

## 대기오염방지

<KEITI 중국사무소 차목승 연구원>

### 야금 산업 연기 탈황처리 주요 공정 소개

#### ▶ 개요

현재 중국의 야금 산업에 대한 환경보호 규제가 갈수록 강화되고 있어, 이에 중국의 야금 관련 기업은 환경보호에 대한 압박을 받고 있는 상황이다. 특히 펠레타이징(pelletizing, 球团)<sup>1)</sup> 생산 과정에서 이산화황 배출이 심각한 것으로 나타나고 있다.

하지만 산업이 발전하면서 펠레타이징의 생산량 증가, 기존 연료 부족 등 이유로 이산화황 제어가 불가피한 상황이므로, 펠레타이징 생산기업은 이산화황 배출을 효과적으로 제어하기 위해 탈황설비 설치가 필수적인 조건으로 고려되고 있다. 따라서 본 기술동향은 펠레타이징 연기 처리를 위해 어떠한 공법이 적용 가능한지 알아보하고자 한다.

#### ▶ 중국에서 적용되고 있는 주요 탈황공법

##### 1) 석회석-석고법(石灰石-石膏法烟气脱硫工艺)

‘석회석-석고법’은 탈황처리를 위해 응용범위가 가장 광범위하게 적용되고 있는 기술 중 하나이며, 현재 대부분의 화력발전소 연기 탈황처리에 적용되고 있다. 공정원리는 석회석 가루에 물을 첨가하여 슬러리(slurry, 浆液)<sup>2)</sup>를 만든다. 그 후, 흡수제 형태로 흡수탑으로 유입시켜, 연기와 충분히 접촉하게 하면서 오염물질을 제거하는 방식이다. 연기 속의 이산화황과 슬러리에 있는 탄산칼슘이 흡수탑 하단부로 들어가면서 공기와 산화반응을 일으키고, 동시에 황산칼슘이 일정한 포화도(degree of saturation, 饱和度)<sup>3)</sup>에 도달하면, 그 결정체가 이수석고(gypsum dihydrate, 二水石膏)<sup>4)</sup>로 형성하게 된다. 흡수탑에서 배출된 연기는 석고 슬러리를 흡수·농축하여, 함수량을 10% 미만까지 감소시킨다.

이에 따라, 탈수된 석고 슬러리는 컨베이어(输送机)를 통해 석고 저장고에 쌓여지고, 탈황처리 후, 연기는 분무 제거기를 통해 안개형태로 된 액체방울을 제거한다. 또한 열교환기를 통해 가열된 후 굴뚝에서 대기로 배출된다. 흡수탑 안에 있는 흡수제는 순환펌프를 통해 반복적으로 순환되면서 연기와 접촉하기 때문에 흡수제 이용률이 매우 높다. 따라서 황산칼슘 함량이 낮아 탈황효율은 약 95% 이상으로 나타난다.

1) 펠레타이징(pelletizing, 球团) : 철의 빈광이나 분광을 가루로 하여 결합제로 굳혀 작은 공 모양으로 만드는 처리법이다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.27.)  
 2) 슬러리(slurry, 浆液) : 미세한 고체 입자가 액체 중에 현탁되어 있는 유동성의 진흙 상태의 혼합물이다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.29.)  
 3) 포화도(degree of saturation, 饱和度) : 토양 중에 있는 물의 체적 중 전간극(全間隙)이 차지하는 체적에 대한 비율을 말한다. 포화도는 백분율로 표현된다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.27.)  
 4) 이수석고(gypsum dihydrate, 二水石膏) : 황산칼슘 이수화물 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O의 약칭. 무수 석고, 반수 석고의 대응어이다. (네이버 지식백과 발췌, 2020.9.27.)

## 2) 건식회전분무법(旋转喷雾干燥烟气脱硫工艺)

‘건식회전분무법’은 석회를 탈황 흡수제로 사용한다. 석회는 소화(消化)를 거쳐 물과 반응하여 석회유(cream of lime, 石灰乳)<sup>5)</sup>를 생성하며, 석회유는 펌프를 통해 흡수탑 안에 있는 분무장치로 들어간다. 흡수탑 안에 있는 분무장치로 인해 미세한 액체방울로 변한 흡수제가 연기와 혼합된다. 이때, 연기 속에 있는 이산화황과 화학반응을 통해 아황산칼슘(CaSO<sub>3</sub>)를 생성하면서 오염물질을 제거하게 된다. 동시에 흡수제로 유입된 수분이 빠르게 증발되면서 건조되어 연기 온도가 낮아진다. 그 후, 탈황 반응산물과 반응에 참여하지 않는 흡수제는 미립자 형태로 연기와 함께 흡수탑에서 집진설비로 들어가면서 수집된다.

이는 탈황 흡수제의 활용도를 높이기 위해 집진설비에 수집된 물질의 일부를 슬러리 제조 시스템으로 보내 재이용하게 된다. 특히, 동 공법은 두 가지의 분무형태가 있는데, 하나는 회전식 분무방식과 다른 하나는 기체·액체가 서로 유동층을 형성하는 방식이다. 이처럼 분무 건조법은 탈황공정이 비교적 간단하고, 높은 시스템의 신뢰성으로 인해, 탈황효율을 85% 이상을 보장하고 있다.

## 3) 연기순환유동층법(烟气循环流化床脱硫工艺)

‘연기순환유동층법’은 흡수제 제조·탈황제 재순환 시스템, 흡수탑, 집진기 및 제어시스템 등으로 구성되어 있다. 동 공법의 흡수제는 일반적으로 건조 상태의 소석회(slaked lime, 消石灰)<sup>6)</sup> 가루를 사용하지만, 이산화황의 흡수반응을 일으키는 건조된 가루나 슬러리를 사용하기도 한다. 보일러에서 배출된 연기는 흡수탑 하단부분으로 들어가, 벤투리(venturi, 文丘里)<sup>7)</sup> 장치를 지나면서 반응속도가 빨라지고, 이 구간에 있는 흡수제와 미세 알갱이가 혼합되면서 입자와 입자사이, 기체와 입자사이에 심한 마찰이 생기면서 얇은 유동층을 형성하게 된다.

탈황 후, 고체 입자를 다량으로 함유하고 있는 연기가 흡수탑 꼭대기에서 배출되어 재순환하면서 집진기로 유입된다. 분리된 입자는 중간 석회석 저장고를 거쳐 흡수탑으로 순환되는데 이때, 고체 입자는 약 100회 정도 순환하기 때문에 흡수제의 재이용율이 높은 편이다. 또한 동 공법에서 발생하는 부산물은 건조된 가루형태이고, 그 화학성분은 주로 분무건조법 탈황공법과 유사한 플라이 애시(fly ash, 粉煤灰)<sup>8)</sup>, 아황산칼슘, 황산칼슘과 반응에 참여하지 않은 흡수제인 수산화칼슘 등으로 구성되어 있다.

5) 석회유(cream of lime, 石灰乳) : 수중에 소석회의 미세한 분말을 포화 상태 이상 포함한 현탁 상태의 유상액을 말한다. 물에 대해 용해도가 낮은 소석회가 소비되면, 현탁한 소석회가 녹아 보급되므로 현탁액은 농후 용액과 동일한 활동을 한다. 소다회의 제조, 소독, 산성 가스 포집 등에 이용된다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.28.)

6) 소석회(slaked lime, 消石灰) : 수산화칼슘을 말한다. 산화칼슘에 물을 첨가하여 반응시키면 발열해서 생긴다. 백색의 분말로 물에 약간 녹으며, 그 수용액을 석회수라고 한다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.28.)

7) 벤투리(venturi, 文丘里) : 주 연료 노즐의 선단 부근에서 압력을 떨어뜨리기 위해서 설치한 단면이 좁은 통로를 말하며, 이곳을 공기가 흐르면 베르누이 정리에 의해서 압력이 강하므로 뜨개실의 연료는 흡입된다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.28.)

8) 플라이 애시(fly ash, 粉煤灰) : 화력 발전소 따위에서 미분탄(微粉炭)을 연소시킬 때 발생하는 폐가스 가운데에 포함된 석탄재이다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.28.)

<표1. 주요 탈황공법 특징>

구분	주요 내용
석회석-석고법	<ul style="list-style-type: none"> <li>응용범위가 가장 광범위하게 적용되고 있는 기술 중 하나로 대부분의 화력발전 탈황처리에 적용되고 있음</li> <li>석회석 가루에 액체를 넣어 펄프(漿液)를 만들어 흡수제 펌프로 흡수탑으로 유입시켜, 연기와 충분히 접촉하여 오염물질을 제거하는 방식임</li> <li>흡수제 이용률이 높고 황산칼슘이 비교적 낮으며, 탈황효율은 약 95% 이상임</li> </ul>
건식회전분무법	<ul style="list-style-type: none"> <li>석회를 탈황 흡수제로 사용함</li> <li>흡수탑에서 분사된 미세 액체와 연기가 아황산칼슘으로 반응하면서 이산화황 제거함</li> <li>공정이 간단하고 시스템의 신뢰성이 높으며, 탈황효율은 약 85% 이상임</li> </ul>
연기순환유동층법	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡수제 준비구간, 흡수탑, 탈황제 재순환, 집진기 및 제어시스템 등으로 구성함</li> <li>흡수제는 건식상태의 소석회를 사용하며, 흡수제의 재이용률이 높음</li> <li>흡수탑 하단부분의 벤투리관을 지나면서 아주 얇은 흡수제와 서로 혼합되어 입자와 입자 사이와 기체와 입자 사이에 심한 마찰로 인해 유동층 형성함</li> </ul>

<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

## ▶ 펠레타이징 생산과정에 적용되는 탈황처리 기술

### 1) 건식 연기 탈황기술(干法烟气脱硫技术)

‘건식 연기 탈황기술’은 펠레타이징 생산과정에서 발생하는 연기처리를 위한 주요 처리기술 중 하나이다. 동 기술을 적용하기 위해서는 반드시 건조한 환경에서 진행되어야 하며, 일반적으로 연기 처리기술은 입자(粒状)·분말(粉状) 형태 또는 흡수제 등을 이용하여 연기 중의 이산화황을 제거하고, 탈황처리 후 남겨진 부산물은 건조된 가루형태이다.

특히, 이러한 방법으로 탈황처리 할 경우, 폐황, 폐수 등이 발생하지 않아 부식과 2차 오염을 방지할 수 있다. 보통 ‘건식 연기 탈황기술’은 ▲‘하전건식분사법(荷电干式喷射法, 흡수제를 사용하여 탈황처리)’, ▲‘플라즈마(plasma, 等离子体法, 고에너지 전자를 이용하여 황산암모늄 등을 효율적으로 분해하는 방식)<sup>9)</sup>’ 두 가지로 구분된다.

### 2) 습식 연기 탈황기술(湿法烟气脱硫脱硝技术)

‘습식 연기 탈황기술’은 탈황처리를 위한 가장 흔히 볼 수 있는 기술 중 하나이다. 따라서 응용범위가 비교적 광범위하며, 흡수제를 이용하여 탈황처리 하는 방식이다.

현재, ‘습식 연기 탈황기술’은 일반적으로 ‘흡수제를 이용한 방식’, ‘석회석-석고법’과 습식 기술 결합한 방식 크게 두 가지로 구분된다. 첫째, ‘흡수제를 이용한 방식’은 보일러에서 서로 다른 특성을 가진 황 화합물의 흡착을 통해 탈황처리 한다. 또한 흡수제는 주로 알칼리성 함량이 높은 물질(폐전석 찌꺼기(废电石渣)를 통해 알칼리성 황산마그네슘을 이용한 물질)을 사용한다. 둘째, ‘석회석-석고법’과 습식 기술을 결합하여 탈황효율을 향상시키는 방법이다. 이러한 방식을 적용하면, 황에 대한 흡착률을 높여 탈황효율이 91% 이상 도달할 수 있다. 또한 탈황처리 후, 발생하는 부산물은 재이용 가능하기 때문에 폐기물 발생량을 최소화하여, 2차 오염을 발생하지 않도록 재이용률을 높일 수 있다.

9) 플라즈마(plasma, 等离子体法) : 플라즈마란 기체가 초고온 상태로 가열되어 전자와 양전하를 가진 이온으로 분리된 상태를 말한다.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.28.)

### 3) 반건식 연기 탈황기술(半干法烟气脱硫)

‘반건식 연기 탈황기술’은 기체·액체·고체 상태에서 연기의 습열(湿热)<sup>10)</sup>을 이용한 증발 반응과 함께 백필터집진기(袋装除尘器)와 결합하여 탈황효율을 높이는 방식이다. 이로 인해, 동 기술은 일반적으로 두 가지 방식으로 구분된다. ▲‘회전분무건조법(旋转喷雾干燥法, 투자원가를 절감하고 흡수제의 액체와 연기를 반응시켜 탈황효율을 높이는 방식), ▲‘칼슘분사활성화법’(喷雾增湿活化法, 칼슘 활성화 반응기를 증설하여 습기를 증가시켜, 이산화황에 대한 화학반응을 촉진하고 탈황효율을 높이는 방식) 두 가지 방식으로 구분할 수 있다.

<표2. 펠레타이징 연기 탈황처리 공정>

구분	주요 내용
건식 탈황기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>펠레타이징 생산과정에서 발생하는 연기 처리를 위한 중요한 공정 중 하나임</li> <li>건식 연기탈황기술을 적용하기 위해서는 반드시 건조한 환경에서 진행됨</li> <li>어떠한 부산물이나 폐수가 발생하지 않아 2차 오염 없음</li> </ul>
습식 탈황기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>발전소 보일러에서 흔히 적용되는 탈황기술 중 하나임</li> <li>흡수제를 이용한 방식과 석회석-석고법을 이용한 방식으로 구분하고 있음</li> <li>특히 석회석-석고법과 결합하여 탈황효율을 향상시킬 수 있음</li> </ul>
반건식 탈황기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>기체·액체·고체 상태에서 연기의 습식 열을 이용하여 증발시켜 오염물질 제거</li> <li>회전분무건조법과 칼슘법으로 구분함</li> <li>반건식 탈황기술은 백필터 집진기와 결합하기 때문에 탈황효율이 향상됨</li> </ul>

<자료 출처 : 북극성대기망 자료 KEITI 중국사무소 재구성, 2020>

### ▶ 시사점

현재 중국에서 사용 중인 환경설비(탈황·탈질·집진 등)의 기술은 매우 성숙되어 있다. 또한 환경 설비 개조를 통해 효율성, 에너지 절약, 환경보호 배출표준 부합 등 여러 장점으로 여러 산업에서 적용할 수 있다. 그중, 특히 화력발전소, 야금, 철강 산업에서 배출되는 오염물질을 처리하기 위해 환경설비(탈황·탈질·집진 등)가 적용되고 있어, 응용범위가 광범위하다.

동 기술동향은 펠레타이징 연기 처리를 위한 주요 탈황공법을 살펴보았다. 탈황공법은 건식, 반건식, 습식 등 다양하게 적용되고 있다. 따라서 환경기업은 저렴한 비용의 탈황제를 쉽게 만들어야 하며, 생산 공정에 의해 생성된 알칼리성 산화물을 재이용하여 투자원가 및 운영비를 절감할 수 있도록 설계해야 한다. 펠레타이징과 소결은 철강 산업에서 철광을 제련하는 공통의 특징이 있지만, 펠레타이징은 소결보다 열풍 순환시스템이 복잡하고 연기의 양이 더 많기 때문에 적용 가능한 탈황 공법도 달라진다. 그러므로 사전에 펠레타이징 생산 공정에 대한 정확한 분석이 필요하다. 현재 중국에서 펠레타이징과 소결공정에서 탈황처리를 위해 동일한 공법을 적용한 기간은 약 3년에 불과하기 때문에 탈황 부산물의 자원화, 낮은 투자비용, 기술 성숙도 등을 충분히 고려한 후, 해당 설비를 적용하여 오염물질을 효과적으로 제어해야 할 것으로 보인다.

북극성대기망, <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20200927/1107233.shtml>, 2020.9.29.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 전문본을 확인하시기 바랍니다.

10) 습열(湿热) : 습(濕)이 울체된 채 오래되어 열상(熱象)을 나타내는 것.(네이버 지식백과 발췌, 2020.9.29.)



## 중국환경산업 주간기술동향

발행

2020년 9월 29일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승(cms0522@keiti.re.kr)

자료제작

▷ 김종균(jaykim@keiti.re.kr)

국민과 함께  
미래를 여는  
글로벌 환경전문기관

중국환경산업 주간기술동향은 매주 화요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8