

지하유류저장시설 주변의 단열암반 내 지하수유동체계 해석

조성일, 김천수, 배대석, 김경수, 박경우, 송무영*

한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부

*충남대학교 지구환경과학과

chosi@kaeri.re.kr

요 약 문

본 연구는 지하유류저장공동 굴착 시 비교적 정밀하게 해석된 단열체계 및 수리인자를 토대로 투수성구조영역과 수리암반영역으로 세분화하여 연구지역의 불규칙하고 복잡한 지하수유동체계를 해석해 보고자 하였다. FZ-2 구조대와 인접한 수리암반영역 Domain-A와 B는 Domain-C와 D에 비해 수평수벽공의 초기압이 최대 약 15 kg/cm^2 정도 높으며, 상·하부의 수리적 연결성이 양호하여 지하공동굴착 시 상·하부의 수위차가 크지 않고 지하수 함양량은 약 $35 \sim 50 \text{ mm/year}$ 의 범위를 보인다. 또한 공동굴착 시 투수성 단열과의 교차에 의한 수위강하에 민감한 반응을 보이며 상·하부의 수위강하양상이 유사한 특성을 나타낸다. 반면, FZ-1 구조대와 인접한 Domain-C와 D는 지하공동 부근의 수리전도도가 각각 7×10^{-10} , $2 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$ 로 Domain-A와 B에 비해 최대 약 6배정도 낮고, 상·하부의 수리적 연결성이 양호하지 않기 때문에 공동굴착 전 이중수위측정시설 설치 시 예측된 상·하부의 수위차는 최대 약 120 m로 매우 크다. 그리고 상부의 지하수는 하부의 낮은 수리전도도로 인하여 수직방향보다 수평방향으로의 유동이 우세하며 공동굴착 시 수위변화는 크지 않고 함양량은 $10 \sim 15 \text{ mm/year}$ 의 범위를 나타낸다.

Key words : 지하수, 단열, 지하유류저장시설, 수리전도도, 함양량

1. 서론

결정질단열암반 내 지하수유동체계는 불규칙하고 복잡한 분포특성을 갖는 소수의 투수성 단열에 의하여 지배되므로 투수성 구조의 기하학적인 분포특성과 이의 수리특성을 정확히 파악하는 것은 매우 중요하며, 분리단열망(DFN : Discrete Fracture Network)을 통한 유동개념과 수리지질학적 특성이 다른 영역으로 세분화하여 각 영역 및 전체적인 유동체계를 해석하는 방법이 적용된다.

본 연구에서는 지하수의 주 유동로와 방벽역할을 하는 투수성구조영역(HCD : Hydraulic Conductor Domain)과 투수성구조영역에 의해 구분되는 수리암반영역(HRD : Hydraulic Rock Domain), 토질층과 지표풍화파쇄대를 포함하는 수리토질대영역(HSD : Hydraulic Soil Domain)으로 구분하여 영역별 단열분포특성과 수리특성을 정밀조사하는 방법(Andersson et al., 2002)을 이용하여 연구지역의 지하수유동체계를 해석하였다.

본 연구지역은 유류의 누출을 억제하기 위해 설치되는 수벽공(water curtain holes)과 상·하부의 지하수위를 독립적으로 예측할 수 있는 이중수위측정시설(double completion)이 설치된 지표관측공을 통해 공동굴착 시 지하수체계변화를 일별로 정밀하게 예측할 수 있고, 공동 내 정밀 mapping에 통해 신뢰도 높은 단열분포특성을 해석할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 지표로부터 최대 약 340 m, 최소 110 m 부근에 위치하는 지하유류저장공동의 굴착과정에서 조사된 단열체계 및 수리인자(대우엔지니어링, 2003a, 2003b)를 토대로 투수성구조영역과 수리암반영역으로 세분화하여 연구지역의 불규칙하고 복잡한 지하수유동체계를 해석해 보고자 하였다.

2. 수리경계 구분

연구지역의 지질은 백악기 말 유천층군의 화산암류 및 이를 관입한 불국사 화성암류의 알칼리장석 화강암과 맥암으로 구성되어 있고(박희인의, 1989), 선구조 분석 및 시추조사 시 일부 확인된 FZ-1 및 FZ-2 구조대(Fig. 1b)는 기존에 이미 건설되어 운영중에 있는 저장시설(Storage B, C)과 신규시설 사이의 수리적 경계역할을 하고 있는 것으로 해석하였다.

지하공동 상부 25 m(EL. -4 m)지점에 설치된 95개 수평수벽공(horizontal water curtain holes)의 초기지하수압은 지하공동 내에서 확인된 NE-1 단열대를 경계로 초기압이 매우 낮은 FZ-1 주변과 비교적 높은 FZ-2 주변으로 구분되며, NW-1과 NW-2 단열대를 경계로 다시 세분화된다(Fig 1b).

FZ-2와 인접한 Domain-A는 $7 \sim 16.5 \text{ kg/cm}^2$ 로 매우 높은 초기압 분포를 보이며, Domain-B도 $3 \sim 6.5 \text{ kg/cm}^2$ 로 비교적 높은 압력분포를 보이고 있다. Domain-A와 Domain-B의 고도차가 약 100여 미터에 이르는 것을 고려하면 두 지역의 초기압은 지형적인 영향으로 해석가능하다. 이 두 영역의 초기수압은 인근 지표 관측공의 이중수위측정시설에서 계측된 하부지하수위와도 매우 근사한 수치를 나타낸다. 그 외에 $1 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 의 초기압은 국지적으로 분포하고 있으나 공동지역 면적의 반 이상이 1 kg/cm^2 보다 낮은 초기압을 나타내고 있다. 또한 WBT-3과 6에 위치한 VW-39 ~ 63번 수직수벽공(vertical water curtain holes)은 NW-2 단열대를 경계로 약 4 ~ 5 m의 수두차를 나타낸다. 반면, FZ-1과 인접한 Domain-C와 D는 $0 \sim 1.4 \text{ kg/cm}^2$ 로 매우 낮은 초기압분포를 보이며, 수직수벽공(vertical water curtain holes) VW-1 ~ 17번의 초기압은 NW-1 단열대를 경계로 최대 약 12 m의 수두차를 나타낸다.

따라서 국지주단열대(major fracture zone) 규모의 NE-1, NW-1, NW-2 단열대는 초기수압의 분포가 다른 4개의 수리암반영역을 구분하는 투수성구조영역으로 해석가능하다.

3. 지하수유동체계 해석

지하수유동체계는 수벽공 내에 단일 패커를 입구부에 설치하여 일정주입/수위강하시험에 의하여 계산된 수리전도도와 수벽공 및 지표관측공의 수위변화와 지하수유동모델링 결과로 해석하였다. 투수성구조영역 NE-1, NW-1, NW-2 단열대의 수리전도도의 산술평균은 $1 \times 10^{-9} \sim 4 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ 로 비교적 낮은 수리전도도를 보이며 수리적 연결성이 양호하지 않기 때문에 수리암반영역의 경계역할이 좀 더 우세한 것으로 판단할 수 있다.

수리암반영역은 투수성구조영역이 교차된 수벽공과 공동으로 주입수가 직접 유출되는 수벽공을 제외한 각 영역 내 수벽공들의 수리전도도의 평균값으로 수리특성을 평가하였다. 각 영역의 수리전도도의 평균값은 산술평균이 $3 \times 10^{-10} \sim 4 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$, 기하평균이 $2 \times 10^{-10} \sim 4 \times 10^{-9} \text{ m/sec}$ 로 저경사투수성 단열이 교차하는 Domain-B의 수리전도도가 가장 높으며 독립적인 수리영역으로 해석된 Domain-D가 가장 낮은 수리전도도를 나타내었다.

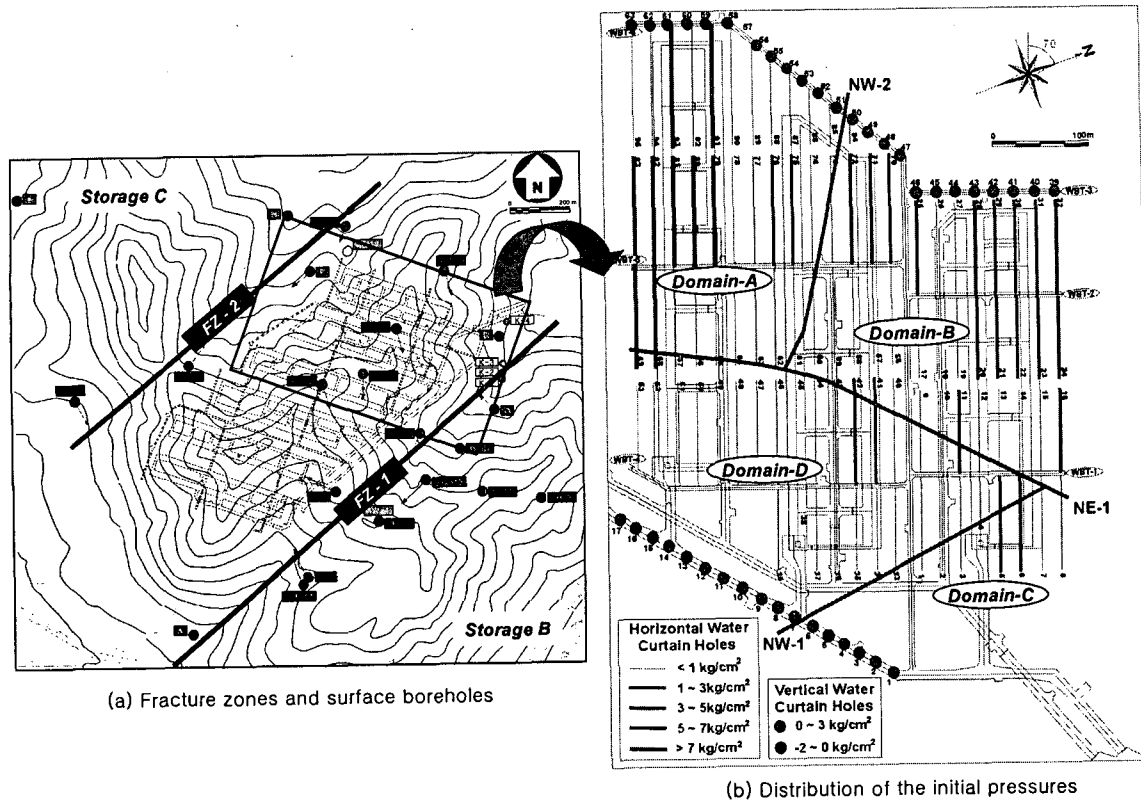


Fig. 1. Location map of the fracture zones and surface boreholes and distribution of the initial pressure in the horizontal and vertical water curtain holes.

FZ-1 구조대와 인접한 Domain-C와 D의 지하수체계는 AO-5(L:하부)와 AW-1(L)에서 인지되는 지하수위변화로 해석될 수 있다. AO-5의 수위는 이중 수위측정시설 설치 후 하부수위는 EL. 13 m를 기록하였으며 상부수위는 EL. 130m로 상승하였다. 이는 이중수위측정시설 설치 전 계측된 평균 EL. 31m의 수위와 큰 특성차이를 보이고 있다. 또한 지표조사 시 약 EL. 32m의 수위가 계측되었던 AW-1은 이중 수위측정시설 후 AW-1(U:상부)는 EL. 68.44 m로 상승하였고, AW-1(L)은 EL. 30.08 m를 유지하였다. 이중수위측정시설의 설치시기(2001/10)는 공동의 입구부분을 굴착 할 시기라서 공동굴착의 영향이 미치지 않는 상태임을 고려하면, 지표관측공의 낮은 하부수위는 FZ-1 구조대의 수위를 반영하는 것으로 해석된다. 그러나 AW-1(L)은 2001년 10월에 급속히 수위가 강하하여 낮은 수위(EL. -0.17 m)를 기록 하였다가 2003년 9월 급격히 수위가 상승(EL. 23.8 m)하였다. 이러한 급격한 수위변화는 FZ-1 구조대의 국지적인 작은 규모를 갖는 지하수 저류체의 수위를 반영하는 것으로 사료된다. 지하수유동모델링을 통해 해석된 함양량은 Domain-C와 D가 각각 15 mm/year, 10 mm/year로 매우 낮고 상부지하수는 하부의 낮은 수리전도도로 인해 지하수의 유동방향이 수직보다 수평방향이 우세한 것으로 나타났다.

FZ-2 구조대와 인접한 Domain-A와 B의 지하수체계는 AO-7(U, L), AW-2(U, L)공에서 뚜렷이 나타난다. AO-7과 AW-2공은 서로 인근에 위치하여 유사한 지하수위변화를 보이고 있으며, 이는 수벽 공터널 굴착 시 지하수 유입을 유발하였던 저경사 투수성단열과 수리적으로 연결된 결과로 해석하고 있다. 또한 지하수위 강하폭의 차이는 있으나 이중수위측정시설의 상·하부 모두 굴착과 관련하여 유사한 수위변화를 보인다. 이들 공의 수위변화 특성은 초기 수벽공터널 굴착 시 가장 큰 폭의 강하율을 나타내고 저장공동 상부영역 굴착 시는 추가적인 소폭의 수위강하를 나타낸다. 함양량은 Domain-A와 B가 각각 약 50 mm/year, 35 mm/year로 Domain-C와 D에 비해 약 2 ~ 5배정도 많다.

4. 결론

FZ-1 구조대 주변은 지하공동 굴착전부터 Storage B의 건설에 의한 영향으로 저수위분포대를 형성하고 있었으며, 추가저장공동의 굴착과 동시에 이중수위측정시설에 의해 계측된 지하수위는 큰 폭의 수위차를 나타내었다. 이는 하부지하수가 공동굴착에 의해 공동 내로 유출되어 수위가 강하하였으나 상부의 지하수는 수리적 연결성이 양호하지 않아 유입되지 못했기 때문으로 유추할 수 있다. 즉 상부지하수는 하부의 낮은 수리전도도로 인해 수직방향보다 수평방향의 유동이 우세하여 수위강하는 발생되지 않고 낮은 함양특성을 나타낸다. 반면 FZ-2 구조대 주변은 상부와 하부의 수리전도도 차이가 크지 않고 투수성 단열에 의한 수리적 연결성이 양호하기 때문에 상·하부수위 차이가 크지 않고 공동굴착에 민감한 반응을 나타낸다. 공동조사 시 확인된 3개의 단열대는 지하수의 주 유동로로서의 기능보다는 수리암반영역의 경계역할이 우세하고, 4개의 수리암반영역 내 상·하부의 수리특성은 인접한 구조대와의 수리적 연결성에 따라 다양한 지하수위분포 및 함양량, 유동방향의 특성을 보인다.

5. 참고문헌

- 1) 대우엔지니어링(주) 시공감리단, OO 추가비축기지공사 공사평가보고서 제 3권, 2003a.
- 2) 대우엔지니어링(주) 시공감리단, 수벽공 장기수리시험 종합보고서, 2003b.
- 3) 박희인, 박용안, 정지곤, 광양도폭 지질보고서, 한국동력자원연구소, 1989.
- 4) Andersson, J., Berglund, J., Testing the methodology for site descriptive modelling. Application for the Laxemar area. SKB TR-02-19, SKB, Stockholm, 2002.