

3 자유도 고하중 원격조작기의 힘반영 제어

Force Reflecting Control for 3-DOF Heavy-Duty Power Telemanipulators

°고 윤세*, 정 광영**, 윤 지섭***

* 공주대학교 기계공학과(Tel : 82-41-856-3480; Fax : 82-41-854-1449 ; E-mail: ynsekoh@brain.kongju.ac.kr)
** 공주대학교 기계공학부(Tel : 82-41-850-8614; Fax : 82-41-854-1449 ; E-mail: kyjeong@knu.kongju.ac.kr)
*** 한국원자력연구소(Tel : 82-42-868-2855; Fax : 82-42-868-2854 ; E-mail: jsyoon@nanum.kaeri.re.kr)

Abstract : The heavy duty power manipulator generally has high ratio gear reducers at its joints. When it is used as a slave manipulator in the teleoperation system, therefore, the control input saturates frequently and its tracking performance and stability are also likely to be deteriorated. This paper proposes a force reflecting control scheme for the manipulator with control input saturation. A series of experiments are shown to give excellent tracking performance with force reflection regardless of control input saturation.

Keywords : teleoperation system, force reflecting control, control input saturation, position control, heavy duty power manipulator

1. 서론

고하중 조작기를 원격조작 시스템(teleoperation system)의 슬레이브 조작기로 사용할 경우, 마스터 조작기와의 기구 및 동역학적 차이와 고감속비의 관점으로 인하여 빈번한 제어입력 포화(control input saturation)^[1]를 갖게되고, 이러한 제어입력 포화는 시스템의 안정성 및 위치추종 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 또한 고강성인 고하중 슬레이브 조작기를 이용하여 주변환경과의 광범위한 접촉이 불가피한 절단, 연마, 조립, 디버링(deburring) 공정 등과 같은 작업으로의 적용에는 슬레이브 조작기와 주변환경사이에서 발생하는 힘의 정보를 조작자에게 전달할 수 있는 제어구조가 필요하다. 따라서, 고하중 슬레이브 조작기의 제어입력 포화를 보상하고 접촉시 안정한 힘반영 성능을 얻을 수 있는 원격조작 힘반영 제어(teleoperated force reflecting control)기법이 요구된다.

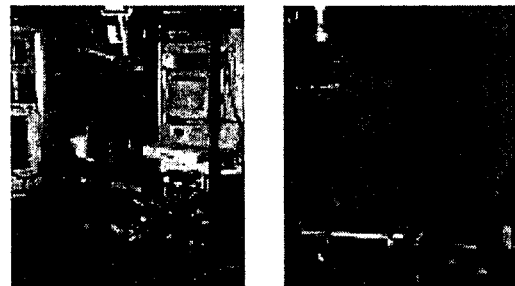
본 논문에서는 고감속비의 관점으로 구성되는 3자유도의 고하중 슬레이브 조작기를 3자유도의 마스터 조작기와 연계시켜 원격조작 시스템을 구성하여, 슬레이브 조작기에 대한 힘반영 및 위치추종 성능을 개선한 원격조작 힘반영 제어구조를 제안한다. 제안하는 제어구조는 제어입력 포화를 보상하는 제어기를 가지며, 제어입력 포화시에 포화량을 반력으로 변환하여 마스터 조작기에 힘반영하고, 공작물 또는 주변환경과의 접촉시 발생하는 접촉력에 대하여 마스터 조작기에 힘반영 하는 구조이다. 이러한 제어구조를 고하중 슬레이브 조작기에 적용할 경우 안정한 위치추종과 힘반영을 이용한 원격조작 양방향 제어구조로써 작업능력의 확대, 효율성 및 실용성을 증가시킬 수 있다.

2. 고하중 원격조작기의 위치/힘반영 제어 문제

2.1 시스템 구성

원격조작 힘반영 제어시스템은 마스터 조작기, 슬레이브 조작기, 다축 제어기, 제어용 컴퓨터, 힘/토크 센서(force/torque sensor), 구동모터 및 드라이버 등으로 구성된다. 그림 1은 본 논문에서 제어 대상으로 하는 마스터 조작기와 제어시스템 및 슬레이브 조작기

등으로 구성된 원격조작 힘반영 제어시스템에 대한 각각의 형상을 보인다.



(a) Master manipulator & control system (b) Slave manipulator

그림 1. 실험에 사용한 원격조작 힘반영 제어시스템
Fig. 1. Photographs of the experimental setup

마스터 조작기는 조작자의 팔과 손으로부터 얻을 수 있는 자유도를 고려하여 6자유도로 설계되었으며, 조작자가 편안히 앉은 자세에서 장시간 조작할 수 있도록 조작자가 앉은 의자의 오른쪽 팔걸이 부분에 부착하였다. 본 논문에서는 3자유도를 사용하였으며 각 관절은 광학 위치센서(encoder)를 가지는 AC 서보 모터(AC servo motor)와 연결되어 있어, 슬레이브 조작기의 제어입력 포화 또는 접촉력에 의한 힘반영시 조작자에게 토크를 전달하도록 토크 제어를 구현하였다. 또한 중력의 영향을 최소화하기 위해 균형추(balance weight)를 부착하여 무부하 정지시 무게 균형(statically balanced)을 이루도록 하고 중력의 영향은 무시하였다.

슬레이브 조작기는 원자력시설에서 큰 중량물을 취급하기 위해 설계된 진동 매니플레이터로써, 브리지(bridge)와 캐리지(carriage)로 구성된 수평 운반장치와 상하 이동장치인 telescope의 말단부에 장착되어 있으며 취급 가반하중이 100kgf인 고하중 조작기로 큰 취급 가반하중을 얻기 위하여 각 관절에 고감속비의 하모닉 드라이브(harmonic drive) 및 웜 기어(worm gear)를 사용하여 비선형성이 큰 시스템이다.^[3]