

Fe 첨가제를 적용한 금속분말 필터의 포집 및 재생 특성에 관한 연구

박상현* · 전광민** · 조규백, 정용일*** · 박용렬****

A Study on the Performance of the Diesel Particulate Filter made of Porous Metal with Fe-based Fuel Additive

S.H. Park, K.M. Chun, G.B. Cho, Y.I. Jeong and Y.L. Park

Key Words : 입자상 물질(PM, Particulate Matter), 매연 여과 장치(DPF, Diesel Particulate Filter), 여과 효율(Filtration Efficiency), 재생(Regeneration), 첨가제(Fuel Soluble Additives)

Abstract

Diesel particulate trap is the most reliable system to reduce the particulate matters from diesel engine. Filter is the core component of DPF and ceramic monolith type is dominantly used, which is expensive and fragile relatively at thermal shock. Porous metal filter, which has superior thermal characteristics and low cost, was tested in order to analyze the regeneration performance by using with ferrocene additive. This filter showed the 72% filtration efficiency, additives itself diminished 48% of PM from engine out emission, and final PM reduction ratio of 89% was achieved by DPF system with D-13 test mode.

1. 서 론

디젤 엔진은 가솔린 엔진에 비해 연료소비율이 우수하고 압축비가 높으며, 희박한 상태에서 연소가 진행되어 미연탄화수소(unburned hydrocarbon)와 이산화탄소(CO₂)의 배출량이 적으나, 상대적으로 많은 양의 입자상 물질(PM)과 질소산화물(NOx)이 배출되어 대도시 대기오염의 주원인이 되고 있다. 또한, PM은 인체에 흡입되어 폐암의 원인으로 판명되고 있어, 국내외적으로 규제가 강화되고 있는 추세이다.⁽¹⁾

디젤엔진에서 배출되는 입자상 물질은 Soot 입자, 가용성 유기물질(SOF, soluble organic fraction), 황산염(sulfate) 등으로 구성되어 있으며, Soot 입자

를 핵으로 하여 연소실내에서 연속적 또는 동시다발적으로 열분해(pyrolysis), 핵화(nucleation), 표면성장(surface growth), 응집(coagulation), 집합(agglomeration) 등의 현상이 일어나고, 배기과정에서 흡착(Adsorption), 응축(condensation) 등의 현상이 발생하며, 대기중에 방출되어 퇴적 시까지 물리적, 화학적 특성의 변화가 일어난다.⁽²⁾

입자상 물질(PM)의 저감을 위해서 현재까지 매연여과장치(DPF)가 가장 효율적인 장치로 알려져 있다. DPF는 매연을 포집하여 태우는 필터, 포집된 입자상 물질(PM)을 태워서 재생하는 장치, 이들 포집과 재생을 제어하는 제어장치로 구성되어 있다.

DPF 핵심 부품인 필터는 주로 세라믹 모노리스 필터(ceramic monolith filter)와 세라믹 파이버 필터(ceramic fiber filter)가 사용되고 있으며, 최근에는 SiC 필터도 적용되고 있다. 그러나 이들 필터는 제조 공정이 복잡하고 비용이 고가이며 열부하에 약한 결점이 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제개선을 위하여 개발된 금속 분말 필터를 대상으로 ferrocene 첨가제를 이용하여 4000cc 급 엔진에서 입자상 물질의

* 연세대학교 원

** 연세대학교 기계공학과

*** 한국기계연구원

**** 금호하이테크기술연구소

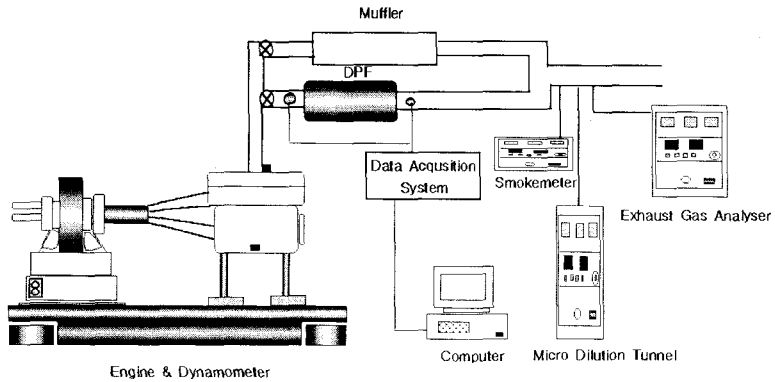


Fig. 1 Schematic diagram of test bench for diesel particulate filter system

포집 및 재생 특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig.1 에서 보는 바와 같이 엔진, 엔진 동력계, 배출가스 분석계, micro dilution tunnel, smoke meter, 압력 및 온도 측정장치로 구성 되어 있다. 매연여과장치의 배출가스 유로 조절을 위하여 소유기와 병렬로 연결하여 바이패스 회로를 구성하였다.

2.1.1 금속분말필터

Fig.2 는 본 실험에 사용된 금속 분말 필터로서 한국 기계연구원에서 자체 개발된 시제품으로 SUS 413 재질의 5 능직 wire mesh 위에 금속 분말을 도포 후 1170℃에서 소결하여 제작 되었으며, 상세한 사양은 Table 1 에 나타내었다.

매연여과장치는 배기관 1m 후방에 설치하였으며, 엔진에서 배출가스는 필터 채널의 입구로 유

입되어 채널의 다공질 벽을 통해 옆 채널의 출구로 배출되며, 배출 가스성분 중 입자상 물질은 유입된 채널의 벽에 포집된다.

2.1.2 엔진 동력계 및 배출가스 측정장치

Table2 는 실험에 사용된 디젤엔진의 재원으로 간접분사 방식의 6 기통 4,052cc 의 엔진을 사용하였다. 엔진에 연결된 동력계는 Fuchino 사에서 제작된 eddy-current 동력계로 흡수 마력은 300PS, 최대 회전수는 10,000rpm 이다.

배출가스 분석장치는 Horiba 사의 MEXA-8120D 모델을 사용하여, CO/CO₂ 는 비분산 적외선 분석법 (NDIR, nondispersive infrared), NO/NO_x 는

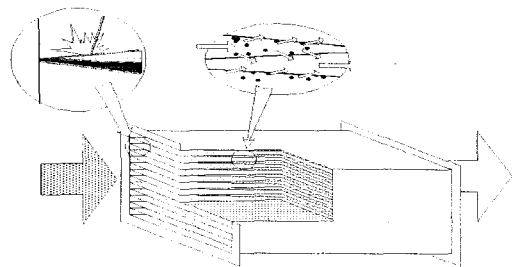
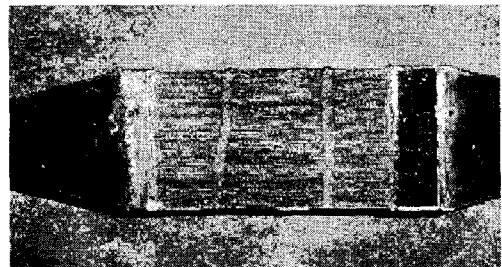


Fig. 2 KIMM's DPF made of porous metal

Table 1 Specification of DPF

ITEM	SPECIFICATION
Wire mesh	5-shaft twilled weave, SUS314, ϕ 0.28 mm, 40-45 mesh
Metal powder	SUS316L
Mean pore size	12 μ m
Porosity	45-55%
Plate thickness	0.78-0.8 mm
Plate Number	120
Filtration area	31,700,000 cm ²
External dimension	20(W) * 33(L) * 20(H)

화학 발광법(CLD, chemiluminescent detector), HC 는 열식 불꽃 이온화 검출기법(FID, flame ionization detector)을 사용하여 측정하였다.

입자상 물질의 측정은 미국 Sierra 사에서 제작된 BG-2 마이크로 희석터널을 사용하였으며, 채취된 시료의 무게는 현민 시스템에서 제작된 웨이징 챔버(weighing chamber) 내에서 마이크로 밸런스를 이용하여 측정하였다.

Table 2 Specification of the diesel engine

ITEM	SPECIFICATION
Engine type	Inline, 6 cylinder IDI, N/A
Combustion chamber	swirl chamber
Bore *Stroke	92*101.6 mm
Displacement volume	4052 cc
Compression ratio	20.5:1
Max. power	105/3600 PS / rpm
Max. torque	28/2000 kg-m/rpm
Fuel consumption rate	192 g/ps-h
Weight	365 kg

2.2 실험방법

2.2.1 필터의 포집 및 재생 특성 실험

금속 분말 필터의 PM 포집 특성을 측정하기 위해 매연의 발생량이 많은 구간-D-13 mode 중 1920 rpm 전부하(매연 31%)와 75% load 조건(매연 19%)-을 측정점으로 선정하였다. 먼저 필터의 포집 특성을 파악하기 위해 약 2 시간 동안 일정하게 운전하면서 필터 전 후단의 압력과 온도를 측정하였다.

또한, 재생 특성을 파악하기 위해 각 부하 조건에서 필터 전단의 배압 조건이 180mbar 될 때까지는 첨가제를 혼합하지 않은 일반 경유를 사용하여 입자상 물질을 포집 후 20, 40, 60ppm 의 첨가제가 혼합된 연료를 사용하여 재생 특성을 파악하였다.

2.2.2 성능평가 실험

Fe 첨가제를 적용한 금속분말 필터의 성능을 평가하기 위해 D-13 모드시험으로 배출가스를 측정하여 필터의 성능을 평가하였으며, 포집 및 재생 특성 실험에서 가장 좋은 결과를 보여준 첨가제

60ppm 을 사용하여 필터의 성능을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 필터의 포집 및 재생 특성

Fig.3 은 기관의 회전수 1920rpm, 부하 75% 조건일 때 필터의 포집과정을 보여주는 그래프로서 필터 전후단의 압력 변화를 시간에 대한 함수로 나타내었다.

75% 부하조건에서 필터후단의 온도는 Soot 의 연소온도보다 낮은 약 370℃로 자연재생은 발생하지 않았으며, 시간이 경과함에 따라 필터 전단에서 배압이 거의 일정한 비율로 증가함을 확인 할 수 있다.

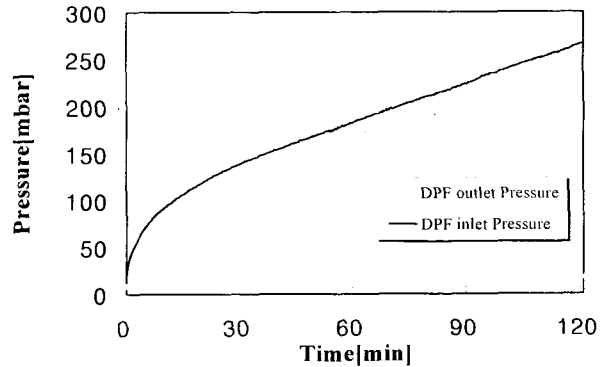


Fig.3 Accumulation performance at 1920rpm and 75% load, DPF outlet temperature: 370°C

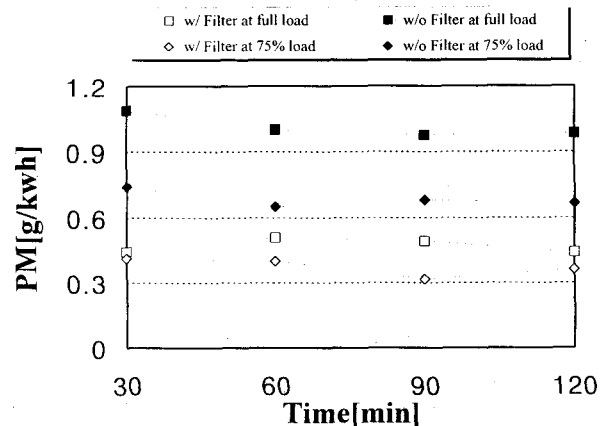


Fig. 4 Particulate matter at 1920rpm full and 75% load

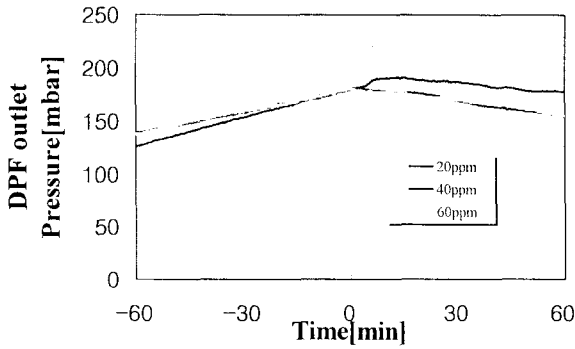


Fig. 5 Regeneration performance at 1920rpm and full load, DPF outlet temperature: 475°C

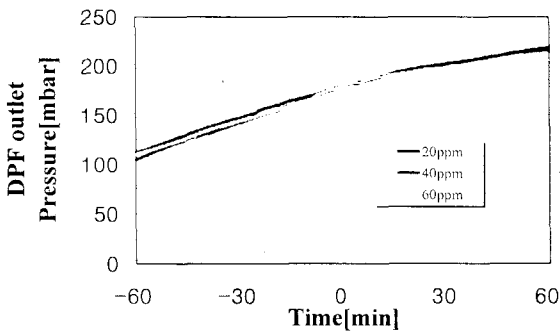


Fig. 6 Regeneration performances at 1920rpm 75% load, DPF outlet temperature: 378°C

Fig.4 는 1920rpm, 전 부하 조건과 75% 부하조건에서 발생하는 입자상 물질의 양을 시간의 함수로 나타내었다. 75% 부하조건보다 전부하 조건에서 입자상 물질이 많이 발생함을 알 수 있다. 필터만 사용하였을 경우 PM 의 저감율은 50-60% 수준임을 확인할 수 있다.

Fig. 5, 6 은 기관회전수가 1920rpm 의 전부하 및 75% 부하조건에서 첨가제 사용에 따른 PM 재생 특성을 보여주는 그래프이다.

일반 경유를 사용하여 배압 180mbar 까지 PM 을 포집 후 시간 0 에서 각각 20, 40, 60ppm 의 Fe 첨가제가 포함된 연료를 공급하여 필터 전단의 압력 변화를 측정하였다.

전부하 조건에서는 첨가제 농도에 관계없이 재생이 발생함을 알 수 있었다. 이는 필터 후단의 온도가 약 475°C로 첨가제 사용시 연속재생온도 이상이기 때문으로 판단된다.

20ppm 의 첨가제를 사용한 경우 첨가제 투입 후 필터 전단의 압력이 190mbar 까지 상승 후 감소하였으나, 40ppm 과 60ppm 은 첨가제 투입 후 필터 전단의 압력이 즉시 감소하였으며 배압의 변화율이 서로 비슷한 경향을 나타내었다.

75% 부하조건에서는 필터 후단의 온도가 387°C로 재생이 발생하지 않았으나 배압상승율은 약간 완화된 것을 알 수 있다. 이는 첨가제 사용에 따른 엔진의 입자상 물질배출량 감소에 따른 것으로 판단된다. 20ppm 과 40ppm 의 첨가제를 사용한 경우 배압 변화율은 유사한 경향을 나타내었으며, 60ppm 에서는 배압 변화율이 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.2 성능 평가

Fig.7 은 첨가제와 필터의 포집 성능을 확인하기 위하여 첨가제와 필터를 사용하지 않은 경우, 첨가제만 사용한 경우, 필터와 첨가제를 모두 사용한 경우를 D-13 모드에서 배출가스를 측정하였다.

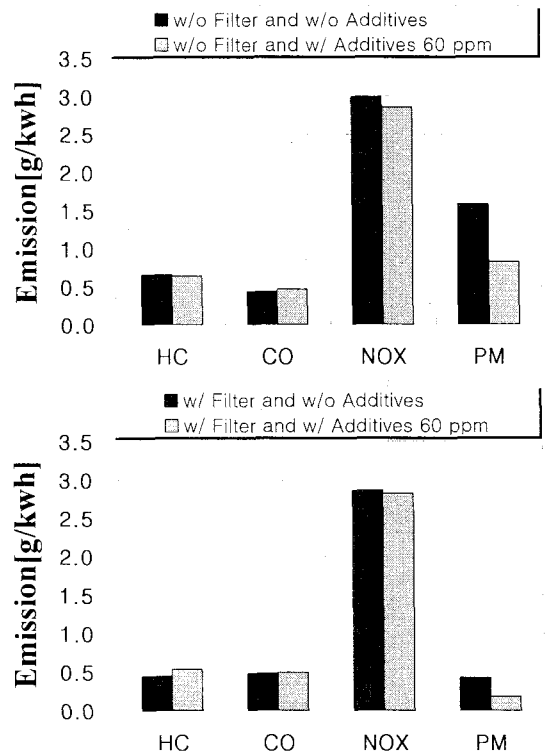


Fig. 7 Emission measurements at D-13 mode

CO, HC, NOx 는 큰 차이를 보이지 않았지만, 입자상 물질에 대해서는 중요한 변화를 발견할 수 있다. 필터와 첨가제를 사용하지 않았을 경우 엔진에서 배출되는 PM 은 1.58g/Kw-h 이며, 여기에 첨가제(60ppm)만 사용하여도 48%의 저감율을 보이고 있다. 또한 첨가제를 사용하지 않고 필터만 사용한 경우도 72%가 저감 되었으며, 필터와 첨가제를 모두 사용한 경우 89%의 저감율을 보여 주고 있어, 금속 분말필터와 첨가제를 사용한 최종 DPF 시스템에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다.

4. 결론

입자상 물질의 저감을 위해 Fe-base 첨가제를 적용한 금속분말필터를 4000cc 급 엔진에 장착하고 입자상 물질의 포집 및 재생 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 본 연구에 사용된 필터 시제품의 포집 효율은 고속 고부하에서 50-60%, D-13 모드에서 72%를 보이고 있으며, 포집 효율 향상을 위한 보완 연구가 필요하다.
- 2) 배출가스 온도가 높은 전부하 조건에서는 첨가제를 사용하면 연속재생이 발생하였으며, 첨가제 40ppm 과 60ppm 에서는 배압 변화율이 유사한 경향으로 하강한다.
- 3) 필터를 사용하지 않은 경우라도 첨가제 사용으로 엔진에서 발생하는 입자상 물질이 감소(D-13 모드에서 48%)함을 알 수 있다.
- 4) D-13 모드에서 필터와 첨가제를 동시에 사용한 DPF 시스템에서 PM 이 89% 저감되었다.

후 기

이 연구는 환경부 G-7 과제와 한국과학기술재단 지원 KAIST 연소기술센터 과제로서, 한국기계연구원, 연세대학교, 금호 하이테크 기술연구소와 공동으로 수행한 결과의 일부이다.

참고문헌

- (1) Y. I. Jeong, D. K. Shin, "Evaluation research on Fe-based fuel additive type Diesel Particulate Trap System", The 15th Internal Combustion Engine Symposium.
- (2) J. H. Johnson, Susan T. Bagley, Linda D. Gratz, and David G. Leddy, "A review of diesel particulate control technology and emission effects", SAE paper NO.940223, 1994.
- (3) K. Pattas, N. Kyriakis, Z. Samaras, and A. Mihailidis, "The behavior of metal DPFs at low temperatures in conjunction with a cerium based additives", SAE paper NO. 980543, 1998.
- (4) M. W. Vincent, P.J. Richards, J-B Dementhon, and B. Martin, "Improved diesel particulate filter regeneration performance using fuel soluble additives", SAE paper NO. 1999-01-3562, 1998.