

회강입 균열에서의 수리학적 기동 특성

김종태, 정교철, 부성안*, 김진성, 김혜빈

안동대학교 지구환경과학과, *농업기반공사 농어촌연구원 (e-mail : jeong@andong.ac.kr)

<요약문>

Groundwater development as a means of acquiring subsidiary water resource is very important for the persistent security of water resource. Nowadays, pneumatic fracturing technology which was developed in the advanced countries is applied for increasing pumping rate and eliminating contaminants. From the results of this study, hydraulic aperture and permeability are presented.

Key word : pneumatic fracturing, hydraulic aperture, permeability

1. 서론

본 논문은 지표수의 대체 수원인 지하수의 이용이 이루어 졌으나 최근에는 물부족 뿐만 아니라 사용이 끝난 지하수 관정이 여러 이유로 인해 문제가 되고 있다. 이런 관정에 대해 효율적인 방법으로 공압파쇄를 이용할 수 있다. 공압파쇄는 현재 지표 아래에서 엄청난 압력을 주입해서 지하수양을 늘이는 기술 중 하나이다. 공압파쇄 기술은 자연적인 힘에 의존하는 것이 아니라 인공적으로 압력을 가하여 암반응력의 불균형을 초래 시키거나 균열 내 충전 물질을 제거함으로써 지하수가 유입될 수 있는 공간을 확보 해주는 것이다. 즉, 일시적으로 큰 공기압을 암반내로 주입하여 암반 원래의 투수성보다 더 높은 투수성 및 지하수양을 얻을 수 있다.

2. 본론

2.1. 수리학적 간극 폭과 봉압과의 관계

봉압이 증가할수록 투수계수가 감소한다는 것은 이미 여러 시험을 통해 입증된 사실이다. 이는 봉압이 증가하면 단일불연속면의 균열면에 봉압이 집중될 것이고 이로 인해 간극이 점점 더 감소되어 실제 투수계수의 감소에 영향을 미치게 될 것이다.

그래서 실제 봉압의 증가에 따른 간극의 변화를 알아보려고 많은 시도를 해 보았다. 봉압의 증가에 따른 간극의 변화에 대한 정확한 시험이 불가능하였지만 Tsang(1992)이 제안한 수리학적 간극 폭을 구하는 식 중 정상류일 경우에 대해 다음 식을 이용하여 간극 폭을 구할 수 있다.

$$Q = -\frac{\gamma}{12\mu} \frac{\Delta h}{L} t^3 w, \quad t_h = \left(\frac{12\mu QL}{\gamma w |\Delta h|} \right)^{\frac{1}{3}}$$

여기서, 균열 면의 폭을 w , 거리 L 만큼 떨어져 있는 두 점의 수두차가 Δh 이며, γ 은 유체밀도, Q 는 단위시간당 유량이다. 그리고 μ 는 물의 동점성계수로서 본 계산식에서는 15°C를 기준으로 적용하였다. Table 1은 봉압과 수리학적 간극의 상관 관계를 아주 잘 나타내 주고 있다.

Table 1. The relationships of confining pressure and hydraulic aperture.

Confining pressure(Mpa)	Permeable pressure(kPa)	Fine-grained granite	Medium-grained granite	Coarse-grained granite
10	5.000E+02	5.786E-04	6.257E-04	6.920E-04
10	1.000E+03	5.757E-04	6.316E-04	6.563E-04
10	1.500E+03	5.689E-04	6.396E-04	6.519E-04
10	Average	5.744E-04	6.323E-04	6.667E-04
15	500	4.830E-04	1.680E-03	1.660E-04
15	1000	4.731E-04	1.558E-03	1.686E-04
15	1500	4.896E-04	1.521E-03	1.591E-04
15	Average	4.819E-04	1.586E-03	1.645E-04
20	500	2.849E-04	1.784E-03	1.507E-04
20	1000	3.134E-04	1.659E-03	1.392E-04
20	1500	3.258E-04	1.603E-03	1.367E-04
20	Average	3.080E-04	1.682E-03	1.422E-04

Fig. 1은 permeable pressure와 hydraulic aperture의 관계를 나타낸 그래프로써 그래프의 실선은 confining pressure가 10MPa, 15MPa, 20MPa일때의 봉압과 수리학적 간극의 관계를 잘 나타내 주고 있다. 즉, permeable pressure가 증가할수록 수리학적 간극이 다소 증가하는 경향이 있지만 특별한 변화를 보이지는 않는 것으로 나타났다. 즉, 봉압이 증가할수록 수리학적 간극은 투수계수에서와 마찬가지로 감소하는 것으로 나타났다.

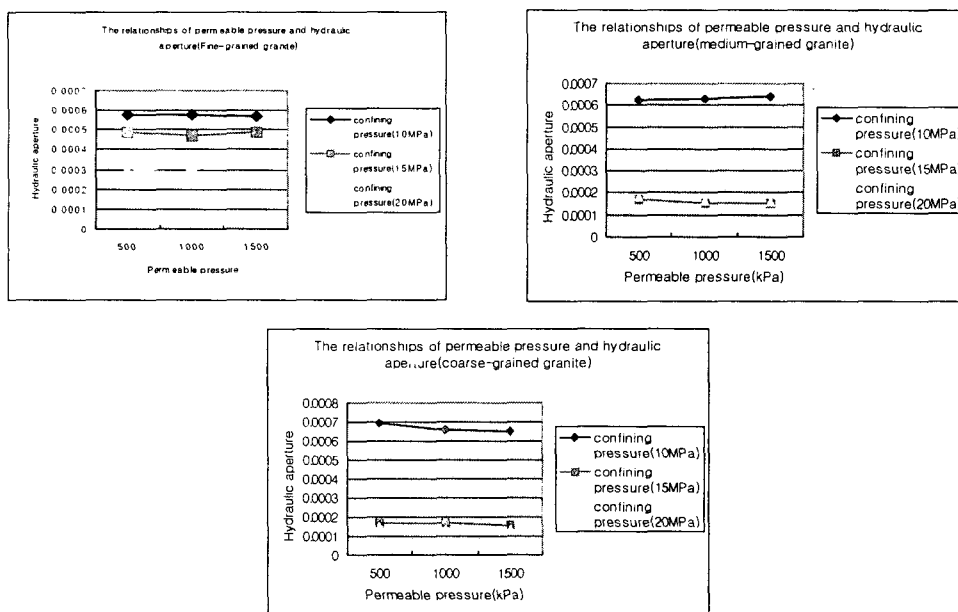


Fig. 1 Relationships between permeable pressure and hydraulic aperture.

2.2. 간극 변화에 따른 투수계수의 변화

본 연구에서는 실내 투수시험을 통해 균열에 압력을 가하면서 시료를 거쳐 일정량의 물이 유출될 때까지의 경과시간을 측정하고, 이 결과와 간극측정 결과를 이용하여 10Mpa, 15Mpa 그리고 20Mpa 세 단계에서 Darcy 법칙에 근거하여 투수계수를 산정하였다.

그 결과 압력이 증가할수록 투수계수는 감소하고 있으며 GRA, GRB, GRC와 GRD가 투수계수가 높은 것으로 나타났다. GRA와 GRB는 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec, GRC와 GRD는 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec, GRE는 10^{-4} cm/sec, GRF는 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec과 같이 나타났다. 같은 압중의 화강암에서 전체적으로 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ cm/sec의 투수계수 범위를 나타냈고 압력에 따른 투수성의 전체적인 양상을 판단하는 것으로 예상한 바와 같이 압력이 증가할수록 또는 지하 심부로 갈수록 암반의 투수성을 떨어진다고 볼 수 있다.

Fig. 2는 실내 투수시험의 투수계수와 삼승법칙을 적용하여 구한 투수계수와의 관계를 나타낸 그래프이다. 삼승법칙의 유량(flow rate)이 간극에 삼승에 비례한다는 원리를 이용하여 유량(flow rate)을 구한 뒤 Darcy's law를 적용하여 투수계수를 구하였다.

이것은 간극과 거칠기의 개념을 간과한 결과이며 삼승법칙으로 구한 투수계수가 실제 투수계수와는 상당한 차이가 있는 것을 정량적으로 보여 주는 결과이며 삼승법칙으로 구한 유량(flow rate)이 실제 투수계수를 구할 수 있는 정확한 유량(flow rate)이 될 수 없음을 증명하는 것이다.

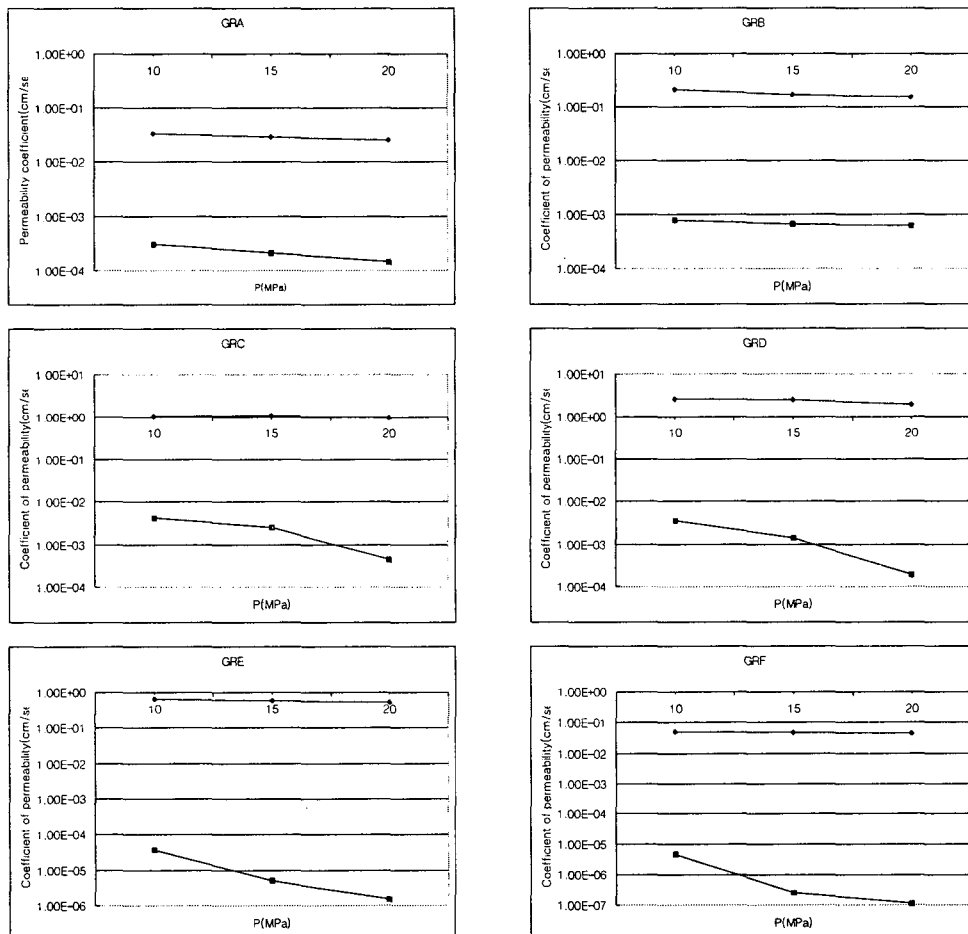


Fig. 2 Relationships between pressure and coefficient of permeability (GRA, GRB, GRC, GRD, GRE, GRF).

3. 결론 및 토의

균열 암반의 투수계수는 대부분 불규칙한 균열암반의 거칠기와 간극의 변화를 무시한 채 삼승 법칙에만 의존해 왔다. 본 연구는 수리간극을 계산해 내기 위하여 CLSM을 사용하여 정확한 간극을 측정하였으며 삼승법칙에 따른 투수계수가 실제 불평탄한 균열상의 수리간극을 나타낼 수 없다는 것을 밝혔다. 그리고 실내투수시험을 실시하여 압력변화에 따른 투수계수의 변화를 살펴보고, 이를 통해 압력에 따른 간극의 크기와 투수계수와의 관계를 살펴보았다. 실내 투수시험 결과 GRA와 GRB는 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec, GRC와 GRD는 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec, GRE는 10^{-4} cm/sec, GRF는 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec과 같이 나타났다. 각각의 압력단계의 투수성 변화도 크게 변하지 않았으며, 공시체의 간극변화가 크더라도 투수성의 변화가 크지 않은 것으로 미루어 보아 거칠기에 따른 수리간극이 존재함을 알 수 있다.

그리고 하중의 변화에 따른 간극의 변화를 정확히 측정하기 위해서는 구조파악은 물론 하중에서의 접촉 면적(contact area)특성에 대한 자료와 비교 검토하는 것이 올바른 방법이라 하겠다. 또한 단일질리와 복수질리의 투수시험 결과에 따른 비교를 통해 적용 될수도 있다.

사 사(Acknowledgement)

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 농업기반공사 및 한국수자원공사의 연구비지원(과제번호#3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Barton N, Choubey V. The shear strength of rock and rockjoints in theory and practice. *Rock Mechanics* 1997;10:1-54
- Barton N, de Quadros EF. Joint aperture and roughness in the prediction of flow and groutability of rock masses. *Int J Rock Mech Mining Sci* 1997;34:3,4 Paper No. 252.
- Louis, C. (1974): Rock hydraulics, In: Muller, L. (ed), *Rock mechanics*. Springer-Verlag, Wien-New york, 300-387.
- Tsang, Y. W., 1984, The effect of tortuosity on fluid flow through an single fracture, *Water Resources Res.*, Vol. 20, 1209-1215
- Tang, C. A., Tham, L. G., Lee, P. K. K., Yang, T. H. (2002): Coupled analysis of flow, stress and damage (FSD) in rock failure. *Int. J. Rock Meth. Min. Sci.* 39: 477-489.
- Yang, T. H., Tang, C. A., Zhu, W. C., Feng, Q. Y. (2001): Coupling analysis of seepage and stress in rock failure process. *Chin. J. Geotechni. Engng.* 23(4), 489-493
- Zoback, M. D., Pollard, D. D. (1978): Hydraulic fracture propagation and the interpretation of the pressure-time records for In-situ stress determination. 19th U.S. Rock Mechanics Symposium, Stateline, Nevada. 14-22.