< 기술논문 >

금속 DPF를 이용한 입자상물질의 저감효율에 관한 연구

나 완 용*

신성대학교 자동차공학과

PM Reduction Efficiency using Metal Type DPF

Wan Yong Rah*

Department of Automotive Engineering, Shinsung University, Chungnam 135-080, Korea

(Received 1 July 2013 / Revised 4 July 2013 / Accepted 9 July 2013)

Abstract : After-treatment apparatus ceramic DPF (diesel particulate filter) have been applied to reduce harmful particulate matters(PM) among emissions from diesel engines so far, but they are easy to be fragile and weak in thermal shock. This research aims to investigate a metal type filter which is superior in mechanical strength and heat conduction rate and is beneficial economically in manufacturing. Basic performance of metal DPF such as loading test, temperature gradient test, thermal shock test, heat resistant test and back pressure was carried out. And then their experimental data provided key informations in designing and manufacturing such as detailed structures of metal mesh filter. Also diesel engine and vehicle of 2957cc displacement was tested under lug-down 3 mode and CVS-75 mode. PM reduction efficiency was 54.5% using metal DPF without loss of performance and fuel consumption.

Key words : DPF (Diesel Particulate Filter; 디젤 입자상물질 필터), PM(Particulate Matters, 입자상 물질), CVS-75 mode(정용량희석채취 방법 75모드), Lug-down mode(러그 다운 모드)

1. 서 론

디젤엔진의 매연 저감 문제를 해결하는데 효과적인 DPF는 세라믹과 SIC 재질을 많이 사용해 왔으나 재생과정에서 세라믹 재료의 특성인 낮은 열전도율에 의해 국부적으로 발생하는 고열에 의한 용융현상과 차량 주행 중 발생하는 진동에 의해 크랙이 발생한다는 문제점이 있다.^{1,2)} 이런 세라믹과 SIC 재료의 문제점을 해결 할 수 있는 금속 DPF는 대량 생산 면에서 다소 불리하기는 하나 기계적인 강도, 열전도가 좋고 제조 공정상 경제적이며 재활용성도 뛰어난 친환경 소재라는 장점이 있다.^{3,4)}

본 연구에서는 금속 DPF의 성능을 향상시키기 위해 기초성능(PM로딩량, 온도구배시험, 열 충격 시험, 내열특성, 배압)을 실시하여, 시험결과를 바탕

으로 제품을 제작한 뒤 금속 DPF 관련 설계 핵심 기반 기술을 정립하는데 기여하고자 하였다.

엔진 및 차량시험에 있어서는 약 3L급 디젤 차량을 이용하여 국내 디젤 자동차의 매연 농도 검사에 사용되는 Lug-Down 모드에서 배압특성을 조사하였고, CVS-75 Mode를 통하여 금속 DPF 장착 후 PM 저감효율과 실차내구시험을 실시하였다. 이를 통해 금속 DPF는 기존 세라믹 DPF의 문제점을 보완하여 고온 진동 조건인 배기관 근접 위치에 장착하여 PM 재생조건을 유리하게 이용 할 수 있다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1에 본 연구에서 사용한 엔진, 차량 및 DPF의 사진을, Table 1과 2에는 각각의 그 체원을 나타내고

*Corresponding author, E-mail: rwyt@shinsung.ac.kr

K-Type S-Type D-Type

Fig. 1 Test engine, vehicle and metal DPF

Table 1 Specifications of engine and vehicle

Displacement	2957 cc
Power	66.2kW / 4000rpm
Vehicle weight	2600 kg
Fuel	Diesel (sulfur : 24.3 ppm)

있다. 본 연구에 사용한 엔진과 차량은 매연이 비교적 많이 배출되는 3,000cc 미만의 소형경유차량을 대상으로 하였으며 시험은 엔진 및 차대동력계를 이용하였다. 시험연료로는 황함유량 30 ppm이하의

Table 2 Specifications of metal DPF

Reduction type		Natural regeneration type
Dimension and weight		L : 592mm, D : 146mm, 10 ℓ, 10 kg
Material	Can	Stainless steel 409
	Filter	Catalyzed metal
	inside ass'y	Stainless steel 310S
	Catalyst	Pt (DOC:40g/ft3, DPF 15g/ft3)
Geometry		Screen type
Back pressure and fuel efficiency		Less than 5% reduction in power ad fuel consumption
collection efficiency		More than 50% reduction in particulate matter
Limited of soot collection		5g/L
Regeneration condition		Exhaust gas temperature must be more than 290°C and 5%
Purification		More than 80% reduction in CO, HC

초저유황경유를 사용하였다.

필터의 형태는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 K, S, D 3가지가 있으며 각 필터의 특징을 살펴보면 S필터는 주로 DOC에 적용되는 사양으로 주름의 방향이 유체의 흐름방향과 동일한 구조를 갖고 있으나 K형태의 경우는 주름방향이 유체의 흐름방향과 일정한 각도(18°)를 유지하면서 중간 레이어가 있는 구조로 되어있어 포집효율을 향상시키고자 하였다. D형태의 필터는 K형태와 유사한 구조이나 원가 절감 사양으로 고안하였으며, 중간층이 없는 구조로 K형태의 필터 대비 포집효율은 다소 떨어지는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 저감성능이 우수한 것으로 보고된 K형태의 DPF를 사용하였다.

2.2 실험방법

엔진동력계상에서 금속 DPF를 엔진에 장착한 뒤 PM의 포집량 및 배압을 먼저 측정 하였다. 기존에 포집되어있는 매연을 재생하기 위해 최대 토크인 140Nm@2,500rpm에서 55분간 운전한 뒤, 매연이 많이 발생하면서 재생이 안 되도록 50Nm@2,200rpm의 조건에서 포집을 실시하였다.

차대동력계상에서는 국내 디젤 자동차의 매연 농도 검사에 사용되는 Lug-Down 3모드에서의 매연농도를 평가하였다. 또한 CVS-75모드에서는 연료소모율, 출력변화, 배압특성에 대해 평가하였다. Table 4에 Lug-Down 3모드의 시험 조건을, Fig. 2에 CVS-

Table 3 Test condition of lug-down 3mode

Mode	Engine speed [rpm]	Throttle position sensor [%]
1	Idle	0
2	3,800	100
3	3,420 (90%)	100
4	3,040 (80%)	100
5	Idle	0

Fig. 2 CVS-75 mode

75모드의 운전패턴을 나타내고 있다. Lug-Down 3모드의 경우 디젤엔진의 최대 출력지점인 3,800rpm을 기준으로 이 회전수의 80, 90, 100%상에서의 WOT(wide open throttle) 조건하에서 배기가스 온도,

Table 4 PM measurement methods

PM measurement	Model	Pierburg, PS2000B
	Parts	Core tube, Dilution tunnel, Measuring weight
	Dilution tunnel length	45mm
	Collection tube length	within 1m
PM weight measurement	Model	Sartorius, MSP
	Controlled temperature	22±3°C
	Controlled humidity	45±8%
	Measuring weight	unit 0.001 g

배압 등을 측정하였다.

Table 4는 본 연구에 사용된 PM측정 장치의 제원을 나타내고 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3은 엔진동력계 상에서 DPF에 포집할 수 있는 PM의 양을 3회 측정한 결과와 배압을 측정한 결과를 나타낸 것이며 그 결과 평균 50g으로 나타났다. 본 시험에 사용된 DPF의 체적이 10 ℓ 이므로 최대 허용 매연 포집량은 5g/ℓ 가 된다. 일반적인 세라믹 DPF는 8g/ℓ 전후이므로 금속에 비하여 높은 포

Fig. 3 PM loading and back pressure test using metal DPF

Fig. 4 Power and torque test

Fig. 5 Pressure gap results

집효율을 가지고 있다. 그러나 이러한 높은 포집량은 배압을 높일 수 있고 경우에 따라서 과도한 재생 조건이 발생할 경우 고온의 연소 온도에 의하여 필터 벽면을 녹일 수 있기 때문에 적당한 포집량과 이를 압력센서 등을 이용하여 지속적으로 감지하면서 최적의 조건에서 재생 시키는 것이 매우 중요하다. 금속 DPF의 경우는 세라믹 DPF 대비 약 2~10배의 높은 열전도도를 가지고 있어⁵⁾ PM을 지속적으로 재생하는 것이 용이하여 배압에 대한 문제도 어느 정도 제어 가능할 것으로 기대된다.

엔진동력계 상에서 금속 DPF를 장착하여 실험한 결과 DPF장착후 토크와 최대출력은 약 3% 정도 저하되는 것으로 나타났다(최대토크 361→349Nm, 최대출력 131→124.3kW). 금속 DPF에 의한 압력 강하는 WOT영역인 4000RPM에서 100mbar로 최대14.3%의 배압이 상승하였고 상용 RPM 구간인 3000RPM 영역에서는 80mbar로 나타났다. 배압은 연비, 출력 평가시 나타나는 수치로 연비 및 출력 손실이 5% 미만인 경우는 문제시 되지 않는 것으로 판단하였다.

DPF의 표면온도를 세라믹 DPF와 비교실험을 실

Fig. 6 DPF outlet surface temperature history

Fig. 7 Fuel consumption and PM reduction

시하였다. 점선으로 나타난 세라믹 DPF의 온도 곡선은 상승시 20°C 늦게 움직이며 온도 하강시에는 금속 DPF 대비 늦게 하강하는 것을 알 수 있다. 재료의 물성치인 열전도의 차이에 따른 것으로 판단되며 이는 일반적인 매연재생 온도인 300°C 기준으로 30sec 정도의 차이를 보이며 이는 매연 뿐만 아니라 그 외의 배출가스인 HC, CO, NOx 저감에도 유리할 것으로 판단된다. 디젤뿐 아니라 가솔린엔진의 경우 SULEV 규제 대응을 위하여 촉매 반응 시간을 10sec 단축하기 위해 많은 노력을 간구하는 것으로 고려하였을 때 디젤엔진과 함께 금속 DPF의 장점을 적극 활용할 수 있을 것으로 판단한다.

Fig. 7은 새시동력계상에서 CVS-75 Mode운전을 통해 금속 DPF 장착 전후의 연비와 PM 저감효율을 그래프화 한 것이다. 금속 DPF장착후의 연비는 약 0.4%로 미미한 감소를 나타냈다. 이에 비해 금속 DPF의 PM 저감효율은 장착 후 54%로 나타났다.

Fig. 8은 타사의 금속 DPF를 차량에 장착하여 새시동력계상에서 배압을 측정한 결과를 나타내었다.

Fig. 8 DPF surface temperature

본실험에 사용한 mDPF#1이 타사에 비해서 20%가량 배압이 적게 거리는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

금속 DPF를 이용한 입자상물질 포집, 재생, 저감 효율 등의 성능시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 금속 DPF 시작품에 대한 엔진 다이내모 성능평가를 통해 최대 포집량이 50g인 것을 확인하였고, 금속 DPF가 290°C에서 PM이 재생하였으며, 엔진출력은 5% 미만의 성능저하를 나타내었다.
- 2) 금속 DPF를 차량에 장착하여 연비측정 시험을 수행한 결과 연비에 미치는 영향이 없었음을 파악했으며, CVS-75 Mode를 통하여 PM 저감효율을 측정한 결과 54.5%가 저감되었으며, 실차 2만 km 내구 후는 53.3%의 저감효율이 나타나 주행에 따른 열화도도 안정적인 것으로 확인하였다.

- 3) PM 재생 방법에 있어서 배기관 근접 위치에 장착할 수 있는 소재인 금속 DPF를 이용하고 세라믹 DPF와 적절한 조합으로 보완하면 강화되는 배기규제를 만족할 수 있을 것이고 이로 인한 귀금속 사용량 저감에도 기여할 것으로 기대된다.

References

- 1) Y. J. Lee, G. C. Kim, Y. D. Pyo and Y. I. Jeong, "Analysis of DPF Regeneration Characteristics of Peugeot 607 HDI Diesel Passenger Car," KASE Spring Conference Proceedings, pp.184-190, 2003.
- 2) N. Jeuland, B. Dementhon, G. Plassat, P. Coroller, J. C. Momique and G. Belot, "Performances and Durability of PDF (Diesel Particulate Filter) Tested on a First and Second Test Phases Results," SAE 2002-01-2790, 2002.
- 3) M. Koebel, M. Elsener and G. Madia "Reduction Pathways in the Selective Catalytic Reduction Process with NO and NO₂ at Low Temperatures," Ind. Eng. Chem. Res., Vol.40, Issue 1, pp.52-59, 2001.
- 4) G. Koltsakis, D. Katsaounis, I. Markomanolakis and Z. Samaras, "Metal Foam Substrate for DOC and DPF Applications," SAE 2007-01-0659, 2007.
- 5) P. Richards, M. Vincent, K. Johansen and G. Mogensen, "Metal Emissions, NO₂ and HC Reduction from a Base Metal Catalysed DPF/FBC System," SAE 2006-01-0420, 2006.