

CR-DPF를 장착한 대형디젤기관의 기관 및 배출가스성능에 관한 실험적 연구

김미수*, 오상기⁺, 한영출⁺⁺

(논문접수일 2004. 8. 7, 심사완료일 2004. 9. 8.)

An Experimental Study on Performance and Exhaust Emission of a Heavy-Duty Engine with CR-DPF

Kim mi soo*, Oh sang ki⁺, Han young chool⁺⁺

Abstract

This research focused on the principle and the development of continuous regeneration DPF technology which was the best particulate matters removing technology of current existing technologies owing to its superior comparability and possible applicability. In addition, there were some discussions about the affecting engine parameters such as engine driving conditions and the amounts, velocity, temperature, pressure of exhaust emissions as well as sulfur contents and lubricants which were prerequisites to prevent poisoning effect on catalysts. The test was made on an 8000cc heavy-duty turbo diesel engine on which continuous regeneration DPF was installed in order to investigate regeneration characteristics of DPF and engine performance under the condition of standard or 50ppm low sulphur diesel. Exhaust emissions, CO, HC, NO_x, PM were measured and compared under D-13 modes.

Key Words : DPF(디젤입자상물질여과장치), Particulate matters(입자상물질), CO(일산화탄소), NO_x(질소산화물)

1. 서론

최근 지구온난화 및 오존층의 파괴 등 환경문제가 갈수록 심해짐에 따라 생태계파괴와 각종 질병을 유발시키는 유해물질에 대한 관심이 증대되고 있으며, 날로 심각해지는 환경문제를 줄이기 위해 다양한 기술개발과 선진국을 중

심으로 한 각종 규제가 강화되고 있다⁽¹⁾. 대기오염의 주요 요인으로 자동차배출가스에 의한 오염이 큰 비율을 차지하면서 주요 오염물질인 일산화탄소(Carbon monoxide), 탄화수소(Hydrocarbon), 질소산화물(Nitrogen oxide) 및 입자상물질 등에 의해 인체의 산소결핍, 폐기능 저하 및 대도시의 광화학스모그 등을 유발함으로써 심각한 문제를

* 국민대학교 자동차전문대학원 (chiakmi@hanmail.net)

주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

+ 국민대학교 자동차기술연구소

++ 국민대학교 기계/자동차공학부

발생시키고 있으며, 이산화탄소(Carbon dioxide)에 의한 지구온난화현상은 인류의 생존권을 위협하고 있다⁽²⁾.

이에 따라 자동차에 의한 국부적, 지역적 영향에 대해 파악하고 이 성분들을 분석·저감시키기 위한 연구가 선진국을 중심으로 활발히 진행중이다. 특히, 디젤차량의 배기가스 규제가 엄격한 유럽의 EURO IV수준을 충족시킬 기술로서 기존의 강제재생방식 DPF기술의 문제점인 급격한 재생과정에서 발생하는 열응력에 의한 필터파손 및 별도의 재생장치설치에 따른 효율성저하를 보완한 차세대 디젤후처리기술인 CRT(Continuously Regenerating Trap)가 효과적인 저감방안으로 대두되고 있다⁽³⁾. CRT의 캐니스터 내부에는 필터가 두개 설치되어 있으며, 전단의 백금산화촉매(Platinum-based oxidation catalyst)에서는 산화반응으로 NO를 NO₂로 변환시키며, CO와 HC도 저감시킨다. NO₂는 탄소입자가 250℃에서 산화할 수 있도록 작용하며 따라서 후단에 설치된 필터(Cordierite wall flow particulate filter)에 포집된 PM은 배출가스 온도가 250℃ 이상이면 연속 재생한다⁽⁴⁾. 따라서 본 연구에서는 배기량 8,000cc급 대형 터보디젤기관에 CR-DPF를 장착하고 일반디젤유 및 50ppm의 저황디젤유를 사용하여 장착 전·후의 기관성능을 측정하여 비교하였고, 배출가스 측정을 위해 현재 대형디젤기관의 배출가스 측정모드인 D-13를 선정하여 유해배출가스인 CO, HC, NO_x 및 PM의 배출량을 비교·검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험기관

실험기관은 국내에서 제작하여 차량용으로 사용하는 터

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Model	D1146T
Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Bore & stroke	111mm × 139mm
Compression ratio	16.7 : 1
Displacement	8,071 cc
Rated power	132kW / 2200rpm
Max. torque	696Nm / 1200rpm

Table 2 Specifications of CR-DPF

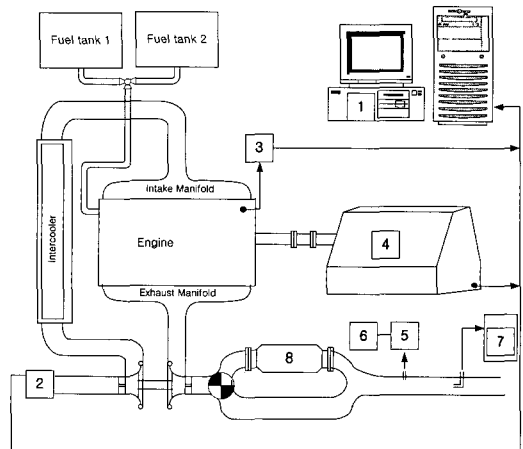
Type	Item	Specification
DPF	Type	Honeycomb monolith
	Form	Candle
	Quality	Ceramic fiber
	Standard	11.25" × 12"
	Collector quantity	66g
DOC	Item	Specification
	Dimension (mm)	229 × 152
	Catalyst	Pt
	Ptloading (g/ft ³)	40
	Washcoat	Ti-Si

보차저 디젤기관을 대상으로 하였으며, 주요 제원은 Table 1과 같다. Table 2는 본 연구에 사용된 CR-DPF의 제원을 나타내었다.

2.1.2 측정장치

(1) 대형기관 동력계

본 연구에 사용한 동력계는 250kW, EC형 기관동력계와



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

Fig. 1 Schematic diagram of experimental measuring apparatus

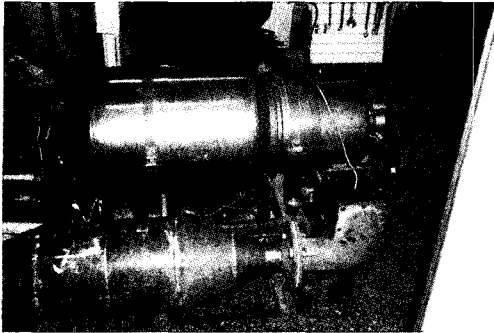


Fig. 2 View of equipped system

냉각수 온도 조절장치, 윤활유 온도 조절장치, 흡입공기 유량계, 연료 유량계, 압력센서 및 온도센서 등으로 구성하고 있으며, Fig. 1은 기관동력계를 비롯한 측정장치의 구성도를 Fig. 2는 CR-DPF를 각각 나타낸다.

(2) 배출가스 분석장치

디젤기관 배출가스 측정장치는 배출가스 중 CO, THC 및 NOx 를 분석할 수 있으며, CO는 비분산적외선분석법(NDIR : Nondispersive infrared), HC는 가열식불꽃이온화검출기법(HFID : Heated flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD : Chemiluminescence detector)을 사용하여 측정한다. 대형디젤기관의 입자상물질을 측정하기 위한 시료채취장치는 미니희석터널(MDT)을 사용한다. 이 장치는 배출가스의 일부를 채취하여 외부공기로 희석시킨 후 입자상물질을 테프론이 코팅된 유리섬유 여과지($\phi 70$)에 포집하는 장치이다. 여과지에 포집된 입자상물질의 무게를 측정하기 위해서는 $1\mu\text{g}$ 까지 측정 가능한 마이크로 밸런스를 사용한다.

2.2 실험방법

2.2.1 기관성능 실험

CR-DPF 장착에 따른 기관 성능 실험은 먼저 CR-DPF를 장착하기 전 베이스상태에서 일반디젤유와 ULSD에 대하여 기관부하율을 100%에 맞추어 1000rpm부터 2200rpm 까지 400rpm씩 변화시키면서 운전조건별로 연료소비율, 기관출력, 배출가스온도 및 흡기온도 등을 3분 동안 안정시킨 상태에서 60초동안 안정된 데이터를 수집·산술평균 하였으며 그리고 ULSD연료와 CR-DPF를 장착한 후에도 동일한 방법으로 기관성능을 측정·분석한다.

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

2.2.2 배출가스성능 실험

CR-DPF를 장착하기 전·후 우리나라 중량 디젤차량의 배출가스 규제모드인 D-13모드를 선정하여 저감장치 장착 전·후에 CO, THC, NOx 및 PM을 측정하며, 그 운전조건은 Table 3과 같다. CO, THC 및 NOx의 경우 컴퓨터에 초당 자동 입력되고 기록계를 통해 자동 기록하도록 하며, 기관의 배출가스 측정을 위한 배기관의 배기압은 $\pm 650\text{Pa}$ 가 넘지 않도록 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기관성능 실험

Fig. 3부터 Fig. 5까지는 CR-DPF 장착 전·후 100%부하

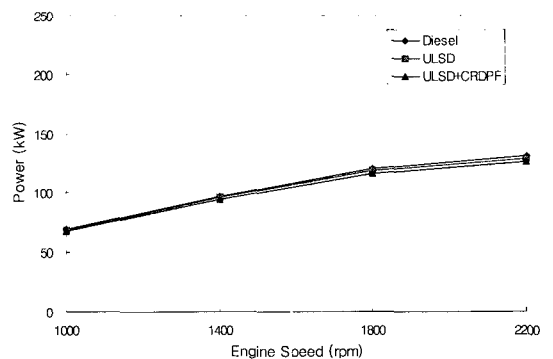


Fig. 3 The effect of CRDPF on engine power at 100% load

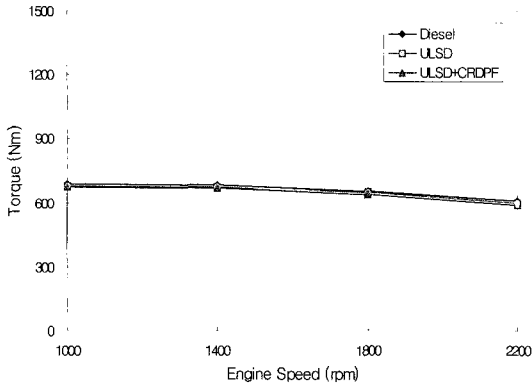


Fig. 4 The effect of CRDPF on engine torque at 100% load

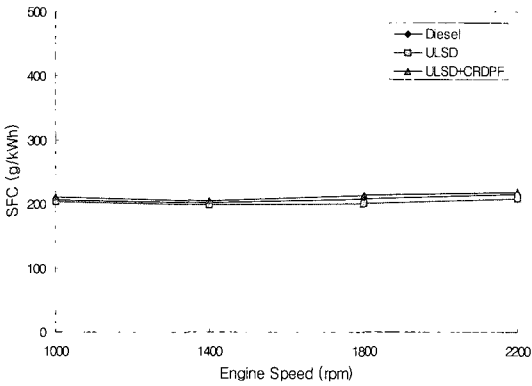


Fig. 5 The effect of CRDPF on engine SFC at 100% load

조건에서 기관회전수를 1000rpm에서 2200rpm까지 400rpm 씩 변화시킨 경우의 기관출력, 토크 및 연료소비율의 변화를 측정하여 나타낸다. 기관출력은 Fig. 3과 같이 일반디젤유와 ULSD를 비교했을 때 최고 1.5%의 출력저하를 보였고, 장치적용시 최고 3.8% 감소하며, Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 토크와 연료소비율의 감소폭도 아주 미소하여 배출가스 저감효과에 비추어 큰 영향은 미치지 않을 것으로 판단한다.

3.2 배출가스성능 실험

3.2.1 일산화탄소

Fig. 6은 CR-DPF 장착 전·후의 일산화탄소의 변화를 나타내며 실험의 객관성을 유지하기 위해 D-13모드를 4회 운전한 결과를 나타낸다.

디젤기관은 공기과잉상태에서 운전되므로 극부적인 공기

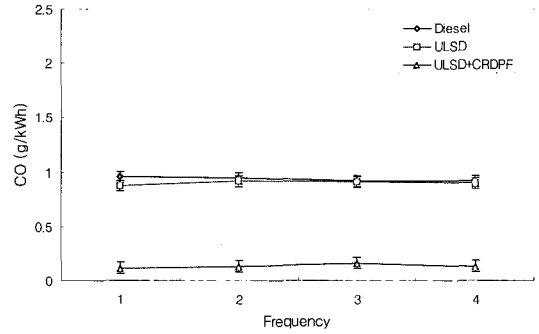


Fig. 6 The effect of CRDPF on CO emission characteristics obtained from four D-13 mode tests

부족상태에서 배출되는 CO의 배출량이 극히 미소하다. 직분식 대형디젤기관에서 CO의 배출특성을 보면 기관회전수 변화에 큰 영향을 받지 않으며, 부하율에 따라 큰 차이가 있어 저부하와 고부하에서 주로 배출된다.

3.2.2 탄화수소

Fig. 7은 대형디젤기관의 규제모드인 D-13모드로 4회 운전시 탄화수소의 배출가스 특성을 나타낸다. 일반디젤유와 저황디젤유를 사용할 때의 탄화수소 배출은 거의 비슷한 경향을 나타낸다. 이는 저황디젤유 사용에 따라 운할력감소로 인해 탄화수소가 증가한다는 연구논문결과와는 상이한 차이를 나타낸다. 그러나 실제 정유사에서 저황디젤유 제작시 이런 운할력감소부분을 보완하고자 첨가제를 첨가하여 시판하고 있기 때문에 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 이에 대한 고려가 필요하다. CR-DPF 장착시의 탄화수소는 일반디젤유 대비 최고 73% 감소하는 결과를 나타낸다. 이는 저감장치내 DOC에 의한 THC산화의 결과이다.

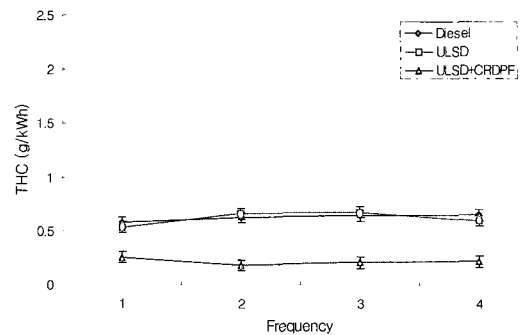


Fig. 7 The effect of CRDPF on THC emission characteristics obtained from four D-13 mode tests

3.2.3 질소산화물

Fig. 8은 본 연구에 사용한 터보대형디젤기관에 CR-DPF 장착 전·후에 D-13모드 운전조건하에서의 질소산화물 배출특성을 나타낸다. 일반디젤유와 저황디젤유 및 저감장치 장착에 따른 질소산화물의 배출특성은 큰 차이가 없다. 이는 CR-DPF 전단부에 설치된 DOC가 기관에서 배출한 NO를 NO₂로 전환시켜 필터재생온도를 낮추는 역할만 할 뿐 전체적인 질소산화물 감소에는 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

3.2.4 입자상물질

입자상물질의 CR-DPF 적용에 따른 배출특성을 D-13모드로 측정된 결과는 Fig. 9와 같다. 일반디젤유와 저황디젤유의 입자상물질 배출량과 저감장치장착에 따른 입자상물질 배출량은 평균적으로 약 82%감소한다. 이는 저감장치상단의 DOC에 의해 산소보다 낮은 온도에서 산화시킬 수 있는 물질인 NO₂를 생성하고 NO₂가 필터를 재생시켜 포집

된 입자상물질을 제거함을 알 수 있다.

4. 결론

대형디젤기관에서 배출되는 배출가스 중 PM 및 매연저감을 위하여 CR-DPF에 대한 실험을 통하여 CR-DPF의 기관성능 및 배출가스에 미치는 영향을 연구하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) CR-DPF 장착에 따른 기관성능 및 연료소비율의 증감량은 약 4%정도의 범위로 큰 영향을 미치지 않았으며, 이는 본 실험의 저감장치장착이 기관연소에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.
- (2) CO 및 THC는 CR-DPF를 장착 후에는 DOC의 산화반응에 의하여 최대 약 73%까지 감소함을 알 수 있었다.
- (3) NOx는 CR-DPF 장착전·후를 비교하였을 때 별다른 변화가 나타나지 않아 향후 강화되는 배출가스규제를 만족하기 위해서는 Cooled-EGR이나 De-NOx촉매와 같은 별도의 NOx저감대책이 필요함을 알 수 있었다.
- (4) 50ppm황연료(ULSD) 사용시 PM은 CR-DPF 장착에 따라 급격히 감소하였으며, PM 분석결과 SOF, Sulfate 및 미량물질 등이 검출되어 EURO IV를 만족하기 위해서는 연료의 황농도를 10ppm이하로 규제해야 함을 알 수 있었다.

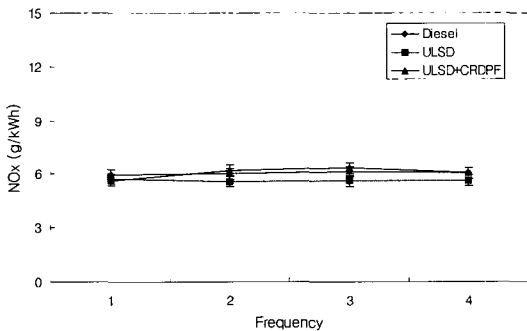


Fig. 8 The effect of CRDPF on NOx emission characteristics obtained from four D-13 mode tests

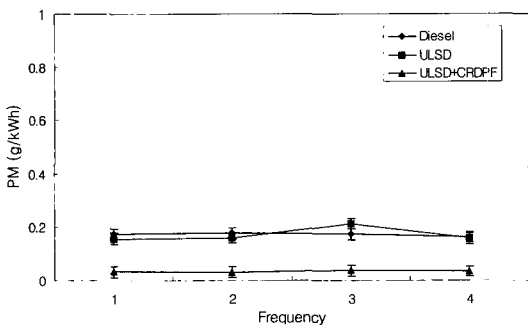


Fig. 9 The effect of CRDPF on PM emission characteristics obtained from four D-13 mode tests

후기

본 논문은 2004년도 두뇌한국 BK21사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- (1) Han, Y. C., 1997, *New Internal Combustion Engine*, Moonuondang, Seoul, p. 179.
- (2) Houshun, Z., 1998, "A Predictive Tool for Engine Performance and NOx Emission," *SAE* 982462.
- (3) Chun, B. L., Young, H. Y., and Yong, K. W., 2002, "Status and Trends of Diesel Particulate Matters Reduction Technology," *KSAE*, Vol. 24, No. 4, p. 59.
- (4) Aoyagi, Y., 2001, "Present and Future Technologies for Reducing Exhaust Emission in Diesel Engines," *JSAE*, Vol. 55, No. 9, pp. 10~16.