

# 경유자동차 매연여과장치(DPF) 개발 동향

정 용 일 | 한국기계연구원  
엔진환경그룹 책임연구원  
E-Mail : yieong@kimm.re.kr

## 1. 서언

최근 들어 국내 자동차시장의 경유승용차 허용여부가 논의되면서, 경유자동차가 가지고 있는 미래자동차시장에서의 경쟁력 및 시장전망과 함께 배출가스가 대도시 대기공해에 미치는 영향과 이의 대책에 대한 사회적 논쟁이 새롭게 점화되었다.

특히 경유자동차의 배출가스에서 가장 문제가 되는 매연과 입자상물질(PM) 대책이 강력하게 요구되고 있으며, 이의 대책기술인 매연여과장치(DPF) 기술이 큰 관심을 끌고 있다.

본고에서는 경유자동차의 기술과 시장전망을 살펴보고, 인체 유해성에 관심이 집중되고 있는 입자상물질과 극미세매연(nanoparticle)의 특성과 이의 규제동향을 검토한 후, 마지막으로 PM의 대책기술인 DPF의 개발 동향과 전망을 살펴보기로 한다.

## 1. 경유자동차 시장전망

경유자동차는 열효율이 높아 휘발유자동차에 비해 연비가 우수하며 CO<sub>2</sub> 배출량도 20% 이상 적게 배출된다. 특히 최근 들어 전자제어 고압연료분사장치인 콤몬레일이 개발되어 직접분사식 경유엔진에 사용됨으로서 진동과 소음을 대폭 개선함으로서 휘발유승용차와 경쟁할 수 있는 기술로 인식되고

있다. 따라서 유럽의 경유승용차 시장은 빠른 속도로 확장되고 있는 추세이며, 현재 경유승용차는 전체 승용차의 35% 수준이나 2005년경에는 50%를 넘을 것으로 예상하고 있다(그림 1 참조).

경유자동차 기술이 앞서 있는 유럽에서는 자동차 배출가스의 CO<sub>2</sub> 기준을 새롭게 설정하여 유럽에 자동차를 수출하는 모든 국가에 이 기준을 적용함으로서 환경기술로서 새로운 자동차 무역장벽을 구축하였다. 유럽내에서는 2008년에 140g/km, 2012년에 120g/km의 평균 CO<sub>2</sub> 기준을 설정하였으며, 우리나라도 유럽 수출차량에 대해서는 2009년에 140g/km을 만족하여야 하며, 중간단계로 2004년에 165g/km를 맞추어야 한다.

유럽은 CO<sub>2</sub>를 90g/km 배출하는 3L car (연료 3리터로 100km 주행)를 이미 2000년부터 시판하는 등 경유자동차 기술발전이 빨라 CO<sub>2</sub> 기준은 충분히 대처할 수 있을 것으로 전망된다.

그러나 우리나라의 경유자동차 기술은 유럽에 비해 상당히 낙후되어 있으며, 표 1에서 보듯이 우리나라의 유럽수출차량의 CO<sub>2</sub> 기준평균값은 2000년에 190g/km 수준으로 아주 높으며, 특히 수출하고 있는 경유자동차는 대부분 대형 RV이며 휘발유 경차의 경우도 160g/km 수준이다. 따라서 향후 자동차기술 경쟁에서 낙후되지 않기 위해서는 연비가 우수하고 CO<sub>2</sub> 배출이 적은 콤몬레일방식의 경유승

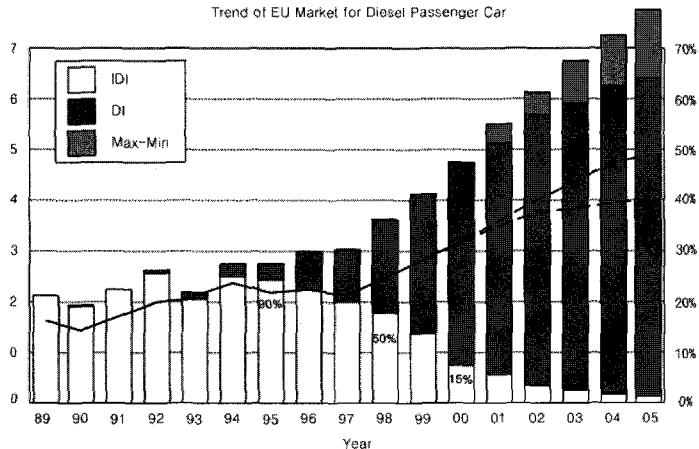


그림 1. 유럽의 경유승용차 보급추세(출처: Bosch 자료)

표 1. 우리나라 유럽수출차량의 CO<sub>2</sub> 평균값 추세

|          | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| Gasoline | 195  | 197  | 201  | 198  | 189  | 185  |
| Diesel   | 309  | 274  | 246  | 248  | 253  | 245  |
| Total    | 197  | 199  | 203  | 202  | 194  | 191  |

(출처 : KAMA)

용차 개발을 서둘러야 할 것이다.

장점으로 경유자동차의 증가를 예측하였지만 아직도 경유자동차에서 배출되는 PM과 NOx는 휘발유자동차에 비해 훨씬 높으며 이들이 대도시 공기오염의 주 원인이 되고 있는 실정이다.

따라서 유럽의 경유자동차 정책방향은 PM, NOx 등 유해 배출가스를 휘발유자동차 수준으로 낮추면서 지구기후변화 대책을 위하여 적극적으로 보급하겠다는 정책이다.

먼저 공해유발 효과가 심한 대형경유자동차의 기준을 표 2에서 살펴보면, 유럽에서는 2005년의 EURO4 기준에서 PM을 휘발유자동차 수준인 0.02 g/kwh로과 대폭강화하였으며, 2008년의 EURO5

## 2. 경유자동차 배출허용기준 추세

경유자동차의 연비의 우수성과 CO<sub>2</sub> 배출이 적은

표 2 경유중량자동차 배출허용기준 동향

|           | CO               | HC               | NOx             | PM               | 비고                               |
|-----------|------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|
| EURO3(00) | 2.1              | 0.7              | 5.0             | 0.1              |                                  |
| EURO4(05) | 1.5              | 0.46             | 3.5             | 0.02             | DPF/SCR 적용                       |
| EURO5(08) | 1.5              | 0.46             | 2.0             | 0.02             | DPF + SCR(NOx 촉매)                |
| USA07     | 15.5<br>(g/bhph) | 0.14<br>(g/bhph) | 0.2<br>(g/bhph) | 0.01<br>(g/bhph) | DPF + NOx 촉매<br>“Fit and forget” |

단위 : g/kwh

기준에서는 NOx를 2.0 g/kwh로 강화하였다.

미국연방에서도 2007년 기준에서는 PM 0.01 g/bhph 와 NOx 0.2 g/bhph로 대폭 강화함으로서 휘발유자동차와 동일한 수준의 배출가스를 요구하고 있다.

이들 기준에 대응하기 위해서는 DPF와 NOx 촉매 등 후처리기술적용이 필수적인 것으로 예상하고 있다.

경유승용차가 거의 운행되지 않고 있는 미국에서는 경유승용차와 휘발유승용차의 배출허용기준은 이미 동일한 기준을 적용하고 있으며, LEV-II ULEV 기준에서는 PM을 0.006 g/km로 대폭 강화하였다.

유럽은 2008년의 EURO5 기준에서 PM과 NOx 를 휘발유승용차 수준으로 대폭 강화하고 nanoparticle 수량기준도 신설하는 것을 의회에서 검토 중에 있다.

우리나라의 경우는 2001년에 PM과 NOx 기준을

경유승용차 운행이 불가능한 수준으로 강화하였으나 최근 들어 국내에서 생산되는 경유승용차가 유럽에 수출되기 시작되면서, 이 기준을 재 검토하고 있는 상황이다.

### 3. 입자상물질(PM) 특성

미국 CARB에서는 PM을 “51.7°C 이하의 공기로 회석되어 필터에 포집된 자동차 배출성분 중 응축 수분(condensed water)을 제외한 모든 배출성분(Fines, Dust, Soot, Mist, Fog, Smog 등이 포함됨)”으로 정의하며, 필터에 포집된 PM의 중량을 측정하여 규제한다. PM 발생량은 연료량의 약 0.2-0.5%(중량)이며 대부분의 PM은 연료 탄화수소계의 불완전연소에 기인하고 일부는 엔진 윤활유에서 발생한다.

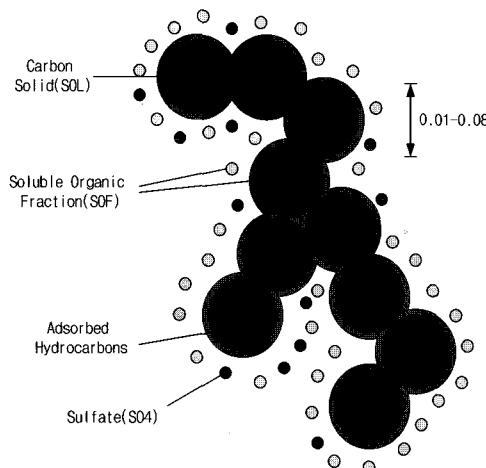
PM의 성분은 크게 SOL(solid fraction), SOF (soluble organic fraction), SO<sub>4</sub>(sulfate particles)

표 3. 경유승용차 배출허용기준

(단위 : g/km)

| 국 가            | 적용년도                      | CO   | HC           | NOx  | PM(매연)    |
|----------------|---------------------------|------|--------------|------|-----------|
| 한 국            | 98.1.1                    | 1.5  | 0.25         | 0.62 | 0.08(30%) |
|                | 2000.1.1                  | 1.2  | 0.25         | 0.62 | 0.05(20%) |
|                | 2001.1.1                  | 0.5  | 0.02         | 0.01 | 0.01(15%) |
| E U            | EURO2(1996.1)             | 1.0  | 0.90(HC+NOx) |      | 0.10      |
|                | EURO3(2000.1)             | 0.64 | 0.56(HC+NOx) | 0.50 | 0.05      |
|                | EURO4(2005.1)             | 0.50 | 0.30(HC+NOx) | 0.25 | 0.025     |
|                | EURO5(2008) <sup>1)</sup> | 1.0  | 0.05         | 0.08 | 0.0025    |
| 미 국<br>(캘리포니아) | LEV(LEV-1)                | 2.61 | 0.056(NMOG)  | 0.19 | 0.05      |
|                | ULEV(LEV-1)               | 1.31 | 0.034(NMOG)  | 0.19 | 0.025     |
|                | ULEV(LEV-2)               | 1.31 | 0.034(NMOG)  | 0.04 | 0.006     |

1) EURO5 기준은 의회에서 검토 중임



- Solid Fraction (SOL)
  - Elemental carbon, Ash로 구성
- Soluble Organic Fraction (SOF)
  - 엔진오일과 연료로부터 생성된 organic materials
- Sulfate Particles (SO4)
  - Sulfate acid, water로 구성

그림 2. PM 구성성분

로 구성되어 있다.

SOL은 탄소입자가 대부분이며 회분(ash)도 포함된다. 배기가스온도 500°C 이상에서는 직경 15-30nm의 탄소(carbon)입자나 입자의 덩어리(cluster)로서 H/C=0.2-0.3의 dry soot 상태이다. 엔진 기술이 향상됨에 따라 carbon PM은 대폭 저감되고 있으며 이에 따라 ash 비중이 커지고 있다. Ash의 발생원인은 엔진 윤활유첨가제에서 Ca, Zn, Mg 산화물이 발생하며, 엔진마모에 따른 Fe, Cu, Cr 산화물, 엔진배기관의 부식영향, 매연여과장치의

연료첨가제에 의한 발생 등이 있다.

반면 배기가스온도 500°C 이하에서는 H/C=1.2-1.7의 SOF(soluble organic fraction)가 PM에 흡착(adsorbed)되어있다. SOF는 미연탄화수소, 산화탄화수소(oxygenated hydrocarbons; ketones, esters, ethers, organic acids), PAH 등으로 구성되어 있다. SOF 발생은 엔진종류(2행정/4행정)와 엔진 작동상태의 영향이 크며, 엔진오일로부터 생성된 SOF가 대부분이다. Wet PM에서는 SOF가 50% 이상까지 차지하나 dry PM에서는 SOF가

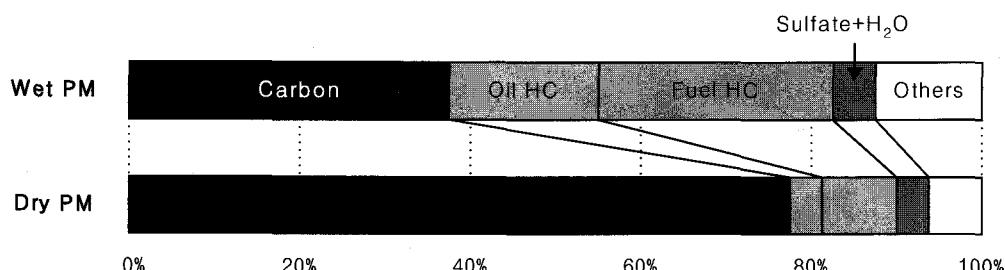


그림 3. PM 구성비율

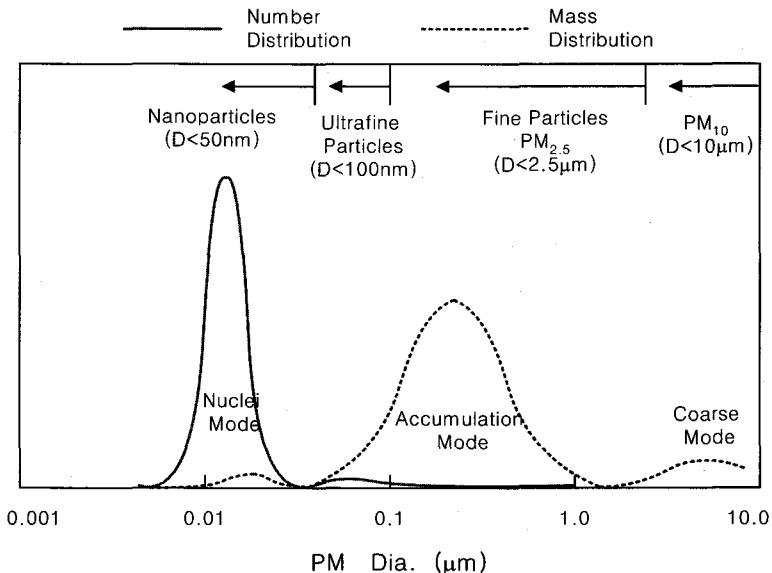


그림 4. 입자상률질 분포상태

10%까지도 낮아진다.

또한 sulfur dioxide(SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide(NO<sub>2</sub>), sulfuric acid(sulfates) 등의 inorganic species도 PM에 응축(condensed)되어 있다.

디젤엔진에서 배출되는 PM은 다양한 크기로 분포하고 있으며, 중량기준(accumulate mode)으로 할 경우 입자직경 30~500nm에 분포되어 있으며 100~200nm에 집중되어 있다. 그러나 수량기준(nuclei mode)으로 보면 그림 4에서 보듯이 3~30nm에 분포되어 있으며 10~20nm에 집중되어 있고, 중량은 전체의 10% 이내이나 수량은 90% 이상이다. Coarse mode는 직경 1 μm 이상으로 전체중량의 5~20%이며 연소과정에서 보다는 배기관과 샘플과정에서 발생한다.

인체 유해성을 보면 중량비율은 미미하나 입자수량 면에서는 대부분을 차지하고 있는 50nm 이하의 nanoparticles의 유해도가 훨씬 큰 것으로 알려져

있어 앞으로 nanoparticles PM 저감이 중요 과제로 다루어질 전망이다.

현재의 PM 규제는 중량을 측정하는 방식이지만 유럽에서는 2008년의 EURO5 기준에 수량규제를 실시하는 것을 검토 중에 있으며, 이를 위하여 배기관에서 직접 PM 수량을 용이하게 측정할 수 있는 시험방법과 장치 개발이 진행 중에 있다.

#### 4. 매연여과장치(Diesel Particulate Filter Trap; DPF)

경유자동차의 PM을 저감하는 기술로 PM을 필터에 포집하고 이것을 태우는(재생) 장치인 매연여과장치(DPF)가 가장 효과적인 기술로서 현재 실용화 수준에 도달하고 있다. DPF는 PM을 80% 이상 저감할 수 있어 매연저감 성능 면에서는 아주 우수하나 가격이 높고 내구성이 부족한 것이 실용화에

장애요인이 되고 있다. 또한 필터에 PM이 포집됨에 따라 엔진에 배압이 걸리며 이것에 의하여 출력과 연료소비율이 다소 희생된다.

DPF 기술은 크게 PM 포집(trapping)기술과 재생(regeneration)기술로 나누어지며 시스템은 기본적으로 필터, 재생장치, 제어장치의 3부분으로 구성되어 있다.

필터의 재질이나 형상은 DPF 시스템의 성능을 결정하는데 가장 중요한 인자로서 모노리스 타입이 가장 보편적인 형태이며 카트리지 형태, knit 형태 등도 사용되고 있다. 필터 재질은 cordierite가 보편적이나 최근에는 실리콘 카바이트(SiC)가 소형 승용차용에 대부분 사용되고 있으며, 파이버, 금속분말 등도 중요한 소재이다. 필터의 성능을 좌우하는 중요한 인자들로는 여과용량, 다공성, 압력강하, 열용량, 열내구성, 열팽창과 강도, 열충격 저항, 화학적 내구성, 용융점과 가격 등이 있다.

#### 4.1 DPF 기술 발전

필터에 포집된 PM은 가능하면 빠른 시간 내에 태워서 필터가 다시 PM을 포집할 수 있도록 하는 과정을 재생(regeneration)이라고 하며, 재생시 필터가 과열되어 파손되지 않도록 하는 제어기술이 중요하다. 재생과정은 light-off 온도, 공급되는 산소농도, 산소유량, PM의 포집량에 따라 적절하게 조절하여야 한다.

초기 1세대 DPF 기술에서는 포집된 PM을 soot 점화온도인 550~600°C 까지 외부에서 강제적으로 열을 공급(active type : 강제재생방식)하였으며, 열원으로는 전기히터, 베너, 트로틀링 등이 사용되었다. 강제재생방식은 작동 원리상으로는 차량의 다양한 운전조건과 대부분의 차종에 적용할 수 있는 기술이지만 실용상으로는 제한된 에너지 공급방법과 복잡한 구조, 빈발한 고장 등으로 인하여 실용

화에 어려움이 있다.

최근 들어 촉매나 첨가제를 이용하여 soot 점화온도를 300°C 정도로 낮추고 엔진배출가스 온도로 재생(passive type : 자연재생방식)시키는 2세대 DPF 기술이 개발되어 대형차량의 retrofit에 적용되고 있다. 필터트랩의 촉매코팅, 연료에 첨가제를 공급, 트랩 전방에서 분사시키는 방법 등이 사용된다.

촉매방식 DPF 장치의 대표적인 기술로 Johnson Matthey 사의 CRT와 Engelhard 사의 DPX 장치가 평가되고 있다.

특히 Johnson Matthey 회사에서 개발한 촉매방식 매연여과장치는 포집된 입자상물질을 연속적으로 산화시키며 CRT(Continuous Regeneration Trap)으로 불린다. 캐니스터 내부에 필터가 2개 설치되어 있으며, 전단의 백금산화촉매(platinum-based oxidation catalyst)에서는 산화반응으로 NO를 NO<sub>2</sub>로 변환시키며, CO와 HC도 저감시킨다.

일반적으로 탄소입자는 공기중에서 550°C 이상에서 연소되나, NO<sub>2</sub> 분위기에서는 250°C에서 산화되며 따라서 후단에 설치된 필터(cordierite wall flow particulate filter)에 포집된 PM은 배기ガ스 온도가 250°C 이상이면 연속 재생된다(그림 5).

첨가제방식과 촉매방식은 필터 내에서 연속재생이 일어나므로, 필터에 포집된 매연의 양이 적어 엔진의 배압을 낮은 수준으로 유지함으로써 타 장치에 비해 연비악화와 엔진성능의 저하 요인이 적다. 그러나 촉매의 PM 재생능력에는 한계가 있기 때문에, 엔진에서 배출되는 PM과 NOx의 비율(NOx/PM)이 8 이상이고, 배출가스가 275°C 이상이어야 작동이 확실하다. 또한 촉매의 정상적인 작동을 위해서는 경유의 황(sulphur)성분이 10ppm이하를 요구하고 있어 CRT의 상용화에 장애가 되며, 전세계적으로 보급되기에는 다소 시일이 소요될 것

### CRT™ Particulate Filter

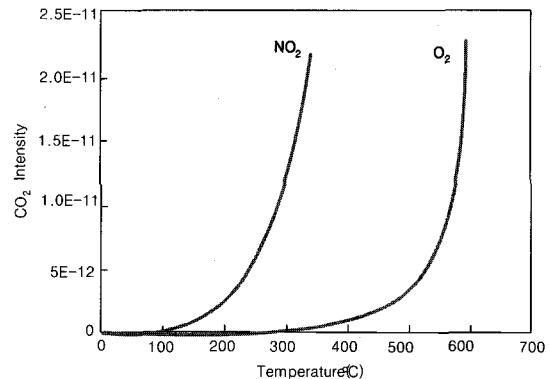
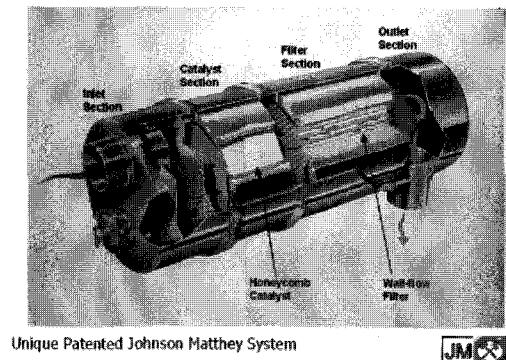


그림 5. CRT 와 재생온도

으로 예상된다.

현재 개발되고 있는 연속재생방식의 재생온도 수준은 아래 표 4와 같으며, 이를 낮추는 기술개발이 가장 중요한 경쟁요인이다. 그러나 도심을 주행하는 대부분의 차량은 엔진배출가스 온도가 낮아 자

표 4. 자연재생방식의 재생온도

단위 : (°C)

|                        | Light-off | Equilibrium | Soot-free |
|------------------------|-----------|-------------|-----------|
| CRT/Johnson Matthey    | 230       | 350         | >375      |
| CSF/Engelhard          | 260       | 385         | >425      |
| Catalytic coating/Buck | 360       | 420         | >450      |
| Additive Ce/Rhodia     | 350       | 400         | >425      |
| Additive Fe/OCTEL      | 330       | 380         | >400      |
| Additive Ce+Pt/CDT     | 300       | 350         | >375      |

연재생방식만으로는 작동이 어려우며, 따라서 촉매나 첨가제방식에 추가 열원을 공급하는 강제방식을 보조적으로 복합하는 장치(active + passive combination type : 복합방식)가 개발되고 있으며 3세대기술로 불리고 있다. 이를 위하여, 전기히터나 버너 등의 장치가 사용되며, 전자제어식 연료공급장치에서 분사시기를 지연시켜 배출가스 온도를 높여주는 기술도 적용된다.

#### 4.2 연속재생방식의 문제점과 대책

자연재생방식인 촉매 또는 연료첨가제 DPF 시스템은 구조가 간단하고 차량 설치가 용이하여 운행차를 중심으로 보급이 진행되고 있으나 기술적으로 해결해야 할 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 특히 현재는 대형(HD)디젤엔진을 중심으로 보급되고 있으나 소형(LD)디젤엔진의 적용과, 대형엔진의 폭넓은 확대 적용을 위한 개선이 필요하다.

##### (1) 재생 온도

자연재생방식은 포집된 PM을 배기가스 온도로

만 태우기 때문에 엔진의 배출가스 온도는 장치의 성능을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 소형엔진은 재생온도가 대형에 비해 100°C 정도 낮고, 대형 엔진의 배기가스 온도도 일반 도로주행시에는 연속적인 재생을 하기에는 충분하지 않은 경우가 대부분이다.

재생온도에 대한 대책은 두 가지 방법이 있다. 첫째는 PM이 150°C 정도의 낮은 온도에서 재생되도록 촉매 또는 첨가제를 개발하는 것이며, 둘째는 전기히터나 버너 또는 엔진조절 등의 추가적인 보조 열원을 사용하는 방법이다. 전자의 경우가 유리한 방법이지만 기술적인 한계가 있어 장기적인 관점에서 고려되어져야하며, 후자의 경우는 장치가 복잡해지는 단점은 있으나 현실적인 대책으로 고려되고 있으며 EURO4 기준에 대응하기 위해서는 복합방식 DPF 시스템이 필요할 것으로 예상된다.

### (2) 필터내 회분(ash) 퇴적

첨가제는 필터내에 무기산화물, 염분의 형태 또는 복합된 형태로 퇴적된다. 촉매 필터의 경우라 할지라도 엔진오일로부터 생성되는 회분으로 축적되며 시간이 경과하면 그 양이 계속 증가되고 이는 배압을 증가시키는 원인이 된다. 퇴적된 회분은 매우 미세하고 표면적이 커서 필터의 substrate와 쉽게 반응하며, 1000°C 이상의 과도한 열에 노출되는 경우 회분은 소결되어 필터의 통로를 막고 필터를 균열시키고 용융시키는 원인이 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 고압의 물 또는 공기로 회분을 불어내어 필터 내부를 주기적으로 청소하거나 또는 필터재료가 내열성을 가지도록 하여야 한다.

### (3) 비제어 이상급속연소

이상적인 정상 재생은 필터내의 PM이 연속적으로 산화하는 것을 의미하며 이를 위해서는 배기가

스의 온도가 재생에 필요한 최저온도를 계속 유지하여야 한다. 배출가스 온도가 낮아 재생이 부진하면 필터 내에 PM이 증가되며, 이로 인하여 배압이 증가되고 결국 필터가 막히게 된다. 이런 현상은 자연재생방식 DPF가 갖고 있는 일반적인 문제라 할 수 있다. PM이 많이 축적된 상태에서 외부 요인에 의해 발화가 되면 급속한 연소가 진행되고 열발생이 급증한다. 이렇게 되면 필터내의 온도는 급상승하고 결국 필터는 균열 또는 용융 등의 손상을 입게 된다

이와 같은 비제어 이상급속연소 현상은 그 특성을 예측할 수 없을 뿐만 아니라 random하게 일어나기 때문에 “stochastic regeneration”이라고도 부른다. 이것은 자연재생방식이 가지고 있는 기술적 취약점으로서, 재생시 연소제어 기술이 필요함을 알 수 있다.

## 5. DPF 기술과 극미세매연 (nanoparticle)

### 5.1 DPF의 nanoparticle 저감효과

필터방식 DPF 장치는 PM 총량뿐만 아니라 nanoparticle 저감에도 효과가 뛰어나다. 아이들링과 시속 50km 정속 운전시의 각종 엔진으로부터 배출되는 입자분포를 비교측정한 결과인 그림 6에서 보면, DPF 장착 경유엔진이 기존의 경유엔진에 비해 입자갯수가 1/1000 수준이며, 휘발유나 LPG 엔진에 비해도 낮은 수준임을 알 수 있다.

Nanoparticle의 인체유해성과 DPF에 의한 저감 기술 확보 등으로 유럽의 중소형경유자동차의 EURO5 기준에 nanoparticle 기준이 도입될 것으로 전망되고 있다. 따라서 DPF 장치개발시 PM 총량 저감뿐만 아니라 극미세매연의 저감도 매우 중요한 경쟁요인이 될 것이다.

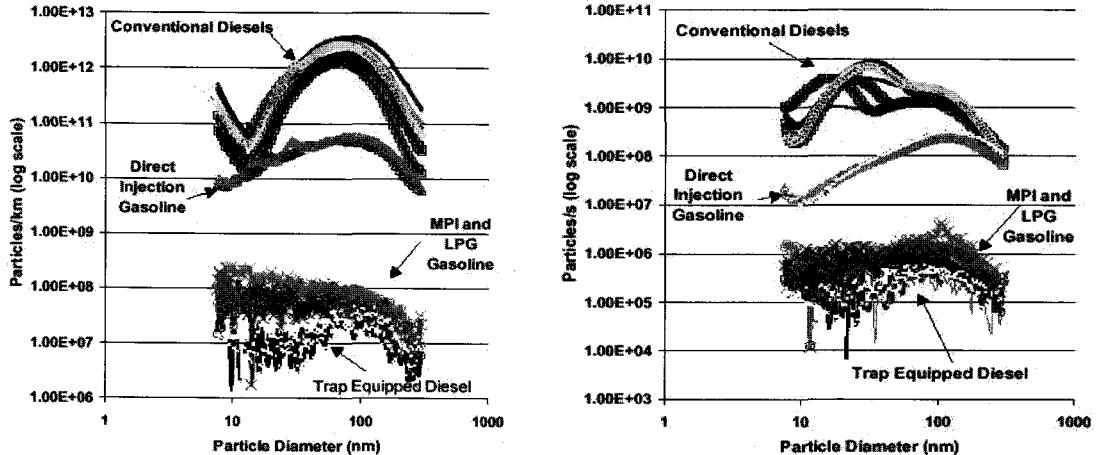


그림 6. 아이틀링과 50km/h 시의 PM 입자 분포비교  
(기존경유, GDI, 휘발유, LPG, DPF 장착경유엔진)

## 5.2 Nanoparticle 특성분석기술

### (1) PM 중량측정장치

PM 기준이 현재의 측정장치의 오차범위 수준으로 강화됨에 따라 미세량을 측정할 수 있는 측정장치의 개발이 필요하다. 또한 측정방식이 steady mode와 함께 transient mode를 채용함에 따라 희석장치(dilution tunnel)를 full size를 대용할 수 있는 transient mini(또는 micro) dilution tunnel 개발도 필요하다.

### (2) PM 수량측정장치

Nanoparticle 기준적용에 따라 PM의 수량측정장치의 오차와 재현성을 확보할 수 있는 표준화가 필요하다. 아직은 극미세매연 기준의 측정방식이 결정되지는 않았지만 이것도 측정 장치 및 DPF 개발에 영향을 미칠 것이다.

### (3) 배출가스 샘플링과 희석인자

배기관으로부터 대기 중으로 배출되는 실제의 배

출가스에 함유된 PM과 nanoparticle의 거동과 기준의 측정방식과의 유사성 확보가 중요하다. 현재 PM 측정(중량)방식은 배기관으로부터 채취된 배출가스를 10~20 : 1 정도로 희석하여 분석하지만 실제 대기중으로 배출된 배출가스는 1000 : 1 수준으로 희석되어 확산된다. Nanoparticle의 경우는 희석율뿐만 아니라 희석가스 냉각온도, 잔류시간, 습도 등 희석인자의 영향이 매우 큰 것으로 알려져 있다.

### (4) Volatile Particle 영향

DPF에 포집된 PM이 고온으로 재생되면서 PM 중 SOF 성분이 volatile particle로 바꾸면서 nanoparticle 수량이 증가하는 것을 발견할 수 있다. Volatile particle은 수명은 수분정도로 매우 짧지만 (100~1000m 이내에서 소멸) 이 기간 동안 90% 이상의 ultrafine particle을 생성한다. 따라서 volatile particle의 거동과 인체 영향에 대한 연구가 비중있게 연구되고 있으며 향후 nanoparticde 기준과 DPF 개발 방향에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

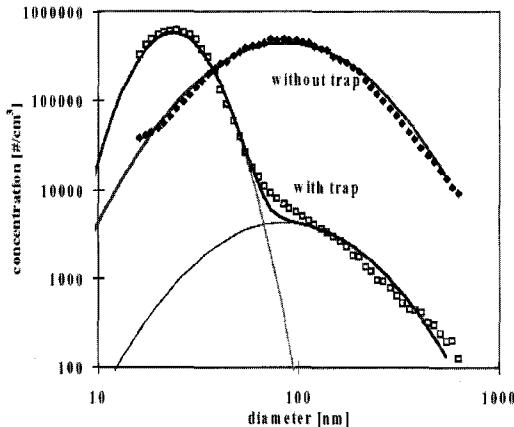


그림 7. DPF 전후의 nanoparticle 비교

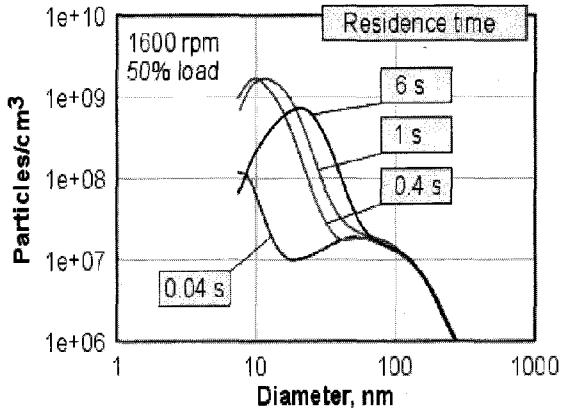


그림 8. PM의 잔류시간 영향

#### - 참고문헌 -

- Heinz Burtscher, "Tailpipe particulate emission measurement for diesel engines", Fachhochschule Aargau, University od Applied Science CH 5210 Windisch, Switzerland, 2001.3.
- "ACEA programme on emissions of fine particles from passenger cars" ACEA report 1999.12.
- "ACEA programme on emissions of fine articles from passenger cars[2]" ACEA report 2002. 7.
- J D Andersson et al, "UK particle measurement programme-Heavy duty methodology development final report", Ricardo Consulting Engineers Ltd., 2002.7.
- Jon Andersson & Barbara Wedekind, "DETR/SMMT/CONCAWE Particulate research programme 1998-2001 Summary Report", Ricardo Consulting Engineers, 2001.5.
- Presentation form Bosch.
- [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)
- [www.autoenv.org](http://www.autoenv.org)