

農用트랙터의 3점 히치 시스템의 마이크로컴퓨터 制御(II)⁺ — 性能試驗 —

Microcomputer Control of Electronic-Hydraulic Three-Point Hitch for Agricultural Tractor(II) — Performance Test —

柳寬熙*
K. H. Ryu

劉壽男*
S. N. Yoo

金泳相*
Y. S. Kim

Summary

This study was conducted to develop an electro-hydraulic three-point hitch control system using an electro-hydraulic servo valve and microcomputer and to investigate the performance of the three-point hitch control system through indoor and field experiments.

1. The results from indoor experiments coincided with those from computer simulation reported in the previous paper. However, the draft control with the value 4 of Kd showed a slight sustained oscillation after it reached the draft set.
2. From the field experiments, it appeared that the RMS errors increased with the ground speed of tractor.

In position control, the three-point hitch control system with electro-hydraulic servo valve showed better performance than that with on-off electro-magnetic valve in the ground speed less than 1.6 m/s. In draft control, however, there was no significant difference in performance between those two systems.

3. In depth control, the both types of electro-hydraulic three-point hitch control system showed better performance than the conventional mechanical-hydraulic three-point hitch control system.

1. 緒論

본 연구는 기계유압식 3점 히치제어 시스템이 갖는 단점을 보완하고 제어성능을 향상시키고자 전기유압서보밸브를 이용하여 마이크로컴퓨터로 제어할 수 있는 전자유압식 3점히치시스템을 개발하기 위하여 수행되었다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 마이크로컴퓨터와 전기유압서보밸브를 이용하여 위치제어와 견인력제어를 수행할 수 있는 전자 유압식 3점히치제어시스템을 구성한다.
2. 성능시험을 통하여 제어시스템의 비례 상수, 유압회로의 유량, 샘플링 주기 등이 시스

+ 이 연구는 1989년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

* 서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

** 全南대학교 農科大學 農工學科

탱의 응답에 미치는 영향을 조사하고 on-off 전자유압밸브를 이용한 전자유압식 3점히치 시스템과의 성능을 비교·분석한다.

2. 材料 및 方法

가. 實驗裝置

(1) 室內實驗

저자 등이 이미 보고한 컴퓨터 시뮬레이션(한국농업기계학회지 17권 1호, 18~26P)에서 얻은 전자유압식 3점히치 제어시스템의 성능을 검증하기 위하여 실내실험용 3점히치 제어시스템을 제작하였다.

이 실험장치는 류 등(1991)의 연구에서 사용한 실험장치와 유사한 것으로서, 다른점은 On-off밸브를 전기유압서보밸브로 대체한 것이다.

(2) 圃場實驗

전자유압식 3점히치제어시스템의 포장성능을 조사하기 위하여 실내실험에서 사용한 전자유압식 3점히치제어시스템을 K사의 35PS 트랙터에 탑재하였다.

유압유의 공급은 VS 모터에 의해 구동되는 유압펌프 대신 유압실린더로 들어가는 배관부를 중간에서 끊어 고압라인필터를 거친 후 언로드 릴리프밸브의 입력부로 연결시켰으며, 탱크로 배출되는 유압유의 귀환을 위해 실내실험에서 사용된 별도의 오일 탱크 대신 트랙터 오일귀환부로 서보밸브의 B포트와 언로드밸브의 배출호스를 연결시켰다. 또한 유압실린더로의 유압유 공급은 트랙터에 있는 기존의 유압제어밸브를 거치지 않도록 서보밸브의 A포트를 유압실린더의 측면에 있는 별도의 포트로 연결하였으며, 트랙터에 별도의 프레임을 제작하여 볼트와 너트로 고정시킨 후 컴퓨터와 모니터, 키보드, A/D 변환기와 D/A 변환기, 앰프 등과 전원공급장치가 들어 있는 유니트와 유압장치를 탑재하였다. 제어 시스템의 응답특성을 측정하기 위하여 위치센서와 경심센서의 출력, 견인력센서의 출력 및 설정입력을 측정하였다. A/D 변환기를 거쳐

마이크로컴퓨터로 입력된 데이터는 디스크에 저장하였다.

나. 實驗方法

(1) 室內實驗

본 연구에서 제작된 전자유압식 3점히치 제어시스템은 샘플링 주기, 유압회로 유량의 크기, 시스템의 지연시간, 유압배관과 유압유의 특성, 유압피스톤, 작업기 및 3점 히치 링케이지의 제원, 위치센서의 이득, 토양의 특성 등에 의해 제어특성이 결정되어진다.

이와 같은 여러 요인들 중 본 연구에서 사용된 시스템의 고정된 특성을 제외하면 샘플링 주기, 유압회로의 유량, 제어기의 비례상수의 크기를 변화시킬 수 있었으나, 시스템에서 가능한 정도로 프로그램의 수행시간을 짧게하여 샘플링 주기 T1을 단축시켰으며, 유량의 크기는 시스템의 응답속도에 영향을 미치나 안전성에는 영향을 미치지 않으므로 본 실험에서 서보밸브의 정격 유량인 20ℓ/min로 유량의 크기를 일정하게 유지시켰다. 따라서 본 제어시스템의 제어성능을 분석하기 위하여, 시스템에 영향을 미치는 가장 큰 要因인 제어기의 비례상수 Kp와 Kd를 변화시켜 가면서 계단 입력과 정현과입력을 가하여 이에 대한 應答을 측정하였다. 기타 실내실험의 방법과 절차는 류 등(1992)의 연구내용과 같다.

(2) 圃場實驗

포장실험은 서보밸브를 이용한 제어시스템과 기존에 연구된 바 있는 on-off식 제어 시스템을 가지고 트랙터의 속도수준을 변화시켜 가면서 경심제어와 견인력 제어의 각각에 대하여 실시하였다. 또한 실험용 트랙터에는 별도의 경심 제어장치와 견인력 제어장치가 없으므로, 단지 승강레버에 의해 나타나는 작업기의 경심만을 측정하여 이를 위의 두 시스템과 비교하였다. 설정 경심과 설정 견인력은 실내실험과 마찬가지로 설정입력부의 포텐쇼미터로 입력하였으며, 트랙터가 일정한 거리를 진행하여 작업기의 실제 경심과 실제 견인력이 설정치 부근에 도달한 후부터 계측을 시작하였다. 포장실험에 있어 제어 시

시스템의 비례상수와 불감대는 실내실험에 의해 얻어진 적정한 값으로 일정하게 고정시켰다.

3. 結果 및 考察

가. 室内實驗

(1) 位置制御

계단과 입력을 가했을 경우의 비례상수 K_p 에 따른 제어 시스템의 응답을 조사한 결과, K_p 값이 1일 경우 시스템의 정정시간(Settling time)은 4.4 sec였으며, K_p 값이 증가함에 따라 시스템의 응답시간은 점차 짧아져 K_p 값이 9에 이르면 시스템의 정정시간은 1.14sec로 단축되었다. 그러나 K_p 값이 9를 넘으면 시스템의 응답시간은 더 이상 짧아지지 않으며 대신 설정치에 이른 후 오버슈트 현상이 발생한 후에 안정되어가는 모습을 나타내었다. 오버슈트의 크기는 K_p 값이 커짐에 따라 점차 증가하여 K_p 값이 30에 이르면 뚜렷해지고 40이 되면 진동을 하면서 설정치에 도달했다. K_p 값이 50일 경우는 시스템은 안정되지 않고 계속 진동하는 불안정한 모습을 보였다. 시뮬레이션 결과와 비교해 볼 때 K_p 값이 1인 경우 설정치의 도달시간이 약간 빠르게 나타났다. 그러나 K_p 값이 9, 30, 40, 50인 경우에는 응답특성이 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있었다.

(2) 牽引力 制御

계단과 입력을 가했을 경우의 비례상수 K_d 에 따른 제어 시스템의 응답을 조사한 결과, K_d 값이 1일 경우 시스템의 정정시간은 4.2sec였으며, K_d 값이 증가함에 따라 시스템의 응답시간은 점차 짧아져 K_d 값이 2에 이르면 시스템의 정정시간은 2.3 sec로 단축되었다. K_d 값이 4일 경우 정정시간은 약 1 sec로, K_d 값이 커짐에 따라 시스템의 응답시간은 점차 단축되었다. 그러나 이때 작업기의 위치변화가 거의 없음에도 불구하고 견인력센서의 신호는 일단 설정치에 도달한 후 설정치를 중심으로 조금씩 계속 진동하는 모습을 보였다. K_d 값이 8이상이 되면 견인력센서의 출력은 매우 불규칙하게 진동하고 작업기도

설정견인력의 위치에서 계속 진동하는 불안정한 제어상태를 나타내었다. 실험결과를 시뮬레이션 결과와 비교해보면 K_d 값이 2일 경우의 정정시간이 시뮬레이션에서의 1.5 sec 보다 약간 느리게 나타났으나 다른 K_d 값의 경우는 응답시간이 거의 일치하였다. 시뮬레이션의 경우 K_d 값이 4일 때 약 1초 경과 후 설정치에 도달했으며 실제 실험에서도 설정치를 중심으로 계속 진동하는 모습을 나타내기는 했으나 작은 진동이 설정치를 중심으로 이루어져 제어 시스템이 시뮬레이션 결과와 유사한 응답을 나타냄을 알 수 있었다.

나. 圃場 實驗

본 연구에서 제작된 서보밸브를 사용한 제어 시스템과 기존의 on-off 식 제어시스템, 승강레버에 의해 위치를 결정하는 기존 트랙터의 위치 제어시스템간의 제어 성능상의 차이를 알아보기 위해 포장실험을 실시하였다. 圃場實驗은 경기도 수원시 서둔동 서울大學校 農工學館 앞의 圃場에서 실시하였다. 제어시스템의 비례상수는 실내실험의 결과로부터 위치제어의 경우 9, 견인력제어의 경우 4를 사용하였다. 그림 1과 그림 2는 서보밸브를 사용한 제어시스템의 포장실험 결과의 일부를 나타낸 것이다. 속도증가에 따른 설정값에 대한 실제 경심 또는 실제 견인력간의 오차는 점차 커지는 경향을 나타내었다. 이러한 경향을 좀 더 자세하게 살펴보고 제어시스템간의 성능을 비교하기 위하여 속도수준에 따른 RMS오차(root mean square error)를 구하였다(류 등(1992)의 논문 참조).

그림 3의 (a)와 (b)는 서보밸브를 사용한 경우와 on-off밸브를 사용한 경우의 각각에 대하여 RMS 오차를 계산하여 트랙터의 속도수준에 대하여 나타낸 것이다. 경심제어의 경우 그림에서 보는 바와 같이 트랙터의 진행속도가 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.6, 2.0 m/s로 변할 때 RMS 오차는 서보밸브를 사용한 경우 0.6, 1.0, 2.3, 1.8, 2.5, 3.0cm로 증가했으며, on-off밸브를 사용한 경우는 0.6, 1.1, 2.4, 2.5, 4.3, 5.0cm로 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 서보밸브를 사용한 제어시스템이 on-off밸브를 사용한 제어 시스템보다 더 작은 오차

범위 내에서 제어가 이루어졌음을 알 수 있다. 그러나 견인력제어의 경우 0.3m/s와 1.6m/s의 속도에서는 서보밸브를 사용한 시스템이, RMS 오차가 작으나 그 외의 속도수준에서는 오히려 on-off밸브를 사용한 시스템의 RMS 오차가 작아 두 시스템간의 성능상의 뚜렷한 차이를 알 수 없었다.

한편 작업자가 승강레버를 조작하여 작업기의 위치만을 설정할 수 있는 기존 트랙터의 경우 록샤프트의 각 위치는 고정되어 작업기의 경심은 토양의 형상에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 불규칙한 토양일수록 작업기에 나타나는 경심 또한 불규칙해지므로 정확한 경심을 유지하기가 곤란해진다. 이러한 경향을 확인하기 위하여 승강레버로 작업기의 경심을 일정하게 고정한 후 트랙터의 진행속도를 변화시켜가면서, 경심의 변화를 측정하여 RMS 오차를 구하였다. 그 결과

트랙터의 진행속도가 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.6, 2.0m/s일 때 RMS 오차는 각각 3.5, 3.6, 4.0, 3.8, 3.9, 4.7cm로 나타났으며 평균값은 3.9cm였다. 이 결과를 서보밸브와 on-off밸브를 사용한 전자유압식 히치제어시스템의 경우에 나타난 RMS 오차와 비교해보면, 약 1.6m/s 이하의 속도에서는 전자유압식 히치제어시스템의 경심제어성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나 트랙터의 진행속도가 약 2.0m/s에 이르면 시스템들 간의 RMS 오차의 차이는 거의 없어졌다. 이러한 경향은 전자유압식 히치제어시스템의 성능실험으로부터 얻어진 주파수 특성에서 알 수 있는 것처럼 트랙터의 주행속도가 증가하면서 지면형상의 변화속도가 빨라지고 센서로의 입력신호에 고주파수 성분이 증가하므로 제어시스템의 대수이득은 점차 감소하고 위상차가 증가되기 때문인 것으로 판단된다.

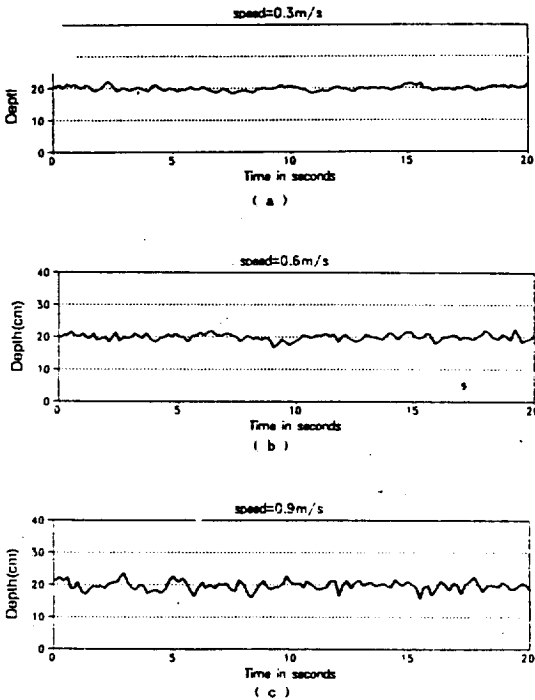


Fig. 1. Response of the control system using servo valve in the field (Depth control).

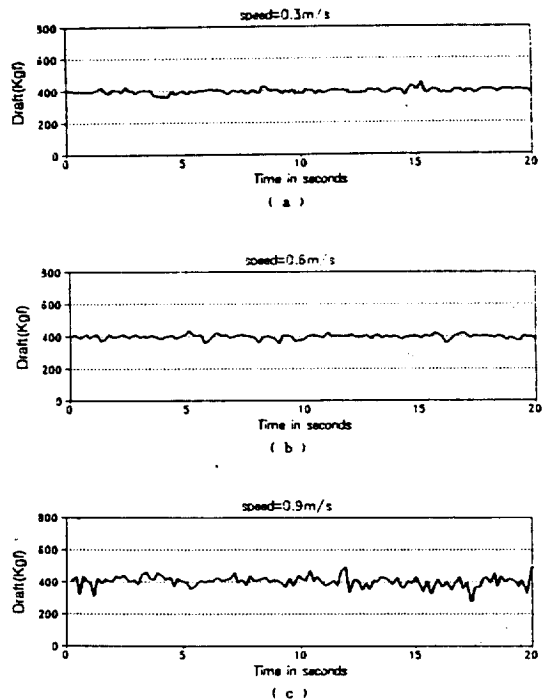


Fig. 2. Response of the control system using servo valve in the field (Draft control).

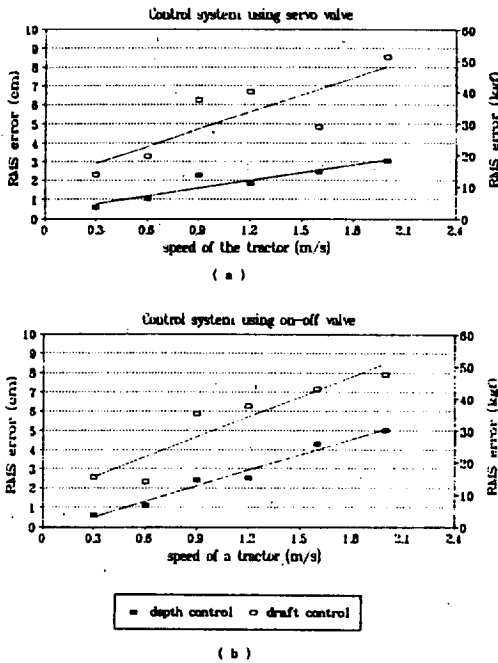


Fig. 3. Relationship between RMS errors and the speed of the tractor.

4. 要約 및 結論

본 연구는 마이크로컴퓨터와 전기유압 서보밸브를 이용한 전기유압식 3점히치제어시스템을 개발하고 실용화의 가능성을 모색하는데 그 목적이 있었다.

본 연구에서 개발된 전기유압식 히치제어 시스템은 작업기의 위치와 경심, 견인력을 제어할 수 있도록 하였다. 위치제어에 있어서는 룩사프트에 부착된 로타리 포텐쇼미터를 이용하여 작업기의 위치를 파악하였으며, 경심제어의 경우에는 경심륜을 제작하여 경심에 따라 경심륜의 회전축에 부착된 로타리 포텐쇼미터의 각변위가 변하도록 하였다. 또한 견인력을 감지하기 위해 스트레인 게이지를 이용한 견인력계를 제작하여 상부링크 부착부에 부착하였다.

유압회로는 블럭을 제작하여 모듈화하였으며 서보밸브와 언로드밸브, on-off밸브를 블럭에 부착시켜, 트랙터에 탑재가 용이하도록 하였다.

전자제어부는 각종 앰프 및 전원공급장치와 설정입력부가 들어있는 제어상자, 마이크로컴퓨터, A/D변환기 및 D/A변환기로 구성하였다.

제작된 제어시스템의 성능을 시험하기 위해 실내실험을 수행하였으며, 기존의 제어시스템과의 성능상의 차이를 알아보기 위해 포장실험을 실시하였다. 실내실험은 위치 및 견인력 제어에 대하여 별도로 실시하였으며 포장실험은 경심제어와 견인력 제어에 대하여 실시하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 실내에서 행한 성능실험 결과는 시뮬레이션 결과와 거의 동일하였으나 견인력 제어의 경우에는 비례상수 Kd 값이 4일 때 설정치에 도달한 후에도 설정치를 중심으로 조금씩 진동하는 현상을 나타내었다. 이것은 작업기에 인위적으로 견인력을 발생시키기 위해 사용된 스프링과 견인력 센서의 특성에 기인한 것으로 판단된다.
2. 서보밸브와 on-off밸브를 사용하는 제어시스템의 각각에 대하여 포장실험을 수행한 결과, 경심제어에 있어서는 서보밸브를 사용한 제어시스템이 약간 우수한 성능을 나타내었으나, 견인력 제어의 경우에는 제어시스템 간의 성능상의 차이를 뚜렷하게 나타내지 않았다.
3. 트랙터의 진행속도가 약 1.6m/s 이내일 때, 승강레버에 의해 작업기의 각 위치만을 설정할 수 있는 기존 트랙터의 경우에 비해 전자유압식 3점히치 제어시스템의 경심제어 성능이 우수하였다. 그러나 진행속도가 더 이상 증가하면 경심제어 성능은 그 이상 개선되지 않았다. 따라서 유압회로의 유량을 증가시키거나 센서로 입력되는 고주파수 성분을 제거하기 위한 필터를 사용하면 더 큰 속도에서도 시스템의 제어성능이 개선될 것으로 판단된다.

參考文獻

1. 유수남. 1989. 트랙터의 전자유압식 히치제어시스템에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.

2. 유수남, 류관희, 박준걸. 1989. 트랙터의 전자 유압식 히치제어시스템에 관한 연구(Ⅰ)-위 치제어. 한국농업기계학회지 14(3) : 168-180.
3. 유수남, 류관희, 윤여두. 1989. 트랙터의 전자 유압식 히치제어시스템에 관한 연구(Ⅱ)-건 인력제어. 한국농업기계학회지 14(4) : 229-241.
4. 김기영, 류관희, 유수남. 1990. 트랙터의 전자 유압식 히치제어시스템에 관한 연구(Ⅲ)-컴 퓨터 시뮬레이션. 한국농업기계학회지 15 (5) : 168-180.
5. 류관희, 유수남, 김영상, 김기영 : 1992. 농용 트랙터 3점히치시스템의 마이크로 컴퓨터 제어(Ⅰ)-컴퓨터 시뮬레이션. 한국농업기계 학회지 17(1) : 18-26.
6. 류관희, 유수남, 윤여두, 坂井純, 김영상. 19 91. 농용 트랙터의 전자유압식 경심제어시스 템 개발, 한국농업기계학회지 16(4) : 255-260
7. 김영상. 1992. 전자유압 서보밸브를 이용한 전자유압식 3점히치제어시스템. 서울대학교 석사학위논문.
8. Akama, J. 1983. Electronic control system for farm tractor. Tech. J. of Isigawajimaha ma 23(2) : 133-135.
9. Alderson, L. L. 1984. Electronic hitch control. ASAE publication 8-84 : 60-66.
10. Ayers, P. D. and K. Venugopal Varma. 1987. Personal computer aided design(PACD) of electro-hydraulic control systems. Trans. of the ASAE 3(2) : 241-246.
11. Dell'Acqua, R., g. Dell'orto, r. Guagliumi, G. Amedei and A. Cevolini. 1986. Agricultural vehicle electronics-A new hitch system control, SAE paper No. 860479.
12. Dobrinska, R. and R. Jarboe. 1981. The development and application of electro-hydraulic control system for case 4WD tractors. SAE paper No. 810941.
13. Hess, H. and W. Schrader. 1984. Hitch system comparison mechanical, hydraulic, electronic. SAE paper No. 841130.
14. Hobbs, J. and H. Hesse. 1980. Electronic/ Hydraulic hitch control for agricultural tractors. SAE paper No. 801018.
15. Lourigan, P. and K. Patel. 1979. Agricultural tractor electro-hydraulics. SAE paper No. 790848.
16. Squire, R. E. 1984. Electronic draft control system. ASAE publication 8-84 : 67-75.