

그래픽 전산모사를 이용한 차세대관리공정 원격운반취급 분석

Analysis of Transportation and Handling System of Advanced Spent Fuel Management Process Using Graphic Simulator

홍동희, 윤지섭, 김성현, 송태길, 진재현
한국원자력연구소

요 약

본 연구에서는 공정운전에 필요한 물질 및 운전중 고장에 의한 유지보수를 위한 부품 등을 운반하고 취급 할 경우에 발생 할 수 있는 여러 문제점을 사전에 그래픽 시뮬레이터를 이용하여 검토하고, 공정운전의 핵심물질인 사용후핵연료 분말을 핫셀에 비산 시키지 않고 안전하게 운반 취급하는 방안과 취급에 필요한 장치를 도출하였다. 공정장치 및 유지보수 장비의 사전 검증은 일반적으로 실제 규모의 Mockup을 이용하지만 비용 및 시간적인 측면에서 제약을 받는 본 과제에서는 그래픽 시뮬레이션 기술을 활용하였다. 본 연구를 통하여 분석된 결과는 핫셀에 설치되는 실증 장치의 설계에 반영하여 실증시험을 수행하면서 검증 할 예정이다.

Abstract

The graphic simulator has been used to analyze the problems that can occur during transporting and handling radioactive materials, and to derive necessary devices that can transport and handle spent fuel powder without scattering in a hot cell. The graphic simulator has advantages over the real scale physical mockup with respect to cost and schedule. The process equipment and maintenance devices can be verified in advance with less cost and reduced schedule. The derived results are being reflected in the design of equipment for demonstration and are being verified during demonstration.

1. 서 론

본 과제에서는 사용후핵연료의 효율적이고 안전한 관리를 위한 차세대관리공정 실증시험을 조사재시험시설(IMEF) 예비 핫셀에서 수행 할 예정이다. 실증시험을 수행 하고자하는 예비 핫셀은 공간이 협소하여 공정에 필요한 장치들을 모두 설치 할 경우 핫셀이 대단히 복잡해지며, 공정운전에 필요한 물질을 이송하고 취급 할 경우와 운전중 장치의 고장으로 인하여 유지보수를 위한 부품 등을 이송 할 경우에 각 공정장치 및 주변에 설치된 설치물과의 간섭으로 이송에 많은 어려움이 예상된다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 사전에 그래픽 시뮬레이터를 이용하여 각 공정별로

운반 및 취급 방안을 검토하고 분석하였으며, 공정운전의 핵심물질인 사용후핵연료 분말을 핫셀에 비산 시키지 않고 안전하게 운반/취급하는 방안과 운반/취급에 필요한 장비를 도출하였다. 공정장치 및 유지보수 장비의 사전 검증은 일반적으로 실제 규모의 Mockup을 이용하지만, 과제 수행을 위한 예산이 제한되어 있고 제한된 기간 내에 실증시험을 수행 하여야 하는 본 과제에서는 그래픽 시뮬레이션 기술을 활용하였다.

2. 공정및운반취급물질

2.1 차세대관리 공정 및 핵물질의 이송

차세대관리공정의 수행에 필요한 물질 이송 현황을 작업 특성별로 살펴보면 공정 운전을 위한 물질의 이송, 공정 운전 중 발생한 경미한 고장으로 인하여 공정장치의 유지보수를 위한 이송으로 분류 할 수 있으나, 본 연구에서는 정상적인 공정 운전을 위한 물질 이송에 대하여 기술하였으며 이송 과정은 다음과 같다.

조사후시험시설에서 사용후핵연료 집합체에서 핵연료봉을 인출하여 25 Cm 크기로 절단한 후에 연료봉을 Padirac 캐스크에 담아 조사재시험시설로 운반한다. Padirac 캐스크가 조사재시험시설 예비셀의 리어도어에 접속되면 캐스크 접속부와 연결된 핫셀의 내부 도어를 매니플레이트를 이용하여 개방하고, 절단 연료봉들이 포함된 캡슐과 Rod-cut을 하역하여 Slitting장치로 이송한다. Slitting장치에서는 사용후핵연료를 탈피복((펠릿과 Clad로 분리)하며, 이때 사용후핵연료 펠릿의 수집을 위하여 수집용기를 분말화 장치에 장착하고 분말을 수집하며, 핵물질의 핫셀내의 비산 방지를 위하여 수집용기의 뚜껑을 닫는다. Slitting장치에서 Slitting이 완료되면 펠릿 수집용기를 장치로부터 분리하여 분말화 장치로 이송한다. 이송한 사용후핵연료 펠릿을 분말화 장치에 투입하기 위하여 분말화장치의 뚜껑을 개방한 후에, 펠릿 수집용기의 뚜껑을 열어 분말화장치에 사용후핵연료 펠릿을 주입한다. 분말화장치 에서는 사용후핵연료의 펠릿을 U_3O_8 으로 전환하며, 전환된 사용후핵연료 산화분말은 분말용기로 수집하고 분말용기를 금속전환장치로 이송하여 분말을 장치에 주입한다. 금속전환장치에서는 U_3O_8 분말에서 U 금속으로 전환하고 금속용융장치에서 Ingot 화하여 냉각한 후에 핵물질관리 절차에 따라 관리한다.

2.2 운반/취급 대상물질

공정에 필요한 운반/취급 대상물질 및 대상물질을 취급하는 장비는 Table 1 과 같으며, Table 에서 보는바와 같이 공정운전 전후의 대부분 운반 물질은 M/S Manipulator 나 크레인을 이용하여 이송이 가능하나 M/S Manipulator의 취급 용량(9 Kg)을 초과하는 사용후핵연료 산화분말 (U_3O_8)은 분말의 비산 방지를 위하여 별도의 분말 이송 용기가 필요하다. 크레인을 이용하여 분말 용기를 이송할 경우에는 이송 중에 크레인 로프의 흔들림이 발생 하므로 흔들림을 방지할 수 있는 대책이 필요하다. 또한 폐 용융염 및 Ingot는 크레인, M/S Manipulator 및 천정 이동형 조작기 등을 활용하면 별도의 이송장치 없이 이송이 가능하다

Table 1. 공정별 운반물질 및 취급장비

공정	운반/취급업무	취급용량	취급장비
Capsule 및 Rod cut 인출	Capsule Unloading	Capsule 1개	MSM, CR
	Capsule 계량	Capsule 1개	MSM, CR
	Capsule 이송 및 저장	Capsule 1개	MSM, CR
	Rod cut 인출 및 이송	Rod cut	MSM
	Empty Capsule 반출	Capsule 1개	MSM
탈피복(Slitting) 장치	Slitting 장치 주입	Rod cut	MSM
	Pellet 회수	5 kg	MSM
	Pellet 및 Hull 계량	5 kg	MSM
	S/F연료봉 Hull 이송	수집용기	MSM, CR
건식분말화/혼합장치	U ₃ O ₈ 분말 수집 및 계량	30 kg (용기포함)	고하중조작기, 크레인
	U ₃ O ₈ 분말용기 이송	“	“
금속전환장치	U ₃ O ₈ 전환로 주입	“	“
	폐용융염 및 수집용기	수집용기	MSM, CR
금속 용융로	U 분말 용융로 주입	20 kgHM	TM
	Ingot 계량 및 이송	20 kgHM	TM

※ MSM : Master slave

TM : Telescopic manipulator, CR : Crane

3. 차세대관리공정의시물레이션

3.1 주요장치 및 유지보수 장비의 그래픽 모델

공정 수행을 위한 주요 공정장치는 Table 2에서 보는 바와 같이 탈피복장치, 건식분말화장치, 금속전환장치 및 용융로(Smelter) 등이 있다. 또한 물질의 이송과 유지보수 작업을 위한 원격 취급 장비로는 크레인, 기계식 마스터-슬레이브(M/S) 조작기 및 고하중 조작기 등이 있다. Fig 1. (b)의 고하중 조작기는 협소한 핫셀 내에서 M/S 조작기로 작업할 수 없는 영역을 대상으로 원격 작업을 수행하기 위해 특별히 고안한 소형의 고하중 조작기이다. 핵물질 안전조치를 위한 Safeguard 장비 등 기타의 장치는 공정 분석에 크게 영향을 미치지 않으므로 본 과제의 시물레이터 구성에서는 제외하였다. 이러한 공정장치 및 원격취급 장비의 모델링에 있어서 구동부는 운동 특성(kinematics)을 부여할 부분을 고려하여야 하고, 볼트 및 저장용기 등 분리하여야 할 부분은 별도의 모델로 구성하여 조립하여야 한다.

Table 2. 사용후핵연료 차세대관리공정 주요장치

구분	장치명	기능
공정장치	탈피복 장치	절단 연료봉의 pellet 과 hull 분리
	건식 분말화/혼합장치	사용후핵연료 펠렛의 산화에 의한 분말화
	금속전환장치	U ₃ O ₈ 분말로부터 U-metal 추출
	Smelter	U-metal을 용융시켜 ingot 생성
원격취급/유지보수 장비	M/S 매니플레이터	소용량 공정물질 운반/유지보수
	고하중 조작기	공정물질 운반 및 사각지역 내부 부품의 유지보수
	In-cell crane	대용량 공정물질 및 유지보수 부품 운반

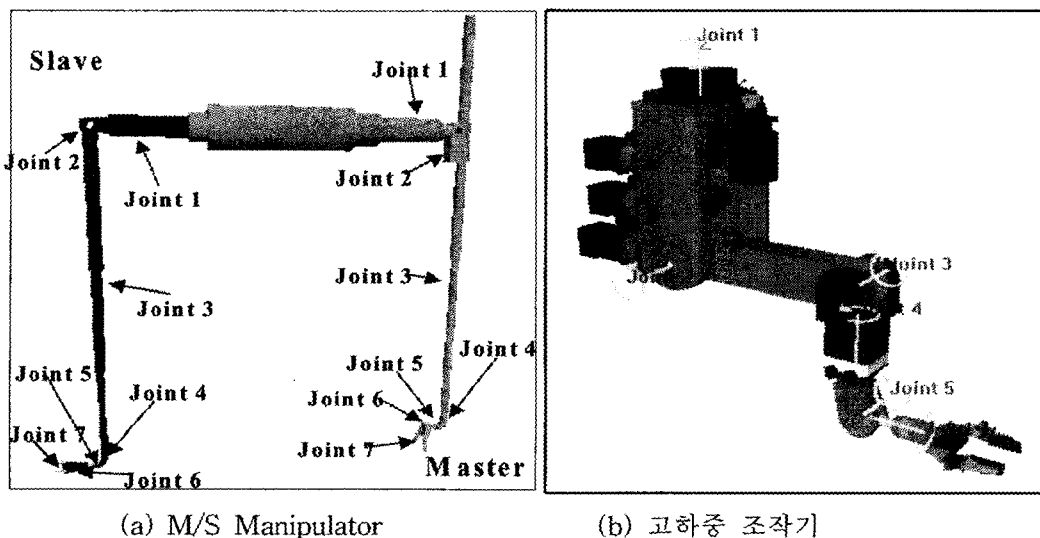


Fig. 1 3D Graphic Model of Remote Handling Device.

3.2 차세대관리공정의 3차원 그래픽 시뮬레이션

그래픽 시뮬레이터를 구축하기 위해서는 먼저 대상들에 대한 3차원 그래픽 모델링을 하여야 한다. 그리고 시뮬레이션의 대상이 되는 디바이스를 구축하여 구동특성에 맞게 운동특성(kinematics)을 설정한 후 가상의 작업공간인 workcell을 구축하게 된다. workcell이 구축되면 시뮬레이션을 위한 프로그램을 작성하거나 사용자 인터페이스를 구축하여 시뮬레이터를 구축한다. 본 연구에서는 시뮬레이터 구축을 위한 툴로 IGRIP(Interactive Graphic Robot Instruction Program)을 이용하였으며, 공정을 위하여 구축한 3차원 그래픽 시뮬레이터는 Fig. 2와 같다. 이러한 3차원 그래픽 시뮬레이터는 실제 작업환경을 그대로 반영한 것으로 사전에 장치의 배치, 공정의 타당성 및 원격작업 등 다양한 분석과 검토를 수행할 수 있으며, 장치나 공정 개념 등의 변경을 빠르게 반영하여 검토할 수 있다.

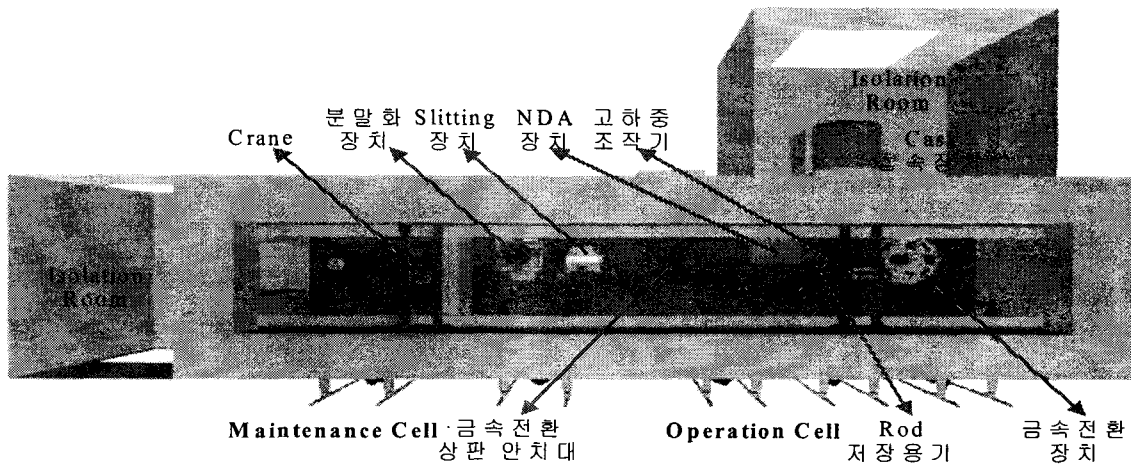


Fig. 2 Graphic Simulator for ACP.

3차원 그래픽 시뮬레이터의 또 다른 목적은 사전에 공정에 대한 3차원 그래픽 시뮬레이션을 통해 공정의 개념을 시각화(visualization)할 수 있다는 것이다. 이러한 시뮬레이션은 가상의 장치(device)에 기구학적 특성(kinematics)을 반영한 것으로 애니메이션이 아닌 엔지니어링 측면에서 수행하게 된다. 따라서 이러한 3차원 시뮬레이션을 통해 공정의 문제점을 사전에 분석할 수 있다. Fig.3은 사용후핵연료 차세대관리공정의 주요공정인 절단 연료봉의 핫셀 내 반입으로부터 금속전환 공정까지를 시뮬레이션 한 결과이다.

4. 결 론

본 연구에서는 고방사성 물질인 사용후핵연료 분말을 공간이 협소한 조사재시험시설 예비핫셀에서 안전하게 운반하고 취급하기 위하여 공정에 필요한 이송물질 및 취급 장비를 분석하고 차세대관리공정을 대상으로 구축한 가상 작업공간인 3차원 그래픽 시뮬레이터를 이용하여 원격 이송 및 취급 작업을 분석하였다. 분석한 결과를 활용하여 모의 운반용기 및 취급장치를 설계/제작하여 안전 이송시험, 분말용기 파지시험 등을 수행하여 핫셀의 실증시설에 활용할 운반 및 취급계통 장비의 설계 요건을 분석하였다. 본 연구에서 활용한 그래픽 시뮬레이터는 다양한 분석에 활용될 수 있으며, 실제 mockup 시설을 구축하는 것보다 시간적 경제적 측면에서 매우 효과적이다. 또한 분석된 설계요건은 차세대관리 실증시설의 설계자료 및 이와 유사한 핫셀의 운반/취급장치의 설계자료로 유용하게 활용 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Y, J. Shin, etc., "Development of Advanced Spent Fuel Management Process", KAERI/RR-2128/2000, 2000
2. S. Glasstone and A. sesonske, Nuclear Reactor Engineering, Van Nostrand, New York, 1997.
3. 김영환, "종합공정장치 모듈화 요건설정", KAERI/ TR-2060/2002, 2002.
4. American Robotics, "Pipe Rehabilitation Systems", http://www.thomasregister.com/olc/american_robotics/the_bot.htm.
5. Yudaka Omura, etc., "Virtual prototyping for canister receiving devices of high level waste storage facility", Proc. of '99 DENEb User Meeting for Korean Users, 1999
6. Deneb, "IGRIP User Manual and Tutorials", 1995.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었음

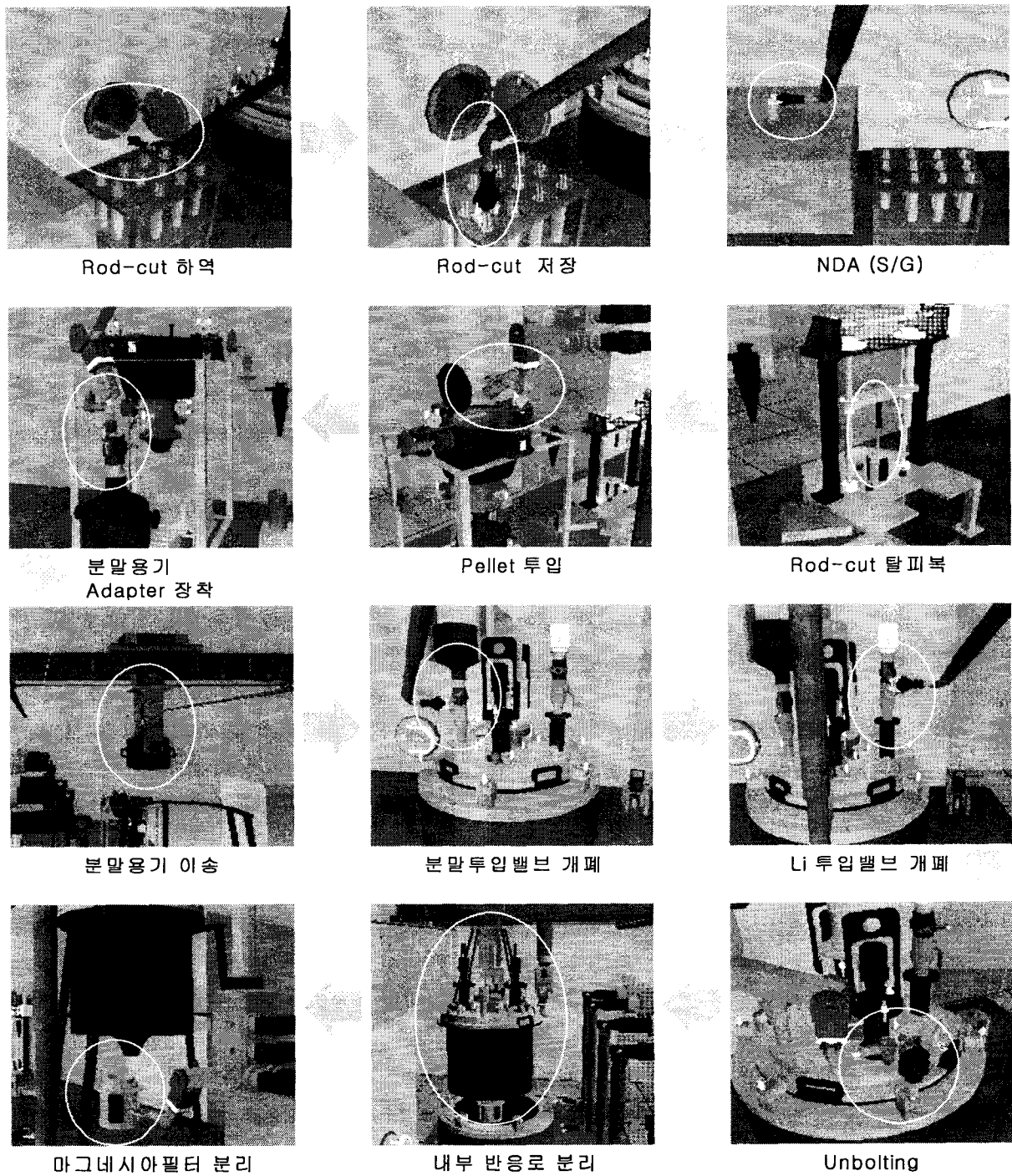


Fig.3 3D Graphic Simulation for Main Process of ACP.