

# 거리센서를 이용한 원격 조종 장치의 임피던스 변조

## Modulation of Impedance Parameters for a Teleoperator Using Distance Measurement

. 송지혁\*, 박종현\*\*, 김상철\*\*\*

\* 현대중공업(주) 기전연구소(Tel: +82 31 289 5342; Fax: +82 31 289 5153 ; E-mail: sonn@hhi.co.kr)  
 \*\* 한양대학교 기계공학부(Tel: +82 2 2290 0435; Fax: +82 2 2290 4634; E-mail: jong.park@ieee.org)  
 \*\*\* 현대중공업(주) 기전연구소(Tel: +82 31 289 5116; Fax: +82 31 289 5115; E-mail: schkim@hhi.co.kr)

**Abstract :** This paper proposes a new impedance control scheme based on a variable stiffness matrix for a bilateral teleoperation. In this scheme, stiffness matrix of the impedance model in the slave is modulated based on the distance, measured by an ultrasonic sensor, between the slave and environment. At the same time, the stiffness matrix of the master is also changed accordingly in order for the impedance parameters of the combined system to remain constant. The proposed scheme is implemented on a 1-dof master/slave system to perform a simple task. In the experiments, the teleoperator with the impedance parameter modulation shows better performance than one with fixed impedance parameters, especially in reducing task execution time and in avoiding excessive external forces.

**Keywords :** teleoperation, impedance, modulation, master, slave

### 1. 서론

원격제어시스템은 최근 인간이 직접 접근하기 어려운 환경에서도 작업을 수행해야 하는 필요성이 증가함에 따라 크게 주목 받고 있으며, 원자로나 용광로 등과 같이 위험한 환경에서의 작업용 수행할 때 작업자에게 보다 안전한 작업 환경을 제공하기 위하여 이 분야에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

N. Hogan에 의해 제시된 임피던스 제어 [1]는 매니퓰레이터가 특정한 임피던스 특성을 보이도록 제어함으로써 원하는 성능을 만족시킨다. 이러한 임피던스 제어를 하기 위해서는 먼저 바람직한 임피던스 특성을 나타내는 목표 임피던스 모델을 선정해야 한다. 각 작업 성격이나 환경에 따라 그에 적절한 모델을 사용하고 원하는 성능 (충격력 흡수 정도, 위치 제어 오차의 최소화 등)에 따라 바뀌기도 한다. 이러한 임피던스 모델은 팀 끝의 위치와 접촉력 사이의 관계를 지어 준다. 접촉이 없는 상황에서 위치 제어의 오차를 최소화하기 위해서는 큰 강성행렬을 가진 임피던스 모델을 선정해야 하지만 주변 환경과의 접촉 상황 하에서는 작은 강성행렬을 가진 모델을 선정해야만 안정한 접촉을 이룰 수 있으며 주변 환경과 시스템의 파괴를 막을 수 있다.

이런 상반된 임무에서 두 가지 조건을 동시에 충족시키기 위해서 기존에 여러가지 연구가 행하여졌다 [2, 3, 4, 5, 6]. Dubey [2, 3]는 힘과 속도의 사이 각을 이용하여 댐핑과 강성행렬을 조절하였고, Rubio [4]는 접촉 유무를 힘에 의해 판단하여 관성과 댐핑 행렬을 조절하였다. 그러나 이러한 방법들은 접촉력에 의해 주변과의 관계를 판단하여 갑작스러운 접촉에서 초기의 과도한 힘을 줄일 수 없었다.

본 논문에서는 원격 제어 시스템의 마스터와 슬레이브 장치에 각각 임피던스 제어를 적용하였고 거리계측을 통해 주변 환경과 접촉 할 경우 강성행렬을 미리 조절하여 슬레이브 장치와 환경이 파괴된 상황을 방지하였다. 제안된 방법은 1 자유도 원격조종 시

스템에 적용된 실험에 의하여 기존의 방법보다 월등한 성능을 나타낼 수 있었다.

### 2. 원격 조종 시스템의 임피던스 제어

일반적인 마스터 장치와 슬레이브 장치의 운동 방정식은 관절 공간에서 다음과 같이 유도 할 수 있다.

$$M_m \ddot{\theta}_m + C_m(\theta_m, \dot{\theta}_m) = \tau_m + J_m^T F_H \quad (1)$$

$$M_s \ddot{\theta}_s + C_s(\theta_s, \dot{\theta}_s) = \tau_s - J_s^T F_E \quad (2)$$

여기서  $\theta$  는 각 관절의 각도이며  $\tau$  는 각 관절에서 발생시키는 힘 벡터이다.  $F_H, F_E$  는 각각 사람이 마스터 장치에 가하는 힘과 슬레이브 장치가 환경에 의해 받는 힘을 나타내며 각 벡터의 차원은  $6 \times 1$ 이다.

임피던스 제어를 위한 슬레이브 장치의 목표 임피던스 모델을 표현하면 다음과 같다.

$$M_{ds} \ddot{x}_s + B_{ds} \dot{x}_s + K_{ds} x_s = F_E \quad (3)$$

여기서

$$M_{ds} = \begin{bmatrix} M_{ds1} & 0 \\ 0 & M_{ds2} \end{bmatrix}, B_{ds} = \begin{bmatrix} B_{ds1} & 0 \\ 0 & B_{ds2} \end{bmatrix}, K_{ds} = \begin{bmatrix} K_{ds1} & 0 \\ 0 & K_{ds2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

로 표현되고 첨자 's'는 슬레이브 시스템을 'e'는 오차를 나타낸다.