

분할유동차원 2층 대수층에서의 투수성, 층간흐름, 저류성의 효과
Permeability, crossflow and storativity effects in two-layer aquifer
system with fractional flow dimension

함 세 영

부산대학교 지구환경시스템학부
(e-mail: hsy@hyowon.pusan.ac.kr)

ABSTRACT

Two-layer aquifer system with fractional flow dimension is composed of contiguous two layers: Layer 1 (lower layer) and Layer 2 (upper layer) with different permeability and specific storage each other. For this aquifer system, we assume that groundwater flow originates only from Layer 1 on the pumping well. The aquifer system considers wellbore storage and skin effects on the pumping well. Dimensionless drawdown curves for different flow dimensions are analyzed for different lambda (λ , crossflow coefficient) values, kappa (κ , permeability ratio between Layer 1 and Layer 2) values and omega (ω , storativity ratio between Layer 1 and Layer 2) values. The curves for Layer 1 and Layer 2 show characteristic trend each other.

Key words : permeability, crossflow, storativity, two-layer aquifer, fractional flow dimension, fractal model

I. 서론

균열암반내의 유체의 흐름을 분석하기 위해서는 균열의 특성을 고려한 모델들을 적용하여야 한다. 이러한 모델들은 비교적 간단하면서도 그 유동계의 특성을 나타낼 수 있는 것이어야 할 것이다. 이와 같이 구한 모델과 수리상수에 의해서 우물 주위의 암반의 수리적 특성을 나타낼 수 있으나, 여러 다른 모델의 다른 수리상수들에 의해서도 동일한 수위하강곡선을 얻을 수 있다. 이러한 가능성은 모델의 수리적 변수가 많아질수록 더 커지게 된다.

균열암반에서 행하는 대수층시험에 적용되는 모델에는 크게 세 가지가 있다. 즉,

이중공극모델(Barenblatt et al., 1960) 및 이중투수율모델(Bai et al., 1993), 단일균열모델 그리고 분리균열모델(Anderson et al., 1984) 및 프랙탈모델(Barker, 1988; Chang and Yortsos, 1990)이 그것이다. 이중공극모델 및 이중투수율모델은 둘 다 수리전도도가 큰 부분(균열대)과 작은 부분(매트릭스)을 가지고 있다. 그러나, 이중공극모델은 지하수 흐름이 균열대를 따라서만 일어나는 반면에, 이중투수율모델은 균열대 및 매트릭스를 따라서 일어나고 있으며 균열대와 매트릭스간의 흐름도 일어나고 있다.

단일균열모델은 유한 또는 무한한 연장을 가지는 수직, 수평 또는 경사진 하나의 주요 균열대를 따라서 일어나는 지하수흐름을 묘사하는 것이다.

마지막으로, 분리균열모델 및 프랙탈모델은 균열의 공간적인 분포를 바탕으로 지하수 흐름을 분석하는 것이다. 특히, 분리균열모델은 현장에서 획득한 균열의 발달상태를 근거로 확인되지 않은 균열에 대한 정보를 추계론적으로 얻는 것이다. 그러나, 아무리 상세하게 균열의 분포에 대한 정보를 획득한다 하더라도 여전히 불확실성은 남게 된다. 이에 대하여, 프랙탈모델에 의하면 균열의 표면적이 규모의 증가에 따라 누승으로 증가한다. 그러나, 지하수 흐름은 모든 균열을 따라 흐르는 것이 아니고 일부 주요한 균열을 따라서 흐르므로 균열대의 프랙탈 차원과 지하수 유동차원이 일치하지 않을 가능성이 높다. 따라서, 지하수유동차원을 분할유동차원으로 지칭하였다.

본 연구에서는 분할유동차원을 가지는 이중대수층계(즉, 이중투수율모델)에 대해서 투수성, 층간흐름, 그리고 저류성을 고찰하여 보았다.

II. 투수성

1층과 2층간의 투수성 비를 나타내는 κ 를 0.5차원에서 3차원까지 살펴보기 위하여, 1층에 굴착된 관측공의 무차원시간에 따른 무차원 수위하강곡선을 그려보았다. 이때 $\lambda = 1E-3$ 와 $\omega = 0.1$ 을 적용하였고, κ 값은 0.7부터 1까지를 적용하였다. κ 값 0.7과 1의 무차원 수위하강곡선의 모양은 이중공극모델의 수위하강곡선과 다르다. 또한, 유동차원이 2보다 작을 때는 수위하강이 κ 값에 크게 좌우되지만, 유동차원이 2보다 커지면 κ 값의 차이는 단순히 수위하강곡선의 시간축을 이동시킨 결과와 같다. 이런 경우에 만약 1층의 관측공 자료만을 획득하였다면, κ 값을 구할 방법이 없다. 그러므로, 확실한 κ 값을 구하기 위해서는 1층과 2층의 자료를 동시에 분석하여야 한다.

III. 저류성

1층과 2층의 저류성의 비를 나타내는 ω (=0.005, 0.01, 0.05, 0.1)의 효과를 살펴보기 위하여, 1층에 굴착된 관측공의 무차원시간에 따른 무차원 수위하강곡선을 그려보았

다. 이때 $\lambda = 1E-3$ 와 $\kappa = 0.7, 0.01$ 을 적용하였다. 1.5차원에서는 κ 값이 0.7일 때와 0.01일 때 수위하강곡선의 모양이 확연히 다르며, κ 값과 ω 값이 클수록 수위하강이 작아짐을 알 수 있다. 또한 κ 값이 클수록 초기 수위하강은 크지만 후기로 가면서 수위하강속도가 느려져서 결국 최종적인 수위하강은 더 작게 나타난다. 유동차원이 2보다 커지면 ω 값의 차이는 단순히 수위하강곡선의 시간축을 이동시킨 결과와 같다. 또한, κ 값에 따른 수위하강곡선의 모양도 같아지게 된다.

IV. 층간흐름

층간 흐름은 λ 값에 따라 달라진다. 층간흐름을 분석하기 위하여 유동차원 1.5 와 2.5에 대하여, 1의 경우(1층의 수리전도도가 크고 비저유율이 작음)에 λ 값을 1E-2에서 1E-5까지 변화시켜가면서 1층과 2층에 굴착된 관측공의 무차원시간에 따른 무차원 수위하강곡선을 그려보았다. 1.5차원에서는 1층은 정상류의 이중공극 프랙탈모델과 마찬가지로, 수위하강곡선이 세 부분으로 뚜렷이 구분된다. 첫번째 부분에서는 먼저 우물저장효과가 나타나고 뒤이어 1층내 지하수 흐름의 영향이 나타난다. 두 번째 부분은 전이대로서 2층의 영향이 나타나기 시작하는 부분이고, 세 번째 부분은 1층과 2층의 영향이 평형상태에 도달하면서 하나의 통일된 대수층계로 거동하는 부분이다. λ 값이 커지게 되면, 전이대가 빨리 나타나고, 이 때의 수위하강은 작아지게 된다. 한편, 2.5차원에서는 λ 값에 관계없이 수위하강곡선이 거의 동일하게 나타난다. 2층의 경우에는 차원에 관계없이 λ 값이 커지면 수위하강이 커지며, 수위차이가 뚜렷하다.

2의 경우(1층의 수리전도도가 작고 비저유율이 큼)에는 1의 경우보다 1층의 수위하강은 늦게 일어나며 전이대가 2배정도 더 길게 지속된다. 또한 전이대의 수위하강곡선의 형태가 부정류의 이중공극모델에 더 가깝다. 그러나, 2층의 경우에는 1의 경우와 비슷한 수위하강곡선 형태를 보인다.

V. 결론

분할유동차원을 가지는 이중대수층계(즉, 이중투수율모델)에 대해서 투수성, 층간흐름, 그리고 저류성을 고찰하였다. κ 값 또는 ω 값에 따른 수위하강의 효과를 보면, 유동차원이 2보다 작을 때는 수위하강이 κ 값 또는 ω 값에 크게 좌우되지만, 유동차원이 2보다 커지면 이들의 차이는 단순히 수위하강곡선의 시간축을 이동시킨 결과와 같다. 따라서, 이런 경우에 확실한 κ 값 또는 ω 값을 구하기 위해서는 1층과 2층의 자료를 동시에 분석하여야 한다.

층간흐름은 1의 경우(1층의 수리전도도가 크고 비저유율이 작음)와 2의 경우(1층의

수리전도도가 작고 비저유율이 큼)에 대해서 분석하였다. 각 차원에 대해서 λ 값이 커지게 되면, 전이대가 빨리 나타나고, 이 때의 수위하강은 작아지게 된다. 그러나, 2차원보다 커지면, λ 값에 관계없이 수위하강곡선이 거의 동일하게 나타난다. 따라서, 이런 경우에도 1층과 2층의 자료를 동시에 분석하여야 한다.

참 고 문 헌

- Bai, M., D. Elsworth, and J.-C. Roegiers, 1993, Multiporosity/multipermeability approach to the simulation of naturally fractured reservoirs, *Water Resour. Res.*, 29(6), 2611-2622.
- Barenblatt, G. E., I. P. Zheltov, and I. N. Kochina, 1960, Basic concepts in the theory of seepage of homogeneous liquids in fissured rocks, *J. Appl. Math. Mech.*, Engl. Transl., 24(5), 1286-1303.
- Barker, J. A., 1988, A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock, *Water Resour. Res.*, 24(10), 1796-1804.
- Chang, J., and Y. C. Yortsos, 1990, Pressure-transient analysis of fractal reservoirs, *SPE Form Eval.*, 5, 631.