

균열암반에서의 양수시험자료 해석과 GRF 모델

성현정, 이철우, 우남철*, 김구영, 김용제,
한국지질자원연구원
*연세대학교 지구시스템과학과
hyunjeoung@hanmail.net

요 약 문

본 연구에서는 여러가지 해석해를 이용하여 균열암반 대수층에서 얻어진 양수시험자료를 해석하였다. 균열암반 대수층의 수리적 특성을 연구해 본 결과, 1.3차원에서 2.9차원까지 다양한 분포 차원을 나타내며, 양수시험 자료중 52%에 해당하는 자료가 1차원과 2차원 사이의 분할 유동차원을 보여준다. 이에 대하여 6.3%만이 Theis 이론에 맞는 2차원의 방사상 흐름을 보여준다. 2~3차원의 대수층이 암반대수층에서 나타나기는 어려우며, 만약 2차원 이상으로 해석되는 경우는 다른 방향으로 해석하는 것도 검토해야 한다. 즉, Leaky, constant head boundary, no flow boundary 등을 고려해야 한다.

key word : 균열암반, GRF 모델, Theis, Leaky, 해석해

1. 서론

양수 시험은 현장에서 수리상수를 구하기 위해서 널리 수행되는 수리시험이다. 수리시험을 수행할 때에는 현장시험뿐만 아니라 데이터 해석에 상당한 경험과 지식이 요구된다. 그동안 수리시험 결과를 해석함에 있어서 다양한 오차 및 불확실성 요인이 있음에도 불구하고 이에 대한 신중한 고려가 많지 않았다. 부정확한 시험이나 획득 자료의 잡음(noise)뿐만 아니라 해석모델의 선택, 잘못된 curve matching 등에 의해서도 추정 수리상수의 오차 혹은 불확실성이 발생한다 (Butler et al., 1996; Lee and Lee, 1999). 또한 같은 시험 자료가 해석자에 따라 상당히 다른 결과값을 보이기 때문에, 해석모델 선택과 일관성 있는 curve matching이 중요한 역할을 한다. 대수층에 대한 개념모델에 따라 해석모델이 달라질 수 있는데, 예를 들면 피압대수층에 적합한 해석모델로 자유면 대수층의 수리시험결과를 해석하는 것이다. 또한 비슷한 개념모델을 사용하는 해석모델이라도 각 모델의 적용조건에 대한 신중한 검토가 필요하다. 균열암반내 지하수는 주로 균열을 통해 유동되기 때문에 균열의 분포 상태에 많은 영향을 받는다. 일반적으로 균열의 분포는 공간적으로 불규칙함에 따라 양수시험 해석을 위해서는 균열암반내 지하수 유동의 특성을 보다 합리적으로 이해해야 한다. 현재까지 많은 연구자들이 균열암반내 양수시험분석에 균질의 다공질 매질 대수층에만 적용이 가능한 Theis(1935) type curve 방법과 Cooper-Jacob(1946) 법을 이용하고 있다. 본 연구에서 적용한 수리시험 해석은 AQTESOLV 전산 program을 이용하여 양수시험자료를 해석하여 Theis(1935) type curve 방법과 Cooper-Jacob(1946) 법의 일치와 GRF 모델(Generalized Radial Flow Model, J.A. Barker, 1988)의 적용을 통한 국내 균열암반 대수층의 수리특성을 해석하고자 한다.

2. 분석 방법 및 결과

대수층의 수리상수를 산출하기 위한 양수시험 해석에 이용되는 가장 기본적인 이론은 Theis 이론이다. 그러나, 국내에서 지하수 채수를 위하여 시추되는 굴착공은 주로 균열암반내에

굴착되어 있고 암반대수층에서 양수 시험을 실시할 경우 양수시험 해석에 근본적으로 균질의 다공질 매질 대수층에 적용 가능한 Theis 식이나 Jacob 식을 이용하고 있다. 암반대수층에서 양수 시험을 실시할 경우 Theis의 도해 방법과 Jacob의 직선식으로 해석하기가 어려운 경우가 종종 발생한다. 이의 원인은 Theis가 가정한 대수층과 균열 암반에서의 대수층 특성이 다르기 때문이다. 양수시 시간별 수위강하자료들에서 보면 Theis curve에 벗어나는 수위강하 자료중 상당수가 GRF 모델에 잘 일치한다. 양수시험자료는 100개 조사지역의 총122개 자료이며, 양수시험자료가 얻어진 지역은 Figure 1에 표시되어 있다. 양수시험은 균열암반(화강암, 화산암, 백악기퇴적암, 제3기퇴적암, 변성암)지역에서 행해졌으며, 양수공의 심도는 일반적으로 400~900m이다.

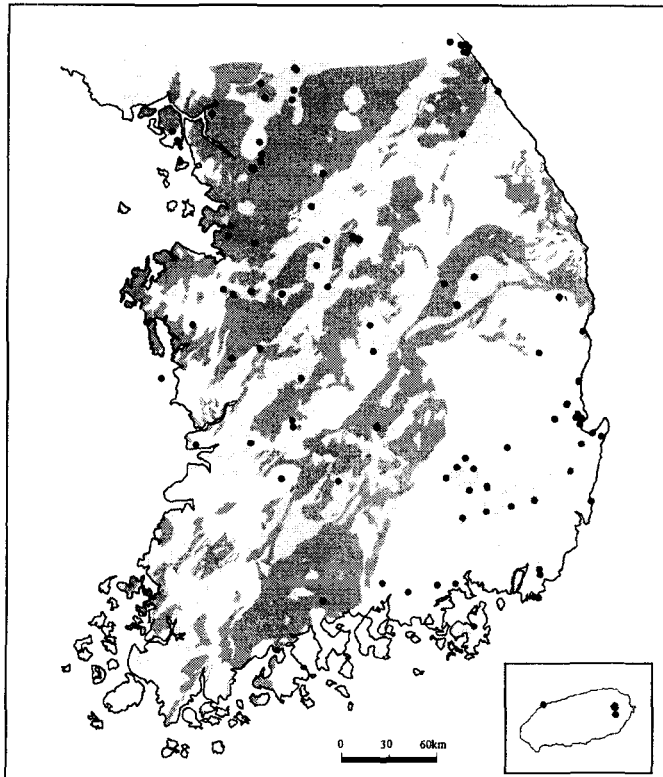


Fig 1. 조사공 지역분포.

양수시험 자료로부터 해석해별로 균열암반 대수층의 수리적인 매개변수 T (transmissivity)와 S (storativity)를 해석하였으며, 시간에 따른 수위강하 곡선과 Barker(1988)의 표준곡선(Fig. 2)을 일치시켜 차원을 결정하였다. 암반 대수층에서 양수시험을 실시할 경우 시간별 수위강하는 Theis curve에 일치하지 않는다. 이 경우, 균열암반에서 1 ~ 3차원 사이의 대수층 모델을 해석할 수 있는 GRF모델을 이용하는 것이 효과적이다. Theis curve에 벗어나는 수위강하 자료중 상당수가 GRF모델에 잘 일치한다(Fig. 3). Figure 3은 조사공중 하나인 거제(양정2)조사공을 일치시킨 그림으로 대수층의 차원은 1.6차원으로 나타났다. GRF모델에서 1차원은 한 개의 일정 폭과 두께를 가진 fracture system이며 2차원은 일정 두께를 가진 원반형(Theis의 대수층 가정)이며 3차원은 시험공을 중심으로 무한히 확장된 구(sphere)를 나타낸다. 조사공들의 양수시험 해석에 사용된 해석해들은 Theis, Cooper-Jacob, Moench(constant boundary)-Leaky, 그리고, Moench(no flow boundary)-Leaky, Papadopoulos-Cooper(Large Diameter), Hantush-Jacob-Leaky, Hantush(Wedge-Shaped Aquifer)을 사용하였다. 100개 지역의 122개 자료중 89개의 자료들이 적합한 해석해들을 나타내었다.

본 연구에서 다양한 해석해들을 통하여 양수시험 자료를 해석하였다. 양수 시험해석시 조사공들의 해석해들을 살펴보면 leaky 및 boundary condition을 고려한 해석해들이 적합하게 나타났다. 균열암반 대수층의 수리적 특성을 조사해 본 결과, 1.3차원에서 2.9차원을 보여준다. 이중 52%에 해당하는 자료가 1차원과 2차원 사이의 분할 유동차원을 보여주는 반면에 6.3%만이 Theis 이론에 맞는 2차원의 방사상 흐름을 보여준다(Table 1).

Table 1. Distribution of flow dimension(m)

n	data frequency	percents(%)
1.3-1.5	13	16.5
1.6-1.9	23	29.1
2	5	6.3
2.1-2.5	25	31.65
2.6-2.9	13	16.5

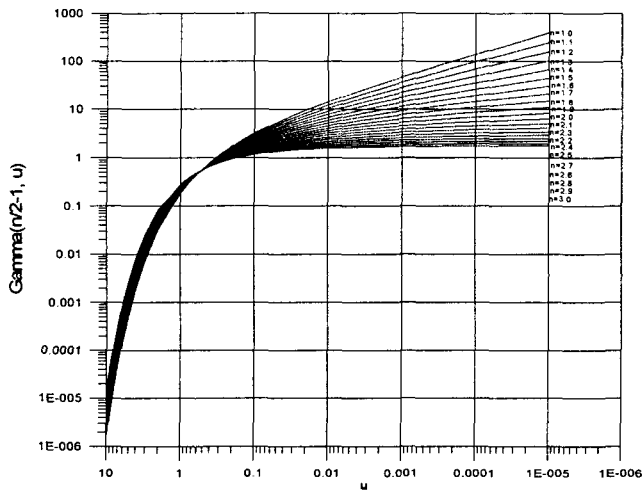


Fig. 2. Barker의 표준곡선.

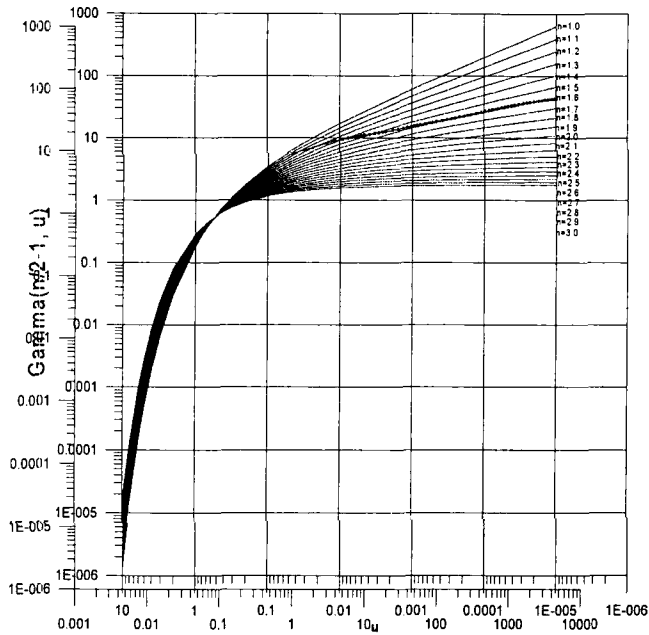


Fig. 3. Barker의 표준곡선 일치 예(거제(양정) 조사공).

3. 결론

조사공의 양수시험 해석시 100개 지역의 122개 자료중 89개의 자료들이 본 연구에 사용한 해석해에 일치 하였으며, 이 중 26개의 자료만이 Theis(1935) type curve 방법과 Cooper-Jacob(1946) 법에 일치하며 63개의 자료들은 다른 해석해와 일치하였다. 그러므로, 양수 시험을 해석할 때에는 Leaky, constant head boundary, no flow boundary 등을 고려해야 한다. 조사공에서의 79개의 자료들이 Barker(1988)의 표준곡선에 의한 차원을 보여주며, 암반대수층에서 대부분 1~2차원 사이가 나타나며, 특히 케이싱 처리된 깊은 심도의 시추공에서는 1차원에 가까운 것들이 많이 나타난다. 이때 n차원에 따라 만들어진 대수층 모형은 수학적인 식을 이용한 단순한 모형이므로 실제와 같다고 해석할 수 없지만 이 모형을 통해서, 시험공을 중심으로 하여 거리 r에 따른 지하수의 유입 단면적의 변화를 알 수 있으므로, 이를 토대로 또 다른 균열과의 연결성을 고려해야 한다. 균열암반에서 보다 많은 현장시험과 이론연구가 요구된다.

4. 참고문헌

- 이철우, 함세영, 조성현 1999, GRF 모델을 통한 대수층의 형태 연구, 대한지구물리학회 제2차 정기총회 및 학술발표회, p.22-24.
- Barker, J. A. 1988, A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock, Water Resour, Res., vol. 24, no. 10, p.1796-1804
- Cooper, H. H., and Jacob, C. E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, American Geophysical Union Transaction, 27, p.526-534.
- Hantush, M. S. and C. E. Jacob, 1955, Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer, Am. Geophysical Union Transaction, vol. 36, p.95-100.
- Hantush, M. S., 1960. Modification of the theory of leaky aquifers, Jour. of Geophys. Res., vol. 65, no. 11, p.3713-3725.

- Hantush, M. S., 1962, Flow of ground water in sands of nonuniform thickness; 3. Flow to wells, Jour. Geophys. Res., vol. 67, no. 4, p.1527-1534.
- Hantush, M. S., 1962a. Drawdown around a partially penetrating well, Jour. of the Hyd. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng., vol. 87, no. HY4, p.83-98.
- Lee, J. Y, and Lee, K. K., 1999, Analysis of the quality of parameter estimates from repeated pumping and slug test in a fractured porous aquifer system in Wonju, Korea, Ground-water, vol. 37, no. 5, p.692-700.
- Theis, C. v., 1935, 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, vol. 16, p.519-524.