

시추공 내에서의 수리 상수 결정을 위한 시추공모형에서의 전기전도도검층 기법 적용

김 영 화

강원대학교 지구과학부

임 현 태

강원대학교 지구과학부

요약

지구물리검층기법을 이용하여 시추공 내에서 수리상수를 결정을 위한 예비연구의 하나로 모형시추공을 이용한 전기전도도 검층기법의 적용을 시도하였다. 실험은 모형 시추공 내에 전기전도도가 다른 지층수를 유입, 유출시키면서 공내수의 전기전도도 변화를 모니터링하는 방법으로 이루어졌다. 실험 결과, 전기전도도 분포의 변화 양상은 단위 시간당 유량과, 공내수와 지층수의 전기전도도 차, 밀도 차에 의하여 크게 영향받는 것으로 나타났으며 모형 시추공 내에서의 전기전도도 변화는 매우 일정한 경향을 보였다. 모형 시추공 내에서의 전기전도도 변화는 유량의 변화와 매우 좋은 상관이 얻어졌으며 이로부터 투수계수 유도를 위한 모델 방정식이 유도될 수 있었다. 전기전도도검층 기법은 시추공 내에서의 투수계수를 구하는데 있어서 매우 효과적일 방법이 될 수 있는 것으로 나타났다.

1. 머리말

투수계수는 양수시험, 수압시험 및 slug test 등의 방법을 통하여 얻어진다(Theiss, 1935; Cooper and Jacob, 1946). 사실 지구물리검층 방법은 직접적으로 투수계수를 측정할 수 있는 유형이 아니나 현재 프로펠러의 회전수나 온도변화에 의한 유속 또는 투수계수를 구하는 flowmeter검층(Nelson, 1994; Denicol, 1996; Vernik, 2000)과 물리검층반응과 실측수리전도도와 상관계에서 유도되는 간접적인 방법(Nelson, 1994; Temple and Waddel, 1996; Paillet, 1998)이 널리 활용되고 있는 상태이다. 많은 사람들에 있어서 이 분야의 희망적인 대안으로 flowmeter 검층에 큰 기대를 걸고 있지만 실제 관측결과와의 비교에서는 언제나 만족스러운 결과가 얻어지는 것은 아니다. 이는 무엇보다도 Impeller type과 Heat pulse type으로 구분되는 Flowmeter검층기의 측정 범위가 한정되어 있으며 특히 지하수 측정에서 주로 사용되고 있는 heat pulse방식의 검층 측정이 극히 제한적인 조건하에서만 기대할 수 있다는 문제에 기인한다.

전기전도도 검층은 물의 실제 이동이 나타내는 물리검층 반응이란 점에서 flowmeter검층과 함께 직접적인 투수계수에 가까운 물성반응 이라고 할 수 있다. 이러한 연유에서 일본

에서는 지하수검층이란 이름으로 전기전도도 검층이 활용되어 왔다. 그러나 본격적으로 투수계수 구하는 이 분야 연구는 핵폐기물저장고 시설을 위한 연구(Tsang and Hale,1989)로 시작되었다가, 최근에 와서 다시 시작된 상태(Doughty and Tsang, 2000)이며 업계에서도 전기전도도검층이 지반의 투수계수를 구하는데 효과적임을 인식하기 시작하는 단계에 와 있다. 그러나 이 연구는 아직까지 초보적인 실험수준으로 이론적인 연구와 실험공에서의 전기전도도 검층과 실측 수리전도도와의 비교에 집중되고 있다.

전기전도도검층이 수리상수 유도에 효과이기 위해서는 적절한 전환함수가 전제 조건이지만 실제로는 공내수와 지층수간의 밀도 차, 시험공 주변의 수리전도도 왜곡현상, 지질조건의 차이 등 장애요소들이 많다. 특히 공내수와 지층수간의 밀도 차, 시험공 주변의 수리전도도 왜곡현상들은 현장 시추공에서 쉽게 콘트롤 할 수 없는 것이라고 할 수 있다. 이러한 점에서 이 분야 연구는 실험실 모형연구로부터 시작하는 것이 유리할 것으로 예상된다. 따라서 실험실 모형연구로부터 시작하여 전환함수의 특성과 적용 범위를 규정하고자 하는 예비연구의 일환으로 본 연구를 계획하였다.

2. 방법

본 연구는 시추공 내에서 유체의 흐름이 있는 경우에 시추공내수의 전기전도도에 변화가 있다는 원리를 적극적으로 활용하여 공내수와 지층수의 전기전도도 차이를 인위적으로 크게 만든 후, 공내에서의 전기 전도도 측정을 연속적으로 수행하고, 이로부터 시추공에서의 수리전도도 분포를 구하는 과정으로 구성된다. 실험장치의 구성은 시추공 모형과 공내 전기전도도 연속측정장치 및 유출수 물성 측정장치로 구성된다(Fig. 1). 시추공 모형은 직경 6.3cm, 높이 130 cm의 투명 플라스틱 관을 이용하였으며 지층수 유입 및 유출구 각 2조를 마련하였다. 공내수 전기전도도 측정장치는 관 속에 설치된 24개의 은선 전극과 전극변환장치, 비저항 측정기로 구성된다. 유출수의 물성 측정은 전도도와 밀도 및 유량 측정으로 이루어졌으며 전도도는 conductivity cell을 이용하여 측정되었다. 지층수는 염수를 이용하였으며 공내수는 증류수로 대체하였다.

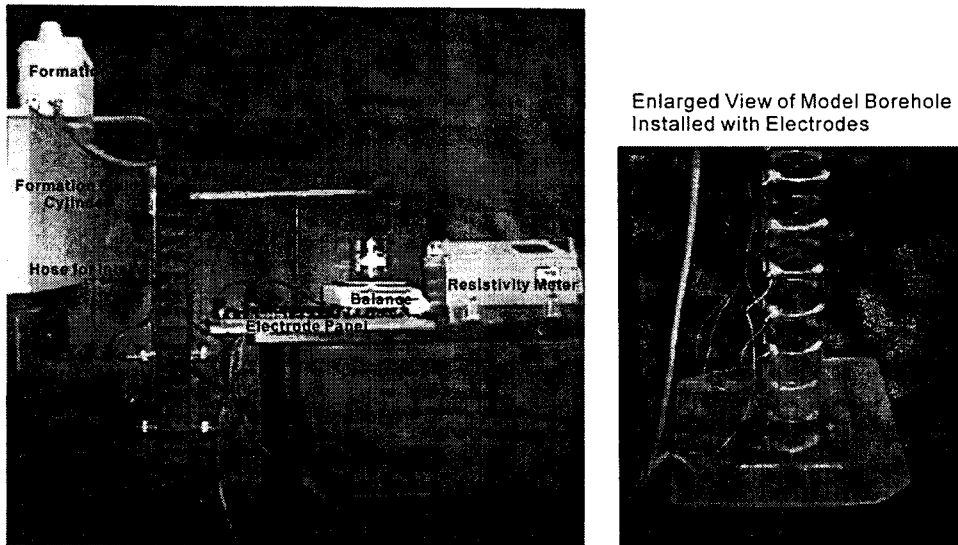


Fig. 1. Apparatus setup for conductivity measurement.

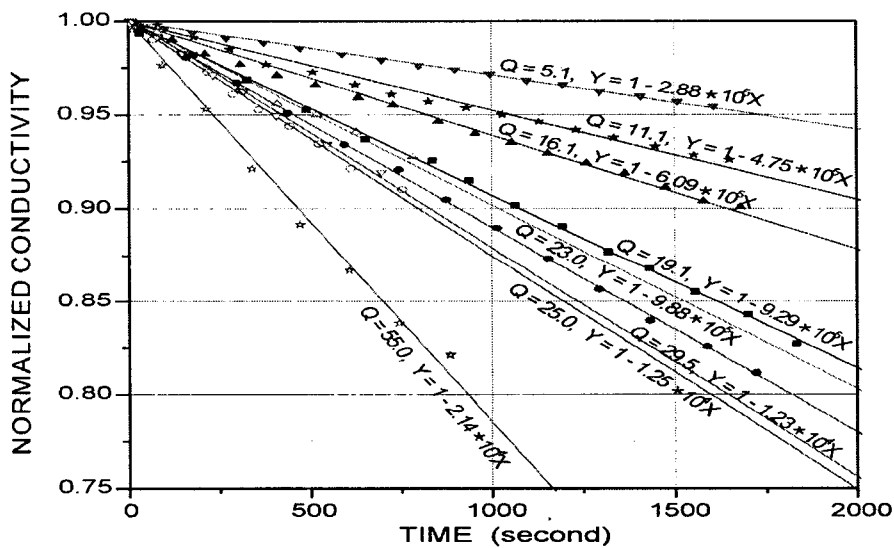


Fig. 2. Average conductivity values of borehole fluid plotted in terms of time since incoming flow began. Linear decrease in conductivity is observed throughout all experiments, and gradients of conductivity change with time have been deduced by linear polynomial fit. Conductivity has been normalized as initial conductivity to be unity.

일반적으로 지층수의 유입, 유출구(화살표로 표시) 부근에 나타나고 있으나 지층수와 공내수 간의 밀도 차이가 효과적으로 조절되지 못한 경우에는 피크의 발산이 크게 나타나는 문제점을 나타냈다(Kim and Lim, 2001).

밀도차이는 전기전도도 차이를 유도하기 위한 염도차이에 기인하는 것으로 현저한 피크를 형

성하기 위한 큰 염도차가 피크의 발산을 초래하는 것으로 알려졌다. 따라서 본 실험에서는 염도 차이에 의한 과다 밀도차를 상쇄하기 위하여 지층수와 공내수 간의 온도 차이를 유발시키는 방법을 사용하였으며 Fig. 2에서의 결과는 공내수와 유입수간의 효과적인 온도 조절에 의하여 피크가 명확하게 나타난 예이다. 즉 24°C의 0.05% NaCl 용액을 공내수로, 21°C의 0 % NaCl 용액 (증류수)를 지층수로 사용하여 얻은 결과로서 공내수의 염도에 의한 잉여 무게가 유입수의 온도를 약 3도(24도에서 21도) 낮춤으로써 효과적으로 보상된 것으로 나타난다.

한편 유입수의 지나친 온도 강하는 밀도 반전에 따른 전기전도도 곡선의 반전으로 나타났다. 물론 유입수 온도를 조절하지 않는 상태나 반대로 약간의 온도 상승을 피한 경우의 전도도 분포 곡선은 낮은 전기전도도를 가진 유입수의 급속한 상승이 잘 나타난다. 두 유체간의 밀도 조절은 대수층의 구조가 둘 이상인 복합모델에서, 특히 대수층 간의 간격이 작은 복잡한 모델에서 더욱 중요한 의미를 가지게 된다.

유입, 유출되는 지층수의 유량은 많은 경우가 적은 경우에 비하여 현저하게 뚜렷한 피크를 보였다. 본 연구에서는 지층수의 유입과 유출에 연관하여 공내수는 시간의 경과에 따라 선형적인 염도 감소경향을 보이는 것으로 가정하였으며 그 조건에 합당한 실험 조건을 선택하였다. 따라서 시간에 따른 모형시추공 내부의 전체 공내수를 평균하여 구한 전기전도도 값은 유량의 변화를 알아내는 데에 있어서 가장 단순하고 가장 근본적인 접근 방법 중 하나가 될 수 있다. Fig. 3은 모형시추공 내에서의 전기전도도의 변화를 전적으로 염도의 변화에 기인한 것으로 가정하여, 시간에 따른 평균 전기전도도 값의 분포를 플롯한 것으로 전기전도도의 분포가 공내수의 비례적인 회석을 지시하는 선형을 보여준다. 즉, 모든 전도도의 값을 초기 전도도 값을 1로 한 normalized conductivity로 표현하여 plot한 결과, 시간에 따른 양호한 비례관계가 얻어졌으며 지층수 유입량의 증가에 따라 평균전도도의 시간당 변화율이 함께 증가하는 경향을 보이고 있다.

이와 같은 비례관계는 각 유량의 변화에 대한 시간당 전도도 변화율을 plot한 Fig. 4에서 더욱 분명히 확인할 수 있다. 우선 특기할 것은 상관도가 매우 좋게 나타나고 있어 전도도 변화율로부터 유량의 예측이 가능하고, 이로부터 투수계수를 비교적 정확하게 예측할 수 있다는 점이다. 특히 얻어자료 자료를 지층수-공내수 밀도차에 의거하여 구분하는 경우 보다 정확한 수리상수의 예측이 가능함을 보였다.

4. 마무리 말

이 실험을 통하여 기본적인 실험조건과 영향요인들이 시험, 검증되었다. 유입과 유출이 있는 동안, 공내에서의 유체는 시간에 따른 전기전도도에서 매우 일정한 감소를 보여준다. 유

량변화와 전기전도도 변화율 사이에서 명확하고 좋은 상관관계가 얻어졌고, 수리학적인 상수를 결정할 수 있는 모델 방정식이 구해질 수 있었다.

이 실험의 결과는 전기전도도의 변화율이 이온이 없는 유체에 의해 이온을 포함하는 유체의 단순 치환이 일어나는 것을 가정할 때 얻어지는 예상 변화율과 잘 일치하고 있음을 보였다. 이는 얻어진 모델 방정식에 대한 향후 연구과정에서의 약간의 추가 보완만으로도 전기전도도 검증기법이 수리전도도 상수 결정에 있어서 매우 유용한 방법이 될 수 있다는 가능성을 제시하고 있다고 할 수 있다.

원래 이 모형 실험은 암석 파쇄대에서의 흐름을 전제하고 고안되었다. 그러나 이 방법은 층적층과 같은 층으로 이루어진 대수층 상황에서도 적용되어 질 것이라고 기대된다. 앞으로 실험조건이 좀더 만족할 만한 수준으로 충족되고, 현장에서의 확인 과정을 거치면서 만족할 만한 전환방정식이 마련되는 경우, 이 전기전도도 검증 기술은 대수층의 수리전도도를 쉽고 정확하게 구할 수 있는 방안이 될 것으로 기대된다.

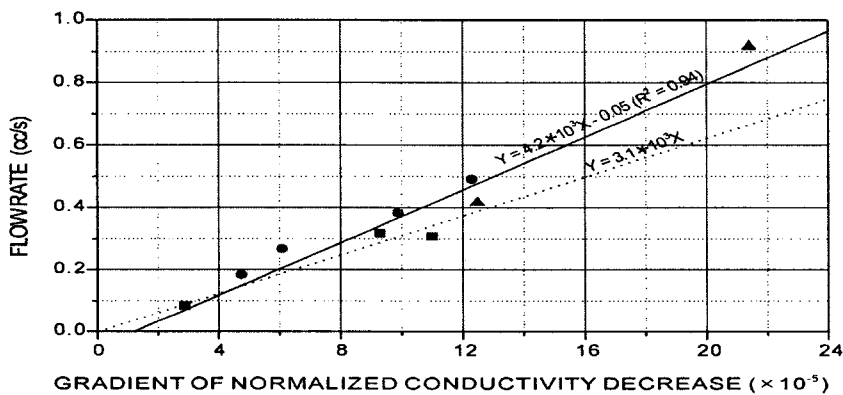


Fig. 4. Cross plot of flow rate and gradient of conductivity change with time obtained in Fig. 3. Fairly good correlation is observed between flow rate and gradient of conductivity. Result obtained from high density contrast between hole and incoming fluid fall on lower part of regression line, while results in small contrast fall on upper part. Results obtained from high density contrast seem to coincide with model equation obtained under the assumption that outgoing fluid conductivity is the same as initial condition.

참고문헌

- Cooper, H.H. Jr., and Jacob, C.E., 1946, A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, Trans. Amer. Geophy. Union, vol. 27, pp.526-534
- Denicol, P., Petrobrs, S.A., and Jing,X., 1996, Estimating permeability of reservoir rocks

- from complex resistivity data, Society of Professional Well Log Analysis Annual Logging Symposium, 37th, New Orleans. La, Transactions, p. XX1-XX11.
- Doughty, Christine; Tsang, Chin-Fu, 2000, BORE-II-A code to compute dynamic wellbore electrical conductivity logs with multiple inflow/outflow points including the effects of horizontal flow across the well. LBNL-46833
- Kim, Y and Lim, H., 2001, A geophysical model hole experiment for determining hydraulic constant in boreholes using an electrical conductivity log technique. 2001 Annual Conference of the International Association of Mathematical Geology, Cancun, Mexico, A1-11.
- Nelson, P.H., 1994, Permeability-porosity relationships in sedimentary rocks. The Log Analyst, vol 35 no.3, 38-62
- Paillet, F.L., 1998, Flow modeling and permeability estimation using borehole flow logs in heterogeneous fracture formations. Water Research, vol. 34, no.5, p.997-1010.
- Temple, T.J., and Waddell, 1996, Application of petroleum geophysical well logging and sampling techniques for evaluating aquifer characteristics: Ground Water, v. 34, no. 3, p. 523-531.
- Theiss, 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. Trans. Amer. Geophy. Union, vol. 2, p.519-524.
- Tsang, C.F.; Hale, F., 1989, A Direct Integral Method for the Analysis of borehole fluid conductivity logs to determine fracture inflow parameter. National Water Well Association Conference on New Techniques for Quantifying the Physical and Chemical Properties of Heterogeneous Aquifers, Dallas, TX; P.20-23