

직접분사식 디젤기관에서 바이오디젤유와 함산소성분 혼합연료 적용시 배기배출물 특성 및 EGR의 적용 연구

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택²⁾

전주대학교 HUNIC 사업단¹⁾ · 전북대학교 기계공학전공, 전북대학교부설 공학연구원 공업기술연구센터²⁾

A Study on Emission Characteristics and EGR Application of Blending Fuels with Biodiesel Fuel and Oxygenate Component in a D.I. Diesel Engine

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh^{*2)}

¹⁾HUNIC Coop., Jeonju University, Jeonbuk 570-759, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 9 May 2007 / Accepted 1 October 2007)

Abstract : The exhaust emissions of diesel engine are recognized as a major cause influencing environment strongly. In this study, the possibility of biodiesel fuel and oxygenated fuel(dimethoxy methane; DMM) 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 approximately 70% at 2500rpm, full load in comparison with the diesel fuel. But, power, torque and brake specific energy consumption showed no significant differences. But, NOx emission of biodiesel fuel and DMM blended fuel increased compared with commercial diesel fuel due to the oxygen component in the fuel. It was needed a NOx reduction counterplan that EGR method was used as a countermeasure for NOx reduction. It was found that simultaneous reduction of smoke and NOx emission was achieved with BDF(95 vol-%) and DMM(5 vol-%) blended fuel and cooled EGR method(15%).

Key words : Biodiesel fuel(바이오디젤유), DMM(dimethoxy methane), Diesel engine(디젤기관), Smoke(매연), NOx(질소산화물), Brake specific energy consumption(제동에너지소비율)

1. 서론

바이오디젤유(BDF)^{1,2)}는 식물성 및 동물성 기름을 화학처리하여 디젤기관으로 대표되는 압축착화기관의 연료로 사용가능하도록 한 것이다. 국내에서 전체차량의 15%를 차지하는 경유차량에서 배출되는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점이 나타나고 있으며, 미국을 비롯한 선진국에서는 대기오염 방지책으로서 바이오디젤유에 대한 많은 연구가 수행되어 상업적인 연료로

사용³⁾하고 있다. 현재까지 바이오디젤유에 관한 연구는 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성에 주안을 두어 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC, CO, PM 등 대부분의 배기배출물은 감소하는 경향으로 나타내고 있으며 연료내에 포함된 산소성분으로 인해 NOx는 약간 증가되는 경향⁴⁾을 보이고 있다. 또한, 바이오디젤유 제조시 원료의 구성성분 및 기관의 분사압력이나 분사제어 방법 등의 엔진조건에 따라 배기 배출물의 배출 정도가 다르게 나타나고 있으나, 교토기후협약 이후 국가간의 쟁점으로 급부상되는 CO₂의 저감효과에 대하여 바이오디젤유

*Corresponding author, E-mail: ohyt@chonbuk.ac.kr

는 원료의 재배과정에서 연소시까지의 CO₂ 저감효과⁵⁾는 많은 연구자들이 동의하고 있다. 더불어, 합산소연료의 효과에 관한 기존의 연구⁶⁾에서 매연의 저감 가능성에 대한 합산소연료 적용에 대한 많은 언급이 이루어졌으며, 비교적 저가에 공급가능한 합산소연료인 dimethoxy methane(이하 DMM)⁷⁾은 자체내에 약 42%의 산소를 포함하고 있어 현저한 매연 저감이 가능한 연료첨가제로서의 가능성이 확인되었다.

본 연구에서는 대두유를 원료로 제조된 바이오디젤유를 기본 연료로 사용하고 바이오디젤유의 고점도 개선 및 산소성분 첨가의 방법으로 디에테르 계열의 합산소제인 DMM을 바이오디젤유와 최대 10vol-%까지 혼합하여 사용할 경우, 기관의 각 회전속도와 부하에서 배기배출물의 특성변화를 경유 및 바이오디젤유를 사용한 경우와 비교하고자 하였다. 본 실험에 적용된 바이오디젤유는 발열량이 경유의 85%정도 이고 경유와 비슷한 세탄가를 가지고 있으며 연료내의 산소함량이 11%정도이다. 바이오디젤유에 혼합하여 적용된 DMM은 발열량이 경유와 비교하여 50%정도에 불과하지만 자체내에 42%의 산소를 함유하고 있어 디젤기관의 고부하 및 고회전속도영역에서 매연저감에 큰 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 실린더내에 산소성분이 유입될 경우 증가하는 NO_x의 저감방법으로서 cooled EGR을 병행하여 매연과 NO_x의 동시저감을 이루고자 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 각각 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

실험은 순수 바이오디젤유와 합산소연료인 DMM을 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0vol-% 혼합한 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도 및 부하에서 기관성능과 매연 및 NO_x를 측정하였다. 매연 농도의 측정은 매연 측정장치(Hesbon; HBN-1500)를 사용하여 일

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Injection method	Direct injection
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 ₁₂ H ₂₆	-	C ₃ H ₈ O ₂
Gravity(15/4°C)	0.8373	0.8796	0.8668
Molecular weight	226	-	76.10
LHV[MJ/kg]	45.88	39.17	23.26
Auto ignition temp(°C)	316	-	237
Oxygen content(%)	0	11.03	42.5

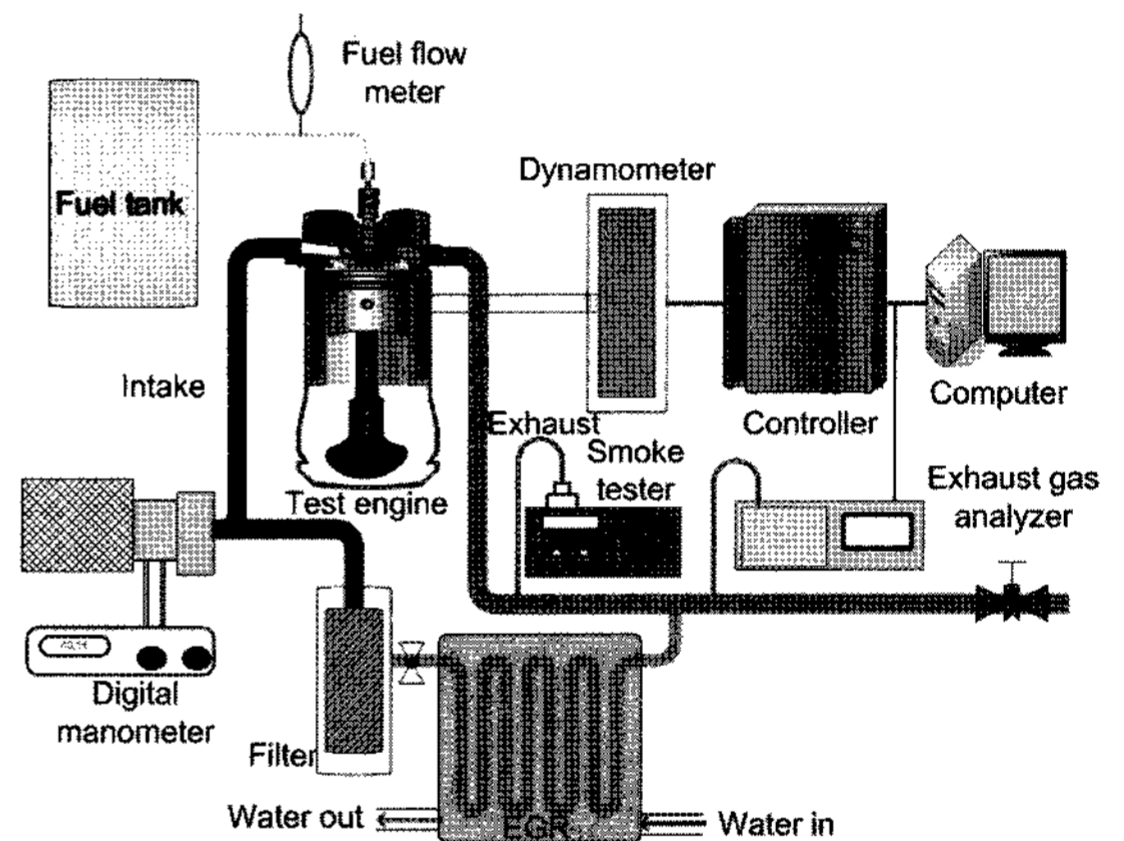


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

정량의 배출가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연입자를 광투과정도에 따라 측정하였으며, 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NO_x의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(Motor branch; Mod. 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 에너지소비율(MJ/kW·h)로 계산하였으며, 분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23°CA로 고정하였다.

본 연구에서는 EGR율을 계산할 때 전체 흡기량에 대한 EGR된 양, 즉 새로운 흡입공기량의 감소율로서 식 (1)을 이용하였다.

$$EGR율(\%) = \frac{V_0 - V_a}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, V_0 는 EGR을 수행하지 않았을 경우의 흡입공기량(m^3/h), V_a 는 EGR을 수행했을 경우의 새로운 흡입공기량이다. 또한, EGR중에서도 EGR의 효과가 더 뛰어난 cooled EGR⁸⁾을 적용하여 EGR되는 가스의 온도를 대기온도와 비슷한 20°C 정도로 유지하였으며, 매연 미립자 제거장치를 이용하여 흡기로 재순환되는 배출가스 중의 미립자를 제거한 후 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 기관 회전속도 1000rpm과 2500rpm의 경우 부하 변화에 의한 BMEP 변화에 따른 에너지소비율의 변화를 바이오디젤유 및 DMM의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 각각의 회전 영역과 부하의 경우에 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료를 사용한 경우가 경유의 경우에 비하여 약간 개선되었고, 함산소연료의 함유량이 증가할수록 에너지소비율은 거의 동일하거나 소폭 개선됨을 알 수 있다. 본 연구의 바이오디젤유와 DMM의 최대혼합율(BDF 90%+DMM 10%) 경우 경유에 비하여 발열량의 차이는 약 18%가 낮지만, 무부하영역에서는 최대 6.5%, 전부하영역에서는 약 4%정도 에너지소비율의 우위를 보이고 있으므로 바이오디젤유 및

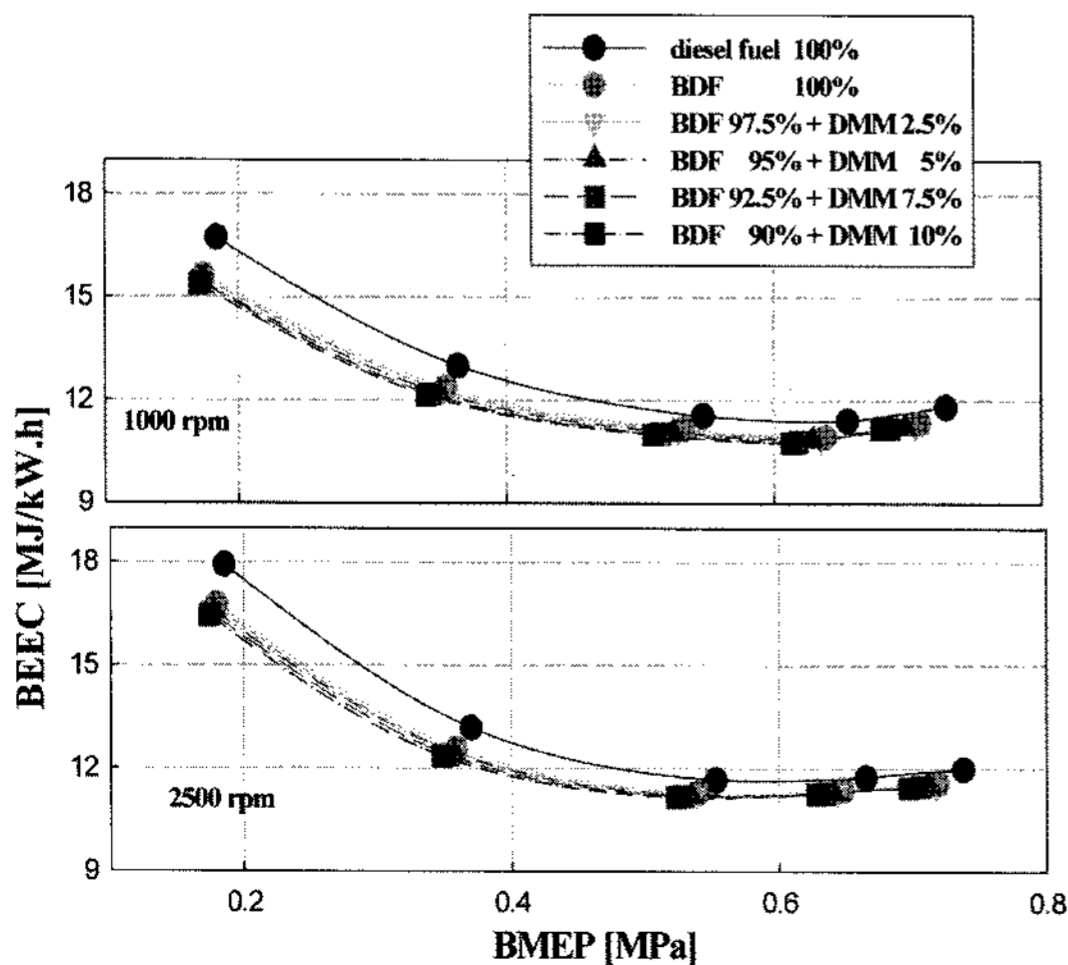


Fig. 2 BSEC versus engine loads at various engine speeds

DMM 혼합연료가 직접분사식 디젤기관의 대체연료로서 가능성을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 경유와 바이오디젤유, 그리고 DMM의 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우에, 기관의 각 회전속도에서 부하변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 경유와 바이오디젤유, 혼합연료 사이에는 현격한 매연 배출 농도 차이를 보이고 있으며, 고부하 영역에서 그 차이가 현저해지고 있다. 이는 저부하 영역인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기 이용률이 충분하기 때문에 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료와 비교하여 매연 배출에 대한 산소성분의 영향이 크지 않았으나, 고부하 영역으로 갈수록 바이오디젤유 및 혼합연료 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간동안에 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켰기 때문으로 생각된다. 경유의 경우는 전체적인 기관의 회전속도영역에서 부하변화에 따른 매연 배출특성이 현저하게 차이를 보이고 있으나, 바이오디젤유 및 혼합연료를 사용한 경우에는 혼합율이 증가함에 따라 부하 변화에 따른 매연 배출특성의 차이가 경유와 비교하여 크지 않음을 알 수 있다. 즉, 바이오디젤유와 DMM 혼합연료를 사용한 경우에 실린더내의 고온 상태에서 잔존하는 탄소상미립자의 생성량과 산화량의 차이가 감소하였기 때문이며, 바이오디젤유에 포함된 산소성분이 탄화수소성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜주었기 때문⁷⁾으로 생각된다.

Fig. 4는 2500rpm의 기관회전속도에서 연료내 산소량에 따른 매연 배출특성을 재정리하여 나타낸

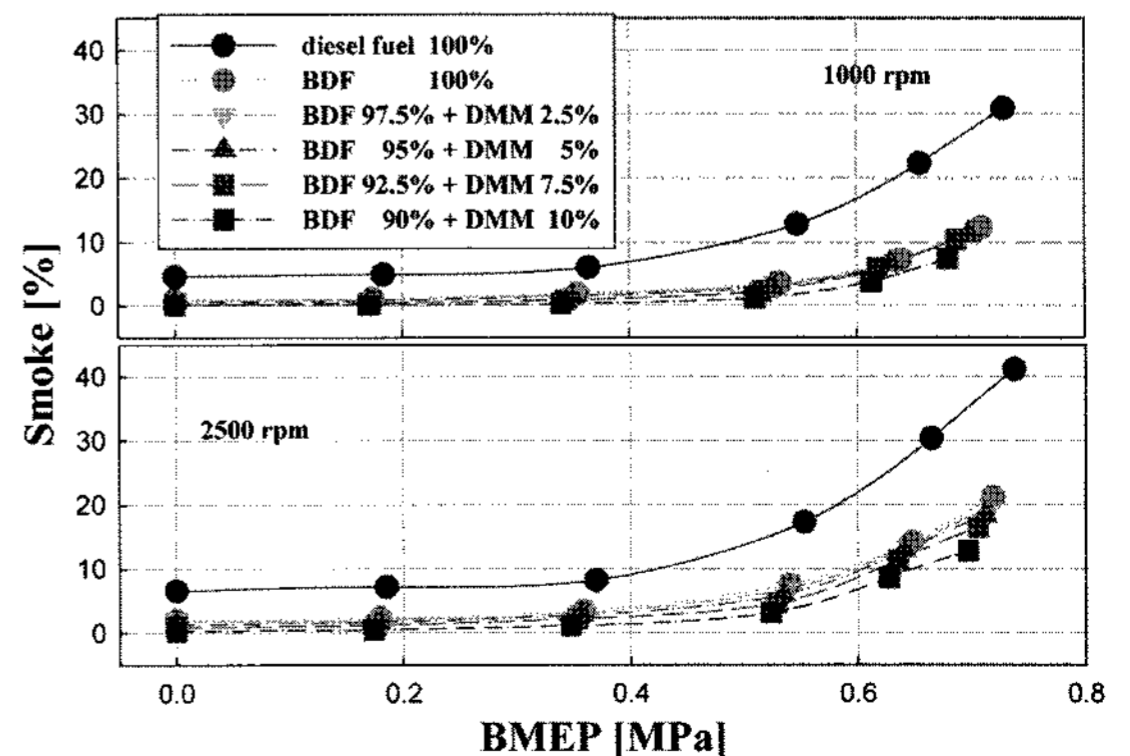


Fig. 3 Smoke versus engine loads at various engine speeds

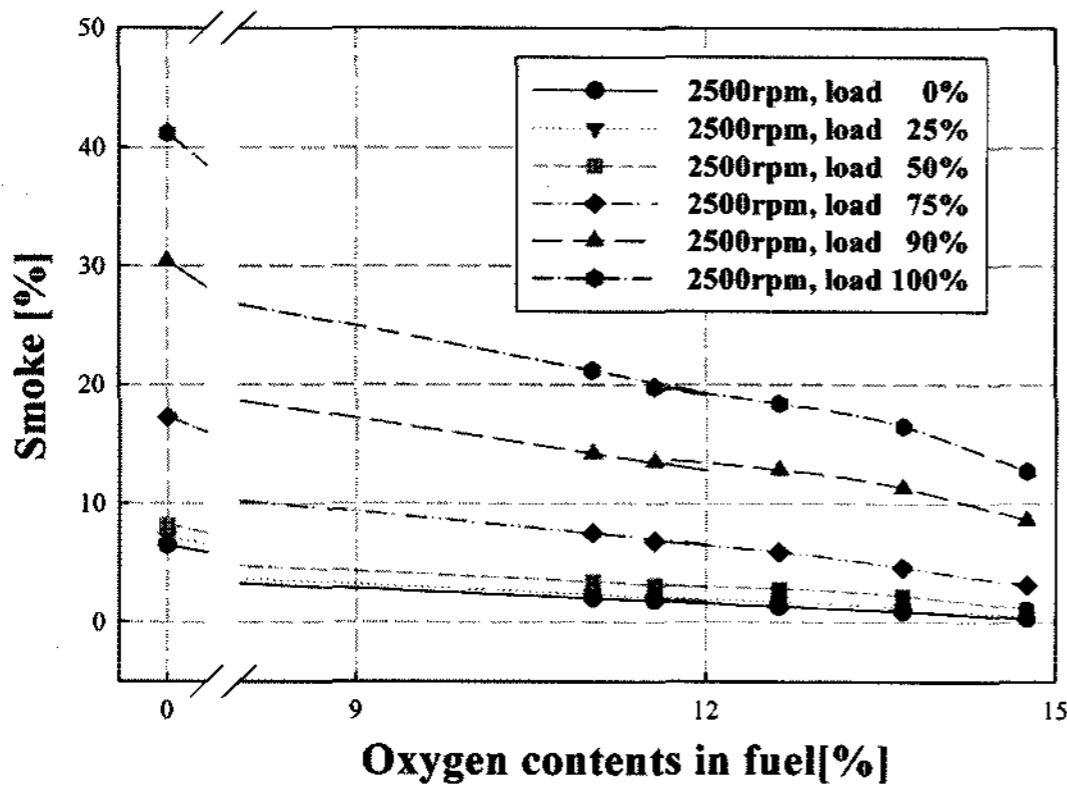


Fig. 4 The comparison of smoke versus oxygen content in fuels at 2500rpm

그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 연료내 산소량이 증가함에 따라서 매연 저감률이 현저해지는 것을 알 수 있다. 특히, 50%이하의 기관부하에서는 매연 배출량이 차이가 미미하였으나, 75% 이상의 기관부하에서는 연료내의 산소 성분 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5는 본 실험의 최대 기관회전속도인 2500rpm에서 연료속의 산소량의 변화와 기관분하가 변화함에 따라 경유만을 연료로 적용한 경우와 비교하여 바이오디젤유 및 DMM의 혼합비율에 대한 매연의 저감 비율을 나타낸 것이다. 저부하영역에서 매연의 저감율이 크게 나타나는 것을 알 수 있으나, 이는 경유만을 연료로 적용한 경우에도 저부하영역에서는 매연의 배출량이 크지 않았기 때문이며, 바이오디젤유 및 DMM 혼합유를 적용한 경우에는 매연이 거의 배출되지 않은 상태이기 때문이며, 매연 배출의 절대량은 고부하영역으로 갈수록 저감되었다.

Fig. 6은 Fig. 3과 동일한 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. NOx의 배출특성은 바이오디젤유 및 DMM 함유량이 증가함에 따라서 전체적으로 약간 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 본 연구에서 적용한 바이오디젤유 및 DMM과 같은 합산소연료내에 포함된 산소성분이 연소가 활발해지는 후연소기간에 화염온도를 상승시켜 NOx의 배출량을 증가시킨 것⁹⁾으로 생각된다. 즉, 바이오디젤유 및 DMM의 함유량이 증가함에 따라 NOx 배출량의 차이가 약간 증가하였는데, 이는 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료에 포함된 산소성분이 연소시에 연

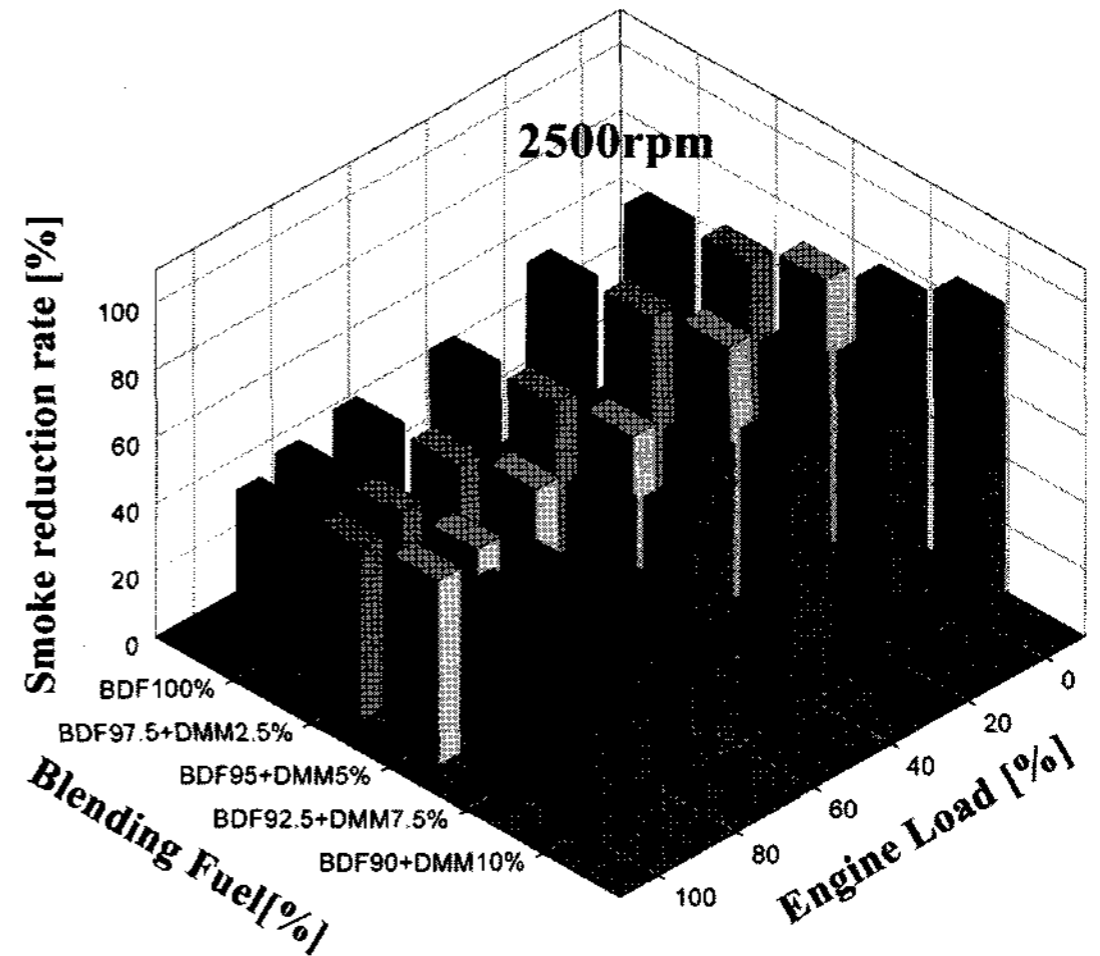


Fig. 5 The comparison of smoke reduction rate versus oxygenates contents and engine loads in fuels at 2500rpm

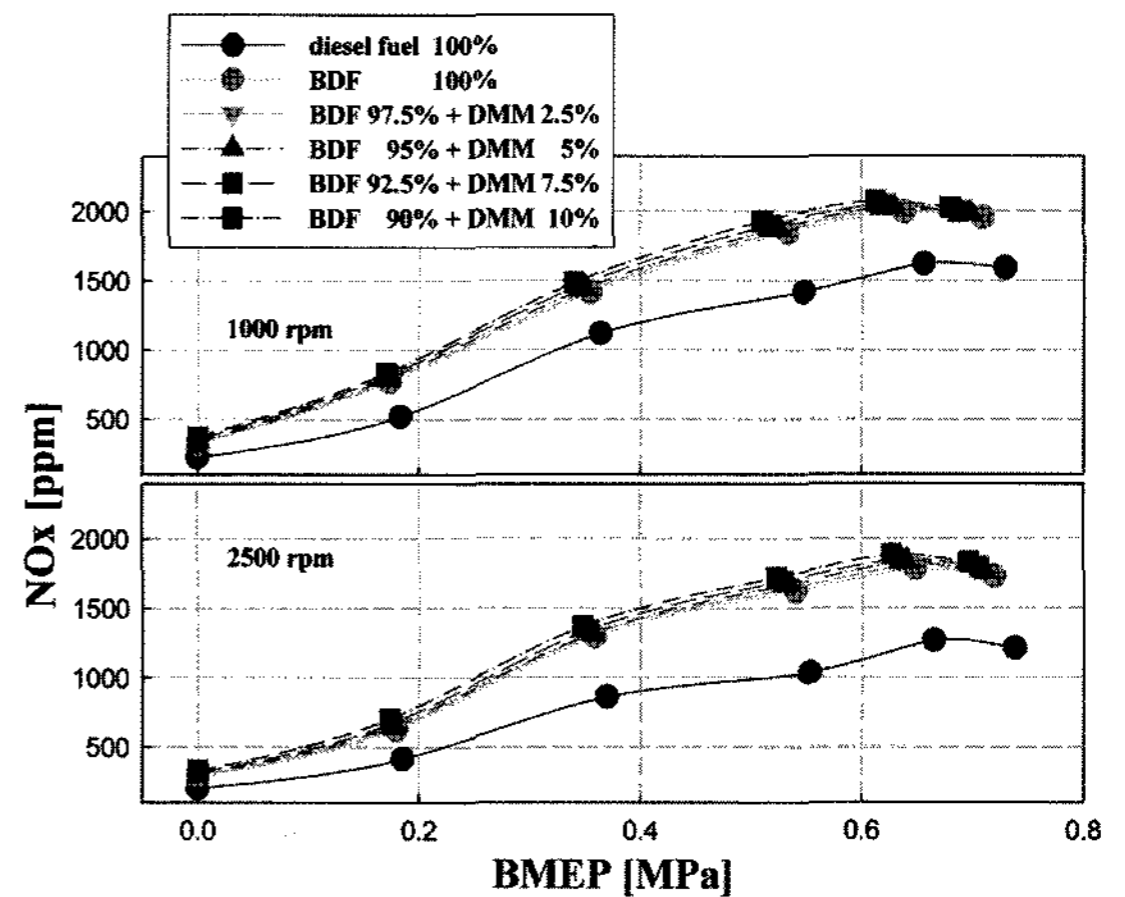


Fig. 6 NOx versus engine loads at various engine speeds

소실내 온도를 상승시켜 NOx 증가를 가져온 것으로 생각된다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 바이오디젤유와 DMM을 혼합하여 적용함으로써 매연 저감은 현저하였으나, NOx 배출농도가 증가되는 것을 Fig. 6에서 알 수 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 디젤기관에서 NOx 저감방법의 일환으로 알려진 cooled EGR 방법을 병행하여 사용⁸⁾하였다.

Fig. 7은 기관실험결과 매연 저감 측면에서는 우수하면서도 NOx의 증가폭은 다른 혼합량과 비교하여 크지 않았기 때문에 본 연구에서 바이오디젤유에 대한 DMM의 최적 혼합율로 설정한 5vol-%를 혼

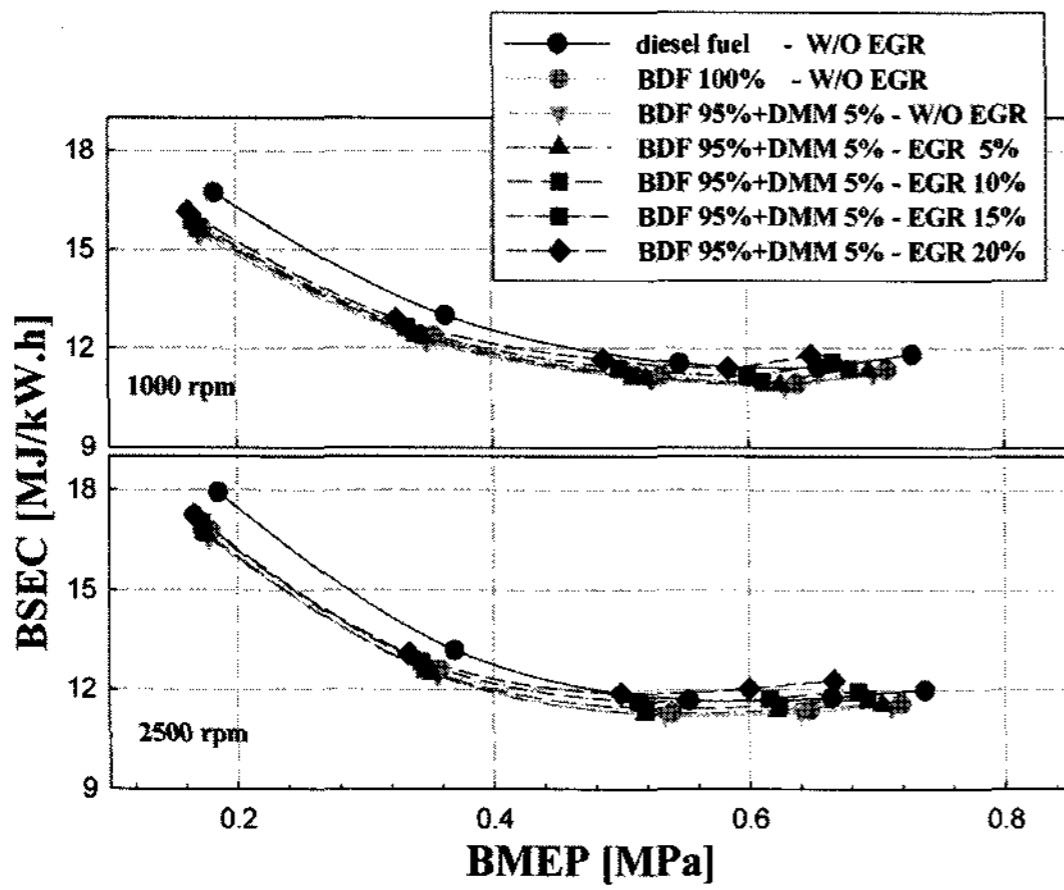


Fig. 7 BSEC versus EGR rates by various engine loads

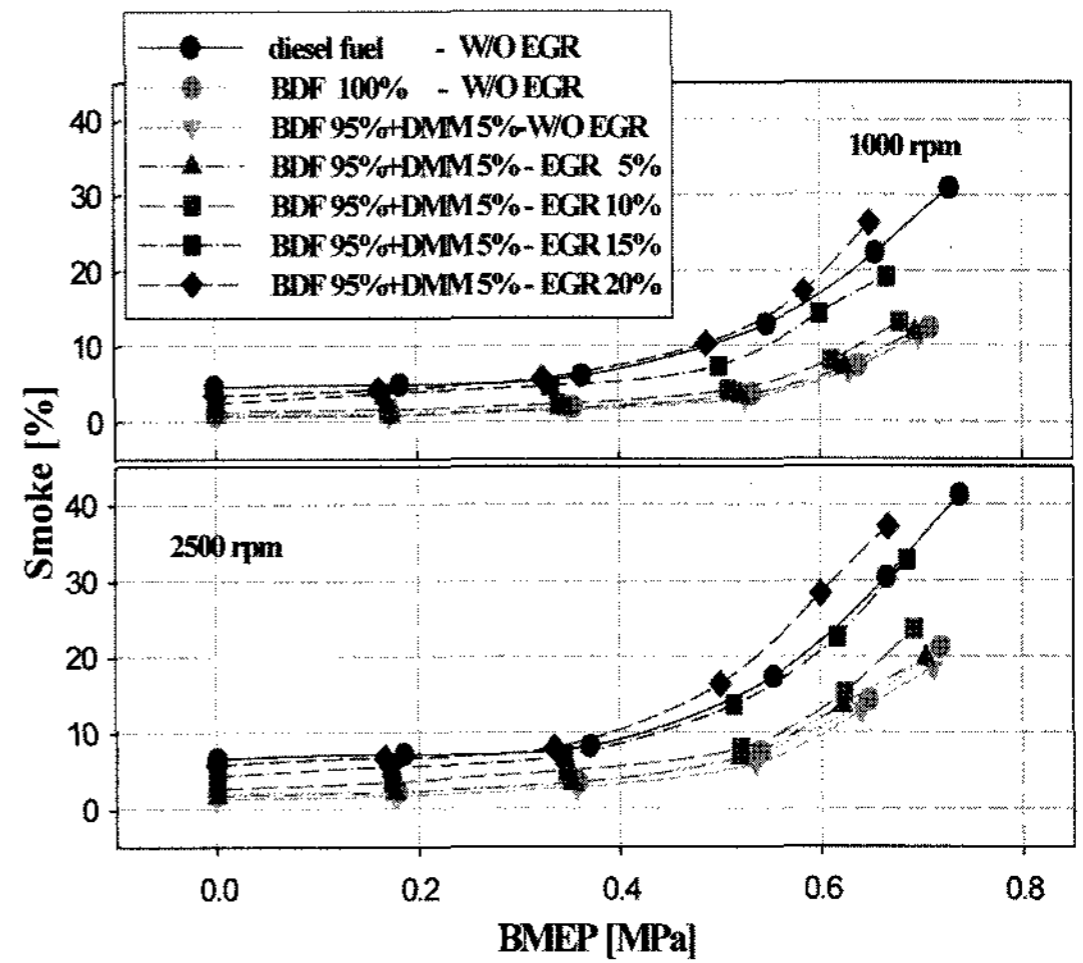


Fig. 9 Smoke emission versus EGR rates

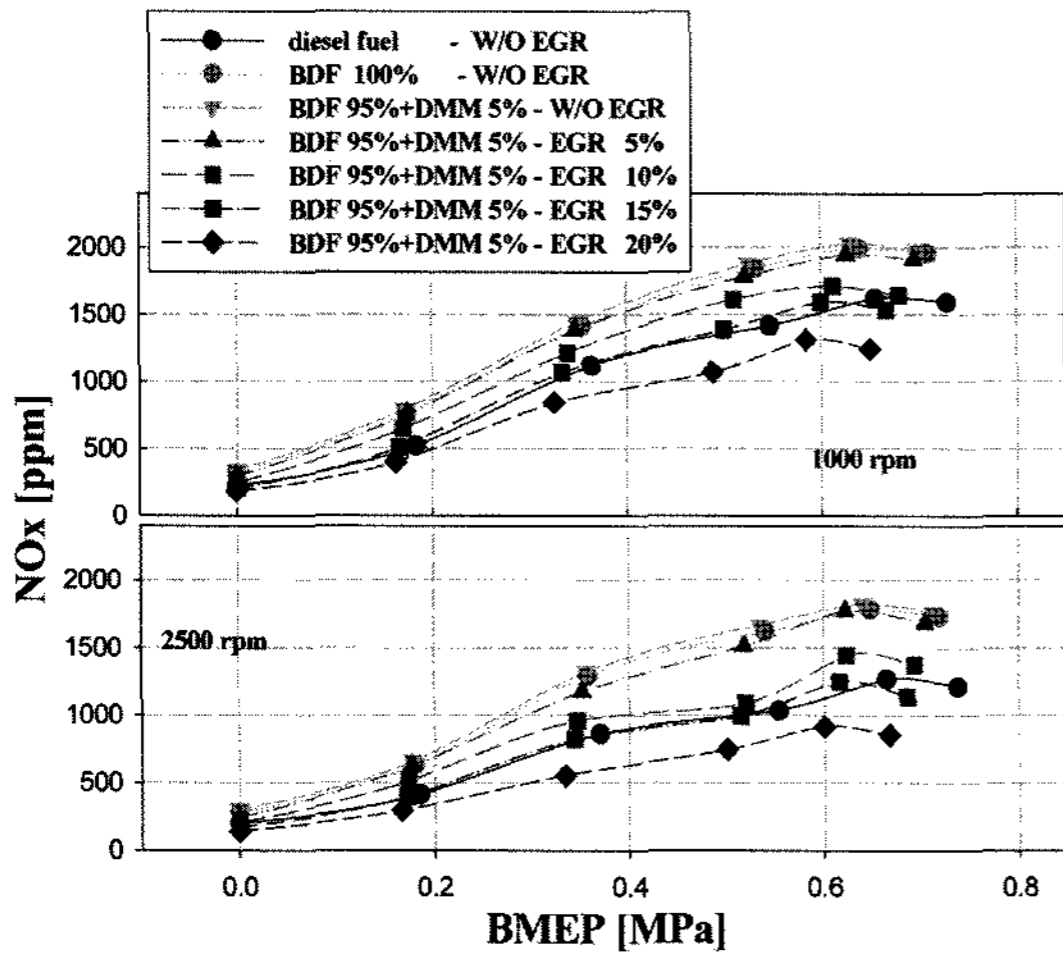


Fig. 8 NOx emission versus EGR rates

합하여 사용한 경우, 0~20%의 EGR율을 적용하여 기관의 각 회전속도와 각 기관부하에서 에너지소비율을 나타낸 것으로 참고로 경유와 바이오디젤유 100%의 경우에 EGR을 적용하기 않은 경우의 자료도 병기하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 에너지 소비율은 EGR율 20%를 적용한 경우 고부하영역을 제외하고는 경유만을 적용한 경우보다 약간 개선되거나, 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 각 기관회전속도와 부하에서 EGR율의 변화에 따른 NOx의 배출량을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이, NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감되고, 15%이상의 EGR을 적용한 경우에 경유만을 사용한 경우보다 저감됨을 알 수

있다. 전체적인 NOx 배출측면에서 보면, NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감되고 있으며, 고부하 영역에서 더욱 저감폭이 현저해지는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 7과 동일한 조건에서 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. 바이오디젤유와 DMM을 혼합하여 사용한 경우에도 EGR율이 증가함에 따라서 매연의 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, 20% EGR율이 기관에 적용된 경우에는 70%이상의 고부하 영역에서 경유만을 연료로 사용한 경우보다도 매연 배출이 증가되었다. 그러나, 15%까지 EGR율을 적용한 경우에는 경유를 사용한 경우보다 매연배출이 증가되지 않았다. 즉, 바이오디젤유와 DMM을 혼합하여 적용시의 매연저감 측면을 고려할 때 중·저부하영역에서는 20%이하의 EGR율을, 고부하영역에서는 15%이하의 EGR율을 적용해야 한다고 생각된다.

4. 결론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 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 기관에 적용한 경우와 큰 차이를 보이

지 않았으며, 에너지소비율은 연료내의 산소성분이 증가할수록 경유보다 다소 개선됨을 확인할 수 있어 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유 및 함산소연료인 DMM의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

- 2) 순수 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 연료내 산소의 함유량이 증가할수록 매연 배출이 선형적으로 감소하며, 바이오디젤유와 DMM의 최대 혼합량(바이오디젤유 90vol-%+DMM 10vol%)를 적용한 경우에 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 2500rpm, 저부하에서는 약 70%의 매연 저감효과를 확인하였다.
- 3) NO_x 배출특성은 바이오디젤유 속의 DMM의 함유량이 증가함에 따라, 즉 연료내의 산소량이 증가함에 따라 경유만을 사용한 경우와 비교하여 증가함을 알 수 있었다.
- 4) 바이오디젤유(95%)와 DMM(5%)를 혼합하여 직접분사식 디젤기관 연료로 사용하고, 15%의 배기가스 재순환을 동시에 기관에 적용할 경우 경유만을 사용한 경우와 비교하여 매연과 NO_x의 동시저감이 가능하였다.

References

- 1) Y. T. Oh, S. H. Choi and S. W. Kim, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)," Transactions of KSAE, Vol.10, No.2, pp.15-22, 2002.
- 2) B. C. Choi, C. H. Lee and H. J. Park, "Power and Emission Characteristics of DI Diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel,"

Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16, 2002.

- 3) M. N. Nabi, M. S. Akhter and M. M. Z. Shahadat, "Improvement of Engine Emissions with Conventional Diesel Fuel and Diesel-biodiesel Blends," Bioresource Technology, Vol.97, pp.372-378, 2006.
- 4) S. H. Choi and Y. T. Oh, "The Emission Effects by the Use of Biodiesel Fuel," Int. J. Modern Physics(B), Vol.20, No.27, pp.4481-4486, 2006.
- 5) R. J. Crookes, "Comparative Bio-fuel Performance in Internal Combustion Engines," Biomass & Bioenergy, Vol.30, pp.461-468, 2006.
- 6) S. H. Choi and Y. T. Oh, "Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a DI Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.3, pp.197-203, 2005.
- 7) S. H. Choi, Y. T. Oh and K. S. Kwon, "Simultaneous Reduction of Smoke and NO_x by Dimethoxy methane and Cooled EGR Method in s DI Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.12, No.5, pp.66-72, 2004.
- 8) P. Y. H. Ham and K. M. Chun, "Engine Cycle Simulation for the Effects of EGR on Combustion and Emissions in a DI Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.51-59, 2002.
- 9) S. H. Choi and Y. T. Oh, "Characteristics of Performance and Exhaust Emission of Diesel Engines by Changes in Fuel Properties and Application of EGR," Int. J. Automotive Technology, Vol.8, No.2, pp.179-184, 2007.