

전작용 분방제기의 붐구조 설계와 붐의 자세제어

Design of Boom Structure and Boom Position Control of Boom Sprayer for Upland Field

| | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 이중용* | 김영주* | 이채식** | 김찬수*** |
| 정회원 | 정회원 | 정회원 | 정회원 |
| J.Y. Rhee | Y.J. Kim | C.S. Lee | S.C. Kim |

1. 서론

현재 국내에서 사용되고 있는 분방제기는 수도작용으로 개발된 것이며 전작에서는 이용되지 않고 있다. 그 이유는 수도작용 분방제기의 약액 탱크 용량이 커서 경사지에 부적합할 뿐만 아니라 붐의 자세제어는 수동 스위치에 의존하므로 주행 중에 지면 경사의 변화에 따라 운전과 자세제어를 동시에 수행하기가 곤란하며, 살포높이의 조절범위가 작고, 붐의 구간별 분무제어가 ON-OFF제어로 단순하고, 붐의 길이가 길어 붐의 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. 우리나라 밭의 대부분은 경사도가 4°이하가 40%를 차지하고, 4~8.5° 범위에서는 40%로서, 경사도가 8.5°이하에서의 경작면적이 전체 면적의 80%를 차지하고 있다(농업기계연감 98). 또한 평균 경사도가 작은 밭에서도 부분적으로 경사도가 급한 경우가 존재하므로 방제기계의 경사지 적응성은 주요한 인자로 고려되어야 한다.

또한 대부분의 전작은 두둑 재배를 하므로 원동기가 두둑을 오르내릴 때 분방제기의 붐이 매우 크게 요동하여 붐이 지면에 부딪힐 염려가 있다. 이에 대한 대책으로 붐의 길이를 작게 하는 것이 있지만 근본적인 대책이 필요하다. 즉 균평하지 못한 포장에서 붐의 요동을 최소화하는 붐의 구조가 필요하며 진동을 저감시키는 장치도 필요하다.

Tadatoshi 등(1994)은 살포폭이 15m인 트랙터 직접장착식 분방제기를 제작하였고, 초음파 센서에 의한 분무높이 자동제어장치를 개발하였다. 노현권(1997)은 수도작 분방제기의 수평제어장치 개발하였으며, 능동진자 현가장치를 이용한 붐의 수평제어시스템을 모형화하였다.

본 연구의 궁극적인 목적은 전작에 사용할 승용관리기 탑재형 분방제기를 개발하는 것으로 본 연구에서는 붐의 길이가 신축가능하고 살포높이를 무단계로 조절할 수 있는 붐을 제작하고 붐 양단의 지면에 대한 높이를 중앙붐의 높이와 $\pm 10\text{cm}$ 오차범위 이내로 제어하는 붐의 자세제어장치를 개발하고 제작된 붐과 자세제어장치의 성능을 평가하고 개선점을 도출하는 것을 범위로 한다.

+ 본 연구는 농림기술관리센터의 기획과제 연구비로 수행되었음
* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 농업기계전공
** 농촌진흥청 농업기계화연구소
*** 중앙공업

2. 재료 및 방법

2.1 붐 설계의 기본방향

개발하는 붐방제기는 배추 재배에 우선적으로 적용하고자 농업기계화연구소에서 제시하는 배추 기계화 재배양식을 기준으로 붐을 설계하였다. 배추기계화 재배양식에 따른 등근 두둑의 크기는 조간 간격이 60cm, 주간 간격이 30~40cm이고 두둑높이는 20cm이하로 결정되었다.

경사지 밭에서 원활하게 방제작업이 가능토록 붐의 기본적인 설계 방향은 다음과 같다.

1) 붐의 구역설정은 좌, 우, 중앙의 세 부분으로 나누고, 양쪽 붐의 경사를 독립적으로 제어한다.

2) 붐길이 조절은 전동모터를 이용하며 살포폭은 최대 8m로 한다.

3) 살포높이의 범위는 70cm 이상으로 하며 무단계로 조절할 수 있도록 한다.

4) 붐의 신축에 따른 중복 살포를 피하기 위하여 중첩되는 노즐은 살포되지 않도록 한다.

2.2 공시 붐방제기

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

붐은 관리기의 전방에 약액 탱크는 후방에 부착하는 것을 기준으로 하여 설계하였다. 붐의 상하위치 조절과 접기와 펴기, 붐의 신축 등 기본적인 조작은 직류 12V를 전원으로 하는 모터나 전동 실린더로 구동하도록 하였다. 모든 제어는 운전석 우측에 설치된 제어상자에서 이루어진다.

경사지 적응성을 높이기 위해 약액 탱크의 용량을 기존 수도작용의 450ℓ에서 250ℓ로 줄였다. 약액 탱크 용량의 감소는 1회 작업면적의 감소를 초래하지만 본 연구에서는 회석배수를 높여 1회 작업면적은 줄지 않도록 하였다. 약액 탱크의 탑재방식은 수도작용 방식과 동일하며 탑재부의 모든 부속품은 수도작용을 그대로 이용하였다.

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

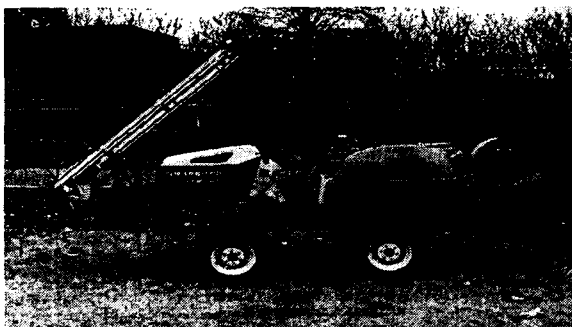


Fig. 1 View of prototype boom sprayer.

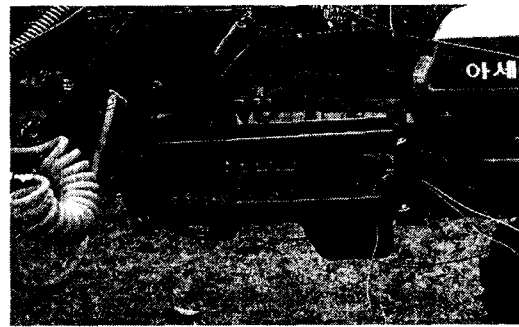


Fig. 2 View of boom-height control linkage.

봄의 높이제어는 두 개의 평형사변형 링크에 하나의 가변 링크를 가진 것으로 가변 링크는 전동 실린더로 구성되었다. 그림 2는 시작기의 링크 시스템을 보여주고 있다. 링크의 길이 결정은 상용 전동 실린더의 크기와 부가중량을 부착할 수 있는 공간을 확보하는 것을 기준으로 설정된 것이며 가급적 조절 높이를 최대화하도록 하였다. 최대 신장길이 611mm, 최소 축소길이 408mm인 전동실린더(동진유압, 모델:DC 12-500-100)를 선정하였으며 평형사변형 링크의 길이는 560mm로 결정되었다. 이 링크 시스템의 최대 분무높이 조절 폭은 700mm였다.

배추는 성장함에 따라 초장이 400mm까지 자라며 배추 두둑의 높이가 200mm정도가 되므로 본 연구에서는 봄의 고정위치를 2단계로 하였으므로 각각의 위치에서 최소와 최대 분무높이는 390~1090, 540~1240mm가 되도록 하였다.

2.3 제어 장치

제어장치의 제어 원리는 중앙봄에 설치된 센서가 측정하는 거리와 이보다 일정량 작은 거리를 상한치와 하한치로 하여 좌우봄에 설치된 센서가 측정하는 거리와 비교하여 상한치보다 거리가 크게 나타나면 봄을 낮추고 하한치보다 작게 나타나면 봄을 올리도록 Actuator를 제어하는 것이다. 상한치와 하한치의 차이는 설정한 불감대(Dead band)의 크기가 된다.

그림 3은 제어원리에 의하여 실제로 제작된 제어부의 모습을 나타낸 것이다. 이 제어장치는 수동제어장치와 병렬로 연결되어 하나의 제어박스로 통합되었다.

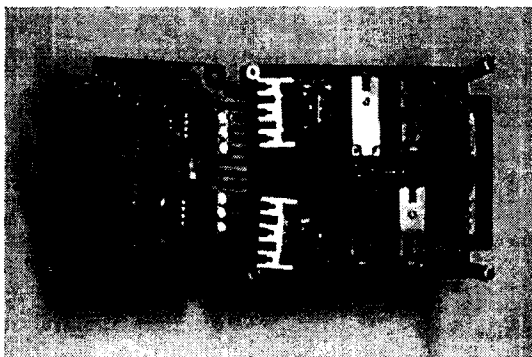


Fig. 3 The prototype of automatic boom angle controller.

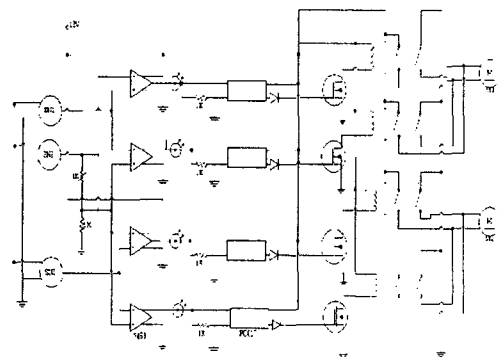


Fig. 4 The circuit diagram of actuator drive relay.

그림 4는 봄 각도 제어부의 회로도를 나타낸 것이다. 주요 구성부품은 Comparator, FET, Relay, photo coupler, LED 였다. 3개의 초음파 센서의 출력 전압값을 받아 이 중에서 중앙봄의 신호를 기준으로 하고 중앙봄 초음파 센서의 전압을 일정비율로 감소시키는 직렬 저항 회로를 부착하여 또 다른 기준 신호를 만들었다. 2개의 기준 전압과 좌·우봄 센서의 전압을 Comparator를 통하여 비교하였다. 릴레이는 회전방향 결정용과 전류의 ON-OFF 제어용이 있어 모두 4개가 사용되었다. 신호에 따라 Actuator의 정·역회전의 방향 전환을 통해서 봄을 올리고 내림의 제어가 가능하게 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초음파 센서

초음파 센서의 반사면의 종류에 따른 거리검출 특성을 알아보기 위하여 대리석, 토양, 모래, 잔디, 아스팔트 표면 위에서 센서와 표면간의 거리별로 초음파 센서의 출력전압을 측정하였다. 각 반사면에서 센서까지 거리와 출력전압을 나타낸 것으로 어느 경우에도 고도의 직선

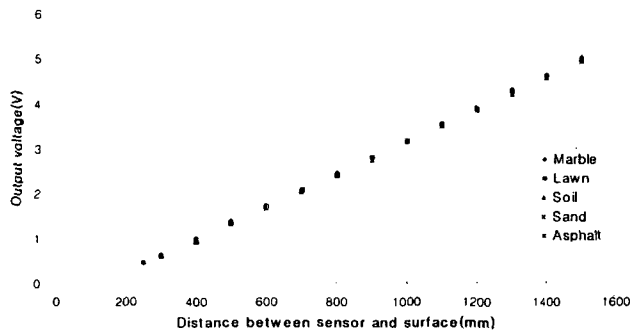


Fig. 5 The relationship between output voltage of ultrasonic sensor and various surface.

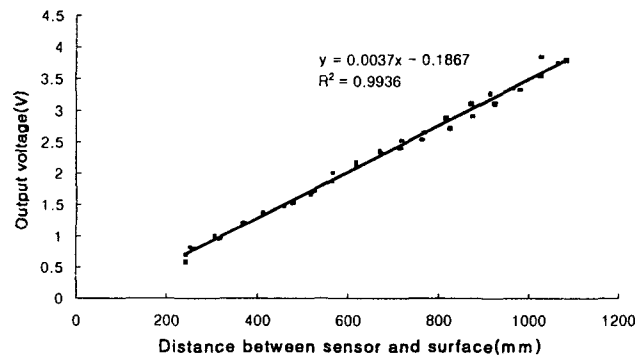


Fig. 6 The relationship between output voltage of ultrasonic sensor and distance between the sensor and chinese cabbage leaf surface.

특성이 검출거리에 대해서 출력전압이 직선적으로 나타나는지 상추, 고추, 콩, 배추 등에서 출력값을 측정하였다.

작물이 심어진 표면에서도 거리와 출력 전압과의 관계는 직선적이었으며, 대리석에서 구한 회귀식과 비교하면 직선의 기울기값과 절편값에 약간의 차이를 보였다. 그러나 본 연구에서는 좌·우분의 센서 출력값과 중앙분의 출력값의 차이를 이용하여 제어하기 때문에 표면의 반사 특성에 따른 오차의 크기와 관계없이 초음파 센서로 분무높이를 측정할 수 있었다.

을 보여주고 있으며 비례상수도 거의 일정하였다. 그림 5는 여러 가지 반사면에서 거리에 따른 초음파 센서의 출력값을 비교한 것으로 반사면의 종류에 상관없이 전반적으로 오차의 크기가 적었고 비례상수도 거의 일정하였다.

본 연구에서는 초음파의 반사 특성이 좋은 대리석을 기준 반사면으로 하여 검출거리(X, mm)와 출력전압(Y, v)과의 회귀식을 구하였다.

$$Y = 0.0036X - 0.437$$

대리석의 출력이 가장 정확하다고 판단할 때 대해서 최대 오차는 잔디의 경우였다. 이는 비교된 반사면 중에서 잔디밭은 초음파의 반사율이 작았기 때문으로 판단된다. 잔디에서의 최대 오차 값은 0.17V로 거리로 환산하면 대리석 표면에서 측정한 경우에 비해 47mm의 오차가 발생하였다.

실제 작물에서도 센서의 출력값

3.2 원동기 정지 중 붐의 각도제어실험

승용 관리기를 정지한 상태에서 모의지면을 일정한 속도로 초음파 센서 밑으로 움직이면 서 붐이 모의지면에 따라 각도를 제어하는 실험을 실시하였다. 붐의 제어성능은 3개의 초음파 센서의 출력전압을 sampling rate 1000Hz로 A/D Board를 사용하여 측정하였다.

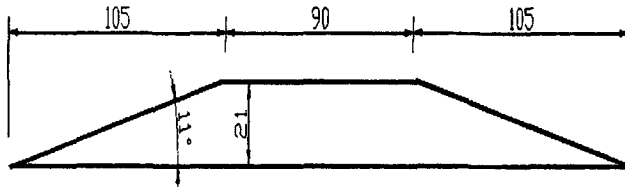


Fig. 7 Dimension of tested artificial slope.

그림 8에서 굵은 실선은 중앙붐의 출력전압, 점선은 우측붐의 출력전압, 실선은 우측붐이 모의지면을 통과시 제어된 높이값을 출력전압으로 표시한 것이다.

그림 8에서 실제로 모의지면을 통과하는 10초에서 20초간에서 우측에 설치된 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

3.3 원동기 주행 중 붐의 각도제어실험

아스팔트 노면 위에 고정된 모의지면과 우측 붐에 설치된 초음파 센서의 위치를 일치시킨 후 승용 관리기를 정속으로 운전하면서 붐의 각도제어실험을 수행하였다. 작업속도는 0.2m/s부터 0.9m/s까지 5수준이었으며 주행거리를 15m로 정하였다.

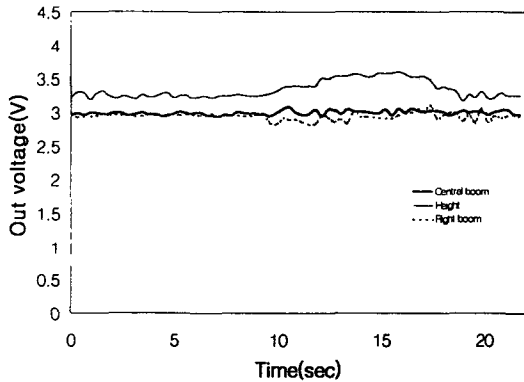


Fig. 8 Performance of the prototype boom angle control system when the artificial slope was manually moved at the preset deadband of 5cm.

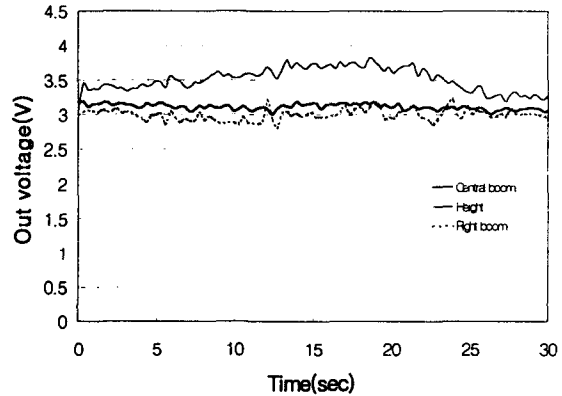


Fig. 9 Performance of the prototype boom angle control system when traveling at velocity of 0.2m/s over artificial slope.

그림 9는 불감대의 폭을 6cm로 정하고, 0.2m/s로 주행하는 경우에 제어성능을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 중앙붐과 우측붐의 신호값의 평균치는 각각 3.11, 3.01V로서 전압 차이를 높이로 환산하면 2.8cm로서 설정한 불감대의 폭 이내에서 제어됨을 보이고 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 검출높이와 출력값과의 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.

$$Y = 0.0036X - 0.437 \quad (X: \text{센서와 검출면 간의 거리(mm)}, Y: \text{센서의 출력(v)})$$

2. 붐의 높이 조절폭이 700mm이고 최소 분무높이와 최대 분무높이가 각각 390mm, 1240mm가 되도록 붐의 높이제어링크를 설계하였으며 좌우 붐을 연장할 수 있는 신축붐을 개발하였다.

3. 좌우붐의 경사도를 개별적으로 자동 제어할 수 있는 각도제어장치(ON/OFF제어방식)를 개발하였으며 안정적인 제어가 가능하도록 붐 높이의 하한치를 정하는 가변저항의 값을 75Ω으로 정하였다.

4. 작업속도별로 각도제어의 정확도를 평가한 결과 예상작업속도 범위인 0.3~0.5m/s 범위에서는 제어 목표로 정했던 ±10cm 오차범위 내에서 제어가 가능함을 알 수 있었다.

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

5. 참고문헌

1. 이종락. 1997. 초음파와 그 사용법. 세화출판사.
2. Tadatoshi SATOW, Keiji MIYAMOTO, Kiyooki MATSUDA. 1994. Control of Spraying Height with Ultrasonic Sensor for Boom Sprayer (part2). 農業機械學會誌 56(6), 59-67.
3. Marchant, J. A., Frost, A. R. 1989. Simulation of the Performance of state Feedback Controllers for an Active Spray Boom Suspension. Journal of Agricultural Engineering Research 43, 77-91.
4. 수도작용 붐방제의 수평제어장치 개발에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문 노현권. 1996