

사용후핵연료 처분율에 따른 처분방안

이민수*, 최희주, 이종열

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*minm@kaeri.re.kr

1. 서론

현재 우리나라는 28기의 원자력 발전소를 운영하고 있으며, 여기에서 나오는 사용후핵연료를 500m 심부에 지층처분하려는 계획을 갖고 있다. 한국원자력연구원에서 작성된 KRS 직접처분 시나리오에 따르면, 2004년까지 발생한 사용후발생량 추이에 따라 2057년까지는 36,000 tU (PWR 20,000 tU, CANDU 16,000 tU)이 될 것으로 예측하였다. 이는 처분용기(0.45 tU, 1~2 kW 열용량)총 14,210 개의 발생량에 해당된다. 따라서 KRS 계획에서는 CANDU 집합체 30년 냉각 및 PWR 집합체 40년 냉각 조건으로 다음의 처분율로 55년 동안 처분한다는 계획을 수립하였다[1].

- 146 canister/year for CANDU SNF
- 380 canister/year for PWR SNF

한편, 최근 파이로시스템의 금속전환체 처분가능성 검토과정에서, 7차 전력수급기본계획에 따른 신규 원전까지 고려하면 2,100년 까지 PWR 사용후핵연료 누적량은 78,600 tU에 달한다고 예측하였다. PWR 사용후핵연료를 40년 냉각하고, 2076년부터 2140년까지 약 78,600 톤 처분할 경우, 연간 처분율은 1,210 tU으로 계산된다. 이는 처분용기 기준으로,

- 688 canister/year for PWR SNF

에 해당되며, 앞선 KRS 산정치의 2배 가까이 되는 수치이다. 이는 산술적으로 하루 2개 처분용기의 처분에 해당된다. 이런 처분율은 물리적으로 공정 수행이 힘들다는 일부 의견이 제시되어 실제 처분을 위한 공정 시간을 검토해 보았다.

2. 해외 사례

현재 심지층 처분을 고려하는 나라들은 많지만, 실제 처분공정에 어느 정도 시간이 소요되는지 구체적으로 보고하고 있는 나라는 드물다. 하지만 스

웨덴과 핀란드는 실제 처분을 가까운 미래에 계획하고 있어, 연간 처분율을 정량적으로 제시하고 있다. SKB에 따르면, 스웨덴은 최대 연간 처분율을 150 canister/year로 잡고 있다[2]. 그리고 Posiva에 따르면, 핀란드는 9,000 tU (4,500 canisters)를 100년간 처분한다는 계획을 수립하였는데, 이는 처분율 40~50 canister/year 수준으로 매우 낮다[3].

따라서 스웨덴과 핀란드의 처분율은 현재 국내에서 고려하고 있는 처분율에 비해서 낮은 편이라고 할 수 있다. 그러나, 자국의 사용후핵연료 발생량에 맞춰서 설정된 것이기 때문에 실제 공정 수행력을 고려해서 설정된 값은 아닌 것으로 보여진다.

3. 처분 공정 시간 검토

3.1 처분율과 시설 용량

처분율은 간단하게 용기수량을 처분기간으로 나누면 얻어진다. 그러나 실제 처분기간 동안 매년 동일한 처분율로 처분될 수는 없다. 보통 처분장 운영 초기에는 경험부족과 시행착오, 그리고 일부 설비의 부분적 가동 등을 고려하여, 낮은 처분율로 시작하여 매년 서서히 처분율을 높인다고 보고 있다. 그리고 처분장 운영 말기에는 충분히 냉각된 SNF가 부족해 지기 때문에 처분율이 낮아질 수밖에 없다. SKB의 경우, 말기 처분율을 높이기 위해 처분용기당 집합체 개수를 4기에서 3기로 줄여서, 즉 냉각기간이 짧은 용기도 처분할 수 있도록 하여, 처분율을 높이는 방법을 택하고 있다[2].

처분시설은 노후 및 고장 등을 대비하여 처분 시설들은 처분율의 120~150% 처리 규모로 구축하게 된다. 따라서 스웨덴의 최대 처분율은 150 canisters/year이지만, 시설 규모는 200 canisters/year 수준으로 구축하고 있다.

3.2 주요 처분공정과 수행시간

현재 우리나라는 처분시스템이 확정되어 있지 않은 상태로서, 구체적인 처분공정 시간 분석을 위해 SKB의 공정을 참고로 시간이 소요되는 공정을 선별해 보았다.

- 처분용기 제작
 - 내부 주철용기 제작: 주물 냉각기간 3-4 일
 - 외부 구리용기 제작: 3-5 일
- 완충재 압축블록 제작: 처분공당 필요한 수량 제작 (10-15개): 6 시간 이상 추정.
- 수송 작업: 중간저장부지-포장시설-처분장 거리에 수송시간이 좌우.
- 포장 공정: 모든 단계를 연속식으로 처리한다고 가정하며, 단계별로 1~2 시간 추정.
- 처분 공정: 처분공 조립 및 뒷채움에 최소 12 시간 이상으로 추정.
- 굴착 공정: 처분터널 굴착 속도는 6 m/12 hr이며, 하루 약 한 개의 처분공 자리(처분공당 거리는 6~10 m 수준)가 확보.
- 터널 폐쇄 공정 (처분 완료된 터널 구간을 메우는 작업) 작업 빈도가 낮아서 처분율에 미치는 영향은 적음.

3.3 해결 방안

실제 하루 처분용기 2기 이상을 처분하기 위해서는 용기제작, 터널굴착, 그리고 처분공 조립 등은 단일 작업라인에서는 힘들다고 보여진다. 따라서 복합라인을 통한 다중병렬 작업이 필요하다. 그러나 이 경우에는 초기 투자 비용이 크게 증가하고, 추가설비를 위한 관련 기술자의 확보가 필요하다.

다른 방안은 처분기간 연장하여 처분율을 낮추는 것이다. 하지만 처분장 운영기간이 수년간 늘어나는 것이 아니라 50~100 년 이상 늘어나는 것이므로, 시설 노후로 인한 교체와 장기간 처분장 운영으로 인하여 실제 총 처분비용은 매우 늘어날 것으로 판단된다.

4. 결론

이상으로 현재 계획되고 있는 사용후핵연료 직접 처분에 있어서, 연간 처분물량, 즉 처분율을 얻기 위해서 처분공정 시간을 가늠해 보았다. 이상으로 내린 결과는,

- 현재 설정된 처분율은 물리적으로 단일 공정으로는 수행하기 힘들며, 제시된 방안으로는 1. 설비와 공정을 다중으로 동시 가동하거나, 2. 처분장 운영 기간을 늘리는 것이 있다.
- 처분 설비의 확장 규모와 처분장 운영연장 기간을 결정하기 위해서는 두 가지 방안을 절충

해야 하며, 각각의 방안에 대해서 경제성 분석을 하여 적절한 분배 비율을 결정해야 한다.

- 우리의 처분시스템과 처분공정들이 수립된다면, 정확한 처분율 논의를 통한 후에, 처분일정수립과 처분시설 건설을 시작해야만 한다.

5. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업(NRF-2012M2A8A5025577)의 일환으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] J. W. Choi, et. al., "High-Level Radwaste Disposal Technology Development", KAERI/RR-2765/2006 (2006).
- [2] SKB, "Spent nuclear fuel for disposal in the KBS-3 repository", SKB TR-10-13 (2010)
- [3] Markku Juvankoski, Kari Ikonen, and Tiina Jalonen, "Buffer Production Line 2012-Design, Production and Initial State of the Buffer", POSIVA 2012-17 (2012)