

방사성 폐기물 지층 처분장의 장기거동 예측-퇴적암의 경우

정소걸

한국지질자원연구원, 대전광역시 유성구 과학로 92

skchung@kigam.re.kr

개요

본 논문에서는 프랑스의 방사성 폐기물 처분 관련 연구 배경과 지하실험실 주위의 지질 개요, 방사성 폐기물의 유형별 처분 패키지, 처분개념 및 방법 그리고 굴착손상대를 포함한 지질 매체의 역학적 특성 변화, 열-수리-역학-화학 커플링 문제 즉, 처분장의 장기적 운영에 따른 암반의 특성변화가 처분장의 장기적 안정성에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 살펴보았다.

프랑스에서는 1980년대부터 화강암을 대상으로 한 지층처분 연구를 수행해 왔으며 그 후 1991년 12월 말 고준위와 장주기 방사성폐기물에 대한 처분 관련 법안이 통과되면서 ANDRA(Agencie Nationale pour la gestion des dechets radioactifs, 영문명: National radioactive waste management agency)를 중심으로 본격적인 연구가 착수되었고 여러 가지 기초 실험과 개념설계 및 현장 조사를 토대로 1999년 Meuse/Haute-Marne의 Bure에서 지하 500m 하부에 지하실험실(URL) 건설되었고 2001년부터는 심층 연구가 수행되었다.

그 간 국내의에서 화성암 등 결정질 암반을 대상으로 많은 연구가 수행되어 왔으나 퇴적암 내에 처분장을 건설할 계획을 가지고 점토질 암반인 Argillite 지층에 지하실험실을 건설한 프랑스의 전략은 독창적인 것으로 평가된다. 본 논문은 2002년부터 2005년까지 수행된 연구 중에서 지층 처분장과 지질매체의 역학적인 거동 특성변화에 대한 내용을 다루었으며 처분장 및 암반의 거동특성은 수치해석적으로 모사한 결과로서 대부분의 수치 모사과정에 보수적인 경계조건을 적용하였다.

처분유형

프랑스에서 처분대상으로 하는 방사성 폐기물의 종류는 크게 두 가지로 분류된다. 첫째, B형 중저준위 폐기물로서 고성능 콘크리트 용기에 저장되어 있으며 용기의 형태는 한번이 1.5-2m인 육면체이고 그 무게는 6-25톤에 이른다. B형 폐기물은 발열량이 적어 열하중이 미미하다. 둘째, C형 폐기물로서 유리화되고 재처리된 고준위 폐기물로서 금속 용기에 저장되어 있으며 높은 열의 발생에 의한 열하중을 고려하여 처분장내에서 처분용기와 암반 사이의 공간을 벤토나이트로 충전한다. 그리고 사용후 핵연료에 대해서는 아직 구체적인 계획이 없으나 대개 C형 폐기물과 유사한 방법으로 처분할 것으로 예상되며 C형 폐기물 저장 용기는 지름이 60cm이고 길이가 1.3-1.6m의 실린더 모양으로 되어 있다.

지질

대상 지역은 중생대의 쥐라기 지층으로서 지표로부터 지하 450m까지는 석회암류의 지층으로 구성되어 있고 450m-600m 사이에는 두께 약 130m의 점토질 암반으로 구성된 지층이며 630m 하부는 또 다시 하부 석회암류로 구성되어 있다. 지하실험실은 진입 수갱과 보조수갱으로 연결되며 지하 -445mL에 실험갱도가 있고 그 하부 -490mL에 주요 실험실과 실험갱도로 구성되어 있다.

암반의 물성

점토질 암반의 단축압축강도는 21MPa 이상을 보이고 열전도도는 $1.4-2.7 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 로서 국내 중생대 지층의 퇴적암류 보다 작은 값을 보인다. 공극률은 10-18%이며 공극의 평균 크기는 0.05 micron, 투수계수는 $10^{-12}-10^{-14} \text{ m/s}$ 를 보이며 점토질 암반 인접 지층의 투수계수는 $10^{-7}-10^{-9} \text{ m/s}$ 를 보이고 있다. 점토질 암반으로 구성된 본 지층의 두께는 약 130m에 달한다. 암반의 대표적인 물성을 살펴 볼 때 암반의 강도가 불과 21MPa 정도이나 이는 지하 500 하부에 처분 공동을 건설하고 처분장을 안전하게 운영할 수 있는 범위의 강도 값이며, 특히 투수계수가 극히 작다는 것이 특징이라고 할 수 있다. 즉, 투수계수가 낮으면 처분장이 장기간 운영될 때 열-수리-역학-화학적 커플링으로 인해 지하수가 처분장의 안정성에 미치는 영향을 최소화할 수 있다는데 착안한 것으로 볼 수 있다.

중저준위 폐기물 처분장 거동 특성

처분장 폐쇄 후 10,000년이 경과하게 되면 열하중에 의해 라이닝에 균열이 발생하고 암반의 크립 현상과 팽창으로 인해 굴착손상대의 영역이 작아지며, 굴착손상대 내의 균열이 점진적으로 닫히면서 투수계수도 감소하는 것으로 나타났다.

고준위 및 사용후 핵연료 처분 셀 주위 굴착손상대의 장기적 거동 특성

처분장 폐쇄후 시간이 경과하면서 충전된 셀의 플러그에서는 플러그의 팽창압으로 열역학적 하중에 의한 변형이 발생하여 파쇄대가 닫히는 효과가 발생한다.

고준위 및 사용후 핵연료를 처분한 셀 주위 암반도 크립 영향에 의해 굴착손상대가 닫히고 파쇄대가 소멸된다. 처분 셀의 라이닝과 슬리브가 항복 강도에 도달하고 난 후 즉, 처분장 폐쇄후 수 만년으로부터 수십 만년이 경과하게 되면 고준위 폐기물이 저장된 처분셀 주위의 굴착손상대 내 균열은 크립의 영향으로 인해 지속적으로 닫히게 되며 처분 셀 플러그 주위에서는 암반의 크립 영향과 플러그의 충전재 팽창압에 의해 플러그 주위의 굴착손상대가 치료된다. 사용후 핵연료가 저장된 처분 셀의 경우에도 플러그 주위의 암반 내 굴착손상대가 치료되는 것으로 나타났다.

처분 용기가 파괴된 후 즉, 수십 만년 이후에는 고준위 처분 셀 및 사용후 핵연료 처분 셀 주위 암반과 플러그 주위의 굴착손상대는 완전히 치료가 된다.

따라서, 우리나라에서 방사성 폐기물 관련 사업을 수행함에 있어 선택의 폭을 넓히기 위해서는 첫째, 처분심도를 비롯한 처분 대상 지질매체(화성암 및 퇴적암)의 결정을 위한 데이터베이스의 구축이 시급하며, 특히 처분장 건설시에 갱도 혹은 처분 셀 주위에 발생되었던 파쇄 균열이 처분장을 장기간 운영하는 과정에 치료되는 특성에 대한 규명이 필요할 것이다. 둘째, 장기적 굴착손상대 거동 변화에 대한 검증이 필요하며 처분 개념의 가역성(reversibility)에 대한 검토도 이루어져야 할 것으로 판단된다. 셋째, 한국형 방사성 폐기물 지층처분에 관한 타당성 검토와 개념설계를 통하여 구축된 지하실험실을 이용하여 처분장 설계 개념을 검증하는 연구 개발이 시급한 것으로 판단된다.