

고준위폐기물 한국형처분시스템 특성

최희주, 이종열, 조동건, 이양, 김성기, 최종원

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

한국원자력연구소에서는 고준위폐기물 한국형처분시스템을 개발 중이다. 국내에서는 2가지 형태의 원자로로부터 사용후핵연료가 발생하고 있으며, 2005년 말 기준 각 발전소에 저장되어 있는 총 누적 발생량은 7,962 tU이다. 한국원자력연구소에서 중장기연구를 통해 개발하고 있는 처분시설의 기본 개념은 스웨덴의 KBS-3 처분개념과 큰 차이가 없으나, 저자들은 국내 사용후핵연료 특성, 지질 조건을 고려하여 공학적방벽을 독자적으로 설계함으로써 한국형처분시스템을 개발하고자 하였다. 본 논문에서는 한국형처분시스템을 구성하고 있는 각 시스템 특성을 결정하는 인자들과 그 특성을 요약하였다.

한국형처분시스템에 영구 처분될 사용후핵연료는 다른 국가들과는 달리 PWR 사용후핵연료와 CANDU 사용후핵연료 2가지로 구성되어 있다. 이 두 가지 사용후핵연료는 그 형상과 특성이 크게 다르나, 한국형처분시스템에서는 동일한 외형의 처분용기를 이용하여 두 가지 사용후핵연료를 처분할 계획이다. 일반적으로 CANDU 사용후핵연료로부터의 열 발생량이 적어 30년의 냉각시간을 갖고 먼저 처분하며, PWR 사용후핵연료는 40년간 냉각시킨 후 처분할 것을 제안하였다. 저자들은 사용후핵연료 처분을 위하여 다양한 종류의 처분용기를 설계하였으며, 이들로부터 한국형처분시스템에 이용할 처분용기를 결정하였다.

고준위폐기물을 영구처분하기 위한 부지는 아직 결정되지 않아, 본 연구에서는 한국형처분시스템을 설계하기 위하여 한국의 대표 결정질암인 화강암 지역을 가정하고 대표 물성을 나타내는 한국형 지질조건을 이용하였다. 국내 지질 여건 상 처분시설은 지하수 포화지대에 건설되어야 할 것으로 판단되어 지하수의 화학적 조건은 환원조건을 선정하였다. 또한, 부지조건을 결정하는 대표적인 특성인 균열대를 4가지로 구분하고 그 특성을 정의하였다 (Table 1). 스웨덴, 핀란드, 캐나다와 달리 한국 특유의 지질조건의 하나는 지열구배이다. 한국 지질 환경에서의 지열구배는 30°C/km로 추정되고 있으며, 이 값은 외국의 값과 비교하여 매우 높아 처분용기 및 완충재 블록의 설계에 어려움을 야기하고 있다. 또한 높은 지열구배는 고준위폐기물 처분시설의 깊이를 지하 500 m 이내로 제한하고 있다. 캐나다와 일본의 경우 지하 1,000 m 까지도 고려하고 있으나 이들 국가의 경우 각각 비교적 낮은 지열구배와 재처리에서 발생하는 유리고화체가 처분대상이기 때문에 그와 같은 심도의 처분시설에 대한 검토가 가능한 것으로 판단된다.

처분시스템을 구성하는 공학적방벽인 처분용기와 완충재 블록을 설계하고, 성능을 평가하였다. PWR과 CANDU 사용후핵연료 처분용기의 외형은 동일하도록 하였으며, 그 기본 형상은 스웨덴과 핀란드에서 구상하고 있는 이중용기 개념을 도입하였다. 국내에서 처분용기의 수명에 대한 기준이 아직 결정된 바가 없어 용기 수명이 1,000년인 경우와 십 만년인 경우 각각에 대해 용기를 설계하였다. 즉, 처분용기 수명의 결정에 따라 이중용기의 외부용기의 재질을 결정할 예정이다. 완충재 블록은 순수 국산 칼슘벤토나이트를 이용하여 설계하였다.

처분시스템의 지하시설을 구성하는 처분터널 및 처분공의 크기 및 간격은 열 해석을 통하여 결정하였다. PWR 사용후핵연료의 경우 처분터널 간격은 40 m, 처분공의 간격은 6 m이며, CANDU 사용후핵연료의 경우 처분터널 간격은 40 m, 처분공의 간격은 4 m이다. 처분장의 배치는 Figure 1에 나타난 바와 같으며, 지하시설의 경우 방사선 관리상 관리구역과 비관리구역으로 나누었다. 즉, 관리구역과 비관리구역에 맞추어 환기와 배수를 구분하여 관리하도록 설계하였다. 환기를 위하여 관리구역 별로 각각의 샤프트(shaft)를 건설할 계획이다. 처분시설 건설은 진입터널(access tunnel)을 이용할 예정이며, 사용후핵연료와 운영요원을 위해 별도의 샤프트를 건설할

계획이다. 화재 등 사고를 대비하여 지하시설 내에서 운영 요원들의 대피로가 항상 2곳이 생길 수 있도록 터널을 배치하였다.

처분시스템을 구성하는 지상시설의 가장 중요한 역할의 하나는 사용후핵연료를 수송용기에서 꺼내 처분용기에 넣고 처분용기 뚜껑을 용접하고 방사성물질의 누출을 시험하는 것이다. 이와 같은 공정은 사용후핵연료에 포함된 방사능이 매우 높아 특별한 설비가 갖추어진 encapsulation plant 건물에서 이루어진다. 처분비용의 상당 부분을 운영비가 차지하며, 운영비 결정은 처분시설 운영기간에 좌우된다. 처분시설 운영은 55년간 수행되면 적절할 것으로 판단되었으며, CANDU 사용후핵연료 처분은 25년간, PWR 사용후핵연료 처분은 30년간 이루어질 예정이다. 이를 위하여 현재 CANDU 사용후핵연료는 1일에 약 1개의 처분용기를, PWR 사용후핵연료 처분용기는 1일에 2개 정도를 처분할 계획이다. 지상시설에 관한 설계 경험이 국내에 부족하여 핀란드의 POSIVA와 공동연구를 수행하여 예비개념설계를 수행하였다.

한국형처분시스템을 결정하기 위하여 다양한 대안 연구를 수행하였다. 단층처분장과 복층처분장에 대한 대안 연구결과 복층의 경우 경제성 측면에서 불리한 것으로 판단되었다. 수평처분에 대해서는 충분한 개념설계가 수행되지 않아 한국형처분시스템 결정에 유보하였으며, 이에 대한 연구는 계속 진행할 계획이다. 공학적방법에 대한 다양한 대안을 비교, 검토하여 현재 결정된 시스템에 대한 정당성을 향상시켰다.

Table 1. Classification of fracture zones

| | Order | Length (m) | Width (m) | Interval (km) | T (m ² /s) | Safety distance (m) |
|---------------------------|-------|----------------|-----------|---------------|--|-------------------------------|
| Regional fracture zone | 1 | >10,000 | >100 | >4 | 1×10 ⁻⁵ | 100 (to unit facility) |
| Local major fracture zone | 2 | 1,000 - 10,000 | 5 - 100 | 1 - 4 | 1×10 ⁻⁶ | 50 (to deposition tunnels) |
| Local minor fracture zone | 3A | 500 - 1,000 | 1 - 5 | 1< | 1×10 ⁻⁷ ~ 1×10 ⁻⁸ | 5 (to dep. holes) |
| | 3B | <500 | <1 | | | 3 (to dep. holes) |
| Bedrock fracture system | 4 | <10 | <0,01 | - | <1×10 ⁻⁹ | - |

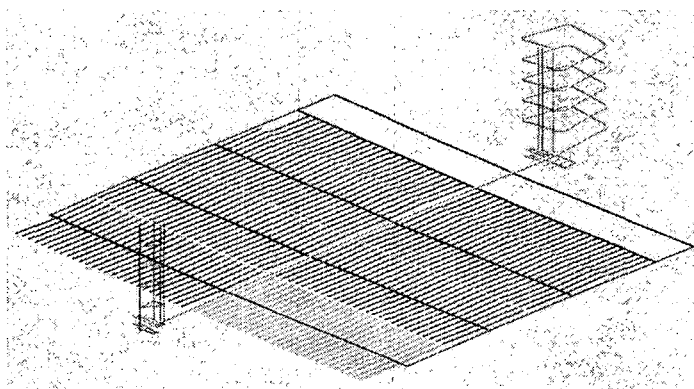


Figure 1. Schematic of Korean Reference disposal System.