

트랙터의 電子油壓式 히치 制御 시스템에 관한 研究(II)★

-牽引力制御-

Electronic-hydraulic Hitch Control System for Agricultural Tractor

-Draft Control-

劉壽男*, 柳寬熙**, 尹汝斗***

S. N. Yoo, K. H. Ryu, Y. D. Yun

Summary

The purposes of this study were to develop an electronic-hydraulic draft control system for tractor implements, to investigate the control performance of the system and the possibility of adaptation to the conventional tractor.

Experiments were carried out to investigate the responses of the system to the step and sinusoidal inputs in draft control. The effects of control mode, hydraulic flow rate, reference deadband, and proportional constant on control performance of the system were investigated. Moreover, the effects of filtering signals from draft sensor were also investigated.

The following conclusions were derived from the study;

1. In draft control, there were hunting problems in controlling the implement without filtering the draft signals. Filtering was performed by a control program of electronic controller and the control performance and stability of the system were improved significantly.
2. For the draft control system operated on on-off control mode, draft was controlled within $\pm 27 - \pm 55 \text{ kg}_f$ to the reference draft when the hydraulic flow rates were 5-15 l/min. For the draft control system operated on PWM control, draft was controlled within $\pm 27 \text{ kg}_f$ to the reference draft regardless of hydraulic flow rates.
3. In the frequency responses of the draft control system, control performance on PWM control mode was not better than on on-off control mode because of characteristics of hydraulic valve and draft sensor. As the hydraulic flow rates increased for the system operated on on-off control mode, the corner frequency of amplitude attenuation increased, but the corner frequency of phase-angle change remained nearly the same. But, the system was unstable beyond the frequency of 3.1 rad/s.
4. The electronic-hydraulic hitch control system developed in this study showed superior control performance, stability and convenience compared to conventional mechanical-hydraulic hitch control system. It is considered to be a superior replacement for the conventional mechanical-hydraulic hitch control system.

★본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원(1987)으로 수행되었음

*전남대학교 농과대학 농공학과

**서울대학교 농과대학 농공학과

***국제종합기계(주)

1. 緒 論

작업기에 걸리는 견인력을 제어하기 위한 研究는 1925년에 Ferguson이 쟁기를 부착한 소형 트랙터의 상부링크에 걸리는 負荷를 기계적 기구를 통해 유압제어밸브 스피클에 變位로 전달시킴으로써 자동적인 작업기의 승강이 이루어지도록 하여 耕深을 자동적으로 조절하는 牽引力制御 시스템을 처음으로 창안한 이후 활발히 전개되었다.

기존의 트랙터에 채용된 기계유압식 히치제어 시스템의 이론적인 分析과 實驗을 통하여 作業條件 및 주요 作動因子의 변화에 따른 牽引力制御의 성능평가와 牽引力制御의 개선을 위한 시스템의 개량 등에 많은 研究가 이루어졌다^{1)~4), 11), 12), 19)~21)}. 그러나, 機械油壓式 制御시스템은 트랙터가 大型化되고 高速化됨에 따라 다양한 작업조건하에서 원활하고 용이한 견인력제어가 어려워 시스템의 보완이 요구되고 있으며, 이에따라 최근에 전자유압식 히치제어 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

작업기의 견인력을 제어하기 위한 電子油壓式 히치制御 시스템에 대한 研究는 주로 制御시스템의 구성과 구성요소의 특성에 대하여 많이 이루어졌으며^{2), 9), 10), 16), 18)} 이미 트랙터에 채용되어 實用化되는 단계에 있다. 그러나 이들 制御 시스템의 구체적인 성능평가에 대한 研究는 거의 찾아볼 수 없는 형편이다.

이에 따라 本 研究는 작업기의 牽引力制御를 할 수 있는 電子油壓式 히치制御 시스템을 설계 개발하고, 牽引力制御 實驗을 통하여 그의 制御 性能을 파악하고자 하였으며, 그 구체적인 研究 目的은 다음과 같다.

(1) 設定入力부의 신호와 牽引力센서의 신호를 받아 이들 신호를 比較하여 油壓回路에 구동신호를 보내는 電子制御부와 電子制御부의 신호를 받아 3점 히치 링케이지를 구동시키는 油壓回路를 설계 제작하여 작업기의 牽引力을 제어할 수 있는 電子油壓式 히치制御 시스템을 개발한다.

(2) 電子油壓式 히치制御 시스템의 牽引力制御시 유압밸브의 구동방식, 油壓回路의 유량 그리고 不感帶 및 比例常數의 설정에 따른 階段入力과 正弦

波 입력에 대한 應答性을 實驗, 分析함으로써 시스템의 制御性能을 究明한다.

(3) 電子油壓式 히치制御 시스템을 기존의 機械油壓式 制御시스템과 比較하여 實用化 가능성을 검토한다.

2. 制御시스템의 設計

본 연구에 사용된 트랙터 작업기의 牽引力制御를 위한 制御시스템의 주요 構成部는 前報(I)의 위치제어의 구성부이다 견인력센서를 추가하여 구성하였다.

가. 設定入力部

設定入力부는 牽引力, 不感帶, 比例常數를 설정토록 하였는데 50K Ω 의 捲線形 로터리 포텐쇼미터를 이용 DC 0-5V의 출력을 내도록 하였다. 이와 같은 출력은 牽引力 설정의 경우 작업기만을 부착한 상태를 기준으로 0kgf에서 1,340kgf까지 상부링크에 수평력이 더 걸릴 수 있도록 설정할 수 있으며, 不感帶 설정에서는 0- $\pm 1,340$ kgf까지, 比例常數는 0-1.33까지 설정 가능한 것이다.

나. 電子制御部

電子制御부의 構成圖는 前報(I)의 위치제어의 경우와 같이 A/D 변환기, 마이크로컴퓨터, 유압밸브 驅動回路로 구성시켰으며, 마이크로컴퓨터 작동 프로그램만을 달리하였다.

그림 2.1은 牽引力制御시의 on-off制御方式에 의한 작동 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다. 설정 牽引力신호 Rd, 설정 不感帶신호 DBd, 牽引力센서의 출력신호 Sd를 A/D 변환기로 받아들였는데, 예비실험 결과 牽引力센서의 신호는 매우 불규칙하게 진동하는 것으로 나타났으므로 순간의 데이터를 받아들여 이 신호만에 의하여 제어를 수행하기에는 어려움이 따랐다. 따라서 원활한 제어를 위해 신호를 프로그램에 의하여 필터링하였는데 移動平均法을 이용하였다. 이 방법은 평균할 데이터의 수 N을 설정 입력하고 새로운 데이터를 받아 들이면 N개의 이미 받아들였던 데이터중 제일 먼저 받아들

인 데이터를 제거하고 새로 받아 들인 데이터를 넣어 이들을 평균해 가는 방법이다. 본 프로그램에서는 설정 牽引力신호 Rd와 牽引力센서 신호 Sd의 차를 필터링하여 구동신호 Ed를 계산하였으며, Ed가 不感帶안에 포함되면 작업기의 정지신호를, 不感帶에 포함되지 않고 Ed가 양인 경우는 하강신호를, 不感帶에 포함되지 않고 Ed가 음인 경우는 상승신호를 출력토록 하였다.

새로 받아들이는 牽引力센서의 데이터가 0이면 작업기의 승강이 정지토록 하였는데, 이는 작업기에 토양에 의한 저항이 걸리지 않게 되거나 또는 작계 걸리는 경우로써 작업기를 그 이상 상승치 못하게 하기 위함이다. 예비실험에서 이와같은 조건을 설정치 않으면 설정 牽引力 수준이 작은 경우 작업기가 계속 상승하는 현상이 나타났는데 이는 작업기가 상승하다가 갑자기 정지하게 되면 牽引力센서에 큰 압축력이 충격적으로 가해지고 마이크로컴퓨터에 이들 신호가 들어오기 때문이다.

牽引力制御시 PWM 制御方法에 의한 작동프로그램

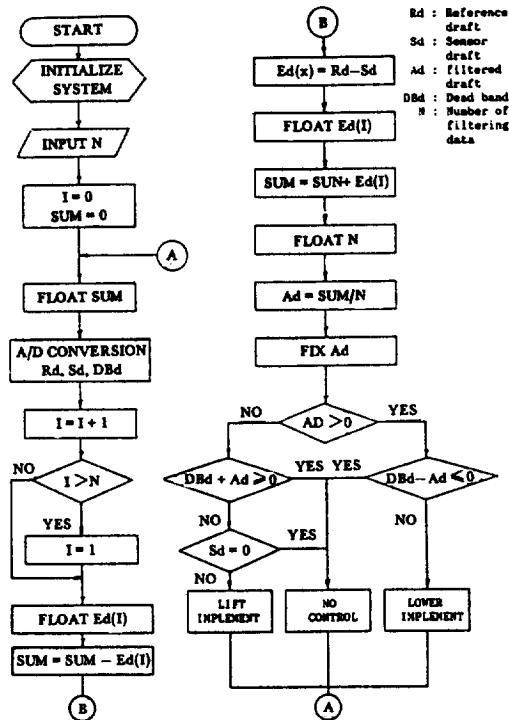


Fig. 2.1 Flow chart of on-off draft control with dead band.

램으로 구동신호 Ed에 비례하여 유압밸브의 작동시간을 조절토록 하였는데, on-off 制御方法과 차이점은 필터링을 한 신호를 플로팅화하여 타이머에 출력하는 신호 Td를 부동소숫점 연산에 의해 계산하고 이를 整數化하여 타이머에 출력하게 되다는 점이다.

다. 油壓回路, 3점히치링케이지 및 작업기

트랙터의 3점히치 링케이지를 구동시켜 작업기의 승강을 수행하는 유압시스템의 回路圖, 작업기를 연결하고 유압시스템에 의하여 작업기를 승강시키는 3점히치 링케이지와 실험을 위한 작업기는 前報(I)의 위치제어의 경우에 사용된 것을 이용하였다.

라. 牽引力센서

牽引力센서로는 그림 2.2에서와 같이 상부링크 부착부를 개조하여 350Ω의 포일형 스트레인게이지를 부착하고, 상부링크에 작용하는 수평력만을 감지토록 회로를 구성하여 작업기에 걸리는 부하의 수준을 측정토록 하였다. 식(2.1)은 牽引力센서에 유압 작동의 1軸 壓縮試驗機로 수평력을 가하여 얻은 測定設定 결과로서 다음과 같은 回歸式으로 나타낼 수 있었다.

$$Y = 0.00445X + 0.0208 (R^2 = 0.997) \dots\dots (2.1)$$

여기서, X: 힘, (kgf)

Y: 전압, (V)

한편 牽引力센서의 출력은 작업기가 장착된 상태에서 작업기에 부하가 안걸렸을 때를 0V, 1,120kgf가 걸렸을 때를 5V로 출력하도록 增幅器의 이득과 offset를 조정하였다. 본 실험 시스템의 경우 작업기가 장착된 상태에서 부하가 없는 경우에는 상부링크에 작용하는 수평력이 약 220kgf의 引張力으로 나타났다. 따라서 牽引力센서에 의하여 측정할 수 있는 상부링크의 수평력은 -220kgf - 1,120kgf의 범위가 되며, 이는 외부의 負荷(토양저항력)에 의하여 牽引力센서에 가해지는 壓縮力을 1,340kgf까지 감지할 수 있음을 의미한다.

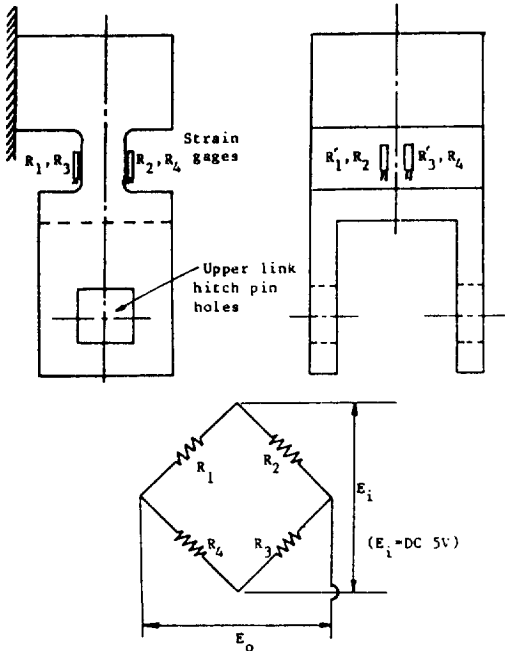


Fig. 2.2 Structure of transducer and wheatstone bridge arrangement for measuring the draft force.

3. 實驗裝置 및 實驗方法

가. 實驗 및 計測裝置

制御시스템의 성능평가를 위한 應答特性 실험용 실험장치와 계측장치는 前報 (I)에서와 같으며, 다만 견인력을 감지기 위하여 견인력센서를 상부링크 부자부에 추가 설치하여 이를 측정하였다.

나. 實驗計劃

牽引力制御時 制御시스템의 성능평가를 위한 應答特性 실험도 位置制御와 마찬가지로 階段入力和 正弦波 入力を 設定入力部에서 가하여 이에 대한 應答를 조사하였다.

표 3.1은 階段入력에 대한 實驗計劃을 나타낸 것이다. 階段入력은 작업기가 하강시 즉 牽引力이 증가하는 경우 牽引力센서의 出力이 0V에서 2V로 (견인력센서에 작용하는 힘은 220kgf의 引張力에서 316kgf의 壓縮力으로 변화하여 부하에 의하여 536kgf의 壓縮力이 증가) 변화하도록 入力を 가하였다.

며, 작업기가 상승시, 즉 牽引力이 감소하는 경우에는 牽引力센서의 出力이 2V에서 1V로(牽引力센서에 작용하는 힘은 316kgf의 壓縮力에서 48kgf의 압축력으로 268kgf의 壓縮力이 감소) 변화하도록 하였다.

on-off 制御方式에서는 작업기의 상승 및 하강시의 유압회로 유량수준, 이동평균법에 의해 필터링을 하는 경우 평균하는 데이터의 수, 不感帶의 설정에 따른 應答를 비교 분석하였으며, PWM 制御方式에서는 유압회로의 유량수준, 필터링 수준, 설정比例常數의 크기 不感帶 설정에 따른 시스템의 應答를 비교 분석하므로써 制御시스템의 설정牽引力에 대한 제어의 정확도와 필터링에 따른 應答特性을 파악하도록 하였다.

표 3.2는 正弦波入력에 대한 實驗計劃을 나타낸 것이다. 正弦波 入력은 $1.5 + 0.5 \sin(2\pi ft)$ [V] (牽引力센서에 실제 작용하는 힘은 $182 + 134 \sin(2\pi ft)$ [kgf]의 壓縮力, 작업기 견인부하에 의해 牽引力센서에는 $402 + 134 \sin(2\pi ft)$ [kgf]의 壓縮力이 가해진 상대시 변동)로 변화시켜 振幅이 1V(牽引力센서에서의 힘의 振幅은 268 kgf)가 되도록 하여 가하였다. 실험은 on-off 制御方式, PWM 制御方式에 따라 유압회로의 유량수준과 필터링하는 경우 평균하는 데이터의 수를 달리하여 正弦波 入력의 周波數 변동에 따른 應答를 비교 분석하였다. 이 경우 설정되는 不感帶의 크기와 比例常數는 階段入력에 대한 실험결과를 근거로 설정하였다. 또한 설정牽引力 入력의 周波數에 따른 振幅의 변화와 位相差를 분석하여 制御시스템의 변동入력에 대한 追從性을 구명하였다.

다. 實驗方法

牽引力制御의 경우에는 토양에 의한 저항력이 작업기에 가해져야 한다. 토양에 의한 저항력은 측방향의 성분은 무시하는 경우 수평, 수직성분만 작용하게 되는데, 水平抵抗力은 작업기를 상승시키려는 힘이며, 垂直抵抗力은 반대로 작업기를 하강시키는 방향의 힘이 된다. 또한, 牽引力센서에는 수평저항력은 壓縮力으로, 垂直抵抗力은 引張力으로 작용하여 나타난다.

Table 3.1 Experimental plot for investigating the responses of draft control system to the step inputs.

Control Mode	Flow Rate Qm (l/min)	Filtering Level, N	Dead Band, DBd (Kgf)	Proportional Constant, Kd	Remarks
On-Off	5	1, 10, 50	±40, ±27, ±13	—	Lowering Lifting
	10	1, 10, 50	±54, ±40, ±27	—	Lowering Lifting
	15	1, 10, 50	±94, ±67, ±54 ±40	—	Lowering Lifting
PWM	5	1, 10, 50	0, ±17	0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2	Lowering Lifting
	10	1, 10, 50	0, ±27	0.6, 0.4, 0.2, 0.15, 0.13, 0.1	Lowering Lifting
	15	1, 10, 50	0, ±34	0.27, 0.2, 0.15, 0.13, 0.1	Lowering Lifting

Table 3.2 Experimental plot for investigating the responses of draft control system to the sine inputs.

Control Mode	Flow Rate, Qm (l/min)	Filtering Level, N	Dead Band, DBd (Kgf)	Frequency F(Hz)	Proportional Constant, Kd
On-Off	5	1, 10, 50	± 27	0.02, 0.1, 1.0	—
		10	± 27	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	—
	10	1, 10, 50	± 40	0.02, 0.1, 1.0	—
		10	± 40	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	—
	15	1, 10, 50	± 54	0.02, 0.1, 1.0	—
		10	± 54	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	—
PWM	5	1, 10, 50	± 17	0.02, 0.1, 1.0	0.4
		10	± 17	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	0.4
	10	1, 10, 50	± 27	0.02, 0.1, 1.0	0.2
		10	± 27	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	0.2
	15	1, 10, 50	± 34	0.02, 0.1, 1.0	0.13
		10	± 34	0.15, 0.2, 0.5, 0.8	0.13

본 制御시스템의 應答特性을 구하는데 있어서 토양중에서 작업기의 위치에 따라 변동하는 이들 힘을 인위적으로 가하기가 곤란하여 하부링크 히치점으로 부터 약 152cm 떨어진 플라우 작업기의 후미에 引張코일스프링을 장치하여 플라우 작업기가 하강함에 따라 하강변위에 비례하여 스프링이 引張됨으로써, 토양저항력에 해당하는 힘이 작업기에 가해지도록 하였으며, 동시에 상부링크의 牽引力센서에는 壓縮力이 작용토록 하였다.

본 실험에서는 位置센서의 出力이 2.5V(록 샤프트의 각도로 36.5°)인 작업기의 位置에서 牽引力센서의 出力이 0V가 되도록 스프링을 중립으로 조정하여 실험하였다. 牽引力센서의 出力이 2V(牽引力센서에서 316kgf의 壓縮力이 작용하고, 스프링에 의해 牽引力센서에 536kgf의 壓縮力이 더 가해진 상태)일 때는 位置센서의 出力이 약 1.3V(록샤프트의 각도로 19.0°)로 나타났는데 이는 작업기가 약 18.1cm 하강한 것이 된다. 따라서, 작업기는 引張

스프링에 의하여 약 29kgf/cm의 부하가 牽引力 센서에 걸리는 상태가 된다.

階段入力에 대한 시스템의 應答는 조기의 견인력 센서의 出力을 맞춘 상태에서 制御시스템을 끄고 設定入力부의 포텐쇼메터를 설정牽引力에 맞추고 난 다음 다시 制御시스템을 작동시켜 설정牽引力 만큼 牽引力센서의 出力이 나타나도록 하였으며, 正弦波의 入力은 牽引力설정 포텐쇼메터에 의한 신호 대신 函數發生器에 의한 신호를 가하여 시스템의 應答를 구하였다.

4. 結果 및 考察

가. 階段入力에 대한 制御시스템의 應答

1) on-off 制御方式에 의한 應答

그림 4.1은 마이크로컴퓨터에서 신호를 필터링 하지 않았을 경우 유압회로의 유량이 15 l/min일 때 不感帶를 조정하여 設定牽引力 부근에서 작업기의 계속적인 헌팅이 일어나지 않도록 하였을 때의 應答例를 나타낸 것이다.

그림에서 나타난 바와 같이 작업기가 운동을 시작할 때나, 운동을 멈출 때는 급격한 가속 및 감속의 충격력이 牽引力센서에 가해지는 것을 알 수 있으며, 이의 영향으로 작업기가 상승 및 하강함에 따라 牽引力센서의 출력은 비선형현상을 나타냈는데 유압회로의 유량수준이 클수록 즉 작업기의 승강속도가 빠를수록 이러한 경향은 심하게 나타났다.

이와같은 牽引力센서의 출력변동에 따른 제어의 불안정을 감소시키기 위하여 작동프로그램에서 移動平均法에 의한 필터링을 행하도록 하였다. 그림 4.2는 필터링을 하였을 경우 평균하는 데이터의 수를 10개로 설정하였을 때 制御시스템의 應答例를 나타낸 것이다.

유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min일 때, 不感帶를 작업기의 하강 및 상승시에 ± 27 kgf, ± 40 kgf, ± 54 kgf로 각각 설정함으로써 작업기의 헌팅이 없는 제어가 가능하였다. 이것은 필터링을 하지 않는 경우보다 전반적으로 不感帶를 감소시켜 제어의 正確度를 개선시킬 수 있었음을 나타내고 있으며, 특히 유압회로의 유량수준이 커

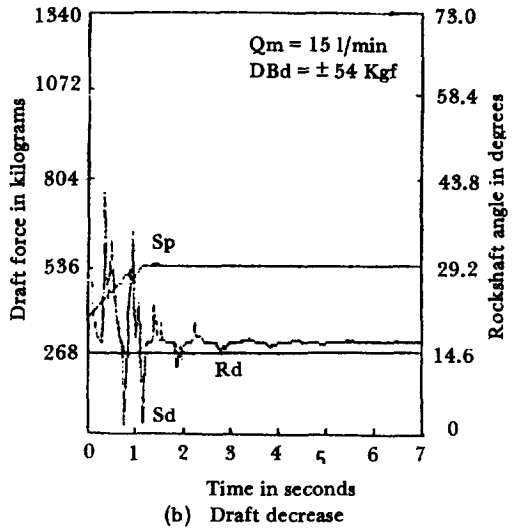
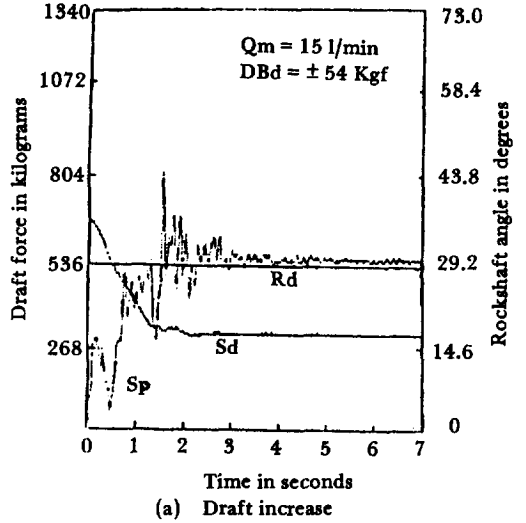
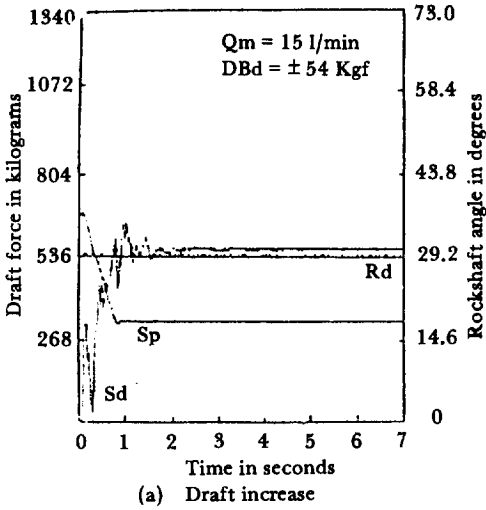


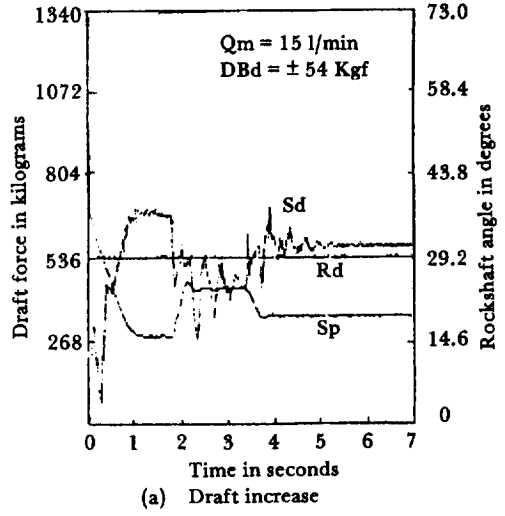
Fig. 4.1 Step responses of the draft control system operated on on-off control mode when signals were not filtered (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, Qm: Flow rate, DBd: Deadband).

서 牽引力센서의 출력변동이 클 때 효과가 컸음을 알 수 있었다.

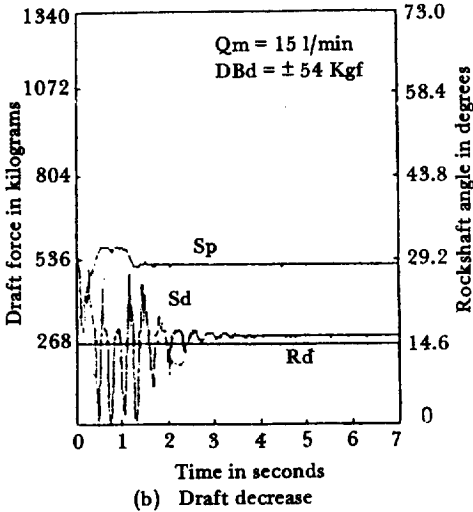
그림 4.3은 필터링을 하였을 경우 평균하는 데이터의 수를 50개로 설정하였을 때 制御시스템의 應答例를 나타낸 것이다. 이 경우 制御시스템의 應答는 전반적으로 오우버슈트가 생기면서 減衰振動하여 설정된 牽引力에 접근하는 경향을 나타냈다. 유



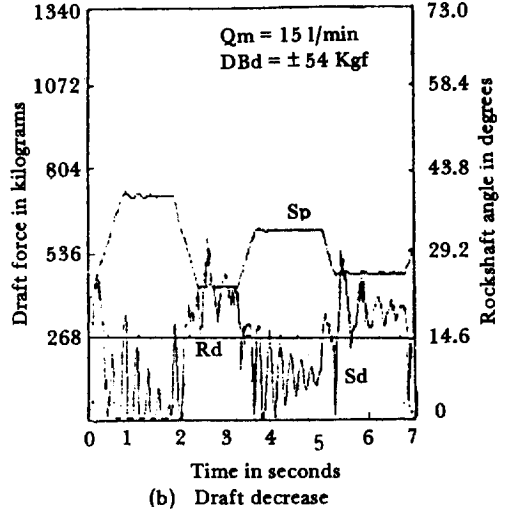
(a) Draft increase



(a) Draft increase



(b) Draft decrease



(b) Draft decrease

Fig. 4.2 Step responses of the draft control system operated on on-off control mode when signals were filtered ($N=10$) (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, Qm: Flow rate, DBd: Deadband).

Fig. 4.3 Step responses of the draft control system operated on on-off control mode when signals were filtered ($N=50$) (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, Qm: Flow rate, DBd: Deadband).

압회로의 유량증가에 따라 평균하는 데이터수가 많을수록 오버슈트의 크기는 커지게 되며, 不感帶 내에서 설정牽引力에 제어되기까지 걸리는 시간도 길어지는 것으로 나타나 시스템의 추종성이 크게 떨어짐을 알 수 있었다.

2) PWM 制御方式에 의한 應答

PWM 제어시 신호의 필터링을 하지 않고 유압회

로의 유량수준에 따라 비례상수 K_d 를 달리하여 실험한 결과는 일반적으로 설정 牽引力 부근에서 on-off 制御方式에 의한 경우보다 牽引力센서의 출력 변동은 더 심하게 나타났다. 이는 PWM 펄스에 의한 유압밸브의 전환이 많아지기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서, PWM 제어방식에 의하여 필터링없이 牽引力制御를 수행하기에는 매우 어려움을 알 수 있었다.

牽引力센서의 출력변동이 순간적으로 심하게 나타나더라도 신호를 필터링하므로써 지속적인 현상 현상이 없는 제어가 가능하여 制御性能을 개선시킬 수 있었으며, 필터링을 하여 제어하는 경우 평균하는 데이터의 수에 따른 시스템의 應答는 on-off 제어방식의 경우와 마찬가지로의 경향을 보였다.

비례상수 Kd에 따른 시스템의 應答를 살펴보면 유압회로의 유량이 5 l/min일 경우 작업기가 상승

또는 하강시 比例常數 Kd 값이 0.2, 0.4, 0.6일 때, 10 l/min일 경우는 0.13, 0.2, 0.4일 때, 15 l/min일 경우는 0.1, 0.13, 0.27일 때 작업기의 현상현상이 없이 제어가 됨을 보였다.

그림 4.4는 필터링하여 제어하는 경우 평균하는 데이터의 수를 10개로 하고 불감대를 설정하였을 때 應答例를 나타낸 것이다. 유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min일 때 不感帶를 각각 ± 17 kgf, ± 27 kgf, ± 34 kgf로 설정함으로써 설정치 부근에서의 작업기의 진동현상이 줄어들었고, 따라서 不感帶의 설정은 안정적인 제어를 위하여 필요한 것으로 판단되었다.

나. 正弦波 입력에 대한 制御시스템의 應答

1) on-off 制御方式에 의한 應答

신호의 필터링을 하지 않았을 경우 유압회로의 유량 및 설정입력의 周波數에 따른 制御시스템의 應答는 設定牽引力 입력에 대하여 牽引力센서의 출력이 크게 변동하면서 추종하였으며, 작업기 또한 크게 진동을 하면서 움직여 원만한 제어가 곤란하였다. 이는 유압회로의 電磁操作 方向制御밸브의 급격한 개폐로 인하여 작업기가 급격히 가속 및 감속함에 따라 牽引力에 충격력과 함께 이에 따른 진동이 수반되었기 때문이라 생각되었다.

그림 4.5는 移動平均法에 의해 신호의 필터링을 하는 경우 평균하는 데이터의 수를 10개로 설정하였을 때 유압회로의 유량이 5 l/min인 경우 周波數에 따른 應答를 나타낸 것이다.

設定牽引力 입력의 周波數가 0.02 Hz로 느리게 변화하는 경우 牽引力센서의 출력은 작업기가 운동을 시작하고 멈출 때만 순간적인 진동을 나타낼 뿐 큰 진동없이 제어가 잘 이루어지는 것으로 나타났으며, 位置센서의 출력 즉 작업기의 운동 또한 진동없이 이루어지고 있음을 보였다.

設定牽引力 입력의 周波數가 0.10 Hz인 경우에는 牽引力센서의 출력은 진동을 하면서 추종하는 경향을 보이고 있으나, 位置센서의 출력은 불규칙하거나 지속적인 진동없이 안정된 모습을 보였다. 이는 작업기에 걸리는 牽引力이 경침에 따라 일정하게 걸리게 된다면, 작업기에 걸리는 실제 牽引力은 실

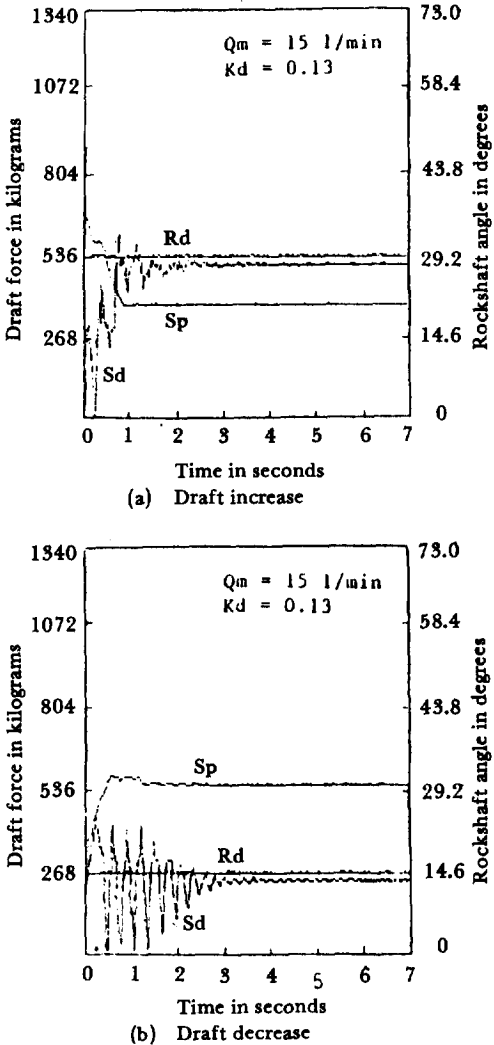


Fig. 4.4 Step responses of the draft control system operated on PWM control mode with deadband when signals were filtered (N= (10) (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, Qm: Flow rate, Kd: Proportional constant).

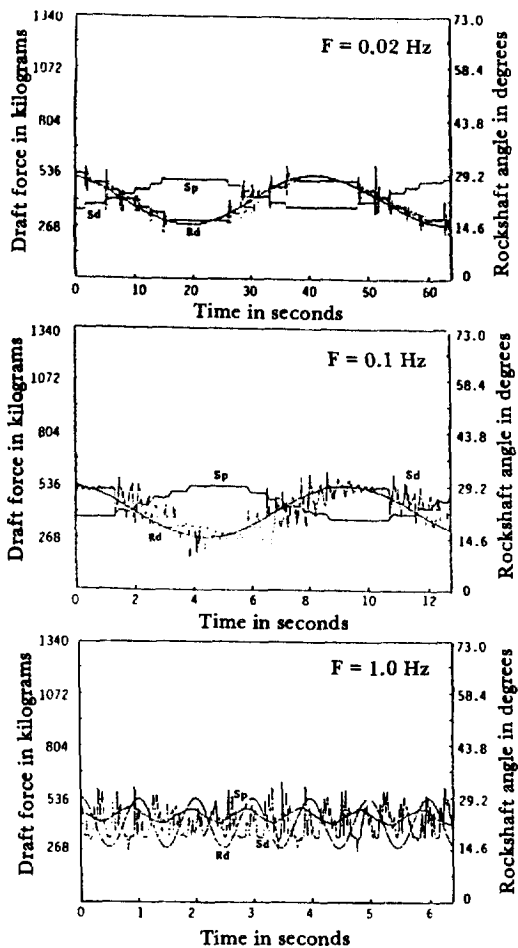


Fig. 4.5 Sinusoidal responses of the draft control system operated on on-off control mode with ± 27 kgf deadband and the flow rate of 5 l/min when signals were filtered ($N=10$) (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, F: Frequency).

정 견인력에 대하여 잘 추종되고 있음을 의미한다.

한편 設定牽引力 입력의 周波數가 1.0 Hz 인 경우에는 牽引力센서의 출력이 매우 불규칙하게 나타났으나 작업기의 운동은 비교적 설정 牽引力에 정상적으로 추종하였다.

유압회로의 유량이 10 l/min, 15 l/min로 증가하는 경우에도 설정 牽引力의 周波數가 0.02 Hz, 0.10 Hz 에서는 不感帶의 설정이 커지기 때문에 작업기 운동의 振幅 및 位相差가 약간씩 커지는 것으로 나타났으나 비교적 제어가 잘 이루어졌으며, 1.0 Hz 에

서도 유압회로의 유량에 관계없이 位相差가 크거나 타났고 작업기의 운동이 불규칙하여 시스템의 追從性이 크게 떨어짐을 알 수 있었다.

설정 牽引力의 周波數 변동에 따라 牽引力센서 출력 振幅의 감소와 位相差를 구하는 것은 작업기의 운동에 따른 牽引力센서의 출력변동이 매우 심하였기 때문에 곤란하였다. 그러나 位置센서의 출력 즉 작업기의 位置를 근거로 하여 靜의 상태에서 작업기에 걸리는 부하에 따른 牽引力센서에 나타나는 힘을 고려하여 이의 개략적인 경향은 파악할 수 있었다.

그림 4.6은 設定牽引力의 周波數 변동에 따른 작업기의 位置를 고려한 제어시스템의 對數利得 曲線을 나타낸 것이다. 유압회로의 유량이 10 l/min, 15 l/min의 경우에는 약 6.3 rad/s의 周波數까지 거의 利得의 감소없이 제어가 되었고 5 l/min인 경우에는 약 3.1 rad/s의 周波數까지 利得감소가 없이 제어되었다.

그림 4.7은 設定牽引力 입력의 周波數 변동에 따른 制御시스템의 位相差를 나타낸 곡선이다. 그림에서와 같이 시스템의 應答은 유압회로의 유량에 관계없이 약 2.5 rad/s의 周波數에서 位相差가 벌어지는 것으로 나타났다.

따라서 유압회로의 유량을 증가시키더라도 牽引力센서의 출력의 변동 때문에 利得의 감소 및 位相差가 나타나는 周波數는 증가시킬 수 없는 것을 알

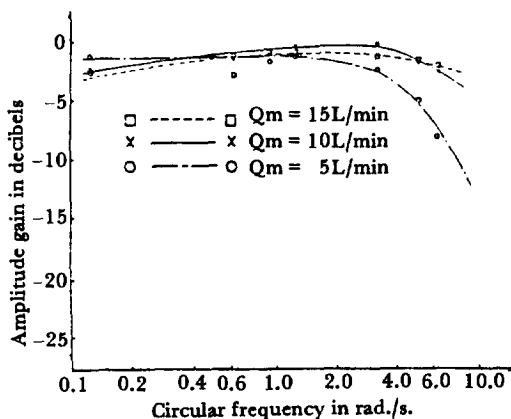


Fig. 4.6 Frequency responses of the draft control system operated on on-off control mode with different flow rates (Gain plots).

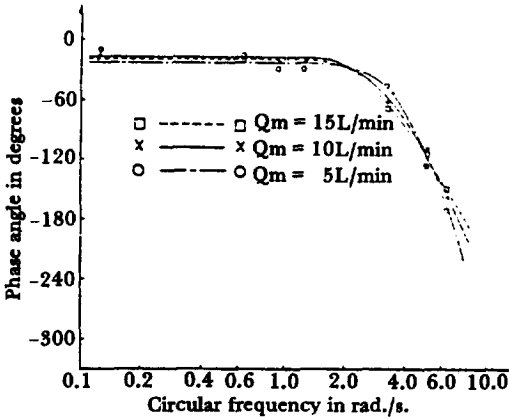


Fig. 4.7 Frequency responses of the draft control system operated on on-off control mode with different flow rates (Phase-angle plots).

수 있었고, 오히려 유압회로의 유량이 작았을 때가 不感帶의 설정이 작았기 때문에 정확하고 안정적인 제어가 이루어 지는 것으로 판단되었다.

2) PWM 制御方式에 의한 시스템의 應答

신호의 필터링을 하지 않고 시스템을 작동시켰을 때는 on-off 制御方式에서와 마찬가지로 牽引力센서의 출력이 크게 변화하면서 설정입력에 추종하는 모습을 보였으며 작업기의 진동이 심하게 나타났다.

그림 4.8은 移動平均法에 의하여 신호의 필터링을 하였을 때 평균하는 데이터의 수를 10개 설정하

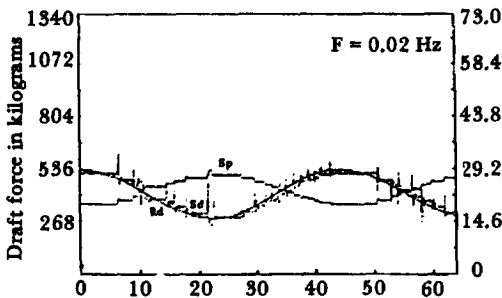


Fig. 4.8 Sinusoidal responses of the draft control system operated on PWM control mode with $K_d = 0.4$, ± 17 kgf deadband and the flow rate of 5 l/min when signals were filtered ($N=10$) (Rd: Reference draft, Sd: Draft sensor output, Sp: Position sensor output, F: Frequency).

였을 경우 시스템의 應答例을 나타낸 것이다.

설정입력의 周波數가 0.02 Hz와 0.1 Hz에서는 牽引力센서의 출력 변동이 있더라도 유압회로의 유량에 관계없이 설정 牽引力에 잘 추종하는 것으로 나타나 on-off 制御方式과 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 周波數가 1.0 Hz에서는 牽引力센서의 출력이 매우 불규칙하게 진동하는 모습을 보여 제어가 제대로 이루어지고 있지 않음을 알 수 있었다.

유압회로의 유량변화에 따라 유량이 5 l/min인 경우에는 周波數가 1.0 Hz까지 牽引力센서의 출력이 크게 변하더라도 位置센서의 출력이 일정하게 나왔으나, 유량이 10 l/min, 15 l/min로 증가하였을 때는 0.5 Hz 이상의 周波數에서 位置센서의 출력이 불규칙하게 나오는 경향이 있었다. 이는 유압회로의 유량증가에 따라 유압밸브의 급격한 개폐로 인해 牽引力센서에 대한 충격력이 크게 증가하기 때문이며, 따라서 원만한 제어를 수행하기 어려운 것으로 판단되었다.

on-off 제어에서와 마찬가지로 작업기의 位置를 근거로 하여 周波數에 따른 設定牽引力 입력에 대한 牽引力센서 출력의 개략적인 對數利得 曲線과 位相差를 분석한 결과 10개의 데이터를 필터링한 PWM 제어는 유압회로의 유량에 관계없이 약 3.1 rad/s의 周波數까지 거의 利得의 감소없이 제어가 가능하였음을 알 수 있었으며, 位相差는 유압회로의 유량에 관계없이 거의 1 rad/s의 周波數에서 점차 증가하는 현상을 보였다.

따라서, 유압회로의 유량이 증가하더라도 작업기에 의한 牽引力센서의 충격력 때문에 제어의 개선 효과는 거의 없는 것으로 판단되며, 오히려 유압회로의 유량이 적은 경우가 안정적이고 정확한 제어를 할 수 있음을 알 수 있었다.

on-off 制御方式과 비교하여 볼 때 PWM 制御方式에 의한 제어는 利得의 감소와 位相差가 나타나는 周波數가 작게 나타나 변동하는 牽引力에 대한 制御性能의 개선이 없음을 알 수 있었다.

다. 制御시스템의 性能

1) 操作性

작업기를 승강시켜 설정 牽引力만큼 정확히 牽引

력이 걸리도록 제어할 수 있는가 하는 문제는 制御 시스템이 갖고 있는 不感帶의 크기에 따라 달라진다. Taniguchi(1972) 등은 상부링크 감지식 45마력급 트랙터의 機械油壓式 牽引力 制御시스템의 경우, 유압밸브 스톱의 不感帶 때문에 상부링크에 약 100 kgf 이하의 힘의 변화에 대해서는 하부링크의 변위가 나타나지 않았다고 보고하였는데, 이는 不感帶가 적어도 100 kgf이 된다는 것을 의미한다. 또한 機械油壓式 制御시스템에서는 不感帶를 변화시킬 수 없기 때문에 牽引力이 작게 변화할 때에는 不感帶가 너무 커 제어의 正確도가 떨어질 가능성이 있으며, 반대로 牽引力이 크게 변화할 때에는 不感帶의 설정이 작아 작업기의 현팅현상이 나타날 수 있다. 반면 본 히치制御 시스템에서는 不感帶 조정을 할 수 있기 때문에 주어진 작업상황에 맞는 제어가 가능하며, 牽引力制御의 應答실험 결과 설정된 不感帶의 크기는 기존의 機械油壓式 制御시스템의 不感帶보다 작아 정확히 설정 牽引力만큼 작업기에 전인저항이 걸리도록 제어시킬 수 있는 것으로 판단되었다.

한편 히치制御 시스템의 on-off 형태로 구동되는 유압밸브의 특성과 牽引力센서의 특성 때문에 on-off 制御方式이 PWM 制御方式보다는 유리할 것으로 판단되었다. 이는 on-off 制御方式에 의한 것이 電子制御部의 구성과 작동 프로그램의 단순화, 제어의 용이성을 기할 수 있고, 制御性能도 떨어지지 않는 것으로 나타났기 때문이다.

2) 應答性

작업기의 전인저항이 변동하는 경우 制御시스템은 작업기를 승강시켜 전인저항이 일정하게 걸리도록 제어하는데 制御시스템의 利得을 크게 할수록 제어시스템의 應答속도를 빨리 할 수 있어 制御性能의 개선이 가능하나, 제어시스템의 利得은 시스템 자체의 遲延時間과 작업기의 현팅현상에 의하여 그 크기가 제한이 된다. 機械油壓式 制御시스템에 비하여 본 制御시스템은 遲延時間이 짧기 때문에 制御시스템의 利得을 증가시킬 수 있으며, 따라서 制御시스템의 應答속도를 증가시킬 수 있는 가능성이 있다.

Taniguchi(1972) 등은 機械油壓式 牽引力制御 시스템의 상부링크에 正弦波의 힘을 가하였을 때 약 0.2Hz 정도에서 利得의 감소와 位相差가 점차 크게 나타나는 것으로 보고하였다. 그러나 본 히치制御 시스템에서는 on-off 제어방식으로 구동하는 경우 약 0.4Hz까지 利得의 감소 및 位相差의 변화가 나타나지 않아서 변동하는 牽引力에 대한 應答속도와 追從性은 기존의 機械油壓式 制御시스템보다 우수한 것으로 판단되었다.

한편 작업속도가 증가함에 따라서 正弦波 특성의 토양에서 牽引力制御 시스템의 耕深制御 성능이 나빠지게 되는데, 이는 작업속도증가에 따라 牽引力센서에 나타나는 牽引力의 변동 주파수가 커짐을 의미하며, 制御시스템은 변동하는 牽引力에 대하여 빠른 應答을 보이지 못하기 때문에 耕深의 변화가 커지게 된다. 따라서 機械油壓式 히치制御 시스템보다 본 히치制御 시스템은 빠른 應答이 가능하기 때문에 耕深制御 성능도 우수한 것으로 판단된다.

3) 安定性

牽引力 制御시스템의 安定性은 설정하는 不感帶의 크기에 따라 달라지는데 不感帶가 크면 작업기의 현팅현상을 줄일 수 있으나 정확한 牽引力 제어가 곤란해진다. Dwyer(1974)는 작업기의 불안정 즉 현팅을 유발시키는 조건을 不感帶가 遲延時間, 승강속도, 耕深에 따른 전인저항 변화의 곱보다 작게 설정되었을 때 일어난다고 하였으며, Cowell 등(1977)은 여기에 牽引力센서의 利得까지 고려하여 불안정의 조건을 유발하는 不感帶를 제시하였다. 따라서, 작업기의 승강속도, 토양의 상태에 따라서 不感帶를 달리 설정해야 되는데, 기존 機械油壓式 制御시스템에서는 不感帶가 일정하게 설정되어 있기 때문에 작업상황에 알맞는 제어가 곤란하고, 경우에 따라서 不感帶를 작게 설정하였을 때는 불안정을 일으키며, 너무 크게 설정하였을 경우에는 제어의 正確도가 떨어지는 단점이 생기게 된다. 또한 制御시스템의 遲延時間도 電子油壓式 히치제어 시스템에 비해 크기 때문에 不感帶가 작게 설정되면 작업기의 현팅 가능성이 높다. 본 히치制御 시스템에서는 遲延時間이 약 0.05초, 유압유량이 각각 5 l/

min, 10 l/min, 15 l/min 일 때 작업기의 승강속도가 각각 약 10.1cm/s, 20.2cm/s, 30.3cm/s 였으며, 실험에서 주어진 耕深의 변화에 대한 인장 스프링에 의한 牽引力의 변화가 약 29kgf/cm 였던 것을 감안하는 Dwyer 가 제시한 不感帶 크기를 각각 ± 14.6 kgf, ± 29.3 kgf, ± 43.9 kgf 으로서 실험에서의 不感帶 설정은 이보다 약간 크게 설정되었지만 기존의 機械油壓式 制御시스템에서 채용된 不感帶보다는 작아서 정확한 제어가 가능하며, 필요에 따라 不感帶를 증가시킬 수 있어 제어의 安定性은 기존의 機械油壓式 制御시스템보다 우수한 것으로 판단되었다.

5. 要約 및 結論

본 研究는 트랙터 작업기의 牽引力制御를 위하여 마이크로컴퓨터를 이용한 電子油壓式 히치제어 시스템을 설계 제작하고, 牽引力制御에 대한 應答實驗을 통하여 制御性能을 구명하며, 實用化 가능성을 검토하고자 수행되었다.

본 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

가. 牽引力制御時 필터링을 하는 경우는 필터링을 하지 않는 경우보다 제어의 正確度를 개선시킬 수 있었으며 보다 안정적인 제어가 가능하였다.

나. on-off 制御方式에 의해 제어한 경우 유압회로의 유량이 5~15 l/min 에서는 선형牽引力의 $\pm 27 \sim \pm 54$ kgf 이내로 제어할 수 있었으며, PWM 制御方式에서는 유압회로의 유량에 관계없이 설정 牽引力의 ± 27 kgf 이내로 제어가 가능하였다.

다. 牽引力制御시 正弦波의 설정 牽引力에 대해 on-off 制御方式에 의하여 제어를 하는 경우 유압회로 유량이 증가함에 따라 利得의 감소가 일어나는 周波數는 커졌으나 位相差는 거의 비슷하였으며, 3.1 rad/s 이상의 周波數에서는 牽引力센서의 출력이 매우 불규칙하게 나타나 될만한 제어가 어려웠다. PWM 制御方式에 의해 제어하는 경우에도 on-off 制御方式에 의한 牽引力制御의 경우와 거의 비슷한 경향을 보였으며, on-off 制御方式과 비교해서 制御性能의 개선은 없는 것으로 판단되었다.

라. 본 研究의 電子油壓式 히치제어 시스템을 구성하는 電磁操作 方向制御밸브, 位置센서 및 牽引

力센서, 소형으로 제작 가능한 設定人力部와 電子制御部등은 기존의 트랙터에 큰 구조의 변경없이 적은 비용으로 채용할 수 있으며, 기존의 機械油壓式 히치제어 시스템 보다 制御性能 및 시스템의 安定性이 우수하므로 實用化 가능성이 충분히 있는 것으로 판단되었다.

參 考 文 獻

1. Akama, J. 1983. Electronic control system for farm tractor. Tech. J. of Isigawajimahama 23(2):133-135.
2. Alderson, L.L. 1984. Electronic hitch control. ASAE publication 8-84:60-65.
3. Cowell, P.A., and S.C. Lens. 1967. Field performance of Tractor draught control systems, J. Agri. Eng. Res. 12(3):205-225.
4. Cowell, P.A. 1969. Automatic control of tractor mounted implements-Implement transfer function analyzer. J. Agri. Eng. Res. 14(2): 117-125.
5. Cowell, P.A. and M.J. Milne. 1977. An implement control system using pure draught force sensing and modified linkage geometry. J. Agric. Eng. Res. 22:353-371.
6. Cowell, P.A. 1976. A theory for the dynamic behaviour of mouldboard ploughs during penetration. J. Agri. Eng. Res. 21:313-323.
7. Crolla, D.A. and G. Pearson. 1975. The response of tractor draught control to random variations in draught. J. Agric. Eng. Res. 20: 181-197.
8. Crolla, D.A. 1976. Effect of cultivation implements on tractor ride vibration and implications for implement control. J. Agric. Eng. Res. 21:247-261.
9. Dell'Acqua, R.G. Dell'orto, R. Guagliumi, G. Amedei and A. Cevolini. 1986. Agricultural vehicle electronics-A new hitch control. SAE. paper No. 860479.
10. Dobrinska, R. and R. Jarboe. 1981. The development and application of electro-hydraulic

- control system for CASE 4WD tractors. SAE. paper No. 810941.
11. Dwyer, M.J. 1969. The effect of draught control response on the performance of agricultural tractors. J. Agric. Eng. Res. 14(4):295-312.
 12. Dwyer, M.J., D.A. Crolla and G. Pearson. 1974. An investigation of the potential for improvement of tractor draught controls. J. Agric. Eng. Res. 19:147-165.
 13. Hesse, 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. Kawamura, N. 1980. Farm machinery in a stage of mechanronics. Power Farming : 5-8.
 16. Matsui, K., H. Terao, T. Matsumi, K. Ohmiya, and S. Tsunematsu. 1972. Depth control performance of a controlled plow. Hokaido Bran. Journal of JSAM 13:1-5.
 17. Smith, D.W. 1974. Variations in the forward motion of farm tractors. Ph.D. Thesis, Univ. of Illinois Library. Urbana, Illinois.
 18. Squire, R.E. 1984. Electronic draft control system. ASAE publication 8-84:67-75.
 19. Taniguchi, T., T. Ono, K. Ohtomo, and A. Kanada. 1972. Studies on the hydraulic draft control system of farm tractors (part 1)-Stationary experiments. Hokaido Bran. Journal of JSAM 12:1-7.
 20. Taniguchi, T., T. Ono, and K. Ohmoto. 1976. Control characteristics on draft-controlled plowing as level land plowing. Hokaido Bran. Journal of JSAM 16:16-20.
 21. Taniguchi, T., T. Ono, and K. Ohmoto. 1976. Control characteristics on draft-controlled plowing—Plowing the field of sinusoidal undulation. Hokaido Bran. Journal of JSAM 17:4-9.

~~~~~  
 <228 페이지에서 계속>

- force and moment analysis on a tillage tool. Transactions of the ASAE. 23(5):1072-1075.
10. Rockwell International Corp. 1979. AIM 65 microcomputer user's guide. Rockwell International Corp., Microelectronic Devices, Anaheim, California.
  11. Strange, K., L.L. Christianson and R. Alcock. 1982. Portable instrumentation package for measuring tractor work. ASAE Paper No. 82-5516.
  12. Tompkins, F.D. and L.R. Wilhelm. 1982. Microcomputer-based tractor data acquisition system. Transactions of the ASAE. 25(6):1540-1543.
  13. Wilhelm, L.R., K.E. DeBusk, A.R. Womac, and M.W. Cantrell. 1982. A data acquisition system for field use. ASAE Paper No. 82-3030.