

# 소형 과수방제기의 살포 입자 부착특성<sup>1)</sup>

## Droplet Deposition Characteristics of a Small Orchard Sprayer

구영모*	김정선*	김상현**	신범수**
정회원	정회원	정회원	정회원
Y.M.Koo	J.S.Kim	S.H.Kim	B.S.Shin

### 1. 서론

농작업에 중요한 비중을 차지하는 방제작업에 있어 근래 부각된 주요문제는 살포살포에 의한 환경오염의 우려이다. 일반적으로 살포된 농약의 약10% 미만이 병충해 방제 또는 제초에 이용되고 나머지 90%이상의 약제는 분해(degradation)된 후 일부는 대기 또는 토양에 잔류하거나 하천에 방류되어 환경오염의 주요원인이 되고 있다(Mattews, 1992). 홍혜란(1995)에 의하면 우리나라의 단위 면적당 농약 사용량이 다른 나라에 비하여 과다하며 이것은 환경오염의 문제뿐만이 아니라 경제적으로도 큰 손실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 효율적 방제를 통한 생산량 향상과 환경보호를 위한 정밀방제에 대한 필요성이 점점 커지고 있으며, 관련분야에서는 유기농법 및 정밀방제, 선택적 방제 등의 기술을 도입하여 방제효율 향상으로 환경오염 방지에 기여하고 있다(조성인 등, 1996).

따라서 본 연구의 목적은 현재 과수원용으로 사용하고 있는 소형 과수방제기(일명 스피드 스프레이)에 대한 분사특성을 분석함으로써 방제기 개발에 있어서 중요한 살포입자의 부착특성을 이해하고 최적방제 조건을 규명하기 위한 정밀방제의 기초자료를 얻는 데 있다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 가. 실험장치

실험장치는 실제 농가에서 조사한 수형 조사 자료를 기초로 하여 구조물을 제작하였다(Fig. 1). 구조물은 40A 파이프를 이용하여 가로 6m×세로 4m×폭 2m 크기로 제작하였고, PVC파이프를 방제기 Boom의 동심원상 형태로 구부려 1/4원호의 반지름이 2.5, 3.0, 3.5m되도록 설치하였다. 방제작업이 실시될 때 원거리 감수지가 서로 간섭되는 것을 방지하기 위해 방제기 진행 방향으로 1m씩 간격을 두었다. 각 원호와 90°를 4등분한 분할선의 교차점에 노즐의 분사방향에 수직하게 감수지를 부착하였다. 이때 감수지의 위치는 원호(PVC파이프)의 중심으로부터 극좌표(중심거리, 방위각)로 나타내었다. 실험장치는 한쪽 면만 측정할 수 있도록 간소화하였다.

1) 본 연구는 농림기술개발 연구비에 의하여 수행되었음.

\* 경북대학교 농업기계공학과

\*\* 강원대학교 농업기계공학과

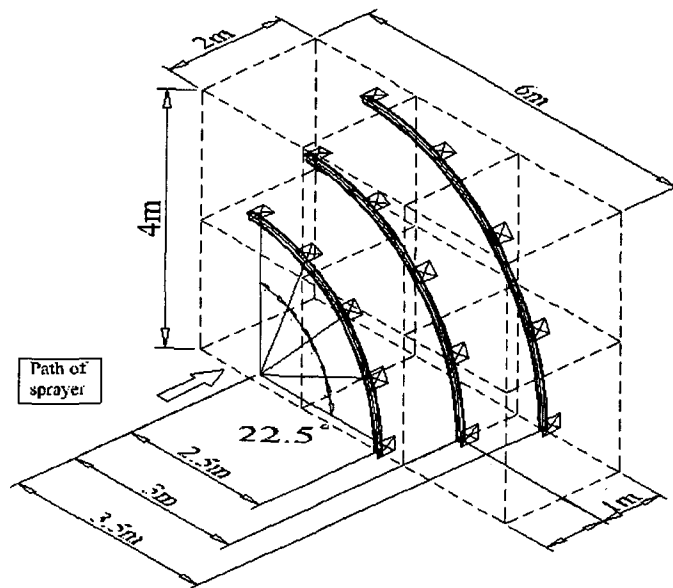


Figure 1. Schematic of a sampling structure used in the experiment. The symbol (⊗) indicates the location of a water sensitive card.

#### 나. 공시 방제기

공시 방제기는 원호상 붐에 10개의 원추형 노즐(D1-25)을 설치하여 분사하고 동시에 송풍하여 미립자를 멀리 보냄으로 공기방사식(air-blast) 또는 과수방제기(orchard sprayer)라고 부른다. 이 공기방사식 과수방제기(한서정공 SS-180CT)는 주로 포도나 왜성 사과등의 작물에 사용되는 소형(180L 용량)으로 팬의 형식은 축류식이고 상용회전수 2800rpm에서 공기유량은 300m<sup>3</sup>/min이다. 실험에서는 작업 적정압력인 13kg/cm<sup>2</sup>로 맞추었고 노즐에서의 토출량은 0.75L/min이었다. 방제기의 진행속도는 입자가 감수지에 부착될 때 분무 입자가 겹쳐지는 것을 방지하기 위하여 전진2단 0.81m/s(2.916km/hr)를 선택하였다.

#### 다. 풍속측정 방법

송풍 팬의 회전속도는 상용부하 상태에서 고속(3031rpm)과 저속(2075rpm)이 되도록 각각 조절하였고, 11.25° 간격으로 원호상 9곳에서 측정하였다. 이를 위해 방제기를 구조물 중심에 위치하고 풍속계(HHH-300A, Omega Inc.)를 원주상 즉 풍향에 수직하게 위치하여 측정하였다. 풍속 측정의 정확도를 기하기 위해 바람이 없는 아침 또는 저녁시간을 택하였고, 풍속 측정범위의 중간치를 3회 반복 측정하여 평균을 구했다.

#### 라. 실험변수 및 감수지 측정방법

실험에서 선택한 방제기의 변수로는 팬의 속도(2수준) 및 붐의 斷續(3수준)으로 하

였다. 팬의 속도는 일정 분사압력( $13\text{kg}/\text{cm}^2$ )을 유지하면서 2075rpm(저속)과 3031rpm(고속)으로 조정하였으며, 붐의 단속은 측면 및 상단의 독립된 붐을 조합하여 측면개방(side-boom only), 상단개방(upper-boom only), 상단 및 측면 모두개방(both booms) 등 3수준으로 하였다(본 논문에는 모두개방의 경우를 주로 거론하였다).

감수지(water sensitive card)의 부착위치에 따른 변수로는 거리(3수준)와 방향(5수준)을 선택하였고 실험은 3번 반복하였다. 따라서 팬속도(2수준) $\times$ 붐단속(3수준) $\times$ 반복(3회)=18회 실험에 대하여, 거리(3수준) $\times$ 각도(5수준)=15개소에서 샘플링이 이루어져 총 270개의 샘플이 얻어졌다.

입자해석을 위해 감수지에 부착된 입자를 CCD 카메라(CS5130, Tokyo Electronic Industry Co.)와 영상처리 프로그램인 Optimas(ver. 6.0)를 이용하여 화상분석 하였다. 실험에서 얻어진  $50\times 35\text{mm}$ 의 감수지 샘플을 영상처리하기 위해  $9.33\text{mm}\times 7.0\text{mm}$ 의 측정창을 선택하여 면적비 460배( $200\times 150\text{mm}$ )로 확대하였다. 입자의 경계를 인식하기 위하여 문턱값(threshold)을 정하여 일관성 있게 피복부위를 인식하였다. 인식된 입자는 부착되어 퍼진 입자의 크기이므로 퍼짐비(spread factor: Barry 등, 1978)를 이용하여 부착직경(stain diameter)을 입자 구(球)의 직경(droplet diameter)으로 변환하였다.

살포된 입자의 부착특성을 분석하기 위하여 도포율(coverage percent area), 입자밀도(particle density), 개체중위직경(NMD, number median diameter) 및 체적중위직경(VMD, volume median diameter)을 사용하였다. 도포율은 측정창 총면적에 대한 부착면적의 비율(%)로 나타냈으며, 입자밀도는 측정창 면적에 부착된 입자의 개수를 단위면적당 입자개수( $\#/ \text{cm}^2$ )로 나타내었다. 입자직경으로 환산된 입자의 집단분포를 log-probability 그래프를 통해 개체직경 분포와 체적직경 분포를 나타내며 각각에 대한 중위값(median)이 NMD(개체중위직경), VMD(체적중위직경)로 구해진다(Hinds, 1982). NMD는 입자의 개수를 中位的으로 대표할 수 있는 입자크기를 나타내므로 입자와의 접촉횟수로 인한 방제효과가 나타나는 접촉(contact)의 효과지표가 되며 VMD는 입자의 체적을 中位的으로 대표할 수 있는 입자크기를 나타내므로 입자가 포함한 약제의 양으로 방제효과가 나타나는 흡수(take-up)의 효과지표가 된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 풍속분포

Fig. 2는 방제기의 송풍팬이 반시계방향으로 회전했을 때 우측 반원에 대한 풍속분포를 나타내었다. 고속 회전시 지면에서  $11.25^\circ$  방향에서 최고 풍속이  $5.37\text{m}/\text{s}$ 였으며 각도가 점점 커질수록 풍속이 약해져서  $90^\circ$  지점은  $2.0\text{m}/\text{s}$ 이하로 떨어졌다. 그리고 저속 회전시 지면에서  $11.25^\circ$  지점에서 최고 풍속이  $3.11\text{m}/\text{s}$ 이상이고  $90^\circ$  지점은  $1.0\text{m}/\text{s}$ 이하였다.

팬속도에 따라 풍속은 달랐지만 속도분포는 相似함을 알 수 있었다. 전반적인 풍속분포는 불균일하였고  $15, 45$  및  $70^\circ$  3방향 부근에서 극대점을 형성하였다.  $0\sim 30^\circ$  사이에서

최대풍속을 나타내었는데 이것은 축류팬 출구의 하단이 막혀있음으로 인한 풍속의 증가로 생각된다. 90° 에서 풍속이 최저로 떨어졌는데 재배작물의 樹形에 따라 균일한 분포가 요구되었다. 중심거리에 따른 풍속분포를 보면, 2.5m에서 3.0m로 멀어짐에 따라 20% 정도 감소하였고, 3.0m에서 3.5m로 멀어질 경우에는 2.5m거리에 비해 80% 정도 감소하였다. 따라서 3.5m 이상에서는 대부분의 입자가 종말속도(terminal velocity)에 이를 것으로 생각된다.

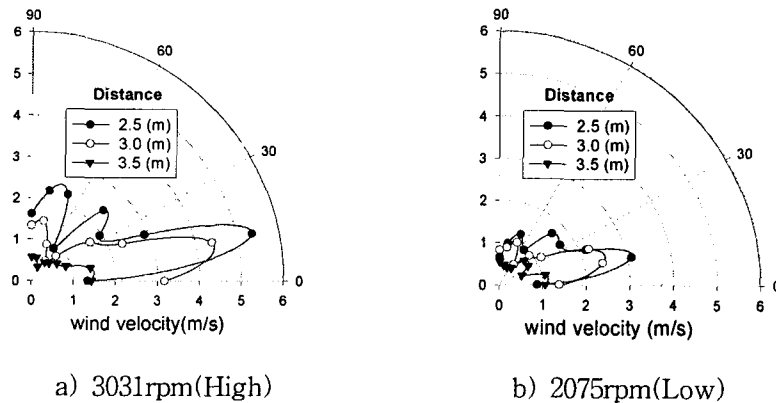


Figure 2. Wind velocity distributions of the orchard sprayer at two different fan speeds of 3031 rpm (High) and 2075 rpm (Low) for a ccw rotating direction.

#### 나. 입자 부착특성

##### (1) 도포율과 입자밀도

Fig. 3은 상단 및 측면 붐을 모두 열었을 때(both booms) 각 거리에서 팬속도에 따른 도포율을 나타낸 것으로 팬이 고속일 경우는 입자 분포가 불균일하고 오히려 저속에서 더 높은 도포율과 균일한 분포를 보였다. 이것은 팬속도가 약한 경우보다 강할 때 풍속분포가 더욱 불균일하게 보인 경향을 따르는 것으로 볼 수 있으며 적당한 풍속이 균일한 방제를 가능하게 함을 보여준다. 도포율 분포를 풍속분포와 비교해 보면 서로 일치하지 않으며 또한 both booms의 경우가 side boom과 upper boom의 중첩의 경우와 일치하지 않았다.

도포율에 대한 거리의 영향은 이론적으로 거리의 제곱에 반비례하는데 3.0m에서의 도포율은 2.5m에서의 약 70%로 감소하게 된다. 그러나 중심거리 3.5m지점에 이르자 0~30° 영역에 입자가 집중되었으며 이는 분무의 집적, 중력 및 공기의 저항으로 분석된다. 팬속도에 의한 분석에서 도포율은 중심거리에 따라 일정한 경향을 띄지 않았고, 고속의 경우 분포의 균일도가 저하되었는데 이것은 난류와 입자저항에 따른 것으로 생각된다.

입자밀도의 분포는 앞서 분석한 도포율과 相似하였고 팬속도가 저속의 경우 고속의 경우보다 입자개수가 훨씬 많았다. 팬속도가 고속이며 45° 부근에서 거리 증가에 따른 도포율 감소량이 입자밀도의 감소량에 비해 높았으며(자료의 제시가 생략됨.) 이는 이송거리가 증가할수록 입자의 증발과 分粒으로 인한 작은 입자가 많아졌고 또한 샘플의 쌍입자들(doublet)이 감소하였음을 말해준다. 따라서 거리가 증가하면서 작은 입자의 도포율에 미치는 영향은 증가하였고 3.5m지점이 한계 이송(放射)거리였다.

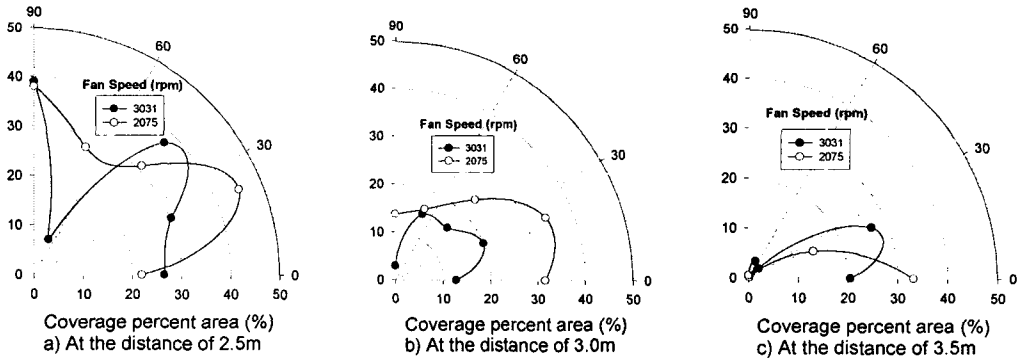


Figure 3. Coverage percent areas at three different distances for high (3031rpm) and low (2075rpm) fan speeds when opening both booms.

(2) 개채중위직경 (NMD)

모든 붐을 개방한 경우 NMD의 분포특성을 Fig. 4에 보였고 상기한 도포율 및 입자밀도와 연계하여 분석하였다. 팬속도가 고속의 경우 45° 방향에서 중심거리 증가에 따라 입자수가 반감되면서 작은 입자에 의한 도포율 영향이 증대되었으나, 중심거리가 2.5m에서 3.0m로 증가함에 따라 작은 입자의 소멸에 따라 NMD가 오히려 증가하였다(Fig. 5).

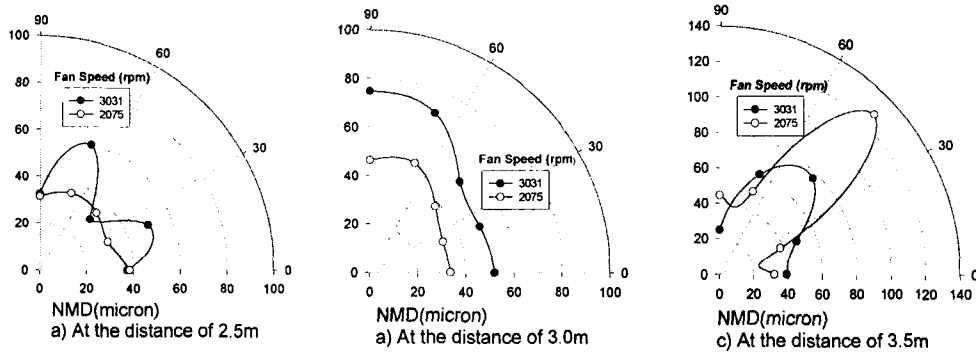


Figure 4. Number median diameter (NMD) at three different distances for high (3031rpm) and low (2075rpm) fan speeds when opening both booms.

팬속도가 고속이며 90° 방향인 경우, 입자가 2.5m에서 3.0m로 이송되면서 증발로 인한 입자수가 감소되며 증력에 의한 입자가 3.5m 까지 도달하지 못하여 NMD가 감소하였다. 고속이며 0° 방향인 경우, 풍속집중에 따른 입자 집적현상이 일어났고 거리에 따른 NMD의 변화는 없었으나 2.5m에서 3.0m로 이송할 때 줄던 입자수가 3.5m에서는 오히려 증가하였다.

저속의 경우, 45° 방향 3.5m지점에서의 NMD가 130 $\mu$ m의 극대 입경을 갖는 것을 제외하고 거리에 상관없이 30~50 $\mu$ m를 유지하였다. 저속 0~22.5° 영역에서는 NMD에 대한 거리의 영향이 미비하였으며 이것은 30~60° 영역에서 많은 수의 입자가 유입되었음을 알 수

있다. 이때 방사거리의 한계인 3.5m에서 입자 수가 극소였으므로 45° 방향 3.5m지점의 극소 반경은 outlier(경향을 벗어나는 실험치)로 판단된다.

팬속도의 영향은 저속의 경우가 오히려 입자수가 많고 분포가 30~50 $\mu\text{m}$  범위에서 균일하였다. 고속의 경우 0~60° 에 입자수가 집중하였고, 이때 NMD는 30~80 $\mu\text{m}$ 영역으로 비교적 불균일하였으며, 22.5° 에서는 미립자의 손실로 인해 고속일 때에 오히려 NMD가 증가하였다.

### (3) 체적중위직경 (VMD)

Fig.6에 모든 붐을 개방한 경우 VMD의 분포특성을 보였고 상기한 입자밀도 및 NMD와 연계하여 분석하였다. Both booms인 경우, 팬속도가 고속이며 45° 방향은 2.5m에서 3.0m로 거리가 증가함에 따라 입자밀도가 감소하면서 미립자의 소멸로 NMD가 커졌고 큰 입자 수의 감소로 VMD는 작아졌다(Fig. 7). 90° 방향에서 2.5에서 3.0m로 거리가 증가함에 따라 입자크기 및 입자수의 감소로 NMD가 작아졌고 중력의 영향으로 큰 입자수의 감소로 VMD가 또한 작아졌으며 도달거리는 3.0m이내로 제한되었다. 팬속도는 고속인 경우, 0° 방향에서 입자의 집적현상으로 NMD와 VMD(150~230 $\mu\text{m}$ )의 분포가 비슷하게 유지되었다. 이것은 20~60° 방향으로부터 입자가 유입되었기 때문이다.

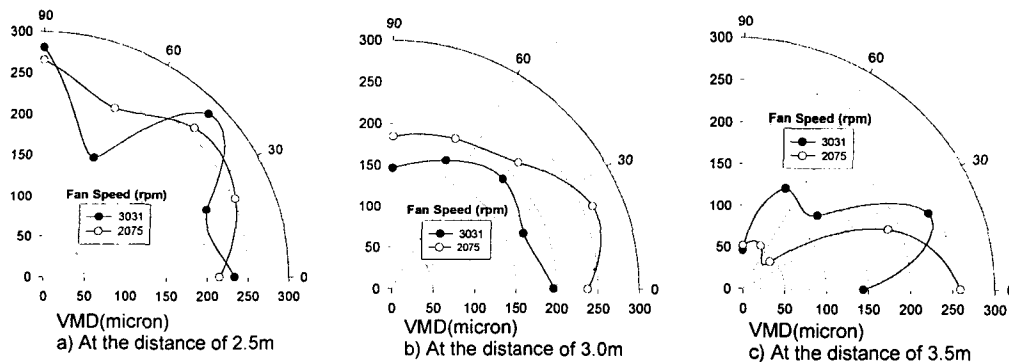


Figure 6. Volume median diameter(VMD) at three different distances for high(3031rpm) and low(2075rpm) fan speeds when opening both booms.

팬속도가 저속인 경우, 0° 방향에서 3.5m거리(VMD=260 $\mu\text{m}$ )를 제외하고, 방제거리에 대한 각 방향의 영향은 미비하였다. 그러나 입자의 집적과 상부로부터의 유입현상으로 20~22.5° 범위에서는 3.5m에 이르기까지 VMD는 비교적 컸다. 45° 방향의 경우, 3.5m에서 입자 수가 극소였고 2.5m에서 3.0m로 증가함에 따라 증발 및 비산으로 작은 입자수가 감소하여 NMD가 커졌고, 큰 입자수의 감소로 VMD는 오히려 작아졌다.

Both booms에 대한 속도의 영향은 저속의 경우, 입자수가 많고 분포가 균일(NMD=30~50 $\mu\text{m}$ )하였다. 큰 입자수의 감소로 VMD는 거리에 따른 영향이 증가하였다. 고속의 경우, 입자수가 0~60° 방향에 집중하였고 NMD는 비교적 균일하였으나 VMD는 비교적

불균일하여 거리에 따른 영향이 증가하였고 큰 입자의 유입 및 집적으로 0~30° 영역의 3.5m영역에서 VMD가 커졌다. 고속의 경우는 원거리(3.5m)까지 큰 입자 이송이 가능하였고, 저속의 경우는 증발 및 비산의 저하로 3.0m에서 큰 입자의 개수가 유지되었다.

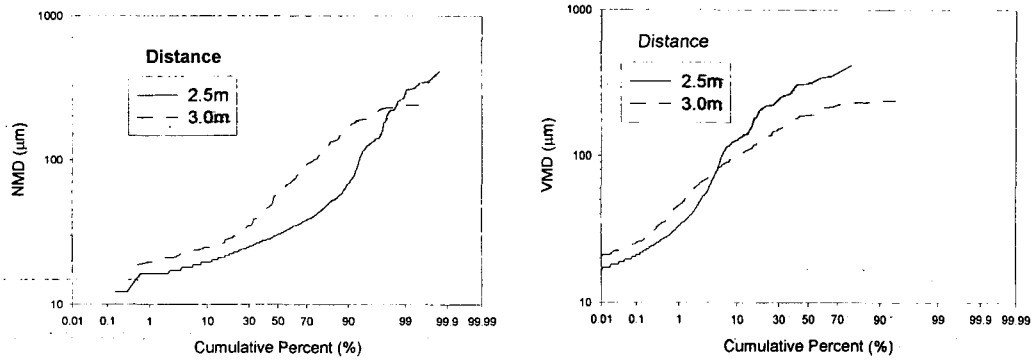


Figure 5. An increase of NMD with the increase of distance from 2.5m to 3.0m when opening both booms at the 45° direction with the fan speed of 3031 rpm (left fig.)

Figure 7. A decrease of VMD with the increase of distance from 2.5m to 3.0m when opening both booms at the 45° direction with the fan speed of 3031 rpm(right fig.)

#### 4. 요약 및 결론

본 실험은 과수등 작물이 없는 상태에서 행하였으므로 상부樹枝에서의 차단과 수용으로 인한 영향을 고려해야하나 실험결과를 기초로 하여 3영역에서의 분무입자의 운동특성을 정리하면 다음과 같다.

- ① 1영역(90°): 고속의 경우 작은 입자의 비산과 큰 입자의 중력 영향으로 3.0m이내까지 도달하였고, 저속의 경우 작은 입자가 3.0m까지 도달하였다.
- ② 2영역(30~60°): 이론적으로 입자가 가장 멀리 도달할 수 있는 영역으로 3.0m까지 충분히 도달하였으나 중력의 영향으로 3영역으로 유입되었다.
- ③ 3영역(0~25°): 풍량과 입자가 집적되어 3.5m까지 입자가 존재하였다. 1차적으로 2.5m~3.0m까지 도달하고 2영역에서 유입된 입자가 2차적으로 3.5m까지 이송하여 풍부한 입자 수를 나타내었다.

수형에 따라 봄 단속과 입자분포를 달리하여 효율적 방제가 가능하며 실험결과를 기초로 과방제기 설계시 고려할 사항을 정리하면 다음과 같다(김정선, 2000).

- ① 3영역에 대한 입자 집적현상을 분산하기 위해 1,2영역의 분출량을 증가시킨다.
- ② 1,2영역의 풍속을 증가시켜 상부 수형에 많은 약제를 도달케 함으로써 하부에 부착기회를 증가시키고 궁극적으로 수형 전반에 걸친 균일한 부착을 유도한다.
- ③ 1영역은 덕식재배등 상방향 방사에 이용에 적합하지만 입자이송에는 가장 어려운 방향이므로 상부 봄에는 최소한의 노즐 수와 길이를 권장한다.

④ 3영역은 하부 수형이 비대하고 지면까지 연장되는 수형에 이용 될 수 있으나 비교적 비효율적인 영역이므로 낭비되는 풍량을 분산시킬 수 있는 타워형 방제기(tower sprayer)등이 권장된다.

## 5. 참고 문헌

1. 김정선. 2000. 소형 과수방제기의 분무특성에 관한 기초 연구. p45. 석사학위논문, 경북대학교. 대구, 한국
2. 조성인, 정창주, 이동훈, 이중용. 1996. 분무방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템 개발. 한국 농업기계학회지. 21(4):406-413.
3. 홍혜란. 1995. 과도한 농약 사용이 토양의 자정능력을 잃게 한다. 새농민. p:86-89.
4. Barry, J.W., R.B. Ekblad, G.P. Markin, and G.C. Trostle. 1978. Methods for sampling and assessing deposits of insecticidal sprays related over forests. USDA Forest Service.
5. Hinds, W.C. 1982. Aerosol technology. John Wiley & Sons, Inc. N.Y., N.Y.
6. Matthews, G.A. 1992. Pesticide application methods, 2nd Ed. Longman Scientific & Technical, Essex, UK.