

**힘계환 제어를 이용한 유압 굴삭기의 원격 조종 시스템 개발**

서삼준\*, 김동식, 박귀태  
 안양대 전기전자공학과, 순천향대 제어계측공학과, 고려대 전기공학과

**Design of a Teleoperation System for Hydraulic Excavator using Force Feedback Control**

Sam-Jun Seo, Dong-Sik Kim, Gwi-Tae Park  
 Anyang University, SoonChunHyang University, Korea University

**Abstract** - There have been numerous risks for excavator operator in working space. To overcome these risks, many researchers have been studied automation of excavator system. In these studies, excavator system is introduced by many researchers based on master-slave force feedback system.

In this paper, a remote manipulation excavator is introduced based on force feedback. The proposed remote manipulation excavator system can give a feeling that the operator maneuvers the object directly, resulting in improved reality and efficiency.

To demonstrate its performance, experiments are carried out on a test bed which is built around a commercial Hyundai HX-60W hydraulic excavator.

**2.1 유압 굴삭기의 구성**

유압 굴삭기는 그림 1과 같이 크게 하부 기구, 상부 선회체, 작업장치(attachment)로 구성되어 있다. 하부 기구는 장비 전체를 지지하며, 여기에는 주행을 위한 부품들이 설치되어 있다. 상부 선회체는 하부 기구에 대해 360도 회전이 가능하고, 여기에는 작업장치를 비롯하여 엔진 등의 주요 부품이 설치되어 있다. 작업장치는 일반적으로 붐, 암, 버킷의 3관절 구조로 구성되며 작업 종류에 따라 특수한 장치를 설치할 수 있다. 굴삭기의 동력계는 동력원으로서 디젤 엔진, 엔진으로부터 원유를 공급받아 유압유를 생산하는 유압 펌프, 공급된 유압유를 분배하는 제어 밸브, 상부 선회체를 회전시키는 선회용 유압 모터, 하부 기구에 장착되어 장비를 주행시키는 주행용 유압 모터 및 작업장치를 구동하는 유압 실린더로 구성된다.

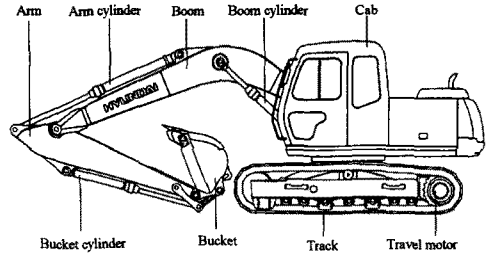


그림 1 유압 굴삭기

**1. 서 론**

원격 조종 시스템은 작업자, master 장치, slave 장치, 외부 환경 또는 조종 대상으로 구성된다. master 장치는 작업자가 조작하는 장치로 조이스틱 또는 다수의 자유도를 갖는 힘 계환 입력장치로 구성된다. slave 장치는 작업환경에 접하게 되는 장치로 로봇팔, 유압 굴삭기 등으로 구성된다.

원격 조종의 한 방법으로 단 방향 원격 조종을 들 수 있다. 이 방법은 작업자가 master 장치를 조종하여 slave 장치에서 조종 대상에 가해질 힘을 결정한다. 이 방법은 master 장치를 구동하지 않기 때문에 구동장치가 필요 없다. 이 방법의 문제점은 slave 장치의 접촉정보가 master 장치로 전달되지 않아 작업을 수행하는 운전자의 조작능력이 실제적으로 감소하는 것이다. 실제 원격 조종 굴삭기의 경우 작업자는 굴삭기가 작업을 하고 있는 것인지 아니면 헛스윙을 하고 있는 것인지를 구분할 수 없다.

원격 조종의 다른 방법으로 위와 같은 단점들을 극복하기 위하여 slave 의 접촉력을 master 에 전달하는 힘 계환(force feedback) 또는 힘 반영(force reflection) 제어가 있다. 힘 계환 제어는 master 장치에서 slave 장치로 전달되는 힘 정보 외에 slave 장치로부터 master 장치로 전달되는 힘 정보가 있어 양 방향으로 제어(bilaterally controlled)된다.

따라서 본 연구에서는 단방향 원격 조종 굴삭기의 단점을 보완하기 위해서 원격 조종 굴삭기에 힘 계환 방법을 도입하여 작업자에게 굴삭기에 가해지는 반력을 느끼게 해줌으로써 작업자가 굴삭기 조종을 원활히 수행할 수 있는 원격 조종 굴삭기의 개발을 목표로 한다.

**2.2 힘 계환**

힘 계환은 원격 조종 시스템을 조종하는 작업자에게 작업 대상에 가해지는 반발력을 계환하여 작업자가 원거리에서도 직접 작업대상을 조작하는 것 같은 느낌(반발력)을 받을 수 있도록 하는 것이다.

힘 계환이 적용된 원격 조종 시스템은 작업자, master 장치, slave 장치, 외부 환경 또는 조종 대상으로 구성된다. master 장치는 작업자가 조작하는 장치로 다수의 자유도를 갖는 힘 계환 입력장치로 구성된다. slave 장치는 작업환경에 접하게 되는 장치로 로봇팔, 유압 굴삭기 등으로 구성된다. master 장치와 slave 장치에는 각각 제어가 부착되어 있으며 이들 제어가 사이에는 통신채널이 있어 힘과 위치 정보를 서로 교환한다.

그림 2는 1 자유도를 갖는 master-slave 시스템을 나타낸다.

**2. 본 론**

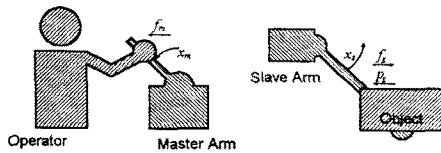


그림 2 자유도 1 시스템

**2.3 힘 궤환을 이용한 굴삭기의 원격 조종 시스템**

힘 궤환을 이용한 굴삭기의 원격 조종 시스템은 크게 master 부, slave 부와 통신부 3가지로 나눌 수 있다. master 부에는 master controller와 힘 궤환 조이스틱으로 구성되며 slave 부는 slave controller와 유압 굴삭기로 구성된다. 통신부는 master controller와 slave controller 간의 무선 통신을 담당한다.

그림 3은 전체 시스템의 구성도를 나타내고 있다.

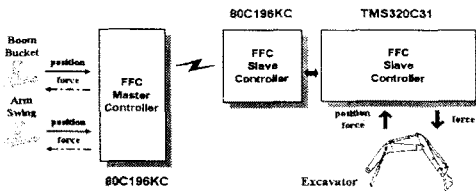


그림 3 전체 시스템 구성도

**2.3.1 Master 부**

master 부는 master controller(80C196KC)와 힘 궤환 조이스틱과 무선 모뎀으로 구성된다. 그림 4는 master 부의 구성도를 나타낸다.

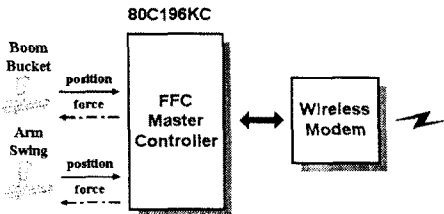


그림 4 Master 부 구성도

◆ 힘 궤환 조이스틱

작업자가 굴삭기 내부에서 조이스틱으로 조절하는 것과 같이 느끼게 하기 위해 내부 조이스틱과 같은 2 자유도를 가지는 힘 궤환 조이스틱 2개를 사용하였다. 그림 4.3은 조이스틱의 외관을 나타내고 있다. 조이스틱의 사양은 표 1과 같다.

Model	Impulse Engine 2000.
Degrees of Freedom	2 (Motion and Tracking) 2 (Force Feedback)
Workspace Size"	6" x 6"(15.2 x 15.2 cm)
Position Resolution	0.0008"(1100 dpi)
Max Force Output	2lbs. (8.9N)
Backdrive Friction	< 0.5 oz (0.14 N)
Bandwidth	120 Hz

표 1 실험장치의 재원

◆ 무선 모뎀

무선 모뎀은 Herutu Electronis사에서 제조한 HERCOM11을 사용하였으며 속도는 9600bps이

다. 적용반경은 약 300m이다. 무선 모뎀은 80C196KC의 직렬 포트와 연결되어 Master 부와 Slave 부의 통신을 담당한다.

◆ Master controller

master controller는 작업자의 조작에 의한 힘 궤환 조이스틱의 움직임을 읽어내어 이를 slave controller에 전달하며 slave controller로부터 굴삭기의 작업장치(attachment)에 인가되는 힘을 전달받아 힘 궤환 조이스틱을 통해 작업자에게 반력을 느끼게 해주는 역할을 한다.

**2.3.2 Slave 부**

slave controller는 master controller로부터 힘 궤환 조이스틱의 움직임을 전송받아 굴삭기의 attachment의 제어를 담당한다. 굴삭기의 붐, 암, 버킷등의 제어는 TI사의 TMS320C31을 사용하였고 master controller와의 통신은 80C196KC가 담당한다. 그림 5는 slave 부의 구성도를 나타낸다.

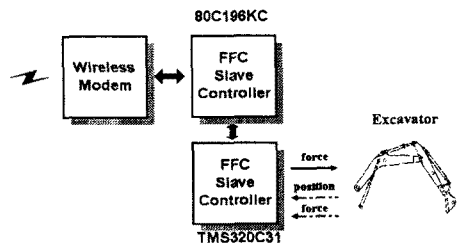


그림 5 Slave 부 구성도

◆ 유압 굴삭기

유압 굴삭기는 현대 중공업 HX60W를 사용하였다. HX60W에 대한 사양은 아래와 같다.

	Open	Close
Boom	26.86°	134.61°
Arm	28.84°	149.79°
Bucket	-35.51°	144.14°

표 2 attachment stroke

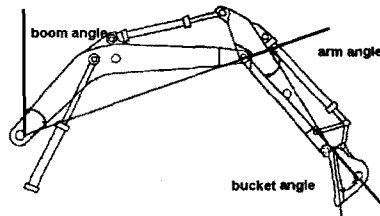


그림 6 굴삭기 작업장치

유압 굴삭기에는 붐, 암, 버킷, 스윙에 각각 하나씩의 위치 센서가 부착되어 있고, 각각 2개씩의 압력 센서가 부착되어 있다. 위치 센서는 potentiometer로 붐, 암, 버킷, 스윙의 위치에 따라 일정한 전압을 내보내며 출력 범위는 -10V~10V 사이이다. 압력 센서는 붐, 암, 버킷, 스윙의 유압 실린더에 달려 있으며, 유압 실린더의 양 끝단에 각각 부착되어 양 단의 압력차와 실린더의 면적을 통해서 반력을 알수 있게 해준다. 압력센서는 가해지는 압력에 따라 일정한 전압을 내보내며 출력 범위는 0V~5V사이이다.

## ◆ Slave controller

slave controller는 master controller로부터 힘 제한 조이스틱의 움직임을 전송받아 굴삭기의 작업 장치(attachment)의 제어를 담당한다. 유압 굴삭기의 붐, 암, 버킷등의 제어는 TMS320C31을 사용하였고 master controller와의 통신은 80C196KC가 담당한다.

### 2.3.3 통신부

master-slave System 은 어떤 형태로든 서로의 정보를 교환하여야 한다. master 부의 경우 slave controller로부터 제공되는 유압 굴삭기의 작업장치(attachment)에 인가되는 반력을 힘 제한 조이스틱에 전달해야 하며 slave 의 경우 master 부로부터 받은 힘 제한 조이스틱의 입력을 받아 굴삭기의 작업장치를 구동해야 한다. 이를 위해서는 slave controller 80C196KC는 master controller로부터 받은 힘 제한 조이스틱의 위치 변화량을 slave controller TMS320C31에 전달해 주어야 하며 TMS320C31이 굴삭기를 제어 할 수 있으며, 또한 TMS320C31은 굴삭기가 받는 반력을 slave controller 80C196KC에 전달해 주어야 하며 80C196KC가 이를 master controller에 보낼 수 있게된다.

이를 위해서 master controller 80C196KC와 slave controller 80C196KC는 직렬 인터페이스 인 RS-232C 규격의 신호로 통신을 하고 slave 80C196KC와 slave TMS320C31 간의 데이터 전송은 각각의 인터럽트를 사용해서 행해진다.

### 2.4 실험 및 결과고찰

힘 제한 제어를 이용한 굴삭기 원격 조종 시스템을 기판으로 여러 경우에 따른 굴삭기 작업장치(attachment)인 붐, 암, 버킷의 압력변화를 실험하였다.

실험은 무부하시에 붐과 암, 버킷을 이동하면서 작업장치(attachment)의 압력 변화 추이를 살펴보았다.

그림 7은 압력센서의 부착 위치를 보여주고 있다.

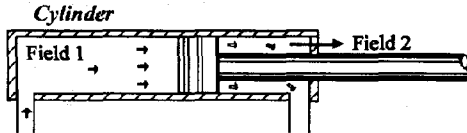


그림 7 압력센서의 위치

여기에서, 유압 실린더의 Field 1/Field 2 측정 압력은 실린더 양 끝단에 위치한 센서에서 측정된 압력을 의미한다.

붐은 65°, 암은 150°로 고정한 뒤, 엔진 회전속도가 1000rpm인 상황에서, 버킷에 인가되는 제어 입력을 변화시키면서 버킷을 운전 좌석(Cabin)의 바깥 방향으로 120° 이동하였을 때 실린더 Field 1/Field 2 양단의 압력변화를 살펴보았다. 그림 8에 나타난바와 같이 시간이 증가할수록 버킷 실린더 Field 1/Field 2 양단 압력차가 증가하는 것을 알 수 있다.

여기서 그림 8에 표시된 기호는 다음과 같은 의미를 나타낸다.

- bucket in : 버킷 구동 유압 실린더의 Field 1에서의 측정 압력.
- bucket out : 버킷 구동 유압 실린더의 Field 2에서의 측정 압력.

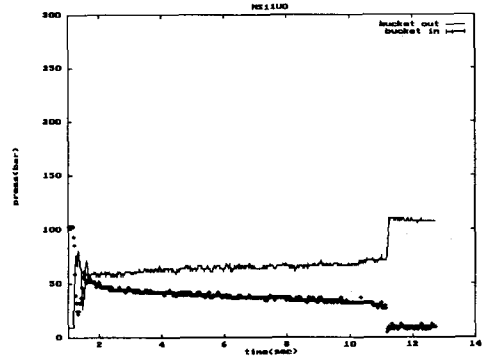


그림 8 버킷의 압력변화

## 3. 결 론

본 연구에서는 단방향 원격 조종 굴삭기의 단점을 보완하기 위해서 원격 조종 굴삭기에 힘 제한을 도입하여 작업자에게 굴삭기에 가해지는 반력을 느끼게 해줌으로써 작업자가 굴삭기 조종을 원활히 수행할 수 있는 굴삭기 원격 조종 시스템을 구현하였다.

개발된 힘제한을 이용한 원격 조종 굴삭기는 인간의 감각이나 조작 능력을 원거리까지 전달할 수 있으므로 위험 부담 없이 운전자가 위험한 일을 수행할 수 있으며 운전자의 감각을 원거리에 있는 작업 공간까지 전달하여 원거리에 있는 작업 기계로 하여금 운전자가 그 작업 장소에 실제 존재하는 것처럼 감지하고 조작하게 할 수 있다.

구현된 원격 조종 굴삭기는 실험에서 살펴 본 바와 같이 헛스윙시에도 작업자는 반력을 다소 느낄 수 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 무부하/부하 인가시의 압력 변화를 비교하여 신경 회로망 이론이나 퍼지 이론 등의 제어 이론을 사용하여 부하인가와 무부하시를 구분하고 부하의 크기를 작업자가 느낄 수 있도록 힘 제한 조이스틱의 제어 입력을 결정하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 서삼준, "적용 퍼지 슬라이딩 모드 제어를 이용한 유압 굴삭기의 굴삭 자동화", 고려대학교 대학원 박사학위논문 1996
- [2] 신동목, "퍼지 논리 제어를 이용한 힘제한 제어", 고려대학교 대학원 석사학위논문 1996
- [3] Y.Yokokohji & T.Yoshikawa, "Bilateral control of master slave manipulators for ideal kinesthetic coupling Formulation and experiment," in *IEEE trans. on Rob. and Aut.*, vol. 10, no. 5, pp. 605-620, 1994.
- [4] B. Hannaford, "A design framework for teleoperators with kinesthetic feedback," in *IEEE trans. Robotics Automat.*, vol. 5, no. 4, pp.426-434, 1989.
- [5] M.Jamshidi, N.Vadiee and T.Ross, "Fuzzy Logic and Control," Prentice-Hall, 1993
- [6] H. Kazerooni, Tsing-Iuan Tsay, Karin Hollerbach, "A controller Design Framework for Telerobotic Systems," in *IEEE trans. on Control System Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 50-62, 1993.
- [7] 이상락, 박귀태, C 언어로 쉽게쓰는 TMS320C31, 대영사 1995
- [8] 이상락, 박귀태, C 언어로 쉽게쓰는 80C196KC, 대영사 1995