



밀식 사과원에서 효율적인 농약 살포를 위한 고속방제기 별 분무 및 송풍 양상 비교

전중훈 · 신배연 · 김승환 · 윤태명*

경북대학교 원예과학과

Comparison of Spraying and Blowing patterns by Air-blast Sprayers for Efficient Pesticide Spraying in High-Density Apple Orchards

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

Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

(Received Apr 26, 2024. Revised May 28, 2024. Accepted May 30, 2024)

Abstract Various orchard sprayers and their characteristics were assessed to evaluate their suitability for use in rapidly changing apple cultivation systems with high-density orchards. The assessment entailed the use of a spray patternator to examine the spray pattern based on the shape and characteristics of various sprayers used in Korea. The chemical spray type was evaluated at different rotational speeds (1,200 RPM, 1,500 RPM, and 2,000 RPM), and the sprayer with the radial nozzle arrangement showed that the chemical liquid was concentrated in the lower part of the 1 m section compared to the tower-type sprayer at all rotational speeds. A comparison of the nozzle pressure by sprayer type at constant rotational speed revealed that most of the domestic sprayers produced high injection pressure, whereas the overseas sprayer delivered the lowest injection pressure. The vertical distribution of the ejected spray differed according to the design of the blowing structure of the sprayer. In conclusion, improvement of the nozzle placement in tower-type sprayers for high-density apple orchard cultivation systems would seem to be an appropriate solution, but comprehensive research to analyze the blowing and spraying pressure and actual field verification in high-density orchards would be necessary.

key words: Drift, Orchard sprayer, Speed sprayer, Tower sprayer, Vertical patternator

서 론

우리나라 사과재배체계는 1996년 M.9 대목을 이용한 "신 경북형 사과생산체계 개발에 관한 연구"와 농촌진흥청 원예연구소 사과시험장에서 수행한 "사과 고밀식 왜화재배용 수형 개발" 연구를 계기로 변칙주간형의 거대수에서 세장방추형의 밀식재배체계로 바뀌었으며(Yoon, 2006; Sagong, 2007), 최근 초방추형, 2축형, 다축형(Multi-leader) 등의 도입이 이루어지고 있다(Yoon, 2023; Park, 2023; Choi, 2023). 이러한 재배체계의 변화는 사과나무의 광 이용과 관리의 편의성이 획기적으로 향상되어 생산비를 크게 줄이고 좋은 품질의 사과를 조기 다수확 할 수 있게 되었다(Yoon, 2001).

이처럼 현재의 사과재배체계는 고품질의 효율적인 사과 생산을 위하여 수폭이 좁아지는 평면화 추세가 빨라지고 있으나, 이를 뒷받침해야 할 국내 사과원 방제 기술의 발전은 아직까지 뒤쳐져 있는 것으로 평가받고 있다. 현재 국내 사과 농가 중 77.6%는 농약 살포기로 스피드스프레이어(Speed Sprayer, 이하 SS기 또는 방제기)를 사용하고 있으며(Kwon et al., 2017), 이러한 SS기는 1950년 대에 개발이 이루어져 일반적으로 평균 7m에 이르는 수고와 약 4m의 수폭을 가진 과수 방제에도 충분히 사용하도록 설계되었다(Rose, 1963; Fox, 2008; Peter, 2019). 해외에서는 위 유형의 방제기를 'air-blast sprayer', 'orchard sprayer', 'axial air-blast sprayer' 또는 'radial air-blast sprayer' 등으로 칭한다(Fox, 2008; Bruce, 2020; Margaret, 2022). 그러나 1980년 대 전후로 수폭이 좁아지고 수고가 낮아지는 밀식재배체계가 보급되면서

*Corresponding author
tmyoon@knu.ac.kr

기존 방제기로 살포 시 농약 중 20~55%만 작물에 부착이 되고 남은 45~80%는 비산(drift)하거나 지면으로 약액이 흘러내려 환경오염과 생태계 교란 문제가 지적되었고(Law and Cooper, 1988; Barritt, 1992), 과도한 비산으로 인한 농약 효과 감소, 작업자 피해, 방제비용 상승, 농산물 안전성 등의 문제가 대두되었다(Calumpang, 1996). 이처럼 해외에서는 기존 방제기가 현대 재배체계에서 더 이상 적합하지 않다고 여겨 이를 개선하기 위한 연구가 진행되었으며(Landers, 2011; Cross et al., 2013; Kasner et al., 2018), 이에 따라 방사형 방제기의 송풍 분포 등을 개선한 타워형 방제기를 제작하였다(Barritt, 1992; Fox, 2008).

또한 Vertical Patternator(이하 약액 포집기)를 설계하여 방제 시 관여하는 여러가지 기계적, 생물적, 환경적 요인 등을 효과적으로 제어하고, 약액 포집기를 통한 방제 운용 검증으로 과도한 농약 사용을 줄일 수 있도록 하였다(Gil, 2007). 특히 약액 포집기는 약액 분무 시 약액 수직 분포에 대한 효과적인 결과를 도출해내는데, 과수원처럼 다양한 요인들을 검토해야하는 경우에도 분사 형태의 균일성을 개선하여 효율적인 방제가 이루어지도록 한다(Gil, 2007). 약액포집기는 무겁고 비싼 가격으로 인해 활용성이 떨어진다는 평가를 받았으나, 최근 이동성과 사용성이 개선된 휴대용 약액포집기(Portable Pattenator)가 제작되면서 현장 활용도가 높아져 농민들을 위한 교육 자료와 방제기 검사 용도로 사용되고 있다(Gil, 2007; Landers et al., 2012; Gil, 2013).

이처럼 해외는 수형과 재식체계에 부합하는 방제기 구조 개선 및 노즐 개발과 함께 약액포집기를 이용하여 효율적인 방제를 진행하지만, 아직까지 국내에서는 과원 내 분무 양상을 개선하기 위한 심층 연구가 잘 이루어지지 않고 있다. 특히 농업 선진국에서는 밀식재배체계 도입과 함께 고려한 타워형 방제기 보급 및 약액 포집기 활용 등에 대한 국내 연구는 전무한 실정이다. 이로 인해 현재 대부분 국내 밀식재배사과원에서는 방사형 방제기 사용이 절대적으로 이루어지고 있으며, 최근 사과원 재식체계가 점점 더 수목과 수고가 작아짐에도 불구하고 여전히 고효율 방사형 방제기로

인해 과도한 농약사용이 이루어지고 있다. 이에 현재 국내 일부 농가는 해외에서 타워형 방제기를 수입하거나 기존 방사형 방제기를 타워형과 유사하게 개조하여 활용하고 있으나, 그 기능에 대한 종합적인 검증이 이루어지지않은 실정이다.

따라서 본 연구는 약액포집기 제작 및 활용을 통한 상이한 유형의 방제기의 분무와 송풍 양상을 비교 분석하여 국내 사과재배체계 변화에 맞춘 적절한 방제기를 제시해보고자 한다.

재료 및 방법

약액포집기 제작

약액포집기(Vertical Patternator)는 고정 발판과 프레임 설치하고 그 위에 5 m의 아연 각파이프를 수직으로 올려 제작하였다. 또한 이동성과 현장 활용성 등을 높이기 위해 크기가 각각 다른 아연 각파이프를 서로 끼워 연결할 수 있도록 조립형으로 구상하였다(Fig. 1). 약액 수집판은 3D프린터(TPC Mechatronics Corp, finebot9600, Korea)로 제작하였으며, 수집판의 재료는 PLA 필라멘트 소재로 약액 수집 면적은 100 mm x 200 mm이다. 약액 수집판은 총 12개를 제작하여 각파이프에 25 cm 간격으로 최저 85 cm~95 cm에서 최고 470 cm~480 cm에 설치하였다(Fig. 2). 약액포집기의 높이는 현재 국내 밀식 사과원의 평균 수고와 수형에서 착안하여 파이프의 최대 높이를 5 m로 제작 설계하였다. 자세한 제원은 다음 표와 같다(Table 1).

방제기에서 분무된 약액은 약액포집판을 통해 모이게 되고, 모인 약액은 약액 포집판과 연결된 호스를 이용해 각 포집판마다 구분되는 별도의 메스 실린더로 옮겨진다. 이를 통해 총 12 구간의 수고 별 약액을 측정할 수 있도록 제작하였다.

공시 방제기

본 실험에서는 현 농가에서 운용 중인 5대의 방제기를 약액포집기를 이용해 약액 분무 양상 측정을 진행하였으며, 각 방제기는 국내에서 제작한 ACS-1000(Aseatech Co.,

Table. 1 Technical specifications of Vertical Patternator.

	Specifications
Height(m)	5.0
N° capture units	12
Distance among capture units(m)	0.25
Capture material	PLA Filament
Min. capture height(m)	0.85
Max. capture height(m)	4.8

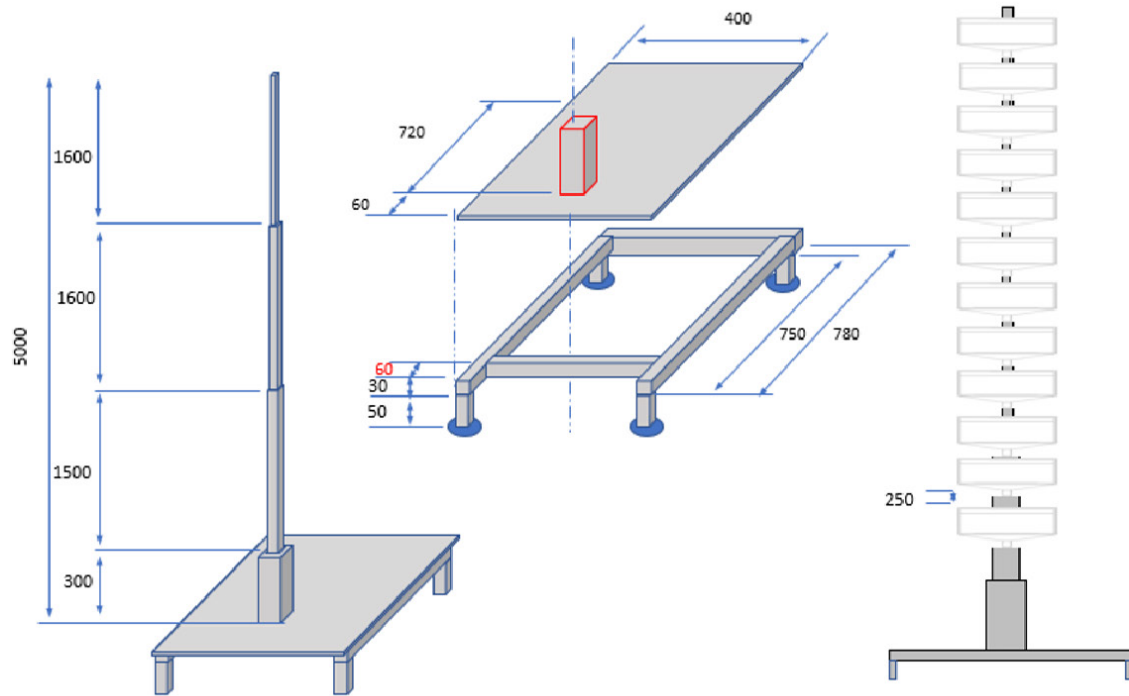


Fig. 1 Construction and design details of Vertical Patternator (upper) and overall view of vertical patternator (lower).

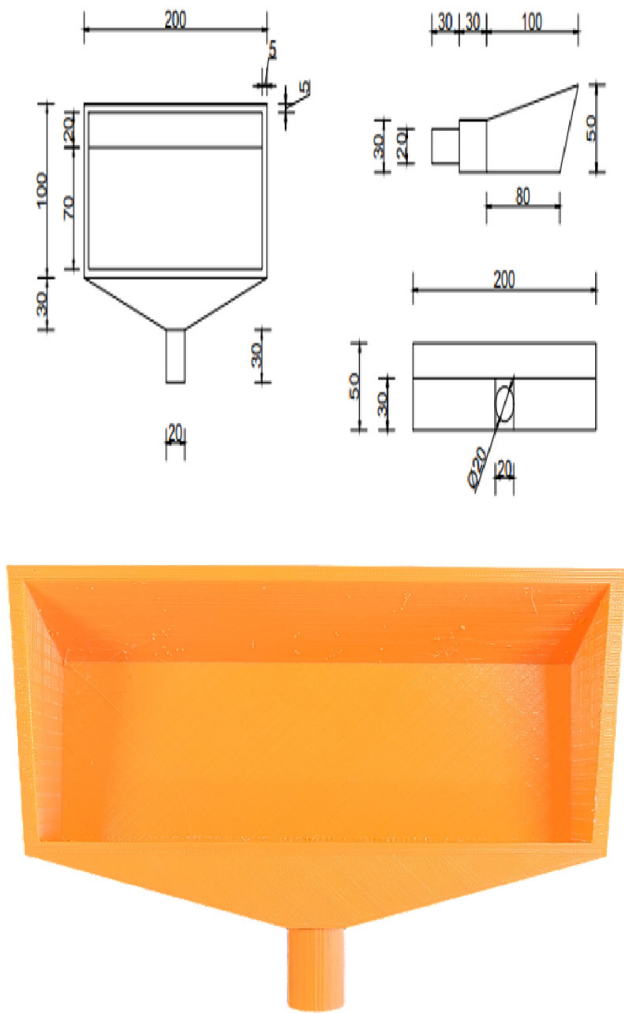


Fig. 2 Construction and design details of Vertical Patternator capture (upper) and actual capture form (lower).

Ltd., Korea), HSC-1000DW II (Hanseo Co., Ltd., Korea), SS-ATOM II -600(Hansung t&i Co., Ltd., Korea), HA-600WMS(Hanseo Co., Ltd., Korea)와 이탈리아에서 수입된 FUTURA P11 TGZ(Maschio Gaspardo S.p.A, Italy)다(Fig. 3).

각 방제기의 제원은 다음과 같다(Table 2).

FUTURA P11 TGZ를 제외한 국내 방제기는 기본적으로 축류형(Axial, 방사형)의 노즐 배치를 가지고 있으나, ATOM II -600과 HA-600WMS는 축류형에서 타워형으로 개조하였다. 이 때, ATOM II -600은 기존 배치된 노즐 형태를 사용하지 않고 타워형 노즐 배치로 구성하였고, HA-600WMS는 축류형 노즐과 타워형 노즐을 함께 사용하도록 재배치하였다. 또한 국내 제작 방제기의 송풍 형태는 축류형(Axial, 방사형)으로 동일하게 구성되었다. 그러나 FUTURA P11 TGZ는 국내 방제기와는 달리 송풍 형태를 접선유입형(Tangential)으로 채택하였다.

송풍 팬 회전수(RPM)에 따른 방제기 별 분무 양상 측정

송풍 팬 회전수(RPM)는 독일 및 이탈리아 지역의 방제기 검사 기준과 국내 사과원에서 보편적으로 행해지는 RPM 출력 기준을 참고하여 1,200, 1,500, 2,000 RPM 3가지의 RPM으로 설정하였다. 분사 시 약액포집기와 방제기 간 일정 거리를 두고 방제기의 모든 노즐을 개방한 후 1분간 분무하였으며, 이에 따른 수고 별 분무 양상, 총 수집 물량 및 분사 압력, 송풍 양상 등을 측정하였다.

수고 별 분무 양상은 약액포집기의 각 포집판에 수집된 물량을 측정하여 구간 별 각 차이를 기록하였고, 총 수집 물량은 분무 양상 측정 시 기록된 물량을 총합하여 계산하였다. 분사 압력은 RPM 별 분무 시 방제기 내 측정되는 계기판을 기준으로 정리하였으며, 풍속은 약액포집기에 풍속계 Kestrel 4500(Nielsen-Kellerman, Inc., USA)를 설치하여 1,200 RPM

Table. 2 Technical specifications of sprayers tested.

Specifications	ACS-1000	HSC-1000DWII	SS-ATOMIII-600	HA-600WMS	FUTURA P11 TGZ
Production year	2011	2022	2012 (modified 2021)	2012 (modified 2022)	2021
Tank capacity(L)	1,000	1,000	600	600	1,050
Fan type	Axial	Axial	Axial	Axial	Tangential
Nozzle disposition	Axial	Axial	Tower (modified)	Axial and Tower (modified)	Tower
Nozzle type	Ø1.2, Ø1.5	Ø1.0	D-6	Ø1.0, Ø1.2	TeeJet TXA80 red
N° of nozzles	26	40	14	22	16
Max height(mm)	1,385	1,340	1,700	1,800	1,940

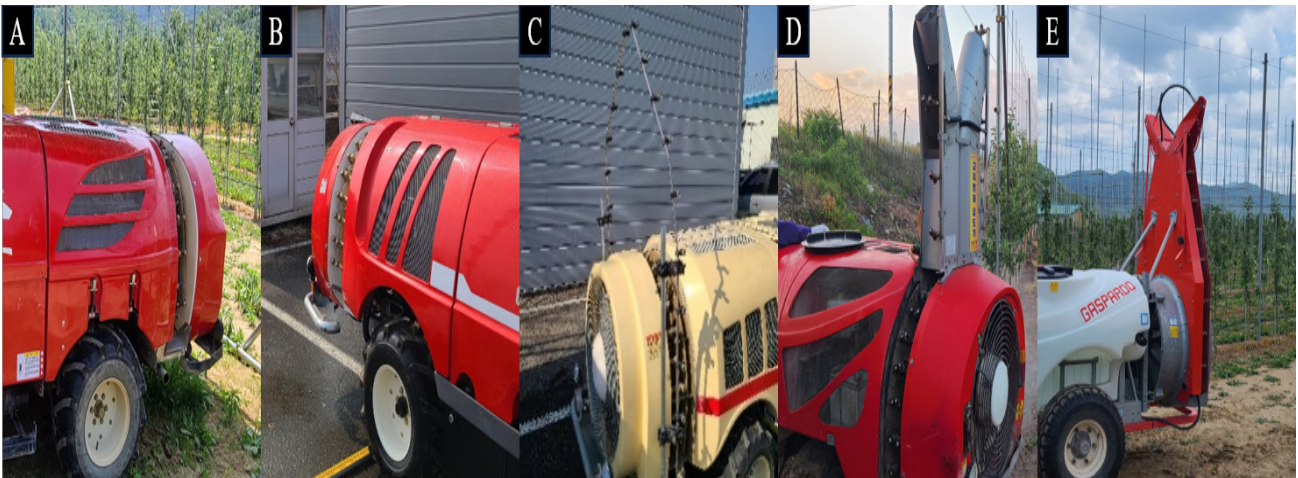


Fig. 3 Air blast sprayers; A, ACS-1000, B, HSC-1000DWII, C, SS-ATOMII-600, D, HA-600WMS, E, FUTURA P11 TGZ.



Fig. 4 Actual spray test progress.

기준에서 수고에 따른 송풍 분포를 측정하였다.

방제기와 약액포집기 간 거리는 독일 및 이탈리아 지역의 방제기 검사 기준을 참고하여 1.6 m 설정하였다(Trillof et al., 2012). 또한 야외의 환경 요인을 최소화하기 위해 시험 시 주변 구조물을 활용하여 바람을 차단하고 최대 풍속이 2 m/s 이하일 때 수행하였다(Fig. 4).

통계처리

본 연구 데이터 분석은 ANOVA 분석 후 사후 검정으로

Tukey의 HSD 검정($p < 0.05$)을 수행하였다. 또한 데이터 포인트의 변동성을 나타내기 위해, 오차 막대(Error Bars)를 사용하여 각 데이터 포인트에는 해당 값의 표준편차(Standard Deviation, SD)를 나타내었다. 이 오차 막대는 각 데이터 포인트의 변동 범위를 나타내며 각 측정값의 변동 범위는 ± 15 mL 수준으로 나타내었다.

결과 및 고찰

약액포집기

약액포집기는 연구 사항과 특성에 따라 다양하게 제작되며 특히 분무, 송풍, 노즐 등 방제 요인에 따른 특성을 분석하는데 이용한다(Balsari et al., 2007; Gill et al., 2007). 특히 약액포집기는 단순히 방제기의 설계와 보정을 위한 실험뿐만 아니라 실제 과원의 수관과 비교하여 평가하는데 사용한다(Gill et al., 2013). 본 실험에서 제작한 약액포집기는 최대 수고 5 m, 최대 수집관 높이 4.8 m로 구성하고, 수집관 면적을 200 mm로 제작하여 우리나라 고밀식수형인 키큰방추형을 나타내어 우리나라 밀식재배체계에 맞춘 방제기 특성을 분석할 수 있도록 하였다. 또한 최근 약액포집기의 휴대성과 활용성이 강조되는 것을 감안하여 수집관 및 기타 장비의 탈부착 등을 가능하게 하여 이동성과 확장성을 높였으며, 이를 통해 다양한 과원의 방제 계획 수립 시 적절한 도움을 줄 수 있도록 하였다.

수고 별 분무 양상

약액포집기를 이용하여 각 RPM에 따른 방제기의 분무 양상을 나타낸 그래프는 다음과 같다(Fig 5).

방사형 방제기인 ACS-1000의 분무 양상을 살펴보면,

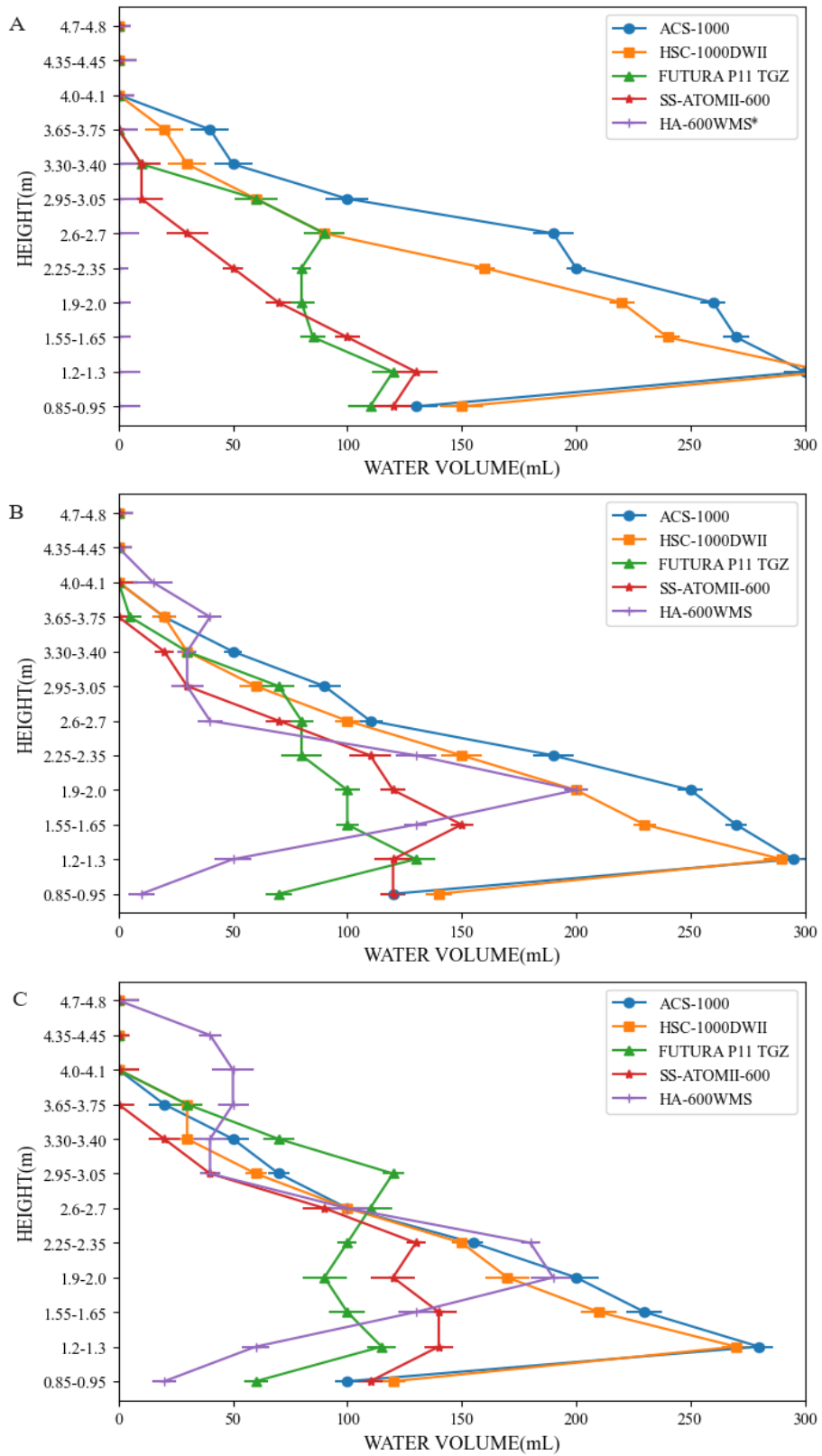


Fig. 5 Display of the spray volume vertically collected by the patternator according to different RPM of air blast sprayers; A, 1,200 RPM, B, 1,500 RPM C, 2,000 RPM.

*Unable to control RPM due to mechanical problems.

모든 RPM의 1.2-1.3 m 구간에 가장 많은 물량이 포집됐고, 1.55-1.65 m부터 물량이 꾸준히 감소하여 4.0 m 이상에서는 거의 포집되지 않았다. 또다른 방사형 방제기인 HSC-1000DW II도 앞선 ACS-1000과 비슷하게 모든 RPM의 1.2-1.3 m 구간에서 가장 많은 물량이 포집되었고, 이후 급격한 감소세를 나타내며 4.0 m 이상에서는 거의 포집되지 않았다. 노즐배치를 타워형을 배치한 SS-ATOM II-600는 높이에 따른 물량의 격차가 확연히 적으며, 1,500 RPM 및 2,000 RPM에서는 1.2-1.3 m ~ 2.25-2.35 m 구간이 비교적 일정한 물량이 포집된 것을 확인할 수 있었다. 타워형 방제기인 FUTURA P11 TGZ는 모든 RPM에서 높이 별 포집되는 물량의 격차가 상대적으로 적었으며, 특히 1.2-1.3 m ~ 2.95-3.05 m 구간까지 비교적 일정한 물량 포집을 보였다. 또한 모든 RPM 및 모든 구간에서 포집된 최대 물량이 약 130mL로 측정되었다. 방사형과 타워형의 특성을 모두 가진 HA-600WMS의 경우 1,200 RPM에서는 방제기의 엔진 출력 저하 문제로 인하여 물량 측정이 불가하였으나, 1,500 RPM과 2,000RPM에서는 1.9-2.05 m 구간에서 가장 많은 물량 포집을 확인하였다. 이후 다른 방제기 형태에 비해 3.65-3.75 m 구간에서부터 많은 물량이 포집되었으며, 특히 2,000 RPM의 경우 4.35-4.45 m 구간에서 많은 물량이 포집되는 양상을 보였다.

방사형 방제기인 ACS-1000와 HSC-1000DW II의 경우 타워형의 방제기에 비해 구간에 따라 급격하게 차이가 나타나며, 불균일한 포집 분포를 보였다. 특히 모든 RPM에서 약액포집기의 하단부분인 1.2-1.3 m 구간에 가장 많은 분무량이 포집된 후 꾸준히 감소하였다. 그에 비해 타워형 방제기 형태인 FUTURA P11 TGZ 및 SS-ATOM II-600는 구간 별 차이가 비교적 적은 안정된 포집량이 나타났다. 이는 Bruce(2020)의 연구에서도 나타나듯이 타워형 노즐 배치는 수관 전체에 고르게 약량을 분포하도록 하는 특징을 지닌다는 것을 확인하였다. 이러한 방사형 및 타워형의 노즐 배치 특징은 HA-600WMS의 결과값을 통해서도 확인할 수 있는데 물량 별 구간 하단부의 경우 방사형 방제기의 특징을

나타내고, 상단부의 경우 타워형 방제기의 특징을 나타내 두 가지의 분무 양상 특성을 띄고 있는 것을 볼 수 있다.

총 포집 물량 및 분사 압력

약액포집기로 진행된 RPM 별 총 수집 물량과 분사 압력은 다음과 같다(Table 3).

ACS-1000 및 HSC-1000DW II의 방사형 방제기의 경우 1,200 RPM에서 가장 많은 물량 포집인 1,540 mL와 1,280 mL를 나타내고, 이후 감소하여 2,000 RPM에서는 1,305 mL와 1,200mL를 기록하였다. ACS-1000는 모든 RPM 및 방제기 중 가장 많은 물량 포집을 나타냈다. 타워형 방제기로 개조한 SS-ATOM II-600은 RPM 증가에 따라 총 포집된 물량도 증가하였으며, 1,200 RPM에서는 가장 적은 총 포집물량을 보였다. FUTURA P11 TGZ는 2,000 RPM에서 모든 방제기 형태 중 가장 적은 양의 물량 포집을 나타냈다. 방사형 및 타워형을 조합한 HA-600WMS의 경우 1,500 RPM에서 가장 적은 포집량을 나타냈고, 2,000 RPM에서도 방사형 방제기와 타워형 방제기의 중간 포집량 값을 확인하였다.

이처럼 총 포집량에서는 방사형 방제기가 타워형 방제기에 비해 RPM에 따라 약 2배에 이르는 많은 물량이 포집되었으며, 타워형 방제기는 상대적으로 적은 양의 물량 포집을 보였다. 이러한 포집 물량 차이는 노즐 개수가 방사형 방제기가 상대적으로 더 많이 장착되는 등 동일한 RPM이라 할지라도 방사형 방제기의 분사 출력 성능이 높을 것으로 보인다. 다만 방사형 방제기에서는 RPM이 높아질수록 총 포집 물량이 조금씩 떨어지는 모습을 확인할 수 있는데 이는 고밀식 사과재배수형에서 단가지 형성에 착안하여 설계한 포집 약액판이 크고 넓지 않아 RPM에 증가에 강한 송풍 등으로 인해 분사된 약액이 포집 양보다 더 많이 비산된 것으로 추측된다. 이처럼 방사형 방제기는 정확한 목표를 맞추는 능력이 떨어지는 것으로 평가받으며(Bruce, 2020), 본 실험에서도 밀식재배체계의 수형에 비해 크고 넓은 수관에 적합한 것으로 판단된다.

Table. 3 Difference in total water volume(mL) and pressure(Mpa) of sprayer according to RPM.

RPM	Total water volume(mL)					Pressure(Mpa)				
	ACS-1000	HSC-1000DWII	FUTURA P11 TGZ	SS-ATOMII-600	HA-600WMS	ACS-1000	HSC-1000DWII	FUTURA P11 TGZ	SS-ATOMII-600	HA-600WMS
1,200	1,540	1,280	635	520	-	1.8	2.0	1.0	1.1	-
1,500	1,395	1,230	665	740	660	2.0	2.2	1.3	1.6	1.7
2,000	1,355	1,215	795	805	900	2.2	3.0	1.8	2.2	2.1

1,200 RPM, 1,500 RPM, 2,000 RPM에 따른 각 방제기 별 분사 압력 결과를 살펴보면 전반적으로 방사형 방제기(ACS-1000, HSC-1000DW II)의 분사 압력이 높으며, 특히 HSC-1000DW II의 경우 2,000 RPM일 때 3 Mpa의 분사 압력을 나타냈고, 1,200 RPM과 1,500 RPM에서도 가장 높은 분사 압력을 보였다. FUTURA P11 TGZ는 모든 RPM에서 가장 낮은 분사 압력을 나타냈다. SS-ATOM II-600도 1,200 RPM에서는 FUTURA P11 TGZ와 비슷한 1.1 Mpa를 기록하였으나 2,000 RPM의 경우 ACS-1000과 같은 2.2 Mpa의 압력을 기록하였다. HA-600WMS의 경우 비슷한 제원을 갖고 있는 SS-ATOM II-600과 유사한 분사 압력 특징을 보였다.

분사 압력에서는 방제기 형태에 따른 차이보다 국내 방제기와 해외 방제기의 차이를 살펴볼 수 있다. FUTURA P11 TGZ를 제외한 국내 방제기의 경우 2,000 RPM에서 모두 2.0 MPa 이상을 기록하였고, 타 RPM에서도 국내 방제기의 분사 압력이 높게 나타났다. 이는 처음부터 타워형으로 제작된 FUTURA P11 TGZ와는 달리 SS-ATOM II-600과 HA-600WMS는 국내에서 생산된 방사형 방제기의 특징을 갖고 있기 때문이며, 특히 방사형 방제기는 크고 넓은 수관을 가진 과수를 위해 설계된 형태이기 때문에 타워형 방제기에 비해 분무 시 압력이 더 크다(Fox, 2008). 또한 공시 방제기 중 가장 근래에 제작된 HSC-1000DW II는 2,000 RPM에서 3.0 Mpa의 분사 압력이 나타난 것으로 보아 여전히 국내에서는 고출력 및 고압력을 지닌 방제 형태를 선호하는 것으로 사료된다. 고출력, 고압력은 방사형 방제기에서 분무 시 나무 수관 전체와 상단부까지 충분한 약액이 묻도록 하기 위함이다. 그러나 이처럼 높은 분사 압력의 경우 오히려 더 많은 비산을 일으킬 뿐 아니라 오히려 상단부에 약액이 묻지 못하는 경우가 발생한다(Alcides et al., 2010). 이처럼 해외에서는 밀식사과원에서 높은 분사압력 사용에 대한 연구가 이루어졌으나, 국내의 경우 방제기용 노즐과 분사 압력에 대한 체계적인 자료가 부족하고 특히 이를 이용한 농약 검증이 잘 이루어지지 않고 있다. 이에 사과원 방제 시 사용되는 분사 압력과 노즐에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

송풍 수직 분포 양상

송풍 수직 분포 양상에 대한 결과는 다음과 같다(Fig. 6).

1,200 RPM을 기준으로 각 방제기 별 송풍 수직 분포를 측정한 결과, ACS-1000의 경우 1.2-1.3 m 구간부터 좌우 송풍 차이를 확인할 수 있었는데 좌측 방향의 송풍이 우측 방향보다 상대적으로 강한 것으로 나타났다. 또다른 방사형 방제기인 HSC-1000DW II도 좌우 송풍 차이가 확인되었고,

특히 방제기 좌측 방향의 송풍이 상대적으로 강했다. 이러한 차이는 구간에 따라 최대 3.1 m/s까지 나타났다. 또한 우측 일부 구간에서는 순차적인 송풍 수직 분포를 보이지 않고 송풍의 영향을 더 많이 받는 하단부가 상단부보다 낮은 송풍 역전 현상을 보였다. FUTURA P11 TGZ는 우측 방향의 송풍이 상대적으로 조금 더 강한 것으로 보이나, 최대 1.0 m/s 차이를 나타내는 등 앞선 방제기보다 좌우 송풍의 차이가 적고 고른 것으로 나타났다. 또한 송풍 역전 현상과 특정 구간에 따른 급격한 저하 현상이 발생하지 않았다. SS-ATOM II-600의 HSC-1000DW II 및 ACS-1000과 비슷한 형태의 송풍 수직 분포를 보였다. 특히 1.2-1.3 m 구간에서는 좌우 송풍의 차이가 약 3 m/s 이상의 결과를 나타냈다. HA-600WMS도 FUTURA P11 TGZ를 제외한 나머지 방제기와 비슷한 형태의 송풍 수직 분포가 나타났다.

송풍 수직 분포에서는 송풍 설계 방식에 따른 차이를 볼 수 있었다. 특히 FUTURA P11 TGZ를 제외한 국내 방제기는 좌우 송풍 및 구간 별 송풍 수직 분포에 대한 차이가 발생했으며, 일부의 경우는 송풍 역전 현상이 보였다. 그러나 FUTURA P11 TGZ의 경우 방사형(Axial)을 사용하는 국내 방제기와 달리 접선유입식(Tangential)의 특성으로 타워형 방제기의 팬 설계가 상하좌우로 균일하게 팬의 송풍을 보내는 구조로 이루어졌기 때문에 볼 수 있다(Salyani et al., 2000). 반면 SS-ATOM II-600, HA-600WMS의 송풍 구조는 기존 방사형 방제기와 동일하기 때문에 FUTURA P11 TGZ와 같은 송풍 분포를 나타낼 수 없었던 것으로 보인다. 이러한 송풍 형태의 차이는 방제 시 많은 영향을 미치는데 Trillof(2013)는 수관에 따라 송풍 흐름(Air flow)을 적절하게 조절할 경우, 과원 내 전체 살포 물량을 감소시킬뿐 아니라 때에 따라 농약 비산을 최대 96 %까지 줄일 수 있다고 분석하였다.

결과 도식화

다음은 방제기 형태에 따른 분무 양상 결과를 도식화 하였다(Fig. 7). 본 약액포집기의 실험 결과를 토대로 5 m의 키큰방추형을 가정할 때, 수고를 1 m 마다 구분하여 방제기 형태 특성 별 분무 양상 비율을 나타냈으며, 타워형 방제기는 FUTURA P11 TGZ, 방사형 방제기는 ACS-1000을 모델로 표현하였다. 방제기 운용 조건이 동일하다고 가정할 때, 타워형 방제기는 0~1 m 구간은 약 2.9 %, 1~2 m는 약 17.3 %로 확인되었다. 2~3 m 구간은 약 56.3 %로 가장 높게 나타났으며, 3~4 m 구간이 23.6 %, 4~5 m 구간이 1.5%로 나타났다. 방사형 방제기의 경우 0~1 m 약 2.9 %, 1~2 m는 약 50.9 %, 2~3 m는 약 31.8 %로 분석되었으며, 3~4 m는 약 4.4 %, 4~5 m는 약 1.4 %로 나타났다. 타워형 방제기는 1~4 m 구간에 약

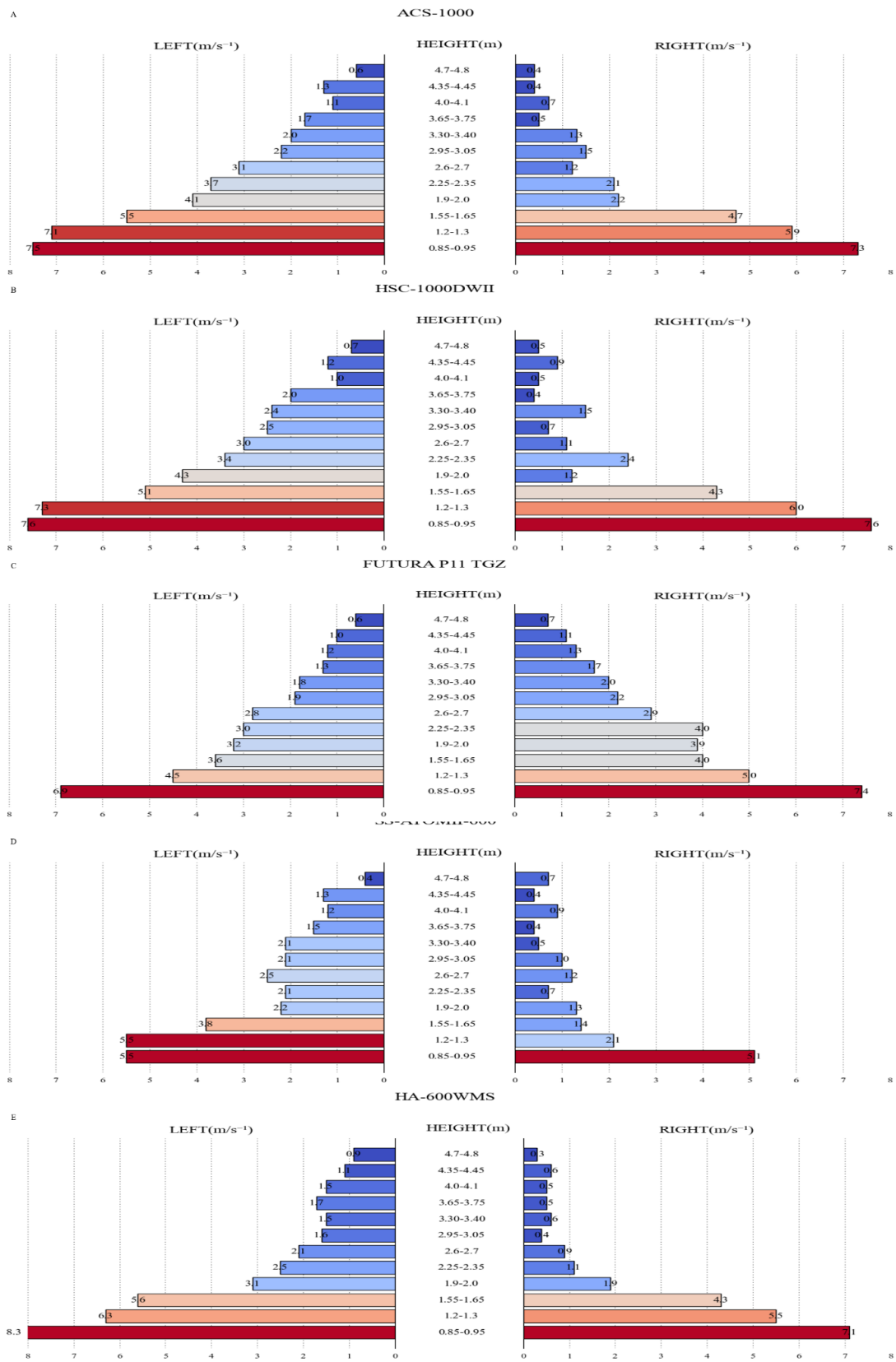


Fig.6 Display of vertical wind speed(1,200 RPM-A, B, C, D and 1,500 RPM-E) of air blast sprayers.

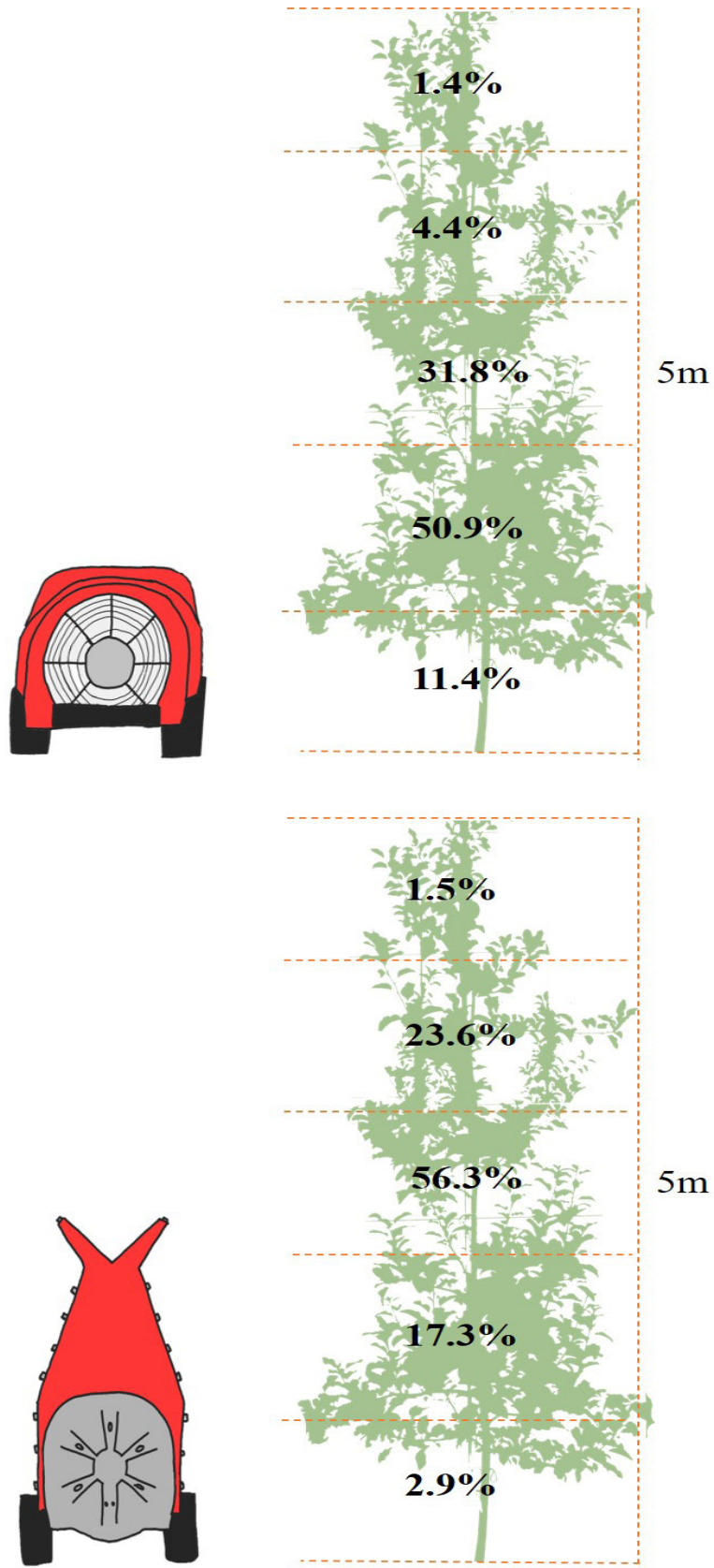


Fig.7 Airblast sprayer actual prediction (%) according to the vertical patternator measurement results (upper : axial; lower : tower).

95 % 정도를 살포하는 반면, 방사형 방제기는 0~3 m 구간에 약 92 %를 살포하는 것으로 확인되었다. 이처럼 동일한 방제기 운용일 때, 타워형 방제기가 나무 수관 전체에 약액이 고루 살포되어 수목이 좁은 밀식 사과원에서는 보다 효율적인 농약 살포가 가능할 것으로 판단된다.

본 실험은 약액포집기를 이용해 국내 방제기의 노즐 배치에 따른 분무 형태를 중심으로 분무 양상을 포함한 송풍 및 분사 압력 등을 살펴보았다. 특히 국내 방제기의 특성과 지금까지 검증되지 않았던 타워형 노즐로 개조된 국내 방제기에 대한 평가를 진행함으로써 현재 국내 밀식사과재배체계에서 활용 가능성을 확인하였다. 그러나 최근 정밀 방제 등 보다 세밀하고 정확한 방제 방안이 요구되는 만큼 분사 압력을 비롯한 주행 속도, 노즐의 분무 특성 등 다양한 방제 요인에 대한 추가적인 검증이 필요하며, 특히 실제 밀식 사과원에서 진행한 현장 검증 등이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

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>

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

Alcides P, Sergio B, Jorge M, Germán C, 2010. Effect Of Pressure On The Quality Of Pesticide Application In Orchards. ChileanJAR 70(4):674-678

Balsari P, Marucco P, 2004. Sprayer adjustment and vine canopy parameters affecting spray drift: the Italian

experience. Proc International Conference on Pesticide Application for Drift management. pp 109-115

Bondesan, D, Rizzi C, Ianes P, Angeli G, Bassi R, Dalpiaz A, Iorlatti, C, 2013. Towards integration of inspection procedures, calibration and drift reducing devices for an efficient use of pesticides and reduction of application impact. JKA 439:135-139

Bondesan D, Rizzi C, Giuliani G, Angeli G, Ioriatti C, 2012. Technical solutions to reduce drift of pesticides in apple orchards of Trentino. JKA 439:224-227

Bruce Browne MS, WollongMpa, 2020. Avoiding spray drift from air-blast sprayers in vine and tree crops. NSW Department of Primary Industries, Sydney, Australia, pp 1-8

Calumpang SMF, 1996. Exposure of four filipino farmers to parathion-methyl while spraying string beans. PMC 46:93-102

Choi BH, Kim CS, Jeong YJ, Jeon JH,Shin BY,Yoon TM, 2023. Configuration of the Tree Shape in a Bi-axis Apple Orchard using ‘Fuji’/M.9 Grafted Plants – Tree Growth and Productivity during Early Years According to the Planting Distance. Horti Sci Technol 41:560-570

Choi DP, Chae Hs, Kim HC, Lee KS, Choi WJ, Lee HG, Kim, KS, 2018. A Study on the Farmers’ Safety Management Levels according to Their Pesticide Exposure by Farming Type in South Korea. Korean J Community Living Sci 29:617-625

Christian D, Anne G, Thekla AP, 2020. Applikationstechnik im Obst- und Weinbau. Beratungsring, South Tyrol, Italy, pp 5-21

Cross J, Balsari P, Doruchowski G, Douzals JP, Herbst A, Marucco P, Nuyttens D, Walklate P, 2013. Orchard spray application in Europe – state of the art and research challenges. In IOBC-WPRS Bulletin: 8th International Conference on Integrated Fruit Production 91:465-475

Derksen RC, Gray RL, 1995. Deposition and air speed patterns of air-carrier apple orchard sprayers. ASAE 38:5-11

Deveau J, 2015. Airblast 101: a handbook of best practices in airblast spraying. Available via http://sprayers101.com/wp-content/uploads/2016/04/43656_OMAFRA_2015_Airblast_101_eBook_a8-FINAL.pdf. Accessed 01 April 2021

- Dorigoni A, 2016. Innovative fruit tree architecture as a nexus to improve sustainability in orchards. *Acta Hort* 1137:1-10. doi:10.17660/ActaHortic.2016.1137.1
- Fox RD, Derksen RC, Zhu H, Brazee RD, Svensson SA, 2008. A history of air-blast sprayer development and future prospects. *ASABE* 51:405-410
- Ganzelmeier H, Wehmann HJ, 2005. First European workshop on standardized procedure for the inspection of sprayers in Europe. *EPPA Bulletin* 35:245-248
- Gil E, Badiola J, 2007. Design and verification of a portable vertical patternator for vineyard sprayer calibration. *ASABE* 23:35-42
- Gil E, Landers A, Gallart M, Llorens J, 2013. Development of two portable patternators to improve drift control and operator training in the operation of vineyard sprayers. *SJAR* 11:615-625
- Grella M, Miranda FA, Marucco P, Balsari P, 2020. Field assessment of a newly-designed pneumatic spout to contain spray drift in vineyards: evaluation of canopy distribution and off-target losses. *PMS* 76:4173-4191
- Han YH, 2013. Feasibility study for low volume spray in apple orchard. Chungnam Nat'l Univ, Daejeon, Korea
- Hendrickx N, Goossens T, Melese Endalew A, Dekeyser D, Nuyttens D, Verboven P, 2012. Assessment of orchard sprayers using field trials. *AAB* 114:405-412
- Jeon HW, Hong SM, Hyun JW, Hwang RY, Kwon HY, Kim TK, Cho NJ, 2016. Deposit Amounts of Dithianone on Citrus leaves by Different Spray Methods. *KJPS* 20:1-6
- Kang TG, Lee DH, Lee CS, Kim HJ, Chung SJ, 2000. Electrostatic Sprayer of Agricultural Chemicals. *KSAM* 3:811
- Kang TG, Lee DH, Lee CS, Kim SH, Lee GI, Choi WK, No S, 2004. Spray and Depositional Characteristics of Electrostatic Nozzles for Orchard Sprayers. *KSAM* 29:21-18
- Kasner E, Fenske R, Hoheisel G, Galvin K, Blanco M, Seto E, Yost M, 2018. Spray Drift from a Conventional Axial Fan Airblast Sprayer in a Modern Orchard Work Environment. *Ann Work Expo Health* 62:1134-1146
- Keen RM, 2010. Development of a low-cost vertical patternator. Available via <http://www.patternator.com/index.html> Accessed 25 April 2022
- Kim MS, Hong SM, Hyun JW, Hwang RY, Kwon HY, Lee HS, Moon BC, 2017. Comparison of Citrus Leaves Adhesion and Operator Exposure of Fungicide Dithianon by Different Spraying System. *KJPS* 21:131-138
- Kim SS, Kwon H, Lee KS, 2017. Study of Water Volume Standard for Pesticide Application with LWA, Leaf Wall Area. Model in Apple Orchard. *KJPS* 21:114-122
- 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 H, Hong SM, Kim SS, Paik MK, Lee HS, Kim DB, Moon BC, 2017. Survey of Planting System and Pesticide Spray Method on Apple Orchards in Korea. *KJPS* 21:9-16
- Landers A, 2011. Improving Spray Deposition and Reducing Drift - Airflow Adjustment Is The Answer. *NEW YORK FRUIT QUARTERLY* 19:3-6
- Larbi PA, 2019. Understanding Effective Citrus Spray Application through Computer Simulations. University of California Agriculture and Natural Resources, California, USA
- Law SE, Cooper SC, 1988. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carrier sprayer. *ASAE* 31: 984-989
- Lee SW, Kim DA, Choi KH, Jeong JK, 1999. Investigation of control efficiency by pesticide spraying methods in apple orchard. *Horticultural Research Report*: 361-364.
- 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* 25:196-203
- Lesnik M, Stajniko D, Vajs S, 2015. Interactions between spray drift and sprayer travel speed in two different apple orchard training systems. *IJEST* 12:3017-3028
- 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
- McCoy ML, Hoheisel GA, Khot LR, Moyer MM, 2021. Assessment of three commercial over-the-row sprayer technologies in eastern washington vineyards. *AJEV* 72:217-229
- Moon SH, Kwon H, Hong SM, Kim SS, Son KA, Lim CH, 2016. Comparison of Pesticide Residue Amounts in Apple Trees Applied by Different Sprayers and Spray Volumes. *KJPS* 20:264-270

- Nuyttens D, De Schampheleire M, Baetens K, Sonck B, 2007. The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. *ASABE* 50(4): 1129–1140
- Park IH, Han SG, Yoon TM, Kim CS, Jeong YJ, Jeon JH, 2022. Evaluation of Multi-leader Training Systems Versus the Slender Spindle in Apple Trees: Growth and Productivity in Young Ages. *Hortic Sci Technol* 40:48–48
- Pergher, G, 2004. Field evaluation of a calibration method for air-assisted sprayers involving the use of a vertical patternator. *J Crop Prot* 23:437–446
- Pergher G, Balsari P, Cerruto, E, Vieri M, 2002. The relationship between vertical spray patterns from air-assisted sprayers and foliar deposits in vine canopies. *J Crop Prot* 66:323–330
- Potts, SF, 1946. Particle size of insecticides and its relation to application, distribution, and deposit. *J Econ Entomol* 39:716–720
- Rawn DF, Quade SC, Shields JB, Conca G, Sun WF, Lacroix GM, Smith M, Fouquet A, Bélanger A, 2007. Variability in captan residues in apples from a Canadian orchard. *Food Addit Contam* 24:149–155
- Rebel P, 2019. Optimizing pesticide spraying in high density apple orchards in South Africa, using *Venturia inaequalis* as model pathoge Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa
- Ryu JC, Shin YB, 1995. A Study on the Apple Production of Kyungpook Region and Regional Comparison between other regions of Korea. *J Argri Life Environ Sci* 13:55–64
- Sagong DH, 2007. Productivity, Growth Control and Fruit Quality Improvement in High Density Apple Orchards. Kyungpook Nat'l Univ, Daegu, Korea
- Sandra H, 2006. Information on Pesticide Issues. NSW Department of Primary Industries, NWS, Australia
- Sehsah ES, 2019. Vertical patternator for evaluation of the hydraulic sprayers. *MJAE* 33:1239–1254
- 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
- Świechowski W, Godyń A, Hołownicki R, Doruchowski G, 2013. Calibration of orchard sprayers – the parameters and methods. *JKA* 439: 140–144
- Toews B, Friessleben R, 2012. Dose Rate Expression—Need for Harmonization and Consequences of the Leaf Wall Area Approach. *Erwerbs-Obstbau* 54–49
- Travis JW, Skroch WA, Sutton TB, 1987. Effects of travel speed, application volume, and nozzle arrangement on deposition and distribution of pesticides in apple trees. *Plant Dis* 71:606–612
- Trillof P, Knoll M, Lind K, Herbst E, Kiesinger S, 2012. Verlustarm sprühen—Die wissenschaftliche basis. *Obstbau weinbau, South Tyrol, Italy*, pp 378–382
- Trillof P, Lind K, Knoll M, 2013. Low-loss spraying. *JKA* 439:122–126
- Xun L, Campos J, Salas B, Fabregas FX, Zhu H, Gil E, 2023. Advanced spraying systems to improve pesticide saving and reduce spray drift for apple orchards. *Precis Agric* 24:1526–1546
- Yang SJ, Park MY, Song YY, SaGong DH, Yoon TM, 2010. Evaluation of Early Productivity of High Density 'Fuji' Apple Orchards by Planting Well-feathered Trees/M.9 EMLA. *Hortic Sci Technol* 28:374–380
- 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* 9–30
- Yoon TM, 2004. Development of High Density Apple Growing in Europe and Korea. *Hortic Sci Technol* 28 : 79–97
- Yoon TM, Han SG, Park IH, 2023. Concept and Prospect of Two-Dimensional Orchard System. *Hortic Sci Technol* 41:47–48
- Yun TY, 2020. Development of the vertical boom sprayer for orchard, Kyungpook Nat'l Univ, Daegu, Korea

밀식 사과원에서 효율적인 농약 살포를 위한 고속방제기 별 분무 및 송풍 양상 비교

전중훈 · 신배연 · 김승환 · 윤태명*
경북대학교 원예과학과

요 약 밀식재배체계로 빠르게 변화하는 국내 사과재배체계에 맞춘 적합한 방제기 및 방제기 특성을 살펴보기 위해 키큰방추형을 본 따 제작한 약액포집기를 활용하여 국내에서 이용되는 여러 방제기의 형태 및 특성에 대한 분무 양상 검증을 진행하였다. 약액 분무 형태 평가는 1,200 RPM, 1,500 RPM, 2,000 RPM으로 진행하였으며, 방사형 노즐 배치를 가진 방제기는 모든 RPM에서 타워형 방제기에 비해 1 m구간의 하단부에 많은 약액이 집중되는 현상을 나타냈다. 동일한 RPM에서 방제기 형태 별 노즐 압력을 비교하였을 때, 국내 방제기는 대부분 높은 분사 압력을 보인 반면, 해외에서 수입된 방제기는 가장 낮은 분사압력을 나타냈다. 송풍 수직 분포는 송풍 구조 설계 방법에 따라 분포의 차이가 나타났다. 결론적으로 국내 밀식사과재배체계에서는 노즐 배치를 타워형으로 개선하는 것이 적합할 것으로 사료되나, 송풍 및 분사 압력 등 종합적인 연구와 실제 밀식 사과원 현장 검증 등이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

색인어 비산, 과수 방제기, 스피드스프레이어, 타워형 방제기, 약액 포집기