

# 대형디젤기관에서 바이오디젤과 초저유황경유 사용에 의한 성능 및 배출가스에 미치는 영향에 관한 연구

박만재\*

(논문접수일 2003. 6. 23, 심사완료일 2003. 8. 21)

## A Study on Performance and Exhaust Emission with Bio-Diesel and ULSD at Heavy-Duty Diesel Engine

Manjae Park\*

### Abstract

Currently, due to serious increase of pollution sources, lots of technology has been involved to reduce exhaust gas in diesel engine. But the amounts of exhaust gas can not be decreased somehow due to the increase of diesel vehicles. Moreover, emission standards of each countries are being stringent in advanced countries such as USA and Europe. In the near future, sulfur contents in fuel must be essentially reduced for health and environment because sulfur can basically reduce exhaust gas. Therefore, when will be applied to Bio-diesel and ULSD, they could reduce sulfur contents of fuel without aftertreatment and might conform the influence of engine performance, emission, smoke and fuel consumption.

**Key Words :** Exhaust Gas(배출가스), Bio-Diesel(바이오디젤), ULSD(초저유황 경유), Aftertreatment(후처리)

### 1. 서론

초저유황경유(ULSD)는 배기가스 제어기술을 통해 질소산화물, 입자상물질 및 HC 등의 배출가스를 획기적으로 저감하기 위한 필수조건으로 제시되고 있다<sup>(1)</sup>. 이에 따라 후처리 장치적용을 위해서는 ULSD에 황 함량을 줄이려고 하는 정책이 미국과 유럽에서 장·단기적인 계획하에 진행

중이며 적은 설비투자를 통해 현재의 탈황기술을 더욱 발전시켜 연료의 품질을 향상시켜야 하는 과제를 안고 있다<sup>(2)</sup>.

그리고 바이오디젤은 농경오일과 폐지방오일로서 국내 생산이 가능하며 대체연료로써 원유공급의 위축이 예상될 때 에너지 문제를 해결해 준다.

바이오디젤은 공정의 전주기(Life cycle)에서 볼 때 연료사용에 의해 배출된 CO<sub>2</sub>는 바이오매스의 생산과정에서

\* 주저자, 국민대학교 자동차전문대학원 (mjpark@hanmail.net)  
주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

재회수 되므로 대기중에 열을 저장하는 온실가스의 수준을 줄이는 역할이 있어, 환경적 이익과 마생물을 안전하게 분해하고 회복성이 좋으며 화석연료보다 공기오염이 적은 장점이 있다<sup>(3)</sup>. 특히 유독성이나 암을 유발하는 화합물 및 산성비의 주범인 SOx를 거의 배출하지 않을 뿐만 아니라, 식용오일과 알콜로 만들어졌기 때문에 땅에 버리면 자연유기물로 전환된다. 그리고 디젤유에 비해 바이오디젤은 윤활성이 우수하므로 저유황유의 활성화 대책으로 사용할 수 있다<sup>(4,5)</sup>

따라서 본 논문에서는 황함량을 감소시킨 연료로서 ULSD와 바이오디젤을 적용, ULSD와 바이오디젤의 혼합 적용 및 경유적용의 경우로 나누어서 주행모드에 따른 배출가스 저감특성과 부하조건에 따른 배출가스 저감특성을 확인하였으며, 각각의 연료가 기관성능 및 매연배출농도에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험기관

ULSD와 바이오디젤 적용시 연료성분에 따른 기관성능과 배출가스의 특성을 파악하기 위해 사용된 기관은 11,000cc 급 대형디젤기관을 사용하였으며 Table 1에 그 제원을 나타내었다.

### 2.2 실험장치

기관동력계는 전기식 동력계(nedd-14H Type, NISHI-SIBA Co.)를 사용하였고 매연측정장치는 여지반사식 필터 타입이며, 가스상 물질(CO, THC, NOx)의 농도를 측정하기 위해 일본 HORIBA사 배출가스 측정기(MEXA-8120D)를 사용하였다. 또한 디젤기관에서 주요 오염물질인 입자상물질(PM)을 측정하기 위한 장비로 AVL사의 Mini Dilution Tunnel(MDT474)을 사용하였다. 연료공급방법은 연료탱

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Type	6 Cylinder
Fuel injection type	DI
Displacement (cc)	11,149
Stroke×Bore(mm)	122×156
Max.Power (PS/rpm)	250/2000
Injection timing	12 deg. BTDC

크1과 연료탱크2에 별도의 차단밸브를 설치한 후, 기본연료인 경유는 연료탱크1에서 공급하고 ULSD와 바이오디젤의 혼합유는 연료탱크2로부터 3Way-valve를 통해 공급하였으며 전체적인 시험개략도는 Fig. 1과 같다.

### 2.3 실험연료

실험에 사용한 연료는 기본연료인 경유와 ULSD와 바이오디젤 20% 및 ULSD와 바이오디젤 혼합유를 사용하였으며 바이오디젤 연료는 환경제품으로 공급되는 순수 콩류를 기본연료로 사용하였다. Table 2와 같이 바이오디젤은 ULSD와 비교시 점성이 크고 발열량이 작은 것을 확인할 수 있다.

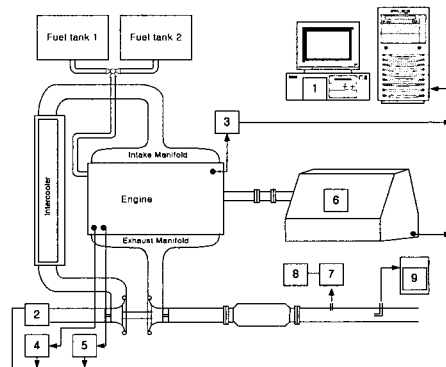
### 2.4 실험방법

#### 2.4.1 기관성능

기관성능 실험은 기관부하율을 100%에 맞추어 1000rpm~2000rpm에서 200rpm씩 변화시키면서, 전부하 조건에서 3분 동안 안정시킨 상태에서 30초 동안 안정된 데이터를 수집, 산술평균하여 측정·분석하였다.

#### 2.4.2 배기가스성능 시험

국내 대형디젤기관의 매연측정은 디젤산화촉매(DOC)<sup>(6)</sup>



1. Dynamometer control desk
2. Intake air consumption meter
3. Throttle actuator
4. Fuel temperature controller
5. Oil temperature controller
6. Engine dynamometer
7. Exhaust gas analyzer
8. Pen recorder
9. Mini dilution tunnel

Fig. 1 Schematic diagram of emission measuring apparatus

Table 2 Properties of test fuel

Item of test	Standard	Result of test		
		Base fuel	ULSD	Bio-diesel
		500ppm below	15ppm below	
Flash point (PM, °C)	40 above	59	65	140
Pour point(°C)	0.0 below	-7.5	-25.0	-5
Distillation 90% (°C)	360 below	350	333	370
Carbon residue on 10% residue (%)	0.15 below	0.01	0.01	0.009
Ash (%)	0.02 below	under 0.01	under 0.01	under 0.04
Viscosity (40°C, cst)	1.9~5.5	2.9	2.5	3.0
Sulfur content (ppm)	0.05 below	390ppm	13ppm	10ppm
Cetane index	45 above	51	57	55
Low heating value(MJ/kg)	-	43	45	40

Table 3 Driving condition of D-3 mode

Mode	Engine speed	Load rate (%)
1	40% of rated speed	100
2	Intermediate	100
3	Rated	100

를 부착하지 않은 상태에서 Table 3의 D-3 모드조건에서 측정하였다. 또한, 국내 배출가스 규제모드인 D-13을 선정하여 CO, THC 및 NOx를 측정하였으며, 그 운전조건은 Table 4와 같다. 최고속도와 최대 토크 및 최대부하를 고려한 단일모드를 사용하여 1200rpm, 2000rpm에서 50%부하와 100%부하에서 CO, HC, NOx 및 PM을 측정하여 비교하였으며, 실험조건을 Table 5에 나타내었다. Table 4의 D-13모드는 전 구간에 걸쳐 기관회전수와 부하율에 의한 가중치를 고려하여 배출가스 값을 비교하여 선정한 것이며 Table 5의 시험조건은 최대토크 점과 최대속도지점에서 중부하와 고부하시에 배출가스특성을 확인 하였다.

Table 4 Driving condition of D-13 mode

Mode	Engine speed	Load rate (%)	Weight factor
1	idle	-	0.25/3
2	intermediate	10	0.08
3	"	25	0.08
4	"	50	0.08
5	"	75	0.08
6	"	100	0.25
7	idle	-	0.25/3
8	rated	100	0.1
9	"	75	0.02
10	"	50	0.02
11	"	25	0.02
12	"	10	0.02
13	idle	-	0.25/3

Table 5 Driving condition of constant speed and load mode

Engine speed (rpm)	Load rate (%)	Load rate (%)
1200	50	100
2000	50	100

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 기관성능시험

11,000cc 대형디젤기관에서 기관의 토크, 출력 및 연비에 대한 결과를 현재 국내시판용 경유를 기준으로 유험함유량이 적은 ULSD(15ppm), 바이오디젤(B20) 그리고 15ppm ULSD 80%와 순수 바이오디젤 20%를 혼합한 연료를 사용하여 각각의 경우에 대해 다음과 같은 시험결과를 얻었다.

##### 3.1.1 연료의 점성과 연비의 경우

디젤연료의 점성은 분사노즐에 있는 연료의 분무특성을 고려하는데 필요한 성질이다. 점도가 낮으면 연료의 분산성이 좋고 미립화가 촉진되며 또한 연소성도 좋아진다. 점도가 지나치게 낮으면 분사펌프의 윤활불량현상이 생기고 분산력이 약해져 실린더 내에 균일 분포성이 떨어져 연소상태가 불량해 질 수 있다. 그러나 점도가 지나치게 크면 분무액적이 비교적 크기 때문에 불완전연소를 일으켜 연료소비율

및 배기배출물이 증가하고 열효율저하 될 수 있다<sup>6)</sup>. ULSD 적용은 지나친 황성분의 감소로 연료의 점도가 떨어져 연료의 운환불량 및 분산력에 의해 기관출력 및 연비 감소에 영향을 줄 수 있다<sup>9)</sup>.

따라서 ULSD의 운환성불량을 보충하기 위해 점도가 큰 바이오디젤을 함께 적용하였다.

### 3.1.2 기관출력 및 토크

Fig. 2와 Fig. 3은 기관출력과 토크의 결과를 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 기관의 출력과 토크는 경유에 비해 ULSD와 바이오디젤에서 다소 감소되는 결과를 보여주고 있다. 또한 사용연료의 물성은 Table 2에 나타냈으며 ULSD는 저속에서 경유보다 1.3%, 고속에서 2% 정도의 출력감소를 보여주고 있다. 그리고 기관출력 감소요인에 있어 일반 상용경유보다 ULSD는 Table 2와 같이 세탄가가 높아 연소 조건은 향상되지만 연료의 점성이 부족으로 분사시 연료입자가 너무 작아 실린더 내에서 연료입자가 구석구석까지 도

달하는 관통력이 약해지고 또한, 운환성이 떨어지는 문제점이 있다. 바이오디젤의 경우는 저속에서 약 3.5%, 고속에서 3%정도의 출력감소를 나타내었으며, 점성이나 세탄가는 높지만 열량(Calorific value)이 경유보다 작아서 출력이 감소하는 현상이 나타났다.

바이오디젤과 ULSD를 각각 적용하면 약 4.8~5%의 출력저감이 예상되나, 바이오디젤과 ULSD 혼합 적용시 출력 감소율이 4.5%로 나타났다. 이는 ULSD와 바이오디젤 모두 기관의 출력 및 토크가 감소되지만, 바이오디젤은 운환성 증대효과에 의해 혼합 적용시 보다 큰 감소율을 어느 정도 상쇄시키는 결과를 초래했다. 이는 ULSD와 바이오디젤을 혼합 적용하는 경우의 출력감소가 비례적으로 커져야하나, 운환효과에의 영향으로 성능저하의 폭이 작은 변화를 보였음을 알 수 있다.

### 3.1.3 연료소비율

Fig. 4는 연료소비율의 변화를 보여주고 있다. 기관성능과 마찬가지로 미소한 변화폭을 보여주고 있으며 경유연료 대비 ULSD의 연료소비율은 평균적으로 약 1%정도 저감되었고 바이오디젤은 약 2~3%정도 증가됨을 알 수 있었다. 또한 ULSD와 바이오디젤을 함께 적용하면 1~2% 정도 증가되어 비례적인 향상을 확인할 수 있다. ULSD적용시 기본사양대비 연료소비율이 향상되는 이유는 연료의 관통력은 작지만 연료의 무화가 촉진되어 기관효율이 향상되는 것으로 판단된다.

## 3.2 배기가스특성

### 3.2.1 D-13모드의 경우

대형디젤기관에서 경유 대비, ULSD(15ppm), 바이오디

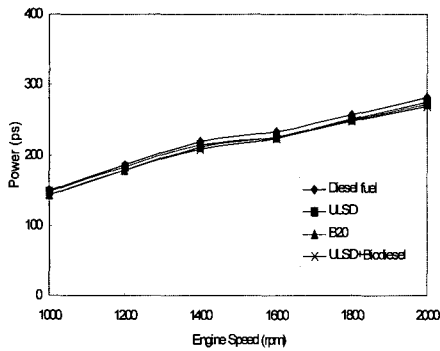


Fig. 2 Engine power according to engine speed

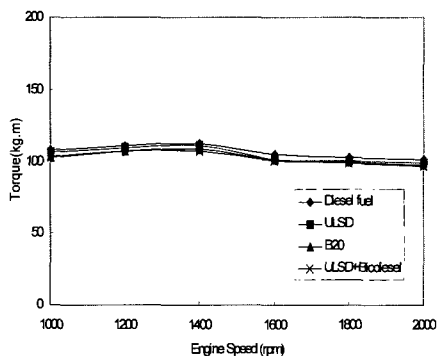


Fig. 3 Engine torque according to speed

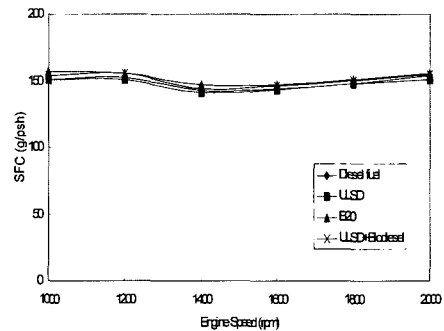


Fig. 4 BSFC according to engine speed

젤(B20)그리고 15ppm ULSD 80%와 순수 바이오디젤 20% 혼합한 연료를 사용하여 D-13모드와 단일모드에서 배기가스특성을 실험한 결과를 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 ULSD의 경우는 CO의 배출량이 경유에 비해 6%의 저감을 바이오디젤의 경우 17.2%의 저감을 보였으며 바이오디젤과 ULSD의 혼합유를 적용하면 17.84% 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 THC의 경향을 나타내고 있다. 기본연료인 경유와 비교할 때 ULSD는 15.2%정도의 저감을 바이오디젤은 15.4%정도의 저감을 나타내며 바이오디젤과 ULSD의 혼합유를 적용하면 18.7%정도의 저감을 나타낸다. ULSD는 바이오디젤과는 달리 세탄가향상에 대한 점화지연기간의 단축으로 착화성이 향상되고 유험합량의 저하<sup>(7,8)</sup>에 따른 점성이 낮아져서 분사시 연료의 미립화가 중요인자로 작용하였고 바이오디젤의 경우는 산소함량의 증가 및 세탄가의 영향으로 THC가 저감됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 NOx의 경향을 나타낸 것이다. 경유와 비교하여 ULSD는 1.82%정도 저감되었고 바이오디젤의 경우는 약

3.4%정도 증가하였다. ULSD와 바이오디젤의 혼합유를 적용할 경우 평균적으로 약 1%정도 증가하였다.

이는 ULSD는 착화성이 낮은 연료로 기관 내에서 연소시 예혼합기간이 짧아져 연소시의 압력상승과 열발생률 상승이 둔화되어 NOx의 감소를 초래하였다. 바이오디젤은 착화지연이 길어져 착화직후의 열발생량이 증가하여 연료중의 산소함량과 함께 NOx 발생량이 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 8은 PM배출경향을 나타낸 것으로 ULSD는 경유보다 약 5%정도의 저감효과를 보였고 바이오디젤은 18.3%정도의 저감효과를 나타냈다. 또한 ULSD와 바이오디젤의 혼합유를 적용하면 PM이 약 20%정도 저감되었다.

### 3.2.2 단일모드의 경우

Fig. 9는 경유, ULSD와 바이오디젤을 혼합한 연료를 사용하여 단일모드 1200rpm, 2000rpm에서 50%부하, 100%부하에서 CO의 배출경향을 나타내고 있다. 각 연료의 경우에 있어서 최대부하 및 최대속도 영역에서 연료가 농후해지며 이 때 CO합량이 최대임을 알 수 있었다. 또한 1200rpm

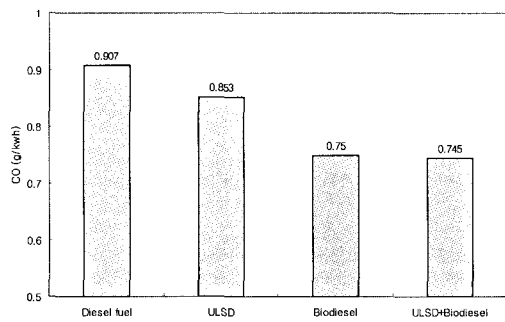


Fig. 5 CO for D-13 mode

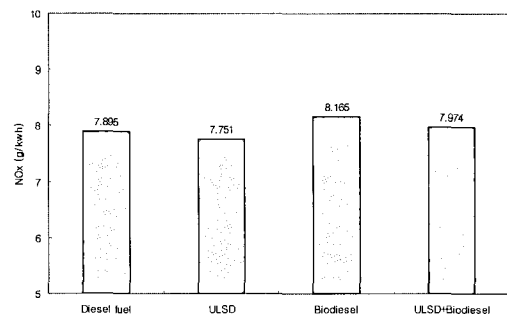


Fig. 7 NOx for D-3 mode

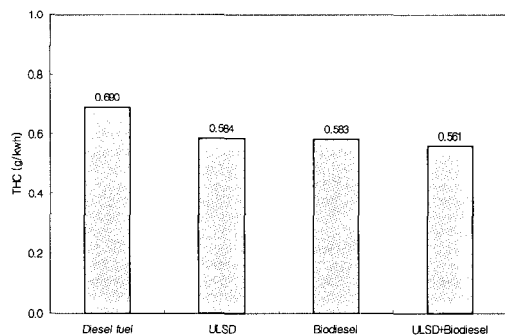


Fig. 6 THC for D-13 mode

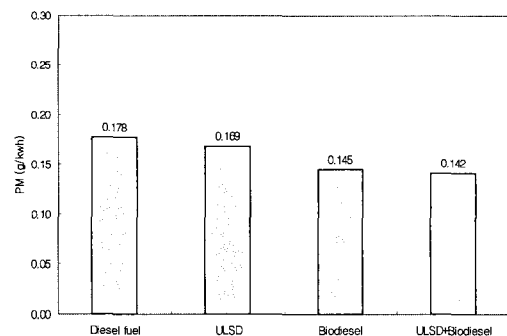


Fig. 8 PM for D-13 mode

에 100%부하, 2000rpm에 100%부하가 1200rpm에 50% 부하와 2000rpm에 100%부하 보다 CO함량이 높게 나타나므로 CO는 부하에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 경유를 사용할 때 보다 혼합유를 사용할 때 CO의 배출량이 저감되었다.

Fig. 10은 경유, ULSD와 바이오디젤 혼합한 연료를 사용하여 단일모드 1200rpm, 2000rpm에서 50%부하, 100% 부하에서 HC의 배출경향을 나타내고 있다. 같은 속도에 부하조건이 변하는 것은 같은 부하에서 속도의 변경보다 더 작은 변화를 보이므로 HC는 부하보다는 속도에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 혼합유의 경우 경유보다 HC발생이 저감되었다.

Fig. 11은 경유, ULSD와 바이오디젤을 혼합한 연료를 사용하여 단일모드 1200rpm, 2000rpm에서 50%부하, 100% 부하에서 NOx의 배출경향을 나타내고 있다. NOx는 고속 고부하 조건에서 최대를 나타내며 속도를 일정하게 하고 속

도를 올리면 NOx 양이 큰 폭으로 증가하지만 부하를 일정하게 하고 속도를 올리면 NOx 양이 소폭 증가함을 알 수 있다. 그러므로 NOx는 속도보다 온도상승 요인이 큰 부하 조건에 더욱 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

### 3.2.3 매연

Fig. 12는 매연규제시험방법인 D-3 모드에서 디젤기관의 매연농도를 측정된 결과이다. 그림에 나타난 것과 같이 매연농도는 절대값보다 매우 낮은 수치로서 측정오차범위 이내이고 매연농도 5%이하의 육안으로 보이지 않는 상태로 서 여지반사식 매연측정법으로 이를 분별한다는 것은 매우 어렵다.

따라서 대형디젤에 후처리장치인 디젤산화촉매장치를 장착하지 않았을 때 경유와 ULSD를 비교하면 약 15%정도의 매연저감율을 보이고 있다. 또한 바이오디젤의 경우는 23% 정도 매연감소를 보이고 있다. 바이오디젤은 DOC와 함께

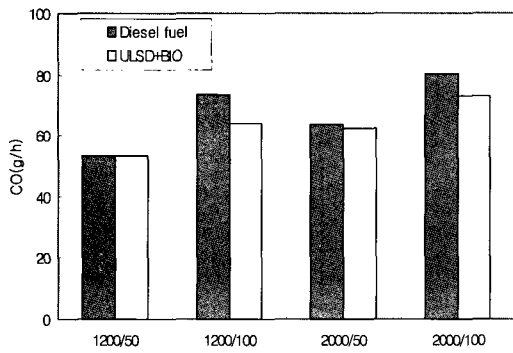


Fig. 9 CO for constant speed and load mode

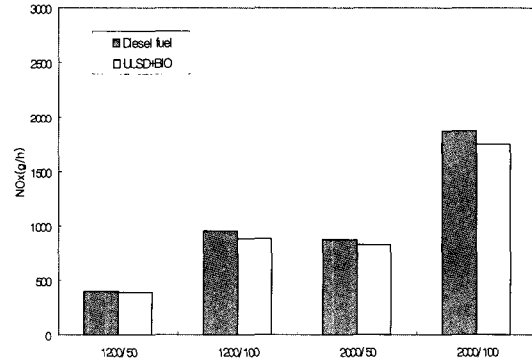


Fig. 11 NOx for constant speed and load mode

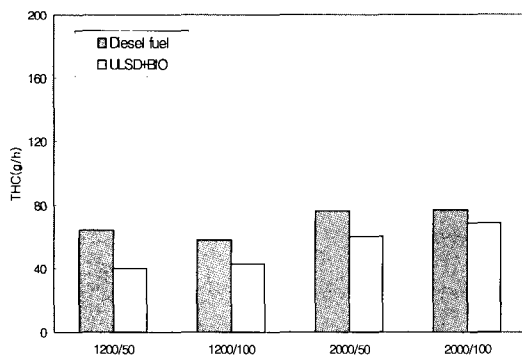


Fig. 10 HC for constant speed and load mode

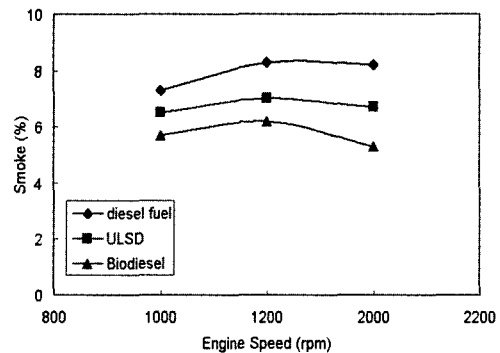


Fig. 12 Smoke reduction for D-3 mode

적용할 때 PM중 SOF감소에 의한 영향으로 보다 큰 저감 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

#### 4. 결론

대형디젤기관에서 일반경유 대비 ULSD와 바이오디젤을 적용하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) ULSD 적용시 경유와 비교하여 1.3~2% 정도 출력 및 토크가 감소하였고 바이오디젤은 3%정도의 출력 및 토크가 감소하였다. 그러나 바이오디젤과 ULSD의 혼합유를 적용할 때 출력저감은 4%로 나타났다.
- (2) 경유연료 대비 ULSD의 연료소비율은 약 1%정도 저감되었고 바이오디젤은 약 2~3%정도 증가됨을 알 수 있었다. 그리고 ULSD와 바이오디젤의 혼합유를 적용하면 연료소비율이 1~2% 정도 증가됨을 확인할 수 있다
- (3) PM의 경우 ULSD는 5% 바이오디젤은 18.3%의 저감되며, CO와 HC는 6%~17% 저감효과를 보였다. ULSD와 바이오디젤의 혼합유를 적용하면 PM 및 CO, HC는 20% 저감 되었다.
- (4) 단일모드시험에서 배출가스특성은 부하조건과 운전속도에 따라 HC는 속도증가시 더 많은 배출가스가 발생되고 CO 및 NOx는 부하증가시 배출가스 발생이 증가함을 알 수 있으며, 경유와 비교하여 바이오디젤과 ULSD 연료에서 배출가스가 저감됨을 확인하였다.
- (5) 매연 규제 시험방법인 D-3모드에서 기관의 매연농도를 측정 한 결과 경유와 ULSD를 비교하면 경유보다 약 15%정도의 매연 저감율을 보이고 있다. 또한 바이오 디젤의 경우는 경유보다 약 23% 정도 매연이 저감되었다.

#### 후 기

본 연구는 BK21지원사업의 일환으로 수행되었으며 도움을 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) California Energy Commission, 2001, *Emission Reduction Technology Assessment for Diesel Backup Generators in California*, P500-0-028.
- (2) <http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/ulsd/chapter2.html>, *The Transition to Ultra-Low-Sulfur Diesel Fuel: Effect on Prices and Supply 2. Efficiency and Cost Impacts of Emission Control Technologies*.
- (3) <http://www.eia.doe.gov/oiaf/servicerpt/ulsd/chapter2.html>, *Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles*, NREL/TP-580-24772.
- (4) Schroder, O., Krahl, J. and Munack, A., 1999, "Environmental and Health Effects Caused by the Use of Biodiesel", *SAE-01-3561*.
- (5) Mauderly, J. L., 1994, "Toxicological and Epidemiological Evidence for Health risks from Inhaled Diesel Engine Emissions", *J. of EHP*, Vol. 102, No. 4, pp. 165~171.
- (6) OH, Y. S., Cho, J. Y. and Han, Y. C., 1999, "An Experimental Study on Exhaust gas Reduction by Pt Loading in Oxidation Catalyst of Diesel Engine", *J. of KSMTE*, Vol. 8, No. 4, pp. 13~18, 1999.
- (7) OH, Y. S., Baik, D. S. and Han, Y. C., 2000, "A Study on Exhaust Gas Reduction by K-7 Mode of DOC", *J. of KSMTE*, Vol. 9, No. 3, pp. 136~142.
- (8) Kim, B. S. and Miyamoto, N., 2003, "A Study on Performance Characteristics of the Diesel Engine Using High Viscous Oils by Blending Low Boiling Point Oxygenates", *Trans. of KSAE*, Vol. 11, No. 4, pp. 44~51.
- (9) Oh, S. K., Baik, D. S. and Han, Y. C., 2003, "Emission Characteristics in Ultra Low Sulfur Diesel", *J. of Automotive technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 6.