

GC/microreactor를 이용한 소성온도에 따른 CuO-Fe₂O₃ 흡수제의 탈황성능

이효송 · 김진용 · 김정수 · 이영우[†]

충남대학교 화학공학과
305-764 대전시 우성구 공동 220
(2004년 6월 14일 접수, 2004년 11월 2일 채택)

Desulfurization Ability of CuO-Fe₂O₃ Sorbents with Respect to the Calcination Temperature by GC/microreactor

Hyo-Song Lee, Jin-Yong Kim, Jeong-Soo Kim and Young Woo Rhee[†]

Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, 220, Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea
(Received 14 June 2004; accepted 2 November 2004)

요 약

본 연구에서는 주 반응물질로 CuO를 사용하고, Fe₂O₃의 함량을 7.5 wt%, 15 wt%, 22.5 wt%로 변화시키고, 지지체 SiO₂의 함량을 25 wt%로 고정하여 흡수제를 제조하였다. 특히 소성온도의 변화에 따른 흡수제의 탈황성능의 변화를 조사하기 위하여, 흡수제의 소성 온도를 700, 900 그리고 1,100 °C로 달리하여 흡수제를 제조하였다. 제조된 흡수제는 GC/소형반응기를 이용하여 사이클 실험을 하였으며, 이때 흡수제의 황화온도는 500 °C, 재생온도는 700 °C로 하였다. 반응 전후의 XRD 분석을 통하여 화합물의 형태를 확인하였으며, BET 분석을 통하여 소성온도의 변화에 따른 흡수제의 표면적 변화를 조사하였다. 또한, 장기사이클에서 700 °C에서 소성된 CFS3 흡수제(CuO : Fe₂O₃ : SiO₂ = 52.5 wt% : 22.5 wt% : 25 wt%)의 H₂O의 유/무에 따른 탈황성능의 변화를 확인하였다. 그 결과 소성온도에 따른 비표면적의 변화는 크게 나타나지 않았다. 또한, 장기사이클에서 H₂O에 의한 탈황성능의 저하를 확인할 수 있었다. 특히 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제(CuO : Fe₂O₃ : SiO₂ = 67.5 wt% : 7.5 wt% : 25 wt%)의 경우에는 H₂O가 존재함에도 불구하고, 100 사이클이 지난 후에도 흡수제 100 g당 10 g의 황을 제거할 수 있는 탈황성능을 보였다.

Abstract – The desulfurization abilities using GC/microreactor have been examined for CuO-Fe₂O₃ sorbents with respect to calcination temperatures of 700, 900 and 1,100 °C. CuO was used as a main active component, Fe₂O₃ was used as an additive one and 25 wt% SiO₂ was used as a support. The desulfurization reaction temperature was 500 °C and the regeneration reaction temperature was 700 °C. From the XRD results, the CuFeO₂ compound has been observed for the fresh sorbent calcined at 1,100 °C and the CuFeS₂ compound for the reacted sorbent calcined at 1,100 °C. By the BET results, however any significant differences among sorbents calcined at the three different temperatures of 700, 900 and 1,100 °C haven't been observed. Especially CFS1 (CuO : Fe₂O₃ : SiO₂ = 67.5 wt% : 7.5 wt% : 25 wt%) sorbent calcined at 1,100 °C maintained about 10 g sulfur/100 g sorbent for 100 cycles by the cyclic test.

Key words: Desulfurization Abilities, CuO-Fe₂O₃ Sorbent, CuFeO₂ Compound, Calcination Effect

1. 서 론

석탄가스화 복합발전이 기존의 발전방식에 비하여 더욱 높은 효율과 환경 친화적인 장점을 갖는 발전방식으로서 많은 연구가 수행되고 있으며, 특히 강한 부식성을 지닌 생성가스로부터 장치를 보호하기 위한 탈황공정은 석탄가스화 복합발전의 성공적인 개발을 위해서는 필수적이다. 탈황공정에 사용되는 흡수제는 특히 금속산화물의 조합에 의하여 제조된 재생 가능한 흡수제로써 그에 대한

연구가 많이 이루어지고 있다[1-6].

Westmoreland와 Harrison[7]은 체계적으로 28가지의 원소를 이용해 탈황실험을 하였고 유용한 10가지의 원소들이 400 °C-1,200 °C의 온도범위에서 흡수제에 적합하다는 사실을 발견하였다. Ayala 등[8]은 350 °C-550 °C의 중저온 영역의 온도범위에서 여러 가지 금속산화물을 이용하여 모사가스(U-gas, Texaco-gas) 내의 열역학적 H₂S 평형농도에 관하여 조사하였으며, 그 결과 CuO에 대한 H₂S의 평형농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 CuO가 금속구리로 환원되는 문제점을 나타내었으며, 황화/재생이 반복되는 장기사이클에서 탈황성능의 점진적인 저하를 가져오는 요인이 될 수 있다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ywrhee@cnu.ac.kr

Kyotani 등[9]은 순수 CuO(시약용)와 CuO와 SiO₂의 물리적인 혼합물, SiO₂에 지지된 CuO, SiO₂에 분사된 CuO와 zeolite에 지지된 흡수제를 제조하여 비교하였다. 그 결과, 단순한 물리적인 혼합으로 제조된 흡수제와 복잡한 방법으로 제조된 흡수제의 탈황성능에 커다란 차이가 없었다. Patrick과 Gavalas[10]는 CuO와 Al₂O₃로 이루어진 흡수제에 대한 황산화물의 분해온도를 알아보기 위하여 재생실험을 하였다. 그 결과 650 °C 이하에서는 황산화물이 분해되지 않았으며, 700 °C에서는 구리성분의 약 8%가량이 황산화물을 형성하지만 곧 분해되며, 800 °C 이상에서는 황산화물의 형성이 일어나지 않았다. Yi 등[11]은 SiO₂, *r*-alumina, zeolite를 구리계 흡수제의 지지체로 사용하여 흡수제를 제조한 후 흡수제들의 탈황성능을 조사하였으며, SiO₂를 지지체로 사용한 경우에 가장 높은 탈황성능을 나타내었다. Song 등[12]은 구리계 흡수제에 대하여 지지체 SiO₂의 최적 함량을 조사하였으며, SiO₂의 함량이 25 wt% 이상일 경우에 장기 사이클에서 구조적인 안정성을 유지할 수 있었다[12]. 최근에는 zinc ferrite와 zinc titanate 같이 수 ppmv까지 H₂S의 농도를 낮출 수 있으며 산화 분위기에서 쉽게 재생되는 흡수제에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있으나, 이들 흡수제들도 장기사이클 실험에서 연속적인 황화 및 재생공정으로 인한 흡수제 반응성의 급격한 감소와 흡착능의 저하를 보였다[13]. 또한, 산화철 폐기물을 이용한 더욱 값싼 흡수제의 제조에 대한 연구도 이루어지고 있다[14].

본 연구에서는 지지체 SiO₂의 함량을 25 wt%로 고정하고 첨가제로 사용한 Fe₂O₃의 함량을 변화시켜 흡수제를 제조하였다. 그리고 제조시에 흡수제의 소성온도를 700, 900 그리고 1,100 °C로 달리하여 소성온도의 변화에 따른 흡수제의 탈황성능의 변화를 조사하고자 하였다. 이를 위하여 GC/소형반응기를 이용한 사이클 실험을 하였으며, 반응 전후의 흡수제의 화합물 형태를 XRD 분석을 통하여 확인하였다. 또한, 흡수제의 BET 분석을 통하여 소성온도의 변화에 따른 흡수제의 비표면적을 조사하였다. 또한, H₂O가 CFS 흡수제에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 700 °C에서 소성된 CFS3 흡수제(CuO : Fe₂O₃ : SiO₂=52.5 wt% : 22.5 wt% : 25 wt%)의 H₂O 유/무에 따른 장기사이클에서의 탈황성능을 조사하였다. 마지막으로 가장 우수한 탈황성능을 보인 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제(CuO : Fe₂O₃ : SiO₂=67.5 wt% : 7.5 wt% : 25 wt%)의 100 cycle 실험을 통하여 그 탈황성능을 입증하고자 하였다.

2. 실험

2-1. 탈황제의 제조

흡수제의 조성은 기존의 실험을 통하여 CuO계 흡수제의 경우 지지체 SiO₂의 함량이 25 wt% 이상인 경우에 장기사이클에서 구조적인 안정성을 유지하는 것으로 나타났으므로, 지지체 SiO₂의 함량을 25 wt%로 하였다. SiO₂의 함량이 낮을 경우에는 장기사이클에서 탈황성능의 저하가 빠르게 진행되며, SiO₂의 함량이 높은 경우에는 낮은 탈황성능을 보이게 된다[12]. 첨가제 Fe₂O₃의 함량은 7.5 wt%,

15 wt% 그리고 22.5 wt%로 변화시켰으며, 제조된 흡수제들은 CFS1, CFS2 그리고 CFS3로 명명되었다. Table 1에 제조된 흡수제의 조성을 나타내었다. 흡수제는 제조방법에 의한 탈황성능에 큰 차이가 나지 않는다는 점을 고려하여[9], 제조에 용이한 물리적인 혼합법을 이용하여 제조하였다. 흡수제를 제조하기 위하여 우선은 원하는 함량의 시료들을 잘 섞은 후에 시료의 크기를 균일하게 하기 위하여 볼밀을 이용하여 6시간 동안 혼합하였다. 볼밀을 돌리고 난 시료에 EG(ethylene glycol)을 첨가하여 반죽을 하였으며, 반죽이 된 시료를 사출기를 이용하여 펠렛형태로 사출한 후, 200 °C에서 4시간 동안 건조했다. 건조가 끝난 시료는 관형 소성로를 이용하여 소성하였으며, 흡수제의 소성온도 변화에 따른 탈황성능의 변화를 조사하기 위하여, 소성 온도를 700, 900, 1,100 °C로 변화시켜서 흡수제를 제조하였다. 소성을 마친 시료는 분쇄와 분급을 거친 후에 90 μm-106 μm 크기의 흡수제를 얻었다.

2-2. 실험 절차

흡수제의 경우에는 장기적으로 그 흡수제가 탈황성능을 일정하게 유지할 수 있는지가 매우 중요하며, 이를 조사하기 위하여 GC/소형반응기를 이용한 흡수제의 장기사이클 탈황성능 실험을 하였다. Fig. 1에는 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내었다. 시험용 가스는 MFCs(mass flow controllers)에 의하여 유량이 조절되어 혼합조로 유입되며, 일정 시간 동안 혼합이 이루어진 후 GC로 유입된다. GC(Young-In Inc., Korea)는 TCD가 장착된 것을 사용하였으며, 소형반응기는 내경이 2.54 cm이며 석영으로 만들어졌다. 반응기 내의 온도를 측정하기 위하여 열전대를 반응기 내부에 위치하도록 하였으며, 바로 외부에 또 다른 열전대를 장착하여 반응온도를 조절하였다. 또한, syringe 펌프에 의하여 반응기로 주입되는 물의 증기화를 위하여 가열 테이프를 45 cm 이상 충분히 길게 감고 온도 조절기를 통하여 100 °C 이상으로 온도를 유지할 수 있도록 하였다. 또한, 반응기에서 나오는 가스들이 GC로 들어가기 전에 냉동기를 이용한 물 트랩(water trap)을 통과하도록 하여 장치를 보호하고자 하였다.

GC/소형반응기 실험에 사용된 가스의 조성은 Table 2에 나타내었다. 실제 석탄가스화를 통하여 생성되는 가스 중에서 H₂S의 농도는 약 2,800 ppm 이지만, 본 GC/소형반응기 실험에는 1%(10,000 ppm)

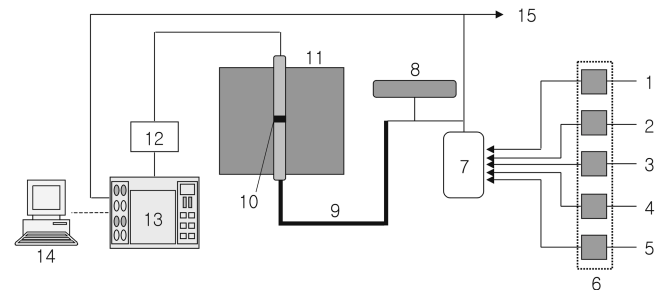


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

- 1. N₂
- 2. H₂S
- 3. SO₂
- 4. Mixing gas
- 5. Air
- 6. MFC
- 7. Mixing tank
- 8. Syringe pump
- 9. Heating tape
- 10. Sample
- 11. Micro-reactor
- 12. Water trap
- 13. GC
- 14. PC
- 15. Vent

Table 1. Composition of sorbents (wt%)

Sorbents	CuO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
CFS1	67.5	7.5	
CFS2	60	15	25
CFS3	52.5	22.5	

Table 2. Composition of simulated gas

Sulfidation		Regeneration	
H ₂	11.82%	O ₂	5%
CO	19.18%		
CO ₂	7.0%		
H ₂ S	1.0%	N ₂	Balance
H ₂ O	10.8%		
N ₂	Balance		

의 H₂S를 사용하여 실험에 소요되는 시간을 줄이고자 하였다. GC/소형반응기를 이용한 장기사이클 실험을 위해서 약 3 g의 흡수제를 사용하였다. 그리고 실험은 황화와 재생실험을 반복적으로 하였으며, 황화온도는 500 °C 그리고 재생온도는 700 °C로 하여 실험을 하였다. 황화는 H₂S의 배출구 농도가 50 ppm 일 때를 초과 시간으로 하였으며, 그때까지 흡수된 황의 양을 계산한 후 100 g의 흡수제에 대한 양으로 환산하여 흡수제의 탈황성능을 계산하였다. 재생은 흡수제의 재생에 충분하도록 시간을 두어서 산화가스와 접촉을 시켰다.

흡수제의 소성온도를 1,100 °C로 하였을 경우, CFS 흡수제에서 생성되는 CuFeO₂ 라는 새로운 형태의 화합물이 장기사이클에서 흡수제의 탈황성능에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 하였다. 또한, 소성온도 변화에 따른 흡수제의 특성변화를 조사하기 위하여, BET 및 반응 전후의 XRD 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. CFS 흡수제의 장기 실험

본 실험실에서 수행된 기존의 TGA 실험과 황화반응 전의 XRD 분석을 통하여 1,100 °C에서 소성된 흡수제들이 700 °C 및 900 °C에서 소성된 흡수제들과는 [15] 달리 CuFeO₂라는 새로운 화합물 형태를 갖고 있다는 것을 확인하였다. 특히 흡수제의 경우에는 여러 사이클이 진행된 후에도 높은 탈황성능을 유지하는 것이 매우 중요하다 [15, 16]. CFS 흡수제들의 소성온도에 따른 장기사이클에서의 탈황성능을 조사하기 위하여 GC/소형반응기를 이용한 장기사이클 실험을 하였다. 장기사이클 실험은 700 °C에서 소성된 흡수제와 1,100 °C에서 소성된 흡수제에 대하여 실시하였다. 왜냐하면, 700 °C에서 소성된 흡수제와 900 °C에서 소성된 흡수제의 경우에는 반응 전의 XRD 분석결과에서 동일한 형태를 보였기 때문에 대표적으로 700 °C에서 소성된 흡수제에 대해서만 장기사이클 실험을 한 후, 그 결과를 1,100 °C에서 소성된 흡수제의 장기사이클 실험결과와 비교하고자 하였다. 장기사이클 실험결과를 통하여 1,100 °C에서 소성된 CFS 흡수제에서 생성된 CuFeO₂가 장기사이클에서 탈황성능에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 탈황성능은 흡수제 100 g 당 제거된 황의 g 수(sulfur loading)로 정의하였다.

Fig. 2에는 700 °C에서 소성된 CFS1 흡수제와 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제의 장기사이클 실험결과를 나타내었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 흡수제들은 사이클이 증가할수록 탈황성능이 향상되며, 일정한 사이클이 지난 후에는 탈황성능이 꾸준히 유지되는 모습을 보인다. 특히 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제의 경우에는 빠르게 일정한 탈황성능에 도달하며, 700 °C에서 소성된 CFS1 흡수제에 비하여 매우 높은 탈황성능을 보인다. 또한,

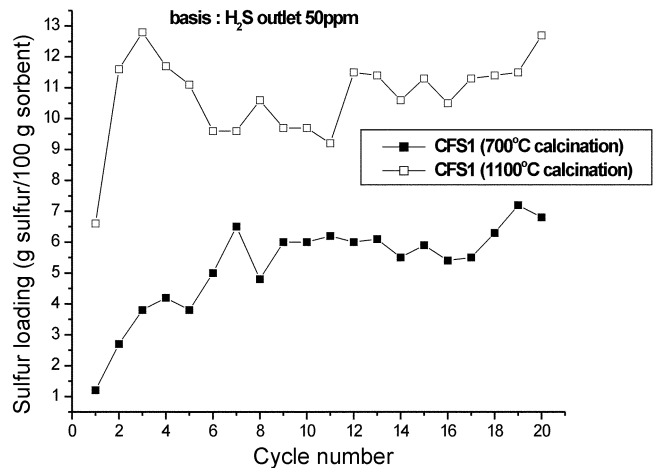


Fig. 2. Sulfur loadings of CFS1 sorbent in cyclic test (with H₂O).

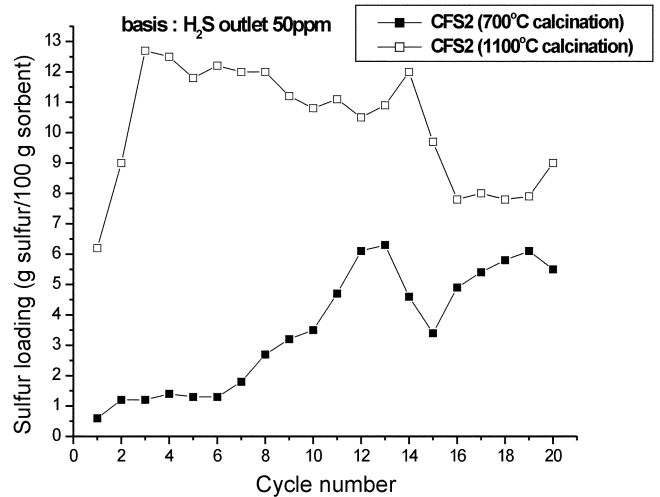


Fig. 3. Sulfur loadings of CFS2 sorbent in cyclic test (with H₂O).

1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제의 최고 탈황성능은 약 12.8로 나타났다.

Fig. 3에는 700 °C에서 소성된 CFS2 흡수제와 1,100 °C에서 소성된 CFS2 흡수제의 장기사이클 실험결과를 나타내었다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 CFS2 흡수제도 1,100 °C에서 소성된 CFS2 흡수제가 700 °C에서 소성된 CFS2 흡수제에 비하여 높은 탈황성능을 보였다. 그러나 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제에 비하여 전체적으로 낮은 탈황성능을 보였으며, 탈황성능의 저하도 빨리 일어났다.

Fig. 4에는 700 °C에서 소성된 CFS3 흡수제와 1,100 °C에서 소성된 CFS3 흡수제의 장기사이클 실험결과를 나타내었다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 CFS3 흡수제도 다른 흡수제와 마찬가지로 1,100 °C에서 소성된 CFS3 흡수제가 700 °C에서 소성된 CFS3 흡수제에 비하여 높은 탈황성능을 보였다. 그러나 1,100 °C에서 소성된 CFS3 흡수제도 탈황성능의 저하를 보이는 것을 알 수 있다.

위의 Fig. 2와 Fig. 3 그리고 Fig. 4에 나타난 바와 같이, 1,100 °C에서 소성된 CFS 흡수제들이 700 °C에서 소성된 CFS 흡수제들에 비하여 높은 탈황성능을 보이며 장기사이클에서 보다 유용하게 사용될 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 1,100 °C에서 소성된

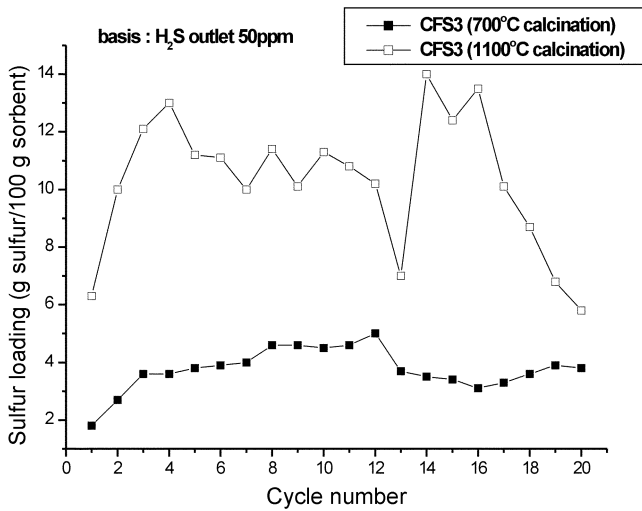


Fig. 4. Sulfur loadings of CFS3 sorbent in cyclic test (with H₂O).

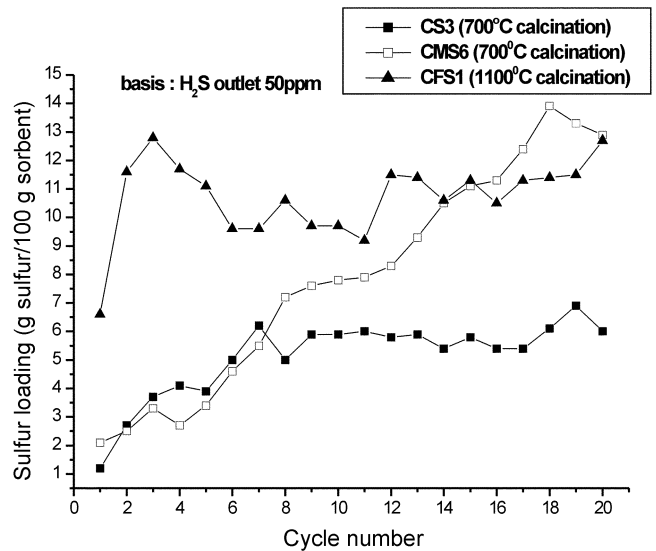


Fig. 6. Sulfur loadings of sorbents in cyclic test (with H₂O).

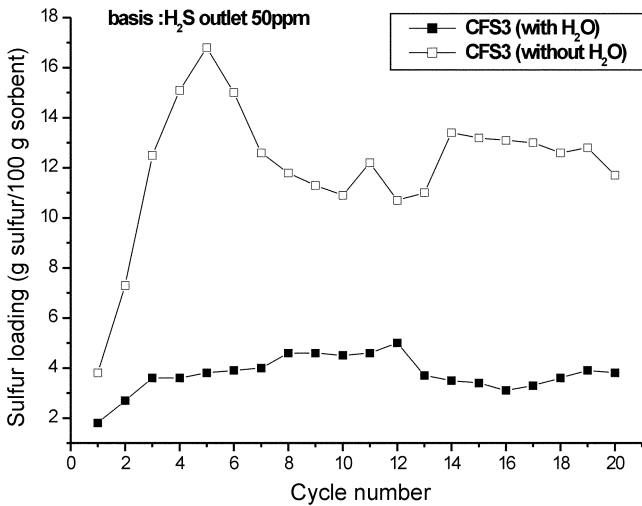


Fig. 5. Sulfur loadings of CFS3 sorbent in cyclic test with and without H₂O (700°C calcination).

CFS2 흡수제와 CFS3 흡수제가 CFS1 흡수제에 비하여 더욱 낮은 탈황성능과 보다 빨리 탈황성능의 저하를 보이는 이유는 확실하지 않으며, 더욱 많은 연구가 필요하다.

Fig. 5에는 700°C에서 소성된 CFS 흡수제에 대한 H₂O의 유무에 따른 장기사이클 실험결과를 나타내었다. 그 결과 H₂O의 존재시에는 매우 낮은 탈황성능을 보였지만, H₂O가 존재하지 않는 경우에는 매우 높은 탈황성능을 보여주었다. 이는 H₂O가 존재하지 않는 시스템에 대한 CFS 흡수제의 사용가능성을 제시하고 있지만, 실제 석탄가스화 시스템에 사용되기에는 제한이 있다는 것을 보여주는 것이기도 하다.

Fig. 6에는 700°C에서 소성된 CS3 흡수제와 CMS6 흡수제 그리고 1,100°C에서 소성된 CFS1 흡수제의 장기사이클 실험결과를 나타내었다. CS3 흡수제(CuO, SiO₂ 함유)는 첨가제를 함유하지 않고 있으며, CMS6 흡수제(CuO, MoO₃, MnO₂, SiO₂ 함유)는 기존 연구에서 최고 탈황성능을 기준으로 하였을 때, 가장 높은 탈황성능을 보여주었던 흡수제이다[12]. Fig. 6에 나타난 바와 같이 1,100°C에서 소성된 CFS1 흡수제가 CMS6 흡수제에 비하여 장기사이클에서

Table 3. BET result of the CFS sorbents (m²/g)

Sorbent	CFS1	CFS2	CFS3
700 °C	3.2379	3.5079	3.7315
900 °C	0.8159	1.0796	1.2147
1,100 °C	1.2568	0.5393	0.8546

보다 빨리 일정한 탈황성능에 도달하면서 높은 탈황성능을 보인다. CMS6 흡수제의 경우에는 높은 탈황성능을 달성하는데 많은 사이클이 소모되므로 실제 석탄가스화 시스템에 적용하는데 한계가 있다. 그러나 1,100°C에서 소성된 CFS1 흡수제의 경우에는 보다 빨리 높은 탈황성능에 도달하며, 또한 사이클이 진행됨에 따라서 그 탈황성능을 꾸준히 유지하는 모습을 보이므로, 실제 석탄가스화 시스템에 적합한 것으로 사료된다.

3-2. 반응 전후의 CFS 흡수제의 물리 화학적 성질

소성온도의 변화에 따른 흡수제의 물리적인 변화와 그 영향을 알아보기 위하여 흡수제들의 BET 분석을 하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에 나타난 바와 같이, 비표면적은 소성온도가 700°C인 경우에 가장 크게 나타났지만 큰 차이가 나지 않았다. 이는 소성온도의 변화에 따른 CFS 흡수제의 탈황성능의 큰 차이가 물리적인 요인에 의한 것이 아니라는 것을 보여주는 것이라 할 수 있다.

소성온도의 변화에 따른 흡수제의 화학적인 변화와 그 영향을 알아보기 위하여 흡수제들의 반응 전후 XRD 분석을 하였으며, Fig. 7에는 1,100°C에서 소성된 CFS 흡수제의 반응 전후 XRD 분석결과를 나타내었다. Fig. 7에 나타난 바와 같이, 반응 전에 존재하였던 CuFeO₂ 형태의 화합물이 반응 후에는 그 황화물 형태인 CuFeS₂ 형태로 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 1,100°C에서 소성된 CFS 흡수제가 700°C나 900°C에서 소성된 흡수제보다 높은 탈황성능을 달성할 수 있도록 하는 것으로서 다음과 같이 설명된다. CuO와 FeO는 주로 Cu₂S 및 FeS 형태의 황화물을 생성하며[15], CuFeO₂는 CuFeS₂ 형태의 황화물을 형성한다. 그러므로 동일하게 두 개의 황 원소를 제거하고자 할 때, CuFeO₂ 형태의 화합물을 포함하고 있

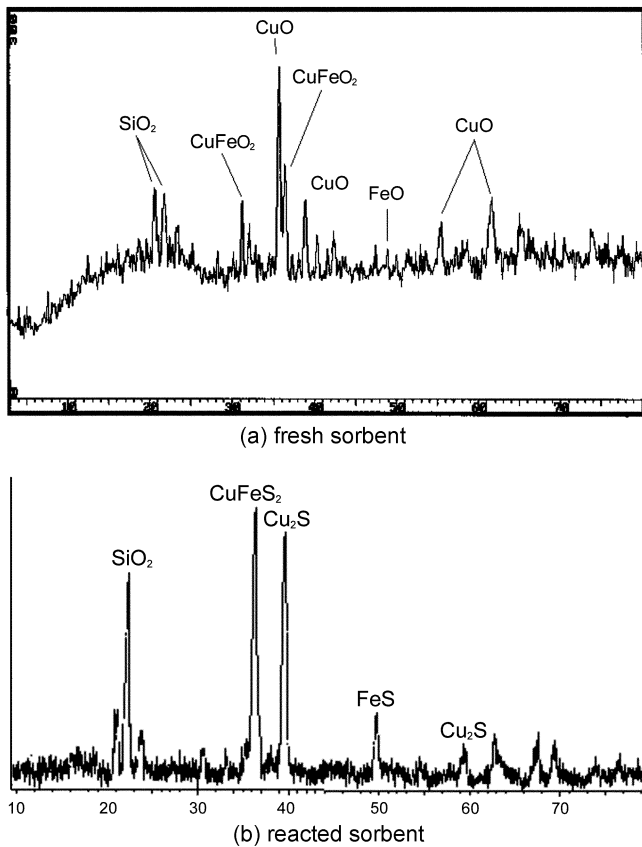


Fig. 7. XRD result of CFS1 sorbent calcined at 1,100 °C.

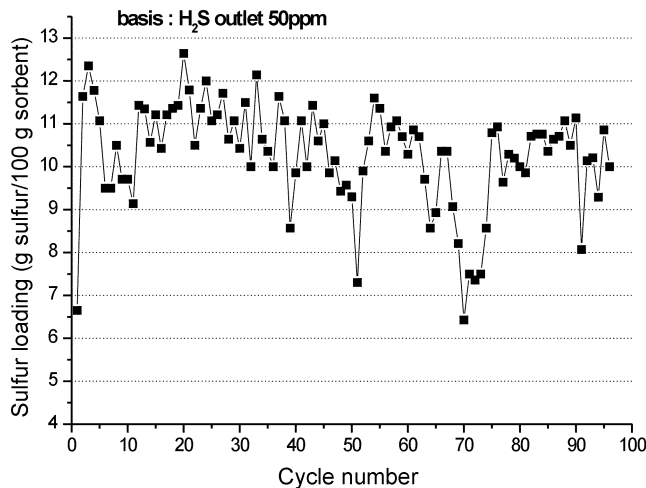


Fig. 8. 100 cycles' result of CFS1 sorbent calcined at 1,100 °C (with H₂O).

는 흡수제가 더욱 적은 양의 흡수제를 필요로 하는 것을 알 수 있다. 즉, 동일한 양의 흡수제를 사용할 경우에 CuFeO₂ 형태의 화합물을 포함하고 있는 흡수제가 더욱 높은 탈황성능을 달성하게 된다.

결과적으로 1,100 °C에서 소성된 CFS 흡수제의 경우에는 CuFeO₂ 형태의 새로운 화합물을 형성하였으며, 이는 반응 후에 CuFeS₂라는 황화물을 형성하여 높은 탈황성능을 달성할 수 있게 되었다. 특히 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제의 경우에는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 100사이클 동안 흡수제 100 g에 대하여 약 10 g의 황을 제거할 수 있는 높은 탈황성능을 유지하는 것으로 나타났다.

화학공학 제43권 제1호 2005년 2월

4. 결 론

Fe₂O₃를 첨가제로 사용한 CFS 흡수제의 소성온도를 700, 900, 1,100 °C로 소성온도를 달리하여 제조하였다. 그 결과 소성온도를 1,100 °C로 한 경우에, CuFeO₂ 라는 새로운 형태의 화합물이 형성되어 CuFeS₂ 형태의 황화물을 형성하며, 장기사이클에서 높은 탈황성능을 달성할 수 있도록 하였다. 또한, 1,100 °C에서 소성된 흡수제의 경우에는 H₂O의 존재하에서도 불구하고 높은 탈황성능을 보여주었다. 그러나 소성온도의 변화에 따른 흡수제의 비표면적의 변화는 크게 나타나지 않았으며, 탈황성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 특히 1,100 °C에서 소성된 CFS1 흡수제의 경우에는 100사이클 동안 흡수제 100 g에 대하여 약 10 g의 황을 제거할 수 있는 높은 탈황성능을 유지하는 것으로 나타났으며, 산업적인 적용가능성을 보여주었다.

감 사

본 연구는 한국과학재단의 목적기초 연구사업(특정기초 연구사업: R01-2003-000-10224-0)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Ryu, C. G., Wi, Y. H., Lee, C. B. and Lee, Y. K., "Removal for the Development of High Temperature Sorbent for IGCC(I)," *Chemical Industry and Technology*, **16**(1), 17-26(1998).
- Moon, S. J. and Ihm, S. K., "Characteristics of Bimetallic Cobalt and Molybdenum Catalysts Supported on Activated Carbon or Alumina in Hydrodesulfurization," *Korean J. Chem. Eng.*, **11**(2), 111-118(1994).
- Lee, T. J., Kwon, W. T., Chang, W. C. and Kim, J. C., "A Study of Regeneration of Zinc Titanate Sorbents for H₂S Removal," *Korean J. Chem. Eng.*, **14**(6), 513-518(1997).
- Kang, S. H., Rhee, Y. W., Han, K. H., Lee, C. K. and Jin, K. T., "A Study of Desulfurization Reaction using Zinc Titanate at High-Temperature," *HWAHAK KONGHAK*, **35**(5), 642-648(1997).
- Park, D. H., Lee, Y. S., Kim, H. T. and Yoo, K. O., "Oxidative Regeneration of Sulfided Sorbent by H₂S," *HWAHAK KONGHAK*, **30**(6), 700-709(1992).
- Jeon, G. S. and Chung, J. S., "Active and Selective Copper Catalysts Supported on Alkali-Doped Silica for the Dehydrogenation of Cyclohexanol to Cyclohexanone," *Korean J. Chem. Eng.*, **12**(1), 132-133(1995).
- Westmoreland, P. W. and Harrison, D. P., "Evaluation of Candidate Solid for High-Temperature Desulfurization of Low-But Gases," *Env. Sci. Tech.*, **10**(7), 659-661(1976).
- Ayala, R. E., Venkataramani, V. S., Javad, A. and Hill, A. H., "Advanced Low-Temperature Sorbent," Proceedings of the Advanced Coal-Fired Power Systems Sorbent 95 Review Meeting, **1**, 407-416(1997).
- Kyotani, T., Kawashima, H., Tomita, A., Palmer, A. and Furimsky, E., "Removal of H₂S from Hot Gas in the Presence of Cu-Containing Sorbents," *Fuel*, **68**(1), 74-79(1989).
- Patrick, V. and Gavalas, G. R., "High-Temperature Sulfidation-Regeneration of CuO-Al₂O₃ Sorbents," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **28**(7),

- 931-940(1989).
11. Yi, K. B., Choi, E. M., Song, Y. K. and Rhee, Y. W., "Low-Temperature Desulfurizing Reaction with Cu-Containing Sorbents," *HWAHAK KONGHAK*, **37**(5), 795-799(1999).
 12. Song, Y. K., Lee, K. B., Lee, H. S. and Rhee, Y. W., "Reactivity of Copper Oxide-Based Sorbent in Coal Gas Desulfurization," *Korean, J. Chem. Eng.*, **17**(6), 691-695(2000).
 13. Pineda, M., Palacios, J., Alonso, M. L., Garcia, E. and Moliner, R., "Performance of Zinc Oxide Based Sorbents for Hot Coal Gas Desulfurization in Multicycle Tests in a Fixed-Bed Reactor," *Fuel*, **79**(8), 885-895(2000).
 14. Slimane, R. B. and Abbasian, J., "Utilization of Metal Oxide-Containing Waste Materials for Hot Coal Gas Desulfurization," *Fuel Processing Technology*, **70**(2), 97-113(2001).
 15. Lee, H. S., Kang, M. P., Song, Y. S., Lee, T. J. and Rhee, Y. W., "Desulfurization Characteristics of CuO-Fe₂O₃ Sorbents," *Korean, J. Chem. Eng.*, **18**(5), 635-639(2001).
 16. Gasper-Galvin, L. D., Atimtay, A. T. and Gupta, R. P., "Zeolite-Supported Metal Oxide Sorbents for Hot-Gas Desulfurization," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **37**(10), 4157-4166(1998).