

조촉매와 수소농도에 따른 수소-선택적 인자촉매 활성 촉매의 De-NOx 성능 개선

서충길

호원대학교 자동차기계공학과

e-mail:ckseo@howon.ac.kr

Improvement of De-NOx Performance of H₂-SCR Catalyst according to Additive Catalysts and Hydrogen Concentration

Choong-Kil Seo*

Dept. of Automotive & Mechanical Engineering, Howon University

요약

최근에 COVID-19 전염병과 더불어 미세먼지, 황사 등으로 대기 질이 악화되어 생활 속 고통이 심화되고 있다. 자연의 무분별한 개발과 산업화의 가속화 및 화석연료 사용이 증가함이기 때문이다. 아직까지도 자동차의 내연기관이 차지하는 비중은 크며, 미세먼지 및 대기환경 오염과 인체의 유해성으로 인하여 대기환경규제가 엄격해지고 있다. 이 연구는 배출되는 배기ガ스 온도가 낮은 가정·산업용 보일러 등에 적용이 가능한 H₂-SCR 촉매의 NOx 저감 저온활성 개선을 위한 것이다. 조촉매 담지에 따른 De-NOx 성능을 파악한 결과 2번 0.5Pt-2CeO₂-2ZrO₂/TiO₂ SCR 촉매가 100°C 이하 저온에서 de-NOx 성능이 가장 높았다. 0.5Pt-2CeO₂/TiO₂ (H₂ 1%) SCR 촉매는 온도 125°C에서 약 62% NOx 저감 성능과 200°C까지 NOx 전환 윈도우가 넓게 분포되면서 가장 높은 NOx 저감 성능을 나타냈다.

1. 서론

최근에 COVID-19 전염병과 더불어 미세먼지, 황사 등으로 대기 질이 악화되어 생활 속 고통이 심화되고 있다. 자연의 무분별한 개발과 산업화의 가속화 및 화석연료 사용이 증가함이기 때문이다. 지구온난화, 지구환경 폐해 등 이에 대한 문제가 계속적으로 제기되어왔지만 이를 해결하기 위해서는 제도 강화, 기술 혁신 및 화석연료 사용을 줄이는 종합적인 대책이 필요할 것 같다. 전 글로벌적으로 탄소 중립을 실현하기 위해 친환경 미래자동차(EV, FCEV)개발과 상용화가 진행되고 있다. 최근에는 자동차 생산부터 폐차까지 모든 과정에서 전생애주기평가(Life-Cycle Assessment, 이하 LCA) 기준을 바탕으로 자동차 환경 영향을 평가하는 기법을 마련하고 있다. 유럽연합은 LCA 기준안을 수립하고, 유로 7 배출 가스 규제를 적용할 계획이다. LCA에 환경 영향 평가를 대비하여 고성능·저비용 친환경자동차와 열효율이 높고 대체에너지를 이용한 내연기관 자동차의 종합적인 연구개발로 탄소 중립을 구현해야 한다.

아직까지도 자동차 내연기관이 차지하는 비중이 큰 상황에서 미세먼지 및 대기환경 오염과 인체의 유해성으로 인하여 대기환경규제가 엄격해지고 있다. 자동차, 건설기계, 선박 및 가정용 보일러에 대한 규제가 강화되고 있으며, 최근에는 대

기관리권역 전국 확대로 지역 맞춤형 대기 질을 관리하고 있다 [1]. 미래는 수소경제가 도래하며 가장 청정한 에너지원인 수소(H₂)를 생성시키고 활용하는 기술이 각광을 받고 있으며, 이에 관한 연구는 의의가 있다. 또한 H₂를 이용하여 NOx 또는 CO 유해가스를 저감시키는 기초 연구들이 진행되어 왔다 [2]. 그러나 기존의 SCR [3] 촉매는 저온에서 활성화 되지 않아 배출되는 유해가스의 저감이 어려웠다. 하지만 친환경에너지원인 H₂를 이용하여 저온에서 NOx, CO 가스를 저감시킬 수 있다면 현재 내연기관이 차지하는 비중이 높기 때문에 활용이 가능하다. 특히 150°C 이하 배기조건의 가정용 보일러 등에 적용할 수 있다.

이 연구는 H₂-SCR 촉매의 조촉매와 수소농도에 따른 NOx의 저감 저온활성 개선을 위한 것이다.

2. 실험장치 및 방법

제조된 H₂-SCR 촉매는 합침법(imregnation method)을 이용하여 제조하였다. 촉매 담체 코어는 원통형으로 사이즈는 내경과 길이가 18*17mm, 4.3cc 체적으로 400CPSI이다. 제조한 SCR 촉매의 코팅량은 약 100g/L이며, 담체(substrate, 400CPSI: Cell Per Square Inch)에 소정의 촉매와 조촉매를 물질을 담지하였고, 500°C에서 3h 동안 공기로 소성하였다.

H_2 5%를 이용하여 조건에 따라 400°C, 500°C 및 600°C에서 1hr 환원 처리하였다. SCR 촉매의 성능 평가를 위한 모델가스반응장치의 가스성분과 농도는 표 1에 나타내었다. 모델가스반응장치는 가스공급부, 촉매반응부, 제어장치와 분석장치로 구성된다. 촉매 반응 후 배출된 가스는 가스분석기 (VarioPlus Industrial, MRU Instruments, Inc.)를 이용하여 정량적으로 분석하였다.

[표 1] H_2 -SCR 촉매의 성능 평가를 위한 모델가스성분

Gas components	Concentration
NO(ppm)	500
CO(ppm)	700
O ₂ (%)	5
H ₂ (%)	1
H ₂ O(%)	1.5
N ₂	Balance
SV(h ⁻¹)	28,000

3. 조촉매와 H_2 농도에 따른 De-NOx 성능

그림 1은 조촉매 담지에 따른 De-NOx 성능을 나타내고 있다. 400°C에서 환원처리 한 H_2 -SCR 촉매에 비해 전반적으로 촉매온도 75°C, 100°C에서 NOx 전환율이 17%, 15% 저하되는 경향을 나타내고 있다. 이는 환원 온도 및 조촉매 담지에 따른 영향 일 수 있다. 그 중 2번 0.5Pt-2CeO₂-2ZrO₂/TiO₂ SCR 촉매가 100°C 이하에서 저온에서 de-NOx 성능이 가장 높다. 또한 란탄계열 란탄(La)이 담지된 3번 0.5Pt-2CeO₂-2La/TiO₂ 촉매는 150°C에서 67%, 전체 온도영역에서 NOx 전환율이 높은 특징을 나타내고 있다. 조촉매 ZrO₂가 H_2 -SCR 촉매에 적절량으로 담지되면 촉매 표면의 산점(acid site)과 흡착의 세기를 조절하여 촉매 반응속도를 개선시키기 때문이다.

그림 2는 환원제 수소 농도에 따른 H_2 -SCR 촉매의 NOx 저감 성능을 나타내고 있다. H_2 농도가 가장 작은 0.5Pt-2CeO₂/TiO₂(H₂ 0.3%) SCR 촉매는 75°C에서 약 33%, 100°C에서 약 60%의 NOx 저감 성능을 나타냈다. 125°C 이후 온도에서는 NOx 저감 성능이 미미하였다. 반대로 환원제 H_2 농도가 가장 많은 0.5Pt-2CeO₂/TiO₂(H₂ 0.3%) SCR 촉매는 125°C에서 약 20%의 NOx 저감 성능을 나타내며, 전반적으로 75~350°C에서 20% 이하의 NOx 저감 성능을 나타내며 H_2 -SCR 촉매의 성능이 악화되었다. 이는 너무 많은 농도의 H_2 는 NOx 환원반응보다 활성이 좋은 H_2 가 산화되는 산화반응이 우세해 지므로 NOx 환원 저감 능력이 저하된 것으로 판단한다. H_2 1%가 공급된 0.5Pt-2CeO₂/TiO₂ (H₂ 1%) SCR 촉매는 온도 125°C에서 약 62% NOx 저감 성능과 200°C까지 NOx 전환 원도 우가 넓게 분포되면서 가장 높은 NOx 저감 성능을 나타냈다. 향후 H_2 농도값에 대한 최적화 연구가 계속되어야 한다.

