



ORIGINAL ARTICLES

## 항공살포 농약의 제형 및 노즐에 따른 비산 특성

노현호\* · 김창조 · 문병철 · 김택겸 · 김단비 · 오민석 · 최달순 · 김유용<sup>1</sup> · 송호성<sup>1</sup> · 경기성<sup>2</sup>

국립농업과학원 화학물질안전과, <sup>1</sup>국립농업과학원 재해예방공학과, <sup>2</sup>충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학학과

## Drift Patterns of Aerial Spraying Pesticide Caused by Formulations and Nozzles

Hyun Ho Noh\*, Chang Jo Kim, Byeong-chul Moon, Taek-Gyum Kim, Danbi Kim, Min-Seok Oh, Dal-Soon Choi, Yu Yong Kim<sup>1</sup>, Ho-Sung Song<sup>1</sup>, Kee Sung Kyung<sup>2</sup>

Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>1</sup>Disaster Prevention Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

(Received on August 24, 2020. Revised on September 12, 2020. Accepted on September 14, 2020)

**Abstract** This study was carried out to measure the drift distance by wind speed according to the formulation and nozzle that affect the drift of aerial spraying, by predicting the drift distance based on this and to provide basic information on the drift reduction method of aerial spraying pesticides. The test formulations were suspension concentrate (SC) and suspo-emulsion (SE), which are mainly used as aerial spraying pesticides in Korea, and the test was conducted using blank formation. The drift distance was measured by calculating coverage of water sensitive paper. The test formulations were diluted 16 times and sprayed at wind speed of 0 (calm status), 1, 2, and 3 m/s in the wind tunnel using BLDC water pump. The nozzles used in the test were XR11002 and DG11002. The test results showed that strong wind led to further drift and SE tended to drift farther than SC. In addition, diluents sprayed with XR11002 nozzle tend to drift farther than those sprayed with DG11002 nozzle. The equation of dissipation curve according to coverage of water sensitive paper at a wind speed of 2 m/s was obtained to predict drift distance. The results also showed the furthest drift tendency when spraying SE using XR11002 nozzle. Therefore, it is important to select a nozzle with a large droplet and to spray pesticides in the early morning hours when the wind speed is weak. It was judged that efforts to spray pesticides with caution were needed because drift patterns may vary depending on the formulation and nozzle.

**Key words** pesticide formulation, nozzle, aerial spraying, drift, wind tunnel

### 서론

우리나라 농업현장에서 농약 노출 등의 우려로 농업인이 가장 기피하는 농작업은 병해충 및 잡초 방제이며, 고령화 및 부녀화가 가속됨에 따라 일손 부족 현상이 심화되고 있

는 상황이다. 이에 대한 대안으로 항공방제가 도입되어 활발하게 활용되고 있다(Jin et al., 2008). 미국과 호주 같이 경작지 면적이 넓은 국가에서는 경비행기 및 유인헬기 등을 이용하여 방제 작업을 하고 있다(Park et al., 2014). 하지만 우리나라의 경우 경지면적이 작고 산악지형인 특성으로 경비행기와 같은 유인항공기 적용에 한계가 있다. 그 대안으로 우리나라에서 활용하고 있는 것이 농업용 무인헬기와 무인멀티콥터이다. 특히 농업용 무인멀티콥터는 방제효율이 인력보다 100배 높고 관행 살포기보다 30배 높다는 보고

Co-first author : Hyun Ho Noh and Chang Jo Kim

\*Corresponding author  
E-mail: noh1983@korea.kr

(Qing et al., 2017)와 같이 방제작업에 소요되는 인력과 시간을 획기적으로 단축할 수 있으며, 작업자가 경작지 안으로 들어가지 않고 공중으로 접근하여 방제하기 때문에 농약 노출과 작물 훼손을 최소화할 수 있다는 장점(Choi et al., 2018)이 있다. 이러한 장점과 4차 산업혁명 시대의 도래가 맞물려 농업용 무인멀티콥터는 급속도로 보급되고 있는 상황이다. 또한 농업용 멀티콥터는 많은 운용비용이 발생하고 대규모 경작지에 적용할 수 있는 농업용 무인헬기의 단점을 극복할 수 있는 대안으로 급부상하고 있다(Noh et al., 2020).

하지만 항공살포에 의한 농약 비산으로 허용되지 않은 농약이 주변작물에 비의도적으로 잔류할 수 있으며(Schaafsma et al., 2017), 이러한 잔류수준이 2019년 1월 전면 시행한 농약허용물질관리목록제도(positive list system, PLS)의 일률기준인 0.01 mg/kg을 초과할 경우 분쟁을 초래할 수 있어 비산에 의한 비의도적 농약 잔류문제가 대두되고 있다. 풍속과 풍향은 항공살포 농약 비산에 영향을 미치는 주요 요인으로 알려져 있다(Hobson et al., 1993; Combellack et al., 1996; Baetens et al., 2007). 또한 항공살포에 의한 비산은 농약의 제형과 보조제에 의해 달라질 수 있으며(De Snoo et al., 1998), 살포액적의 크기와 분사형태를 결정하는 노즐에 따라 동일한 조건에서 살포해도 비산패턴이 달라질 수 있다(Hobson et al., 1993). 또한 대기온도가 높고 상대습도가 낮은 경우에는 휘산량이 증가하여 살포액적의 크기가 작아지면서 침강속도를 감소시켜 비산량이 많아질 수 있기 때문에(Hilz and Vermeer, 2013) 살포 당시의 기상 상태에 따라서도 비산 패턴이 달라질 수 있다. 따라서 살포 조건에 따른 비산 특성을 구명하여 비산 저감 방안을 마련하는 것이 중요하다.

우리나라에는 무인항공살포 농약이 벼, 배추 등 12개의 식용작물과 소나무와 잣나무에 등록되어 사용되고 있다. 또한 2020년 7월 현재 171개(살균제: 70개, 살충제: 68개, 제초제: 26개, 살균-살충제: 7개) 제품이 등록되어 사용 중이며, 그 중 재배면적이 가장 넓은 벼에 사용할 수 있는 농약이 116종으로 가장 많다. 제형별로는 액상수화제가 114개로 가장 많이 개발되었으며, 유제(17), 유현탁제(16) 순으로 액상수화제와 유화오일 및 용제를 부차제로 사용하는 제형이 주로 사용되고 있다(NAAS, 2020).

따라서 이 연구는 풍속을 제어할 수 있는 풍동시험장(wind tunnel)에서 농약 제형 및 노즐에 따른 비산 거리를 다양한 풍속에서 측정하여 제형 및 노즐 선택에 의한 비산 저감 방안을 모색하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 시험재료 및 풍동시험

시험에 사용된 제형은 무인항공기용으로 주로 생산되고



Fig. 1. Spraying tool to measure pesticide drift at wind tunnel.

있는 액상수화제와 유현탁제를 선정하였으며, 유효성분이 없는 blank formulation을 (주)팜한농에서 분양받아 사용하였다. 시험노즐은 농업용 무인항공기에 주로 사용되고 있는 TeeJet사(미국)의 XR11002 (XR)와 저비산 노즐로 알려져 있는 DG11002 (DG)노즐을 사용하였다. 풍동시험장의 공간적 제한으로 농업용 멀티콥터를 사용할 수 없어 이를 재현하기 위하여 농업용 멀티콥터에 사용되는 BLDC 펌프(BWP-6093A, 모터뱅크, 한국)와 컨트롤러(BLB-150 DC12-36V, 모터뱅크, 한국)를 구입하여 간이 살포장치를 제작하였으며, 노즐은 농업용 멀티콥터에서 사용하고 있는 노즐 연장대(E610, EFT, 중국)에 장착한 후 이를 실리콘 튜빙을 이용하여 펌프와 연결하였다. 제작된 살포 장치는 Fig. 1에 제시하였다.

자연조건에서는 풍향 및 풍속을 제어할 수 없어 항공살포 농약의 비산 거리를 측정하기에 물리적인 어려움이 있다. 따라서 이 연구에서는 이를 제어하기 위하여 국립농업과학원 농업공학부에서 보유하고 있는 풍동시험장에서 시험을 수행하였다. 보유하고 있는 풍동시험장 시험부 크기는 폭 3 m, 높이 2 m, 길이 15 m이었으며, 최대 20 m/s (난류강도 ≤ 1%)의 바람을 생성할 수 있는 장치이다.

### 비산 측정 방법

무인항공기 살포 농약은 제품에 따라 다르지만 대부분 16배 희석하여 살포하는 것이 지침이기 때문에 이에 준하여 제조하였으며, 「병해충 방제용 무인항공기 안전사용 매뉴얼」의 추천 살포고도인 2 m 높이에 노즐을 설치하였다(Noh et al., 2020). 16배 희석 제품의 안전사용기준은 10 a 당 1.6 L를 살포하는 것으로 이를 풍동시험장 면적인 45 m<sup>2</sup>로 환산하면 72 mL이었으나 이를 정확히 맞춰 살포할 수 없어 살포액은 100 mL로 하였다. 무인항공기 추천 살포속도인 3 m/s로 비행하면 이론상 15 m인 풍동시험장은 5초가

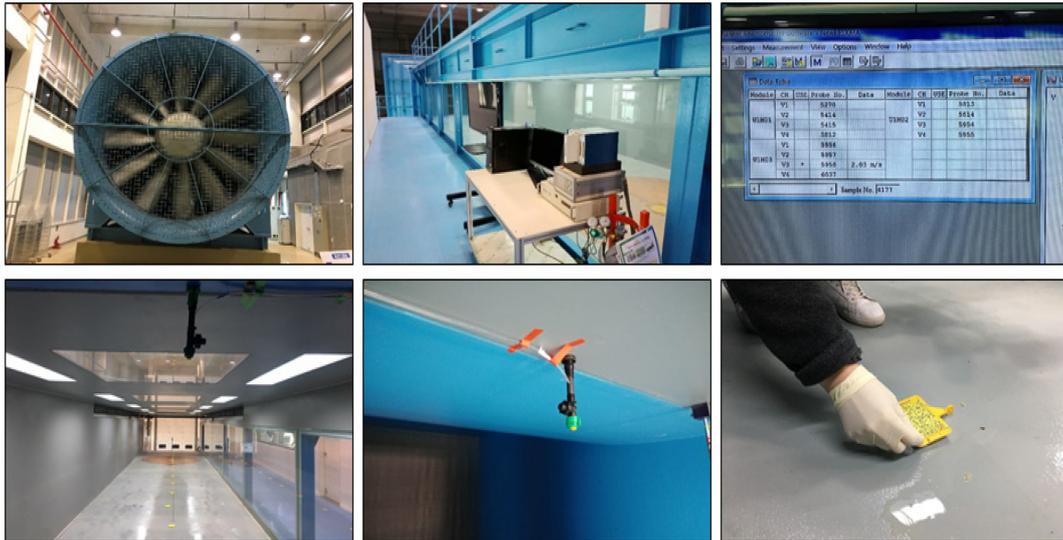


Fig. 2. Scenes of pesticide drift test at wind tunnel.

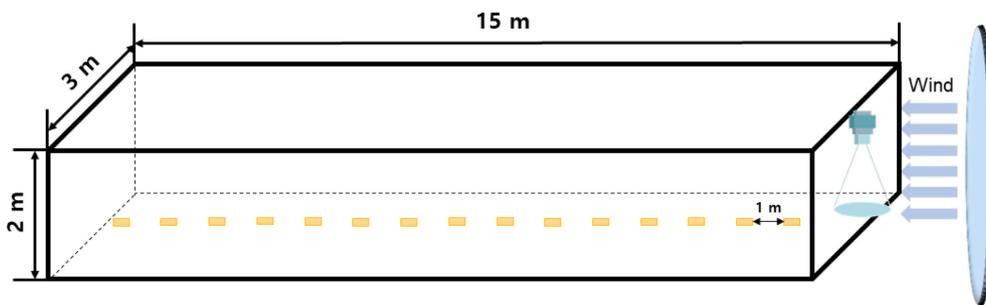


Fig. 3. Schematic diagram of wind tunnel test to measure drift caused by aerial spraying.

걸리기 때문에 이 시간동안 희석액을 살포하였다. 최종적으로 단일노즐 용량은 600 mL/분으로 설정한 후 시험을 수행하였다.

살포농약의 비산거리를 측정하기 위하여 풍동시험장 바닥에 감수지(TeeJet technologies, 스위스)를 살포지점을 기준으로 1 m 간격으로 15 m 지점까지 배치하였다. 살포액은 0 m/s (무풍상태), 1 m/s, 2 m/s 및 3 m/s의 풍속에서 살포한 후 감수지를 수거하는 방법으로 3회 반복 측정하였다. 수거한 감수지는 스캐너(DS-360W, Epson, 중국)를 이용하여 1,200 dpi로 스캐닝하여 jpg 파일로 저장한 후 Kim et al. (2017)의 방법과 같이 ImageJ 1.50 (US National Institutes of Health, Maryland, 미국) 프로그램을 이용하여 도포율(감수지면적 대비 살포입자 부착 면적)을 산출하였다. 또한 예상 비산거리 이격거리별 도포율을 이용하여 작성한 감소곡선식의 감소상수를 이용하여 산출하였으며, 풍동시험 장면 사진을 Fig. 2에 제시하였으며, 모식도를 Fig. 3에 제시하였다.

**통계분석 방법**

이격거리에 따른 감수지 도포율의 유의적인 차이를 통계

적으로 검정하기 위하여 SPSS (ver. 23, IBM Corporation, 미국) 프로그램을 이용하여 일원배치분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 수행하였으며, 분산분석에서 표본 평균 간의 유의적 차이를 Duncan의 다중위검정 (Duncan’s multiple range test, DMRT)을  $p < 0.05$  수준에서 수행하였다. 또한 제형과 노즐간 비산거리 차이의 통계적 분석이 필요한 경우에는 독립표본 t-검정( $p < 0.05$ ) 방법을 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**비산거리 측정 결과**

액상수화제와 유현탁제 희석액을 XR 노즐을 이용하여 동일한 조건에서 살포한 결과 Table 2에 제시한 바와 같이 무풍상태(0 m/s)에서는 도포율의 차이는 있지만 모두 1 m 지점까지 비산되었다. 풍속 1 m/s에서는 모두 9 m 지점까지 비산되었으며, 각 지점별 제형간 감수지 도포율은 대체적으로 유의적인 차이가 없었다(t-test,  $p < 0.05$ ). 3 m/s의 풍속에서는 최대 측정 거리인 15 m에서 각각 14.1 및 14.0%의 도

**Table 1.** Drift distance of suspension concentrate (SC) and suspo-emulsion (SE) with XR11002 nozzle caused by wind speed

Formulation	Wind speed	Mean coverage (% , n=3)														
		Distance from spraying point (m)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Suspension concentrate	0 m/s (Calm)	1.6±0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 m/s	67.7±0.2 <sup>Ba)</sup>	72.4±2.0 <sup>A</sup>	39.6±1.8 <sup>C</sup>	17.9±3.5 <sup>D</sup>	4.4±0.4 <sup>E</sup>	1.0±0.3 <sup>F</sup>	0.7±0.2 <sup>F</sup>	0.5±0.1 <sup>F</sup>	0.1±0.0 <sup>F</sup>	-	-	-	-	-	
	2 m/s	19.8±2.2 <sup>F</sup>	53.8±3.0 <sup>B</sup>	67.3±3.5 <sup>A</sup>	66.0±3.0 <sup>A</sup>	44.2±2.5 <sup>C</sup>	39.6±2.1 <sup>D</sup>	29.4±3.1 <sup>E</sup>	20.1±1.7 <sup>F</sup>	14.3±2.1 <sup>G</sup>	7.8±0.9 <sup>H</sup>	4.8±1.0 <sup>HI</sup>	2.6±0.5 <sup>IJ</sup>	0.7±0.3 <sup>I</sup>	0.2±0.1 <sup>I</sup>	-
	3 m/s	13.2±1.3 <sup>I</sup>	26.8±0.5 <sup>G</sup>	43.7±0.3 <sup>D</sup>	63.6±0.7 <sup>A</sup>	54.3±3.1 <sup>B</sup>	52.5±3.7 <sup>BC</sup>	48.3±3.1 <sup>C</sup>	41.4±6.6 <sup>DE</sup>	38.1±2.7 <sup>E</sup>	32.4±2.6 <sup>F</sup>	25.7±2.1 <sup>GH</sup>	21.9±1.7 <sup>HI</sup>	17.2±2.4 <sup>I</sup>	15.7±2.1 <sup>I</sup>	14.1±1.7 <sup>I</sup>
Suspo-emulsion	0 m/s (Calm)	0.5±0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 m/s	74.4±6.4 <sup>A</sup>	71.9±0.8 <sup>A</sup>	40.8±2.1 <sup>B</sup>	13.1±2.3 <sup>C</sup>	6.4±3.0 <sup>D</sup>	1.7±0.1 <sup>E</sup>	0.9±0.3 <sup>E</sup>	0.4±0.1 <sup>E</sup>	0.2±0.0 <sup>E</sup>	-	-	-	-	-	-
	2 m/s	30.2±2.0 <sup>E</sup>	59.7±2.5 <sup>AB</sup>	62.7±1.3 <sup>B</sup>	58.0±1.3 <sup>AB</sup>	53.7±0.8 <sup>C</sup>	42.5±0.2 <sup>D</sup>	29.8±0.4 <sup>E</sup>	22.3±4.7 <sup>F</sup>	14.0±4.4 <sup>G</sup>	9.3±2.8 <sup>H</sup>	6.9±2.7 <sup>HI</sup>	4.4±0.6 <sup>IJ</sup>	2.9±0.5 <sup>I</sup>	2.0±0.2 <sup>I</sup>	1.8±0.4 <sup>I</sup>
	3 m/s	8.6±1.7 <sup>J</sup>	33.0±6.3 <sup>EF</sup>	50.7±6.3 <sup>ABC</sup>	57.5±5.9 <sup>ABC</sup>	59.0±2.2 <sup>A</sup>	49.2±1.6 <sup>BC</sup>	44.3±4.3 <sup>CD</sup>	36.8±7.9 <sup>DE</sup>	30.8±7.4 <sup>EPG</sup>	27.5±6.5 <sup>EPGH</sup>	26.3±7.2 <sup>F<sup>GH</sup></sup>	22.5±4.7 <sup>GHI</sup>	18.7±4.2 <sup>IJ</sup>	16.3±3.3 <sup>IJ</sup>	14.0±3.7 <sup>IJ</sup>

<sup>a)</sup>Mean in the same row with the different letters are significant different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

**Table 2.** Drift distance of suspension concentrate (SC) and suspo-emulsion (SE) with DG11002 nozzle caused by wind speed

Formulation	Wind speed	Mean coverage (% , n=3)														
		Distance from spraying point (m)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Suspension concentrate	0 m/s (Calm)	1.3±0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 m/s	74.8±2.6 <sup>Aa)</sup>	62.2±1.1 <sup>B</sup>	20.7±2.4 <sup>C</sup>	8.9±0.9 <sup>D</sup>	1.5±0.0 <sup>E</sup>	0.6±0.2 <sup>E</sup>	0.5±0.1 <sup>E</sup>	0.1±0.0 <sup>E</sup>	-	-	-	-	-	-	-
	2 m/s	28.5±0.2 <sup>C</sup>	55.2±1.5 <sup>A</sup>	55.0±2.5 <sup>A</sup>	48.3±1.7 <sup>B</sup>	30.2±0.9 <sup>C</sup>	21.3±0.4 <sup>D</sup>	12.5±0.6 <sup>F</sup>	7.5±0.6 <sup>F</sup>	4.2±0.6 <sup>G</sup>	2.1±0.4 <sup>H</sup>	0.7±0.1 <sup>HI</sup>	0.2±0.1 <sup>I</sup>	-	-	-
	3 m/s	22.4±1.5 <sup>G</sup>	33.6±2.2 <sup>E</sup>	46.0±1.3 <sup>B</sup>	49.1±2.8 <sup>A</sup>	45.1±2.0 <sup>BC</sup>	43.3±0.1 <sup>C</sup>	36.5±0.7 <sup>D</sup>	34.7±1.8 <sup>E</sup>	26.5±1.6 <sup>F</sup>	21.4±0.8 <sup>G</sup>	14.3±1.2 <sup>H</sup>	11.2±0.4 <sup>I</sup>	7.7±0.5 <sup>J</sup>	6.0±0.5 <sup>JK</sup>	4.5±0.4 <sup>K</sup>
Suspo-emulsion	0 m/s (Calm)	1.0±0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 m/s	79.8±4.5 <sup>A</sup>	67.0±5.9 <sup>B</sup>	29.0±3.7 <sup>C</sup>	7.9±0.4 <sup>D</sup>	3.9±0.1 <sup>E</sup>	1.1±0.1 <sup>E</sup>	0.7±0.1 <sup>E</sup>	0.3±0.1 <sup>E</sup>	0.1±0.0 <sup>E</sup>	-	-	-	-	-	-
	2 m/s	41.6±3.6 <sup>D</sup>	64.0±4.7 <sup>A</sup>	65.7±2.3 <sup>A</sup>	58.4±0.3 <sup>B</sup>	47.8±0.7 <sup>C</sup>	31.2±2.3 <sup>D</sup>	19.1±2.2 <sup>E</sup>	14.4±1.2 <sup>F</sup>	7.6±0.4 <sup>G</sup>	4.2±0.3 <sup>H</sup>	2.9±0.8 <sup>I</sup>	1.7±0.3 <sup>I</sup>	1.3±0.3 <sup>I</sup>	1.0±0.1 <sup>I</sup>	0.8±0.1 <sup>I</sup>
	3 m/s	18.0±1.7 <sup>FG</sup>	35.9±2.8 <sup>D</sup>	43.7±2.1 <sup>C</sup>	49.7±3.7 <sup>B</sup>	55.2±1.2 <sup>A</sup>	40.7±2.9 <sup>C</sup>	33.5±3.2 <sup>D</sup>	32.9±2.6 <sup>D</sup>	25.9±4.1 <sup>E</sup>	18.9±2.0 <sup>FG</sup>	18.1±1.1 <sup>FG</sup>	14.7±1.4 <sup>GH</sup>	11.7±0.8 <sup>HI</sup>	9.0±0.7 <sup>I</sup>	7.7±0.7 <sup>I</sup>

<sup>a)</sup>Mean in the same row with the different letters are significant different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

포울을 보여 두 개 제형 모두 그 이상 비산될 것으로 판단되었으며, 15 m 지점의 감수지 도포율은 제형간 유의적인 차이가 없었다(t-test,  $p < 0.05$ ). 2 m/s의 풍속에서 액상수화제는 14 m 지점까지 비산되었지만 유현탁제는 15 m 지점에 평균 1.8%의 도포율로 그 이상 비산될 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 결론적으로 XR 노즐로 농약을 살포하는 경우 풍속이  $\leq 1$  m/s 또는  $\geq 3$  m/s 일때는 두 제형간 비산거리의 차이가 없으며, 2 m/s의 풍속에서는 액상수화제의 비산거리가 짧은 것으로 나타났다.

DG 노즐을 이용하여 액상수화제와 유현탁제를 1 m/s의 풍속에서 살포한 결과 최대 비산 지점은 1 m로 동일했지만 최대 비산 거리는 각각 8 및 9 m로 나타났다. 풍속 2 m/s에서 액상수화제의 최대 비산 거리는 12 m이었으며, 유현탁제는 15 m 지점에서 평균 0.8%의 도포율을 보여 그 이상 비산될 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 풍속 3 m/s에서 살포한 액상수화제와 유현탁제는 15 m 지점에서 각각 평균 4.5 및 7.7%의 도포율을 보여 유현탁제가 더 많이 비산되는 것으로 판단되었다(t-test,  $p < 0.05$ ). DG 노즐을 이용하여 두 제형을 살포한 경우에는 모든 풍속에서 비산거리의 차이가 있는 것으로 나타났다. 결론적으로 노즐과 풍속에 따라 정도의 차이는 있지만 유현탁제가 액상수화제보다 멀리 비산되는 경향을 보였으며, DG 노즐이 XR 노즐보다 비산이 저감되는 것으로 나타났다.

Hilz and Vermeer (2013)는 풍동실험과 소규모 비산실험을 통해 살포액적 크기와 비산량은 유의적인 상관관계가 있다고 보고하였으며, Permin et al. (1992)는 살포액적의 크기가  $150 \mu\text{m}$  이하일 때 가장 많은 비산량을 보인다고 보고하였다. 또한 Hobson et al. (1993)는 직경이  $100 \mu\text{m}$  미만인 액적은 비산되기 쉽다고 보고한 바와 같이 비산을 줄이기

위해서는 살포액적의 크기가 큰 노즐을 선택해야 한다고 판단되었다(Dorr et al., 2013). 하지만 살포액적의 크기를 키우기 위하여 AI (air induction) 노즐을 이용하여 살포한 경우 비산은 저감되었으나 액적 크기 분포와 비산은 관련이 없고 증가된 액적 무게가 비산 감소의 주요한 요인이라는 보고도 있다(Nicetic et al., 2004).

미국 농업엔지니어협회(American Society of Agricultural Engineers, ASAE)에서는 살포액적의 크기에 따라 Table 3과 같이 8개의 카테고리로 구분하고 별도의 문자와 색상으로 코드화하여 관리하고 있다(ASAE, 2009). 이 연구에서 사용된 XR 노즐은 계원상 Fine 카테고리로 살포입자 크기가  $145\text{-}225 \mu\text{m}$ 인 노즐이며, DG 노즐은 Medium 카테고리로 살포입자 크기가  $226\text{-}325 \mu\text{m}$ 인 노즐이었다(ASAE, 2009). 두 노즐 모두 액적에 공기를 인위적으로 주입하지 않고 살포하는 노즐임을 감안하면 액적크기가 클수록 더 무겁기 때문에 동일한 조건에서 살포한 경우 XR 노즐 살포액이 DG 노즐 살포액보다 더 멀리 비산된 것으로 판단되었다. 게다가 또한 제품 카탈로그에 XR 노즐은 속도 2.78-3.33 m/s, 토출량 0.65 L/min으로 살포하면 ha 당 46-55 L를 살포할 수 있으며, DG 노즐은 단일노즐용량 0.65 L/min 일 때 2.78-3.33 m/s의 속도로 살포하면 ha 당 65-78 L를 살포할 수 있는 노즐이라고 제시되어 동일한 조건에서 단위면적당 살포량은 DG 노즐이 많다. 살포액량이 많음에도 불구하고 DG 노즐이 XR 노즐보다 비산량이 적었다.

또한 살포액적이 작을수록 대기중에 오래 남고 바람에 의해 비표적으로 비산되게 되는데(De Ruiter et al., 2003) 습도가 낮고 대기온도가 높으면 분사 액적의 크기가 줄어들어 휘산이 가속화되고 침강 속도를 감소시켜 비산을 촉진시킬 수 있다(Hilz and Vermeer, 2013). 따라서 비산을 저감하기

**Table 3.** Nozzle classification by droplet sizes identified in ASAE

Category	Symbol	Color	Nozzle	Droplet size (micron)
Extremely Fine	XF	Purple		<60
Very Fine	VF	Red		60-145
Fine	F	Orange		145-225
Medium	M	Yellow		226-325
Coarse	C	Blue		326-400
Very Coarse	VC	Green		401-500
Extremely Coarse	EC	White		501-650
Ultra Coarse	UC	Black		>650

위해서는 살포액적의 크기가 큰 노즐을 선택하는 것이 합리적이라고 판단되지만 살포액적이 크면 균일한 살포가 어렵고 국부적으로 많은 양의 살포액이 부착하게 되며, 입자가 너무 작으면 동일한 양을 살포하더라도 약효가 저하될 수 있기 때문에(Son et al., 2012) 작물과 환경을 고려하여 노즐을 선택해야 한다고 판단되었다.

제형과 첨가제에 따라 이러한 분사특성이 결정되는데(Dorr et al., 2013) 유현탁제에 포함되어 있는 유화오일은 분사속도를 증가시키고 평균 액적 크기를 감소시켜 멀리 비산된 것으로 판단되었으며(Ellis and Tuck, 2000), 제형이 살포액적의 크기를 결정하는 요인이라고 판단되었다(De Snoo et al., 1998). 또한 Stanier et al. (2006)은 동일한 조건에서 액상수화제가 유현탁제, 유제 등과 같이 유화오일을 포함하는 제형보다 살포액적이 커서 비산이 감소된다고 보고하였다. 따라서 비산의 위험이 있는 경우 살포입자가 큰 노즐을 이용하여 유화오일이 포함되어 있는 제형보다 액상수화제를 선택하여 살포하는 것이 합리적이라고 판단되었다.

**비산 거리 예측**

제형과 노즐에 따른 이격거리별 평균 도포율을 바탕으로 감소곡선식을 산출하여 비산거리를 예측하였다(Fig. 4). 비산 정도가 확연하게 관찰되는 2 m/s의 결과를 이용하였으며, 최고 도포율을 보이는 지점을 기준으로 하여 감소곡선을 그렸다. 감소곡선의 특성상 0%의 도포율을 보이는 지점을 예

측할 수 없기 때문에 이 연구에서 최소 측정값인 0.06%의 절반인 0.03%의 도포율을 보일 것으로 예측되는 지점을 감소곡선식을 이용하여 산출하였다. 산출결과 XR 노즐을 이용하여 살포한 액상수화제와 유현탁제는 2 m/s의 풍속에서 각각 20.1과 27.2 m 지점에서 0.03%의 도포율을 보일 것으로 예측되었으며, DG 노즐의 경우 각각 19.2와 22.4 m 지점까지 비산될 것으로 예측되었다.

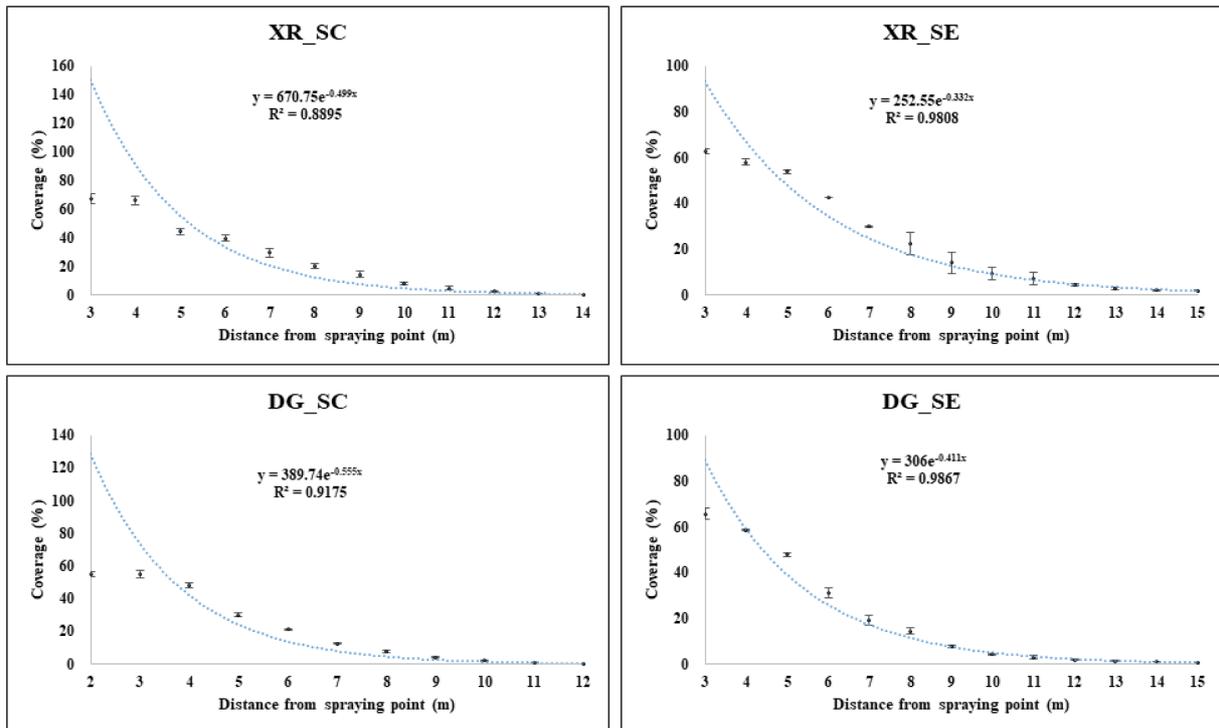
**감사의 글**

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ013594032020)의 지원에 의해 수행되었으며, 원활한 연구 수행을 위해 지원을 아끼지 않으신 (주)팜한농 관계자분들께 감사드립니다.

**Author Information and Contributions**

Hyun Ho Noh, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher, <http://orcid.org/0000-0002-7568-8490>

Chang Jo Kim, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher, <http://orcid.org/0000-0002-5872->



**Fig. 4.** Dissipation curves to predict drift distance of aerial spraying solution according to formulations and nozzles under wind speed of 2 m/s.

9262

Byeong-chul Moon, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Taek-Gyum Kim, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Danbi Kim, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Min-Seok Oh, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Dal-Soon Choi, Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Researcher

Yu Yong Kim, Disaster Prevention Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Researcher

Ho-Sung Song, Disaster Prevention Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Postdoctoral researcher

Kee Sung Kyung, Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environment Science, Professor

Establishment of experimental plan, Dal-Soon Choi, Hyun Ho Noh

Presentation of methodology, Byeong-chul Moon, Taek-Gyum Kim, Yu Yong Kim

Consultation, Kee Sung Kyung

Experimental participation, Hyun Ho Noh, Chang Jo Kim, Danbi Kim, Min-Seok Oh, Ho-Sung Song

Analysis, Hyun Ho Noh, Chang Jo Kim

Writing, Hyun Ho Noh, Chang Jo Kim

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature cited

American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 2009. S-572 Spray Tip Classification by Droplet Size. Developed by the Pest Control and Fertilizer Application Committee; Approved by the Power and Machinery Division Standards Committee; Adopted by ASAE PM41.

Baetens K, Nuyttens D, Verboven P, De Schampheleire M, Nicolaï B, et al., 2007. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. *Comput. Electron. Agric.* 56:161-173.

Choi DS, Ma KC, Kim HJ, Lee JH, Oh SA, et al., 2018. Control standards of three major insect pests of Chinese cabbage (*Brassica campestris*) using drones for pesticide application. *Korean J. Appl. Entomol.* 57(4):347-354.

Combella JH, Westen NM, Richardson RG, 1996. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Prot.* 15:147-152.

De Ruiter H, Holterman HJ, Kempenaar C, Mol HGJ, de Vlieger JJ, et al., 2003. Influence of Adjuvants and Formulations on the Emission of Pesticides to the Atmosphere. In: A Literature Study for the Dutch Research Programme Pesticides and the Environment (DWK) Theme C-2. Plant Research International B.V., Wageningen. Report 59.

De Snoo GR, De Wit PJ, 1998. Buffer zones for reducing pesticide drift to ditches and risk to aquatic organisms. *Ecotox. Environ. Safety.* 41(1):112-118.

Dorr GJ, Hewitt JAJ, Adkins SW, Zhang H, Noller B, 2013. A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles. *Crop Prot.* 53(2013):109-117.

Ellis MCB, Tuck CR, 2000. The variation in characteristics of air-included sprays with adjuvant. *Asp. appl. biol.* 57(2000):155-162.

Hilz E, Vermeer AWP 2013. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop Prot.* 44(2013):75-83.

Hobson PA, Miller PCH, Walklate PJ, Tuck CR, Western NM, 1993. Spray drift from hydraulic spray nozzles: the use of a computer simulation model to examine factors influencing drift. *J. Agric. Eng. Res.* 54:293-305.

Jin YD, Lee HD, Park YK, Kim JB, Kwon OK, 2008. Drift and distribution properties of pesticide spray solution applied aurally by manned-helicopter. *Korean J. Pest. Sci.* 12(4):351-356.

Kim SS, Kwon H, KS Lee, 2017. Study on water volume standard for pesticide application with LWA (Leaf Wall Area) model in apple orchard. *Korean J. Pest. Sci.* 21(2):114-122.

National Institute of Agricultural Sciences 2020. Pesticide information 365 <http://pis.rda.go.kr>.

Nicetic O, Dorr G, Woods N, Beattie GAC, 2004. Influence of agricultural mineral oil on droplet spectra and spray drift. In: Proceedings of 7th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (ISAA 2004), Cape Town, South Africa, pp. 136-142.

Noh HH, Kim CJ, Moon BC, Ro JH, Kim D, et al., 2020. Measurement of drift amount of ametoctradin+dimethomorph 47(27+20)% suspension

concentrate for unmanned aerial spraying caused by wind direction and speed. *Korean J. Pest. Sci.* 24(1):43-50.

Park SH, Won OJ, Eom MY, Han SM, Hwang KS, et al., 2014. Application of remote-controlled aerial application to control weeds on the paddy field using benzobicyclon mixtures. *CNU J. Agri. Sci.* 41(2):113-117.

Permin O, Jrgensen LN, Persson K, 1992. Deposition characteristics and biological effectiveness of fungicides applied to winter wheat and the hazards of drift when using different types of hydraulic nozzles. *Crop Prot.* 11:541-546.

Qing T, Ruirui Z, Liping C, Min X, Tongchuan Y, et al., 2017. Droplets movement and deposition of an eight-rotor agricultural UAV in downwash flow field, *Int. J. Agric. & Biol. Eng.*, 10(3):47-56.

Schaafsma AW, Limay-Rois V, Forero LG, 2017. The role of field dust in pesticide drift when pesticide-treated maize seeds are planted with vacuum-type planters. *Pest. Manag. Sci.* 74(2):323-331.

Son KA, Kang TK, Park BJ, Jin YD, Gil GH, et al., 2012. Effect of pesticide residues on perilla leaf by nozzle type of knapsack sprayer. *Korean J. Pest. Sci.* 16(4):282-287.

Stainier C, Destain MF, Schifffers B, Lebeau F, 2006. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and adjuvants mixtures. *Crop Prot.* 25(12):1238-1243.

## 항공살포 농약의 제형 및 노즐에 따른 비산 특성

노현호\* · 김창조 · 문병철 · 김택겸 · 김단비 · 오민석 · 최달순 · 김유용<sup>1</sup> · 송호성<sup>1</sup> · 경기성<sup>2</sup>

국립농업과학원 화학물질안전과, <sup>1</sup>국립농업과학원 재해예방공학과, <sup>2</sup>충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과

**요 약** 이 연구는 항공살포 비산에 영향을 주는 제형과 노즐에 따른 풍속별 비산거리를 측정하고 이를 바탕으로 비산거리를 예측하여 항공살포 농약의 비산 저감 방안에 대한 기초 정보를 제공하기 위하여 수행되었다. 시험제형은 우리나라에서 항공살포 농약으로 주로 사용되는 액상수화제와 유현탁제이었으며, blank formulation을 이용하여 시험을 수행하였다. 비산거리는 감수지의 도포율을 산출하여 측정하였다. 시험제형은 16배 희석한 후 BLDC 워터펌프를 이용하여 풍동시험장에서 0(무풍상태), 1, 2, 및 3 m/s의 풍속에서 XR11002 및 DG11002 노즐을 이용하여 살포하였다. 시험결과 풍속이 강할수록 멀리 비산되었으며, 유현탁제가 액상수화제보다 멀리 비산되는 경향을 보였다. 또한 XR11002 노즐로 살포한 희석액이 DG11002 노즐로 살포한 경우보다 멀리 비산되는 경향을 보였다. 2 m/s의 풍속에서 감수지 도포율을 이용하여 거리에 따른 살포액의 감소곡선식을 도출하여 비산거리를 예측한 결과에서도 XR11002 노즐을 이용하여 유현탁제를 살포했을 때 가장 멀리 비산되는 경향을 보였다. 따라서 비산이 우려되는 경우에는 살포액적의 크기가 큰 노즐을 선택하고 풍속이 약한 오전시간대에 농약을 살포하는 것이 중요하며, 노즐과 제형에 따라 비산 양상이 달라 질 수 있다고 판단되었다.

**색인어** 농약제형, 노즐, 항공살포, 비산, 풍동시험장