

38년간의 숙제 - 방사성폐기물의 처분



곽창원
한국지역난방기술
과장



박인준
한서대학교
교수

국내 원자력발전소의 시작점이었던 고리 원자력발전소 1호기가 상업운전을 시작(1978.4)한지 올해로 벌써 38년째에 접어들었다. 에너지 의존도가 97%에 이르는 우리나라의 특성상 원자력 발전은 에너지 공급측면에서의 가장 현실적인 대안이었다. 따라서 원자력 발전기술의 불모지였던 대한민국에서 원자력 발전은 이제는 국내 총 발전량의 35%에 육박하는 핵심적인 에너지원으로 자리 잡게 되었다. 고도성장 시기에는 전기 사용량이 폭발적으로 증가하게 되고 이에 따라 발전단가가 낮은 원자력 발전의 수요가 증가하였다. 이에 따라 원자력발전소도 지속적으로 건설하여 현재 23기의 원자력 발전소가 국내에 가동 중에 있다.

이제 40 여년의 원자력발전소 상업운전 동안 외면하다시피 했던 난제인 방사성폐기물의 처리 문제를 본격적으로 논의할 때가 되었다. 아니, 이미 늦었는지도 모른다. 본 고에서는 그간 등외시되었던 방사성폐기물(사용후핵

연료)의 처분에 대하여 그 개요와 현황을 짚어보기로 한다.

사용후핵연료

원자력발전에서 사용되는 핵연료는 핵분열 반응에 의하여 막대한 양의 열에너지를 방출시키며 이 열을 이용하여 전기를 생산하게 된다. 새끼 손톱만한 핵연료 소결체(pellet) 하나로 약 1,800kWh의 전력을 얻을 수 있으며 이는 4인 가족 한 가구가 8개월간 쓸 수 있는 전력량이다. 핵연료는 통상 우라늄-235로 제조하게 되며 핵분열 과정에서 다량의 방사선을 방출하게 된다. 핵연료를 약 3주 정도 원자로 내에서 연소시키게 되면 더 이상 충분한 열을 생산하지 못하게 되므로 새로운 핵연료로 교체하고 교체된 핵연료는 원자로에서 인출하게 된다. 이 때 인출된 핵연료를 사용후핵연료라 한다.

사용후핵연료는 높은 방사능을 가지고 있으며 계속 열을 발생시키기 때문에 그대로 폐기처분할 수 없고 방사선과 열을 차폐할 수 있는 별도의 처분시설 또는 장치를 이용하여야 한다. 현재 사용후핵연료는 발전소 내 수조에 임시 저장하고 있으며, 사용후핵연료 저장수조의 용량이 초과하는 경우 다른 저장수조 또는 건식이나 습식 중간저장시설로 운반하여 저장하고 있다. 문제는 이러한 모든 저장시설의 용량이 한계가 있으며 임시저장시설이라는 것이다. 임시저장시설의 용량을 고려할 때, 고리 원전은 2016년, 한빛 원전은 2019년, 한울 원전은 2021년, (신)월성 원전은 2022년 부터 포화될 것으로 예상했으나, 같은 부지 안에서 여유 있는 임시 저장시설로 옮겨 보관하는 호기 간 이동이나 조밀저장대의 내부 설치를 통하여 고리는 2028년, 한빛은 2024년, 한울은 2026년, 신월성은 2038년 까지 포화 예상시점을 미뤄둔 상태이다. 가동 예정인 신고리 3, 4 호기(울주)는 2036년 포화를 예상하고 있다. 따라서 임시저장시설이 아닌 영구처분시설의 건설이 필수적이다.

원자력안전법 시행령 제2조제9호에 따르면 “영구처분”이란 방사성폐기물을 회수할 의도 없이 인간의 생활권으로부터 영구히 격리하는 것을 말한다. 즉 사용후핵연료를 자연으로 돌려보내는 것을 목적으로 하는 처분시설이 필요한 것이다. 사용후핵연료 공론화위원회의 권고안(2015)에 따르면 우리나라는 늦어도 2051년부터 처분을 시작해야 하며, 현재 임시저장 중인 사용후핵연료를 저장용량이 초과되거나 운영허가 기간이 끝나기 전에 안정적인 저장시설로 옮겨야 한다. 따라서 고리의 경우 2029년부터 22년 동안, 한빛의 경우 2025년부터 26년 동안, 월성의 경우 2020년부터 31년 동안, 한울의 경우 2027년부터 24년 동안 처분 이전까지 보관할 수 있는 안정적인 저장시설이 필요하다.

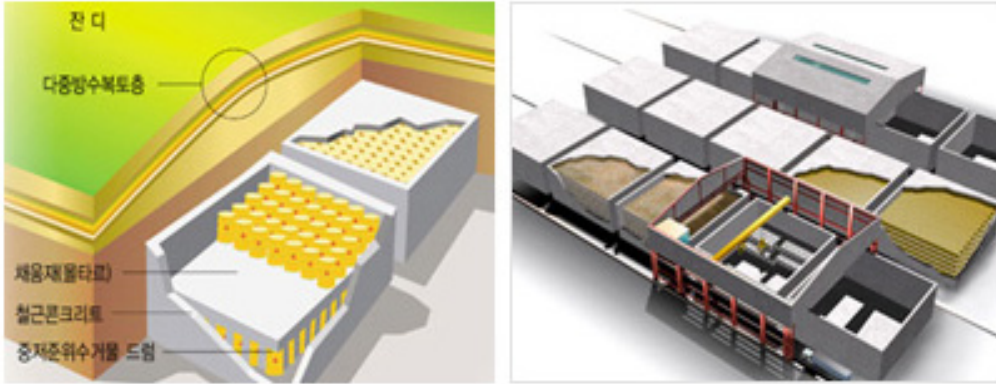
사용후핵연료 처분방식

우리나라보다 원자력 발전에 있어서 선진국들은 그간의 경험과 기술을 통하여 일찌감치 사용후핵연료를 관리하고 처분시설을 건설하여 왔다. 사용후핵연료를 관리하는 방법은 크게 지하 암반에 직접 매립하는 직접처분(Direct disposal, Open fuel cycle) 방법과, 사용후핵연료에 남아 있는 플루토늄 등의 유용한 물질을 분리, 추출하는 재처리(Reprocessing, Closed fuel cycle) 방법으로 구분할 수 있다. 또한 직접처분 혹은 재처리에 앞서 부지에 일정 기간 습식(수조) 또는 건식(불활성기체)으로 저장하는 중간저장(Interim storage)을 할 수도 있다.

이 중 직접처분 방식은 다시 천층처분방식과 심층처분방식으로 나눌 수 있다.

천층처분방식은 지표에서 약 30m 이내의 깊이에 자연 방벽 또는 인공방벽을 이용하여 방폐물을 처분하는 방식으로서 안전성 확보를 위해 인공방벽을 이용한 처분이 널리 이용되고 있다. <그림 1>과 같이 지표부에 구조물(처분고)을 만들고 구조물 내에 폐기물을 처분하는 방식으로 표토층이 발달하고 배수가 잘되며 강우량이 적은 지역에서 유리한 방식이다. 또한 천층처분방식은 인공방벽을 이용하여 방사성핵종의 누출을 저지하며, 심층처분 방식에 비해 건설이 용이하며 공사비가 적게 드는 장점이 있다.

심층처분방식은 지하 100m~1,000m 내외의 견고한 암반을 굴착하여 굴착공 내에 처분하는 방식이다. 별도의 콘크리트 구조물 등의 1차 차폐시설이 있는 것이 아니고 굴착한 암반 및 주변 그라우팅과 폐기물이 직접 접촉하게 되므로 처분에 적합한 암반지대를 찾아야 한다. 따라서 부지선정이 매우 중요하며 수리지질학적으로 폐기물의 장기간 보관시 안전성을 확보하여야 하므로 단층대, 암반 균열, 연약대, 파쇄대 등 2차 공극이 발달하지 않고 투수성이 낮으며 균질한 특성을 갖는 대규모 암반지역을 선정하여야 한다. 이 방식은 일정기간 지속적으로 유지관리가



〈그림 1〉 천층처분방식 개념도 (KORAD)



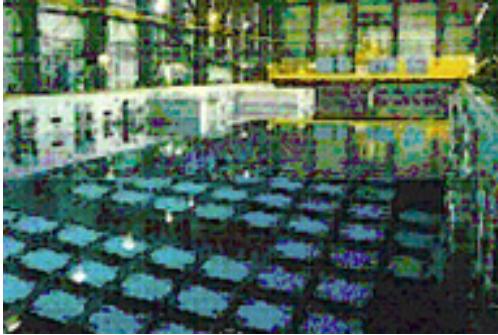
〈그림 2〉 심층처분방식 개념도 (KORAD)

필요한 천층처분방식과 달리 제도적 관리기간이 존재하지 않는 폐쇄형 처분방식이다.

해외 처분시설 현황

현재 전 세계 31개국에서 438 기의 원전을 운영하고 있

다. 이 중 원자로 격납건물 안에 위치한 임시저장시설을 제외하고 사용후핵연료 저장시설을 운영중인 나라는 25개국이다. 25개 국 중 13개국, 즉 52%가 원전 안에 저장시설을 두고 있으며, 28%에 해당하는 7개국은 원전 밖에 저장시설을 갖고 있다. 일본, 중국, 영국, 독일, 스위스 등 5개국은 원전 안과 밖에 모두 저장시설을 갖고 있다.



프랑스 습식저장시설



독일 건식저장시설

〈그림 3〉 사용후핵연료 저장시설 (KORAD)

〈표 1〉 해외 사용후핵연료 관리정책

국가	원전규모	관리정책
미국	100 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 - 유카마운틴 고준위폐기물 처분장 건설 중단 - 정책대안 마련을 위한 블루리본위원회 구성·운영 - 사용후핵연료 관리 전략 발표(영구처분장 2048년 운영 목표)
영국	16 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 재처리(장기관리정책 재검토 중) - 셀라필드 재처리시설 운영 ○ 재처리 시설 및 Wylfa 원전(건식) 내에서 중간저장
프랑스	58 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 재처리
일본	50 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 재처리 - 재처리시설(로카쇼무라) 시운전 중 ○ 소외 중간저장시설 운영 예정(무초시, 2013년)
중국	17 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 재처리
독일	9 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 ○ 소외 중간저장시설 운영(Ahaus, Gorleben, Greifswald 등)
캐나다	19 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 ○ 소내 건식저장시설 운영
러시아	33 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 재처리 ○ 재처리시설내 중간저장시설 운영
스웨덴	10 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 - 처분장 부지(포스마크) 확보 ○ 소외 중앙집중 중간저장시설(CLAB) 운영 중
스페인	8 기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책 : 직접처분 ○ 소내/소외 건식저장 병행

(출처 : World Nuclear Association : Reactor Database('13.07), KORAD)

국내 현황

우리나라에서는 사용후핵연료 처리시설을 위한 부지선정을 1986년부터 시작하였고 후보지로는 울진, 영덕, 영일, 안면도, 굴업도, 영광, 고창, 강진, 완도, 진도, 보령, 부안, 군산, 삼척 등이 검토되었다. 주민 동의와 의사소통 없이 일방적으로 추진하다 장관이 경질되고 폭력사태를 야기하는 등 수많은 우여곡절 끝에 2005년 11월 5일, 경주가 최종 후보지로 선정되었다. 처분시설의 건설과 관리를 전담하기 위하여 한국방사성폐기물관리공단(현 한국원자력환경공단)을 설립(2009년 1월 1일)하고 이듬해인 2010년부터 월성원자력환경관리센터에 방사성폐기물이 첫 반입되었다. 이후 2015년 7월 13일에 역사적인 중저준위 방사성폐기물 16 드럼이 최초로 처분되었다.

경주에 위치한 처분시설은 지하동굴을 굴착하여 사일로를 건설하고 그 내부에 처분하는 방식이며 이를 위하여 총사업비 1조 5,436억원의 공사비를 투입하여 2014년 12월에 준공하였다. 총 10만 드럼의 사용후핵연료를 저장할 수 있는 1단계 공사를 마치고 12.5만 드럼을 추가 저장할 수 있는 천층처분방식의 2단계 공사를 진행중에 있다.

결언

국내에서 원자력 발전을 처음 시작한지 어느덧 38년이 지났다. 성장에 급급하여 건설과 운영에 치중하고 차후의 골칫거리인 사용후핵연료의 처분에는 그 누구도 선풃 나서지 않았다. 이제는 사용후핵연료의 포화시점이 눈으로 보이는 단계에 도달하였다. 더 이상 덮어둘 수도, 미룰 수도 없는 심각한 상황이다. 보다 환경친화적이고 기술적으로 안정화된 처분방식에 대한 새로운 기술 개발이 시급하며 이를 위해 국민과 정부 모두의 노력이 필요하다.

참고문헌

- 1) 한국원자력환경공단 홈페이지(www.korad.or.kr)
- 2) 사용후핵연료 관리에 대한 권고(안), 2015, 사용후핵연료 공론화위원회