

붐방제기의 균일량 살포를 위한 제어시스템 개발⁺

(Development of a Control System for Uniform Application Rate on a Self-Propelled Boom Sprayer)

조 성 인* 정 창 주* 이 동 훈* 이 중 용**
정희원 정희원 정희원 정희원
S. I. Cho, C. J. Chung D. H. Lee J. Y. Rhee

A control system for a self-propelled boom sprayer to spray at uniform application rate was developed and evaluated. The ground speed of the sprayer was converted into voltage. The voltage was used as an input signal. Output signal was current of a servo motor, that controlled application pressure of the sprayer with a feedback control system. Spraying was executed at the pressure of 20~55 psi and the speed of 0.640~0.696 km/hr and 1.040~1.131 km/hr. Although the pressure and the speed of sprayer were changed continuously, application rate was tried to keep a nearly constant amount of 666.67 L/ha. This result showed that the developed control system for uniform application rate was adoptable for the self-propelled sprayer.

주요 용어(Key Words) : 균일량 살포(Uniform Spraying), 붐방제기(Self-propelled Boom Sprayer), 제어시스템(Control System)

1. 서론

해외농산물의 개방에 대비한 국내농산물의 국제경쟁력 강화를 위한 방안 마련이 시급한 때에 농산물의 품질 향상 및 생산비 절감을 위하여 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그 중 농업기계분야의 연구는 현장에서의 애로점을 해결하려는 자동화 및 무인화, 첨단기술을 이용한 고능률화 및 지능화로 집약되고 있다. 또한 수확량의 증가 및 품질향상을 위한 여러 가지 첨단 농법의 개발과 더불어 국내 농산물의 생산과정 및 유통과정에서 일어나는 수확량의 손실에 대

한 뚜렷한 대책이 시급한 실정이다. 농업에서 수확량의 손실을 방지하기 위한 방법으로는 수확 전 처리와 수확 후 처리로 구분되며, 수확 전 처리의 대표적인 것이 방제작업이다. 지금까지 국내에서 실시된 방제의 대표적 방법은 화학적 방제이다. 화학적 방제는 동력경운기에 탑재하거나 트랙터로 견인되는 동력분무기를 주축으로 기계화되어 왔으며 붐 스프레이어를 이용한 방제작업체제로 점점 바뀌어 가는 추세이다. 동력분무기는 분무압 20~30kgf/cm²의 피스톤 펌프와 살포거리 20m에 달하는 스피드 노즐을 사용하여 논두렁에서 포장 내부를 살포하고 있다. 이리

+ 본 연구는 1995년도 산학협동재단의 학술연구과제로 지원되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

** 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

한 방식은 방제의 효율성 및 작업능률과 환경의 오염 측면에서 상당히 문제가 있는 것으로 지적되고 있다. 농약의 과다 사용에 의한 지표수 및 지하수의 오염이 심각한 환경문제로 지적되고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 효율적 방제를 통한 생산량 향상과 환경보호를 위한 정밀방제에 대한 필요성이 점점 커지고 있으며, 관련분야의 연구의 중요성이 부각되고 있다. 외국의 경우에는 상당히 연구가 진행되어 이제는 첨단 유기농법 및 정밀방제, 선택적 방제 등의 기술을 도입하여 방제효율 향상 및 농약에 의해 발생하는 환경오염의 문제 극복을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Alley(1991)는 그림 1의 그래프와 같이 농약의 사용량과 생산량의 관계를 나타내면서 과다한 농약의 사용은 오히려 생산량의 감소를 초래하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해서는 균일방제(uniform pesticide application)을 권장하였다. 보다 경제적인 농장운영을 위하여 균일방제를 통한 생산량 향상과 균일방제를 위해 투자되는 가치를 비교하여 적절한 선택을 해야함을 강조하였다.

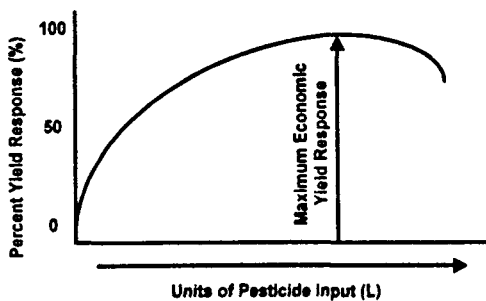


Fig. 1 Economic yield response to pesticide input(Alley, 1991).

Bouse(1994)는 방제에 사용되는 각종 노즐의 종류와 작업압력, 분무각 등이 분무입자의 크기에 어떻게 작용하는지를 실험을 통하여 밝힘으로써 방제작업의 종류와 특성에 맞는 다양한 노즐의 선택에 기준을 마련하였다. 특히 항공방제

에 사용되는 노즐에 대하여 항공기의 속도와 분무입자의 크기에 따른 상대속도의 관계를 규명하였다.

Hoffmann 과 Salyni(1996)은 감귤 과수원의 방제에 있어서 기상조건에 따른 분무입자의 분포에 대한 연구를 하였다. 특히 계절과 하루중 시간대에 따른 분무실험을 하였으며 높이와 노즐에 대한 위치를 달리한 시료를 채취하여 결과를 분석하였는데 일반적으로 기온이 낮고 상대습도가 높은 저녁시간에 분무입자의 피복률이 높음을 밝혔다.

Law(1983)는 정전기 효과를 이용한 분무장치에 대한 연구를 시작하였는데, 분무되는 입자에 정전효과를 작용시킴으로써 분무입자의 피복특성, 도달성 등이 향상됨을 보였다. 특히 분무입자의 정전기력에 의한 지면 및 공기 중으로의 손실을 줄임으로써 약액량의 과다사용을 방지할 수 있음을 제시하였다. 또한 이 연구결과를 기반으로 한 과수원에서의 정전분무기, 면화를 대상으로한 정전분무기등 다양한 연구가 수행되었으며 정전효과를 이용한 분무기는 이미 외국에서 상용화된 제품으로 그 모습을 보이고 있다.

Smith(1992)는 분무입자의 분포도와 균일도 향상을 위해서 fan nozzle을 사용하는 것이 효율적임을 실험을 통하여 증명하였다. 이 실험에서는 20종류의 약액을 대상으로 fan nozzle, extended range nozzle, twin jet nozzle과 같은 3가지 종류의 노즐을 이용하여 결과를 분석하였다.

국내에서는 아직까지 연구성과가 많지는 않지만 근래에 와서 노즐 및 살포방법에 대한 연구를 중심으로 방제작업체계에 대한 연구의 폭이 넓어지고 있다. 김(1995)은 분무제기에 적용가능한 4가지의 노즐을 대상으로 피복률, 분무유형, 살포밀도, 균등계수 등을 측정함으로써 각 노즐의 살포성능에 관한 자료를 획득하였다. 또한 획득한 자료를 기준으로 각 노즐에 따른 적합한 살포유형을 분석하였다. 이 실험의 결과로 선형노즐과 비산조절노즐은 전면살포에 적합하고 균등선형노즐과 원추공형노즐은 대상살포나 기부살포에 적합함을 발견하였다. 이(1996)는 수도

작용 분방제기의 포장실험을 통하여 전면살포 및 기부살포의 피복특성을 조사하였다. 특히 전면살포를 사용하여 기부살포에서 얻을 수 있는 침투성능을 보임을 확인하여 전면살포형 분방제기의 실용화를 제안하였다. 또한 동력분무기를 이용한 살포실험과의 비교를 통해서 수도작 방제작업체계가 분방제 기술로 대체되어야 할 근거를 제시하였다.

본 연구의 목적은 수도작용 분방제기의 일정 면적당 균일량 살포를 위한 작업속도에 따른 약액의 양을 자동 제어하는 것이다. 현재 사용되고 있는 대부분의 분방제기들은 약액의 양을 제어하기 위하여 운전자가 배관내의 압력을 수시로 확인하면서 수동으로 조작하도록 마련된 압력제어밸브를 작동시키므로써 압력을 조절하여 약액의 양을 제어할 수 있는 구조로 되어 있다.

그러나 포장면에서 주행방향의 조향 및 작업기의 부하에 따른 운행속도의 변화 등의 갖가지 불규칙한 상황에 대처하면서 압력제어밸브를 조절하는 작업은 고도의 숙련된 기술을 요하므로 분방제기를 이용한 방제작업의 생력화에 상당한 걸림돌이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 작업속도는 작업속도에 따라 일정 면적당 균일한 약액 살포를 위한 약액량 자동제어시스템 개발을 주 연구목적으로 하여 다음과 같은 세부연구를 수행하였다.

- ① 분방제기의 주행속도를 측정하였다.
- ② 주행속도에 따라 약액량을 자동제어하는 장치를 구성하였다.
- ③ 약액량 제어성능을 실험하였다.

2. 실험 재료 및 방법

가. 실험장치의 구성

분방제기의 균일한 약액살포를 위한 제어시스템은 다음 그림 2와 같이 구성되며 각 구성부위의 역할은 다음과 같다.

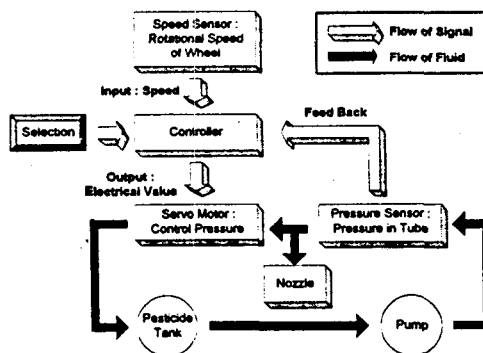


Fig. 2 Schematic diagram of the control system for uniform application rate on a boom sprayer.

1) Speed Sensor

김(1996)의 연구에서 밝힌 바에 따르면 본 실험에서 사용한 수도작용 분방제기의 슬립률은 13~20% 이다. 따라서 1단에서 허용되는 속도의 범위는 0.64km/hr~0.696km/hr 이며 2단에서 허용되는 속도의 범위는 1.04km/hr~1.131km/hr 이다. 본 연구에서 적용한 실험조건에 따르면, 20m 주행시 각 단수에서 슬립률의 차이에 의한 주행시간의 최대 오차는 1단에서 9.5초, 2단에서 5.5초로 이 시간동안에 1개의 노즐에서 분무되는 양의 최대오차는 분무압력이 20psi일 경우 각각 41.4mL, 23.8mL이다. 이 값은 노즐 분무량의 최대오차가 30mL (Figure 11)이고 측정상의 오차를 감안한다면 미세하기 때문에 균일살포를 위한 분방제기의 주행속도는 차축의 회전속도로부터 측정하여도 무방하다고 판단되었다. 분방제기의 주행속도를 측정할 수 있는 여러 위치 중 차체의 기관에서 바퀴로 동력을 전달하는 축을 선택하였다. 주행속도를 측정하는 방법은 다음 그림 3과 같이 추의 회전에 따라 축에 부착된 금속성 감지 물체를 근접센서(PS40-20, Autonics)에서 on/off 방식으로 측정하여 시간당 감지 횟수인 주파수를 출력신호로 얻어내는 방법을 선택하였다.

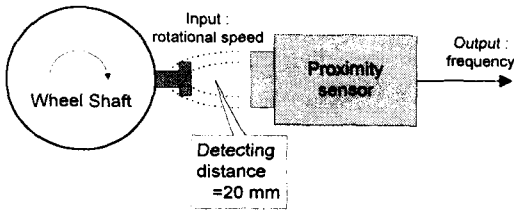


Fig. 3 Detecting rotational speed of the wheel shaft.

위에서 장착한 근접센서로부터 얻은 주파수 신호를 전압으로 변환해주는 회로는 다음 그림 4와 같다

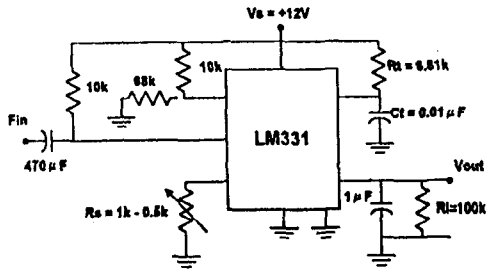


Fig. 4 Electric circuit of F-V converter for the proximity sensor.

위의 회로에서 입력 주파수와 출력 주파수의 관계는 다음 (식 1)과 같으며 R_s 의 값을 가변 저항으로 조정하여 주파수 구간에 대하여 출력전압의 범위를 조절할 수 있도록 하였다.

$$V_{out} = F_{in} \times \frac{R_f}{R_s} \times R_i \times C_f \times 0.209 \quad \text{식(1)}$$

2) Pressure sensor

분방제기의 약액공급배관내의 압력을 측정하는 센서로는 유압용 압력센서(VPR-A3-5K-4C, Valcom사)를 사용하였으며 약액에 부식이 되지 않는 non-corrosive type을 사용하였다. 입력전압은 DC 24V이며 출력은 입력신호의 크기에 따라 1~5V의 전압으로 나타났다.

3) Servo Motor

서보모터로는 12V 구동 DC 모터를 이용하여 성하였으며, 압력조절밸브를 조정할 수 있는 토

크를 발생시키기 위하여 1 : 150 비율의 감속기를 사용하여 조절밸브에 지지하였다. 다음 그림 5와 같이 구성하였으며 실제 구성된 외형은 그림 6과 같다.

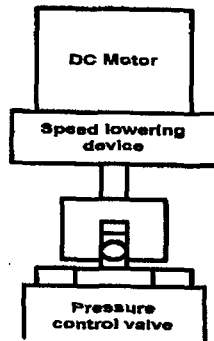


Fig. 5 Servo motor connected the pressure control valve.



Fig. 6 Feature of motor and pressure control valve.

4) Controller Board

본 실험의 약액량 제어를 위해 구성한 제어기는 방제기의 주행속도 검출로 생성된 전압의 크기와 배관내의 압력을 측정한 압력센서로부터 생성된 전압의 크기를 비교하여 그 차이에 따라 모터를 구동할 수 있도록 설계하였다. 제어기의 회로도도 다음 그림 7과 같다.

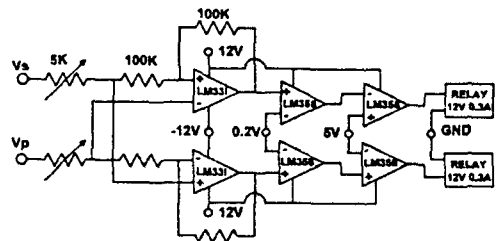


Fig. 7 Electric circuit of the main controller.

5) Pump

약액량 공급을 위한 펌프로는 롤러펌프를 사용하였으며 모델명은 7560 Series Roller pump 이고 특성곡선은 다음 그림 8의 그래프와 같다.

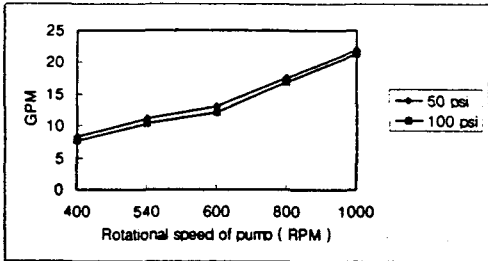


Fig. 8 Characteristic of roller pump.

또한 롤러펌프의 작동특성에 기인하여 생기는 맥동을 방지하기 위하여 롤러펌프와 함께 공기실을 설치하였는데 이는 롤러펌프에서 발생하는 압력의 변화를 줄이기 위한 것으로 일반적인 동력분무기에 장착하는 공기실을 사용하였다.

6) Nozzle

노즐은 방제작업에 있어서 분무유형을 결정짓는 중요한 요소이다. 본 실험에서는 flat type의 분무노즐을 사용하였다. 분무시스템 전체가 저압으로 설계된 관계로 분무압력의 범위가 2~4 bar에서 결정되는 저압용 노즐인 Teejet 11001 VS 이며 분사각이 110°인 노즐을 사용하였으며 작용압력에 대한 분무량은 그림 9의 그래프와 같다.

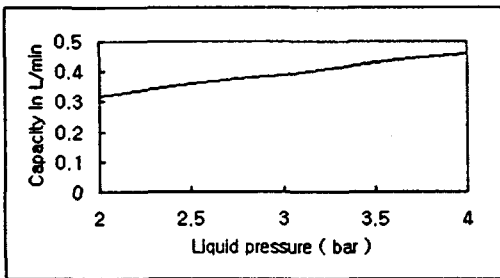


Fig. 9 Characteristic curve of the nozzle.

7) Application rate measurement

노즐에서 분무되는 약액의 유량을 수집하기 위하여 본 실험에서는 약액 수집통을 준비하였으

며 정밀한 측정을 위해 메스실린더를 이용하여 약액의 양을 측정하였다. 다음 그림 10은 약액수집통을 봄에 장착한 모습이다.

노즐과 노즐의 간격이 30cm이고 노즐이 총 13개이므로 봄의 총 길이는 4.2m이다. 본 실험에서 주행거리는 20m이므로 총 분무실험을 한 면적은 84 m²에 해당한다.

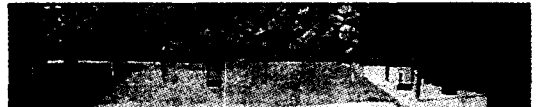


Fig. 10 Spraying amount measurement at each nozzle.

나. 압력 및 주행속도의 측정

1) 압력과 유량의 관계

본 연구에서는 배관내의 압력을 제어하여 약액의 양을 제어하는 방식으로 약액량 제어시스템을 구성하였기 때문에 약액량의 효율적인 제어를 위해서는 배관내의 압력과 유량과의 관계를 정확히 파악해야만 한다. 일반적으로 분무유량(mL)과 분무압력(psi) 사이에는 다음과 같은 식이 성립하며,

$$Q = k\sqrt{P} + c \tag{2}$$

k와 c는 시스템 고유한 상수들로서 노즐 및 펌프의 특성에 의해서 결정되는 값들이다.

이러한 시스템의 고유한 상수 값들을 측정하기 위하여 13개 노즐을 사용하여 분무한 예비실험의 결과는 그림 11과 같다.

X축은 설정압력으로 압력의 제공근에 해당하는 값이다. 위의 그래프를 분석해보면 k와 c는 각각 53.4와 24이며 R²=0.997 인 상관관계를 보인다. 즉 본 연구에서 구성한 각 요소에 의해 결정되는 분무유량과 분무압력의 관계는 다음 식 3과 같이 결정된다.

$$Q \approx 53.4\sqrt{P} + 24 \tag{3}$$

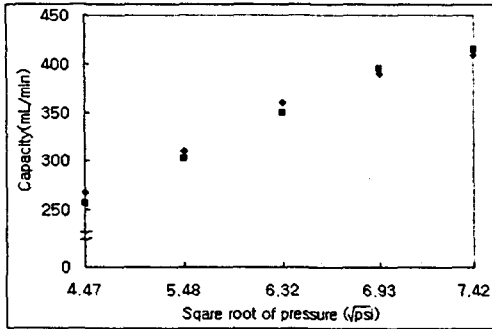


Fig. 11 Pressure-Capacity curve.

2) 속도와 전압

목표 압력을 설정하기 위한 입력 변수로 방제기의 주행속도를 선택하였다. 방제기의 주행속도는 전진 6단 후진 2단으로 선택이 가능하다. 일반적으로 방제작업시에는 전진 1단과 2단에서 작업을 하므로 본 연구에서는 전진 1단과 2단에 대하여 실험을 하였다. 각 단수에 따른 출력 전압의 크기는 표 1과 같다. 특히 조속기를 고정시켜서 실험을 하여 각 단수에서 허용되는 주행속도 오차의 범위를 최소로 줄였다.

Table 1 Output voltage for each power step

Power step	Speed(km/hr)	Output(V)
1 step	0.8	1.2
2 step	1.3	2
3 step	2.4	3.2

앞에서 밝힌 바와 같이 본 실험에서 사용한 수도작용 분방제기의 슬립률은 13~20% 이다. 따라서 1단에서 허용되는 속도의 범위는 0.64 km/hr~0.696km/hr 이며 2단에서 허용되는 속도의 범위는 1.04 km/hr~1.131km/hr 이다.

3) 압력과 전압

목표 압력에 도달하였는지를 검사하기 위하여 압력센서를 사용하였다. 예비실험을 통하여 압력센서로부터 나오는 전압의 크기를 측정 한 자료는 다음 그림 12와 같다.

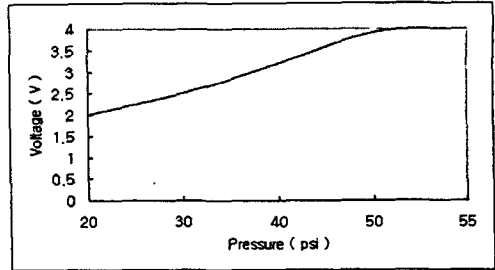


Fig. 12 Pressure-Voltage curve.

한편 실제 실험에서는 주행속도 감지부와 압력센서의 출력전압을 비교하기 위하여 압력센서에서 측정되는 압력을 voltage divider를 통하여 0.5배 곱하여 비교신호로 사용하였다.

3. 결과 및 분석

본 연구에서 구성한 제어시스템의 성능을 평가하기 위한 실험으로 다음과 같은 방법을 사용하였다.

Table 2 Result of the experiment I(mL)

노출번호	0.64~0.696(km/hr)			1.04~1.131(km/hr)		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회
1	365	365	345	335	340	320
2	360	350	350	335	330	310
3	365	365	340	310	310	310
4	360	370	340	340	350	320
5	375	360	355	355	340	315
6	365	360	350	340	345	320
7	370	370	350	345	346	315
8	367	365	350	345	345	320
9	360	365	345	346	350	320
10	372	350	350	347	345	318
11	375	350	345	346	346	317
12	375	360	350	348	348	320
13	375	355	340	345	345	318
Sum (mL)	4784	4685	4510	4467	4470	4123

Table 3 Result of the experiment II(mL)

노출번호	0.64-0.696(km/hr)			1.04-1.131(km/hr)		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회
1	430	420	425	440	420	420
2	420	410	415	430	410	420
3	425	410	420	435	410	430
4	427	415	422	435	415	430
5	432	415	437	440	405	435
6	430	420	430	445	420	435
8	430	420	430	445	425	445
9	430	410	425	445	420	440
10	435	430	427	445	420	440
11	435	425	430	440	415	445
12	434	420	430	440	420	450
13	430	417	425	435	410	440
Sum (ml)	5593	5437	5558	5725	5395	5680

실험 I : 작업기의 주행 단수를 설정하고 출발과 동시에 살포를 시작하여 20m 주행한 구간 동안에 살포된 약액의 양을 측정

실험 II : 작업기의 주행 단수를 설정한 후에 10m 주행한 후에 살포를 시작하여 20m 주행한 구간에 살포된 약액의 양을 측정 2가지 실험방법을 통하여 다음 표 2, 3과 같은 결과를 얻었다.

위의 실험결과를 토대로 약액량의 제어 가능성과 제어 범위를 검토해 보면 다음과 같다.

실험 방법 1을 통해 얻은 결과를 보면 전체적으로 살포된 약액의 양이 부족하였으며, 속도가 빨라질수록 살포된 약액의 양이 감소하였다. 실험 방법 2의 실험결과와 비교 분석해 보면 목표압력에 도달하기에는 20m의 주행구간이 너무 짧고 주행구간에 걸쳐 압력이 균일하게 유지되지 않기 때문인 것으로 분석되었다.

실험 방법 2를 통해 얻은 결과를 분석해 보면 1단 주행시 살포량은 평균 5529.33 mL/84m² 이고 2단 주행시 살포량은 평균 5600 mL/84m² 이다. 이 값을 환산하면 1단 주행시 약 658.25 L/ha, 2단 주행시 약 666.67 L/ha에 해당하는 양이 살포된 것이다. 1단 주행시의 살포량은 2단 주행시

살포량을 기준으로 약 1.126%의 오차를 보이고 있으며 살포시 미립자들의 증발로 인한 손실 및 약액량을 측정할 때 발생할 수 있는 측정 오차를 감안 한다면 균일량 제어가 이루어 졌다고 분석할 수 있었다. 실험 방법 1과 실험 방법 2를 통한 실험결과와의 차이점은 본 연구에서 구성한 제어기의 응답성능 때문인 것으로 분석되며 그 이유는 다음과 같다. 입력신호 중에서 압력센서에서 측정한 전기적인 신호는 일정한 압력에 대하여 일정한 신호를 발생시키는 것이 아니라 규칙적인 파형을 보이면서 입력이 되기 때문에 시스템이 안정적인 상태에 이르는 시간을 지연시키는 것이다. 모터를 구동시키는 relay의 점점 간격이 무척 좁고 또 relay 구동 전류가 약하기 때문에 차체에서 발생하는 진동의 전달로 인하여 relay의 점점 접촉이 안정적이지 못하다. 따라서 모터에 지속적인 전원을 공급해주지 못하기 때문에 목표압력까지의 도달시간이 길어진다고 사료되었다.

단위 면적 당 균일량 살포를 위해서는 속도와 압력의 제곱근의 비율이 일정해야 하는데, 현재 구성된 시스템의 허용 압력 범위가 20 psi~55 psi로서 매우 좁은 범위이므로 넓은 속도영역에서의 균일량 살포를 위한 압력의 제어는 불가능하지만 0.64~0.696 km/hr 과 1.04~1.131 km/hr의 속도에서는 균일량 살포를 위한 압력의 제어가 충분함을 확인하였다.

실험결과 분석에서 드러난 문제점에 대한 개선점을 생각해 보면 다음과 같다. 제어기의 응답성능 향상을 통하여 효과적이고 작업조건에 영향을 받지 않는 약액량 제어 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 제어기의 응답성능은 각 analog 입력신호들을 안정적으로 처리할 수 있는 부가적인 회로 추가 및 차체의 진동으로부터 안정적인 relay의 선정을 통하여 향상시킬 수 있으리라 기대된다.

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 주행속도에 상관 없이 단위 면

적당 균일량을 살포할 수 있도록 자동제어하는 약액량 제어시스템을 설계하고 실험을 통하여 제어성능을 확인하였다. 그 결과 20 psi~55 psi 에 해당하는 저압의 범위와 0.64~0.696km/hr 과 1.04~1.131km/hr에 해당하는 속도에서 약액량이 약 5.4~5.7L/84m²(평균 666.67 L/ha)로 제어됨을 밝혔다.

본 연구에서 설계한 약액량 제어시스템의 정밀도는 2단 주행속도를 기준으로 가정할 경우 1단 주행시 1.126%의 오차를 보이고 있으며 제어시스템의 응답성능에 대한 연구를 통하여 개선할 수 있을 것이다.

더 넓은 범위의 주행속도에서 약액량 제어시스템의 구성은 노즐 및 배관 등의 분무시스템이 고압으로 구성되어 설정압력조건을 만족시켜줄 수 있다면 가능할 것이다.

5. 참고 문헌

1. 김학진. 1995. 분방제기 살포장치의 설계요인 규명을 위한 실험적 연구. 석사학위논문. 서울대학교 대학원
2. 김형조. 1996. 수도작용 자주식 분방제기의 작물손상을 고려한 차륜 설계 및 조향형식별 차륜 궤적-작물손상의 시뮬레이션. 석사학위논문. 서울대학교 대학원
3. 이강걸. 1996. 수도작용 분방제기의 피복특성에 관한 실험적 연구. 석사학위논문. 서울대 대학원
4. Smith, D. B. 1992. Uniformly and recovery of broadcast sprays using fan nozzle. Transaction of ASAE vol. 35(1) : 39~44
5. Bouse, L. F. 1994. Effect of nozzle type and operation on spray droplet size. Transaction of ASAE vol. 37(5) : 1389~1400
6. Alley, M. M. 1991. Sprayer and Crop magazine. USA/CAN
7. Law, S. E. 1983. Electrostatic pesticide spraying : Concept and Practice. IEEE Transaction vol. IA-19, No. 2 : 160~168
8. Hoffman, W. C, Salyani, M. 1996. Spray deposition on citrus canopies under different meteorological conditions. Transaction of ASAE vol. 39(1) : 17~22