



## 회전형 밸브를 적용한 단일채널내 2-Way 방식의 DPF장치에 대한 실험적 연구

†함성훈·염광욱

동주대학교 자동차·기계과

(2015년 11월 29일 접수, 2015년 12월 23일 수정, 2015년 12월 24일 채택)

### Experimental Study on Single Channel DPF Device Applying the Method of Internal 2-Way Rotary Valve

†Seong-Hun Ham . Kwang-Wook Youm

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

(Received November 29, 2015; Revised December 23, 2015; Accepted December 24, 2015)

#### 요약

본 논문에서는 현재 입자상물질 저감장치인 DPF의 문제를 해소하기 위하여 제안된 것으로서, 단일채널내의 배기가스 통로를 양방향 제어하여 연소시 발생하는 배기가스를 효율적으로 정화한다. 1개의 DPF장치를 장착하고 회전형 밸브를 교번제어 하여 DPF 내부에 입자상물질 적층현상으로 인한 배기가스의 내부압력 증가를 피할 수 있고, 출력저하 및 연비효율이 떨어지는 등의 문제를 획기적으로 개선하여 고효율의 출력을 유도할 수 있는 입자상물질 정화시스템을 개발한다.

**Abstract** - In this paper it is proposed to solve the problem of particulate matter reducing apparatus of the current DPF. One exhaust gas passage 2-way controlled to purify the exhaust gas generated during combustion efficiently. Through the control of the rotary valve within a single device, it is possible to prevent the exhaust pressure increases due to particulate matter accumulate inside the developing DPF. Develop DPF device capable of inducing a high efficiency of the output in order to improve the problem of reducing the engine output and fuel efficiency.

**Key words** : particulate matter, DPF, 2-way control, rotary valve

#### 1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화에 따른 환경문제에 대응하기 위해 국제협약을 통한 이산화탄소 규제가 본격화되고 있는 시점에서 동일 배기량 기준 가솔린엔진보다 20-30% 정도 이산화탄소 배출량이 적은 디젤엔진은 차세대 친환경적인 운송역할의 가장 현실적인 대안 중의 하나로 부각되고 있다.[1-2]

또한 산업용 엔진이나 대형화물차 또는 건설장비

에는 아직 디젤엔진이 주류를 이루고 있는 실정이다. 그러나 디젤엔진은 과잉공기 조건에서 연소가 진행되기 때문에 배기가스 중에 산소가 다량 존재하여 가솔린 엔진에 적용되는 3원 촉매를 사용할 수 없다. 또한 확산 연소 형태의 연소특성 때문에 질소산화물(NOx) 생성뿐만 아니라 부분적 과농 지역에서는 매연이 다량 생성되는 문제를 근본적으로 안고 있다.[3-4] 디젤 엔진의 배기가스에는 환경을 심하게 오염시키는 입자상 물질(Particulate matter, 이하 PM)과 질소산화물(NOx)이 많이 포함되어 있으며 특히 디젤엔진의 배기가스 중 PM 정화를 위한 후처리 장치, 즉 매연여과장치(Diesel Particle Filter, 이하 DPF)가

†Corresponding author:ham2849@hanmail.net  
Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

적용되고 있다.[5]

그러나 이러한 DPF는 내부의 필터 트랩부에서 PM이 누적되어 막힘 현상이 발생되며 이러한 막힘 현상의 발생시 배압증가로 인한 출력저하 및 연비악화 등의 문제점이 발생된다. 이에 따라 DPF 내부에 누적된 입자상 물질의 재생 방식에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. DPF 재생방식은 별도의 열원 또는 플라즈마 버너를 적용한 재생방식이 일부 대형차종에 적용되며 커먼레일 장치의 중소형 차량의 경우 후분사/후연소를 통한 DPF 재생방식이 적용되고 있다.[6-9]

그러나 중소형 디젤 차량의 경우 DPF의 재생 제어를 위한 부가장치의 설치 공간에 제약이 있고 일부 운전영역에서만 자연재생이 이루어지는 등의 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 유해배출물질 저감장치인 DPF의 문제를 해소하기 위하여 제안된 것으로서, 단일채널내의 2-Way 배기가스 유로를 통하여 자동차의 엔진 구동시 발생하는 배기가스를 효율적으로 유도하고 1개의 DPF장치를 장착함으로써 회전형 밸브를 통한 교번작용으로 유해배출물질 정화 및 재생연소특성을 효율적으로 적용할 수 있도록 개발한다. 본 연구로 인하여 DPF 내부에 입자상물질 누적현상으로 인한 배기가스의 내부압력 증가를 피할 수 있고, 출력저하 및 연비효율이 떨어지는 등의 문제를 획기적으로 개선하여 고효율의 출력을 유도할 수 있는 자동차 배기가스 정화시스템을 제공하려는데 그 목적이 있다.

## II. 회전형 밸브를 적용한 단일채널 2-Way 배기시스템 설계

### 2.1 단일 채널 2-Way Type 설계

Fig. 2.1는 2-Way Type의 배기시스템에 대한 설계를 나타내고 있다. Fig. 2.1에서 2-Way 배기시스템의 구성은 각 유로를 제어하는 회전형제어밸브와 밸브의 회전각도를 제어하는 스텝모터, 각각의 DPF전단부에 장착된 DPF 재생을 위한 Heating장치, DPF 전후단의 압력센서, 온도센서, 전자제어 연산장치인 Eco-Unit, DOC, DPF와 주 소음기로 구성되어 있다.

단일채널 2-Way 배기시스템에서 각각의 유로의 개폐를 결정하기 위하여 회전형 구동밸브를 적용하였으며 밸브구동 및 회전각 제어는 위치제어를 위해 Step motor 및 Eco-Unit을 통하여 이루어진다.

회전형 밸브의 작동은 DPF 전단과 후단의 차압센서 값과 온도센서 값을 기반으로 작동된다. 예를 들어 1번의 DPF의 막힘율이 증가하여 전방 차압값

과 후방 차압값의 차이가 클 경우 막힘율이 큰 1번 DPF의 유로를 90% 전폐하고 2번 DPF의 유로로 배기가스를 유도하여 입자상물질을 저감시키는 구조이다. 이때 막힘율이 증가한 1번DPF는 히팅제어를 통하여 재생연소를 시작하게 되며 2번 DPF는 배기가스를 정화시킨다.

Fig. 2.3은 회전형 밸브의 작동원리를 나타낸다. 회전형밸브는 베벨기어를 통하여 구동되며 Fig. 2.3과 같이 1번 DPF 유로와 2번 DPF 유로를 제어하는 구조로 설계된다.

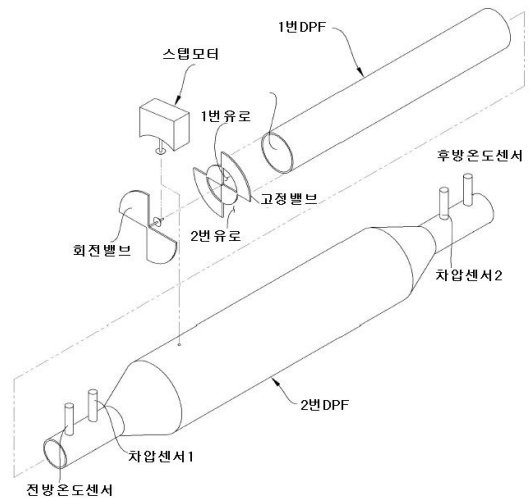


Fig. 2.1 2-Way Type design of the exhaust system.

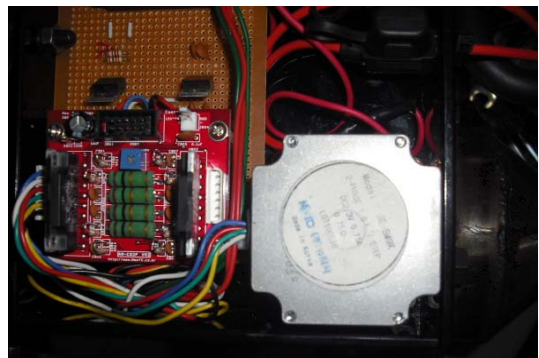


Fig. 2.2 Step motor and computing devices.

**2.2 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(120 0℃), 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~28A이다. 본 장치의 제어 역시 전자제어 연산장치인 Eco-Unit으로부터 전원을 인가 받으며 전, 후방 온도센서에 의해 작동구간과 비작동 구간이 모니터링된다. 또한 DPF 재생온도에 근접한 온도를 유지할 수 있도록 연산장치에서 간헐적으로 시스템을 제어하도록 설계하였으며 전열 합금 발열체의 형상의 변화를 통하여 DPF 전체면에 대하여 최적의 연소를 위한 열적 조건을 실현 할 수 있도록 설계하였다.

**2.3 Eco-Unit 설계 및 Ammonite Trap Filter**

본 장치에서 설계된 전자제어 연산장치인 Eco-Unit

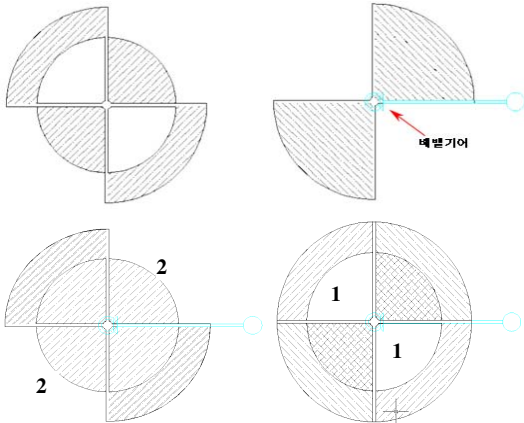


Fig. 2.3 Operating principle of the rotary valve.

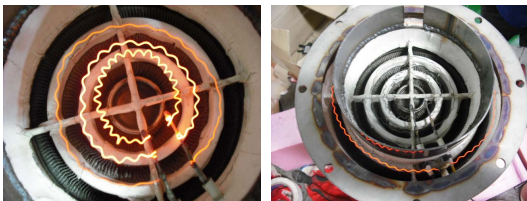


Fig. 2.4 Heating system for the regeneration combustion.

의 제어 항목은 DPF 전, 후방의 차압센서값을 기반으로 회전밸브를 구동하는 Step motor의 Step수를 제어하고 전, 후방 온도센서 값을 기반으로 히팅 장치의 On/Off 타임을 듀티제어한다.

또한 DPF 전, 후방의 온도센서를 통하여 현재 DPF의 현재 온도상태를 측정하며 DPF 후방의 온도센서의 값을 통하여 급격 연소 등의 문제점에 대한 모니터링을 한다. Fig. 2.6은 Eco-Unit의 입력력 요소를 나타내고 있다.

본 연구에서 제안한 단일채널 2-Way 배기시스템에 적용한 DPF는 Fiber Tech사의 특수 합금 소재(Fer-cralloy)를 사용한 3L급 모델에 적용된 Ammonite Trap Filter 제품을 장착하였으며 Wall Flow 방식으로 설계되어 높은 PM 저감율과 압력이 적게 작용하

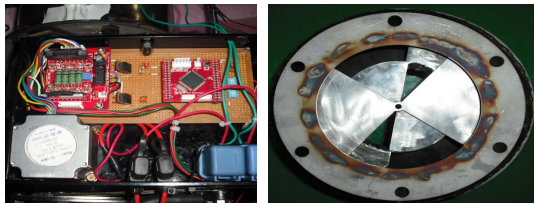


Fig. 2.5 Rotary valve and stepper motor controller.

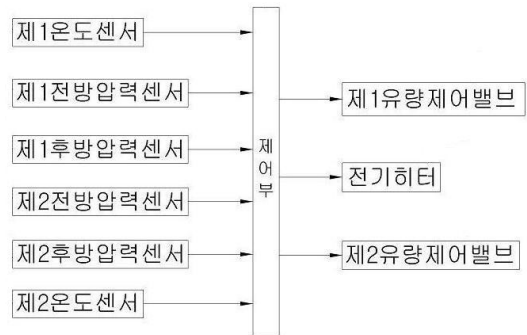


Fig. 2.6 Control input and output components of the echo unit.



Fig. 2.7 Production of Ammonite Trap Filter.

여 높은 내구성을 가지고 있다. 적용된 필터는 다공성이 뛰어난 금속섬유를 이용한 Wall flow 방식으로 매연을 저감율이 우수하며 배기가스는 열려있는 통로를 통과후 금속섬유 필터를 통과하여 반대편 유로로 배출되고 입자상물질(PM)은 금속섬유 표면에 모아진다.

### III. 단일 채널 2-Way 배기시스템의 성능실험

#### 3.1 실험대상 엔진 및 측정장비

본 연구의 배압 감응형 2-Way 제어 배기 시스템의 성능을 측정하기 위하여 실제 디젤자동차의 엔진을 적용하여 실험하였다. 엔진은 현재 가장 많이 적용되고 있는 Common Rail Direct Injection 타입의 2.0L

**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.

급 엔진을 적용하였으며 그 세부 제원은 Table 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.

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

#### 3.2 엔진운전 조건에 따른 매연농도 및 배기가스 온도 변화

본 연구에서 제안한 단일 채널내 2-Way 배기시스템의 엔진 RPM별 매연 배출농도와 배기가스 온도를 측정하였다. 실험의 조건은 먼저 실험대상 엔진의 배기라인부에 DPF를 제거하고 엔진에서 배기



**Fig. 3.2** Soot measurement instrumentation OP-160.



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

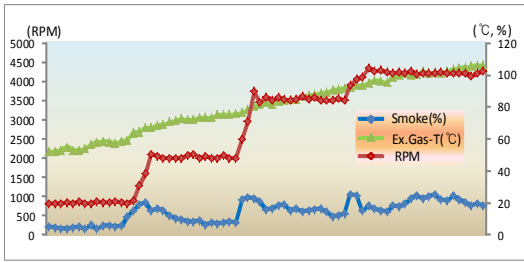


Fig. 3.4 Graph of the device before installation 2-Way.

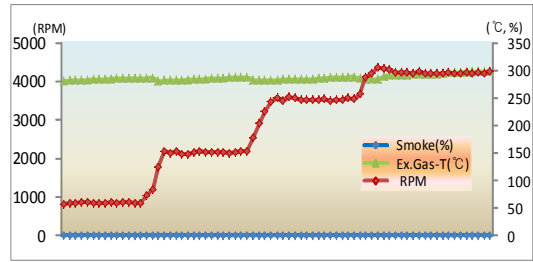


Fig. 3.6 Temperature graph of the operation of the heating system.

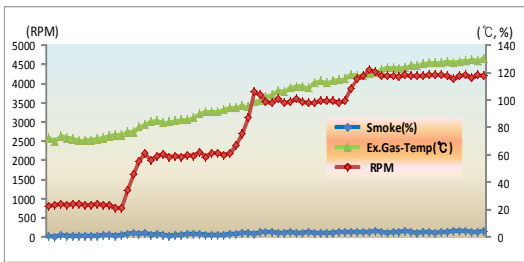


Fig. 3.5 Graph of the device after installation 2-Way.

되는 가스의 매연농도 및 가스온도를 측정된 결과와 2-Way 배기시스템 장치를 장착한 후 배기가스의 매연농도 및 가스온도를 측정하여 그 결과를 비교분석하였다.

Fig. 3.4는 실험대상 엔진의 배기라인에서 DPF 및 DOC등의 유해배출물질 저감장치를 탈거한 후 측정된 데이터이고 Fig. 3.5는 배압 감응형 2-Way 배기시스템을 장착 후 재생연소 라인이 아닌 배출라인의 매연농도 및 온도를 엔진회전수(rpm)별로 측정된 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 14.58%로 출력되었으며 2-Way 배기시스템을 장착 후 매연농도 평균값은 2.78%로서 DPF의 정상적인 작동상태로 매연농도가 감소된 것을 알 수 있다. 또한 매연측정 장비인 OP-160 내부의 배기가스 온도센서에서 출력된 배기가스의 온도는 엔진회전수 증가에 따라 상승하는 것을 알 수 있다.

### 3.3 DPF 재생연소 성능 및 효과

본 연구의 단일채널내 2-Way 배기시스템은 2개의

라인을 동시에 사용하지 않고 한 방향씩 유로 제어를 하며 작동 된다. 이때 엔진의 배기가스가 배출되는 라인에 Fig. 3.5에서 확인되는바와 같이 DPF 자체의 성능으로 매연 및 입자상물질이 정화되어 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 수행하기 위하여 엔진 회전수(rpm) 조건을 2-Way 시스템 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 회전형 밸브는 약 5~7% 개방되어 있는 상태이다. 이때 매연 평균농도는 0.1%로 출력되고 있으며 배출되는 가스의 온도는 약 280~290°C로 출력되고 있다.

이 온도는 DPF 후단부에서 약 20cm 정도 떨어진 부분에서 측정되었으며 또한 가스가 측정 장비에 도달하는 구간(약1.5m)에서의 열손실을 감안하여 볼 때 DPF 재생연소효과를 충분히 얻을 수 있는 온도라 판단된다.

또한 전자제어 연산장치인 Eco-Unit에서 히팅 장치의 듀티제어를 통하여 DPF 재생연소의 온도를 확보, 유지할 수 있다.

## IV. 결론

본 논문에서는 단일채널내 2-Way 배기시스템의 개발을 통하여 핵심기술에 해당하는 배기가스 유로의 2-Way제어를 실현하였다. 2-Way 제어기술은 기존의 DPF 시스템에서 발생하는 입자상물질 등의 축적과 이를 위한 재생 시스템의 효율적 적용여부 등에 획기적으로 기여할 수 있다. 또한 회전형 밸브를 적용한 2-Way제어 시스템은 배기라인의 DPF에서 막힘을

증가에 따른 해당 DPF의 능동적 제어가 가능하며 회전형 벨브제어를 통하여 재생연소효과를 극대화할 수 있다. 특히 소형 디젤에 적용 되고 있는 자연 재생방식 DPF에서 공간상의 제약과 운전자의 엔진 운행 패턴과 무관하게 재생연소를 실현 할 수 있으며 전자제어장치의 도입으로 보다 정밀한 배기가스의 제어를 구현 하였다.

1) 기존 DPF가 장착된 시스템에서 필터의 막힘에 따른 매연저감 성능저하를 개선하기 위한 회전형 벨브를 적용한 단일 채널내 2-Way 유로를 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 수행 할 수 있었다.

4) 회전형 벨브에 베벨기어 적용으로 스텝모터(2상) 회전 각도(1step 당 1.8°회전)에 대한 정밀 제어를 실현하였으며 재생연소 효율을 증가시켜 DPF 재생 후 급격히 방출되는 Ash 문제를 개선 할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 동주대학교 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

### REFERENCES

[1] J. H, Kim, M. Y. Kim and H. G. Kim, "NO<sub>2</sub>-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] S. I. Kwon, Y. H. Park, J. C. Kim, and C. S. Lee, "Effect of DPF Regeneration on the Nano Particle Emission of Diesel Passenger Vehicle" Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers Vol.15, No.3, pp. 153-159, (2007)

[3] GRPE-PMP report, "Health effects, measurement and filtration of solid particle emitted from diesel engine," April, (2001)

[4] Vincent, M. W., Richards, P. J. and Rogers, T. J., "Effective particulates reduction in diesel engines through the use of fuel catalyzed particulate filter," International J. of Automotive Technology, vol. 3, no. 1, 1-8, (2002)

[5] Go, H. R., Jung, C. G. and Lee, H. N., "A Study on the Flow Characteristic of the Diesel Engine DPF," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.36, No. 1, pp.109-117,(2012)

[6] G. Jeong, J. Kang, Y. Jeong, Y. You, and J. Jo, "A Study on the Diesel Injection Characteristics Using Active Regeneration DPF Burner System," Proceedings of the KSAE Fall Annual Conference, pp. 1057-1062, (2010)

[7] B. Yun, H. Kim, S. Hong, and Y. Jeong, "A Study on Regeneration Control of Active DPF System Using Plasma Burner" Proceedings of the KSAE Spring Annual Conference, pp. 350-355, (2010)

[8] S. Choi, H. Kwon, J. Lee, H. Jeong, D. Choi, N. Kim, and Y. Park "The Effect of DPF Cleaning on DPF Regeneration Performance," Proceedings of the KSAE Spring Annual Conference, pp. 76-81, (2010)

[9] Timothy V. Johnson, "Diesel Emission Control in Review," SAE Technical Paper 2006-01-0030, (2006)