

압축착화기관에서 바이오디젤유 및 합산소성분 동시적용시 성능과 배기배출물 특성

The Characteristics of Performance and Exhaust Emission on Simultaneous Application with Biodiesel Fuel and Oxygen Component in a C.I. Engine

최승훈 · 오영택 · 이대현

S. H. Choi, Y. T. Oh and D. H. Lee

(접수일 : 2010년 1월 7일, 수정일 : 2010년 1월 26일, 채택확정 : 2010년 2월 2일)

Key Words : Biodiesel Fuel(바이오디젤유), Oxygenated Fuel(합산소연료), Egbe(Ethylene Glycol Mono-N-Butyl Ether), Bsec(제동에너지 소비율), Smoke(매연)

Abstract : Our environment is faced with serious problems related to the air pollution from automobiles in these days. In particular, the exhaust emissions from the diesel engines are recognized as main cause which has a great influence on environment. In this study, the potential of biodiesel fuel and oxygenated fuel(ethylene glycol mono-n-butyl ether; EGBE) was investigated as an effective method of decreasing the smoke emission. The smoke emission of blending fuel(EGBE 0~20 vol-%) was reduced in comparison with diesel fuel and it was reduced approximately 64% at 2000 rpm, full load in the 20% of blending rate. On the contrary NOx emissions from biodiesel fuel and EGBE blended fuel were increased compared with diesel fuel. Torque and brake specific energy consumption(BSEC) didn't have large differences.

1. 서 론

디젤기관은 가솔린기관에 비하여 고압축상태에서 연소되기 때문에 열효율이 좋고 연비가 우수하다는 장점이 있다¹⁾. 그러나 디젤기관의 연소과정에서 발생하는 다양한 배기배출물의 영향으로 환경오염 문제가 심각해짐에 따라 각종 환경규제가 강화되고 있다²⁾.

이러한 디젤기관의 연소과정에서 발생하는 배기 배출물 저감을 위한 방법으로는 고압분사에 의한 연소개선과 배출물 저감³⁾, 분사시기 및 연료공급량 제어⁴⁾ 등 기관 자체의 측면과 유황성분의 제재, 연료 성상의 변화 또는 합산소연료(oxygenated fuel)의 사용 등 연료 자체를 개선시키는 방법이 있다. 합산소연료를 이용한 배기배출물의 저감효과는 합산소연

료를 기존의 연료에 혼합하여 매연의 저감 가능성에 대한 연구^{5,6)}가 많이 이루어졌다. 특히 합산소연료의 매연저감효과는 적용 연료자체에 포함된 산소가 기관의 연소개선에 기여하여 NOx는 약간 증가하나 매연의 저감효과가 큰 것으로 보고되고 있다^{1,2,5,6)}.

본 연구에서는 최근 세계적으로 디젤기관의 대체 연료로 인식되고 있는 대두유계열의 순수 바이오디젤유(이하 BDF)와 이전의 연구¹⁾에서 경유와 혼합시 혼합 안정성이 우수한 합산소연료로 보고된 모노에테르 계열의 ethylene glycol mono-n-butyl ether(이하 EGBE)를 최대 20vol-%까지 혼합하여 사용할 경우, 직접분사식 디젤기관에서 각 회전속도와 부하에서의 성능과 배기배출물의 특성을 조사하고, 그 결과를 상용 경유만을 사용했을 경우와 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정 직

오영택(교신저자) : 전북대학교 기계공학과, 공학연구원 공업기술연구센터

E-mail : ohyt@jbnu.ac.kr, Tel : 063-270-2323

최승훈 : 전북대학교 기계공학과

이대현 : 전북대학교 대학원

접분사식 디젤기관으로 기관부하와 회전속도는 기관동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 각각 나타내었으며 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험은 대두유계열의 BDF에 모노에테르 계열인 EGBE를 5~20vol-% 혼합한 연료를 기관의 각 회전속도에서 0%, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하에서 기관이 정상상태로 운전되도록 충분히 구동한 후 기관성능과 배기배출물을 측정하였으며, 이를 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하였다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130
Number of cylinder	1
Bore × Stroke	95 × 95(mm)
Displacement	673(cc)
Compression ratio	18
Combustion chamber	toroidal
Coolant temperature	80 ± 2°C

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel Fuel	BDF	EGBE
Molecular formula	C ₁₆ H ₃₄	-	C ₆ H ₁₄ O ₂
Flash Point(°C)	48	178	45
Heating value[MJ/kg]	43.12	39.61	31.12
Oxygen[wt-%]	0	11.03	27.1

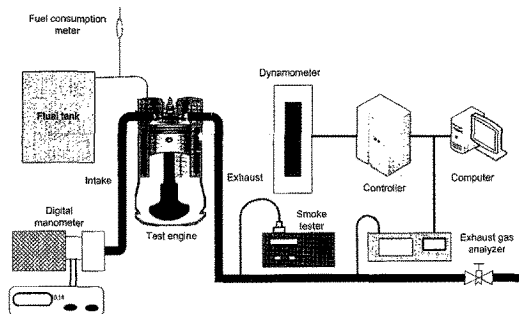


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

매연 농도의 측정은 매연 측정장치(Hesbon; Korea)를 사용하여 기관으로 부터 300 mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후 여과지에 흡착된

것을 측정하였으며, 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 배기가스 분석기(GreenLine MK2; Italy)에 일정량의 배기가스를 지속적으로 흡입시켜 측정하였다. 또한 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 동일 일에 대한 에너지의 소모율을 에너지소비율(MJ/kWh)로 계산하였으며, 연료 분사시기는 실험기관의 특성상 BTDC 23°CA로 고정하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기관의 성능 변화 비교

Fig. 2는 직접분사식 디젤기관에 각각의 비율로 EGBE를 혼합한 연료를 적용하였을 경우 각 회전속도에서의 토크의 변화를 나타낸 그래프이다.

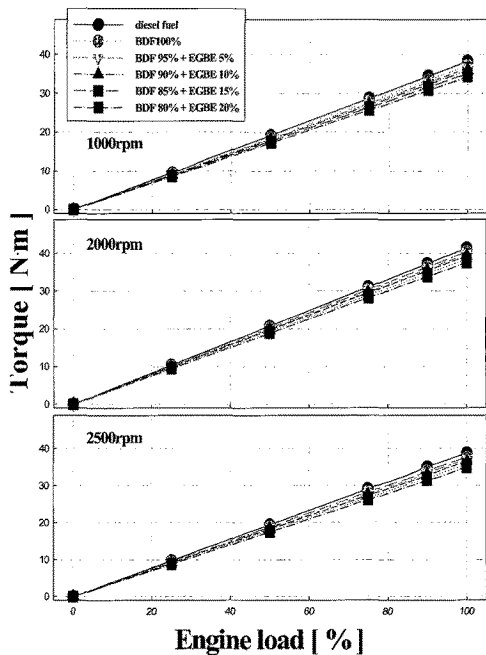


Fig. 2 Engine performance versus EGBE content in a direct injection diesel engine

그래프에서 보는 바와 같이 순수 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하였을 때, BDF만을 연료로 사용했을 경우에는 약간의 토크 저하가 나타남을 알 수 있다. 또한 BDF에 EGBE를 혼합하여 적용했을 경우, EGBE의 혼합율이 증가할수록 토크 저하도 조금씩 증가하나 경유와 비교하여 큰 차이

가 없음을 알 수 있다. 2000rpm, 90% 부하에서 BDF에 대한 EGBE의 혼합율이 20%인 경우, 10% 미만의 토크 저하가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한, 2500 rpm, 전부하에서 BDF에 대한 EGBE의 혼합율에 따라 토크의 변화를 경유와 비교하였을 때, 혼합율이 5%일 경우 토크의 저하는 약 4.6%, 혼합율이 10%, 15%, 20%인 경우에는 각각 6.1%, 8.1%, 9.8%임을 알 수 있었다. 이는 EGBE의 발열량이 경유의 발열량의 약 72% 수준인 것을 감안하였을 때 토크의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

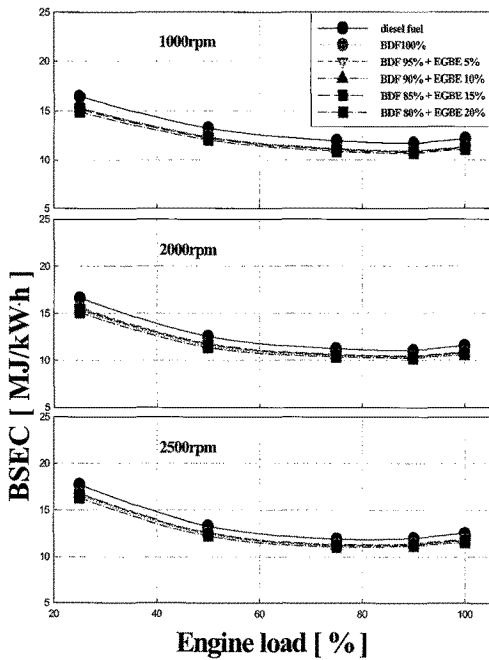


Fig. 3 BSEC versus EGBE content in a direct injection diesel engine

Fig. 3는 기관의 각 회전속도에서 에너지제동소비율(BSEC)을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 BDF와 EGBE를 각각의 비율로 혼합하여 연료를 사용했을 경우 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하여 전체적으로 BSEC 개선효과가 나타남을 알 수 있다. 그리고 2500 rpm, 전부하에서 BDF와 EGBE의 혼합율에 따라 BSEC의 변화를 경유와 비교하면, 혼합율이 5%일 때 5.8%, 혼합율이 10%, 15%, 20%일 때, 각각 6.2%, 6.9%, 7.7%의 BSEC의 개선을 보였다. 이는 EGBE의 발열량이 경유의 발열량의 약 72%, BDF 발열량의 약 78% 정도이나

EGBE의 산소함유량이 BDF보다 약 2.5배 높아 기관의 연소효율이 개선되었을 것으로 생각된다. 즉, 연소실내의 산소의 농도가 증가하면 반응속도가 증가하게 되고, 연소범위는 넓어지게 되며 특히, 과농한 영역인 고부하영역에서 반응속도가 증가하고 연소를 안정화시켰기 때문으로 생각된다⁴⁾.

3.2 배기배출물 특성 비교

Fig. 4는 각각의 혼합율로 BDF와 EGBE를 혼합하였을 경우, 각 회전속도에서 기관부하에 따른 배연의 배출특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 연료로 사용하였을 경우보다 배연의 배출량이 크게 감소하였고 부하가 점점 증가함에 따라 배연의 저감폭이 급격히 커짐을 알 수 있다. 특히 BDF에 대한 EGBE의 혼합율이 20%일 경우, 2000 rpm, 전부하 영역에서 경유와 비교하여 약 64%의 배연저감이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한, 2500 rpm, 전부하에서 BDF와 EGBE의 혼합율에 따른 배연의 변화를 경유와 비교하면 혼합율이 5%일 때 57.6%, 혼합율이 10%, 15%, 20%일 때, 각각 59.4%, 61.5%, 63.7%의 배연 감소율을 보여 BDF에 대한 EGBE의 혼합률이 증가할수록, 즉 연료내의 산소량이 증가할수록 배연저감폭이 커짐을 알 수 있다.

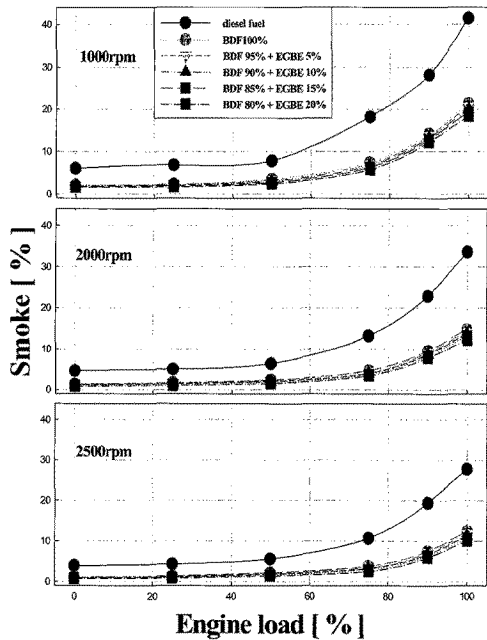


Fig. 4 Smoke versus BDF and EGBE content at various engine speeds and loads

일반적으로 디젤기관에서는 연료가 이혼혼합비보다 농후하면 공기부족으로 인하여 연료 일부가 불완전 연소되어 매연이 발생하게 되는데 연료내에 합산소연료를 혼합함으로써 연료내의 산소량이 증가하게 되고 여기 포함된 산소가 연료의 연소개선에 기여하여 매연이 감소했을 것으로 생각된다. 특히 연료공급이 많아지는 고부하영역으로 진행될수록 연료내에 포함된 산소의 기여도가 커져 연료의 산화 속도가 빠르게 이루어짐으로써 매연의 저감이 크게 이루어졌을 것으로 생각된다.

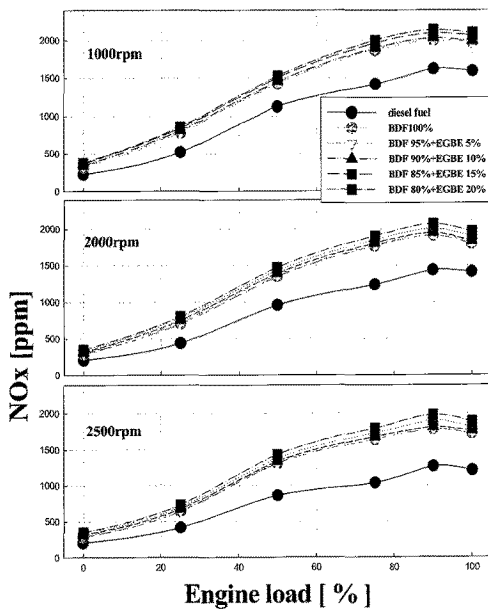


Fig. 5 NOx versus BDF and EGBE content at various engine speeds and loads

Fig. 5는 각 회전속도에서 기관부하에 따른 NOx의 배출특성을 나타낸 그래프이다. 전체적으로 고부하영역으로 진행될수록 NOx의 배출량이 점차 증가하는 것을 알 수 있다. 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하여 연료내의 산소농도가 증가함에 따라 NOx의 배출량이 증가하였다. 즉, 2500rpm, 전부하에서 BDF와 EGBE의 혼합율에 따른 NOx의 변화를 경유와 비교하면 혼합율이 5%일 때 30.4%, 혼합율이 10%, 15%, 20%일 때, 각각 31.4%, 33.4%, 35.8% NOx의 증가율을 보여 Fig.4의 결과와 동일하게 연료내의 산소농도가 증가함에 따라 NOx의 증가율이 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 BDF와 EGBE내에 포함되어 있는 산소가 연소를 활성화시

키게 되고, 이에 연소실내의 온도가 상승함으로써 연소시 발생하는 thermal NOx의 배출량이 증가하는 것으로 생각된다.

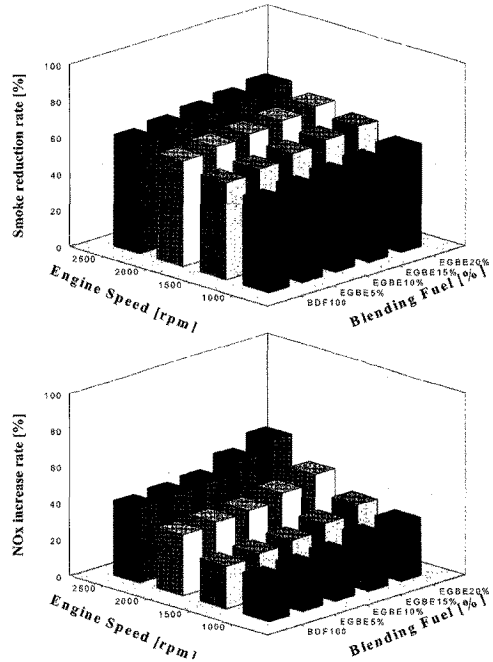


Fig. 6 Smoke and NOx variation rate versus EGBE content under various engine speed at 90% load

Fig. 6은 Fig. 4와 5에 나타난 결과를 바탕으로 하여 직접분사식 디젤엔진에서 BDF에 EGBE를 각각의 비율로 혼합한 연료를 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하여 90%부하영역에서 매연과 NOx의 변화를 나타낸 그래프이다. 매연은 BDF에 대한 EGBE의 혼합율이 5%일 경우, 경유와 비교하여 50%이상 감소하고, 또한 BDF에 대한 EGBE의 혼합율이 증가할수록 매연의 저감을 또한 증가하는 것을 알 수 있다. NOx의 증가율은 BDF에 대한 EGBE의 혼합율이 20%일 경우에도 최대 50%를 넘지 않음으로써 EGBE를 BDF에 혼합하여 연료로 사용하였을 경우 NOx의 증가보다 매연의 감소가 현저함을 알 수 있다.

Fig. 7과 8은 중부하와 전부하영역에서 각 회전속도별 연료내의 산소함유량에 따른 매연과 NOx의 변화율을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타나는 것과 같이 연료내의 산소량이 증가함에 따라 매연의 저감율이 현저하게 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 연료내의 산소함유량이 증가할수록 NOx의 증

가을 또한 증가하지만 매연의 저감율이 NOx의 증가율보다 크게 상회함으로써 연료내에 포함된 산소가 매연저감의 효과가 더 크다고 생각된다. 따라서 디젤기관의 대체연료로 인식되고 있는 BDF에 모노에테르 계열의 합산소연료인 EGBE를 혼합하여 직접분사식 디젤기관에 적용하였을 때 매연저감의 한 방법으로서 적용가능성이 크다고 판단된다.

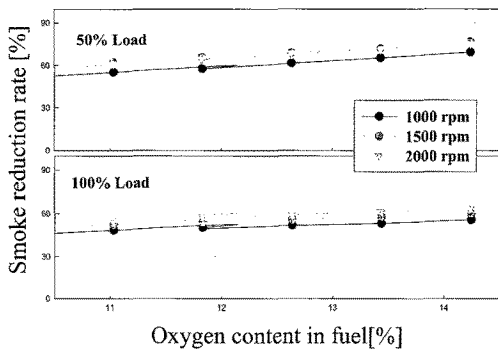


Fig. 7 Smoke variation rate versus oxygen content under various engine speed at 50% and full load

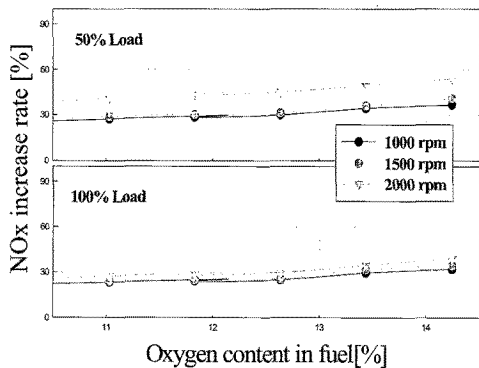


Fig. 8 NOx variation rate versus oxygen content under various engine speed at 50% and full load

4. 결 론

EGBE를 BDF에 0~20vol-%로 혼합하여 직접분사식 디젤기관에 적용하여 경유만을 연료로 사용했을 경우와 성능 및 배기배출물 특성을 비교하였을 때 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) BDF에 EGBE를 20vol-%의 비율로 혼합하였을 경우 상용경유의 발열량보다 약 12% 낮지만 기관출력은 최대 10% 미만의 차이를 보여 BDF와 EGBE를 혼합한 연료를 직접분사식 디젤기관에 적

용하였을 경우 연료내의 산소성분에 의한 연소개선 효과를 확인할 수 있었다.

2) EGBE를 BDF에 20vol-%의 비율로 혼합하였을 경우 전부하영역에서 최대 64%의 매연저감이 이루어짐으로써 합산소연료의 첨가로 인한 매연저감효과를 확인할 수 있었다.

3) 일종의 합산소연료로 분류할 수 있는 BDF 및 EGBE를 디젤기관에 적용함으로써 연소활성화로 인한 thermal NOx가 증가되는 것을 확인하였으나, NOx의 증가율보다 매연의 감소율이 훨씬 상회하기 때문에 매연 저감의 한 방법으로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. Choi S. H. and Oh Y. T., 2005, "A Study on Application of Mono-Ether Group (Ethylene Glycol Mono-n-Butyl Ether) Oxygenated Fuel in an IDI Diesel Engine", Journal of KSPSE, Vol. 9, No. 3, pp. 15~20.
2. Choi S. H. and Oh Y. T., 2006, "A Study for Characteristics of Performances and Exhaust Emission on Blending Rates of Biodiesel Fuel in a Common-Rail Injection Diesel Engine", Journal of KSPSE, Vol. 10, No. 2, pp. 5~10.
3. Choi S. H. and Oh Y. T., 2007, "An Experimental Study on Simultaneous Reduction of Smoke and NOx with Biodiesel Fuel in a CRDI Type Diesel Engine", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 3, pp. 35~40.
4. Choi S. H. and Oh Y. T., 2008, "The Characteristics on the Engine Performance, Smoke and NOx Emission for Variation of Fuel Injection Timing in an IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel", Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 4, pp. 75~80.
5. Choi C. Y. and Reitz R. D., 1999, "An experimental study on the effects of oxygenated fuel blends and multiple injection strategies on DI diesel engine emissions", FUEL, Vol. 78, pp. 1303~1317.
6. Rota R. and Zanoelo E. F., 2003, "Influence of oxygenated additives on the NOx out process efficiency", FUEL, Vol. 82, pp. 765~770.