

# 재난상황을 위한 Master-slave 시스템 개발에 관한 연구

이병규\*, 임동환\*, 문현기\*, 유근상\*\*, 한창수\*\*\*, 이지영\*\*\*

\*한양대학교 기계공학과

\*\*한양대학교 융합시스템공학과

\*\*\*한양대학교 로봇공학과

e-mail : bbangkuy@gmail.com, blackfire857@gmail.com, ahskem@naver.com, myksme@nate.com, cshan@hanyang.ac.kr , jiyeongl@hanyang.ac.kr

## A Study on Development of Master-slave system for Disaster

Byeongkyu Lee\*, Dong-hwan Lim\*, Hyun-gi Moon\*, Geunsang Yu\*\*, Changsoo Han\*\*\*, Ji-yeong Lee\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University

\*\*Dept. of Interdisciplinary Engineering Systems, Hanyang University

\*\*\* Dept. of Robot Engineering, Hanyang University

### 요 약

재난구조 로봇은 각종 재난상황에 투입되는 로봇으로써 현재의 로봇에 탑재된 카메라 영상 정보만으로 로봇 주변의 환경을 인식하여 작업을 수행하는 데에는 한계가 있다. 본 논문에서는 카메라 영상에 의한 시각정보 이외에 현장의 로봇과 주변환경의 접촉에 의해 발생하는 반발력을 조작자에게 전달하여 실감형 환경인지가 가능하도록 하는 시스템을 제안하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 조작자에게 다양한 형태의 반발력을 전달할 수 있도록 인체 착용형 로봇인 외골격 로봇을 master 로봇으로 사용하였고, 14 자유도를 가지는 slave 로봇을 원격제어 하여 작업물 조작시의 힘 방향이 조작자에게 전달되도록 제어되고 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

재난구조 로봇 시스템은 태풍, 홍수, 풍랑, 해일 등과 같은 자연재해, 화재, 붕괴, 폭발, 환경오염 사고 등과 같은 인적 재난과 에너지, 통신, 교통, 전염병 확산 등과 같은 사회적 재난 등 각종 재난 상황에서 재난 확산을 방지하고 피해의 최소화 및 처리를 위한 로봇 시스템을 말한다. 이러한 재난구조 로봇은 2 차 재해의 위험이 없는 안전한 원격지에서 로봇을 조작하고 재해현장을 탐사하는 것이 일반적이다. 하지만 원격조작 로봇을 활용하여 조작자가 안전하게 원격지에서 적절하게 로봇을 조작한다는 것이 결코 쉬운 일은 아니다. 로봇에 탑재한 카메라 만으로는 로봇 자신을 포함한 주변상황의 파악이 어렵기 때문에 재난 현장을 정확하고 빠르게 인지할 수 있도록 하는 실감형 환경인지 기술이 필요하다.

이러한 원격조작 환경에서의 환경인지를 위해 최근 조작자에게 작업환경에서의 힘 피드백을 제공할 수 있도록 하는 외골격형 햅틱 디바이스의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. Antonio Frisoli[1]는 Tendon 메커니즘을 적용한 5 자유도 외골격형 햅틱 인터페이스인 'L-EXOS'를 개발하여 가상공간 내에서 정해진 작업 범위를 벗어날 경우 driving force가 가해지는 시스템을 개발하였으며, Pierre Letier[2]은 7 자유도 외골격로봇인 SAM(Sensoric Arm Master)을 개발하여 원격 조종 시 조작자의 손, 전완부, 상완부에 힘 피드백을

가해 가상공간에서의 작업이 용이하도록 하였다. M.Jordan[3]은 인체의 해부학을 기초로 한 9 자유도 외골격 로봇인 'VI-Bot Exoskeleton'을 개발하여 model-based nonlinear feed-forward 제어와 classical feedback 제어를 사용하여 다자유도의 매니플레이터를 실시간으로 제어하는 시스템을 개발하였다.

본 논문에서는 재난상황의 원격조작 환경에서 실감 있는 환경 인지가 가능한 master-slave 시스템 개발에 있어 기초가 될 수 있는 힘 반향이 가능한 원격조작 시스템을 구성하여 제어하고자 한다.

### 2. 시스템 구성 및 제어기 설계

Fig. 1.은 힘 반향이 가능한 원격조작 시스템 구성을 위한 개념도이다. Slave 로봇의 구동을 위해 Master 로봇의 관절을 측정하여 얻은 위치 정보를 로봇 말단부 위치 정보로 변환하여 slave 로봇에 전송한다. 이때, slave 로봇이 주변 환경과 접촉이 발생하는 경우 그 반발력이 slave 로봇에 작용하게 되고

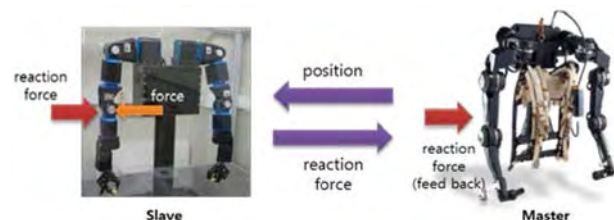


Fig. 1. Concept of teleoperation and force-feedback system

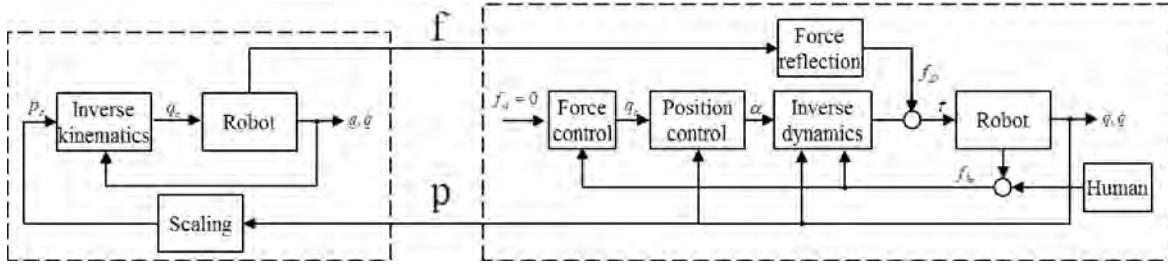


Fig. 2. Block Diagram of control algorithm for teleoperation and force-feedback system

로봇에 부착된 F/T (force/torque) 센서로부터 측정되어 master 로봇으로 전송된다. 이는 힘 반향으로써 master 로봇을 착용하고 있는 조작자에게 전달되어 slave 로봇이 환경과 접촉이 있음을 인지하게 된다. Fig. 2.는 이를 구현하기 위한 제어 알고리즘을 표현한 블록선도이다. Master 로봇인 외골격 로봇은 조작자의 등과 손에서만 체결되며 손 체결부에 장착된 F/T 센서에 의하여 조작자의 동작의도를 파악하고 이는 제어기 입력으로 사용한다. 동작의도는 사람과 로봇의 상호작용력을 측정하며, 로봇 제어기는 이 힘이 '0'으로 수렴하도록 로봇을 동작시킨다. 이렇게 동작한 master 로봇의 관절위치  $p$  는 관절 위치센서에 의해 측정되며 이는 좌표변환 및 크기변환(Scaling)을 통해 slave 로봇으로 전달된다. 변환된 위치  $p_c$  는 slave 로봇의 역기구학 해석을 통해 slave 로봇의 관절각도  $q_c$  로 변환되어 slave 로봇의 제어입력으로 사용된다. 이 때, slave 로봇이 임의에 작업물을 조작하는 동작을 수행하거나 주변환경에 접촉할 시, slave 로봇의 손목에 부착된 F/T 센서로부터 반발력  $f$  가 측정되어 master 로봇으로 이 정보를 전송하게 된다. 이는 또다시 좌표변환과 크기변환을 통하여 힘 반향  $f_D$  로써 조작자에게 전달되게 된다. Fig. 2.에서  $f_{hr}$  은 외골격 로봇과 착용자의 상호작용력이며,  $f_d$  는 제어 목표 값으로써 0 으로 설정하였다.  $f_d$  와  $f_{hr}$  의 차이를 보상하기 위하여 로봇의 말단부가 움직여야 할 위치  $q_c$  는 아래와 같다.

$$q_c = K_p^{-1} \left( K_F \Delta f + K_I \int_0^t \Delta f dt \right)$$

where,  $\Delta f = f_d - f_{hr}$

여기서  $K_F$  는 착용자에 의해 조절 가능한 F/T 센서의 이득(gain)값이며,  $K_p$  와  $K_I$  는 각각 제어기의 비례이득과 적분이득이다. 위의 식으로부터 계산된 위치  $q_c$  는 위치제어기(position controller)를 통하여 로봇의 구동 토크(torque)를 산출한다.

### 3. 하중물 조작실험 및 결과

구성된 힘 반향 원격조작 시스템의 조작성능 및 힘 반향 성능을 확인하기 위하여 Fig. 3.과 같은 하중물 조작실험을 실시하였다. 실험 동작은 (a) ~ (f)까지와 같으며 작업물은 500g 의 물병을 조작하였다. 실험결과 slave 로봇의 동작이 master 로봇의 동작을 적절히 추종하는 것을 확인하였고, 작업물인 물병의 질량 또한 조작자에게 적절히 작용하였음을 확인하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 재난상황에서 투입 가능한 재난구조 로봇 시스템의 기초적인 시스템이라고 할 수 있는 힘 반향 원격조작 시스템을 구성하였다. 이를 위해 다자유도가 예상되는 slave 로봇 시스템의 조작에 유리한 외골격형 master 로봇 시스템을 제작하였고, 하중물 조작실험을 실시하여 slave 로봇의 동작 추종성 및 작업물에 의한 힘 반향 성능을 확인하였다.

### Acknowledgments

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행 되었습니다 (10052967, 재난·재해 대응용 특수목적기계 통합제어 시스템 개발)

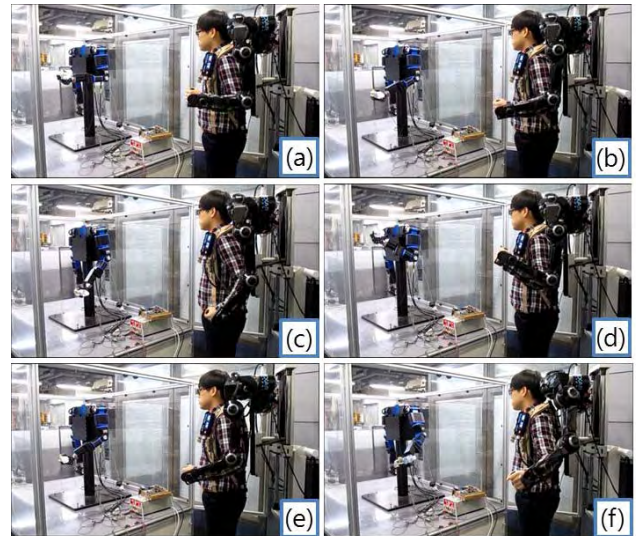


Fig. 3. The results of manipulation experiment

### 참고문헌

- [1] Antonio Frisoli, 'A force-feedback exoskeleton for upper-limb rehabilitation in virtualreality', *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 6, No. 2, June 2009, pp. 115-126
- [2] Pierre Letier, 'EXOSTATION : Haptic Exoskeleton Based Control Station', *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA, pp. 1840-1845
- [3] M.Jordan, 'Model-Based Control and Design of a Low-Pressure Fluid Actuation System for Haptic Devices', *Proceedings der Actuator 2012*, Bremen, Germany, June 2012, pp. 295-298