

## 균열암반에서의 양수시험자료 해석과 일반화 방사상 유동모델의 적용성 연구

성현정, 김용제, 우남철\*, 이철우, 김구영

한국지질자원연구원

\*연세대학교 지구시스템과학과

hyunjeoung@hanmail.net

### <요약문>

이 연구는 우리나라 균열암반 대수층의 수리적 특성을 해석·평가하기 위하여 양수시험 해석해(Theis, 1935; Cooper-Jacob, 1946; Papadopoulos-Cooper, 1967; Hantush, 1962a,b; Moench, 1985; Hantush-Jacob, 1955) 및 일반화 방사상 유동 모델을 이용하여 균열암반 대수층(화강암, 화산암, 변성암, 백악기퇴적암, 제3기 퇴적암에 굴착된 100개 조사공)에서 수행되어진 양수시험으로부터 얻은 122개의 양수시험자료(수위강하 자료)를 분석하였다. AQTESOLV 전산프로그램을 이용한 양수시험자료 분석에 의하면, 122개 자료중 86개(71%)의 자료들이 이 연구에 사용된 해석해와 일치하며, 양수시험자료 해석해 중에 누수(leaky) 및 경계조건(boundary condition)을 고려한 해석해들이 53개(43%)로 가장 많이 나타났다. 그러므로, 양수시험자료의 해석은 균열암반 대수층의 수리지질학적 특성에 적합한 개념모델의 설정이 중요하다.

일반화 방사상 유동(GRF)모델을 적용해보면, 122개의 자료중 77개(63%)의 자료들이 Barker(1988)의 표준곡선에 의한 차원(1.1차원-2.9차원)을 보여준다. 이중 44.2%에 해당하는 39개 자료가 1.1차원과 1.9차원 사이의 분할 유동차원을 보여주는 반면에 26개(6.5%)만이 Theis 이론에 맞는 2차원의 방사상 흐름을 보여주며, 38개(49.3%)는 2.1차원에서 2.9차원에 속한다. 따라서 우리나라 균열암반 대수층에서 지하수 유동은 대부분 분할차원의 유동을 보여주는 것으로 평가된다.

주요어 : 균열암반, 해석해, 일반화 방사상 유동(GRF)모델, 분할 유동차원

## 1. 서론

양수 시험은 대수층의 수리상수를 구하기 위해서 널리 수행되는 수리시험이다. 대수층의 수리상수를 산출하기 위한 양수시험자료 분석에 이용되는 가장 기본적인 이론으로써 Theis 이론이 알려져 있다. Theis 이론에 의한 지하수 유동은 2차원 방사상 유동이다. 그러나, 1차공극으로 이루어진 충적층 대수층이나 사암과 같은 다공질 대수층과는 달리 기반암대수층은 균열(fracture), 단층 등과 같은 2차 공극이 발달되어 있다. 따라서, 균열 대수층내 지하수 유동은 이러한 2차 공극의 발달 상태에 지배되고, 2차원 유동뿐만 아니라 1차원 유동, 3차원 유동 또는 임의의 실수차원의 유동(예를 들면, 1.5차원, 1.8차원 또는 2.2차원 등)이 존재할 수 있다. 이러한 실수차원의 유동은 곧 분할 유동 차원(fractional flow

dimension)이다.

균열암반내 지하수 유동은 공간적으로 불규칙하게 분포되어 있는 균열의 특성에 많은 영향을 받으므로, 정확한 양수시험자료의 해석을 위해서는 균열암반내 지하수 유동의 특성을 이해해야 하며, 대수층의 수리특성을 결정하는데 이용되는 개념모델에 따라 해석해가 달라지므로 모델의 적용조건에 대한 신중한 검토가 필요하다. 이 연구는 우리나라 균열암반 대수층에서 얻은 양수시험자료를 지질별 특성에 따라 분류하고, 다양한 해석해 및 GRF 모델(Generalized Radial Flow Model)을 이용하여 균열암반 대수층의 수리특성을 해석·평가하고자 수행되었다.

## 2. 분석 방법 및 결과

화강암, 화산암, 변성암, 백악기퇴적암, 제3기 퇴적암의 100개 조사공을 대상으로 수행된 양수시험으로부터 얻은 총 122개의 양수시험자료를 분석 하였다. 조사공의 양수시험자료 해석시 100개 지역의 122개 자료중 86(71%)개의 자료들이 이 연구에 사용한 해석해와 적합하게 나타났다. 예를 들면, Fig. 1(a)는 조사공 중 하나인 상주(평온)지역의 시간-수위강하곡선으로 Theis의 표준곡선이 일치하는 경우이며, Fig. 1(b)는 조사공중 하나인 이천(미란다2)지역의 시간-수위강하곡선과 Theis의 표준곡선과 일치하지 않는 자료를 나타낸다. 누수피압대수층의 해석해인 Hantush-Jacob(1955) 방법이 122개의 양수시험자료중 25개(20%) 자료에 적합한 해로 많이 나타났으며, 또한 어느 해석해와도 일치하지 않는 자료들도 36개(29.5%)나 보인다. 양수시험 자료의 해석에 이용되는 가장 기본적인 해석해인 Theis(1935) 방법은 전체 양수자료의 14%인 17개의 자료가 일치하며, 누수피압대수층의 Moench(1985)의 해석해 중 constant-boundary의 경우 16개의 자료인 13.1%를 보이며, no flow boundary는 12개의 자료인 9.8%, Papadopulos-Cooper(1967)의 해석해는 5개의 자료인 4.1%, Hantush(1962a,b)는 11개의 자료인 9%가 일치한다. 해석해 중 누수상태를 고려한 방법들은 전체 양수자료중 53개의 자료인 43%를 나타낸다. 이 연구에서 해석해들을 통하여 양수시험 자료를 해석하였을 때 leaky 및 boundary condition을 고려한 해석해들이 많이 나타났다.

균열암반 대수층의 분할차원을 분석해 본 결과, 122개의 자료중 77개(63%)의 자료들이 Barker(1988)의 표준곡선에 의한 1.1차원에서 2.9차원을 보여준다. 이중 44.2%에 해당하는 자료가 1.1차원과 1.9차원 사이의 분할 유동차원을 보여주는 반면에 6.5%만이 Theis 이론에 맞는 2차원의 방사상 흐름을 보이며, 2.1차원에서 2.9차원은 49.3%를 나타낸다(Table 1). 따라서 대부분의 국내 균열암반 지하수 유동은 분할차원의 유동을 보여주는 것이 확인되었다.

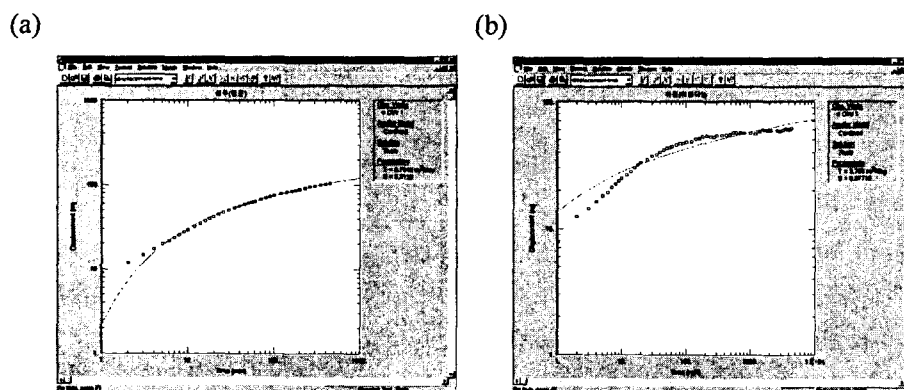


Fig. 1. An example of displacement-time curve showing (a) a good agreement and (b) an inconsistency with Theis solution in Sangju area.

Table 1. Determined using Barker model

Dimension	Number of data	Percents(%)
1.1-1.9	34	44.2
2	5	6.5
2.1-2.9	38	49.3

### 3. 결론

지질특성별 균열암반 대수층의 수리특성을 해석·평가하기 위해 양수시험 해석해 및 일반화 방사상 유동 모델을 적용하여 양수시험자료를 분석하였다. 100개 지역의 122개 양수시험자료중 89개의 자료들이 이 연구에 사용한 해석해로 해석이 가능하였으며, 자료 해석시 조사공들의 해석해들을 살펴보면 leaky 및 boundary condition을 고려한 해석해들이 적합하게 많이 나타났다. 그러므로, 양수시험자료를 해석할 때에는 개념모델의 설정 및 leaky, constant head boundary, no flow boundary 등을 고려해야 한다.

GRF 모델의 적용에서 균열암반 대수층의 분할차원을 조사해 본 결과, 이 연구에서 분석한 균열암반 지하수 유동은 분할차원의 유동을 보여주는 것으로 확인되었다. 122개 자료중 6.5%만이 Theis 이론에 맞는 2차원의 방사상 흐름을 나타내므로 수리지질학적 특성을 고려하지 않은 채, 단순히 방사상 흐름을 적용하여 수리상수를 구하면 실제 상황과는 다른 오차를 범할 수 있다. 차원을 결정할 수 없는 45개 조사공들의 수위강하곡선을 살펴보면 대부분의 이중곡선 형태를 나타낸다. 이러한 형태는 경계조건, 누수, 이방성, 불균질성에 의한 영향도 충분히 고려해야 한다. 차원을 결정할 수 없는 조사공들에 대한 해석해를 살펴보면 누수 및 경계조건을 고려한 해석해와 대부분 일치하는 것으로 나타났다.

양수시험 자료를 정확하게 해석하기 위해서는 균열암반 대수층에서 보다 많은 현장시험과 이론연구가 요구된다.

### 사 사

본 논문은 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-2-1)에 의해 수행되었습니다.

### 4. 참고문헌

- Barker, J.A., A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock. *Water Resour. Res.*, 24(10), 1796-1804, 1988.
- Cooper, H.H. and Jacob, C.E., A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union Transaction.*, 27, 526-534, 1946.
- Hantush, M.S., Flow of ground water in sands of nonuniform thickness, 3. Flow to wells. *Jour. Geophys. Res.*, 67(4), 1527-1534, 1962a.
- Hantush, M.S., Drawdown around a partially penetrating well. *Jour. of the Hyd. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng.*, 87(HY4), 83-98, 1962b.
- Hantush, M.S. and Jacob, C.E., Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Am. Geophys. Union*

Trans., 36, 95-100, 1955.

Moench, A.F., Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers.

Water Resour. Res., 21(8), 1121-1131, 1985.

Papadopoulos, I.S. and Cooper, H.H., Drawdown in a well of large diameter. Water Resour. Res., 3, 241-244, 1967.

Theis, C.V., The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Am. Geophysical Union Transaction, 16, 519-524, 1935.