

## Pyroprocess Mock-up 시설 원격 운전/유지보수용 양팔 서보조작기 설계

박병석, 이종광, 최창환, 윤광호, 윤지섭, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
[nbspark@kaeri.re.kr](mailto:nbspark@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

사용후핵연료 건식처리공정인 Pyroprocess 기술을 종합적으로 평가하기 위한 Mock-up 시설은 Air cell과 Argon cell로 구성되는데, 각 셀에는 다수의 양팔 원격 조작기(manipulator)가 요구된다. 특히, 아르곤 셀의 공정장치를 원격 운전/유지보수 하기 위해서는 최소한 28조의 벽고정형 기계식 조작기(Mechanical Master-Slave Manipulator)가 설치되어야 한다. 이 경우, 45억원(1조에 약 1.6억원)의 비용이 소요된다. Mock-up은 시험시설이기 때문에 다수의 공정장치 들의 운전이 동시에 발생하지는 않는다. 따라서, 이동형 조작기 3조로 대체하여 운전한다면 30억원 이상의 비용이 절감된다. 아르곤 셀은 외부와 항상 기밀을 유지하여야 하기 때문에 마스터와 슬레이브가 기계적으로 연결되어서는 안되며 서로 분리된 전기식 조작기여야 한다. 기계식 마스터-슬레이브 조작기는 슬레이브가 물체와 접촉 또는 물체 이동시에 마스터에 기계적으로 힘을 전달하여 작업자가 현실감을 갖게 한다. 원격 작업에서는 이와 같은 현실감이 매우 중요한 요소로 작용한다. 따라서, 전기식 조작기도 운전자에게 힘을 전달할 수 있는 서보조작기가 되어야 한다. 또한, 중대형 핫셀에서는 차폐창 근접지역의 작업을 위한 벽고정형 기계식 조작기외에도 이의 작업영역을 벗어난 공간의 작업을 위한 천정이동 서보조작기도 설치되어야 한다. 이와 같은 배경으로 본 연구에서는 Mock-up 아르곤 셀에 설치할 이동형 서보조작기를 개발 중에 있다. 본 논문에서는 개발중인 양팔 서보조작기의 설계내용에 대해 소개한다.

### 2. Pyroprocess 원격 운전/유지보수용 양팔 서보조작기 설계

Mock-up 아르곤 셀은 그림 1에서 보는 바와 같이 크레인, 천정이동 양팔 서보조작기, 벽이동 양팔 서보조작기로 운전될 예정이다. 양팔 서보조작기는 기계식 마스터-슬레이브 조작기와 유사한 구조를 갖는다. 벽이동형 양팔 서보조작기는 기계식의 마스터-슬레이브 조작기와 동일 구조를 가지며, 천정이동형 양팔 서보조작기는 기계식의 Telescopic 기능이 천정이동 대차 하단의 Telescopic tube로 대체된다. 따라서, 서보조작기 자체에는 Telescopic 구조가 없다. 양팔 서보조작기의 마스터와 슬레이브에는 다수의 서보모터가 부착(벽이동형 32개, 천정이동형 28개)되는데 운전자가 마스터를 붙잡고 동작을 취하면 마스터의 동작정보(위치)를 컴퓨터가 받아들여 슬레이브 모터에 지령하면 슬레이브는 마스터와 동일 동작을 하게 된다. 이때 슬레이브가 어떤 물체와 접촉하거나 물체를 파지하여 이동할 경우 마스터에 부착된 서보모터에 역구동 지령신호를 가하여 운전자에게 현실감 있는 힘을 느끼게 한다. 현실감에는 이외에도 시각, 청각 등 다양한 요소가 있다. 운전자는 마스터 조작기를 붙잡고 이를 동작시키므로 운전자에게 피로를 줄이기 위해서는 마스터의 역구동성(backdrivability)이 매우 좋아야 하며, 또한 슬레이브 조작기는 물체와 접촉할 때 이의 접촉력에 쉽게 반응해야 한다. 즉, 외부 힘에 대해 민감도(force sensitivity)가 좋아야 한다. 민감도가 좋으면 역구동성도 좋게 된다. 그렇지만 슬레이브는 마스터와 똑 같은 성능의 역구동성을 가질 필요는 없다. 수술용 조작기라면 마스터와 슬레이브는 역구동성이 매우 좋으면서 같은 성능을 갖는게 이상적이지만, 슬레이브 조작기가 큰 작업력을 필요로 하는 경우에는 마스터에 비해 슬레이브의 역구동성이 다소 좋지 않아도 된다. 역구동성 등을 향상시키는 측면에서 서보조작기의 기계적 설계에 표 1과 같은 성능이 큰 변수로 작용한다. 또한, 하나의 자유도가 움직일 때 타 자유도가 움직인다면 예기치 못한 동작을 하게 되므로 이와 같은 현상이 발생하지 않아야 한다. 그림 2는 한 팔이 7자유도를 갖도록 설계한 천정이동형 양팔 서보조작기(슬레이브)를 보여주고 있으며, 그림 3은 팔 관절이 움직일 때 타 자유도가 저절로 동작하지 않도록 설계한 구조를 보여준다.

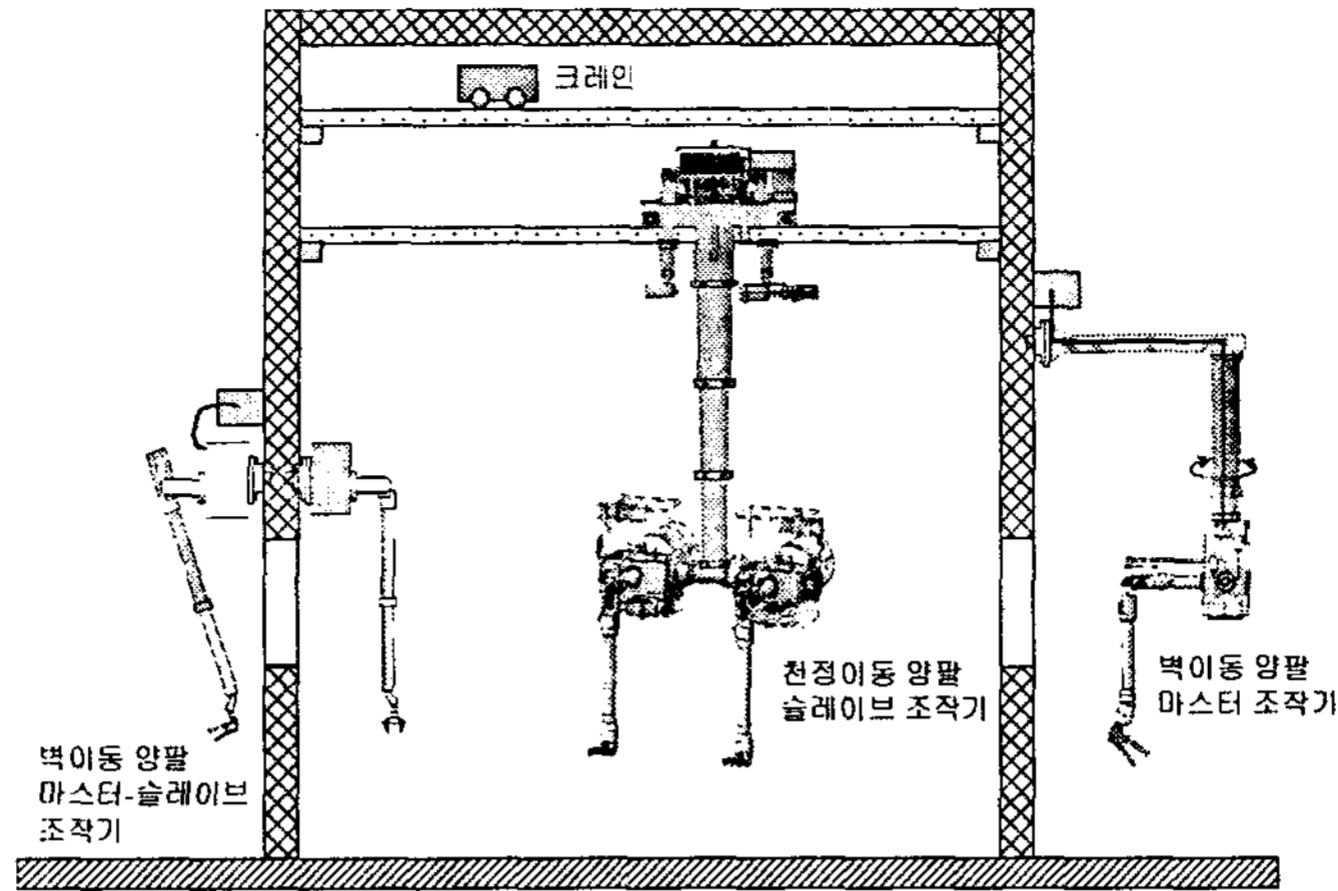


그림 1. Pyroprocess Mock-up 아르곤 셀 운전 개념도

표 1. 서보조작기의 주요 성능 요건

Design Requirements	Target Values	Good Force-Reflecting Manipulator
Maximum speed (No load)	> 1.0 m/sec, > 6.3 rad/s	> 1 m/sec, > 6.28 rad/s (360deg/s)
Index speed	0.052 rad/s (3 deg/sec)	
Maximum acceleration	1 g (unload), 0.5 g (loaded)	1 g (unloaded), 0.5 g (loaded)
Damping (Load)	X, Y : <20 %, Z : <50%	
Friction	< 2%	1~5 % of capacity
Backlash	< 2 mm (Garlick)	Low to medium
Deflection (Load)	< 2 cm	2.5~5 cm at full load
Motion coupling	< 0.5 mm	< 1 mm
Arm gravitational balance	< 0.4 kgf	< 0.4 kgf
Weight/payload ratio	< 3.4 (85 kgf/25 kgf)	3 ~ 10

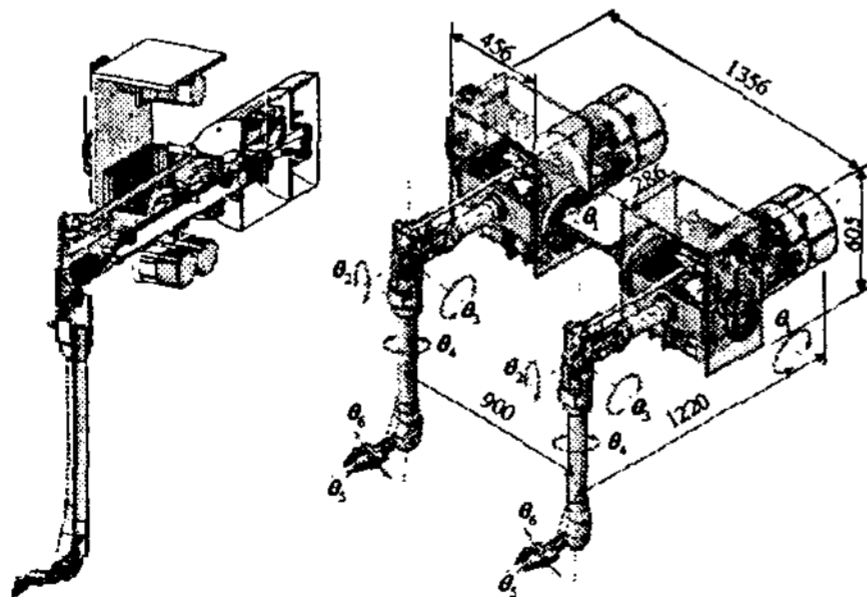


그림 2. 양팔 슬레이브 조작기

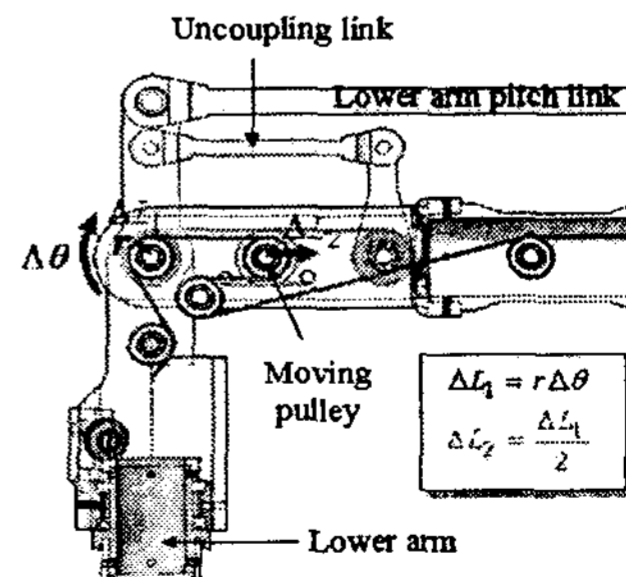


그림 3. 관절부 타 자유도 간섭제거 구조

### 3. 결론

본 연구에서 개발중인 천정 이동 양팔 서보조작기는 현재 조작기의 기본설계가 완료되어 상세 설계중에 있으며, 2008년 까지 제작을 완료할 예정이다. 2009년에는 이의 천정 이동 장치 및 제어 시스템을 제작하여 Pyroprocess Mock-up 아르곤 셀에 설치할 예정이다.

### 사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.