

Continuously Regenerating DPF장착에 따른 대형디젤기관의
 기관성능 및 배출가스특성에 관한 연구
 A Study on Exhaust Emission and Engine Performance Characteristics
 of Heavy-Duty Diesel Engine with Continuously Regenerating DPF

나완용 · 오상기
 W. Y. Rha, S. K. Oh

Key Words : PM(입자상물질), CR DPF(연속재생방식 매연여과장치), CO(일산화탄소), NOx(질소산화물), Heavy duty diesel(대형디젤)

Abstract : The increasing numbers of automobiles keep causing air-pollution problems worse than ever. Nowadays, research on catalyst converter and filter trap as a modern technology is very active because PM is designated as a major cancer material and stringent regulations on this are necessary and required. This research emphasized on the development of Continuously Regenerating DPF technology which was the best particulate matters removing technology of current existing technology because of its superior comparability and high applicability. This experimental study has been conducted with equipped and unequipped a Continuously Regenerating DPF on a displacement 7,000cc diesel engine and compared in terms of engine performance and emission. To measure the emission, D-13 mode is applied and measured quantities of the exhaust gases, particularly in CO, HC, PM, and NOx. Therefore, this research is focused on engine performance and characteristics on exhaust emissions with the application of a Continuously Regenerating DPF in a heavy-duty diesel vehicle.

1. 서 론

현재 디젤기관의 PM저감장치 개발기술은 EURO IV수준을 충족시킬 수 있는 기존의 DPF기술을 보완한 Continuously Regenerating DPF가 유력한 기술방안으로 대두되고 있으며¹⁾, 이미 유럽 자동차회사에서는 승용차용 Continuously Regenerating DPF를 개발하여 약 20만대 정도를 부착 판매하고 있다.³⁾ 또한 미국 및 일본에서는 이미 대형디젤운행 차량에 DPF를 부착하여 운행하고 있다.⁴⁾ 이처럼 선진국의 기술개발이 활발히 진행되는 여건속에서도 국내 대형디젤차량에 대한 PM저감기술은 담보상태에 놓여 있으며, 개발기술의 개선과 활용방안 등이 미흡한 실정이다.⁵⁾ 따라서 본 연구를 통해 7,000cc 대형디젤기관에 Continuously Regenerating DPF를

장착했을 때의 기관성능 및 유해가스 배출특성 등의 상관관계를 정량적으로 분석/평가하여, 향후 강화되고 있는 대형디젤자동차의 PM배출가스 규제를 만족시키기 위한 설계자료로 제시하고자 한다.

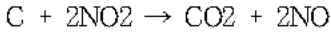
2. Continuously Regenerating DPF의 PM저감원리

2.1 PM재생과정

본 연구에 사용된 Continuously Regenerating DPF는 디젤산화촉매와 입자상물질여과필터로 구성 되어 있으며, 전단부의 디젤산화촉매(Diesel oxidation catalyst)는 산화반응으로 NO를 NO2로 변환시키며, CO와 HC도 저감시킨다. 산화촉매에서 생성된 NO2는 탄소입자가 250℃에서 산화할 수 있도록 작용하며, 후단에 설치된 필터에 포집된 PM을 연속적으로 산화시켜 연속재생상태를 유지한다. 그러나, Continuously Regenerating DPF기술의 적용을 위해서는 촉매의 피독현상을 방지하기 위해서 연료의

접수일 : 2006년 1월 10일
 오상기 : 경기공업대학 자동차과
 E-mail : skoh@kinst.ac.kr Tel. 031-496-4739
 나완용 : 신성대학 자동차과

황합유율을 50ppm이하로 유지해야 하는 문제점이 있다. PM의 산화반응식은 다음과 같다.²⁾



3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

3.1.1 실험기관

Continuously Regenerating DPF의 기관성능 및 재생성능을 알아보기 위해서 본 연구에 사용된 시험엔진은 전자제어분사시스템을 갖춘 닛산디젤 7000cc엔진을 사용하였다. 실험상에서 분사시기나 분사량의 인위적인 조절은 하지 않았다. 사용연료는 황성분이 50ppm이하를 사용하였다.

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Model	Nissan diesel KC
Type	In-line 6 cylinders
Displacement	6925 cc
Rated power	143kW at 3000rpm

3.1.2 측정장치

본 연구에 사용한 동력계는 550kW 엔진동력계와 냉각수 온도조절장치, 윤활유 온도조절장치, 흡입공기 유량계, 연료 유량계, 압력센서 및 온도센서 등으로 구성되어 있으며, Photo 1은 엔진동력계를 비롯한 실험기관, Photo 2는 Continuously Regenerating DPF로서 배출가스는 전단부에 장착된 DOC를 거쳐 후단부의 DPF로 빠져나간다.

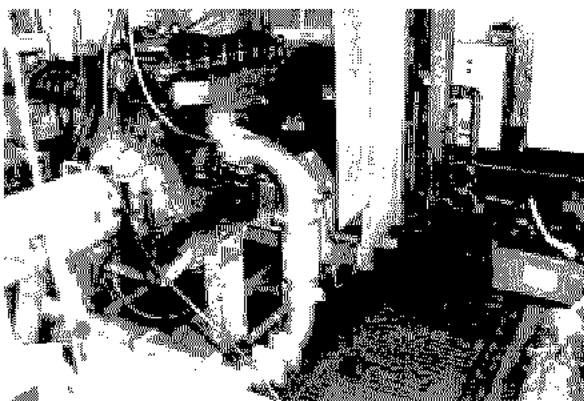


Photo 1 View of engine dynamometer equipped system

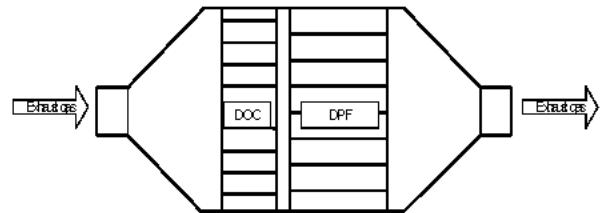
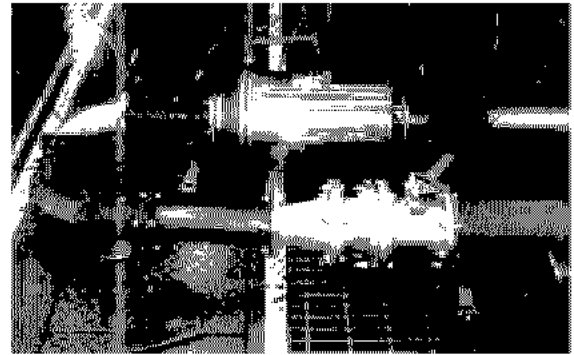


Photo 2 View of Continuously Regenerating DPF system

본 연구에 사용된 Continuously Regenerating DPF는 배기량에 따라 KAM-01-01(5,000~8,000cc)과 KAM-011-01(8,000~17,000cc) 두 종류를 사용하였으며 DPF필터사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Major specification of ceramic filter

Quantity (EA)	19
Form	CANDLE
Nature	CERAMIC FIBER
Regulations (cm)	26.630.5
Collection capacity (g)	66

3.1.3 배기가스분석장치

본 연구에 사용된 디젤기관 배출가스 측정장치(MEXA-7400, HORIBA Co.)는 배출가스 중 CO, THC 및 NOx를 분석할 수 있으며, CO는 비분산적 외선분석법, HC는 가열식불꽃이온화검출기법 및 NOx는 화학발광법을 사용하여 측정한다. 분석장치의 외형은 Photo 3과 같다. 또한 PM의 측정은 미니회석터널(MDT)를 사용하여 측정하였다. 이 장치는 배출가스의 일부를 채취하여 외부공기로 희석시킨 후 입자상물질을 테프론이 코팅된 유리섬유 여과지(φ70)에 포집하는 장치이다. 여과지에 포집된 입자상물질의 무게를 측정하기 위해서는 1μg까지 측정 가능한 마이크로 밸런스를 사용한다.

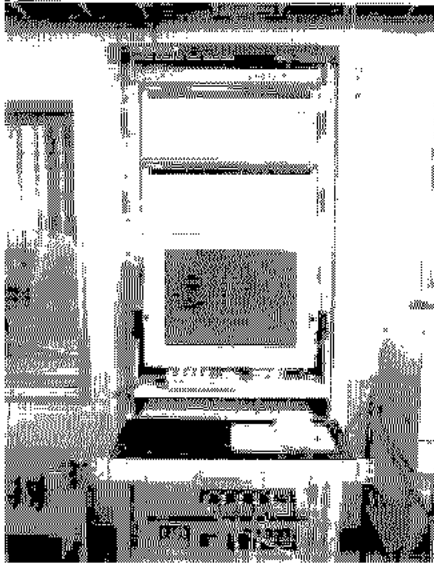


Photo 3 View of exhaust gas analyzer

4.1 기관성능실험

Fig. 1과 Fig. 2는 Continuously Regenerating DPF장착전/후의 기관출력 및 토크를 기관회전수별 전부하조건에서 측정한 결과를 나타낸다.

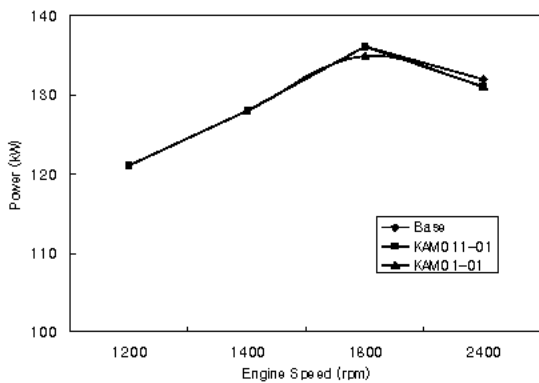


Fig. 1 The effect of Continuously Regenerating DPF on engine power

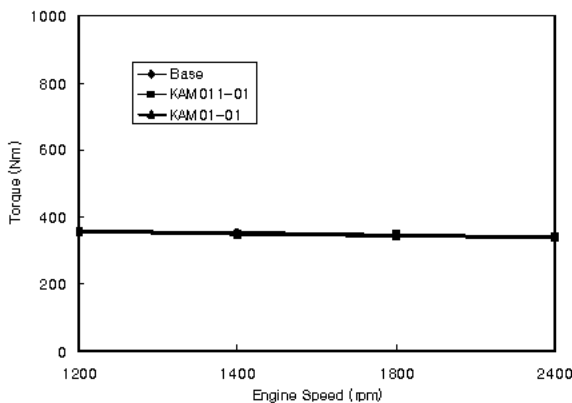


Fig. 2 The effect of Continuously Regenerating DPF on engine torque

Continuously Regenerating DPF장착전의 성능시험에서의 기관 최대토키는 1200rpm에서 나타났으며 최고출력은 1800rpm에서 나타났다. 그림의 Continuously Regenerating DPF장착전/후의 성능 결과를 살펴보면 Continuously Regenerating DPF장착에 따라 배압의 증가로 인해 기관성능이 약 0.8%정도 떨어졌으나 그 감소폭이 미소하여 Continuously Regenerating DPF장착에 따른 기관 성능에는 큰 영향이 미치지 않을 것으로 판단된다.

4.2 배출가스성능실험

4.2.1 질소산화물

Fig. 3과 4는 Continuously Regenerating DPF장착 전/후에 D-13모드 운전조건하에서의 질소산화물 배출특성을 나타낸 것으로 전체 D-13모드 중 25% 및 50% 엔진부하조건에서 각 엔진회전수별 저감장치장착 전/후의 질소산화물의 배출양을 발취하여 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 장착전/후의 질소산화물은 크게 차이가 없다. 이것

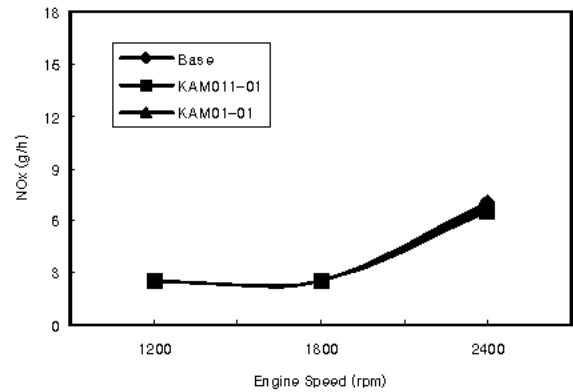


Fig. 3 The effect of Continuously Regenerating DPF on NOx emission at 25% load

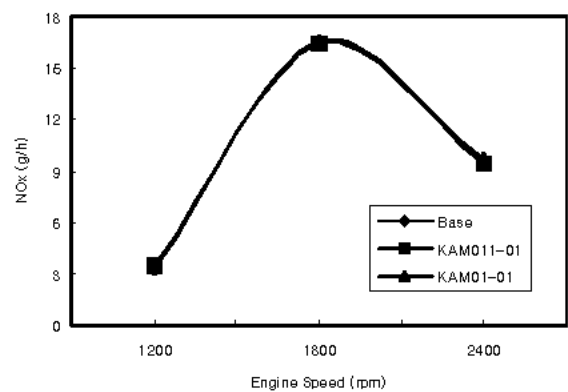


Fig. 4 The effect of Continuously Regenerating DPF on NOx emission at 50% load

은 산화촉매가 기관에서 배출한 NO를 NO₂로 전환시켜 필터재생온도를 낮추는 역할만 수행할 뿐 질소산화물 감소에는 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

4.2.2 입자상물질

Fig. 5는 Continuously Regenerating DPF적용에 따른 입자상물질 저감특성을 나타낸 결과이다. 시험모드인 D-13모드에서 PM을 테프론이 코팅된 유리섬유 여과지(φ70)에 포집하여 1μg까지 측정 가능한 전자저울을 사용하여 측정하였다. 채집 전·후의 질량을 측정하여 결과 Continuously Regenerating DPF장착 장치 장착에 따른 입자상물질 저감율은 장착전인 경우와 비교하여 최고 98%감소하였다. 이는 Continuously Regenerating DPF저감장치 상단의 산화촉매에 의해 일반 대기중의 산소보다 낮은 온도에서 연소시킬 수 있는 물질인 NO₂을 생성시켜 Continuously Regenerating DPF에 포집된 입자상물질을 디젤엔진의 배기가스 온도만으로 연소 시킴으로써 히터 및 버너와 같은 2차 연소장치없이 필터의 자연재생을 유도함을 알 수 있다.

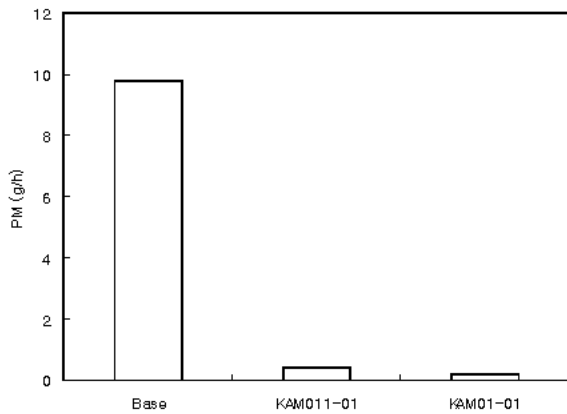


Fig. 5 The effect of Continuously Regenerating DPF on PM emission

4.2.3 일산화탄소

Fig. 6과 7은 부하율 25%와 50%에서의 일산화탄소 Continuously Regenerating DPF장착 전/후의 배출가스 특성을 나타낸 것이다. 25%부하에서 CO의 배출특성을 살펴보면 50%부하에 비해 저감율에 차이가 없다. 이것은 DOC 활성화온도(Light-off) 이하에서는 산화반응이 미소함을 확인할 수 있다.

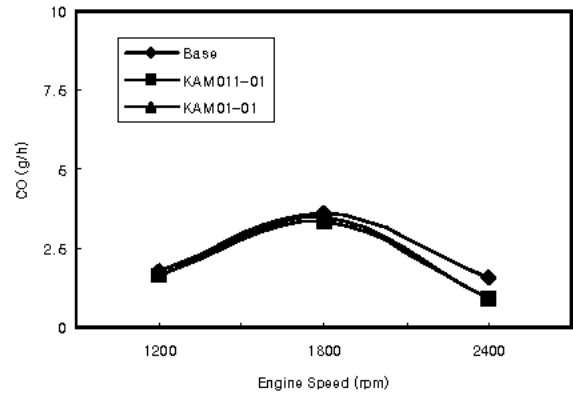


Fig. 6 The effect of Continuously Regenerating DPF on CO emission at 25% load

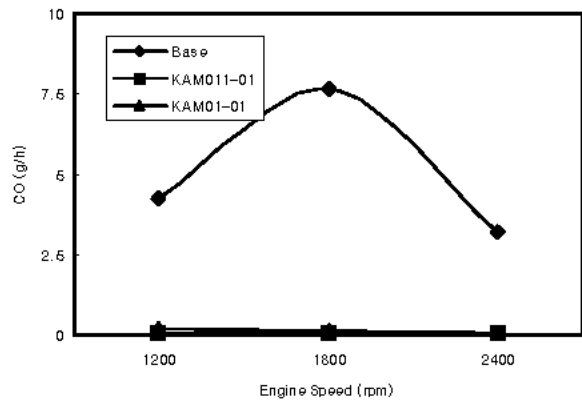


Fig. 7 The effect of Continuously Regenerating DPF on CO emission at 50% load

4.2.4 탄화수소

Fig. 8과 9는 D-13모드로 운전시 탄화수소의 배기가스 특성을 나타낸 것으로, Continuously Regenerating DPF장착시 탄화수소는 일산화탄소의

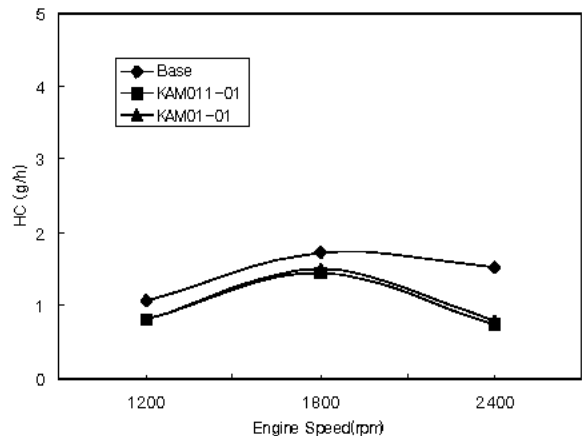


Fig. 8 The effect of Continuously Regenerating DPF on HC emission at 25% load

참고 문헌

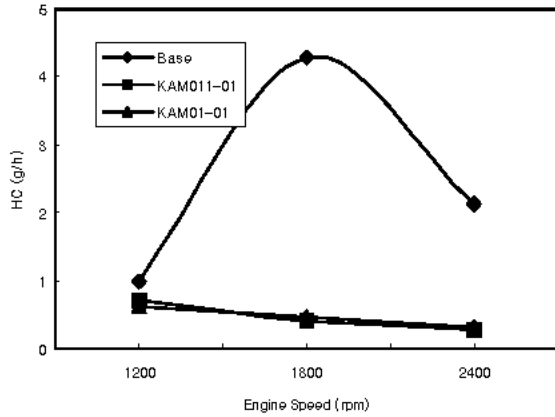


Fig. 9 The effect of Continuously Regenerating DPF on HC emission at 50% load

경향과 유사한 특성을 나타내었다. 50%부하에서 최고 89%감소하는 것을 확인할 수 있었으며 장치 내에 설치된 DOC에 의한 탄화수소산화반응의 결과이다.

5. 결 론

대형디젤기관의 PM저감을 위해 Continuously Regenerating DPF를 장착한 대형디젤기관의 기관 성능 및 배출가스특성에 대한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Continuously Regenerating DPF장착에 따른 기관 성능은 약 0.8%정도 감소하는 것으로 나타났으나, 전체적인 기관 성능에는 큰 영향을 미치지 않았으며, 이는 본 실험의 저감장치장착이 기관 연소에 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다.
- 2) 배출가스 중 CO 및 HC는 Continuously Regenerating DPF를 장착하기 전에는 중부하에서 많이 배출되었으나 장착 후에는 산화촉매의 산화반응에 의해 중부하(50%)에서 최대 89%까지 감소함을 알 수 있었다.
- 3) 질소산화물은 Continuously Regenerating DPF 장착 전/후를 비교하였을 때 별다른 변화가 나타나지 않아 향후 강화되는 배출가스규제를 만족하기 위해서는 De-NOx촉매나 SCR과 같은 별도의 NOx저감대책이 필요함을 알 수 있었다.
- 4) 향후 Continuously Regenerating DPF의 내구성 및 안정적인 성능확보를 위한 추가적인 실험이 요구된다.

1. S. K. OH, B. C. Moon, 2005, "A Study on Prediction of Flow Characteristics and Performance of a Heavy-Duty Diesel Engine with Continuously Regenerating Method PM Reduction", KSAE Vol. 13, No. 2
2. W. Kencht, 2000, "European Emission Legislation of Heavy-Duty Diesel Engines and Strategies for Compliance, THIESEL 2000, pp.289-302
3. Y. Sato, A. Noda, T. Sakamoto, 1997, "Combustion and NOx Emission Characteristics in a DI Methanol Engine Using Supercharging with EGR", SAE 971647
4. N. Uchida, 1987, "Combustion Optimization by Means of Common Rail Injection System for Heavy-Duty Diesel Engines", SAE 982679
5. Admir M. Kreso, 1998, "A Study of the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions", SAE 981422
6. R. S. Benson, N. D. Whitehouse, 1983, "Internal Combustion Engines", Vol 1, Pergamon