

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⁾복합시스템이 있다. 2015년 폭스바겐 디젤게이트와 관련되어 있는 LNT 촉매는 소형디젤자동차에 상용화 되었지만, 연료 패널티의 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 조촉매간의조합이 잘 이루어져 촉매반응속도가 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

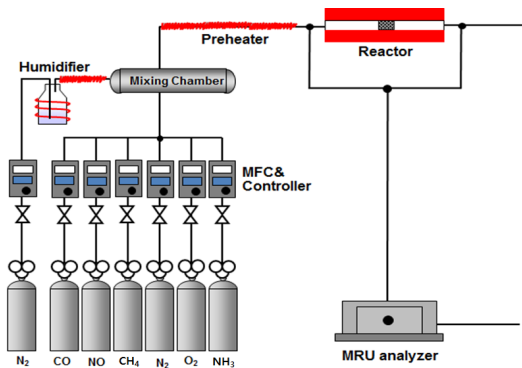


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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

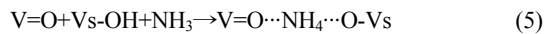
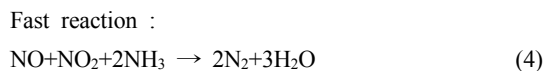
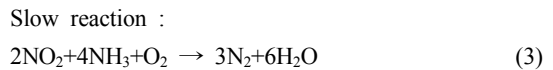
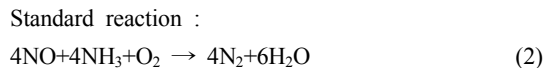
은 4종 SCR 촉매의 Fresh와 열적 열화에 따른 결정구조와 촉매 표면의 원소 구성비와 원소의 화학결합상태를 파악하기 위하여 분석하였다. SCR 촉매의 유해가스 정화성능은 식 (1)과 같이 계산하였으며, 촉매 반응 후의 가스 성분은 가스분석기(VarioPlus Industrial, MRU Instruments, Inc.)를 이용하여 1초 간격으로 정량적으로 측정하였다.

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

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.



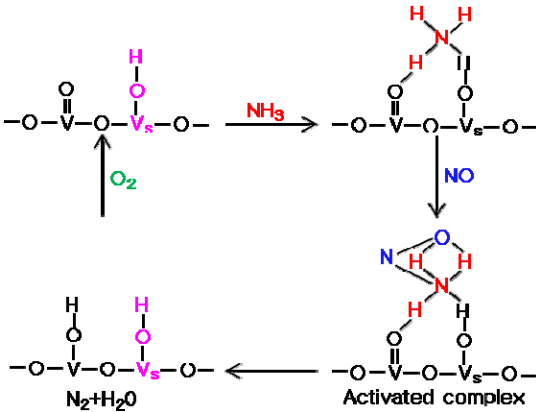


Fig. 2 Structural formula of de-NOx mechanism at Bronsted acid site of V₂O₅-SCR

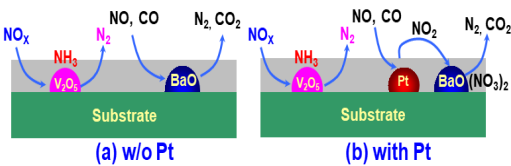


Fig. 3 Schematic of proposed de-NOx mechanism according to w/o and with Pt

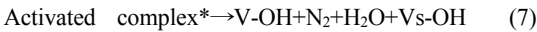


Fig. 3은 이번 연구에서 V₂O₅-SCR 촉매의 성능 개선을 위한 도전적인 de-NOx 저감 메커니즘을 나타내고 있다. SCR 촉매는 배출되는 가스 중에 산소 농도가 높은 희박한 조건에서 환원 반응한다. Fig. 3(a)는 기존 SCR 촉매에서 산소 농도가 높은 조건에서 V₂O₅가 NH₃와 선 흡장 후 NO_x를 저감시킨다. 그리고 알칼리 계열인 NO_x 흡장물질 (Ba, Ca, K)을 SCR 촉매에 포함시켜 엄격해 질 Post-Euro VI 배기규제를 대응하고자 제안하는 도전적인 반응메커니즘을 나타내고 있다. Fig. 3(b)는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

있다. 여기서 2Pt를 첨가하는 이유는 소량의 귀금속 Pt가 첨가되어야 de-NO_x 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-NO_x 성능을 위하여 Fig. 3에서 제안한 NO_x 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, NO_x 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 NO_x 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 NO_x 흡장 물질이 첨가된 1-3번 SCR 촉매는

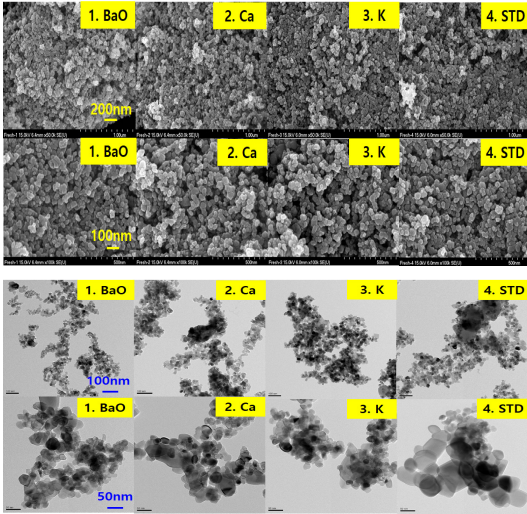


Fig. 4 SEM/TEM image of Fresh V₂O₅-SCR catalysts

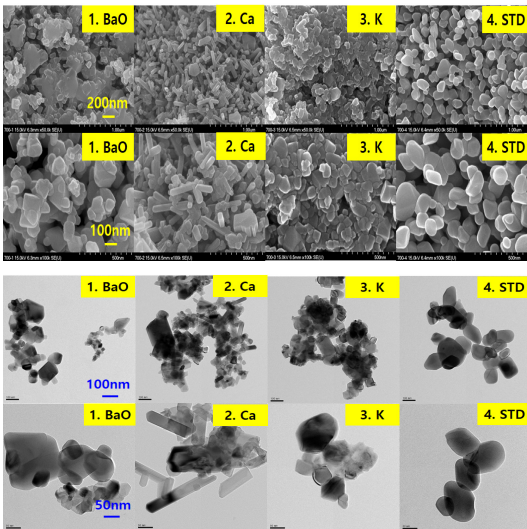


Fig. 5 SEM/TEM image of thermal aging V₂O₅-SCR catalysts

anatase 결정구조를 이루고 있으며, 이는 NO_x 흡장물질(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 흡장 물질과 열적 열화에 따른 촉매 표면의 XPS spectra이다. Ca

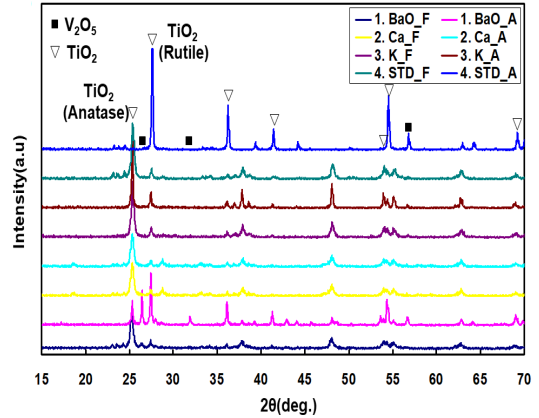


Fig. 6 XRD spectra according to NO_x storage material and thermal aging

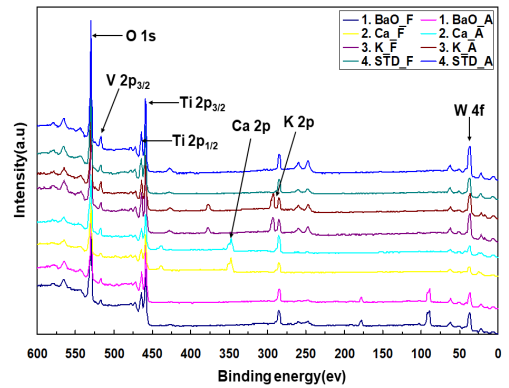


Fig. 7 XPS spectra according to NO_x storage material and thermal aging

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 흡장 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

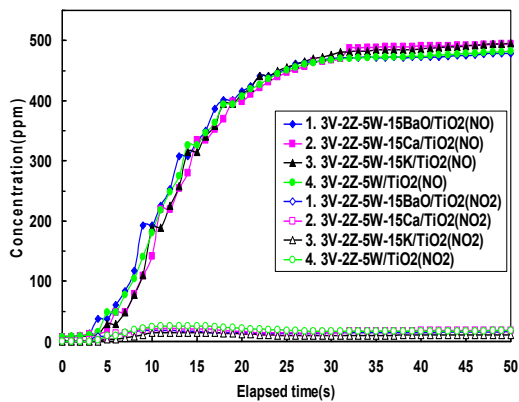
(3V-2Z-5W/TiO₂)에 비해 NO_x 흡장 물질이 포함된 1, 2 그리고 3번 촉매는 NO의 NO₂로의 산화능력을 제공하는 Pt 귀금속 물질의 부재로 인하여 NO와 NO₂의 농도변화는 거의 변화가 없다. 4번 STD SCR 촉매에 비해 산화능력이 좋은 Pt를 추가하여 NO_x 가스 거동을 살펴보았다. Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 5, 6 그리고 7번 Pt가 포함된 V₂O₅-SCR 촉매는 NO₂ 농도가 높고, NO의 농도가 낮다. 특히 7번 V₂O₅-SCR 촉매의 NO₂ 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 전반적인 경향은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

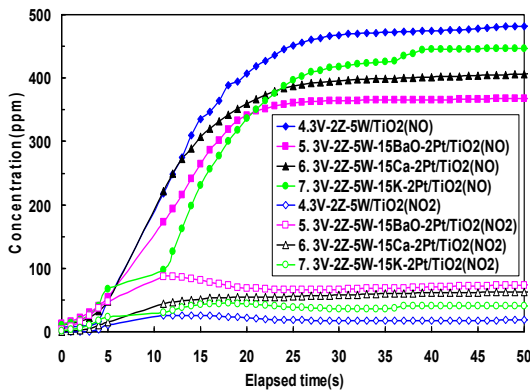
3.3 귀금속 2Pt 포함에 따른 V₂O₅-SCR 촉매의 De-NO_x/CO 성능

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

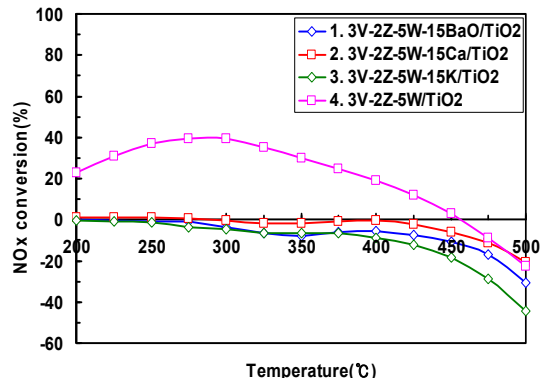


(a) w/o Pt

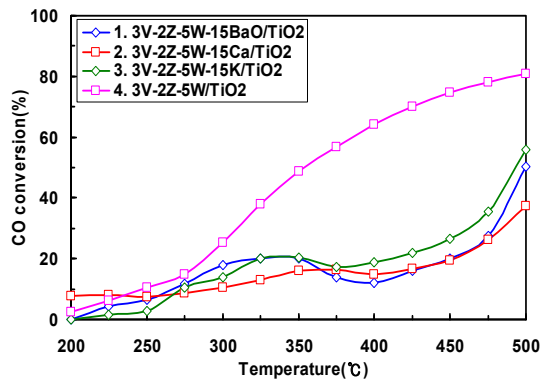


(a) with Pt

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

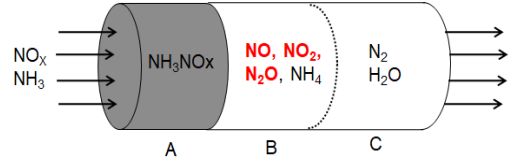
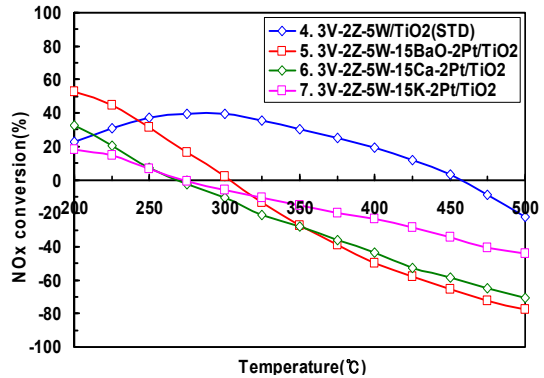
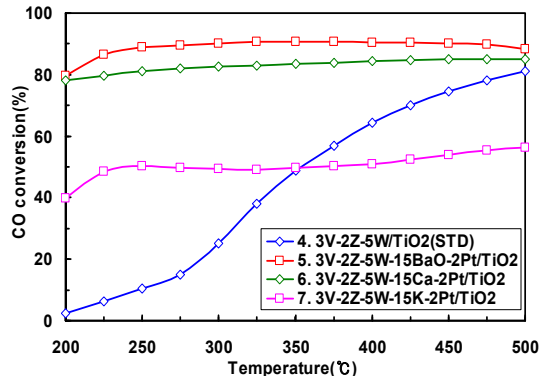


Fig. 10 Schematic diagram of NO_x reduction according to axial length on SCR catalyst



(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. Frola, 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>)