

커먼레일 분사방식 디젤기관에서 바이오디젤유의  
 혼합율에 따른 성능 및 배기배출물 특성 연구  
 A Study for Characteristics of Performances and  
 Exhaust Emission on Blending Rates of Biodiesel Fuel  
 in a Common-Rail Injection Diesel Engine

최승훈 · 오영택  
 S. H. Choi and Y. T. Oh

**Key Words** : Common rail diesel engine(커먼레일 디젤기관), Smoke(매연), Biodiesel fuel(바이오디젤유)

**Abstract** : Our environment is faced with serious problems related to the air pollution from automobiles in these days. In particular, the exhaust emissions of diesel engine are recognized main cause which influenced environment strong. In this study, the potential possibility of biodiesel fuel was investigated as an alternative fuel for a naturally aspirated common rail diesel engine. The smoke emission of biodiesel fuel 30vol-%(max. content) was reduced in comparison with diesel fuel, that is, it was reduced approximately 60% at 4000rpm, full load. But, power, torque and brake specific energy consumption didn't have no large differences. But, NOx emission of biodiesel fuel was increased compared with commercial diesel fuel.

1. 서 론

디젤기관의 배기배출물로 대변되는 차량분야의 환경오염문제로 인해 더욱 엄격해지는 배기가스규제와 계속되는 고유가의 한계에 접한 석유계 에너지원의 대체연료로 디젤기관에 기관자체의 개조나 수정과정을 거치지 않고 적용가능한 바이오디젤유<sup>1),2)</sup>에 대한 관심이 고조되고 있다. 바이오디젤유는 식물성 및 동물성 기름을 화학처리하여 디젤기관으로 대표되는 압축착화기관의 연료로 사용가능하도록 한 것이다. 국내에서 전체차량의 15%를 차지하는 경유 적용 차량이 내뿜는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점으로 인해 환경오염부분에 대한 인식이 바뀌면서 바이오디젤유가 환경부와 산업자원부의 적극적인 지지를 받아서 기계적 분사방식의 디젤기관에 적용가능한 실용화 초반 단계에 이르렀다. 바이오디젤유 중 유채유를 권장하고 있는 유럽에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유를 경유에

혼합하여 사용하였으며 현재 경유대비 1.0%미만인 보급률을 2010년까지 12%까지 보급 및 확대하는 것을 추진 중에 있다.

현재까지 바이오디젤유에 관한 연구는 주로 기계적 분사방식을 채택한 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성에 주안을 두어 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC, CO, PM등 대부분의 배기배출물은 감소하는 경향으로 나타내고 있으며 NOx는 10%정도 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 보고하고 있다. 그러나 분사압력이나 분사제어 방법 등의 엔진 조건에 따라 디젤연료와의 배기 배출물의 배출 정도가 다르게 나타나고 있다.

기계식 분사방식의 디젤기관에 대한 연구결과에 따르면<sup>3~5)</sup> 기관의 변경없이 경유에 바이오디젤유 20vol-%를 혼합하여 사용한 경우에 경유만을 연료로 사용한 경우에 비해 에너지밀도가 작지만 높은 세탄가와 연료 내에 산소가 함유되어 있어서 연소시 디젤연료와 비슷한 출력을 나타내고 있으므로 일반 디젤 기관에 적용이 가능하다는 장점을 지닌 연료로 평가되어지고 있으며 경유에 비해 연료 성분 중 탄소성분이 적고 식물성으로 기후변화협약에 의한 이산화탄소 감면효과가 상당한 것으로 알려져 있다.

그러나, 바이오디젤유를 커먼레일 디젤기관에 적

접수일 : 2005년 10월 25일  
 최승훈(책임저자) : 전북대학교 기계공학부  
 E-mail : medr@chonbuk.ac.kr Tel. 063-270-2323  
 오영택 : 전북대학교 기계공학과, 전북대학교 부설 공학연구  
 원 공업기술연구센터

용한 연구는 초기단계에 머물러 있으며, 동시에 커먼레일 디젤기관의 주요부품 제조사인 BOSCH 사에서는 5vol-% 이상의 바이오디젤유를 커먼레일 디젤기관에 적용한 경우 자사의 제품에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다는 제한 조건을 제시하고 있으며, 이는 소비자에게 신뢰성을 줄 수 있는 선행연구들이 적기 때문으로 생각된다.

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

### 2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 현재 상용 커먼레일 디젤기관의 판매되고 있는 4기통, 수냉식, 4행정, 커먼레일 방식 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.

본 실험은 일반적인 상용 경유와 합산소연료의 일종인 바이오디젤유 0-30vol-%를 혼합한 연료를 커먼레일 방식 디젤기관의 각 회전속도(1500~4000rpm)와 부하(0~100%)에서 기관 성능과 배기배출물을 측정하여 상용 경유만을 사용한 경우와 비교하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	D-ENG, D4EA
Number of cylinder	4
Bore × stroke	83 × 92(mm)
Displacement	1991(cc)
Compression ratio	21
Coolant temperature	80±2℃
Injection type	common rail direct injection
Injection pressure	1350bar

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel fuel	Biodiesel fuel
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

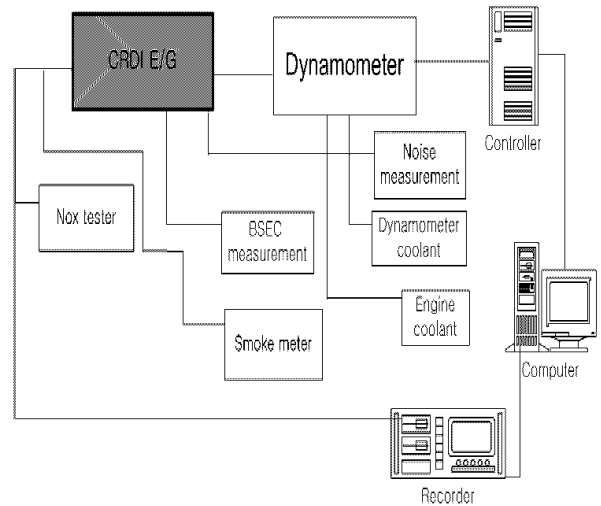


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

매연 농도의 측정은 기관으로부터 300mm 하류에서 매연측정장치(Hesbon; HBN-1500)를 사용하여 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에서 각 3회 측정하여 평균값을 취하였다. CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 및 NO<sub>x</sub>의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(Motor branch; Model 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다.

또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW-h)로 계산하였다. 실험연료는 경유 100%와 경유에 바이오디젤유 5, 10, 20, 30%의 체적비율로 혼합한 연료를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용하여 실험 후 비교하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

일반적으로 기관 성능은 주로 기관 토크와 출력, 제동에너지소비율로서 표현되며, Fig. 2는 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용하였을 경우 토크의 변화를 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, 바이오디젤유 20vol-% 이상을 혼합한 경우를 제외하고는 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 바이오디젤유를 본 연구에서 적용한 커먼레일 방식 디젤기관의 연료로 사용시에, 바이오디젤유의 발열량이 경유의 것에 비해 약 12%정도가 낮지만, 합산소성분의 영향에

기인한 열효율의 향상으로 바이오디젤유 10vol-%이하 적용시에 토크변화에는 1%미만의 차이를 보여 실제로는 그 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 그러나, 20%이상의 바이오디젤 혼합유가 적용되면, 발열량의 차이로 인하여 토크 및 출력이 저하현상이 나타나는 것으로 생각된다.

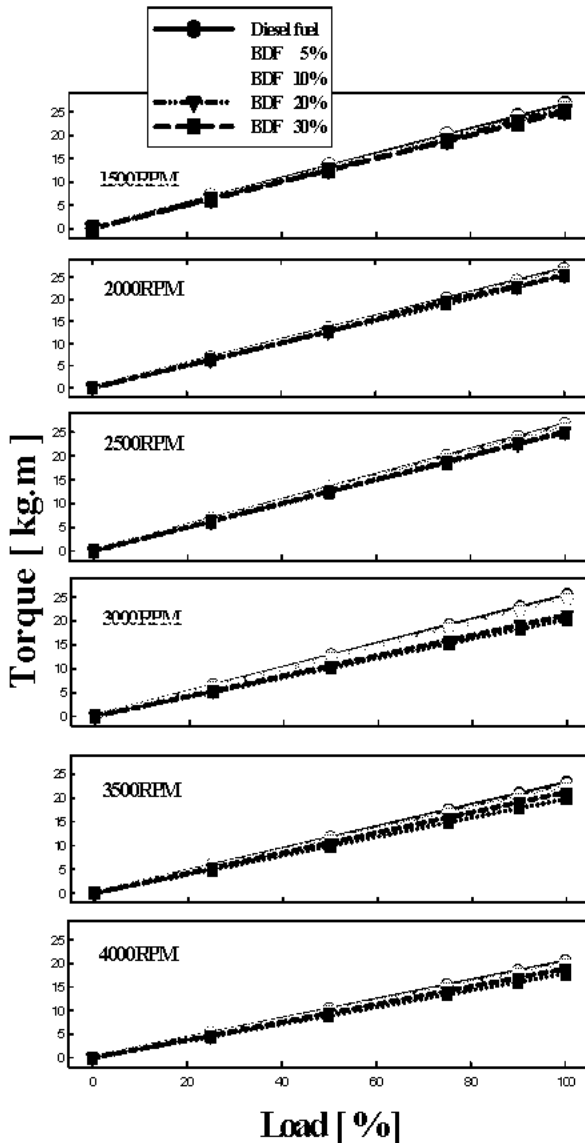


Fig. 2 Engine performance versus biodiesel fuel content in a common rail diesel engine

이와 같은 상황을 살펴보기 위하여 각 실험조건에서 에너지소비율(BSEC)을 조사하여 보았다.

Fig. 3은 각 기관회전수의 경우, 부하변화에 따른 제동에너지소비율(BSEC)의 변화를 바이오디젤유의 함유량에 따라 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 연료중의 바이오디젤유 함유량에 따른 BSEC의 변화는 경유의 경우와 비교하여 거의 유사한 경향을 나

타내고 있다. 바이오디젤유의 발열량이 경유만을 사용한 경우와 비교하여 약간 저하됨에도 불구하고 바이오디젤유내에 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 생각한다<sup>6)</sup>.

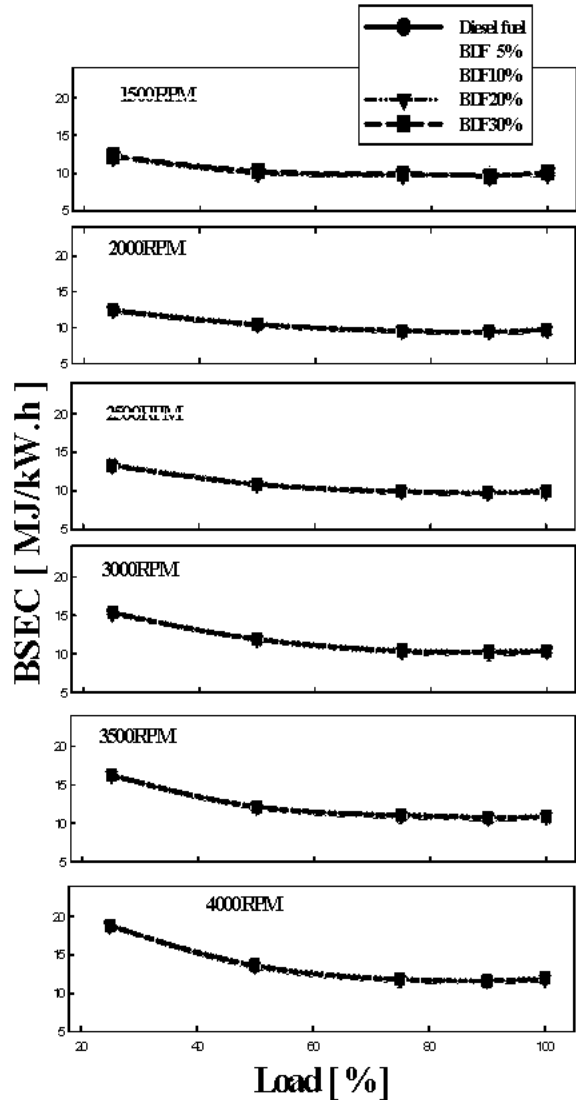


Fig. 3 BSEC versus biodiesel fuel content in a common rail diesel engine

Fig. 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 저

감폭이 크게 나타났다. 또한, 바이오디젤유 5vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 16%, 전부하영역에서는 약 8%의 저감이 이루어지고 있다. 본 실험에서 최대 혼합량인 바이오디젤유 30vol-%를 혼합한 경우에 경유만을 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 57%, 전부하영역에서는 약 60%의 매연 저감이 이루어져 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연의 배출량이 급격하게 저감됨을 알 수 있다. 그러나, 전체적인 매연배출측면에서 살펴보면 본 실험에 적용된 기관이 ECU에 의해 분무량 및 분사시기가 조절가능한 커먼레일 방식의 디젤기관이기 때문에 전체적인 매연배출량은 기계식 디젤기관에 비하여 크게 저감된 것을 알 수 있다.

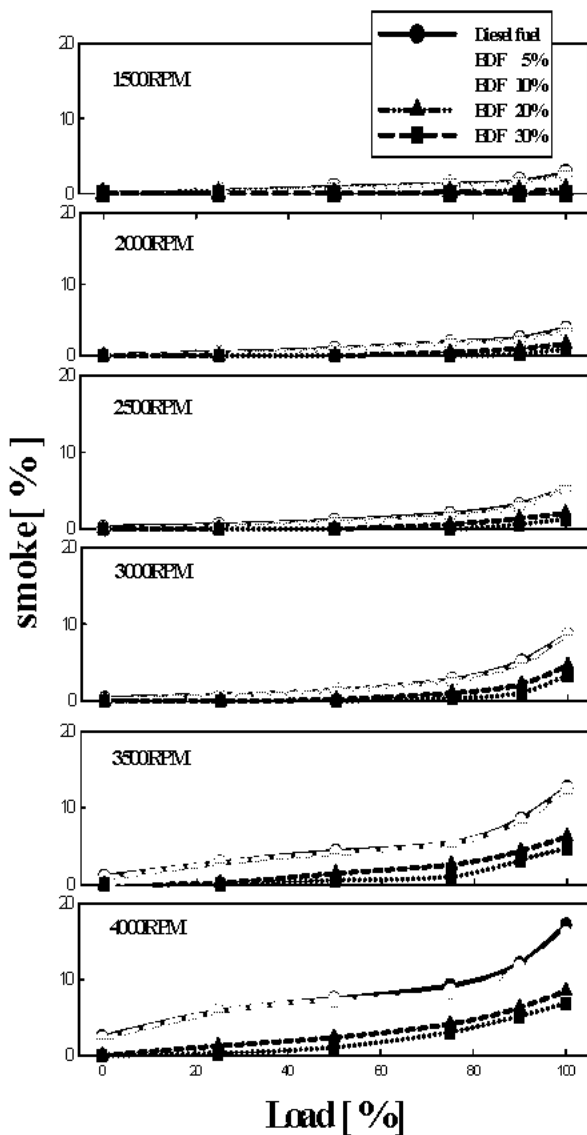


Fig. 4 Smoke versus biodiesel fuel content in a common rail diesel engine

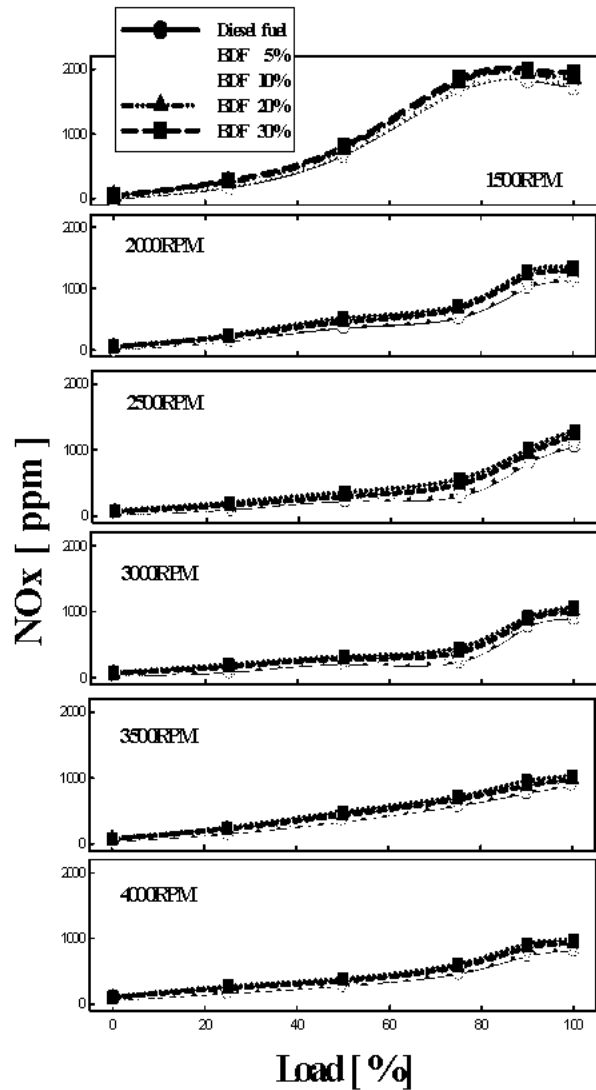


Fig. 5 NOx emission versus biodiesel fuel content in a common rail diesel engine

Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 조건에서 NOx의 배출 특성을 나타낸 그림이다. NOx의 배출특성은 바이오디젤유 20vol-%이상을 혼합한 경우를 제외하고는 뚜렷한 차이점을 보이지 않았으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 약간씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 바이오디젤유 5vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 6.7%, 전부하영역에서는 약 2% 정도가 증가하고 있다. 본 실험에서 최대 혼합량인 바이오디젤유 30vol-%를 혼합한 경우에 경유만을 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 19.8%, 전부하영역에서는 약 14.3%가 증가하여 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 NOx의 배출량이 약간씩 증가됨을 알 수 있다. 또한, Fig. 4와 Fig. 5에서 보면 바이오디젤유의 함유량이 증가함에

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

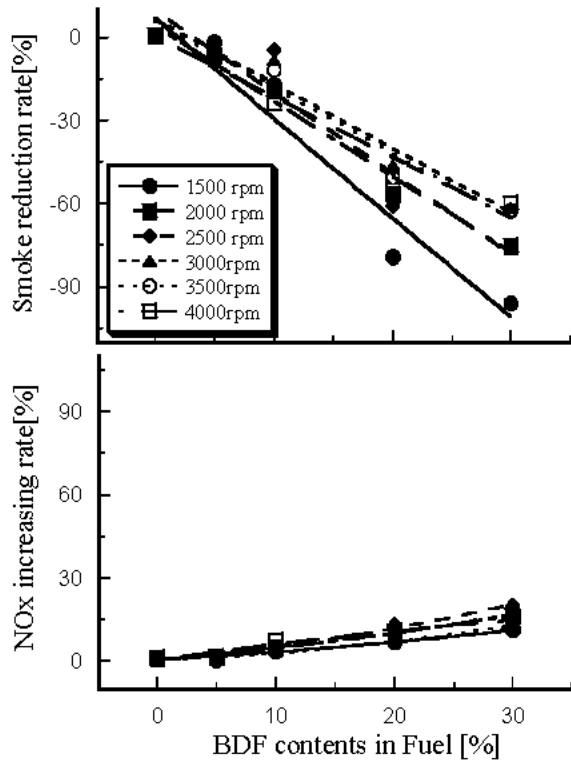


Fig. 6 Variation rates of smoke and NOx emission versus biodiesel fuel content in a common rail diesel engine

Fig. 6은 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용한 경우, 경유만을 사용할 경우와 비교하여 전부하영역에서 매연과 NOx의 변화량이 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 대체연료로서의 가능성이 크다고 생각된다.

#### 4. 결 론

바이오디젤유를 상용 경유와 혼합하여 0-30%의 혼합비율로 커먼레일 디젤기관에 적용하여 기관성능

및 배기배출물 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유를 적용한 결과 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라서 10vol-%이하의 혼합율에서는 토크와 출력은 거의 유사하였으며, 20vol-%이상의 바이오디젤유 혼합율에서는 토크와 출력이 약간 저하되었다.
- 2) 바이오디젤유 5vol-%를 혼합한 경우에는 경유를 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 16%, 전부하영역에서는 약 8%의 저감이 이루어졌으며, 바이오디젤유 30vol-%를 혼합한 경우에 경유만을 사용한 경우와 비교하여 4000rpm, 90%부하영역에서 약 57%, 전부하영역에서는 약 60%의 매연 저감이 이루어져 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연의 배출량이 급격하게 저감됨을 알 수 있다.
- 3) 커먼레일 디젤기관에 바이오디젤유 적용시, 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연은 저감되고, NOx는 약간 증가하지만 매연의 저감율이 NOx의 증가율을 크게 상회하여 커먼레일 디젤기관에 대한 대체연료로서 바이오디젤유의 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 2005년도 지역대학 우수과학자지원사업(KRF-2005-D00130-R05-2004-000-10643-0)의 지원으로 이루어졌으며, 관계 제위께 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Y. T. Oh and S. H. Choi, 2005, "An Experimental Study of Spray Behaviors of Biodiesel blended fuels in a Common Rail Injection System", Journal of KSPSE, Vol.9, No.2, pp.14-18.
2. B. C. Choi, C. H. Lee and H. J. Park, 2002, "Power and Emission Characteristics of DI diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel", Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16.
3. X. Montagne, 1996, "Introduction of Rapeseed Methyl Ester in Diesel Fuel-The French

National Program", SAE 962065.

4. C. A. sharp, S. A. Howell, 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.
5. M. Herrmann, 2000, "Optimizing Tractor CI Engines for Biodiesel operation", SAE Paper No. 2000-01-1969.
6. Y. T. Oh and S. H. Choi, 2005, "Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygenated Fuels in a DI Diesel Engine", Transaction of IJAT, Vol.6, No.3, pp.197-203.