

# 시설하우스용 一輪電動防除機 개발

## Development of Electric Motor Driven Single Wheel Vertical Boom Sprayer for Greenhouse

유병기\* 장진택\* 한길수\* 강태경\* 윤성식\*\*

정희원 정희원 정희원 정희원

B.K.Yu, J.T.Chang, K.S.Han T.G.Kang S.S.Yun

### 1. 서론

우리 나라에서는 70~80년대에 벼농사 및 과수용 방제기에 관하여 중점적으로 되었으며 벼농사 에서는 분무약액의 도달성이 중요하므로 논두렁에서 살포할 수 있는 노즐의 개발을 위한 많은 연구가 수행된 바 있다. 조 등(1884)은 2구 노즐을 개발하여 유효분무거리를 21.6m까지 가능하게 하였다고 하였으며, 이(1993)는 논두렁 노즐체계에서 균일한 살포를 얻기 위하여는 수압식 노즐의 입자비행특성과 이류체 노즐의 분무 입자 운송 특성을 조합 병행하는 것이 바람직 할 것이라고 하였다. 그러나 하우스 방제와 노지용 방제에 있어서는 많은 차이가 있어서 시설하우스내의 방제작업은 도달성보다는 밀폐공간에서 작업자의 농약 중독 피해 문제가 중시되고 있다. 한편 김(1994)은 상온연무기의 입자분무특성을 연구하였으며 김 등(1997)은 무인자동방제기를 개발하였다. 그러나 1990년대 우리 나라 원예시설의 80% 이상인 삼만여ha를 차지하는 대부분이 대형비닐터널이나 아취형단동하우스로 상온연무기나 로봇방제기 등을 사용하기에는 작업여건과 경제성 등

이 맞지 않아 대부분의 농가는 방제작업에 동력분무기를 사용하므로 노동투하시간이 많고 시설하우스내를 여러 번 왕복하면서 반복 작업하고 있어 농약중독의 우려가 크다. 본 연구 에서는 시설하우스 방제장치의 분무노즐을 선발하고 분무호스 수압, 유량 변화 특성을 검토 하여 단동하우스에서 사용할 수 있는 호스자동권취장치가 장착된 작업능률이 높은 전동식 수직boom방제장치를 개발하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

가. 시험 장치 및 재료

---

\* 농업기계화연구소

\*\*한국마그넷주식회사

### (1) 분무 노즐

재래식 단동하우스에서 사용할 분방제기는 가격이 저렴하여야 하고 분방제기 특성상 인력 방제처럼 사람이 분무상태에 따라 노즐의 위치를 수시로 손으로 조절할 수 없으므로 분무특성이 균일하여야 한다. 또한 번무된 농작물에 방제를 균일하게 하기 위하여는 중공노즐이 용이하며 중공노즐 중 디스크형식 보다는 캡 형식이 분무가 고르다고 하였다(최 등 1988). 그러므로 중공 캡 형식 노즐중에서 분무가 고른 노즐을 선발하기 위하여 아래와 같이 실험들을 실시하였다.

Table 1. Specification of spray nozzles

Item	type I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Diameter(mm)	1.35	0.71	1.1	1.1	0.73	0.78	1.0	1.1
Spraying angle(°)	100	75	81	79	60	60	60	60

분무특성을 조사하기 위하여 공시노즐로는 주로 농약분무에 많이 사용되고 있는 노즐 1종, 미세분무노즐 3종, 건 타입 유류버너등에 널리 사용되는 노즐 4종 등 3가지 형식의 8종 노즐을 가지고 선발시험을 하였다. 분무입자 측정을 위해 Malvern 2600형 레이저식 자동입자 분석기를 사용하였으며 분무량의 측정은 최대 5kgf까지 가능한 전자저울을 사용하였다.

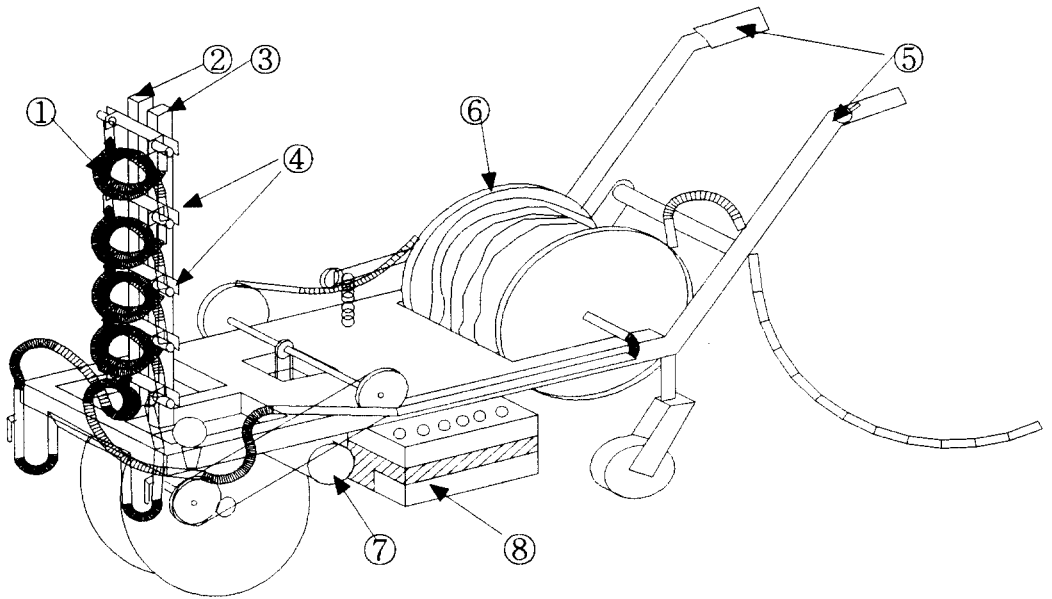
### (2). 분무호스 상태별 압력변화

분무장치 제작을 위한 기초시험으로 분무작업할 때 호스상태에 따른 마찰손실에 의한 압력강하로 분무량이 줄어드는 양을 확인하기 위하여 호스상태를 권취하지 않은 상태(무권취), 호스를 끌어당기며 권취하여서 호스와 지면의 마찰력에 의한 인장력(최대 14kgf)이 작용하여 팽팽하게 권취된 상태(팽팽한 권취), 끌어당기지 않아 인장력이 걸리지 않게 느슨하게 권취한 상태(느슨한 권취)의 3가지 상태에 있어서의 압력강하에 의한 토출량의 감소 상태를 측정하였다.

공시호스로는 동력분무기용 내압 100kgf/cm<sup>2</sup>짜리 내경  $\Phi$ 85mm의 폴리염화비닐호스를 사용하였으며 동력분무기는 전동기 구동 3련 플린저 40A형을 사용하였다. 릴에 감겨 있는 길이 120m호스 양쪽에 최대 50kgf/cm<sup>2</sup>, 감도 1kgf/cm<sup>2</sup>인 브르동(Bourdon) 압력계를 각각 설치하고 그 바깥 한쪽 끝은 동력분무기 토출구에 연결하고 다른 한쪽 끝은 콕 밸브를 설치하였다. 또한 토출된 물의 양을 측정하기 위하여 플라스틱 용기와 60kgf까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하였다.

### (3) 시작기

시작기는 그림 1과 같이 제작하였다. 주행 장치는 전동식 일륜구동방식으로 전진시에는 호스 한쪽 끝이 분무기에 고정되어 있으므로 호스의 인장력에 의해 풀리고, 방제하면서 후진할 때에는 후진속도에 비례하여 릴이 자동으로 호스를 권취하도록 제작하였으며, 권취속도가 후진속도보다 빠를 경우는 권취동력을 벨트 텐션에 의해 자동으로 단속될 수 있도록 제작하였으며 분무형식은 번무된 작물에도 분무효과를 높이기 위하여 노즐요동식 수직분형으로 동력원은 충전식 배터리로 제작하였다.



① Hose ② Fixed shaft ③ Moved shaft ④ Nozzle ⑤ Switch  
 ⑥ Hose rolling tool ⑦ motor ⑧ battery

Fig1. Prototype boom sprayer for greenhouse

Table 2. Specification of prototype

Item		Specification
Main body	size(L×B×H)	1920×550×1750mm
	Weight	120kg
	Type	Vertically oscillated
Boom	Distance of nozzle	250mm
	Nozzles	Cap type, $\phi$ 1.0mm
Power	Battery	12V, 50AH×2ea
	Motor	DC. 24V. 80W

시작기의 포장분무상태의 측정에는 물이 묻으면 색깔이 변하는 感水紙(water-sensitive paper)를 사용하여 塗布상태를 측정하였다.

### 가. 시험방법

#### (1) 분무노즐

##### (가) 분무압력별 분무량

농용분무노즐 등 8종의 노즐에 대하여 분무시의 분무압력을 부르동(Bourdon) 압력계를 사용하여 4, 6, 8, 10kgf/cm<sup>2</sup>으로 고정하고 분무량은 플라스틱용기로 분무된 물을 받아 전자저울로 중량을 측정하여 부피로 환산하였다.

##### (나) 분무압력별 입경

분무입자의 측정은 노즐을 Malvern입자 분석기에 수평으로 설치하여 레이저와 80cm거리에 있는 노즐에서 분무되는 분무입자를 그림 2와 같이 3반복 측정하여 평균하였다

(다) 분무균일도

농형캡형노즐 등 3종에 대하여 분무압력을 분무노즐의 위치를 지상 60cm 높이에 설치하여 수직하향 분무시 거리별 분무량을 골간격 6.5cm의 플라스틱 골판으로 경사 10°, 폭 1.8m, 길이 3.5m인 측정장치를 그림 3과 같이 제작하여 무풍 상태인 실내에 설치하고 각 피치 구간의 분무량을 측정할 수 있도록 측정용기를 장치한 후 노즐압력을 6, 8, 10kgf/cm<sup>2</sup>으로 하고 분무균일도를 측정하였다. 3가지 노즐의 정규살포폭을 아래 방법으로 추정하여 그 폭내에서 아래 식에 의하여 분무압력 10kgf/cm<sup>2</sup>일 때의 變異係數(Coefficient Variation C.V.%)를 산정하였다.

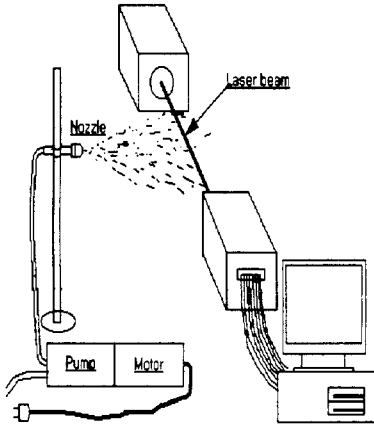


Fig 2. Measurement of spraying droplet

차정규살포폭 = 분무량이 중앙 분무량의 80% 이상이 나타나기 시작하는 곳의 까지의 폭

$$C.V.(%) = \frac{\text{평균분무량에 대한 표준편차}}{\text{평균분무량}} \times 100$$

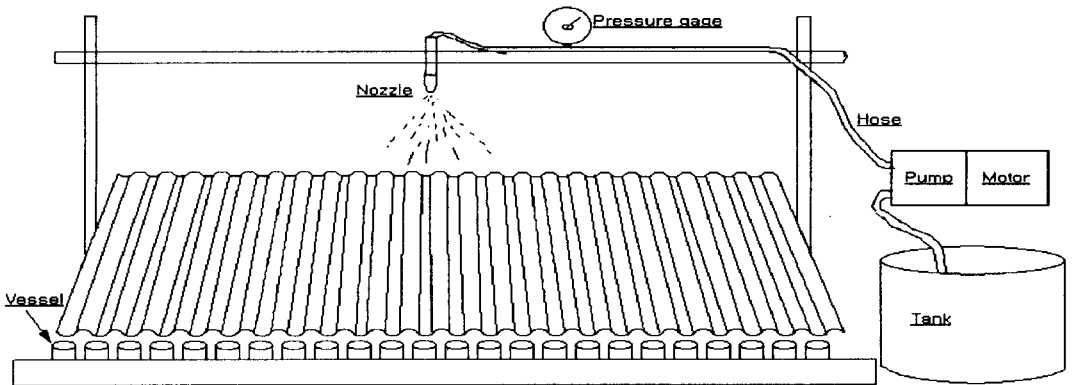


Fig 3. Measurement of spraying particle distribution pattern

(1) 분무호스 압력 변화

동력분무기 쪽의 압력을 30kgf/cm<sup>2</sup>로 유지하면서 반대쪽의 토출압력을 조절하여가며 압력이 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 28kgf/cm<sup>2</sup>로 될 때의 토출량을 그림 4와 같은 장치로 측정하였다. 각각 무권취, 느슨한 권취, 팽팽한 권취에서의 상태에 대하여 측정하였다.

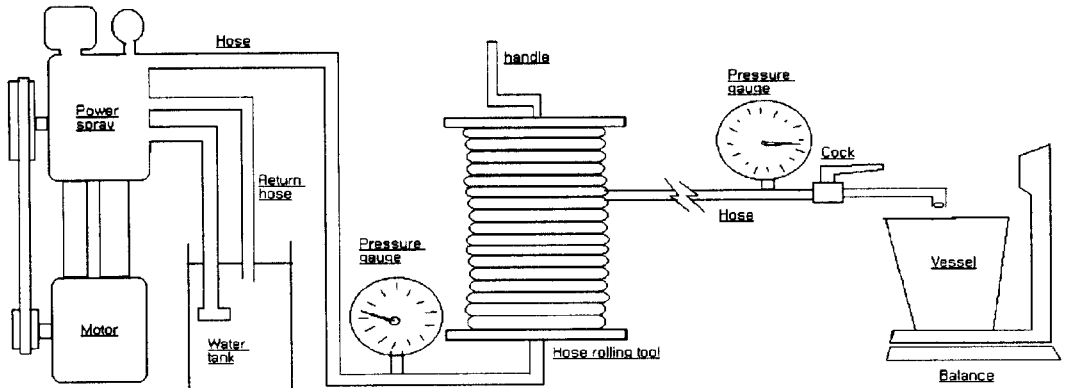


Fig 4. Schematic diagram of measuring instrument for pressure drop by hose states

#### 다. 작업성능

단동하우스에서 작업의 적응성 및 편의성 등을 실험하였다. 작업진행방향에 수직으로 거리 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m에 감수지를 0.5m 높이에 설치하고 분무기에서 30kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 분무하면서 0.55m/s로 후진하며 도포상태를 측정하였으며 하우스에서의 운전 편의성 등을 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 분무노즐

##### (1) 압력별 분무량

분무량은 일반적으로 노즐 구멍직경의 제곱에 비례하고 압력의 제곱에 비례할 것으로 예상되었으나 실제로는 분판의 구조 등에 의해서도 영향을 많이 받아서 Type III, IV의 경우처럼 분구가 같은 경우도 같은 분무 압력에서 분무량이 다르게 나타났다.

Table 3. Discharge rate of spray nozzles (ml/min)

Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Type of nozzle							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
4	460	103	280	380	315	450	510	610
6	560	140	345	470	388	510	633	760
8	670	170	390	540	450	600	730	880
10	760	200	440	610	510	670	820	990

##### (2) 분무압력별 분무입경

방제에 적합한 분무입자의 크기에 관하여 곤충학자 Himel(1969)은 20 $\mu$ m 이상의 균일한 크기의 입자가 보다 넓은 표면적에 보다 양호한 방제효과를 기할 수 있다고 하였으며, Smith 등(1975)은 입자의 비산을 고려하여 140~200 $\mu$ m의 크기가 적당하다고 보고하였고, 여러 작물에 대한 입자의 적정크기에 관한 종합적인 연구결과는 방제대상물에 따라서 비행중의 곤충은 10~50 $\mu$ m, 작물 잎의 곤충은 30~50 $\mu$ m, 작물 잎은 40~100 $\mu$ m, 토양과 비산을 피해야 될

제초제는 250~500 $\mu\text{m}$ 이라고 보고하였다(Himel 1969, Smith et al 1975, Wilsom et al 1963). 그런데 하우스용 분무제기에서는 바람 등에 의한 비산의 염려가 적고 토양을 피해야 할 제초제를 사용하지 않을 것이므로 생물학적 방제효과 만을 생각할 때 적정 분무입경은 노지용의 150~400 $\mu\text{m}$ 보다 상당히 작은 100 $\mu\text{m}$  이내가 될 것이다.

Table 4. Spray droplet size by the variation of spraying pressure ( $\mu\text{m}$ )

Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Type of nozzle							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
4	149.6	82.7	93.0	102.1	110.5	123.8	150.7	173.4
6	144.8	66.8	70.3	79.0	87.7	100.3	129.8	142.9
8	138.0	60.9	62.8	69.8	77.9	92.0	115.8	131.9
10	129.9	60.6	61.3	66.0	74.2	87.8	107.6	125.2

일반농가에서 많이 사용하는 농업용 노즐 유형 I 은 분무입자가 비교적 큰 편이었고 미세분무노즐인 유형 II, III, IV는 분무시에 4 kgf/cm<sup>2</sup>에서 만 제외하고는 60.6 ~ 87.7 $\mu\text{m}$ 로 균일하였으므로 하우스방제시 방제효과가 높을 것으로 판단되었다. 유류버너용으로 많이 이용되는 유형 V~VIII은 미세분무노즐 보다는 입자가 컸지만 type I 보다는 입자가 작았다. 분무입자의 크기는 너무 가늘면 수화제 사용시 수화제 입자의 영킴으로 분구가 막히거나 연무기처럼 분무입자가 부유하여 작업자에게 약해를 줄 수 있으므로 분무입경 100 $\mu\text{m}$ 내외가 적당하다고 판단되나 분당분무량을 고려할 때 유형 I, IV, VII이 적합한 것으로 판단되었다.

#### 다. 분무균일도

노즐 type I, IV, VII의 수직분무특성을 조사하여본 결과 유형 I 은 압력이 6kgf/cm<sup>2</sup>에서 10kgf/cm<sup>2</sup>범위에서 압력이 높아질수록 살포균일도가 낮아졌으며 유형 IV와 VII는 압력이 높아질수록 살포균일도가 높아졌다. 이론상의 중공노즐은 양쪽 가장자리 경계선 부분을 제외한 정상적인 분무가 이루어지는 정규살포폭내의 중앙 부분의 분무는 완전히 균일하여야 하나가공 정밀성이 미흡하여 실제로는 불균일하게 된다. 변이계수(C.V.)값은 유형 I=18.91%, type IV=4.60%, type VII=5.53%로 나타나 유형 I 은 균일분무가 이루어지지 않은 반면 type IV와 VII은 상당한 정도의 균일분무가 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

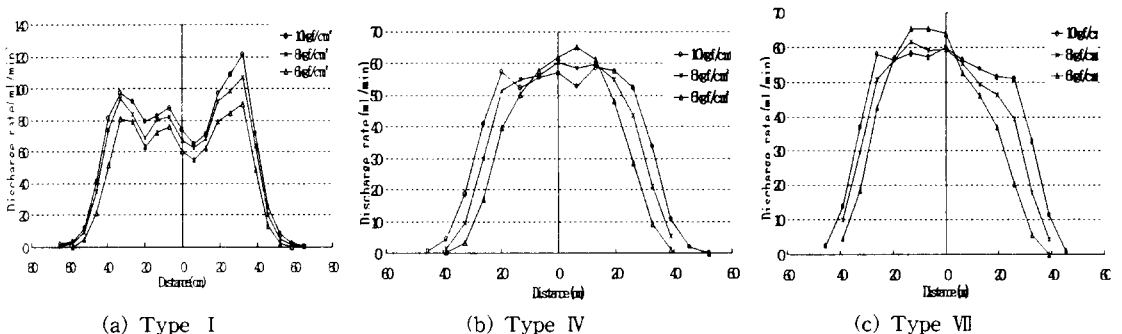


Fig 5. Spray patterns at the height of 0.6m

그러나 표 5에 나타난 노즐구입가격을 감안하는 경제적 조건을 고려할 때 type VII이 가장 합리적인 것으로 나타났다.

Type of nozzle		
I	IV	VII
1,000	30,000	4,000

#### 나. 분무호스 상태별 압력변화

동력분무기용호스는 KS 규격에 안지름의 규격에 따라 7.5mm, 8.5mm, 10mm, 13mm의 4종류가 있으나 7.5mm 규격은 현재 거의 사용되지 않고 있으며 10mm와 13mm는 호스무게가 무겁고 부피가 많이 나가므로 본 시설하우스용 분무제기용으로는 사용에 부적합하다. 그러므로 본 연구에서는 8.5mm호스를 대상으로 하였다.

내경 8.5mm, 길이 120m동력분무기용 송출호스에 있어서 호스권취 방법별 분무량과 압력강하를 측정하여본 결과 호스와 물의 마찰손실에 의한 압력강하는 분무량의 공급에 비례하였으며 무권취 상태에서 압력강하가 가장 작게 나타나고 다음은 느슨한 권취, 팽팽한 권취 순으로 나타났다. 권취상태에서 무권취 상태보다 분무량이 압력강하가 커져서 분무량이 주는 원인은 곡선에 의한 마찰계수의 증가와 감긴 상태에서의 호스의 내경 팽창이 어려우나 무권취상태에서는 호스가 팽창하여 내경이 커지기 때문인 것으로 판단된다.

대형 터널이나 긴 단동하우스의 경우 하우스 길이가 100m 가까이 되므로 호스가 90m 이상 감은 상태의 작업과 다 편 상태의 작업을 하여야 하므로 그림 6에서 보듯이 권취장치를 외부에 고정하고 기계가 호스 끝을 끌고 다니도록 하면 호스를 끌려서 팽팽하게 권취장치에 감기게 되므로 하우스의 한쪽 끝에서는 팽팽한 권취상태로 다른 한쪽에서는 무권취 상태로 분무가 되므로 양쪽에서의 분무량이 많이 차이 나게 되므로 본 방제기 제작에 있어서는 권취릴을 방제 작업차에 장착하여 호스를 끌지 않고 느슨하게 권취되도록 하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

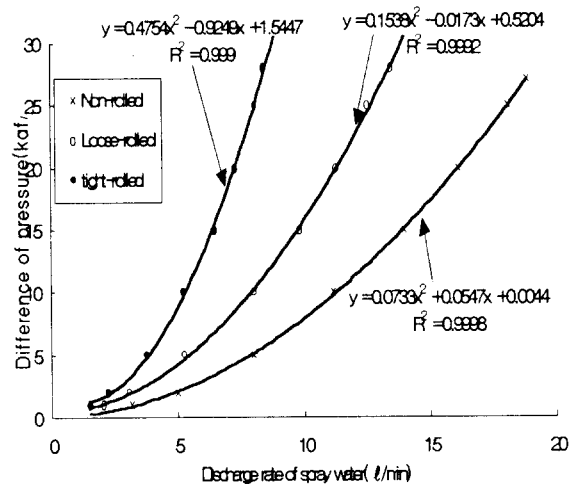


Fig 6. Pressure drop by discharge rate in the status of high pressure delivery hose.

#### 다. 작업성능

##### (1) 작업성능과 운전편의성

시작기의 경우 유효살포폭은 4m정도였으며 작업성능은 4.04시간/ha로 관행동력분무기분무 9.52시간/ha의 42.4%로 능률적이었다. 시작기는 조작이 용이하고 이동이 편리하며 호스가 자동으로 권취되어 편리하나 후진하면서 분무하도록 되어 있어 작업이 불편하고 고랑이

좁은 경우 주행성이 불량하여 농가적용을 위하여는 기체의 소형화 또는 고랑이 보다 넓은 재배방식으로 개선이 필요할 것으로 사료되었다.

Table 6. Working performance of prototype

Speed (m/s)		Turning time required(s/turn)			Spray width (m)	Rolling delivery hose	Travelling on road	Travelling on furrow
Foreword	Backward	Foreword	Backward	Switch shift				
0.58	0.55	8.7	13.2	3.2	4.0	Good	Good	No good

(2) 방제성능

시작기를 사용하여 분무작업을 하여본 결과 기체 우를 거쳐 1.5m 이내에서는 100% 도포되었으며 2.0m에서는 90%수준으로 약제의 도포가 낮아지기 시작하였고 2.5m 거리에서는 도포율이 40%미만으로 방제가 낮아질 우려가 있는 것으로 나타났다. 그러므로 이방제기의 유효방제폭은 좌우로 2m씩 4m 내외로 판단되었다.

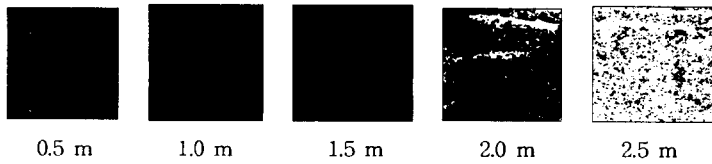


Fig 7. Covered pattern by distance at 50 height

라. 경제성

관행 작업에서는 방제작업을 위하여 방제를 직접 하는 사람 이외에 보조원이 최소한 1명 이상 필요하나 시작기로 작업할 경우 보조원이 필요 없고 작업 폭이 넓기 때문에 작업비용이 절약되는 것으로 분석되었다. 1ha당 시작기의 소요경비는 50,389원/ha으로 관행동력분무기 사용한 방제작업 103,263원/ha의 48.8%인 50,389원/ha으로 경제적인 것으로 나타났다.

Table 7. Cost analysis

Item	Prototype	Conventional (power sprayer)
Purchasing price(won)	1,500,000	-
Service life(year)	6	-
Annual use(hr)	60	-
Cost per hour(won)	12,474	10,847
Working performance(hr/ha)	4.04	9.52
Cost per ha(won/ha)	50,389	103,263

1. Annual repair rate : 6% 2. Annual interest rate 5% 3. Electric rates :32.40won/Kwh

4. Wages : man 36,156won/day, machine man 50,618won/day

4. 요약 및 결론

대형터널이나 단동하우스에서는 대부분 인력에 의하여 방제가 이루어지므로 단동하우스용



분무방제기를 개발하였으며 분무방제기 개발을 위하여 적정 노즐을 선발하고 분무호스의 권취 상태에 따른 압력과 분무량 특성을 구명하였으며 시작기의 주행 및 살포성능을 시험하였다.

유류버너용 노즐이 분무압력 10kgf/cm<sup>2</sup>에서 74~125 $\mu$ m의 분무입자를 얻어 하우스용 방제에 적합한 것으로 나타났으며 10kgf/cm<sup>2</sup>의 압력에서의 농용캡형노즐의 C.V.값이 18.91%, 미세분무노즐인 유형 IV는 4.60%, 유류버너용 유형 VII은 5.53%로 나타났으며 경제성을 고려할 때 유형 VII이 적당한 것으로 나타났다.

분무호스의 압력강하는 직선상태로 퍼져 있을 때보다 등글게 권취했을 경우 압력강하 정도가 크고 느슨하게 권취했을 때보다 팽팽하게 권취했을 경우 압력강하가 더 크게 나타났으며, 유입부 압력을 일정하게 했을 경우 유량이 증가할수록 압력강하가 큰 것으로 나타났다.

시작기는 호스자동권취장치가 부착된 일륜전동식 방제장치로서 밧데리 전동기로 구동되며 전후진속도는 운전자의 보행속도와 비례하도록 제작하였고 호스권취장치는 전진할 때 풀어지고 후진할 때는 속도에 비례권취 되도록 제작하였으며, 수직봄에 노즐 10개를 양방향으로 설치하여 노즐대가 상하로 요동분무되도록 설치하였다.

시작기의 유효살포폭은 4m정도 였으며 작업성능은 4.04시간/ha로 동력분무기를 이용한 관행작업 9.52시간/ha의 42.4%로 능률적이었다. 1ha당 시작기의 소요경비는 50,389원/ha로 동력분무기를 사용한 인력방제작업 103,263원/ha보다 51.2%로 경제적인 것으로 나타났다. 기체를 소형으로 개량할 경우 농가보급에 유리할 것으로 판단되었다.

## 5. 참고문헌

1. 최규홍, 김진영, 이승기, 1988, 캡형 노즐과 디스크형 노즐의 분무특성 비교시험연구, 새마을연구논문집. 7 : 49-63
2. 조영길, 박관규, 정성근, 1984, 동력분무기의 2두구 노즐 개발 연구, 농사시험연구보고.26(2) : 1-10
3. 한국공업규격 농업용 분무기 폴리염화비닐 호스 KS M 3405
4. 김찬수, 윤여두, 김기대, 1997, 하우스용 무인자동방제기의 개발, 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집.2(1) :18-25
5. 김명규, 1994, 무인 상온 연무방제기 개발에 관한 기초연구, 박사학위논문, 경상대학교 대학원
6. 이상우, 1993, 분무기용노즐의 구조에 관한 연구, 한국농업기계학회지. 18(2) : 100-109
7. Himel, C. M. 1969. The optimumsize for insecticide spray droplets. J. Econ. Entomol. 62(4) : 919-925
8. Smith, D. B., E. C. Burt, and E.P. Lloyd. 1975. Selection of optimum spray-droplet sizes for boll weevil and drift control. Jour. Econ. Entomol. 68(3) : 415-417
9. Wilsom, J.D., D.K. Hedden, and J.P. Slesman. 1963. Spray droplet size as related to disease and insectcontrol onrow crops. Research Bull. 945. Ohio Agric. Exp. Sta.