

사용후핵연료 관리방식 간 연계성에 대한 조명

국동학*, 양용식, 양재호, 구양현

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*syskook@kaeri.re.kr

1. 서론

우리나라는 원전 수조저장조의 포화와 고리1호기의 해체로 인해 본격적인 경수로 사용후핵연료 건식저장을 준비해야하는 상황에 직면해 있다. 구체적인 건식저장 시스템 준비에 앞서 각 관리단계별 연계성에 대한 진지한 논의가 필요한 시점이다. 연계성의 중요성을 가볍게 여겼던 선진국들의 교훈을 참고하여 장기적이고 효율적인 우리만의 관리계획을 준비한 상태에서 건식저장이 준비되어야만 한다.

2. 본론

2.1 저장, 운반, 처분으로의 연계성

사용후핵연료는 원전 수조 저장조 밖으로 방출된 이후부터는 건식저장시스템, 운반시스템, 그리고 최종 처분시스템 등의 다양한 관리방식으로 옮겨진다. 저장기능만 수행한 초기 저장시스템과 금속용기 저장시스템(bare fuel)은 이와 같은 3단계를 기본적으로 거쳐야 한다. 캐니스터 기반의 다목적관리시스템(DPC¹⁾)은 저장과 운반을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있음을 강조하지만, 수십 년의 장기 저장 이후에도 해당 캐니스터가 운반 기능을 제대로 수행할 수 있을지 여부는 아직까지 증명된 바가 없다.

미국의 최근 저장시스템은 대부분 경제성이 좋은 캐니스터 기반이다. 사용후핵연료 관리는 기본적으로 정부의 의무이지만, 현실에서는 발전사업자가 건식저장을 수행하기 때문에 방폐기금을 적립함과 동시에 건식저장 사업도 자체적으로 해결해야하는 발전사업자 입장에서는 사업의 안전성과 더불어 경제성이 그 무엇보다 중요한 사항이다.

그러나, 이러한 캐니스터는 저장과 운반용으로만 쓰이기 때문에 처분의 경우에는 캐니스터를 개봉하여 사용후핵연료를 일일이 처분용기로 옮겨 담아야 하는 과정을 거쳐야만 한다. 미국 NRC의 규제에 의하면 정상적인 건식저장 상태에서도 저장용기 내부에 어느 정도의 핵분열 기체 방출이 발생함을 용인하고 있기 때문에[1] 저장용기 내부의 방사화 정도를 가늠하기 어렵고, 따라서 처분장에서의 사용후핵연료 이송 작업이 매우 위험하고 복잡해질 가능성이 높아졌다.

미국 정부는 건식저장 이후 운반 및 처분을 책임

지기 때문에 건식저장이 끝나는 시점에서 발전사업자로부터 사용후핵연료를 인수해야만 한다. 이때의 사용후핵연료 상태를 정밀하게 파악하기 어렵고, 수십 년간 저장되었던 사용후핵연료가 장거리 운반된 이후의 상태 역시 파악하기가 매우 어렵기 때문에 가능하면 캐니스터를 개봉하지 않고 캐니스터 자체를 처분할 수 있는 방안을 강구하였다. 즉, 사용후핵연료를 포장한 캐니스터 전체를 고준위방사성폐기물로 취급하는 접근 방법이다.

그러나, 1982년 NWP²⁾ 설립 이후부터 약 33년에 걸쳐 준비해온 Yucca Mountain 처분장의 경우 경수로 사용후핵연료는 단일한 처분용기 내에 12다발만이 고려되었기 때문에 약 24~37 다발을 포장하고 있는 현재의 캐니스터 단위 처분은 불가능한 상황이다. 만일 캐니스터 단위의 처분을 고려하려면 처분의 선원항(source term)이 두 배 이상 늘어난 상황이므로 모든 처분관련 안전성 분석을 다시 새롭게 수행해야만 한다.

2.2 재포장(Repacking) 문제

기존의 3단계를 거치는 경우에도 재포장 문제는 여전히 남아 있다. 우선 재포장 작업은 작업자 피폭량을 증가시키고, 각 발전소 부지마다 재포장시스템을 구축해야 하며, 더욱이 해체된 원전부지에서는 재포장 시스템 구축뿐만 아니라 새로운 방사선 준위 증가에 따른 환경영향문제가 매우 심각해진다. 재포장 작업 이후 버려진 저장 캐니스터의 추가적인 방사성폐기물 증가 문제도 고려해야 한다.

2.3 저장시스템의 표준화

이러한 상황을 타개하기 위해 미국 DOE는 2012년부터 표준화(Standardization)[2] 연구를 시작하였는데, 이는 다양한 관리용기간의 연계성을 높이고 처분을 쉽게 수행하기 위한 것이다. 과거 TAD³⁾라 불리는 다목적 시스템에 대한 연구가 진행된 적이 있지만, 이 시스템은 유연성이 매우 낮은 설계로 인해 큰 호응을 얻지 못하고 폐기된 바 있다.

DOE는 이러한 표준화를 수행할 STAD 캐니스터 디자인을 현재 활발히 사업중인 용기개발회사들에게 의뢰하였는데, Energy Solution社は 4다발 혹은 12다발 단위의 소규모 캐니스터 방식(Fig. 1)을 제안하였고 AREVA社は 21다발 방식을 제안하였다.

2) NWP: Nuclear Waste Policy Act

3) TAD: Transportation-Aging-Disposable Cask

1) DPC: Dual Purpose Cask



Fig. 1. STAD design by Energy Solution[3].

그러나 이들이 제안한 시스템은 다음과 같은 현실적인 문제를 극복하기가 어려운 것으로 평가되고 있다.

- 캐니스터 규모가 작은 만큼 기존 방식보다 저장 작업(campaign) 횟수가 늘어나게 되고, 그에 따라 작업 소요시간 증가, 작업자 피폭량 증가, 시스템 구입비용 증가 등으로 경제성이 매우 낮음
- 캐니스터 시스템의 장점인 경제성을 상실한 관계로 실제 발전사업자들이 채택할 가능성이 매우 낮음

2.4 중앙집중식 저장과의 연계성

BRC⁴⁾의 권고안에 대한 수행방안으로 미국 DOE는 2021년까지 해체된 원전의 사용후핵연료를 중앙집중식으로 관리할 수 있는 Pilot Storage를, 2024년까지 각 원전부지에서 저장중인 사용후핵연료를 중앙집중식으로 관리할 수 있는 Centralized Storage 건설 계획을 수립하였다. 최근 3개의 회사들이 각기 이 시설 부지와 저장시스템을 확보하는 성과를 보이고 있는 반면, DOE는 아직까지 사용후핵연료 인수 및 운반에 대한 구체적인 실행방안을 수립하고 있지 못하며, 앞서 언급한 STAD 시스템의 적용방안 역시 결정하고 못하고 있다.

2.5 관리단계별 규제기준의 불일치

미국의 사용후핵연료 관련 법규는 저장은 10CFR72, 운반은 10CFR71, 처분은 10CFR63으로 나누어져 있다. 불행하게도 이들 법규 및 규제 간에는 일관성이 없는 부분이 상당(Fig. 2)하기 때문에 규제들 간의 연계성 문제 역시 매우 시급한 현안문제이다[4].

2.6 우리에게 시사하는 점

화강암반이 주종을 이루는 우리나라의 경우에는 스웨덴과 핀란드의 처분 방식과 유사하게 단일 처분 용기 당 4다발의 경수로 사용후핵연료를 처분하는 시스템(KRS)⁵⁾[5]이 적합한 것으로 분석된 바 있다. 그러나 최근 원자력환경공단에서 개발한 저장/운반 겸용 용기의 용량이 21다발이므로 처분

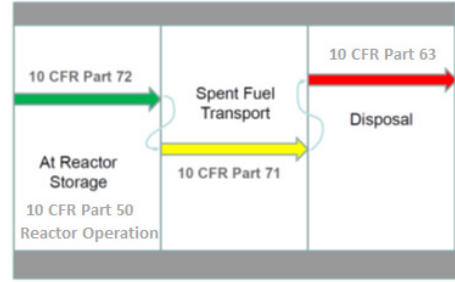


Fig. 2. Disconnection between regulations.

수행시에는 재포장 작업을 수행해야만 한다. 따라서, 구체적인 저장사업에 앞서 저장과 운반 이후 처분까지의 연계성을 면밀히 준비하는 것이 매우 중요하다.

3. 결론

사용후핵연료 관리 경험이 많은 미국의 경우 저장, 운반, 처분의 준비가 상호교류 없이 독립적으로 이루어진 관계로 규제기준의 연계성이 낮고, 시스템 간의 호환성이 큰 문제를 겪고 있음을 살펴보았다. 이제 본격적으로 후행관리를 시작하는 우리나라는 이를 교훈 삼아 관리 시스템간의 호환성, 재포장 가능성, 각 단계별 규제기준간의 일관성 등을 면밀히 준비하여야만 한다. 이러한 장기적이고 효율적인 관리방안이 마련되었을 때, 사용후핵연료 관리에 대해 우려하는 국민들로부터 후행주기 사업에 대한 수용성을 확보할 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2014171020166A)

5. 참고문헌

- [1] US NRC, NUREG-1536 Rev.1, 2010.
- [2] US DOE, "Standardized Transportation, Aging, and Disposal Canister Design", NWTRB, June 24, 2015.
- [3] Energy Solutions, "Generic Design for Small Standardized Transportation, Aging and Disposal Canister Systems-Updated Final Report", May 14, 2015.
- [4] US NRC, "Regulatory Perspective on US Dry Cask Storage", GABI Workshop-An Indepth Look at Spent Nuclear Fuel Management, March 18-19, 2014.
- [5] KAERI, "한국형 고준위폐기물 처분시스템", KAERI/TR-3563/2008, 2008.

4) BRC: Blue Ribbon Commission

5) KRS: Korean Reference disposal System