

대형디젤 기관에서 바이오디젤을 적용한 DOC에 의한 기관성능, 배출가스 및 PM에 관한 실험적 연구

박만재[†] · 한영출* · 엄명도** · 김미수***
(2003년 8월 11일 접수, 2004년 9월 16일 심사완료)

An Experimental Study on Engine Performance, Exhaust Emissions and PM with a DOC by Applying Biodiesel in a Heavy Duty Diesel Engine

Manjae Park, Youngchool Han, Myungdo Eom and Misoo Kim

Key Words: Air Pollution(대기오염), Biodiesel(바이오디젤), Energy and Consumption(에너지 소비), Environmental(환경)

Abstract

Recently, with respect to an increase of energy consumption, many countries have tried to develop alternative fuels. In the United States, less than 10 percent of motor fuels will be displaced by alternative fuels by year 2010, with about 25 percent of the replacement fuels from renewable resources. But the level of exhaust gas is not decreased to the result of an increase of diesel vehicles. Moreover, emission regulations are being intensified by advanced countries such as America and Europe. Because Biodiesel is similar to diesel fuel, it is essential to judge the environmental and health effects deriving from the use of Biodiesel in diesel engine.

Therefore, this research could be conformed whether both Biodiesel 20% and Biodiesel 100% are influenced on emission according to sulfur contents by applying DOC. As a result of using the Biodiesel, this research could be conformed though Nox was increased, CO, HC and PM were decreased, and also estimated to compare diesel fuel with the Biodiesel in accordance with engine performance and emission characteristics.

1. 서 론

바이오디젤의 성분은 메탄올이나 에탄올과 같은 알콜에 자연오일이나 지방을 화학적으로 결합하여 만든 대체연료이다.

바이오디젤은 식물성오일이나 동물성지방과 같은 회복가능한 자원인 자연자원으로 만들어졌기

때문에 환경적으로 유익하며 미생물을 안전하게 분해하고 회복성이 좋은 연료로서 화석연료보다 대기오염이 적은 것이 특징⁽¹⁾이다.

바이오디젤은 현재 적용하고 있는 디젤연료와 비교하여 에너지 균형은 약간 떨어지나 거의 무시할 만한 수준이며 엔진의 수정이나 설비투자 없이 파워, 토크, 연료소비량 등이 저유황유와 유사한 것으로 알려져 있다.

또한 기존의 디젤연료보다 높은 세탄가를 나타내므로 완전연소에 의한 연소효율을 증대시킬 수 있으며 연료의 윤활성이 디젤연료보다 우수⁽²⁾하다. 바이오디젤은 입자상물질 중 고체탄소물질을 줄이고 용해성유기물은 증가하는 대신에 황 성분을 줄일⁽³⁾ 수 있는 장점이 있다.

[†] 책임저자, 회원, 국민대학교 자동차전문대학원

E-mail : pwrnj@hanmail.net

Tel : (016)378-2475 FAX : (02)910-4718

* 회원, 국민대학교 기계·자동차공학부

** 회원, 국립환경연구원 자동차공해연구소

*** 국민대학교 자동차전문대학원

현재 바이오디젤 100%인 B100에 대한 연구와 바이오디젤 20%와 경유 80%를 혼합한 B20에 대한 연구가 각 나라마다 활발하게 진행 중에 있지만 엔진 개조 없이 사용할 수 있는 연료로는 B20이 적합한 것으로 알려져 있다. B100의 경우 배출가스 감소율은 높지만 연료의 점성이 커서 연료분사 노즐의 막힘이나 실린더 퇴적물증가 및 한냉시 유동성이 저하에 의해 냉시동성이 악화⁽⁴⁾ 되는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 바이오디젤을 적용하면 실린더내의 오일링 이나 오일 패킹 등의 고무제품에 대한 노화를 야기 시키므로 합성고무로 대체⁽²⁾하여야 하는 문제점을 개선하여야 한다.

바이오디젤의 용해성물질(SOF)은 대체로 디젤 연료보다 높은 것으로 나타나며 이러한 용해성물질을 줄이기 위해 DOC를 장착하는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구에서는 DOC 장착 전과 후로 나누어 B100과 B20에 대한 배출가스 특성 및 기관 성능시험을 통해 연비 및 토크의 영향을 평가하였다. 또한 차량주행 시 바이오디젤 사용에 의한 NOx와 PM의 함량 및 전체 PM중 유기성용해물질에 대한 결과, 엔진부하와 바이오디젤함량에 따른 PM의 배출가스 특성을 확인하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

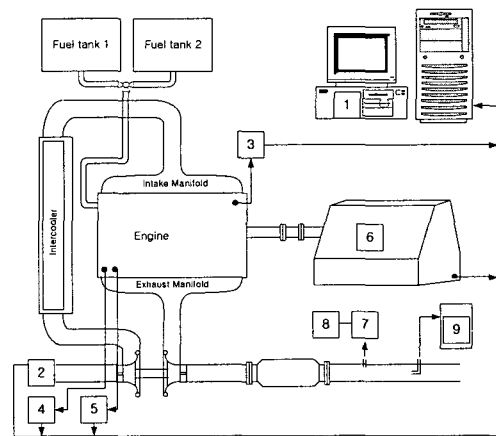
실험기관은 국내에서 제작 및 생산된 직접분사 실식 디젤기관으로서 주로 대형트럭이나 시내버스등에 가장 많이 탑재하여 사용되고 있다.

Table 1은 기관제원을 나타내었고 Fig. 1은 실험장치를 보여주고 있다. 디젤기관에 DOC를 장착하였으며 연료는 기본연료공급 장치인 연료탱크1과 바이오디젤연료 공급 장치인 연료탱크2를 설치하고 3-way valve를 통해 연료를 별도로 공급하도록 하였다.

기관동력계는 전기식 동력계를 사용하였고 디젤기관의 배기가스측정장치(HoribaCo.MEXA-9100D)는 배기가스 중 CO, THC 및 NOx를 분석할 수 있는 장비로써, CO와 THC 및 NOx의 측정원리는 비분산적외선분석법(NDIR; Nondispersive infrared), 가열식 불꽃이온화검출기법(HFID; Heated flame

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Model	D6AB
Type	6 Cylinder
Fuel injection type	DI
Displacement (cc)	11,149
Cylinder×Bore(mm)	122×156
Max.Power (PS/rpm)	250/2000
Injection timing	12 deg. BTDC



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
10. Diesel oxidation catalyst

Fig. 1 Schematic diagram of measuring apparatus

inoization detector) 및 화학발광법(CLD; Cheiluminescence detector)을 사용하였다.

2.2 시험연료

시험연료로는 디젤연료 100%, 바이오디젤 100% 및 바이오디젤 20%인 세 가지 연료를 사용하였다. 이러한 세 가지 연료의 물성은 Table 2에 나타내었다. 바이오디젤의 연료는 환경계품으로서 공급되는 순수 콩유를 공급 원료로 하는 메틸 에테르를 적용하였다.

바이오디젤의 혼합비율은 체적 당으로 하여 바이오디젤 20%와 디젤연료 80%를 혼합하였으며, 각 연료에 대한 밀도는 혼합하기 전에 측정⁽³⁾하였고 혼합된 혼합유는 드럼형태의 저울을 사용하

Table 2 Specifications of test fuel

Item of test	Biodiesel spec.	Result of test		
		Base fuel	Biodiesel	Biodiesel
		100% 500ppm below	20%	100%
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

여 동등한 질량기준으로 산출하였다.

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

혼합비율의 확인은 혼합 후 혼합유의 밀도를 통해 확인하였다.

Table 2와 같이 B100은 기본연료와 비교하면 pour point가 낮아 겨울철 유동성저하에 의한 냉시동성문제와 필터 막힘을 야기 시킬 수 있지만 세탄가가 높고 황 함량이 적어 배출가스를 적게 발생⁽⁴⁾시키는 장점이 있다.

2.3 실험방법

중량자동차에 대한 규정에 따라 국내 대형디젤엔진 규제모드인 D-13모드를 기준으로 하여 시험하였으며 D-13모드의 기준 속도 범위 내에서 엔진의 전 토크 능력을 250kw의 DC동력계로서 mapping하였다.

Table 3 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

D-13모드에서 가스상물질 및 입자상물질을 마력당 그래프 단위로 각각 측정하였으며 엔진에 의해 발생하는 일은 D-13모드 사이클 동안에 토크와 속도의 응답성을 확인하였다.

2.4 PM 측정 및 미량유해물질 분석

PM측정은 미니회석터널을 사용하였으며 배기 가스의 일부를 채취하여 외부공기와 회석시킨 후 PM을 테프론이 코팅된 유리섬유여지로 포집하였다.

전체 PM량은 측정전후의 무게 차이로 계산한 후 여러 번 측정하여 수차례 시험한 후 오차범위를 만족하는 샘플을 3회 선택하여 평균한 값을 산출하여 PM값으로 결정하였다.

PM에 포함된 미량유해물질로는 SOF, 황산염 등이 있으며, 가스상 미량유해물질로는 포름알데히드와 아세트알데히드 등의 알데히드류가 있다.

미량유해물질은 크게 입자상과 가스상으로 존재하며, 이러한 오염물질은 미량 포함되어 시료 채취와 전처리 및 분석방법에서 고도의 정밀분석 기술을 요구한다.

2.4.1 SOF 측정

PM을 포집한 전단 및 후단 필터를 원통형 Thimber filter와 함께 Soxhlet에 넣고 Flask에 DCM(Dichloromethane) 200ml를 가한 후 약 20±2시간 동안 Soxhlet 추출장치를 이용하여 추출하며, PAHs의 자외선에 의한 해리를 막기 위해 호일로 잘

감싸준다. 추출시킨 필터는 Thimber filter에서 꺼내어 Weighing chamber안에서 PM측정방법과 동일한 온도, 습도 조건하에서 약 24시간 동안 함량 시킨 다음 무게를 측정하여 SOF량을 계산한다.

2.4.2 황산염 측정 : SO₄²⁻

디젤 PM중 수용성 성분인 황산염을 분석하기 위하여 Soxhlet 추출이 끝난 여지의 전·후단을 잘게 잘라 비이커에 넣고 추출용매인 초순수(18MΩ)를 잠길 정도까지 넣는다. 초음파 추출기를 사용하여 30분씩 2회 추출한 후 멤브레인 필터(φ0.2 μm이하)로 여과한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기관성능시험

11000cc급 대형디젤엔진을 사용하여 엔진의 성능시험으로 엔진출력, 엔진토크, 연료소비량의 변화를 엔진 다이노에서 확인하였다. 사용연료로는 바이오디젤 20%에 경유 80%를 혼합한 B20과 순수바이오디젤 B100 및 기본연료로 하였으며 모든 시험은 DOC 장착전·후로 구분하여 DOC에 의한 기관성능의 영향을 평가하였다.

3.1.1 기관 출력 및 토크

각 연료에 대해 엔진의 작동범위를 정하고 회전속도에 따라 전 부하 토크와 파워를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

그림에서와 같이 출력과 토크에 대한 경향을 파악하기위해 기본연료에 DOC 장착 전·후와 바이오디젤 B100 및 B20에 DOC를 장착한 후 시험하였다.

출력과 토크는 기본연료인 경유에 비해 바이오디젤 B100과 B20에 다소 감소하는 결과를 보여주고 있다. 출력은 최대토크점인 1400rpm 영역에서 다소 증가한 후 일정한 형태로 상승하며, 토크는 최대점인 1400rpm을 지나 완만하게 증가하는 것을 알 수 있다.

기본연료에 DOC를 장착전의 경우와 비교할 때 바이오디젤 20%의 경우는 약 4% 정도의 출력감소를 확인하였고 기본연료대비 바이오디젤 100%의 경우는 약 12%의 출력감소 및 토크감소를 보

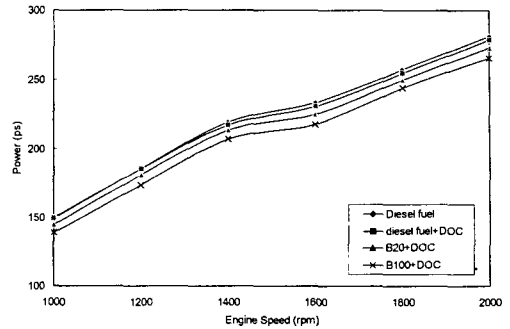


Fig. 2 Engine power test results (with DOC & without DOC)

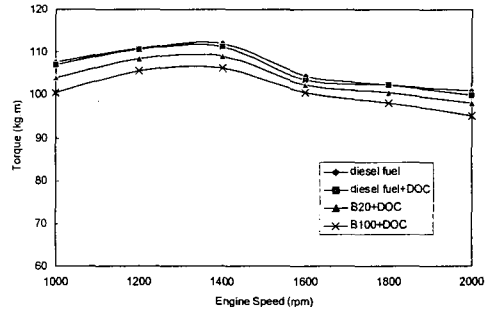


Fig. 3 Engine torque test results (with DOC & without DOC)

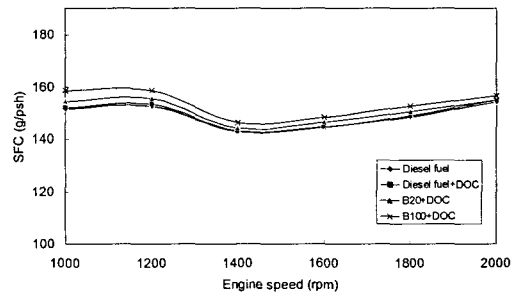


Fig. 4 BSFC test results (with DOC & without DOC)

여주고 있다.

바이오디젤은 합 산소 연료이므로 착화성이 좋고 세탄가가 높아 보다 안정적인 연료라 할 수 있지만 바이오디젤 100%인 연료는 경유에 비해 바이오디젤은 합 산소 연료이므로 착화성이 좋고

세탄가가 높아 보다 안정적인 연료라 할 수 있지만 바이오디젤 100%인 연료는 경유에 비해 발열량이 낮기 때문에 보다 큰 출력감소를 나타낸다.

Fig. 4는 연료소비율을 나타내며 기관토크 및 출력과 비슷한 경향을^(6,7) 보여주고 있다.

바이오디젤 B20은 기본연료와 비교하여 약 3% 정도로 증가되었지만 연료소비율이 가장 높은 바이오디젤 B100은 기본연료와 비교할 때 약 12%의 연료소비율 증가를 가져왔다.

또한 바이오디젤은 연료의 점성이 커서 관통력은 좋지않지만 무화가 잘되지 않고 경유에 비해 발열량이 낮기 때문에 연료소비율이 증가 된 것으로 판단된다.

3.1.2 배출가스 특성시험

(1) 일산화탄소

Fig. 5와 같이 디젤연료, B20% 및 B100%를 DOC 장착 전·후로 구분하여 CO배출량을 비교하여 나타내었다.

DOC장착 전에 디젤연료에 비해 B20% 및 B100%는 뚜렷한 감소경향을 나타내지만⁽⁷⁾ DOC장착후의 각각의 연료는 다소 변화가 적음을 알 수 있다. DOC 장착전의 비율은 디젤연료대비 바이오디젤 20%는 CO가 17% 저감되었고 바이오디젤 100%의 경우는 CO가 45% 저감되었으며 그 원인은 산소함량의 증가에 의한 것으로 판단된다. 또한 DOC 장착전·후를 비교하면 기준연료인 디젤연료대비 DOC장착 후의 디젤연료는 77%가 저감되었고, B20의 경우는 82%, B100의 경우 92%가 저감된 것으로 나타났다. 이러한 결과를 B20과 B100에서 DOC 장착전·후로 나누어 비교해 보면 B20의 경우 79%. B100의 경우는59%로 나타났으며 DOC를 장착할 때 각 연료의 배출가스가 감소하는 주요원인은 촉매의 산화작용에 의한 것으로 판단된다. 또한 B20에 비해 B100에서 CO배출가스가 감소한 것은 B100의 경우 이미 CO발생량이 적기 때문에 DOC의 산화할 부분도 그만큼 적어진 것으로 보인다.

(2) 탄화수소

Fig. 6은 디젤연료, B20 및 B100을 DOC 장착 전·후로 구분하여 HC배출량을 비교하여 나타내었다. HC의 경우는 CO와 동일한 경향을 보이며 DOC장착전의 비율은 디젤연료대비 B20 적용시

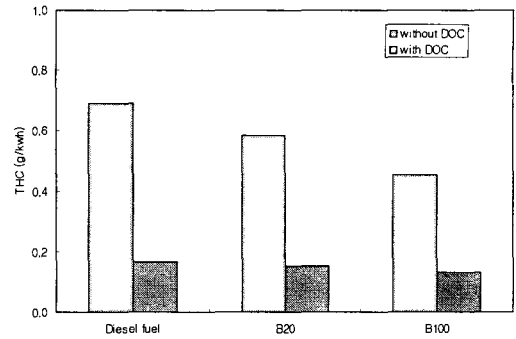


Fig. 5 Comparison of CO emission from D-13 mode(with DOC & without DOC)

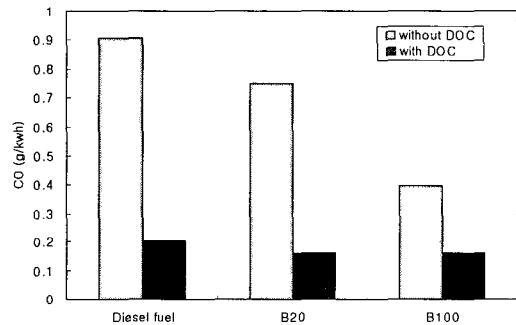


Fig. 6 Comparison of THC emission from D-13 mode(with DOC & without DOC)

CO가 15% 저감되었고 B100의 경우 35%가 저감되었다.

또한 DOC 장착 전·후를 비교해 보면 기준 연료인 디젤연료대비 DOC 장착후의 디젤연료는 75%나 저감되었고, B20의 경우는 78%, B100의 경우는 81% 저감되었다. HC 배출 가스는⁽⁴⁾ CO배출가스와 매우 유사한 경향을 보인다. HC는 미연소된 배출 가스가 냉각된 실린더 벽면 근처에서 화염을 형성할 때 좁은 소염영역을 생성하지만 CO는 부분적으로 연소된 연료인 점이 다소 차이가 있다.

그러나 바이오디젤은 함 산소 연료이므로⁽⁷⁾ 연소실내에서 CO나 HC의 배출가스 함량을 저감시킬 뿐만 아니라 연소과정을 안정화 시킨다는 것을 알 수 있다.

(3) 질소산화물

Fig. 7은 DOC장착전·후의 경유, B20, B100%에 대한 NOx배출량을 나타낸 것이다.

NOx의 경우는 DOC장착 전·후를 비교하면, 배출가스저감 효과는 거의 없었으며, B20은 경유 대비 4% 증가하였고, B100은 12% 증가하였다.

바이오디젤은 착화지연이 길어져 착화직후의 열 발생량이 증가하여 연료중의 산소함량과 함께 NOx 발생량이 증가함을 알 수 있었다.

또한 바이오디젤의 함량 증가는 산소함량을 증가를 초래하며, 따라서 NOx 발생량이 증가하는 경향을 보인다.

일반적으로 바이오디젤을 적용하면 같은 시험 조건에서 디젤연료에 비해 밀도가 높기 때문에 연료펌프의 분사압력이 증가하여 연료분사 시기가 빨라진다.⁽⁵⁾

(4)입자상물질

Fig. 8은 DOC 장착전·후의 경유, 바이오디젤의 입자상물질 배출가스 특성을 나타낸 것이다.

DOC를 장착하지 않았을 때 입자상물질 감소율을 보면 경유대비 B20이 18%, B100이 47%의 감소를 보였다. 또한 DOC를 장착했을 때 장착전 대비 오히려 디젤유는 15% 정도 입자상물질이 증가하였고, B20은 26%, B100은 57%가 감소하였다. 따라서 바이오디젤함량을 증가시키면 황함량은 감소하고 산소함량은 증가되므로 전체PM은 감소 경향을 보인다.

3.2 미량유해물질의 영향

Fig. 9는 경유와 바이오디젤 적용시 SOF와 황산염, soot상물질인 카본함량을 D-13모드에서 측정한 결과를 DOC장착전·후로 하여 나타내었다.

DOC장착후의 카본함량은 장착전 대비 줄어드는 경향을 보이지만, 경유에 DOC를 장착하면 PM이 더욱 증가하는 현상을 볼 수 있으며⁽⁸⁾ 이는 배출가스 온도상승에 따른 황산염(sulfate)의 증가로 인해 전체 PM배출량도 함께 증가하게 된 것이다.

그러나 B20 적용시 SOF 함량은 경유대비 35% 증가하였지만, 탄소가 57% 감소하였으므로 전체 PM은 경유대비 18% 감소함을 알 수 있다.

또한 B20에 DOC를 장착하면 SOF의 정화율이 높아져서 경유대비 26%의 감소를 보인다.

특히 B100을 적용하면 경유대비 PM이 47%감소하였고 DOC를 장착하면 57%의 감소를 보였다. 그 이유는 DOC적용시 Fig. 9와 같이 바이오디젤 량이 증가할 때 카본함량과 SOF 감소로 전체 입자상물질이 감소하기 때문이다.

3.3 엔진부하에 따른 입자상물질 배출가스특성

B100과 바이오디젤 20%와 일반경유 80%인 B20을 이용하여 엔진부하조건에 따라 PM이 엔진에 미치는 성능을 확인하였다.

입자상물질의 전체적인 경향을 확인하기위해 연료중 바이오디젤 0%와 50% 시험을 B100 및 B20과 함께 수행하였다. 부하조건은 최대부하인 100%와 부분부하인 20% 조건을 적용하였으며 엔진최대 파워와 토크점인 1400rpm 기준에서 필터의 온도를 52℃에 맞추어 시험하였다.

그 시험결과는 Fig. 10과 같이 나타내었다.

100% 부하 조건에서 바이오디젤의 함량을 증가시키면 입자상물질이 감소하는 경향을 보이고 있으며 연료 중 바이오디젤 함량을 확인하면 바이오디젤 20%일 때 10% 감소, 바이오디젤 50%이면 35%감소, 바이오디젤 100%이면 55%

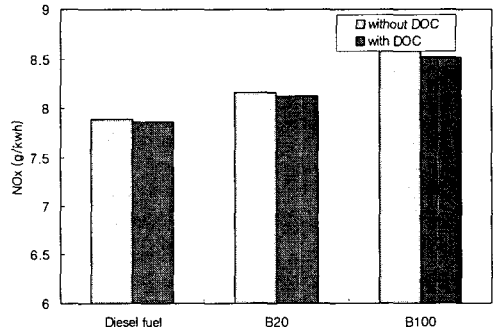


Fig. 7 Comparison of NOx emission from D-13 mode (with DOC & without DOC)

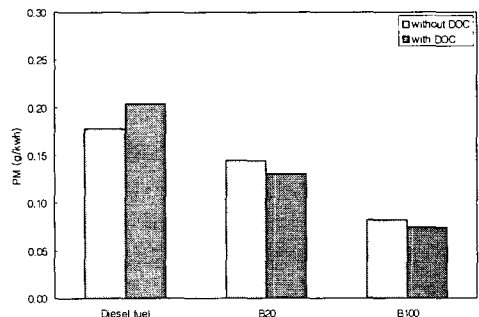


Fig. 8 Comparison of PM emission from D-13 mode (with DOC & without DOC)

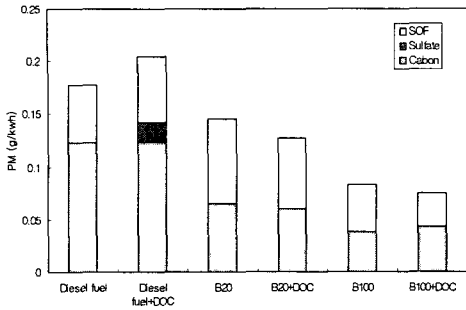


Fig. 9 SOF, Sulfate, Carbon from D-13 mode

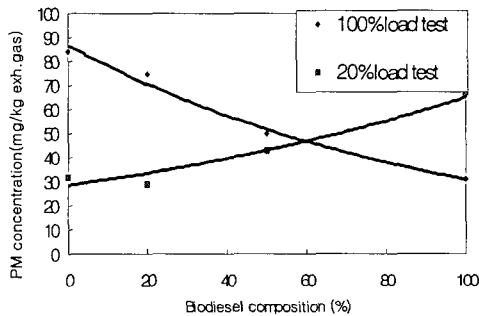


Fig. 10 PM concentration via Biodiesel composition

감소⁽¹⁾를 나타내었다.

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

그 이유는 바이오디젤이 함산소 연료이므로 100% 부하는 20%부하보다 연료량이 증가하여 산소부족을 초래할 수 있으나, 바이오디젤함량의 증가로 산소량을 보충하여 비교적 높은 온도에서 완전연소를 통한 입자상물질의 감소를 기대 할 수 있다.

그러나 바이오디젤은 20%부하조건은 낮은 온도조건으로써, 미연소가스에 의한 HC량이 100% 부하조건보다 증가하며 바이오디젤의 특성인 저휘발성⁽¹⁾에 의한 분석결과에 의해 HC량의 증가로 인한 SOF 함량이 함께 증가하므로 Fig. 10과 같이 전체입자상물질도 바이오디젤 함량증가에 따라 함께 높아지는 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

(1) DOC 장착후의 바이오디젤을 DOC 장착전

의 기본연료와 비교할 때 엔진출력 및 토크가 기본연료대비 B20은 4% 감소, B100은 12% 감소되었다.

(2) DOC 장착전을 기준으로 기본연료대비 CO와 HC 배출가스 특성은 B20은 15~17%, B100은 25~35% 저감되었고, NOx의 경우는 B20이 4%, B100이 12%증가 그리고 PM은 B20이 18%, B100이 47% 저감되었다.

(3) DOC장착 후를 기준으로 기본연료대비 CO와 HC 배출가스 특성은 DOC 장착전 연료대비 기본연료는 75~77%, B20은 80~82%, B100은 84~92% 저감되었고, NOx의 경우는 기본연료 대비 B20이 3.5%, B100이 12% 그리고 PM은 B20이 26% B100이 57% 저감되었다.

(4) 미량 유해물질 중 전체 PM은 기본연료에 DOC를 장착하면 증가하는 경향이있고 B20의 경우는 기본연료대비 DOC 장착전·후에 18~26%, B100은 47~57% 저감되었다.

(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 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- (1) David Y. Chang and Jon Van Gerpen, 1998, "Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions From Diesel Engines Fueled With Biodiesel," SAE 982527.
- (2) Jason Munson, Barry Hertz, Ajay Dalai and Martin J. Reaney, 1999, "Lubricity Survey of Low-Level Biodiesel Fuel Additives Using the 'Munson Rocle' Bench Test," SAE 1999-01-3590.
- (3) Mike Parry, Herman F. George and Julie Edgar, 2000, "Understanding Soot-Mediated Oil Thickening: Rotational Rheology Techniques to Determine Viscosity and Soot Structure in Peugeot Xud-11 Bte Drain Oils," SAE 2000-01-1967.
- (4) Charles L. Peterson and Jeffrey S. Taberski,

- 1999, "Using Biodiesel in Yellowstone National Park-Final Report of the Truck in the Park Project," SAE 1999-01-2798.
- (5) Cardone, M., Prati, V. M., Vittorio Rocco and Senatore, A., 2000, "A Comparative Analysis of Combustion Process in D. I. Diesel Engine Fueled With Biodiesel and Diesel Fuel," SAE 2000-01-0691.
- (6) Ryu, K. H. and Oh, T. Y., 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.
- (7) Man J. Park, 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.
- (8) Doo S. Baik, Man J. Park. 2004, "Emission Characteristics in The Application of ULSD, Biodiesel and DOC in Heavy Duty Diesel Engine," *Trans. of the KSME B*, Vol. 28, No. 1, pp. 52~58.