

국가 사용후핵연료 이력 관리 및 시나리오 분석 시스템 개발

Development of Assembly-based Tracking System for ROK Spent Fuel Management

한재준*, 정연홍, 장선영, 황용수

한국원자력통제기술원, 대전광역시 유성구 유성대로 1534

*jjhan@kinac.re.kr

1. 서론

지난 '16.7월 확정된 고준위방사성폐기물 관리 기본계획[1]에 따르면, 처분장 부지면적과 관련하여 심층처분방식(약 500 m 깊이)을 우선 고려하되, 면적과 그 영향을 최소화하기 위해 심부시추공처분(약 3-5 km 깊이) 등의 연구도 병행하는 것을 기본방향으로 정하였다. 아울러 기본계획에 언급된 핵비확산 수용성 입증 연구가 진행 중인 건식재처리도 재활용 또는 독성·부피저감을 통한 처분면적 감축효과를 기대하고 있다.

부지면적을 산정함에 있어서는 사용후핵연료 관리 정책에 재처리(재활용)기술의 반영 유무와 적용되는 기술력에 따라 다양한 견해가 존재할 수 있으나, 결과적으로 이것이 방출되는 사용후핵연료 양과 발생열에 비례하게 산정된다는 사실에는 이견이 없다. 그러므로 관리 정책을 수립함에 있어 유의미한 데이터는 사용후핵연료의 이력을 포함한 양적 흐름과 정책 수립 시점에서의 적용가능한 기술을 통해 계산되는 발생열 수치이다. 이러한 관리 자료는 향후 관련 시설의 인허가시에도 안전성을 입증하는 과정에서 기반 자료가 된다.

아울러, 사용후핵연료 관리 사업은 국가의 장기 과업으로 타 국가들의 사례에서 보듯이 다양한 변수가 존재하므로 일정에 맞춰 차질없이 계획을 추진하기 위해서는 체계적인 시나리오 분석이 요구된다. 이를 통해, 시간에 따라 처분이 요구되는 사용후핵연료의 양에 대해, 국내 재처리가 수용할 수 있는 양을 산정하고, 불가피한 경우 해외의 공동처분장운영 또는 위탁재처리 여부를 타진해야 한다.

이러한 핵연료주기 관리 정책은 관련 분야 선진국인 미국의 경우 국내 보관된 사용후핵연료와 발생이 예상되는 핵연료에 대해 지역별 통계와 그에 따른 관리 전략을 수립하여 해당 내용을 보고서로 발간하고 있다[2].

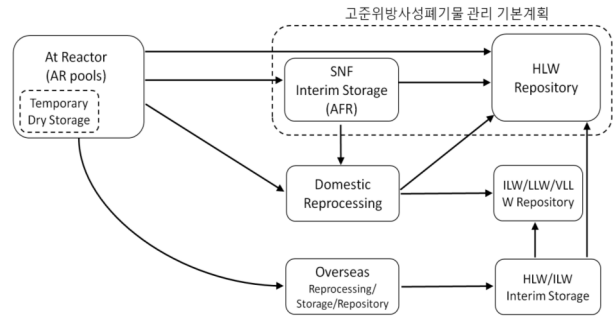


Fig. 1. A flow chart of the ROK nuclear spent fuel.

본 논문에서 다루는 국가 사용후핵연료 관리 시스템은 두 가지 목적을 갖고 개발되었다. 하나는 국내 원전에서 사용되는 핵연료의 운반 이력과 특성정보를 통합하여 관리하는 것과, 다른 하나는 관리 시나리오 분석을 통해 국가 사용후핵연료 기본계획을 실행하는 과정에서 세목들의 기술적 근거자료를 제시하는 것이다.

2. 본론

2.1 시스템의 구성

서론에서 설명한 두 가지 목적에 따라 본 시스템은 두 가지 플랫폼으로 구성되어 있다. 국내 사용후핵연료의 방출 시점부터 운반이력과 각 연료집합체에 대한 특성정보를 관리하기 위한 플랫폼, 그리고 특정시점에 국가가 보유하고 있는 사용후핵연료를 기반으로 중간저장시설 및 처분장의 건립시점, 재처리(재활용)시설의 건립시점 및 용량 등을 변수로 입력하여 미래 시나리오 분석을 할 수 있는 플랫폼이다.

데이터베이스의 관리·운영은 Microsoft SQL Server Express 2014, 조건문에 따른 변수 입출력 등의 구현은 몬테카를로 시뮬레이션 상용 소프트웨어인 GoldSim[3]을 사용하였으며, 데이터베이스 테이블 생성 및 업데이트 과정에서 효율성 향상을 위해 Python언어를 활용하였다.

Table 1. A partial master inventory table for tracking assemblies

Index	Date_Reactor	Reactor	Assembly_Type	Assembly_Count	Date_ToPool1	Pool1	Date_ToPool2	Pool2	Date_ToDomestic	Date_ToIntl	Date_ToRepository
1	[INTEGER]	[INTEGER]	[INTEGER]	[INTEGER]	[DATETIME]	[INTEGER]	[DATETIME]	[INTEGER]	[DATETIME]	[DATETIME]	[DATETIME]
2											
3											
.											
.											
.											
M											

2.1.1 이력 및 특성정보 관리 플랫폼

본 시스템에서는 핵연료 집합체의 원자로 장전 시점부터, 소내 운반(수조 간 및 임시건식저장시설), 향후 소외운반에서 처분까지 이력관리가 이뤄진다. 재처리(재활용)의 경우에는 집합체가 분해되므로, 방사선 준위별로 부피 환산하여 드럼단위로 이력이 관리된다. 사용후핵연료의 이력관리 항목 일부를 Table 1에 제시하였다.

핵연료 집합체 특성은 연료종류에 따른 총질량, 형상 등 기본정보에서부터 노심해석 코드로 계산된 방출연소도와 인수 우라늄 농축도에서 얻어지는 인출우라늄 농축도 및 플루토늄 총량 등이 관리된다. 이후 운반이 이뤄지면 냉각시간에 따라 핵종 함량이 변하므로 이에 대한 특성 변화값들도 관리할 수 있도록 플랫폼을 구축하였다.

2.1.2 시나리오 분석 플랫폼

Fig. 1에는 사용후핵연료 관리 시나리오 분석을 위한 다양한 운반 경로가 제시되어 있다. 시스템에서 중간저장시설과 처분장의 운영시점, 국내재처리(재활용)시설의 운영시점을 조정하면 조건문(포화율, 냉각시간 등)과 운반 우선순위(국내 재처리> 처분장>중간저장>소내수조>해외위탁)에 따라 시나리오 분석이 수행된다.

국내 사용후핵연료 관리를 위해 플랫폼은 제 7차 전력수급계획의 원전 운영/건설 정보를 기반으로 개발되었으며, 시나리오 분석을 수행하는 년도별로 발전소 호기에 보관되고 있는 집합체 정보가 출력된다.

2.2 시스템의 적용 분야

본 시스템의 특징은 각 핵연료 집합체의 원전 장전에서부터 처분까지 이력과 특성을 보관하는 인프라를 갖추고 있다는 점이다. 이는 단순히 정보를 통합하여 보관하는 의미에서 나아가 국가 내 시설 위치별, 시기별 사용후핵연료 수량(물량)분석과 더불어 특성인자들을 활용하여 핵확산저항성과 핵안보성 관련 인자인 핵물질 매력도[4] 등의 평가로 확장이 용이하다.

3. 결론

본 연구를 통해 국내 사용후핵연료 통합 관리와 시나리오 분석 기반을 구축하였다. 핵연료 집합체 별 이력 및 특성정보 관리 플랫폼을 제시하고 이와 연계된 시나리오 분석 도구를 개발하였다. 이를 통해 정부 관리 계획 검증 및 향후 상황에 대응을 위한 예측 결과를 제시할 수 있다. 연도별, 시설별 수량(물량)평가를 통해 부지선정 과정에서 정책 제언 도구로 활용이 가능하며, 더 나아가 각 집합체 운반 이력과 핵물질 특성인자를 이용하여 핵비확산, 핵안보, 안전성 등의 정보를 분석 및 평가하는 종합 시스템으로 확장하고자 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국원자력통제기술원 고유(일반)사업의 일환으로 수행된 연구결과입니다 (No. B5-8162, B6-8140).

5. 참고문헌

- [1] 국무조정실 보도자료, “제 6차 원자력진흥위원회, 「고준위 방사성폐기물 관리 기본계획」 확정”, 2016년 7월 25일.
- [2] Oak Ridge National Laboratory, "Categorization of Used Nuclear Fuel Inventory in Support of a Comprehensive National Nuclear Fuel Cycle Strategy", ORNL/TM-2012/308 (2012).
- [3] Rick Kossik and Ian Miller. "GoldSim User's Manual." GoldSim Technology Group, Issaquah, WA USA (2009).
- [4] Charles G. Bathke et al. "The Attractiveness of Materials in Advanced Nuclear Fuel Cycles for Various Proliferation and Theft Scenarios." Nuclear Technology 179(1): 5-30(2012).