

부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템에 관한 연구

A Study on the Load-sensitive Hydraulic Pump Control System

송창섭 (한양대, 정밀기계공학과), 이용주(한양대 대학원)

Chang-Seop Song (HanYnag Univ.), Yong-Joo Lee (HanYang Univ.)

ABSTRACT

In this study, the analysis of the static and dynamic characteristics of the load-sensitive hydraulic pump control system used in the hydraulic excavator was performed by hydraulic circuit analysis program. These results were verified by the experimental data of the hydraulic excavator system. The responses on effective parameters of system at the controllable region and the pressure variation of the pump used in hydraulic excavator system was studied to enhance the static performance of the system. The parameter enhancement dynamic characteristics was considered.

Key Words : hydraulic pump control system (유압 펌프 제어 시스템), load-sensitive (부하 감응) excavator(굴삭기), controllable region (제어 영역), pump pressure (펌프 압력)

1. 서 론

부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템은 굴삭기 등의 전설기계 유압 시스템, 공작기계 등의 산업용 유압 시스템에서 채용되고 있는 시스템으로 부하에 따라 펌프의 토큰 유량을 제어하여 동력 효율이 높고 성능이 우수한 유압시스템으로 특히 유압 굴삭기, 농기계 등의 부하가 대단히 크고 한정된 동력으로 운전되는 유압 시스템의 제어에는 반드시 채용되고 있다.^{(1),(2),(3)}

본 논문에서는 유압 굴삭기에서 사용되고 있는 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템을 모델로 하여 시스템을 해석하고 그 성능을 고찰하였다.

2 시스템의 해석

2.1 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템의 요소

유압 실린더를 사용한 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템은 가변 용량형 유압 펌프, 8포트 3위치 방향 제어 밸브, 풋트 릴리프 밸브(foot relief valve), 유압 실린더, 릴리프 밸브, 체크 밸브 등으로 구성되어 있다. Fig. 1은 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템의 구성을 나타내고 있다.

방향제어 밸브의 변위가 증가함에 따라 풋트 릴리프 밸브 측의 개구면적은 점점 작아지고 반대로 실린더 측의 개구면적은 점점 증가하지만 실린더의 부하에 의한 실린더 입구측의 압력보다 펌프의 압력이 증가하기 전까지는 실린더는 작동하지 못하게 된다.

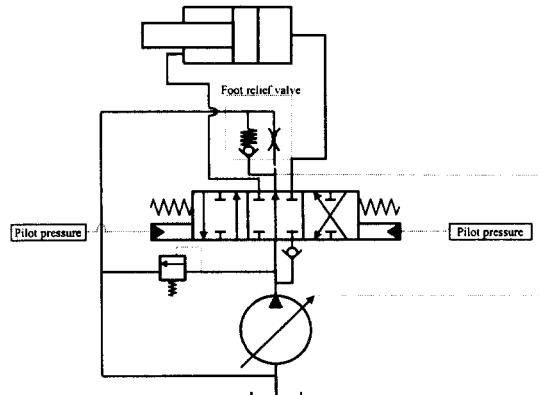


Fig. 1 Hydraulic circuit diagram of a load-sensitive hydraulic pump control system

이 경우에는 유량이 더 이상 실린더 측으로 유입되지 못하고 풋트 릴리프 밸브로 빠져 나가게 되므로 밸브의 변위가 증가하여도 풋트 릴리프 밸브의 압력은 감소하지 못하며 펌프의 송출 유량도 증가하지 않는다. 펌프의 압력이 계속 증가하여 비로소 실린더의 부하를 극복하고 실린더를 회전시킬 수 있는 정도의 펌프의 압력이 생성되면 실린더는 작동을 시작하게 되고 이에 따라 풋트 릴리프 밸브 측으로의 유량은 감소하고 풋트 릴리프 밸브의 압력도 감소하게 된다. 유압 펌프에서는 풋트 릴리프 밸브의 압

력이 감소하면 토출 유량을 증가시켜 많은 유량이 실린더 측으로 공급하여 큰 부하를 가진 실린더가 원활하게 동작하게 된다.

2.1.1 8포트 3위치 방향 제어 밸브

운전자의 레버 조작에 따른 파이롯트 압력이 방향 제어 밸브를 구동시킨다. Fig. 2는 방향 제어 밸브의 변위에 따른 개구 면적 선도이다.

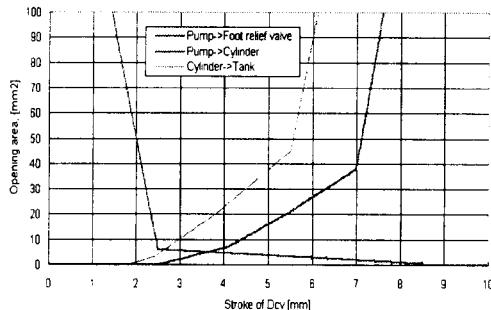


Fig. 2 Opening area v.s stroke of cylinder

2.1.2 가변 용량형 유압 펌프

가변 용량형 유압 펌프의 토출 유량은 펌프 압력(Fig. 3)과 풋트 릴리프 밸브의 압력(Fig. 4)에 의해 서 제어된다.

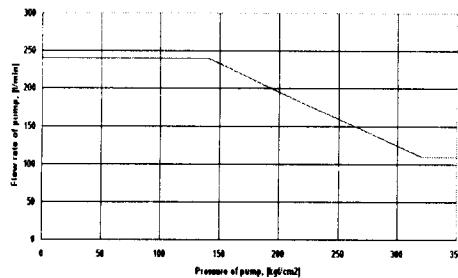


Fig. 3 Output flow rate of pump v.s pump pressure

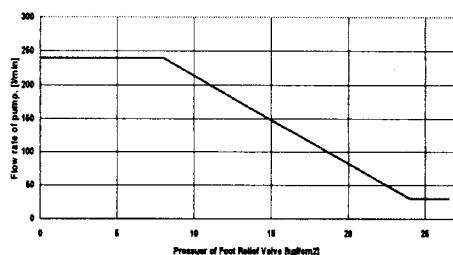


Fig. 4 Output flow rate diagram of pump v.s foot relief valve pressure

2.2 정특성

2.2.1 시뮬레이션 및 실험

Fig. 5는 본 연구실에서 개발한 유압회로 설계 시스템⁽⁴⁾을 사용하여 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템을 모델링한 그림이다.

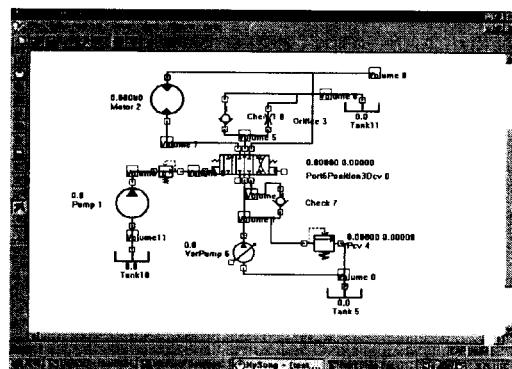


Fig. 5 Modular model of load-sensitive hydraulic pump control system

2.2.2 실험 및 시뮬레이션 결과

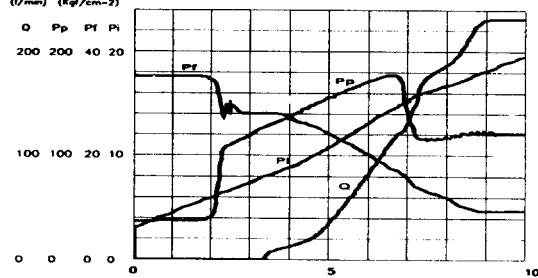


Fig. 6 Experimental result of static characteristics of hydraulic pump control system

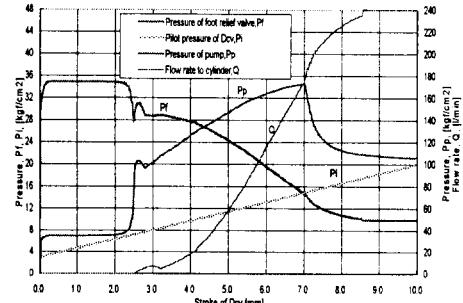


Fig. 7 Simulated result of static characteristics of hydraulic pump control system

시스템의 정특성은 부하 압력이 100 [kgf/cm²]의 경우의 시스템의 특성을 고찰하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 실험 결과와 시뮬레이션의 결과로 대체로 그 경

향이 잘 일치하고 있다.

2.2.2 정특성 해석 결과 및 고찰

시스템의 정특성은 크게 시스템의 제어 영역과 펌프의 송출 압력의 2가지 분야에 중점을 두고 시뮬레이션을 수행하였다. 제어 영역이란 방향 제어 밸브의 변위에 따라 엑추에이터에 유량이 유입되는 구간으로 제어 영역이 클수록 조작성 양호하게 된다. 또한 펌프의 압력이 부하 압력의 크기보다 크게 상승하는 현상은 동력의 손실을 유발시키므로 시스템의 효율을 떨어뜨리는 결과를 초래하게 된다.

Fig. 8은 부하의 크기에 따른 제어 영역 및 펌프 압력의 크기를 고찰한 그래프이다. 부하의 크기가 100 [kgf/cm²]이상에서는 부하의 크기가 증가할수록 제어 영역의 크기가 감소하는 현상은 부하가 클수록 펌프의 압력이 부하의 압력의 크기까지 상승하는데 더 많은 압력이 필요하기 때문에 발생하는 것이다.

Fig. 9는 부하의 크기가 100 [kgf/cm²]인 경우에 실린더로 유입되는 유량의 개구 면적 선도와 실린더에서 탱크로 귀환되는 유량의 개구 면적 선도를 고정시킨 상태에서 풋트 릴리프 밸브로 유입되는 유량의 개구 면적 선도를 변화시키면서 제어 영역 및 펌프 압력의 변화를 고찰한 것이다. 풋트 릴리프 밸브로 유입되는 유량의 개구 면적 선도가 빨리 감소할수록 제어 영역의 크기는 크게 된다. Fig. 10은 실린더로 유입되는 유량의 개구 면적 선도를 변경시키면서 제어 영역 및 펌프 압력의 변화를 고찰하였다. 실린더로 유입되는 유량의 개구 면적 선도는 제어 영역의 크기에는 영향을 주지 못하지만 펌프의 압력에는 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 실린더에서 탱크로 귀환되는 유량의 개구 면적 선도를 변화시키면서 제어 영역 및 펌프 압력의 변화를 살펴보았다. 거의 영향이 없음을 알았다.

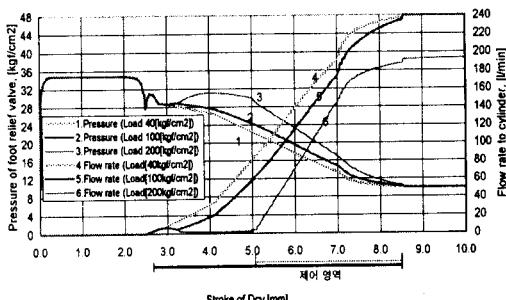


Fig. 8 Control bounds variation due to load change

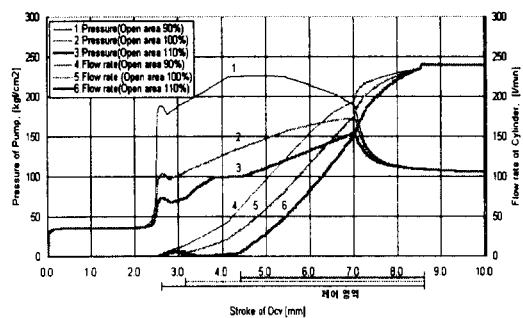


Fig. 9 Characteristics variation due to opening area change from pump to foot relief valve

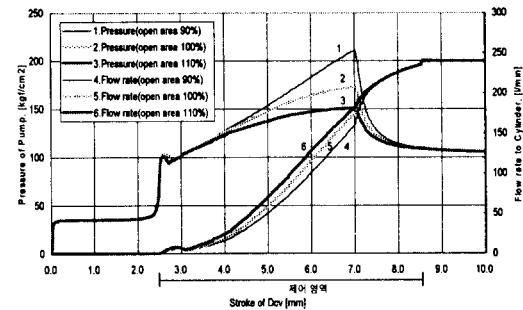


Fig. 10 Characteristics variation due to opening area change from pump to cylinder

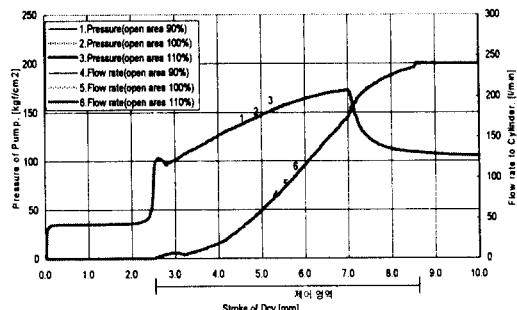


Fig. 11 Characteristics variation due to opening area change from cylinder to tank

2.3 동특성

스텝 입력(step input)에 대한 시스템의 동특성을 고찰한 후 실험 결과와 비교하였다.

2.3.1 동특성 실험 및 시뮬레이션

Fig. 12는 실험 결과이고 Fig. 13은 시뮬레이션 결과이다. 대체로 그 경향이 일치하므로 유압 실린더의 동특성 시뮬레이션의 타당성도 입증할 수 있다.

Fig. 14는 풋트 릴리프 밸브의 피드백 라인의 재질의 변동에 따른 체적탄성계수가 달라지는 현상에 대한 시뮬레이션 결과이다. 체적탄성계수가 클수록 시스템 응답 특성이 향상되는 것을 알 수 있다. Fig. 15는 풋트 릴리프 밸브의 피드백 라인 파이프의 직경의 변동에 대한 시스템의 응답 특성을 나타낸 그래프이다.

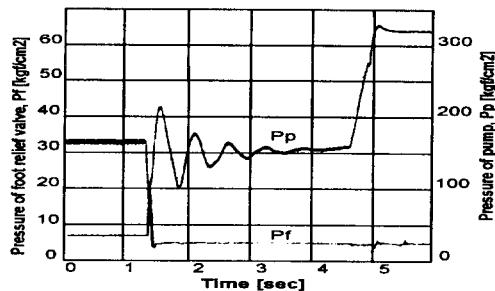


Fig. 12 Experimental result of dynamic characteristics of hydraulic pump control system

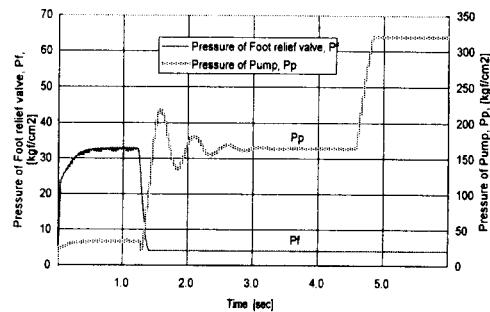


Fig. 13 Simulated result of dynamic characteristics of hydraulic pump control system

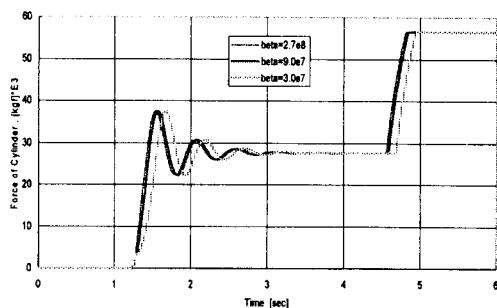


Fig. 14 Transient response of system due to bulk modulus change of foot relief valve

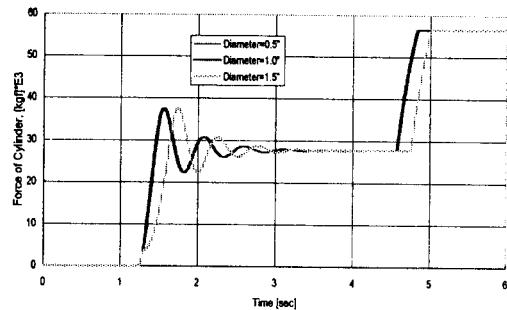


Fig. 15 Transient response of system due to diameter of feedback line change of foot relief valve

3. 결론

- 1) 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템의 정특성 및 동특성을 시뮬레이션한 결과는 실험결과와 대체로 잘 일치하였다.
- 2) 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템에서 펌프에서 풋트 릴리프 밸브로 흐르는 유량의 개구 면적 선도는 다른 개구 면적 선도보다도 운전자의 조종성을 위한 넓은 제어 영역의 확보에 크게 영향을 주는 중요한 인자이다.
- 3) 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템에서 펌프에서 실린더로 흐르는 유량의 개구 면적 선도는 펌프 특성 곡선에 영향을 가장 크게 미치는 중요한 인자이다.
- 4) 부하 감응형 유압 펌프 제어 시스템에서 펌프로 퍼드백되는 라인의 재질 및 직경이 동특성에 크게 영향을 미치는 인자이다.

참고문헌

1. Masami Ohata, "Hydraulic shovel", 日立建設(株)
2. Herbert E. Merritt,"Hydraulic Control Systems", John Wiley & Sons Inc, 1967
3. John Watton, "Fluid Power Systems",Prentice Hall, 1989
4. 이용주, 송창섭, "모듈화를 이용한 유압 시스템의 특성해석 및 설계 시스템의 개발에 관한 연구", 한국정밀공학회지, vol. 14, No. 8, pp 40~48, 1997