

Charging Characteristics of Electrostatic Sprayer Applied Square Pulse

朴勝祿*, 文在德**
(Seung-Lok Park, Jae-Duk Moon)

Abstract - In this study, new type of induction charging system for electrostatic spraying was manufactured and proposed to improve the electrical safety and charging efficiency. And parameters of proposed system to generate the maximum deposition current with electrical safety were selected and investigated. The selected parameters were frequency of square pulse and thickness of insulation material, outer diameter of device and thickness and positions of electrode. Charging quantity of water drop was measured by deposition current detected from sensing plate indirectly. The maximum deposition current for each parameter were 3.5[uA] at the frequency of 15[kHz] and thickness of 0.25[mm] insulating layer. And maximum deposition currents were 2.8[uA] and 3.0[uA] at 25[mm] outer diameter of charging device and 0.25[mm] thickness of electrode each. Effects of electrode position from spraying nozzle on deposition current was a little.

Key Words : Electrostatic Spraying, Induction Charging, Square Pulse, Charging Efficiency, Deposition Current

1. 서 론

농약 산포는 농작물을 해충이나 병으로부터 보호하여 보다 많은 수확량을 얻기 위한 것으로, 현재는 국내에서 주로 수동 또는 동력산포기가 사용되고 있다[1,2].

종래의 농약 산포방법으로는 산포된 농약 중 실제 작물에 부착하는 양은 20%이하(잎 뒷면은 5%이하)로 매우 적고, 대부분인 65%는 지면으로, 그리고, 15% 이상은 목적 이외의 곳으로 유출(drift)되는 단점이 있다. 즉, 재래의 농약산포 방법으로는 실제 해충이나 병균의 제거 효율이 5~15% 정도로 매우 적으며, 대부분인 80%이상의 농약은 오히려 환경을 오염시키는 원인이 되고 있는 실정이다[3]. 이때, 농약 산포기에서 분출된 농약은 관성력, 분출공기 또는 용액에 의한 수송력, 그리고 농약 입자의 중력 등에 의하여 농작물의 표면에 부착하게 되나, 실제 농작물에 부착되는 양은 매우 적기 때문에, 관성력이나 수송력, 그리고 중력 이외의 강력한 외력이 필요하게 된다[3].

이와 같은 강력한 외력으로 정전력을 이용하는 정전농약 산포법이 주목되어 현재까지 수많은 연구가 수행되어 왔으며 [5], 정전력을 이용하는 경우 실제 농작물에 부착하는 비율을 4배 이상으로 크게 상승시킬 수 있으며, 잎의 뒷면 부착율을 6배 이상으로 크게 높일 수 있다. 따라서 종래의 농약 산포 용량을 수분의 일 이하로 대량 감소시키고도 충분한 방제효

과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 농지나 수계에의 농약에 의한 환경공해발생을 근원적으로 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다[1-11].

현재 개발되어 있거나 개발 진행중인 정전분무장치는 외부에 노출된 전극에 직류의 전압을 인가하여 분무입자를 대전시키는 유도대전방식이 있다. 이 장치는 고전압이 인가된 전극이 전도성을 지닌 액체에 항상 노출되어 있으므로 인체에 위험하고 전기적인 면에서 누설이 많아 효율이 낮은 문제가 있다.

본 논문에서는 인체에 대한 안전성의 개선과 누설전력을 최소화하여 전력효율을 높일 수 있도록 전극과 액적 사이에 절연체를 개재한 대전장치와 여기에 구형파 펄스전압을 인가한 구조의 간접대전장치를 제안하였다. 이때, 제안된 대전장치가 최고의 대전량을 보일 수 있는 조건 즉, 전원과 대전장치중에 개재된 절연체와 외부에 설치되는 고전압 전극이 가지는 변수들을 조사함으로써 전기적인 안전성을 가지고 최고의 대전량을 발생시킬 수 있는 구조를 찾고자 하였다.

2. 실험방법 및 장치

그림 1은 본 실험에 쓰이는 노즐(nozzle)과 대전장치전극의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 기존의 노즐이며 실선으로 표시된 부분은 제안된 대전장치이다. 노즐은 내경 0.73[mm ϕ]인 노즐을 사용하였고, 전극으로는 환형전극(copper, 두께 2.0[mm])을 사용하였고, 기존의 노즐에 부착할 수 있도록 봉 형태의 MC 나일론(nylon)을 가공하여 프레임으로 사용하였고, 프레임의 길이는 분무되는 입자의 각도(45° ~ 60°)를 고려하여 12[mm]로 정하였다. MC봉으로 만든 원통형 절연체 외부에 환형 전극(brass, 3[mm])을 끼우고 원통형 절연체의 중심에 설치된 노즐에서 분무되는 액적

* 正會員 : 金烏工大 電子工學部 BK21契約教授 · 工博

** 正會員 : 慶北大 工大 電子電氣工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2003年 7月 2日
最終完了 : 2003年 11月 18日

들이 유도 대전되도록 환형 전극에 구형과 펄스전압을 인가하였다.

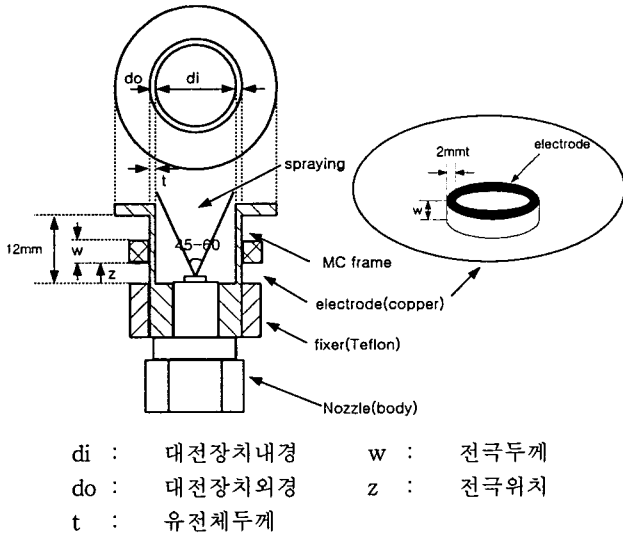


그림 1 구형과 펄스 정전 대전장치의 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of square pulse induction apparatus

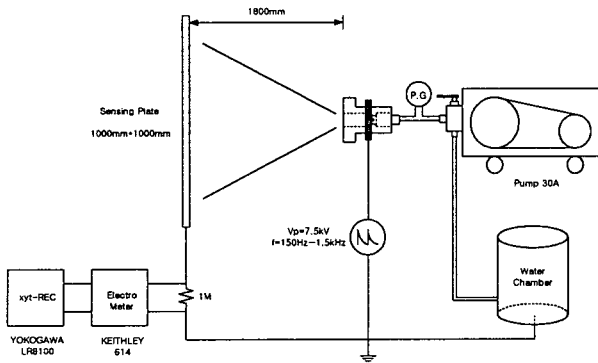


그림 2 정전분무 실험장치
Fig. 2 Schematic of experimental setup of electrostatic spraying

그림 2에서 보듯이 대전된 물방울이 노즐에서 1.8[m] 떨어진 검출판 (Sensing Plate, 함석판, 1,000[mm]×1,000[mm])에 도달하게 되면 물방울의 전하들이 전류의 형태로 흐르게 되고, 이것은 측정저항을 통하여 전압의 형태로 변환된다. 이 전압을 내부 입력 임피던스가 $10^{13}[\Omega]$ 인 정밀전위계(Electrometer, Keithley, model 614, U.K.)로 측정하고, 연속적인 측정을 위하여 X-Y-t 기록계(X-Y-t Recorder, Yokogawa, LR-8100, Japan)를 사용하였다. 그리고 실온 15[°C], 습도가 30[%RH]의 일정한 조건에서 실험하였고, 외풍은 없는 상태에서 실험하였다.

또한, 실제 적용에 있어서는 바람이 중요한 인자로 작용하나 본 논문에서는 대전량에 중점을 두었으므로 외풍이 없는 상태에서 실험하였다. 노즐에서 분무되는 물방울은 30[kgf/cm²]의 압력을 유지하도록 동력분무기(model 30A, 토출량 : 30[LPM])를 사용하였고, 압력계로 그 값을 확인하였다.

그림 3은 구형과 펄스 전원장치의 개략도를 보여준다. 전

력 회로는 상용 전원에서부터 DC 전압을 얻기 위한 정류기 (Rectifier), DC 전압에서 주파수 및 펄스 폭 가변이 되는 구형과 교류 전압을 위한 인버터(Inverter), 고전압을 얻기 위한 변압기(Transformer)로 구성이 된다. 게이트 구동회로(Gate driving circuit)는 제어회로(Control circuit)에 소용량 직류 전원을 공급하는 전원회로와 전력용 스위칭소자(IGBT)를 구동하기 위한 게이트 신호 발생회로로 이루어져 있으며, 마지막으로 제어회로(Control circuit)는 출력전압의 주파수와 펄스 폭을 변조하기 위한 출력전압 제어 회로, 과전류로부터 시스템을 보호하기 위한 출력단 신호 검출 회로 및 보호 회로로 구성이 된다. 여기서 출력단에 전파정류기로 양극성의 구형과 펄스를 양의 단극성 펄스로 정류하여 실험하였다. 펄스의 주파수는 2.5, 5.0, 7.5, 10, 12.5, 15.0[kHz]로 가변하였고, 시비율은 40[%]로 고정하여 사용하였고, 인가전압은 배율이 1000:1인 고주파 고전압 프로브(Tektronix, model P6015A, USA)와 축적형 오실로스코프 (Tektronix, model 340A, USA)를 사용하여 측정하였다.

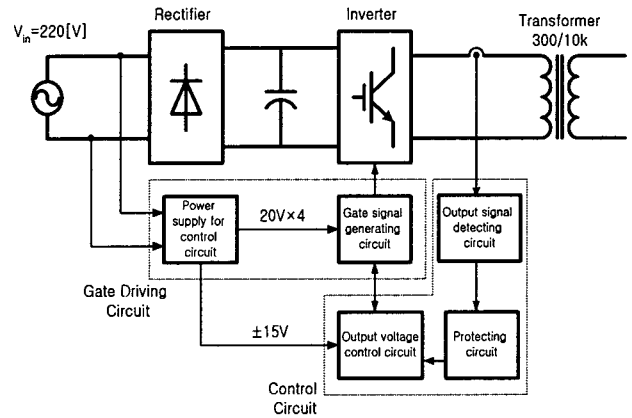


그림 3 구형과 펄스전원장치의 개략도
Fig. 3 Schematic diagram of square pulse power supply

3. 실험결과 및 고찰

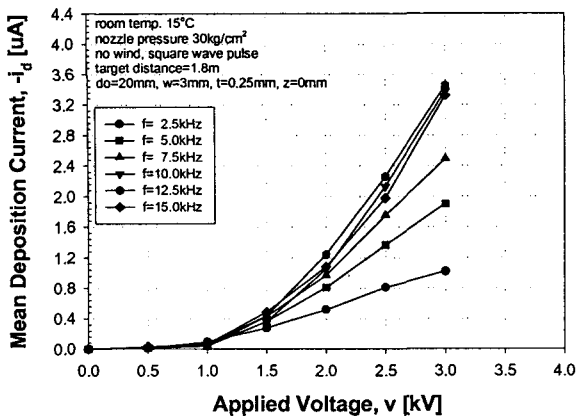
본 실험에서는 대전장치의 전기적인 변수(전압과 주파수)와 물리적인 변수(외경, 유전체 두께, 전극 위치)를 변화시켰을 때 인가전압에 따라 측정판에서 검출되는 대전 전류의 특성을 조사하였고, 얻어진 대전전류로부터 물방울에 대전된 전하량(Q)을 간접적으로 측정하였다. 또한, 분무된 물의 총 질량(M)을 측정하여 비전하량(Q/M)을 계산하였다.

실험시 선정된 변수들이 상호 영향을 끼치기 때문에 각각의 변수에 의한 영향을 알기 위하여 다른 변수는 고정한 상태에서 실험하였다. 인가하는 전압의 주파수는 2.5[kHz]부터 15.0[kHz]까지 가변하였다.

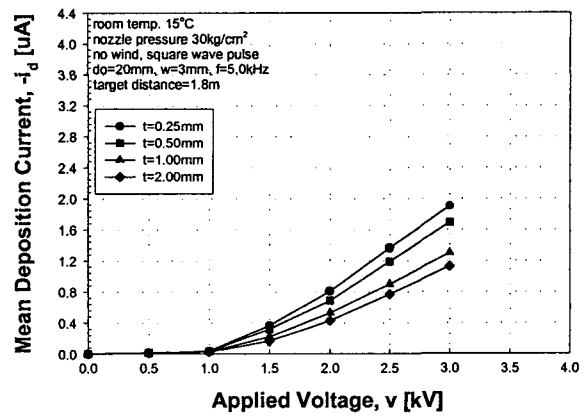
이때 인가하는 전원의 주파수는 다음과 같은 계산식에 의하여 결정하였다.

노즐압력 $P = 20[\text{kgf/cm}^2]$, 노즐의 직경이 $0.6[\text{mm}\phi]$ 일 때 노즐의 면적(A)은

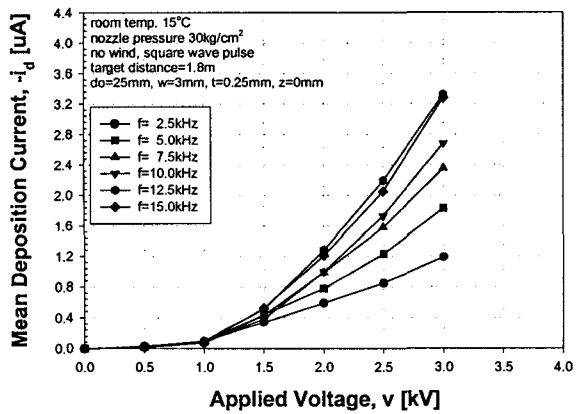
$$A = \pi r^2 = \pi (3 \times 10^{-2})^2 = 9\pi \times 10^{-4} [\text{cm}^2]$$



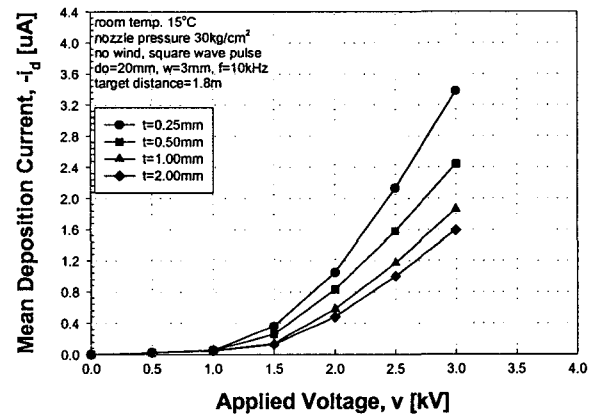
(a) do=20[mm], w=3[mm], t=0.25[mm], z=0[mm] 고정시



(a) do=20[mm], w=3[mm], f= 5.0[kHz], z=0[mm] 고정시



(b) do=25[mm], w=3[mm], t=0.25[mm], z=0[mm] 고정시



(b) do=20[mm], w=3[mm], f=10.0[kHz], z=0[mm] 고정시

그림 4 Square Pulse 주파수 변화에 따른 대전량 변화
Fig. 4 Charging Characteristic as a function of Square Pulse Frequency

이고, 노즐에서 분사되는 유량은 30[LPM]이므로 유속(V)은

$$V = Q/A = 106.16 [m/s]$$

이다. 이것은 노즐 표면에서의 마찰이나 다른 산란 인자들로 모두 무시한 결과이다.

이때, 두께 1.0[mm]의 전극을 사용할 경우 대전 가능 거리가 1.0[mm]이므로 최소주파수 106.16[kHz]가 되면 직류전압을 인가한 경우와 같아진다.

그림 4는 인가하는 구형파펄스의 주파수를 가변할 경우 전압에 따른 침전전류량을 측정된 결과이다.

그림 4 (a)는 대전장치외경(do)을 20[mm], 전극두께(w)를 3[mm], 절연체의 두께(t)를 0.25[mm], 전극의 z축상의 위치(z)를 0[mm]로 고정시켰을 때 전원 주파수에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전극에 인가하는 전압이 3[kV]일 때, 각 주파수에 따른 침전전류는 주파수 2.5[kHz]에서는 0.9[uA], 7.5[kHz]에서는 2.5[uA], 그리고 15[kHz]에서는

그림 5 유전체 두께 변화에 따른 대전량 변화
Fig. 5 Charging Characteristics as a function of Thickness of Insulation Material

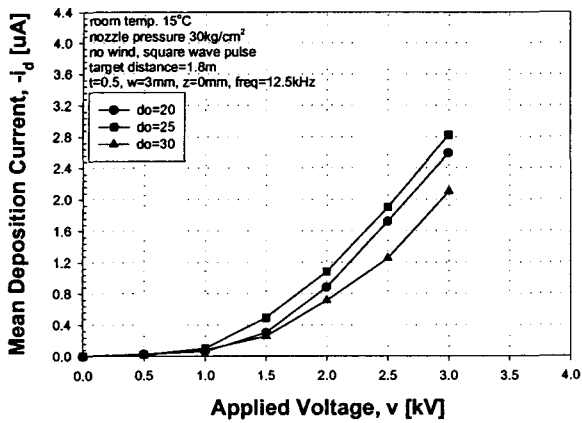
3.5[uA]로써 점점 증가해 가는 것을 볼 수 있는데, 주파수 10.0[kHz] 이상인 경우에는 침전전류의 증가가 거의 없음을 알 수 있다.

그림 4 (b)는 대전장치외경을 25[mm]로 증가시키고, 전극 두께를 3[mm], 절연체의 두께를 0.25[mm], 전극의 z축상의 위치를 0[mm]로 고정시켰을 때 전압에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때, 2.5[kHz]에서 1.2[uA], 2.5[kHz]에서 2.7[uA], 15[kHz]에서 3.3[uA]으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

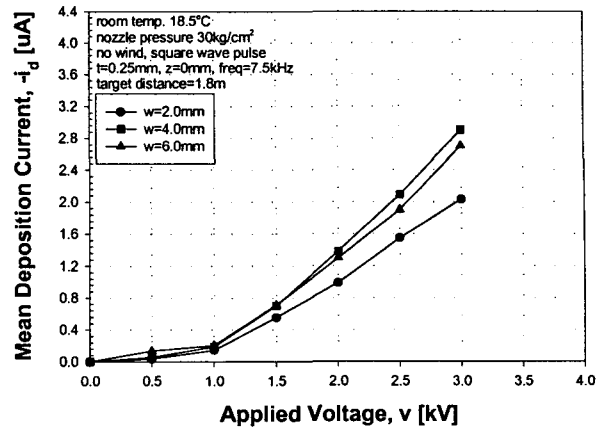
그림에서 알 수 있듯이 전원의 주파수가 높아질수록 침전전류량의 증가폭이 둔화되는 것을 볼 수 있는데 이것은 주파수가 높아져도 대전시간은 일정하기 때문에 특정한 주파수 이상 이 되면 침전전류가 더 이상 증가하지 않게 되는 것이다.

그림 5는 전극과 액적 사이에 게재하는 유전체의 두께를 가변할 경우 전압에 따른 침전전류량을 측정된 결과이다.

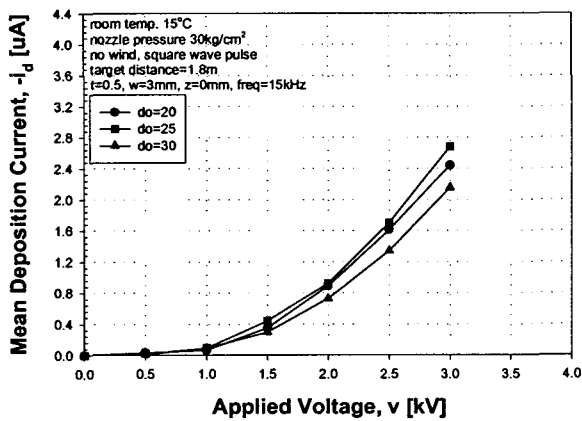
그림 5 (a)는 대전장치외경을 20[mm], 전극두께를 3[mm], 펄스주파수를 5.0[kHz]로 고정했을 때 대전장치의 유전체 두께 변화에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전



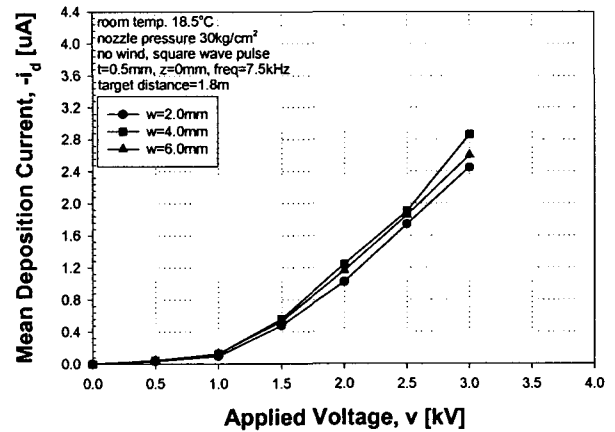
(a) t=0.5[mm], w=3[mm], f=12.5[kHz], z=0[mm] 고정시



(a) t=0.25[mm], do=30[mm], f=7.5[kHz], z=0[mm] 고정시



(b) t=0.5[mm], w=3[mm], f=15.0[kHz], z=0[mm] 고정시



(b) t=0.50[mm], do=30[mm], f=7.5[kHz], z=0[mm] 고정시

그림 6 대전장치 외경 변화에 따른 대전량 변화

Fig. 6 Charging Characteristic as a function of Outer Diameter of Electrodes

극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때, 유전체 두께 2.0[mm]에서는 1.2[uA], 0.25[mm]에서는 2.0[uA]의 전류가 흐르게 되어 그 값이 약 2배의 차이가 남을 볼 수 있었다.

그림 5 (b)는 대전장치의 외경을 20[mm], 전극두께를 3[mm], 펄스주파수를 10.0[kHz]로 증가시켰을 때 대전장치의 유전체 두께 변화에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유전체 두께 2.0[mm]에서는 1.6[uA], 0.25[mm]에서는 3.5[uA]의 전류가 흐르게 되어 역시, 그 값이 약 2배 이상의 차이가 나는 것을 볼 수 있었다.

이것은 식 (1)과 같이 대전장치의 유전체 두께에 의해 유전체의 정전용량이 결정되고, 유전체의 정전용량과 공기의 정전용량의 비로써 각 층에 인가전압이 분배가 된다. 또한 식 (2)와 같이 동일한 전압이 인가되더라도 정전용량의 크기에 따라 유도되는 전하량은 달라지게 된다. 따라서, 유전체의 두께는 본 실험에서 매우 중요한 변수가 된다. 그래프에서 보는 것처럼 유전체의 두께가 얇아질수록 대전량이 커짐을 알 수 있는데, 이는 유전체의 두께가 얇아질수록 유전체의 정전

그림 7 전극의 두께변화에 따른 대전량 변화

Fig. 7 Charging Characteristic as a function of thickness of Electrodes

용량이 커지고 유도되는 전하량이 커짐으로써 더 많은 침전 전류량을 나타내게 된다.

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \tag{1}$$

(여기서, C:정전용량, S:전극면적, d:전극간거리(유전체두께))

$$Q = CV \tag{2}$$

(여기서, Q:유도전하량, C:정전용량, V:인가전압)

그림 6은 대전장치의 외경 변화에 따른 침전전류량의 변화 즉, 대전량의 변화를 나타낸 그래프이다.

그림 6 (a)는 유전체 두께를 0.5[mm], 전극의 두께를 3[mm], 펄스주파수를 12.5[kHz]로 고정했을 경우 대전장치의 유전체 두께 변화에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이

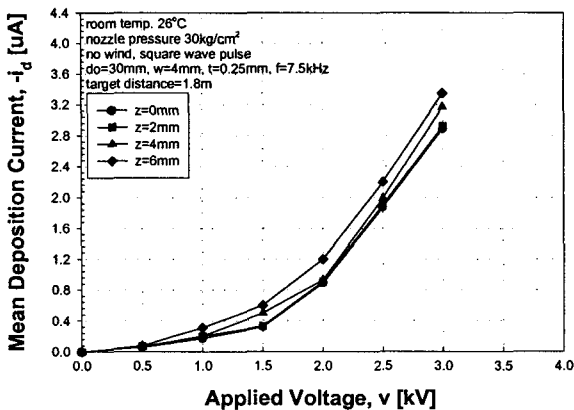


그림 8 전극 위치 변화에 따른 대전량 변화
($t=0.25[\text{mm}]$, $do=30[\text{mm}]$, $f=7.5[\text{kHz}]$, $w=4[\text{mm}]$ 고정시)
Fig. 8 Charging Characteristic as a function of Z-axis position

다. 유도전극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때, 대전장치 외경 20[mm]에서는 2.6[uA], 25[mm]에서는 2.8[uA], 30[mm]에서는 2.1[uA]의 전류가 흐르게 되어 외경이 25[mm]일 때 대전량이 가장 많음을 알 수 있다.

그림 6 (b)는 유전체 두께를 0.5[mm], 전극의 두께를 3[mm], 펄스주파수를 15.0[kHz]로 고정했을 경우 대전장치의 외경 변화에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때 대전장치 외경 20[mm]에서는 2.45[uA], 25[mm]에서는 2.7[uA], 30[mm]에서는 2.5[uA]의 전류를 나타내어 외경이 25[mm]일 때 대전량이 가장 많음을 알 수 있다.

대전장치의 외경 변화는 전극과 분무입자간의 거리를 의미하고, 이론적으로는 그 거리가 짧을수록 대전량이 높아짐을 추측할 수 있다. 그 이유는 정전력은 거리의 제곱에 반비례하는 요소이기 때문이다. 따라서 이론적으로 외경이 20[mm]일 경우가 가장 많은 대전량을 나타내어야 한다. 그러나, 실험상으로는 대전장치의 외경이 25[mm]일 때 가장 많은 대전량을 나타내었는데, 이는 대전량이 높아짐으로써 대전된 입자가 반대극성을 띄는 대전장치의 내부표면에 부착될 확률이 높아지게 되고 이러한 대전장치표면의 부착은 전류의 누설을 일으키게 된다. 따라서 대전장치 표면의 누설에 의한 연면방전을 일으키게 됨으로써 대전량이 낮아지는 것이다.

그림 7은 대전장치의 전극 두께 변화에 따른 대전량의 변화를 나타낸 그래프이다.

그림 7 (a)는 유전체 두께가 0.25[mm], 대전장치의 외경 30[mm], 전극위치 0[mm], 펄스 주파수 7.5[kHz]일 때, 전극의 두께에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때, 전극의 두께가 2[mm]인 경우 전류값이 2.0[uA], 전극의 두께가 4[mm]에서 2.9[uA], 전극의 두께가 6[mm]에서 2.7[uA]로 전극의 두께가 4[mm]에서 가장 높은 대전량을 나타내고 있다.

그림 7 (b)는 유전체 두께가 0.50[mm], 대전장치의 외경 30[mm], 전극위치 0[mm], 펄스 주파수 7.5[kHz]일 때, 전극의 두께에 따른 침전전류량의 특성을 나타낸 것이다. 유도전극에 인가되는 전압이 3[kV]일 때, 전극의 두께가 2[mm]인

경우 전류값이 2.45[uA], 전극의 두께가 4[mm]에서 2.85[uA], 전극의 두께가 6[mm]에서 2.6[uA]로 전극의 두께가 4[mm]에서 가장 높은 대전량을 나타내고 있다.

대전장치의 전극 두께 변화는 대전될 분무 입자의 전극내 체류시간을 결정하는 중요한 요소가 된다. 전극의 두께가 두꺼워질수록 분무입자의 전극내 체류시간이 길어지는 효과를 가져오므로 대전량도 많아질 것으로 사료된다. 그러나, 대전에 효과적인 체류시간 이상이 되면 대전량은 더 이상 증가하지 않게 되고 오히려 대전된 액적내에서 재결합되는 확률이 높아져 대전량은 감소하게 된다.

그림 8은 대전장치의 전극 위치에 따른 침전전류의 특성을 나타낸 것이다. 인가전압 전 범위에 걸쳐서 침전전류량은 큰 변화를 보이지 않지만 3[kV]의 인가전압에서 전극 위치(z)가 분무구에서 멀어질수록 침전전류가 커짐을 알 수 있다.

입자의 노즐에서 액체가 분사될 때, 그 액체는 3가지의 단계를 거쳐 액적으로 형성된다. 처음에 분무구에서 분사된 액체는 기둥형태인 액주의 형태로 만들어지고 노즐의 압력과 공기의 저항에 의해 반경이 큰 액주-액적의 중간형태로 변화하고 최종적으로 가장 작은 입자인 액적이 형성된다. 이때, 유도대전에 있어 가장 좋은 전극의 위치는 액적의 형성부가 아닌 액주의 형성부이다. 따라서 z=0인 부분에 전극이 위치할 때 가장 많은 대전량을 나타낼 것으로 예상된다. 하지만, 본 실험의 노즐에서는 액주의 길이가 아주 짧고, 전극의 두께는 최하 2[mm]의 것을 사용했기 때문에 예상된 결과는 얻지 못하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 비효율적인 농약 살포 방법을 개선할 수 있고 감전과 전기누설의 위험을 극복하면서도 전기적인 효율도 높일 수 있는 펄스정전대전장치를 제안하였고, 대전량에 영향을 미칠 수 있는 주요변수들을 설정하여 침전전류를 측정함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 전극과 액적 사이에 절연체를 게재한 대전장치에 구형파 펄스전압을 인가한 간접적인 대전장치를 제안함으로써 감전과 전기누설의 위험을 극복하면서도 전기적인 효율도 높일 수 있었다.
2. 전원 주파수를 2.5[kHz]에서 15.0[kHz] 변화시켰을 때 동일한 인가전압에서 침전 전류는 0.9[uA]에서 3.5[uA]로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 주파수 10.0[kHz] 이상에서는 그 증가폭이 크게 둔화되는 것을 알 수 있었다.
3. 전극과 액적 사이에 게재하는 유전체의 두께를 2.00[mm]에서 0.25[mm]로 줄였을 때, 인가전압 3[kV]에서 두께 2.00[mm]일 때 1.6[uA], 0.25[mm]일 때 3.5[uA]의 침전전류가 흘러 그 값이 약 2배 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었다.
4. 대전장치의 외경이 20, 25, 30[mm]일 때 3[kV]의 동일전압에서 2.6[uA], 2.8[uA], 2.1[uA]의 침전전류가 흘러 외경이 25[mm]일 때의 침전전류값이 가장 큰 것을 알 수 있었다.
5. 전극 두께를 2.0, 4.0, 6.0[mm]로 변화시켰을 때 3[kV]의 동일전압에서 침전전류는 2.0, 3.0, 2.7[uA]로 4.0[mm]일 때

침전전류값이 가장 큰 것을 알 수 있었다.

6. 전극 위치(Z)를 분무구로부터 0.0, 2.0, 4.0, 6.0[mm]로 변화시켰을 때, 인가전압 전 범위에 걸쳐서 침전전류의 변화는 없었으나 3[kV]의 인가전압에서 전극 위치(z)가 분무구에서 멀어질수록 침전전류가 커짐으로서 예상과 다른 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] K. Asano, "Progress in Electrostatic Pesticide Spraying", Proceedings of the Institute of Electrostatics Japan, 8, 3, 182-191, (1984)

[2] I. Umetsu, "Pesticide Spraying and Electrostatics", Proceedings of the Institute of Electrostatics Japan, 22, 1 (1998) 6-11

[3] Jen-Shih Chang, Arnold J. Kelly and Joseph M. Crowley, "Handbook of Electrostatic Processes", Marcel Dekker, Inc. (1995) 413-440

[4] R. C. Anantheswaran and S. Edward. Law, "Electrostatic Precipitation of Pesticide Sprays onto Planar Targets", Transactions of the ASAE, Vol. 24, No. 2 (1980) 273-276, 280

[5] S. Edward Law, "Electrostatic Pesticide Spraying: Concepts and Practice", IEEE Trans. on IA, Vol. 19, No. 2 (1983) 160-168

[6] J. R. Lake, "The Deposition of Electrostatically Charged Sprays on Parts of Targets Shaded from the Spraying" Journal of Agricultural Engg. Research, 39 (1988) 9-18

[7] H. Almekinders, H. E. Ozkan, D. L. Reichard, T. G. Carpenter and R. D. Brazee, "Spray Deposit Patterns of an Electrostatic Atomizer" Transactions of the ASAE, Vol. 35, No. 5 (1992) 1361-1367

[8] D. K. Giles and S. E. Law, "Dielectric Boundary Effects on Electrostatic Crop Spraying" Transactions of the ASAE, Vol. 33, No. 1 (1990) 2-7

[9] S. Edward Law and Steven C. Cooper, "Depositional Characteristics of Charge and Uncharged Droplets Applied by an Orchard Air Carrier Sprayer", Transactions of the ASAE, Vol. 31, No. 4 (1988) 984-989

[10] S. Edward Law and Steven C. Cooper, "Depositional Characteristics of Charge and Uncharged Droplets Applied by an Orchard Air Carrier Sprayer", Transactions of the ASAE, Vol. 31, No. 4 (1988) 984-989

[11] P. Krishnan, T. H. Williams and L. J. Kemble, "Spray Pattern Displacement Measurement Technique for Agricultural Nozzles Using Spray Table", Transactions of the ASAE, Vol. 31, No. 2 (1988) 386-389

[12] E. Franz, R. D. Brazee, T. G. Carpenter and D. L. Reichard, "Model of Plant Charge Induction by Charged Spray", Transactions of the ASAE, Vol. 30, No. 2 (1987) 328-331

[13] S. Edward Law and Henry D. Bowen, "Hydrodynamic Instability of Charged Pesticide Droplets Settling from Crop-Spraying Aircraft: Theoretical Implications", Transactions of the ASAE, Vol. 31, No. 6 (1988) 1689-1691

저 자 소 개



박 승 록(朴 勝 錄)

1971년 2월 2일생. 1995년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 2002년~현재 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21계약교수



문 재 덕(文 在 德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontario대 전기공학과 및 응용정전기연구소 초빙조교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전고전압분과회 간사장. 1998년 현재 경북대학교 공학연구원장, 전자기술연구소 소장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수