

원격유지보수용 조작기 시뮬레이터 개발

이종열*(한국원자력연구소), 김성현("), 송태길("), 박병석("), 윤지선(")

A graphic Simulator of Manipulators for Remote Maintenance

J. Y. Lee(KAERI), S. H. Kim("), T. G. Song("), B. S. Park("), J. S. Yoon(")

ABSTRACT

The remote handling and maintenance devices in the nuclear hot cell should be checked prior to the hot operation in view of reliability and operability. In this study, the digital mock-up is implemented to analyze and define the process equipment maintenance processes instead of real mock-up, which is very expensive and time consuming. To do this, the parts of equipment and maintenance devices are modeled in 3-D graphics, assembled, and kinematics is assigned. Also, the virtual workcell of the spent fuel management process is implemented in the graphical environment, which is the same as the real environment. This simulator has the several functions for verification such as analyses for the manipulator's working area, the collision detection, the path planning and graphic simulation of the processes etc. This graphic simulator of the maintenance devices can be effectively used in designing of the maintenance processes for the hot cell equipment and enhance the reliability of the spent fuel management.

Key Words : Graphic Simulator (그래픽 모사), Virtual Workcell (가상작업환경), Spent Fuel (사용후핵연료), Remote Maintenance (원격 유지보수), Manipulator (조작기), Path Planning (경로 계획)

1. 서론

사용후핵연료는 원자력 발전으로 발생하는 고준위 방사성물질로서, 이러한 물질은 높은 방사능으로 인하여 핫셀(Hot cell)이라고 하는 폐쇄공간에 취급장치를 설치하여 원격운전으로 작업을 수행한다. 핫셀 공정의 원격 운전을 위한 필수조건인 공정장치 고장에 따른 유지보수도 Master-Slave(M/S) 조작기, 서보 조작기 등을 이용하여 원격으로 수행한다. 이러한 고방사성물질 취급 및 공정장치 유지보수에 있어서의 원격조작은 안전성과 작업용이성이 중요한 요소로서, 실제 작업을 수행하기 전에 장치 및 공정에 대한 충분한 검증이 이루어져야 한다. 공정장치 및 유지보수 장비의 사전 검증은 일반적으로 실제 규모의 Mock-up을 이용하지만, 이 경우 비용, 시간 및 교정 용이성 측면에서 효율적이지 못한 경우가 허다하다. 따라서, 이를 해결하기 위하여 그래픽 시뮬레이션 기술을 활용하는 추세에 있다. 이 기술은 비주얼 환경(Visual Environment)에서 사용자가 원하는 행위를 모사함으로써, 그 과정 및 결과를 사전에 가시화 할 수 있을 뿐만 아니라, 실제

시스템에서 발생할 수 있는 예기치 않은 상황이나 문제점을 발견하고 해결 방법을 모색할 수가 있기 때문에, 시스템의 설계와 해석, 개발을 위한 틀로서 중요한 비중을 차지하고 있다. 또한, 이 기술의 기반인 컴퓨터기술의 비약적인 발전에 따라 모든 산업의 다양한 분야에 적용되고 있다.

본 연구에서는 고방사성물질을 취급하는 핫셀에서 공정물질의 원격 취급 및 장치의 원격 유지보수 장비로 주로 사용하고 있는 기계식 M/S 조작기와 서보 조작기의 원격 운전성과 유지보수성을 사전에 검증하기 위하여, 그래픽 가상모형을 이용한 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 위하여, 각 장치의 구동 특성을 분석하여 3차원 그래픽으로 모델링하고, 이에 기구학적 특성을 부여하여 실제환경과 유사한 가상작업환경을 구축하였다. 이로부터, 실제 원격 운전에서의 안전하고 효율적인 절차를 확립하기 위하여 기본적으로 필요한 조작기 작업영역 분석기능, 충돌감지 기능, 공정 전산모사 기능 및 기타 분석 기능 등을 부여하였으며, 이를 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)로 구성하였다.

각 장치 부품의 3차원 그래픽 모델링 및 장치의 동작을 전산모사하여 분석하기 위한 소프트웨어로는 상용 3-D 그래픽 전산모사 도구인 Delmia사의 IGRIP(Interactive Graphics Robot Instruction Program)을 이용하였다.

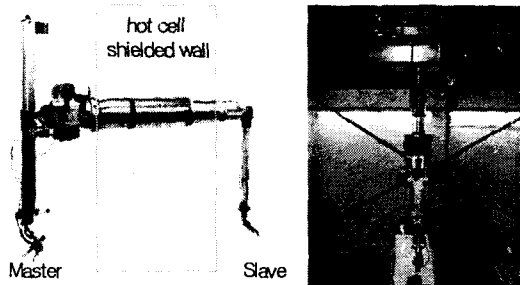
2. 3-D 그래픽 모델링 및 Virtual Workcell 구축

2.1 원격 유지보수 장치 개요

원자력 시설에서 공정물질 운반/취급 및 장치 보수작업에 사용되는 장치로는 기계식 M/S 조작기, 갠트리형 조작기 등이 있다.

기계식 M/S 조작기는 핫셀에서 가장 일반적으로 사용되는 것으로서 공정장치간의 물질이송작업과 연계작업 및 공정장치의 유지보수 작업을 수행하는 장치이다. 이 장치는 핫셀 내부에 위치한 슬레이브를 핫셀 차폐벽을 관통하여 연결된 외부의 마스터로 조작하여 작업을 수행하는 시스템으로, Fig. 1. (a)는 CRL.사 제품인 L-HD type의 M/S 조작기 모델의 설치개념을 나타내고 있다.

갠트리형 조작기는 핫셀의 환경에 따라 상용화된 것을 사용하거나, 환경에 적합하게 설계/제작하여 사용하며, 보통 M-S 조작기보다 큰 용량 및 넓은 작업범위를 요하는 경우의 작업을 수행하게 된다. Fig. 1.(b)는 갠트리형 조작기의 설치 예를 보여주고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 보통 핫셀에 설치한 in-cell 크레인에 장착되어, x, y, z 방향의 이동이 가능하다.



(a) M/S Manipulator (b) Gantry Type Manipulator

Fig. 1. Various Maintenance Devices

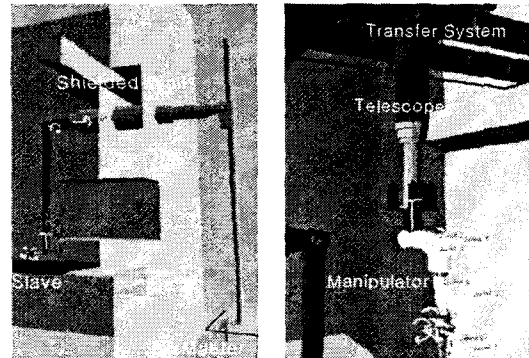
2.2 3-D 그래픽 모델 및 구동 특성 부여

실제 작업환경과 유사하게 가상 작업환경을 구축하기 위해서는 작업환경을 구성하는 요소 부품들을 3차원으로 그래픽 모델링하고, 조립하여 구동이 가능하도록 설정하여야 한다.

기계식 M/S 조작기는 핫셀 내에서 작업을 수행하는 슬레이브 모듈부와 이를 핫셀 밖에서 운전하는 마스터 모듈부, 그리고 핫셀의 차폐벽을 관통하여 마스터와 슬레이브를 기계적으로 연결하는 관통 모듈부로 분류된다. 이와 같이 기능에 따라 분류된 모듈별 부품을 모델링하고 조립하여 기구학/역기구

학적 기능을 부여한 가상장치는 Fig. 2. (a)에 보여주고 있다.

M/S 조작기의 작업영역 밖이나, 대용량의 작업을 위한 갠트리형 조작기는 이동 모듈인 x, y 방향 이동을 위한 bridge 모듈, z 방향 이동을 위한 telescope 모듈 및 조작기 모듈로 구분된다. 이들 부품을 모델링하고 조립한 후, 구동 특성에 따라 기구학/역기구학을 부여하였으며, 이는 Fig. 2. (b)에 나타낸 바와 같다.



(a) M/S Manipulator (b) Gantry Type Manipulator

Fig. 2 Graphic Model of the Maintenance Devices

본 연구에서의 대상공정은 고방사능 환경에서 수행하는 공정으로서 사용후핵연료를 취급하는 공정인 사용후핵연료 차세대관리공정을 대상으로 하였다. 따라서, 이에 필요한 핫셀/부대설비, 주요 공정장치인 탈피복장치, 건식분말화/혼합장치 및 금속전환장치 등을 그래픽으로 모델링하고, 주요 구동부에 대한 기구학을 부여하였다.

2.3 가상작업환경 구축

시뮬레이터를 이용한 실제 작업에서의 장치 및 공정에 대한 사전 검증 및 분석을 정확하게 수행하기 위해서는 가상작업환경을 실제 환경과 가능한 한 동일하게 구축하여야 한다. 따라서, 3차원 그래픽으로 모델링된 핫셀과 구동 특성이 부여된 공정장치 및 유지보수장치 모델을 이용하여 대상공정인 사용후핵연료 차세대관리공정이 수행될 작업환경과 동일한 가상작업환경을 구축하였으며, Fig. 3에 나타낸 바와 같다.

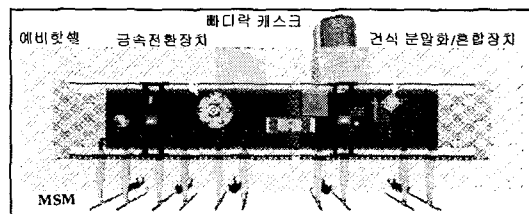


Fig. 3. Virtual Workcell for the Hot cell Process.

그림에서 보는 바와 같이 핫셀은 공정특성에 따라 2개의 셀로 구분되며, 셀 내부에는 주요 공정장치를 배치하였다. 유지보수를 위한 기계식 M/S 조작기는 핫셀벽에 설치하여 핫셀 외부 운영구역에서 핫셀 벽에 설치된 차폐창을 통한 시각을 확보하면서 원격운전을 수행하도록 하였으며, 갠트리형 조작기는 차폐창 및 핫셀 내에 설치된 CCTV를 통하여 원격 작업을 수행하도록 하여 실제환경과 유사한 가상작업환경을 구축하였다.

3. 조작기 시뮬레이터

3.1 Graphic User Interface

M/S 조작기 및 갠트리형 조작기의 원격운전을 위한 작업 안전성, 작업 용이성 및 유지보수성 등을 검증하기 위해서는 조작기의 작업영역 분석, 장치 또는 핫셀 부품간의 충돌 감지 및 작업경로 설정, 공정장치의 핫셀내 배치 기능 및 설정된 공정의 전산모사 등이 수행되어야 한다. 따라서, 본 조작기 시뮬레이터에 이러한 필요 기능을 수행할 수 있도록 하였으며, 이를 GUI로 설정하였다. Fig. 4. 는 GUI의 일부를 나타내고 있으며, 필요한 분석의 세부적인 기능을 수행할 수 있도록, 주메뉴와 그 하부에 부메뉴로 구성하였다.

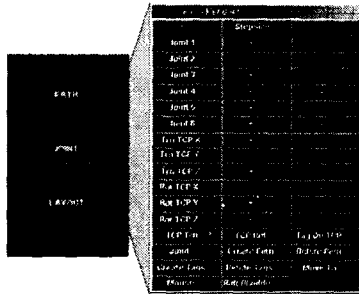


Fig. 4. GUI for Simulator

3.2 작업영역 분석

유지보수장치의 작업영역분석은 핫셀내 공정장치의 유지보수 부품으로의 접근성과 관련하여 가장 기본적인 분석이다. 공정장치의 유지보수측면에서의 접근성 및 핫셀내 공정장치 배치는 이 분석을 통하여 가능하게 된다. Fig. 5.는 M/S 조작기의 작업영역 범위와 공정장치의 배치와의 관계를 보여주고 있다.

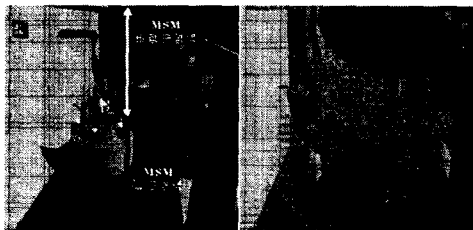


Fig. 6. Accessible area of M/S Manipulator

3.3 핫셀 배치를 위한 가상장치 이동

핫셀내의 공정장치 배치는 유지보수 장치의 작업영역 분석 뿐만 아니라, 차폐창을 통한 시각 확보 여부도 고려하여야 한다. 따라서, 핫셀 벽에 설치된 차폐창 및 핫셀내의 CCTV에 확보된 시각에 따라 공정장치 배치를 최적화하기 위하여 장치 이동이 용이하여야 한다. Fig. 6은 차폐창 및 CCTV 화면을 통한 시각을 보여주며, 시각 및 작업영역에 따라 공정장치 모델의 이동이 용이하도록 하였다.

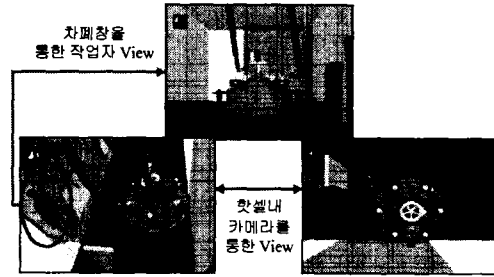


Fig. 6. Operator's View

3.4 충돌 감지 기능 및 경로 설정

작업의 안전성과 효율성을 위하여 조작기의 공정물질 운반/취급 또는 장치 유지보수 작업을 위한 구동시 핫셀 내 다른 공정장치 또는 유틸리티 등의 부대시설과 충돌이 일어나지 않아야 한다. 이를 위하여 시뮬레이터에 유지보수 장치와 주요 핫셀 구성품간의 충돌감지기능을 설정하였다. 또한 이러한 충돌감지기능을 이용하여, 조작기 작업시 최적의 경로를 설정할 수 있도록 하였으며, Fig. 7. 은 조작기의 작업시 시뮬레이터에서 최적경로를 설정하기 위한 흐름을 나타내고 있다.

그림에 나타난 바와 같이 조작기가 목표방향으로 이동시 장애물과 접하게되면, 이를 회피하는 방향으로 경로를 변경한 후 목표지점으로 다시 이동하는 것을 반복하여 최종적으로 목표지점에 도달함으로써 최적의 경로계획을 설정하게 되는 것이다.

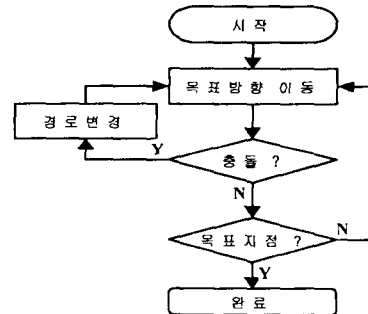


Fig. 7 Flow diagram of path planning.

Fig 8.은 가상작업환경에서 이러한 충돌감지기능을 이용한 경로설정 흐름에 따라 M/S 조작기에 대

한 전산모사를 수행하여 설정된 최적경로를 보여주고 있다.

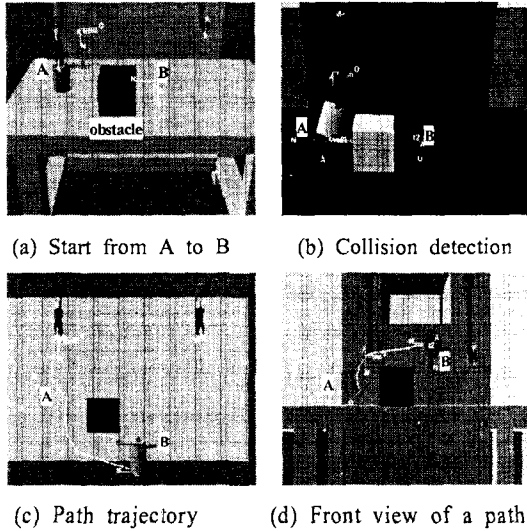


Fig. 8. Path planning of M/S Manipulator.

3.5 공정 묘사

조작기의 기구학/역기구학에 작업영역, 공정 배치 및 충돌감지 등의 분석을 통하여 설정된 공정에 대한 검증용 위하여 공정물질 운반/취급 또는 유지보수공정에 대한 전산모사를 수행할 필요가 있다. 즉, 분석된 결과를 토대로 하여 공정 시나리오를 설정하고, 설정된 시나리오에 따라 전산모사 프로그램을 작성하여 그래픽 가상환경에서 공정을 구현함으로써, 공정장치의 배치 및 보수 부품의 적합성 등을 검증하고 필요시 핫셀환경의 수정/보완이 가능하게 된다. Fig. 9는 핫셀 내에서의 핵물질 운반/취급 공정을 전산모사한 것으로서 타 시설에서 운반된 공정물질인 사용후 벨렛을 하역하는 공정과 금속전환장치에서 일부 부품을 분리하는 공정을 나타낸다.

이러한 전산모사를 통하여 현재 설계 중인 공정장치에 대한 설계검증 및 수정 보완 등을 동시에 수행할 수 있는 Concurrent Engineering 이 가능하다.

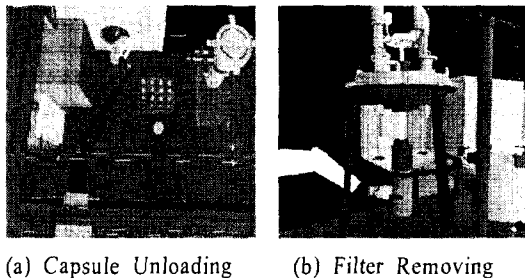


Fig. 9. Graphic Simulation of the Process.

5. 결론

본 연구에서는 고도의 안전성이 요구되는 사용후핵연료 취급공정을 수행하는 핫셀에 설치하여 물질 운반/취급과 유지보수 작업에 사용되는 기계식 M-S 조작기 및 갠트리형 조작기의 구동분석, 주요 공정설정 및 향후 운전자의 숙달훈련을 위하여, 실제 환경과 동일한 가상환경에서 조작이 가능하도록 그래픽 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 위하여 공정장치 및 유지보수장치를 3차원으로 그래픽 모델링하고, 구동 특성을 부여하여 실제 장치와 동일하게 운전이 가능하도록 하였으며, 고방사선 환경인 사용후핵연료 취급 핫셀을 대상으로 작업환경을 그래픽 모델링한 후 가상공정장치를 설치하였다. 이를 바탕으로 조작기의 작업영역 분석, 충돌감지 및 회피, 최적 작업경로 및 공정 설정을 위한 전산모사 등 요구되는 기능을 부여하여, 사용자가 시뮬레이터를 용이하게 운용할 수 있도록 사용자인터페이스를 구성하였다.

향후, 이를 바탕으로 하여 조작기 구동 측면에 있어서 보다 실제에 가까운 환경을 구축하기 위해서는 이 시스템에 동력학 기능을 추가할 필요가 있으며, 스페이스 볼 또는 조이스틱과 같은 외부 인터페이스 장비와 연계 및 가상현실 시스템으로의 발전이 필요하다. 이 그래픽 시뮬레이터는 조작기에 의한 고방사성 물질 취급 및 공정장치 유지보수 공정 절차 수립 및 최적화와 조작기 운전자의 숙달 훈련을 통하여 안전성 및 신뢰성을 고도화시키는데 활용될 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. Yudaka Omura, etc., "Virtual prototyping for canister receiving devices of high level waste storage facility," Proc. of '99 DENE User Meeting for Korean Users, 1999.
2. 박병석, 윤지섭 외, "A Study on Remote Handling Technology Using Gantry Robot Manipulator," 한국 원자력학회 추계 학술발표회의 논문집, 2000.
3. Central Research Laboratories. INC., "Master-Slave Manipulator-General and Installed Ass'y," 1993.
4. Deneb, "IGRIP User Manual and Tutorials", 1995.
5. K. Gupta, Z. Guo, "Fast Collision Avoidance for Manipulator Arms : A sequential Search Strategy," IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 6, No. 5, 1990, pp.522-532.
6. Y. Ting, "Using the Hierarchy Search Tree Method for Robot Path Planning," Proc. of the IASTED Int'l Conf., Robotics and Applications, Oct. 1999, pp.153