

양팔 마스터-슬레이브 서보조작기 구동시험

이종광, 박병석, 김경태, 이효직, 김기호, 김호동
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 leeik@kaeri.re.kr

1. 서론

Pyroprocess 기술을 종합적으로 평가하기 위한 PRIDE(PyRoprocess Integrated Inactive DEmonstration) 시설이 개발되고 있다. PRIDE 시설은 밀폐된 argon 분위기의 셀로 작업자의 직접 접근이 불가능하므로 모든 공정 운전 및 장치 유지보수 작업들이 마스터-슬레이브 원격 조작에 의해 수행되어야 한다. 본 논문에서는 PRIDE 시설 공정장치의 원격취급을 위해 제작된 양팔 마스터-슬레이브 서보조작기 시스템의 실시간 원격운전 구동 시험 결과를 다룬다.

2. 양팔 마스터-슬레이브 서보조작기

PRIDE 공정장치의 운전 및 유지보수를 위한 원격취급장치는 벽고정 기계식 조작기, 천정이동 양팔 서보조작기(BDSM: Bridge transported Dual arm Servo Manipulator), 크레인 등으로 구성된다. 대부분의 작업들은 차폐창 근처에 설치된 기계식 조작기에 의해 수행된다. 서보조작기는 천정이동장치에 의해 셀 내부의 모든 공간을 접근할 수 있어, 기계식 조작기의 작업 영역을 벗어나는 공간인 공정장치의 후면 및 상부면에 대한 작업들을 수행할 수 있다. 슬레이브 조작기는 한 팔당 25 kgf의 하중을 연속적으로 취급할 수 있으며, 마스터 조작기는 5 kgf까지의 작업력을 조작자에게 전달할 수 있도록 개발되었다.

3. 양팔 서보조작기 구동시험

마스터-슬레이브 원격 조작에는 양방향 제어(bilateral control)가 적용된다. 즉, 슬레이브 조작기는 마스터 조작기의 운동을 추종하며, 마스터 조작기는 슬레이브 조작기가 받는 접촉력을 조작자가 느낄 수 있도록 설계된다. 양방향 제어 방법에는 크게 힘기준형 기법과 위치기준형 기법이 있다. 개발된 케이블 구동 서보조작기의 경우 힘 센서를 부착하기 어려운 구조를 갖고 있어 힘기준형 제어기의 적용이 제한된다. 또한 조작기 각 링크의 직접적인 각도 측정도 불가능하고 대신 모터축의 회전각만 측정이 가능한 점을 고려하여 제어를 설계하여야 된다. 특히 제어기 구조는 슬레이브 조작기가 물체에 접촉하여 이동에 제한을 받을 때 이 힘을 조작자가 느낄 수 있어야 하므로 적분형 제어기는 사용이 제한된다. 이러한 제약조건을 고려하여 그림 1과 같은 위치기준형(위치-위치) 출력 비례-미분 제어기를 적용하였다.

천정이동형 양팔 마스터-슬레이브 서보조작기에는 전체 35축의 구동부가 사용되므로 시스템 제어에 필요한 연산량이 상당히 크다. 또한 OS인 Window XP가 실시간 제어 환경이 제공하지 못하므로, 멀티태스킹이 가능하고 높은 우선순위를 갖도록 그림 2와 같은 제어 루프를 구성하였다.

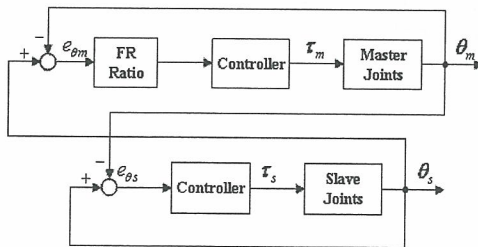


그림 1. 위치-위치 힘반영 제어 알고리즘

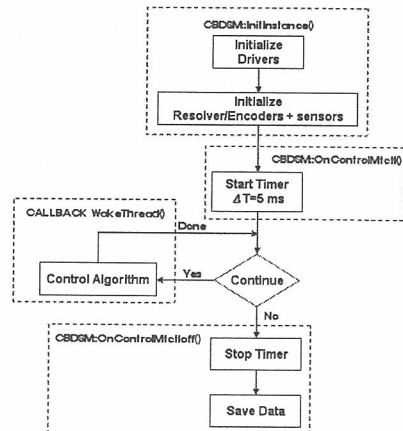
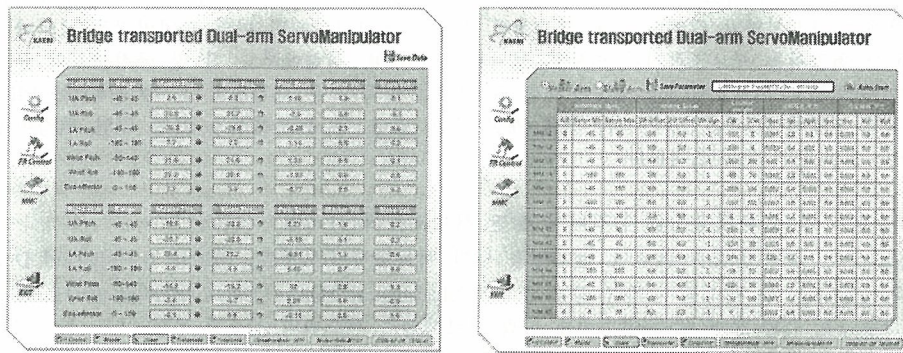


그림 2. 실시간 제어 알고리즘 플로우 차트

원격운전 프로그램의 GUI는 그림 3과 같이 구성하였다. 원격 운전 프로그램은 시스템의 리소스를 관리하며 조작자, 하드웨어 장치 및 내부 프로그램에서 발생하는 각종 이벤트들을 처리하도록 Config 모드, 힘반영 제어 모드, 모션 컨트롤 모드의 3개의 주요 화면으로 구성된다. Config 모드는 시스템에 필요한 여러 파라미터 값을 설정하기 위한 것이며, 힘반영 제어 모드는 마스터 서보조작기의 각 관절의 위치를 슬레이브 서보조작기의 각 관절이 추종하도록 제어하는데 사용된다. 이때 마스터 암과 슬레이브 암의 위치 오차를 기준을 마스터 서보조작기의 각 관절을 구동시켜 조작자에게 힘을 전달하게 된다. 그림 4는 정현 입력에 대한 구동부의 추종 결과를 보이며, 그림 5는 작업자가 마스터 조작기를 조종할 때 슬레이브 조작기의 추종 결과를 보여준다. 출력 비례-미분 제어기에 구동부 마찰을 보상하는 제어 출력을 추가함으로써 회전방향에 관계없이 추종 성능을 개선할 수 있었다.



(a) 힘반영 제어부 GUI

(b) 제어 파라미터 설정 GUI

그림 3. 원격 운전 프로그램 GUI

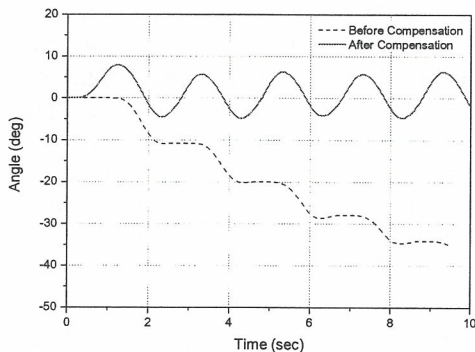


그림 4. 정현 입력에 대한 구동 특성

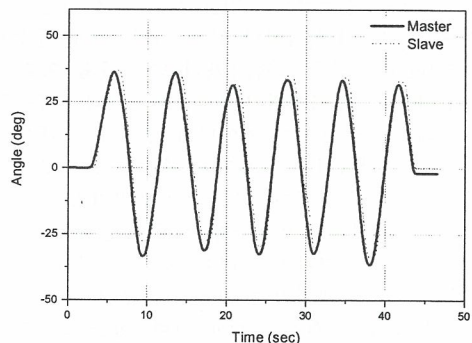


그림 5. 마스터 지령-슬레이브 추종 시험결과

4. 결론

PRIDE 공정장치의 원격 운전 및 유지보수를 위한 양팔 마스터-슬레이브 서보조작기를 제작하였으며, 위치기준형 힘반영 제어 알고리즘을 개발하고 시뮬레이션을 통해 제어 성능 및 안정성을 검증하였다. 현재 개발된 제어를 실시간 시스템에 적용하기 위한 구동시험을 수행하고 있으며, 슬레이브 조작기가 마스터의 지령에 잘 추종할 수 있도록 구동부 마찰 특성을 보상해 줌으로써 제어 성능을 향상시킬 수 있었다.

사 사

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (연구과제 관리코드: M2009-0062309)