

## 디젤 승용차량 시험모드별 극미세입자 배출 특성 해석

이진욱<sup>\*1)</sup> · 정민원<sup>2)</sup> · 정용일<sup>1)</sup> · 차경옥<sup>2)</sup>

한국기계연구원 친환경엔진연구센터<sup>1)</sup> · 명지대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### Analysis of Diesel Nano-particle Characteristics for Different Vehicle Test Mode in Diesel Passenger Vehicle

Jinwook Lee<sup>\*1)</sup> · Minwon Jung<sup>2)</sup> · Youngil Jeong<sup>1)</sup> · Kyongok Cha<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Engine R&D Center, Korea Institute of Machinery and Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

(Received 2 May 2007 / Accepted 7 June 2007)

**Abstract** : Recently, the nano-PM 's number concentration emitted by diesel internal combustion engine has focused on attention because this particulate matters are suspected being hazardous of human health. In this study, The nano-PM mass and size of diesel passenger vehicles were measured on chassis dynamometer test bench. The particulate matters (PM) emissions of these vehicles were investigated by number concentration too. A condensation particle counter (CPC) system was applied to measure the particle number and size concentration of diesel exhaust particles at the end of dilution tunnel along the NEDC(ECE15+EUDC) and CVS-75 vehicle test mode. As the research result, the characteristic of vehicle test mode on the diesel nano-particle number and size distribution was investigated in this study.

**Key words** : Nano particulate matters(극미세 입자상물질), Dilution tunnel(희석터널), Condensation Particle Counter(입자개수기), NEDC vehicle test mode(승용 디젤 차량 배기 시험모드), CVS-75 vehicle test mode(승용 휘발유 차량 연비 시험 모드)

### 1. 서론

지구 온난화 규제가 본격화되면서, 21세기 대표 산업인 자동차 산업은 자동차 기술과 정책에 대한 새로운 각도에서의 재평가 필요성이 제기되고 있는 실정이며, 향후 발효될 자동차 CO<sub>2</sub> 규제에 유리한 디젤엔진에 대한 사회적 인식의 전환과 첨단 엔진 기술개발로 이의 사용 증가가 예상되고 있다. 최근 유럽 승용차량 시장에서도 디젤 차량이 50%가 넘는 점유율을 보일 만큼 현저히 증가하고 있는 추세이다.<sup>1)</sup> 현재까지 세계 주요 선진기술국 및 주요 자동차 회사에서는 여기에 가장 적합한 대상기술로서

직분식 디젤엔진과 관련된 기술을 선정하여 이에 대한 많은 연구가 활발히 진행하고 있다.

이러한 배경에서 현재 대도시 대기오염의 주원인이 경유 차량에서 배출되는 매연과 PM (particulate matters, 입자상 물질)임을 고려할 때, 디젤엔진에서 발생하는 PM의 생성 메커니즘 분석 및 시험 측정법의 확립을 통한 PM 저감기술 개발은 매우 중요하다. 이러한 PM 측정 및 저감기술은 디젤엔진만이 가지고 있는 문제인데, 상대적으로 우수한 열효율과 연비특성을 가지는 디젤엔진의 장래와 관련하여 이 문제점은 반드시 해결되어야 한다.<sup>2,3)</sup>

아울러서 대기환경 및 인체 위해성에 대한 최근 연구에서는 매일 사망률과 질병은 대기 오염의 미

\*Corresponding author, E-mail: immanuel@kimm.re.kr

립자의 증가와 관련되어 있음을 통계적 방법으로 밝혔다.<sup>4)</sup> 이 미립자의 영향은 현재의 미세입자 한계 (PM<sub>10</sub>)보다 낮은 수준에서 더 치명적임을 확인하였는데, 즉 더 작은 미세입자(PM<sub>2.5</sub>)에서 이의 상호관계가 더 밀접함을 제시하였다. 더불어 동물 임상실험에서 카본 블랙이나 티타늄 이산화물(dioxide)과 같은 활성이 없는 미립자는 암을 유발시키는 것을 증명하였다.<sup>5,6)</sup>

지금까지는 배출원 관점에서 오염물질을 규제하여 왔으나, 최근에는 이를 바탕으로 오염물질의 수용체(인간)관점에서 대기오염물질을 규제하고 관리하는 방향으로 전환하고 있다. 특히 현대사회에서 자동차가 차지하는 비중은 매우 지대하며, 또한 이로 인한 대기오염 및 인체 위해성 문제는 간과할 수 없기에, 현안문제인 자동차 배출 극미세 PM입자의 크기 분포와 개수 농도를 측정하는 방법에 대해 보다 기술적이고 정책적인 해결방안을 마련하는 것이 시급한 상태이다.

현행 국내 적용중인 승용차량(passenger vehicle)의 공인 시험은 휘발유 차량인 경우, CVS-75 Mode 시험을 통해 연비와 배기 배출물 측정하는 반면에 경유 차량인 경우에 있어서는 연비 측정은 CVS-75 Mode, 배기 배출물 측정은 NEDC Mode가 각각 적용 중에 있다.

따라서 본 연구에서는 2개 시험모드(CVS-75, NEDC)에 따른 승용 경유 차량에서 배출되는 유해 가스상 물질과 극미세 입자상물질(Nano- sized PM)의 배출특성을 서로 비교·분석함으로써, 엔진 배출 극미세입자의 정확한 시험법 확립(test protocol)에 기여하고자 수행하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1 차량용 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 Table 1에 나타낸 제원과 같이 디젤산화촉매가 장착된 양산 소형 승용 경유 차량을 사용하였다. 시험 차량용 실험 장치는 항온 항습을 유지할 수 있는 시험실, 차대동력계, Driver's Aid, 배출가스분석기, 입자상물질(PM) 측정기 등으로 구성되어 있으며, 차대동력계의 자세한 제원은 Table 2에 나타내었다. 정확한 PM측정을 위하여 샘플링

Table 1 Specification of test vehicle

Model	Pride 1.5 VGT
Engine type	DOHC 4 V/V
Engine displacement	1493cc
Max. power	112ps@4000rpm
Max torque	24.5kgm@2000rpm
Curb weight	1145kg
fuel consumption	16.9km/l
Transmission	AT4
Injection type	CRDI
Aftertreatment equipment	DOC

Table 2 Specification of chassis dynamometer used

Axle load	44,100 N
Roller track	2800 mm
Peak power	260 kW
Permanent power	150 kW
Permanent tractive force	6000 N
Peak tractive force	10000 N
Electric inertia simulation	1000 lbs~12000 lbs
Axle distances	2100~4700 mm
Pit size	8200 × 1700 × 5300 mm

플링 가스는 항상 52°C를 유지·회석되도록 제어하도록 하였다.<sup>7)</sup> CVS시스템은 시험차량의 배기관에서 배출된 배출가스를 HEPA 필터를 통하여 정제된 공기와 희석한 후, 정용량 펌프로 흡인하여, 혼합된 배출가스의 일부를 샘플링 백에 포집하고 배기가스 분석기를 통해 배출가스중의 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, THC 등을 분석하였다. 제어시스템은 Driver's Aid, CVS 시스템, 배출가스분석기 등을 제어하고, 제반 데이터를 분석하여 배출가스농도와 카본 밸런스 법에 의한 연비를 산출하는 기능을 갖는다.

시험연료는 연료내 황함량이 30ppm이하인 초저황경유(ULSD, ultra low sulfur diesel)를 사용하였으며, 차량 실험은 항온 항습이 유지된 시험실 내(항온 24±1°C, 항습 상대습도 50±5%)에서 NEDC(ECE15+EUDC), CVS-75 Mode 측정방법에 의거하여 시험차량을 차대동력계에 탑재한 후, 운전모드에 따라 PM 입자개수분포와 PM, CO, THC, NO<sub>x</sub> 등을 측정하였다.

적용된 각 차량 모드의 특성은 Table 3에 나타내었다. Fig. 1에 나타낸 NEDC Mode는 ECE15 (Elementary urban cycle) + EUDC(Extra urban cycle)로 구

Table 3 Comparison of different test modes

Items	CVS-75	ECE-15	EUDC
Running distance(km)	17.84	1.013	6.955
Time(sec.)	1877+600	195	400
Running no. /test	1	4	1
Mean speed(km/h)	34.3	18.7	62.6
Max. speed(km/h)	91.2	50	120
Mean acceleration(m/s <sup>2</sup> )	0.67	0.75	0.833 (max.)
Mean deceleration(m/s <sup>2</sup> )	0.71	0.75	1.389 (max.)
Idle (%time)	18.0	30.8	
Acceleration (%time)	33.1	18.5	
Steady speed (%time)	20.4	32.3	
Deceleration (%time)	28.5	18.5	
Start condition	Cold	Cold+40s idling	

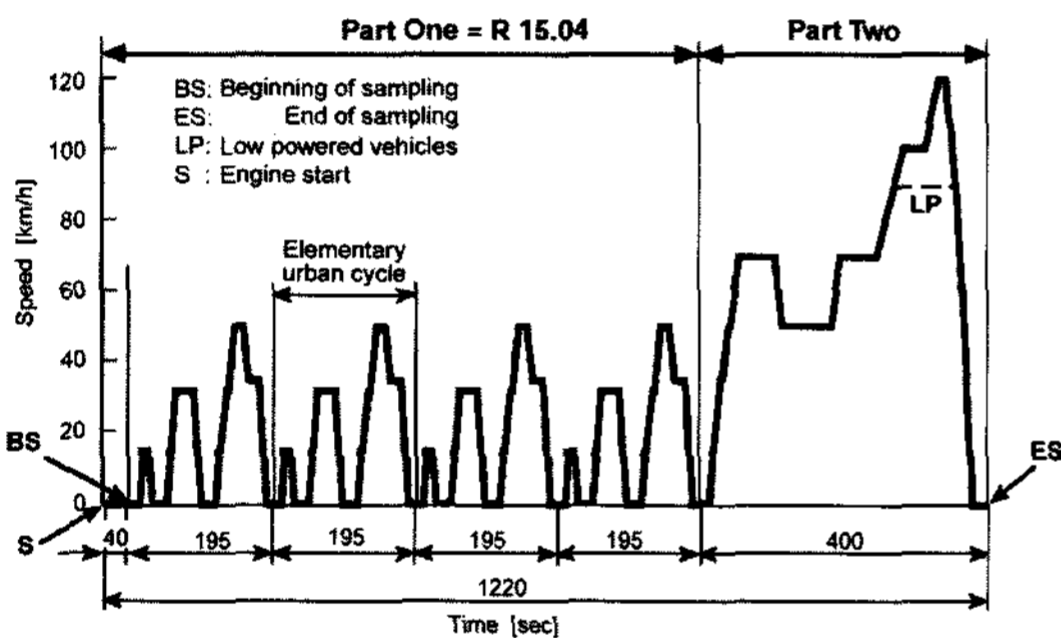


Fig. 1 Vehicle operating pattern of NEDC test mode

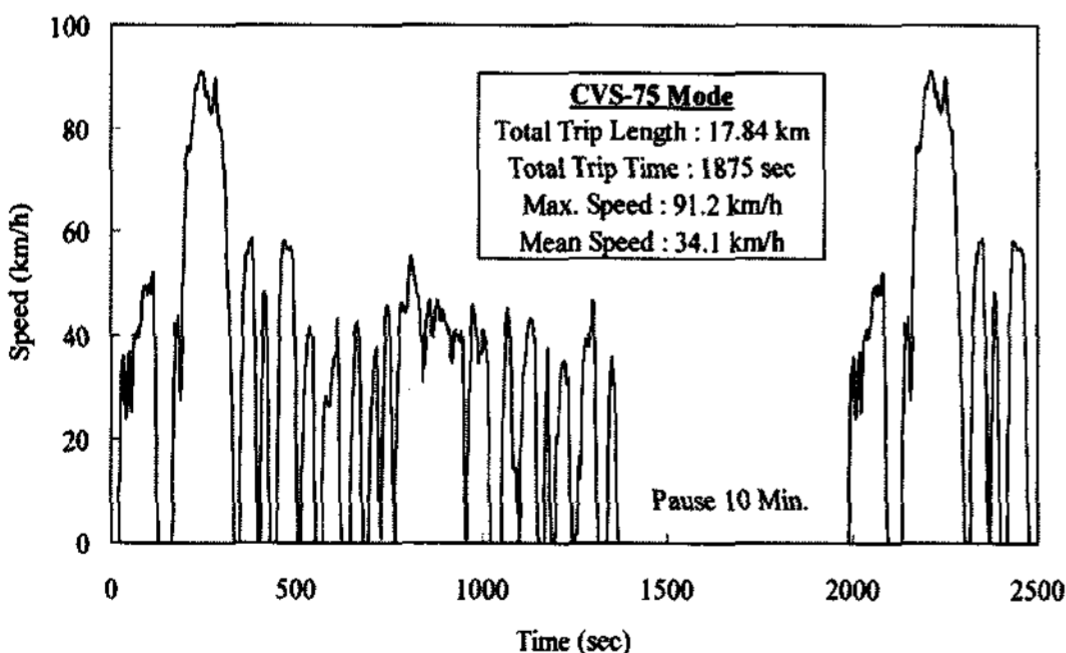


Fig. 2 Vehicle operating pattern of CVS-75 test mode

성되어 있으며 총 주행 거리는 약 11km이며, 총 모드 주행 시간은 1220초이고, ECE15 Mode는 820초, EUDC Mode는 400초로 구성되어 있는 반면 Fig. 2에 나타낸 CVS-75 Mode의 경우 총 주행거리는 17.84km, 주행 시간 또한 1877초로 NEDC Mode 주

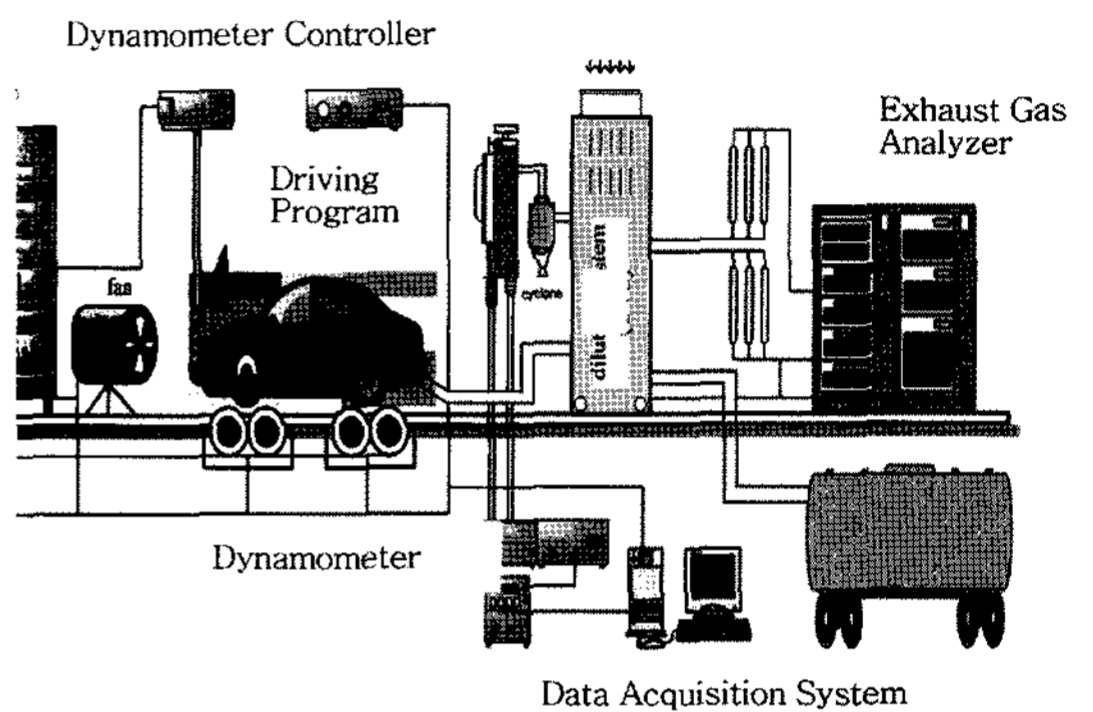


Fig. 3 Schematic of experimental setup

행 시간보다 97초 정도 길고, 총 주행 시간 중 가속 시간 비율 또한 두 배 정도 길다.

특히 본 연구에서는 NEDC Mode 시험시, 2000년 이후 부터 적용중인 엔진 시동 후, 40초간의 아이들 영역을 배제한 NEDC Mode를 적용하여 엔진 시동과 동시에 모드시험을 수행할 수 있도록 하였다. Fig. 3과 같이 구성된 실험 장치에서 시험모드 주행 시험을 실시하였다.<sup>7)</sup>

## 2.2 극미세 입자상 물질 측정장치

Fig. 4는 엔진에서 배출되는 극미세입자 측정 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.<sup>8)</sup>

입자 개수 측정은 중량 측정 장비의 샘플링 프로브 근처의 희석 터널의 바깥쪽에서 샘플링되며, 직경 2.5 $\mu$ m가 넘는 입자들은 사이클론에 의해 제거된 후, 1차 희석장치에 의해 희석된다.

1차 희석장치는 입자의 핵화를 방지하기 위해 희석 샘플과 같은 150°C $\pm$ 5°C로 가열되게 된다. 그리고 입자들은 휘발성 입자를 제거하기 위해 증발 튜브에 의해 300°C의 일정한 온도로 가열된다.

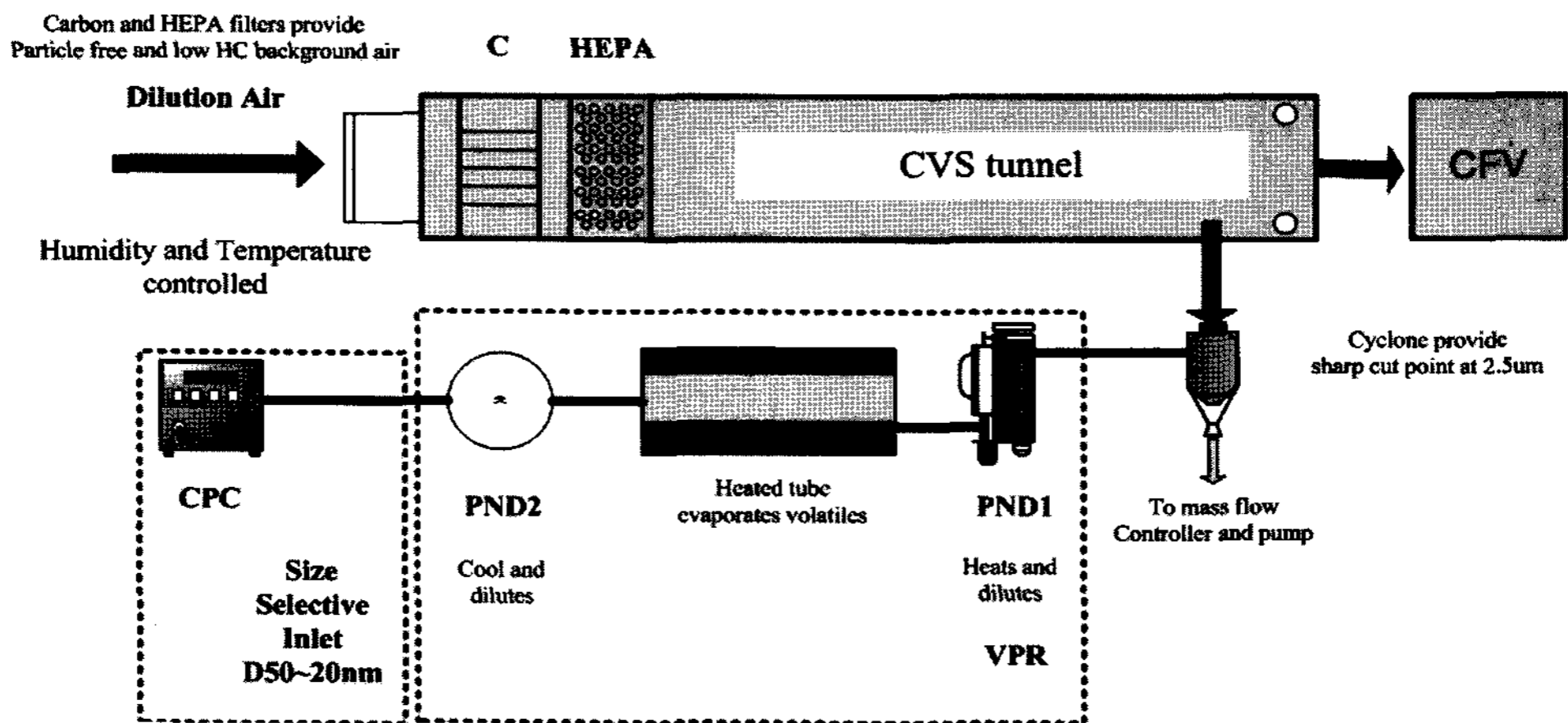


Fig. 4 Schematics of the particle measurement system for diesel nano-PM emission

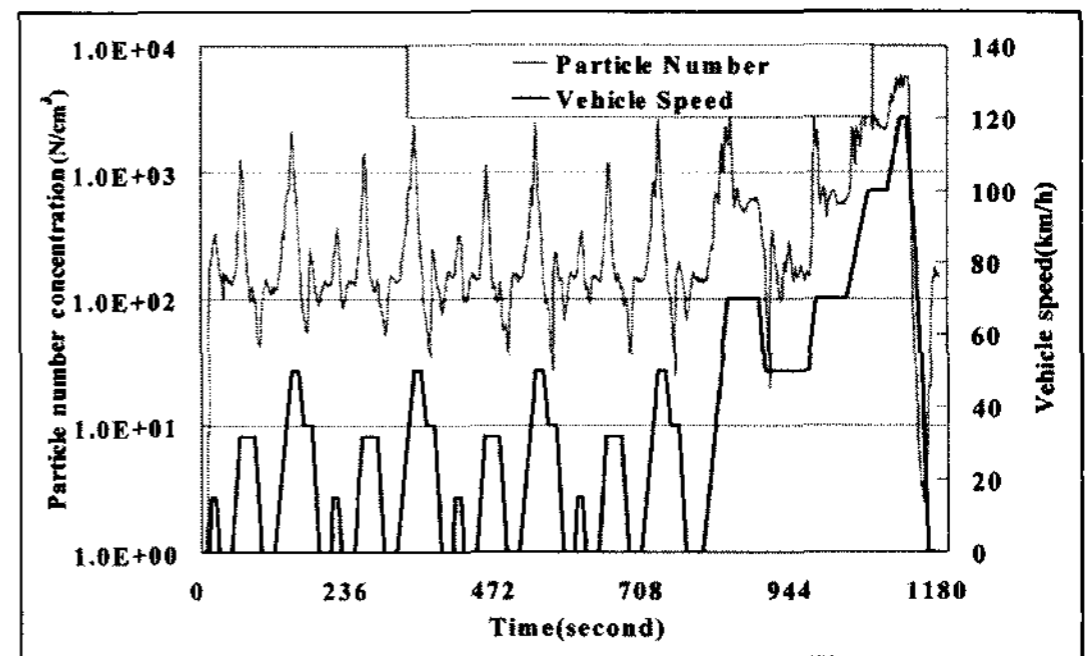
2차 회석장치에 의해 회석이 이루어진 후, 차가워진 샘플링 가스는 CPC로 이송되고 CPC는 연속적으로 입자개수를 측정한다.

CPC에서 입자를 세는 원리는 먼저, 레이저 빔을 통해 입자를 하나씩 보내고, certain angle에 얇게 흩뿌려져 분석하는 것이다. 각 입자는 작은 파장에 탐지될 수 있게 만들어진다. CPC는 입자를 액체로 응축시키고, 인위적으로 측정 가능한 크기로 각 입자를 성장시켜 광학적 방법을 통해 측정범위가 10nm 이하의 입자도 측정 가능하도록 구성되어 있다.

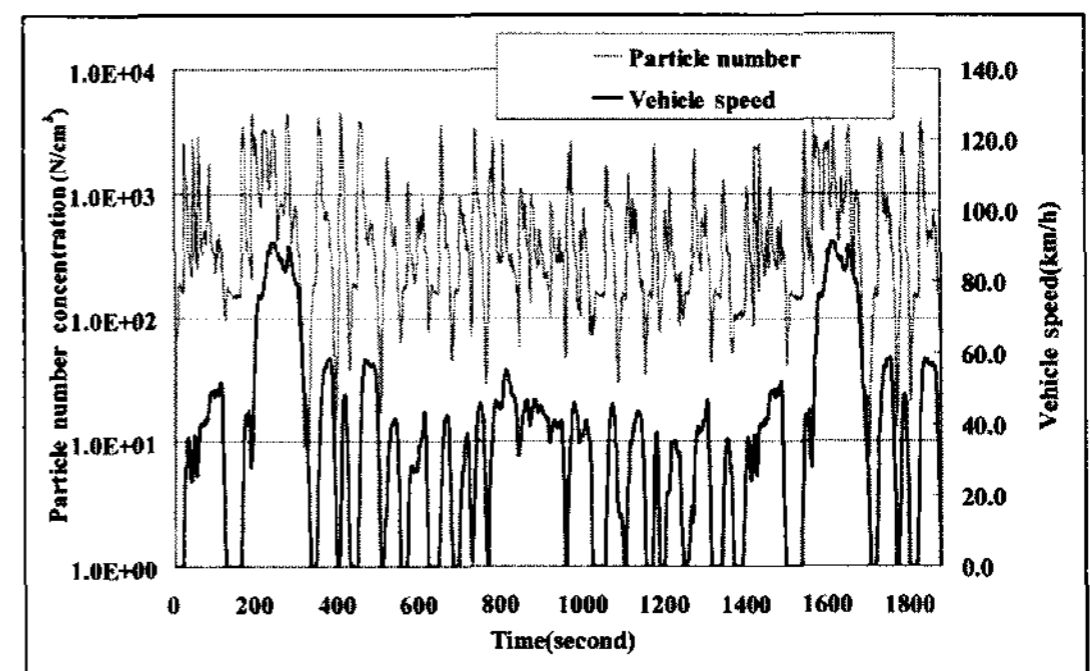
### 3. 실험 결과

Fig. 5는 차대동력계와 CPC(3010D, TSI社), 회전형 회석장치를 사용하여 실험한 극미세 입자 입경농도 개수 분포를 각 모드 별로 나타낸 것이다. 이 결과를 통해 본 연구에서는 시험차량에서 배출된 극미세 입자는 NEDC Mode와 CVS-75 Mode를 구성하는 각 구간의 특성과 상관 없이 가속 영역에 따라 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 이것은 디젤엔진의 불완전 연소로 인한 결과로 판단이 되며, DPF 미장착에 따라, 엔진 워밍업 후에도 많은 극미세 입자들이 배출됨을 알 수 있었다.

Fig. 6,7,8은 3가지 주요 유해 배출가스의 배출 특성을 모드별로 비교해서 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타난 탄화수소(THC)는 NEDC Mode에서 0.026g/km, CVS-75 Mode에서는 0.004g/km로 비교적 큰 차이를 보였고, 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 경



(a) NEDC mode



(b) CVS-75 mode

Fig. 5 Particle number concentration for different test modes

우, 각각 NEDC Mode가 0.060g/km, 0.152kg/km CVS-75 Mode 에서 0.021g/km, 0.158kg/km가 배출되었으며, 질소산화물(NOx)은 NEDC Mode가 0.321g/km, CVS-75 Mode가 0.339g/km로 배출되었다. 이는 두 시험모드에 있어서 각각의 전체 주행시간, 평균 주행속도, 최대 주행속도, 아이들 운전구간 그리고

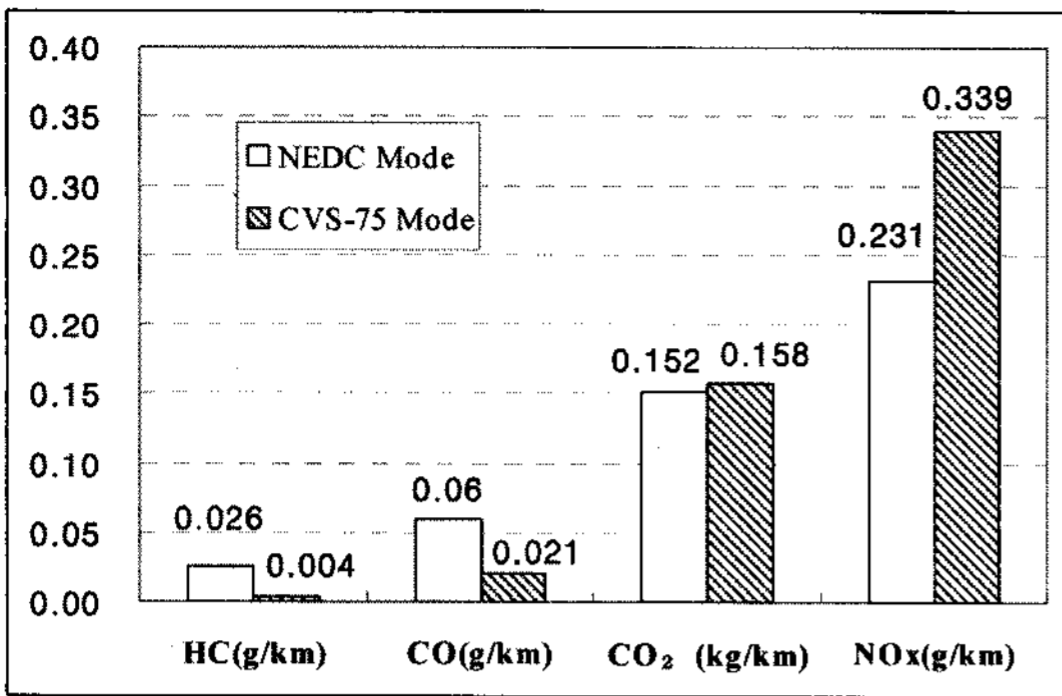


Fig. 6 Comparison of HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> emissions

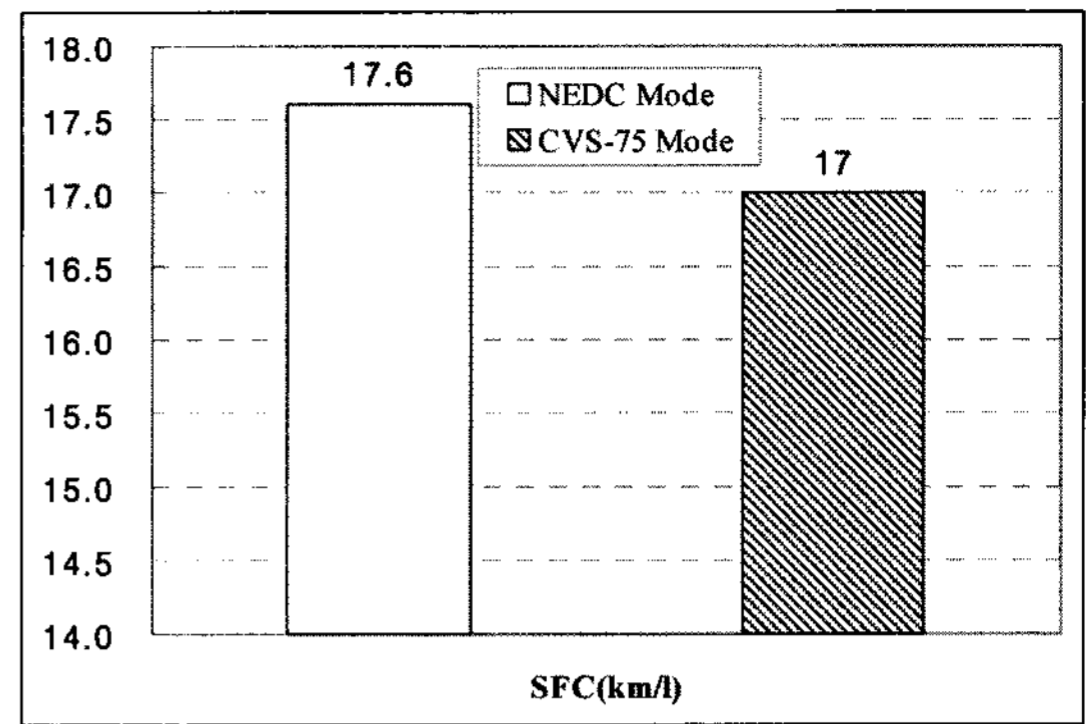


Fig. 9 Comparison of fuel consumption

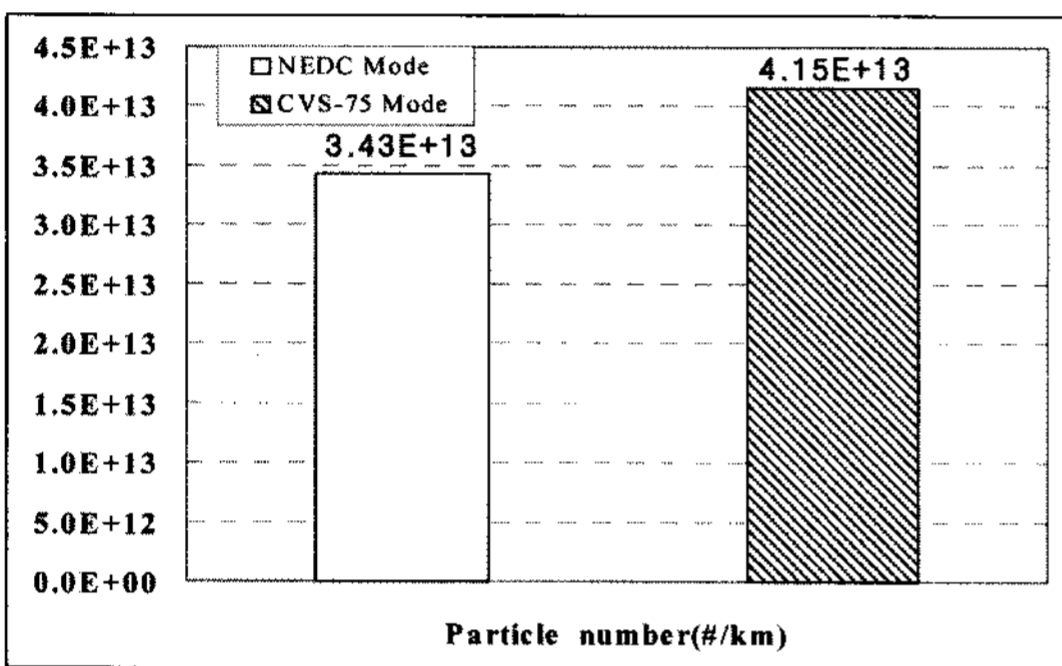


Fig. 7 Comparison of nano-particle emissions

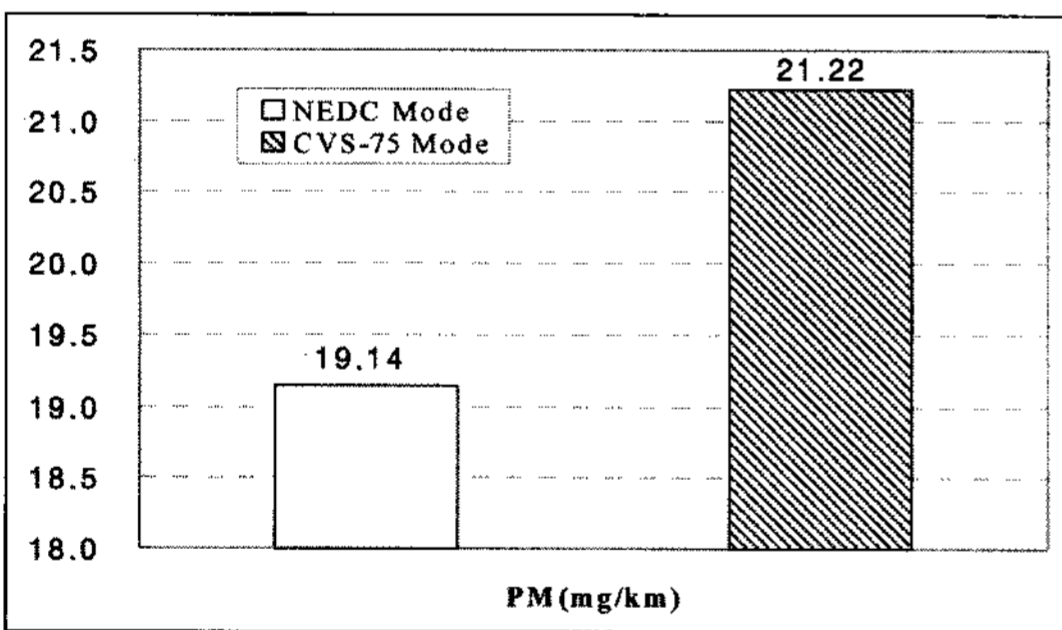


Fig. 8 Comparison of PM mass emissions

가·감속 운전구간 등의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

그리고 Fig. 7에서 극미세입자의 입경 개수 및 농도 분포 입자 개수 배출은 NEDC Mode에서 3.43E+13 #/km, CVS-75 Mode에서 4.15E+13 #/km로 측정되었다.

Fig. 8에서 중량법에 의한 PM중량은 NEDC Mode에서 19.14 mg/km, CVS-75 Mode에서 21.22 mg/km으로 측정되었다. NO<sub>x</sub>와 극미세입자의 입경 개수 및 농도분포입자개수, 중량측정법에 의한 PM량이

CVS-75 Mode에서 높게 나타난 이유는 주행 모드의 특성상 CVS-75 Mode가 가속구간과 가속 시간 비중이 크기 때문이고, 또한 DPF 미장착 차량이기 때문에 가감속 구간에서 차속 선도와 유사한 경향을 가지게 된다. 그리고 모드 주행 시 엑셀레이터 페달의 밟기 세기에 따라 연료 분사량 제어에 영향을 미치는데, 이에 따라 가속구간에서 더 많은 배출가스를 배출하는 원인이 된다.

따라서 가속구간과 가속시간의 비중이 큰 CVS-75 Mode가 NEDC Mode에 비해 더 많은 배출가스를 배출함을 알 수 있었다. 그리고 연비 측정 결과 CVS-75 Mode는 17.0km/l, NEDC Mode는 17.6km/l로 정속 주행시간이 긴 NEDC Mode가 다소 연료 소모가 적음을 알 수 있었다(Fig. 9참조).

Fig. 10은 상대적으로 적은 극미세입자를 배출하는 NEDC시험모드에 대해서 전체 주행시간 동안에 배출되는 12개 나노입자의 등가직경별로 배출 분포를 측정한 결과이다.

그림에서 보듯이 43.5~214.9 nm 크기의 작은 입자일수록 시험에 적용된 모드의 특성과 결합되어 많이 배출되며, 또한 차량 저속 주행구간인 초기 냉간시동시에도 작은 입자가 많이 배출됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 차량 주행 시험모드 구간내 155초 주행시간에 측정한 극미세입자 크기별 입자 분포를 나타낸 Fig. 11로부터 분명히 알 수 있다. 이처럼 경유자동차 엔진에서 배출되는 극미세 입자들은 현재 상용화 연구가 진행중인 매연입자후처리장치(DPF)에 의해 저감될 수 있는데,<sup>7)</sup> 향후 이에 대한 영향을 보다 심도있게 연구할 예정이다.

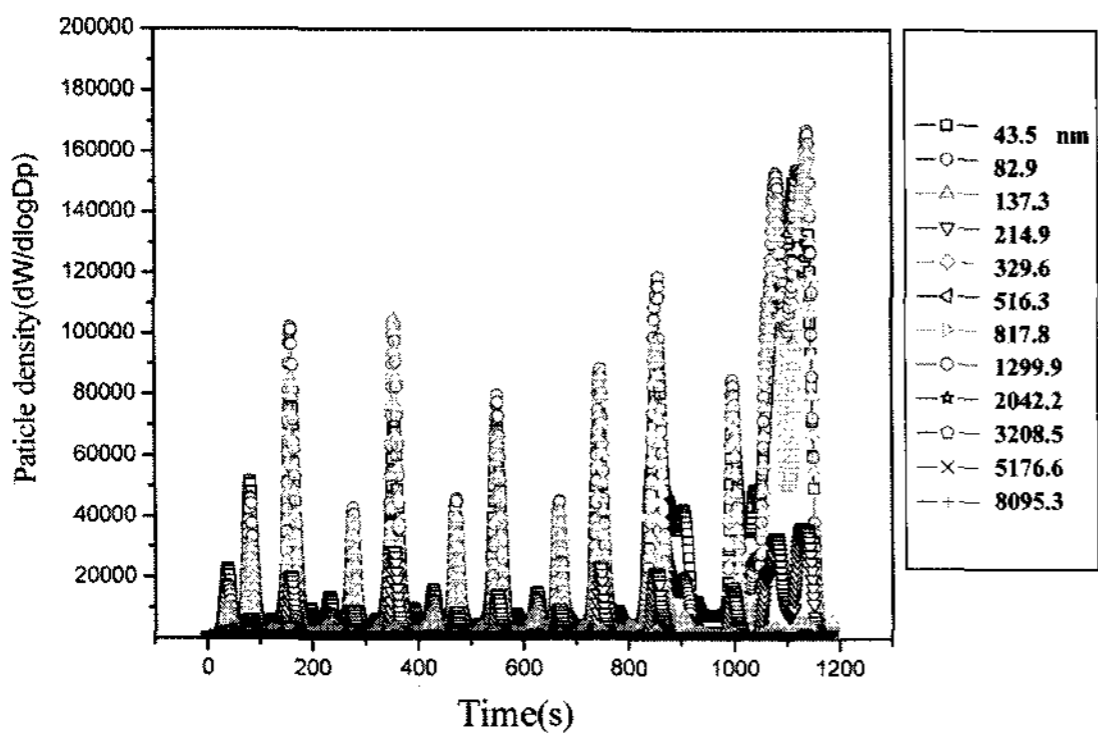


Fig. 10 Particle emission distribution with respect to vehicle operation time of NEDC mode

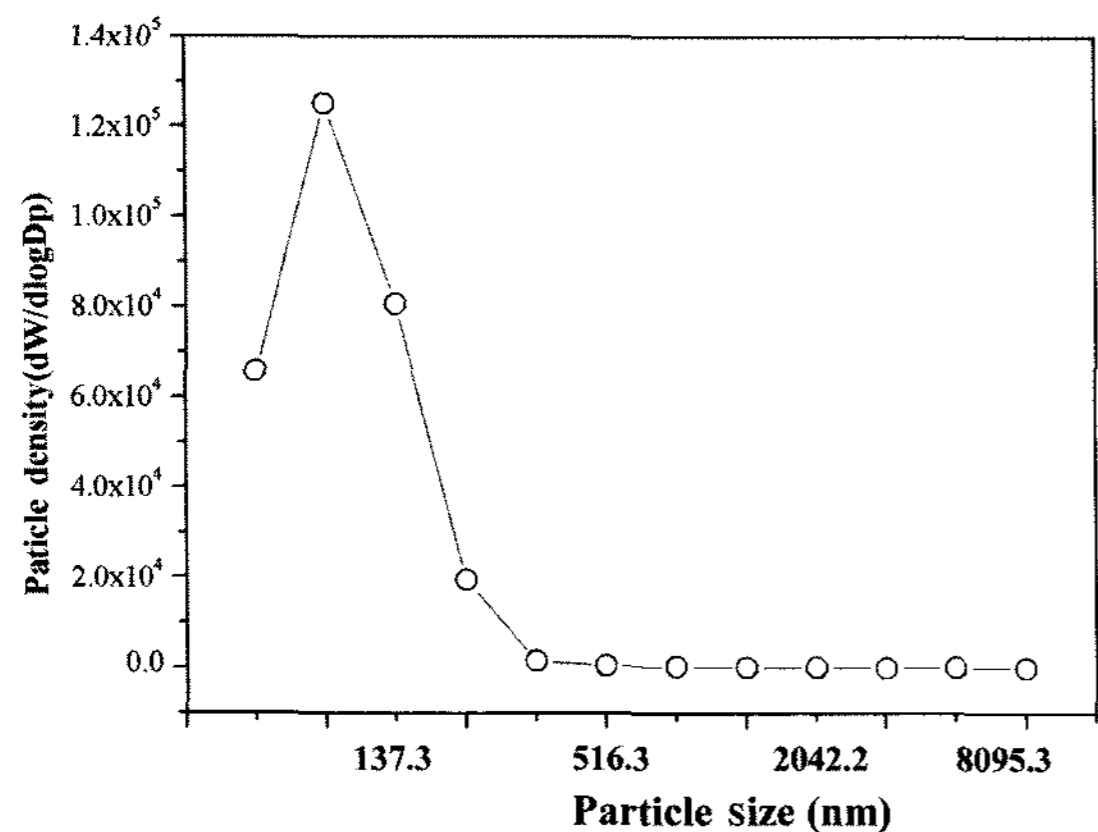


Fig. 11 Particle emission distribution at 155sec. in NEDC mode

#### 4. 결론

본 연구에서는 경유 승용자동차에서 배출되는 극미세입자(Nano-sized PM)의 개수농도분포 특성을 NEDC Mode와 CVS-75 Mode로 차대동력계와 CPC를 이용하여 측정하여 비교·분석하였다. 시험 연료는 ULSD를 사용하였으며, 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 현재 국내 경유 승용차량의 배기시험 모드인 NEDC Mode를 구성하는 ECE15구간이나 EUDC구간에 상관없이, 차량의 가속 구간에 따라 극미세입자(측정범위: 직경 20nm~3 $\mu$ m)의 배출특성은 큰 영향을 받는다.
- 2) 차량시험모드별 일정 차량 주행시간 동안 배출된 극미세입자의 총 배출 개수는 NEDC Mode 경우, 약  $3.43 \times 10^{13} \#/\text{km}$ 로 상대적으로 적게 배출되

었는데, 이는 CVS-75 Mode와 비교 시, 약 17% 정도의 극미세입자 배출 차이를 보였다.

- 3) 또한 현재 규제중인 유해 배출물에 있어서도 가속구간과 가속시간의 비중이 큰 CVS-75 Mode가 NEDC Mode에 비해 더 많은 배출가스를 배출함을 알 수 있었다.
- 4) 따라서 경유 승용차량의 경우, 국내 적용 시험모드별로 연비와 배출가스 배출특성이 서로 다름이 본 연구를 통해 확인됨에 따라, 향후 이에 대한 심도있는 정책적 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 환경부 무·저공해 자동차사업단에서 수행하는 ECO-STAR 과제내 공통기반기술과제(극미세입자 평가관리 기반구축)연구결과의 일부임을 밝히며, 또한 관련 연구비 지원 및 협조에 도와주신 분들께 깊이 감사드립니다. 아울러 시험 시설을 지원해 주신 국립환경과학원(교통 환경 연구소) 관계자분들께도 감사드립니다.

#### References

- 1) M. P. Walsh, "Global Trends in Diesel Emissions Control - A 1997 Update," SAE 970179, 1997.
- 2) K. Siegmann and H. C. Siegmann, "Fast and Reliable "in situ" Evaluation of Particles and Their Surfaces with Special Reference to Diesel Exhaust," SAE 2000-01-1995, 2000.
- 3) S. I. Abdul-Khalek and D. B. Kittelson, "Diesel Trap Performance : Particle Size Measurements and Trends," University of Minnesota, SAE 982599, 1998.
- 4) C. Pope, J. Schwartz and M. Ransom, "Daily Mortality and PM10 Pollution in Utah Valley," Arch. Environ Health, Vol.47, pp.211-217, 1992.
- 5) U. Heinrich, R. Fuhst, S. Rittinghausen, O. Creutzenberg, B. Bellman, W. Koch and K. Levsen, "Chronic Inhalation Exposure of Wistar Rats and Two Different Strains of Mice to Diesel Engine Exhaust, Carbon Black and

- Titanium Dioxide,” Inhalation Toxicology, Vol.7, pp.533-556, 1995.
- 6) H. C. Hansson, R. Westerholm and T. Kyrklund, Airborne Particles in the Ambient Environment, Swedish Environmental Protection Agency, 1997.
- 7) S. I. Kwon, J. C. Kim, Y. H. Park and C. S. Lee, “Characteristic of Nano-particles Exhausted From Diesel Passenger Vehicle With DPF,” ILASS-ASIA, pp.199-203, 2004.
- 8) J. C. Kim, S. I. Kwon, Y. H. Park, S. M. Kim and S. W. Jung, “Status of Diesel-Fuled Vehicle Nano Particle Measurement in PMP,” Fall Conference Proceedings, Vol. I, KSAE, pp.349-353, 2006.