

직접분사식 디젤기관에서 합산소성분(Butyl Ether) 및 EGR의 적용

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택^{*2)}

전주비전대학 교육혁신지원센터¹⁾ · 전북대학교 기계공학과, 전북대학교부설 공학연구원 공업기술연구센터²⁾

The Application of Oxygenated Component(Butyl Ether) and EGR in a DI Diesel Engine

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh^{*2)}

¹⁾Education Innovation Center, Vision College of Jeonju, Jeonbuk 560-760, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Research Center of Industrial Technology, Jeonbuk 561-756, Korea

(Received 30 January 2008 / Accepted 4 April 2008)

Abstract : This research investigated variations of the engine performance and the exhaust emission characteristic of a direct injection diesel engine by fueling a commercial diesel fuel, which was blended with the di-ether group (butyl-ether: BE). The smoke emission reduced to 26% from the diesel engine with the blending fuel (diesel fuel 80 vol-% + BE 20 vol-%) at the full engine load of 2500 rpm compared to it with the diesel fuel only. The power, torque and brake specific energy consumption of the diesel engine showed very slight differences. The NOx emission from the diesel engine, however, with the blended fuel was higher than with the commercial diesel fuel only. By applying EGR method, as a counter plan of the NOx reduction, this research obtained reductions of the smoke and NOx emission at the same time from the diesel engine with the BE blended diesel fuel.

Key words : Butyl ether(부틸에테르), Direct injection diesel engine(직접분사식 디젤기관), Smoke(매연), NOx(질소산화물), Exhaust Gas Recirculation(배기가스 재순환)

1. 서 론

디젤기관에 관한 연구는 고효율과 저연비 실현에 관한 연구와 배출가스 저감에 관한 연구로 크게 나눌 수가 있으며, 전자는 CO₂배출량의 저감을 가져오고, 후자는 NO_x와 입자상물질의 저감을 주요 목표로 하고 있다.¹⁾ 배출가스 저감을 위한 방법으로는 엔진설계변경 기술과 연료의 성상 등에 변화를 주어 연료가 연소실내에서 연소하여 배출되기 전에 배출가스를 저감시키기 위한 전처리 방법과 연료가 연소한 후에 연소실 밖에서 촉매장치나 배출가스

재순환(EGR; exhaust gas recirculation) 방법 등을 사용하여 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수가 있다.

전처리 방법은 합산소연료를 상용 경유와 혼합하는 방법,²⁾ 개질연료를 사용하는 방법, 바이오매스 계열의 연료를 적용하는 방법³⁾ 등이 제시되고 있다. 이 중에서 합산소연료는 일반적으로 디에테르 계열(diether group, -O-), 모노에테르 계열(mono ether group, -O+-OH), 카보네이트 계열(carbonate group, -O(C:O)O-)과 저알코올 계열(lower alcohol group, -OH)로 분류되며, 이들의 가장 큰 차이점은 원자간의 결합상태와 활성기의 유·무이다.

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

이러한 합산소연료를 이용한 실험들을 현재 많은 연구자들에 의해 수행^{4,5)}되고 있으나, 디에테르계열의 합산소제인 butyl ether(이하 BE)에 대한 연구는 거의 없다. BE는 자체내에 산소량이 다른 합산소연료에 비해 비교적 소량인 12% 정도를 함유하고 있으면서도 발열량이 거의 경유의 93%에 이르고, 세탄가는 경유의 91% 수준으로 거의 경유와 유사한 성분을 가지고 있다. 이는 현재까지 조사된 순수 합산소연료 및 첨가제 중 가장 높은 발열량과 세탄가를 가지고 있는 것이다.

본 연구에서는 합산소성분 첨가방법의 일환으로서 디에테르계열의 합산소제인 BE를 디젤기관의 상용연료인 경유와 최대 20vol.%까지 혼합하여 사용할 경우, 기관의 각 회전속도와 부하에서 배기배출물의 특성변화를 조사함과 동시에 합산소연료를 사용할 경우 증가하는 NO_x의 저감방법으로서 cooled EGR을 병행하여 매연과 NO_x의 동시저감을 이루고자하였다.

2. 실험장치 및 방법

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

실험은 경유와 합산소연료인 BE를 0~20vol.% 혼합한 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도 및 각 부하의 경우에 기관성능과 매연 및 NO_x를 측정하였다. 매연 농도의 측정은 매연 측정장치(Hesbon; HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 것을 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 단위시간 및 출력당의 연료소비율을 계산하였다.

본 연구에서는 EGR율을 계산할 때 전체 흡기량

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	BE
Molecular formula	C ₁₂ H ₂₆	C ₈ H ₁₈ O
Density(kg/m ³)	0.8054	0.767
LHV[MJ/kg]	45.88	42.8
Cetane number	51	46.41
Oxygen content(%)	-	12.286

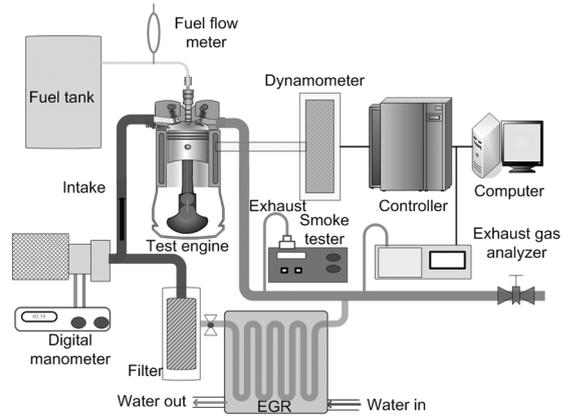


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

에 대한 EGR된 양, 즉 새로운 흡입공기량의 감소율로서 식 (1)⁶⁾을 이용하였다.

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

여기서, V₀는 EGR을 수행하지 않았을 경우의 흡입공기량(m³/h), V_a는 EGR을 수행했을 경우의 새로운 흡입공기량이다. 또한, EGR 중에서도 EGR의 효과가 더 뛰어난 cooled EGR을 적용하여 EGR되는 가스의 온도를 대기온도와 비슷한 20°C 정도로 유지하였으며, 매연 미립자 제거장치를 이용하여 흡기로 재순환되는 배출가스 중의 미립자를 제거한 후 실험하였다.

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 시간동안 예비운전을 실시한 후 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 BE 적용에 따른 기관성능 및 배기배출물 배출특성 비교

Fig. 2는 2500rpm의 기관 회전속도에서 부하가 변화할 때 기관 성능의 변화를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 경유만을 적용한 경우와 비교하여 합산소제인 BE의 혼합율이 증가함에 따라서 기관 출력은 약간의 차이가 나타나며, 경유만을 순수연료로 적용한 경우에 최대 출력이 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 연료중의 BE의 함유량의 차이에 따른 에너지소비율(BSEC)의 변화는 각 회전수별로 거의 유사한 경향을 나타내었다. 2500rpm의 고회전 속도영역에서 BE를 혼합하여 적용한 경우가 경유의 경우에 비하여 약간 증가되었고, BE의 함유량이 증가할수록 에너지소비율은 약간 악화됨을 알 수 있다. 2500rpm, 전부하의 경우에 경유의 경우에 비해서 BE 5%를 적용한 경우 약 0.3%, BE 10%의 경우 약 0.8%, BE 15%

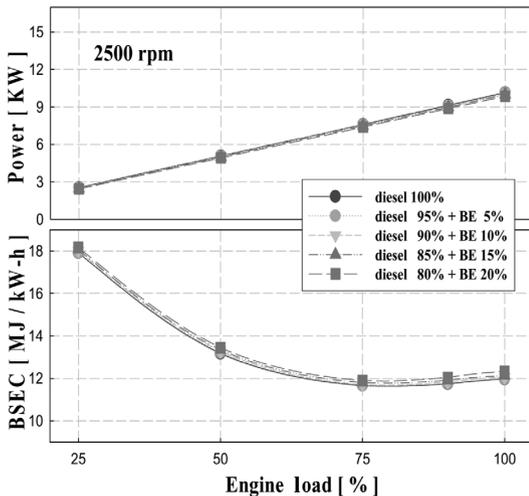


Fig. 2 Performance of power and BSEC

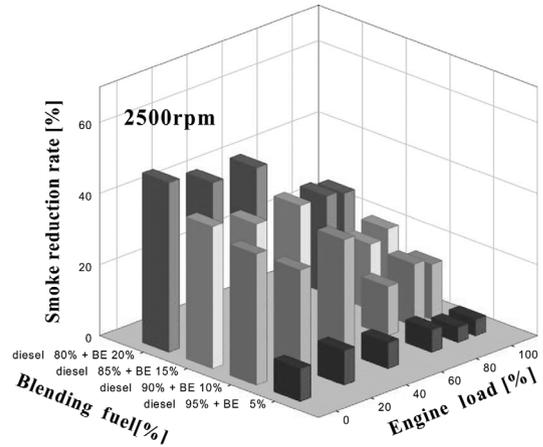


Fig. 3 The comparison of smoke reduction rate versus BE mixing rates at 2500rpm

의 경우 약 1.5%, BE 20%의 경우 약 3%의 출력저하가 나타나고 있어 경유만을 적용한 경우와 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 합산소제인 BE의 첨가량이 증가함에도 불구하고, BE의 세탄가와 발열량이 경유에 비하여 거의 비슷하고, BE내의 합산소성분에 의한 연소효율이 높아지기 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 2500rpm의 기관회전속도에서 연료내의 BE 혼합량에 따라 직접분사식 디젤기관에 경유만을 연료로 적용한 경우와 비교하여 BE의 혼합비율에 대한 매연의 저감 비율을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 경유와 BE 혼합연료 사이에는 현격한 매연 배출 농도 차이를 보이고 있다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 NOx의 증가율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 본 연구에서 최대 혼합율인 BE 20%를 혼합하여 적용한 경우, 경유만을 적용한 경우와 비교하여 최대 17%의 NOx 증가가 나타남을 알 수 있다. 이는 고부하와 고회전수에서 연료내의 산소성분으로 인하여 실린더내의 온도가 상승함에 따라 thermal NOx 생성에 영향을 준 것으로 생각된다. 그러나, Fig. 3에서 나타난 바와 같이 BE를 적용한 경우 매연 저감율은 최대 42%까지 나타났다.

3.2 BE 혼합연료와 EGR의 동시 적용

이상의 실험결과에서와 같이 경유에 BE를 혼합

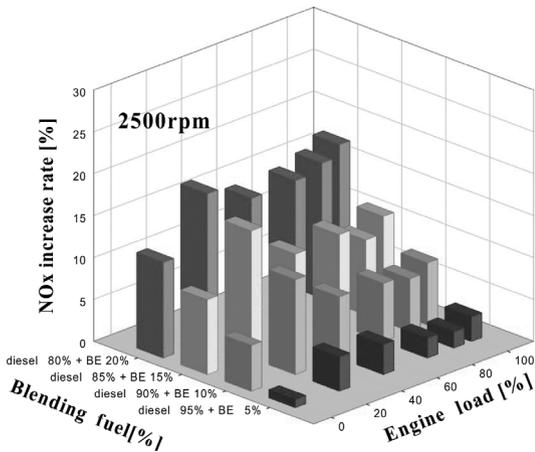


Fig. 4 The comparison of NOx increase rate versus BE mixing rates at 2500rpm

하여 사용할 때 매연은 현저히 감소하며, 에너지소비율과 출력은 비슷한 경향을 나타내지만, 디젤기관의 주요 규제 대상으로 부각되는 NOx의 배출농도는 BE의 혼합율이 증가함에 따라 꾸준히 증가되는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 디젤기관에서 NOx 저감방법의 하나로 알려진 EGR방법을 병행하여 사용하였으며, 특히 체적효율의 증대를 위하여 cooled EGR 방법을 적용하였고, Fig. 3과 Fig. 4를 참고로 하여 매연의 저감율과 NOx의 증가율측면에서 본 실험의 최적 혼합율로 생각되는 BE 15%를 혼합한 경우와 경유만을 사용한 경우를 비교하였다.

Fig. 5는 BE 15%를 적용한 경우 2500rpm의 기관 회전속도에서 EGR을 변화에 따른 기관 성능의 변화를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 경유만을 적용한 경우와 비교하여 EGR율이 증가함에 따라서 기관 출력은 약간의 차이가 나타나며, 전부하의 경우 EGR을 5%는 약 2%, EGR을 10%는 2.8%, EGR을 15%는 3.8%, EGR을 20%는 5.8%의 차이를 나타내고 있다. 에너지소비율의 경우는 EGR을 5%는 약 1.9%, EGR을 10%는 2.6%, EGR을 15%는 3.2%, EGR을 20%는 4.7%의 차이를 나타내고 있다. 그러나, 전체적인 성능측면에서 20%까지의 EGR율을 적용한 것을 감안하면 큰 차이는 나타나지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 6은 경유만을 사용한 경우와 비교하여 BE

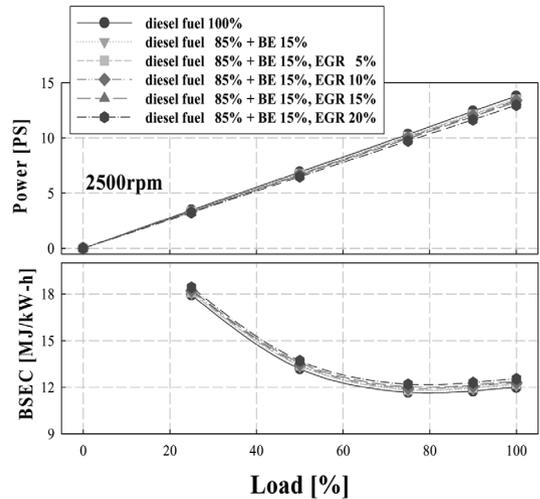


Fig. 5 Power and BSEC at various EGR rates

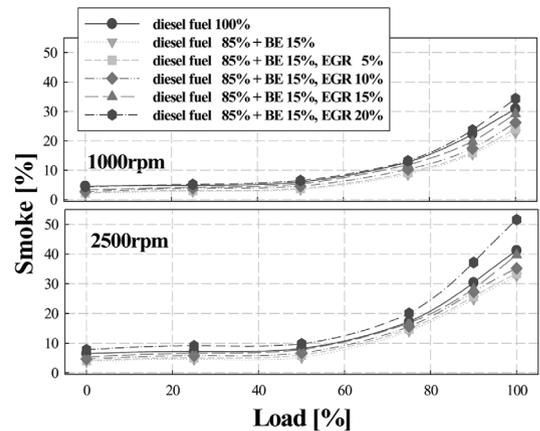


Fig. 6 Smoke emission at various EGR rates

15%를 혼합하고 0~20%의 EGR율을 적용하여 기관의 각 회전속도와 각 기관부하에서 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. 합산소연료인 BE를 혼합하여 사용한 경우에도 EGR율이 증가함에 따라서 매연의 증가폭이 커지는 것을 알 수 있다. 특히, 20%의 EGR율이 기관에 적용된 경우에는 중부하이상의 영역에서 경유만을 연료로 사용한 경우보다도 매연배출이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 재순환되는 배출가스가 연소실내로 흡입되는 신기 중의 산소량을 감소시켜 연소에 충분한 산소 공급이 어렵기 때문으로 생각되며, 직접분사식 디젤기관에 합산소연료 이용시의 매연저감 측면을 고려할 때 중·저부

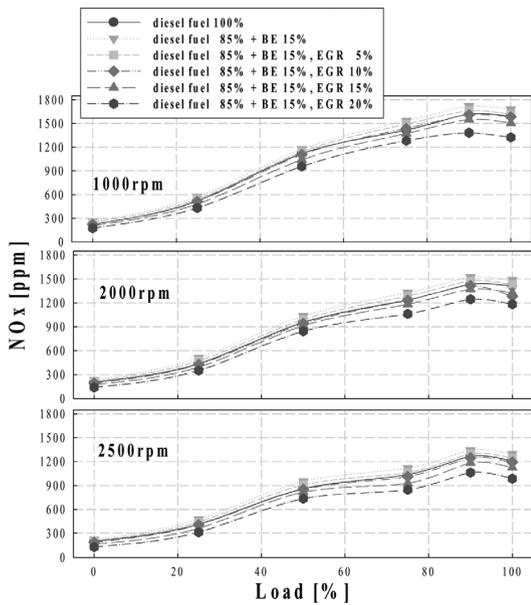


Fig. 7 NOx emission at various EGR rates

하영역에서는 15% 이하의 EGR율을, 고부하영역에서는 10% 이하의 EGR율이 적정함을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건에서 EGR율의 변화에 따른 NOx의 배출특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 나타난 바와 같이 NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감되고, 10%의 EGR을 적용한 경우에도 경유만을 사용한 경우와 비슷하게 배출되며, 15% 이상의 EGR율을 적용한 경우에는 경유를 사용한 경우보다 전체적으로 NOx가 저감됨을 알 수 있다. 전체적인 NOx 배출측면에서 보면, NOx는 EGR율의 증가에 따라 현저하게 저감되고 있다. 그러나, BE 혼합연료를 사용한 경우에도 EGR율이 20%를 초과하면 경유만을 사용한 경우보다 매연이 더 많이 배출되는 것을 알 수 있으며, 10% 정도의 EGR율을 적용한 경우에는 NOx 배출 특성이 경유를 사용했을 때와 유사함을 알 수 있다. 따라서, BE 혼합연료(15vol-%)를 사용할 경우, 매연과 NOx를 동시에 저감시키기 위한 최적의 EGR율은 10~15% 정도임을 알 수 있었다.

4. 결론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 디젤기관의

연료로서 경유 및 디에테르계열의 합산소제인 butyl ether를 일정한 체적비율로 혼합한 연료를 사용하여, 기관성능 및 배기 배출물에 미치는 영향을 분석하고, butyl ether 사용시 증가되는 NOx의 저감을 위하여 cooled EGR 방법을 조합한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) butyl ether 혼합연료의 출력은 경유만을 기관에 적용한 경우와 큰 차이를 보이지 않았으며, 연료 소비율은 연료내의 산소성분이 증가할수록 경유보다 다소 악화됨을 확인 할 수 있었다. 그러나, 그 차이는 최대 혼합율인 butyl ether 20% 적용시에 3% 미만으로 크지 않아 직접분사식 디젤 기관에 대한 butyl ether의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.
- 2) butyl ether 혼합연료를 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우, 연료내 butyl ether의 함유량이 증가할수록 매연 배출의 감소량이 증가하며, butyl ether 20%를 적용한 경우에 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 2500rpm, 무부하에서는 약 42%, 전부하에서는 약 30%의 매연 저감효과를 확인하였다.
- 3) butyl ether 혼합연료에 대한 NOx 배출특성은 butyl ether의 함유량이 증가함에 따라, 즉 연료내의 산소량이 증가함에 따라 경유만을 사용한 경우와 비교하여 증가함을 알 수 있었다. 그러나, 전체적인 NOx 증가율은 동일 조건에서의 매연 저감율보다 낮아 직접분사식 디젤기관에 대한 butyl ether 혼합연료의 적용가능성을 확인할 수 있었다.
- 4) 합산소연료인 butyl ether를 15vol-% 경유에 혼합하고 10~15% 내외의 배기가스 재순환을 동시에 기관에 적용할 경우 경유만을 사용한 경우와 비교하여 매연과 NOx의 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) 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.
- 3) 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.
- 4) S. H. Choi, Y. T. Oh and K. S. Kwon, "Simultaneous Reduction of Smoke and NOx by Dimethoxy Methane and Cooled EGR Method in s DI Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.12, No.5, pp.66-72, 2004.
- 5) Y. T. Oh and S. H. Choi, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(II)," Transactions of KSAE, Vol.10, No.3, pp.8-17, 2002.
- 6) 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.