

# 봄방제기 살포장치의 설계요인 구명을 위한 실험적 연구(I)

-노즐의 분무유형-

## Design Factors of Boom Sprayer(I)

- Spray Patterns of Nozzles -

정창주*	김학진*	조성인*	최영수*	최중섭*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
C.J. Chung	H.J. Kim	S.I. Cho	Y.S. Choi	J.S. Choe

### ABSTRACT

This study was conducted to find design factors of spraying device of the boom sprayer for low volume application. Four types of nozzles(standard flat nozzle, drift guard nozzle, even flat nozzle, and hollow cone nozzle) were used for the spray characteristic experiment. Spray patterns of the nozzles were distinguished by the nozzle type, spray distance, and spray direction. The flow rate was proportional to the square root of spray pressure in all nozzles.

Increased nozzle height improved spray distribution at reduced pressures and/or increased spacing. Distribution tended to improve as pressure increased within the range of pressures used for fan nozzles.

**주요용어(Key Words)** : 전면살포(Broadcast Spraying), 기부살포(Row Crop Spraying), 살포밀도(Application Rate), 분무유형(Spray Pattern)

### 1. 서론

병충해는 작물의 수확량 및 품질에 크게 영향을 미친다. 따라서, 효율적인 방제를 통하여 병충해의 피해를 최소로 하는 것은 농산물의 품질 향상 및 생산성 향상을 위해 매우 중요하다고 할 수 있다.

이러한 추세에 따라 미국에서는 정밀방제기술(precise chemical application technology)의 개

념을 도입하여 환경오염을 최소화하고 안전성을 제고할 수 있는 원심식 분무기, 정전화 살포기 등과 같은 새로운 형태의 방제기 및 방제기술이 개발되어 이용되고 있다.

그러나, 우리나라에서는 대부분의 수도 방제 작업이 동력경운기 탑재용 동력분무기에 의해 이루어지고 있다. 희석은 보통 1 : 1000 정도로 묽게 하는데, 그 이유는 분사 거리를 크게 하기 위해서는 분무입자를 크게 해야 하고 그에 따라

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

단위면적당 소요 유량이 많아지기 때문이다. 이 방법은 작업능률 측면에서는 유리하지만, 농약 사용의 효율성 측면에서는 불리한 점이 많다. 즉, 살포거리를 크게 하는 경우 노즐의 분사각을 45° 이내에서 가능한 한 크게 해야 하는데, 이 경우 노즐에서 발생하는 작은 입자는 비산되어 작업자나 인근 농작물에 해를 끼칠 뿐만 아니라, 농약의 유실로 인해 낭비를 초래하게 된다.

또한, 비의 줄기와 잎이 무성해지는 수도본답 후기의 벼멸구, 문고병 등의 방제에 있어서는 동력분무기로는 약제를 비의 밑줄기까지 침투시킬 수 없으므로 약액이 비의 줄기부까지 충분히 적셔지도록 다량 살포를 하거나 방제 횟수를 늘리고 있는데, 이 방법 역시 농약의 과다 사용으로 인한 환경오염 및 농약의 낭비를 초래하고, 작업 효율을 크게 저하시킨다.

결국, 동력분무기를 이용한 방제작업은 낮은 농도의 농약을 다량 살포함으로써, 기부살포와 같은 방제 효과를 노리고 있으나, 그에 따라 위에서와 같은 많은 문제점이 발생하고 살포 목적에 따라서 분무입자의 크기도 조절할 수 없으며, 분무도달거리를 극대화하기 위해 항상 높은 위치에서 살포하게 됨으로써, 작업자의 안전을 위협하고 인근 농작물에 약해를 입히는 등 많은 문제점을 안고 있다. 더욱이 동력분무기의 분무호스 길이는 포장의 대구획화를 위한 경지정리사업 추진에 있어서도 중요한 제한요인으로 작용하고 있다.

새로운 방제기술에 관한 연구는 농약의 사용량을 극소화하면서도 효과를 향상시키고, 환경에 미치는 악영향을 최소화하는 것을 목적으로 진행되어 왔다. 이(1986) 등은 채소원에 방제작업의 정밀화 및 방제효과 증대를 도모하고자 채소원에용 살포장치를 개발하기 위한 요인실험을 하여 노즐을 조합하였을 때 균등살포를 위한 살포높이를 제시하였으며, Azimi(1985) 등은 일반적으로 분방제에 이용되는 살포장치의 노즐간격, 높이, 압력들이 분무분포의 균일성에 영향을 주는 요인들을 분석하였다. 또한, Zhang(1994) 등은 분무형태의 균일도를 평가하는데에 영상처

리방법을 이용하여 살포높이를 38.1에서 50.8cm 까지 1.1mm씩 변화시키면서 균일도를 평가하여 균일한 살포를 위한 노즐설계요인을 결정하였다.

본 연구에서는 방제효과의 극대화를 기할 수 있는 정밀방제로의 기술적 전환을 전제로 한 수도작용 분방제기를 개발하기 위하여 살포장치에 사용되는 노즐의 분무유형을 실험적으로 비교 분석하여 분방제에 적합한 노즐을 선정하고, 노즐을 조합하였을 때 균일살포를 위한 노즐간격을 시뮬레이션을 통하여 결정하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 펌프 및 배관 장치의 구성

#### 1) 분방제에 필요한 펌프 유량 및 압력의 산출

펌프를 선정하기 위해 분방제에 필요한 유량 및 압력을 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

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

LPH : 살포밀도( $\ell/ha$ )

LPM : 분당 분무량( $\ell/min$ )

MPH : 주행속도( $km/hr$ )

W : 유효 분사폭( $m$ )

ha당 분무량은 희석비율을 1000대 1로 하여 살포하는 동력분무기의 경우 1600~2500리터가 되지만, 분방제기의 경우에는 기체의 주행성과 살포효과를 고려하여 희석배수를 100대 1로 고농도화하는 것으로 가정하므로써 분무량은 ha당 200리터가 되었다. 또한, 주행속도(MPH)는 이앙기와 같이 시속 2.16~2.52 km, 유효 분사폭(W)은 0.30~0.45m로 가정하여 식 (1)에 대입하여 계산한 결과 분당분무량(LPM)은 0.216~0.378 $\ell$ 가 되었다.

단편이 40m인 포장을 2 왕복으로 작업을 완료하려면 봄의 길이는 최소한 10m가 되어야 한

분방제기 살포장치의 설계요인 구명을 위한 실험적 연구(I)

다. 따라서 붐의 길이를 10m로 하고 노즐간격을 60~90cm로 가정하면 펌프 용량은 최소한 분당 16리터가 되어야 한다.

펌프 압력은 분방제용 노즐에 적합한 압력인 196.2~588.6 kPa로 설정하였다.

2) 펌프 및 배관 장치

펌프는 위에서 산출된 적정 유량 및 압력을 고려하여 표 1에 나타난 바와 같이 롤러펌프를 선정하였다. 또한 펌프의 동력전달은 펌프 구동축의 회전속도를 변화시킬 수 있도록 1PS 가변속 모터를 사용하여 V-벨트로 동력을 전달하도록 제작하였으며, 노즐의 분무압력을 측정하기 위해 스트레인 게이지 전자식 압력계를 설치

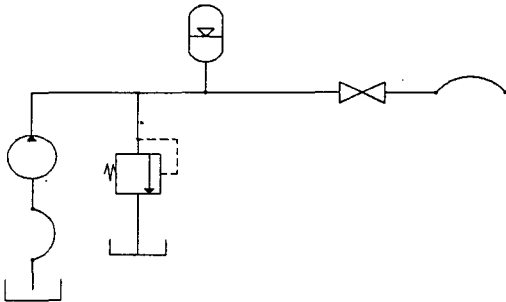


Fig. 1. Schematic diagram of experimental device.

하였다.

공기실은 송출압력의 균등도를 높이기 위해 설치하였다. 그림 1은 분사를 위한 펌프 및 배관 장치의 회로도이다.

나. 노즐의 분무유형 실험

1) 공시노즐의 선정

본 연구의 공시노즐로 Spraying Systems Co.의 다음 노즐들을 선정하였다.

- TP-8001-VS : 선형노즐 (Standard Flat Spray Tip)
- DG-110015-VS: 비산방지노즐 (Drift Guard Flat Spray Tip)
- TP-8001-EVS : 균등선형노즐 (Even Flat Spray Tip)
- TX-SS3 : 원추공형노즐 (Hollow Cone Spray Tip)

2) 수평살포 분무유형 실험

가) 실험장치

노즐의 수평살포시의 분무유형을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 150cm×120cm의 분무수집대 위에 골간격(pitch)이 3.25cm인 sun light를

Table 1. Specifications of pump and measuring equipments

Equipment		Specification
Roller pump	20ℓ/min, at 300 rpm, 490.5kPa	Hypro Co. Max. Prssure : 1962 kPa Max. Flow rate : 80 ℓ/min
Pressure sensor	Range : 98.1~490.5 kPa	VALCOM Co. VPRT-A2-5K-AC
V.S motor	Maker/Model rated power/rated voltage	Dong Yang Electro. 1PS/220/380V 150~1600rpm
Interface board	Maker/Model A/D Channel A/D Resolution A/D Input range	Hando/PCL-812PG 16 single-ended 12 bits ± 10V, ± 5V, ± 2.5V, ± 1.25V
Micro computer		IBM-PC/AT compatible

설치하였다. 또한 분무량 수집을 위해 직경 5cm, 높이 6.5cm인 용기 20개를 골간격 2칸마다 설치하였다. 노즐분무대는 20cm 간격으로 3개의 구멍을 뚫어 높이를 조절할 수 있도록 하였으며, 분무량 측정에는 stop watch와 매스실린더(100 ml)를 사용하였다.

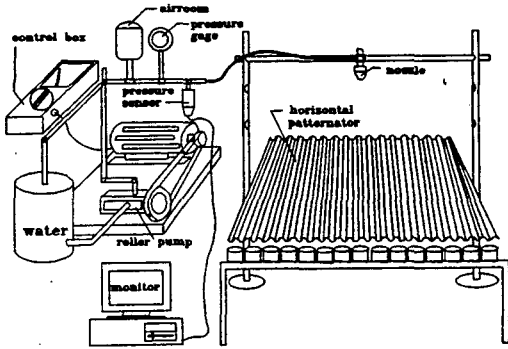


Fig. 2. Horizontal spray patternator.

나) 실험방법

압력은 표 2와 같이 각 노즐에 요구되는 압력 범위 내에서 5수준으로 설정하였다. Hollow cone nozzle의 경우, 표1에서 나타난 전자식 압력계의 측정 범위를 넘는 경우에는 Bourdon gage를 사용하여 측정하였다.

각 노즐에 대하여 각각의 압력수준마다 20cm, 40cm, 60cm의 높이에서 분무수집대를 향하여 1분간 분사시킨 후, 골간격 2칸마다 설치한 용기에 수집된 유량을 매스실린더로 측정하였다.

3) 수직살포 분무유형 실험

가) 실험장치

노즐의 수직살포 분무유형을 측정하기 위하여 그림 4와 같이 180cm×120cm의 아크릴판에 150cm×10cm 알루미늄판 16개를 6.5cm 간격으로

10° 경사지게 배열한 후, 접착제와 테이프를 알루미늄판 사이를 밀봉하였다. 분무량을 수집하기 위해 직경 5cm, 높이 4cm인 용기 16개를 알루미늄판 사이에 설치하였으며, 수집용기받침대는 아래위에 경첩을 설치하여 수집과 측정을 용이하게 하였다.

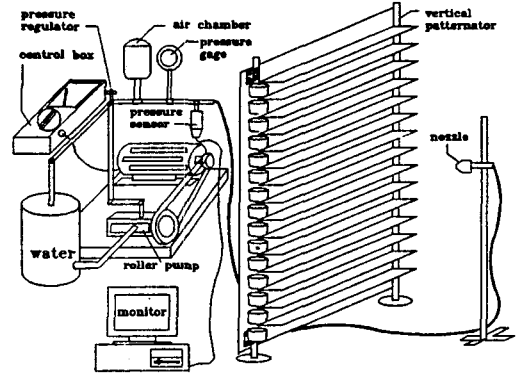


Fig. 3. Vertical spray patternator.

나) 실험방법

압력은 표 3과 같이 각 노즐에 요구되는 압력 범위 내에서 3수준을 설정하였다.

각 노즐에 대하여 각각의 압력수준마다 20cm, 40cm, 60cm의 분사거리에서 분무수집대를 향하여 1분간 분사시킨 후, 골간격마다 설치한 용기에 수집된 유량을 측정하였다.

Table 3. Pressure levels for vertical spray pattern analysis

Nozzle type	Tip No.	Pressure, kPa		
Standard Flat	TP-8001-VS	196.2	294.3	490.5
Even Flat	TP-8001-EVS	147.2	245.3	441.5
Drift Guard	DG-110015-VS	196.2	294.3	490.5
Hollow Cone	TX-SS3	294.3	490.5	686.7

Table 2. Pressure levels for horizontal spray pattern analysis

Nozzle type	Tip No.	Pressure, kPa				
Standard Flat	TP-8001-VS	196.2	245.3	294.3	392.4	490.5
Even Flat	TP-8001-EVS	147.2	196.2	245.3	294.3	343.4
Drift Guard	DG-110015-VS	196.2	245.3	294.3	392.4	490.5
Hollow Cone	TX-SS3	294.3	490.5	588.6	686.7	784.8

3. 결과 및 분석

에 따른 분무유형실험 결과는 그림 4와 같이 나타났다.

가. 노즐의 분무유형

선형노즐의 노즐형태, 분사거리 및 압력변화

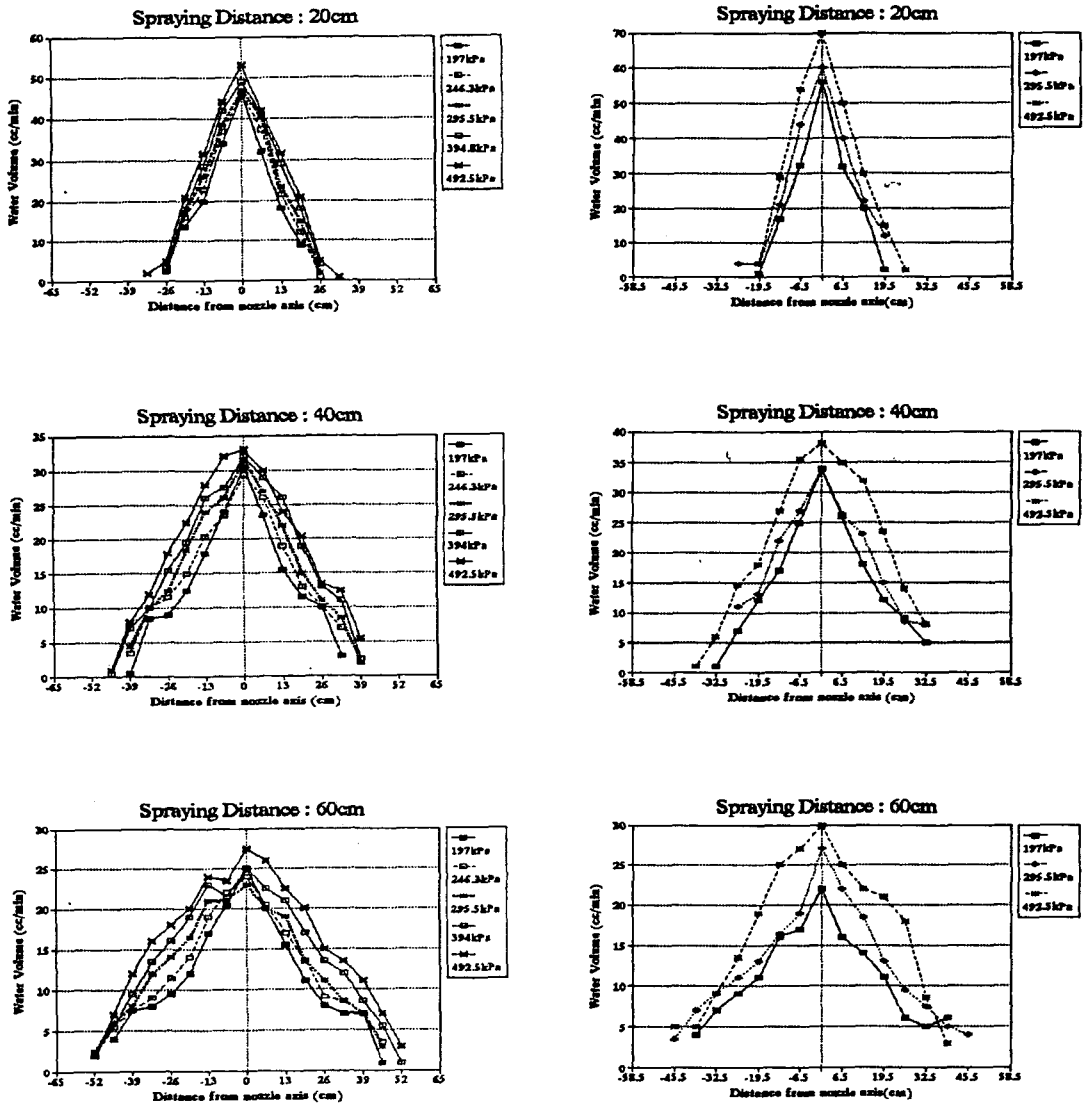


Fig. 4. Spray pattern for standard flat nozzle of TP8001VS at three spraying distances, 20cm, 40cm, and 60cm(left : horizontal patternator, right : vertical patternator).

그림에 나타난 바와 같이, 노즐의 분무유형은 수평살포 및 수직살포시 공회 살포중심 부근에서는 분무액이 집중되고 살포중심에서 멀어질수록 분무액은 점차 감소하는 경향을 보였으며 노즐형태, 분사거리, 분사방향(수평, 수직)에 따라 크게 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 노즐의 분사압력은 살포량에는 영향을 주었지만 분무유형에는 별 영향을 미치지 않았다. 균등선형노즐, 비산방지노즐, 원추공형노즐의 경우에도 선형노즐과 거의 유사한 경향을 나타내었다.

수평살포시의 분무유형은 모든 노즐이 살포중심을 축으로 대칭되는 살포형태를 나타냈으며, 분사거리를 멀리할수록 살포영역이 넓어지면서 고르게 살포되는 경향을 나타내었다.

수직살포시의 분무유형은 모든 노즐이 살포중심을 축으로 아래쪽으로 살포되는 양이 더 많아 살포형태가 비대칭이 되었는데, 이러한 현상은 중력이 작용하여 분무입자가 아래로 떨어지기 때문에 분사거리가 멀어질수록 더욱 커졌다.

선형노즐과 비산방지노즐의 경우에는 살포형태가 좌우 대칭인 산모양으로 나타나 살포의 중첩을 통하여 살포하는 방식인 전면살포에 유리한 것으로 판단되었다. 또한, 비산방지노즐의 살포형태가 선형노즐에 비해 살포영역이 넓은 경향을 나타내었는데 이는 분사각이 비산방지노즐의 경우 110°로서 80°인 선형노즐보다 더 크기 때문인 것으로 판단되었다.

균등선형노즐과 원추공형노즐은 살포중심을 축으로 살포형태가 고르게 나타나 대상살포 및 기부살포에 적합할 것으로 판단되었다. 다만 원추공형노즐은 노즐압력이 294.3kPa일 때와 수직살포시 분사거리가 60cm일 때는 분무입자가 제대로 도달하지 못하여 매우 불균일한 살포형을 나타냈다. 따라서 원추공형노즐은 다른 노즐에 비해서 상대적으로 고압의 상태에서 살포하고, 분사거리를 40cm이하로 하는 고압·근접살포용에 유리한 것으로 판단되었다.

나. 노즐의 분무유량

노즐의 유량과 압력과의 관계는 압력을 제곱

근으로 나타냈을 때 표 4에 나타난 바와 같이 그 회귀식의 r<sup>2</sup> 값이 0.98~0.99로서 압력 제곱근의 변화에 따라서 유량은 직선적으로 증가하였다.

노즐형태별 유량을 비교하면 원추공형노즐이 가장 적고, 그 다음 균등선형노즐, 선형노즐, 비산방지노즐의 순서로 증가하였다.

Table 4. Linear relationships<sup>1</sup>(y=ax+b) correlating flow rate, y[liter/min] with square root of nozzle pressure, x [kPa]

Nozzle Type	a	b	r <sup>2</sup>
TXSS3	0.01158	0.03219	0.99
TP8001EVS	0.02180	0.01749	0.99
TP8001VS	0.02344	0.02112	0.99
DG110015VS	0.03716	-0.04394	0.98

1 Regression method : Least squares

다. 전면살포시 압력 및 분사거리에 따른 균일살포 시뮬레이션

본 연구에서는 수평살포시 선형노즐과 비산방지노즐의 분무유형 측정치를 노즐을 봄에 여러 개 설치하였을 때의 상황으로 시뮬레이션하여, 노즐간격을 바꾸었을 때 노즐압력과 분사거리가 살포의 균일성에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하고자 하였다. 노즐간격의 변화에 따른 균일성은 중첩에 따른 CV(Coefficient of Variation) 값의 변화를 산출하므로써 평가하였다. CV는 다음과 같이 정의된다.

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{Y}} \times 100$$

S : 측정값의 표준편차

$\bar{Y}$  : 측정값의 평균

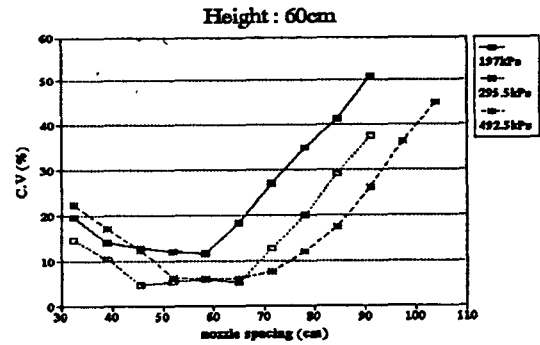
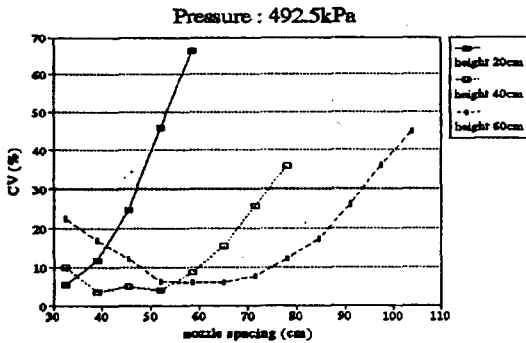
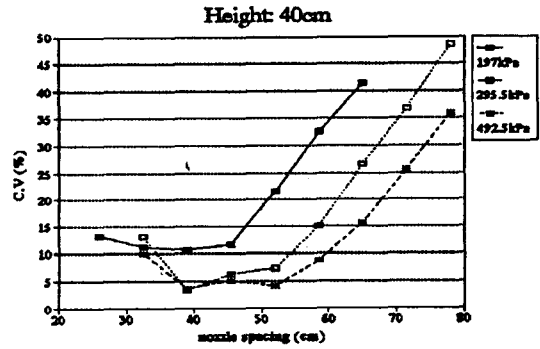
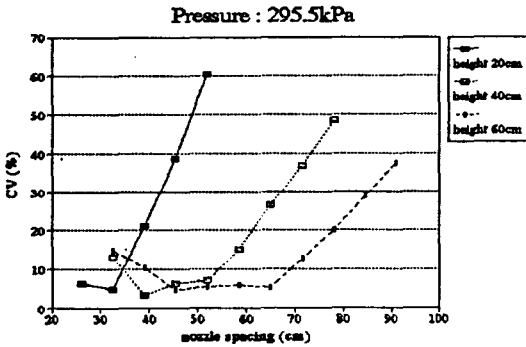
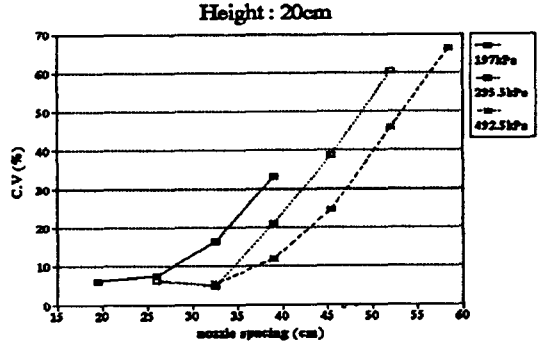
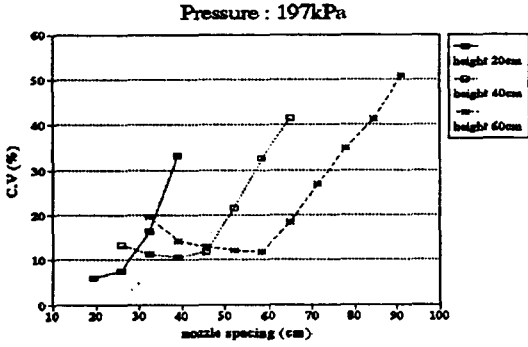
1) 중첩에 의한 균등도의 향상

분무압력이 294.3kPa, 분사거리가 40cm인 선형노즐의 살포형태는 중첩률을 0%, 20%, 50%로 증가시켰을 때 CV값이 각각 48.5%, 26.6%, 7.32%로 감소되어, 점차 살포형이 균일하게 되는 것으로 나타났다.

분무제기 살포장치의 설계요인 구명을 위한 실험적 연구 (I)

2) 시뮬레이션 결과 및 분석  
 가) 분사 높이와 압력의 효과

(a) Spray height effect  
 (b) Pressure effect



(a) Spray height effect

(b) Pressure effect

Fig. 5. Effect of spray height on C.V in standard flat nozzle, TP8001VS.

그림 5에는 분사높이 및 압력을 달리하였을 때의 선형노즐의 분무유형 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 5의 (a)로부터 분사높이가 높

아짐에 따라 균등한 살포가 이루어진다는 것을 알 수 있는데, 이는 분사거리를 멀리하면 상대적으로 저압으로 분사하면서 노즐간격을 늘려도

균등한 살포에 무리가 없다는 것을 의미한다. 압력의 효과는 그림 5의 (b)와 같이 압력을 크게할 수록 균등한 분무유형이 얻어졌다. 이는 압력이 높아질 수록 액체의 출구속도가 증가하면서 분사각이 커지기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 압력을 높게 하면 상대적으로 분사거리를 가깝게 하면서 노즐간격을 늘려도 균등한 살포가 이루어짐을 알 수 있다. 비산방지노즐의 시물레이션 결과도 분사높이 및 압력의 변화에 대해 선형노즐과 유사한 분무유형을 나타내었다.

나) 균일살포를 위한 노즐간격 및 분사높이의 결정

분무유형 시물레이션 결과, 선형노즐과 비산방지노즐 모두 살포높이와 분사압력이 클수록 균일한 살포가 이루어짐을 알 수 있었다. 또한, 균일살포를 위한 노즐간격은 분사각이 110°인 비산방지노즐이 80°인 선형노즐보다 더 넓게 나타났다. 이는 노즐간격을 늘려서 노즐을 설치할 경우에는 분사각이 큰 노즐을 사용하는 것이 균일살포를 위해서는 더 유리하다는 것을 뜻한다.

문헌(Azimi, 1985)에 의하면 C.V값이 10% 이하이면 매우 균일한 살포형을 갖고 15% 이하이면 만족스러운 균일살포형을 갖는다고 하였으므로, 본 연구에서는 C.V값 15% 이하를 균일살포의 기준으로 하였다.

표 5에 C.V값이 15% 이하일 때의 노즐간격 및 그 때의 중첩률을 나타내었다.

표 5에 나타난 바와 같이 균일살포를 위한 노

즐간격은 압력과 분사높이에 비례하여 넓어진다.

그러나, 노즐간격은 살포의 균일성뿐만 아니라, 작업의 효율성 측면에서 결정되어지는 단위면적당의 살포량도 함께 고려하여 결정해야 한다. 즉, 같은 압력으로 살포할 경우, 노즐간격에 따라 단위면적당의 살포량이 달라지므로, 앞에서 결정한 ha당 200ℓ의 살포량을 기준으로 했을 때 결정되는 노즐간격의 범위와 균등도를 기준으로 했을 때 결정되는 노즐간격의 공통범위를 적정노즐간격으로 결정해야 한다. 이와 같은 방법으로 결정된 각 노즐의 적정한 노즐간격과 분사높이를 표 6에 나타내었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 방제효과의 극대화를 기할 수 있는 정밀방제로 전환할 수 있으며 벼의 생육시기 별로 기부살포와 입자크기의 조정 등이 가능한 수도작용 분방제기를 개발하기 위하여 수행되었다. 살포장치의 설계인자를 구명하고 그 크기를 설정하고자, 노즐의 분무특성을 실험적으로 비교 분석함으로써 전면 및 기부 살포시 적합한 노즐의 형태를 선정하였고, 상기 실험에서 분석된 제 인자의 영향과 기부살포시 벼의 위치에 따른 피복특성을 구명하였다.

본 연구는 고농도 미량살포를 전제로 희석비율을 100대 1로 가정하여 ha당 살포해야 할 약

Table 5. Nozzle spacing and overlap rate at C.V ≤15%

Nozzle Type	Tip No.	pressure, kPa	Nozzle Spacing, cm(overlap rate, %)		
			spray height, cm		
			20	40	60
Standard Flat	TP8001VS	197	20~26 (50~100)	26~46 (43~150)	39~59 (56~133)
		295.5	26~33 (60~100)	33~52 (50~140)	33~72 (27~180)
		492.5	33~39 (67~100)	33~59 (33~140)	46~78 (33~129)
Drift Guard	DG110015VS	197	33~39 (67~100)	52~59 (78~100)	39~85 (38~200)
		295.5	39 (100)	59~72 (46~78)	52~98 (20~125)
		492.5	33~59 (33~140)	46~91 (29~157)	39~111 (6~200)



Table 6. Effective nozzle spacing and spray height of each nozzle

Nozzle type	Tip No.	spray angle	pressure, kPa	nozzle spacing, cm	spray height, cm
Standard Flat	TP8001VS	80°	197	40	40~60
			295.5	50	40~60
			492.5	65	40~60
Drift Guard	DG110015VS	110°	197	55	40~60
			295.5	70	40~60
			492.5	96	40~60

액량을 200ℓ로 하여, 약액통 용량을 200ℓ로 하고 노즐의 분당분무량을 0.216~0.378ℓ로 설정하였다. 또한 단면이 40m인 포장을 2 왕복으로 작업을 완료하는 것을 전제로 붐의 길이를 10m로 정하였으며 펌프용량은 노즐을 17~34개를 붐에 설치하는 것으로 하여, 최소 용량을 분당 16ℓ로 설정하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 노즐의 분무유형은 노즐형태, 분사거리, 분사방향에 따라 크게 차이가 나는 것으로 나타났다. 노즐의 유량과 압력과의 관계는 압력 제곱근의 변화에 따라서 유량은 직선으로 나타났다. 또한, 노즐의 분무입경은 압력이 증가할수록 감소된 반면 분사거리가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

(2) 전면살포시 선형노즐과 비산방지노즐의 분무유형 측정치를 이용하여 노즐을 조합하였을 때, 노즐압력과 분사거리가 살포의 균일성에 어

떠한 영향을 미치는가를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 그 결과, 두 노즐 모두 분사거리와 분사압력이 클수록 균일한 살포가 이루어졌다.

#### 참 고 문 헌

1. 이채식, 박우풍, 홍종태, 1987. 시험연구보고서. 농촌진흥청 기계화연구소. pp. 190~196.
2. Azimi, A.H., T.G. Carpenter and D.L. Reichard. 1985. Nozzle Spray Distribution for Pesticide Application. Trans. of the ASAE 28 (5) : pp. 1410~1415.
3. Zhang, L., L. Wang and G. E. Thierstein. 1994. Measuring Nozzle Spray Uniformity Using Image Analysis. Trans. of the ASAE 37(2) : pp. 381~387.