

ACPF 소형 아르곤 핫셀용 원격운전 크레인 시스템 개발

이종광*, 박병석, 유승남, 김기호, 조일제

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*leejk@kaeri.re.kr

1. 서론

소규모 (1 kg/batch) 사용후핵연료 우라늄산화물을 고온 용융염상에서 전기화학적 방법을 통해 금속 형태의 원료로 환원시키는 공정을 실증하기 위해, 기존 공기분위기 ACPF 핫셀 내부에 약 1.8 x 2 x 2.6 m 크기의 소형 아르곤 셀을 설치하는 개조작업이 성공적으로 수행되고 있다[1].

크레인 시스템은 아르곤 셀 내 공정 운전을 위한 필수품이지만, 크레인 설치를 위한 가용의 공간이 300 mm 이내로 아주 협소하고, 유일한 유지보수 수단인 기계식 원격조작기(MSM)의 작업 범위를 벗어나 크레인이 설치되므로 실행 가능한 유지보수 방법을 확보해야 한다.

2. 원격운전 크레인 시스템 개발

2.1 원격운전 크레인 기구부

설치 공간과 취급 수단의 부재라는 심각한 제약 조건 하에서 운용 가능한 크레인을 개발하기 위해, 크레인 시스템의 기계부와 전기부를 분리하고 동력 전달 샤프트를 통해 원거리에서 연결하는 새로운 메커니즘을 고안하고 크레인 설계에 적용하였다. 이 방식은 두 가지의 중요한 장점이 있다. 첫째, 분리된 크레인의 전기부를 원격조종기의 작업공간 안에 설치할 수 있어 이에 대한 원격 유지보수가 가능하다. 둘째, 전기부와 케이블이 제외된 공간을 기구부의 설계에 활용할 수 있어 크레인의 높이를 크게 줄이고 작업 공간을 최대화시킬 수 있었다. 추가로, 원격조종기의 작업영역 밖에 설치되어 유지보수가 어려운 기구부는 높은 안전율을 갖도록 설계하여 내구성을 확보하였다.

Fig. 1은 개발된 크레인 시스템의 3D CAD 모델을 보여준다. 구조적으로 주행, 횡행, 호이스트 시스템으로 구성된 것은 일반 산업용 크레인 시스템과 유사하지만, 원격 동력전달 샤프트들이 설치된 수직 모듈이 추가되었고 전기구동부와 센서부를 기구부로부터 분리하여 MSM의 작업영역 내부에 설치하였다.

또한 통상 기구부 옆 높은 위치에 설치되는 케이블 트레이를 전기구동부 근처로 이동시킴으로써, 크레인 높이를 줄이면서 작업 영역을 최대한 확보할 수 있었다. 모든 구동부는 정밀한 운전이 가능하도록 슬립이 발생하지 않는 구조를 적용하였다. 또한 원격 유지보수가 용이하도록 전기구동부와 센서부를 모듈형으로 설계하였으며, 기구부의 내구성을 확보하도록 상업적으로 검증된 요소품들을 사용하였다.

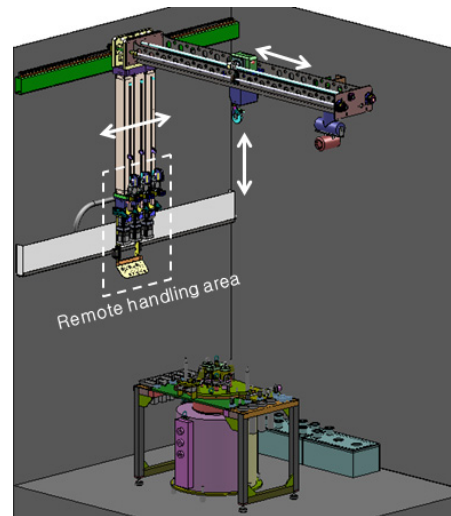


Fig. 1. 3D CAD model of the crane system.

2.2 원격운전 크레인 제어시스템

차폐창을 통해 내부 상황을 주시하면서 크레인을 운전하는 것은 정확한 거리 파악이 힘들어 오동작을 유발할 수 있다. 또한 공정장치의 취급 위치가 아르곤 셀 내부에서 정해져 있으므로 절대 위치에 기반한 시퀀스 운전이나 자동운전이 적용되면 기존 수작업으로 진행되던 크레인 작업의 안전성과 효율성을 크게 향상시킬 수 있으므로 서보 제어에 기초하여 제어시스템을 개발하였다.

절대위치 이송을 위해 동력전달 샤프트의 회전량을 와이어 센서로 측정하는 방식을 적용하였으며, 리미트 스위치도 MSM 작업영역 내부로 설치하여 원격으로 교체할 수 있도록 하였다. 전원이 공급되어 제어시스템이 초기화되면 와이어 센서를 통해 절대값을 읽어 들인 후, 레졸버 펄스와 연동하여 절대값을 초기화한다. 아날로그 방식의 단점인 와이어 센서의 노이즈를 고려하여 초기에 일정시간 데이터

의 평균값을 초기값으로 채택한다. 또한 동작 중 리밋 스위치가 눌러지게 되면 원점으로 재설정하도록 함으로써 절대 위치 운전이 가능하도록 하였다.

서보 모터는 위치 제어모드로 운전되며, 작업 조건에 따라 속도를 조절할 수 있도록 구현하였다. DSP 제어기는 PC와 네트워크 통신을 통해 운전 파라미터를 전달 받고, 크레인의 운전 정보를 PC로 전달할 수 있다. 운전자는 작업창 앞에서 창 또는 카메라 영상을 보면서 작업할 수 있으며, 개발된 크레인 제어기와 상용품 카메라 제어기를 동일 통신 프로토콜로 통합하여 하나의 터치 패넌트로 조작 및 제어할 수 있도록 구성하였다.

2.3 핫셀 설치 및 원격시험

개발된 크레인 시스템을 포함하여 공정장치, 셀 라이트, 물질이송시스템, 비상 도어, 원격조종기, 피드쓰루, 카메라 시스템 등이 아르곤 셀 내부에 설치되었고, 크레인 제어를 위한 터치 패넌트와 카메라 모니터는 운전 지역에 설치되었다. 크레인 시스템을 핫셀에 설치하기 전에 동일 규모의 목업 시설에서 검증 시험을 거쳤다. 핫셀에 설치한 이후에, 크레인 시스템이 목표 성능을 내는지 확인하기 위해 기구적 및 전기적 테스트를 수행하였다. 1.5 kN의 하중에 대해 거더 프레임의 최대 처짐량은 약 0.3 mm로 측정되었고, 이는 적용된 상용품 볼-스크류나 볼-스플라인 같은 선형 운동 시스템의 성능에 영향을 미치지 않는 수준임을 확인하였다.

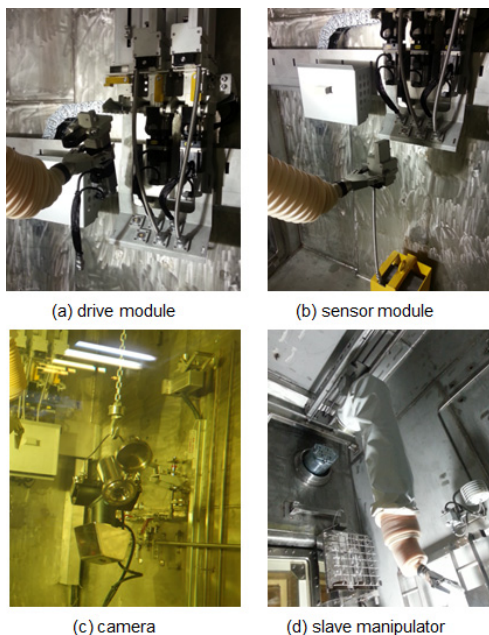


Fig. 2. Remote maintenance tests.

Fig. 2는 MSM을 사용하여 크레인의 구성품에 대한 유지보수 뿐만 아니라 크레인을 사용한 셀 장치에 대한 유지보수 시험 모습을 보여준다. 후크를 포함한 전체 트롤리 호이스트의 높이는 271 mm로, 후크가 MSM 위에서 간섭 없이 이동할 수 있어 MSM에 대한 원격 유지보수가 가능하였으며, 카메라 시스템 또한 원격으로 교체가 가능함을 확인하였다. MSM의 슬레이브 암은 윈도우 바로 위의 벽면에 설치되므로 창을 통한 시각 확보가 불가능하다. 하지만 셀 내부에서 MSM의 정확한 위치를 알고 있으므로 위치 제어를 통한 자동화된 운전으로 MSM을 분리할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 작업자의 직접 접근이 불가능할 뿐만 아니라 유일한 원격 유지보수 수단인 기계식 원격조작기(MSM)의 접근이 어려운 천정부에 설치되는 원격 운전 크레인 시스템의 개발에 대해 다루었다. 실행 가능한 유지보수 방법을 적용하기 위해 주행, 횡행, 호이스트를 포함하는 3자유도 크레인의 기구부와 전기 구동부를 동력전달 샤프트를 이용하여 분리하였다. 기구부는 충분한 내구성을 갖도록 설계하였고, 상대적으로 고장 빈도가 높은 전기 구동부는 MSM을 사용하여 원격으로 교체 가능하도록 개발하였다. 개발된 시스템을 소형 아르곤 핫셀에 설치하고, 운전 및 유지보수 시험을 수행하였으며, 이를 통해 기구적 안정성과 제어적 목표 성능이 충분히 달성되었음을 확인하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로부터 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] S.N. Yu, J.K. Lee, B.S. Park, I.J.. Cho, K. Kim, "Hot Cell Renovation in the Spent Fuel Conditioning Process Facility at the Korea Atomic Energy Research Institute", Nuclear Engineering and Technology, 44, 776-790 (2015).