

경사지 트랙터용 차체 수평제어 시스템 개발  
- 유압시스템의 수평제어 성능 -

Development of Leveling Control System for a  
Slope Land Tractor  
- Performance of leveling control by hydraulic system -

이상식	오기석	이재용	황 현
정회원		정회원	정회원
S. S. Lee	K. S. Oh	J. Y. Lee	H. Hwang

ABSTRACT

In this study, the leveling control system for a tractor has been developed. The experimental model showed that the implementation of the proposed hydraulic control system for the prototype design of a slope land tractor was feasible. The front axle was designed as a center pin type and the rear axle was designed as a trailing arm type. The leveling control of the body on the slope land was accomplished by controlling the height of the right and left trailing arms using the electronic controlled hydraulic cylinder. The maximum leveling control angles were  $\pm 15^\circ$  for roll angle and  $\pm 7^\circ$  for pitch angle. The front and rear wheel drives were transmitted by gears from the main shaft to the final drive. The adaptability of the hydraulic control system was tested and investigated by analyzing the system response in time and frequency domain. The hydraulic control system on a step input showed a linearly increasing trend without any overshoot state. The hydraulic control system on a frequency input showed a little phase differences and gain drops within the range of 0.3Hz.

**Keywords** : Leveling control system, Hydraulic system, Slope land tractor, Leveling performance.

1. 서 론

현재 국내에서는 경사지 이용 확대를 위한 구체적인 방향이 수립되어 있지 않기 때문에 농지 조성비의 절감, 적기 집약적 재배에서의 토지 생산성 향상을 위해서 경사지를 대상으로 영농의 기계화가 필요하다고 하겠다. 경사지 중 농경이 가능

한 지역에서 트랙터를 이용하여 작업하는 경우, 경사로 인하여 작업자의 위험부담이 높아지고 트랙터의 작업 효율은 현격히 떨어진다.

경사지에서의 트랙터 주행은 등고선 방향과 경사지 방향 주행으로 나눌 수 있다. 일반 트랙터로 경사지에서 작업을 할 경우, 등고선 방향으로 주행하는 것이 유리하나 급경사에서는 등판 방향으

---

This research was funded by the '99 MAF-SGRP (Ministry of Agriculture and Forestry-Special Grants Research Program) in Korea. The paper was submitted for publication in March, 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2002. The authors are S. S. Lee, Director, J. Y. Lee, President, Mido Tech Ltd. and K. S. Oh, Assistant Researcher, LG Cable Co. Ltd, Korea and H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Korea. The Corresponding author is H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Faculty of Life Science and Technology, Sungkyunkwan University, Korea. E-mail : <hhwang@skku.ac.kr>.

로 진행하는 것이 일반적이다. 등판방향 작업의 경우, 후방전도의 위험을 고려해야 하나 이보다는 토양이 침식되고 작업 관리가 매우 어렵게 된다. 따라서 경사지에서는 대개 등고선 방향으로 작업을 수행한다. 트랙터가 등고선 방향으로 주행하며 작업하는 경우, 차체의 기울어짐으로 인하여 작업자의 조작성 및 작업능률이 저하되고, 편하중에 의한 견인성능 저하 및 횡전도에 의한 안전성 저하가 문제가 된다. 등고선 방향 작업으로 야기되는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 경사지에서도 차체의 자세를 항상 수평으로 유지하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 트랙터의 수평제어를 위한 유압 특성 시험을 수행(Lee 등, 1999)한데 이어서 경사지에서 차체를 수평으로 유지하는 동력 전달 체계 및 수평제어 시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 시작기의 제작과 유압 시스템의 제어 성능에 관한 내용을 소개하고 향후에는 경사각 센서의 응답성 및 단축기구의 제어 성능에 관한 내용과 포장 성능시험 결과를 소개하고자 한다.

차체 수평 제어 시스템의 최근 동향은 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫째는 좌석 수평제어 방식으로서 시스템의 구성이 간단하고 운전자의 피로 방지에 효과가 있다. 하지만, 오히려 작업자가 경사도를 인식하지 못하여 횡전도 방지와 같은 안전성 확보에 문제가 있다. 둘째는 센터 핀 방식을 이용하여 차체만을 수평으로 유지하는 제어방식으로 안전성 및 주행성능은 개선되지만, 좌우측 차륜에 대한 접지 하중의 차이로 인하여 충분한 견인성능을 발휘할 수 없다. 셋째로 평행 링크식의 경우는 경사각의 변화와 함께 윤거가 변화하므로 급경사지에서는 윤거의 변화에 따른 횡전도 영향을 크게 받는다. 또한 수동 동작으로 인하여 작업자의 능률이 저하된다. 넷째로 단축식의 경우는 경사각의 변화에 관계없이 윤거가 일정하고 차체 중량 배분이 차체에 균등하므로 견인성능 및 작업 능률을 향상시킬 수 있다.

경사지용 트랙터의 연구사례를 살펴보면, Tajiri 등(1988)과 Tajiri와 Sato(1989)는 전륜은 평행링크식이고 후륜은 단축식인 트랙터를 개발하였다. 전륜에 평행링크를 사용하기 때문에 통상의 트랙터와 동일한 조향 효과를 얻을 수 있으나, 윤거 변화에 대한 대책이 필요하고, 평행링크의 구조가 기구적으로 복잡한 문제점이 있다. Fukuda(1982)와 Fukuda 등(1990)이 개발한 트랙터는 4륜이 모두 단축식이다. 관절형(articulated) 조향 제어방식

은 트랙터 본체가 2부분으로 나누어 지므로 앞 차체 및 뒤 차체의 안전성에 문제가 있으며 4바퀴 모두 체인방식으로 동력을 전달하기 때문에 동력 효율이 저하된다. 소련 농업 설계국(Fumihiko 등, 1975)에서 개발한 모델은 구동륜이 전, 후 각 한 개의 이륜이고 보조륜이 축 방향으로 2개 장착되어 있다. 보조륜의 수동 조작은 유압으로 되고 평행 링크의 결합으로 되어 있다. 경사지 조향 및 작업이 한정된 문제점과 수동에 따른 불편함을 가지고 있으며, 8, 16, 30마력의 3가지 모델로 개발되었다. 임업작업에 사용되는 경사지용 트랙터로 독일 Pekazett사(Fumihiko 등, 1975)에서 개발한 모델은 3륜형 트랙터이고, 전륜은 한 개, 후륜은 단축식이고 2개이다. 구동륜은 후륜이며 단축조절 장치로 수평을 조절한다. 이 시스템은 임업용 작업에 한정되어 있고 4륜 구동이 불가능하다. 초지 관리를 위한 보행용 일축 이륜 트랙터를 스위스 Rapid사(Fumihiko 등, 1975)에서 개발하였는데 수동 단축 장치로 좌우 차륜을 조절하고 엔진은 2마력이다. 이것은 저마력에 수동 조작이므로 작업 성능이 매우 떨어진다. 특수 보조 차륜이 장착된 트랙터로서 프랑스 Ballu사(Fumihiko 등, 1975)에서 개발한 모델은 수동 유압 제어가 가능한 보조 차륜의 조절로 등고선 작업이 가능하다. 그러나 경사지 조향의 문제점 및 소형 마력으로 제작되었기 때문에 작업성능이 떨어진다. 미국의 Slope Tractor 사(Fumihiko 등, 1975)에서 개발한 경사지용 트랙터는 전륜과 후륜이 센터 핀 방식으로 구성되어 있다. 이것은 초지용으로 주로 사용하며, 엔진은 50마력이다. 유압 제어 방식으로 차체를 수평제어 하지만 견인성능 저하라는 센터 핀 방식의 고유 문제점을 가지고 있다. 미국 Gravelly사(1998)에서 개발한 초지용 트랙터는 구동륜은 전, 후 각 한 개의 이륜이고 보조륜은 총 4개로 넓은 경사판에 장착되어 있는 시스템이다. 이 시스템은 단순히 초지용으로만 사용되는 한계를 가지고 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시작기 설계, 제작

#### (1) 차체 및 동력 전달장치

트랙터의 수평 제어시스템 개발을 위한 트랙터의 모델선정 및 사양결정을 위한 기준은 사용범위가 농경지(논, 밭 및 하우스), 과수, 초지 등 경우,

정지 및 관리 등의 작업을 기본으로 하는 평지 뿐만 아니라 경사지를 대상으로 차체의 수평을 유지하면서 작업이 가능한 시스템으로 하였다. 경지규모가 작은 한국에서는 대형 트랙터보다는 다목적으로 사용이 용이한 중, 소형이 적당할 것으로 판단된다. 한국과 농업환경이 비슷한 일본의 경우 30마력 이하의 트랙터가 주류이고, 하우스용 등으로 사용이 가능한 소형사이즈가 유리할 것으로 판단하였다. 특히 밭, 과수원 등과 같은 경사지농업의 경우에는 대구획화가 불가능하며 소규모로서 분산된 형태를 취하고 있으므로 대형 트랙터보다는, 소형이 우리나라 실정에 적당하다고 하겠다. 이상의 조건을 충족시키는 소요 동력은 30~40마력이 적절하여 기존 트랙터 중 국내 L사인 36마력(GT360D) 트랙터 엔진을 기준으로 설계, 제작하였다.

시작기의 수평 제어시스템은 경사지의 경사각 변화에도 불구하고 횡전도에 영향을 미치는 윤거가 거의 일정하고, 게다가 차륜에 있어서의 접지하중이 거의 균일하게 작용하므로 수평 제어를 위한 메커니즘으로 후륜은 단축식으로 자동으로 수평제어가 가능하도록 하였고 전륜은 경제성 측면에서 기존의 센터핀 방식을 적용하였다. 동력 전달장치는 기어를 이용한 동력 전달을 적용하였다. 트랙터의 수평 제어시스템은 횡전도에 대한 문제가 해결되고, 차륜의 고른 중량배분으로 인하여 추진력 증대, 조향 저항 감소, 견인력 향상 및 운전자의 불안감이 감소되는 등의 장점이 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 트랙터의 차체를 수평으로 유지할 수 있도록 하기 위하여 후륜의 경우 내측 케이스와 외측 케이스는 후륜 케이스에 연결하였고, 연결부에는 볼 베어링을 설치하였다. 후륜의 내측케이스와 외측 케이스가 후륜 케이스를 중심으로 회전이 가능하도록 하였으며, 외측 케이스와 차체 프레임에 유압 실린더를 설치하여 유압 실린더가 작동하면 실린더 내부의 실린더 로드의 길이 변화로 실린더 로드와 연결된 외측 케이스를 상하로 회전시켜 차체의 높이를 조절하여 차체의 수평을 유지하도록 하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 전륜의 경우 후륜의 제어에 의하여 차체가 회전할 때 피봇축 사이의 유동을 부드럽게 하기 위하여 부싱을 삽입하였다. 전륜이 좌우로 회전하여도 항상 일정한 상태를 유지하여 차체가 수평을 유지할 수 있도록 하였다.

트랙터 각 구동륜의 수평 제어를 위해 차체가 기울어지면 차체의 프레임에 부착된 좌우 경사각

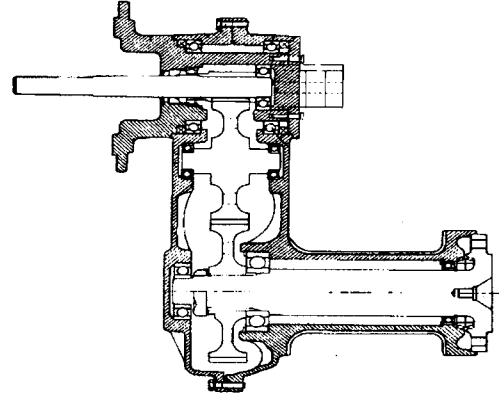


Fig. 1 Rear Axle.

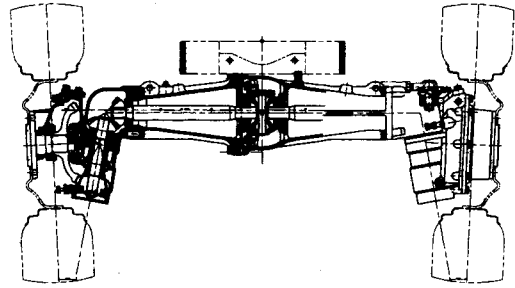


Fig. 2 Front Axle.

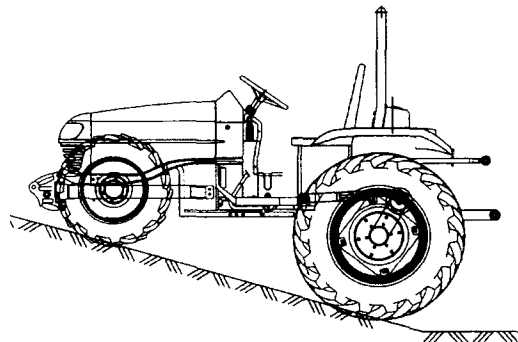
감지센서와 상하 경사각 감지센서로부터 신호를 받아, 마이크로 컴퓨터에서 경사각을 계산하여 좌측 바퀴 솔레노이드 밸브와 우측 바퀴 솔레노이드 밸브를 선택적으로 작동시키거나, 동시에 작동시키도록 하였다. 솔레노이드 밸브의 개방 시간에 의하여 실린더 로드의 길이를 조절할 수 있으며, 실린더 로드와 연결된 외측 케이스를 상하로 조절시켜 차체의 수평을 유지할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 시스템의 개발에 사용된 트랙터는 속도가 0~30 km/h, 출력은 36 PS 및 최대 롤링제어 각은  $\pm 15^\circ$ , 최대 피칭제어 각은  $\pm 7^\circ$ 이고 상세 제원은 표 1과 같다. 그림 3은 트랙터가 등고선 방향으로 주행할 때, 수평 제어시스템이 작동하여 차체를 수평으로 유지했을 때의 구조를 보여주고 있다.

## (2) 유압장치

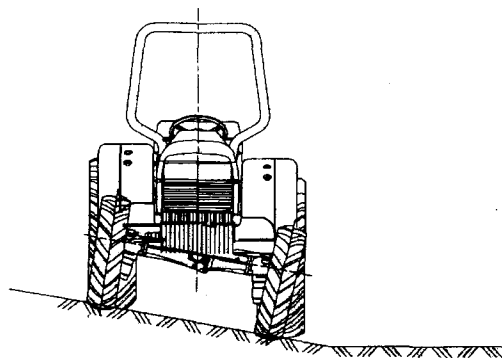
유압 장치에 대한 개략적인 회로를 그림 4에 표시하였고, 후륜을 독립적으로 제어하기 위해 2개의 유압 실린더를 사용하지만 양쪽 차륜의 회로가

Table 1 Specification of tractor used

Performance	Speed	0~30 km/hr
	Draft force	250 kgf
PTO	Type	Independent
	Shift	3
Engine	Type	Diesel
	Cylinder	4
	Max. rpm	2,850 rpm
	Output	36PS / 2,700 rpm
Feature	Length × Height × Width	3,450 × 2,050 × 1,400 mm
Tire	Front	8~16(4PR)
	Rear	12.424(8PR)
Weight		1,660 kgf
Maximum Attitude Control Angle	Rolling	± 15°
	Pitching	± 7°



(a) Slope line travelling



(b) Contour line travelling

Fig. 3 Tractor travel on the slope.

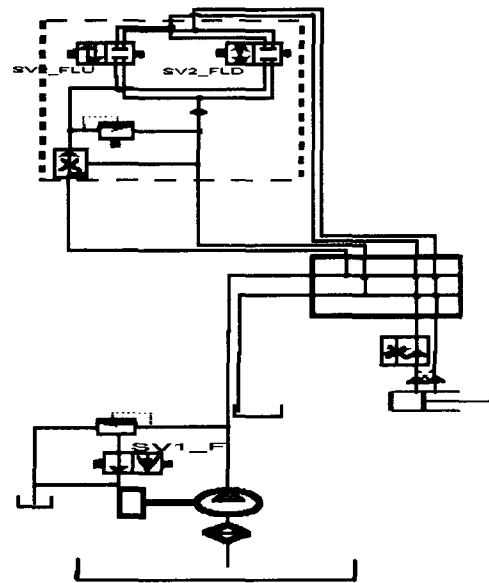


Fig. 4 Diagram of hydraulic circuit.

동일하므로 1개의 회로만 표시하였다. 유압회로는 시작기에 부착된 유압 펌프, 유압유의 방향 제어를 위한 2종류(SV1\_FLU, SV2\_FLD)의 솔레노이드 밸브, 1개의 분류기 및 1개의 복동식 유압 실린더로 구성되어 있다. 또한, 안전성 확보를 위해 체크 밸브를 유압 실린더쪽에 장착하였으며 제어 동작

은 마이크로 컴퓨터로서 2종류의 솔레노이드 밸브를 동시에 제어하여 수행하였다. 유압회로의 이론적 분석 및 설계를 통해 유압회로에 필요한 사양을 결정하였고 유량은 10 l/min이고 유압은 130 kgf/cm<sup>2</sup>이다.

(3) 전자 제어장치

전자 제어부는 솔레노이드 구동회로, 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키는 A/D변환기, 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환시키는 D/A변환기, 마이크로 컴퓨터(IBM PC 호환기종 486), 일정 주기로 데이터를 안전하게 받기 위한 인터럽트 발생기로 구성하였다. 그림 5에서 솔레노이드 구동 회로는 OP-앰프를 이용한 가산회로, 비교회로 및 솔레노이드를 직접 구동하기 위한 트랜지스터 등으로 구성하였다.

A/D보드(PCL-818HD, Advantech, Taiwan)는 12비트 8채널로서 최대 샘플링 주파수는 100kHz이고, D/A보드(PCL-726, Advantech, Taiwan)는 6채널을 사용하였다.

인터럽트 발생기의 하드웨어 구성은 그림 6과 같다. 주파수 발진기로는 1 MHz 오실레이터(HXO-001, Sunny Co., USA)를 사용하여 데이터의 획득 시 안정된 파형을 얻도록 하였고, 충분한 인터럽트 시간을 얻기 위해 74LS90 카운터를 사용하여 오실레이터의 주파수를 10분주하였다. 임의의 주기를 설정하기 위한 8253 프로그래머블 카운터는 A/D 보드에서 내장된 카운터를 사용하였다. 목적에 따라 점퍼 설정을 바꿈으로써 A/D 보드에서 내장된 8253의 클럭 주파수를 1 MHz와 100 KHz를 선택적으로 사용할 수 있다.

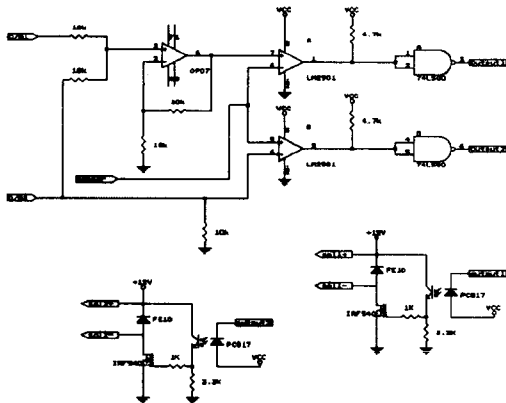


Fig. 5 The solenoid valve drive circuit.

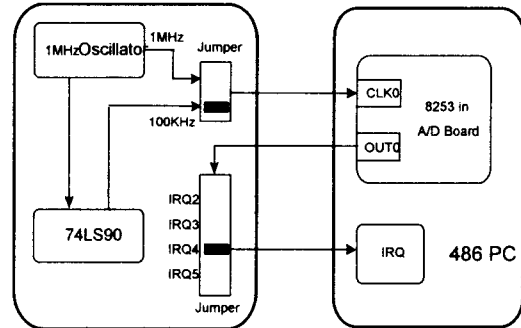


Fig. 6 Interrupt generator for the experiment.

나. 시험방법

유압 시스템의 제어성능을 알아 보기 위하여 시작기를 정적인 상태에서 수평 제어에 대한 시험을 수행하였다. 그리고 제어 시스템의 시간 및 주파수 영역에서의 응답 특성 평가를 위하여 스텝 및 주파수 응답시험을 하였다.

(1) 스텝 응답시험

입력되어지는 설정각 스텝 입력에 대하여 시스템의 출력을 측정하는 형태로 실내에서 시험하였고, 제어 시스템의 안전성을 평가하였다. 시작기의 유량은 10 l/min으로 고정하였으며 트랙터 속도를 임의의 1,000 rpm, 2,000 rpm, 2,700 rpm으로 하여 시험하였다. 그리고 좌우 롤링시험을 위한 입력 각도는 최고 제어 각도가 ±15°이므로 -3°, -10°, -5°, 5°, 10°, 13°, 전후 피칭시험을 위한 입력 각도는 최고 제어 각도가 ±7°이므로 -5°, -3°, 3°, 5°로 스텝 변화 시키면서 5회 반복하여 시험을 수행하였다. 좌우 롤링시험의 양(+)방향은 트랙터가 좌측으로 기울어지는 방향이며, 음(-)방향은 트랙터가 우측으로 기울어지는 방향이다. 그리고 전후 롤링 시험의 +방향은 트랙터가 상승하는 방향이며, -방향은 트랙터가 하강하는 방향이다. 각각의 센서 및 제어 신호는 데이터 레코드를 통하여 수집한 다음 A/D보드 및 컴퓨터(IBM PC 호환기종 586)에 의해 데이터를 처리하였다.

(2) 주파수 응답시험

주파수 응답 시험에서 시작기의 유량은 스텝 응답 신호와 동일한 10 l/min으로 고정하였으며 트랙터 속도도 스텝 응답 신호와 동일한 1,000 rpm, 2,000 rpm, 2,700 rpm으로 하여 시험하였다. 유압 시스템의 주파수 응답은 좌우 롤링시험만 수행하

였고 입력 진폭을  $\pm 7^\circ$ ,  $\pm 12^\circ$  및 주파수 0.02 Hz, 0.05 Hz, 0.08 Hz, 0.1 Hz, 0.2 Hz, 0.3 Hz, 0.4 Hz, 0.5 Hz, 0.6 Hz, 0.7 Hz, 0.8 Hz, 0.9 Hz, 1 Hz로 변화 시키면서 정현파형의 입력 신호에 대한 각각의 센서 및 제어 신호는 데이터 레코드를 통하여 수집한 다음 A/D보드 및 컴퓨터(IBM PC 호환기종 586)에 의해 처리 함으로서 데이터를 처리 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 스텝 응답시험

그림 7(a), (b)는 대표적으로 유량 10 l/min, 트랙

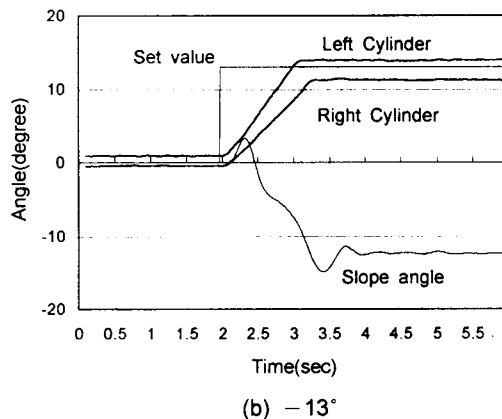
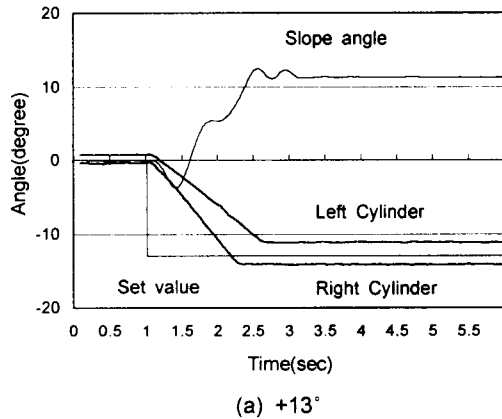


Fig. 7 Results of step response test of attitude control system at the flow rate of 10 l/min, the speed of 2,000 rpm, and the rolling angle of  $+13^\circ$ ,  $-13^\circ$ .

터 속도 2,000 rpm과 좌우 롤링방향 입력 각도  $-13^\circ$ ,  $+13^\circ$  조건하에서 시험한 결과를 보여주고, 그림 8(a), (b)은 전후 피칭방향 입력 각도  $+5^\circ$ ,  $-5^\circ$  조건하에서 시험한 결과를 보여주고 있다. 두 시험 모두 마이크로 컴퓨터에 의한 제어 신호에 제어 시스템이 잘 작동하였으며, 또한 제어 신호의 스텝 입력에 의한 과도 상태에서의 제어 시스템의 응답 특성은 과응답(overshoot) 없이 선형 증가의 안정된 응답 특성을 보여주고 있다.

시험 결과로부터 마이크로 컴퓨터의 제어 신호에 대해 솔레노이드 밸브 및 구동회로가 잘 동작하고 있음을 알 수가 있었다. 제어 시스템은 제어 입력 신호에 대하여 약  $1^\circ$  정도의 정상 편차를 갖

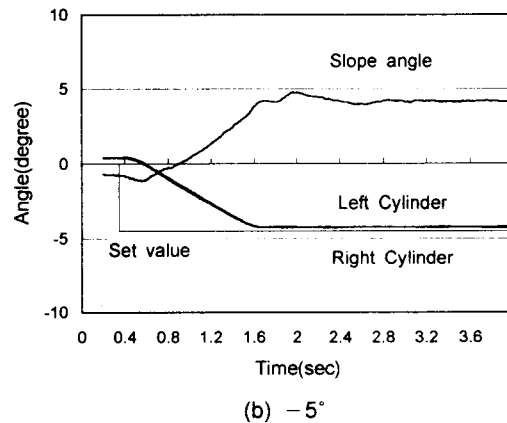
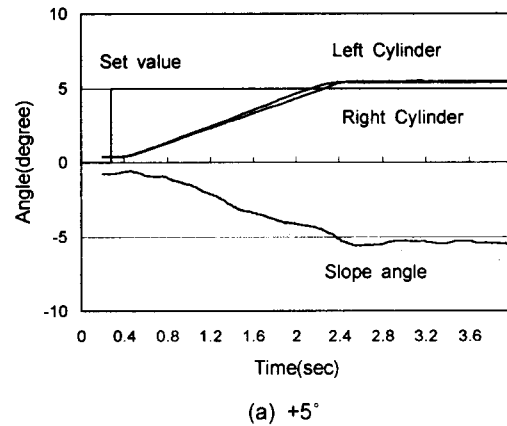
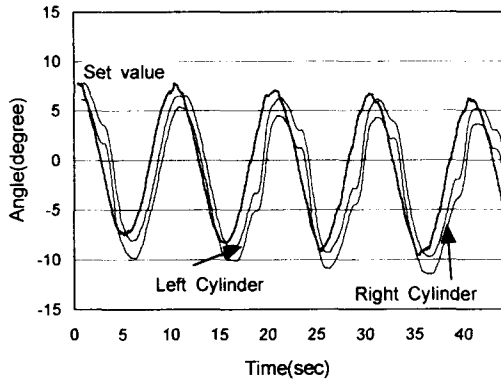
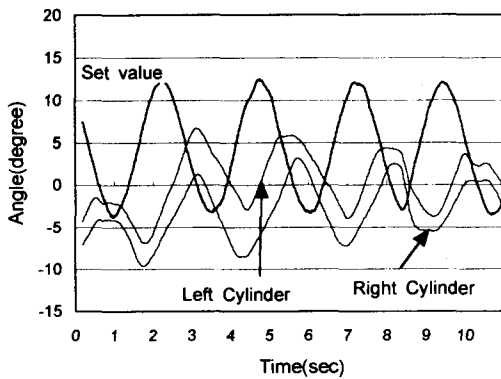


Fig. 8 Results of step response test of attitude control system at the flow rate of 10 l/min, the speed of 2,000 rpm, and the pitching angle of  $+5^\circ$ ,  $-5^\circ$ .



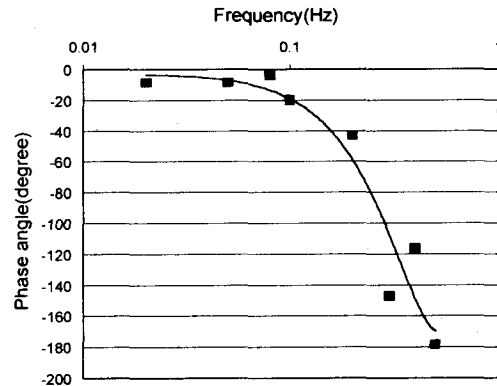
(a) 0.3 Hz



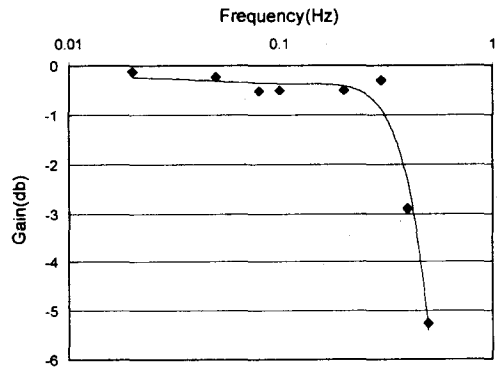
(b) 0.5 Hz

Fig. 9 Results of frequency response test of attitude control system at the flow rate of 10 ℓ/min, the speed of 2,000 rpm, and the rolling angle of ±7°.

고 있으며 이는 경사지에서 트랙터가 주행할 때, 무시 가능한 각도 범위이다. 하지만 구동 회로에 의한 솔레노이드 밸브의 정확한 제어 신호에도 불구하고 실린더가 응답하지 않는 약 0.05초의 불감대가 관측되었다. 이것은 솔레노이드 밸브의 응답 지연에 의한 것으로 경사지에서의 트랙터 작업 속도가 약 0.5 m/sec를 고려할 때 무시 가능한 범위 내라고 생각된다. 그리고 좌우 롤링시험에서의 유압 시스템의 정착시간은 +5°, -5° 제어시 약 0.5 초, +10°, -10° 제어시 약 1초, +13°, -13° 제어시 약 1.1초인 것으로 나타났으며, 전후 피칭시험에서의 유압 시스템의 정착시간은 -3° 제어시 약 1.3초, -5° 제어시 약 2초, +3° 제어시 약 0.6 초, +5° 제어시 약 1.2초인 것으로 나타났다. 여기



(a) Phase



(b) Gain

Fig. 10 Bode diagram of attitude control system at the flow rate of 10 ℓ/min, the speed of 2,000 rpm, and the rolling angle of ±7°.

서 전후 피칭시험에서 상승과 하강의 정착 시간에 차이가 있는 것은 유압 시스템에서 차체의 급격한 낙하 방지를 위한 부하 제어밸브 때문이다.

#### 나. 주파수 응답시험

입력 주파수에 따른 시스템의 응답인 출력 주파수의 추이를 알아보았다. 그리고 주파수 영역에서 제어 시스템의 입, 출력 관계의 대표적 지표인 이득 및 위상전도를 구하였다.

그림 9(a), (b)에서 대표적으로 유량 10 ℓ/min, 트랙터 속도 2,000 rpm과 진폭 ±7°에서의 조건하에서 시험 결과를 보여주고 있고, 0.3 Hz까지는 정현파형의 입력 신호에 대해 제어 시스템이 잘

추종하였다. 그러나 0.4 Hz에서부터는 입력신호에 대해 제어 시스템이 추종을 못하였다. 그림 10(a), (b)에서는 주파수 영역에서 제어 시스템의 입출력 관계의 대표적 지표인 위상 및 이득선도를 나타내었다. 시험 결과로부터 위상차의 경우는 입력 주파수 0.1 Hz까지는 약간의 위상차가 관측되었고, 입력 주파수 0.3 Hz부터는 약간의 이득 저하와 함께 커다란 위상차가 관측되었다.

#### 4. 요약 및 결론

트랙터가 경사지에서 작업함에 있어서 작업자의 안전 및 작업 성능은 중요하다. 그래서 트랙터의 자세를 항상 수평으로 유지하는 경사지용 트랙터를 개발하고 유압 시스템의 제어 성능 시험에 관한 연구를 하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 경사지용 트랙터에서 전륜은 센터핀 방식, 후륜은 단축식으로 설계하였고 동력 전달은 기어 방식을 적용하였다. 주행 속도는 0~30 km/h, 출력은 36 PS 및 최대 롤링제어 각은 15°, 최대 피칭제어 각은  $\pm 7^\circ$  이다.

2) 유압회로의 이론적 분석 및 설계를 통해 유압회로에 필요한 사양을 결정하였고 유량은 10 l/min이고 유압은 130 kgf/cm<sup>2</sup>이다. 그리고 솔레노이드 구동 회로 및 인터럽트 발생기를 제작하였다.

3) 제어 시스템의 스텝 응답에서는 과응답없이 안정되게 선형 증가하는 경향을 보여주었다. 제어 입력 신호에 대하여 약 1° 정도의 정상 편차를 갖고 있으며 이는 경사지에서 트랙터가 주행할 때, 무시 가능한 각도 범위이다. 구동 회로에 의한 솔레노이드 밸브의 정확한 제어 신호에서도 불구하고 실린더가 응답하지 않는 약 0.05초의 불감대가 관측되었다. 주파수 영역에서 입력 주파수 0.1 Hz까지는 약간의 위상차가 관측되었고, 입력 주파수 0.3 Hz부터는 약간의 이득 저하와 함께 커다란 위상차가 관측되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Fukuda, A. 1982. Automatic inclination control system of the hillside tractors ( I ) - The effect the control system by the use of one board micro-computer. *Journal of Japan Forest Society.* 93:529-532.
2. Fumihiko, S., N. Hayashi and T. Machida. 1975. Study on the vehicle with changing vertical location of wheels. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery.* 37(4):652-658.
3. Fukuda, A., K. Ichihara, K. Asahi and M. Mozuna. 1990. The automatic attitude control of hillside tractor for forestry use. *Journal of Japan Forest Society.* 72(3):239-246.
4. Gravely Ltd. Catalogue, 1998.
5. Lee, S. S., K. S. Oh and H. Hwang. 1999. Implementation and Test of Hydraulic Control System for the Tractor Leveling, *J. of the KSAM* 24(5):383-390.
6. PCL726 User's Manual (D/A Board). Advantech Ltd.
7. PCL818HD User's Manual (A/D Board). Advantech Ltd.
8. Tajiri, I., K. Sato and O. Kitani. 1988. Research on attitude control of tractors for sloping ground (part 1) - a machine manufactured for trial and its behavior. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery.* 50(6):35-44.
9. Tajiri, I. and K. Sato. 1989. Research on attitude control of tractors for sloping ground (part 2) - characteristics of parallel links for front wheel and ground load. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery.* 51(2):57-65.