

國內 無煙炭의 循環流動層 보일러에서 脫黃 特性 研究

A Study of Desulfation Characteristics of Circulating Fluidized Bed Combustion for Domestic Anthracite

정진도* · 김장우 · 하준호¹⁾

호서대학교 환경공학과 · ¹⁾호서대학교 대학원 환경공학과

(2003년 10월 11일 접수, 2004년 8월 5일 채택)

Jin-Do Chung*, Jang-Woo Kim and Joon-Ho Ha¹⁾

Dept. of Environmental Engineering, Hoseo Univ.

¹⁾*Dept. of Environmental Engineering, Graduate School, Hoseo Univ.*

(Received 11 October 2003, accepted 5 August 2004)

Abstract

Circulating fluidized bed combustion (hereafter CFBC) technology enables an efficient combustion for the materials with low heating values such as high ash coal and sludges. It also has desulfation function by adding limestone directly to combustor. The CFBC has been considered as one of the best processes for low grade coal containing with large contents of ash and sulfur. In this paper, in order to various tests were performed to find the optimum desulfation condition for CFBC using Korean Anthracite. We surveyed possible parameters and conducted desulfation efficiency test in D Thermal Power Plant. In addition, the result of some fundamental theoretical consideration was discussed with CFBC.

Optimum limestone size could be considered to be 0.1 ~ 0.3 mm irrespective of combustion temperature and Ca/S molar ratio variation.

Desulfation efficiency increased as the molar ratio increased. Because desulfation process occurs at the surface at higher temperature, inner side of limestone can't be utilized. When surface area is not appropriate, some SO₂ emit without reaction. Optimum molar ratio should be decided after considering chemical and physical properties of limestone and coal thoroughly such as particle size, pore size and HGI. Commercial CFBC is operated at Ca/S 1.6. Combustor temperature 840 ~ 870°C shows good desulfation efficiency.

Key Words : Circulating fluidized bed combustion (CFBC), Limestone, Desulfation rate, Particle size, Ca/S mole ratio

1. 서 론

* Corresponding author

Tel : +82- (0)41-540-5743, Fax : +82- (0)41-540-5748,

E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr

유동층 연소는 고온의 불활성 물질로 이루어진 공기 유동층에 연료를 주입하여 연소시키는 방법으로

고체가 유체와 같이 자유롭게 유동하는 특성을 지니는 것을 유동화(Fluidization)라 하며, 가스의 흐름이 적을 때 유체의 움직임이 없는 상태에서 입자들이 서로 접촉만 하는 상태의 층을 고정층(Fixed Bed)이라 한다(하준호, 1996; 지평삼 등, 1994; 최정후 등, 1986).

순환유동층 보일러에서의 탈황은 연소가 진행되는 동안, 석회석과 석탄을 적당한 비율로 Combustor에 주입시켜 연료중의 황성분을 제거하는 일종의 건식 탈황 방법을 도입시킨 가장 저렴한 탈황 설비로, 부가적인 탈황설비의 설치가 필요 없다. 또한 탈황 반응 후 생성되는 석탄회는 인체 및 자연환경에 무해한 물질로 시멘트 원료로 재활용할 수 있는 방식이기도 하다(ABB Combustion Eng. Service Inc., 1996; Power Eng. Inc., 1994). 따라서 비교적 유황분 및 회분을 많이 포함하고 있는 국내 무연탄을 연료로 사용하기 위해서는 순환유동층 발전방식이 가장 적절한 것으로 판단된다(선도원 등, 1991; 박영성 등, 1990; Kallio, 1998; 최정후 등, 1986).

본 연구는 지금까지 이루어진 실험실적 실험 결과를 바탕으로, 국내무연탄 순환유동층 발전설비의 탈황효율에 영향을 줄 수 있는 석회석 입자크기, Ca/S 몰비변화, 온도변화를 조사·분석하고 현장의 실증설비에 직접 적용하여 탈황효율 실험을 통한 탈황특성을 도출하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 탈황방법 및 원리

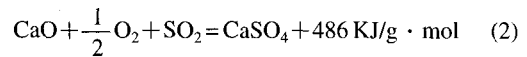
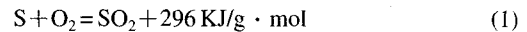
국내 D 화력발전소의 CFB 보일러의 경우 설계치에 의한 석회석 주입량은 최대연속연소율(Maximum Continuous Rating) 상태에서 108,300 kg/hr의 석탄을 연소하도록 설계되어 있으며, Ca/S 몰비는 약 1.6으로써 석회석과 석탄의 연소비는 약 0.03:1이다. 연소로에 주입되는 석회석과 석탄은 Controller를 통해 일정한 몰비를 유지하면서 주입시키는 방법이 채택되었다. 석회석 주입량 조절은 굴뚝에 설치되어 있는 SO₂ 분석기로부터 측정된 결과를 통해 조절한다. Ca/S 몰비는 이론적으로 1.0이지만 탈황 반응은 SO₂ Gas와 석회석 표면에서 형성되므로 석회석 내부는 반응에 이용할 수 없다. 따라서 Ca/S 몰비는 운전 상황에 따라 가변적으로 조절한다. 석회석 투입량 산출

은 연료중 황성분 농도와 석회석중의 Ca 농도에 따라 결정된다.

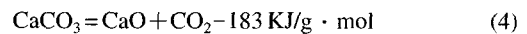
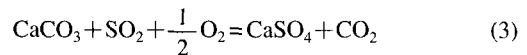
탈황과정을 살펴보면, 석회석을 연료의 크기보다 작게 분쇄한 후 Ca/S 몰비를 1.6 이상으로 조정하여 석탄과 함께 유동층 내에 주입하여 연소시 발생되는 SO₂를 직접 제거하는 원리로 아래의 반응과 같다.

석회석은 주성분이 CaCO₃로 구성되어 있으며, 연료 연소 과정에서 발생하는 SO_x를 제거하는 기능을 한다. 제거원리는 석회석이 CFB 연소 과정에서 Lime으로 하소된 후, SO_x와 반응하여 석고가 된다. 석회석은 물리적 구조와 화학조성이 아주 다양한 물질로, 석회석의 다공성은 SO_x 제거에 큰 영향을 미친다. 즉 다공성은 석회석의 조직 내부에 공간을 형성하여, 화학반응이 일어날 수 있는 잠재적인 표면적을 확보한다.

유동층에서 이산화황의 생성과정 및 제거 반응 메커니즘을 살펴보면, 식 (1)에서 (6)까지로 분류된다.



석회석과 이산화황의 전체 반응식은 다음과 같다.



완전히 연소하는데 산소농도에 따라, 10분에서 30분 가량 걸리지만, 석회석의 경우 하소반응에만 40분이 소요되며 황화반응을 완결하는데는 흡수제 입자의 크기와 특성에 따라 수시간이 걸린다.

3. 실험 및 방법

3.1 실험장치

국내 화력발전소 가운데 D화력의 보일러는 용량이 큰 유동층 발전소 중의 하나다. 보일러의 연소방식은 연소로(Combustor) 내에서 주 연료인 무연탄이

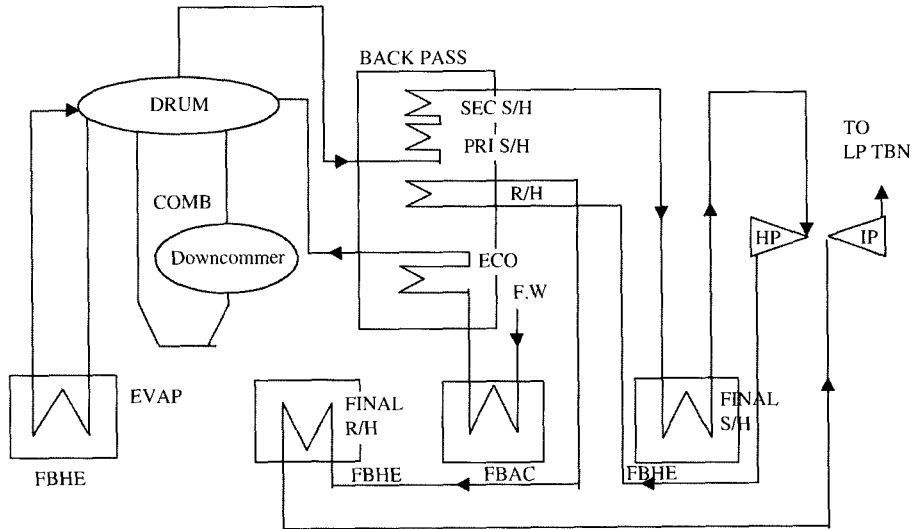


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

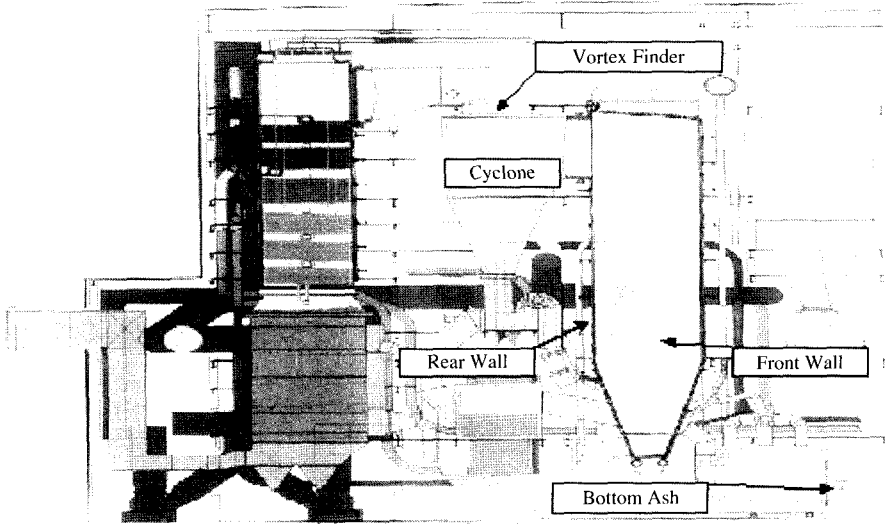


Fig. 2. Schematic of CFBC boiler applied in this study.

Bed Material과 혼합되어 순환 유동층을 형성하면서 연소하며 연소가스는 연소로와 Convection Pass를 지나면서 전열면에 열전달을 함으로써 터빈 및계통에 필요한 증기를 공급한다. Bed Material은 사이클론에서 대부분이 포집되어 Solids Reinjector System을 통하여 연소로내에 재투입되어 무연탄과 혼합된다.

순환유동층 연소보일러의 특징은 노내에 석회석을 투입하여 적합한 연소온도 (840~890°C)에서 연소가스와 반응 시킴으로써 SOx를 제거한다. 본 연구에 적용한 D 화력의 유동층 보일러는 상압 순환유동층 보일러로서 주요설비 현황은 그림 1과 같다. 보일러 형식은 순환 유동층 보일러 옥내형으로 자

연순환 평형 통풍식이고, 출력은 200 MW, 증발량은 693 T/h, 재열증기 압력은 176 kg/cm², 주증기의 재열 증기 온도는 541°C이다. 고압 급수 가열기에서 가열된 급수는 절탄기 입구의 역지변 및 정지변을 거쳐 FBAC로 유입되어 배출 Ash에 의해 1차 가열되고 연소가스의 여열에 의해 재 예열된 후 출구헤더에 모여 드럼으로 유입된다. 드럼의 포화수는 강수관(Downcommer)을 통해 연소로 하부 헤더로 유입되고, 연소로 수벽관 또는 FBHE (Fluidized Bed Heat Exchanger) 증발기를 지나면서 열을 흡수하여 증기를 발생시킨다.

드럼에서 나온 증기는 1차 과열기 입구 헤더에 모인 후 1차 과열기를 통과하여 과열된 후 1차 과열기 출구헤더로 다시 모인다. 1차 과열기와 2차 과열기 사이에는 물분무식 과열저감기가 설치되어 주증기 온도를 제어한다.

국내탄 연료로 사용하고 있는 D 화력은 재 성분중 높은 실리카(Silica) 함량으로 인해 마모가 예상되므로 연소실에 설치시 마모의 최소화를 위하여 특별한 고려가 필요하다.

마모방지대책으로 낮은 유동속도의 적용과 로 하부의 내화재와 수관 접합부에 대한 특수 설계 및 로 내부에 튜브를 설치하지 않은 점이다. D 화력 보일러는 일반적으로 적용되는 6 m/sec 또는 그 이상의 유동 속도보다 작은 유동속도(2.6~5.1 m/sec)로 설계됨에 따라 로 내의 마모를 현저히 줄일 수 있다. 그림 2는 D화력의 순환유동층 보일러의 전체적인 형상이다.

연료의 공급은 화로의 앞 벽(Front Wall)을 통하여 공급되고 6곳에서 공급된다. 석회석이 연료와 함께 공급되며 뒷벽(Rear Wall)에 2개의 라인으로 공급된다. 연소 가스와 고형물은 뒷벽의 3개 출구를 통해 배출되며 고형물은 Cyclone과 외부의 열교환기로부터 노내로 되돌아온다. 하부회(Bottom Ash)는 로 하부에 설치된 2개의 밸브에 의해 배출된다. 가스의 흐름으로부터 효율적으로 입자를 분리하기 위하여 각 Cyclone에는 Vortex Finder가 설치되어 있다.

석회석 공급은 2개의 100% 석회석 공급계통(Limestone Feed System)을 갖추고 있으며 각 계통은 석회석 저장조, 중력식 공급기(Gravimetric Feeder), 로터리 밸브 및 브로와로 구성되어 있다.

그 외 여러 자동적인 기구 원리들에 의해 자동적

Table 1. Analysis of feed coal.

Description	Unit	Value
Proximate Analysis (air dry basis)		
Moisture	%, wt.	3.3
Ash	%, wt.	39.0
Volatile Matter	%, wt.	4.0
Fixed Carbon	%, wt.	53.7
Fuel Ratio (air dry basis)	F.C./V.M.	13.4
Ultimate Analysis (dry basis)		
Carbon	%, wt.	55.7
Hydrogen	%, wt.	0.3
Nitrogen	%, wt.	0.2
Sulfur	%, wt.	0.5
Oxygen	%, wt.	3.8
Ash	%, wt.	40.4
Higher Heating Value		
As fired basis	kcal/kg	4,230
Air dry basis	kcal/kg	4,430
Dry basis	kcal/kg	4,600
Ash Analysis		
SiO ₂	%, wt.	54.5
Al ₂ O ₃	%, wt.	31.5
Fe ₂ O ₃	%, wt.	4.7
CaO	%, wt.	1.3
MgO	%, wt.	1.0
K ₂ O	%, wt.	4.0
Na ₂ O	%, wt.	0.5
Others	%, wt.	2.5

Table 2. Analysis of coal particle size.

Particle size	Before crusher (%, wt.)	After crusher (%, wt.)
Under 0.10 mm	10	10
0.10~1.0 mm	37	43
1.0~2.0 mm	16	20
2.0~3.0 mm	6	7
3.0 mm 이상	31	20

으로 석회석과 재가 회전토록 되어있다.

3. 2 실험방법

연료인 석탄은 국내무연탄으로 주로 T지역, S지역, D지역에서 채탄되는 석탄을, 탈황제인 석회석은 S지역에서 채광되는 석회석을 사용하였다. 실험인자로는 석탄 성분과 석탄 입도 그리고 석회석 성분과 입도를 사용하였다. 석탄의 성분분석은 각 지역의 석탄을 같은 비율로 혼합하여 대표 시료를 조제한 후 표 1과 같이 분석 하였다. 시료로 사용된 석탄 입도 분석은 산지에서 25 mm 이하로 수급하여 분쇄기(Coal Crusher)에서 6 mm 이하로 분쇄하였다. 그 분석 결

Table 3. Chemical analysis of limestone particles.

Composition	Unit	Design	Result
CaCO ₃	%, wt.	90.0	90
MgCO ₃	%, wt.	4.2	4
SiO ₂	%, wt.	2.0	0.3
Al ₂ O ₃	%, wt.	0.4	0.3
Fe ₂ O ₃	%, wt.	0.3	0.3
H ₂ O	%, wt.	0.5	0
Others	%, wt.	2.6	5.1
Total		100	100

Table 4. Analysis of the used limestone particle size.

Sieve size	Fine limestone		Coarse limestone	
	Specification	Distribution	Specification	Distribution
Under 1.0mm	100%	100%	100%	100%
Under 0.7mm	up 95%	100%	-	90%
Under 0.5mm	up 90%	91%	-	65%
Under 0.1mm	Under 25%	23%	Under 25%	21%

과는 표 2에 나타내었다.

석회석 성분분석은 석회석을 갈아 분말로 만든 후 습식분석 및 원자흡광광도계를 이용하여 분석 결과가 표 3이다. 석회석 입도는 0.1~0.3 mm 및 0.3~0.5 mm의 2가지 종류로 변경하면서 실험하였다. 연소 온도는 840~890°C의 6단계로 나누어 실험하였다.

운전 조건으로는 발전소의 출력은 200 Mw, 석탄 투입량은 94 ton/hr.이다. 발전소 운전중 온도 및 운전상태를 30~60분 간격으로 측정하고, 운전조건은 측정값의 산술평균으로 계산하였으며, 운전중 측정항목은 아래와 같다. 연소온도는 연소로 상부 및 하부에서 열전대로 측정하였고, 석탄 및 석회석 사용량은 석탄 및 석회석 조절기를 통해 자동 및 수동으로 조절되며 각각 표시기에 표시된다. 석탄 및 석회석 등 고체시료는 각 피드 전단에서 채취하여 분석하며, 배기가스는 굴뚝 45 m 지점에 설치된 자동분석기를 통해 분석하였다. SO₂ 분석은 GM31(자외선 흡수법)로, O₂ 분석은 LU21(전기화학식)로, 입도분석은 미국 표준망체(ASTM E11-61)에 의하여 건식체 분석으로, 공업분석은 공업분석기(LECO MAC-400)에 의해서, 발열량 분석은 열량분석기(Automatic Calorimeter,

Table 5. Chemical composition of the used limestone.

Composition	Fine limestone	Coarse limestone
CaCO ₃	90	90
MgCO ₃	3.4	3.3
SiO ₂	1.7	1.7
Al ₂ O ₃	0.4	0.4
Fe ₂ O ₃	0.3	0.3
Others	4.2	4.3

Table 6. Desulfurization by limestone as a function of sized combustion temperature.

Combust. temp. (°C)	Ca/S ratio	Fine L/S (0.1~0.3 mm)		Coarse L/S (0.3~0.5 mm)	
		SOx (ppm)	Desulfurization (%)	SOx (ppm)	Desulfurization (%)
880	1.6	252	52	286	45
	1.7	240	53	270	48
	2.5	179	179	65	223
	3.2	146	72	161	69
	3.6	130	75	140	73
890	1.6	328	37	345	33
	1.7	312	40	324	37
	3.0	188	64	222	57
	3.2	164	68	167	68
	3.6	141	73	146	72

LECO)로, 원소 분석은 원소분석기(Element Analyzer, Perkin Elmer Model 240C)로 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

국내무연탄 순환유동층 발전설비의 탈황효율에 영향을 줄 수 있는 변수들을 조사 분석한 결과, 탈황특성에 영향을 주는 여러 가지 요소 중 특히 중요한 것은 석회석 입자 크기, Ca/S 몰비 변화에 따른 특성이라는 것에 주안점을 두고 실험을 진행하였다.

4.1 석회석 입자 크기에 따른 탈황 특성

석회석 입도를 변경하면서 발전소 순환 유동층 보일러 연소로에서 실험한 결과 표 6에 나타난 결과처럼 연소온도 변화 및 Ca/S 몰비 변화에 관계없이 석회석의 입자 크기가 0.3~0.5 mm에서 보다는 0.1~0.3 mm에서 탈황효율이 우수한 것으로 나타났다. 표 4는 사용 석회석의 분석결과를 나타냈고, 표 5는 본

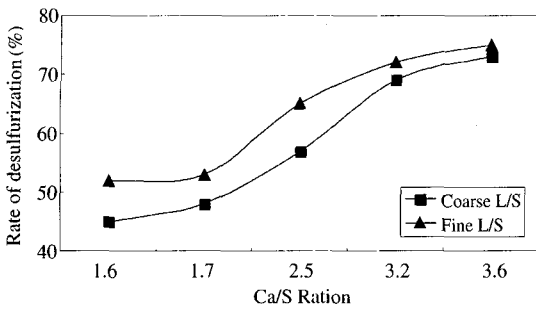


Fig. 3. Desulfurization rate results depending on limestone size and L/S mole ratio.

Table 7. Effects of Ca/s mole ratio on desulfurization.

Combust. temp. (°C)	Ca/S ratio	Fine L/S (0.1~0.3 mm)		Coarse L/S (0.3~0.5 mm)	
		SOx (ppm)	Desulfurization (%)	SOx (ppm)	Desulfurization (%)
880	1.6	252	52	286	45
	1.7	240	53	270	48
	2.5	179	179	65	223
	3.2	146	72	161	69
	3.6	130	75	140	73
	890	1.6	328	37	345
1.7		312	40	324	37
3.0		188	64	222	57
3.2		164	68	167	68
3.6		141	73	146	72

실험에 사용한 석회석 입자의 화학적 조성을 나타내었다. 그림 3은 석회석의 입자크기와 Ca/S 몰비에 따른 탈황률을 나타내었다.

실증 설비에서 실험한 관계로 석회석의 입자크기는 2가지로 단순화하여 실험하였으며, 실험시 출력은 200MW, 전체 압력손실(ΔP)는 1610mmH₂O 이었으며, 석탄 투입량은 94 Ton/hr, 석탄 중 황 함량은 0.5%, 석탄 발열량은 4,884 kcal/kg으로 분석 되었다.

Limestone의 주성분은 CaCO₃ (보통 90% 이상)이며, 연료 중의 Sulfur와 반응하여 석고를 생성한다. 소성 과정에서 생기는 기공(Porosity)은, 고체의 조직 내부에 공간을 형성하며 이러한 내부 공간은 화학반응이 일어날수 있는 잠재적인 표면적을 형성한다. 그러나 기공이 형성되더라도 황화칼슘은 기공을 막는 경향이 있으므로 깊은 기공은 넓은 표면적을 제공하더라도 충분히 반응되기 전에 황화물로 인해 막히게

된다. 따라서 입자의 크기를 최적으로 운전하고 적절한 분쇄지수를 가진 석회석을 사용하여 기공을 최대한 확장시켜 주는 것이 탈황효율을 최대한 올릴 수 있는 방법이며, 최적 기공크기는 0.2~0.3 μm을 알 수 있었다. 석회석에 존재하는 MgCO₃는 탈황에 직접 관여하지는 않지만 연소로 내에서 MgCO₃가 MgO로 되는 동안 기공을 증대시키는 역할을 수행한다.

석회석의 황화반응은 다소 느린 과정이므로 재순환부 내의 고체 체류시간에 의해 크게 영향을 받는다. 재순환부에서 고체가 오래 머무를수록 CaSO₄로의 전환율은 자신의 최대 황화반응률까지 커진다.

미분 석회석은 황화반응 후에 상대적으로 적은 미반응 기공을 남겨두기 때문에 미분 흡수제를 사용하는 것이 이롭다. 순환유동층 보일러의 경우에는 0.1~0.3 mm 정도의 분말이 적당한 것으로 알려져 있다. 0.1 mm 이하는 탈황반응하지 못한 채 Fly Ash로 배출되며 0.4 mm 이상은 탈황반응을 할 수 있는 표면적이 적어 탈황효율이 낮다. 0.1~0.3 mm 정도의 석회석은 표면적 확대 및 기공 확장으로 탈황 효율을 상승시키고, 유동층 하부에 잔류하는 시간을 연장시켜 황성분과의 접촉시간이 길어져 탈황성능이 향상됨을 알 수 있었다.

4. 2 Ca/S 몰비에 따른 탈황 특성

몰비를 변경하면서 실험한 결과는 표 7과 그림 5에 나타나 있다. 로하부 온도 880°C, Ca/S 몰비 1.6에서 미세 석회석에서는 탈황률 52%, 조대 석회석에서는 탈황률 45%를 나타내고 있다. 몰비를 증가시킬수록 탈황율은 계속 상승하였다. 즉, Ca/S 몰비 5.8에서는 각각 75%, 73%의 탈황률을 나타내고 있다. 실험 결과에서 나타난 것처럼 운전온도 및 석회석의 입자크기 등 주변 인자들과 상관없이 몰비가 증가할수록 탈황률은 상승하는 것을 보여 주고 있다. 1몰의 유황을 흡착하기 위해서는 1몰의 칼슘이 필요하므로, 탈황제 인 석회석의 이용율을 100%로 가정할 때 주어진 양의 유황 성분을 모두 제거하기 위해서는 이론적으로는 최소한 몰비가 1/1의 비율이 되어야 한다. 그러나, 실제 유동층 내에서의 탈황과정은 연소 과정에서 발생하는 SO₂와 석회석 표면 사이에서 이루어 지므로 석회석 내부는 이용할 수 없으며, 또한 단위 체적당 흡착면적이 불충분할 경우 약간의 SO₂ 가스

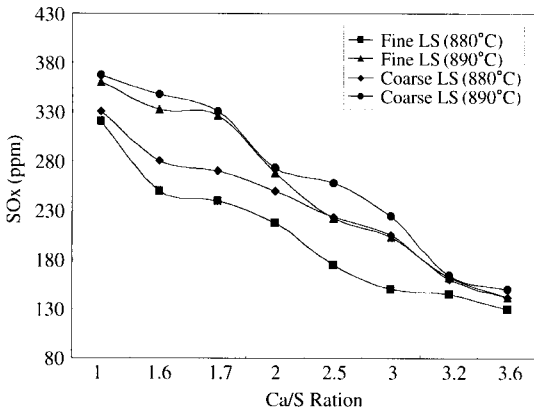


Fig. 4. SO₂ gas concentration of a variation of Ca/S mole ratio

는 그냥 빠져나가게 되어 100%의 탈황효율은 얻을 수 없다. 따라서 몰비를 증가 시켜 주면 미처 반응하지 못한 SO₂ Gas와 반응할 수 있는 석회석을 제공하게 되어 탈황률을 증가시키게 되는 것이다.

본 CFBC 보일러에서는 Ca/S 몰비를 1.6 정도로 운전하였으며, 연소중의 탈황률은 Ca/S 몰비를 증가시킬 때 높아지는 것을 알 수 있다. 그러나 석회석 투입량을 무한정 상승시키는 것은 보일러 열효율을 저하시키는 요인이 되므로 탈황에 필요한 몰비를 최소화하기 위한 석회석 입자 크기, 기공도, 분쇄지수등 물리적 성상과 화학적 성분 및 석탄의 특성에 따라 최적의 몰비 선택과 아울러 최적 운전 조건을 도출하는 것이 또한 중요한 인자로 파악 된다.

4.3 온도변화에 따른 탈황특성

보일러내의 연소온도를 변경하면서 실험한 결과, 표 8에 나타난 것처럼 840°C에서 73%의 탈황률을 보이고 있으며, 870°C까지는 온도를 증가시킬수록 탈황률이 상승하였다. 그러나 870°C에서의 탈황률은 78%, 880°C에서 68%, 890°C에서는 61%를 나타내었다. 즉, 840~870°C에서 최적의 반응율을 보이고 있으며, 그 중에서도 870°C에서 최대의 탈황율을 나타내고 있다. 이때의 Ca/S 몰비는 2.7 이었으며, 석회석 평균입도는 0.1~0.3 mm 이었다.

유동층 내에서의 황화과정은 온도를 증가시킬수록 활발해진다. 탈황반응 개시온도는 700°C이며, 가장

Table 8. Desulfation rate variation by temperature change.

Temperature (°C)	SO ₂ (ppm)	Desulfation rate (%)
840	141	73
850	132	74
860	121	77
870	115	78
880	165	68
890	202	61

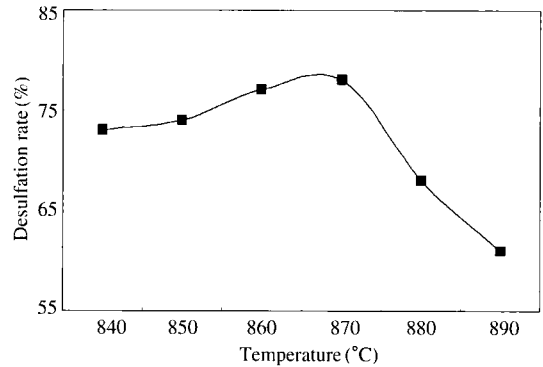


Fig. 5. Desulfation rate of as a variation of temperature.

양호한 탈황반응은 840~870°C에서 최대의 반응율을 나타내며, 그이상의 온도에서는 반응율이 감소한다. 반응율이 저하하는 이유는 황화물이 액화되어 입자 표면에 얇은 비활성막을 형성함으로써 입자를 차단하게 되어 더 이상의 Sulfation(황화작용)이 불가능하게 되며, SO₂가 산화되어 SO₃로 변환되는 감소비율이 870°C 이상에서는 감소하기 때문이다. 그림 5는 온도변화에 따른 탈황특성을 나타내었다.

5. 결 론

주성분이 CaCO₃ 인 석회석 및 국내무연탄을 원료로 사용하는 순환 유동층 발전소의 실증설비에서 탈황특성을 탈황효율에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요소 중 특히 중요한 인자인 석회석 입자 크기 및 Ca/S 몰비 변화에 주안점을 두고 연구를 진행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 석회석 입자 크기에 따른 탈황 특성에 있어서는 석회석 입도를 변화하면서 실험한 결과, 연소온도

및 Ca/S 몰비 변화에 관계없이 석회석의 입자 크기가 0.3~0.5 mm 보다는 0.1~0.3 mm에서 표면적 확대 및 기공 확장으로 탈황 효율이 상승되고, 유동층 하부에 잔류하는 시간을 연장시켜 황성분과의 접촉 시간이 길어져서 탈황효율이 우수한 것으로 나타났다.

2. Ca/S 몰비에 따른 탈황 특성에 있어서는 몰비를 변경하면서 실험한 결과, 운전온도 및 석회석의 입자 크기 등 주변 인자들과 상관없이 몰비가 증가할수록 탈황률은 상승하였다. 본 CFBC 보일러에서는 Ca/S 몰비를 1.6 정도로 운전되며, 연소중의 탈황률은 Ca/S 몰비를 증가시킬 때 높아지는 것을 알 수 있었다.

3. 석회석 투입량을 무한정 상승시키는 것은 보일러 열효율을 저하시키는 요인이 되므로 적 절한 탈황에 필요한 몰비를 최소화하기 위한 석회석의 입자 크기, 기공도, 분쇄지수등 물리적 성상과 화학적 성분 및 석탄의 특성에 따라 최적의 몰비 선택과 아울러 최적 운전 조건을 도출하는 것이 또한 중요한 인자로 파악되었다.

4. 840°C에서 73%의 탈황률을 보이고 있으며, 온도를 증가할수록 탈황률이 상승하였으며, 870°C에서 78%의 탈황률을 나타내고 있으나, 880°C에서 68%, 890°C에서는 61%를 나타내었다. 즉, 840~870°C에서 최적의 반응율을 보이고 있으며, 그 중에서도 870°C에서 최대의 탈황율을 나타내고 있다.

참 고 문 헌

- 박영성, 김영성, 손재익, 맹기석(1990), “석탄 유동층 연소로에서의 Freeboard 연소 특성”, 한국화학공학회지, 28(5), 568-575.
- 선도원, 손재익, 박영성, 구철오, 한근희, 배달희, 임정환, 최정후(1991), “저공해 유연탄 보일러 보급확대를 위한 순환유동층 기술 개발(II)”, 동력자원부, 111.
- 지평삼, 위영호, 안달홍, 정진도, 이정수, 박호영(1994), “국내 무연탄의 순환유동층 연소특성연구”, 전력연구원, 1-118.
- 최정후, 손재익, 한근희, 배달희, 조성호(1986), “저공해 유연탄 보일러 보급확대를 위한 순환유동층 기술 개발(I)”, 동력자원부, 140.
- 하준호(1996), “동해화력 1호기 보일러 시운전 및 정비”, 한국전력공사, 1-177.
- ABB Combustion Engineering Service, Inc. (1996), “CFB Boiler Design & Operation Manual, Inspection and Maintenance Manual”.
- Grace, Z.R (1995), “Circulating Fluidized Bed”, British Columbia, 240-241.
- Kallio, S. (1998), “A 1.5D Qualitative Study of the Effect of Solids Inventory and Air Distribution on the Voidage Profile in a CFBC Rise”, Abo Akademi.
- Power Engineering, Inc. (1994), “The Design and Commercial Development of 150 MW CFBC Unit for Texas-New Mexico Power Company”.
- Power Engineering, Inc. (1996), “Power-Gen '96 International Conference Papers”, Book III, 83-90.