



DPF를 적용한 배압 감응형 배기시스템에 대한 실험적 연구

기시우 · 염광욱 · 이정호* · †함성훈

동주대학교 자동차 기계과, *대림대학교 자동차과

(2017년 1월 11일 접수, 2017년 2월 23일 수정, 2017년 2월 24일 채택)

Experimental Study on Exhaust Gas Pressure Response Exhaust System with DPF

Si-Woo Ki · Kwang-Wook Youm · Jung-Ho Lee* · †Seong-Hun Ham

Dept. of Automotive Engineering, Dongju University College, 95-10, Sari-ro, Saha-gu, Busan 604-864, South Korea

*Dept. of Automotive Engineering, Daelim University College, 29, Imgok-ro, Dongan-gu, Anyang-si, Kyeonggi-do, South Korea

(Received January 11, 2017; Revised February 23, 2017; Accepted February 24, 2017)

요약

본 논문에서는 유해배출물질 저감장치인 DPF의 문제를 해소하기 위하여 제안된 것으로서, 양방향으로 분기되는 배기가스 유로를 통하여 자동차의 엔진 구동시 발생하는 배기가스를 효율적으로 유도하고 2개의 DPF 장치를 장착함으로써 교번작동을 통한 유해배출물질 정화 및 재생연소특성을 효율적으로 적용할 수 있도록 개발한다. DPF 내부에 입자상물질 적층현상으로 인한 배기가스의 내부압력 증가를 피할 수 있고, 출력저하 및 연비효율이 떨어지는 등의 문제를 획기적으로 개선하여 고효율의 출력을 유도할 수 있는 자동차 배기가스 정화 시스템을 제공하려는데 그 목적이 있다.

Abstract - In this paper, it is proposed to solve the problem of the harmful exhaust gas reduction device DPF. The exhaust gas is effectively guided through the control of the exhaust gas flow path which is separated in both directions. Through cross control of two DPF units, it helps to improve the purification and regeneration combustion characteristics of harmful emissions. It is possible to prevent an increase in internal pressure caused by deposition of particulate matter in the DPF. It is also an object of the present invention to provide an automobile harmful exhaust gas reduction device capable of solving the problem of lowering the output and lowering the fuel consumption.

Key words : Particulate matter, DPF, Exhaust pressure response, Exhaust gas flow control

1. 서론

일반적으로 디젤자동차의 엔진은 연료의 압축착화 폭발로부터 자동차의 주행 출력을 발생시키는 장치로서, 연료의 폭발 및 연소에 의한 유해배기가스가 불가피하게 생성된다. 이러한 유해배기가스에는 통상 매

연 또는 PM(Particulate Matter)이라 불리는 입자상물질이 포함되며, 이러한 입자상물질은 대기중에 확산되어 공기오염 및 인체의 질병을 일으키는 주요 원인이기 때문에, 근래에 들어서는 환경보호를 위해 PM 포집 재생여과기(DPF: Diesel Particulate Filter)의 차량 부착 의무화가 정책적으로 시행되고 있다.[1-2]

DPF는, 내부에 배기가스의 PM을 포집할 수 있도록 된 필터와 포집된 PM을 태워 연소하는 방식에 있어서 배기가스 자체온도로서 연소시키는 자연재생방식과

†Corresponding author: ham2849@hanmail.net
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

터플라이 밸브는 완전하게 전폐조건이 될 수 있으므로 Fig. 2.3과 같이 조정볼트로 버터플라이 밸브와 배기파이프와의 간격이 약 0.4mm가 되도록 조정볼트(A)로 조정하고 로크너트를 조인다.

2.2 진공밸브 제어용 전자 Actuator (Solenoid Valve) 설계

본 연구에서 배기유로제어 진공밸브장치의 구동을 위하여 전자식 3-Way 마그네틱 밸브를 적용하였으며 10.8~14.4V의 전원 인가시 내부 솔레노이드코일에 전류가 흐르게 되고 이때 코일이 감싸고 있는 철심이 자화되면서 진공부 포트와 파워 챔버 부 포트를 연결하게 된다. 전원커넥터에 전원 비인가시 (Off시) 파워 챔버 포트와 대기압 포트가 연결되어 파워 챔버 내부에 작용하고 있는 진공압을 해제 시킨다. 본 연구의 시스템은 3-Way 마그네틱 밸브를 각각의 유로에 있는 파워 챔버와 연결시켜 전자제어 연산장치의 신호를 받아 작동할 수 있도록 구성하였으며 실제 장착 사진은 다음과 같다.

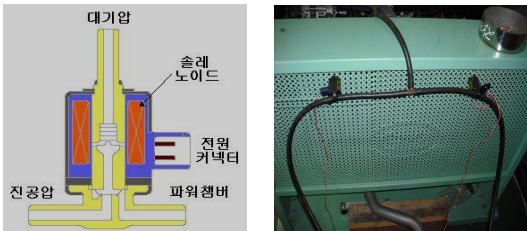


Fig. 2.4 Rotary valve and stepper motor controller.

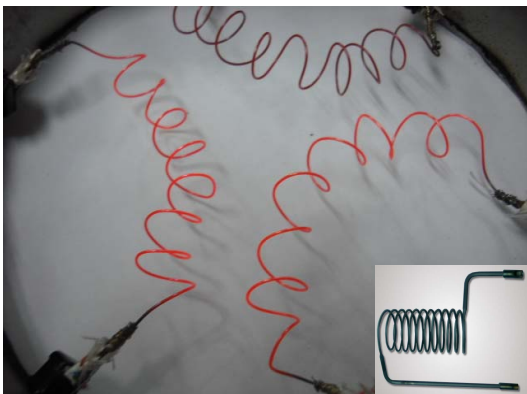


Fig. 2.5 Heating system for the regeneration combustion.

2.3 입자상물질의 연소를 위한 DPF 히팅장치 설계

본 연구에서는 DPF내 축적된 입자상 물질의 연소를 하기 위한 별도의 히팅 장치를 설계, 제작하였다. 히팅 장치는 전열 합금 발열체(Electrical Heating Material)로서 Ni-Cr합금이고 특성은 내온성(1200℃), 복사율이 높고 자성이 없으며 내부식성이 우수하다. 또한 냉간(상온) 및 열간 상태의 소성이 좋아 형상을 자유롭게 설계할 수 있다.

적용한 전열 합금 발열체의 출력은 12.6~14.4V기준으로 약 400w 이며 총 소모전류는 약 25A~28A 이다. 본 장치의 제어 역시 전자제어 연산장치인 Eco-Unit로부터 전원을 인가 받으며 전, 후방 온도센서에 의해 작동구간과 비작동 구간이 모니터링 된다. 또한 DPF 재생온도에 근접한 온도를 유지 할 수 있도록 연산장치에서 간헐적으로 시스템을 제어하도록 설계하였으며 전열 합금 발열체의 형상의 변화를 통하여 DPF 전체면에 대하여 최적의 연소를 위한 열적 조건을 실현할 수 있도록 설계하였다.

2.4 Eco-Unit 설계 및 Ammonite Trap Filter

본 연구에서 설계된 전자제어 연산장치인 Eco-Unit의 제어 항목은 DPF 전, 후방의 차압센서값을 기반으로 진공밸브를 구동하는 전자 액츄에이터를 제어하고 전, 후방 온도센서 값을 기반으로 히팅 장치의 On/Off 타이밍을 듀티제어 한다.

Fig. 2.7은 Eco-Unit의 입출력 요소를 나타내고 있다.

본 연구에서 제안한 배압감응형 배기시스템에 적용한 DPF는 현재 RSM(Renault Samsung Motors)사의 QM5(2.0L)모델에 적용된 SiC DPF이며 SiC 필터는 코디어라이트 필터에 비해 고온 특성이 우수하고 열전도성이 우수하여 한계 매연 포집량이 크고 재생제

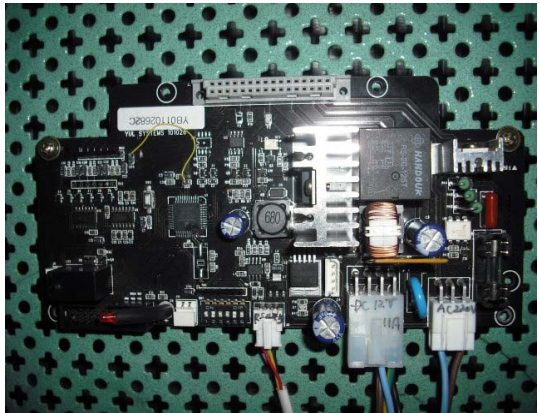


Fig. 2.6 Rotary valve and stepper motor controller.

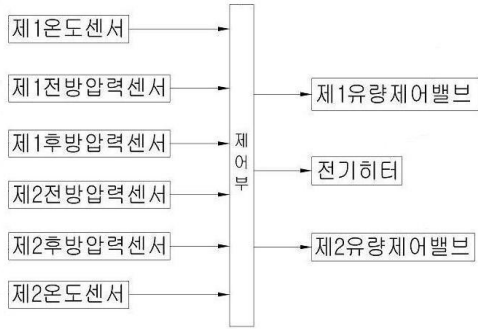


Fig. 2.7 Control input and output components of the echo unit.

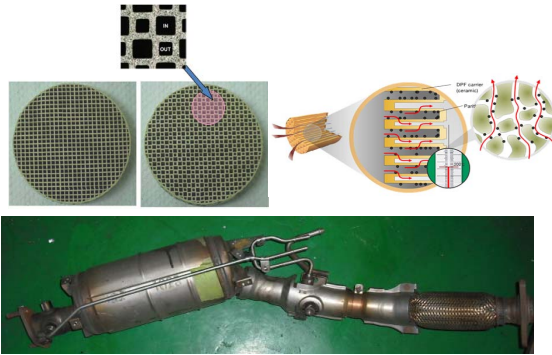


Fig. 2.8 Production of Ammonite Trap Filter.

어에 우수한 반면 고온 소성 공정 등으로 단가가 높은 것이 단점이다. SiC 필터는 일본의 Ibiden과 NGK에서 생산하고 있으며 셀밀도가 증가하고 다공성(Porosity)이 증가하는 방향으로 기술이 발전하는데 현 기술은 셀밀도300cpi, Porosity 58% 수준이다.

III. 배압감응형 배기시스템의 성능실험

3.1 실험대상 엔진 및 측정장비

본 연구의 배압 감응형 배기 시스템의 성능을 측정하기 위하여 실제 디젤자동차의 엔진을 적용하여 실험하였다. 엔진은 현재 가장 많이 적용되고 있는 Common Rail Direct Injection 타입의 2.0L급 엔진을 적용하였으며 그 세부 제원은Table 3.1 과 같다.

또한 실험에 사용된 매연측정기는 부분유량 채취 광투과식 매연측정기(OP-160)로서 현재 운행차량 정밀검사 시스템에 적용되고 있고 각 연구소 및 제작사에서 매연농도와 관련한 시험성적서 및 DPF 성능개발 등에 적용된 측정기기를 사용 하였다.

Table 3.1 Engine Specifications subjects

Items	Specifications
Displacement (cc)	1991
Bore (mm)	83
Stroke (mm)	92
Engine type	4cyl, 16 valve DOHC
Compression ratio	17.7:1
Valve timing	Intake (BTDC 7°/ABDC 43°) Exhaust (BBDC 52°/ATDC 6°)
Max.Power(ps/rpm)	184/4000
Max.Torque(kg·m/rpm)	40/1,800~2,500
Injection type	Common Rail Direct Injection



Fig. 3.1 Experiment 2-way exhaust system of the engine.



Fig. 3.2 Soot measurement instrumentation OP-160.

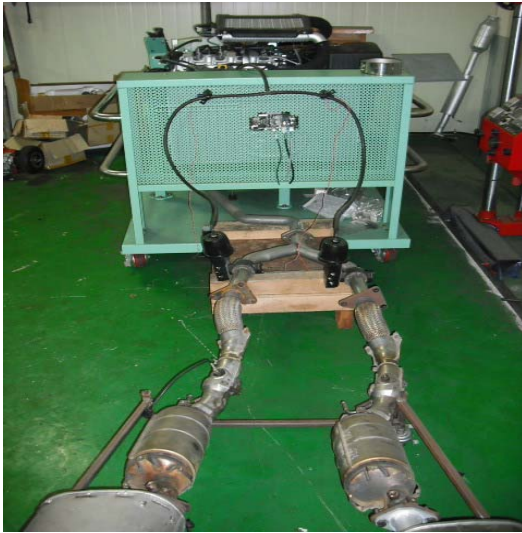


Fig. 3.3 2-Way installation of the exhaust system.

Fig. 3.3과 같이 본장치의 실험을 위하여 DOC후단과 소음기 전단부 사이에 본 연구 장치를 설치하여 실험을 수행 하였다.

3.2 엔진운전 조건에 따른 매연농도 및 배기가스 온도 변화

본 연구에서 제안한 배압감응형 배기시스템의 엔진 RPM별 매연 배출농도와 배기가스 온도를 측정하였다. 실험의 조건은 먼저 실험대상 엔진의 배기라인부에 DPF를 제거하고 엔진에서 배기되는 가스의 매연농도 및 가스온도를 측정 한 결과와 배압감응형 배기시스템 장치를 장착한 후 배기가스의 매연농도 및 가스온도를 측정하여 그 결과를 비교분석 하였다.

Fig. 3.4는 실험대상 엔진의 배기라인에서 DPF 및 DOC등의 유해배출물질 저감장치를 탈거한 후 측정 한 데이터이고 Fig. 3.5는 배압 감응형 배기시스템을 장착 후 재생연소 라인이 아닌 배출라인의 매연농도 및 온도를 엔진회전수(rpm)별로 측정 한 그래프이다. 두 그래프에서 엔진 회전수(rpm)의 변화를 공회전영역(740~780rpm)과 중, 저속영역(1,800~2,100rpm), 중, 고속영역(3400~3600rpm), 고속영역(4100~4300rpm)에서 동일한 조건으로 측정하였다.

본연구의 장치가 장착되지 않은 경우 매연농도는 평균 9.69%로 출력되었으며 배압감응형 배기시스템을 장착 후 매연농도 평균값은 3.05%로서 DPF의 정상적인 작동상태로 매연농도가 감소된 것을 알 수 있다. 또한 매연측정 장비인 OP-160 내부의 배기가스 온도 센서에서 출력된 배기가스의 온도는 엔진회전수 증가

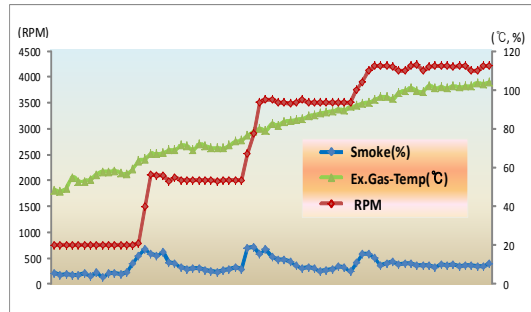


Fig. 3.4 Graph of the device before installation 2-Way.

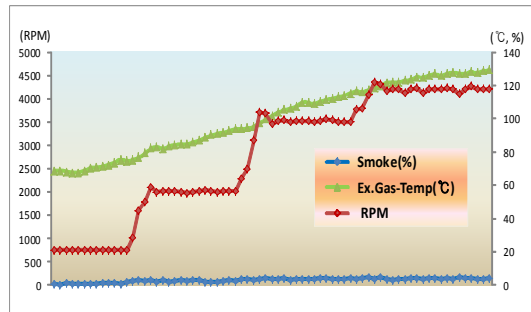


Fig. 3.5 Graph of the device after installation 2-Way.

에 따라 상승하는 것을 알 수 있다.

3.3 DPF 재생연소 성능 및 효과

본 연구의 배압감응형 배기시스템은 2개의 라인을 동시에 사용하지 않고 한 방향씩 교번으로 유로 제어 를 하며 작동된다. 이때 엔진의 배기가스가 배출되는 라인 은 Fig. 3.5에서 확인되는바와 같이 DPF 자체의 성능으로 매연 및 입자상 물질이 정화 되어 배출되고 엔진의 배기가스가 배출되지 않는 유로부에서는 DPF 재생과정에 들어가게 된다. 이 때 히팅 시스템의 작동과 그에 따른 DPF 후단부의 온도변화 그래프를 보면 다음과 같다.

Fig. 3.6에서 기존의 실험과 동일한 조건으로 수행 하기 위하여 엔진 회전수(rpm) 조건을 배압감응형 배기시스템 장착전 조건과 동일한 조건인 공회전영역 (740~780rpm)과 중,저속영역(1,800~2,100rpm), 중,고속영역(3400~3600rpm), 고속영역(4100~4300rpm)으로 실험 하였으며 이때 내부의 진공 밸브내부의 버티플 라이 밸브는 약 8~10% 개방되어 있는 상태이다. 이때 매연 평균농도는 0.1%로 출력되고 있으며 배출되는

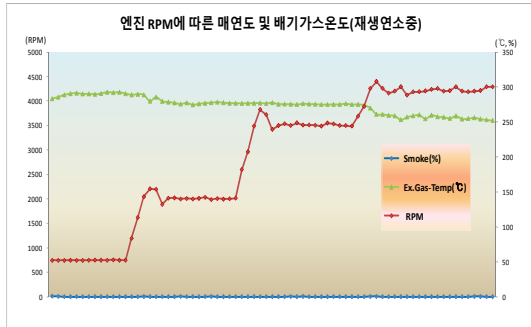


Fig. 3.6 Temperature graph of the operation of the heating system.

가스의 온도는 약 280~240℃로 출력되고 있다. 이 온도는 DPF 후단부에서 약 20cm 정도 떨어진 부분에서 측정되었으며 또한 가스가 측정 장비에 도달하는 구간(약 1.5m)에서의 열손실을 감안하여 불 때 DPF 재생연소효과를 충분히 얻을 수 있는 온도라 판단된다.

엔진회전수가 증가함에 따라 히팅 장치의 열 손실이 증가하게 되며 온도가 240℃까지 떨어지게 된다. 따라서 이러한 경우 버터플라이 밸브의 개방율을 감소시키면 온도유지를 위한 배기가스의 유량이 확보되며 또한 전자제어 연산장치인 Eco-Unit에서 히팅 장치의 듀티 제어를 통하여 DPF 재생연소의 온도를 확보, 유지할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 DPF를 적용한 배압감응형 배기시스템의 개발을 통하여 핵심기술에 해당하는 배기가스 유로의 교번제어를 실현하였다. 또한 진공밸브를 적용한 배압감응형 시스템은 배기라인의 DPF에서 막힘을 증가에 따른 해당 DPF의 능동적 제어가 가능하며 배기유로 교번제어를 통하여 재생연소효과를 극대화할 수 있다. 특히 소형 디젤에 적용되고 있는 자연재생 방식 DPF에서 공간상의 제약과 운전자의 엔진운행 패턴과 무관하게 재생연소를 실현할 수 있으며 전자제어 장치의 도입으로 보다 정밀한 배기가스의 제어를 구현하였다.

1) 기존 DPF의 필터의 막힘에 성능저하를 개선하기 위하여 진공 밸브를 적용한 배압감응형 배기시스템을 구성하였다.

2) DPF 전, 후단의 차압값과 온도값을 비교하여 재생과 필터링기능을 동시에 수행하는 구조로 매연저감

및 필터재생능이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

3) 전기 히팅 장치의 전류 소모량제어 및 열선의 내구성 확보를 위하여 각 조건에 맞도록 히팅 장치의 On/Off 타임을 듀티제어하여 최적의 연소조건을 수행할 수 있었다.

4) 진공밸브에 전자식 액츄에이터의 적용으로 배기가스 유로 교번제어를 실현하였으며 재생연소 효율을 증가시켜 DPF 재생 후 급격히 방출되는 Ash 문제를 개선할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 동주대학교 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

[1] J. H. Kim, M. Y. Kim and H. G. Kim, "NO₂-Assisted Soot Regeneration Behavior in a Diesel Particulate Filter with Heavy-duty Diesel Exhaust Gases", Numerical Heat Transfer, Part A(Applications), Vol. 58, No. 9, pp. 725~739, (2010)

[2] E. P. Lee, "Analysis of an Automotive Fire Case that a Fire Broke out during Driving Immediately after DPF Cleaning", The Korean Society Of Automotive Engineers Vol.24, No.5, pp. 556-565, (2016)

[3] J. C. Kim, "Diesel Vehicle Exhaust Gas Reduction System", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 37, No. 11, pp. 62~66, (2015)

[4] N. W. Jo, S. J. Moon, Y. R. Lee and G. W. An, "Research on the Flow Characteristics according to the Catalyst Layout in Heavy-duty Diesel Engine", The Korean Society Of Automotive Engineers, pp.281-284, (2015)

[5] H. S. Lee., K. H. Kim. S. H. Jung and D. K. Koh., "Performance Comparison of Soot Filtration Apparatus Using a Mechanical Negative Pressure Generating Device", Journal of the Korean Society for Power System Engineering 19(1), 2015.02, pp.13-18, (2015)

- [6] J. H. Lee, "After-treatment System Technologies for Light-Duty Vehicles", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers 35(9), 2013.9, pp.22-26, (2013)
- [7] C. H. Kim, H. C. Kim, G. S. Lee, J. H. Choi, M. S. Chon, S. S. Shin and H, K Suh, "PM Reduction Characteristics of Partial Metal DPF with Screen Mesh Filter Structure", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers 21(3), 2013.5, pp.82-87, (2013)