

트랙터 부착 붐 방제기 노즐 분무특성

강태경* · 김성우* · 김영근* · 이상희* · 최 용* · 전현종* · 최일수* · 김형곤**

Characteristic of Tractor Attachment Boom Sprayer Nozzle

TaeGyoung Kang, Sungwoo Kim, Youngkeun Kim, Sanghee Lee, Yong Choi,
Hyeonjong Jun, Ilsoo, Choi and Hyeonggon Kim

Key Words: Boom sprayer(붐 방제기), Particle size of spray(분무입경), Injection nozzle(분사노즐), Spreading uniformity (살포균일도)

Abstract

Spraying of nozzles and design of tractor-attached boom sprayers have been studied for analysis of liquid spraying features. The following conclusions have been drawn. At all pressures, twin flat spray tips was finer than flat spray tips. A fine spray with VMD of 101 to 200 appeared at 1.5MPa. So, it was selected as the boom sprayer nozzle. In spraying uniformity analysis, Type B was proven to have more uniformity than Type A and Type C at 52.0 cm attached distance. Type A and Type C were proven to have more uniformity than Type B at 58.5 cm attached distance. It is concluded that these results reflect atomizing characteristics of nozzles during pest control with tractor-attached boom sprayer. Therefore, optimum setting will be putting Type C with 58.5 cm distance.

기호설명

LPH : 살포밀도(L/ha)
LPM : 분당 분무량(L/min)
MPH : 주행속도(km/h)
W : 유효 분사폭(m)
N : 노즐 개수

1. 서 론

우리나라의 농업과 농촌환경은 급격히 변화하고 있다.

(Received: 2 Nov 2016, Received in revised form: 6 Dec 2016, Accepted: 14 Dec 2016)

*국립농업과학원 농업공학부

**책임저자, 비회원, 국립농업과학원 농업공학부

E-mail : gony@jbnu.ac.kr

TEL : (063)238-4068 FAX : (063)238-4249

대내적으로는 농가인구의 감소에 따른 고령화와 여성화 추세가 지속되고, 도·농간의 소득 및 복지격차가 심화되고 있다. 대외적으로는 '15년에 발효된 한·중 FTA 등 개방화에 따른 농업분야 특히 발작물의 위기가 고조되고 있다.

농산물 생산 작업 중 병해충 방제작업은 품질 및 생산량을 높이기 위한 필수 작업이지만 고온·다습한 환경에서 농약을 살포하므로 힘들고 농약중독 우려가 커서 기피하는 작업이다. 방제작업의 기계화율은 벼농사 99.0%, 발농사 95.9%로 높지만 현재 국내에서 실시된 방제의 대표적인 방법은 동력경운기에 탑재한 동력분무기를 이용하는 보행형이 대부분이고, 작업자가 편리하게 타고서 작업하는 승용형 작업기를 이용하는 비율은 벼농사 17.3%와 발농사의 노지채소 1.6%로 매우 낮은 편이다(농촌진흥청, 2014). 벼농사에서는 무인헬기가 이용되어 연간 20만 ha의 논에 방제작업이 이루어지고 있으나(무인헬기협회, 2015), 산간지가 많고, 작물의 종류가 다양한 발작물에 적용은 어려운 실정이다. 붐 방제기

는 동력분무기와 달리 긴 분무관에 일정 간격으로 노즐을 설치하고 작물에 근접하여 직접 농약을 살포하므로 비산이 적고 피복효과가 균일하며 농약중독의 위험이 적고 작물의 기부에 살포할 수 있다. 경지규모가 큰 미국이나 유럽에서는 트랙터 부착형 붐 방제기가 많이 사용되고 있으나 경지규모가 작은 국내에서는 작물의 생육 중에는 트랙터 포장에 진출입이 곤란하여 붐 방제기 사용이 어려웠다. 붐 방제기술에 관한 연구는 농약의 사용량을 최소화하면서 살포효과를 향상시키고, 환경에 미치는 악영향을 저감하는 것을 목적으로 진행되어 왔다. 강(2004) 등은 정전기 효과를 이용한 분무장치연구는 분무되는 입자에 정전효과를 작용시킴으로써 분무입자의 피복특성, 도달성 등이 향상되었으며, 분무입자의 정전기력에 의한 지면 및 공기 중에 손실되는 양을 줄일 수 있었다.

Azimi(1985) 등은 붐 방제에 사용되는 노즐의 살포장치 간격, 높이, 분무압력들이 분무분포의 균일성에 영향을 주는 요인들은 분석하였고, Zhang(1994) 등은 영상처리를 통한 분무형태의 균일도를 평가하여 균일한 살포를 위한 노즐설계요인을 결정하였다. 따라서 본 연구에서는 노즐의 분무특성을 분석하고, 트랙터 부착 붐 방제기의 설계인자를 구명하여 트랙터 부착 붐 방제기를 제작하여 약액의 살포특성을 분석하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 붐 방제기 노즐 분무실험

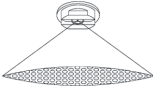
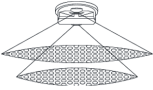
본 연구에서는 증첩살포가 용이하여 붐 방제기용으로 많이 사용되고 있는 선형과 쌍선형 노즐 3종(TeeJet Spraying Systems Co.)을 선발하였으며, 선발된 노즐 특성은 Table 1과 같다

방제실험은 ha당 희석비율을 1000대 1로 하여 살포하기 때문에 농약이 노즐에 미치는 영향이 적을 것으로 판단하였다. 따라서 농약을 희석하지 않은 수돗물을 사용하였고, 압력에 따른 분무량, 분무입경 및 살포폭 등을 노즐의 분무특성을 분석하였다.

2.1.1 분무입경

분무입경 측정은 He-Ne 레이저 입자측정기(Zetasizer Nano ZS System MPT, Malvern Instruments., England)로 Fraunhofer의 회절 원리를 이용하여 분무입자를 측정하는 장치이다. 측정방법은 노즐의 끝에서 레이저 빔까지

Table 1 Specification of nozzles

	Nozzle		
	A Type	B Type	C Type
Spray shape			
Tips	Flat spray tips	Twin flat spray tips	
Spray angel(°)	80		
Liquid pressure (MPa)	0.2-0.4	0.25-0.35	0.25-0.35
Capacity 1 nozzle (L/min)	1.29-1.82	1.08-1.28	1.44-1.77

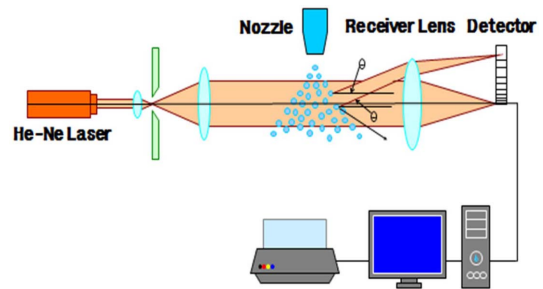


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

의 측정거리를 30 cm로 고정하고 분무형상이 안정되면 분무입경을 측정하였다. 측정거리를 30 cm로 고정한 이유는 추후 붐 방제기를 실제 농업현장에서 사용할 경우 비산을 줄이기 위해 작물의 상부로부터 30 cm 높이에서 사용할 것을 고려하였다.

2.1.2 분무량 및 살포 폭

노즐의 분무량은 5 L 플라스틱 용기에 1분간 분무되는 물을 포집한 후 메스실린더로 전체 물량을 측정하였다. 살포폭을 측정하기 위하여 그림과 같이 길이(315 cm) × 폭(164 cm) × 높이(93 cm)의 패터네이터를 제작하였다. 또한 분무량 수집을 위해서 직경 6.5 cm, 높이 15 cm인 플라스틱 컵을 골 간격마다 한 개씩 설치하였고, 모든 컵을 한번에 제어할 수 있도록 목재로 컵 고정틀을 제작하였다. 실험방법은 Fig. 2와 같이 패터네이터 위에 노즐을 설치하고 플러저펌프(WPS-80A, Wondae precision Co., Korea)로 물을 퍼올려 살포하며 측정은 분무압력 및 분무형상이 안정된 후

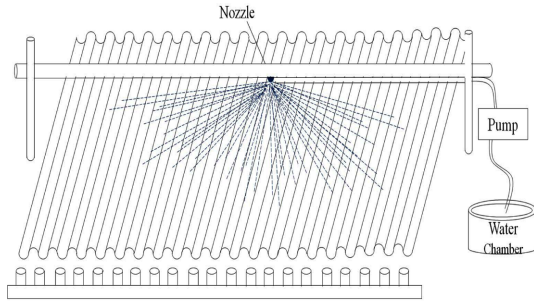


Fig. 2 Schematic diagram of patternator

Table 2 Specification of upland tractor

Model		Features
Tire (Front, Rear)		F: 8-18, R: 11.2-28
Engine (kW / RPM)		43 / 2600
PTO (kW / RPM)		32 / 2600
Wheel base(mm)		2000
Speed (km/h)	Maximum	33
	Minimum	0.23

컵을 밀어 넣은 후 부터 1분간 컵에 포집된 물의 무게를 측정오차 ±0.01 g인 전자저울(OHAUS, E-2100S, U.S.A.)로 3반복 실험하여 평균값으로 살포 폭을 산출하였다. 노즐의 부착간격은 노즐 1개의 살포 폭에 따른 물의 양에 기초하여 이론적으로 5개의 노즐을 중첩시켜 살포가 가장 균일하게 나타나는 지점을 선정하였다.

2.2 붐 방제기 부착용 트랙터

트랙터 부착 붐 방제기의 동력원으로 사용된 트랙터는 밭 농업에 사용하기 적합하도록 설계 및 제작되었으며 제원은 Table 2과 같다. 붐 방제기에 장착된 동력분무기는 트랙터 PTO에서 동력을 전달받아 노즐을 구동하도록 제작하였다

2.3 붐 방제기 제작

트랙터 부착 붐 방제기는 트랙터 전방 부착형으로 붐의 길이는 좌우 6.0 m씩 총 12 m로 제작하였다. 붐 대는 트랙터 유압을 이용한 유압실린더로 접거나 펼 수 있는 좌우 각각 3 단 접이식 트러스트 구조로 제작하였다. 또한 작물의 종류나 크기에 따라 유압으로 높이 조



Fig. 3 Tractor attachment boom spray nozzle

절이 가능하고, 붐 방제기는 주로 밭에서 사용하므로 밭의 경사에 따라 좌우 수평조절이 가능하고, 나무, 전봇대 또는 밭둑 등 장애물 접촉 시 붐 대가 접어지면서 전자센서가 작동되어 솔레노이드 밸브가 차단되어 노즐 분사를 정지하고, 장애물을 통과한 후에는 자동으로 복구되어 분사되는 구조로 설계하였다.

또한 붐 방제에 필요한 분무량은 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$LPH = \frac{600 \times LPM}{MPH \times W} \times N \quad (1)$$

농가에서 일반적으로 살포하는 약액의 양은 작물이 성장하면서 엽 밀도에 따라 500~1,500 L/ha 정도를 살포하고 있다. 따라서 농가에서 살포하는 약액의 살포량을 기준으로 트랙터의 주행속도를 Table 3와 같이 설정하였고, 공시 트랙터로 정밀하게 농약살포 작업이 가능한 최대속도는 7.2 km/hr로 설정하여 실험하였다.

2.4 트랙터 부착 붐 방제기 실험

트랙터 부착형 붐 방제기 노즐 살포균일도 시험은 선

Table 3 Tractor speed according to spray density of each nozzle

	Nozzle/attached distance(cm)		Spray density (L/ha)		
			400	1000	1500
Tractor speed (km/hr)	A type	52	7.21	3.61	2.40
		58	6.31	3.16	2.10
	B type	52	5.64	2.82	1.88
		58	4.94	2.47	1.65
C type	52	7.19	3.59	2.40	
	58	6.29	3.14	2.10	

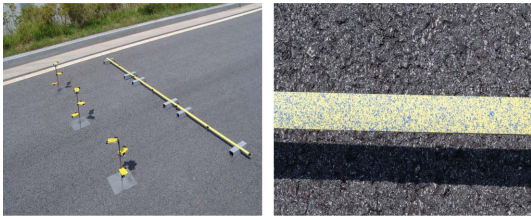


Fig. 4 View of water sensitive paper attached experiment

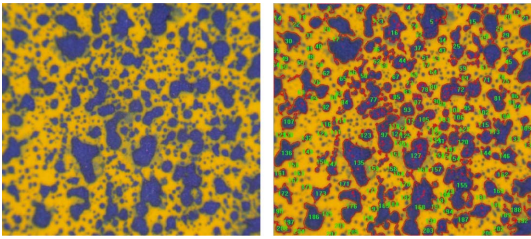


Fig. 5 Spray area measurement using image processing

정된 3개 노즐의 살포폭을 중첩하여 조사한 결과 노즐 간격을 52 cm, 58.5 cm로 제작, 12 m 트랙터 붐 대에 24 개, 21 개의 노즐을 장착하였다. 붐 방제기 시험은 트랙터 주행속도 7.2 km/h, 기온 32°C, 습도 28% 및 풍속은 1.2 m/s에서 수행되었으며, 살포균일도 측정은 감수지 부착방법을 사용하였다. 감수지 부착시험은 붐 방제기가 통과하는 구간에 3 m의 구조물을 설치하고, 구조물 위에 감수지를 부착하여 시험하였다. 측정방법은 3 m 감수지에서 약 20 cm 간격으로 15 곳을 측정하였다. 측정구간은 전자현미경 영상처리장치(IMT cam3, I-solution Inc., Canada)을 사용하여 측정된 감수지 전체면적에 대한 분무된 입자면적 비율인 피복면적비(%)로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험조건 선정 결과

압력에 따른 선정노즐 분무입경 측정결과 Table 4와 같이 Type B, C노즐이 Type A 보다 분무입경이 약 19.07~31.78% 미세하게 나타났으며, 압력이 증가할수록 노즐의 입자가 미세하게 측정되었다. 붐 방제기용 노즐의 경우에는 분무입경이 101~200 μm인 고운분무(fine spray)를 적용하므로 평균 분무입경이 128~198 μm, 분무량 2.45~3.13 L/min을 나타낸 살포압력 1.5 MPa를 트

Table 4 Spray characteristic of nozzles

	Nozzle	Pressure(MPa)		
		1.0	1.5	2.0
VMD (μm)	A	255.92	198.90	185.13
	B	207.11	128.94	114.30
	C	174.60	152.87	124.67
Dis-charge rate	A	2.44	3.13	3.65
	B	1.85	2.45	2.82
	C	2.47	3.12	3.70
Nozzle attachment distance (cm)	A	52.0	58.5	52.0
	B	58.5	52.0	52.0
	C	52.0	58.5	52.0

랙터 붐 방제기에 적정 분무압력으로 선정하였다.

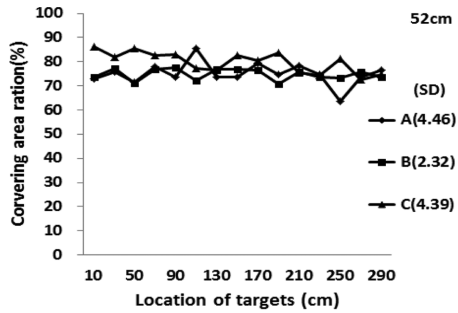
압력에 따른 분무량 측정결과를 토대로 선정된 Type A, B, C 노즐을 각각 5개씩 중첩시켜 살포가 가장 균일하게 나타난 지점은 Type A와 Type C 58.5 cm, Type B 52.0 cm로 나타났다.

3.2 트랙터 부착 살포균일도 시험결과

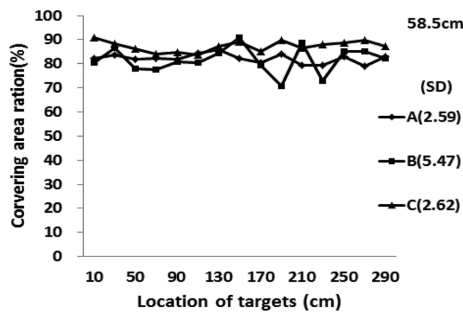
살포균일도 시험은 살포압력 1.5 MPa, 부착간격 52 cm, 및 58.5 cm에서 수행되었으며, 7.2 km/h의 속도보다 낮은 속도에서는 감수지 피복면적비가 90%이상으로 높게 나타나 트랙터 주행속도를 7.2 km/h로 고정하였다. Fig. 6과 같이 노즐 Type A, B, C의 감수지 살포 시험결과 부착간격 58.5 cm (a)의 피복면적비가 부착간격 52 cm (b)보다 약 6.77~7.50% 높게 나타났다.

노즐에 따른 피복면적비 시험결과 부착간격 52 cm 및 58.5 cm 모두 Type C 노즐의 피복면적비가 가장 높게 나타났으며, Type A, Type B 노즐에서는 유의차가 나타나지 않았다.

분사구간별 살포균일도 측정시험 결과 각 15구간의 평균값의 표준편차(SD)를 비교하여 SD 값이 낮을수록 균일한 것으로 판단하였다. 살포균일도 분석결과 부착간격 52 cm에서는 Type A 및 Type C 노즐이 Type B 노즐보다 SD가 약 2정도 높게 나타났으므로 살포균일도가 낮았다. 또한 부착간격 58.5 cm에서는 Type A 및 Type C 노즐이 Type B 노즐보다 SD가 약 2.8정도 낮게 나타났으므로 살포균일도가 높았다.



(a) The result of attached distance 52 cm



(b) The result of attached distance 58.5 cm

Fig. 6 Comparison of spray uniformity at a and b

4. 결 론

본 연구에서는 노즐의 분무특성을 분석하고, 트랙터 부착 붐 방제기의 설계인자를 구명하여 트랙터 부착 붐 방제기를 제작하여 약액의 살포특성을 분석하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 압력에 따른 선정노즐 분무입경 측정결과 Type B, C노즐(Twin flat spray tips)이 Type A (Flat spray tips)보다 분무입경이 약 19.07~31.78% 미세하게 나타났다.

(2) 방제기용 노즐의 경우 분무입경이 101 μm 이상 200 μm 미만 고운분무(fine spray) 입자를 적용하기 때문에 1.5 MPa를 트랙터 붐 방제기에 적정 분무압력으로 선정하였다.

(3) 피복면적비 실험결과 모든 노즐에서 부착간격 58.5 cm의 피복면적비가 부착간격 52 cm 보다 약 6.77~7.50% 높게 나타났다.

(4) 트랙터 부착 방제기 살포균일도 분석결과 부착간격 52 cm에서는 Type B노즐이, 부착간격 58.5 cm에서는 Type A, C노즐이 균일하게 나타났다. 이는 분무량 측정결과를 토대로 선정된 균일지점 결과(Table 4)와 동일하게 나타나 트랙터 부착 붐 방제에도 노즐의 분무특성을 반영할 것으로 판단된다.

(5) 트랙터 부착 붐 방제시험 결과 피복면적비, 살포 균일도 및 부착간격을 종합할 때 Type C 노즐을 58.5 cm 간격으로 설치하여 농약을 살포할 경우 방제효과가 가장 높을 것으로 판단되었다.

후 기

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ010893022016)의 지원에 이루어진 것임.

참고문헌

- (1) S. I. Cho, C. J. Chung, D. H. Lee and J. Y. Rhee, "Development of a control system for uniform application rate on a self-propelled boom sprayer", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 21, No. 4, 1996, pp. 406~413.
- (2) L. Zhang, L. Wang and G. E. Thierstein, "Measuring nozzle spray uniformity using image analysis", *ASAE*, Vol. 37, No. 2, 1994, pp. 381~387.
- (3) A. H. Azimi, T. G. Carpenter and D. L. Reichard, "Nozzle spray distribution for pesticide application", *ASAE*, Vol. 28, No. 5, 1985, pp. 1410~1415.
- (4) T. K. Kang, "Development of electrostatic spraying system for orchard sprayer", Chungbuk national university doctoral dissertation, 2004.
- (5) T. K. Kang, C. S. Lee, D. K. Choi, H. J. Jun, Y. M. Koo and T. H. Kang, "Development of aerial application system attachable to unmanned helicopter - Basic spraying characteristics for aerial application system-", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 35, No. 4, 2010, pp. 215~223.
- (6) C. J. Jung, H. J. Kim, S. I. Jo, Y. S. Choi and J. S. Choi, "Design factors of boom sprayer(I) - Spray patterns of nozzles -", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol. 20, No. 4, 1995, pp. 217~225.
- (7) "Instructions on disease and insect pest control using agriculture unmanned helicopter", Association of agriculture unmanned helicopter, 2016.
- (8) "2013 Agricultural machine actuality of utilization and farm work mechanical ratio", National Institute of Agricultural Sciences, 2014.