

붐방제기의 곡선행로 조향반경에 따른 붐의 구간별 유량제어

김은수 김영주 이중용

Sectional Flow-rate Control of Boom Sprayer According to the Steering Radius along Winding Rows

E. S. Kim Y. J. Kim J. Y. Rhee

Abstract

Most upland in Korea have irregular field shapes. Boom sprayers working along winding row will show considerable differences of spraying amount per unit area between left and right booms. If flow rates of both booms are equal. This phenomenon becomes significant as steering radius of sprayer decreases.

This study was performed to seek a method which reduce the difference of the spray amount between left, right and center booms while spraying along curvy rows. A flow rate control method for keeping application rate of each boom section constant was proposed and experimentally proved using a boom sprayer attached to a cultivating tractor. The flow rate control device was composed of 3 ball valves and a rotary angle sensor.

The rotary angle sensor showed a symmetric voltage output with respect to steering radius. The spray overlapping was happened in a boom nearby the steering center when steering radius of the sprayer was less than 5.2 m. Flow rates for left, right and center booms were regulated using ball valves based on the steering radius and spraying areas ration of right/left boom.

The Maximum spraying area ratio (S_{LR}) of left to right boom section was 1:3.6 at the steering radius of 5.2 m. However, The Maximum achieved right and left spraying flow ratio was 1:2.7.

Keywords : Flow-Rate Control, Boom sprayer, Irregular field

1. 서론

붐방제기는 분무관에 일정한 간격으로 노즐 설치되어 있으므로 목표물 바로 위에서 농약을 살포할 수 있다. 붐방제기는 비산의 위험성이 적고 작업 폭이 넓으므로 포장 능률도 높으며, 방제작업에 영향을 미치는 방제속도, 살포 폭, 노즐 배출량, 노즐 압력 등을 최적으로 유지할 수 있는 자동제어 시스템을 채택할 수 있어 최적량의 농약을 균일하게 살포할 수 있다.

우리나라에서 지금까지의 붐방제기에 대한 연구는 주로 수 도작용을 중심으로 이루어 졌으며 전작용 붐방제기에 대한

체계적인 연구는 아직 부족한 편이다. 통계에 따르면 우리나라는 경지면적 115만 ha 중 63%가 경지정리가 이뤄진데 비해 밭의 기반정리는 74만 ha 중 약 9% 만이 이뤄져 미비한 편이다(농업생산 기반 정비사업 통계연보 2005). 경지정리가 되지 않은 밭은 대개 정방형이 아니고 그 경계가 곡선행태이다. 이러한 밭에서 곡선행하며 붐 양측에 살포량을 동일하게 한 상태에서 방제작업을 할 경우 붐방제기의 회전중심에서 가까운 붐은 바깥쪽 붐보다 단위 면적당 훨씬 더 많은 양의 농약을 살포하는 문제점이 있다.

Kim(2000)은 붐의 길이가 신축가능하고 살포높이를 임의

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D promotion center (ARPC). This article paper was submitted for publication in April 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2006. The authors are E. S. Kim, Graduate Student, Y. J. Kim, KSAM member, Graduate Student, J. Y. Rhee, KSAM member, Professor at the Seoul National University. The corresponding author is J. Y. Rhee, Professor, Department of Biosystems & Biomaterials Science and Engineering, Seoul National University, 151-921, Seoul Korea; E-mail : <jyr@snu.ac.kr>

로 조절할 수 있으며 지면과 붐간의 간격을 일정하게 유지할 수 있도록 하는 붐의 자세제어장치를 개발하였다. 그러나 직선주행 시만을 고려한 자세제어장치이므로 곡선주행 시에는 적합하지 못하다. 또한 S. I. Ahmad(1981)는 6개의 원심압력 노즐을 사용한 방제기의 변량제어시스템을 연구한 결과 노즐 오리피스에서의 유속은 압력의 제곱근에 비례하는 식을 얻었고, 노즐 입구의 압력과 노즐의 경사각은 분무특성에 큰 영향을 미친다고 밝혔다.

김수천(1983)은 스펙의 감쇠거리는 밸브의 안정성에 영향을 미치는 인자로서 감쇠거리가 작을수록 안정한 상태를 유지한다고 했고, 귀환통로의 개도(開度)를 작게 하면 시스템은 안정해지나 응답이 늦어진다고 했다. 오세준(1992)은 각종 밸브의 형상에 따라 유량계수를 산출하는 방법과 이론을 설명하고, 밸브의 개도에 따른 유량계수를 도표화한 유량특성곡선을 작성하였다. 구명희(1994)는 유량은 0~300 kPa 범위에서는 불규칙적으로 변화하나 그 이상에서는 압력강하에 따라 거의 선형적으로 증가한다고 보고하였다. 또한 오리피스의 유입구를 모따기하면, 유량계수는 0.6~0.7에서 0.88~0.93로 증가한다고 보고하였다. S.R. Ghate(1994)는 공압에 의해 분무되는 방제기를 설계하고 주행속도에 따른 유량제어를 실시하였다. 포장실험의 응답속도는 실내실험보다 느렸고, 더 넓은 압력범위에서의 유량제어를 위해서는 보다 개선된 제어방법이 필요하다고 지적하였다.

본 연구의 목적은 회전주행을 하며 방제 작업을 할 경우 좌·우 붐의 분무량이 크게 달라지는 현상을 개선하기 위해 붐방제기의 구간별 유량제어방법을 제안하는 것이다.

다음은 구체적인 연구의 내용이다.

1. 붐방제기의 회전주행에 따른 좌, 우, 중앙 붐의 살포면적을 측정하여 살포량의 불균일 정도를 분석하고 균일살포를 위한 분무량을 결정한다.
2. 기존 붐방제기의 분무특성을 조사·분석하고, 좌·우 살포면적비를 고려하여 구간별 유량제어를 위한 분무시스템을 제안한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 재료

1) 공시기

공시기 원동기는 승용관리기(아세아 종합기계, CFM-1200)로서 4륜 구동형식이며 조향방식은 전륜조향, 후륜조향, 전·후륜조향 3가지 중에서 선택할 수 있다. 본 연구에서는 가장 많이 사용하는 전륜조향을 기준 조향방식으로 선택하였다.

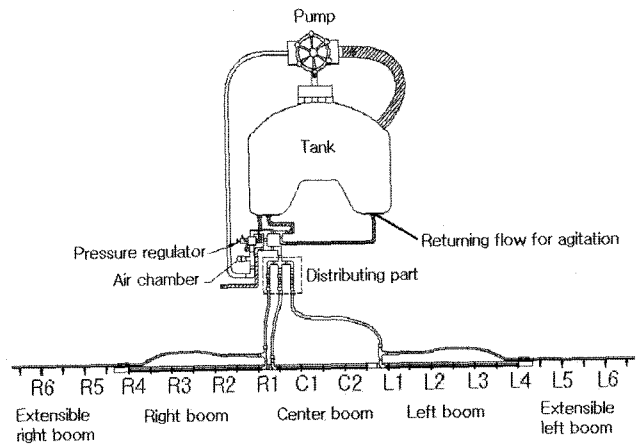


Fig. 1 Spraying system of tested boom sprayer.

2) 분무시스템

공시 붐방제시스템(Kim, 2000)의 붐은 관리기의 전방에 부착되었고, 약액탱크는 후방에 탑재되었다. 실험 장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 3륜 플러저 펌프(중앙공업, JPS-40A), 유량을 3개의 각 붐으로 보내는 분배변, 압력조절기, 공기실, 농약탱크, 그리고 좌, 우, 중앙붐과 좌, 우측 신축붐 등으로 구성되어 있다. 좌측과 우측 붐의 길이는 210 cm에서 360 cm까지 조절할 수 있다. 그리고 노즐의 간격은 배추재배를 기준으로 하여 30 cm로 하였으나 작물에 따라 30, 60, 90, 120 cm 등으로 조절이 가능하다.

3) 측정장치

실험에서 사용한 측정기기는 회전각센서, 압력센서, 데이터 수집 장치, 유량계 등이다.

가) 회전각센서와 압력센서

회전각센서(Midori America Co, AP-3F)는 본 연구의 공시기인 승용관리기 오른쪽 앞바퀴 너클암에 연결된 가변저항으로서 전륜의 림과 기체 중심방향이 이루는 각도를 감지한다. 이 회전각센서는 0~90°의 회전 각도를 0~5 V까지의 전압신호로 변환한다.

압력센서(Green Sensor, P-155)는 10° 씩 변할 때 출력신호의 0.1% 정도 오차가 발생하는데 본 연구에서는 온도에 따른 영향은 무시하였고, 압력과 전압신호와의 관계식을 구하였다.

나) 데이터 수집 장치

실험에 사용한 데이터 수집 장치(Dewetron, Data Acquisition System, DAQ)는 A/D 변환, 스트레인 증폭기, F/V 변환기,

같이 분배면에 볼밸브를 설치하고, 이를 이용하여 각 붐의 분무유량을 제어하였다. 분배면에 볼밸브 세 개를 설치하고, 볼밸브의 회전각도를 알기위해 각도계를 설치하였다.

분배면의 세 볼밸브 중 왼쪽 볼밸브만 변화시키면서 분배면 전후의 압력을 측정하였다.

4) 좌, 우 볼밸브를 이용한 유량조절 실험

붐방제기가 회전할 때 좌·우 살포면적 비에 맞는 좌, 우 붐의 분무유량을 얻기 위한 실험을 실시하였다. 그림 5와 같이 압력조절밸브와 유량계, 그리고 지침식 압력계를 차례로 설치하였다. 또한 압력센서와 볼밸브도 분배면에 설치하였다. 실험은 표 1과 같이 분배면 좌측과 우측 출구에 있는 볼밸브를 동시에 조절하였다.

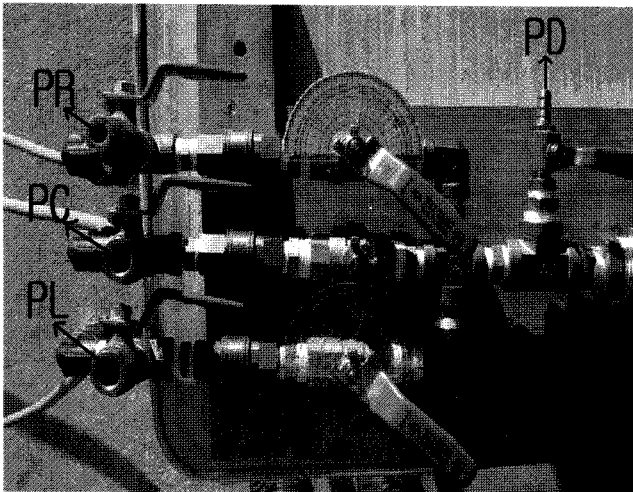


Fig. 4 Ball valves with protractors of the distributing part and pressure measuring points. (Input pressure-PD, Left output pressure-PL, Center output pressure-PC, Right output pressure-PR)

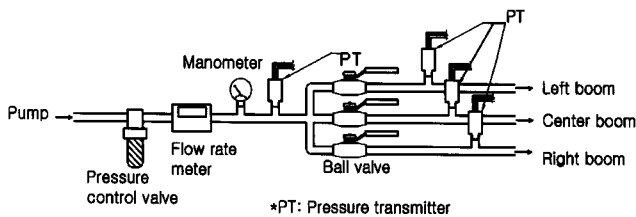


Fig. 5 Test rig for measuring flow rate change by adjusting ball valve.

각각의 경우에 대해 세 붐의 분무유량을 측정하였다. 각 노즐에 호스를 연결하고 분무된 물은 수집용기를 이용하여 30초간 4번 반복 측정하여 그 평균치를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 선회반경과 살포면적

측정 결과 붐방제기의 좌회전 시, 최대 좌선회반경은 2.0 m 이고 회전각센서의 출력전압은 0.7 V였다. 우회전할 때의 최대 선회반경은 2.2 m이고 출력전압은 4.6 V였다. 출력전압 0.7 V에서 4.6 V까지의 0.1 V간격으로 붐방제기의 회전중심과 선회반경을 측정하여 회전중심에서 각 붐의 기준점까지의 거리($R_1 \sim R_4$)를 구하였다. 이를 바탕으로 좌, 우, 중앙 세 붐의 살포면적을 계산하였다. 그림 6은 회전각센서의 출력전압에 대한 선회반경을 나타낸 것이다.

회전각센서의 출력전압이 2.2~2.6 V인 범위에서는 붐방제기가 거의 직선운행을 하므로 선회반경이 무한대로 증가하였다. 그리고 2.4 V를 중심으로 선회반경이 좌우 대칭을 이루었다. 그런데 선회반경이 5.2 m미만일 경우에는 앞서 살포한 곳을 회전을 하는 동안 다시 뿌리는 중복살포가 회전중심에 가까운 붐에서 발생하였다. 따라서 중복살포가 일어나는 선회반경 5.2 m이하, 즉 출력전압이 1.4 V이하이거나 3.5 V 이상인 범위는 제어대상에서 제외하였다.

통계분석 프로그램인 SAS(Statistical Analysis System, Ver 8.0)를 이용해 회전각센서의 출력전압에 따른 선회반경

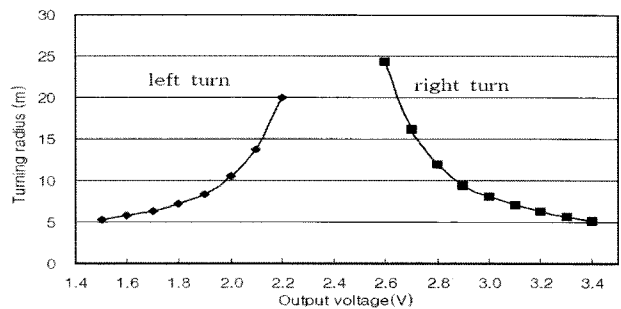


Fig. 6 Steering radius vs output voltage of an adjustable resistor for measuring steering radius.

Table 1 Turning angle of ball valves

Turning angle of left ball valve	42.0°	44.0°	46.0°	48.0°	50.0°	52.5°	55.0°	57.5°	60.0°	62.0°	64.0°
Turning angle of right ball valve	68.0°	66.0°	64.0°	62.0°	60.0°	57.5°	55.0°	52.5°	50.0°	48.0°	46.0°

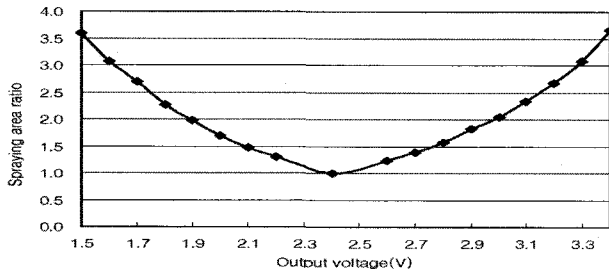


Fig. 7 Spraying area ratio of left and right boom at various output voltage of the adjustable resistor for measuring steering radius.

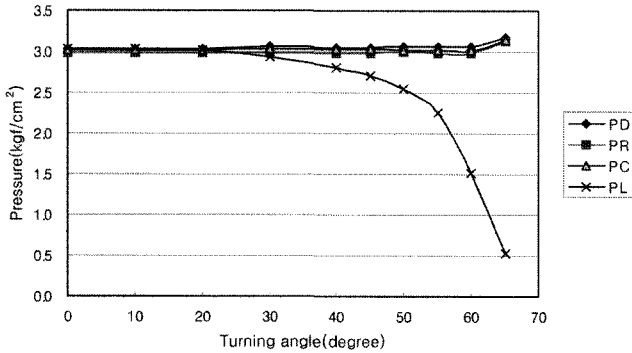


Fig. 8 Pressure change of each boom at distributing part by turning angle of ball valve. (PD: pressure of inlet of distributing part, PR/PC/PL: pressure of right/center/left outlet of distributing part)

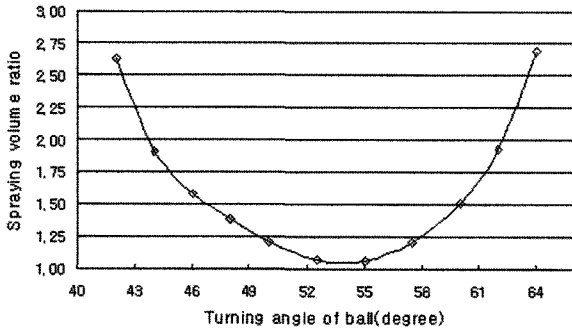


Fig. 9 Change of flow rate ratio by turning angle of left and right ball valves.

의 관계식을 구했다.

$$L = -\frac{3.83}{|x-2.4|} + 0.87 \quad (R^2 = 0.9996) \quad (3)$$

여기서, L = steering radius of sprayer(m)
x = output of rotary angle sensor(V)

회전각센서의 출력전압에 따른 각 붐의 기준점까지의 거리를 이용하여, 좌, 우, 중앙붐의 살포면적을 계산하였다. 4.5 m

진행하며 작업을 할 경우, 좌측 붐의 살포면적 SL과 우측 붐의 살포면적 SR에 의한 좌우 살포면적비(SLR)는 2.4 V에 대해 대칭이므로, 그림 7은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$S_{LR} = 2.247|x - 2.4|^2 + 0.794|x - 2.4| + 1.022 \quad (R^2 = 0.9990) \quad (4)$$

여기서, x = output of rotary angle sensor(V)

S_{LR} = spraying area ratio

나. 볼 밸브를 이용한 압력강하

그림 8은 분배변 입구의 압력을 30 kPa으로 하고, 분배변의 오른쪽과 중앙의 볼밸브는 고정된 채, 왼쪽 볼밸브만 조절하여 밸브 전후의 압력변화를 측정된 결과이다.

왼쪽 볼밸브의 압력변화는 회전각도가 30°가 되기 전까지는 압력이 거의 발생하지 않았으나, 그 이후 조금씩 감소하였고, 50° 이후에는 급격하게 떨어졌다. 그에 비해 분배변 입구(PD)나 분배변 우측(PR)과 중앙(PC) 출구의 압력변화는 좌측 볼밸브의 각도변화에 거의 영향을 받지 않았다. 압력의 변화를 보인 밸브회전각도 30~65° 사이의 왼쪽 볼밸브 전후의 압력변화에 대한 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$p = -0.0001A_t^3 + 0.0122A_t^2 - 0.4971A_t + 9.5662 \quad (R^2 = 0.9986) \quad (5)$$

여기서, A_t = 회전각도(degree) $30 \leq x \leq 65$

p = 압력(kgf/cm²)

다. 볼밸브를 이용한 유량제어

그림 9는 좌, 우 볼밸브의 회전각도에 따른 좌측 분무유량(V_L)과 우측 분무유량(V_R)을 측정하여 분무유량비를 계산한 것이다. 이때 좌·우 분무유량비는 두 구간으로 나누어 왼쪽 볼밸브의 회전각도가 42~52.5°일 때는 $\frac{V_L}{V_R}$ 을, 왼쪽 볼밸브가 55~64°일 때는 $\frac{V_R}{V_L}$ 을 계산하였다. 여기서 x축은 왼쪽 볼밸브의 회전각도만을 표시하였다. 좌·우 분무유량비는 1:2.7이 최고였다. 그 이상의 유량비가 될 경우, 노즐의 최소 분무압인 50 kPa보다 낮아져 무화가 제대로 이뤄지지 않았다.

라. 회전각센서의 출력전압을 이용한 유량제어

Kim(2000)은 공시기의 앞차축 킹핀에 연결된 회전각 센서를 이용하여 회전각과 관리기의 선회반경, 그리고 분방제기 좌·우의 살포 면적 비를 분석하였다. 이에 근거하여 좌·우 살포 면적 비를 고려하여 좌·우붐의 살포유량을 조절하는 방법은 다음과 같다.

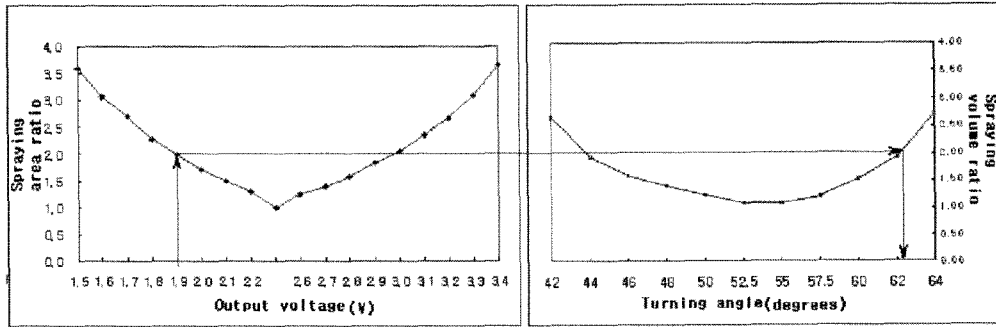


Fig. 10 Finding appropriate turning angle of ball valve using output voltage of the adjustable resistor for measuring steering radius.

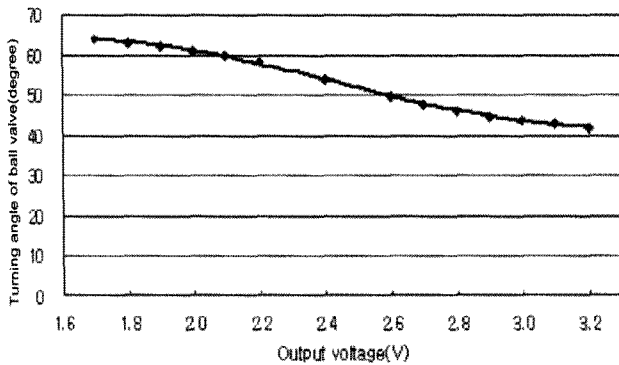


Fig. 11 The relationship between turning angle of ball valve and output voltage of the adjustable resistor for measuring steering radius.

그림 10은 회전각센서의 출력전압에 대한 좌·우 살포면적 비의 그래프와 볼밸브의 회전각도에 대한 좌·우 유량 비 그래프를 이용하여 회전각센서의 출력전압에 따른 볼밸브의 회전각을 찾는 방법을 나타낸 것이다.

이와 같은 방법으로 모든 회전각센서의 출력전압에 대한 볼밸브의 회전 각도를 찾은 결과 그림 11과 같았다. 이때 각도는 왼쪽 볼밸브의 회전 각도를 의미한다.

이 그래프는 회전각센서의 출력전압 2.4 V에 대하여 대칭을 이루고 있으며 회전각센서의 출력에 대한 회전각도의 관계식은 다음과 같다.

$$A_t = 11.058\sin\{1.86(x-2.4)\} + 53.889 \quad (R^2 = 0.9986) \quad (6)$$

여기서 x = 회전각센서 출력전압(V)

A_t = 볼밸브의 회전각도(degree)

그림 12는 본 연구에서 제안하는 구간별 유량제어시스템의 개략도이다.

운전자가 핸들을 조작하면 바퀴가 회전하면서 회전각센서

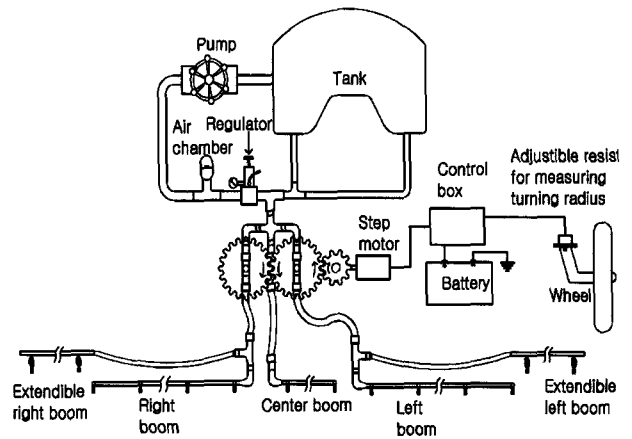


Fig. 12 Sectional flow-rate control system of boom sprayer.

의 출력전압이 변하게 된다. 제어상자에서 이 신호를 이용해 좌·우 살포 면적 비에 맞는 좌·우분 부량 비를 결정하게 된다. 목표하는 분부유량을 얻기 위해 식 5에서 계산한 각도만큼 스텝모터를 구동하여 분배 변에 있는 좌·우측 볼밸브를 조절하게 된다. 이때 볼밸브는 기어로 맞물려있어서 한쪽의 출구를 열면 반대쪽은 똑같은 각도만큼 닫히게 된다. 따라서 스텝모터 한 개만으로도 원하는 좌·우 분부유량을 얻을 수 있다. 또한 스텝모터를 이용하면 제어회로는 피드백이 필요 없어 회로구성이 간단해진다.

4. 요약 및 결론

우리나라의 방제작업은 주로 소형 동력분무기를 이용한 것으로서 총포형 노즐을 사용한다. 그러나 이 방법은 농약의 살포량 조절이 어렵고 불균일한 살포로 방제효과가 높지 못하여 개선이 요구된다.

분방제기는 이런 요구에 부응하는 대체 방제기계이지만, 우리나라에서는 수도작용을 중심으로 연구 및 보급되었다.

밭에서 사용하는 경우 회전주행 시 회전중심에 가까운 붐에서는 바깥쪽 붐에서보다 단위 면적당 훨씬 더 많은 양의 농약이 살포된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해, 회전운전 시, 선회반경과 좌·우, 중앙 세 붐의 살포면적 변화를 분석하여 좌·우 살포면적비에 맞는 분무 유량비를 얻기 위해 이 연구를 수행하였다.

- (1) 분방제기의 회전주행 시, 회전각센서의 출력전압은 0.7 V에서 4.6 V까지 나왔다. 출력전압이 2.4 V 정도에서는 직선주행을 하였으나, 선회반경이 5.2 m미만일 경우, 회전의 안쪽 붐에서 중복살포가 일어났다. 따라서 중복살포가 일어나지 않는 1.5~3.4 V 구간에 대해서 회전각센서의 출력전압에 대한 선회반경을 구하였다.
- (2) 분방제기의 회전 시, 회전각센서의 출력전압과 좌·우 살포면적비의 관계식을 구하였다. 살포면적비는 출력전압이 2.4 V일 때 1:1이며, 회전 반경이 작아질수록 살포면적비는 크게 증가하여 중복살포가 일어나지 않는 범위 내에서 최고 3.6배가 된다.
- (3) 분배변의 세 출구에 볼밸브를 설치하고 그 중 한 개만을 조작하여 압력변화를 측정한 결과, 볼밸브 회전각도가 처음 0~30°까지는 압력이 변화하지 않고 그 이후에 점차 감소하다 50°를 전후로 급감하였다. 따라서 볼밸브의 회전각도가 30~65°인 범위를 제어대상으로 설정하고, 이 구간에 대하여 압력과 회전각도에 대한 상관관계식을 구하였다.

- (4) 분배변의 좌·우 볼밸브만을 조절하여 분방제기의 회전 시 좌·우 살포면적비에 맞는 좌·우 분무 유량비를 얻기 위한 실험 결과, 살포면적비는 최대 1:3.6까지이나, 유량비는 최대 1:2.7임을 알 수 있었다. 따라서 살포면적비가 2.7 미만인 범위, 즉 회전각센서 출력전압이 1.7~3.2 V에서 회전각센서의 출력전압과 볼밸브 회전각도의 관계식을 구하였다.

참 고 문 헌

1. Ahmad. S. I. 1981. A Variable-rate Pesticide Spraying System. Transactions of ASAE Special Edition:584-589.
2. Ghate. S. R. 1994. Ground speed control of pesticide application rates in a compressed air direction sprayer. Transactions of ASAE. 37(1):33-38.
3. Kim Y. J. 2000. Development of Extendible Spray Boom Mountable on Cultivating Tractor. Seoul National University Agri. Mechanical Engineering a Master's thesis.
4. 구명희. 1994. 공급유량에 따른 Orifice의 설계변수와 유량계수와의 상관관계. 충남대 대학원 석사학위논문.
5. 김수천. 1983. 압력보상 유량제어 밸브의 특성에 대한 Simulation 연구. 연세대학교 산업대학원 석사학위논문.
6. 농업생산 기반 정비사업 통계연보 2005. 농림부. 농업기반공사.
7. 오세준. 1992. 밸브의 유량계수(Cv)에 관한 실험적 연구. 한양대 대학원 석사학위논문.