

정코로나방전방식의 2단계진장장치에서 부유립자크기에 따른 제진특성

김명철, 임현철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《현시대는 과학기술의 시대이며 과학기술의 발전수준은 나라의 종합적국력과 지위를 규정하는 징표로 됩니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 38페이지)

과학기술의 시대인 오늘날 우리 당은 인민경제 모든 부문을 자강력제일주의를 높이 발휘하여 과학기술의 힘으로 발전시켜나갈것을 요구하고있다.

플라즈마를 리용하는 무진, 무균화기술은 그 효율이 높고 출력소모가 낮으며 사용수명이 길뿐아니라 경제적으로 실리가 큰 최신기술이다.

지금까지 부코로나방전에 대한 기초 및 응용연구는 비교적 많이 진행되어왔고 산업용으로 리용되어온 정전제진장치들도 그 대부분이 부코로나방전방식에 기초하고있다.[1, 3]

정코로나방전방식에 기초한 제진장치에 대한 이론적연구는 최근시기에 와서야 진행되어오고있으며 특히 부유립자의 크기에 따른 제진특성에 대하여 발표된 자료는 거의 없다.

우리는 정코로나방전방식의 2단계진장장치에서 이온화단의 전기마당분포특성과 부유립자크기에 따른 대전효과 및 제진특성에 대하여 연구하였다.

1. 선-판식이온화단방전계에서 전기마당의 분포특성

이온화단의 전극구조는 선-판식구조로 되어있으며 그것의 기하학적형태에 적합한 쌍극자리표계 (σ, τ, z) 를 도입하면 직각자리표계 (x, y, z) 와 다음과 같은 관계를 가진다.(그림 1)[2]

$$\begin{cases} x = a \frac{\sin \sigma}{\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma} \\ y = a \frac{\operatorname{sh} \tau}{\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma} \\ z = z \end{cases} \quad (1)$$

곡선자리표계를 직각자리표계로 변환하면 미분자리표선요소들사이에 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$(dr)^2 = dl_\sigma^2 + dl_\tau^2 = (h_\sigma d\sigma)^2 + (h_\tau d\tau)^2 \quad (2)$$

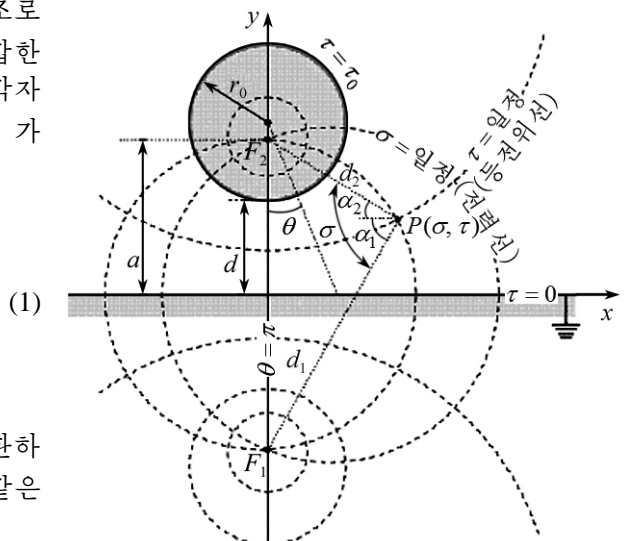


그림 1. 쌍극자리표계를 리용한 선-판식전극구조

$$h_{\sigma} = h_t = \frac{a}{\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma} \quad (3)$$

쌍극자리표계에서 전극계를 이루는 선과 판은 각각 $\tau=0$, $\tau=\tau_0$ 인 자리표로 나타난다.

공간전하효과를 고려하여 두 전극사이공간에서의 전기마당세기분포를 계산하고 그림 2와 3에 전극사이전압이 각각 8, 8.5kV일 때 x 축 및 y 축에 따르는 전기마당세기분포를 보여주었다.

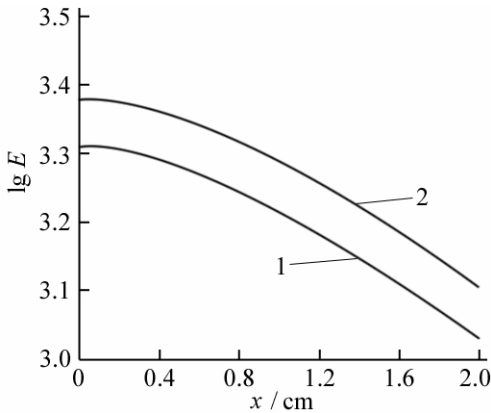


그림 2. x 축에 따르는 전기마당세기분포
1, 2는 전극사이전압이 각각 8.0, 8.5kV인 경우

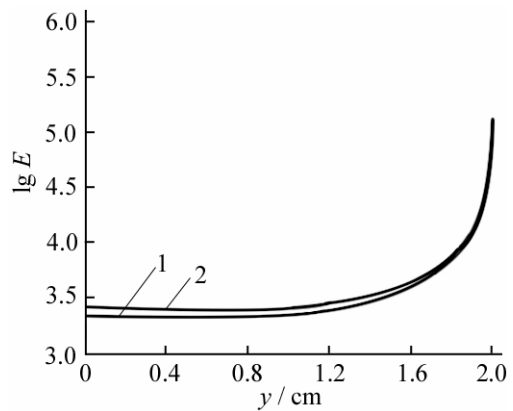


그림 3. y 축에 따르는 전기마당세기분포
1, 2는 그림 2와 같음

그림 2와 3에서 보는바와 같이 선전극쪽으로 가면서 전기마당세기가 급격히 증가하며 선전극에 걸어주는 전압이 높을수록 전기마당세기가 증가한다는것을 알수 있다.

2. 부유립자의 대전효과

부유립자의 대전효과는 장치의 제진특성과 직접 관련되어있다. 전기마당속에서 부유립자는 이온충돌대전과 이온확산대전의 두가지 방법으로 대전된다.

이온충돌대전에 의한 부유립자의 포화대전량은 립자를 구모양이라고 할 때 다음식으로 쓸수 있다.

$$q_{\text{충돌}} = 4\pi D \varepsilon_0 a_{\text{부}}^2 E \quad (4)$$

여기서 D 는 부유립자의 대전결수로서 $D = \frac{3\varepsilon_r}{\varepsilon_r + 2}$ (ε_r 는 부유립자의 상대유전률)이며 $a_{\text{부}}$ 는 부유립자반경, E 는 외부전기마당세기이다.

이온확산대전에 의한 부유립자의 포화대전량은

$$q_{\text{확산}} = \frac{20\pi \varepsilon_0 k_0 T}{e} a_{\text{부}} \quad (5)$$

로 쓸수 있다. 여기서 k_0 은 볼츠만상수, T 는 전극공간온도, e 는 전기소량이다.

이온충돌대전이나 이온확산대전에 의한 포화대전량은 다같이 부유립자의 반경 $a_{\text{부}}$ 에 관계되지만 외부전기마당세기는 이온충돌대전에만 영향을 미친다.

만일 선-판전극계를 통과하는 기체흐름속도를 v_g , 판전극길이를 L_1 이라고 하면 선-판

전극계를 통과하여나오는 부유립자가 띠게 되는 전하량은 다음과 같다.

$$q_{\text{출}} = \frac{4\pi\epsilon_0 a L_1 (DaE + 4.31375 \cdot 10^{-4} T)}{IL_1 + 4\epsilon_0 EA v_g} \quad (6)$$

여기서 A 는 판전극의 결면적이다.

그림 4에 선전극반경이 $100\mu\text{m}$, 극간거리 20mm , 극간전압 8kV , 판전극길이 40mm , 온도 298K , 압력 101kPa 일 때 선-판전극계를 통과해나오는 부유립자직경에 따르는 출구 전하량분포를 보여주었다.

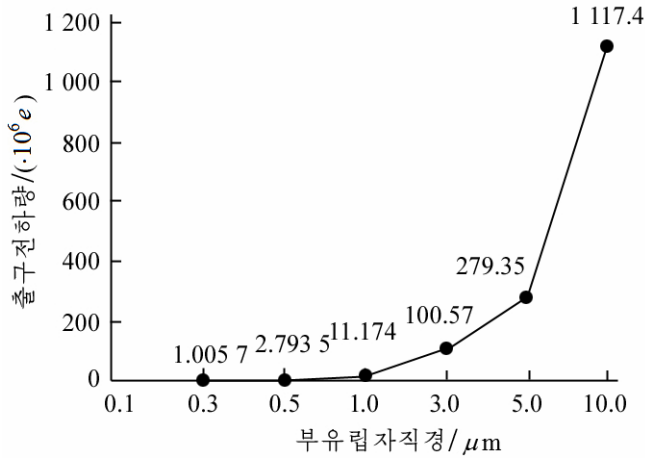


그림 4. 부유립자직경에 따르는 출구전하량분포

그림 4에서 보는것처럼 $0.3 \sim 10\mu\text{m}$ 인 부유립자크기에 따라서 대전정도가 크게 차이 나며 위의 조건에서 최소한 $10^6 e$ 만 한 전하량으로 부유립자가 대전된다는것을 알수 있다. 부유립자의 대전량은 기체압력이 낮을수록, 코로나선반경이 작을수록, 극간거리가 짧을수록 더 커진다.

부유립자의 대전특성에서 두 효과의 상대적인 기여몫을 평가하기 위하여

$$\beta = \frac{q_{\text{확산}}}{q_{\text{충돌}}} = \frac{5k_0 T}{eDa_{\text{부}}E} \approx 5.18 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{a_{\text{부}}E} \quad (7)$$

로 정의되는 파라메터 β 를 도입한다.

선-판식전극계에서 전기마당세기가 각각 $30, 100\text{kV/cm}$ 인 값을 가질 때 부유립자직경에 따르는 β 의 변화특성을 그림 5에 보여주었다.

그림에서 보는것처럼 크기가 $0.3 \sim 1\mu\text{m}$ 인 부유립자들에서 이온충돌대전이 우세하며 립자크기가 증가함에 따라 이러한 경향성이 더 세진다는것을 알수 있다.

특히 립자의 크기가 $0.3\mu\text{m}$ 이하일 때에는 확산대전을 무시할수 없으며 따라서 이러한 작은 립자들에 대한 제진효율을 높이기 위하여서는 가슴 등의 방법으로 확산대전효과를 높여주어야 한다는것을 알수 있다.

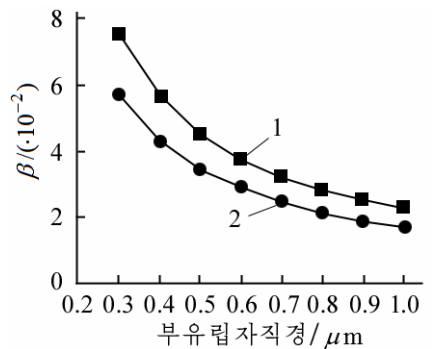


그림 5. 부유립자직경에 따르는 β 의 변화특성

1, 2는 전기마당세기가 각각 $30, 100\text{kV/cm}$ 인 경우

3. 부유립자의 크기에 따르는 제진특성

이온화단에서 일정한 포화량으로 대전된 부유립자들은 수집단의 강한 전기마당의 작용으로 수집전극에 수집된다.

부유립자들이 수집단에서 수집되는 정도는 다음과 같이 정의되는 제진효율로 특징지을 수 있다.

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{vL_2}{v_g d_2}\right) \quad (8)$$

여기서 v 는 부유립자의 표류속도이며 v_g 는 기체의 흐름속도, L_2 와 d_2 는 각각 수집단전극길이와 극간거리이다.

숫식으로부터 풍속이 1.2m/s, 이온화전압이 7.5, 8.0, 8.5kV일 때 부유립자직경에 따르는 제진효율을 계산하였다.(그림 6)

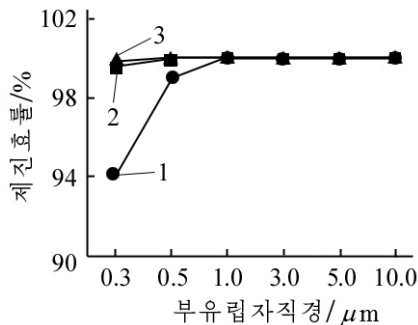


그림 6. 부유립자직경에 따르는 제진효율(계산값)

1-3은 각각 이온화전압이 7.5, 8.0, 8.5kV인 경우

리론적인 결과로부터 풍속이 작을수록, 이온화전압이 높을수록 제진효율이 더 높아진다는 것을 알 수 있다.

실제 플라즈마부유립자제진장치의 제진효율을 평가하기 위하여 AM-4202형 수자식풍속계와 Y09-3016형 레이저미립자측정기를 리용하여 풍속이 1.2m/s, 이온화전압이 7.5, 8.0, 8.5kV인 경우에 립자크기에 따르는 부유립자제진효율을 측정하였다.(그림 7)

위의 결과로부터 크기가 3~10 μm 인 부유립자들에 대하여 제진효율은 거의 100%, 크기가 1~3 μm 인 부유립자들에 대하여서는 평균 80% 이상이라는 것을 알 수 있다. 크기가 1 μm 이하인 립자들에 대하여서는 측정값과

리론값의 차이가 비교적 크다. 그 원인은 충돌대전이 립자크기의 2제곱에 비례하므로 립자크기가 작을수록 대전량도 급속히 작아지며 작은 립자를 대전시키는 기본물림새인 확산대전효과가 기체의 흐름속도에 의하여 교란되기 때문이다.

그러므로 작은 크기의 립자들에 대한 정전기제진효과는 리론적으로 계산된 값보다 더 낮아지게 된다.

측정결과로부터 풍속 1.2m/s, 전압 8.0kV인 조건에서 PM_{2.5}인 립자에 대한 제진효율이 80% 이상으로 된다는 것을 알 수 있다. 이 경우에 풍속을 낮추고 전압을 높이면 보다 높은 제진효율을 보장할 수 있다.

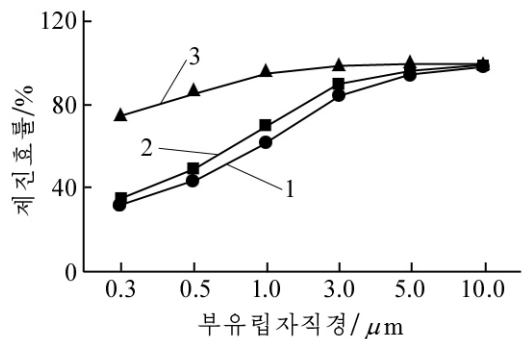


그림 7. 부유립자직경에 따르는 제진효율(측정값)

1-3은 각각 이온화전압이 7.5, 8.0, 8.5kV인 경우

맺 는 말

1) 선-판식정코로나방전의 전기적특성을 평가하기 위하여 쌍극자리표계에서 공간전하효과를 고려하여 전기마당세기분포를 계산하였다.

코로나선주위에서 전기마당세기가 가장 크며 판전극쪽으로 갈수록 급격히 감소하는 경향성을 가진다.

2) 선-판식정코로나방전을 리용하는 2단식정전제진기에서 부유립자의 대전특성을 평가하였다.

3) 선-판식정코로나방전을 리용하는 2단플라즈마부유립자제진장치의 제진효률을 평가하였다.

결과 플라즈마부유립자제진장치의 제진효률은 90%이상이며 생산공정의 무균화, 무진화를 실현하는데서 매우 효과적이라는것을 알수 있다.

참 고 문 헌

[1] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 3, 82, 주체105(2016).

[2] K. Yanallah et al.; J. Phys., D 46, 12, 2013.

[3] V. Scholtz et al.; Acta Physica Polonica, A 119, 803, 2011.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

The Removal Characteristics of Floating Particles with Size of Particles in Two-Stage ESP based on Positive Corona Discharge

Kim Myong Chol, Im Hyon Chol

In the present work, we introduced biopolar coordinate system appropriated to the wire-to-plane electrodes of ionization stage which is the first stage of two-stage dust ESP(electrostatic precipitator) and estimated the electric field distribution in the space between electrodes.

Then, charging characteristics of dust particles and removal efficiency with size of particles were studied.

Key words: positive corona discharge, two-stage dust removal