

## 농용 트랙터용 작업기 승·하강 제어시스템에 관한 연구

### Study on a Implement Control System for Agricultural Tractors

이제용	이상식	성현석	전채영
정회원	정회원	정회원	정회원
J. Y. Lee	S. S. Lee	H. S. Sung	C. Y. Jeon

#### ABSTRACT

Rotary and plow implements are mainly utilized for the tillage operation in Korea, and a implement control system for agricultural tractors was designed and fabricated to improve the working accuracy and efficiency. The control system was composed of three units: 1) sensors for detection of angle of liftarm, draft force, engine rpm, tillage depth and so on, 2) a controller, and 3) hydraulic circuits, which included solenoid valves and so on, for operation of three point linkage and implements. The control system can control the speed(high and low speed) of implements by adjusting input flow rates of the hydraulic cylinder which was controlled by two speed valve, which was composed of a solenoid valve and a orifice. Indoor experiments were conducted to evaluate response characteristics of the designed implement control system under experimental conditions of various engine rpm, two kinds of input flow rates of the cylinder and some input frequency. The results of experiments showed the response characteristics sufficient to use as the implement control system for agricultural tractors.

**Keywords** : Tillage operation, Implement control system, Working efficiency, Two speeds valve, Solenoid valve.

#### 1. 서 론

농용 트랙터는 플라우(Plow), 로타리(Rotary) 등의 각종 작업기가 3점링크를 통해 트랙터 본체에 장착되어 있으며, 이들 작업기에 의한 효율적이고 고정도의 작업을 수행하기 위해 3점링크 제어장치를 갖고 있다. 일반적으로 농용 트랙터의 작업기 제어에는 1)플라우의 경우에는 위치, 견인력제어 2)로타리의 경우에는 경심, 부하제어 등이 있으며,

제어방식은 현재 전자기술의 진보와 함께 종래의 기계유압방식을 대신하여 전자유압방식이 주류가 되어 있다. 구미에서는 플라우에 의한, 일본에서는 로타리작업기에 의한 경운 작업이 널리 행해지고 있으며, 우리나라의 경우는 플라우 및 로타리의 양 작업기에 의한 경운 작업이 널리 행해지고 있다. 따라서 우리나라에서는 위치, 견인력제어시스템과 함께 경심, 부하제어시스템도 중요한 작업기 제어시스템 가운데 하나이다. 최근 우리나라의 농

---

This study was supported by Technology Development Program for Agricultural and Forestry, Republic of Korea. This paper was submitted for publication in August, reviewed and approved by the editorial board of KSAM in November 2002. The authors are J. Y. Lee, S. S. Lee, C. Y. Jeon at Mido tech. co., Ltd, Hwaseong, Korea and S. H. Sung, Woosung precision industrial co., Ltd, Chinju, Korea The corresponding author is J. Y. Lee, President, Mido tech. co., Ltd, Hwaseong, Korea. E-mail: <kyotolee@chollian.net>.

업은 W.T.O에 의한 농산물 수입 개방 압력 등으로 농업 생산물의 생산비 절감 등을 통한 경쟁력 확보라는 당면과제를 안고 있으며, 이를 위해 고정도 및 고효율의 농작업이 가능한 저가의 농용 트랙터용 작업기 제어 시스템의 개발이 강하게 요구되고 있다.

본 연구에서는 구미 및 일본과는 달리 플라우 및 로타리의 양 작업기에 의한 경운 작업이 널리 행해지고 있는 우리나라의 실정을 고려하면서 고정도 및 고효율의 농작업이 가능한 3점링크를 기본으로 하는 저가의 농용 트랙터용 작업기 제어 시스템을 하드웨어와 소프트웨어에 의해 구성하여 시작기에 의한 실내실험 등을 통해 작업기 제어 시스템으로서의 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 연구사

위치, 견인력제어에 관한 연구는 주로 플라우에 의한 경운 작업이 행해지고 있는 구미에서 많은 연구를 수행하였다. Hobbs 등(1980)은 작업기의 위치는 리프트암축에 설치한 캠의 움직임, 견인부하는 하부링크에 장착한 스프링의 변위 변화를 포텐쇼메타로 검출하여 작업깊이를 일정하게 유지할 수 있는 위치, 견인력 및 혼합제어가 가능한 전자유압히치제어시스템을 설계하였다. Katayama, Y. 등(1993)은 하부링크에 장착된 검출기구에 의해 견인부하를 검출하여 유압비례밸브에 의해 작업기승·하강용 유압실린더를 제어함으로써 견인부하를 일정하게 유지할 수 있는 전자드래프트제어시스템에 관한 연구결과를 보고하였다. Keuper, G 등(1999)은 리프트암의 위치 검출을 위한 포지션 센서, 작업중의 견인부하 검출을 위한 하부링크 고정핀에 장착된 2개의 견인부하센서와 비례제어밸브로 구성되어 있는 위치, 견인력 및 혼합제어가 가능한 전자유압3점링크제어시스템에 관한 연구를 수행하였다.

경심, 부하제어에 관한 연구의 대부분은 주로 로타리에 의한 경운작업이 행해지고 있는 일본에서 수행되어졌다. kawamura 등(1979)이 경운부의 바로 앞에 장착된 제5륜의 변위 변화를 검출하여 경심을 일정하게 유지하는 경심제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. Satou 등(1985)은 플라우작업

기에 설치한 초음파센서에 의해 주행면으로부터의 작업기의 높이를 검출하여 플라우에 의한 경심을 일정하게 유지하여 주는 경심제어시스템에 관한 연구 결과를 보고하였다. 1992년 Jiang, Y. 등 (1992)은 트랙터본체에 장착된 리프트암 센서, 차체피칭 센서 및 엔진rpm 센서로 구성된 경심, 부하 및 복합제어가 가능한 Programmable 3점링크제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. S. Damai(1995)는 리프트암 및 경심센서(균평판검출방식)에 의한 위치 및 경심제어가 제어모드 전환스위치에 의해 행해지고, 작업기 백업제어기능을 갖춘 트랙터에서 백업제어모드중 작업기의 상승위치를 임의로 설정할 수 있는 제어시스템에 관한 연구가 수행하였다. 기존 연구는 비례제어밸브에 의한 유량제어가 주류를 이루고 있으며, 또한 제어시스템의 성능 및 기능의 향상을 위한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 국내에서는 이 등(1995)이 작업기의 수평 및 경심 변화를 작업기상에 설치한 경사각센서(포텐쇼메타)에 의해서 검출하는 작업기 수평 및 경심 제어 시스템에 관한 연구 결과를 보고하였다.

## 3. 재료 및 방법

제어 시스템은 그림 1에서 보는바와 같이 1)작업기에 의한 작업조건 등의 설정 및 조사를 위한 설정조작부, 2)작업기의 위치, 견인력, 경심 및 작업부하 등의 검출을 위한 각종 센서로 구성되는 검출부, 3)센서로부터의 신호를 입력보드(A/D보드)를 통해 읽어들이어 각종 연산처리를 수행하고, 출

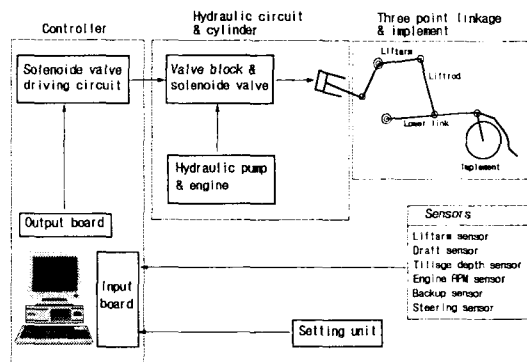


Fig. 1 Schematic diagram of electro-hydraulic implement control system.

력보드(D/A 및 D/O보드) 통해 밸브 구동 회로에 제어신호를 출력하기 위한 제어용 컴퓨터 및 유압 밸브의 구동을 위한 밸브 구동회로 등으로 구성되는 전자 제어부, 4)전자 제어부로 부터의 제어신호에 의해 솔레노이드밸브를 온/오프 제어함으로써 유압펌프로부터의 압유 또는 작업기의 자중에 의해 단동식 유압실린더를 상승 및 하강시키기 위한 솔레노이드밸브 및 밸브블록 등으로 구성되는 유압회로, 5)리프트암을 통해 유압실린더와 직접 연결되어 있는 3점링크 및 작업기의 5요소로 구성하였다. 유압회로내에는 방향 전환용 솔레노이드 밸브외에 실린더의 유입 및 배출유량을 조절할 수 있는 오리피스와 솔레노이드밸브로 구성되는 2속용 밸브를 설치하였다. 따라서 2속용 솔레노이드 밸브의 온/오프 제어에 의해 펌프로부터의 토출유량이 솔레노이드밸브 또는 오리피스를 통해 실린더에 유입되느냐에 따라 작업기는 고속 또는 저속으로 상승하며, 하강도 실린더의 배출유량이 솔레노이드밸브 또는 오리피스를 통해 유압탱크로 배출되느냐에 따라 작업기는 고속 또는 저속으로 하강한다. 또한, 제어 시스템은 작업기에 따른 기본 제어외에 운전자의 편의 등을 고려하여 리프트암 상한, 원터치 상승, 전/후진 상승 및 스티어링 상승 등의 부가제어가 가능하도록 설계하였다.

#### 가. 실험장치

그림 2에 실내에서의 제어시스템의 응답특성실험을 위한 실험장치를 표시하였다. 실험장치는 설계된 제어시스템이 장착되어 있는 공시 트랙터(D450), 응답특성실험시의 제어용 컴퓨터에 일정 진폭 및 주파수의 방형파 및 정현파 신호를 입력하기 위한 Function generator(다가전자, 7202 SWEEP) 및 실험중의 각종 센서로부터의 신호를 기록하기 위한 아나로그 데이터레코더(KYOWA, RTP-600B) 등으로 구성하였다. 실험중의 제어용 컴퓨터 및 데이터레코더에 필요한 전원은 공시 트랙터에 장착된 발전기에 의해 공급되었다.

#### 나. 예비실험

제어시스템을 구성하고 있는 유압회로내의 유압

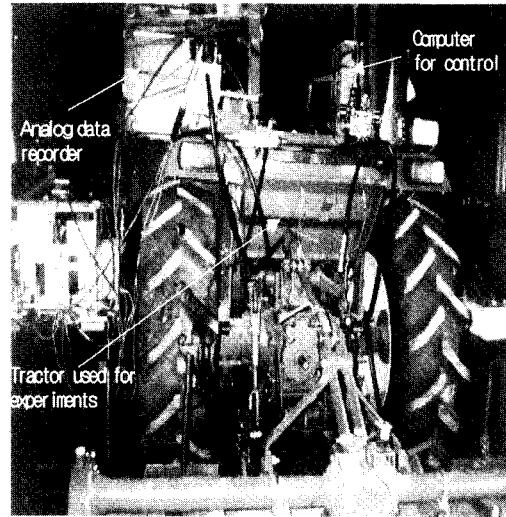


Fig. 2 Experimental apparatus.

펌프는 엔진동력에 의해 작동되며, 유압펌프의 토출유량은 엔진회전수의 변화에 따라 변화한다. 따라서 제어시스템의 응답특성실험을 수행하기 전에 엔진회전수의 변화와 펌프의 토출유량사이의 관계를 규명하기 위한 예비실험을 수행하였다. 예비실험은 약 800rpm에서 2600rpm까지 엔진 회전수를 변화시키면서 각각의 엔진회전수에서의 펌프의 토출유량을 측정하였다. 또한 예비실험에서는 중립상태(작업기가 움직이지 않는 상태)에서의 설계된 유압회로내의 솔레노이드밸브의 압력손실( $\Delta P$ )을 규명하기 위해 압력특성실험을 3수준의 엔진 회전수(1500, 2000, 2500rpm)에 대해 수행하였다.

#### 다. 응답특성실험

응답특성실험에서는 과도상태 및 주파수영역에서의 제어 시스템의 응답특성을 규명하기 위한 스텝 및 정현파입력 응답특성실험과 유압회로의 고·저속 전환시의 응답특성을 규명하기 위한 전환특성실험을 수행하였다. 제어용 컴퓨터에의 스텝 및 정현파입력신호는 Function generator 출력신호의 진폭 및 주파수를 변화시킴에 의해 행해졌으며, 실험은 실내에서 수행하였다.

##### (1) 스텝입력 응답특성실험

스텝입력 응답특성실험은 제어 시스템의 과도상

태에서의 응답특성을 규명하기 위해 수행하였다. 실험은 진폭 약 12°, 주파수 약 0.5Hz의 스텝파형 입력신호에 대해 3수준의 엔진 회전수(1500, 2000, 2500rpm), 2수준의 상승·하강 속도(고속 및 저속) 및 3수준의 저속유량(8, 10, 12 lpm)의 조건하에서 수행하였다.

(2) 정현파입력 응답특성실험

정현파입력 응답특성실험은 제어 시스템의 주파수 영역에서의 응답특성의 규명을 위한 실험으로, 진폭 약 12°의 정현파입력신호에 대해 1)대표적으로 2수준의 엔진 회전수(2000, 2500rpm), 2)7수준의 입력주파수(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 2.0Hz) 3)2수준의 상승·하강 속도(고속 및 저속:10 lpm)의 조건하에서 수행하였다.

(3) 고·저속 절환특성실험

본 연구에서 설계된 제어 시스템의 유압회로는 2종류의 유량이 유압실린더에 유입되고, 실린더로부터 배출됨으로서 작업기의 상승·하강이 고속 및 저속으로 작동하며, 이것은 컴퓨터에 의해 유압회로내의 2속용 솔레노이드밸브를 온/오프 제어함으로써 이루어진다. 고·저속 절환시의 유량변화에 의한 제어 시스템의 응답특성을 규명하기 위한 절환특성실험이 3수준의 엔진회전수(1,500, 2,000, 2,500rpm), 2수준의 저속 유량(10, 12 lpm)에서 목표치에 대한 고·저속 절환각도를 4, 6, 8, 10, 12, 14°로 변화시키면서 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 예비실험

실험에 사용된 공시 트랙터의 경우 리프트암의 대지면 회전각은 약 -20°(최하단)에서 56°(최상단)로, 76°의 범위내에서 리프트암은 회전한다. 그림 3에 리프트암의 회전각도와 센서 출력전압사이의 관계를 표시하였으며, 회전각도와 출력전압사이에는 높은 선형관계가 있음을 알 수 있다. 그림 4에 엔진회전수의 변화에 따른 유압펌프의 토출유량 변화를 표시하였다. 그림 4의 실험결과로부터 유압펌프의 토출유량은 엔진회전수에 비례하여 선

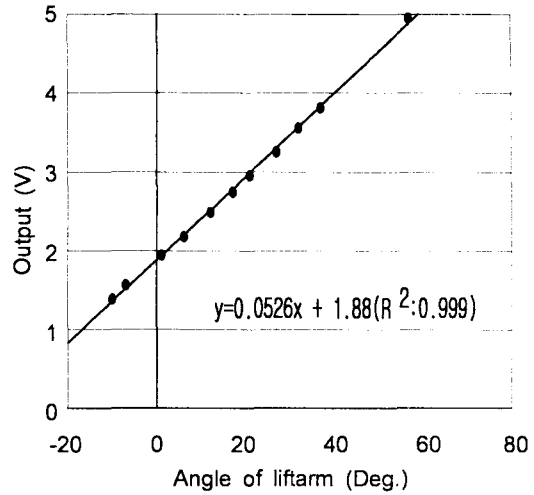


Fig. 3 Relationship between angle of liftarm and output of sensor.

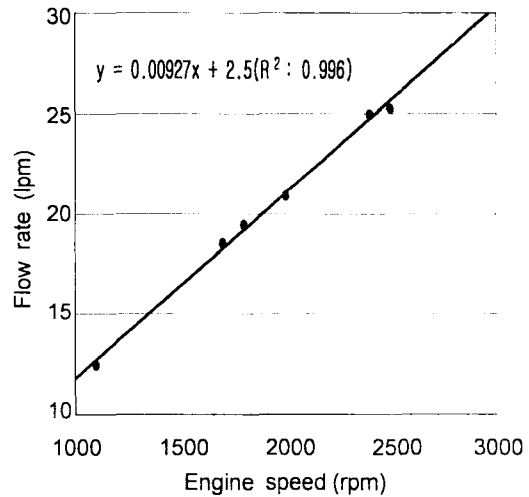


Fig. 4 Relationship between engine speed and flow rate of hydraulic pump.

형적으로 증가함을 알 수 있으며, 주로 경운작업이 행해지는 엔진회전수 2,600rpm에서의 토출유량은 약 26 lpm이었다.

그림 5에 솔레노이드밸브가 중립상태 즉 유압펌프로부터 압유가 유압실린더에 유입되지 않고 유압탱크로 바이패스될 때 엔진회전수의 변화에 대한 유압회로내의 압력손실을 표시하였다. 그림 5

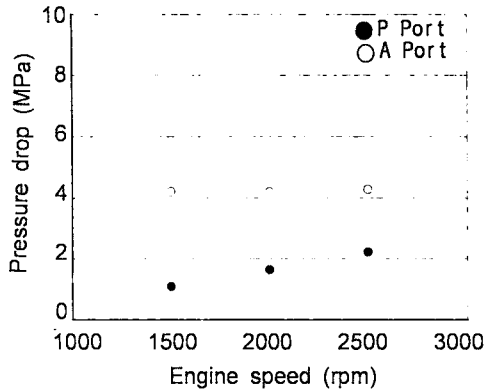


Fig. 5 Relationship between pressure drop of hydraulic circuit and engine speed(when solenoid valve was neutral state).

의 실험결과로부터 P포트에서의 압력손실은 엔진 회전수에 비례하여 증가하고, 일반적인 작업회전수인 2,500rpm에서의 압력손실은 약 2.15MPa이다. 2.15MPa의 압력손실은 국내 농용 트랙터의 수동식 포지션제어용 매뉴얼밸브의 압력손실(약 1.47MPa) 보다는 약간 높으나, 제어 시스템의 제어 성능에 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한 정적인 상태에서의 작업기의 순수하중(공시 작업기의 하중: 약 3.68KN)에 의한 실린더(내경: 85mm)내의 압력은 약 4.22MPa이었다.

#### 나. 스텝입력 응답특성실험

제어 시스템의 과도상태에서의 응답특성을 규명하기 위한 스텝입력 응답특성실험이 진폭 약 12°, 주파수 약 0.5Hz의 방형파입력 신호에 대해 3수준의 엔진 회전수(1500, 2000, 2500rpm), 2수준의 상승·하강 속도(고속 및 저속) 및 3수준의 저속유량(8, 10, 12 lpm)의 조건하에서 수행하였다. 대표적으로 엔진회전수 2500rpm, 저속 설정유량 10 lpm에서의 고속 및 저속에 대한 상승 및 하강시의 실험결과를 그림 6에 표시하였다. 그림 6의 실험결과로부터 저속에서는 상승 및 하강의 경우에 제어 시스템의 과도상태에서의 특성은 거의 오버슈팅없이 안정적으로 리프트암이 목표치에 잘 추종하고 있다. 그러나 고속의 경우에는 하강시에는

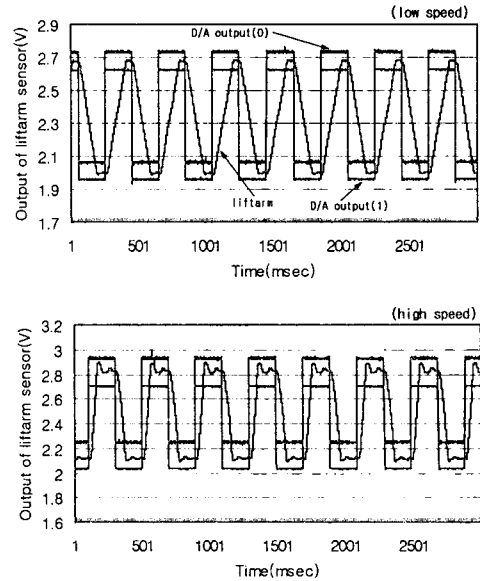


Fig. 6 Results in step input characteristic experiments.

거의 오버슈팅없이 안정적으로 리프트암이 목표치에 추종하고 있으나, 상승시의 과도상태에서 약간의 오버슈팅이 관측되었다. 이러한 현상은 유압회로에 사용된 단동식 유압실린더내 피스톤의 상승쪽이 자유단인 관계로 솔레노이드밸브는 Off 되어도 작업기의 하중에 의한 관성력과 저속시의 유량(10 lpm)과는 달리 고속시의 경우는 펌프의 토출 유량(약 26 lpm)이 유압실린더에 유입되므로 실린더의 상승속도가 빠르기 때문에 생기는 현상이라고 판단된다. 정상상태에서의 목표치에 대한 제어편차는 저속의 경우에 평균 약 0.2° 이고, 고속의 경우가 약 0.5° 이었다. 보다 정밀한 제어를 하기 위해서는 제어편차만큼 미리 솔레노이드밸브를 오프시켜줄 필요가 있다고 생각된다.

#### 다. 정현파입력 응답특성실험

제어 시스템의 주파수 영역에서의 응답특성 규명을 위한 정현파입력 응답특성실험이 진폭 약 12°의 정현파입력신호에 대해 2수준의 엔진 회전수(2000, 2500rpm), 7수준의 입력주파수(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 2.0Hz) 및 2수준의 상승·하강 속도(고속 및 저속: 10 lpm)의 조건하에서 수행하였다.

대표적으로 엔진회전수 2,500rpm, 저속에서의 0.5, 0.7, 1.0 및 2.0Hz의 입력 주파수에 대한 실험결과를 그림 7에 표시하였다. 그림 7의 실험결과로부터 입력 주파수 0.5Hz까지는 거의 위상차 없이 리프트암이 목표치에 잘 추종하였으나, 0.7Hz에서는 약간의 위상차가 관측되었으며, 1.0Hz부터는 추종성은 인정되나 위상차의 증가와 함께 게인도 크게 감소하였다. 농용트랙터에 의한 경운작업중의 작업기에 의한 작업깊이의 변화는 일반적으로 차륜의 침하에 의한 차체피칭현상 등에 의해 발생된다. 공시 트랙터의 전·후륜의 침하 차가 15cm라고 가정하면, 시뮬레이션 결과로부터 차륜 침하의 차에 의한 차체피칭각은 약 5° 정도이고, 로타리 작업기의 경우의 경심 변화는 약 11cm이며, 이를 보정하기 위한 리프트암의 각도는 약 8° 이다. 일본의 경우에 있어서 주행속도 1 km/h에서의 메인 Pitching주파수가 0.2Hz이고, 우리나라의 경우에 로타리에 의한 경운작업이 일반적으로 주행속도

3km/h에서 행해지고 있는 점을 고려할 때에 제어를 위한 충분한 응답성이라고 판단된다. 또한 위치제어와 같이 커다란 편차가 발생하는 경우에는 고속 및 저속을 잘 조화시킴으로서 제어 시스템으로서의 충분한 응답성을 갖을 수 있을 것으로 생각된다.

#### 라. 고·저속 절환특성실험

고·저속 절환시의 유량변화에 의한 제어 시스템의 응답특성을 규명하기 위한 절환특성실험이 3수준의 엔진회전수(1,500, 2,000, 2,500rpm), 2수준의 저속유량(10, 12 lpm)에서 목표치에 대한 고·저속 절환각도를 4, 6, 8, 10, 12, 14° 로 변화시키면서 수행하였다. 대표적으로 엔진회전수 2,500 rpm, 절환각도 8° 시의 저속유량 10 및 12 lpm에 대한 실험결과를 그림 8에 표시하였다. 그림 8의 실험결과로부터 저속유량에 관계없이 상승 및 하강에 대

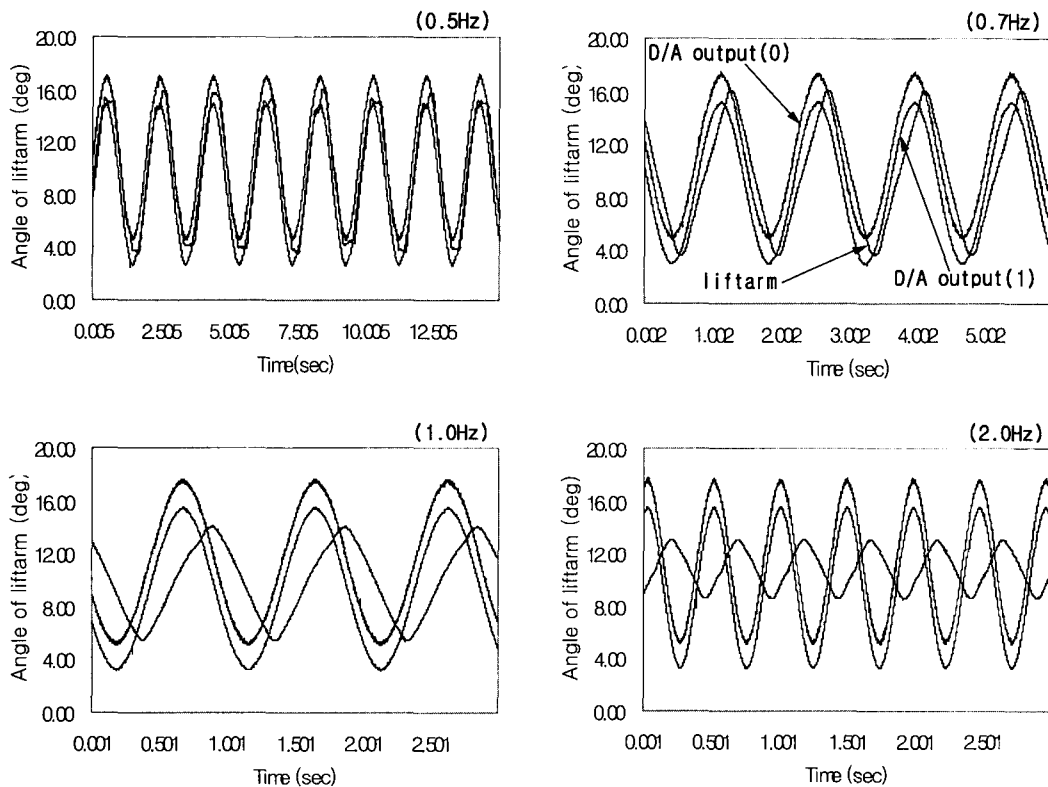


Fig. 7 Results in sine wave input characteristic experiments.

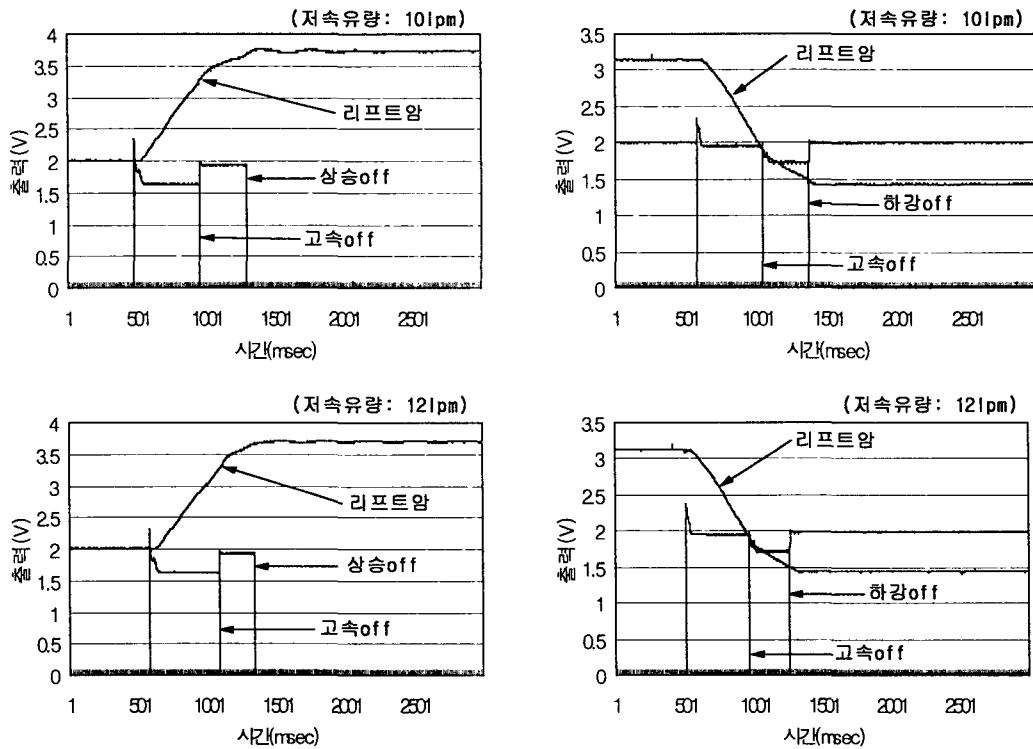


Fig. 8 Results in response characteristic experiments of the control system when hydraulic cylinder was changed from high to low speed.

한 고속에서 저속으로의 전환이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 다른 실험에서도 동일한 전환특성을 보여주었다.

### 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 플라우 및 로타리의 양 작업기에 의한 고정도 및 고효율의 경운 작업이 가능한 3점 링크를 기본으로 하는 저가의 농용 트랙터용 작업기 제어 시스템(고가의 비례제어밸브가 아닌 ON/OFF 솔레노이드밸브에 의한 유압회로의 구성)을 하드웨어와 소프트웨어에 의해 구성하여 시작기에 의한 실내실험 등을 통해 작업기 제어 시스템으로서의 적용 가능성을 검토하였으며, 주요 실험결과는 다음과 같다.

1) 유압펌프의 토출유량은 엔진회전수에 비례하여 선형적으로 증가하며 엔진회전수 2,600rpm에서의 토출유량은 약 26 lpm이었다. 또한 솔레노이드

밸브가 중립상태 즉 유압펌프로부터의 압유가 유압실린더에 유입되지 않고 유압탱크로 바이패스될 때의 엔진회전수 1500, 2000, 2500에 대한 유압회로의 압력손실은 약 1.08MPa에서 2.15MPa의 범위내에 있었다.

2) 스텝입력특성실험의 결과로부터 저속(10 lpm)에서는 상승 및 하강에 관계없이 거의 오버슈팅없이 안정적으로 리프트암이 목표치에 잘 추종하는 특성을 보여주었으나, 고속의 경우의 상승시에 과도상태에서 약간의 오버슈팅이 관측되었다. 정상상태에서의 목표치에 대한 제어편차는 저속의 경우에 약 0.2° 이고, 고속의 경우가 약 0.5° 이었다.

3) 저속의 경우 제어 시스템의 주파수 영역에서의 응답특성은 입력 주파수 0.5Hz까지는 상승 및 하강에 관계없이 거의 위상차 없이 리프트암이 목표치에 잘 추종하였으나, 0.7Hz에서는 약간의 위상차가 관측되었으며, 1.0Hz부터는 추종성은 인정되나 위상차의 증가와 함께 게인도 크게 감소하였

다.

4) 고·저속 전환시 유량변화에 의한 제어 시스템의 응답특성은 저속유량(10, 12lpm), 전환각도(4, 6, 8, 10, 12, 14°)와 상승 및 하강에 관계없이 고속에서 저속으로의 전환이 잘 이루어지고 있음이 관측되었다. 본 연구에서 설계된 제어 시스템은 고속작동 후 목표치부근에서의 저속작동을 목적으로 하고 있기 때문에 저속에서 0.2°의 제어편차는 작업기 승·하강 제어 시스템으로써 충분한 제어 정도라고 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. Damai, S. 1993. Implement control system of tractors, Pat. No. 7-28567(Japan).
2. Gerhard keuper. 1999. Electro-hydraulic hitch control, ASAE meeting presentation paper No. 991070, ASAE.
3. Hobbs, J. and H. Hesse. 1980. Electronic/hydraulic hitch control for agricultural tractors, SAE paper No. 801018, SAE.
4. Jiang, Y., N. Honami and S. Umeda. 1992. Microcomputer control system for tractor implement, journal of JSAM, vol 54(No. 3), pp. 5-13.
5. Katayama, Y., S. Takahashi, Y. Sugimoto and T. Hukumoto. 1993. Electronic draft control system, Technical report of Kubota co., Ltd, vol. 26, pp. 41-53.
6. Kawamura, N. and T. Hujura. 1979. Automatic control of rotary tilling tractor(2)-automatic control of traveling speed and tilling depth by detecting tilling reaction force, journal of JSAM, vol 41(No. 3), pp. 397-403.
7. Satou, T., K. Miyamoto and K. Matsuda. 1985. Utilization of ultrasonic wave sensor in plow depth control, Hokkaido Br. of JSAM, vol 26, pp. 37-43.