

화력발전소 배연탈황설비기술

정일철 *, 김인선

대기사업부 사원 *, 과장

1. 서론
2. 기술동향
 - 2-1. 국내시장현황
 - 2-2. 배연탈황기술
 - 2-3. 국내기업 기술현황
3. 습식 석회석-석고기술
 - 3-1. 기술개요
 - 3-2. 흡수탑내 반응메카니즘
4. 설계기술
 - 4-1. 흡수탑 설계인자
 - 4-2. 구성설비 및 설계고려사항
 - 4-3. 재질선정
5. 결론

1. 서론

국내 대기오염의 주 원인물질로는, 화석연료를 사용하는 산업용 보일러 및 화력발전소와 각종 소각로 등에서 발생하는 분진, 탄화수소, 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx) 등 다양하지만, 그 중 SOx 와 NOx 가 환경규제의 집중대상이 되고 있다.



정일철
공학석사

우리나라는 정부주도 하에 2001 년부터 국내 화력발전소에 NOx 를 저감하기 위한 탈질설비가 시공되고 있고, SOx 를 저감하는 탈황설비는 1995 년 이후 2002 년 6 월 현재 총 31 기가 시공, 완료되어 운영 중에 있다.

이처럼 탈황설비를 포함한 기타 대기오염방지설비의 괄목할만한 설비투자에도 불구하고 2002 년 한일월드컵을 맞이하여 여전히 대기질의 개선이 대두되고 있는 이 즈음에 전 세계 탈황기술 중 가장 널리 사용되는

2. 기술동향

습식 석회석-석고 배연탈황법을 중심으로 탈황기술의 동향 및 관련 설계기술을 살펴보고자 한다.

석탄이나 석유와 같은 화석연료의 연소시에 발생하는 황산화물(SO_x)은 기타 대기오염물질과 달리 연료에 포함되어있는 황(S) 함유량에 따라 그 배출량이 결정되는 것이 특징이며, SO₂ 및 미량의 SO₃ 로 구성되어 있고 배출시 산성비, 스모그 등의 대기오염을 유발한다.

배출저감방법 중 가장 범용적으로 사용되는 것은 배연탈황설비(FGD System : Flue Gas Desulfurization System)이며, 선진국과 국내 대형 화력발전소에 주로 적용된 기술은 석회석-석고 습식배연탈황법으로 상업적으로도 가장 완성단계에 있는 기술로 평가되고 있다.

2-1. 국내시장현황

국내에서의 배연탈황설비 설치사업은 한국전력 주도형 발주사업으로, 단기적으로 대형 화력발전소에 설치된 후, 장기적으로 민간 중소형 산업용설비로 확대되고 있다.

배연탈황설비는 1995 년부터 1999 년까지 기존 발전설비 총 29 기에 대해 1 조 2 천억원이 집중적으로 투자되었고, 평균적으로 연간 3,000 ~ 4,000 억원 규모의 시장이 형성되어 있다. 앞으로 2010 년까지 한국전력의 장기전원계획상으로는 약 1 조원 규모가 추가 투자될 것으로 보이나, 발전소 민영화의 추진여부에 따라 변동이 예상된다. 표 1 은 한국전력 화력발전소 탈황설비 건설현황 및 실적보유기업을 나타낸 것이다.

2002 년 6 월 현재, 제작중에 있는 탈황설비는 영흥화력 1, 2 호기, 삼천포화력 1 ~ 4 호기이다.

2.기술동향

표 1. 화력발전소 탈황설비 건설현황 및 실적보유기업

발전소	호기	용량(MW)	착 공	준 공	계약자	한전 사업소
영동	#1	125	'96. 10	'98. 12	한국전력기술 동아건설	한국남동발전(주)
	#2	200	'95. 09	'98. 03		
서천	#1	200×2	'97. 02	'98. 10	한국전력기술 동아건설	한국중부발전(주)
	#2			'98. 12		
울산	#4	400×3	'97. 04	'99. 05	대우중공업 (주)대우	한국동서발전(주)
	#5			'99. 06		
	#6			'99. 08		
영남	#1	200×2	'97. 04	'99. 08	한라산업개발	한국남부발전(주)
	#2			'99. 07		
여수	#1	200	'97. 04	'99. 07	두산중공업 대림산업	한국남동발전(주)
	#2	300		'99. 05		
보령	#3	500×4	'96. 02	'98. 09	STX 쌍용건설	한국중부발전(주)
	#4			'98. 10		
	#5			'99. 04		
	#6			'99. 02		
태안	#1	500×6	'96. 02	'98. 10	현대중공업	한국서부발전(주)
	#2			'98. 12		
	#3			'99. 02		
	#4			'99. 04		
	#5		-	'01. 10	두산중공업	
	#6			'02. 05		
하동	#1	500×6	'96. 02	'98. 12	현대중공업 현대산업개발	한국남부발전(주)
	#2			'99. 05		
	#3			'99. 02		
	#4			'99. 03		
	#5			'00. 09		
	#6			'01. 09		
당진	#1	500×4	'96. 05	'99. 06	한국코트렐 삼환기업	한국동서발전(주)
	#2			'99. 12		
	#3			'00. 09		
	#4			'01. 03		
영흥	#1	800×2	-	'04. 07	두산중공업	한국남동발전(주)
	#2			'04. 12		
삼천포	#1	560×4	-	'04. 08	한국코트렐 삼환기업	한국남동발전(주)
	#2			'04. 09		
	#3			'04. 11		
	#4			'04. 12		
합계	37 기	16,665	-	-		

주) 출처 : 한국전력 홈페이지(www.kepco.co.kr)

2-2. 배연탈황기술

배연탈황(FGD)이란 흡수(Absorption), 흡착(Adsorption), 산화(Oxidation), 환원(Reduction) 등의 원리를 이용해 연소 후 배기가스 중 포함되어있는 SOx 를 제거하는 기술을 말한다.

배연탈황기술은 흡수제의 수분량에 따라 크게 건식법, 습식법으로 나누며,

흡수제의 재생여부에 따라 다시 재생법과 비재생법으로 분류할 수 있다(표 2).

습식법은 물 또는 알칼리성용액의 흡수제를 이용해 기상의 SO_2 를 흡수하여 알칼리성분과 반응, 생성된 Sludge 를 탈수처리 및 폐기하거나 석고(Gypsum)와 같이 시장성 있는 부산물을 생산하는 방법으로, 90%이상의 높은 제거효율을 가진다. 이 중 석회석세정법은 독일, 일본, 미국 3 국이 주도하고 있는 가장 보편화된 상용화 기술이라 할 수 있다.

건식법은 아직 시장도입 또는 연구개발단계이지만 황산화물(SO_x)과 질소산화물(NO_x)을 동시에 제거할 수 있는 기술은 앞으로 탈황□탈질기술을 대체할 차세대기술로 주목받으며 연구개발 및 시장도입을 활발히 진행하고 있다.

표 2. 배연탈황기술 분류

분 류		기 술	비 고
습식법	비재생법	석회석세정	가장 많이 사용
		석회세정	
		이중염기(Dual Alkali)	
		DOWA Aluminum Sulfate	
		해수세정	매우 낮은 제거효율
	재생법	Wellman-Lord(W-L)	
		산화마그네슘(MgO)	
		구연산(Citrate)	
건식법	비재생법	흡착제 직접주입	Furnace, duct
		Spray Drying	반건식법
	재생법	활성탄흡착	
		Aqueous Carbonate	
		Shell Flue Gas Treatment	NO_x , SO_x 동시제거
		NOXSO	NO_x , SO_x 동시제거

습식탈황법은 건식법에 비해 아래와 같은 장□단점을 가지고 있다.

(1) 장점

- 90%이상의 높은 제거효율
- 보일러 부하변동에 의한 영향이 적음
- 상대적으로 낮은 운영비(높은 경제성)
- 대용량 보일러에 적합
- 높은 기술신뢰도

(2) 단점

- 배기가스의 처리온도를 위한 냉각 및 재가열
- 높은 용수소모량 및 동력소비
- 일부 공정에서 다량의 폐수발생
- 높은 초기투자비용

2-3. 국내기업 기술현황

탈황설비 설치사업은 기타 환경설비사업 분야에 비해 일반 건설회사의 참여가 저조하고, 실적을 보유한 제조업위주의 시장이 형성된 사업분야로 분류할 수 있다.

국내 배연탈황기술을 보유하고 있는 기업은 (주)대우, 한국전력기술, 한라산업개발, 한국코트렐, STX, 두산중공업, 현대중공업 등이다. 이들은 대부분 제조업체들로 최근 한국전력의 화력발전소 사업실적을 토대로 건설회사와 공동 혹은 단독입찰참여의 형태로 사업을 추진하고 있다. 국내의 배연탈황기술은 과거 독일, 일본, 미국 등 선진국 기술 의존도가 높고, 부품 국산화율이 낮아 해외시장에서의 경쟁력 약화 등 중□하위권의 기술수준에 머물렀으나, 그간의 실적을 바탕으로 자체 설계기술을 점차적으로 확보해가고 있는 상황이며, 부품 국산화율 또한 1997 년 43%이던 것이 현재는 약 60%에 이르고, 2005 년에는 약 80%에 이를 것으로 예상되고 있다.

또한, G-7 Project 로 1992 년부터 추진된 200MW 급 한국형 탈황설비기술이 실증설비에 적용되어 성공적으로 상업운전 중이며, 기타 기술실적보유업체들도 지속적인 외국기술의 도입을 통해 자체기술을 확립해 나가고 있어, 우리 기업들이 동남아시아 시장의 수요팽창에 편승해 곧 해외진출을 이끌어 낼 수 있을 것으로 보인다.

3. 습식

석회석

-석고기술

3-1. 기술개요

습식 석회석-석고법(Wet type Limestone-Gypsum Process)에서는 SO₂를 포함한 배기가스가 전기집진기(E.P : Electrostatic Precipitator)에서 분진이 제거된 후 120 ~ 160℃의 온도로 흡수탑(Absorber)내로 유입된 후, 흡수제인 액상의 알칼리슬러리와 기-액 접촉하고, 배기가스 중 SO₂ 성분은 반응을 일으켜 흡수탑 하부에 CaSO₃ 또는 CaSO₄ 와 같은 고형침전물(석고, Gypsum)이 형성되고, 약 50℃로 냉각 처리된 가스는 열교환기(GGH : Gas Gas Heater)를 거쳐 100℃이상으로 승온되어 굴뚝(Stack)을 통해 배출되는 일련의 공정을 가진다.

그림 1 은 당사에서 시공한 영남화력발전소 습식 석회석-석고 탈황설비의 Flow Diagram 이다. 국내 화력발전소에 적용된 탈황설비는 흡수탑 구조만 기술사마다 조금씩 차이가 있을 뿐 나머지 부분은 유사한 공정을 가지고 있다.

이 기술은 흡수제(Absorbent)인 석회석(Limestone)이 풍부하며 비용이 싸다는 점과 부산물인 석고를 생산할 수 있다는 장점이 있지만, 흡수탑 내와 폐수처리설비에 스케일(Scale)이 생기고 장치에 막힘현상 및 장치의 부식 가능성이 높다는 것이 단점이다.

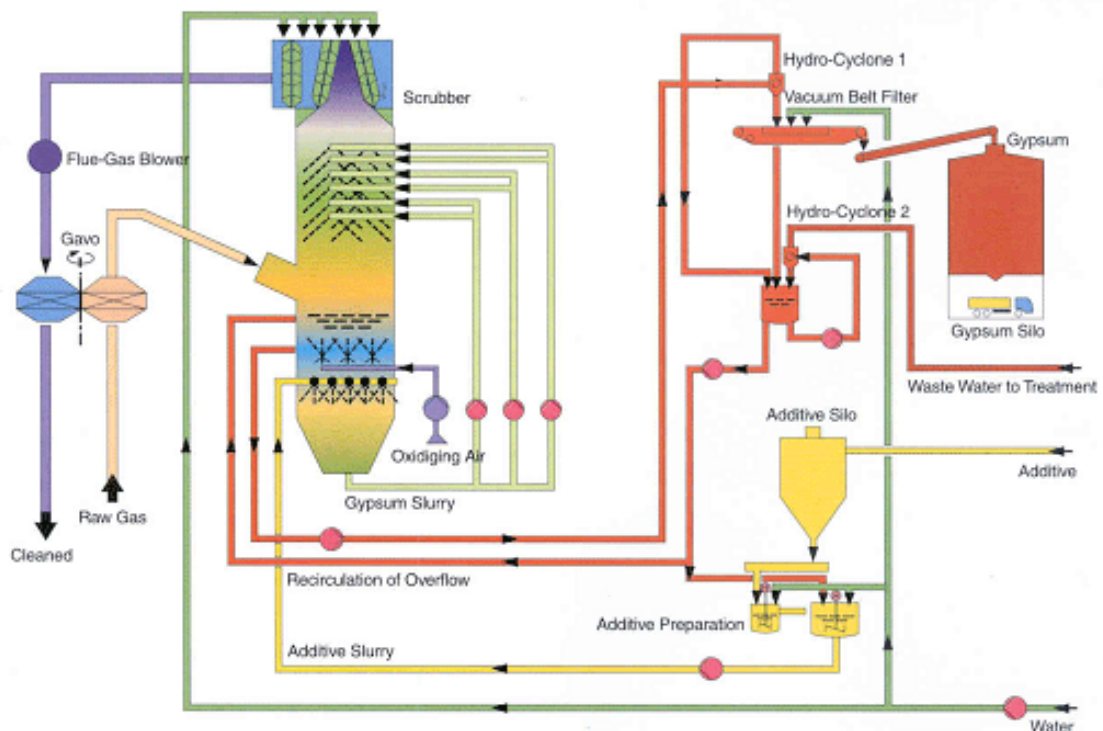


그림 1. 습식 석회석-석고법 Flow Diagram

3-2. 흡수탑내 반응메카니즘

Absorber 내에서 기체-액체-고체 3 상의 화학반응은 매우 복잡한 반응메카니즘을 형성하는데, SO_2 흡수반응은 기상과 액상의 경계면에서 발생하는 가역적 물질전달현상 즉, 이중경막이론(Two Film Theory)으로 설명할 수 있다. 액상의 이온 또는 이온쌍들의 상호작용에 의한 액-액 반응, 석회석의 용해와 석고의 결정성장 반응과 같은 액-고 반응으로 크게 구분할 수 있다.

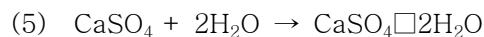
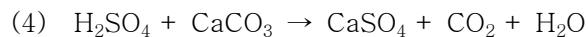
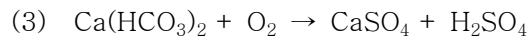
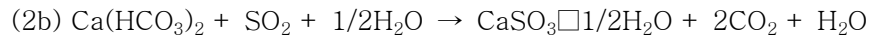
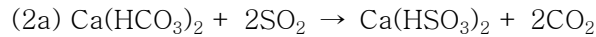
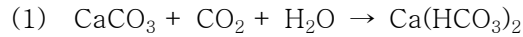
요약하자면,

(1) 기체-액체 반응 : SO_2 흡수반응

(2) 액체-액체 반응 : 이온반응

(3) 액체-고체 반응 : 석회석 용해, 석고 결정화

아래의 식은 주요 화학반응 메커니즘을 나타낸 것이다.



주요과정은 배기가스 유입과정, 산화공기(Oxidation Air)의 주입, 흡수제 슬러리 주입, 그리고 처리가스의 배출 및 부산물인 석고의 처리과정 등으로 이루어진다. 식 (1)은 석회석의 분해과정을, 식 (2a)와 식 (2b)는 각각 pH 5 이하, pH 5 이상에서의 SO₂ 가스와의 반응을 나타내고 있다. 식 (2a)와 같이 pH 5 이하로 저하시키는 것이 석고생산성을 향상시키는 중요한 인자로 작용함을 알 수 있다.

식 (1), (2)에서 과잉의 CaCO₃ 가 주입되면 HSO₃⁻이온은 불안정해지고, CaSO₃ 는 Absorber 내부에 Scale 을 형성할 것이다. 높은 pH(6.0 ~ 6.5)는 CaCO₃ 침전의 지표라 할 수 있다. 반면, pH 가 너무 낮으면 (pH 4.5 이하) SO₂ 흡수가 방해받게 된다. 그러므로 운전 pH 는 4.5 ~ 5.5 로 유지하는 것이 중요하다 하겠다.

식 (3)의 산화과정을 높이기 위해 강제산화방식(Forced Oxidation)을 채택함으로써 Absorber 하부에 Oxidation Air Blower 를 이용하여 산화반응을 유도한다. 마지막으로 식 (5)는 Gypsum 의 결정화를 보여주고 있다.

4. 설계기술

4-1. 흡수탑 설계인자

흡수탑 설계는 SO_x 제거효율 달성과 함께 성능보증기간 동안의 상업운전 신뢰도 확보, 경제적인 시공비를 결정하는 가장 중요한 요소이다. 이 중 특히 배기가스와 석회석슬러리와와의 접촉시간을 고려한 경제적인 체류시간 확보, 흡수탑 내의 충분한 고형물 체류시간, 산화공기 주입설비의 성능이 고려되어야 한다.

흡수탑은 보통 원통형태와 사각형태로 구분되는데 그 기능은 유사하다. 성능보증조건을 충족할 수 있는 체류시간을 만족시키기 위해 흡수탑의 직경과 높이를 결정하는데, 경쟁력을 갖추기 위해서는 가장 Compact 한

설계가 요구된다.

흡수탑의 직경은 배기가스의 적정유속 유지, 효과적인 기-액 접촉면적에 의해 결정되고, 또한 최소한의 압력손실을 고려해야 하며, 높이는 석회석슬러리 재순환펌프(Recirculation Pump)의 동력비에 영향을 미친다. 이와 같이 Compact화된 흡수탑은 제작에 필요한 소요물량을 줄일 수 있고 동력소비량 감소를 이끌어 낼 수 있다.

4-1-1. L/G 비

흡수탑 내의 반응을 위한 석회석 슬러리량은 충분한 가용접촉면적 즉, 물질전달면적을 가지도록 설계하며 배기가스와 석회석 슬러리의 균일한 분배가 이루어지도록 한다. 이러한 설계를 위하여 유입 배기가스에 대한 석회석 슬러리량의 비를 말하는 L/G(Liquid to Gas)비를 검토하여 최적의 석회석슬러리 재순환량을 결정하여야 한다.

유입 SOx 농도에 비해 L/G 비가 상대적으로 커지면 SOx 흡수반응은 기체막 지배가 주가 되며 많은 석회석 슬러리량으로 인해 Recirculation Pump 용량증대, 동력소비량 증대, 압력손실 증가로 이어지고, 상대적으로 낮은 L/G 비는 제거효율이 감소하여 액체막 지배가 주가되는 현상이 발생한다.

4-1-2. 액체상 체류시간

흡수탑의 크기 결정인자중 하나인 액체상 체류시간은 흡수탑내 총 슬러리량을 슬러리 순환량(Recirculation Pump 용량)으로 나누어 계산한 값으로, 일반적으로 5~6 분 이하로 설계한다.

4-1-3. 고체상 체류시간

흡수탑 내 총 슬러리양을 석고 취출량(Gypsum Bleed Pump 용량)으로 나눈 값을 고체상 체류시간이라고 하는데, 일반적으로 10~20 시간으로 보고있다.

또한 흡수탑에서 석회석이 완전 용해되는데 걸리는 시간은 일반적으로 10~16 시간 정도로 알려져 있다. 체류시간이 너무 작으면 미반응 석회석이 증가되므로 흡수탑 Size 결정시 고려해야 한다. 석회석 이용율은 여러 조건에 의해 영향을 받지만 낮은 pH 조건에서 운전, 석회석의 반응성, 흡수탑의 반응영역 증대로 향상시킬 수 있다.

4-1-4. 흡수제 양론비(S/R 비)

S/R 비(Stoichiometric(Ca/S) Ratio)란 실제 석회석 소모량을 이론적

석회석 소모량으로 나누어 백분율로 나타낸 것이다. 반응식을 이용해 이론적 석회석 소모량을 계산한 후 실제 석회석 소모량은 이론적 석회석 소모량의 일정비율을 투입한다.

4-1-5. pH

SOx 제거효율을 증가시키기 위해서는 흡수탑내 pH 를 높이는 것이 필요하지만, 석회석 이용율이 감소되고 흡수탑 내 Scale 과 Plugging 을 생성하게 된다. 그러므로 3-2 절에서 언급한 바와 같이 pH 4.5 ~ 6.0 에서 운전하는 것이 보통이다.

4-1-6. 석고생산

최종부산물인 석고는 표 3 과 같이 재활용이 가능한 품질기준을 적용하여 95wt%이상의 순도를 가진 석고를 생산하는 것이 한전의 성능보증조건이다. 석고의 적용용도는 국내의 경우 대부분 시멘트용이고 최근에는 석고보드용 수요가 증가하고 있는 추세이며, 석고소비량이 석고생산량을 초과하고 있다.

표 3. Gypsum Quality

Component	Unit	Dry Gypsum
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	wt%	≥ 95.0
CaCO_3	wt%	≤ 1.5
$\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	wt%	≤ 0.25
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	wt%	≤ 1.5
Chloride	ppm	≤ 100
pH	-	5 ~ 9
Free Moisture	%	≤ 10.0
Mean Particle Size	micron	≥ 40

4-2. 구성설비 및 설계고려사항

습식 석회석-석고법은 그림 1 의 Flow diagram 에서와 같이 대기오염방지설비 중 가장 많은 설비로 구성되어 있다. 크게 Flue Gas System, Absorber, Oxidation Air System, Limestone Storage & Handling System, Gypsum Dewatering System, Waste Water Treatment System 으로 나눌 수 있는데, 본 절에서는 당사에서 시공한 영남화력발전 탈황설비를 근간으로 주요 Equipment 에 대해 간단히 기술하겠다.

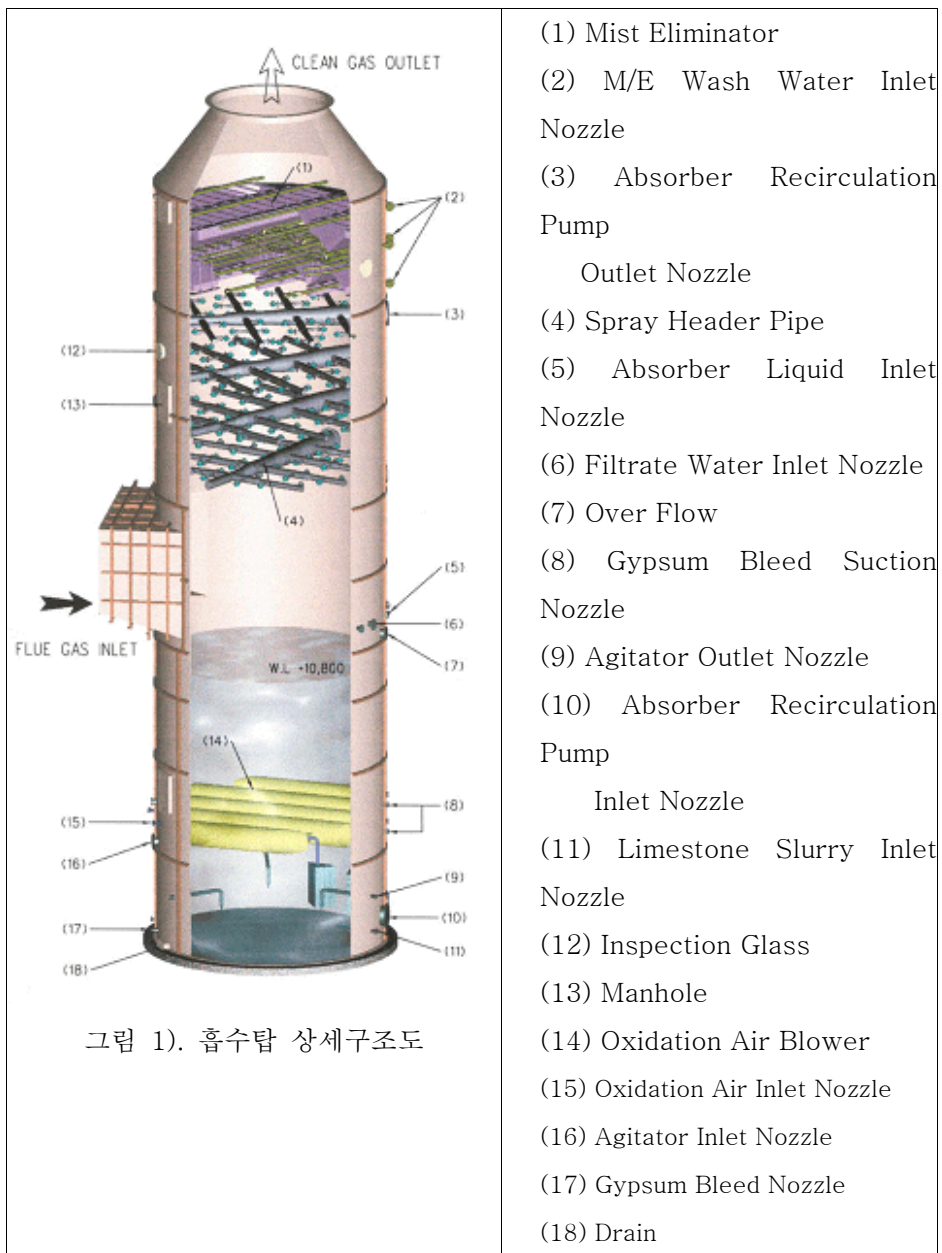
4-2-1. Flue Gas System

E.P 를 거친 배기가스는 Booster Fan 에 의해 덕트(Duct)를 거쳐 Absorber 전단의 GGH 에 의해 120 ~ 160℃의 온도로 인입된다. 이 때 유의할 점은 덕트 내부에 배기가스가 노점(이슬점, Dew point) 아래로 떨어지지 않도록 하는 것이 중요한데 그 이유로는 노점 아래에서 배기가스에 포함된 SO₂ 가 산소와 촉매의 존재 하에 SO₃ 로 산화되며 수분(H₂O)과 반응, 황산(H₂SO₄)를 생성해 덕트 뿐 아니라 GGH 등의 기타 설비에 부식을 야기하기 때문이다.

GGH 는 크게 Leakage Type 과 Non-leakage Type 으로 나눌 수 있으며 Leakage Type 의 경우 Leakage 를 2%이하로 한전은 제한하고 있는데 영남탈황에는 Non-leakage Type 을 채택, 설치하였다. 이 Type 은 구성상 가스의 Leakage 가 없는 것이 장점이나, 비용이 고가이고 지속적인 유지관리가 요구되는 것이 단점으로 지적되고 있다.

4-2-2. Absorber

흡수탑은 Open Spray Type 으로 Booster Fan 을 거친 배기가스는 그림 2 의 상세구조도에서와 같이 측구로 유입되고 Slurry Spray 구간과 Mist Eliminator 를 거쳐 처리된 가스가 상부로 배출되는 구조로 되어있다.



흡수탑 재순환 펌프(Recirculation Pump)는 흡수제 석회석 Slurry 를 Spray Header Pipe 로 이동, 순환하는 설비이다. 이 설비는 설계시 설치대수, 용량, 동력소모량을 고려해 가장 경제적으로 설계되어야 하는 중요한 인자중 하나이다. 또한 Absorber 는 발주처의 성능보증조건을 만족할 수 있는 가장 Compact 한 크기로 직경과 높이를 설계하여야 한다.

흡수탑을 통과한 처리가스는 액적을 함유하고 있고, 이는 흡수탑 후단설비의 부식과 Scale 형성의 원인이 되며 Stack 에서의 백연현상의 원인이 된다. 습분분리기(Mist Eliminator)는 이러한 액적을 제거하는 기능을 한다.

습분분리기는 여러 형태가 있으나 Chevron (Euroform) Type, 2 Stage, 수평류식 등이 주로 이용되며, 흡수탑 후단의 가스 중 액적농도가 100 mg/Nm³ 이하가 되도록 한다. 또한 습분분리기 내에 액적이 축적되어 Scale 이 형성되는 것을 방지하기 위하여 주기적으로 습분분리기를 세척할 필요성이 있다.

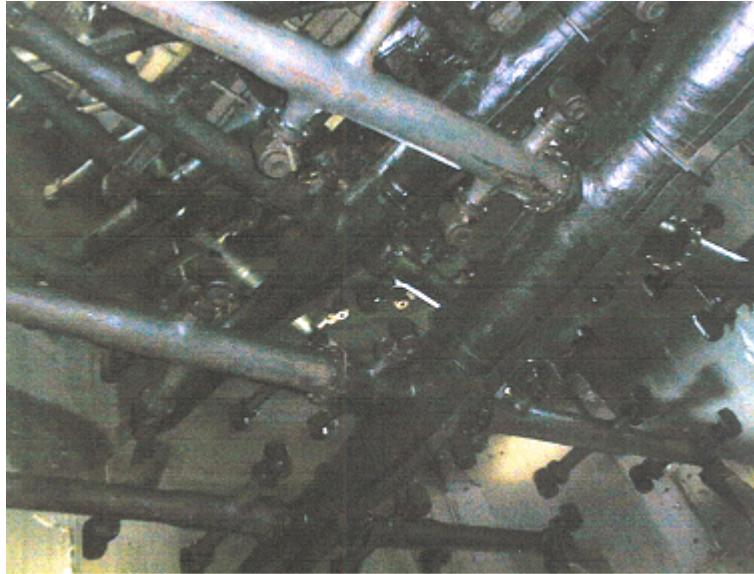


그림 3. Spray Header Pipe

4-2-3. Oxidation Air System

산화공기분배기(Oxidation Air Blower)는 흡수탑 내에 공기를 지속적으로 주입하여 반응효율을 높이는 강제산화방식이 주로 채택된다.

4-2-4. Limestone Storage & Handling System

석회석의 수송방식에는 차량, 선박 운송방식이 있으며, 선박운송의 경우 하역기(Ship Unloader)에 의해 하역된 후, 각종 Conveyor 에 의해 석회석 저장탱크로 이송된다. 석회석 저장설비는 국내의 경우 Silo 방식과 Shed 방식이 적용되나 대부분 Silo 저장방식을 채택하고 있다.

석회석 취급설비는 석회석 저장탱크(Limestone Storage Silo), Day Silo, Wet Ball Mill 및 석회석슬러리 취급설비인 탱크 및 이송펌프로 구성되어 있다. 그림 4 의 Wet Ball Mill 은 석회석을 일정한 크기의 입자로 분쇄하는 기능을 하며, 분쇄된 석회석은 물과 혼합하여 Slurry 상태가 되며 이는 다시 흡수탑으로 공급된다.

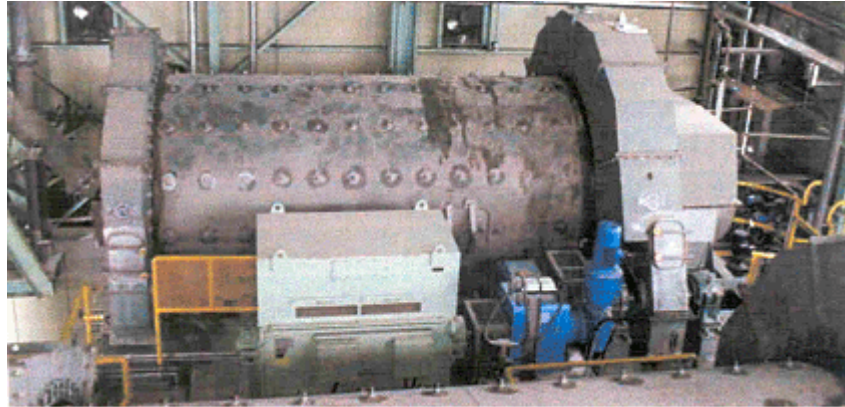


그림 4. Wet Ball Mill

4-2-5. Gypsum Dewatering & Storage System

흡수탑에서 생성된 Gypsum은 석고취출펌프(Gypsum Bleed Pump)에 의해 제 1 차 탈수장치인 Hydrocyclone 으로 이송되며, Hydrocyclone 에서 약 40~50%의 Solid 농도를 가진 Gypsum Slurry 상태로 되고, 제 2 차 탈수장치인 Vacuum Belt Filter(VBF)로 이송되어, 함수율 10% 이하로 탈수된 Cake 상태로 석고저장설비에 이송된다. 그림 6 은 VBF 사진인데, Hydrocyclone 에서 배출된 Gypsum 은 Belt Filter 로 이동되고 아래에서 진공으로 탈수시킨다.

Hydrocyclone 에서 분리된 탈수여액은 탈수여액탱크(Filtrate Tank)로 유입, 저장되어 흡수탑 및 석회석슬러리 제조계통으로 재순환 된다.



그림 5. Hydrocyclone



그림 6. Vacuum Belt Conveyor

95%이상의 순도를 가진 Gypsum 은 저장설비로 이송이 되는데, 석고저장설비는 Silo 방식과 Shed 방식이 있다. Gypsum 은 석회석과는 달리 Silo 방식으로 저장할 경우 운영상 문제점이 발생되므로 Shed Type 이 보편적으로 적용되고 있다. 국내 발전소용 탈황설비의 경우, 대부분 석고저장설비로 Gypsum Shed 방식을 채택하였고 내부에는 Reclaimer 가 설치되어 있어 연속적으로 석고를 긁어모아 Shed 하부 Belt Conveyor 에 실어 반출한다.



그림 7. Reclaimer

4-2-6. Waste Water Treatment System

탈황설비에서 배출된 폐수는 주로 미세분진과 용해된 염(주로 Cl^-), 중금속류를 함유하고 있다. 주요공정은 중화조, 반응조, 혼합조,

농축조(침전조), 여과기 및 탈수공정으로 구성된다.

탈황폐수의 수질은 폐수처리설비 설계시 중요한 인자이며, 탈황설비 초기 투자비 및 성능보증에 적지 않은 영향을 미친다. 탈황폐수는 Filtrate Tank 에서 지속적으로 발생하는 상시폐수와 GGH 등의 설비에서 비정기적으로 발생하는 세척수와 같은 일시폐수로 나뉜다. 이러한 폐수는 NOx 와 SOx 을 다량 함유함으로써 N-S COD 를 생성하는데, 안정화된 화합물이기 때문에 분해에 어려움이 많고 복잡한 시스템을 구성해야 한다.

(자세한 내용은 환경기술 2 권 1 호, 강정희, □탈황폐수처리에 대한 국내 적용기술의 고찰□참고)

4-3. 재질선정

탈황설비의 재질선정은 부위별 SO₂ 농도, pH 조건, 온도범위, Cl⁻농도, F 농도 등을 감안하여 내식성, 내마모성을 가진 높은 등급의 재질을 선정해야한다. 대부분 입찰사양서에는 한전에서 제안하는 재질이 명기되는 것이 일반적이나, 필요에 의하여 입찰중에 변경되는 경우도 있다. 재질등급에 따라 비용이 큰 차이를 보이므로 정확한 물량산정 및 재질선정이 무엇보다 중요하다 하겠다.

4-3-1. 금속 재질

한전에서는 표 4 에서와 같이 탈황설비 재료 적용기준을 확립하였다. 이 표는 pH 조건과 Cl⁻농도값에 의한 적용기준으로, 실제적용에 있어서는 기타 조건을 고려하여 재질을 선정한다.

표 4. 국내 탈황설비용 재료 선정기준

		Mild		Moderate		Severe		Very Severe			
		Cl ⁻ (ppm)	100	500	1,000	5,000	10,000	30,000	50,000	100,000	200,000
Mild	pH 6.5	316L, S.S			317LMN, S.S		SuperAustentic, S.S		Nickel Alloy C276 etc.		
Moderate	pH 4.5										
Severe	pH 2.0	317LMN, S.S									
Very Severe	pH 1.0										

(1) Stainless Steel

일반적으로 STS, SUS 로 부르며 고온성질 및 내부식성이 우수한 재질로 제조방법에 따라 단조용과 주조용으로 구분하고, 미세조직에 따라 단조용은 페라이트계, 마르텐사이트계, 오스테나이트계, 석출경화계의 4 가지로 분류하는데, 탈황설비에는 내식성이 우수한 오스테나이트계가 주로 사용된다.

Austenitic S.S 중 주로 적용되는 재질의 종류로는 304, 316, 317 등이 있다.

(2) Duplex Stainless Steel

Duplex Stainless Steel 은 기존 Stainless Steel 보다 Ni 성분이 매우 적고, Cr, N 이 많아 페라이트와 오스테나이트 조직이 동시에 존재하는 강종이다. Stainless Steel 에 비해 높은 내식성을 가지고 있지만 고온에서는 다소 약한 특성을 가지고 있다.

그 종류에는 SAF 2304, 2205, 2507 과 POSCO Duplex S.S 등이 있다.

(3) Super Stainless Steel

Super Stainless Steel 은 기존 Stainless Steel 에 Cr, Mo, W 및 N 등을 상당량 첨가시킨 재질로, 탈황설비에는 주로 Super Austenitic Stainless Steel 이 주로 사용된다.

(4) Super Alloy

Ni 에 Cr, Mo, Co, Fe 등을 첨가한 것을 초합금(Super Alloy)라 한다. 탈황설비에는 Fe-Cr-Ni 계에 속한 C-276, C-22 등을 사용하고 있으며, 특징은 고온에 가장 강하며 Chloride 에 의한 Pitting 및 틈(Crevice)부식에 강하다.

단점은 가격이 고가인 관계로 이중금속인 C-276 Clad(이종 금속의 접합)로 대체사용하기도 한다. Ti-Clad 강의 경우 C-276 에 비해 비중이 작은 장점을 가지고 있다.

(5) 내후성강(CRSL : Corrosion Resistance Low Alloy Steel)

가격이 비교적 저렴하며, 저온부식에 대한 저항성이 우수하여 공기에열기나 배기가스 덕트용 재료로 사용되고 있다. 내후성강의 종류는 COR-TEN 이 있고 이 밖에 S-Ten, CRIAC, POSTEN 등이 있다. 그러나 최근 탈황설비에는 그 사용이 배제되고 있다.

4-3-2. 고분자 재질

고분자 재질은 일반적으로 Carbon Steel 에 덧붙이는 Lining 재질에 의해 Flake Lining, FRP(Fiberglass Reinforced Plastics), Rubber Lined Steel,

Polyethylene (PE) Lined Steel, 불소수지(Teflon)로 크게 나눌 수 있으며, 일반 Solid 재질로 사용하기엔 비용부담이 큰 부분, 즉 흡수탑 및 흡수탑 후단의 가스구간 덕트에 주로 사용되고 있다.

흡수탑에는 과거 부식 및 마모에 강한 Rubber Lining 을 사용되기도 하였으나 고온에 약한 점, 보수의 어려움, 화재의 위험성, 숙련된 작업자의 부족 등의 단점으로 인해 최근에는 Flake Lining 으로 대체되었고 Rubber Lining 은 펌프 Casing 및 배관류의 피복재로 일부 사용되고 있다.

4-3-3. 구간별 설치사양

표 5 는 국내 S 화력발전소의 탈황설비 구간별 재질사양을 나타낸 것이다. 이는 석탄과 중유같은 적용연료의 종류에 따라 일부 사양이 변경이 되기도 하며, 설계업체에 따라 일부 변경되기도 한다.

표 5. S 화력발전소 탈황설비의 구간 재질사양

구 간	재질사양	비 고
E.P 후단 ~ GGH 전단	ASTM A588	
GGH 후단 ~ 흡수탑 전단	Carbon Steel + Flake lining or 4.5% Mo	
(흡수탑)Wet/Dry Zone	C-276	Very Severe
흡수탑	4.5% Mo	
흡수탑 ~ FGD Outlet Damper	Carbon Steel + Flake lining or 4.5% Mo	
FGD Outlet Damper ~ Stack Inlet	Ti-Clad	

5. 결론

탈황설비는 여타 대기오염방지설비에 비해 시스템이 비교적 복잡하게 구성되어있고, 투입되는 기자재 또한 다수이다. 국내기업들은 1995 년 이후 현재까지 약 8 년 동안 해외업체들과의 기술제휴로 설계□시공해오며 적지 않은 기술축적을 이루고 있는 반면, 기술제휴사가 기술이전을 꺼리고 있어 그 어려움이 큰 것이 사실이다.

국내화력발전소 탈황설비입찰의 경우, 입찰시방이 규격화되어있고 업체간의 경쟁심화로 인한 저가수주로 기업들의 기술개발에 대한 투자가 여의치 않은 실정으로, 업체들간의 저가수주경쟁을 자제하고 자체

국산신기술개발에 좀 더 좋은 방안을 강구한다면, 탈황설비기술의 국내자체기술 확보와 기술축적에도 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

더불어 입찰에서 품질이 우수한 기술에 대해 인센티브를 부여하는 방안이 강구된다면 기술개발이 촉진될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국전력공사, “탈황설비 실무”, 한국전력공사 발전교육원, 1998
2. D.S. Henzel, B.A. Laseke, "Handbook for Flue Gas Desulfurization Scrubbing with Limestone", NOYES DATA Co., 1982
3. T. Devitt, R. Gershe, L. Gibbsetc., "Flue Gas Desulfurization System Capabilities for Coal-fired Steam Generators", U.S Department of Commerce, 1978
4. 김동술, 1996, "대기오염방지공학", 신광문화사
5. 한국전력공사, www.kepco.co.kr
6. 국가환경기술정보센터, www.konetic.or.kr