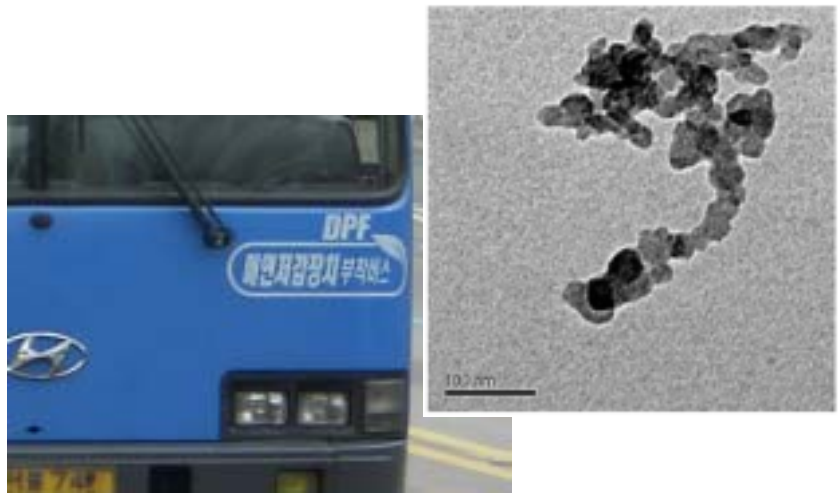
환경환경독성학회 춘계학술대회
2007/5/18

자동차 배출 나노PM에 대한 최신 동향



정용일
한국기계연구원

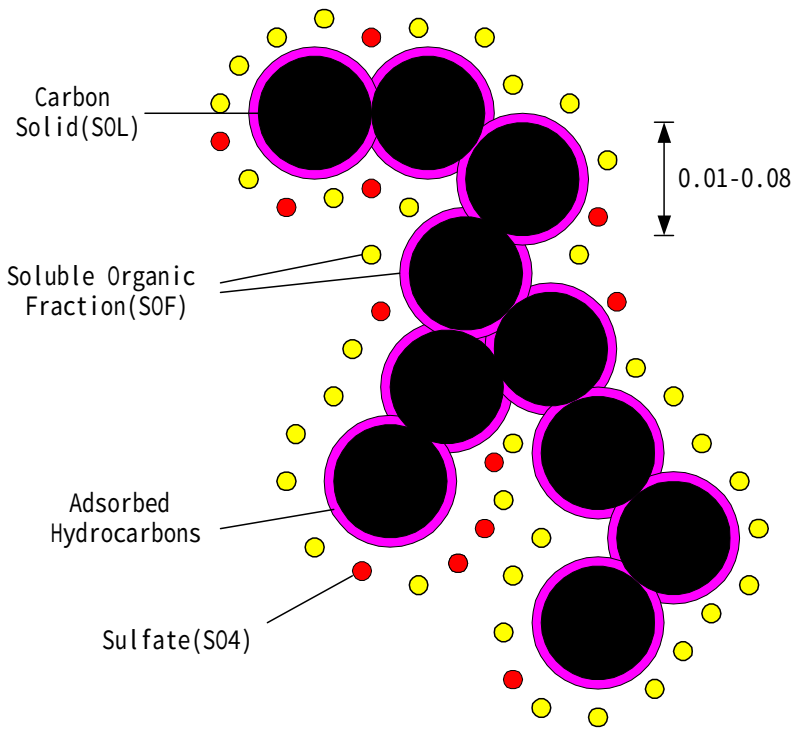
경유자동차의 **nano-PM** 이란?

- 미연소 카본
- SOF

입자상물질(PM)

• 정의(CARB) : 51.7°C 이하의 공기로 희석되어 필터에 포집된 배출성분 중 응축수분(condensed water) 을 제외한 모든 배출성분

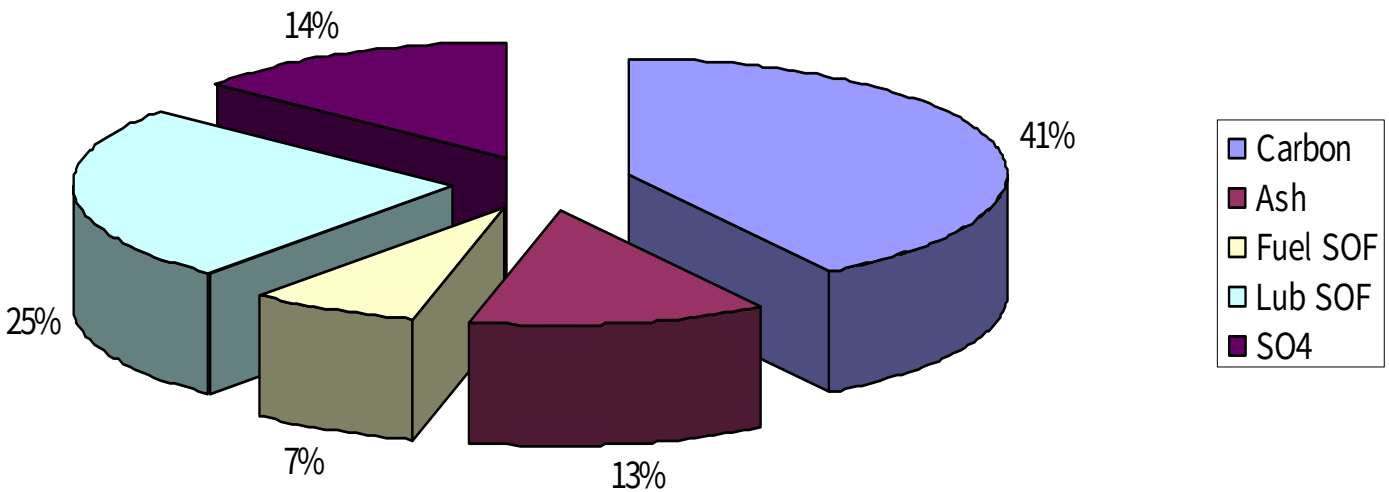
- The main component of PM is **the unburned carbon solid particle** of 15-30nm diameter, gas phase- from fuel and partly from lubricant, and all named as fines, dust, soot, mist, fog, and smog are a part of PM.



Components of PM

PM 구성

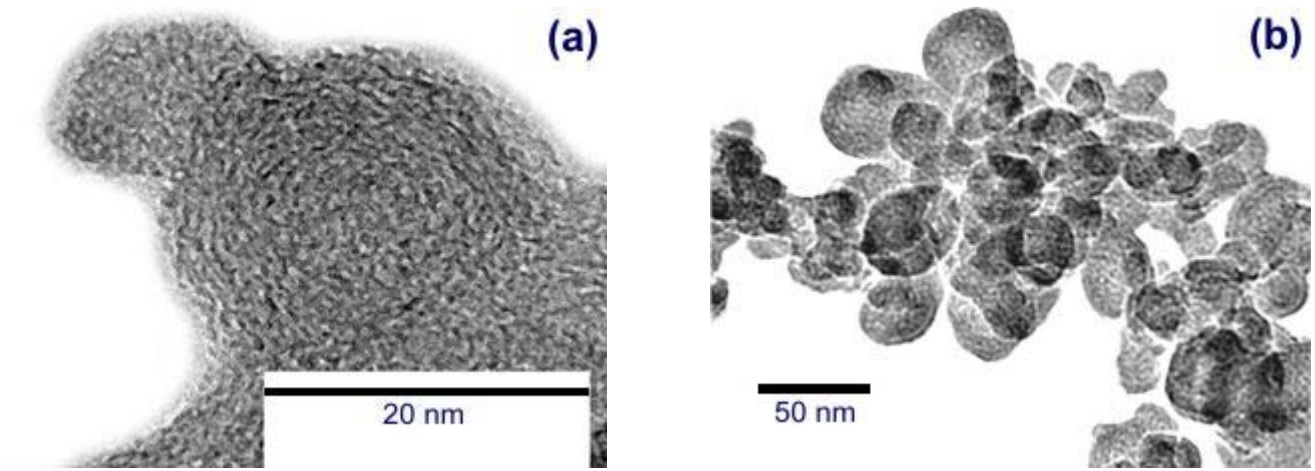
- **Solid fraction (SOL)**
  - elemental carbon
  - ash
- **Soluble organic fraction(SOF)**
  - organic material from engine oil
  - organic material from fuel
- **Sulfate particles (SO4)**
  - sulfate acid
  - water



1994년 미국 중량차 예(FTP 모드)

Solid Fraction (SOL)

• Carbon



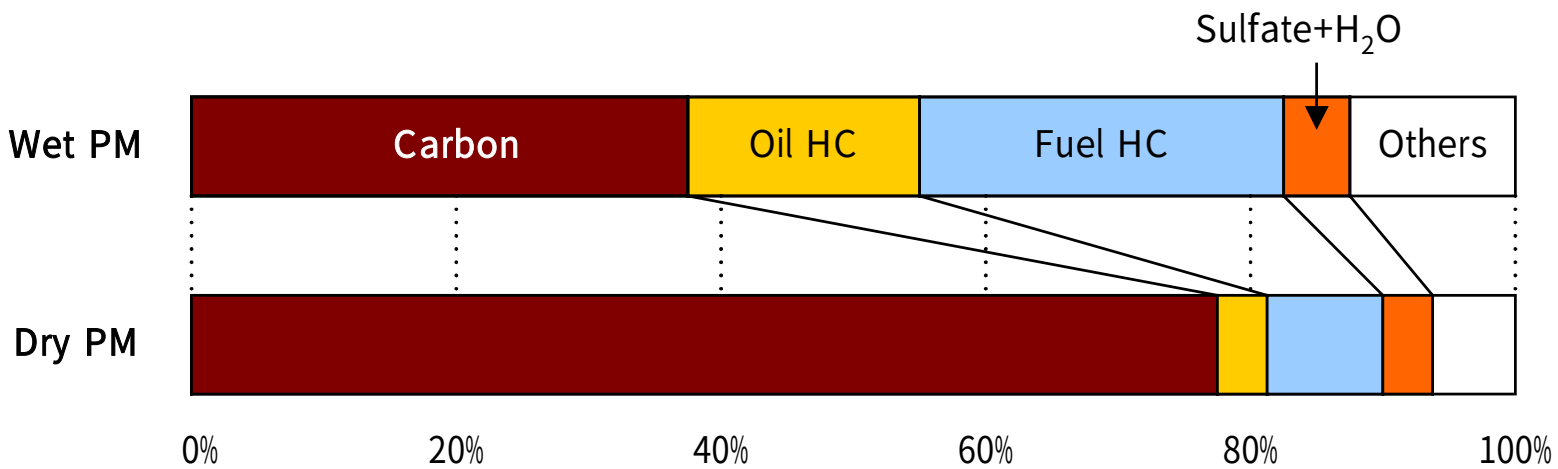
• Ash

- 엔진기술 향상에 따라 carbon PM은 저감되며 ash 비중이 커지고 있음.
- **윤활유첨가제 영향** : Ca, Zn, Mg 산화물
- 엔진마모 영향 : Fe, Cu, Cr 산화물
- 엔진배기관의 부식영향
- DPF 연료첨가제 영향

Soluble Organic Fraction (SOF)

• SOF 비율

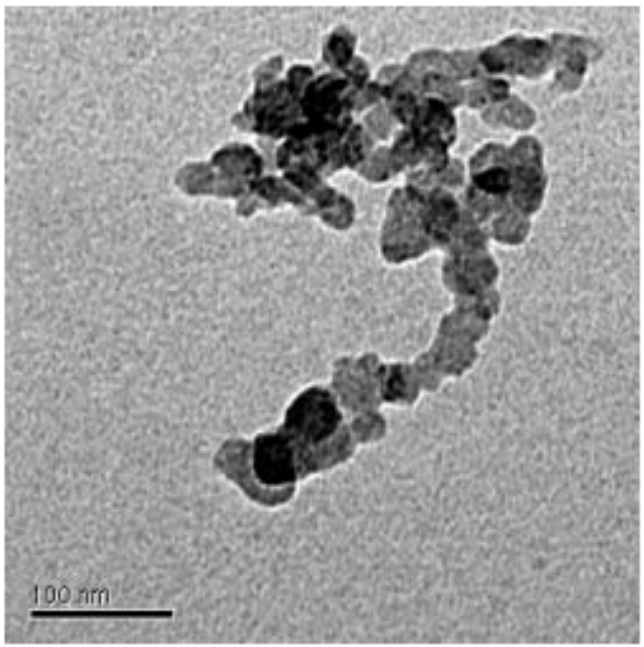
- 엔진종류(2행정/4행정)와 엔진 작동상태 영향이 큼
- 엔진오일로 부터 생성된 SOF가 대부분임.
- Wet PM : 시동초기상태, SOF 50% 까지 차지
- Dry PM : 엔진가열상태, SOF 10%까지도 낮아짐.



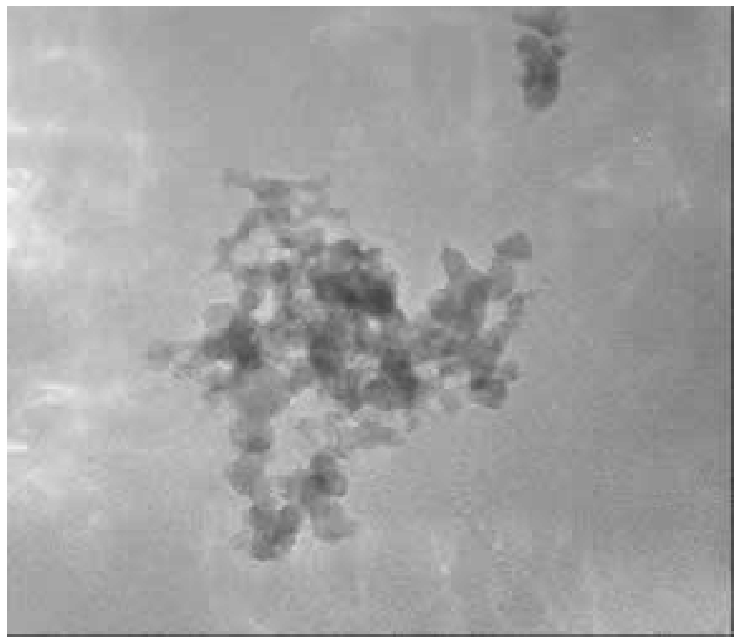
• PAH

- PM의 0.5% 수준으로 PM에 함유된 PAH 농도는 250μg/mile 이내
- 자동차에서 배출되는 전체 PAH는 10mg/mile 이내

Engine PM



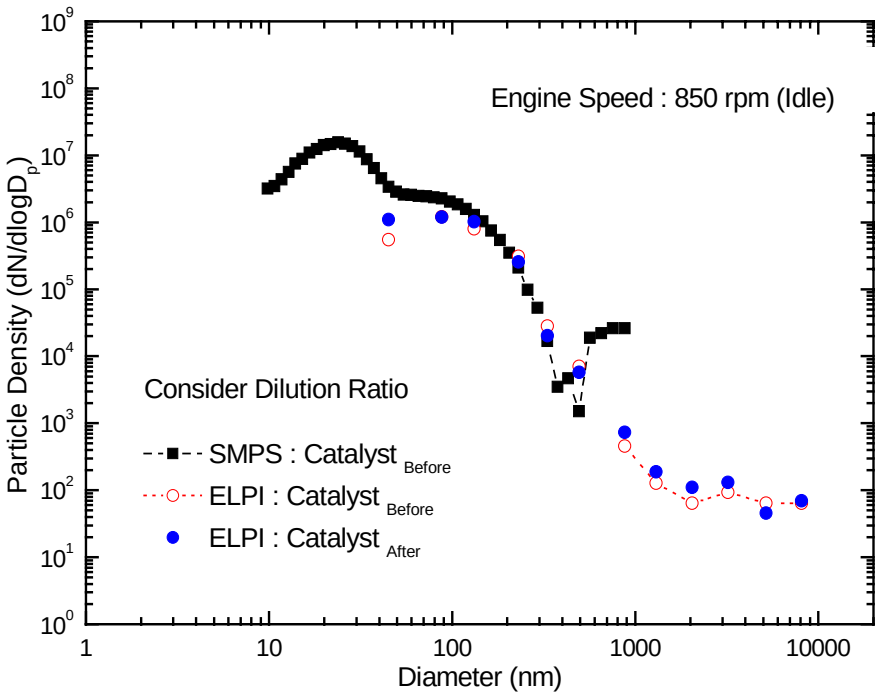
Transmission Electron Microscopy
Diesel Particle Image (D.Kittelson)

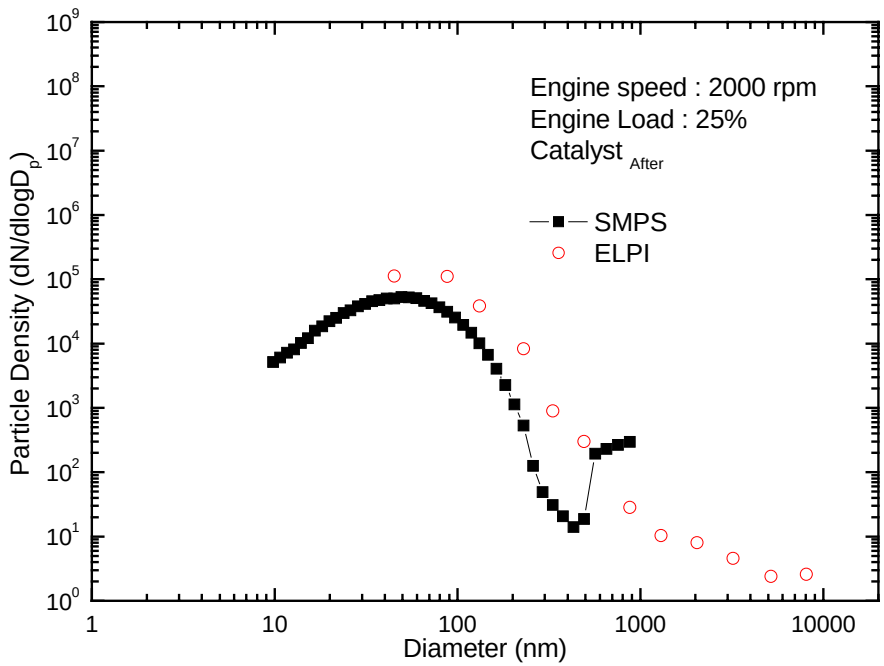


First 3-D look at diesel particles
(ARGONNE Lab., 2004)

- PM_{10} : less than 10㎛ (10,000nm)
- *Fine particles* : below 2.5㎛ (2,500nm)
- *Ultra-fine particles* : below 0.1㎛ (100nm)
- *Nano-particles* ~ *less than 50nm*

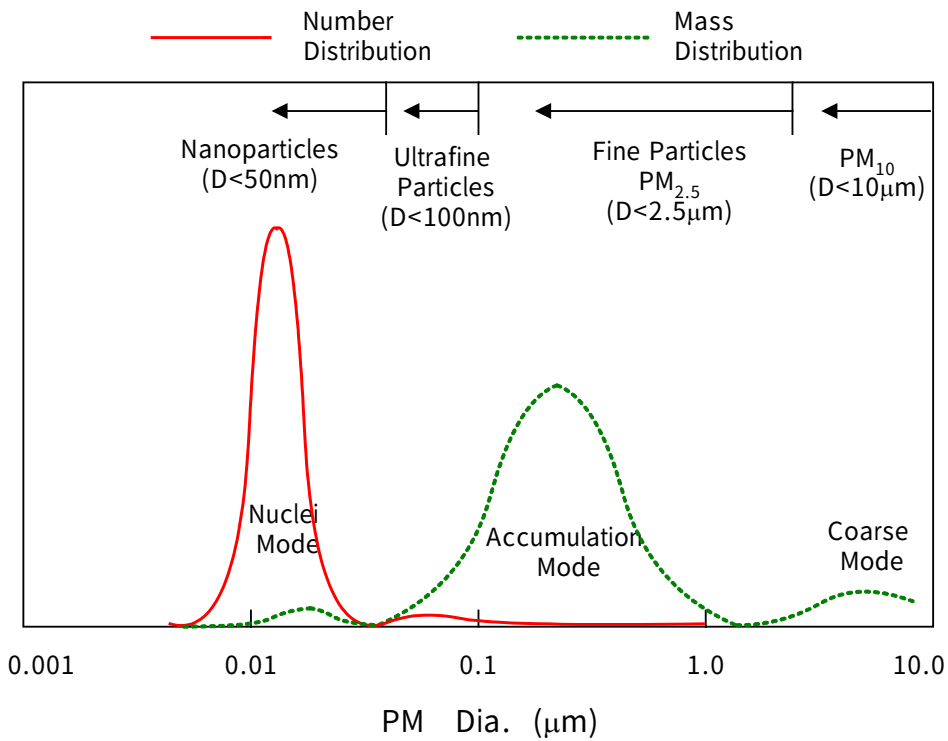
PM 측정방식


Engine Speed : 850 rpm (Idle)
Consider Dilution Ratio
SMPS : Catalyst Before
ELPI : Catalyst Before
ELPI : Catalyst After
Particle Density (dN/dlogDp)
Diameter (nm)


Engine speed : 2000 rpm
Engine Load : 25%
Catalyst After
SMPS
ELPI
Particle Density (dN/dlogDp)
Diameter (nm)

PM 분포

- Accumulation Mode : 30-500nm(100-200nm 집중) - 현재 PM 측정방식
- Coarse Mode : 1 μm 이상 - 전체중량의 5-20%
  - 연소과정 보다는 배기관, 샘플과정에서 발생
- Nuclei Mode : 3-30nm(10-20nm 집중) - 전체중량의 10% 이내이나 수량은 90% 이상
  - **인체유해도 큼**
- 중량규제 ⇒ 수량규제

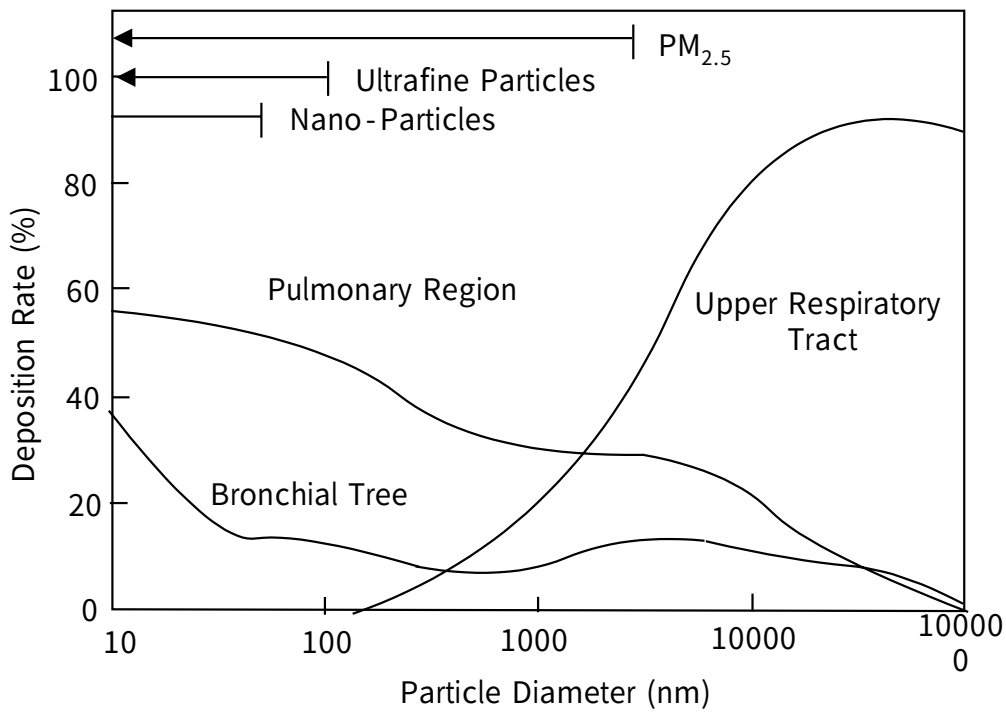


Nano-PM의 인체 영향은 ?

- Toxic
- 폐암

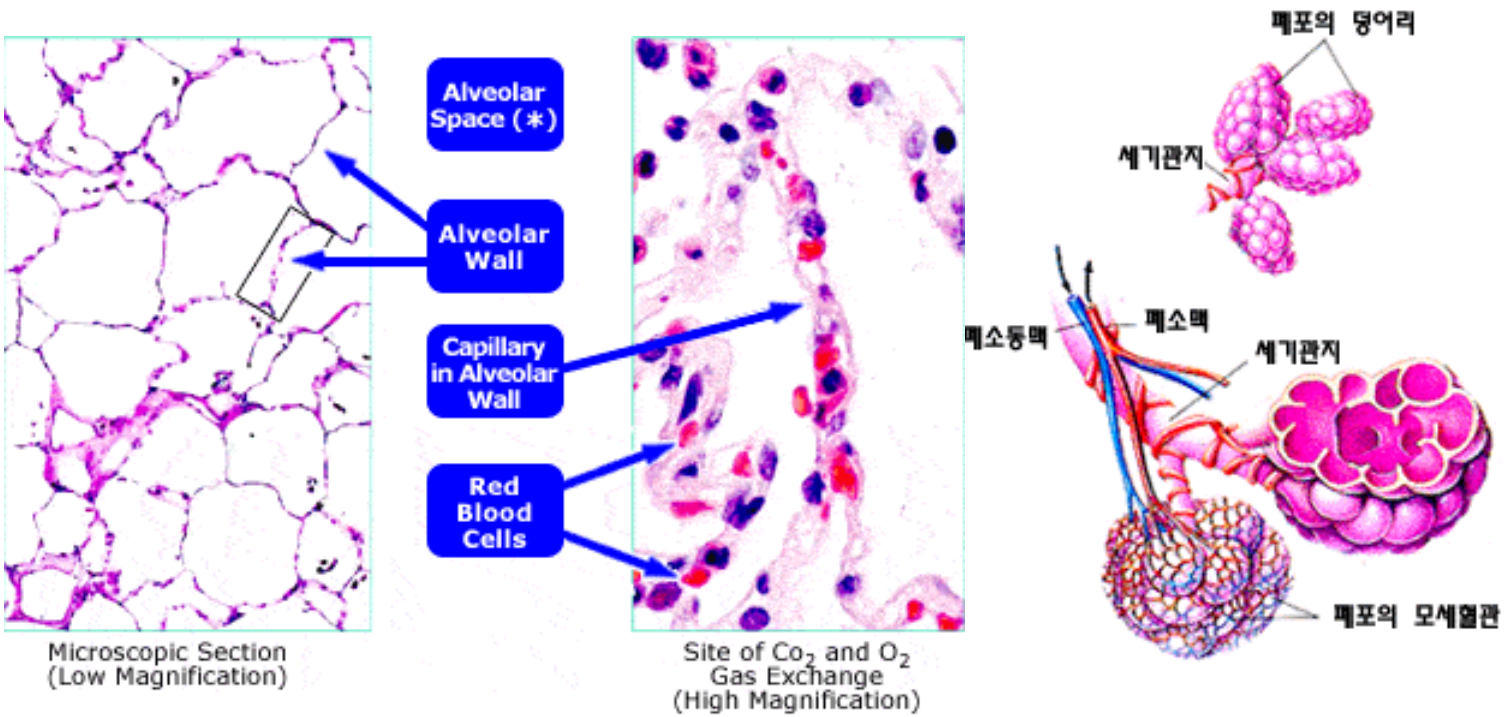
Toxic Air Contaminant

- $PM_{2.5}$ 이상의 굵은 PM은 코나 호흡관 등의 호흡계통의 상부에 흡착
- Nanoparticlea과 같은 미세한 PM은 폐나 기관지 등과 같은 깊숙한 호흡기 계통에 흡착
- 또한 이들 입자는 세포막까지 침투할 수도 있을 것으로 예상
- 1998년 CARB에서 **Toxic Air Contaminant** 지정 : 암의 원인이 될 수 있음
  (Diesel exhaust may cause an increase in the likelihood of cancer.)
- 2002년 EPA : Diesel exhaust as likely to be carcinogenic



폐암 및 혈관 유입

- 호흡관은 기관지(20단계)로 나누어져 폐포(500백만개)에 도달.
- 폐포외부에 모세혈관, 폐포벽을 통하여 모세혈관과 가스교환(산소/이산화탄소)
- 폐포벽 두께 1 μm , 폐포흡입구는 호흡주기에 따라 2-10 μm
- 호흡된 PM입자는 쉽게 폐포에 유입 (PM 0.02-0.2 μm) 몇개월 – 1년 잔류
- 혈관으로 유입될 위험

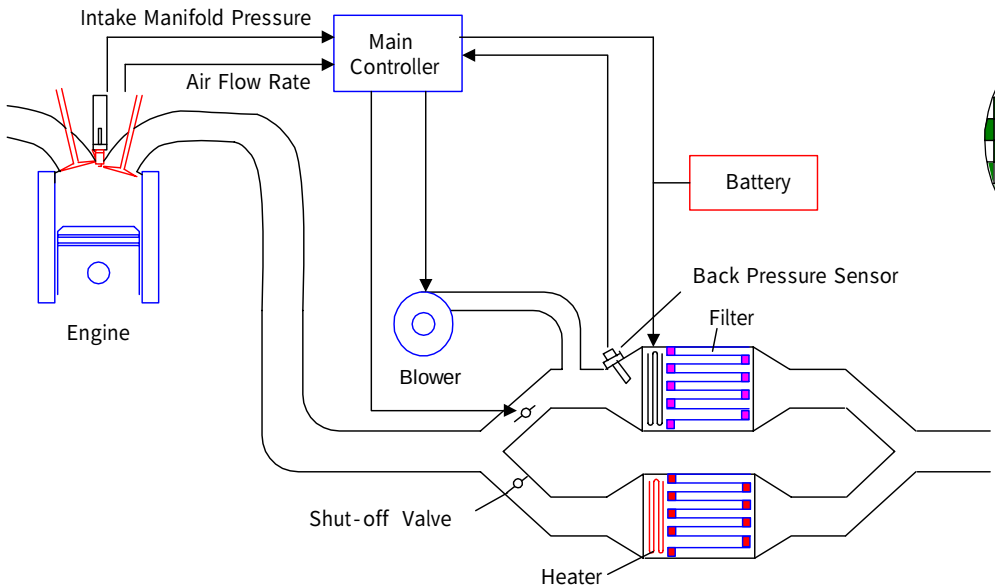


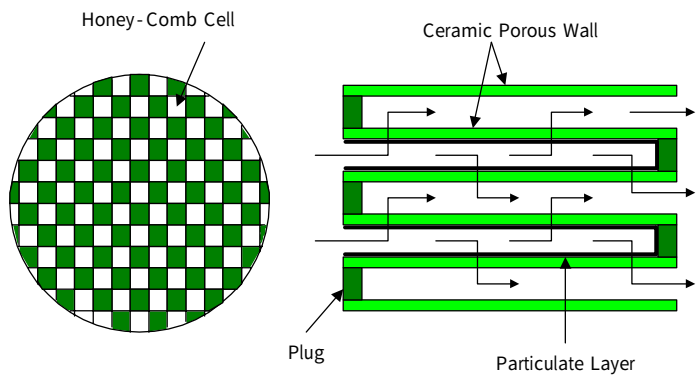
Nano-PM 저감대책 기술은?

- 매연여과장치(DPF)

DPF 핵심기술

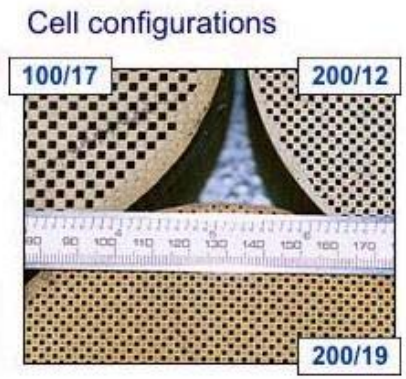
- 재생(Regeneration)
- 필터(Filter)
- 제어장치(Electronic Controller)

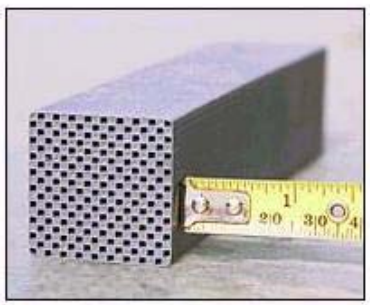




필터

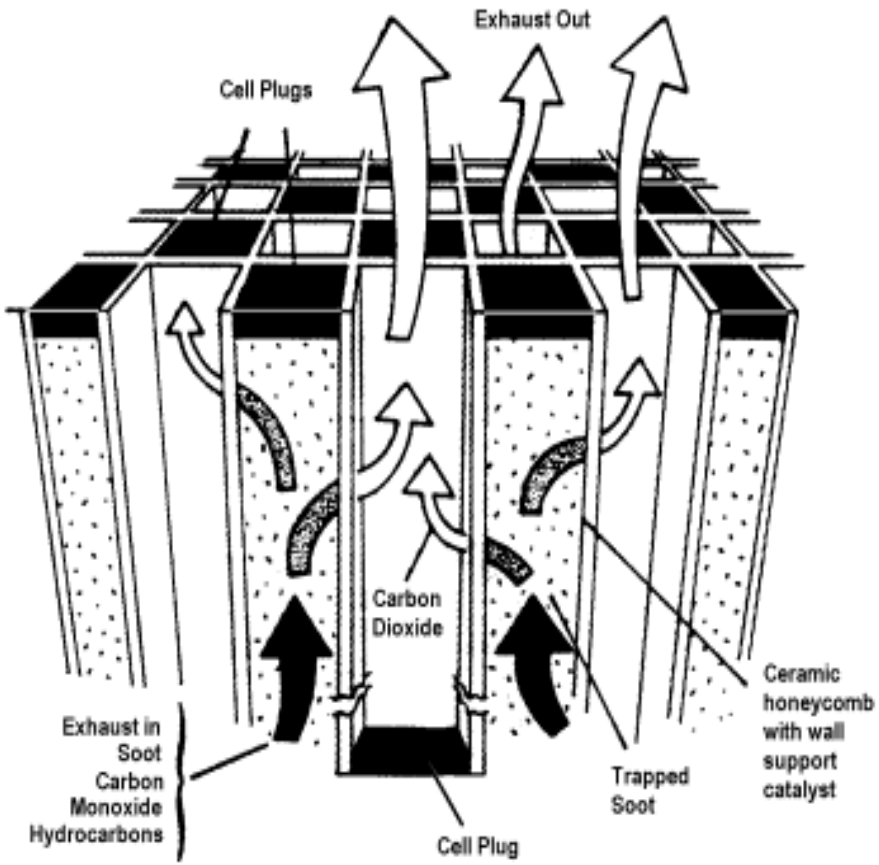
Cordierite





SiC

Core Technology of DPF

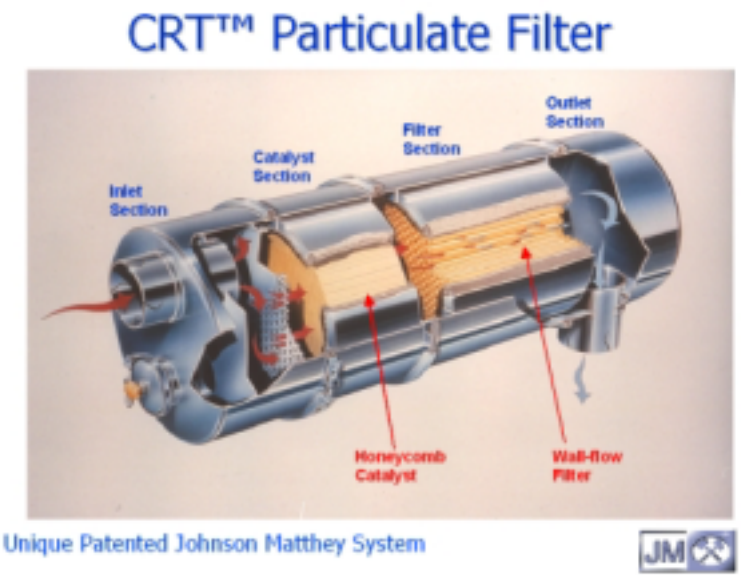


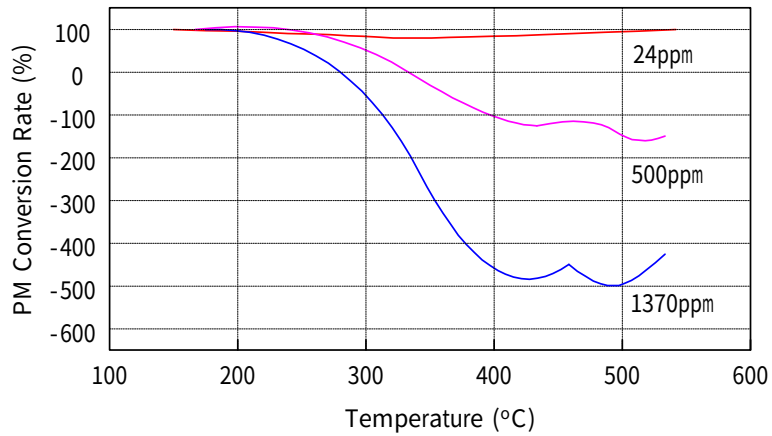
JM CRT

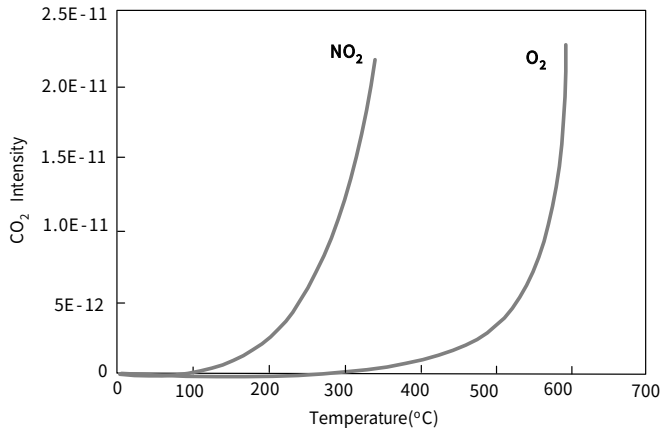
- **PM 은 NO_2 분위기에서 250°C 에서 재생**
- **상단의 산화촉매에서 배출가스 중의 NO를 NO_2 로 산화**

• 요구조건

- 배출가스온도 275°C 이상
- 연료유황 50ppm 이하
- NOx/PM 비 20 이상



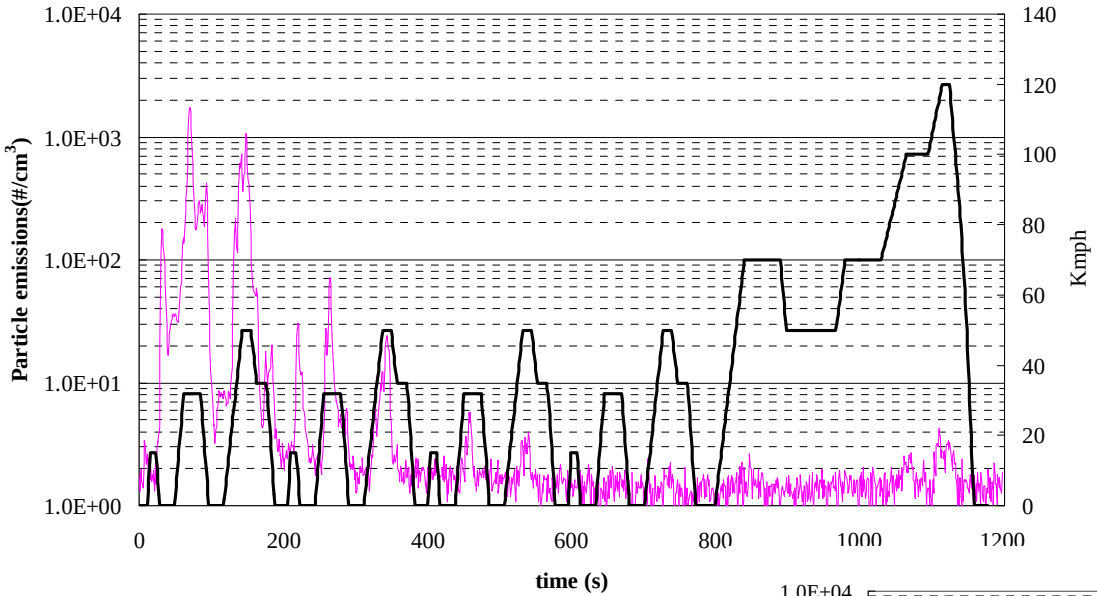




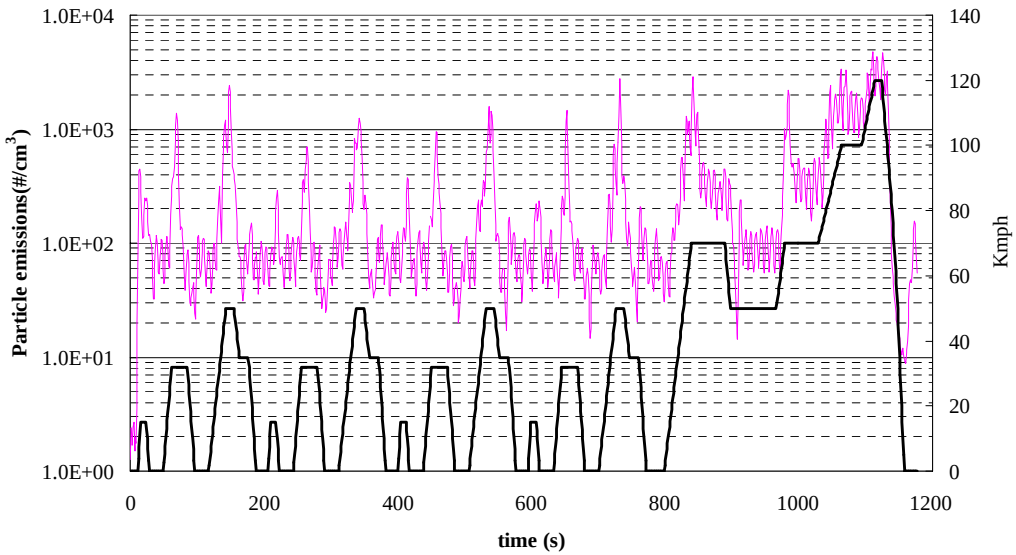
실차 장착시험

- 봉인
- 매연측정
- 작동확인

주행모드 측정결과



DPF 장착 경유승용



DPF 미장착 경유승용

경유자동차 대책 ?

- 배출허용기준강화
- 극미세입자기준 신설
- 새로운 경유승용차 시대

경유승용차 배출허용기준

- EURO-3 기준 : EU 2000년, 한국 2005년
- EURO-4 기준 : EU 2005년, 한국 2006년
- EURO-5 기준 : EU 2009년 예상

	CO (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM (g/km)	비 고
EURO-3(05)	0.64	0.56	0.05	
EURO-4(06)	0.50	0.30	0.025	DPF
EURO-5(09)	0.5	0.23(NOx 0.18)	0.005	DPF + NOx Cat.

➡ 극미세입자(nanoparticle) 기준은 EURO-6 에서 설정예정

대형자동차 배출허용기준

- EURO-4 기준 : EU 05.10/06.10, 한국 06.10/08.1
- EURO-5 기준 : EU 08.10/09.10, 한국 09.7/10.7(?)
- 미국 : 2007년 기준강화

	CO (g/kwh)	HC (g/kwh)	NOx (g/kwh)	PM (g/kwh)	비 고
EURO-3(00)	2.1	0.7	5.0	0.1	
EURO-4(05)	1.5/4.0	0.46/0.55	3.5	0.02/0.03	DPF/SCR
EURO-5(08)	1.5/4.0	0.46/0.55	2.0	0.02/0.03	DPF/SCR
USA 07	15.5 (g/bhph)	0.14 (g/bhph)	0.2 (g/bhph)	0.01 (g/bhph)	DPF+SCR

CO_2 및 극미세입자 기준 동향

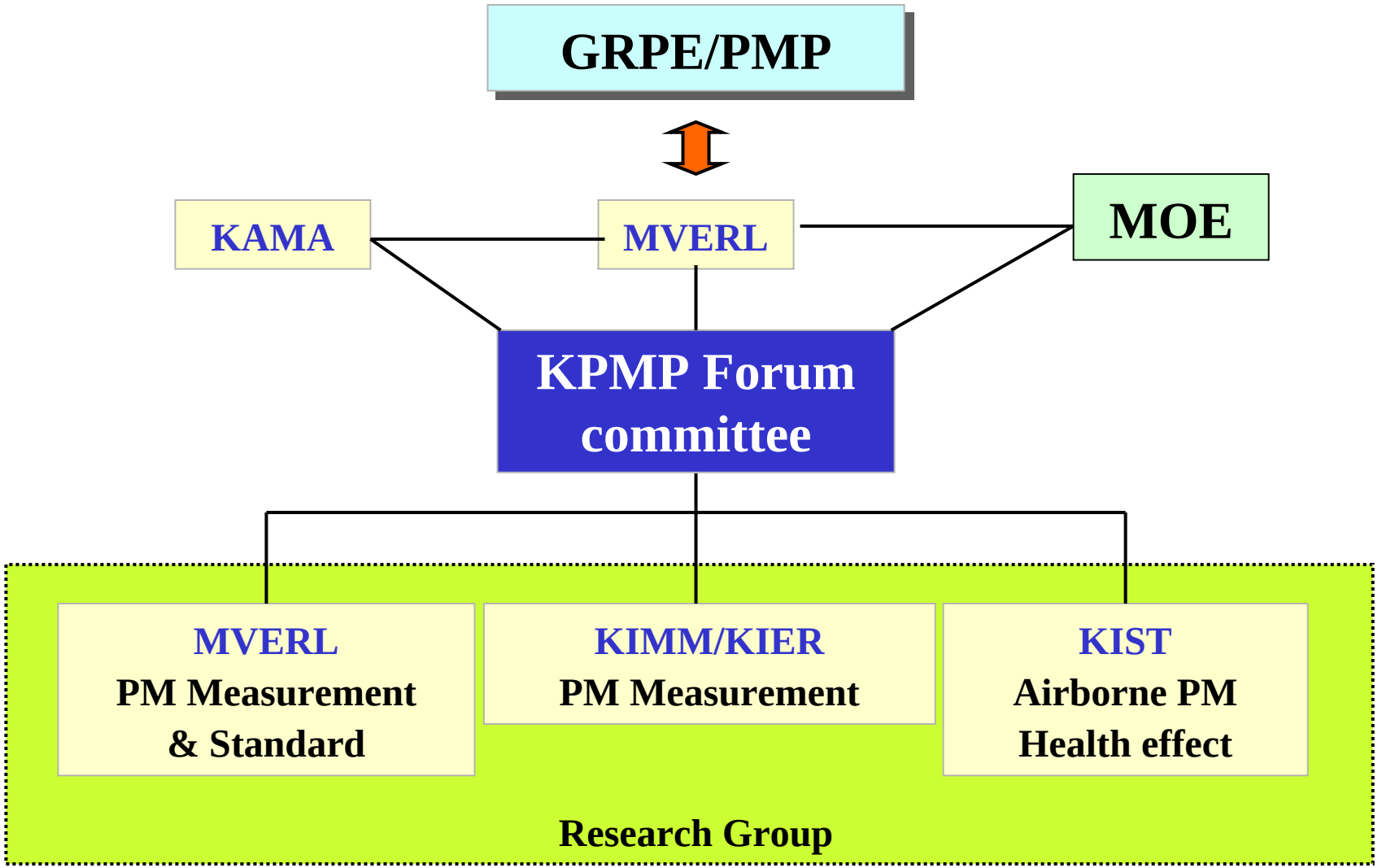
CO_2 기준 설정 방향

- EU(2008), 캘리포니아(2009) 기준 설정
- 미국연방, 캐나다 등에서는 준비 중
- 30% 저감목표

극미세입자 기준 설정 방향

- EU 2012년부터 경유승용차, 소형화물에 적용 검토, 추후 대형경유로 확대
- 휘발유, 가스자동차에도 극미세입자 기준 적용 검토

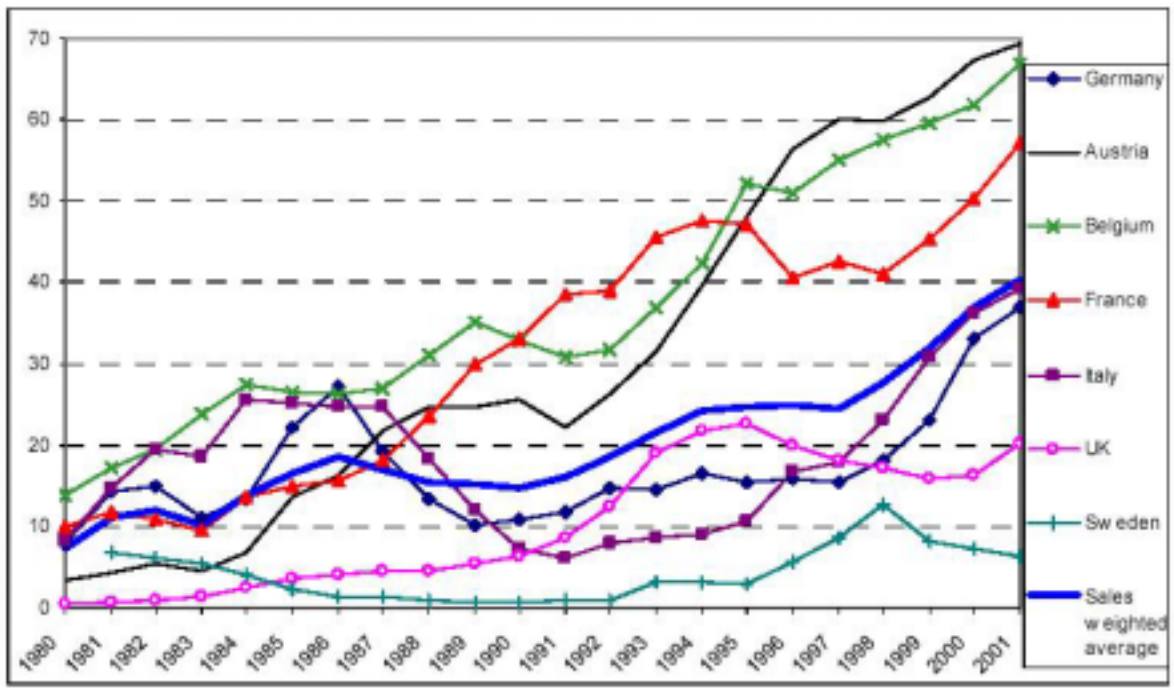
Organization of KPMP



경유승용차 보급확대

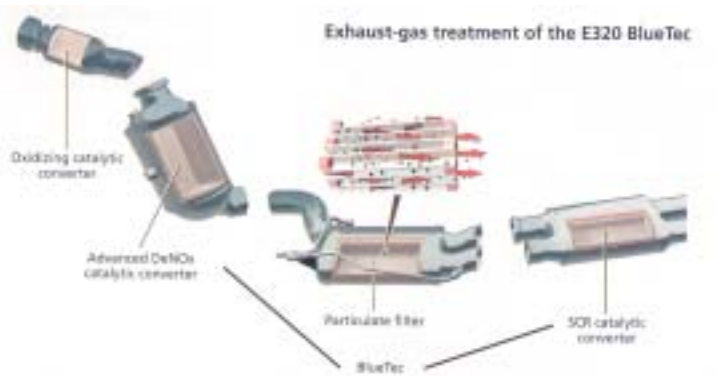
- 유럽의 경유승용차 증가 추이
  - 경유승용차 보급율 50% 이상

➡ 휘발유차 수준의 유해배출가스 저감,
연비 및 CO_2 장점으로 시장확대

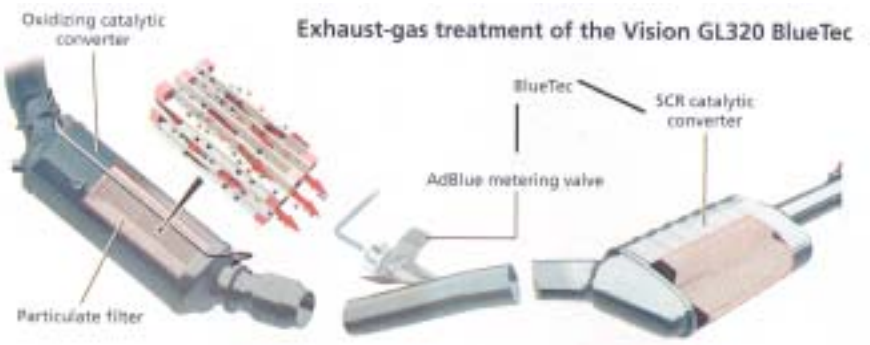


경유승용차 보급확대

- 미국의 경유승용차 동향
  - 배출허용기준 만족 경유승용차 진출 : Daimler Chrysler(BlueTech)
  - 2025년 유럽수준의 경유승용차 보급율 예상



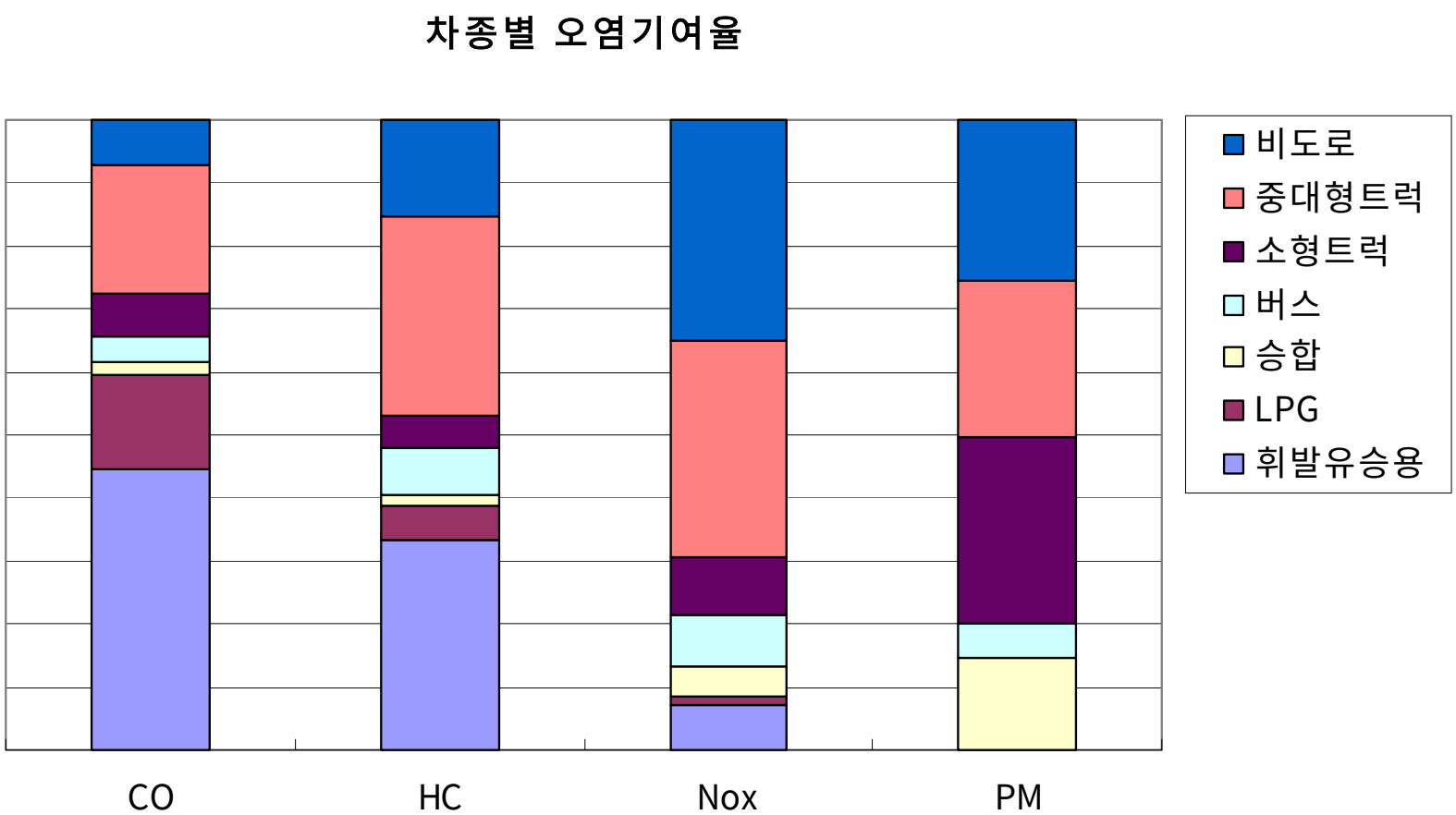
- EPA bin8 (2007)
- DOC + DeNOx + DPF + SCR



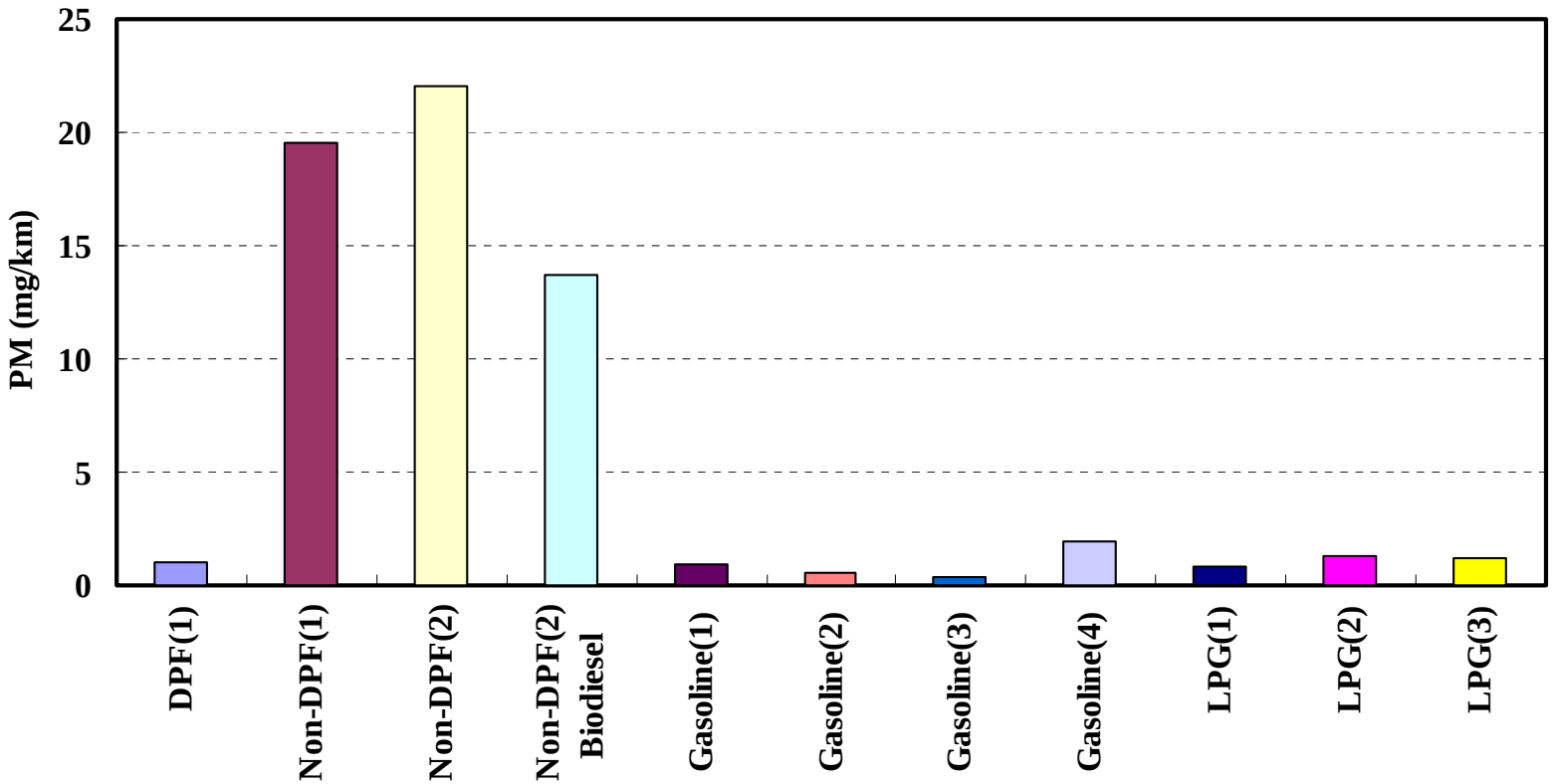
- EPA bin5 (2009)
- DOC + DPF + urea SCR

경유자동차만 문제인가?

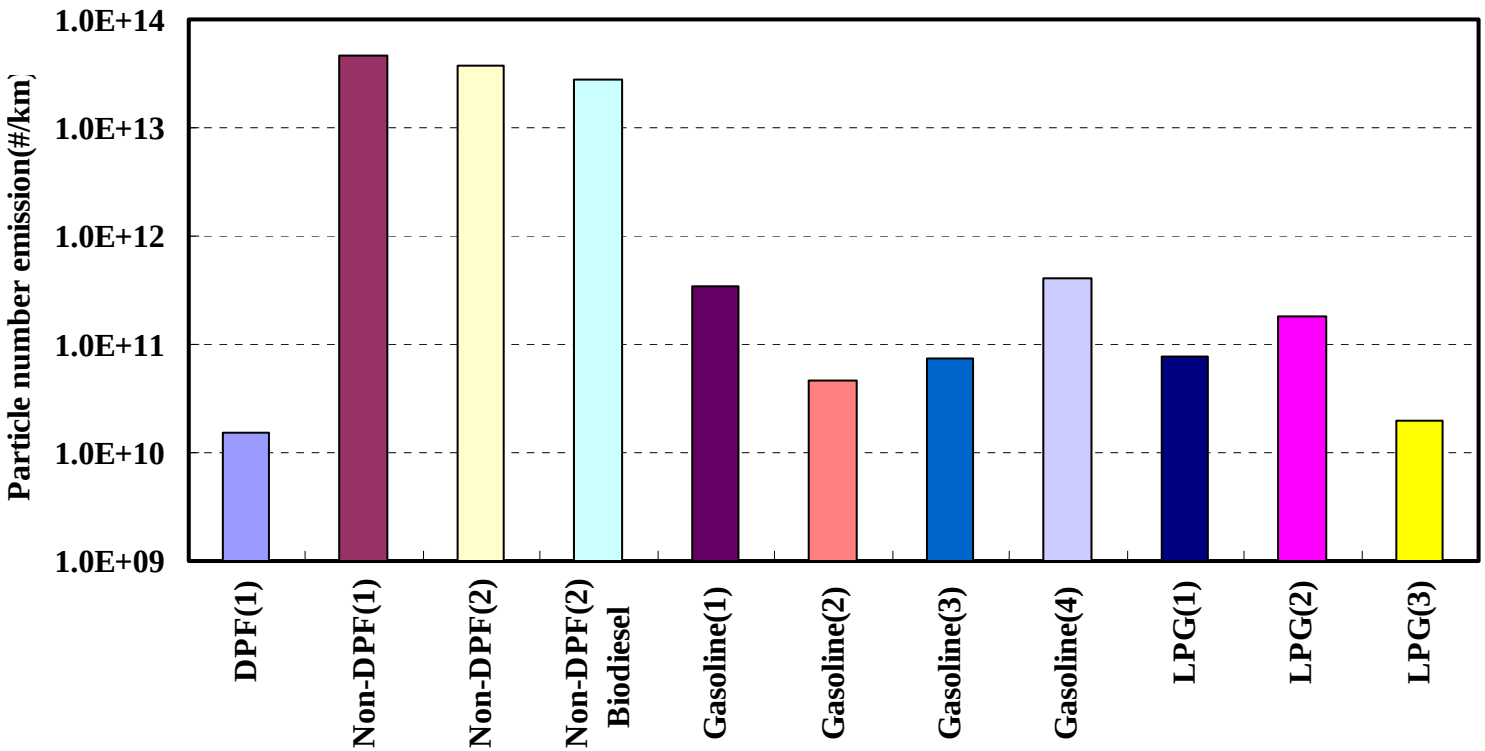
차종별 오염물질 기여율



Particulate Mass Emission



Particulate Number Emission



맺 는 말

- 극미세입자(nano-PM)의 인체 유해성 확인
  - Toxic, 폐암
- 극미세입자 수량규제 설정
  - 경유승용차(2012) ➡ 중량자동차
- 극미세입자 대책
  - 매연여과장치 : 휘발유차 수준
- 어디까지가 안전한 허용수치인가?
  - 휘발유, 가스차는 안전한가?

Thank you !!`

e-mail: yjeong@kimm.re.kr

http://www.cefv.re.kr