

農用 트랙터 3點히치시스템의 마이크로컴퓨터 制御(I)⁺ — 컴퓨터 시뮬레이션 —

Microcomputer Control of Electronic-Hydraulic Three-Point Hitch for Agricultural Tractors (I) — Computer Simulation —

柳 寬 熙*, 劉 壽 南**, 金 泳 相*, 金 琪 榮*,
K. H. Ryu, S. N. Yoo Y. S. Kim, G. Y. Kim

Summary

A mechanical-hydraulic hitch control system has been adapted to most agricultural tractors. But it has various defects due to friction, inertia and hysteresis. Recently a number of electronic-hydraulic hitch control systems have been developed in several countries to improve control performance of the agricultural tractors equipped with a mechanical-hydraulic hitch control system.

This study was conducted to develop a new electronic-hydraulic hitch control system using an electro-hydraulic servo valve instead of an on-off valve and to carry out computer simulation of the system. According to the result of computer simulation, the control system showed the best performance when the proportional constants were 9 and 4 for position and draft control respectively. The step and frequency responses were improved as flow rate increased.

1. 緒 論

최근 美, 日 등 선진국에서는 기계유압식 히치 제어시스템이 갖는 단점을 보완하고 제어 성능을 향상시키기 위한 많은 電子油壓式 히치제어시스템이 개발되어 기존의 기계유압식 히치제어시스템을 대체하고 있다. 電子油壓式 히치제어시스템은 위치나 견인력을 감지하여 전기적 신호로 변환시키고 이를 전기적 비교기나 마이크로

컴퓨터 등으로 처리한 후 유압제어밸브를 작동시켜 히치를 작동시키는 시스템으로서 이를 채용함으로써 제어의 정확성뿐만 아니라, 신호처리의 용이성 및 융통성, 다양한 작업조건에 대한 적응성, 작업상태 지시의 용이성, 운전자의 조작성 등에서 큰 성능 향상을 기할 수 있다. 국내에서는 劉¹⁾가 on-off식 전기유압밸브를 사용하여 위치와 견인력을 제어할 수 있는 전자유압식 히치제어시스템을 최초로 개발하여 실용화의 가능

+ 본 연구는 한국학술진흥재단의 1989년도 연구비 지원으로 수행되었음.

* 서울대학교 農業生命科學大學 農工學科

** 全南대학교 農科大學 農工學科

성을 보여준 바 있다.

본 연구에서는 기존의 on-off 밸브대신 마이크로컴퓨터와 전기유압 서보밸브를 이용한 전자유압식 히치제어시스템을 구성하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 마이크로컴퓨터와 전기유압 서보밸브를 이용하여 位置制御와 牽引力制御를 수행할 수 있는 電子油壓式 히치제어시스템을 구성한다.
2. 이론적 분석을 통하여 시뮬레이션을 수행하기 위한 블록모델을 구성한다.
3. 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 제어시스템의 비례상수, 유압회로의 유량, 샘플링 주기 등이 시스템의 응답에 미치는 영향을 調査하여 적절한 제어성능을 얻기 위한 설계 자료를 제시한다.

2. 制御 시스템의 構成

그림 2, 1은 위치제어와 견인력제어를 수행할 수 있는 전자유압식 히치제어시스템의 구성을 나타낸 것이다. 설정위치와 설정견인력은 로터리 포텐쇼미터를 이용하여 0~V 범위내에서 설정할 수 있도록 하였으며, 록사프트의 회전각변위와 작업기에 걸리는 견인력은 각각 위치 센서와 견인력 센서를 통해 0~5 V 범위의 값으로 변환되도록 하였다. 마이크로컴퓨터는 A/D 변환기를 통해 설정입력값과 센서의 출력값을 받아들인 후, 두 값을 비교하여 오차를 계산하고 제어기의 비례상수를 곱한 후 D/A 변환기를 통해 그 값을 출력한다. 그러나 서보밸브는 전류에 의해 동작되므로 D/A 변환기의 출력전압은 서보앰프를 거쳐 전류값으로 변환되어야 한다. 이 때 서보밸브를 통과하는 유량은 서보밸브에 가해지는 전류신호에 비례하며, 위치제어의 경우 유압유는 가해진 전류신호가 양(+)이면 작업기를 상승시키는 방향으로, 음(-)이면 작업기를 하강시키는 방향으로 흐르게 된다. 그러나 견인력 제어의 경우에는 작업기가 하강함에 따라 오히

려 견인력은 증가하므로 위치제어와는 반대로 유압유는 가해진 전류신호가 양(+)이면 작업기를 하강시키는 방향으로, 음(-)이면 작업기를 상승시키는 방향으로 흐르게 된다.

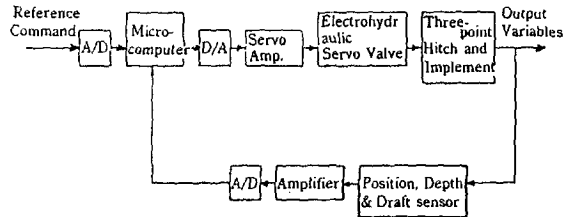


Fig. 2.1 Block diagram of the electronic-hydraulic three-point hitch control system

3. 制御시스템의 시뮬레이션 모델

앞에서 설명한 전자유압식 히치제어시스템에 대한 제어기의 비례상수와 서보밸브의 유량, 샘플링 주기의 영향을 조사하기 위하여 시뮬레이션 프로그램 패키지 "TUTSIM"을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3.1과 그림 3.2는 위치제어시스템의 견인력제어시스템의 성능예측을 위한 "TUTSIM" 블록 모델을 나타낸 것이다.

위치 제어시 설정 입력으로는 계단과 입력일 때 PLS(pulse) 블록, 정현파 입력일 때 (TIM (time), GAI(gain), SIN(sine) 블록을 사용하였다. PLS 블록은 계단과 입력으로서 DC 0~5 V의 설정 입력을 나타낼 수 있도록 하였다. 오차 검출기로는 SUM(summation) 블록을 사용하였는데 여기에서는 0~5 V의 전압으로 변환한 부케환의 GAI 블록에서 나온 값과 비교하여 그 차이에 해당하는 오차신호를 발생한다. SUM 블록에서 나온 신호는 sample and hold의 역할을 하는 SPL 블록으로 들어가서 TI 초 간격으로 샘플링된 뒤 GAI 블록으로 들어가서 제어기의 비례상수와 곱해진다. GAI 블록에서 나온 신호는 다시 또 다른 GAI 블록으로 들어가 전류신호에 해당하는 값으로 변환된다. 여기에서 나온 신호는, 릴레이와 같은 역할을 하는 REL 블록으로 들어

가서 7번의 MUL(multiplication) 블록에서 나온 서보밸브의 구동신호가 5 V 보다 크면 7.5 mA, -5 V 보다 작으면 -7.5 mA, -5~+5 V 사이의 신호에 대해서는 그에 비례하는 값으로 변환된다. 변환된 신호는 10번의 MUL 블록과 11 번의 GAI 블록을 거쳐 전류신호에 해당하는 유량으로 변환되고 DEL(delay N time units) 블록에서 시스템의 지연시간 만큼 지연된 뒤 ATT(attenuator) 블록에서 피스톤의 단면적 A_p 로 나누어져 피스톤의 속도 \dot{X}_p 가 된다. 다시 이 신호는 EUL(Eulor integration) 블록에서 적분되어 피스톤의 변위 X_p 가 된 후 GAI 블록에서 상수 K_1 을 곱해 룡샤프트 각도로 변환되고, 여기에 GAI 블록에서 위치센서의 이득 H_p 와 곱해져 위치센서의 신호가 전압으로 변환된다.

견인력제어의 경우 설정입력부, 오차검출부, 작동유량을 내기 위한 부분은 위치제어의 경우

와 같다. 대신 ATT 블록에서 나온 값 즉, 피스톤의 속도 \dot{X}_p 는 DIF(differentiation) 블록에서 미분되어 \dot{X}_p 가 된다. 이 \dot{X}_p 는 2개의 EUL 블록을 거쳐 다시 피스톤의 변위 X_p 가 되고 GAI 블록에서 상수 K_1 이 곱해져 룡샤프트 각도로 변환되며 다시 상수 K_2 가 곱해져 경심이 된다. 여기에 단위 경심당 상부링크에 작용하는 수평력 K_h 가 곱해져 스프링에 의해 상부링크에 걸리는 수평력이 구해진다. 피스톤의 가속도 \ddot{X}_p 에 작업기의 무게를 곱한 다음 스프링에 의해 걸리는 수평력과와 합을 구하고 다시 중력가속도로 나눈 뒤 GAI 블록에서 견인력센서의 이득 H_d 를 곱해 견인력 신호를 전압신호로 바꾼다. 이 신호는 다시 SUM 블록에서 설정 입력과 비교된 후 오차신호를 발생한다.

앞에서 만들어진 "TUTSIM" 블록모형을 이용하여 계단과 입력을 주었을 경우와 정현파 입력

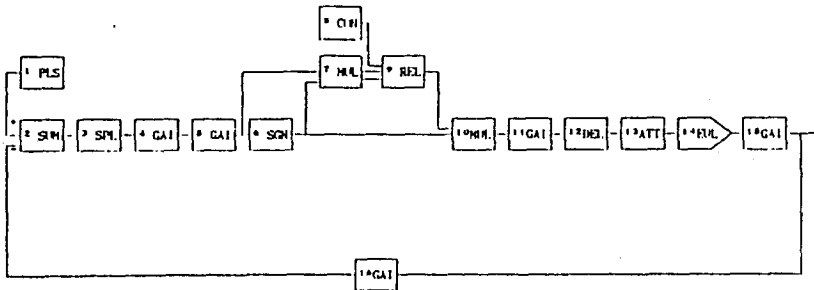


Fig. 3.1 Block diagram of the position control system with step input using TUTSIM function blocks.

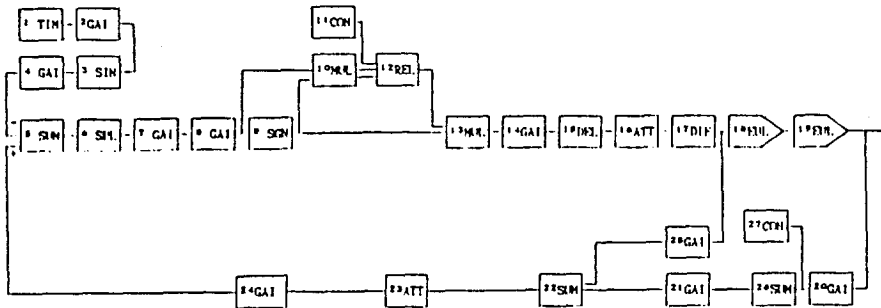


Fig. 3.2 Block diagram of the draft control system with step input using TUTSIM function blocks.

을 주었을 경우의 각각에 대하여 제어기의 비례상수값 K_p 와 K_d 가 제어시스템의 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 시간응답을 조사하기 위해 3 V 크기를 갖는 계단파 입력을 사용하였으며, 주파수 특성의 경우는 $(2 + \sin 2\pi ft)$ V의 정현파 입력을 가하였다. 이때 샘플링 주기는 위치제어의 경우에 0.055초, 건인력제어의 경우에 0.110초, 유압회로의 유량은 20 l/min로 일정한 것으로 하였다. 그밖에 샘플링 주기와 유량의 크기가 시스템의 응답에 미치는 영향을 알아보기 위하여 위치제어와 건인력 제어에 대하여 각각 샘플링 주기와 유량의 크기를 변화시켜가면서 시뮬레이션을 실시하였다.

4. 結果 및 考察

가. 比例常數가 시스템의 應答에 미치는 影響

1) 위치제어

그림 4.1의 (a)~(d)는 각각 비례상수 K_p 값이 1, 9, 40, 50일 경우 계단파 입력에 대한 제어시스템의 시간응답을 나타낸 것이다. K_p 가 1인 경우 시스템이 설정치인 3 V의 95%에 도달하는데 걸리는 시간 즉, 정정시간 (settling time)은 5.73 초였으나 K_p 값이 커지면서 응답속도가 점차 빨라져 K_p 가 9를 넘어 더욱 커지면 응답속도는 더 이상 빨라지지 않으며 K_p 가 50을 넘으면 설정치를 중심으로 계속 진동하는 불안정한 모습을 나타내었다.

그림 4.2와 그림 4.3은 비례상수 K_p 와 설정 입력의 주파수 변화에 따른 시스템의 대수이득 곡선과 위상차 곡선을 나타낸 것이다. 주파수가 증가할수록 이득이 감소하고 위상차가 커지며 비례상수 K_p 가 커질수록 이득의 감소가 작고 위상차는 작아짐을 알 수 있다.

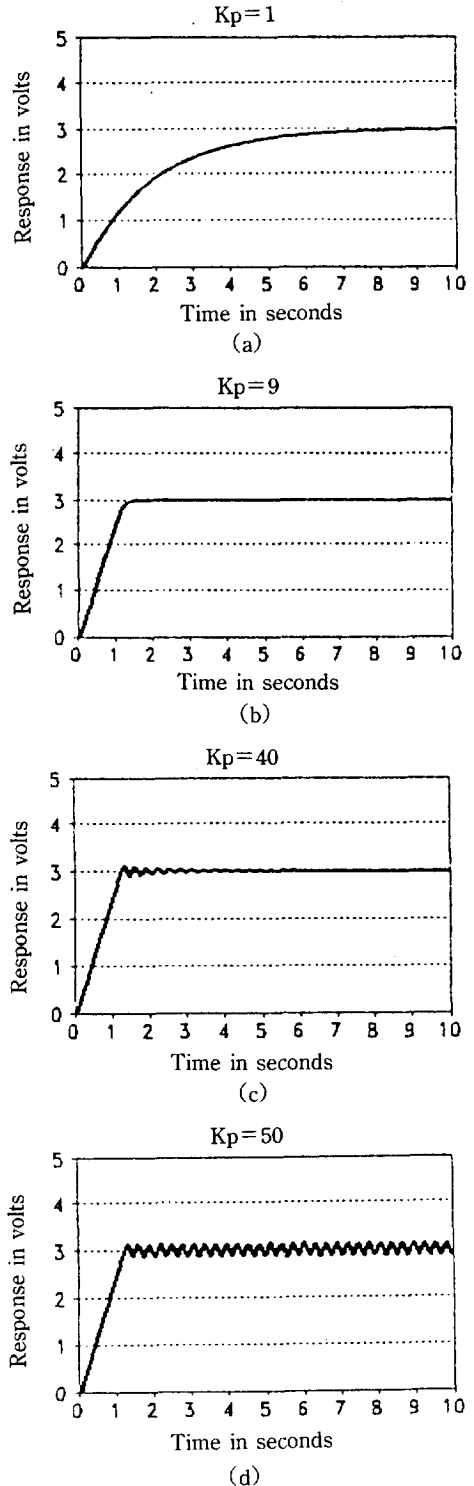


Fig. 4.1 Effect of K_p on the step response of the position control system.

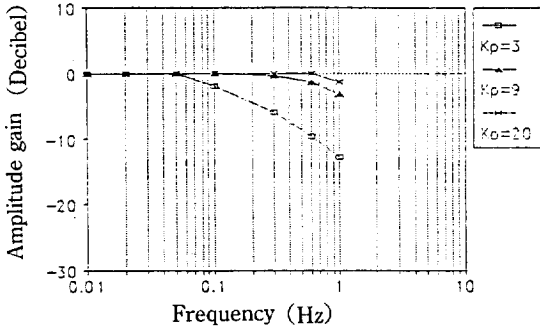


Fig. 4.2 Frequency response of the position control system with various K_p values (Gain plots).

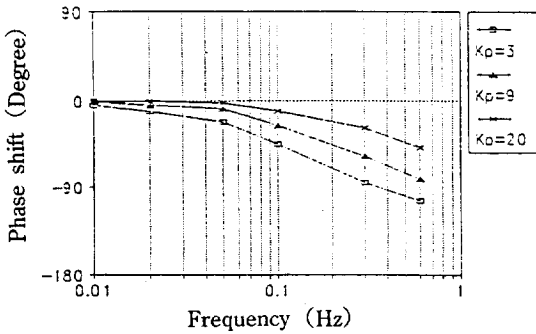
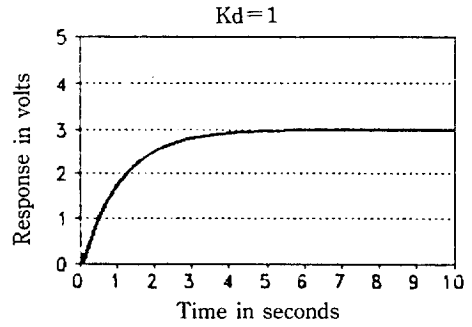


Fig. 4.3 Frequency response of the position control system with various K_p values (Phase-angle plots).

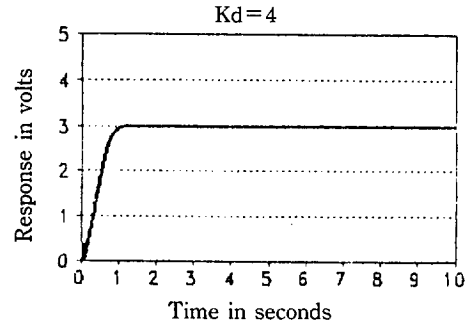
2) 牽引力制御

그림 4.4의 (a)~(d)는 각각 비례상수 K_d 값이 1, 4, 8, 15일 경우 계단파입력에 대한 제어 시스템의 시간응답을 나타낸 것으로 비례상수 K_d 가 1인 경우 정정시간은 3.27 초였으나 K_d 값이 커지면서 응답속도가 점차 빨라져 K_d 가 4가 되면 0.85 초로 단축되었다. 그러나 K_d 값이 더욱 커지면 응답속도는 더이상 단축되지 않고 오버슈트만 점차 커지며 K_d 가 8을 넘으면 시스템이 불안정해지는 것을 알 수 있다.

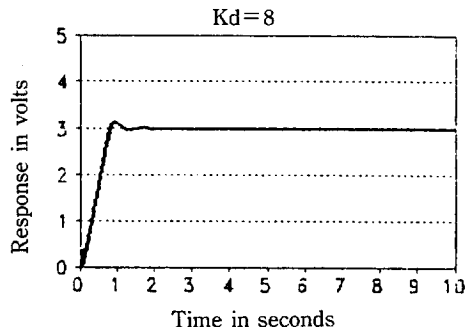
그림 4.5와 그림 4.6은 비례상수 K_d 와 설정 입력력의 주파수 변화에 따른 시스템의 대수이득 곡선과 위상차 곡선을 나타낸 것이다. 주파수가 증가할수록 이득이 감소하고 위상차가 커지며 비례상수 K_d 가 커질수록 이득의 감소가 작고 위상차도 작아짐을 알 수 있다.



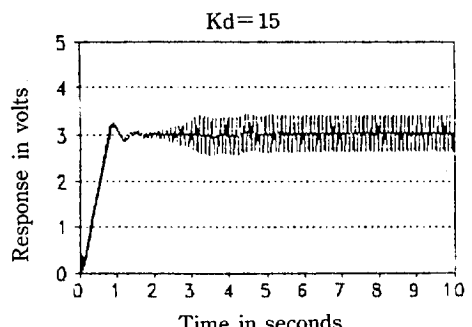
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.4 Effect of K_d on the step response of the draft control system.

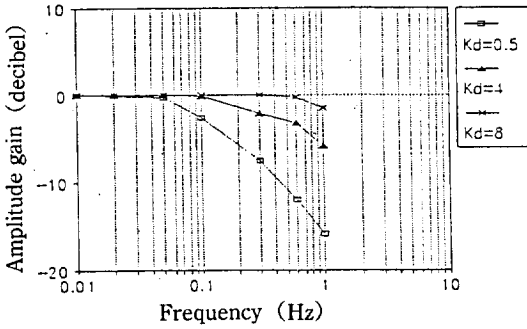


Fig. 4.5 Frequency responses of the draft control system with various Kd values (Gain plots).

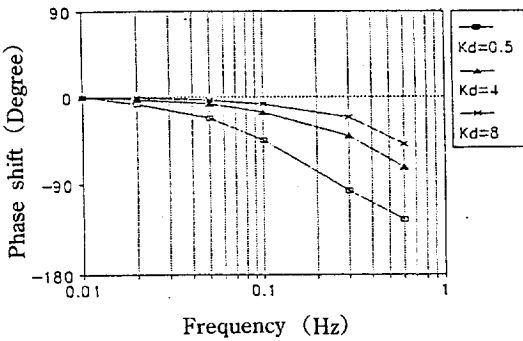


Fig. 4.6 Frequency responses of the draft control system with various Kd values (Phase-angle plots).

나. 샘플링 周期과 流量이 시스템의 응답에 미치는 影響

1) 位置制御

그림 4.7의 (a)와 같이 샘플링 주기가 0.055 초인 경우 비례상수 Kp가 50일 때 시스템은 불안정해진다. 그러나 샘플링 주기를 0.0275 초로 짧게 하면 시스템의 응답은 오버슈트를 발생한 후에 점차 설정치에 수렴되었으며, 샘플링 주기를 0.0183 초로 더욱 짧게 하면 오버슈트의 크기는 더욱 작아지고 설정치에 수렴하는 시간도 짧아졌다. 즉, 비례상수 Kp가 일정한 경우 샘플링 주기가 짧아질수록 시스템의 안정성은 개선되었다. 반면에 시스템의 정정시간은 1.18 초로 샘플링 주기와 관계없이 일정하였다. 이것은 서보밸브의 유량특성에 기인한 것으로 Kp가 약 9에 이르면 서보밸브의 통과유량은 이미 최대치

에 이르므로 샘플링 주기가 더욱 짧아지거나 비례상수값이 커져도 시스템의 응답시간은 더 이상 단축되지 않는다. 주파수 특성에서도 샘플링 주기의 변화에도 불구하고 이득과 위상차는 거의 변화를 보이지 않았다.

그림 4.8은 유압회로의 유량크기가 10, 20, 40, l/min일 때 오버슈트없이 설정치에 도달하는 경우의 시스템의 응답을 나타낸 것이다. 유량이 10 l/min일 때에는 Kp가 9일 때 정정시간은 1.21 초, 40 l/min일 때에는 Kp가 5일 때 0.65 초였다. 즉, 유량이 클수록 시스템의 안정성은 떨어지는 것을 알 수 있었다. 또한 유량크기에 따른 주파수 특성을 살펴본 결과 유량이 클수록 대수 이득은 커지고 위상차는 작아져 유량이 커질수록 주파수 응답성은 개선됨을 알 수 있었다. 그림 4,9는 이러한 경향을 나타낸 것이다.

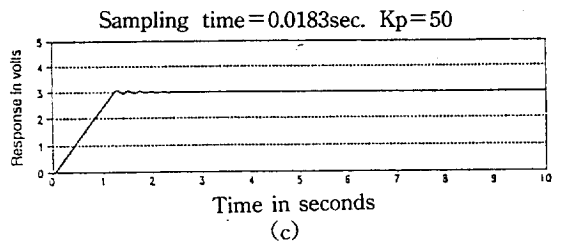
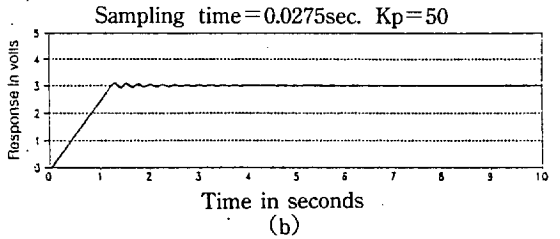
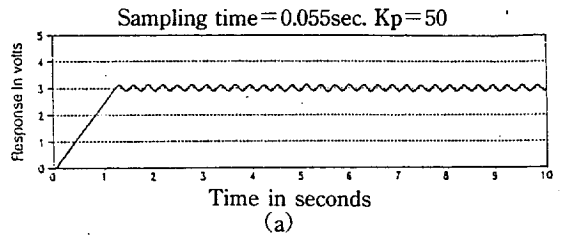


Fig. 4.7 Effect of sampling time on the response of the position control system.

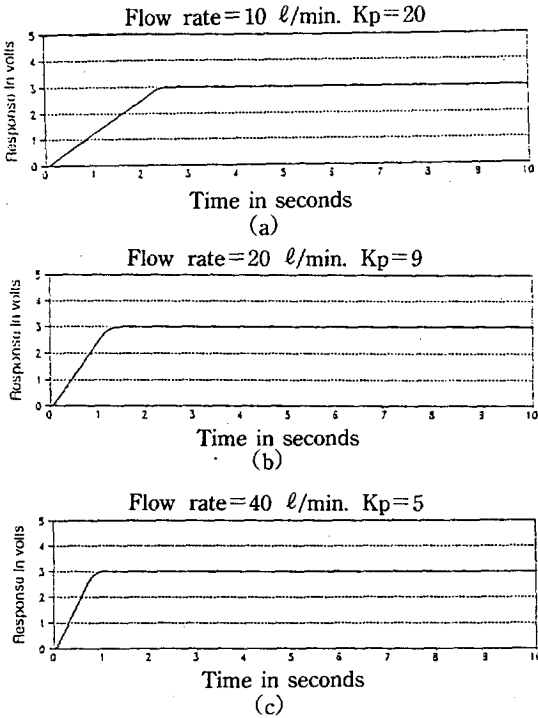


Fig. 4.8 Effect of flow rate on the response of the position control system.

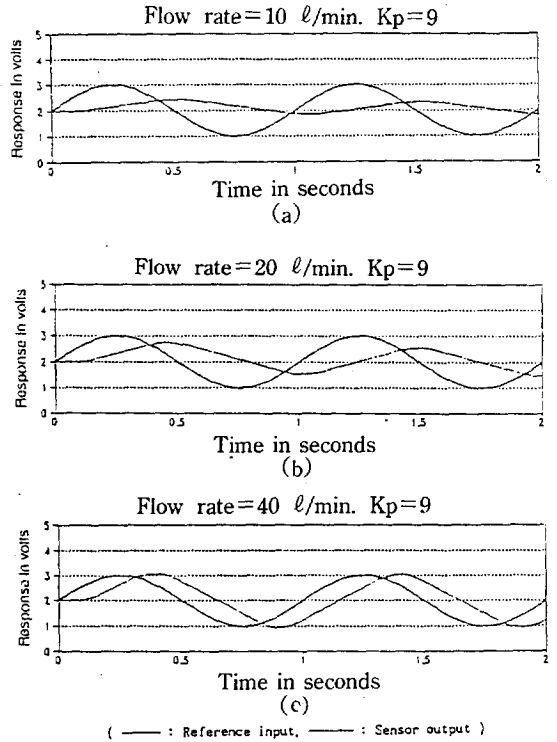


Fig. 4.9 Effect of flow rate on the frequency response of the position control system.

2) 牽引力制御

샘플링 주기가 0.055 초인 경우 그림 4.10 (a)에서 보는 바와 같이 비례상수 K_d 가 15일 때 시스템은 불안정해진다. 그러나 샘플링 주기를 0.0275 초로 짧게 하면 시스템의 응답은 오버슈트를 발생한 후에 점차 안정되었으며, 샘플링 주기를 0.0183 초로 더욱 짧게 하면 오버슈트의 크기는 더욱 작아졌다. 즉, 비례상수값 K_d 가 일정한 경우 샘플링 주기가 짧아질수록 시스템의 안정성은 개선되었다. 반면에 시스템의 정정시간은 0.75 초로 샘플링 주기와 관계없이 일정하였다. 또한 샘플링 주기의 변화에도 불구하고 주파수 특성에서도 이득과 위상차는 거의 변화가 없었다.

그림 4.11은 유압회로의 유량이 10, 20, 40 l/min 일 때 오버슈트 없이 설정치에 도달하는 경우의 시스템의 응답을 나타낸 것이다. 유량이 10 l/min 일 경우에는 K_d 가 4일 때 정정시간은 0.85 초, 40 l/min 일 때에는 K_d 가 2일 때 0.59 초였다. 즉, 유량이 클수록 시스템의 응답시간은 단축되었으나, 오버슈트를 없애기 위해서는 비례상수의 크기를 작게 설정해야 하므로 유량의 크기가 커질수록 시스템의 안정성은 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한 유량 크기에 따른 주파수 특성을 살펴본 결과 유량이 클수록 대수이득은 커지고 위상차는 작아져 유량이 커질수록 주파수 응답성은 개선됨을 알 수 있었다. 그림 4.12는 그러한 경향을 나타낸 것이다.

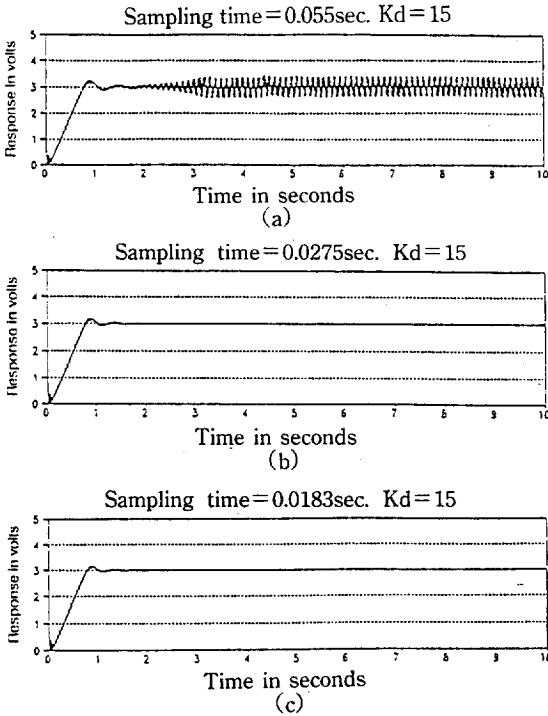


Fig. 4.10 Effect of sampling time on the response of the draft control system.

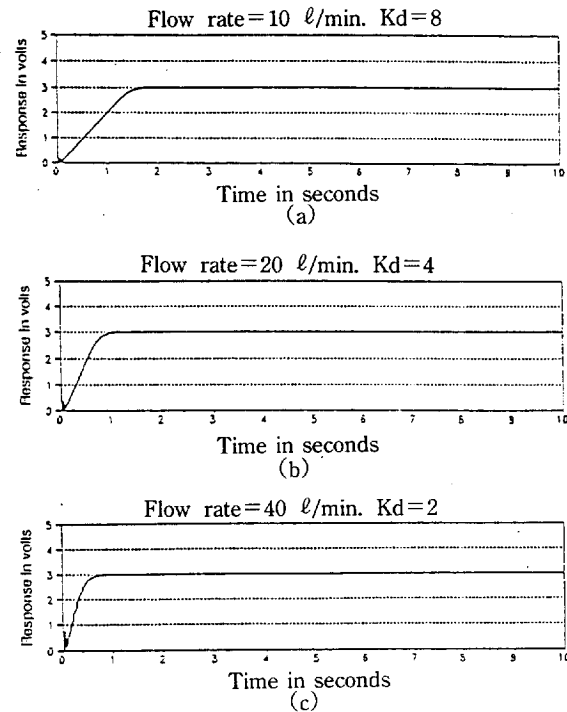


Fig. 4.11 Effect of flow rate on the response of the draft control system.

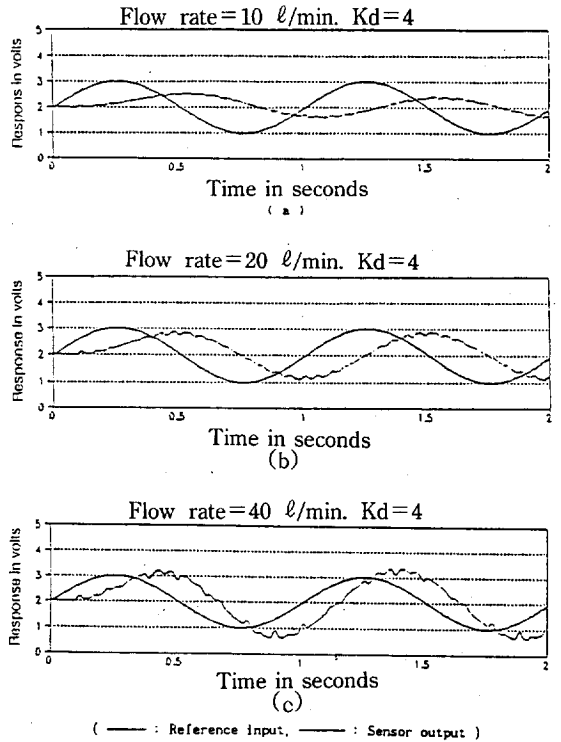


Fig. 4.12 Effect of flow rate on the frequency response of the draft control system.

5. 要約 및 結論

본 연구에서는 마이크로컴퓨터와 전기유압 서보밸브를 이용한 전자유압식 히치제어시스템을 구성하고, 시뮬레이션 프로그램 패키지 "TUT-SIM"을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 3V의 크기를 갖는 계단과 입력을 가하여 제어 시스템의 시간응답을 조사한 결과 위치제어의 경우 비례상수 K_p 가 9일 때, 견인력제어의 경우 비례상수 K_d 가 4일 때 오버슈트 없이 가장 빠른 응답을 나타내었다. 그러나 K_p 와 K_d 가 그 이상으로 증가하면 점차 오버슈트가 발생한 후 시스템은 불안정해졌다.

2. $(2 + \sin 2\pi ft)$ V의 정현파 입력을 가하여 주파수 특성을 조사한 결과, 위치제어와 견인력제어 모두 입력주파수가 0.1Hz 이상이 되면 대수이득은 급격히 증가하고 위상차는 현저하게 증가하는 경향을 나타내었다.

3. 위치제어와는 견인력제어 모두, 샘플링 주기를 짧게한 결과 안정성은 다소 개선되었으나 응답시간은 단축되지 않았다. 또한 유량을 증가시킨 경우 응답속도는 증가한 반면 시스템이 불안정하게 되므로 유량이 증가할수록 오버슈트를 발생시키지 않기 위한 시스템의 비례상수는 작게 설정해야함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. 유수남. 1989. 트랙터의 電子油壓式 히치 制御시스템에 관한 研究. 서울대학교 박사학위 논문.
2. 유수남, 류관희, 박준걸. 1989. 트랙터의 電子油壓式 히치 制御시스템에 관한 研究(I) - 位置制御. 한국농업기계학회지 14(3) : 168-180.
3. 유수남, 류관희, 윤여두. 1989. 트랙터의 電子油壓式 히치 制御시스템에 관한 研究(II) - 牽引力制御. 한국농업기계학회지 14(4) : 229-241.
4. 김기영, 류관희, 유수남, 1990. 트랙터의 전자유압식 히치 제어시스템에 관한 연구(III) - 컴퓨터 시뮬레이션. 한국농업기계학회지 15(5) : 290-297.
5. Akama, J. 1983. Electronic control system for farm tractor. Tech. J. of Isigawajimaha 23(2) : 133-135.
6. Alderson, L. L. 1984. Electronic hitch control. ASAE publication 8-84 : 60-66.
7. Ayers, P. D. and K. Venugopal Varma. 1987. Personal computer aided design(PCAD) of electro-hydraulic control systems. Trans. of the ASAE 3(2) : 241-246
8. Dell'Acqua, R., g. Dell'orto, r. Guagliumi, G. Amedei and A. Cevoloni. 1986. Agricultural vechicle electronics-A new hitch control. SAE paper No. 860479.
9. Dobrinska, R. and R. Jarboe. 1981. The development and application of electro-hydraulic control system for case 4WD tractors. SAE. paper No. 810941.
10. Hess, H. and W. Schrader. 1984. Hitch system comparison mechanical, hydraulic, electronic. SAE paper No. 841130.
11. Hobbs, J. and H. Hesse. 1980. Electronic/ Hydaulic hitch control for agricultural tractors. SAE paper No. 801018.
12. Lourigan, P. and K. Patel. 1979. Agricultural tractor electrohydraulics. SAE. paper No. 790848.
13. Squire, R. E. 1984. Electronic draft control system. ASAE publication 8-84 : 67-75.