

디지털 목업을 이용한 ACP 공정의 원격작업분석

김성현, 송태길, 임광목, 박병석, 윤지섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

hyun@kaeri.re.kr

원자력발전소의 운영으로 매년 사용후핵연료가 발생됨에 따라 사용후핵연료는 계속 누적될 것으로 전망된다. 따라서 효율적이고 안전한 사용후핵연료의 처리방안을 마련하기 위하여 한국원자력연구소에서는 사용후핵연료 재활용할 수 있는 사용후핵연료 차세대관리공정(Advanced spent fuel Conditioning Process) 기술을 개발하고 있다. 이 공정은 1997년부터 개발하였으며 이를 실증할 Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility(ACPF)를 건설하여 모의연료봉을 이용한 시운전을 수행 중에 있다.

본 연구에서는 ACPF 시설을 구축하는데 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 파악하고 해결방안을 도출하고자 한다. 시설의 구조 및 외형뿐만 아니라 장치들의 조립과정에서의 조립성, 기기의 동작을 모사하여 실제 장치에서 발생할 수 있는 문제점을 보완하고자 한다. 또한 공정운전 및 장치 고장에 대한 유지보수 공정을 시뮬레이션으로 구현해 봄으로써 유지보수 공정의 절차의 적합성, 유지보수 가능성을 점검하고자 한다.

3차원 그래픽설계 기술을 활용하여 각종 공정장치를 실제 크기 모델링하고, 기능 및 운전 특성에 따라 기구학(kinematics) 특성 및 운동 범위에 대한 정의를 부여함으로써 작업영역 분석 등을 수행하였고, 핫셀내의 공정장치 배치 및 공정운전 및 유지보수에 조작성에 필요한 공간 확보를 위한 공간 활용을 극대화하였다. 시설, 공정장치 및 유지보수장치를 3차원 그래픽 모델링하여 가상환경을 가상 목업을 구축하고, 공정장치들은 운전 및 유지/보수 측면에서 마스터-슬레이브 매니플레이터(MSM : Master/Slave Manipulator)의 작업영역을 분석하여 장치 설계에 반영하였다. 공정흐름에 따라 공정장치를 핫셀 내에 최적 배치를 하고 공정운전에 따른 장치의 접근가능성을 분석하였다. 유지보수장치의 작업영역분석은 핫셀내 공정장치의 유지보수 부품으로의 접근성과 관련하여 가장 기본적인 분석이다. 공정장치의 조작 및 유지보수 측면에서의 접근성 및 핫셀내 공정장치 배치는 매니플레이터의 작업영역 분석을 통하여 가능하다. ACPF와 공정장치 및 유지보수장치의 3차원 모델링 자료를 이용하여 컴퓨터의 가상환경에 장치를 배치하여 workcell을 구성하여 가상 목업을 구축하였다. 핫셀내에서의 유지보수 장치인 TSM과 MSM이 작업이 가능한 영역은 그림 1과 같다.

- 원격 운전 및 유지보수작업 시뮬레이션

고방사성, 고온의 극한 환경에서 운전하기 때문에 작업자와 공정장치 사이에는 격리된 핫셀에서 운전 및 대부분의 작업은 MSM을 사용하여 이루어지고 있다. 따라서 MSM의 작업범위 안에 공정장치가 배치되어야 한다. 핫셀 안에 설치되는 장치들은 원격으로 장치 조작 및 고장이 발생되었을 때 유지보수를 고려하여 모듈화를 적용하여 설계 제작된다. 선정된 보수 대상의 모듈에 대해서 인양 고리, 간섭문제, 장비 접근, 취급 장비의 모듈중량 등을 고려되며, 보수대상에 대한 분해 및 조립 방안을 분석하게 된다. 가상 목업을 이용하여 MSM의 작업범위 안에서 모든 작업을 수행할 수 있는 가를 시뮬레이션으로 미리 수행함으로써 검증할 수 있다. 시설에서 수행할 실증 공정절차를 수립하고 절차에 따른 시나리오에 따라 프로그램하여 시뮬레이션을 구현하였다. 탈피복장치의 공정운전에 대한 시뮬레이션을 구현하였을 때에는 MSM의 작업범위 안에서 작업을 그림 2와 같이 성공적으로 수행하였다. 그러나 그림 3과 같이 탈피복장치의 모터 교체에 대한 유지보수 작업을 수행시에는 MSM의 작업범위를 벗어나 교체작업을 수행할 수 없는 결과를 보여주었다. 이 결과를 반영하여 실제 공정장치의 설치에는 공정장치의 위치를 보정하여 설치할 수 있었다.

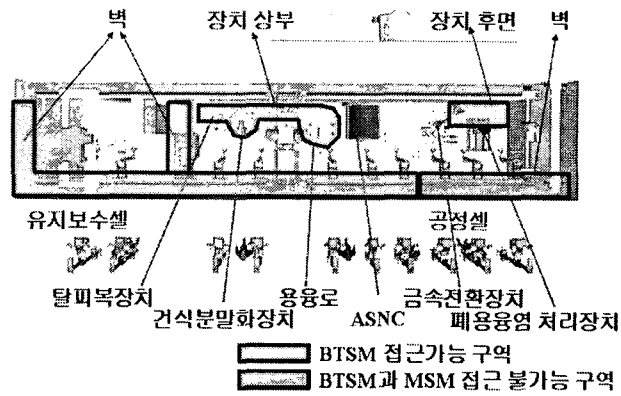


그림 1. 핫셀내에서 유지보수 장치의 접근영역 분석.

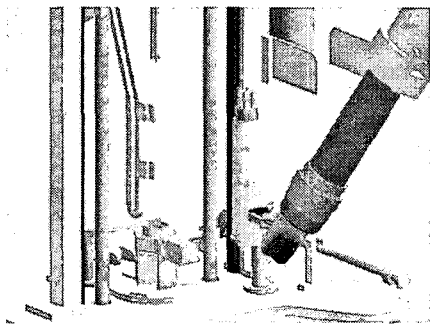


그림 2. 탈피복장치의 공정 시물레이션

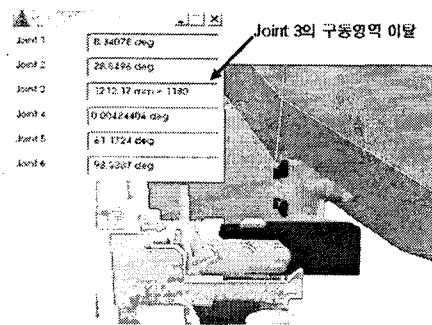


그림 3. 유지보수작업에서 MSM의 구동영역 이탈.

본 연구에서는 공정에 필요한 공정장치 및 유지보수장치를 실물과 같은 크기로 3차원으로 그래픽 모델링하여 가상 환경에서 모든 장치들은 조립되고 공간상에 배치하여 가상의 목업을 구축하였다. 이를 이용하여 핫셀에 공정장치의 배치 및 운전에 필요한 공정장치의 설계요건 분석뿐만 아니라 그래픽 시물레이션을 이용하여 핫셀에서 원격으로 수행되는 공정운전과 유지보수를 위한 분석을 수행하였다. 이에 대한 분석결과를 이용하여 ACPF의 공정장치들을 설치하여 시물레이션의 구현결과는 실제 작업과 비교하여 만족할 만한 수행결과를 도출하였다.