

콤바인 차체 수평제어 시스템 개발†

Development of Combine Leveling Control System

이상식* 황 현* 오기석** 임장빈*** 기정식***
 S.S.Lee H Hwang K.S.Oh J.B.Lim J.S.Gi

1. 서론

최근, 국내의 경우 이상 기후 현상 및 벼 수확 시기의 집중 강우로 인하여 콤바인을 이용한 수확 작업에 적잖은 어려움이 있다. 습지의 증가로 인한 토양 침하 현상이 발생하여 콤바인을 이용한 작업이 어려워지고 작업특성상 편중된 침하 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서, 이를 보완하기 위한 차체 수평장치에 대한 관심이 고조되고 있고 연구 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 콤바인 작업에서 문제점으로 대두되고 있는 습지 적응성 및 토양 침하로 인한 작업성능 저하를 해결하기 위하여 차체 수평제어 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 콤바인 차체 수평제어 장치의 기구부 및 유압 시스템을 설계, 제작하고 성능 실험 및 주행 특성을 조사 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 기구부 설계

실린더 길이 변화에 대한 콤바인 차체의 상승높이 및 최대 제어각을 위한 링크 기구부를 설계, 제작하였고 그림 1에서 보여주고 있다. 그리고 기구학적 수식은 아래 식 (1)과 같다.

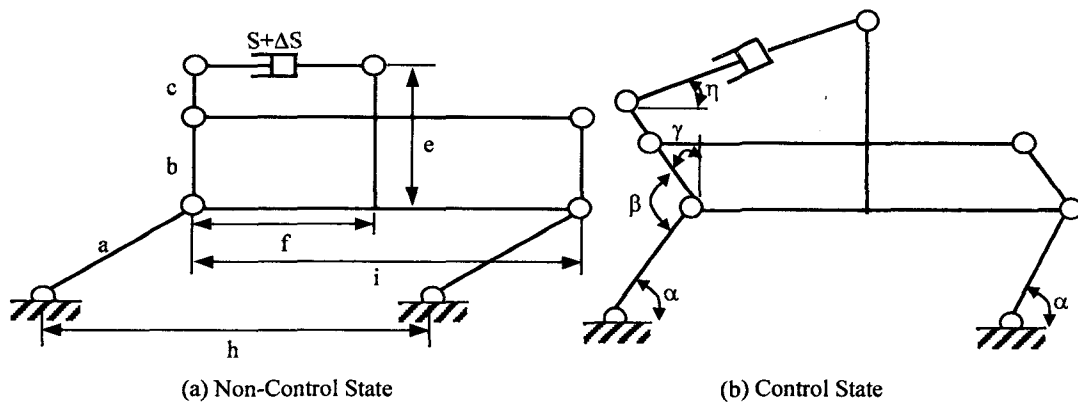


Fig. 1 Schematic of Leveling Linkage Mechanism(1).

† 이 연구는 ㈜LG 전선 기계부문의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

* 성균관대학교 바이오메카트로닉스전공

** ㈜LG 전선 연구소

*** ㈜LG 전선 기계부문

$$(S + \Delta S)^2 = \{e - (b + c)\cos(\alpha - 11.53)\}^2 + \{f + (b + c)\sin(\alpha - 11.53)\}^2 \quad (1)$$

실린더에 작용하는 힘의 계산은 그림 2에서 보는 바와 같이 유압 시스템의 설계를 위한 기초 데이터로서 실린더에 작용하는 힘에 대한 관계를 보여주고 있고, 수식은 식 (2)와 같다.

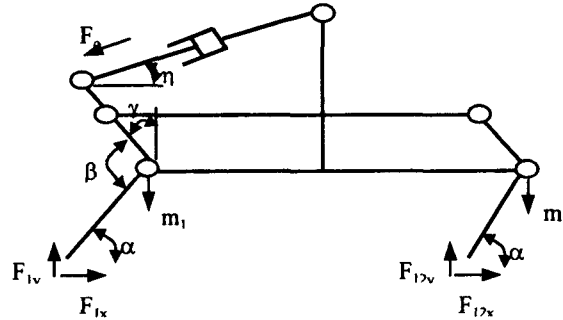


Fig. 2 Schematic of Leveling Linkage Mechanism(2).

$$F_c = \frac{\{(m_1 + m_2)(b + c)\sin(\alpha - 11.53) + m_2 i\}(S + \Delta S)}{\{f + (b + c)\sin(\alpha - 11.53)\}\{(b + c)\cos(\alpha - 11.53) + a \sin \alpha\}} \quad (2)$$

나. 제어 시스템

차체 수평 제어 시스템은 그림 3과 같이 시스템의 상태를 측정하는 검출부, 제어 신호를 계산하고 출력을 통제하는 전자 제어부, 유압 회로, 유압 구동에 의한 기구의 상하 동작으로 자세를 제어하는 기구부로 구성하였다.

기구부 구동을 위해서 경사도 및 유압 실린더 변위를 측정하고, 측정된 경사도 및 실린더 변위로부터 경사각 변화에 따른 제어량을 계산하였다. 계산한 제어량만큼 방향 제어 솔레노이드 밸브를 제어하여 기구부를 작동하였다.

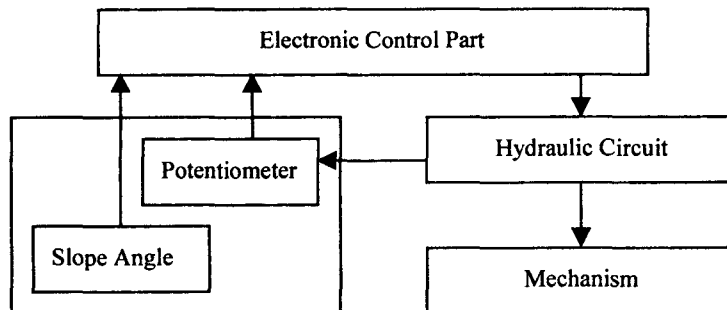


Fig. 3 Schematic diagram of the control system.

3. 결과 및 고찰

가. 실내 실험

콤바인 수평 제어 시스템의 실내실험은 크게 측도 설정과 단위 요소의 구동특성 실험으로 수행하였다. 측도 설정은 포텐쇼미터와 경사각 센서에 대하여 수행하였고, 요소 실험에서는 좌, 우측 유압 실린더의 압력 및 유량 점검을 위한 상승 및 하강 실험 및 스텝 응답 실험 등을 수행하였다.

1) 상승 및 하강 실험

실린더 압력 및 유량을 점검하기 위한 상승 및 하강 실험에서는 차체를 최고 하강 위치에서 최고 상승 위치로 수동 조작하여 유압 실린더의 변위, 압력, 유량을 데이터 레코드에 기록하였다. 실험은 유량을 오리피스로 조절하면서 실험하며 오리피스 직경은 $\phi 1.2$, $\phi 1.3$, $\phi 1.4$, $\phi 1.5$ 로 하여 실험하였다. 물론 오리피스의 직경이 클수록 상승 및 하강 속도가 빠르다는 것은 당연한 것이다. 그리고 엔진출력은 최고 출력으로 하였다.

그림 4(a)에서는 $\phi 1.4$ 이고 유량이 6 lpm 일 때의 하강 실험, 그림 4(b)에서는 상승 실험을 보여주고 있다. 하강 실험에서는 유압 실린더에 작용하는 힘의 불균형으로 인하여 좌우측 제어 속도의 차이가 발생하였다. 하강에 소요된 시간은 약 2 sec 였고 시간의 차이는 약 0.244 sec 였다. 상승 실험에서는 우측의 무게와 차체의 무게로 인하여 좌우측의 제어 소요 시간 차이가 약 0.794 sec 였고 상승에 소요된 시간은 약 3.4 sec 였다. 제어 시스템의 불감대 영역은 0.3° 였다.

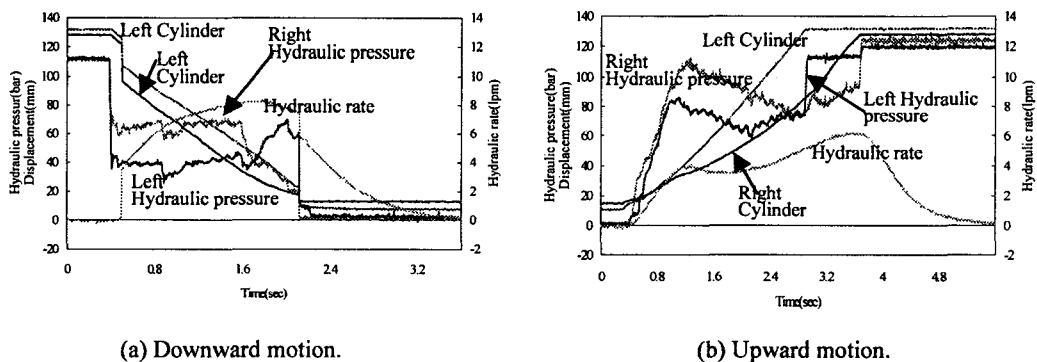


Fig. 4 Graph of control system at the 6 lpm of hydraulic rate.

2) 스텝 응답 실험

실내에서의 스텝 응답 실험은 경사각 센서의 입력측에 스텝 입력을 임의로 발생시켜 데이터를 레코더에 기록하였다. 스텝 입력은 한 쪽 유압 실린더를 고정시키고 다른 유압 실린더를 최고 변위까지 작동하도록 하여 실험하였다. 엔진 출력은 최대 출력으로 하였고 스텝 응답 실험의 모습은 그림 5에서 보여주고 있다.

오리피스 직경 $\phi 1.5$ 부터는 약간의 미세한 이상 현상(hunching) 현상이 발생하여 오리피스 직경 $\phi 1.4$ 으로 선정하였다. 이 때의 유량이 6.0lpm 이며 시스템의 시간 지연은 0.25sec 였고, 정착 시간은 좌측으로 약 7.5sec, 우측으로 약 4sec 였다. 콤바인의 특성상 수확 작업에서 갑작스러운 침하 현상은 거의 발생하지 않으며 제어각도의 정밀을 요하지 않기 때문에 시간 지연 값은 적절하다고 하겠다.

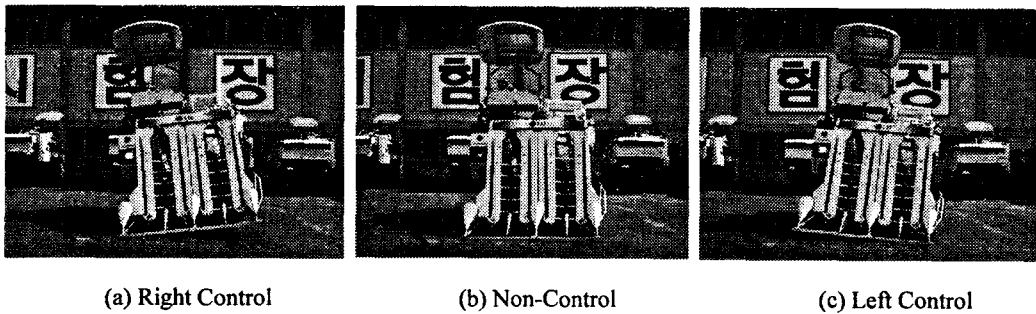


Fig. 5 Combine used step response in Lab.

나. 실의 실험

실의 포장 실험에서는 콤바인을 임의의 차체 롤링을 위한 스텝 응답 성능 실험과 실제 포장지에서 트랙터 속도에 따른 경사 반응 동작 상태를 실험하였다. 그리고 피드백 정보에 의한 콤바인의 제어 시스템의 작동 상태 확인 및 포장 실험을 통하여 제어 시스템의 응답 성능을 평가하였다.

1) 구덩이 실험

제어 시스템의 시간 영역에서의 응답 성능 평가 중에서 임의의 차체 롤링 실험은 그림 6 과 같이 구덩이를 파서 실험하였고, 실험 포장은 경기도 발안읍 해창리이다. 실험 방법에서 입력 유량은 오리피스의 직경을 $\phi 1.2$, $\phi 1.3$, $\phi 1.4$, $\phi 1.5$ 로 교체하면서 실험하였고 엔진 출력은 최대 출력으로 하였다. 콤바인 주행 속도는 0.31m/sec, 0.61m/sec, 1.07m/sec, 1.38m/sec 로 설정하여 실험하였다. 그리고 콤바인이 구덩이에 진입하였을 때, 진입 각도를 제어 최고 각도가 7° 이므로 7° 이하로 제어가 되도록 하여 실험하였다. 실험용 포장은 실험 중 포장면

을 수평으로 유지하기 위하여 실험 전 로타리 작업기에 의해 작업을 하였다. 구덩이의 형태는 콤바인의 궤도가 완전히 진입할 수 있는 형태로 약 10m 간격으로 파서 콤바인에 인위적으로 톨링각 스텝 입력을 가하였다. 실험 중의 각 센서로부터의 출력 신호를 데이터 레코드에 기록하였다.



(a) Rear view

(b) Front view

Fig. 6 Combine used step response in field.

입력 유량의 조절을 위하여 오리피스를 변경하여 실험한 결과에서는 직경 $\phi 1.4$ 까지는 시스템이 안전하였으며 작업자에게도 어떠한 영향을 미치지 않았다. 그리고 제어 시스템의 응답 성능은 선형 증가의 안정된 응답 성능을 보여주고 있다. 그러나 직경 $\phi 1.5$ 부터는 작업자에게 약간의 진동이 전달되었고 제어에서도 일정한 펄스 제어가 되지 않을 때가 발생하는 문제가 있었다.

2) 주행 실험

수평 제어 시스템의 시간 영역에서의 응답 성능 평가를 위한 실제 포장에서의 적응성 평가를 수행하였다. 실험 방법에서 입력 유량은 오리피스의 직경을 $\phi 1.2$, $\phi 1.3$, $\phi 1.4$, $\phi 1.5$ 로 교체하면서 실험하였고 엔진 출력은 최대출력으로 하였다. 콤바인 주행 속도는 0.31m/sec , 0.61m/sec , 1.07m/sec , 1.38m/sec 로 설정하여 실험하였다. 그리고 실험 중의 각 센서로부터의 출력 신호를 데이터 레코드에 기록하였다

제어 시스템의 응답 성능은 선형 증가의 안정된 응답 성능을 보였다. 좌우측 유압 실린더 중 우측 실린더가 주로 작동되어지는 것은 수평 제어 시스템의 초기치가 유압 실린더가 하한치에서 시작되었고 우측의 무게가 좌측보다 무겁게 인하여 침하 현상이 발생되기 때

문이다.

4. 요약 및 결론

콤바인 차체 수평제어 시스템의 안전성 및 제어 성능 등을 확인하기 위해서 차체의 수평 제어 시스템에 대한 시스템 점정 및 실내, 외 실험을 수행하였고, 콤바인 수평 제어 시스템의 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기구부 해석을 통하여 시스템의 적용 가능성 및 유압 시스템의 기초 데이터를 확보하였다.
- 2) 상승 및 하강 실험을 통하여 오리피스 직경은 $\phi 1.4$ 인 유량 $6.0lpm$ 이 최적이고, 하강 실험에서는 유압 실린더에 작용하는 힘의 불균형으로 인하여 좌우측의 제어 속도 차이가 나고, 제어 시스템의 불감대 영역은 0.3° 였다.
- 3) 스텝 응답 실험에서 오리피스 직경 $\phi 1.4$ 에서 시스템의 시간 지연은 $0.25sec$ 이고, 정착 시간은 좌측으로 약 $7.5sec$, 우측으로 약 $4sec$ 이다. 시간 지연 값은 수확 작업에서 콤바인의 특성상 갑작스러운 침하 현상은 거의 발생하지 않았고, 제어 각도의 정밀한 정확성을 요하지 않기 때문에 적당하다고 하겠다.
- 4) 포장의 구동이 실험에서 입력 유량의 조절을 위하여 오리피스를 변경하여 실험한 결과에서는 직경 $\phi 1.4$ 까지는 시스템이 안전하였다. 작업자에게도 어떠한 영향을 미치지 않았지만 직경 $\phi 1.5$ 부터는 작업자에게 약간의 진동이 전달되었고, 제어에서도 일정한 펄스 제어가 되지 않는 문제가 발생하였다.
- 5) 포장의 주행 실험에서 오리피스 직경 $\phi 1.4$ 일 때의 시스템 반응은 마이크로 컴퓨터에 의한 제어 신호에 제어 시스템이 잘 작동하였고, 제어 시스템의 응답 성능은 선형 증가의 안정된 응답 성능을 보여주었다.

5. 참고문헌

1. K. S. Oh, S. S. Lee, E. H. Kim, H. Hwang, J. Y. Lee. 1999. Development of Self-leveling Vehicle Control System. *Proceedings of the J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 1999 Summer Conference* 28-33(In Korean)
2. S. S. Lee, K. S. Oh, J. S. Shim, H. Hwang. 1998. Attitude control of a tractor for the slope land use - model test -. *Proceeding of the 5th Asia-Pacific Regional Conference International Society of Terrain-Vehicle System* 428-437
3. S. S. Lee. 1999. Development of Power-Train and Leveling Control System of Tractor for Slope Land Use. *Sungkyunkwan Univ. Ph.D Paper* 57-180(In Korean)