

마이크로컴퓨터를 이용한 트랙터 作業機의 姿勢制御 시스템에 관한 研究⁺

Tractor Implement Attitude Control System Using Microcomputer

劉壽男*, 徐相龍*, 金大中*
S.N.Yoo, S.R.Suh, D.J.Kim

Summary

This study was attempted to develop the electronic-hydraulic hitch system for controlling the attitude of tractor implements and to investigate control performance of the system through experiments. Main components of the system developed in this study were reference inputs panel, inclination angle detector, electronic controller consisted of IBM-AT PC and interfaces, electro-hydraulic directional valves and other hydraulic components and three-point hitch linkage. Experiments were carried out to investigate the response of the system to the step and sine inputs. The effects of hydraulic flow rate and dead band on control performance were analyzed. Attitude of the implement was controlled within 2.4-5.1 degrees to the setting attitude when the hydraulic flow rate was in the range of 0.25-1.5ℓ/min. And implement was controlled without rapid amplitude attenuation and phase angle change in the frequency range of 0.02-0.2Hz when the hydraulic flow rate was in the range of 0.25-1.5ℓ/min. Control performance of the system can be expected to be improved if the inclination angle detector show rapid and stable output as the implement moves.

1. 緒論

현재 우리나라에 보급되어 있는 농업기계들은 비교적 사용이 용이한 평야지를 중심으로 보급되고 있는데 앞으로 급격한 노동력의 감소와 힘든 농작업의 특성을 감안해 볼 때 경사지 등 작업조건이 어려운 지역에도 보급이 확대될 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 다양한 조건의 농작업에 대응하고 수월하고 용이한 운전을 위하

여 각종 자동제어장치가 농업기계에 채용되어 있다.

현재 보급되고 있는 농용 트랙터에 채용된 3점 hitch 제어시스템으로는 경운,정지작업,파종작업 등의 경우 경사지나 고르지 못한 지면에서 작업할 때 작업기가 기울게 되어 경심이 균일치 않으며, 작업기가 치우침에 따라 3점hitch 시스템에도 무리가 생겨 작업의 질 저하 뿐만 아니라 운전에도 많은 번거로움이 발생한다. 따라서 기

⁺ 본 연구는 한국과학재단 1990년도 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

* 전남대학교 농과대학 농공학과

존의 농용 트랙터에 채용된 위치 및 견인력제어 뿐만 아니라 다양한 농작업의 상황에 따라 작업기의 자세 즉 기울기를 자동적으로 조정해 주는 제어시스템의 개발이 필요하다.

트랙터의 작업기를 제어하기 위한 히치 제어 시스템에 대한 연구로서 위치 및 견인력 제어에 대해서는 많은 연구가 이루어졌으나, 작업기 자세 제어를 위한 연구로는 스프레이 붐의 자세제어에 대한 연구(Marchant et al. 1985)가 일부 이루어졌을 뿐 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 트랙터 부속작업기들의 작업성능 향상과 운전자의 노력절감을 위하여 불균일한 경지나 경사지 등 다양한 작업상황에 따라 작업기의 자세를 자동적으로 제어할 수 있는 마이크로 컴퓨터를 이용한 3점히치 제어시스템을 설계 제작하여 제어시스템 각부의 특성 및 제어성능에 영향을 미치는 요인을 파악하며, 제어시스템의 주요 요인 변화에 따른 제어시스템의 응답을 실험적으로 구하여 그의 제어성능을 구명할 목적으로 수행되었다.

2. 材料 및 方法

가. 제어시스템의 구성

그림 1은 작업기 자세제어를 위해 설계 제작된 전자유압식 3점히치 제어시스템의 구성을 나타낸 것이다. 설정입력부에서 설정된 작업기의 경사각, 위치 및 불감대의 신호가 마이크로 컴퓨터의 전자제어부에서 경사각 센서, 위치센서의 출력신호와 비교 판단되어 유압회로의 전자조작 방향제어밸브를 구동함으로써 유압실린더에 의해 3점링크히치가 작동되고 이에 의하여 작업기의 자세와 위치가 제어되도록 하였다.

(1) 설정입력부

설정입력부는 권선형 로타리 포텐쇼메타를 이용하여 작업기의 위치 및 경사각, 불감대 크기를 설정할 수 있도록 하였는데, 위치설정은 작업기의 최하강 위치에서 최상승 위치까지, 경사각 설정의 경우는 -25도에서 +25도의 범위로 설정가능토록 하였다.

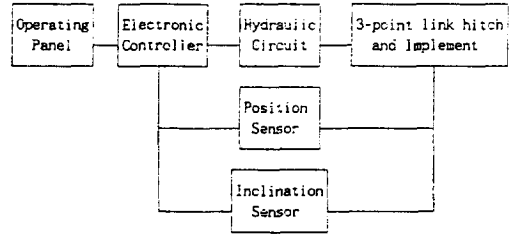


Fig 1. Block diagram of tractor implement attitude control system.

(2) 전자제어부

설정입력부의 입력신호와 센서의 출력신호를 받아들여 이를 비교 판단하여 유압회로의 전자조작 방향제어밸브를 구동하는 전자제어부는 데이터 입출력을 위한 자료수집카드, 마이크로 컴퓨터, 유압밸브를 구동하기 위한 릴레이 출력보오드로 구성하였다.

데이터 입출력을 위한 자료수집카드는 12 비트의 A/D 변환, D/A 변환, 16 비트의 디지털 입출력, 계수 기능을 갖는 제어와 계측 목적의 카드를 이용하였으며, 마이크로 컴퓨터로는 IBM AT 호환기종을, 릴레이 출력보오드는 DC SSR 모듈이 내장된 것을 이용하였다.

마이크로 컴퓨터의 작동프로그램은 베이직 언어로 작성한 후 컴파일하여 수행파일로 만들어 작동토록 하였다. 설정입력과 센서로부터의 입력값을 비교하여 그차에 해당하는 신호가 불감대 내에 포함되면 제어를 수행치 않으며, 불감대를 벗어나면 디지털 출력포트를 통하여 유압밸브 구동회로에 신호를 출력하여 제어를 행하도록 하였다. 그림 2는 자세제어 프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다.

(3) 유압회로

트랙터의 3점히치 링케이지를 구동시켜 작업기의 승강과 자세제어를 수행하는 유압시스템의 회로도도 그림 3과 같다.

유압펌프에서 나오는 유압유가 전자제어부에 의해 제어되는 전자조작 방향제어 밸브를 거쳐 작업기의 승강과 자세제어를 행하는 각각의 유압실린더에 들어가 제어를 행하게 된다.

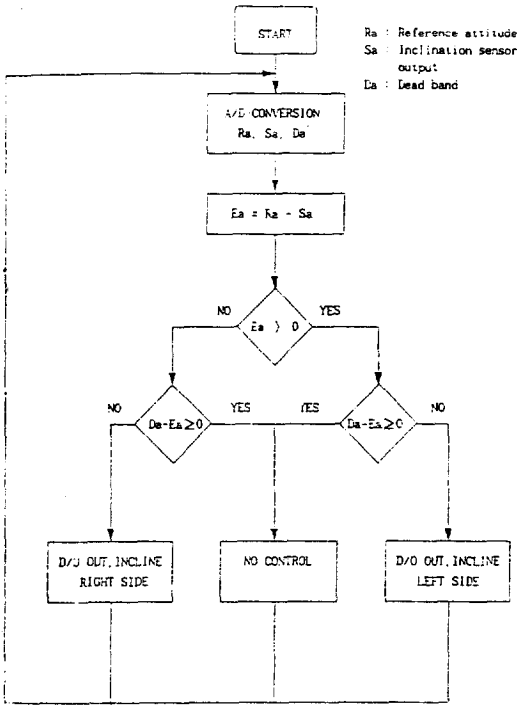


Fig 2. Flow chart for the attitude control program.

표 1은 작업기의 운동에 따른 전자조작 방향제어 밸브 솔레노이드의 작동상태를 나타낸 것이다.

유압회로에 사용된 유압부품들의 사양은 표 2와 같다. 위치제어용 유압실린더는 기존의 트랙터에서 분리된 것을 이용하였으며, 작업기 자세제어용 유압실린더는 3점히치 링케이지에서 리프트 링크 대신 주문 제작되어진 유압실린더를 이용하였다.

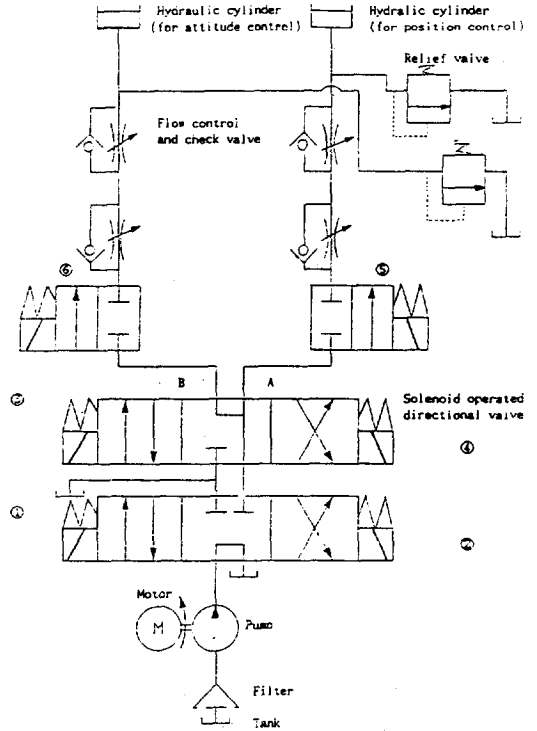


Fig 3. Hydraulic circuit for 3-point hitch control.

(4) 3점히치 장치 및 작업기

작업기를 연결하고 유압시스템에 의하여 작업기를 제어하는 3점히치 장치는 기존의 트랙터에서 분리된 것을 이용하였는데 미국 농공학회 카테고리 (I) 형식⁵⁾의 것이었으며, 작업기는 로타리 컬티베이터를 이용하였다.

(5) 경사각 센서

작업기의 자세를 측정기 위한 경사각 센서로

Table 1. Truth table of the signal for driving the solenoid of a directional valve.

Control Mode	D/O Output	Solenoid					
		1	2	3	4	5	6
Position	No Control	off	off	off	off	off	off
	Lift Implement	off	on	off	off	on	off
	Lower Implement	off	off	off	on	on	off
Attitude	No Control	off	off	off	off	off	off
	Incline Left	off	on	off	on	off	on
	Incline Right	off	off	on	off	off	on

Table 2. Specification of hydraulic components.

Item	Specification	
Pump	Maker & Model	Dong-Yang
	Max. Flow Capacity	5.7 ℓ/min
Flow Control and Check Valve	Maker	Tokyo Keiki Co.
	Model	FCG-02-1500
Relief Valve	Maker & Model	Tokyo, DGMC-3-PT-CW
	Max. Operating Pressure & Flow Capacity	140kg/cm ² 30 ℓ/min
	Maker & Model	Tokyo, DG-4V-3-7C-M
	Allowable Voltage	DC 24V ± 10%
Directional Control Valve	Max. Flow Capacity	308 ℓ/min
	Maker & Model	Myung-Jin, MJP-Ca 40
Hydraulic Cylinder (for Attitude Control)	Bore	40mm
	Stroke	148mm
	Maker & Model	Dong-Yang
Motor	Rated Power	5HP
	Shaft Speed	50-1500rpm

는 분동식 경사각 센서를 이용하였으며, 로타리 작업기 중앙에 수평이 되도록 부착하여 3점치 링크장치에 의해 움직이는 작업기의 경사각을 측정토록 하였다. 측정각의 범위는 -25 도에서 25도 까지로 하였으며 경사각 센서의 구체적 사양은 표 3과 같다.

한편 유압피스톤의 변위와 경사각 센서의 출력 즉 작업기의 경사각과의 관계는 그림 4와 같이 나타나 거의 선형적인 관계임을 알 수 있었다.

나. 자세제어 시스템의 블록선도

A/D 변환기를 Sample and Hold Device로 입력신호를 T1 초 간격으로 받아들이고 샘플링 순간의 입력신호가 T1초 동안 동일하게 유지되는 0차 보류기로 고려하며, 유압회로의 누출유량을 무시하고 유압유의 압축성을 고려치 않는다면 구성된 자세제어 시스템의 블록선도는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

블록선도에 나타난 바와 같이 A/D 변환기의

Table 3. Specification of the inclination sensor used for sensing the inclination of a tractor implement.

Item	Specification
Manufacture	MIDORI
Model	PMP-45U
Output Sensitivity	Min. 2.5% Vin/10°
Linearity	± 45°
Input Voltage	Max. 10V
Mech. Angle	± 45,
Sensitivity	Max. 0.1°
Size	φ60×40mm

신호입력 주기(T1), 유압회로의 유량(Qv), 불감대의 크기(DBa), 시스템의 지연시간(τ), 유압실린더의 단면적(Aa), 유압실린더의 변위에 따른 작업기의 경사각(K1), 경사각 센서의 이득(Ha), 이밖에 외란 등이 시스템의 제어성능에 영향을

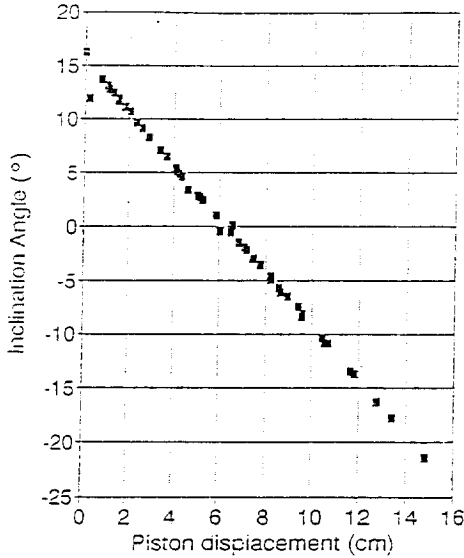


Fig 4. Relationship between displacement of hydraulic cylinder and inclination angle of implement for attitude control.

미치게 된다. 그러나 유압회로의 유량, 불감대의 크기를 제외한 다른 요인들은 본 연구에서는 일정하게 나타나므로 이들 두 요인이 시스템의 성능에 중요한 영향을 미치게 되고 따라서 성능실험에서도 이들 값만 변화시켜 실험하였다.

다. 성능실험 장치 및 방법

(1) 실험 및 계측장치

고정 프레임 위에 앞에서 구성된 제어시스템을 설치하여 실내실험을 통하여 제어시스템의

성능평가를 위한 응답특성을 측정하였다. 경사각 센서의 출력, 위치센서의 출력, 설정입력들을 제어와 동시에 측정하였는데 각 신호들은 12 비트의 A/D 변환기를 통하여 마이크로 컴퓨터로 받아들인 후 디스켓에 저장토록 하였으며 실험 후 프린터를 통해 출력토록 하였다.

(2) 실험계획

작업기 자세제어 시스템의 제어성능을 분석하기 위하여 계단입력과 정현파 입력을 설정입력부에서 가하여 이에 대한 응답을 측정하였는데 표 4는 실험계획을 나타낸 것이다.

계단입력은 경사각 센서의 출력이 2 V에서 0 V로 변화하도록 입력하였으며(이때 작업기의 경사각은 12.5 도에서 0 도로 변함), 설정입력까지의 도달시간과 제어의 정확도, 안정적 제어를 위한 불감대의 크기를 파악토록 하였다.

정현파 입력은 함수발생기로 진폭이 4 V (25 도)가 되도록 가하였으며, 주파수의 범위는 약 0.005 - 0.2 Hz 범위에서 조정하여 수행하였다. 이와같은 정현파 입력에 대한 시스템 응답의 진폭비와 위상차의 변화 경향을 분석함으로써 제어시스템의 변동입력에 대한 추종성을 파악하도록 하였다.

유압회로의 유량 수준은 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 l/min.의 4 수준으로 변화시켜 시스템의 응답을 구하였는데, 이는 작업기의 자세제어 속도가 약 1.2, 2.4, 4.8, 7.2 도/초에 해당하는 것이다. 또한 불감대의 크기설정은 0 도에서 6 도까지 변화시

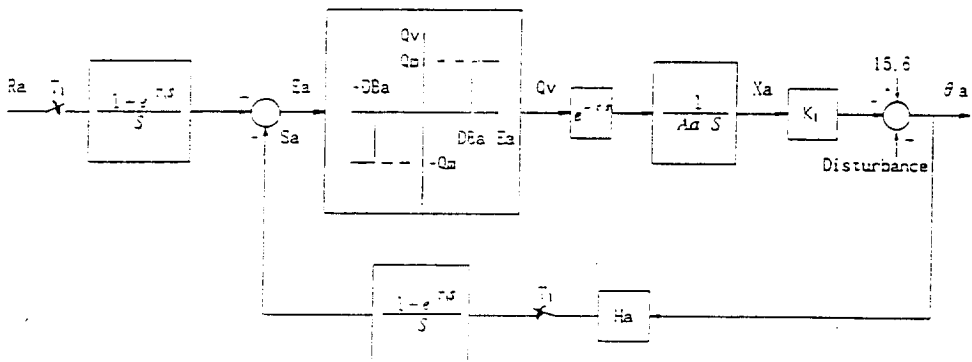


Fig 5. Block diagram of the attitude control system.

Table 4. Experimental design for investigating the response of control system.

Input Type	Flow Rate (L/Min)	Dead Band (Deg)	Frequency (Hz)
Step	0.25 (1.2 Deg/Sec)	0 ± 6	
	0.5 (2.4 Deg/Sec)		
	1.0 (4.8 Deg/Sec)		
	1.5 (7.2 Deg/Sec)		
Sine	0.25	± 2.4	0.005-2.0
	0.5	± 3.9	
	1.0	± 4.8	
	1.5	± 5.1	

켜 실험을 수행하였다.

3. 結果 및 考察

가. 계단입력에 대한 제어시스템의 응답

그림 6은 불감대를 설정치 않았을 경우 계단 입력에 대한 시스템의 반응을 나타낸 것이다. 그림에서 Ra는 작업기의 설정경사각, Sa는 작업기에 부착된 경사각 센서의 출력을 나타낸 것으로서 작업기가 설정치 부근에서 계속 진동하고 있음을 보여주고 있다. 유압회로의 유량이 각각 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 l/min.일 때 작업기의 진동폭은

약 6, 7, 8, 9 도로 나타나 유압회로의 유량이 증가할수록 진동폭이 커짐을 알 수 있으며, 따라서 안정적인 제어를 위해서는 불감대 설정이 필요하며 그 크기도 유압회로의 유량 증가에 따라 커져야함을 알 수 있다.

불감대를 설정하여 작업기가 설정치 부근에서 진동치 않고 제어되었을 때의 반응을 나타낸 것이 그림 7이다. 유압회로의 유량 증가에 따라 이와같이 진동치 않고 제어되었을 때의 최소 설정 불감대의 크기는 유압회로의 유량이 각각 0.25, 0.5, 1.0 1.5 l/min.일 때 2.4, 3.9, 4.3, 5.1 도로 나타났다으며, 따라서 유량증가에 따라 설정치에 대

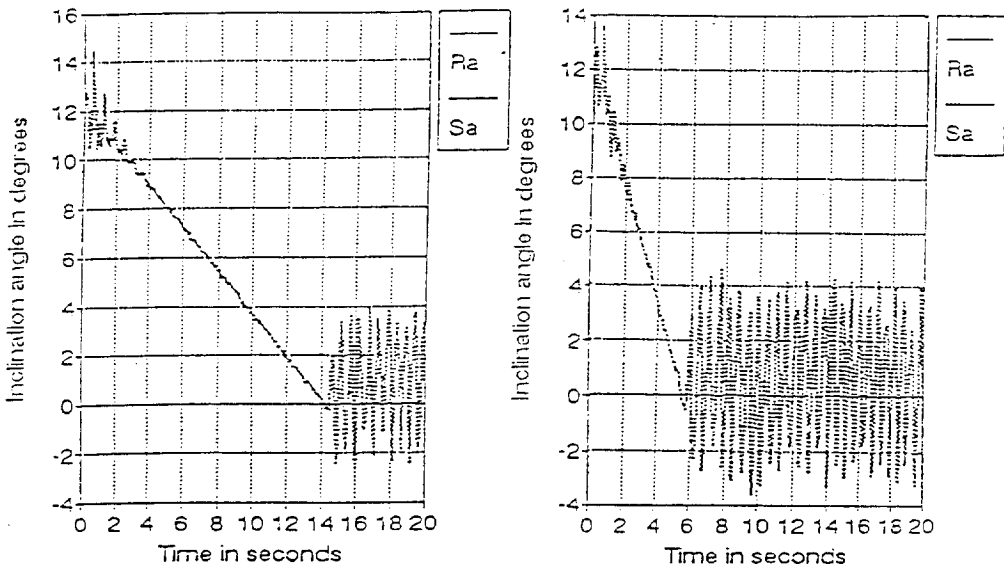


Fig 6. Step response of the attitude control system with no deadband.

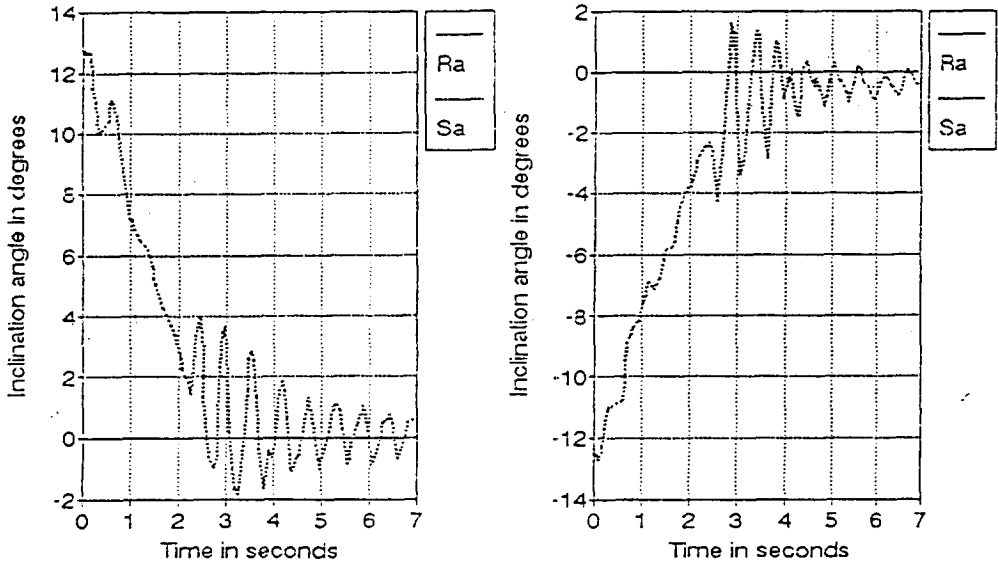


Fig 7. Step response of the attitude control system with deadband at the flow rate of 1.0 l/min

한 제어의 정확도는 떨어짐을 알 수 있었다.

유압회로의 유량 증가에 따라 작업기는 신속히 설정자세에 도달하게 되며 0.25, 0.5, 1.0 1.5 l/min.의 유량일 때 각각 약 10, 5, 2.5, 2 초가 소요되어 유량과 도달 소요시간은 거의 반비례의 관계임을 알 수 있다. 따라서 유압회로의 유량이 증가할수록 제어는 신속해지지만 설정입력에 대한 제어의 정확도는 설정 불감대의 크기가 커지기 때문에 떨어지는 것으로 나타났다.

그림 7에서와 같이 경사각 센서의 출력은 설정치 부근에서 감쇠진동하며 설정치에 도달되는 것으로 나타났으나 실제 실험시 작업기는 설정치 부근에서 진동이 없었으므로, 이는 경사각 센서의 출력특성에 기인한 것임을 알 수 있다. 즉 경사각 센서는 분동식 센서로서 작업기가 설정치에서 정지할 때 관성의 영향에 의하여 감쇠진동후 안정되는 출력특성을 보였다. 이것이 불감대의 설정에 영향을 미쳐 제어의 정확도를 저하시켰으며, 정현파의 변동입력에 대한 시스템의 응답에도 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 또한 위치제어시 위치센서로 사용된 로타리 포텐쇼메타의 경우 유압회로의 유량이 0.5, 1.0 1.5 l/min.일 때 최소 설정불감대가 각각 약 0.7, 1.1, 1.5

도였던 결과¹⁾²⁾와 비교해 볼 때 자세제어시 제어성능의 개선을 위해서는 작업기의 운동상태에 따라 작업기의 경사각을 신속히 안정적으로 측정 출력할 수 있는 센서의 보완이 필요한 것으로 판단되었다.

나. 정현파 입력에 대한 제어시스템의 응답

제어시스템의 변동입력에 대한 제어성능을 파악하기 위하여 정현파 입력에 대한 제어시스템의 응답을 구하였는데 그림 8는 주파수 변화에 따른 시스템의 반응을 나타낸 것이다.

일반적으로 낮은 주파수에서는 진폭의 변화나 위상각의 차가 없이 제어되고 있으나 입력 주파수가 증가할수록 진폭의 감소와 위상각의 차가 나타남을 알 수 있다.

입력 주파수의 변화에 따른 진폭비와 위상각의 변화를 유압회로의 유량수준에 대해 분석하기 위하여 대수이득 곡선과 위상 곡선을 구하였다.

그림 9은 입력 주파수에 따른 대수이득 곡선을 유압회로의 유량별로 구한 것으로 유압회로의 유량이 각각 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 l/min일 때 이득의 감소가 급격히 이루어지는 주파수는 각각 약 0.

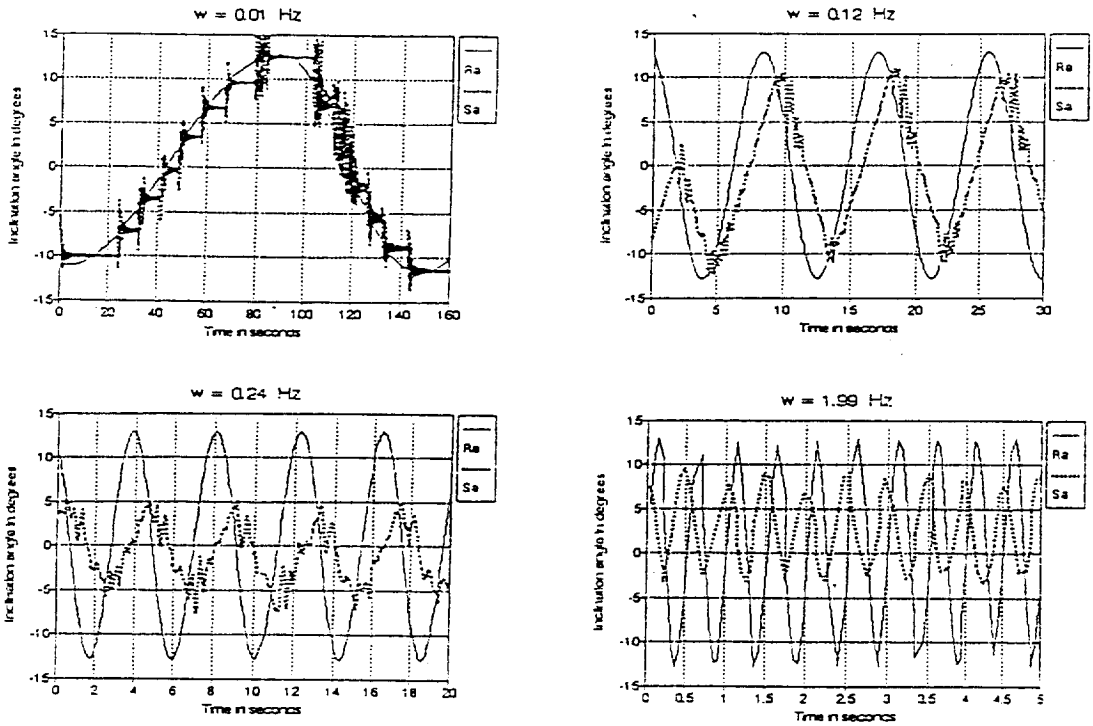


Fig 8. Sinusoidal response of the attitude control system at the flow rate of 1.0 l/min.

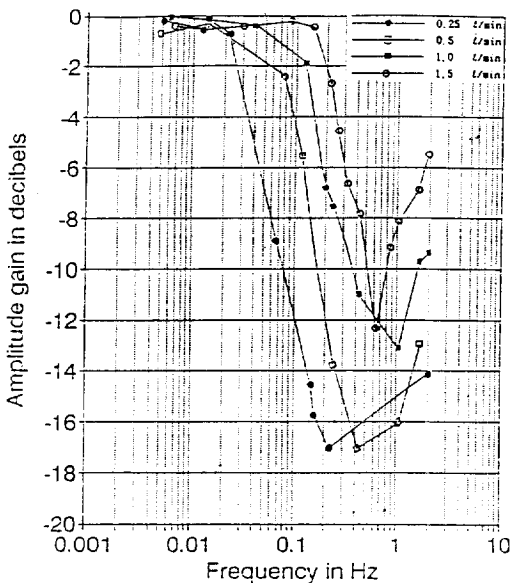


Fig 9. Frequency response of the attitude control system at various flow rates.(gain plots)

0.02, 0.08, 0.1, 0.2 Hz로 나타나 유압회로의 유량 증가에 따라 이득의 감소가 급격히 나타나는 주파수는 커짐을 알 수 있다.

그림 10은 입력 주파수 변화에 따른 위상차를 유량별로 나타낸 곡선이다. 유압회로의 유량이 각각 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 l/min일 때 위상차가 급격히 나타나는 주파수는 약 0.02, 0.07, 0.1, 0.2 Hz로 나타나 유압회로의 유량 증가에 따라 위상차가 크게 나타나는 주파수는 증가하였으며, 이득이 급격히 감소하는 주파수와 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있었다.

이와같이 유압회로의 유량 증가에 따라서 응답시 작업기의 진동은 약간 커졌으나 이득의 감소와 위상각의 차가 나타나는 주파수는 커져 변동하는 입력에 대한 제어시스템의 추종성은 향상되는 것으로 판단되었다.

다. 제어시스템의 요인이 성능에 미치는 영향 트랙터 작업기의 자세제어 성능은 경지조건에

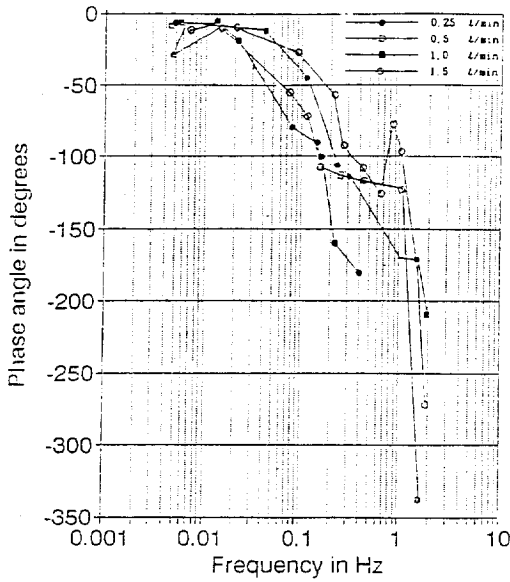


Fig 10. Frequency response of the attitude control system at various flow rates.(phase-angle plots)

따라 변동하는 작업기의 자세를 원하는 자세로 얼마나 신속하고 정확하게 제어할 수 있는가에 달려있다. 이와같은 자세제어 성능은 제어시스템으로 입력되는 입력의 샘플링 주기, 제어시스템의 이득, 불감대의 크기, 지연시간, 토양에 따른 작업기의 자세변화 특성 등에 따라 달라 나타나게 된다.

제어시스템으로 입력되는 입력들의 샘플링 주기는 가능한 한 짧을수록 작업상황에 따라 변동하는 작업기의 자세를 신속히 파악 원하는 설정 자세로 제어함으로써 추종성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서 제작된 제어시스템의 샘플링 주기는 약 0.05 초로 분석되었는데 이 정도의 샘플링 주기는 원활한 작업기의 자세제어에 충분한 것으로 판단되었다.

제어시스템의 이득을 크게할수록 응답속도를 빨리 할 수 있으나 제어시스템의 이득은 시스템 자체의 지연시간, 작업기의 헌팅현상에 의하여 그 크기가 제한을 받게 된다. 또한 이와 같은 시스템의 전체이득은 유압회로의 유량, 3점히치 링케이지 및 유압실린더의 제원, 경사각 센서의 이득 등에 의하여 달라지게 된다. 실험결과 유압

회로의 유량이 0.25 - 1.5 l/min의 범위에서 설정 자세에 대하여 약 2.4 - 5.1 도의 범위내로, 약 0.02 - 0.2 Hz의 주파수로 작업기가 변동하는 경우까지 제어가 가능한 것으로 나타났으며, 유압회로의 유량이 더 커지는 경우는 제어의 정확도가 크게 떨어져 제어가 곤란한 것으로 판단되었다. 한편 이를 0.73도, 0.8Hz까지 제어 가능한 위치제어의 경우¹⁾나 0.4Hz의 변동입력까지 제어 가능한 견인력 제어의 경우³⁾와 비교해 볼 때 제어성능이 크게 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 경사각 센서의 출력이 감쇠진동하여 긴 정정 시간을 보이는 출력특성에 기인한 것으로 보여 센서의 보완을 통해 성능향상을 기할 수 있을 것으로 판단되었다.

불감대와 시스템의 지연시간은 제어시스템의 안정성과 제어의 정확도에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 시스템의 지연시간은 마이크로 컴퓨터의 작동 프로그램 수행과 유압회로의 전자조작 방향제어밸브 지연시간을 고려하면 약 0.1초로 나타났으며, 또한 유압회로의 유량은 약 1.2 - 7.2 도/초의 작업기 제어속도였다. 이는 Dwyer¹⁰⁾ 등이 제시한 불안정을 유발하는 조건 즉 불감대가 시스템의 지연시간과 작업기 승강속도의 곱보다 작을 경우를 고려해 볼때 최소 설정 불감대의 크기는 약 0.12 - 0.72 도로서 추정되는데 실제 실험시는 이보다 훨씬 큰 불감대 설정이 필요하였다. 이는 작업기 운동에 의하여 출력이 진동하여 나타나는 경사각 센서의 특성 때문으로 판단되어 센서만 보완된다면 시스템의 성능 향상 뿐만 아니라 안전성도 크게 개선될 것으로 예상되었다.

4. 要約 및 結論

본 연구는 불균일한 경지 및 경사지에서 트랙터 작업기 작업성능 향상과 운전자의 노력을 절감시키기 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용 트랙터 작업기의 자세를 작업상황에 맞게 자동적으로 제어할 수 있는 3점히치 제어시스템을 개발하며, 응답실험을 통해 자세제어 특성 및 제어성

능을 파악하고자 수행되었는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 마이크로컴퓨터를 이용하여 트랙터 작업기의 자세제어 수행이 가능한 3점 hitch 제어시스템을 설계 제작하였으며, 불감대의 크기, 유압회로의 유량 등이 제어시스템 응답에 중요한 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

나. 제어시스템의 성능실험 결과 안정적인 제어를 위해서는 유압회로 유량증가에 따라 불감대의 크기가 증가되어야 하며, 유압회로의 유량이 0.25 - 1.5 l/min의 범위에서 설정치에 대하여 약 2.4 - 5.1 도 이내로 제어되었다.

다. 정현파의 변동입력에 대하여 유압회로의 유량증가에 따라 이득의 감소와 위상차가 크게 나타나는 주파수는 증가하였으며, 유압회로의 유량이 0.25 - 1.5 l/min일 때 약 0.02 - 0.2 Hz 주파수 범위에서 큰 이득의 감소와 위상차 없이 제어되었다.

라. 제어시스템 중 경사각 센서가 작업기 운동에 따라 신속히 안정된 출력을 나타낼 수 있도록 보완된다면 제어성능은 크게 개선될 것으로 판단되었다.

参 考 文 献

1. 유수남. 1989. 트랙터의 電子油壓式 hitch 制御 시스템에 관한 研究. 서울대학교 박사 학위 논문.
2. 류관희, 유수남, 박준걸. 1989. 트랙터의 電子油壓式 hitch 制御시스템에 관한 研究(I) - 位置制御. 한국농업기계학회지 14(3) : 168 - 180.
3. 류관희, 유수남, 윤영두. 1989. 트랙터의 電子油壓式 hitch 制御시스템에 관한 研究(II) - 牽引力制御. 한국농업기계학회지 14(4) : 229 - 241.
4. 황규섭. 1986. 센서활용사례집. 기전연구사 : 50 - 56
5. ASAE, 1993. Three-point free-link attachment for hitching implements to agricultural

- wheel tractors. ASAE Standards 1993 : 113 - 115.
6. 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.
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. Dell'Acqua, R. G. Dell'orto, R. Guagliumi, and G. Amedei. 1986. Agricultural vehicle 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. Dwyer, M. J. 1969. The effect of draught control response of the performance of agricultural tractors. J. Agric. Eng. Res. 14(4) : 295 - 312.
11. Dwyer, M. J., D. A. Crolla and G. Pearson. 1974. An investigation for of the potential for improvemet of tractor draught controls. J. Agric. Eng. Res. 19 : 147 - 165.
12. Fujiura, T. 1981. Automatic control of the rotary tilling tractor. Proceedings of JSAM : 12 - 21.
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. Marchant, J.A. and R. Forst. 1985. Spray Boom Attitude control System Agrimation (I) : 148 - 155.
16. Squire, R. E. 1984. Electronic draft control system. ASAE publication 8 - 84 : 67 - 75.