

# 과수 방제기용 정전대전 노즐의 분무 및 부착특성

## Spray and Depositional Characteristics of Electrostatic Nozzles for Orchard Sprayers

강태경	이동현	이채식	이공인	최완규	노수영
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원	정희원
T. G. Kang	D. H. Lee	C. S. Lee	G. I. Lee	W. K. Choi	S. Y. No

### ABSTRACT

Spraying is one of the most efficient methods for pesticide and insecticide control. Generally, orchard sprayers(air-carrier sprayer) are used for such applications. However, when an orchard sprayer is used, only 20% of total amount of spray deposits on the target. The rest of spray are not only wasted but are also potential sources of environmental pollution. The research for the development of electrostatic spraying system for orchard sprayer was conducted to develop the new pesticide application technology for the reduction of environmental pollution and for the production of safe agricultural products. The spray characteristics for nozzles with the different charging methods were tested and the effect of electrostatic charge was analyzed, in the laboratory experiments.

The results of this study indicate that the capacitive type of electrostatic spraying nozzle exhibits a large current deposition of water sprays on the sample target. The covering area ratio by conventional spraying system was 10.2%, while that of electrostatic sprays with pulse induction charging method gave the increased covering area ratio by 4.3 times.

**Keywords :** Agricultural machine, Electrostatic sprayer, Nozzle, Pesticide applicator.

### 1. 서 론

농약과 방제기가 개발되면서 적은 노력과 비용으로 넓은 면적의 작물을 병과 해충으로부터 보호할 수 있게 되어 수확량이 늘어나고 농사도 안정적으로 지을 수 있게 되었다. 한편 방제작업은 손쉽게 되었으나 농약을 필요량보다 적게 뿌릴 경우 병해충을 충분히 방제 할 수 없고, 많이 뿌릴 경우 비용과 환경오염을 증가시키는 또 다른 문제점에 부딪치게 된다.

Law와 Cooper(1988)는 살포된 농약의 20% 이하만이 작물에 부착되고, 65%는 지면으로, 15% 이상은 다른

곳으로 날아가 80% 이상의 농약이 낭비되고 환경오염원이 되는 것으로 보고하였고, 과수원에서 과수방제기를 이용한 방제작업에 정전현상을 적용시켜 실험결과 정전대전 효과를 얻을 수 있는 한계 평균입경은 370  $\mu\text{m}$  라고 하였다. Hadfield(1987)는 정전살포에 의한 인조목 표면에 부착성 연구에서 유도대전방식을 적용한 원판회전식 노즐로 원판의 회전속도가 증가함에 따라 대전량(charge to mass ratio)이 증가한다고 보고하였다. Dante와 Gupta(1991)는 원판회전식 살포장치에 정전대전의 부착성 연구에서 유도대전방식을 적용할 경우 최적 인가 전압은 2.5kV이고, 정전대전 살포할 경우 부착성능이

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D promotion center(ARPC). This article was submitted for publication in October 2003, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2004. The authors are T. G. Kang, D. H. Lee, C. S. Lee, G. I. Lee and W. K. Choi, National Institute of Agricultural Engineering(NIAE) and S. Y. No, Chungbuk National University. The Corresponding author is T. G. Kang, Junjor researcher, NIAE, 249 Seodun-dong, Kwonsun-gu, Suwon, Korea, E-mail : <tkkang@rda.go.kr >

상단부분은 1.1~1.7배, 중간 및 하위 잎은 2.2~6.5배 증가하였다고 보고하였다. Gupta와 Duc(1996)는 휴대용 공기보조 정전살포장치의 부착성능 연구에서 유도대전 방식으로 2.5kV를 인가할 경우 평균적으로 부착률이 1.4배 증가한다고 보고하였다.

John과 Coates(1996)는 공기보조 정전기 살포장치를 이용한 고구마의 방제 적용연구에서 공기보조 정전살포의 경우 살충제 사용량을 50% 절감할 수 있다고 보고하였다. 국내에서는 조와 이(1996)는 정전효과를 이용한 분무노즐의 분무성능평가 연구에서 출력전압을 25kV로 인가하였을 때 부착률은 모형 잎의 경우 5~22%, 사과잎의 경우 204~429% 향상된다고 보고하였다.

본 연구의 목적은 국내에서 과수원 방제 전용기로 사용하고 있는 과수방제기(공기운반분무기)는 방제성능이 우수하고 작업이 편리하지만 다량 살포방식으로 농약이 과다 살포되고 손실이 많아 개선이 필요하다. 개선의 방법으로 정전기력을 이용한 방제장치를 개발하기 위하여 적정노즐을 개발하고, 정전기 발생장치와 대전장치를 개발하여 성능을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 정전대전 분무용 노즐

#### 1) 공시노즐

관행 과수방제기 노즐의 단점인 분무량이 많고 파손이 잘되는 문제점을 개선하기 위하여 노즐의 형상을 디스크형에서 콘형으로 변경하고 분무특성을 분석하여 정전대전에 적합한 노즐을 선발하였다. 노즐조합은 그림 1과 같이 분구, 중자, 걸름망 및 몸체로 구성되었고,

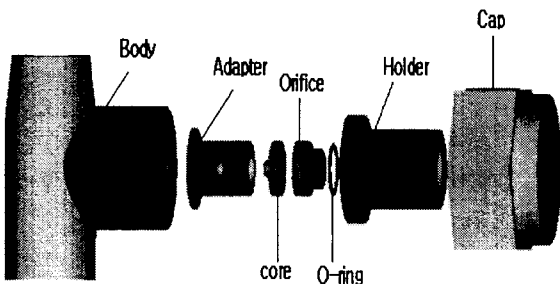


Fig. 1 Schematic diagram of cone type nozzle for electrostatic sprayer.

노즐 분구의 규격은 구경이 각각 0.51, 0.59, 0.67, 0.83mm인 노즐을 공시노즐로 선정하였다.

#### 2) 노즐의 분무특성 시험

정전대전 농약살포용 노즐 특성을 구명하기 위하여 관행 과수 방제기용 노즐과 새로운 노즐구경에 대한 분무압력별 분무각, 분무량, 입경 및 유효도달거리를 측정하였다. 분무각은 분무형상을 디지털카메라로 사진 촬영한 후 그림 2와 같이 컴퓨터 이미지 분석처리법을 이용하여 Threshold 값 80%로 처리하여 분무가 형성된 외부의 각도를 측정하였다. 정전대전 전극의 부착위치 결정에 중요한 인자인 분무각을 노즐끝에서 3cm 이내의 지점과 분무입자의 이동경로의 가장 바깥 가장자리가 이루는 각으로 정의하였다. 노즐의 분무량은 노즐에서 분무압력 및 분무형상이 안정된 후부터 메스실린더에 1분간 분무하여 측정하였다. 분무입경은 그림 3에

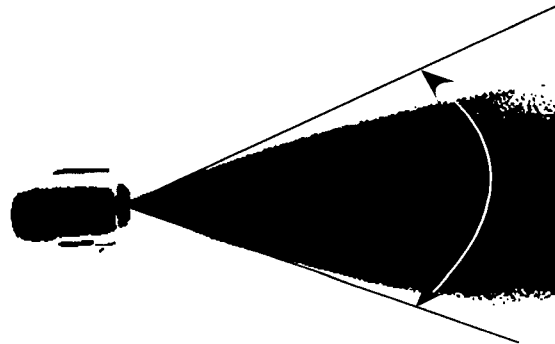


Fig. 2 Measurement of spray angle.

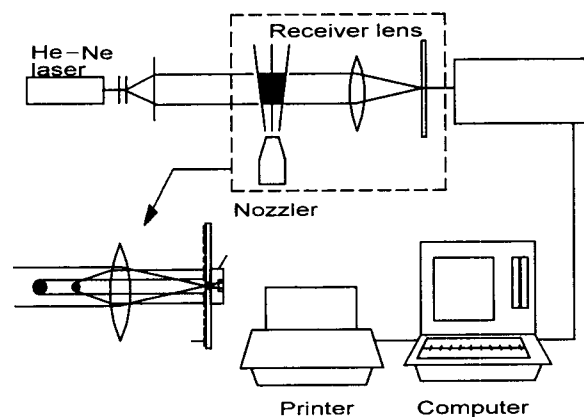


Fig. 3 Schematic diagram of droplet size measurement apparatus(MALVERN 2600C).

나타낸 자동입자측정기(MALVERN 2600C, 영국)로 분무 입경이 형성된 노즐끝에서부터 30cm 거리의 분무 중심부에서 측정하였으며, 체적평균직경(VMD)으로 나타내었다. 유효분무거리는 자체 제작한 균등살포율 측정장치(패터네이터)를 이용하여 패터네이터 상부에서 노즐까지 3분간 분무하여 12cm 간격으로 측정용기에 집적하고, 전자저울로 무게를 측정하여 분석하였다.

#### 나. 정전기 발생장치

펄스형 정전기 발생장치의 입력전원은 과수 방제기 본체의 배터리를 이용하여 입력전압은 DC12V, 입력전류는 최대 40A이며 출력전압과 전류를 측정할 수 있는 전압계와 전류계를 부착하였다. 출력전원은 불꽃방전이나 합선과 같은 외부의 충격이 있을 경우 고압 변압기(power transformer) 손상방지를 위한 충격방지 회로를 부착하였다. 인버터(Inverter)에 의해서 직류전류가 주파수 및 펄스폭 변동이 가능한 sine wave 형태로 출력되며, 저전압(12V)을 고전압(4kV)으로 승압시키는 변압기(Transformer)로 구성된다. 변압기는 절연내력이 10kV 이상으로, 1차, 2차간 그리고 2차권선간의 충분한 절연거리를 유지하고 코일을 감아서 제작하였다.

#### 다. 정전대전장치

##### 1) 유도대전장치

그림 4에 나타낸 펄스유도대전장치의 유도대전 전극은 직경이 16mm인 1개의 황동 링으로 플라스틱 몸체의 노즐 끝에서부터 16mm 지점에 위치하게 하고 고전압 전선은 링에서 연장된 황동 봉의 끝에 연결하도록 설계하였다. 대전전극이 몸체내부에 집적된 분무액에 접촉으로 인한 정전기 누전을 방지하기 위해 대전장치의 몸체내부에서 분무액이 쉽게 밖으로 흘러나오도록 배출구를 설치하였다. 대전 전극의 직경은 노즐에서 분무되는 약액이 전극에 접촉되지 않도록 하기 위하여 노즐의 최대 분무각인 53° 보다 큰 60°로 제작하였다. 대전장치의 몸체와 대전전극을 조립한 후 대전 전극에서의 누전방지를 위하여 에폭시본드로 밀폐시켰으며, 황동 봉과 전선의 접합부위는 에폭시본드로 1차 처리

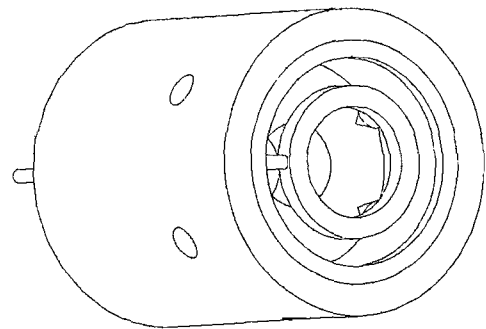
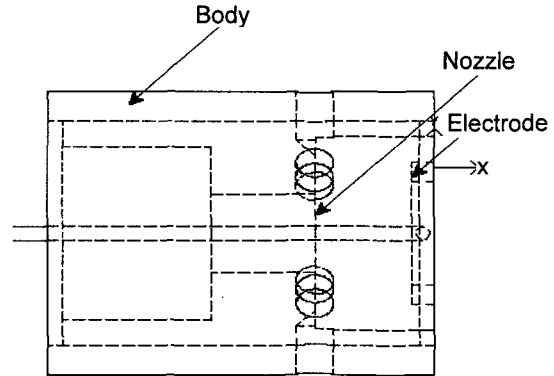
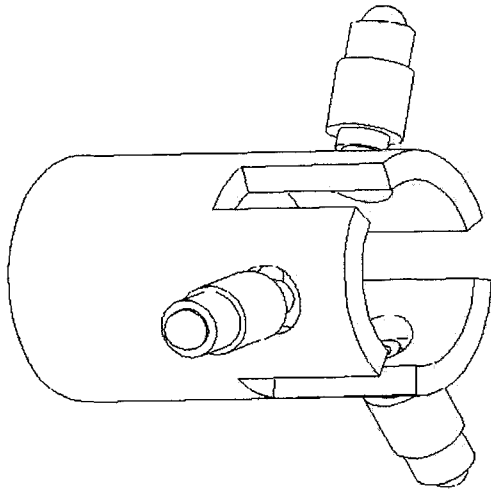


Fig. 4 Ring electrode for pulse induction charging method.

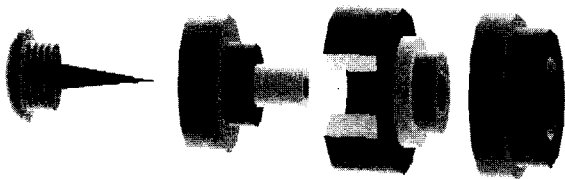
후 실리콘으로 처리하여 누전이 완전히 차단되도록 제작하였다.

##### 2) 코로나 대전장치

코로나 방전을 촉진시키기 위하여 원통내부에 침형의 방전소자를 설치하는 구조의 코로나 방전형 대전장치를 그림 5와 같이 설계 제작하였다. 코로나를 발생시키는 침은 그림 5의 (b)와 같이 ①의 침은 직경 1.5mm, 길이 20mm의 스테인레스로 M3 볼트의 끝에 부착하고, 누전을 방지하기 위하여 플라스틱으로 제작한 ②의 원통에 조립한 후 코로나가 방전될 때 필요한 공기를 공급하기 위해 흡을 제작한 ③의 커버를 조립하고, 몸체에 가공한 구멍에 부착한 후 노이즈를 제거하기 위하여 황동으로 제작한 ④를 조립하여 고정하였다. 고전압을 인가하기 위하여 볼트 머리 부분에 전선을 연결하고 에폭시본드로 절연 후 실리콘 처리를 함으로써 물의 유입을 차단하여 누전을 줄이도록 제작하였다.



(a) Assembly of corona electrode



① needle ② cylinder ③ cover ④ pipe

(b) Component of electrode

Fig. 5 Electrodes for corona discharging method.

라. 실내실험장치

1) 정전기 발생 출력전압 및 정전대전양 측정장치

정전기 발생장치의 출력전압의 측정을 위하여 정전기 발생장치의 출력단자와 대전장치 사이에서 분무 전과 분무 중에 대전장치로 인가되는 전압과 파형을 측정하였다. 전압과 파형 측정은 디지털 오실로스코프 (Tektronix, model TDS360A, 미국)를 이용하였으며, 인가 전압은 수 kV의 고압이므로 고압 측정용인 배율이 1,000 : 1의 고전압 프로브(Tektronix, model P6015A)로 측정하였다. 정전대전의 성능은 주로 분무되는 약액에 대한 대전전류(mean deposition current)의 비율인 대전양으로 표시한다. 전류의 측정을 위해 측정저항과 내부 입력 임피던스가  $10^{13} \Omega$ 인 미소전류측정계(Electrometer, Keithley, model 614, 영국)를 사용하여 그림 6과 같은 구성으로 제작하였다.

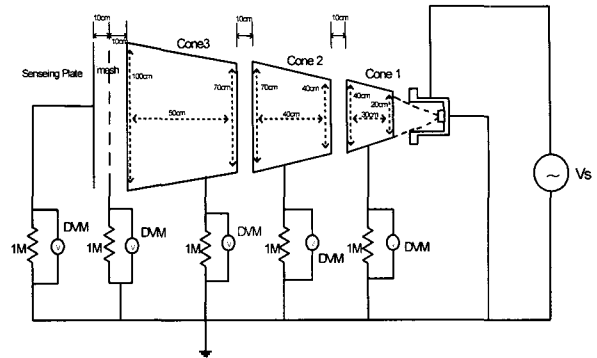


Fig. 6 Schematic diagram of experimental apparatus for the measurement of deposition current.

2) 정전대전 분무에 따른 피복면적비 측정

그림 7은 정전대전 인가전압별로 작물 잎 뒷면의 피복면적비를 측정하기 위하여 제작된 정전대전 효과 실험장치의 구성을 나타내었다. 실험에 사용한 이동대차는 속도조절이 편리한 최대 출력 150W, 회전수 1800rpm, 감속비 90 : 1인 DC 기어드모터로 구동되고, 주행속도는 DC 파워서플라이를 이용하여 전동기에 입력되는 입력전압을 0~24V까지 변경시켜 주행속도를 0~2m/s까지 조절이 가능하도록 하였으며, 전후진 주행만 가능하도록 제작하였다. 이동대차의 속도는 과수방제기의 작업속도인 0.3m/s로 하였다. 목표물은 크기가 5×7cm의 철제 부착판을 수평, 수직 및 45° 각도로 설치하였다. 감수지(water sensitive paper)는 분무액이 직접 닿지 않는 위치인 부착판의 뒷면에 플라스틱 집게로 부착하여 뒷면의 피복면적비를 측정하도록 하였다.

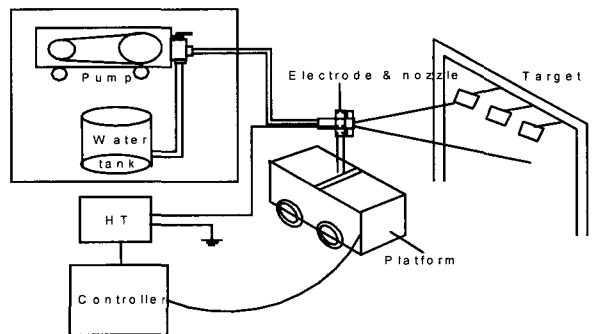


Fig. 7 Laboratory experimental set-up for sampling spray deposition on the artificial targets(water sensitive paper).

3) 정전대전 분무에 따른 피복면적비 분석

무풍상태인 실내에서 인가전압을 3.0~4.5kV까지 0.5kV씩 변화시키면서, (1)대전방식 : 직류유도대전, 펄스유도대전, 펄스코로나 방전대전, hybrid 대전, (2)노즐직경 :  $\varnothing$  0.51, 0.59, 0.67, 0.83mm, (3) 감수지 부착각도 : 0, 45, 90° 별로 부착효과 실험을 실시하여 관행(노즐직경  $\varnothing$ 1.2mm, 무정전)과 비교 실험하였다. 노즐과 목표물간의 거리는 1.2m, 분무압력은 1.966MPa로 5회이상 반복실험 하였다.

피복면적비 분석은 그림 8에 나타난 칼라영상현미경 시스템(MW-200 삼성, 한국)을 이용하였다. 칼라영상현미경 시스템은 이미지를 획득하여 1,000배까지 확대가 가능하

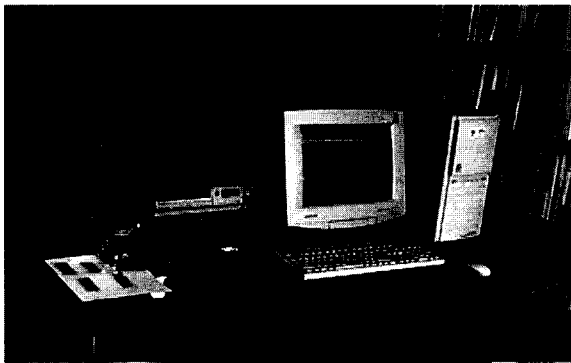


Fig. 8 Color image microscope system for the measurement of covering area ratio.

고 감수지에 부착된 입자의 크기와 개수를 측정할 수 있는 이미지 분석시스템이다. 부착효과 분석은 부착된 애적을 100배로 확대하여 입경과 입자 수를 측정하여 피복면적비를 산출하였다. 감수지의 분석위치 분할은 그림 9와 같이 감수지(50×70mm)를 6지점으로 분할하여 측정하였다.

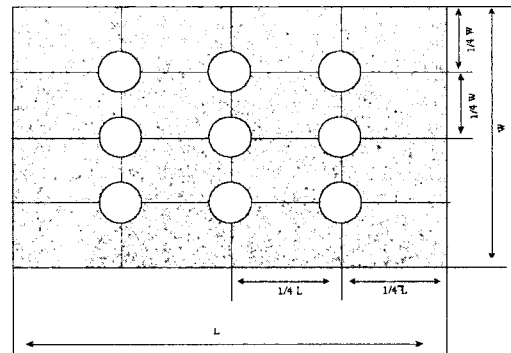


Fig. 9 Image acquiring positions of droplet size measurement on the water sensitive paper.

3. 결과 및 고찰

가. 정전대전 방식 및 노즐구경별 분무특성

농약살포용 정전대전 노즐의 분무특성을 분석하기 위하여 분무압력별로 분당 분무량, 분무각, 평균분무입

Table 1. Spray characteristics of the experimental nozzles

Orifice diameter( $\varnothing$ , mm)	Pressure(MPa)	Discharge rate( $\ell$ /min)	Spray angle( $^\circ$ )	VMD( $\mu$ m)	Effective spraying distance(m)
0.51	0.98	0.33	43	111.16	2.1
	1.47	0.41	49	99.60	2.5
	1.96	0.48	53	95.87	3.0
0.59	0.98	0.39	44	128.15	2.5
	1.47	0.46	46	116.03	3.0
	1.96	0.56	49	108.34	3.4
0.67	0.98	0.42	42	132.52	2.3
	1.47	0.53	47	121.64	2.9
	1.96	0.60	48	115.13	3.5
0.83	0.98	0.75	43	136.02	2.7
	1.47	0.93	47	123.93	3.3
	1.96	1.02	49	116.13	3.6
1.2	0.98	1.38	45	137.75	4.4
	1.47	1.72	49	133.51	4.8
	1.96	1.97	52	131.54	5.3

## 과수 방제기용 정전대전 노즐의 분무 및 부착특성

경(VMD) 등을 측정된 결과를 표 1에 나타내었다. 분무량은 구경과 압력에 비례하여 증가하였다.

분무각은 분무압력이 0.986MPa 일때는 42~43°, 1.96MPa일때는 48~53°로 노즐 구경별로 차이가 적었고, 관행살포노즐인 Ø1.2mm의 45~52°와 유사한 분무각으로 과수방제기에 적용할 경우 구조를 변경하지 않고도 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 평균분무입경(VMD)은 관행노즐 Ø1.2mm의 137.75~131.54µm에 비하여 새로 개발한 노즐은 압력이 증가할수록 136.02µm에서 95.87µm의 범위로 작아지는 경향을 보였다. 분무량은 1.96MPa에서 관행 Ø1.2mm 노즐의 1.97 l/min에 비하여 Ø0.59mm 노즐은 0.56 l/min로 1/4의 분무량 이었다.

### 나. 정전 대전량

직류유도대전, 펄스유도대전 및 펄스코로나방전 대전장치를 개발하여 각각의 장치들에 대한 대전성능인 대전량 측정실험 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 직류유도대전과 코로나 방전대전의 성능이 낮았고, 펄스유도 대전장치의 대전성능은 우수하였다. 전압별로는 4.0kV 이상에서는 성능향상이 적은 것으로 나타났다.

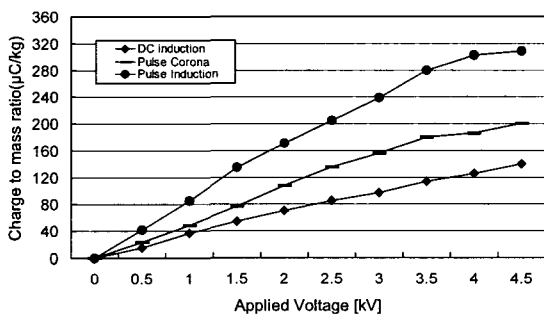


Fig. 10 Effect of applied voltage on charge to mass ratio for different charging methods.

### 다. 정전대전 방식별 피복면적비

적정 인가전압을 구하기 위하여 인가전압별 피복면적비를 측정하였다. 피복면적비의 측정은 목표물(감수지)을 수평, 45°, 90° 각도로 뒷면에 부착하고 측정대차를 무풍상태에서 일정한 속도로 주행 시켰으며 측정결과는 표 2에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 뒷면 피

복면적비가 관행 노즐은 10.2%였으나 분무량을 1/4로 줄여서 살포한 정전대전에서는 직류유도 대전의 경우 4.0kV에서 17.9%, 펄스유도 대전은 4.5kV에서 52.7%로 관행의 5.2배, 펄스코로나 방전대전은 4.5kV에서 40.4%로 4배 증가하였다.

각 조건에 따른 피복면적비의 통계적 차이를 알아보기 위해서 통계패키지 SAS를 이용하여 분산분석(GLM Procedure)을 실시하였다. 각각의 실험요인인 정전대전 방식 및 인가전압별로 각 처리별 피복면적비를 관행(conventional)과 비교하여 각 요인에 대한 효과와 교호작용(interaction)을 조사하였다. 그 결과 R<sup>2</sup> 값은 0.93으로 나타났고, 유의확률이 0.01%로 유의수준 5%에서 반복간에 유의성이 있고, 대전방식과 인가전압에 따라서는 피복면적비의 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 2 Covering area ratio according to charging method and applied voltage (unit : %)

Charging method	Applied voltage(kV)				
	0	3.0	3.5	4.0	4.5
DC induction charging		13.1	13.6	17.9	16.7
Pulse induction charging		20.8	29.8	43.4	52.7
Pulse corona charging		21.2	28.9	31.6	40.4
Conventional	10.2				

※ Nozzle : electrostatic Ø0.59mm.

※ Pressure : 1.96MPa.

※ Distance from nozzle to target : 1.2m.

### 라. 노즐구경별 정전대전 효과

표 3에 나타낸 바와 같이 송풍을 하지 않은 상태에서 펄스유도 대전방식으로 감수지 부착각도 45°, 분무압력 20kg/cm<sup>2</sup>, 살포거리 1.2m에서 노즐구경과 인가전압별로 살포한 분무액이 감수지에 부착되는 피복면적비를 측정된 결과 인가전압이 증가할수록 피복면적비가 증가하는 것으로 나타났다. 오리피스 직경 Ø0.51mm 노즐의 경우 4.5kV에서 피복면적비가 39.5%로 적은 것은 분무량이 너무 적고 유효 도달거리도 짧기 때문인 것으로 판단된다. 오리피스 직경 Ø0.59mm 노즐의 경우 4.5kV에서 52.7%로 정전대전 효과가 가장

높게 나타났으며, 관행의 Ø1.2mm 노즐로 정전대전 없이 살포하는 경우와 비교하면 1.97ℓ/min에서 0.56ℓ/min로 71.6%나 줄어들면서도 피복면적비는 10.2%에서 52.7%로 5.2배 증가하는 것을 알 수 있다. 오리피스 직경 Ø0.67mm 노즐의 경우는 4.0kV에서 43.2%로 가장 높은 피복면적비를 나타냈으나 4.5kV에서는 오히려 37.9%로 낮아지는 경향이였다. 오리피스 직경 Ø0.83mm 노즐의 경우는 인가전압 4.0kV에서 피복면적비가 34.0%로 가장 높았으나 다른 노즐에 비하여 낮은 피복면적비를 보였다. 이러한 원인은 분무량이 많아서 정전대전이 균일하지 못하였거나 분무 입경이 커서 입자의 중력이 정전력보다 강하기 때문인 것으로 판단된다. 인가전압 4.5kV에서 줄어드는 경향이 나타나는 것은 이때부터 인가전압 4.0kV 이상에서는 노즐과 대전장치 사이에서 불꽃방전이 일어나 지속적인 방제작업이 불가능하였다. 따라서 적정 정전대전 노즐은 Ø0.59mm 노즐로 인가전압을 4.0kV으로 결정하였다.

Table 3 Covering area ratio according to nozzle diameter

(unit : %)

Spray method	Nozzle diameter (Ø, mm)	Applied voltage(kV)				
		0	3.0	3.5	4.0	4.5
Pulse induction	0.51	-	21.9	31.2	38.0	39.5
	0.59	-	20.8	29.8	43.4	52.7
	0.67	-	27.2	33.7	43.2	37.9
	0.83	-	19.7	29.0	34.0	30.3
Conventional	1.2	10.2	-	-	-	-

※ Target angle : 45°.

※ Spray pressure : 1.96MPa.

※ Distance from nozzle to target : 1.2m.

#### 4. 요약 및 결론

과수 방제기용 정전대전 살포시스템 개발을 위한 기본연구로 관행 과수방제기용 노즐과 정전대전 노즐의 분무특성을 분석하고, 직류 및 펄스정전기 발생장치를 제작하여 성능을 비교 분석하였으며, 직류유도대전, 펄스유도대전, 펄스코로나방전 대전장치를 제작하고 실험

한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 노즐의 분무특성을 분석한 결과 분무압력 1.96MPa에서 분무량은 관행 Ø1.2mm 노즐의 경우 1.97ℓ/min이었으며, 정전대전용 Ø0.59mm 노즐은 0.56ℓ/min로 나타나 정전대전 살포할 경우 살포량이 3/4정도인 노즐의 효율이 높은 것으로 판단된다.

2) 평균분무입경(VMD)은 관행 Ø1.2mm 노즐로 분무시 137.75~131.54 μm가 사용되고 있다. 정전대전 살포용 노즐은 압력이 증가할수록 136.02 μm에서 95.87 μm로 작아지는 경향으로 나타나, 정전대전 살포에 적합한 VMD를 100~120 μm로 정하였을 때, 정전대전 살포의 분무압력 1.96MPa이 적정한 것으로 판단된다.

3) 정대전장치별 대전양 측정실험결과 DC 유도대전과 펄스코로나방전 대전의 대전성능이 낮았고, 펄스유도 대전장치의 대전성능이 우수하였으며, 전압별로는 4.0kV이상에서는 성능향상이 적은 것으로 나타났다.

4) 관행 Ø1.2mm 노즐로 살포할 경우 10.2%였으나, 정전대전에 의한 피복면적비 향상효과는 인가전압 4.0kV로 Ø0.59mm 노즐을 이용한 직류유도 대전, 펄스유도 대전, 펄스코로나방전 대전의 경우에는 각각 17.9%, 43.4%, 31.6%로 관행노즐에 비해서 피복면적비가 각각 1.7, 4.3, 3.1배 증가하는 것으로 나타났다.

5) 분무량, 뒷면 피복면적비와 송풍풍속을 고려할 때 정전대전 농약살포 시스템은 노즐 Ø0.59mm, 펄스유도 대전방식을 이용한 인가전압이 4.0kV에서 가장 적합한 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. Cho, S. I and D. H. Lee. 1996 Spraying performance evaluation of spraying nozzle using electrostatic effect. Journal of Korea Society for Agricultural Machinery, Vol. 21, No. 4 (1996) 456-466.
2. Dante, E. T. and C. P. Gupta. 1991. Deposition studies and electrostatic spinning disc sprayer. Transactions of the ASAE Vol. 34(5):1927-1934.
3. Gupta, C. P. and T. X. Duc. 1996. Deposition studies of a hand-held air-assisted electrostatic sprayer. Trans-

- actions of the ASAE Vol. 39(5):1633-1639.
4. Hadfield, D. J. 1987. The modelling of charged spray deposition on artificial targets. *Journal of Agricultural Engineering Research* Vol. 36:45-56.
  5. John, C. P. and W. E. Coates. 1996. Air-assisted electrostatic application of pyrethroid and endosulfan mixtures for sweetpotato whitefly(Homoptera : Aleyrodidae) control and spray deposition in cauliflower. *Journal of Economic Entomology* Vol. 89(4):970-980.
  6. Law, S. E. and S. C. Cooper. 1988. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer. *Transactions of the ASAE* Vol. 31(4) : 984-989.
  7. Law, S. E. and S. C. Cooper. 1989. Target grounding requirements for electrostatic deposition of pesticide sprays. *Transactions of the ASAE* Vol. 32(4) : 1169-1176.