

# 조촉매와 수소농도에 따른 수소-선택적인촉매환원 촉매의 De-NO<sub>x</sub> 성능 개선

서충길

호원대학교 자동차기계공학과

e-mail:ckseo@howon.ac.kr

## Improvement of De-NO<sub>x</sub> Performance of H<sub>2</sub>-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 배기가스 온도가 낮은 가정·산업용 보일러 등에 적용이 가능한 H<sub>2</sub>-SCR 촉매의 NO<sub>x</sub> 저감 저온활성 개선을 위한 것이다. 조촉매 담지에 따른 De-NO<sub>x</sub> 성능을 파악한 결과 2번 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>-2ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> SCR 촉매가 100°C 이하 저온에서 de-NO<sub>x</sub> 성능이 가장 높았다. 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> (H<sub>2</sub> 1%) SCR 촉매는 온도 125°C에서 약 62% NO<sub>x</sub> 저감 성능과 200°C까지 NO<sub>x</sub> 전환 윈도우가 넓게 분포되면서 가장 높은 NO<sub>x</sub> 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 7배출가스 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(H<sub>2</sub>)를 생성시키고 활용하는 기술이 각광을 받고 있으며, 이에 관한 연구는 의의가 있다. 또한 H<sub>2</sub>를 이용하여 NO<sub>x</sub> 또는 CO 유해가스를 저감시키는 기초 연구들이 진행되어져 왔다 [2]. 그러나 기존의 SCR [3] 촉매는 저온에서 활성화 되지 않아 배출되는 유해가스의 저감이 어려웠다. 하지만 친환경에너지원인 H<sub>2</sub>를 이용하여 저온에서 NO<sub>x</sub>, CO 가스를 저감시킬 수 있다면 현재 내연기관이 차지하는 비중이 높기 때문에 활용이 가능하다. 특히 150°C 이하 배기조건 가정용 보일러 등에 적용할 수 있다.

이 연구는 H<sub>2</sub>-SCR 촉매의 조촉매와 수소농도에 따른 NO<sub>x</sub>의 저감 저온활성 개선을 위한 것이다.

### 2. 실험장치 및 방법

제조된 H<sub>2</sub>-SCR촉매는 함침법(impregnation 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>-SCR 촉매의 성능 평가를 위한 모델가스성분

Gas components	Concentration
NO(ppm)	500
CO(ppm)	700
O <sub>2</sub> (%)	5
H <sub>2</sub> (%)	1
H <sub>2</sub> O(%)	1.5
N <sub>2</sub>	Balance
SV(h <sup>-1</sup> )	28,000

### 3. 조촉매와 H<sub>2</sub> 농도에 따른 De-NO<sub>x</sub> 성능

그림 1은 조촉매 담지에 따른 De-NO<sub>x</sub> 성능을 나타내고 있다. 400°C에서 환원처리 한 H<sub>2</sub>-SCR 촉매에 비해 전반적으로 촉매온도 75°C, 100°C에서 NO<sub>x</sub> 전환율이 17%, 15% 저하되는 경향을 나타내고 있다. 이는 환원 온도 및 조촉매 담지에 따른 영향 일 수 있다. 그 중 2번 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>-2ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> SCR 촉매가 100°C 이하에서 저온에서 de-NO<sub>x</sub> 성능이 가장 높다. 또한 란탄계열 란탄(La)이 담지된 3번 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>-2La/TiO<sub>2</sub> 촉매는 150°C에서 67%, 전체 온도영역에서 NO<sub>x</sub> 전환율이 높은 특징을 나타내고 있다. 조촉매 ZrO<sub>2</sub>가 H<sub>2</sub>-SCR 촉매에 적절량으로 담지되면 촉매 표면의 산점(acid site)과 흡착의 세기를 조절하여 촉매 반응속도를 개선시키기 때문이다.

그림 2는 환원제 수소 농도에 따른 H<sub>2</sub>-SCR 촉매의 NO<sub>x</sub> 저감 성능을 나타내고 있다. H<sub>2</sub> 농도가 가장 작은 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>(H<sub>2</sub> 0.3%) SCR 촉매는 75°C에서 약 33%, 100°C에서 약 60%의 NO<sub>x</sub> 저감성능을 나타냈다. 125°C 이후 온도에서는 NO<sub>x</sub> 저감 성능이 미미하였다. 반대로 환원제 H<sub>2</sub> 농도가 가장 많은 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>(H<sub>2</sub> 0.3%) SCR 촉매는 125°C에서 약 20%의 NO<sub>x</sub> 저감 성능을 나타내며, 전반적으로 75~350°C에서 20% 이하의 NO<sub>x</sub> 저감 성능을 나타내며 H<sub>2</sub>-SCR 촉매의 성능이 악화되었다. 이는 너무 많은 농도의 H<sub>2</sub>는 NO<sub>x</sub> 환원반응보다 활성이 좋은 H<sub>2</sub>가 산화되는 산화반응이 우세해 지므로 NO<sub>x</sub> 환원 저감 능력이 저하된 것으로 판단한다. H<sub>2</sub> 1%가 공급된 0.5Pt-2CeO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> (H<sub>2</sub> 1%) SCR 촉매는 온도 125°C에서 약 62% NO<sub>x</sub> 저감 성능과 200°C까지 NO<sub>x</sub> 전환 원도가 넓게 분포되면서 가장 높은 NO<sub>x</sub> 저감 성능을 나타냈다. 향후 H<sub>2</sub> 농도값에 대한 최적화 연구가 계속되어야 한다.

