

미국 사용후핵연료 표준화 캐니스터 연구 고찰

이수홍¹, 정진영¹, 이재민¹, 김태만², 김광표^{1*}

¹경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732

²한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 168

*realsh@khu.ac.kr

1. 서론

원자로를 운영 중인 많은 국가들은 사용후핵연료 저장 및 처분을 위한 용기 및 시설 연구를 수행 중에 있다. 우리나라의 경우 고준위방사성폐기물 관리 기본계획이 수립됨에 따라 영구처분을 위한 로드맵이 제시되고 이에 따른 필요 연구들이 진행되고 있으나 아직 구체적인 처분장의 설계나 그 전 관리 단계의 방안은 명확히 수립되지 않았다. 원자력 선진국 중 대표적인 미국의 경우 유카 마운틴 프로젝트 중단 이후 다양한 연구가 수행되고 있고, 그 중의 하나로 사용후핵연료 표준화 캐니스터 연구가 있다. 본 연구에서는 미국에서 수행 중인 표준화 캐니스터의 적용 타당성 분석에서 평가 조건 설정과 중간 결과에 대한 소개와 더불어 표준화 캐니스터의 국내 적용 타당성에 대해 고찰하고자 한다. 이러한 분석은 추후 운반/저장 등의 용도로 사용될 용기 개발 연구의 로드맵에 관련 연구가 반영 될 수 있을지 가능할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 본론

2.1 미국의 표준화 캐니스터 시스템 개관

미국의 에너지부(DOE, US Department of Energy)는 오크리지 국립 연구소 (ORNL, Oak Ridge National Laboratory)를 통하여 표준화 캐니스터 시스템에 대한 연구의 결과물로 2014년에 "Initial Standardized Canister System Evaluation" 보고서를 발표하였다. 보고서에서는 표준화된 캐니스터가 사용후핵연료 관리 시스템으로 통합되는 과정에서 미래 시점에 표준화 캐니스터들이 각 관리 전략에 따라 어떤 식으로 적용 가능할지 분석하고 있다. 사용후핵연료 관리를 위한 캐니스터의 사용은 사용후핵연료의 발생부터, 영구처분까지 관련된 많은 과정이 있으므로 복합적인 연계 영향의 분석을 필요로 하나, 우선적으로 사용후핵연료가 발생하는 부지에서 저장, 이송, 처분이 가능하도록 설계된 표준화 캐니스터를 활용하는 것과, 중간저장시설(ISF, Interim Storage Facility)

또는 처분장으로 이송 전 원자로에서 직접 적재하는 방식의 시나리오에 중점을 두고 분석하였다.

2.2 미국 사용후핵연료 캐니스터 사용 동향

미국은 현재 각 발전소에서 발생한 사용후핵연료는 각 부지 별 시설에서 자체적으로 관리하고 있다. 대부분의 시설에서 고용량 캐니스터를 사용하고 있으나, 일부 시설은 최근 들어 경수로 기준 37기의 사용후핵연료 집합체를 수용할 수 있는 초고성능 캐니스터를 사용하기 시작했다. 캐니스터는 사용후핵연료가 부지 밖 이송에도 활용할 수 있도록 이중용도 캐니스터(DPC, Dual Purpose Canister)를 사용 중에 있다. 그러나 DPC의 경우 적재 완료된 캐니스터의 상태가 일정한 열적 및 선량 한도 이하로 내려간 이후에나 이송이 가능함에 따라 적재 후에도 몇 년간은 부지 내에 관리해야 된다는 것과, 영구처분장의 처분 특성에 따라 재포장이 필요할 경우 비용 증가, 작업자 피폭 증가 등의 문제를 갖고 있다. 또한 사용후의 DPC는 또 다른 방사성폐기물이 되므로 이러한 캐니스터의 사용에 대한 적정성 등의 연구가 적극적으로 수행되고 있다.

2.3 표준화 캐니스터 시스템 평가 조건

2.3.1 저장 및 운반 가정 조건

각 캐니스터의 특성에 따라 저장 및 운반 용량을 다음 Table와 같이 설정하였다.

Table 1. Overpack capacity as a function of canister size

Canister Size	Storage Capacity	Transportation Capacity
4 PWR	4	4
12 PWR	3	1
21 PWR	1	1
Ref DPC	1	1
37 PWR	1	1

2.3.2 중간저장시설 가정 조건

- 연간 3,000 MTHM 수용 가능
- 중간저장시설은 영구처분장 운영 전까지 사용되

며 영구처분장 운영 이후부터는 각 발전소 발생 사용후핵연료는 처분장으로 직접 처분

2.3.3 처분장 가정 조건

- 연간 수요량은 3,000 MTHM
- 모든 포장 및 재포장은 처분장에서 수행된다.
- 37 PWR 표준 캐니스터가 처분 가능한 경우 DPC도 처분 가능하다.
- 처분장의 최대 저장용량의 한계는 없다.

2.3.4 일정 가정 조건

- 2025년 : 표준화 캐니스터 사용 가능
- 2048년 : 영구처분장 운영 시작

2.3.5 저장 및 처분 시나리오

표준화 캐니스터는 2가지로 이송, 노화, 폐기 (Transportation-Aging-Disposal)가 일원화되어 저장, 이송, 처분이 한 번에 가능한 TAD 캐니스터와 응회암질 처분장 환경에 맞게 개발된 다목적 캐니스터가 대상이다.

대상은 가압경수로 발생 사용후핵연료 캐니스터를 대상으로 했으며 다양한 다발을 고려했다. 또한 캐니스터 장전 장소 및 시간에 따라 소내 수조, 발전소 부지, 중간저장시설을 고려했고, 추가적으로 저장용량 초과를 고려했다.

시나리오 설정은 현시점에서 직접처분하는 4개를 중점 분류하였고, 표준화 캐니스터를 적용하는 것을 6개로 중점 분류하였다.

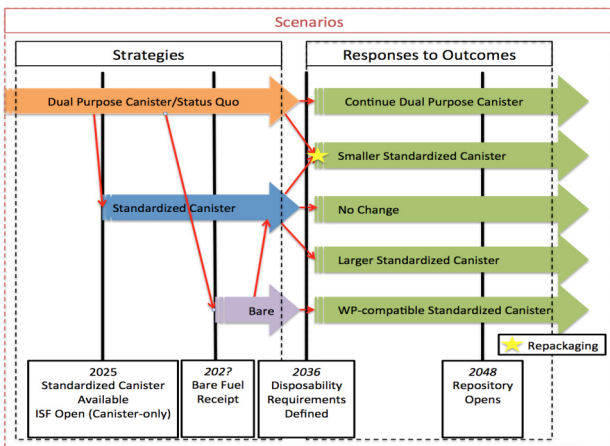


Fig. 1. Three main system strategies and their responses to outcomes.

3. 결론

분석 보고서에서는 앞서 제시한 다양한 가정 조건

과 평가 시나리오를 기반으로 평가 결과를 다양한 도식으로 제시했다. 그러나 각각의 평가 항목별 결과를 제시하고 전반적인 비교 평가는 제시하지 않았다.

우리나라는 중간저장 및 영구처분 시점이 결정됨에 따라 처분장 설계와 그에 따른 관련 용기 규격 결정 등의 다양한 관련 연구가 필요하다. 그 일환으로 표준화 캐니스터의 경우 국내 처분 환경에 적합한 것인지 먼저 판단하는 것이 관련 연구 방향 설정에 중요하다. 그러나 우리나라는 지질 특성, 처분 시점 등 미국과 다른 처분환경을 고려할 필요는 있다.

미국의 표준화 캐니스터 타당성 연구는 그런 면에서 국내 연구 방향의 기본틀을 구축하는데 참고가 될 수 있다. 대상 조건과 평가 시기, 그리고 시설 특성 등의 가정 조건과 각각의 연계 시나리오는 추후 관련 연구에서 참고하여 국내 환경에 맞게 재생산 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

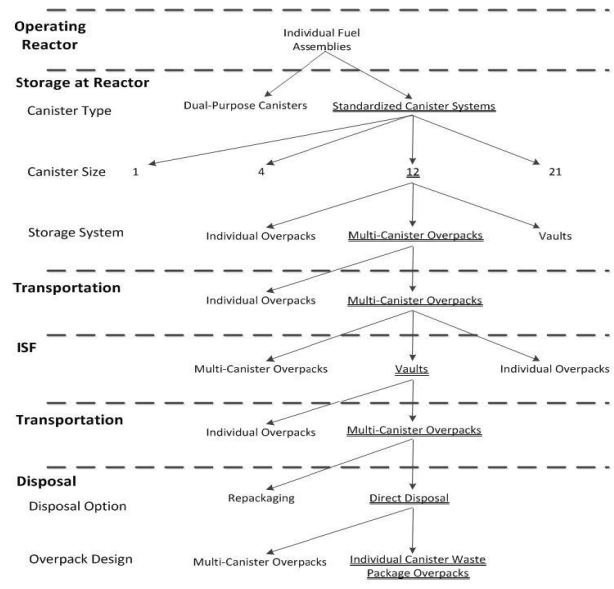


Fig. 2. An example of single scenario represented as an event tree.

4. 감사의 글

이 논문은 한국원자력안전위원회 재원으로 시행하는 한국원자력안전재단의 연구지원 프로그램(과제 번호: 1501009-0115-SB110)으로 지원 받았습니다. 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] US DOE, ORNL, "Initial Standardized Canister System Evaluation", ORNL/LTR-2014/330 (2014).