

선대 평판 전기 집진기의 V-I 특성 계산

김길신, 심재학, 고광철, 강형부
한양대학교 전기공학과

Computation of V-I characteristics in wire-plate electrostatic precipitators

Kill-Sin Kim, Jae-Hak Shim, Kwang-Cheol Ko, Hyung-Boo Kang
Dept. of Electrical Eng., Hanyang University

[Abstract]

In this paper we study the voltage-current characteristics inside the wire-plate precipitators by numerically solving the Poisson's equation and current continuity equation. The effects of a wire size, wire-wire spacing, wire-plate spacing and effective mobility have been considered.

게 한다. 또한 이 모델은 전기 집진기 운전에 대한 다른 조건들의 영향을 분석하는데 사용될 수 있다.

선-평판형 집진기의 특성을 나타내는 방정식들의 해는 방정식이 간단한 대수적 해를 갖지 않으며 비선형적이고, 전계와 공간전하밀도가 매우 유기적으로 결합되어 있으며, 이온들과 하전입자의 이동도가 전계의 함수이기 때문에 일반적으로 구하기가 어렵다.

1. 서 론

일반적으로 가스 또는 액체 중에 부유하고 있는 고체나 유체 등의 미립자에 전계를 작용시켜 대전시키면 이 대전입자는 Coulomb력에 의해 반대극성의 전극을 향해 이동한다. 이 원리를 이용하여 가스 또는 액체에서 부유하고 있는 미립자를 전기적으로 제거하고 포집하는 것을 전기집진기라 한다. 전기집진 장치는 1906년에 F.G. Cottrell이 처음 공학적으로 응용하였고, 그 후에 다른 오염물질 제거장치보다 운영비용이 적게 들고 전력 소비가 적으며, 집진 효율이 매우 우수하고 유지보수가 용이한 많은 장점을 가지고 있어서 산업용, 가정용으로 널리 사용되고 있다.

전기 집진기는 크게 코로나 방전을 발생시키는 방전 전극과 미립자를 수집하는 수집 전극으로 구성되며, 방전 전극으로는 주로 선 전극이, 수집 전극은 평판형과 원통형 전극이 사용되고 있다. 본 연구에서는 선-평판형 전극 구조를 다룬다.

선-평판형 집진기에서의 전압-전류 특성은 운전 중 발생하는 전기적 문제들을 측정하는데 중요하다. 전기 집진기의 전압-전류 특성을 나타내는 모델은 설계 단계에서 선 전극의 반경, 선-선 간격, 선-평판 간격에 따른 전압 및 전류의 해석을 가능하

2. 본 론

2.1 지배 방정식

선-평판형 구조의 전계 계산은 공간전하가 없는 경우에도 어렵다. Cooperman은 등각사상법을 이용하여 공간전하가 없을 때 선-평판형 전극에서의 전위를 해석적으로 구하는 식을 제시하였다 [1].

정상상태에서 자계효과를 무시하면 일반적으로 Maxwell 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (2)$$

$$D = \epsilon_0 E \quad (3)$$

$$E = -\nabla V \quad (4)$$

$$J = \rho b E \quad (5)$$

식(3)과 (4)를 결합하여 이차원 직교좌표계로 이산화시킨 Poisson 식은 아래와 같다.

$$\frac{\Delta^2 V}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 V}{\Delta y^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (6)$$

전류 연속식 식(2)를 식(5)를 이용하여 고쳐 쓰고 이산화시키면,

$$\left(\frac{b}{\epsilon_0}\right)\rho^2 + \left(\frac{\Delta b}{\Delta x} E_x + \frac{\Delta b}{\Delta y} E_y\right)\rho + \left(\frac{\Delta \rho}{\Delta x} E_x + \frac{\Delta \rho}{\Delta y} E_y\right)b = 0 \quad (7)$$

선-평판형 집진기의 전기적 특성을 구하기 위해서는 식(6)과 (7)를 경계조건과 함께 동시에 풀어야 한다.

2.2. 수치해법

그림 1은 식(6)과 (7)의 수치해석 영역을 나타내고 있다.

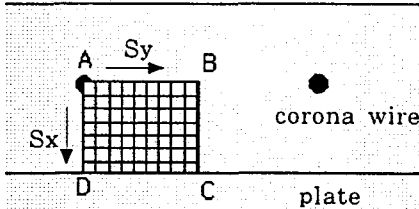


그림 1. 전기 집진기의 수치해석 영역

계산의 편의성을 위해 전극은 깨끗하며, 방전 전극은 완전한 원형 선 전극이고, 선 표면에서 균일하게 코로나 방전이 형성된다고 가정한다. 또한 코로나 전리영역의 두께는 무시할 수 있으며, 공간전하 영역에는 한 극성의 이온만 존재하고, 이온의 이동도는 단일 유효 이동도에 의해서만 결정된다고 가정한다. 본 연구에서는 실험적으로 구해진 값을 사용하였다.

그림 1에서 경계조건은 다음과 같다.

- (1) $\rho = \rho_0$ (점 A)
- (2) $E_x = E_y = 0$ (점 A, B)
- (3) $V = 0$ (직선 CD)
- (4) $E_x = 0$ (직선 AB)
- (5) $E_y = 0$ (직선 BC, CD, AD)

선 전극 부근에서의 정확한 공간전하 밀도를 계산하기 위하여 선 전극을 둘러싸고 있는 전리영역은 선-원통 형상일 경우와 같다고 가정하여 Peek의 코로나 개시 전압 실험식으로부터 아래의 식을 얻을 수 있다[2].

$$\rho_i = \frac{2S_0 J_p}{\pi b_i a f [30\delta + 9(\delta/a)^{1/2}]} \quad (8)$$

여기서, $\delta = \frac{T_0}{T} \frac{P}{P_0}$, f 는 전극 표면 저하율을 나타내는 양이다. 본 연구에서 상대공기밀도 δ 와 전극표면 저하율 f 는 1로 하였다.

식(6)의 Poisson 방정식과 식(7)의 전류 연속

식은 유한차분법을 이용하여 계산하였다.

수치 해석 순서는 다음과 같다.

- (1) 선 전극에서의 전위를 입력하고, 각 격자점에서의 전위를 계산.
- (2) 선 전극에서의 공간전하 및 각 격자점에서의 공간전하를 계산.
- (3) 각 격자점에서의 전위를 다시 계산.
- (4) 전위가 수렴할 때까지 (2)와 (3)를 반복 계산.
- (5) 계산된 전류와 입력 전류를 비교하여 기준값으로 수렴할 때까지 (1)에서 (5)까지 반복 계산.

본 연구에서 전위의 수렴조건은 1%, 전류는 0.01% 이내로 하였다. 평판에서의 평균 전류 밀도는 공간전하 밀도와 전계 값을 이용하여 아래와 같이 계산된다.

$$J_p = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \rho_i b E_x \quad (9)$$

여기서, m 은 평판 전극의 격자점 수이다.

2.3 계산 결과

그림 2에서 4까지는 집진기 구조의 크기에 따른 전압-전류 특성을 나타냈고, 그림 5는 유효 이동도 값에 따른 특성을 나타냈다.

그림 2는 선 전극의 반경에 따른 전압-전류 특성을 나타내고 있다. 그림에서 선 전극의 반경이 증가함에 따라 더 높은 개시전압이 필요함을 알 수 있다. 또한 같은 전압에서는 더 낮은 전류 값을 갖게 됨을 알 수 있다.

그림 3은 선-평판 사이의 간격의 증가는 개시전압에는 비교적 영향이 크지 않음을 나타내며, 같은 전압에서는 전류 값이 크게 떨어지게 됨을 알 수 있다.

그림 4는 선-선 간격이 어떤 범위 내에서는 전압-전류 특성에 별로 영향을 미치지 않음을 보여 주고 있다.

그림 5는 유효 이동도 값에 따른 전압-전류 특성을 나타내고 있다. 부유물질들이 집진기로 유입되면 이온에 의해 대전되어, 전전류와 공간전하 형성에 영향을 끼친다. 대전된 부유물질은 낮은 이동도 때문에 전류에는 크게 영향을 주지 못하나, 공간전하 효과에는 상당히 기여한다고 볼 수 있다. 공간전하 효과는 이동도 값을 더욱 낮게 하

며, 따라서 개시전압은 높아지게 됨을 보여주고 있다.

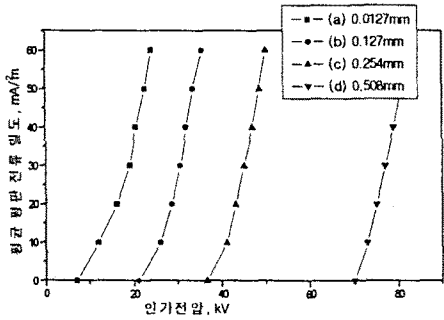


그림 2. 선 전극 반경에 따른 전압-전류 특성
 $S_x=0.1143m$, $S_y=0.1143m$
 $b=2.2 \times 10^{-4} m^2/V \cdot s$

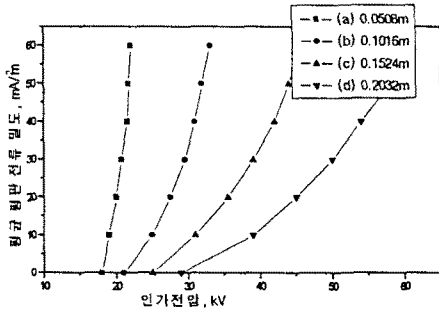


그림 3. 선-평판 간격에 따른 전압-전류 특성
 $S_y=0.1143m$, $a=0.127mm$
 $b=2.2 \times 10^{-4} m^2/V \cdot s$

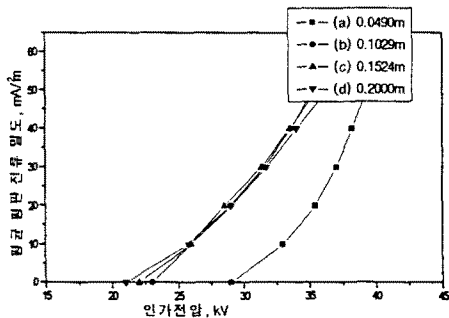


그림 4. 선-선 간격에 따른 전압-전류 특성
 $S_x=0.1143m$, $a=0.127mm$
 $b=2.2 \times 10^{-4} m^2/V \cdot s$

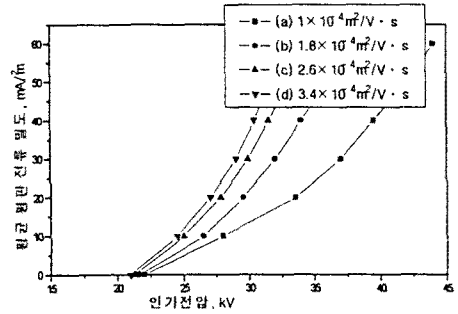


그림 5. 유효 이동도 값에 따른 전압-전류 특성
 $S_x=0.1143m$, $S_y=0.1143m$
 $a=0.127mm$

3. 결 론

선-평판형 전기 집진기의 전압-전류 특성을 선 전극 반경, 선-선 간격, 선-평판 간격에 따라 계산하였고, 유효 이동도 값의 변화에 따라 계산하였다. 전계와 위치의 함수인 이동도를 단일 이동도 값으로 나타내는 것은 다소 무리가 있어 추후에 개선될 필요가 있다. 선 전극 부근에서의 전하밀도는 실험식으로부터 구해졌기 때문에 프로그램이 실험에 의존한다는 단점이 있다. 따라서 추후에 선 전극 부근에서의 전하밀도를 계산하는 프로그램을 개발할 필요가 있다.

(참 고 문 헌)

- (1) J. R. McDonald, W. B. Smith, and H. B. Spencer, "A mathematical model for calculating electrical conditions in wire duct electrostatic precipitation devices", J. Appl. Phys., 48(6), 2231, 1977
- (2) G. A. Kallio and D. E. Stock, "Computation of electrical conditions inside wire-duct electrostatic precipitator using a combined finite element, finite difference technique", J. Appl. Phys., 59, 1799, 1986
- (3) Phil A. Lawless and Lesile E. Sparks, "A mathematical model for calculating effects of back corona in wire-duct electrostatic precipitators", J. Appl. Phys., 51, 242, 1980