

장반감기 밀봉선원폐기물 처분공 시설의 구조적 안정성평가

이지훈, 문성애, 김창락, 이양*, 최희주*

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 149호

*한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 149호

jihoon@khnp.co.kr

밀봉선원(Sealed Source)은 캡슐에 영구적으로 밀봉되었거나 고체매질 내에 구속된 방사성물질로 의료 산업 및 연구 분야 등 여러 동위원소 이용기관에서 사용되고 있다. 이로 인해 국내에도 밀봉선원 폐기물이 다수 발생하고 있으며, 한국수력원자력(주) 원자력환경기술원에서는 2005년 12월 기준 국내 동위원소 이용기관에서 사용된 후 폐기신청된 총 방사능이 10,219 Ci인 28개의 핵종으로 구성된 밀봉선원폐기물을 저장 및 관리하고 있다. 밀봉된 방사성 동위원소는 방사능 농도가 감쇠되어 폐기의 대상이 될 때에도 여전히 높은 방사능 준위를 가져 인간의 건강과 환경에 잠재적으로 위험한 수준을 유지하고 있다.

장반감기 밀봉선원폐기물은 비방사능이 높은 핵종이 다수 존재하므로 제도적 관리기간 혹은 처분장 운영기간 동안 방사능붕괴를 거쳐도 중저준위폐기물 천층처분 허용기준치 이하로 떨어지지 않으므로 고방사능 장반감기 선원은 선원별 특성에 따른 적절한 처분 깊이를 고려한 처분이 요구된다. 이러한 처분방식의 일환으로 최근에 적용되고 있는 기술의 하나가 처분공(Borehole) 시설방식이다. 이 개념은 굴착된 시추공 내의 적절한 깊이에 특정 폐기물용기에 담긴 밀봉선원폐기물을 처분하는 방식이다. 본 연구에서는 장반감기 밀봉선원폐기물의 처분방식으로 제안된 처분공 처분 시설의 구조적 안전성 평가를 실시하였다.

처분공시설 구조적 안정성 평가 기준 및 경계 조건

장반감기 밀봉선원폐기물 처분공의 구조적 안정성 평가는 암반 및 casing에 대한 수평/수직응력비(축압계수, K)가 1, 2인 두 가지 경우에 대하여 각각 casing을 설치하지 않았을 때의 굴착시 암반의 변위와 굴착과 동시에 casing을 설치하였을 때에 대한 처분공 시설의 구조적인 안정성에 대하여 평가하였다. 구조해석은 유한차분 해석프로그램 FLAC^{3D}를 이용하여 평가하였고, 해석 모델은 처분공의 중심선을 따라 1/4모델을 이용하였다. 모델의 상하경계는 지표에서 처분공 바닥으로부터 아래로 5 m 까지, 그리고 모델 좌우경계는 Kirsch Eq.에 의거 원형터널 굴착시 영향범위인 2D 즉 공벽에서 직경의 2배만큼 떨어진 거리에서의 응력변화가 5 %미만임을 감안하여 2 m 까지를 경계로 삼았다.

암반과 casing의 안정성 평가를 위하여 암반의 경우 Mohr-Coulomb 항복조건을 적용하였고, SUS 304 재질로 된 casing의 경우 탄성모델로 재료의 항복조건을 적용하였다. 구조물은 이동하지 못하도록 외부 강제 암반에 의하여 고정, 지지되고 있다고 가정하였다. 이 때 사용한 유한요소 모델의 절점 수는 9156개, 8절점 육면체 타입의 요소 수는 7968개이다.

처분공시설 구조적 안정성 평가 해석 결과

밀봉선원 폐기물 처분공시설의 구조적 안정성 해석결과 암반 및 casing에 발생한 응력 및 변위는 표 1과 2에 정리하였다. 모든 경우에 있어, 암반과 casing에 소성대가 발생하지 않았으며, case 3에서 0.62 mm의 최대 변위가 발생하였으나 암반과 casing에 소성파괴영역이 발생하지 않았으므로 구조적으로 안정한 것으로 판단된다.

그림 1과 그림 2는 축압계수가 1과 2일 때 각각의 모델에 따른 casing에서 발생하는 응력 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 경암쪽으로 내려갈수록 그리고 축압계수가 높을수록 응력이 높아지는 것을 알 수 있다. 한편, 지표 부근(풍화암 : 약한 암반)에서 축압계수의 영향이 큰 것으로 나타났다. 한편, 축압계수가 2이고 casing이 설치되지 않은 경우, 풍화암의 일부에서 3.91

MPa의 최대 주응력이 나타났지만, 소성과피는 발생하지 않았고, 그 영역이 미미하므로 구조적으로 안전한 것으로 판단된다. 또한, casing과 처분공 사이에 콘크리트 등의 충전재를 통하여 더욱더 구조적으로 안정된 보강 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 처분공의 구조적 안정성평가 사례별 변위(mm) (축방향 : +)

CASE		1	2	3	4
구분	최대변위	0.13	0.01	0.62	0.07
	소성과피 영역	X	X	X	X
평화압	수직 변위	-0.06	0.01	-0.27	0.07
	수평 변위	-0.12	0	-0.61	-0.02
	연암 (수평)	-0.06	-0.01	-0.19	-0.02
	경암 (수평)	-0.03	-0.01	-0.06	-0.02

표 2. 처분공의 구조적 안정성 평가 사례별 응력변화

CASE		1	2	3	4
압	최대주응력 (MPa)	1.91	1.51	3.91	3.30
	최소주응력 (MPa)	0	0.01	0.01	0.01
반	Min. safety factor	-	7.28	-	2.74
	Max. von-Mises stress (MPa)	-	11.04	-	25.76
Casing	Min. safety factor	-	23.4 (258.6/11.04)	-	10.0 (258.6/25.76)

* 최소안전율이 2보다 큰 경우 매우 안정. (최소안전율=항복강도/ Max. von-Mises stress)

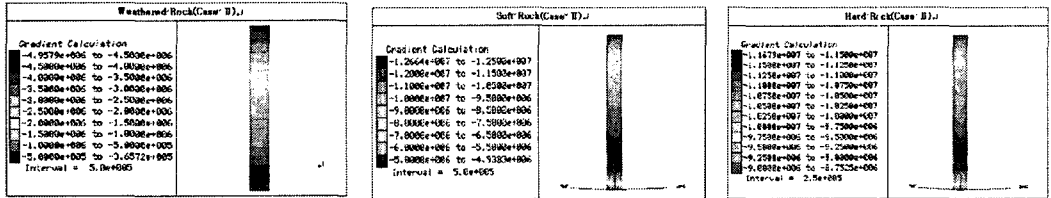


그림 1. 암반별 casing에서 발생하는 응력분포 (K=1)

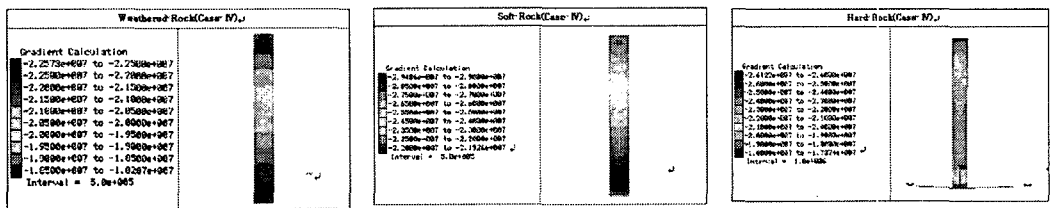


그림 2. 암반별 casing에서 발생하는 응력분포 (K=2)

casing에 굴착에 의한 역학적 영향을 가장 많이 받게 되는 Case 2와 4 경우에, casing 에 발생하는 von-Mises stress가 강도에 비해 안전율 10이상으로 매우 낮은 값을 보이며 안전한 것으로 나타났다. 따라서 이러한 해석결과 보어홀 굴착 시 모든 조건에서 암반의 소성과피는 없으며, casing과 콘크리트 충전재를 통해서 충분한 구조적 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.