

트랙터의 수평제어를 위한 유압 시스템의 특성 실험

Implementation and Test of Hydraulic Control System for the Tractor Leveling

이 상 식*	오 기 석*	황 현**
정희원		정희원
S. S. Lee	K. S. Oh	H. Hwang

ABSTRACT

When a tractor travels slope lands, problems of operator safety and the reduction of job efficiency usually occur. Therefore, maintaining the tractor body being horizontal is critical to improve the security of traveling and the job performance. An experiment was made in a soil bin using the experimental model system built and equipped with a leveling control system. Adaptability of the control system was tested and investigated by analyzing system response in time and frequency domains. Control response time of hydraulic cylinder with 10lpm flow rate on a step input of 10° slope was about 0.42sec. And it showed a linearly increasing trend without any hunching state. A steady state error of 0.6° occurred but it was negligible. The hydraulic control system showed a little phase differences within the range of 0.4Hz input frequency. The experimental model showed that implementation of the proposed tractor control system to on slope lands tractor was feasible.

주요용어(Key Words): 수평 제어(Leveling control), 제어반응(Control response), 유압시스템(Hydraulic system), 경사지트랙터(Slope land tractor)

1. 서 론

우리나라의 농경지는 산업화, 도시화로 인하여 점차 줄어들고 있으며 이러한 농경지의 감소는 식량 자급에 큰 영향을 준다. 하지만 한정된 국토에 대한 활용성을 증가 시킴으로써 농경지 확대효과를 기대할 수 있다.

건설부의 토지분류(1981)에 따르면 전 국토면적 중 경사도 5° 미만은 약 21.1%에 불과하다. 경사도

5° 이상의 토지 중 농경이 가능한 지역에서 트랙터로 작업하는 경우, 경사로 인하여 작업자의 위험부담이 높아지고 트랙터 작업 효율은 현격히 떨어진다. 현재 일반용 트랙터는 전담, 과수 및 초지 등의 경운 및 관리용 차량으로써 토지의 경사도에 상관없이 사용되고 있으나, 작업 안전성 그리고 작업효율 측면에서 경사지용 트랙터의 개발이 필요하다.

Tajiri 등(1988)은 경사지에서 트랙터의 앞 차축을 평행사변형 링크식으로 후 차축은 단축형으로 만든

* LG 전선(주) 기계연구소 트랙터그룹

** 성균관대학교 생물기전공학과

경사지용 트랙터를 개발하였다. Fukuda 등(1982, 1990)은 단축형 트랙터의 자세 제어에 대한 모형실험을 하였다. 트랙터가 경사면을 따라 움직이는 상태를 가상의 시뮬레이션 실험장치를 만들어서 실험하였으며 임업용 단축식 차량을 개발하였다.

본 연구에서는 트랙터 차체의 수평유지용 모의장치를 토양조에 설치하여 차체가 수평을 유지하도록 하는 유압 장치의 제어성을 검증하여 경사지용 트랙터의 시작기 설계 제작에 필요한 유압시스템의 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 기본 개념

트랙터의 주행 노면에 대한 차체의 자세 변화는 주로 불균일한 주행 노면, 차륜의 침하 등에 의한 차체의 롤링 현상에 의해서 발생되며, 차체를 수평으로 자세 제어하기 위한 자세각은 차체 롤링각 및 실린더 변위의 함수로서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\theta = \theta_{rolling} + \theta_{cylinder}$$

여기서, θ : 트랙터 차체의 자세각

$\theta_{rolling}$: 트랙터 차체의 롤링에 의한 자세각

$\theta_{cylinder}$: 실린더 변위 변화에 의한 트랙터 차체의 자세각

트랙터에 적용할 모형 차축 구조는 그림 1과 같으며 트랙터가 항상 주행 노면에 대해 수평 또는 설정 자세각을 유지하기 위해서는 트랙터 차체 롤링에 의

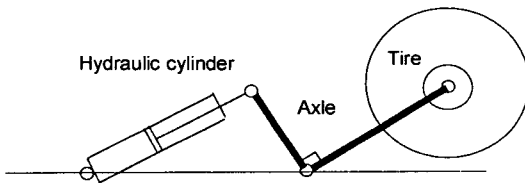


Fig. 1 Schematic model of the tractor axle.

한 차체의 자세각 변화분 만큼 실린더를 전, 후진시켜 보상해야 한다.

나. 제어 알고리즘

그림 2는 컴퓨터 제어 시스템의 흐름도를 보여준다. 제어 시스템은 일정 시간 간격으로 유압 실린더의 변위 센서로부터 신호를 읽어 이를 설정 자세각과 비교하여 편차를 계산한 후, 편차에 비례한 제어 신호를 컴퓨터의 출력 포트를 통해 솔레노이드 밸브 구동 회로에 출력하고 솔레노이드 밸브를 제어하여 유압 실린더의 피스톤을 전, 후진시켜 자세를 제어한다.

그림 3은 제어 시스템의 블록 선도를 보여주고 있다. 자세 제어를 하기 위해서 설정 경사각을 임의로 설정하였고, 각 입력 경사각에 따른 수평 설정값을 실린더 구동변위로 계산하여 입력하였다. 구동 유압 실린더의 변위를 측정하여 피드백한 값을 보정하도록 구성하였다.

다. 실험 장치

차체를 수평으로 유지하도록 하는 유압 제어 시스템의 성능을 분석하기 위한 실험 장치는 크게 그림 4와 같이 (1) 모형 장치의 입력 자세각 및 불감대 설정을 위한 설정부 (2) 모형 장치를 구동하는 유압 실린더의 변위 검출을 위한 실린더 변위 검출부 (3) 센서로부터의 신호 및 각종 연산 처리 등을 행하며 출력 포트를 통해 솔레노이드 밸브 구동회로에 제어신호를 출력하는 제어부 (4) 유압모니터와 펌프, 그리고 차축과 연결된 유압 실린더의 구동을 위한 유압 회로부 (5) 유압 실린더, 모형차축으로 구성된 제어 대상의 5부분으로 구성하였다. 그림 5는 구성된 실험장치를 보여준다.

실험장치는 36마력급 트랙터의 수평제어를 위한 것으로 설계되었으며, 실제의 트랙터에는 같은 형태의 2개의 단축 기구부가 장착되어 차체의 수평을 유지하도록 제어하지만, 각각의 차축에 인가되는 하중은 거의 같으므로 그림 5와 같이 한 축을 대상으로

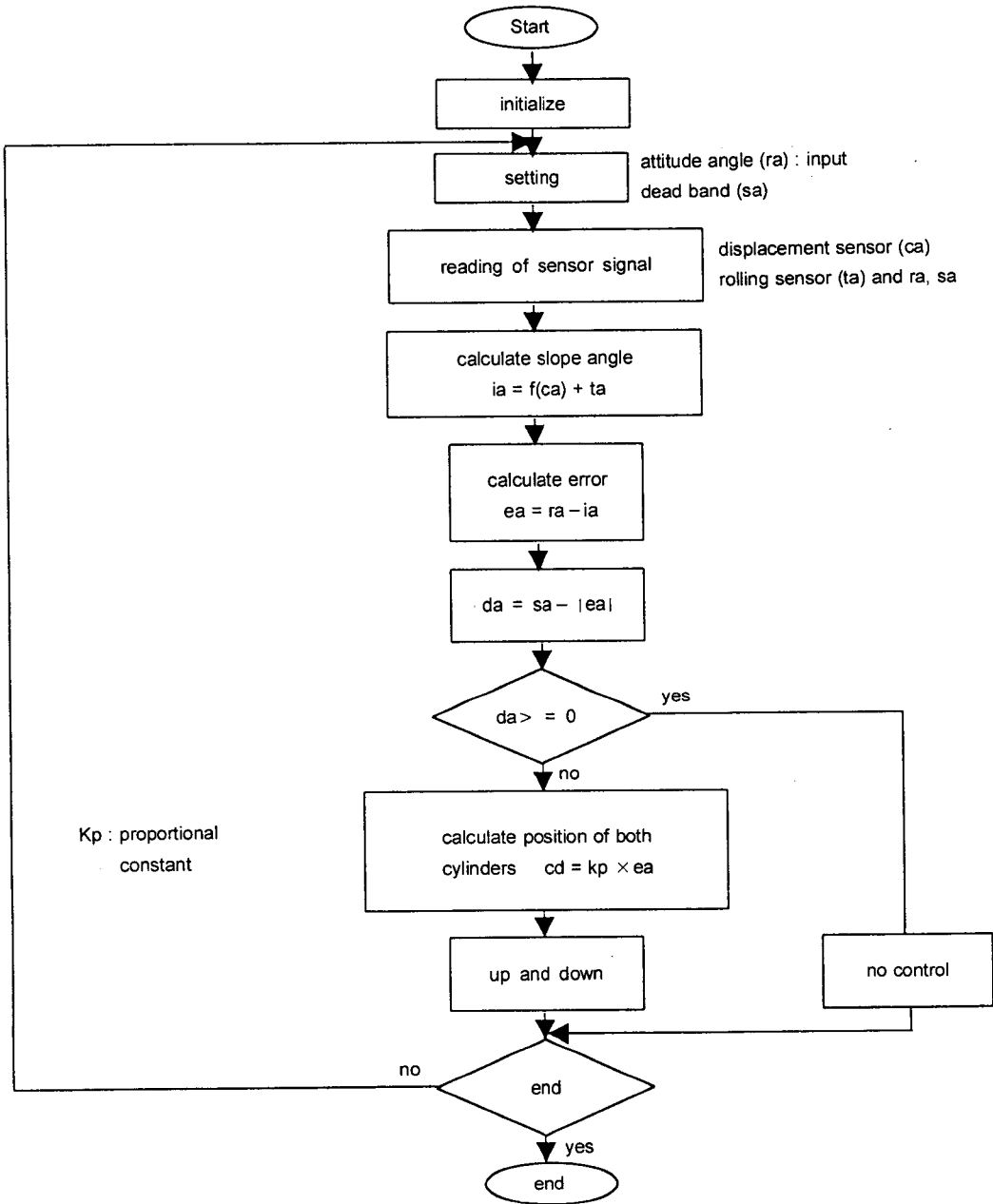


Fig. 2 Flow chart of the control system.

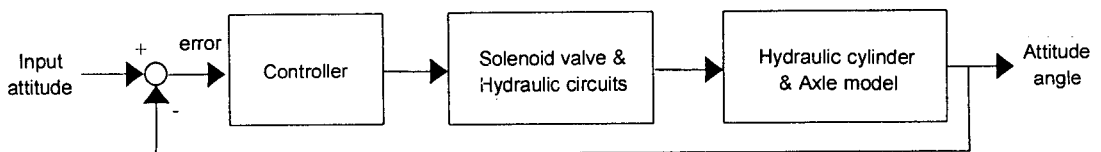


Fig. 3 Block diagram of the system control.

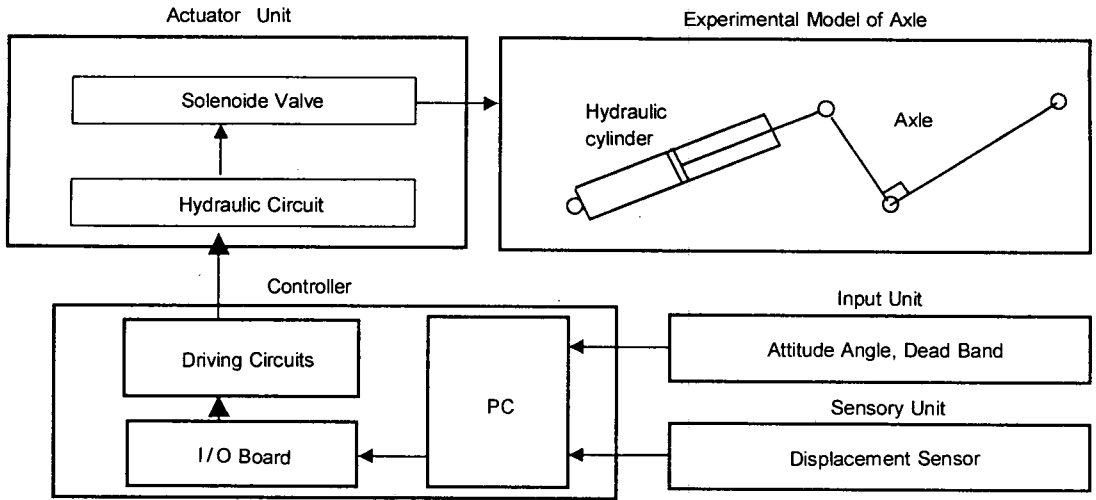


Fig. 4 Schematic diagram of the control system.

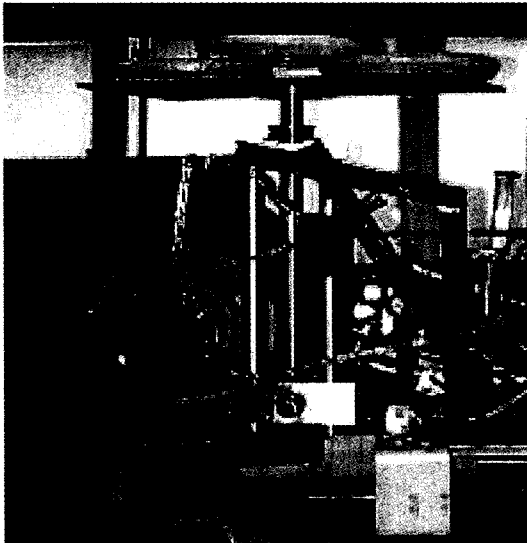


Fig. 5 Mechanism developed for the experiment; structured tire, linkage, load plate, displacement sensor, and hydraulic system.

실험장치를 구성했다.

라. 실험 방법

실험 장치를 이용하여 정적인 상태에서 자세 제어에 대한 실험을 수행하였다. 그리고 제어 시스템의 시간 및 주파수 영역에서의 응답 특성을 평가하기 위하여 스텝 및 주파수 응답 실험을 하였다.

(1) 스텝 응답 실험

입력되어지는 설정각 스텝 입력에 대하여 시스템의 출력을 측정하는 형태로 실내에서 실험하였고, 제어 시스템의 수렴성과 안정성을 평가하였다.

링크 기구부에 가해지는 하중은 트랙터의 바퀴 한 개에 작용하는 하중 360kg을 기준으로 토양면 주행시의 하중 전이를 고려하여 300kg, 360kg, 440kg로 하였다. 또한 유압 실린더의 입력 유량은 10lpm으로 하였고, 스텝 입력각은 $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$ 로 변화시키면서 3회 반복하여 실험을 수행하였다. 여기서 + 방향은 실린더를 밀어주는 방향이며, - 방향은 실린더를 당기는 방향이다. 각각의 센서 및 제어 신호는 A/D 보드를 통하여 입·출력하고 컴퓨터에 저장하였다.

(2) 주파수 응답 실험

주파수 입력 신호에 대한 제어 시스템 응답 특성을 분석하였다. 그리고 링크 기구부에 가해지는 하중은 스텝 응답 실험과 동일하게 하였으며 실린더의

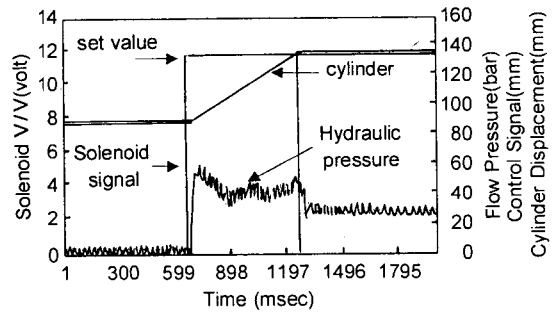
입력유량은 스텝 응답에서 설정되어진 유량으로 설정하였다. 그리고 입력되는 진폭은 $\pm 10^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 20^\circ$ 로 변화시키면서 실험하였다. 입력 주파수는 0.1hz, 0.2hz, 0.3hz, 0.4hz, 0.5hz, 0.6hz, 0.7hz, 0.8hz, 0.9hz, 1hz, 2hz로 설정하여 4회 반복하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

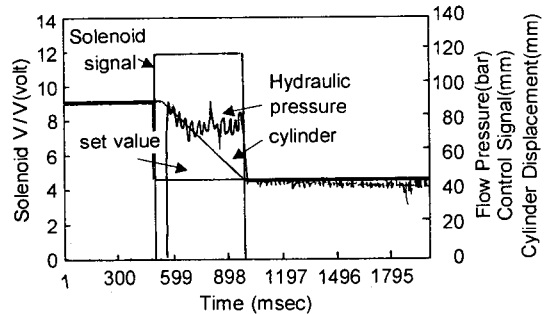
가. 스텝 응답 실험

2종류의 스텝 입력각 진폭을 $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$ 의 조건 하에서, 설정 입력각의 스텝 변화에 대한 실험을 하였고, 바퀴 하중은 300kg, 360kg, 400kg으로 하여 실험하였으나 스텝 입력각과 바퀴하중의 변화에 따른 반응특성은 경향이 비슷하게 나타났다. 그러므로 그림 6은 대표적으로 하중 440kg에 대하여 유압 실린더의 상승(입력각 : $\pm 20^\circ$) 및 하강(입력각 -20°)에 대한 반응 특성을 실린더 변위로 나타내었으며 실험 결과로부터 컴퓨터의 제어 신호에 대해 솔레노이드 밸브 및 구동회로가 잘 동작하고 있음을 알 수 있었다. 유압 실린더의 스텝 상태에서의 응답 특성도 단조 증가의 안정된 특성을 보여주었다. 그리고 정상 상태에서의 정상 편차도 무시 가능한 범위내에 있었다. 하지만, 구동 회로에 의한 솔레노이드 밸브에의 on/off 제어 신호에도 불구하고 실린더가 응답하지 않는 약 0.05초의 불감대가 관측되었다. 이것은 솔레노이드 밸브의 응답 지연에 의한 것으로 경사지에서 트랙터의 작업속도 약 0.5m/sec를 고려할 때 무시 가능한 범위내라고 생각된다.

제어 입력에 의한 시스템 정상 상태 오차의 결과는 표 1과 같다. 실린더가 상승(입력각 : $+20^\circ$)할 경우에는 하중이 작을수록 정상상태 오차는 높게 나타남을 알 수가 있고, 실린더가 하강(입력각 : -20°)할 경우에는 하중이 클수록 정상상태 오차가 높게 나타남을 알 수가 있다. 제어 입력에 의한 정상상태 오차의 평균치는 약 30mv 정도로 측정되었으며 이때의 실린더 변위 오차는 2mm이고, 이에 대한 롤링



(a) Upward motion(+ 20°)

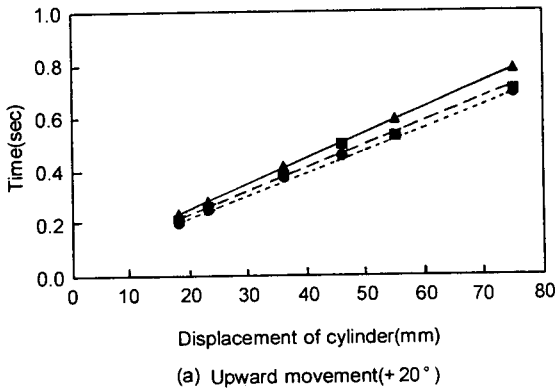


(b) Downward motion(- 20°)

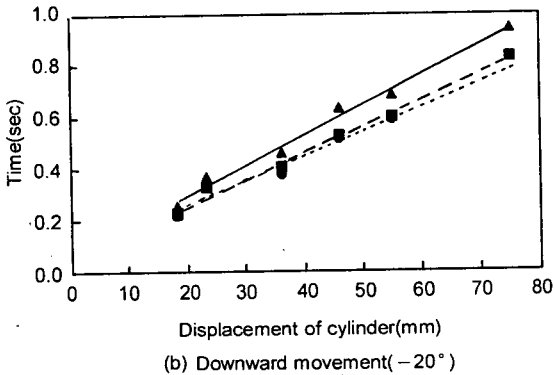
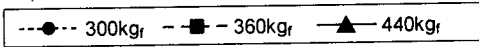
Fig. 6 Response characteristics of the hydraulic cylinder under load of 440kg.

Table 1 Steady-state error(angle)

Upward movement(+20°)		Downward movement(-20°)	
Load(kg)	Angle(°)	Load(kg)	Angle(°)
300	0.64	300	0.56
360	0.58	360	0.62
440	0.54	440	0.68
Average	0.59	Average	0.62



(a) Upward movement(+ 20°)



(b) Downward movement(- 20°)

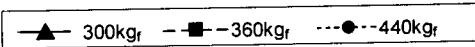
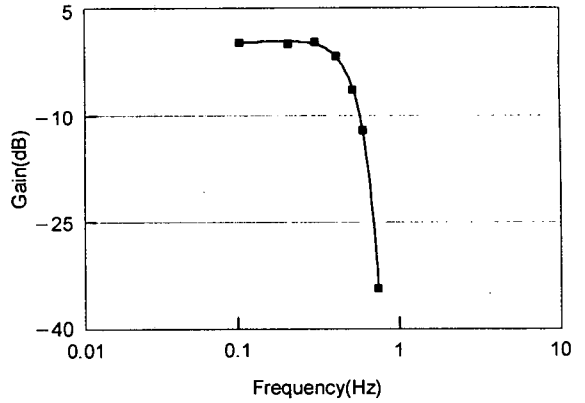


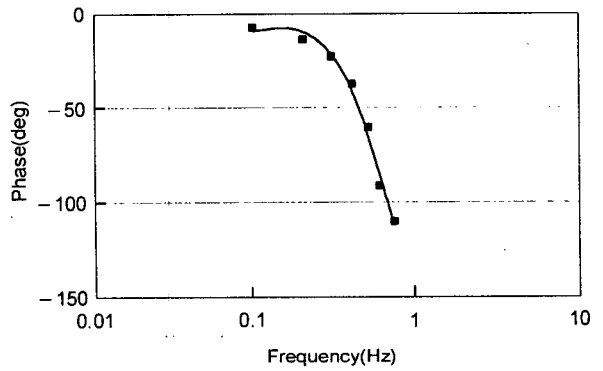
Fig. 7 Response time for the cylinder displacement under the load of 300kg_r, 370 kg_r, and 440kg_r.

각은 약 0.6°이다. 이는 정상상태에서의 정상 편차가 약 0.6°이므로 거의 무시 가능한 범위내에 있었다.

트랙터의 최대 작업 주행속도를 고려하여 계산한 이론적 유압 시스템의 제어속도는 20°/scc였고 이때의 유량 10.77lpm이었다. 그림 7에서 실린더가 상승(입력각 : +20°)할 경우에는 하중이 클수록 제어속도가 늦고, 하강(입력각 : -20°)할 경우에는 하중이 작을수록 제어속도가 늦어지는 것을 보여준다. 그리고 최대로 제어되는 설정각 ±20°인 실린더 변위까지의 구동시간은 1초 이내였고, 한쪽 바퀴 실린



(a) Gain



(b) Phase

Fig. 8 Bode diagram of the control system at ±20° of amplitude and 10lpm of flow rate.

더 상승시 변위 36cm인 10° 제어에는 약 0.42초 소요되었다. 이 때의 유량은 평균 10lpm이었다. 이것은 우리의 이론적 계산치보다 약 0.08초 빠른 값이지만 시스템의 지연상황을 감안하여 유압시스템의 유량을 10lpm으로 설정하였다.

나. 주파수 응답 실험

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

그림 8(a), (b)는 대표적으로 진폭 ±20°의 이득 및

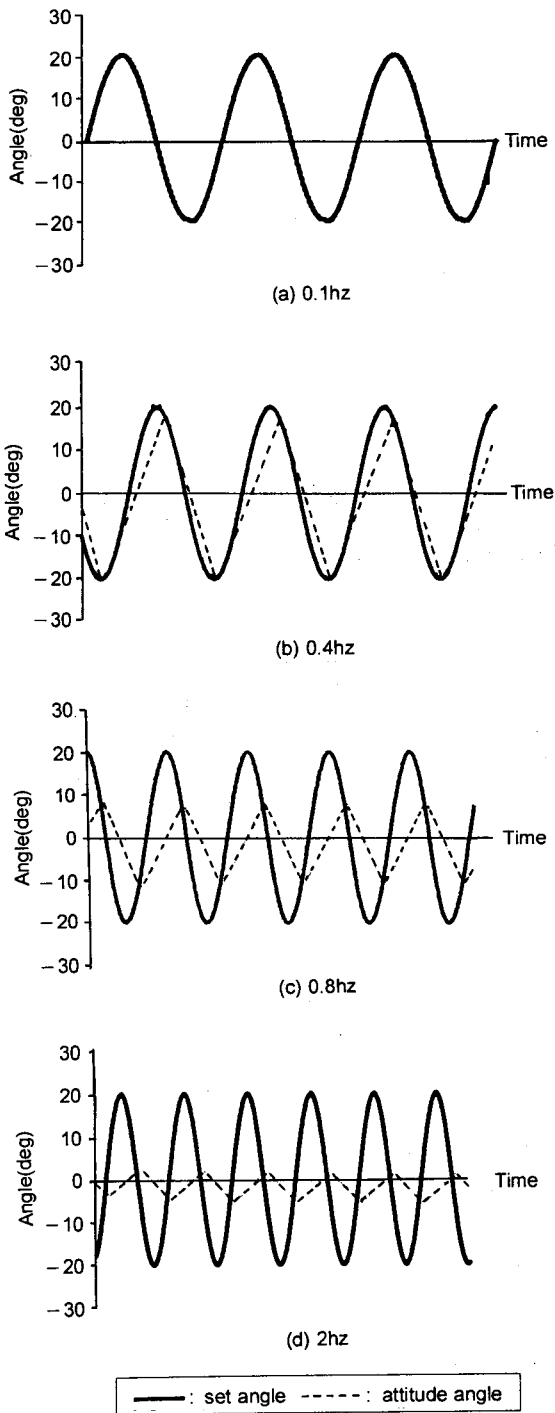


Fig. 9 Frequency response of the control system at $\pm 20^\circ$ of amplitude and 10 lpm flow rate.

위상 선도를 나타내었다. 실험 결과로부터 위상차의 경우는 입력 주파수 0.3hz까지는 약간의 위상차가 관측되었으나, 제어 시스템이 입력 신호에 잘 추종하고 있음을 알 수 있었다. 입력 주파수 0.4hz에서는 약간의 이득 저하와 함께 커다란 위상차가 관측되었다.

그림 9(a), (b), (c), (d)는 본 실험 중에서 간폭 $\pm 20^\circ$ 의 일부 주파수인 입력 주파수 0.1hz, 0.4hz, 0.8hz, 2.0hz에 대한 결과를 보여주고 있다. 실험 결과로부터 0.4hz까지는 약간의 위상차가 관측되었지만 제어 시스템이 입력 신호에 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

트랙터가 경사면에 따라 주행함에 있어서 작업자의 안정성이 낮아질 것이고 불안감도 증폭되어질 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자세를 항상 수평으로 유지하기 위한 단축형 모형 실험장치를 제작하고, 실내의 유압 제어 응답 특성 실험을 통해 시스템의 적응성을 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 제어 시스템의 스텝 응답 특성에서 유압 실린더의 유량 10lpm에 대한 응답성은 실린더 변위 36mm인 제어각 약 10° 에 대해 약 0.42초의 응답성을 보여 주었으며, 응답 특성도 현저히 안정되게 선형 증가하는 경향을 보여 주었다. 컴퓨터에 대한 제어 신호에도 불구하고 실린더가 응답하지 않는 약 0.05초의 불감대가 관측되었고, 정상상태에서의 정상편차는 약 0.6° 이고 이 때의 실린더 변위는 2mm이며 거의 무시 가능한 범위내에 있음을 알 수 있다. 이는 트랙터 자세제어 목표 속도인 1초에 20° 제어를 만족하며, 오차각도 또한 약 1° 로 만족할 만한 수준이다.

2) 주파수 응답 특성에서 본 실험을 위해 구성된 시스템의 입력 주파수 0.3hz까지는 약간의 위상차가 관측되었으나, 제어 시스템이 입력 신호에 잘 추종하고 있음을 알 수 있었다. 이는 지면 주파수 0.1hz 보다 좋은 성능을 나타냈다.

본 연구에서는 제작된 단축형 모형 실험장치에서의 실험 결과 1), 2)로부터 본 시스템은 트랙터의 자세 제어 시스템의 적용에 충분한 가능성을 보여 주었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부. 1981. 토지분류조사보고서(1972~1980).
2. Isao, Tajiri., Kunio, Sato. and Osamu, 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.
3. Akifumi, Fukuda. 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.
4. Akifumi, Fukuda., Kouichi, Ichihara., Kazusi, ASAH. and Masahiro, Mozuna. 1990. The automatic attitude control of hillside tractor for forestry use. Journal of Japan Forest Society 72(3):239-246.