

농약 注入式 噴管防除機의 개발

A Direct Injection Sprayer System

구 영 보

정희원

Y.M. Koo

1. 서론

농산물 수입개방 및 환경보전의 시대를 맞이하여 우리의 농업생산기술은 첨단 과학기술을 도입한 기계화 영농을 지향해야 하는 동시에 농업의 대규모 기업화에 병행하여 자연환경에 미치는 영향 및 농업종사자의 작업환경을 고려해야할 시점에 이르렀다. 특히, 거의 모든 농산물의 생산과정에서 필수적이라 할 수 있는 防除作業에 있어서는 현재의 노동집약적, 비효율적, 作業忌避性등을 고려할때 생산효율, 방제효과, 작업자 및 환경보호의 측면에서 새로운 방제체계의 개발이 시급하다. (이중용 1994; 김학진 1995). 방제기술의 연구동향은 제어개념을 접목함으로써 진행되고 있으며 先混合 총유량 제어방식, Bypass방식, 노즐주입방식등으로 살포량의 적정화를 추구하였다 (Bode, 1988; Miller, 1992). 그러나 작업자의 안전 및 환경보전의 측면에서 취약점이 지적되었고 이를 보완하기 위하여 直注入 濃度制御方式이 제안되었다 (Roth, 1986). 이 방식은 농약의 양을 조절하여 희석액에 직접주입하여 混入하므로 작업자 및 환경보호에 기여하며 방제효과와 향상을 도모하려 하였다. 그러나 농약농도의 변화가 노즐까지 도달하는 遲延時間으로 인하여 생기는 살포량의 과도오차는 일반허용치를 상회하였다 (Koo, 1987; Way, 1992).

여러가지 제어방식을 검토한 결과, 직주입 총유량 제어방식을 가장 이상적인 방제방식으로 평가하였다 (Koo, 1993). 따라서 본 연구의 목적은 앞으로의 영농규모와 농업구조에 적합하고, 방제작업의 난점들로부터 환경 및 작업자를 보호하며, 최적량의 농약을 균일하고 유효하게 살포하여 방제효과를 극대화할 수 있는 直注入 總流量 자동제어방식 噴管撒布機 (Direct Injection-mixing total-flow-control boom sprayer)를 개발하고 평가하는데 있다.

2. 재료 및 방법

直注入 總流量 제어방식 분관방제기의 연구내용은 식(1)으로 설명할 수 있다.

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

식(1)에서 F는 농약살포량 (L/ha), Q_i 는 노즐에서의 총배출유량 (L/min), W는 全撒布幅 (m), SPD는 방제속도 (km/hr), C는 혼합후 농약의 농도이며 $C = Q_b / Q_i$ 이고 $Q_i = Q_p + Q_w$, Q_p 는 농약의 注入流量 (L/min), Q_w 는 희석액(물)의 유량 (L/min), 이다. 定量的 살포량 F를 일정한 폭의 W로 살포할 때 변수인 방제속도 S에 대하여 노즐에서의 총배출량 Q_i 를 조절하게 되며, 따라서 농도 C를 일정하게 유지하기 위하여 농약의 주입량 Q_b 를 제어하게 된다.

가. 유량조절부, 농약주입부 및 살포분관장치등 방제기의 회로 구성

총유량 제어방식 및 직주입 혼합방식의 개념을 도입하여 개발될 분관방제기는 그림(1)과 같이 희석액 유량조절부, 농약 주입부, 혼합 및 살포장치부 세부분과 이 세부분을 통합, 조절하는 제어부로 이루어진다. 방제기의 회로는 실험용 시작기로 22HP 트랙터(대동 L2202-4WD) 후

+ 이 논문은 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해서 연구되었음

* 경북대학교 농과대학 농업기계공학과

미에 장탈착할 수 있도록 설계하여 희석액이 담길 물통은 200L의 용량을 선택하였다. 주펌프는 30-40 L/min의 토출량에서 5-6 kg/cm²의 충분한 수두를 낼 수 있는 비용적식 점성펌프(Wesco type, 유진펌프, 모델 101x1)를 선택하였다. 비용적식 펌프를 사용하였으므로 전자 유량조절 밸브 (Spraying Systems Co., 244A-3/4, 12VDC)를 By-pass 관로에 설치하여 유량 및 압력을 조절하였고 분관(booms)과 노즐로의 관로 개폐는 전자솔레노이드 밸브 (Spraying Systems Co., 144A, 12VDC)로 하여 그림(1)에 나타내었다. 길이 10m의 분관에는 50cm 간격으로 광역노즐(Extended range, Spraying Systems Co., XR8001 Teejet) 20개를 달았다.

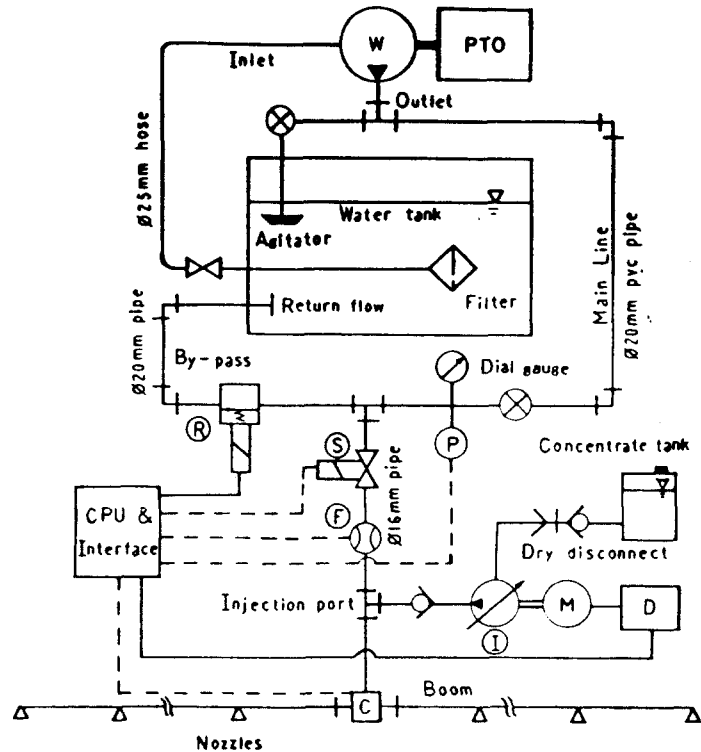


Fig. 1 Schematic of the direct injection-mixing total-flow-control boom sprayer. C: concentration sensor, D: DC motor drive, F: turbine flowmeter, I: injection metering pump, M: DC motor, P: pressure transducer, R: electric flow regulating valve, S: solenoid boom valve, W: main pump (Wesco type).

농약주입부는 역류방지용 체크밸브를 밀고 희석액의 압력을 이기며 定容積의 微量을 토출하도록 피스톤식 FMI 펌프(Fluid Metering Inc., CSC-Q1, Max 576 mL/min @ 6.9bar)를 선택하였고 펌프는 회전수 조절을 위하여 경부하 직류모터(FMI-QV, 1/27HP, Max 0.41A)를 사용하였다. 주입펌프의 유입구에 연결될 3L 용량의 표준 농약용기는 건식연결구(Quick-dry lock disconnect)로 결합/분리를 수월케 하였다.

나. 계측용 센서 및 제어용 Interface와 Program

연구에 사용된 압력변환기(Omega Eng. Inc., PX181, 0-690kPa)와 지침식 압력계를 주관로의 압력을 측정하기 위하여 설치하였다 솔레노이드 밸브가 열리며 分疏하여 노즐로 배출되는 희석액(물)만의 유량을 측정하기 위하여 밸브후 15cm 위치에 터빈식 유량센서(Omega Eng. Inc., FTB603, 0.5-15L/min)를 설치하였다. 방제기의 전진속도를 측정하기 위하여 근접센서(금성기전,

ZVF-C12-4DNO)를 후륜내측에 부착된 톱니형판에 근접고정 시켰으며 상기한 주입용 정용량 펌프의 회전속도는 로타리형 엔코더(금성 마이크로닉스, MS50-0060B0)를 이용하여 측정하였다.

직주입 총유량 방제기의 제어를 위하여 PLC(금성기전, G5)를 사용하였다. 사용된 PLC는 반복연산 제어방식 CPU를 내장하여 시퀀스 제어전용 명령 및 언어를 이용하여 프로그래밍과 계측/제어를 실행한다. 계측 및 제어를 위한 Interface로써 Digital I/O, A/D, D/A, Counter를 장치하였고 자료수집 및 상태감시를 위하여 PC와 연결하였다. Digital Input (GX41)은 10.2-26.4VDC 영역에서 사용할 수 있도록 광절연 하여 스프레이 주스위치 및 校正스위치로 부터 개폐여부를 읽으며 방제기속도 측정을 위한 근접센서와 같이 저주파수 계수에 응용되었다. Output(GY41)은 광절연 Transistor 출력으로 하여 12VDC용 릴레이를 구동시킬 수 있어 전자유량조절 밸브의 정/역회전 제어에 사용되어 방제시스템의 압력 및 유량조절의 주된 역할을 한다. 압력변환기 및 트렉터 공급전압을 읽는 데 A/D변환기(G58AD, 분해능 1mV, 12bit)가 사용되었고 유량센서와 엔코더로부터의 펄스신호는 Counter(GD61)를 사용하여 계수하였다. 주입펌프의 DC모터는 4-20mA 신호를 받아 직류전압을 조절하는 구동기(Converter-fed DC drive, Rashid, 1988)를 이용하였으므로 D/A 변환기(G54DA, 분해능 4 μ A, 4-20mA)로 부터 신호를 출력하여 변속모터의 제어를 구현하였다. 연구에 사용된 PLC는 자체 CPU로 계측 및 제어가 가능하지만 자료수집 및 상태감시를 위해 PC link (G5C24, 19200bps, RS232C)를 사용하였고 PC측 프로그램은 QBASIC을 이용하였다.

전형적인 분방제기의 운영방법은 목표속도에 (예로 10kph) 해당하는 주변속기의 단수를 선택하고(대동 L2202-4WD는 전진 7단), 주펌프의 정격회전수에 해당하는 PTO변속기의 단수를 선택하여 (PTO 4단 1600RPM) 엔진 Throttle을 2600RPM에 고정하여 방제작업을 실시한다. 그러나 부하의 변동에 따라 전진속도 및 PTO회전속도는 $\pm 20\%$ 이내에서 변동하며 이는 살포량에 오류를 초래한다. 이를 보정하기 위하여 바퀴의 미끄럼율(Slipage)을 10%로 계산한 전진속도(SPD)의 변동에 따라 희석액의 목표유량(Q_0)을 결정하고 전자 유량조절 밸브를 정/역으로 조작하며, 실제유량에 비례하여 주입펌프의 목표회전속도를 결정하여 농약의 주입량(Q_p)을 조절함으로써 농도(C)를 일정하게 유지한다. 분무작업의 시기, 즉 슬레노이드 밸브가 열려 노즐에서 분무작업이 일어나는 상태는 운전자가 결정하는 것이 운영상 유리하여 주스위치가 수동으로 열릴 때만 희석액의 유량이 제어된다. 농약주입은 주스위치와 프로그램에 의해 자동으로 조절되도록 하였으며, 주펌프가 정지되어 유량과 압력이 0이면 주스위치가 켜져도 제어가 되지 않도록 하였다. 농약주입은 주스위치가 닫힌 상태에서 농약주입이 절대로 일어나지 않도록 하였다. 수동 Reset 스위치를 두어 농약 없이 노즐의 校正 및 점검을 위해 압력이 300kPa로 유지되도록 하였다.

다. 제변수들의 制御動特性에 미치는 영향과 살포량, 균일성등 살포특성의 측정

방제기제어의 동특성에 영향을 미치는 독립변수들로서 ①제어간격(Control interval)으로 2.0, 1.0, 0.2 sec, ②제어대상(Control Object)으로 압력과 유량, ③오차허용도(Tolerance)로 각 제어대상에 대하여 ± 0.5 , ± 2.5 , $\pm 5.0\%$, ④제어민감도(Sensitivity)로 유량조절밸브와 주입펌프모터의 각 Actuator에 대하여 민감, 보통, 둔감을 시험했다. 이러한 변수들에 대하여 측정하여 비교 검토할 종속변수로는 ①반응시간(Response time), ②定常狀態오차(Steady state error), ③過行量(over-shoot)등 이며, 살포특성으로 ④희석액 및 농약주입량, ⑤농도(Concentration), ⑥살포량(Application rate)등을 비교검토 할 수 있다. 희석액유량은 유량센서로 직접측정하며 주입농약량은 정용량펌프의 회전수로 계산하여 분에서 농도의 변화를 Conductivity Sensor(Omega Eng'g Inc., CDE-344)로 측정하여 확인하며, 살포량은 측정치를 기초로 계산하여 계상하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 센서 및 Actuator의 평가

압력변환기의 신호는 170.72Pa/digit의 분해능을 갖으며, 유량센서의 유량계수(K)는 3100 pulses/L로 측정되었고 분해능은 0.3226 mL/pulse이었다. 트랙터 후륜에 장착되어 전진속도를 측정하는 근접센서의 분해능은 톱니형판의 60개 잇수에 의존하며 0.16 kph/pulse로 측정되었다. 유량조절밸브는 全開로 부터 全閉까지 1/4 회전엔 걸리는 시간은 14sec로 측정되었고 기간 동안 압력변화는 정현곡선을 이루며, 주입펌프 구동모터의 응답속도는 신호입력으로 부터 20ms 이하였다. 따라서, 방제기 제어시스템의 분해능은 전진속도의 신호에 의존하며, 반응속도는 유량조절밸브의 동특성에 의존할 것으로 예상되었다.

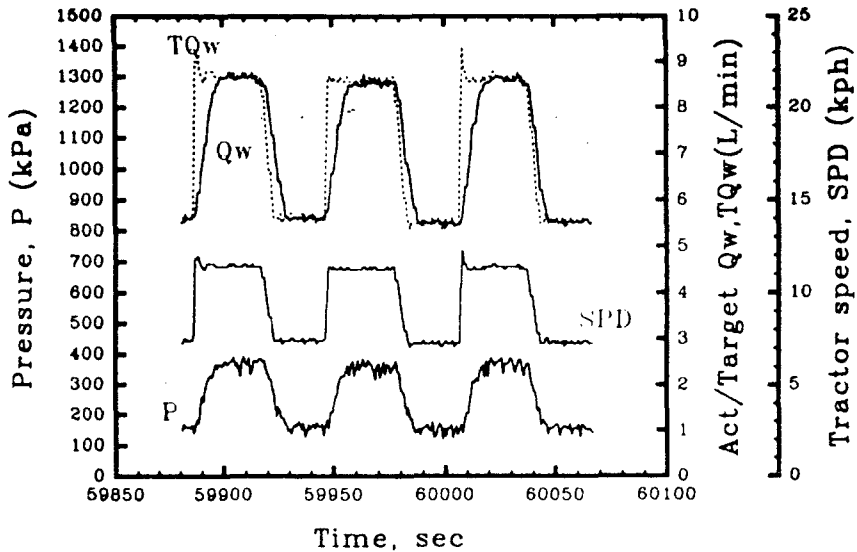


Fig 2. Responses of water flowrate(Q_w) and pressure(P) to the tractor speed(SPD), selected for the test conditions of 1 second control interval, $\pm 0.5\%$ tolerance and medium sensitivities. Desired flowrates (TQ_w) were compared with actual flowrates(Q_w).

나. 제어 동특성

방제기의 동특성을 분석하기 위하여 트랙터의 속도를 8kph에서 12kph로 갑자기 증가시킴으로써 계단신호의 입력을 주었다. 그림 2는 전형적인 트랙터 속도의 계단형 입력에 따른 희석액 유량의 반응실험의 결과를 나타낸다. 점선으로 표시된 목표유량과 실제유량을 비교하면 반응시간이 존재함을 알 수 있다. 반응시간(response time)에 가장 민감하게 미친 변수는 제어간격과 제어 민감도를 들 수 있다. 제어간격이 길수록 반응시간이 느렸으나 0.2초와 1.0초 사이의 차이는 두드러지지 않았고 1.0초의 제어간격에 대한 평균반응시간은 7.0초였다. 유량조절밸브에 대한 제어민감도는 제어간격시간 동안 타이머의 개폐시간에 의해 조절되며 최대민감도는 최대 밸브개폐 속도(14초/0.25회전)에 의해 제한되었다. 따라서, 유량조절밸브의 민감도는 목표치와 실측치 사이의 보정오차가 크면 제어간격에 의해서 무시되며 적을수록 민감도가 반응시간에 반영된다. 주입펌프의 회전수 제어는 보정오차가 크면서 민감도가 크면 모터제어의 허용구역을 벗어나 불안정 파동현상을 보이며, 민감도가 낮으면 희석액의 유량변화에 둔감하게 반응하여 농약농도의 과도오차를 초래한다 또한 빠른 제어간격에서는 카운터를 통한 신호의 분해능이 저하되어 제어의 정밀도가 저하되어 제어의 불안정을 가져올 수 있다.

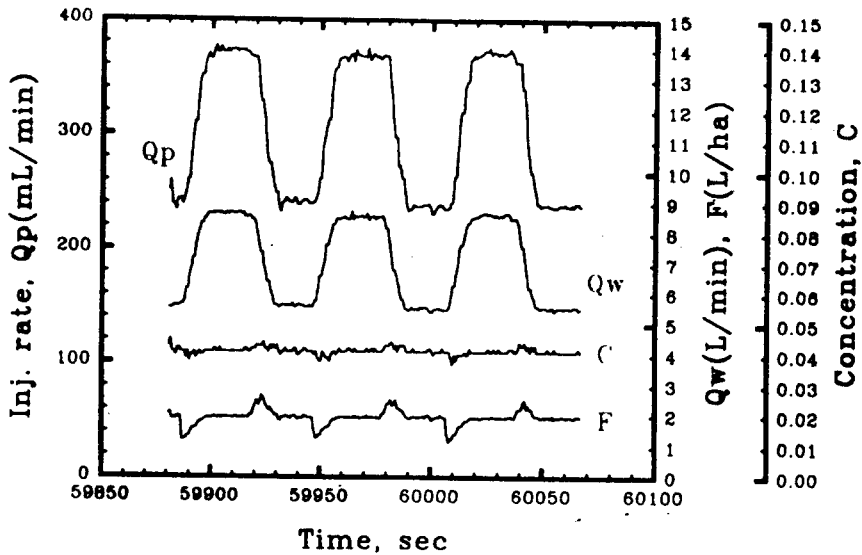


Fig 3. Response of chemical concentrate flowrate(Q_p) to the water flow(Q_w), selected for the test conditions of 1 second control interval, $\pm 0.5\%$ tolerance and medium sensitivities. Actual concentration(C) and application rate(F) were determined.

정상오차(steady state error)에 직접적으로 영향을 미치는 변수는 오차허용도(tolerance)이며 허용도가 적을 수록 제어횟수가 많고 목표치에 정밀히 접근하였다. 그러나, 제어대상에서 압력을 대상으로한 제어는 송출계수(discharge coefficient, C_d)를 중간매체로 목표유량으로부터 목표압력을 $P=(Q_w/C_d)^2$ 에서 계산해야 했다. 송출계수는 레이놀드수(Re)와 팽창계수(β)등에 영향을 받으므로 유량, 밸브 및 노즐상태에 영향을 받는다. 따라서, 압력대상 제어에서는 압력이 오차허용 이내에서 제어가 되어도 유량은 경우에 따라서 허용범위를 넘을 수 있었다. 이 방법은 기술상 간편하며 사용상 견고하고 경제적인 잇점이 있지만 송출계수의 변화를 보정해야하는 문제점이 있다. 반면에 유량대상 제어는 노즐유량을 정밀히 제어할 수 있었으나 분해능이 탁월한 고가의 유량센서가 필요하였다. 오차허용도 $\pm 0.5\%$ 의 유량에 대한 평균오차는 $\pm 0.2\%$ 정도였다.

과행량(overshoot)은 일반적으로 제어민감도와 관계있으나 트랙터의 전진속도에서 과행적 신호입력이 있었음에도 불구하고 유량조절밸브가 과감쇠(over damped)되어 있어 유량 제어시에는 나타나지 않았다. 반응속도에서 상기한 바와 같이 빠른 제어간격에서 주입펌프모터의 높은 민감도는 과행량과 제어의 불안정을 초래하였다.

그림 3은 그림 2와 동일한 실험에서 살포특성을 알기위해 희석액의 유량(Q_w)에 대한 농약의 주입량(Q_p)을 나타내었고 이에 따른 농약살포량(F)을 계산하였다. 살포량은 트랙터속도가 상승할 때 목표량보다 낮게 나타나 옴의 과도오차를 보였다. 이는 트랙터속도의 상승을 따라가지 못하는 유량조절밸브의 낮은 응답속도에 주로 기인하며 주입펌프의 반응속도는 무시할 정도로 적었다. 반대로 속도가 하강 할때는 반대로 양의 과도오차를 보였다. 농약의 농도는 주입구로부터 노즐에 이르는 지연오차(lag time error)를 없애기 위하여 일정히 유지하기를 원했으며, 주입펌프의 민감도가 낮으면 희석액의 유량변화에 둔감하게 반응하여 농약농도의 과도오차를 초래하였다.

4. 요약 및 결론

농산물의 생산과정에서 필수적이라 할 수 있는 防除作業에 있어서 현재의 노동집약, 비효율적, 作業忌避性등을 고려할때 생산효율, 방제효과, 작업자 및 환경보호의 측면에서 直注入總流量 制御시스템이 개발되었으며 살포작업의 조건에 따라 자동으로 계량하여 直接混入하는 直注入式은 작업자를 농약으로 부터 분리하여 접촉으로 인한 피해를 최소화하며, 방제작업후 잔여 농약의 원액과 표준용기는 회수되기 때문에, 경제적인 뿐만 아니라 작업자 및 환경을 보호할 수 있다. 본 연구의 결과는 대규모 영농구조에 적합한 방제 기술의 개발로 생산효율을 높이고 생산비를 절감할 것으로 예상되고 방제효과의 증대, 비용절감 및 환경보전의 기대효과가 있다. 忌避性 작업인 방제과정을 低壓 노즐의 사용, 작업자의 농약으로 부터 차단 등으로 작업환경을 개선하고 주펌프, 회로관, 물탱크등이 부식성 농약혼합액으로 부터 차단되어 방제기의 수명이 길어진다.

앞으로의 直注入 總流量 自動制御方式 噴管撒布機 (Direct Injection-mixing total-flow-control boom sprayer system)의 과제는 반응속도를 빠르게 하기 위하여 유량조절밸브의 회전속도를 빠르게 하고 적절한 오차허용도와 민감도를 적용한다. 트랙터의 전진속도를 Doppler radar velocimeter등 분해능이 좋고 바퀴의 미끄러짐(Slip)을 보정 할 수 있는 센서로 교체함으로써 보다 신뢰성 있는 제어를 구현한다.

5. 참고문헌

- 김학진 1995. 분방제기의 살포장치의 설계요인구명을 위한 실험적 연구. 석사학위논문. 서울대학교
- 이중용 1994. 농약살포-정밀방제로 가는 길 I 농약정보. 120:32-35
- Bode, L.E. 1988. Spray Application Technology. 85-110 in Method of Applying Herbicides. Monograph No. 4 of WSSA, C.G. McWhorter and M.R. Gebhardt, eds. WSSA.
- Koo, Y.M.; S.C. Young; D.K. Kuhlman. 1987. Flow characteristics of injected concentrates in spray booms. ASAE Paper 87-1602. ASAE. St. Joseph, MI.
- Koo, Y.M. and D.K. Kuhlman. 1993. A variable flow nozzle with consistent spray performance. Transactions of the ASAE. 36(3): 685-690.
- Miller, M.S. and D.B. Smith. 1992a. A direct nozzle injection controlled rate spray boom. Transactions of the ASAE. 35(3):781-785.
- Rashid, M.H. 1988. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. Prentice Hall International. DC Drives, 296-333.
- Roth, L.O. 1986. Direct injection as a rinsewater minimization technology. 56-59. in Proceedings of National Workshop on Pesticide Waste Disposal.
- Way, T.R., K.Von Bager, R.D. Grisso and L.L. Bashford. 1992. Simulation of chemical application accuracy for injection sprayers. Transactions of the ASAE. 35(4):1141-1148.