KR9700351

'97 Workshop on Spent Fuel Management Technology, Nov. 13-14, KAERI, Tajeon, Korea

연료봉 인출장치의 그래픽 전산모사 시스템

윤 지섭, 김 성현

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

ABSTRACT

The spent fuel rod extracting system is being developed in KAERI to deal with problems associated with utilization of storage pools at nuclear power plants. This system consists of an equipment system for extracting rods from spent fuel assemblies, a machine controller, and a supervisory controller. The performance of extracting system has been investigated through a series of experiments. Even though the system is designed to automatically perform sequential procedures, several problems have been found such as the gripper stucking to fuel rod caused by misaligned positioning and the socket jamming of impact wrench into the nut, etc. Up to this end the graphical model of the rod extracting system has been made so that possible sequences of operations including error detection and recovery actions are verified by using a graphic simulation before real operations. For the implementation, IGRIP is being used as a multifunctional tool for developing the rod extraction system. IGRIP is not only an excellent visualization tool, but it also highlights modeling virtual machine.

1. 서론

한국에서는 총 발전량의 40%이상의 전기를 원자력 발전소에서 생산하고 있으며, 이로 인해서 매년 많은 양의 사용후핵연료를 배출하고 있다. 배출된 사용후핵연료는 현재 각 발전소에 임시 보관되고 있으며, 저장공간의 한계 때문에 이를 효율적으로 관리하는 reracking이 추진되고, 밀집저장(rod consolidation) 하는 방안도 고려되고 있다.[1,2,3] 또한, 사용후핵연료의 재활용 및 평화적 이용을 위해서 DUPIC(Direct Use of PWR fuel in CANDU reactor) 프로그램이 추진되고 있다. 밀집저장이나 DUPIC과 같은 공정은 사용후핵연료를 해체하는 기술이 필요하게 되며, 여기에는 연료봉을 인출하는 기술이 수반된다. 이에 대비하기 위하여 본 연구에서는 사용후핵연료봉을 인출하는 장치를 개발 중에 있다.

연료봉 인출장치는 격리된 hot cell 공간 내에서 방사선 준위가 매우 높은 사용후핵연료를 자동으로 인출하여야 하므로 장치의 운전 및 유지.보수 측면에서 장치의 신뢰도가 매우 높아야 한다. 그러나, 모든 자동화 장치는 100%의 신뢰도를 가

질 수 없고 장치의 오작동이 발생될 수 있으므로 이에 대한 적절한 대응책을 마련하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 연료봉 인출장치의 신뢰도 향상을 위하여 현재 산업계에서 각종 자동화 장치의 설계.검증에 사용되고 있는 Virtual prototyping 기술을 인출장치에 적용하였다. Virtual prototyping 기술은 실제 시제품을 제작하지 않고 진보된 컴퓨터 시뮬레이션 기술을 사용하여 새로운 기계의 설계 타당성을 검증하는 공정을 말한다. 즉, 컴퓨터내의 가상환경에서 설계하고자 하는 장치를 3차원 그래픽모델로 표현한 후, 이 모델을 마치 실제공간에서 운전되는 것과 같이 현실감 있게 3차원 그래픽으로 전산모사하며 장치의 동작 경로와 구성 장치간의 간섭현상을 분석함으로써 장치의 설계를 검증할 수 있다. 또한, Virtual prototyping 기술중 실시간 전산모사 기법을 이용하면 실제 장치의 운전중 장치의 오작동을 규명할 수 있다. 즉, 실제 장치(H/W)를 구동시키며 동시에 그래픽컴퓨터에서 모델링된 장치(S/W)를 구동시켜 어느 한 쪽에 오작동 현상이 발견되면 양 쪽 장치의 구동을 동시에 중지시켜 오작동을 극복할 수 있다. 실시간 전산모사 기법은 실제 장치와 그래픽 모델을 동기(synchronous)시켜 구동하는 기술을 개발함으로써 구현시킬 수 있으며 높은 신뢰도를 요구하는 사용후핵연료 취급/해체 공정에 효율적으로 사용될 수 있다.

본 논문은 현재까지 개발된 모의 연료봉 인출장치의 구성 및 제어구조, 또한 장치의 그래픽 전산모사 기술에 대하여 기술하고 장치의 실시간 전산모사 기법의 개발을 위한 인출장치의 오작동 검출 및 복구 방안에 대하여 기술한다.

2. 모의 핵연료봉 인출장치 구성

2.1 핵연료봉 인출장치

핵연료봉 인출장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 핵연료 집합체 고정장치, 모의 핵연료 집합체, 핵연료봉 인출 Head, 충격흡수장치 및 측면이송(Side Transfer) 장치, 인출장치, 제어기로 구성되어 있으며 세부적인 구성과 기능은 다음과 같다.

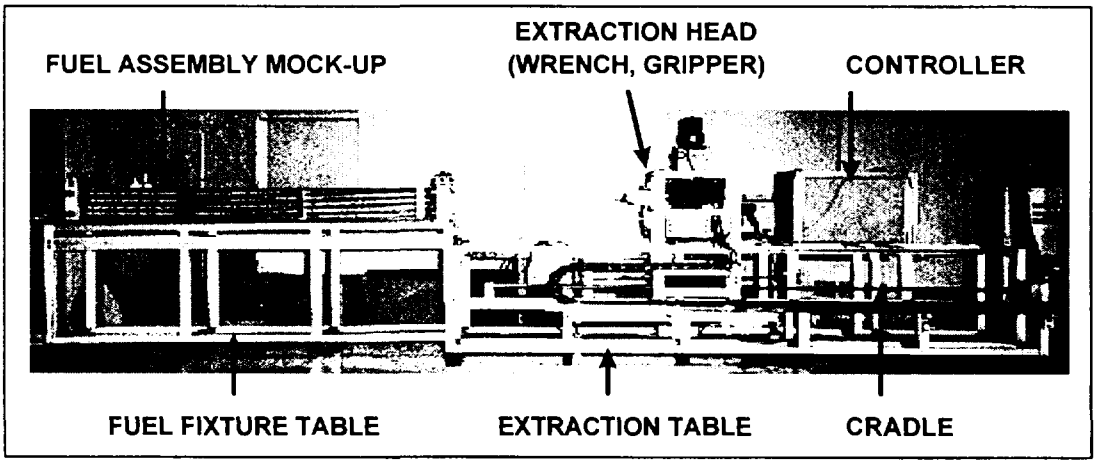


그림 1 모의 핵연료봉 인출장치

핵연료봉 인출 Head는 연료봉(KNFC 17×17 PWR 핵연료[4, 5], 길이 1/2)과 하단 고정판을 체결한 조임 너트를 풀기 위한 임팩트 렌치(Impact Wrench)와 연료봉을 파지 하기 위한 콜렛(Collet)으로 구성된다. 핵연료집합체의 하단 고정판은 안내관(Guide Tube)과 6각 너트로 체결되어 있어, 너트를 풀면 하단 고정판을 제거할 수 있다. 따라서, 그림2에서 보는바와 같이 너트를 풀어내기 위해 6각 소켓(길이 70mm)을 부착한 임팩트 렌치를 제작하였다. 또한 너트를 완전히 풀어내었을 때 너트가 소켓내에 박혀 있지 못하도록 소켓내에 스프링을 설치하였다. 임팩트 렌치 구동에 사용한 교류 전동기는 최대 토크가 0.15 N-m인데, 너트의 체결 토크가 약 4.0 N-m인 점을 고려하여 최대 출력 토크가 4.5 N-m가 되도록 1/30의 감속기어를 사용하였다. 임팩트 렌치의 직선 이송은 임팩트 렌치 밑에 부착한 임팩트 렌치 이송장치에 의해서 이루어지는데 1/9의 감속기어를 가진 교류 전동기를 사용하여 제작하였다. 콜렛은 연료봉의 끝 부분을 파지하는 역할을 하며 홈이

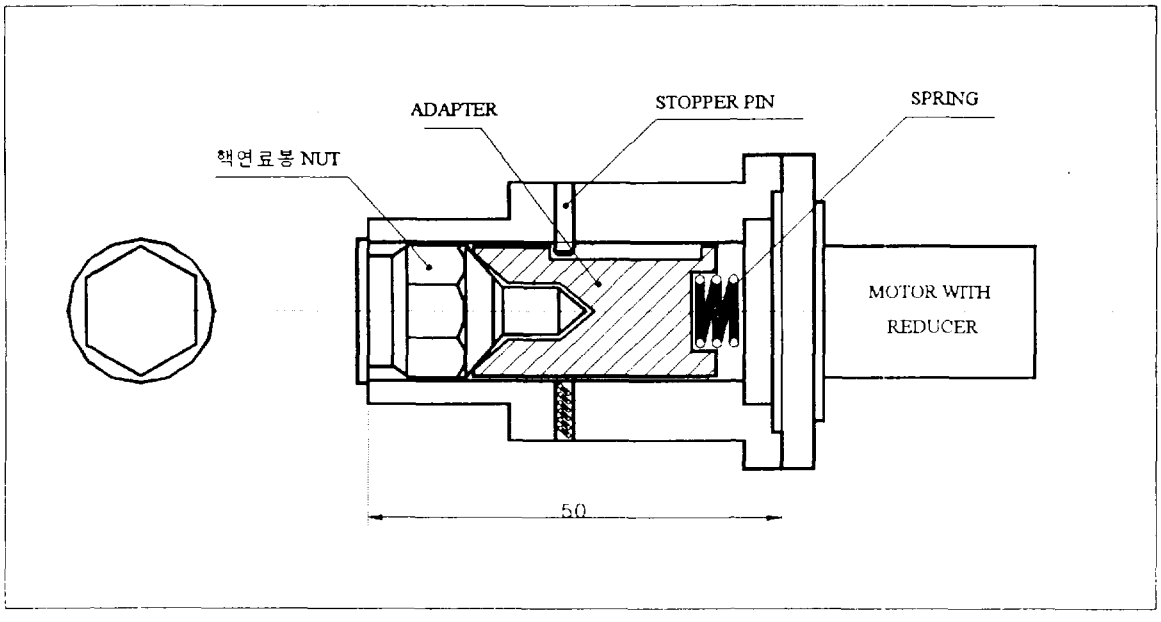


그림 2. 임펙트렌치 모듈

파인 연료봉의 끝 부분을 잡을 수 있도록 원통을 두 조각으로 잘라 제작하였다(길이 130mm). 두 조각의 끝 부분은 스프링으로 결합되어 외관 속에 끼워진다. 초기 상태에서 두 조각은 외관의 밖으로 튀어나와 벌려져 있는 상태가 되며 연료봉을 파지하기 위하여 외관을 두조각의 홈쪽으로 이송하면 두 조각이 닫히도록 설계하였다. 관 이송장치는 1/30의 감속기어를 가진 교류 전동기를 사용하여 제작하였다. 임팩트 렌치와 콜렛 장치의 뒷부분에는 코일스프링(Coil Spring)을 부착하여 임팩트 렌치와 너트, 콜렛과 연료봉사이에 발생하는 접촉력을 완화시키도록 하였다. 인출 Head는 Head 이송장치에 의하여 X(집합체 가로), Y(연료봉 길이), Z(집합체 세로) 방향으로 이송되도록 하였는데, 정밀한 위치제어를 위해서 LM Guide, Ball Screw 및 서보모터로 구성하였다. 충격흡수장치는 인출장치 테이블 속에 위치하며, 인출된 연료봉을 받아 준다. 즉, 연료봉의 인출 동작이 진행되는 동안에는 대기하고 있다가 인출 작업이 완료되기 직전에 연료봉의 높이까지 이동하여 떨어지는 연료봉을 받아줌으로서 충격을 완화시켜주는 기능을 한다. 이때 충

격흡수장치는 인출되는 연료봉의 높이까지 정확하게 위치제어가 이루어져야 한다. 따라서, 충격흡수장치는 정밀성이 뛰어난 Ball Screw, LM Guide 및 AC 서보모터를 사용하여 구성하였다. 측면이송장치는 인출된 연료봉을 한곳으로 모으기 위해 사용된다. 하나의 연료봉이 집합체로부터 완전히 분리된 후 충격흡수장치가 내려가면 연료봉만 인출 테이블 위에 남아 있게 된다. 이 때 측면이송장치가 인출된 연료봉을 옆으로 밀어서 인출 테이블에 부착한 보조선반 속으로 떨어뜨린다. 장치의 구동에는 1/5의 감속기어를 갖는 교류 전동기를 사용하였다. 인출장치는 여러 개의 모터가 사용되고 각각의 모터 제어구조가 서로 다르기 때문에 이들을 제어하는 시스템을 각각의 특성에 맞게 따로 구성하면 제어시스템이 복잡해지고, 연료봉 인출작업의 성능을 크게 떨어뜨린다.

2.2 제어 시스템 및 전산모사 시스템

연료봉 인출장치의 제어시스템은 그림 3에서 보는바와 같이 인출장치의 구동모터 및 센서 신호를 받아들이고 장치의 운전을 제어하는 장치제어 시스템(PC 구동)과 장치의 그래픽 전산모사를 수행하는 전산모사 시스템(Onyx work station 구동)으로 구성된다. 먼저 장치제어시스템은 486 컴퓨터를 사용하여 하나의 통합된 제어시스템으로 구축하였다. 이를 위하여 4 개의 서보 모터 혹은 스텝 모터를 제어할 수 있는 MEI (Motion Engineering Incorporation) 다축제어기를 사용하였다. MEI 다축제어기는 모터 제어기능 외에도 A/D 및 디지털 I/O 기능도 가지고 있으며 AC/DC 서보 모터 및 스텝 모터를 제어하는 위치제어 서보 회로를 구성할 수 있다. 본 장치에 사용한 4개의 서보모터중 3개는 MEI 제어기를 통해서 위치제어 회로를 구성하였으며, 인출 Head 장치의 상하 구동에 사용한 DC 서보모터는 RS-232c 통신에 의해서 제어하도록 하였다. 일반 교류모터는 파워 릴레이 보드를 제작하여 다축제어기의 I/O 포트로 제어하였으며, 각 구동장치의 초기화 및 이송위치를 제한시키는데 사용하는 리미트 스위치의 신호도 MEI의 I/O 기능을 통해서 받아들이도록 하였다.

모의 핵연료봉 인출장치의 전사모사를 수행하기 위한 전산모사 시스템의 구성은 컴퓨터 시뮬레이션을 모니터 상에서 수행할 전산모사용 워크스테이션과 이를 수행하는 소프트웨어로 구성된다. 본 연구에 사용한 워크스테이션은 주메모리 128MB, Reality Engine^2 Graphics System을 장착한 실리콘 그래픽스사의 Onyx를 사용하였는 데, Reality Engine은 그래픽을 실시간으로 생성하고 가려진 면을 실시간으로 제거하는 기능을 갖고 있다. 실행 OS로는 2차원 및 3차원 그래픽 영상 처리에 널리 사용되고 있는 IRIX OS(Operation System)를 사용하였으며, 전산모사용 소프트웨어로는 그래픽 시뮬레이션 및 제어시스템용으로 사용되는 Deneb Robotics사의 IGRIP(Interactive Graphical Robot Instruction Program)[4-5]을 사용하였다. IGRIP은 그래픽 환경에서 각 부품들이 상호 순차관계를 갖도록 하며 Kinematics와 Dynamics의 기능을 갖고 있으며 그래픽 시뮬레이션을 위해 GSL(Graphic Simulation Language)을 제공하고 있다.

가상 환경에서 실제 환경과 똑같은 제어시스템을 구성하기 위한 제어구조는 그림 3에서 보는 바와 같이 실제 환경에서 각각의 인출기구들은 장치제어용 컴퓨터에 의해서 운전되며, 장치제어용 컴퓨터는 주 컴퓨터(workstation Onyx)의 지령을 받는다. 주 컴퓨터는 인출장치의 운전모습을 가상환경(그래픽 컴퓨터)에서 실

시간으로 재현함으로써 장치와 멀리 떨어져 있는 작업자가 이를 감시할 수 있는 기능을 제공한다. 또한, 주 컴퓨터는 인출장치의 구동상황을 감지하는 센서로부터 공정의 상황을 전달받아 장치의 오동작을 자동적으로 점검한다. 이때 주컴퓨터에 각종 오작동모드로부터의 극복방안에 대한 데이터베이스를 미리 입력시켜주면 장치의 오동작에 의한 심각한 손상을 방지할 수 있다. 이에 대한 자세한 설명을 4장에 기술하였다.

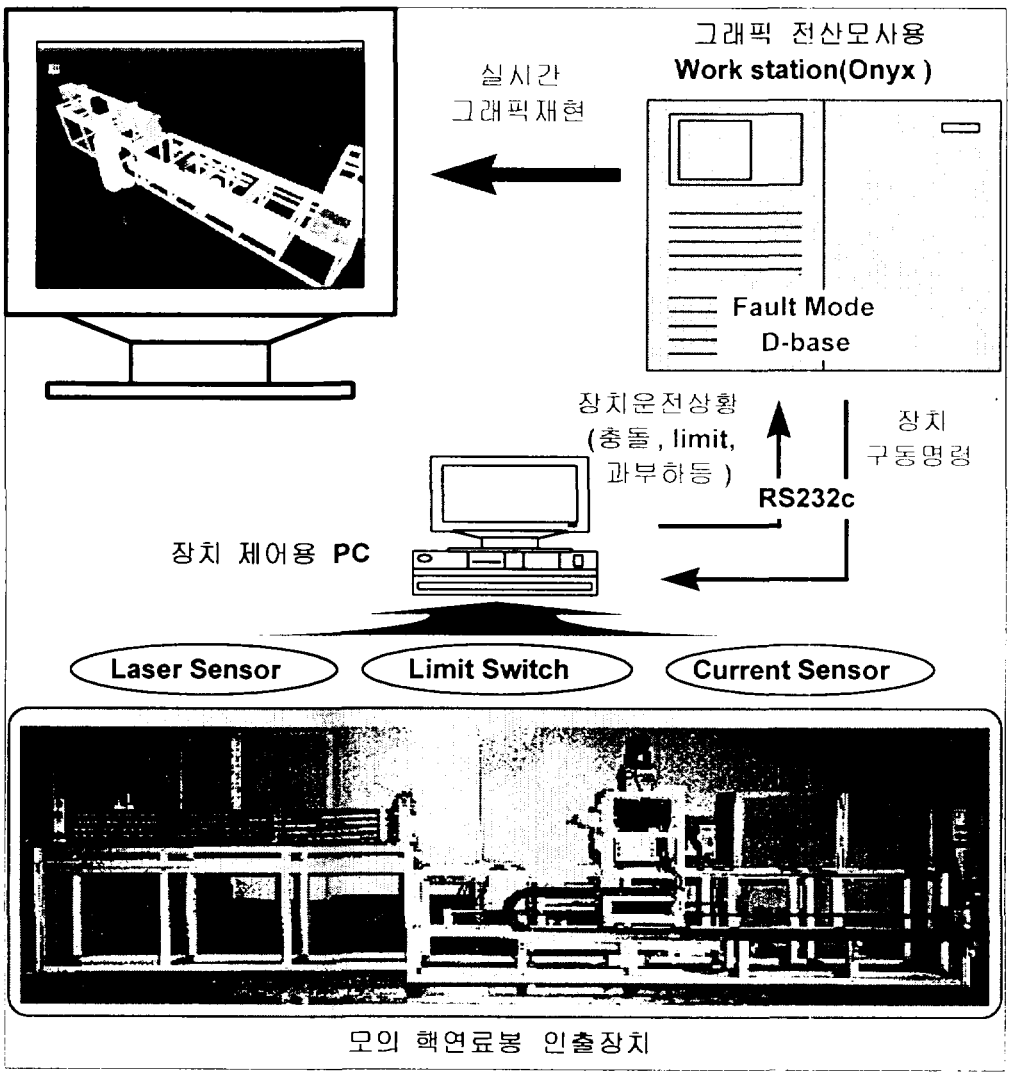
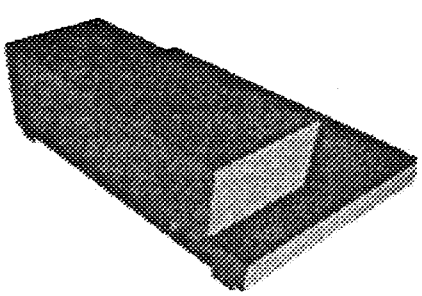


그림 3. 제어시스템 구조

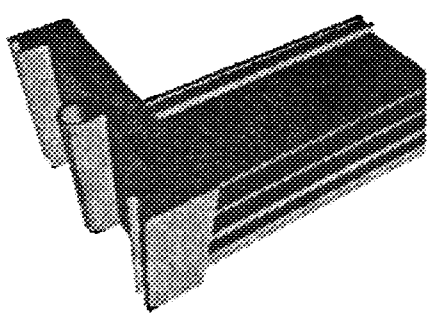
3. 인출 공정순서 및 전산모사

연료봉 인출공정은 하단 고정판 제거, 연료봉 인출 및 연료봉 측면이송의 순서로 진행되는데, 풀린 너트 및 분리된 하단 고정판을 제거하는 것을 제외하고는 컴퓨터 프로그램의 지령 명령에 의해 자동으로 수행되도록 프로그램 하였다. 프로그램의 실행은 486 CPU를 장착한 산업용 컴퓨터에서 수행하였으며, 프로그램 언어로는 Borland C 4.0을 사용하였다. 연료봉 인출실험 과정을 자세하게 설명하면 다

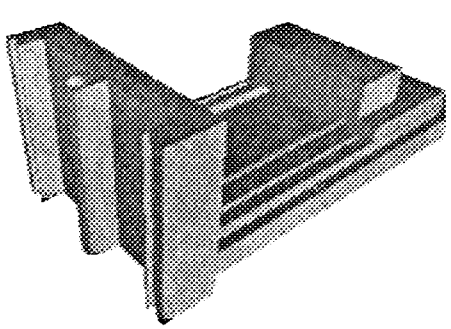
음과 같다. 첫째, 제어 시스템을 power ON 한 후 연료봉 인출 프로그램을 실행시켜 구동장치를 초기화시킨다. 이때 임팩트 렌치의 선단은 소켓 선단보다 앞에 있게 된다(60mm). 두 번째, 모의 연료를 집합체 고정장치에 올려놓고 고정시키다. 세 번째, 인출 Head를 하단 고정판 20mm 전방까지 전진시킨다. 다음에는 임팩트 렌치의 선단 중심이 하단 고정판 좌측아래 모서리와 일직선이 되도록 한다. 이때부터 하단 고정판에 체결된 너트의 배열 정보와 너트의 깊이(50mm) 정보를 이용하여 인출 Head를 X, Y, Z 방향으로 구동시키면서 모든 너트를 제거한다. 네 번째, 하단 고정판을 제거한다. 다섯 번째, 임팩트 렌치를 후진시킨다. 여섯 번째, 연료봉의 배열 정보를 이용하여 인출 Head를 X, Y, Z 방향으로 구동시킨다. 콜렛을 이용하여 하나의 연료봉을 파지한 후 인출 Head를 뒤로 후진시켜 연료봉을 인출한다. 일곱 번째, 충격흡수장치를 연료봉 10mm 아래까지 상승시킨다. 다시 연료봉이 집합체로부터 완전히 분리되도록 인출 Head를 뒤로 구동시킨 후 연료봉을 파지하고 있던 콜렛을 열어 충격흡수장치에 떨어뜨린다. 여덟 번째, 충격흡수장치를 하강시킨다. 아홉 번째, 측면이송장치를 구동시켜 테이블 위에 올려진 하나의 연료봉을 측면 홈통으로 밀어 넣고 원위치로 되돌아간다. 이상의 과정이 완료되면 다시 세 번째 과정부터 되풀이하며 전체 연료봉이 홈통으로 옮겨지게 되면 연료봉 인출작업을 끝마친다.



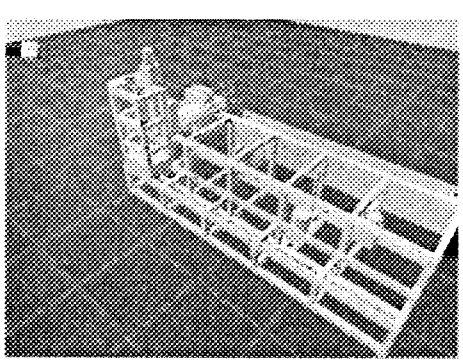
(a) X축 슬라이드



(b) Z축 슬라이드



(c) Z, X축 슬라이드



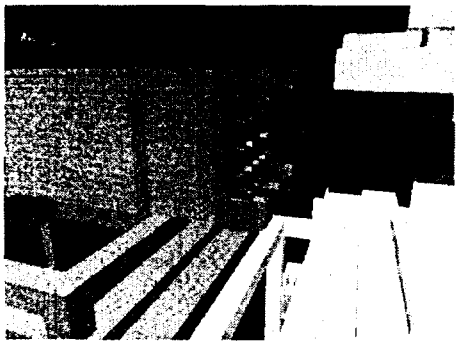
(d) 핵연료봉 인출장치

그림 4. 핵연료봉 인출 head 구동기구의 그래픽 모델

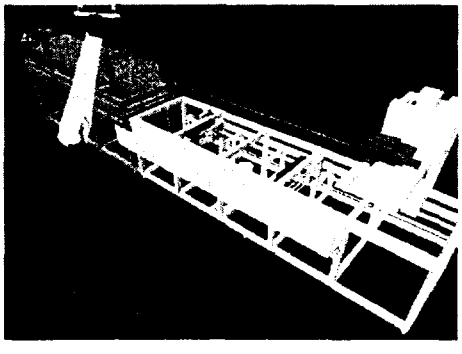
이상과 같은 인출 공정을 전산모사하기 위해서는 장치의 각 부분품을 설계도면에 따라 실제크기로 컴퓨터 상에서 모델링하고 그 부분품을 컴퓨터 상에서 조립

하여 전체 장치의 모델을 구성하여야 한다. 이와 같은 일련의 작업은 IGRIP 소프트웨어를 사용하여 이루어지며 그림 4에 연료봉 인출헤드의 X축 및 Z축 구동기구의 모델을 완성시키는 예를 도시하였다. 먼저 그림 4-(a) 및 4-(b)와 같이 X축 및 Z축 구동기구를 개념적으로 설계하여 이의 그래픽 모델을 작성한다. 다음 그림 4-(c)와 같이 X축 구동기구와 Z축 구동기구를 조립하여 X축 구동기구가 원하는 거리만큼 이송될 수 있는 지 또는 Z축 구동기구와의 간접 현상은 없는 지 등을 검사하여 만약 설계 상에 이상이 있으면 각 부분품의 모델을 변경한다. 변경한 모델을 다시 조립하고 각 부분품이 원하는 대로 구동될 때까지 위와 같은 과정을 반복한다. 이상과 같은 절차를 통하여 각 부분품의 모델을 완성하여 전체 부분품을 조립한 연료봉 인출장치는 그림 4-(d)에서 보는 바와 같다.

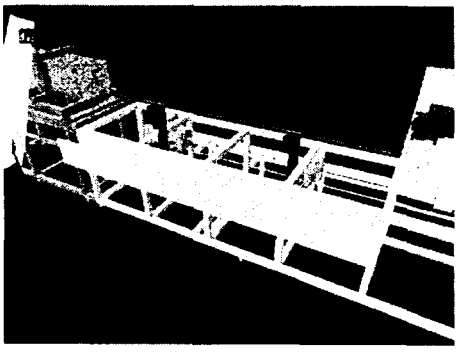
일단, 장치의 그래픽 모델이 완성되면 전체적인 장치의 원활한 구동여부를 그래픽 전산모사 과정을 통하여 검증한다. 인출공정의 그래픽 전산모사 과정은 그림 5에서 보는 바와 같이 실제 장치의 구동 순서대로 사용후핵연료 집합체의 하단 고정판 제거, 연료봉 파지와 안착 및 연료봉 수집 순으로 진행된다. 전산모사를 수행하며 몇 개의 부분품으로 조합된 모듈간의 간섭 및 충돌 현상을 분석하고 전체적인 인출 공정이 원활하게 이루어지는 지를 검사하는 데 이 과정에서 일부 모듈간의 간섭 현상이 발견되어 이를 수정하기 위하여 각 모듈의 부분품을 다시 모델링하였다. 또한, 기계장치 구조의 변경만으로는 해결할 수 없는 일부 간섭현상(연료봉과 그리퍼의 충돌 등)은 적당한 센서(연료봉과 그리퍼의 alignment를 측정하는 레이저 거리측정 센서 등)를 채택하여 능동적으로 문제를 해결하고자 하였다



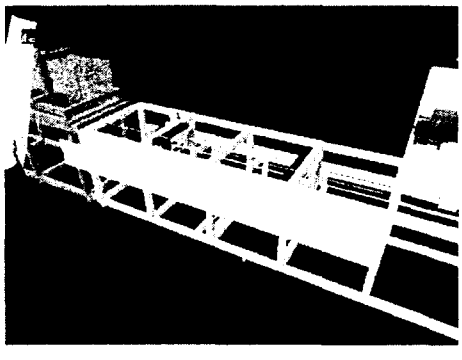
(a) Top Nozzle Bolt 분해



(b) 핵연료봉 인출



(c) 핵연료봉 안착



(d) 핵연료봉 측면이송

그림 5. 핵연료봉 인출 및 이송공정의 그래픽 전산모사

4. 오작동 검출 및 복구

인출장치의 신뢰도를 향상시키기 위하여 인출장치의 운전도중 장치의 오작동 현상을 규명하고 이를 복구할 수 있는 실시간 전산모사 기법을 개발하였다. 실시간 전산모사 기법을 구현하기 위해서는 실제 장치를 제어하는 장치제어기와 그래픽 전산모사를 수행하는 전산모사 제어기를 연결하여 이들간의 모든 정보가 서로 통신될 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 그림 3에서 보는 바와 같이 두 제어기를 RS232c 통신 구조로 연결하였으며 전체 제어의 순서는 다음과 같다. 주컴퓨터(전산 모사용 컴퓨터)는 공정의 매 단계마다 장치 제어용 컴퓨터에 인출장치의 구동 명령을 지령하고 또한 장치 제어기로부터 단계의 운전 완료신호를 전달받아 다음 명령을 지령한다. 또한, 전산모사용 컴퓨터는 인출장치가 구동되고 있는 동안에 실제 장치와 같은 속도로 그래픽 화면에 장치의 구동 모습을 도시하며 실제 장치에 설치되어 장치의 오작동을 감시하는 각종 센서의 출력 신호도 받아들인다. 그래픽 전산모사 도중 전산모사 컴퓨터에 미리 입력되어 있는 오작동 모드 데이터 베이스에 해당하는 오작동 모드가 검출되거나 센서로부터 오작동 신호를 입력받으면 전산모사용 컴퓨터는 오작동이 검출된 장치의 운전을 즉시 정지하도록 장치제어용 컴퓨터에 알려준다. 이후, 주어진 데이터 베이스를 근거로 오작동 모드를 진단하고 적절한 복구명령을 장치제어기에 지시한다. 전산모사용 컴퓨터에 입력된 오작동 모드 데이터 베이스에는 표 1에서 보는 바와 같이 시스템운전에서 발생될 수 있는 대부분의 문제에 대한 해결방안을 포함하고 있다. 표 1은 인출장치에서 발생할 수 있는 대표적인 오작동 현상 및 이의 해결 방안을 나타내고 있으며 각 오작동 현상을 측정하는 방법도 기술하였다.[6] 이와 같은 오작동 모드 및 복구 방법을 전산모사 컴퓨터에 구현시키기 위한 구조는 그림 6에서 보는 바와 같다. 그림 6에서 삼각형으로 표시된 부분은 발생된 오작동 현상을 나타내며 평행사변형은 오작동에 대응하는 복구 행위를 나타낸다. 이와 같이 실시간 전산모사 기법은 장치의 오작동 모드 데이터 베이스를 적용함으로써 인출장치의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 장치의 구동 모습을 실시간으로 도시하여 인출장치와 멀리 떨어져 있는 장치 운전자에게 장치의 구동 상황을 감시할 수 있게 함으로써 보다 높은 신뢰도를 제공할 수 있다.

5. 결 언

모의연료 집합체로부터 연료봉을 한 개씩 자동으로 인출할 수 있는 연료봉 인출장치의 신뢰도 향상을 위하여 Virtual prototyping 기술을 인출장치에 적용하는 방안에 대하여 기술하였다. 먼저 인출장치의 설계 타당성을 검증하기 위하여 IGRIP을 이용하여 인출장치의 각 부분품을 그래픽 모델링하여 이들을 조립하여 조립된 모듈의 구동이 원활한 지를 전산모사를 통하여 검증하였다. 전산모사 도중 발견된 각 부분품의 설계상의 오류를 수정하여 각 부분품을 재조립함으로써 인출장치 전체에 대한 그래픽 모델을 완성하였다. 또한, 인출장치의 신뢰도 향상을 위하여 인출장치의 오작동 모드 검출 및 복구 방안을 수립하였으며 이를 실시간 전산모사 기법에 적용하는 방법을 개발하였다. 이와 같은 그래픽 모델링 및 실시간 전산모사 기법은 고도의 신뢰도를 요구하는 사용후핵연료 취급 또는 해체 장비 설계 및 운전에 효율적으로 활용될 수 있으며 본 연구에서는 그래픽 모델링 및

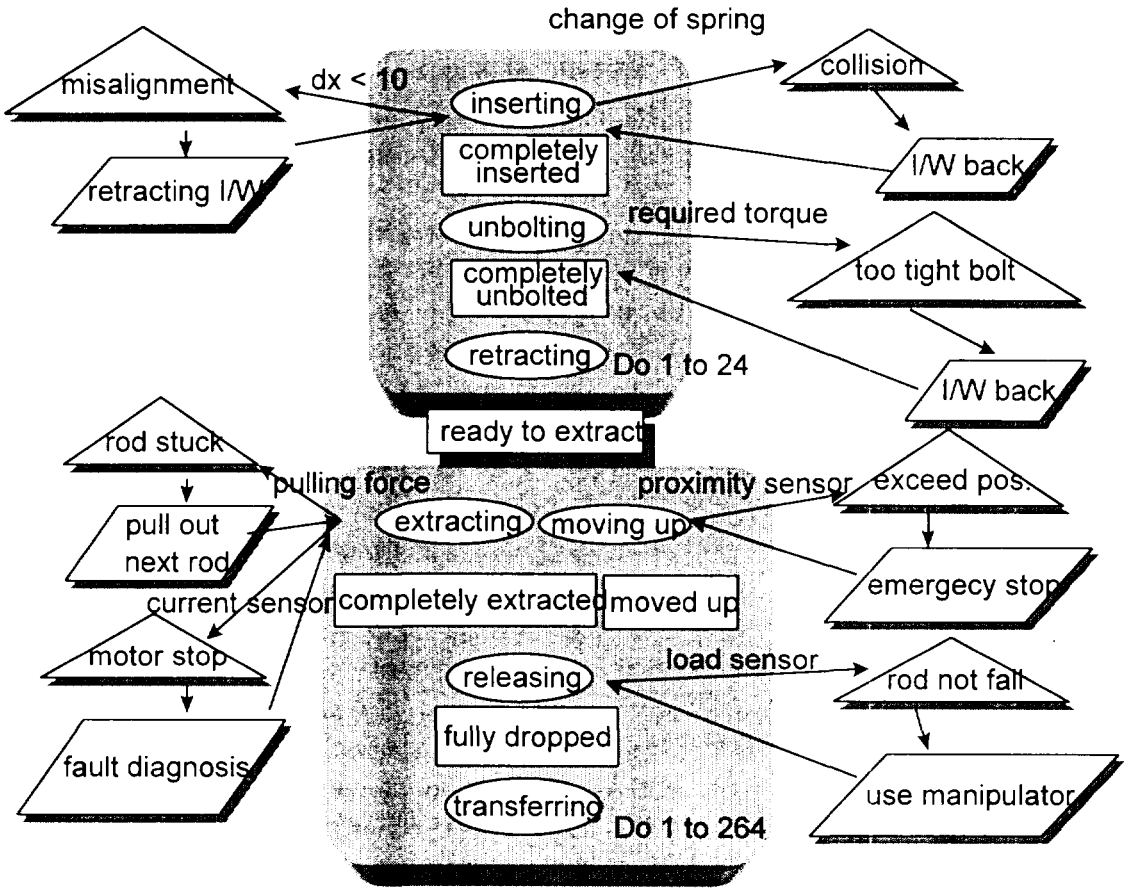


그림 6. 에러 검출 및 복구 제어구조

실시간 전산모사 기술을 연료봉 인출장치에 적용하는 연구의 기초 단계를 완료하였으며 향후 이와 같은 기술을 각종 사용후핵연료의 취급 및 해체 장비에 적용할 계획이다.

6. 참고문헌

[1] Haliburton NUS CO., Fuel Rod Consolidation Project, Phase II Final Report, Vol.1 (1987)

[2] Krishna Vinjamuri, et. al., Dry Rod Consolidation Technology Project at the Idaho National Engineering Laboratory, Submitted to US DOE (1988)

[3] 노 성기 외, "사용후핵연료 저장기술 개발", 한국원자력연구소보고서 (KAERI-NEMAC/RR-157/95) (1995)

[4] 이 재설 외, "사용후핵연료 원격취급기술 개발", 한국원자력연구소 보고서(KAERI/RR-60/92) (1992)

[5] 이 재설 외, "사용후핵연료 기술개발 시설 건설", 한국원자력연구소 보고서(KAERI-NEMAC/PR-28/93) (1993)

[6] 박 병석 외,"Development of a spent fuel extracting system using real time computer graphics", ISMT '97 Symposium (1997)

표 1. 연료봉 인출장치 오작동 모드 분석

	비정상 사고	증 상	측정/검사 방법	복구 순서
Top nozzle 볼트 제거	· 임팩트렌치 소켓의 볼트 삽입 불가 (misalignment)	· 볼트와 소켓 충돌 (임팩트 렌치 손상)	· 카메라 이용 영상처리 · 임팩트렌치에 설치된 adaptor spring의 길이 변화측정	· 임팩트렌치 전진 중지(limit S/W 작동) · 임팩트렌치 후진 · 소켓 중심위치 재조정 · 임팩트렌치 전진
	· 소켓의 볼트 삽입 불완전(insertion error)	· 볼트 분해 불가 (볼트 헤드 손상)	· 임팩트렌치 전진 위치검사(limit switch) · 임팩트렌치에 설치된 adaptor spring의 길이 변화측정	· limit switch 신호발생시까지 임팩트렌치 전진
	· 소켓이 볼트 완전 삽입 후 나 전진 (insertion error)	· 볼트와 소켓 충돌 (임팩트렌치 손상)	· 임팩트렌치 전진 위치검사(limit switch) · 임팩트렌치에 설치된 adaptor spring의 길이 변화측정	· 비상정지 · 임팩트렌치 후진 · limit switch reset · 임팩트렌치 전진
연료봉 파 지	· 비정상연료봉(휘어지거나 봉단이 파손된 연료봉)의 파지불가 (misalignment)	· 그리퍼와 연료봉 충돌(연료봉 손상)	· 카메라 이용 영상처리 · 그리퍼 헤드에 설치된 adaptor spring의 길이 변화 측정	· 그리퍼 전진 중지 · 그리퍼 후진 · 그리퍼 중심위치 재조정 · 그리퍼 전진
	· 연료봉에 그리퍼가 완전삽입되지 않음 (insertion error)	· 연료봉 파지불가	· 그리퍼 전진위치 검사 (limit switch) · adaptor spring 길이 변화 측정	· limit switch 신호발생시까지 그리퍼 전진
	· 연료봉의 완전삽입 위치보다 그리퍼가 니 전진 (insertion error)	· 연료봉과 그리퍼 충돌(연료봉 손상)	· 그리퍼 전진위치 검사 (limit switch) · adaptor spring 길이 변화 측정	· 비상정지 · 그리퍼 후진 · limit switch reset · 그리퍼 전진
	· 연료봉 파지 불가 (비정상 연료봉, swelled rod)	· 그리퍼 급속전진 (연료봉 손상)	· adaptor spring 길이 변화 측정	· 비상정지 · 그리퍼 후진 · 연료봉 인출상치 주전원 차단 · 매니퓰레이터를 이용하여 연료봉 인출
	· 연료봉파지 형조과	· 그리퍼모터 과전류발생(모타고장) · 연료봉파손(collapse)	· 구동모터 전류측정 (current sensor)	· 그리퍼 open · 최초 파지시보다 작은 변위로 그리퍼 close
	· 연료봉 파지상태에서 그리퍼 open 불가	· 그리퍼구동모터 정지	· 구동모터 전류측정 (current sensor) · 모타 relay 점검	· 모타 재 시동 · 또는 매니퓰레이터로 그리퍼장치 reset
연료봉 인 출	· 연료봉 인출도중 인출힘이 70kg을 초과 (rod stuck)	· 인출모타 과부하	· load cell 또는 전류 센서로 인출력 측정	· 연료봉의 끝부분이 집합체의 첫 번째 그리드를 통과하지 않은 경우 - 그리퍼를 전진시켜 연료봉을 다시 삽입 - 나머지 다른 연료봉을 모두 인출한 후 매니퓰레이터로 집합체 분해 · 첫 번째 그리드를 통과한 경우 - 그리퍼를 열고 후진 - 접근가능한 연료봉만 인출 - 매니퓰레이터로 집합체 분해
	· 연료봉 인출도중 손상부위 발견 또는 과도한 인출력에 의한 연료봉 손상 (damaged fuel)	· cell 오염	· 카메라 육안 관측 · 방사선 측정기	· 그리퍼 open · 연료봉을 다시 밀어 넣음 · 연료 팰릿이 보일 경우 진공흡입기로 청소 · 다음 연료봉 인출
	· 인출된 연료봉이 연료봉 이송장치로 떨어지지 않음(not fallen rod)	· 다음 인출작업 불가 · craddle과 연료봉 충돌 가능	· 카메라 육안관측 · 힘측정 센서	· 그리퍼를 흔들어 떨어뜨림 · 불가시 매니퓰레이터로 연료봉 이송
연료봉 받 침	· 연료봉 받침장치 (craddle)가 5cm이상 상승 (craddle over position)	· craddle과 연료봉 충돌 가능	· limit S/W · 근접센서	· craddle 비상정지 · 센서 점검 · craddle 하강 · craddle 재상승
연료봉 측면 이송	· 구부러진 연료봉 때문에 연료봉이 측면으로 이송되지 않음 (rolling error)	· 연료봉 파손 가능	· 전류센서	· 측면이송장치 비상정지 · 센서점검 · 측면이송장치 상승 · 매니퓰레이터로 연료봉 이송