

사용후핵연료 심지층 처분시스템 운영관리 모사 프로그램

이종열, 조동건, 김성기, 최희주, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150

njylee@kaeri.re.kr

- 개 요

원자력발전소에서 전기를 생산한 후 배출되는 사용후핵연료는 각 발전소부지의 저장고에 임시 저장되어 있으며, 우리나라 전력수급계획에 따르면 향후 총 28기의 원자력발전소를 운영할 계획에 있다. 이후 더 이상의 추가 원전건설이 없다는 가정 하에, 이들 원전인 PWR형 원자력발전소 24기와 CANDU형 원자력발전소 4기로부터의 사용후핵연료 발생량을 추정하면 약 36,000톤(PWR형 : 20,000 톤, CANDU형 16,000 톤)에 이를 것으로 전망되며, 원자력연구원에서는 이를 바탕으로 우리나라의 환경에 적합한 사용후핵연료 심지층 처분시스템을 개발하였다.

원자력발전소 소내 저장 또는 중앙집중식 중간 저장시설에서 일정기간 동안 냉각시킨 후 처분장의 지상시설로 수송되어온 사용후핵연료는 포장시설에서 인수하여 사용후핵연료 하역 및 집합체 검사, 사용후핵연료 집합체 임시저장, 처분용기 내 사용후핵연료 포장, 처분용기 용접 및 검사, 처분용기 유지/보수의 포장공정을 거쳐 지하 처분장으로 이송하게 된다. 지하에 이송된 처분용기는 차폐장치가 설치된 이송차량과 특수 정치차량에 의해 각 지하터널의 수직공에 완충재 물질과 함께 처분하게 된다. 이러한 일련의 과정을 안전하고 효율적으로 수행토록 하기 위하여 작업자의 방사선적 안전성, 작업 효율 및 원격취급 등을 분석하여 처분공정을 설정하게 된다. 이러한 분석은 모의 시스템을 제작하여 직접 수행함으로써 가능하지만, 모의 시스템 제작의 경우 비용과 시간이 많이 소모될 뿐만 아니라, 제작된 시스템의 수정과 보완이 용이하지 않은 단점이 있다.

이 문제점을 극복하기 위하여 컴퓨터 기술을 기반으로 하는 전산모사 기술을 활용하고 있는데, 이 기술은 가상의 작업 환경(Virtual Environment)에서 사용자가 원하는 공정을 모사함으로써, 그 과정 및 결과를 사전에 가시화할 수 있을 뿐만 아니라, 실제 시스템에서 발생할 수 있는 예기치 않은 상황이나 문제점을 발견하고 해결 방법을 모색할 수 있기 때문에, 시스템의 설계와 해석, 개발을 위한 도구로서 필수적이고 유용하게 활용되고 있다.

- 운영관리 프로그램 및 분석

본 연구에서는 지상시설에서 포장공정을 거쳐 지하 처분장으로 수송된 처분용기를 처분터널 내 처분공에 정치시키기까지의 효율적이고 안전한 처분공정을 설정하는데 필요한 다양한 분석이 가능하도록 하는 가상 작업환경을 구축하고, 공정 및 운영관리를 모사하여 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 개발 절차 및 구성은 그림 1.에 나타낸 바와 같다.

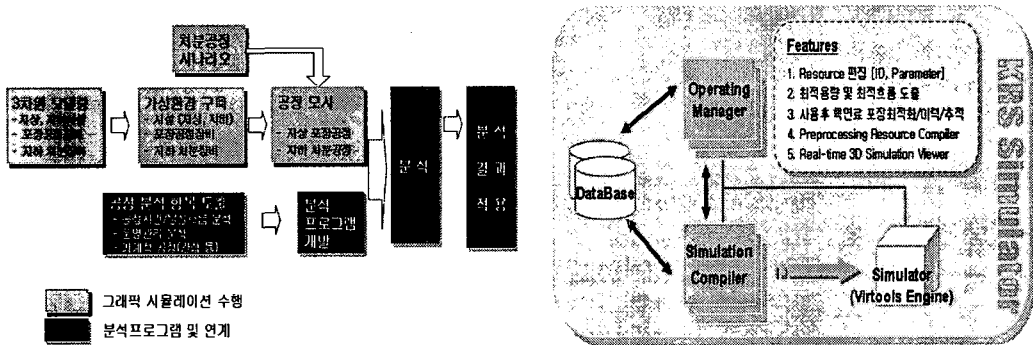


그림 1. 운영관리 프로그램 개발절차 및 구성.

그림 1.에서 보는 바와 같이 처분시설 설계요건 및 개념설계에 따른 시설/공정장비 3차원 그래픽 모델링 및 그래픽 가상 환경을 구축하고 운영관리에 필요한 인자를 도출하여 수행 프로그램을 개발하였다. 즉, 심지층 처분시스템 요건에 따라 3차원 그래픽으로 모델링하고, 이들을 조합하여 핫셀 등의 시설과 포장공정 및 심지층 처분공정 장치 등을 구성하여 대상공정인 사용후핵연료 심지층 처분공정이 수행될 실제 작업환경 개념과 동일한 고준위폐기물 처분시스템 가상공정 구현 시스템을 구축하였다. 컴퓨터 그래픽 상에 포장공정이 수행되는 지상시설 환경과 지상시설 내 사용후핵연료를 처분용기에 포장하기 위한 공정장치들을 배치하였으며, 지하 500 m 깊이의 심지층에 처분용기를 정치시키는 공정을 위한 공정장치, 접근터널, 처분터널/처분공 및 유틸리티 등 지하시설과 공정에 필요한 장치를 배치하였다. 그리고, 지상시설과 지하시설 연결 및 지하시설 환기를 위한 샤프트들도 배치함으로써, 고준위폐기물 처분시설 가상작업환경을 구축하였다.

또한, 가상 공정구현시스템과 운영관리 프로그램을 연계하여 최적의 처분시스템 공정 및 운영관리 방안 도출에 필요한 요소를 분석하였으며, 분석요소로는 크게 공정소요시간에 따른 물질흐름, 임시저장용량, 처분용기 내 사용후핵연료 조건 등이 도출되었다. 이러한 요소들과 사용후핵연료, 처분용기 등의 관리에 필요한 DB와 연계하여 이들의 이력관리가 가능하도록 프로그램을 개발하였다.

한국형 고준위폐기물 처분시스템 설계 개념 및 사용후핵연료 처분 시나리오에 따라 그래픽환경에서 지상시설 및 지하시설에서의 공정에 대한 전산모사를 통하여 공정분석을 수행하였다. 지상공정은 사용후핵연료를 인수하여 핫셀에서 처분용기에 사용후핵연료를 포장한 후 용접/검사 공정을 거쳐 지하시설로의 이송이며, 지하공정(그림 2.)은 처분터널 내 처분공에 처분용기를 거치시키고 완충재를 설치한 후 처분터널 등을 뒷채움하는 공정으로서, 공정 모사수행 결과 시설 설계개념, 공정시간 및 물질흐름 등의 운영 시나리오에 맞게 공정이 수행됨을 확인하였다.

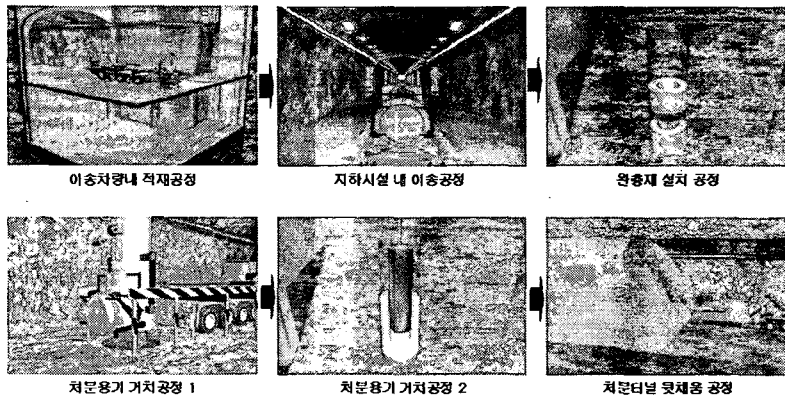


그림 2. 지하공정 모사 및 분석.

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 안전하고 효율적인 사용후핵연료 심지층처분 공정관리 방안 설정을 위하여 3차원 가상 그래픽환경에서 우리나라에 적합한 사용후핵연료 처분시스템을 구축하여 지상 및 지하 공정을 모사하고, 처분시스템 설계 및 물질흐름 등 설계-공정운영을 관리하기 위한 프로그램을 개발하였으며, 공정모사를 통하여 설계요건 및 운영시나리오에 따라 적합하게 수행됨을 확인하였다. 향후 축적된 기술 및 지속적인 기술 보안을 통하여 우리나라에서 발생될 고준위폐기물을 관리하는 기술개발에 유용하게 적용될 것이다.