

대형디젤기관에 있어서 연속재생방식 매연저감장치 성능 테스트

백두성^{1*}

The Performance Test on A Continuous Regeneration DPF in A HD Diesel Engine

Doo-Sung Baik^{1*}

요약 본 논문은 터보가 장착된 8000cc 대형디젤엔진에 연속재생방식 매연저감장치를 장착함으로써 기관성능과 배기가스에 대한 영향을 알아보기 위하여 수행되었으며, 실험 조건은 황함량이 430ppm 인 표준 디젤 연료와 황 함량이 50ppm인 저유황 연료의 조건 하에서 이루어졌다. CO, HC, NOx 및 PM은 D-13 모드에서 수행되었고 매연은 D-3 모드를 기준으로 배기가스 실험이 진행되었다.

Abstract The test was conducted on an 8000cc heavy-duty turbo-charged heavy-duty diesel engine on which continuous regeneration DPF was installed in order to investigate regeneration characteristics for DPF and engine performance under conditions of standard (430ppm) or ultra low sulfur diesel (50ppm) and the results were compared with each other. Exhaust emissions, CO, HC, NOx, PM and soot were investigated carefully and tested under D-13 and D-3 modes.

Key Words : CR-DPF (Continuous Regeneration DPF), PM (Particulate Matters), Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD), DPF (Diesel Particulate Filter), CRT (Continuous Regeneration Trap)

1. 서론

환경오염문제가 전 세계적인 문제로 대두되고 자동차 배출가스가 대기오염의 주원인으로 밝혀지면서 선진국을 중심으로 이에 대한 규제를 강화하고 있다. 디젤자동차는 높은 효율과 낮은 이산화탄소의 배출이라는 장점이 있음에도 불구하고 질소산화물 및 입자상물질이 많이 배출되고 있기 때문에 이에 대한 저감기술의 개발이 시급하다. 후처리장치에서의 입자상물질 저감기술은 Burner, Heater, 촉매연소 및 Jet air를 이용한 물리적 방법 등 별도의 방법으로 제거시키는 Trap기술과 가솔린자동차와 같이 산화촉매기술을 이용한 배출가스내 가스상물질인 HC, CO 및 NOx와 입자상물질내의 SOF(Soluble Organic Fraction) 등을 제거하는 방법이 있다. 산화촉매에 의한 입자상물질의 제거효율은 Trap시스템보다 떨어지나 입자상물질 중의 SOF성분과 가스성분을 효과적으로 제거하

는 것이 장점이다. 또한 재생과정이 없어 촉매 및 담체의 내구성도 우수하고 재생장치 등이 필요 없기 때문에 장착이 용이하며, 경제적인 측면에서도 우수한 반면 입자상물질의 제거효율은 최대 40%수준이다.

Trap시스템의 경우에는 입자상물질의 제거효율이 80~90%이상으로 매연은 거의 제거될 수 있으나 Trap재생시 온도제어 등이 어려워 Trap이 파손되기 쉽고, 재생을 위한 부가장치의 높은 가격과 신뢰성의 확보가 어렵다는 문제점을 안고 있으나, EURO IV/V를 만족시키기 위해서는 이의 적용이 불가피하다[1].

연속재생방식 DPF의 대표적인 기술은 유럽 Johnson Matthey에서 개발한 CRT 매연여과장치가 가장 유력한 기술로 평가하고 있다. 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

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부
*백두성(dsbaik@kut.ac.kr)

filter)에 포집된 PM은 배출가스 온도가 250℃ 이상이면 연속 재생한다. 이것은 기존의 O₂를 사용한 강제재생방법보다 약 300℃ 낮은 온도에서 재생이 가능한 것으로 강제재생의 단점이 급속한 온도상승으로 인한 필터 내 열응력 발생을 억제하고 필터의 수명을 연장할 수 있으며, PM의 저감효과도 강제재생방식에 비해 우수하다[2]. 성능은 PM과 CO, HC를 90%수준으로 저감시키며, NOx는 3~8%정도 감소한다. 특히, PM중 10nm~250nm 크기의 Nanoparticle 수량도 현저하게 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러나 촉매의 PM 재생능력에는 한계가 있기 때문에, 기관에서 배출하는 PM과NOx의 비율(NOx/PM)이 8 이상이고, 배출가스가 275℃ 이상이어야 작동이 확실하다. 또한 촉매의 정상적인 작동을 위한 디젤유의 황 성분은 50ppm이하로 요구하여 CRT의 상용화에 큰 장애가 되고 있다[3-6].

따라서 본 논문은 현재 대형디젤기관의 입자상물질 제거기술 중 국내 보유기술과의 호환성이 높고 적용 가능성이 유력한 연속재생방식 DPF에 관한 기관성능 및 배출가스 특성에 관한 연구로서 기관운전조건, 배출가스의 유량, 속도, 온도 및 압력, 촉매의 피독현상을 방지하기 위해 기술적인 필수조건으로 제시되고 있는 디젤연료 중의 황함유량이 장치에 미치는 영향에 대해서 파악하고자 8000cc급 대형디젤기관에 연속재생방식 DPF를 장착하고 일반디젤유 및 50ppm의 저황디젤유를 사용하여 장착 전후의 기관성능을 측정하여 비교하였고, 배출가스 측정을 위해 현재 대형디젤기관의 배출가스 측정모드인 D-13과 매연측정모드인 D-3모드를 선정하여 유해배출가스인 CO, HC, NOx, PM 및 매연의 배출량을 비교·검토하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

(1) 실험기관

실험기관은 차량용, 산업용 및 발전용으로 사용하는 터보차저 디젤기관을 대상으로 하였으며, 주요 제원은 표 1과 같다. 연료분사 시스템은 베이스기관에 장착하여 있는 직렬형 플러저펌프와 가버너 및 타이머를 그대로 사용하였으므로, 실험상에서 분사시기나 분사량의 인위적인 조절은 하지 않는다.

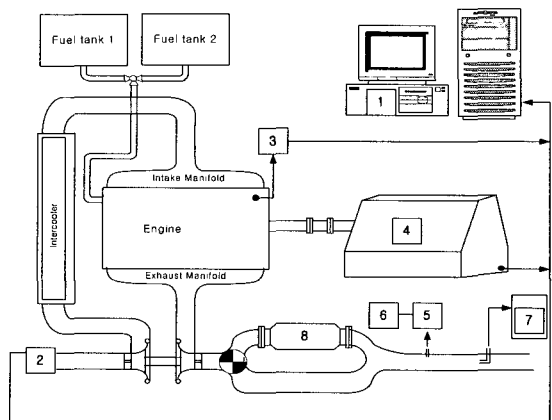
표 1. 실험기관의 제원

Items	Specifications
Type	In-line, 6 cylinders
Fuel injection	Direct injection
Aspiration	Turbo-charged
Rated power(kW/rpm)	132/2200
Max. torque(Nm/rpm)	696/1200

(2) 측정장치

본 연구에 사용한 동력계는 250kW, EC형 기관동력계와 냉각수 온도 조절장치, 윤활유 온도 조절장치, 흡입공기 유량계, 연료 유량계, 압력센서 및 온도센서 등으로 구성하고 있으며, 그림 1은 기관동력계를 비롯한 측정장치의 구성도를 나타내고, 그림 2는 전반부에 산화 촉매(DOC)와 매연저감장치(DPF)로 구성된 연속재생방식 DPF의 배치도를 보여준다.

배출가스 분석장치는 배출가스 중 CO, THC 및 NOx를 분석할 수 있으며, CO는 비분산적외선분석법(NDIR : Nondispersive infrared), HC는 가열식불꽃이온화검출기법(HFID : Heated flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD : Chemiluminescence detector)을 사용하였으며, 입자상물질을 측정하기 위한 시료채취장치는 미니 희석터널(MDT)을 사용하여 측정한다.



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. CR-DPF

그림 1. 측정 장치의 구성도

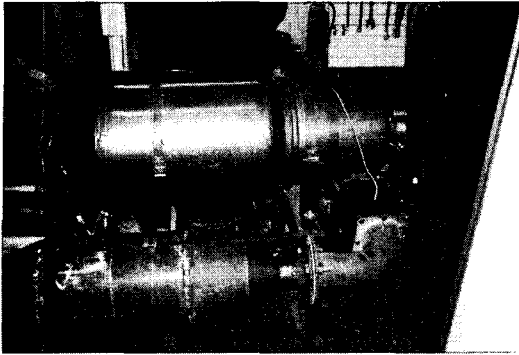


그림 2. 연속재생방식 DPF 배치도

3.2 실험방법

(1) 기관성능실험

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

(2) 배출가스성능 실험

연속재생방식 DPF를 장착하기 전·후 우리나라 중량 디젤차량의 배출가스 규제모드인 D-13모드를 선정하여 저감장치 장착 전·후에 CO, THC, NOx 및 PM을 측정했다. 매연은 D-3모드로 최소 3회 이상 측정하여 산출값을 산술평균하였다. 특히, 매연과 PM은 실험기관의 최대 토오크점 회전수와 최대회전수인 1400rpm와 2200rpm에서 부하율 50% 및 100%조건에서 각각 측정하여 배출특성을 세부적으로 관찰한다.

4. 결과 및 토론

4.2 실험 결과

(1) 기관성능

그림 3, 4, 5는 연속재생방식 DPF 장착 전·후 100%부하조건에서 기관회전수를 1000rpm에서 2200rpm까지 400rpm씩 변화시킨 경우의 기관출력, 토오크 및 연료소비율의 변화를 측정하여 나타낸다. 기관출력은 그림 2와 같이 일반디젤유와 ULSD를 비교했을 때 최고 1.5%의

출력저하를 보였고, 장치적용시 최고 3.8% 감소하며, 그림 4, 5에 나타난 바와 같이 토오크와 연료소비율의 감소폭도 아주 미소하여 배출가스 저감효과에 비추어 큰 영향은 미치지 않을 것으로 판단한다.

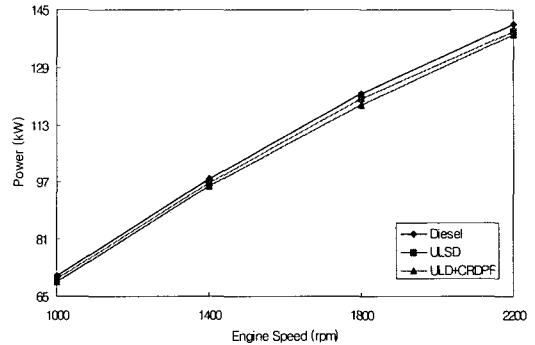


그림 3. The effect of CRDPF on engine power at 100% load

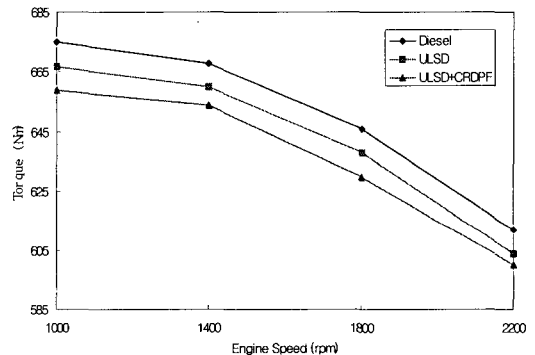


그림 4. The effect of CRDPF on engine torque at 100% load

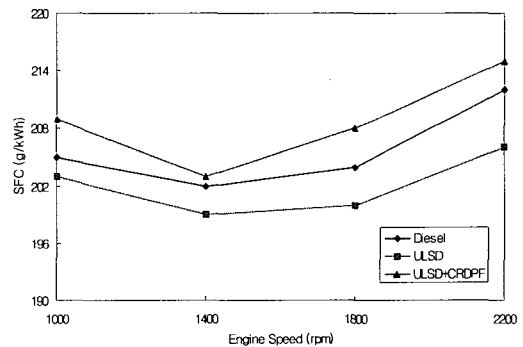


그림 5. The effect of CRDPF on engine SFC at 100% load

(2) 배출가스성능

그림 6과 7은 전부하에서 엔진 기관회전수에 따른 CO와 HC의 배기량을 나타내고 있다. CO와 HC는 일반 경

유와 저황 디젤유 및 저감장치를 적용시에 따른 현격한 차이를 보여주고 있어 CO의 경우에는 일반 경유를 사용했을 때와 비교해서 75%정도 저감되었으며 HC의 경우는 82% 정도까지 저감효과를 보여주었다.

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

그림 9는 연속재생방식 DPF 장착에 따라 2200 rpm에서 부하별 입자상물질 배출특성을 나타낸다. 입자상물질이 평균적으로 0.03g/kWh로 2006년도 EURO-IV의 PM 규제치 0.02g/kWh를 만족하지는 않는다. 이는 본 실험에서 사용한 저황디젤유의 황농도가 50ppm으로 유럽의 권장 농도인 10ppm보다 높기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다.

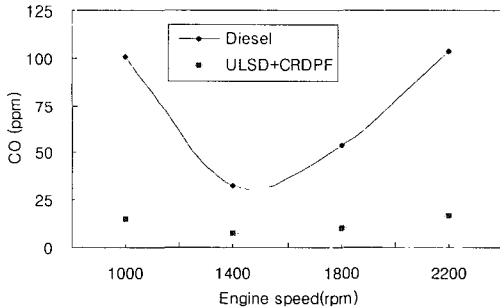


그림 6. The effect of CR-DPF on CO emission characteristics obtained from four D-13 mode tests (100% load)

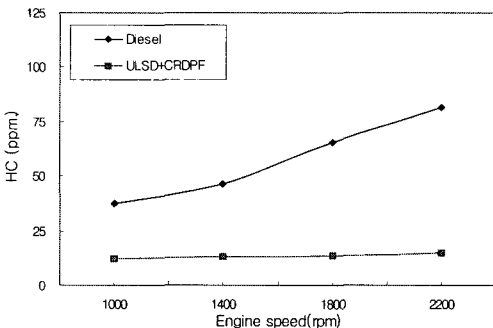


그림 7. The effect of CR-DPF on HC emission characteristics obtained from four D-13 mode tests (100% load)

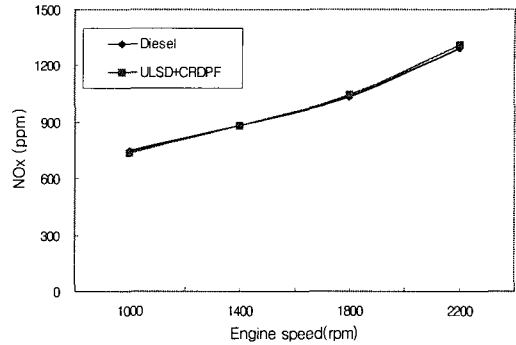


그림 8. The effect of CR-DPF on NOx emission characteristics obtained from four D-13 mode tests (100% load)

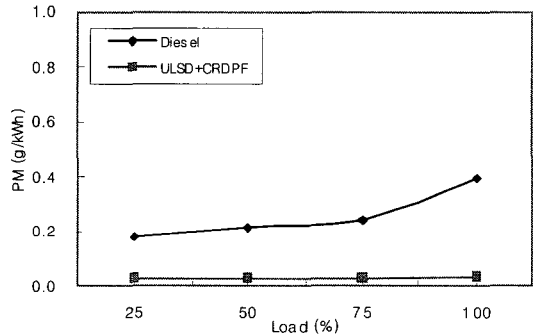


그림 9. The effect of CR-DPF on PM emissions at 2200rpm

5. 결론

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

- (1) 연속재생방식 DPF 장착에 따른 기관성능 및 연료소비율의 증감량은 약 4%정도의 범위로 큰 영향을 미치지 않았으며, 이는 본 실험의 저감장치장착이 기관 연소에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.
- (2) CO 및 THC는 연속재생방식 DPF를 장착하기 전에는 저부하보다 고부하에서 증가하는 경향을 보였으나, 장착 후에는 DOC의 산화반응에 의하여 고부하에서 최대 약 73%까지 감소함을 알 수 있었다.
- (3) NOx는 연속재생방식DPF 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) 50ppm 황연료 사용시 PM은 연속재생방식 DPF 장치에 따라 급격히 감소하였으며, PM 분석결과 매연은 검출되지 않았고, SOF, Sulfate 및 미량물질 등이 검출되어 EURO IV를 만족하기 위해서는 연료의 황농도를 10ppm이하로 규제해야 함을 알 수 있었다

- [5] C. A. Sharp, S. A. Howell, "The effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, "Part Regulated Emissions and Performance", SAE 2000-01-1967, 2000.
- [6] B. L. Chun, H. Y. Young, K. W. Yong, "Status and Trends of Diesel Particulate Matters Reduction Technology", KSAE, Vol. 24. No.4, pp.59, 2002.

참고문헌

- [1] Y. K. Gwon, "Trends of Automotive Catalyst Technologies for Low Emission Vehicle", KSAE Journal, Vol. 24, No.1, pp.28, 2002.
- [2] R. Allansson, C. A. Maloney, A. P. Walker, James P. Warren, "Sulphate Production Over The CRT: What Fuel Sulphur Level is Required to Enable The EU4 and EU5 PM Standards to Be Met?", SAE 2002-01-1875, 2000.
- [3] T. Fujji, H. Ikezawa, Y. Kotani, "A Study of the Analysis of PM Components with CR-DPF", SAE 2002-01-1686, 2002.
- [4] K. Oyama, T. Kakegawa, "Evaluation of Diesel Exhaust Emission of Advanced Emission Control Technologies using Various Diesel Fuels, and Sulfur Effect on Performance after Mileage Accumulation", SAE 2003-01, 1907, 2003.

백 두 성(Doo-Sung Baik)

[정회원]



- 1983년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : Univ. of Cincinnati 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 5월 : Wichita State Univ. 항공우주공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 대우교수

<관심분야>

에너지와 환경, 자동차환경기술, 대체에너지기관, 미세열유체, 항공기추진시스템, 초음속공기역학