

저온에서 Mn-Cu 촉매의 NO_x 전환특성

박광희¹, 유승한², 박영옥³, 김상웅⁴, 차왕석^{2*}

¹경기대학교 환경에너지시스템공학과

²군산대학교 토목환경공학부

³한국에너지기술연구원

⁴(주)리드제넥스

NO_x Conversion of Mn-Cu Catalyst at the Low Temperature Condition

Kwang Hee Park¹, Seung Han You², Young Ok Park³,
Sang Wung Kim⁴ and Wang Seog Cha^{1*}

¹Department of Environmental Energy Systems Engineering, Kyonggi University

²School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University

³Clean Fossil Fuel Research Center, Korea Institute of Energy Research

⁴Leadgenex, Co

요약 활성증진 물질 Cu가 첨가된 Mn계 촉매를 제조하여 암모니아를 이용하여 질소산화물을 제거하는 SCR공정에서 질소산화물제거능을 측정하였다. 제조된 촉매를 사용하여 반응온도, 유량, 수분함량 그리고 산소농도에 대한 활성 변화를 조사하였다. H₂-TPR 시스템에서 온도에 따른 촉매의 수소전환특성을 측정하였다. 수분공급유무를 조절함으로써 촉매반응에 대한 수분의 억제효과를 파악하였다. Mn-Cu계 촉매는 160~260℃의 온도범위에서 높은 탈질효율을 보였다. 그리고 산소농도의 증가는 촉매활성 증진효과를 가져왔으나 수분함유는 촉매활성을 감소시키는 역할을 함을 알 수 있었다.

Abstract Mn catalyst promoted with Cu were prepared and tested for selective catalytic reduction of NO_x with NH₃. Performance of each catalyst was investigated for NO_x activity while changing temperature, space velocity, water content and O₂ concentration. Hydrogen conversion efficiency of catalyst was also measured in the H₂-TPR system. The inhibition effect of water on catalyst was investigated with the on-off control of water supply. High activity of Mn-Cu catalyst was observed for 160~260℃. It is found that increase of oxygen concentration acts as a promotor to the increase of catalyst activity but water content acts as a inhibitor.

Key Words : Catalyst, Low temperature, Mn-Cu

1. 서론

발전소 등을 비롯한 대형 연소시설에서 다량으로 배출되는 질소산화물은 대도시나 공장지대의 공해를 유발시키는 가스성분으로서 시정장애, 온실효과(N₂O)뿐만 아니라 산성비의 원인으로 작용하며, O₃, HCHO, PAN 등의

각종 산화제를 생성하여 2차오염을 유발시킨다. 주요 대기오염물질인 질소산화물을 제거하는 여러 공정 중 암모니아를 환원제로 사용하는 선택적촉매환원법(NH₃-SCR)은 높은 NO_x제거효율(90%이상)의 장점으로 인해 연소설비 후단에 폭넓게 설치되고 있다.

일반적으로 널리 알려진 SCR 촉매는 Al₂O₃ 또는 SiO₂

본 연구는 지식경제부 전력·원자력연구개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

*교신저자 : 차왕석(wscha@kunsan.ac.kr)

접수일 11년 07월 26일

수정일 11년 08월 22일

게재확정일 11년 09월 08일

담체에 귀금속을 담지한 촉매, Zeolite 담체에 Cu를 담지한 촉매, TiO₂에 V를 담지한 촉매들이 있다[1-3]. 이 중에서 V₂O₅/TiO₂ 촉매는 높은 활성을 나타낼 뿐만 아니라 황, 분진 등과 같은 피복물질에 대한 내구성도 높은 것으로 알려져있다. 그러나 V₂O₅/TiO₂계 촉매는 환원제로 NH₃/urea를 이용하여 300~400℃ 반응온도 영역에서 활성반응이 일어나며 고온영역으로 갈수록 암모니아의 산화반응으로 인해 질소산화물의 제거효율이 낮아질 뿐만 아니라 운전비용 상승, 촉매수명 단축 등과 같은 문제점이 발생한다. 따라서 상기와 같은 여러 문제점을 보완하기 위해 저온영역(약 150 ~ 200℃)에서 높은 활성을 나타내는 촉매의 개발에 대해 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 다양한 지지체에 크롬산화물, 니켈산화물, 바나듐산화물, 구리-니켈산화물, 망간산화물 등을 담지하여 활성반응온도를 낮추는 연구가 주를 이루고 있다[4-6].

본 연구에서는 저온 SCR 반응에 적용 가능한 촉매를 개발하기 위하여 주성분이 Mn인 Mn계 촉매를 대상으로 반응온도, 공간속도와 O₂ 및 수분영향 등의 공정조건에 따른 질소산화물의 저온 탈질특성을 연구하였다.

2. 실험 장치 및 촉매제조

2.1 촉매제조

본 연구에 사용된 촉매는 공침법으로 제조하였으며, 제조방법은 먼저 Mn(NO₃)₂·x H₂O(Sigma-Aldrich ≥ 98%) 수용액과 Cu(NO₃)₂·2.5H₂O(Sigma-Aldrich ≥ 99%) 수용액을 제조한 후 Mn/Cu atom ratio가 1.7~2.0 수준이 되도록 두 수용액을 혼합하였다. 얻어진 슬러지는 수차례 증류수로 세척한 후 24시간 동안 실온에서 aging한 후 진공 증발기를 통해 70℃에서 건조하였다. 건조된 촉매는 350℃에서 4시간 동안 공기분위기에서 소성하였다. 제조한 촉매의 성분을 표 1에 나타내었으며, 두 촉매 공히 Mn, Cu로 혼합된 산화물이 주성분을 이루고 있음을 알 수 있다.

[표 1] 촉매#1, #2의 EDS 분석

[Table. 1] EDS of catalyst #1, #2

| | O (wt.%) | Mn (wt.%) | Cu (wt.%) | Others (wt.%) | Total (wt.%) |
|----|-------------|--------------|--------------|------------------|-----------------|
| #1 | 36.27 | 34.94 | 19.27 | 9.52 | 100 |
| #2 | 40.09 | 36.64 | 20.64 | 2.63 | 100 |

2.2 실험방법

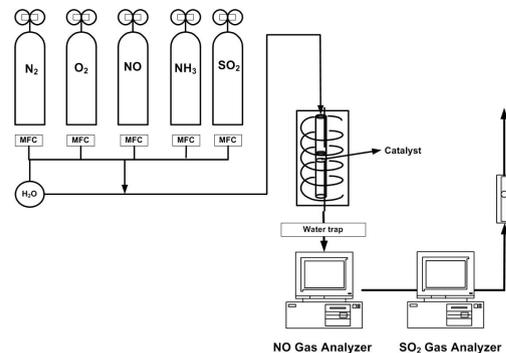
담체 및 촉매의 탈질반응 실험에 사용한 고정층 반응

기를 그림 1에 나타내었다. 이 실험장치는 크게 가스주입부분, 반응기부분, 그리고 반응가스분석부분으로 구성하였다.

반응기는 연속흐름형 고정층 반응장치로서 내경 8mm, 높이 600mm인 석영관으로 제작하였으며 촉매층을 고정하기 위해 quartz wool을 사용하였다. 반응기의 온도는 고정층 하부에 장착된 K-type의 열전대를 이용하여 PID 온도제어기로 조절하였으며 가스유입부분의 온도를 측정하기 위하여 촉매층 상부에도 동일한 형태의 열전대를 설치하여 촉매층 전·후의 온도 차이를 측정하였다. 물리적 변화 (mass and heat transfer limitation)가 없는 영역에서 실험을 하기 위하여 40 - 50 mesh (0.359 mm) 크기로 촉매를 체질하여 실험에 사용하였다.

반응기에 공급되는 가스는 NO, N₂, O₂, NH₃의 각 실린더로부터 MFC(Mass Flow Controller, MKS Co.)를 사용하여 유량을 조절하였다. 또한 수분의 공급은 N₂가 bubbler를 통하여 수분을 함유하여 반응기에 주입되도록 하였으며, 이 때 공급되는 양을 일정하게 하기 위하여 이중 jacket 형태의 bubbler 외부에 항온 순환조를 이용하여 일정온도의 물을 순환시켰다. 가스공급관은 전체에 걸쳐 스테인레스관으로 하였으며 NO와 NH₃가 반응하여 생기는 NH₄NO₃, NH₄NO₄와 같은 염의 생성을 방지하고 반응가스 중의 수분이 응축되지 않기 위하여 heating band를 감아 180℃로 일정하게 유지하였다.

반응물과 생성물의 농도를 측정하기 위하여 NO는 비분산적외선가스분석기(Uras 10E, Hartman&Braun Co.)와 화학발광분석기(42C HL, Thermo Ins.)를 사용하였으며 NO₂는 암모니아가 5ppm이상 배출되는 부분은 검지관(9L, Gas Tec. Co.)을, 그 이하의 부분에서는 상기의 화학발광분석기를 사용하였다. 암모니아의 농도는 검지관(3M, 3La, 3L, Gas Tec. Co.)을 사용하였다.



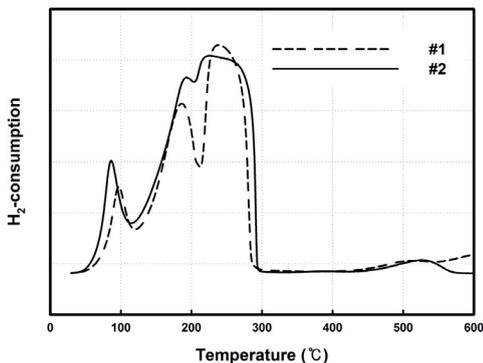
[그림 1] 촉매활성실험장치 개략도

[Fig. 1] Schematic diagram of equipment for catalyst activity test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Mn계 촉매의 H₂ 환원 특성

다음 그림의 Mn-Cu 혼합촉매의 H₂-TPR 결과를 그림 2에 나타내었는데, Mn과 Cu의 화학적인 환경과 다양한 산화상태 따라 Mn-Cu 혼합촉매의 수소에 의한 환원온도의 프로파일은 복잡하게 나타난다. 첫 번째 피크(~100°C)는 M-OH(M: Mn or Cu) 종에 의한 것이며, 이러한 종들은 촉매의 전처리 혹은 제조과정 중에서 불순물들이 완전히 제거되지 않은 상태인 것으로 판단할 수 있다. 비정질의 구리산화물은 비정질의 망간산화물보다 쉽게 환원이 되므로[7] 두 번째 피크(~200°C)는 Cu²⁺가 Cu⁰로 환원된 것이라고 할 수 있다[8]. 마지막 세 번째 피크(220~260°C)는 망간산화물에 의한 것이며 앞선 두 피크와는 다르게 두 개 혹은 그 이상의 피크가 겹쳐서 형성되어 비대칭을 이루고 있다. 이는 망간산화물이 Mn⁴⁺(MnO₂), Mn³⁺(Mn₂O₃), Mn²⁺(MnO)등의 산화상태를 이루고 있기 때문이라 할 수 있다. 낮은 온도(~240°C)에서 환원되는 것은 아마 쉽게 환원될 수 있는 Mn⁴⁺가 Mn³⁺로 환원되면서 발생한 것이며, 높은 온도에서 환원되는 것은 Mn³⁺가 Mn²⁺로 환원되면서 발생한 것이라고 할 수 있다. #1과 #2 촉매의 환원력을 비교하였을 때, #2 촉매의 수소에 의한 Cu²⁺와 Mn⁴⁺(MnO₂)가 환원되는 peak의 면적이 #1 촉매에 비하여 상대적으로 크게 형성됨을 확인하였다.

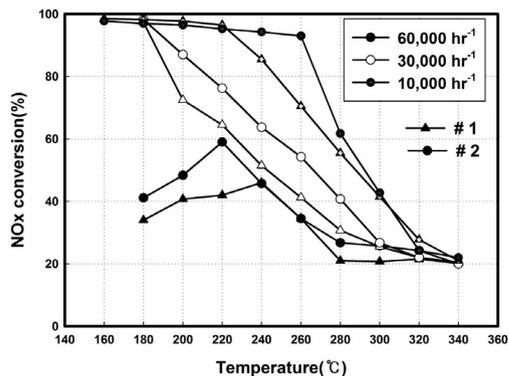


[그림 2] #1, #2의 H₂-TPR.
[Fig. 2] H₂-TPR of catalyst #1, #2.

그러나 SCR 반응은 촉매의 산화환원 반응, 산-염기반응, 흡착능력(산점), 비표면적 등 복합적인 작용으로 인하여 SCR 반응이 발생한다. 그러므로 환원능력이 우수하여도 다른 요인에 의하여 촉매의 탈질효율이 다를 수 있으므로 그 원인 촉매의 환원능력으로만은 탈질효율을 평가할 수 없다.

3.2 공간속도 영향

공간속도는 촉매의 목표성능을 위한 적절한 촉매의 양(설치공간)의 설정을 위한 실험이며 촉매의 양이 증가할수록 설치공간이 증가하여 초기 설치비용이 증가하게 된다. 따라서 적정의 촉매량 산정을 위한 공간속도의 실험은 가장 먼저 수행되어야 하는 필수실험이다.

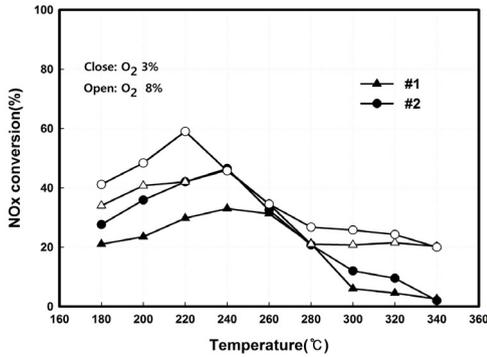


[그림 3] 공간속도에 따른 탈질효율 변화
[Fig. 3] NO_x conversion for the space velocity

그림 3은 각 반응온도변화에 따른 탈질촉매 #1, #2의 탈질효율변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 340°C의 고온에서는 적용 공간속도의 변화에 상관없이 탈질효율이 약 20% 수준인 것으로 나타났으나 전체적으로는 반응온도가 낮아질수록 탈질효율은 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 Mn-Cu를 혼합하여 촉매를 제조한 경우 Cu 함량의 증가에 따라 최대환원능력을 보이는 온도가 감소하기 때문이다[7]. 그리고 공간속도가 낮을수록 반응에 참여할 수 있는 촉매의 활성점이 증가함에 따라 탈질효율이 증가하였으며 최고의 효율을 나타내는 반응온도 역시 공간속도 30,000hr⁻¹에 비하여 10,000hr⁻¹에서 높게 나타났다. 공간속도 60,000hr⁻¹의 경우 다른 공간속도에서와는 달리 각각 220°C와 240°C에서 최고의 탈질효율을 나타낸 후 저온으로 온도가 내려갈수록 낮은 탈질효율을 보였다.

3.3 산소농도의 영향

가장 가혹한 조건에서 각 공정변수에 대한 영향을 조사하기 위해 공간속도를 60,000hr⁻¹로 고정한 후 산소농도를 변화시켰다.



[그림 4] #1, #2 탈질촉매의 산소농도에 따른 탈질효율. [Fig. 4] NO_x conversion for the oxygen concentration

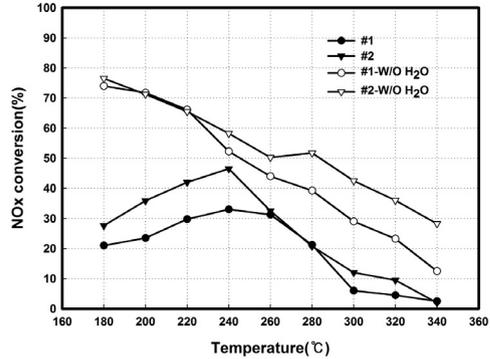
그림 4는 산소농도를 3%, 8%로 변화시켰을 때 각 반응온도에서의 탈질효율 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 전체적으로 산소의 농도가 증가함에 따라 전 반응온도영역에서 탈질효율이 증가함을 알 수 있다. 본 연구결과는 Bosch 등[9]이 V₂O₅/TiO₂, zeolite, CuO/Al₂O₃, V₂O₅/TiO₂-SiO₂, Fe₂O₃/CrO₃-Al₂O₃ 촉매를 대상으로 실험한 연구결과, 즉 일정온도까지는 산소농도가 증가할수록 탈질효율도 증가함을 보고한 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

3.2 수분의 영향

배가스 중에는 2~20%까지의 수분(water vapor)이 포함되어 있으며, 이는 저온영역에서 SCR 촉매의 활성저하를 발생시키며 이러한 수분은 산점을 부분적으로 파괴함으로써 사용 가능한 활성점의 감소를 유도하기도 한다. 또한 수분이 없는 배가스 조건하에서도 SCR 반응의 반응물로 수분이 발생하기도 하여, 이러한 수분의 흡착은 SCR 반응을 설명하는데 있어서 고려해야 할 중요한 요소이다[10]. 수분은 가역적(reversible) 영향과 비가역적(irreversible)인 영향으로 나눌 수 있으며, 흔히 “inhibition”이라는 용어로 쓰이는 가역적인 영향은 수분 공급을 중단시켰을 때 수분의 영향이 사라지는 경우를 의미한다. 그러나 H₂O의 화학흡착과 분해에 의하여 촉매 표면에 만들어진 수산화(Hydroxyl)기는 “deactivation”이라고 하는 현상을 유발한다. Kanungo[11] 등이 연구한 MnO₂를 이용하여 수분의 영향을 연구한 결과는 200°C 이하에서는 모든 물리흡착된 수분이 탈착되며, 화학흡착된 수분과 표면 수산화기는 400°C까지 안정하다고 보고한바 있다.

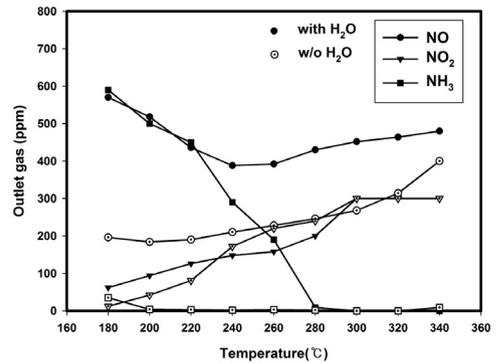
이에 수분의 영향을 조사하기 위하여 NO 750 ppm, NO₂ 48 ppm, NH₃/NO_x=1.0, O₂ 3%, SV 60,000hr⁻¹ 에서

수분을 주입시켰을 때와 주입하지 않은 경우의 탈질효율을 분석하였다. 실험결과 그림 5와 같이 수분이 존재하지 않을 경우



[그림 5] 수분이 존재하지 않는 조건에서 #1, #2 탈질촉매의 온도에 따른 탈질효율.

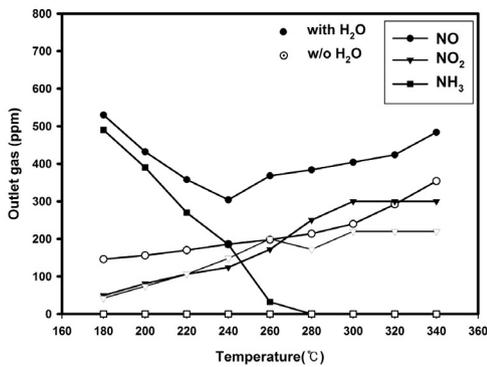
[Fig. 5] NO_x conversion of catalyst #1 and #2 for the temperature at the condition without moisture.



[그림 6] 수분 유무에 따른 #1 탈질촉매의 NO, NO₂, NH₃ 배출량.

[Fig. 6] Profiles of NO, NO₂ and NH₃ concentration for catalyst #1 at the condition with or w/o moisture.

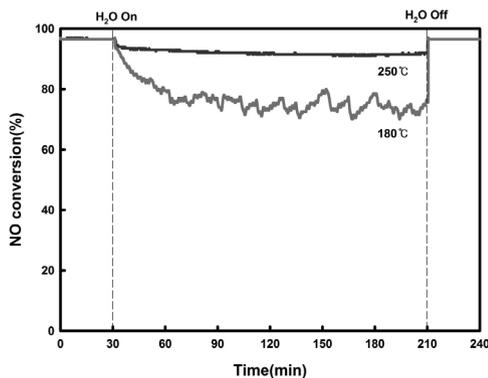
수분공급에 비하여 높은 활성을 보였으며 특히 240°C 이하의 온도영역에서 온도가 낮아질수록 높은 탈질효율을 나타내었다. 그림 6은 #1, 그림 7은 #2 촉매의 수분이 6% 공급되었을 때, 수분이 공급되지 않았을 때의 각 촉매의 유출되는 NO, NO₂, NH₃의 농도이다. NO의 농도는 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내나 수분 유무에 따른 경향은 비슷한 현상을 나타낸다. 그러나 NH₃의 경우 300°C이하의 온도영역에서 수분이 존재하였을 때 많은 양의 NH₃가 배출되었으며, 수분이 공급되지 않았을 때 배출되는 NH₃의 양이 아주 작거나 배출되지 않았다.



[그림 7] 수분 유무에 따른 #2 탈질촉매의 NO, NO₂, NH₃ 배출량.

[Fig. 7] Profiles of NO, NO₂ and NH₃ concentration for catalyst #2 at the condition with or w/o moisture.

W.S. Kijlstra 등 [12]에 따르면 MnOx/Al₂O₃를 이용한 NH₃-SCR 반응에서의 메카니즘은 Lewis 산점(Mn³⁺)에 배위결합된 NH₃가 Brönsted 산점에 결합된 NH₄⁺ 보다 쉽게 NH₂-(amide) 종으로 변환되어 표면에 형성된 NO 흡착종과 반응(Eley-Rideal mechanism) 하거나 혹은 기상의 NO와 반응(Langmuir Hinshelwood mechanism)하는 메카니즘이 공존한다고 하였다. 따라서, 본 연구에 사용된 촉매 상에서 NH₃-SCR 반응이 진행됨에 있어서 수분이 촉매표면의 Lewis 산점에 작용하면 수산기(-OH)를 형성하여 Lewis 산점을 Brönsted 산점으로 변하여 -NH₃가 아닌 NH₄⁺ 형태로 결합됨에 따라 반응에 참여하는 NH₂-(amide) 종이 감소하여 활성이 저하 된 것으로 판단할 수 있다.



[그림 8] 수분주입 후 #1 촉매의 180°C, 260°C에서의 탈질 변화.

[Fig. 8] The decline of NO conversion with time after moisture feed at 260°C and 180°C over #1 catalyst.

그림 8은 수분의 영향을 크게 받는 #1 촉매를 이용하여 수분 공급/중단에 따른 NO_x 전환율을 실험하였다. 실험조건은 NO 180 ppm, NO₂ 18 ppm, NH₃/NO_x=1.0, O₂ 3%, SV 20,000hr⁻¹ 이다. 실험결과 260°C의 반응온도 영역에서 수분공급 시 약 5%의 활성저하를 야기하지만 수분 공급을 중단했을 때 다시 초기의 활성을 보이고 있다. 또한 180°C의 온도영역에서는 보다 큰 약 20%의 활성저하를 나타내고 있지만 이 역시 수분공급을 중단했을 때 다시 활성의 회복을 보이고 있다. 수산기(-OH)는 250~500°C에서 사라질 수 있다. 그래서 수분 공급이 계속되는 한 사라지지 않는다[13]. 따라서 수분의 영향은 “deactivation”이라기보다는 “inhibition”에 의한 활성저하라고 할 수 있으며, 수분에 의한 영향은 저온영역에서 더욱 크게 작용할 수 있으며, 고온영역에서의 수분의 영향은 저온영역에서 보다 미비한 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 저온 SCR 반응에 적용 가능한 촉매를 개발하기 위하여 고정층 반응기를 사용하여 Mn-Cu계 촉매를 대상으로 반응온도, 공간속도, 산소농도 그리고 수분함유에 따른 저온 탈질특성을 조사하였다.

1. H₂-TPR 실험결과에 의하면 Mn-Cu계 촉매는 240°C 이하의 저온영역에서의 환원능력이 우수함을 알 수 있었다.
2. 공간속도 10,000hr⁻¹, 반응온도 160~260°C의 온도범위에서 Mn-Cu촉매의 탈질효율은 매우 우수함을 알 수 있었다.
3. 공정조건에서 산소농도의 증가는 촉매의 활성을 증진시키는 효과를 가져 오나 수분은 촉매의 활성을 감소시키는 역할을 함을 알 수 있었다. 그리고 수분 공급여부를 조절하는 방법을 통해 수분의 역할은 반응 중 촉매표면에서 반응물과 경쟁하는 inhibitor임을 확인할 수 있었다.

References

[1] R. Burch and P. J. Millington., “Selective reduction of nitrogen oxide by hydro-carbons under lean-burn conditions using supported platinum group metal”, Catalyst Today, 26, 185-194, 1995.

[2] A. P. Walker, “Mechanistic studies of the selective reduction of NO_x over Cu/ZSM-5 and related system”,

Catalyst Today, 26, 107-116, 1995.

[3] A. M. Efstathiou and K. Fliatoura, "Selective catalytic reduction of nitric oxide with ammonia over V₂O₅/TiO₂ catalyst: A steady-state and transient kinetic study", Applied Catalysis B: Environmental, 6, 35-44, 1995.

[4] H. Niiyama, K. Maruta and E. Echigoya, "The mechanism of the reaction of NO with NH₃ over Cr₂O₃/Al₂O₃ and Cr₂O₃ catalysts; Part II. Isotope labelling studies", J. Catal., 48, 201-207, 1997.

[5] H. Schneider, U. Scharf, A. Wokaun and A. Baiker, "Chromia on titania : IV. Nature of active sites for selective catalytic reduction of NO by NH₃", J. Catal., 145, 545-551, 1994.

[6] E. R. Stobbe, B. A. Boer and J. W. Geus, "The reduction and oxidation behaviour of manganese oxides", Catal. Today, 47, 161-168, 1999.

[7] M. R. Morales, B. P. Barbero, T. Lopez, A. Moreno and L. E. Cadus, "Evaluation and characterization of Mn-Cu mixed oxide catalysts supported on TiO₂ and ZrO₂ for ethanol total oxidation", Fuel, 88, 2122-2129, 2009.

[8] J. Papavasiliou, G. Avgouropoulos and T. Ioannides, "Combined steam reforming of methanol over Cu-Mn spinel oxide catalysts", Journal of Catalysis, 251, 7-20, 2007.

[9] H. Bosch and F. Janssen, "Catalytic reduction of nitrogen oxides, A review on the fundamentals and technology", Catal. Today, 2(4), 369-375, 1988.

[10] N. Apostolescu, B. Geiger, K. Hizbullah, M. Jan, S. Kureti, D. Reichert, F. Schott and W. Weisweiler, "Selective catalytic reduction of nitrogen oxides by ammonia on iron oxide catalysts", Applied Catalysis B: Environmental, 62, 104-114, 2006.

[11] S. B. Kanungo, "Physicochemical properties of MnO₂ and MnO₂-CuO and their relationship with the catalytic activity for H₂O₂ decomposition and CO oxidation", Journal of Catalysis, 58, 419-435, 1979.

[12] W.S. Kijlstra, D.S. Brands, E.K. Poels and A. Blik, "Mechanism of the Selective Catalytic Reduction of NO by NH₃ over MnOx/Al₂O₃ I. Adsorption and Desorption of the Single Reaction Components", Journal of Catalysis, 171, 208-218, 1997.

[13] J. Li, H. Chang, L. Ma, J. Hao and R.T. Yang, "Low-temperature selective catalytic reduction of NOx with NH₃ over metal oxide and zeolite catalysts-A review", Catalysis today, In Press, Corrected Proof, 2011.

박 광 희(kwang-Hee Park)

[정회원]



- 2006년 2월 : 경기대학교 환경공학과(공학사)
- 2008년 2월 : 경기대학교 환경공학과(공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 환경공학과 박사과정

<관심분야>
질소산화물 제거기술

유 승 한(Seung-Han You)

[준회원]



- 2010년 2월 : 군산대학교 환경공학과(공학사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 군산대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>
이산화탄소 포집기술

박 영 옥(Young-Ok Park)

[정회원]



- 1976년 8월 : 성균관대학교 화학공학과(공학사)
- 1982년 3월 : 성균관대학교 화학공학과(공학석사)
- 1990년 8월 : 성균관대학교 화학공학과(공학박사)
- 1991년 7월~1993년 8월 : 미네소타대학교 Post-Doc.
- 1999년 7월 ~ 2004년 8월 : 국가지정연구실장
- 1999년 12월 ~ 2004년 12월 : 한국에너지기술연구원 청정에너지연구부장
- 1982년 3월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원, 책임연구원

<관심분야>
다기능 여과기술, 융합형 배가스 처리기술, 오염촉매 현장재생기술, 악취/VOC 처리기술, 고도 미세입자상물질 처리기술

김 상 응(Sang Woong Kim)

[정회원]



- 1985년 2월 : 경북대학교 화학과(이학사)
- 1987년 2월 : 경북대학교 화학과(이학석사)
- 1993년 7월 : 텍사스공과대학교 화학과(이학박사)
- 1995년 7월 : UCLA화학과(박사후 연구원)
- 2000년 9월 : LG화학기술연구원 책임연구원
- 2000년 10월 ~ 현재 : 주식회사 리드제넥스 대표이사

<관심분야>

환경관련 촉매 및 부품소재, CO2저장기술

차 왕 석(Wang-Seog Cha)

[정회원]



- 1981년 8월 : 고려대학교 화학공학과(공학사)
- 1985년 2월 : 고려대학교 화학공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : 고려대학교 화학공학과(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 군산대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야>

폐기물 가스화 및 열분해