

물 분사 및 배기가스 구동형 진공펌프를 이용한 매연여과장치에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Smoke Filtration System Using Water Injection and Vacuum Pump driven by Exhaust Gas

이한성* · 김경현** · 정석호*** · 고대권****†

Han-Sung Lee*, Kyong-Hyon Kim**†, Suk-Ho Jung*** and Dae-Kwon Koh****†

(접수일 : 2012년 8월 6일, 수정일 : 2013년 5월 8일, 채택확정 : 2013년 5월 13일)

Abstract: Diesel particulate filter has been adopted in new vehicle with diesel engine. Since the flow of exhaust gas was clogged as particulate matters were deposited in the filter, it have bad effects on a fuel consumption and power. It was investigated that a particulate filtering system with vacuum pump in the exhaust gas line could be free from clogging in previous research. In this study, the effects of water injection and position of inlet port in filtering system on reducing in particulate matter were investigated. It was noticed that particulate matter were decreased remarkable by water injection and moving the position of inlet port.

Key Words : Smoke, Filtration, Diesel particulate filter, Vacuum, Water injection

1. 서 론

지금 세계는 이산화탄소의 증가로 인하여 지구 온난화에 따른 환경문제에 대응하기 위해 국제협약을 통한 이산화탄소 규제가 본격화되고 있다. 디젤 엔진은 동일 배기량 기준으로 가솔린 엔진보다 이산화탄소 배출량이 20~30% 적어 차세대 친환경적 운송수단으로 가장 현실적인 대안으로 부각되고 있다^{1,2)}. 그러나 디젤엔진은 부분적 과농 연소영역에서는 매연이 다량 생성되는 문제를 근본적으로 안고 있다^{3,4)}. 이러한 문제를 해결하기

위하여 연료의 고압분사 등과 같은 분사 전략의 향상과 유동에 의한 연료-공기 혼합의 조절 등으로 많은 배출가스의 저감이 이루어졌지만 현재 강화되는 배출가스 규제를 만족시키기 위해서는 후처리장치의 개발은 필수적인 것으로 보인다.

현재 매연 및 입자상 물질의 저감기술로는 DPF (Diesel Particulate Filter)가 가장 효과적이며, 정부에서는 일부지역에서의 차량에 장착을 의무화하도록 하고 있다⁵⁻⁷⁾. 하지만 현재 시중에 판매되고 있는 DPF는 장착 후 시간이 지남에 따라 매연입자가 내부에 쌓여 배기가스의 흐름을 방해하기

****† 고대권(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과
E-mail : dkkoh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6195

*이한성 : 동주대학교 자동차·기계과

**김경현 : 부경대학교 탐양호

***정석호 : 부경대학교 기계시스템공학과

***† Dae-Kwon Koh(corresponding author) : Department of Mechanical System Engineering, PuKyong University.

E-mail : dkkoh@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6195

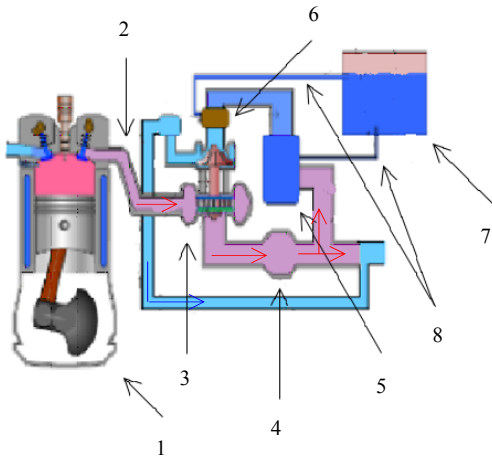
*Han-Sung Lee : Department of Vehicle & Mechanical Engineering, DongJu University.

**Kyong-Hyon Kim : TamYangHo, PuKyong University.

***Suk-Ho Jung : Department of Mechanical System Engineering, PuKyong University.

때문에 연비 및 출력효율을 떨어뜨린다. 따라서 6개월을 주기로 DPF를 탈착하여 에어룸에서 청소를 하고 있는 실정이다. 또한 시중에 유통되고 있는 매연여과장치는 대부분이 수입품으로 국산화를 위한 기반기술 개발이 절실한 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 선행 연구에서 제안한 매연여과장치는 매연을 효과적으로 포집하기 위해 배기라인에 부압발생장치를 설치하여 배기가스를 흡입한 후 여과부에서 매연을 포집한 후 배기가스를 대기로 방출하는 장치이다⁸⁾. 이 연구에서는 선행 연구에서 제안한 매연여과장치에 수분이 포함되어 있는 FGF(Fiber Glass Filter)를 이용하여 배기라인에 물을 분사시켜 미세 입자상태의 매연을 포집하도록 변경하였다. 본 매연여과장치의 실효성을 검증하기 위해 실제 차량 엔진에 장착하여 부압발생장치를 가동시켜 배기가스 중의 매연변화를 실험적으로 수행 및 고찰하였다.



1: Engine 2: Exhaust Manifold 3: Turbo vacuum pump
4: Silencer 5: 1st filter 6: 2nd filter 7: Water tank
8: Suction port

Fig. 1 Schematic diagram of smoke filtration system equipped with vacuum

2. 실험장치 및 방법

2.1 매연 여과 장치 구성

이 연구에서 제안된 부압 및 물을 이용한 매연

여과장치의 전반적인 구성은 Fig. 1과 같다. 배기가스 중의 매연을 포집하기 위하여 배기가스의 압력으로 터빈을 회전시키고 같은 축으로 연결되어 있는 터보진공펌프를 이용하여 흡입력을 발생시켜 소음기 후부에 설치된 흡입라인을 통해 배기가스를 흡입한다. 흡입된 매연은 물탱크에서 부압에 의해 공급된 물에 의해 젖어있는 1차 필터, 2차 필터에서 포집된다. 이 때, 배기가스 라인에 병렬로 매연 여과 장치를 설치된 구조이기 때문에 필터가 막히더라도 배기가스의 흐름을 방해하지 않아 엔진의 배기효율을 저감시키지 않는다.

2.2 시작품 제작 및 실험

실험에 사용된 매연여과장치는 소음기 후부에 3군데 흡입라인을 두었고 흡입라인에 1차 필터와 2차 필터를 설치하였다. 필터의 재료는 화이버 글래스를 사용하였으며 각각의 필터에는 상온의 물을 공급하였다. 부압에 의해 물이 공급되도록 Fig. 2의 7번 위치에 제작, 설치하였다. 부압발생장치는 터보차저를 응용하여 제작하였으며 과급기의 토출관을 반대로 연결하여 부압을 생성하였다. 또한 매연여과장치의 배기가스 흡입의 영향을 파악하기 위해 흡기포트의 위치에 따라 두 가지 형태

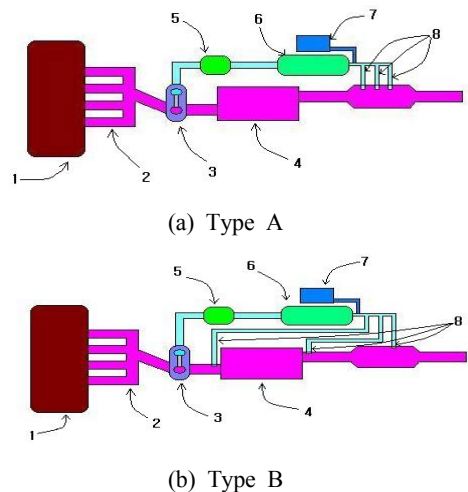


Fig. 2 Smoke filtration system using water and vacuum pump

로 나누어 제작하였다. Fig. 2의 (a)가 A형으로 소음기 후부에 3개의 흡기포트를 두었고, Fig. 2의 (b)가 B형으로 소음기 앞에 1개, 소음기 후부에 2개의 흡기포트를 두었다.

Table 1 Specifications of test engine

Items		Specifications
Displacement (cc)		2476
Bore X Stroke (mm)		91 X 95
Engine type		4cycle, DOHC, D4BX
Valve timing	Intake	bTDC 20°/aBDC 48°
	Exhaust	bBDC 54°/aTDC 22°
Power		73 ps/4200 rpm

Table 2 Specifications of smoke test equipment

Light	563nm Light-emitting diodes
Detection device	Silicon photodiode
Display	Graphics LCD Decimal place
Accuracy	0.1%
Range	0.0~100.0%

실험에 사용된 엔진의 제원은 Table 1과 같다. 본 실험에 사용된 측정방법은 자동차검사소에서 사용하는 자동차 매연 측정방법을 기준으로 하였으며 실험 결과의 정확성 및 다양성을 얻기 위해 급가속시의 여러 가지 조건으로 실험을 실시하였고, 물 분사 전 후의 매연농도에 대해서도 살펴보았다. 특히 실험결과에 사용되는 매연농도(Smoke density, 단위:%)는 환경보전법을 참조하여 사용하였다. 매연측정기는 광투과식 매연측정기(OP-160)로써 제품사양은 Table 2와 같다. 이 연구에서 제안된 매연 저감장치를 실제 디젤엔진에 적용하기 위해 매연 저감장치의 부품들을 제작하였다.

3. 실험결과 및 고찰

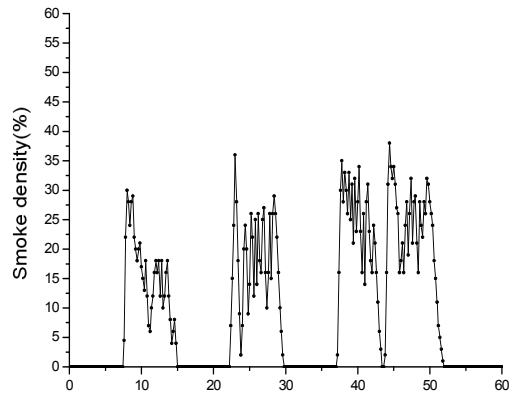
3.1 물 분사만을 이용한 결과

Fig. 3과 Fig. 4는 매연여과장치를 배제하고 배기라인에 연속 물 분사 시 매연농도의 변화를 나

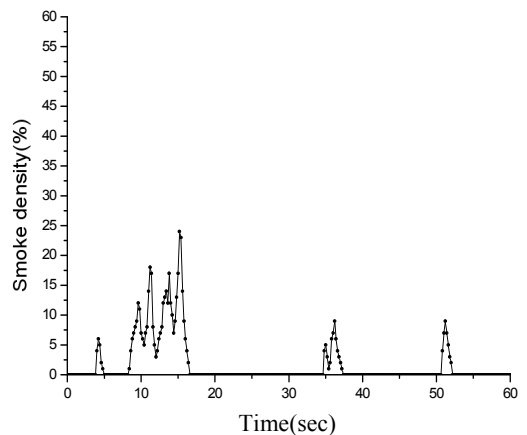
타내고 있다.

Fig. 3은 엔진이 공회전 상태에서 최고 rpm까지 무부하 급가속했을 때의 매연농도를 나타낸다. 물 분사가 없는 Fig. 3 (a)와 연속적인 물 분사가 실행된 Fig. 3 (b)에 따르면 배기가스에 물을 분사할 때 매연농도가 현저하게 감소하는 것으로 보아 매연저감 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 연료 분사펌프의 엔진 최고속도 조절 스크류를 약 3000rpm에 고정시킨 후 무부하 급가



(a) Without water injection



(b) With water injection

Fig. 3 Smoke concentrations according to continuous fluid injection at tickover sudden acceleration from 1000rpm to 4300rpm

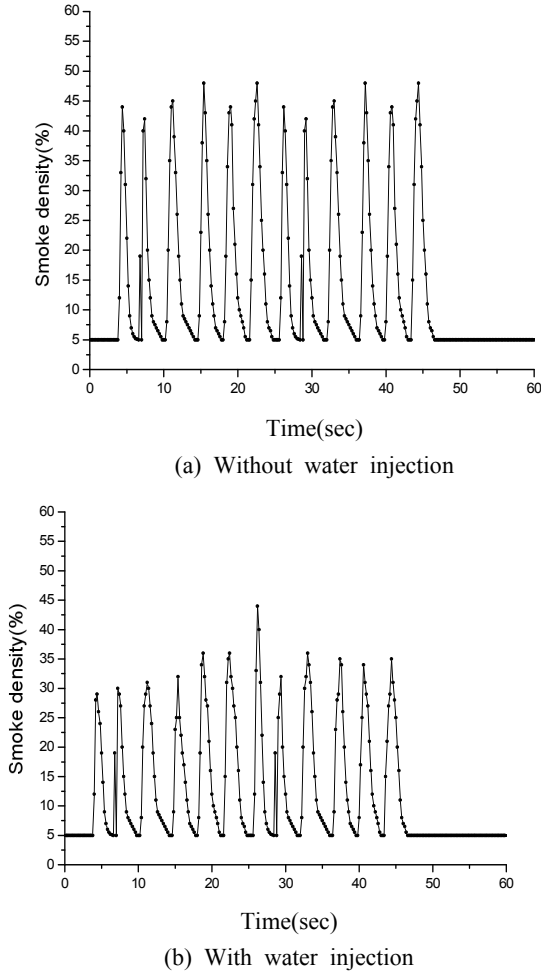


Fig. 4 Smoke concentrations according to continuous fluid injection at 3000rpm

속 실험을 한 데이터이다. 물 분사가 없는 경우는 매연농도가 40-50%를 유지하는 반면 연속적인 물 분사가 있는 경우는 대부분 30-35%로 감소한 결과를 나타낸다. 위 둘 결과로부터 매연여과장치를 제거하고 연속적으로 물만 분사하여도 매연을 저감시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 물이 입자상 물질에 흡수되어 입자상 물질의 부피가 커지며 무게도 증가하기 때문에 배기통로에 부착 또는 침전되기 때문으로 고려된다. 또 매연 여과장치를 부착하면 수분이 필터에도 부착되어 매연의 저감 효율을 증대시키는 것으로 고려된다.

3.2 물 분사 및 부압을 이용한 결과

Fig. 5는 매연여과장치를 장착하지 않는 상태에서의 매연농도를 측정된 결과로 일반 자동차의 운전 상태인 1000rpm에서 4000rpm 사이를 임의로 가속시키면서 측정하였다. 그림에서 초기에 아이들 상태를 유지하다가 4000rpm까지 급가속시켰을 경우 매연농도는 80%이상이었다.

Fig. 6은 A형 매연 여과장치를 장착한 후 엔진 rpm을 3500으로 고정하였을 때의 매연농도로 전

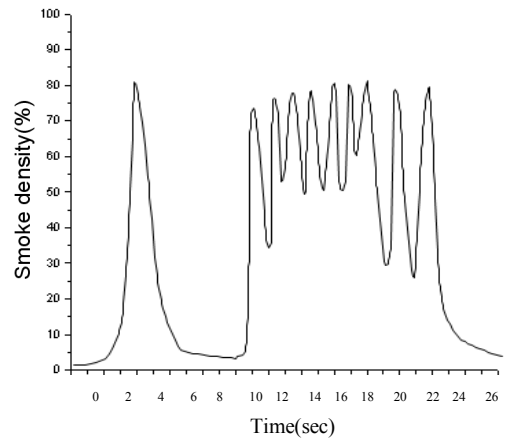


Fig. 5 Smoke data at random acceleration of 1000rpm - 4000rpm without smoke filtration system

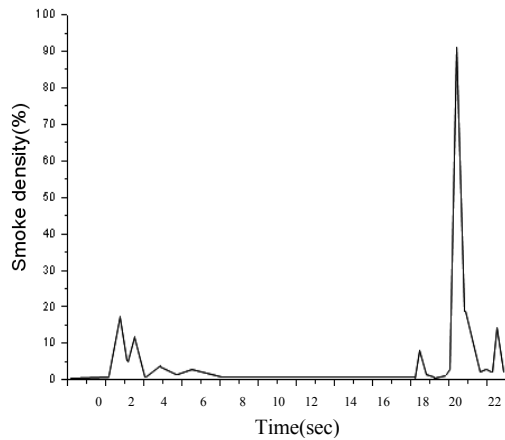


Fig. 6 Smoke data at 3500rpm with smoke filtration system type A

반적으로 10%이하를 나타내고 있다. 20(sec) 이후의 매연농도 상승은 시동 off시 발생된 것으로 엔진이 꺼지면서 터빈회전속도 저하로 인하여 여과장치 내부로의 매연흡입 불량으로 증가한 것으로 고려된다.

Fig. 7은 A형 매연여과장치를 장착한 후 엔진 회전수가 1000rpm에서 4000rpm까지 간헐적인 급가속 시의 매연농도를 나타내며 매연여과장치를 장착하지 않은 경우에 비해 약 60%의 저하되는 결과를 나타내고 있다. 또 매연농도가 20% 이상 나타나는 원인으로는 급가속 후 감속 시 터빈 회전속도의 급격한 저하현상으로 부압이 낮아져 여과장치로의 흡입량이 줄어든 것이 원인으로 판단된다.

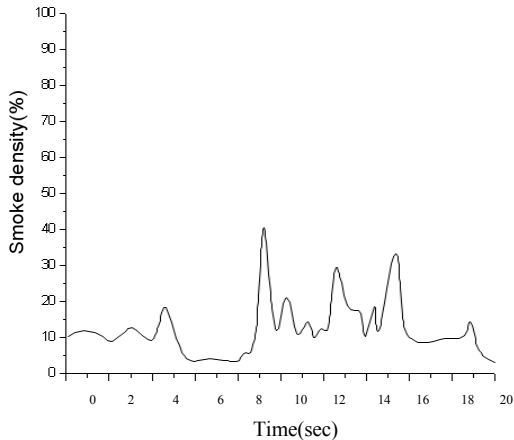


Fig. 7 Smoke concentration at random acceleration of 1000rpm - 4000rpm with smoke filtration system type A

Fig. 8은 A형 매연 여과장치를 장착한 상태에서 엔진 회전이 4000rpm 이상을 유지한 상태에서의 매연을 나타내고 있다. 2(sec)부근의 매연농도 상승은 시동 on시 발생한 매연으로 시동 시는 터빈의 회전이 충분하지 않기 때문에 매연이 증가하지만 이후 전반적으로 10% 내외로 안정되어 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 B형의 매연여과장치의 데이터로써 각각 Fig. 7과 Fig. 8의 조건과 동일하게

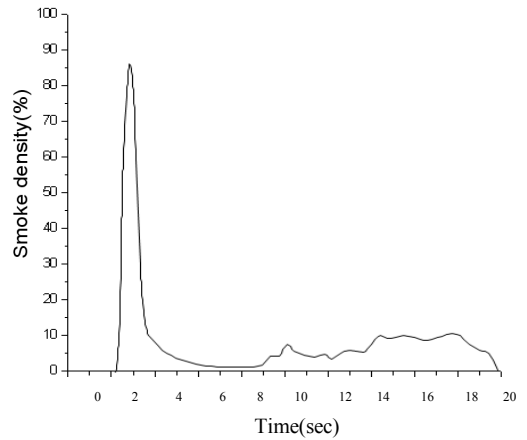


Fig. 8 Smoke data at upward 4000rpm with smoke filtration system type A

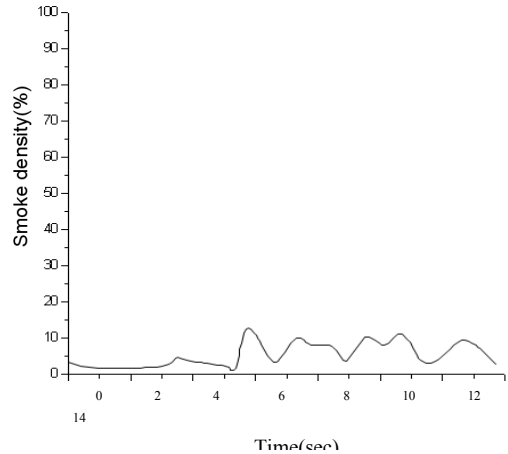


Fig. 9 Smoke data at random acceleration of 1000rpm - 4000rpm with smoke filtration system type B

실험을 수행하였다. Fig. 7과 Fig. 9를 비교하면 Fig. 9의 경우가 전체적으로 10% 이하로 감소된 것을 알 수 있다. 또 Fig. 10의 경우 Fig. 8에 비해 5-12(sec) 구간이 절반으로 줄어들고 rpm 변화에 따른 변화가 줄어든 것을 알 수 있다. 이는 흡입구를 분산 배치함으로 인해 흡입효율이 상승된 효과로 고려되며, 이 부분에 대한 고찰을 위해서 각 부분에서의 압력 및 온도의 데이터를 추가로 취득하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

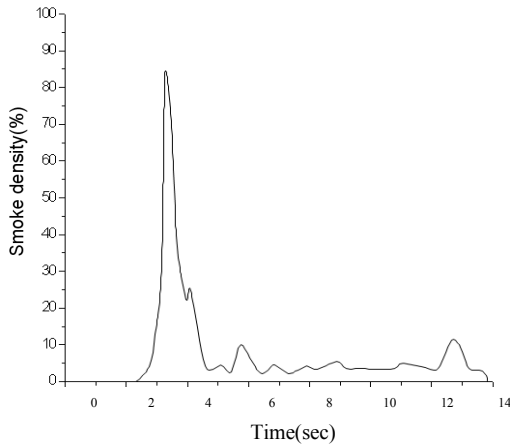


Fig. 10 Smoke data at upward 4000rpm with smoke filtration system type B

4. 결 론

이 연구에서는 배기라인에 새로 제안된 매연저감장치를 장착하여 매연저감에 대한 실험을 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 매연저감장치를 배제하고 물만 분사한 결과 배기라인에 물 분사에 의해 약 10%의 매연농도를 저감시킬 수 있었다.

2) 이 연구에서 제안한 매연저감장치를 장착하여 실험한 결과, 이를 장착하지 않은 경우와 비교하여 1000-4000 rpm 사이에서 간헐적인 가속 시 매연농도가 약 60% 이상 감소하였다.

3) 엔진 시동 및 정지 시에는 터빈의 회전속도 감소로 인해 매연농도가 증가하였고 이는 실용화하는 과정에서 해결되어야 할 과제이다.

4) 흡입구의 위치를 소음기 앞으로 분산배치하면 매연농도가 약 절반으로 감소하였고 rpm의 변화에 따른 변동도 줄어들었다.

이상의 결과를 종합하면 제안된 매연저감장치가 매연농도 저감에 효과가 있는 것으로 판단되나 각 부분에서의 압력과 온도 등을 계측 및 분석하는 등 이론적인 고찰에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

1. J. W. Lee et al, 2007, "A Study on PM Regeneration Characteristics of Diesel Passenger Vehicle with Passive Regeneration DPF System", Transactions of the KSME B, Vol. 31, No. 2, pp. 188-194.
2. M. D. Eom et al., 1999, "Characteristics of Exhaust Emissions from a Heavy-duty Diesel Engine", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers Vol. 7, No. 9, pp. 20-27.
3. GRPE-PMP report, 2001, "Health effects, measurement and filtration of solid particle emitted from diesel engine," April.
4. M. W. Vincent, P. J. Richards and T. J. Rogers, 2002, "Effective particulate reduction in diesel engines through the use of fuel catalyzed particulate filter," IJAT, Vol. 3, No. 1, pp. 1-8.
5. H. K. Park et al., 2006, "NOx Reduction of a Medium Speed Diesel Engine Using a Charge Air Moisturizer System", ASME Conference Proceedings, Paper no. ICEF2006-1548, pp. 25-29.
6. C. S. Kim et al., 1999, "An Experimental Study on the characteristic of Exhaust Emissions and the Engine Performance with Intake Port Water Injection in Diesel Engine" The Korean Society of Marine Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 25-32.
7. T. I. Park et al., 1996, "Technology for Reducing NOx and Soot Using EGR with Micro-explosion Effects", KSAE 1996 Auto. pp. 239-245.
8. H. S. Lee and D. K. Koh, 2011, "An Experimental Study on the Smoke Filtration System of Suction Type of Exhaust Gas using Vacuum", The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 16-21.