

사용후연료 건식저장 캐니스터 내부구조물이 임계안전에 미치는 영향

이성희, 안준기

한국전력기술주식회사, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

shlce9@kopec.co.kr

1. 서론

사용후연료 저장 및 수송용기는 정상 및 사고조건 모두 고려하여 임계안전을 만족하여야 하며 이에 대한 확인을 위하여 임계안전해석이 수행된다. 임계해석 시 대상 구조물을 있는 그대로 모두 묘사하는 것은 실질적으로 불가능하기도 할 뿐 아니라 해석 목적상 반드시 그렇게 할 필요도 없다. 저장되는 핵연료, 캐스크 기본 구조물, 중성자흡수재 등과 같이 임계해석에 주요한 대상은 사실대로 묘사하지만, 임계안전 이외의 목적으로 설치 혹은 부착되는 내부구조물은 경우에 따라 적절한 수정 혹은 제외 등을 통해 해석 모델의 단순화를 이루게 된다. 그런데, 이러한 기타 구조물이 임계안전에 미치는 영향은 저장용기의 설계 특성에 따라 달라질 수 있으므로 이에 대한 영향평가가 필요하다. 본 해석에서는 열전달 및 구조형상 유지 목적으로 캐니스터 내부에 설치되는 구조물인 스페이서 디스크(spacer disc)가 임계 안전에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 임계해석 및 결과

본 해석은 사용후연료집합체 24개를 저장할 수 있도록 개발된 건식저장용기를 대상으로 하였다. 저장용기 내 바스켓은 중심간 간격이 29.5 cm이며 중성자흡수물질인 BORAL이 4면에 모두 부착된 스테인리스 스틸 구조물이다. 또한 캐니스터 내부에는 형상 유지 및 열전달 목적으로 다수의 스페이서 디스크(두께 3 cm)가 설치되어 있다 (그림 1 참조). 임계안전 관련하여 기본적인 구조물 이외에 추가로 고려할 수 있는 주요 내부구조물인 스페이서 디스크가 임계안전에 미치는 영향을 평가하였다. 건식저장을 하는 저장시설의 경우 정상조건에서는 유효증배계수가 아주 낮아 임계안전을 고려할 필요가 없으므로 가상사고 조건(침수 및 최적 감속조건)에서 내부구조물이 임계안전에 미치는 영향을 평가하였다. 최적 감속조건에 대한 임계영향을 평가하기 위하여 물 밀도를 $0.001 \text{ g/cm}^3 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ 의 범위를 가정하여 유효 증배계수 계산을 수행하였다. 고려된 핵연료는 최대농축도 5.0 wt%의 ACE7 신연료이다. 임계안전해석은 SCALE4.4 전산체계의 CSAS25 모듈과 238군 단면적 자료를 사용하였다.

임계해석결과 건식저장용기는 침수조건에서 스페이서 디스크 구조물을 고려한 경우의 유효증배계수가 고려하지 않은 경우보다 약 0.02 Δk 증가하였다 (표 1 참조).

표 1 스페이서 디스크 고려 여부에 따른 유효증배계수 (바이어스 및 불확실도 불포함)

| k-eff [24 FA 저장 캐스크 모델, 캐스크 무한배열 가정] | |
|--------------------------------------|--------------------|
| 핵연료 및 핵연료 저장 바스켓만 고려 | 스페이서 디스크 구조물 추가 고려 |
| 0.89490 ± 0.00040 | 0.91447 ± 0.00036 |

최적 감속조건시의 유효증배계수 계산 결과는 고려한 물 밀도에 따라 그림 2와 같다. 원전 신연료 저장대와 같이 중성자흡수재를 부착하지 않는 저장 구조물의 경우에는 낮은 물 밀도 (약 0.14 g/cm^3)에서 최적 감속조건이 되는 것이 일반적이지만, 반응도 제어를 위해 중성자흡수재를 부착한 본 해석의 건식저장용기 모델은 이와 다른 경향을 보였다. 건식저장용기 모델에서는 아주 낮은 물 밀도(0.01 g/cm^3 이하)에서의 유효증배계수가 일반적으로 최적 감속조건을 보이는 물

밀도(약 0.14 g/cm^3)인 경우보다 유효증배계수가 오히려 더 큰 것으로 평가되었지만 그 값이 작아서 안전성 측면에서 특별한 의미를 가지지는 않는다고 하겠다. 이후 감속재인 물 밀도가 증가함에 따라 유효증배계수도 함께 증가하여 밀도가 1.0 g/cm^3 일 경우 가장 큰 값을 보인다. 따라서 설계된 건식저장용기는 순수(1.0 g/cm^3)로 침수되는 경우에 반응도가 가장 높은 최적 감속조건인 것으로 평가되었다. 스페이서 디스크 고려 여부에 따른 영향은 감속재인 물의 밀도에 따라서 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 즉, 낮은 물 밀도(0.1 g/cm^3 이하)에서는 스페이서 디스크를 고려하지 않은 경우가 유효증배계수 값이 더 높으나, 물 밀도가 높아지면 스페이서 디스크를 고려한 경우의 유효증배계수가 더 높은 값을 보인다. 이 결과는 물, 스페이서 디스크, 중성자흡수재의 중성자 감속 및 흡수 능력 정도의 차이와 상호 연관 작용에 따른 것으로 고려한 건식저장용기의 임계안전 특성을 반영하는 것이다.

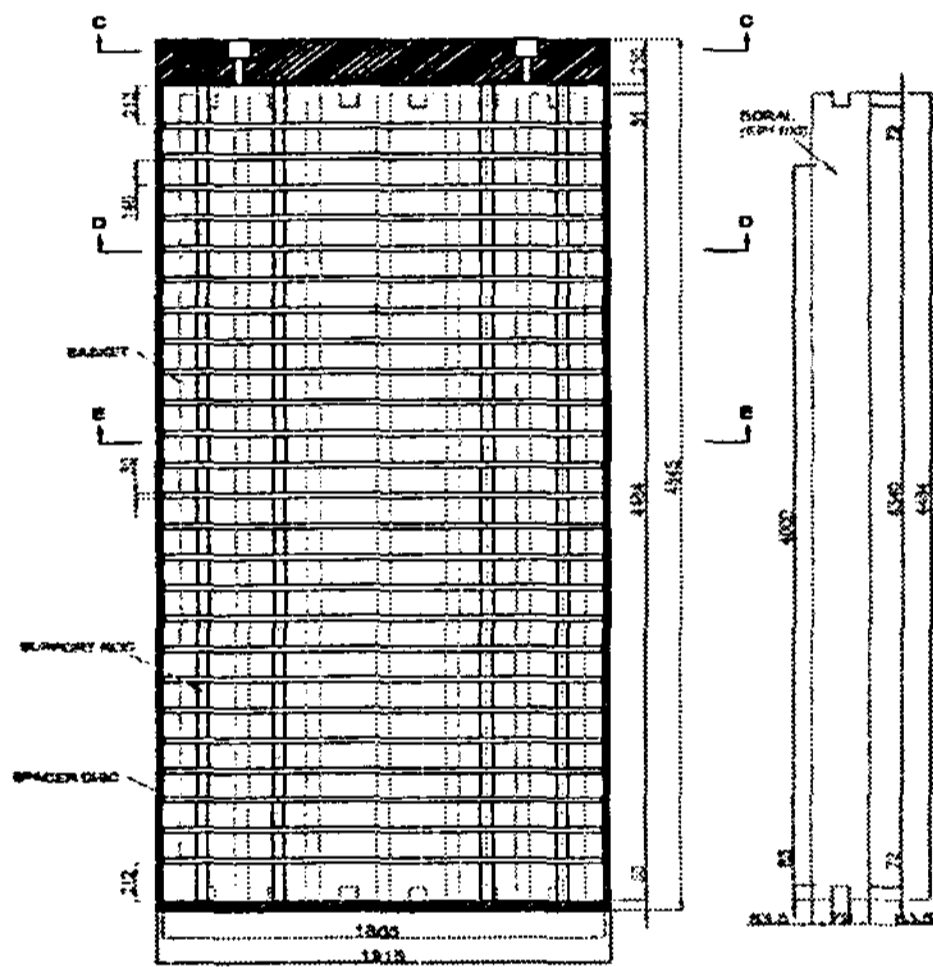


그림 1 건식저장용기 수직단면

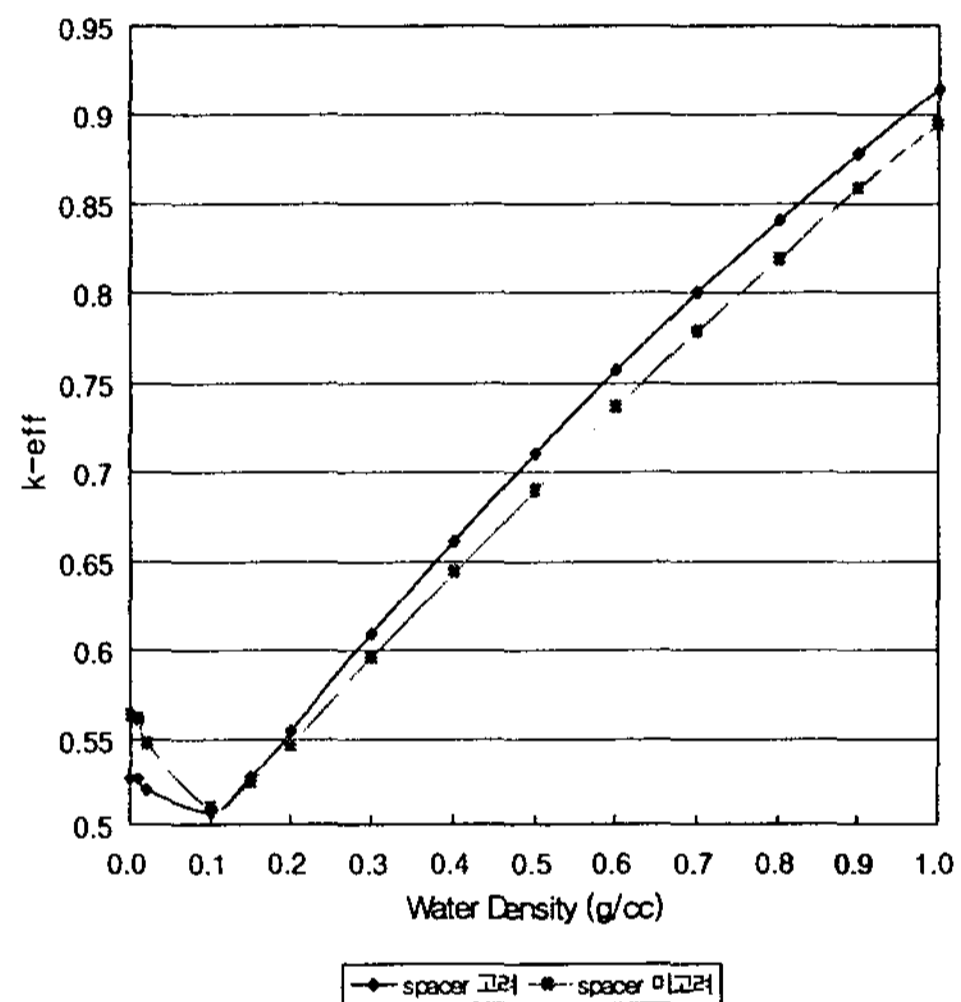


그림 2 물 밀도에 따른 유효증배계수

3. 결론

본 해석에서 고려한 건식저장용기의 임계안전해석 결과는 계산 바이어스 및 불확실도를 고려해도 스페이서 디스크 고려 여부와 무관하게 임계안전 제한치(유효증배계수 침수조건: 0.95, 최적감속조건: 0.98)를 만족하는 것으로 평가된다. 그러나 최대 반응도 값을 가지는 침수 조건에서 스페이서 디스크를 고려하는 경우의 유효증배계수가 더 크다는 것은 이와 유사한 설계 특성을 가지는 구조물의 임계해석에서는 해석 모델 설정 시에 캐니스터 내부의 추가적인 구조물을 반드시 고려하여야 한다는 것을 의미한다.

감사의 글 : 본 연구는 한수원 주관 “경수로 사용후연료 건식저장시설 최적 설계기술 개발” 과제의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

1. C00545/MNYCP00, "SCALE4.4: Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation for Workstations and Personal Computers," Oak Ridge National Laboratory, 1998.