

B-4 산화촉매에 의한 대형디젤엔진의 배출가스 정화 특성 (II)
(엔진벤치 시험을 중심으로)

Characteristics of Exhaust Emission Reduction of
Heavy Duty Diesel Engine by Oxidation Catalyst (II)
(Engine Bench Test)

조감래, 김희강 *

국립환경연구원 대기연구부, * 건국대학교 환경공학과

I. 서론

디젤산화촉매의 오염물질 정화성능은 배출가스 특성, 배기온도, 배출가스중 산소농도 및 배출가스의 공간속도 등에 영향을 받는다. 특히 배출가스 특성은 엔진의 운전조건에 따라 아주 다르다. 디젤엔진에 있어서 공회전시와 중·저부하 운전시에는 SOF가 많이 배출되지만 무기탄소성분은 적게 배출된다. 그러나, 고부하 운전시는 무기탄소성분이 많이 배출되는 반면 SOF는 적게 배출되어 SOF의 비율은 전체 입자상물질중 10%도 되지 않는다. 또한 저부하 운전시에는 배기온도가 낮아 DOC에 의한 CO/HC/SOF의 정화율이 낮고 sulfate의 생성도 적으나, 고부하 운전시에는 배기온도가 높아 DOC에 의한 CO/HC/SOF의 정화율은 높으나 sulfate가 많이 생성된다.

DOC에 의한 실질적인 디젤자동차 오염물질 정화특성을 파악하기 위해서는 엔진동력계상에서 실제 자동차의 운전조건과 비슷하게 운전하면서 배출가스 정화특성을 평가하여야 한다.

본 연구에서는 시내버스가 도심 주행시 주로 운행되고 있는 엔진의 운전조건 중에서 배출가스 특성, 배기온도, 산소농도 및 배출가스 공간속도 등을 고려한 7단계의 운전모드(T-7모드)를 선정하여 DOC의 정화특성을 평가 하였으며 또한 배출가스 규제모드인 D-13모드 와 서울 시내에서 운행되고 있는 시내버스의 실제운전모드인 S-13를 사용하여 배출가스 정화특성을 평가하였다.

II. 실험방법

2.1 실험용 촉매

Engine bench실험을 위한 촉매의 제조방법은 reactor실험을 위한 촉매의 제조방법과 같으며 Pt와 V의 loading량은 Pt 0.6g/l 및 V 1.48g/l를 사용하였다. 본 연구의 목적으로 제조한 Pt-V 촉매와 상용촉매와의 특성을 비교하기 위하여 현재 미국에서 실용화하고 있는 E사의 Pt촉매를 사용하였다. Pt촉매 및 Pt-V촉매의 규격은 표 1과 같다.

Table 1 Specification of catalytic converter

Items	Pt	Pt-V
Monolith substrate	Corning Ex-80	Corning Ex-80
Dimension(mm)	229×152	229×152
Cell density (cell/in ²)	400	400
Wall thickness (mm)	0.165	0.165
Catalyst	Pt	Pt/V
Wash coat	Al ₂ O ₃	Ti-Si
Pt loading (g/l)	1.41	0.60
V loading (g/l)	0	1.48

2.2 배출가스 측정장치 및 측정방법

디젤엔진의 배출가스 측정장치는 엔진동력계, 배출가스 측정장치 및 디젤입자상물질 측정장치로 구성되어 있다. 대형 엔진동력계는 220kw 전기동력계 (NISHISHIBA사, NEDD-146H)로서 동력계(engine dynamometer), 동력계 조절장치(engine dynamometer controller), 연료 유량계(ONO SOKKI, FX 203), 연료 온도조절장치, 흡입공기 유량계(SOKKEN사 LFE 200B), 냉각수 온도조절장치로 구성되어 있다.

배출가스 측정장치(HORIBA사 MEXA 9100D)는 디젤엔진의 배출가스중 CO, HC, NO_x 및 CO₂를 분석할 수 있는 장비로써 CO 및 CO₂는 NDIR, HC는 HFID, NO_x는 CLD를 사용하였다.

입자상물질의 측정을 위한 시료채취는 미니회석터널(AVL 474형)을 사용하였다. 이 장치는 엔진의 배출가스 일부를 채취하여 공기와 희석시킨 후 입자상물질을 teflon coating된 유리섬유여지에 포집하는 장치이다. 여지에 포집된 입자상물질의 무게는 micro balance (SACD-WC)를 사용하여 실내공기온도 20℃, 상대습도 50%로 유지된 weighing chamber내에서 측정하였다.

디젤엔진의 가스상물질 및 입자상물질의 측정시스템에 대한 개략도를 그림 1에 나타내었다.

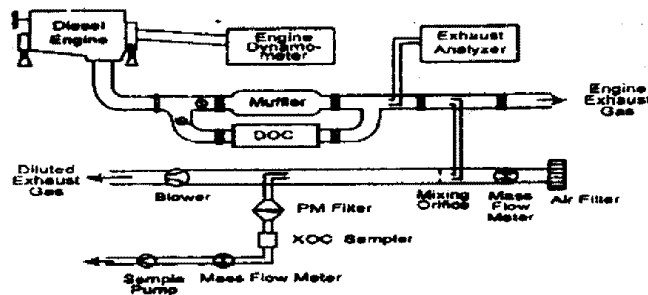


Fig. 1 Schematic diagram of gaseous and particulate emission sampling system.

III. 결과

3.1 T-7모드에 의한 배출가스 정화특성

3.1.1 가스상물질의 정화 특성

각 운전모드에 있어서 Pt촉매와 Pt-V촉매의 배출가스 정화율을 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 Pt촉매에 있어서는 배기온도가 300℃인 T-3모드에서 CO는 100%의 정화율을 나타내었고 HC는 76%의 정화율을 나타내었다. 배기온도가 500℃인 T-6모드와 배기온도가 600℃인 T-7모드에서는 CO정화율이 감소되었으며, HC는 T-7모드에서 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 NO_x에 있어서는 촉매사용에 의해 전체적으로 다소 증가하는 경향이였다. Pt-V촉매에 있어서는 CO 및 HC의 정화율이 Pt촉매보다 떨어지며 CO는 T-3모드에서 88%의 정화율을 나타내었고, HC는 22%의 정화율을 나타내었다. NO_x에 있어서는 Pt촉매와 마찬가지로 촉매사용에 의해 증가하는 경향을 나타내었다.

3.2.2 입자상물질의 정화 특성

디젤엔진을 T-7 모드로 운전시 Pt촉매 및 Pt-V촉매에 의한 입자상물질, SOF 및 sulfate의 정화율을 그림 3에 나타내었다. 그림과 같이 입자상물질은 Pt촉매를 사용할 때 배기온도가 450℃인 T-5모드까지는 33.3%~50.0%까지의 범위에서 정화되어 감소하고 있으나 배기온도가 500℃이상인 T-6 모드에서는 오히려 45%가, T-7 모드에서는 26.4%가 증가되었다. 이는 높은 배기온도에서 sulfate가 생성되어 입자상물질의 증가를 가져왔기 때문이다. Pt-V촉매를 사용할 때는 T-7모

드에서 3.3%가 증가하였을 뿐 T-1모드에서 T-6모드까지 15.8%~46.9%의 범위에서 감소되었다.

SOF는 전체의 운전모드에서 촉매사용시 저감되었으며 Pt촉매가 Pt-V촉매보다 정화율이 높았다. Pt촉매는 48.2%~86.6%의 범위에서 감소되었으며 Pt-V촉매는 25.9%~68.0%의 범위에서 감소되었다. SOF는 배기온도가 300℃인 T-3모드에서 배기온도가 450℃인 T-5모드까지는 정화율이 증가하였으나 배기온도가 500℃인 T-6모드부터는 정화율이 감소하여 배기온도가 600℃인 T-7모드에서는 45.3%~48.2%를 나타내었다. 이는 높은 배기온도에서 촉매의 활성이 떨어질 뿐만 아니라 T-6 및 T-7 모드에서는 무기탄소와 sulfate가 많이 발생하여 촉매의 활성을 저하시키기 때문으로 사료된다.

SOF 추출시 sulfate의 결합수에 의한 영향을 배제하기 위하여 여지를 암모니아 가스로 처리하여 입자상물질중 황산(H₂SO₄)을 황산암모늄[(NH₄)₂SO₄]으로 하여 측정하고 다시 황산으로 환산하였다.

Sulfate는 Pt촉매 사용시 배기온도가 300℃인 T-3모드에서 증가하기 시작하여 배기온도가 500℃인 T-6모드에서는 4,819%로 대폭 증가하였다. 그러나 Pt-V촉매를 사용할 때는 배기온도가 450℃인 T-5모드에서 30%가 증가하였으며 T-6모드에서 118%가 증가하여 Pt촉매에 비하여 sulfate 생성은 크게 억제됨을 알 수 있다.

3.2 복합운전모드(composite driving cycle)에 의한 배출가스 정화 특성

3.2.1 규제물질의 정화

D-13모드 및 S-13모드에 의한 CO, HC, NO_x 및 입자상물질의 촉매사용 전후에 있어서 정화율을 알아보기 위하여 촉매 미부착 엔진 (base engine)과 촉매부착 엔진(Pt촉매 및 Pt-V촉매)을 서로 교대로 모드 운전하면서 배출가스 및 입자상물질을 측정하였다. 3회 측정된 산술평균치를 표 2에 나타내었다.

Table 2 Effect of DOC on regulated emission

unit : g/kwh

Test mode	Pollutants	Base		Pt		Reduction %	
		Base	Pt	Base	Pt-V	Base	Pt-V
D-13	CO	2.50	0.54	78	2.67	0.93	65
	HC	0.65	0.42	35	0.67	0.49	27
	NO _x	9.41	9.10	3.2	10.95	10.89	0.5
	PM	0.52	0.64	-23	0.51	0.47	7.8
S-13	CO	3.73	0.92	75	3.63	1.56	57
	HC	0.95	0.55	46	0.83	0.62	25
	NO _x	10.47	10.50	-0.3	9.87	9.99	-1.2
	PM	0.53	0.76	-43	0.47	0.41	13

표와 같이 CO는 57%~78%의 비교적 높은 정화율을 나타내었다. 운전모드에 있어서는 D-13모드가 S-13모드보다 정화율이 다소 높았으며, 촉매에 있어서는 Pt촉매가 Pt-V촉매보다 정화율이 높았다. HC는 25~46%의 낮은 정화율을 나타내었으며 Pt촉매에 있어서는 S-13모드가 D-13모드보다 높은 정화율을 나타내고 있다. D-13모드가 S-13모드보다 배기온도가 높은 쪽의 비율이 높기 때문에 D-13모드가 S-13모드보다 HC 정화율이 높을 것으로 생각되나 그와 반대의 결과를 나타내고 있다.

한편 NO_x는 촉매에 의해 거의 영향을 받지 않았으며 입자상물질은 Pt-V촉매에 있어서는 7.8~13%가 감소하였으나 Pt촉매에 있어서는 23~43%가 증가하였다. Pt촉매에 있어서 입자상물질이 증가하는 이유는 sulfate의 생성에 의한 영향으로 볼 수 있다.

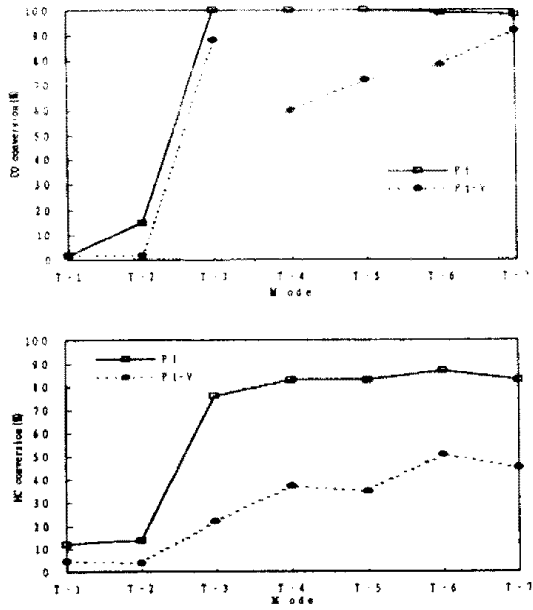


그림 2 Conversion rate of CO and HC by catalysts in engine operating conditions by T-7 mode

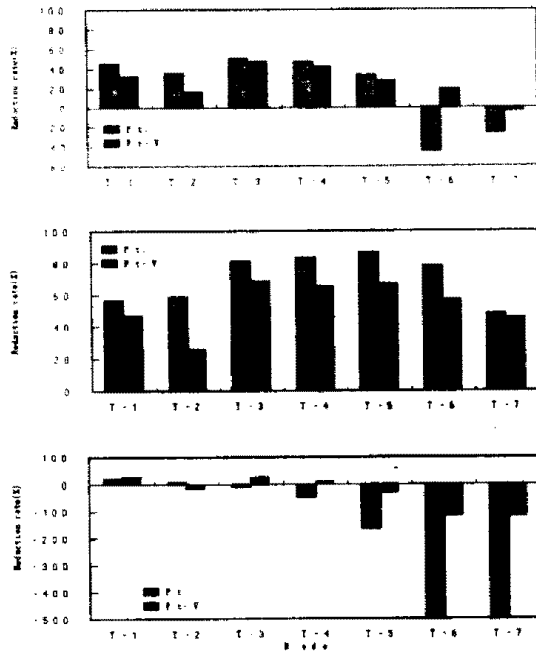


그림 3 Conversion rate of total particulate matter, SOF and sulfate by catalysts at T-7 mode