

심지층 처분을 위한 사용후핵연료 포장공정 그래픽 시뮬레이션

이종열, 이 양, 조동건, 최희주, 최종원

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

njylee@kaeri.re.kr

우리나라 전체 전력량의 40 %를 점유하고 있는 원자력 발전은 장기 전력수급계획에 의하면, 2015년까지 28기의 원자력발전소를 운영할 예정이며, 이들의 운전이 완료되는 시점까지 발생하여 누적될 것으로 예상되는 사용후핵연료는 총 36,000 tHM(PWR 20,000tHM + CANDU 16,000tHM)에 이를 것으로 전망된다. 이들 사용후핵연료는 고준위폐기물로 분류되며, 지하 수백 미터에 위치한 안전한 암반에 처분하는 것이 가장 안전한 방법으로 고려되고 있다.

이러한, 심지층 처분을 위한 사용후핵연료 포장은 지하 수백 미터의 환경조건에서 사용후핵연료가 수만 년 이상 안전성을 유지하는데 필수적인 구조적 건전성과 부식 저항성을 갖는 처분용기에 사용후핵연료를 포장하는 공정으로서, 일반적으로 심지층 지하시설이 위치한 지표의 지상시설에서 공정을 수행한다. 우리나라의 경우 2가지 형태의 원자로로부터 PWR형 사용후핵연료와 CANDU형 사용후핵연료가 발생하므로, 각 노형별 사용후핵연료의 특성을 고려한 다양한 분석을 통하여 가장 효율적인 처분 시나리오를 설정하고, 이에 따른 사용후핵연료 포장이 고려되어야 한다.

본 연구에서는 처분장 지상시설의 핵심공정인 사용후핵연료 포장공정을 설정하고 포장공정에 필요한 장비 개념을 도출하기 위하여 3차원 컴퓨터 그래픽에 의한 작업환경을 구축하여 다음에 설명하는 바와 같이 설정된 공정 시나리오에 따라 그래픽 시뮬레이션을 수행하였다.

- 사용후핵연료 인수 및 저장

원자력발전소 또는 중간저장시설에서 저장되어있던 사용후핵연료는 처분을 위하여 수송용기에 적재되어 수송차량으로 최종처분장의 인수/저장시설로 이송된다. 각 종 검사가 완료된 수송용기는 크레인으로 수직 상태로 전환하여 사용후핵연료 이송복도의 이송트레일러에 적재하며, 이송복도에서는 사용후핵연료 하역을 위한 준비작업이 수행되며, 수송용기 외부뚜껑 취급용 오버헤드 크레인, 어댑터 및 기타 장비가 구비된다. 수송용기는 어댑터 설치 후 핫셀에 연결하고, 신규 처분용기도 수송용기와 유사한 공정을 거쳐 사용후핵연료 적재를 위하여 핫셀에 연결된다.

- 핫셀 공정

핫셀 구역에서 사용후핵연료는 수송용기로부터 하역되고 필요에 따라 사용후핵연료 건조를 위하여 압력용기의 내부 랙에 저장한 후 처분용기에 적재하게 된다. PWR 사용후핵연료 집합체는 Telescopic pole crane으로 처분용기에 적재하며, 이 크레인의 제어장비와 계측장비는 유지보수를 용이하게 하기위하여 핫셀 외부에 설치한다. CANDU 사용후핵연료는 건조하지 않는 것과 연료 번들은 바스켓(33개 들이)으로 취급하여 바스켓을 직접 처분용기에 적재하는 것을 제외하면 PWR형과 공정이 동일하다. 정상 운전시 핫셀로의 작업자 진입은 금지되나, 유지보수를 위한 핫셀로의 작업자 진입구는 구비할 필요가 있다.

- 처분용기 용접 및 검사

핫셀 공정을 마친 처분용기의 외부 실린더 구리 뚜껑은 연료가 적재된 처분용기가 용접실로 이송되기 전에 장착하고, 전자빔 용접방법을 사용하여 밀봉시킨다. 이때, 진공 챔버는 방사선 방호장비가 준비되어야 하며, 전자빔 용접기는 수직 위치로 장착되어 고정식이고 처분용기를 회전시키며 용접을 수행하게 된다. 용접결함 발생시 결함부위 보수를 위한 재용접을 수행하고 재용접이 불

가능한 경우 전체뚜껑을 제거한 후 핵연료집합체를 제거하여 새로운 처분용기에 적재하여야 한다.

용접부위 건전성 검사를 위한 비파괴 검사는 초음파 검사 및 X-ray 검사 장비로 수행하는데, 초음파 검사는 검사부를 처분용기 검사 부위에 위치시킨 후 처분용기를 회전하여 검사하며, X-ray 검사는 특수 챔버에서 수행하는데 X-ray 검사기는 고정시키고 회전판위의 처분용기를 회전하며 검사를 수행한다.

- 지하 처분장으로 처분용기 이송

일반적으로 포장시설에서 공정이 완료된 처분용기는 임시저장고를 거치지 않고 직접 처분장으로 이송하게 되는데, 이는 절차를 축소하며 이에 따른 오류를 감소시키는 장점이 있다. 지하 처분장로의 사용후핵연료 처분용기 이송은 자동안내 차량에 의하여 이송 복도로부터 임시저장고 까지 이송하거나, 더 나아가 연장된 통로를 통하여 처분용기 이송을 위한 지하 승강기까지 이송한 후, 지하로 연결된 처분용기 승강기로 최종 지하 처분장까지 이송한다.

이상에서 기술한 바와 같이 설정된 사용후핵연료 포장공정에 대한 주요 세부공정의 그래픽 시뮬레이션은 그림 1.에 나타내었다. 본 그래픽 시뮬레이션은 지속적인 분석 및 수정/보완을 통하여 사용후핵연료 포장공정을 최적화하고, 소요 장비개념을 도출하는데 활용하게 될 것이다. 또한, 더 나아가 처분시스템 운영관리 프로그램과 연계하여 물질흐름을 분석하고 공정간 간섭, 물질의 병목 현상 등을 점검하는데 유용하게 활용할 것이다.

