

Pulsed Corona Charging Characteristics of Aqueous Pesticide Spray

文在德* · 李雲泰** · 裴昌煥** · 權南列**

(Jae-Duk Moon · Woon-Tae Lee · Chang-Hwan Bae · Nam Yeol Kwon)

Abstract - Many toxic pesticides as aqueous-base sprays are dispensed for protection of food crops from pests into farm fields. When dispensed with conventional nozzles, a large portion of the spray is often lost by airborne drifts of droplets away and lack of deposition onto the plants due to rapid gravitational settling of droplets to the soil beneath. And target deposition efficiencies poorer than 20% are often encountered in agricultural pesticides. An electrostatic spraying technology offers a very favorable means to increasing pesticides droplets deposition onto biological surfaces of living crops. In this paper a corona type spray nozzle, utilizing a set of corona charging devices and a pulsed droplet-charging voltage applied, has been proposed and tested its potential experimentally. As a result, it exhibits a large current deposition of aqueous pesticide sprays on the sensing target, which, however, promise to be as one of the effective electrostatic spraying nozzle.

Key Words : agricultural pesticide, corona type spray, droplet deposition, pulsed corona, droplet charging

1. 서 론

해충이나 병으로부터 농작물을 보호하기 위한 현재의 농약 산포방법으로는 실제 작물에 부착하는 농약 부착 비율은 20 %이하로 매우 적고, 65 %는 지면(ground leakage)으로, 그리고 15%는 공중으로 유출(drift)되게 된다. 즉, 80 %이상의 농약은 물과 공기 환경을 오염시키는 원인이 되고 있다.[1,2]

정전력(electrostatic force)을 이용하는 경우 농약의 부착 비율을 크게 상승시킬 수 있어서 방제 효과와 환경오염을 줄일 수 있게 되는 장점이 있다.[3-7]

정전력을 이용하는 농약산포방식에는 유도대전 방식[3-6]과 코로나 대전방식이 있다.[7] 이 두 방식 중 현재 주로 적용되고 있는 유도 대전 방식은 구조가 간단하나, 유도전극과 노즐간의 분무농약액의 박막상(film like)부착으로 인한 큰 누설전류가 흐르게 되고, 따라서 인가전압이 크게 저하하여 결국 방제 효율이 매우 낮아지는 문제점이 있다. 한편 종래의 직류고전압 인가형 코로나 대전 방식은 인가 전압이 높고, 농약분무의 하전특성이 인가전압의 자승에 비례하기 때문에 하전효율과 안정성이 부족한 문제점이 있다.

또한 수성농약 산포용 노즐에 직류 고전압을 인가하는 경우 코로나 방전부가 수성분무에 쉽게 습윤되어, 누설전류가 매우 많아져서 마침내 효율이 크게 저하하는 문제점이 있기 때문에 이에 대한 연구도 많이 수행되지 않았고, 분체농

약에 비해 수성의 용액상 분무의 경우 실적용 사례도 거의 없는 것으로 알려져 있다.[1-2, 5-7]

본 연구에서는 인가전원을 재래의 직류방식 대신에 정극성 펄스 고전압방식을 제안하였다. 따라서 직류전압보다도 높은 전압을 인가시킬 수 있어서 하전효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 코로나 방전 특성의 안정성도 크게 높일 수 있는 장점이 있을 것으로 생각한다. 제안한 코로나 하전 장치는 침대 원통형의 소자화하여 종래형의 일체식 비례 여러 개를 동시에 부착하여 코로나 방전 개시 전압을 낮추고 하전 효율을 더욱 높게 하고자 하였다. 또한 코로나 하전소자의 방전 침 길이와 부착위치, 내경, 소자수, 그리고, 대향전극의 폭과 높이를 변수로 하여 농약액 하전 특성을 실험적으로 연구 검토하여 최적조건의 하전 특성을 갖는 결과를 도출하고자 하였다.

2. 본 론

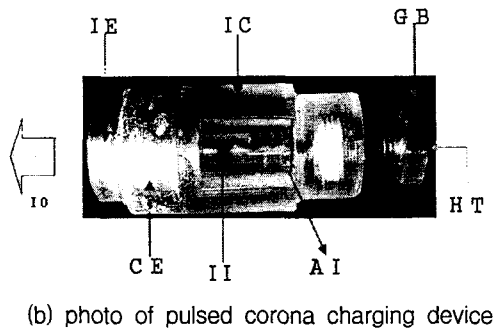
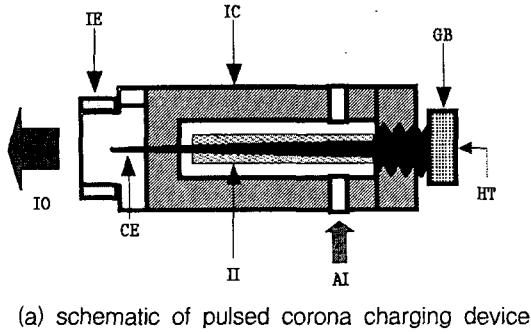
2.1 실험 장치 및 방법

그림 1은 본 실험에 사용된 코로나 하전소자로서 침상의 코로나전극(corona electrode, sewing needle, length 23 mm, CE)와 환상의 접지된 유도전극(induction electrode, ring type, inner diam 6 mm, outer diam 8 mm, IE)으로 구성하였다. 코로나 침 전극은 절연체로 표면을 피복하고, 길이를 길게 하여 누설전류를 최소화하고자 하였다. 코로나 침의 후단에는 유도전극(IE)과의 거리를 조정하기 위해 정밀나사(control bolt, 4mm diam, GB)를 설치하였다.

코로나 침전극에 고전압이 인가되면 코로나방전에 의해 발생된 이온들이 전계에 의해 유도 전극쪽으로 이동되어 가나, 그 빠른 속도와 공기의 점성력으로 말미암아 대부분의

* 正 會 員 : 慶北大 電氣工學科 教授
 ** 準 會 員 : 慶北大 電氣工學科 碩士課程
 接受日字 : 2003年 3月 14日
 最終完了 : 2003年 7月 2日

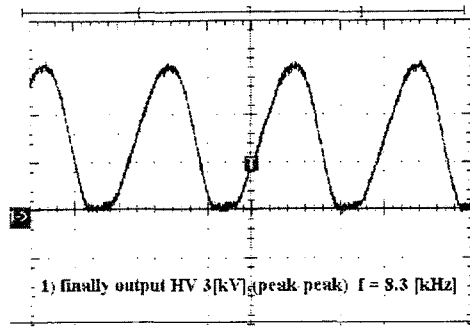
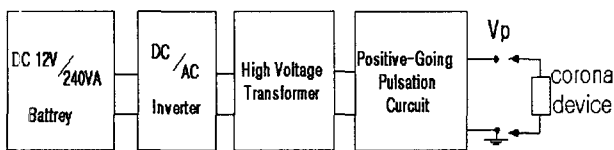
이온들은 유도전극에 도달하지 못하고 앞쪽의 이온 출구(IO)로 이온풍(ion wind)[8]이 되어 배출되어 나오게 된다. 이때 코로나 전극의 뒷 쪽에 통기입구(AI)를 설치하여 이온 풍의 흐름이 원활하게 소통되게 하였다.



- AI : air inlet
- CE : corona electrode
- GB : gap-spacing control bolt
- HT : high volt terminal
- IC : insulator cylinder
- IE : induction electrode
- II : inner insulating cover
- IO : ion outlet

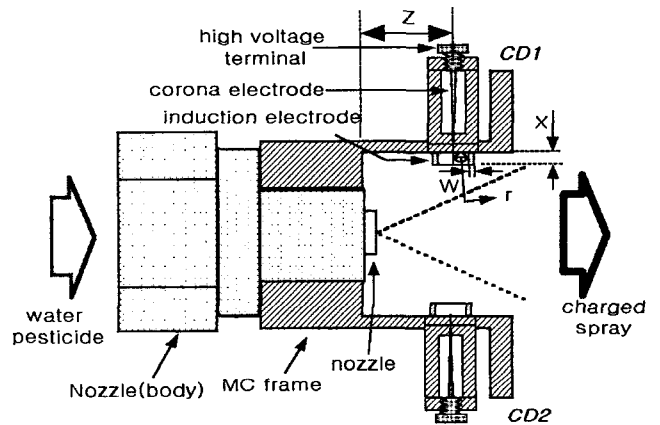
그림 1 코로나 하전 소자의 구조와 사진
Fig. 1 Schematic and photo of corona charging device

그림 2는 코로나 하전장치용 고전압 펄스전원장치의 구성도와 출력파형을 나타낸 것이다. 고전압 펄스전원장치는 직류 전원부, 직류교류 변환장치, 승압트랜스, 그리고 정극성화 펄스 회로로 구성하였다. 출력전압은 그림 2 (b)와 같이 정극성 정현파 펄스로 하였으며, 출력 전압은 0~5 kV, 그리고 주파수는 0~10 kHz로 가변 가능하게 제작하였다.



(b) oscillogram of final output waveform

그림 2 펄스전원의 구성과 출력 파형
Fig. 2 Schematic diagram and output waveform of pulse source



- CD 1,2 : corona charging device 1,2
- X : corona needle length
- w : width of induction electrode
- Z : CD distance from nozzle
- r : inner diam of induction electrode

그림 3 펄스 코로나 산포장치의 개략도
Fig. 3 Schematic of pulsed corona type spray nozzle

그림 3은 본 실험에 사용한 정전하전장치를 나타낸 것으로, 시판((주)파루)의 농약 분무산포용 노즐(nozzle, orifice diameter 0.73 mm, 분사각 45~60°)과, 노즐 몸체(insulating frame)와, 그리고 코로나 하전소자로 구성되어 있다. 코로나 하전소자는 노즐몸체 원주에 90° 간격의 4개까지 부착 할 수 있게 하였고, 각 코로나 하전소자는 노즐로부터 배출되는 분무에 수직으로 하전되게 장착하였다. 코로나 하전소자의 하전특성을 최대화하기 위하여 방전침(CE)의 길이(X)와 유도전극(IE)의 반경(r)과 폭(w)을 변수로 하였고, 또한 노즐 선단으로부터의 코로나 대전장치까지의 높이(Z)를 변수로 하여 최적 위치를 선정하고자 하였다.

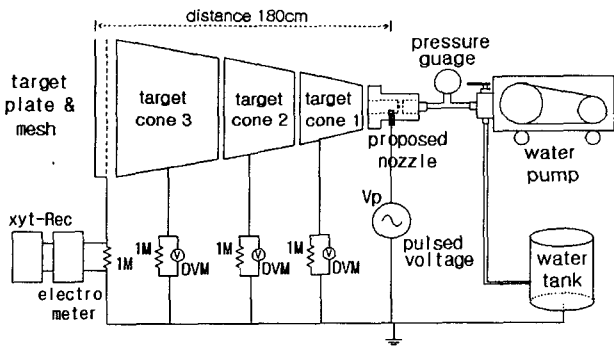


그림 4 펄스 코로나 산포 실험장치.
Fig. 4 Experimental setup of pulsed corona sprayer

그림 4는 본 실험을 위한 전체 실험장치를 나타낸 것으로, 제안된 시험용 산포노즐에 농약액을 송출펌프에 의해 압송하여 농약액이 분무 산포되게 하였다. 분무된 농약액의 평균침전전류를 분무 비상 및 도달거리에 따라 측정하기 위하여 5개 부분의 침전전류 검지전극, 즉, 노즐로부터 3개의 원통검지전극(cone type tin, 전극경이 각각 30, 40, 50 cm, 그리고 후구경이 각각 40, 70, 100 cm)의 중심부가 각각 노즐로부터 25, 50, 100 cm 떨어지게 설치하였고, 노즐로부터 150 cm와 180 cm의 거리에 검지 그물망 전극(mesh type, SUS, 1m² square)과 평판 전극(plate type, tin 1m² square)을 설치하여, 노즐로부터 분무되는 모든 하전 입자를 포집할 수 있게 하였다. 하전된 분무가 검지전극에 도달하게 되면 분무입자상의 전하들이 전류의 형태로 흐르게 되고, 이것은 측정저항(precision resistor 1.00 MΩ)을 통하여 정밀전위계 (Electrometer, Keithley, model 614, U.K.)로 측정하였다. 이를 기록계(xyt recorder, Yokogawa, LR-8100, Japan)로 기록하였으며, 축적형 오실로스코프(storage, Tektronix, model TDS360A, USA)로 측정하였다. 또 산포농약액 유량과 침전전류로부터 표준화된 비전하량(charge-to-mass ratio)으로 환산을 하여 침전전류와 함께 도시하였다. 분무 농약액의 입자경은 레이저 입자경 분석기(laser particle analysis, malvern 2600c, U.K.)을 사용하여 노즐로부터의 거리가 각각 25, 50, 100, 그리고, 150 cm 떨어진 곳에서 측정하였다. 노즐에서 분무 압력은 20 kg/cm²으로 압력을 고정하여 농약 유량이 0.75 LPM(liter per minute)이 되게 하였고, 압력계로 그 값을 확인하였다. 모든 실험은 특설 연구실 내의 실온에서 실시하였다.

2.2. 실험과 고찰

그림 5는 본 실험에 사용한 노즐에 20 kg/cm²의 압력으로 농약액을 분무할 때의 산포되는 농약액 분무의 입경분포를 노즐로부터의 거리(distance, D)를 변수로 측정된 것이다. 일정속도로 운동하고 있는 하전된 분무 입자에는 식(1)~(3)과 같이 중력(f_g , gravitational force), 정전력(f_e , electrostatic force), 그리고 점성력(f_v , viscosity)이 작용하게 된다. [9]

$$f_e = SF_{max} = 4\pi a^2 F_{max} = ka^2 \tag{1}$$

$$f_g = mg = 4/3\pi a^3 g = k_g a^3 \tag{2}$$

$$f_v = 6\pi\eta a = k_v a \tag{3}$$

여기서 F_{max} 는 $F_{max} = 1/2\epsilon_0 E^2$ 의 Maxwell's stress의 최고값이며, S는 분무 개개의 면적이고, a는 분무의 반경이고, g 는 중력상수, η 는 공기의 점성력 상수, $k_e = 4\pi F_{max}$, $k_g = 4/3\pi g$ 그리고, $k_v = 6\pi\eta$ 의 상수들이다. 분무된 농약입자의 공기중 운동은 식(1)~(3)에 표시된 세 가지 다른 힘에 의해 지배를 받게 되며 각각의 입자경에서 지배적인 힘으로 작용한다. 즉, 정전력 f_e 는 입자 입경 0.1~100 μm , 점성력은 입자입경 0.1 μm 이하, 중력은 100 μm 이상에서 분무의 운동에 지배적으로 작용을 한다.[9-10] 따라서 작은 분무는 노즐에서 근거리에서 초기의 주어진 운동력이 소진되나, 큰 분무는 노즐로부터 먼 곳까지 도달하게 된다.

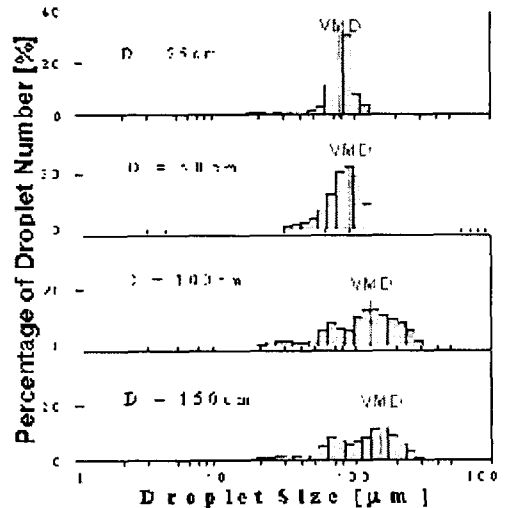


그림 5 정전분무의 입경 분포.
Fig. 5 Size distribution of spraying droplets

그림 5는 이와 같은 경향을 그대로 나타내며, 노즐로부터의 거리가 각각 25, 50, 100, 그리고, 150 cm로 증가함에 따라 농약 분무의 체적중심경(volume median diameter, VMD)은 각각 78, 89, 110, 140 μm 으로 큰 입자들이 도달되는 것을 보여준다.

$$Q_p = 6\pi\epsilon_0 E a^2 = k_p a^2 \tag{4}$$

$$m = (4/3)\pi a^3 = k_m a^3 \tag{5}$$

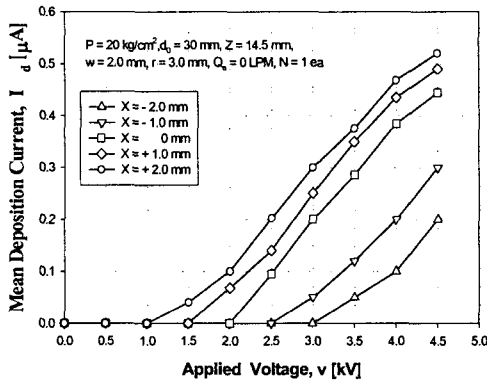
$$Q_p/m = k_p/k_m a \tag{6}$$

$$Q_p = I_d \int dt \tag{7}$$

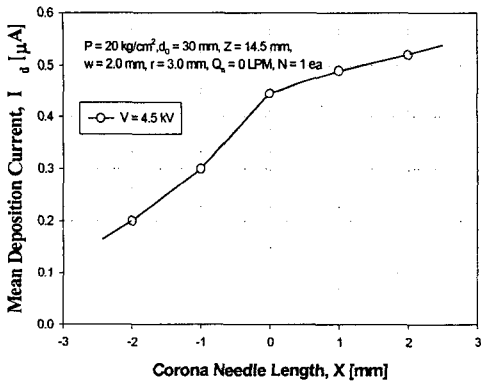
$$m = Q_w \int dt \tag{8}$$

$$Q_p/m = I_d/Q_w \tag{9}$$

한편 식(4)~(6)은 전계대전된 입자들의 대전량(Q_p)과 비전하량(Q_p/m)을 수식으로 나타낸 것이다.[5] 여기서 E는 인가 전계, m은 입자의 질량, ϵ_0 는 진공유전상수, a는 입자반경이다. 또한, 농약액이 노즐에서 대전되어 분무될 때 분무 입자의 Q_p , m, 그리고 Q_p/m 을 검지장치의 I_d 로 나타내면 식 (7)~(9)로 된다. 여기서, Q_p 는 농약분무 입자의 대전량, t는 대전 시간, I_d 는 그림 4의 각각의 검지전극에 검출된 침전전류, Q_w 는 농약액 분출 유량이다.



(a) I_d -v characteristics at various X

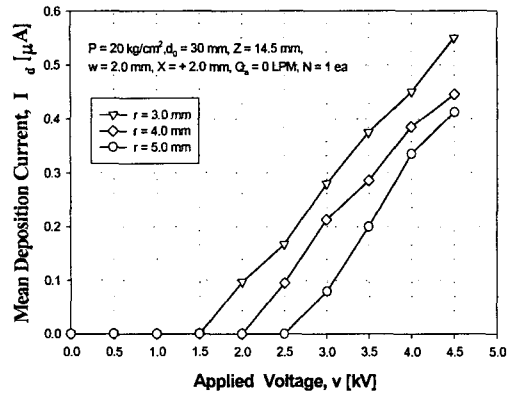


(b) I_d -X characteristic

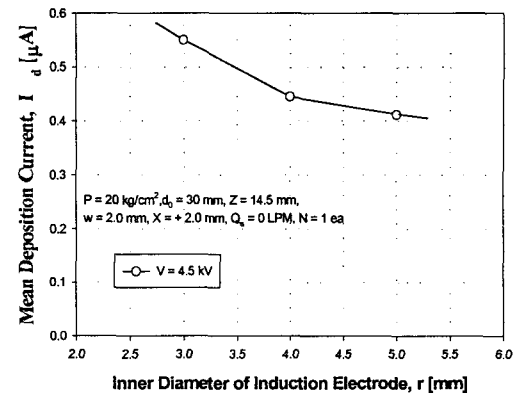
그림 6 방전극 침길이의 변화에 따른 침전전류량.
Fig. 6 Characteristics of deposition current at different corona gap spacings.

그림 6 (a)는 코로나 하전소자의 방전 침길이(X)를 유도전극 선단으로부터 -2.0, -1.0, 0, +1.0, +2.0 mm로 변화시켰을 때, 그림 4의 검지전극에서 측정된 침전전류를 나타낸 것이다. 그림 6 (b)는 인가전압이 4.5 kV일 때 X의 변화 대한 그래프이다. 코로나 하전소자의 방전 침길이가 유도전극선단에서 내부로 들어가면 방전전류는 상대적으로 작아지고, 유도전극선단에서 외부로 나오면 방전전류는 증가하는 것을 보여준다. X=+2.0 mm일 때는 낮은 코로나 개시전압(약 1.5 kV)과 높은 침전전류(0.52 μA)를 얻을 수 있음을 보여준다. 그러나 X = -2.0 mm일 때는 코로나 개시전압도 매우 높

고 (약 3.0 kV), 코로나 전류도 낮은 값(0.20 μA)을 나타내었다. 따라서, 방전침의 길이는 유도전극의 앞쪽으로 나오는 것이 좋으나, 농약액 분무에 의해 코로나 침이 누수 되기 쉽게 되어 누설전류가 크게 되기 때문에 한계가 있다



(a) I_d -v characteristics at various r



(b) I_d -r characteristic

그림 7 코로나 하전소자의 내부입경 변화에 따른 침전전류량의 변화.

Fig. 7 I_d -r characteristics as a function of inner diameter of induction electrode.

그림 7은 코로나 하전소자의 r이 각각 3.0, 4.0, 5.0 mm일 때와 X가 +2.0 mm일 때 검지전극에 도달하는 총 침전전류를 나타낸 것이다. 코로나 하전소자의 내부반경의 변화에 따른 침전전류량의 변화는 다소 차이를 보이지만, r이 3.0 mm, X가 +2.0 mm일 때의 4.5 kV의 펄스전압을 인가했을 때 0.55 μA 로 침전전류량이 가장 많음을 알 수 있다. 이는 r이 작을수록 동일 전압에서 침전단의 전계가 높아지기 때문에 효과적이거나, 제작상 그리고 코로나 발생 안정도 문제로 더욱 작게 하는 것은 문제가 있게 된다.

그림 8은 w를 1.0, 2.0 mm, X를 +2.0, +1.0 mm로 변화시켰을 때 검지전극에 도달하는 침전전류를 나타낸 것으로, w가 1.0 mm보다는 2.0 mm쪽이 높은 침전전류 값을 얻을 수 있었다. 이는 w가 크면 침전단의 전기력선수가 상대적

으로 많아져서 더 크고 안정된 코로나 방전을 일으킬 수 있으나, 물리적 구조상 더욱 크게 하는 것은 대전분부의 부착 문제로 효과적이지 못했다.[2]

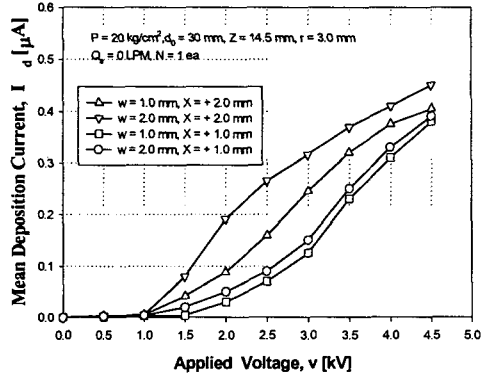
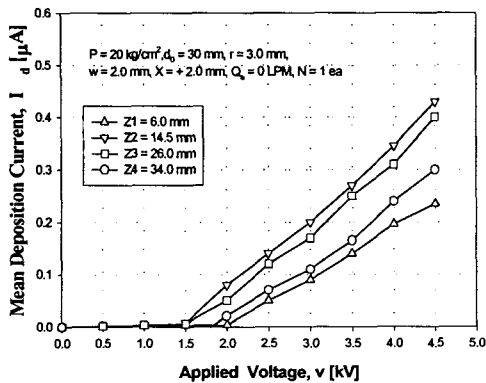
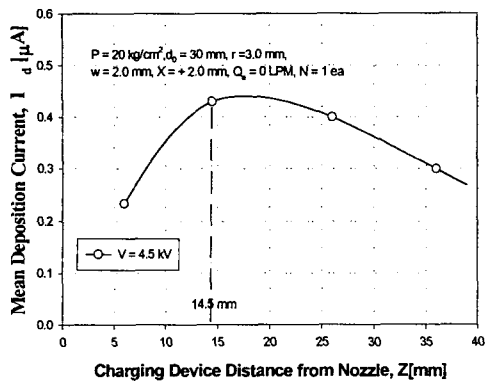


그림 8 대향전극의 폭과 침 길이의 변화에 따른 침전전류량의 변화.

Fig. 8. I_d - v characteristics as a function of width and length of corona charging device.



(a) I_d - v characteristics at various Z

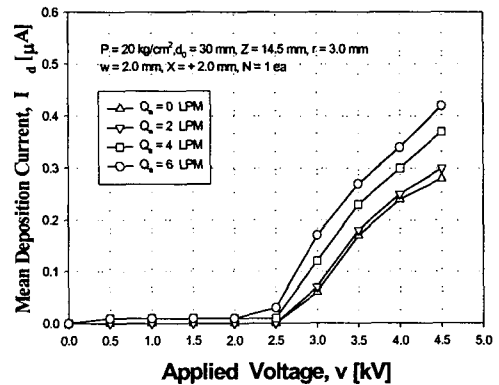


(b) deposition current as a function of distance of corona charging device

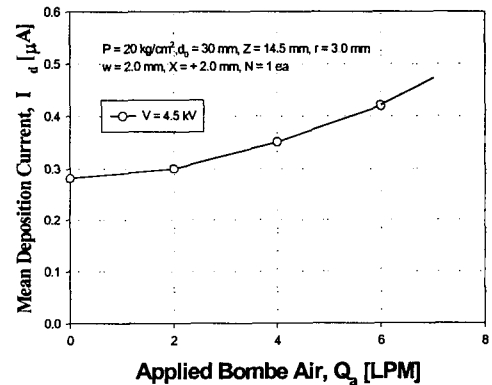
그림 9 코로나 하전전소자의 부착위치에 따른 침전전류량의 변화

Fig. 9 I_d - Z characteristics as a function of distance of corona charging device.

그림 9는 X를 + 2.0 mm로 고정했을 때 코로나 대전전소자가 노즐에 분무방향과 수직으로 부착되는 위치(Z)를 6, 14.5, 26 mm, 폭(w)= 2.0 mm 고정시켰을 때 침전전류에 도달하는 침전전류를 나타낸 것으로, Z가 커짐에 따라 증가하여 $Z = 14.5 \text{ mm}$ 에서 최대 값을 보여주나, Z가 더욱 증가하면 감소하는 것을 보여준다. 이 때의 농약액이 노즐입구(orifice)에서 분무 될 때 먼저 액주상(column)으로 방출되고, 이 액주가 다시 분상(spray)으로 분산되게 된다. 따라서 액주상에 분무로 분산된 직후방에서 분무를 하전 시키는 것이 효과적이며, 최적 $Z = 14.5 \text{ mm}$ 은 바로 이 위치이다.



(a) I_d - v characteristics at various Q_a



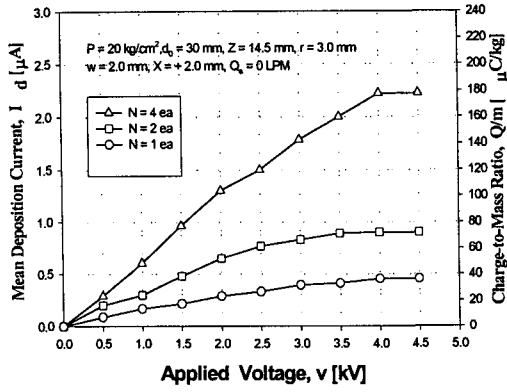
(b) I_d - v characteristics

그림 10 코로나 하전전소자의 공기 유입 유량에 따른 침전전류량의 변화

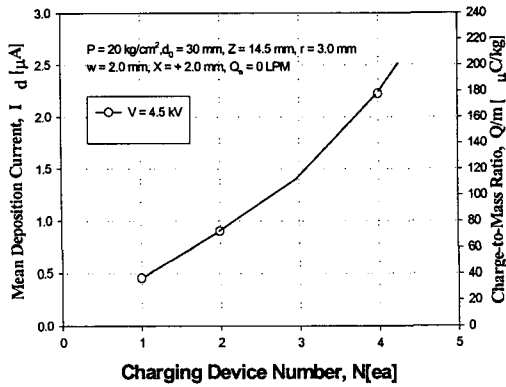
Fig. 10 Characteristics of deposition with and without carrier air input

그림 10은 코로나 하전전소자에 외부 송풍기를 설치하여 건조공기(Q_a)를 그림 1의 공기 입구(AI)를 통하여 강제로 투입시키고 그 유량을 0, 2, 4, 6 LPM으로 변화시켰을 때의 침전전류특성을 나타낸 것이다. 건조공기를 주입시킴으로서 침전전류량은 증가하여 4.5 kV의 전압에 공기 유입 유량이 6 LPM일 때 최대치 0.42 μA 의 침전전류를 얻을 수 있음을 보여 준다. 이와 같이 건조공기를 강제로 주입시킴으로서 이온들의 흐름을 원활하게 하며, 또한 방전침의 표면을 건조시켜 누설전류를 줄임으로서 상대적으로 높은 인가전압을

유지 시킴으로 상대적으로 높은 침전전류 값을 얻을 수 있기 때문이다.



(a) I_d - v characteristics at various N



(b) I_d - N characteristic

그림 11 코로나 하전소자의 개수에 의한 침전전류량의 변화.

Fig. 11 I_d - N characteristics as a function of number of corona charging device installed

그림 11은 코로나 하전소자의 개수(N)를 변화시켰을 때의 침전전류특성을 나타낸 것이다. X 를 2.0 mm, Z 를 14.5 mm로 고정했을 때 N 을 1, 2, 4 개로 변화시키면서 농약 액을 분무하였을 때 침전전류를 측정 한 결과이다. 4.0 kV의 전압을 인가했을 때 $N = 1$ 개일 때 $0.45 \mu\text{A}$, $N = 2$ 개일 때 $0.90 \mu\text{A}$, 4 개일 때 $2.2 \mu\text{A}$ ($Q/m = 182 \mu\text{C/kg}$)로써 최대의 침전전류를 얻을 수 있었다. $N = 4$ 의 경우 $N = 2$ 배 더 많은 I_d 를 나타내는 것은 N 이 많아짐으로 이온풍량이 많아져서 유도전극에의 도달이온수가 더 많아짐과 더불어 이온풍 [8]에 의한 방전 침전극의 건조효과가 증가함으로 인해 누설 전류가 감소한 결과라고 사료된다.

그림 12는 하전전류에 미치는 각각의 변수의 최적조건들을 적용한 것으로, $Z = 14.5 \text{ mm}$, $w = 2.0 \text{ mm}$, $r = 5.0 \text{ mm}$, $x = 2.0 \text{ mm}$, $N = 4$ 개, $Q_a = 6 \text{ LPM}$ 의 조건에서 측정하여 얻은 최대전류($3.5 \mu\text{A}$) 및 최대비전하량($280 \mu\text{C/kg}$)을 나타낸 것으로, 코로나 하전형 분무하전장치로서는

좋은 특성을 보여준다. 즉, v 가 증가함에 따라 I_d 는 증가하다가 $v = 3 \text{ kV}$ 이상에서는 I_d 가 급격히 증가하며, $v = 4 \text{ kV}$ 이상에서는 오히려 I_d 가 감소하는 경향을 보여준다. 이는 침대 원통 전극간의 i - v 특성의 경향을 그대로 나타낸 것이다. 또한 V 가 4 kV 이상으로 증가하게 되면, 침 선단의 방전 양상이 정상 글로(normal glow)에서 이상 글로(abnormal glow)로 진전하여 분무 하전 능력이 저감되기 때문에 I_d 로 감소되는 것으로 사료된다.

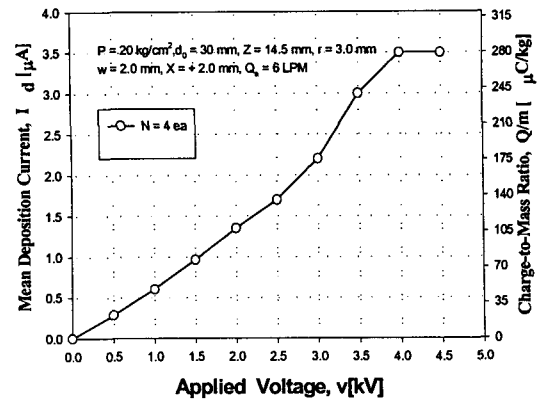


그림 12 최적 조건의 코로나 하전소자의 비전하량 특성

Fig. 12 Charge-to-mass ratio of corona charging device at optimal conditions

3. 결 론

본 논문은 농약의 농작물에의 부착률을 높일 수 있도록 펄스고전압을 인가하여 농약분무를 코로나 하전시켜 산포시킬 수 있는 코로나 대전형 정전분무장치를 제안하였다. 코로나 하전소자의 내부전극의 침길이(X), 유도 전극의 내부 반경(r), 유도전극의 폭(w), 유도 전극의 부착위치(Z), 유입건조공기의 유량(Q_a) 그리고 부설 코로나 하전 소자의 사용 개수(N)에 따라 이들이 분무 농약액 입자 하전특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코로나 하전소자의 방전 침길이(X)를 유도전극의 외측 끝 부분에서 $-2.0 \sim 2.0 \text{ mm}$ 로 변화했을 때, 검지 전극에서 측정되는 침전전류는 X 가 앞으로 돌출 하는 경우 침전전류는 증가하였으며, 인가전압이 4.5 kV일 때 최대 $0.52 \mu\text{A}$ 까지 증가하는 것을 알 수 있었다.
2. 코로나 하전소자의 유도전극의 직경(r)을 3.0, 4.0, 5.0 mm로 변화시켰을 때, r 이 작을수록 동일 인가전압에서 높은 침전전류를 얻을 수 있었는데, 이는 r 이 작을수록 동일 전압에서 침전단의 전계가 높아지기 때문이다.
3. 코로나 하전소자의 방전침길이(X)를 고정(+2.0 mm)하고, 유도전극폭(w)을 가변시켰을 때 w 는 큰 쪽이 큰 유도전계를 유발하고, 따라서 큰 침전전류를 얻을 수 있었다.

4. 코로나 하전소자의 부착위치(Z)를 노즐 입구에서부터 6.0~34.0 mm로 변화시켰을 때, Z = 14.5 mm에서 최대값을 가짐을 보여주었다. 이 Z의 위치는 농약액이 원주에서 분무로 변화는 위치이기 때문에 사료된다.
5. 코로나 하전소자의 통기입구에 강제로 건조공기를 0~6 LPM으로 송풍한 경우, 건조공기 유량이 증가할수록 침전 전류가 증가하는 경향을 보여주었다. 이는 코로나 하전소자의 방전부가 건조공기에 의해 건조되어 누설전류가 줄어든 결과에 의한 효과라고 사료된다.
6. 코로나 하전소자의 부착 개수를 1~4개로 변화시킨 결과, 4개를 설치한 것이 큰 침전전류를 나타냈으며, 2개를 설치한 것보다, 2.4배의 더 높은 침전전류를 얻을 수 있었다. 이는 코로나 하전소자의 수가 많아짐으로 상대적으로 이온풍의 량도 많아져서 전극의 건조효과까지 포함한 매우 효과적인 분무하전을 일으킨 결과라고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Edward Law, Electrostatic Pesticide Spraying: Concepts and Practice, IEEE Trans. on IA, IA-19, 2 (1983) 160-168.
- [2] 이동현, 과수용 정전대전 농약살포시스템 개발, 농림부 (2002. 12)
- [3] E. Franz, D. L. Reichard, T. G. Carpenter and R. D. Brazee, Deposition and Effectiveness of Charged Sprays for Pest Control, Trans. of the ASAE, 30, 1 (1987) 50-55.
- [4] S. Edward Law and S.C. Cooper, Electrostatic-Induction Spray-Charging Nozzle System, US Patent #5, 765, 761 (June 1998).
- [5] I. I. Inculet and J. K. Fischer, Electrostatic Spraying, IEEE Trans. on IA, IA- 25, 3 (1989) 558-562.
- [6] S. E. Law, Embedded-Electrode Electrostatic Induction Spray-Charging Nozzle: Theoretical and Engineering Design, Trans. of ASAE, 76 (1976) 1502.
- [7] 梅津勇: 農藥散布と靜電氣, 靜電氣學會誌, 22, 1 (1998) 6-11
- [8] 日本靜電氣學會編, 靜電氣ハンドブック, 304-305 (1981)
- [9] 日本靜電氣學會編, 靜電氣ハンドブック, 571-574 (1981)
- [10] J. Moon, D. Lee, T. Kang and K. Yon, "A Capacitive Type of Electrostatic Spraying Nozzle", Journal of Electrostatics, 57, 3-4(2003), 363-379

저 자 소 개



문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대학교 사대 물리교육학과 졸업, 1975년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 1982년 일본 동경대학 대학원 전기공학전문과정 졸업(박사), 1983년~현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수, 당학회 평의원
Tel : 053-950-5601, fax : 053-950-5506
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr



배창환 (裴昌煥)

1976년 10월 12일생. 2001년 상주대 전자전기공학부 졸업. 2001년~현재 경북대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 054-534-7858
E-mail : ztemplar@yahoo.co.kr



이운태 (李雲泰)

1974년 10월 12일생. 2000년 금오공대 전자공학과 졸업. 2003년 2월 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사)
Tel : 053-753-4285
E-mail : auieo@orgio.net



권남열 (權男烈)

1974년 8월 01일생. 2002년 경일대 전자전기공학부 졸업. 2002년~현재 경북대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : 053-940-8601
E-mail : medium74@hanmail.net