

배경 단열이 반영된 단열 암반에서의 지하수내 용존 물질의 이동 양상 분석

고낙열, 지성훈

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

nyko@kaeri.re.kr

1. 서론

심지층 처분시설을 계획할 때에는 수십만 년 이상 처분장에 놓인 방사성폐기물로부터 발생할 수 있는 방사성 핵종이 처분시설 밖으로 누출되지 못하도록 여러 가지 공학적 방법을 설치한다. 그러나 예기치 못한 사건에 의해 처분안전성이 위협받을 수 있기 때문에, 처분시설에서 방사성 핵종이 누출되는 경우를 상정하고 그 때의 핵종의 이동 양상을 예상하여 처분장의 건설과 운영, 폐쇄 후의 안전성을 유지시키는데 이용하게 된다.

이 연구에서는 블록 규모의 지하수 유동 모의에서 배경단열을 고려해서 알아낸 지하수 유동 경로를 이용하여 지하수를 따라 이동하는 용존 물질의 시간에 따른 변화를 불확실성을 고려하여 계산하였고 처분안전성 평가에 이용할 방안이 대해 고찰하였다.

2. 지하수 유동 모델링

2.1 지하수 유동 모의 영역

지하수 유동에 이용된 모의 영역은 실제 심지층 처분장이 건설되고 있는 핀란드의 Olkiluoto 섬 중앙부의 지하로, 500 × 500 × 500 m 규모이다. Olkiluoto 섬은 순상지이고 10 m 내외의 토양층 아래 선캄브리아대의 암석이 기반암으로 존재하고 있어 모의 영역은 모두 암반의 특성을 갖는 것으로 가정하였다. 남동, 북동 방향의 단층이 주 단열대를 형성하고 있다(Vahtinen 등, 2003).

2.2 배경 단열의 영향 고려

Olkiluoto 현장에서 조사된 단열대 자료를 바탕으로 불연속(discrete) 단열망을 구성하고, 구성된 단열망을 이용해 수리전도도 분포를 만들어 3차원의 연속체(continuum) 격자에 입력하는 혼합(hybrid) 모형을 이용하였다. 그리고 국지적 지질 구조가 끼치는 영향을 알아보기 위해 배경 단열 자료를 분석하여 수리전도도 분포에 반영한 모형도 작성하였다. 또한 관측정에 의해 교란되는 지

하수 유동 환경을 나타내기 위해 DFE(discrete fracture element) 기법을 적용하여 관측정 구조를 지하수 유동 모형에 입력하였다(Diersch, 2005).

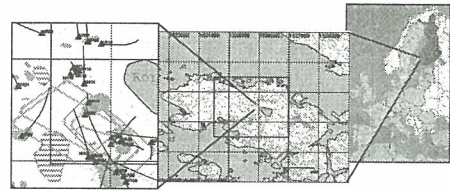


Fig. 1. Groundwater modeling domain in Olkiluoto island

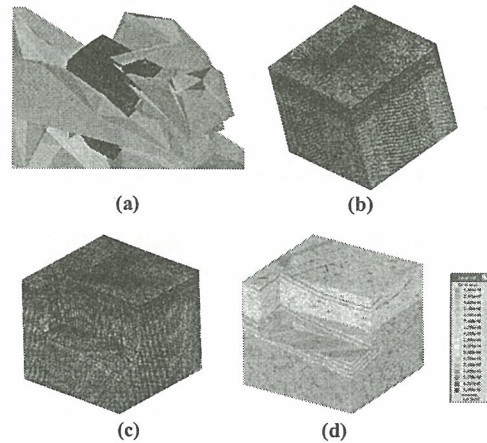


Fig. 2. (a) discrete fracture network, (b) 3-D continuum mesh, and hydraulic conductivity fields (c) without and (d) with background fracture

3. 지하수 유동 경로와 이동 시간

배경단열이 고려되면 국지적으로 수리전도도가 높아 지하수가 잘 흐를 수 있는 통로가 생성되어 복잡한 유동 경로가 발생하고(Fig. 3), 암반의 수리전도도가 전체적으로 상승하는 효과를 불러와 이동 시간은 오히려 감소되어 나타났다(Table 1).

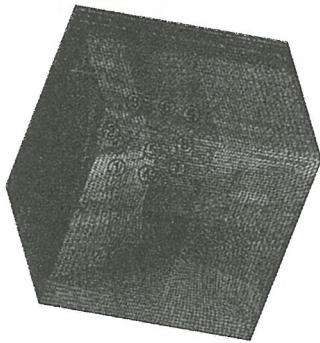


Fig. 3. Result of the particle tracking when the background fractures were included

Table 1. Travel times and distances for each particle released from the points shown in Fig. 3

Release Points	Travel Time ($\times 10^3$ year)	Travel distance (m)
1	8.3 ± 2.0	209 ± 2
2	9.0 ± 2.0	209 ± 13
3	17.9 ± 5.8	233 ± 12
4	13.5 ± 4.0	244 ± 62
5	16.9 ± 4.0	267 ± 6
6	15.0 ± 2.8	236 ± 7
7	52.6 ± 19.9	331 ± 23
8	27.3 ± 5.3	278 ± 9
9	15.0 ± 4.6	224 ± 7

4. Time-Domain Random Walk (TDRW) 방법을 이용한 용질의 이동 양상

지하수 유동 모의를 통해 파악한 지하수 유동 경로 자료를 이용하여 지하수내 용질의 시간에 따른 이동 양상을 TDRW를 이용하여 계산하였다. TDRW는 특정 시각에서의 공간에 따른 분포를 계산하는 Random Walk 방식에 비해 특정 지점에서의 시간에 따른 농도 또는 양의 변화를 계산하는 방식으로 지하수내의 용질의 이동을 평가한다. 앞서의 지하수 유동 모의 결과를 이용하여 평가한 시간에 따른 지하수 용질의 이동 양상은 일반적인 breakthrough curve의 모습을 잘 보여준다(Fig. 4). 이는 이용한 TDRW 모형이 이송(advection)과 분산(dispersion)만을 고려했기 때문으로 생각된다.

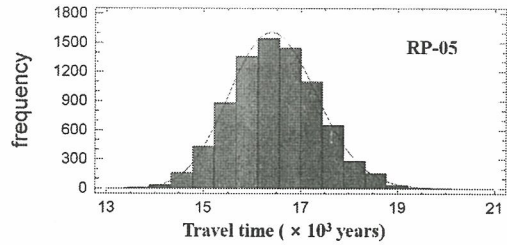


Fig. 4. The arrival distribution using TDRW calculation for the particle located in RP-05 from Fig. 3

5. 결론

배경 단일 자료를 고려하여 단일 암반에서의 지하수 유동 모의를 실시하고 특정 지점에서의 지하수 유동 경로와 이동 시간을 평가하였다. 그리고 그 자료를 이용하여 특정 위치에서의 용질이 시간에 따라 어떻게 이동해 가는가를 TDRW를 이용하여 평가하였다. 특정 위치에서의 시간에 따른 용질의 변화 양상을 잘 표현해 주기 때문에 TDRW 방법은 장기간의 지하수 유동 양상에 대한 평가가 필요한 처분안전성 연구에 적합하고 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

6. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 지원을 받았음을 밝히며 이에 감사드립니다.

7. 참고문헌

- [1] T. Vaittinen, H. Ahokas, E. Heikkinen, P. Hellä, J. Nummela, P. Saksa, E. Tammisto, S. Paulamäki, K. Front and A. Kärki, Bedrock model of the Olkiluoto site (version 2003/1), Posiva Working report 2003-43(2003).
- [2] Diersch, H.-J.G., 2005. Discrete feature modeling of flow, mass and heat transport processes by using FEFLOW, in: WASY GmbH (Eds.), FEFLOW: Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System. White Papers Vol. 1. WASY GmbH, Berlin, Germany, 149-196.