

## 사용후핵연료 수송시스템 개념모델의 임계안전성 평가 및 모델링 민감도 분석

김태만, 이대기, 이경구, 이강욱\*

한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045

\*(주)코네스코퍼레이션, 대전광역시 유성구 장대동 341-4

tmkim@krmc.or.kr

### 1. 서론

상용원전에서 발생된 사용후핵연료를 운반하기 위해서는 수송용기와 취급시스템을 갖추어야 하며, 이는 기술기준에 부합하는 설계와 평가를 수행하여야 한다. 특히, 수송시스템의 설계분야 중 임계안전성 확보를 위해서는 정상조건과 함께 모델링사항에 대한 민감도분석 결과를 정량적으로 제시할 수 있어야 한다.[1] 이에 본 연구에서는 국내/외 기술기준 및 표준을 바탕으로 국내 고유시스템 수립을 위한 사용후핵연료 수송시스템 개념모델의 임계안전성 평가와 모델링 가정사항에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 평가모델 및 가정조건 설정

본 연구에서 임계안전성 평가도구는 3차원 기하학적 구조의 문제에 대한 다군 수송방정식을 몬테카를로 방법으로 유효증배계수 값을 계산하는 KENO.Va 모듈로 구성된 SCALE5.1 코드 시스템의 CSAS 모듈을 적용하였다.[2][3] 또한, 경수로시스템에 적합한 ENDF/B-V 44군 라이브러리를 기반으로 하였으며, 통계적 오차가 최소화 되도록 설정하여 수행하였다.[4]

##### 2.1.1 설계기준연료 설정

임계안전성의 보수성을 확보하기 위하여 실제 WH형 17X17OFA의 핵연료설계보고서에 근거하여 가정사항을 설정하였다.

가. 핵연료집합체 안내관의 연소도제어봉과 지지격자는 제외(안내관 및 계측관 내부영역은 충수됨).

나. 기준연료는 신연료를 가정하였으며, UO<sub>2</sub>의 설계밀도는 95.25%를 적용.

##### 2.1.2 수송용기 모델 및 가정사항 수립

사용후핵연료 21다발을 수납할 수 있는 수송용기 개념모델의 캐니스터 내부 공간에는 바스켓셀, 지지판, 디스크 지지봉 등으로 구성된 바스켓 집합체가 있으며, 지지판과 바스켓 사이의 공간에는 핵연료에서 방출된 중성자를 Boral에 도달하기 전 열중성자로 감속시키기 위한 바스켓 간 이격거리가 유지되고 있다. 바스켓 외부 Boral의 길이는 4,000mm로 설계기준연료의 유효핵연료길이보다 크기에 핵연료집합체가 축방향을 따라 중성자흡수체가 존재하지 않는 영역으로 이동할 가능성은 없다. 바스켓셀 내부의 핵연료집합체 및 배열방식, 지지판의 위치 등을 Fig.1에 제시하였으며, 모델링에 대한 가정사항은 다음과 같다.

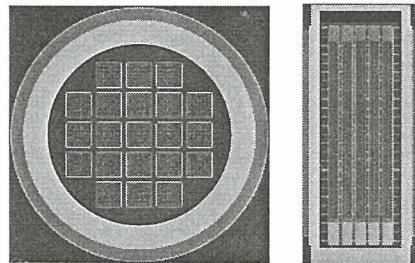


Fig. 1. System Model Drawing.

- 가. 안전성평가의 보수성을 확보하기 위하여 수송용기의 반경방향으로 무한배열을 가정하여 핵임계안전지수는 '0'으로 한다.
- 나. 수송용기의 상·하부 중성자차폐체는 제외하며, 내부는 실온상태의 순수 침수조건으로 설정한다.
- 다. 바스켓 내부의 핵연료의 위치는 중앙으로 배열하며, 편향조건에 대한 평가는 제외한다.

#### 2.2 정상운반조건에 대한 평가

사용후핵연료 수송용기의 정상조건에서의 핵임계 안전성 평가를 수행한 결과는 Table.1과 같다. 또한, 다량의 수송용기는 배열조건에 따라 미치는 영향이 다를수 있으나, 그 영향이 미미하다고 판

단되어 본 연구에서는 제외하였다.

2.3 모델링에 조건변화에 따른 민감도 분석

평가모델의 총수조건에 대한 임계안전성 평가는 수송 시 취급상의 인적실수 등으로 야기되는 사고 중 부분총수에 대한 조건을 대상으로 분석을 수행하였다. 특히, 미국 10CFR71.55 에는 감속제 충전 시 미입계 상태를 유지하도록 규정되어 있다. 이에, 해당 요건 충족 여부를 확인하기 위해 수송용기의 수직방향에 대한 총수 정도에 따라 5단계로 구분하여 수행하였으며, 그 결과를 Table.1에 나타내었다.

Table 1. Result of Evaluation.

항 목	$k_{eff}$	$\sigma$
정상운반조건	0.90984	0.00029
총수 조건(90%)	0.91010	0.00028
총수 조건(80%)	0.90931	0.00027
총수 조건(70%)	0.90776	0.00026
총수 조건(60%)	0.90650	0.00035
총수 조건(50%)	0.90279	0.00032

3. 결론

사용후핵연료 수송용기의 운영중에는 사용후핵연료 장전과 같이 운영상 침수조건을 갖는 정상운반과 달리 건식조건 하의 수송과정에서 발생할 수 있는 침수조건으로서, 일반적으로 정상운반조건에서의 최대유효증배계수보다 상당히 낮은 결과를 갖게 된다. 그러나, 정상운반 및 다양한 침수조건에서의 임계안전성 평가시 유효증배계수는 95%은 신뢰 수준에서 95%이상의 확률로 계산한 모든 편이(bias)와 불확실도를 고려하여 0.95를 초과할 수 없으므로, 향후 본 연구에 평가된 결과에 이를 고려하여야 할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 방폐물관리기술개발 중장기기획과제의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] 교육과학기술부 고시 제2009-37호, "방사성물질등의 포장 및 수송에 관한 규정".

[2] "SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation," ORNL/TM-2005/39, Version 5, 2005.

[3] L. M. Petrie and N. F. Landers, "KENO-Va: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping," ORNL/TM-2005/39, Version 5, Sect. F11, 2005.

[4] Computational Benchmark for Estimation of Reactivity Margin from FPs and Minor Actinides in PWR BUC, NUREG/CR-6747, 2000.