

무인헬리콥터를 이용한 항공방제시스템 개발(I) - 항공방제시스템 구축을 위한 기초 분무특성 -

강태경 이채식 최덕규 전현종 구영모 강태환

Development of Aerial Application System Attachable to Unmanned Helicopter - Basic Spraying Characteristics for Aerial Application System -

T. G. Kang C. S. Lee D. K. Choi H. J. Jun Y. M. Koo T. H. Kang

Abstract

In order to develop an precision aerial pesticide application system to be attached to an unmanned helicopter which can be applied to small lots of land, this study analyzed the flowing and spraying characteristics of the spray droplets by the main rotor downwash by setting the application conditions at the flight altitude of 3 m, the diameter of main rotor of 3.1 m, the boom length of around 2.8 m, and the spraying rate of 8 L/ha. The results of this study are summarized below.

Through analysis of the covering area ratio of the spray droplets by main rotor downwash by nozzle type, boom with tilt angle and height, it was found that the covering area ratio of the twin flat-fan nozzle of around 25% was more uniform than other types of nozzle, also boom with 10° tilt angle and spraying height of 3 m was shown to be the appropriate conditions for aerial application of pesticides. It was found that the nozzle position to minimize the scattering loss of spray droplets due to vortex phenomenon at both ends of the main rotor was around 10 cm from the end of the main rotor. An application test for the aerial pesticide application system attached to the HUA-ACEI unmanned helicopter developed by the Rural Development Administration showed that the range of covering area ratio of the spray droplets was 10-25%, and the spraying width was approximately 7 m when over 10% of covering area ratio was considered for valid spraying.

Keywords : Unmanned helicopter, Downwash, Covering area ratio, Spray droplets

1. 서론

WTO체제의 출범으로 농산물 시장이 급속도로 개방화가 진행되면서 우리 농업은 무한경쟁시대에 대응하기 위하여 고품질 농산물의 생산비 절감을 위한 생산기술이 절실히 요구되고 있다(Seok et al., 2006). 현재 농산물 생산 작업 중 병해충 방제작업은 품질 및 생산량을 높이기 위한 필수작업이지만 고온·다습한 환경에서 농약을 살포하므로 힘들고 농약중독우려가 커서 기피하는 작업이다. 최근 통계에 따르면 농가

에서 생산노동력의 5-15% 이상을 방제 작업에 할애하고 있는 실정이고, 작목에 따라 연간 10회 이상의 작업으로 큰 부담이 되고 있다(RDA, 2004). 또한 우리나라의 농약살포는 다량살포방식으로 지면낙하 및 비산 등 손실량이 많아 환경 부담을 경감할 수 있는 저투입 소량살포(Ultra Low-Volume; ULV) 방식의 친환경·정밀방제기술이 필요하다. 따라서 관행적 방제작업의 노동집약성, 작업 기피성 및 위험성, 소량살포 및 적기방제로 환경오염 감소에도 기여할 수 있는 농업용 무인헬리콥터를 이용한 항공방제체계를 개발하여 농업중

This study was supported financially by the Agricultural R&D Promotion Center(ARPC). The article was submitted for publication on 2010-06-30, reviewed on 2010-07-22, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-08-05. The authors are Tae Gyoung Kang, Chai Sik Lee, Duck Kyu Choi, Hyeon Jong Jun, Agricultural Researcher, KSAM member, Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Young Mo Koo, Professor, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, and Tae Hwan Kang, KSAM member, Agricultural Science & Technology Research Institute, Chungbuk National University. Corresponding author: T. H. Kang, Agricultural Science & Technology Research Institute, Chungbuk National University, Cheongju, 361-701, Korea; Tel: +82-43-261-2605; E-mail: <lamokth@yahoo.co.kr>.

사자의 작업환경을 개선하고 생력화함으로써 농산물의 품질 및 가격에서 경쟁력을 갖도록 해야 한다(Koo and Soek 2006; Park et al., 2007). 방제 시스템 개발을 위한 연구로서는 머신비전과 DGPS를 이용한 실시간 정비 방제 시스템의 개발과 시비 및 방제 등 수도작 관리 작업의 효율 증대를 위한 이양기 부착형 송풍식 및 원심식 입제 살포기(Chung et al., 1997; Fulton et al., 2001; Molin et al., 2002) 등 많은 연구가 보고되고 있으나 무인헬리콥터를 이용한 방제 시스템 연구는 미비한 실정이다.

농용 무인헬리콥터를 이용한 기술은 일본 등지에서는 이미 실용화되어 농작물의 생육 및 재해 공중감시 등 적용 범위가 확대되어 가고 있는 추세이다(Koo et al., 2006). 무인헬리콥터를 이용한 방제작업은 관행적인 방제방법과 비교하여 ① 정밀방제로 인해 친환경적이며, ②작업자의 노동강도를 줄이고 안전하고 쾌적한 작업환경을 제공하며, ③소규모 필지에 적용이 가능하고, ④하향풍에 의한 침투효과가 좋으며, ⑤적기 방제가 가능하다 등의 장점이 기대된다.

따라서 소규모 필지에도 작업이 가능하고, 미량·소량살포와 세류(Downwash)에 의한 강력한 침투력으로 부착율을 높이고, 살포입자의 비산을 크게 줄일 수 있어 작업자의 농약중독우려 감소와 환경보전적 저투입(8~10 L/ha)으로 지속 가능한 농업을 지향할 수 있는 유상하중 20 kg급 소형무인헬리콥터를 이용한 새로운 방제기술의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 원격조종방식의 농용 무인헬리콥터 부착용 항공 방제시스템 구축의 일환으로서 무인헬리콥터의 메인 로터 세류에 의한 기초 분무특성을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

무인헬리콥터 부착용 방제장치 개발기준은 무인헬리콥터의 비행속도 20~25 km/h, 비행고도는 무인헬리콥터의 메인 로터 세류에 의해 부착성과 침투성을 최대화 하면서도 안전한 비행을 유지할 수 있는 높이인 3 m로 설정하였다. 또한 무인헬리콥터의 적재 가능한 중량은 방제장치와 약액을 포함하여 최대 20 kg 이내, 붐 길이는 살포되는 약액이 무인헬리콥터 본체로 와류되어 유입되는 것을 최소화하기 위하여 메인로터 직경 3.1 m의 90% 정도로 설정하였고, 농약 살포량은 저투입 소량살포 방식(ULV)인 8 L/ha를 기준으로 설정한 원격 조종 방식의 농용무인헬리콥터 부착용 항공 방제시스템을 개발하고자 하였다.

가. 노즐 및 펌프의 선정

항공살포용 노즐의 부유(drift)와 증발을 최소화하며 부착 효율이 높은 적정 분무입경인 100 μ m 내외의 노즐을 선정하기 위하여 콘노즐, 선형노즐 및 쌍선형 노즐의 분무입경, 분

무각, 분무량 및 분무거리를 측정하였다.

분무입경은 자동입자측정기(MALVERN Mastersizer-S, England)로 분무 입경이 형성된 노즐 끝에서부터 30 cm 거리의 분무 중심부에서 측정하였으며, 체적평균직경(VMD)으로 나타내었다. 분무량은 노즐에서 분무압력 및 분무형상이 안정된 후부터 메스실린더에 1분간 분무하여 측정하였다.

분무각은 디지털카메라로 촬영한 후 컴퓨터 이미지분석처리 기법을 이용하여 Threshold 값 80%로 처리하여 노즐 끝에서 3 cm 이내의 지점과 분무입자의 이동경로의 가장 바깥 가장자리가 이루는 각으로 정의하였다.

노즐의 분무량 및 분무거리 측정장치는 피치가 6.5 cm인 PC제질의 골판시트로 폭 3 m, 길이 3 m, 경사도를 10°로 제작하여 무풍상태에서 살포된 물이 용기쪽으로 흘러내리기 쉽도록 제작하였다. 또한 측정용기는 철재로 직경이 5 cm, 길이 13 cm 인 원통으로 제작하였다. 분무량은 노즐에서 분무된 물이 골판시트에 낙하하여 측정용기에 흘러내린 양을 측정오차가 ± 0.01 g 인 전자저울(OHAUS, E-2100S, U.S.A.)로 3반복 측정하여 평균값으로 균등살포율을 산출하였다.

펌프는 시중에 판매되고 있는 대표적 펌프인 로타리베인 펌프, 기어펌프, 솔레노이드 펌프를 대상으로 토출압력별 토출량, 최대압력, 모터의 전기소모량 및 무게를 감안하여 선정하였다.

나. 붐 설계

방제장치의 붐 길이는 메인로터 직경 3.1 m 의 90% 정도인 2.8 m로 무게가 가볍고 탄성이 우수한 카본 파이프를 제작하였다. 붐의 각도는 수평을 기준으로 30°, 높이는 1.7~3.5 m 까지 조절할 수 있고, 붐 좌우에 2~4개의 노즐을 부착할 수 있도록 제작하였다.

다. 메인 로터 세류에 의한 분무특성 시험 장치

무인헬리콥터 메인로터의 세류에 의한 분무입자 유동분석을 위하여 무인헬리콥터에 사용되는 동일한 규격의 로터로 송풍시험 장치를 제작하였다. 메인로터의 구동은 회전수 조절이 가능한 3.7 kW VS전동기를 사용하였고, 모터 회전수 조절은 유선으로 연결된 원격조절기를 이용하였으며, 메인로터는 직경 3.1 m 로 제작하였다. 그림 1 및 표 1과 같이 제작하였다.

1) 메인 로터 세류의 풍속 패턴 분석

무인헬리콥터를 이용한 농약살포의 장점은 무인헬리콥터의 메인로터에서 발생한 강한 바람에 의한 송풍살포로 농약의 도달성과 침투성이 양호하여 약효를 최대화 할 수 있다. 따라서 무인헬리콥터의 메인로터의 풍속패턴을 분석하여 바



Fig. 1 Application characteristics test equipment by dawnwash of main rotor.

Table 1 Specification of application characteristics test equipment

Dimension (H×W×L, cm)	Rotor diameter (cm)	Rotor RPM (RPM)	Motor Power (kW)
240×100×100	310	800	3.7

람의 이동 특성과 분무입자의 유동을 정확하게 분석하는 것이 가장 중요하다. 메인 로터 세류의 풍속 패턴 분석은 무인 헬리콥터의 비행고도를 3 m로 유지하고 로터 좌우 측면의 직하방과 후방의 최대풍속을 풍속계(WeatherMAX, U.S.A.)로 높이 50 cm, 거리 50 cm 간격마다 측정하였다.

2) 메인 로터 세류와 와류에 의한 분무입자의 비산 분석

그림 2는 메인 로터의 세류와 로터 양 끝단에서 발생하는 와류로 인한 분무입자 비산을 분석하기 위하여 제작한 측정 장치를 나타낸 것이다.

그림 2에서 나타낸 바와 같이 메인 로터 세류로 인한 분무입자의 비산분석은 노즐 부착 위치를 메인 로터의 끝에서부터 5 cm 씩 헬리콥터 본체쪽으로 이동시켜가면서 로터 하단에서 50 cm 간격으로 3지점에서 측정하여, 메인 로터 세류의 영향을 받지 않는 경계층 밖으로 살포되는 분무입자의 유동



Fig. 2 Equipment for measuring application loss of spraying droplets by vortex flow and dawnwash.

를 측정하여 분무입자가 공중으로 날아가는 비산을 최소화할 수 있는 노즐의 최적위치를 결정하였다. 한편, 메인 로터 양 끝단의 와류에 의한 분무입자 비산분석은 로터 하단 20 cm 위치에서 로터 끝부분의 와류에 의해 분무입자가 로터로 유입되는 현상을 최소화 할 수 있는 노즐의 최적위치를 결정하였다.

3) 분무입자의 수직방향 유동분석

그림 3은 메인 로터 세류에 의해 분무입자가 수직방향으로 유동하는 것을 분석하기 위해 제작한 측정이다. 이 장치는 붐을 고정하는 판을 제작하고, 50 cm 간격으로 붐을 고정한 후 상방향으로 20 cm 마다 흰색 테이프로 표시한다. 그리고 로터가 800 rpm 으로 회전시 분무된 입자가 측정대를 통과하는 높이를 측정하여 분무입자의 수직방향 유동을 분석하였다.



Fig. 3 Equipment for measuring vertical flow of spray droplets.

4) 피복면적비에 따른 살포특성 분석

분무입자의 살포특성 분석은 분무입자의 피복면적비를 산출하여 분석하였다. 그림 4는 로터 회전시 붐의 높이 및 각도에 따라 살포거리별 피복면적비를 측정하기 위해 제작한 장치이다. 살포특성은 감수지를 붐의 아래쪽 지면에서 높이 5 cm, 폭 2.5 cm, 길이 4 m 로 부착한 후 붐의 높이를 2.5, 3m, 붐 각도를 5, 10°로 변화시켜가면서 메인 로터 회전수를 800 rpm 에서 5초간 살포하여 분석하였다. 피복면적비는 감수지에 부착된 분무입자의 입경과 입자수를 15 cm 간격으로 나누어 칼라영상 현미경(MW200, Korea)을 이용하여 측정하였고, 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$C.A.R. = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n}{A_T} \times 100 \quad (1)$$

Where, C.A.R. : Covering Area Ratio

$D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n$: Area of sprayed droplets

A_T : Total area of water sensitive paper



Fig. 4 Equipment for measuring covering area ratio.

라. 방제시스템의 무인헬리콥터 부착 및 성능시험

1) 방제시스템 무인헬리콥터에 부착

방제시스템 부착을 위한 무인헬리콥터는 농촌진흥청에서 개발한 H.U.A-ACE1을 사용하였고, 그 제원을 표 2와 그림 5에 나타내었다. 방제시스템은 그림 5에 나타낸 바와 같이 무인헬리콥터 무게중심에 영향을 미치지 않기 위하여 무인헬리콥터 메인 로터 축과 일직선상에 부착하였다. 메인 로터와 붐 사이의 간격은 메인 로터의 흔들림을 고려하여 20 cm 이상으로 설치하였다. 방제시스템에 부착한 노즐은 기초 분무특성을 고려하여 쌍선형 노즐을 좌우에 각각 2개씩 총 4개를 메인 로터 끝에서부터 15 cm 인쪽에 부착하였으며, 이때 노

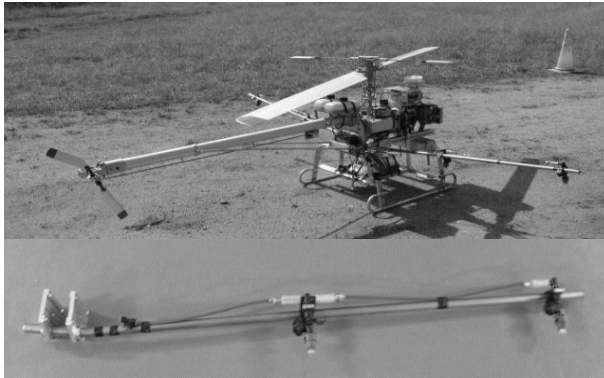


Fig. 5 Spraying system attachable to unmanned helicopter (H.U.A-ACE1)

Table 2 Specification of spraying system using unmanned helicopter

Unmanned helicopter model	H.U.A-ACE1
Diameter of main rotor (mm)	3140
Maximum output of engine (kW)	23
Engine displacement (cc)	342
Weight (kg)	65
Amount of liquid chemical (L)	30
Spraying width (m)	7.5~8

즐과 노즐사이의 간격은 66 cm로 하였다. 붐의 각도는 상방향으로 10° 경사로 측면을 기준으로 메인 로터의 중심축과 동일선상에 부착하였다.

2) 성능시험 및 분석방법

살포성능 시험은 무인헬리콥터 본체에 방제장치를 부착하고 그림 6과 같이 비행고도 3 m, 비행속도 20 km/h 로 비행하면서 형광물질을 희석한 약액을 살포하였다. 살포분포율 및 살포폭을 분석하기 위하여 그림 7과 같이 감수지(2.5× 50 cm)를 지면에서 5 cm 높이에 10 m 폭으로 설치하였고, 살포 후 감수지를 회수하여 영상현미경으로 피복면적비를 계산한 후 비산 거리에 따른 살포분포율을 분석하였다. 시험시 기상조건은 바람이 풍속 1.7 m/s 이하였고, 온도는 20~23°, 습도는 40~50%로 농약을 주로 살포하는 여름철보다는 온습도가 낮았다.



Fig. 6 Spraying test in the field using unmanned helicopter.

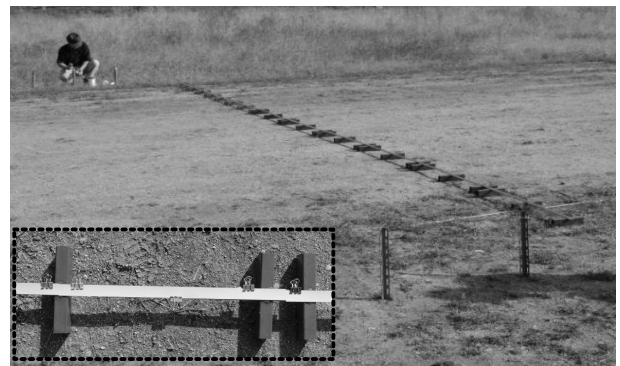


Fig. 7 Arrangement of water sensitive paper.

3. 결과 및 고찰

가. 노즐의 분무 및 펌프 특성

노즐의 분무특성 분석 결과와 펌프 특성을 표 3과 4에 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 선형노즐은 0.4 MPa, 쌍선형 노즐과 콘 노즐은 분무압력이 0.6 MPa 일때 분무입경이 100

Table 3 Particle size and discharged rate according to nozzle type

Nozzle type	Item	Spraying pressure (MPa)			Spray angle (°)
		0.4	0.6	0.8	
Fan spray nozzle	Particle size of spray (μm)	104	91	87	76
	Nozzle discharged rate (mL/min)	130	170	210	
Twin flat-fan nozzle	Particle size of spray (μm)	115	103	98	88
	Nozzle discharged rate (mL/min)	390	510	610	
Cone nozzle	Particle size of spray (μm)	118	104	92	63
	Nozzle discharged rate (mL/min)	220	290	340	

Table 4 Specification of pumps

Pump type	Maximum delivery pressure (MPa)	Maximum discharge rate (L/min)	Power (W)	Total weight (kg)
Rotary vane pump	1.5	3.7	60	2.0
Magnetic gear pump	0.3	4.0	30	0.7
Diaphragm pump	0.8	2.0	45	0.5

μm 정도로 나타났고, 쌍선형 노즐의 경우 분무압력이 0.8 MPa에서 분무입경이 98 μm 로 다른 노즐에 비하여 크게 나타났다.

표 4는 적정펌프 선정을 위하여 로터리 베인 펌프, 기어 펌프, 솔레노이드 펌프의 토출압력별 토출량, 최대압력, 모터의 전기소모량 등을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 그 결과 다이아프램 펌프가 압력에 따른 분무량이 충분하고 무게도 가벼워 무인헬리콥터 장착에 가장 적합한 것으로 나타났고, 쌍선형 노즐과의 연계시 소량살포용 펌프로 적합할 것으로 판단된다.

나. 노즐의 분무특성

그림 8은 노즐 종류별 분무거리에 따른 분무량 측정 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

그림 8에서 알 수 있듯이 선형 및 쌍선형 노즐의 분무거리에 따른 분무량은 유사한 경향을 보였고, 모든 노즐에서 유효 살포거리는 2 m 이상으로 나타났다. 그러나 콘노즐의 경우에는 분무량이 선형 및 쌍선형 노즐에 비해 2배 이상 적은 것으로 나타나 본 연구에서는 선형 및 쌍선형 노즐이 항공방제용 노즐로서 적합한 것으로 판단되었다.

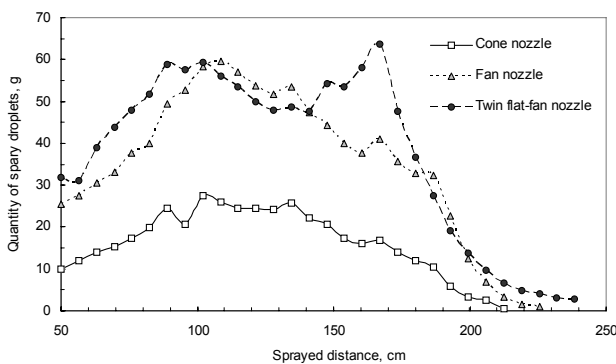
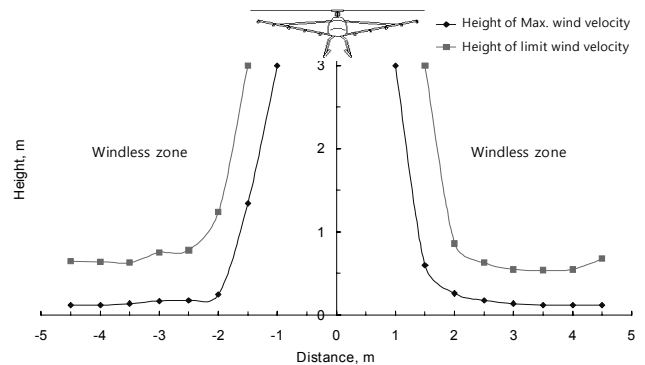


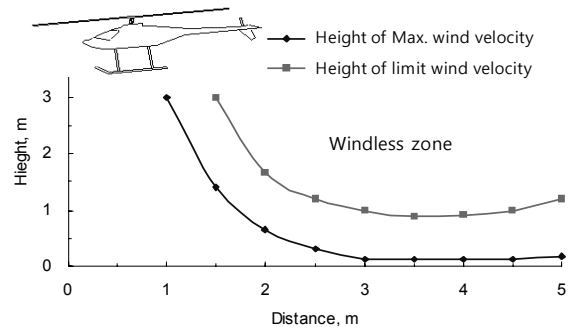
Fig. 8 Spraying distribution of cone, fan and twin flat-fan nozzle.

다. 로터 세류의 풍속 패턴 분석

그림 9는 무인헬리콥터 메인 로터 세류의 풍속패턴 분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 9(a)에서 보는 바와 같이 메인 로터의 좌우 풍속패턴은 로터의 직 하방 및 지면으로부터 1 m 지점에서 세류의 유동이 전혀 없는 무풍한계선 즉 경계층이 형성되었다. 메인 로터의 세류가 가장 빠르게 이동하는 최고풍속선은 지면에서 0.1~0.5 m 지점에서 형성되었고, 최



(a) Front view



(b) Rear

Fig. 9 Wind flow according to downwash of unmanned helicopter.

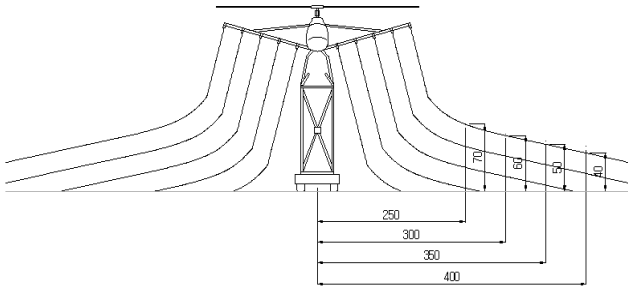


Fig. 10 Flow of spray droplets in front view.

대 풍속은 7.8 m/s로 나타났다.

무인헬리콥터 후방의 풍속패턴도 그림 9(b)에서 보는 바와 같이 후방 3 m 지점의 지상 1 m 부근에서 경계층이 형성되는 것으로 나타났다.

라. 분무 입자의 수직방향 유동분석

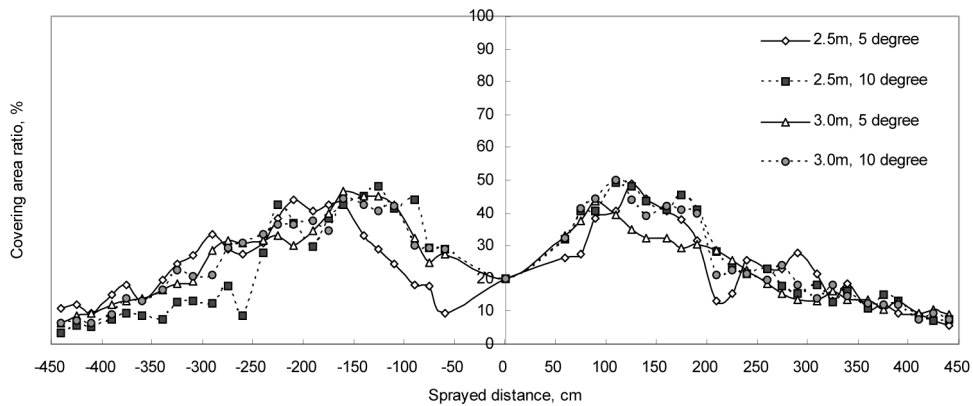
그림 10은 메인 로터 세류에 의한 분무입자의 수직방향 유동분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 10에 나타낸 바와 같이 로터의 수직 아래로 2 m 까지는 수직방향으로 분무입자가 이동하는 것으로 나타났다. 그러나 2 m 이후부터는 전술한

메인로터 세류의 풍속 패턴에 영향을 받아 분무입자가 수직에서 무인헬기의 중심에서 수평방향으로 이동하여 좌우로 각각 4 m 이상 살포되는 것으로 나타났다.

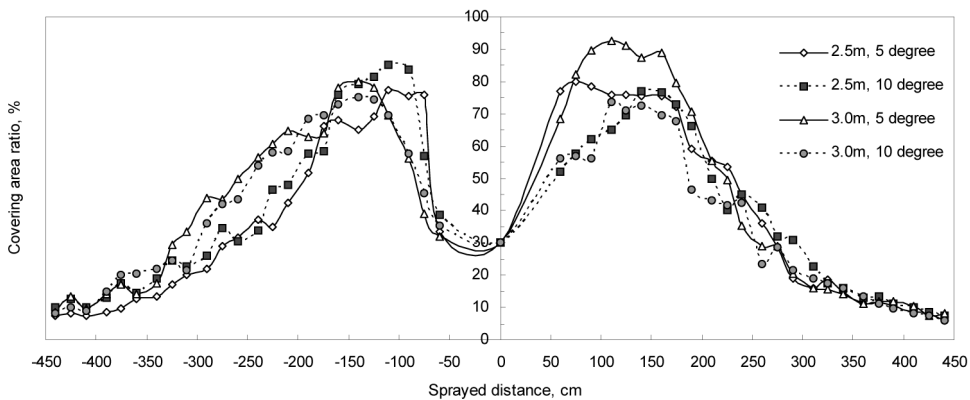
마. 메인 로터 세류에 의한 분무입자의 살포특성

그림 11는 선형노즐과 쌍선형노즐을 이용한 분무시 무인헬리콥터의 메인 로터 세류에 의한 분무입자의 피복면적비를 나타낸 것이다.

그림 11에서 보는 바와 같이 쌍선형 노즐의 피복면적비는 붐 노즐의 분무각도가 10°, 분무 높이 3 m에서 분무시 분무거리가 약 100~250 cm에서의 피복면적비는 약 30~50%로 나타났고, 그 이외의 분무거리에서는 피복면적비가 30% 이하로 나타났다. 선형노즐의 경우에도 붐 노즐의 분무각 5도가 이상, 분무 높이 3 m에서 분무시 분무거리가 약 100~170 cm에서의 피복면적비는 약 70% 이상으로 나타났지만, 그 이외의 분무거리에서는 피복면적비가 선형적으로 급격히 저하는 경향을 보였다. 이것은 Jin 등(2008)의 헬리콥터를 이용한 항공살포 농약의 비산 및 분포 특성 연구에서의 부착 패턴과 유사한 것으로서 헬리콥터를 중심으로 좌우로 멀어질수록 피복면적비가 줄어드는 것과 같은 결과를 나타내었다. 따

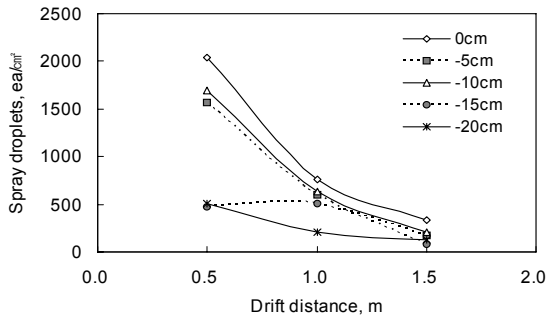


(a) Twin flat-fan nozzle

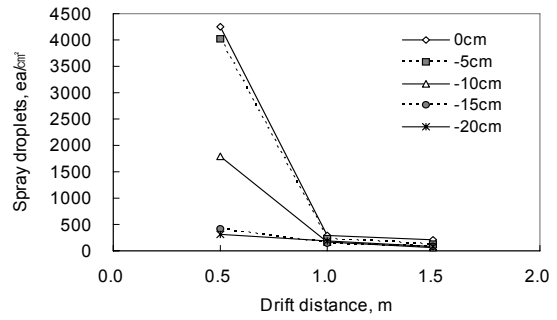


(b) Fan nozzle

Fig. 11 Spraying distribution rate of twin flat-fan and fan nozzles by dawnwash

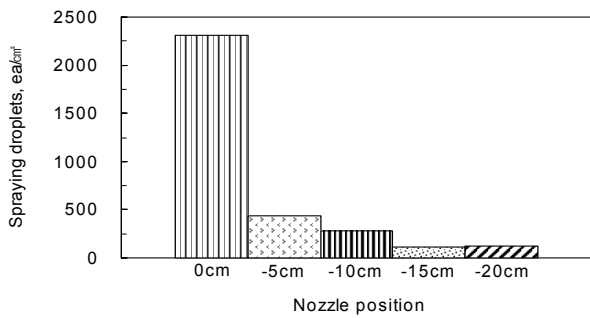


(a) Twin flat-fan nozzle

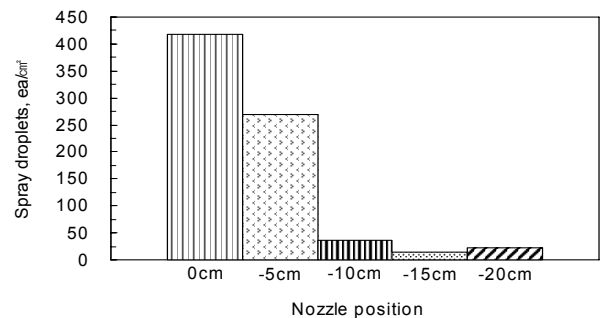


(b) Fan nozzle

Fig. 12 Application loss of spraying droplets with setting distance of nozzle from end of main rotor by downwash of main rotor.



(a) Twin flat-fan nozzle



(b) Fan nozzle

Fig. 13 Application loss of spray droplets by vortex flow from end of main rotor.

라서 무인헬리콥터를 이용한 항공방제에서는 쌍선형 노즐의 분무 높이 3 m, 붐의 노즐 각도 10°가 적절한 조건으로 판단된다.

바. 메인 로터 세류에 의한 비산 분석

그림 12는 그림 9에서 나타난 메인 로터의 풍속패턴에서 무풍지대인 경계층 밖으로 분무입자가 비산하는 정도를 노즐 부착 위치별로 나타낸 것이다.

그림 12에서 보는 바와 같이 경계층 밖으로 비산하는 분무입자는 노즐의 형태에 관계없이 노즐의 부착 위치가 메인로터 끝부분과 일치하는 곳인 0 cm 와 안쪽 5, 10 cm 지점에서 급격히 증가하는 것으로 나타났고, 메인로터로부터 15 cm 안쪽에서는 비산거리에 관계없이 분무입자의 비산이 낮은 경향을 보였다. 따라서 메인 로터 세류에 의해 비산되어 손실되는 분무입자를 최소화 할 수 있는 노즐의 위치는 메인 로터 끝에서부터 15 cm 이내인 것으로 판단된다.

사. 메인 로터 와류에 의한 비산 분석

그림 13은 메인로터 양 끝단의 와류 현상으로 인하여 메인로터로 유입되는 분무 입자수를 노즐 부착 위치별로 나타낸 것이다.

그림 13에서 보는 바와 같이 메인 로터의 와류에 의한 분

무입자 비산량은 노즐 형태에 관계없이 노즐의 부착 위치가 메인로터 끝부분과 일치하는 0 cm와 안쪽으로 5 cm 지점에서 분무입자 유입이 급격히 증가하는 것으로 나타났고, 10, 15, 20 cm 에서는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 메인 로터의 와류에 의한 분무입자의 비산 손실을 최소화 할 수 있는 노즐의 위치는 메인 로터 끝으로부터 10 cm 이내가 적절한 것으로 판단된다.

야. 무인헬리콥터 방제시스템의 성능평가

그림 14는 농촌진흥청에서 개발한 H.U.A-ACE1 무인헬리

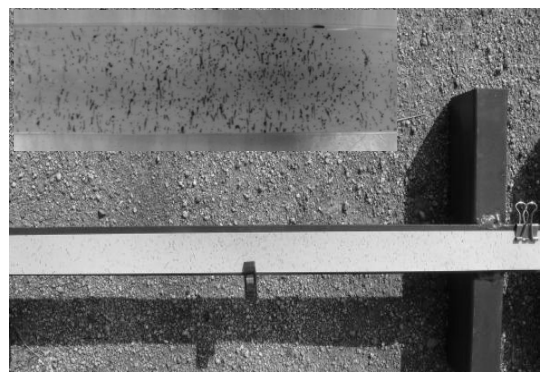


Fig. 14 Measurement of spraying droplets on water sensitive paper.

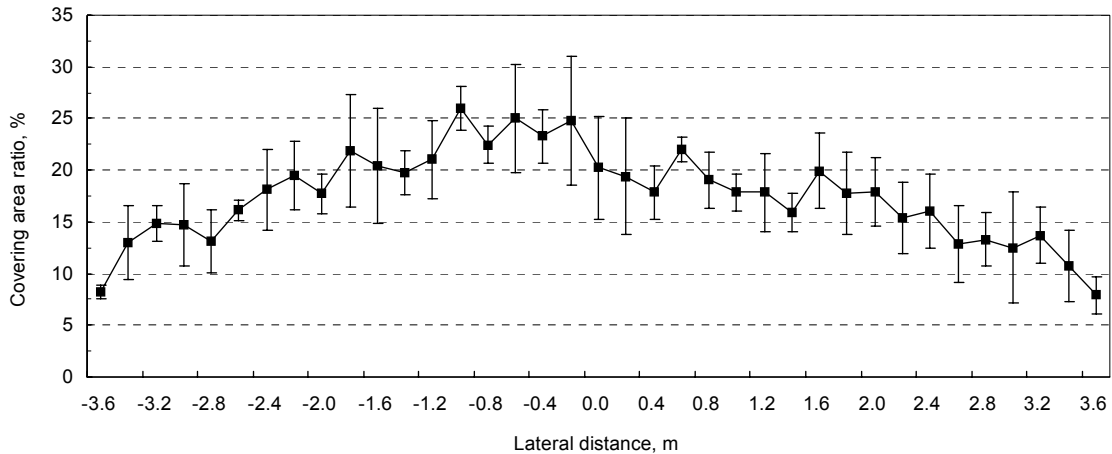


Fig. 15 Distribution of covering area ratio of spraying droplets.

콥터에 방제시스템을 부착한 후 노지에서 살포성능 시험 시 물 분무입자의 감수지 부착 결과를 나타낸 것이다. 그림 14에서 보는 바와 같이 분무입자가 매우 균일하게 부착되었음을 볼 수 있다. 또한 분무입자가 부착된 감수지를 칼라영상현미경 시스템을 이용하여 20 cm 간격으로 피복면적비를 산출하였다.

그림 15는 감수지에 부착된 분무입자의 피복면적비를 무인헬리콥터의 좌우 살포거리별로 나타낸 것이다. 그림 15에 나타낸 바와 같이 좌우 살포거리 2.4 m 이내에서의 피복면적비는 약 15~25% 이상으로 나타났고, 2.4 m 이상에서는 10~15%로 나타났으며, 살포폭은 피복면적비가 10% 이상을 유효살포로 판단할 경우 약 7 m 내외인 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 소규모 필지의 정밀방제에 이용 가능한 저투입 정밀농약살포 농용무인헬리콥터 부착용 항공 방제시스템을 개발하기 위하여 방제기준을 비행고도 3 m, 메인로터 직경 3.1 m, 붐 길이 2.8 m 내외, 살포량 8 L/ha로 설정하여 메인 로터 세류에 의한 분무입자의 유동 및 분무 특성을 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 선형 및 쌍선형 노즐의 분무거리에 따른 분무량은 유사한 경향을 보였고, 살포거리는 2 m 이상으로 나타나 항공방제용 노즐로서 적합한 것으로 판단되었다. 적정 펌프는 토출압력별 토출량, 내구성 및 무인헬리콥터 본체와의 부착성 등을 검토한 결과, 다이어프램 펌프가 무인헬리콥터 장착에 가장 적합한 것으로 나타났다.
- (2) 무인헬리콥터 메인 로터 세류의 풍속패턴 분석 결과,

메인 로터의 좌우 풍속패턴은 로터의 직 하방 및 지면으로부터 1 m 지점에서 세류의 유동이 전혀 없는 무풍한계선 즉 경계층이 형성되었고, 메인 로터의 세류가 가장 빠르게 이동하는 최고풍속선은 지면에서 0.1~0.5 m 지점이었으며, 최대 풍속은 7.8 m/s로 나타났다. 분무입자의 수직방향 유동은 메인 로터의 수직 아래로 2 m 까지는 수직방향으로 분무입자가 이동하는 것으로 나타났으나, 2 m 이후부터는 메인로터 세류의 풍속패턴에 영향을 받아 분무입자가 수직방향에서 수평방향으로 이동하여 4 m 이상 살포되는 것으로 나타났다.

- (3) 메인 로터 세류에 의한 분무입자의 피복면적비를 노즐 종류 및 붐의 각도별로 분석한 결과, 쌍선형 노즐의 피복면적비가 붐 노즐의 분무각도가 10°, 분무 높이 3 m에서 분무시 평균 25% 내외로 다른 노즐에 비해 균일하게 나타나 항공방제에서는 쌍선형 노즐의 분무 높이 3 m, 붐의 노즐 각도 10°가 적절한 조건으로 판단되었다.
- (4) 메인 로터 세류의 풍속패턴에서 무풍지대인 경계층 밖으로 비산되어 손실되는 분무입자를 최소화할 수 있는 노즐의 위치는 메인 로터 끝에서부터 15 cm 이내인 것으로 나타났다. 또한 메인로터 양 끝단의 와류 현상으로 인하여 분무입자의 비산 손실을 최소화 할 수 있는 노즐의 위치는 메인 로터 끝으로부터 10 cm 이내가 적절한 것으로 판단된다.
- (5) 농촌진흥청에서 개발한 H.U.A-ACE1 무인헬리콥터에 방제시스템을 부착한 후 노지에서 살포성능을 시험한 결과, 분무입자의 피복면적비는 10~25%로 나타났으며, 살포폭은 피복면적비가 10% 이상을 유효살포로 판단할 경우 약 7 m 내외인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Chung, C. J., S. O. Chung, Y. C. Chang, Y. S. Choi and J. S. Choe. 1997. A study on development of a pneumatic granular applicator for paddy field(I)-Granular discharge rate, diffuser and optimal application conditions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Machinery* 22(2):127-136. (In Korean)
2. Fulton, J. P., S. A. Shearer, G. Chabra and S. F. Higgins. 2001. Performance assessment and model development of a variable rate, spinner-disk fertilizer applicator. *Transaction of the ASAE* 44(5):1017-1018.
3. Jin, Y. D., H. D. Lee, Y. K. Park, J. B. Kim and O. K. Kwon. 2008. Drift and distribution properties of pesticide spray solution applied aerially by manned-helicopter. *The Korean Journal of Pesticide Science* 12(4):351-356. (In Korean)
4. Koo, Y. M., C. S. Lee, T. S. Soek, S. K. Shin, T. G. Kang, S. H. Kim, and T. Y. Choi. 2006. Aerial application using a small RF controled helicopter(I) -Status and cost analysis-. *Journal of Biosystems Engineering* 31(2):95-101. (In Korean)
5. Koo, Y. M and T. S. Soek. 2006. Aerial application using a small RF controled helicopter(V) -Tail rotor system-. *Journal of Biosystems Engineering* 32(4):230-236. (In Korean)
6. Molin, J. P., L. A. A. Menegatti, L. L. Pereira, L. C. Drcmonini and M. Evangelista. 2002. Testing a fertilizer spreader with VRT. *Proceeding of the Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources*. pp. 232-237.
7. Park, Y. K., Y. D. Jin, B. S. Kim, K. H. Park, J. B. Lee, J. S. Shin, C. H. Bae and K. S. Lee. 2007. Buffer zone for non-target organisms by aerial pesticide application around rice paddy. *The Korean Journal of Pesticide Science* 11(1): 32-37. (In Korean)
8. RDA (Rural Development Administration). 2004. *Farm Household Labor Hours By Crops*. RDA, Suwon, Korea.
9. Soek, T. S., Y. M. Koo, C. S. Lee, S. K. Shin, T. G. Kang and S. H. Kim. 2006. Aerial application using a small RF controled helicopter (II) -development of power unit-. *Journal of Biosystems Engineering* 31(2):102-107. (In Korean)