

## 붐방제기용 주행속도 보상식 유량제어부의 동특성

# Flow Compensating Characteristics for the Speed Variation of a Boom Sprayer

구 영 모*	정 재 은* <sup>1)</sup>
정회원	정회원
Y. M. Koo	J. E. Jung

### ABSTRACT

Over- and under-application of pesticides to crops have recently become main concerns regarding the environment conservation, product cost and farmer's safety.

Thus, a uniform and optimal application method of pesticides was needed. The objective of study was to evaluate flow compensating characteristics of a variable flow control system for a boom sprayer using a laboratory setup.

At the most variable conditions, the control system was acceptable with the flowrate control strategy. However, the sprayer control system became unstably fluctuating at the long execution time with small tolerance because of the constant valve on-time. This problem was solved by employing a variable on-time control. The optimal values for the damping ratio and the execution time were 2 and 1.0 sec, respectively, with the tolerances less than 3%. The performance of the control system at the optimal conditions were the response time of 3.8sec and the absolute steady-state error of 0.5% with the stable RCV and ROS ( $< 1.0$ ).

**주요용어(Key Words):** 붐방제기(Boom Sprayer), 유량제어장치(Flow Controller), 균일살포(Uniform Spraying), 방제속도변이(Speed Variation)

### 1. 서 론

우리의 농업생산 기술은 첨단기술을 접목한 기계화 영농을 지향해야 하는 동시에 자연환경에 미치는 영향을 고려해야 한다. 농산물의 생산과정에서 필수적이라 할 수 있는 防除作業에 있어서 현재의 노동 집약적, 비효율적, 作業忌避性 등을 고려할 때 작업 효율, 방제효과, 작업자 및 환경보호의 측면에서 정밀방제 체계의 개발이 필요하다. 한국의 전답농업을

중심으로 현재의 방제체계에서 소형 동력 분무기를 이용한 노동 집약적인 방제작업은 생산비의 절감이 어렵고, 單頭型 노즐을 사용하므로 작업자에 따라 농약의 投與量을 조절하기 어려우며, 불균일한 塗布로 인하여 방제효과의 감소를 초래한다. 또한 고압의 사용으로 미세입자의 飛散으로 인한 손실은 물론 작업자의 호흡기를 통한 흡입이 우려되며, 분무입자에 近接한 작업방법과 보호장비의 미비로 중독사고를 일으킬 수 있다 (이중용, 1994a; 1994b).

\* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

防除技術에 대한 지금까지의 관심은 다른 농업생산기술 분야에 비하여 미진하였으나 농업의 규모가 커지고 기업화가 예상되는 실정에서 생산효율, 방제효과, 작업자 및 환경보호의 측면에서 새로운 방제체계를 개발해야 할 것으로 인식하고 있다. 최근의 방제기술에 관한 연구개발의 동향은 작업효율의 개선, 농약사용의 최적정화, 안전과 환경보전 등이다(이중용, 1994c).

현재 방제체계의 개선방향은 생산비 절감, 작업자 및 환경보전, 방제효과의 극대화로 요약할 수 있으며, 이 목표들을 만족할 수 있는 붐방제기의 구체적인 방제방법을 요약하면, 10~30m의 噴管에 등간격으로 노즐을 설치한 붐防除機를 自走型이나 牽引型으로 운행할 경우에 대규모 포장에서 경제적인 有效圃場能率을 예상할 수 있고 방제작업의 變數를 정확히 제어할 수 있으며, 방제효과에 영향을 미치는 살포작업의 諸變數 즉, 방제속도, 撒布幅, 노즐 배출량, 노즐압력 등을 최적의 상태로 유지할 수 있는 自動制御 시스템을 채택함으로써 最適量의 농약을 균일하고 유효하게 살포하여 방제효과를 極大化할 수 있다(Bode, 1988; 김학진, 1995).

$$F = \frac{600 \times Q_i \times C}{W \times SPD} \dots\dots\dots (1)$$

$$C = Q_p / Q_i; \quad Q_i = Q_w + Q_p$$

식(1)에서 F는 농약살포량(L/ha), Q<sub>i</sub>는 노즐에서의 총배출유량(L/min), W는 全撒布幅 또는 붐길이(m), SPD는 방제기의 속도(km/hr), C는 농약의 희석농도, Q<sub>p</sub>는 농약량(L/min), Q<sub>w</sub>는 희석액량(L/min)이다. 定量的 살포량(F)을 一定한 살포폭(W)으로 살포할 때 變數인 방제기속도(SPD)에 대하여 노즐에서의 총배출량(Q<sub>i</sub>)을 조절하게 된다.

상기한 방제기술의 연구동향은 제어개념을 접목하므로써 진행되고 있으며 先混合 총유량 제어방식은 살포량의 적정화를 추구하였다(Ahmad et al., 1981; Ayers et al., 1990; Loussaert, 1992; Miller and Smith, 1992; Rockwell and Ayers, 1994). Ghatte 등(1994)은 물과 농약탱크를 따로 설치하고 압축공기

의 힘으로 농약을 물이 흐르는 관에 직주입하여 살포하는 방제기에 관해 연구하였다. 레이더 센서를 이용하여 주행속도를 측정하였고 주행속도의 변화에 따라 목표유량의 값을 계산하고 유량센서로부터 측정된 실제유량의 값과의 차이에 비례하는 변동시간을 주어 살포량을 제어하였다. 이강걸(1996)은 수도작용 붐방제기의 전면살포 및 기부살포와 동력분무기에 의한 논두렁 살포의 특성을 구명하기 위한 실험을 하였다. 동력분무기에 의한 살포는 붐방제기의 작업체계로 대체되어야 하며 전면살포용 붐방제기의 실용화가 필요함을 제시하였다. 조성인 등(1996)은 붐방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템의 개발에 관해 연구하였는데, 근접센서로 주행속도를 측정하고 배관내의 압력을 제어하여 약액의 살포량을 제어하였다. 허용압력범위가 좁아 넓은 속도영역에서의 균일량 살포를 위한 압력의 제어는 불가능하지만 좁은 속도영역에서는 균일량 살포를 위한 압력의 제어가 충분함을 보여주었다.

본 연구의 목적은 방제작업시 환경 및 작업자를 보호하기 위하여 最適量의 농약을 균일하고 유효하게 살포하여 방제효과를 極大化할 수 있는 속도보상형 총유량 제어방식 붐방제기를 위한 유량제어부를 개발하고 동특성을 평가하는데 있다.

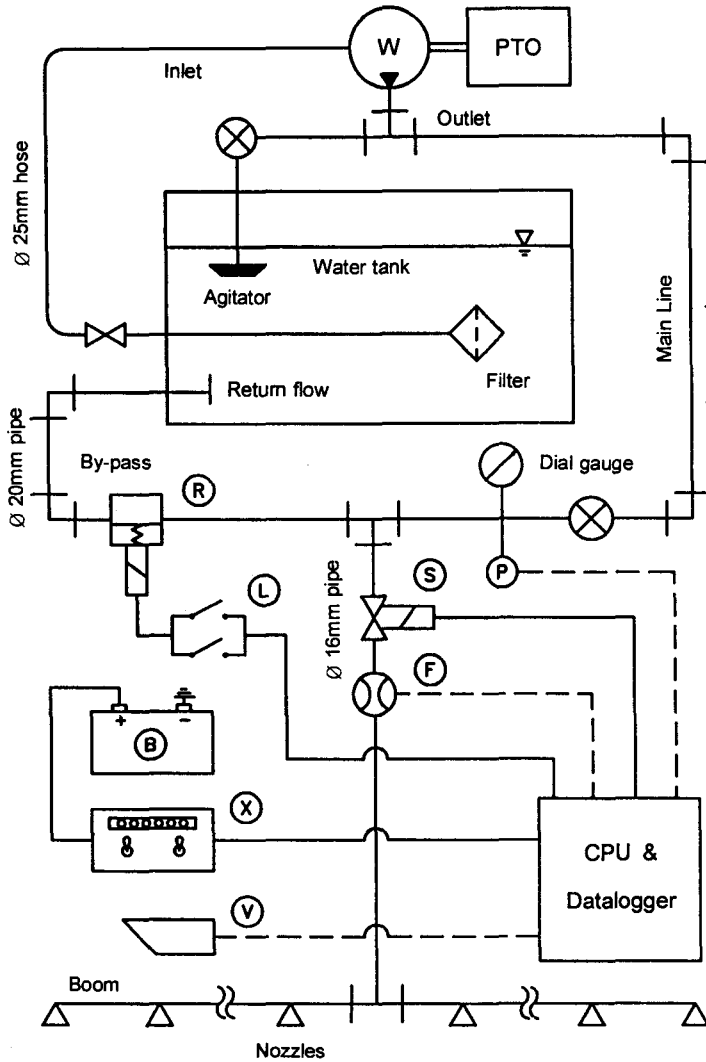
## 2. 실험장치 및 방법

### 가. 방제기의 유량제어실험 장치

주행속도 보상형 붐방제기의 유량제어 실내실험 장치의 개략도는 그림 1과 같으며 22HP 트랙터(대동 L2202-4WD) 후미에 장착할 수 있도록 설계하였다. 펌프(Wesco type, 유진펌프, 모델 101x1)는 트랙터의 PTO축에 연결하여 동력을 전달받도록 하였고, 펌프가 작동할 때 주관로를 통해 흘러나오는 혼합액의 일부는 여수관(bypass)을 지나 탱크에 다시 회수되고 나머지는 붐에 장착된 노즐을 통해 살포가 이루어지게 하였다. 붐과 노즐로의 관로 개폐는 전자솔레노이드 밸브(Spraying Systems Co., 144A, 12 VDC)로 이루어지게 하였고, 유량의 조절을 위해서

전자 유량조절 밸브(Spraying Systems Co., 244A-3/4, 12VDC)를 여수관로에 설치하였다. 압력변환기(Omega Eng. Inc., PX181, 0-690kPa, 1-5VDC)와 지침식 압력계가 주관로의 압력을 측정하기 위해 설치되었다. 솔레노이드 밸브가 열릴 때 노즐로 分流하여 나가는 혼합액의 유량을 측정하기 위해 봄관로에 터빈식 유량센서 (Omega Eng. Inc., FTB603, 0.5-15 L

min)을 설치하였다. 전진속도의 측정을 위해서는 Doppler 속도센서(Dickey-john, 24.125 GHz)를 지면에 대하여 35도의 경사각을 두어 고정시켰으나 실내 실험을 위해 주행 시뮬레이션장치를 이용하였다. 이때 출력주파수는 26.11 Hz/km/h이므로 속도(SPD, km/h)와 주파수신호(DF, Hz)는  $SPD = 0.038 \times DF$ 의 보정식을 갖는다.



B: tractor battery, F: flowmeter, L: relay, P: pressure transducer, R: regulating valve, S: solenoid valve, V: speed sensor, W: pump, X: control box

Fig. 1 Schematic of a flow control system for the experimental sprayer.

압력, 유량, 속도센서로부터 나온 각각의 전기적 신호들은 21X datalogger(Campbell Scientific)에 수집되어 데이터의 저장 및 제어가 이루어지게 된다. D/O에는 릴레이 드라이버를 구동시켜 전자 유량조절밸브의 정·역회전 제어를 실시한다. 그림 2에는 정·역회전 제어를 위한 릴레이의 회로도를 나타내 보

였다.

유량조절밸브는 全開로부터 全閉까지 1/4 회전에 걸리는 시간은 14초이며 작동시간 동안 압력변화는 정현곡선을 이루었다. 제어시간 2초에서 밸브 작동시간 1,000, 500, 200 msec에 대하여 밸브의 全開로부터 全閉까지 1/4 회전 동안의 행동을 그림 3에 나

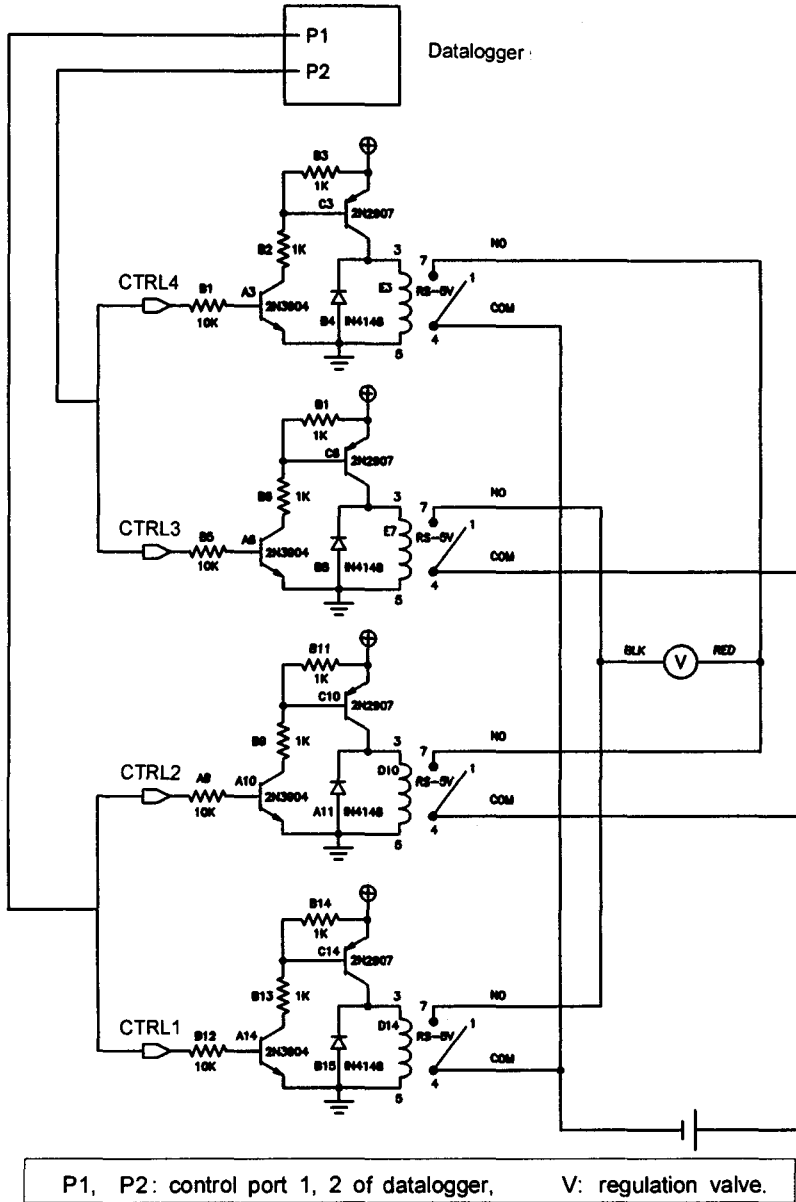


Fig. 2 Circuitry diagram of relay drivers.

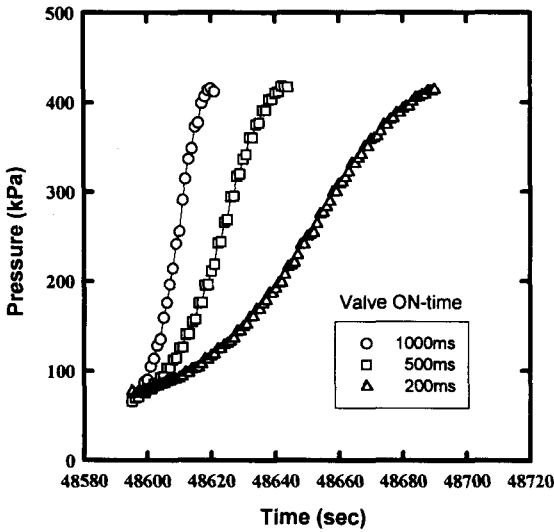


Fig. 3 Dynamic behavior of the flow regulating valve at the 2sec of control interval.

타내었다. 일정한 제어시간에 대하여 충격계수(duty cycle)에 따라서 압력상승속도를 조절할 수 있다.

나. 실험방법

방제기의 제어동특성을 분석하기 위한 실험은 압력제어대상 실험과 유량제어대상 실험을 실시하였으며 유량제어대상 실험은 고정시간제어와 변동시간제어로 나누어 행하여졌다. 압력과 유량제어대상 동특성 실내실험을 위해 그림 4와 같은 주행 시뮬레이션 장치를 제작하였다. 주행 시뮬레이션 장치에는 변속모터를 사용하여 주행속도를 2.67 kph에서 갑자기 4.00 kph로 증가시킴으로써 계단신호의 입력을 주었다. 실내 실험이므로 분관로 끝에 노즐대신 드로를 밸브를 호스 말단에 연결하여 유량을 조절할 수 있도록 하고 물은 탱크에 다시 회수되도록 하였다.

그림 5에 제어프로그램의 流通圖를 나타내 보였다. 시스템에 안전장치를 두기 위해 21X micrologger의 D/O port 1, 2번이 모두 high 상태인가를 먼저 점검하도록 하였다. 만약 그럴 경우에는 control port

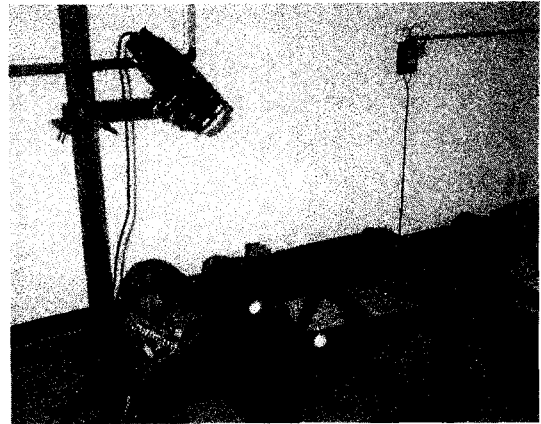


Fig. 4 Ground speed simulator for the laboratory test.

1, 2 번을 모두 low 상태로 전환하게 된다. 제어기는 초기화 과정에서 식 (1)의 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 시기, 즉 슬레노이드 밸브가 열려 노즐에서 살포작업이 일어나는 시기는 운전자가 결정하도록 하여 주스위치가 수동으로 켜질 때만 혼합액의 유량이 제어되도록 하였다. 방제기의 전진속도(SPD)의 변동에 따라 목표유량(Tflw)을 결정하고, 실제유량과 목표유량의 차이에 비례하여 밸브작동시간을 결정한다. 유량조절밸브는 오버런되지 않도록 상한압 366kPa과 하한압 138kPa을 설정하였다.

속도신호는 표면이 고르지 못한 포장에서는 그 값이 불안정하여 시스템의 안정도를 떨어뜨리는 문제가 있다. 그래서 Doppler 센서에 의해 측정된 속도신호로 목표유량을 결정하지 않고, 어느 정도 완충된 값을 주어 시스템을 안정시키고자 digital filtering의 방법을 도입하였으며 digital filtering의 개념은 식(2)에 바탕을 두고 있다.

$$\ddot{X} + 2\zeta\omega_n\dot{X} + \zeta\omega_n^2X = f(t) \dots\dots\dots (2)$$

ζ는 감쇠비, ω<sub>n</sub>은 고유진동수이며 ζ의 값이 커

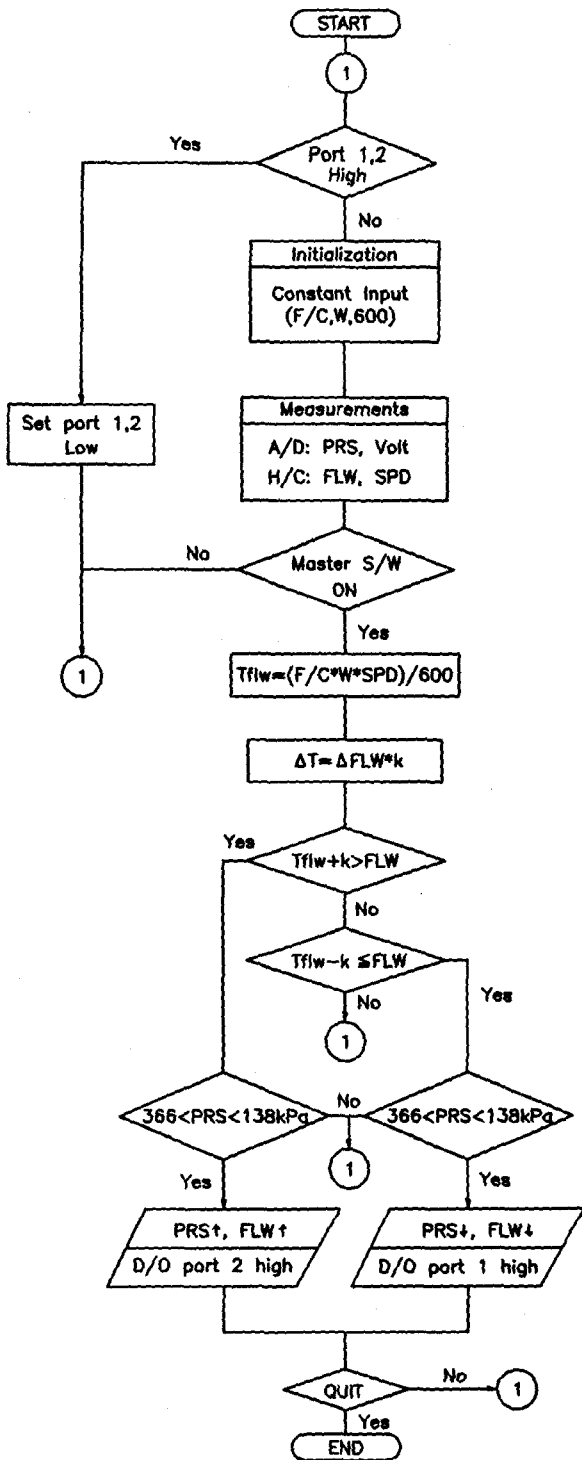


Fig. 5 Flow chart of the control program.

질수록 시스템의 안정도는 높아지지만 응답시간은 느려지게 된다.  $\zeta$ 의 값이 작아지면 그 반대의 현상이 나타난다. 식 (2)를 디지털화하기 위해 유한차분법(finite difference method)을 사용하여 다시 정리하면 식 (3)과 같이 된다. 식 (3)에서  $\zeta$ 와  $\omega_n$ 을 상수로 하여 다시 정리하면 식 (4)과 같이 간단한 형식으로 만들 수 있다.

$$[X(t) - 2X(t-1) + X(t-2)] + 2\zeta\omega_n[X(t) - X(t-1)]\Delta t + \omega_n^2[X(t) - Xi(t)]\Delta t^2 = 0 \dots\dots (3)$$

$$X(t) = AX(t-1) + BX(t-2) + CX, (t) \dots\dots\dots (4)$$

식 (4)에서  $Xi(t)$ 는 원시 데이터,  $X(t)$ 는 필터링된 데이터,  $X(t-1)$ 는  $X(t)$ 보다 한 단계 빠른 데이터,  $X(t-2)$ 는  $X(t-1)$ 보다 한 단계 빠른 데이터를 뜻한다. 식 (3)에서 감쇠비  $\zeta$ 는 1, 2, 4, 제어간격  $\Delta t$ 는 0.5, 1, 2초, 고유진동수<sup>1)</sup>  $\omega_n$ 은 6.5 rad/sec을 공통으로 주어 계산된 상수 A, B, C의 값을 표 1에 정리하였다.

실험에서 사용된 독립변수들은 제어간격으로 2.0, 1.0, 0.5 sec, 제어대상으로 압력과 유량, 오차허용도로 각 제어대상에 대하여  $\pm 1, \pm 3, \pm 10\%$ , 감쇠비로 1, 2, 4 등이다. 이 독립변수들에 대하여 동특성 종속 변수로는 반응시간 (RSPT: response time), 정상상태 오차(SSE: steady state error), 변이계수(CV: coefficient of variation), 과행량(OS: overshoot) 등이다 (구영모, 1996).

반응시간은 평균목표치 도달시간에서 평균반응치 도달시간까지 경과한 시간을 측정했다. 정상상태 오차는 평균목표치와 평균반응치의 차이이며, 절대 정상상태 오차(ASSE: absolute SSE)는 그 차이의 절대값으로 정의하였다. 제어계의 안정성 분석을 위해 목표치 변이계수와 반응치 변이계수를 이용하여 목표치에 대한 반응치의 상대변이계수(RCV: relative CV)로 나타내었다. 또 목표치 과행량과 반응치 과행량을 이용하여 목표치에 대한 반응치의 상대 과행량(ROS: relative OS)으로 나타내었다. 독립변수와 종속 변수들 간의 분산을 분석하기 위해 Duncan의 다중 비교법을 이용하였다.

1) 고유진동수는 레이다 속도신호의 SAS/ETS 해석과정을 통해서 얻어낸 결과임.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 압력제어 실험

압력제어대상 실험에서의 제어반응특성을 표 2에 나타내었다. 반응시간(RSPT)은 제어간격과 감쇠비에 영향을 받았으며 오차허용도와 반복에는 두드러진 영향이 없었다. 제어간격이 짧고 감쇠비가 작을수록 반응시간이 느려졌다. 이는 계단입력이 최대로 일어나면서 밸브의 작동이 제어간격 한도내에서 최대로 발휘될 수 있었기 때문으로 생각된다.

제어계의 정확도를 나타내는 압력의 절대정상상

태 오차(ASSE)는 오차허용도의 1, 3, 10%에 대해 오차는 345kPa을 기준으로 1.38%, 0.68%, 3.8%였으며 제어간격이 커질수록 ASSE는 커졌으며 2초일 때 뚜렷한 영향이 나타났다. 그러나 최종 관심의 대상인 유량에 대한 ASSE는 제어간격에 의해서만 영향을 받았으며 1초일 때가 가장 큰 값이 나타났다.

따라서 압력과 유량이 같은 경향으로 행동하지 않았음을 알 수 있었다.

그림 6은 압력제어대상 실험의 전형적인 결과를 보여준다. 실험도중 실제압력은 목표치를 따르려는 경향을 보였으나 유량이 때에 따라 변함을 알았고 이는 최종의 목표치인 목표유량과 제어목표인 목표

Table 1 Constants in the digital filtering equation (4)

Control interval (sec)	$\zeta$			
	Constants	1	2	4
0.5	A	0.47059	0.61069	0.74542
	B	-0.05536	-0.04071	-0.02662
	C	0.58478	0.43003	0.28120
1.0	A	0.26667	0.40433	0.56693
	B	-0.01778	-0.01444	-0.0105
	C	0.75111	0.61011	0.44357
2.0	A	0.14286	0.24324	0.38686
	B	-0.00510	-0.00450	-0.00365
	C	0.86224	0.76126	0.61679

Table 2 Test results of the pressure control strategy

Indep.	Dep.	RSPT	ASSE of flow rate	ASSE of pressure
		Control interval (sec)	2.0	3.33 b
	1.0	4.02 ab	0.48 a	5.52 b
	0.5	4.89 a	0.36 b	4.55 b
Tolerance (for 345kPa)	1%	3.57 a	0.4 a	4.76 b
	3%	4.4 a	0.4 a	2.34 b
	10%	4.27 a	0.44 a	13.1 a
Damping ratio	1	6.05 a	0.36 a	6.41 a
	2	4.12 b	0.41 a	6.62 a
	4	2.08 c	0.46 a	7.1 a
Replication	1	4.22 a	0.41 a	6.21 a
	2	3.98 a	0.4 a	6.97 a
	3	4.05 a	0.42 a	6.97 a

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

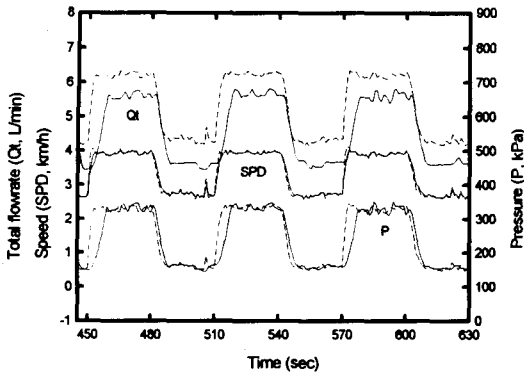


Fig. 6 A typical trend of the pressure control strategy (damping ratio 2, control interval 1sec, tolerance 3%).

압력간에 유출계수(discharge coefficient)를 이용하여 계산하는 과정에서 생겨나는 오차임으로 생각되었다. 제어 프로그램에 사용된 L/min과 (kPa)<sup>1/2</sup> 사이의 초기이론 유출계수는 0.034이었으나 실험이 진행됨에 따라 주로 작아지는 경향을 보여 0.030 이하까지도 변화함을 보았다. 일반적으로 유출계수는 특정노즐에 대하여 상수로 취급하지만 실제상 온도, 전자솔레노이드 밸브의 개구비, 혼합액 등의 조건에 따라 미세한 변화를 일으키며 이는 보정 불가능한 유량의 오차로 나타날 수 있다.

나. 유량제어 실험

1) 고정시간 제어

유량제어대상 실험에서의 제어반응특성을 표 3에 보였다. 반응시간은 감쇠비에 영향을 받았으며 압력 제어대상 실험에서와 같이 그 값이 커질수록 반응시간은 빠르게 나타났다. 유량의 절대정상상태오차는 오차허용도와 감쇠비가 작을수록 감소하는 경향을 보였다.

오차허용도가 커질수록 절대 정상상태오차는 0.034, 0.038, 0.258 L/min로 상승하였고 6.33 L/min을 기준으로 0.54, 0.6, 4.08%의 오차를 보였다. 제어계의 안정도를 보여주는 상대변이계수와 상대과행계수는 제어간격이 증가하고 오차허용도가 감소할수록 불안정성이 증가하였다. 제어시간 1.0 sec, 오차허용도 3% 이내, 중간 감쇠비에서 약 3.2 sec의 반응시간과 1% 내외의 오차를 보였으나 역시 불안정한 동특성을 보였다.

상대변이계수는 정상상태에서의 안정도를 나타내며 제어간격이 크고 오차허용도가 작을수록 크게 나타났다. 상대과행계수도 상대변이계수와 비슷한 경향을 보였다. 고정시간 제어에서 나타나는 불안정한 경향을 그림 7에 나타내었다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 목표치를 나타내며 실선으로 표시된

Table 3 Test results of the flow control strategy with the constant on-time

Indep.	Dep.	RSPT	ASSE	RCV	ROS
Control interval (sec)	2.0	3.11 a	0.102 a	2.736 a	1.955 a
	1.0	3.15 a	0.109 a	1.315 b	0.898 b
	0.5	3.26 a	0.119 a	0.827 b	0.529 b
Tolerance (for 6.33 lpm)	1%	3.17 a	0.034 b	2.765 a	1.925 a
	3%	3.22 a	0.038 b	1.757 b	1.237 b
	10%	3.13 a	0.258 a	0.35 c	0.211 c
Damping ratio	1	4.87 a	0.091 b	1.657 a	1.163 a
	2	3.16 b	0.11 ab	1.576 a	1.027 a
	4	1.48 c	0.129 a	1.638 a	1.183 a
Replication	1	3.28 ab	0.115 a	1.763 a	1.173 a
	2	2.65 b	0.117 a	1.693 a	1.233 a
	3	3.59 a	0.098 a	1.436 a	0.99 a

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



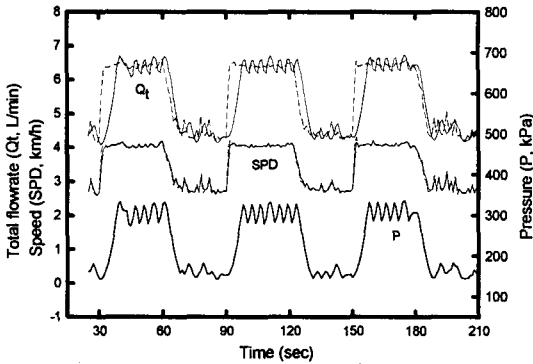


Fig. 7 A typical trend of the flow control strategy with constant on-time at the 1% tolerance (damping ratio 1, control interval 1sec, tolerance 1%).

부분은 반응치를 뜻한다. 오차허용도가 작음으로 인해 반응치가 목표치에 접근하지 못하고 계속하여 요동하고 있음을 볼 수 있다. 또한 제어간격이 커지면 서 오차가 증가하였다.

2) 변동시간 제어

유량제어대상 실험에서 고정시간제어에 나타난 문제점은 긴 제어시간과 작은 오차허용도에서 제어계가 불안정해진다는 점이다. 작은 오차허용도에서는 절대 정상상태오차가 낮아 제어계의 정확도는 높았으나, 반응치가 목표치에 접근하지 못하고 허용범

위를 넘나들며 제어계를 불안정하게 하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 작은 오차허용도에 대하여 밸브개폐시간에 변동 On-Off 시간을 도입하여 제어계를 안정시키고자 하였다. 실험에 사용된 독립변수는 제어간격(2.0, 1.0, 0.5초), 감쇠비(1, 2, 3), 반복(3회)이며 오차허용도는 모든 경우에 대해 1%(0.063 L/min)로 고정하였다. 변동시간제어에 대한 제어반응특성을 표 4에 보였다.

반응시간은 제어간격과 감쇠비가 감소할수록 증가하는 경향을 보였으며 이는 계단 입력이 최대로 일어나면서 밸브의 작동이 제어간격 한도 내에서 최대로 발휘될 수 있었기 때문으로 생각된다. 제어계의 안정성은 제어간격이 감소하고 감쇠비가 증가할수록 불안정한 경향을 보였다.

변동시간제어를 도입함으로써 제어간격 1.0 sec와 중간 감쇠비에서 0.5% 이내의 오차에서 안정된 동특성(RCV, ROS<1.0)과 약 3.8sec의 반응시간을 보였다. 절대 정상상태오차는 모든 독립변수에 대해 영향을 받지 않았으며 총평균은 0.032 L/min으로 나타났다.

상대변이계수와 상대과행계수는 전체평균이 각각 0.616, 0.598 였다. 고정시간제어의 1% 오차허용도일 때의 값인 2.765, 1.925와 비교하면, 변동시간 제어를 함으로 1%의 오차허용도에서 발생한 제어계의 불안정성 문제를 해결할 수 있는 것으로 분석되었다. 그림 8에 변동시간 제어실험의 안정된 동특성을 보였다.

Table 4 Test results of the flow control strategy with variable on-time with the tolerance of 1%

Indep.	Dep.	RSPT	ASSE	RCV	ROS
	Control interval (sec)	2.0	3.01 a	0.021 a	0.402 b
1.0		3.71 a	0.06 a	0.762 a	0.758 a
0.5		5.04 a	0.014 a	0.684 ab	0.565 a
Damping ratio	1	5.27 a	0.018 a	0.473 b	0.42 b
	2	3.65 b	0.011 a	0.554 ab	0.555 ab
	4	2.85 b	0.067 a	0.822 a	0.82 a
Replication	1	3.49 a	0.015 a	0.6 a	0.689 a
	2	3.66 a	0.026 a	0.763 a	0.594 a
	3	4.61 a	0.053 a	0.485 a	0.512 a

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

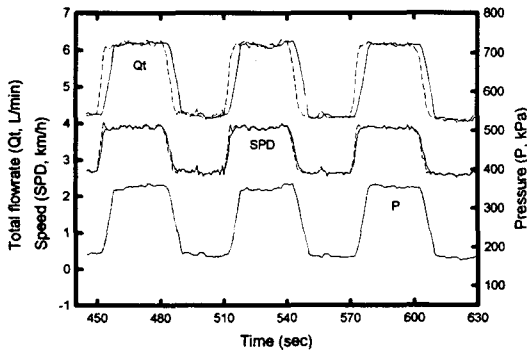


Fig. 8 A typical trend of the flow control strategy with variable on-time (damping ratio 2, control interval 1 sec, tolerance 1%).

#### 4. 요약 및 결론

주행속도 보상형 분방제기의 제어동특성 실험에서 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 압력제어대상 실험에서 실제압력은 목표치를 따라 제어되었으나 최종의 목표치인 목표유량의 오차가 두드러졌으며 이는 유출계수(discharge coefficient)를 이용하여 목표유량을 계산하는 과정에서 생겨나는 오차로 생각되었다.

2. 고정시간제어를 사용한 유량제어대상 실험에서는 오차허용도가 작아지면 절대 정상상태 오차는 작아지나 제어안정도는 불안해졌다. 감쇠비가 커질수록 반응시간이 빠르게 나타났으며, 절대정상상태 오차는 증가하였다. 높은 감쇠비와 3% 이내의 오차 허용도에 대하여 적절한 반응시간 및 오차를 보였으나 제어계는 비교적 불안하였다.

3. 고정시간제어에서 나타난 작은 오차허용도에서의 불안정성은 변동시간제어를 도입함으로써 해결할 수 있었으며 제어간격과 감쇠비가 낮아지면 반응시간이 증가하는 경향을 보였다. 제어간격 1.0 sec와 중간 감쇠비에서 0.5% 이내의 오차에서 안정된 동특성과 약 3.8 sec의 반응시간을 보였다. 절대 정상상태오차는 모든 독립변수에 대해 영향을 받지 않았으며 총평균은 0.032 L/min 으로 나타났다.

주행속도 보상형 분방제기는 주행속도에 따라 노즐에서의 총배출유량을 자동으로 조절해 줌으로 균일한 살포를 가능케 하여 농약의 과다살포로 인한 환경오염과 비경제성, 농약의 비산으로 인해 작업자

가 입게 되는 농약의 피해 등의 문제점을 해결해 줄 것으로 기대된다. 앞으로 연구되어야 할 점은 실제 포장실험을 통하여 노즐을 통하여 배출되는 유량의 성능을 평가하는 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 구영모. 1996. 직주입 총유량 자동제어방식 분관 방제기의 개발. 한국농업기계학회지. 21(2):155-166.
2. 김학진. 1995. 분방제기의 살포장치의 설계요인 구명을 위한 실험적 연구. 석사학위논문. 서울대학교.
3. 이중용. 1994a. 농약살포-정밀방제로 가는 길 I 농약정보 (120):32-35.
4. \_\_\_\_\_. 1994b. 농약살포-정밀방제로 가는 길 II 농약정보 (121):36-39.
5. \_\_\_\_\_. 1994c. 정밀방제기술의 이론적 기초와 작업자 안전 확보방안 (122):52-56.
6. 이강걸. 1996. 수도작용 분방제기의 피복특성에 관한 실험적 연구. 석사학위논문. 서울대학교.
7. 조성인, 정창주, 이동훈, 이중용. 1996. 분방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템 개발. 한국농업기계학회지. 21(4):406-413.
8. Ahmad, S. I., L. E. Bode and B. J. Butler. 1981. A variable-rate pesticide spraying system. Transactions of the ASAE. 24(3):584-589.
9. Ayers, P. D., S. M. Rogowski and B. L. Kimble. 1990. An investigation of factors affecting sprayer control system performance. Applied Engineering in Agriculture. 6(6):701-706.
10. Bode, L. E. 1988. Spray Application Technology. 85-110 in Method of Applying Herbicides. Monograph No. 4, C. G. McWhorter and M. R. Gebhardt, eds. WSSA.
11. Ghate, S. R. and C. D. Perry. 1994. Ground speed control of pesticide application rates in a compressed air direct injection sprayer. Transactions of the ASAE. 37(1):33-38.
12. Loussaert, D. 1992. Software: Computer controlled chemical field applicator for research. Agron. J. 84:759-763.
13. Miller, M. S. and D. B. Smith. 1992. A review of application error for sprayers. Transactions of the ASAE. 35(3):787-791.
14. Rockwell, A. D. and P. D. Ayers. 1994. Variable rate sprayer development and evaluation. Applied Engineering in Agriculture. 10(3):327-333.