

일본 디젤자동차의 배출 미립자를 둘러싼 최신 동향

Recent Trend of Particulate Matter Caused by Diesel Vehicle in Japan



이진하 / 일본 국토교통성 교통안전환경연구소 연구관
Jin Ha Lee / Japan National Traffic Safety and Environment Lab.

최근 디젤자동차의 미립자상물질(DM)과 질소산화물(NOx)은 자동차 대기오염의 주 원인으로 인식되어지고 있다. 디젤 배출 미립자(DEP: Diesel Exhaust Particulate)에 의한 인체에의 영향의 문제로 부터 배기중에 포함된 나노입자에 관한 관심은 더욱 증대되고 있다. 현재 일본에서는 중앙 환경 심의회를 중심으로 신장기규제의 조기 실시를 심의하고 있다. 특히 동경도에서는 사용과정차에 대한 DPF (Diesel Particle Filter)의 장착 의무의 환경 조력의 실시에 앞서 구체적인 대응의 검토가 시작됐다. 필자의 현재 연구 테마이기도 한 DPF의 성능 평가 및 DPF를 빠져나오는 미세 나노 입자의 측정 및 평가는 향후 한층 엄격히 규제 되어질 배출기준을 달성하기 위한 수단으로서의 배기 후 처리 기술 등의 정확한 평가와 문제점 파악을 위해 여러 관련 분야에서 활발히 연구가 진행되어 지고 있다.

앞으로의 규제동향

디젤자동차에서 배출되는 입자상물질 (DEP)에 대해서는 1972년부터 디젤 흑연 규제에 포함되어져 있었으나, 1993년부터는 자동차 배출 가스 규제의 대상 물질로 별도 분리되어, 그후 장기 규제로서 강화 되어 왔다. 그러나 2000년 1월에는 SPM과 인체에의 피해와의 인과관계를 처음으로 용인하는 고배 지방 재판소 공해 소송 제 1심 판결로 부터 동경도가 디젤 미립자 제거 장치(DPF) 장착을 의무화하는 규제를 제안하는 등, DEP에의 관심이 급격히 높아졌다. 환경성에서도 DEP의 건강 위험 평가를 실시하기 위해 검토회를 발족, 2000년 9월 <지금까지의 의견을 총합적으로 판단 DEP가 암유발의 가능성을 가지고 있음을 강하게 시사할수 있음> 이라는 중간보고를 발표했다.

이런 배경에서 중앙 환경 심의회의 제 4차 연구 결과가 종합 정리 되었다. 여기서는 DEP에 대한 내용을 중심으로 소개한다.

제 3차 연구 결과에서 디젤 신단기 목표의 1/2 정도로 되어진 디젤 신장기목표는 현재 엔진 기술로는 극도로 높은 목표로 이 목표치를 달성하기 위해서는, 엔진 연소 개선과 함께 배기 후처리 장치의 장착의 불가피성을 지적했다. 이 배기 후처리 기술 개발 상황과 이후의 기술 개발 동향을 근거로 삼아 제 4차 연구 결과는 디젤 신장기 목표의 조기 달성과 경유중 유행분의 저감을 골자로 종합되었다. 달성시기의 조기 달성에 대해서는 새로운 배기 후처리 장치의 개발이 진전으로 조기의 디젤 신장기 목표의 달성 가능한 기술의 실용화가 기대 됨으로써 2005년까지 달성을 도모하는 것이 적당하다고 보고 있다.

구체적인 목표치에 대해서는 이후 DPF 등의 기술 개발 상황을 근거로 2002년 초를 목표로 결정하는 것으로 되어 있으나, 이 기회에 DEP의 위험평가 결과를 근거로, PM을 신장기목표의 1/2 정도보다 더 저감한 목표치로하는 것을 검토해야만 한다는 의견이 다수를 이루고 있다.



〈그림 1〉 필자의 DPF (Johnson Matthey의 CRT) 실험 (교통안전환경연구소)

덧붙여 (주)일본 자동차 공업회는 자주적 대응으로 2003년부터 2004년에 걸쳐 PM의 배출량이 신장기에 투입할 것을 표명하고 있다.

연료의 품질에 대해서는 유망한 배출가스 저감 기술로 생각되고 있는 연속재생식 DPF와 NOx환원촉매는 현재의 경유의 유황 농도에서는 가능하지 않는 것이 밝혀졌고, 저유황화 하는것에 의해 Sulfates(SO₄)의 생성도 억제되, 경유 성분중의 유황분을 대폭 저감이 불가피하다.

그러나 일본의 수입원유의 상당부분을 점유하고 있는 중동원유에는 유황분이 많으며, 원유중은 난방용 등유에 충당하지 않으면 안되는 일본의 사정도 있다.

조속히 디젤 신장기 목표를 달성할 필요가 있다는 점에서 저유황 경유의 채용은 현재 일본의 기술 수준으로는 0.005질량%(50ppm)정도까지 저감하는 것이 한계라고 판단 0.005질량%로 보고되었다.

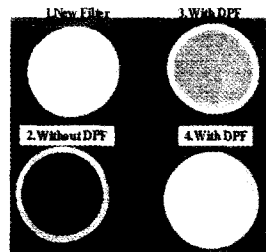
달성시기에 대해서는 디젤 신장기 목표에 의거하여 규제치를 달성한 적합차의 조기시장 투입을 가능하게 하기 위해 2004년으로 보고 있다.

한편, 장래적으로 Sulfates(SO₄)의 저감에 대해

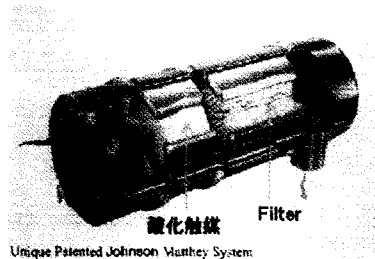
NOx환원 촉매가 50ppm보다도 낮은유황분의 경유가 필요하다고 보고 있기 때문에 더욱 저유황화를 추진해야만 한다고 보고 있다.

사용 과정중의 디젤 자동차대책

2000년 3월 국토교통성, 환경성 및 경제산업성은 사용과정에 있는 디젤차로부터의 배출가스대책, 특히 DPF 등에 의한 PM저감 기술에 대해서 기술적 검토를 행하기 위해 연구자를 중심으로한 〈디젤자동차 대책 기술평가 검토회〉를 설치해 약 1년간에 걸쳐 적용 가능성과 효과 등에 대해 종합적검토를 거듭했다. 2000년 7월에 중간보고, 2001년 5월에 최종보고가 종합되었다.



〈그림 2〉 The Example That Trapped PM in a Filter in the Case of Japan Diesel 13 Mode. (The Example 3 That Failed in the Measurement for Influence of Sulfates (SO₄)).



〈그림 3〉 연속재생식 DPF의 예

이 보고에서는 사용 과정중의 디젤차의 배기대책으로

- (1) 기본적인 최신 규제 적합차의 대체가 적당하다.
- (2) DPF에 대해서는 실제 운행 시험의 결과, 운전 조건에 의해 효과나 내구성의 차가 있어서 현 시점에서 모든 사용 과정중의 디젤자동차에 사용 가능한 상황이 아니며, 일률적인 장착 의무 부여는 곤란하다.
- (3) 그렇지만 부하가 높은 주행조건에서 사용되는 차량에 대해서는 장기간 사용 가능한 경우 (도심 노선 버스 등)도 있어, 일정이상의 효과가 있는 것에 대한 장착의 인센티브를 부가하는 것이 유효하다고 결론 내리고 있다.

이후 본 검토결과를 받아들여 DDF 기술기준의 정비 등 필요한 시책에 대한 검토가 진행 되어지고 있다.

디젤자동차가 배출하는 나노 입자

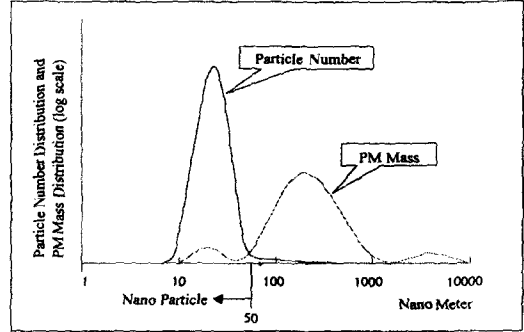
한편, 디젤자동차가 배출하는 입자상 물질(PM)중의 Nano Meter(10억분의 1) 레벨의 입자가 새로운 대기오염물질로서 주목받고 있다.

규제대상인 입자상물질(PM)의 미립자의 평균적 등가 직경(Median Diameter)은 100nm이며, 요소 입자(Element Particle)의 크기는 30nm-50nm로 알려져 있다. 이는, 나노테크놀러지(초미세기술)의 발전에 의해 검출이 가능해 졌다. 이와 함께 나노 입자의 인체에 어떠한 영향을 미치는지 분명히 하기 위해 정부 차원의 조사연구가 시작됐다.

직경 50nm이하의 미세 입자

환경성은 2002년도 예산에 약 7,000만엔을 계산하여 배가스중 나노 입자의 연구에 착수한다고 한다. 국토교통성과 협력하여, 현재 빠르게 개발되어지는 나노입자 계측법 및 개발 출시되어지는 여러 나노 입자 계측 장비를 2004년까지 표준 나노 입자의 측정법을 확립, 여러가지 자동차가 배출하는 나노 입자의 입자수나 조성을 측정하기로 했다. 또한 나노입자가 생체에 어떤 영향을 미치는지도 조사할 예정이다.

디젤엔진은 연소시 입자상 물질을 발생하지만, 그



(그림 4) Particle Number Distribution and PM Mass Distribution of Diesel Exhaust

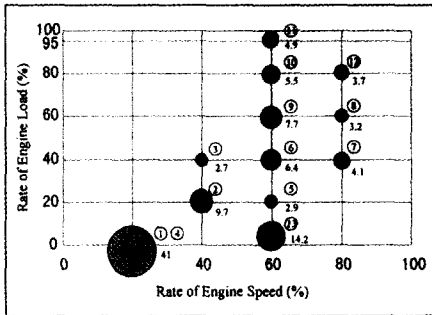
중에 직경이 99nm 이하의 것들을 나노 입자라고 부른다 (50nm 이하의 의견도 있음). 신형 디젤자동차는 연소 효율을 높이기 위해 고압 분사를 하며 이로 인해 연료의 미립화가 촉진되 나노입자의 발생 가능성이 커졌다. 이는 가솔린 엔진에서도 연료의 엔진내 직접 분사에 의해 PM의 증가와 함께 나노 입자의 발생이 주목받고있다. 현재는 나노입자의 실태를 거의 모르고 있었으나, 검출 기술의 향상으로 배기 가스에 다량으로 포함되어있다는 것이 밝혀지게 되었다.

미국 미네소타대학의 연구에 의하면, 디젤 자동차 배기 가스에 포함되어있는 입자상 물질을 입자수로 보면 대부분이 나노입자가 차지하고 있다는 연구발표가 있었으나 이는 필자의 연구결과에서도 확인되었다.

현행법에서는 규제법이 없다

일본의 현행 배기 가스 규제법에는 나노입자 배출은 규제되지 않고 있다. 배기 가스중 유해 물질을 규제하는 자동차 질소산화물(NOx)법은 입자상 물질(PM)을 총중량으로 규제하고 있기 때문이다. 나노입자의 중량은 극히 작기 때문에, 다량으로 포함되어 있어도 기준치를 달성할 수 있게 된다.

환경성은 나노입자의 인체에 대한 영향은 해명되지 않았으나 그 수는 많으며 규제에 대한 검토 준비를 시작했다.



〈그림 5〉 Japan Diesel 13 Mode to use for Exhaust Gas Test Cycle of an Engine Base in Heavy Duty Vehicles. Circle Numbers are Cycle Mode Number and Numbers are Coefficient.

또한 일본내 모든 자동차 심사 기관으로 필자가 근무하는 국토교통성 교통 안전 환경 연구소는 현재 나노입자의 계측 기술 개발 및 각종 평가 방법의 연구를 진행중이다.

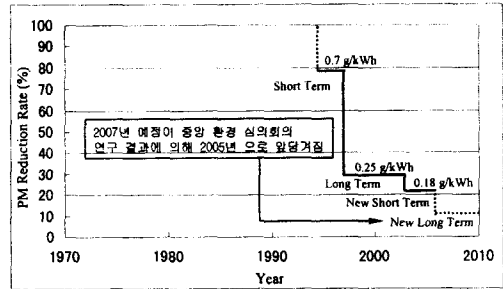
배기 가스중 나노입자에 전하를 가해 금속판에 부착시켜 검출하기도 하고, 특수한 빛을 사용해 검출하는 등 현재 매우 여러 방법들이 앞다투어 개발 발표되고 있으나, 필자는 나노입자의 개수 분포와 입자의 직경까지 조사할 수 있는 기술의 개발이 필요하다고 생각 되어진다.

그대로 혈액안으로

나노입자에 의한 건강에의 영향이 부각되고 있다. 보통 크기의(100nm 이상) 입자상 물질은 폐에 들어가면 마크로 파지 등 면역 세포에 잡혀 분해되지만, 나노 입자는 그대로 림프액이나 혈액에 흡수되기 때문이다.

나노입자는 크기가 작기 때문에 단위중량당 표면적이 크기가 큰 입자보다 크다. 나노입자의 주위에 부착되어 있는 다량의 유기물이 인체에 악영향을 미칠 가능성이 지적되고 있다.

환경성 국립환경연구소는 나노입자의 대기중에서



〈그림 6〉 대형 디젤 자동차의 배출가스 규제의 변화

의 변화, 생체에의 영향을 조사하는 등 환경 규제를 예정하고 있다.

UN도 작년 3월에 배가스중 나노입자 규제의 존재방법을 검토하는 Working Group 을 설치. 앞으로 일본, 미국, 유럽을 중심으로 제각각의 조사 등을 진행한다고 한다.

환경성은 일련의 연구결과를 바탕으로 국제적인 규제의 방법을 검토할 방침이다.

나노입자의 배출 억제에는 신기술이 요구되어 배기의 자동차 각사들도 결국은 대응을 강요 받을 것이다.

이후의 과제

일본의 자동차 환경 대책의 경향은 나노입자 이야기했으나, DEP에 대해서는 현재도 연구중으로 규제되고 있으나, 근래 DEP중의 나노입자에 관련된 주목받기 시작했고 배출량중 나노입자 또는 나노입자의 갯수가 더 건강에 영향을 미치는 지적도 있다.

한편 배출 중량으로 보면 높은 저감효과가 인정되는 DPF도 미세입자 또는 나노입자에 대해서는 충분한 제거가 불가능하다는 연구 결과들이 발표되고 있다. 이런 문제들에 대해 이후의 동향이 주목되어진다.

(이진하 편집위원 : j-lee@ntsel.go.jp)