

DI 디젤기관에서 바이오디젤유와 함산소연료(EGBE) 동시적용 및 EGR에 의한 배기배출특성

최 승 훈¹⁾ · 오 영 택^{*2)}

전북대학교 기계공학과¹⁾ · 전북대학교 기계공학과, 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터²⁾

The Characteristics of Emission on Simultaneous Application with Biodiesel, Oxygenated Fuel(EGBE) and EGR in a DI Diesel Engine

Seunghun Choi¹⁾ · Youngtaig Oh^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

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

(Received 7 September 2009 / Accepted 4 November 2009)

Abstract : In this study, the potential possibility of biodiesel fuel(BDF) 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 (BDF and 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. But torque and brake specific energy consumption(BSEC) didn't have no large differences. Also, the effects of exhaust gas recirculation(EGR) for the reduction of NOx emission has been investigated. Consequently, It was found that simultaneous reduction of smoke and NOx emission was achieved with BDF(90 vol-%) and EGBE(10 vol-%) blended fuel and cooled EGR method(5~10%).

Key words : Direct injection diesel engine(직접분사식 디젤기관), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Oxygenated fuel(함산소연료), EGBE(Ethylene glycol mono-n-butyl ether), Exhaust gas recirculation(배기가스 재순환)

1. 서 론

디젤기관은 가솔린기관에 비하여 고압축상태에서 연소되기 때문에 열효율이 좋고 연비가 우수하다는 장점이 있다.¹⁾ 그러나 디젤기관의 연소과정에서 발생하는 다양한 배기배출물의 영향으로 환경오염 문제가 심각해짐에 따라 각종 환경규제가 강화되고 있다.²⁾

이러한 디젤기관의 연소과정에서 발생하는 배기배출물 저감을 위한 방법으로는 고압분사에 의한 연소개선과 배출물 저감,³⁾ 분사시기 및 연료공급량

제어⁴⁾ 등 기관 자체의 측면과 유황성분의 제제, 연료 성상의 변화 또는 대체연료 및 함산소연료(oxygenated fuel)의 사용 등 연료 자체를 개선시키는 전처리 방법과 연료가 연소한 후에 연소실 밖에서 촉매장치나 배출가스 재순환(EGR; exhaust gas recirculation) 방법 등을 사용하여 배출가스를 처리하는 후처리 방법으로 나눌 수 있다.

전처리방법으로 함산소연료를 기존의 연료에 혼합하여 매연의 저감 가능성에 대한 연구^{1,5)}가 많이 이루어졌으며, 이러한 함산소연료의 매연저감효과는 자체에 포함된 산소가 기관의 완전연소에 기여하여 NOx는 약간 증가하나 매연의 저감효과가 큰

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

것으로 나타나고 있다. 또한, 후처리방법의 일종인 cooled EGR은 연비와 매연배출특성을 크게 악화시키지 않고 NO_x를 효율적으로 저감시키는 장치로서 기존 EGR 장치에 냉각장치를 설치함으로써 NO_x 저감에 큰 효과⁶⁾를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 대두유를 원료로 제조된 순수 바이오디젤유를 사용하고 바이오디젤유의 고점도 개선 및 산소성분 첨가의 방법으로서 모노에테르계열의 함산소제인 EGBE를 바이오디젤유와 최대 20vol-%까지 혼합하여 사용할 경우, 기관의 각 회전속도와 부하에서 배기배출물의 특성변화를 경유 및 바이오디젤유를 사용한 경우와 비교하고자 하였다. 본 실험에 적용된 바이오디젤유는 발열량이 경유의 91% 정도 이고 경유와 비슷한 세탄가를 가지고 있으며 연료내의 산소함량이 11% 정도이다. 바이오디젤유에 혼합하여 적용된 EGBE는 발열량이 경유와 비교하여 72% 정도이지만 자체내에 약 27%의 산소를 함유하고 있어 디젤기관의 고부하 및 고회전 속도영역에서 매연저감에 큰 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 실린더내에 산소성분이 유입될 경우 증가하는 thermal NO_x의 저감방법으로서 cooled EGR을 병행하여 매연과 NO_x의 동시저감을 이루고자 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정 직접분사식 기관으로 기관부하와 회전속도는 기관동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 각각 나타내었으며 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험은 순수 BDF에 모노에테르 계열의 함산소연료인 EGBE를 5, 10, 15, 20vol-% 혼합한 연료를 사용하여 기관의 각 회전속도에서 부하 변화에 따라 기관이 정상상태로 운전되도록 충분히 구동한 후 기관성능과 배기배출물을 측정하였다.

매연 농도의 측정은 매연 측정장치(Hesbon; Korea)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배출가스를 흡인한 후 여과지에 흡착된 것을

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engin 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

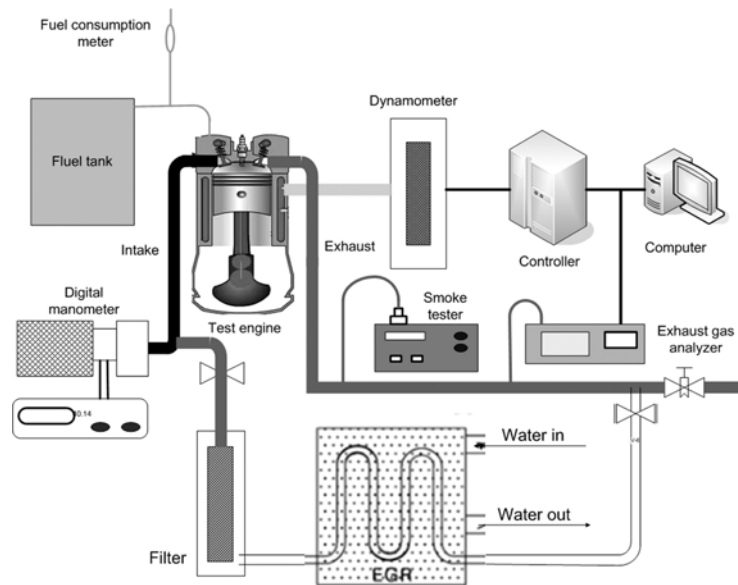


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2 Properties of test fuel

	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

측정하였으며, 동일 조건에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NO_x의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(Green-Line MK2; Italy)에 일정량의 배기가스를 지속적으로 흡입시켜 측정하였다. 또한 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 에너지소비율(MJ/KW·h)로 계산하였으며, 연료 분사시기는 실험기관의 특성상 BTDC23°CA로 고정하여 실험하였다. EGR율은 전체 연소실 흡기량에 대한 EGR된 양, 즉, 연소실내의 새로운 흡입공기량의 감소율로서 식 (1)을 이용하였다. 여기에서 V₀는 EGR을 수행하지 않았을 경우의 흡입공기량(m³/h), V_a는 EGR을 수행하였을 경우의 새로운 흡입공기량이다. 또한, EGR 중에서도 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.

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 EGBE의 혼합율에 따른 기관의 성능과 배기배출물 특성

Fig. 2는 BDF에 EGBE를 5~20vol-%로 혼합한 연료를 2000rpm의 회전속도에서 부하변화에 따른 토크, 출력 및 에너지소비율의 관계를 경유만을 적용한 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 그래프에서 나타나는 것과 같이 토크와 출력이 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하여 거의 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. BSEC의 경우에는 BDF에 혼합한 EGBE의 혼합율이 증가할수록 BSEC가 개선되는 것을 볼 수 있는데, 이는 EGBE의 발열량이 경

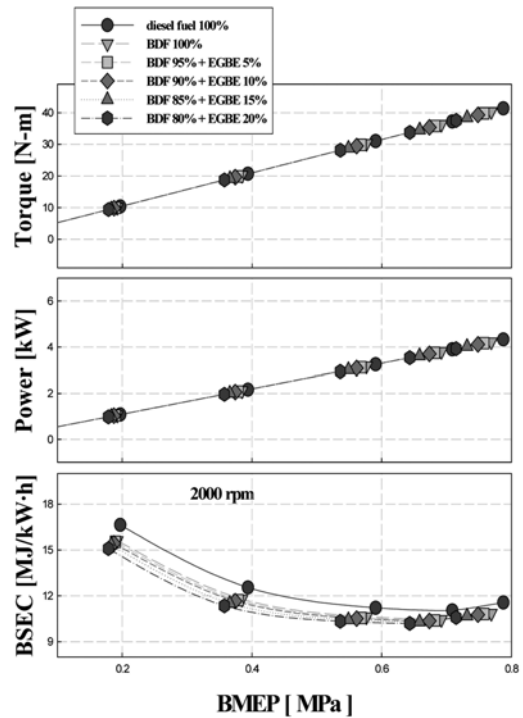


Fig. 2 Torque, Power and BSEC versus loads for different BDF and EGBE contents at 2000rpm

유의 발열량에 비하여 약 28% 정도 낮지만 자체내에 포함된 산소의 영향으로 인하여 연소실내의 산소의 농도가 증가하게 되어 연소를 안정화시켰을 것으로 생각된다.⁷⁾ 본 연구에서 BDF와 EGBE의 최대혼합율(BDF 80%+EGBE 20%)의 경우 경유에 비하여 발열량의 차이는 약 12%가 낮지만, 저부하영역에서는 최대 9.3%, 전부하영역에서는 약 8.4% 정도 에너지소비율의 우위를 보이고 있으므로 바이오디젤유 및 DMM 혼합연료가 직접분사식 디젤기관의 대체연료로서 가능성을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 BDF에 EGBE를 5~20vol-%로 혼합한 연료를 각 회전속도에서 제동평균유효압력 변화에 따라 배출되는 매연의 특성을 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하여 나타낸 것이다. BDF와 EGBE를 혼합한 연료를 적용하였을 경우 경유만을 연료로 사용하였을 경우와 비교하였을 때 매연의 배출이 현저하게 줄어들고, EGBE의 혼합율이 증가할수록 매연의 배출량이 약간씩 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 BDF와 EGBE 자체에 포함되어 있는

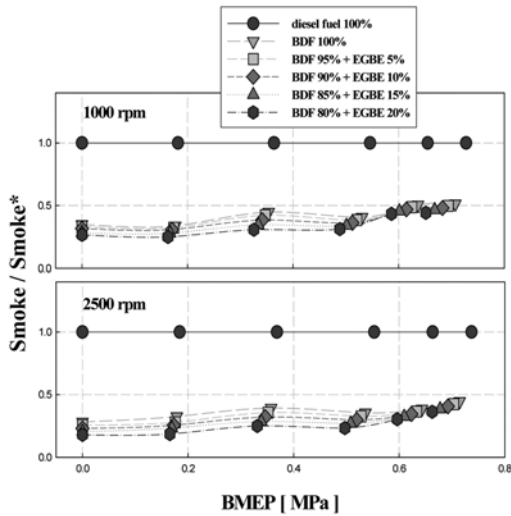


Fig. 3 Comparison of smoke on BDF and EGBE contents under various engine loads

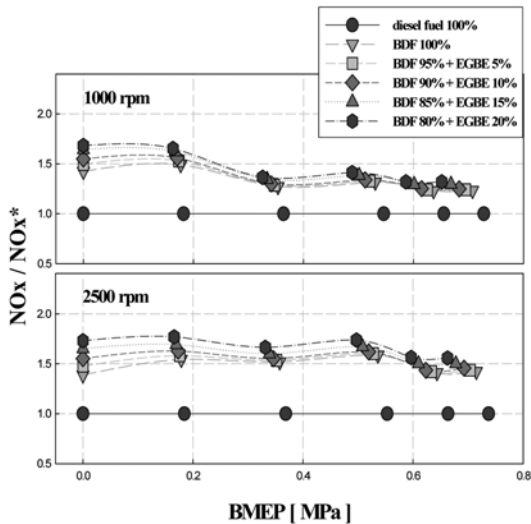


Fig. 4 Comparison of NOx on BDF and EGBE contents under various engine loads

산소성분으로 인하여 연료의 완전연소에 기여하여 매연이 감소했을 것으로 생각된다. 즉, 연료내에 포함된 산소의 농도가 증가할수록 연료의 산화 속도가 빨라지고, 급격한 탄화수소의 산화를 유도하여 매연의 저감이 크게 이루어졌을 것으로 생각된다.⁸⁾

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에 나타난 바와 같이 BDF와 각각의 비율로 EGBE를 혼합한 연료를 적

용하였을 경우, 경유와 비교하였을 때 혼합연료의 경우 전체적으로 NOx의 배출량이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 연료내에 포함된 산소의 영향으로 급격하게 연소가 일어남으로서 연소실의 압력과 연소온도가 상승으로 인한 thermal NOx가 급격히 증가하였기 때문으로 생각된다.⁹⁾

3.2 EGR율에 따른 기관성능 및 배기배출물 특성

Fig. 3에서 나타난 것과 같이 BDF에 대한 EGBE의 혼합률이 증가함에 따라 기관의 매연배출이 현저하게 줄어들었으나, Fig. 4에서와 같이 NOx가 증가하여 상반관계의 배기배출물 발생이 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 NOx의 증가현상을 해결하기 위하여 cooled EGR 방법을 적용하였으며, 매연의 저감율과 NOx의 증가율면에서 최적의 혼합률로 생각되는 BDF 90%와 EGBE 10%를 혼합한 연료를 사용한 경우와 경유만을 사용했을 경우를 비교·분석하였다.

Fig. 5는 BDF에 EGBE를 10vol-% 혼합한 연료에

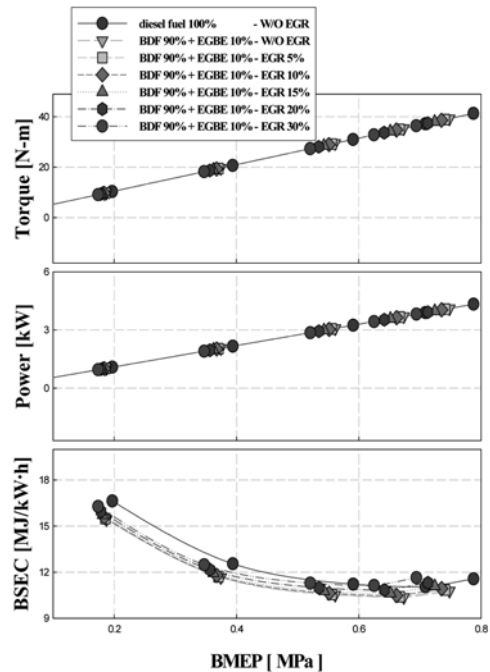


Fig. 5 Torque, Power and BSEC versus loads for different EGR rates at 2000rpm

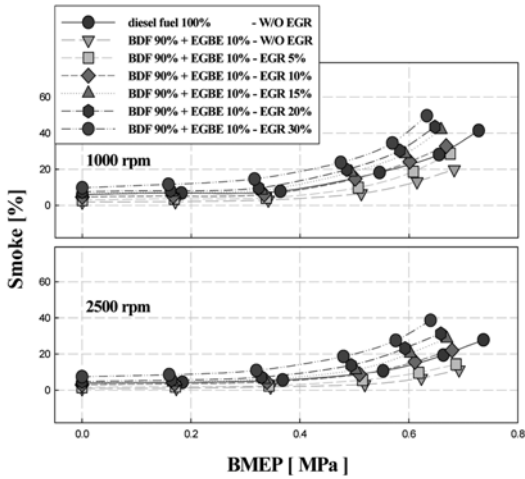


Fig. 6 Comparison of smoke under various EGR rates

각각의 EGR율을 적용하였을 경우, 2000rpm에서 부하변화에 따른 토크, 출력, 에너지소비율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하였을 때 전체적으로 약간의 출력의 저하가 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 BDF에 EGBE를 10% 혼합한 연료에 각각의 EGR율을 적용하였을 때 부하변화에 따른 매연의 배출특성을 경유만을 연료로 사용하였을 경우와 비교한 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 EGBE내에 포함된 산소의 영향으로 매연의 배출량은 경유보다 낮지만, 높은 EGR율이 적용될수록 매연의 배출이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 EGR율이 15% 이상일 경우에는 경유의 경우보다 매연의 배출량이 더욱 증가함으로써 합산소연료의 매연저감효과를 고려하였을 때 10% 이하의 EGR율을 적용하는 것이 적절할 것으로 생각된다. 이는 재순환되는 배기가스가 연소실내로 흡입되는 급기의 산소량을 감소시켜 연소에 충분한 산소공급이 이루어지지 않았기 때문으로 생각된다.

Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 조건에서 EGR율에 따른 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 높은 EGR율이 적용될수록 NOx의 배출량이 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 경유만을 연료로 사용했을 경우와 비교하면 EGR율이 5%인 경우, 경유와 비슷한 경향을 보이고 EGR율이 높아질수록 NOx의 배출량이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

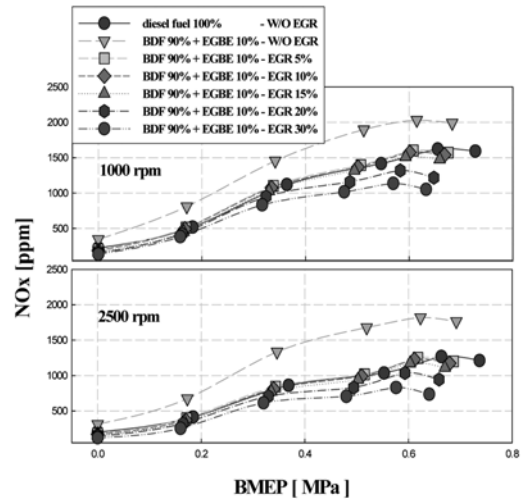


Fig. 7 Comparison of NOx under various EGR rates

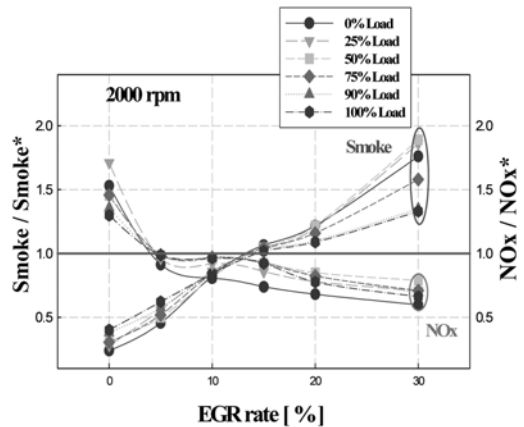


Fig. 8 Variation of smoke and NOx under various EGR rates at 2000rpm

Fig. 8은 BDF에 EGBE를 10vol-%로 혼합한 연료를 적용하였을 때 2000rpm에서 EGR율에 따른 매연과 NOx의 배출특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타난 것과 같이 EGR율이 증가할수록 매연은 증가하고, NOx는 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 EGR율이 증가함에 따라 고부하영역에서 매연의 증가율이 급격해지는 것을 볼 수 있는데 이는 높은 EGR율에서 급기중의 산소농도가 급격히 감소하여 불완전 연소 연료가 증가하기 때문으로 생각된다. 따라서 바이오디젤유에 합산소연료의 일종인 EGBE를 10% 혼합하였을 경우 매연과 NOx가 동시에 저감되는 5~10%의 EGR율이 적절한 것으로 생각된다.

4. 결론

수냉식, 4기통, 직접분사식 디젤기관에서 연료를 BDF에 EGBE를 0~20vol-%까지 혼합하여 사용한 경우 기관성능 및 배기배출물 특성을 경유만을 사용한 경우와 비교하여 분석하였고, 합산소연료 사용 시 증가하는 NOx의 저감시키기 위하여 cooled EGR 방법을 적용한 결과 다음과 같은 결론은 도출하였다.

- 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 적용하였을 경우 연료내의 산소성분에 의한 연소개선효과를 확인할 수 있었다.
- 2) EGBE를 BDF에 20vol-%의 비율로 혼합하였을 경우 중부하영역에서는 76%, 전부하영역에서 최대 64%의 매연저감이 이루어짐으로써 연료에 대한 산소성분 첨가로 인한 매연저감효과를 확인할 수 있었다.
- 3) BDF(90%)와 EGBE(10%)를 혼합하여 직접분사식 디젤기관 연료로 사용하고, 5~10%의 배기가스 재순환을 동시에 기관에 적용할 경우 경유만을 사용한 경우와 비교하여 매연과 NOx의 동시 저감이 가능하였다.

References

- 1) S. H. Choi and Y. T. Oh, "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, 2005.
- 2) S. H. Choi and Y. T. Oh, "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, 2006.
- 3) S. H. Choi and Y. T. Oh, "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, 2007.
- 4) S. H. Choi and Y. T. Oh, "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, 2008.
- 5) C. Y. Choi and R. D. Reitz, "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, 1999.
- 6) D. H. Hountalas and G. C. Mavropoulos, "Effect of Exhaust Gas Recirculation(EGR) Temperature for Various EGR Rates on Heavy Duty DI Diesel Engine Performance and Emissions," Energy, Vol.33, pp.272-283, 2008.
- 7) Y. T. Oh and S. H. Choi, "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.
- 8) S. H. Choi and Y. T. Oh, "An Experimental Study on Simultaneous Reduction of Smoke and NOx in a Agricultural Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.85-91, 2003.
- 9) S. H. Choi and Y. T. Oh, "The Experimental Study on Emission Reduction by Oxygenate Additive in D.I. Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.33-42, 2002.