

## 국내 제작된 대형 디젤산화촉매의 배출가스 성능평가

### Performance Evaluation of Domestic-made DOC for the Heavy-duty Diesel Engine

정 일 록\*, 엄 명 도\*\*, 김 중 춘\*\*\*, 김 태 승\*\*, 류 정 호\*\*, 임 철 수\*\*  
Il-Rok Chung, Myoung-Do Eom, Jong-Choon Kim, Tae-seung Kim, Jung-Ho Yoo, Cheol-Soo Lim

#### Abstract

In recent years, environmental damage to urban area becomes serious problem due to the exhaust emissions by increasing the number of vehicle. Especially, diesel particulate matters(DPM) are hazardous air pollutants to human health and environment. The reduction technologies of exhaust emissions from diesel engines are improvement of engine combustion, fuel quality and development of diesel exhaust aftertreatment. In this study, a diesel oxidation catalyst(DOC) that is one of diesel exhaust aftertreatments was made for performance evaluation. It was tested for NA and turbocharged engine by D-13 mode that currently be used for regulation driving test mode in Korea Scanning mobility particle sizer(SMPS) was used for the analysis of the particle size distribution with and w/o DOC. As the results, for NA and turbocharged engine, CO, THC, DPM was respectively reduced 85.7, 40.7, 3.3% and 79.1, 53.1, 11.6% by DOC. Test results of particle size distribution was showed that particle number is  $10^7 \sim 10^8$  per  $\text{cm}^3$ ,  $2 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for weight concentration and 100~200nm for particle mean size in diesel engine and there is no effect to reduce the particle concentration by the DOC.

주요기술용어 : Diesel particulate matters(디젤입자상물질), Hazardous air pollutants(HAP, 유해 대기오염물질), Diesel oxidation catalyst(디젤산화촉매), Scanning mobility particle sizer(SMPS), particle size distribution(입경분포)

---

\* 정회원, 국립환경연구원 폐기물연구부

\*\* 정회원, 국립환경연구원 자동차공해연구소

\*\*\* 정회원, 국립환경연구원 기획과

## 1. 서론

산업과 문명이 발달하면서 화석연료의 사용이 늘어나고 이에 따른 대기오염이 급증하면서 대기오염 문제가 전 세계적인 주요 관심사가 되었다. 대기환경오염 중에서도 자동차에 의한 대기오염문제는 심각하여 이미 자동차에서 배출되는 배출가스에 대한 규제를 엄격히 강화하고 있으며 우리나라의 경우에도 '87년 가솔린 자동차에 대해서는 삼원촉매장치의 부착을 의무화하는 등 선진국수준의 배출가스 방지기술 수준을 갖게되었으나 디젤자동차에 대해서는 아직까지 그 방지기술 수준이 선진국에 비해 많이 뒤떨어져 이에 대한 시급한 대책이 요구되고 있는 실정이다<sup>1,2)</sup>.

디젤자동차는 가솔린자동차에 비해 공기과잉 상태에서 운전되므로 연비가 좋고 CO<sub>2</sub> 배출이 적으며 엔진의 수명이 높고 연료가격이 저렴하다는 장점으로 우리나라를 비롯한 유럽 등지에서는 승용차를 포함한 소형차량에서부터 대형차량까지 폭넓게 사용하고 있는 실정이다<sup>3)</sup>.

일반적으로 디젤엔진에서 배출되는 오염물질은 크게 입자상물질과 기체상물질로 구분되며 입자상물질은 고체상(dry carbon, 비용해성물질인 황산화물과 재)과 액체상(미연소연료, 윤활유)등으로 이루어지며 기체상은 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소등으로 구성된다. 디젤엔진의 주요 오염물질은 질소산화물과 입자상물질이며, 특히 입자상물질은 다환방향족탄화수소(Polycyclic aromatic hydrocarbons)같은 발암성물질을 함유하고 있어 그 유해성이 크며<sup>4)</sup>, 특히 최근에는 미세입자의 인체 유해성이 알려지면서 규제 도입의 필요성이 제기되고 있다.

현재 선진국에서 개발, 추진되고 있는 후처리기술중 디젤산화촉매기술은 여과장치에 비해 배출가스중 매연 등의 입자상물질 저감효율은 낮으나 구조가 간단하고 내구성이 우수하며 경제성이 높아 차세대 배출가스 방지기술로서 실용화가가능성이 우수한 것으로 평가되고 있다<sup>5)</sup>.

이에 본 연구에서는 국내에서 개발된 디젤산화촉매장치의 배출가스 성능을 평가함과 동시에 최근 관심이 증대하고 있는 디젤 입자상물질의 입경분포에 대한 측정, 분석을 국내에서는 처음 실시함으로써 도시 대기환경의 개선 및 외국의 디젤 후처리장치 기술에 대응할 수 있는 기초자료로 제시하고자 하였다.

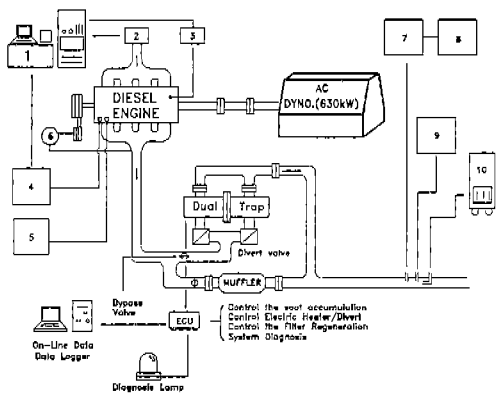
## 2. 시험내용 및 방법

### 2.1 시험장치 및 분석방법

대형 디젤산화촉매(DOC)의 배출가스 성능을 평가하기위해 사용된 장치는 엔진동력계, 배출가스 측정장치 및 디젤입자상물질 측정장치로 구성되어 있다. 대형엔진 동력계는 630kW 전기동력계 (AVL사, MCA-431Z04)로서 동력계(engine dynamometer), 동력계조절장치(engine dynamometer controller), 연료유량계, 연료온도조절장치, 흡입공기유량계, 냉각수온도조절장치로 구성되어 있다. 배출가스 측정장치(Horiba사, Mexa 9100D)는 디젤엔진의 배출가스중 CO, HC, NO<sub>x</sub> 및 CO<sub>2</sub>를 분석할 수 있는 장비로서 CO 및 CO<sub>2</sub>는 비분산적외선분석법(NDIR ; nondis-persive infrared), HC는 가열식불꽃이온화검출법(HFID; heated flame ionization detector), NO<sub>x</sub>는 화학발광법(CLD ; chemiluminescence detector)등을 사용하였다. 입자상물질 채취방법은 엔진 배기관에서 나오는 배출가스를 미니희석터널(MDT ; Mini dilution tunnel, AVL 474)로

등속흡인 시킨 후, 여과된 공기와 희석시켜 52℃ 이하의 조건에서 테프론 코팅된  $\phi$  70mm 유리섬유여지에 입자상물질을 채취한다. 이때 사용되는 여지는 온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 5\%$ 로 유지되는 항온항습실 (weighing chamber)에서  $1\mu\text{g}$  까지 측정할 수 있는 전자저울로 전·후 무게차를 측정한다.

또한, 디젤 입자상물질의 증감 요인을 보다 명확히 규명하고자 이에 함유되어 있는 용해성유기분(soluble organic fraction)과 황산염(sulfate)을 각각 soxhlet 추출장치와 이온크로마토그래피(Ion chromatography)를 이용하여 분석하였으며, 발암성이며 악취물질로 알려진 포름알데히드와 아세트알데히드를 고성능액체크로마토그래피(High performance liquid chromatography)로 분석하여 정량하였다<sup>6)</sup>. 전체적인 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.



1. Dynamometer control desk
2. Intake air flow meter
3. Throttle actuator
4. Fuel temperature controller
5. Oil temperature controller
6. Air pump analyzer
7. Exhaust analyzer
8. Pen recorder
9. Smoke meter
10. Mini dilution tunnel

Fig. 1 Schematic diagram of emission measuring apparatus

또한, 시험용 엔진은 현재 국내 시내버스용으로 많이 사용되고 있는 NA 엔진(DE12)

과 Turbo엔진(DE12T) 등 2종에 대해 평가하였으며, 사용된 디젤산화촉매는 산화력이 좋은 백금(Pt)과 고온에서 황산염(sulfate)의 생성을 억제하는 환원 촉매인 바나듐(V)을 적정량 첨가한 것이다. Table 1과 2는 시험에 사용된 엔진의 제원과 디젤산화촉매의 사양을 나타내었다.

Table 1 Specifications of diesel engine

Items	Specifications	
Maker	DAEWOO	DAEWOO
Model	DE12	DE12T
Displacement	11,051cc	11,051cc
Max. Power	225PS /2200rpm	300PS /2200rpm
Max. Torque	81.5kgf·m /1400rpm	110kgf·m /1300rpm

Table 2 Specification of diesel oxidation catalyst

Items	HD DOC
Dimension (mm)	229×152
Wash coat	Ti-Si
Pt load (g/ft <sup>3</sup> )	16.8
V load (g/ft <sup>3</sup> )	42.1

## 2.2 시험모드

본 시험에 사용된 운전모드는 특정운전조건에서 디젤산화촉매의 특성을 평가하기 위해 엔진회전수와 부하율을 달리한 D-5모드와 현재 국내 대형 디젤엔진의 규제시험모드로 사용되고 있는 D-13모드로 시험하였으며, 각각의 운전조건을 Table 3과 4에 나타내었다.

또한, 본 시험에 사용된 시험연료는 현재 시중에서 널리 유통되고 있는 일반경유로서 경유중 황함유량이 0.05wt% 이하인 저황경유를 사용하였다.

Table 3 Operation conditions of TC engine by D-5 mode

Mode	Engine speed	Load rate (%)	sampling time (min)	Temp (°C)
1	Idle	-	30	90
2	1320	50	10	320
3	1320	100	5	560
4	2200	50	10	400
5	2200	100	5	550

Table 4 Operation conditions of NA engine by D-13 mode

Mode	Engine speed	Load rate (%)	Weight factor	Exhaust temp. (°C)
1	Idling	0	0.08	93
2	60%	10	0.08	156
3	60%	25	0.08	201
4	60%	50	0.08	273
5	60%	75	0.08	413
6	60%	100	0.25	586
7	Idling	0	0.08	273
8	100%	100	0.1	649
9	100%	75	0.02	568
10	100%	50	0.02	445
11	100%	25	0.02	339
12	100%	10	0.02	261
13	Idling	0	0.08	151

### 2.3. 디젤입자상물질 입경측정장치

디젤엔진에서 배출되는 입자상물질은 주로 soot(carbon)와 여기에 흡착된 고비점탄화수소들인 용해성유기분(SOF), 그리고 기타 황산염이나 금속물질들로 이루어져 있다. 특히 용해성유기분중에는 발암성 또는 돌연변이원성을 일으키는 미량유해화학물질들이 함유되어 있어 인체에 유입시 매우 유해하다. 일반적으로 알려진 디젤입자상물질의 입경

분포는 0.1~0.3 $\mu$ m가 약 70%를 차지한다고 알려져 있다. 그러나, 국내에서는 현재 이러한 디젤엔진 입자상물질에 대한 입경분포나 그 성분에 대한 체계적인 연구가 거의 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 도시 대기질 개선 및 인체 유해성 측면에서 갈수록 관심이 고조되고 있는 디젤 입자상물질의 입경분포를 여러 가지 특정 운전조건에서 측정하였다. Table 5는 이러한 특정 운전조건들을 나타내었다.

Table 5 Specific operation conditions of TC engine for diesel particle size distribution

Mode	Engine speed	Load rate (%)	Sampling time (sec)	Temp (°C)
2	1320	10	300	150
4	1320	50	"	320
6	1320	100	"	500
7	2200	10	"	270
9	2200	50	"	380
11	2200	100	"	560

Fig. 2는 디젤엔진 배출가스의 입자 측정을 위해 설치된 희석터널(dilution system)을 나타낸 것이다. 엔진에서 배출되는 오염물질은 배기관을 통과하며, 등속흡인 샘플러(isokinetic sampler)를 설치하였고 이곳으로 유입되는 배출가스는 운전조건에 따라 60~550°C까지의 고온이므로 1차적으로 냉각핀(cooling fin)을 설치하여 배출가스 온도를 20~150°C까지 냉각 시켰다. 이때 희석에 사용된 공기는 HEPA 필터를 통과시킨 깨끗한 공기를 사용하였다. 희석터널을 통과한 배출가스 온도는 15~30°C로 유지하여 대기의 조건에 근접하게 하였다. 희석터널에서 배출되는 입자의 측정은 전기적 이동차 입자 측정기(SMPS, scanning mobility particle sizer)

를 이용하여 측정하였다.<sup>7,8)</sup>

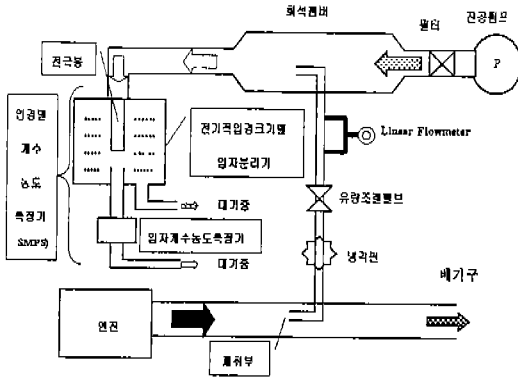


Fig. 2 Schematic diagram of dilution system for diesel particulate size distribution

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 규제물질 배출가스 성능평가

##### 3.1.1. 규제시험모드 운전시

대형 DOC의 배출가스 성능을 평가하기 위해 최종적으로 제작된 시제품인 Pt-V 촉매에 대해 국내에서 널리 사용되는 엔진 2종에 대해 규제시험모드인 D-13 모드로 시험하였다. 그 결과, 규제물질인 CO, THC, DPM에 대해서 Turbo엔진이 NA엔진에 비해 오염물질이 최저 17%에서 최고 75.4%까지 적게 배출되었다. 이는 배출오염물질 규제기준을 달성시키기 위한 방법중 하나인 엔진개량을 통해서도 상당한 저감효과가 있음을 알 수 있었다.

각각의 엔진에 대한 촉매 장착전·후의 저감성능 평가 결과, CO와 THC의 경우 NA엔진과 Turbo엔진에서 각각 85.7, 40.7%, 79.1, 53.1%로 높은 저감율을 나타내었는데, 이는 시험에 사용된 산화촉매의 성분중 산화력이 우수한 백금에 기인한 것이다. 또한 디젤 입자상물질에 대한 DOC의 저감성능은 NA엔진과 Turbo엔진에서 각각 3.3%와 11.6%로 NA엔진 비해 Turbo엔진에서 높게 나타났

다. 이는 Turbo엔진의 배출가스 온도분포가 NA엔진에 비해 상대적으로 낮기 때문에 350°C 이상의 고온에서 입자상물질의 증가를 일으키는 황산염(sulfate)의 생성이 둔화되었기 때문으로 사료된다. 또한 디젤산화촉매는 Idle과 같은 운전조건에서는 배기가스 온도가 매우 낮아(150°C 이하) 촉매 활성도가 낮고 이로 인해 SOF같은 고비점탄화수소들의 산화가 제대로 일어나지 않아 입자상물질의 저감성능이 저하되는 것으로 사료된다. 따라서 디젤산화촉매는 촉매활성도가 제대로 일어나면서, 황산염의 생성을 최대한 억제할 수 있는 적정온도 범위(150~350°C)를 유지하여야 한다.

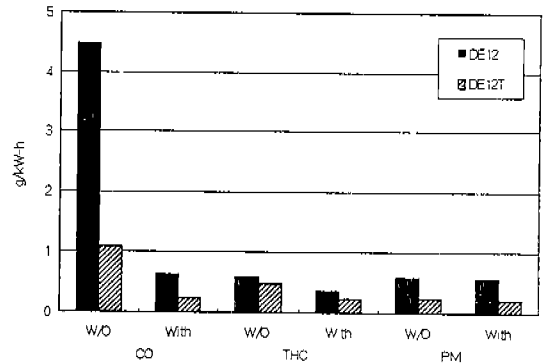


Fig. 3 CO, THC, PM test results of DE12 and DE12T engine by D-13 mode

##### 3.3.2. 특정운전모드 운전시

특정운전조건에서 디젤산화촉매의 배출가스 성능을 평가하기 위해 5가지의 다른 운전조건인 D-5 모드로 Turbo엔진에 대해 시험한 결과, Fig. 4에서 보는 바와같이 CO의 경우, DOC 장착전에 1320rpm/100% 조건을 제외하고 엔진회전수와 부하율이 증가함에 따라 점점 증가하는 경향을 나타내었으며, DOC에 의한 저감율은 Idle 운전조건을 제외하고 대부분의 경우에 96%이상의 높은 저감율을 나타내었다.

또한, HC의 경우 Fig. 5에서 보듯이, CO에

서와 마찬가지로 엔진회전수와 부하율이 커질수록 배출농도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 촉매장착에 따른 HC 저감율은 Idle을 제외하고 52 ~ 69%의 비교적 우수한 저감율을 나타내었다. NO<sub>x</sub>에 대한 산화촉매의 저감율은 모든 운전조건에서 거의 저감되지 않았다.

디젤 입자상물질에 대한 DOC 성능평가 결과, Fig. 6에서 알 수 있듯이 저부하 운전 조건에서 40~52%의 저감율을 나타내었으나, 부하율 100%의 고부하 운전조건에서는 오히려 10~16%가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 450℃ 이상의 배출가스 온도분포를 갖는 고부하 운전조건에서 SO<sub>2</sub>가 황산염으로의 전환율이 급격히 증가된 결과이다.

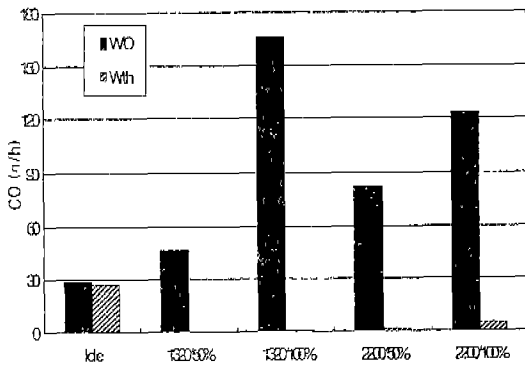


Fig. 4 CO test results of DOC for Turbo engine by specific driving mode

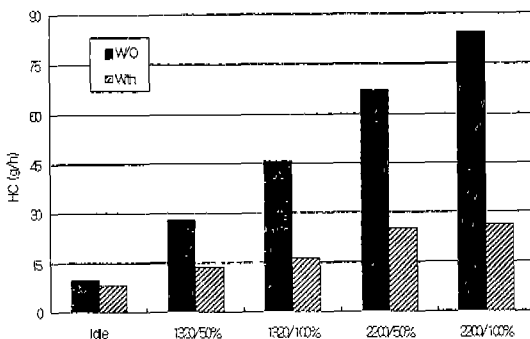


Fig. 5 HC test results of DOC for Turbo engine by specific driving mode

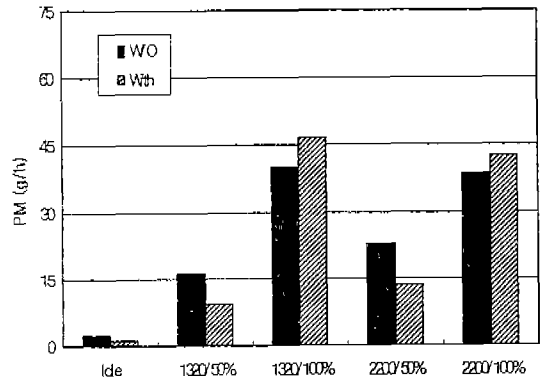


Fig. 6 DPM test results of DOC for Turbo engine by specific driving mode

### 3.2. 미규제 물질 배출가스 성능평가

#### 3.2.1. 규제시험모드 운전시

D-13 모드 운전시 DOC의 장착에 따른 미규제 미량유해물질의 저감성능을 측정하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig.에서 보여주듯이 DPM중 황산염은 NA엔진의 경우 촉매 장착전에 비해 장착후가 무려 507%가 증가하였고, Turbo엔진에서는 260%로 상대적으로 낮은 증가율을 나타내었다. 이는 NA엔진에 비해 상대적으로 낮은 배기가스 온도분포를 갖는 Turbo엔진에서 DOC에 의한 SO<sub>2</sub>의 황산염으로의 전환율이 저하되어 결국, 전체 입자상물질의 증가가 둔화된 결과를 가져온 것으로 사료된다.

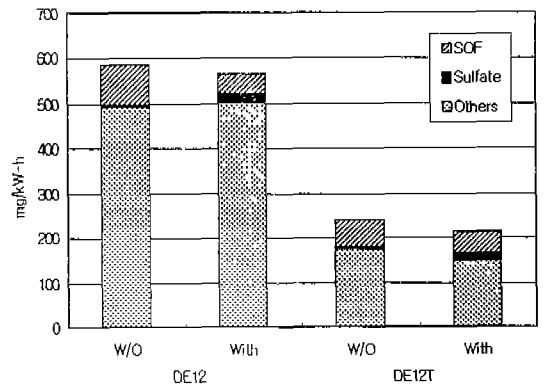


Fig. 7 SOF, sulfate test results of DE12 and DE12T

DE12T engine by D-13 mode.

또한, 대부분이 탄화수소류로 이루어진 용해성유기분(SOF)의 저감율은 NA엔진과 Turbo엔진에서 각각 49.4, 21.3%의 비교적 낮은 저감율을 나타내었다. 포름알데히드에 대한 저감율은 NA엔진과 Turbo엔진에서 각각 28.7%와 19.3%의 저감율을 나타내었고, 아세트알데히드에 대한 저감율은 25.6%와 34.5%의 저감율을 보였다.

### 3.2.2. 특정한운전모드 운전시

Turbo엔진을 대상으로 D-5 모드 운전시 디젤산화촉매에 대한 미규제 미량유해물질의 성능을 평가한 결과, 용해성유기분에 대해 Table 6에서 보는 바와같이, 저부하 운전 조건에서는 촉매 장착후에 50.4~ 66.3%의 저감율을 보인 반면, 고부하 운전조건인 1320/100%와 2200/100%에서 21%와 31%의 증가율을 나타내었다. 이러한 증가율은 용해성유기분의 soxhlet 측정시 고온에서 급격히 생성된 황산염과 결합된 결합수(Combined water)의 일부에 의해 부(+ )의 영향을 미친 결과로 사료된다<sup>6)</sup>. 또한, 황산염에 대한 시험결과, 촉매 장착후 저부하 운전조건에서는 30.4 ~ 40.3%감소를, 고부하 운전조건에서는 136~210%로 오히려 촉매 장착후가 급증하여 전체 입자상물질의 증가에 기여를 하는 것으로 나타났다.

한편, 악취물질이며 대기 광화학 옥시단트와 밀접한 관계가 있는 알데히드에 대한 실험결과, 촉매 장착전에 포름알데히드와 아세트알데히드에서 모두 Idle과 부하율 100%의 고부하 운전영역이 부하율 50%의 저부하 운전조건에 비해 높게 배출되었으며, 촉매 장착으로 인한 저감율은 포름알데히드가 최소 11.5%에서부터 최대 50.0%까지 저감되었고, 아세트알데히드는 부하율 100%의 고부하 운전조건에서 최대 86.8%의 높은 저감율을 나타내었다.

Table 6 Reduction rates of unregulated emissions by specific driving mode

Unit : %	Idle	1320/ 50%	1320/ 100%	2200/ 50%	2200/ 100%
SOF	54.8	50.4	21*	66.3	31*
Sulfate	30.4	31.3	136*	40.3	210*
HCHO	11.5	13.3	13.7	50.0	39.3
CH <sub>3</sub> CHO	6.9	9.5	86.8	41.9	82.1

※ \* : Increase

### 3.3. 디젤입자상물질 입경측정 결과

Fig. 8은 특정한운전조건에서 SMPS 입경측정장치를 이용하여 Turbo 엔진에서 배출되는 입경 분포를 측정된 결과이다. 1320 rpm에서 입자의 개수는 단위부피(cm<sup>3</sup>)당 107~108개이며, 질량으로는 2~5×10<sup>5</sup>μg/m<sup>3</sup>이었다. 입자의 평균 크기는 100~200nm이며, 부하율이 증가하면서 미세입자 발생량이 증가함을 보였다. 또한 2200rpm에서 입자의 평균 크기는 80~100nm로 1320rpm에서보다 약간 감소하였으며, 입자 개수분포는 1320rpm과 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 일반적으로 알려진 대형 디젤엔진의 입경분포인 100~300nm와 거의 같은 분포를 나타내었다.

Fig. 9는 Turbo엔진에 디젤산화촉매장치를 장착전·후의 입자분포를 나타낸 그래프이다. Fig. 8에서와 같이 질량 농도는 크기에 따라 다르지만 200~300nm에서 peak를 보이며 개수 농도는 100nm에서 peak를 보여주고 있다. 1320rpm에서 이 장치를 사용하였을 경우 입자의 제거효율은 미미한 수준이었으며 촉매 장착전·후의 개수 농도 차는 거의 없었다. 2200rpm에서는 오히려 촉매장착후의 농도가 증가하는 경향을 나타내었다.

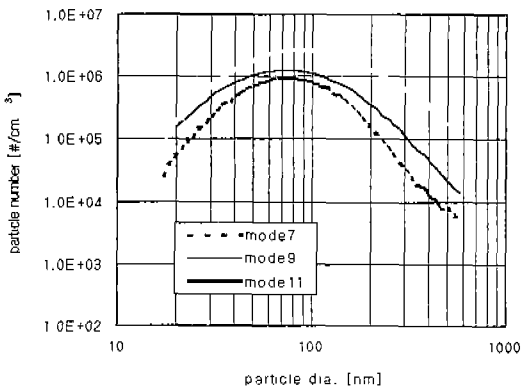
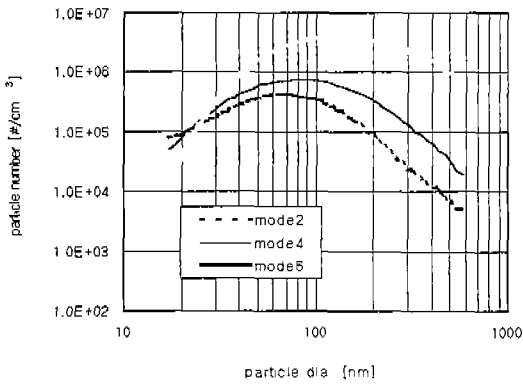


Fig. 8 Diesel Particulate size distribution of DE12T by specific driving conditions.

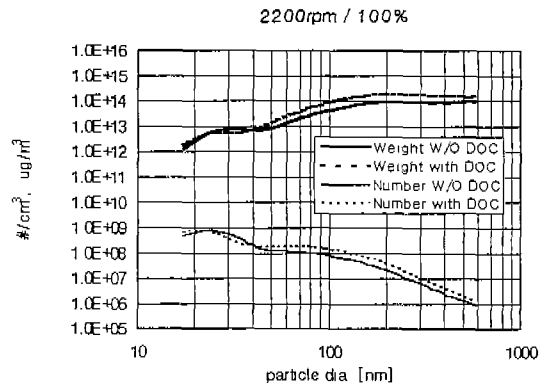
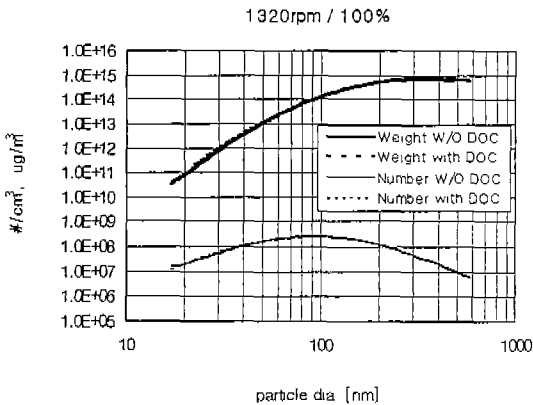


Fig. 9 Diesel particle size distributions of Turbo engine without and with the DOC

### 3. 결론

대형 DOC의 배출가스 성능을 평가하기 위해 최종적으로 제작된 시제품인 Pt-V 촉매에 대해 국내에서 널리 사용되는 NA엔진과 터보엔진을 이용하여 국내 대형디젤엔진 규제시험모드인 D-13 모드와 특정운전조건인 D-5모드로 시험하였으며, 규제물질들과 미규제물질중 황산염과 용해성유기분의 저감효과를 분석하였다. 또한 디젤 입자상물질의 입경분포를 측정하기위해 SMPS 입경측정장치를 이용하여 측정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각각의 엔진에 대한 촉매 장착전·후의 저감성능은 규제시험모드 운전시 NA엔진에서 CO, THC가 85.7, 40.7%로 높게 나타났으나, 입자상물질은 3.3%로 저감성능이 낮게 나타났으며, Turbo엔진에서는 CO, THC가 각각 79.1과 53.1%로 높은 저감율을 보였으며, 입자상물질은 11.6%의 저감율을 나타내었다.



2. 규제시험모드 D-13 모드 운전시 미규제 물질중 황산염에 대한 분석 결과, NA엔진에서는 촉매 장착후가 507%, Turbo엔진에서는 260% 증가율을 나타내었는데, 이는 NA엔진에 비해 상대적으로 낮은 배기가스 온도 분포를 갖는 Turbo엔진에서 SO<sub>2</sub>의 황산염으로의 전환율이 저하되어 전체 입자상물질의 증가가 둔화된 것으로 사료된다.

3. 미규제 미량유해물질로서 발암성이며, 악취물질로 알려진 포름알데히드와 아세트알데히드에 대한 DOC 성능평가 결과, D-13 모드 운전시 포름알데히드에 대한 저감율은 NA엔진과 Turbo엔진에서 각각 28.7%와 19.3%, 아세트알데히드에 대한 저감율은 25.6%와 34.5%를 나타내어 DOC 장착시 상당부분 대기질 개선에 기여할 것으로 사료된다.

4. 대형 디젤엔진에서 배출되는 입자상물질의 입경분포를 측정하기위해 Turbo엔진으로 실험한 결과, 입자의 개수는 단위부피(cm<sup>3</sup>)당 107~108개이며 질량으로는 2~5×10<sup>5</sup>μg/m<sup>3</sup>이었다. 입자의 평균 크기는 1320rpm와 2200rpm에서 100~200과 80~100nm로 외국에서 널리 알려진 입경분포와 거의 유사하였으며, 엔진부하율의 증가에 따라 미세입자 발생량이 증가함을 나타내었다. 촉매 장착에 따른 입경분포의 변화는 질량 농도는 200~300nm에서, 개수 농도는 100nm에서 peak를 나타내었고, 촉매 장착전·후의 입자개수 농도 차는 거의 없었다.

## 참고문헌

1. 환경부, 디젤엔진 촉매개발 연구, 1차년도 보고서, 1996.

2. 환경부, 디젤엔진 촉매개발 연구, 2차년도 보고서, 1997.
3. Harald K., Egbert Lox, Thomas K., Makoto K., Thomas R. and Knut B., "Diesel particulate emissions of passenger cars-new insights into structural changes during the process of exhaust aftertreatment using diesel oxidation catalysts", SAE 980196, 1998.
4. Michael P. Walsh, "Global trends in diesel emissions control", SAE 980186, 1998.
5. Mitsuo Tamanouchi, Hiroki Morihisa, Shigehisa Yamada, Jihei Iida, Takano Sasaki, and Harufusa Sue, "Effects of properties on exhaust emissions for engines with and without oxidation catalyst and pressure injection", SAE 970758, 1997.
6. Zelenka P. et al., "Diesel oxidation catalyst application strategies with special emphasis on odour reduction", SAE 942066, 1994.
7. I.S.Abdul-Khalek, D.B.Kittelson, B.R.Graskow, Q.Wei, F.Brear, "Diesel exhaust particle size measurement issue and trends", SAE 980525, 1998.
8. Pelham Hawker, Georg H., Jürgen H., Wolfgang Koch, Hartmut L., Bernhard L., Peter S., "Effects of a continuously regenerating diesel particulate filter on non-regulated emissions and particle size distribution", SAE 980189, 1998.