

사용후핵연료 특성 데이터 분석 프로그램 개발

조동건, 국동학, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 1045

dkcho@kaeri.re.kr

1. 서론

선진 핵연료주기 고준위폐기물 처분시스템 설계에 필요한 방사선원향을 도출하기 위해서는 국내에서 발생한 사용후핵연료의 현황과 향후 발생할 사용후핵연료의 현황을 타당하게 분석해 내야 한다. 각 원전에서 발생하는 사용후핵연료는 장전시 핵연료의 초기농축도 및 방출연소가 다르고, 노심설계 특성이 다르므로 악티나이드 핵종 같은 경우는 핵연료가 원자로 내에서 조사됨에 따라 생성되는 특성도 다르다. 즉, 2008년말 기준으로 11,129개의 경수로 사용후핵연료가 방출되었지만, 같은 방사선원향을 같은 사용후핵연료는 없다. 이처럼 다양한 사용후핵연료에 대해 각각의 사용후핵연료 선원향을 고려하여 처분시스템 설계에 반영하는 것은 사실상 불가능한 일이며, 따라서, 핵입계 해석과 같이 중대사고와 관련될 수 있는 경우에는 보수적 측면에서의 극한 값(bounding value)을 사용하고 열해석과 같이 성능과 관련된 경우에는 설계자가 공학적 판단(engineering judgement) 하에 평균값을 기준으로 타당한 값을 선정하여 설계에 적용한다. 이와 같은 기준 값을 결정하기 위해서는 국내발생 사용후핵연료의 농축도, 연소이력 등의 특성 데이터를 모두 수집하여 분석해야 하며 이는 많은 인력 및 시간을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 가압경수로 사용후핵연료에 대해 신뢰도를 일관되게 유지하면서도 실시간으로 데이터를 분석할 수 있는 전용 프로그램을 개발하였다.

2. 본론

2.1 특성데이터 자료수집

가압경수로 원전인 영광, 고리, 울진, 원전에서 발생한 사용후핵연료 자료를 2008년도 말 기준으로 수집하여 데이터베이스에 입력하였다. 입력된 자료는 핵연료집합체 고유 번호, 핵연료타입, 집합체 배열, 초기농축도, 초기 우라늄장전량, 핵연료의 최초 장전주기, 핵연료 최초 장전일, 방출연

소도, 최종방출일, 핵연료내 총 연소 거주기간, 피복재 종류 등이다. 2008년 말 기준으로 총 11,129개의 사용후핵연료가 발생한 상태이며, 이에 대한 약 20만개의 정보를 데이터베이스화하였다.

2.2 분석전용 프로그램 개발

개발된 프로그램은 각 호기 및 부지에서 발생한 사용후핵연료에 대해 데이터베이스 자료를 분석하여 핵연료 제원, 발생량, 농축도, 냉각시간, 방출연소도, 초기농축도와 방출연소도와와의 관계 등의 정보를 발생 시간에 따라 분석할 수 있다. 그림 1은 사용후핵연료 현황을 분석하기 위한 입출력창을 나타낸다. 입력창의 왼쪽 영역에서는 검색범주(category)를 지정할 수 있으며, 오른쪽 영역에서는 결과 값을 볼 수 있다. 분석하고자 하는 원자로 호기를 선택할 수 있으며, 연고자 하는 결과 값에서 초기농축도와 연소도 간격을 지정할 수 있다. 또한 'Set Conditions' 체크 박스 안에서는 초기농축도, 방출연소도, 방출일에 대해 분석하고자 하는 상한 값 및 하한값을 지정할 수 있다. 예를 들어 고리 1호기에서 최근 10년 동안 발생한 사용후핵연료 중에서 30~50GWD/tU에 해당하는 것을 대상으로 농축도 별 물량을 산출하고 싶다면, 'Select Unit'에서는 고리 1호기만을 체크하고, 'Set Conditions'를 체크한 후 'Discharge Date'란에는 0~10을 입력하고, Discharge Burnup란에 30,000 ~ 50,000을 입력한 후, 'Get Data' 버튼을 클릭하면 해당하는 데이터만을 분석하여 농축도별 물량을 산출할 수 있다. 농축도별 물량을 산출할 때, 농축도 간격을 default 값이 0.5보다 좀 더 세밀하게 연고 싶다면 Enrichment Step에서 원하는 숫자를 지정하여 원하는 결과를 얻을 수 있다. 입력창을 보면 원자로 호기, 초기 농축도, 방출연소도, 냉각기간을 사용자가 임의로 지정할 수 있으므로 상당히 자유도가 높고 광범위하게 결과 값을 도출할 수 있다. 화면에서 오른쪽 Result 영역에 사용자가 연고자 하는 현황분석 결과가 표기되며, 그림에서 보는

바와 같이 오른쪽 창에 기본적으로 그래프로 표기되며, 이 그래프는 인쇄출력(Print 버튼), 파일로 저장(Save 버튼), 클립보드로 저장(Copy 버튼), 데이터 파일로 저장(Data 버튼) 될 수 있다. 특히 데이터 파일로 저장(Save 버튼) 기능은 텍스트 형식의 데이터를 직접 얻을 수 있으므로 실제 값을 확인하는데 유용하며, 다른 그래퍼(grapher) 프로그램을 이용하여 그래프를 생성하는데 유용하게 사용할 수 있다. 데이터 파일로 저장(Data 버튼) 기능을 실행하면 텍스트 형식의 파일을 직접 확인할 수도 있다.

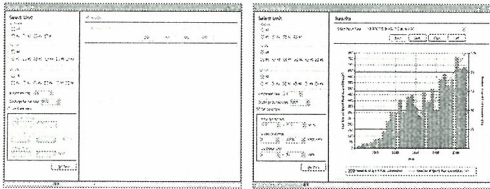


Fig. 1. 사용후핵연료 입/출력창 화면

결과 값의 추출 범위는 표 1에서 보는 바와 같이, 일곱 개의 분류목록(category)을 지정하여 데이터 분석을 수행할 수 있으며, 결과 값 역시 일곱 개의 분류목록으로 도출할 수 있다.

Table 1. 결과값 도출을 위한 조합목록 및 결과목록

분류1	분류2	분류3	분류4	분류5	분류6	분류7	출력 목록
부지 (고리, 영랑, 울진)	호기 (고리1~4, 영랑1~6, 울진1~6)	농축도 (0~5%)	방출연소 도 (0~70 CWD/tU)	냉각기간 (0~50년)	물량 (결랑, 다발)	연도 (장전일, 방출일)	핵연료 타입 핵연료 배열 발생량 초기농축도 방출연소도 냉각시간 초기농축도 vs. 방출연소도 발생량

그림 2~5는 이 프로그램을 이용하여 분석한 사용후핵연료 발생량, 연소도분포, 초기농축도 분포, 각 핵연료 설계안별 물량분포, 초기농축도 vs. 방출연소도 vs. 물량과의 관계 등을 보여준다. 모든 출력값은 질량기준 또는 다발 수 기준으로 추출될 수 있다.

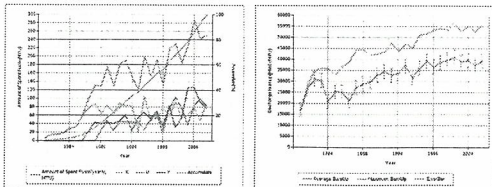


Fig. 2. 사용후핵연료 발생량 및 연소도 분포

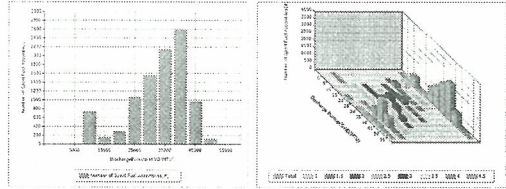


Fig. 3. 연소도 vs. 초기농축도 vs. 물량 분포

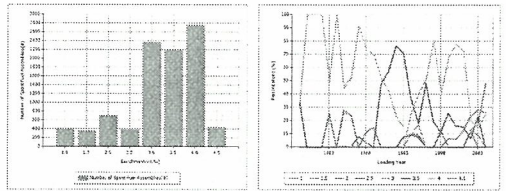


Fig. 4. 초기농축도 분포

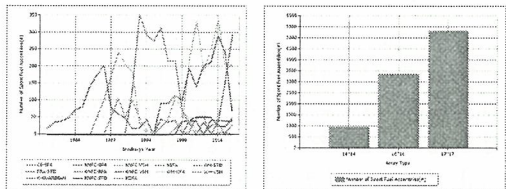


Fig. 5. 핵연료제원별 물량 분포

3. 결론

과거 이 프로그램이 개발되기 전까지는 사용후 핵연료에 대한 특성치 분포를 얻어내기까지는 기존에 사용후핵연료 정보가 존재하더라도 추가적인 사용후핵연료 정보 입력부터 결과를 얻어내기까지는 약 2~4주 정도의 시간이 소요되었다. 이 프로그램이 개발됨으로써 1년에 한번만 사용후핵연료 특성 정보를 업데이트하면, 언제라도 원하는 값을 실시간으로 뽑아 낼 수 있고, 프로그램이 검증되었으므로 데이터만 정확히 입력되면 결과 값에 실수가 존재할 확률이 없으므로 신뢰도 또한 상당히 향상되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업으로 수행되었음을 알려드립니다.

5. 참고문헌

- [1] 핵설계보고서, 한전원자력연료.
- [2] 사용후핵연료 특성자료, (주)한국수력원자력