

주행속도 보상형 변량 방제시스템의 개발⁺

Ground Speed Control of Variable Flow Boom Sprayer System

구 영 모*, 정 재 은*

정회원 , 정회원

Y.M. Koo , J.E. Chung

1. 서론

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 노동집약적, 비효율적, 作業忌避性등을 고려할 때 작업효율, 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

본 연구는 위와 같은 문제점들을 개선하여 적량, 균일살포를 이루며 방제효과의 극대화로 나아갈 수 있는 주행속도 보상형 변량 방제시스템을 개발하는데 그 목적을 두었다. 방제작업에 영향을 미치는 변수로는 방제속도, 살포폭, 노즐 배출량, 농약의 희석농도 등이 있는데, 이 변수들 중 농약살포량, 농약의 희석농도, 붐길이 등의 값은 고정상수이므로 방제기속도에 대해 노즐 총배출유량의 값을 제어하여 방제효과의 극대화를 꾀하고자 하였다. 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; Ghate and Perry, 1994; Rockwell and Ayers, 1994). 따라서 本研究의 目的은 방제작업의 難點들로부터 환경 및 작업자를 보호하며, 最適量의 농약을 균일하고 유효하게 살포하여 방제효과를 極大化할 수 있는 속도보상형 총유량 제어방식 변량 붐방제기를 개발하고 성능을 평가하는데 있다.

+ 이 연구는 한국농업기계학회 산학협동연구사업으로 수행되었음.

* 경북대학교 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

1. 방제기의 구성과 실험장치

속도보상형 총유량 제어방식의 개념을 도입하여 개발될 분방제기는 혼합액 유량조절부, 살포장치부 및 제어부로 이루어져 있다. 방제기의 회로는 실험용 시작기로 22HP 트랙터 (대동 L2202-4WD) 후미에 장탈착할 수 있도록 설계하여 농약 혼합액이 담길 물통은 200L의 용량을 선택하였다. 그러나, 물통은 선두부에 Ballast 대신 설치하거나 견인형으로 트레일러에 올려 보다 큰 용량으로 회로를 구성할 수 있다. 주펌프는 30-40 L/min의 토출량에서 5-6 kg/cm²의 수두를 낼 수 있는 비용적식 점성펌프(유진펌프, 101x1)를 선택하였으므로 전자 유량조절 밸브 (244A-3/4)를 Bypass 관로에 설치하여 유량 및 압력을 조절하였고 분과 노즐로의 관로 개폐는 전자 솔레노이드 밸브(144A)로 하였다. 5m 길이의 분에는 50cm 간격으로 방제용 노즐(XR110015) 10개를 달았다.

제어부에서는 방제속도, 노즐압력, 유량 등을 측정하여 압력조절장치로 혼합액 유량을 조절하여 일정한 살포량을 얻을 수 있다. 일정한 살포폭에 대하여 단위면적당 定量의 농약을 살포하기 위하여 변량인 방제속도에 비례하여 노즐의 총배출량을 조절함에 있어, 압력변환기(PX181)와 지침식 압력계가 주관로의 압력을 측정하기 위하여 설치되었다. 솔레노이드 밸브가 열리며 分流하여 노즐로 배출되는 혼합액의 유량을 측정하기 위하여 터빈식 유량센서(FTB603)를 설치하였고, 방제기의 전진속도를 측정하기 위하여 Doppler 속도센서(DjRVS-II)를 지면에 대하여 35도 경사각을 두어 고정 시켰다.

속도보상형 변량 방제기의 제어를 위하여 21X micrologger (Campbell Scientific)를 사용하였다. 사용된 제어기는 Interface로써 Digital I/O, A/D, D/A, Counter를 내장하였고, 자료수집 및 제어를 위하여 메모리와 CPU를 내장하였다. D/O에는 릴레이 드라이버(A21REL-12)를 통하여 전자 유량조절밸브의 정/역회전 제어에 사용되어 방제시스템의 압력 및 유량조절의 주된 역할을 한다. 주스위치의 개폐여부, 트랙터 전지전압 및 압력변환기의 신호를 읽는 데 A/D변환기가 사용되었고, 유량센서와 Doppler 속도센서의 펄스신호는 Counter를 사용하여 계수하였다.

2. 제어 프로그램

전형적인 분 방제기의 운영방법은 목표속도에 해당하는 주변속기의 단수를 선택하고, 주펌프의 정격회전수에 해당하는 PTO변속기의 단수를 선택하여 엔진 Throttle을 작업 RPM에 고정하여 방제작업을 실시한다. 그러나 부하의 변동에 따라 전진속도 및 PTO회전속도는 변동하며 이는 살포량에 오류를 초래한다. 이를 보정하기 위하여 전진속도의 변동에

따라 혼합액의 목표유량을 결정하고 전자 유량조절 밸브를 정/역으로 조작한다. 분무작업의 시기, 즉 솔레노이드 밸브가 열려 노즐에서 분무작업이 일어나는 상태는 운전자가 결정하는 것이 운영상 유리하여 주스위치가 수동으로 열릴 때만 혼합액의 유량이 제어되도록 하였다. PTO가 멈춰 있을 때, 즉 주펌프가 정지되어 압력이 0이면 주스위치가 켜져도 제어가 되지 않도록 안전장치를 하였다.

최초 변수를 읽고 계산하며 시스템의 초기화를 행한다. 방제작업의 변수로써 농약 살포량(F, L/ha), 살포폭(W, m), 미끄럼율(S_f , %), 회석농도(C)이며, 시스템 변수로써 유량조정 민감도(k3)와 오차허용도(k4)등 이었다. 제어 및 계측간격은 clock에 의해 결정되어 계측이 시행되며, 압력(PRS), 공급전압(Volt), 트랙터속도(SPD), 혼합액 유량(Q_t)이 측정된 후 트랙터 속도와 변수(A)로부터 목표유량(TQ_t)이 계산된다.

정상적인 방제 작업을 위해서 주스위치가 켜 있는지, 주펌프가 정상으로 작동하는 지, 트랙터가 주행을 하는지를 점검한 뒤 혼합액의 유량을 제어한다. 유량제어는 오차허용도(k4) 내에서 유량 조절밸브의 정역회전 및 회전시간을 목표유량과 실제유량의 차와 민감도(k3)를 이용하여 결정하며, 유량조정밸브는 과도회전 하지 않도록 상한압 420kPa과 하한압 100kPa을 두어 제어하였다.

3. 制御動特性의 측정과 실험방법

방제기의 동특성을 분석하기 위하여 트랙터의 속도를 2.7kph에서 4.0kph로 갑자기 증가시킴으로써 계단신호의 입력을 주었다. 방제기제어의 동특성에 영향을 미치는 독립변수들로서 제어간격(control interval), 제어대상(control object), 오차허용도(tolerance), 제어민감도(sensitivity)를 시험했다. 이러한 변수들에 대하여 측정하여 비교 검토할 동특성 종속변수로는 반응시간 (RSPT: response time), 定常狀態 오차 (SSE: steady state error), 변이계수 (CV: the coefficient of variation), 過行量 (OS: overshoot)등을 비교 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

1. 압력제어 실험

방제기의 동특성을 분석하기 위하여 트랙터의 속도를 증가시킴으로써 계단신호의 입력을 주었다. 그림(1)은 전형적인 트랙터 속도의 계단형 입력에 따른 압력과 유량의 반응 실험의 결과를 나타낸다. 점선으로 표시된 목표 압력 및 유량과 실제 압력 및 유량을 비교하면 지연 반응시간이 존재함을 알 수 있다. 제어대상으로 압력을 사용한 실험의 첫부분에 대한 독립변수로는 제어간격(2.0, 1.0, 0.2 sec), 오차허용도(300kPa기준, k4: ± 0.57 , ± 1.73 , $\pm 3.4\%$), 유량조절밸브의 민감도(k3: 둔감, 보통, 민감)와 반복(3회)을 택하여 실험하였다.

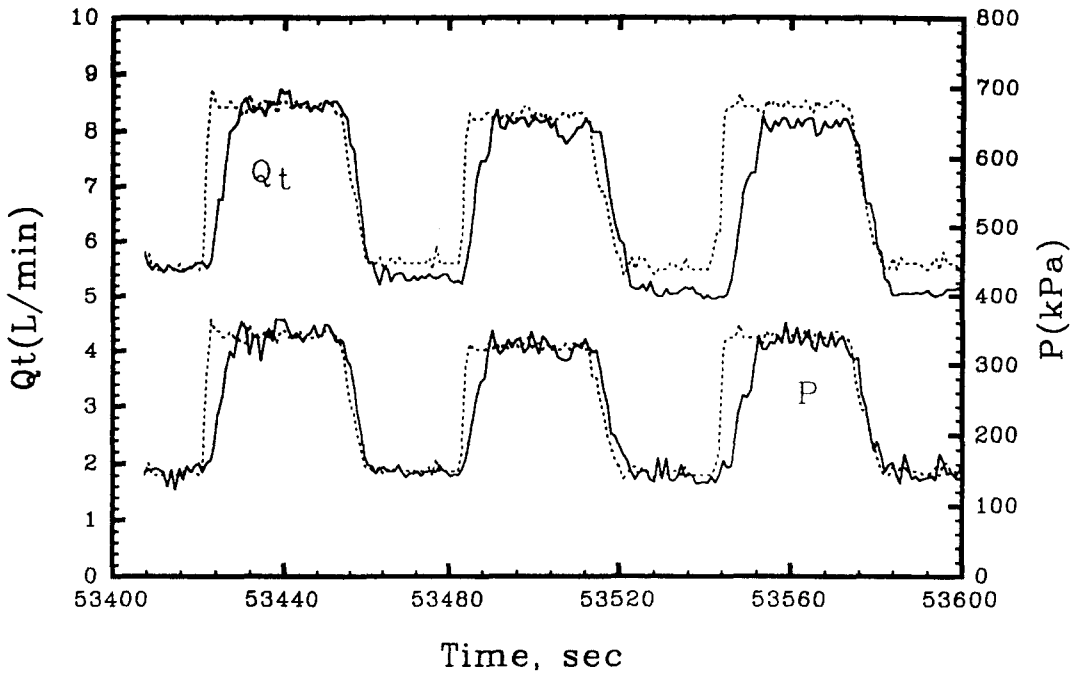


Fig. 1. Typical responses of the pressure(P) and total flow rate(Qt) to the step inputs of tractor speed show the increasing steady state errors of flow rates for the pressure control.

제어대상에서 압력을 대상으로한 제어는 송출계수(Cd)를 중간매체로 목표유량으로부터 목표압력을 $P=(Q_w/C_d)^2$ 에서 계산해야 했으므로 유량오차에 대한 반복변수의 영향은 뚜렷하게 나타나 -0.1%, 1.38%, 2.85%로 변화였다. 최초 송출계수는 총유량과 압력의 관계로 일정한 계수를 사용하여 프로그램에 반영하였으나, 송출계수는 레이놀드수와 팽창계수등에 영향을 받아 유량, 밸브 및 노즐상태에 영향을 받는다. 따라서, 압력대상 제어에서는 압력이 오차허용 이내에서 제어가 되어도 유량은 조건이 변화함에 따라서 허용범위를 넘을 수 있었다. 이 방법은 제어 및 계측 기술상 간편하며 센서의 사용상 견고하여 경제적인 이점이 있지만 송출계수의 변화를 보정해야하는 문제점이 있다. 결국 유량에 대한 오차는 2.85%보다 더 커질 수 있으며 조정될 수 없었다.

2. 유량제어 실험

제어대상으로 유량을 사용한 둘째 실험은 첫째 실험에서 나타난 압력제어의 한계점을 해결하기 위하여 실행하였다. 유량제어 대상실험에서 트랙터 속도의 계단형 입력에 대한 전형적인 유량의 반응을 그림(2)에 나타내었다. 독립변수로는 제어간격 (2.0, 1.0, 0.2 sec), 오차허용도 (8.0 L/min 유량기준, k4: $\pm 0.5\%$, $\pm 2.25\%$, $\pm 4.5\%$), 유량조절 밸브의 민감도 (k3: 둔감, 보통, 민감)와 반복 (3회)을 택하였다. 반응시간은 예상과 달리 제어간격 0.2초의 경

우가 가장 길었는데 이는 빠른 제어간격(0.2)에서 제어계가 躊躇현상(hesitation symptom)을 보였기 때문으로 분석된다. 제어대상 압력실험에서 보다 주저현상은 현저히 0.2초 제어간격에 집중되었다. 제어간격 2.0초의 경우가 반응시간 7.91초로 나타나 1.0과 0.2초의 제어간격의 경우에서 각각 6.40, 6.88초로 나타난 반응시간보다 늦게 나타났다. 오차허용도는 반응시간에 영향을 주지 않은 것으로 분석되었다. 유량조절밸브의 민감도는 민감의 경우 조금 빠른 경향을 보였으나 반응시간에 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

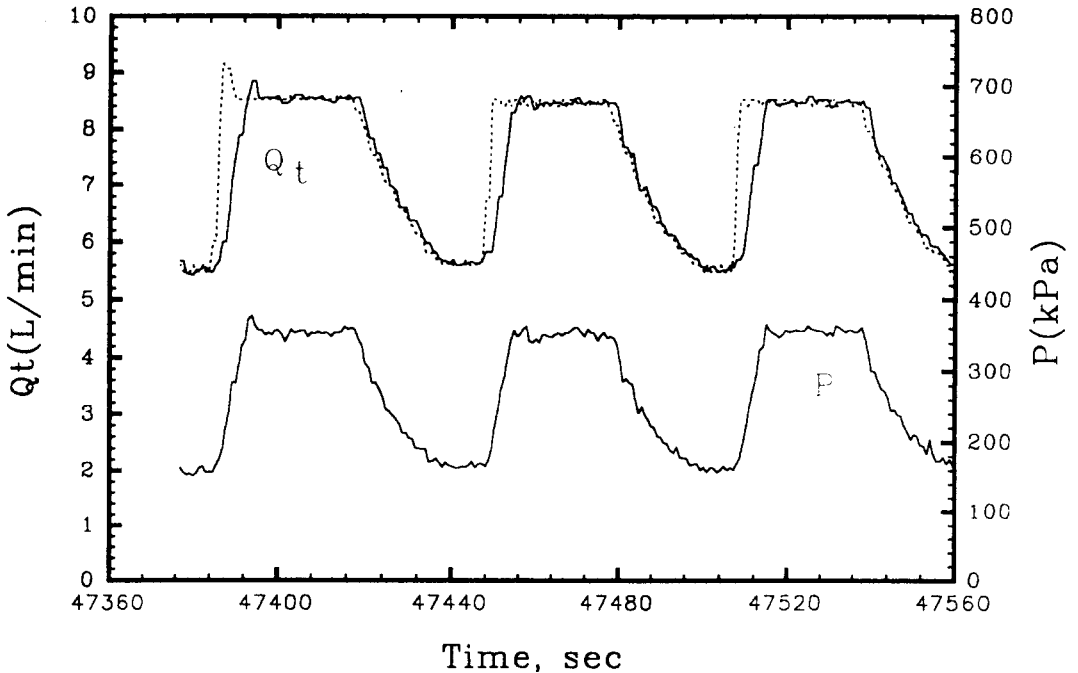


Fig. 2. Typical responses of the total flow rate(Q_t) and pressure(P) to the step inputs of tractor speed for the flow rate control.

제어계의 정확도를 나타내는 유량의 절대정상오차(absolute steady state error)에 직접적으로 영향을 미치는 변수는 오차허용도이며 허용도가 적을 수록 제어횟수가 많았고 목표치에 정밀히 접근하였다. 오차허용도가 클수록 절대 정상상태 오차는 0.020, 0.079, 0.145 L/min 로 상승하였고 8.0 L/min을 기준으로 0.25, 0.99, 1.76%의 오차였다.

제어계의 안정도를 나타내는 유량의 상대변이계수는 정상상태에서의 안정도를 표시하며 1.0이하에서 안정하다. 오차허용도가 작고 민감도가 높을수록 제어의 빈도가 많아지며 상대변이계수는 커진다. 제어간격 2.0초의 경우 다른 제어간격의 경우보다 비교적 불안정성을 보였다. 상대과행계수는 초기 과도안정도를 표시하며 1.0이하에서 안정하다. 상대과행계수는 상대변이계수와 비슷한 경향을 나타내어 높은 민감도와 제어간격 2.0에서 불안성을 보였다.

다. 제어대상의 압력실험과 비교하면 비교적 낮은 값을 보여 보다 안정적임을 암시했다.

유량에 대한 목표치 변이계수(TCV)와 과행량(TOS)은 입력에 대한 검증을 나타내며 모든 변수에 대하여 일정해야 편견없는 입력이 된다. 그러나 변수에 대한 특이한 경향을 보인것으로 판단되며 상기한 상대계수는 어느정도 입력의 편견된 성질로 부터 영향이 있을 수 있다. 반응치 변이계수와 과행량은 0.2초의 제어간격에서 크게 나타났으며 이는 목표치의 계수값이 0.2초에서 상대적으로 컸던 것을 상기하고 상대계수를 고찰해야 했다.

4. 요약 및 결론

- ① 제어 대상으로서의 압력은 오차허용 이내에서 제어가 되어도 유량은 조건이 변화함에 따라서 허용범위를 넘을 수 있었다. 그러나 제어 대상으로서의 유량은 이 문제를 해결할 수 있었다.
- ② 제어간격 1초가 2초보다 빠른 반응시간을 보였으며, 0.2초에서는 제어계의 안정성을 해치는 결과를 초래하여 제어간격 1.0초가 최적으로 판단되었다.
- ③ 유량제어 오차허용도와 밸브의 민감도가 클수록 빠른 반응시간을 보였다.
- ④ 유량의 절대 정상상태 오차는 유량제어 허용도가 클수록 오차는 상승하였고 실험상의 정상오차는 이론 기대치의 반정도 였으나 허용도가 너무 적은 경우에는 허용범위를 넘나들며 제어가 필요 이상으로 행해져 오차를 줄일 수 없었다.
- ⑤ 상대변이계수는 유량조절 밸브의 민감도가 높아도 1.0이하에 있으므로 제어계는 안정하였다. 이는 유량조절밸브가 과감쇠 되어 있음을 나타낸다.
- ⑥ 총유량 제어계의 최적 변수값을 보면 1.0초의 제어간격의 경우에서 안정된 동특성을 보였고, 유량조절밸브의 동특성은 과감쇠(overdamped)되어 있어 유량제어밸브의 빠른 민감도에도 안정된 행동을 보였다. 유량 오차허용도는 보통($k4=\pm 2.25\%$)의 경우 실제상 $\pm 1.0\%$ 정도의 오차를 보였다. 최적의 경우에서 실제 실험결과를 측정했을 때 유량제어 평균 반응속도는 8.5초였으며 절대 정상상태오차의 평균값은 0.067 L/min 였다.

본 연구의 결과는 방제작업시 생산효율을 높이고, 방제효과의 증대, 비용절감 및 환경보전의 기대효과가 있다. 忌避性 작업인 방제과정을 低壓 노즐의 사용, 작업자의 원거리 작업 등으로 작업환경을 개선할 수 있다. 앞으로의 속도 보상형 변량 톨방제기의 과제는 반응속도를 빠르게 하기 위하여 유량조절밸브의 회전속도를 빠르게 하여 민감도를 높이면 유리하고, 유량센서와 Doppler 속도센서의 펄스신호는 F/V 변환기로 사용하면 제어시간 감소에 따른 분해능의 저하를 막을 수 있다.

5. 참고문헌

- 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.
- Ayers, P.D.; S.M. Rogowski; B.L. Kimble. 1990. An investigation of factors affecting aprayer control system performance. Applied Engineering in Agriculture. 6(6): 701-706.
- 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.
- 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.
- Loussaert, D. 1992. Software: Computer controlled chemical field applicator for research. Agron. J. 84:759-763.
- Miller, M.F. and D.B. Smith. 1992. A review of application error for sprayers. Transactions of the ASAE. 35(3):787-791.
- Rockwell, A.D. and Ayers, P.D. 1994. Variable rate sprayer developement and evaluation. Applied Engineering in Agriculture. 10(3):327-333.