

# 국내 무연탄 발전소 역청탄 사용시 탈황 특성 연구

김정유, 문승재\*, 이재현\*†

한양대학교 대학원 파워엔지니어링공학과, \*한양대학교 기계공학부

## Desulfurization Characteristics for Anthracite Coal Power Plant by Increasing Bituminous Coal Fuel

Jeong-You Kim, Seung-Jae Moon\*, Jae-Heon Lee\*†

Department of Power Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received August 5, 2008; revised October 30, 2008; accepted september 7, 2008)

**ABSTRACT** : The sulfur oxides is one of important materials to come about air pollution at thermal plant consuming fossil fuel. The several flue gas desulfurization equipments are installed and operated to decrease sulfur oxides. The flue gas desulfurization of our thermal plant is designed for optimizing flue gas desulfurization technical development and research by Korea Electric Power Research Institute. We operate this desulfurization equipment. Now, our country imports nearly 97 percentage of the energy source and competes with the world for the energy because of the sudden rise of raw materials cost. The fuel cost decrease of power plants is the most important factor of the operation. The fuel used in the experiment is the domestic anthracite from Kangwon Taeback and the bituminous coal from Taldinsky Mine in Russia. This Study is experimental investigations of desulfurization characteristics for domestic anthracite power plant by increasing bituminous coal. We surveyed possible parameters and conducted the performance about desulfurization equipment in Yong Dong thermal power plant.

**Key words** : flue gas desulfurization(탈황설비), absorber(혼소율), anthracite(흡수탑)

### 1. 서론

경제성장 및 국민 생활수준 향상에 따라 조금 더 편리한 생활을 영위하기 위하여 에너지의 사용량이 증대되기 시작하였다. 전력소비의 지속적 증가에 따라 특히 1차 에너지 소비 중 발전분야 투입비중이 지속적으로 증가하고 있다. 1990년 이후 2004년까지 에너지수요는 연평균 6.2% 증가한 반면, 전력수요는 연평균 9.1% 증가하였다. 연평균 경제성장률은 5.5%에 비하면 상당히 높은 증가율이다. 국내 발전

설비의 증가와 더불어 국민들의 높아진 환경의식으로 전력설비 건설에 대한 지역 주민의 반대 등으로 사업추진이 지연·취소되는 등 불확실성이 증대되고, 국내 환경규제 강화와 기후변화협약 등 국제적 환경규제 강화에 대응하기 위해 친환경적 전력정책 수립이 필요한 때이다. 우리나라도 공해물질 배출 규제치를 강화하였고 친환경적인 황산화물 제거 기술이 필요하게 되었다. 그래서 영동화력 탈황설비는 한전 전력연구원에서 “G-7 환경공학 기술개발 사업”의 일환으로 배연탈황기술 개발 및 실용화 연구를 수행하여 한국형 탈황흡수탑 (KEPAR: KEPco Absorption Reactor)을 개발하여 설치하였다.

영동화력 2호기 탈황설비는 설비 용량 200 MW로서 국산 무연탄 70%, 중유 30%를 혼소하여 보일러

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0425; fax: +82-2-2220-4425

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

에서 배출하는 800,000 Nm<sup>3</sup>/h 배연가스를 처리하기 위해 설치된 실증설비다.

그러나 최근 급변하는 국제정세와 각국의 에너지 확보경쟁 심화에 따라 고유가 및 에너지 수급 불안이 초래되고 있으며, 특히 에너지원의 해외 의존도가 높은 우리나라에서 연료비를 절감할 수 있는 방안이 필요하게 되었다. 값비싼 중유와 국내 무연탄의 사용을 줄이고 값싼 역청탄 사용을 증가시킴으로써 발전용 연료비를 감소시키는 방안이 대두되었으나 실증설비에 적용한 사례가 없어서 혼소율 변화가 탈황설비에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 지금까지 이루어진 실험적인 실험 결과를 바탕으로 국내무연탄 발전소 발전설비의 탈황설비에 연료 혼소 비율에 따른 각종 운전조건의 변화, 입구 배기가스온도 변화, 입·출구 SO<sub>x</sub> 변화, 석회석 사용량 등을 조사, 분석하고 현장의 실증설비에 직접 적용하였고, 혼소율의 변화가 무연탄 발전소 탈황설비에 어떤 영향을 미치는지에 대해 연구를 수행하였다.

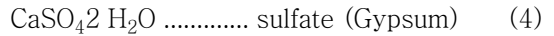
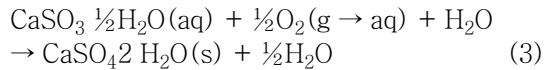
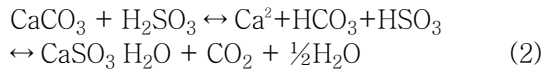
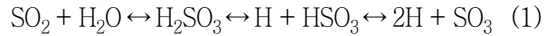
## 2. 흡수탑 탈황원리 및 종류

### 2.1 탈황방법 및 원리

한국형 흡수탑은 Bubbling Type이므로 Spray Tower보다 기-액 접촉면적이 크고 석고슬러리를 재순환하지 않아도 되는 장점이 있고 부산물인 석고의 크기분포가 타 탈황설비에 비하여 월등히 큰 것으로 나타났다. 탈황의 기본원리는 Absorber(반응 흡수탑) 설비에 보일러 연소시 생성된 배기가스를 통과 시키면서 배기 가스중의 아황산가스(SO<sub>2</sub>)와 흡수탑 상부로부터분사된 석회석 슬러리(CaCO<sub>3</sub>)를 접촉시키면 석회석이 아황산가스를 흡수하고 화학반응을 일으켜 재활용이 가능한 고순도의 (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O)석고로 부산물을 생산한다.

수용성 황산화물이 흡수탑에 통과시 분사된 물에 흡수되는 흡수반응은 gypsum slurry liquid 사이의 기-액 평형(liquid/gas equilibrium)에 의해 지배를 받는다. 분사된 물에 흡수되어진 산성의 황산화물과 물에 용해된 알칼리 흡수제인 석회석과 즉각 반응하여 황산화물이 반수석고로 반응하는 용해 및 중화과정, 반수석고와 수용 황산화물은 전리 역반응이 쉽게 일어나 반응성을 저하시키고 불안정한 상태의 물질로 반응의 안정과 반응물질의 회수를 용이하게 하

기 위하여 압축공기를 강제 공급하여 산소와 결합시키는 산화반응 과정, 황산화물과 석회석이 반응하여 gypsum을 생산하는 결정화 과정으로 이루어진다. 흡수탑내에서 화학반응 메커니즘을 식 (1) ~ (4)에 나타내었다.<sup>[3]</sup>



### 2.2 흡수탑 형식 및 현황

흡수탑은 흡수제의 형태에 따라 습식법과 건식으로 나누며, 반응생성물로부터 흡수제의 재생 여부에 따라 재생법 및 비재생법으로 나누며, 기-액 접촉 방식에 따라 가수분사식과 액분사식으로 분류하고 있다.

탈황반응이 일어나는 흡수탑 형식은 영동 1 ~ 2호

Table 1 The type of FGD in thermal power plant

연료	발전소별	탈황공정	흡수탑 형식	기술보유사 시공사
석탄	보령 3~6호기	습식석 회석/석고	Grid Packed 병류/향류식	미쯔비시중공업 쌍용중공업
	태안 1~4호기		Spray/Tray 향류식	B&W 현대중공업
	하동 1~6호기		Spray/Tray 향류식	B&W 현대중공업
	당진 1~4호기 삼천포1~4		Spray 향류식	Steinmuler 삼환/한국코트렐
무연탄	영동 1~2호기	습식석 회석/석고	가스층 다공관형 KEPAR	한국전력공사 한국전력기술
	서천 1~2호기		가스층 다공관형 KEPAR	한국전력공사 한기/동아/정일
중유	울산 4~6호기	습식석 회석/석고	JBR	Chiyoda 대우중공업
	울산 1~2호기		Spray 향류식	Bischoff 한라중공업
	여수 1~2호기		Spray 향류식	Marsulex 한국중공업/대림

Table 2 characteristics of the desulfurization type

흡수탑 형식	장점	단점
Spray	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spray Header 외에 내부장치가 거의 없어 압력손실이 낮다.</li> <li>현재 습식 석회석/석고 공정의 거의 모든 흡수탑에 적용(80 ~ 90%) 되고 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>장치가 다른 형태의 흡수탑에 비해 크다</li> </ul>
Tray	<ul style="list-style-type: none"> <li>기/액 접촉면적이 커서 SO<sub>2</sub> 제거효율이 높다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>안정적인 거품이 형성되기 위한 배기 가스 속도영역이 매우 좁다</li> </ul>
Packed	<ul style="list-style-type: none"> <li>기/액 접촉면적이 커서 SO<sub>2</sub> 제거효율이 높다</li> <li>흡수탑의 크기가 작다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>스케일 및 부식발생 가능성이 많다</li> <li>Spray 형이 적용되기 이전에 많이 사용되었다.</li> </ul>
KEPAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>단일단 다공판형 흡수탑으로 탈황효율이 높고, 순환펌프를 사용하지 않는 자연순환 방식으로 운전비가 낮다</li> <li>기/액 접촉효율이 좋고 크기가 작다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용실적이 적다</li> </ul>
JBR	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수, 산화, 중화 반응이 하나의 흡수탑에서 진행되므로 공정이 간단하다.</li> <li>흡수제 이용률이 높고 폐수농도가 낮다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대용량 발전소에 적용 실적이 적다</li> <li>가스압력 손실이 크다</li> </ul>

기, 서천 1 ~ 2호기, 울산 4 ~ 6호기를 제외한 22호기의 설비가 석회석 슬러리를 배기가스에 분사하는 분사형이고 나머지 영동, 서천, 울산의 탈황설비는 배기가스를 흡수액 중에 분사하는 가스분사방식의 Bubble형이다. 이 중에서 영동 1 ~ 2호기, 서천 1 ~ 2호기 탈황설비는 전력연구원에서 개발한 단일단 다공판형 Tray형(KEPAR)이며 울산 4 ~ 6호기는 일본 Chiyoda사 CT-121 공정의 JBR(Jet Bubbling Reactor)형이다. 국내 화력발전소별 배연탈황설비 현황을 Table 1에 기술하였고, 대표적인 흡수탑 형식별 장단점을 Table 2에 나타내었다.

### 3. 실험 및 방법

#### 3.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 실험장치인 영동화력 탈황설비는 최대 처리가스량 800,000 Nm<sup>3</sup>/h, 입구 SO<sub>x</sub> 1019 ppm 이하, 출구 SO<sub>x</sub> 농도 150 ppm 이하로 설계되었다. 흡수탑은 순수 국내기술에 의해 개발된 습식석회석 석고법에 의한 Bubbling 형식으로 1개가 설치되어 있으며, 구조는 높이 14.6m, 직경 14.3m인 원통형으로 되어 있다. 산화공기 블로우어를 설치하여 강제 산화방식을 채택하였으며 흡수제로서 325 mesh 90% 통과

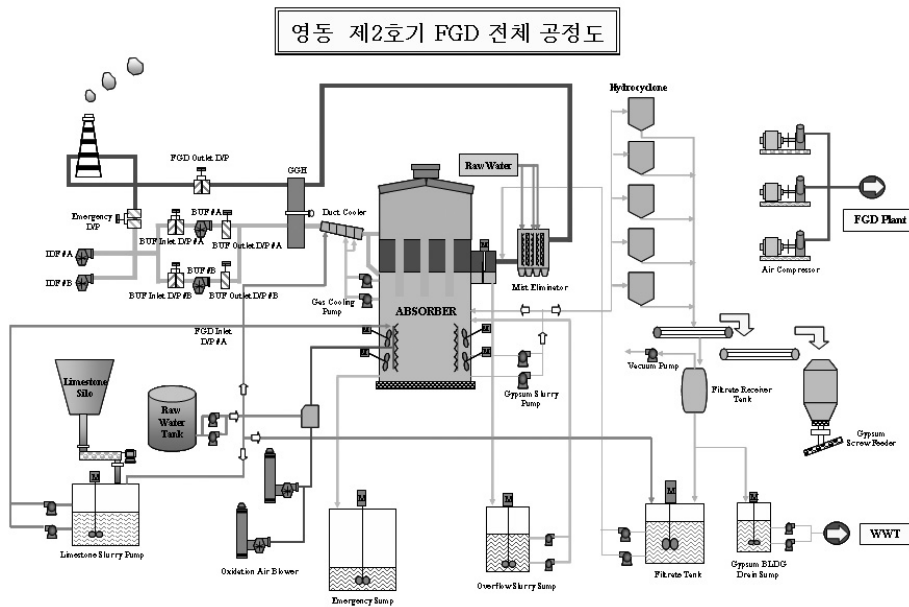


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

분 분말석회석을 사용하고 부산물로서 석고를 생산하는 습식 석회석 석고 공정이다

영동 #2호기 탈황 공정은 보일러 유인통풍기를 거쳐서 나온 배기가스는 가스재열기를 거쳐 1차 보유 열량을 방출하여 142.2℃(BMCR)까지 냉각이 되고 다시 흡수탑 부속설비인 가스냉각덕트(Duct Cooler)에서 포화냉각 온도인 47℃까지 냉각된다. Duct Cooler에서 배기가스는 흡수탑 하부에서 Gas Cooling Pump에 의해 펌핑되어 노즐에서 분사되는 석고 슬러리와 반응이 일어나 냉각뿐만 아니라 SO<sub>2</sub>도 일부 제거된다.

Duct Cooler를 지난 배기가스는 흡수탑 상부로 유입되어 Duct Pipe를 통하여 흡수탑 하부의 슬러리 영역으로 진입하게 된다. 흡수탑 하부에서 배기가스는 석회석 슬러리와 반응을 하여 석고를 생성한다. 흡수탑에서 SO<sub>2</sub>가 제거되고 난 청정 배기가스는 일부의 액적과 함께 흡수탑을 빠져나가고 이 액적들은 습분분리기를 통과하는 동안에 제거 된다.

한편, 흡수탑 내부에서 생성된 석고는 Gypsum Slurry Pump에 의해 석고 탈수계통으로 이송되며 탈수계통으로의 이송여부는 흡수탑 내부 슬러리 밀도에 의해서 결정되고 내부 밀도가 낮을(14 wt% 미만) 경우는 흡수탑 내부로 재순환이 된다. 실험장치인 영동화력 탈황설비는 최대 처리가스량 800,000Nm<sup>3</sup>/h, 입구 SO<sub>x</sub> 1019ppm 이하, 출구 SO<sub>x</sub> 농도 150ppm 이하로 설계되었다. 흡수탑은 순수 국내기술에 의해 개발된 습식석회석 석고법에 의한 Bubbling 형식으로 1개가 설치되어 있으며, 구조는 높이 14.6m, 직경 14.3m인 원통형으로 되어 있다.

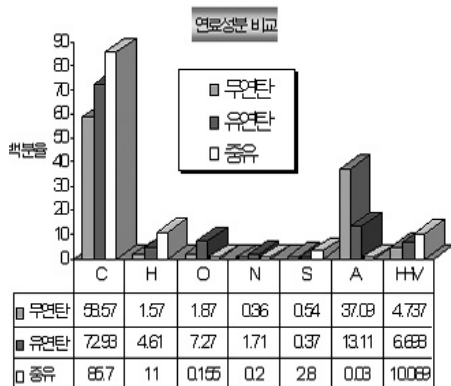


Fig. 2 Comparison graph of the used fuel

석회석 취급계통은 분말석회석 이송차량에 의해 반입되는 석회석분말(325Mesh, 90% 이상 통과)을 하역, 저장 및 슬러리화하여, 흡수탑에 보일러부하 및 SO<sub>2</sub> 유입 농도에 따라 일정량을 공급하는 기능을 가지며 석회석 사일로, 공급기(Screw Feeder), 펌프, 석회석 슬러리 공급 제어밸브, 연결 배관으로 구성되어 있다.

Fig. 2는 연료로 사용된 무연탄, 역청탄, 중유의 성분을 분석한 것으로 탄소와 황 성분은 중유가 각각 85.7%, 2.8%로 가장 많고, 수소, 산소와 질소는 역청탄이 많고 황은 역청탄이 0.37%로 가장 적게 함유한 것으로 나타났다. 흡수된 SO를 중화시키는데 필요한 석회석은 강원도 정선에서 생산된 것으로 석회석의 입도분포는 325mesh 90%의 고순도 분말 석회석을 사용했고, 석회석 규격에 CaCO 성분은 95% 이상인 95.4%로 나타났다.

### 3.2 실험방법

실험 방법은 연료비가 비싼 중유를 점차 감소시키고, 값싼 역청탄의 비율을 증가하였다. 처음에는 무연탄, 역청탄, 중유를 65%, 0%, 35%에서 역청탄 비율을 100%까지 증가시켰으며 비율증가에 따른 실증 설비에서의 위험성을 감소시키기 위해 총 8단계로 진행하였다.

Table 3에 실험조건을 나타내었다. 발전소 출력은 125 ~ 130 MW와 200 MW, 유·무연탄 혼소 방법은 Conveyor Belt 혼합으로 하였고 과잉공기율은 5 ~ 10% 범위내에서 운전하였고 흡수탑 Level은 4.1 ~ 4.2m, PH는 4.8 ~ 4.9로 고정하여 최대한 실험조건에 접근하여 실험을 수행하였다. 운전상태 측정은 10 ~ 20분 간격으로 측정하여 시간대별 평균값을 자료로 활용하여 분석하였다.

Table 3 Experimental conditions

Case	출력(MW)	무연탄(%)	역청탄(%)	중유(%)
1	125	65	0	35
2	125	65	10	25
3	125	60	25	15
4	126	55	35	15
5	127	40	50	10
6	125	35	60	5
7	200	50	50	0
8	200	0	100	0

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 FGD 배기가스량의 변화

Fig. 3은 시험시 FGD (Flue gas desulfurization) 배기 가스량의 변화다. 시험조건 4 혼소율 55:35:15(무:유:중)까지는 서서히 증가하는 경향을 보이고 있으며 역청탄 혼소비율이 50% 이상일 때 약간 더 급격히 증가하는 것으로 볼 수 있다. 역청탄 전소시(시험조건 8)에는 배기 가스량이 설계 용량을 초과하였다. 배기가스 온도는 혼소율의 변화에 대해 큰 차이를 보이지 않았다.

##### 4.2 입·출구 SOx량의 변화

Fig. 4는 시험시 입구 SOx량의 변화다. 역청탄 비율이 증가할수록 입구 SOx량은 감소하는 것으로 나타났다. 시험조건 3에서 입구 SOx량이 680 ~ 700 ppm이었던 것이 시험조건 4인 역청탄 비율이 25~35% 이상인 경우 입구 SOx량이 510 ~ 530 ppm으로 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 탈황설비가 혼소율을 감소시킬수록 즉, 역청탄 비율을 증가시키고 무연탄과 중유 비율을 감소시킬수록 유리하다고 볼 수 있다. 이런 입·출구 SOx량 감소는

중유 감소에 따른 연료성분의 S 성분의 감소에 기인한 것으로 보여진다.

Fig. 5은 시험에 따른 출구 SOx량의 변화를 보여주고 있고 역청탄 비율이 증가할수록 출구 SOx량은 대체로 감소하는 것으로 나타났다. 시험조건 3에서 출구 SOx량이 52 ~ 58 ppm이었던 것이 시험조건 4인 역청탄 비율이 25 → 35% 이상인 경우 출구 SOx량이 39 ~ 44 ppm으로 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 연료혼합의 부적확성과 보일러 부하의 영향에 의해 출구 SOx량의 변화가 약간 흔들리는 현상이 나타났다. 이것은 안정적인 흡수탑의 운전을 위해서는 흡수탑의 P를 일정하게 유지시키는 것이 매우 중요한 변수인데 증압송풍기가 보일러와 연동되어 운전되어 인위적으로 조절하기 어려운 변수로 나타났다. 그렇지만 대체적으로 탈황설비가 혼소율을 감소시킬수록 즉 역청탄 비율을 증가시키고 무연탄과 중유 비율을 감소시킬수록 유리하다고 볼 수 있다.

##### 4.3 석회석 사용량

시험에 따른 석회석 사용량의 변화는 Fig. 6과 같다. 역청탄 비율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타

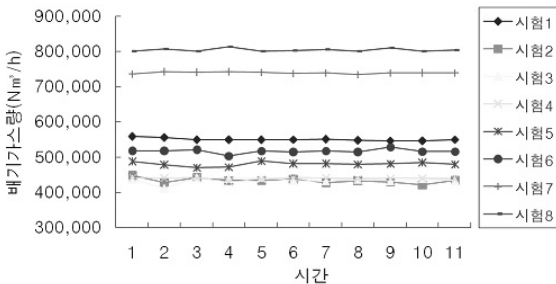


Fig. 3 Results of gas flow rate

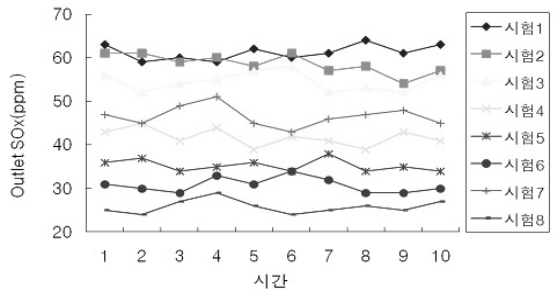


Fig. 5 Effect of the outlet SOx flow

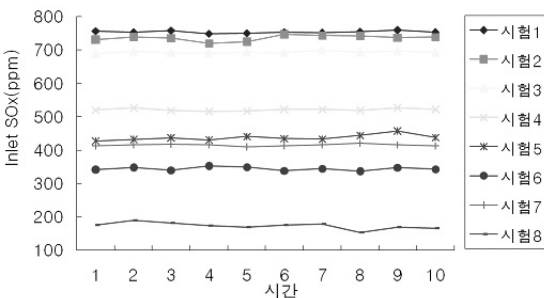


Fig. 4 Effect of the inlet SOx flow

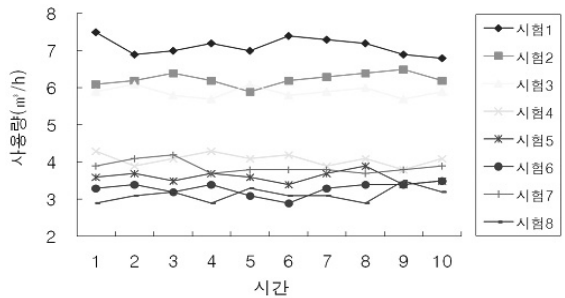


Fig. 6 Amount of consumed limestone

났다. 입·출구 SOx량의 감소로 화학반응에 필요한 석회석도 같이 감소하기 때문인 것으로 나타났다.

#### 4.4 석고 품질

Table 4는 시험 시에 생성된 석고를 분석한 자료로써 석고 품질은 순도가 평균 계약기준인 (석고 재활용기준 : 시멘트, 석고보드 용) 93% 이상을 만족하였으며 Cl<sup>-</sup> 이온은 계약기준인 평균 100 ppm 이하로 전체적으로 기준을 만족하였다. 따라서 역청탄을 증가시켜도 석고의 품질에는 영향이 없는 것으로 나타났다.

#### 4.5 탈황 효율

각 실험에서 수집한 자료의 평균을 이용하여 탈황의 효율을 Table 5에 나타내었다. 출력 125 ~ 130 MW, 혼소율 역청탄 60%(무:유:중유, 35:60:5)이하까지는 탈황설비 효율이 거의 91%이상을 유지하였으나 실험 조건 8인 역청탄 전소 시 효율은 85%

Table 4 Analysis of the produced gypsum on experiment

실험 조건	수분(%)			Cl <sup>-</sup> (ppm)			순도(%)		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
1	11.03	10.92	10.99	40.8	17.9	29.5	93.9	93.0	93.4
2	11.05	10.92	11.00	53.5	36.8	44.5	93.6	93.0	93.2
3	11.07	10.87	11.01	47.6	16.2	28.4	94.7	93.0	93.6
4	11.06	10.92	10.99	32.7	22.2	28.6	93.6	93.0	93.0
5	11.04	10.96	10.99	37.3	25.9	29.8	93.7	93.0	93.1
6	11.06	10.93	10.98	37.6	27.3	31.9	93.9	93.0	93.1
7	11.02	10.89	10.97	40.5	29.7	34.7	93.8	93.2	93.6
8	11.01	10.88	10.98	45.6	28.9	37.0	93.6	93.0	93.3

Table 5 Desulfurization efficiency

실험 조건	FGD 효율 (%)	Inlet SOx (평균)	Outlet SOx (평균)
1	91.9%	753.5	61.2
2	92.0%	735.5	58.6
3	92.1%	692.5	54.5
4	92.0%	520.6	41.8
5	91.9%	436.9	35.3
6	91.0%	343.9	30.8
7	88.8%	414.7	46.6
8	85.1%	172.6	25.8

정도 였다. 이것은 설계치(입구 SOx 1019 ppm)에 비해 Inlet SOx 입구가 너무 적게 유입되었기 때문인 것으로 분석되었다. 그러나 환경규제치(출구 SOx 150 ppm)이하로 운전되어 큰 변수로서 고려하지 않았다.

### 5. 결론

국내 무연탄을 사용하기 위해 설치된 발전소에 유연탄을 혼소시켜 배기가스량, 배기가스 온도, 입·출구 SOx량, 석회석 사용량에 대한 특성을 측정하였다. 본 연구의 실험조건에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유연탄의 사용량을 증가함에 따라 배기가스량도 서서히 증가하는 것으로 나타났다. 특히 유연탄 혼소비율이 50% 이상일때 조금 더 급격하게 증가하는 것을 보였다. 유연탄을 100% 전소시 배기가스량이 설계치를 초과하여 각종 송풍기에 과부하를 줄 수 있으므로 장시간 운전을 곤란한 것으로 나타났다.
- (2) 유연탄의 혼소율 증가에 따라 입·출구 SOx량은 감소하는 것으로 나타났다. 유연탄 혼소율 35% 이상으로 증가할 때 입·출구 SOx량 감소는 급격하게 감소하는 것으로 보였다. 유연탄을 100% 사용할 때 입·출구 SOx량은 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다.
- (3) 유연탄의 사용량을 증가함에 따라 석회석 사용량도 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) 석고 품질은 순도가 석고 재활용기준인 순도 93% 이상을 만족하였으며 Cl<sup>-</sup> 이온이 평균 계약기준 100 ppm이하로 전체적으로 만족하였다. 역청탄을 증가시켜도 석고의 품질에는 영향이 없는 것으로 나타났다.
- (5) 시험 조건에 따른 탈황 설비의 효율은 거의 일정하게 유지되었으나 Inlet SOx가 200 ppm 이하로 유입될 때는 효율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 환경규제치(출구 SOx 150 ppm이하) 이하로 운전되어 큰 변수로서 나타나지 않았다.
- (6) 저열량인 국내 무연탄을 사용하기 위해 설계된 탈황설비에서 역청탄 사용시 최적의 조건은 황 함유율이 0.8% 이하, 역청탄 60%를 사용한 시험조건 6(무:유:중유, 35:60:5)이 영동화력 2호기 탈황설비에 가장 최적조건이다.

참고문헌

1. 산업자원부, 제3차 전력수급기본계획, 공고 제 2006-349호, pp. 1-75.
2. 한국전력기술주식회사, 영동2호기 탈황설비 운전지침서, 제 1권, pp. 1-157.
3. 권정순, 2000, 배연탈황설비, 대한설비공학회 설비저널 제29호, pp. 47-50.
4. 조승원, 황영호, 전상기, 황산화물 저감을 위한 배연탈황 설치 사례, 한국대기환경학회 제2권, pp. 451-452.
5. 이영일, 1997, 배연탈황설비, 전력기술 29호, pp. 6-84.
6. 박승수, 홍진표, 박상용, 이종복, 엄희문, 1999, 200MW급 배연탈황 실증설비의 탈황 특성, '99 추계학술연구발표회 논문집, pp. 5-6.
7. 박승수, 홍진표, 박상용, 김기형, 1998, 가스층 다공판형 흡수탑을 이용한 배기가스 탈황, 대한환경공학회, pp. 16-20.
8. 손한호, 2005, 화력발전소 배연 탈황설비 및 기술에 관한 연구, 석사학위논문, 진주산업대.
9. 박태성, 1993, 유·무연탄 혼합에 따른 유동층 연소특성, 석사학위논문, 고려대학교.
10. 김부한, 1990, 탈황설비 설계기술, 전력기술, pp. 62-68.
11. 조상원, 민병철, 정중현, 1997, 유동층 연소로에서 유·무연탄 혼합연소시 탈황에 관한 연구, 한국환경위생학회지, pp. 102-108.
12. 이형근, 2007, 배연탈황공정, 대한설비공학회, pp. 34-41.
13. Radian International LLC, 1996, Electric Utility Engineer's FGD Manual, prepared for DOE by Radian International LLC.
14. Pandey, R. A, Desulfurization of Gaseous Fuels with Recovery of Elemental Sulfur, Environmentb science and technology v29.
15. Richard R. Lunt and John D. Cunic, 2000, Profiles in flue gas desulfurization, pp. 18-46.