

# 트랙터의 電子油壓式 히치제어 시스템에 관한 研究 (I)<sup>†</sup>

## —位置制御—

# Electronic-Hydraulic Hitch Control System for Agricultural Tractor

## —Position Control—

劉壽男\*, 柳寬熙\*\*, 朴濬傑\*\*\*

S. N. Yoo, K. H. Ryu, J. G. Park

### Summary

This study was attempted to develop the electronic-hydraulic hitch control system for position control of tractor plow and investigate the control performance of the system through experiments.

Experiments were carried out to investigate the responses of the system to the step and sinusoidal inputs in position control. The effects of control mode, hydraulic flow rate, reference deadband, and proportional constant on control performance of the system were investigated.

The following conclusions were derived from the study;

1. For the position control system operated on on-off control mode, positions of implement were controlled within  $\pm 0.73^\circ \sim \pm 1.46^\circ$  in rockshaft angle to the reference position when the hydraulic flow rates were 5 ~ 15 l/min. For the position control system operated on PWM control mode, positions of implement were controlled within  $\pm 0.73^\circ$  to the reference position regardless of hydraulic flow rates. It means that the implement could be positioned more accurately to the reference position on PWM control mode than on on-off control mode.

2. As results of the frequency responses of the position control systems, no clear difference in control performance between on-off control and PWM control modes was found. As the hydraulic flow rates increased, the corner frequencies of amplitude attenuation and phase-angle change increased. It means that the control performance of the system could be improved as the hydraulic flow rate increases.

### 1. 緒 論

농용 트랙터는 3점히치에 부착된 작업기의 耕深 조절 및 효율적인 작업을 위하여 히치제어 시스템을 갖추고 있다. 이들 제어시스템은 작업기의 位置, 牽

引力, 耕深 등을 감지하여 유압장치로 3점히치 링 케이지를 승강시켜 작업기를 제어하는데, 대부분의 트랙터는 位置制御, 牽引力制御, 또는 位置와 牽引力의 混合制御를 행하도록 되어 있다.

3점히치제어 시스템은 機械油壓式(mechanical-

<sup>†</sup>본 연구는 1987 한국과학재단의 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 전남대학교 농과대학 농공학과

\*\* 서울대학교 농과대학 농공학과

\*\*\* 건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

hydraulic), 油壓式(hydraulic-hydraulic), 電子油壓式(electronic-hydraulic) 制御시스템으로 나눌 수 있는데, 지금까지는 機械油壓式 制御시스템이 주로 트랙터에 채용되었다.

機械油壓式 制御시스템은 位置나 牽引力을 變位로써 감지하여 기계적 기구에 의하여 유압제어 밸브에 전달시켜 히치를 제어하는 시스템으로서 기계적 기구의 摩擦, 彈性, 히스테리시스에 의한 제어의 정확도가 떨어지며, 조작이 용이치 못하고, 작업상태의 파악에 어려움이 있다. 특히, 트랙터가 大型化되고 高速化됨에 따라 다양한 작업조건하에서 원활하고 용이한 작업기제어를 위해서는 機械油壓式 制御시스템의 보완이 요구되고 있다.

최근 電子技術이 발전함에 따라 農業機械 분야에도 기계적인 制御시스템을 보완한 電子와 機械가 결합된 制御시스템이 많이 채용되고 있다.

電子油壓式 히치制御 시스템은 位置나 牽引力을 전기적 신호로 감지 설정하고 마이크로 프로세서나 마이크로컴퓨터를 이용 이들 신호를 처리한 후 유압 제어밸브를 작동시킴으로써 3점히치를 제어하는 시스템이다. 그러므로 기계적 기구의 摩擦, 彈性, 히스테리시스를 제거하여 制御正確도를 향상시킬 수 있으며, 신호처리의 용이성 및 다양성, 운전자의 操作性 향상, 노력절감, 다양한 작업조건에 알맞는 제어 가능, 작업상태 지시의 용이성, 油壓回路의 단순화 등을 기할 수 있다. 더우기 센서나 電子部品の 저렴화에 따라 경제적인 면에서도 개선이 있을 것으로 예상되고 있다. 따라서, 앞으로 3점히치 制御시스템도 점차 電子制御化 될 것으로 예상되어 이에 대한 研究가 시급한 실정이다.

작업기의 위치를 제어하기 위한 電子油壓式 히치制御 시스템에 대한 研究는 制御시스템의 구성과 구성요소의 특성에 대하여 많이 이루어졌으며, 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 位置制御를 할 수 있는 마이크로컴퓨터를 이용한 電子油壓式 히치制御 시스템을 설계 개발하고, 實驗을 통하여 그의 制御性能을 파악하고자 하였으며, 그 구체적인 研究 II

의은 다음과 같다.

1) 設定入力부의 신호와 位置센서의 신호를 받아들 이 신호를 比較하여 油壓回路에 구동신호를 보내는 電子制御部和 電子制御部の 신호를 받아 3점히치 링케이지를 구동시키는 油壓回路를 설계 제작하여 작업기의 位置제어를 할 수 있는 電子油壓式 히치制御 시스템을 개발한다.

2) 電子油壓式 히치制御 시스템의 位置制御시 유압밸브의 구동방식, 油壓回路의 유량 그리고 不感帶 및 比例常數의 설정에 따른 階段入力和 正弦波 입력에 대한 應答性を 實驗, 分析함으로써 시스템의 制御性能을 究明한다.

## 2. 制御시스템의 設計

본 연구에 설계된 트랙터 작업기의 位置制御를 위한 制御시스템의 주요構成部는 그림 2.1과 같다.

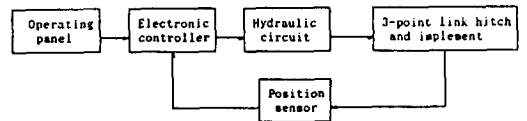


Fig. 2.1 Block diagram of electronic-hydraulic hitch control system designed for the experiment.

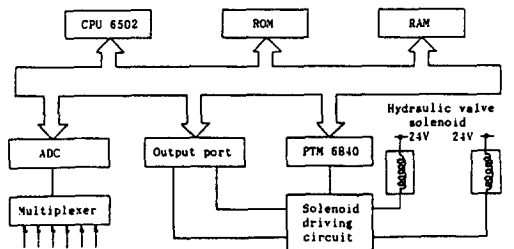


Fig. 2.2 Block diagram of electronic controller used for position control.

### 가. 設定入力部

設定入力部는 位置, 不感帶, 比例常數를 설정토록 하였는데 모두 50KΩ의 卷線形 로타리 포텐쇼메타를 이용 DC 0-5V의 출력을 내도록 하였다. 이와같은 출력은 位置 설정의 경우 승강장치의 룩사프트의 角變位가 작업기의 최하강 位置를 기준으로 0°에서 73

°까지 변동시킬 수 있는 것이며, 不感帶는 0-73°, 比例常數는 0-2.0까지 설정할 수 있는 값이다.

나. 電子制御部

그림 2.2는 電子制御部の 構成圖를 나타낸 것이다. 電子制御部는 A/D 변환기, 마이크로컴퓨터, 유압밸브 驅動回路로 구성되었다.

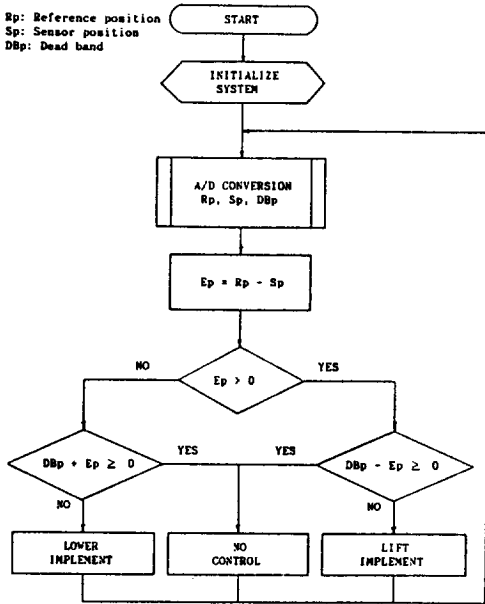


Fig. 2.3 Flow chart of on-off position control with dead band.

1) A/D 變換器

설정입력과 센서출력을 받아들이기 위한 A/D 변환기는 DC0-5V의 입력범위, 12bit의 分解能, 100 μs의 變換速度를 갖는 것을 사용하였다.

2) 마이크로컴퓨터 작동 프로그램

설정입력 신호와 센서의 신호를 비교하여 유압밸브 驅動回路에 출력신호를 보내는 제어용 마이크로 컴퓨터는 Apple II 컴퓨터를 이용하였다.

마이크로컴퓨터의 작동 프로그램은 on-off 制御方式과 PWM (pulse width modulation) 制御方式으로 작동토록 하여 이를 비교하였으며 작동 프로그램은 수행 시간의 단축을 위하여 機械語로 실행되도록 하였다.

그림 2.3는 位置制御시 on-off 制御方式에 의한 작동 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다. 설정 位置 신호 Rp, 位置센서의 출력 Sp, 설정 不感帶 신호 DBp를 마이크로컴퓨터에 A/D 변환기를 통해 입력하여 설정 位置 신호와 位置센서의 신호의 차이 驅動信號 Ep를 계산토록 하였다. Ep가 不感帶에 포함되면 중립신호를, Ep가 不感帶에 포함 안되면서 양의 값일 때는 상승신호를, Ep가 不感帶에 포함되지 않으면서 음의 값일 때는 하강신호를 단순히 출력시키도록 하였다.

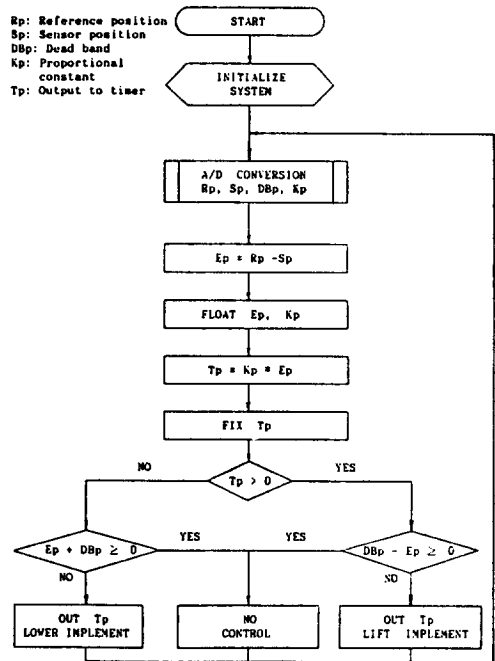


Fig. 2.4 Flow chart of PWM position control with dead band.

그림 2.4는 位置制御시 PWM 制御方式에 의한 작동 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다. 설정 位置 신호, 位置센서 신호, 설정 不感帶 신호, 比例常數 Kp의 신호를 마이크로컴퓨터에 A/D 변환기를 통하여 입력하며, 이들 신호값들은 정수이므로 실수화하여 부동소수점 연산을 행하게 된다. 이때 설정 位置 신호와 位置센서 신호의 차이 驅動信號 Ep를 계산하고, 여기에 比例常數 Kp를 곱하여 PWM 펄스를 발생시키는 타이머에 보낼 신호 Tp 값을 계산하고 정수부만 출력시킨다. 驅動信號 Ep가 不感帶안에 포

함되면 작업기를 중립상태로 유지하고, 不感帶를 벗어나면서 Ep가 양일 경우는 타이머에 Tp값을 보내어 작업기를 하강시키며, 不感帶를 벗어나면서 Ep가 음일 경우는 타이머에 Tp값을 보내어 작업기를 상승시키게 된다.

### 3) 유압밸브 驅動回路

그림 2.5는 작업기의 승강 및 정지를 시키주는 電磁操作 方向制御밸브의 솔레노이드와 이를 구동시키기 위한 회로의 構成圖를 나타낸 것이다.

on-off 制御方式에 의한 제어는 위의 構成圖에서 스위치를 on-off측에 놓게 되면 마이크로컴퓨터의 출력포트에서 나오는 신호(in 1, in 2)에 따라 오픈콜렉터형의 NAND 게이트(7403)를 통과하여 유압제어밸브의 좌, 우 솔레노이드가 구동된다.

한편 PWM 制御方式에 의한 제어를 위하여 構成圖와 같이 타이머 소자를 응용한 회로를 제작하였다. 이것은 트랜지스터 스위칭회로와 PWM 펄스를 발생시키는 PTM 6840 타이머로 구성시켰다. 타이머에서의 PWM 펄스 발생은 CPU가 타이머에 세 넣은 값(Tp)에 따라 컴퓨터 자체의 내부클럭(1MHz)을 분

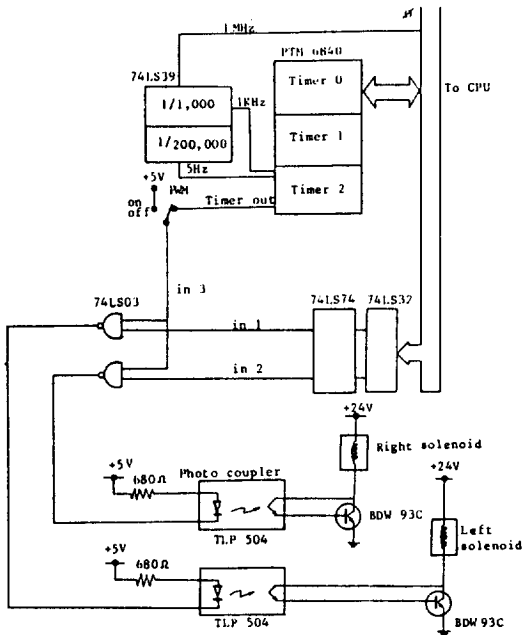


Fig. 2.5 Block diagram of the electronic circuit for driving the solenoid of directional control valve.

주한 1000 Hz를 타이머가 계수하게 되고 계수시간 동안 타이머 출력은 H(high) 상태를 유지하게 되며, 이런 싸이클을 매 5Hz마다 되풀이 하게 했다. 이 PWM 펄스의 스위칭 周波數(5Hz)도 역시 마이크로 컴퓨터 내부의 클럭을 분주하여 사용하였다.

좌, 우 솔레노이드의 작동은 마이크로컴퓨터의 2 bit 출력포트에서의 출력(in 1, in 2)과 타이머 출력이 오픈콜렉터형 NAND 게이트(7403)를 통과한 상태에서 정해진다.

電磁操作 方向制御밸브의 솔레노이드 구동전원은 DC 24V를 이용하였다.

### 다. 油壓回路

트랙터의 3점히치 링케이지를 구동시켜 작업기의 승강을 수행하는 유압시스템의 回路圖는 그림 2.6과 같다.

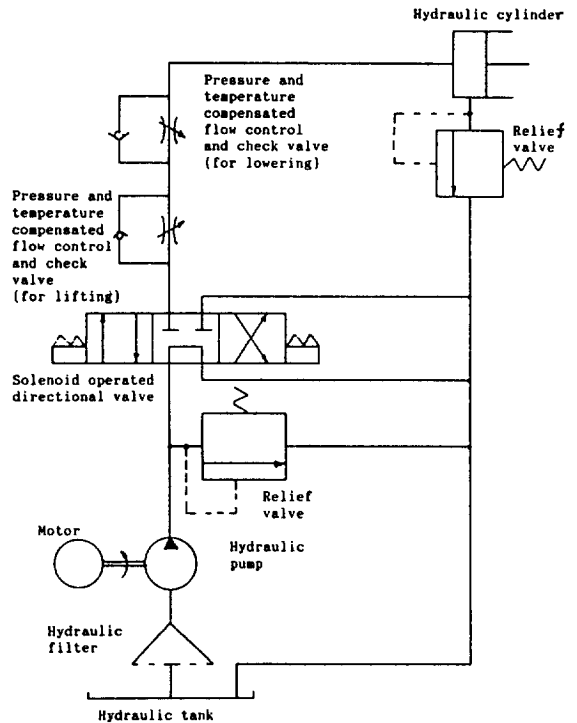


Fig. 2.6 Hydraulic circuit for hitch control.

油壓回路에 사용된 유압실린더는 K사의 33 PS 트랙터에 채용된 것을 이용하였으며, 유압제어밸브는 3위치 4 포트, 스프링작동, 탠덤센터형의 電磁

操作 方向制御밸브를 이용하였는데 이는 on-off 형태로 유압유가 통과되는 밸브로서 유량을 밸브스풀의 위치에 따라 조절할 수 없는 밸브이다. 또한 작업기의 상승 및 하강시 유량을 부하압력에 관계없이 일정하게 유지시키기 위하여 壓力溫度補償型의 체크밸브가 달린 流量調整밸브를 회로에 설치하였으며, 실린더 및 유압공급 회로내의 과도압력 상승을 방지하기 위하여 릴리프밸브를 사용하였다. 한편 회로의 연결은 3/8"의 고압호스를 이용하였다.

### 라. 3점히치링케이지 및 작업기

작업기를 연결하고 유압시스템에 의하여 작업기를 승강시키는 3점히치 링케이지는 ASAE 카테고리 I의 形式으로 현재 시판중인 K사의 33 PS 트랙터에 채용된 것을 이용하였다. 또한 실험을 위한 작업기는 2련 모듈드보드 플라우를 이용하였다.

### 마. 位置센서

位置센서로는 conductive plastic 소자의 1K $\Omega$ 로타리포텐쇼메타를 이용하였으며, 이를 3점히치 링케이지의 록샤프트 축에 설치하여 유압피스톤의 운동에 따른 록샤프트의 角變位를 감지토록 하였다. 본 실험에서 사용된 3점히치 링케이지는 록샤프트의 角變位가 73°였는데 최하강 위치를 0°, 최상승 위치를 73°로 하여 位置센서의 출력은 0-5V로 나타내도록 하였다.

## 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 실험장치는 트랙터에서 분리한 유압실린더 및 3점링크 히치를 고정 프레임 위에 설치하고 유압실린더의 유압입구 쪽은 고압호스를 연결하여 유압펌프에서의 유압유가 공급되도록 하였으며, 3점링크 히치에는 플라우 작업기를 연결하였다. 그리고 록샤프트 축에는 로타리 포텐쇼메타를 이용한 位置센서를 부착하여 전원공급과 신호의 조절을 담당하는 증폭기를 통해 電子制御部와 연결하였으며, 設定入力部도 역시 증폭기를 통해 電子制御部와 연결하였다. 電子制御部

는 유압회로의 電磁操作 方向制御 밸브와 이에 DC 24V의 전원을 공급해 주는 전원 공급기를 연결시켜 시스템이 작동하도록 하였다.

制御시스템의 應答特性을 파악하기 위하여 유압실린더의 압력, 位置센서의 출력, 設定入力들을 측정하였는데, 각 신호들은 증폭기와 12 bit의 A/D변환기를 통하여 NEC사의 PC-8001 mk II 마이크로컴퓨터로 받아들인 후 프린터로 出力토록 하였다.

### 나. 實驗計劃

본 制御시스템의 位置制御 성능을 분석하기 위하여 階段入力와 正弦波 入力を 設定入力部에서 가하여 이에 대한 應答를 측정하였다.

표 3.1은 階段入力에 대한 實驗計劃을 나타낸 것이다. 階段入力は 작업기가 상승시에는 位置센서의 出力이 0V에서 3V(록샤프트의 각도로 0°에서 53.8°)로 변화하도록 入力を 가하였고, 하강시에는 4V에서 1V(록샤프트의 각도로 58.5°에서 15.6°)로 변화하도록 入력을 가하였으며, 유압회로의 유량수준은 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min(이 때 작업기의 승강속도는 각각 약 10.1 cm/s, 20.2 cm/s, 30.3 cm/s)로 각각 변화시켜 應答를 구하였다. on-off 제어방식에서는 不感帶를 조정하여 작업기의 헌팅이 일어나지 않는 최소의 설정 不感帶를 구하므로써 制御시스템의 설정위치에 대한 제어의 정확도를 파악하고자 하였으며, PWM 制御方式에서는 不感帶와 比例常數를 변화시켜 작업기의 헌팅현상이 없는 최소 不感帶의 크기와 적정 比例常數의 크기 및 그의 범위를 구하여 시스템의 설정위치에 대한 제어의 정확도를 파악하고, 이를 on-off 제어방식과 비교 분석하였다.

표 3.2는 正弦波의 入力에 대한 制御시스템의 應答實驗 계획을 나타낸 것이다. 正弦波의 入力は  $2 + \sin(2\pi ft)$  [V](록샤프트의 각도로  $29.2 + 15.6 \sin(2\pi ft)$ (°))로 변동시켜 振幅이 2V(록샤프트의 각도로 29.2°, 작업기의 수직변위는 약 30.1 cm)가 되도록 가하였는데 on-off 및 PWM 두 가지 제어방식, 유압회로의 유량수준, 正弦波 入力の 周波數에 따른 制御시스템의 應答를 구하며, 振幅의 변화와 入出力 간의 位相差가 나타나는 경향을 분석함으로써 制御시스템의 변동入力에 대한 追從性을 파악토록 하였다.

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

Control Mode	Flow Rate Qm (l/min)	Dead Band DB <sub>p</sub> (°)	Proportional Constant, K <sub>p</sub>	Remarks
On-Off	5	0, ±0.37	—	Lifting
	10	0, ±0.73	—	
	15	0, ±1.46	—	
	5	0, ±0.73	—	Lowering
	10	0, ±1.10	—	
	15	0, ±1.46	—	
PWM	5	0	0.2, 0.4, 0.6 1.0, 1.2, 1.6	Lifting
	10	0	0.2, 0.4, 0.6 0.8	
	15	0	0.2, 0.3, 0.4 0.6	

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

Control Mode	Flow Rate Qm(l/min)	Frequency F (Hz)	Dead Band DB <sub>p</sub> (°)	Proportional Constant, K <sub>p</sub>
On-Off	5	0.06, 0.10, 0.13, 0.16 0.22, 0.34, 1.02	±0.73	—
	10	0.10, 0.21, 0.34, 0.50 0.63, 1.02, 3.46	±1.10	—
	15	0.10, 0.21, 0.34, 0.43 0.64, 1.02, 3.56	±1.46	—
PWM	5	0.10	0	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
	10	0.10	0	0.2, 0.4, 0.5, 0.6
	15	0.10	0	0.2, 0.3, 0.4, 0.6
	5	0.10, 0.13, 0.16, 0.21 0.34, 1.02, 3.37	0	1.0
	10	0.10, 0.15, 0.21, 0.28 0.34, 0.42, 1.02, 3.37	0	0.5
	15	0.10, 0.21, 0.34, 0.43 0.53, 1.03, 3.37	0	0.3

다. 實驗方法

位置制御시 應答特性 실험은 토양의 저항력은 고려치 않고 작업기만 3점히치에 장착한 상태에서 실험을 수행하였다.

階段入力を 가할 때에는 작업기의 초기 位置를 결정한 다음 制御시스템을 끈 상태에서 設定入力部の 포텐쇼메타로 설정位置를 맞추고, 다

시 制御시스템을 작동시킴으로 해서 설정位置에 작업기가 오도록 하였다. 正弦波 入力은 設定入力部の 설정位置 入力을 위한 포텐쇼메타 대신 函數發生器를 이용하여 入力토록 하였으며 應答의 측정은 시간 이 어느 정도 경과하여 일정한 應答을 나타냈을 때 측정하도록 하였다.

#### 4. 結果 및 考察

##### 가. 階段入力에 대한 시스템의 應答

##### 1) On-off 制御方式에 의한 應答

그림 4.1은 on-off 制御方式으로 시스템을 작동시켰을 때 不感帶를 설정치 않고 작업기를 상승 및 하강시킬 경우 제어시스템의 應答例를 나타낸 것이다.

작업기가 설정 位置에 이르러서는 不感帶가 없는 관계로 반복진동하는 현상을 나타냈는데, 設定位置를 기준으로 유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min일 때 록사프트의 각변위로 設定位置에 대하여 각각  $+1.46^{\circ} \sim -1.83^{\circ}$ ,  $+1.83^{\circ} \sim -2.56^{\circ}$ ,  $+2.56^{\circ} \sim -3.29^{\circ}$ 의 범위에서 진동하여 유압회

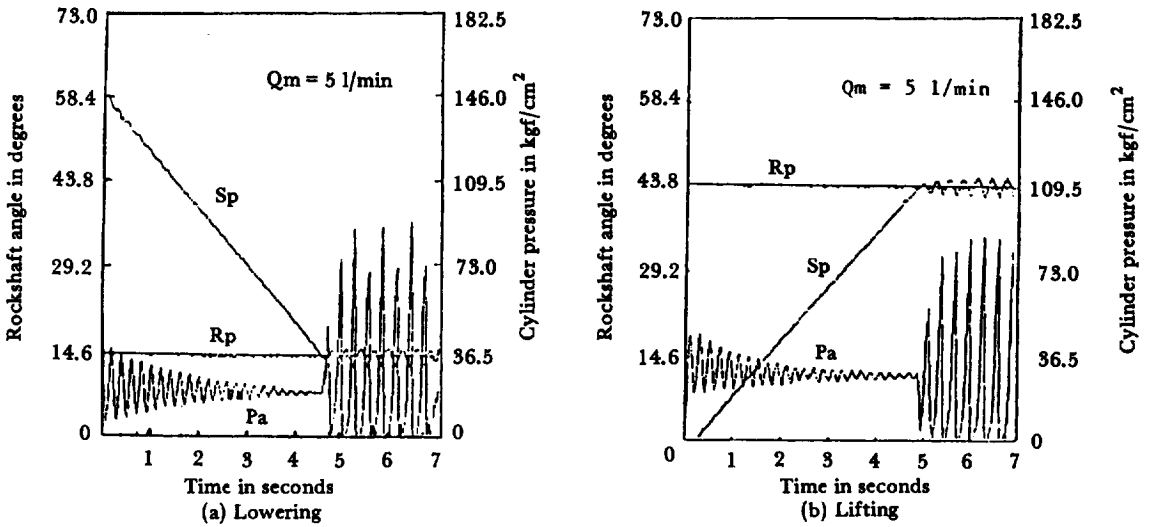


Fig. 4.1 Step responses of the position control system operated on on-off control mode with no dead band. (Rp: Reference position, Sp: Position sensor output, Pa: Hydraulic cylinder pressure, Qm: Flow rate)

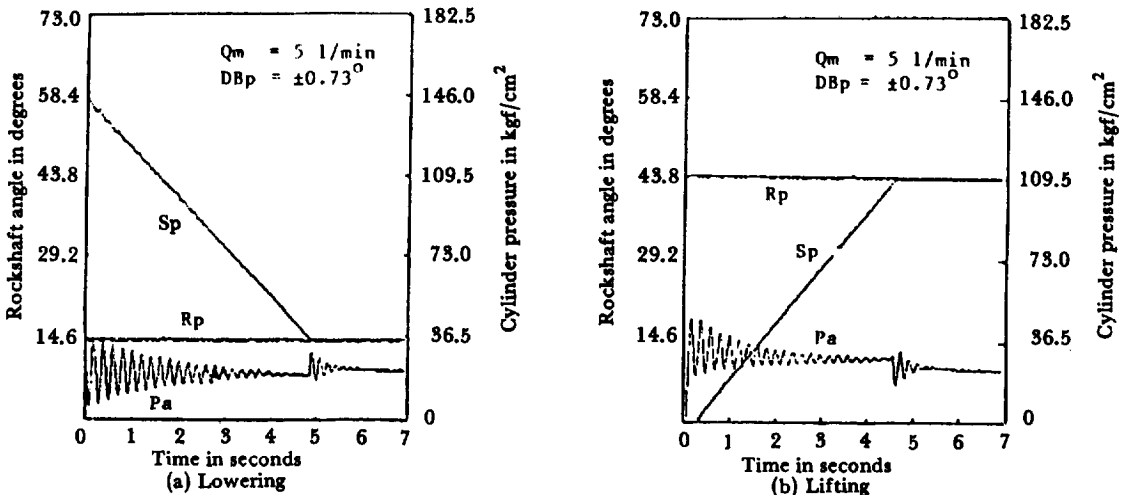


Fig. 4.2 Step responses of the position control system operated on on-off control mode with deadband.

로의 유량증가에 따라 振幅이 크게 나타났다. 따라서, 진동없는 제어를 위해서는 不感帶의 설정은 유량의 증가에 따라 크게 해야 함을 알 수 있다.

그림 4.2는 on-off 制御方式으로 시스템을 작동시켰을 경우 상승 및 하강시 不感帶를 설정하여 진동없는 제어를 행하였을 때의 시스템 應答을 나타낸 것이다. 유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min 일 때 상승시에는 不感帶를 록사프트의 각 변위로 設定位置에 대하여 각각  $\pm 0.37^\circ$ ,  $\pm 0.73^\circ$ ,  $\pm 1.46^\circ$ 로 설정함으로써 不感帶 내에서 진동없는 제어가 가능하였으며, 하강시에는 각각  $\pm 0.73^\circ$ ,  $\pm 1.10^\circ$ ,  $\pm 1.46^\circ$ 로 설정함으로써 진동없는 제어가 가능하였다.

따라서 유량수준의 증가에 따라 설정 不感帶는 커지게 되어 제어의 正確度는 떨어지게 됨을 알 수 있었다.

## 2) PWM 制御方式에 의한 應答

그림 4.3은 PWM 制御方式에 의하여 시스템을 작동시켰을 때 設定不感帶가 0, 유량이 5 l/min 인 경우 比例常數  $K_p$ 에 따른 시스템의 應答을 나타낸 것이다.

$K_p = 0.2$ 인 경우는 設定位置 보다 록사프트의 각 변위로  $1.83^\circ$  작은 位置에서 더 이상 상승치 않음을 보여 주고 있다. 이때 設定位置와 位置센서의 신호

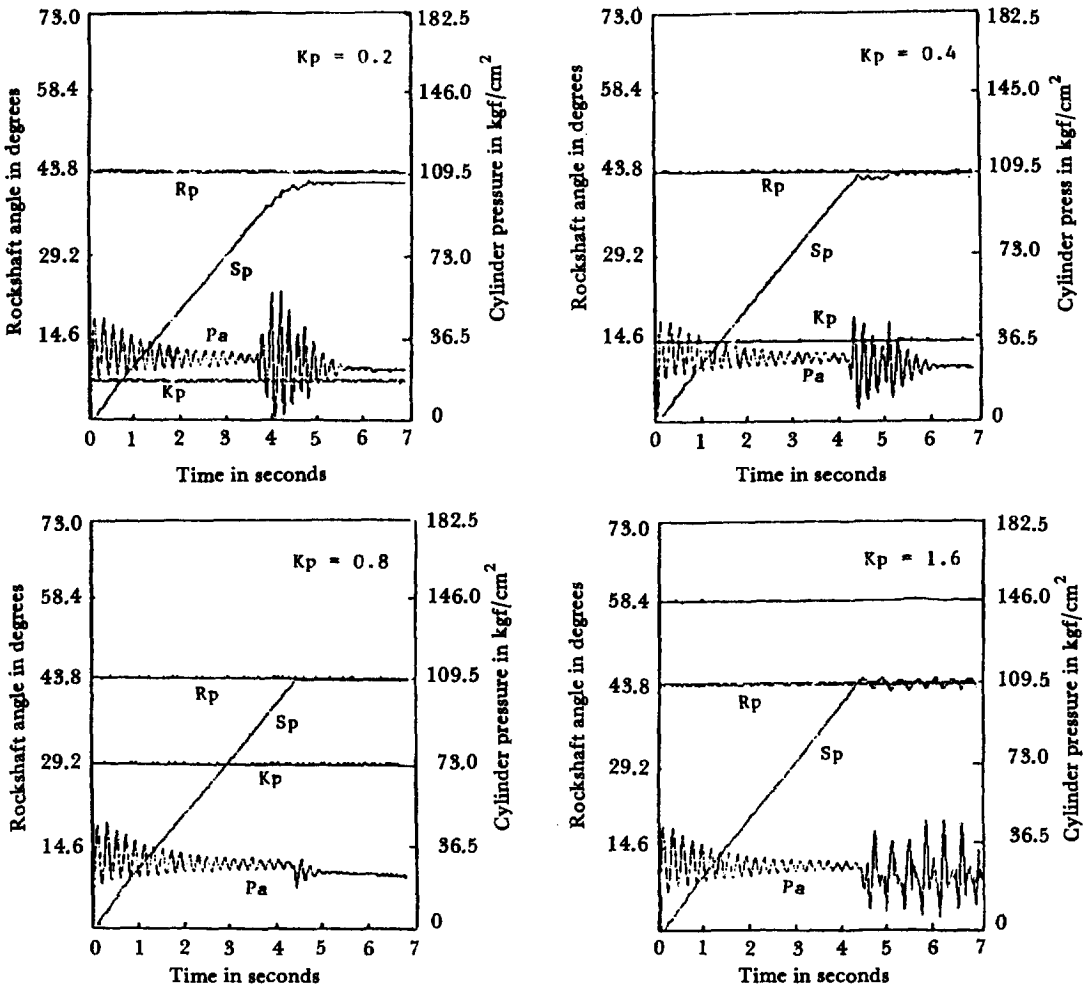


Fig. 4.3 Effect of  $K_p$  on step responses of the position control system operated on PWM control mode with no dead-band and the flow rate of 5 l/min. (Rp: Reference position, Sp: Position sensor output, Pa: Hydraulic cylinder pressure, Kp: Proportional constant)



차는 약 0.125V로서 이는 유로의 개폐를 담당하는 유압밸브의 솔레노이드를 구동시키는 신호의 펄스폭은 약 0.1초로 되며, 이와같은 펄스폭으로는 유압밸브가 열려도 유압유의 壓縮性 때문에 더 이상 작업기가 상승치 않음을 보여주고 있다. 따라서, 電磁操作 方向制御밸브 자체에 不感帶가 존재함을 알 수 있었다.

$K_p = 0.4$ 인 경우에는 거의 設定位置에 도달하지만 상승 소요시간이 약 5.2초로써 on-off 制御方式의 4.2초 보다 길게 나타났으며, 또한 設定位置에 록사프트의 각변위로 0.37° 차까지 제어할 수 있음을 보여주고 있다.

$K_p = 0.8$ 의 경우에는 on-off 制御方式과 상승시간의 차 없이 록사프트의 각변위로 設定位置에 0.37° 이내로 제어됨을 보이고 있다.

$K_p = 1.6$ 에서는  $K_p$  값이 너무 큰 관계로 설정 位置信號와 位置센서 신호와의 차가 작아도 유압밸브의 솔레노이드를 구동시키는 신호 펄스폭이 크게 나타나 不感帶가 작게 되므로 록사프트의 각변위로 1.83°의 振幅으로 진동함을 보여 주고 있다. 따라서,  $K_p$ 가 너무 크면 설정 不感帶가 0인 on-off 制御方式에 가까워짐을 알 수 있었다.

이밖에 유압회로의 유량이 10 l/min, 15 l/min 인 경우도  $K_p$ 의 증가에 따라 비슷한 경향을 나타냈으며, 다만 유압회로의 유량증가에 따라 안정된 제어를 위해 설정되어야 할 比例常數  $K_p$ 의 범위는 작아

지며, 적정제어를 위한 比例常數  $K_p$ 의 값도 작아짐을 알 수 있었다. 應答실험 결과를 통하여 본 制御 시스템의 경우 유압회로의 유량에 따른 적정  $K_p$ 의 범위는 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min에서 각각 대략 0.4~1.4, 0.2~0.6, 0.2~0.4로 추정되며 設定位置에 대하여 록사프트의 각변위로  $\pm 0.73^\circ$  이내의 제어가 가능할 것으로 판단되었다.

On-off 制御方式과 PWM 制御方式에 의한 位置制御를 비교해 보면 on-off 제어방식에 의한 位置制御는 不感帶의 설정 없이는 작업기가 반복 진동하기 때문에 제어가 곤란하며, 유압회로의 유량수준의 증가에 따라 不感帶폭을 크게 설정해 주어야 한다. 이에 비하여 PWM 制御方式은 솔레노이드 유압밸브 자체의 不感帶 때문에 不感帶의 설정 없이 진동없는 제어가 가능하였으나, 적절한 제어를 위하여 比例常數  $K_p$  값을 유압회로의 유량수준에 맞추어 설정해 주어야 하며, 유량수준이 커지는 경우에는  $K_p$ 의 적정 설정폭이 작아지며 그 값도 작아지는 것으로 나타났다. 設定位置에 대한 오차는 유압회로의 유량이 커지는 경우 on-off 制御方式 보다 PWM 制御方式에서 약간 작게 나타났다. 그러나 PWM 제어시 比例常數의 설정이 약간 작게 되는 경우에는 PWM 펄스에 의하여 유압밸브가 구동되므로 設定位置 부근에 작업기가 도달할 때 유로의 급격한 개폐가 자주 일어나서 작업기의 진동이 심하게 나타나는 경향이 있었고, 設定位置에 제어되기까지 소요시간도 길어

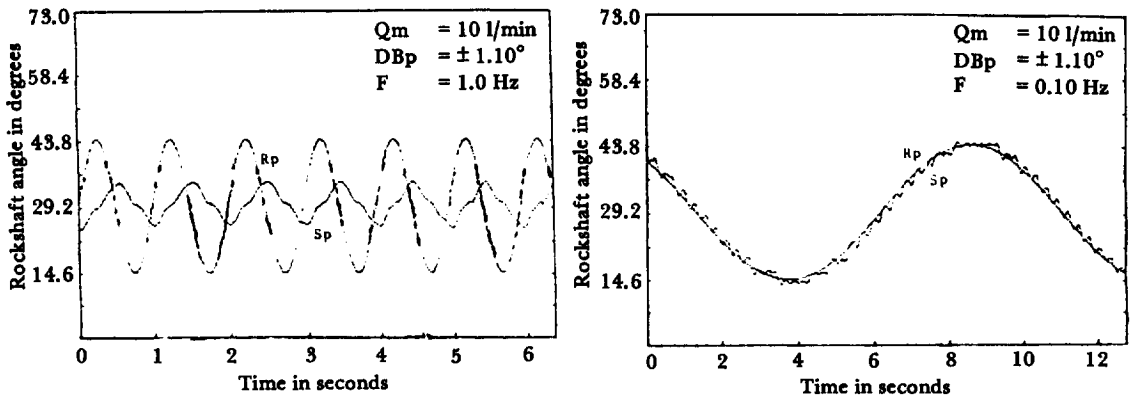


Fig. 4.4 Sinusoidal responses of the position control system operated on on-off control mode. (Rp: Reference position, Sp: Position sensor output, Pa: Hydraulic cylinder pressure, Qm: Flow rate, DBp: Deadband, F: Frequency)

지는 것으로 나타났다.

나. 正弦波 입력에 대한 시스템의 應答

1) On-off 制御方式에 의한 應答

그림 4.4는 on-off 制御方式에 의하여 제어를 했을 때 正弦波 입력의 周波數가 0.10 Hz, 1.0 Hz 인 경우 시스템의 應答例를 나타낸 것이다.

입력 周波數가 0.10 Hz 인 경우 유압회로의 유량이 5 l/min 일 때는 설정입력에 거의 일치하여 位相이나 振幅의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 유압회로의 유량이 10 l/min, 15 l/min 일 때는 약간씩 진동하면서 설정치에 추종하는 경향과 함께 不感帶의 설정이 커진 관계로 振幅의 변화는 없었으나 位相差가 약간 나타났다.

한편 입력 周波數가 1.0 Hz 인 경우에는 振幅의 변화 및 位相差가 나타났는데 유량이 증가할수록 설정입력에 대한 位置센서의 출력의 振幅比 감소가 작고, 位相差가 작아져 설정치에 잘 추종하는 것으로 나타났다.

설정입력 周波數 변화에 따른 振幅比와 位相의 변화를 좀더 자세히 분석하기 위하여 실험을 수행하였다. 그림 4.5는 3 가지의 유압회로 유량조건에서 설정位置 입력 周波數에 따른 對數利得 曲線을 나타

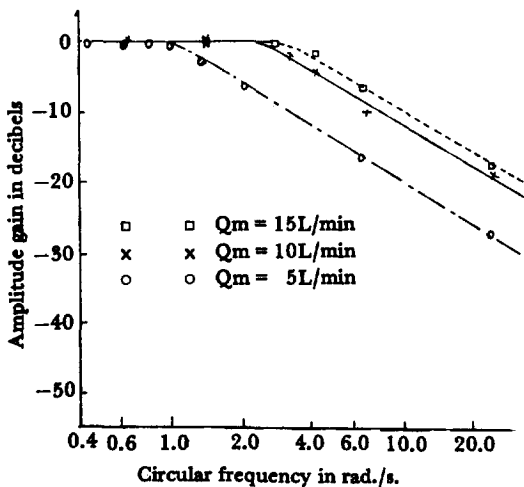


Fig. 4.5 Frequency responses of the position control system operated on on-off control mode with different flow rates (Gain plots).

낸 것이다.

유압회로의 유량이 5 l/min 의 경우에는 약 1 rad/s에서, 10 l/min 의 경우에는 약 2.1 rad/s에서, 15 l/min 의 경우에는 2.8 rad/s 이상의 周波數에서 대수利得이 작아지고 있어, 시스템의 應答振幅이 감소되었음을 알 수 있다. 따라서 유압회로의 유량증가에 따라 利得의 감소가 나타나는 周波數는 점차 커짐을 알 수 있었다.

그림 4.6은 유압회로의 유량수준과 設定位置 입력의 周波數 변화에 따른 시스템 應答의 位相差를 나타낸 곡선이다. 유압회로의 유량수준이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min 일 때 設定位置 입력 周波數

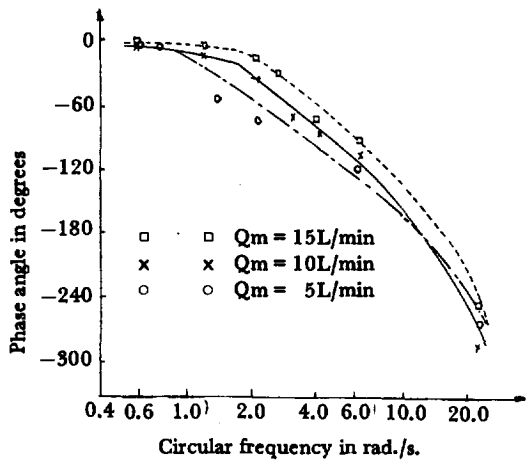


Fig. 4.6 Frequency responses of the position control system operated on on-off control mode with different flow rates (Phase-angle plots).

가 약 0.9 rad/s, 1.6 rad/s, 2.5 rad/s 이상일 경우 位相差가 점차 크게 벌어짐을 알 수 있다. 따라서 유량수준의 증가에 따라 位相差가 벌어지는 周波數는 커짐을 알 수 있다.

이상의 결과에서 利得의 감소와 位相差가 나타나는 周波數는 유압회로의 유량증가에 따라 점차 커지는 경향을 보여 유량이 클수록 시스템은 設定位置 입력에 잘 추종하는 것으로 나타났다.

2) PWM 制御方式에 의한 應答

PWM 制御方式에 의해 시스템을 작동시키는 경우 유압회로의 유량이 5 l/min 일 때 0.10 Hz 의 正弦波

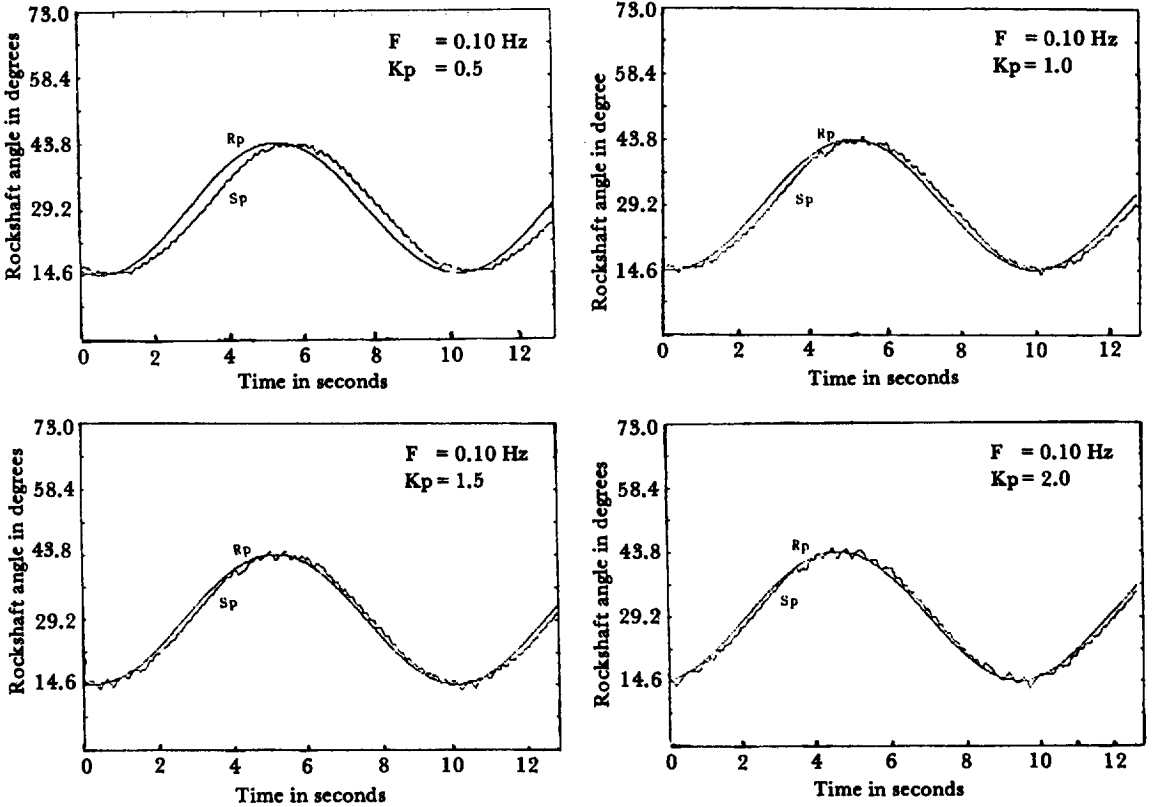


Fig. 4.7 Effect of  $K_p$  on sinusoidal responses of the position control system operated on PWM control mode with no deadband and the flow rate of 5 l/min.

(Rp: Reference position, Sp: Position sensor output,  $K_p$ : Proportional constant, F: Frequency)

位置 입력에 대한 比例常數  $K_p$ 의 변화에 따른 시스템의 應答는 그림 4.7과 같다. 比例常數  $K_p$  값의 증가에 따라 設定位置 입력에 대한 시스템의 應答는 振幅에서는 차이가 없으나, 位相差가 줄어들 수 있었다.  $K_p$ 가 0.5일 때에는 유압밸브의 슬레노이드 구동주기가 약 0.2초이고 設定位置 입력과 位置센서의 입력차가 커도 比例常數  $K_p$  값이 작아 電磁操作 方向制御밸브의 열리는 시간이 짧기 때문에 그 만큼 작업기는 덜 상승하게 되며, 따라서 位相差가 벌어지게 되는 반면  $K_p=1.5$ 나  $K_p=2.0$ 일 경우에는 유압밸브는 충분히 열려 있어도 유압회로의 유량에 의해 작업기의 상승속도는 제한되기 때문에 더 이상 位相差를 좁힐 수 없음을 알 수 있었고, 최대값 부근에서 진동이 심하게 일어나면서 설정치에 추종하는 현상을 보였다.

유압회로 유량이 10 l/min, 15 l/min인 경우도  $K_p$

에 따라 비슷한 경향을 보였다.

한편, PWM 制御方式에 의하여 制御시스템을 작동시켰을 때 正弦波 설정위치 입력의 周波數 변동에 따른 振幅比 감소와 位相差를 구하기 위한 실험을 수행하였는데 유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min일 때 利得의 감소가 일어나는 周波數는 각각 1.0 rad/s, 2.1 rad/s, 2.8 rad/s로 나타났다. 따라서 유압회로의 유량이 증가할수록 利得이 감소되는 周波數는 증가하여 제어시스템의 應答성은 개선되는 것으로 판단되었다.

設定位置 입력의 周波數에 따른 位相差는 低周波數에서는 유압밸브 자체의 不感帶 때문에 약간의 位相差를 보였으며, 유압회로의 유량이 각각 5 l/min, 10 l/min, 15 l/min로 변화할 때 位相差가 크게 벌어지기 시작하는 周波數는 각각 0.8 rad/s, 1.6 rad/s, 1.9 rad/s로 나타났다. 따라서 유압회로의 유량

증가에 따라 位相差가 나타나는 周波數는 증가하여 制御시스템의 追從性이 향상됨을 알 수 있었다.

On-off 制御方式과 應答을 비교하여 보면, 설정 正弦波 位置입력의 周波數에 따른 利得의 감소 및 位相差의 경향이 거의 비슷하게 나타나 두 방식간에 차이는 없는 것으로 판단되었다.

#### 다. 機械油壓式 히치制御 시스템과의 比較

##### 1) 操作性

기존의 機械油壓式 히치制御 시스템에 의한 位置制御는 位置레버에 의하여 작업기의 位置를 설정하면 기계적인 기구를 통하여 유압밸브의 스톱을 움직이므로써 작업기가 승강하게 되고, 작업기의 승강에 따라 록사프트 축에 부착된 캠의 회전에 의하여 기계적인 기구를 통해 유압밸브의 스톱을 움직여 유압밸브의 스톱이 중립 位置에 오게 되면 작업기가 일정 位置에 정지하게 된다. 그러나, 유압밸브의 스톱의 행정 중 중립을 유지시키는 부분, 즉 不感帶가 상당히 크기 때문에 정확히 작업기를 설정한 位置에 오게끔 제어하는 데는 한계가 있다. 따라서, 운전자는 작업기의 位置를 보면서 여러번 位置레버를 조정하여 원하는 位置로 제어하게 되며, 트랙터에 대하여 작업기의 정확한 상대적인 위치 파악에 어려움을 느끼게 된다.

이에 반하여 본 히치制御 시스템에 의한 位置制御는 설정입력 다이얼로 작업기의 트랙터에 대한 位置를 정확히 설정함으로, 작업기의 트랙터에 대한 상대적 位置를 분명히 파악할 수 있으며, 階段入力에 대한 應答實驗 결과에서 설정된 不感帶를 고려해 볼 때 유압회로의 유량 즉 작업기의 승강속도에 따라 약간의 차이가 있지만, 설정位置에 대하여 機械油壓式 制御시스템보다 정확히 제어할 수 있는 장점을 갖고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 기존의 機械油壓式 히치制御 시스템 보다 제어가 수월하며, 制御性能이 우수한 것으로 판단되었다.

##### 2) 安定性

설정 不感帶의 크기는 位置制御의 正確度 뿐만 아니라 제어시의 安定성에 영향을 미치게 된다. Dwyer (1974) 등은 on-off 형태의 電磁操作 유압밸브를 이용하여 位置制御를 수행하는 경우 작업기의 불안정

을 일으키지 않는 不感帶의 크기를 제시하였는데, 不感帶가 시스템의 遲延時間과 작업기의 승강속도의 곱보다 작으면 불안정을 일으킨다고 하였다. 기존의 機械油壓式 시스템에서는 遲延時間이 약 0.05에서 0.15초 사이에 있다고 보고되고 있는데 비하여 본 히치制御 시스템에서는 약 0.05초 정도로서 동일한 조건에서 機械油壓式 제어시스템 보다 더 安定성을 갖는 것으로 판단된다.

## 5. 要約 및 結論

본 研究는 트랙터 작업기의 位置制御를 위하여 마이크로컴퓨터를 이용한 電子油壓式 히치제어 시스템을 설계 제작하고, 位置制御 應答實驗을 통하여 制御性能을 규명하고자 수행되었다.

본 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

가. 位置制御시 on-off 制御方式에 의하여 작업기를 일정위치로 제어하는 경우 유압회로의 유량이 5~15l/min일 때 설정위치에 대하여 록사프트의 각변위로  $\pm 0.73^{\circ} \sim \pm 1.46^{\circ}$  내에서 작업기가 진동치않고 제어되었다. PWM 制御方式의 경우에는 유압회로의 유량에 관계없이 작업기를 설정위치에 대하여 록사프트의 각변위로  $\pm 0.73^{\circ}$  이내로 제어할 수 있어서 on-off 制御方式 보다 정확한 제어가 가능하였다.

나. 位置制御시 正弦波의 설정위치에 대한 시스템의 應答은 on-off 制御方式과 PWM 制御方式 모두 유압회로의 유량증가에 따라 利得의 감소와 位相差의 증가가 나타나는 周波數는 증가하였으나 두 制御方式 간의 차이는 거의 없었다.

다. 본 研究의 電子油壓式 히치제어 시스템을 구성하는 電磁操作 方向制御밸브, 位置센서, 소형으로 제작 가능한 設定入力부와 電子制御部 등은 기존의 트랙터에 큰 구조의 변경없이 적은 비용으로 채용할 수 있고, 制御性能 및 시스템의 安定성이 우수하므로 기존의 機械油壓式 히치제어 시스템을 충분히 대신할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 參 考 文 獻

1. Akama, J. 1983. Electronic control sys-

- tem for farm tractor. Tech. J. of Isigawajimahama 23(2): 133-135.
2. Alderson, L.L. 1984. Electronic hitch control. ASAE publication 8-84:60-66.
  3. Dell'Acqua, R, G. Dell'orto, R. Guagliumi, G. Amedei and A. Cevoloni. 1986. Agricultural vehicle electronics—A new hitch control. SAE. Paper No. 860479.
  4. Dobrinska, R. and R. Jarboe. 1981. The development and application of electro-hydraulic control system for case 4WD tractors. SAE. Paper No. 810941.
  5. 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.
  6. Hesse, H. and R. Möller. 1968. Experimentelle und simulierte untersuchung eines elektrohydraulischen pflugregelungssysteme. Grundl. Landtechn. 18(5): 177-184.
  7. Hesse, H. und R. Möller. 1972. Eine elektrohydraulische Zwei-Großen-Tiefenregelung für große schlepperanbaupflüge. Grundl. Landtechn. 22(3): 75-79.
  8. Hesse, H. und R. Möller. 1972. Eine elektrohydraulische Zwei-Großen-Tiefenregelung für große schlepperanbaupflüge. Grundl. Landtechn. 22(4): 102-106.
  9. Hesse, H. and W. Schrader. 1984. Hitch system comparison — mechanical, hydraulic, electronic. SAE. Paper No. 841130.
  10. Hobbs, J. and H. Hesse. 1980. Electronic / hydraulic hitch control for agricultural tractors. SAE Paper No. 801018.
  11. Lourigan P. and K. Patel. 1979. Agricultural tractor electro-hydraulics. SAE. Paper No. 790848.
  12. 劉壽男. 1989. 트랙터의 電子油壓式 히치 制御 시스템에 관한 研究. 서울대학교 大學院 博士學位 論文.



學 位 取 得



姓 名：尹 學 基  
生 年 月 日：1944年 11月 28日  
勤 務 處：密陽農蠶專門大學 農業土木科  
取 得 學 位 名：農學博士  
學 位 授 與 大 學：慶北大學校 大學院  
學 位 取 得 年 月 日：1989年 8月 23日  
學 位 論 文：밭작물의 最適灌溉水準과 計劃用水量 算定