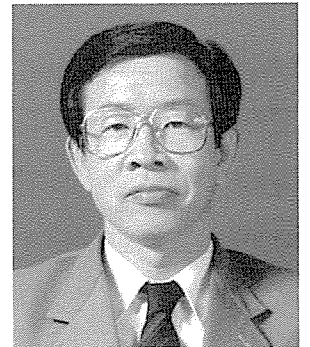


화력발전소 배연탈황설비 기술 개발

Development of Flue Gas Desulfurization Technology for Power Plant



한국전력공사 전력연구원
환경그룹장 엄희문

T : (042) 865-5114

1. 서 언

배연탈황(FGD, Flue Gas Desulfurization)은 화석연료 중에 포함되어 있는 유황분이 연소되어 발생한 배기가스 중의 황산화물을 화학적 또는 물리적인 방법으로 제거하고 처리된 가스는 연돌을 통해 배출하는 기술의 총칭이며 황산화물의 제거 방법에 따라 여러 가지 공정으로 분류하고 있다.

배연탈황 기술은 1960년대부터 미국, 일본, 독일 등 선진국을 중심으로 활발하게 연구개발이 진행되어 왔으며 기술개발 초기부터 현재에 이르기까지 수많은 종류의 배연탈황 공정이 개발되었으나 이들 중 경제성, 신뢰성 측면에서 기술적인 우위를 나타낸 소수의 공정들만이 상용화에 성공하였다.

배연탈황 공정은 흡수제의 형태에 따라 습식과 건식, 반응생성물로부터 흡수제의 회수여부에 따라 재생법과 비재생법으로 분류할 수 있으며 현재 전 세계적으로 가장 널리 상용화되어 있는 처리공정은 비재생 습식 석회석-석고 공정으로서 전체 설치용량의 80% 이상을 점유하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 배연탈황 설비의 지속적인 기술개발에 힘입어 연구개발 방향에도 많은 변화가 있었던 바 탈황설비의 신뢰도 자체가 문제시되던 과거에는 탈황효율향상, Scale 생성방지 등 운전상의 문

제점을 해결하여 설비의 신뢰성을 향상시키는 데 연구의 초점이 모아졌으나 최근에는 향상된 설비의 신뢰성을 바탕으로 Loop의 구성을 단순화하고 장치를 소형화하는 등 설비의 개선과 효율적인 운전을 통하여 배연탈황 설비의 설치비 및 운전비용을 대폭적으로 절감할 수 있는 방안에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 습식 배연탈황 설비의 건설비용은 90년대 초반까지만 해도 150~280\$/kW에 이르렀으나 기술적인 완성도가 높아지면서 점차 낮아지고 있는 추세에 있다.

우리 나라에서는 80년대 후반에 들어 환경에 대한 국민적인 관심 고조로 환경규제정책을 점진적으로 강화하기에 이르렀으며 1999년 1월부터 국내 화력발전소의 이산화황 배출기준이 선진국 수준인 120~150ppm으로 적용되고 있고 가까운 장래에 더욱 더 엄격한 기준이 적용될 것으로 전망된다. 따라서 한국전력공사에서는 강화된 환경규제를 준수하기 위하여 국내 석탄화력발전소를 대상으로 배연탈황설비의 도입을 추진하여 왔으며 1999년 6월 현재 총 23기의 배연탈황 설비를 준공하였고 2001년까지 6기의 설비를 순차적으로 준공할 예정이다.

전력연구원은 낙후된 국내 환경기술을 선진국 수준으로 진입시키기 위한 환경부의 국가 기술 선도기술개발사업(G-7 Project)의 일환으

로 1992년 11월 발전용 배연탈황 기술개발 실용화 연구에 착수하였으며 2년여간의 기초 실험과 10MW급 Pilot Plant의 운전경험을 토대로 독자적인 한국형 배연탈황공정의 개발에 성공하였다. 이 공정은 200MW급 영동화력 2호기에 실증 적용되어 '98년 3월 용역공사를 완료하였으며 이후 설비의 미비점을 보완 240시간 신뢰도 운전 및 인수 성능시험을 거쳐 현재 성공적으로 운전되고 있다.

이외에도 이 공정은 영동화력 2호기의 경험을 바탕으로 영동화력 1호기와 서천화력 1,2호기의 탈황설비에 후속 적용되었으며 현재 안정적으로 운영되고 있다.

본고에서는 자체 개발한 한국형 흡수탑의 특성과 영동화력 2호기에 적용된 실증설비의 구성 및 시운전 결과를 기술하였다.

2. 배연탈황 기술개발 현황

가. 개발 배경

1992년 정부는 특정분야의 과학기술을 「2000년대 선진 7개국 수준으로 진입」 시키기 로 목표를 세우고 G-7 Project를 기획하였다.

이중 환경공학 기술개발사업의 일환으로 낙후된 국내 환경기술을 선진국 수준으로 제고하여 국내 환경기준을 조기 달성하고, 지구환경문제 등 환경으로 인한 무역마찰을 최소화하는 한편 핵심 요소기술을 개발하여 2000년대 환경산업을 수출전략 산업으로 육성한다는 계획아래 배연탈황기술을 비롯한 총 20여개의 과제를 선정하였다.

배연탈황 기술은 종합적인 환경공학 기술로서 기술 개발시 외국기술 도입에 따른 막대한 기술료의 유출을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 관련 산업으로의 파급효과가 크기 때문에 국가주도의 선도기술 개발사업으로 자리잡게 되었다.

한국전력공사 전력연구원은 배연탈황·탈질 기술개발 사업의 주관연구기관으로 선정되어

최종 연구개발 목표를 “발전용 습식 배연탈황 기술개발 및 실용화”에 두고 92년 11월부터 습식 배연탈황공정의 자체개발을 시작하였으며 94년 미국, 일본, 한국등에 특허를 출원하여 97년 등록이 완료 되었다.

나. 연구 수행 현황

발전 및 산업용 배연탈황기술개발 과제의 총 연구기간은 '92년 11월부터 '02년 10월까지 10년으로 예정되어 있고 전체 연구기간은 3단계로 구성되어 있으며 '99년 6월 현재 3단계 1차년도 연구가 진행되고 있다. 현재까지 진행된 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

<표 1> 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용
1단계 ('92~'95)	○ 200MW급 습식 배연탈황 기술개발	- 기존공정 모사시험 - 독자공정 개발시험(0.4MW) - Pilot Plant설계,설치및운전(10MW) - 200MW 실증설비 기본설계
2단계 ('95~'98)	○ 200MW급 실증설비 상세설계 ○ 200MW급 실증설비 제작 및 설치 ○ 500MW급 실증설비 설계기술 확보	- 200MW 실증설비 설치공사 - 흡수탑 유동장 해석연구 - 탈황석고 품질향상기술 개발 - 200MW 실증설비 최적운전기술개발 - 200MW 실증설비 경제성 평가 - 500MW Scale-up 연구
3단계 ('98~'02)	○ 500MW급 실증설비 설계 및 설치	- 500MW급 탈황설비 설계 및 설치 - 한국형 500MW급 탈황설비설계 표준화

3. 200MW 실증설비

가. 설비의 구성

200MW 배연탈황 실증설비의 흡수탑 설계는 Pilot plant 운전결과를 토대로 기하학적 상사성을 유지하는 조건으로 Scale-up개념을 적용하여 설계하고 기타 설비는 기존의 상용화된 기술을 활용하여 실증설비의 공정특성에 적합한 기술을 선정, 적용하여 설계하였다. 영동화력 2호기에 설치되어 있는 200MW급 배연탈황 설비도 일반적인 습식 석회석-석고 공

정과 마찬가지로 크게 나누어 다음과 같은 여섯 가지 설비로 구성되어 있다. <그림1>에 배연탈황설비의 구성도를 나타내었다.

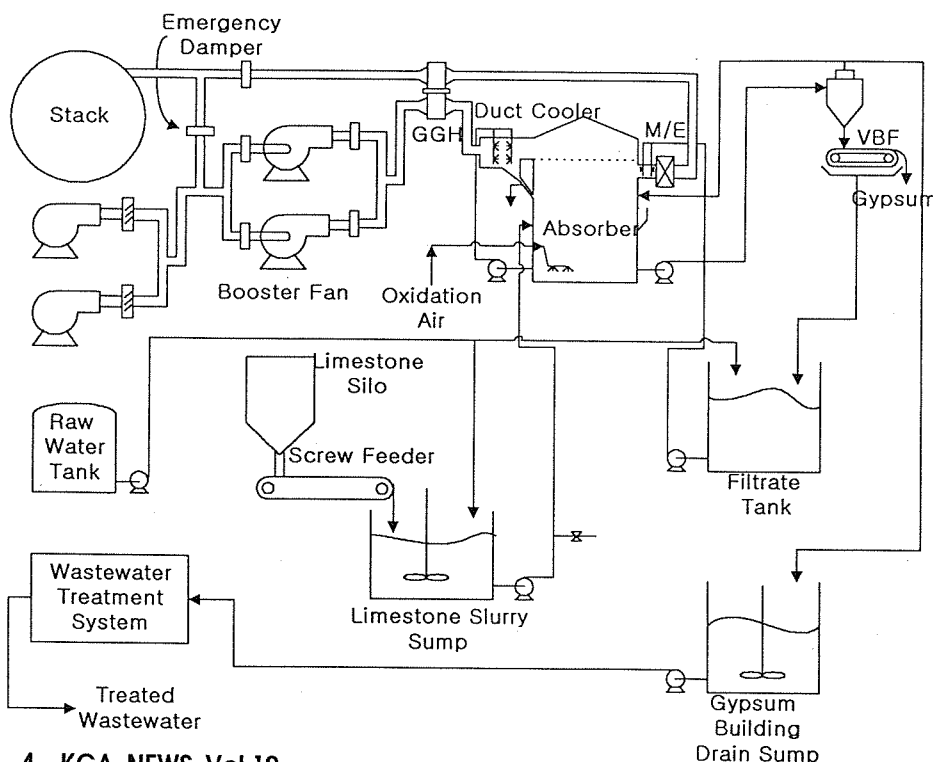
- 배기가스 계통 설비
- 흡수탑 계통 설비
- 석회석 취급 설비
- 석고 처리 설비
- 폐수 처리 설비
- 부대 설비

(1) 배기가스 계통설비

영동화력 2호기의 전기 집진기 후단에서 배출되는 배기가스의 온도는 다른 발전소의 경우보다 상당히 높은 약 170℃ 정도로서 이 배기가스는 50% 부하를 담당하는 두 대의 송압 송풍기에서 가압되어 단열 압축과정을 거치면서 약 180℃ 정도로 온도가 상승한다. 이후 Ljungstrom Type의 GGH를 거치면서 140℃ 정도로 냉각되어 흡수탑 계통으로 유입된다.

흡수탑에서 처리된 소량의 Mist를 포함하는 처리가스는 Misteliminator를 거쳐 단열 포화 온도인 약 52℃로 GGH로 유입되고 90℃ 정도로 가열되어 굴뚝을 통해 배출된다.

<그림 1> 한국형 배연탈황공정의 구성도



(2) 흡수탑 계통 설비

(가) Duct Cooler

GGH를 거치면서 약 140℃ 정도로 냉각된 배기가스는 Duct Cooler에서 흡수탑으로부터 순환되는 슬러리를 분사하여 단열포화온도인 약 52℃로 냉각된다. 슬러리 분사노즐의 단수는 2단으로 구성되어 있으며 1단은 Cocurrent, 2단은 Countercurrent 방향으로 분사되도록 하였다. 또한 노즐의 막힘현상등에 의한 배기가스의 온도상승에 대비하여 Raw Water를 이용한 비상용 냉각 노즐을 설치하였다. Duct Cooler에서 분사되는 슬러리의 양은 시간당 650m³으로 이론량의 약 15배 정도이며 이에 따라 배기가스 중에 포함된 황산화물의 일부가 Duct Cooler에서 제거될 것으로 판단된다.

(나) 흡수탑

Duct Cooler에서 단열 포화된 배기가스는 흡수탑 상부의 Inlet Plenum으로 유도된 후 308개의 가스덕트를 통과하여 분산판 하부에 가스층을 형성하고 분산판 상부에서는 기포층을 형성하여 배기가스중의 황산화물을 흡수한다. 이때 Inlet Plenum에서의 석고 Deposit 방지와 가스덕트 내부에 스케일 생성 방지를 목

적으로 Inlet Plenum에 400m³/hr의 유속으로 흡수탑 슬러리가 분사되도록 설계하였다.

흡수탑에서는 흡수, 산화, 중화, 결정화, 결정성장반응이 일어나고 산화용 공기는 이론량의 약 5배를 주입한다. 교반은 4개의 Side Entry Type의 Agitator에 의해 이루어지며 흡수탑에서의 석고슬러리 농도는 15 ~ 20 wt.%의 범위로 유지되도록 하였다.

한국형 흡수탑의 슬러리 보

유량은 650m³으로 설계되었다. 또한 흡수탑의 ΔP Control과 석고 농도 Control을 유연하게 하기 위하여 용량 100m³의 Overflow Slurry Sump를 흡수탑 주변에 설치하였다.

(다) Misteliminator

흡수탑에서 처리된 가스는 일부 Mist를 함유하고 있으며 Misteliminator는 이들을 제거하는 역할을 수행한다. 한국형 흡수탑에서는 Chevron Type의 2 Stage, 수평류식을 채택하였다. 또한 흡수탑 출구와 M/E 사이의 덕트 하부에 Deposit되는 석고를 세정하기 위하여 흡수탑과 연결된 Chute와 여러 단의 Spray Nozzle을 설치하였으며 Spray Water는 Filtrate를 사용한다.

(3) 석회석 취급 설비

영동화력 2호기 탈황설비는 석회석의 분쇄 시설이 포함되어 있지 않으며 -325mesh 90% 분말석회석을 슬러리화하여 사용한다. 석회석 저장사일로에 저장되어 있는 석회석은 Screw Feeder를 통해 석회석 슬러리 저장조로 공급되고 석회석 슬러리의 농도를 20wt.%로 일정하게 유지하기 위하여 원수(Raw Water)가 공급된다. 원수의 공급은 석회석 슬러리 공급 Line상에 설치되어 있는 Density Meter의 Feedback Signal을 받아 조절한다. 제조된 석회석 슬러리의 공급량은 흡수탑내의 슬러리 pH를 일정치로 유지하기 위해서 조절되는데 일반적으로 흡수탑의 pH Signal을 Feedback 받고 배기가스유량과 배기가스중 SO₂농도를 Feedforward 받아 Control Valve의 개도를 조절함으로써 이루어진다.

(4) 석고 처리 설비

석고탈수 설비는 크게 1차 탈수설비와 2차 탈수설비로 나눌 수 있는데 1차 탈수 설비는 Hydrocyclone을 설치하였으며 2차 탈수설비는 Vacuum Belt Filter를 설치하였다. 흡수탑에서 생성된 부산석고의 농도가 일정 농도에 도달

하면 Hydrocyclone에서의 석고 슬러리 압력을 일정하게 유지하면서 Hydrocyclone으로 석고 슬러리를 공급한다. 이때 Hydrocyclone Underflow 에서의 석고 농도는 약 45wt.%로 농축되어 VBF로 공급되며 Overflow는 흡수탑으로 Return된다. VBF에서 2차 탈수된 석고는 약 10wt.%의 함유율을 가지며 석고 저장동과 석고 사일로에 저장된다. 탈수여액(Filtrate)은 탈수여액 탱크로 보내져서 원수와 혼합되어 흡수탑의 보충수와 세정수로 사용된다.

(5) 폐수 처리 설비

배연탈황 공정에서 발생하는 폐수는 일상 폐수와 일시 폐수(GGH 세정수)로 나눌 수 있으며 흡수탑으로부터 폐수처리설비로 보내지는 기준은 슬러리중의 Chloride 농도 20,000 ppm을 기준으로 한다. 폐수처리 설비로 보내진 폐수는 SS(Suspended Solid)제거 공정, COD 제거 공정, 불소 제거 공정, 중금속 제거 공정, 연화 공정 등을 거친 후 System 밖으로 배출된다.

나. 운전 결과

(1) 운전변수별 시험

KEPAR형 흡수탑의 탈황율을 결정하는 운전변수는 여러 가지가 있으나 그 중에서도 탈황율에 직접 영향을 미치는 운전변수로는 흡입액의 pH, 흡수탑의 ΔP, 배기가스 유량, 산화용 공기량, 석회석의 입도, 고체상 체류시간 등이 있다. 이 중에서 고체상 체류시간(Solid phase residence time)은 탈황율과는 직접적인 관계가 없으나 배관 Sizing과 흡수탑 교반기 및 탈수설비의 용량을 결정하는데 매우 중요한 흡수탑 설계변수이다.

시운전 결과 흡수탑의 SO₂ 제거율에 가장 큰 영향을 미치는 운전변수는 흡수탑의 ΔP, 흡수탑내 슬러리의 pH, 보일러의 출력(배기가스 유량)등이었으며 산화용 공기량과 석회석

의 입도도 SO₂ 제거율에 영향을 미칠 수 있지만 시험 변수에서 제외하였다.

(가) 흡수탑의 ΔP

흡수탑의 가스측 압력강하(ΔP)는 흡수탑 입구에서의 압력과 흡수탑 출구에서의 압력차를 의미하며 가스분사방식의 탈황공정에서는 가장 중요한 운전변수이다. 한국형 흡수탑에서 흡수탑의 압력강하는 가스흐름 방향의 변화 때문에 발생하는 압력손실을 무시하면 가스가 분산판의 분사구멍을 통과할 때 발생하는 Dry plate pressure drop(h_D)과 분산판 상부 흡수액의 Hydraulic head에 의한 압력손실(h_H), 가스가 분사구멍으로 분출될 때 표면장력을 극복하기 위해 필요한 Residual pressure drop(h_R)의 합으로 나타낼 수 있다.

h_R은 상당히 적은 값이므로 무시할 수 있기 때문에 한국형 흡수탑에서의 압력강하는 h_H와 h_D의 합으로 나타낼 수 있다. h_D는 분산판의 가스분사구멍의 밀도와 배기가스의 유량에 따라 달라지게 되며 보통 40 ~ 60 mmAq 정도를 나타낸다. 따라서 h_D의 값을 일정하다고 가정하고 흡수탑의 ΔP를 증가시키면 이는 h_H의 증가를 의미하고 결과적으로 기포층에서의 기-액 접촉면적과 기-액 접촉시간이 증가하게 되기 때문에 SO₂ 제거율도 증가하게 된다. 그러나 지나치게 높은 ΔP로 흡수탑을 운전하는 것은 Booster fan의 소요동력을 증가시키기 때문에 경제성을 고려하여 적절한 ΔP로 운전하는 것이 바람직하다.

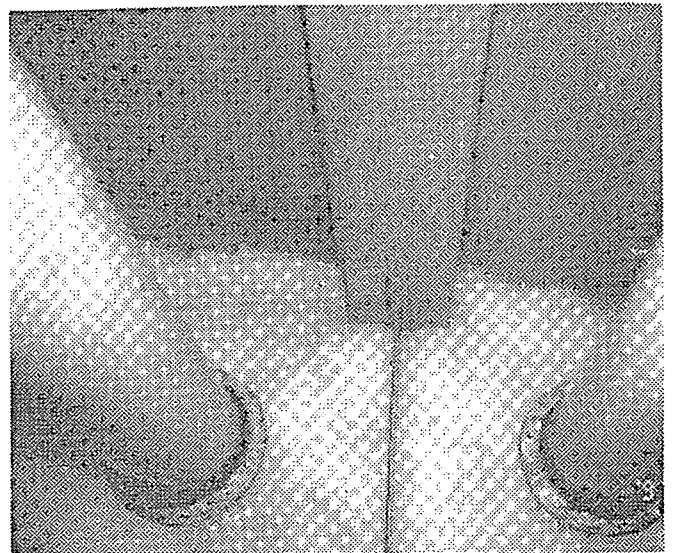
<그림 2>는 한국형 흡수탑의 분산판 상부에 형성된 기포층을 나타낸 것으로서 매우 양호한 기포층이 형성되었음을 볼 수 있다.

운전 ΔP는 250, 275, 300, 330mmAq로 변화시켰으며 시험결과 흡수탑의 ΔP 300mmAq 이상의 조건에서는 흡수탑 내부 슬러리의 pH에 관계없이 90% 이상의 SO₂ 제거율을 나타내었다. 또한 pH가 5.0인 경우에는 비교적 낮은 ΔP인 250mmAq하에서도 약 92%의 높은

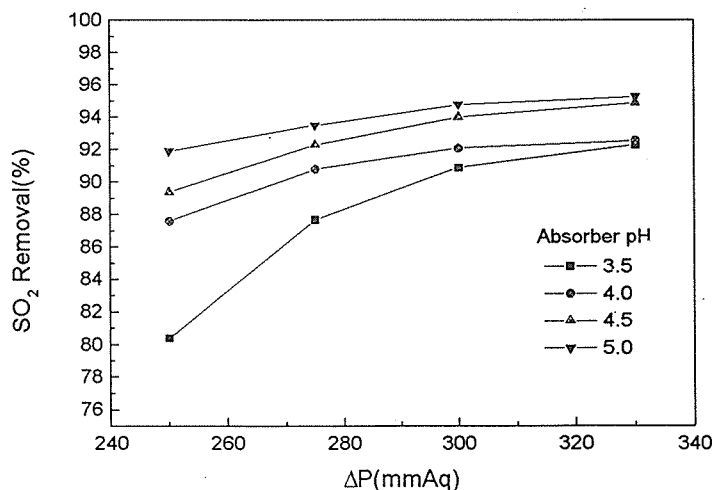
SO₂ 제거율이 얻어졌다. 그러나 ΔP가 증가할수록 SO₂ 제거율의 증가율은 급격하게 둔화되었다. 일례로 ΔP 300과 330mmAq하에서는 SO₂ 제거율은 불과 1%이하의 차이를 나타내었다. 따라서 유입되는 SO₂의 농도가 현재 상태인 380 ~ 500ppm 으로 유지될 경우 흡수탑의 최적 운전 ΔP는 300mmAq로 설정하였다.

ΔP와 SO₂ 제거율의 관계를 <그림 3>에 나타내었다.

<그림 2> 흡수탑 내부에 생성된 기포층 사진



<그림 3> ΔP 변화에 따른 SO₂ 제거율



(나) 흡수액 슬러리의 pH

pH는 흡수액중의 수소 이온농도 $[H^+]$ 를 나타내는 지표로서 pH의 차이가 1이면 용액중의 수소 이온농도는 10배, pH의 차이가 2인 경우에는 용액중의 수소 이온농도 차이가 100배라는 것을 의미한다. 이는 재질의 부식문제와 관련하여 대단히 중요한 의미를 가진다. 일반적으로 흡수액의 pH가 높아질수록 SO_2 제거율은 증가하지만 반대로 석회석의 용해속도는 감소하게 되므로 흡수제인 석회석의 이용율과 부산석고의 순도가 저하된다는 단점이 있다. 강제산화방식을 채택하고 있는 한국형 탈황공정에서는 흡수액중의 SO_2 평형분압이 낮게 유지되기 때문에 흡수액의 pH 변화가 SO_2 제거율에 미치는 영향이 크지 않다. 그러나 액분사방식인 일반적인 Spray type의 흡수탑에서는 SO_2 흡수가 pH 변화에 매우 의존적이기 때문에 비교적 높은 pH로 운전을 해야 하고 이로 인해 Ca/S의 비가 다소 높다는 단점이 있다. 이는 흡수탑에서의 화학반응 차이에 기인하는 것으로서 한국형 흡수탑의 운전 pH는 SO_2 가스가 흡수액에 직접 흡수되는 분산판 상부의 Froth layer에서는 약 4.0 ~ 4.5, 분산판 하부의 흡수액은 4.5 ~ 5.0을 유지하

도록 설계되어 있다. 그러나 Spray type의 흡수탑에서는 흡수액 슬러리의 pH를 5.5 ~ 6.0 정도로 유지하고 있는 것으로 알려져 있다.

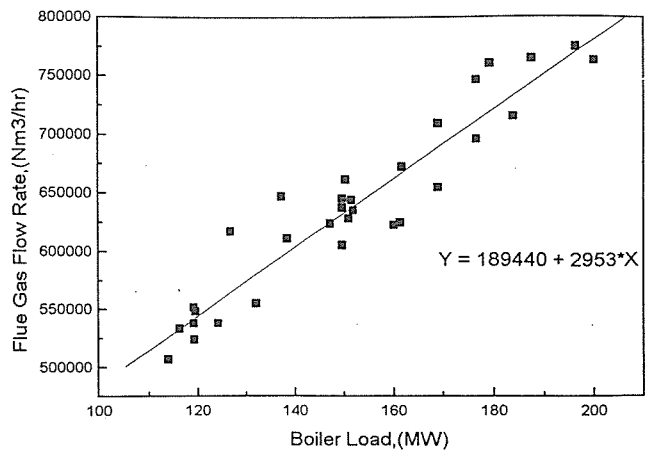
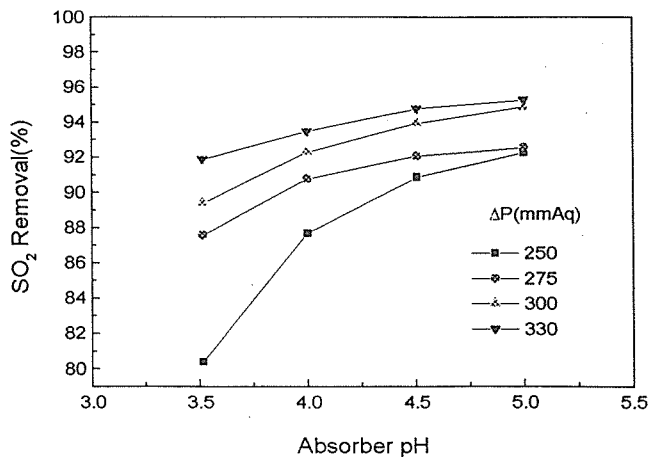
운전 결과 ΔP 가 낮을수록 pH 변화에 따른 SO_2 제거율의 변화 범위가 증가했으며 특히 흡수탑 ΔP 250mmAq인 경우에는 pH 3.5와 5.0에서의 SO_2 제거율은 약 12% 정도의 차이를 나타냈으나 ΔP 330mmAq의 경우에는 약 3% 정도의 적은 차이를 보였다. 실험 결과를 <그림 4>에 나타내었다.

(다) 보일러 부하

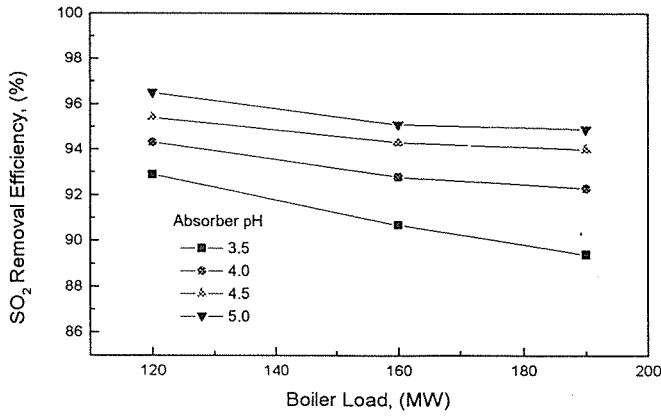
<그림 5>는 보일러 부하변화와 배기가스 유량과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보여지듯이 보일러 부하와 배기가스 유량은 선형적인 관계를 나타내었다.

보일러 부하의 감소는 배기가스유량의 감소를 의미하기 때문에 동일한 pH와 ΔP 조건하에서 보일러 부하가 낮아지면 SO_2 제거율은 증가하는 경향을 나타내게 된다. 이는 흡수탑 내부의 가스분산판을 통과하는 배기가스의 유속이 감소하여 기포층에서의 가스체류 시간이 증가하기 때문이다. 보일러 부하변화에 따른 SO_2 제거율의 변화를 <그림6>에 나타내었다.

<그림4> 흡수탑 pH변화에 따른 SO_2 제거율



<그림 5>보일러 부하에 따른 배기가스량 변화



<그림 6> 보일러 부하에 따른 SO₂ 제거율

(라) 산화용 공기

한국형 흡수탑과 Spray tower는 흡수탑 내에서의 기-액 접촉시간과 기-액 접촉면적이 서로 다르다. 기-액 접촉면적은 한국형 흡수탑이 훨씬 더 크지만 기-액 접촉시간은 한국형 흡수탑이 0.2 ~ 0.3초 정도로 매우 짧아 반해 Spray tower는 3 ~ 5초로 길기 때문에 자연 산화율이 높고 따라서 상대적으로 적은 양의 산화용공기를 사용해도 충분한 산화반응을 얻을 수 있는 장점이 있다.

서 SO₂ 제거율을 높게 유지하기 위해서는 기체상의 SO₂ 가스가 액체상으로 연속적인 물질 전달이 일어나야 하며 이를 위해서는 흡수액 중의 SO₂ 평형분압이 낮게 유지되어야만 한다.

따라서 산화용 공기를 주입하여 흡수액 중의 HSO₃⁻ 이온을 SO₄²⁻ 이온으로 강제 산화시킴으로써 이러한 목적을 달성할 수 있는데 이는 SO₄²⁻ 이온이 SO₂ back pressure를 가지지 않기 때문에 가능하다. 이러한 목적 이외에 배연 탈황 공정에서 강제산화방식을 채택하는 가장 큰 이유는 석고스케일 생성의 방지와 상품성 있는 고순도 부산석고를 생산하기 위함이다.

배연탈황공정의 개발초기에는 별도의 산화용 탱크를 두어 생성된 Sulfite 화합물을 Sulfate 화합물로 산화시키는 별도산화 방식(Ex-situ)을 많이 사용하였으나 근래에는 흡수탑 내부에 산화공기를 직접 주입하는 In-situ방식이

주류를 이루고 있다.

또한 산화용공기 분배장치는 교반장치와 연계해서 설계하는 것이 보편화 되어 있으며 공정마다 독특한 분배장치를 채택하고 있다. 예를 들면 교반장치가 Top entry 방식인 경우에는 Crossed pipe type과 ARS(Arm rotating sparger), Side entry 방식인 경우에는 Air lance pipe나 Propeller atomizer등이 사용되고 있다.

KEPAR는 In-situ, side entry agitator와 Air lance pipe를 채택하였으며 당량의 5배인 9,000Nm³/hr의 공기를 주입할 수 있도록 Oxidation air blower를 설계하였다. 설계 당시 배기가스 중의 황산화물의 기준농도는 895ppm이었으나 현재 운전되고 있는 배기가스 중의 황산화물 농도는 380 ~ 500ppm 정도로 설계 기준 농도의 약 1/2정도에 불과하다. 따라서 Oxidation air blower의 운전조건을 조정하여 이론당량의 약 5배인 4,500Nm³/hr로 운전하고 있다. 산화용 공기의 주입량은 흡수탑의 특성과 산화용공기 분배기 및 흡수탑 Agitator의 성능에 따라 다르지만 보통 이론 산화공기량의 2.5~5배정도를 주입하는 것이 일반적이다.

(마) 석고의 체류시간

석고의 체류시간은 하나의 석고 입자가 흡수탑에 머무르다 배출되는 시간을 의미하고 다음과 같이 정의한다.

석고 체류시간(hr)

$$= \frac{\text{흡수탑내의 석고량(Kg)}}{\text{흡수탑으로부터 시간당 배출되는 석고의 양(Kg/hr)}}$$

정상상태에서 흡수탑으로부터 시간당 배출되는 석고의 양은 흡수탑에서 시간당 생성되는 석고의 양과 동일하다.

배연탈황 설비가 운전되는 동안에는 흡수탑 내에서 충분한 석고 체류시간과 일정농도 이상의 석고 농도를 유지해야 하는데 이는 기존에 생성된 석고 표면에서 결정성장 반응만이 일어나도록 함으로서 2차핵 발생에 따른 석고

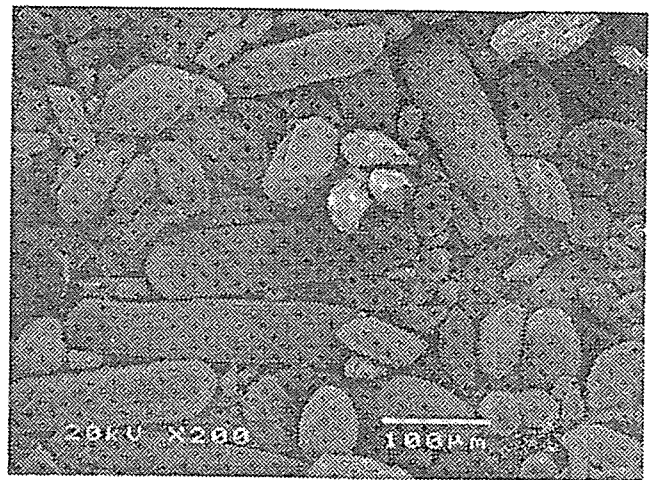
스케일 생성을 억제하기 위한 것이다. 이러한 석고 결정은 보통 “Seed” 또는 “Mother Gypsum”이라고 표현하는데 최소 1~2 wt.% 정도면 충분하지만 일반적인 석회석-석고 공정에서는 10 ~ 20 wt.%를 유지하는 것이 보통이다. 또한 충분한 반응시간을 확보하기 위해서는 일정시간 이상의 석고 체류시간이 필요한데 일반적인 설계치는 12 ~ 24시간 범위 내에서 결정하는 것으로 알려져 있다. 석고 체류시간은 흡수탑의 크기, 즉 흡수액 보유량을 결정하는 인자로서 배기가스중의 SO₂ 농도와 배기가스 유량, 흡수탑내의 석고 슬러리 농도 등을 고려하여 결정하게 되는데 최종적으로 생성되는 석고의 결정크기와 직접적인 관계가 있기 때문에 1, 2차 탈수설비의 용량, 흡수탑 교반기의 용량, 배관 Size를 결정하는데 매우 중요한 변수이다. KEPAR의 석고 체류시간은 배기가스중의 황산화물 농도 895ppm, 흡수탑내 슬러리의 밀도 20wt.%를 기준으로 25시간으로 설계하였으나 배기가스중 황산화물 농도의 감소로 약 두배 정도인 50시간으로 증가하였다.

한국형 흡수탑에서 생산된 석고의 순도는 96.2%를 나타내었고 크기는 약 51 μ m 정도를 나타내었다. 이 결과를 각각 <표 2>와 <그림 7>에 나타내었다.

<표 2> 부산석고 분석 결과

Analysis Item	Results	Guarantee
CaSO ₄ · 2H ₂ O(%)	96.10	≥ 93.0
CaCO ₃ (%)	1.06	≤ 1.5
CaSO ₃ · ½H ₂ O(%)	0.20	≤ 0.25
SiO ₂ (%)	1.22	≤ 3.0
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	1.28	≤ 1.5
Total Souble Salt(%)	0.12	≤ 0.2
Cl(ppm)	30	≤ 100
pH	6.8	5 ~ 9
Moisture(%)	9.41	≤ 10
Particle Size(μ m)	51	≥ 40

<그림 7> 부산 석고의 전자현미경 사진



4. 결 론

개발된 배연탈황 공정은 이미 125MW급 영동화력 1호기와 200MW급 서천화력 1, 2호기 배연탈황설비에 적용되어 상용화 운전중에 있으며 연구기간 중에 확보한 배연탈황설비의 설계, 제작기술과 1년여간의 시운전과정에서 확보한 운전조건 최적화기술등을 통하여 국내 화력발전소에 설치된 모든 배연탈황공정에서 발생할 수 있는 장애를 최소화할 수 있을 것으로 기대되며 그 결과로서 배연탈황설비의 운전 비용과 유지보수 비용의 절감은 물론 배연탈황설비의 신뢰성 제고에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

또한 개발된 공정의 경제성평가 결과 초기 투자비용중 흡수탑 및 주변기기 제작에 사용된 SR-50A, C-276 등 고가의 금속재료를 FRP, Flake Lining 등 저가의 비금속 재료로 대체하고 기타 자재의 국산화율을 65%이상 유지하면서 연구수행 과정에서 발생한 설계변경 시행착오 과정을 최소화하면 연구개발 공정은 외국의 상용공정과 비교하여 충분히 경쟁력이 있는 것으로 판단되어, 향후 건설예정으로 되어 있는 대용량 발전용 탈황설비 및 중소형의 산업용 배연탈황설비의 설치 및 제작에 활용이 가능할 것으로 기대된다.