

대형자동차 디젤엔진용 산화촉매의 성능평가에 관한 연구

A Study on Evaluation of Diesel Oxidation Catalyst for Automotive Heavy-Duty Diesel Engine

최병철 · 정필수 · 명광재 · 김복석 · 박광수 · 박찬국 · 이진호

B. C. Choi, P. S. Jung, K. J. Myung, B. S. Kim, K. S. Park, C. G. Park and J. H. Lee

Key Words : Diesel engine(디젤엔진), Oxidation Catalyst(산화촉매), Emission(배출가스), D-13 mode(D-13모드), Hydrocarbon(탄화수소), CO(일산화탄소), Soot(매연)

Abstract : Diesel emission control is being addressed worldwide to help preserve the global environment. This paper mainly deals with the effects of oxidation catalysts to reduce emissions from the automotive heavy-duty diesel engine. Two types of the oxidation catalyst with different kinds of precious material were used. An 11 liter displacement diesel engine with turbocharger was operated to evaluate DOC with various engine speed, load conditions under D-13 mode cycle. We could propose the detail emission data of an automotive heavy-duty diesel engine and the characteristics of the conversion efficiency of the DOC under the D-13 mode. It was found that the mean conversion efficiencies of CO and THC were 49.7% and 61% under the D-13 mode test, respectively.

1. 서 론

미국을 비롯한 유럽 등 자동차 선진국에서는 환경보호를 앞세워 자동차 배출가스의 규제를 강화하고 있어, 이에 따라 각국의 자동차업체, 부품업체, 연구소 및 관련기관들은 저공해자동차의 기술개발과 생산을 위해 많은 관심을 가지고 연구개발에 최선의 노력을 다하고 있다. 이들의 연구개발의 초점은 배출가스 기준의 충족과 동시에 저연비를 달성할 수 있는 기술을 개발하는 것이다¹⁾.

디젤엔진은 가솔린엔진에 비해 열효율이 높고 CO₂의 배출량도 20%이상 적게 배출되지만, 다량으로 배출되는 질소산화물(NOx)과 입자상물질(Particulate matter, PM)로 인한 대도시환경의 오염문제를 유발하고 있다. 세계 각국들은 엔진의 연소기술 개선을 통해 이들 유해배출가스의 저감에 많은 노력을 하고 있으며, 이와 병행하여 배기후처리기술의 개발에 박차를 가하고 있다.

자동차용 디젤엔진의 후처리기술은 PM 저감기술, 디젤산화촉매기술(Diesel oxidation catalyst, DOC) 및 de-NOx기술로 대별된다. DOC의 최근 연구결과로 Mogi 등²⁾은 DOC 중의 귀금속 함유가 HC, CO 저감에 미치는 효과, 일본 D-13 모드시험 결과 Pt 2.0g/L의 촉매에서 HC, CO는 최대 약 80-98%를 달성하고, SOF(Soluble organic fraction)의 저감에도 좋은 결과를 보이고 있으나, 매연(soot)은 거의 저감이 되지 않음을 확인하였다. Blackwood 등³⁾은, 냉시동시의 DOC에 의한 입자상물질의 저감 특성을 관측한 결과, 초기 60초까지는 부의 저감효율을 나타내고 60초 이후에서부터 약 20% 정도의 저감을 나타낸다는 결과를 얻었다. Tamanouchi 등⁴⁾은 디젤연료에 약 10%의 Di-ethyleneglycol di-methyl ether(DGM)를 혼합하고 동시에 DOC를 사용한 결과 HC는 42%, CO는 22%의 저감효과를 보아, D-13 모드시험결과 THC는 0.25g/kWh, CO 1.34g/kWh, NOx 4.56g/kWh, PM 0.19g/kWh, 매연 0.16g/kWh, SOF 0.02g/kWh, SO₄ 0.01g/kWh의 결과를 보였다. Shinozaki 등⁵⁾은, DOC의 내구성 및 정확율에 있어서 황성분이 미치는 영향을 통하여 S 성분의 촉매에 축적되는 과정, 축적량 등을 추적하였으며, SO₃의 정확율은 신촉매에서 40%이었던 것이 촉매

접수일 : 2001년 1월 3일
최병철, 박찬국 : 전남대학교 자동차공학부
명광재 : 전남대학교 대학원
정필수, 김복석 : 전남대학교 자동차연구소
박광수 : 충북직업전문학교, 전남대학교 산업대학원
이진호 : 대우중공업(주) 엔진개발연구부

의 열에 노출되는 정도에 따라 10%정도까지 저감한다는 결과를 내었다. Takahashi 등⁶⁾은, HC, CO 및 PM 저감을 위한 DOC의 내구시험결과, SOF의 정화율은 높지만, 매연의 정화율은 낮으며, HC 정화율은 신촉매에서 80-90%이던 것이 200,000 km 실차내구에서 촉매의 표면적은 50% 가량 떨어져 정화성능도 70-75%로 떨어진다고 하였다. Zelenka⁷⁾ 등은 HC, CO 및 냄새 제거를 시도하였다. DOC는 HC, CO, SOF의 정화율은 약 60-75% 보이고 있으나, 매연의 정화는 거의 불가능하며, 냄새제거에는 성능이 가장 좋은 촉매에서 53% 정도의 저감효과를 보고하였다. 이상의 종래의 연구에서는 자동차용 대형엔진의 실용적인 관점에서 사용할 수 있는 구체적인 데이터의 제시가 결여되어 있었다. 그리고, 국내에서는 레저용, 밴타입의 디젤자동차에만 DOC를 적용하고 있지만, Table 1에 나타난 것과 같이 강화되어 가는 각국의 배기규제를 만족시키기 위해서는 대형엔진에도 DOC의 장착을 검토해야할 것이다.

본 연구에서는 현재 우리나라에서 생산하고 있는 대형 버스용 디젤엔진에 시범적으로 제작한 귀금속을 코팅한 DOC 2종을 적용하여 기본적으로 CO, THC의 정화성능을 검토하고, 그 외에 NOx 및 스모크의 정화성능을 엔진 회전속도 및 엔진의 부하를 시험조건으로 다양한 측면에서 정화율을 검토한다. 그리고, 최종적으로 ECE D-13모드에서의 DOC 정화성능을 평가하여 대형 엔진에 DOC의

Table 1 H/D Diesel engine regulation
unit : g/kWh

National	Categories	Mode	THC	CO	NOx	PM
Korea	99.1-99.12	D-13	1.2	4.9	6.0	0.25
	00.1-01.12	D-13	1.2	4.9	6.0	0.15
USA	-85.1	D-13	0.9	11.5	3.0	0.075
EURO	Euro 2	D-13	1.1	4.0	7.0	0.25
	Euro 3 (Convent.)	OICA	0.66	2.1	5.0	0.1

Table 2 Specification of H/D diesel engine

Items	Specification
Displacement	11 L
Max. power	220kW/2,200rpm
Max. torque	1100N.m/1,300rpm
Compression ratio	17.1 : 1
Bore × Stroke	123mm × 155mm
Injector nozzle type	5 holes-φ0.31mm

적용가능성을 검토할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험용 엔진

본 연구에 사용한 실험용 엔진은 현재 국내에서 트럭 및 버스용으로 많이 사용하고 있고 과급기(turbo charger)가 장착되어 있는 자동차용 대형 디젤엔진을 연구 대상으로 하고 있다.

자동차용 대형 디젤엔진의 제원은 Table 2와 같다.

2.2 촉매장치 및 연료

실험을 위해 사용한 자동차용 디젤산화촉매는 Pt 계열 귀금속을 코팅한 두 종류의 촉매(DOC A, B)를 제조업체 H사, O사에서 제조한 것이며, 촉매의 상세 사양은 제조업체의 비밀로 되어 있어 여기서는 상세히 밝힐 수 없다. 촉매의 캐닝(canning)은 스테인레스 강판을 사용하였다. 촉매의 용량은 9 L이며, 형태는 사각형 셀의 벌집형, 62 cell/cm²이다. 촉매의 담체온도는 직경 1.5mm K형 열전대를 사용하여 측정하였으며, 열전대의 설치위치는 촉매의 중심부에 촉매 전단으로부터 20mm 위치와 촉매 후단으로부터 20mm 위치이다.

실험에 사용한 연료는 시판되고 있는 S사의 황함유량 약 0.05wt%인 경유를 사용하였다. 그리고, 윤활유는 시판되고 있는 S사의 SAE 15W40을 사용하였다.

2.3 배출가스 측정장치 및 측정방법

DOC 성능평가를 위한 실험장치의 개략도는 Fig.1과 같이 엔진동력계, 배출가스 분석기, 대

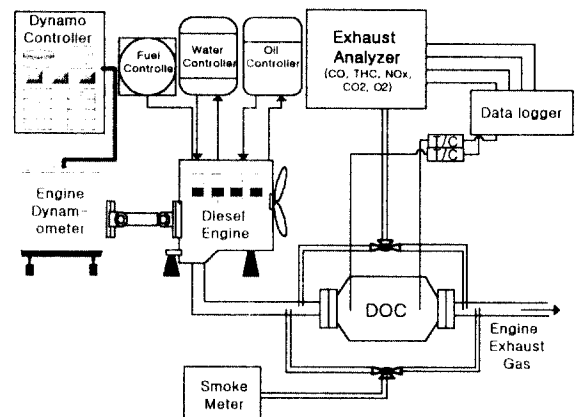


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 3 USA D-13 mode cycle

Mode	Engine speed	Load rate(%)	Weight factor
1	Idling	-	0.25/3
2	Intermediate (*1)	10	0.08
3		25	0.08
4		50	0.08
5		75	0.08
6		100	0.25
7	Idling	-	0.25/3
8	Rated (*2)	100	0.1
9		75	0.02
10		50	0.02
11		25	0.02
12		10	0.02
13	Idling	-	0.25/3

(*1) : 60% engine speed of maximum engine speed

(*2) : maximum engine speed

이터 처리부로 구성되어 있다. 엔진동력계는 400kW 와전류전기동력계(Fuchino사, ESF-600)를 사용하였고, 이 엔진동력계는 동력계 조절장치, 연료유량계, 흡입공기유량계, 연료온도 및 냉각수 온도조절장치, 엔진 윤활유 온도조절장치로 구성되어 있다. 실험 시 정상상태의 엔진의 냉각수, 윤활유 및 연료의 온도는 각각 85℃, 85℃, 40℃로 유지하였다.

배출가스 측정장치(Horiba, MEXA-9100 DEGR)는 디젤엔진의 배출가스 중 CO, HC, NOx, CO2를 분석할 수 있는 장치로서 CO, CO2는 비분산 적외선 분석기(NDIR: nondispersive infrared), HC는 불꽃이온화검출법(flame ionization detector), NOx는 화학발광법(CLD: chemiluminescence detector)을 사용하고 있다⁸⁾. 촉매 전후의 스모크 배출량은 여과지 샘플링 광반사를 측정법, Bosch Smoke Number(BSN) 측정법의 매연측정기(월드환경 AFT-2000)를 사용하였다.

DOC의 정화성을 평가하기 위한 엔진운전조건은 엔진회전수 800rpm-2200 rpm 범위에서, 전부하에 대한 부하율 60%, 80% 및 100%이다.

DOC의 정화성능 평가기준은 배출가스 1996년부터 국내 자동차용 대형 디젤엔진의 배출가스 규제 모드로 사용되고 있으며, 미국과 유럽연합에서 사용되고 있는 USA D-13 모드를 사용하였다. D-13 모드의 운전조건과 가중계수(weight factor)는 Table 3과 같다.

2.4 부하 실험 방법

먼저 엔진의 부하조건에 대한 DOC의 정화성능 실험조건은 전부하에 대한 부하의 비율을 60%, 80%, 100%의 조건에서 수행하였으며, 이 때 엔진의 회전수는 800 rpm에서 2200rpm 까지 100 rpm 간격의 운전조건이다.

엔진 난기는 냉각수, 윤활유 및 연료의 온도가 정상상태에 도달할 때까지 수행하였다. 소정의 운전조건에서 엔진이 안정되면 촉매 전후의 CO, HC, NOx의 배출가스 농도는 배출가스 분석기를 이용하여 6분동안 연속적으로 샘플링을 수행하며 마지막 60초 동안의 연속 측정치의 평균값을 최종 결과로 이용하였다. 모든 데이터는 데이터 수록기에 2초 간격으로 수록하였다. 특히, 스모크(smoke, dry soot) 측정은 배출가스분석기 측정시간과 동시에 3회 반복 측정하여 이들의 평균값을 데이터로 취하였다.

2.5 D-13 모드 시험방법

D-13 모드 시험을 위한 엔진은 냉각수, 윤활유 및 연료의 온도가 정상상태가 될 때까지 충분히 난기한 후, 각 운전모드 조건의 엔진 회전수 및 부하에서 측정을 수행하였으며 엔진 회전수의 오차는 ±5rpm 정도이다.

배출가스 분석기는 시험에 들어가기 전에 충분히 예열하였으며 영점 및 스펠조정이 된 상태에서 시험을 수행하였다.

시험은 Table 3과 같은 운전모드에서 수행하는데, 처음 1분간에 엔진 회전수와 부하조건의 조정을 완료하고, 각 운전모드에서 6분간 운전하여 이중 마지막 3분간은 배출가스 분석기에 의해서 촉매 전후의 농도를 약 1분 30초간씩 연속 측정하였다. 측정된 배출가스 농도는 데이터 수록기에 2초 간격으로 저장하였으며 각 모드의 마지막 1분간의 배출가스 연속 기록결과를 평균한 값을 취하였다. 이 중 아이들링의 배출가스 측정은 엔진 최고출력 시 회전수의 60%, 전부하의 40% 부하에서 15분 운전 후 측정하였다. 매연 측정은 각 모드의 마지막 60초간에 3회를 반복 측정한 값을 평균하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 엔진의 배출가스 배출 특성

Fig. 2 - Fig. 5은 엔진 회전수와 전부하에 대한 부하비율에 있어서 배출가스 배출특성 및 온도분

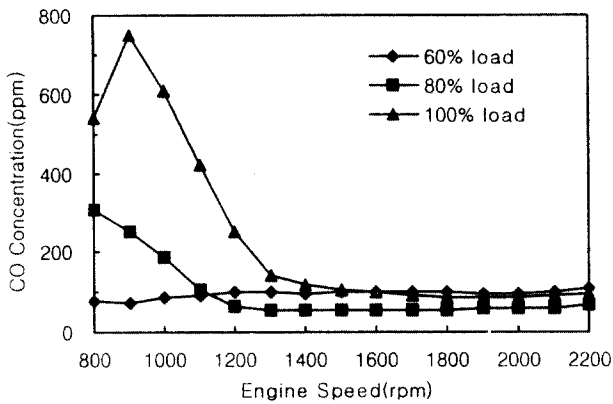


Fig. 2 Engine out CO emission with various loads

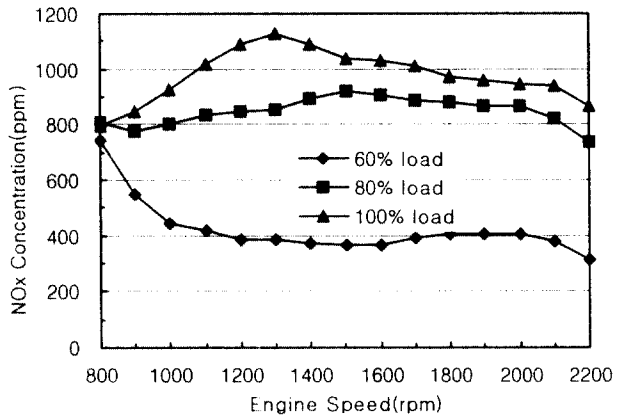


Fig. 4 Engine out NOx emission with various loads

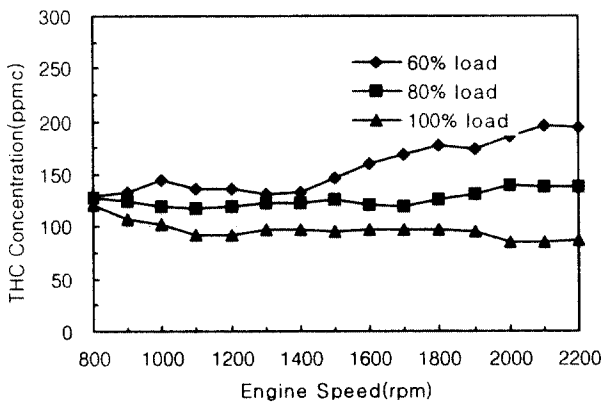


Fig. 3 Engine out THC emission with various loads

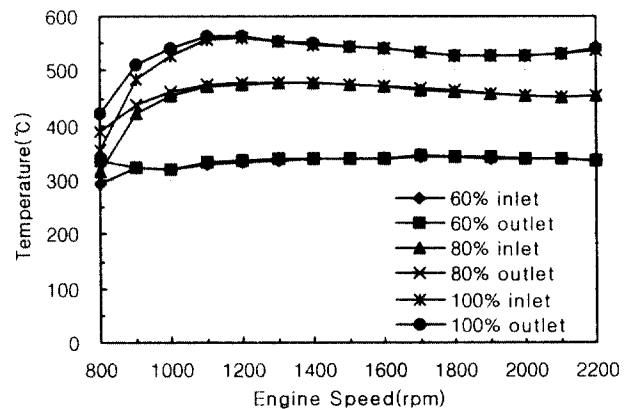


Fig. 5 Temperature profiles for the inlet and outlet of catalyst.

포를 나타내고 있다. Fig. 2는 CO의 배출특성을 나타내고 있는 것으로, 엔진 회전수 1100 rpm 이하에서는 부하가 클수록 CO 배출농도는 증가하고 있다. 100% 부하의 경우 900 rpm에서 약 750ppm으로 최대치를 나타내면서 엔진 회전수가 증가할수록 CO 농도는 낮아지고 있다.

Fig. 3은 THC의 배출특성을 나타낸 것으로 전 엔진 회전수에 있어서 부하가 적을수록 THC의 농도는 높은 경향을 나타내고 있다. 60%와 80% 부하의 경우 엔진 회전수가 증가할수록 THC의 농도는 회전수 증가와 더불어 증가하고 있으며, 100% 부하는 전 회전수 영역에서 약 100ppmC로 큰 변화가 보이지 않는다.

Fig. 4는 NOx의 배출특성을 나타낸 것으로, 전 엔진회전수에서 부하의 영향이 명확하게 나타나고 있다. 100% 부하에서 NOx의 농도는, 전 회전수 운전조건에서 가장 높은 농도를 보이며 1300 rpm까지 회전수가 증가할수록 NOx 농도가 증가하여

최대 1500 ppm을 나타내고, 그 이상에서는 이보다 낮은 농도를 나타내고 있다. 이 엔진은 1300 rpm에서 최대토크를 나타내는 곳으로 엔진의 연소상태가 가장 양호함을 나타내고 있다. 80% 부하에서는 800 rpm에서 약 800 ppm이던 것이 1500 rpm에서 900ppm까지 상승하다가 그 이상의 rpm에서는 다시 약간씩 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 60% 부하의 경우는 800 rpm에서 770 ppm이던 농도가 rpm이 증가할수록 약간씩 낮아지는 경향을 보여 1200 rpm에서 약 400 ppm을 배출하고 있으며, 그 이상에서는 거의 일정하다.

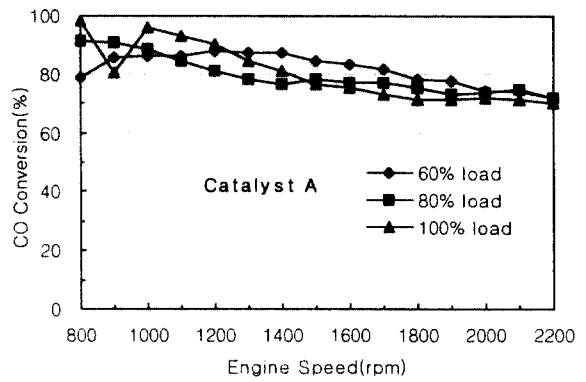
Fig. 5는 상기 농도 배출특성과 같은 부하와 rpm 변화에 대한 DOC의 촉매 전단과 후단의 온도변화를 측정된 결과이다. 동일한 부하에서 촉매의 전단과 후단의 온도차이는 크지 않으며, 온도는 부하가 클수록 높다. 100% 부하율의 경우 촉매온도는 800 rpm에서 420°C이던 것이 rpm의 증가와 함께 증가하여 1100rpm에서 최고온도 550°C를 나

타내고, 그 이상의 rpm에서는 서서히 낮아지고 있다. 80% 부하에서 촉매의 온도는 1200rpm에서 최고 470℃를 나타내었으며, 60% 부하에서는 전 rpm에서 거의 동일한 약 340℃를 유지하였다.

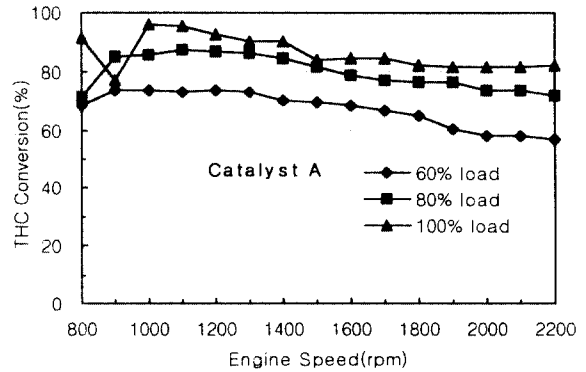
3.2 DOC 반응실험 결과

Fig. 6 (a)-(d)는 엔진 회전수 및 부하 변동에 대한 DOC A의 CO, THC, NOx 정화특성 및 스모크의 배출특성을 각각 나타내고 있다. (a)는 CO의 정화특성이며, 부하 변동에 대한 정화율의 차는 10-15% 정도이며, rpm이 증가함에 따라 정화율이 약간씩 저하하고 있다. (b)는 THC의 정화율로 100% 부하가 가장 큰 정화율을 나타내고 있으며, 1000 rpm에서 95%의 정화율이 rpm의 증가로 서서히 저하하여 2200 rpm에서 82%를 나타내고 있다. 80% 부하에서는 1000 rpm에서 85%가 2200 rpm에서 73%로 낮아지고 있다. 그리고, 60% 부하에서는 73%에서 58%로 저하하는 경향을 나타내고 있다. 이상의 CO 및 THC의 정화성능 저하는, Fig. 5에서 나타난 것과 같이, 촉매온도는 큰 변화가 없지만, rpm이 증가하면 배출 가스량의 증가로 SV(space velocity, 공간속도)가 증가하기 때문이다. (c)는 NOx의 정화율을 나타낸 것으로 최고 약 10%의 정화율을 나타내고 있으나, 경우에 따라 부의 정화율을 나타내는 곳이 있다. 그 이유는 NOx는 디젤 엔진의 배기에 잔존하는 고농도의 산소로 인하여 환원반응을 일으키기 어렵고, 촉매의 표면에 흡착한 NOx가 경우에 따라 탈리되기 때문이다¹⁰⁾.

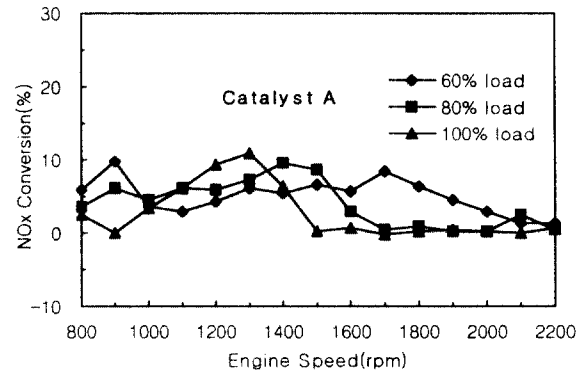
일반적으로 PM의 성분별 비율은 SOF가 52%, INSOL(Insoluble organic fraction)가 48%이며, SOF 중에는 미연 오일이 47%, 미연 연료가 5%를 차지한다. 그리고 INSOL 중에는 dry 매연이 34%, 황이 6%, 수분이 8%를 차지한다⁵⁾. (d)는 DOC의 스모크의 배출특성이며, 스모크는 Bosch Smoke Number로 나타내고 있다. 부하가 증가할수록 스모크의 농도는 높아지며, 100% 부하에서는 900 rpm에서 최대 29% 배출되다가 rpm이 증가할수록 낮아져 1700 rpm 이상에서는 약 10%를 유지하고 있다. 80% 부하에서는 800 rpm에서 23%가 rpm의 증가와 함께 낮아져 1400 rpm 이상에서 약 6-7% 정도를 유지하고 있다. 60% 부하에서는 전 rpm 영역에서 약 3-5%를 배출하고 있다. 스모크는 DOC에서 정화가 어렵다는 것을 나타내고 있다. 일반적으로 입자상물질 중 SOF는 정화가 쉽고 dry 매연은 정화가 대단히 어렵다^{2,7)}.



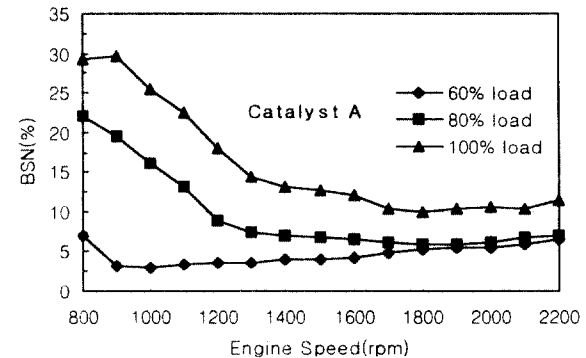
(a) CO conversion efficiency of DOC A



(b) THC conversion efficiency of DOC A



(c) NOx conversion efficiency of DOC A



(d) Soot emission of DOC A

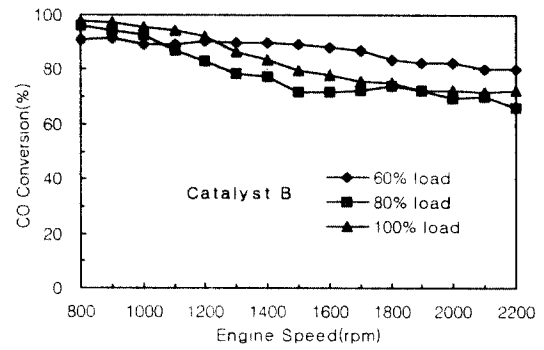
Fig. 6 Emission conversion efficiency and soot emission of DOC A with various loads

Fig. 7(a)-(d)는 엔진 회전수 및 부하변동율에 대한 DOC B의 CO, THC, NOx 정화특성 및 스모크의 배출특성을 나타내고 있다. (a)는 CO 정화특성이며, 1100 rpm의 저속 영역에서는 부하가 높을수록 정화율이 높지만, 그 이상의 rpm에서는 저부하 운전조건이 고부하보다 높은 정화율을 나타내고 있다. 100% 부하 운전조건에서의 정화율은 97%에서 72%를 유지, 80% 부하에서는 94%-68%를 유지, 60% 부하에서는 92%-80%를 각각 유지하고 있다. (b)는 THC의 정화율을 나타낸 것으로서 부하가 증가할수록 촉매의 온도가 상승하므로 정화율이 높다. THC의 정화율은 CO와 같이 rpm의 증가와 함께 감소하고 있다. (c)는 NOx의 정화율을 나타낸 것으로 전영역에서 -5%에서 3%의 낮은 정화율을 나타내고 있다. (d)는 DOC B 출구에서의 스모크 농도 측정결과로 최고 30%(BSN)을 나타내고 있으며, 정화율은 운전조건에 따라서는 수 %의 부의 값을 나타내기도 하였다. 이는 최고 온도 550°C 범위에서는 스모크의 정화율이 낮고 촉매에 흡착과 탈리가 반복되는 현상이 지배적이기 때문이다.

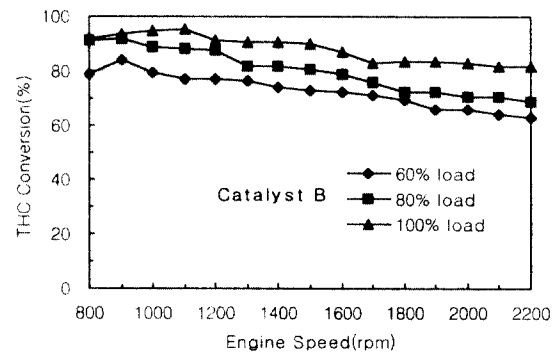
3.3 D-13모드 시험 결과

Fig. 8은 미국 D-13모드 사이클의 운전 시 촉매 입구와 출구에서의 온도분포를 나타내고 있다. 각 운전조건에서 보면 Fig. 5와 유사한 온도분포를 나타내고 있어, 초기 아이들에서 약 100°C이던 것이 6모드에서 약 550°C를 나타내고 있다. 부하를 상승해 가는 과정에서는 입구보다는 출구온도가 약간 높은 경향을 보이고 있는데, 이는 촉매에서 HC 및 CO의 반응열로 온도가 상승하기 때문이다.

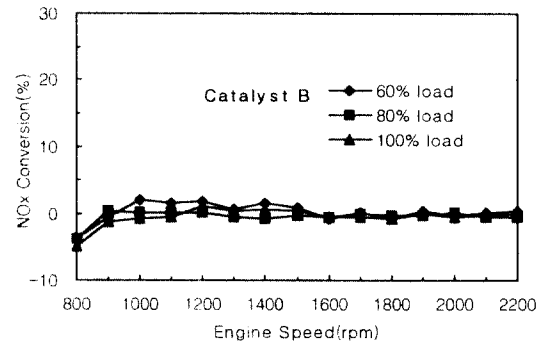
Fig. 9는 DOC A의 D-13 모드시험에서의 CO, THC, NOx 정화율을 나타내고 있다. 초기 1모드에서 THC 정화율이 80%를 나타내고 있으나, 촉매 온도가 100°C인 것을 감안하면 정화현상이라기보다 기상 탄화수소의 흡착이 주원인이다⁹⁾. 2, 3모드에서 동일한 현상으로 THC 및 CO 정화율이 점차 저하하고 있다. 그리고 4모드이상에서는 촉매온도가 340°C에 달하므로 HC, CO는 활성화되어 저감된다. 그리고, 7모드가 아이들임에도 불구하고 높은 정화율을 나타내는 것은 다른 모드에 비해 SV가 작고 앞의 고온모드에서 가열된 촉매가 높은 온도를 유지하여 활성을 촉진하기 때문이다. 그리고, 13 모드에서도 HC는 흡착현상으로 높은 정화율을 보이고 있다. NOx의 정화율은 최고 11%에서 -1%까지 나타나고 있다.



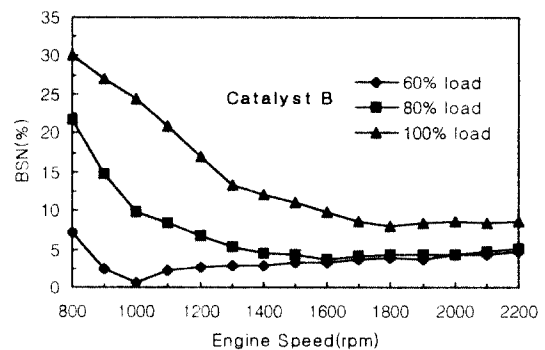
(a) CO conversion efficiency of DOC B



(b) THC conversion efficiency of DOC B



(c) NOx conversion efficiency of DOC B



(d) Soot emission of DOC B

Fig. 7 Emission conversion efficiency and soot emission of DOC B with various loads

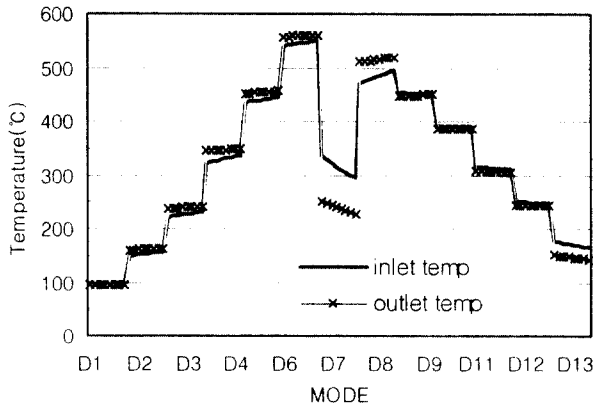


Fig. 8 Temperature profiles at the inlet and the outlet of DOC A under D-13 mode

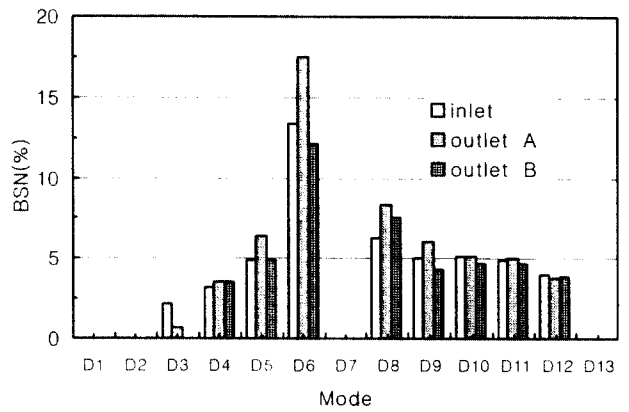


Fig. 11 Soot emission under D-13 mode

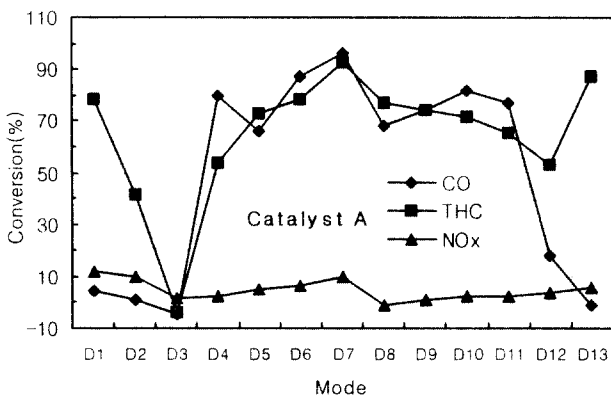


Fig. 9 Conversion efficiency of DOC A under D-13 mode test

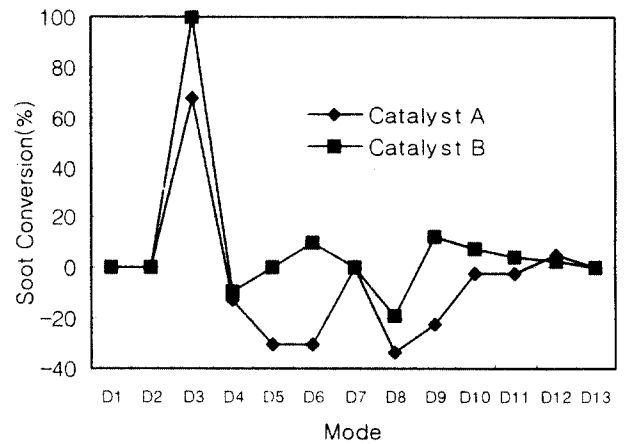


Fig. 12 Conversion efficiency of the soot under D-13 mode

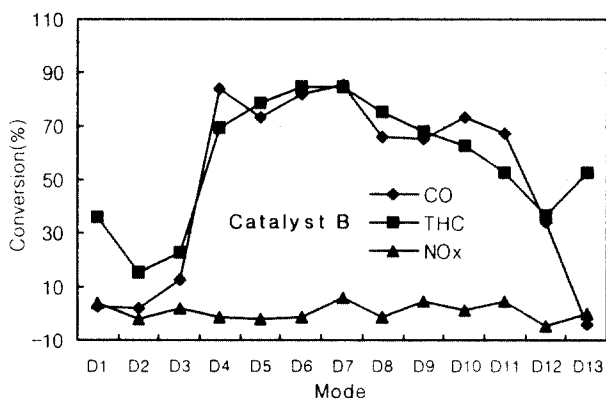


Fig. 10 Conversion efficiency of DOC B under D-13 mode test

Fig. 10은 DOC B의 경우 D-13 모드시험에서 CO, THC, NOx의 정화율을 나타내고 있다. 전체적으로 DOC A와 거의 동일한 현상을 보이고 있으며, 전체 정화율이 DOC A보다 약간 낮다.

Fig. 11은 D-13 모드시험에서 모드별 스모크 농

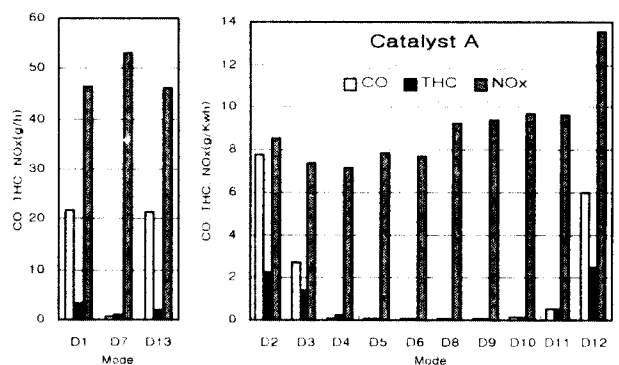


Fig. 13 D-13 mode test results of DOC A

도를 나타내고 있다. 엔진 출구의 농도와 DOC A, B 출구에서의 결과이다. Fig. 6(d), Fig. 7(d)에서 나타낸 것과 같이 스모크는 부하가 높은 모드일수록 높다. 그리고, 엔진으로부터의 배출농도보다 촉매출구에서의 농도가 높게 나타나는 경우도 있다.

Fig. 12는 D-13모드시험에서 매연의 정화율을

나타낸 결과이다. 아이들 상태에서는 매연이 거의 배출되지 않으며, A 촉매의 경우 고부하 운전조건 4, 5, 6, 8, 9 모드에서는 부의 정화율을 나타내고 있다. 반면, B 촉매의 경우는 고부하운전조건에서 약 10% 정도의 정화율을 나타내고 있다. 3 모드에서 두 촉매의 스모크 정화율이 높은 것은 흡착현상 때문이다. 전체적으로 B촉매가 매연의 반응성이 양호한 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 적절한 촉매의 선택으로 매연의 저감도 어느정도까지는 기대할 수 있다.

Fig. 13은 DOC A의 D-13모드시험결과를 각 모드별로 배출가스 보정법에 의하여 배출가스의 농도를 수정계산하여 단위 동력당 배출량으로 나타낸 결과이다. Fig. 14는 DOC B의 배출가스의 배출량을 나타내고 있다. 왼쪽 그래프가 아이들 모드 결과이고 오른쪽 그래프가 엔진회전수와 부하변동에 따른 배출량을 각각 나타내고 있다. 전체적으로 NOx의 저감은 불가능하므로 많은 배출특성을 보이고 있으며, 아이들에서의 HC, CO 배출량은 촉매온도가 활성온도보다 낮아 높은 배출량을 나

타낸다. 그리고 부하를 가하는 운전모드에서도 저부하 조건(2, 3, 11, 12 모드)에서는 HC, CO 배출량이 많다.

Fig. 15는 최종적으로 DOC A, B의 D-13 모드 시험결과를 나타낸 것이다. CO의 배출량은 A 촉매가 0.37 g/kWh(괄호안은 평균 정화율, 50%), B 촉매가 0.39 g/kWh(49.4%), HC는 A촉매가 0.17 g/kWh(64%), B 촉매가 0.2 g/kWh(57%)로, 각국의 규제치를 만족하고 있다. 그러나 NOx의 경우는 국내 규제치(실선)보다 높은 고농도로 배출되고 있다. 이는 엔진에서 생성되는 NOx를 근본적으로 저감하기 위한 엔진의 최적화가 필요하며, 또한 후처리에 의한 저감이 필요하다. 이는 대형 디젤엔진으로 인한 도시환경 오염문제를 해결하기 위하여 반드시 해결해야할 필수과제이다.

4. 결 론

대형자동차 디젤엔진용 산화촉매의 정화성능을 평가한 결과, 대형자동차 디젤엔진에 적용을 위한 다음과 같은 귀중한 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 엔진 회전수와 부하변동에 대한 실험 결과, CO, THC의 정화율은 rpm이 증가함에 따라 SV가 커져 약간씩 저하지만, 최고 정화율은 THC 95%, CO 90%를 각각 나타내었다.
- 2) 스모크는 저속 전부하에서 최대 30% BSN을 나타내었으며, DOC에서의 반응은 어렵지만, 촉매에 따라 약 10%의 정화특성을 나타내었다.
- 3) D-13 모드시험에서 HC 및 CO의 평균 정화율은 61%, 49.7%를 각각 나타내 현재 각국의 규제치를 만족시킬 수 있으나, NOx의 저감에는 별도의 저감대책이 필요하다는 결과를 알았다.
- 4) 대형자동차 디젤엔진의 D-13 모드시험의 각 모드별 온도분포, 배출가스 성분의 저감특성 등을 정확히 제시할 수 있었다.

남은 과제로는 귀금속 촉매 및 각종 산화물질의 조촉매의 정량화에 따른 각 배기의 정화특성을 파악할 필요가 있으며, 특히 상관관계(trade-off)가 있는 NOx 및 매연의 동시저감을 위해서는 NOx의 저감을 위한 환원제에 매연을 이용할 수 있는 촉매, 조촉매 성분의 개발에 관한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 전남대학교 BK21 사업의 RA 연구비 지원을 받아 수행하였으며 사업단에 감사드립니다.

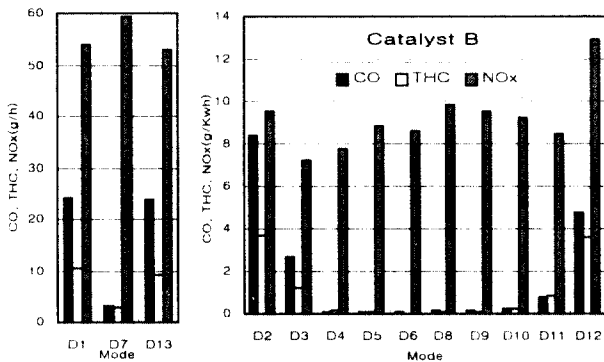


Fig. 14 D-13 mode test results of DOC B

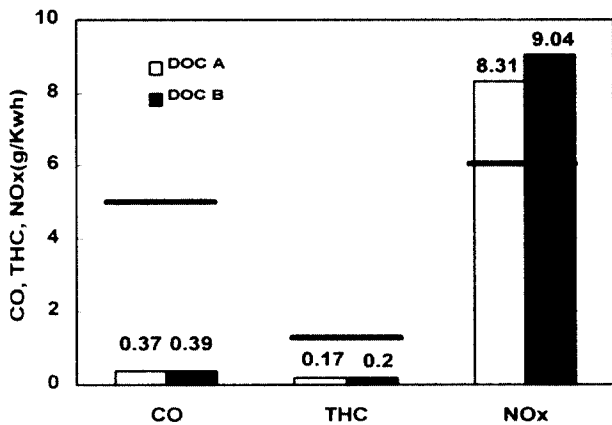


Fig. 15 Emission test results of D-13 mode

참고문헌

1. 정용일, "경유자동차 PM 및 NOx 대책 기술동향", 한국자동차공학회지, Vol. 22, No. 1, 2000
2. H. Mogi, K.Tajima, M.Hosoya and M.Shimoda, "The Reduction of Diesel Engine Emissions by Using the Oxidation Catalysts of Japan Diesel 13 Mode Cycle", SAE paper No. 1999-01-0471, 1999
3. A.Blackwood, D.Tidmarsh and M.Willcock, "The Effect of An Oxidation Catalyst on Cold Start Diesel Emissions in the First 120 Seconds of Running", SAE paper No. 980193, 1998
4. M.Tamanouchi, T.Akimoto, S.Aihara and H.Morihisa, "Effects of DGM and Oxidation Catalyst on Diesel Exhaust Emissions", SAE paper No. 1999-01-1137, 1999
5. R.Shinozaki, Y.Kishi and H.Tohno, "The Durability of and Evaluation Methods for Diesel Oxidation Catalysts", SAE paper No. 982802, 1998
6. Y.Takahashi, Y.Kishi, I.Fukano, K,Sakai and R.Shinozaki, "A Study of the Durability Diesel Oxidation Catalysts", SAE paper No. 952650, 1995
7. P.Zelenka, G.Hohenberg and U.Graf, "Diesel Oxidation Catalyst Application Strategies with Special Emphasis on Ordour Reduction", SAE paper No. 942066, 1994
8. B.C.Choi and N.S.Lee, "Characteristics of Formaldehyde Emission from Small Gasoline Engine and Its Reduction Technology", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol.3, No.2, pp. 20~25, 1999
9. B.C.Choi, N.S.Lee and G.S.Son, "A Study on the Reduction of Cold Start Hydrocarbon from Gasoline Engines Using Hydrocarbon Adsorbers", KSME International Journal, Vol.14, No. 6, pp. 699~703, 2000
10. W.A.Majewski, J. L. Ambs and K.Bickel, "Nitrogen Oxides Reductions in Diesel Oxidation Catalyst", SAE paper No. 950374, 1995