

수치모의를 이용한 정압주입시험의 고찰

박경운, 배대석, 김천수, 김경수, 이강근*

한국원자력연구소 *서울대학교 지구환경과학부 (woosbest@kaeri.re.kr)

<요약문>

정압주입시험(Constant Head Injectin Test, CHIT)은 결정질 암반의 구간별 수리전도도 및 투수계수를 구하는 전통적인 수리시험방법이다. 본 연구에서는 Visual Modflow 수치코드를 사용하여 정압주입시험에 대한 부정류 모의를 수행하였다. 수치모의 결과 주입공에서 매질로 시간별 주입되는 유량은 30분이 경과한 후부터 거의 일정하게 유지되는 양상을 확인할 수 있는데, 현장에서 정압주입시험을 할 때 적어도 30분 이상의 시험을 실시해야 함을 알 수 있었다. 시험구간에 따른 수리전도도 값은 시험구간의 크기에 상관없이 거의 일정한 값을 보이고 있어, 시험구간의 크기는 정압주입시험에서 크게 유의하지 않아도 된다고 판단된다. 그러나, 시험구간별 주입 압력에 따른 수리전도도값의 변화를 살펴본 결과, 시험구간의 크기와 주입 압력 값이 클수록 산출되는 수리전도도 값이 매질의 수리전도도 값과 차이가 나는 데, 현장조사에서 시험구간과 주입 압력 값에 대한 고려가 있어야 함을 지시한다. 매질의 수직적 이방성에 따른 모의결과 K_z/K_{xx} and K_{yy} 값이 작아질수록 수리전도도 값이 작아지는데, 현장조사 결과를 해석함에 있어 매질의 수직적 이방성은 주의를 기울여야 한다.

주제어 : Visual Modflow, 수리전도도, 정압주입시험

1. 서론

지하수 유동 및 용질이동 특성을 규명하기 위해서는 먼저 지하수가 흐르는 대수층의 수리특성인자를 파악하기 위하여 현장수리시험이 선행되어야 한다. 일반적으로 투수성이 높은 충적층 대수층에서는 순간충격시험(Slug test), 양수시험(Pumping test)을 통하여 매질의 수리특성인자에 대한 정보를 얻고 있으며(Freeze et al., 1979), 그 외에 추적자 시험으로 용질이동특성인자에 대한 정보를 파악하고 있다. 그러나, 일반적인 순간충격시험 및 양수시험은 결정질 암반으로 구성된 심부영역의 수리인자를 산출해 내는데 상부 충적층의 고투수성으로 인해 한계가 있어 단일패커나 이중패커를 이용한 순간충격시험, 양수 시험, 정압주입시험 및 추적자 시험을 이용하여 암반대수층의 구간별 수리인자를 파악하고 있다.

정압 주입시험(Constant Head Injection Test, CHIT)은 지하수 분야나 지질공학 분야에서 매질의 수리전도도 추정을 위해 널리 쓰이는 수리 시험이다. 이는 단일패커나 이중패커를 이용하여 구간을 격리하고, 격리된 구간에 일정압력으로 물을 주입하여 유입되는 물의 양을 파악함으로써, 시험구간의 투수계수 및 수리전도도를 파악하는 전통적인 수리시험이다. Almen et al.(1986)은 결정질 암반에서 시행되고 있는 여러 형태의 수리시험 방법을 정률 주입(제거)법, 정압 주입(제거)법, 순간 주입(제거)법 등 세가지

로 크게 구분하여 소개하고 있다.

본 연구에서는 Visual Modflow 수치 코드를 사용하여 정압주입시험을 모의하였는데, 패커로 격리된 시험구간의 크기, 주입 압력, 매질의 수리전도도, 매질의 수직적 이방성에 대한 변수를 조정하여 Moya 해석해로서 시험결과를 해석함으로써 정압주입시험으로 구해진 매질의 수리전도도를 고찰해 보았다.

2. 본 론

가. 이론적 배경

일반적으로 정압주입시험은 시추공에 이중패커를 사용하여 시험구간을 격리 시키고, 격리된 구간에 일정압력으로 물을 주입하면서 유입되는 물의 양이 일정한 값을 갖도록 충분한 시간이 경과된 후에 유입되는 물의 양을 이용하여 구간의 투수계수를 구하는 수리시험의 한 방법이다. 본 연구에서는 수치모의 입력자료로 매질의 수리전도도 값을 정하고, 모의 결과 시추공에서 매질로 유입되는 물의 양에 대한 자료를 얻어 해석해를 이용하여 매질의 수리전도도 값을 다시 계산하는 방법을 사용하였다. 시험결과를 해석하는 여러 가지 방법이 있지만, 본 연구에서는 다음과 같이 Moya(1967)가 제안한 해석해를 이용하였다.

$$K = \frac{q}{h_w L} \left(\frac{1 + \ln(L/2r_w)}{2\pi} \right)$$

나. 수치 모의 조건

수치 모사에 사용된 Domain은 50m×50m×20m의 크기에 88×88×50개의 Grid로 구성되어 있으며(그림 1), 초기 수두는 전 영역 20m로 두었다. 중앙에 NX크기의 시추공을 모사하기 위해 가로×세로 0.076m×0.076m의 격자를 구성하였으며, 시추공 격자에서 일정구간의 상하부 격자의 수리전도도를 작게 입력함으로써 이중 패커를 모사하였다. 정압 주입시험을 모의하기 위해 이중패커로 격리된 구간에 일정수두 경계조건을 주었고, 시추공에서 매질로 유입되는 유량을 알기 위해 Modflow의 Zone budget module을 사용하였다(그림 2). 또한, Domain 상하좌우는 No flow boundary로 두었는데, 시추공의 일정 수두 경계조건에 의한 영향을 없애기 위해 50m×50m의 넓은 영역을 주어 모사를 수행하였다.

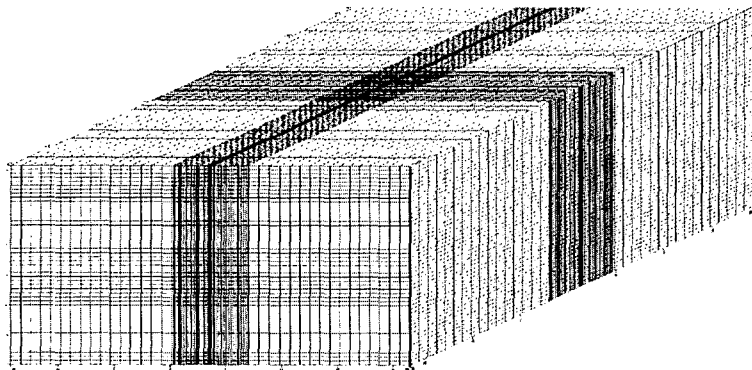


그림 1. Model domain

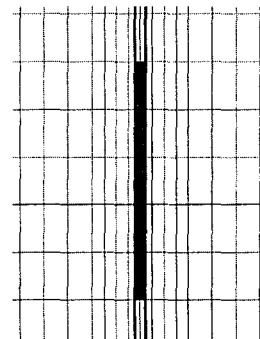


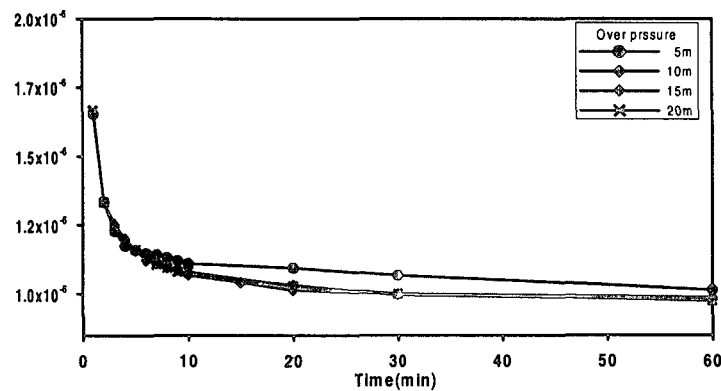
그림 2. Zone budget

3. 결과 및 토론

정압주입시험은 패커로 격리된 시험구간의 크기, 시추공의 직경, Over pressure, 시추공에서 매질로 유입되는 물량을 넣어주어 매질의 수리전도도를 계산하게 된다. 결정질 암반에서는 투수성이 큰 단열대에 의해 구해지는 결과값이 좌우되므로, 매질의 수리전도도 값을 투수계수로 바꾸어주는 것이 타당하며, 구하여진 수리전도도 값에서 패커의 길이를 곱해준 값을 투수계수로 제시하게 된다.

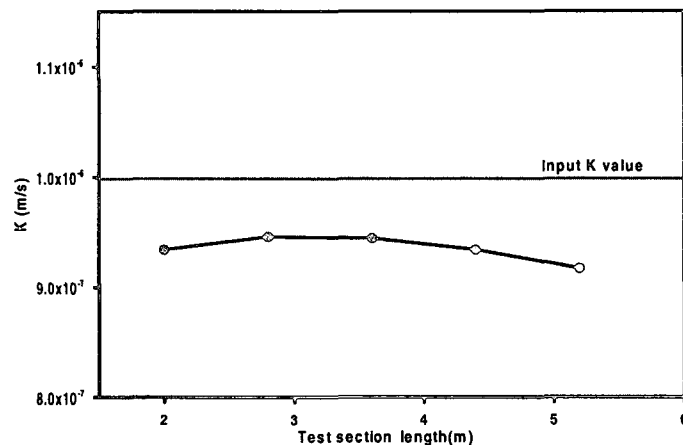
본 연구에서는 수치모사를 통해 정압주입시험에서 산출되는 수리전도도 값을 구하였는데, 기 설명한 바와 같이 정압주입시험에서 입력되는 인자를 변화시켜가며 수치모의를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. Over pressure에 따른 따른 수리전도도 변화



Over pressure 값에 따른 수리전도도의 변화를 알아보기 위해 매질의 수리전도도를 1×10^{-6} m/s, 패커 사이의 거리를 2m로 일정하게 유지하고, 이중패커로 격리된 구간에서 over pressure를 +5m, +10m, +15m, +20m로 변화시켜가면서 시간에 따른 유입량을 통해 매질의 수리전도도를 계산하였다. 그 결과 over pressure 값이 클수록, 수리전도도 값이 빠르게 일정 값으로 도달하는 것을 볼 수 있었으며, +10m 이상의 값에서는 그 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 정압주입시험에서 일정한 수리전도도 값을 구하기 위해 Over pressure에 따라 조금은 달라지지만 최소 20분의 시간이 필요하다고 판단된다.

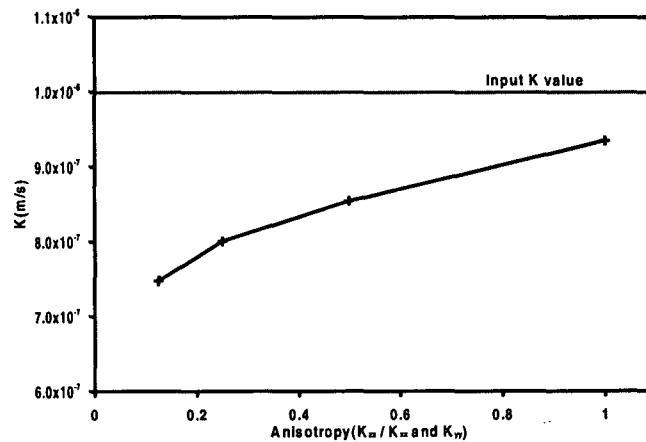
나. Packer 사이의 거리에 의한 영향



패커 사이의 거리에 따라 산출되는 수리전도도 값의 차이를 확인하기 위해 매질의 수리전도도를 1×10^{-6} m/s, Over pressure를 +10m로 일정하게 주어 패커 구간을 2m, 2.8m, 3.6m, 4.4m, 5.2m로 변화시키면서 수리전도도를 계산하였다. 그 결과 패커사이의 거리에 크게 상관없이 수리전도도는 대략 9.5×10^{-7} m/s 정도의 일정한 값을 갖는데, 매질에 입력한 수리전도도(1×10^{-6} m/s) 값에 비해 5% 정도 작은 값을 보이게 되는데, 이는 Moye 해석해에서 구상유동과 방사상유동의 경계를 시험구간의 1/2로 두었기 때문에 나타나는 결과로 판단되며, 실제로 그 경계가 1/2보다 큼을 지시한다.

실제로 모의 결과를 이용하여 균질·등방성 매질의 Moye 해석해에서 구상 유동과 방사상유동의 경계를 6/10으로 주었을 때, 입력된 수리전도도와 유사한 값을 구할 수 있다.

다. 매질의 Aniotropy에 의한 영향



매질의 수직적 이방성에 따른 수리전도도 값의 차이를 확인하기 위해 매질의 K_z 를 변수로 두고 다른 조건들은 동일하게 주고 부정류 모의를 수행하였다. 시험구간의 크기를 2m, 수리전도도(K_{xx} 와 K_{yy})를 1×10^{-6} m/s, 주입 압력을 +10m로 일정하게 주고, $K_z / (K_{xx}$ and $K_{yy})$ 값을 1, 0.5, 0.25, 0.125 값으로 변화시켜가면서 주입공에서 매질로 유입되는 유량을 구하여 수리전도도를 계산하였다. Fig. 13 에서 보는 바와 같이 수리전도도는 수직적 이방성이 클수록 입력되는 수리전도도 값에 비해 작은 값이 산출된다.

정압주입시험에서 주입공 근처의 지하수 흐름은 주입압력에 의해 방사상 유동을 하며, 주입공에서 일정 거리 떨어진 영역에서는 구상 유동을 하게 된다. 수직적 이방성 수치 모의 결과 수직적 이방성에 의해 수리전도도 값이 변하게 되는 이유는 이러한 구상 유동의 결과로 인해, 수직적 흐름에 변화가 생기기 때문이다.

현장조사에서 흔히 매질을 등방성 매질이라고 가정하고 그 결과를 해석한다. 그러나, 실제 자연상태의 매질은 등방성 매질인 경우가 거의 없다. 수직 이방성을 갖는 매질에서 정압주입시험을 실시하는 경우, 매질의 수리전도도에 비해 작은 수리전도도 값을 얻을 수 있어, 이에 대한 주의가 필요하다.

4. 참고문헌

- 1) Almen, K. E., Anersson, J. E., Carlsson, L., Hansson, K., and Larsson, N. A., 1986, Hydraulic testing in crystalline rock, A comparative study of single-hole test methods, SKB Technical Report, 86-27, Stockholm.
- 2) Moye, D. G., 1967, Diamond drilling for foundation exploration, Civil Eng. Trans., Institution of Eng., Australia, Vol. CE9, No.1, pp. 95-100