

대형디젤기관에서 바이오디젤 열화와 엔진부하에 따른 배출가스특성 및 성능에 관한 연구

박만재*, 김미수⁺

(논문접수일 2007. 1. 8, 심사완료일 2007. 4. 2)

Study on Performance and An Exhaust Emission by Bio-Diesel Deterioration and Engine Load Rate at Heavy-Duty Diesel Engine

Manjae Park*, Misoo Kim⁺

Abstract

Modern diesel vehicle has to comply with the EURO IV, V regulation with low level of particulate matter and smoke emission. Moreover, emission standards of each countries are becoming stringent in advanced countries such as USA and Europe. Because Bio-diesel is similar to diesel fuel, it is essential to judge the environmental and health effects deriving from the use of Bio-diesel in diesel engine. The deterioration characteristics of emission in accordance with aging vehicles must be regulated for Bio-diesel. Therefore, under 1200 driving hours, 220,000km driving distance condition and full load, the deterioration characteristics of emission were estimated. We could reduce sulfur contents of fuel, particulate matter and smoke emission by using Bio-diesel and conform the influence of engine performance, emission, and fuel consumption by Bio-diesel deterioration.

Key Words : Particulate Matter(입자상물질), Bio-Diesel(바이오디젤), Health Effects(건강효과), Deterioration(열화), Sulfur(황)

1. 서론

지구온난화의 주범인 CO₂의 감축을 위해 자동차 연비 및 배출가스 허용기준 등을 전 세계적으로 강화하고 있음에 따

라 선진국을 중심으로 대체에너지 개발 및 적용을 위해 연료 전지, 하이브리드자동차 실용화 등으로 배출가스저감은 물론 연비를 개선하고 친환경을 도모하여 환경유해물질 감소 대책을 활발하게 전개하고 있다^(1,2).

* 국민대학교 자동차전문대학원

+ 교신저자, 한라대학교 기계자동차공학부 (chiakmi@hanmail.net)

주소: 원주시 흥업면 흥업리 66

또한 가솔린 엔진에 비해 디젤엔진이 압축비가 높아 기관 출력 및 경제성 면에서 디젤 차량의 우수성이 높게 평가되어 주목을 받고 있다.

그러나 디젤 차량은 배출가스 중 인체에 유해한 PM과 NOx에 대한 저감대책이 필요하므로 향후 EURO-V에 대한 법규만족을 위해 자동차제조업체와 정부의 긴밀한 협조하에 획기적인 대책을 추진 중에 있다⁽³⁾.

특히 우리나라의 경우 경유차의 보급률이 30% 이상이며 디젤 Common rail 엔진이 승용차시장에 진입한 상황에서 디젤엔진의 보급률이 높아짐에 따라 디젤차량의 오염물질 저감을 위한 대책이 시급할 뿐만 아니라 국내의 경우는 선진국에 비해 대기오염의 영향이 증가할 것으로 예상된다⁽⁴⁾.

또한 디젤연료의 오염을 줄이려는 대책으로 바이오디젤 적용이 증가되고 있으며 특히 후처리장치와 함께 적용하는 추세이다. 따라서 바이오디젤을 디젤엔진에 적용할 때 기관의 열화원인을 분석하고 열화의 정도를 배출가스특성으로 확인하여 바이오디젤의 내구성을 확인하고자 한다⁽⁵⁾.

바이오디젤은 공정의 전주기(Life cycle)에서 볼 때 연료 사용에 의해 배출된 CO₂는 바이오매스의 생산과정에서 재회수 되므로 대기 중에 열을 저장하는 온실가스의 수준을 줄이는 역할이 있어, 환경적 이익과 미생물을 안전하게 분해하고 회복성이 좋으며 화석연료보다 공기오염이 적은 장점이 있다⁽⁶⁾. 청정연료로 알려진 바이오 디젤은 유럽과 미국 등지에서 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 이것은 환경을 고려한 연료일 뿐만 아니라 대중의 건강을 고려한 연료로 평가되고 있다^(6,7). 또한 바이오디젤을 이용한 기관열화를 평가하기 위해 연료를 구분하여 적용하였다.

열화란 기관내구력을 평가하기 위해 기관의 내구운전시간과 주행거리를 규정하여 배출가스특성을 확하고 EPA 법규 기준에 의해 평가하며 열화계수를 평가하는 기준은 2000년 국내에서 규정된 대형디젤차 유효 수명기간을 2년 또는 80,000km로 규정하고 있으며 그리고 내구실험은 1200시간을 정하고 있으나, 지열열화계수는 미국 EPA의 1986년 수준이고 내구실험시간은 규정된 배출가스 유효수명기간인 80,000km를 훨씬 초과하는 시간으로 이에 대한 많은 논의가 이루어지고 있다⁽⁸⁾.

따라서 본 논문에서는 바이오디젤을 이용하여 혼합비율별 배출가스특성을 분석하고 바이오디젤 20%와 바이오디젤 100% 및 기준연료인 경유와 비교하여 기관의 열화에 미치는 영향을 평가한 후 열화원인을 분석하여 바이오디젤을 기관에 적용을 통해 기관내구성을 확인하였다.

1.1 디젤기관 열화에 따른 영향인자

계통별 열화원인을 살펴보면, 연소실내에서는 연소에 의한 오일 소비량의 증대가 부품의 열화를 초래하고, 실린더 라이너와 피스톤링의 윤활면으로 공급된 오일이 오일실로부터 누설에 의한 열화를 일으킬 수 있고 피스톤이나 피스톤링이 움직일 때 즉 피스톤링이 기관행정의 상사점과 하사점을 지날 때 오일 부족현상으로 링과 라이너의 마멸로 마찰력을 증대시켜 윤활불량을 초래하고 마찰 및 이상마모에 의한 열화를 증대시킬 수 있다.

특히 디젤기관의 연료 분무특성이 바뀌면 열화에 취약하며 연소실 내부 연료와 공기의 혼합과 연소에 영향을 미치므로 이 특성이 악화되는 경우 최적연소의 달성이 불가능하여 매연 및 입자상물질이 증가하게 되며, 연료소비율과 NOx는 감소하게 된다^(10,11).

흡배기계통은 기관의 체적효율에 직접적인 영향을 미치며, 에어클리너의 오염은 흡입공기량을 감소시켜 연소상태를 악화시키며 이는 연소실의 공연비를 농후하게 하여 NOx 및 입자상물질(PM) 증가에 유리한 고온 화염형성조건을 만들게 된다.

그리고 디젤엔진의 냉각계통은 연소온도가 매우 높을 때는 과열상태가 되어 엔진 오버히터나 윤활불량을 초래하고 매우 낮을 때는 과냉각 상태가 되어 연소상태가 나빠진다.

또한 냉각계통 중 인터쿨러의 오염은 흡입공기의 온도를 높여 NOx의 배출량을 증가시킬 수 있고, 기관이 과냉 될 경우에는 THC의 배출을 증가시킬 수 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험기관 및 실험장치

바이오디젤 적용시 연료성분에 따른 기관성능과 배출가스의 특성을 파악하기 위해 사용된 기관은 11,000cc급 대형 디젤기관을 사용하였으며 Table 1에 그 제원을 나타내었다.

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

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

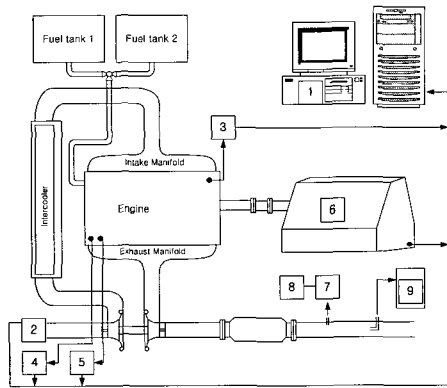
2.2 실험방법

2.2.1 기관성능

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

2.2.2 배기가스성능 시험

국내 대형디젤기관의 매연측정은 디젤산화촉매(DOC)를 부착하지 않은 상태에서 국내 배출가스 규제모드인 D-13을 선정하여 CO, THC 및 NOx를 측정하였으며, 그 운전조건은 Table 2와 같다. Table 2의 D-13모드는 전 구간에 걸쳐



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

기관회전수와 부하율에 의한 가중치를 고려하여 배출가스 값을 비교하여 선정한 후 가스특성을 확인 하였다.

2.2.3 운전시간

내구성 시험에서 운전시간 산정은 통상적으로 시험 목적에 부합하는 주행거리를 기준으로 하여 설정하며 실험기관의 등연비곡선, Idle 및 정격점에서의 연료량 등을 확인하고 주행 모드별 가중계수를 확보한다.

현재 국내디젤기관의 배출가스 유효수명기간인 80,000km에 상당하는 내구운전 시간은 400시간 전후로 추정되며, 환

Table 2 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

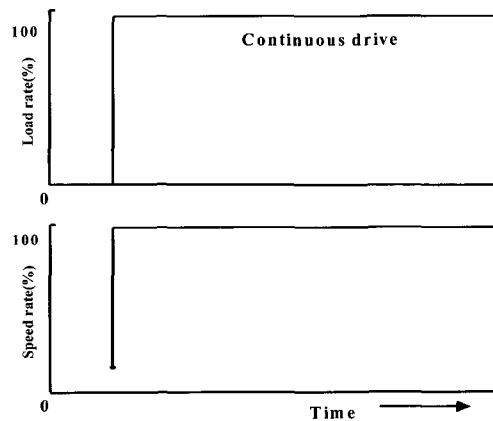


Fig. 2 Full load continuance durability driving fatten

경부고시에서 정하여 놓은 내구성 실험 시간인 1,200시간은 약 220,000km에 상당하는 거리가 된다.

2.2.4 운전조건

내구성 실험의 운전조건중 연비시험과 출력시험은 그 실험의 확인 목적에 따라 다소 차이가 있지만 이 중에서도 가장 가혹한 조건으로 기관 각 부분의 열화를 단시간에 급속히 진행시킬 수 있는 전 부하 연속운전법을 사용하였으며 Fig. 2에 운전 패턴을 나타내었다. 실험진행 중 흡입공기, 냉각수, 연료, 오일 및 인터쿨러 후단의 온도는 환경부 고시 및 제작사에서 정하는 바에 의하여 항시 일정온도를 유지하였다.

또한 배출가스 시험은 각각 25, 125, 250, 500 시간 전·후에서 열화율이 측정된 상태인 500시간을 기준으로 하여 규제 실험법인 D-13모드 하에서 실시하였다⁽⁸⁾.

2.2.5 정비 및 점검

실험기관의 정비 및 점검은 기관 연료분사노즐 청소 및 정비, 연료필터 및 공기필터, 기관볼트 토오크, 밸브간격, 기관 구동벨트 장력, 냉각시동 축진장치 등의 항목들을 정기적으로 정비·점검하였으며, 기관의 오일 및 오일필터, 공기필터는 매 100시간 실험마다 교환을 하였다.

2.2.6 시험연료

시험연료로는 디젤연료 100%, 바이오디젤 100% 및 바이오디젤 20%인 세 가지 연료를 사용하였다. 이러한 세 가지 연료의 물성은 Table 3에 나타내었다. 바이오디젤의 연료는 환경제품으로서 공급되는 순수 콩류를 공급 원료로 하는 메틸에테르를 적용하였다.

바이오디젤의 혼합비율은 체적 당으로 하여 바이오디젤 20%와 디젤연료 80%를 혼합하였으며, 각 연료에 대한 밀도는 혼합하기 전에 측정하였고 혼합된 혼합유는 드럼형태의 저울을 사용하여 동등한 질량기준으로 산출하였다⁽⁹⁾.

각각의 드럼은 충분한 혼합이 이루어질 수 있도록 1시간 30분 동안 혼합하였다.

혼합비율의 확인은 혼합 후 혼합유의 밀도를 통해 확인하였다. Table 3과 같이 B100은 기본연료와 비교하면 pour point가 낮아 겨울철 유동성저하에 의한 냉시동성문제와 필터 막힘을 야기시킬 수 있지만 세탄가가 높고 황 함량이 적어 배출가스를 적게 발생시키는 장점이 있다.

Table 3 Specifications of test fuel

Item of test	Biodiesel spec.	Result of test		
		Base fuel 100%	Biodiesel 20%	Biodiesel 100%
		500ppm below		
Flash point (PM, °C)	100 below	59	90	140
Pour point(°C)	0.0 below	-21	-15	-5
Distillation 90% (°C)	360 below	350	360	370
Carbon residue (on 10% residue)	0.15 below	0.01	0.01	0.009
Ash (%)	0.02 below	under 0.001	under 0.001	above 0.001
Viscosity (40°C, cst)	1.9 ~ 5.5	2.8	2.92	4.12
Sulfur content (weight)ppm	50ppm below	390ppm	30ppm	10ppm
Cetane index	40 above	43	46	47.5
Low heating value(MJ/kg)	-	43	42	40

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기관성능시험

11000cc급 대형디젤엔진을 사용하여 엔진의 성능시험으로 엔진출력, 엔진토크, 연료소비량의 변화를 엔진 다이내모에서 확인하였다. 사용연료로는 바이오디젤 20%에 경유 80%를 혼합한 B20과 순수바이오디젤 B100 및 기본연료로 하였으며, 모든 시험은 기관성능시험과 배출가스성능시험을 각각 수행하였다. 각 시험조건은 1200시간동안 각 시간별 출력 및 연료의 변화를 확인하였다.

3.1.1 기관출력 및 연료소비율

Fig. 3은 기관출력의 결과를 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 기관의 출력의 경향은 250시간에 기본연료와 B20 및 B100연료 모두 출력이 떨어지는 경향을 보이고 열화가 진행되면서 250시간 이상과 그 이하 영역은 출

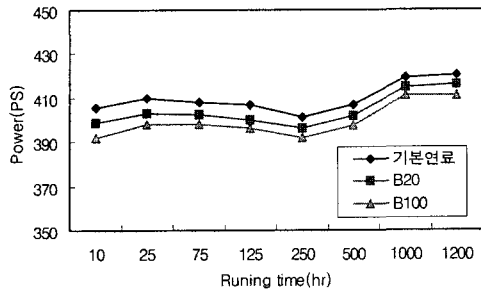


Fig. 3 Engine power according to engine speed

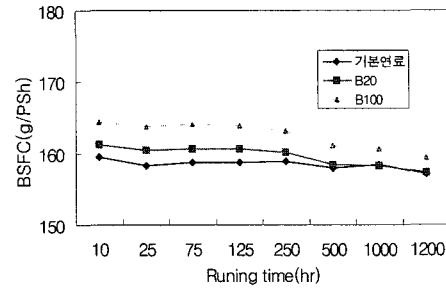


Fig. 4 BSFC according to engine speed

력이 높게 나타났다.

기관 출력의 경우 최초출력대비 최고는 약 3.7% 증가하였으며, 단위 출력당 연료소비량은 1200시간 운전기간중 최대 약 1.3% 감소하였다. 이러한 측정결과에서 보여주듯이 전자 제어식 디젤기관의 경우 약 220,000km에 해당하는 운전이 후에도 출력 및 연비의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 기본연료인 경유에 비해 B20은 약3%정도 출력이 다소 낮은 결과를 보여주었고 B100의 경우는 약 8%정도 낮게 나타났다. 열화는 시간이 진행됨에 따라 기관내의 오일의 점성과 온도에 영향을 받으며 기관의 길들이기 시간을 약 500시간으로 보며 250시간이 기관내부의 온도와 연료 및 오일의 점성에 의한 영향으로 출력이 가장 낮게 나타났다. 바이오디젤의 경우는 저속에서 약 3.5%, 고속에서 3%정도의 출력감소를 나타내었으며, 점성이나 세탄가는 높지만 열량(Calorific value)이 경유보다 작아서 출력이 감소하는 현상이 나타났다.

B100의 경우는 윤활성이 뛰어나지만 연료의 점도가 높아 기관의 회전력을 둔화시키므로 기본연료인 경유에 비해 출력이 떨어지는 것으로 나타났다⁽¹¹⁾.

3.1.2 연료소비율

Fig. 4는 연료소비율의 변화를 보여주고 있다. 열화가 진행됨에 따라 연료소비량이 점차적으로 감소되어 기관이 안정화됨을 알 수 있다.

기관이 500시간 주행시에 연료의 저감율이 높게 나타나는 것은 500시간 영역이 기관이 안정화 되어 엔진성능과 연비가 가장 효과적임을 알 수 있다.

평균적으로 기본연료는 열화가 진행됨에 따라 약 2~3% 정도 연료소비량이 감소됨을 알 수 있고 이러한 연료소비의 감소는 전자제어엔진이므로 시간에 따라 연료의 무화가 촉진되고 디젤엔진의 특성에 따라 엔진분위기 온도가 높아져

엔진의 효율이 향상됨을 알 수 있다. 또한 바이오디젤, B20에 비해 B100의 경우는 열화시간이 증가될수록 연료소비량이 감소하는 이유는 윤활에 의한 점성이 B20에 비해 떨어지므로 연료효율이 높게 나타났다.

3.2 배기가스특성

3.2.1 일산화탄소

대형디젤기관에서 경유와 바이오디젤, B20그리고 B100을 이용하여 D-13모드에서 500시간동안 엔진 열화를 진행한 후 일산화탄소의 함량을 조사하였다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 각 모드중 1모드와 7모드 및 13모드에서 배출가스가 낮게 배출되고 6모드와 8모드에서 배출가스가 높게 나타나는 것은 엔진의 부하조건에 의한 영향이며 일산화탄소는 부하가 증가할 때 연료가 농후한 조건에서 연소하므로 불완전연소에 의해 배출가스가 증가된다.

기본연료인 경유대비 B20은 일산화탄소가 약 18%정도 저감되고 B100의 경우는 약 45%정도 감소됨을 알 수 있다. 또한 부하조건이 커지면 바이오디젤의 경우는 배출가스 저감 폭이 크게 나타남을 알 수 있으며 그 이유는 부하가

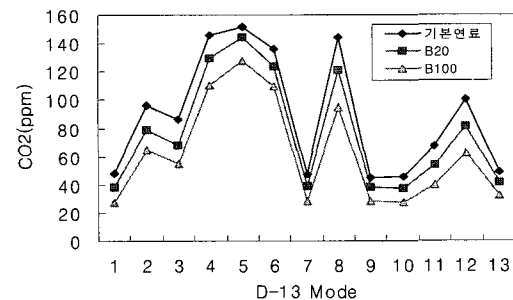


Fig. 5 CO for D-13 mode after 500hour Deterioration

증가더라도 연료중 산소함량이 경유보다 높기 때문에 완전 연소에 의한 영향과 고부하 조건에 윤희성이 향상되어 엔진의 효율이 증가되기 때문이다.

3.2.2 탄화수소

Fig. 6은 THC의 경향을 나타내고 있다. 기본연료인 경유와 B20과 B100의 경향은 무 부하상태에서 배출가스량이 증가하고 부하가 커지면 배출가스가 감소되는 경향을 보인다.

일산화탄소는 연료가 농후한 조건이나 희박한 조건에서 많이 배출되며 D-13모드중 무부하나 저부하시 탄화수소가 많이 배출되는 이유는 전자제어엔진이므로 무부시 희박연소에 의한 영향으로 불완전연소에 의해 배출가스가 증가됨을 알 수 있다. 그러나 바이오디젤의 경우는 유희함량의 저하^(7,8)와 윤희에 의한 점성이 증가되어 분사시 연료의 관통력이 촉진되어 저부하조건과 무 부하영역에서 연소조건이 향상되어 일산화탄소의 감소율이 높은 것을 알 수 있다.

3.2.3 질소산화물

Fig. 7은 NOx의 경향을 나타낸 것이다. 기본연료인경유

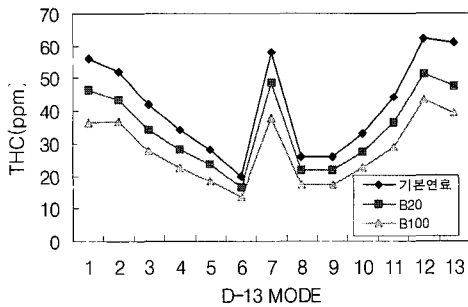


Fig. 6 THC for D-13 mode after 500hour Deterioration

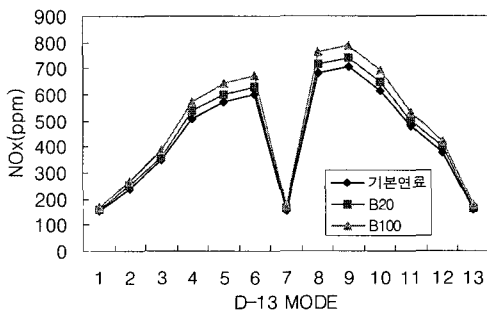


Fig. 7 NOx for D-13 mode after 500hour Deterioration

와 비교하여 B20은 약4%정도 높게 나타났고 B100의 경우는 약11%높게 나타났다.

질소산화물의 경향은 무 부하상태인 1모드 및 7모드 13모드에서 감소율이 낮고 부하가 증가되면서 감소율이 높게 나타났으며 그 이유는 부하증가에 따라 배출가스 온도가 올라가며 높은 온도에서 질소산화물의 양이 증가하고 열 발생율이 높기 때문이다.

또한 바이오디젤은 착화지연이 길어져 착화직후의 열발생량이 증가하여 연료중의 산소함량과 함께 NOx 발생량이 증가함을 알 수 있다.

특히 바이오디젤은 고부하조건인 6모드와 8모드에서 기본연료인 경유와 비교하여 질소산화물함량이 높게 나타남을 알 수 있다.

3.2.4 엔진부하에 따른 입자상물질 배출가스특성

바이오디젤100%인 B100과 바이오디젤20%와 일반경유 80%인 B20을 이용하여 엔진부하조건에 따라 PM이 엔진에 미치는 성능을 확인하였다.

입자상물질의 전체적인 경향을 확인하기위해 연료중 바이오디젤0%와 50%시험을 B100 및 B50과 함께 수행하였다.

부하조건은 최대부하인 100%와 부분부하인 20%조건을 적용하였으며 엔진최대 파워와 토크점인 1400rpm 기준에서 필터의 온도를 52℃에 맞추어 시험하였다.

그 시험결과는 Fig. 8과 같이 나타내었다.

100% 부하 조건에서 바이오디젤의 함량을 증가시키면 입자상물질이 감소하는 경향을 보이고 있으며 연료중 바이오디젤 함량을 0%기준으로 저감비율을 확인하면 바이오디젤 20%이면 10% 감소, 바이오디젤50%이면 35%감소, 바이오

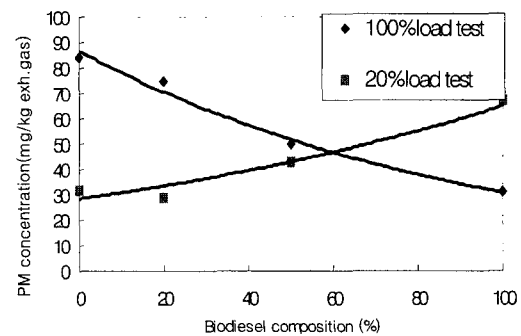


Fig. 8 PM concentration via Biodiesel composition

디젤 100%이면 55% 감소를 나타내었다⁽¹²⁾.

또한 20%부하 조건에서 바이오디젤의 함량을 증가시키면 입자상물질이 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 8과 같이 100%부하조건에서 바이오디젤함량을 증가시키면 입자상물질이 점진적으로 감소하는 경향을 보이지만 20%부하조건에서 바이오디젤함량을 증가시키면 입자상물질이 오히려 증가하는 경향을 보였다.

그 이유는 바이오디젤이 합산소연료이므로 100%부하는 20%부하보다 연료량이 증가하여 산소부족을 초래할 수 있으나 바이오디젤함량의 증가는 산소량을 보충하여 비교적 높은 온도에서 완전연소를 통한 입자상물질의 감소를 기대할 수 있다.

그러나 바이오디젤은 20%부하조건인 낮은 온도일 때 미연소가스에 의한 THC량이 100%부하조건보다 증가하며 바이오디젤의 특성인 저 휘발성에 의해 SOF함량이 함께 증가하므로 전체입자상물질도 함께 높아짐을 알 수 있다^(11,12).

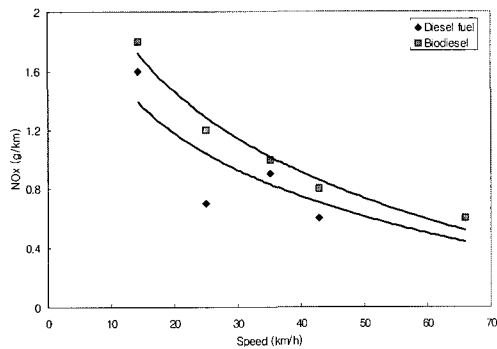


Fig. 9 NOx concentrations according to speed

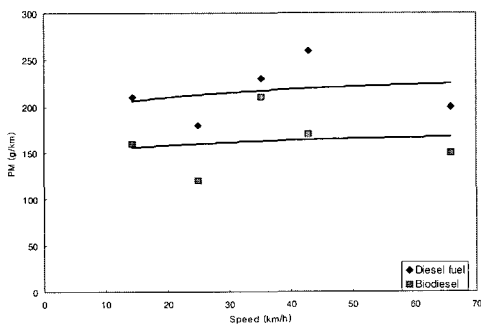


Fig. 10 PM concentrations according to speed

3.2.5 차속에 따른 PM과 NOx의 배출가스 특성

Fig. 9와 Fig. 10은 순수바이오 디젤연료인B100과 디젤 연료를 이용하여 차속의 증가에 따라 NOx 함량과 PM함량의 변화를 추세를 따라 나타낸 것이다.

NOx의 경우는 바이오 디젤이 디젤 연료보다 약 15~20% 높게 나타났고 PM의 경우는 바이오디젤이 약 40%정도 낮게 나타났다.

연료 중 바이오 디젤은 합산소 연료이며 세탄가가 높기 때문에 NOx는 증가하지만 PM은 감소함을 알 수 있다.

4. 결론

대형디젤기관에서 일반경유와 바이오디젤을 적용하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기관 출력의 경우 열화에 의해 최초출력대비 최고는 약 3.7% 증가하였으며 기관의 출력의 경향은 250시간에 기본연료와 B20 및 B100연료 모두 출력이 떨어지는 경향을 확인하였다.
- (2) 평균적으로 기본연료는 열화가 진행됨에 따라 약 2~3%정도 연료소비량이 감소됨을 알 수 있고 500시간 주행시에 연료의 저감율이 높게 나타나고 기관이 안정화되어 엔진성능과 연비가 가장 효과적임을 확인하였다.
- (3) 열화에 의한 배출가스특성은 기본연료인 경유대비 B20은 일산화탄소가 약 18%정도 저감되고 B100의 경우는 약 45%정도 감소되었고 탄화수소는 기본연료인 경유와 B20과 B100의 경향은 무 부하상태에서 배출가스량이 증가하고 부하가 증가하면 배출가스가 감소됨을 확인하였다.
- (4) 열화에 의한 질소산화물의 배출가스특징은 기본연료인 경유와 B20과 B100의 경향은 무 부하상태에서 배출가스량이 증가하고 부하가 커지면 배출가스가 감소되는 경향을 확인하였다.
- (5) 바이오디젤함량을 증가시킬 때, 엔진 부하를 20%로 하면 PM 배출 가스는 오히려 증가하는 경향을 보였고 엔진부하를 100%로 하면 PM 배출 가스는 감소하는 경향을 확인하였다.
- (6) 차량주행속도에 따라 NOx의 경우는 바이오 디젤이 디젤 연료보다 약 15~20% 높게 나타났고 PM의 경우는 바이오디젤이 약 40%정도 낮게 나타남을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) Cho, K. R., 1997, "Characteristics of Exhaust Emission Reduction of Heavy Duty Diesel Engine by Oxidation Catalyst," Ph.D thesis, pp. 6~12.
- (2) Eom, M. D., 1977, "A Study on CNG Dual Fuel Engine," Ph.D thesis, pp. 1~1.
- (3) 2001, "Emission Reduction Technology Assessment for Diesel Backup Generators in California," California Energy Commission, pp. 500-0-02.
- (4) John B. H., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals," Text book, pp. 625~628.
- (5) Ryu, K. H., and Oh, Y. T., 2004, "Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel," KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 32~38.
- (6) "Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles," NREL/TP-580-24772.
- (7) O. Schroder, J. Krahl and A. Munack, "Environmental and Health Effects Caused by the Use of Biodiesel," SAE 1999-01-3561.
- (8) Ministry of Environment, 2000, "Regulations on Approval and Order of Manufacture Vehicle," Ministry of Environment Act, NO. 160.
- (9) Park, M. J., Han, Y. H. and Eom, M. D., 2004, "An Experimental Study on Engine Performance, Exhaust Emissions and PM with a DOC by Applying Biodiesel in a Heavy Duty Diesel Engine," KSME, Vol. 28, No. 12, pp. 1467~1474.
- (10) Ryu., K. H. and Oh, Y. T., 2004, "Effect of Fuel Injector Timing on the Performance and Exhaust Emission in IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel," KSAE, Vol. 12, No. 2, pp. 76~82.
- (11) Park, M. J., 2003, "A Study on Performance and Exhaust Emission with Biodiesel and ULSD at Heavy Duty Diesel Engine," KSMTE, Vol. 12, No. 6, pp. 97~103.
- (12) Chang, D.Y. and Gerpen, J. V. Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions From Diesel Engines Fueled With Biodiesel, SAE 982527.