

PRIDE 실증용 서보조작기의 실시간 제어시스템 개발

이중광, 박병석, 이효직, 유승남, 김기호, 김호동
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
lceik@kaeri.re.kr

1. 서론

Pyroprocess 기술을 종합적으로 평가하기 위한 공학규모 파이로 일관공정 연구시설인 PRIDE 시설이 구축되고 있다. PRIDE 시설의 공정셀은 완전 기밀형 아르곤 셀로 작업자의 직접적인 접근이 불가능하므로 모든 공정운전 및 장치 유지보수 작업들을 마스터-슬레이브 원격조작에 의해 수행하여야 한다. PRIDE 시설의 개념설계 단계에서 공정장치의 유지보수를 위해 단위 모듈의 최대 중량을 25 kgf로 설정하고 복잡한 조작이 가능하도록 양팔형 서보조작기를 개발하였다. 서보조작기는 양방향 제어가 가능한데, 이는 조작자가 움직이는 마스터 조작기의 위치를 슬레이브 조작기가 정확히 추종하는 동시에 슬레이브 조작기가 작업 물체 또는 환경과 접촉하는 힘/토크를 마스터 조작자에게 전달하는 것을 의미한다. 프로토타입 조작기의 경우 PC 기반의 제어시스템을 구축하였는데, OS 자체의 비실시간 특성으로 인해 제어 성능을 높이는 데 한계가 있었으며, 부속 하드웨어의 이상시 대처가 어려운 단점이 있었다. 본 연구에서는 PC 기반 제어시스템의 문제점을 극복하는 실시간 DSP 기반 제어시스템을 개발하였으며, 이의 주요 내용들을 요약하였다.

2. PRIDE 실증용 양팔 서보조작기

Fig. 1과 같이 개발된 마스터-슬레이브 양팔 서보조작기의 주요 특징은 다음과 같다.

- 슬레이브 조작기는 한 팔당 25 kgf의 하중을 연속적으로 취급할 수 있으며, 마스터 조작기는 5 kgf까지의 작업력을 조작자에게 전달할 수 있다.
- 일반적인 케이블 구동 조작기는 관절 운동시 케이블이 풀리에 감기는 양이 변화하여 모션 간섭(motion coupling) 발생된다. 개발된 조작기는 모션 간섭량을 이동 풀리를 통해 흡수하는 구조를 갖고 있어, 한 관절의 운동이 타 관절의 운동에 전혀 영향을 미치지 않는다. 이를 통해

예기치 못한 오동작을 줄일 수 있으며, 부품의 내구성을 향상시킬 수 있다.

- 마스터 조작기는 조작자가 직접 운전하게 되므로 큰 힘을 들이지 않고도 쉽게 움직일 수 있어야 한다. 이를 위해 구동부가 높은 역구동성(backdrivability)을 갖도록 케이בל과 기어가 최적의 비율로 혼합된 동력 전달 방식을 선정하였다.
- 조작기 관절의 무게 불균형은 조작자가 불필요한 힘을 느끼게 하므로 관절이 균형을 갖도록 설계하는 것이 중요하다. 기구적 무게 균형을 이루기 위해 위치에너지 해석 방법을 적용하여 설계 파라미터들을 결정하였다.

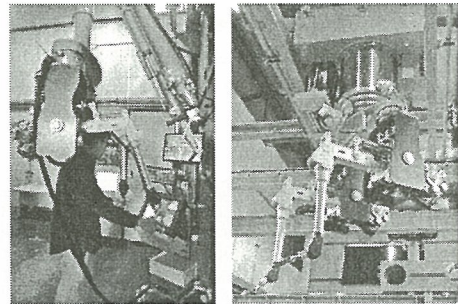


Fig. 1. Master-slave dual arm servo-manipulator.

3. DSP 기반 제어시스템

3.1 하드웨어

DSP 제어기는 Fig. 2와 같이 제어를 담당하는 CPU 모듈, 엔코더 모듈, 디지털 입출력 모듈, serial 통신 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 확장성이 용이하며 터미널 센터를 통해 각종 신호의 배선을 편리하게 할 수 있도록 구성되었다.

CPU 모듈은 실시간 OS 환경하에서 제어에 필요한 모든 프로세스를 관장하며, 이더넷 통신을 통해 모듈 상호간 또는 호스트 PC와 통신을 수행한다. 아날로그 출력모듈은 CPU 모듈이 서보드라이버에 -10~10V의 전압을 출력하여 속도 또는 토크 지령을 낼 수 있도록 신호 인터페이스 기능

을 제공한다. 또한 엔코더 모듈은 서보드라이버로부터 출력되는 A/B 펄스 신호를 계수하는 인터페이스를 제공하며, alarm, limit, alarm reset 등 각종 입출력 신호를 제어한다.

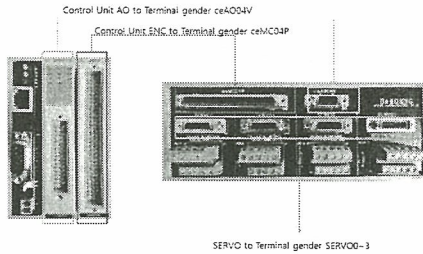


Fig. 2. DSP-base 4-axis motion controller.

마스터-슬레이브 양팔 서보조작기 제어시스템은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 DSP 모션 제어기와 서보 드라이버 등으로 구성된다. 양방향 힘반영 제어(bilateral force reflection control)를 구현할 수 있도록 모터 드라이버에서 제공하는 속도 제어기나 위치제어기를 사용하지 않고 제어 알고리즘을 직접 개발하여 적용할 수 있도록 토크지령 모드로 제어된다. 서보조작기의 각 축은 기구적 스톱퍼와 함께 리미트 스위치를 설치하여 과도한 동작을 방지하였다.

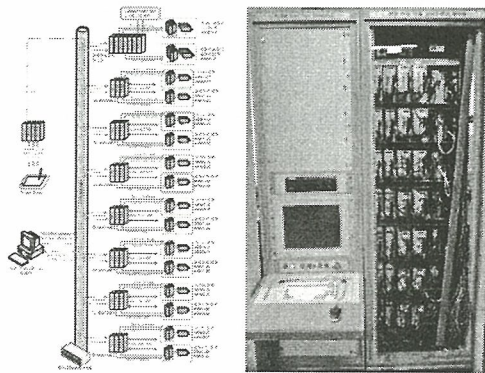


Fig. 3. DSP-based control system.

3.2 소프트웨어

케이블 구동 서보조작기의 경우 손목부에 힘센서를 부착하기 어려운 구조를 갖고 있어 힘기준형(힘-위치) 제어기의 적용이 제한된다. 또한 링크 각도의 직접적인 측정이 불가능하고 대신 모터축의 회전각도만의 측정이 가능한 점도 제어기 설계 시 고려해야 한다.

본 연구에서는 조작기의 복잡한 비선형 동역학을 직접 계산하는 대신에 시간지연추정을 이용함으로써 매우 효율적이고 계산량의 부담이 적은 장점을 가진 시간지연 제어기(Time Delay Control, TDC)를 마스터-슬레이브 양방향 제어에 도입하여 조작기의 부하변동과 외란에도 강인한 정밀 위치추종 제어가 가능하다.

Fig. 4는 슬레이브 조작기가 25 kgf의 하중물을 취급 할 때의 제어 결과를 보여준다. 위치뿐만 아니라 속도와 가속도까지도 마스터 조작자의 움직임을 잘 추종함을 알 수 있다.

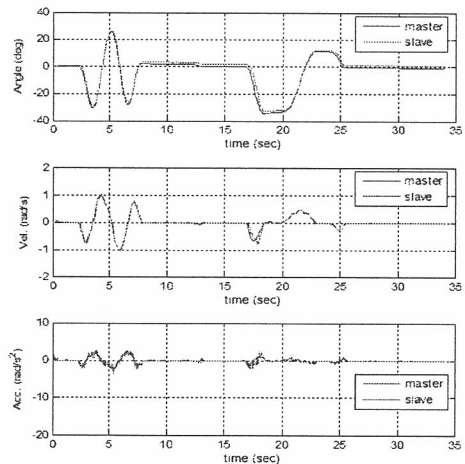


Fig. 4. Position tracking results where the slave arm follows arbitrary motion of the master.

4. 결론

본 논문에서는 PRIDE 공정장치의 원격 운전 및 유지보수를 위해 제작된 마스터-슬레이브 양팔 서보조작기의 양방향 제어를 실시간을 수행하기 위한 DSP 기반 제어시스템에 대해 다루었다. 구축된 DSP 제어시스템은 PC 기반의 제어시스템에 비해 실시간 제어 성능이 우수하며 모듈의 유지보수가 편리함을 확인하였다. 제어시스템의 안정성 검증 및 제어 알고리즘 성능 시험을 거쳐 급년도 말에 PRIDE 시설에 설치할 예정이다.

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.