

핵연료주기 동적 시뮬레이션 분석

정창준, 고원일

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

cijeong@kaeri.re.kr

1. 서론

핵연료주기 동적 해석 코드인 DANESS [1] 코드를 한국 핵연료주기 해석에 적합하도록 수정하여 DANESS-K 버전을 작성하고 이를 이용하여 핵연료주기 동적 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 즉, 직접처분 주기와 고속로-파이로 연계 주기에 대해 물질 흐름을 분석하였다.

2. 핵연료주기 분석

2.1 직접 처분 주기

직접처분 주기에 대한 물질 흐름을 분석 하였다. 먼저 국내 원자력 수요를 국가 에너지 기본 계획에 [2] 따라 2030년까지 27.3 GWe으로 증가하고 이후 전력 증가량이 서서히 감소하여 2100년도에 증가율이 0이 되도록 가정 하여 원자력 용량이 약 70 GWe이 되도록 하였다. 이러한 원자력 요구량을 만족시키기 위해 도입되는 원자로 형태는 그림 1에 나타내었다. CANDU 원자로는 2040년경 운전이 정지되고, 기존 경수로는 2070년경 모두 운전 정지되며, 이후 APR-1400 원자로만 운전 되게 된다.

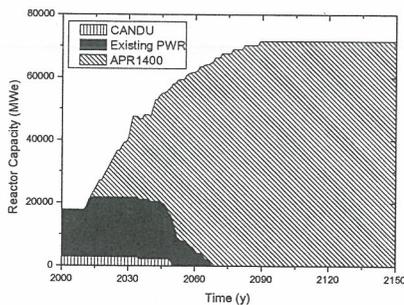


Fig. 1. Nuclear Reactor Capacity

그림 1의 원자로 도입 용량에 따라 발생하는

사용후 핵연료는 2150년도에 약 186500 t이 될 것으로 예측되며, 이에 따른 노의 Pu 및 MA 재고량은 2150년도에 각각 1940 및 160 ton이 되어, 총 TRU 재고량은 2100 ton이 될 것으로 예측된다. 사용후 핵연료를 10년 냉각, 50년 중간 저장 후 직접 처분 할 때 원자로 부지 내 냉각조, 중간 저장 시설 및 처분장에서의 사용후 양을 그림 2에 나타내었다. 각 시설별 사용후 핵연료 재고량을 보면, 원자로 사이트 내 저장조에서의 사용후 핵연료 양은 2040년 이후 약 1400 ton으로 일정하게 유지되며, 중간 저장 시설에서의 양은 계속 증가하고 처분이 시작되는 2060년 이후 증가율이 약간 둔화됨을 알 수 있다. 따라서 이 시나리오에 의하면, 2150년도에 10,400 ton 용량 저장조 시설, 100,100 ton 용량 중간저장 시설, 72,000 ton용량 처분장 시설이 필요한 것으로 나타났다. 이 값들은 냉각기간 및 중간저장 기간에 따라 변하게 된다.

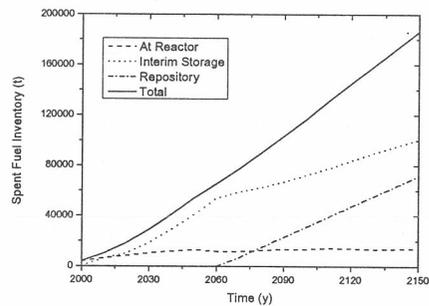


Fig. 2. Spent Fuel Inventory in Facility

2.2 완전 재순환 핵연료 주기

완전 재순환 시나리오로서 KALIMER-600 원자로를 도입하고 사용후 핵연료는 파이로 건식 처리하는 핵연료 주기에 대한 계산을 수행하였다. 이 시나리오 분석을 위해 고속로는 2030년도부터 도입되는 것으로 가정하였다. 고속로 전환비 1.0, 0.61, 0.3 등 세 가지 경우에 대해 분석을 수행하

었는데, 이는 KALIMER 설계 및 분석이 전환비 1.0인 전환 노심과 전환비 0.61인 연소로가 고려되고 있고, 이보다 낮은 전환비의 영향을 분석할 필요가 있기 때문이다.

그림 3은 각 전환비에 대해 천연 우라늄 누적 소비량을 비교하여 나타낸 것이다. 우라늄 사용량은 전환비가 증가함에 따라 감소하는데 이는 우라늄 산화물 핵연료가 고속로 핵연료로 대체되기 때문이다. 전환비 0.3 및 0.61에 대해 천연 우라늄 사용량은 직접 처분 주기에 비해 각각 10.6%, 18.7% 감소한다. 전환비 1.0의 경우에는 천연 우라늄 사용량이 약 50% 감소하였는데 이는 전환비 1.0 고속로의 도입율이 매우 높기 때문이다. 핵연료 농축량도 이와 비슷한 경향을 보이는데 전환비 0.3 및 0.61의 경우 각각 10.7%, 19.7% 감소한다. 전환비 1.0의 경우 천연 우라늄 사용량과 마찬가지로 매우 크게 감소하였는데 이는 전환비 1.0 고속로 도입의 경우 핵연료 농축의 필요성이 매우 낮기 때문이다.

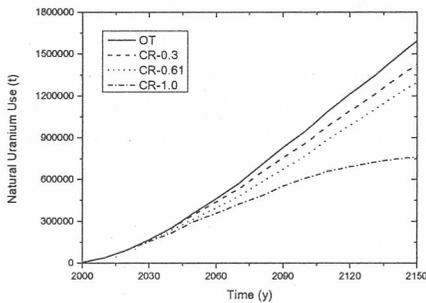


Fig. 3. Amount of Natural Uranium Use

후행 핵연료주기 인자로서 사용후 핵연료 발생량은 그림 4에 나타난 바와 같이 직접 처분 주기에 비해 약 85% 감소한다. 이 결과에 보듯이 모든 경우에 대해 사용후 핵연료 재고량이 유사한 것은 고속로 도입 용량이 경수로 사용후 핵연료 양을 최소화 하도록 도입되기 때문이다. 한편, 경수로 핵연료 누적 재처리량은 전환비가 증가할수록 감소하고, 고속로 사용후 핵연료 재처리량은 전환비가 증가할수록 증가하여 각 전환비에서 누적 재처리량은 2150년도에 각각 3930 t, 10010 t, and 40280 t이 된다.

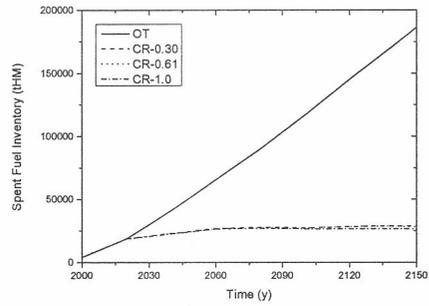


Fig. 4. Spent Fuel Inventory in Fast Reactor Cycle

고속로 주기에서의 TRU 노의 재고량은 각 전환비에서 각각 2150년도에 1280 t, 1100 t, and 970 t이며, 이는 직접 처분 주기에 비해 각각 34%, 44%, and 50% 감소한 값이다. 여기서 TRU 노의 재고량은 고속로에 사용되기 전 대기 파이로 처리를 위해 대기하는 상태의 양도 포함하므로 실제 관리하여야 하는 노의 재고량은 이에 비해 낮을 것으로 예상된다.

3. 결론

DANESS 코드를 사용한 핵연료주기 동적 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 직접처분 주기 분석 결과 2150년도에 사용후 핵연료 누적량은 약 186500 t이 될 것으로 예측된다. 파이로-고속로 핵연료 주기는 사용후 핵연료 재고량을 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력 기술 개발 사업으로 수행되었음.

5. 참고문헌

[1] L. V. D. Durpel et al., "DANESS- Dynamic Analysis of Nuclear Energy System Strategies," Global 2003, New Orleans, November 16-20, 2003.
 [2] 지식경제부, 국가 에너지 기본 계획, 2008.