

3점 히치 장착형 암식 작업기의 전자유압특성 분석

이상식¹ · 박원엽^{2*}

¹관동대학교, ²한경대학교 기계공학과

Electro-hydraulic Characteristic Analysis of Arm-type Implement for Three-point Hitch

Sang Sik Lee¹, Won Yeop Park^{2*}

¹Dept. of Biomedical Engineering, Kwandong University, Gangneung, 210-701, Korea

²Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University, Ansung, 456-749, Korea

(Received: August 16th, 2011; Revised: September 21th, 2011; Accepted: September 28th, 2011)

Abstract

Arm-type implements of tractor are mainly utilized for the slope land operation. The proposed hydraulic system was implemented to arm-type implements of tractor. An experiment was conducted to evaluate response characteristics of the designed arm-type implement control system attached by three-point hitch of tractor at various conditions, such as engine speed, pumping rate and cylinder input flow. Effects of the valve response time didn't affect engine speed. The flow rate of pump and cylinder changed to the pressure loss. Also, the pressure loss was within 2 MPa and the response characteristic was sufficient enough to use as the arm-type implement system.

Keywords : Arm-type implement, Three-point hitch, Hydraulic system, Control, Tractor

1. 서론

건설부의 토지분류에 따르면 전 국토면적 중 경사도 5° 미만은 약 21.1%에 불과하고(Kim et al., 1999), 우리나라 전 국토 면적의 65% 이상이 임야로 이루어져 있지만 경사지 농업에 대한 기계 개발은 평지작업에 비하여 경제성이 떨어진다는 이유로 거의 이루어지지 않고 있다. 우리나라의 65% 임야 중에서 개발이 가능한 15° 이하의 임야는 261,000 ha, 15 ~ 30° 경사도의 임야는 571,000 ha가 있고, 15 ~ 30° 경사도의 임야 중 230,000 ha의 임야는 과수재배가 가능하다(Jang et al., 2006).

예전부터 과수재배는 잡초와의 전쟁이라고 일컬어 왔으며(Jang et al., 2006), 제초작업은 많은 노력과 비용이 소비되

고 있고, 또한 하우스 혹은 발토양에 구멍을 내는 오거작업도 보급기계의 부족으로 전문기계의 대여로 인한 비용이 높게 발생하고 있다. 특히 과수원, 농로 및 수로 등의 주위에 도달하기 어렵고 작업이 어려운 가파른 경사지 또는 작업기계가 접근하기 어려운 좁은 지역 등의 제초, 로타리 및 오거 작업이 손쉽게 가능한 기계의 개발이 절실히 요구되고 있다. 마을 농로, 국도, 고속도로 및 골프장 등의 개발로 인한 외곽지역의 경사지도 급속도로 증가하고 있다. 경사지형의 농지, 수로, 농로와 골프장, 도로 외곽지역, 주택 주변지역에서의 잡초관리 및 오거작업과 같은 다양한 작업이 수행되고 있지만 관리가 열악한 작업환경으로 어려운 것이 현실이다.

그러나 잡초관리 및 오거작업을 위한 작업은 현재 많은 위험성을 안고 있는 수작업으로 이루어지고 있으므로 작업자의 안전성과 편의성을 위한 작업기계가 필요하다고 하겠다. 제초작업의 경우 현재 제초작업의 기계화가 미국, 일본 및 유럽 등지에서 암 타입의 모위가 부분적으로 사용되고 있으나, 한

*Corresponding author: Won Yeop Park
Tel: +82-31-670-5111; Fax: +82-31-672-5110
E-mail: pwypark@hanmail.net

국이나 일본 등에서는 수도작이나 평지의 발농사 기계를 중심으로 개발하고 있기 때문에 경사지나 수로 등에서 제조작업을 할 수 있는 판매제품은 전무한 실정이다(Jang et al., 2006). 그러므로 작업의 위험성을 안고 있는 열악한 지역의 작업을 원활하게 하기 위한 암식의 작업기 개발이 절실히 요구되어지고 있다.

암식 작업기의 유압시스템은 국내의 Jang 등(2006)과 M사(2002)에서 개발한 시스템이 연구되었고 개발한 유압시스템이 비례제어 방식으로 성능은 우수하나 제품의 원가 경쟁력이 취약하다. 또한 일본 S사, 미국 B사 등이 개발 한 제품도 고가의 전자유압시스템을 채택하여 제품이 고가로 판매되고 있다.

따라서 본 연구에서 개발할 저가형 ON/OFF형 솔레노이드 유압방식의 시스템은 국내뿐만 아니라 수출을 위한 개발을 목적으로 해야 하므로 트랙터 후방에 독립 유압공급원이 제공되고 압력손실이 유압 설정압력보다 적은 시스템의 설계가 필요하다. 그러므로 본 연구는 국내 작업조건 적용 및 수출을 위한 제품 판매환경을 충분히 고려한 암식 작업기 유압시스템의 특성을 분석하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 전자유압시스템

유압회로는 트랙터 후방에 독립적으로 작동하는 유압펌프로부터 공급된 오일을 유압 매니폴드와 연결되어 있는 유압 실린더에 공급함으로써 암과 붐을 직접 제어할 수 있고, 표 1에 제원을 나타내었다.

Table 1 Specifications of hydraulic system

Item	Specification
Relief Pressure	18 MPa
Pump	84 l/min
Tank	100 l
Cooler	12V, 60 l/min
Valve	Electronic Solenoid
Motor	0.05 l/rev

본 연구에서 개발한 유압회로는 그림 1과 같고, 유압회로는 내부에 유로가 형성되어 있는 유압 매니폴드, 방향 전환을 위한 상승 및 하강용 ON/OFF 솔레노이드밸브, 배출유량의 조절을 위한 유량조절밸브 등으로 구성되어 있다. 작업기 상승을 위한 유압 실린더의 최대 입력 유량은 20 l/min이고, 하강에서도 최대 입력 유량을 20 l/min로 설정하였다. 유압시스템의 안전을 위하여 설정한 릴리프 압력은 18 MPa로 설정하였다.

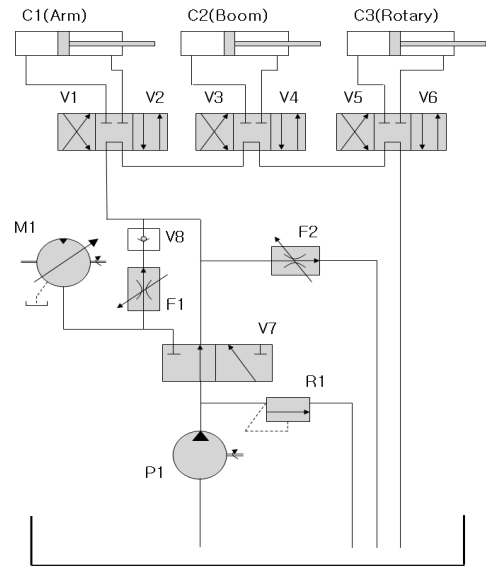


Fig. 1 Hydraulic circuit of arm-type implement.

암식작업기의 컨트롤러 모듈은 그림 2와 같으며, 컨트롤러는 본 제어시스템의 검출부의 각종 센서로부터의 신호를 A/D포트, DI포트 등을 통해 읽어 들여 각종 연산처리를 수행한 후, 출력 포트를 통해 제어 신호를 출력하도록 설계되어 있다.

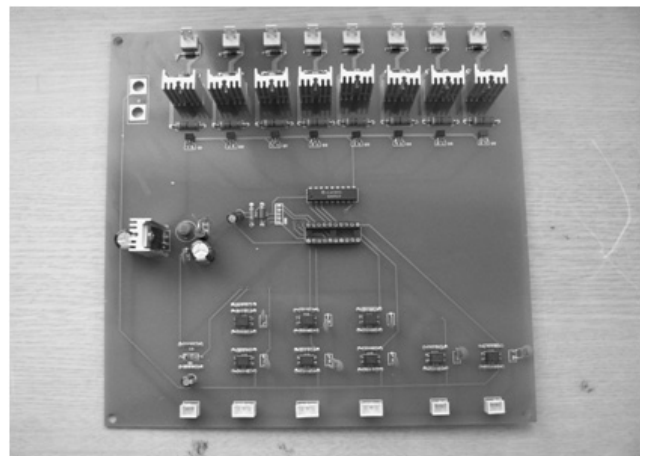


Fig. 2 Controller of arm-type implement.

암과 붐을 조작하는 조작 장치는 레버 1개로 암과 붐의 상승 혹은 하강의 4방향을 제어할 수 있는 전기스위치용 조작 레버를 사용하였다. 그림 3과 같은 조이스틱 레버를 사용하였고, 전기적 신호에 의해 유압회로를 제어함으로써 암식 작업기의 링크장치를 자유자재로 움직일 수 있다.



Fig. 3 Operating lever of arm-type implement.

나. 시작기

그림 4는 본 연구에서 사용한 암식작업기로서 농용트랙터 후부의 3점 히치에 장착한 모습을 보여주고 있다. 암은 붐과 로터리 작업부 사이를 연결하여 작업기의 작업영역을 확보하는 역할을 하는 요소로서 암의 전체 회전각도는 100°로서 작업시 로터리 작업부의 충분한 작업영역 및 자세를 확보할 수 있는 구조이다.

붐은 메인프레임에 직접 연결되어 메인프레임과 암 사이를 연결하여 작업기 전체를 지지한다. 또한 붐은 700 mm 스트로크의 붐 실린더를 통해 90° 이상의 회전각을 갖도록 하여 작업시 붐을 펼쳤을 때에는 충분한 작업범위를 확보한다. 그리고 비작업시 또는 이동을 위해 작업기를 완전히 접었을 때에는 작업기가 트랙터의 차체 폭을 벗어나지 않도록 하였다.



Fig. 4 Prototype of arm-type implement.

다. 실험방법

전자유압장치의 유압회로 작동상태 분석을 위하여 실험은 엔진 회전수 2500 rpm일 때 암 및 붐의 펌프 유량 10 l/min, 15 l/min 및 20 l/min으로 하고, 유압실린더 입력 유량에서 붐 8 l/min과 암 8 l/min으로 하여 상승 및 하강 실험을 수행

하였다. 그리고 응답성능실험을 규명하기 위한 실험은 엔진 회전수 1000, 1500, 2000 및 2500 rpm의 조건하에서 암 및 붐을 3회에 걸쳐 상승 및 하강 동작을 반복 수행하였다. 그리고 엔진 회전수 변화에 대한 펌프 및 실린더의 유량과 유압 및 밸브 응답속도를 측정하기 위하여 암과 붐에 대한 개별 작동 실험을 수행하였다. 유압시스템의 압력 및 유량은 펌프와 실린더 입구부분에서 측정하였고, 실험 중의 각 센서로부터의 신호는 A/D보드 및 데이터수집용 컴퓨터에 의해 기록되어 실험 후에 데이터 처리를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 작동상태 분석

엔진 회전수 2500 rpm일 때 암 및 붐의 개별 작동에 대한 실험 결과에서 붐의 펌프 유량은 10 l/min, 15 l/min 및 20 l/min으로 하고, 유압실린더 입력 유량은 8 l/min으로 하여 상승 및 하강 실험을 수행하였다. 솔레노이드 신호에 대하여 유압실린더가 원하는 위치만큼 원활하게 작동되는 것을 알 수가 있었다. 그리고 작동 압력이 최대 8.1 MPa로 나타났고, 이는 제작된 유압시스템의 설정 릴리프 압력이 18 MPa이므로 안전하다는 것을 알 수가 있었다.

암의 유압실린더 입력 유량을 6 l/min으로 하여 상승 및 하강 실험을 수행한 실험 결과에서 붐과 동일하게 펌프 유량 10 l/min, 15 l/min 및 20 l/min에서 상승 및 하강 동작과 상관없이 솔레노이드 신호에 대하여 유압실린더가 원하는 위치만큼 원활하게 작동되는 것을 알 수가 있었다.

그림 5는 펌프 토출유량의 변화에 따른 실린더 입력 유량의 변화를 나타내었다. 실린더 입력 유량은 6 l/min의 상승 동작의 경우, 펌프 입력유량이 10 l/min일 때 4.7 l/min, 15 l/min일 때 6.24 l/min, 20 l/min일 때 7.31 l/min이다. 실린더 입력 유량은 8 l/min의 상승 동작의 경우, 펌프 입력유량이 10 l/min일 때 5.45 l/min, 15 l/min일 때 6.8 l/min, 20 l/min일 때 7.69 l/min이다. 상승 동작에서는 펌프 입력 유량보다는 상승 동작의 유량을 제어하는 조절 유량이 클수록 실린더 입력 유량이 크다는 것을 알 수가 있었다.

실린더 입력 유량은 6 l/min의 하강 동작의 경우, 펌프 입력 유량이 10 l/min일 때 3.42 l/min, 15 l/min일 때 3.2 l/min, 20 l/min일 때 3.41 l/min이다. 실린더 입력 유량은 8 l/min의 하강 동작의 경우, 펌프 입력유량이 10 l/min일 때 4.14 l/min, 15 l/min일 때 3.75 l/min, 20 l/min일 때 3.46 l/min이다. 하강 동작에서도 펌프 입력 유량보다는 하강 동작의 유량을 제어하는 조절 유량이 클수록 실린더 입력 유량이 크다는 것을 알 수가 있었다. 또한 하강 동작이 상승 동작보다 유량이 적은 이유는 유압회로 시스템의 자유낙하 방지를 위한 파이로트 체크 밸브의 압력손실에 의한 유량저하로 인한 결과이다.

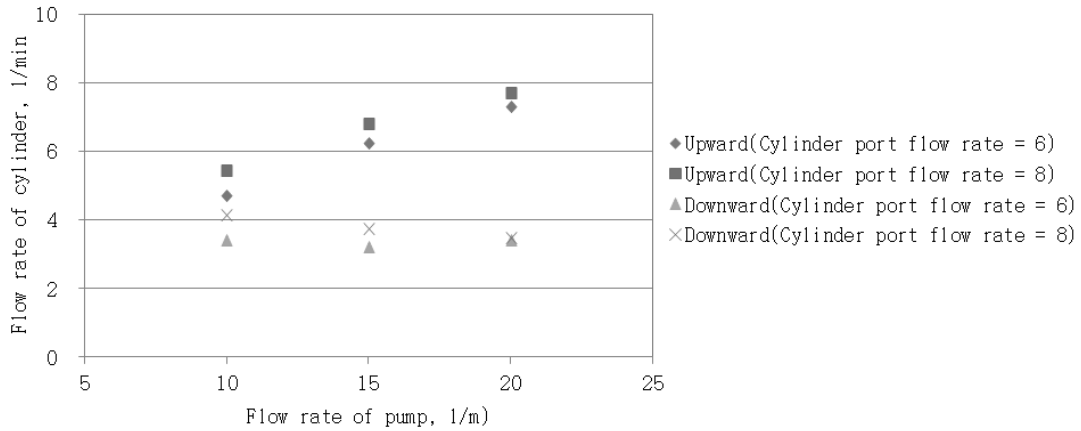


Fig. 5 Input flow rate of cylinder to change of pump flow rate.

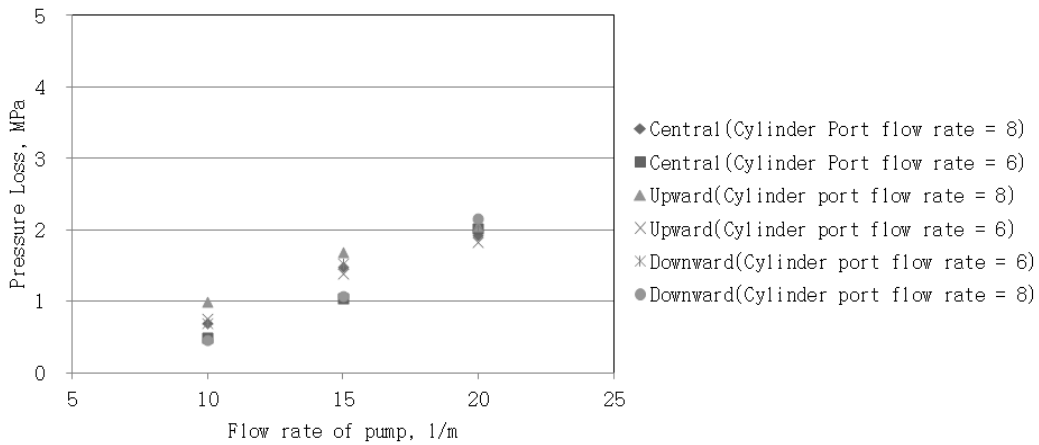


Fig. 6 Pressure loss to change of pump flow rate.

그림 6은 펌프 토출유량의 변화에 따른 유압회로내의 압력 손실의 변화를 보여주고 있다. 실린더 입력 유량 8 l/min의 하강 동작의 경우, 펌프 입력유량이 10 l/min일 때 0.457 MPa로 가장 작게 나타났으며, 20 l/min일 때 2.145 MPa로 가장 크게 나타났다. 그리고 실험 결과로부터 펌프 토출유량의 증가와 함께 압력손실도 증가하는 것이 관측되었다. 이는 본 유압회로에 사용된 솔레노이드밸브 등이 갖고 있는 밸브의 특성에 기인한 것으로 판단되며, 최대 2 MPa의 범위 내에 있다. 이는 유압회로의 메인 릴리프 압력이 18 MPa이므로 무시해도 되는 충분한 범위이다.

나. 밸브 응답특성 분석

그림 7부터 10까지는 엔진 회전수 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm 및 2500 rpm에서의 암과 붐의 밸브 열림 및 닫힘 시간 보여주고 있다. 암 및 붐의 상승 동작에서는 밸브 열림 시간보다 밸브 닫힘 시간이 적다는 것을 알 수 있었고, 밸브

열림 혹은 닫힘 시간은 대부분 50 msec 이내에서 동작하였다. 암 및 붐의 하강 동작에서는 밸브 열림 혹은 닫힘 시간이 대부분 30 msec 이내에서 동작하였다. 밸브의 응답특성은 기존의 트랙터에서 사용하는 대부분의 전자 유압밸브의 응답시

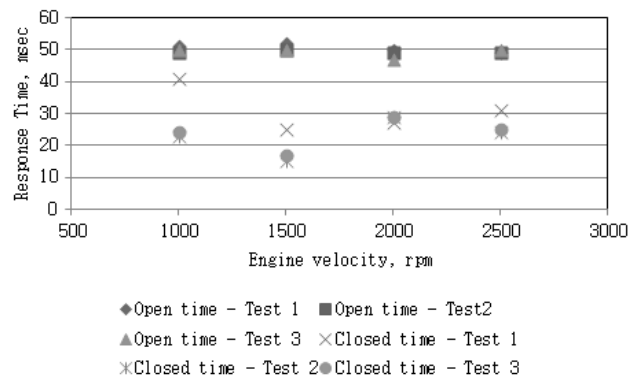


Fig. 7 Response time of open and closed operation to upward of arm.

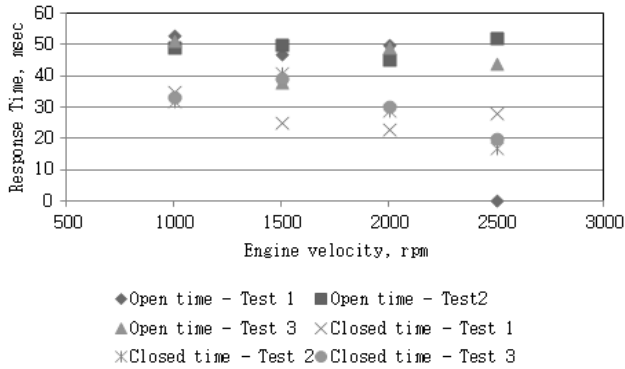


Fig. 8 Response time of open and closed operation to upward of boom.

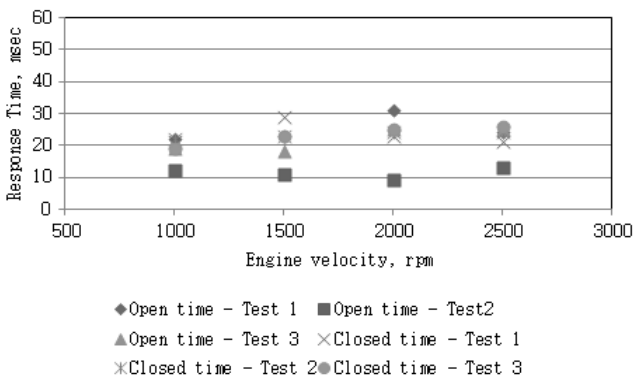


Fig. 9 Response time of open and closed operation to downward of arm.

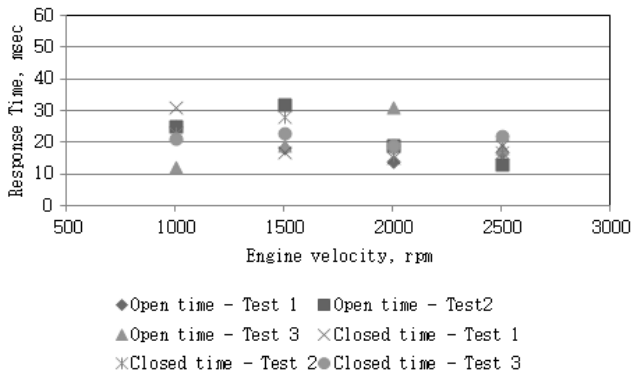


Fig. 10 Response time of open and closed operation to downward of boom.

간(Lee et al., 2006, 2011)과 비슷한 응답 특성을 보였다. 그리고 그림 7부터 10에서 볼 수 있듯이 엔진 회전수는 밸브 열림 및 닫힘 시간에 관계없다는 것을 알 수가 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 경사지 및 열악한 작업이 가능해야 하는 한국의 농업환경과 수출이 가능한 암식 작업기의 제어를 위하여, 유량제어 밸브와 저가의 ON/OFF 솔레노이드 밸브를 이용하여 소프트한 암식 작업기 작동성능을 갖춘 유압시스템을 개발하였고, 실험을 통하여 적용 가능성을 검토한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 펌프 토출유량의 변화에 따른 실린더 입력 유량의 변화는 대부분 압력손실로 인하여 발생한다.
- (2) 펌프 토출유량의 변화에 따른 유압회로내의 압력손실의 변화는 최대 2 MPa의 범위 이내로 나타났다. 이러한 결과는 유압회로의 메인 릴리프 압력이 18 MPa이므로 시스템에 영향을 미치지 못하고 안전하다는 것을 알 수가 있었다.
- (3) 암 및 붐의 상승 동작에서는 밸브 열림 시간보다 밸브 닫힘 시간이 적다는 것을 알 수 있었으며 약 50 msec 이내에서 동작하였다. 하강 동작에서는 밸브 닫힘 및 열림 시간이 약 30 msec 이내에서 동작하였다.
- (4) 본 연구에서 설계된 유압시스템의 밸브 열림 및 닫힘 시간은 엔진 회전수와 관계없다는 것을 알 수가 있었다.

참고 문헌

1. Jang, I. J, T. S. Kim, J. R. Son and C. Y. Bae. 2006. Development of a Mower Attachable Hydraulic Boom for Tractor. Journal of Biosystem Engineering 31(4):334-341. (In Korean)
2. Kim H. J and Y. S. Kang. 1999. Disastrous Man-Made Urban Harzard Factors in the Small Cities of Korea. Journal of Korea Planners Association 34(2):179-185. (In Korean)
3. Lee, S. S and W. Y. Park. 2011. Development of Tractor Three-point Hitch Control System using Proportional Valve. Journal of Biosystem Engineering 36(2):89-95. (In Korean)
4. 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 Biosystem Engineering 31(1): 16-23. (In Korean)
5. Mido tech Co., Ltd. 2002. Study on implement control system for agricultural tractor. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Final report of Korea Institute of Planning & Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry & Fisheries:65-81. (In Korean)