

노심 TRU 농축도에 따른 소듐냉각 고속로 적정도입을 평가

김영인, 이동욱, 조충호, 김영일
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 yikim2@kaeri.re.kr

1. 서론

경수로(PWR) 위주의 국내 원전체제에 소듐냉각 고속로(SFR)를 시기 적절히 도입하여 PWR 사용후핵연료를 재활용하여 SFR에서 초우라늄 원소(TRU)를 재순환하는 핵연료주기 수립함으로써 국내 사용후핵연료 관리문제를 해결할 수 있음을 보인 바 있다[1,2]. 여기에서는 KALIMER-600 개념설계[3,4]와 이를 기초로 최근 개발된 제4세대 소듐냉각 고속로 고유개념의 노심설계[5]를 대상으로, TRU 농축도 변동을 중심으로 설계변경에 따른 SFR 적정 도입율을 비교분석하였다.

2. 도입시나리오 및 분석

2.1 주요 가정 및 대상시나리오

소듐냉각 고속로(SFR) 도입을 통한 경수로(PWR)-소듐냉각 고속로(SFR) 연계 순환핵연료주기를 수립하기 위한 원자로 혼합도입시나리오 연구에서는 경수로 사용후핵연료 최종처분량(누적량) 및 우라늄 소모량 감축을 도입기대효과 목표로 설정하고 연소로 TRU 농축도 및 목표 누적량에 따른 SFR 적정도입율을 평가하였다.

원자로 혼합도입시나리오를 분석하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 원전 설계수명: 60년, 기존 PWR(100만 kW)의 경우 수명연장
- SFR 실증로/상용로 도입(운전) 개시: 2028년/2040년
- SFR 노형: KALIMER-600(2006년), 고유개념(2009년)
 연소로(Burner, BN) KALIMER-600 고유개념
 전환비 0.61 0.74
 TRU농축도(%) 37.9 28.7
- PWR 사용후핵연료 조성비: 초기농축도 4.5%, 연소도 55 GWD/tU 대상. TRU 1.41%(Pu 1.2% + MA 0.21%)
- 중수로(CANDU) 사용후핵연료의 재순환은 미고려.
 경수로 사용후핵연료 최종처분량을 일정수준(20~30 ktHM) 이하로 유지하거나 최소화하는 시나리오를 대상으로 하여, SFR 연소로 단일도입(BN Only), [연소로+자체순환로(Breakeven reactor, BK)], 혼합도입(BN+BK)방식을 평가하였다.

원자력발전량은 2030년까지는 국가에너지기본계획 및 제4차 전력수급기본계획을 참조하고, 2031년 이후에는

2030년의 원자력발전량 비중(59%)을 유지하면서 2051년 이후에는 전력수요 증가율이 동일한 비율로 감소하여 2100년경에는 전력수요 증가가 없도록 가정하여 원자력발전량을 전망하였다. 이 결과 2100년 원자력발전량은 550 TWh로, 이용률을 85%로 가정 시에 원전설비량 73.9 GWe로 각각 전망되었다.

2.2 분석 결과

대상시나리오 연구에서 적용한 SFR 대상노심에 대한 연간 핵연료물질 흐름량은 표 1과 표 2에서와 같다.

Table 1. Annual Fuel Mass Balance for KALIMER-600s

	연소로(600 MWe)		자체순환로(600 MWe)	
	초기장전 (ton)	연간 변화량 (kg/year)	초기장전 (ton)	연간 변화량 (kg/year)
TRU	7.70	-292	5.94	2.0 (무시)
U	12.61		32.30	

Table 2. Annual Fuel Mass Balance for Advanced SFRs

	연소로(600 MWe)		자체순환로(1,200 MWe)	
	초기장전 (ton)	연간 변화량 (kg/year)	초기장전 (ton)	연간 변화량 (kg/year)
TRU	4.66	-189	9.59	-1.6 (무시)
U	11.60		51.800	

TRU 농축도에 따른 SFR 도입율에 대한 주요 결과는 표 3에서 보여준다. 한편 그림 1~3에서는 SFR 도입율에 따른 SFR 발전설비 도입량, 경수로 사용후핵연료 누적량 및 우라늄 소모량을 보여준다. 연소로의 TRU 농축도 감소로 SFR 분율이 증가한다. 즉, 연소로의 TRU 농축도 9% 감소로 2100년경 SFR 분율은 10% 정도(~7 GWe) 증가한다.

경수로 사용후핵연료 최종처분량은 SFR 연소로 단일도입으로 일정수준 이하로 감축·유지가 가능하다. 20 ktHM 이하로 감축·유지할 경우 2100년경 SFR 분율은 각각 41, 31% 정도이며, 30 ktHM 이하의 경우에는 SFR 분율은 각각 22, 29% 정도이다.

경수로 사용후핵연료 최종처분량(누적량)의 목표상한값 증가에 따라 SFR 초기도입율을 완화할 수 있다. SFR 도입 초기(2040년경)에서의 최종처

분량 목표상한값 이하로의 감축 필요 여부에 따라 SFR 초기도입율이 결정된다.

경수로 사용후핵연료 최종처분량을 최소화하기 위해서는 혼합도입(BN + BK)이 효율적이며, 각각 약 2, 11 GWe의 SFR 추가 도입이 필요하다.

Table 3. SFR Installed Capacities with Different TRU Enrichments for Burners (as of the Year 2100)

	PWR 사용후핵연료 최종처분량 목표 상한값 (ktHM)	시나리오	TRU 농축도(%)			
			28.7		37.9	
			SFR 발전 설비량 (GWe)	SFR 분율 (%)	SFR 발전 설비량 (GWe)	SFR 분율 (%)
직접 처분	89.0	PWR-OTC	73.9 (PWR)		73.9 (PWR)	
SFR 도입	(10)	BN +BK (참조안, 최소화)	42.0	56.8	39.6	53.6
	10	BN Only (최소화)	39.6	53.6	28.8	39.0
	20	BN Only	30.0	40.6	22.8	30.9
		BN +BK	31.2	42.2	28.8	39.0
	30	BN Only	28.8	39.0	21.6	29.2
BN + BK		33.0	44.7	27.6	37.3	

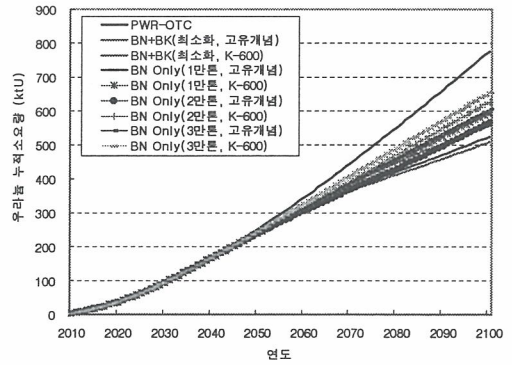


Fig. 3. Cumulative uranium demand

3. 결론

도입대상 SFR 연소로의 TRU 농축도 감소에 따라 SFR 적정도입율은 증가한다. 이 경우 SFR 연소로 단일도입만으로 경수로 사용후핵연료 최종처분량을 일정수준 이하로 감축·유지가 가능하다. 경수로 사용후핵연료 최종처분 목표량/누적량 설정에 따라 도입대상 SFR의 적절한 도입방식 및 도입율을 설정하여야 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Y. I. Kim, et al., "SFR Deployment Strategy for the Re-use of Spent Fuel in Korea," Nucl. Eng. and Tech., Vol. 40, No. 6, pp. 517-526, Oct. 2008
- [2] Y. I. Kim, et al., "A Sustainable Reactor Deployment Scenario with Introduction of SFRs," 한국방사성폐기물학회, 2009년 춘계학술 발표회 논문요약집, pp. 39-40, 2009
- [3] D. H. Hahn, et al., "KALIMER-600 Conceptual Design Report," KAERI/TR-3381/2007, Korea Atomic Energy Research Institute (Feb. 2007)
- [4] S. G. Hong, et al., "Establishment of Gen IV Sodium Cooled Transmutation Nuclear Reactor Concept, KAERI/RR-2679/2006, Korea Atomic Energy Research Institute (Aug. 2006)
- [5] 김영인 외 6인, "제4세대 소듐냉각 고속로 고유개념 설정," KAERI/TR-4063/2010, 한국원자력연구원 2010

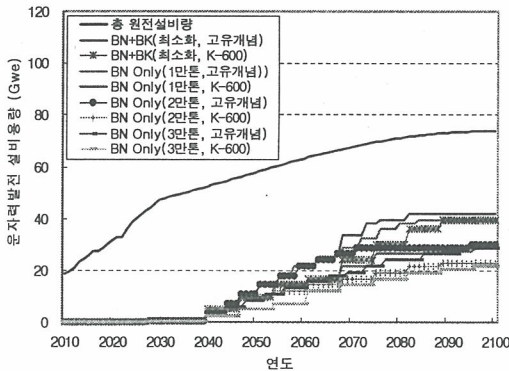


Fig. 1. SFR installed capacities

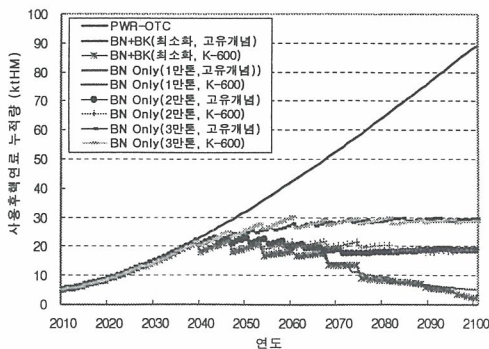


Fig. 2. Cumulative PWR spent fuel