

현장수리시험 지침서

1999. 3

서울대학교 대학원

지구환경과학부 수리지구환경연구실

차례

머리말

1. 개요	1
2. 현장수리시험	
2.1 순간수위변화시험(slug tests)	6
2.2 양수시험(pumping tests)	12
2.3 단계양수시험(step-drawdown tests)	25
2.4 팩커 시험(packer tests)	34
3. 추적자 시험(tracer tests)	43
4. 부록(appendices)	68

머리말

최근 우리나라에서도 지하수 오염문제가 심각한 사회문제로 대두되면서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내에는 지하수에 대한 많은 외국서적들이 나와있어 지하수연구와 현장적용에 있어 많은 도움을 주고 있고, 짧은 국내 지하수에 대한 연구의 역사를 생각할 때 많은 발전이 있는 것 또한 사실이다. 그러나 현장에서 몇가지 기본적인 수리지질조사에서부터 각종 수리시험등을 수행, 해석할 때, 업체, 지하수 관련연구소, 혹은 개인은 각기 조금씩 다른 방식으로 수행, 해석하므로써 수리지질학적 정보의 상호교환과 정보의 신뢰성에 문제를 야기시켰다. 또한 우리나라는 국토 대부분이 얇은 충적층과 하층 암반으로 구성되어 있어 기존 지하수 이론이 주로 기술하는 다공성매질의 성질과는 근본적으로 다르다. 물론 이와 같은 과쇄암반에서의 지하수의 거동과 용질이동에 대한 연구가 북미, 서구선진국과 국내에서 활발히 이루어지고 있지만 아직 이렇다할 성과는 없는 실정이다. 여기서는 이와같은 최근의 복잡하고 어려운 수리지질학적 개념과 그에 따른 수리시험의 해석은 다루지 않고 그 동안 현장에 적용되어온 일반적 다공성 매질 대상의 수리시험의 수행과 그 해석에 초점을 맞추어 이의 수행과 해석에 일관성을 제시하고 적용상의 문제점을 살펴보았다. 이로써 국내 지하수와 관련된 기본조사와 연구를 수행하는 이들에게 가장 널리 수행되는 수리시험을 원만히 수행, 해석하는 기본지침서가 되도록 하였고 우리나라 실정과 지질에 맞는 수리시험과 해석방법을 찾는 토대가 되도록 하였다. 본 교재 내용은 서울대학교 지구시스템과학 수리지구환경연구실에서 실제로 수년간 야외조사(실험)에서 얻은 경험과 실내연구를 바탕으로 한 것임을 밝혀둔다. 또한 본 야외시험 지침서는 서울대학교 수리지구환경 연구실 성원들의 공동노력으로 이루어진 바, 의문사항이나 개선사항은 서울대학교 지구시스템과학전공 수리지구환경연구실 홈페이지를 통해 전자메일을 보내 주시기를 부탁드립니다.

수리지구환경연구실 : 홈페이지 <http://plaza.snu.ac.kr/~hydrogeo/>

전화 02-873-3647

팩스 02-874-7277

1. 개요

1.1 수리지질학이란

지하 지질매체내에 포화상태로 부존하는 물을 지하수라 하고 이를 연구하는 학문을 수리지질학 혹은 지하수 수리학이라 한다. 불포화토양내에 존재하는 수분도 그 연구대상에 포함된다. 최근에 지하수의 이용과 오염에 대한 관심이 고조되면서 이에 대한 연구가 국내에서도 활발하게 진행되고 있다. 수리지질학은 학문의 특성상 현실적 응용성이 매우 강하며, 물리, 화학, 생물학등 다학문의 이론을 바탕으로한 복합적인 응용분야이다. 수리지질학에서 다루는 주요 테마를 살펴보면, 대수층의 특성화를 위한 기본 지질조사에서부터 각종 대수층 시험, 암반내 지하수 유동과 용질이동 모의 도구 개발, 지하수오염의 예측 및 정화계획수립, 불포화토양층에서의 수분이동과 용질이동 예측, 그리고 다상의(NAPL 등) 물질 이동예측, 물수지 분석등을 들 수 있다.

선진국의 예를 볼 때 우리나라의 지하수 이용량은 앞으로 크게 증가할 것으로 본다. 이렇게 되었을 때 이에 대한 적절한 이용방안과 오염에 대한 대책을 수립하는 것은 필수적이다. 실제로 UN에서 예견한 바대로 다음 21세기는 물이 하나의 전략적 자원이 될 것이고 이를 확보하기 위한 치열한 국가간 경쟁이 벌어질 것이다. 지표수의 이용은 그 한계를 이미 보이고 있으므로 지하수의 중요성은 그 어느 때 보다도 높다. 이런 거창한 현실을 들먹이지 않더라도 현실적 측면에서 깨끗한 물을 마시는 것은 인간의 기본적 욕구이며 권리이다. 수리지질학에서는 이런 중요한 지하수의 유동과 오염현상 예측, 그의 이용과 오염방지에 대한 적절한 학문적, 실제적 방안을 제시하고자 한다.

1.2 주요수리지질학 용어

1) 지하수면(water table) 혹은 수두(piezometric head) : 지하수가 가지는 물리적 높이(위치)와 압력(물칼럼)을 물높이로 환산한 값의 합을 수두라고 한다. 이 수두가 동일한 지점을 이은 선이 등수두선이 된다. 지하수면은 대기압과 지하수의 수압이 같아지는 지점을 연결한 자유면으로 자유면 대수층의 최상부를 형성한다. 흔히 현장에서 측정하게 되는 관측공의 수위는 스크린이 설치되어 있는 구간의 평균 수두이다. 일반적으로 자유면 대수층에서는 수위라는 말을 피압대수층에서는 수두

라는 용어를 사용한다. 대수층내 관심지점의 수두(수위)를 측정하기 위해서는 그 지점에 piezometer를 설치하여 그 때 잡히는 지하수위를 재면 된다.

2) 피압(confined) 혹은 비피압(자유면, unconfined, phreatic)대수층 : 대수층의 상하부가 저(불)투수성의 매질(예를들어 점토층, 신전암반)에 의해 둘러싸인 경우의 대수층을 피압대수층이라 하며 이 대수층 최상부의 압력은 대기압보다 높다. 이와달리 자유면 대수층에서는 대수층 최상부 즉 지하수면의 압력은 대기압과 같다. 이 때 대수층의 상부에는 저투수층이 존재하지 않는다. 현장에서 피압이나 혹은 비피압이나를 구분하는 것은 용이하지 않다. 우리나라에 많은 암반 대수층은 대체로 상부에 얇은 충적 혹은 토양층이 존재하는 비피압대수층이나 실제로 암반에서는 깊이에 따라 투수성의 변화가 크기 때문에 깊이갈수록 피압적인 거동을 나타내는 경우가 흔하다.

3) 수리전도도 (hydraulic conductivity) : 단위 수두구배하에서 단위시간 동안 지하수의 유동방향에 수직인 단위면적을 통하여 흐르는 물의 부피. 수리전도도에 대수층의 두께를 곱하면 투수량계수가 된다. 투수량계수 추정을 위해서는 대수층의 두께를 적절히 구할 필요가 있다.

4) 비저유계수 (specific storage) : 피압대수층에서 단위수두 강하 혹은 상승에 의해 대수층의 단위부피를 통해 유출되거나 유입되는 물의 부피. 비저유계수에 대수층의 두께를 곱하면 저유계수(storativity)가 된다. 비피압대수층의 저유계수는 대체로 0.02에서 0.3 사이다(Fetter, 1988).

5) 비산출율(specific yield) : 유효공극율 혹은 비피압 저유계수라고도 한다. 자유면 대수층에서 지하수면의 단위 상승 혹은 강하에 의해 단위면적을 통해 자유면 대수층의 저유지하수로부터 유입 혹은 유출되는 물의 부피

2. 현장수리시험

대수층의 특성을 파악하기 위한 현장시험으로 여러 가지가 있을 수 있다. 그러나 이러한 여러 가지 현장 수리시험중 언제나 시간적 제약, 비용, 가용장비 혹은 현장 사정상 어떤 시험은 할 수 있고 또 어떤 것은 할 수 없는 경우가 많다. 그러므로 이들 시험들이 각각 가지고 있는 적용성과 한계를 명확히 알아야만 관심을 가지고 있는 대수층에 대한 수리상수를 제대로 획득할 수가 있다. 현장에서 수행되는 대표적인 수리 시험으로는 순간수위변화시험, 양수시험, 단계양수시험, 그리고 팩커시험이 있다. 이런 각 시험은 그 목적에 따라, 또는 현장의 사정 즉, 시험공의 크기, 단공이나 혹은 근처에 관측정이 있느냐, 또는 과다한 양수를 하면 안되는 곳(유류지하저장고, 오염된 지역)이나 등 여러 가지 현실적 조건을 고려하여 최적의 시험을 선택하여야 한다. 현장 수리시험을 통해 얻는 수리상수는 투수량 계수(수리전도도)와 저유계수(비저유계수)인데 각 시험에서 얻은 이 값들은 그 시험단계에서부터 해석단계에 이르기까지 수행자 혹은 해석자의 다양한 임의적인 태도로 말미암아 그 결과의 신뢰성이 저하된다. 이는 같은 양수시험 혹은 순간수위변화시험 데이터를 가지고 해석하더라도 해석자에 따라 결과의 수리상수가 크게는 10배 이상 차이가 나는 경우가 드물지 않다는 것이 이를 잘 반증해 준다. 본 교재에서는 이러한 각 단계에서의 신뢰성 저하를 줄이고 시험의 표준화를 위해 각각의 시험에 대한 표준시험 방법과 해석법, 민감도 분석결과, 각 시험에서 생길 수 있는 문제점과 그 해결방안을 제시하고자 한다. 다음은 현장에서 수리시험을 수행하는 기본적 단계를 정리한 것이다.

수리시험 수행의 기본단계

- 1) 시험의 목적을 결정한다. 즉, 평균 수리전도도를 구할 것인지, 아니면 수평 수리전도도의 수직적 분포를 볼 것인지.
- 2) 목적에 맞는 시험을 선택한다. 이 때, 현장조건 즉, 공의 크기, 관측공의 유무, 가용한 전기시설등과 비용, 시험시간등을 고려하여야 한다. 또한 양수가 주위환경에 악영향을 주지 않는지를 판단해야 한다. 예를들어 양수에 의한 오염의 확산가속화가 예견된다면 양수시험보다는 순간수위변화시험이 권장된다.
- 3) 현장에서 시험을 수행한다. 이 때, 가능한 시험수행상에서 발생하는 오차를 줄이

기 위해서는 정확한 측정기기가 요구된다. 요즘은 대부분 자동수위관측기를 이용하므로 별 문제는 없겠으나 초기수위가 안정된 상태에서 시험을 시작해야 하는 등 다음 장에서 기술하는 각 시험의 표준시험방법을 정확히 지켜야 한다.

4) 현장에서 얻은 시험결과를 해석하기 위해서는 우선 개념모델을 설정해야 한다. 대상 대수층이 피압인지 혹은 자유면대수층인지 그리고 경계조건은 어떤지. 일반적으로 제공되고 있는 해석방법의 개념모델이 현장조건과 완전히 다르다고 생각될 때는 그 초기, 경계조건을 구현할 수 있는 모의 프로그램 (예, MODFLOW)을 이용한다. 일단 개념모델이 정해지면 그 개념모델을 채택하고 있는 해석방법을 이용, 원하는 수리상수를 구한다. 각 해석모델의 적용성, 입력인자에 대한 민감도에 대한 기본지식이 있어야 신뢰성 있는 분석이 가능하다. 요즘은 전산해석프로그램이 많이 나와 수리시험결과 해석이 용이해졌다.

다음은 위에서 언급한 각종 수리시험의 적용성과 장단점에 대한 간단한 요약이다.

시험	기본목적	장점	단점
순간수위 변화시험	수리전도도, 비저유계수	<ul style="list-style-type: none"> · 간단한 장비 · 짧은 시험시간 · 저투수성, 오염지역 	<ul style="list-style-type: none"> · 작은 영향반경 · 데이터의 잡음
양수시험	투수랑계수, 저유계수	<ul style="list-style-type: none"> · 큰 규모의 평균적 수리상수추정 	<ul style="list-style-type: none"> · 복잡한 장비 · 긴 시험시간 · 시스템의 변형, 혹은 오염가속화 우려
단계양수시험	우물산출량, 우물손실, 적정양수량결정		
팩커시험	구간별(수직적) 수리전도도분포		<ul style="list-style-type: none"> · 장비운용기술 · 기밀유지의 어려움

순간수위변화시험, 양수시험, 그리고 단계양수시험에서도 팩커시스템을 적용하여 시험구간을 유리시켜 수직적 수리상수의 분포를 알 수 있다. 그러나 여기서 언급하는 것은 이러한 팩커시스템을 갖추지 않은 일반적 경우를 말한다.