

봄방제기의 구간별 유량제어[†]

A Sectional Flow-Rate Control for a Boom Sprayer

김은수* 이중용* 김영주*
정회원 정회원 정회원
E. S. Kim J. Y. Rhee Y. J. Kim

1. 서론

봄방제기는 분무관에 일정한 간격으로 노즐이 설치되어 있으며 목표물 바로 위에서 농약을 직접 살포할 수 있다. 따라서 비산의 위험성이 적고 작업폭이 넓기 때문에 포장능률도 높은 장점이 있다. 또한 방제작업에 영향을 미치는 방제속도, 살포폭, 노즐 배출량, 노즐 압력 등을 최적으로 유지할 수 있는 자동제어 시스템을 채택할 수 있어 최적량의 농약을 균일하고 유효하게 살포할 수 있다.

우리나라에서 지금까지의 봄방제기에 대한 연구는 주로 수도작용을 중심으로 이루어졌으며 전작용 봄방제기에 대한 체계적인 연구는 아직 부족한 편이다. 통계에 따르면 우리나라 논은 115만ha 중 60%정도가 경지정리가 이뤄지는데 비해 밭의 경지정리는 74만ha 중 약 7%만이 이뤄져 미비한 편이다.(농업생산 기반정비사업 통계연보 2002). 경지정리가 되지 않은 밭은 대개 정방형이 아니고 그 경계가 곡선형태이다. 이러한 밭에서 곡선주행하며 방제작업을 할 경우 봄방제기의 회전중심에서 가까운 봄은 바깥쪽 봄보다 단위 면적당 훨씬 더 많은 양의 농약을 살포하는 문제점이 있다.

본 연구의 목적은 밭의 가장자리를 따라 곡선주행을 하며 방제작업을 할 경우 좌우 봄의 분무량이 크게 달라지는 현상을 개선하기 위해 봄방제기의 구간별 유량제어방법을 제안하는 것이다.

구체적인 연구는 기존 봄방제기가 곡선주행 시 발생하는 문제를 토대로 하여 볼밸브를 이용한 구간별 유량제어를 실시하고, 자동유량제어시스템을 제안하는 것이다.

2. 재료 및 방법

가. 공시기

공시기 원동기는 승용관리기(아세아 종합기계 CFM-1200)로서 4륜 구동형식이며 조향방식은 전륜조향, 후륜조향, 전후륜조향 3가지 중에서 선택할 수 있다. 본 연구에서는 가장 많이 사용하는 전륜조향을 기준 조향방식으로 선택하였다. 공시 관리기의 제원은 표1과 같다.

[†] 본 연구는 1998~2000년도 농림기술관리센터의 연구비지원에 의하여 수행되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

Table 1 Specifications of tested cultivating tractor

Item	Description
Model	Cultivator(CFM-1200)
Overall Size	2240×1455×1390mm
Minimum Ground Clearance	650mm
Weight	661kg
Rated Output of Engine	14/3000ps/rpm
Driving Type	4WD
Steering Type	FWS, RWS, FRWS
Transmission	Forward 8 levels
	Backward 4 levels by manual lever
Traveling Speed	0.8~11.7km/h
Tire Size	6.00-12-4PR
Minimum Turning Radius	2.0m

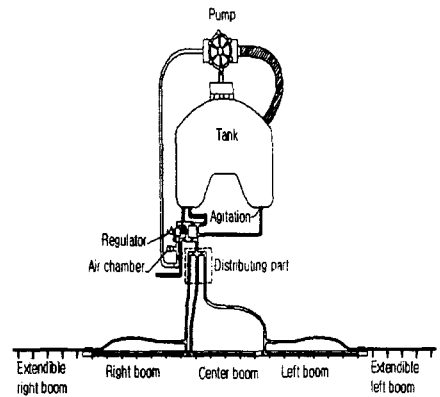


Fig. 1 Spraying system of tested boom sprayer.

공시 분방제시스템(김영주, 2000)의 분은 관리기의 전방에 부착되었고, 약액 탱크는 후방에 탑재되었다. 공시기는 그림 1에서 보는 바와 같이 3련 플런저 펌프(중앙공업, JPS-40A), 유량을 3개의 각 분으로 보내는 분배변, 압력조절기, 공기실, 농약탱크, 그리고 좌, 우, 중앙 분과 좌, 우측 신축분 등으로 구성되어 있다. 좌측과 우측분의 길이는 신축분의 조절에 따라 210cm에서 360cm까지 임의로 설정할 수 있다. 그리고 노즐의 간격은 배추재배를 기준으로 하여 60cm 간격으로 정해졌으나 30, 60, 90, 120cm 등으로 조정이 가능하다.

나. 분의 분무량 분포 실험

세 분의 분무특성을 알아보기 위해 각 노즐에서 분무되는 유량을 측정하였다. 이때 각 노즐의 고유번호는 그림 2와 같이 정하였다. 분무된 물은 페트병을 이용하여 측정하고 그 평균치를 계산하였다.

이때 분배변의 압력은 3기압으로 설정하였다. 여기서 3기압을 기준으로 한 이유는, 본 분방제기는 300L로 1200평에 뿌릴 것을 권장하고 있기 때문이다. 운행 속도(저속 2단에서 1.2km/h)를 고려한 결과 분배변의 압력을 3기압으로 설정하는 것이 가장 적절하였다.

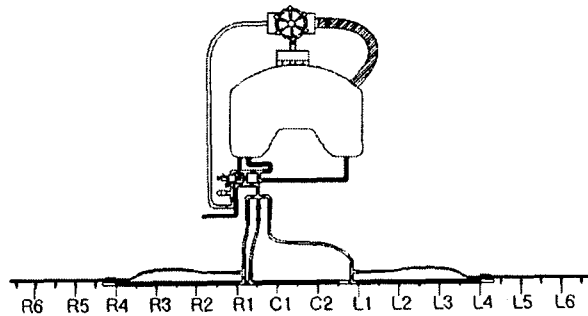


Fig. 2 Place of nozzles.

다. 볼밸브를 이용한 압력강하 실험

기존의 분배변은 펌프에서 나온 유량을 일정비율로 나누어 각 분에 보내주는 역할만 하였

지만 본 연구에서는 그림 3과 같이 분배변에 볼밸브를 설치하고, 이를 이용하여 각 붐의 분무유량을 제어하였다. 분배변에 볼밸브를 세 개를 설치하고, 볼밸브의 회전각도를 알기 위해 각도계를 설치하였다.

분배변의 세 볼밸브 중 왼쪽 볼밸브만 변화시키면서 분배변 전후의 압력을 측정하였다. 분배변 입구의 압력은 그림 3과 같이 "PD", 분배변의 좌측출구 압력은 "PL", 중앙출구의 압력은 "PC", 그리고 우측 출구의 압

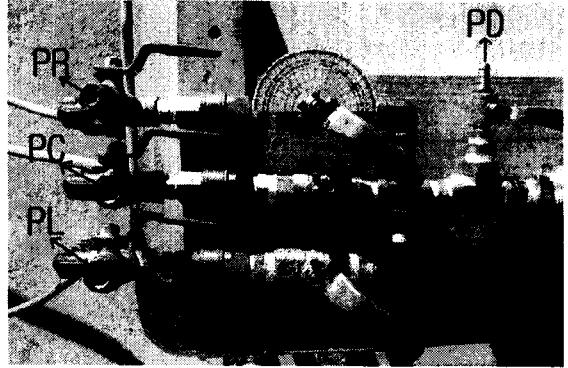


Fig. 3 Ball valves with protractors of the distributing part and pressure measuring points

라. 좌, 우 볼밸브를 이용한 유량조절 실험

붐방재기가 회전할 때 좌우 살포면적비에 맞는 좌, 우 붐의 분무유량을 얻기 위한 실험을 실시하였다. 위 그림 4와 같이 압력조절밸브와 유량계, 그리고 지침식 압력계를 차례로 설치하였다. 또한 압력센서와 볼밸브도 분배변에 설치하였다.

실험은 다음 표와 같이 분배변 좌측과 우측 출구에 있는 볼밸브를 동시에 조절하였다.

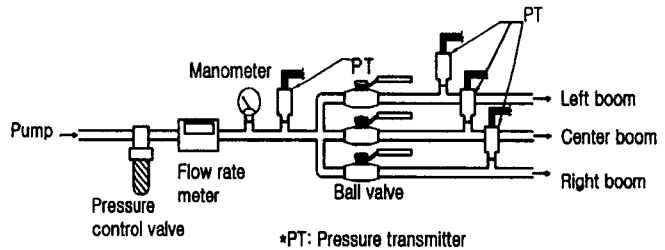


Fig. 4 Test rig for measuring flow rate change by controlling ball valve.

Table 2 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°

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

3. 결과 및 고찰

가. 붐의 분무량 분포

붐의 구간별 분무량 분포를 알아보기 위해 각 노즐의 분무유량을 측정한 결과는 그림 5와

같다.

노즐 한 개당 평균 유량은 좌, 우측붐이 1.19 l/min로 동일하였으나, 중앙붐은 이보다 약간 많은 1.29 l/min이었다.

붐방제기가 곡선주행하며 작업할 경우, 좌우 붐의 살포면적은 크게 차이난다. 이러한 좌우 살포면적의 차이를 고려치 않고, 좌우측붐에서 동일한 농약을 살포할 경우, 단위면적당 분무유량의 불균형은 회전반경에 따라 크게 발생할 것이다.

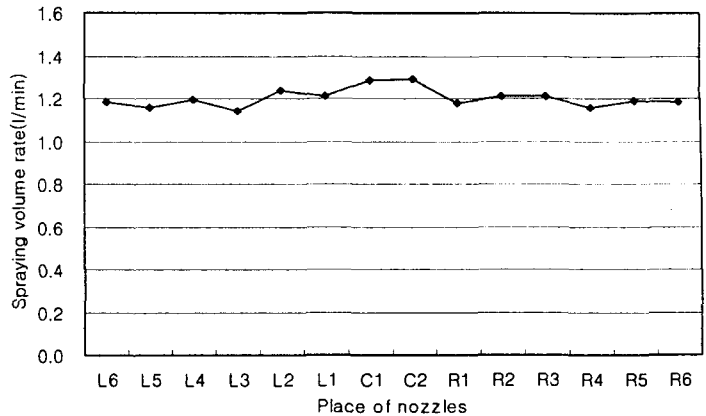


Fig. 5 Distribution of spraying volume rate.

나. 볼밸브를 이용한 압력강하

그림 6은 분배변 입구의 압력을 3기압으로 하고, 분배변의 오른쪽과 중앙의 볼밸브는 고정된 채, 왼쪽 볼밸브만 조절하여 밸브 전후의 압력변화를 측정된 결과이다.

왼쪽 볼밸브의 압력변화는 회전 각도가 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.

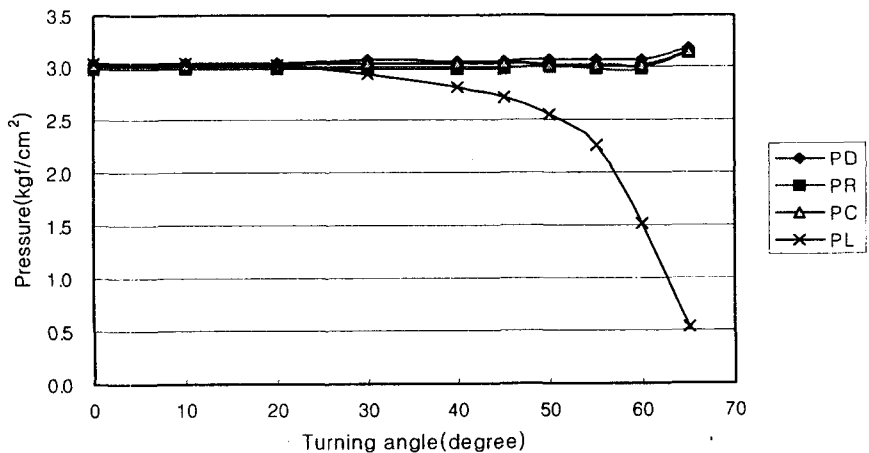


Fig. 6 Pressure change of each boom at distributing part by turning angle of ball valve. (PD: pressure of inlet of distributing part, PR/PC/PL: pressure of right/center/left outlet of distributing part)

영향을 받지 않았다. 압력의 변화를 보인 밸브회전각도 30~65° 사이의 왼쪽 볼밸브 전후의 압력변화에 대한 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$p = -0.0001A_i^3 + 0.0122A_i^2 - 0.4971A_i + 9.5662 \quad (R^2 = 0.9986) \quad \text{-----(Eq. 1)}$$

여기서, $\begin{cases} A_i = \text{회전각도} (\text{degree}), 30 \leq x \leq 65 \\ p = \text{압력} (\text{kgf/cm}^2) \end{cases}$

다. 볼밸브를 이용한 유량제어

그림 7은 좌, 우 볼밸브의 회전각도에 따른 좌측 분무유량(V_L)과 우측 분무유량(V_R)을 측정하고, 이를 바탕으로 분무유량비를 계산하여 나타낸 것이다.

이때 좌우 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.

좌우 분무유량비는 1:2.7이 최고였다. 그 이상의 유량비가 될 경우, 노즐의 최소 분무압인 0.5 kgf/cm^2 보다 낮아져 무화(霧化)가 제대로 이뤄지지 않았다.

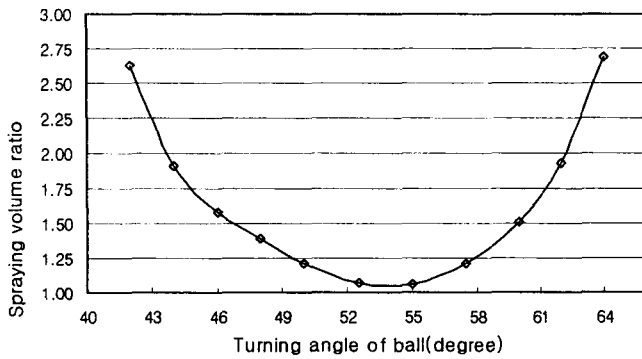


Fig. 7 Change of flow rate ratio by turning angle of left and right ball valves.

라. 회전각센서의 출력전압을 이용한 유량제어

김영주(2003)는 공시기의 앞차축 킹핀에 연결된 회전각 센서를 이용하여 회전각과 관리기의 회전반경, 그리고 분방제기 좌우의 살포 면적비를 분석하였다. 이에 근거하여 좌우 살포 면적비를 고려하여 좌우뚫의 살포유량을 조절하는 방법은 다음과 같다.

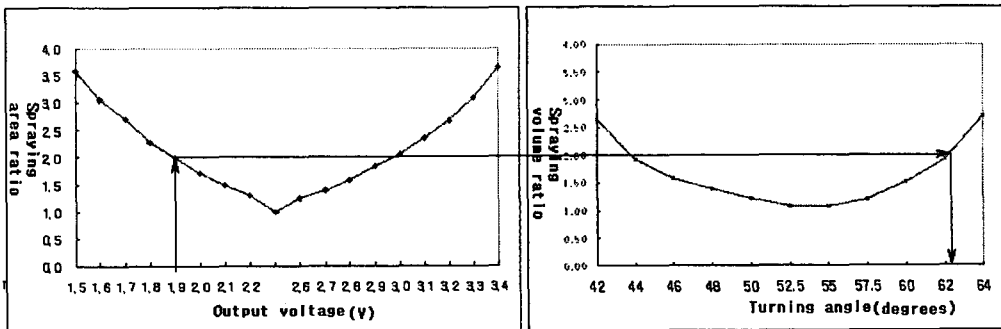


Fig. 8 Finding appropriate turning angle of ball valve using output voltage of the adjustable resistor for measuring turning radius

그림 8은 회전각센서의 출력전압에 대한 좌우 살포면적비의 그래프와 볼밸브의 회전각도에 대한 좌우 유량비 그래프를 이용하여 회전각센서의 출력전압에 따른 볼밸브의 회전각도를 찾는 방법을 나타낸 것이다.

이와 같은 방법으로 모든 회전각센서의 출력전압에 대한 볼밸브의 회전각도를 찾은 결과 그림 9와 같았다. 이때 각도는 왼쪽 볼밸브의 회전각도를 의미한다.

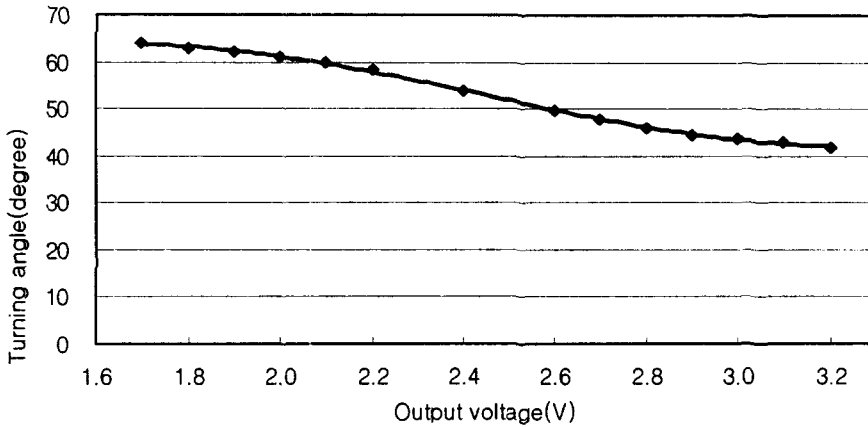


Fig. 9 The relationship between turning angle of ball valve and output voltage of the adjustable resistor for measuring turning radius

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

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

여기서, $\begin{cases} x = \text{회전각센서 출력전압 (V)} \\ A_t = \text{볼밸브의 회전각도 (degree)} \end{cases}$

다음 그림 10은 본 연구에서 제안하는 구간별 유량제어시스템의 개략도이다.

운전자가 핸들을 조작하면 바퀴가 회전하면서 회전각센서의 출력전압이 변하게 된다. 제어상자에서 이 신호를 이용해 좌우 살포 면적비에 맞는 좌우 분무 분무 유량비를 결정하게 된다. 목표하는 좌우분무의 분무유량을 얻기 위해 식 2에서 계산한 각도만큼 스텝모터를 구동하여 분배변에 있는 좌우측 볼밸브를 조절하게 된다. 이때 좌우측 볼밸브

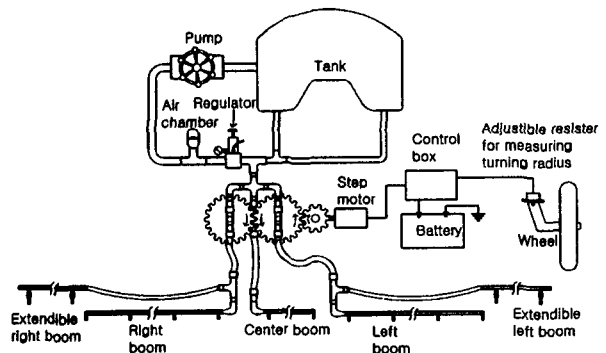


Fig. 10 Sectional flow-rate control system of boom sprayer.

브는 기어로 맞물려있어서 한쪽의 출구를 열면 반대쪽은 똑같은 각도만큼 닫히게 된다. 따라서 스텝모터 한 개만으로도 원하는 좌우 분무유량을 얻을 수 있다. 또한 스텝모터를 이용하면 제어회로를 피드백이 필요 없어 회로구성이 간단해진다.

4. 요약 및 결론

우리나라에서 지금까지의 붐방제기에 대한 연구는 주로 수도작용을 중심으로 이루어졌으며 전작용 붐방제기에 대한 체계적인 연구는 아직 부족한 편이다. 경지정리가 되지 않은 밭은 대개 정방형이 아니고 그 경계가 곡선형태이다. 이러한 밭에서 곡선주행하며 방제작업을 할 경우 붐방제기의 회전중심과 가까운 붐은 바깥쪽 붐보다 단위 면적당 훨씬 더 많은 양의 농약을 살포하는 문제점이 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 개선하기 위해 붐방제기의 구간별 유량제어방법을 제안하였다.

주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 붐의 구간별 분무량 분포를 알아보기 위해 각 노즐의 분무유량을 측정된 결과, 중앙붐과 좌우측붐은 0.1 //min 내에서 비슷하게 분무되었다. 그러나 붐방제기가 곡선주행할 때 발생하는 좌우 살포면적의 변화를 고려치 않고 작업할 경우, 좌우측 단위 면적당 분무유량의 차이는 크게 발생할 것으로 예상된다.

2. 분배변에 볼밸브를 설치하고 압력변화를 측정할 결과, 볼밸브의 회전각도가 30~65°사이의 범위에서만 유량의 변화와 함께 압력강하가 발생하였다.

3. 분배변의 좌우측 볼밸브를 동시에 회전시켜 좌우 분무 유량비를 구한 결과, 최고 2.7까지 유량비를 얻을 수 있었다.

4. 이를 이용하여 회전각센서의 출력전압(X)에 대한 볼밸브의 회전각도(A_t)의 관계식을 다음과 같이 구하였으며 이를 자동으로 제어할 기계구조를 제안하였다.

$$A_t = 11.058 \sin \{1.86(x - 2.4)\} + 53.889$$

5. 참고문헌

1. 농업기계연감. 2000-2001. 한국농업기계학회.
2. 농업생산기반 정비사업 통계연보. 2000. 농업기반공사.
3. 김수천. 1983. 압력보상 유량제어 밸브의 특성에 대한 Simulation 연구. 연세대학교 산업대학원 석사학위논문.
4. 김영주. 2000. 승용관리기 탑재 신축 분무부의 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
5. 조성인 외. 1996. 붐방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템 개발. 한국농업기계학회지. 21(4): 406-413.
6. Frank M. White. 1994. Fluid Mechanics 3th. McGraw-Hill Book Co.
7. S. I. Ahmad. 1981. A Variable-rate Pesticide Spraying System. Transactions of SASE Special Edition: 584-589.