

고온건식탈황을 위한 유동층반응기 특성연구

The Characteristics of Desulfurization for Dry-Type High Temperature  
in a Fluidized Bed Reactor

장 현 태\*

Hyun-Tae Jang

(1998년 9월 15일 접수, 1999년 2월 24일 채택)

ABSTRACT

The removal characteristics of H<sub>2</sub>S from IGCC process over the natural manganese ore(NMO) containing several metal oxides(MnO<sub>x</sub>: 51.85%, FeO<sub>y</sub>: 3.86%, CaO: 0.11%) were carried out in a batch type fluidized bed reactor(I.D.=40mm, height=0.8m). The H<sub>2</sub>S breakthrough curves were obtained as a function of temperature, initial gas velocity, initial gas concentration, and aspect ratio. The effect of particle size ratio and particle mixing fraction on H<sub>2</sub>S removal were investigated with binary system of different particle size.

From this study, the adsorption capacity of H<sub>2</sub>S increased with temperature but decreased with excess gas velocity. The breakthrough time for H<sub>2</sub>S is reduced as the gas velocity is increased which led to gas by-passing and gas-solid contacting in a fluidized bed reactor. The results of the binary particle system with different size in batch experimental could predict to improve the behavior of continuous process of H<sub>2</sub>S removal efficiency. The natural manganese ore could be considered as potential sorbent in H<sub>2</sub>S removal.

1. 서 론

생활수준의 향상으로 환경에 대한 관심이 집중되고 있으며, 또한 산업의 발달로 인하여 환경오염물질의 발생이 증대되고 있으며, 오염물

질의 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 황화수소의 방출원은 화석연료 연소 및 열분해공정과 쓰레기의 부폐과정으로 나눌 수 있다. 쓰레기 부폐과정에서 발생하는 황화수소는 비교적 저농도로 발생하며 이러한 저농도의 발생

\* 한서대학교 화학공학과

은 악취를 유발시키고 있으나, 화석연료의 연소와 열분해 과정에서는 고농도로 발생하게 되며 장치의 부식 및 작업자의 안전에 심각한 문제를 유발시킨다. 또한 국내의 에너지 소비량은 산업과 경제 발전에 비례하여 지속적으로 증가하고 있으며 필요한 에너지의 많은 부분을 화석연료의 연소에 의한 발전으로 충당하고 있다. 산업 발전에 따른 에너지 수요량의 증가 및 에너지원 다변화 정책 등으로 인한 화석연료 중에 석탄의 이용이 확대될 전망이다<sup>1-6)</sup>.

청정에너지원으로 석탄의 이용방법 중에 석탄복합발전시스템(IGCC, integrated coal gasification combined cycle)은 석탄을 고온고압하에서 불완전 연소시키고 발생된 증기로 전기를 만들고, 불완전 연소과정에서 발생된 가스로 터빈을 돌려 전기를 만드는 방법으로써 기존의 석탄화력발전소에 비하여 건설단가는 비슷하나 열효율이 기존의 화력발전소에 비하여 10% 이상 높을 뿐만 아니라 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 발생을 현저하게 줄일 수 있으므로 열효율 측면 및 경제성, 환경측면에서 각광을 받는 신기술이다<sup>7,8)</sup>. 이와 같이 우수한 IGCC 공정에서 가장 문제시되는 부분은 가스화로부터 나오는 가연성 가스(H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) 중에 석탄 중에 함유된 황성분에 의하여 발생하는 H<sub>2</sub>S, COS에 의하여 가스터빈 발전부분에서의 부식 및 공해문제가 발생되는 것이다. 황화수소의 높은 반응성으로 인하여 가스터빈의 부식이 급속히 진행되어 황화수소 제거공정이 없는 조업이 불가능하다. 현재 상용화된 탈황공정들은 습식 탈황공정으로 저온에서 운전되도록 설계되어 있으며 저온운전시 열손실이 크다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 고온에서 탈황 정제하여 가스터빈에 공급함으로써 열효율을 향상시킬 수 있는 고온건식 탈황기술(hot clean up system)이 개발중이다.

고온건식탈황공정은 주로 금속산화물계통의 탈황제를 사용하여 석탄가스화로부터 나오는 H<sub>2</sub>S 및 COS 등을 흡수하고 재생공정에서 탈황제를 재생시키는 기술이다. 고온건식공정은 400 ℃ 이상의 고온에서 가스를 처리하므로 가스냉각에 따른 타르 응축을 방지하고 열손실이 적으며 수증기 및 고질량 탄산가스가 제거되지 않고 가스

터빈 구동에 이용될 수 있으므로 열효율이 높다. 이와 같은 공정에 쓰이는 탈황제로는 아연계와 철계가 주종을 이루고 있으며 대부분이 많은 가공을 거친 것이다<sup>9-11)</sup>. 따라서 본 연구에서는 전처리과정이 없이 천연망간광석을 이용하여 황화수소를 흡착 제거하고자 하였다. 천연망간광석의 경우 전처리과정이 없으므로 흡착제 비용면에서 기존의 흡착제와 비교하여 월등히 우수하다.

또한 본 연구에서는 흡착공정을 유동층반응기를 사용하고자 한다. 유동층반응기의 경우 열 및 물질전달이 우수하고 고체의 주입과 배출이 용이하므로 이동층과 더불어 고체를 다루는 장치로써 각광을 받고 있다<sup>6)</sup>. 흡착공정과 재생공정이 동시에 이루어져야 하는 경우 두 공정사이의 고체의 이동이 용이하므로 유동층반응기를 대상으로 실험을 수행하여 유동층반응기에서 유동화 특성에 의한 탈황반응 특성에 대한 연구를 수행하였다.

유동층 탈황반응기의 해석 및 반응기의 이해를 위하여 유동층의 중형비, 유속, 과잉기체비, 황화수소의 농도, 천연망간광석의 입자크기 및 크기가 다른 이성분입자계의 혼합비, 입자크기비에 따라 실험을 수행하였다

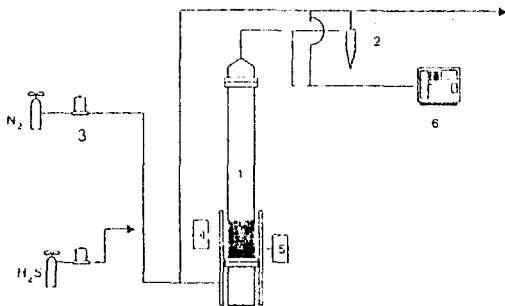
## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 유동층 반응기는 bench scale 이상으로서 각 조업조건에 따른 유동층의 동특성 및 혼합도에 따른 탈황제의 탈황반응성의 자료는 산업화의 응용에 필요한 실험의 기초 자료로 제공될 수 있을 것이며 개략도는 Fig. 1과 같다. 반응기는 크게 유동층 탈황반응기, 가스공급부 및 측정부로 구성되어 있다. 유동층부는 내경 40mm, 높이 0.8m의 원통형 stainless steel(sus 316)로 제작하며 유동층부 하부에 stainless steel로 된 sintered metal의 분산판을 설치한다. 유동층 상부에는 입자간 마찰 및 입자와 반응기 기벽간의 마찰로 생성되어 배출되는 미세입자를 포집하여 마모도를 조사할 수 있게 cyclone을 설치하였다. 유동층반응기의 온도는

plenum과 유동층부에 전기히터를 설치하여 조절하며 외부는 ceramic wool로 단열한다. 유동화기체의 공급은 공기압축기와 질소를 사용하며 안정된 공기의 공급을 위하여 냉각기, 제습기, 정압기, 공기정화기를 설치한다. 유동화 기체와 H<sub>2</sub>S는 니들밸브와 유량계를 사용하여 조절하며 완전혼합 후 유동층으로 공급하기 위해 mixing chamber를 설치한다.

측정부는 동특성과 혼합도 및 반응정도를 외부 진단할 수 있는 압력요동신호 측정부와 반응기의 온도 측정부, 가스농도 측정부로 구성된다. 압력요동신호 측정부는 압력전달기, 압력전달기를 시동시키는 직류전원공급기, A/D 변환기, 측정된 신호를 계산, 기록하는 컴퓨터 부분으로 구성된다. 온도측정부는 유동층 각 높이에 따라 K-type 열전대를 사용하여 반응 중의 온도 변화를 측정한다. 반응기로 공급되는 H<sub>2</sub>S의 농도와 반응후의 농도는 분산판 아래 plenum과 분산판으로 부터 층내영역과 splash 영역, free-board영역 등에 측방향 높이로 설치된 시료 채취관으로부터 채취하여 수분제거를 위한 제습기, 미분 제거용 filter를 거쳐 G.C.로 분석하고, 더욱 정확한 측정을 위하여 흡수법을 이용한 측정값을 비교하여 측정하였다.



- 1. Fluidized bed
- 2. Cyclone
- 3. Mass flow controller
- 4. Pressure transducer
- 5. Temperature controller
- 6. Gas analyzer

Fig. 1 Schematic diagram of the fluidized bed reactor

### 2.2 실험방법

실제 유동층반응기에서 탈황반응을 수행할 경우 각 조업조건에 따라 유동층을 형성하는 탈

황제 입자의 혼합, 운동성 및 반응가스의 흐름 형태가 변하게 되며 이는 H<sub>2</sub>S 탈황반응 전환율에 큰 영향을 미치게 된다. 또한 이것은 탈황제의 이론적 탈황능력이 실제 조업시 이를 100% 사용하지 못하는 원인이 되기도 한다.

따라서 유동층에서의 탈황반응 특성을 고찰하기 위해서는 층내 현상에 대한 이해와 고찰이 동시에 수행되어야 하므로 층내에서 압력요동신호를 측정하여 이로부터 층내현상을 관측하였다. 또한 측정된 압력요동신호 중의 압력요동의 표준편차와 유속간의 선형관계를 이용하여 각 입자크기별 최소유동화속도를 측정하였다.

층내현상에 대한 자료를 토대로 실제 N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S 이성분계 모사가스를 대상으로 탈황조업을 실시하며 이들 혼합가스에 대한 유동층 탈황능력 및 반응특성을 조사하여 온도, 유속, 입자크기, 농도, 중횡비 등이 탈황반응 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행한다.

또한 유동층반응기에서 반응이 일어나는 경우 가장 큰 단점은 미반응 기체의 대부분이 기포형태로 층을 빠져나가므로 크기가 다른 이성분 입자계에서의 기포의 거동을 압력요동특성치, 공극률 및 기포크기의 예측을 통하여 실제 탈황율과 비교 검토함으로써 이들 변수가 탈황율에 미치는 영향을 고찰하였다. 실험의 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Operating variables	Operating range
Inlet air velocity(m/sec)	0.150, 0.250, 0.350, 0.450
Bed temperature(°C)	400, 500, 600, 700
Particle size(mm)	0.194, 0.230, 0.274, 0.359, 0.507
Aspect ratio(L/D)	0.5, 1, 2, 3
H <sub>2</sub> S Concentration(ppm)	2,500, 5,000, 5,500, 7,100, 10,000, 16,600, 20,000

### 2.3 시 료

본 연구에서 탈황제로 사용하고자 하는 NMO의 화학조성표는 Table 2와 같으며 일부 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe, CaO, MgO가 포함되어 있으나 대부분이 망간산화물인 것을 알 수 있다. NMO는 광석상태이므로 이를 유동층에서 사용하기 위해

서는 일정한 크기로 분쇄하여야 한다. 이를 위해 jaw crusher와 roll mill을 사용하여 분쇄한 후 표준망체를 이용하여 일정한 크기의 입자로 준비한다.

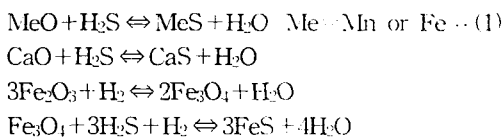
Table 2 Composition of the NMO

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

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 천연망간광석의 흡착특성

본 연구에서 사용된 망간광석은 주성분이 80% 이상 망간산화물 형태이며, 흡착제로 사용될 수 있는 FeO<sub>x</sub>, CaO, MgO 등의 여러 금속산화물이 포함되어 있는 복합금속산화물이다. 본 연구에서는 망간광석을 30/40mesh(0.507mm), 40/50mesh(0.359mm), 50/60mesh(0.273mm), 60/70mesh(0.230mm), 70/80mesh(0.194mm)로 분쇄한 후 상온에서 10시간 유동화 시켜 마모되기 쉬운 부분을 제거하여 유동층내의 마모에 의한 영향이 존재하지 않도록 하였다. 망간에 의한 황화수소의 흡착반응은 여러 연구자<sup>11,12)</sup>에 의하여 다음과 같이 제안되어져 있으며 본 실험에서도 다음에 제안된 반응기구에 의한 것으로 사료된다.



흡착능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 온도이므로 Fig. 2에 온도에 따른 과과 곡선을 나타내었다. 그림은 NMO 0.507mm의 균일입자를 종횡비 1인 상태에서 온도에 따른 황화수소의 배출량을 나타낸 그림으로써 실험에서 변수로 택한 온도범위는 400℃에서 700℃로 택하고 있다. 이는 IGCC 조업시 가스터빈으로 유입되는 가스의 온도범위에서 흡착능을 실험하기 위한 것이며 대부분의 조업이 600℃에서 이루어지므로 이후의 실험은 600℃에서 실시하였다. 망간광석과 황화수소와의 반응은 화학흡착 과정이므로 온도의 증가에 따라 600℃까지는 증가율이

크게 나타나고 600℃에서 700℃까지는 증가율이 비교적 약간 작음을 알 수 있다. 또한 과과곡선의 기울기가 온도가 증가함에 따라 작아지고 있음이 나타나 있다. 이와 같은 현상은 고정층에서는 일어나지 않는 현상으로써 유동층의 유동화특성에 의한 것이다. 유동층의 경우 온도의 상승에 따라 최소유동화속도가 작아지게 된다. 따라서 유동층내의 기포로 통과하는 기체의 유량이 emulsion상을 통과하는 기체 유량에 비교하여 증가하게 되어 나타나는 현상으로 사료된다. 또한 흡착량을 결정하는 가장 큰 변수는 입자의 크기로서 입자크기가 감소함에 따라 입자의 비표면적이 증가하므로 일반적으로 흡착량이 입자크기에 반비례하게 된다. 따라서 Fig. 3에 입자크기에 따른 흡착과과곡선을 나타내었다. 망간광석의 입자크기가 감소함에 따라 흡착량이 크게 나타나고 있으며 0.194mm의 입자가 0.507mm 입자의 1.8배로 나타나고 있다. 이러한 특성에 의하여 대부분의 저압차 반응기를 이용한 경우는 작은입자를 표면에 입히므로써 흡착효율을 높이게 된다. 유동층의 경우 작은 입자의 흡착효율이 크게 나타나므로 작은 입자로 조업하여야 하나 작은 입자는 유동층 내에서 비산유출되므로 사용이 어렵다. 따라서 미세입자의 유출을 억제하기 위하여 층내입도분포를 조절하여 미세입자의 유출을 억제하고 체류시간을 증진시키고 있다<sup>13)</sup>.

또한 농도와 유속에 대한 영향을 알아보기 위하여 Fig. 4와 Fig. 5에 유속과 농도에 대한 영향을 나타내었다. Fig. 4의 농도에 대한 그림은 각각의 유입농도가 다르므로 유입량과 배출량의 비로써 표기하였다. 그림에서 흡착량이 황화수소 농도가 2,500ppm인 경우가 가장 크게 나타나고 있는 것으로 보이나 동일 입자량에 대한 흡착량은 작게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 Table 3의 각 조업조건에 따른 흡착량을 나타낸 표에서 알 수 있다. Table 3에서 살펴보면 유입농도가 20,000ppm인 경우는 10,000ppm 보다 흡착량이 작게 나타나고 있으나 5,000, 2,500ppm은 농도가 감소함에 따라 흡착량이 감소하고 있는 것으로 나타난다. 이와 같은 현상은 농도가 높은 경우가 낮은 경우보다 접촉효율의 증가와 기

Table 3 H<sub>2</sub>S adsorption capacity according to operation conditions

Experimental Conditions						Adsorption Capacity (mg H <sub>2</sub> S/g Mn Ore)
Temp. (°C)	Superficial gas velocity(m/sec)	H <sub>2</sub> S Conc. (ppm)	L/D	Jetsam particle size(mm), Mixing %	Flotsam particle size(mm), Mixing %	
600	0.250	10,000	0.5	0.505, 100		28.5
600	0.250	10,000	1	0.505, 100		138.7
600	0.250	10,000	2	0.505, 100		200.2
600	0.250	10,000	3	0.505, 100		328.0
400	0.250	10,000	1	0.505, 100		52.0
500	0.250	10,000	1	0.505, 100		82.6
700	0.250	10,000	1	0.505, 100		156.8
600	0.250	5,000	1	0.505, 100		84.0
600	0.250	5,000	1	0.273, 100		129.8
600	0.250	5,000	1	0.194, 100		154.7
600	0.150	10,000	1	0.505, 100		122.8
600	0.350	10,000	1	0.505, 100		89.7
600	0.450	10,000	1	0.505, 100		88.4
600	0.250	20,000	1	0.505, 100		104.0
600	0.250	2,500	1	0.505, 100		64.9
600	0.150	16,600	1	0.505, 100		102.0
600	0.350	7,100	1	0.505, 100		88.0
600	0.450	5,500	1	0.505, 100		90.2
600	0.250	5,000	1	0.505, 70	0.273, 30	88.6
600	0.250	5,000	1	0.505, 70	0.230, 30	103.6
600	0.250	5,000	1	0.505, 70	0.194, 30	116.0
600	0.250	5,000	1	0.505, 50	0.273, 50	92.7
600	0.250	5,000	1	0.505, 30	0.273, 70	104.0

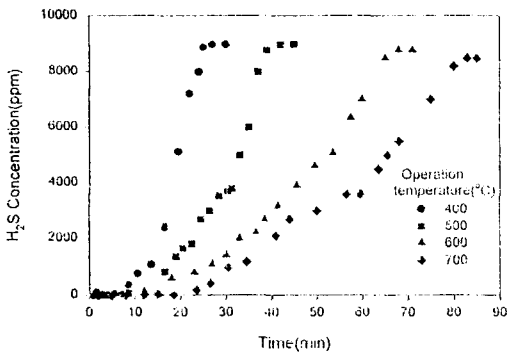


Fig. 2 The effect of operation temperature on H<sub>2</sub>S removal efficiency (L/D=1, H<sub>2</sub>S: 10,000ppm, NMO particle size=0.507mm)

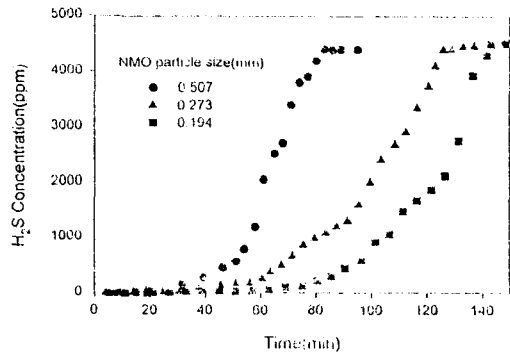


Fig. 3 The effect of particle size on the H<sub>2</sub>S sorption (U<sub>0</sub>=0.250m/sec, H<sub>2</sub>S=5,000ppm, T=600°C)

공막힘 현상이 낮아지고 있음을 나타내주는 결과로 사료되며 Fig. 4에 나타난 파과시간으로도 알 수 있다. Fig. 5는 각 유속에 따른 흡착파과 곡선을 나타낸 것으로 각 유속에 따라 농도를

일정하게 유지하였으므로 유동층 반응기내로 유입되는 황화수소의 절대량은 차이가 있다. 따라서 유속이 높은 경우 빠른 파과특성을 나타내게 된다. Fig. 5와 Table 3에서 유속이 증가함에 따라 흡착량이 증가하다 감소하게 된다. 유동층에

서 최소유동화속도 이상으로 공급되는 기체는 기포상으로 통과하게 되므로 유속이 증가함에 따라 기포분율이 높아지고 기포의 통과속도가 빠르므로 미반응 유출되는 황화수소의 양이 많아지게 되어 나타나는 현상으로 사료된다<sup>14,15)</sup>. 또한 유속의 증가에 따라 흡착과과곡선의 기울기가 작아지고 있다. 이는 유속 증가에 따라 boundary layer thickness가 작아지므로 인하여 물질전달 저항이 작아지고 있음을 나타내어 준다. 이러한 영향은 동일 공압속도에서 황화수소 농도가 16,600, 7,100, 5,500ppm인 Table 3의 흡착량 값에서도 알 수 있다.

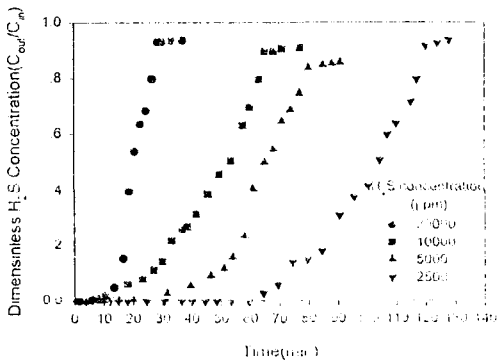


Fig. 4 The sorption efficiency according to H<sub>2</sub>S inlet concentration (T=600°C, L/D=1, U<sub>mf</sub>=0.250m/sec, NMO particle size=0.507mm)

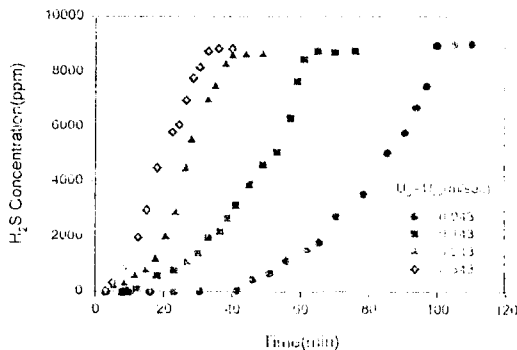


Fig. 5 The effect of excess gas on H<sub>2</sub>S sorption (T<sub>0</sub>=600°C, L/D=1, H<sub>2</sub>S Conc.=10,000ppm, NMO particle size=0.507mm, U<sub>mf</sub>=0.107m/sec at 600°C)

유동층에서 주요 조업변수인 종횡비(L/D)에

따른 흡착과과특성을 실험하여 Fig. 6에 나타내었다. 유동층에서 종횡비의 증가로 압력강하가 증가되어 기포의 합체 현상이 일어나는 지점이 하부로 이동하게 되며 기포크기가 커지게 된다. 따라서 느린 반응이나 물질전달저항이 큰 경우는 종횡비와 흡착량과의 선형적인 관계를 나타내지 않는다. 그러나 Table 3의 결과에서는 선형성이 이루어지고 있다. 따라서 위의 유속 영향에서 나타나는 현상이 종횡비에서도 나타나고 있음을 알 수 있다.

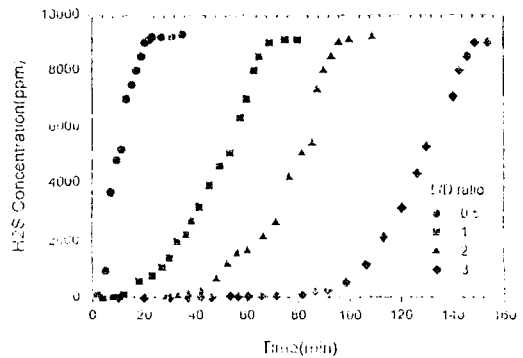


Fig. 6 The effect of L/D ratio on H<sub>2</sub>S sorption capacity (T=600°C, D<sub>0</sub>=0.507mm, H<sub>2</sub>S Conc.=10,000ppm)

### 3.2 입자혼합에 따른 흡착특성

유동층의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 크기가 다른 입자군의 혼합에 의한 증대의 혼합도 및 균일도 향상과 증대 미세입자의 체류시간의 증진을 시킬 수 있다. Nienow 등<sup>14,15)</sup>의 연구자에 의하여 이 성분계는 jetsam rich system과 flotsam rich system으로 구분되며 각 계에 대한 수력학적 특성을 규명하였다. 본 연구에서는 이러한 수력학적 결과를 바탕으로 유동층 흡착조업에서 흡착능을 향상시킬 수 있는 방법으로 jetsam입자의 혼합비와 flotsam입자의 크기비에 따른 황화수소의 흡착과과곡선을 구하여 Fig. 7, 8에 나타내었다. Fig. 7은 입경 0.273mm의 flotsam과 입경 0.507mm의 jetsam의 혼합에 따른 흡착과과곡선을 나타내었다. 그림에서 흡착능이 적은 jetsam의 비율이 증가함에 따라 흡착량이 작게 나타나고 있으며 과과곡선의 기울기는 혼합비에 관계가 없이 나타나고 있다. 그림

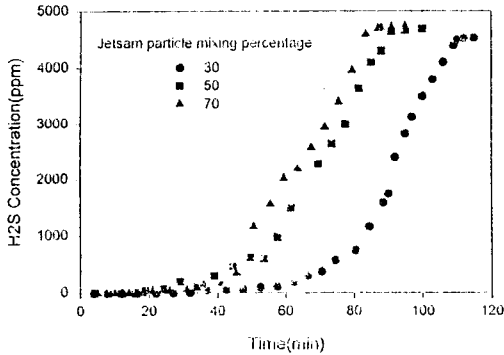


Fig. 7 The effect of flotsam particle mixing ratio on H<sub>2</sub>S sorption (L/D=1, T=600°C, H<sub>2</sub>S Conc.=5,000 ppm, flotsam particle size=0.230mm, jetsam particle size=0.507mm)

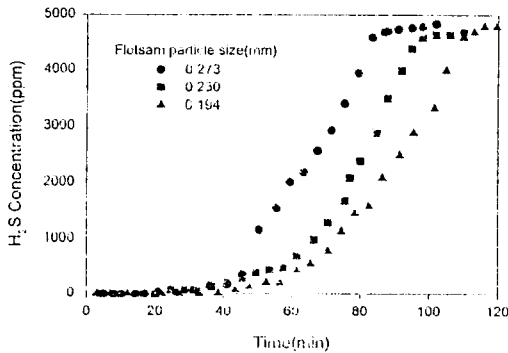


Fig. 8 The effect of flotsam particle size with jetsam rich system on H<sub>2</sub>S sorption (T=600°C, jetsam particle size=0.507mm, H<sub>2</sub>S Conc.=5,000ppm)

에서는 확연히 표기가 되어 있지 않지만 균일입자계의 경우 조업 개시후 10분 정도 경과되면 미량의 황화수소가 배출되나 혼합입자계에서는 전혀 일어나지 않고 있다. 또한 균일입자계의 흡착과과곡선과 비교하면 기울기가 매우 완만하게 나타나고 있다. 그러나 절대 흡착량은 두 입자계를 각각 사용한 경우의 흡착량의 산술적 합계치 보다 작게 나타나고 있다. Fig. 8에 jetsam으로 입경 0.507mm 입자 70wt.%와 flotsam으로 입경 0.194, 0.230, 0.273mm의 입자 30wt.%의 혼합으로 입자크기에 따른 영향을 나타내었다. 그림에서 flotsam 입자의 크기가 작아짐에 따라 흡착량이 증가하고 있으며, 흡착과과곡선의 기

울기가 flotsam 입자크기가 작아짐에 따라 완만하여지는 것을 알 수 있다. 따라서 이성분입자계에서 층내의 치밀도가 증진됨에 따라 기포크기가 커지고 기포에 의한 운동성이 향상되므로 입자의 혼합이 우수하여지나 기포의 합체가 활발하여지고 합체영역이 하부로 이동함에 따라 전체 흡착효율은 감소함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

회분식 유동층반응기에서 천연망간광석을 이용한 황화수소의 흡착특성을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 회분식 유동층반응기에서 천연망간광석을 사용하여 탈황에 대한 연구결과 IGCC공정의 2차터빈의 주입온도인 400~700°C에서 황화수소에 대한 우수한 제거능력을 가지고 있음을 알 수 있었고 높은 기계적 강도로 인하여 유동층반응기에서 사용이 가능함을 알았다.
- 2) 온도증가에 따라 황화수소의 흡착능은 증가되며 유동층의 공탑속도 증가에 따라 흡착능과 흡착효율이 감소되고 중형비의 증가에 따라 흡착효율은 증가되며 흡착능은 감소됨을 알 수 있었다.
- 3) 이성분계의 천연망간광석을 사용하여 탈황특성 실험으로부터 얻은 흡착과과곡선의 기울기의 변화로부터 유동층에서 이성분계의 수력학적 특성에 의한 영향이 흡착에 나타나고 있음을 알았으며 유동층의 전 영역에서 탈황반응이 일어남을 알 수 있었다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 신진연구과제 (1997-003-E00368) 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구결과와 일부이며, 연구비를 지원해 주신 당 재단에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) "대기오염 저감기술 조사분석 및 기술개발 계획", 한국동력자원연구소, 에너지·환경연구부, 1990.
- 2) 김성현, "건식탈황공정기술의 개발 현황", in

- “고정원으로부터 발생하는 배연가스의 탈황, 탈질에 관한 WORKSHOP”, 한국과학기술연구원, 1992.
- 3) 이형근, 김성현, “배연탈황 기술 및 연구개발”, in “배연탈황 플랜트 설비 설계 및 운용 기술 세미나”, 기업기술교육시스템, 1992.
  - 4) “대기오염 저감기술 조사분석 및 기술개발 계획”, 한국동력자원연구소 에너지·환경연구부, 1990.
  - 5) 박태준 외, “복합발전용 석탄가스화 장치 및 정제 시스템 연구”, KIER, KRC-90G-J07, 1991.
  - 6) 박영철, 최정후, 손재익, “유동층 석탄가스화 기술검토”, Energy R & D, Vol. 10, No. 1, pp. 23~29, 1988.
  - 7) “Gasification Combined Cycle Plant Configuration Studies”, EPRI Report(AP-1393), 1989.
  - 8) “Clean Coal Technology-IGCC”, GE Power Systems Seminar, 1991.
  - 9) M.C. Wood, and, S.M. Harkins, “Enhanced Durability of Desulfurization Sorbents for Fluidized Bed Applications”, Proc. of the Ninth Annual Gasification and Gas Stream Cleanup Systems Contractors Review Meeting, Vol. 1, pp. 102~112, 1989.
  - 10) T. Nakayama, S. Ito, H. Matsuda, H. Shirai, M. Kobayashi, T. Tanaka and H. Ishikawa, “Development of Fixed Bed Type Hot Gas Cleanup Technology for IGCC Power Generation”, Yokosuka Research Lab Report, No. EW89015, 1989.
  - 11) “Status Report of Development for Entrained Flow Type 200T/D Coal Gasification Pilot Plant”, Engineering Research Association for IGCC Report, 1989.
  - 12) D. Geldart, “The Effect of Particle Size and Size Distribution on the Behaviour of Gas-Fluidised Beds”, Powder Tech., Vol. 6, pp. 201~214, 1972.
  - 13) Hyun Tae Jang, Wang Seog Cha, Dong Sup Do, “The Elutriation of Flotsam from Binasry System with Different Density in a Fluidized Bed”, 화학공학, Vol. 34, No. 1, pp. 64~69, 1996.
  - 14) D. Geldart, J. Baeyens, D.J. pope, and P. Van De Wijer, “Segregation in Beds of Large particles at High Velocity”, Powder Technology, Vol. 30, pp. 195~205, 1981.
  - 15) S. Chiba, A.W. Nienow, T. Chiba and H. Kobayash, “Fluidised Binary Mixtures in which the Denser component may be Flotsam”, Vol. 26, pp. 1~10, 1980.
  - 16) A.W. Nienow, P.N. Rowe and T. Chiba, “Mixing and Seregation of a Small Proportion of Large Particles in Gas Fluidized Beds of Considerably Smaller Ones”, AI-ChE Symposium series, 75, pp. 45~53, 1978.