

배출가스 및 DOC에 대한 바이오디젤과 ULSD의 동시 적용효과

박 만 재* · 백 두 성

국민대학교 자동차전문대학원

The Effect of Simultaneous Application with Biodiesel and ULSD on Exhaust Emissions and DOC

Man Jae Park* · Doo Sung Baik

Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 3 May 2003 / Accepted 23 December 2004)

Abstract : To comply with stringent exhaust emission standards, it is necessary to reserch on some better quality of automotive fuels. Sulfur in fuels is sulfur compound by DOC and then it caused to the increase of PM on the surface of the catalyst. This research is focused on diesel emission characteristics and poisoning effect on Diesel Oxidation Catalyst when Ultra Low Sulfur Diesel(ULSD) and biodiesel are applied simultaneously. The biodiesel is used to improve viscosity of fuel specially in fuel injection system of engine since the introduction of ULSD may degrade viscosity in the process of desulfurization. Furthermore, this study may provide some basic data for the design of emissions reduction technology.

Key words : Biodiesel(바이오디젤), Desulfurization(탈황), DOC(디젤산화촉매), PM(입자상물질), Poisoning effect(피독), ULSD(초저유황유), Viscosity(점성)

1. 서 론

디젤자동차에서 배출되는 PM과 NOx를 줄이기 위해 미국, 유럽, 일본 등에서는 후처리 장치(aftertreatment technology)의 적용을 적극 추진 중에 있으며, 이러한 장치는 배출가스 제어기술을 통해 활발히 전개되고 있다.¹⁾ 배출가스 제어장치는 운전 조건, 엔진의 특성, 후처리 장치의 기본성능, 촉매특성 등에 따라 다양한 조건을 고려하여야 하므로 실제 개발에 많은 어려움이 있는 실정이다. 또한 배출가스 제어를 위해 선행되어야 할 조건은 연료 중 황 함량 감소²⁾를 통해 후처리 장치의 내구성을 확보하여야 하므로 이러한 조건을 만족시키기 위해 본 논

문에서는 디젤산화촉매(DOC: diesel oxidation catalyst)에 초저유황유(ULSD: ultra low sulfur diesel)와 바이오 디젤을 적용하여 배출가스 저감 및 엔진 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

후처리 장치로서 디젤산화촉매는 PM의 저감효율은 낮지만, PM성분 중 용해성 유기물(SOF : soluble organic fraction)의 저감 가능성이 가장 큰 기술로 이를 최대한 줄여야만 황산염의 생성이 억제될 수 있다.²⁾ 또한 DOC장치에 ULSD를 적용하면 황에 의한 피독의 영향을 최대한 줄일 수 있기 때문에 ULSD와 DOC의 동시 적용에 의한 내구성 및 성능 향상을 위한 시험이 진행되고 있다.²⁾ 배출가스저감을 위해 디젤연료의 질적 향상이 필요함에 따라 ULSD 적용기술에 황 함량을 줄이려고 하는 정책이

*To whom correspondence should be addressed.
pwmj@hanmail.net

미국과 유럽에서 장, 단기기적인 계획 하에 진행 중이며, 적은 설비투자로 현재의 탈황기술을 더욱 발전 시켜야 하는 과제를 안고 있다.²⁾ 또한, 청정연료로 알려진 바이오 디젤은 유럽과 미국 등지에서 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 이것은 환경을 고려한 연료일 뿐만 아니라 대중의 건강을 고려한 연료로 평가되고 있다.^{3,4)} 바이오 디젤은 대체에너지로서 엔진의 개량 없이 디젤엔진에 직접 적용할 수 있는 장점이 있고, CO, HC, 황, 다환방향족(PAH : polycycle aromatic hydrocarbon), PM 등을 근본적으로 감소시킬 수가 있다.⁵⁾ 현재 적용중인 바이오 디젤은 경유와 바이오 디젤의 비율을 8:2로 혼합한 혼합유를 가장 많이 사용되며, 순수 바이오 디젤 100%에 대해서도 많은 연구가 진행 중이다.^{5,6)} 바이오 디젤은 합산소 연료로서 고체 탄화물질을 줄이고 황분율을 감소시키는데 효과가 있지만, 근본적으로 SOF를 감소시키지는 못하기 때문에 이를 저감하기 위해서는 필연적으로 DOC를 적용하여 배출가스를 제어할 필요가 있다.⁷⁾

따라서 본 논문에서는 황함량을 최대한 감소시킨 연료인 ULSD와 바이오 디젤을 함께 적용하여 DOC 장착 전, 후를 통한 배출가스 특성을 비교 평가하고, ULSD 적용시 황함량의 감소에 따른 연료의 점성저하로⁸⁾ 엔진성능에 미치는 영향을 확인하기 위해, 바이오 디젤을 혼합 적용하여 점성에 대한 영향을 평가함으로써 DOC실용화의 가능성을 파악하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험엔진

실험엔진은 국내에서 생산, 제작되어 시내버스,

Table 1 Specifications of test engine

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

Table 2 Specification of test DOC

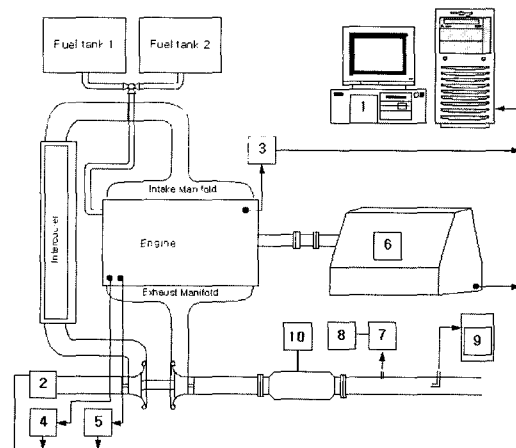
Items	Specifications
Dimension (mm)	229×152
Catalyst	Pt
Pt loading (g/ft ³)	40
Washcoat	Ti-Si

대형트럭 등에 가장 많이 탑재하여 사용되고 있는 디젤엔진을 사용하여 수행하였다. Table 1과 Table 2는 실험에 사용된 엔진과 DOC장치의 제원을 나타낸 것이다.

2.2 실험장치

디젤엔진에서 DOC를 장착하여 기본연료는 연료탱크A에 ULSD와 바이오 디젤은 연료탱크B에 넣어 3방향밸브를 통해 공급하였으며 전체적인 시험개략도는 Fig. 1과 같다. Table 3에서는 연료의 성분을 나타내었다.

실험에 사용한 연료는 기본연료인 기존의 500ppm의 경유, ULSD는 15ppm의 저유황유, B20은 기존경유80%와 바이오디젤20%를 혼합한 혼합유 및 ULSD+B20은 ULSD80%와 바이오디젤20%를 혼합한 혼합유를 사용하였으며, Table 3과 같이 각각



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 emission measuring apparatus

Table 3 Properties of test fuel

Item of test	Standard	Result of test				
		Base fuel 500ppm below	ULSD 15ppm below	Bio diesel 20%	ULSD +B20	Bio diesel 100%
Flash point (PM, °C)	40 above	59	65	90	71	140
Pour point (°C)	0.0 below	-7.5	-25.0	-15	-21	-5
Distillation 90% (°C)	360 below	350	333	360	338	370
Carbon residue on 10% residue (%)	0.15 below	0.01	0.01	0.01	0.01	0.009
Ash (%)	0.02 below	under 0.01	under 0.01	under 0.01	under 0.01	above 0.001
Viscosity (40°C, cst)	1.9~5.5	2.9	2.5	3.0	2.7	4.12
Sulfur content (ppm)	0.05 below	390ppm	13ppm	30ppm	13ppm	10ppm
Cetane index	45 above	51	57	46	53	47.5
Low heating value(MJ/kg)	-	43	45	42	44	40

의 연료의 바이오디젤과 ULSD의 물성을 나타내었다.

또한 엔진동력계는 전기식 동력계(nedd-14H Type, NISHI-SIBA Co.)를 사용하였고, 동력계의 시험오차는 5%이내이다. 디젤엔진 배기 측정장치(Horiba Co., MEXA-9100D)는 디젤엔진의 배출가스 중 CO, THC 및 NOx를 분석할 수 있는 장비로써, CO와 THC 및 NOx의 측정원리는 비분산적외선분석법(NDIR;nondispersive infrared) 가열식불꽃이온화검출기법(HFID; heated flame inoization detector) 및 화학발광법(CLD;chemiluminescence detector)을 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 엔진성능시험

엔진성능 시험은 엔진부하율을 100%에 맞추어

1000 rpm~2000 rpm에서 200 rpm씩 변화시키면서 운전조건별로 연료소비율, 엔진출력, 배출가스온도 및 흡기온도를 3분 동안 안정시킨 상태에서 30초 동안 안정된 데이터를 수집, 산술평균 하여 측정·분석하였다.

2.3.2 배출가스성능 시험

국내 대형디젤엔진의 배기 규제모드인 D-13을 선정하여 CO, THC 및 NOx를 측정하였으며, 그 운전조건은 Table 4와 같다. CO, THC 및 NOx의 측정값은 컴퓨터에 초당 자동 입력되고 기록계를 통해 자동 기록되도록 하였다.

Table 4 Driving condition of D-13 mode

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

※ 1) Intermediate speed ; engine speed of maximum engine torque (60% engine speed)

2) Rated speed ; maximum engine speed

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 엔진성능시험

11,000 cc 대형 디젤엔진에서 엔진의 토크, 출력 및 연비에 대한 결과를 디젤산화촉매장치(DOC)를 적용 및 미적용으로 구분하여 현재 국내시판용 경유를 기준으로 유황 함유량이 많은 기준연료(Base-fuel)와 유황 함유량이 적은 ULSD(15 ppm), B20 및 ULSD+B20의 연료를 사용하여 각각의 경우에 대해 시험한 결과를 나타내었다.

3.1.1 연료의 점성과 연비

디젤연료의 점성은 분사 노즐에 있는 연료의 분

무특성을 고려하는 데 필요한 성질이다. 점도가 낮으면 연료의 분산성이 좋고 미립화가 촉진되며, 또한 연소성도 좋아진다. 점도가 지나치게 낮으면 분사펌프의 윤활불량 현상이 생기고 분산력이 약해져, 실린더 내에 균일 분포성이 떨어지며, 연소상태가 불량해 질 수 있다. 그러나 점도가 지나치게 높으면 분무 액적이 비교적 크기 때문에 불완전연소를 일으켜 연료소비율 및 배기배출물이 증가하고 열효율이 저하 될 수 있다.⁸⁾ ULSD적용은 지나친 황성분의 감소로 연료의 점도가 떨어져 연료의 윤활불량 및 분산력 약화에 의해 기관출력 및 연비 감소에 영향을 줄 수 있다.⁹⁾

Table 3과 같이 B20은 점도가 3.0이고 기본연료는 점도가 2.9로서 기본연료와 B20은 점도차이가 거의 없기 때문에 디젤 인젝터 노즐로 분사할 때 디젤연료와 거의 같은 경향을 보인다. 그러나 두 연료는 발열량의 차이로 B20이 기본연료보다 기관출력 및 연비가 미세하게 감소하는 것을 Fig. 2, 3, 4를 통해서 알 수 있다. 또한, ULSD는 점도가 2.5로서 B20에 비해 0.5정도의 점도차이로 두 연료에 의한 윤활성은 B20이 양호하지만 발열량은 ULSD가 양호한 것으로 나타나 윤활성과 발열량이 상관관계에 있는 것을 알 수 있었다. ULSD+B20은 2.7정도의 점도를 가지며 B20보다는 조금 낮고 ULSD보다는 조금 높은 경향을 보여 기본연료보다는 다소 저하된 결과를 보였다.

그리고 ULSD와 바이오디젤을 혼합하여 ULSD의 윤활성 불량을 보완하기 위해 점도가 큰 바이오디젤을 함께 적용하였다.

3.1.2 엔진출력 및 토크

Fig. 2와 Fig. 3은 DOC를 장착하지 않았을 경우에 엔진출력과 토크의 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 엔진의 출력과 토크는 경유에 비해 ULSD와 B20에서 다소 감소되는 결과를 보여주고 있다. DOC를 장착하지 않았을 경우, 기존연료보다 ULSD는 저속에서 1.3%, 고속에서 2% 정도의 출력 감소를 나타내었고, B20의 경우는 저속에서 약 3.5%, 고속에서 3%정도의 출력감소를 나타내었다. ULSD는 발열량이 45, 기존경유가 43으로 ULSD가 발열량이 크지만, 출력이 감소하는 원인은 ULSD의

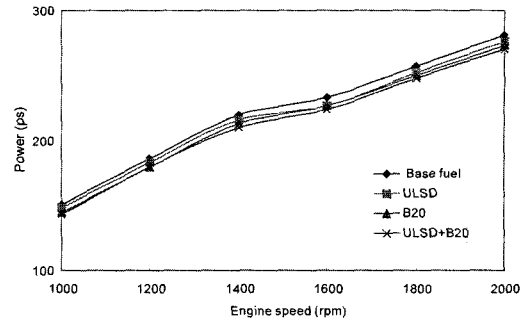


Fig. 2 Engine power test results (without DOC)

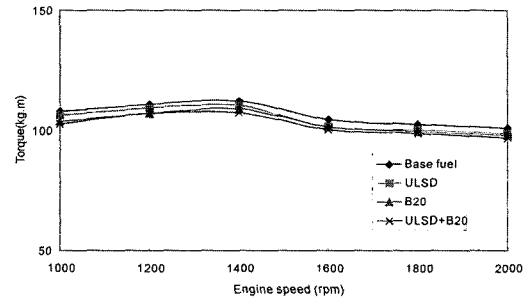


Fig. 3 Engine torque test results (without DOC)

윤활성부족 및 점도에 의한 원인으로 분석된다. 또한 B20의 경우는 점도가 3.0, 발열량이 42로서 ULSD보다는 발열량이 낮고, 점도가 커서 출력적인 측면에서 미세한 차이가 있지만 거의 무시할 만한 수준이다.

엔진출력감소 요인은 일반 상용경유보다 ULSD는 세탄가가 높아 연소조건은 향상되지만, 탈황과정에서 연료의 점성이 떨어져, B20과 기본연료에 비해 엔진의 윤활성에 영향을 미치는 것으로 보여진다.⁹⁾

바이오 디젤 20%와 ULSD 동시 적용(ULSD+B20)시 출력감소율이 4.5%이며, 이는 ULSD사용에 따른 연료내 점도저하에 따른 엔진의 출력 및 토크 감소를 바이오 디젤이 윤활성을 보충함으로써 감소분을 상쇄시키는 결과를 보였다.⁷⁾ 이는 B20을 적용하는 경우의 출력감소와 동일한 수준으로 ULSD와 함께 적용시 엔진성능감소의 폭이 적음을 알 수 있다.¹⁰⁾

Fig. 4와 Fig. 5은 DOC를 장착하였을 경우의 엔진 출력 및 토크의 결과를 나타내었다.

DOC를 장착하였을 경우 경유보다 ULSD는 약

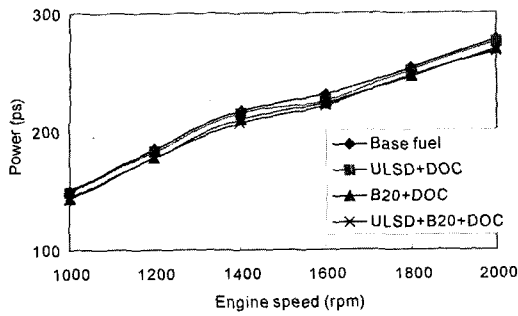


Fig. 4 Engine power test results (with DOC)

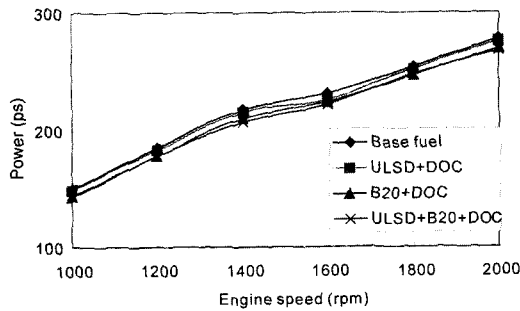


Fig. 5 Engine torque test results (with DOC)

2.5% 정도의 출력이 감소되고, B20의 경우는 약 4%의 출력감소를 확인하였다. 바이오 디젤 20%와 ULSD를 함께 적용하면 5%의 출력감소를 보여 두 연료의 절대량 감소보다 작은 값을 나타내는 것으로 보아 바이오 디젤의 유효성이 향상된 것으로 보여진다.⁶⁾

3.1.3 연료소비율

Fig. 6과 Fig. 7은 DOC장착 유무에 따른 연료소비율의 변화를 보여주고 있다. 엔진성과 마찬가지로 미소한 변화폭을 보여주고 있으며 DOC를 장착하지 않았을 때 경유연료 대비 ULSD의 연료소비율

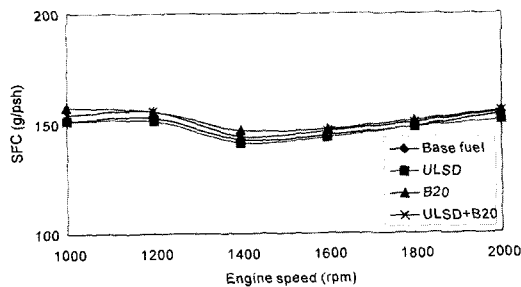


Fig. 6 BSFC test results (without DOC)

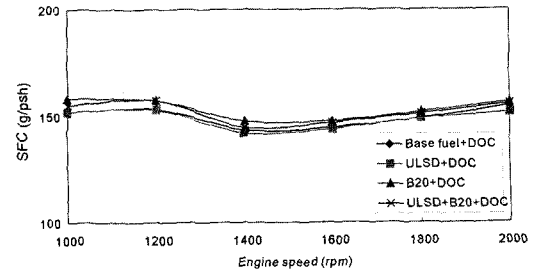


Fig. 7 BSFC test results (with DOC)

은 약 1% 정도 저감되었고 B20은 약 2~3% 정도 증가됨을 알 수 있다. 또한 ULSD와 바이오 디젤을 함께 적용하면 1~2% 정도 증가되어 비례적인 증가를 확인할 수 있다. ULSD를 적용시 기본사양대비 연료 소비율이 향상되는 이유는 연료의 관통력은 작지만 연료의 무화가 촉진되어 엔진효율이 향상되는 것으로 판단된다.⁷⁾

3.2 배출가스성능계측

대형 디젤엔진에서 경유 대비, ULSD(15 ppm), 바이오 디젤(B20) 그리고 15 ppm ULSD 80%와 순수 바이오 디젤 20% 혼합한 연료(ULSD+B20)를 사용하여 D-13모드와 단일모드에서 배출가스특성을 실험한 결과 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

3.2.1 일산화탄소 배출물

Fig. 8은 경유와 ULSD와 바이오 디젤을 함께 혼합했을 때 DOC장착 전·후의 CO배출량을 비교해서 나타낸 것이다. DOC를 장착했을 때와 장착하지 않았을 때를 비교하면 경유의 경우 77.5% 저감되었으며 ULSD의 경우 79% 정도 저감되었다. 또한, B20의 경우는 82% 이상의 저감율을 보였고 바이오 디젤과 ULSD를 동시에 적용(ULSD+B20)하면 86.4% 저감됨을 확인할 수 있었다.

각각의 경우의 CO저감 비율은 각 연료에 대해 비례적인 감소율을 나타내었다. 이와 같은 결과는 디젤엔진에서 연소시 CO는 산소부족으로 연료의 불완전연소로 발생하는 것이므로 혼합산연료인 바이오 디젤과 황함량의 감소에 따라 세탄지수가 향상된 ULSD는 연소시 연소조건이 향상되었기 때문으로 분석된다.^{7,8)}

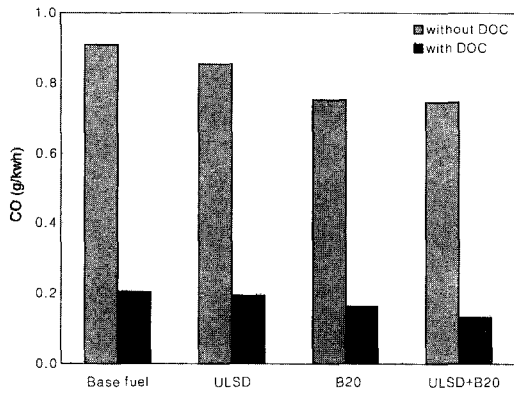


Fig. 8 CO emissions for D-13 mode (with DOC & without DOC)

3.2.2 탄화수소 배출물

Fig. 9는 DOC 장착 전·후에서의 경유, ULSD, ULSD+B20의 경우의 HC경향을 비교하여 나타낸 것이다. DOC를 장착했을 때 경유는 76%, ULSD의 경우 81%정도의 저감을 보였고 B20의 경우 81.2% 정도의 저감을 확인할 수 있었으며 ULSD+B20의 경우는 약 81.6%정도 저감되었다.

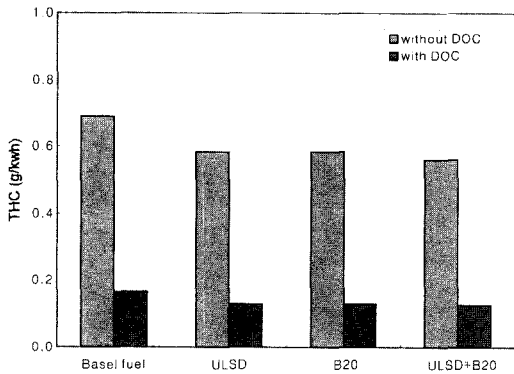


Fig. 9 THC emissions for D-13 mode (with DOC & without DOC)

3.2.3 질소산화물

Fig. 10은 DOC장착 전·후에서의 경유, ULSD, B20 및 ULSD+B20의 경우의 NOx 배출경향을 나타낸 것이다. DOC를 장착한 경우에는 DOC를 장착하지 않은 경우와 비교해서 경유에서는 0.4%, ULSD는 1% 정도 저감되어 거의 변화가 없었으며, B20의 경우는 약 3%정도 증가되었다. 또한, ULSD+B20의

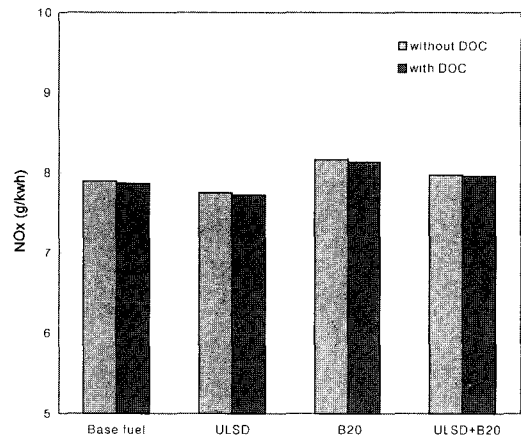


Fig. 10 NOx emissions for D-13 mode (with DOC & without DOC)

경우에는 약 1%정도의 증가를 보였다. 일반적으로 NOx는 사용연료에 따른 DOC장착에 대해 거의 영향이 없었다.

3.2.4 입자상물질

Fig. 11은 DOC 장착 전·후에서의 경유, ULSD, B20 및 ULSD+B20 경우의 PM의 배출경향을 비교한 것이다. DOC장착에 따른 PM의 감소경향은 기본연료대비 경유는 15%증가하였고, ULSD는 37% 정도가 감소하였으며, B20은 약 26%정도 저감되었다. 또한, ULSD+B20의 경우는 기본연료와 비교하여 약 43% 정도 저감되는 것을 알 수 있었다.

특히, PM함량은 기본연료인 고유황과 ULSD를 비교하면 약 20% 저감되었는데, 이는 저유황 사용에 따라 유황함량 저하에 따른 HC생성의 감소와 SO2양의 감소로 결국 황 생산을 억제하여 PM이 감소한 것으로 보여진다.^{7,10)}

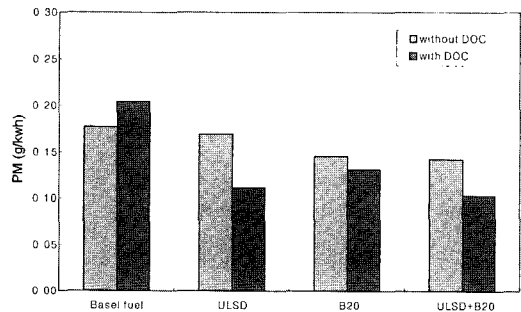


Fig. 11 PM for D-13 mode (with DOC & without DOC)

4. 결론

1) 디젤산화촉매를 장착했을 때와 하지 않았을 때 엔진성능은 ULSD 적용 시 일반연료와 비교하여 다소 출력저감을 보였으나 연료소비량에 있어 약간의 향상을 보였고, B20의 경우는 엔진출력이 기본연료와 비교하여 다소 감소하며 연료소비율은 다소 증가하였다. 바이오 디젤과 ULSD 80%를 함께 적용하면 출력저감이 절대량의 감소보다 작은 값을 나타내는 것으로 엔진성능의 변화는 적음을 알 수 있었다.

그러나 이러한 시험결과는 엔진동력계의 시험오차 범위인 5%이내이므로 시험에 정밀도가 요구된다.

2) 디젤산화촉매를 장착하지 않았을 때, 일반연료에 비하여 PM은 5%의 저감효과가 있었으며, 특히 바이오 디젤은 PM이 18.3%의 저감되며, CO와 HC도 6~17% 저감효과를 보였다. ULSD와 바이오 디젤을 동시에 적용(ULSD+B20)하면 더욱 효과 커져 PM은 20% 저감, CO와 HC의 저감은 약 20% 정도를 나타냄을 알 수 있었다.

3) 디젤산화촉매 장착 후의 배출가스특성은 바이오 디젤에서 PM이 26% 정도의 저감효과가 있었으며, ULSD에서는 PM은 37% 저감되며, CO와 HC도 80% 이상의 저감효과를 보였다. 특히 ULSD와 바이오 디젤을 동시에 적용(ULSD+B20)함으로써 PM 저감율은 43%정도 저감됨을 알 수 있고 CO나 HC 저감율은 80~85%로 우수함을 알 수 있었다.

4) 상기 시험결과로부터 ULSD나 바이오 디젤을 사용할 때 DOC의 실용화가 가능한 동시에 매연저감효과에 많은 영향을 미칠 것으로 보여 진다.

후 기

본 연구는 BK21지원사업의 일환으로 수행되었으며 도움을 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

References

- 1) M. Khair, D. L. McKinnon, "Performance Evaluation of Emission Control Technologies for Diesel Heavy-Duty Engines," SAE 1999-01-3564, 1999.
- 2) T. L. Daniels, P. N. Carlson, "The Effect of Diesel Sulfur Content and Oxidation Catalysts on Transient Emissions," SAE 961974, 1996.
- 3) O. Schroder, J. Krahl, A. Munack, "Environmental and Health Effects Caused by the Use of Biodiesel," SAE 1999-01-3561, 1999.
- 4) International Agency for Research on Cancer Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes, IARC Monographs, Vol.46, pp.41-185, 1989.
- 5) Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles, NREL/TP-580-24772, 1999.
- 6) C. A. Sharp, S. A. Howell, J. Jobe, "The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part 1 Regulated Emissions and Performance", SAE 2000-01-196, 2000.
- 7) T. L. Daniels, P. N. Carlson "The Effect of Diesel Sulfur Content and Oxidation Catalysts on Transient Emissions," SAE 961974, 1996.
- 8) B. S. Kim, N. Miyamoto, "A Study on Performance Characteristics of the Diesel Engine using High Viscous Oils by blending Low Boiling Point Oxygenates," Transactions of KSAE, Vol.11, No.4, pp.44-51, 2003.
- 9) S. K. Oh, D. S. Baik, Y. C. Han, "Emission Characteristics in Ultra Low Sulfur Diesel," International J. of Automotive Technology, Vol.4, No.2, 2003.
- 10) M. B. Sirman, E. C. Owens, K. A. Whitney, "Emissions Comparison of Alternative Diesel Engine," SAE 2000-01-2048, 2000.