

## 수압시험과 시추자료를 이용한 화강암지역의 수리적 특성

김문수, 함세영\*, 성익환\*\*, 이병대\*\*, 류상민\*, 정재열\*

국립환경연구원

\*부산대 지질학과

\*\*한국지질자원연구원 환경지질연구부

e-mail: hys@hyowon.pusan.ac.kr

### 요 약 문

When constructing subsurface structures and/or wells, the precise estimates of hydraulic parameters must be obtained for operating safety and/or for developing necessary quantity of groundwater. Hydraulic conductivity is mainly subjected to the characteristics of fracture network in the fractured media such as fracture orientation and angle, fracture aperture and frequency, fracture length, interconnectivity of fractures, and filling material, feature of fracture plane. In this study we conducted water injection test at different depths on six boreholes drilled in granite of Mt. Geumjeong. hydraulic conductivity was calculated using Moye and Hvorslev methods. The relation between hydraulic conductivity and fracture frequency data obtained from acoustic televiwer and core log were analyzed. The result shows that the correlation between the hydraulic conductivity and the fracture frequency data obtained from acoustic televiwer is better than that with the core log.

**Key words** : hydraulic conductivity, acoustic televiwer, core log, granite, Mt. Geumjeong.

### 1. 서론

지하 구조물이나 우물을 굴착할 때, 암반의 수리적 매개변수값을 아는 것은 구조물의 안정성이나 지하수량의 충분한 확보를 위해서 필요하다. 암반의 수리전도도는 단열망의 발달상태 즉, 단열의 방향, 각도, 단열의 간극 및 빈도, 단열의 길이, 단열의 연결성 그리고 충전물 등에 좌우된다. 그리고 연구지역과 같이 화강암내에 염기성 미립 포획체나 암맥이 들어 있는 경우에는 이들도 수리전도도에 영향을 미친다. 따라서, 균열 암반내의 지하수 흐름을 정량적으로 파악하기 위해서는 단열과 수리전도도의 관계를 이해하여야 할 것이다.

수리전도도는 야외시험에서 또는 실내실험으로 구해질 수 있다. 실내실험에 의한 수리전도도는 작은 크기의 시료를 사용하여 주어진 조건과 수학적 이론으로 구해질 수 있는 이점을 가지고 있다. 그러나 실내실험으로는 야외의 실제상황에서 일어날 수 있는 공간적인 수리전도도 변화를 알아내기가 용이하지 않다. 따라서, 많은 경우에 야외시험이 실내실험보다 실제 자연상태의 수리전도도를 알아내는데 유리하다. 그러나, 야외시험도 역시 복잡한 자연상태의 수리전도도를 완벽하게 파악하는데는 부족한 점이 있다.

본 연구에서는 부산 금정산 화강암지역에서 얻어진 시추코어 자료 및 텔레뷰어 자료와 수

압시험 자료를 이용하여, 수리전도도와 단열빈도의 관련성을 알아보았다. 수압시험을 수행한 시추공은 6개공(KJ4, KJ14, KJ17, KJ18, KJ21, KJ22) 이다.

## 2. 수압시험

수리지질학자, 석유공학자, 토목공학자들은 여러 가지 일정 주입 압력시험방법들을 개발하였다. 이 방법들은 수압시험, 루전시험 또는 패커시험 등으로 불린다. 수압시험은 시추공 내 어떤 고립된 구간에 이중패커 또는 단일패커를 설치하여 물을 주입하고 시간별로 주입되는 양을 측정하는 것이다. 수압시험해석방법에는 정상류 방법 또는 부정류 방법이 있다. 본 연구에서는 주입률이 거의 일정하므로 정상류 해석방법을 이용하였으며, 정상류 해석방법인 Moye식, Hvorslev식, USBR(United States Bureau of Reclamation)식 (Ziegler, 1976) 중에서 Moye식과 Hvorslev식을 이용하였다:

$$K = \frac{Q}{LH_0} \left[ \frac{1}{2\pi} \{1 + \ln(L/2r_w)\} \right] \quad (\text{Moye 식}) \quad (1)$$

$$K = \frac{Q}{2\pi LH_0} \ln \left[ \frac{L}{2r_w} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{2r_w}\right)^2} \right] \quad (\text{Hvorslev 식}) \quad (2)$$

여기서, K는 수리전도도(L/T), Q는 주입량(L<sup>3</sup>/T), R<sub>w</sub>는 시추공의 반경(L), L은 시험구간 그리고 H<sub>0</sub>는 자연수두에 대한 수두 증가분(L)이다. 시험구간의 길이가 시추공의 직경보다 10배이상 크다면 (2)식을 (3)식으로 단순화시킬 수 있다.

$$K = \frac{Q \ln(L/r_w)}{2\pi LH_0} \quad (3)$$

본 연구에서 수압시험은 공의 바깥에서에서부터 상향식으로 3m 구간으로 단열이 잘 발달된 심도에서 실시하였다. 패커고무의 길이는 80cm로서 패커와 공벽사이의 누수를 방지하기에 충분하였다.

## 3. 시추자료 및 텔레뷰어 자료와 수리전도도의 관계

6개 시험공(KJ4, KJ14, KJ17, KJ18, KJ21, KJ22)에서 회수한 시추코어에서 단열빈도를 측정하였으며, KJ4를 제외한 5개 시추공에 대해서는 텔레뷰어 자료로부터 단열빈도를 알아내었다. 같은 심도의 두 자료에서 얻은 단열빈도는 서로 차이를 보이고 있다. 유동성 단열을 구별하는 데는, 텔레뷰어검층이 시추코어검층보다 더 정확하다고 판단된다. 이는 텔레뷰어검층이 단한 질리 또는 재 폐쇄된 질리, 충전대, 풍화대를 탐지하는데는 시추코어검층보다 덜 민감하기 때문이다. 채병곤 외(1998)는 텔레뷰어검층과 시추코어검층 간에 단한 질리의 단열빈도가 서로 20%까지도 차이를 보일 수 있다고 보고하였다.

텔레뷰어 및 시추코어자료에서 획득한 단열빈도와 수리전도도 간의 상관관계를 분석한 결과, 모든 시추공에서 텔레뷰어 자료가 시추코어자료보다 상관성이 더 높은 것으로 나타났다 (Fig. 1). 텔레뷰어 자료에서 얻은 단열빈도와 수리전도도간의 상관성이 상대적으로 높은 이유는 앞에서 논의된 내용과 잘 들어맞는다. 텔레뷰어 자료에 의한 절빈도와 수리전도도의 상관계수는 KJ22호공에서 가장 낮고(상관계수=0.153) KJ17호공에서 가장 높게(상관계수

=0.472) 나타난다.

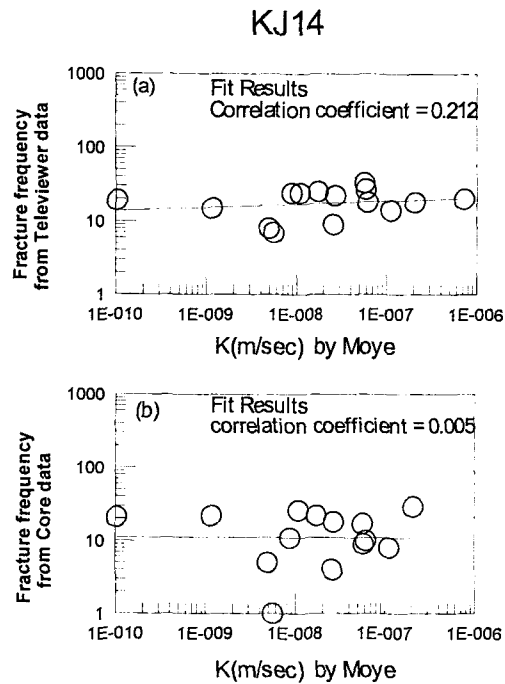


Fig 1. Hydraulic conductivity is (a) fracture frequency from televiwer data, and (b) fracture frequency from core data.

#### 4. 수리전도도의 통계분석

모든 시추공의 수리전도도값은  $7.57 \times 10^{-11} \sim 2.11 \times 10^{-6}$  m/sec범위에 있다. 각 시추공의 수리전도도값을 정규분포곡선 및 대수정규분포곡선과 비교해 본 결과, KJ22를 제외한 모든 시추공의 수리전도도가 정규분포보다는 대수정규분포에 더 가까운 것으로 나타났다(Table 1, Table 2). 이는 Sagar and Runchal (1992)과 Freeze(1975)가 수리전도도는 대수정규분포를 한다고 보고한 것과 일치한다. 또한 Freeze (1975)와 Dagan (1979, 1981)은 다공성 균질 매체에서 수리전도도 분포가 대수정규분포를 보인다는 것을 이론적으로 증명하였다.

Table 1. Basic statistics of hydraulic conductivity. H means Hvorslev method, and M means Moye method.

Table 2. Basic statistics of logarithmic hydraulic conductivity. H means Hvorslev method, and M means Moye method.

#### 5. 결론

	KJ14(H)	KJ14(M)	KJ17(H)	KJ17(M)	KJ18(H)	KJ18(M)	KJ21(H)	KJ21(M)	KJ22(H)	KJ22(M)
Number of data	15	15	21	21	19	19	19	19	19	19
Min (m/sec)	7.57E-11	1.69E-10	3.42E-10	4.68E-10	-966	-962	2.52E-10	3.44E-10	4.48E-10	6.19E-10
Max(m/sec)	5.8E-07	7.25E-07	8.69E-07	1.1E-06	1.54E-06	2.19E-06	1.26E-06	1.73E-06	1.43E-06	1.95E-06
Mean (m/sec)	6.76E-08	8.74E-08	8.95E-08	1.22E-07	1.9E-07	1.55E-07	2.72E-07	3.74E-07	6.8E-07	9.51E-07
Std. Dev.	1.05E-07	1.08E-07	2.18E-07	2.99E-07	3.74E-07	5.12E-07	4.54E-07	6.22E-07	5.93E-07	8.11E-07
Skewness	-0.707	-0.722	0.884	0.882	0.968	0.988	-0.369	-0.366	-0.662	-0.865
Kurtosis	0.888	0.484	-0.826	-0.829	-0.668	-0.758	-0.832	-0.809	-0.798	-0.799

부산 금정산 화강암지역에서 얻어진 시추코어 자료 및 텔레뷰어 자료와 수압시험 자료를 이용하여, 수리전도도와 단일빈도의 관련성으로부터 다음과 같은 사실을 알게 되었다.

- 1) 텔레뷰어 및 시추코어자료에서 획득한 단일빈도와 수리전도도 간의 상관관계를 분석한 결과, 모든 시추공에서 텔레뷰어 자료가 시추코어자료보다 상관성이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 텔레뷰어검층이 단한 절리 또는 재 폐쇄된 절리, 충전대, 풍화대를 탐지하는 데는 시추코어검층보다 덜 민감하기 때문이다.
- 2) 각 시추공의 수리전도도값을 정규분포곡선 및 대수정규분포곡선과 비교해 본 결과, KJ22를 제외한 모든 시추공의 수리전도도가 정규분포보다는 대수정규분포에 더 가까운 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구들에서 수리전도도는 대수정규분포를 한다고 보고한 것과 일치한다.

## 6. 참고문헌

- 1) Chae, B.-G., Choi, Y.-S., Lee, D.-H., Kim, W.-Y., Lee, S.-G., and Kim, J.-Y., Identification of conductive fractures in crystalline rocks. Jour. The Korean Soc. Groundwater Environ., 5: 88-99, 1998.
- 2) Dagan, G., Analysis of flow through heterogeneous random aquifers by the method of embedding matrix. 1. Steady flow, Water Resour. Res., 17(1), p.107-122, 1981.
- 3) Dagan, G., Models of groundwater flow in statistically homogeneous formations, Water Resour. Res., 15(1), p.47-63, 1979.
- 4) Freez, R. A., A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media, Water Resour. Res., 11(5), p.725-741, 1975.
- 5) Sagar, B. and Runchal, A., Permeability of fractured rock: effect of fracture size and data uncertainties, Water Resour. Res., 18(2), p.266-274, 1992.
- 6) Ziegler, T., Determination of rock mass permeability. U. S. Army Engineers Waterways Experiments Station, Technical Report S-76-2, Vicksburg, Mississippi, 88 pp., 1976.