

폐수처리

(연재)

진보된 오염물질 처리 신기술 소개

미국 환경청(Environmental Protection Agency=EPA)에서는 여러기업체에서 요구되는 다양한 대기오염 처리를 위한 처리기술을 자체적으로 개발하고 있다. 여기서

소개하고자하는 것은 EPA의 R&D Program 중에서 여과집진과 전기집진의 개선 방안이다.

현재 우리나라의 경우 대기환경보전법의 개정으로 강화된 배출허용 기준을 만족시키기 위해서는 기존 방지시설의 개선 및 보완이 시급히 요구되는 시점에 와있으므로 소개하는 EPA의 진보된 오염물질 처리 신기술은 많은 참고가 되리라 생각된다.



박 응 / 환경보전협회

wire와 전도성 섬유여과지 사이에 형성된 전계는 코로나 전류에 의해 전하를 받은 먼지가 Bag의 하단으로 들어가고 wire가 코로나를 형성하므로 더욱 강한 힘을 갖는다. 보통 섬유여과 집진은 Bag의 하단으로 들어가서 Bag의 내부에 포집되는 형태이다. 하지만, 전계가 형성된 Bag에서는 Bag의 하단부에 gas에서 분진만을 선택적으로 포집하여 침전된다.

이것은 Bag의 상부에 분진이 거의 쌓이지 않는다는 것을 의미한다. 그 결과 하단으로 들어온 가스가 상부로 나가게 되어 있는 Bag의 형태에서 당연히 압력손실은 훨씬 줄어들게 한다.

Pulse-jet 방식의 진보된 ESFF는 여과지 외부에 포집되는 형태가 되어야 하므로 전계 또한 여과 Bag 외부에 형성되어야 한다. 또한 접지된 wire로 형성된 Cage를 섬유여과지가 둘러싸고 전계는 Bag과 평행하게 늘어진 코로나 방전 wire와 Bag과의 사이에 형성된다.

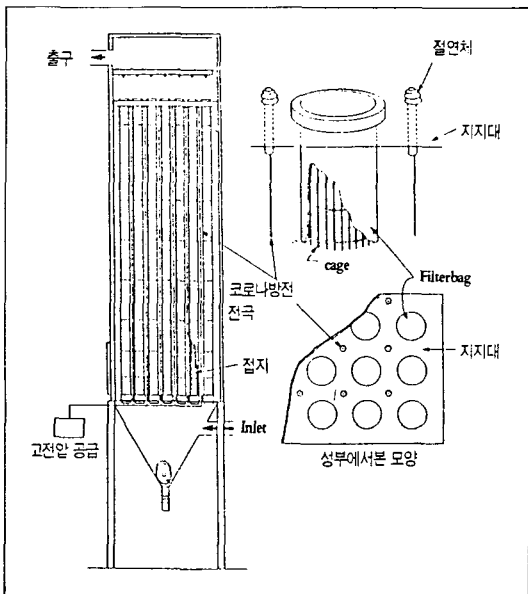


그림 5. 진보된 펄스젯 ESFF 사양

가장 강한 전계는 Cage 내부의 접지된 wire와 외부의 코로나 방전 wire 사이에 형성된다. 이 부분에 가장 많은 분진이 포집된다. 이 부분만이 최고의 탈진을 일으키므로 유속저항이 줄어들어 압력손실을 줄이는 효과를 가져온다.

길이 1.07m 직경 0.13과 0.2m의 Reverse-Air 방식의 진보된 ESFF를 시범운한 결과, 압력손실은 10%에

서 30%정도 일반 Reverse-Air 여과방식에 비해 줄어들었다.

이때의 범위 차이는 gas 온도와 먼지저항에 따라 달라진 것이며 저온이 높은 전계를 형성하고 낮은 먼지저항이 진보된 코로나 전류를 발생한다. 70℃의 온도와 최고의 먼지전하에서 전계가 최고이고 압력손실은 최소였다.

150℃ 화격자 보일러에서 직경 0.2m 길이 7.47m 정도의 큰 Reverse-Air 방식의 진보된 ESFF의 압력손실은 평균 일반 여과방식에 비해서 25% 정도였다.

화격자 보일러에서 발생하는 30%미연소 탄소를 함유한 비산재는 분진저항이 적은 것으로 나타났다.

전술한 original ESFF에 비해 진보된 ESFF는 더욱 발전된 형태이며 일반적 여과방식에 비하면 대단한 발전을 한 것이다.

또한 진보된 ESFF에는 Filter Bag 수를 줄일 수 있어 그에 따른 경비절감의 효과가 있다.

길이 1.22m, 직경 0.13m를 가지는 9개의 일정온도의 Pulse-jet 방식의 진보된 ESFF방식의 Baghouse에 대한 소규모 실험에서 분진의 저항력이 변함에 따라 압력손실이 현저히 줄어든다는 결과는 도출하지 못했지만 일반 ESFF보다 월등하다는 것은 증명되었다.

Pulse-jet 방식의 진보된 ESFF에 대한 광범위한 실험은 계속될 예정이다.

전기 집진(Electrostatic Precipitation)

가. 현재의 전기집진기

1. 개요

전기집진장치의 성능은 W.Deutsch식이 발표된 후 많은 경험과 연구가 이루어져 이론적 해석이 가능하게 되었다. 그러나 제진기전에는 전기적으로 아직 해석되지 않은 현상이 많으며 또한 복잡한 영향을 주므로 아직까지 완전한 이론이 정립되지 않은 상태이다.

따라서 장치 설계 또는 운전에도 경험이 중요하게 될 것이다. 그러나 전기집진기의 효율은 많은 경우에 있어서 99%보다 높다고 알려져 있다. 전기집진기는 Fredrick Cottrell교수가 Detroit Edison 화력발전소에 설

치한것이 시초이며, 대부분의 발전소에서는 아직까지 전기집진기를 사용하는 곳이 많다.

보통 전기 제진장치 내의 입자에 작용하는 전기력은 다음과 같다. 첫째, 대전 입자 하전에 의한 Coulomb력, 둘째, 전기경도에 의한 힘, 셋째, 입자간의 흡인력, 넷째, 전기풍에 의한 힘

그러나 실제로는 첫째 기전이 주로 작용한다.

고압직류전압을 방전극(-)과 집진극(+)에 보내어 적당한 불평등 전계를 이루게하고, 이 전계 안에서 코로나 방전을 이용하여 가스중의 먼지에 전하를 주어(-)로 대전된 입자가 Coulomb력의 작용에 의하여 집진극으로 이동하여 분리 포집되게 하는 것이 전기집진장치의 원리이다. 집진에 있어서 먼지의 전기저항이 중요하며, $10^4 \Omega \text{cm}$ 이하인 경우 재비산 현상이 발생하고 효율은 저하된다.

이때 집진극에서 흡착된 (-) 대전입자는 전하를 잃고 (+)전하를 얻어 흡착력을 상실하여, 가스류중에 흘러가며, 저항이 $10^4 \times 5 \times 10^{10} \Omega \text{cm}$ 범위에서는 정상효율이 유지된다.

그리고 저항이 $5 \times 10^{10} \Omega \text{cm}$ 이상이 되면 먼지층 표면에 축적된 전하를 향하여 발생하는 스파크 반발-역전리 현상이 생겨 실효전압이 (-)코로나 시발전압이하가 되기 때문에 집진율이 저하된다.

2. 종 류

- 1) 습식 : 물을 사용하여 포집된 먼지를 제거
- 2) 건식 : 추타장치에 의해서 포집된 먼지를 제거
- 3) 하전식 : 1단식-하전작용과 대전입자의 집진작용

이 동일 전계발생(주로 사용됨)
2단식-하전부와 집진부가 분리(저농도
가스에 이용)

- 4) 집진극식 : 평판형, 관형, 원통형, 격자형이 있으나 건식으로 사용하는 평판형, 습식으로 사용하는 관형이 많이 쓰인다.

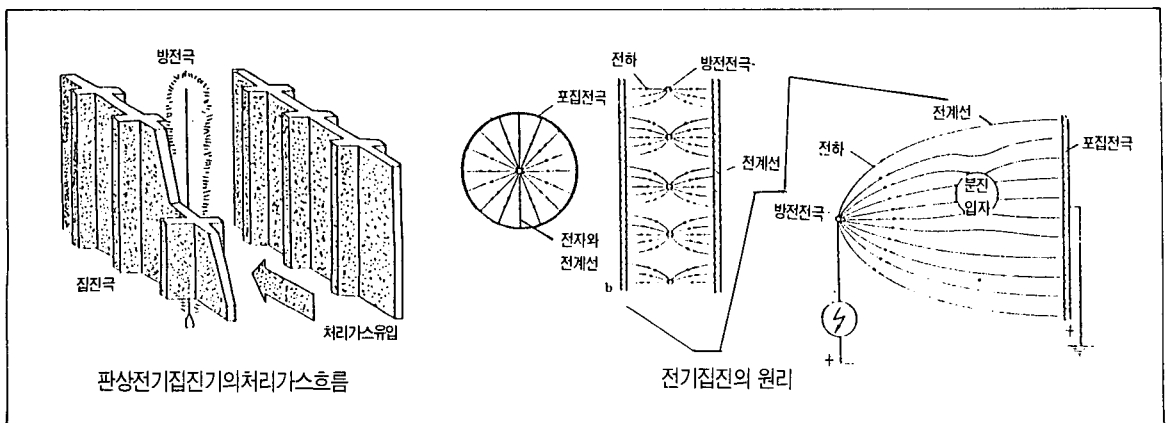
3. 장, 단점

- 1) 집진효율이 매우 높다.
- 2) 대단히 적은 입자($0.01 \mu\text{m}$)까지 제거할 수 있다.
- 3) 압력손실이 낮다($10 \sim 20 \text{mmH}_2\text{O}$)
- 4) 고온(500°C) 고압가스를 대량으로 처리할 수 있다.
- 5) 운전비가 싸 편이다.
- 6) 최초 시설비용이 많이 든다.
- 7) 전기적인 특성때문에 근무자의 안전성이 요구된다.
- 8) 많은 면적이 요구된다.

나. EPA의 전기집진의 개선 방안

EPA의 전기집진기(Electrostatic precipitation=ESP)에 관한 연구는 성능, 작동력, 분진크기, 저감가능, 경비의 향상과 저감에 대한 것에 관심을 두고 있다. 더 향상된 탈황시설에서의 작동성능과 SO₂Control을 위한 성능개발 그리고 경비예상모델 등에 연구의 목적이 있다.

역사적으로, 저저항 입자성물질의 운전에서 ESP는 높은 코로나 전류를 가지도록 설계 되었다.



판상전기집진기의처리가스흐름

전기집진의 원리

코로나 문제를 제외한다면 진보된 코로나 전류는 높은 전계를 얻을 수 있고 그 결과 ESP에서 분진은 쉽게 전하를 받고 포집될 수 있다.

High Corona 전류는 약 0.3cm 정도의 discharge wire를 써서 얻거나, 각각의 방전점을 가진 다수의 전극에 의해서 얻거나, 각각의 방전점을 가진 다수의 전극에 의해서 얻을 수 있다.

유용한 전류는 고저항, 저코로나 발생 전압, 코로나 하전과 전계력을 감소시키는 변화가 심한 전압/전류에 의해 영향을 받는다.

일반적인 방전극으로 얻어진 낮은 전류밀도와 전계는 배출기준에 만족하기 위해 독특하게 큰 집진부(High specific Collector Area(SCA))를 요구한다.

SCA는 집진판 면적과 유입 gas의 부피 유량 관계의 계수로 정의된다. TVA의 Bull Run 발전소(840Am³/min 배출)에서의 28Am³/min ESP 방지시설은 더 큰 집진판 직경과 부드러운 표면의 전극(약 1cm)을 사용하여야만 ESP의 성능을 만족시킬 수 있다고 조사되었다(특히 고저항물질에 대해서).

더 큰 전극 직경은 높은 포집을 위한 고전계력과 먼지에 전하를 걸기 위한 유용한 전류밀도를 얻을 수 있다.

〈표 1〉에서의와 같이 큰 직경의 wire는 factor 4에서와 같은 고저항 입자상물질(2×10^{12} Ohm-Cm)과 중간저항(8×10^{10} Ohm-Cm) 입자상 물질이 집진되지 않고 배출되는 것을 감소시킨다.

입자상 물질의 저항이 8×10^{10} Ohm-Cm보다 클 때 새로 설치하거나 재설치시에 필요한 큰직경 wire기술은 경제적인 문제가 된다.

일반적인 ESP에서 입자하전과 집진은 같은 부분에서 이루어진다. 고저항 분진에 대해서는 하전과 집진을 분리하면 성능의 향상을 꾀할 수 있다고 조사되었다.

precharger 기술들은 trielectrode, cold pipe와 하전 droplet를 포함하여 연구되었다.

그중 가장 유망한 기술인 cold-pipe precharger가 〈그림 6〉에 나타나 있다. 이것은 냉각수가 흐르는 파이프에 설치된 방전 wire로 이루어져 있다.

냉각수는 가스흐름을 식히려는 것이 아니라 파이프에 생기는 먼지층을 식히기 위해서이다. 먼지층을 냉각시키면 저항력이 감소하고 그 결과로 고전계력

이 생기며, 먼지입자에 고전하를 걸 수 있는 고전류의 형성이 가능해진다.

Cold-pipe precharger와 함께한 wire plate 집진기는 큰 직경 wire를 쓰면 성능이 가일층 진보한다. 그리고 또한 집진기 부분에서 wire는 전계력을 높여주고

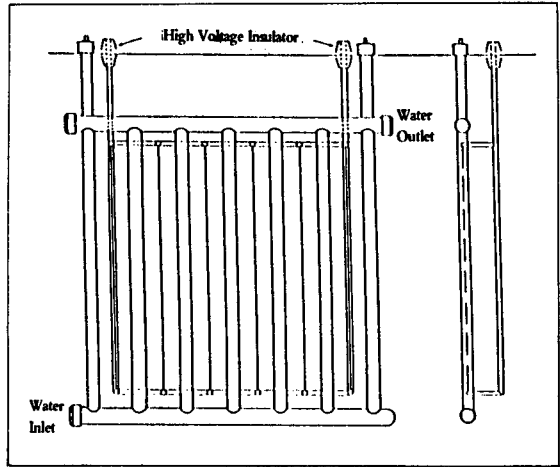


그림 6. Coldpipe precharger Cold Pipe Precharger

또한 먼지 입자층을 plate에 모이는 높은 Corona를 공급한다. 그 결과 집진되지 않고 나가는 양을 최소화한다.

〈그림 7〉은 각각의 집진 부분으로 이루어진 Cold-pipe precharger가 여러개로 모여진 형태인 Multistage ESP를 보여주고 있다.

고저항 분진에 있어서, Multistage ESP를 4~5배의 집진면적이 필요한 저전계와 저전류의 일반 ESP와 같은 성능을 발휘한다.

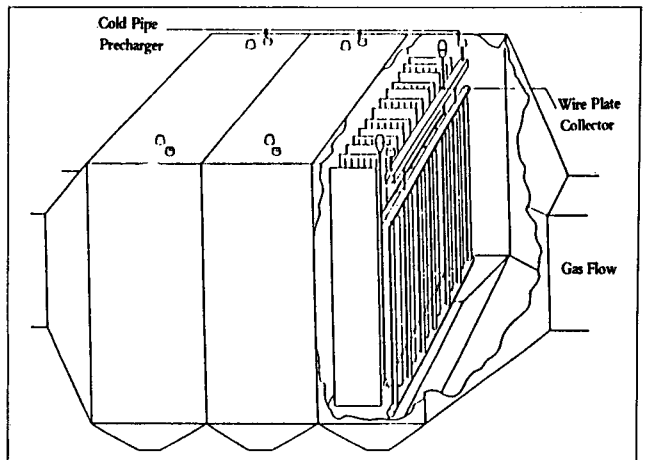


그림 7. 다단 전기 집진기

Cold-pipe percharge와 집진부에 대규모 직경 wire를 사용한 Multistage ESP시험결과는 Colorado Public Service Valmont 발전소의 425Am³/min의 배출량과 28Am³/min 용량을 가진 집진기에서의 시험운전결과에 높은 효율을 나타내었다.

일반적 ESP에서는 Multistage에 비해서 실제로 필요한 것보다 더 많은 용량이 필요하다. 이 새로운 제안은 ESP에서의 내부용적을 줄일 수 있다. 이 남은 공간에 적당한 노즈를 쓰면 알카리용제의 분사로 SO₂를 제거하는데 쓸수 있다.

이 장치는 E-SO_x라고 명명되는, ESP에서 먼지와 함께 SO₂도 제거할 수 있는 것으로 <그림 8>에 나와 있다.

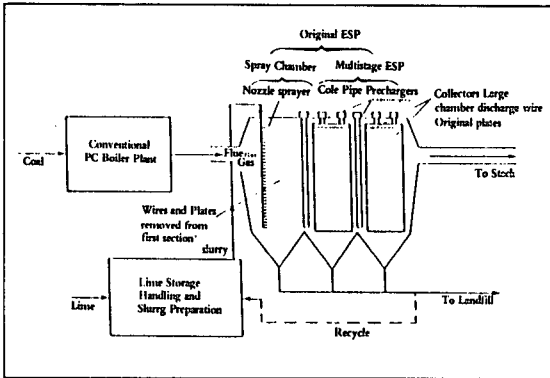


그림 8. Schematic of E-SO_x process

알카리 반응제로는 고칼슘 석회가루(일반적 S-drying 탈황시설에서 reagent 정제기술이 발달되어 있다)을 쓴다.

E-SO_x는 세부적으로 논의되고 있다. E-SO_x System은 두가지 알카리 반응제를 쓰는 노즐을 사용하는 28Am³/min 용량의 ESP에서 평가되었다.

이때의, SO₂저감 결과는 <표 9>와 같다.

탄산나트륨 용액과 소석회 가루가 두가지 용제로 쓰였다.

유량계수는 시간당 26~27이었고, SO₂제거 범위는 입구에서 1,200~1,500ppm일때 2초간의 체류시간으로 약 50~90% 제거되었다. 석회가루를 넣었을 때는 {Lime 농도 7~15%(무게기준)} SO₂가 약 40~60% 범위에서 제거되었다.

제거효율과 반응제 농도와의 비례 관계는 확인되지 못했다. Lime 실험에서 SO₂ 입구에서 약 1.8에서

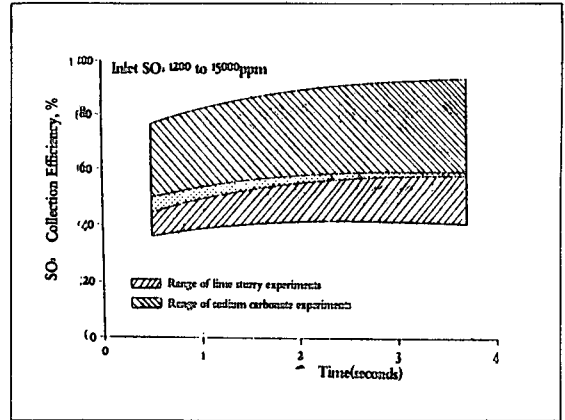


그림 9. E-SO_x data for sodium carbonate and lime slurry experiments

SO₂와 칼슘의 최대 반응이 일어난다는 것을 알 수 있었다.

이 두가지 방법에서 분사액은 적어도 2초이내 건조되어야 한다. 그러면 그후 ESP가 일반적인 방법으로 분진을 포집하는 것이다. 그리고 Multistage가 되면 첫번째 ESP에서 남은 잉여물은 그다음번째 ESP에서 원래의 분진뿐 아니라 분사된 반응제까지 제거한다. 그러므로 이 E-SO_x 방식을 사용하면 일반적으로 SO₂를 제거하기 위한 spray-drying 구조물 같은 것은 불필요하여진다(Lime slurry 공정은 Lime reagent를 이용하기 위해 필요하다). 또 E-SO_x 방식이 좋은 것은 반응제 액이 많이 투입될 경우 가스의 체적과 온도를 낮춰 주고, 그것에 의해 높아지는 분진저항과 SCA를 낮춰준다.

E-SO_x system은 더욱 향상된 성능을 개발하기위해서 많은 유량에서의 실험이 필요하다. E-SO_x가 성공적으로 개발되면 석탄을 주연료로 사용하는 화력 발전소에서 다량으로 발생하는 SO_x를 처리하는데 드는 비용을 절감할 수 있을 것이다.

이 E-SO_x system이 개발되어야 하는데 뚜렷한 이유가 있다. 첫째, 현재 미국의 석탄 화력 발전소는 ESP방식으로 발생분진을 제거하는 곳이 많으며 둘째, EPA 대기보전국의 조사에서와같이 대부분의 화력발전소에서는 가장 큰 문제가 SO_x를 제거하는데 드는 많은 비용이기 때문이다.

그러므로 이 방법은 Spray-Drying 탈황시설이 필요하지 않으므로 현재 발전소들이 처해진 상황에서 가장 훌륭한 해결책이 될것이다.