

## NMO를 이용한 이동층반응기에서의 SO<sub>2</sub> 흡착특성에 관한 연구

### A Study of SO<sub>2</sub> Adsorption Characteristics by NMO in a Moving Bed Reactor

조 기 철 · 홍 성 창<sup>1)</sup> · 김 회 강<sup>2)</sup>

동남보건대학 환경관리과, <sup>1)</sup>경기대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>건국대학교 환경공학과

(1999년 10월 19일 접수, 2000년 7월 4일 채택)

Ki-Chul Cho, Sung-Chang Hong<sup>1)</sup> and Hui-Kang Kim<sup>2)</sup>

*Dept. of Environmental Science, Dongnam Health College*

<sup>1)</sup>*Dept. of Environmental Engineering, Kyonggi University*

<sup>2)</sup>*Dept. of Environmental Engineering, KonKuk University*

(Received 19 October 1999; accepted 4 July 2000)

#### Abstract

This study evaluated the SO<sub>2</sub> adsorption characteristics using a continuous moving bed system. Natural manganese oxide (NMO) reaction conditions such as L/D, the starting time of the NMO feed, feed rate, and flow rate of simulated flue gas, and NMO size were tested. The results showed that optimum L/D was 1.0 in this moving bed system. The higher the feeding rate was, the higher the SO<sub>2</sub> removal efficiency was, and the higher the flow rate of simulated flue gas was, the shorter the time to reach the equilibrium concentration was. The final SO<sub>2</sub> concentration when it reaches the equilibrium concentration was not affected by the starting time of the NMO feed.

**Key words** : natural manganese oxide, moving bed, SO<sub>2</sub> adsorption

#### 1. 서 론

배연탈황방법은 습식법과 건식법으로 대별되나 습식법의 여러 가지 장점에도 불구하고 배가스의 재가열 및 폐수처리 설비 등의 경제적인 이유로 건식법에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

국내에서 연구되고 있는 배연탈황에 관한 건식법에는 플라즈마를 이용한 처리(송영훈 등, 1995),

Electron Beam을 이용한 처리(한범수 등, 1995), 탈황제를 이용한 처리(홍성창과 정순관, 1998; 모세영 등, 1996; 오광중 등, 1991) 등이 있다. 또한 탈황제를 이용한 배연탈황에서는 탈황제로 석회석, 소석회, 알칼리 금속화합물 및 금속산화물 등과 같은 물질을 건조상태 또는 반 건조상태로 만들어 사용하기 때문에 습식법에서 나타나는 폐수처리문제 및 배가스의 재가열문제 등이 없다. 또 한번 사용한 탈황제는 재생할 수 있어 반복사용이 가능한 점 등의 장점이 있어 집중적인 연구가 진행중에 있다(M. Waqif,

1991; Soren Anderson *et al.*, 1985).

이렇게 개발된 탈황제를 이용한 건식배연탈황장치에는 고정층, 유동층, 이동층의 방식이 널리 알려져 있다. 고정층 방식은 회분방식이기 때문에 최근 유동층 또는 이동층 방식으로 많은 연구가 진행되고 있는데 대부분 유동층 방식을 이용한 탈황특성에 관한 연구가 이루어 지고 있어 이동층 방식을 이용한 탈황장치에 관한 연구는 매우 드문 실정이다. 그러나 연속식 이동층배연탈황장치는 유동층의 단점으로 대두되는 흡착제의 마모가 매우 적고 충전된 흡착제의 유동을 발생시키기 위해 별도로 공기를 불어 넣어줄 필요가 없는 장점이 있다.

본 연구에서는 흡착제로서 천연망간광석(이하 NMO)을 선정하여 고정층 반응기에서 NMO의 SO<sub>2</sub>에 대한 흡착특성을 파악한 후 이동층 반응기에서 연속적으로 흡착제를 반응기내로 주입시키면서 SO<sub>2</sub>가스와의 흡착특성을 파악하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시 료

본 연구에서는 연속식 이동층 반응기에서의 탈황특성을 파악하기 위해 호주산의 NMO를 사용하였다. NMO는 주된 성분이 망간산화물의 형태이나 그 외에 이산화황제거에 유용하게 사용될 수 있는 Fe<sub>x</sub>O<sub>x</sub>, CaO, MgO 등의 여러 금속화합물이 포함되어 있는 복합금속산화물로 SO<sub>2</sub> 제거에 상승효과를 기대할 수 있으며 본 연구에 사용된 NMO의 경우 90% 이상이 MnO<sub>2</sub>의 형태를 띠고 있었으며 그 화학적 성상은 표 1과 같다.

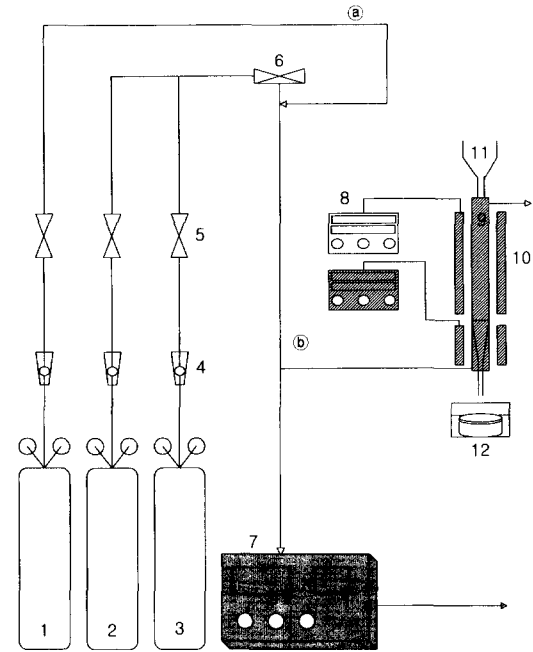
실험을 위해 NMO를 30/35 mesh (mean dp = 0.548 mm) 크기로 분쇄하고 건조기 (Temp. = 100°C)에서 24시간동안 건조한 후 데시케이터에서 상온으로 보관한 것을 사용하였다.

### 2.2 실험장치

본 연구에서 사용된 고정층반응기는 내경 8 mm

인 석영관이며 기타 반응가스와 접촉하는 부분은 모두 스테인레스강(sus 316)으로 제작하였다. 반응장치는 가스공급부, 반응기의 온도를 조절하는 온도조절부, 반응부, 분석부분으로 구성되어 있으며 반응기의 온도는 흡착제층 하부에 장착된 K-type의 열전대로 측정하여 필요 온도를 일정하게 조절하였다(조기철 등, 1999).

연속식 이동층 반응 실험을 위한 이동층 반응 시스템을 그림 1에 나타내었다. 이동층 공정은 크게 가스공급부, 유량조절부, 반응부, 온도조절부, 흡착제 공급부, 흡착제 배출부, 유입 및 배출가스 측정부로 구성되어 있다. 이동층 반응기는 내경 30 mm의 스



1. N<sub>2</sub> gas 2. SO<sub>2</sub> gas 3. Air 4. Mass Flow Meter 5. ON-OFF valve 6. 3-way valve 7. Gas analyzer 8. Temperature controller 9. Reactor 10. Electric Heater 11. Feed Tank 12. Chemical Balance ⑬. N<sub>2</sub> line ⑭. Mixed gas line.

Fig. 1. Schematic diagram of a moving bed system for SO<sub>2</sub> adsorption.

Table 1. The compositions of Natural Manganese Dioxide.

Component	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	CaO	MgO	Balance oxygen of Mn and Fe
wt. %	51.85	3.13	2.51	3.86	0.11	0.25	38.33

테인레스강으로 되어 있고, 흡착제 투입 및 배출부는 3/8" 스테인레스강으로 되어 있다. 모사가스 유입부는 corn 모양을 하였으며, 모사가스가 반응영역으로 들어가기전에 반응온도까지 가열될 수 있도록 반응기 하부에 K-type 열전대를 이용하여 모사가스를 예열 조절하였다. 반응기내 및 예열부분의 균일한 온도 유지를 위하여 외부를 세라믹섬유로 단열하였다.

### 2. 3 실험방법

#### 2. 3. 1 고정층 반응기 실험

고정층 반응기내에 흡착제를 총 0.7cm<sup>3</sup>의 체적을 갖도록 투입한 후 수분에 의한 영향을 배제하기 위해 400°C에서 1시간동안 순수공기를 공급하였다. 순수공기의 공급이 끝난 후 반응기내로 질소가스만을 넣어주면서 원하는 적정온도를 조절함과 동시에 혼합가스(SO<sub>2</sub>+Air)와 흡착제와의 반응개시시 온도의 변동이 없도록 하였다. 또한 별도의 라인으로 순수공기와 이산화황을 혼합하여 적정의 가스농도가 되도록 조절하여 초기농도로 하였다. 반응기내의 온도와 혼합가스의 농도가 적정하게 유지되면 반응기내로의 질소가스의 공급을 중단하고 순수공기와 이산화황의 혼합가스를 공급하였다. 이때 배출되는 이산화황의 출구농도를 측정하여 흡착제의 SO<sub>2</sub> 흡착능을 파악하였다.

#### 2. 3. 2 이동층 반응기 실험

NMO를 이동층 반응기내에 종횡비가 1이 되도록 충전한 후 고정층 반응 실험과 마찬가지로 수분에 의한 영향을 배제하기 위해 400°C에서 1시간 동안 순수공기를 공급하였다. 그런후에 종횡비 변화에 따른 흡착특성 및 온도에 따른 흡착용량을 파악하기 위해 회분식 이동층 반응실험을 행하였다.

연속식 이동층 반응실험에서는 각 온도범위에서 반응기내로 주입되는 흡착제의 주입시점 및 주입속도에 따른 특성을 파악하기 위해 반응기내로 유입되는 SO<sub>2</sub>농도를 초기 농도로 하여 반응기를 통해 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 초기농도의 5%가 될 때와 50%가 될 때 흡착제를 주입하기 시작하여 배출되는 농도가 평형상태에 도달할 때까지 연속적으로 주입하였다. 이때 반응기내로 주입되는 흡착제의 주입속도는 0.1~0.3g/min로 하였다.

**Table 2. Experimental parameters for SO<sub>2</sub> reduction in a continuous moving bed system.**

흡착제 종류	NMO
흡착제 입경	30/35 mesh (dp=0.548 mm)
반 응 온 도	300~450°C
SO <sub>2</sub> 농도	730 ppm
종횡비 (Aspect ratio)	1
유 입 유 량	1.2~2.0 l/min
흡착제 주입속도	0.1~0.3 g/min

입경에 따른 탈황반응 특성을 파악하기 위하여 유입되는 SO<sub>2</sub>의 농도를 730 ppm, 유입유량을 2.0 l/min, 반응기내로 주입되는 흡착제의 주입속도를 0.2 g/min로 고정시키고 유입되는 SO<sub>2</sub>와 반응하는 흡착제의 평균입경을 0.387 mm (40/45 mesh), 0.548 mm (30/35 mesh), 0.714 mm (20/30 mesh)로 변화시키면서 실험을 행하였다.

반응기내로 유입되는 모사가스의 유입유량에 따른 탈황반응 특성을 파악하기 위하여 유입되는 SO<sub>2</sub>의 농도를 730 ppm, 반응기내로 주입되는 흡착제의 주입속도는 0.2 g/min, 유입되는 SO<sub>2</sub>가스와 반응하는 흡착제의 평균입경을 0.548 mm (30/35 mesh)로 고정시키고 반응기내로 유입되는 모사가스의 유량을 1.2 l/min, 1.6 l/min, 2.0 l/min로 변화시키면서 실험하였다. 표 2에 본 연구에서 행한 연속식 이동층 반응시스템에 대한 실험 변수를 나타내었다.

## 3. 실험결과

### 3. 1 종횡비 변화에 따른 흡착용량 특성

이동층 반응기내에 NMO를 종횡비(L/D) 0.33, 0.67, 1.00, 1.33으로 변경하면서 충전시킨 후 종횡비 변화에 따른 이동층 반응기내에서의 흡착용량의 변화를 고정층 반응기에서 구한 흡착용량과 비교·검토하여 그림 2에 나타내었다. 이동층 반응기의 종횡비가 0.33일 때 흡착용량은 0.30 g · SO<sub>2</sub>/100 g · ads이었고 0.67일 때 0.42 g · SO<sub>2</sub>/100 g · ads, 1.00일 때 0.94 g · SO<sub>2</sub>/100 g · ads, 1.33일 때 0.95 g · SO<sub>2</sub>/100 g · ads로 종횡비가 1.00이 될 때까지는 종횡비가 커질수록 흡착용량이 커지고 있으나 종횡비가 1.00 이상부터는 흡착용량의 변화가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 실제·제작된 이동층

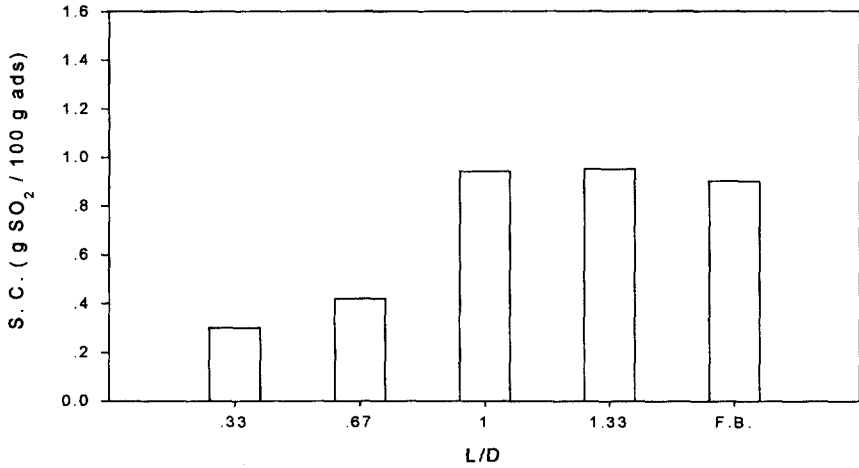


Fig. 2. A change of saturation capacity vs L/D in moving bed. (F.B. : saturation capacity in fixed bed at 300°C)

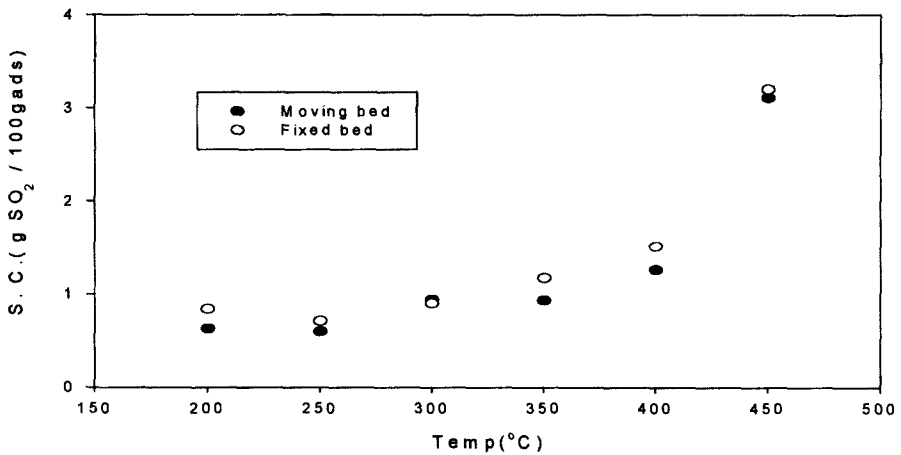


Fig. 3. Effect of temperature on the saturation capacity in moving bed and fixed bed.

반응기의 경우 가스의 유입부분이 corn 모양으로 되어 있기 때문에 최소한 중횡비가 1 이상이 되어야 반응기내에서의 유입가스의 흐름이 일정한 plug flow 형식으로 유지됨을 알 수 있다.

또한 고정층 실험결과 300°C에서의 SO<sub>2</sub>에 대한 NMO의 흡착용량은 0.9 g · SO<sub>2</sub>/100 g · ads로 나타나 본 연구에서 제작된 이동층 반응기에서의 탈황 특성 실험에 있어서는 중횡비를 1.00로 유지하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 그림 3에 나타난 바와 같이 L/D를 1로 유지한 상

대에서 온도에 따른 이동층과 고정층에서의 흡착용량을 비교한 결과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 2 흡착제 주입시점에 따른 특성

그림 4와 그림 5는 연속식 이동층반응시스템에서 반응기를 통해 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 초기농도의 5%에 도달하였을 때 흡착제로써 NMO를 연속적으로 주입한 것과 초기농도의 50%에 도달하였을 때 연속적으로 주입한 결과를 나타낸 것이다. 그림 4는 반응기내의 온도를 300°C로 유지하면서 분당 0.3

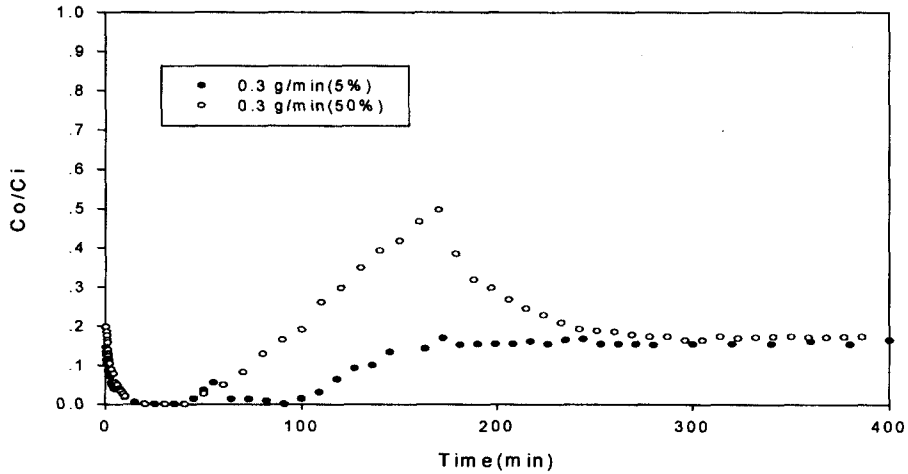


Fig. 4. Comparison of breakthrough curves with NMO feed start time in the continuous moving bed system. (Temp. = 300°C)

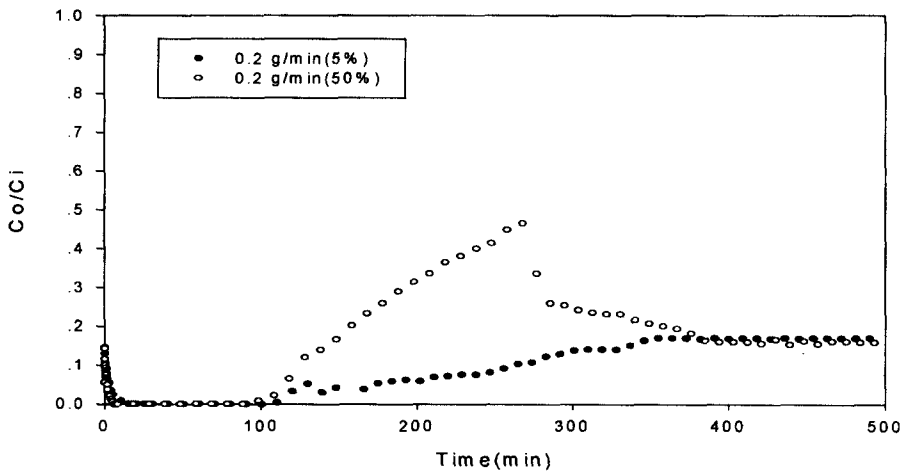


Fig. 5. Comparison of breakthrough curves with NMO feed start time in the continuous moving bed system. (Temp. = 400°C)

g/min의 속도로 흡착제를 연속적으로 반응기내에 주입하면서 흡착반응이 최종 평형상태에 도달할 때의 SO<sub>2</sub>의 농도로 제거율을 구하였다. 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 초기농도의 5%에 도달하였을 때에 NMO를 연속적으로 주입한 경우 제거율은 83.6%였으며 초기농도의 50%에 도달하였을 때 주입한 경우는 82.7%로 평형에 도달하였을 때의 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도는 흡착제의 주입시점과는 상관없이 거

의 일정한 것으로 나타났다.

그림 5는 반응온도를 400°C로 고정시킨 후 분당 0.2g의 속도로 흡착제를 반응기내로 연속적으로 주입시킨 결과를 나타낸 것이다. SO<sub>2</sub>의 제거율은 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 초기농도의 5%에 도달하였을 때에 흡착제를 연속적으로 주입한 경우 83.1%였으며 초기농도의 50%에 도달하였을 때 주입한 경우는 84.1%로 평형에 도달하였을 때의 SO<sub>2</sub>의 제거율

은 반응기내의 온도를 300°C로 한 경우와 같이 흡착제의 주입시점과는 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.

이와 같은 결과를 통해 반응기내의 온도가 일정하고 유입되는 가스의 유량 및 SO<sub>2</sub>의 농도가 일정할 때 반응기내로 연속적으로 주입되는 흡착제의 주입시점에는 상관없이 최종 SO<sub>2</sub>가스의 제거율은 일정하다는 것을 알 수 있다. 또한 온도가 400°C인 경우는 분당 반응기내로 주입되는 NMO의 주입속도가 0.2 g/in 것에 반해 300°C인 경우는 0.3 g이었

으나 최종 평형에 도달하였을 때의 SO<sub>2</sub> 제거율은 거의 비슷한 값을 나타내 본 실험의 온도범위에서는 온도가 높을수록 NMO와 SO<sub>2</sub>의 반응이 활발해져 높은 반응효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### 3. 3 온도 및 NMO 주입속도에 따른 특성

반응온도와 반응기내로 주입되는 NMO의 주입속도에 따른 SO<sub>2</sub>흡착특성을 파악하기 위해 반응기내로 유입되는 모사가스의 유량을 1.6 l/min로 일정하게 유지시킨후 반응온도 300°C와 450°C에서 NMO

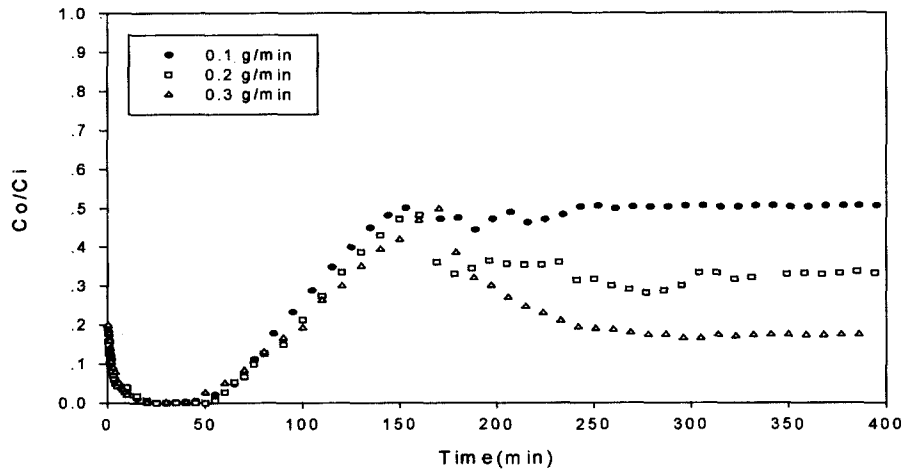


Fig. 6. Change of breakthrough curves with NMO feed rate in the continuous moving bed system. (Temp. = 300°C)

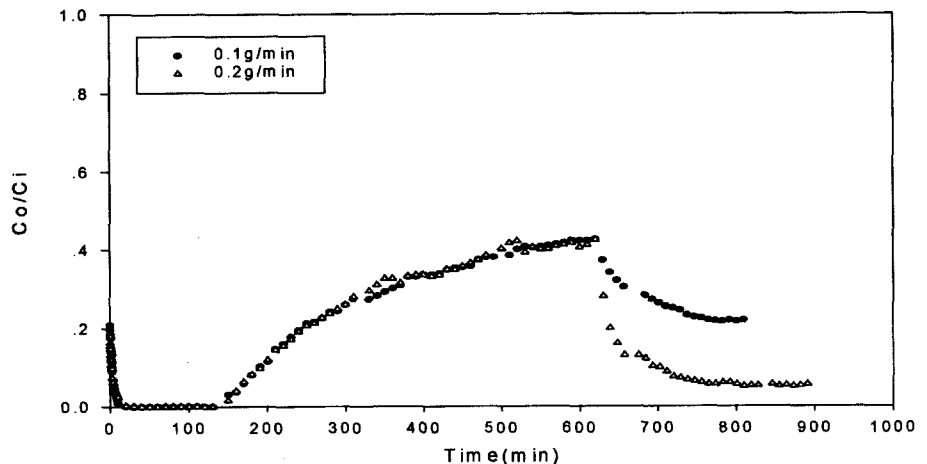


Fig. 7. Change of breakthrough curves with NMO feed rate in the continuous moving bed system. (Temp. = 450°C)

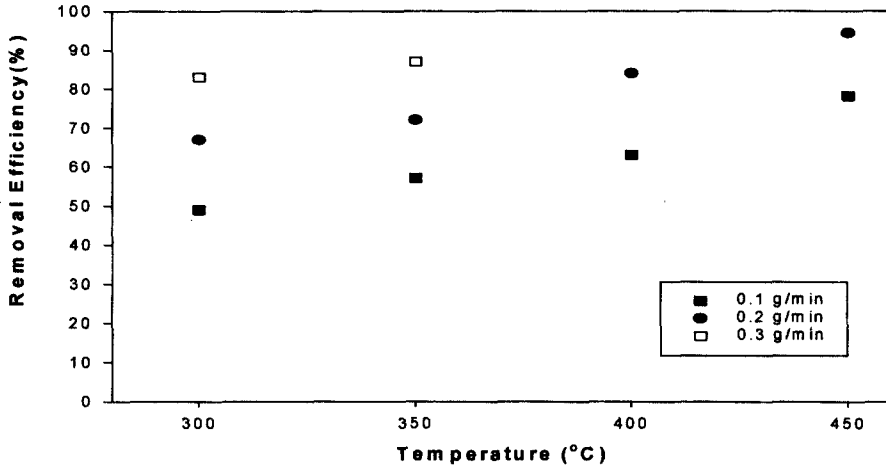


Fig. 8. The Relation between NMO feed rate and SO<sub>2</sub> removal efficiency with temperature.

의 주입속도를 다르게 하여 실험을 행한 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 이때 반응기내로 주입되는 NMO의 주입시점은 반응기를 통과하여 배출되는 배출가스의 농도가 반응기내로 유입되는 초기 SO<sub>2</sub> 농도의 50%에 도달하였을 때부터로 하였다.

반응기내로 유입되는 SO<sub>2</sub>가스가 파괴되기 시작하는 시점은 300°C의 경우 반응개시 후 50분 정도에서, 450°C의 경우는 150분정도에서 나타났다. 이는 반응온도가 높아질수록 초기 큰 기공의 생성으로 흡착제의 비표면적이 증가하여 기공막힘이 느려지고, 이에따라 SO<sub>2</sub>와 반응을 하는 NMO의 활성점이 빠르게 형성되어 SO<sub>2</sub>와의 반응성을 증가시키기 때문인 것으로 사료된다(Cho와 Lee, 1983).

또한 유입된 SO<sub>2</sub>가 파괴되기 시작하여 NMO의 주입시점인 초기농도의 50%에 도달하는 시간을 보면 300°C의 경우 100분 정도 시간이 소요되고 450°C의 경우는 500분 정도의 시간이 소요되는 것으로 나타나 온도가 높을 수록 파괴곡선의 경사도가 완만해 지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과 역시 반응온도가 높아질수록 흡착제내에 많은 기공의 형성으로 SO<sub>2</sub>가 NMO의 기공으로 확산하는데 오랜시간이 걸리게 되고, 온도에 따른 화학적 흡착반응이 더욱 활발히 진행되므로써 반응기내에 충전된 NMO의 SO<sub>2</sub>에 대한 흡착반응영역이 커지기 때문인 것으로 사료된다.

L/D를 1로 유지하고 반응을 거친후 배출되는

SO<sub>2</sub> 농도가 초기 반응기내로 유입되는 농도의 50%가 될 때 NMO의 주입속도를 다르게 하여 반응기내로 연속적으로 주입한 결과 300°C, 450°C 모두에서 NMO의 주입속도가 빨라짐에 따라 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 NMO의 주입속도가 빨라짐에 따라 반응기내에서의 NMO의 평균체류시간이 짧아지게 되어 그만큼 NMO의 전환율도 줄어들게 되어 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 낮아지는 것으로 사료된다.

그림 8은 각 온도에서 NMO의 주입속도에 따른 SO<sub>2</sub>의 제거율을 나타낸 것이다. 각각의 반응온도에서 시간이 지남에 따라 파괴곡선은 일정하게 유지되는 것으로 나타났는데(그림 6, 그림 7) 이렇게 파괴곡선이 일정하게 유지될때의 배출가스중 SO<sub>2</sub> 농도를 측정하여 SO<sub>2</sub>에 대한 제거효율을 구하였다. 반응온도 300°C에서는 NMO의 주입속도가 0.1 g/min일 때 SO<sub>2</sub> 제거효율은 49%, 0.2 g/min일 때 67%, 0.3 g/min일 때 87%로 나타났으며, 반응온도 450°C에서는 0.1 g/min의 속도로 NMO를 주입시켰을 경우 78%, 0.2 g/min일 때 95%로 나타나 본 연구의 실험온도에서는 같은 온도인 경우 흡착제의 주입속도가 빠를수록 SO<sub>2</sub>의 제거효율이 높게 나타났으며 또한 같은 양의 NMO를 주입한 경우 온도가 증가할수록 제거율이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

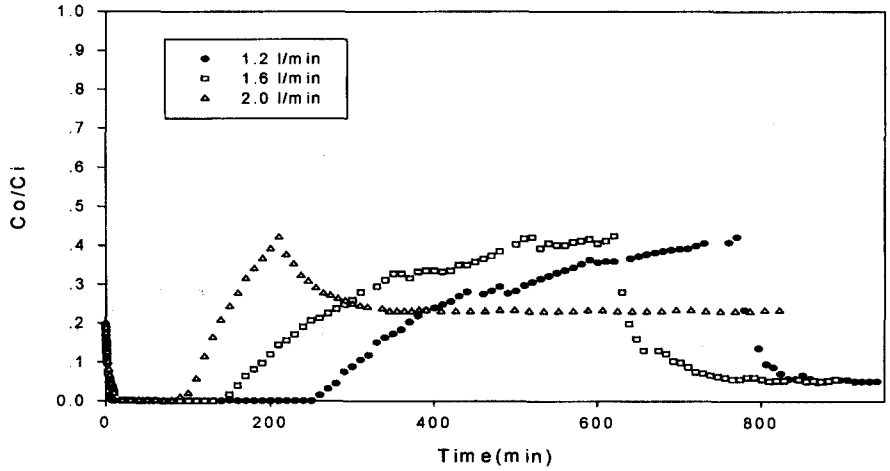


Fig. 9. Effect of flow rate on the  $SO_2$  breakthrough curve in the continuous moving bed system.

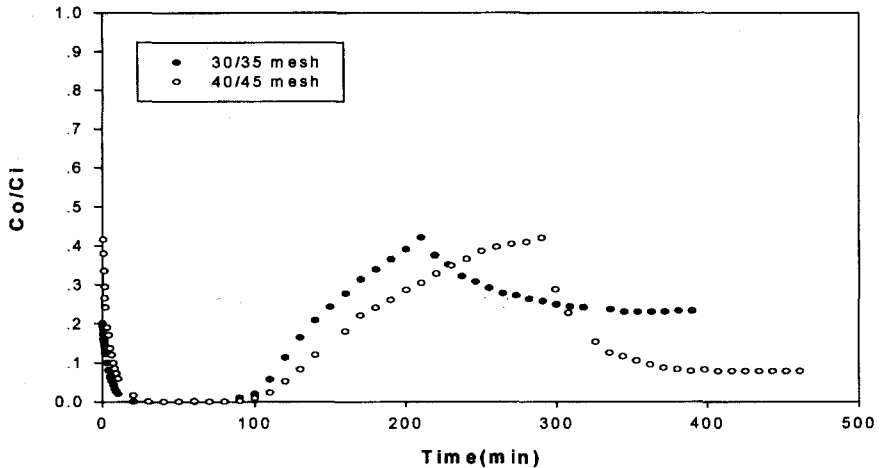


Fig. 10. Effect of particle size on  $SO_2$  breakthrough curve in the continuous moving bed system.

### 3. 4 유입유량에 따른 탈황반응 특성

유입되는 모사가스의 유량 변화에 따른  $SO_2$ 의 파괴곡선의 특성을 그림 9에 나타내었다. 유량을 1.2, 1.6, 2.0 l/min로 변화시키며 따라 화학양론적 파괴시간 (stoichiometric breakthrough time)은 각각 260분, 150분, 90분으로 유량이 증가할수록 파괴시간이 감소하는 것으로 나타났으며 이는 유량이 증가할수록 선속도가 빨라짐에 따라 기-고 접촉시간의 감소로 인해 미반응  $SO_2$ 의 배출량이 증가하기 때문인 것으로 사료된다(정순관, 1996). 또한 유량이

증가할수록 평형상태에 도달하는 시간이 짧아지는 것으로 나타났는데 이는 유량의 증가로 인한 선속도의 증가로 흡착질이 흡착제에 흡착되어 흡착평형에 도달하는 시간이 단축되므로 흡착질의 유출점이 점점 빨라지게 되기 때문이다. 즉 가스 유속이 증가함에 따라 가스막에서의 물질전달계수가 증가되어 흡착질이 흡착제에 흡착되어 평형에 도달하는 시간을 단축시키므로 흡착질의 유출점은 가스의 유속이 증가할수록 빨라지게 된다.



### 3.5 흡착제 입경에 따른 탈황반응 특성

반응온도와 반응기내로 유입되는 모사가스의 유량을 각각 450°C, 2.0 l/min로 하고, NMO의 주입속도를 0.2 g/min로 일정하게 유지한 후 흡착제 입경을 30/35 mesh (dp = 0.548 mm)와 40/45 mesh (dp = 0.387 mm) 두 종류로 분류하여 실험한 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 연속식 이동층 반응실험결과 반응기내에 충전된 흡착제의 입경이 작을수록 시간에 따른 SO<sub>2</sub>의 파괴곡선의 기울기가 완만하게 나타나 흡착영역이 커지고 있음을 알 수 있다. 또한 최종적으로 배출되는 SO<sub>2</sub>의 농도가 일정하게 되었을 때의 SO<sub>2</sub> 제거율도 평균입경 0.548 mm의 경우 73%인 것에 반해 평균입경 0.387 mm의 경우는 92%로 SO<sub>2</sub> 제거율도 흡착제의 입경이 작을수록 높은 것으로 나타났다. 이는 같은 온도와 유입유량에서는 충전된 흡착제의 입경이 작을수록 상대적으로 비표면적이 커서 유입되는 가스와 충전된 흡착제간의 접촉이 효율적으로 일어나기 때문인 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

이동층 반응시스템에서 NMO를 사용하여 SO<sub>2</sub> 제거에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 회분식 이동층반응시스템에서의 탈황반응특성에 대한 연구의 일환으로 L/D 변화에 대한 흡착용량특성에 대한 실험 결과, 본 연구에서 설계·제작된 반응기의 경우 L/D 1 이상에서 반응기내의 가스의 흐름이 plug flow상태로 되어 흡착제의 탈황반응 효과를 최대화 할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 연속식 이동층반응시스템에서의 흡착제의 주입 시점에 따른 탈황반응특성 실험결과 반응을 거쳐 배출되는 모사가스가 최종 평형에 도달하였을 때의 SO<sub>2</sub> 농도는 흡착제의 투입시점과는 관계없이 일정한 것으로 나타났다.
3. 연속식 이동층반응시스템에서의 온도 및 흡착제의 주입속도에 따른 특성 실험결과 온도가 증가할수록 SO<sub>2</sub>가 파괴되는 시점이 늦어지고 SO<sub>2</sub>의 제거효율도 커지는 것으로 나타났으며, 또한 흡착제의 주입속도가 커질수록 최종 SO<sub>2</sub>가 평형농도에 도달

하였을 때의 제거율이 높아지는 것으로 나타났다.

4. 반응기내로 유입되는 모사가스의 유입유량이 증가할수록 선속도가 빨라짐에 따라 기-고 접촉시간의 감소로 인해 파괴시간이 빨리 나타났으며, 또한 선속도가 빨라짐에 따라 흡착질이 흡착제에 흡착되어 흡착평형에 도달하는 시간이 단축되므로서 흡착질의 유출점이 빨라져 최종 평형농도에 도달하는 시간이 짧아지는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 모세영, 박인호, 김만수 (1996) 연탄재에 의한 배연탈황 흡착탑의 SO<sub>2</sub> 흡착특성 결정, 대한환경공학회지, 18(3), 287-299.
- 송영훈, 김용진, 김석준 (1995) 플라즈마를 이용한 유해가스처리 신기술, 가스상 오염물질처리 신기술, 한국대기환경학회지, 51-74.
- 오광중, 홍성창, 김재용, 도동섭 (1991) 석회석 특성이 유동층 연소로의 탈황에 미치는 영향, 대한환경공학회지, 13(1), 37-44.
- 정순관 (1996) 이동층반응기에서 NMO를 이용한 이산화황 제거, 고려대 석사학위논문.
- 조기철, 홍성창, 김희강 (1999) 고정층 반응기를 이용한 흡착제 종류에 따른 SO<sub>2</sub> 흡착특성에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(2), 191-199.
- 한범수, 조기현, 조광제 (1995) Electron Beam을 이용한 유해가스 처리 기술, 가스상 오염물질처리 신기술, 한국대기환경학회지, 76-89.
- 홍성창, 정순관 (1998) 이동층 반응기에서 Natural Manganese Dioxide를 이용한 탈황연구, 대한환경공학회지, 20(1), 141-150.
- Cho, M.H. and W.K. Lee (1983), SO<sub>2</sub> Removal by CuO on  $\gamma$ -alumina, Journal of Chemical Engineering of JAPAN, 16(2), 127-131.
- Waqif, M., O. Saur, J.C. Lavalley, Y. Wang, and B.A. Morrow (1991), Evaluation of magnesium aluminate spinel as a sulfur dioxide transfer catalyst, Elsevier Science Publishers B.V., Applied Catalysts, 71, 319-331.
- Soren, A.P. Robert, and G.V. Nils (1985), SO<sub>x</sub> Adsorption/Desorption process on  $\gamma$ -Alumina for SO<sub>x</sub> transfer catalysts, Elsevier Science Publishers B.V., 16, 49-58.