전작용 붐방제기의 분무 특성†

Spray Performance Evaluation of Boom Sprayer for Upland-use

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

1. 서 론

우리나라의 방제작업은 주로 소형 동력분무기를 이용한 것으로서 총포형 노즐을 사용한다. 그러나 이 방법은 농약의 살포량 조절이 어렵고 불균일한 살포로 방제효과가 높지 못하여 개선이 요구된다. 또한 필요량보다 많이 뿌려 흘러내릴 정도로 살포하므로 환경에 악영향을 미칠 가능성이 높고, 농산물 안정성에도 불신을 초래하고 있다. 붐방제기는 이런 요구에 부응하는 대체 방제기계이지만, 우리나라에서는 수도작용을 중심으로 보급되었다.

붐방제기는 분무관에 일정한 간격으로 노즐이 설치되어, 주행하면서 목표물 바로 위에서 농약을 직접 살포할 수 있다. 따라서 비산의 위험성이 적고 작업폭이 넓기 때문에 포장능률도 높다. 또한 방제작업에 영향을 미치는 방제속도, 살포폭, 분무량, 분무압 등을 최적으로 유지할 수 있는 자동제어 시스템을 채택할 수 있어 최적량의 농약을 균일하고 유효하게 살포할 수 있다.

우리나라에서 지금까지의 붐방제기에 대한 연구는 주로 수도작용을 중심으로 이루어졌으며 전작용 붐방제기에 대한 체계적인 연구는 부족한 편이다. 통계에 따르면 우리나라 논은 115만ha 중 60%정도가 경지정리 된데 비해 밭은 74만ha 중 약 7%만이 경지정리가 되었다(농업생산 기반정비사업 통계연보 2002). 경지정리가 되지 않은 밭은 대개 정방형이 아니므로 살포작업 시 진행경도가 곡선의 형태가 많으며 지면의 경사도 불규칙한 것이 대부분이다. 기존의 수도작용 붐방제기는 이러한 밭의 형상을 고려하지 않고 각 붐의 분무량이 일정하도록 만들어져서, 곡선을 따라 주행하며 작업할 경우 회전중심에서 가까운 붐은 바깥쪽 붐보다 단위 면적당 훨씬 더 많은 양의 농약을 살포하는 문제점이 있다.

본 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 전작용 붐방제기의 분무입경, 분무량, 분무각, 압력강하 등 분무특성을 분석한다.

2. 붐방제기의 곡선주행에 따른 좌, 중, 우 붐의 살포면적을 측정하여 균일살포를 위한 분무량을 결정한다.

---

† 본 연구는 1998~2000년도 농림기술관리센터의 연구비지원에 의하여 수행되었음

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공

** 농촌진흥청 농업기계화연구소

2. 재료 및 방법

가. 공시기

그림 1은 공시기인 전작용 붐방제기의 모습이다. 그림 2는 붐방제기의 분무시스템을 나타낸 것으로 3련 플런저 펌프(중앙공업, JPS-40A), 유량을 3개의 각 붐으로 보내는 분배변, 압력조절기, 공기실, 약액탱크, 그리고 좌, 우, 중앙붐과 좌, 우측 신축붐 등으로 구성되어 있다. 좌·우측붐의 길이는 신축붐의 조절에 따라 최소 210cm에서 최대 360cm까지 살포폭을 임의로 조절할 수 있다. 노즐 배치의 간격은 배추재배를 기준으로 하여 60cm 간격으로 정해졌으나 필요한 방제작업에 따라 30, 60, 90, 120cm 등으로 노즐 부착 간격을 조정할 수 있다. 표 1은 분무시스템 제원이다.

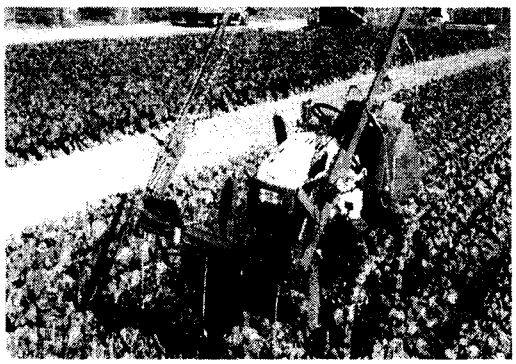

Fig. 1 View of tested boom sprayer.

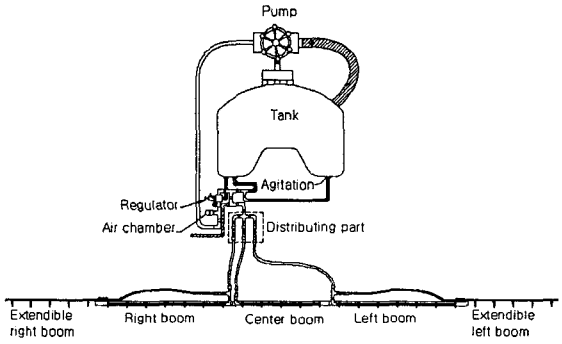

Fig. 2 Spraying system of tested boom sprayer.

Table 1 Specifications of tested boom sprayer system.

Item	Description
Pump	Manufacture: Jungang Green Tech. Ltd. Model: JPS-40A
Nozzle	Manufacture: Spraying System Co. Model: TIP9503, 14ea Orifice diameter: 1.1mm
Spray pipe	Material: Aluminium Inside diameter: 11.4mm Length: 360cm(left, right), 120cm(middle)
Hose	Material: polyvinyl chloride Inside diameter: 10mm Length: 311(left), 291(middle), 304(right)cm
Tank	Storage capacity: 300 ℓ

나. 노즐의 분무입경(VMD) 측정

노즐부에 부착된 선형노즐(TIP 9503, SS사)의 분무입경을 측정하기 위하여 분무입경 측정기(Droplet And Particle Sizer Series 2600c, MALVERN)를 사용하였으며, 압력 수준은 2기압에서 10기압까지 2기압씩 증가하여 5수준으로 하고 압력 수준마다 40cm, 60cm, 80cm, 100cm의 분사거리에서 3회 반복하여 체적중간지름(Volume Median Diameter, VMD)를 실험하였다. 체적중간지름은 방제기계에서 사용하는 대표적인 평균입도로서 시료로 채취된 입자를 크기순으로 나열하여 체적을 더해갈 때, 전체 체적의 1/2가 되는 순간의 입자의 직경을 뜻한다.

Fig. 3 Schematic view of droplet size measurement system.

다. 노즐의 분무량 측정

붐 전체의 분무특성을 알아보는 실험과 함께 노즐의 분무특성을 알아보기 위해 그림 4와 같이 실험 장치를 구성하여 분무압력에 따른 노즐의 분무량을 측정하였다. 측정은 30초 동안 3회 반복하였다. 압력측정은 지침식 압력계와 압력센서를 사용하였다. 먼저 지침식 압력계가 1기압을 나타낼 때 압력센서를 이용하여 정확한 압력을 측정하고, 페트병을 사용하여 분무량을 측정하였다. 압력을 증가시켜면서 분무량을 같은 방법으로 측정하였다.

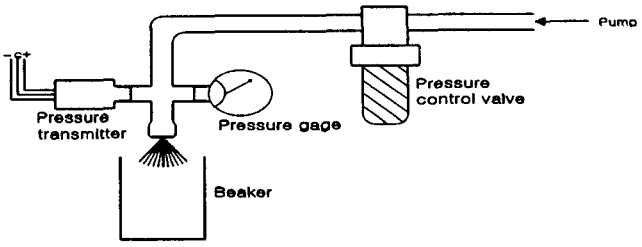

Fig. 4 Test rig for measuring spraying rate of a nozzle according to pressure level.

방제시스템에서 각 붐의 분무량이 붐의 압력에 따라 어떻게 변화하는지를 알아보기 위하여 그림 5와 같이 6개의 노즐에 호스를 연결하여 분무된 물을 페트병을 이용하여 30초간 4회

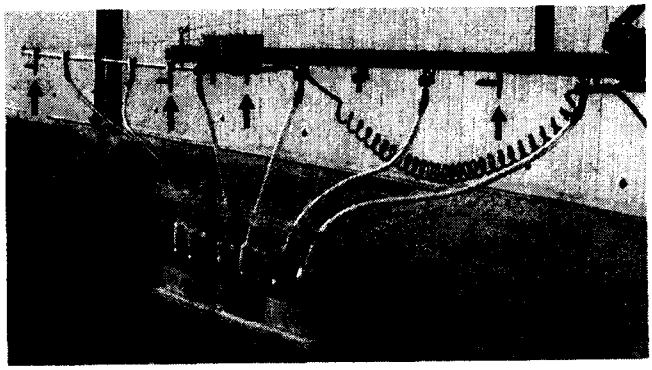

Fig. 5 View of pressure measuring and spraying volume rate of boom.

반복 측정하여 분무량의 평균치를 구하였다. 이 실험에서는 압력센서는 그림 5에서 화살표로 표시된 4곳(우측붐 2곳, 신축붐 2곳)에 설치하였다.

라. 분배변의 압력과 붐대 노즐에서의 압력강하 측정실험

유체가 흐르는 관에서는 단면적의 변화나, 굽힘(Bend) 등에 의한 압력손실이 발생하게 된다. 방제시스템의 각 부에서 압력강하를 분석하기 위해 분배변에 3곳, 좌측과 우측 붐에는 4곳씩, 중앙붐은 1곳에 압력센서를 설치하여 각 붐의 압력변화를 실험하였다. 분무압력은 분배변 입구의 압력이 1.5kgf/cm^{2}일 때부터 8.0kgf/cm^{2}까지 0.9kgf/cm^{2}간격으로 증가시켰다.

마. 회전반경에 따른 살포면적 측정실험

붐방제기가 직진하는 경우에는 좌측붐과 우측붐의 살포면적이 같지만, 그림 6과 같이 곡선주행하면서 작업을 할 경우는 살포면적이 달라진다. 그림처럼 좌회전을 할 경우, 좌측붐은 직진 때보다 살포면적이 줄어들어 좌우 살포면적이 최고 4배까지 차이가 난다. 회전 반경에 따른 좌, 우, 중앙붐의 살포면적의 비율을 측정하기 위한 실험을 하였다.

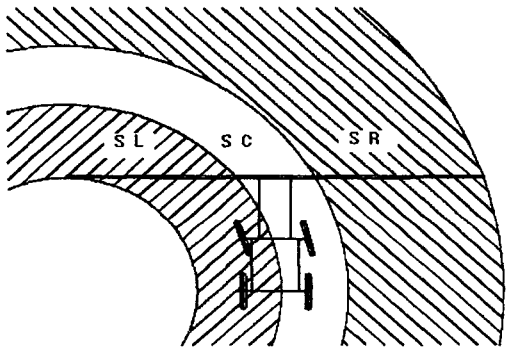

Fig. 6 Change of spraying area of each boom section during left turn.

회전반경 실험은 타이어 바퀴자국이 선명하게 표시되는 운동장에서 측정하였다. 회전반경을 일정하게 유지하기 위해 회전각 센서의 출력전압을 기준으로 하였다. 핸들을 일정한 각도로 돌려서 그때 회전각센서의 출력전압을 읽고 그 값이 ±0.005V 이내에서 유지되도록 붐방제기를 회전시켰다. 붐방제기를 왼쪽으로 가장 많이 돌렸을 때부터 오른쪽으로 가장 많이 회전시켰을 때까지 0.1V 간격으로 바퀴자국이 정원(正圓)이 될 때까지 반복하여 실험하였다. 이때 방제기의 속도는 1.7km/h(저속 2단)로 운전하면서 실험하였으며, 지면에 표시된 바퀴자국의 원지름을 측정하여 그 절반(반지름)을 회전반경으로 삼았다.

3. 결과 및 고찰

가. 노즐의 분무입경(VMD)

그림 7은 노즐을 압력수준마다 분사거리를 달리하여 체적중간지름을 구한 결과를 나타내고 있다. 2기압에서는 분사거리 40cm에서 최소의 분무입경인 211.8㎛였으나, 압력을 증가할수록 분사거리 60cm에서 분무입경은 작게 나타났으며 10기압에서는 분무입경이 151.7㎛였다. 분사거리가 100cm에서는 다른 분사거리보다 분무입경이 크게 나타났으며 2기압에서 371.1㎛, 10기압에서는 180.5㎛의 분무입경을 보였다.

나. 노즐의 분무량

그림 8은 상온(20°C)에서 압력 변화에 대한 노즐 한 개의 분무량을 측정한 결과를 나타내고 있다. 자료를 바탕으로 압력에 대한 분무량의 식 1을 완성하면 다음과 같다.

$$Q = \alpha A_{th}\sqrt{\frac{2p_1}{\rho}}$$

$$= 57.39 \times \frac{\pi}{4}(1.1\times10^{-3})^2\sqrt{\frac{2p_1}{998}}$$

($R^2 = 0.9976$) (Eq. 1)

붐의 압력이 증가함에 따라 각 붐에서 분무되는 유량의 변화를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 그림 9는 각 노즐에 호스를 연결하고 좌, 우, 중앙 세 구간에 대한 유량의 합을 각각 구한 결과이다. 좌, 우 붐의 유량이 중앙붐에 비해 3배 정도 많은 이유는 중앙붐의 노즐은 2개인데 비해 좌, 우 붐의 노즐은 6개이기 때문이다.

자료를 바탕으로 붐의 평균압력에 따른 각 붐의 분무량의 관계를 다음과 같은 식으로 나타내었다.

좌측붐: $V = 3.4267\sqrt{p} + 1.4151$ ($R^2 = 0.9960$) (Eq. 2)

중앙붐: $V = 1.1781\sqrt{p} + 0.5736$ ($R^2 = 0.9972$) (Eq. 3)

우측붐: $V = 3.2820\sqrt{p} + 1.7379$ ($R^2 = 0.9967$) (Eq. 4)

다. 분배변의 압력과 붐대 노즐까지의 압력강하

그림 10은 붐대 4곳의 압력을 동시에 측정하여 붐의 평균 압력을 구하고, 이 압력과 분배변의 압력 차이를 확인하는 실험한 결과이다.

분배변에서 같은 분무압으로 보내

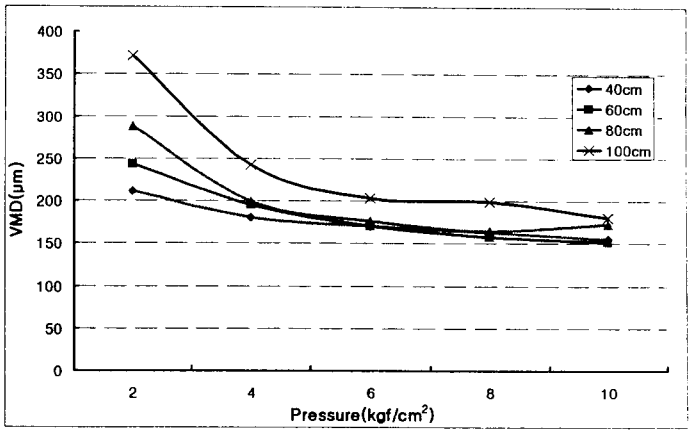

Fig. 7 Volume Median Diameter(VMD) of nozzle (Tip9503).

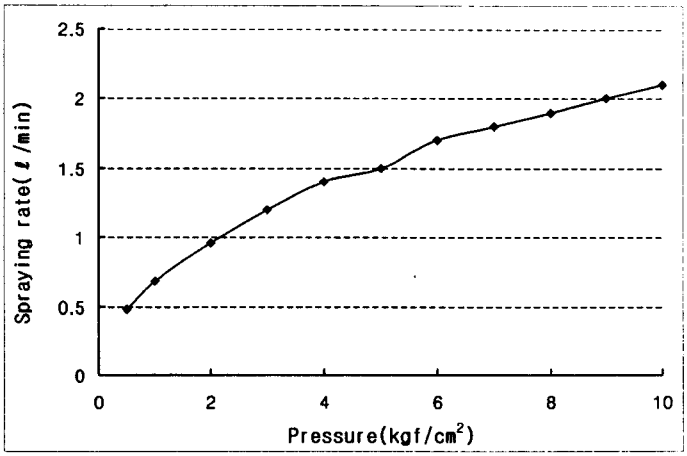

Fig. 8 Change of spraying rate by various spraying pressure of a nozzle.

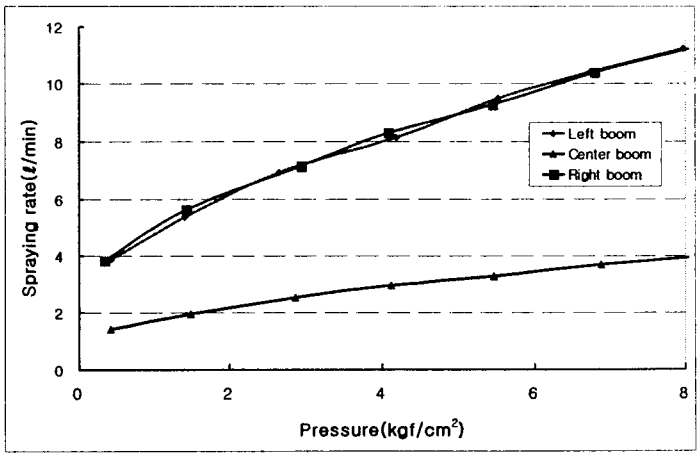

Fig. 9 Changes of spraying volume rate by mean pressure at boom sectors.

더라도 붐의 각 구간에서 압력 차이를 보였으며 중앙붐의 압력이 가장 높고 좌측붐의 압력이 가장 낮았다. 그 이유는 각 붐까지의 호스길이와 관련이 있다. 각 붐까지의 호스의 내경은 모두 1.0cm로 일정하지만 길이는 좌, 우, 중앙이 각각 311, 304, 291cm로 차이 있었고, 호스의 굽힘 정도도 달랐다.

각 붐과 분배변의 압력의 관계식은 다음과 같이 구할 수 있다.

좌측붐: $p_{bL} = 0.9186 p_d - 1.2943$ ($R^2 = 0.9996$) (Eq. 5)

중앙붐: $p_{bC} = 0.9733 p_d - 0.8388$ ($R^2 = 0.9992$) (Eq. 6)

우측붐: $p_{bR} = 0.8677 p_d - 1.3243$ ($R^2 = 0.9995$) (Eq. 7)

여기서, $\begin{cases} p_d = \text{분배변 압력}(kgf/cm^2) \\ p_b = \text{붐의 평균압력}(kgf/cm^2) \end{cases}$

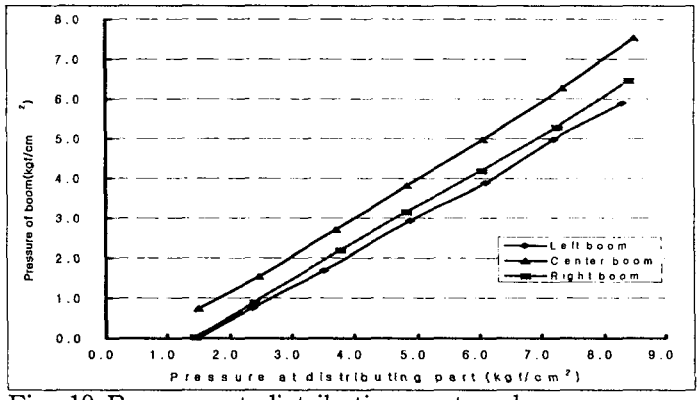

Fig. 10 Pressure at distributing part and mean pressure at each boom sectors.

각 붐에서의 분무압력의 차이는 분무량의 차이를 유발하므로 분배변에서는 호스의 길이 차이를 고려하여 각 붐에 해당되는 밸브의 개도를 조정한다면 붐의 모든 위치에서 균일한 압력을 얻을 수 있을 것이다.

라. 회전반경에 따른 살포면적 측정

그림 11은 회전반경에 따른 살포면적을 나타내고 있다. 붐방제기의 핸들을 가장 왼쪽으로 돌려서 회전할 때, 회전반경은 2.0m였고, 오른쪽으로 가장 많이 돌려 회전할 때의 회전반경은 2.2m였다. 붐방제기의 회전반경이 3.9m일 경우 최대 살포량 비율은 3.7배의 차이를 보였다. 회전반경이 5.2m미만일 경우에는 앞서 살포한 곳을 회전을 하는 동안 다시 뿌리는 중복살포가 회전중심에 가까운 붐에서 발생하였다.

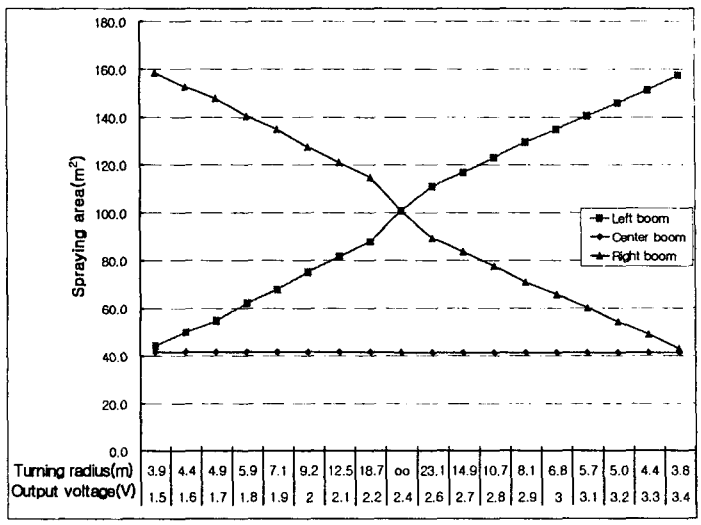

Fig. 11 Calculated spraying area of each boom at various output voltage of the adjustable resister for measuring turning radius.

따라서 전작용 포장처럼 장방형이 아닌 경우에는 붐방제기의 회전반경에 따른 좌우 붐의 분무량을 조절할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

우리나라에서 지금까지의 붐방제기에 대한 연구는 주로 수도작용을 중심으로 이루어졌으며 전작용 붐방제기에 대한 체계적인 연구는 부족한 편이다. 이에 본 연구는 전작용 붐방제기의 분무입경, 분무량, 압력강하 등 분무특성을 분석하였다. 또한 회전반경에 따른 살포면적 변화를 파악했다.

주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선정한 노즐(Tip9503)에 대해서 압력수준마다 분사거리를 달리하여 체적중간지름을 구한 결과 분사거리가 60cm에서 분무입경이 작게 나타났으며 10기압에서는 분무입경이 151.7 ㎛였다.

2. 분배변에서 같은 압력으로 분무압으로 보내더라도 붐의 각 구간에서 압력 차이를 보였으며 중앙붐의 압력이 가장 높고 좌측붐의 압력이 가장 낮았다. 분무압력의 차이는 분무량의 차이를 유발하므로 분배변에서는 호스의 길이 차이를 고려하여 각 붐에 해당되는 밸브의 개도를 조정한다면 붐의 모든 위치에서 균일한 압력을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3. 회전반경이 3.9m일 경우 최대 살포량 비율은 3.7배의 차이가 나타났으며 이는 붐방제기의 회전반경에 따른 좌우 붐의 분무량을 조절할 필요가 있을 것으로 판단된다. 회전반경이 5.2m미만일 경우에는 앞서 살포한 곳을 회전을 하는 동안 다시 뿌리는 중복살포가 회전중심에 가까운 붐에서 발생을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 김영주. 2000. 승용관리기 탑재 신축 분무붐의 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 김병갑. 2001. 수도 포장 진입로의 설계기준 설정에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
3. 구영모 외. 1998. 붐방제기용 주행속도 보상식 유량제어부의 동특성. 한국농업기계학회지. vol 23(2): 115-124.
4. 농업생산기반 정비사업 통계연보. 2000. 농업기반공사.
5. S. I. Ahmad. 1981. A Variable-rate Pesticide Spraying System. Transactions of ASAE Special Edition: 584-589.
6. S. R. Ghate. 1994. Ground speed control of pesticide application rates in a compressed air direction sprayer. Transactions of ASAE. 37(1): 33-38.