

노후 특수·화물 차량 PM/NO_x 저감을 위한 SDPF 촉매 및 코팅 기술 연구

정관형* · 서필원* · 오형석* · 김종국* · 강소연* · 강정호** · 김현준** · 신병선*,[†]

*(주)세라컴 기술연구소 촉매개발팀, **한국자동차연구원 파워트레인연구본부 동력성능연구센터
(2021년 10월 7일 접수, 2021년 11월 3일 수정, 2021년 11월 17일 채택)

A Study on Selective Catalytic Reduction on Diesel Particulate Filter Catalyst and Coating Technology the Removal of Particulate Matters and NO_x for Old Special Cargo Vehicles

Kwanhyoung Jeong*, Philwon Seo*, Hungsuk Oh*, Jongkook Kim*, Soyeon Kang*, Jeongho Kang**, Hyunjun Kim**
and Byeongseon Shin*,[†]

*Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea

**Powertrain Efficiency R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, Asan 31214, Republic of Korea

(Received October 7, 2021; Revised November 3, 2021; Accepted November 17, 2021)

초 록

본 연구에서는, 노후된 엔진을 사용하는 트럭 및 특수차량에서 배출되는 NO_x 및 PM을 동시에 제거하기 위해 SDPF 후처리 시스템을 연구를 수행하였다. 우선, SDPF의 SCR 촉매를 선정하기 위해서, V/TiO₂와 Cu-zeolite 촉매의 de-NO_x 성능을 비교하였으며, SCR 촉매특성분석은 BET, XRD 및 NH₃-TPD를 통해 분석하였다. 촉매 활성시험 결과, Cu-zeolite 촉매가 가장 우수한 내열성을 보여주었다. 최적의 SDPF 코팅을 위해서, 목표로 설정된 입자 크기에 맞추어 슬러리를 제조하였다. SCR 코팅량에 따른 SDPF의 코팅안정성과 배압 결과, SDPF 촉매를 로딩량별로 A, B, C 샘플을 제작하여 코팅안정성과 배압 및 de-NO_x 성능을 비교한 결과 B 샘플에서에서 가장 우수한 결과를 보였다. 최적 SDPF 후처리 시스템에 대해 엔진동력계 시험을 실시하였으며, 시험결과 Eu-5 규제를 만족하였다.

Abstract

In this study, Selective Catalytic Reduction on Diesel Particulate Filter (SDPF) after-treatment system was introduced to simultaneously remove NO_x and Particulate Matters (PM) emitted from trucks and special cargo vehicles using old engine. First, in order to select an Selective Catalytic Reduction (SCR) catalyst for SDPF, the de-NO_x performance of V/TiO₂ and Cu-Zeolite catalysts were compared, and the SCR catalyst characteristics were analyzed through Brunauer Emmett Teller (BET), X-ray Diffraction (XRD) and NH₃-TPD (Temperature Programmed Desorption). From the activity test results, the Cu-zeolite catalyst showed the best thermal stability. For optimal coating of SDPF, slurry was prepared according to the target particle size. From the coating stability and back pressure test results of SDPF according to the amount of SCR coating, As a result of comparing coating stability, back pressure, and de-NO_x performance by producing A, B, and C samples for each loading amount of the SDPF catalyst, the best results were found in the B sample. The engine dynamometer test was conducted for the optimal SDPF after-treatment system, and the test results satisfied Eu-5 regulations.

Keywords: Selective catalytic reduction on diesel particulate filter, Selective catalytic reduction, Particulate matters, NO_x, Cu-Zeolite

1. 서 론

최근 자동차 시장은 내연기관 엔진의 배기가스 환경문제로 인해 강력한 대기환경 규제가 적용 중에 있다. 이로 인해 제작차에서는 대기 환경 규제를 만족하면서, 환경 친화적인 전기의 비중이 점점 증가하

고 있으며, 연료에서 CO₂ 및 유해가스를 배출하지 않는 수소차에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 운행시간이 많고 고출력을 요구하는 중대형 화물차 및 건설기계, 군용차, 특수자동차(크레인차, 콘트리트믹서, 렉카, 견인차) 등의 운행차는 여전히 디젤 엔진을 사용하고 있으며, 다양한 특수 구조물을 부착하고 있어 폐차 또는 LPG 엔진으로의 전환이 쉽지 않다. 이러한 노후 특수·화물차는 타 차량에 비하여 전체 대기오염 기여도가 심각하여 많은 문제를 야기하고 있다[1,2].

현재 우리나라는 대기환경보전법을 통해 디젤 차량에서 발생하는 Carbon Oxide (CO), Hydro Carbon (HC), Particle matter (PM)에 대한 규제를 시행 중에 있으며, 규제 만족을 위해 노후 디젤엔진 차량에

[†] Corresponding Author: Ceracomb Company LTD.
Research & Development Department, Asan 31532, Republic of Korea
Tel: +82-41-531-0657 e-mail: sbs@ceracomb.co.kr

Table 1. Experimental Conditions in a Fixed Bed Reactor

Temperature (°C)	140~350	
Inlet gas condition	NH ₃	460 ppm
	NO _x	460 ppm
	O ₂	5%
	CO ₂	9.5%
	H ₂ O	5%
	N ₂	Balance
Space Velocity(hr ⁻¹)	50,000	

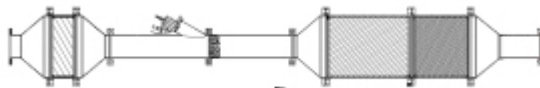


Figure 1. Scheme of SDPF system (DOC/SDPF/SCR/AOC).

Diesel Oxidation Catalyst (DOC), Diesel Particulate Filter (DPF)를 부착하는 배출가스 저감사업이 시행 중에 있다. 한편, 노후 차량의 질소 산화물(NO_x)을 저감할 수 있는 Selectivity Catalytic Reduction (SCR) 촉매 및 기술은 일부 디젤 차량에 적용 중에 있으나, DOC, DPF 이후에 환원제 분사 장치 및 SCR 촉매 기술을 적용하기 위한 공간 부족 및 추가 장치 부착으로 인한 압력 상승으로 장착 가능한 차량이 매우 제한적이다[3-6].

이러한 노후 특수·화물차량의 PM 및 NO_x를 제거하면서 장착 공간 확보를 위해서는 완성차 중 일부 차량에 적용중인 SCR on Diesel Particulate Filter (SDPF) 후처리 시스템이 대안이 될 수 있다. SDPF 기술은 배출가스에 포함된 PM이 DPF에 의해 포집되고, DPF에 코팅된 SCR 촉매에 의해 NO_x를 제거하는 기술로서, DPF와 SCR의 기능이 동시에 부여된 새로운 기술이다.

현재 PM을 제거하기 위해 적용되고 있는 DPF는 후처리장치의 배압을 상승을 야기하며, 이는 엔진 출력 및 연비에 문제를 발생한다 [7,8]. 따라서 DPF에 SCR 촉매가 코팅이 되면 DPF만 사용하였을 경우보다 배압 상승이 더 크기 때문에, SDPF의 배압을 최소화하기 위하여 높은 기공률을 가진 DPF에 SCR 촉매를 코팅해야 하며, 활성물질을 DPF 기공 내부로 침투시켜 코팅면적이 균일하고 얇게 코팅하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 SDPF에 적용하는 최적 SCR 촉매를 선정하기 위해 SCR 촉매의 특성 평가 및 촉매 활성평가를 실시하였다. 또한 최적 SDPF 설계를 위해 슬러리의 제조 방법 및 코팅방법에 따른 샘플을 제조하고 최종적으로 Eu-3 규제차량에 해당하는 엔진에 장착하여 Eu-5 규제에 만족시키기 위해 SDPF 시스템의 배압, 및 NO_x 저감 효율을 분석하였다.

2. 실험

2.1. 촉매 선정 및 특성평가

본 연구에서는 SDPF의 코팅물질로 일반적인 SCR 촉매로 잘 알려진 V/TiO₂와 Cu-zeolite를 촉매 물질로 사용하여 내열성 및 촉매 특성 평가를 실시한 후 선정된 촉매를 SCR 코팅에 사용하였다. V/TiO₂ 촉매는 T社의 TiO₂에 바나듐을 함침하여 V/TiO₂를 제조하였으며, Zeolite는 Z社의 Cu-zeolite를 이용하여 coating slurry를 제조하였다.

Table 2. Specification of D6CB 711254 Engine

Specification	Data
Model	D6DB 711254
Number of cylinders	6
Engine (cc)	6,606
Rated output (ps)	235 @2500rpm
Maximum toqu e(Nm)	686 @1660rpm
Vehicle type	Mega Truck
Emission regulation	Euro-3

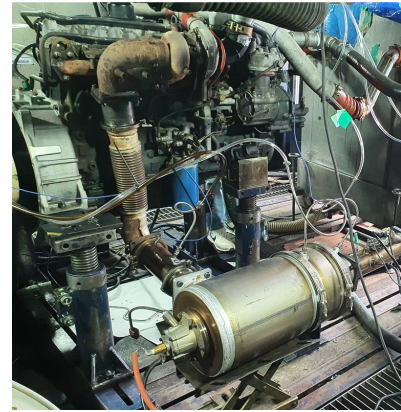


Figure 2. Photograph of the D6DB engine.

코팅에 사용한 허니컴은 지름 10.5 inch, 높이 4 inch, 400 cell 제품을 사용하였으며, 허니컴에 촉매 슬러리를 담지량 별로 코팅하여 샘플을 제작하였다. 제작된 샘플의 DeNO_x 성능 평가는 Ø1inch x 3 inch로 상기 촉매를 컷팅하여 디젤엔진에서 배출되는 가스를 모사하여 승온 시험을 실시하였다. 가스 분석은 HORIBA社의 FT-IR (FTX-ONE-CS)로 실시하였다. SCR 촉매의 deNO_x 시험 조건을 Table 1에 나타냈다.

촉매 물질인 Cu-zeolite와 V/TiO₂에 대하여 내열성을 확인하기 위하여 Hydro Thermal Aging (HTA)을 실시하였다. Fresh 및 HTA의 Cu-zeolite에 대하여 BET, XRD, NH₃-TPD 분석을 실시하여 비표면적, 화학구조, 암모니아 흡장량 등의 비교를 실시하였다.

BET는 Micrometric社의 ASAP2460 모델을 사용하였으며, 0.5 g의 시료를 cell에 장착하고, 200 °C에서 8 h 동안 전처리 과정을 거친 후에 adsorption과 desorption 데이터를 얻었다. 최종 시료의 비표면적은 BET 방법을 이용하여 계산하였다[9].

XRD는 Rigaku社의 D/MAX-II 모델을 사용하였으며, Radiation source로는 Cu Kα (λ = 1.5056 Å)가 사용되었으며, monochromator는 사용하지 않았다. 2θ는 10~90°의 범위에서 6 °/min의 주사속도에 의하여 측정되었다.

SCR 촉매의 암모니아의 흡장 능력을 평가하기 위해 NH₃-TPD (Temperature Programmed Desorption) 분석을 실시하였다. 시료를 He 분위기에서 300 °C에서 1 h 유지하여 전처리를 실시하였으며, 5% 암모니아 가스를 이용하여 50ml/min 흐름 하에 30 min 동안 100 °C에서 암모니아를 흡착한 후 50ml/min의 헬륨을 30 min 동안 흘려 시료에 물리 흡착된 암모니아를 탈착시켰다. 이후 암모니아를 흡착된 시료에 헬륨을 50ml/min로 흘려주면서 10 °C/min의 승온 속도로 550 °C까지 증가시켜 탈착되는 암모니아를 측정하였다.

Table 3. BET result of Cu-zeolite & V/TiO₂

Condition	Cu-zeolite		V/TiO ₂	
	Fresh	HTA	Fresh	HTA
Surface area (m ² /g)	501	481	85	45

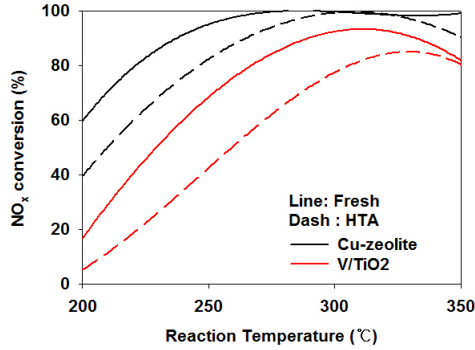


Figure 3. The effect of temperature on NO_x conversion over V/TiO₂ and Cu-zeolite catalyst.

2.2. SDPF 코팅 Slurry 제조 및 코팅

SDPF에 사용되는 DPF는 촉매 물질이 원활하게 DPF의 기공으로 침투하여야 촉매로 인한 배압의 증가를 최소화 시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SCR 촉매가 honeycomb 기공으로 원활하게 침투될 수 있도록 촉매의 입도를 조절하여 코팅 slurry를 제조하였다. 촉매 코팅에 사용된 허니컴 사이즈는 직경 10.5 inch, 높이 12 inch, 200cell 코디어라이트 허니컴이며, 촉매 슬러리 조건 및 코팅방법에 따른 코팅성을 비교하고, SuperFlow社의 SF-1020을 사용하여 SDPF의 배압을 측정하였다.

2.3. 시스템 제작 및 동력계 시험

2.3.1. 시스템 제작

동력계 시험을 실시하기 위하여 SDPF 후처리 장치 시스템을 설계하였다. Euro-5 배출가스 규제를 만족하기 위하여 DOC+SDPF+SCR+AOC 순서로 시스템을 구성하였으며, SCR 반응의 환원제인 요소수는 SDPF 전단에 분사노즐 및 Mixer를 장착하여 분사하였다. 하기 Figure 1에 SDPF 시스템의 개략도를 나타내었다.

2.3.2. 동력계

SDPF 후처리시스템의 배압과 deNO_x 성능을 확인하기 위하여, 엔진 동력계를 이용하여 시험을 실시하였다. 사용된 엔진은 6,606 cc, 최대출력 235 ps, 최대토크 686 Nm의 제원을 갖는 Euro-3 K엔진을 사용하였다(Figure 2). 시험에 사용된 엔진 제원은 Table 2에 나타내었으며, 경유차 배출가스 인증시험방법인 ND-13 mode에서 실시하였다.

3. 결 과

3.1. SCR 활성물질에 따른 deNO_x 특성

SDPF 코팅용으로 사용할 촉매의 선정을 위하여 고정층 반응기에서 디젤엔진 배출 모사가스를 이용하여 온도에 따른 촉매 활성 실험을 수행하였다. 또한, 촉매의 내열성을 평가하기 위해 수분을 포함한 고

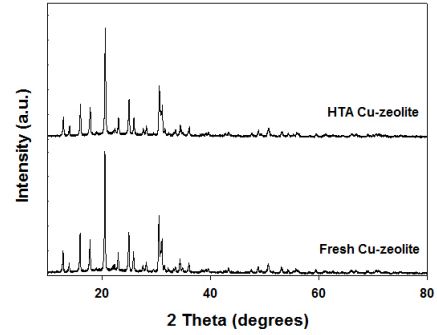


Figure 4. XRD result of Cu-zeolite.

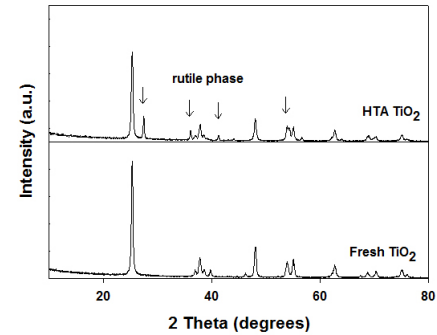


Figure 5. XRD result of TiO₂.

온에서 촉매 aging을 진행하여 성능을 비교하였다. 이때, Cu-zeolite의 경우 750 °C에서 aging을 실시하였고, V/TiO₂는 600 °C에서 aging을 실시하였다. 시험결과 fresh 및 aging 상태의 촉매에서 모두 Cu-zeolite의 deNO_x 성능이 우수하였으며, aging 후에도 Cu-zeolite가 V/TiO₂에 비해 비교적 낮은 성능 저감을 나타내었다(Figure 3).

Cu-zeolite 촉매가 V/TiO₂ 촉매에 비하여 fresh 및 HTA 이후에도 우수한 활성을 나타내는 원인을 확인하기 위하여, fresh 및 HTA 샘플에 대해 BET, XRD, NH₃-TPD 촉매 특성 분석을 실시하였다.

Table 3에는 Cu-zeolite, V/TiO₂의 fresh, HTA 샘플 surface area 측정 결과를 나타내었다. Cu-zeolite의 경우 Fresh 상태의 surface area는 501 m²/g이었으며 HTA 이후에는 481 m²/g로 약 4%의 비표면적이 감소하였다. 하지만 V/TiO₂의 경우에는 HTA 전후로 비표면적감소가 약 47%가 감소하였다.

한편, zeolite와 TiO₂에 대하여 XRD 분석을 실시하여 Figure 4 및 Figure 5에 나타내었다. 그림에서처럼 zeolite는 HTA 이후에도 zeolite가 가지고 있는 고유의 frame work가 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 TiO₂의 경우에는 HTA 이후에 결정상이 성장하며 rutile로의 상전이가 발생하고 있음을 알 수 있다. TiO₂ 촉매에서 rutile로의 TiO₂ 상전이가 일어나면 촉매활성이 감소하는 것으로 알려져 있으며, 이는 촉매 비표면적의 감소에 기인한다. 촉매의 비표면적이 감소하게 되면, 반응물이 반응할 수 있는 site의 감소로 인하여 활성이 감소할 수 있다. 따라서 상기 BET 분석결과에서 HTA 이후에 TiO₂의 비표면적이 크게 감소한 것 역시 TiO₂의 상전이에 기인한 것으로 판단된다.

상기 두 종류의 촉매에 대하여 암모니아의 흡장 능력을 확인하기 위하여 NH₃-TPD를 분석하여 Figure 6에 나타내었다. 그림에서처럼 fresh 및 HTA 샘플에서 V/TiO₂ 보다 Cu-zeolite의 암모니아 흡장 능력

Table 4. The Result of Measuring the Back Pressure According to the SDPF Loading Amount

Loading	Back pressure (cfm)			
	50	100	150	200
A g/L	2.11	4.81	8.10	12.10
B g/L	1.81	3.99	7.02	11.02
C g/L	1.71	3.98	6.98	10.98

이 우수한 것을 확인할 수 있었다. Cu-zeolite는 저온에서 암모니아 흡착에 용이한 특성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다[10]. 따라서 Cu-zeolite 촉매에서의 NH₃와 NO_x의 반응에 참여하지 않는 암모니아를 흡착시킨 후 탈착시킴으로써 동력계 시험 시 암모니아 slip양을 최소화하고 deNO_x 성능을 향상시킬 것이라고 예상할 수 있다.

SDPF에 포집된 PM은 버너를 통해 산화시키는데, PM 산화 시 반응열에 의해 촉매의 온도가 700 °C 이상으로 높게 올라간다. 따라서 SDPF에 적용될 촉매는 이러한 높은 온도에 견딜 수 있는 우수한 열내구성이 필요하다. Cu-zeolite 촉매는 deNO_x 성능, 내열성, 암모니아 흡착 능력이 V/TiO₂ 촉매에 비하여 우수하여 SDPF 촉매로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

3.2. SDPF 촉매 loading량에 따른 deNO_x 및 배압 특성

SDPF는 SCR 촉매의 부피 감소 또는 SCR 촉매 자체를 배제하는 기술이므로, SCR 촉매의 기능을 SDPF가 대신하기 위해서는 deNO_x 성능이 우수해야 한다. 한편, SDPF에 코팅되는 촉매의 양은 deNO_x 성능에 비례하게 되는데, 코팅양이 증가할수록 배압은 상승하게 되므로 SDPF에 코팅할 SCR 촉매는 반응 온도에서 우수한 deNO_x 성능이 요구된다. 따라서 상기 연구에서 deNO_x 활성이 우수한 Cu-zeolite를 SDPF 코팅 물질로 선정하였다.

코팅 시험에 사용한 DPF의 pore size는 target size로 zeolite의 입도를 조절하여 DPF pore 내부로 주입시키기 위해 ball mill을 사용하였다. Milling 시간에 따른 Cu-zeolite의 입도를 Figure 7에 나타내었다. 12 h 이상 milling시에 target size 이하의 입도를 나타낸 것으로 확인되었으며, 코팅에 사용할 zeolite는 12 h 밀링하여 DPF의 기공 내부로 침투가 용이하게 조절하였다.

SDPF의 loading량에 따른 촉매 코팅성 및 배압을 확인하기 위하여 시험용 코팅 샘플을 제작하였다. 촉매 로딩량은 A, B, C g/L로 점차 감소시키며 총 3가지 샘플을 제작하였으며, 제작 샘플의 코팅성 및 배압을 확인하기 위해 SEM 분석과 배압 측정 시험을 실시하였다.

Figure 8에 해당 시편의 SEM 분석 결과를 나타내었으며, 촉매 로딩량이 증가할수록 코팅두께가 두꺼워지며, A g/L로 증가할 시 셀 표면으로 촉매가 코팅되어 셀 내부 공간을 감소시켰음을 확인할 수 있다. Table 4에는 해당 시편에 대한 배압을 측정하여 그 결과를 나타내었으며, 코팅 두께가 두꺼운 A g/L에서 급격하게 배압이 증가함을 확인하였다. 따라서 코팅 면적 대비 특정 lading량 이상 촉매가 코팅되면 DPF의 기공 및 셀 내부 공간을 촉매가 막기 때문에 배압이 상승하기 때문에 코팅할 촉매의 입도 조절을 통해 DPF 기공으로 촉매를 많이 침투시켜야 하며, 과량의 촉매 코팅으로 인한 셀 표면으로의 촉매 노출은 배압을 증가시키기 때문에 DPF 기공 크기 및 기공율에 따라 최적의 촉매 사이즈 및 로딩량이 존재할 것으로 판단된다. 따라서, DPF 기공크기 및 기공율특성을 고려하여, SDPF 촉매의 loading량은 B g/L를 선정하였다.

3.3. 동력계 시험 결과

상기 시험을 통해 최적 촉매 및 코팅 양으로 선정된 연구 내용을 바

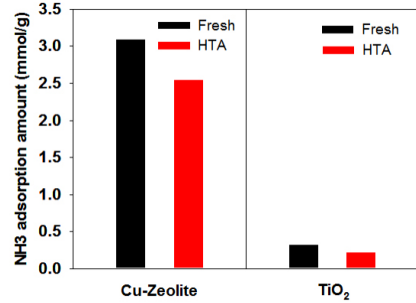


Figure 6. NH₃ adsorption amount result of Cu-zeolite (Left), TiO₂ (Right).

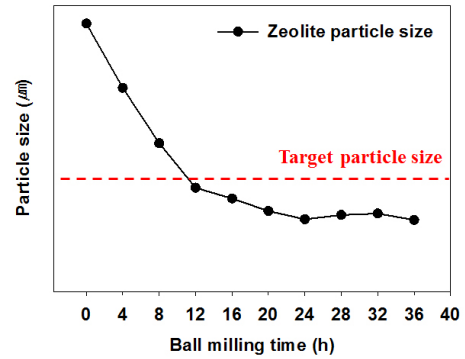


Figure 7. Results of particle size according to zeolite milling time.

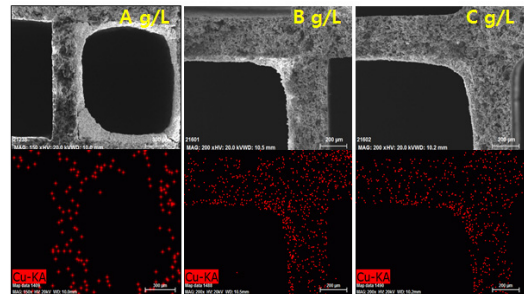


Figure 8. Coating SDPF SEM(up) & Cu mapping(down) image.

탕으로 하여 SDPF 후처리 시스템을 제작하였으며, 제작된 후처리 시스템을 이용하여 동력계 시험을 실시하였다. 후처리시스템은 버너를 포함한 DOC+SDPF+SCR+AOC 촉매이며, SCR은 기존 12인치를 사용하는 표준 타입에서 4인치 타입으로 촉매의 양을 약 67% 감소시켰다. SDPF에 코팅되는 촉매의 양은 배압과 성능을 고려하여 B g/L 사양으로 제작하였다. 엔진 동력계에서 deNO_x 및 배압 측정을 ND-13 mode에서 실시하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 엔진 동력계에서의 모드 시험은 각 모드별로 엔진의 출력이 다르기 때문에 배가스의 온도 및 유량 역시 모드별로 각기 다르게 나타난다. 시험 결과, 10 mode에서 배압이 245.6 mbar로 가장 높게 측정되었으며, NO_x 배출 총량과 배압 및 CO, THC, NO_x 등 Eu-5 규제에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

노후 디젤 자동차에 배출가스 중의 PM 포집 기능과 SCR 기능이 동시에 부여된 SDPF 시스템에 있어서, SDPF에 적용 가능한 촉매 및

Table 5. Vehicle Engine Dynamometer Experiment Results

mode	Speed (rpm)	Torque (Nm)	Air mass flow rate (kg/h)	ΔP (mbar)	THC (ppmC)	CO (ppm)	NOx (ppm)
1	650	9.2	123.3	11.3	8.93	4.85	135.44
2	1633	674.0	566.2	96.7	10.93	9.32	221.34
3	2007	359.5	539.5	99.5	7.81	7.70	54.65
4	2007	540.3	646.8	139.8	7.37	7.95	70.05
5	1633	355.0	402.0	67.9	6.94	8.17	54.94
6	1633	532.5	481.5	90.7	6.58	8.28	89.11
7	1633	177.4	348.2	52.3	7.25	7.24	43.34
8	2007	667.2	723.0	174.8	7.13	8.09	87.56
9	2007	179.9	441.4	75.7	7.45	7.02	25.34
10	2383	651.3	865.0	245.6	7.47	8.54	66.35
11	2383	178.3	544.5	100.9	7.50	8.20	45.40
12	2383	533.8	783.4	192.3	8.16	8.89	77.00
13	2383	356.4	651.5	137.4	7.80	9.35	85.95

로딩양에 대한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SDPF에서 요구 되어지는 내열성이 우수한 촉매를 선정하기 위하여 V/TiO₂와 Cu-zeolite 촉매를 이용하여 모사가스 시험을 실시하였으며, fresh 및 HTA에서 모두 Cu-zeolite 촉매의 활성이 우수하였다.
- 2) Cu-zeolite fresh 및 HTA 촉매의 특성을 분석한 결과, 수분을 포함한 고온에 장시간 노출하였음에도 비표면적 및 암모니아 흡착량이 크게 감소하지 않았으며, zeolite 고유의 구조 또한 유지되는 것을 확인하였다.
- 2) Cu-zeolite를 DPF에 코팅하기 위하여 불밀을 통한 촉매의 입도를 조절하여 코팅 슬러리를 제조하였으며, 촉매 로딩양이 증가함에 따라 배압이 상승함을 확인하였다.
- 3) K엔진을 이용한 SDPF 후처리시스템의 동력계 시험을 위하여 버너를 포함한 DOC+SDPF+SCR+AOC 시스템을 제작하였으며, ND-13 mode에서 후처리시스템의 배압 및 배출되는 NO_x를 분석한 결과, Eu-5 규제를 만족하는 것을 확인하였다.
- 4) 본 연구 결과를 통해 확인된 촉매 및 코팅 특성은 향후 디젤엔진 SDPF 후처리시스템의 기초 설계 데이터로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. (No. 20009414)

References

1. J. Ha and D. Kim, The Technology Trend of Particulate Material Reducing System for Diesel Engine, *Transactions of KSAE*, **3**, 1428-1435 (2008).
2. H. Lee, J. Kang, C. Lee, B. Kim, M. Lyu, K. K. Lier, and J. Lyu, The Characteristics of diesel oxidation catalyst due to Aging, *KSAE Spring Conference Proceedings*, **2**, 338-343 (2000).
3. P. Forzatti, Present status, and perspectives in de-NO_x SCR catalysis, *Appl. Catal. A:Gen.*, **222**, 2, 221-236 (2001).
4. S. Park, K. Lee, and S. Cho, Catalytic Technology for NO_x abatement using Ammonia, *Clean Technol.*, **22**, 211-224 (2016).
5. K. Nam, Y. Kang, and S. Hong, A Study on the Reaction Characteristics and Efficiency Improvement of High-temperature

SCR Catalyst, *Appl. Chem. Eng.*, **26**, 666-673 (2015).

6. J. Czerwinski, Y. Zimmerli, A. Mayer, G. D'Urbano, and D. Zurcher, Emission Reduction with Diesel Particle Filter with SCR Coating(SDPF), *Emiss. Control Sci. Technol.*, **1**, 151-166 (2015).
7. H. Rye, G. Park, Y. Jeong, H. Jung, S. Yi, Y. Kim, K. Kim, J. Lee, and S. Lee, A Study on the PM/NO_x Reduction and the Back Pressure Characteristics of SDPF for Road Construction Equipment Vehicles, *Transactions of KSAE*, **28**, 345-351 (2020).
8. F. Marchitti, I. Nova, and E. Tronconi, Experimental study of the interaction between soot combustion and NH₃-SCR reactivity over a Cu-Zeolite SDPF catalyst, *Catal. Today*, **3**, 110-118 (2016).
9. B. Liu, Y. Zheng, N. Hu, T. Gui, Y. Li, F. Zhang, R. Zhou, X. Chen, and H. Kita, Synthesis of low-silica CHA zeolite chabazite in fluoride media without organic structural directing agents and zeolites, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **3**, 270-276 (2014).
10. J. Wang, H. Zhao, G. Haller, and Y. Li, Recent advances in the selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ on Cu-Chabazite catalyst, *Appl. Catal. B: Environ.*, **3**, 346-354 (2017).

Authors

Kwanhyoung Jeong; M.Sc., Assistant Manager, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; jkh@ceracomb.co.kr

Philwon Seo; Ph.D., General Manager, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; seopw@ceracomb.co.kr

Hungsuk Oh; M.Sc., Deputy General Manager, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; ohs@ceracomb.co.kr

Jongkook Kim; B.Sc., Manager, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; kjk@ceracomb.co.kr

Soyeon Kang; M.Sc., Staff, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; kangsy@ceracomb.co.kr

Jeongho Kang; Ph.D., Chief Engineer, Powertrain Efficiency R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, Asan 31214, Republic of Korea; jhkang@katech.re.kr

Hyunjun Kim; Ph.D., Powertrain Efficiency R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, Asan 31214, Republic of Korea; hjkim@katech.re.kr

Byeongseon Shin; Ph.D., Managing Director, Research & Development Department, Ceracomb Company, LTD., Asan 31532, Republic of Korea; sbs@ceracomb.co.kr