

Pd+Rh 삼원촉매에서 촉매체적 및 귀금속량이 정화성능에 미치는 영향

이 명 호* · 김 계 윤**

The Effects of Volume and Precious Metal Loading on the Performance of Pd+Rh Three Way Catalysts

M. H. Lee* · K. Y. Kim**

Key words : Precious Metal Loading(귀금속량), Three Way Catalysts(삼원촉매), Light-off Performance(저온활성성능), Average Conversion Efficiency(평균정화율)

Abstract

Recently the use of Pd catalyst have been continued to expand because of cost, availability and performance advantages. Especially the Pd+Rh catalyst instead of the Pt+Rh catalyst had been used for most of three way catalysts because of the more stringent emission standards and its higher temperature effectiveness.

The main purpose of this study is to investigate the design parameter impacts on the Pd+Rh catalyst for the automotive exhaust catalysts application. This study was investigated on the catalyst efficiency for the volume and the precious metal loading of the Pd+Rh ceramic monolithic catalyst. And experiments concerning the effects of volume and precious metal loading on Pd+Rh three way catalysts were conducted to examine the catalyst light-off temperature and average conversion efficiency using a engine dynamometer. The effects on light-off temperature and conversion efficiency on higher volume demonstrated almost similar performance. But their effects on higher precious metal loading demonstrated considerably better performance.

1. 서 론

자동차용 배기 촉매는 자동차의 배기 조건에서

높은 고유 활성과 내구성 때문에 주로 백금(Pt), 팔라듐(Pd)과 로듐(Rh) 등으로 구성된다. 3가지 금속중에 Pt와 Pd는 Rh의 산화 활성을 보충하기 위

* 서울산업대학교 기계공학과(원고접수일 : 99년 3월)

** 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과

해서 삼원촉매에 사용된다. Pt와 Pd는 HC, CO에 대하여 거의 동등한 산화성능을 가지고 있으나 Pt는 내피독성, Pd는 내열성이 우수한 특징이 있다. Pd는 Pt보다 원가면에서 유리하므로 사용이 증가하는 추세이며, 또한 Pd는 Pt보다 더 좋은 열내구성능을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.¹⁾

Rh는 선택적으로 NO를 감소시키는 활성금속 성분으로서 널리 알려져 자동차용 삼원촉매에 사용되고 있다. 또한 Rh는 NOx의 저감뿐만 아니라 농후한 공연비에서 HC, CO의 산화성이 우수하여 삼원촉매에 불가결하게 사용되는 귀금속이라 할 수 있다.

현재까지 삼원촉매는 1978년부터 사용되고 있는 Pt+Rh 촉매가 주종을 이루고 있으나, 최근에는 내열성과 HC전환성 및 원가저감을 위하여 Pd+Rh 촉매의 사용이 증가 추세에 있다.²⁾

1968년에 만들어진 미국의 배기규제를 기준으로 90%까지 저감시켜야 하는 미국의 대기보전법규가 통과된 1970년부터 촉매의 본격적인 개발이 시작되었다. 1974년 9월부터 미국에서 판매되는 모든 차에 촉매장치가 부착 되었으며, 일본도 같은 시점에 걸쳐 촉매가 사용되기 시작하였다. 촉매를 적용하기 시작한 초기에는 산화촉매를 사용하여 HC, CO를 저감시켰으며, 그 후로 NOx의 저감 필요성에 의하여 환원촉매를 추가하여 부착한 이중촉매가 사용되었다. 근래에는 촉매장치 1개로서 HC, CO, NOx를 동시에 저감할 수 있는 삼원촉매장치가 개발되어 사용되고 있다.

가솔린자동차에서 유해한 배기의 60~80%를 차지하는 HC의 대부분은 시동후 최초 2분 동안의 냉간구간에서 발생되므로 HC를 저감시키기 위한 연구는 냉간구간에 집중되고 있다. 그러나 배기매니폴드촉매 혹은 기관근접촉매는 저온활성온도에 빨리 도달할 수 있지만 기관난기후에는 온도가 1100℃까지 오르게 된다. 그러므로 높은 온도에서 소결에 의한 비활성에 저항할 수 있는 금속촉매를 개발할 필요가 있다.³⁾ 탄화수소 저장장치는 냉간구간동안 비메탄계 탄화수소(NMHC)를 70%나 감소시키는 것으로 발표되었으며⁴⁾, 전기가열촉매를 사용하면 초저공해 자동차를 제작할 수 있지만 기관성능 요구사항이나 내구성은 아직 완전히 증명

되지 못한 상태이다.⁵⁾

상기의 배기 저감장치중에서도 현실적으로 가장 많이 적용될 추세로서 주목을 받고 있는 촉매사양은 성분이 Pd로 구성된 삼원촉매이다. 삼원촉매에는 Pt+Rh와 Pt+Pd+Rh계가 주로 사용되고 있으나, 근래에는 원가 및 내열성 문제로 Pt 대신에 Pd가 사용되면서 Pd+Rh계 촉매가 점점 증가하는 추세에 있다. 그리고 현재까지는 Pt+Rh 촉매에 대한 연구가 진행되어 왔으나, 근래에는 Pd 촉매에 대한 연구의 필요성이 증가되고 있으며, 또한 배기 규제에 대한 대응을 위하여 개발이 활성화되고 있는 Pd+Rh 촉매에 대한 연구는 실적이 낮은 현실이다. 더구나 Pd+Rh촉매에서 귀금속량과 체적의 변화가 자동차 배기에 미치는 영향이 상세히 연구되어 있지 않으므로 업계에서 촉매 개발시 문제점이 되고 있다. 외국의 자동차 업체나 미국 및 유럽지역의 Engelhard, Degussa, Johnson-Mathy와 같은 촉매 회사에서는 강화된 배기규제를 만족시키기 위해서 Pd+Rh계 삼원촉매에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{6),7),8)}

본 연구에서는 Pd+Rh계 촉매에서 촉매설계변수를 변화시켜서 자동차 배기에 미치는 영향을 체계적 귀금속량을 다르게 제작하여 촉매단품성능을 실험하였다. 촉매단품에 대한 실험은 기관동력계를 사용하여 배기별 촉매의 저온활성성능과 공연비 변화에 따른 HC, CO, NOx의 정화성능을 실험하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

배기 정화성능 실험전에 가솔린기관동력계를 이용하여 실험대상의 촉매를 4hr 혹은 50hr 동안 열화실험을 실시하였다. Fig. 1은 기관동력계 열화 실험장치를 나타낸 그림이며, Table 1은 각 장비에 대한 사양을 나타낸 것이다.

촉매의 열화실험이 완료된 후에는 기관동력계와 가스분석기를 이용하여 저온활성실험과 정화성능실험을 진행하였다. Fig. 2와 Table 2는 촉매단품 성능실험을 위한 실험장치의 구성과 각 장비

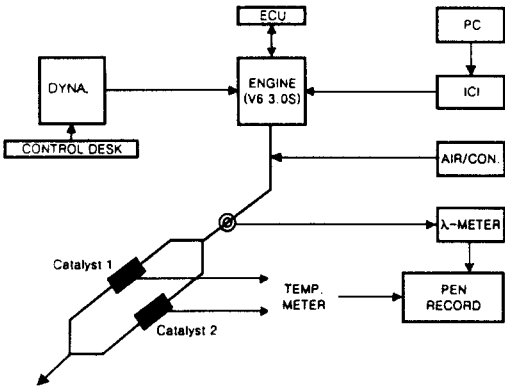


Fig.1 Schematic diagram of aging test system by engine dynamometer

Table 1 Aging test system description by engine dynamometer

Equipment	Description
1 Control Desk	· Software(PUMA3) · Dynamometer Controller
2 Dynamometer	· Type : AC, · Capacity : 190 kW · Max. Speed:7000 rpm
3 Engine	· V6 3.0/ SOHC
4 ICI	· IC 5460, IC 5160 · Control Engine Injection Fuel and Catalyst Inlet Air Flow Rate
5 PC	· ICI Controller · Input ICI System Parameters to ICI
6 λ-Meter	· MEXA 101λ · Display A/F Ratio of Exhaust gas from Engine
7 Catalyst	· Three Way Catalytic Converter(Pd+Rh)

에 대한 사양을 나타낸 것이다.

2.2 실험 방법

실험 평가될 Pd+Rh 촉매를 체적별, 귀금속량 별로 각각 제작하여 실차주행거리 6400 km 및 80000 km에 해당하는 거리만큼 직접분사식의 3.0l 전자제어 6기통 가솔린기관을 이용하여 2개의 촉매에 배기를 동일하게 분배하여 열화시켰다. 이때 기관을 30분간에 걸쳐 난기시켜서 기관수온과 유온의 온도를 80℃로 유지하였으며, 여기서

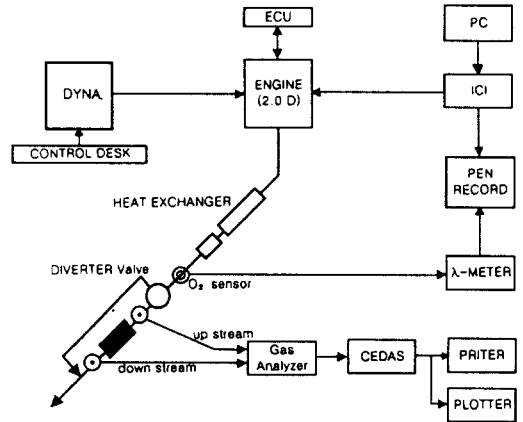


Fig. 2 Schematic diagram of catalyst performance test system

Table 2 Catalyst performance test system description

Equipment	Description
1 Control Desk	· Software(PUMA3) · Dynamometer Controller
2 Dynamometer	· Type: EC, · Capacity: 160 kW, · Max. Speed: 7,000 rpm,
3 Engine	· I-4 2.0/ DOHC
4 ICI	· IC 5460 · Control Engine Injection Fuel · A/F Ratio, Frequency, Test Time
5 PC	· ICI Controller · Input ICI System Parameters to ICI
6 λ-Meter	· MEXA 101λ · Display A/F Ratio of Exhaust gas from Engine
7 Catalyst	· Three Way Catalytic Converter (Pd+Rh)
8 CEDAS	· Analyzer and Print Catalyst Conversion Efficiency from Gas Analyzer Data
9 HeatExchanger	· Control Inlet Temperature of Catalyst

실차주행거리 6400 km는 촉매 성능이 안정되는 열화 정도이며 80000 km는 국내 배기 법규상 보증수명을 의미한다.

촉매는 Table 3과 같은 열화실험 모드에서 해당

시간 만큼 1단계와 2단계를 반복하였다.

촉매단품 성능실험은 저온활성실험과 삼원특성 실험을 실시하였다. 저온활성실험은 촉매의 저온 활성온도 특성이 전체의 배기에 미치는 영향이 매우 중요하므로 기관동력계에서 배기 온도를 상승시키면서 정화성능을 실험하는 것이다. 저온활성 온도란 기관의 시동후 배기의 온도가 높아져서 촉매가 제 성능을 발휘하기 시작하는 온도를 의미하며, 저온활성온도가 낮을수록 바람직하다. 저온활성 실험 방법으로는 먼저 기관을 30분간 난기시켜서 기관수온과 유온의 온도를 80℃, 공연비(A/F)를 14.55 ± 0.5 (공기과잉율 $\lambda=1$)로 고정하고 열교환기를 이용하여 배기온도를 200℃에서 450℃로 상승시키면서 배기에 미치는 촉매의 저온활성성능을 2회에 걸쳐서 실험하여 측정오차가 10℃ 미만이면 정식 값으로 채택하였다.

삼원특성실험은 실차주행모드에서 기관난기후

Table 3 Operating condition of aging test by engine dynamometer

		Step 1	Step 2
RPM		3,200	3,200
Load		28%	28%
Catalyst Temp	Inlet	600 ± 10℃	580 ± 10℃
	Bed	700 ± 10℃	900 ± 10℃
A/F(Air Fuel Ratio)		14.5 ± 0.1	Eng : 12.3 Catalyst: 16.9~17.0
Time		60 sec	18 sec
Torque		80.4 N m	84.4 N m
Inmani. Pressure		0.4933~0.5066 bar	

Table 4 Specification of catalyst sample

Aging	Catalyst	Precious Metal		Catalyst Volume	
		Ratio	Loading	Volume	Size(mm)
4hr	CC35/ 2.0l	Pd : Rh = 5 : 1	3.5 g/l	2.0l	84 × 148 × 96
	CC35/ 1.8l	"	3.5 g/l	1.8l	84 × 148 × 86.5
	CC25/ 2.0l	"	2.5 g/l	2.0l	84 × 148 × 96
	CC25/ 1.8l	"	2.5 g/l	1.8l	84 × 148 × 86.5
50hr	CC35/ 1.8l	"	3.5 g/l	1.8l	84 × 148 × 86.5
	CC25/ 2.0l	"	2.5 g/l	2.0l	84 × 148 × 96

Note) Catalyst Cell Density : 64 cells/cm²

의 구간에서 촉매의 정화특성을 평가하기 위하여 기관동력계에서 작동조건을 공연비가 희박한 조건에서 농후한 조건으로 변화시키면서 정화성능을 평가하는 실험이다. 실험방법은 기관을 30분간 난기시켜서 기관수온과 유온의 온도를 80℃로 유지하고 배기 온도를 450℃로 일정하게 유지하며 공연비를 15.2 에서 14.0으로 변화시키면서 실험하였다. 배기의 공간속도는 40000~50000 hr⁻¹(전환밸브 전개상태)로 유지시키며 2회에 걸쳐서 실시하여 측정오차가 3%미만이면 정식 값으로 채택하였다. 여기서 공간속도란 공간속도=촉매통과 배기량(l/hr)/촉매체적(l) 로 주어지는 값이며, 공간속도가 낮을수록 배기가 촉매내에 머무는 시간이 길어지는 것을 의미한다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 촉매는 Pd+Rh계 촉매사양으로서 체적, 귀금속량 및 열화조건을 다르게하여 정화성능에 미치는 영향을 촉매의 각 사양에 대하여 기관동력계와 가스분석기를 사용하여 실험하였다. Table 4는 실험에 사용된 촉매사양을 나타낸 것이다.

Table 5는 각 촉매에 대한 저온활성실험(T50)결과와 평균정화율의 실험 결과를 나타내고 있다. 저온활성실험에서 T50이란 배기의 50%가 정화되는 온도이며 이 온도를 넘어서면 촉매가 제 성능을 발휘한다. 평균정화율의 결과에서는 공기과잉율 λ 는 1.010~0.990의 범위를 유지하였다.

Table 5와 Fig. 3~6에서 나타난 바와 같이 저온활성성능은 CC35/2.0l > CC35/1.8l > CC25/1.8l >

Table 5 Light-off performance(T50) and average conversion efficiency for Pd+Rh catalysts

Aging	Catalyst	Light-off Test (T50) (°C)			Average Conversion Efficiency (%)		
		HC	CO	NOx	HC	CO	NOx
4 hr	CC35/ 2.0l	261.1	260.8	259.0	99.7	97.7	94.1
	CC35/ 1.8l	268.0	267.5	266.1	99.6	97.1	94.4
	CC25/ 2.0l	294.2	295.5	293.0	99.2	98.1	93.8
	CC25/ 1.8l	287.0	289.8	284.9	99.2	96.7	93.6
50 hr	CC35/ 1.8l	302.2	300.8	296.9	99.7	96.2	96.6
	CC25/ 2.0l	322.2	324.5	321.7	99.1	96.3	95.4

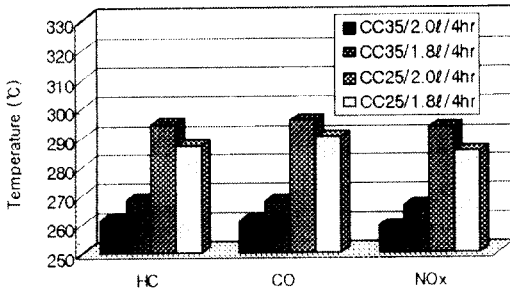


Fig. 3. Light-off performance for HC, CO, Nox between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts at 50% conversion efficiency.

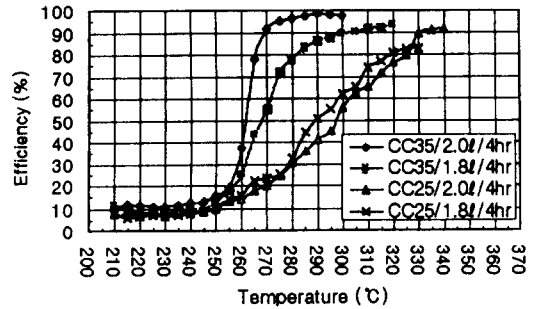


Fig. 5. Light-off performance between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on CO emissions

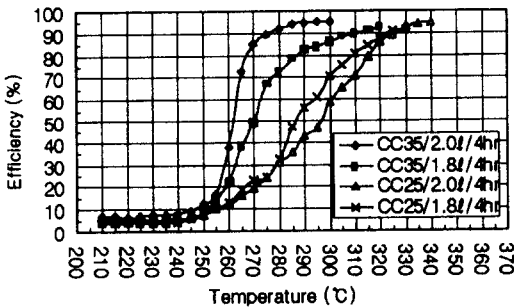


Fig. 4. Light-off performance between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on HC emissions

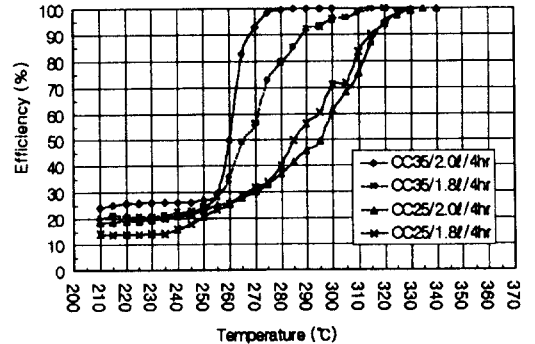


Fig. 6. Light-off performance between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on NOx emissions

CC25/2.0l 순서로 향상되었고, 가장 낮은 저온활성온도는 259~261°C 부근이었으며 가장 높은 저온활성온도는 293~296°C 부근으로 완만하게 온도가 상승하고 있다.

귀금속량이 일정한 상태에서 촉매체적에 따른 배기 저온활성성능을 보면 CC25 촉매에서 체적을 1.8l 에서 2.0l 증대시킨 경우 각 배기에 대한 저온활성온도는 5.7~8.1°C 높아졌고, CC35 촉매에서

체적을 증대시킨 경우(1.8→2.0l)에는 6.7~7.1°C 낮아져 좋아진 것으로 나타났으나 촉매체적 증대로 인한 전반적인 저온활성성능은 유사한 수준인 것으로 나타났다.

체적이 일정한 상태에서 귀금속량에 따른 성능은 일정한 체적 1.8l에서 귀금속량을 2.5 g/l에서 3.5 g/l로 증대시킨 경우 저온활성온도는 18.8~

22.3℃까지 낮아졌다. 2.0 l체적의 경우는 33.1~34.7℃로 크게 낮아져 촉매 귀금속량이 저온활성 성능에 미치는 영향은 매우 크게 나타났다.

상기의 결과를 종합하여 보면 촉매체적에 의한 저온활성 성능은 큰 차이가 없이 유사한 수준을 보였으나 귀금속량의 변화에 의한 차이는 뚜렷하여 약 20~30℃의 향상을 보였다.

Fig. 7~10에 나타난 바와 같이 촉매 열화 성능(4hr→50hr)을 보면 CC25/2.0l 촉매에서는 28~29℃의 저온활성 온도가 높아졌으며, CC35/1.8l 촉매에서는 30.8~34.2℃의 저온활성 온도가 높아졌다.

50시간 열화 실험 결과에서 저온활성 성능은 CC35/1.8l 촉매가 CC25/2.0l 촉매보다 저온활성 온도가 20~24.8℃ 낮아 귀금속량이 열화 성능에 미치는 효과는 큰 것으로 나타났다.

저온활성 성능은 기관냉간시 배기 정화 성능과 관계가 크기 때문에 차량 배기가 냉간시에 대부분

배출되는 것을 고려해보아 저온활성 성능이 우수하면 배출가스 저감 성능과 직결되는바 이를 위해서는 촉매 용량 보다는 귀금속량을 증대시키는 방법이 유효적이라고 생각된다.

Fig. 11~14에 나타난 바와 같이 귀금속량이 일정한 상태에서 촉매체적에 따른 배기의 평균 정화

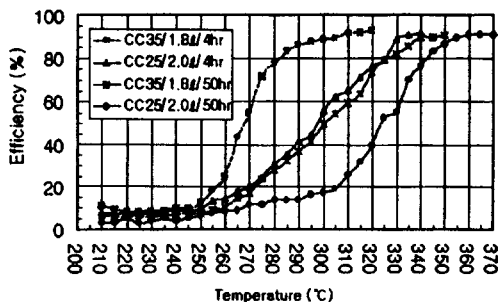


Fig. 9. Light-off performance effects between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on CO emissions

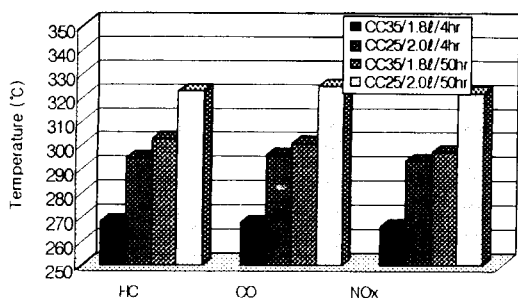


Fig. 7. Light-off performance between 4hr and 50hr aging for HC, CO, NOx in Pd/Rh catalysts at 50% conversion efficiency

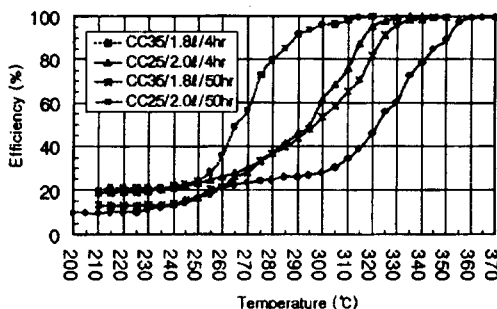


Fig. 10. Light-off performance effects between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on NOx emissions

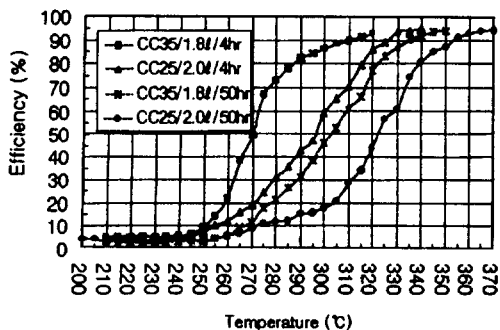


Fig. 8. Light-off performance between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on HC emissions

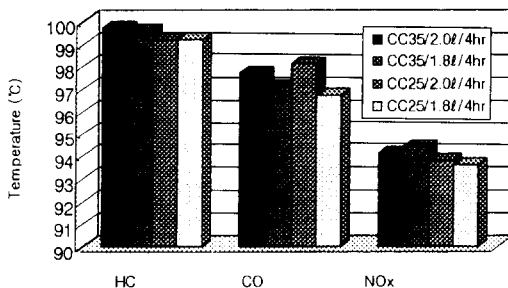


Fig. 11. Average conversion efficiency for HC, CO, NOx between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts during lambda range from 0.990 to 1.010

을 보면 CC25촉매(귀금속량 2.5 g/l)에서 체적을 1.8l에서 2.0l로 증대시켰을 때, HC는 농후한 공연비 영역에서 정화율이 떨어지는 경향이며, NOx는 동일 수준이고 CO는 1.4%까지 향상되었다. CC35촉매(귀금속량 3.5 g/l)의 경우에 HC와

CO는 각각 0.1%, 0.6% 향상 되었으며, NOx는 오히려 0.3% 낮아졌다. 그러므로 촉매의 체적증대는 배기 정화율에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

체적이 일정한 상태에서 촉매 귀금속량을 증대시켰을 때 배기 정화율의 변화를 보면 체적 1.8l일 때 귀금속량을 2.5 g/l에서 3.5 g/l로 높인 경우에 HC, CO 및 NOx는 각각 0.4%, 0.4% 및 0.8% 향상 되었으며, 체적 2.0 l에서는 HC와 NOx가 각각 0.5%와 0.3% 향상되었으나, CO는 0.4% 낮아졌다.

배기별 평균정화율은 각 촉매 모두 HC는 99.4%, CO는 97.4%, NOx는 94% 수준으로 나타나 HC>CO>NOx 순서로 정화율이 높았으며, 특히 HC의 경우 99% 이상으로 효과가 크게 나타났다. 이러한 결과를 종합하면 귀금속량의 증대는 모든 배기 저감에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 15~18에 나타낸 바와 같이 기관동력계에서 4 hr와 50 hr의 촉매 열화 성능을 비교해 보면

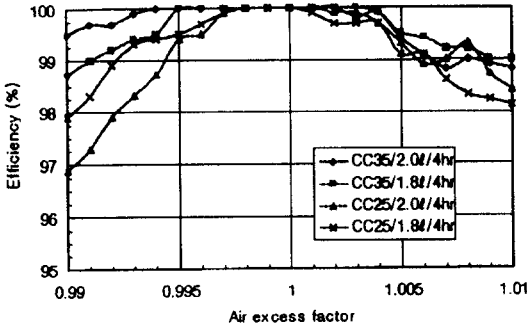


Fig. 12. Conversion efficiency between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on HC emissions

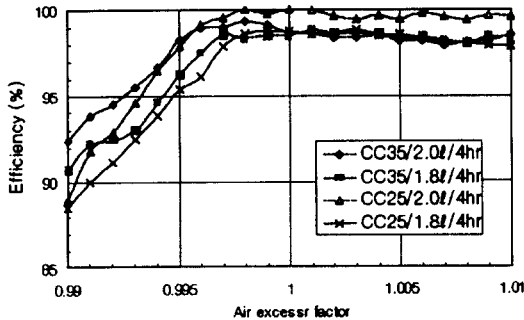


Fig. 13. Conversion efficiency between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on CO emissions

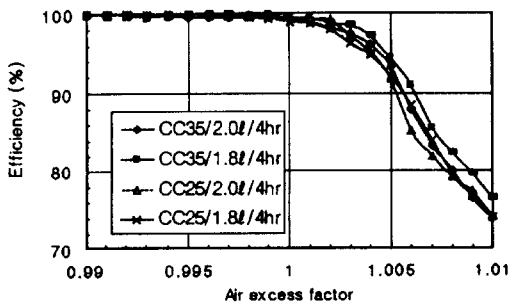


Fig. 14. Conversion efficiency between volume and precious metal loading in 4hr aging Pd/Rh catalysts on HC emissions

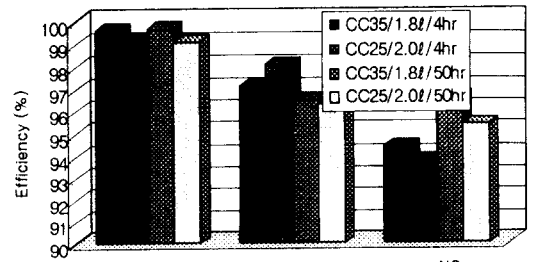


Fig. 15. Average conversion efficiency effects between 4hr and 50hr aging for HC, CO, NOx in Pd/Rh catalysts during lambda range from 0.990 to 1.010

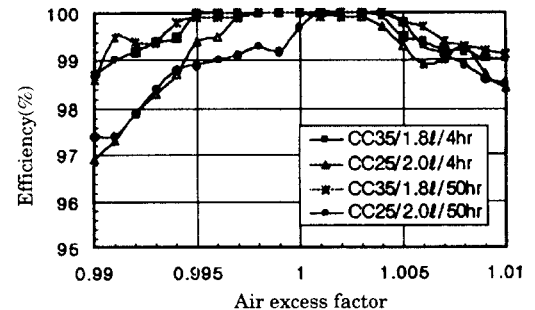


Fig. 16. Conversion efficiency between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on HC emissions

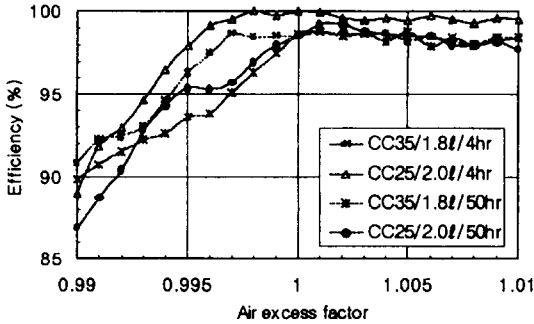


Fig. 17. Conversion efficiency between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on CO emissions

CC25/2.0l촉매에서는 HC의 정화율이 단지 0.1% 떨어져 열화가 되지 않았고, CO는 1.8% 정화율이 낮아졌으며, NOx는 오히려 1.6% 정화율이 향상되었다. CC35/1.8l촉매인 경우 HC는 열화를 보이지 않았고 CO는 0.9% 열화, NOx는 오히려 2.2% 향상되었다.

상기 현상을 종합해 볼 때 Pd+Rh 촉매열화 성능은 HC의 열화가 없었고, CO는 0.9~1.8%의 열화를 보였으며, NOx의 경우는 1.6~2.2%의 정화 성능 향상을 보일 뿐만 아니라 NOx에 대한 열화 성능은 전혀 보이지 않아, HC 및 NOx에 대해서는 내구성이 매우 우수한 촉매특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

50hr 열화시킨 촉매에 대한 성능차이를 보면 CC35/1.8l 촉매는 CC25/2.0l 촉매에 비해 HC는 0.6%, NOx는 1.2% 정화율이 우수하였고, CO는 0.1% 떨어지는 특성을 보였다.

4. 결 론

Pd+Rh 촉매에서 체적과 귀금속량의 변화가 촉매 단품성능에 미치는 영향을 실험적으로 연구한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 촉매체적의 증대(1.8→2.0 l)에 의한 저온활성 성능의 영향은 크게 차이가 없이 유사한 수준을 보였으나, 귀금속량의 증대(2.5→3.5 g/l)에 의한 차이가 뚜렷하여 1.8l 촉매에서는 약 20℃, 2.0 l 촉매에서는 약 34℃가 향상한다. 여기서 귀금속량이 상대적으로 적은 CC25 촉매에서는 체적증가에 따

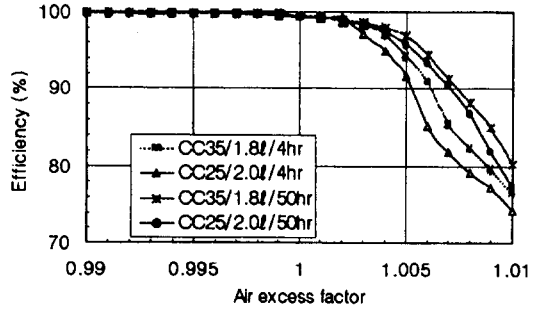


Fig. 18. Conversion efficiency between 4hr and 50hr aging in Pd/Rh catalysts on NOx emissions

라 저온활성온도가 오히려 높아지는 경향이 있다.

2. 배기정화율면에서는 촉매체적의 증대(1.8→2.0l)는 동등한 수준으로 나타났으며 귀금속량의 증대(2.5→3.5 g/l)는 모든 배기저감에 영향을 미친다.

3. 촉매의 주행보증기간에 해당하는 열화성능(4→50 hr)은 약 30℃의 저온활성 온도가 높아졌으며, 정화율성능면에서는 HC 및 NOx에 의한 열화가 거의 없는 우수한 촉매특성을 보였다.

4. 상기의 결과로 보아 Pd+Rh 촉매에서는 촉매체적의 증대보다는 귀금속량을 증가시키는 방법이 배기 저감에 효과적이다.

후 기

“이 논문은 서울산업대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음”

참고문헌

1. Hideaki Muraki, "Performance of Palladium Automotive Catalysts", Toyota Motor Corp., SAE 910842, 1991
2. J.G. Nunan, W.B. Williamson, H.J. Robota, and M.G. Henk, "Impact of Pt-Rh and Pd-Rh Interactions on Performance of Bimetal Catalysts", AlliedSignal Incorporated, SAE 950258, 1995
3. A. Waltner, G. Loose, A. Hirshmann, L. Mubmann, D. Lindner, W. Muller, "Development of Close-coupled Catalyst Systems for European Driving Conditions", Daimler Benz AG, Dagussa

AG, SAE 980663, 1998

4. Carol L. Buhmaster, Robert J. Locker, M. D. Patil, James N. Nagel, and Louis S. Socha, "Evaluation of In-Line Adsorber Technology", Corning Incorporated, SAE 970267, 1997
5. Kimiyoshi Nishizawa, Takashi Yamada, Yasuji Ishizuka, and Toshiaki Inoue, "Technologies for Reducing Cold-Start Emission of V6 ULEVs", Niasn Motor Co., Ltd. SAE 971022, 1997
6. Ronald M. Heck, Robert J. Farrauto, "Catalytic air Pollution Control ", Engelhard Corp. PP. 73 ~ 111, 1995
7. B.J. Cooper, E.R. Becker, T.J. Truex, "Johnson Matthey Automotive Catalyst Technology", Johnson Matthey Corp. SAE 912600, 1991
8. B.H. Engler, G.T. Garr, E.S. Lox, M.G. Jung, "New Automotive Catalyst Development to meet future Emission Standard", Dagussa AG, Ordeg Corp., 1991
9. L.S. Socha, Jr., J.P. Day and E.H. Barnett, "Impact of Catalyst Support Design Parameters on FTP Emissions", Corning Incorporated, SAE 892041, 1989

저 자 소 개



이명호(李明昊)

1955년 8월생, 1984년 경희대학교 기계공학과 졸업, 1986년 경희대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1993년 경희대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1993년~현재 서울산업대학교 기계공학과 조교수



김계윤(金桂潤)

1956년 9월생, 1979년 부산대학교 기계설계학과 졸업, 1999년 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과 졸업, 1999년 현재 현대자동차(株) 차장