

촉매담지 세라믹 필터를 이용한 황산화물과 질소산화물의 제거에 관한 연구

A Study on the Removal of SO_x and NO_x Using Catalytic Ceramic Filters

홍민선 · 이동섭 · 오필경 · 이재춘¹⁾

아주대학교 환경공학과

¹⁾명지대학교 무기재료공학과

(1998년 4월 11일 접수, 1998년 11월 10일 채택)

Min-Sun Hong, Dong-Sub Lee, Pill-Kyung Oh and Jae-Chun Lee¹⁾

Dept. of Environmental Engineering, Ajou University

¹⁾*Dept. of Material Engineering, MyongJi University*

(Received 11 April 1998; accepted 10 November 1998)

Abstract

Removal tests of SO_x/NO_x were performed using low density ceramic filters doped with various catalysts. Disc type (50 mmO · D × 10 mmT) low density ceramic filters were doped with three different catalysts such as Cu to remove SO_x and NO_x, and Mn and Co to remove NO_x. The air permeabilities and specific surface areas were 40 ~ 50 cc/min · cm² · cmH₂O and 4.1 ~ 8.88 m²/g, respectively. Also, the peak pore sizes of catalyst support were 3 ~ 5 nm.

Tests were focused to search optimum operating temperatures for different catalysts. It was found that as the CuO content increases, SO_x removal efficiency was increased. NO_x removal efficiencies for Mn, Cu and Co, were 85% at 300°C, 90% at 400°C and 90% at 450°C, respectively.

Key words : SO_x/NO_x removal, catalyst, SCR, ceramic filter, high temperature gas cleanup

1. 서 론

황산화물과 질소산화물은 인체 및 환경적 측면에서 여러 가지 위해를 주는 것으로 알려져 있는데, 그 인위적 근원으로 이동오염원과 고정오염원이 있다.

이러한 오염 물질에 대한 배가스 처리 기술로는

연소 전에 배가스를 제어하는 방법과, 연소 중에, 그리고 연소 후에 배가스를 처리하는 것으로 나눌 수 있다.

연소후의 배가스를 처리하는 방법은 습식법과 건식법이 있는데, 습식법은 효율이 크다는 장점이 있으나, 상대적으로 장치의 규모가 크고, 배가스가 흡수된 폐수를 다시 처리해야 한다는 단점이 있다. 이에 비해 건식법은 습식법에 비해 효율은 떨어지나

부가적인 폐수처리 장치가 필요없다는 장점이 있다. 이러한 건식법에는 선택적 무촉매 환원법(Selective NonCatalytic Reduction : SNCR)과 선택적 촉매 환원법(Selective Catalytic Reduction : SCR), 흡착법(adsorption) 등이 있으며, 선택적 촉매 환원법은 경제성, 유해가스 처리효율, 공정 특성에 대한 변형이 우수한 것으로 알려져 있다(Cooper *et al.*, 1994).

그러나 선택적 촉매 환원법은 장치를 이루고 있는 촉매가 특정한 원소에 의해, 예를 들면 염화물이나 알칼리 금속 또는 비소 등과 반응을 하는 촉매 피독 현상(poisoning)과 직경 1마이크론 이하의 미세입자에 의해 촉매가 막히는 기공 막힘 현상(plugging)을 일으킬 수 있다.

이러한 단점을 보완하기 위한 여러 가지 구조 및 재료의 개발 및 개선을 위한 연구의 일환으로 저밀도 섬유형 세라믹 필터를 이용한 유해가스 처리 기술이 유럽을 중심으로 1993년 이후 활발히 개발중에 있다(Hübner *et al.*, 1996).

이 기술은 세라믹 담체에 촉매를 담지하여 담체의 표면에서는 직경이 작은 미세입자를 여과집진기의 원리로 포집하고 내부에서는 담지된 촉매를 이용하여 선택적 촉매 환원을 하는 방법으로 먼지와 유해 가스를 동시에 처리하는 방식이다.

세라믹 필터를 이용하여 유해가스를 처리하는 방식은 다른 처리방식에 비해 비교적 설치면적이 작게 들고, 특히 고온·고압의 배가스를 처리하여 처리후 폐열의 이용을 최대화할 수 있기 때문에, 유럽 및 선진국에서는 이미 오래 전부터 연구를 수행해 왔으며, 상당수가 실용화 전단계에 있다(Hübner *et al.*, 1996).

이에 본 연구에서는 alumino-silicate 섬유에 CuO를 담지한 평균 기공 크기가 수십 μm , 기공율이 80~90%인 섬유형 세라믹 필터를 이용하여 SOx와 NOx를 동시에 처리하는 bench-scale 실험을 수행하였다. 본 연구에서 제작한 실험 장치는 유량 3 L/min이고 NOx와 SOx의 표준가스를 이용해 제거 실험을 수행하였다. 또한 같은 재질을 가지는 필터에 여러 가지 서로 다른 금속 촉매를 담지해 NOx 제거 실험을 수행하여, 각각 촉매의 최대 효율을 가지는 온도 및 반응온도에 따른 영향 등을 실험을 통하여 고찰하였다.

2. 세라믹 여과재 및 가스 처리에 관한 고찰

2.1 세라믹 여과재

세라믹 필터는 열팽창 계수(thermal expansion coefficient : $10 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)가 작아 넓은 온도범위에서 차원적인 변화(dimensional change)가 거의 일어나지 않는 특성을 가지고 있다. 특히, 3,000 psi 이상의 수직 강도(axial strength)를 가지고 있어 순간적인 파열에 강하며, 1,300°C 이상의 용점을 가지고 있어 환경에 위해를 미치는 고온의 증기, 황산화물에 대하여 내구성이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 자체적으로 약 3~4마이크론 정도의 기공을 가지는 구조를 가지고 있어, 촉매의 함유율을 높일 수 있는 장점이 있다(Ronald M. Heck *et al.*, 1995).

본 실험에 이용된 세라믹 섬유여과재는 섬유두께 3 μm , 밀도가 2.65 g/cm³인 알루미늄 실리케이트(3Al₂O₃-SiO₂) 세라믹 섬유와 콜로이드 알루미늄실리케이트계 무기결합제를 사용하여 진공성형으로 제조하였고, Cu, Mn 그리고 Co를 담지하여 실험을 수행하였다.

그림 1과 그림 2는 ASTM E128-94 Standard Test Method for Maximum Pore Diameter and Permeability of Rigid Porous Filters for Laboratory Use와 흡착용

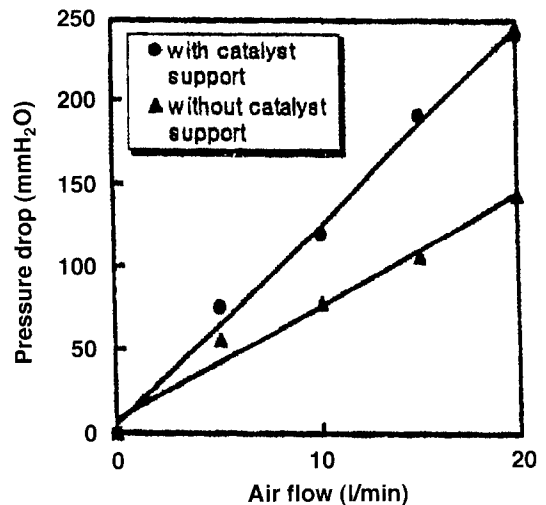


Fig. 1. Pressure drop versus air flow through the ceramic filter.

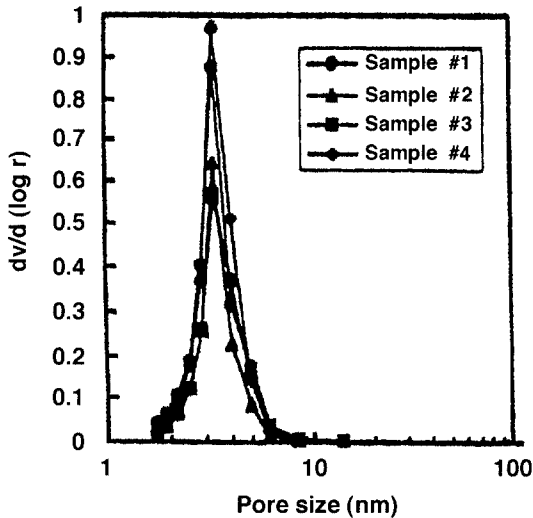


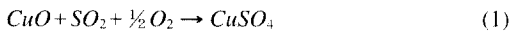
Fig. 2. Pore size distributions of the support.

방법의 원리를 이용한 BET장치를 이용하여 측정한 제조 여과재의 유량에 대한 압력손실과 비표면적을 보여주는데 압력손실은 이용된 금속산화물의 함침에 따라 약간의 차이는 있으나 대부분의 경우 40~50 cc/min · cm² · cmH₂O를 보이고, 비표면적은 촉매 및 함침에 따라 4.1~8.88 m²/g의 값을 나타낸다. 또한 그림 2에서는 촉매를 담지하지 않은 필터(sample #1, 2)와 담지한 필터(sample #3, 4)의 기공분포를 나타내는데, 그림에서 보는 것과 같이 촉매담체의 기공분포는 주 기공크기가 3~5 nm로 나타났다(이재춘 등, 1997).

2. 2 황산화물과 질소산화물의 동시처리

2. 2. 1 황산화물의 제거

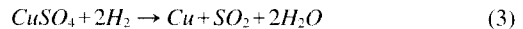
alumina에 담지된 CuO를 이용하여 황산화물을 제거하는 방법은 재생이 가능하고 우수한 기술로 알려져 있는데 CuO는 SO₂를 산화시키고, 형성된 SO₃를 흡수하는 기능을 한다(Centi *et al.*, 1990). SO₂ 및 SO₃가 CuO촉매와 반응하는 반응식은 식 (1), (2)와 같다.



CuSO₄ 촉매가 생성되는 과정은 전체적으로 4개

의 단계로 나누어지는데, 첫 번째 단계에서는 CuO 중 알루미나 담체에 가상적인 격자 모양으로 결합된 산소가 SO₂와 반응하여 화학적으로 흡착되고, 두 번째 단계에서는 전 단계에서 흡착된 SO₂가 Cu의 free active site에 의해서 산화되어 화학적으로 흡착된 SO₃를 형성한다. 세 번째 단계에서는 화학적으로 흡착된 SO₃가 인접한 Cu와 반응하여 surface copper sulfate를 생성하고, 유입되는 SO₂의 농도가 변화할수록 화학적으로 흡착된 SO₂로부터 유도된 전자들로 인해 SO₂의 화학적 흡착에 영향을 미치게 된다. 마지막 단계에서 화학적으로 흡착된 SO₃는 선택적으로 인접한 알루미나와 반응하여 표면에서 surface sulfate를 생성하고, 이때 생성된 Cu는 다시 O₂와 반응하여 CuO를 형성한다(Sloss *et al.*, 1992).

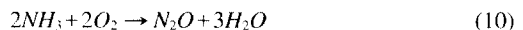
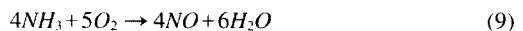
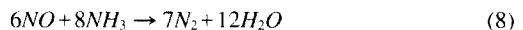
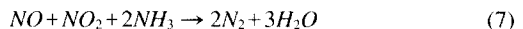
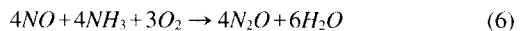
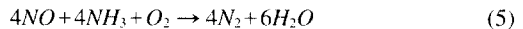
또한 생성된 CuSO₄는 H₂, CH₄ 등의 환원가스를 이용하여 식 (3), (4)와 같이 Cu로 재생이 가능하며, 재생된 Cu는 O₂와 반응하여 CuO로 전환된다(Gerald *et al.*, 1981).

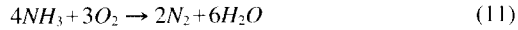


2. 2. 2 질소산화물의 제거

현재까지 가장 우수한 공정으로 알려진 선택적 촉매 환원법(Selective Catalytic Reduction : SCR)은 배출가스를 촉매와 접촉시키면서 암모니아와 같은 환원가스를 동시에 분사하여 NO_x를 질소(N₂)와 물(H₂O)로 환원시키는 기술로써 배출되는 가스중의 NO_x를 80~90% 이상 제거할 수 있다.

NO_x가 먼저 SO₂와 반응하여 생성된 촉매인 CuSO₄하에서 암모니아와 함께 제거되는 반응은 식 (5)~(11)로 나타난다(Sloss *et al.*, 1992).





암모니아와 촉매간의 반응메카니즘은 암모니아가 주입되면 우선 암모니아가 촉매의 표면에 흡착되고, 흡착된 암모니아로 NO가 확산되면, 촉매의 표면에서 상호간의 반응이 일어난다. 이 반응이 일어나는 단계가 전체 반응의 반응속도를 결정하며, 다음 단계에서는 Metal Hydroxides의 산화가 진행되고 다시 Active site의 재생이 이루어진다.

또한 촉매의 활성도는 주로 촉매의 조성과 배가스의 온도에 의해 좌우되고, NOx의 제거와 SO2의 산화 역시 온도의 변화에 따라 밀접한 관계를 나타낸다(Sloss *et al.*, 1992). NOx의 제거효율은 여러 가지 인자에 의해 변화하는데, 그 인자로는 촉매의 입구와 출구에서의 NOx 농도, 배가스의 온도, 암모니아의 주입비, 산소의 농도, 촉매의 특성을 들 수 있다. 그러나 암모니아의 주입량이 증가하면 NOx의 제거량도 증가하지만 촉매의 활성도에 따라 NO와 반응할 수 있는 암모니아의 양이 한정되어 있으므로 과량이 주입될 경우 반응하지 않고 배출되는 양이 증가하는 데 이를 ammonia slip이라고 한다.

반응하지 않은 암모니아는 배가스중에 SO3와 물이 존재할 경우 상호 반응하여 NH4HSO3를 형성하는데, 이 물질은 촉매 표면에 달라 붙어 촉매의 활성도를 떨어뜨리고, 장치를 부식시킬 수 있다. 따라서 촉매의 활성도를 장시간 유지하기 위해서는 SO3의 형성을 충분히 억제하고, 반응하지 않고 배출되는 암모니아의 양을 최소화 하여야 한다(Cooper *et al.*, 1994).

Morrise *et al.* (1994)는 백금과 Vanadium, Zeolite를 촉매로 하여 NOx의 전환율을 연구조사하였는데, 각각의 촉매는 최대의 효율을 나타내는 온도가 다른 것을 확인하였다. 연구결과 백금의 경우 175~250°C의 저온에서 Vanadium의 경우 300~450°C의 중온에서 zeolite의 경우 350~600°C에서 가장 높은 효율을 보였다(Ronald M. Heck *et al.*, 1995).

표 1은 상기 촉매를 이용한 대표적인 기술들을 언급한 것으로써 촉매의 조성과 구조, 운전온도에 따라 최적의 NOx 전환율을 가지는 온도가 175~600°C까지 넓은 범위를 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 촉매를 이용하여 NOx를 제거하는 기술의 경우 촉매의 조성에 따른 최적 운전온도의 도출이 매

Table 1. SCR NOx catalyst technologies. (Ronald M. Heck *et al.*, 1995)

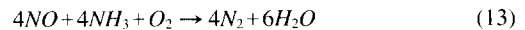
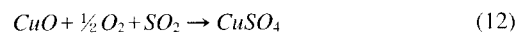
회 사	촉매 종류	Temp. (°C)
Bobcock Hitachi	V/Ti/금속판	240 ~ 415
Camet	귀금속/금속담체	225 ~ 275
Cormetech	V/Ti/사출성형담체	200 ~ 450
	귀금속/세라믹담체	175 ~ 320
Engelhard	V/Ti/세라믹담체	300 ~ 440
	Zeolite/세라믹담체	440 ~ 590
Hitachi Zosen	V/Ti/사출성형담체	330 ~ 420
	V/Ti/Wire Mesh	330 ~ 420
Ishi Kawajima Heavy Ind.	V/Ti/사출성형담체	200 ~ 400
Kawasaki Heavy Ind.	V/Ti/사출성형담체	300 ~ 400
Mitsubishi Heavy Ind.	V/Ti/사출성형담체	200 ~ 400
Norton	Zeolite/사출성형담체	220 ~ 520
Steuler	Zeolite/사출성형담체	300 ~ 520

우 중요한 것을 확인할 수 있다(Sloss *et al.*, 1992).

2. 2. 3 황산화물과 질소산화물의 동시 제거

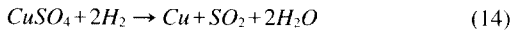
SOx와 NOx를 동시에 처리하는 기술의 한 예로 Shell UOP Process를 들 수 있는데, 이 공정은 SOx와 NOx를 동시에 제거하는 건식법으로, 또한 두 종류의 물질을 단계적으로 제거할 수 있도록 설계가 가능하다. 이 공정은 alumina에 부착된 산화구리(CuO)촉매를 이용하는데 촉매들은 두 개나 그 이상의 병렬로 연결된 반응기 안에 부착이 된다.

SOx와 NOx가 함유된 배가스는 반응기로 유입이 되고, 이중 SOx가 CuO를 CuSO4로 만드는 반응을 하게 된다. 동시에 암모니아가 주입이 되어 NOx와 반응을 하게 되는데, 이 때 CuSO4는 NOx-NH3 반응에서 촉매로 작용하게 되며, 반응기 안에서 일어나는 반응은 식 (12), (13)으로 나타낸다(Sloss *et al.*, 1992).



위의 반응이 진행이 되어, SO2, NOx 환원반응기가 CuSO4로 포화가 되면, 배가스는 포화가 되지 않은 다른 반응기로 유입이 되고, 활성이 저하된 촉매는 H2나 CH4를 이용해 식 (14)와 (15)로 재생을 하게 된다. 다음으로 SO2는 황산이나 황의 제조공정으로 투입되며, 다시 Cu는 배가스의 처리를 위해

CuO로 산화시킨다(Gerald *et al.*, 1981).



이러한 공정은 이동층상, 고정층상, 유동층상으로 설계할 수 있는데, Shell UOP는 고정층상의 반응기를 배가스가 open channel을 통과하도록 공정이 개선되었다(Gerald *et al.*, 1981). 촉매는 철망구조를 가진 판 사이에 존재하고, 배가스는 촉매의 표면에 따라 흐르게 되고, SO_x와 NO_x 가스는 촉매로 확산되게 된다. 이러한 설계는 분진에 의한 막힘(plugging)현상을 저감시키고, SO_x 및 NO_x가 제거되는 시간도 기존보다 더 적게 소비하게 된다.

Shell UOP Process는 NO_x 제거시 350°C에서 450°C 사이의 온도에서 운전되고 반응기 내로 유입될 때의 차압은 가스유량과 NO_x의 제거 효율에 따라 75에서 150 mmH₂O 정도가 되며, 암모니아의 주입은 제거되는 NO_x의 몰농도에 비례한다(Sloss *et al.*, 1992).

3. 실험 및 결과

3.1 황산화물 질소산화물 동시 처리 실험 장치

본 연구에서는 직경 50 mm, 두께 10 mm의 Disc type 고온 여과재에 CuO, MnO₃ 및 CoO 촉매를 담지하여 평균 기공크기가 수십 μm이고 기공율이 80~90%인 여과재를 제작하여 CuO의 함량과 온도 변화에 따른 SO₂와 NO_x의 처리효율을 실험하였고, MnO₃와 CoO 촉매에 대하여는 NO_x의 최대 처리효율을 위한 온도범위를 조사하였다.

실험장치의 구성은 disc type 여과재를 장착할 수 있는 본체와 표준가스를 이용한 가스 주입장치, 본체의 온도를 조절하기 위한 heat tube와 controller, 배출가스의 온도저감을 위한 수냉 장치, 배출가스의 농도를 측정하기 위한 gas analyzer, 고온 가스를 이동시키기 위한 vacuum pump로 구성되어 있으며, 실험 장치의 흐름도가 그림 3에 나타나 있다.

본체의 disc type 여과재는 기밀을 유지하기 위하여 ceramic paste를 여과재 주위에 도포하였고, 본체와 여과재 사이에는 4 mm 정도의 세라믹 섬유를

씩워 장착시 기계적 충격을 완화시켰다. 고온가스의 생성을 위하여 heat tube를 이용하였는데 controller와 연결하여 자동으로 20~600°C까지 조절이 가능하도록 하였다. 고온 공기의 이동은 vacuum pump를 이용하였으며 float-ball type의 유량계와 유량 조절제를 사용하였다. 또한 300~600°C의 고온 공기가 배출되면서 본체 이후의 장치에 대한 손상을 방지하기 위하여 수냉식 열교환기를 설치하였다.

가스의 주입은 고압 용기에 저장된 표준가스를 유량 조절기와 유량계를 이용하여 주입하였는데, 표준가스의 농도는 SO₂와 NO 각각 N₂ base로 2,010 ppm과 2,480 ppm이고, 환원제로 이용된 NH₃는 99%의 고순도가스를 이용하였다.

온도는 고온 여과재 아래 1 cm 지점에서 길이 12 cm의 K-type 열전대를 이용하여 연속 측정하였으며, 열전대 controller와 연결하여 자동 on/off로 실험 온도를 유지하도록 하였다. 본 실험에서는 열전대 1개를 사용한 바 이는 필터의 두께 1 cm, 직경이 5 cm로 작고 K-type 열전대는 길이가 12 cm로 필터 전후 좌우의 온도구배는 무시할 정도로 작은 것으로 사료된다.

반응후 배출가스 중의 SO₂와 NO의 농도는 진공 펌프 앞 부분에 가스 자동 분석기(IMR 3000P GAS ANALYZER COMPUTER)를 설치하여 연속 측정하였으며, SO₂와 NO의 측정은 electrochemical sensor를 이용한 것으로 그 측정범위는 SO₂의 경우 4,000 ppm까지 NO의 경우 2,000 ppm까지 1 ppm의 간격으로 측정이 가능하다.

3.2 황산화물 제거 실험 결과

SO₂ 제거 실험에서는 실험을 통해 도출된 최대 제거 효율 온도 550°C로 일정하게 유지하면서 CuO의 함량을 변화시키면서 함량에 따른 SO₂ 제거 실험을 수행하였는데, 표 2에 각 실험조건이 요약되어 있고, 그림 4에 CuO 함량에 따른 SO₂ 제거 효율 실험결과가 나타나 있다.

실험결과 함량이 높을수록 제거효율도 높아지는 경향이 보이나 일정수준이 지나면 더 이상 증가하지 않음을 보였다.

CuO wt함량에 따라 8분 30초에서 최고 33분까지 99% 이상의 효율을 보여, 초기의 제거효율이 매우 높은 것을 보이고, 이후 급격히 효율이 감소함을 보

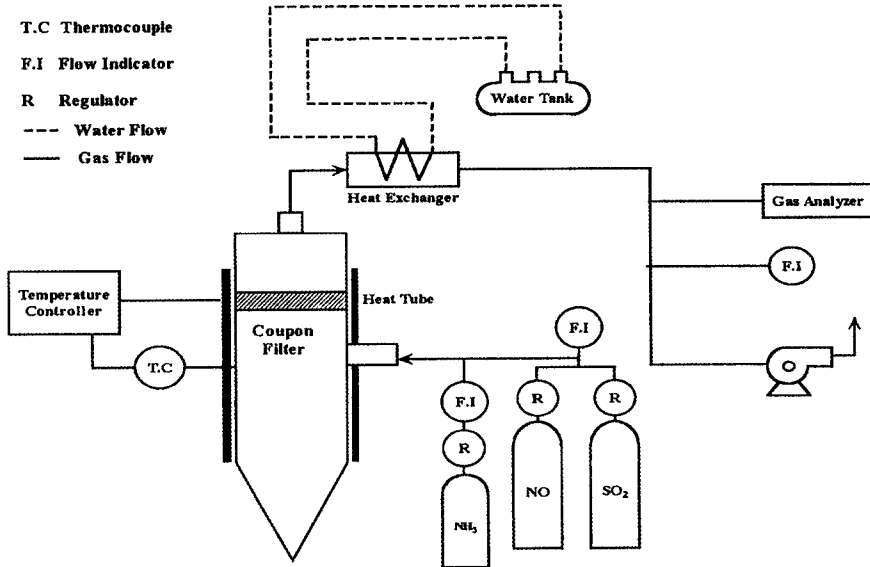


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

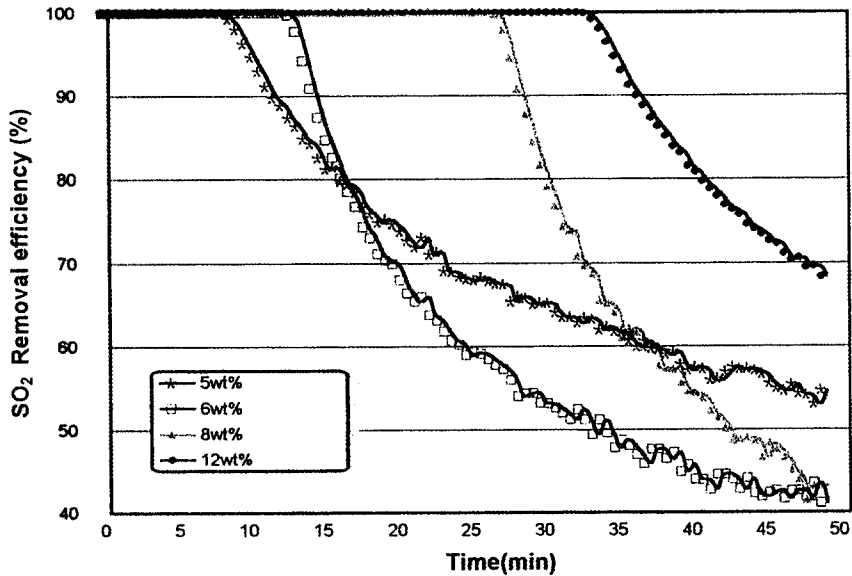


Fig. 4. SO₂ Removal efficiency for different CuO contents (Temperature=550°C).

이다 60% 이후에 다시 완만히 감소함을 보인다. 그러나 반응이 종료된 후 필터를 원소 분석한 결과가 그림 5에 나타나있는데, CuO 함량이 높을수록 필터

전체의 단위 CuO 함량당 황성분 함량이 높게 나타나서 실질적인 SO₂의 흡수량은 함량에 따라 높게 나타남을 알 수 있다.

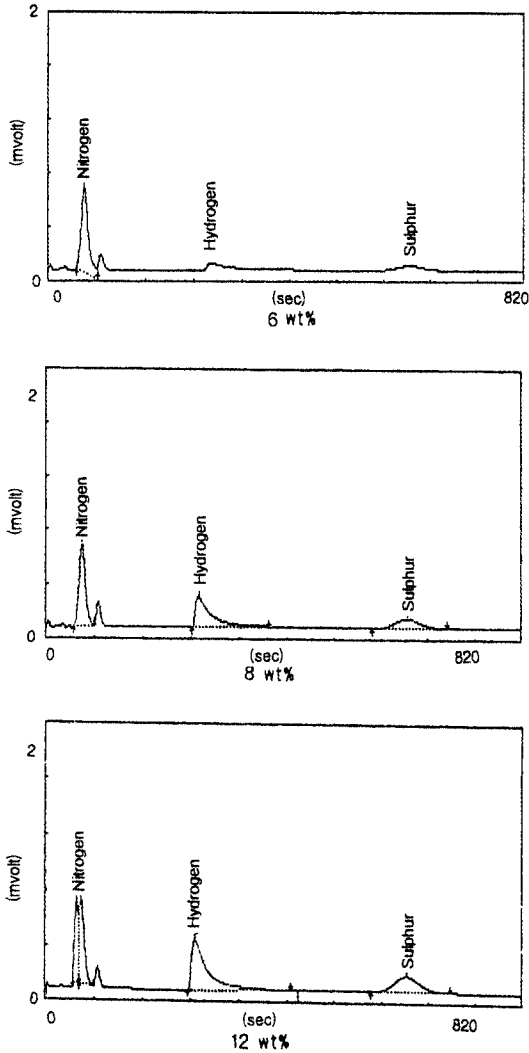


Fig. 5. Elemental analysis for CuO contents after SO₂ removal experiment.

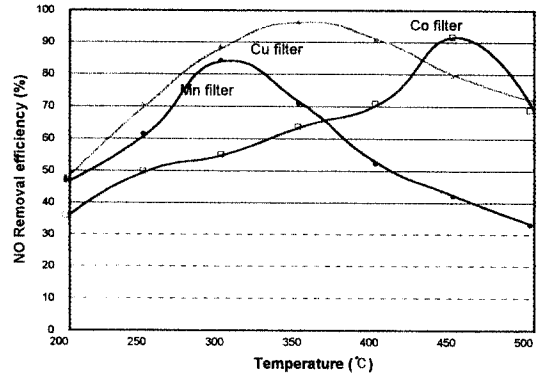


Fig. 6. NO removal efficiency for various catalysts at different temperatures.

3.3 질소산화물 제거 실험 결과

NO 제거 실험에서는 SO₂ 제거 실험에서 생성된 CuSO₄ 촉매를 담지한 Cu 필터를 이용하여, 함량별, 온도별 제거 효율을 알아보고, Mn 필터, Co 필터를 이용하여 온도별 제거 효율을 도출하였다. 이 때 실험은 온도를 50°C씩 변화시키면서, NO의 유량을 유량조절기와 유량계를 이용하여 3 L/min으로 정량 주입하였으며, 고순도 NH₃는 NO와 볼비로 1:1을 맞추어 정량주입하였다.

그림 6은 각각의 서로 다른 촉매의 온도별 NO 제거 효율을 나타내는데, 그림에서 촉매별 NO 제거 효율은 온도에 따라 최대 85~95%까지 처리할 수 있는 것으로 나타났다. Mn 촉매 필터의 경우 300°C, Cu 촉매 필터의 경우 350°C에서 Co 촉매 필터의 경우 450°C 정도에서 최대 효율을 보여주고 있다. 특히 Mn 촉매 필터의 경우 300°C에서 85% 정도의 효율을 보이나 같은 온도에서 Cu 촉매 필터가 보여주는 효율보다 더 낮은 효율을 나타냄을 보였다. 또한

Table 2. Conditions and results of SO₂ removal efficiency for various CuO contents.

Experimental Conditions				Results	
CuO content (wt%)	Temp. (°C)	Flow rates (L/min)	Pressure (psi)	Retention Time for 99% Removal	Retention Time for 90% Removal
5	550	3	20	8분 30초	11분
6	550	3	20	12분 30초	14분
8	550	3	20	26분 30초	28분
12	550	3	20	33분	35분 30초

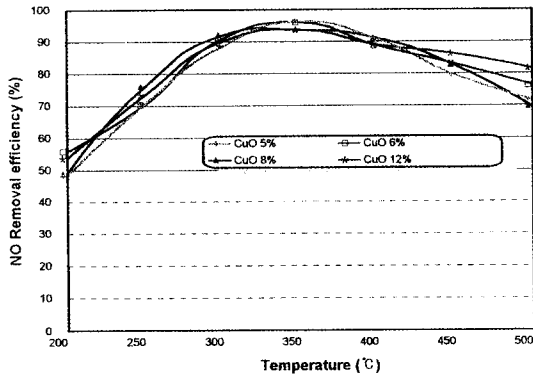


Fig. 7. NO removal efficiency for Cu filters for various CuO contents and temperatures.

Co 촉매 필터의 경우 450°C에서 90%의 효율을 보이나 500°C에서는 효율이 급격히 감소하여 Cu 촉매 필터보다 더 낮은 효율을 보였다. 반면 Cu 촉매 필터의 경우 최고 효율을 보이는 주변 온도인 300°C와 400°C에서 90% 정도의 효율을 보였다.

그림 7는 Cu 필터의 함량별, 온도별 NOx 제거 효율을 나타내는데, 모든 필터가 350°C에서 최고 제거 효율을 보여주지만 저온으로 갈수록 제거 효율이 감소하여 200°C의 저온에서는 모든 필터의 효율이 50% 정도로 감소함을 보여준다.

4. 결 론

황산화물 제거 실험에서 최대 제거 효율 온도범위에서 SO₂ 제거량은 CuO 함량이 높은 필터일수록 더 많은 SO₂ 가스를 흡수하고 단위 촉매 함량당 흡수되는 양도 함량이 높을수록 많음을 원소분석결과 확인하였다.

질소산화물 제거 실험에서는 서로 다른 촉매들 (Cu, Mn, Co)은 제각기 NO 제거율이 최대가 되는 온도가 서로 다른 것이 확인되었다. Mn 촉매 필터의 경우 300°C에서 85%, Cu 촉매 필터의 경우 350°C에서 95%, Co 촉매 필터의 경우 450°C에서 90%의 최대효율을 각각 보여주고 있다. 그러나 Mn 필터의 경우 300°C에서 85% 정도의 효율을 보이나 같은 온도에서 Cu 필터가 보여주는 효율보다 더 낮은 효율을 나타냄을 보였다. 또한 Co 필터의 경우

450°C에서 90%의 효율을 보이나 500°C에서는 효율이 급격히 감소하여 Cu 필터보다 더 낮은 효율을 보였다.

상기 결과에서 Mn 촉매 필터와 Co 촉매 필터의 경우 모두 최대 효율을 보이는 온도의 주변 온도에서는 효율이 급격히 감소하여 안정되지 않은 것을 보이고 있다. 이에 비해 Cu 촉매 필터는 최대 효율을 보이는 온도 및 주변온도에서도 높은 효율을 유지함을 보였다. 본 논문은 촉매의 내구성, 촉매의 피독 현상 등에 장기 실험이 보완될 예정이다.

감사의 글

본 연구의 일부는 환경부의 G-7 선도 기술 개발 사업의 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

이재춘 등(1997) 고온·고압 세라믹 여과재 집진 기술 개발 및 실용화, G-7 제 2단계 2차년도 년차보고서.

Blumrich, S. and B. Engler(1993) The DESOXNOx-Process for Flue Gas Cleaning, Catalysis Today, Vol. 17, pp. 301-310

Brian, K. Gullett, M. Linda Lin, P.W. Groff, and J.M. Chen (1994) NOx Removal with Combined Selective Catalytic Reduction and Selective Noncatalytic Reduction : Pilot-Scale Test Results, Journal of Air & Waste Management Association, Vol. 44 pp. 1188-1194

Centi G., Riva A., Passarini N. *et al.* (1990) Simultaneous Removal of SO₂/NOx from Flue Gases. Sorbent/Catalyst Design and Performances, Chemical Engineering Science, Vol. 45, No. 8, pp.2679-2688

Cooper, C.D. and F.C. Alley (1994) *Air Pollution Control-A Design Approach, 2nd Ed.*, Waveland Press Inc., U.S.A., pp.451-468.

Gerald, T., Joseph P.E. and David S. Beachier (1981) Control of Gaseous Emission Student Manual, EPA 45/2-81-005, pp.7-20~7-24

Hübner, K., Page A. and Weber E.A. (1996) Simultaneous Removal of Gaseous and Particulate Components From Gases by Catalyically Activated Ceramic Filters, High Temperature Gas Cleaning, Institut

- Für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik der Universität Karlsruhe, pp.267-277.
- Illán-Gómez, M.J. and Linares-Solano A. (1996) NO Reduction by Activated Carbones. 7. Some Mechanistic Aspects of Uncatalyzed and Catalyzed Reaction, *Journal of Energy & Fuels*, vol. 10, No. 1, pp. 158-168
- Leslie, L. Sloss, Lisa M. Campbell, C. David Livengood, Joanna Markussen et al. (1992) *Nitrogen Oxides Control Technology Fact Book*. Noyes Data Corporation, pp.57-146
- Ronald, M. Heck and Robert J. Farrauto (1995) *Catalytic Air Pollution Control*, Van Nostrand, pp. 30-70, pp. 161-178.