

3C2) 복합 재생 방식 배출가스 저감장치(DPF) 평가

Evaluation of the Combination Type Diesel Particulate Filter

황재원 · 양도연 · 임인혁 · 박정환 · 박현대 · 김규홍
 일진전기(주) 환경사업부

1. 서 론

2005년 1월 부터 서울, 인천을 포함한 수도권은 “수도권 대기환경 개선에 관한 특별법”이 제정되었다. 이 법은 대기오염이 심각한 수도권 지역의 대기환경을 개선하기 위하여 종합적인 시책을 추진하고 대기오염을 체계적으로 관리함으로써 지역주민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성함을 목적으로 하고 있다. 하부 내역에는 사업장 오염물질 총량관리, 자동차배출가스의 억제 및 휘발성유기화합물 배출억제 등이 주 내용을 이루고 있다. 본 내용은 자동차배출가스 억제의 일환으로 이루어진 사업 중 디젤차량에서 배출되는 입자상물질(PM : Particulate Matter)을 저감하는 장치에 관한 내용으로 당사에서 개발된 복합식 매연저감장치(DPF : Diesel Particulate Filter)의 개발단계에서의 배출가스 저감능력 및 실주행 평가를 소개하고자 한다.

2. 연구 및 장치 평가

2.1 매연저감 장치의 분류 및 당사 시스템 특성

수도권 특별법에는 배출가스 저감장치를 크게 세가지로 구분하며 그 내용은 표 1과 같다

Table 1. Classification of diesel exhaust aftertreatment system.

장치명	제 1종 배출가스 저감장치	제 2종 배출가스 저감장치	제 3종 배출가스 저감장치
PM또는 NOx제거효율	70%이상	50%이상	25%이상
인증시험모드	ND13모드, 차량 3대 각 30,000km이상주행	ND13모드, 차량 3대 각 30,000km이상주행	CVS75모드 차량1대 10,000km이상
보증기간	3년또는 160,000km	3년또는 80,000km	3년또는 80,000km

본 장치는 제 1종 배출가스 저감장치에 관한 내용으로 차량에서 배출되는 매연을 70% 이상을 저감하기 위해서는 코디어라이트 세라믹 필터를 사용하여 배출되는 매연을 포집한다(그림 1). 포집된 매연은 엔진에서 배출되는 배기가스 및 외부의 열원에 의해 산화 혹은 연소시켜 필터내에 다시 매연을 포집하게 한다. 포집한 매연을 산화 혹은 태우는 것을 재생(regeneration)이라고 하는데, 재생하는 방식에 따라 배출가스 저감장치는 자연재생방식, 강제재생방식 및 이를 혼합하여 사용하는 복합재생방식이 있다. 자연 재생방식은 주로 촉매 등을 이용하여 매연의 산화온도를 낮추는 방식이며 이때 열원은 차량에서 배출되는 배기열을 이용을 한다. 강제 재생방식은 촉매에 의해 산화되는 양이 적을때 사용하는 방식으로 매연이 산화할 수 있는 온도까지 외부 열원을 이용하는 방식이다. 본 장치는 자연재생방식에서 사용되는 촉매와 차량 발전기의 전기를 이용하여 작동되는 전기히터 두 가지 방식을 적용하는 복합재생방식이다. 따라서 차량 적용이 엔진의 배기가스 온도와 무관하게 작동할 수 있는 장치라고 할 수 있다.

자연재생방식 배출가스 저감장치는 엔진의 배기가스를 이용하는데, 이 적용가능 여부는 주행중의 특정온도 이상이 전 운전 범위의 몇 %빈도로 주행하는지를 확인하여, 장치의 적용여부를 결정한다. 실제 당사를 포함한 수도권 사업에서 사용되는 자연 재생방식에서는 이 온도 조건을 인증기준으로 하여 장치마다 온도와 빈도를 주어 장치를 장착하도록 유도하고 있다. 당사 자연재생 방식의 경우를 예들들면

96~99년 사이의 년식에서는 배출가스 온도가 270℃ 이상이 전 운전범위의 10% 이상인차, 00년 이후 년식의 경우 250℃ 이상이 전 운전범위의 10% 이상인 차로 제한하여 장치를 장착하고 있다.

복합장치는 이와는 달리 배출가스와 무관하게 장치를 장착할 수 있으며, 아래는 차량인증시의 엔진시험, 실차시험 및 사업후 실제 차량 탑재한 결과를 중심으로 설명하기로 한다.

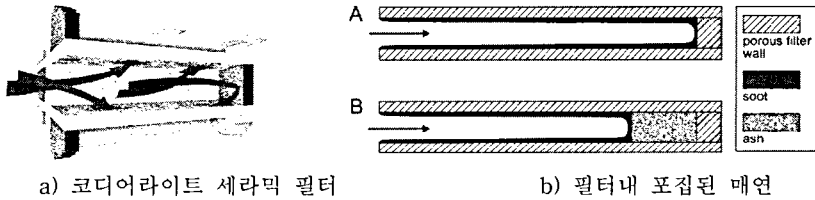


Fig. 1. Soot Deposition in Single Channel of Wall-Flow Filter.

2.2 엔진시험 및 성능 결과

당사 복합재생 방식은 그림 2에서와 같이 크게 제어부, 히터부와 촉매필터부로 나누어져 있으며, 엔진에서 발생된 배출가스 중 매연(PM)은 촉매 코팅된 필터에 70% 이상 포집된다. 포집된 매연은 제어기에 의해 재생시기와 재생기간이 판단되며, 엔진이 고온, 고부하로 작동되고 있는 경우에는 히터의 작동 없이 촉매에 의해 포집된 매연의 산화온도를 낮추는 분위기가 조성되어 매연이 산화되는 자연재생이 이루어지고, 엔진이 저부하, 저온으로 작동 될 경우에는 전기 히터에 의해 필터에 열이 공급되어 포집된 매연이 강제적으로 태워지는 강제재생이 이루어진다.

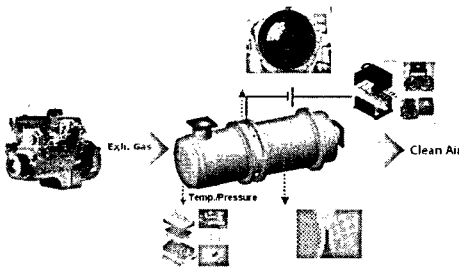


Fig. 2. Schematic diagram of ILJIN DPF system.

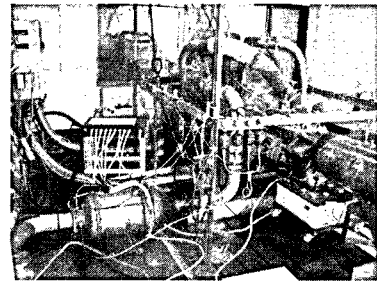


Fig. 3. Engine dynamometer and ILJIN DPF system installation.

그림 3은 인증시험을 위해 엔진동력계에 장치를 설치한 그림이며, 시험의 종류에는 특성시험과 배출가스 저감효율 시험 두 종류가 있다. 특성시험에서는 Seoul-10 모드 조건에서 50시간 내구시험을 하며, 장치 전후단의 배기압력과 온도를 데이터취득시스템(Data Aquisition System)으로 1초당 5회 간격으로 취득하여 저장하였다. 또한, Seoul-10 모드 시험 동안 장치장착 전후의 배출가스(PM, THC, CO, NOx) 및 출력과 연비 등의 장치 장착 전후의 변화를 측정하기위하여 0시간, 25시간, 50시간 마다 배출가스 저감효율시험과 엔진의 최고출력을 측정하여 장치의 특성을 파악하였다. 저감효율시험은 실차시험 30,000km주행후 장치를 엔진동력계에 장착하여 배출가스와 미량유해물질 등을 측정하여 배출가스저감효율을 측정하는 시험이다. 본 시험을 위한 대상엔진은 대우 DE12Tis 디젤엔진과 현대 D6DA엔진이며, 주요 제원을 표 2에 나타내었다.

Table 2. Specification of test engine (HDV, MDV).

	HDV	MDV
엔진형식	6기통 4행정 터보과급 냉각기관	4행정 터보과급 냉각 디젤기관
실린더내경×행정(mm)	123×155	109×118
배기량(cc)	11051	6606
압축비	16.8 : 1	17.6 : 1
최대출력(ps/rpm)	340/2100	225
최대토크 (kg.m/rpm)	140/1260	64

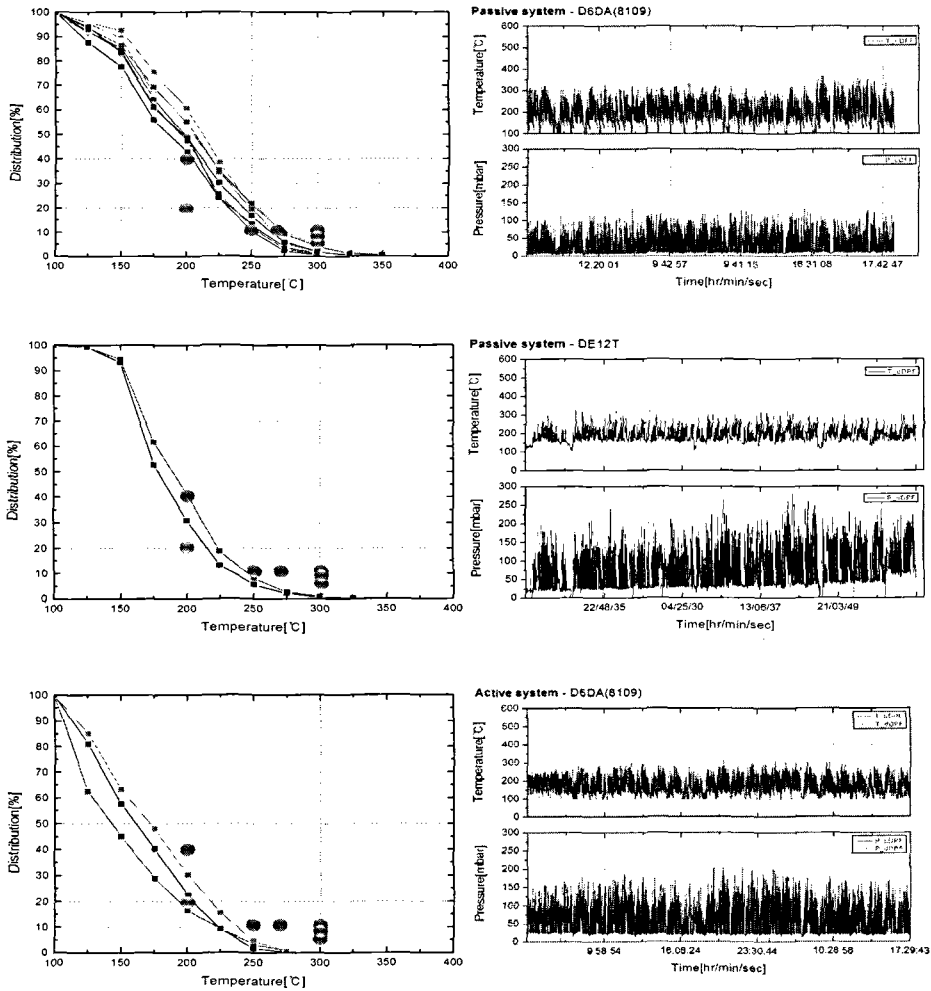


Fig. 4. Pressure behavior according to the system (top and middle : Passive system, Bottom : active system).

2.3 실차량 주행 평가

그림 4는 실제 차량에서 양산으로 공급된 샘플에 대한 평가를 위해 임의의 차량 3대를 선정하여 배압 및 온도에 대한 데이터를 분석해 보았다. 그림에서는 자연재생방식 2곳 및 복합재생방식 1곳을 선정하

여 온도 및 압력에 대한 데이터를 정리하였다. 첫 번째 그래프는 자연재생영역 이상의 온도조건인 자연 재생방식으로 전반적으로 배압이 안정되는 모습을 보여 원활히 재생함을 알 수 있으며, 다음의 그림은 온도조건이 자연재생영역보다 낮은 차량에서 자연재생 방식을 장착할 경우를 보이는데 전체적인 압력이 점차 증가되는 것으로 보아 장치에서 재생이 원활하지 않음을 보여주고 있다. 마지막 그림의 경우는 자연재생영역이하에서 복합재생 방식을 장착한 차량으로 자연영역 아래에서도 배압이 균일하게 분포되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

- 1) 온도 제한 조건 없는 조건으로 인증시험을 한 복합재생방식 배출가스 저감장치는 인증시험조건인 Seoul-10모드에서 정상적으로 작동되었으며, 시험중 0, 25, 50시간 마다 배출가스를 측정된 결과 PM의 경우 대형 및 중형 차량에서 각각 86~93%의 저감효율을 나타냈고, CO와 THC는 약 70~80%의 저감효율을 보였으며, NOx는 큰 변화 없었다.
- 2) 대형 및 중형 각 3대에 대한 실차내구시험 30,000 km를 주행완료한 장치를 대상으로 배출가스 저감 효율을 측정된 결과 PM의 경우 89% 및 94%의 저감효율을 나타냈고, CO와 THC는 각각 72% 및 84%의 저감효율을 보였으며, NOx는 큰 변화가 없는 것으로 확인되어 인증조건에 부합하였다.
- 3) 인증시 외기온도 1℃변화에 따른 장치 진단 온도변화가 1~4℃로 취득되는 것으로 보아 국내 실정에 맞는 자연재생방식 배출가스저감장치는 온도적용에 감안하여 장착해야 하며, 온도조건이 없는 복합재생 방식이 유리하다고 판단되었다.
- 4) 실차량 주행에서의 결과로 볼때 인증기준인 온도만을 기준으로 볼때 복합재생방식이 자연재생방식 보다 저온에서 장치가 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

수도권 대기환경 개선에 관한 특별법 (2005) 환경부.

Minamikawa, J. et al. (2005) "Hino's DPR: A system for extremely low PM emissions in all commercial vehicles", Proceedings of the 3rd AVL International Commercial Powertrain Conference.