



밀식 사과원에서 살포 물량에 따른 방사형과 타워형 고속방제기 현장 검증

전종훈 · 신배연 · 김승환 · 윤태명 · 반승현*

경북대학교 원예과학과

Spray Volume Field Evaluation of Radial and Tower-Type Air-blast Sprayers in High-Density Apple Orchards

Jong Hoon Jeon, Bae Yeon Shin, Seung Hwan Kim, Tae Myung Yoon and Seunghyun Ban*

Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science,
Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

(Received June. 15, 2024 . Revised June. 27, 2024. Accepted July. 10, 2024)

Abstract To derive efficient control methods for domestic apple cultivation, this study analyzed the spray patterns of radial and tower-type air-blast sprayers at different spray volumes (5,000 L/ha, 3,000 L/ha, 1,800 L/ha) in high-density apple orchards (3.7×2 m, 3.6×1 m). The radial sprayer achieved a high coverage rate of approximately 97% at 5,000 L/ha but showed significant declines at lower volumes. This decline was especially observed in upper canopy sections where coverage dropped to around 50% at 3,000 L/ha and 30% at 1,800 L/ha. However, replacing the nozzle on the radial sprayer improved coverage, maintaining around 90% at 5,000 L/ha. This significantly enhanced coverage in the middle and upper sections at 3,000 L/ha and 1,800 L/ha. The tower sprayer maintained more consistent coverage rates across all canopy heights of around 90% at 5,000 L/ha and above 80% at 3,000 L/ha. Higher and more uniform coverage resulted from decreased planting distances (3.6×1 m), with the tower sprayer achieving over 80% coverage even at 1,800 L/ha. These study findings suggest that tower sprayers provide more stable and efficient coverage, especially in orchards with decreased planting distances, and highlight the importance of nozzle selection in optimizing spray efficiency.

Keywords: nozzle deposits, coverage, drift, water sensitive paper, water volume

서론

사과원에서 농약 살포량 감소에 대한 필요성은 지속적으로 제기되고 있다. 특히 방제 시 지나친 농약 사용으로 발생하는 비산(drift)은 환경오염과 동식물 생태계 교란의 원인으로 지목되기도 하며, 생산비 증가, 농산물 안전성 위협을 일으키는 것으로 알려져 있다(Nuyttens, 2007; Keen, 2010). 해외에서는 이러한 농약 사용의 문제점을 오래전부터 인식하여 방제기의 노즐과 풍속 및 나무 수관 등을 고려한 효율적인 방제 방안에 대한 연구를 시작하였고(Potts, 1946), 특히 1980년 대 밀식재배체계 도입 후(Barritt, 1992), 기존의 방사형 방제기의 송풍 분포 등을 개선한 타워형 방제기를 제작하였다(Fox, 2008). 또한 Sutton and Unrath (1984)은 밀식체계에 맞춰 열(row)을

부피로 계산하여 과원 내 전체 살포 약량을 계산하는 Tree Row Volume (TRV)모델을 제시하였고, 이후 사과재배체계가 현대 포도과원의 개념에서 많이 착안되면서 살포 약량 계산방식도 포도과원처럼 한 열을 단면적으로 계산하는 Leaf Wall Area (LWA)모델을 제시하였다(Koch, 2007). 이러한 연구들은 과원 내 살포 약량의 조절로 농약의 허비를 줄이는데 많은 기여를 하였으며, 특히 최근 농업의 경향 중 하나인 정밀 방제 확립에 큰 영향을 끼치고 있다.

우리나라는 1996년 M.9 왜성대목 도입과 밀식재배체계가 보급되면서(Yoon, 2001), 우리나라 사과원 형태는 기존 거대수의 관행재배에서 벗어나 열간 4.0-4.5 m, 주간 1.5-3.5 m, 수고 3.5-4.0 m의 비율의 과원이 주요 형태로 자리매김하였다(Kwon et al., 2017). 이는 571-1,250 주/ha의 관행 재배형태를 고려하였을 때(Yoon et al., 2004), 크게 개선된 것으로 평가할 수 있으며, 특히 2,800-3,300 주/ha를 기준으로 재식된 해외의 고밀식재배체계와 유사해졌다(Kwon et al., 2017). 이러한 재배체계 흐름 변화와

*Corresponding author
E-mail: sh@knu.ac.kr

Table 1. Technical characteristics of the sprayers tested

Sprayer type	Tower	Axial	Axial ^{a)}
Year type	2021	2011	2011
Tank capacity (L)	1,100	1,000	1,000
Fan type	Tangential	Axial	Axial
Fan diameter (Ø)	800	810	810
Nozzle type	TeeJet TXA80 red	Ø1.2, Ø1.5	Albuz ATR-red, orange, blue Ø1.2, Ø1.5
N° of nozzles	16	26	28
Max height (mm)	1,940	1,385	1,385

^{a)} Replacing the nozzle

유사하게 Kang et al. (2004) 등은 노즐 개선 연구 등을 통하여 살포 약량을 감소시키고 방제 효과를 높이고자 하였으며, Yun (2020)은 노즐 분석 및 방제기 형태를 개량하여 약량을 효율적으로 줄이고자 하는 연구를 진행하였다. 또한 Han (2013)은 Low Volume Spray (LVS) 개념에 착안한 과원 살포 약량 감소를 제시하였으며, Kim et al. (2017)은 LWA를 활용하여 과원의 전체 약량을 산정하여 적절한 살포 약량을 고안하였다. 그러나 이러한 연구 노력에도 불구하고, 여전히 사과 과원에서 평균 살포 약량은 바뀌지 않았다. Lee et al. (2007)가 조사한 결과에 따르면, 대상 농가 중 약 80% 이상이 2,000~5,000 L/ha로 살포하는 것으로 조사되었고, Kwon et al. (2017)이 조사한 자료에서도 조사 대상 농가 중 약 50% 이상이 2,500~4,000 L/ha로 조사되어 농약의 사용량은 지난 10년 동안 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

이는 빠르게 변화하는 국내 재배체계와는 달리 실제 과원 현장에서 사용할 수 있는 적절한 방제 체계가 정립되지 못했음을 의미한다. 특히 해외의 농업선진국에서는 밀식재배체계 도입과 함께 타워형 방제기 보급 및 분사 노즐 교체 사용 등이 보편화되어 과원에 맞춘 적절한 살포 물량 방제가 적용되고 있으나, 국내에서는 기존 거대수 소식재배체계에 맞춘 방제기 형태와 방제 운용이 지금까지 이루어지고 있다. 이에 일부 농가는 과원 내 방제 개선을 위해 자체적으로 해외에서 타워형 방제기 및 노즐을 수입하여 교체하거나 기존 방제기의 노즐 배치를 변경하는 사례가 늘고 있지만, 현재까지 국내 밀식 사과원에서 현장 평가에 대한 자료가 없어 타워형 방제기 및 노즐 교체 활용성에 대한 검토가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 밀식 재배 형태의 사과원에서 살포 물량에 따른 현장 방제 검토를 통해 국내 사과재배체계 변화에 맞춘 적절한 살포 물량과 방제기 운용 방안을 알아보고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시 방제기

본 실험에서는 국내 제작한 방사형 방제기와 해외에서 수입된

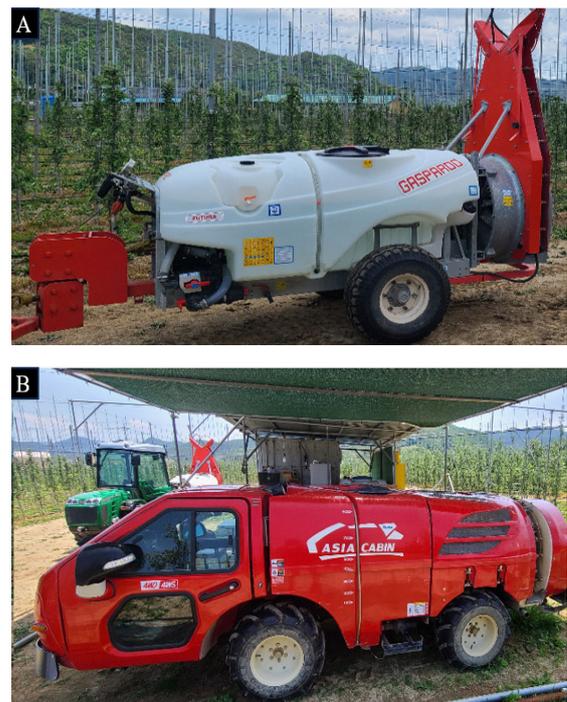


Fig. 1 Air blast sprayers: (A) Tower type; (B) Axial type.

타워형 방제기를 이용하였다(Fig. 1).

방사형 방제기는 반원 형태의 방사형으로 설계된 송풍구에 따라 노즐 배치가 이루어져있으며, 강한 출력과 높은 압력으로 약액을 멀리 분사시키는 특징을 가지고 있다. 반면, 타워형 방제기는 노즐 배치가 타워형(수직형)으로 배치되었으며, 접선유입형(Tangential)의 송풍 설계를 채택을 통해 팬의 송풍을 곧바로 유출되는 것을 막고 타워형 노즐배치 전체에 바람이 골고루 이동하도록 하여 약액을 분사할 수 있도록 한다.

본 시험에서는 방제기 형태적 특성 비교와 함께 동일한 방사형 방제기에서 노즐 교체에 따른 분무 양상 변화도 함께 확인하였다. 분사 노즐은 방제기에서 가장 중요한 부품으로 (Sandra, 2006), 해외에서는 오래전부터 노즐에 대한 연구와 관심으로 정밀한 방제를 위하여 다양한 노즐팁을 설계하고,

각도와 분사량 등 과원에 맞게 활용할 수 있도록 제작하고 있다. 특히 최근 국내에서도 분사 노즐에 대한 관심이 높아지고 이를 교체 활용하는 사례가 많으나, 아직까지 검증이 잘 이루어진적이 없어 이에 대한 기초 자료 수집 목적으로 함께 진행하였으며,

방제기 제원은 다음과 같다(Table 1).

시험 포장

시험 포장은 경상북도 청송군 안덕면에 위치한 3.7×2 m의

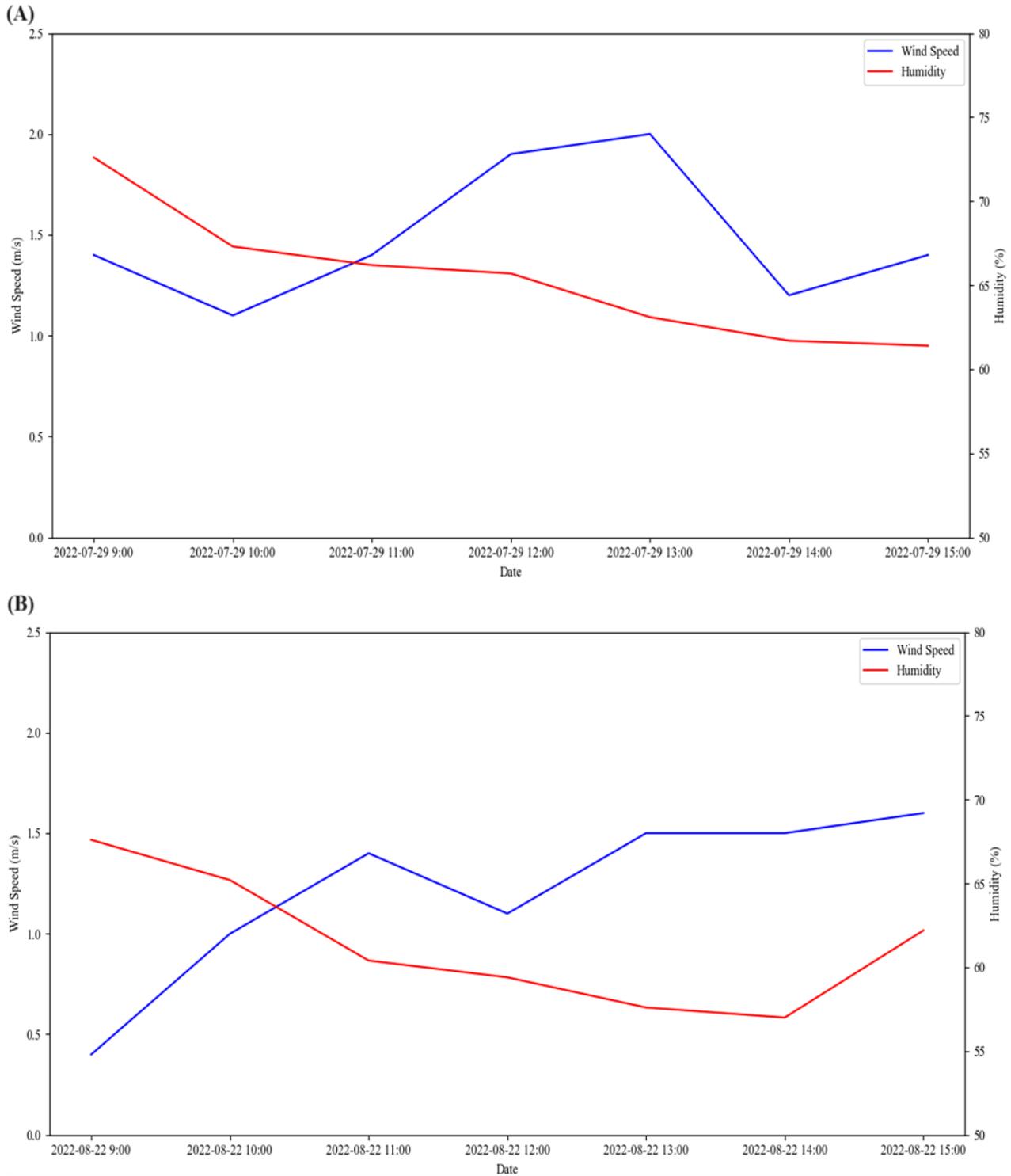


Fig. 2 Wind speed(m/s) and humidity(%) conditions when tested in each orchard(A:3.7×2 m; B: 3.6×1 m)

8년차, 'Fuji'/M9 (*Malus domestica* Borkh.) 성목 과원(이하 A)과 경상북도 봉화군 소천면에 위치한 3.6×1 m의 6년차, 'Fuji'/M9의 성목 과원(이하 B)이다. A과원은 국내 일반적인 밀식 과원으로 평균 수고는 4.3 m, 평균 수폭은 2.3 m이며, B과원은 평균 수고 4.4 m, 평균 수폭 1.1 m로 앞선 과원에 비해 더 좁아진 주간거리를 가진 밀식 재배 형태로 각 과원 내 평균 수관의 모습은 Fig. 2와 같다. 또한 기후 및 과수 생육 시기를 고려하여 7월에 A과원에서, 8월에 B과원에서 각각 실험하였는데 특히 바람과 습도가 본 실험에 많은 영향을

끼치는 만큼 최대 풍속이 2 m/s 이하, 습도가 70% 이하일 때, 물량 살포를 실시하였다(Fig. 3).

살포 물량 설정

현재 우리나라 사과원의 평균적인 방제 약량은 지난 2007년부터 2017년 까지의 자료에 의하면 2500~5000 L/ha로 볼 수 있다 (Lee et al., 2007; Jang et al., 2015; Kwon et al., 2017). 농촌진흥청의 농약 인축독성 시험성적서를 살펴보면, 1일 농약 살포 면적이 2010년 4,500 L/1ha에서 2018년 2,500 L/1ha로

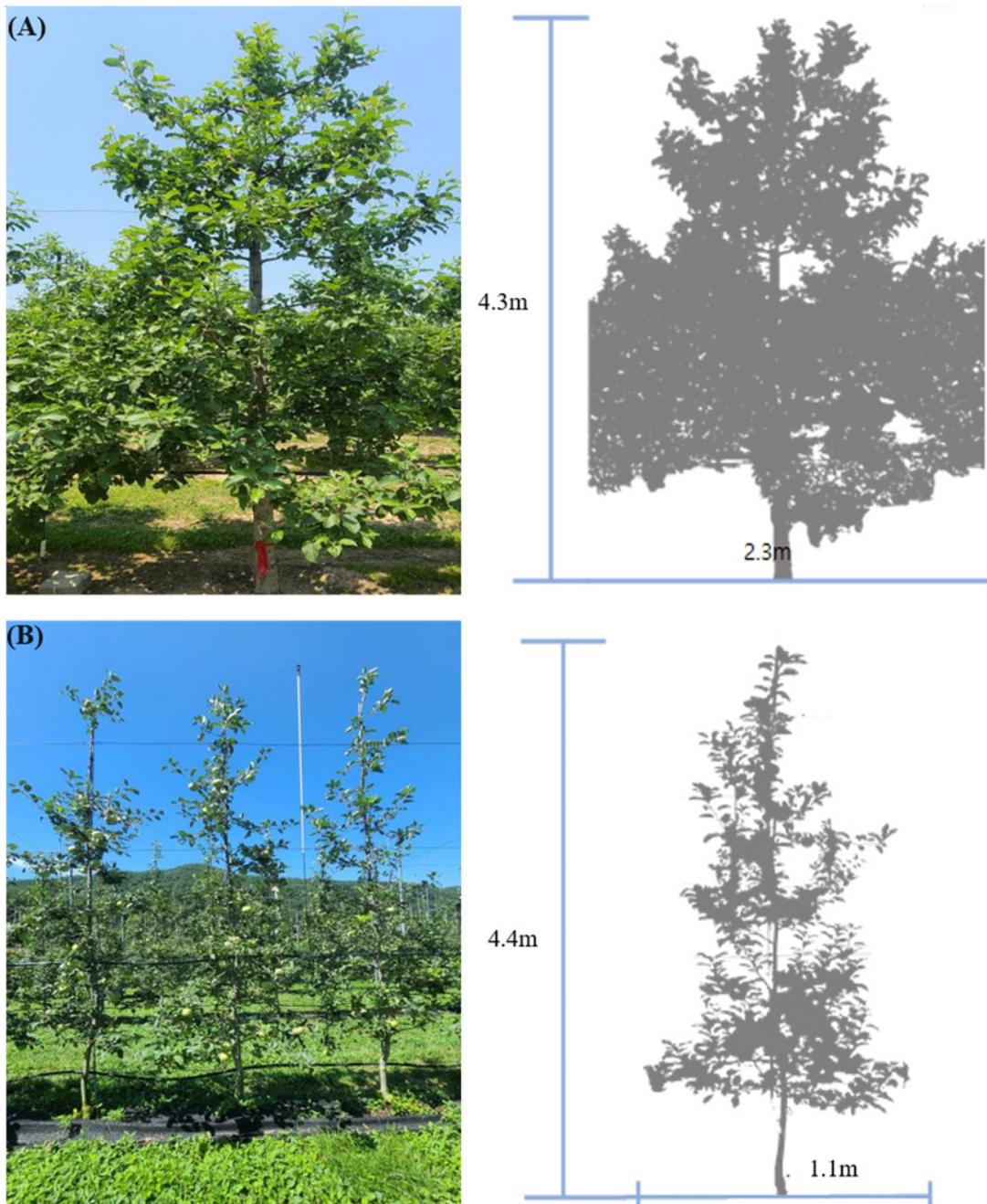


Fig. 3 The Canopy of a tree in each orchard(A:3.7×2 m; B: 3.6×1 m).

Table 2. Formula for calculating spray volume and driving speed by spray volume

Sprayer type	Tower	Axial	Axial ^{a)}
Spray per nozzle (L/min)	2.88	2.20	2.35
Fan speed (RPM)	1,200	1,500	1,500
Pressure (MPa)	1.0	2.0	2.0
5,000 L/ha	1.5 km/h	2.0 km/h	2.0 km/h
3,000 L/ha	2.5 km/h	4.0 km/h	3.0 km/h
1,800 L/ha	4.2 km/h	5.0 km/h	4.5 km/h

^{a)} Replacing the nozzle

나타났다 (RDA, 2010; RDA, 2022). 또한 Han (2013)은 우리나라 사과원 변화 및 노즐 교체 등을 통해 약량을 최대 1,000~1,500 L/ha까지 줄일 수 있을 것이라 판단하였으며, Kim et al. (2017)은 LWA모형을 통한 사과원 살포 물량 설정에서 열간 거리가 3.5~4.5 m, 나무 수고가 3.5~4.5 m일 때, 약 1,600~3,850 L/ha 사이의 물량 분포값을 제시하였다. 조건과 실험 방법에 따라 적정 살포 약량이 차이를 보일 수 있으나, 앞선 연구 결과 및 시험 과원의 수형과 현재 본 시험 과원에서 사용하는 방제 운용 방법 등을 종합적으로 고려하였을 때, 본 시험에서 고물량은 5,000 L/ha, 중물량은 3,000 L/ha, 저물량은 1,800 L/ha로 설정하였다.

단위 면적 당 살포 물량에 맞는 적절한 방제 운용을 설정하기 위해 본 실험에서는 Equation 1의 공식을 활용하였다 (Andersen et al., 2010). 위 공식을 활용하여 노즐의 1분당 분사량(L/min), 노즐 개수(pieces), 열간 거리(row width)는 고정 값으로 설정하고 살포 물량에 따라 주행속도(km/h)에 변화를 두어 계산하였다.

방제기 형태 차이에 따른 시험

본 시험은 우리나라 사과원의 일반적인 형태인 A과원에서 실시하였다.

노즐의 1분당 분사량은 각 제품사에서 제공하는 자료를 참고하였으며, 분사 압력은 분사 시 각 방제기 내 표시되는 게이지를 통해 확인하였다. 또한 본 시험에서 방사형 방제기와 타워형 방제기의 RPM을 다르게 설정하였는데, 이는 방제기 운행 및 동력 방식에 따른 차이에 기인한 것으로 두 방제기에 동일한 1,200 RPM으로 적용했을 때, 국내 방사형 방제기의 경우 엔진 출력 문제 등으로 인해 적합한 시험 수행이 어려워 1,500 RPM으로 일부 상향 후 진행하였다. 이에 따라 노즐의 1분당 분사량 및 분사 압력의 경우 차이를 보일 수 있으나, 본 시험의 주요 목적은 동일한 살포 물량에 대한 방제기 형태에 따른 차이를 살펴보는 것으로 RPM 일부 상향으로 인한 결과 도출에서 큰 차이는 없다. 살포 물량에 따른 속도의 경우 각 방제기마다 다른 속도 계기 방식을 최대한 맞추어 시험을 진행하였으며, 원활한 주행을 하기 위해 일부 소수점 값을 조정하였다.

분사 노즐 교체에 따른 시험의 경우 동일한 A과원에서

진행하였다. RPM은 동일한 1,500 RPM으로 진행하였고, 분사 노즐 차이에 따라 1분 당 분사량이 조정되었으며, 이에 따른 살포 물량 별 주행 속도도 일부 변경하였다.

시험을 위한 살포 물량에 따른 운용 방법은 다음과 같다 (Table 3).

동일한 방제기 사용 시 재식 거리에 따른 시험

본 시험에서는 재식거리 및 수형 등 수관 구성에 따른 물량 살포 차이를 알아보기 위해 진행하였다. 따라서 방제기 형태와 살포 물량을 동일하게 하되 재식거리가 서로 다른 과원일 경우 분무 양상의차이를 알아보기 위해 시험하였다.

시험 포장은 A(3.7×2 m), B(3.6×1 m) 과원 두 곳에서 각각 시험한 결과 값을 비교하였으며, 방제기는 모두 타워형 방제기를 사용하였다. 살포 물량은 동일한 1,800 L/ha로 비교하였고, 앞선 공식을 활용하여 살포 물량에 따라 1분 당 분사량 등을 조절하여 시험을 실시하였다.

약액 피복 양상 분석

사과원에서 물량 살포에 대한 피복 정도를 확인하기 위해 감수지(Syngenta, Basel, Switzerland)를 이용하였다. 감수지는 76×52 mm로 과원 내 한 열에서 정상적인 생육을 가진 나무에 수고 및 수폭에 따라 총 9등분으로 나누어 잎의 앞과 뒷면에 각각 부착하였다(Fig. 4).

부착 후 물량에 따른 방제기 운용 설정에 따라 감수지를 부착한 한 열을 중심으로 양방향으로 모두 주행하여 각각 1회씩 살포하였다. 살포 후에는 감수지가 완전히 마른 후 수거하였으며 각 위치 조건마다 구별하여 밀폐 봉지에 보관하였다.

잎의 피복 정도를 알아보기 위한 감수지 피복율 분석은 Scanner (Samsung, SL-C483)를 이용하여 600 dpi 해상도로 컬러 스캔한 후 Jpeg 파일 형태로 저장하였다. 저장된 Jpeg 형태의 파일은 ImageJ program (US National Institutes of Health, Maryland, USA)을 통해 8-bit로 변환한 후 프로그램 내 Threshold 기능을 이용하여 흑백으로 표현한다. 프로그램을 통해 색을 변환시킨 감수지는 Analyze particles을 size (pixel) 0-infinity 및 Circularity 0.00-1.00 조건으로 감수지 피복율을 측정하였다. 피복율은

Table 3. Coverage of Water Sensitive Paper(WSP) to type of sprayer*** Different letters within columns indicate significant difference based on one-way ANOVA and Tukey's HSD test ($P < 0.05$)

Sprayer type	Water Volume(L/ha)	Height(m)	Location	Average(%) \pm SD ^{b)}
Axial	5,000	3.5~4.3	Front	95.6 \pm 4.4 a
			Back	95.8 \pm 4.2 a
		1.5~3.5	Front	98.3 \pm 1.7 a
			Back	96.6 \pm 3.4 a
		~1.5	Front	99.9 \pm 0.1 a
			Back	98.8 \pm 1.2 a
	3,000	3.5~4.3	Front	54.5 \pm 4.3 c
			Back	45.8 \pm 5.1 c
		1.5~3.5	Front	78.8 \pm 4.7 b
			Back	73.3 \pm 3.6 b
		~1.5	Front	98.5 \pm 1.8 a
			Back	92.3 \pm 2.7 a
	1,800	3.5~4.3	Front	44.1 \pm 2.3 c
			Back	29.6 \pm 1.2 d
		1.5~3.5	Front	72.5 \pm 3.8 b
			Back	71.6 \pm 3.6 b
		~1.5	Front	90.6 \pm 5.8 ab
			Back	89.6 \pm 2.3 ab
Tower	5,000	3.5~4.3	Front	94.6 \pm 3.1 a
			Back	94.8 \pm 2.9 a
		1.5~3.5	Front	84.3 \pm 3.6 b
			Back	92.5 \pm 2.7 a
		~1.5	Front	97.0 \pm 2.1 a
			Back	88.3 \pm 2.5 ab
	3,000	3.5~4.3	Front	89.8 \pm 2.8 ab
			Back	83.0 \pm 3.1 b
		1.5~3.5	Front	88.8 \pm 2.9 b
			Back	85.5 \pm 1.6 b
		~1.5	Front	96.5 \pm 1.1 a
			Back	80.6 \pm 5.4 c
	1,800	3.5~4.3	Front	72.3 \pm 1.7 c
			Back	69.6 \pm 2.7 c
		1.5~3.5	Front	86.1 \pm 4.1 ab
			Back	77.0 \pm 2.8 b
		~1.5	Front	82.5 \pm 2.6 bc
			Back	70.1 \pm 3.1 c
Axial ^{a)}	5,000	3.5~4.3	Front	92.8 \pm 5.3 a
			Back	93.0 \pm 2.1 a
		1.5~3.5	Front	96.1 \pm 1.4 a
			Back	96.4 \pm 2.1 a
		~1.5	Front	99.9 \pm 0.1 a
			Back	98.8 \pm 0.3 a

Axial ^{a)}	3,000	3.5~4.3	Front	69.8±0.9 c
			Back	59.6±4.1 c
		1.5~3.5	Front	73.8±3.7 c
			Back	71.1±2.7 c
		~1.5	Front	94.1±2.3 a
			Back	89.3±2.9 ab
	1,800	3.5~4.3	Front	44.5±1.1 d
			Back	40.5±1.8 d
		1.5~3.5	Front	75.0±2.8 c
			Back	77.1±3.4 c
		~1.5	Front	86.6±4.7 b
			Back	84.3±2.9 bc

^{a)} Replacing the nozzle
^{b)} Standard deviation

수고 및 잎의 부착 위치에 따라 물량별로 평균값을 기준으로 표준편차로 나타내었다.

적정 감수지 피복율은 Lee et al. (1999), Mangado et al. (2013) 등의 자료를 참고하여 감수지 방제가를 60 %로 설정한 후, 피복율 결과를 도출하였다.

통계처리

본 연구 데이터 분석은 Python 3.11.2 (Python Software Foundation, USA)를 사용하였으며, ANOVA 분석으로 집단 간

유의한 차이가 있는지 확인하였고, 사후 검정으로 Tukey의 HSD 검정($p < 0.05$)을 수행을 통해 집단 간 구체적인 양상을 분석하였다.

결 과

방제기 형태 및 노즐 차이에 따른 피복율

Table 3의 피복율 분석 결과를 살펴보면, 먼저 방사형 방제기의 경우 5,000 L/ha에서는 잎 앞·뒷면의 평균 피복율이 모든 수고에서 약 97% 이르는 것으로 나타났다. 또한 대부분의 구간은 90%에 가깝거나 90%를 상회하는 피복율 기록하였는데, 이는 앞서 설정한 감수지 피복율 기준으로 보았을 때, 상당히 높은 피복율을 보이고 있음을 확인하였다. 그러나 3,000 L/ha는 5,000 L/ha와 달리 하단부(~1.5 m)의 경우 높은 피복율을 나타냈으나, 중단부(1.5~3.5 m)부터 피복율이 떨어져 상단부(3.5~4.3 m)는 평균 피복율이 잎 앞·뒷면 모두 50%를 내외하는 결과를 나타냈다. 특히 상단부의 잎 뒷면에서는 최소 피복율이 약 20%로 낮아지며, 하단부와 상단부간 차이가 나타남을 확인하였다. 1,800 L/ha는 3,000 L/ha 조건에서 수행된 결과와 유사한 특징을 보였는데, 하단부에서는 약 90%에 가까운 평균 피복율을 나타냈으나, 중단부부터 피복율이 급격하게 떨어져 상단부 뒷면 피복율의 경우 약 30%에 불과하였다.

타워형 방제기는 5,000 L/ha에서 피복율은 잎 앞·뒷면 모두 평균 90%내외의 피복율을 나타냈다. 이는 앞선 방사형 방제기인과 상당히 유사한 결과를 나타내며, 타워형 방제기 또한 5,000 L/ha에서는 높은 방제율을 보이고 있음을 확인하였다. 3,000 L/ha에서는 모든 구간에서 평균 80%를 상회하는 피복율을 나타냈다. 특히 3,000 L/ha 살포 물량에서는 방사형 방제기와 다른 결과를 보였다. 방사형 방제기의 경우 수고가 높을수록 피복율이 급격하게 떨어지는 모습을 보인 반면, 타워형 방제기는

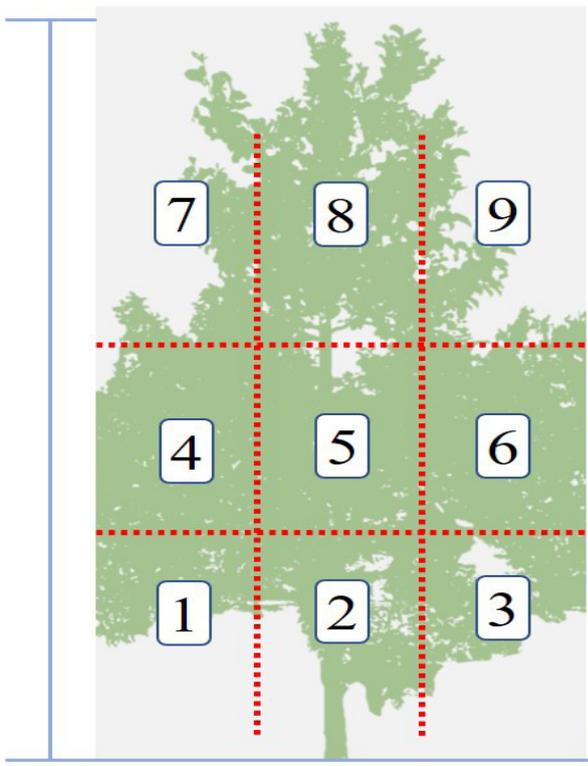


Fig. 4 Method of attachment of water sensitive paper.

모든 수고에서 거의 비슷한 피복율이 도출되었으며, 모든 수고에서 60%를 넘는 피복율을 나타냈다. 1,800 L/ha도 모든 구간에서 약 60% 이상의 피복율을 나타냈음을 확인하였다. 이는 3,000 L/ha에 비해 평균 피복율이 약 10 떨어졌으나, 앞선 방사형 방제기에 비해 수고 별 차이가 크지 않았다.

분무 노즐을 교체한 방사형 방제기의 5,000 L/ha의 피복율 결과에서는 앞 앞·뒷면 모두 평균 90%가 넘는 피복율을 나타냈다. 이는 앞선 기존 방사형 방제기 및 타워형 방제기와 유사한 결과 값을 보였다. 3,000 L/ha에서는 하단부분의 경우 평균 약 90%의 피복율을 보였으나, 수고가 높아질수록 피복율은 떨어져 상단부의 앞 뒷면에서는 60%에 가까운 수치를 나타냈다. 이는 앞서 3,000 L/ha에서 기존 방사형 방제기의 피복율 및 기준으로 제시한 평균 피복율에 비해 높거나 비슷한 결과를 보였다. 그러나 상단부의 경우 최저 피복율이 약 40%에 미치지 못한 수치가 도출됨에 따라 노즐 변경 후에도 3,000 L/ha가 적절한 방제 물량으로 판단하기 어렵다. 1,800 L/ha에서도 3,000 L/ha와 비슷한 결과가 도출되었다. 하단부와 중단부 모두 기준 피복율보다 높은 피복율을 기록하였으나, 상단부는 평균 약 40%의 피복율을 보였다. 이는 기존 방사형 방제기의 1,800 L/ha 결과에 비해 상단부 피복율이 일부 높아진 수치이긴 하지만, 기준 방제에 미치지 못하는 결과를 나타내었으며, 수고 별 피복율의 불균형이 높은 것으로 확인되었다.

재식거리에 따른 피복율

다른 재식거리에서 동일한 타워형 방제기로 1,800 L/ha의 동일한 물량을 기준으로 한 감수지 피복율을 조사하였을 때, B과원의 결과는 다음과 같다(Table 4). 모든 수고와 앞 위치에서 80%를 넘는 피복율을 기록하였으며, 특히 앞 앞면의 경우 약 95% 이상의 피복율이 나타났다. 이는 A과원에서 동일한 물량으로 실험한 결과와는 다른 양상을 보였는데, 수고 별 피복율의 차이가 적은 것은 유사하지만, 피복율 정도가 B과원이 훨씬 높은 것으로 나타났다. 이는 동일한 방제기일 경우, 과원의

재식거리 및 수관의 형태에 따라 방제가의 차이가 나타날 것으로 확인할 수 있으며, 특히 재식거리가 더 좁은 B과원은 수관 전체의 피복율 균일도 역시 더 높은 것으로 보였다.

고찰

살포 물량에 따른 방제기 형태 별 결과에서는 노즐 배치에 따른 차이가 나타났다. 특히 방사형 방제기는 살포 물량이 감소할수록 전체 피복율 또한 급격하게 감소하는 형태를 보였는데, 모든 살포 물량 중 3,000 L/ha와 1,800 L/ha에서는 수관 내 피복율 차이가 나타나며, 하단부에는 충분한 피복율을 나타내는 반면, 상단부로 갈수록 빠르게 떨어지는 경향을 보였다. 이에 비해 타워형 방제기는 살포 물량이 감소하면서 수관 내 전체 피복율이 감소하는 특징은 앞선 방사형 방제기와 동일하였으나, 물량 별 수관 내 피복율 차이는 비교적 적어 방사형 방제기에 비해 타워형 방제기가 수관 내 안정적이고 효율적인 살포 경향을 나타냈다. 이에 Hendricks et al. (2012)는 방사형 방제기의 경우 모든 나무 수형에서 더 낮은 분무 분포를 보일 뿐 아니라 더 많은 비산을 발생시킨다고 하였으며, Bruce (2020)는 방사형 방제기가 타워형 방제기에 비해 정확한 목표를 맞추는 능력이 떨어진다고 평가하였다. Deveau (2015)는 기존 방사형 방제기보다 타워형 방제기가 살포 약량을 경감시키는 등 방제효율이 높기 때문에 각 과원에서 타워형의 수직 배치 방제기로 교체를 권장하였다. 이처럼 방사형 방제기는 밀식재배체제 이전 크고 넓은 수관을 가진 거대수 사과원에서 사용하기 위해 제작된 방제기 형태로(Fox, 2008), 현재 국내 밀식 사과원에서는 타워형 방제기가 약량 절감 및 병해충 억제 향상에 도움을 줄 것으로 보인다.

또한 송풍 영향도 살펴볼 수 있는데 팬의 방향에 따라 송풍이 직분사되는 기존의 방사형 방제기와는 달리, 본 실험에서 사용한 타워형 방제기의 경우, 접선유입형을 채택하여 공기 흐름 조절로 상단부까지 최대한 고르게 송풍이 분사되도록 설계되었다. 반면, 방사형 방제기는 송풍 분사 시 공기 흐름을 조정하기

Table 4. Coverage of WSP by tower type sprayer in 3.6×1 m

** Different letters within columns indicate significant difference based on one-way ANOVA and Tukey's HSD test ($P < 0.05$)

Water Volume(L/ha)	Height(m)	Location	Average(%) ± SD ^{a)}
1,800	3.5~4.4	Front	95.6±2.1 a
		Back	86.7±3.4 ab
	1.5~3.5	Front	98.3±1.8 a
		Back	86.8±3.7 ab
		Front	99.9±0.1 a
		Back	90.1±2.9 a
	~1.5		

^{a)} Standard deviation

$$\text{Equation 1. Spray volume(L/ha)} = \frac{\text{MDA (ng)} \times \text{최종 부피 (mL)} \times \text{희석배수}}{\text{기기 주입량 (μL)} \times \text{시료 무게 (g)}}$$

어려워 상하단부 간 송풍 격차가 크며, 비산될 확률이 타워형 방제기에 비해 비교적 높고, 고출력을 통한 분사가 요구되는 경우가 많다(Thorat, 2022). 방사형 방제기의 노즐 교체 시, 모든 살포 물량에서 피복율이 기존 방사형 방제기에 비해 상대적으로 높았고, 수관에 따른 피복율 차이도 덜 줄어든 것으로 나타났다. 그러나 여전히 타워형 방제기에 비해 수관 내 구간 별 피복율 차이가 많이 보였고, 특히 1,800 L/ha의 기준으로 방제기 특성 별 피복율을 나타냈을 때(Fig. 5), 방사형 방제기는 노즐 교체에 상관없이 타워형 방제기에 비해 하단부에서 10% 이상 더 많은 피복율을 보였다. 그러나 중단부 및 상단부에서는 타워형 방제기가 더 높은 피복율을 기록하였으며, 특히 상단부에서는 30~40%대의 피복율을 나타내는 방사형 방제기와 달리 타워형 방제기는 68%의 피복율을 보였다. 이는 노즐 교체를 한다고 하더라도 노즐 배치를 바꾸는 것 보다 방제 개선 효과가 떨어진다는 것을 의미할 수 있으나, 일반 방사형 방제기에 비해 노즐 교체한 방사형 방제기의 피복율이 일부 개선된 것으로 보아 노즐 종류에 따라 방제 효율에 도움을 줄 것으로 판단된다. 이처럼 방제 시 알맞은 노즐을 선택하는 것은 매우 중요한 것으로 노즐의 분사량 및 압력, 균일성, 비산 정도, 개수 및 각도, 위치 등은 방제 운용에 다양한 영향을 미친다(Paul, 2012). 그러나 본 시험에서는 노즐 개수 및 분사량 등 살포 물량 계산 시 사용되는 항목을 제외하고, 노즐 분사 각도 및 위치 등의 요인은 기존 과원에서 사용하는 방제 운용 방법을 그대로 이용하였기 때문에 노즐의 세부 조정을 반영한 실험은 진행하지 않았다. 하지만 최근 정밀 방제가 강조되는 만큼 노즐의 특성을 다각도로 고려한 시험이 추가적으로 필요하다.

1,800 L/ha를 기준으로 동일한 타워형 방제기를 이용하여 재식거리에 따른 피복율 차이를 분석한 실험에서는 같은 살포 물량이라 하더라도 과원의 재배체계에 따라 피복율의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 재식거리가 좁아짐에 따라 나무의 수고가 낮아지고, 수폭이 좁아지면서 수관 면적 차이로 인하여 B과원에서 수관 내 전체적인 살포 약량이 더 많이 피복되었으며, 전체적인 피복의 균일도가 높아졌다(Fig. 6). 이처럼 방제 시 방제기의 형태 차이뿐만 아니라 수형을 고려할 필요가 있으며(Hendrickx et al., 2012), 고밀식의 재배형태일수록 살포 약량이 현재보다 더욱 줄어들어야 할 것으로 보인다. 특히, 최근 국내에서는 2차원 평면 수형 도입 및 연구가 이루어지고 있는데, 이는 현재 우리나라 사과원의 기본 수형이자 3차원 수형인 세장방추형 등에 비해 더 좁은 수폭을 지니고 있다(Dorigoni, 2016). 따라서 위 수형 변화에 맞춘 방제 계획과 적절한 살포 약량에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 실험의 적정 감수지 피복율은 Lee et al. (1999)에서 연구된 사과 점박이응애 적정 방제 피복율로 제시한 75%와 Mangado et al. (2013)가 병해충 피복율 분석으로 나타난 20~50% 등을

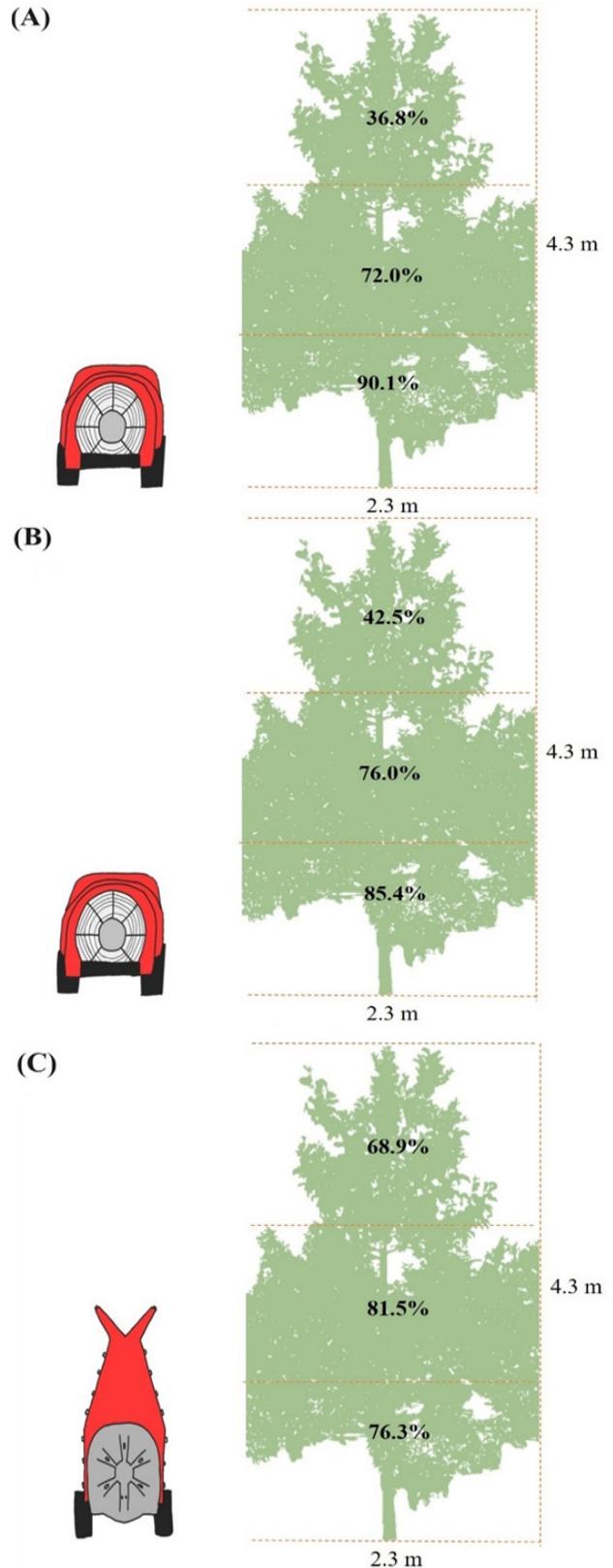


Fig. 5 The difference in coverage rate by section according to the characteristics of the sprayer at 1,800 L/ha (A: axial; B: replacement nozzle axial; C: tower).

참고하여 60%로 제시하였다. 그러나 Deveau (2015)는 노즐 종류에 따라 감수지 전체 면적의 15%만 되어도 방제가 가능하다고 분석하는 등 적정 피복율은 기준에 따라 일부 달라질 수 있다. 이는 각 나라마다 주요 병해충 방제 요건과 실험방법 기준에 따른 차이로 볼 수 있으며, 이에 국내 환경에 맞춘 적정 분석 방법이 요구된다. 또한 감수지 피복율 분석법의 경우 나무 수관이나 개별 형태에 따라 결과값이 일부 차이가 발생할 수 있으나, 디지털 이미지 분석 및 통계 기술의 발달로 객관적이고 신뢰할 수 있는 데이터를 얻을 수 있는 방법으로 평가받으며 수관 내 분무 조정 등에 관한 연구에 유용하다(Salyani et al., 1994; Moor et al., 2000). 다만, 본 시험은 실제 약량 살포가 아닌 감수지를 이용한 피복율을 기준으로 수관 내 살포 정도를 비교하였기 때문에 농약 입자 분포, 생육 시기 및 과원 내 환경 요소 등에 따라 결과에 일부 차이가 발생할 수 있어 이를 고려한 추가 시험이 이루어져야 한다.

그러나 본 현장 검증을 통해 우리나라 밀식 사과원에서 일반적으로 사용하던 방사형 방제기와 비교하여 분무 형태 특성이 다른 타워형 방제기 운용에 대한 기본적인 성능과 효과 검증이 적절하게 이루어진 것으로 볼 수 있으며, 특히 최근 일부 농가를 중심으로 타워형 방제기 수입과 방사형 방제기를 타워형으로 개조하는 사례에 대한 기초 실증 연구를 진행한

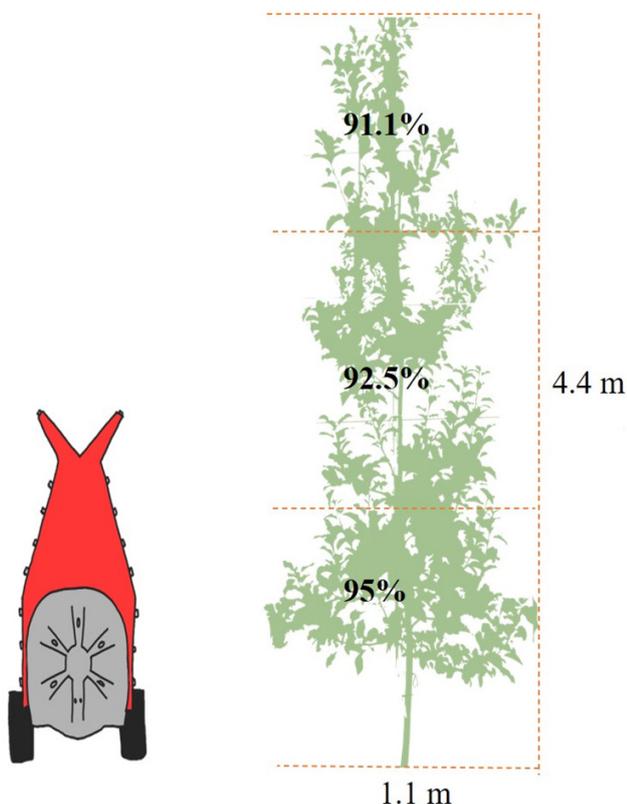


Fig. 6. The difference in coverage by tower sprayer at 1,800 L/ha in 3.6 × 1 m.

것으로 볼 수 있다. 따라서 현재 국내의 일반 밀식 사과원뿐만 아니라 점차 재식거리가 줄어들고 있는 국내 밀식 사과원을 감안하였을 때, 타워형 방제기에 대한 도입과 살포 약량 조정에 대한 검토가 필요하다.

Author Information and Contributions

Jong Hoon Jeon, Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Ph.D. Course, <https://orcid.org/0009-0003-6302-4018>

Bae Yeon Shin, Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Master student

Seung Hwan Kim, Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Marster student

Tae Myung Yoon, Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-8871-7599>

Seunghyun Ban, Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-8239-8179>

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature cited

- Andersen P, Jørgensen M, 2010. Calibration of sprayers. *Julius-Kühn-Arch.* 426:143-152.
- Bruce MS, Wollong Mpa, 2020. Avoiding spray drift from air-blast sprayers in vine and tree crops. New South Wales Department of Primary Industries, Sydney, Australia, p. 1-8.
- Christian D, Anne G, Thekla AP, 2020. Applikationstechnik im Obst-und Weinbau. Beratungsring, South Tyrol, Italy, p. 5-21.
- Deveau J, 2015. Airblast 101: a handbook of best practices in airblast spraying. http://sprayers101.com/wp-content/uploads/2016/04/43656_OMAFRA_2015_Airblast_101_eBook_a8-FINAL.pdf (Accessed Apr. 01. 2021).
- Dorigoni A. 2016. Innovative fruit tree architecture as a nexus to improve sustainability in orchards. *Acta Hort.* 1137:1-10.
- Fox RD, Derksen RC, Zhu H, Brazee RD, Svensson SA, 2008. A history of air-blast sprayer development and future prospects. *J. ASABE.*

- 51(2):405-410.
- Han YH, 2013. Feasibility study for low volume spray in apple orchard. PhD Diss., Chungnam Nat'l Univ, Daejeon, Korea. (In Korean)
- Hendrickx N, Goossens T, Melese A, Dekeyser D, Nuyttens D, et al., 2012. Assessment of orchard sprayers using field trials. *Asp. Appl. Biol.* 114:405-412.
- Jeon HW, Hong SM, Hyun JW, Hwang RY, Kwon HY, et al., 2016. Deposit amounts of dithianone on citrus leaves by different spray methods. *Korean. J. Pestic. Sci.* 20(1):1-6. (In Korean)
- Kang TG, Lee DH, Lee CS, Kim SH, Lee GI, et al., 2004. Spray and depositional characteristics of electrostatic nozzles for orchard sprayers. *J. Agric. Eng.* 29(1):21-18. (In Korean)
- Keen RM, 2010. Development of a low-cost vertical patternator. <http://www.patternator.com/index.html> (Accessed Apr. 25. 2022).
- Kim MS, Hong SM, Hyun JW, Hwang RY, Kwon HY, et al., 2017. Comparison of citrus leaves adhesion and operator exposure of fungicide dithianon by different spraying system. *Korean. J. Pestic. Sci.* 21(2):131-138. (In Korean)
- Kim SS, Kwon HY, Lee KS, 2017. Study of Water volume standard for pesticide application with LWA (Leaf Wall Area) Model in Apple Orchard. *Korean. J. Pestic. Sci.* 21(2):114-122. (In Korean)
- Koch H, 2007. How to achieve conformity with the dose expression and sprayer function in high crops. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, North Rhine-Westphalia, Germany*, p. 71.
- Kwon HY, Hong SM, Kim SS, Paik MK, Lee HS, et al., 2017. Survey of planting system and pesticide spray method on apple orchards in Korea. *Korean. J. Pestic. Sci.* 21(1):9-16. (In Korean)
- Lee SW, Kim DA, Choi KH, Jeong JK, 1999. Investigation of control efficiency by pesticide spraying methods in apple orchard. *Hortic. Sci. Technol. Report*:361-364. (In Korean)
- Lee SW, Lee DH, Choi KH, Kim DA, 2007. A report on current management of major apple pests based on census data from farmers. *Hortic. Sci. Technol.* 25(3):196-203. (In Korean)
- Mangado J, Arazuri S, Arnal P, Jarén C, López A, 2013. Measuring the accuracy of a pesticide treatment by an image analyzer. *Proc. Technol.* 8:498-502.
- Moor AD, Langenakens J, Vereecke E, Jaeken P, Lootens P, et al., 2000. Image analysis of water sensitive paper as a tool for the evaluation of spray distribution of orchard sprayers. *Asp. Appl. Biol.* 57:329-341.
- Nuyttens D, Schampheleire M, Baetens K, Sonck B, 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *J. ASABE.* 50(4):1129-1140.
- Rural Development Administration, 2010. Pesticide toxicity evaluation. Jeonju, Korea. (In Korean)
- Rural Development Administration, 2022. Pesticide toxicity evaluation. Jeonju, Korea. (In Korean)
- Paul E, 2012. Orchard sprayers. https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B%20979_3.PDF (Accessed Feb. 1. 2022).
- Paul E, 2012. Sprayer nozzle selection. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1158&title=sprayer-nozzle-selection> (Accessed Feb. 20. 2022).
- Potts SF, 1946. Particle size of insecticides and its relation to application, distribution, and deposit. *J. Econ. Entomol.* 39(6):716-720.
- Salyani M, Fox RD, 1999. Evaluation of spray quality by oil- and water-sensitive papers. *J. ASABE.* 42(1):37-43.
- Sandra H, 2006. Information on Pesticide Issues. NSW Department of Primary Industries, NWS, Australia.
- Sutton TB, Unrath CR, 1984. Evaluation of the tree-row-volume concept with density adjustments in relation to spray deposits in apple orchards. *Plant Dis.* 68:480-484.
- Thorat DS, Jyoti B, Khadatkar A. 2022. Precision spraying technologies for orchard crops. *ICAR* 67:34-36.
- Trillof P, Knoll M, Lind K, Herbst E, Kiesinger S, 2012. Verlustarm sprühen-Die wissenschaftliche basis. *Obstbau weinbau, South Tyrol, Italy*, p. 378-382.
- Triloff P, Lind K, Knoll M, 2013. Low-loss spraying. *Julius-Kühn-Arch.* 439:122-126.
- Yoon TM, 2001. Integrated production of good quality apple. *Proc. Symp. on sustainable development of apple industry in Kyeong-Buk Province. Andong Nat'l Univ and Kyeong-Buk Province*, p. 9-30. (In Korean)
- Yoon TM, 2004. Development of high density apple growing in Europe and Korea. *Hortic. Sci. Technol.* 380:79-97. (In Korean)
- Yun TY, 2020. Development of the vertical boom sprayer for orchard. Master Thesis, Kyungpook Nat'l Univ, Daegu, Korea. (In Korean)

밀식 사과원에서 살포 물량에 따른 방사형과 타워형 고속방제기 현장 검증

전종훈 · 신배연 · 김승환 · 윤태명 · 반승현*
경북대학교 원예과학과

요약 본 연구는 국내 밀식사과재배체계에서 살포 약량 경감 및 효율적인 방제 운용 방법을 도출하기 위해 국내 사과원(3.7×2 m, 3.6×1 m)에서 살포 물량(5,000 L/ha, 3,000 L/ha, 1,800 L/ha) 별 방제기 형태 및 재식거리에 따른 분무 양상을 감수지 피복율로 분석하였다. 살포 물량이 낮아질수록 방사형 방제기의 경우 피복율이 수관 상단부와 하단부간 차이가 크게 나타났으나, 타워형 방제기는 모든 물량에서 상대적으로 수관 내 고르게 분무가 되는 양상을 확인하였다. 또한 같은 방사형 방제기일 때, 노즐을 교체한 방사형 방제기는 살포 물량이 낮아져도 상대적으로 수관 내 피복율이 높은 것을 확인하였다. 3.6×1 m 과원에서 동일한 살포 물량(1,800 L/ha)과 동일한 타워형 방제기로 진행한 결과, 3.7×2 m에서 진행한 1,800 L/ha 살포에 비해 높고 균일한 수관 내 피복율을 보였다.

색인어 노즐 배치, 피복율, 비산, 스피드 스프레이어, 감수지