

# 지하 500m의 타임캡슐, 고준위 방사성폐기물 영구처분의 과학

사용후핵연료 관리의 종착점인 '영구처분'은 방사능의 독성이 자연 상태의 우라늄 광석 수준으로 떨어지는 10만 년이라는 긴 시간 동안, 인간 생태계와 완벽하게 격리하는 '시간 봉인(Time Seal)' 기술이다. 이를 실현하기 위해 과학자들은 지하 500m 깊이의 안정된 암반층에 거대한 지하 도시와 같은 처분장을 건설한다.

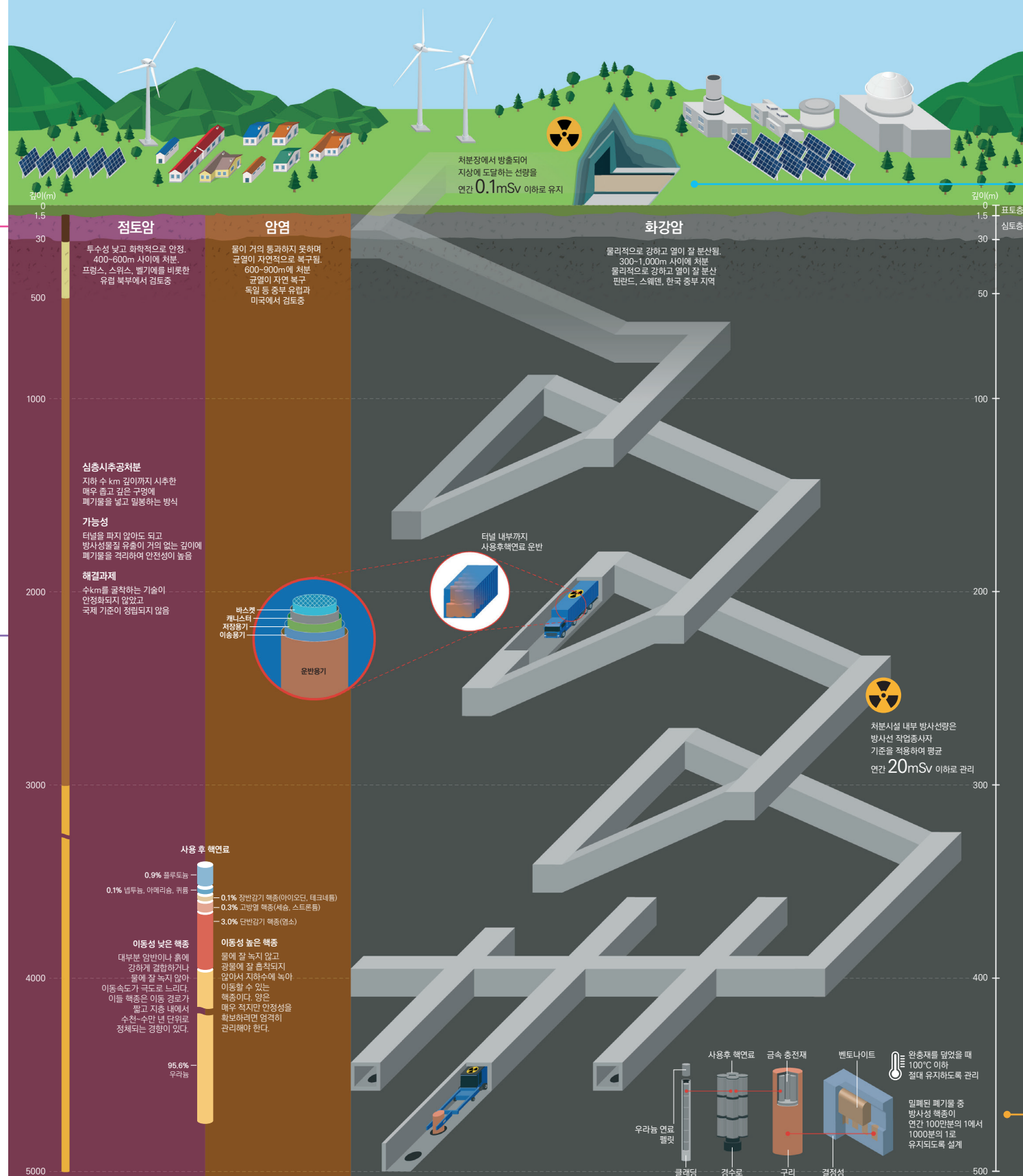
이 기술의 핵심은 방사성 물질이 밖으로 새어나오지 못하도록 겹겹이 감싸는 '다중 방벽 시스템(Multi-barrier System)'이다. 먼저 1차로 핵연료 펠릿과 피복관이 고체 상태를 유지하고, 2차로 구리와 주철로 만든 두꺼운 처분 용기(Canister)가 부식을 막는다. 3차로 벤토나이트라는 특수 점토가 용기를 감싸 지하수 침투를 차단하며, 마지막으로 수억 년간 안정된 지하 암반이 천연 방어막 역할을 한다. 이는 만에 하나 내부 용기가 파손되더라도 방사성 물질이 지상으로 올라오는 것을 원천 봉쇄하는 구조다.

최근 국회를 통과한 「고준위방사성폐기물 관리 특별법」은 이러한 과학적 설계를 현실화할 법적 토대다. 법안에는 부지 선정 절차와 유치 지역 지원, 그리고 구체적인 처분장 건설 일정이 명시되어 있다. 한국은 화강암 지대가 많아 처분장 건설에 유리한 지질학적 환경을 갖추고 있다. 이제 법적 기반 위에서 과학적 안전성을 입증하며, 미래 세대에게 짐을 넘기지 않는 영구적인 안전 지대를 구축하는 과정이 시작되었다.

**암반** 한국은 단단하고 치밀한 화강암 지대가 많아 처분장 건설에 유리하다. 화강암은 물리적으로 강하고 지하수 이동이 매우 느려, 그 자체로 거대한 차단막 역할을 한다. 유럽(점토암/암염)과는 다른 한국형 처분 시스템의 기반이다.

**미래의 대안 기술** 지하 5km 깊이에 직접 매립하는 '심층 시추공' 기술도 연구되고 있다. 인간 생활권과의 격리 거리를 10배 이상 늘리는 획기적인 방식이지만, 아직 상용화를 위한 기술 검증 단계에 있다.

고준위 방사성폐기물을 안전하게 격리하려면 지질 구조, 지하수 흐름, 암반의 강도와 화학적 안정성, 폐기물에서 발생하는 열과 방사선까지 여러 조건이 동시에 충족돼야 한다. 이런 요건을 만족하는 지층은 자연적으로 매우 제한적이다. 처분장 부지 선정시 장기간의 지질검사를 먼저 하는 이유도 여기에 있다. 또한 처분장은 지하 수백 m 이상 깊이까지 들어가는 대규모 공사다. 그래서 처분장을 건설하기까지 긴 논의 속의 필요가 필요하다.



자연 방사선보다 낮은 관리 기준 처분장이 운영되는 동안 지상에서 감지되는 방사선량은 연간 0.1mSv 이하로 관리된다. 이는 흉부 X-ray 1회 촬영(약 0.1mSv) 수준이거나 그보다 낮아, 일상생활에 아무런 영향을 주지 않는다.



**다중 방벽**

- 처분 용기:** 부식에 강한 구리와 하층을 건디는 주철로 밀봉하여 10만 년 이상 견딘다.
- 완충재(벤토나이트):** 물을 만나면 팽창하여 틈을 메우고, 외부 충격으로부터 용기를 보호하는 '쿠션'이자 '방수막'이다.