

V₂O₅-SCR 촉매의 배기가스 저감 성능 향상을 위한 연구 Research for Improving Exhaust Emissions Reduction of V₂O₅-SCR Catalysts

서충길*†
Choong-Kil Seo*†

(Received 14 March 2020, Revision received 31 March 2020, Accepted 01 April 2020)

Abstract : In order to meet the stricter emission regulations of internal combustion engines based on fossil fuels, research and development of after-treatment catalyst devices for automobiles, construction machinery and ships is important and continuing. This study is to investigate the storage characteristics and reduction performance of exhaust emissions according to NO_x storage material (BaO, Ca, and K) and a precious metal Pt on V₂O₅-SCR catalysts was used in automobiles and ships. When the precious metal 2Pt was included in the V₂O₅-SCR catalyst, the V₂O₅-SCR 5-7 catalysts containing 2 Pt had higher concentrations of NO₂ and lower concentrations of NO. The addition of NO_x adsorbents in the V₂O₅-SCR catalyst did not improve the de-NO_x/CO performance by blocking the physical and chemical reactions of V₂O₅, thereby lowering the catalyst activity. When 2 Pt of the precious metal was included in the 5, 6, and 7 SCR catalysts containing the NO_x storage material, the de-NO_x performance of the SCR catalyst 5 increased to about 52% at 200°C, but at temperatures above 325°C, the conversion rate of NO_x showed the negative, overall de-NO_x performance decreased. When heterogeneous reactions of oxidation and reduction occur in the overall temperature range, the oxidation reaction prevails. Thus, the effect of the NO_x adsorbents and 2 Pt of precious metal in V₂O₅-SCR was negligible.

Key Words : Catalyst, CO, Diesel engine, NO_x, Selective catalytic reduction

1. 서 론

최근에 화석연료 사용에 따른 지구온난화, 미세 먼지 및 인체의 유해성 때문에 그린카인 하이브리드 자동차, 전기차 및 수소차에 대한 정책적인 지원과 필요성으로 시장 점유율이 점차 상승하고 있다. 그리고 소형 및 중형 내연기관 자동차는 친환경 그린카로 보급이 확대되리라 본다. 그러나 당분간 대형자동차, 건설기계 및 선박 등 큰 동력

이 요구되는 기계 분야는 내연기관이 담당해야 하는 현실이다. 특히 자동차는 보급 대수가 많고 미세먼지 등 지구환경과 인체에 미치는 영향을 고려해 볼 때 내연기관용 후처리촉매의 연구개발은 계속되어야 하고, 인간의 생활과 직결되어 있는 화학공학과 연결되어 있어 연구개발은 중요하다. 화석연료를 기반으로 디젤엔진은 연비가 높고, 큰 파워와 지구온난화를 유발하는 이산화탄소 배출량이 적어 가솔린엔진보다 장점이 많다.¹⁾ 그러나 디젤엔진의 연소 특성을 보면 확산연소 기

*† 서충길(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2205-2111>) : 교수, 호원대학교 기계자동차공학과
E-mail : ckseo@howon.ac.kr, Tel : 063-450-7215

*† Choong-Kil Seo(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2205-2111>) : Professor, Department of Mechanical & Automotive Engineering, Howon University.
E-mail : ckseo@howon.ac.kr, Tel : 063-450-7215

간에서 입자상 물질(PM, Particle Matter)이 생성되고, 고온반응 구간에서 질소산화물(NOx)이 배출되는 문제점이 있다. NOx의 NO₂는 광화학 스모그 작용으로 미세먼지를 발생시키고, 폐포의 손상과 폐암을 유발하는 유독성 가스이다.

질소산화물 저감을 위한 대표적인 자동차용 후처리촉매는 LNT,²⁻⁴⁾ Urea-SCR,⁵⁻⁷⁾ LNT+SCR⁸⁾ 복합 시스템이 있다. 2015년 폭스바겐 디젤게이트와 관련되어 있는 LNT 촉매는 소형디젤자동차에 상용화 되었지만, 연료 쾌널티의 문제점이 발생되었다. 그에 반해 Urea-SCR 촉매는 연료경제성과 de-NOx 성능이 우수하여 중대형 디젤엔진용에 상용화되었으며, 최근에는 2, 3 리터급 소형승용자동차에 상용화되었다. Urea-SCR 촉매에 사용되는 촉매는 Zeolite 계열의 Fe, Cu-SCR 및 V₂O₅-SCR 촉매로 구분할 수 있다. Zeolite 계열 SCR 촉매는 de-NOx 성능은 우수하지만, HC가 분해되면서 탄소(carbon)가 촉매에 침적(coking)되는 문제점이 많아 이에 대한 연구가 진행되어 왔고, 최근에는 차바사이트⁹⁾ Zeolite 계열의 Cu-SCR 촉매가 열적 열화와 coking에 대한 내구성이 향상되어 시장의 점유율이 높아지고 있다. 그밖에 자동차에 일부 사용되었으나 선박용에 사용되는 V₂O₅-SCR 촉매는 다른 종류의 SCR 촉매에 비해 저가이며, 산(acid) 촉매이므로 coking에 대한 내구성이 향상되었으나, 주촉매 V₂O₅의 녹는점(melting point)이 낮아 열적 내구성이 저하되는 문제가 있다.⁵⁾

V₂O₅-SCR 촉매의 열적 내구성 향상을 위한 조촉매가 포함됨에 따른 선행 연구¹⁰⁾는 진행되었지만, 알칼리 계열의 NOx 흡장 물질을 포함시켰을 때, de-NOx 성능 개선을 위한 연구는 차별성이 있고 의의가 있다. 이 연구는 현재 자동차 및 선박에서 사용되는 V₂O₅-SCR 촉매의 배기가스 저감 성능 향상을 위하여 NOx 흡장 물질(BaO, Ca, K)과 귀금속 Pt 첨가에 따른 흡장 특성과 배기가스 저감 성능을 파악하는 것이다.

2. 실험 및 방법

V₂O₅-SCR 촉매는 합침법을 이용하여 제조하였

으며, TiO₂ 지지체에 V₂O₅, WO₃ 및 NOx 흡장 물질(BaO, Ca, K)을 차례로 합침(impregnation)하여 SCR 촉매를 제조하였다. Pt를 촉매에 포함하였을 때 NOx 흡장 물질이 유해가스 저감에 미치는 영향을 파악하기 위하여 TiO₂ 지지체에 2 Pt를 첨가하고 동일한 순서로 합침하여 촉매를 제조하였다. 건조, 밀링 및 소성의 제조공정을 거친 후 80 g/L (400CPSI: Cell Per Square Inch) 촉매 파우더를 담체(substrate)에 코팅하였고, 500°C에서 2 hr 동안 공기로 소성하였다. V₂O₅-SCR 촉매의 주촉매와 조촉매 물질의 특성을 살펴보면, V₂O₅는 질소산화물 환원력에 활성적이며, WO₃는 촉매의 형상과 구조를 유지하며, TiO₂의 anatase 결정 구조를 안정화시키고 촉매의 표면 산성(acidity)을 증가시킨다. TiO₂는 지지체로써 황(sulfur)에 대한 저항력을 증가시킨다.¹¹⁾

Table 1과 2는 제조한 V₂O₅-SCR 촉매의 기본적인 사양을 나타내고 있다. Fresh 4종 SCR 촉매의 BET(Brunauer, Emmett, Teller) 비표면적은 28~44 m²/g, pore size는 33~43 nm 수준으로, 물리적으로 BET 비표면적이 크면 촉매 활성사이트가 많아져 촉매성능이 좋아질 수 있으나 더 중요한 요인은 촉매와 조촉매간의 조합이 잘 이루어져 촉매반응 속도가 빨라질 수 있다.

Table 3은 SCR 촉매 성능을 평가하기 위한 배기가스 조건을 나타냈다. SCR 촉매의 성능을 파악하기 위한 모델가스반응장치를 Fig. 1에 나타내었다. 가스공급부, 유량제어부, 촉매반응부 및 분석부로 구성되며, 촉매온도는 200~500°C 정상상태(steady state) 조건에서 5분을 유지하면서 de-NOx/CO 성능을 실험하였다. 촉매물질의 2차원

Table 1 Specification of Fresh catalysts

Catalysts	Components	condition
1	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15BaO/TiO ₂	w/o Pt
2	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15Ca/TiO ₂	w/o Pt
3	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15K/TiO ₂	w/o Pt
4	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ /TiO ₂ (STD)	w/o Pt
5	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15BaO-2Pt/TiO ₂	with Pt
6	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15Ca-2Pt/TiO ₂	with Pt
7	3V ₂ O ₅ -2ZrO ₂ -5WO ₃ -15K-2Pt/TiO ₂	with Pt

Table 2 Specification of BET surface area of SCR catalyst

Catalysts	BET (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)	Pore size(nm)
1	34.240	0.369	43.165
2	28.769	0.250	34.771
3	34.058	0.346	40.693
4	44.680	0.379	33.986

Table 3 Model gas components for evaluating the performance of SCR catalysts

Gas components	Concentration
CH ₄	500ppmC ₁
NO(ppm)	500
NH ₃ (ppm)	500
CO(ppm)	700
O ₂ (%)	10
H ₂ O(%)	1.5
N ₂	Balance
SV(h ⁻¹)	28,000

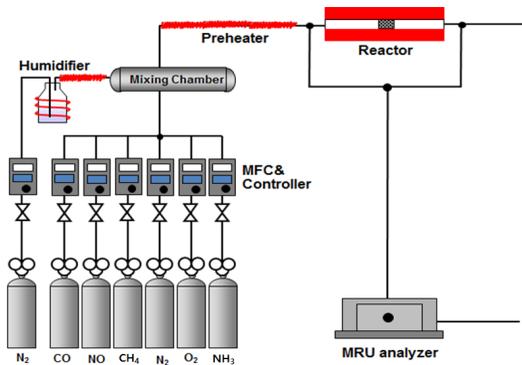


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

표면 분석은 주사전자현미경인 SME(JSM-7500F+EDS(Oxford) 분석기를 이용하였다. SCR 촉매의 촉매 물질의 형상과 사이즈 및 결정구조를 분석하기 위해 TEM(JEM-2000FX II (200kV), JEOL)을 이용하였다. XRD(X'Pert PRO, PANalytical)와 XPS(VG Multilab 2000, ThermoVG Scientific)분석

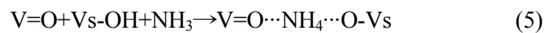
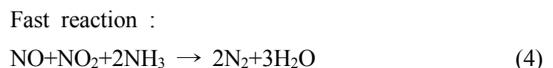
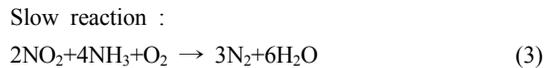
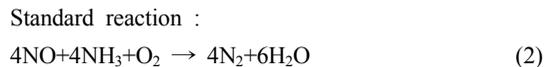
은 4종 SCR 촉매의 Fresh와 열적 열화에 따른 결정구조와 촉매 표면의 원소 구성비와 원소의 화학결합상태를 파악하기 위하여 분석하였다. SCR 촉매의 유해가스 정화성능은 식 (1)과 같이 계산하였으며, 촉매 반응 후의 가스 성분은 가스분석기(VarioPlus Industrial, MRU Instruments, Inc.)를 이용하여 1초 간격으로 정량적으로 측정하였다.

$$\text{NOx conversion(\%)} = (\text{NOx}_{in} - \text{NOx}_{out}) \times 100 / (\text{NOx}_{in}) \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 V₂O₅-SCR 촉매의 NO_x 흡장 물질 첨가에 따른 제안하는 De-NO_x 메커니즘

SCR 촉매는 산점(acid site)에서 NH₃를 먼저 흡착하고, NO_x와 반응하여 N₂ 및 H₂O로 전환시킨다. 아래 화학식 (2)~(4)는 SCR 촉매의 환원 반응식을 나타내고 있다. Fig. 2는 V₂O₅-SCR 촉매의 브론스테드 산점에 대한 de-NO_x 구조식(structural formula)을 나타내고 있다. NH₃가 촉매 표면상의 브론스테드 산점(Vs-OH)에 강하게 식 (5)와 같이 흡착되고, NO는 흡착된 NH₃와 반응하여 식 (7)과 같이 N₂와 H₂O를 형성한다. NH₃의 3개의 H원자 중 나머지 1개는 표면 활성산소(V=O)와 반응하여 V-OH를 형성(formation)한다. V-OH는 기상 산소 혹은 V₂O₅의 격자 산소(lattice oxygen)에 의해 산화되어 V=O를 재생(regeneration)한다.



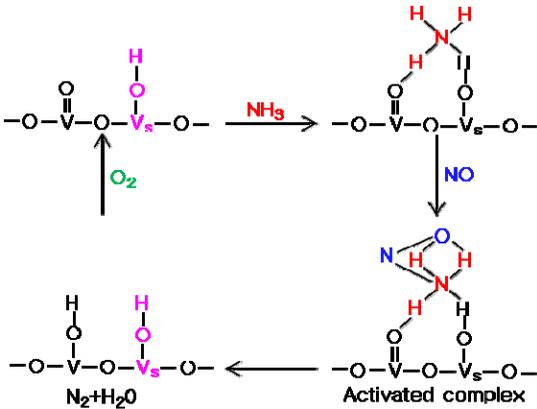


Fig. 2 Structural formula of de-NOx mechanism at Bronsted acid site of V₂O₅-SCR

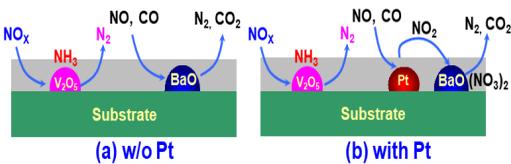


Fig. 3 Schematic of proposed de-NOx mechanism according to w/o and with Pt

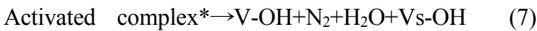


Fig. 3은 이번 연구에서 V₂O₅-SCR 촉매의 성능 개선을 위한 도전적인 de-NOx 저감 메커니즘을 나타내고 있다. SCR 촉매는 배출되는 가스 중에 산소 농도가 높은 희박한 조건에서 환원 반응한다. Fig. 3(a)는 기존 SCR 촉매에서 산소 농도가 높은 조건에서 V₂O₅가 NH₃와 선 흡장 후 NOx를 저감시킨다. 그리고 알칼리 계열인 NOx 흡장물질 (Ba, Ca, K)을 SCR 촉매에 포함시켜 엄격해 질 Post-Euro VI 배기규제를 대응하고자 제안하는 도전적인 반응메커니즘을 나타내고 있다. Fig. 3(b)는 3종의 알칼리 물질의 de-NOx 성능 개선을 위한 귀금속 2Pt를 포함하여 NO의 산화를 촉진시켜 NOx 흡장량을 증가시키는 메커니즘을 나타내고

있다. 여기서 2Pt를 첨가하는 이유는 소량의 귀금속 Pt가 첨가되어야 de-NOx 성능개선과 촉매비용의 경제성을 고려할 수 있기 때문에 선정된 중량(weight)이다.

3.2 V₂O₅-SCR 촉매의 흡장 물질과 귀금속 Pt 첨가에 따른 물리·화학적 특성

V₂O₅-SCR 촉매의 de-NOx 성능을 위하여 Fig. 3에서 제안한 NOx 흡장 물질 첨가에 따른 Fresh와 열적 열화에 따른 물리·화학적 특성을 Fig.4-7까지 나타내었다.

Fig. 4는 4종 V₂O₅-SCR 촉매의 Fresh 조건에서 SEM/TEM 이미지를 나타내고 있다. 4번 3V₂O₅-2ZrO₂-5WO₃/TiO₂(STD) SCR 촉매를 기준(standard)으로, NOx 흡장 물질이 15wt%가 포함된 3종의 SCR 촉매의 SEM/TEM 이미지를 보여주고 있다. Fig. 4의 SEM 이미지에서 약 50 nm 미만의 지지체 TiO₂ 기반의 촉매 물질 결정을 확인할 수 있고, TEM 이미지에서는 약 40 nm 급의 촉매 물질들이 골고루 분산되어 있다.

촉매(V₂O₅)와 조촉매(TiO₂, WO₃, ZrO₂) 물질의 분산도(dispersion)가 향상되면 촉매의 반응속도를 빠르게 한다⁵⁾. Fig. 5는 4종의 SCR 촉매의 열적 열화에 따른 촉매의 결정을 확인하기 위하여 70 0°C 12 hr으로 열적 열화된 촉매의 이미지이다. Fig. 5의 SEM 이미지에서 열화로 인하여 4종의 SCR 촉매의 결정은 약 90 nm급으로 응집(agglomeration) 및 성장(growth)하였다. 2번 Ca가 포함된 SCR 촉매는 폭이 약 50 nm급의 직사각형의 결정이 성장하였고, 나머지 3종류의 SCR 촉매는 무결정 이미지를 나타내고 있다. 성장한 입자는 활성화 에너지가 많이 요구되므로 촉매의 성능을 저하시키는 요인이 된다.

Fig. 6은 NOx 흡장 물질 첨가와 열적 열화에 따른 결정구조를 나타내는 XRD spectra이다. V₂O₅-SCR 촉매의 지지체 TiO₂의 구조는 4종의 SCR 촉매 중 Fresh 조건에서는 2θ=25° anatase 구조를 이루고 있지만, 4번 STD-SCR 촉매는 열적 열화에 따라 2θ=28° rutile를 구조로 변화된다. 그러나 조촉매 NOx 흡장 물질이 첨가된 1-3번 SCR 촉매는

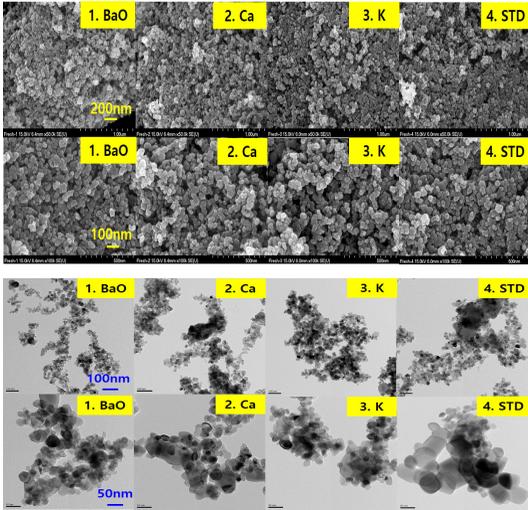


Fig. 4 SEM/TEM image of Fresh V₂O₅-SCR catalysts

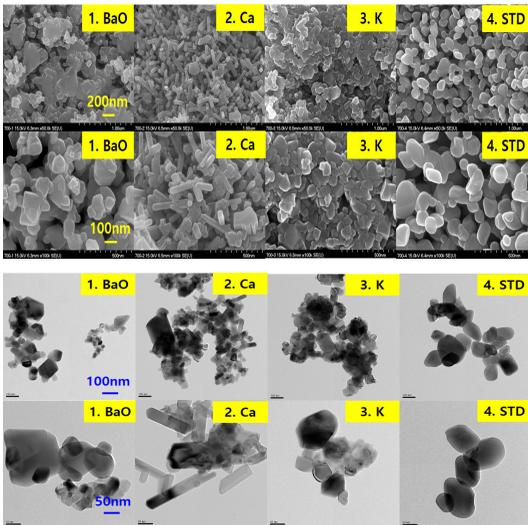


Fig. 5 SEM/TEM image of thermal aging V₂O₅-SCR catalysts

anatase 결정구조를 이루고 있으며, 이는 NO_x 흡착물질(BaO, Ca, K)이 열적 열화에 따른 촉매 물질의 이동(migration)을 방지하여 응집(agglomeration)이 되는 현상을 감소시킬 수 있다.

Fig. 7은 4종 SCR 촉매의 NO_x 흡착 물질과 열적 열화에 따른 촉매 표면의 XPS spectra이다. Ca

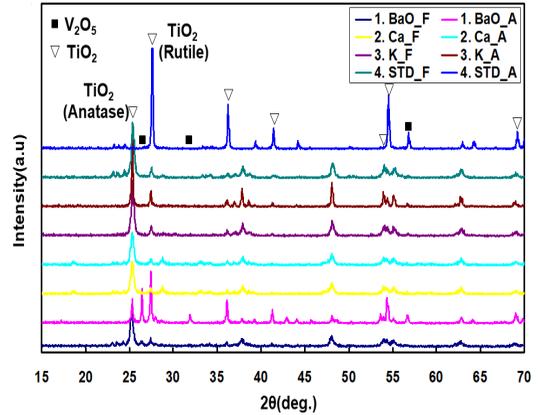


Fig. 6 XRD spectra according to NO_x storage material and thermal aging

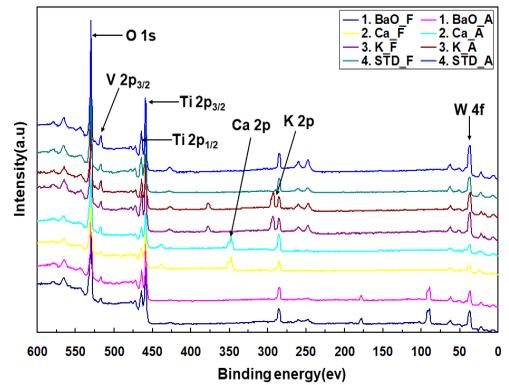


Fig. 7 XPS spectra according to NO_x storage material and thermal aging

2p 주피크의 binding energy는 350 ev이며, K 2p 주피크 binding energy는 293 ev이다. Fresh 4종의 SCR 촉매에 비해 700°C 12 hr로 열화된 촉매 중 4번 STD 촉매는 O 1s의 주피크(531 ev)가 Fresh 조건에 비해 피크 강도가 커지는 경향을 나타내고 있다. 이는 NO_x 흡착 물질이 첨가되지 않음에 따른 주촉매 이동과 응집 현상이 진전되어 V₂O₅의 산화가 진행되기 때문이다.

Fig. 8은 촉매온도 300°C 조건에서 7종의 V₂O₅-SCR 촉매에 귀금속 2 Pt 포함 여부에 따른 NO_x 가스의 거동을 나타내며, NO와 NO₂ 가스가 안정화 될 때까지 5분을 유지하였고 50초만 나타내었다. Fig. 8(a)에서 4번 STD SCR 촉매

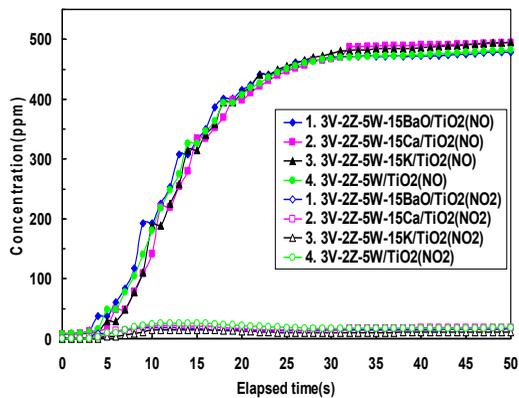
(3V-2Z-5W/TiO₂)에 비해 NO_x 흡장 물질이 포함된 1, 2 그리고 3번 촉매는 NO의 NO₂로의 산화능력을 제공하는 Pt 귀금속 물질의 부재로 인하여 NO와 NO₂의 농도변화는 거의 변화가 없다. 4번 STD SCR 촉매에 비해 산화능력이 좋은 Pt를 추가하여 NO_x 가스 거동을 살펴보았다. Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 5, 6 그리고 7번 Pt가 포함된 V₂O₅-SCR 촉매는 NO₂ 농도가 높고, NO의 농도가 낮다. 특히 7번 V₂O₅-SCR 촉매의 NO₂ 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 전반적인 경향은 2Pt 첨가에 따라 촉매온도 300°C 조건에서 4번 STD SCR 촉매의 NO_x 흡장량이 적고, NO_x 흡장물질 포함된 5, 6

그리고 7번 V₂O₅-SCR 촉매의 NO_x 흡장량이 소폭 증가하였다.

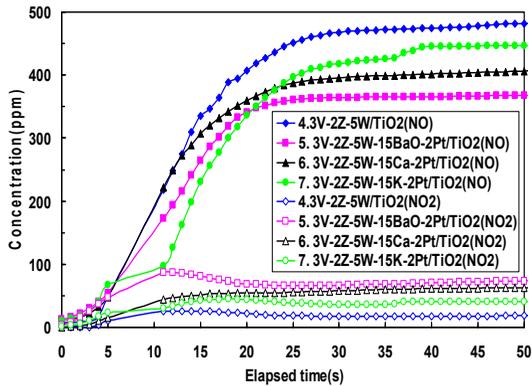
3.3 귀금속 2Pt 포함에 따른 V₂O₅-SCR 촉매의 De-NO_x/CO 성능

이 절에서는 엄격해지는 유해가스 규제에 따른 V₂O₅-SCR 촉매의 de-NO_x 성능 개선을 위하여 2Pt 포함 여부에 따른 de-NO_x/CO 성능을 파악하고자 한다.

Fig. 9는 4번 STD SCR 촉매를 기준으로 귀금속 2 Pt가 포함되어 있지 않은 3종의 1, 2, 3번 SCR 촉매의 de-NO_x/CO 전환율을 나타내고 있다. 촉매 온도는 정상상태 조건에서 5분을 유지하면서 de-NO_x/CO 전환율을 측정하였다. NO_x 흡장 물질

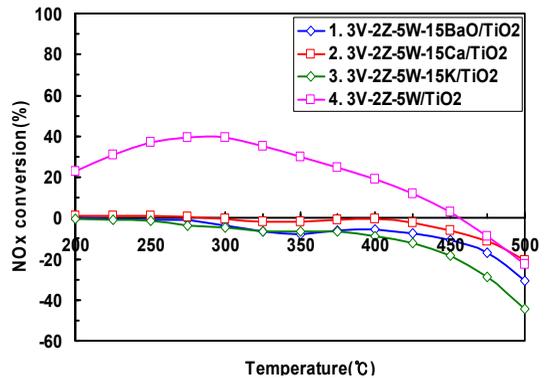


(a) w/o Pt

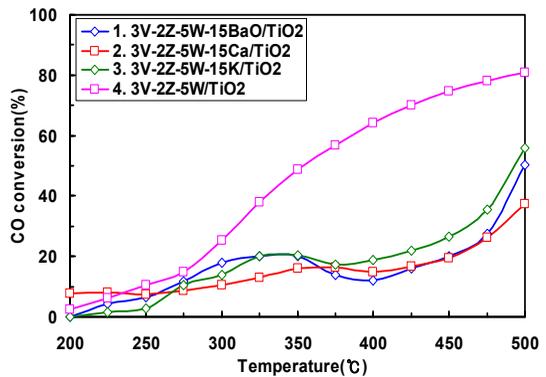


(a) with Pt

Fig. 8 NO_x gas behaviour amount according to w/o and with Pt of V₂O₅-SCR catalysts(300°C)



(a) De-NO_x



(b) De-CO

Fig. 9 De-NO_x/CO performance of V₂O₅-SCR catalysts(w/o Pt)

이 포함된 1, 2, 3번 V₂O₅-SCR 촉매의 de-NO_x 성능은 거의 “0”이며, 촉매온도 400℃ 이상에서는 (-) NO_x 전환율을 보이고 있다. NO_x 전환율이 (-) 을 나타내는 이유는, Fig. 10의 Area 1 영역에 ‘Activated complex’에 흡장되어 있던 NH₃NO 화합물이 촉매 반응속도가 저하되면 Area 3 영역에서 N₂와 H₂O로 환원되지 못하고, Area 2 영역에서 중간생성물인 NO, NO₂, N₂O 생성물이 탈착되기 때문이며, 결국은 모델가스에서 촉매에 유입되는 NO 500 ppm+ 촉매 후단에서 생성되는 중간 생성물 NO_x의 총합이 증가하여 (-) NO_x 전환율이 발생한다. 그에 비해 4번 STD SCR 촉매는 200℃에서 22%, 300℃에서 40%의 NO_x 전환율을 나타내고 있다. 2Pt가 포함되지 않은 3종류의 V₂O₅-SCR 촉매의 De-CO 성능은 향상되지 않았다.

V₂O₅-SCR 촉매에 알칼리 계열인 NO_x 흡장 물질이 포함되면 V₂O₅(vanadia)의 물리·화학적인 반응을 방해(blocking)하여 촉매의 활성을 저하시켰기 때문이다.

Fig. 11은 NO_x 흡장 물질의 효과를 증가시키기 위하여 귀금속 2Pt를 V₂O₅-SCR 촉매 3종에 포함시켜 de-NO_x/CO 성능을 파악하였다. 4번 STD SCR 촉매는 200℃에서 약 22%의 de-NO_x 성능을 나타내고 있으며, 촉매온도 300℃에서 약 40%의 NO_x를 저감시키고 있다. 촉매온도가 증가할수록 NO_x 저감 성능이 저감되고 있으며, 이는 촉매 온도가 증가하면 촉매의 활성사이트가 들뜸에 따라 NO_x 흡장량이 감소하며 촉매 성능이 저하되기 때문이다. NO_x 흡장 물질이 포함된 5, 6, 7번 SCR 촉매에 귀금속 2Pt가 포함되었을 때 200℃에서 5번 V₂O₅-SCR 촉매의 de-NO_x 성능은 약 52%로 상승하였다. 하지만 전반적으로 de-NO_x 성능은 감소하였고, 325℃ 이상온도에서는 (-) NO_x 전환율을 나타내고 있다. 그러나 전반적인 온도 영역에서 산화와 환원반응의 이중반응이 일어나면, 환원반응보다는 산화반응이 우세하므로 전반적인 V₂O₅-SCR 촉매에 NO_x 흡장 물질과 귀금속 2Pt가 포함할 때의 de-NO_x 성능 개선 효과는 미미하였다. 2Pt가 포함된 SCR 촉매는 온도 200℃에서 NO_x 전환율이 일부 상승하였다. 이는 산화반응으

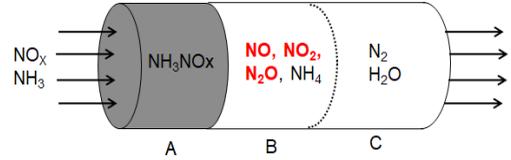
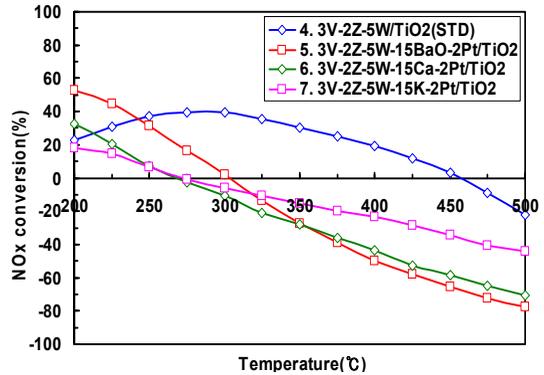
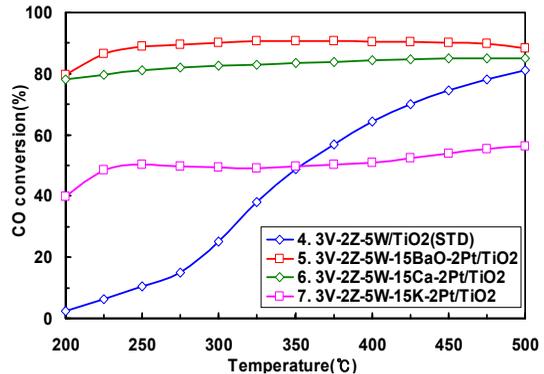


Fig. 10 Schematic diagram of NO_x reduction according to axial length on SCR catalyst



(a) De-NO_x



(b) De-CO

Fig. 11 De-NO_x/CO performance of V₂O₅-SCR catalysts(with Pt)

로 흡장 물질 사이트에 NO_x가 흡장됨에 따라 촉매 후단의 NO_x 탈착량이 감소하였기 때문에 NO_x 전환율이 상승한 것이다. 그러나 촉매온도 350℃ 이상에서는 2Pt가 활성화되어 NO_x 산화반응을 상승시키지만, 반면에 NO_x 흡장 물질에 NO_x가 재생되지 않고 포화(saturation)되었고, 반면에

V_2O_5 에서 환원반응은 감소하여 촉매후단에서 중간생성물 NO가 촉매후단에서 탈착되기 때문에 (-) NOx 전환율이 나타나는 것이다. Fig. 11(b)는 CO 전환율에서 귀금속 2 Pt가 포함된 5, 6, 7번 SCR 촉매의 CO 전환율은 2 Pt가 포함되지 않은 4번 STD SCR 촉매보다 온도에 따른 CO 저감 성능이 향상되었으며, 귀금속 Pt는 산화능력이 우수한 촉매물질이기 때문이다. 이 연구를 통하여 NOx 저감 전용 촉매인 상용 SCR 촉매에 비하여 제조한 SCR 촉매의 NOx 저감 성능은 좋지 않지만, 유해가스인 NOx와 CO 가스를 동시에 저감시키기 위한 연구개발은 의의가 있다. 자동차, 건설기계 및 선박 등 내연기관에 후처리촉매의 장착의 용이성을 확보하기 위해서는 촉매 부피를 축소해야 하며, 산화와 환원반응의 이중 반응이 동시에 일어날 때 유해 배기가스를 감소시키기 위한 연구는 난제이고, 이를 극복 가능한 연구개발은 중요하고 계속되어야 한다.

4. 결 론

자동차 및 선박에서 사용되는 V_2O_5 -SCR 촉매의 NOx 흡장 물질(BaO, Ca, K)과 귀금속 Pt 첨가에 따른 NOx 흡장 특성과 배기가스 저감 성능을 파악한 결과는 다음과 같다.

1) 귀금속 2Pt가 V_2O_5 -SCR 촉매에 포함되었을 경우 5, 6, 7번 Pt가 포함된 촉매는 NO₂의 농도가 높고, NO의 농도가 낮아 NOx 흡장량이 증가하였다.

2) V_2O_5 -SCR 촉매에 NOx 흡장 물질이 포함되면 V_2O_5 의 물리·화학적 반응을 방해(blocking)하여 촉매의 활성을 저하시키므로 de-NOx/CO 성능은 향상되지 않았다.

3) NOx 흡장 물질이 포함된 5, 6, 7번 SCR 촉매에 귀금속 2Pt가 포함되었을 때 200°C에서 5번 SCR 촉매의 de-NOx 성능은 약 52%로 상승하였지만 전반적으로 de-NOx 성능은 감소하였다.

4) 산화와 환원반응의 이중반응이 일어나면, 산화반응이 우세하므로 V_2O_5 -SCR 환원촉매에 NOx 흡장 물질과 귀금속 2Pt가 포함할 때의 효과는 미미하였다.

후 기

이 연구는 호원대학교 교내연구비로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

References

1. C. K. Seo, 2012, "Optimization of an LNT-SCR Combined System to de-NOx the Engine Exhaust Gas", Dissertation for the Degree of Ph. D., Chonnam National University, pp. 9-13.
2. F. Froila, F. Prinetto, G. Ghiotti, L. Castoldi, I. Nova, L. Lietti and P. Forzatti, 2007, "Combined in situ FT-IR and TRM Analysis of the NOx Storage Properties of Pt-Ba/Al₂O₃ LNT Catalysts", Catalysis Today, Vol. 126, No. 7, pp. 81-89.
(<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2006.10.010>)
3. B. C. Choi and K. S. Lee, 2014, "LNT/CDPF Catalysts for Simultaneous Removal of NOx and PM from Diesel Vehicle Exhaust", Chemical Engineering Journal, Vol. 240, No. 15, pp. 476-486.
(<https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.100>)
4. M. C. Reyes, C. Herrera, M. A. Larrubia and L. J. Alemany, 2016, "Intrinsic Reactivity Analysis of Soot Removal in LNT-Catalysts", Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 193, No. 15, pp. 110-120.
(<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.04.014>)
5. C. K. Seo, 2018, "Effect of Containing Promoter on SCR Catalysts", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 9, pp. 474-481.
(<https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.474>)
6. F. Birkhold, U. Meingast, P. Wassermann and O. Deutschmann, 2007, "Modeling and Simulation of the Injection of Urea-water-solution for Automobile SCR De NOx-Systems", Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 70, No. 1-4, pp. 119-127.

- (<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.12.035>.)
7. W. Zhang, G. Liu, J. Jiang, Y. Tan, Q. Wang, C. Gong, D. Shen and C. Wu, 2020, "Temperature Sensitivity of the Selective Catalytic Reduction(SCR) Performance of Ce-TiO₂ in the Presence of SO₂", *Chemosphere*, Vol. 243, No. 125419.
(<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125419>)
 8. C. K. Seo and B. C. Choi, 2015, "Physicochemical Characteristics according to Aging of Fe-zeolite and V₂O₅-WO₃-TiO₂ SCR for Diesel Engines", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 25, No. 5, pp. 239-249.
(<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.10.040>)
 9. K. S. Lee, 2019, "Selective Catalytic Reduction of Nitrogen oxide by Hydrocarbon over Cu/zeolite Catalysts", Dissertation for the Degree of Ph. D., Tokyo Institute of Technology, pp. 67-72.
 10. C. K. Seo, 2014, "The Effect of Additive Catalyst according to Thermal Aging of Vanadia SCR", *Journal of the Korean Society for Power Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 14-19.
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2014.18.3.014>)
 11. M. Klimczak, P. Kern, T. Heinzlmann, M. Luca and P. Claus, 2010, "High-throughput Study of the Effects of Inorganic Additives and Poisons on NH₃-SCR Catalysts-Part I: V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalysts", *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 95, No. 1-2, pp. 48-56.
(<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.12.007>)