

연소도가 다른 사용후핵연료를 저장한 건식저장용기시스템에 대한 책임계안전성평가

윤형주, 홍서기, 최우용, 이건용, 박선우, 김보령, 박광현*
경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732
*kpark@khu.ac.kr

1. 서론

국내 원자력발전소의 사용후핵연료(Used Nuclear Fuel, UNF) 소내저장능력이 2024년이면 한계에 도달하여, 최악의 경우 UNF의 저장문제로 인해 원자력발전소의 운전이 불가능해지는 상황이 올 수 있다. 이를 대비하여 UNF의 장기 건식저장에 대한 준비가 필요하고, 그에 대한 정확한 안전성 평가들이 중요하다. 특히, 책임계안전성평가는 그 어떠한 조건에서도 그 시스템이 미임계성을 유지하고 있는지를 평가해야 하고, 국외의 경우, 최근에는 책임계 안전성평가에서 연소도이득을 적용하여 UNF를 건식저장용기 내에 보다 경제적이고 효율적으로 저장할 수 있다. 연소도이득을 통한 책임계평가과정에서는 UNF의 축방향 연소도 분포가 책임계평가결과에 민감한 영향을 미치기 때문에, 이것에 대한 정확한 예측이 중요하다. 그러므로, 본 연구는 일반적으로 GBC-32 건식저장용기 내에 완전히 동일한 조건의 32개의 UNF들을 저장하는 경우와 좀더 현실적으로 연소도만 2가지로 서로 다른 UNF들을 저장하는 경우에 대해 SCALE 6.1/ STARBUCS 코드의 K_{eff} 값들을 비교·분석하였다.

2. 본론

2.1 국내 PWR 사용후핵연료의 구성

한빛원자력발전소에서 사용하고 있는 핵연료인 PLUS7 16X16 집합체를 기준으로 적용하였다. 3호기 6주기 이후에 방출되는 사용후핵연료집합체들(Used Nuclear Fuel Assemblies, UNFAs) 중 G0 형태의 집합체 13번만을 대상으로 설정하였다. 이 UNFA를 구성하는 이산화우라늄(UO_2)의 농축도는 4.10wt.% U-235이고, 가돌리니아(Gd_2O_3)를 포함하고 있지 않다. 이 핵연료집합체의 자세한 구성요소와 원자로 내부의 연소위치는 참고문헌 1을 통해 확인할 수 있다 [1].

2.2 사용후핵연료의 축방향 연소도 분포

한빛원자력발전소 3호기 6주기 이후 방출된 13번 UNFA의 최종적인 단위질량당 연소도는 48,270 MWD/MTU이다. 이 연소도와 원자로 내 연소위치를 조건으로 DeCART와 MASTER 코드를 사용하여 도출된 13번 UNFA의 높이 방향에 대한 연소도의 분포는 Fig. 1과 같다 [1].

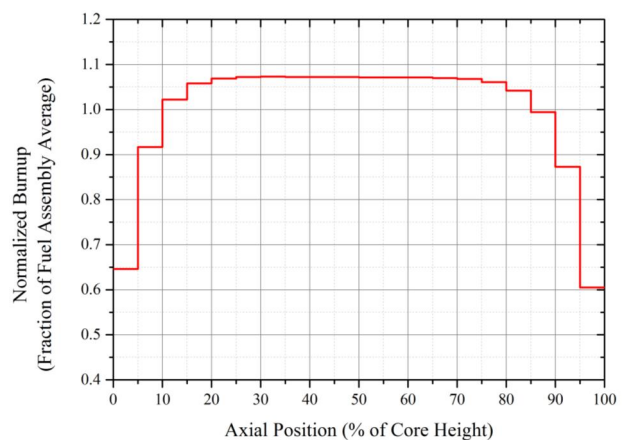


Fig. 1. Normalized Axial Burnup Distribution.

하지만, 위의 축방향 연소도 분포는 이론적인 코드계산에 의한 결과로 볼 수 있기 때문에, 실제 분포와는 약간 다를 수가 있다. 그러므로 본 연구에서는 Fig. 1의 축방향 연소도 분포를 기준으로 20%를 감소한 연소도부터 20%를 증가한 연소도의 분포들을 다양하게 고려하였다.

2.3 건식저장용기 내 사용후핵연료의 배치

UNFA들을 건식 방법으로 저장하는 용기는 GBC-32 미국식 일반용기로 적용하였다. 이 용기는 최대 32개의 UNFA들을 저장할 수 있고, 자세한 구성요소와 UNFA들의 배열은 참고문헌 1을 통해 확인할 수 있다. 일반적으로, 이 용기에 대한 책임계 안전성 분석에서는 농축도나 연소도 등과 같은 동일한 UNFA 32개를 저장하여 평가를 수행하고 있다. [1] 하지만, 실제로는 완전히 동일한 조건의 UNFA 32개를 저장하는 경우는 거의 드물고, 다양한 조건들을 가진 UNFA들을 저장할 가능성이 크다. 본 연구에서는 연소도만 2가지로 가지는 서로 다른

UNFA들을 GBC-32 건식저장용기에 저장하는 경우를 고려하였고, 고연소도를 가지는 UNFA 16개와 저연소도를 가지는 UNFA 16개를 Fig. 2와 같이 배치하였다.

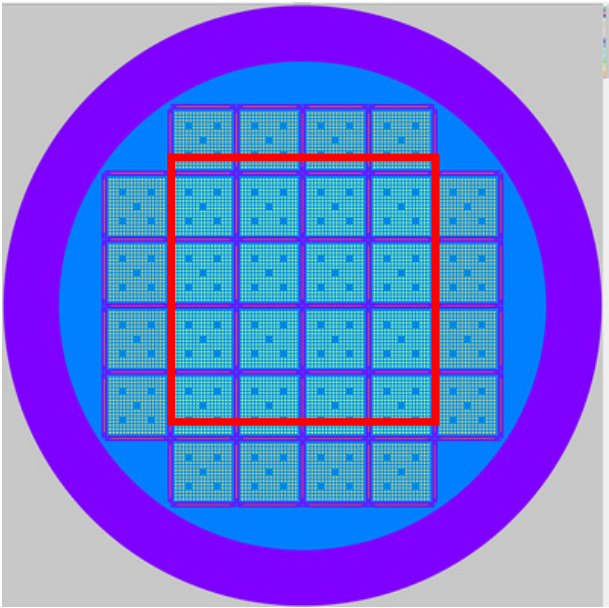


Fig. 2. Radial Cross Section of GBC-32 Cask.

2.4 결과 및 분석

Fig. 2에 대한 핵임계 평가는 SCALE 6.1/STARBUCS 코드를 이용하여 수행하였다. Fig. 2에서 빨간 사각형 내부의 UNFA들이 고연소도를 가지는 시스템들과 저연소도를 가지는 시스템들을 평가하였다. Table 1은 빨간 사각형 내부의 UNFA들과 외부의 UNFA들의 연소도들에 대한 9가지 코드 계산 시나리오들을 보여주고 있다. 여기서, 모든 시나리오들에 대한 UNFA들의 평균연소도는 13번 UNFA의 연소도와 동일하게 설정하였다.

Table 1. Specific Burnups(MWD/MTU) of UNFAs

Case	Inside	Outside	Case	Inside	Outside
1	57,924	38,616	6	45,857	50,684
2	55,511	41,030	7	43,443	53,097
3	53,097	43,443	8	41,030	55,511
4	50,684	45,857	9	38,616	57,924
5	48,270	48,270			

Fig. 3은 Table 1의 9가지 시나리오들에 대한 GBC-32 건식저장용기의 핵임계 평가를 수행한 결과들을 나타내는 그래프이다. 일반적으로 모두 동일한 연소도를 가지는 32개의 UNFA들을 GBC-32 건식저장용기에 저장한 시스템(Case 5)의 유효증배계수 k_{eff} 와 비교해보면, 내부에 저장된 16개의

UNFA들이 고연소도를 가지고 외부에 저장된 16개의 UNFA들이 저연소도를 가지는 경우의 k_{eff} 가 더 낮은 값으로 평가되었고, 반면에 그 반대로 저장한 경우의 k_{eff} 가 더 높은 값으로 평가되었다. 그 이유는 일반적으로 중성자 flux가 건식저장용기시스템의 중앙에서 최대를 이루고, 내부에 저장된 UNFA들이 저연소도인 경우, 다시 말하면, 상대적으로 고농축도를 유지하고 있는 경우, 중성자의 핵분열 반응밀도가 상대적으로 높기 때문에 k_{eff} 가 더 높은 값으로 평가된다고 말할 수 있다.

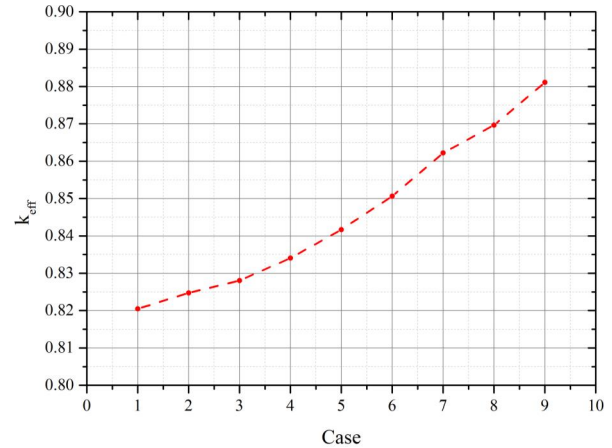


Fig. 3. Results on 9 cases for GBC-32 Cask.

3. 결론

연소도만 2가지로 서로 다른 UNFA들을 GBC-32 건식저장용기에 저장하는 조건에 대해 SCALE 6.1/STARBUCS 코드의 k_{eff} 값들을 비교·분석하였다. GBC-32 건식저장용기의 내부에 저장된 UNFA들이 상대적으로 저연소도 또는 고농축도일수록 중성자의 핵분열반응밀도가 상대적으로 높기 때문에 k_{eff} 가 더 높아진다는 결론을 얻었다. 그러므로 다양한 연소도의 UNFA들을 건식저장용기에 저장하는 경우에는 중앙에서 외부로 갈수록 연소도가 점점 낮은 UNFA들을 배치하는 것이 더욱 안전하게 미임계성을 확보할 수 있다고 결론을 내릴 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] H.J. Yun, D.Y. Kim, K.H. Park, and S.G. Hong, "A Criticality Analysis of the GBC-32 Dry Storage Cask with Hanbit Nuclear Power Plant Unit 3 Fuel Assemblies from the Viewpoint of Burnup Credit", Nuclear Engineering and Technology, 48, 624-634 (2016).