

다관절 조작기의 그래픽 시뮬레이션

이종열*(한국원자력연구소), 송태길(), 김성현(), 박병석(), 윤지섭()

Graphic Simulation of the Multi-joint Manipulator

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

ABSTRACT

In this study, the graphic simulation system of multi joint manipulator is developed to analyze and optimize the remote handling processes for the spent fuel assembly. This system consists of a 3-D graphical modeling system, a device assembling system, and a motion simulation system. To analyze and optimize the processes involved in multi-joint manipulator operation such as NFBC transportation process and bottom nozzle removal process, the virtual work place is implemented using a computer graphic technology. This virtual workcell is exactly same as that of the real environment.

This graphic simulation system of the multi-joint manipulator can be effectively used for designing the main processes and maintenance processes of the spent fuel management.

Key Words : Spent fuel management (사용후핵연료 관리), Multi-joint manipulator (다관절 조작기), Graphic simulation (그래픽 전산모사), 3-D graphic model (3차원 그래픽 모델), Kinematics (운동 기구학), Virtual workcell (가상 작업환경)

1. 서론

근래에 들어 비주얼 환경(Visual Environment)에서 시뮬레이션을 실행함으로써, 시뮬레이션 결과를 가시화 할 수 있을 뿐만 아니라 시뮬레이션 과정자체를 시각적으로 보여 줄 수 있게 되었다. 이러한 3차원 그래픽 시뮬레이션은 실제 시스템을 구축하기 전에 시뮬레이션을 통하여 가상으로 실제의 상황을 모사할 수 있어, 시스템에서 발생할 수 있는 예기치 않은 상황이나 문제점을 발견하고 해결 방법을 모색할 수가 있기 때문에, 시스템의 설계와 해석, 개발을 위한 불로서 중요한 비중을 차지하고 있다.

원자력발전소에서 전력생산 후 발생하는 사용후핵연료를 재사용 또는 효율적으로 관리하기 위한 기계적 전처리공정인 핵연료집합체 해체공정은 연료봉 인출, 절단, 탈피복 및 집합체 구조폐기물 압축 등의 단위공정으로 이루어지며, 이를 종합적으로 수행하기 위해서는 각 단위공정 간의 연계작업이 필요하고, 공정정치의 유지보수 작업이 필요하게 된다.

본 연구에서는 고방사성물질인 사용후핵연료 집합체를 해체하기 위한 단위 장치들 간의 연계 작업과 유지보수 작업을 수행하는 다관절 조작기 시스

템의 작업공정을 분석하고, 이를 최적화하기 위하여 그래픽 시뮬레이터를 개발하였다. 장치 부품의 그래픽 모델링 및 동작의 전산모사를 위한 소프트웨어로는 상용 그래픽 설계/전산모사 툴인 Delmia사에서 개발한 IGRIP(Interactive Graphics Robot Instruction Program)을 이용하였다.

2. 다관절 조작기 그래픽 모델링

2.1 다관절 조작기 시스템 개요

다관절 조작기 시스템은 사용후핵연료 해체공정 셀에서 단위공정간의 물질이송 작업 등 interface 작업과 해체 공정장치의 유지보수 작업을 수행하는 장치이다. 즉, 연료봉 인출공정에서 핵연료 집합체의 bottom nozzle을 제거하거나 인출이 완료된 집합체 구조폐기물을 압축장치로 이송하는 공정을 수행하며, 단위 공정장치 고장시 유지보수 작업을 수행하게 된다. 이 장치는 크레인으로 이송하게 되므로 정밀하게 제어할 수 있어야 하며, 해체장치 유지보수를 위하여 각 장치로의 접근이 용이하도록 공정을 설정하여야 한다.

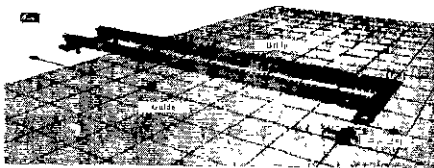
2.2 부품 구성 및 모델링

사용후핵연료 해체공정의 단위 장치간 연계작업을 수행하는 다관절 조작기 시스템은 기능에 따라 크게 크레인/telescope 부와 다관절 조작기부분으로 분류된다. 크레인/telescope 부는 X, Y축 방향으로 구동하는 주행 장치(bridge) 및 횡행 장치(trolley)로 구성된 크레인과 크레인 횡행 장치 하단에 지면 방향으로 상하 2,000 mm 움직일 수 있는 3단형 텔리스코픽 마스트로 구성된다. 다관절 조작기는 삼성전자에서 생산한 FARAMAN-AM1 6축 다관절 매니퓰레이터로서 마스트 하단에 설치된다.

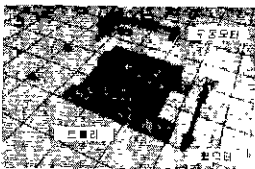
크레인은 일반 산업용 크레인을 개조한 것으로서, Table 1에 나타낸 바와 같이 bridge, 가이드 롤러 및 구동 모터 등으로 조합된 bridge 모듈, 트롤리, 휠모터 및 구동 모터 등으로 이루어진 트롤리 모듈, 그리고 3 단계의 튜브로 이루어진 telescope 모듈로 구성되어 있으며, 이들 크레인/telescope 부를 구성하는 모듈별 3차원 그래픽 모델은 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Parts of crane/Telescope modules

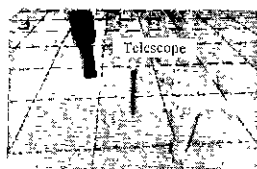
Device	모듈	장치 주요부품(parts)	비 고
Bridge	Bridge	Bridge Beam, 연결 판, 구동 바퀴, 체결부품 등	크레인 의 장 축 방 향 이 송
	가이드	가이드 롤러, 가이드 바, 모터, 체결부품 등	
Trolley	트롤리	트롤리빔, 지지판, 바퀴 등	크레인 의 단 축 방 향 이 송
	가이드	구동모터, 연결 축, 휠모터	
Telescope	Telescope	Telescope, 연결 축 등	수직 이송 (3단)



a. Bridge



b. 트롤리



c. Telescope

Fig. 1 3-D graphic models of crane and telescope.

또한, telescope에 부착되어 사용후핵연료 집합체 구조폐기물 이송 등 주요 작업을 수행하는 다관절 조작기의 부품 구성은 Table 2에 나타난 바와 같다. 다관절 조작기는 삼성 FARA 모델 로봇의 upper arm, lower arm 및 wrist 모듈과 집합체 구조

폐기물, Bottom Nozzle 및 핵연료봉 등을 파지할 수 있는 구조로 제작한 그리퍼 모듈로 이루어져 있다. 다관절 조작기에 대한 3차원 그래픽 모델은 Fig. 2에서 보이는 바와 같다.

Table 2 Parts of robot modules

Device	모듈	장치주요부품(parts)	비 고
Upper Arm	베이스	베이스, 축, 플랜지 등	해체공정 단위장 치간 interface 작업(S/F집합체 bottom nozzle 제거 및 수평/수 직 전환장치로부 터 NFBC를 입축 장치로 이송)
	Upper Arm 1	관절, 연결편, 회전축, 모터 등	
Lower Arm	Upper Arm 2	Arm, 플랜지, 모터 등	제거 및 수평/수 직 전환장치로부 터 NFBC를 입축 장치로 이송)
	Lower Arm 1	관절, 연결편, 회전축, 모터 등	
Wrist	Lower Arm 2	Arm, 플랜지, 회전 모터 등	제거 및 수평/수 직 전환장치로부 터 NFBC를 입축 장치로 이송)
	Wrist	엔드이펙트, 고정볼트 등	
그리퍼	그리퍼	Finger, 고정부, RCC, 센서 등	Bottom nozzle 또는 NFBC 파지

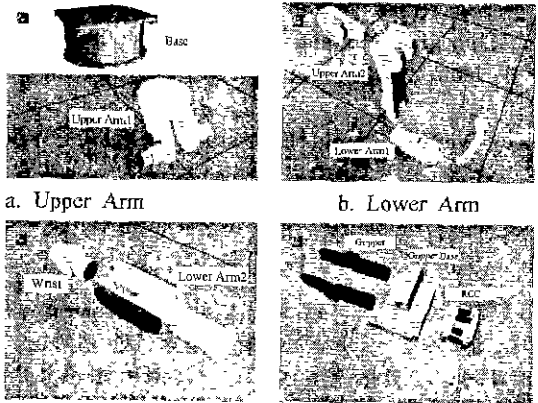


Fig. 2 3-D graphic models of multi-joint robot

3. Kinematics 설정

3.1 Joint 구성

사용후핵연료 집합체 수직/수평 전환장치에서 구조폐기물 압축장치로의 집합체 구조폐기물 및 bottom nozzle 이송 등의 장치간 interface 공정을 전산모사하기 위하여, 다관절 조작기 시스템의 디바이스별 동작 특성에 따라 telescopic 이송장치는 3개의 자유도를 사용하고, robot 및 그리퍼는 7개의 자유도를 이용하여 Table 3과 같이 각각 Joint를 정의하고 kinematics를 설정하였다. Telescopic 이송장치의 주요 동작은 크레인 모듈의 수평 이송과 telescope의 수직 이송 동작이며, 다관절 조작기는 robot의 관절운동과 그리퍼의 물체 파지를 위한 동작으로서, 다음과 같이 디바이스별로 정의된 Joint들의 kinematics를 설정하였다.

Table 3 Joint of crane/telescope & robot module

Joint No.	위 치	Joint No.	위 치
Telescopic 이송장치			
Joint 1	크레인의 Bridge	Joint 3	Telescope
Joint 2	크레인의 Trolley		
다관절 조작기			
Joint 1	Upper Arm 1(1축)	Joint 5	Wrist 1(5축)
Joint 2	Upper Arm 2(2축)	Joint 6	Wrist 2(6축)
Joint 3	Lower Arm 1(3축)	Joint 7	Gripper의 Finger
Joint 4	Lower Arm 2(4축)		

3.2 Crane/Telescope module

사용후핵연료 해체공정 셀 내에서 다관절 조 작기 robot을 목표지점까지 이송시키는 크레인의 동작을 전산모사하기 위하여, Fig 3과 같이 크레 인에 Joint 1과 Joint 2를 정의하여 수평방향의 구 동이 가능하도록 kinematics 값을 설정하였으며, telescope에 Joint 3을 정의하여 수직방향을 구동을 위한 운동값을 설정하였다.

- Bridge : Translate X = 1
- Trolley : Translate Y = 2
- Telescope
 - 1번째 Tube : Translate Z = 3
 - 2번째 Tube : Translate Z = -range(0, dof(3), 1177)
 - 3번째 Tube : Translate Z = -dof(3) ÷ range(0, dof(3), 1177)

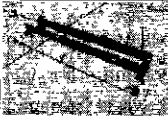


Device 명	Device 모델	Kinematics 설정
Bridge		· Joint 1(Bridge) : Translate X = 1
Trolley		· Joint 2 (Trolley) : Translate Y = 2
Telescope		· Joint 3(Telescope) · Translate Z = 3 - 제 2 튜브 Trans. Z = dof(3) - 제 3 튜브 : Trans. Z = dof(3)

Fig. 3 Graphic devices of crane and telescope module.

3.3 다관절 조작기 module

크레인에 의해 목표지점에 도달한 robot과 그 리퍼가 물체를 파지하기 위한 robot의 관절 동작

과 그리퍼의 파지 동작에 대한 운동값을 설정하 여 디바이스를 정의하였다. Robot의 관절에 대한 6개의 Joint를 다음에 기술하는 바와 같이 정의하 여 6축 방향의 동작이 가능하게 운동값을 설정하 고, 그리퍼에는 Joint 7을 정의하여 물체 파지를 위한 운동값을 설정하였으며, 이 디바이스는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다.

· FARA Robot

- 1 축 (Upper Arm 1) : Rotate Z = 1
- 2 축 (Upper Arm 2) : Rotate Y = 2
- 3 축 (Lower Arm 1) : Rotate Y = 3
- 4 축 (Lower Arm 2) · Rotate X = 4
- 5 축 (Wrist) : Rotate Y = 5
- 6 축 (Wrist) : Rotate X = 6

· 그리퍼 ·

- Finger 1 : Translate Y = 7
- Finger 2 : Translate Y = - dof(7)


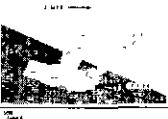


Device 명	디바이스 코델	Kinematics 설정 값
Upper Arm		· Joint 1(U-Arm 1) : Rotate Z = 1 · Joint 2(U-Arm 2) : Rotate Y = 2
Lower Arm		· Joint 3(L-Arm 1) : Rotate Y = 3 · Joint 4(L-Arm 2) : Rotate X = 4
Wrist		· Joint 5(Wrist 1) : Rotate Y = 5 · Joint 6(Wrist 2) : Rotate X = 6
Gripper		· Joint 7 (Finger1, 2) : Trans. Y = 7 : Trans. Y = -dof(7)

Fig 4 Graphic devices of multi-joint robot.

4. Workcell 구성 및 전산모사

4.1 Workcell 구성

다관절 조작기 시스템의 사용후핵연료 해체공 정 단위장치간 연계 작업을 전산모사하기 위하여 실제 작업환경과 동일한 조건을 설정하여 가상작업 환경을 구축하였다.

Fig. 5는 사용후핵연료 해체 공정에 대한 종합 적인 시험을 수행하기 위하여 공정 흐름에 따라 각 공정장치를 최적 배치하여 구축한 Mock-up 시 설을 나타내고 있으며, 단위 장치간 연계 및 이송 공정을 수행하기 위하여 다관절 조작기를 모의 핫셀 구조물의 상부에 설치한 모습이다.

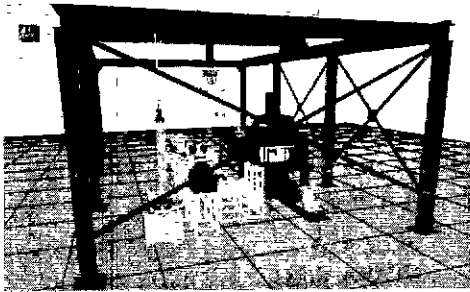


Fig. 5 Virtual environment and Real environment

4.2 사용후핵연료 해체공정 전산모사

다관절 조작기 시스템의 주요 기능은 해체 종합공정 중 사용후핵연료 집합체의 bottom nozzle를 제거하는 공정과 구조폐기물을 압축장치로 이송하는 공정을 수행하는 것이다. 이 공정들은 핫셀내의 장치를 원격 조작에 의하여 안전하고 효율적으로 수행하여야 하기 때문에 최적의 작업공정 절차를 수립하여야 한다. 이를 위하여 그래픽 모델과 기구학적 특성이 부여된 디바이스를 이용하여 구축한 가상작업 환경에서 최적 공정을 수립하기 위한 전산모사를 수행하였다.



NFBC transportation



bottom nozzle removal

Fig. 6 Graphic simulation and real processes

예비 설정된 공정 개념에 따라 다관절 조작기의 mock-up 내에서의 작업 위치와 일련의 작업점

(tag point)을 지정하여 동작 경로를 설정하고, 이를 조작기의 파지부인 그리퍼가 순차적으로 추종함으로써 다관절 조작기의 작업공정이 수행된다. 다관절 조작기 시스템이 수행하는 세부 공정별로 전산모사를 수행하여 작업의 성공여부를 확인한 후 재설정하는 작업을 반복하였으며, 이를 통하여 주변 장치들과의 간섭현상, 작업 경로 등을 분석하였으며, 최적의 작업 절차를 수립하였다. Fig. 6은 전산모사에 의하여 수립된 절차에 따라 실제 환경에서 NFBC를 이송하고 bottom nozzle를 제거하는 작업 모습을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고도의 안전성이 요구되는 사용후핵연료 취급공정을 수행하는 다관절 조작기 시스템의 최적 공정 절차를 수립하기 위하여 다관절 조작기 시스템의 전산모사를 수행하였다. 이를 위하여 장치를 3차원으로 그래픽 모델링하고, 구동 특성에 따라 kinematics를 부여하여 가상 작업환경에 설치하여 공정을 수행하였으며, 이를 통하여 장치간의 간섭 및 경로 등을 분석하고 최적의 작업절차를 수립하여 실제 중합시험에 적용하였다.

향후, 이 그래픽 시뮬레이션 시스템은 고방사성 물질을 취급하는 공정을 분석하고 최적화하여 안전성 및 신뢰성을 고도화하는데 활용할 것이다. 또한 이 시스템에 동리학 기능을 추가하여 최적의 제어 시스템 구축 및 원격 작업자의 훈련에도 활용될 수 있을 것이다

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. Deneb, "IGRIP User Manual and Tutorials", 1995.
2. Omura, "Virtual prototyping for canister receiving devices of high level waste storage facility," Proc. of '99 DENEb User Meeting for Korean Users, 1999.
3. J. J. Fisher, et al, "Development of a Telerobotic System for Handling Contaminated Process Equipment," Proc of a International Top. Meeting on Remote Systems and Robotics in Hostile Environment, pp78-85, 1987
4. E. Abel, "Nuclear Robotics Research at UKAEA's Harwell Laboratory," Proc of 3rd Top. Meeting on Robotics and Remote Systems, 1-5, 1989
5. 박병석, 윤지섭 외, "A Study on Remote Handling Technology Using Gantry Robot Manipulator", 한국원자력학회 추계 학술발표회의 논문집, 2000