

디젤 PM 저감에 대한 연구 동향

The Trend of Diesel PM Reduction Research



이진하 / 현대·기아자동차
Jin Ha Lee / Hyundai · Kia Motors

지구 온난화 방지와 디젤 승용차

세계적으로 급격한 유가 상승으로 인해 승용차 시장에서 연비에 강점이 있는 디젤 승용차가 주목을 받고 있다. 2,000cc급 이하의 소형 디젤 승용차가 속속 선보이고 있으며, 2,000cc급 이상의 중형 디젤 승용차도 매연여과장치(Diesel Particulate Filter)를 부착하여 강화된 환경규제에 대응하여 시장에 출시되었거나 조만간 선보일 예정이다.

디젤 자동차는 가솔린 자동차에 비하여 지구온난화의 원인물질인 CO₂ 배출량이 약 20% 적으며, 장래 기대되고 있는 연료전지 자동차의 경우 수소제조 과정까지 고려하였을 때는 디젤에 비해 CO₂ 배출량은 크게 개선되지 않을 것으로 예측되기도 한다.¹⁾

디젤 승용차는 질소산화물(NO_x)과 입자상 물질(PM)의 배출로 인해 소비자가 좋지 않은 인식을 가지고 있는 것도 사실이다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 디젤 엔진의 배출가스 저감을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 엔진 연소 개선에 의한 원천적인 배출가스 개선과 함께 배출되는 유해가스를 제거하는 후처리 분야의 연구가 활발히 진행되어 현재 2005년 유럽에

서 시작한 배출가스 규제(EURO IV NO_x : 0.25g/km, PM: 0.025g/km)를 만족할 만큼 큰 발전을 이루었다.²⁾

특히 건강에 나쁜 영향을 미치며 혐오감을 주는 검은 매연인 입자상 물질(PM)의 배출은 매연여과장치의 개발로 인해 자동차 가스 배출구로부터 거의 보이지 않게 되었다.

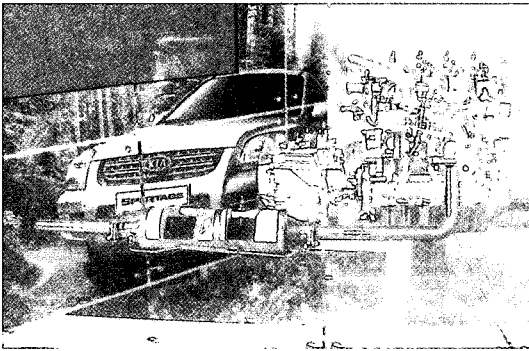
불가능하리라 여겼던 PM의 저감

앞서 잠시 언급하였듯이 일반적으로 디젤 자동차에서 배출되는 검은 매연인 PM은 디젤엔진의 커먼레일 방식에 의한 연료 고압분사 시스템 도입, 연료 다단 정밀 분사 제어 및 신연소 기법의 개발 등으로 인해 엔진 성능 향상과 더불어 대폭 저감되었다.

그러나 디젤 배출 PM은 인체 유해성 등에 의해 배출가스 규제가 더욱 강화되면서 엔진의 연소 개선만으로 PM 규제 대응이 불가능한 경우가 발생하였다.

많은 연구자들은 오래전부터 PM을 제거하기 위한 여러 방법의 후처리 장치를 연구하였으나, 후처리 장치에 포집된 PM의 처리방법의 개발에 있어서 어려움이 있었다.

그러나 최신 디젤 엔진 기술은 연료의 다단 분사 정밀 제어 등 엔진 연소 제어기술 개발로 배출가스 온도를 조절하여 후처리 장치에 포집된 PM의 강제 연소를 가능하게 하였다.



〈그림 1〉 DPF 장착 시스템

〈표 1〉 매연여과장치(Diesel Particulate Filter)용 필터 재질별 특징

재질	장점	단점	구조
코디어라이트 (Cordierite)	- 포집효율이 높다. - 가격이 싸다.	- 내열강도가 낮다. - 응용, 파손되기 쉽다.	
탄화규소 (SiC)	- 포집효율이 높다. - 내열강도가 높다.	- 가격이 비싸다 - 열팽창율이 높아 파손되기 쉽다.	
Aluminium Titanate	- 포집효율이 높다. - 강도가 높다.	- 내열강도가 낮다. - 열전도율이 낮다. - 코디어라이트에 비해 가격이 비싸나 SiC에 비해 저렴하다.	
금속	- 내진성이 높다. - 강도가 높다.	- 가격이 비싸다. - 포집효율이 낮다. - 촉매 코팅성이 세라믹 재질에 비해 떨어진다.	

다양한 형태의 매연여과장치의 개발

DPF는 포집된 PM의 재생 방식에 의해 크게 엔진의 배출가스에 의한 재생 방식과 DPF 자체에 재생

을 위한 장치를 가지고 있는 방식으로 나뉘어진다.

엔진 배출가스에 의한 DPF 강제 재생 방식은 필터에 포집된 PM의 양, 재생 시작 시점의 엔진 조건 등을 고려하여 ECU에 의한 엔진 정밀 제어를 통해 배출가스 온도 상승을 유도하여 필터에 포집된 PM을 강제로 연소 시킨다. 이러한 방식은 주로 자동차 제작사에서 사용되고 있다.

이러한 방식은 세부적으로 낮은 배출가스온도에서 포집된 PM의 연소가 가능하도록 연료 중에 첨가제를 혼합하는 방식과 필터에 귀금속을 코팅하여 귀금속 촉매반응에 의한 산화와 배출가스 열에 의한 연소를 같이 이용하는 방식으로 나눌 수 있다.

다음으로 DPF 자체에 강제 재생을 위한 장치를 가지고 있는 방식은 세부적으로 엔진의 배출가스 온도에 의존하지 않고 별도로 DPF의 필터에 포집된 PM을 전기히터 방식과 버너 등에 의해 연소시켜 주는 방식으로 나눌 수 있다. 이러한 방식은 엔진 제어에 의한 배기열로 DPF에 포집된 PM을 재생하는 방식에 비해 엔진 제어가 간편한 장점이 있으며, 주로 현재 운행되고 있는 디젤 중대형 자동차의 DPF 재생 방식으로 개발되어지고 있다.

이러한 방식들은 운행차에 장착하여 DPF의 재생 시 엔진 제어를 통한 배출가스 온도 상승이 불가능하고, 또한 연료 다단 분사 등 엔진 정밀제어가 불가능하기 때문에 별도의 재생 장치가 필요하다.

여러가지 방식의 전기히터에 의한 DPF의 PM 재생은 전기히터의 가열을 위한 전력이 추가로 요구되어져 자동차에 별도의 발전기 설치가 필요하거나 자동차 출력저하, 연비 악화의 원인이 될 수도 있다.

버너에 의한 연소 방식은 기존 연료를 사용하여 DPF 필터에 포집된 PM을 화염의 열에 의해 연소시키는 방식으로 화염의 제어에 따라 연비에 많은 영향을 주며, 안전성 확보가 필요하다. 또한 화염에 의한 필터의 파손 방지와 안정된 화염의 확보를 위해 버너의 정밀 제어 기술이 필요하다.

매연여과장치용 필터 개발

DPF에 사용되는 필터는 코디어라이트(Cordierite), 탄화규소(SiC), 알루미늄 타이타네이트(Aluminium Titanate), 금속 등 다양한 재질이 개발되고 있다(표 1).

배출가스가 필터 벽면을 통과하는 방식의 허니컴 형태 필터들은 PM 포집효율이 95% 이상이며, 금속 필터들은 필터 방식에 따라 포집효율이 40~80% 범위로 다양하다.

현재 중소형 승용 자동차를 중심으로 세라믹 계열의 SiC 재질 필터가 주로 사용되어지고 있으나, 최근에는 국내에서도 금속 재질 등 다양한 형태의 필터들이 개발되고 있다(표 2).

특히 SiC를 중심으로 한 허니컴 형태의 필터들은 DPF의 장착으로 인한 엔진 배압 증가를 최소화 하기 위하여 필터의 기공율(Porosity)을 크게 하는 방향으로 개발이 진행되어져 왔다.

〈표 2〉 허니컴 형태의 매연여과장치(Diesel Particulate Filter)용 필터 재질별 특성

	Cordierite	SiC	Si3N4	Aluminium Titanate	Zirconium Phosphate
High Strength	-	++	++	-	-
Low Young's Modulus	++	-	+	++	++
High Thermal Conductivity	-	++	-	-	-
Thermal Shock Resistance	++	+	+	++	++
High Thermal Resistance	-	++	++	+	+
Good Durability (Thermal Cycle)	++	++	++	+	-
Low Weight (Low Density)	++	+	+	-	-
Low Cost	++	-	-	+	+

디젤 자동차가 배출하는 나노 입자

한편, 디젤 자동차가 배출하는 입자상 물질(PM) 중의 Nano Meter(10억분의 1) 레벨의 입자가 새로

운 대기오염물질로 주목받고 있다. 규제 대상인 입자상물질(PM)의 미립자의 평균적 등가 직경(Median Diameter)은 100nm이며, 요소 입자(Element Particle)의 크기는 30~5nm로 알려져 있다. 이러한 극미세 입자는 나노테크놀로지(초미세 기술)의 발전에 의해 검출이 가능해졌다.

나노 PM 규제의 움직임

유럽에서는 2010년도 배출가스 규제(EURO V) 이후 나노 PM 입자 규제가 실시되어질 것으로 예상되고 있다.

유로 IV 배출가스 규제는 PM 배출 중량 규제이나 배출 나노 입자 총 수 규제안은 배출 나노 입자 총 수를 10¹⁴개/km³ 수준으로 규제하는 안을 제안하고 있다.²⁾ 이는 PM 배출 중량 규제 기준으로 환산하여 0.001g/km 정도로 현 유로 IV 배출가스 PM 규제 0.025g/km의 1/25 수준이다.

허니컴 형태의 필터들은 Micro 단위의 기공 분포를 가지고 있어 나노 크기의 PM 입자를 완전히 포집하기 어렵다. 그러므로 기공율을 줄이면서 배압 상수를 최소화 하는 방향의 개발이 요구되어지고 있다.

향후 나노 입자 규제에 대응하기 위해서는 엔진에서의 원천적인 PM 배출량 감소와 함께 플라즈마 등 새로운 방식의 후처리 장치의 개발이 병행될 것으로 예상된다.

(이진하 선임연구원 : leejinha@hyundai-motor.com)

참고문헌



- (1) "디젤배출 미립자 저감기술의 최신동향" 일본기계학회, 01-24, 2001.3.
- (2) 스위스 환경청 <http://www.internat.environ.se/>