

## 전작용 붐방제기의 붐의 좌우 경사각 자동제어

# Automatic Left/Right Boom Angles Control System for Upland Field

이 중 용    김 영 주    이 채 식  
 정회원    정회원    정회원  
 J. Y. Rhee    Y. J. Kim    C. S. Lee

### SUMMARY

Boom sprayers have been known by their excellency in field efficiency, worker's safety and pest control efficacy. The boom sprayer in Korea that was developed for paddy field is not suitable for upland field of which shape is irregular and inclination is steep, due to heavy chemical tank, long boom width, and manual on-off control of spraying.

The goal of the study was to develop a boom control system that could control boom angles of left and right boom automatically and independently corresponding to local field slope. The prime mover was selected as a cultivating tractor. Main results of this study were as follows.

1. Ultrasonic sensor whose response time was 0.1s and response angle was within  $\pm 20^\circ$  was selected to measure distance. Voltage output of the sensor(X, Volt) had a highly significant linear relationship with the vertical distance between the sensor and ground surface(Y, mm) as follows:

$$Y = 0.0036X - 0.437$$

2. Left and right section of the boom could be folded up by a position control device (on-off control) which could control the left and right boom independently corresponding to local slope by equalizing distances between the sensor and boom at the center and left/right boom. Most reliable DB(dead band) was experimentally selected to be 75.Ω(6cm).

3. At traveling velocity of 0.3~0.5m/s. RMS of error between desired and achieved height was less than 4.5cm. The developed boom angle controller and boom linkage system were evaluated to be successful in achieving the height control accuracy target of  $\pm 10$ cm.

**주요용어(Key Words)** : 붐방제기(Boom sprayer), 승용관리기(Cultivating Tractor), 위치제어장치(Position control device), 초음파센서(Ultrasonic Sensor)

### 1. 서    론

현재 국내에서 사용되고 있는 붐방제기는 수도작용으로 개발된 것이며 전작에서는 이용되지 않고 있다. 그 이유는 수도작용 붐방제기의 약액 탱

크 용량이 커서 경사지에 부적합할 뿐만 아니라 수동 스위치로 붐의 각도를 조절하므로 주행 중에 지면 경사의 변화에 따라 자세제어를 수행하기가 곤란하며, 살포높이의 조절범위가 작고, 붐의 구간별 분무제어가 ON-OFF제어로 단순하고, 붐의 길

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural Research and Development Promotion Center(ARPC) and article was submitted for publication in August 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2000. The corresponding author is Joong Yong Rhee, Assistant Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea; E-mail: <jyr@plaza.snu.ac.kr>.

이가 길어 봄의 진동이 심하고 밭의 형상이 직사각형이 아닌 경우에 살포폭 조정이 곤란하기 때문이다.

밭의 형상은 논과 달리 직사각형보다는 주변 지형조건에 따라 다양한 형태를 가지며 경사면에 위치하고 있다. 우리 나라 밭의 대부분은 경사도가 4° 이하가 40%를 차지하고, 4~8.5° 범위에서는 40%를 차지하고 있다(농업기계연감, 1998). 또한 평균 경사도가 작은 밭에서도 부분적으로 경사도가 급한 경우가 존재하므로 방제기계의 경사지 적응성은 주요한 인자로 고려되어야 한다.

Tadatoshi 등(1994)은 살포폭이 15m인 트랙터 직접장착식 붐방제기를 제작하였고, 초음파 센서에 의한 분무높이 자동제어장치를 개발하였다. Noh(1997)는 수도작 붐방제기의 수평제어장치를 개발하였으며, 능동진자 현가장치를 이용한 봄의 수평제어시스템을 모형화하였다.

본 연구의 궁극적인 목적은 전작에 사용할 승용관리기 탑재형 붐방제기를 개발하는 것으로 본 연구에서는 살포높이를 무단계로 조절할 수 있는 붐을 제작하고 붐 양단의 지면에 대한 높이를 중앙봄의 높이와 ±10cm 오차범위 이내로 제어하는 봄의 자세제어장치를 개발하고 성능을 평가하는 것을 범위로 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시 붐방제기

공시기 원동기는 승용 관리기로서 4륜 구동이며 조향 방식은 전륜 조향, 후륜 조향, 전후륜 조향 방식 중에서 선택스위치로 선택할 수 있다.

봄의 상하위치 조절과 접기와 떼기, 봄의 신축동 기본적인 조작은 직류 12V를 전원으로 하는 모터나 전동 실린더로 구동하도록 하였다. 모든 제어는 운전석 우측에 설치된 제어상자에서 이루어진다.

### 나. 봄의 구조

개발하는 붐방제기는 배추 재배에 우선적으로 적용하고자 농업기계화연구소에서 제시하는 배추기계화 재배양식을 기준으로 봄을 설계하였다. 배추기계화 재배양식에 따른 등근 두둑의 크기는 조건 간격이 60cm, 주간 간격이 30~40cm이고 두둑

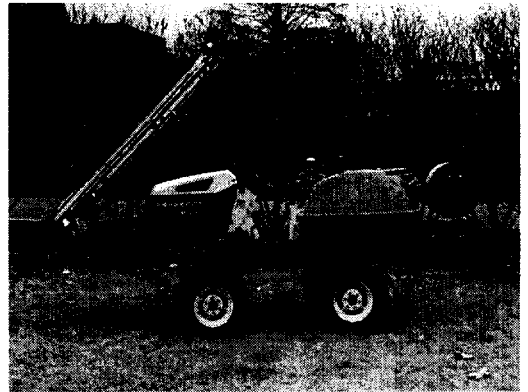


Fig. 1 View of prototype boom sprayer.

높이는 20cm 이하로 결정되었다.

경사지 밭에서 원활하게 방제작업이 가능하도록 붐을 좌, 우, 중앙의 세 부분으로 나누고, 양쪽 봄의 경사를 독립적으로 제어하고 봄길이 조절은 전동실린더(동진유압, DC 12-500-100)를 이용하여 살포폭은 최대 8m로 설계하였다. 좌, 우측 길이는 각각 3,225mm이며 이 중 1,800mm에 해당하는 부분은 가벼운 재질인 알루미늄 사각관으로 제작하여 붐소켓에 끼워서 체결할 수 있게 하였고, 1,425mm 해당하는 신축부는 외경 19mm의 원형 알루미늄으로 제작하여 사각관 뒤쪽에 설치하였다.

봄의 탈부착 방식은 수도작용 붐방제기와 비슷하나, 부가중량의 탈부착과 봄의 탈부착 방식을 간편하게 개량하였다. 그림 1은 봄, 약액 탱크, 펌프 등을 장착한 전체적인 모습이다.

중앙봄의 높이제어는 두 개의 평행사변형 링크에 하나의 가변 링크를 가진 것으로 가변 링크는 전동 실린더로 구성되었다. 그림 2는 시작기의 링크 시스템을 보여주고 있다. 가변 링크는 최대 신장길이 611mm, 최소 축소길이 408mm인 전동실린더를 선정하였다. 평행사변형 링크의 길이는 560mm, 링크 시스템의 최대 분무높이 조절 폭은 700mm였다.

붐방제기의 좌우봄을 접는 각도는 측면에서 볼 때, 45°로 경사지게 접을 수 있도록 설계하였다. 봄의 경사각 조절장치는 그림 3과 같이 인장스프링과 전동 실린더, 붐소켓 및 스프링고정대로 구성되었다. 스프링 고정대는 봄이 접혔을 때에 접혀진 봄의 거치대 역할을 겸한다.



Fig. 2 View of boom-height control linkage.

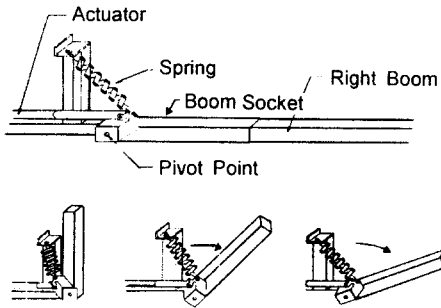


Fig. 3 Folding-up mechanism of the boom.

#### 다. 제어 장치

제어장치의 제어 원리는 중앙붐에 설치된 센서가 측정하는 거리와 이보다 일정량 작은 거리를 상한치와 하한치로 하여 좌우붐에 설치된 센서가 측정하는 거리와 비교하여 상한치보다 거리가 크게 나타나면 붐을 낮추고 하한치보다 작게 나타나면 붐을 올리도록 전동실린더를 제어하는 것이다. 상한치와 하한치의 차이는 설정한 불감대(dead band)의 크기가 된다.

그림 4는 제어원리에 의하여 실제로 제작된 제어부의 모습을 나타낸 것이다. 이 제어장치는 수동제어장치와 병렬로 연결되어 하나의 제어박스로 통합되었다.

그림 5는 붐 각도 제어부의 회로도도를 나타낸 것이다. 주요 구성부품은 comparator, FET(field effect transistor), Relay, photo coupler, LED(light emitting diode)였다. 3개의 초음파 센서의 출력 전압값을 받아 이 중에서 중앙붐의 신호를 기준으

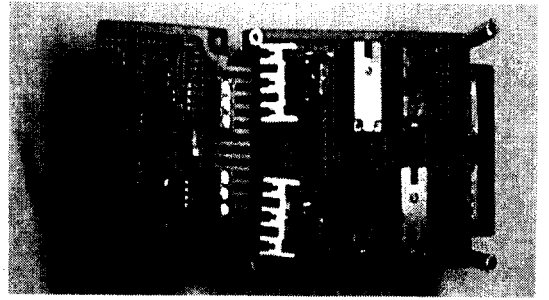


Fig. 4 The prototype of automatic boom angle controller.

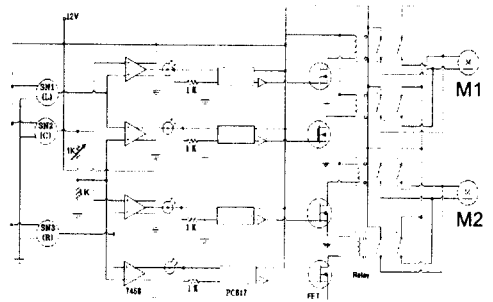


Fig. 5 The circuit diagram of actuator drive relay.

로 하고 중앙붐 초음파 센서의 전압을 일정비율로 감소시키는 직렬 저항회로를 부착하여 또 다른 기준 신호를 만들었다. 2개의 기준 전압과 좌·우붐 센서의 전압을 comparator를 통하여 비교하였다. 릴레이는 회전방향 결정용과 ON-OFF 제어용이 있어 모두 4개가 사용되었다.

#### 라. 초음파 센서

초음파 센서(SonaSwitch Mini-A, EDP; USA)의 반사면의 종류에 따른 거리검출 특성을 알아보고 자 대리석, 토양, 모래, 잔디, 아스팔트 표면 위에서 센서와 표면간의 거리별로 초음파 센서의 출력 전압을 측정하여 그림 6에 나타내었다. 센서까지 거리와 출력전압은 어느 경우에도 고도의 직선을 보여주고 있으며 비례상수도 거의 일정하였다.

초음파의 반사 특성이 좋은 대리석을 기준 반사면으로 하여 검출거리(X, mm)와 출력전압(Y, v)과의 회귀식은 다음과 같다.

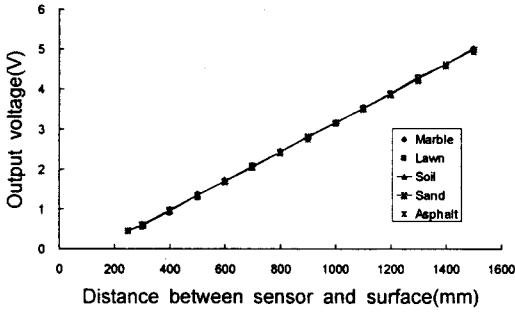


Fig. 6 The relationship between output voltage of ultrasonic sensor and various surface.

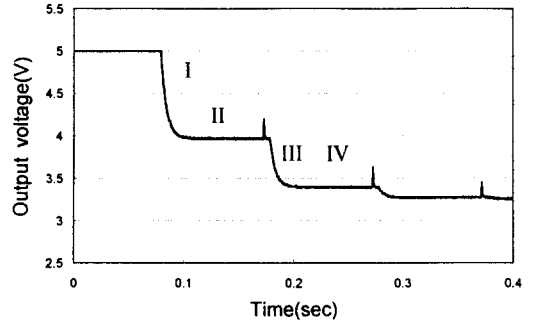


Fig. 8 Response of ultrasonic sensor sampled at 2,000Hz.

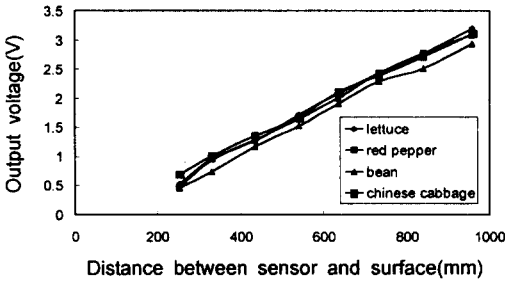


Fig. 7 The relationship between output voltage of ultrasonic sensor and various leaf surface.

$$Y = 0.0036X - 0.437$$

실제 작물에서도 센서의 출력값 특성이 검출 거리에 대해서 출력전압이 직선적으로 나타나는지 알기 위하여 상추, 고추, 콩, 배추밭에서 출력값을 측정하여 그림 7에 나타내었다.

작물이 심어진 표면에서도 거리와 출력 전압과의 관계는 직선적이었으며, 대리석에서 구한 회귀식과 비교하면 직선의 기울기값과 절편값에 약간의 차이를 보였다.

초음파 센서의 응답속도를 측정하기 위하여 지지대 위에 평판을 경사지게 유지하고 있다가 지지대를 제거하여 순간적으로 수평이 되도록 하였다. 초음파 센서로부터의 출력신호는 A/D board에서 2,000Hz로 샘플링 하였으며 측정결과를 그림 8에 나타내었다.

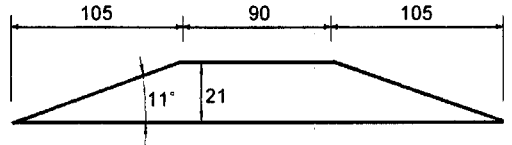


Fig. 9 Dimension of tested artificial slope. (unit : cm)

그림 8을 보면 출력전압이 변화되는 구간과 일정한 구간이 반복되고 있음을 알 수 있다. 이런 구간을 각각 I, II, III, IV로 표시하고 각 구간에서 소요 시간을 계산한 결과 각각 0.026, 0.073, 0.0235, 0.077sec 였다. 즉 움직이고 있는 평판에 대해서 센서가 감지하는 거리에서 다시 감지하는데 까지 걸리는 시간은 0.025초가 걸렸고, 0.075초 동안은 일정한 출력값을 유지하였다. 따라서 움직이는 평판을 감지하는데 총 걸린 시간은 0.1초였다.

초음파 센서는 반사면의 경사도가 20° 범위까지는 거리 검출이 가능하였으나 그 이상에서는 거리를 감지하지 못하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 원동기 정지 중 붐의 각도 제어실험

승용 관리기를 정지한 상태에서 그림 9와 같은 모의지면을 일정한 속도로 초음파 센서 밑으로 움직이면서 붐이 모의지면에 따라 각도를 제어하는 실험을 실시하였다. 붐의 제어성능을 평가하기 위

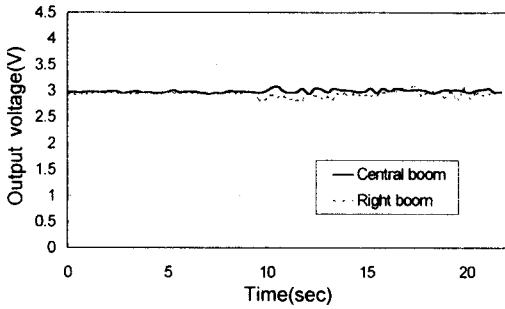


Fig. 10 Boom angle control performance while artificial slope was manually moved at the preset deadband of 5cm.

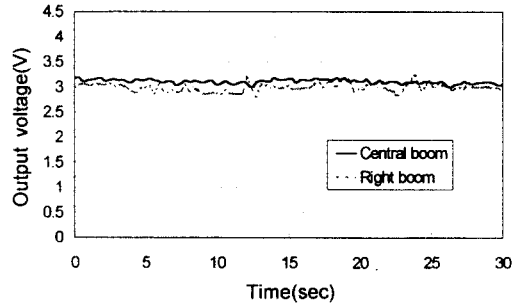


Fig. 11 Boom angle control performance at traveling velocity of 0.2m/s over artificial slope.

해 2개의 초음파 센서의 출력전압을 sampling rate 1,000Hz로 A/D board를 사용하여 측정하였다.

그림 10에서 굵은 실선은 중앙붐의 출력전압, 점선은 우측붐의 출력전압을 나타내고 있으며 모의지면을 통과시켜도 중앙붐과 우측붐의 신호가 같은 것은 우측붐의 높이가 제어되었기 때문이다.

그림 10에서 실제로 모의지면을 통과하는 10초에서 20초 사이에 우측 초음파 센서 출력전압의 평균값을 구하면 2.95V로 나타났다. 이들 값을 정지 중 중앙붐 초음파 센서의 평균값 즉 0-10초 사이의 중앙붐 초음파 센서의 평균값 3.01V에 비하면 0.06V(1.38cm)가 작게 나타난다. 이런 차이가 발생하는 이유는 제어 시스템에 설정된 불감대 때문으로 판단된다

#### 나. 원동기 주행 중 붐의 각도 제어실험

아스팔트 노면 위에 고정된 모의지면과 우측 붐에 설치된 초음파 센서의 위치를 일치시킨 후 승용 관리기를 정속으로 운전하면서 붐의 각도 제어 실험을 수행하였다. 작업속도는 0.2m/s부터 0.9m/s까지 5수준이었으며 주행거리를 15m로 정하였다. 적정 불감대를 정하기 위하여 불감대를 설정하는 저항의 크기를  $65\Omega \sim 110\Omega$ (불감대 폭 5cm~9.5cm)까지 변화시켜 시험한 결과  $75\Omega$ (불감대 폭 6cm)의 경우가 가장 안정적인 각도 유지를 보였다.

그림 11은 불감대의 폭을 6cm로 정하고, 0.2m/s로 주행하는 경우에 제어성능을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 중앙붐과 우측붐의 신호값의 평균치는 각각 3.11, 3.01V로서 전압차이를 높이로

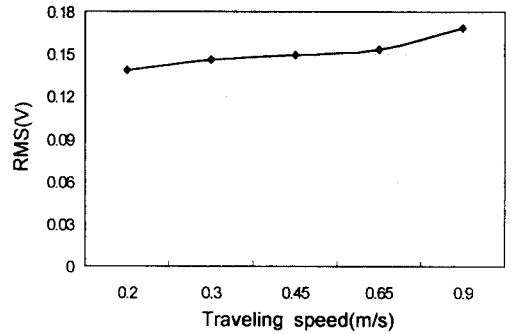


Fig. 12 Boom angle control performance at various traveling velocities.

환산하면 2.8cm로서 설정한 불감대의 폭 이내에서 제어됨을 보이고 있다.

그림 12는 주행속도를 바꾸어가며 실험한 결과를 초음파 전압신호의 RMS값으로 표시한 것이다. 그림에서 보듯이 속도가 빨라지면 제어성능의 정확도가 감소하고 있다. 특히 속도가 0.65m/s 이상에서는 오차가 커짐을 볼 수 있다. 주행속도가 0.45m/s의 속도에서 오차의 범위는  $-4.78 \sim +7.97$ cm, 0.65m/s에서는  $-7.30 \sim +12.01$ cm였다. 따라서 실제 방제 작업속도가 될 것으로 예상되는 0.3~0.5m/s의 범위에서는 10cm의 오차범위를 가지고 제어가 가능함을 알 수 있다.

그림 13은 주행속도가 0.9m/s인 경우의 제어성능을 나타낸 것이다. 그림 11과 비교해보면 우측 붐에 설치된 센서의 전압의 변화폭이 크고 변화의 주기가 커짐을 볼 수 있다. 이 현상은 주행속도가 빨라지면서 고정된 모의지면을 통과하는 시간이

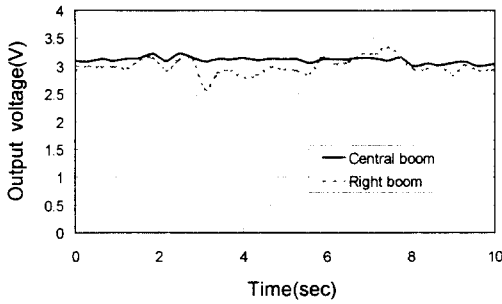


Fig. 13 Boom angle control performance at velocity of 0.9m/s over artificial slope.

짧아진 대신에 붐의 진동은 더 커졌기 때문으로 판단된다. 비록 제어시스템이 작동되더라도 붐이 강체가 아닌 탄성체이기 때문에 붐의 각도제어시스템이 각도를 줄이는 방향으로 작동하더라도 실제 붐의 진동은 순간적으로 역행할 수 있다.

본 연구에서는 붐의 진동특성을 고려하지 못했지만 붐의 고유진동수와 지면의 표고차의 진동수 등이 공진되지 않도록 배려할 필요가 있으며, 붐을 작동시키는 핀조인트의 유격을 줄여야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 전작용으로 사용 가능한 승용 관리기 탑재 신축 분무붐을 개발하기 위해 수행하였으며, 배추재배를 기준으로 설계되었다. 개발하고자 하는 붐은 분무폭을 작업중에 바꿀 수 있는 신축붐의 구조를 갖추고 포장내 부분적인 경사도의 변화에 대응할 수 있게 좌·우 붐의 경사각을 각각 독립적으로 제어하는 것이다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1) 붐높이를 측정하는 센서로 초음파 센서를 선택하였으며 검출높이(Y, mm)와 출력값(X, volt)과

의 회귀식은 다음과 같다. 반사면의 종류에 따라 비례상수와 오차에 변화가 발생하는 것을 확인하였으나 본 연구에서는 센서의 측정 높이보다는 센서간 측정 높이의 차이를 활용하여 제어함으로써 오차에 의한 제어의 오차를 차단할 수 있었다.

$$Y = 0.0036X - 0.437$$

2) 좌우붐의 경사도를 개별적으로 자동 제어할 수 있는 각도 제어장치(on/off 제어방식)를 개발하였으며 안정적인 제어가 가능하도록 붐 높이의 하한치를 정하는 불감대의 폭을 6cm로 정하였다.

3) 작업속도별로 각도 제어의 정확도를 평가한 결과 예상작업속도 범위인 0.3~0.5m/s 범위에서는 제어 목표로 정했던  $\pm 10\text{cm}$  오차범위 내에서 제어가 가능함을 알 수 있었다.

4) 개발된 붐의 제어장치는 붐의 동특성을 고려하고 있지 못하므로 보다 실용적인 붐구조가 되기 위해서는 붐의 진동을 고려한 위치제어와 진동의 감쇄방안에 대한 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

1. Marchant, J. A. and A. R. Frost. 1989. Simulation of the Performance of state Feedback Controllers for an Active Spray Boom Suspension. Journal of Agricultural Engineering Research Vol. 43(2):77-91.
2. Noh, H. K. 1997. A Study on Control System for balancing a boom of Self-Propelled Boom Sprayer. MS Dissertation. Seoul National University, Korea.
3. Tadatoshi, S., M. Keiji and M. Kiyooki. 1994. Control of Spraying Height with Ultrasonic Sensor for Boom Sprayer (part 2). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 56(6): 59-67.
4. 한국농업기계학회. 1998. 농업기계연감.