

가상환경에서의 충돌감지기능을 이용한 조작기 경로계획

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

Manipulator Path Planning Using Collision Detection Function in Virtual Environment

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

ABSTRACT

The process equipment for handling high level radioactive materials, such as spent nuclear fuel, is operated within a sealed facility, called a hot cell, due to high radioactivity. Thus, this equipment should be maintained and repaired by remotely operated manipulator. In this study, to carry out the safe and effective maintenance of the process equipment installed in the hot cell by a servo type manipulator, a collision free motion planning method of the manipulator using virtual prototyping technology is suggested. To do this, the parts are modelled in 3-D graphics, assembled, and kinematics are assigned and the virtual workcell is implemented in the graphical environment which is the same as the real environment. The method proposed in this paper is to find the optimal path of the manipulator using the function of the collision detection in the graphic simulator.

The proposed path planning method and this graphic simulator of manipulator can be effectively used in designing of the maintenance processes for the hot cell equipment and enhancing the reliability of the spent fuel management.

English Key Word : Spent fuel management(사용후핵연료 관리), Remote operation(원격운전), Manipulator(조작기), Maintenance(유지보수), Path planning(경로계획), Graphic simulation (그래픽 시뮬레이션), Virtual environment(가상환경), Collision detection(충돌감지)

1. 서 론

사용후핵연료는 원자력발전소에서 전력을 생산한 후 발생되는 방사성 준위가 매우 높은 물질로서, 이러한 고방사성물질은 높은 방사능으로 인하여 핫셀(hot cell)이라고 하는 차폐기능을 갖는 폐쇄공간에서 취급하게 되며, 핫셀에 설치된 취급장치의 운전은 핫셀 밖의 운영구역에서 원격으로 수행한다. 또한, 사용후핵연료 취급공정에서의 물질 운반 및 공정장치 유지보수 작업도 M/S 조작기, 서보 조작기 등과 같은 조작기를 원격으로 운전하여 수행한다. 고방사성물질 취급에 있어서의 원격조작은 안전성과 작업용이성이 매우 중요한 요소로서, 조작기 운전 시 복잡한 핫셀 내의 타 장치 또는 설비의 간섭이나 충돌로 인한 공정의 중단이나 공정장치의 고장이 발생하지 않도록 하여야 한다. 따라서,

핫셀 내에서의 물질운반 등의 작업 수행시 안전한 경로를 미리 탐색하고, 실제 운전 전에 실제환경과 동일한 조건에서 경로에 따른 조작기 운전속달을 위한 훈련이 필요하다.

방사성물질을 취급하는 다수의 공정장치가 설치된 핫셀과 같은 복잡한 환경에서의 원격운전을 위한 안전 경로탐색 및 그에 따른 운전 속달을 위한 훈련 시스템은 실제의 장치와 동일하게 모의로 제작하거나 그래픽 전산모사 기술을 활용한다. 그러나, 모의 제작시스템의 경우 비용과 시간이 많이 소모되고 수정/보완이 용이하지 않기 때문에 컴퓨터 기술을 기반으로 하는 그래픽 전산모사 기술을 활용하고 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 있

는 예기치 않은 상황이나 문제점을 발견하고 해결 방법을 모색할 수가 있기 때문에, 시스템의 설계와 해석, 개발을 위한 도구로서 중요한 비중을 차지하고 있다.

본 연구에서는 고도의 안전성을 필요로 하는 고방사성물질 취급 핫셀에서 작업자가 원격 취급장치인 조작기를 안전하고 용이하게 조작할 수 있도록 하기 위하여, 조작기 운전 훈련 시스템의 기본 요소인 가상환경에 의한 그래픽 전산모사 시스템을 구축하였다. 또한, 이 시스템의 충돌감지기능을 이용한 조작기 경로계획 수립방안을 제시하였다. 이를 위하여, 실제 사용후핵연료 취급공정과 동일하게 핫셀, 공정장치 및 조작기 시스템을 3차원 그래픽으로 모델링하고 구동 기능을 부여하여 가상작업환경을 구축하였다. 그리고, 가상 핫셀 내에 설치된 조작기와 타 공정장치간의 충돌감지기능을 이용하여 조작기의 장애물 회피 작업경로를 설정하였다. 그래픽 가상환경의 3차원 모델링 및 공정장치의 동작을 전산모사하여 분석하기 위한 소프트웨어로는 상용 3-D 그래픽 설계 및 전산모사 도구인 Delmia사의 IGRIP (Interactive Graphics Robot Instruction Program)을 이용하였다.

2. 경로계획관련 연구현황

복잡한 환경에서 원격으로 제어되는 조작기의 충돌회피 경로계획은 현재 산업현장에서 추구하는 객체 지향 프로그램을 실현시키는 필수적인 요소 중의 하나일 뿐만 아니라, 조작기의 필수능력임에도 불구하고 아직까지 이론적인 어려움과 계산량의 방대함 등으로 인하여 산업계에서 쉽게 적용하지 못하고 있는 실정이다. 이런 문제의 해결을 위하여 형상공간(configuration space) 이용, 그래프 탐색, 또는 distance map 이용 등 충돌회피 최적경로탐색에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.

조작기의 안전하고 효율적인 작업을 위한 장애물 회피 경로계획 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있는데, 하나는 형상공간(configuration space)법이며 다른 하나는 인공전위장(artificial potential field)법이다. 형상공간법은 조작기 팔의 관절 운동이 관절수에 따라 n 차원의 형상공간에서 점운동으로 변환이 되며, 장애물 또한 형상공간에서 장애물 영역으로 매핑된다. 따라서, 이렇게 구성된 형상공간으로부터 조작기의 관절과 장애물 사이의 충돌이 발생하지 않는 안전한 경로를 구할 수 있게되며, 이 경로로부터 각 관절의 회전각을 산출하는 방법이다. 이 방법은 계산 시간이 많이 들며, 장애물의 위치

를 사진에 알고 있어야하는 문제점을 안고 있다. 인공전위장법은 인공적인 전위장함수를 이용하는 방법인데 장애물이 있는 위치는 전위장 값을 높게 할당하여 조작기가 수행해야 하는 목표위치는 전위장 값을 최소 값으로 할당해서 조작기가 목표위치에 도달하게하는 방법이다. 그러나, 이 방법은 이동용 로봇에서는 쉽게 적용이 가능하지만 관절형 조작기에 적용하기는 매우 복잡하다. 또, 조작기가 목표위치를 찾는 중에 지역최소점에 빠지는 경우가 발생할 수도 있는 문제점을 안고 있다.

또 다른 연구 방법으로서 제안된 그래프 탐색방법은 형상공간을 일정한 크기의 셀로 나누어 이러한 셀들 중 장애물을 포함하지 않은 무충돌 셀들의 일련의 연결로 무충돌 경로를 만드는 방법이다. 위의 방법은 크게 대역적 방법과 국소적 방법 두 가지로 대별될 수 있다. 대역적 방법의 경우 모양공간 내의 셀들을 장애물의 포함여부에 따라 구분하되, 셀 내에 모든 공간이 장애물로 채워지는 경우를 full 셀, 셀 내의 공간이 장애물로 채워지지 않는 경우를 free 셀로 정의한다. 그리고 이렇게 정의된 셀들을 그래프로 기억시킨 후 그래프 상에서 목표지점까지의 최단거리를 찾아가는 것인 바, 이 방법의 단점은 형상공간 전체를 기억시킴으로 그에 따른 기억용량이 너무 많이 소요된다는 것이다. 한편, 국소적인 방법으로는 그래프를 만들 때 형상공간 전체를 고려하는 것이 아니라 초기점에서 목표점까지 탐색하면서 찾아간 셀들만으로 그래프를 작성하는 것이다. 이 경우 최종 경로는 탐색을 위한 heuristic 함수에 크게 의존된다. 기존의 방법들은 heuristic 함수를 만들에 있어 셀간 거리 등만을 고려하므로, 최종 경로가 장애물에 너무 인접하여 생성되어 예기치 않은 장애물의 미소한 변동이나 장애물에 대한 모델링의 부정확 등으로 인해 발생하는 충돌 위험에 대처하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

최근에는 퍼지 및 신경회로망 기법이 조작기를 비롯한 로봇의 궤적 추적 또는 장애물 회피를 위한 경로계획에 많이 적용되고 있다. 퍼지 및 신경회로망 기법은 앞에서 언급한 형상 공간법이나 인공 전위장법에 비하여 시스템을 해석하기 위한 모델링이 간단하기 때문에 경로탐색 알고리즘을 작성하는데 있어서 복잡한 기구학 및 동력학적 계산식을 고려할 필요가 없으며, 단지 경험을 가진 교사의 경험에 의해 학습을 시킬 수 있다는 점이 장점이다. 그러나, 이 경우 돌발적으로 발생할 수 있는 고려되지 않은 미지의 장애물들과의 충돌을 예방할 수 없는 문제점이 있다.

3. 충돌감지기능을 이용한 조작기 경로계획

3.1 경로계획 개요

조작기의 경로계획과 관련하여 다양한 연구가 수행되고 있으며, 이들 방법에는 각각 고유의 장점과 단점을 포함하고 있어 작업 특성 및 조건에 따라 적절한 방법을 사용하여야 한다. 본 연구에서는 장비 설계 및 공정개발에 광범위하게 이용되고 있는 컴퓨터 그래픽 기술을 활용하여 가상 작업환경을 구축하고, 구축된 그래픽 환경에서의 충돌감지 기능을 이용한 조작기의 최적 작업경로 설정방안을 도출하고자 하였다. Fig. 1.은 그래픽 가상환경에서의 공정 시뮬레이션에 의한 조작기 작업경로 설정 흐름도를 나타내고 있다.

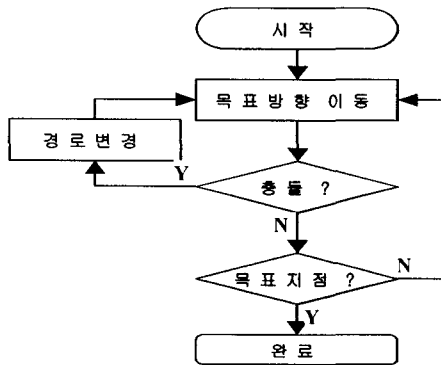


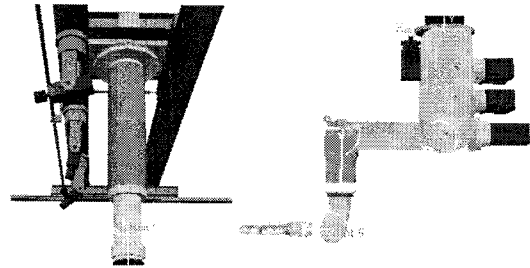
Fig. 1. The flow diagram of a manipulator path planning.

흐름도에서 나타난 바와 같이 조작기가 작업을 수행하기 위하여 목표방향으로 이동시 장애물과 접촉하게 되면, 이를 회피하는 방향으로 경로를 변경하고, 다시 목표지점으로 이동하는 것을 반복하여 최종적으로 장애물을 회피하여 목표지점에 도달하도록 전산모사함으로써, 최적 경로계획을 설정하게 되는 것이다.

3.2 Virtual workcell 구축

본 연구에서의 대상공정은 사용후핵연료를 안전하고 효율적으로 관리하기 위하여 수행중인 사용후핵연료 차세대관리공정(ACP)으로서, 현재 공정 실증시험을 수행하기 위한 공정/유지보수 및 핫셀 개발을 수행 중이다. 이 공정의 핵심 장치로는 사용후핵연료 분말화장치, 금속전환장치 등이 있고, 원격 취급장비로는 크레인, M/S 매니플레이터, 시보형 고하중 조작기 등이 있다. Fig. 2.는 복잡한 핫셀 내에서의 안전한 작업을 위하여 작업 전에 경로 설정에 의한 운전자의 숙달이 필요한 고하중 조작

기 시스템의 그래픽 모델과 구동특성을 나타내고 있다. 또한, Fig. 3.은 사용후핵연료 차세대관리공정 실증에 필요한 공정장비 및 핫셀을 3차원으로 모델링하여 실제 핫셀 작업환경과 동일하게 구축한 가상 핫셀 작업환경을 보여주고 있다.



Transfer system Manipulator system

Fig. 2. The graphic model of the manipulator.

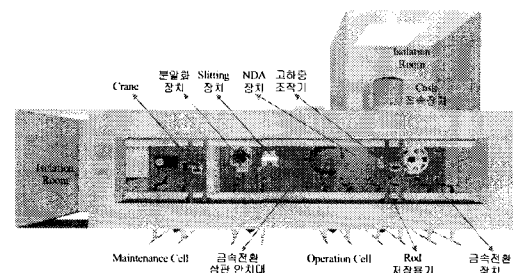


Fig. 3. Virtual workcell of the ACP.

3.2 경로 설정

Fig. 4.는 그래픽 환경에서 구축된 가상 작업환경 (Workcell)에서 공정장치인 사용후핵연료 분말화장치의 유지보수를 위하여, 고하중 조작기로 A 지점에서 B 지점으로 이동하는 경우의 경로 계획 시뮬레이션을 위한 조작기의 초기 자세를 나타낸 것이다.

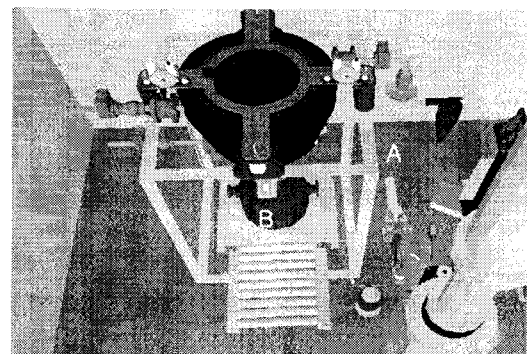


Fig. 4. Initial condition of the graphic simulation.

Fig. 5는 조작기가 공정장치의 유지보수를 위하여 공구를 장착한 상태에서 지점 A에서 이동을 시작한 후 장애물인 장치지지 프레임에 충돌하여 B 지점으로 이동하는 경로 설정을 위하여 그래픽 상의 충돌감지 기능을 이용한 시뮬레이션을 보여주고 있다.

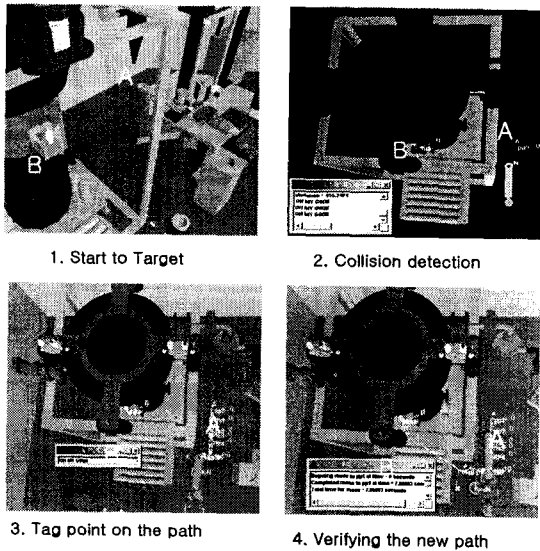


Fig. 5. Graphic simulation for the path planning.

그림에서 보는 바와 같이 초기 위치(1)에서 목표지점을 향해 출발한 조작기는 지지 프레임과 충돌을 하게 되면(2), 충돌을 회피하는 지점을 지정하여 tag point를 부여하여 경로를 정하며(3), 이러한 시뮬레이션을 반복하여 최적의 경로를 설정(4)하게 되는 것이다. 이와 같은 방법으로 그래픽 시뮬레이션에 의해 설정된 고하중 조작기의 장애물 회피 작업경로는 Fig. 6에 나타난 궤적과 같다.

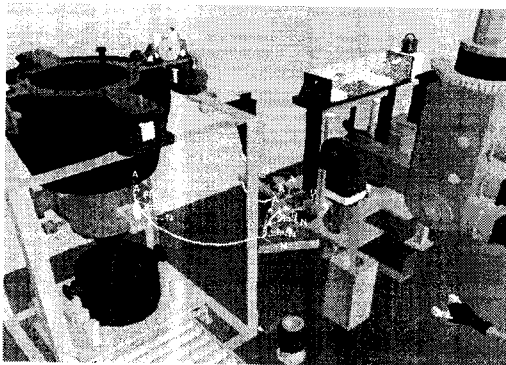


Fig. 6. An obstacle avoidance path and tag points for the manipulator by graphic simulation.

4. 결론

고도의 안전성이 요구되는 고방사성 물질 취급 핫셀에서의 물질운반은 취급장치가 핫셀 내 타 공정장치 및 설비의 충돌을 유발시키지 않도록 작업경로를 설정하여야 한다. 본 연구에서는 현재 연구 중인 다양한 경로계획 알고리즘에 대한 장단점 및 문제점을 분석하고, 그래픽 시뮬레이션상의 충돌감지 기능을 이용하여 복잡한 핫셀 내에서 공정물질 운반 또는 공정장치 유지보수를 수행하는 원격 취급장치인 고하중 조작기의 작업경로를 설정하는 방안을 제시하였다. 이를 위하여, 사용후핵연료의 효율적인 관리를 위하여 수행 중인 차세대관리 실증공정을 대상으로 실제 작업환경과 동일한 가상작업환경을 구축하고, 구축된 가상 작업환경에서 공정장치 유지보수를 위한 조작기의 경로를 설정하였다. 그리고, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증한 결과 고하중 조작기는 설정된 경로에 따라 핫셀내 장애물인 타 설비들과의 충돌없이 목표지점에 위치한 부품으로 접근함을 확인하였다. 본 연구의 결과는 현재 수행 초기단계인 사용후핵연료 차세대관리공정의 물질 취급/운반 공정과 공정장치 유지보수 공정 도출에 활용될 것이며, 추후, 외부 입력장치와의 연계를 통하여 작업자의 효율적인 운전을 위한 훈련시스템으로도 활용이 가능하다.

참고문헌

1. T. Lozano-Perez, "Spatial planning : A configuration Space approach," IEEE Transaction on Computers, Vol. C032, No. 2, Feb. 1983.
2. 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.
3. Y. J. Shin, "Development of Advanced Spent Fuel Management Process", KAERI/RR-21280, 2000.
4. 박병석, "A Study on Remote Handling Technology Using Gantry Robot Manipulator," 한국원자력학회 추계학술발표회논문집, 2000.
5. Deneb, "IGRIP & LLTI User Manual and Tutorials", 1995

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 증강기 연구개발 사업의 일환으로 수행하였습니다.