

H₂-SCR의 백금과 팔라듐에 따른 유해가스 저감 성능

서충길
호원대학교 자동차기계공학과
e-mail:ckseo@howon.ac.kr

Harmful gas Reduction Performance according to Pt and Pd of the H₂-SCR

Choong-Kil Seo
Dept. of Automotive & Mechanical Engineering, Howon University

요약

화석연료에서 배출되는 유해가스로 인하여 지구온난화 및 환경오염이 심해지고 있으며, 이를 개선하기 위해서 전 세계적으로 탄소중립 정책을 추진하고 있으며, 전기차 및 연료전지수소전기차에 대한 정책적인 지원과 친환경자동차에 대한 점유율이 조금씩 향상되고 있다. 아직까지도 자동차는 내연기관이 차지하는 비중이 크며, 대기환경 오염과 인체의 유해성으로 인하여 대기환경규제가 엄격해지고 있다. 이 연구는 H₂-SCR 촉매의 상용화를 위한 기초연구로, H₂-SCR에서 가장 중요한 역할을 담당하는 주촉매(Pt, Pd) 종류와 담지량에 따른 유해 가스 저감 특성을 파악하는 것이다. 두 종류 귀금속이 담지된 0.5Pt-0.5Pd/TiO₂ H₂-SCR은 75°C 저온에서 22%, 100°C에서 46%의 NO_x 전환율을 나타냈고, 저온에서 NO_x/CO 저감 성능 향상과 윈도우 폭이 확대되었다. 이는 유해가스 NO_x와 CO에 대한 흡착과 반응 및 탈착의 반응속도(reaction rate)가 빨라졌기 때문이다. 귀금속 담지량이 가장 많은 0.75Pt-0.75Pd/TiO₂ H₂-SCR이 De-NO_x/CO 성능이 가장 높았고, window 또한 넓게 확대되었으며, 저온으로 이동하는 경향을 나타냈다. De-NO_x/CO 성능이 높은 0.75Pt-0.75Pd/TiO₂ H₂-SCR은 O₂ 소모율 또한 증가하였고, Pt와 Pd가 담지량이 많기 때문에 유해 가스 저감에 더 많은 양의 O₂가 소모되었다.

1. 서론

최근에 지구온난화를 넘어 ‘보일링, 지구열대화’라는 표현까지 나오면서 전 세계는 폭염 대책 마련에 분주하다. 화석에너지원의 사용 비중이 높기 때문에 이산화탄소 배출량이 많고, 지구열대화가 가속화되고 있다. 이로 인하여 배출된 가스가 인체의 폐해와 대기의 질이 악화되고 있다. 전 세계적으로 탄소 중립 정책이 세계적인 이슈로 급부상하고 있으며, 각 나라마다 배기가스를 줄이기 위하여 기술혁신 및 보조금 지원 등으로 환경문제 개선을 위해 노력하고 있다. 그 대책의 일환으로 전기차, 수소차 등 친환경 자동차로 파워트레인의 전환이 진행되고 있다. 그러나 친환경 자동차의 인프라 구축, 비용문제, 화재사고의 안정성 문제점 또한 해결해야 할 과제이다.

국내에서도 동력기계의 90% 이상을 차지하는 내연기관 자동차를 비롯하여 건설기계, 선박, 농기계 및 보일러 등에 대한 배기가스 규제가 더욱 더 강화되고 있다. 그리고 2025년도에는 자동차 내연기관의 마지막 규제라 할 수 있는 엄격한 Euro 7 배기규제가 시행될 예정이다. 특히, 질소산화물(NO_x)은 세계보건기구

(World Health Organization, WHO)에서 정한 발암물질이며, 미세먼지를 유발하는 환경오염 물질이다. 현재까지 질소산화물 저감을 위한 후처리 촉매는 SCR (Selective Catalytic Reduction)이 연구되고 상용화되었다 [1]. 또한 미래는 청정 에너지원인 수소(H₂)를 제조하고 활용하는 기술이 각광을 받을 것으로 전망되므로 수소 관련 연구는 매우 중요하다. 수소를 이용하여 유해가스를 저감시키는 SCR 촉매를 H₂-SCR 이라고 한다. 지금까지의 연구 동향은, 환원제 H₂ 이용하여 NO_x 저감시키는 연구가 진행되어왔다. 주로 H₂-SCR 촉매의 성능 향상을 위해 주촉매, 조촉매, 지지체 및 반응 메커니즘 등에 관하여 선행 연구가 이루어져왔다. 특정 H₂-SCR에 대한 활성 및 선택성을 개선하기 위해 다양한 개질제가 사용되어왔다 [2]. 연구자의 선행연구는 Pt/TiO₂ 기반 H₂-SCR 촉매의 NO_x와 CO 유해 가스 동시 저감을 위해 연구해 왔으며 [3], 촉매의 상용화를 위하여 유해 가스 저감 성능 향상 연구에 관심이 많다. 지금까지 두 종류(Pt+Pd) 귀금속이 동시에 담지되어 발표된 H₂-SCR의 연구 결과는 전무하며, 귀금속 종류와 담지량에 대한 연구는 차별적이고 의의가 있다고 판단한다.

이 연구는 H₂-SCR의 가장 중요한 역할을 담당하는 주

촉매(Pt, Pd) 종류에 따른 유해가스 저감 특성을 파악하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

제조된 H₂-SCR 촉매는 함침법(impregnation method)을 이용하여 제조하였다. 촉매 담체 코어는 원통형으로 사이즈는 내경과 길이가 18*17mm, 4.3cc 체적으로 400CPSI이다. 제조한 SCR 촉매의 코팅량은 약 198g/L이며, 담체(substrate, 400CPSI: Cell Per Square Inch)에 소정의 촉매와 조촉매를 물질을 담지하였고, 500°C에서 3h 동안 공기로 소성하였다. H₂ 5%를 이용하여 400°C에서 1hr 환원 처리하였다. H₂-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] H₂-SCR 촉매의 성능 평가를 위한 모델가스성분

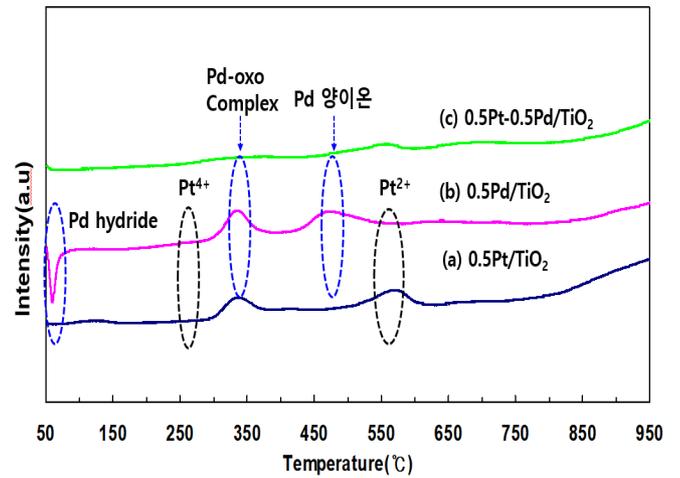
Gas components	Concentration
NO(ppm)	500
CO(ppm)	700
O ₂ (%)	5
H ₂ (%)	1
H ₂ O(%)	1.5
N ₂	Balance
SV(h ⁻¹)	28,000

3. H₂-SCR의 Pt와 Pd가 유해가스 저감 성능

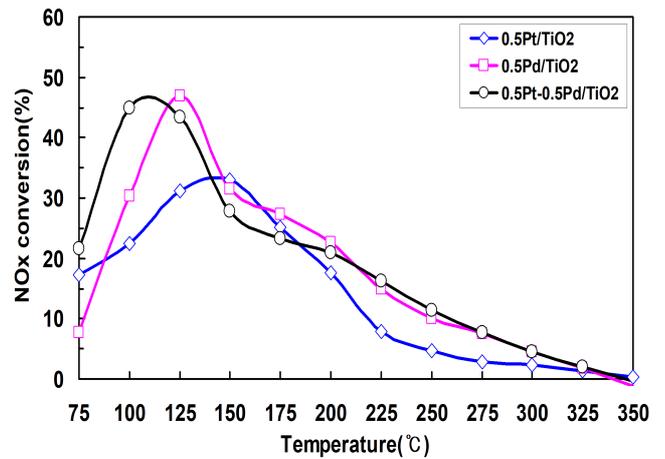
그림 1(a) 0.5Pt/TiO₂ H₂-SCR의 경우 250, 550°C에서 발생한 피크는 Pt⁴⁺, Pt²⁺가 metallic Pt로 환원되었다고 판단된다. PtO의 화합물보다는 metallic Pt가 촉매 활성을 촉진시킬 수 있다. 그림1(b) 0.5Pd/TiO₂ H₂-SCR의 경우 60°C에서 발생한 음의 피크는 Pd 하이드라이드(hrdride)가 분해되는 것이다. 350°C와 460°C 부근에서 존재하는 피크들은 지지체 TiO₂ 세공 안에 존재하는 Pd-oxo 화학종과 Pd 양이온의 환원에 의한 것이라고 판단한다. 그림1(c) 0.5Pt-0.5Pd/TiO₂ H₂-SCR의 H₂-TPR에서 큰 환원 피크는 발생되지 않고 550°C에서 낮은 피크는 Pt²⁺의 metallic Pt로 환원되었다고 판단한다.

그림 2는 귀금속 종류에 따른 de-NOx 성능을 나타내고 있다. 0.5Pt/TiO₂ H₂-SCR은 저온에서 가장 활성이 낮고, 윈도우 폭 또한 낮다. 0.5Pd/TiO₂ H₂-SCR는 75°C에

서 8%, 125°C에서 약 48%의 NOx 전환율을 나타내고 있다. 두 종류 귀금속이 담지된 0.5Pt-0.5Pd/TiO₂ H₂-SCR은 75°C 저온에서 22%, 100°C에서 46%의 NOx 전환율을 나타내며, 저온에서 NOx 저감 성능 향상과 윈도우(window) 폭 또한 확대되었다. 두 종류 귀금속 Pt와 Pd 담지에 따른 유해가스 NOx에 대한 흡착과 반응 및 탈착의 반응 속도(reaction rate)가 빨라졌기 때문이다



[그림 1] H₂-SCR의 귀금속 종류에 따른 H₂-TPR



[그림 2] H₂-SCR의 Pt와 Pd 종류에 따른 de-NOx 성능

참고문헌

- [1] 서충길, “Cu-SCR 촉매의 De-NOx 성능 향상을 위한 연구”, 산학기술학회논문지, 제19권 제3호, pp. 112-118, 3월, 2018년.
- [2] 김성수, “배가스 중 CO가 H₂-SCR 반응에 미치는 영향 연구”, Appl. Chem. Eng., 제21권 4호, pp. 391-395, 8월, 2010년.
- [3] 서충길, “가정·산업 보일러용 수소-선택적인 촉매환원 촉매의 유해가스”, 동력시스템공학회지, 제25권 제4호, pp. 62-68, 8월, 2021년.