

지하수 유량-유속 자료 및 균열 분포를 이용한 균열암반 특성화 기법

김태희, 신제현*, 황세호*, 김구영, 조병욱, 채병곤*, 김용제

한국지질자원연구원 지하수지열연구부, *한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (katzura@kigam.re.kr)

<요약문>

To investigate the in-situ REV, cross-correlations between the absolute value of in/outflux in tested boreholes and fracture frequency with various window widths were calculated. The changes of vertical flow rates can be considered as in/outflux into/out of borehole. The results of cross-correlation analysis shows that 7m can be the most appropriate width of the applicable window.

key word : vertical flow, fracture frequency, cross-correlation, REV

1. 서론

균열암반 매질에서의 지하수 유동 특성을 어떻게 규정할 것인가는 이미 오랜 기간 많은 연구(김태희, 2001; 김태희 외, 2004; Balberg et. al., 1991; Berkowitz and Balberg, 1993; Berkowitz, 1995; Bour and Davy, 1997; Bour and Davy, 1998; Renshaw, 1999)가 이루어져 왔으나, 아직까지 그 전형성을 확립하지 못하고 있다. 특히, 방사성 핵폐기물 처분장 부지 선정 및 안정성 평가 혹은 대규모 지하 구조물(지하 저장 공동, 장대 터널 등)의 안정성에 관한 문제와 균열암반 매질에서의 지하수 유동 특성은 현실적 측면에서도 매우 중요한 연결고리를 가지고 있기 때문에, 이와 관련된 국제적 연구 프로젝트를 통해 매우 다양한 접근방법을 통해 특성화 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다.

현실적 측면에서 볼 때 균열암반 매질의 특성화 방법은 균열암반 매질의 개념 모형을 어떻게 설정할 것인가와 매우 밀접히 관련되어 있다. 예를 들면 통상적인 수리시험(양수시험, 순간수위변화시험, 추적자 시험 등)을 통해 균열암반 매질을 특성화하고자 하는 시도는 매질 자체를 연속체, 즉 다공질 매질(Equivalent Porous Medium)로 개념화한다는 전제를 가지고 있는 것이며, 균열의 기하학적 분포 특성 및 각각의 수리적 특성을 규명하고자 한다면 불연속 모형체(Discrete Model)로 개념화 한다는 전제를 가진 것이다.

본 연구에서는 균열암반 매질을 연속적 다공질 매질로 가정하되 선별적으로 투수성을 가진다는 전제(continuum percolation model)를 가지고 균열암반 매질을 어떻게 특성화 시킬 것인가, 보다 구체적으로는 현장 규모에서 균열암반 매질의 REV(representative elementary volume)를 어떻게 정의할 것인가에 대해 지하수 공내 수직 유량-유속 시험 및 Aquatic Televiwer 자료를 이용하여 검토해 보고자 한다.

2. 본론

연구지역은 충청남도 금산군 남이면 내 위치한 남이자연휴양림 내 한국지질자원연구원 연구 부지로, 기간 연구지역의 수리지질학적 특성 규명을 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다(성현정 외, 2003; 황세호 외, 2003; 김태희 외, 2004). 특히 공내 수직 유향-유속 시험 결과는 각 공내 주요 투수성 균열의 분포 심도를 검토할 수 있을 뿐만 아니라, 각 공간의 연결성을 해석함에 있어 중요한 지시자가 될 수 있음은 이미 확인한 바 있다(황세호 외, 2003; 김태희 외, 2004). 본 연구에서는 공내 수직 유향-유속 시험 결과와 Aquatic Televier를 통해 획득한 공내 균열 분포 특성과의 상관성을 검토해 보았다. 이를 위해 공내 균열을 경사를 중심으로 크게 3가지의 그룹(Low : 30°이하, Medium : 30°~60°, High : 60° 이상)으로 구분하고 각 그룹별 균열 밀도 및 공내로 유입 혹은 유출되는 구간별 유량과의 상관성을 검토하였다. 이 때 균열 밀도를 정의하기 위하여 유향-유속 시험 지점을 중심으로 상하로 window를 설정, window 내 균열의 개수를 심도별로 counting하였으며, 적용된 window의 크기는 각각 1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 6m, 7m, 8m, 9m, 10m로 설정하고, window의 중심을 1m씩 이동하며, 균열 개수의 변화를 검토하고, 이를 통해 균열 밀도와 공내 지하수 유출/유입량의 절대값과의 상관성을 검토하였다. 이 때 각 인자간의 상관성 변화는 그림 3에 표현된 바와 같다. 그림 3의 왼쪽 (a), (c)는 자연적 공내 지하수 흐름 특성과 균열 밀도와의 상관성에 관한 것으로 주되게 서로 다른 투수성 구간에 대한 정보를 제공해 주며, 오른쪽 (b), (d)는 투수성 구간에 대한 정보뿐만 아니라 두 관정간의 연결성에 관한 정보를 제공해 준다. 위의 그림 3에서 보는 바와 같이 window의 크기를 7m로 설정하였을 때, 각 투수성 구간에서의 공내 수직 유량 변화가 균열 밀도와 최적 상관성을 보여 준다.

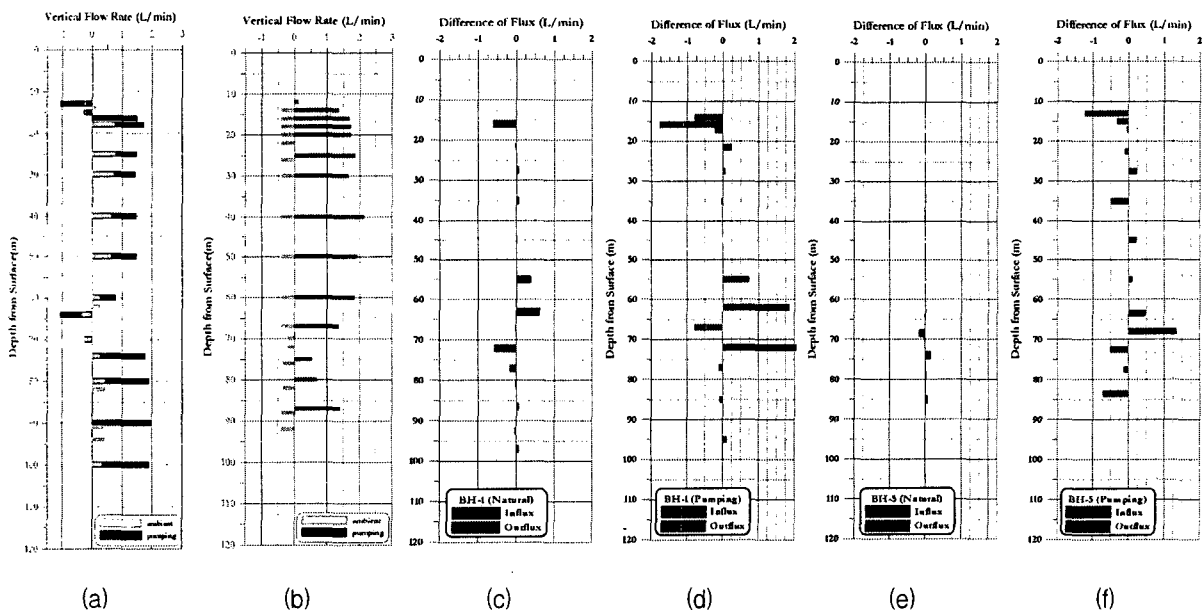


그림 1. 공내 수직 유향-유속 시험 결과 : (a) BH-1호공 시험 결과, (b) BH-5호공, (c) BH-1호공 내 수직적 지하수 유입/유출량 분포(자연상태), (d) BH-1호공 내 수직적 지하수 유입/유출량 분포(BH-5호공에서 양수시), (e) BH-5호공 내 수직적 지하수 유입/유출량 분포(자연상태), (f) BH-5호공 내 수직적 지하수 유입/유출량 분포(BH-1호공에서 양수시)

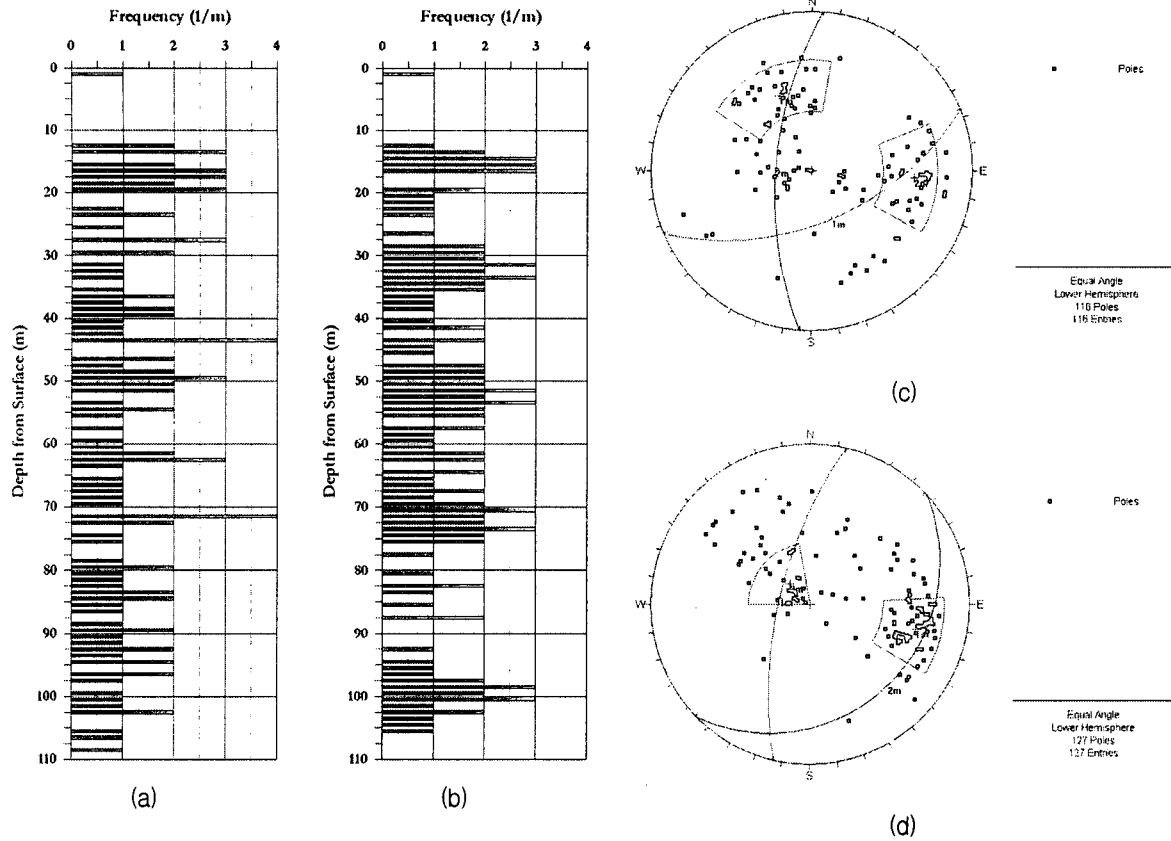


그림 2. 시험 공내 수직적 균열 밀도 분포(a, BH-1), (b, BH-5) 및 균열 방향 분포(c, BH-1), (d, BH-5)

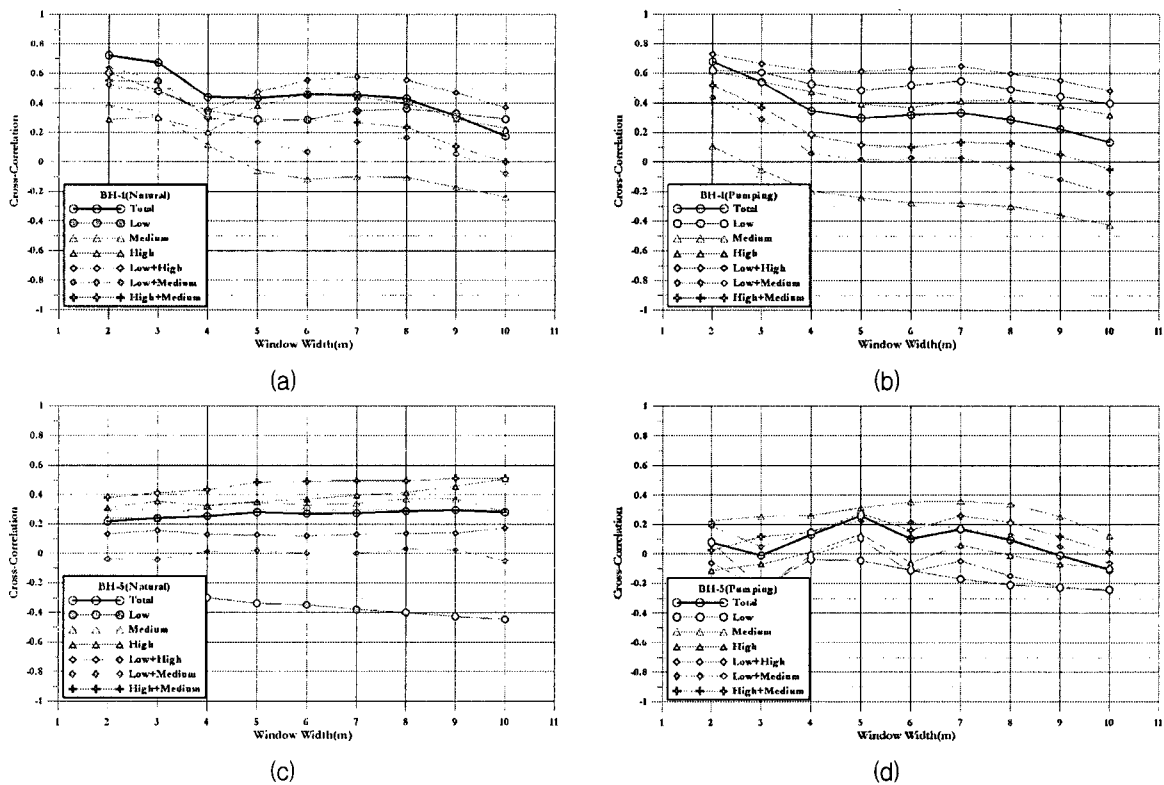


그림 3 공내 균열 밀도-유입/유출량 상관성 분석 결과 : (a) BH-1, 자연상태, (b) BH-1, BH-5에서 양수시, (c) BH-5, 자연상태, (d) BH-5, BH-1에서 양수시

3. 결론

통상적인 방법으로 암반층에 관정을 시추하는 경우, 불가피하게 여러 개의 투수성이 좋은 구간을 하나의 관정이 관통할 수밖에 없다. 따라서 하나의 관정을 interface로 활용하여 지하수 시스템에 대해 해석한다는 것이 엄밀한 의미에서는 크게 의미가 없는 것이다. 하지만, 위와 같이 공내 유향-유속 시험의 결과와 공내 균열 밀도를 window를 바꾸어 가며 검토해 보면, 균열의 기하학적 특성을 통해 본 지역의 지하수 흐름의 특성을 파악하고자 할 때, 어느 정도의 규모가 최적의 규모인지에 대해 검토해 볼 수 있을 것이다. 투수성 뿐만 아니라 연결성을 규정할 수 있는 최적 규모에 대한 정보도 함께 제공해 줄 수 있으며, 본 연구에서의 검토 결과는 양자 모두 7m 폭의 window에서 통계적으로 최적의 상관성이 있음을 확인할 수 있었다.

4. 참고문헌

- 김태희, An Alternative framework for analyzing hydraulic information of the groundwater flow system, 2001, PhD. Dissertation, Seoul National University
- 김태희, 황세호, 채병곤, 고경석, 이철우, 김용제, 현장 균열망 연결성 통합해석에 대한 선행연구, 2004, 2004 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회, 509-513
- 성현정, 김용제, 우남철, 이철우, 김구영, 균열암반에서의 양수시험자료 해석과 일반화 방사상 유동모델의 적용성 연구, 2003, 2003 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 493-496
- 황세호, 염병우, 김용제, 유향·유속검층을 이용한 시추공간 수리적 연결 특성 파악, 2003, 2003 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 263-266
- Balberg I., Berkowitz B. and Drachler G. E., 1991, Application of a percolation model to flow in fractured hard rocks, *Journal of Geophysical Research*, 96 (B6), 10015-10021
- Berkowitz B., 1995, Analysis fracture network connectivity using percolation theory, *Mathematical Geology*, 27(4), 467-483
- Bour O. and Davy P., 1997, Connectivity of random fault networks following a power law fault length distribution, *Water Resources Research*, 33(7), 1567-1583
- Bour O. and Davy P., 1998, On the connectivity of three-dimensional fault networks, *Water Resources Research*, 34(10), 2611-2622
- Renshaw C. E., 1999, Connectivity of joint networks with power law length distributions, *Water Resources Research*, 35(9), 2661-2670