

파이로 시설의 원격 시뮬레이션을 위한 시스템 아키텍처

박희성, 최창환, 김성현, 이효직, 박병석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150

parkhs@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 미국의 AFCI에서 추진하고 있는 시뮬레이션 및 모델링(simulation and modeling) 개념과 유사한 ACPF 디지털 목업(digital mock-up)을 개발하여 파이로 공정의 핵 물질 흐름을 시뮬레이션하고 가시화하는 등 선진국과 대등한 기술수준을 확보하기 위한 노력을 기울이고 있다. 사용후핵연료를 처리하는 Pyro 공정은 작업자가 핫셀 외부에서 조작기(Master-Servo Manipulator)나 천정 이동형 서보조작기(BTSM: Bridge Transform Servo Manipulator) 그리고 크레인(Crane)을 이용하여 원격으로 운전 및 유지보수를 해야 하기 때문에 사고 발생 시 작업자의 조작기 숙련도는 공정시설의 안전성과 우라늄 회수율을 결정짓는 중요한 요인 중 하나이다. 특히 납 차폐 유리창을 통해 핫셀 내부를 관찰하면서 작업을 해야 하는 환경은 시각 정보를 제한시키며, 조작기 미숙으로 인해 운전 및 유지보수 상황이 악화될 경우 조작기와 공정 장치 간 충돌이 발생하면서 또 다른 손실을 초래하게 된다. 본 과제에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 3차원 그래픽을 이용한 여러 시뮬레이션[1, 2] 방법을 사용한 경험이 있으나 그래픽에 의존한 시뮬레이션은 실제 환경을 대변할 수 없다는 결론을 내리고 되었으며, 이러한 이유로 인하여 현재 보다 더 과학적인 방법으로 시뮬레이션할 수 있는 기술 개발이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 핫셀에서의 원격 업무 효율성을 높이기 위해 컴퓨터 그래픽을 이용한 디지털 파이로 공정 시설 및 공정장치 그리고 기타 도구와 장비들의 가상환경 설계를 위한 소프트웨어 아키텍처를 제안하고자 한다. 또한 아키텍처 기반에서 햅틱(haptic) 장비를 이용하여 작업자가 물리적인 힘 반향을 통해 실제와 동일하게 조작기를 운전하면서 원격 작업의 접근성 및 운전성을 시뮬레이션 할 수 있는 방법을 설명하고자 한다.

2. 아키텍처 설계 및 예비 실험

파이로 시설의 원격 작업성을 시뮬레이션하기 위해서는 가장 먼저 파이로 시설과 공정장치들을 3차원 그래픽으로 묘사되어야 하며, 원격 작업을 효과적으로 수행하기 위해서는 카메라의 생성 및 탈 부착 기능 등이 필요하다. 또한 모델링된 공정장치들을 편집할 수 있는 기능이 구비되어야 하며 햅틱 입력장치와 연결시키기 위한 인터페이스 기능이 추가되어야 한다. 설계된 공정장치 파일을 불러 들여서 원하는 위치에 위치에 공정장치를 배치 시킬 수 있어야 하며, 조인트들 간의 조립과 조작기와 공정장치 간 조립을 위한 메이트(mate) 기능이 있어야 된다. 마지막으로는 햅틱을 이용한 조작기의 원격 운전성을 분석하기 위해서는 3차원 그래픽과 햅틱 렌더링이 정의되어야 하며, 이들의 관계가 정상적으로 정립되어야만 작업자가 정상적으로 힘 반향을 느낄 수 있다. 파이로 시설 가상환경 구축을 위한 아키텍처 개념도를 그림 1에 나타내었다. 그림 2는 3차원 그래픽과 햅틱 렌더링의 관계를 보여주고 있다.

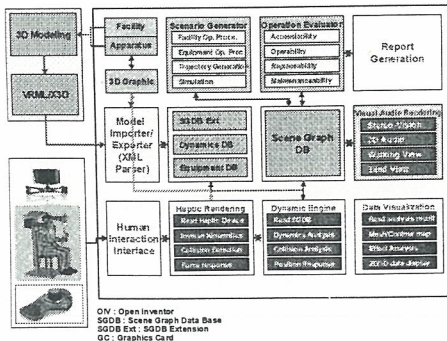


Fig 1. Schematic diagram for establishment of a virtual environment

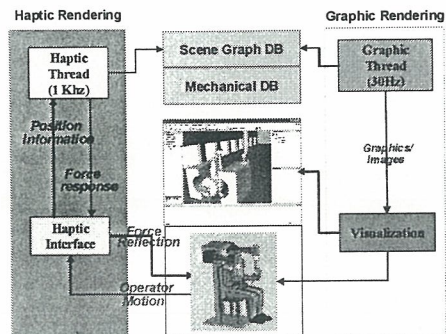


Fig 2. Relationship between graphic and haptic rendering

파이로 시설 및 공정장치의 모델링은 객체지향언어인 오픈 인벤터(Open Inventor) 기반 하에서 3차원 캐드 데이터를 포함하고 있는 VRML 파일을 이용하여 가상환경을 구축하였으며, 조작기의 조인트 정보와 기계적인 물성치 데이터는 Scene graph DB를 이용할 수 있도록 하였다. 또한 사용자 정의 좌표(User define coordination)를 만들어 사용자가 파이로 디지털 목업 내부의 원하는 장소에 공정장치 및 공구 등을 배치할 수 있도록 설계 하였다. 가상 환경 하에서 핫셀 내에 있는 공정장치들을 유지보수하는 과정을 햅틱으로 시뮬레이션 하기 위해 햅틱 렌더링과 그래픽 렌더링의 관계를 정립시켰다. 또한 사용자가 사용할 입력 장비(조이스틱(Joystick)이나 햅틱 그리고 헤드 트래커(Head Tracker)) 및 출력 장비 들을 플러그-인(plug-in) 상태로 만들어 쉽게 선택할 수 있도록 하였다. 햅틱 구동에 사용된 소프트웨어는 Open Haptics를 사용하였으며, 사용자 그래픽 인터페이스 프로그램은 CodeJock Toolkit 을 이용하였다. 그림 3은 프레임 워크 기반으로 제작된 파이로 시설의 가상환경을 보여주고 있다.

이와 같은 방법으로 설계된 디지털 목업 환경에서 가상의 조작기가 원격 접근 및 조작을 정상적으로 수행하는지를 확인하기 위해 햅틱 장비와 작업자 간 인터페이스에 대한 예비 실험을 수행하였다. 예비 실험을 위한 실험 대상으로 파이로프로세스 전처리 단계인 분말화(Vol-Oxidizer) 장치를 선정하였으며, 2006년 7월 당 과제에서 원격 운전성을 평가한 결과 원격 운전성의 난이도가 가장 높은 "펠렛 용기 이송과 펠렛의 분말화 장치 인입구에 투입"에 대한 실험 자료를 대상으로 실험하였다. 사용자 정의 좌표를 이용하여 분말화 장치를 배치한 모습과 햅틱을 이용한 원격 접근성을 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다.

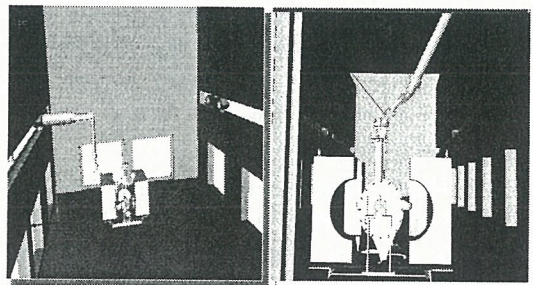
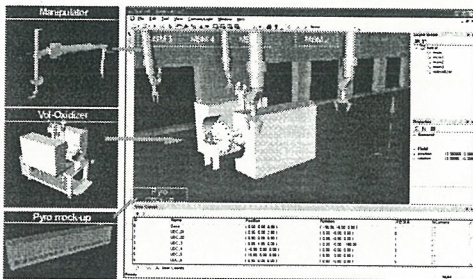


Fig 3. Digital mock-up and devices of Pyroprocess using Graphic User Interface Fig 4. Scene of Deployment of Vol-Oxidizer and grasping a lever with manipulator

3. 결론

파이로 시설 설계 단계에서 목업 내 공정장치들이 정상적으로 배치되었는지를 검증하고, 유지 보수 단계에서 원격 접근성과 운전성을 분석하기 위한 시스템 아키텍처를 구축하였다. 수천 개의 노드로 구성된 분말화 공정장치와 가상의 목업 시설 및 조작기를 VRML 형태로 읽어 들인 후 사용자 정의 좌표 기능을 이용하여 디지털 목업 내 사용자가 원하는 위치에 신속하게 배치시킴으로써 설계된 시스템이 정상적으로 구동하고 있음을 확인하였다. 이로써 파이로 시설 설계 단계에서 공정장치들이 잘못 배치됨으로써 발생하는 설계 재구성에 따른 시간 낭비와 경제적 손실을 최소화 시킬 수 있는 기반 기술을 확보하게 되었다.

REFERENCES

- [1] Tai-Gil Song, et al., "Development of the Interface Module for an Effective Application of a Digital Mock-up", Pro. of the ICAS 2005, KINTEX, Gyeonggi-Do, KOREA, June 2-5, (2005)
- [2] Soon-Hyuk Hong, et al., "A Real-Time Graphic Simulator to Monitor Spent Nuclear Fuel Dismantlement Devices", Pro. of the 2001 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Maui, Hawaii, USA, Oct. 29-Nov. 03, (2001)