

고준위 폐기물의 처분장에 대한 열수력학적 평가

정미선, 황용수, 구정의
한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지
jeongms@kaeri.re.kr

우리나라 고준위 폐기물 처분장은 지하 수 백 미터 심도의 결정질 암반에 건설 운영될 것으로 예상된다. 현재 제안되고 있는 고준위 폐기물처분장의 설계 개념에 따르면, 처분 동굴 바닥에 수직 처분공(borehole)을 굴착하고 방사성폐기물을 넣은 처분 용기를 거치시킨 후 처분 용기와 처분공의 암반 벽 사이의 공간은 완충재(buffer material)로 충전시킨다. 처분 동굴 내의 처분공들이 모두 폐기물로 채워지면, 처분 동굴과 연결 터널들은 뒷채움재(backfill material)로 채운 후 폐쇄시킨다.

처분장 공학적 방벽은 고준위 폐기물, 처분 용기 및 완충재로 이루어진 처분 시설의 핵심 구조로 방사성 핵종이 외부로 유출되는 것을 지연시키는 역할과 처분 용기를 안정하게 거치시키는 역할을 한다. KBS-3 개념과 유사한 처분 방식을 채택하고 있는 대부분의 나라들은 완충재로 물과 접촉하면 팽윤성이 크고, 중금속을 흡수하는 성질을 가진 벤토나이트를 주 사용한다. 그러나 벤토나이트는 120℃ 이상이 되면 상변화로 인하여 흡착성이 저하되므로, 공학적 안전 여유도를 고려하여 100℃를 넘지 않도록 설계하고 있는데 이러한 열적 요인은 처분장 소요 면적을 결정하는 중요한 사항이다.

처분장 폐쇄 후 단열을 통해 유입된 지하수는 불포화 상태인 벤토나이트의 공극을 통해 유입되어, 벤토나이트를 포화시킨다. 기존의 연구들은 벤토나이트가 완전 포화 상태(fully saturation)가 되는데 수십년 밖에 걸리지 않는다고 판단하고, 이러한 초기 재포화 과정을 무시하고 처분장의 안정성 및 안전성 평가를 수행하였다. 그러나 본 연구에서는 보다 정확하게 초기 불포화 과정에서부터 벤토나이트가 어떤 현상을 통해 재포화되고, 이러한 재포화 과정에 소요되는 시간은 얼마이며, 이로 인한 처분장 안전성 및 안정성에 미치는 영향은 어떠한가를 규명하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 1 단계 연구로 THM 상호 반응 현상을 모두 고려하지는 않았다. 특히 복잡한 팽윤(swelling) 현상을 고려하지 않은 채 벤토나이트의 초기 포화 상태에 따른 온도 변화 및 포화도 변화 과정을 ABAQUS 코드를 이용하여 규명하고자 하였다.

그림 1은 벤토나이트의 초기 포화상태에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 초기 포화 상태가 20% 정도일 때, 약 300년 후 최대 온도가 약 110℃까지 증가하였다가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 최대 허용 온도인 100℃를 초과한 것으로 실제 처분장의 안전성에 미치는 영향에 대해서 고려해 보아야 한다. 그러나 초기 포화 상태가 40~80 %일 때는 온도가 100℃를 이상이 되지 않고 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 2는 처분용기에 가해지는 압력 변화에 따른 벤토나이트의 포화 상태를 나타내었다. 압력이 커질수록 벤토나이트가 포화 상태가 되는 시간도 점점 길어지고 있다. 도암에서의 지하수 압력과 처분 용기에 가해지는 수두 압력에 의해 압력 구배가 생긴다. 이러한 압력 구배는 지하수의 속도 변화를 일으키며, 압력 구배가 클수록 지하수가 벤토나이트에 유입되는 속도 또한 빨라진다.

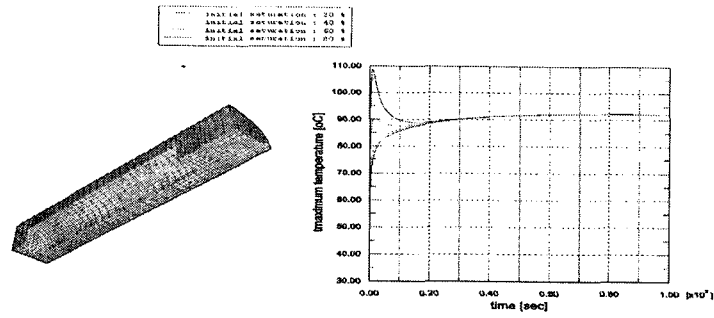


그림 1. 벤토나이트의 초기 saturation 변화에 따른 온도 변화

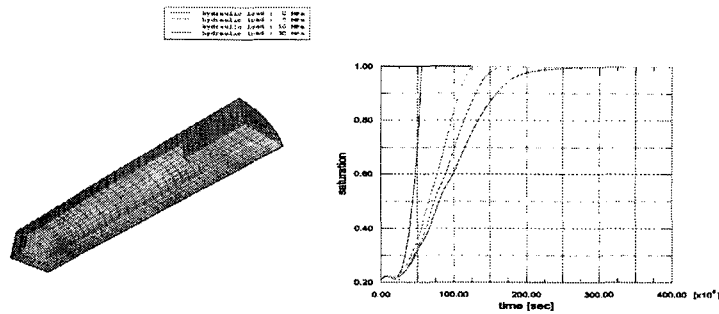


그림 2. 처분용기에 가해지는 수두 압력 변화에 따른 포화 상태

그림 3은 폐쇄 후, 거리에 따른 벤토나이트의 온도 변화를 나타내었다. 폐쇄 후 5.1647×10^6 초가 지난 경우, 온도는 약 105°C 정도에서 급격하게 감소하고 있다. 시간이 지난 후에도 유사한 경향을 보이며, 폐쇄 후 시간이 더 지연될 경우 온도는 더 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 그러나 벤토나이트의 외부에서 약 5cm인 지점까지는 100°C 이상의 온도이지만, 그 이외의 영역은 100°C 이하의 온도 분포를 가지는 것을 볼 수 있다. 벤토나이트의 외부는 최대 허용 온도를 넘었지만 처분 용기의 표면의 온도가 100°C 를 넘지 않아 과연 처분 안전성에는 큰 영향을 미치지 않을 것인지에 대한 연구가 필요하다.

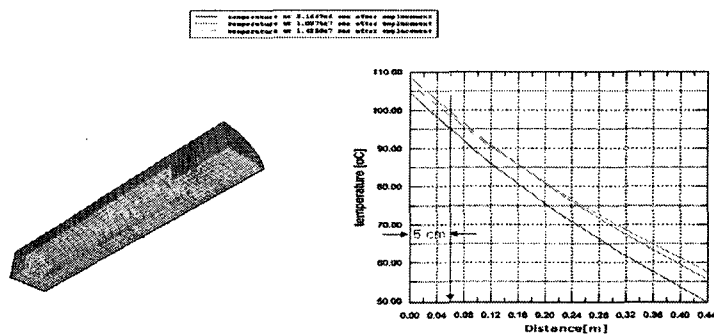


그림 3. 폐쇄 후 경과시간에 따른 벤토나이트의 온도 변화

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 주관하고 있는 국가 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 추진되었습니다.