

국제 PMP의 동향

World Trends of Particulate Measurement Programme

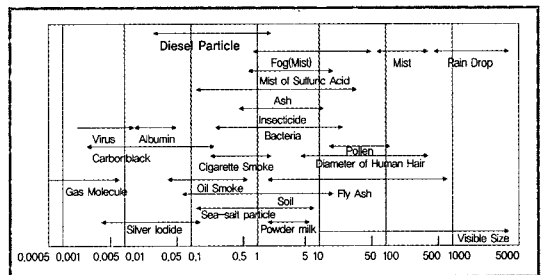


박 심 수 / 고려대학교
Simsoo Park / Korea University

1. 배경

자동차가 발명되어 문명의 이기로서 지금 우리 생활에서 없어서는 안 될 가장 중요한 생활필수품 중의 하나로 자리를 잡고 인류 문명생활에 공헌한 바는 크지만, 최근 들어 자동차에서 배출되는 유해 배출가스에 의한 대기오염 및 인체 유해성에 대한 논란이 계속되고 있다. 이 중에서 입자상물질(PM, Particulate Matters)은 SOF(Soluble Organic Fraction), 수트(Soot) 및 황산염(Sulfate)으로 나눌 수 있는데 현재는 중량법으로 측정하고 있다. ISO 8178-1:1996에서는 PM을 'Any Material Collected on a Specified Filter Medium After Diluting Diesel Exhaust With Clean, Filtered Air at a Temperature of Less Than or Equal to 325K(52°C), as Measured at a Point Immediately Upstream of The Primary Filter; This is Primarily Carbon, Condensed Hydrocarbons, and Sulfates, and Associated Water' 라 정의하고 있다. 공기중에 있는 부유입자

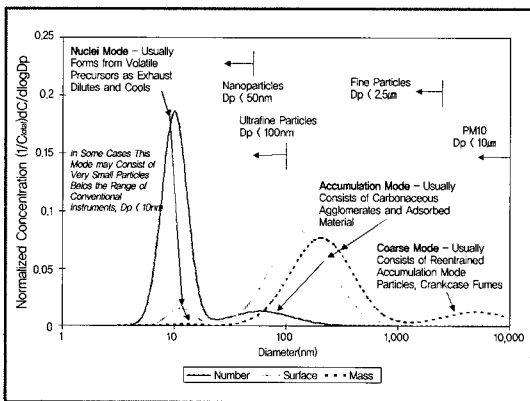
상물질(SPM, Suspended Particulate Matter)은 <그림 1>에서 보여주듯이 크기가 다양하지만 자동차에서 배출되는 PM은 일반적으로 10 μ m 이하이다.



<그림 1> 대기중의 입자 크기(μ m)

미국 Minnesota 대학의 Kittelson 교수는 DOE/CRC E-43 프로그램과 DOE의 가솔린 PM 프로그램에서 최신의 디젤엔진과 가솔린엔진에서 발생하는 PM의 개수와 크기를 측정하여 현재 디젤엔진의 배출허용기준에 적용되고 있는 PM의 크기(PM10 : 10 μ m 직경)보다 훨씬 작은 크기의 개수 및 표면적을 측정하였다. 이 연구에서 사용된 측정장비는 SMPS(9~300 μ m 입자크기 측정), ELPI(30~2500 μ m Size 입자크기 측정), CPC(3 μ m 이상의

입자개수 측정), Diffusion Charger, PAS(입자표면적 측정), Epiphaniometer(입자표면적 측정) 및 CO₂, CO, NO 분석기 등이다. <그림 2>는 전형적인 디젤입자 크기 분포를 나타내고 있는데 입자크기가 작은 경우 훨씬 많은 개수의 입자를 배출하며 디젤 엔진뿐만 아니라 가솔린엔진에서도 많은 개수의 PM이 발생하는 것을 발표하였다.



(그림 2) 전형적인 디젤입자 크기 분포(1998, Kittelson)

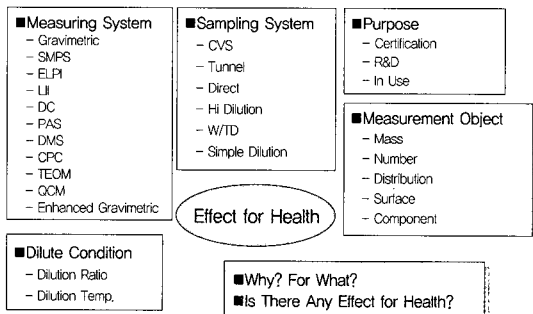
일본 동경여자의대의 Ishihara 교수는 디젤 입자에 의한 인체유해성을 역학(疫學)적인 측면에서 연구하여 디젤엔진에서 발생하는 초미세입자(Ultrafine Particle)에 장기간 노출되었을 경우 폐렴 및 폐암발생의 관계, 천식 및 심장혈관계에 미치는 영향을 발표하였다. 영국의 COMEAP(Committee on The Medical Effects of Air Pollution)에서는 공기중의 배출가스 입자(Airborne Particle)에 장기간 노출되었을 경우 단기간 노출했을 때보다 인체에 10배 이상 나쁜 영향을 준다고 결론내렸다. 스위스에서도 PM에 의해 심폐질환에 의한 사망자 수가 증가하여 질량 측정방법을 대체할 새로운 측정방법인 개수측정방법을 법규로 제정하였다.

이런 배경아래 영국에서는 DfT(Department of Transport)가 중심이 되어 현재 기술에 의해 제작되

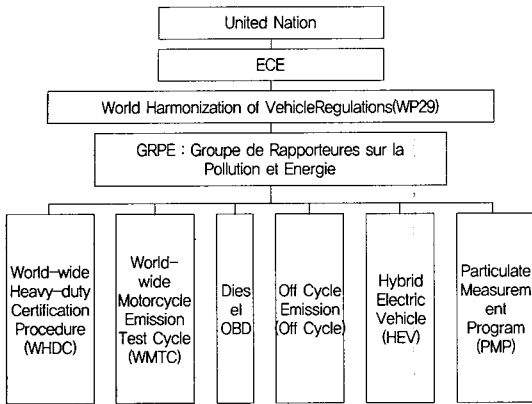
는 자동차에서 발생하는 PM의 측정에 관해 £200만의 예산을 투입하여 'UK Particulate Programme(1998~2000) (Pre PMP)'을 진행하였다. 이 연구에서 경량자동차(LDV)의 경우 10~500nm 크기의 입자 개수를 측정하였는데 DPF를 장착하지 않은 디젤엔진에서 $3.0 \times 10^{10} \sim 1.0 \times 10^{12}$ 개, 가솔린 및 LPG엔진에서 $1.0 \times 10^7 \sim 1.0 \times 10^8$ 개 및 DPF를 장착한 디젤엔진에서 $3.0 \times 10^6 \sim 3.0 \times 10^7$ 개로 나타났다. 이 연구결과를 바탕으로 2000년 12월 EU의 환경위원회에서는 현재의 질량측정방법을 대체할 새로운 측정방법의 필요성을 절감하고 PMP(Particulate Measurement Programme)의 진행을 결정하였다.

2. Particulate Measurement Programme(PMP)

PMP의 목적은 새로운 PM 저감방법을 적용한 엔진에서 발생하는 현재의 질량측정방법을 대체할 새로운 측정방법(Test Protocol)을 만드는 것이다. 일반적으로 PM은 측정방법이 <그림 3>에서 보여주듯이 측정방법에 따라 여러 가지 결과를 얻게 되고 측정장비 사이에 상관관계를 얻기가 쉽지 않으며 측정도중에 흡착 또는 탈착이 되어 생성되거나 없어지기도 하는 등 측정의 표준화가 어렵기 때문에 프랑스,



(그림 3) 입자상물질 측정의 어려움



〈그림 4〉 UN/ECE WP29 GRPE 조직도

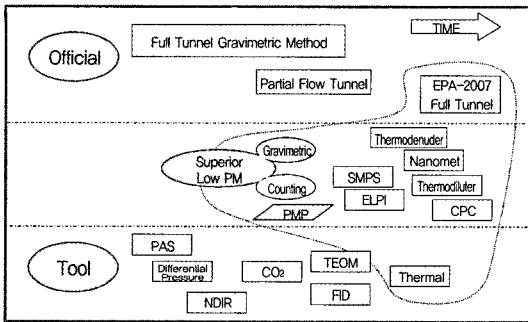
독일, 영국, 스웨덴, 일본 및 스위스가 참여하여 각국에서 공동연구 및 독자적인 연구를 진행하여 〈그림 4〉에서 보여주는 조직인 UN/ECE GRPE (Group de Rapporteures Sur la Pollution et Energie) 포럼에서 공동관심사를 논의하기로 하였다.

PMP에서 하는 일은 각 단계별로 Phase 1에서 측정시스템(Candidate System) 개발(2002. 1 까지), Phase 2에서 시스템의 측정방법 확립(2002. 12 까지) 및 Phase 3에서 새로운 기술개발(2003. 6 까지) 등이다. 각 단계에서 하는 일을 조금 더 자세히 알아보면, Phase 1에서는 엔진의 타입 결정, PM 측정을 고체입자(Solid Particle)로 제한, 중량 및 크기 측정, PM 샘플링 시스템 및 측정장비 등을 고려하여 시험표준(Test Cycle)을 제안하는 것이고, Phase 2에서는 Thermodenuder(또는 Thermodiluter)를 사용하여 희석과정에서 응축에 의해 형성되는 휘발성성분인 PM의 핵입자(Nucleation Particle)를 제거하고 중량, 입자수 및 표면적을 측정하는 것이다. 이 단계에는 독일(TUV-Essen, 중량자동차(HDV) 엔진 및 LDV, 6개 측정장비), 스위스(EMPA, HDV 엔진, 20개 측정장비) 및 영국(Ricardo + AEAT, HDV 엔진 및 LDV, 6개 측정장비)이 참여하여 인체

유해성, 측정의 신뢰성 및 측정데이터의 반복성 등을 검증하는 것이며, Phase 3에서는 시험결과를 바탕으로 PMP 포럼에서 시험표준안(RD 04/80801.1, Framework and Laboratory Guide)을 만들고 각국에서 Round Robin 시험의 일종인 Inter-laboratory Correlation Exercise를 수행하는 일이다. PM 측정시험은 처음에는 EU내의 5~6개국의 시험실에서 Inter Lab. Test를 수행할 예정이었는데, 일본 및 한국 등이 추가되어 시험을 진행하고 있다. 〈표 1〉은 각국의 PMP Inter-laboratory 시험일정을 보여주고 있다.

〈표 1〉 PMP Inter-laboratory 시험

No	Laboratory, Country	PMP Test Period
1	JRC, Ispra, Italy	2004. 11. 9-11. 17
2	AVL MTC, Sweden	2004. 11. 29-12. 3
	AEA Technology, UK	Golden Measurement System Calibration
3	Ricardo Consulting Engineers, UK	2005. 2. 1-2. 8
4	RWTÜV Essen, Germany	2005. 3. 1-3. 8
5	Lab of Applied Thermodynamics(LAT), Greece	2005. 4. 6-4. 20
6	JRC, Ispra, Italy	10-31 May 05
	AEA Technology, UK	Golden Measurement System Calibration (During Transfer Car to Japan)
	Interim Report	2005. 6
7	NTSEL, Japan	2005. 7
8	NMVERL(교통환경연구소), Korea	2005. 9 Transfer to Europe
	Interim Report	
9	Shell Global Solutions, UK	TBD
10	UTAC, France	2005. 10
	AEA Technology, UK	Golden Measurement System Calibration
11	VELA, JRC, Italy	2005. 11
	Final Report	2005. 12



(그림 5) 입자상물질 측정방법

(그림 5)에 여러 가지 PM 측정방법을 나타내었는데 PMP에서 추천된 PM 측정장비는 다음과 같다. Gravimetric(Filter Based Mass Measurement), SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer), ELPI(Electric Low Pressure Impactor), LII(Laser Induced Incandescence), DC(Diffusion Charger Sensor), PAS(Photoelectric Aerosol Sensor), DMS(Differential Mobility Spectrometer), CPC(Condensation Particle Counter), TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance), QCM(Quartz Crystal Microbalance) 및 Enhanced Gravimetric(Enhanced Filter Based Mass Measurement) 등이다.

미국 EPA, OICA 및 JAMA는 중량법을 선호했지만 2004년 PMP 중간보고에서 LII, PASS, MEXA 및 CPC의 측정결과에 대한 설명이 있었고, 'Thermodiluter가 휘발성 핵입자를 제거할 수 있어 고체입자만 측정이 가능하게 하였고 CPC는 측정데이터의 상관관계가 우수' 하여 Thermodiluter와 CPC를 사용하는 개수측정방법이 우수하여 추천되었다. 측정장비의 호환성에 대한 시험용으로 각국에서 몇 가지를 더 시험해 보기로 했다. 아울러 차기 또는 차차기 Euro 배출가스 허용기준에 대한 합의를 도출하기 위하여 LDV에 대해서는 2010년부터

적용하는 것을 전제로 Euro-5는 ECE R.83을 검토하고, HDV에 대해서는 2013년부터 적용하는 것을 전제로 Euro-6는 ECE R.49를 검토하기로 했다.

추가로 참여한 일본의 경우 PM 측정방법의 평가를 위해 환경성, 환경연구소, 국토교통성, JARI(일본자동차연구소), JSMA(일본자동차공업협회), JSAE(일본자동차기술회), 대학 및 측정장비회사 등이 참여하여 JPMP(Japan PMP)를 구성하고 PMP에 참여하고 있다.

한국은 2004년 10월에 UN ECE WP29 회의에는 '97협정'에 가입한 국가로서 참여해 왔으나, WP29의 Working Group 회의에는 자동차기준의 상호인정과 관련된 '58협정'에 가입하여 WP29의 GRPE PMP에 참석하게 되었고, 늦은 감이 없지 않으나 국내에서 환경부, MVERL(교통환경연구소), KAMA(한국자동차공업협회), KATRI(자동차성능연구소), KIMM(한국기계연구원), KATECH(자동차부품연구원), KIST(한국과학기술연구원) 및 대학 등이 참여하여 KPMP(Korea PMP)를 구성(위원장: 고려대학교 박심수 교수, 기술위원장: 한국과학기술연구원 배귀남 박사)하고 PMP에 참여하여 Inter Lab. Test도 교통환경연구소에서 수행할 예정이며, 시험할 차량은 Golden Vehicle로 명명된 Peugeot 407 HDi FAP 2000cc와 기아자동차의 Pride(Euro-4만족)로 예정되어 있다.

3. PMP Inter-Lab Test 중간결과

최근 2005년 5월 30일~6월 3일 스위스 제네바에 있는 UN(Palais des Nations)에서 제 50차 GRPE 회의가 있었는데, 지금까지 수행한 LDV에 대한 Inter-Lab Test의 중간결과 보고를 듣고 HDV에 대한 향후 계획도 협의하였다.

가. 현재까지 시험한 차량
각국의 시험실에서 수행한 Inter Lab. Test에 사용된 차량은 다음과 같다.

- Peugeot 407 HDi FAP 2,000cc(Golden Vehicle)
- BMW 525d 2,500cc(w/DPF)
- AUDI A2 TDi 1,500cc(Euro-4, non DPF)
- Honda Accord i-CTDi(2,200cc, Euro-4, Non DPF)
- VW Golf TDi(1,800cc, Non DPF)
- Mitsubishi Carisma (GDI, 1,800cc)
- VW Golf FSI(1,600cc)
- FIAT Idea(MPI, 1,600cc, Euro-4)

나. 현재까지 사용된 중량 측정 시스템

4개 Lab에서 Heating Tape와 Mantle(Insulation 용)을 사용해서 온도를 제어하는 것으로 개조하여 시험하였고, 1개 Lab에서 Horiba HFU-4770(Heated Particulate Filter Module)을 사용하였다.

다. 현재까지 사용된 개수 측정 시스템

Lab Diluter + TSI CPC 3100 Modified(1개 Lab), DEKATI Modified + GRIMM Modified CPC 5400(3개 Lab), DEKATI Modified + TSI CPC 3100 Modified(1개 Lab) 및 Horiba Solid Particle Counting System을 사용하였다.

라. Inter-Lab Test 중간결과 보고의 중요 사항

- 개수 측정법이 중량 측정법에 비해 Sensitivity가 우수하고 휘발성물질에 의한 불확실성(Uncertainty)을 피할 수 있음
- DPF를 장착한 디젤차량은 최신 MPI 차량과 비슷하게 $\sim 10^{11}$ 개/km를 배출
- GDI 차량은 $10^{12} \sim 10^{13}$ 개/km를 배출하여 가솔린 차량도 향후 PM 개수 및 중량을 규제할 가능성이 있음

- 기존의 DPF를 장착하지 않은 디젤차량은 DPF를 장착한 디젤차량에 비해 500배(5×10^{13} 개/km)의 PM을 배출함
- 현재 기술에 의한 GDI 엔진은 개수 측정과 중량 측정에 있어 DPF를 장착하지 않은 디젤차량과 DPF를 장착한 디젤차량의 중간쯤으로 보임
- DPF를 장착하지 않은 디젤차량(Euro-4 대응)에 대하여 개수 측정법이 중량 측정법에 비해 변화가 적음을 보여주고 있음
- 향후 2005년말까지 Inter-Lab Test를 종료하고 PMP WG에 보고하기 위하여 모든 시험 데이터를 분석한 후 Draft Regulatory Document를 최종 수정할 예정이며, Euro-5 배출가스 허용기준 제정의 한 부분으로 Regulation Format을 갖추어 Protocol을 Brussel에 있는 EC에 제출하여 법적 회를 추진할 예정임
- 2006년 초부터 LDV이외에 HDV Engine에 대한 Inter-Lab Test를 계속 추진함

4. 맺음

최근 5~6년 동안에 자동차에서 배출되는 배출가스중 PM의 측정에 관한 관심이 제고되어 UN에서 조차 논의가 되고 디젤자동차뿐만 아니라 가솔린자동차에서도 PM의 배출이 관심사로 떠오르게 되었다. 국제동향을 파악해 본 결과 향후 2~3년 내에 LDV와 HDV 및 가솔린자동차에 대하여 PM 기준 및 측정법이 중량측정법에서 개수측정법으로 변경되어 적용될 것으로 전망된다. 국내의 연구자들 및 자동차제작사는 국제동향을 예의 주시하면서 국내 자동차산업 및 환경분야의 기준제정에 미치는 영향을 분석하고 대응해야 할 것으로 본다.

(박심수 총무이사 : spark@korea.ac.kr)