

## Pt/ $\gamma$ -Alumina/Cordierite 비드형 세라믹 폼 필터의 NO<sub>x</sub> 제거 특성

### De-NO<sub>x</sub> Characteristics for Pt/ $\gamma$ -Alumina/Cordierite Foam Filter of Beads Shape

박 정 욱 · 박 제 현 · 박 재 구\*

한양대학교 지구환경시스템 공학과

(2006년 10월 11일 접수, 2007년 6월 8일 채택)

Jung-Wook Park, Jay-Hyun Park and Jai-Koo Park\*

Department of Geoenvironmental System Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

(Received 11 October 2006, accepted 8 June 2007)

#### Abstract

Porous cordierite beads, of which the average pore size was 130  $\mu\text{m}$  and porosity was about 80%, were prepared by the foaming method and then their application as support of the Pt/ $\gamma$ -alumina catalyst for NO<sub>x</sub> reduction with propene was investigated. The pressure drop of a 2 mm porous beads filter was less than that of a 1 mm porous beads filter and the difference in pressure drop between these two increased as the flow rate increased. The catalytic activity of Pt/ $\gamma$ -alumina washcoated on the porous bead was tested with varying Pt loading (0.005~0.1 g/cm<sup>3</sup>), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>/NO mole ratio (0.5~8), space velocity (20,000~30,000 h<sup>-1</sup>) and oxygen contents (1 and 8). Pt loading of 0.04 g/cm<sup>3</sup> showed the highest activity for NO<sub>x</sub> conversion. The De-NO<sub>x</sub> test was operated in the temperature range of 200~400°C and the best operation temperature of the catalytic filter is about 250°C. As the C/N ratio increased, increase of the NO<sub>x</sub> conversion might result from the increase in exhaustion of the amount of oxygen by the reduction of hydrocarbon. NO<sub>x</sub> conversion at 20,000 h<sup>-1</sup> of space velocity shows a maximum 34% higher conversion than that at 30,000 h<sup>-1</sup>. On condition that O<sub>2</sub> was 5%, space velocity was 20,000 h<sup>-1</sup> and the C/N ratio was 8, the NO<sub>x</sub> conversion exhibited a maximum of 40% at 250°C.

**Key words** : Propene, Gamma alumina, Platinum, Cordierite, Foam, Beads, NO<sub>x</sub>

#### 1. 서 론

경유 차량은 가솔린 차량에 비해 연료소비율, 내구

성 및 연소효율이 우수한 반면 차량에서 배출되는 배기가스는 인체에 매우 유해할 뿐만 아니라 시각적으로 혐오감을 유발하여 공해의 주원인으로 인식되고 있다. 특히 도시지역에서의 질소산화물(Nitrogen Oxide: NO<sub>x</sub>)과 부유입자상물질(Suspended Particulate Matter: SPM)의 주된 오염원은 자동차이며, 그 중 경

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-2220-0416, E-mail : jkpark@hanyang.ac.kr

Table 1. Chemical components of cordierite.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig.loss
wt.%	50.01	35.24	13.81	0.22	0.25	0.18	0.05	0.07	tr

유차에 의한 요인이 크다(임철수 등, 2003). 환경부에서는 경유 자동차의 배출가스 허용 기준을 2006년부터 유럽연합(EU) 수준으로 크게 강화하는 내용을 골자로 하는 대기환경보전법시행규칙을 개정·공포한 바 있다. 개정안에 따르면 경유자동차 배출가스 기준은 EU에서 2005년부터 적용하는 'EURO IV' 수준으로 강화되어 질소산화물의 30~67%를 저감해야 한다. 더욱이 2008년부터 시행예정인 'EURO V'와 같은 보다 엄격한 배출가스 규제를 만족시키기 위해서는 경유 자동차용 NO<sub>x</sub> 저감기술에 대한 연구가 폭넓게 진행되어야 할 것으로 생각된다.

경유자동차의 질소산화물 제거 후처리 촉매 기술로는 환원제로 Urea를 사용하는 Urea SCR (Selective Catalytic Reduction: SCR), 환원제로 HC (Hydro-Carbon)을 사용하는 LNC (Lean NO<sub>x</sub> Catalyst), 그리고 흡착제와 엔진 조작을 통해 질소산화물을 환원시키는 LNT (Lean NO<sub>x</sub> Trap)기술 등이 있다(김지용 등, 2000). 이 중 NO<sub>x</sub> 저감을 위한 촉매 연구 분야로 연소가스 성분을 이용한 NO<sub>x</sub>의 선택적 환원(selective reduction)에 관심이 모아지고 있다(Iwamoto and Hamada, 1991). 연구 결과에 의하면 일부 촉매들은 탄화수소(HC)가 첨가될 시 NO<sub>x</sub>의 선택적 촉매저감(selective catalytic reduction)을 촉진시킨다는 사실이 밝혀졌다. 또한, 탄화수소(HC)에 의한 NO<sub>x</sub> 저감방법은 유황의 피독(sulfur poisoning)에 강할 뿐만 아니라 NO<sub>x</sub> 전환율도 높은 것으로 알려지고 있다(Kucherov *et al.*, 1995). 디젤차의 연료인 경유를 배기 가스내 환원제로 사용하는 것은 차량에 암모니아 저장탱크를 달고 다니는 SCR시스템을 설치하는 것보다 실용적이라 할 수 있다.

한편, 후처리용 장치로는 허니컴형 필터가 일반적으로 보급되어 있다. 그러나 허니컴형 필터는 구조적으로 열 충격에 약하고 유지보수가 어려운 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 고 기공율의 표면적이 큰 다공성 세라믹비드(porous ceramic beads)를 제조한 후 촉매지지체로 활용하였다. 이하 LNC 시스템으로의 적용을 위한 비드 충전형 필터의 NO<sub>x</sub> 저감특성에

대해 보고한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 세라믹 지지체 비드의 제조

비드형 세라믹 폼(foam)지지체 제조를 위한 출발 원료는 코디어라이트를 사용하였다. 표 1은 지지체 출발원료인 코디어라이트의 화학적 조성비를 나타낸 것이다.

비드형의 세라믹 폼지지체 제조공정은 고농도 슬러리 제조, 발포, 겔캐스팅, 성형, 건조 그리고 소성과정으로 구성되어있다(한요섭 등, 2004). 발포용 코디어라이트 슬러리는 45 vol.%의 고농도 슬러리로 제조하였으며, 제조된 슬러리는 액 중 조립법을 이용하여 성형함으로써 구형 세라믹 비드 지지체를 제조하였다(Lee and Park, 2003; Park and Lee, 2003).

### 2.2 촉매필터 제조

#### 2.2.1 워시코트 공정

필터의 촉매층을 형성시키기 위한 방법으로 워시코트 공정(washcoat process)이 많이 사용되어 지고 있다. 본 연구에서는 슬러리 발포법으로 제조된 코디어라이트 폼지지체에  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 워시코트한 후 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>의 전구체를 담지하여 촉매필터를 제조하고 활성을 비교하였다. 기본적인 워시코트 공정은 그림 1과 같다.

우선 일정량의 감마 알루미늄( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sunkoo Chemical LTD.)를 증류수에 넣어 혼합한 후 24시간 동안 습식 분쇄한 슬러리를 약산 조건으로 조절한다. 이렇게 얻어진 워시코트용 슬러리에 열적 안정성 그리고 촉매의 활성과 내구성을 위해 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 소량 첨가한 후 코디어라이트 폼지지체에 담지시키고 120°C에서 9시간, 500°C에서 3시간동안 소성한다(Ertl *et al.*, 2002). 그림 2는  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 코디어라이트의 제타전위를 측정하여 나타낸 것이다.

그래프에서 보듯이 pH가 4~5에서 두 물질의 전

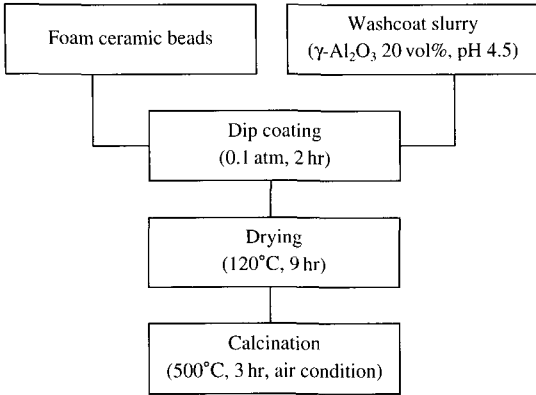


Fig. 1. Process for washcoat of  $\gamma$ -alumina on bead.

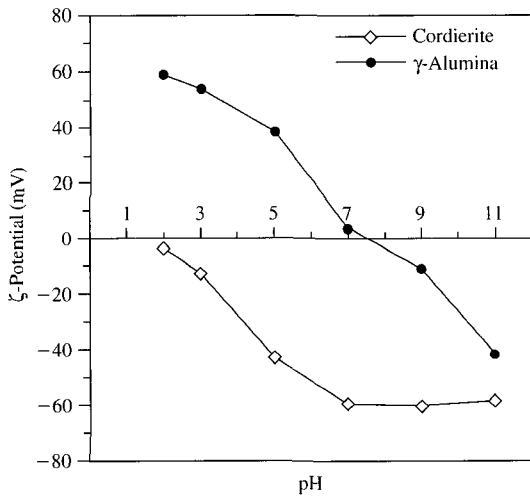


Fig. 2.  $\zeta$ -potential of cordierite and  $\gamma$ -alumina.

위치가 가장 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 코디어라이트 지지체에  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 슬러리를 pH 4~5로 조절하여 워시코트 하였다 (Ronald and Farrauto, 2002).

2. 2. 2 백금촉매의 함침공정

촉매는 백금촉매의 전구체인 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 용액을 사용하였으며, 용액의 농도를 바꾸기며 촉매 담지량을 조절하였다. H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 용액의 농도는 0.005, 0.02, 0.04, 0.05, 0.1 g/cm<sup>3</sup>이었으며, 제조된 각각의 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 용액을 이용하여 진공함침 농축법 (Vacuum evaporation impregnation method: VEI method) (Naisheng *et al.*,

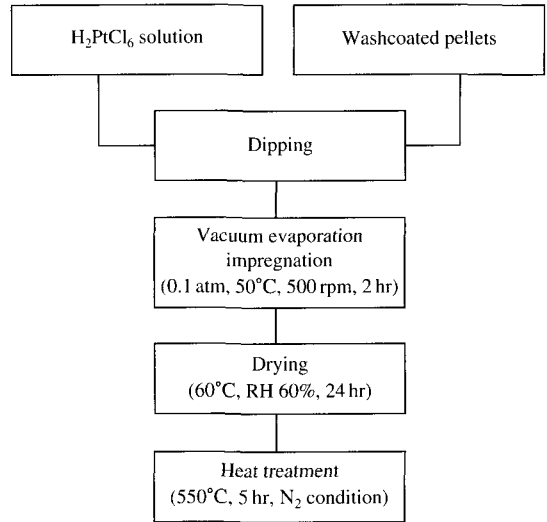


Fig. 3. Platinum catalyst impregnation process.

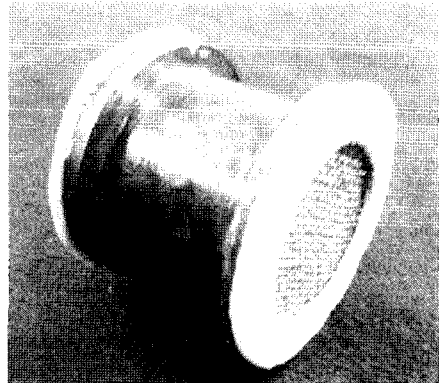


Fig. 4. Filter packed with ceramic beads.

2001)으로 비드형의 세라믹 폼지지체 표면에 백금촉매를 함침시켰다. 함침공정은 그림 3과 같다. 비드형 폼지지체는 0.1 mbar, 50°C, 500 rpm 조건하에서 2시간동안 진공함침시켜 코팅한 후, 상대습도가 60%, 온도 60°C의 조건으로 24시간동안 건조시켰다. 이는 건조기를 사용하여 건조하는 경우, 필터에 코팅시킨 전구체 수용액이 건조과정에서 표면으로 빠져 나오기 때문에 내부에는 전구체 수용액이 남지 않고 표면에만 촉매가 존재하는 것을 방지하기 위해서 이다. 완전히 건조된 비드형 폼 필터는 그림 4와 같이 누출을 최소화하기 위해 홀더에 메쉬를 세라믹 페이스

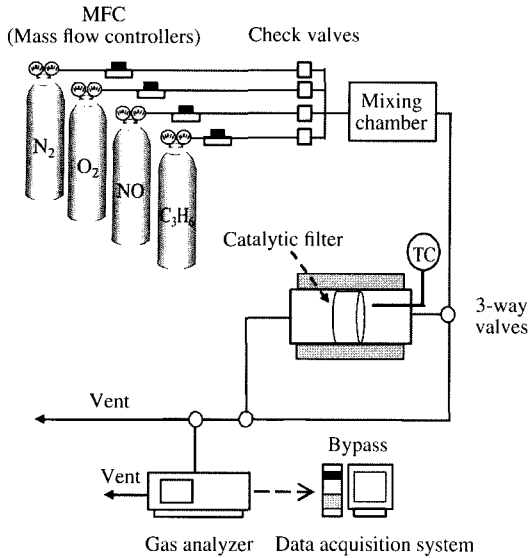


Fig. 5. Schematic diagram of De-NO<sub>x</sub> reactor.

트로 고정하였다. 홀더에 고정된 필터는 550°C에서 5시간동안 질소 분위기에서 열처리하였다. 이는 촉매가 원하는 금속상이 되도록 열적 환원을 시키는 과정이며, 기체의 유량은 100 mL/min이었다.

### 3. NO<sub>x</sub> 제거 특성 실험

#### 3.1 반응 장치

제조된 촉매 필터의 NO<sub>x</sub> 제거 효율을 알아보기 위한 성능 평가시스템을 구축하였다. 그림 5는 본 연구에서 사용된 성능 평가시스템의 모식도이다. 이 실험 장치는 크게 가스주입부분, 반응기 부분 그리고 반응 가스 분석부분으로 구성되어 있다. 반응기에 공급되는 가스는 일산화질소(NO), 프로필렌(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), 산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>)로 각 실린더부에 MFC(Mass flow controller, MKS Co.)를 사용하여 유량을 조절하였으며, 촉매 필터 후단에 온도센서를 연결하여 반응온도를 측정하였다. 실험 조건은 표 2와 같다.

NO<sub>x</sub> 전환율은 필터 유입 전후의 농도를 측정하여 다음 식에 의해 계산하였다.

$$NO_x \text{ conversion [\%]} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

Table 2. Experimental conditions in De-NO<sub>x</sub> reactor.

Pt loading (g/cm <sup>3</sup> )	0.005 ~ 0.10
Reaction temperature (°C)	200 ~ 400
Space velocity (h <sup>-1</sup> )	20,000, 25,000, 30,000
NO (vol. ppm)	500
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (vol. ppm)	500
O <sub>2</sub> (vol. %)	5, 10
N <sub>2</sub>	Balance

C<sub>0</sub> : 필터 유입전의 NO<sub>x</sub> 농도

C : 필터 통과 후의 NO<sub>x</sub> 농도

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 세라믹 폼 지지체의 물성

발포법으로 제조된 지지체의 평균 기공율은 80%로 나타났으며, 기공 간에 서로 연결된 열린 기공(open pore)이 전체기공의 약 97%를 차지하였다. 따라서 제조된 다공성 세라믹 비드는 높은 기공율과 열린 기공구조로 인하여 배압이 낮고, 기공 내에 촉매를 담지 함으로써 넓은 활성 사이트를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 6은 제조된 세라믹 비드형 폼지지체의 SEM 사진을 나타낸 것이다. 지지체의 기공형상이 구형이며, 열린 기공으로 형성되어 있음을 알 수 있었다.

### 4.2 촉매 필터 평가

#### 4.2.1 배압특성

압력손실을 고려한 필터의 적용 가능성을 테스트하기 위하여 촉매코팅 된 비드형 필터의 유량 변화에 따른 배압특성을 측정하였다. 준비된 비드형 필터의 홀더의 직경은 승용차 세라믹 허니컴필터 직경의 1/10인 30 mm로 하였으며, 비드 충전 홀더의 길이는 100 mm로 하였다. 이때 실험에 사용한 비드는 칩경 1 mm, 2 mm 크기의 것으로 충전 하였다. 또한 시험관에 흐르는 공기의 유량은 기관 회전수 2,400 rpm으로 운전되는 경우를 가정하여 0.5 ~ 2.0 L/s로 하였다. 그림 7은 촉매 코팅된 비드형 필터와 코팅되지 않은 비드형 필터의 배압변화를 나타낸 것이다. 그래프를 통해서 알 수 있듯이, 배압은 유량이 증가할수록 증가되었으며, 직경 1 mm 크기의 비드보다 2 mm 비드가 배압측면에서는 우수한 것으로 나타났다. 2

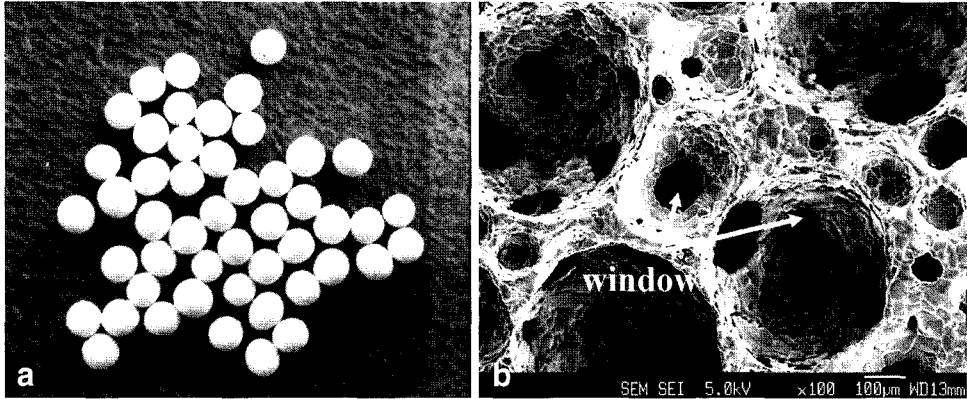


Fig. 6. Image of cordierite foam beads (a) and inter-connected pore of beads (b).

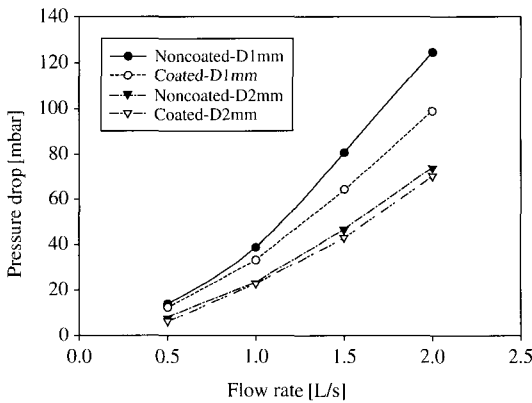


Fig. 7. Bead bed pressure drop versus flow rate.

mm 비드의 경우 간극이 비드내 기공크기에 비해 상대적으로 크기 때문에 비드내 기공에 의한 배압영향이 미미하여 코팅 전·후의 배압차이가 작게 나타난 것으로 보인다. 한편, 1 mm 비드의 경우에는 코팅 전·후의 배압차이가 크게 나타나는데 이는 비드내 내부의 기공이 배압에 미치는 영향이 상대적으로 크기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4. 2. 2 코팅층 평가

허니컴 구조에 감마알루미나를 위시코트를 하였을 경우 코팅 층 두께는 일반적으로 20~60µm 정도이나 담지슬러리의 농도와 담지 횟수에 의해 조절가능하다. 그림 8은 세라믹 지지체에 위시코트 공정을 거친 후 표면에 대한 SEM,을 통한 사진과 EDX를 분

석을 한 결과이다. 사진에서 보는 바와 같이 다공성 지지체 위에 위시코트층의 두께는 약 200µm 정도로 판별되었다. 또한 EDX 자료로부터  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/cordierite 비드 필터표면에 백금이 존재한다는 것이 뚜렷하게 나타나며 백금전구체인 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>에 존재하는 Cl 등이 미량으로 표면에 존재하는 것을 알 수 있었다.

### 4. 3 NO<sub>x</sub> 제거 특성

#### 4. 3. 1 백금 함량의 영향

백금 촉매 함량에 따른 활성을 비교하기 위하여 촉매 함량을 각각 0.005, 0.02, 0.04, 0.05, 0.1 g/cm<sup>3</sup>로 조절하여 실험하였다. 그림 9는 각 농도별 촉매 담지된 비드 필터를 이용하여 다양한 온도조건하에서 NO<sub>x</sub> 전환율을 측정된 결과이다. 이때 운전 조건으로는 공간속도(space velocity, SV)를 20,000 h<sup>-1</sup>, 산소농도는 5% 그리고 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/NO 비율 8로 고정하였다. 촉매 담지량이 증가할수록 NO<sub>x</sub> 전환율은 증가하지만, 0.04 g/cm<sup>3</sup> 이상의 담지량이 되면 더 이상의 NO<sub>x</sub> 전환율이 관찰되지 않는다. 이는 백금함량이 증가함에 따라 촉매활성이 증가하다가 일정농도 이상이 되면 활성이 오히려 약간 감소하는 서세훈 등(2001)의 실험 결과와 유사한 경향을 나타낸 것으로 생각된다. 즉, 저농도에서는 백금함량이 증가 할수록 촉매활성이 향상되나, 고농도에서는 표 3에서 알 수 있듯이 비표면적의 감소로 인하여 촉매활성이 감소되는 것으로 사료된다. 이와 같은 비표면적 감소 현상은 백금의 함량이 증가하면서 필터 내부 미세기공의 막힘

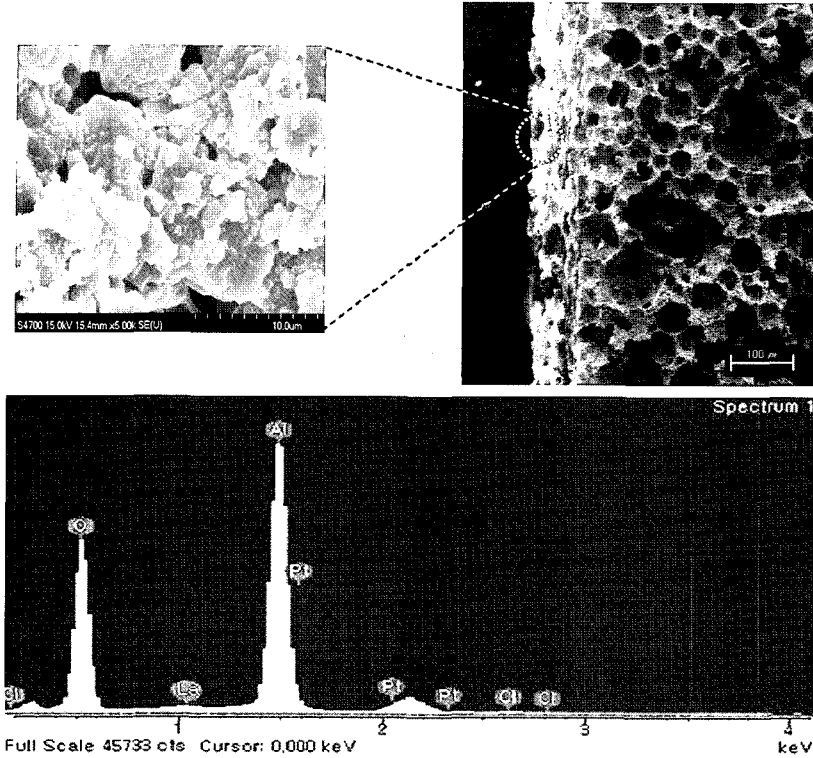


Fig. 8. SEM and EDX analysis of Pt/γ-alumina/Cordierite.

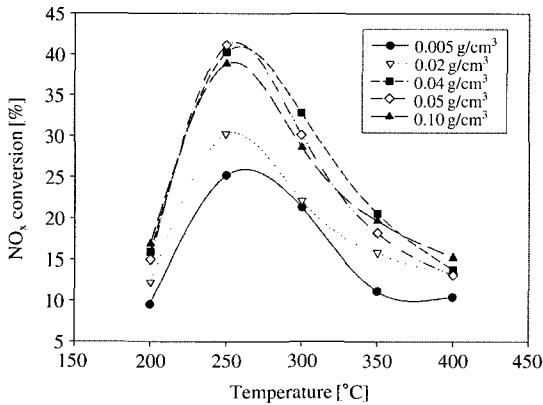


Fig. 9. Effect of Pt loading on NO<sub>x</sub> conversion at various reaction temperature: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/NO=8, SV=20,000 h<sup>-1</sup>.

Table 3. Specific surface area of Pt/γ-alumina/cordierite catalysts.

Catalytic filter	
Pt loading (g/cm <sup>3</sup> )	Surface area (m <sup>2</sup> /g)
0.005	82.13
0.02	73.79
0.04	69.24
0.05	64.51
0.10	42.79

범위에서 활성을 나타내며, N<sub>2</sub>에 대한 높은 선택도를 갖고 있어 N<sub>2</sub>O가 발생되지 않고 모두 N<sub>2</sub>로 전환되는 것으로 알려져 있다. 귀금속 계열의 촉매 중 백금계 촉매는 매우 우수한 촉매성능을 나타낸다(Chang and McCarty, 2006). 그림 10은 반응온도 200~400 °C 범위에서 제조한 백금촉매필터의 NO<sub>x</sub> 전환율을 보여준다. 실험을 단순화 하기 위하여 공간속도는 20,000 h<sup>-1</sup>, 필터단위부피당 백금함량은 0.04 g/cm<sup>3</sup>, 산소농도는 5%로 고정하였다. 실험한 결과 C/N 비가

현상(Clogging) 등이 원인인 것으로 생각된다.

#### 4.3.2 반응온도의 영향

백금 등 전이금속 촉매는 300°C 이상의 높은 온도

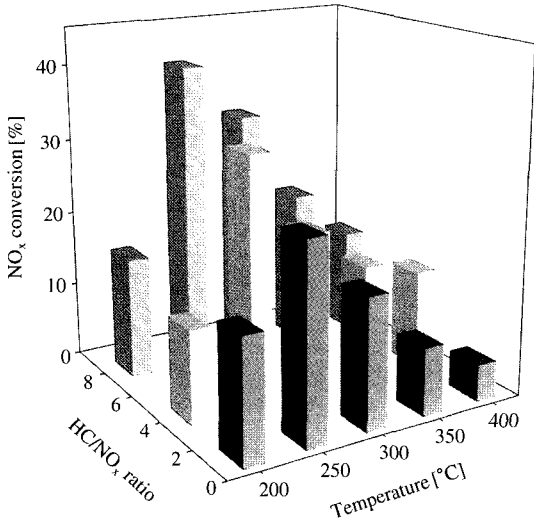


Fig. 10. The correlation between reaction temperature and NO<sub>x</sub> conversion at different C/N ratio.

8일 때 250°C에서 NO<sub>x</sub> 전환율이 약 40% 정도로 가장 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 백금과 같은 귀금속 촉매의 경우 특히 프로필렌을 환원제로 사용했을 때는 유해가스 물질에 대하여 피독성이 우수하여 200~250°C 정도의 낮은 온도 범위에서 촉매활성을 나타내는 것으로 보인다.

4. 3. 3 C/N비의 영향

본 연구에서는 HC 환원제로 디젤대신 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>을 사용하였으며 C/N 비를 0.5~8로 설정하여 실험하였다(Yasuhisa *et al.*, 1998). 그림 11에서 보면 환원제의 주입량에 따른 NO<sub>x</sub>의 전환율은 본 실험의 범위 내에서 C/N 비가 8일 경우 최대 38%에 달했다. 이는 환원제의 주입량에 따른 NO<sub>x</sub>의 전환율에 있어 환원제의 양이 차지하는 역할이 결정적인 것임을 알 수 있다.

실제 디젤 배기가스의 경우 HC/NO의 비율이 1 이하이기 때문에 이러한 환원제의 역할을 연료가 대신하고 있는 것이 바로 active시스템이다. HC 또한 이러한 실험결과로 미루어 볼 때 실제 디젤자동차에 De-NO<sub>x</sub> 시스템을 적용하였을 경우 디젤 연소과정에서 배출되는 산소로 인해 passive De-NO<sub>x</sub> 시스템에서 나오는 HC의 양으로는 NO를 충분히 환원시키지 못하고 결국 디젤을 HC으로 강제 개질시켜 주입해

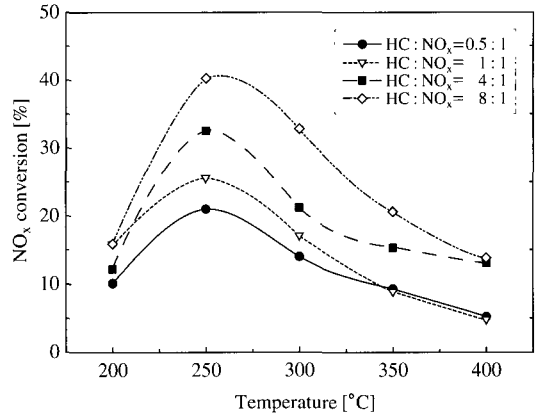


Fig. 11. The effect of C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>/NO ratio on NO<sub>x</sub> conversion: SV=20,000 h<sup>-1</sup>, O<sub>2</sub>=5%, Pt loading=0.04 g/cm<sup>3</sup>.

주는 active De-NO<sub>x</sub> 시스템이 (Yongming *et al.*, 2004) 반드시 필요한 것을 알 수 있다. 하지만 active De-NO<sub>x</sub> 시스템으로의 적용을 위해서는 HC/NO<sub>x</sub> 비율이 3~12 범위로 HC 농도가 상당히 높아야 NO<sub>x</sub> 저감 효과가 나타난다. 이를 위해서는 연비 3% 정도의 손실을 감수하여야 하는 문제점이 남아 있다(Ronald and Farrauto, 2002).

4. 3. 4 산소 농도의 영향

일반적으로 디젤자동차에서 배출되는 배기가스 중 산소는 약 3~10% 정도 포함되어 있다. 이러한 산소는 De-NO<sub>x</sub> 시스템에서 환원제로 사용되는 HC의 NO 선택성을 감소시킨다. NO<sub>x</sub> 제거 실험에서도 산소가 주입되면 NO<sub>x</sub> 제거율이 감소하게 되는데, 본 실험에서도 산소가 주입됨에 따라 NO<sub>x</sub> 제거율이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그림 12는 산소농도에 따른 NO<sub>x</sub>의 전환율을 보여주는 그래프이다. 실험변수로는 일반적인 디젤 자동차 배기가스의 산소농도를 고려하여 산소농도는 5%, 10%로 결정하였으며 실험 조건은 공간속도는 20,000 h<sup>-1</sup>, 그리고 C/N비를 1과 8의 몰비로, 필터단위부피당 백금 담지량은 0.04 g/cm<sup>3</sup>로 고정하였다. 실험결과 산소농도가 5%에서 10%로 증가될 경우 약 6%의 NO<sub>x</sub> 전환율이 감소함을 볼 수 있었다. 미미한 차이이지만, 결국 환원제인 HC가 NO의 환원작용을 일으키기 전 먼저 산소와 결합하여 H<sub>2</sub>O와 CO, CO<sub>2</sub>를 생성하기 때문에 산소의 존재는 NO<sub>x</sub> 제거율이 악영향을 미친 것으로 판단

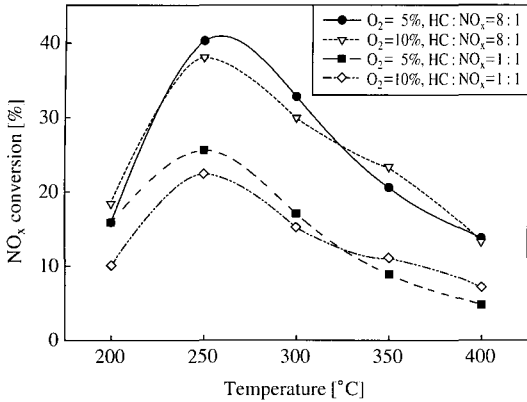


Fig. 12. The effect of oxygen content on NO<sub>x</sub> conversion: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/NO=1 & 8, SV=20,000 h<sup>-1</sup>, Pt loading=0.04 g/cm<sup>3</sup>.

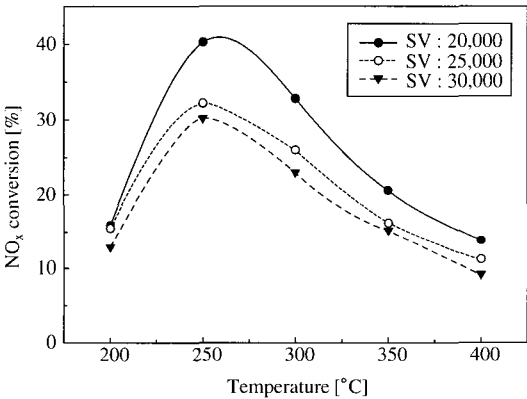


Fig. 13. The effect of space velocity on NO<sub>x</sub> conversion: C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>/NO=8, O<sub>2</sub>=5%, Pt loading=0.04 g/cm<sup>3</sup>.

된다.

#### 4. 3. 5 공간속도의 영향

일반적으로 공간속도가 커지면 촉매와 반응물의 접촉시간의 감소로 촉매활성이 감소하게 된다. 본 실험에서는 정상적인 운전상태의 공간속도를 감안하여 공간속도 20,000~30,000 h<sup>-1</sup>의 구간에서 세라믹 비드형 촉매필터의 촉매 활성에 대해 살펴보았다. 그림 13은 공간속도에 따른 NO<sub>x</sub>의 전환율을 나타내는 그래프이다. 그래프를 통해 알 수 있듯이 제조된 촉매필터는 공간속도가 증가함에 따라 활성이 감소되었으며, 최고 효율을 보이는 공간속도인 20,000 h<sup>-1</sup>에서

의 전환율과 공간속도 30,000 h<sup>-1</sup>에서의 전환율을 비교해 보았을 때 약 30% 정도의 비교적 큰 폭의 전환율 차이가 나타났다.

## 5. 결 론

3차원 망상형 구조의 코디어라이트 세라믹 비드를 이용하여 Pt/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/cordierite 필터를 제조하였다. 제조된 촉매필터를 이용하여 프로필렌을 환원제로 NO<sub>x</sub> 제거용 환경촉매로의 가능성에 대해 검토 하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

Pt/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cordierite 촉매필터의 실험결과, 반응온도 250°C, C/N비 8, 그리고 백금담지량 0.04 g/cm<sup>3</sup>에서 NO<sub>x</sub> 전환율이 약 40%로 가장 높게 나타났다. 백금 촉매의 경우 일정량 이하이면 촉매의 절대량의 부족으로 촉매활성이 감소하고, 일정량 이상의 과잉으로 담지 되었을 경우에는, 촉매비표면적의 감소로 인해 NO<sub>x</sub> 전환율이 오히려 감소하는 현상이 나타났다. 본 실험에서 NO<sub>x</sub> 전환율이 가장 높게 나타나는 백금촉매의 최적량은 0.04 g/cm<sup>3</sup>이었다. 또한 비드형 촉매필터에서 산소의 농도가 높을수록 NO<sub>x</sub> 전환율은 감소되는데 이는 산소가 환원제인 HC와 먼저 결합하여 NO 선택성을 떨어뜨리기 때문이다. 실험 결과로 미루어 실제 디젤자동차에 LNC시스템을 적용하였을 경우, 디젤 자동차 연소과정에서 배출되는 산소로 인해 passive De-NO<sub>x</sub> 시스템에서 나오는 0.5의 C/N 비의 양으로는 NO 전환율이 최대 24%에 지나지 않기 때문에 HC 주입에 의해 본 실험의 범위 내에서는 C/N 비를 8까지 증가시켜 NO 전환율을 약 40%까지 증가시킬 수 있도록 active De-NO<sub>x</sub> 시스템이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 김지용, 이상권, 한영욱(2000) 촉매 필터 반응기를 이용한 경유연소 배가스 내의 NO저감, 한국대기환경학회 추계학술대회는문집, 257-258.
- 서세훈, 정 현, 이재근(2001) Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 촉매상에서 탄화수소를 이용한 고정배출원의 질소산화물 제거, 대한환경공학회지, 23(8), 1245-1254.
- 임철수, 엄명도, 류정호, 황진우, 김예은(2003) 경유차 저공해



- 기술 적용에 따른 나노입자 저감특성, 한국대기 환경학회 추계학술대회논문집, 183-184.
- 한요섭, 김현중, 박재구 (2004) V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub> 촉매 담지된 세라믹 폼 필터를 이용한 NO<sub>x</sub> 제거 특성, 한국대기환경학회지, 20(6), 773-781.
- Chang, Y.F. and Jon G. McCarty (2006) Novel oxygen storage components for advanced catalysts for emission control in natural gas fueled vehicles, *Catalysis Today*, 30, 1-3, 163-170.
- Ertl, G., H. Knözinger and J. Weitkamp (2002) *Environmental catalysis*, 1st ed., WILEY-VCH, 5-15.
- Iwamoto, M. and H. Hamada (1991) Removal of nitrogen monoxide from exhaust gases through novel catalytic processes, *Catal. Today*, 10, 57-71.
- Kucherov, A.V., J.L. Gerlock, H.W. Jen, and M. Shelef (1995) In situ ESR monitoring of CuH-ZSM-5 up to 500 °C in flowing dry mixtures of No(NO<sub>2</sub>), C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), and excess O<sub>2</sub>, *J. Catalysis*, 152, 63-69.
- Lee, J.S. and J.K. Park (2003) Processing of porous ceramic spheres by pseudo double emulsion method, *Ceram. Int.*, 29, 271-278.
- Naisheng, Y., C. Pinckney, S. Lim, C. Pak, and G.L. Haller (2001) Synthesis and characterization of Pt/MCM-41 catalysts, *Micropor.s and Mesopor, Materials*, 6, 377-384.
- Park, J.K. and J.S. Lee (2003) Preparation of porous cordierite using gelcasting method and its feasibility as a filter, *J. Porous Mater.*, 9, 203-210.
- Ronald, M.H and R.J. Farrauto (2002) *Catalytic air pollution control*, 2nd Ed., Wiley Inter-science., 16, 92-96.
- Yasuhisa, K., H. Akama, M. Kamikubo, and M. Shinzawa (1998) Passive and active performance characteristics of NO<sub>x</sub> catalysts for direct-injection diesel engines for passenger cars, SAE, 982606.
- Yongming, L., J. Hao, Z.H., L.F., Rongtao Li, P. Ning, and X. Zheng (2004) Influence of preparation methods on selective catalytic reduction of nitric oxides by propane over silver-alumina catalyst, *Catal. Today*, 93-95, 797-803.