

소형 과수방제기 살포입자의 부착량 분포

구영모

Spray Deposit Distribution of a Small Orchard Sprayer

Y. M. Koo

Abstract

Uniformity of spray deposit is one of the important factors in spray performance affecting efficacy of pest management. Distributions of spray deposit on artificial targets were measured and analyzed to enhance the efficiency of spray application. The research was studied to understand the deposition characteristics of spray droplets and to determine the optimum conditions of chemical application. The deposit and its pattern by the lower fan speed was more uniform and higher than that by the higher fan speed. The upward blasting distance was limited within 3 m, but the limit to the ground level was expanded the distance more than 3.5 m because of the accumulated droplets. When the fan speed was higher at the distance of 2.5 m, deposit reached to maximum. When the distance increased, deposit was getting lower. At the both fan speeds, the deposit was concentrated below 30° because of the gravitation and the resistance of wind. This research can be useful in designing an orchard sprayer and its operation for various tree canopies. To achieve a uniform distribution of deposit using the air-blast type orchard sprayer, the application rate from the middle boom should be increased as the air velocity to the upward increased. The spray rate to the side boom should be limited in a minimal level.

Keywords : Orchard sprayer, Air blast sprayer, Deposit distribution, Droplet trans-movement, Water sensitive card

1. 서론

오늘날 과수원의 방제작업에는 일반적으로 공기운반 방제기로 불리는 ‘스피드 스프레이어’가 많이 사용되어 왔다. 이 방제기는 축류팬을 이용하여 고속의 바람을 일으키고 약제입자를 유속에 실어 이송시킴으로써 고소(高所) 원거리 방제에 이용되고 있다. 농약의 효율적 방제를 통한 생산량 향상과 잔류농약의 감소, 환경보호를 위한 정밀방제에 대한 연구와 농약의 부착량을 높이고 비산(飛散)을 줄이기 위한 노력이 요구되고 있다.

살포된 약제의 부착량의 향상은 많은 연구자들의 연구 목적이 되어 왔다. Derksen 등(2004)은 몇 종류의 과수방제기의 도포특성에 대하여 연구하기 위하여 수형의 위치와 침투

깊이에 따른 부착율 분포를 측정하였고 도포량과 균일도는 거리가 증가함에 따라 감소함을 밝혔다. 과수의 한쪽을 방제할 목적으로 전형적인(축류식 공기 방사식) 과수방제기와 4개의 팬이 장착된 “에어 커튼”형 방제기를 이용하여 형광염료 추적방식을 이용한 부착율 시험이 행하여 졌다.

Hoffman and Salyani(1996)는 대기의 온도와 상대습도, 풍속, 풍향, 24시간 동안에 발생하는 식물 잎의 습기(온도와 상대습도)가 분무입자의 부착효과에 미치는 영향을 조사하였고, 또한 살포량과 상기한 기상학적 변수들 간의 상호작용을 연구하였다. 방제작업의 살포시각은 부착량에 상당한 영향을 미쳤으며, 부착량의 평균과 분산은 살포량이 감소함에 따라 증가하였다. 밤 시간의 방제(낮은 온도와 높은 상대 습도)는 건조한 잎 상태에서 낮 시간의 방제(높은 온도와 낮은 상대

습도) 보다 높은 부착량을 보였다. 일반적으로 부착율의 증가는 젖은 잎의 상태에서 줄어드는 경향을 보였는데 이는 흘러 버리는 양이 증가하기 때문이다.

방제기의 부착량 분포 특성을 규명하기 위한 다양한 부착량의 측정 방법이 소개되었다. Zhu 등(2006)은 형광분석기를 이용하여 인공 시료판에 부착된 형광안료의 정량적 측정을 통하여 부착량을 측정하였다. MacNichol 등(1997)은 Kromekote 감수지를 이용하여 항공방제의 부착특성(입자밀도 및 부착율)을 분석하여 간접적인 방제효과를 예측하였다. 나뭇잎 성장단계에 따라 아몬드 나무의 수형 여러 곳에 배치한 시험지로 둘러싼 음료수통의 표면에 나타나는 입자의 부착율을 측정하였다. 살포방법을 개선하기 위한 분무의 질을 평가하는 데는 분무입자의 부착량과 균일성의 측정이 요구된다. 목표물에 나타난 분무입자에는 균일성이 측정되고, 또한 잠재적인 생물학적 효과는 곤충의 방제율이라는 척도로써 나타나며 이 효과는 현장 또는 실험실에서 생물학적인 평가에 의해 추정되거나 측정되었다.

Salyani and Fox(1999)는 Ciba-Geigy의 감수지 및 감유지에 입자를 부착시킨 후 카메라로 영상처리하고 분석하였다. 감수(유)지는 다량 살포의 경우 입자가 겹치는 문제가 있으나 일반적으로 영상처리 방법과 연계하여 도포량과 입자의 크기를 분석하는데 효율적으로 사용될 수 있었다. Kang 등(2004)과 Laryea 등(2002)은 과수방제기에 정전대전 노즐을 적용하여 대전된 입자로 부착량의 향상을 꾀하였고 이 연구에서는 감수지를 이용한 피복면적비(도포율)를 측정하여 이를 부착량으로 간주하였다.

Koo 등(2001a)은 도포율 분포를 측정하였고, Koo 등(2001b)은 입자의 크기별 분석을 통하여 각 거리별 입자의 동적 이송과 도달 특성을 분석하였다. 입자직경과 부착량을 측정하기 위하여 감수지에 입자를 부착시킨 후 퍼짐비(spread factor)를 이용하여 부착직경(stain diameter)을 입자 구(球)의 직경(droplet diameter)으로 변환하여 사용하였으며 이는 영상처리 방법과 연계하여 입자의 크기를 분석하는데 효율적으로 사용되어 왔다(Barry et al., 1978; Salyani and Fox, 1999).

Salyani and Fox(1994)는 연구에서 분무입자의 다양한 부착 형태가 Autosketch(v.2)라는 소프트웨어에서 시뮬레이션되었고 입자들의 작은 반점의 영상은 프린트될 수 있었다. 분무 부착량 평가를 위한 이미지 장치로서 이미지 영역과 반점들의 크기와 수를 측정하는 것이다. 이미지 분석의 정확도는 이미지 영역과 반점들의 크기가 감소하거나, 반점들의 수가 감소하면은 감소하였고, 입자의 구분은 반대로 측정의 정확성에 영향을 미쳤다.

살포작업의 효율성과 약제의 효과는 입자의 부착량과 균일도에 의하여 제고 될 수 있다. Koo 등(2000)은 실험을 통하여 CMN-Pyrazole 탈과제(脫果濟)의 살포변수와 기계적 수확에 미치는 영향을 연구하였다. 살포변수로는 방제기의 종류(타워형과 공기커튼형), 살포량, 살포속도 및 약제량 등을 시험하였으며 수확효율은 탈과장력(張力) 및 기계적 탈과율로 평가하였다.

Koo 등(1999)은 실험적 탈과제인 Release[®](CMN-P)의 효과를 'Hamlin'종 오렌지에 살포하여 살포요인에 대한 연구를 시행하였다. 살포요인으로는 방제기종류, 살포량 및 약제량을 선택하였는데, 타워형 공기 방사식 방제기가 전형적인 과수방제기보다 높은 부착율과 수형내 침투율을 보였다. 부착율은 살포량이 감소하면 증가하였지만, 기계 과실수확률은 높은 살포량에서 증가하였다. 감귤류의 기계수확을 돕기 위한 탈과제의 살포에서 약제의 높은 부착량 보다는 균일한 도포율이 기계수확의 효율을 높일 수 있었는데, 이는 살포목표 지점에 대한 약제의 정확한 전달이 약제도포의 균일도에 의해서 구현되었기 때문이었다.

본 연구의 목적은 주로 포도원용으로 사용하고 있는 소형 과수방제기의 최적방제 설계조건을 규명하는데 필요한 살포입자의 부착량 분포 특성을 분석하여 기본적 부착특성을 이해하려고 수행하였다.

2. 재료 및 방법

사용된 방제기는 소형 공기방사식 과수방제기(SS-180CT, 180 L용량)로서 주로 포도나 왜성사과 등의 작물에 사용되는 '스피드 스프레이어'이다. 실험에서 작업 정격압력인 13 kgf/cm²로 맞추어서 사용된 10개의 원추형 와류노즐(D1-25)의 토출량은 노즐당 0.75 L/min로 유지되도록 하였고 방제기의 진행속도는 입자가 감수지에 부착될 때 분무 입자가 겹쳐지는 것을 방지하기 위하여 0.81 m/s(2.92 km/hr: 전진2단)을 선택하였다. 실험중 팬의 속도는 2075 rpm(저속)과 3031 rpm(고속)으로 조정하였으며 풍속의 분포는 Koo 등(2001a)에 나타내었다.

과수방제기의 살포입자의 직경분포를 분석하기 위하여 샘플링 구조물을 사용하였다(Fig. 1). 구조물은 방제기의 방사살포 범위를 포함하도록 6 m×2 m×4 m(가로×폭×높이)의 크기로 제작하였고, 입자가 부착될 감수지를 2.5, 3.0, 3.5 m 거리의 반원호를 22.5°씩 4등분한 지점에 위치시켰다. 이때 감수지의 위치는 방제기의 중심으로부터 극좌표(중심거리, 방향)로 나타내었고 방제기 진행방향으로 우측반경만을 실험의 대상

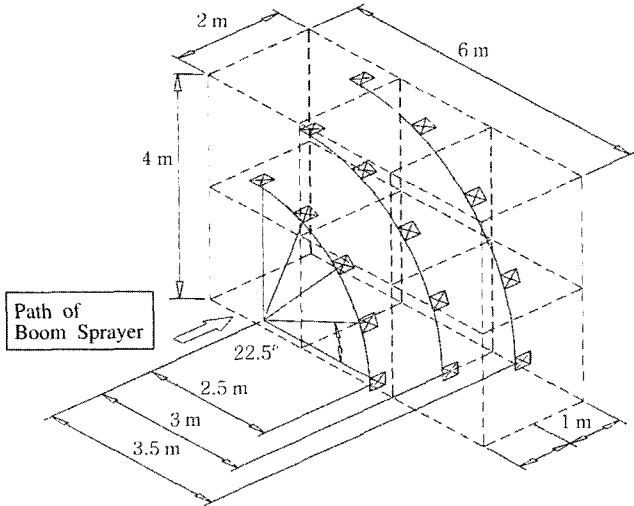


Fig. 1 A sampling structure used in the experiment.

으로 하였다. 실험은 바람의 영향을 최소화하기 위하여 이른 오전에 바람막이 있는 야외 실험소에서 시행하였다.

표 1에 정리한 바와 같이 실험에서 선택한 작업조건의 변수는 팬의 속도(2수준) 및 붐의 단속(斷續)(3수준)이었다. 팬의 속도는 일정 분사압력(13 kgf/cm²)을 유지하면서 2075 rpm(저속)과 3031 rpm(고속)으로 조정하였으며, 붐의 단속은 우측면 및 상단의 독립된 붐을 조합하여 측면개방(side-boom only), 상단개방(upper-boom only), 상단 및 측면 모두개방(both booms) 등 3수준으로 하였다. 감수지의 부착위치에 따른 변수로는 거리(3수준)와 방향(5수준)을 선택하였고 실험은 3번 반복하였다. 따라서 팬속도(2수준)×붐단속(3수준)×반복(3회)=18회 실험에 대하여, 거리(3수준)×각도(5

Table 1. Independent and dependent variables of the experiment

Variables	Factors	Levels
Independent	Fan speed (rpm)	2,075
		3,031
	Boom opening	side upper both
Dependent	Direction (deg)	0
		22.5
		45
		67.5
		90
Distance (m)		2.5
		3.0
		3.5
Replications	Repetition (no.)	3

수준)=15개소에서 샘플링이 이루어져 총 270개의 샘플이 얻어졌다.

부착입자의 측정을 위해 감수지에 형성된 착점(着點)을 CCD 카메라(CS5130, Tokyo Electronic Industry Co.)와 영상처리 프로그램인 Optimas 6(Optimas Corp., Bothell, WA, USA)를 이용하여 화상분석 하였다. 실험에서 얻어진 50×35 mm의 감수지 샘플을 영상처리하기 위해 9.33×7.0 mm의 측정창을 선택하여 면적비 460배(200×150 mm)로 확대하였다. 입자의 경계를 인식하기 위하여 문턱값(threshold)을 정하여 일관성 있게 착점부위를 인식하였다.

영상의 부착입자의 직경은 입체상태의 입자 직경과 다르므로 보정이 필요하였다. spread factor(퍼짐비)를 이용하여 부착직경(stain diameter)을 입자 구(球)의 직경(droplet diameter)으로 변환하였다. 마이크로미터(μm)로 표시된 부착직경은 변환표를 이용하여 球의 입자직경(μm)으로 환산하였으며 체적(μm³)으로 계산되었다. 각 입자의 체적은 누적되어 샘플면적(9.33×7.0=65.3 mm³)의 총 부착량으로 누적계산 되었으며, 단위면적 당 부착량(μg/cm²)으로 환산(1 μg=10⁶ μm³)되어 분석에 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

가. 거리 및 방향의 영향

그림 2, 3, 4에서는 각각 고속 및 저속 팬 속도에 대한 붐의 단속에 의한 각 위치(거리, 방위각)에서의 부착량을 나타내었다. 그림 2(a)와 (b)는 각각 고속 및 저속에서 측면붐만 열었을 때 부착량을 나타낸 것으로 고속일 때 부착량이 증가하였고, 30~60°사이에서 부착량이 집중되면서(2.5 m, 45°)에서 최대치 389~483 μg/cm²을 보였다. 풍속이 최대가 되는 0~30°사이에서는 부착량이 오히려 떨어졌으나 0°방향에서 부착량이 높은 이유는 송풍팬 하단의 간섭으로 인해 분무가 集積되었고, 일부 입자가 30~60°영역으로부터 유입되었기 때문으로 생각된다. 또 방제거리에 따라 부착량이 감소하였는데, 3.0 m 지점에서는 반감되었고 3.5 m 지점에 이르러서는 입자의 수가 극히 적어 0°방향을 제외하고는 부착량이 극소였다. 저속에서는 3.0~3.5 m에서 입자가 충분한 이송 모멘텀을 받지 못하면서 0~30°사이로 자유낙하 되어 집적되었다.

그림 3(a)와 (b)는 각각 고속 및 저속에서 상단붐만 열었을 때 풍속에 따른 부착량을 나타낸 것으로 고속에서 부착량이 높았고 60~90° 사이에 집중되었으며 2.5 m에서 최대치 329~250 μg/cm²를 나타내었다. 방위각 90°에서 거리가 증가함에 따라 3.0 m에서 부착량은 2.5 m와 비교하여 1/3수준으로 감

소되었는데 이는 중력의 영향으로 생각되며, 측면붐이 단절되어 있음에도 불구하고 0°에서 부착량이 129~153 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 으로 나타난 것은 상방향(60~90°)으로 살포된 입자가 중력에 의하여 낙하하면서 지면부근에서 집적되었기 때문이다. 특히 거리 3.0 m에서 고속의 경우 67.5°방향에서 부착량이 극대점(90~176 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)을 이루는 것은 풍속분포와 관계있으며 포도

의 덩식재배에서 유용하게 효율적으로 사용될 수 있는 분포 특징이다. 고속의 경우 3.0 m 이상에서의 부착량이 극소치를 보였고 이는 방사거리 한계가 2.5 m임을 말하며, 저속의 경우는 그 한계가 2.5-3.0 m 근처로 판단된다.

그림 4 (a)와 (b)는 상단과 측면 붐 모두를 열었을 때 팬속도에 따른 부착량을 나타낸 것으로, 팬속도가 높은 경우는 입

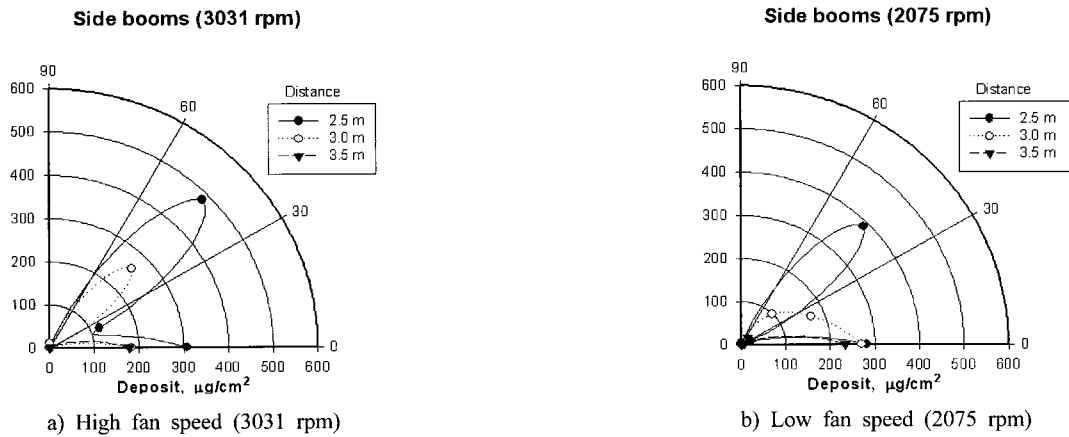


Fig. 2 Deposit distribution at three different distances (2.5, 3.0, and 3.5 m) for opening side boom with the (a) high and (b) low fan speeds.

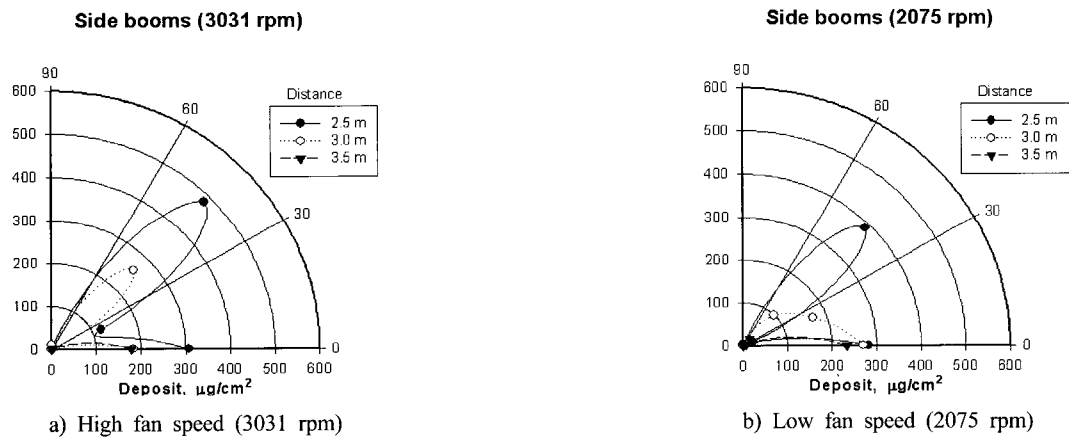


Fig. 3 Deposit distribution at three different distances (2.5, 3.0, and 3.5 m) for opening upper boom with the (a) high and (b) low fan speeds.

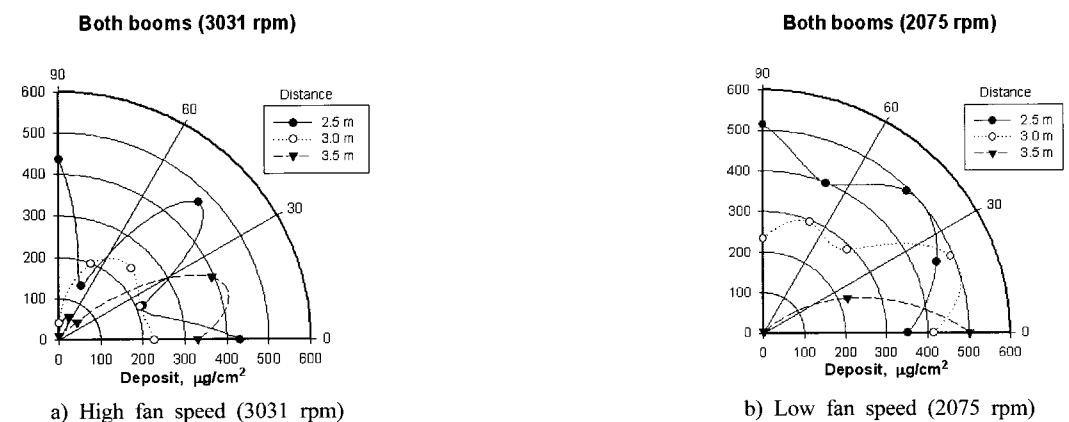


Fig. 4 Deposit distribution at three different distances (2.5, 3.0, and 3.5 m) for opening both booms with the (a) high and (b) low fan speeds.

자 분포가 불균일하고 오히려 팬속도가 약한 경우가 더 높은 부착량과 균일한 분포를 보이고 있다. 이것은 팬속도가 약한 경우 보다 강할 때 풍속분포가 난류에 의하여 더욱 불균일한 경향을 따르는 것으로 볼 수 있었으며 적당한 풍속이 균일한 방제를 가능하게 하는 것으로 판단된다.

양분이 모두 개방되었을 경우의 부착량 분포는 측면과 상단 붐 각 부착량의 총집의 결과와 일치하지 않았다. 팬이 저속 일 때 2.5 m와 3.0 m에서 고속의 경우 보다 부착량이 증가하였다. 저속의 경우 2.5 m에서 351~515 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 비교적 균일한 분포를 보였으며, 3.0 m에서는 측방향(0~30°)으로 약간의 집중현상을 나타내며 234~493 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 분포를 보였다. 고속의 경우 2.5 m에서 상대적으로 불균일한 분포를 보이면서 142~469 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 편차 많은 부착량을 보였으며, 3.0 m부터 측방향으로 집중현상을 나타내기 시작하여 41~244 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 부착량을 보였다. 부착량에 대한 거리의 영향은 거리에 반비례하는데 3.0 m에서 부착량이 2.5 m에서의 약 50-60%로 감소하였다. 그러나 중심거리 3.5 m지점에서는 0~30°영역에 입자가 집중되었으며, 이는 분무의 집적, 중력 및 공기의 저항으로 생각된다. 3.5 m거리에서 부착량은 고속의 경우 최대 395 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 저속의 경우 502 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 의 부착량을 보여 집적정도를 가늠할 수 있었다.

팬속도의 영향은 부착량은 중심거리에 따라 일정한 경향을 띄지 않았고, 고속의 경우 분포의 균일도가 저하되었는데 이것은 난류와 입자저항에 따른 것으로 생각된다. 부착량 분포와 풍속분포를 비교해 보면 서로 일치하지 않았다. 즉 풍속의 최대에서 부착량이 최대가 되지 않는 일반적 경향을 보였다.

나. 팬 속도의 영향

그림 5, 6 및 7은 각각 붐의 단속에 의한 각 위치에서의 팬 속도에 대한 부착량의 영향을 나타내었다. 그림 5 (a), (b)와 (c)는 측면붐만 열었을 때 각거리에서 부착량에 대한 팬속도의 영향을 나타낸 것으로 3.0 m 이하에서는 30~60°사이에서 부착량이 집중되면서 최대치를 보였다. 그러나 저속의 경우 3.0 m 이상에서는 풍속이 최대가 되는 0~30°사이로의 이송이 보였다. 3.5 m에서는 저속 및 고속 모두 0°방향으로 집중하였는데, 이곳에서 부착량이 높은 이유는 송풍팬 하단의 간섭으로 인해 분무가 집적(集積)되었고, 일부 입자가 30~60°영역으로부터 유입되었기 때문이다. 3.0~3.5 m에서 입자는 충분한 이송 모멘텀을 받지 못하면서 측방향으로 자유낙하 되어 집적되었다. 팬속도의 영향은 부착량 분포와 풍속분포를 비교해 보면 서로 일치하지 않았다. 그러나 이 부착량 분포는 울타리 재배식의 경우에 적용하여 사용할 수 있다.

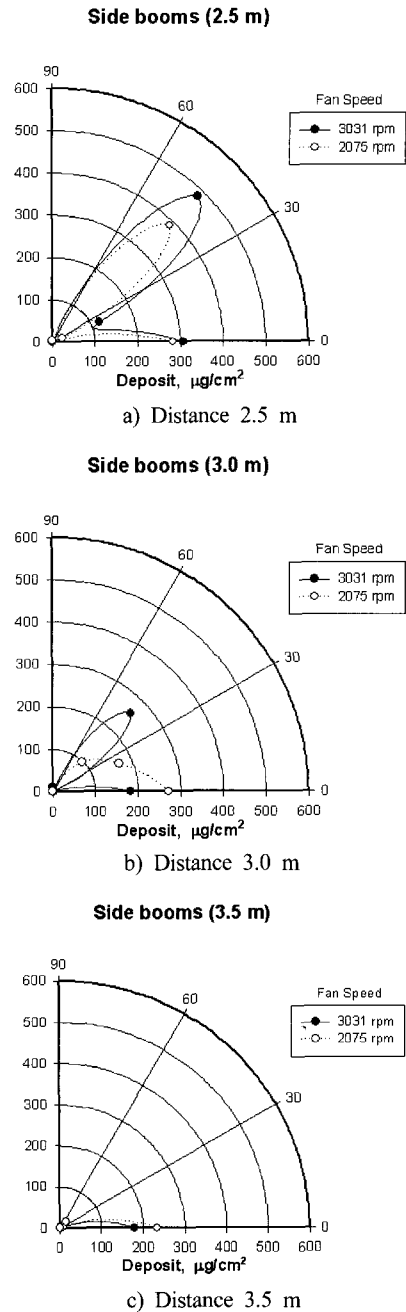


Fig. 5 Deposit distribution for two fan speeds at three different distances (a) 2.5, (b) 3.0 and (c) 3.5 m when opening side boom only.

그림 6 (a), (b)와 (c)는 상단붐만 열었을 때 각거리에서 부착량에 대한 팬속도의 영향을 나타낸 것으로 60~90°사이에서 부착량이 집중되었다. 고속에서의 부착량이 저속에 비하여 상대적으로 높았고 저속의 경우 상부로의 이송이 2.5 m 거리에도 미치지 못하였다. 이는 이송의 한계를 나타내는 것으로 퇴식재배에 이용할 경우 고속의 팬속도로 살포된 입자에 충분한 모멘텀을 부여해야 효과적임을 나타낸다. 2.5 m에서는 저속에서 고속의 경우보다 30% 적은 부착량을 보였다. 거리가

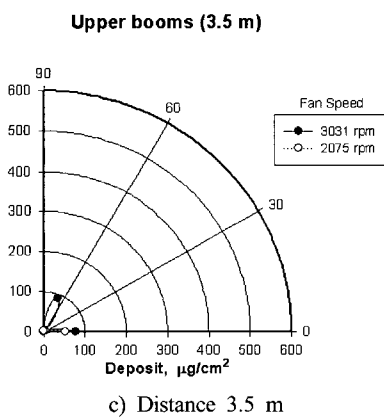
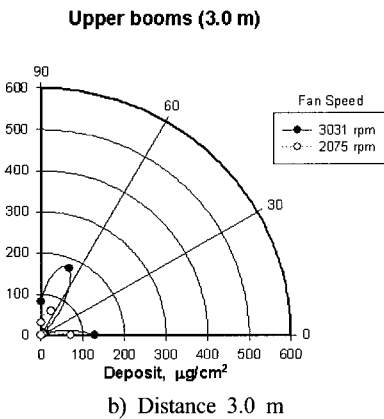
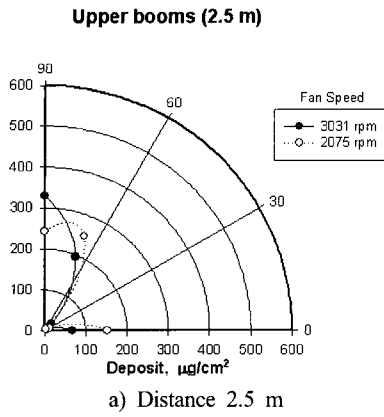


Fig. 6 Deposit distribution for two fan speeds at three different distances (a) 2.5, (b) 3.0 and (c) 3.5 m when opening upper boom only.

증가함에 따라 저속의 부착량은 더욱 감소되었는데 이는 중력의 영향으로 이송이 제한 되기 때문이었다. 측면붐이 단절되어 있음에도 불구하고 0°에서 어느 정도 부착량을 보이는 이유는 상방향(60~90°)으로 살포된 입자가 중력에 의하여 낙하하면서 지면부근에서 집적되었음을 다시 말해주고 있다. 고속의 경우 3.0 m 이상에서의 부착량이 극소치를 보였고 이는 방사거리 한계가 2.5~3.0 m임을 보인다.

그림 7 (a), (b)와 (c)는 상단과 측면 붐 모두를 열었을 때 각거리에서 부착량에 대한 팬속도의 영향을 나타낸 것으로 전

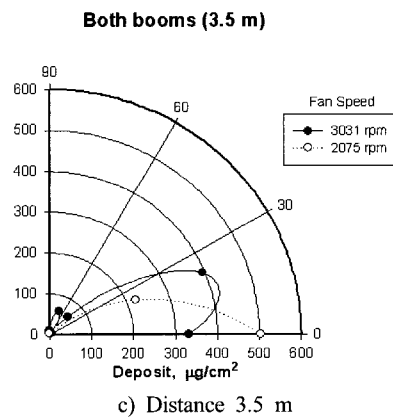
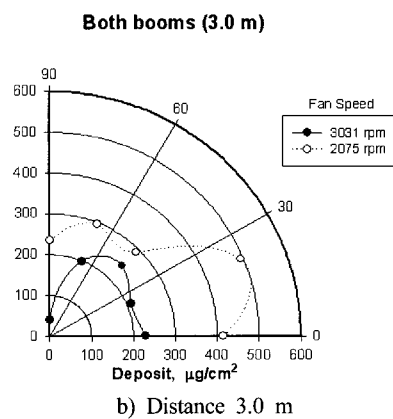
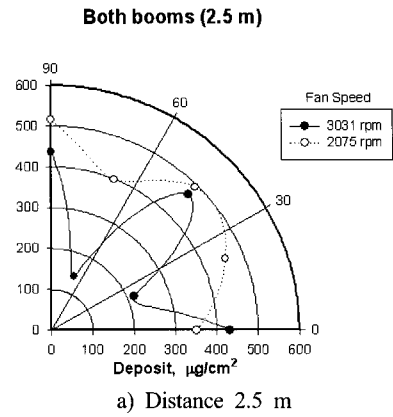


Fig. 7 Deposit distribution for two fan speeds at three different distances (a) 2.5, (b) 3.0 and (c) 3.5 m when opening both booms.

체적으로 팬속도가 높은 경우가 저속에 비하여 부착량 분포가 불균일하였다. 팬이 저속일 때 2.5 m와 3.0 m에서 고속의 경우보다 부착량이 증가하였다. 2.5 m에서 저속의 경우 비교적 균일한 분포를 보였으며, 3.0 m에서는 측방향(0~30°)으로 약간의 집중현상을 나타내었다. 2.5 m에서 고속의 경우 상대적으로 불균일한 분포를 보이면서 편차 많은 부착량을 보였다. 팬속도의 영향은 부착량은 중심거리에 따라 일정한 경향을 띄지 않았고, 고속의 경우 분포의 균일도가 저하되었는데 이것은 난류와 입자저항에 따른 것으로 생각된다. 양붐을 모두 열었음에

도 3.5 m에 이르는 입자는 그리 많지 않았음을 알 수 있다. 측 방향으로는 상방향으로부터 유입되는 입자가 충분히 있으나 중상반 부분은 충분한 이송 모멘텀을 제공해야 원거리 이송이 가능하지만, 불균일한 분포를 초래할 수 있다.

4. 요약 및 결론

방제작업의 효율성과 약제살포의 효과는 약제의 방제 목표로의 정확한 이송과 균일한 부착량에 의해서 얻을 수 있다. 본 연구는 현재 국내에서 과수원용으로 사용되고 있는 소형 과수방제기의 최적방제조건을 규명하는데 기초자료가 되는 분사특성을 분석하고 입자의 부착특성을 이해하려 수행되었다. 소형 과수방제기에 의하여 살포된 입자의 부착량의 분포특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 양 붐을 모두 개방했을 경우의 부착량 분포는 풍속분포 패턴과 상관관계가 없었으며, 상단과 측면 각각의 부착량을 중첩한 경우와 일치하지 않았다. 즉 풍속의 최대에서 부착량이 최대가 되지 않는다.
2. 붐 단속에 의한 특성은 양붐을 모두 개방할 때가 각각의 붐에 의한 분포보다 비교적 균일한 분포를 보였다.
3. 부착량은 팬 속도가 고속이며 중심거리 2.5 m일 때 가장 높았고 중심거리가 멀어질수록 부착량이 낮아졌다.
4. 분무입자의 각 영역에 따른 입자의 부착량은 다음과 같았다. 90°지점: 입자에 대한 중력 영향으로 3.0 m가 도달거리의 한계였다. 30~60°: 가장 멀리 도달한 영역으로 3.0 m까지 충분히 도달하였으나, 3.5 m이내에서는 이송 모멘텀의 부족으로 측방향으로 유입되었다. 0~25°: 풍속과 입자가 집적되어 3.5 m까지 충분한 부착량을 보였다. 1차적으로 2.5~3.0 m까지 충분한 입자들이 도달하였고 상부에서에서 유입된 입자가 2차적으로 3.5 m까지 이송되었다.
5. 팬 속도에 의한 부착량에 대한 영향을 보면, 팬속도의 고속에서의 부착량 분포가 저속의 경우에 비해 불균일한 분포를 보였다. 이것은 고속에서는 바람의 난류영향으로 비산 및 불균일한 이송도 예상되어 적당한 풍량이 요구되었다.
6. 울타리형 및 덕식등 재배형태에 따라 붐의 단속이 효율적일 수 있었다. 그러나 양붐을 모두 개방해야 할 경우 상방향의 풍속을 상대적으로 가속하여 입자가 이송모멘텀을 충분히 받도록 해야 입자가 골고루 분사될 것으로 예

상된다.

7. 측방향에 대한 집적현상을 분산하기 위해 45°중간방향의 분출량을 증가하고 측방향의 분출량을 감소해야 한다.

차기과제로서 과수원에 사용되는 공기 방사식 방제기는 풍량의 균등한 분포와 노즐의 선택적 위치에 의하여 효율적 부착량을 얻을 수 있으므로 축류형 팬의 관행적 사용으로부터 시로코팬이나 유도덕트를 사용하여 이송 모멘트를 증가시킬 필요가 있으며, 수형과 입자이송의 목표위치에 따라 에어커튼형, 타워형 및 독립덕트형 등의 새로운 설계가 요구된다.

참고문헌

1. 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.
2. Derksen, R. C., C. R. Krause, R. D. Fox and R. D. Braze. 2004. Spray delivery to nursery trees by air curtain and axial fan orchard sprayers. Journal of Environmental Horticulture 22(1):17-22.
3. Hoffmann, W. C. and M. Salyani. 1996. Spary deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. Transactions of the ASAE 39(1):17-22.
4. Kang, T. G., D. H. Lee, C. S. Lee, G. I. Lee, W. K. Choi and S. Y. No. 2004. Spary depositional characteristics of electrostatic nozzles for orchard sprayers. J. of Biosystems Eng. 29(1):21-28. (In Korean)
5. Koo, Y. M., S. H. Kim and B. S. Shin. 2001a. Coverage distribution of blasted droplets by an orchard sprayer. Journal of KSAM 26(4):355-362. (In Korean)
6. Koo, Y. M., S. H. Kim and B. S. Shin. 2001b. Size distribution of droplets sprayed by an orchard sprayer. Journal of KSAM 26(5):431-440. (In Korean)
7. Koo, Y. M., M. Salyani and J. D. Whitney. 1999. Effects of abscission chemical spray deposition on mechanical harvest efficacy of Hamlin orange. Proc. Fla. State Hort. Soc. 112: 28-33.
8. Koo, Y. M., M. Salyani and J. D. Whitney. 2000. Spray variable effects on abscission of orange fruit for mechanical harvesting. Transactions of the ASAE 43(5):1067-1073.
9. Laryea, G. N., S. Y. No and D. H. Lee. 2002. Evaluation of the induction and ionized field charging methods for electrostatic nozzles of orchard sprayer. Agricultural and Biosystems Engineering 3(1):29-34.
10. MacNichol, A. Z., M. E. Teske and J. W. Barry. 1997. A

- technique to characterize spray deposit in orchard and tree canopies. Transactions of the ASAE 40(6):1529-1536.
11. Salyani, M. and R. D. Fox. 1994. Performance of image analysis for assesment of simulated spray droplet distribution. Transaction of the ASAE 37(4):1083-1089.
 12. Salyani, M. and R. D. Fox. 1999. Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive papers. Transactions of the ASAE 42(1):37-43.
 13. Zhu, H., R. C. Derksen, H. Guler, C. R. Krause, and H. E. Ozkan. 2006. Foliar deposition and off-target loss with different spray techniques in nursery applications. Transactions of the ASABE 49(2):325-334.