신규 핫셀 운반시스템의 임계 민감도 분석

박창제, 강희영, 정창준, 민덕기, 이주찬, 방경식, 최우석, 서기석
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
cjpark@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서 개발중인 차세대 핵주기 공정 실증시설에 사용될 운반 용기에 대해 예비적인 차폐 및 임계 계산이 수행되고 있다.[1] 선원항은 17x17 경수로 핵연료 집합체로 농축도, 물의 밀도, 간격 등에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 임계계산을 위해 MCNPX[2]코드를 이용하여 상세 모델링 및 세부 계산을 수행하였다.

2. 계산방법 및 결과 고찰

본 연구에서는 파이로공정 기준핵연료를 절편 상태(rod-cut)로 2단 배치하고 알루미늄 캐니스터에 담은 상태를 모델링하여 몬테칼로 계산을 수행하였다. 계산 조건은 총 500 싸이클로 각 싸이클당 1,000 배치를 이용하였다. 다음과 같이 여러 경우에 대해 임계도에 대한 민감도 계산을 수행하였다.

1) 핵연료 봉절편 캐니스터의 간격 변화
2) 물에 잠겼을 경우 물의 밀도 변화
3) 초기 핵연료의 농축도

그림 1은 핫셀 운반 시스템에 대한 MCNP 계산 모델을 보여 주고 있다. 내부에는 납으로 배치하여 감마선을 차폐하며 외부에는 폴리에틸렌을 배치하여 중성자에 대한 추가 차폐를 하게 된다. 핵연료는 피복재도 같이 고려하여 모델링 하였으며 내부에는 공기로 채워져 있다고 가정하였다. 가상사고시 물로 채워졌을 경우에도 이에 대한 미임계를 유지하도록 설계해야 한다.

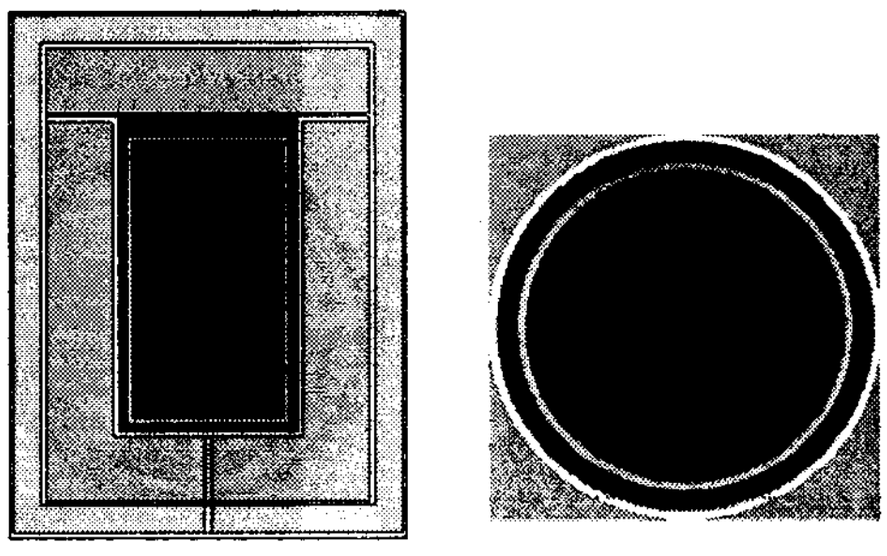

Fig. 1. 핫셀 운반시스템의 몬테칼로 계산 모델

Table 1은 핵연료를 담고있는 캐니스터의 간격에 대한 임계 민감도 결과를 보여주고 있다.

Table 1 Criticality for Various Gap Sizes of Rod-cut Canister

Gap size	Environment	k-eff	s.d.*
0 cm	air	0.16606	0.00071
	water	0.35758	0.00095
1 cm	air	0.16915	0.00073
	water	0.39857	0.00099
2 cm	air	0.17222	0.00075
	water	0.42882	0.00113

* standard deviation

봉절편 운반 캐니스터에 대한 간격에 대한 민감도 계산을 수행한 결과 간격이 증가할수록 중간의 공기나 물에서의 중성자 산란이 증가하여 임계도가 증가함을 알 수 있다. 물의 밀도와 농축도에 대한 민감도 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 운반시스템이 물에 잠겨 내부에 물로 가득 채워진 경우 물의 밀도가 감소할수록 물속의 수소나 산소 원자에 대한 중성자 산란이 감소하여 전체적으로 유효증배계수가 감소하게 된다. 이 경우 농축도를 증가시켜 임계 평가를 수행하였는데, 농축도가 증가할수록 유효증배계수가 증가하지만 농축도가 10 wt% 정도가 되어도 배치 및 구조, 무게 등을 고려하면 충분히 미임계로 유지됨을 알 수 있었다.

Table 2 Criticalities for Various Cases with a Water Filled Hot Cell Cask

Enrichment(wt%)	Water density (g/cc)	k-eff	s.d.
4.5	1.0	0.35758	0.00101
4.5	0.9	0.33643	0.00102
4.5	0.8	0.31796	0.00097
5.0	1.0	0.36834	0.00098
7.0	1.0	0.39457	0.00110
10.0	1.0	0.42175	0.00113

3. 결론

파이로 공정의 신규 핫셀 운반용기에 대한 임계도 평가를 MCNPX 코드로 수행하였으며 봉절편 캐니스터의 간격, 물로 채워진 경우에 대해 물의 밀도, 농축도 등에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 계산 결과 핫셀 운반용기는 충분한 미임계를 유지함을 확인 할 수 있었다. 추후 검증 문제 분석을 통해 보다 상세한 임계 해석이 진행 중에 있다.

참고문헌

1. C.J. Park et al., "A Shielding Calculation for the Transport Cask in the Advanced Conditioning Pyroprocess Facility (ACPF)," International Symposium on Radiation Safety Management (2007 ISRSM), Daejeon, Korea, Nov. 7-9, 2007.
2. D.B. Pelowitz, ed., MCNPX User's Manual, LA-CP-05-0369, Los Alamos National Laboratory, 2005.