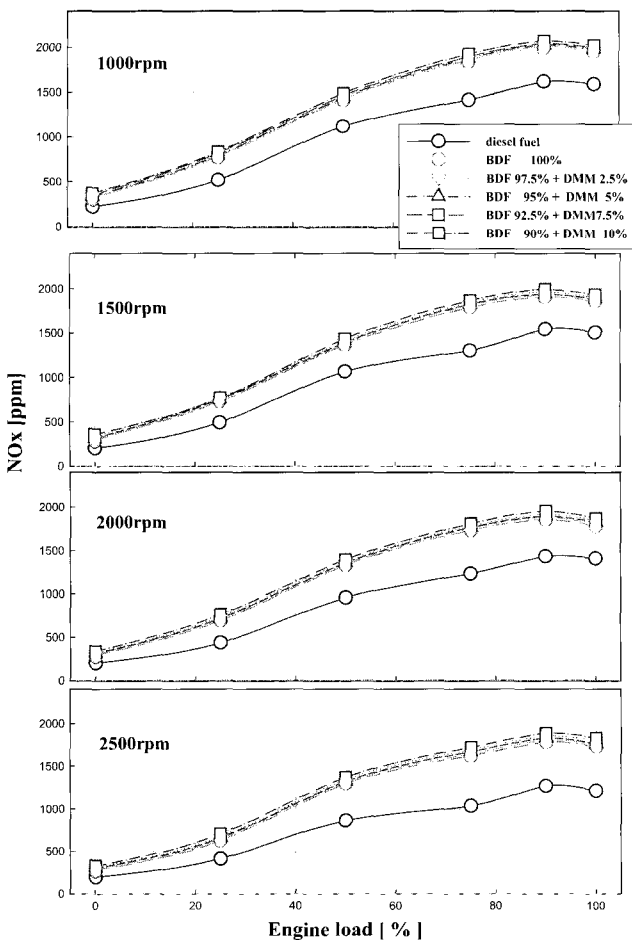


Fig. 7 NOx versus engine loads at various engine speeds.

#### 4. 요약 및 결론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 농업용 디젤기관의 연료로서 기관의 구조변경없이 경유, 바이오디젤유 및 DMM을 일정한 체적비율로 혼합한 연료를 사용하여, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 순수 바이오디젤유와 DMM 혼합연료의 출력은 경유만을 농업용 디젤기관에 적용한 경우와 큰 차이를 보이지 않았으며, 에너지소비율은 바이오디젤유내의 산소성분이 증가할수록 경유보다 다소 개선됨을 확인 할 수 있어 농업용 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유 및 함산소연료인 DMM의 동시 적용 가능성을 확인할 수 있었다.
- (2) 순수 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료를 농업용 디젤기관으로 사용하였을 경우, 연료내 바이오디젤유 및 DMM의 함유량이 증가할수록 매연 배출의 감소량이 증가하며, 바이오디젤유와 DMM의 최대 혼합량(바이오디젤유 90vol-%+DMM 10vol%)를 적용한 경우에 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 2500 rpm, 전부하에서는 약 70%의 매연 저감효과를 확인하였다.
- (3) 바이오디젤유와 DMM 동시 적용시 농업용 디젤기관의 NOx 배출특성은 바이오디젤유 및 DMM의 함유량이 증가함에 따라, 즉 연료내의 산소량이 증가함에 따라 경유만을 사용한 경우와 비교하여 증가함을 알 수 있었으며, 이는 연료내 산소성분 증가에 의한 연소실 온도의 상승때문으로 생각된다.

#### 참고 문헌

1. Choi, B. C., C. H. Lee and H. J. Park. 2002. Power and Emission Characteristics of DI diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel. Journal of the Korea Society for Power System Engineering 6(3):11-16.
2. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2005. Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a DI Diesel Engine. Transaction of International Journal of Automotive Technology 6(3):197-203.
3. Choi, S. H., Y. T. Oh and K. S. Kwon. 2004. Simultaneous Reduction of Smoke and NOx by Dimethoxy methane and Cooled EGR Method in s DI Diesel Engine. Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 12(5):66-72.
4. Oh, Y. T. and S. H. Choi. 2002. A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(II).

- Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 10(3): 8-17.
5. Oh, Y. T., S. H. Choi and S. W. Kim. 2002. A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I). Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 10(2):15-22.
6. Sheet, F. 1992. Effects of Rapeseed Methyl Esters on Diesel Engine Pollution-A Review. SAE Technical paper Series No. 920446.
7. 최승훈, 오영택, 권규식, 안희선, 유경현. 2006. 바이오디젤유와 디에테르계 합산소성분 혼합시 농업용 디젤기관의 배기배출물 특성. 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집 IV:2411-2416.
8. 최승훈, 오영택, 이충호. 2006. 농업용 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유의 특성. 바이오시스템공학 31(2):115-120.