

컴퓨터 영상처리를 이용한 정전분무기의 분무상태 평가

Spraying Status Evaluation of the Electro-static Sprayer Using Computer Image Processing

황 현*

정회원
H. Hwang

조성인**

정회원
S. I. Cho

조도연**

D. Y. Cho

ABSTRACT

The spraying status of the electrostatic sprayer was evaluated by processing surface spraying images of the natural leaves. Water solution of the fluorescent material was used as a spray medium. The image of the lights reflected by fluorescent droplets was captured under UV light using a color CCD camera. Coverage rate, particle density, and the size distribution of particles were analyzed from the surface images of leaves under various spraying conditions such as spraying nozzle angle and object distance. Spraying characteristics of the electrostatic sprayer was evaluated in comparison with the conventional one. In a case of electrostatic sprayer, coverage rate and particle density increased by the average of 1.57times and 1.01times respectively under various nozzle angles and distances. The number of particles under the diameter of 50 μm also increased significantly.

주요용어(Key Words): 정전 분무기(Electrostatic sprayer), 형광영상(Fluorescent image), 영상처리(Image processing)

1. 서 론

최근 과수방제에 있어서 과도한 노동투하시간, 농약에 의한 중독 위험성 및 비산살포에 의한 토양 환경오염이 문제가 되고 있다. 액체 살포의 경우, 분무입자의 유수 및 지표면에 떨어지는 약액의 손실문제가 심각하다. 그리고 분무입자의 크기가 커서 고른 살포에 문제가 있으며 액체의 원거리 살포시 입경분포가 거리에 따라 불균일한 문제가 있다.

정전분무를 이용한 방제의 경우, 고전압발생기의 전압에 비례해서 분무입자가 작아지는 효과를 이용하여 적정량을 방제하도록 함으로써 방제효율을 향상시킬 수 있다. 하지만 정전분무기의 분무효과를 정량적으로 분석하는 연구가 필요하다. 외국의 경우, 정전효과를 이용한 분무기의 개발[1] 및 이의 성

능향상에 대한 연구가 활발히 추진되고 있고([2], [3], [4]), 2.5kV의 고전압을 이용한 정전분무 장치로부터 생성되는 분무입자의 형태를 분석하는 연구도 수행된 바 있다.

정전효과를 이용한 분무기의 분무상태 평가방법은 크게 2가지가 있다. 첫째는 Bowen[5]과 Cooper[4]가 사용한 charge transfer법으로 입자의 미세한 전류를 측정함으로써 대전된 전하량의 크기를 측정하는 방법이고, 또 다른 방법은 mass transfer법[6]으로써 대상체의 표면에 부착한 입자의 밀도 및 질량을 측정하는 방법이다. 두 가지 방법을 동시에 사용하는 경우도 있으나, 본 실험에서는 데이터 획득의 용이성과 영상처리의 장점을 살리기 위하여 mass transfer법을 이용하여 분무 상태를 평가하였다.

기존의 분무입자 측정 및 노즐구멍의 크기에 따른

* 성균관대학교 생물기전공학과

** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학과 농업기계전공

분무상태 분석은 감수지를 이용하여 분무입자들의 영상을 획득하여 처리하거나[7] 영상을 확대한 후 캘리퍼스도 개개 입자의 크기를 직접 측정하는 방식을 사용하였다. 하지만 분석정밀도와 분석효율을 향상시키기 위해서는 대상체인 엽면에 방제한 후, 엽면에 부착된 분무입자에 대해 직접 분포상태 및 입자크기를 자동으로 계측하고 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 자외선 조명을 설치한 컴퓨터 영상처리 시스템을 구축하여 엽면에 살포된 형광 분무입자의 영상을 획득하고 획득한 영상으로부터 분무상태를 영상처리를 이용하여 평가하는 방법을 제시하였다.

2. 재료 및 방법

정전효과를 이용한 분무기의 분무 실험을 위한 장치는 그림 1과 같이 구성하였다.

가. 분무장치와 대상체

분무장치로는 조 등[8]이 제작한 정전분무기를 사

용하였으며 분무압 형성을 위해 800rpm의 속도로 회전하면서 25kg/cm²의 압력을 생성하는 플러저 펌프(광성분무기, 동양)를 사용하였다. 분무 대상체는 아카시아 잎을 사용하였고 그림 2와 같이 아크릴 평판에 부착하여 실험하였다. 아크릴 평판은 알루미늄 코팅을 한 후 프레임을 부착하여 식물체가 접지상태가 되도록 하였다. 아크릴 평판은 노즐 분사 입사각을 변화시키기 위해 경사각을 조절할 수 있도록 장착되었고, 그림 2에서와 같이 평판의 윗면(upper side)과 아랫면(bottom side)에 시료를 부착할 수 있게 함으로써 잎의 윗면과 아랫면에 대해 분무를 할 수 있게 하였다.

실제 작물의 잎면에 살포하는 경우, 분무입자가 부착된 부분이 명확히 드러나지 않기 때문에 자외선에 반응하여 가시광선 영역의 빛을 내는 형광물질을 사용하여 분무액을 제조하였다. 형광물질로는 360 nm 영역의 자외선에 자극되어 400nm 파장대역의 가시광선을 발하는 C₄₀H₄₄N₁₂O₁₀S₂(fluorescent brightener 28)를 사용하였고 형광물질의 부착을 용이하게 하기 위한 계면활성제로 t-octylphenoxypolyethoxyethanol(triton X-100)을 사용하였다. 분무액은 형광물

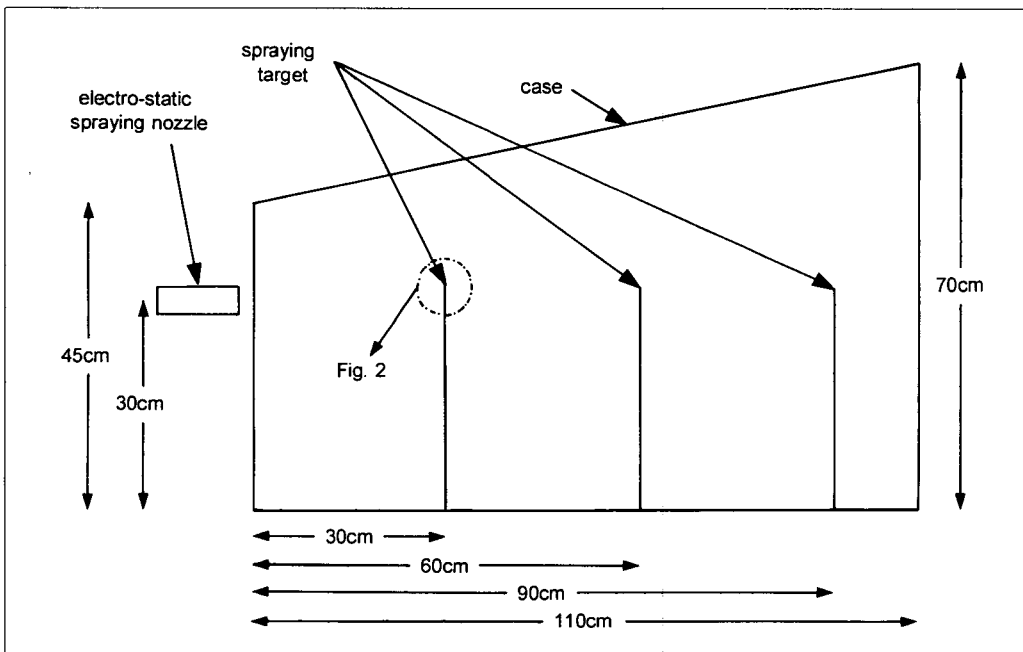


Fig. 1 Schematic view of spraying device and object.

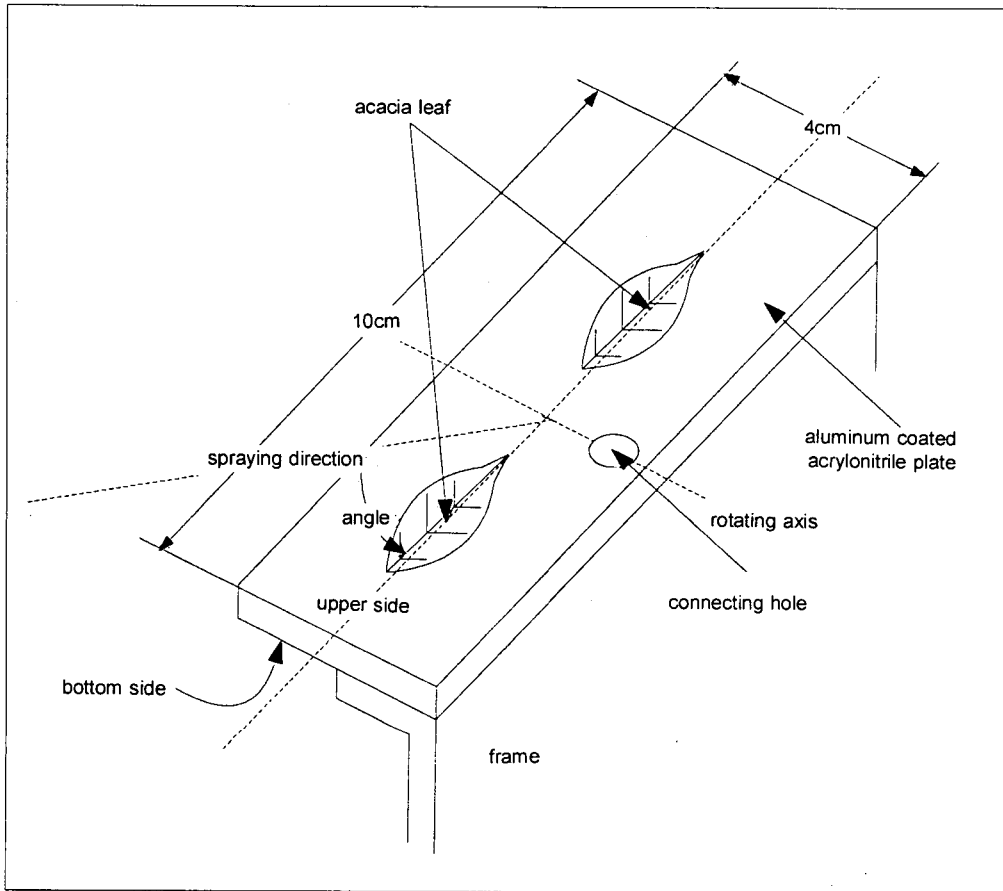


Fig. 2 Object to be sprayed.

질 15g, 계면활성제 200ml, 물 4.5l 를 혼합하여 제조하였다.

나. 영상 획득장치

영상 획득장치는 그림 3과 같이 형광물질을 반응시키기 위한 UV Lamp(G10T8-AN 10W, Sanyo Denki, Japan) 4개를 대상체 15cm 위로 사방에 설치하였고, 640×480의 영상을 획득하는 CCD Camera (UMC-7, Pulnix, USA)에 미세 입자의 크기를 확대하기 위하여 줌(zoom) 렌즈(ARAM ×50)를 부착하였다. 이들 장치들을 알루미늄 프로파일을 이용하여 장착한 후 외부로부터의 광선을 차단하였다.

각도를 0°, 45°, 90°, 거리를 30cm, 60cm, 90cm로 변화시키면서 분무액을 분무대상체의 윗면과 아랫

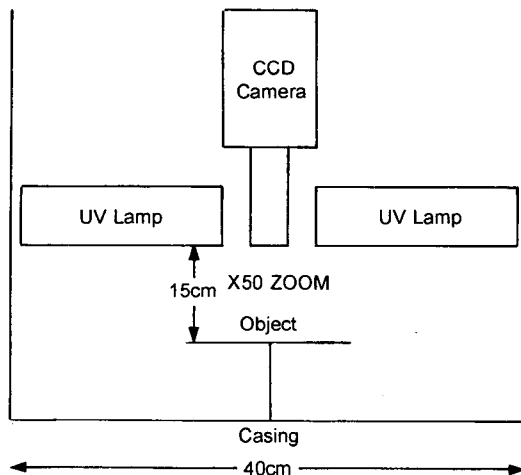
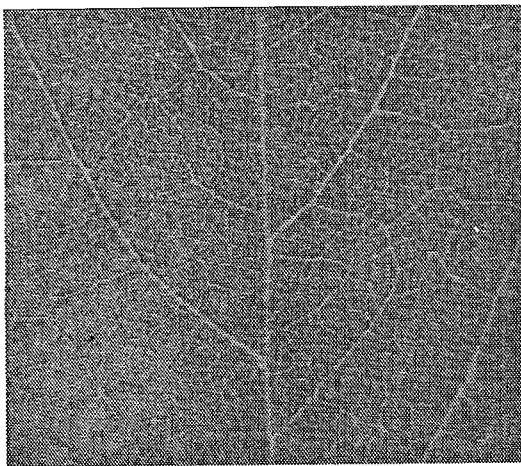


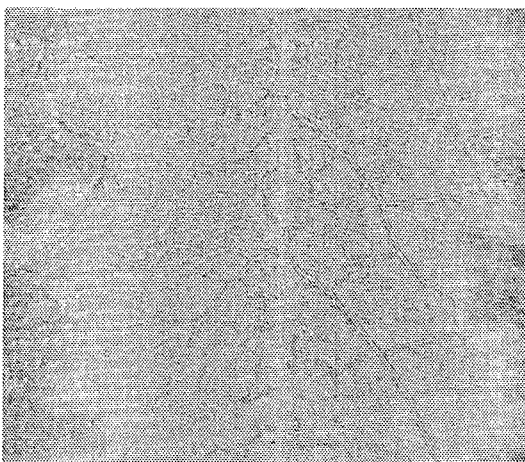
Fig. 3 Image processing system.

면에 분사하여 총 18개의 조건에 대해 영상을 획득하였다. 총 6회의 반복실험을 거쳐 각 조건별로 6개의 영상, 총 108개의 영상을 획득하였다. 대상잎의 모든 부위에 대한 분무조건은 분무거리에 비해 동일하므로 실험조건을 단순화하기 위해 대상잎의 모든 부위의 분무상태가 균일하다고 간주하고 대상잎 내의 영상 획득부위를 중앙부위 잎의 위치로 하여 영상을 획득하였다.

다. 영상 분석



[a] natural



[b] fluorescent

Fig. 4 Images of the natural leaf and leaf covered with fluorescent material.

분무대상체에 부착된 형광물질에 의해 반응된 영역과 순수한 잎의 영역을 구분하기 위해 자연상태와 형광물질을 입힌 잎의 입력영상(그림 4)에 대해 RGB 프레임 영상에 따른 히스토그램을 분석하여 구분이 가장 용이한 프레임을 선정하였다.

획득한 분무대상체의 영상처리는 ImagePro(Media Cybernetics, USA) 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 입자가 부착된 영역과 부착되지 않은 부분을 가장 잘 분리할 수 있는 문턱값을 찾아내어 영상을 이치화하고 피복면적과 입자들의 등가원의 지름을 계산한 후 평균 지름을 화소 단위로 계산하였으며 10 μm 눈금자를 이용하여 영상의 1 화소 당 측도를 설정하였다.

라. 분무상태 평가 지표

일반적으로 정전분무기의 분무상태를 평가하는 척도로서 피복률, 단위 면적당 입자밀도, 평균입자 직경을 사용한다. 이[7]는 인공적인 대상체에 대하여 피복률, 단위면적당 입자밀도와 평균입자직경으로써 정전분무기의 분무상태를 평가한 바 있다.

피복률은 다음 식으로 정의되는 데, 본 논문에서는 획득 영상의 면적(117.2mm²)을 샘플의 전체면적으로 놓고 계산하였다. 입자밀도는 일반적으로 단위 면적에 부착된 입자의 수로 표시하는 데 마찬가지로 획득 영상에 부착된 입자의 수를 입자밀도로 하였다.

$$C = \frac{A}{A_s} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, C = 피복률(%)
- A = 분무림의 부착면적(mm²)
- A_s = 샘플의 전체면적(mm²)

그리고 분무상태의 향상도를 나타내는 성능비(PR)는 다음 식을 사용하여 피복률과 입자 수에 대하여 각각 구하였다.

$$PR_C(\%) = \frac{V_{C,on} - V_{C,off}}{V_{C,off}} \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

$$PR_D(\%) = \frac{V_{D,on} - V_{D,off}}{V_{D,off}} \times 100$$

여기서, PR_C : 피복률비

$V_{C,on}$: 정전분무시의 피복률

$V_{C,off}$: 무정전분무시 피복률

PR_D : 입자 수비

$V_{D,on}$: 무정전분무시 입자 수

$V_{D,off}$: 무정전분무시 입자 수

피복률 시험은 대상체와의 거리 30cm, 60cm, 90 cm 그리고 대상체 면과 노즐의 분사각 0도, 45도 90도에 대해서 수행하였다. 각각의 경우에 대해 6개 샘플을 가지고 실험하였으며 분무시간은 0.5초로 하였고, 정전분무기의 전압은 10kV로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 영상 획득 및 분할

그림 5는 자연상태와 형광물질을 입힌 앞의 RGB 프레임 영상에 따른 히스토그램을 보여주는데 B (blue) 영상의 히스토그램을 이용하는 것이 구분이 가장 용이함을 알 수 있다. 형광물질이 부착된 영역과 부착되지 않은 영역을 구분하기 위한 경계값을 구하기 위해 B 영상의 히스토그램을 분석하였다. B 프레임 영상의 경우 형광물질을 입힌 앞은 밝기 경계값이 156~160보다 낮은 화소의 비율이 대략 0.1%였고 자연상태의 앞은 밝기가 156~160보다 낮은 화소의 비율이 대략 99.8%였다. 따라서, 형광물질이 부착된 영역과 부착되지 않은 영역을 구분하기 위한 경계값을 158로 정하였다.

그림 6은 획득한 칼라영상, B 프레임 영상과 B 프레임 영상을 경계값 158를 기준으로 이치화한 결과를 보여준다.

한편, 영상처리 시스템의 입력영상 축소 결과, 가로방향은 화소 당 1.90 μm , 세로방향은 화소 당 1.89 μm 였다.

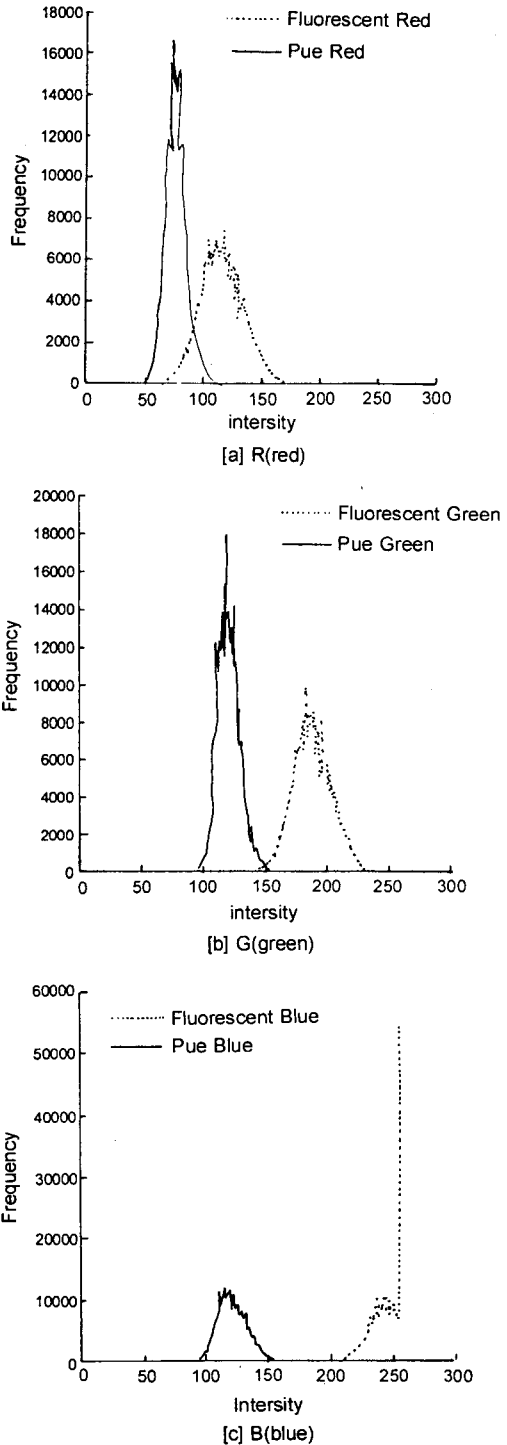
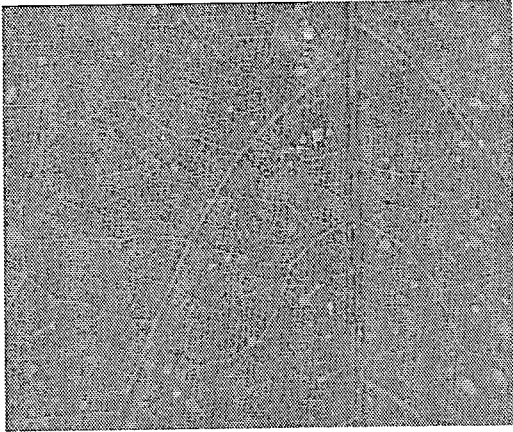
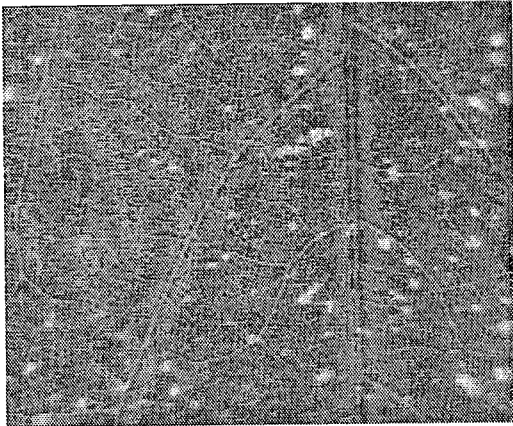


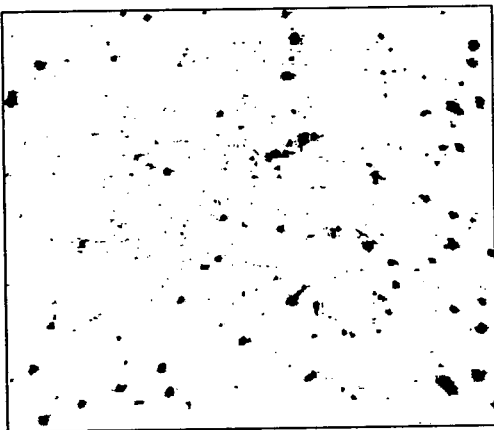
Fig. 5 Histograms of RGB frame images: natural(solid), covered with fluorescent material(dotted).



[a] color



[b] B frame



[c] binary

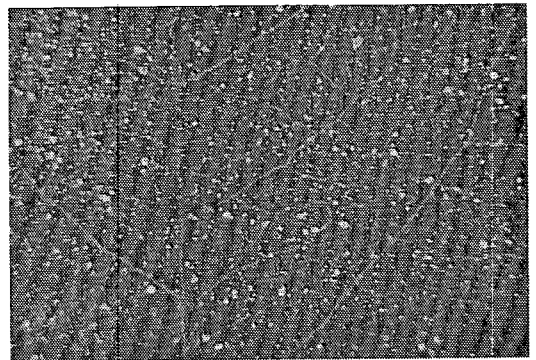
Fig. 6 Color, B frame, and binarized images.

나. 피복률

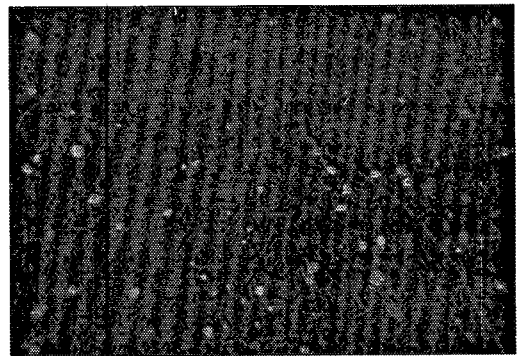
표 1은 정전효과에 따른 피복률의 향상률을 엽면, 분사각도 그리고 거리에 대하여 측정한 결과를 보여 준다. 그림 7은 선정된 엽면 및 분사각에 대하여 정전효과의 유·무에 의한 피복률 변화를 거리에 대하여 측정한 결과를 보여 준다. 피복률은 평균적으로 1.57배 정도 향상됨을 보였으며, 특히 45도의 경우 뒷면의 부착률이 현저히 향상됨을 보였다.

다. 입자 밀도

표 2는 엽면과 분사각에 대하여 거리에 따라 측정 한 입자 밀도를 보여 준다. 입자 밀도는 분사각도 0 도의 경우에 잎의 윗면을 제외하면 평균적으로 1.11 배 증가함을 보였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 입자



[a] electrostatic spray



[b] regular spray

Fig. 7 Leaf images after electrostatic and regular spraying.

Table 1 Coverage rate(A : electrostatic spray B : regular spray)

Face / Angle	Distance(cm)	A	B	PR α (%)
Top / 0°	30	34.13	28.70	18.9
	60	64.93	46.13	40.8
	90	9.52	5.53	72.2
Bottom / 0°	30	8.77	3.84	128.4
	60	6.15	2.97	107.1
	90	6.57	1.49	340.9
Bottom / 45°	30	12.84	1.91	572.3
	60	7.28	3.05	138.7
	90	7.15	1.71	318.1
Bottom / 90°	30	18.38	12.98	41.6
	60	28.45	23.30	22.1
	90	23.29	13.05	78.5

Table 2 Particle density(No. / 117.2mm²)
(A : electrostatic spray B : regular spray)

Face / Angle	Distance(cm)	A	B	PR _p (%)
Top / 0°	30	174.25	222.00	-21.5
	60	93.67	234.75	-58.8
	90	281.00	198.25	41.7
Bottom / 0°	30	470.75	393.00	19.8
	60	472.20	223.00	111.7
	90	306.83	63.50	383.2
Bottom / 45°	30	435.00	117.50	170.2
	60	386.83	150.33	157.3
	90	234.67	71.00	130.5
Bottom / 90°	30	509.25	438.00	16.3
	60	486.00	479.40	1.4
	90	476.50	447.50	6.5

의 부착량이 많은 경우 서로 인접한 입자들이 부착되어 입자의 개수는 감소하였다. 분사각도 0도, 앞의 윗면의 경우 대상체와의 거리가 30cm 그리고 60cm

에서 피복률은 30% 이상으로 나타났으나 입자들이 밀집하게 부착됨에 따라 입자 개수의 증가율은 감소한 것으로 나타났다.

라. 입자 직경 분포

분사각도가 0도, 45도, 90도에서 앞의 아랫면에 부착된 입자의 직경분포를 분석한 결과 0도와 45인 경우, 입자직경이 50 μm 이하인 입자들의 증가율 각각 83%, 208% 정도로 현저하였으며, 100 μm 이하 입자들의 개수도 약간 증가하였다. 이는 정전효과에 의해 입자 형성과정에서 정전기적 반력에 의해 작은 입자들이 형성되어 나타난 효과라고 판단되었다. 90도의 경우는 앞면과 뒷면이 같은 조건이므로 정전대전된 입자가 앞면과 뒷면에 균일하게 부착됨으로 인하여 아랫면 부착률의 증가율이 작은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

실제 잎을 대상으로 정전분무기와 일반분무기의 분무입자 부착상태를 분석하기 위하여 형광물질 (fluorescent brightener 28)을 이용하여 분무입자의 영상을 획득하였다. 실험에 사용한 형광물질의 경우 획득한 B 프레임 영상을 경계값 158 부근에서 이치화하여 분무입자를 매우 정확히 구분할 수 있었다.

실험에 사용한 정전분무기의 경우, 피복률이 평균 1.57배 정도 증가함을 보이고 있으며 특히 대상체와 노즐간의 각도가 45도인 경우 뒷면의 피복률이 현저히 향상되었다. 또한 입자의 개수는 평균 1.11배 가량 증가함을 보였다. 대상체와 노즐간의 각도가 0도인 경우는 분무입자의 개수가 감소한 것으로 보이나 실제적으로 분무입자가 대상체의 표면에 과다하게 누적되어 입자의 개수가 감소되어 보이는 것으로 나타났다. 하지만 그 경우에도 피복률은 향상된 것으

로 나타났다. 입자 직경의 분포는 특히 직경 50 μm 이하의 분무입자가 많았으며 정전효과가 없는 상태에 비하여 현저하게 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Bowen, H. D. and S. E. Law. 1989. Effects of liquid conductivity upon gaseous discharge of droplets. IEEE Transaction IA-25(6):1073-1080.
2. Carlton, J. B., L. F. Bouse and I. W. Kirk. 1995. Electrostatic charging of aerial spray over cotton. Transaction of the ASAE 38(6):1641-1645.
3. Cooper, S. C. and S. E. Law. 1987. Bipolar spray charging for leaf-tip corona reduction by space-charge control. IEEE Transaction IA-23(2):217-223.
4. Cooper, S. C. Law. 1990. Computer-based charge transfer data acquisition from multiple targets undergoing electrostatic spraying. Transaction of the ASAE 33(2):666-670.
5. Giles, D. K. and S. E. Law. 1985. Space charge deposition of pesticide sprays onto cylindrical target arrays. Transaction of the ASAE 28(3):658-664.
6. Law, S. E. 1978. Embedded-electrode electrostatic-induction spray -charging nozzle : Theoretical and engineering design. Transaction of the ASAE 21(6):1096-1104
7. 이동훈. 1997. 정전효과를 이용한 분무노즐의 분무성능 평가. 석사학위논문. 서울대학교대학원
8. 조성인, 신동준. 1998. 농업용 방제기의 정전분무노즐 개발. 대산논총 6집