

필드로봇을 위한 힘 반향 조이스틱 개발

송인성*(울산대학교 대학원 기계자동차공학부), 안경관(울산대학교 기계자동차공학부), 양순용(울산대학교 기계자동차공학부), 이병룡(울산대학교 기계자동차공학부)

Development of Force Reflecting Joystick for Field Robot

I.S.Song* (Mecha. & Auto. School, UOU), K.K.Ahn (Mecha. & Auto. School, UOU), S.Y.Yang (Mecha. & Auto. School, UOU), B.R.Lee (Mecha. & Auto. School, UOU)

ABSTRACT

Abstract: In teleoperation field robotic system such as hydraulically actuated robotic excavator, the maneuverability and convenience is the most important part in the operation of robotic excavator. Particularly the force information is important in dealing with digging and leveling operation in the teleoperated excavator. Excavators are also subject to a wide variation of soil-tool interaction forces.

This paper presents a new force reflecting joystick in a velocity-force type bilateral teleoperation system. The master system is electrical joystick and the slave system is hydraulically actuated cylinder with linear position sensor. Particularly Pneumatic motor is used newly in the master joystick for force reflection and the information of the pressure of slave cylinder is measured and utilized as the force feedback signal. Also force-reflection gain greatly affects the excavation performance of a hydraulically actuated robotic system and it is very difficult to determine it appropriately since slave excavator contacts with various environments such as from soft soil to rock. To overcome this, this paper proposes a force-reflection gain selecting algorithm based on artificial neural network and fuzzy logic.

Keywords: Field robot(필드로봇), Force reflection(힘 반향), Joystick(조이스틱), Pneumatic rotary actuator(공압모터), Master-slave system(마스터-슬레이브 시스템), Excavator(굴삭기), Artificial neural network(인공신경회로망), Fuzzy logic(퍼지로직)

1. 서론

해폐기물 처리장이나 지하 깊은 곳 등과 같은 작업자가 직접 작업하기에는 너무 위험한 필드에서의 작업을 수행하기 위해 원격제어에 의한 필드작업이 연구되어 왔다[2][4].

작업자는 CCD 카메라로부터 전송되어온 작업환경을 모니터로 보면서 주로 작업을 수행하여 왔다. 더 나아가 작업자의 편의를 도모하기 위해서는 작업자에게 실제 부하가 반향 되는 조이스틱의 개발이 필수 불가결하다. 현재 전기식 모터와 유압실린더를 이용한 힘 반향 장치가 이미 연구되고 있지만 [1][2], 작업환경이 열악한 필드에서 슬레이브 시스

템에서의 급격히 변동하는 부하를 반향 시켜 주는 마스터 시스템으로서 작업자의 피로감등을 고려해 볼 때 공압을 이용한 방법이 더 바람직하다[3][5].

본 연구에서는 원격제어에 의한 필드작업에서 슬레이브 시스템의 조작성 향상을 위하여, 슬레이브 시스템의 작업부하를 작업자가 느낄 수 있도록 하는 힘 반향 조이스틱을 개발한다. 본 조이스틱은 기존의 전기구동 방식과 달리 공압 로터리 액츄에이터에 의하여 조이스틱에 부하를 발생하도록 되어 있다. 나아가 본 조이스틱의 특성을 파악하기 위한 주파수 응답 실험을 실시한다. 또한 본 마스터 슬레이브 시스템에 적용 가능한 제어 알고리즘을 제안한다.

2. 실험장치구성

실험장치는 크게 조작부에 해당하는 마스터암과 실행부에 해당하는 슬레이브암으로 나누어져 있다. 슬레이브 시스템은 굴삭기 시스템 전체를 대상으로 하고 있으나 우선 슬레이브에 1축 유압 실린더 시스템을 갖춘 실험장치를 대상으로 하여 진행한다. 마스터암과 슬레이브암은 서로 독립적으로 동작하도록 되어 있고, 데이터 통신을 이용하여 정보를 주고 받는다.

2.1 마스터암

마스터암은 그림1에서 보는 바와 같이 전기식 조이스틱, 공압 로터리 액추에이터, 비례제어밸브, 압력센서, A/D 보드, D/A 보드와 컴퓨터로 구성되어 있다. 전기식 조이스틱의 회전축에 공압식 로터리 액추에이터를 장착하여 슬레이브암에 걸리는 부하가 마스터 암에 설치된 비례제어밸브의 압력제어에 의해 마스터암(조이스틱)에 반향 될 수 있도록 되어 있다.

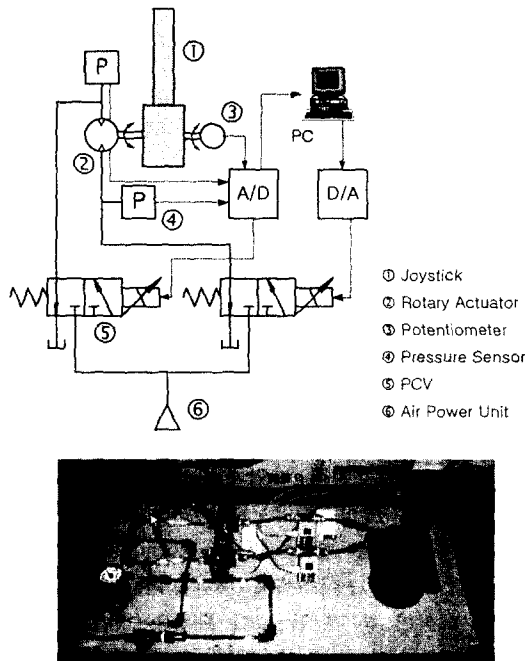


Fig.1. Experimental Apparatus of Master System

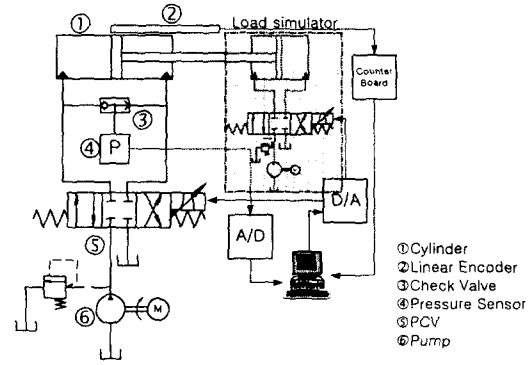


Fig.2. Experimental Apparatus of Slave System

Table 1. Specifications of Experimental Apparatus

장치명	세부사항
비례제어밸브	최고사용압력: 0.88MPa 응답시간: 30ms
압력센서	0 MPa ~1 MPa (출력전압: 1V~5V)
공압 로터리 액추에이터	Max torque: 0.65Nm(0.65MPa) 최대회전각도: 90°
A/D 보드	12 bit Resolution
D/A 보드	12 bit Resolution
카운터 보드	24 bit up/down counter
리니어 엔코더	0.12 mm/count

2.2 슬레이브암

슬레이브 시스템은 원래 굴삭기 전 시스템을 대상으로 하나 본 연구에서는 굴삭기의 1축에 해당하는 유압 비례제어밸브에 의해 구동되는 실린더와 구동 실린더의 부하를 부가하기 위한 실린더로 구성되어 있다. 슬레이브암은 그림2 에서 보는 바와 같이 실린더, 유압펌프, 리니어 엔코더, 압력센서, 비례제어밸브, 체크밸브, A/D 보드, D/A 보드, 카운터 보드와 컴퓨터로 구성되어 있다. 마스터암의 명령을 받으면 비례제어밸브가 작동되어 실린더를 구동한다. 압력센서에서는 실린더에 걸리는 부하를 실시간으로 마스터암에 피드백하여 준다. 실린더 로드

의 끝 단에는 별도로 제어할 수 있는 다른 실린더를 설치하여 모래받이나 암반지대 같은 환경을 가상적으로 구현하는 부하 시뮬레이터로 구성되어 있다. 또한 각 실험장치의 사양을 표1에 나타내고 있다.

3. 시스템 특성 실험

마스터시스템의 특성 파악을 위해 동적 시스템 응답실험과 스텝응답 실험을 실시한다. 그림 3 은 마스터암의 압력변화에 대한 동적 시스템 응답특성을 보이고 있다. 오픈 루프 상에서 공급압력을 0.45 [MPa], 0.55[MPa], 0.65[MPa]와 같이 공급해 주고, 비례제어밸브에 진폭 1[V]인 정현파를 인가했을 때, 압력센서에서 나오는 전압을 측정하였다. 그림 3 에서 보는 바와 같이 20[Hz] 에서 급격히 증가하여 40[Hz] 부근에서 최대값을 보이고 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 각 공급압력에 따른 응답의 차이에 대해 공급압력이 커짐에 따라 응답이 빨라진다. 그림 4 에서는 주파수 응답의 한 예로서 공압 로터 리액추에이터의 공급압력이 0.65[MPa] 이고 비례 제어밸브에 40[Hz] 정현파를 인가했을 때의 파형을 나타낸다. 그림 5 는 마스터암의 공급압력에 따른 스텝파형을 보이고 있다. 공급압력이 커질수록 진폭이 커짐을 알 수 있고, 목표 값이 바뀔 때 큰 오버 슈트 발생한다. 비례제어밸브에 입력한 전압과 압력센서에서 읽어 들인 전압과 차이를 보이고 있는데, 이는 두 장치의 동작전압이 다르기 때문이다.

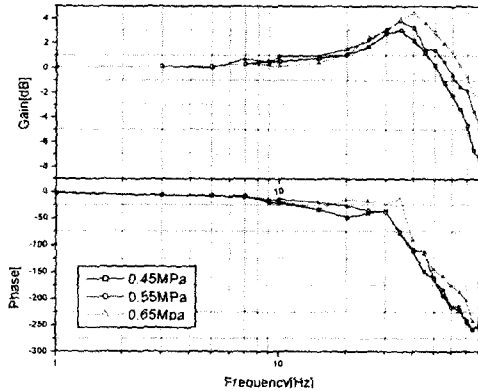


Fig.3. Frequency Response of Master Arm

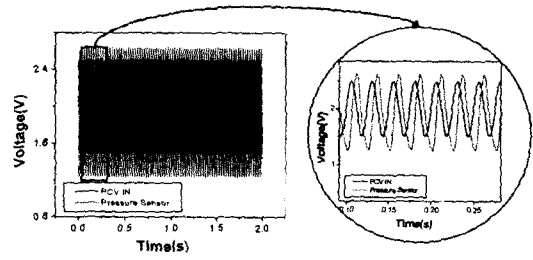


Fig.4. Waveforms of pressure on 0.65[MPa] and 40[Hz]

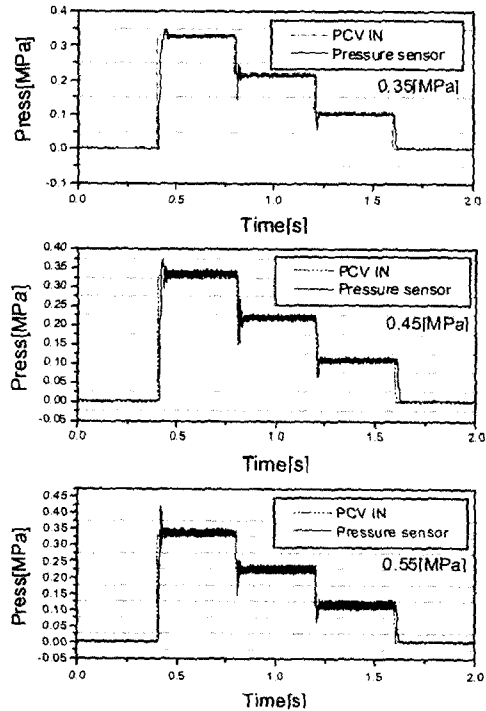


Fig.5. Step Response in 0.35, 0.45, 0.55[MPa]

4. 제어 알고리즘

그림6에는 마스터와 슬레이브 시스템의 전체 블록 선도를 나타내고 있다. 슬레이브암의 부하가 압력 센서에 의해 계측되어 힘 방향 게인값에 따라 조이스틱에 반향 된다. 여기서 조작자의 편의성을 높이

기 위해 작업환경에 따라 힘 반향 계인이 적절하게 조절되어야 한다. 여기서 각각의 기호는 다음을 나타낸다.

- F_m : forces applied to the master arm
- X_m : position of the master arm
- X_e : function of the environment
- K_f : force reflection gain

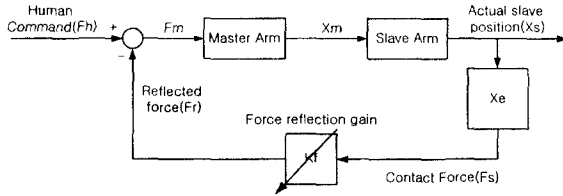


Fig. 6. Block diagram of a master-slave arm

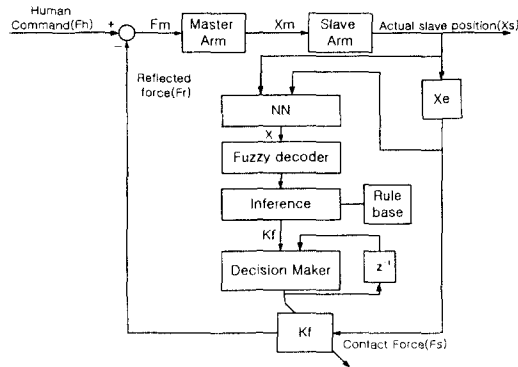


Fig. 7. A force reflection gain tuning algorithm

그림7은 힘 반향 계인값을 뉴럴 네트워크(N.N.) 및 퍼지추론에 의해 조정하는 알고리즘을 나타낸다. N.N.은 슬레이브암의 위치와 힘 정보를 입력 값으로 받아들이고, N.N.의 출력 값 X는 외부환경의 특성을 나타낸다. 힘 반향 계인 선택기는 하나의 다층화된 뉴럴 네트워크(N.N.)와 퍼지 계인 선택기, 결과 반영기로 되어 있다. 작업환경의 특성은 뉴럴 네트워크(N.N.)에 의해서 결정되고, N.N.은 퍼지계인 선택기의 입력으로 들어가서 계인값(Kf)을 추정한다. 결과 반영기에서는 새로 추정된 계인값을 현재의 계인값으로 바꾸어 줄지 여부를 판단하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 공압로터리액츄에이터를 이용하여 슬레이브암의 부하를 마스터암에 반향 할 수 있는 조이스틱을 제안하였다. 제안한 공압로터리액츄에이터에 의한 조이스틱의 특성을 파악하기 위해 주파수 응답과 스텝 응답실험을 실시하였다. 또한 뉴럴 네트워크(N.N.) 및 퍼지추론에 의한 힘 반향 계인 조정 알고리즘을 본 시스템에 적용하였고, 차후 이 알고리즘을 필드로봇의 필드작업에 응용하여 그 유용성을 검증할 예정이다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성평가 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Dr. Attila Bencsik, Lajos Beke, "Force-Reflection Master Arm of Joystick-Like Structure for Systems of Telematipulation", International Conference on Robotics and Automation, pp. 728-733, 1993
2. D.H.CHA, H.S.CHO, "Design of a Force Reflection Controller for Telerobot Systems using Neural Network and Fuzzy Logic", Journal of Intelligent and Robotic Systems 16:1-24, 1996
3. Sooyong Lee, Sangmin Park, Munsang Kim, Chong-Won Lee "Design of a Force-Reflection Master Arm and Master Hand using Pneumatic Actuators", International Conference on Robotics and Automation, pp. 2574-2579, 1998
4. 김기호, 김승호, "힘반향 Hand Controller 설계", 한국정밀공학회, 97년도 추계 학술대회논문집 pp.594-597
5. 박정규, 노리츠푼 토시로, "공압 매니퓰레이터의 강인 힘제어", 대한기계학회 논문집(A), 제 20권, 제2호, pp. 540~552, 1996