BDSM 기능 확장을 위한 텔레스코픽 원격 취급기구 개발

이종광, 유승남, 박병석, 김기호, 조일제
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111
leejk@kaeri.re.kr

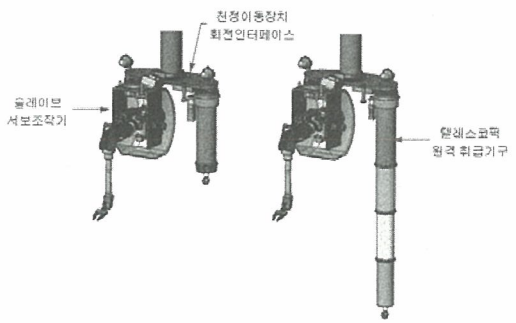
1. 서론

최근 Pyroprocess 기술을 종합적으로 평가하기 위한 공학규모 파이로 일관공정 연구시설(PRIDE)의 구축이 완료되었으며 현재 시험운전 중에 있다. PRIDE 시설의 공정셀은 완전 기밀형 아르곤 셀로 유독 가스와 방사성 물질 때문에 작업자의 직접적인 접근이 불가능하므로 모든 공정운전 및 장치 유지보수 작업들은 기계식 마스터-슬레이브 조작기(MSM), 천정이동 양팔 서보조작기(BDSM), 크레인을 활용하여 수행된다[1]. 본 연구에서는 BDSM의 한 팔을 대체하여 100 kgf의 하중을 정격으로 취급 가능하며 안전하게 수직 이송을 할 수 있는 텔레스코픽 원격 취급기구를 개발하였으며, 이를 통해 기존 양팔 서보조작기의 고유 기능을 확장 할 수 있음을 보였다.

2. 텔레스코픽 원격 취급기구

2.1 개요

공정장치 원격 취급 및 조작기 작업 지원을 위한 범용 원격취급기구로써 신축기구의 하부에 다양한 툴들을 원격으로 교체하여 장착할 수 있는 새로운 형태의 텔레스코픽 기구를 개발하였다. 이 장치는 그림 1에 보이는 것과 같이 천정이동장치의 회전 플레이트에 설치된 슬레이브 서보조작기의 한 팔을 대치하여 협소 공간 작업 및 나머지 한 팔의 서보조작기와 협조 작업이 가능하다. 이러한 구성은 천정이동장치와 슬레이브 서보조작기 간의 원격 인터페이스 장치를 그대로 활용하여 원격으로 장탈착 가능하며, 말단에 부착되는 툴 또는 공구를 원격으로 교체할 수 있도록 구성하여 시스템 호환성 및 확장성을 극대화하였다. 원격 취급기구는 천정이동장치에 원격으로 결합하기 위한 인터페이스부, 텔레스코픽 신축부 및 이의 하단에 교체 가능하도록 설치되는 원격 툴, 기계식 원격조작기를 사용하여 원격취급기구를 분리/결합하기 위한 장탈착 장치 등으로 구성된다. 상하방향 작업거리는 1.7 m, 정격 취급하중을 100 kgf로 설정하였다.



(a) fully retracted (b) fully extended

Fig. 1. Telescopic remote handling tool.

2.2 상세 설계

정밀도와 강성이 우수한 볼스크류(ball screw)와 볼스플라인(ball spline)의 조합으로 텔레스코픽 신축부를 구성하였다. 각 단에는 볼 스크류와 볼스플라인이 짝을 이뤄 원주방향으로 배치된다. 볼스크류의 회전력은 체인 또는 기어 등의 동력 전달을 통해 볼스플라인을 회전시킨다. 볼스플라인은 회전력을 전달하면서 축방향으로 선형 운동이 가능한 기계요소로, 볼스크류의 회전에 의해 다음 단이 수직으로 이동하더라도 슬라이딩하면서 회전력을 전달한다. 이러한 볼스플라인의 회전력은 다시 다음 단에 설치된 볼 스플라인에 전달된다. 이러한 구성을 동일하게 확장하면 각 단이 동일한 스트로크로 신축 운동이 가능하다.

그림 2는 텔레스코픽 신축부의 상세 설계모델을 나타낸다. 3단의 이동 튜브는 고정 튜브의 상부 플레이트에 설치된 모터의 회전력에 의해 동일한 스트로크로 신축 운동을 한다. 튜브가 완전히 접혀졌을 때의 높이는 900 mm 이내이고, 완전히 펼쳐졌을 때의 높이는 2.5 m 이상이다. 텔레스코픽 원격 취급기구는 천정이동장치에서 서보조작기가 분리되는 곳인 상부 인터페이스에 결합된다. 따라서 텔레스코픽 신축부 상부에는 조작기에 설치된 것과 동일한 인터페이스 장치가 설치된다. 또한 기계식 원격조작기를 이용하여 기구부와 함께 텔레스코픽 운동을 위한 모터의 전원 및

신호선들도 동시에 분리 및 연결된다.

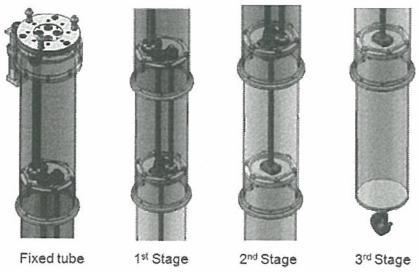


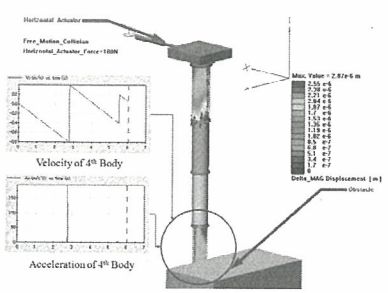
Fig. 2. Detail design of telescopic tool.

2.3 구조동해석

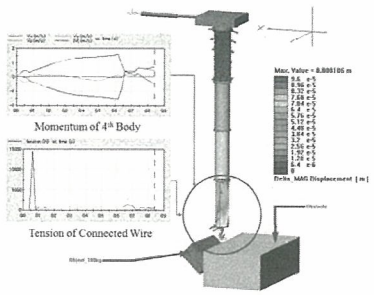
상세 설계 모델의 동적 안전성을 검증하기 위해 상용의 Visual NASTRAN을 이용하여 구조동해석 모델을 구축하고 동응력-변위 해석 및 충돌해석을 수행하였다. 그림 3 (a)와 같이 완전히 펼쳐진 상태에서 1 m/sec의 속도로 이송하면서 말단부가 장애물에 충돌하였을 때 최대 변형량은 약 3×10^{-6} m로 분석되어, 자유공간을 최대 속도로 이동하는 가혹한 환경에서 설계 안전성을 확보하였다. 또한 그림 3 (b)와 같이 100 kgf의 중량물을 완전히 펼쳐진 상태에서 1 m/sec의 속도로 이송하면서 말단부가 미지의 장애물에 직접 충동하는 경우 최대 변형량은 약 0.1 mm로 분석되어, 하중물을 최대 속도로 이송시 발생하는 가장 가혹한 충돌조건에서도 설계 안전성을 확보하였다.

2.4 제작

설계 검증된 텔레스코픽 원격 취급기구를 그림 4와 같이 제작하였다. 좌측 그림은 새로운 원격취급 기구를 양팔 서보조작기의 한 팔을 대치하여 설치한 모습을 나타내며, 우측 그림은 기존 BDSM의 양팔 구성에 추가하여 기능을 확장한 모습을 나타낸다.



(a) without payload



(b) with a payload of 100 kgf

Fig. 3. Collision analysis of telescopic boom.

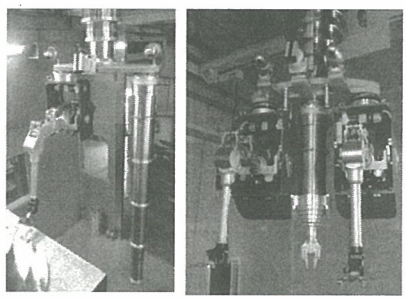


Fig. 4. Telescopic tool integrated in BDSM.

3. 결론

본 논문에서는 3단으로 구성된 신축기구의 하부에 다양한 툴들을 원격으로 교체하여 장착할 수 있는 새로운 형태의 텔레스코픽 원격 취급기구의 개발에 대해 설명하였다. 이 장치의 활용으로 고하중의 작업물을 안전하게 취급할 수 있으며 슬레이브 조작기와의 협조작업이 가능하여 BDSM의 기존 기능을 크게 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] J. K. Lee, H. J. Lee, B. S. Park, K. Kim, Bridge-transported bilateral master-slave servo manipulator system for remote manipulation in spent nuclear fuel processing plant, Journal of Field Robotics, Vol. 29, No. 1, pp. 138-160, 2012.