

부압을 이용한 매연저감장치의 실험적 연구

An Experimental Study of Smoke Reduction System using Vacuum

함성훈[†] · 권영웅* · 오세훈** · 박성천***

Sung-Hoon Ham · Young-Woong Kwon · Se-Hoon Oh · Sung-Cheon Park

Abstract Over the past years, many research works have been carried out to investigate the factors which govern the performance of diesel engine. The air pollutant emission from the diesel engine is still a significant environmental concern in many countries. In the present study, new system of smoke reduction of diesel engine is proposed. This new system is using vacuum equipment and filter included moisture for capture smoke. To verificate new system experiments were performed at diesel vehicle. As a result it is founded that smoke is decreased.

Keywords : Vacuum, Diesel Engine, fluid Supply, Smoke

요 지 지난 수년간 디젤엔진의 성능을 지배하는 인자를 도출하기 위한 많은 연구가 이루어 졌다. 디젤엔진의 배출물은 대기 환경오염의 주원인으로 많은 나라에서 관심의 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 새로운 디젤엔진의 매연저감 시스템을 제안하고자 한다. 이 새로운 시스템은 매연을 포집하기 위해 부압장치와 수분이 포함된 필터를 사용하였다. 새로운 시스템을 검증하기 위하여 디젤 차량의 실차 성능실험을 하였고, 그 결과 매연저감을 확인 할 수 있었다.

주 요 어 : 부압, 디젤엔진, 유체공급, 매연, 수분 포함 필터

1. 서 론

지구 기후변화 협약 이후, 자동차 배출가스 중에서 이산화탄소(CO₂) 배출허용기준을 유럽연합(EU)에서는 2008년에 140g/km으로, 2012년에 120g/km으로 설정하였는데, 이는 자동차 산업에 있어 새로운 무역장벽으로 부각되고 있다. 따라서 국내의 유럽수출 자동차도 2009년부터 140g/km을 적용받게 되어 있어, 향후 국내 자동차 산업에도 지대한 영향을 미칠 것으로 예상된다[1]. 특히 자동차 산업에 있어서, 이러한 이산화탄소 저감은 연비저감 기술이 핵심이며, 따라서 연소 효율이 우수한 디젤엔진이 주종으로 사용되어 향후 경유자동차의 급속한 증가가 예상되고 있다[2-4]. 그러나 디젤엔진은 가솔린엔진에 비해 연소특성상 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM; Particulate Matters)이 많이 배출되며, 이에 대한 개선책이 우선적으로 요구되고

있다[5]. 선진국 특히 유럽에서는 경유자동차의 배출가스를 휘발유 자동차 수준으로 저감시킨 후 적극적인 보급을 추진하는 것을 기본 전략으로 삼고 있다[6].

2004년 기준 580여만대의 디젤차를 보유하고 있고 한해 60여만대의 디젤차가 판매되고 있어 디젤자동차의 비율이 급격히 증가하고 있는 우리나라는 세계 어떤 나라보다도 디젤매연 및 오존으로 인한 대기공해가 심각한 수준이다. 그러나 에너지 경제성 및 지구온난화가스 배출억제 정책에 따른 EU의 자동차 연비규제에 따라 디젤 차량의 수요가 급격히 증가하고 있으며, 지구환경보호를 위한 EU의 공동 전략에 따르면 승용차용 HSDI(High Speed Direct Injection) 디젤엔진의 시장점유율이 2-3년내 30%이상으로 급증할 것으로 예상하고 있다[7,8].

현재 디젤연료 자동차에 사용되고 있는 매연저감장치인 DPF는 배기가스 라인에서 매연을 포집하는 후처리 장치로 자체의 무게가 대용량이다. 또한 일정기간이 지나면 포집한 매연을 제거해야 하고 재 부착 시키는 장치로 정비작업과 처리과정에서 발생하는 분진에 의한 작업자의 건강 및 대기 증으로 재 방출 되는 문제점을 갖고 있다. 또한 일정거리 주행 후 쌓여있는 매연으로 인하여 배기가스 라인에

[†] 책임저자 : 정희원, 동주대학 자동차튜닝과
E-mail : ham2849@hanmail.net
TEL : (051)200-3415 FAX : (051)201-5420

* 서일대학 자동차과

** 중앙대학교 기계공학부

*** 교신저자 : 정희원, 서일대학 자동차과

배압이 형성되어 엔진에 영향을 주어 연비 및 엔진성능에 악영향을 일으키고 있다[9].

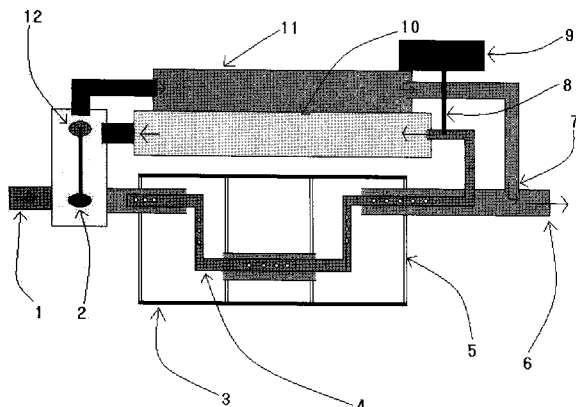
철도차량의 경우에는 대기오염물질 배출에 관한 아무런 규제가 적용되지 않고 있으나 환경부에서는 대표적인 공공수송부분인 철도에 대해서도 오염물질 배출에 대한 규제강화를 고려하고 있는 실정으로 이에 대한 연구가 이루어지고 있다[10,11].

본 연구에서는 디젤엔진의 배기가스 중 유해요소인 매연을 저감시키기 위한 장치를 개발하고자 하며, 이를 위해 미세 입자상태의 매연성분을 수분이 포함되어 있는 필터를 이용하여 포집한다. 또한 포집효율 및 배출가스의 배출효율을 높이기 위해 배기가스를 진공압으로 흡입하도록 하는 새로운 형태의 매연저감장치를 제안한다. 본 연구결과를 실제 차량에 장착시켜 실험을 수행한 결과 매연을 줄일 수 있었다.

2. 실험

2.1 제안된 장치 구성

본 연구에서 제안된 매연저감장치의 전체적인 구성도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는바와 같이 자동차의 배기가스 중 미립자 상태의 매연을 포집하기 위하여 배기가스의 압력으로 임펠러를 회전시키고 동축으로 연결되어 있는 압축터빈을 이용하여 부압을 발생시켜 소음기 후부에 설치된 흡입라인을 통해 배기가스를 흡입한다. 흡입된 배기가스 중 매연성분은 유체에 젖어있는 1차 필터, 2차 필터에서 포집되며, 유체저장조에서 필터의 유체공급은 진공압을 이용하였다. 배기가스의 흡입효율 및 매연 포집효율을 높이기 위해 압축터빈에서 발생된 부압을 이용하여, 흡



- 1 - 배기입구 2 - 임펠러 3 - 소음기
- 4 - 매연흡입라인 5 - 소음기격벽 6 - 배기출구
- 7 - 2차 필터 후 배기공급라인 8 - 유체공급라인
- 9 - 유체 저장조 10 - 1차필터 11 - 2차필터
- 12 - 터빈

Fig. 1. Schematic Diagram of Smoke Reduction System

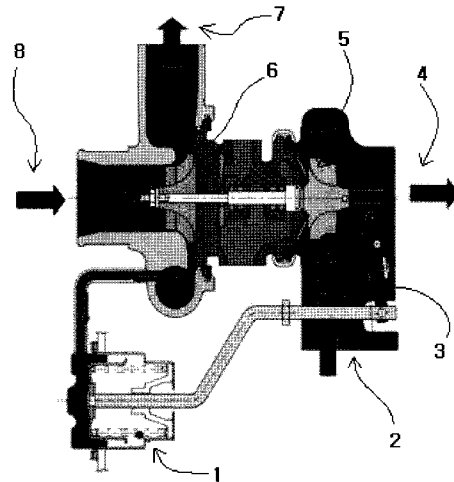
입에 의해 배기가스의 흐름을 원활히 할 수 있어 엔진의 효율을 증대시킨다. 또한 차량이 일정거리 주행 후 필터를 교환하는 교체방식을 채택하여 유지보수를 원활히 할 수 있고, 배기라인에 별도의 흡입라인을 두어 필터가 막힐 경우에도 배압이 걸리지 않는 구조로 엔진의 출력 및 연비측면에 영향을 주지 않고 대기환경을 크게 개선할 수 있다.

2.2 실험장치 제작

본 연구에서 제안된 매연저감장치를 실제 디젤 차량에 적용하기 위해 매연저감장치의 부품들을 제작하였다. 제안된 원리를 적용하기 위해 소음기 내부에 별도의 배기라인을 두었고 이를 위해 배관을 구부러 제작하였다. 또한 필터는 내구성이 우수한 선박 등 산업현장에서 많이 쓰이고 있는 스테인레스 스틸을 인발하여 제작된 SUS재료를 사용하였으며 필터케이스는 필터교환이 가능하도록 너트로 조립할 수 있도록 하였다.

매연저감장치의 입구에 부압발생장치를 설치하였다. 부압발생장치의 상세도는 Fig. 2와 같다.

매연 저감장치는 소음기 시작부분 부터 배기가스 흡입라인을 두었고 흡입라인에 적층형식으로 1차필터를 설치하였고 부압발생장치 후부에 2차필터를 설치하여 배기가스를 배출시켜 머플러를 통하여 배출되도록 구성하였다. 각각의 필터에는 유체(물)를 공급하도록 하였으며 흡입장치는 임펠러와 압축터빈을 동축으로 연결하여 제작하였다.



- 1 : 액츄에이터
- 2 : 배기가스 입구(엔진으로부터)
- 3 : WGT 밸브(웨이트 게이트 밸브)
- 4 : 배기가스 출구(소음기부)
- 5 : 터빈 휠
- 6 : 임펠러 휠
- 7 : Compressor 축 (2차필터 부)
- 8 : 흡입라인 (1차필터를 거친 후)

Fig. 2. Detail Diagram of Vacuum Generating Part

실험에 사용된 자동차 검사장비는 운행차 배출가스 정밀검사소에서 사용하는 장비로서 제품사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of Inspection Equipment

Items	Dynamo Specifications
PAU Type	Eddy Current, 공랭식, 16coils
Axle Capacity(kg)	5443
기본관성중량(kg)	907
전기적 관성(kg)	907~5443 (0.45kg 증가)
부하측정	온도보상 스트레인게이지형식 로드셀
동력흡수 측정오차(%)	±0.25
차량속도 측정오차(%)	±0.001
최대허용속도(km/h)	160
최대 Road Load Power	400HP/160km/h
Lift Road(kg)	5443

본 연구의 실차 테스트 방법은 현재 시행되고 있는 운행차 배출가스 정밀 검사시스템으로 실험하였으며 차량 총중량 5.5ton 미만인 소형 경유차량의 경우에는 Lug-Down 3 모드를 적용하여 검사하며 차대동력계상에서 자동차의 가속페달을 최대로 밟은 상태에서 측정하였다(A/T 2단, M/T 3-4단).

위와 같은 측정조건에서 엔진정격출력의 정격회전수 100%에서 1모드, 기관 정격 회전수의 90%에서 2모드, 기관 정격 회전수의 80%에서 3모드로 주행하면서 각 모드별 매연농도, 매연온도, 엔진토크, 엔진회전수, 엔진최대출력 등을 측정하였다.

실험에 사용된 실차의 제원은 Table 2, Table 3과 같다.

Table 2. Specifications of Test Vehicle 1

Items	Engine Specifications
Displacement (cc)	2607
Bore (mm)	91.1
Stroke (mm)	100
Engine type	4cyl, 8 valve OHC, D4BB
Compression ratio	22
Valve timing	Intake (BTDC 20°/ABDC 48°) Exhaust (BBDC 55°/ATDC 22°)
Power	80ps/4000rpm
Injection type	Rotary Injection Pump

Table 3. Specifications of Test Vehicle 2

Items	Engine Specifications
Displacement (cc)	2957
Bore (mm)	98
Stroke (mm)	98
Engine type	4cyl, 8 valve OHC, JT
Compression ratio	22
Valve timing	Intake (BTDC 19°/ABDC 47°) Exhaust (BBDC 52°/ATDC 14°)
Power	85ps/4000rpm
Injection type	Rotary Injection Pump

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 제안된 매연 저감장치를 디젤엔진에 연결하여 실험을 수행하여 다음과 같은 결과들을 얻었다. 실험결과를 나타내는 매연의 농도는 일반적으로 “%”로 표기하는 방식을 도입하였다.

Fig. 3는 시험차량 1의 매연저감장치를 부착하지 않은 상태에서 실험한 결과로 매연농도가 1모드에서 52ps-59%, 2모드에서는 53ps-93%, 3모드에서는 50ps-95%의 결과가 나왔다. 그래프의 왼쪽 스케일은 측정한 속도, 토크, 마력, 매연 값을 나타냈으며, 오른쪽 스케일에는 엔진 회전수를 나타내었다.

Fig. 4는 본 연구에서 개발한 매연저감장치를 장착한 후 실험한 결과이다. 각각의 모드에서 57ps-19%, 56ps-15%, 55ps-12%의 결과가 도출되었다. Table 4에서 보는 바와 같이 각각의 모드에서 평균 67%의 매연농도가 감소하였다.

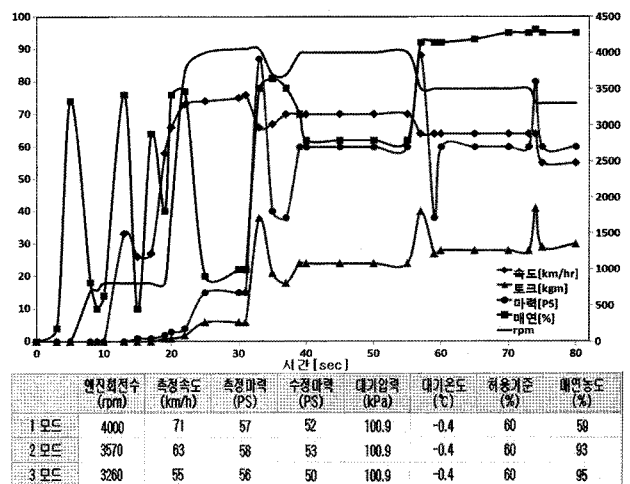


Fig. 3. Data of Test Vehicle 1 without Smoke Reduction System

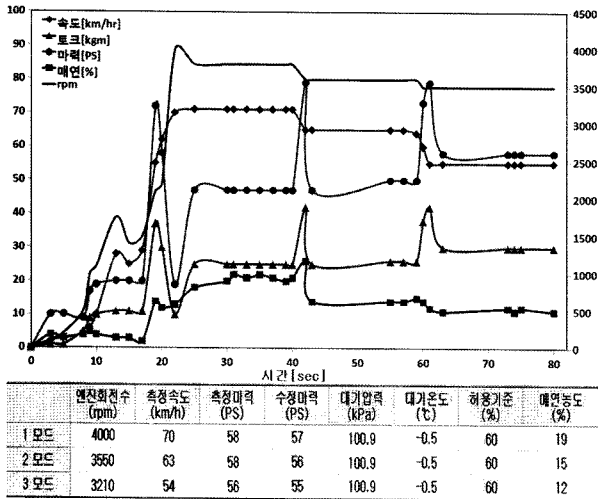


Fig. 4. Data of Test Vehicle 1 with Smoke Reduction System

Table 4는 매연저감장치의 정화효율을, Table 5는 동력 변화를 나타내고 있다. 시험차량 1의 결과를 분석하여 보면 본 연구에서 개발한 매연저감장치를 장착하여 매연농도는 평균 67% 감소하며 동력은 4PS정도 증가함을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 개발한 매연저감장치가 매연을 충분히 감소시킬 뿐 아니라 부압발생장치로 인하여 배기 효율이 증가되어 동력도 증가시켰음을 알 수 있다.

Table 4. Smoke Variation of Test Vehicle 1

	장착전(%)	장착후(%)	개선변화(%)
1모드	59	19	-40
2모드	93	15	-78
3모드	95	12	-83

Table 5. Power Variation of Test Vehicle 1

	장착전(PS)	장착후(PS)	개선변화(PS)
1모드	52	57	+5
2모드	53	56	+3
3모드	50	55	+5

Fig. 5, Fig. 6은 시험차량 2의 결과로서 매연저감장치를 장착하지 않는 경우와 장착한 결과들이다. 이들 데이터를 정리하여 Table 6, 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 디젤엔진 배기가스의 매연 저감을 위한 새로운 시스템을 제안하고자 하며, 이를 위해 엔진 배기라인에 부압발생장치를 설치하였으며 매연 포집효율을 높이기 위해 유체에 젖어 있는 필터들을 사용하여 매연저감장치를 구성하여 실차 실험한 결과 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

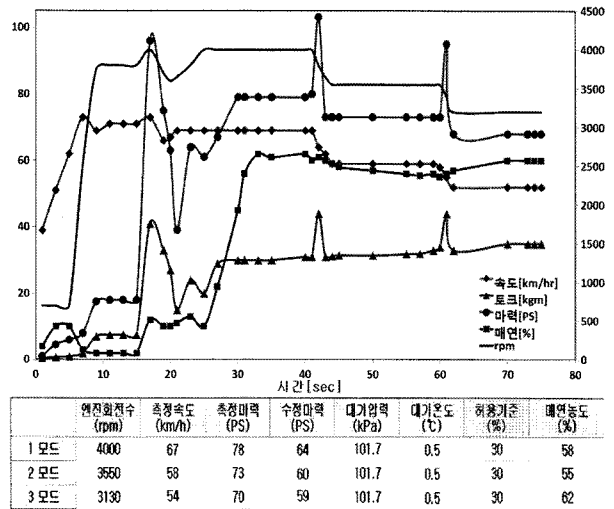


Fig. 5. Data of Test Vehicle 2 without Smoke Reduction System

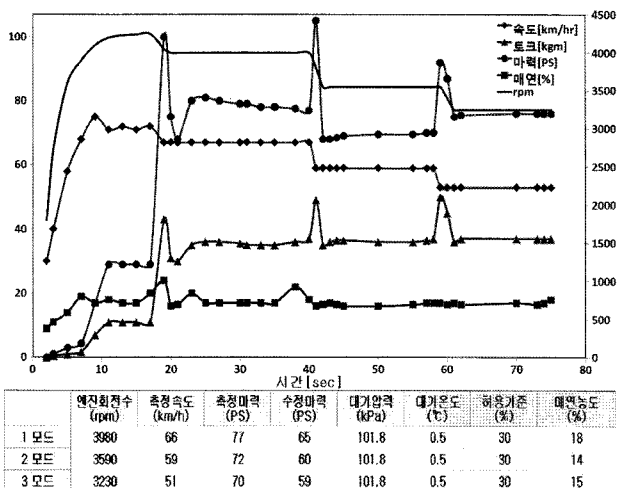


Fig. 6. Data of Test Vehicle 2 with Smoke Reduction System

Table 6. Smoke Variation of Test Vehicle 2

	장착전(%)	장착후(%)	개선변화(%)
1모드	58	18	-40
2모드	52	14	-38
3모드	62	15	-47

Table 7. Power Variation of Test Vehicle 2

	장착전(PS)	장착후(PS)	개선변화(PS)
1모드	64	65	+1
2모드	60	60	0
3모드	59	59	0

1) 본 연구를 통하여 모드별 측정결과 매연감소율이 평균 67% 정도로 감소하였다. 이는 선박, 산업현장 공기정화 필터 재질로 사용되는 SUS재료를 여러 층으로 겹쳐 만든 필터에 유체를 분사함으로써 매연포집효율을 높일 수 있었

던 것으로 분석된다.

2) 배기라인의 배압의 감소효과로 인하여 출력이 최대 5PS까지 증가하였다. 이는 배기라인에 부압발생장치를 추가함으로써 배기관을 통과하는 배기가스의 흐름을 원활히 함으로서 출력증가로 이어지는 것으로 사료된다.

3) SUS 계열 필터를 사용함으로써 일반 섬유재질의 필터보다 내열성 및 필터재생방식에서의 개선효과를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 2008년 동주대학 교내 학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 정용일(2004), "경유자동차 매연 및 입자상물질 저감기술," 한국기계연구원.
2. 김홍석, 김진현, 신동길, 조규백, 정용일, 김강출, 이영재(2004), "Peugeot 607 경유승용차의 매연여과장치 특성 분석," 한국자동차공학회는문집 Vol.12, No.3, pp.66-74.
3. 강중훈, 김만영, 윤금중(2005), "매연여과장치 재생을 위한 커먼 레일 디젤엔진의 연소 최적화에 관한 연구," 한국자동차공학회는문집 Vol.13, No.4, pp.167-173.
4. 정용일(2003), "경유자동차 매연여과장치(DPF) 개발 동향," 공기청정기술학회논문집 Vol.16, No.2, pp.19-28.
5. 엄명갑, 류정호, 이종태, 임철수(1993), "대형디젤엔진의 오염물질 배출특성," 한국자동차공학회는문집 제7권 제9호, SAE NO. 99370277, pp.20-27.
6. 정용일, 윤면근(2002), "경유자동차 매연여과장치 기술동향," 한국자동차공학회지 Vol.24, No.1, pp.39-43.
7. 황광택, 이대근(2007), "경유자동차용 입자상물질 제거 필터 소재," 세라미스트, 제10권, 제6호, pp.50-55.
8. 이춘범, 유영환, 김용우(2002), "디젤 자동차 입자상 물질 저감기술의 현황과 전망," 자동차공학회지 제24권 제4호 pp.59-65.
9. 백두성(2006), "대형디젤기관에 있어서 연속재생방식 매연저감장치 성능 테스트," 한국산학기술학회논문집 Vol.7, No.5, pp. 788-792.
10. 조영민, 박덕신, 권순박, 임인권(2006), "미국 디젤기관차의 매연 배출기준과 비교한 국내 디젤기관차의 매연 배출 저감목표 설정 연구," 2006년도 한국철도학회 추계학술대회논문집 pp.1-6.
11. 조영민, 권순박, 박덕신, 정우성, 박은영, 정미영, 김세영, 임인권(2008), "SMPS와 MOUDI를 이용한 DPF가 적용된 디젤기관차의 매연배출 저감효과 분석 연구," 2008년도 한국철도학회 추계학술대회논문집 pp.1646-1651.

접수일(2009년 6월 18일), 수정일(2009년 8월 28일),
 게재확정일(2009년 10월 13일)