

단열암반에서 구간별 순간충격시험의 적용성 평가

박경우	한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부
배대석	한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부
김경수	한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부
김건영	한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부
조성일	한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부

1. 서 론

결정질 암반에서 다양한 종류의 수리시험을 이용하여 대수층의 수리특성을 추정할 수 있다. 이들 수리시험을 시험 성격상 크게 두 가지로 분류하면, 지속적인 변위를 주는 방법과 순간적인 변위를 주는 것으로 분류를 할 수 있다. 순간충격시험은 단공 수리시험의 일종으로 대수층의 투수계수(transmissivity)나 저류계수(storativity)를 추정할 때 이용하는 전통적인 수리시험이다. 일반적으로 순간충격시험은 지하수면에 순간적인 변위를 유도하여 회복되는 지하수위를 관측함으로서 매질의 수리특성을 추정하는데, 대수층의 지하수체에 비해 비교적 작은 수리적 변위를 주기 때문에 시험관정에 대해 한정된 영역의 수리특성밖에 파악할 수 없는 단점이 있다. 또한, 다공 수리시험으로 수행되지 않기 때문에 대수층의 이방성에 대한 정보를 알 수 없으며, 정압주입시험에서 와 같이 결정질 암반의 지하수 유동차원에 대한 분석은 할 수 없다(Shapiro, A. M. and Hsieh, P. A., 1998). 그럼에도 불구하고, 대수층에 전반적인 변위를 유도하는 것이 아니기 때문에 오염지역에서 효율적으로 수행할 수 있는 수리시험이며, 또한 간단하고 빠르게 대수층의 수리특성을 파악할 수 있는 장점이 있어, 현재에도 널리 사용되고 있다.

본 연구는 결정질 암반의 투수계수를 파악함에 있어 순간충격시험의 가능성을 파악해 보고, 같은 시추공에서 굴착 후 수행된 초음파주사검층의 결과와 비교하여 봄으로서 연구지역의 결정질 암반의 투수계수를 구하여 보았다.

2. 본 론

2.1. 연구지역

고준위방사성폐기물의 심지층 처분 연구의 일환으로 한국원자력연구소 부지 내에서 시추 조사공이 설치되었다. 각 시추공의 재원은 표 1과 같다. 본 연구에서 순간충격시험을 위해 사용된 시추공은 YS-02-1로 YS-02 시추공에서 북쪽 방향으로 2.5m 이격된 위치에 굴착되었다.

표 1. 시추공의 고도 및 깊이.

Boreholes	Elevation	Depth	Size
YS-01	80.2	500m	NX(3")
YS-02	80.1	200m	NX(3")
YS-02-1	80.1	200m	NX(3")
YS-02-2	80.1	200m	NX(3")
YS-03	79.9	300m	NX(3")
YS-04	91.0	350m	NX(3")
YS-05	76.0	200m	NX(3")
YS-06	94.0	500m	NX(3")
YS-07	56.0	400m	NX(3")

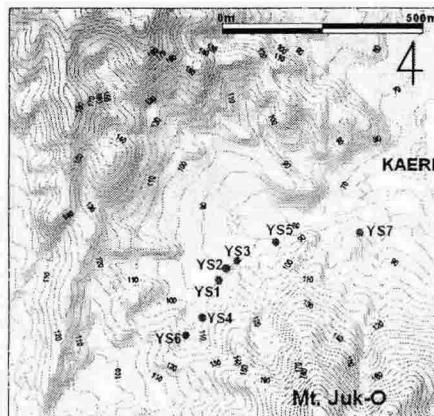


그림 1. 시추공의 위치.

2.2. 시험방법

구간별 순간충격시험은 YS-02-1시추공에서 25mm PVC Pipe에 물을 순간적으로 주입하여 수위 변위를 주어 회복되는 수위를 관측하고, 양수펌프를 이용하여 물을 제거함으로서 수위변위를 준 후 회복되는 수위를 관측하는 두 가지 방법으로 수행되었다. 시험에서는 이중패커를 이용하였고, 시험구간의 크기를 9.1m로 일정하게 유지하였고, 이중패커를 시추공의 하부로 내리면서 총 19회의 순간충격시험을 실시하였다. 수위 변화는 In-situ사의 minitroll을 이용하여 지상에서 관측하였으며, 패커의 부피에 의한 수위변화 영향을 없애기 위해 패커를 부풀린 후 시험구간의 지하수위로 회복되기 까지 충분한 시간을 기다렸다가 시험을 수행하였다.

시험결과는 양수시험과 순간충격시험의 해석 프로그램인 Aquifer Test(Waterloo Inc.)를 이용하여, Hvorslev(1951) 방법과 Bouwer & Rice(1976)가 제안한 방법을 이용하여 구간별 수리전도도를 구하였으며, 구간과 수리전도도 값을 곱하여 투수계수를 산출하였다.

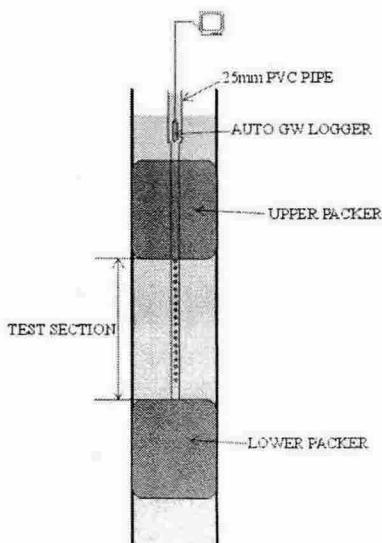


그림 2. 구간별 순간충격시험 개념도.

2.3. 시험결과

구간별 순간충격시험결과 산출된 투수계수 값은 $1.00 \times 10^{-5} \sim 5.76 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$ 의 값을 나타내어 투수성이 큰 구간과 그렇지 않은 구간과의 편차가 심한 결정질 암반의 특성을 나타내었으며, 시험법에서 볼 때, injection test가 withdrawal test에 비해 다소 큰 투수계수 값을 산출하였다.

표 2. 구간별 순간충격시험 결과.

	Analysis method	Mean T(m^2/s)	Min./Max. T(m^2/s)
Injection Pulse Test	Hvorslev	7.28E-07	5.76E-08/1.00E-05
	Bouwer & Rice	6.91E-07	5.55E-08/9.10E-06
Withdrawal Pulse Test	Hvorslev	6.52E-07	1.44E-08/8.01E-06
	Bouwer & Rice	6.02E-07	1.42E-08/6.82E-06

시추공에서 관찰되는 단열은 깊이에 따른 경향성을 나타내지 않으며, 지하 80m~150m까지 고루 분포하고 있다. 텔레뷰어 검증결과를 이용하여 각 단열에 대한 단열 폭을 계산한 결과, 지표부근과 지하 100m 근처에서 집중적인 단열 폭의 분포를 볼 수 있는데, 실제 수리시험에서는 지표 근처와 60m~70m 구간에서 큰 투수계수값을 보였으며, 단열이 드물게 관찰되는 지하 150m 이하의 깊이에서 산출된 투수계수 또한 단열이 다수 분포하는 100~150m의 깊이에서 산출된 투수계수와 크게 차이나지 않음을 알 수 있다.

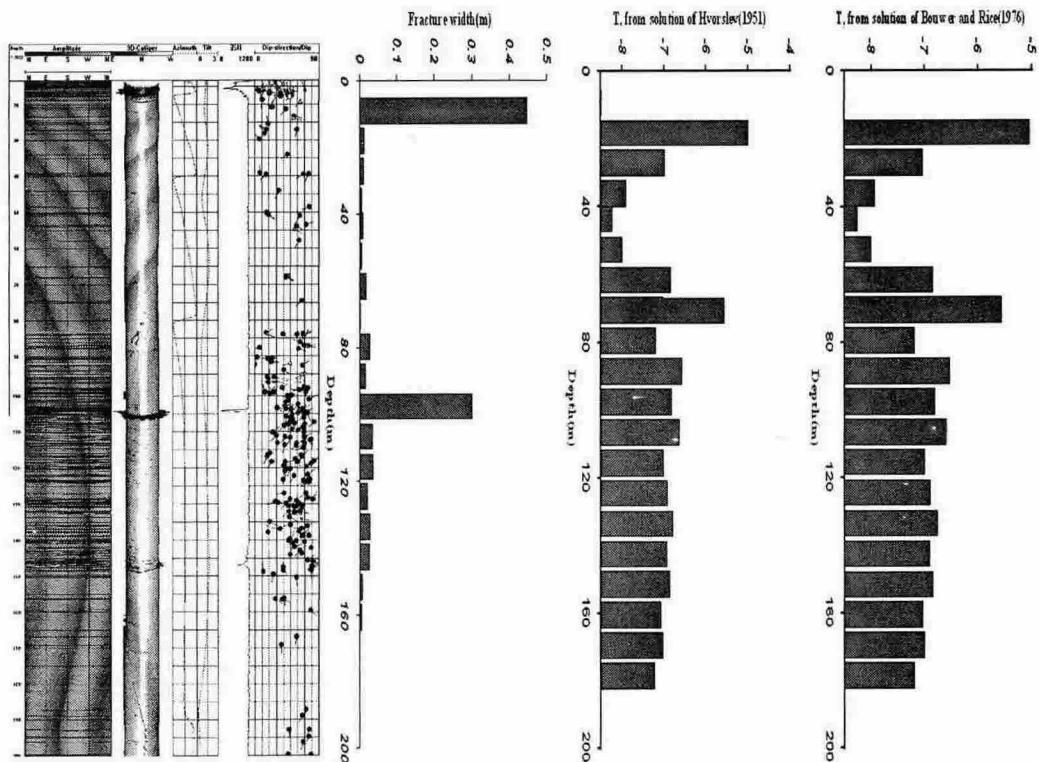


그림 3. 시추공 텔레뷰어 결과와 Injection pulse test 해석 결과.

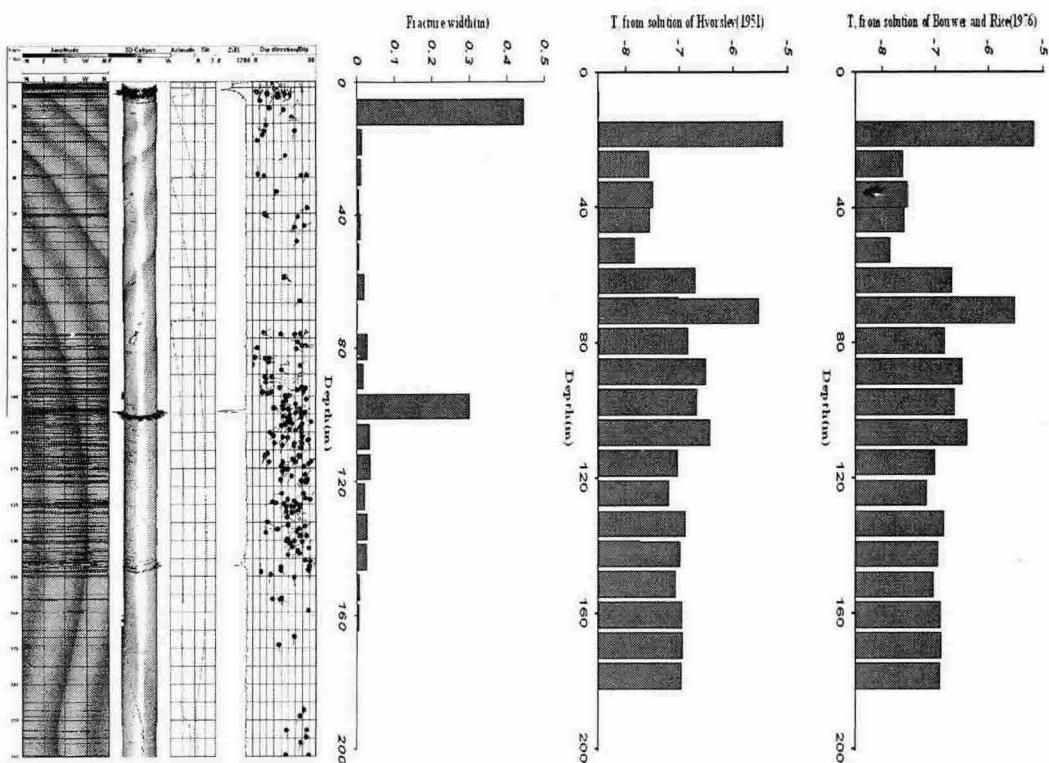


그림 4. 시추공 텔레뷰어 결과와 Withdrawal pulse test 해석 결과.

순간충격시험은 시추공에 변위를 주어 수위를 높이는 방법과 변위를 제거하여 수위를 낮추는 방법으로 나누어 수행하였다. 두 가지 방법에서 산출되는 투수계수의 결과를 Hvorslev(1951)과 Bouwer & Rice(1976)가 제안한 해석방법 별로 도시하여 본 결과(그림 5), 두 가지 방법에서 모두 선형적인 결과를 볼 수 있었다. 이는 구간별 순간충격시험의 결과가 매질의 투수계수를 비교적 잘 반영함을 지시한다. 특이할 점은 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ 의 지점에서 집중적으로 투수계수 값이 분포하고 있음을 볼 수 있는데, 차후 수행될 예정인 고준위 방사성폐기물 처분장의 부지 특성과 관련하여, 수리토양대(HSD), 수리암반대(HRD), 수리투수대(HCD)의 투수계수 산출에 적절히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

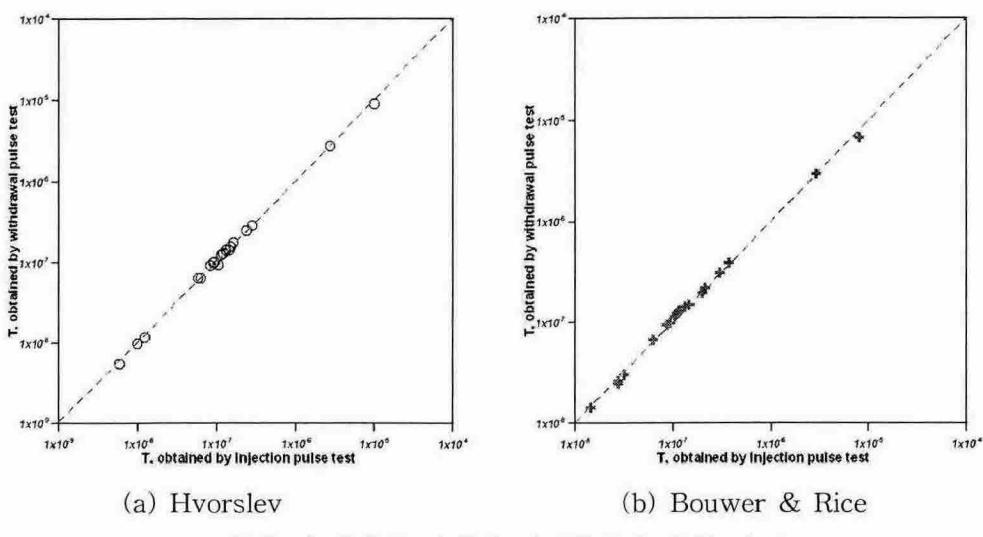


그림 5. 수리시험 결과의 해석 방법에 대한 비교.

3. 결 론

고준위 방사성폐기물 처분장은 심부영역을 대상으로 수행되고 있다. 일반적인 심부영역은 결정질 암반으로 구성되어 있으며, 결정질 암반에서 지하수 유동은 유로가 되는 주요 단열을 통해서 발생한다. 따라서 시추공 텔레뷰어 검증이나 지하공동에서 단열 체계 및 투수성 단열을 파악하여, 지하수 유동 해석에 대한 기초적인 자료로 이용하고 있다.

본 연구는 총적 층 이하 결정질 암반에서 구간별 순간충격시험을 수행하여, 각 구간별 투수계수를 파악하였다. 시험방법을 수위를 높이는 방법과 수위를 낮추는 방법으로 나누어 수행한 결과 투수계수의 차이가 현저히 유사함을 보여주고 있으므로, 결정질 암반에서 투수계수를 파악하는데 유용한 방법으로 판단된다. 차후 구간별 수행 가능한 다른 수리시험법과 비교하여 결과를 해석해봄으로서 본 연구에서 수행한 적용성 여부에 대한 신뢰성 검토가 필요하다.

수리시험 결과를 시추공 텔레뷰어 자료와 비교해 본 결과, 투수계수와 단열의 폭이나 단열 빈도에 대한 상관성이 크지 않으며, 다수의 단열이 존재하는 단열대에 비해 투수계수는 실제 지하수 유동의 유로가 되는 몇 개의 단열 혹은 매질의 특성에 크게 좌우된다는 결론을 얻었다. 비록, 한 개의 시추공에서 제한적으로 구간별 순간충격시험을 수행하여 다수의 자료는 충적하지 못하였지만, 차후 구간별 수행 가능한 정압주입시험 및 추적자 시험 등의 결과와 비교 분석하여, 연구지역의 결정질 암반에서 단열의 특성과 수리특성과의 관계를 파악해 보고자 한다.

참고문헌

- Bouwer, H., and R. C. Rice, 1976, A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resources Research 12, no. 3, 423-428.
- Hvorslev, M. J., 1951, Time lag and soil permeability in ground-water observation. Bulletin No. 36, Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi: Corps of Engineers, U.S.Army.
- Shapiro, A. M. and P. A. Hsieh, 1998, How good are estimates of transmissivity from slug tests in fractured rock?, Ground water 36. no. 1, 37-48.