

물리 검증 및 수리 실험을 이용한 장심도 관정에서의 수리 영역 구분

이대형, 지성훈, 박경우, 고용권, 여인옥*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

*전남대학교, 광주광역시 북구 용봉동

leedh@kaeri.re.kr

1. 서론

일반적으로 방사성 폐기물 처분장의 경우 지하 심부에 위치하므로, 심부결정질암반에 대한 연구가 필요하지만 공간적, 경제적 제약으로 인해 이러한 연구들이 미미한 실정이다. 우리나라의 경우 대수층의 대부분이 결정질 암반으로 구성되어 있어, 핵종들의 주 이동통로는 절리 및 단층대와 같은 파쇄대이며 지하수의 흐름을 통해 먼 곳까지 이동하게 된다. 그러므로 지하수 유동에 가장 크게 관여하게 되는 수리투수영역(HCD)를 구별해 내는 것이 매우 중요하다 [1].

본 연구는 한국원자력연구원 내 지하연구시설의 장심도 관정(DB-1)에서의 물리 검증을 통해 관정을 관통하는 단열대를 구분하고 수리 실험 및 변동량 분석(derivative analysis) [2, 3]으로 각각의 단열대에 대한 수리영역(hydraulic domain)을 구분하고자 하였다.

2. 본론

장심도 관정에 대해 온도 및 전기전도도, Suspension PS, 음파, 전기비저항, 밀도, 시추공 영상 촬영과 같은 물리검증을 실시한 후, 스웨덴 핵연료폐기물관리회사(Swedish Nuclear Fuel & Waste Company, SKB)의 기준을 참고로 8 구간의 단열구간과 14 구간의 배경단열구간을 추정하였다. 총 22 구간에 대하여 수리 실험을 실시한 결과 [4], 단열구간에 해당하는 3~25 m, 43.5~59.5 m, 92~116 m, 156~159 m, 183~194 m, 201.5~226 m, 234~244 m, 279~293 m 구간은 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ m/s의 범위의 수리전도도를 보였다. 이는 단열구간이 지하수의 유동로뿐만이 아니라 방벽역할을 하는 수리투수영역(hydraulic conductor domain, HCD)의 특징을 보이기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 온도 및 전기전도도 검증에서 이상대가 발견되지 않는 156~159 m, 183~194 m, 구간은 단열구간 중 상대적으로 낮은 수리전

도도가 산출되었으며, 특히 279~293 m 구간은 단열구간 중 가장 낮은 수리전도도가 산출되었다. 이 세 구간들은 수리투수영역 중 지하수의 유동로보다는 지하수의 흐름을 방벽(barrier)역할을 하는 구간으로 판단된다. 배경단열구간에 해당하는 65~85 m, 125~145 m, 251~271 m, 291~311 m, 311~331 m, 331~351 m, 351~371 m, 371~391 m, 391~411 m, 411~431 m, 431~451 m, 451~471 m, 471~491 m 구간은 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ m/s의 범위로 단열구간에 비해 훨씬 낮은 수리전도도가 산출되었으며, 비교적 균질한 값들을 보였다. 전구간에 대해 수위 회복 자료를 이용한 변동량 분석을 실시하고, 물리검증 및 시추코어 관찰을 통해 최종적인 수리영역을 구분하고자 하였다. 3~25 m, 43.5~59.5 m 구간은 물리 검증 전 항목에 걸쳐 이상대가 나타났고, 단열구간 중 투수성이 가장 큰 구간으로 정압배출시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 5.55×10^{-6} m/s, 수위회복시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 3.28×10^{-6} m/s이며 변동량 분석 결과 원활한 흐름을 보이는 구간으로 수리투수영역(HCD)로 구분하였다. 92~116 m 구간도 물리 검증 전 항목에 걸쳐 이상대가 나타났고 투수성이 상대적으로 큰 구간이며 변동량 분석 결과 단열구간 중 가장 원활한 방사상 흐름(radial flow)을 보이는 것으로 수리투수영역(HCD)로 구분하였다. 156~159 m, 183~194 m 구간은 단열이 밀집되어 있고 단층 점토가 발견되는 구간이나 수리전도도가 정압배출시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 1.15×10^{-8} m/s, 수위회복시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 3.39×10^{-8} m/s로 단열구간 중 상대적으로 작고 변동량 곡선의 양상을 관찰한 결과 초기 관정저류 효과 및 과도기 기간이 매우 긴 수리적 특성으로 보여, 지하수 흐름을 지연시키는 자연 방벽의 역할을 하는 수리투수영역(HCD)로 구분하였다. 201.5~226 m, 234~244 m 구간은 변동량 곡선은 유사한 양상을 보이고 있으며 지하수 유동이 원활한 구간임을 확인할 수 있으며 수리 실험 결과

3~25 m, 43.5~59.5 m 구간의 수리전도도도 보다는 낮으며 정압배출시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 7.15×10^{-7} m/s, 수위회복시험을 통한 앞선 두 구간의 평균값은 4.35×10^{-6} m/s의 값이 산출 되었으나, 이는 변동량 곡선의 과도기 구간을 반영하여 나타나는 결과라 판단하였고 물리검층 결과와의 비교를 통해 수리투수영역(HCD)로 구분하였다. 279~293 m 구간의 경우 수리전도도가 단열 구간 중 가장 낮으며 정압배출시험을 통한 수리전도도 값은 1.76×10^{-9} m/s, 수위회복시험을 통한 수리전도도 값은 6.26×10^{-8} m/s로, 변동량 분석과 시추 코어 관찰과의 비교 분석을 통해 수리암반영역(HRD)으로 구분하였다. 배경단열구간의 변동량 곡선의 양상은 대체로 우물저류효과(wellbore storage effect)를 포함한 과도기 구간이 길며 후기로 갈수록 수리적 연결성이 불량한 구간임을 확인할 수 있으며, 배경단열구간 14 구간에 대해 수리암반영역(HRD)으로 구분하였다. 본 연구 결과, 물리검층을 통해 구분한 단열구간 중 3~25 m, 43.5~59.5 m, 92~116 m, 201.5~226 m, 234~244 m 구간은 지하수의 유동로 역할을 하는 전형적인 수리투수영역(HCD)의 특징을 나타내는 구간으로서, 변동량 분석 결과 3~25 m, 43.5~59.5 m 구간은 선형흐름과 방사상 흐름의 중간에 해당하는 유동차원을 보였고, 92~116 m 구간은 전형적인 2차원의 방사상 흐름을 보였다. 단층 파쇄대 구간인 201.5~226 m 구간과 234~244 m 구간은 과도기 구간이 단열구간 중 상대적으로 오래 지속되나, 후기에 2차원 흐름보다 더 큰 유동차원을 보이는 흐름영역이 나타난 것을 알 수 있었다. 반면 물리검층을 통해 단열구간으로 판별된 279~293 m, 156~159 m, 183~194 m 구간은 지하수 유동의 주된 통로라기보다는 지하수 흐름을 지연시키는 수리투수영역(HCD)으로 구분할 수 있다. 배경단열구간은 물리검층에서 이상대가 발견되지 않았고, 수리 실험 결과에서도 단열구간에 비해 수리전도도 값이 상대적으로 작게 나타났다. 변량 곡선의 양상 역시 초기 관정저류효과와 과도기 구간이 매우 길게 나타나며, 대수층의 특성이 나타나는 후기 구간 역시 매우 불규칙하게 변동하여 특정한 지하수 흐름 영역을 보이기보다는 불규칙한 지하수의 흐름 특성을 보여 지하수의 흐름이 원활하지 않을 수 있음을 보여준다. 수리실험 결과에 의해서도, 물리검층에 의해 판별된 배경단열구간을 모두 수리암반영역(HRD)으로 분류할 수 있었다.

3. 결론

본 연구를 통하여 DB-1을 관통하는 단열들에 대한 수리영역을 구분할 수 있었다. 연구지역의 DB-1 관정을 관통하는 절리들 중 수리투수영역은 DB-1의 270m 상부에 주로 분포하여 지하수 유동로의 역할을 하고 있고, 물리 검층과 대수층 시험의 해석 및 코어자료를 비교함으로써 변동량 분석의 단점을 보완하여 수리투수영역(HCD)을 구분해낼 수 있었지만, KURT 내 하나의 시추공 자료를 이용한 것이므로 보다 정확한 분석을 위해 추가적인 관정을 설치하여 각각의 수리영역과의 연결성을 분석함으로써 DB-1 주변의 수리지질모델을 완성할 수 있을 것이다. 따라서, 장심도 시추공에서 단열구간과 배경단열구간의 분석이라는 부분은 충족이 되었다고 볼 수 있지만, 단열대의 방향성 및 크기에 대한 일부 규명되지 않은 부분이 있다. 또한 단층 파쇄대이지만 자연적 방벽 역할을 하는 수리투수영역(HCD)을 추가적으로 구분함으로써, 방사성 폐기물 처분장 주변의 지질모델 구축에 기여할 것으로 보인다.

4. 참고문헌

- [1] Rhen, I., Follin, S., Hermanson, J., 2003. Hydrological Site Description Model: A Strategy for Its Development during Site investigation, R-03-08, SKB, Stockholm.
- [2] Bourdet, D., Whittle, T. M., Douglas, A. A. and Pirard, Y.M., 1983a, A new set of type curves simplifies well test analysis, *World Oil*, **196**(6), 95-106.
- [3] Renard, P., Glenz, D. and Mejias, M., 2008, Understanding diagnostic plots for well-test interpretation, *Hydrogeology Journal*, **17**(3), 589-600.
- [4] Batu, V., 1998, *Aquifer hydraulics*, John Wiley & Sons, INC., New york.