

비례밸브를 이용한 트랙터 3점 히치 제어 시스템 개발

이상식 박원엽

Development of Tractor Three-point Hitch Control System using Proportional Valve

S. S. Lee W. Y. Park

Abstract

Tractor implements are mainly utilized for the tillage operation. The proposed hydraulic system control was implemented to experimental apparatus. An implement control system for tractor using proportional valve was fabricated to improve the working efficiency. Hydraulic circuit included the proportional solenoid valve and on/off solenoid valve and so on. This paper shows results of a specification and design of an implement control system for tractor using proportional valve for automation. It was conducted to evaluate response characteristics of the designed implement control system under experimental conditions of various input flow rates. The results of experiments showed that the response characteristics was sufficient to be used as the implement control system.

Keywords : Hydraulic system, Proportional valve, Implement control, Tractor, Tillage

1. 서론

작업제어시스템의 기본인 트랙터의 작업기 장착 링크는 1920년대 초 쟁기를 장착하기 위한 장치의 하나로 개발되기 시작하여 현재의 3점 링크의 원형이 되는 것은 1935년에 Harry Ferguson에 의해 개발되었다. 트랙터의 3점 링크와 관련한 작업기 제어에 관한 연구는 학계, 산업계 및 연구 관련 단체에서 이루어지고 있다. 작업기 제어시스템의 제어방식은 전자기술의 진보를 통해 기계유압방식이 갖고 있는 한계를 극복하기 위하여 전자기술의 진보를 통한 전자유압방식으로 전환되고 있는 실정이다. 또한 이들 연구의 주된 내용은 작업 조건 및 제어시스템을 구성하고 있는 유압시스템의 성능향상과 개량에 관한 것이 주를 이루고 있다. 이외에도 제어시스템을 구성하고 있는 중요한 요소인 3점 링크의 기구학적 해석 및 개량, 또는 트랙터의 작업기 제어시스템의 작동장치로서 널리 이용되고 있는 유압회로의 응답특성 개선 등을 위

한 연구가 수행되어 왔다.

작업기 유압제어시스템에 관한 연구는 경운작업을 위해 주로 쟁기를 이용하고 있는 구미에서 많은 연구가 행해져 왔다. Dobrinska와 Jarboe(1981)는 케이스사의 4륜구동형 트랙터의 전자유압제어시스템의 개발 및 응용에 관한 연구를 하였다. Squire(1984)는 전자견인력제어시스템에 관한 시스템을 제시하였다. Olson와 Cornell(1987)은 위치 및 견인력제어가 가능한 전자유압제어시스템에 대한 시뮬레이션의 결과를 제시하였다. Boe와 Bergene(1989)은 트랙터의 전자유압제어시스템 방식에 관한 연구를 수행하였다. Ayers 등(1989)은 단순화된 전자유압방식 견인력제어시스템의 설계와 수학적 모델링을 통해 제어시스템의 최적응답이 얻어지는 제어기의 비례 계인을 구하여 실험을 통한 비교연구를 수행하였다. Katayama 등(1993)은 하부링크에 장착된 검출기구에 의해 견인부하를 검출하여 비례밸브에 의해 작업기의 승하강용 유압실린더를 제어함으로써 견인부하를 일정하게 유지할 수

This work was financially supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET). The article was submitted for publication on 2011-03-22, reviewed on 2011-04-05, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-04-12. The authors are Sang Sik Lee, KSAM member, Assistant Professor, Dept. of Biomedical Engineering, Kwandong University, Gangneung, Korea and Won Yeop Park, KSAM member, Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering(Nano & bio-technology application research center), Hankyong National University, Ansung, Korea. Corresponding author: W. Y. Park, Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University, Ansung, Gyeonggi, 456-749, Korea; Fax: +81-31-672-5110; E-mail: <pwypark@hanmail.net>.

있는 전자건인력제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. Keuper (1999)는 리프트암의 위치검출을 위한 포지션센서, 작업 중의 건인부하검출을 위한 하부링크에 장착된 2개의 건인부하 센서와 비례제어밸브로 구성되어 있는 위치, 건인력 및 혼합 제어가 가능한 전자유압 3점 링크 제어시스템에 관한 연구를 수행하였다. Mido tech사(2002)에서는 쟁기 및 로타리 작업이 모두 가능하고 on/off제어밸브가 구성되어 있는 작업기 혼합 제어시스템에 관한 연구를 수행하였고 제품으로 출시하였다. 이와 같이 전자유압제어시스템은 경운작업에 쟁기를 주로 사용하고 있는 구미에서는 이미 상용화되어 실제 포장에서의 경운작업 등에 널리 이용되고는 있으나 아직도 기존의 제어시스템에 대한 고성능 및 원가절감 등을 위한 연구들이 수행되고 있다. 그러나 쟁기를 주로 사용하는 구미와 달리 일본에서는 주로 로타리 작업기를 많이 사용하고, 한국에서는 쟁기 및 로타리 작업기를 거의 비슷한 비율로 사용하고 있다. 또한 작업기의 종류에 따른 작업조건 및 방법이 다르며, 요구되는 제어기능도 지역에 따라 다르다. 따라서 본 연구에서는 국내뿐만 아니라 수출을 위한 대형 트랙터용 작업기 제어시스템의 개발을 목적으로 다양한 작업조건 및 방법에 적용이 가능한 비례밸브에 의한 유압제어방식의 시스템의 설계에 주력 하였다.

그리고 최근 한국농업은 농산물 수입개방 압력 등으로 농업생산물의 생산비 절감 등을 통한 경쟁력확보라는 당면과제를 안고 있으며, 또한 트랙터의 대형화 추세에 적합한 트랙터용 자동화 작업기 제어시스템의 개발이 강하게 요구되고 있다.

그러므로 본 연구는 작업조건 및 트랙터의 대형화 추세 등 한국의 농업환경을 충분히 고려하여, 쟁기와 로타리 작업기에 적합하고 유압제어를 기본으로 하는 고정도 및 고효율 작동성능을 갖춘 비례밸브를 이용한 트랙터 작업기 유압시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 유압시스템

1) 시스템 구성

작업기 유압시스템의 제어시스템은 센서부, 전자제어부, 구동드라이버, 유압부로 구성하였고, 블록선도는 그림 1과 같

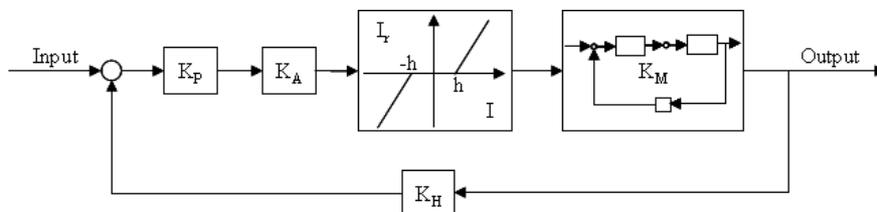


Fig. 1 Block diagram of implement control system.

다. 유압장치의 핵심부품으로서 전기적 신호로 제어되는 솔레노이드 방식의 유압밸브는 비례밸브로 대표되는 아날로그 제어 방식의 유압밸브로 사용하였다.

2) 유압 시스템의 해석 및 설계

그림 1에서 유압제어시스템은 K_M 이며 도식화된 모델링은 그림 2와 같다. 또한 유압시스템은 1) 유압 밸브 및 라인의 관성은 무시한다, 2) 유압 밸브 및 라인의 저항은 무시한다, 3) 유압 라인의 압축성에 의한 체적 변화를 고려한다는 가정 하에 시뮬레이션 하였다.

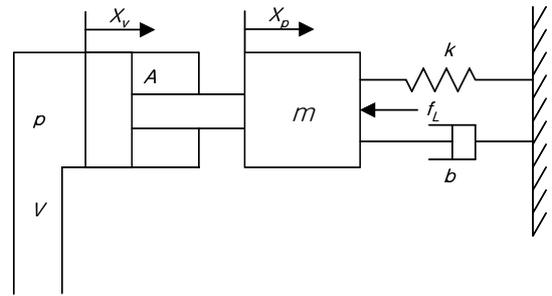


Fig. 2 Modeling of hydraulic control system.

설계된 모델링에서 작동된 유압실린더의 움직인 량을 측정하기 위해서 센서가 움직인 거리만큼의 신호를 피드백 시킨다. 유압제어시스템을 구성하는 주요 요소는 유압밸브, 유압실린더 및 하중이며, 이 요소들의 주요 수식은 식 (1), (2) 및 (3)에 각각 나타내었다.

$$q = k_q X_v - k_c p \tag{1}$$

$$q = A \frac{dy}{dt} + \frac{V}{2\beta} \frac{dp}{dt} \tag{2}$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} = A p - f_L \tag{3}$$

where, q = flow rate (l/min)

k_q = flow gain

X_v = piston displacement (mm)

k_c = flow-pressure coefficient

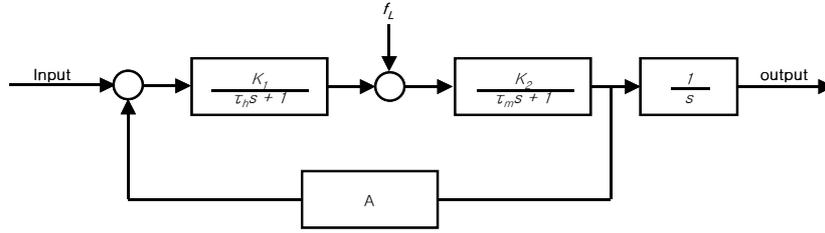


Fig. 3 Block diagram of hydraulic control system.

- p = pressure (bar)
- A = area(m²),
- β = bulk modulus (N/m²)
- V = volume (m³)
- m = mass (N)
- b = viscosity coefficient (Ns/m)
- f_L = load (N)

따라서 모델링을 이용한 유압제어시스템 K_M 의 블록선도는 그림 3과 같은 결과로 나타났다. 설계된 모델링에서 유압 밸브, 유압실린더 및 하중에 대한 특성방정식은 그림 3에 나타나 있으며 이를 간략화한 블록선도는 그림 4와 같고 시스템 방정식은 $\frac{2.63}{s^2 + 70s + 1093}$ 이다.

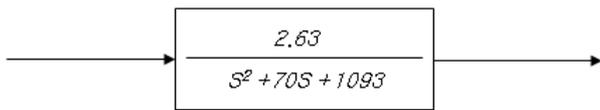


Fig. 4 Simple block diagram of hydraulic control system.

따라서 트랙터 작업기 제어시스템에 대한 시뮬레이션을 위해 본 연구에서는 미국 Mathworks사의 MATLAB/Simulink 프로그램을 이용하였다. 설계된 작업기 제어시스템에 대한 Simulink 프로그램은 그림 5와 같으며, Simulink 프로그램의 각각 기능별 블록들로 이루어져 이 기능 블록들이 신호 선으

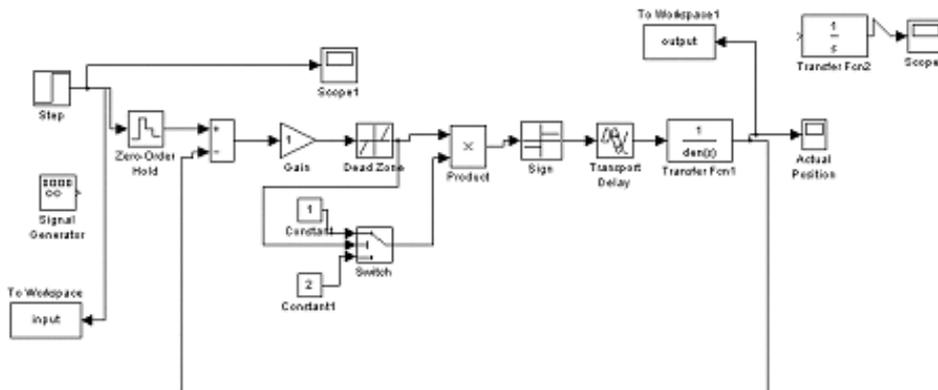


Fig. 5 Simulink program of implement control system.

로 연결되어 시뮬레이션 모형을 이루게 된다.

3) 유압 회로

유압회로는 유압펌프로 부터 공급된 오일을 유압회로와 연결되어 있는 유압실린더에 공급함으로써 리프트암을 통해 유압실린더와 직접 연결되어 있는 3점링크 및 제어대상인 작업기를 상승 및 하강시키기 위한 제어시스템을 구성하고 있는 하나의 요소이다. 본 연구에서 개발한 유압회로(이 등, 2006)는 그림 6과 같고, 유압회로는 내부에 유로가 형성되어 있는 유압매니폴더, 방향 절환을 위한 상·하강용 솔레노이드밸브, 배출유량의 조절을 위한 비례제어밸브 등으로 구성되어 있다. 작업기 상승을 위한 유압 실린더의 최대 입력 유량은 26 l/min이고, 자유 낙하 시 최대 하강 유량은 41 l/min이다.

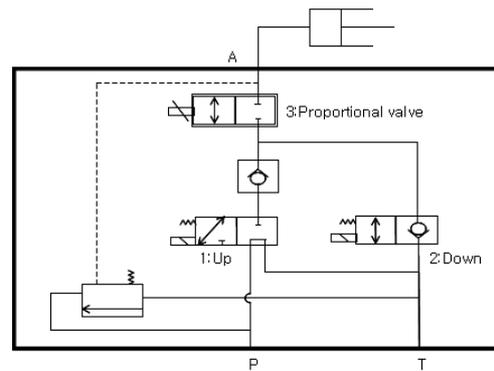


Fig. 6 Drawing of hydraulic circuit.

나. 실험장치

본 연구에서 설계된 유압회로는 유량비례제어밸브에 의해 유압실린더로의 공급 유량이 제어되도록 설계되어 있다. 비례제어밸브에 의한 공급유량은 밸브제어용 전용 전자장치에 가해진 전압에 비례하여 증가한다. 따라서 설계된 유압회로와 관련하여 비례제어밸브 제어용 전자장치의 공급전압과 유량사이의 관계 등 제어시스템의 설계에 필요한 기초 데이터를 확보하였다. 그림 7은 실험에 사용된 유압밸브블록 등의 조작을 위한 유압벤치와 유압 공급을 위한 파워 유닛을 보여 주고 있으며, 그림 8은 3점 링크에 로타리 작업기가 장착되어 있는 모형 3점 링크 장치와 데이터 측정용 컴퓨터를 보여 주고 있다. 실험 장치에서 측정된 입출력 유량, 유압 및 작업기의 작동 각도의 센서 신호는 데이터 수집보드를 통하여 컴퓨터에 저장된다.

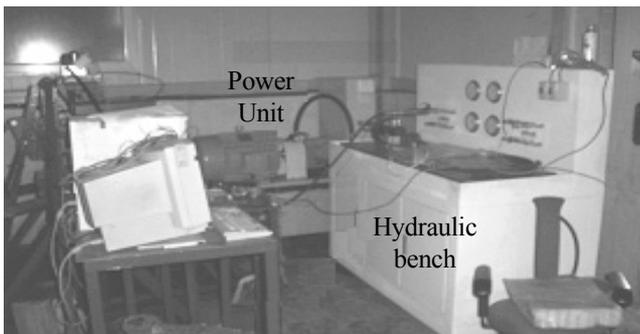


Fig. 7 Experimental apparatus - hydraulic bench and power unit.



Fig. 8 Experimental apparatus - 3-P link, PC.

다. 방법

1) 비례밸브 특성분석

비례제어밸브의 제어를 위해서 기본적인 특성 분석을 수행하였다. 설계한 유압실린더의 최대 입력 유량은 26 l/min 이지만 본 실험은 특성분석을 위하여 기존 트랙터의 펌프토출 유량을 고려하여 실험하였다. 본 실험의 펌프토출 유량은 5종류(15 l/min, 20 l/min, 25 l/min, 30 l/min, 35 l/min)로 하였

다. 특성 분석을 반드시 수행하여야 하는 항목은 비례제어밸브 증폭 전압과 유량사이의 관계, 펌프토출유량과 중립시 압력손실사이의 관계 및 작업부하에 대한 증폭 전압과 작업기 작동유압사이의 관계를 파악하여 적용 가능성 여부를 판단할 수가 있다.

2) 계단 응답 시뮬레이션 및 실험

유압시스템의 응답성을 알아보기 위하여 하강일 때는 단동식 실린더이므로 자유낙하를 하게 되고, 유량은 하강유량조절밸브를 최대로 연 상태인 41 l/min에서 제어 각도 10°, 20° 및 30°일 때의 응답반응을 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 그리고 상승일 때는 유압실린더 입력유량을 11 l/min, 16 l/min, 21 l/min 및 26 l/min으로 설정하고, 제어각도는 10°, 20° 및 30°로 하여 각각의 응답 반응을 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다. 유압시스템의 편차를 알아보기 위하여 작업기의 전체 작동 범위가 75°이므로 하강시 지면에 닿지 않는 것을 고려하여 하강 55°로 작동하였다.

3) 주파수 응답 시뮬레이션 및 실험

유압시스템의 추종성을 알아보기 위하여 유압 실린더의 입력유량을 11 l/min, 16 l/min, 21 l/min 및 26 l/min으로 설정하고, 입력 주파수를 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, 1.0 Hz 및 2 Hz로 하고, 제어각도는 ±30°로 하여 각각의 응답 반응에 대한 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 비례밸브 특성분석

설계된 유압회로는 회로내의 비례제어밸브에 의해 유압실린더에의 공급 유량인 A포트 유량이 제어되며, 비례제어밸브에 의한 유량은 밸브제어용 전용 전자장치에 가해진 전압에 비례하여 증가한다. 비례제어밸브의 인가전압에 대한 유압실린더 입력유량을 알아보기 위하여 5회 실험하여 측정하였다. 그림 9는 실험결과를 평균한 결과이고 전자장치에 의해 가해진 전압에 비례하여 선형적으로 변화($y=6.536x-12.787$, $R^2=0.997$)함을 알 수 있다. 전압별 유량은 2.5 V에서 3.58 l/min, 3.5 V에서 10.08 l/min, 4.5 V에서 16.60 l/min, 5.5 V에서 23.20 l/min이었다. 또한 실험 횟수에 관계없이 유압회로내의 A포트 유량은 유압펌프의 토출유량에 거의 영향을 받지 않았다.

유압회로내의 압력손실은 유압회로에 큰 영향을 미칠 수 있다. 최대 유량인 35 l/min일 때 가장 큰 압력손실이 발생하였고, 그림 10에 최대 유량인 35 l/min일 때 비례제어밸브의

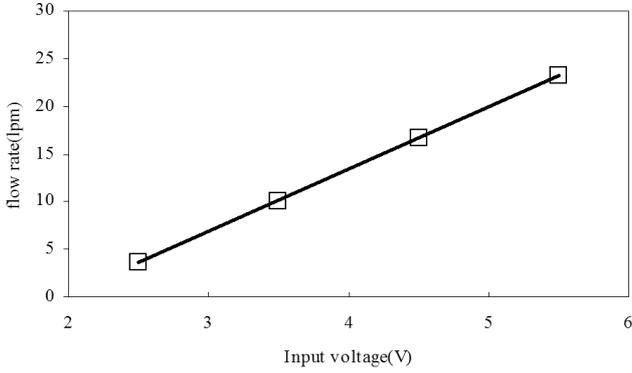


Fig. 9 Input flow rate of hydraulic cylinder.

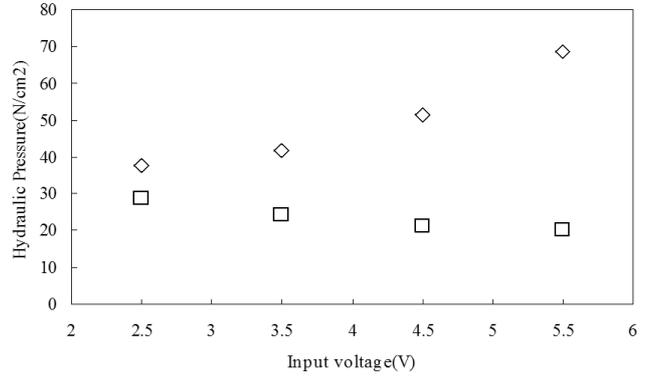


Fig. 11 Operating pressure of hydraulic circuit (diamond: upward, rectangular: downward).

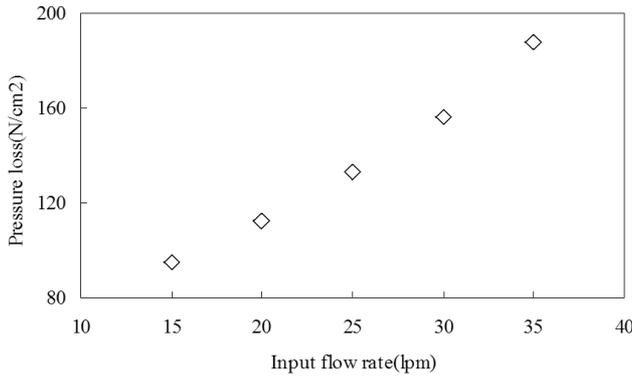


Fig. 10 Pressure loss of hydraulic circuit.

입력유량에 대한 유압회로 중립시의 P 포트와 T 포트 사이의 압력손실을 나타내었다. 실험결과로부터 압력손실은 펌프토출유량에 비례하여 0.95 Mpa에서 1.88 Mpa까지 증가하는 경향으로 나타났다. 입력 유량 35 l/min에서의 압력손실이 1.88 Mpa로 기존의 수동밸브(1.2 Mpa)보다 약간 높으나, 적용할 트랙터 본체의 유압 시스템의 압력이 16 Mpa이므로 사용할 수 있다는 것을 알 수가 있다.

개발된 유압회로 이용하여 작업기 최대 사용 압력을 측정하는 것은 유압회로의 적용여부를 결정할 수 있는 중요한 지표이다. 본 연구에서 개발한 유압회로를 적용할 트랙터 본체 유압 시스템의 압력이 16 Mpa이므로, 이를 기준으로 사용 가능한 지를 비교할 수가 있다. 또한 국내에서 주로 사용하고 있는 하중 4,000 N 로타리 작업기를 사용하였다. 펌프토출유량에 따라 큰 차이가 발생하지 않았으며, 펌프토출유량이 최대인 35 l/min에서의 상승 및 하강을 위해 필요한 A포트 압력 결과는 그림 11과 같다. 상승의 경우에는 A포트유량을 제어하는 증폭 전압에 비례하여 선형적으로 압력이 증가함을 알 수 있고, 최대 압력은 0.686 Mpa이다. 하강의 경우는 증폭 전압에 비례하여 압력이 감소하며, 이러한 현상은 증폭 전압에 비례한 비례제어밸브 개구면적이 증가와 함께 실린더로부터의 배출유량의 증가로 인한 실린더 내 배압 감소에 의한 것이다.

나. 계단 응답 검증

유압시스템의 계단응답특성 검증을 위한 작업기 상승 작동 시뮬레이션 및 실험은 유압실린더 입력유량에서 밸브 열림 동작을 알아보기 위한 응답시간과 시정수 및 정정시간을 알아보고, 하강 작동 실험은 하강유량조절밸브를 최대로 연 상 태인 유압 실린더의 최대 출력유량일 때의 밸브 열림 응답시간과 시정수 및 정정시간을 알아보았다.

그림 12에서 보는바와 같이 유압시스템의 실제 실험에서는 작업기가 상승할 때 평균 응답시간은 49.8 msec이고, 하강일 때 응답시간은 35 msec로 나타났다. 그러나 시뮬레이션에서는 엔진속도에 관계없이 50 msec로 동일하게 나타났으며, 실험결과와 차이가 나는 것은 유압장치와 같은 비선형적이고 압력손실 등이 많은 여러 요소들의 복합적인 영향으로 사료된다.

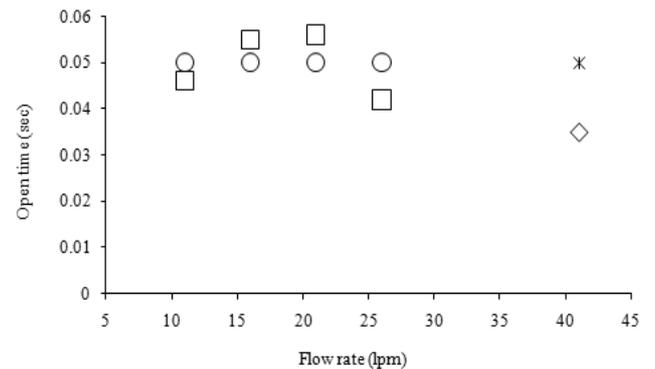


Fig. 12 Result of response time to open the proportional valve (rectangular: open time on experimental result at upward, circle: open time on simulation result at upward, diamond: open time on experimental result at downward, asterisk: open time on simulation result at downward).

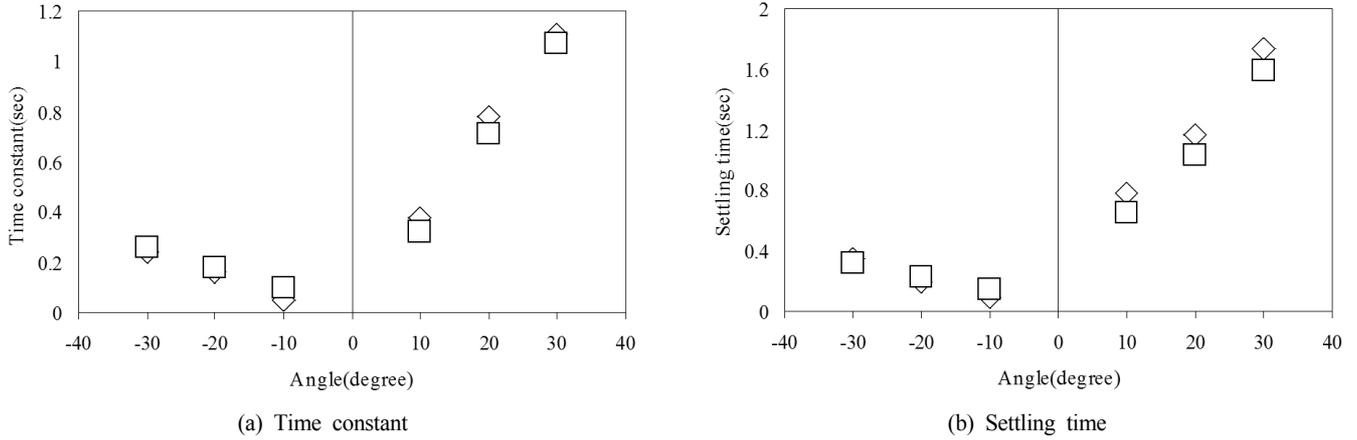


Fig. 13 Time constant and settling time of hydraulic control system (diamond: 41 l/min, rectangular: 26 l/min).

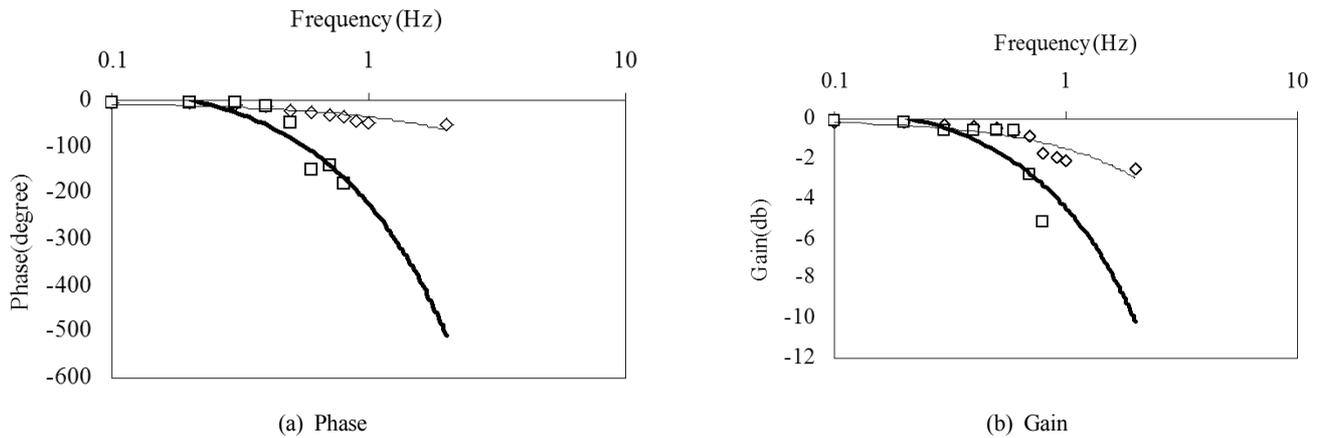


Fig. 14 Frequency response diagram of hydraulic control system at $\pm 30^\circ$ of amplitude and 26 l/min of hydraulic rate (Thick line: Experimental result, Thin line: Simulation result).

그림 13은 유압실린더의 상승 입력유량 26 l/min, 하강 출력유량 41 l/min에서 제어 각도별 시정수 및 정정시간을 보여주고 있다. 그림 13(a)의 시정수 분석결과에서 보듯이 상승 동작이 하강 동작에 비하여 적다는 것을 알 수가 있고, 그림 13(b)의 정정시간 분석결과에서도 같은 경향을 보였다. 또한 시뮬레이션 결과와 실험결과가 비슷함을 알 수가 있었다.

유압제어시스템에서 작업기를 55° 하강 제어시킬 때, 엔진 속도에 관계없이 편차는 시뮬레이션에서는 0.7°이었고 실험 결과 평균은 최대 약 0.8°로 나타났다. 그러므로 작업기 유압 제어시스템의 데드밴드를 시스템의 안전을 위하여 1°로 하였다.

다. 유압 제어시스템의 주파수 응답 검증

유압시스템의 주파수 영역에서의 응답특성을 규명하기 위해 시뮬레이션 및 실험에서의 주파수 응답특성을 알아보았다. 그림 14는 주파수 영역에서 제어시스템의 특성을 나타내는 대표적인 지표인 이득 및 위상차 선도이고, 유압 실린더 입력 유량이 클수록 추종성이 떨어지므로 유압 시스템의 검

증을 위하여 최대 입력 유량 26 l/min의 경우를 보여주었다.

그림 14(a)의 위상선도에서 보는바와 같이 시뮬레이션 및 실험결과가 0.4 Hz까지는 비슷한 경향을 보였지만, 0.4 Hz 이상의 실험결과에서는 추종성이 급격히 하락함을 알 수 있었다. 그리고 0.8 Hz 이상의 실험결과에서는 오작동이 발생하였으므로 측정이 불가능하였다. 그림 14(b)의 게인선도에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 및 실험결과가 0.6 Hz까지는 비슷한 경향을 보였다. 하지만 0.6 Hz 이상의 실험결과에서는 추종성이 급격히 하락함을 알 수 있었다. 그리고 위상선도와 동일하게 0.8 Hz 이상의 실험결과에서는 측정이 불가능하였다.

Tajiri와 Sato(1988)에 의하면 토양 롤링의 지면 주파수가 0.1 Hz이므로, 주파수 응답특성실험에서 나타난 바와 같이 주파수 영역에서의 유압시스템의 응답 특성의 한계는 0.4 Hz 이므로 작업기 제어를 위한 충분한 응답성이라고 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 다양한 작업이 가능해야 하는 한국의 농업

환경과 사용 트랙터의 대형화 추세를 고려하여, 유량제어를 기본으로 하는 고정도, 고효율 및 보다 소프트한 작업기 작동 성능을 갖춘 비례밸브를 이용한 트랙터 작업기 유압시스템을 개발하였고, 시뮬레이션 및 실험을 통하여 적용 가능성을 검토하였으며 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 비례제어밸브에 의한 유량은 밸브제어용 전용 전자장치에 가해진 전압에 비례하여 증가한다. 전압별 유량은 2.5 V에서 3.58 *l/min*, 3.5 V에서 10.08 *l/min*, 4.5 V에서 16.60 *l/min*, 5.5 V에서 23.20 *l/min*으로 나타났다.
- (2) 비례제어밸브의 특성 실험에서 펌프토출유량 35 *l/min*에서의 압력손실이 최대 1.88 Mpa로 기존의 수동밸브(1.2 Mpa)보다 약간 높게 나타났다. 하지만 국내에서 주로 사용하고 있는 하중 4,000 N 로타리 작업기 작동에서의 최대 압력은 0.686 Mpa이고, 적용할 트랙터 본체의 유압시스템의 압력이 16 Mpa이므로 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 유압시스템에서 작업기를 55° 하강 제어시킬 때, 엔진 속도에 관계없이 편차는 시뮬레이션에서는 0.7°이었고 실험결과 평균은 최대 약 0.8°로 나타났다. 그러므로 작업기 유압제어시스템의 데드밴드를 시스템의 안전을 위하여 1°로 하였다.
- (4) 주파수 응답특성의 위상선도에서는 시뮬레이션 및 실험결과가 0.4 Hz까지는 비슷한 경향을 보였지만, 0.4 Hz 이상의 실험결과에서는 추종성이 급격히 하락함을 알 수 있었다. 게인선도에서는 시뮬레이션 및 실험결과가 0.6 Hz까지는 비슷한 경향을 보였지만, 0.6 Hz 이상의 실험결과에서는 추종성이 급격히 하락함을 알 수 있었다. 그러므로 토양 롤링의 지면 주파수가 0.1 Hz이고, 주파수 응답특성실험에서 나타난 바와 같이 주파수 영역에서의 유압시스템의 응답 특성의 한계는 0.4 Hz이므로 작업기 제어를 위한 충분한 응답성이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Ayers, P. D., Varma K. V. and Karim. M. N. 1989. Design and analysis of electro-hydraulic draft control system. Transactions of the ASAE 32(6):1853-1855.
2. Boe. T. E. and Bergene. M. A. 1989. Tractor three-point hitch control system. SAE paper No.891835.
3. Dobrinska, R. and R. Jarboe. 1981. The development and application of electro-hydraulic control system for Case 4WD tractors. SAE paper No.810941.
4. Katayama, Y., S. Takahashi, Y. Sugimoto and T. Hukumoto. 1993. Electronic draft control system. Technical report of Kubota Co., Ltd. 26:41-53. (In Japanese)
5. Keuper, G. 1999. Electro-hydraulic hitch control. ASAE 1999 annual meeting. ASAE paper No. 991070.
6. Lee, S. S., J. Y. Lee and J. H. Mun. 2006. Development of depth and working load control system for tractor using a proportional valve. Journal of Biosystems Engineering 31(1): 16-23. (In Korean)
7. Mido tech Co., Ltd. 2002. Study on implement control system for agricultural tractor. Ministry of Agriculture and Forestry. Final report: 65-81. (In Korean)
8. Olson, D. J. and Cornell. C. R. 1987. Simulation of an electro-hydraulic hitch control system on an agricultural tractor. SAE paper No.870818.
9. Squire, R. E. 1984. Electronic draft control system. ASAE 1984 annual meeting. ASAE paper No. US8623633.
10. Tajiri, I. and Sato. K. 1989. Research on attitude control of tractors for sloping ground(part 2) -characteristics of parallel links for front wheel and ground load. The japanese society of agricultural machinery 51(2):57-65. (In Japanese)