

헬기를 이용한 항공살포 농약의 비산 및 분포 특성

진용덕* · 이희동¹ · 박연기¹ · 김진배 · 권오경

국립농업과학원 농산물안전성부 유해물질과, ¹농약평가과

(2008년 12월 12일 접수, 2008년 12월 18일 수리)

Drift and Distribution Properties of Pesticide Spray Solution Applied Aerially by manned-Helicopter

Yong-Duk Jin*, Hee-Dong Lee¹, Yeon-Ki Park¹, Jin-Bae Kim and Oh-Kyung Kwon

Harzardous Substances Division, ¹Pesticide Safety Division, National Academy of Agricultural Science, RDA

Abstract

This study was carried out to assess adoptability and environment impacts of ultra low volume (ULV) pesticide spray solutions aerially sprayed by manned-helicopter. Uniformity of the deposited amount in paddy fields was uneven, showing 3.1~4.7 times differences among surveyed sites. Drifting distance of aerially sprayed droplets from the target area was within 30 m in the wind direction and 20 m in the opposite direction. Most of the aerially sprayed pesticides were deposited in/on rice plants, while those in submerged paddy water and soil were relatively small. The degradation rate of the deposited pesticides was in the decreasing order of rice plants, paddy water and soil. Soil residues of pesticides in the aerially sprayed rice paddy fields after harvest ranged from non-detected to 0.201 mg/kg. However, no pesticides were detected in brown rice and rice straw. No phytotoxic symptoms were observed in rice plants and nearby non-target crops by the sprayed pesticides.

Key words pesticide, ULV, aerial application, helicopter, drift, phytotoxicity

서 론

우리나라에서 항공방제는 주로 벼 주요 병해충 방제를 위해 6월 하순부터 8월 하순에 걸쳐 전·후기로 연간 1~2회 행해지고 있으며, 전기에는 잎도열병과 잎집무늬마름병, 이화명나방, 후기에는 목도열병, 이삭도열병, 잎집무늬마름병, 멸구류, 기타 병해충에 중점을 두고 예방위주로 실시되고 있다. 항공방제는 농업인구의 감소와 농업인력의 고령화, 부녀화에 따른 농촌 노동력이 부족한 현 시점에서 병해충 방제를 위한 농약살포작업의 노력과 방제비용을 획기적으로 줄이고 병해충 방제효율을 높임으로써 안정적인 고품질의 쌀 생산과 쌀의 국제경쟁력 강화에 큰 도움이 될 수 있다.

그러나 항공방제의 성격상 광범위한 지역에 일시에 살포

됨으로써 고농도 살포농약에 의한 직접적인 노출과 비산으로 인하여 주변작물에 대한 약해시비가 끊이지 않고 있으며, 또한 환경론자로부터 생태계 파괴와 환경오염의 주범으로 인식되고 있는 것이 현실이다.

이에 본 연구는 유인헬기를 이용한 벼 항공방제지역에서의 항공 살포농약의 비산과 산포에 따른 농약의 농업환경 중 분포와 주변작물에 미치는 영향 등을 평가하여, 살포노력과 주변작물에 대한 피해는 물론, 환경오염을 최소화할 수 있는 항공방제의 효율적인 이용방법을 모색하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

시험 농약 및 약제살포

항공살포 농약의 비산과 농업환경 중 분포를 조사하기 위

*연락처 : Tel. +82-31-290-0534, Fax. +82-31-290-0506

E-mail: ydjin@rda.go.kr

해 사용한 농약은 실제 경기지역 항공살포 현장에서 사용하는 tricyclazole SC + chlorpyrifos-methyl EC 2종 조합과 isoprothiolane EC + hexaconazole EC + phenthoate EC의 3종 혼용 조합을 그대로 적용하였으며 희석배수는 tricyclazole은 50배, 나머지 농약은 36배이었다. 약제살포는 450L 저장 탱크가 달린 MD-500D 기종의 헬리콥터로 살포하였으며 살포약량은 전·후기에 따라 42~50 L/ha이었다.

항공방제시 분무입자의 비산 및 산포

항공방제에 따른 살포농약의 방제대상 포장 및 인근포장으로의 비산 및 분포 상태를 측정하기 위해 각각 지상으로부터 0, 30, 60 및 90 cm 높이의 받침대가 서로 어긋난 방향으로 향하여 중첩되지 않도록 특수 제작된 설치대에 4반복으로 52 mm × 76 mm 크기의 감수지를 포장내·외에 10 m 간격으로 100 m까지 설치하고, 항공살포 후 감수지에 나타난 분무입자수를 조사하였다. 또한 포장내 살포 균일도를 측정하기 위해 항공살포 후 동일포장내 4지점에서 벼 시료를 채취하여 농약 부착량을 분석하였다.

항공방제 지역의 벼 재배환경 중 살포농약의 분포 및 행적

항공방제 후 벼 재배환경 중 살포농약의 행방을 구명하기 위하여 살포당일과 1, 3, 5, 7, 14일 후 벼, 논물, 관개수로의 물과 토양시료를 채취하여 잔류분석법에 따라 추출, 분리 및 정제과정을 거쳐 시료를 조제한 후 GLC/NPD, ECD 또는 HPLC로 농약 잔류량을 분석하였다. 수확 후 현미와 벼짚 및 토양중의 농약 잔류량 분석도 동일한 조건으로 수행하였다.

항공방제 포장 및 주변작물에 대한 약해조사

항공방제에 의한 벼와 주변작물에 대한 약해조사는 경기

도 이천시와 안성시의 자체계획에 따라 2~3종의 혼용조합으로 항공살포한 10개 읍면지역에서 살포 당일부터 7일 후까지 2~3차례에 걸쳐 벼를 포함한 콩, 고추, 들깨, 참깨는 물론, 완두, 배추, 땅콩, 옥수수, 감자, 고구마 등 주변작물에 대한 약해조사를 농약품목등록시험 기준과 방법의 약해조사 기준에 의하여 0~5 등급으로 조사하였다.

결과 및 고찰

고농도 소량살포 농약의 분무입경 및 물리성

항공방제용 고농도 소량살포 희석액에 대한 분무입경과 물리화학적 특성을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 초미량 살포기 ULVA(ultra low volume applicator)를 이용한 살포입자의 평균 분무입경은 63.1~79.2 μm 로 실제 항공방제시의 평균 분무입경으로 알려진 100 μm 내외보다 작은 편이었다. 또한 adjuvant를 첨가할 경우 분무입경은 더욱 작아지는 경향을 보였다.

항공방제의 경우 분무입경이 너무 작을 경우, 비산 및 증발에 의해 작물체에 도달하는 양의 감소로 인하여 약효가 저하되는 것으로 알려져 있어(EPA, 1999), 실제 벼의 항공방제 시에는 평균분무입경이 최저 100 μm 내외가 되도록 노즐 size와 압력을 조절하고 있다. 고농도 살포액의 표면장력은 허용기준인 40 dyne/cm이하이었으며, 물리화학적 특성도 대체적으로 양호하였다.

항공방제시 분무입자의 비산 및 분포

헬리콥터를 이용한 항공살포 포장에서 낙하되는 분무입자의 분포와 살포 균일도를 알아보기 위하여 감수지를 이용하여 낙하된 분무입자를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 비행경

Table 1. Spray droplet sizes and physicochemical properties of ULV spray solution of pesticides for aerial application

Pesticide	VMD ^{a)} (μm)	Surface tension of spray solution (dyne/cm)	Physicochemical property
Tricyclazole SC 60-fold	71.1±0.6	33.1	Excellent
Tricyclazole SC+adjuvant 1,000-fold	67.7±1.7	32.7	"
Isoprothiolane EC 30-fold	63.1±1.6	31.9	"
Isoprothiolane EC+adjuvant 1,000-fold	62.4±1.5	31.5	"
Diazinon EC 30-fold	79.2±0.9	31.7	"
Diazinon EC+adjuvant 1,000-fold	72.3±0.6	31.2	"
Phenthoate EC 30-fold	68.1±1.1	32.2	"
Phenthoate EC+adjuvant 1,000-fold	66.3±1.2	32.0	"

^{a)} VMD : volume median diameter, Instrument : MALVERN-2600C
Sprayer : ultra low volume applicator of Micron Sprayers Ltd., UK

로를 중심으로 좌우로 멀어질수록 단위면적당 낙하입자수가 급격히 적어져 살포 균일도가 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 石田(1987) 등이 무인헬기를 이용한 연구에서의 부착 패턴과 유사한 것으로 실제 항공살포 후 동일 포장 내 시료채취 지점을 달리하여 농약부착량을 분석한 결과, 살포 약제에 따라 3.1~4.7배의 부착량 차이를 보여 살포 균일도가 낮음을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

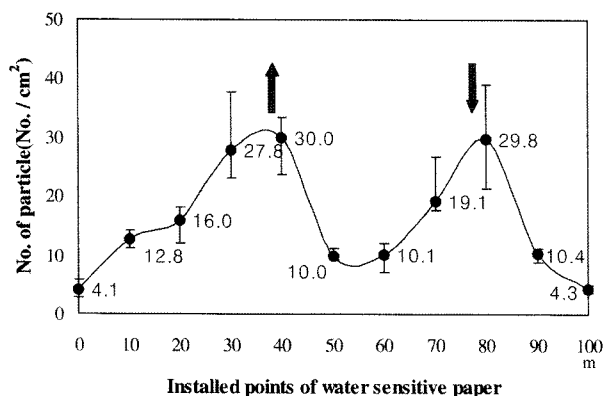


Fig. 1. Horizontal distribution of the spray droplets of the pesticide aqueous solution applied aerially in paddy field. The arrows point the flying direction and route of helicopter.

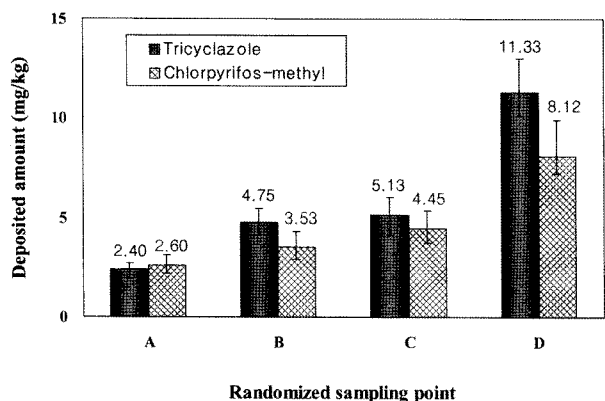


Fig. 2. Deposited amount of pesticides on rice plants in different sites of paddy field sprayed aerially.

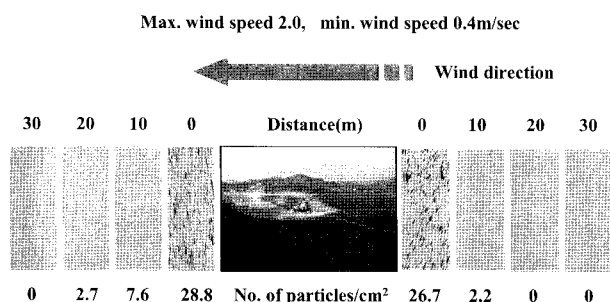


Fig. 3. Drift of the pesticide droplets sprayed aerially onto the non-target area. Flying direction was the same as the wind.

이러한 측면에서 항공살포의 방제효율을 높이기 위해서는 비행폭을 기중에 따라 현재 40~50 m에서 30~40 m로 줄이고 가급적 저공비행에 의한 정밀살포작업이 요구되었다.

헬리콥터를 이용한 항공방제시 분무입자의 방제대상 포장 이외의 인근 포장으로의 비산 정도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 바람부는 방향으로 30 m, 바람부는 반대방향으로는 20 m 이내로 비교적 비산량이 적었다. 이는 Kilgore(1964)와 Marshall(1963) 등의 연구에서 보고된 바와 같이 헬리콥터를 이용한 살포는 경비행기와는 달리 회전날개의 downwash에 의해 살포농약의 비산을 줄이고 부착량을 증대시키는 효과가 있기 때문인 것으로 판단되었다.

항공방제 지역 인근 농업환경 중 농약의 분포 및 잔류성

항공방제 후 경시적으로 벼 및 논물, 토양시료를 채취하여 살포농약의 농업환경중 분포 및 부착·잔류양상을 조사한 결과는 Table 2와 Table 3과 같다.

벼농사에 있어서 항공방제는 보통 생육초중기인 6월말에서 7월초와 생육중후기인 7월말에서 8월 중순에 걸쳐 실시하고 있다. 두 시기는 벼의 생체중이 7~8배의 차이가 나고 또한 생육양상이나 증체량이 달라 1차 방제 시기에는 앞의 생육이 왕성한 시기로 부착량이 줄기와 이삭이 형성되는 후기에 비해 같은 약제일지라도 3~5배 이상 많았다. 또한 경시적인 잔류량은 약제 특성에 따라 tricyclazole과 isoprothiolane 같이 잔류기간이 긴 약제는 특히 토양에서 살포 당일에서 14일 후까지도 잔류량이 점점 증가되는 경향을 보였는데 이는 토양에서 분해되는 양보다 벼 및 논물 중에서 전이되는 양이 많기 때문으로 판단되며 수확 후에도 토양 중에 상당량이 남아 있었다. 벼 재배환경 중 살포농약의 분해속도는 벼>물>토양 순이었다. 수확 후 현미 및 벗짚에서는 항공살포로 인한 잔류농약은 검출되지 않았다.

항공방제 후 벼 및 주변작물에 대한 약효 및 약해

항공방제 후 벼 및 주변작물에 대한 약해유무를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 생육중기의 고농도 항공살포로 인한 벼 및 주변작물에 대한 약해는 일부 혼용조합 중 콩에서만 1미만의 약해 의심증상이 나타났을 뿐, Table에 나타난 작물 외에 완두, 배추, 땅콩, 옥수수, 감자, 고구마 등 기타작물에 대해서도 약해증상은 보이지 않았다. 생육 후기 벼와 주변작물에 대해서도 뚜렷한 약해반응은 나타나지 않았다.

이상의 결과로 볼 때, 항공방제는 지금까지 알려진 것처럼 우려할 수준은 아니었지만 항공방제 시 안전대책으로 주민회

Table 2. Changes in the deposited amount of the pesticides^{a)} in agricultural environment compartments with time after aerial application of isoprothiolane EC + hexaconazole EC + phenthoate EC.

Pesticide	Sample	Deposited amount of pesticide with time (day) after spraying (mg/kg)					Post-harvest
		0	1	3	7	14	
Isoprothiolane	Rice plant	102.5	37.4	12.4	4.1	0.7	Rice-straw, brown rice : ND
	Paddy water	1.31	0.78	0.03	0.01	0.005	-
	Water of waterway	0.08	0.01	0.003	0.002	0.004	-
	Soil	0.57	1.23	1.32	1.43	1.35	0.04
Hexaconazole	Rice plant	20.03	5.46	2.52	0.96	0.22	Rice-straw, brown rice : ND
	Paddy water	0.216	0.067	0.004	0.003	ND	-
	Water of waterway	0.026	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-
	Soil	0.078	0.209	0.185	0.202	0.218	ND
Phenthoate	Rice plant	60.32	23.09	3.26	1.19	0.19	Rice-straw, brown rice : ND
	Paddy water	0.31	0.11	0.0008	0.0006	0.0001	-
	Water of waterway	0.069	0.010	0.002	ND	ND	-
	Soil	0.038	0.040	0.010	0.006	0.004	ND

^{a)} Pesticides were sprayed by helicopter, MD-500D and the dilution ratios were isoprothiolane EC 36-fold + hexaconazole EC 36-fold + phenthoate EC 36-fold + Cover SL 1,000-fold.

Table 3. Changes in the deposited amount of tricyclazole and chlorpyrifos-methyl in agricultural environment compartments with time after aerial application of pesticides^{a)}.

Pesticide	sample	Deposited amount of the a. i. with time(day) after spraying (mg/kg)					Post-harvest
		0	1	3	7	14	
Tricyclazole	Upper half	28.14	14.32	13.29	7.84	1.58	Rice-straw : ND
	Lower half	2.92	2.20	1.83	1.55	0.45	ND
	Rice ear	5.82	3.79	2.18	1.53	0.39	Brown rice : ND
	Paddy water	0.055	0.028	0.016	0.002	0.001	-
	Water of waterway	0.002	0.004	0.003	0.002	0.001	-
	Soil	0.054	0.084	0.171	0.307	0.341	0.201
Chlorpyrifosmethyl	Upper half	20.76	7.75	2.50	0.73	0.17	Rice straw : ND
	Lower half	2.33	0.42	0.22	0.06	0.01	-
	Rice ear	2.57	0.88	0.35	0.09	0.08	Brown rice : ND
	Paddy water	0.007	0.002	0.003	<0.001	<0.001	-
	Water of waterway	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-
	Soil	0.013	0.007	ND	ND	0.006	ND

^{a)} Pesticides were sprayed by helicopter, MD-500D and the dilution ratios were tricyclazole SC 50-fold + chlorpyrifos-methyl EC 36-fold + Cover SL 1,000-fold.

의나 방송 등을 통해 항공방제 실시계획과 주의사항 등을 사전에 충분히 홍보하는 한편, 양봉, 양식장 등 피해우려가 있는 시설과 약해가 우려되는 과수 등 주변의 비표적 작물에 피해가 없도록 하기 위하여 안전성이 높은 약제선택 등 사전대

책을 강구토록하고 항공방제로 인한 환경오염의 우려 및 피해를 최소화시킬 수 있는 많은 연구와 노력이 뒤따라야 할 것으로 본다.

Table 4. Phytotoxic response on rice plants and nearby other crops by the pesticides sprayed aerially

Surveyed locality	Combination of pesticide formulation	Phytotoxic degree on (0~5)				
		Rice	Soy bean	Red pepper	Perilla	Sesame
Anseong						
Geungwang	Tricyclazole SC+Diazinon EC	0	0	0	0	0
Miyang	Tricyclazole SC+Fenthion EC	0	<1	0	0	0
Daedeok	Isoprothiolane EC+Chlorpyrifos-methyl EC	0	0	0	0	0
Iljuk	Isoprothiolane EC+Phenthoate EC	0	0	0	0	0
Icheon						
Bubal	Isoprothiolane EC+Validamycin SL+PhenthoateEC	0	<1	0	0	0
Baeksa	Isoprothiolane EC+Hexaconazole EC+Phenthoate EC	0	0	0	0	0
Hobeob	Isoprothiolane EC+Hexaconazole EC+Chlorpyfos-m EC	0	0	0	0	0
Seolseong	Isoprothiolane EC+Validamycin SL+Phenthoate EC	0	0	0	0	0
Icheon						
Bubal	Tricyclazole·ferimzone SC+Validamycin SL+Fenobucarb EC	0	0	0	0	0
Baeksa	Tricyclazole·ferimzone SC+Validamycin SL+Fenobucarb EC	0	0	0	0	0
Hobeob	Tricyclazole SC+Validamycin SL+Chlorpyrifos-m EC	0	0	0	0	0
Seolseong	Tricyclazole·ferimzone SC+Tebufenozide SC	0	0	0	0	0
Majang	Tricyclazole·Ferimzone SC+validamycin SL+Diazinon EC	0	0	0	0	0
Moga	Tricyclazole SC+Validamycin SL+Chlorpyrifos-m EC	0	0	0	0	0

* Cover SL was added with 1,000-fold as adjuvant in all spray solutions.

> 인 용 문 헌

Akesson Norman B. and Wesley E. Yates (1974) The use of aircraft in agriculture. FAO/UN Rome. pp.217.

Bird, S. L., Esterly, D. M. and Perry, S. G.(1996) Off-target deposition of pesticides from agricultural aerial spray applications. Journal of environmental quality (USA). 25(5): 1095~1104.

Dobrat, W. and A. Martijn editors (2003) CIPAC Handbook Volume F. pp.472.

EPA (2002) OPPTS Harmonized Test Guidelines-Series 840 Spray Drift Test Guidelines.

Hewitt, A. J. (2000) Spray drift: impact of requirements to protect the environment. Crop Protection 19:623~627.

Hewitt, A. J. (2008) Droplet size spectra classification categories in aerial application scenarios. Crop Protection 27:1284~1288.

Kilgore, W. W., Wesley, E. Yates, J. M. Ogawa (1964) Evaluation of Concentrate and Dilute Ground Air-Carrier and Aircraft Spray Coverage. Hilgardia 35(19):527~536.

Marshall, J., A. D. McMechan, and K. Williams (1963) Low-Volume Air-Blast spraying in British Columbia Orchards, Canada Dept. of Agri. Bull. 1191:1~18.

Nordbo Ebbe, Kristian Kristensen & Eric Kirknel (1993) Effects of Wind Direction, Wind Speed and Travel Speed on Spray Deposition. Pesti. Sci. 38:33~34.

Sanderson R., A. J. Hewitt, E. W. Huddleston and J. B. Ross (1997) Relative drift potential and droplet size spectra of aerially applied Propanil formulations. Crop Protection 16(8):717~721.

Stainier, C, M.-F. Destain, B. Schiffers, F. Lebeau (2006) Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. Crop Protection 25:1238~1243.

Yates Wesley E., N. B. Akesson, R. E. Cowden (1974) Criteria for Minimizing Drift Residues on Crops Downwind from Aerial Applications. Transactions of the ASAE. pp.627~632.

Jin, Yong-Duk, Yeon-Ki Park, Jin-Bae Kim, Byung-Youl Oh and Ju-Hyeon Choi. (2005). Deposits distribution and their changes in compartments of agricultural environment of pesticides sprayed by manned-helicopter in paddy rice. 第28回農藥殘留分析研究會 講演要旨集:174~184

農林水産航空協會 (2003) 農林水産航空事業 技術指針(農藥·肥料撒布編), pp.89.

石田茂樹, 早川搏文 (1987) 無人制御ヘリコプタに依る農藥の少量撒布技術の開発. 農林水産技術會議事務局.

박연기, 진용덕, 김병석, 박경훈, 이재봉, 신진섭, 배철환, 이규승 (2006) 벼 재배지의 항공 방제시 비표적 생물에 대한 안전거리. 한국농약과학회지 11(1):32~37.

진용덕 (2005) 농약살포액의 이화학적 특성과 환경영향 평가. 충북대학교 박사학위논문.

한국작물보호협회 (2008) 농약사용지침서 pp. 1,080.

헬기를 이용한 항공살포 농약의 비산 및 분포 특성

진용덕* · 이희동¹ · 박연기¹ · 김진배 · 권오경

국립농업과학원 농산물안전성부 유해물질과, ¹농약평가과

요 약 헬기에 의해 항공살포된 고농도 소량 살포농약의 비산 및 분포 특성과 이에 따른 벼와 주변작물에 미치는 영향을 평가하였다. 항공살포시 농약의 벼 부착량은 채취지점 및 약제에 따라 3.1~4.7배의 차이를 보여 살포 균일성은 낮았다. 헬리콥터에 의한 항공방제시 대상지역 이외의 포장으로 분무입자가 비산하는 정도는 바람부는 방향으로 30 m, 바람부는 반대방향으로는 20 m 이내로 비교적 비산 정도가 낮았다. 살포된 농약은 대부분 벼에 부착되었고 눈물 또는 토양 중에 낙하된 비율은 낮은 편이었으며, 재배환경 중 분해 속도는 벼 > 물 > 토양 순이었다. 항공방제 포장의 벼 수확 후 토양 중 살포농약의 잔류량은 불검출~0.201 mg/kg이었으며, 현미와 벧짚에서는 검출되지 않았다. 또한 항공살포에 의한 벼와 주변작물에 대한 약해반응은 무시할 수준이었다.

색인어 농약, ULV, 항공살포, 헬리콥터, 비산, 약해
