

技師會員을 위한 理論과 實務

● 特 輯 ●

最新靜電氣應用技術 ②

工業用 電氣集塵技術의 動向과 問題點

전기집진장치(EP)는 다른 집진장치에 비해 ① 높은 집진성 ② 에너지 절약성 ③ 보수의 용이성 등의 장점이 있는 반면, 더스트의 종류 특히 더스트의 전기저항의 영향을 극히 민감하게 받는 점도 함께 갖고 있다.

여기서는 EP의 특징 및 EP에서 일반적으로 문제가 되고 있는 현상(① 逆電離현상 ② 再飛散현상 ③ 코로나阻止현상)에 대해서 개설하는 동시에 최근의 전기집진기술의 동향에 대해서 흥미 깊은 것을 몇가지 소개키로 한다.

1. EP의 原理와 特徵

그림 1에 EP의 기본원리도를 표시한다. EP는 放電極과 집진극으로 구성되며, 방전극에는 애자를 통하여 負의 직류고전압이 인가된다. 전압을 올려 보면 어느 전압치를 넘어선 곳에서 방전극상에 負의 코로나 輝點이 나타나 이른바 코로나방전이 발생하게 된다. 이 코로나 방전공간에 더스트가 도입되면 더스트는 곧 負에 帶電되어 강력한 쿨롱력의 작용을 받고 집진극상에 層狀으로 집진堆積된다. 이 堆積더스트층이 적당한 두께가 되었을 때, 집진극은 다져지고 더스트는 호퍼내에 떨어져 포집된다. 이상은 EP의 원리이다.

EP에는 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) 모든 종류의 고체 및 액체입자를 극히 효율 좋게 포집할 수가 있다.
- (2) 저압력손실, 소집진전력으로서 에너지 절약면

에서 뛰어나다.

(3) 구조가 간단할 뿐만아니라 가동부분이 거의 없으므로 보수가 쉽다.

(4) 온도, 압력에 대해서 사용가능 범위가 극히 넓다.

이상과 같은 매리트가 있는 반면 다음과 같은 결점도 있다.

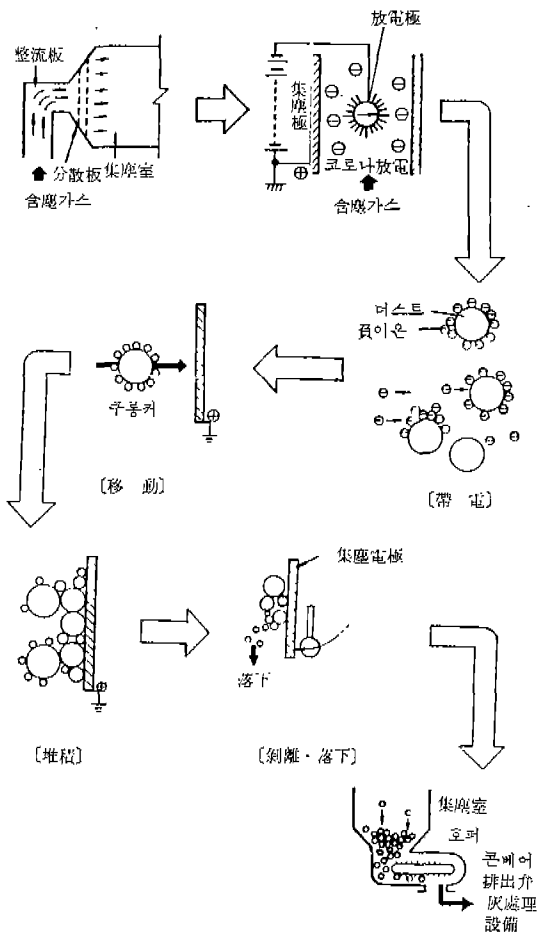
(5) 성능이 더스트의 전기저항을 ρ_d 에 지배되어, $\rho_d < 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_d > 5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 의 더스트에 대해서 집진성능이 현저하게 저하한다.

(6) 서브미크론粒子(0.1~1.0 μm)에 대한 집진성능이 낮다.

(7) 일단 포집된 더스트의 再飛散이 일어난다.

2. EP의 問題點

EP는 1항에서 기술한바와 같은 특징으로 극히



〈그림-1〉 電氣集塵裝置 (EP) 의 基本原理

광범위하게 이용되고 있으나 (5), (6), (7)에 기술한 바와 같은 문제점도 있다. 여기서는 그러한 가운데서 가장 중요하다고 생각되는 (1)역전리 현상 (2)재비산현상 (3)空間電荷효과 (코로나저지현상)에 대해서 개설한다.

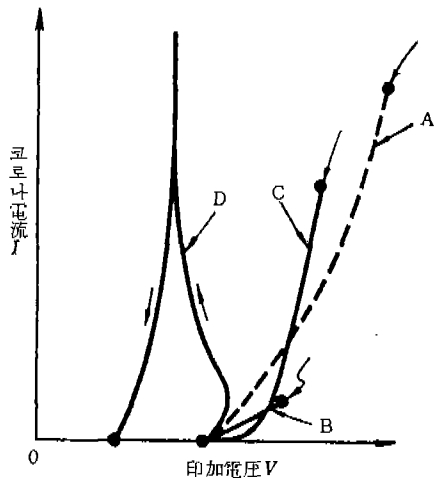
(1) 逆電離현상

집진극상에 퇴적된 더스트층의 전기저항률 ρ_a 가 $5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 를 넘으면 다음에 기술하는 역전리 현상이라고 부르는 이상현상이 발생하여 $E\rho$ 의 집진 성능은 대폭으로 저하하게 된다(그림 2).

역전리란 더스트층내에 형성되는 전계가 어느 값

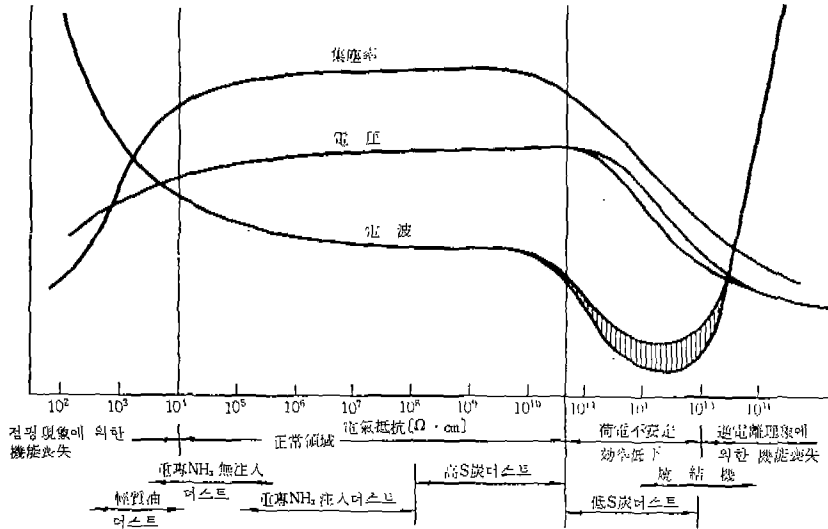
(더스트층의 절연과괴장도)을 넘으면 층내에 전기적 파괴가 발생하는 현상이다. 역전리는 ρ_a 의 값에 의해 그 현상양태가 크게 달라져 ρ_a 값이 높아질수록 고전압 저전류특성을 나타내는 스트리머모드 (일반적으로 불꽃빈발領域이라고 함) (그림 3, B)에서 저전압 大電流 특성을 나타내는 그로모드 (그림 3, D)로 移行하여 집진성능도 이에 따라 다시 저하한다. 특히 후자의 경우 집진극 측에서 가스공간에 H^+ 의 이온이 다량으로 공급되어 껍데에 帶電되어 集塵되려는 더스트의 電荷를 중화하거나 逆의正(極性)에 대전하기도 하므로 집진성능이 매우 나빠지게 된다는 것으로 알려져 있다.

역전리를 유발하는 대표적인 산업더스트로서는 ① 低硫黃炭 프라이엇슈 ② 燒結主배기더스트 ③ 시멘트킬른더스트 등이 있다. 역전리의 대책기술로서는 ① 펄스하전 ② 가스調質 ③ 高温EP ④ 高硫黃炭, 高 유황 重油와의 混炭 혹은 혼소등이 제안되어 실용화되고 있으나 여기서는 ①, ③의 방법에 대해서 3항에서 개설기로 한다.



A : 正常적인 코로나 V-I 特性
 B : 불꽃類發領域 ($\rho_a < 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$)
 C : 中間領域 ($10^{11} < \rho_a < 10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$)
 D : 그로우領域 ($\rho_a > 10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$)
 (靜電氣氙드북)

〈그림-3〉 逆電離下의 코로나 V-I 特性



(그림-2) 더스트의 電氣抵抗과 EP特性的의 一般의傾向

(2) 再飛散현상

집진극상에 일단 포집된 더스트가 어떠한 원인으로 재차 가스중에 비산하는 것을 재비산현상이라고 부른다. EP 내에서 일어나는 더스트의 재비산현상은 다음의 3가지로 크게 나눌 수 있다.

① 집진극 다질 때의 재비산

② 가스流速의 상승 혹은 급변에 따라 생기는 流体역학적 재비산

③ 더스트의 전기저항치 ρ_a 가 이상으로 낮고 ($\rho_a < 10^4 \Omega \cdot cm$), 또한 더스트의 부착력이 약할 때에 생기는 전기역학적 비산

집진極 다질때의 더스트층의 剝離, 낙하에 대해서는 아직 충분히 밝혀지지는 않았다. 그러나 적당히 다지면 더스트층이 뿌리뿌리 흩어지는 일이 없이 집진극판에 따라 낙하하여 호퍼내에 회수되며 부적당한 경우에는 더스트층의 일부 혹은 대부분이 원점의 일차입자에 재비산되어 가스중에 비산하는 것으로 알려져 있다. 망치로 두드려 다지는 집진실에서 생긴 재비산은 골쪽으로 배출되는 경우가 있으므로 문제가 된다.

그리고 망치로 다질때의 재비산을 억제하여 EP

의 고성능화를 목적으로한 「텀퍼方式 EP」가 실용화되고 있으며, 重油보일러용 EP로서 널리 사용되고 있다.

다음에 流体역학적 재비산에 있어서는 EP내의 가스 유속을 작게 함으로써 어느 정도 저감할 수 있는 것이나 그만큼 EP斷面적이 크게 된다는 불편함이 있다. 이 경우 특히 부착력이 약한 더스트에 대한 배려가 필요하게 된다.

전기역학적 재비산에 대해서는 코로나 전류를 조이는등 荷電 및 망치로 다지는 것을 가장 재비산이 적은 조건으로 조정하는 방법이 실용용상 취해진다.

이상 기술한 그 어느 재비산현상에 대해서도 충분한 연구가 이루어지고 있다고는 할 수 없는 것이 실정이나 EP의 성능에 관계되는 중요한 과제인 하 아니며, 앞으로 연구성과가 기대되고 있기도 했다.

(3) 空間電荷效果 (코로나 阻止현상)

EP입구 가스중의 더스트의 粒子徑이 매우 미세하며 또한 그 농도가 높을 때는 집진공간에 대량의 공간전하가 형성되어 그 차폐효과에 의해 코로나방전이 제어되는 것으로 알려져 있다.

이같은 현상을 공간전하에 의한 코로나저지 현상

이라고 부르며 이 현상이 일어나고 있는 EP에서는 코로나전류가 부족하게 되므로 입자는 충분히 락 부착되지 않으며 일반적으로 집진성능은 낮다. 여기에 대처하기 위해서는 ① 전극간격의 축소화 ② 대전류형 방전극의 적용 ③ 예비하전 등의 방법이 취해지는 수가 많다.

3. 電氣集塵技術의 최근의 動向

전기집진기술의 현상을 분석하여 세계적인 이 분야 기술의 변화에 대처 그 진보를 촉진하는 것을 목적으로한 「전기집진국제회의」가 정기적으로 개최되고 있다. 지난 84년에 제 2회 국제회의가 일본 교토(京都市)에서 개최되었는데 표 1은 동 회의에서 취급되기를 희망하는 테마에 대해서 사전에 앙케이트 조사를 실시한 결과를 정리한 것이다. 여기서는 이러한 속에서 전기집진에 있어서 ① 절약에너지화 ② 마이크로미터 및 전기집진기술의 영원한 과제라고 생각되는 역전리의 개선방법의 예 ③ 펄스하전법 ④ 배기가스 조정법에 대해서 소개한다.

〈표-1〉 전기집진기술에 있어서의 현재 및 장래의 회제

- (1) 전기집진과 渦過집진의 비교(기술 및 경제성)
- (2) 전기집진에 있어서의 절약에너지 기술
- (3) 새로운 2단식 전기집진장치와 그 이점(절약에너지性 逆코로나매책 · 渦流역제)
- (4) 高電界저전류 密度形집진실
- (5) 逆코로나방전책과 화학적방법에 의한 가스조정
- (6) 랑치다지기 재비산의 방지책
- (7) 보일러매연 종합처리 시스템에 있어서의 전기집진의 역할
- (8) 장래의 에너지기술을 지향한 전기집진(고온고압용 전기집진장치 및 디젤매연 전기집진장치등)
- (9) 입자의 배출기준 및 煙色기준의 현상과 장래
- (10) 기계집진장치의 전기적방법에 의한 고성능화(渦過집진 · 充塲층집진 · 流動층집진 · 스크러버등)
- (11) 전기집진장치의 마이크로프로세서, 컴퓨터에 의한 제어

- (12) 펄스하전
- (13) 예비하전기술
- (14) 서브미크론粒子的의 유효한 하전과 제거
- (15) 전기집진 과정의 물리적기구와 집진성능을 좌우하는 要因子
- (16) 전기집진장치의 수학모델과 컴퓨터에 의한 捕集성능 추정
- (17) 가스의 渦動을 억제하는 방법
- (18) 전기적 부착력과 더스트 재비산현상
- (19) 전기집진에의 전하량의 응용
- (20) 서브미크론粒子的의 발생기구와 연소과정과의 관계
- (21) 더스트의 특성판정과 집진難易度의 예측(더스트의 화학적 성질을 포함)
- (22) 플라이어쉬抵抗率의 豫測法과 測定法
- (23) 플라스마 전기집진장치의 諸元결정을 위한 파이로트 플랜트 · 테스트
- (24) 전기집진 파이로트 · 플랜트 및 實플랜트의 내부진단법
- (25) 廣間隙形 및 狹間隙形 전기집진장치
- (26) 집진성능에 미치는 가스流速분포의 영향
- (27) 특수구조의 전기집진장치(전물집진장치 · 스크레퍼부착 전기집진장치 · 회전원통형 전기집진장치등)
- (28) 실내공기 정화용 전기집진장치
- (29) 기타의 정전기 응용에 있어서의 토픽(분리 · 누설 발전장치 · 정전기측정 · 농약살포 · 塗裝도막 · 이온추진등)

(1) 절약에너지化

원래 EP는 다른 집진장치에 비해 통풍손실이 작기(10~20mmAg)때문에 팬의 소요동력이 적고, 또 코로나방전에 요하는 전력도 매우 낮으므로 성에너지형의 집진장치라고 생각되어 왔다.

그러나 최근의 ① 사업용 화력의 대형화 ② 에너지 사정의 변화에 따른 석탄보일러의 증가 ③ 배출회전에 대한 규제의 강화등이 겹쳐 EP도 종래의 것 과 비교하여 대용량의 것이 건설하게 되었다. 이때문에 여기에 부수되는 EP의 고전압 전원의 용량도 당연히 큰 것으로 되어 소비되는 전력은 발전소내의 소요동력 가운데서도 무시할 수 없는 레벨에 까지 달하게 되는 경향에 있다. 이와 같은 상황하에

서 다음에 기술하는 마이컴제어, 펄스하전 기술은 EP의 省에너지화를 촉진하는 대표적인 신기술로서 주목되어 급속적으로 보급되고 있다.

(2) 마이컴制御

고성능 마이크로컴퓨터(마이컴)이 손쉽게 이용할 수 있게된 요즘 EP의 제어에의 적용이 성행되고 있다. EP의 마이컴제어의 대표적인 예로서는

① EP의 出구煙道에 광학식의 더스트 농도계를 설치하여 그 출력을 고전압전원의 제어계에 피이드백하고, 출구 더스트농도가 일정하게 되도록 집진실의 인가전압 혹은 코로나전류를 콘트롤함으로써 성능저하가 일어나지 않는 범위에서 소비전력의 절감을 도모한다.

② 망치다지기의 프로그램制御에 의해 집진극 망치다지기條件을 콘트롤한다.

③ 더스트의 종류 혹은 배기가스의 性狀에 따라 각집진실에 印加하는 전압 혹은 코로나전류를 콘트

롤하여 조건에 따른 EP의 최적인전을 실시한다.

④ EP의 운전상황을 감시·기록하고 만일 트러블이 발생했을 경우에는 데이터를 분석하는 자동복구 혹은 필요한 정보의 제공을 한다.

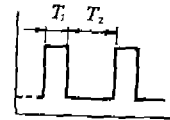
⑤ 플랜트측의 계산기 및 제어계와 연동시켜, EP를 구성하고 있는 각기기의 기동, 정지, 최적 운전등을 자동적으로 행한다.

등을 생각할 수 있다.

이들 가운데 ①은 省에너지 운전 ②, ③은 EP의 성능개선(최고성능의 발휘)을 목적으로 한 것이다.

(注) 荷電率: r_c

$$r_c = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$$



T₁: 荷電時間
T₂: 休止時間

〈丑-2〉 間欠荷電效果의 一覽表

	타 이 프 I 高 抵 抗 (10 ¹¹ ~10 ¹² Ω·cm)	타 이 프 II 中 抵 抗 (10 ¹⁰ ~10 ¹¹ Ω·cm)	타 이 프 III 中~低抵抗 (~10 ¹¹ Ω·cm)
荷 電 特 性			
最 適 荷 電 率	$r_c = 1/5$	$r_c = 1/2 \sim 1/3$	$r_c = 1/2$
性 能 改 善 效 果			
性 能 向 上 率 (最 適 荷 電 率에 있어서)	1.1~1.5	1.1~1.3	0.8~1.0
省 에너지 效果 (最大性能時로 하는 連續荷電을 100으로 한다)	10~30	30~50	50
石 灰 性 狀	海外灰(低硫黃·低알카리)	一般海外灰	高硫黃·高알카리
對 象 플랜트	· 石灰火力 · 鐵礦石燒結	石灰火力	· 石灰火力 · 시멘트 · 重油火力 · 都市쓰레기燒却爐

(3) 펄스荷電

「펄스荷電」 그 자체는 화이트에 의해 1950년대에 처음으로 제안된 것이나 최근에 그 ① 高저항더스트에 대한 성능개선 효과 ② 省에너지 효과가 다시 평가되어 정력적인 연구개발 아래 급속적으로 보급되고 있는 기술이다.

펄스는 인가하는 전압의 폭 τ 에 의해

① 밀리세컨드펄스(「間欠荷電」) $\tau = 5 \sim 20 [ms]$

② 마이크로세컨드펄스 $\tau = 50 \sim 200 [\mu s]$

③ 나노세컨드펄스 $\tau < 1 [\mu s]$ 로 대별된다.

이들 펄스荷電방식 가운데 「間欠荷電」에 대표되는 밀리세컨드펄스의 특징과 효과를 정리한 것이 표 2이다. 일반적으로 더스트의 전기저항율이 높아질수록 간결하전으로 하는데에 따르는 집진성능의 개선율이 높기때문에 그때의 최적하전율(주)도 작게 된다. 즉 省에너지 효과도 크게 된다(하전율과 소비전력은 거의 비례관계에 있다) 간결하전방식은 성능개선면에서는 펄스폭이 작은 마이크로세컨드펄스등의 펄스하전방식에는 미치지 못한 것이나 다른 방식에 비해 전원이 매우 싸기 때문에 현재는 해외까지 급속으로 보급되고 있다.

펄스하전이 종래의 직류하전방식에 비해 더스트의 전기저항치의 높은 영역에 있어서 특히 유효한 이유로서는 그 ① 코로나전류 분포의 一様性 ② 電極간의 높은 피크전압의 인가등을 들 수 있다. 역전리의 시발조건은 $E_a = i_c \cdot \rho_a \geq E_{as}$ 로 표시된다.

즉 더스트층에 흐르는 코로나전류 i_c 와 더스트의 전기저항치 ρ_a 의 積으로 표시되는 더스트층내의 電界강도 E_a 가 더스트층의 파괴전계強度 E_{as} 를 넘으면 逆電離가 발생한다. 直流전하방식에서 고저항더스트를 포집하는 경우에 역전리를 억제하려고 電流를 조이면 전압은 대폭으로 저하할 뿐만 아니라 방전극상의 코로나는 불균일하게 되어 집진극상의 코로나전류에는 큰 분포가 생기게 된다.

때문에 코로나전류의 큰 곳에서는 역전리가 발생하고 그 이외의 곳에서는 코로나전류가 거의 0에 가까운 상태로 운전되어 재비산을 유발한다는 EP로서는 매우 바람직하지 못한 상황이 된다. 이에 대

해서 펄스하전에서는 코로나전류 분포가 보다 균일하게 되므로 역전리가 시발하기까지의 코로나전류를 높게 잡을 수가 있을 뿐더러 높은 피크전압의 인가도 가능하게 되므로 직류하전에서는 현저하게 낮았던 고저항 더스트에 대한 EP의 집진성능을 대폭으로 개선할 수가 있다. 펄스하전방식은 이와같이 종래의 직류하전방식에 비해 몇가지의 장점을 갖고 있음에도 불구하고 현재 그렇게 보급되지 않고있는 최대의 이유는 전원코스트가 높음에 있는데 앞으로 보급을 위해서는 전원 코스트다운이 급선무이다.

(4) 排氣가스 조정

EP의 집진성능 개선법의 하나로 배기가스중에 調質劑를 주입하는 방법이 있다. 調質劑로서는 물, 수증기, SO_2 , NH_3 , 트리에틸아민, Na鹽등 단순한 액체 혹은 가스에서 화학물질까지 다종다양하다.

이 가운데 SO_2 注入法은 석탄보일러용 저온EP의 성능개선법으로서 알려지고 있으며, 여러 외국에서는 건설된 EP가 초기성능을 만족하지 않을 경우와 사용석탄의 변경 혹은 배출규제 강화에의 대응으로서 널리 사용되고 있다.

이 방법은 배기가스중의 SO_2 의 주입에 의해 플라이트슈의 표면에 硫酸등의 導電性 피막을 형성하게 됨으로써 전기저항치를 내리며, 역전리를 경감 혹은 해소시켜 집진성능을 향상시키려는 것이다. 주입량으로서는 10~30ppm정도가 일반적이며 그 개선 효과는 炭종류에 따라 달라지나 대부분의 炭종에 대해서 상당한 개선효과가 기대된다.

Na주입법은 석탄보일러용 고온 EP에 있어서 經時的인 성능 劣化대책으로서 실시되었다. 즉 집진극상의 플라이트슈층의 전기저항치의 상승의 원인으로 생각되는 집진극과의 界面에서의 알칼리금속(Na, K등) 이온의 고갈을 해소하는 목적으로 주입하는 것이다. 극소량의 Na의 소금(Na_2SO_4 , Na_2CO_3 등)을 석탄에 섞어 연소시킴으로써, 高溫 EP의 현저한 성능개선 효과가 확인되고 있다. 또 저온 ER에 있어서도 대단히 집진성이 나쁜 炭종에 대해서 대폭적인 집진성능의 개선을 볼 수 있었던 예가 있다.

*