한국농업기계학회지 제23권 제3호. pp. 211~218. 1998

주행속도 보상형 붐방제기의 개발+

Development of a Flow Compensating Boom Sprayer for the Speed Variation

구 영 모* 정 재 은*
정회원 정회원
Y. M. Koo J. E. Jung

ABSTRACT

A variable flow-controlled boom sprayer was developed and evaluated. Field tests were conducted to evaluate the adoptability of the sprayerr with optimal conditions. Negative response time was obtained from the field test because pump and PTO were interlocked with the speed of sprayer. Another reason for the negative value was due to the definition of the response time. With constant on-time control, the system was unstable at the conditions of small tolerance and long control interval.

The performances of the spray system were stable and accurate. The stable and synchronous responses were achieved with a variable on-time control. The flow control system with an optimal condition (1.0 sec of control interval, 2 of damping ratio, 1% of tolerance) provided the proper performance for uniform spraying. A standard operating procedure of the flow compensating boom sprayer for the ground speed variation was presented and recommended.

주요용어(Key Words): 붐방제기(Boom Sprayer), 유량제어기(Flow Controller), 균일살포(Uniform Spraying)

1. 서 론

방제살포에서 제시된 문제중 농약에 의한 환경오염은 최근 개선해야 할 우선 과제로 인식하고 있다. 일반적으로 살포된 농약의 약 10% 미만이 병충해 방제 또는 제초에 이용되고 나머지 90% 이상의 약제는 대기 또는 토양에 잔류하거나 하천에 방류되어 토양이나 하천 환경오염의 주요 원인이 되고 있다 (Matthews, 1992). 우리나라의 단위면적당 농약 사용량이 과다하며 농약의 과다살포는 환경오염의 문제뿐만이 아니라 경제적으로도 농약의 불필요한 낭비를 초래한다 (홍혜란, 1995).

또 고압노즐의 사용으로 인해 농약의 비산이 발생하고 이것이 작업자의 호흡기로 들어갈 위험성이 높아 인체에도 큰 해를 미치고 있다. 경남 김해시·군 지역을 중심으로 한 조사에서는 총 조사대상 120명 중 87%인 104명이 농약의 피해를 입었던 것으로 나타났으며, 피해의 증상으로는 피해자중 두통과 현기증이 43%, 가려움증이 14.2%, 호흡곤란이 10.8%였다 (하환기, 1987). 또한 농민의 82%가 농약 중독을 경험하고 이 중 31%가 요양 내지는 치료가 요망되고, 농약 중독 발생률이 미국 등 선진국에 비해 100

+ 본 연구는 농업기계학회 산학협동과제로 수행되었음

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

배나 높게 나타난다는 발표가 있었다 (홍혜란, 1995).

방제작업은 작업 수행시기가 대부분 하절기이므로 작업자가 고온에 의해 쉽게 피로해짐으로 인해 방제작업에 대한 농민들의 작업 기피현상이 나타나고 있다. 국내에서 사용되고 있는 농약살포기는 동력분무기와 동력살분무기가 주종을 이루고 있으며 국내 보급율은 약 45% 내외이다 (서상룡, 1997). 이 같은 현실적 문제들을 고려할 때 붐방제기 등 정밀 방제기의 개발과 보급이 시급하다.

방제효과에 영향을 미치는 살포작업의 변수는 방제속도, 살포폭, 노즐 배출량, 노즐압력 등이 있는데 이 변수들을 최적의 상태로 유지하여 최적량의 농약을 균일하고 유효하게 살포할 수 있다. 따라서 정량의 살포량을 일정한 살포폭으로 살포할 때 변수인 방제기 속도에 대하여 노즐에서의 총배출유량을 조절하는 방제시스템인 주행속도 보상형 붐방제기의 제어기를 시험하였다 (구영모, 1998). 이 실험에서 유량조절 밸브의 고정시간제어에서 나타난 작은 오차 허용도에서의 불안정성을 변동시간 제어를 도입함으로써 해결할 수 있었다. 제어간격 1.0sec 와 증간 감쇠비에서 0.5% 이내의 오차에서 안정된 동특성과 약 3.8sec의 반응시간을 보였다. 절대 정상상태 오차는 모든 독립변수에 대해 영향을 받지 않았으며 총평균은 0.032 L/min으로 나타났다.

본 연구의 목적은 방제작업시 작업자를 보호하며, 경제적 손실을 줄이고, 방제효과의 극대화를 꾀하기 위하여 구영모 등(1998)에서 밝혀진 최적 변수값을 이용하여 주행속도 보상형 붐방제기를 개발하고 실제 포장에의 적용방법과 성능을 평가하는 데 있다.

2. 실험장치 및 방법

가. 방제기의 구성

포장실험에 사용한 용량 200L의 방제기는 22HP 트랙터(대동 L2202-4WD) 후미에 장착하였다. 혼합액통은 선두부에 ballast 대신 설치하거나 견인형으로 보다 큰 용량으로 회로를 구성할 수도 있다. 펌프는 30~40L/min의 토출량에서 5~6kg/cm²의 압력을 내는 비용적식 점성펌프(유진펌프, 모델 101 × 1)를 선택하여 32mm 스프라인과 25mm 커프링을 사용하여 트랙터의 PTO 축으로부터 동력을 전달받도록 하였다(그림 1). 붐과 노즐로의 관로 개폐는 전자 솔레노이드 밸브(Spraying Systems Co., 144A, 12VDC)로 이루어지게 하였으며 유량의 조절을 위해서 전자 유량조절 밸브(Spraying Systems Co., 244A-3/4, 12VDC)를 여수관로에 설치하였다.

주펌프로의 유입과 토출관로는 진동 및 상대운동을 고려하여 25mm 호스를 사용하였고 나머지 관로는 PVC 파이프로 구성하였다. 13mm 파이프로 만들어진 6m의 붐 프레임에는 50cm 간격으로 10개의 XR80015 혹은 XR8002(Spraying System Co.) 노즐을 장착하였다. 노즐은 다이아프램 체밸브가 달린 본체에 13mm 호스로 연결하였다.

압력변환기(Omega Eng. Inc., PX181, 0-690kPa, 1-5VDC)와 지침식 압력계가 주관로의 압력을 측정하기 위해 설치되었으며 솔레노이드 밸브가 열릴 때 노즐로 分流하여 나가는 혼합액의 유량을 측정하기 위해 붐관로에 터빈식 유량센서 (Omega Eng. Inc., FTB603, 0.5~15 L/min)을 설치하였다. 그림 2는 압력변환기, 유량센서, 솔레노이드 밸브 및 유량조절 밸브 등의 모습을 보여주고 있다. 전진속도의 측정을 위해서는 Doppler 속도센서(Dickey-john, 24.125 GHz)를 지면에 대하여 35도의 경사각을 두어 트랙터의 前部에 고정시켰다 (그림 3). 속도신호는 표면이 고르지 못한 포장에서는 그 값이 불안정하여 시스템의 안정도를 떨어뜨리는 문제가 있으므로 digital filtering을 도입하였다.

압력, 유량, 속도센서로부터 나온 각각의 전기적 신호들은 datalogger (21X, Campbell Scientific)에 수집되어 데이터의 저장 및 제어가 이루어지게 되며 D/O는 릴레이 드라이버 (A21REL-12, Campbell Scientific)를 구동시켜 전자 유량조절밸브의 정/역회전 제어를 실시한다. 그림 4에는 datalogger와 콘트롤 박스를 트랙터 운전석 우측에 고정한 모습을 보였다.

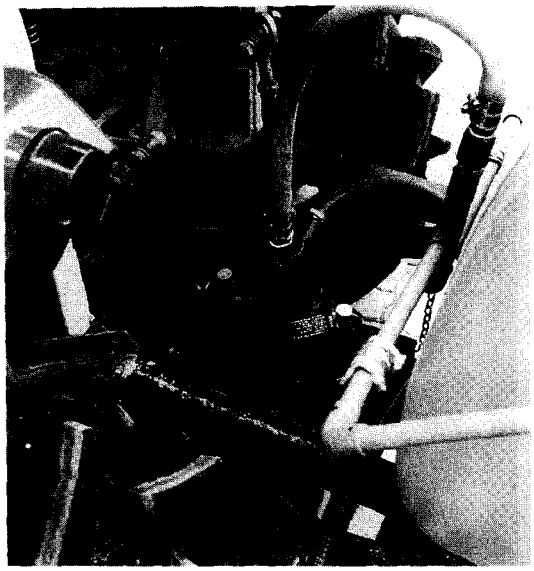

Fig. 1 Main pump driven by the PTO.

Fig. 3 A radar speed sensor installed at the front of tractor.

Fig. 2 A flow control system consisting of pressure transducer, flowmeter, solenoid valve and regulating valve.

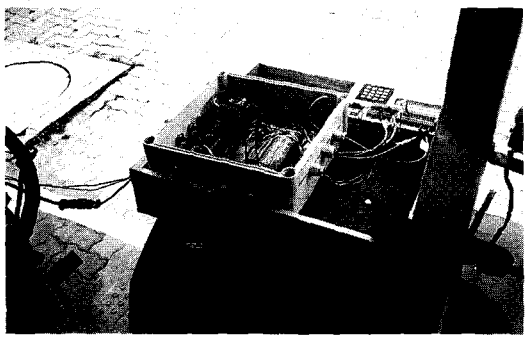

Fig. 4 A control console consisting of a datalogger and relay drivers.

나. 실험방법

실험실에서 행한 동특성에 대한 실험결과를 포장에 적용하고 붐방제기를 개발하기 위해 포장실험을 실시하였다. 포장실험은 유량을 제어대상으로 하여 동특성 실험을 하였고, 세부적으로는 다시 고정시간 제어와 변동시간 제어로 나누어 실시하였다. 최종적으로는 방제기에 붐을 연결하여 살포실험을 실시하였다.

고정시간 제어에서 사용된 독립변수는 트랙터 기어단수가 3단과 4단에 대해 제어간격으로 2.0, 1.0, 0.5 sec, 오차허용도로 6.33 L/min을 기준으로 1%, 3%, 10% 반복은 3단에서 3회, 4단에서 2회를 실시했

다. 변동시간 제어에서 사용된 독립변수는 기어단수가 3단과 4단에 대해 제어간격으로 2.0, 1.0, 0.5sec, 감쇠비로 1, 2, 4, 반복은 2회를 실시했으며, 오차허용도는 모든 경우에 대해 1%로 고정하였다. 살포실험에 사용된 독립변수는 제어간격으로 1초, 0.5초, 오차허용도로 기준으로 1%와 3%, 유량조절밸브의 반응 속도를 나타내는 민감도로 10과 20을 사용하였으며, 감쇠비는 2로 고정하여 변동시간 제어를 하였다. 포장에서의 동특성실험에 대하여는 Duncan의 다중비교법을 사용하여 변수간 유의성을 검증하였고, 최종 살포실험에서는 t-test를 사용하였다 (이종원, 1996).

구영모 등(1998)에서 제시한 제어프로그램은 초기화 과정에서 상수에 해당하는 농약살포량(F/C, L/ha), 살포폭(W, m) 등의 값을 읽고, 압력(PRS), 공급전압(Volt), 혼합액 유량(FLW), 트랙터 속도(SPD)를 측정한다. 살포작업의 시기는 운전자가 결정하도록 하여 주 스위치가 수동으로 켜질 때만 혼합액의 유량이 제어되도록 하였다. 방제기의 전진속도(SPD)의 변동에 따라 목표유량(T_{flw})을 결정하고, 실제유량과 목표유량의 차이에 대하여 밸브작동시간 (valve on-time)을 결정한다.

포장실험에 사용할 노즐을 선택하는 과정은 먼저 운행속도를 기어단수에 의해 결정하고, 이 속도값으로 노즐에서의 총배출유량(Q_t)을 계산하여 노즐 1개의 배출유량에 맞는 노즐을 찾아 선택하여 실험에 사용할 노즐로 XR80015와 XR8002 (Spraying System Co.)의 노즐을 선택하였다. XR80015 노즐은 운행속도가 약 2.6~3.2kph (기어 3단인 경우: 3.0kph @엔진 2,600rpm)에서 사용되었고, XR8002 노즐은 약 3.9~4.9kph (기어 4단인 경우: 4.4kph @엔진 2,600rpm)에서 사용되었다. 각 실험에 대해 기어를 3단과 4단에 맞추어 실시하였으며, PTO는 4단 (1,605rpm @엔진 2,600rpm)에 맞추었다. 신호의 입력은 기어의 단수를 고정한 상태에서 엔진회전수를 2,350rpm과 2,700rpm 사이에서 증가 및 감소시키는 방법으로 속도의 계단입력을 주었다. 그림 5는 포장실험에서 노즐을 통해 살포가 이루어지는 모습을 보여주고 있다.

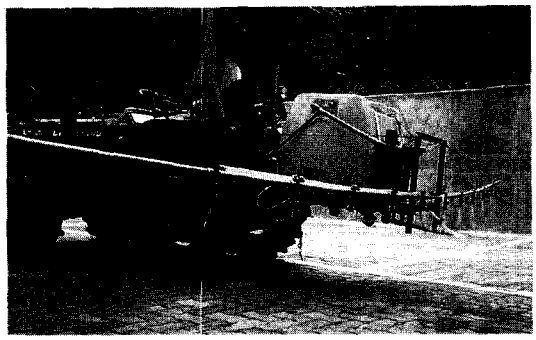

Fig. 5 The prototype boom sprayer at the field test application.

3. 결과 및 고찰

가. 동특성 실험

1) 고정시간 제어

고정시간 제어실험에서는 기어단수가 3단과 4단에 대해 제어간격 2.0, 1.0, 0.5초와 오차허용도 1%, 3%, 10%의 영향을 보았다. 이 실험에서 반응시간이 음의 값으로 나타났음을 주목하였다 (표 1). 이것은 실험실 동특성 실험에서의 양의 결과와는 다른 것으로 나타났다 (구영모, 1998). 그 첫째 원인으로는 정의된 반응시간[1]에 대한 빠른 반응이 원인이며(구영모, 1996), 둘째 이유는 펌프 및 PTO 속도와 연동되어 있는 트랙터의 주행속도가 변화되면 동시에 PTO 축의 회전수도 변화되어 펌프의 유량이 빠르게 증감하였기 때문으로 분석되었다.

통계상 상이점이 없었으나 제어간격이 빠를수록 반응시간은 늦게 나타났으며 절대 정상상태 오차는 작아졌으며 제어계의 안정도를 나타내는 상대변이계수와 상대과행계수는 불안정한(>1.0) 것으로 나

[1] 트랙터 속도의 입력은 이상적인 계단입력이 아니므로 평균목표치 도달시간으로부터 평균반응치 도달시간까지 경과한 시간으로 정의함으로써 실제 속도입력에 Ramp부분이 존재하여도 반응시간에 영향을 주지 않도록 하였다.

Table 1 Field test results with constant on-time at the 4th gear

Indep. \ Dep.		RSPT*	ASSE†	RCV†	ROS§
Control interval (sec)	2.0	−5.0 a	0.135 a	5.519 a	3.81 a
	1.0	−4.8 a	0.114 a	2.725 a	2.326 a
	0.5	−2.0 a	0.053 a	1.103 a	0.956 a
Tolerance (for 6.33 L/min)	1%	−3.17 a	0.102 a	5.077 a	3.371 a
	3%	−6.33 a	0.075 a	3.413 ab	2.634 a
	10%	−2.33 a	0.137 a	0.731 b	0.883 a
Replication	1	−4.61 a	0.109 a	3.846 a	2.719 a
	2	−3.22 a	0.081 a	2.512 a	2.214 a

* RSPT : Response time of flow rate (sec).

† ASSE : Absoulte steady-state error of flow rate (L/min).

† RCV : Relative coefficient of variation of flow rate.

§ ROS : Relative overshoot of flow rate.

(Means of variable effects followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test.).

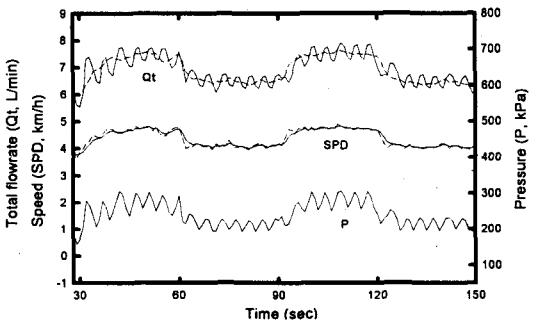

Fig. 6 Typical response of field test with constant on-time at the low tolerance (damping ratio 4, control interval 1sec, tolerance 1%).

타났다. 특히 상대변이계수는 오차허용도에 영향을 받으며 오차허용도가 작을수록 상대변이계수의 값이 커져 불안정하였다. 고정시간 제어에서 작은 오차허용도와 긴 제어시간에 대하여 일반적으로 나타나는 요동현상을 그림 6에 보이고 있다.

2) 변동시간 제어

변동시간 제어에서 기어단수 3단과 4단에 대해 제어간격 2.0, 1.0, 0.5초와 감쇠비 1, 2, 4의 영향을 보았으며 오차허용도는 모든 경우에 대해 1%로 고정하였다. 통계상으로는 제어간격이 절대 정상상태 오차에 미친 영향 외에는 두드러지지 않았다 (표 2). 변동시간 제어의 반응시간은 고정시간 제어의 반응시간보다 느려져서 同期反應 (RSPT = 0.0 sec)에 근접하게 되었다. 제어간격이 작을수록 절대 정상상태 오차는 작아짐을 보였으나 전체적으로 0.5% 이내에 머물렀다. 이는 오차허용도 목표치와 비교하면 반정도로 나타났다.

제어계의 안정도는 모든 변수에 대하여 두드러진 영향이 없었으나 고정시간 제어실험에서의 상대변이계수 5.077과 비교하면 변동시간 제어의 4단에서 1.453은 안정성에 있어 상당한 개선효과가 있었음을 보였고 초기 안정도를 나타내는 상대과행계수도 비슷한 효과가 있었다. 그러나 아직도 불안정 영역에 있음을 주목하였다. 전형적인 변동시간 제어실험의 결과를 그림 7에 나타내었다.

실험실에서 얻은 독립변수의 최적값(제어간격 1.0초, 감쇠비 2, 오차허용도 1%)에 대한 포장실험의 결과는 3단에 대하여 RSPT = 0.5 sec, ASSE = 0.01 L/min, RCV = 1.77, ROS = 2.03 이었으며, 4단에 대하여 RSPT = −0.45 sec, ASSE = 0.025 L/min, RCV = 1.92, ROS = 1.439로 나타났다.

Table 2 Field test results with variable on-time at 4th gear

Indep. \ Dep.		RSPT*	ASSE†	RCV†	ROS§
Control interval (sec)	2.0	−0.13 a	0.037 a	1.544 a	1.412 a
	1.0	0.2 a	0.024 ab	1.441 a	1.453 a
	0.5	−0.3 a	0.012 b	1.374 a	1.331 a
Damping ratio	1	0.13 a	0.025 a	1.389 a	1.354 a
	2	−0.43 a	0.023 a	1.646 a	1.341 a
	4	0.0 a	0.025 a	1.289 a	1.439 a
Replication	1	0.54 a	0.02 a	1.566 a	1.694 a
	2	−0.63 a	0.028 a	1.357 a	1.164 b

* RSPT : Response time of flow rate (sec).

† ASSE : Absoulte steady-state error of flow rate (L/min).

† RCV : Relative coefficient of variation of flow rate.

§ ROS : Relative overshoot of flow rate.

(Means of variable effects followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test.)

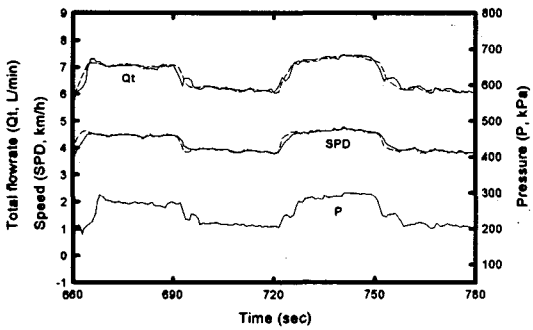

Fig. 7 Typical response of field test with variable on-time (damping ratio 4, control interval 1sec, tolerance 1%).

나. 붐방제기 살포실험

살포실험은 3단에서 XR80015노즐(Spraying systems co.)과 4단에서 XR8002노즐(Spraying systems co.)을 사용하여 제어간격 1초, 0.5초와 오차허용도 1%, 3%, 밸브의 민감도 10, 20에 대한 영향을 실험하였다. 감쇠비는 2로 고정하고 변동시간 제어를 하였다. 통계상 모든 독립변수에 대해 영향을 받지 않았다 (표 3). 유량조절밸브의 반응속도를 나타내는 민감도에 영향을 받지 않았으며 이는 밸브가 충분히 감쇠되어 있기 때문으로 생각된다. 그림 8에 전형적인 살포실험의 결과를 보였다.

독립변수의 최적값(제어간격 1.0초, 감쇠비 2, 오차허용도 1%)에 대한 포장실험의 결과는 3단에 대하여 RSPT = 0.575 sec, ASSE = 0.013 L/min, RCV = 1.204, ROS = 1.394 이었으며 4단에 대하여 RSPT = −2.025 sec, ASSE = 0.035 L/min, RCV = 2.008, ROS = 1.357로 나타났다. 안정도가 >1.0 임을 보였고 이는 포장상태와 주행조건의 영향으로 생각된다. 앞서 개발된 속도 보상형 변량 방제기에 대한 운영방법을 다음과 같이 정리하였다.

① 방제지침서에 따라 희석배율과 살포량을 확인하고 작업폭(W)을 결정한다.

② 노즐의 선택은 사용압력 범위에서 방제기의 전진기어와 노즐의 분사량 범위에서 양립되도록 하며, PTO 기어는 펌프의 성능조건에 따라 선택한다.

③ 총 살포유량을 계산하기 위하여 $Q_t = (F/C) \times W \times SPD/600$의 식을 사용하며, F는 농약원액 살포량 (L/ha), Q_t는 노즐에서의 총배출유량 (L/min), W

Table 3 Field application test results at the damping ratio of 2

a) 3rd gear

Indep. \ Dep.		RSPT*	ASSE†	RCV†	ROS§
Control interval	1.0	−0.75 a	0.035 a	1.189 a	1.333 a
	0.5	−1.363 a	0.034 a	1.195 a	1.255 a
Tolerance	1%	−0.3 a	0.012 a	1.179 a	1.246 a
	3%	−1.813 a	0.058 a	1.205 a	1.335 a
Sensitivity	10	−1.763 a	0.053 a	1.248 a	1.365 a
	20	−0.35 a	0.017 a	1.137 a	1.214 a
Replication	1	−1.213 a	0.035 a	1.286 a	1.634 a
	2	−0.9 a	0.034 a	1.098 a	0.972 b

b) 4th gear

Indep. \ Dep.		RSPT*	ASSE†	RCV†	ROS§
Control interval	1.0	−1.082 a	0.048 a	1.297 a	0.976 a
	0.5	−1.567 a	0.028 a	1.3 a	0.098 a
Tolerance	1%	−1.388 a	0.025 a	1.603 a	1.148 a
	3%	−1.325 a	0.049 a	1.122 a	0.83 a
Sensitivity	10	−2.125 a	0.046 a	1.511 a	0.931 a
	20	−0.875 a	0.033 a	1.084 a	0.909 a
Replication	1	−1.767 a	0.044 a	1.455 a	1.098 a
	2	−0.9 a	0.03 a	1.016 a	0.738 a

* RSPT : Response time of flow rate (sec).

† ASSE : Absoulte steady-state error of flow rate (L/min).

† RCV : Relative coefficient of variation of flow rate.

§ ROS : Relative overshoot of flow rate.

(Means of variable effects followed by the same letter are not significantly different by t-test at 5% level).

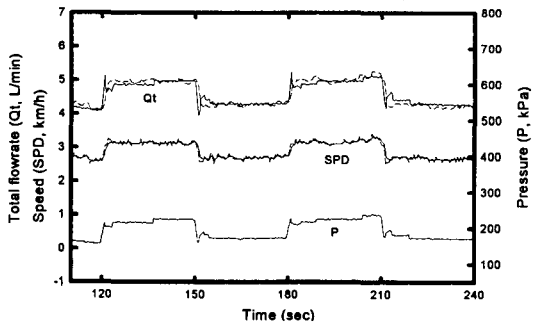

Fig. 8 Typical response of spray application test (damping ratio 2, sensitivity of regulation valve 20, tolerance 3%, control interval 0.5sec).

는 全撒布幅(m), SPD는 방제기의 속도 (km/h), C는 농약의 희석농도이다. 수화제의 경우 단위면적당 혼합액 살포량(L/ha)인 (F/C)값을 사용하면 편리하다.

④ 총유량이 결정되면 노즐의 갯수로 나누어 노즐 배출량을 계산하고 용도에 맞는 노즐형태와 사용압력 범위의 내에서 계산된 노즐배출량의 노즐을 선택하고 장착한다.

⑤ 필요하면 보정스위치를 올려 보정을 행하며, 방제기의 제어기에 필요한 조건(W, F/C)을 입력하여 작업준비를 완료한다.

⑥ 방제작업 면적에 대한 총혼합액의 양을 결정하여 농약과 물을 혼합한 후 주스위치는 수동으로

올리고 정상 엔진속도에서 작업을 시작하면 속도의 변화를 보상하며 자동으로 분무량을 조절하여 균일한 살포량(F)을 유지한다. 회전시는 주스위치를 꺼두는 것이 좋다.

4. 요약 및 결론

주행속도 보상형 붐방제기의 개발 및 포장 살포실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고정시간 유량제어 실험에서 반응시간이 음의 값으로 나타났으며 이는 펌프 및 PTO 속도와 연동되어 있는 트랙터의 주행속도 따라 펌프의 유량이 빠르게 증감하였기 때문이다.

2. 고정시간 제어에서는 작은 오차허용도와 긴 제어시간에 대하여 불안정 제어상태를 나타내는 요동현상이 보였다.

3. 변동시간 제어의 반응시간은 고정시간 제어에서 보다 느려져서 同期反應에 근접하게 되었다. 제어간격이 작을수록 절대 정상상태 오차는 작아짐을 보였으나 전체적으로 0.5% 이내에 머물렀으며, 변동시간 제어를 도입하여 안정도를 상당히 증가시키는 효과가 있었다.

4. 살포실험에서 독립변수의 최적값(제어간격 1.0초, 감쇠비 2, 오차허용도 1%)에 대한 포장실험의 결과는 동기반응시간 및 0.5% 이하의 오차를 보였다. 안정도는 1.0 이상임을 보였고 이는 포장상태와 주행조건의 영향으로 생각된다.

주행속도 보상형 붐방제기는 주행속도에 따라 노즐에서의 총배출 유량을 자동으로 조절해 줌으로 농약 살포량을 균일하게 할 수 있다. 따라서 주행속도 보상형 붐방제기를 방제작업에 이용할 경우 농약의 과다살포로 인한 환경오염과 비경제성, 농약의 비산으로 인해 작업자가 입게 되는 농약의 피해 등의 문제점 해결에 도움을 줄 것으로 기대된다. 앞으로의 과제는 실제 살포된 농약의 공간적 분포상태와 정량분석이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 구영모. 1996. 직주입 총유량 자동제어방식 분관방제기의 개발. 한국농업기계학회지. 21(2):155-166.
2. 구영모, 정재은. 1998. 붐방제기용 주행속도 보상식 유량제어부의 동특성. 한국농업기계학회지. 23(2):115-124.
3. 서상룡. 1997. 농약살포기의 이용실태와 개발 현황. 월간농기계. 134호:12-14.
4. 이종원, 최현집. 1996. SAS를 이용한 통계분석. 박영사.
5. 하환기. 1987. 방제기 사용실태에 관한 조사연구. 석사학위논문. 경상대학교.
6. 홍혜란. 1995. 과다한 농약 사용이 토양의 자정능력 잃게 한다. 새농민:86-89.
7. Matthews, G. A. 1992. Pesticide Application Methods. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, Essex, UK.