

## 사용후핵연료 심지층 처분을 위한 처분구역 배치 분석

이종열, 이양, 조동진, 김성기, 최희주, 최종원  
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150

njylee@kaeri.re.kr

원자력 발전소에서 전기를 생산하고 난 후 발생하는 사용후핵연료는 각 발전소부지의 저장고에 임시저장 되어 있으며, '제2차 전력수급기본계획'에 따라 2013년에 폐로 예정인 월성1호기를 고려할 경우 2015년에 총 27기의 원전이 가동될 예정이다. 이후 더 이상의 추가 원전건설이 없다는 가정 하에, 이들 원전으로부터 예상되는 사용후핵연료 발생량을 추정하면 약 35,000톤에 이를 것으로 전망되며, 이를 바탕으로 사용후핵연료를 심지층에 처분하기 위한 연구가 진행되고 있다.

처분구역 배치를 위한 고려요소는 다양하지만, 여기서는 사용후핵연료 처분량 및 그에 따른 처분용기 제원 및 수량, 열-역학적 특성에 따른 처분동굴 및 처분공의 간격, 그리고 심부지하에 존재할 가능성이 있는 불연속면 등 주요 영향인자를 고려하였다. 국내 사용후핵연료 총 예상발생량으로부터 산출된 사용후핵연료 처분용기의 수량은 PWR 처분용기 11,375 개, CANDU 처분용기 2,835 개로 약 15,000 개를 처분해야 하고, 사용후핵연료를 포장하는 처분용기는 구조적 건전성을 유지하기 위한 탄소강과 내부식성을 위한 니켈합금 또는 구리로 이루어지며, 지속적인 개선이 이루어질 예정이나 현재의 제원은 외곽 직경 1.22 m, 길이 4.83 m, 핵연료를 포함한 무게는 약 39 톤이다.

또한, 사용후핵연료로부터 발생하는 붕괴열을 고려하여 지하 처분장에서의 열적 기준(완충재 온도 100 °C 이하)에 부합하여야 하는 바, 우선 열해석의 결과를 토대로 처분터널과 처분공의 간격이 각각 30 x 6 m, 30 x 7 m, 35 x 6 m, 40 x 6 m인 네 개 모델을 이용하여, 열-역학 안정성을 분석한 결과 처분터널과 처분공의 간격이 40 x 6 m인 경우가 열역학적 측면과 처분장의 면적 최소화 측면에서 가장 합리적일 것으로 판단되었다. 그러나 이 경우에도 국부적인 응력집중과 소성대가 발생하는 영역에 대한 보강은 여전히 필요한 것으로 평가되었다.

심부지층 암반내의 균열대는 암반의 역학적 변위를 야기할 수 있는 연약면이고 지하수 흐름의 주된 통로가 되므로, 처분장의 건설과 폐기물 처분이 절리암반의 거동과 수리적 거동에 미치는 효과를 고려하는 것이 필요하며, 처분장주변에서 고려해야할 균열대의 분류체계를 표 1.에 나타내었다. 이로부터 처분공과 관련된 등급 3에 대한 처분터널에 직교하는 균열로부터의 처분공까지의 이론적인 안전거리와 그에 따른 처분터널의 증가량을 표 2.에 나타내었다.

표 1. 처분장 주변 균열대 분류체계

	Order	Length (m)	Width(m)	Interval(km)	T (m <sup>2</sup> /s)	Safety distance(m)
Regional fracture zone	1	>10,000	>100	>4	1E-05	100 (처분시설)
Local major fracture zone	2	1,000 - 10,000	5 - 100	1 - 4	1E-06	50 (처분터널)
Local minor fracture zone	3A	500 - 1,000	1 - 5	1<	1E-07 - 1E-08	5 (처분공)
	3B	<500	<1			3 (처분공)
Bedrock fracture system	4	<10	<0,01	-	<1E-9	-

표 2. 3등급 균열대에 따른 안전거리 및 증가율

Width of fracture (m)	Sum of safety distances (m)	Total (m)	Interval/1000 m	Proportion (%)
0,1	6	6,1	2	1,22
1	10	10,1	2	2,02
5	10	15	2	3,00

이상의 주요 고려인자에 대한 분석을 근거로 산출한 처분터널 및 처분공 소요수량 및 제원은 표 3 및 그림 1.에 나타낸 바와 같다.

표 3. 처분터널 제원 및 소요 수 산출

구분	내용
처분터널 제원	- PWR ; 37 처분홀/터널 → 36 x 6 m + 30 m + 5 m = 251 m - CANDU ; 55 처분홀/터널 → 54 x 4 m + 30 m + 5 m = 251 m
처분터널 소요 수	- PWR ; 1.05 x 11,375 = 11,944 처분홀 ▶ 11,944/37 = 323 처분터널 - CANDU ; 1.05 x 2,835 = 2,977 처분홀 ▶ 2,977/55 = 54 처분터널

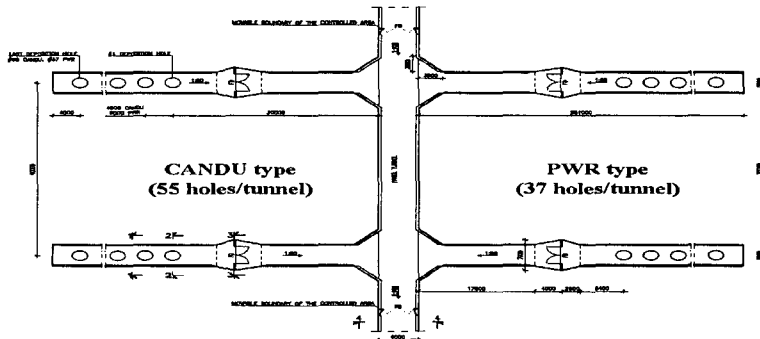


그림 1. 사용후핵연료 형별 배치계획

CANDU 처분영역은 251 m의 길이를 가진 54 개의 처분터널로 구성되고, PWR 처분영역은 251 m의 길이를 가진 323 개의 처분터널로 구성되는데, 각 처분터널 입구의 약 30 m 지점에는 콘크리트 플러그와 방화벽이 설치되며, 플러그는 5 MPa의 수압과 터널 뒷채움재의 팽윤압에 견딜 수 있는 단단한 콘크리트 구조물이다. 이 구조물의 설치에 처분터널 입구의 근계영역에 높은 응력을 발생시킬 것으로 예상되므로, 이의 영향을 최소화하기 위하여 개략적인 산출에 의해 추정된 17 m를 확보하였다. 또한, 처분터널에서 처분이 진행될 때, 작업중인 터널을 패널터널과 분리하기 위해 방화문은 닫혀져 있어야 하는데, 첫 번째 처분공과 방화문 사이에 처분용기 차량의 작업공간이 필요하므로 이를 위하여 9 m를 확보하였다.

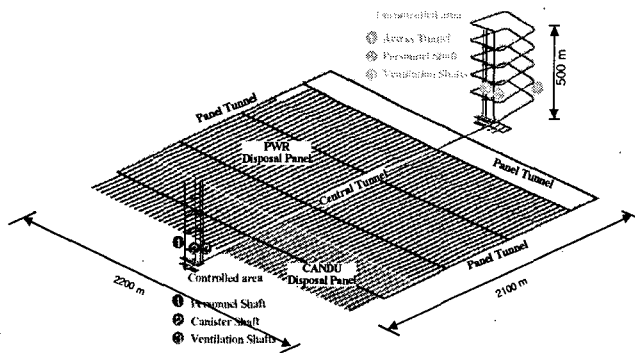


그림 2. 지하 처분구역 Layout

상기 처분 구역 배치 분석을 바탕으로 도출한 지하시설 layout을 그림 2에 나타내었으며, 개요는 아래에 기술한 바와 같다. 처분구역은 중앙 지점을 중심으로 하여 각 터널이 1:100의 구배를 갖도록 하여, 누출수가 처분터널에서는 패널터널로 배수되고, 패널터널에서는 중앙터널(Central Tunnel)로 배수되며, 중앙 터널에서는 위치에 따라 통제구역과 비통제구역에 설치된 누출수 침전조로 배수가 용이하도록 배치하였다.

이상의 배치분석에 고려한 인자인 열-역학 분석 및 압반 균열대 영향 분석은 향후 실제 처분장의 물성자료를 입력하여 정량적인 해석이 필수적이다.