

커먼레일방식 디젤기관의 경유와 바이오디젤유의 혼합율에 따른 배기배출물 특성

최승훈 오영택 변종원

The Emission Characteristics on Blending Ratios of Biodiesel Fuel and Diesel Fuel in a Common Rail Type Diesel Engine

S. H. Choi Y. T. Oh J. W. Byeon

Abstract

Our nature is facing with serious problems related to the air pollution from automobiles in these days. Specially, the exhaust emissions from the diesel engine are recognized as a main cause influencing the environment severely. In this study, the potential possibility of biodiesel fuel is investigated as an alternative fuel for a naturally aspirated CRDi type diesel engine. The smoke emission of biodiesel fuel 5 vol-% was reduced by approximately 40% at 3000 rpm and full load in comparison with diesel fuel. On the other hand, the power, torque and brake specific energy consumption didn't show significant differences. NOx emission of biodiesel fuel was, however, increased compared with commercial diesel fuel.

Keywords : Biodiesel fuel, Diesel engine, Exhaust emission, Smoke, NOx

1. 서론

디젤기관의 유해 배기배출물로 인한 환경오염문제로 더욱 엄격해지는 배기가스규제와 계속되는 고유가의 한계에 접한 석유계 에너지원의 대체연료에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 기관자체의 개조나 수정과정을 거치지 않고 적용 가능한 바이오디젤유(Choi et al., 2002; Oh et al., 2002)는 식물성 및 동물성 기름을 화학처리하여 디젤기관으로 대표되는 압축착화기관의 연료로 사용가능하도록 한 것이다. 국내에서 전체차량의 15%를 차지하는 경유 차량이 내뿜는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점(Choi and Oh, 2007)으로 인해 환경오염부분을 크게 저감시킬 수 있는 바이오디젤유가 기계적 분사방식의 디젤기관에 적용가능한 실용화 단계에 이르렀다. 바이오디젤유 중 유채유를 권장하

고 있는 유럽에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유를 경유에 혼합하여 사용하였으며 현재 경유대비 1.0% 미만인 보급률이 2010년까지 12%로 증대될 것으로 예상된다. 국내의 경우에는 판매되는 경유에 3%까지 바이오디젤유를 혼합하여 시판할 예정이다. 바이오디젤유에 관한 연구는 주로 기계적 분사방식을 채택한 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성 분석으로 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC, CO, PM 등의 배기배출물은 감소하나 NOx는 10% 정도 증가하는 것으로 보고하고 있다(Choi and Oh, 2005). 그러나 분사압력이나 분사제어 방법 등의 작동조건에 따라 배기 배출물의 특성이 다르게 나타나고 있다.

기계식 분사방식의 디젤기관에 대한 연구결과에 따르면 (Montagne, 1996; Herrmann, 2000; Sharp et al., 2000) 기관의 구조변경없이 경유에 바이오디젤유 20 vol-%를 혼합하여

The article was submitted for publication on 2009-01-05, reviewed on 2009-03-10, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-03-26. The author are Seung Hun Choi, KSAM member, Professor, Jeonju Vision University, Young Taig Oh, Professor, The Research Center of Industrial Technology at Chonbuk National University, Dept. of mechanical Engineering, Chonbuk National University, and Jong Won Byeon, Professor, Dept. of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University, Jeonju, Korea. Corresponding author: Y. T. Oh, Professor, Dept. of mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 664-14, Korea; Fax: +82-63-270-2316; E-mail: <ohyt@chonbuk.ac.kr>.

사용한 경우에는 경유만을 연료로 사용한 것에 비해 에너지 밀도가 낮지만 높은 세탄가와 연료 내에 산소가 함유되어 있어서 연소 시 디젤연료와 비슷한 출력을 나타내어 일반 디젤 기관에 적용이 가능하다는 장점을 지닌 연료로 평가되어지고 있다. 그리고 경유에 비해 연료 성분 중 탄소성분이 적고 식물성으로 기후변화협약에 의한 이산화탄소 감면효과가 상당한 것으로 알려져 있다.

그러나 바이오디젤유를 고속디젤기관의 대표주자인 커먼레일 디젤기관에 적용한 연구는 초기단계에 머물러 있다. 커먼레일 디젤기관의 주요부품 제조사인 BOSCH사에서는 5 vol-% 이상의 바이오디젤유를 커먼레일 디젤기관에 적용한 경우 자사의 제품에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다는 제한 조건을 제시(Choi and Oh, 2007)하고 있으나, 이는 소비자에게 신뢰성을 줄 수 있는 선행연구들이 적기 때문으로 생각된다.

본 연구에서는 상용화된 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유 5~30 vol-%를 적용하고 경유만을 연료로 사용할 경우와 비교하여 기관의 배기배출물과 성능특성을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용된 기관은 현재 상용 커먼레일 디젤기관으로 시판되고 있는 2,000 cc급의 4기통, 수냉식, 4행정, 커먼레일 방식 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 표 1에, 대두유계열 바이오디젤유 및 상용 경유의 특성은 표 2(Choi et al., 2007)에 각각 나타내었으며, 실험장치

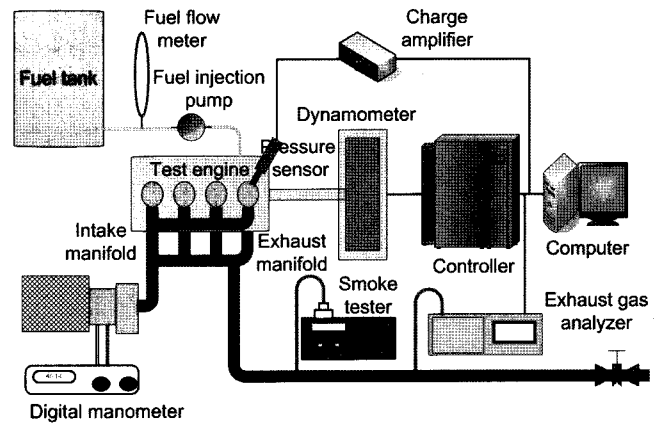


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

의 개략도는 그림 1과 같다. 본 실험은 일반적인 상용 경유와 합산소연료의 일종인 바이오디젤유 0~30 vol-%를 혼합한 연료를 커먼레일 방식 디젤기관의 각 회전속도(1500~3000 rpm)와 부하에서 기관 성능과 배기배출물을 측정하였다. 매연 농도의 측정은 매연측정장치(HBN-1500, Hesbon, Korea)를 사용하여 기관으로부터 300 mm 하류에서 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. NOx의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 배기가스 분석기(Green line MK2, Nutron, Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kWh)로 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 바이오디젤유를 적용하였을 경우 토크의 변화를 제동평균유효압력 (BMEP)에 따라 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 바이오디젤유 혼합율이 증가함에 따라 경유만을 연료로 사용한 경우와 비교하여 약간 감소됨을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 발열량이 경유의 경우보다 작기 때문인 것으로 생각되지만, BDF 20 vol-% 이상을 혼합한 경우를 제외하고는 거의 유사한 경향을 나타내고 있으며, 일반 직접분사식 디젤기관에서 대두유를 대상으로 이루어진 기존의 실험결과와 유사하다(Choi et al., 2002). 바이오디젤유의 발열량이 경유에 비해 약 11% 정도가 낮지만, 합산소성분의 영향에 기인한 열효율의 향상으로 바이오디젤유 10 vol-% 이하 적용 시에 기관출력에는 2% 미만의 차이를 보여 실제로는 그 차이가 크게 변화되지 않음을 알 수 있었다.

이와 같은 상황을 살펴보기 위하여 각 실험조건에서 동일 일에 대한 에너지의 소비율을 비교하기 위하여 체동에너지소비율(BSEC)을 조사하였다. 그림 3은 각 기관회전속도의 경

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	D20DT
Bore × Stroke (mm)	86.2 × 85.6
Displacement (cc)	1998
Compression ratio	17.5
Injection Pressure (Max.)(bar)	1350

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel	BDF
Calorific value [MJ/kg]	43.96	39.17
Cetane number	51.4	57.9
Sulfur (wt%)	0.05	0
Carbon (wt%)	85.83	76.22
Hydrogen (wt%)	13.82	12.38
Oxygen (wt%)	0	11.03

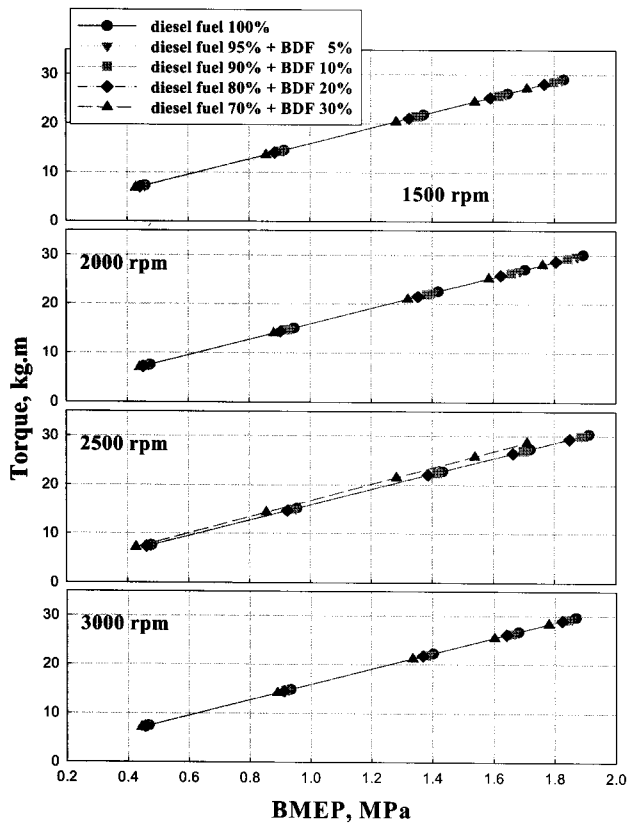


Fig. 2 Engine performance versus biodiesel fuel contents.

우, 부하변화에 따른 BSEC의 변화를 바이오디젤유의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 3000 rpm, 전부하의 경우에 바이오디젤유 10 vol-% 적용 시 약 0.4%의 개선이 나타났으며, 30 vol-% 적용 시에는 약 1%의 악화가 발생하였으나, 전체적으로 살펴보면 연료중의 바이오디젤유 함유량에 따른 BSEC의 변화는 경유와 비교하여 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 바이오디젤유의 발열량이 경유만을 사용한 경우와 비교하여 약간 저하됨에도 불구하고 바이오디젤유 내에 함유된 산소성분에 기인한 기관의 연소효율이 개선되었기 때문으로 생각된다. 즉, 산소농도가 증가하면 반응속도가 증가되므로 연소범위는 넓어지게 되며 특히, 과농한 영역인 고부하영역에서 반응속도가 증가하고 연소를 안정화시켰기 때문으로 생각된다 (Choi and Oh, 2005).

그림 4는 각 회전속도에서 기관부하 변화에 따른 매연의 배출특성을 나타낸 그림이다. 전체적으로 부하가 증가함에 따라 매연의 배출량은 증가하지만, 바이오디젤유 함유량이 증가함에 따라 전 운전영역에서 경유를 사용한 경우보다 매연의 배출 농도는 감소하였고, 고부하영역으로 진행할수록 매연의 저감폭이 크게 나타났다. 또한, 본 실험에서 비교적 소량의 혼합물인 BDF 10 vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우와 비교하여 3000 rpm, 90% 부하영역에서 약 11%, 전부하영역에서는 약 19%의 저감이 이루어지고 있다.

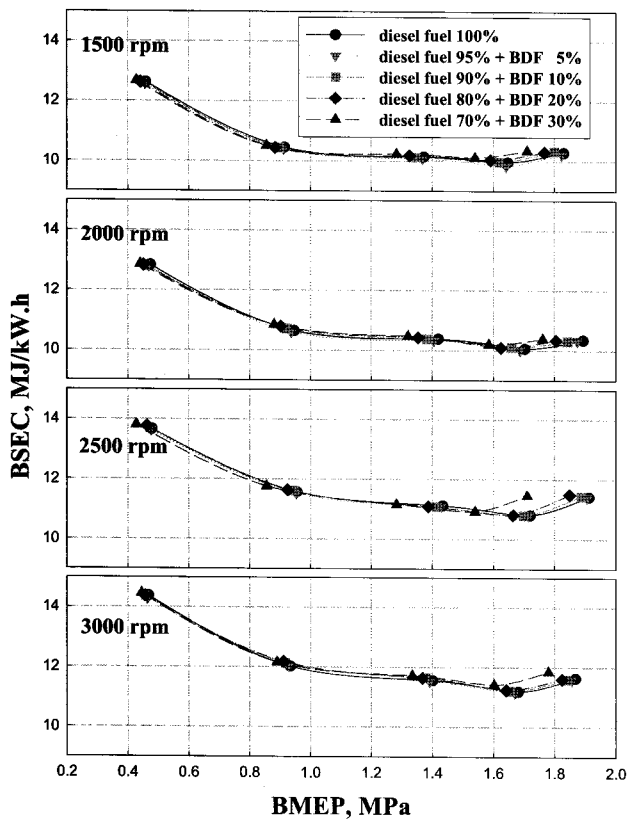


Fig. 3 BSEC versus biodiesel fuel contents.

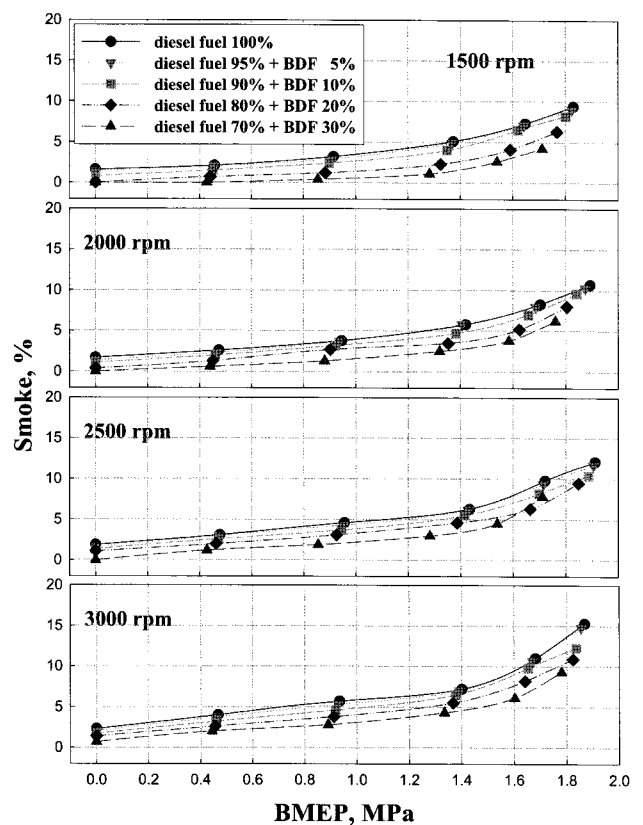


Fig. 4 Smoke versus biodiesel fuel contents.

본 실험에서 최대 혼합량인 BDF 30 vol-%를 혼합한 경우에 경유만을 사용한 경우와 비교하여 3000 rpm, 90% 부하영역에서 약 44%, 전부하영역에서는 약 39%의 매연 저감이 이루어져 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연의 배출량이 급격하게 저감됨을 알 수 있다. 그러나 전체적인 매연배출 측면에서 살펴보면 본 실험에 적용된 기관이 ECU에 의해 분무량 및 분사시기가 조절가능한 커먼레일 방식의 디젤기관이기 때문에 전체적인 매연배출량은 기계식 분사방식의 직접분사식 디젤기관에 비하여 크게 저감된 것을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4와 동일한 조건에서 NOx의 배출특성을 나타낸 그림이다. NOx의 배출특성은 BDF 20 vol-% 이상을 혼합한 경우를 제외하고는 큰 증가추이를 보이지 않았으나, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 약간씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. BDF 5 vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우와 비교하여 3000 rpm, 90%부하영역에서 약 1%, 전부하영역에서는 약 1.2% 정도가 증가하고 있다. 본 실험에서 최대 혼합량인 BDF 30vol-%를 혼합한 경우에 경유만을 사용한 경우와 비교하여 3000 rpm, 90%부하영역에서 약 6.9%, 전부하영역에서는 약 8.6%가 증가하여 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 NOx의 배출량이 약간씩 증가됨을 알 수 있다.

또한, 그림 4와 그림 5에서 보면 바이오디젤유의 함유량이

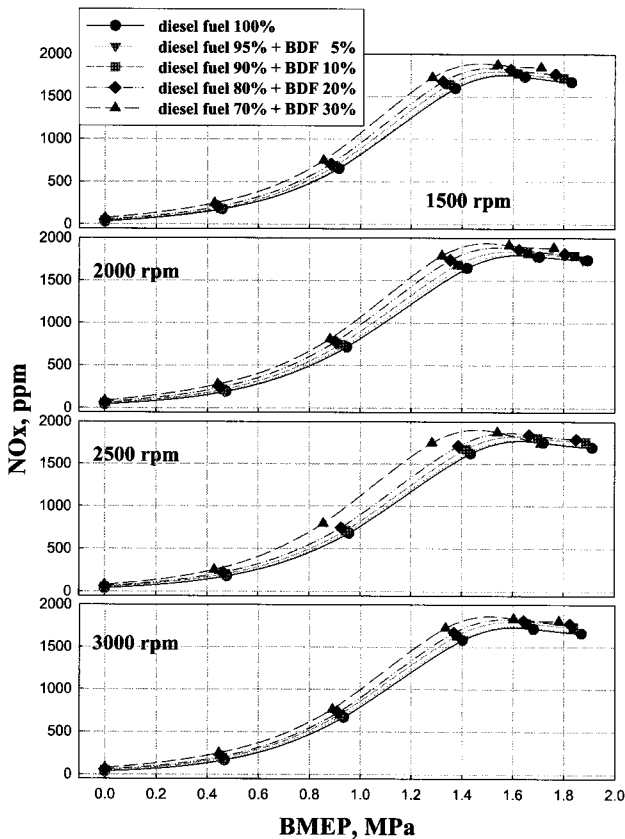


Fig. 5 NOx versus biodiesel fuel contents.

증가함에 따라 매연과 NOx는 상반관계의 경향을 보이고 있으나, NOx의 증가량보다는 매연이 저감량이 더욱 현저함을 알 수 있다.

그림 6은 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용한 경우, 경유만을 사용할 경우와 비교하여 2000 rpm의 영역에서 부하변화와 바이오디젤유의 함유량에 따른 매연과 NOx의 변화량 추이를 나타낸 그림이다. 그림에서 나타난 바와 같이 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록 매연의 저감량은 증가하며, NOx의 증가량도 약간 상승하는 것을 알 수 있다. 그러나 전체적 변화량 기울기의 차이에서 알 수 있는 것처럼 합산소연료의 일종인 바이오디젤유를 적용함으로써 NOx의 증가량보다는 매연의 저감량이 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 즉, 바이오디젤유를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용할 경우 어느 정도 후처리장치로써 NOx의 증가를 억제할 수 있다면 매연 저감 측면에서 대체연료로서의 가능성이 크다고 생각된다.

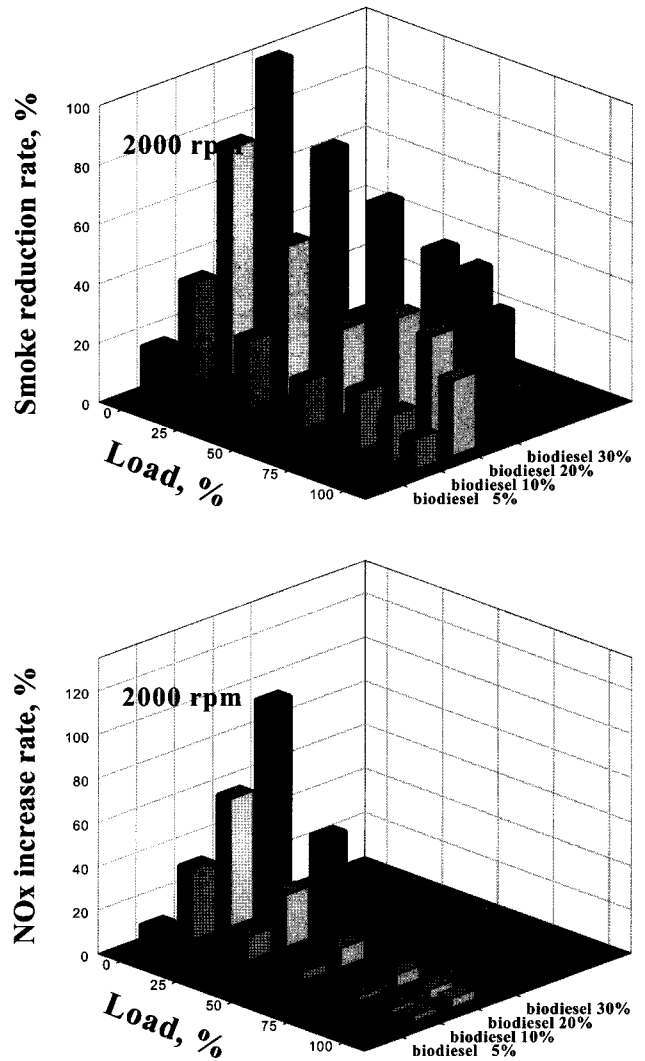


Fig. 6 Variation rates of smoke and NOx emission versus biodiesel fuel contents.

4. 요약 및 결론

대두유계열의 바이오디젤유를 상용 경유와 혼합하여 0-30%의 혼합비율로 커먼레일 디젤기관에 적용하여 1,500~3,000 rpm의 기관회전속도와 각 부하영역에서 기관성능 및 배기배출물 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용한 결과 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라서 10 vol-% 이하의 혼합율에서는 토크와 출력은 거의 유사하였으며, 20 vol-% 이상의 바이오디젤유 혼합율에서는 토크와 출력이 약간 저하되었다.
- (2) 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연은 저감되고, NOx는 약간 증가하지만 매연의 저감율이 NOx의 증가율을 크게 상회하여 커먼레일 디젤기관에 대한 대체연료로서 바이오디젤유의 가능성을 확인할 수 있었다. 즉, 3,000 rpm, 90% 부하 시 바이오디젤유 30 vol-%를 혼합한 경우에 매연은 약 44.1%가 저감되었으나, NOx는 6.9%가 증가되었다.

참 고 문 헌

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. and Y. T. Oh. 2007. A study on the characteristics for durability with biodiesel fuel(BDF 5%) in a common rail diesel engine. Transaction of Korea Society of Automotive Engineers 15(2):22-27.
4. Choi, S. H., Y. T. Oh and G. H. Kim. 2007. Characteristics of Durability and Emission with Biodiesel Fuel (5%) in a Common Rail Direct Injection Diesel Engine at SEOUL-10 Mode. Journal of Biosystems Engineering 32(2):97-101.
5. Herrmann, M. 2000, Optimizing tractor CI engines for biodiesel operation. SAE Paper No. 2000-01-1969.
6. Montagne, X. 1996. Introduction of rapeseed methyl ester in diesel fuel-The French national program. SAE Paper No. 962065.
7. 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.
8. Sharp, C. A., S. A. Howell and J. Jobe. 2000. The effect of biodiesel fuels on transient emissions from modern diesel engines, part 1 regulated emissions and performance. SAE Paper No. 2000-01-1967.

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