

고속 이앙기의 수평 제어 장치 개발에 관한 연구

Development of Level Control System for Highspeed Rice Transplanter

정연근*	김경욱*	정병학*
정회원	정회원	정회원
Y.K.Jung	K.U.Kim	B.H.Chong

1. 서론

이앙 작업은 벼 재배에서 노력과 시간이 가장 큰 작업으로서, 향후 농업 인구의 격감과 재배 면적의 규모화에 대비하여 이앙 작업의 대형 기계화 및 고속화가 요구되고 있다. 일반적으로 이앙해야 할 본답은 로터리 작업 후에도 정지와 균평 정도가 낮아 완전한 수평 상태를 이루지 못하고 있으며 또한 경반의 깊이에도 차이가 있기 때문에 이앙기의 식부 장치를 항상 수평으로 유지하기는 어려운 실정이다. 특히 4절 기구를 이용한 크랭크식 식부 장치가 편심 기어열을 이용한 로터리식 고속 식부 장치로 대체되면서 이앙 작업은 고속화되고 있다.

이앙 작업시 이앙기의 좌우 차륜은 동일한 지면을 주행한다고 볼 수 없기 때문에 차체는 롤링하게 된다. 이앙 작업중 묘 탑재대는 묘를 공급하기 위하여 횡이송을 하게 되므로 묘 탑재대의 이동 방향에 따라 차체가 기울어지게 된다. 이러한 원인으로 인하여 이앙기 본체는 좌우로 수평을 유지하지 못하여 한쪽은 묘를 깊게 다른 한쪽은 얇게 심겨 식부 깊이에서 차이가 생긴다. 이러한 식부심의 차이로 인한 묘 생장의 불균형을 막기 위하여 식부 장치는 포장면에 대하여 항상 수평을 유지해야 된다. 특히, 고속 이앙 시에는 기체의 좌우 경사로 인한 식부 상태의 불량률이 증가될 수 있다. 따라서 이앙 작업의 고속화를 위해서는 묘의 결주율을 줄이고 작업 능률을 높이기 위하여 식부 장치의 수평 유지가 절대적으로 요구된다.

본 연구에서는 승용 이앙기가 항상 좌우로 수평 상태를 유지할 수 있도록 이앙기의 절대 수평 상태를 설정하고 경사각 센서를 이용하여 포장면의 불균일로 인한 식부 장치의 경사각을 검출하여 식부 장치를 수평으로 유지하기 위한 것이다. 즉 마이콤으로 솔레노이드 밸브를 전자 제어함으로써 유압 실린더를 작동시켜 식부 장치를 수평으로 유지하여 이앙 작업의 정도를 높이는 데 있다.

2. 내용 및 방법

* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

가. 수평 제어 메카니즘

본 연구에서 개발된 수평 제어 장치의 기본 원리는 이앙기의 절대 수평 상태에 대한 이앙부의 경사각을 경사각 센서로 검출하고, 이 경사각의 반대 방향으로 이앙부를 회전시키는 유압 제어 방식을 채택하였다. 기존 공시 이앙기 롤링축을 중심으로 식부 장치가 좌우로 롤링이 되는 방식에 수평 실린더를 장착하고 실린더 로드 양단에 스프링을 연결함으로써 이앙부가 회전한 후 발생하는 유압 실린더의 상하 위치 변화를 보완해주는 보조적인 역할을 하게 된다.

본 연구에 사용된 공시 이앙기는 식부 장치의 링크 홀더에 실린더를 장착하고 묘 탑재대 양단에 스프링을 장착할 수 있는 프레임을 설치하여 이앙부가 기울어도 수평을 유지하도록 설계 변경되었다. 그림 1은 기존 이앙기의 구조이며 그림 2는 변경된 수평제어 시스템의 구조를 보여 주고 있다.



Fig. 1 Levelling structure before modification.

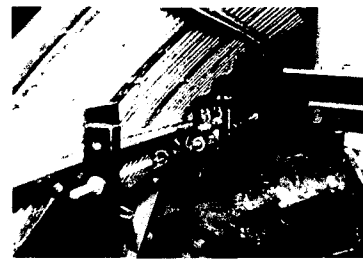


Fig. 2 Levelling structure after modification.

나. 제어 알고리즘, 수평 유압 회로

그림 3은 이앙부 수평 제어계의 순서도를 나타낸 것이다. 이앙 작업이 시작되면 경사각 센서는 식부 장치의 경사각을 검출한다. 경사각 센서로부터 입력된 경사각은 출력 전압의 형태로 전환되어 원칩 컨트롤러에서 A/D 변환된다. 설정된 불감대의 크기와 수평 상태의 기준 전압과 비교하여 솔레노이드 밸브를 ON/OFF 제어하며, 제어 신호에 따라 수평 실린더가 작동하게 된다.

공시 이앙기는 이앙부를 승하강시키기 위하여 유압 실린더를 사용하고 있다. 따라서 승하강 회로를 고려하여 수평을 유지할 수 있는 수평 유압 회로를 설계하였다. 그림 4는 수평을 유지하기 위한 유압 회로를 나타낸 것이다. 이앙기의 식부부를 수평으로 유지하기 위하여 실린더는 복동 양로드를 사용하였고 솔레노이드 밸브는 중립시 A, B 포트가 서로 막혀있어 외력이 실린더에 작용하여도 실린더가 움직이려는 것을 방지하며 중립 상태에서 펌프의 기름은 탱크 포트에 도피하게 된다. 이것으로 실린더를 고정시켜도 릴리프 밸브로부터 기름을 뺄 필요가 없으므로 펌프는 무부하 상태가 되고 동력의 소비도 줄일 수 있는 탠덤 센터 방식을 사용하였다.

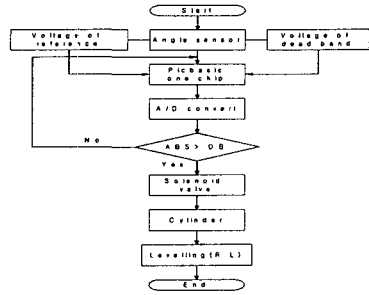


Fig. 3 Sequence of the levelling control.

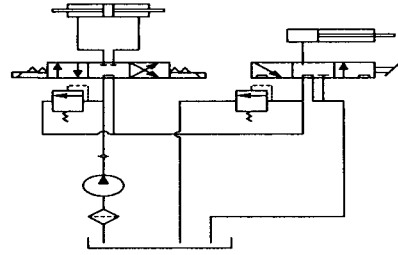


Fig. 4 Hydraulic circuits for horizontal and vertical movements.

다. 제어 시스템의 구성

개발된 제어 알고리즘을 구현하기 위하여 경사센서, 원칩 컨트롤러, 솔레노이드 밸브로 구성된 제어 시스템을 구성하였으며 그림 5는 블록 선도를, 그림 6은 개략도를 나타낸다.

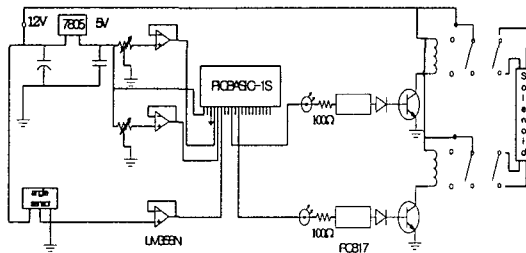


Fig. 5 Circuit diagram of the controller.

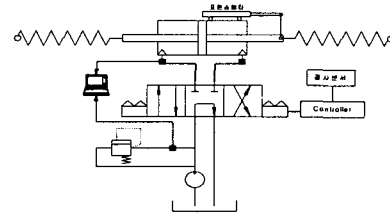


Fig. 6 Experimental apparatus for levelling control system.

전원은 이양기 배터리의 DC 12V를 사용하였고 전압이 변동하거나, 출력 전압을 일정하게 유지하기 위하여 3단자 레귤레이터를 이용하여 5V로 전압을 강하하였다. 기준 전압, 경사각 센서의 출력 전압, 불감대 전압을 A/D 변환하여 원칩 컨트롤러에서 비교 연산을 수행한 후, 솔레노이드 밸브에 전원이 공급되고 이양부의 유압 실린더가 작동되어 기울어진 이양부를 수평으로 유지할 수 있도록 하였다. 내셔널 인스트루먼트사(National instrument co.)의 자료 수집 장치(DAQ)를 사용하여 실린더의 좌우 입구측의 압력과 유량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 성능 실험

이양부의 거동에 따른 수평 제어 장치의 성능을 평가하기 위하여 경사각 센서의 출력 전압과 실린더에 장착된 리니어 포텐쇼메타의 출력 전압의 관계를 구하고, 실제 경사각 대신 컴퓨터에서 지면의 형상을 고려한 사인 함수의 입력 신호를 출력하여 시뮬레이션하였다. 또한 정지 상태에서 이양기의 차체를 5°, 8°, 10°경사지게 한 후 이양부가 수평을 회복할 때

까지 반복하며 실내 실험을 실시하였다.

나. 실내 실험

(1) 수평 제어 시스템의 시뮬레이션

지면의 형상을 사인 함수로 가정하고 컴퓨터에서 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 사이의 사인 함수를 출력하여 시뮬레이션하였으며 사인 함수에 따라 변화하는 리니어 포텐쇼메타의 출력 변위와 경사각 센서의 출력 각도를 비교하였다.

그림 7과 그림 8은 주행 속도가 각각 1.2m/sec, 1.4m/sec일 때 경사각 센서와 리니어 포텐쇼메타와의 출력 신호를 나타낸 것이다.

사인 함수의 경사각이 입력된 후 리니어 포텐쇼메타에서 반응이 일어 날 때까지의 제어부와 유압 회로에서 발생하는 시간 지연은 0.27초로 나타났으며 경사 센서의 출력 각도는 입력각인 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 를 따르지 못하고 $-8^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 를 나타내었다. 즉, 경사각 센서 자체에서 발생하는 시간 지연만큼 위상 차이를 두고 사인 함수의 지면 형상이 감지되는 것으로 나타났다. 리니어 포텐쇼메타의 출력 변위는 0.12초의 위상 차이를 두고 입력 신호와 같이 변화되는 것으로 나타났다. 따라서 리니어 포텐쇼메타의 출력 전압이 사인 함수와 일정한 위상차를 두고서 나타났기 때문에 경사각 센서의 출력 전압과의 관계를 이용하여 제작된 컨트롤러의 성능을 평가할 수 있을 것으로 판단하였다.

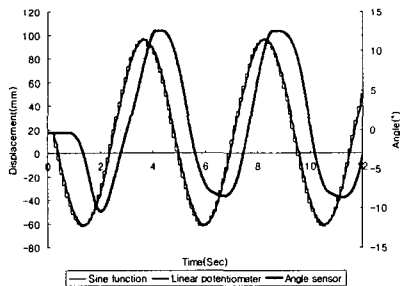


Fig. 7 Relationship between angular sensor and linear potentiometer outputs when working velocity was 1.2 m/s.

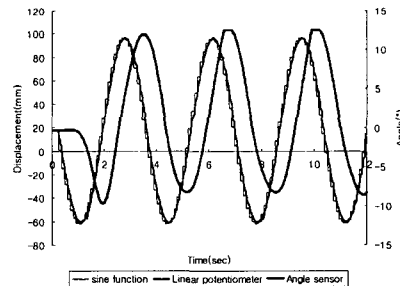


Fig. 8 Relationship between angular sensor and linear potentiometer outputs when working velocity was 1.4 m/s.

(2) 정지 실험

정지한 상태에서 승용 이양기의 차체를 임의의 경사각으로 경사지게 하였을 때 이양기에 장착된 경사각 센서에서 출력되는 신호와 기준 입력 신호로서 컴퓨터에서 출력되는 신호를 비교하여, 불감대 내에서는 제어의 기능을 정지시켜 수평을 유지하고 두 신호의 차이가 불감대를 벗어날 경우에는 이양부가 한쪽으로 기울어진 것으로 판단하여 제어 기능을 작동시켜 수평 상태를 유지하는 실험을 실시하였다. 불감대의 경사각을 $\pm 1.4^{\circ}$ 로 설정하고 압력을

증가시키면서 수평 제어 시스템의 유량과 압력의 관계를 고찰하였다. 실린더 입구측에 유입되는 평균 유량이 평균 0.57 l/min ~ 0.919 l/min, 최대 압력은 2MPa로 나타났으며 경사도에 따라 차체를 수평으로 회복하는 데 소요되는 시간은 각각 0.75, 1.12, 1.43초로 나타났다. 리니어 포텐쇼메타의 작동 거리는 각각 21.56mm, 34.77mm, 45.23mm로 측정되었다. 그림 9~그림 11은 불감대를 $\pm 1.4^\circ$, 차체를 5° , 8° , 10° 로 경사지게 하였을 때 이양부가 수평으로 회복하는 과정을 나타낸 것이다.

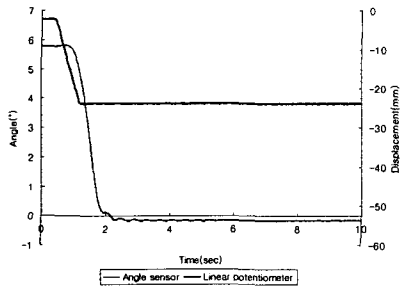


Fig. 9 Relationship between angular sensor and linear potentiometer outputs to declined input angle of 5° .

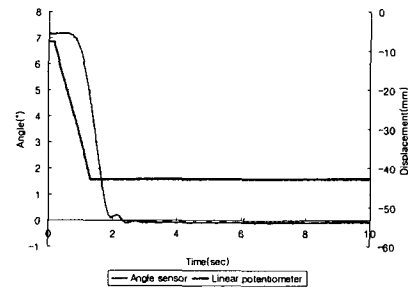


Fig. 10 Relationship between angular sensor and linear potentiometer outputs to inclined input angle of 8° .

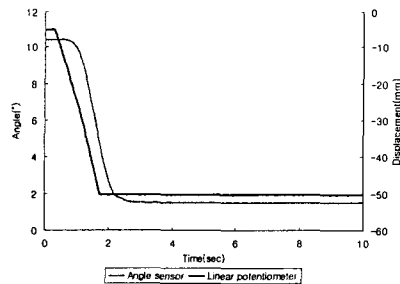


Fig. 11 Relationship between angular sensor and linear potentiometer outputs to inclined input angle of 10° .

불감대의 수준을 $\pm 1.4^\circ$ 로 하였을 경우, 실린더 입구측에 유입되는 평균 유량은 0.9 l/min 이내로, 압력을 2MPa까지 증대시키면 이양부는 5° , 8° , 10° 로 경사진 상태에서 불감대 각도 이내로 수평 제어가 가능하였다. 따라서 개발된 수평 제어 장치의 수평 제어 기능은 실제 포장 작업에서도 가능할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 고속 승용 이앙기의 작업 성능에 큰 영향을 미치는 식부 장치의 수평 제어를 위하여 이앙기의 절대 수평 상태에 대한 이앙부의 경사각을 경사각 센서로 검출하고, 이 경사각의 반대 방향으로 이앙부를 회전시키는 유압 제어 방식을 채택하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 이앙부의 링크 홀더에 실린더를 장착하고 로드의 양단에 스프링을 고정하도록 구조물을 제작하였으며, 이앙부의 경사각과 기준 수평 상태와 비교하고 솔레노이드 밸브를 ON/OFF 제어하여 수평 실린더를 작동시켜 이앙부의 수평을 유지하였다.
2. 지면 형상을 사인 함수로 가정하고 주행 속도를 각각 1.2m/sec, 1.4m/sec 으로 하였을 때 리니어 포텐쇼메타의 출력 전압은 0.12초의 위상 차이를 두고 사인 함수의 출력 전압과 일치하는 것으로 나타났다.
3. 불감대의 수준을 $\pm 1.4^\circ$ 로 설정하고 실린더 입구측에 유입되는 평균 유량은 0.9 l/min 이 내로, 압력은 2MPa까지 증가시키면 차체의 경사도가 5°, 8°, 10°인 경우에는 이앙부가 경사진 상태에서 불감대 각도 이내로 수평 제어가 되었다.
4. 개발된 수평 제어 장치의 성능 시험으로부터 실제 포장 작업에서도 동일한 정도의 수평 제어 기능을 구현할 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 참고 문헌

1. 김영주. 1999. 승용 관리기 탑재 신축 분무분 개발. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
2. 김유용. 1999. 콤파인 탑재 파종장치의 파종량 제어시스템 개발. 서울대학교 석사학위 논문.
3. 노현권. 1997. 수도작용 분 방제기의 수평 제어 장치 개발에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
4. 이상식. 2000. 콤파인 차체 수평제어 시스템 개발. 한국농업기계학회 하계학술대회논문집. 5(2):35-40.
5. 이운용. 1994. 트랙터용 로타리 수평·경심 자동제어 장치 개발. 농업기계화연구소.
6. 이정구. 1998. 알고 싶은 유압. 기전연구사.
7. 차진팔. 1997. 트랙터 작업기의 수평제어 알고리즘 개발. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집. 2(2):32-40.
8. 岡田 悟. 1997. 乗用田植機のローリング制御装置. 日本農業機械學會誌 59(1):139-140.