

## 순간충격시험분석에 의한 화강암 지역의 수리상수 산출

김 문 수 (MoonSoo Kim)	부산대학교 지구환경시스템과학부
함 세 영 (Se-Yeong Hamm)	부산대학교 지구환경시스템과학부
성 익 환 (Ig Hwan Sung)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
이 병 대 (Byong Dae Lee)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
김 광 성 (Kwang Seong Kim)	부산대학교 지구환경시스템과학부
김 성 이 (Seong-Ye Kim)	부산대학교 지구환경시스템과학부

### 1. 서 론

순간 충격시험은 슬러그(체적을 알고 있는 물체)를 순간적으로 주입/회수한 시각부터 수위가 수동역학적 평형상태에 도달할 때까지 경과시간별로 수위 변화를 측정하는 방법이다. 이때 수리상수는 시험정에 유입되거나 빠져나가는 물의 양에 의해서 변화되는 시험정의 수위와 관련된다. 순간충격시험에 의해서 수리상수를 구하는 이론에는 Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos법(Cooper et al., 1967; Papadopoulos et al., 1973), Hvorslev 법(Hvorslev, 1951), Bouwer & Rice법(Bouwer and Rice, 1976; Bouwer, 1989), Nguyen & Pinder법(Nguyen and Pinder, 1984)이 있다.

본 연구는 순간충격시험자료를 이용하여 금정산지역의 대부분을 차지하고 있는 백악기 불국사 화강암류의 수리적 성질을 파악하기 위한 것이다. 이를 위하여 연구지역 내에 분포하는 19개 시험시추공(3" 시추공 6개공과 6" 시추공 13개공)을 대상으로 순간충격시험을 실시하였으며, 이 시험자료를 C-B-P법, Hvorslev법, Bouwer & Rice법에 적용하여 수리적 매개변수(수리전도도, 투수량계수, 저류계수)를 구하였다. 시험공은 모두 금정산성내에 위치하고 있으며, 금정산성의 동문, 서문, 남문, 기도원을 기준으로 동문지역(KJ6, KJ17, KJ18, KJ19호공), 서문지역(KJ1, KJ2, KJ2-1, KJ3호공), 남문지역(KJ7, KJ8, KJ12, KJ20, KJ21, KJ22호공), 기도원지역(KJ4, KJ14, KJ15, KJ16, KJ23호공)으로 구분하였다.

### 2. 지질 및 수리지질

금정산의 지질은 중생대 백악기 경상누층군 유천층군에 속하는 안산암질암류, 불국사화강암류에 속하는 화강섬록암, 각섬석화강암, 토날라이트, 아다멜라이트로 이루어져 있다.

본 연구지역은 부산의 동부와 서부를 갈라놓으면서 북북동-남남서 방향으로 달리고 있는 금정산(해발고도 799.5m)이다. 금정산 지역의 서쪽에는 양산단층이 산줄기와 비슷한 방향으로 달리고 있으며, 동쪽에는 동래단층이 역시 비슷한 방향으로 달리고 있다. 또한, 금정산과

동래단층의 사이 지역인 동래구 온천동 지역에는 동래온천이 위치하고 있다. 이와 같이 금정산지역은 동래온천과도 관련을 가지는 특수한 지질환경 속에 있다.

### 3. 순간충격시험분석의 적용

#### 3.1. 분석 방법

순간충격시험은 2000년 1월 22일부터 1월 30일까지 직경 3"의 시추공 6공(KJ4, KJ14, KJ17, KJ18, KJ21, KJ22)과 직경 6"의 시추공 13공(KJ1, KJ2, KJ2-1, K3, KJ6, KJ7, KJ8, KJ12, KJ15, KJ16, KJ19, KJ20, KJ23)에 대해서 실시되었다. 시간에 따른 수위변화는 자동 수위측정기(미국 Telog사의 WLS-2102e)를 사용하여 1초 단위로 수위변화를 자동 계측하였다. 그리고 KJ2-1, KJ6, KJ19, KJ23호공에 대해서는, 최초 자연수위에 도달하였을 때, 슬러그를 물 속에서 순간적으로 들어올려서 하강된 수위가 원래의 자연수위로 회복될 때까지 역시 data logger를 사용하여 1초 단위로 수위변화를 자동 계측하였다.

순간충격시험자료는 C-B-P법, Hvorslev법, Bouwer & Rice법을 이용하여 분석하였으며, 분석을 위해서는 AQTESOLV(Version 2.51) 소프트웨어를 이용하였다. 순간충격시험분석 결과는 직경 3"의 시추공에서 회수된 시추코어검층자료와 연관하여 해석하였다.

#### 3.2. C-B-P법에 의한 수리상수 분석

C-B-P법에 의하면 투수량계수와 저류계수 그리고 수리전도도를 구할 수 있다. 전체 시험공에 대한 수리상수 산출결과를 보면, 투수량계수  $7.71 \times 10^{-6} \sim 9.91 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ , 저류계수  $1 \times 10^{-10} \sim 0.1$ , 그리고 수리전도도는  $1.24 \times 10^{-7} \sim 1.55 \times 10^{-5} \text{m}/\text{sec}$ 범위이며, 평균 투수량계수는  $1.87 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ , 저류계수는 0.055, 그리고 수리전도도는  $2.16 \times 10^{-6} \text{m}/\text{sec}$ 이다(Table 1). 투수량계수가 가장 높게 나타난 공은 동문지역에 위치하고 있는 KJ18호공이다(Fig. 1). 한편, 투수량계수가 가장 낮은 공은 남문지역에 위치하고 있는 KJ21호공이다(Fig. 1).

순간충격시험에서 구한 저류계수는 투수량계수나 수리전도도보다는 신뢰성이 낮다. 그 이유는 순간충격시험자료는 저류계수보다는 투수량계수에 훨씬 더 민감하기 때문이다(McElwee et al., 1995a). 이와 같은 저류계수의 불확실성은 순간충격시험에 관측공을 이용할 수 있다면 크게 개선될 수 있다(McElwee et al., 1995b).

#### 3.3. Hvorslev법

Hvorslev법에 의하여 전체 시험공에 대한 수리전도도를 산출해 보면,  $9.23 \times 10^{-8} \sim 2.30 \times 10^{-5} \text{m}/\text{sec}$ 이며, 평균값은  $3.95 \times 10^{-6} \text{m}/\text{sec}$ 이다(Table 1). 수리전도도가 가장 높게 나타난 공은 KJ1호공이다(Fig. 2). KJ1호공에서 시간에 따른 정규화된 수위하강곡선이 위로 오목한

모양을 가지는 경우(Fig. 2)는 저류성이 상당히 크다는 증거가 되며(Chirlin, 1989), C-B-P법으로 구한 저류계수(0.1)가 크게 나타나는 것과 일치한다.

### 3.4. Bouwer & Rice법

Bouwer & Rice법에 의하여 전체 시험공에 대한 수리전도도를 산출해 보면,  $7.82 \times 10^{-8} \sim 1.90 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 이며, 평균값은  $3.13 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 이다(Table 1). 이 방법에서도 Hvorslev법과 마찬가지로 수리전도도가 가장 높게 나타난 공은 KJ1호공이다. 한편, 가장 낮은 수리전도도는 KJ21호공에서 나타나는데 이것은 Hvorslev법과 C-B-P법에서 얻어진 결과와 같다. Bouwer & Rice법과 Hvorslev법에 의한 수리전도도값은 전체적으로 비슷하게 나타나며 이는 두 방법이 서로 비슷한 이론적 배경을 가지고 있기 때문이다.

### 3.5. 여러 가지 순간충격시험들에 의한 수리전도도 비교

C-B-P법과 Hvorslev법의 수리전도도를 비교하면(Fig. 3a), Hvorslev법으로 구한 수리전도도가 C-B-P법 보다 대체로 크게 나타난다. 이는 C-B-P법에서 구한 투수량계수를 수리전도도로 환산하는 과정에서 대수층의 두께에 대한 정보가 불충분하여 대수층의 두께를 과대 평가했을 가능성을 생각할 수 있다. 다른 가능성은 Hvorslev법에서 구해지는 수리전도도가 C-B-P법에 의해서 구해지는 수리전도도가 서로 다른 심도를 대표할 수 있다는 것이다. C-B-P법과 Hvorslev법에 의한 수리전도도의 상관계수는 0.7294이다(Fig. 4a).

한편, C-B-P법과 Bouwer & Rice법의 수리전도도를 비교하면(Fig. 3b), 역시 Bouwer & Rice법으로 구한 수리전도도가 C-B-P법 보다 대체로 크게 나타난다. Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도도 Hvorslev법과 마찬가지로 비교적 천부의 투수성을 대표하므로 앞의 경우와 비슷한 결과를 보여주는 것으로 판단된다. 투수성이 큰 매질에서 C-B-P법으로 구한 수리전도도는 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도보다 높게 나타나고, 투수성이 낮은 매질에서 C-B-P법으로 구한 수리전도도는 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도보다 낮게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Mas-Pla et al., 1997). C-B-P법과 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도의 상관계수는 0.7314로서(Fig. 4b), C-B-P법과 Hvorslev법에 의한 수리전도도의 상관계수와 비슷한 값을 나타낸다.

마지막으로 Hvorslev법과 Bouwer & Rice법의 관계를 보면(Fig. 3c), Hvorslev법으로 구한 수리전도도가 Bouwer & Rice법보다 약간 크게 나타나지만 거의 같은 값을 보여준다. 또한 Hvorslev법과 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도의 상관계수는 0.9850으로서, C-B-P법과 Hvorslev법에 의한 수리전도도의 상관계수나 C-B-P법과 Bouwer & Rice법에 의한 것보다 높다(Fig. 4c). 이것은 Hvorslev법과 Bouwer & Rice법에 의한 수리상수 계산 이론이 서로 비슷하기 때문이다.

### 3.6. 슬러그의 주입과 회수의 효과

앞에서 언급한 바와 같이, KJ2-1, KJ6, KJ19, KJ23호공에 대해서는, 슬러그를 주입한 후 자연수위까지 수위가 하강했을 때, 슬러그를 다시 회수한 후부터 수위가 자연수위까지 회복되는 것을 관찰하였다(Fig. 5). 그 결과, KJ19호공에서는 슬러그의 주입과 회수에 의한 시간에 따른 수위변화가 거의 동일하며, 슬러그 주입시의 수리전도도가 회수시의 수리전도도보다 약간 더 크게 나타나지만 슬러그 주입시나 회수시의 수리전도도가 큰 차이를 보이지는 않는다. 따라서, KJ19호공에서 슬러그 주입 및 회수시의 순간충격시험은 일반적인 이론과 대체로 잘 들어맞는다. 그러나, KJ2-1, KJ6, KJ23호공에서는 슬러그의 주입에 의한 시간에 따른 수위변화와 슬러그 회수에 의한 수위변화가 서로 다르며(Fig. 5), 따라서 슬러그 주입과 회수에 따른 수리전도도값도 서로 상당한 차이를 보인다.

KJ23호공을 보면, 시험공들의 평균 수리상수값보다 더 크게 나타나고 있으며, 슬러그 주입시의 수리전도도가 회수시의 수리전도도보다 더 크다. 이런 현상은 슬러그 주입시 슬러그 자체의 압력으로 인해서 공 주위의 균열대로 지하수가 더 용이하게 흐를 수 있기 때문으로 판단된다. 다른 가능성에 의하면 슬러그의 압력에 의해서 제거되었던 세립질 물질이 슬러그를 회수하면 스크린의 구멍을 막거나 시험공내에 쌓여서(Dax, 1987), 혹은 슬러그의 압력에 의해서 이동된 세립질 물질이 슬러그를 회수하면 시험공 주위의 균열 즉 지하수 통로에 침전되어서(Butler et al., 1996) 수리전도도가 감소할 수 있다.

KJ2-1호공과 KJ6호공을 보면, 슬러그 주입시의 수리전도도가 회수시의 수리전도도보다 더 작다. 이런 현상은 시험공 주위에 투수성 균열대의 발달이(인위적이든 자연적이든) 시험공에서 약간 떨어진 지역보다 더 작고 저류성은 반대로 더 높은 경우에, 슬러그의 주입시 슬러그의 압력이 있더라도 공 주위의 균열대로 지하수흐름이 원활하게 일어나지 못하고, 반면에 슬러그를 회수하면 시험공의 수위가 주변지역보다 떨어지므로, 시험공에서 약간 떨어진 상대적으로 투수성이 더 높은 지역으로부터 시험공쪽으로 흐름이 일어나기 때문으로 판단된다.

### 3.7. 수리적 성질의 지역적 분포특성

시험공의 수리적 특성을 동문지역(KJ6, KJ17, KJ18, KJ19호공), 남문지역(KJ7, KJ8, KJ12, KJ20, KJ21, KJ22호공), 기도원지역(KJ4, KJ14, KJ15, KJ16, KJ23호공) 그리고 서문지역(KJ1, KJ2, KJ2-1, KJ3호공)으로 구분하여 살펴보았다. 먼저, 동문지역을 보면, C-B-P법, Hvorslev법 그리고 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도의 산술평균값은  $4.21 \times 10^{-6} \sim 5.14 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 좁은 범위를 나타낸다. 기하평균값도  $2.25 \times 10^{-6} \sim 3.28 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 산술평균값과 비슷하게 나타난다. 그러나, 저류계수의 산술평균값은  $3.33 \times 10^{-2}$ 인 반면에 기

하평균값은  $1.09 \times 10^{-6}$ 로서 큰 차이를 보인다. 이는 시험공에 따른 저류계수값의 차이가 크기 때문이며, 저류계수값의 불확실성을 지시한다.

남문지역을 보면, C-B-P법, Hvorslev법 그리고 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도의 산술평균값은  $5.37 \times 10^{-7} \sim 1.14 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 동문지역보다는 큰 차이를 보인다. 그러나, 기하평균값은  $3.64 \times 10^{-6} \sim 5.21 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 비슷하게 나타난다. 저류계수의 산술평균값은  $4.84 \times 10^{-2}$ 인 반면에 기하평균값은  $1.23 \times 10^{-4}$ 로서 큰 차이를 보인다. 이는 시험공에 따른 저류계수값의 차이가 크기 때문이며, 저류계수값의 불확실성을 지시한다.

기도원지역을 보면, 역시 세 가지 방법에 의한 수리전도도의 산술평균값은  $8.97 \times 10^{-7} \sim 2.37 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 남문지역과 비슷한 범위를 보인다. 또한 기하평균값도  $7.21 \times 10^{-7} \sim 1.77 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 산술평균값과 비슷하게 나타난다. 저류계수의 산술평균값은  $4.46 \times 10^{-2}$ 인 반면에 기하평균값은  $2.19 \times 10^{-4}$ 로서 큰 차이를 보인다.

서문지역에서는 수리전도도의 산술평균값이  $2.09 \times 10^{-6} \sim 7.06 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ , 기하평균값은  $1.15 \times 10^{-6} \sim 4.14 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 로서 산술평균값과 기하평균값이 비슷하게 나타난다. 한편, 저류계수의 산술평균값과 기하평균값은 0.1로서 똑 같이 나타난다. 이는 시험공들 주변의 저류계수값이 균일함을 지시한다.

네 지역의 수리전도도를 서로 비교하면, 동문지역과 서문지역이 비교적 크게 나타나고, 기도원지역과 남문지역은 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이는 기도원지역과 남문지역에서는 천부에 투수성 균열대의 발달이 미약하거나 풍화산물, 불투수성 염기성 암맥 등 불투수성 매질로 인해서 낮은 투수성을 가지기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

부산 금정산지역의 19개 시추공에 행한 순간충격시험으로부터 화강암의 수리적 매개변수에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) C-B-P법, Hvorslev법, Bouwer & Rice법에 의해서 구한 수리전도도값은  $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{m/sec}$ 의 범위를 보이며, 평균값은  $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{m/sec}$ 의 범위를 보인다. 또한, 투수량계수는  $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{m}^2/\text{sec}$ 의 범위를 보인다.
- 2) C-B-P법, Hvorslev법, Bouwer & Rice법으로 구한 수리전도도를 서로 비교하면, Hvorslev법으로 구한 평균 수리전도도가 가장 크고, 다음으로는 Bouwer & Rice법, C-B-P법으로 나타난다. 이는 Hvorslev법과 Bouwer & Rice법이 천부의 수리상수를 구하는데 적합한 방법이며, 연구지역에서는 심부보다 천부에 투수성 균열대가 잘 발달되어 있기 때문이다.
- 3) Hvorslev법과 Bouwer & Rice법에 의한 수리전도도의 상관계수는 0.9850로서, C-B-P법과 Hvorslev법에 의한 수리전도도의 상관계수(0.7294)나 C-B-P법과 Bouwer & Rice법에

의한 상관계수(0.7314)보다 높다. 이것은 Hvorslev법과 Bouwer & Rice법이 서로 비슷한 이론적 배경을 가지고 있기 때문이다.

- 4) 이론적으로는 슬러그의 주입과 회수에 따른 수리전도도값의 변화가 일어나지 않는다. 그러나, KJ23호공과 같이 슬러그 주입시의 수리전도도가 회수시의 수리전도도보다 더 큰 경우는 투수성 균열대에 의해서 슬러그 주입시가 회수시보다 지하수 유동이 상대적으로 더 용이해지는 것으로 판단된다. 다른 가능성에 의하면 슬러그의 압력에 의해서 제거되었던 세립질 물질이 슬러그를 회수하면 스크린의 구멍을 막거나 시험공 주위의 균열에 침전되기 때문이다. KJ2-1호공과 KJ6호공과 같이 슬러그 주입시의 수리전도도가 회수시의 수리전도도보다 더 작은 현상은 시험공 주위에 투수성 균열대가 시험공에서 약간 떨어진 지역보다 더 작은 경우에 발생하는 것으로 판단된다.
- 5) 동문, 남문, 기도원, 서문지역의 수리전도도를 서로 비교하면, 동문지역과 서문지역이 비교적 크게 나타나고, 기도원지역과 남문지역은 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이는 기도원지역과 남문지역이 천부에 투수성 균열대의 발달이 미약하거나 풍화산물 또는 불투수성 염기성 암맥 등의 불투수성 매질로 인해서 낮은 투수성을 가지기 때문으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Bouwer, H. and R.C. Rice, A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, *Water Resour. Res.*, Vol.12, No.3, 423-428(1976).
- Bouwer, H., The Bouwer and Rice, Slug test—an update, *Ground Water* Vol.27, No.3, 304-309(1989).
- Butler, J.J., Jr., C.D. McElwee, and W. Liu, Improving the quality of parameter estimates obtained from slug tests, *Ground Water*, Vol.34, No.3, 480-490(1996).
- Chirlin, G.R., A critique of the Hvorslev method for slug test analysis: The fully penetrating well, *Ground Water Monitoring Review*, Vol.9, No.2, 130-138(1989).
- Cooper, H.H., Jr., J.D. Bredehoeft, and I.S. Papadopoulos. Respose to a finite diameter well to an instantaneous charge of water. *Water Resour. Res.*, Vol.3, 263-269(1967).
- Dax, A., A note on the analysis of slug tests, *Jour. Hydr.*, Vol.91, 153-177(1987).
- Hvorslev, M.J., Time lag and soil permeability in ground water observations, U. S. Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, Bulletin 36(1951).
- Mas-Pla, J., T.-C.J. Yeh, T.M. Williams, and J.F. McCarthy, Analyses of slug tests and hydraulic conductivity variations in the near field of a two-well tracer experiment site,

- Ground Water Vol.35, No.3, 492-501(1997).
- McElwee, C.D., G.C. Bohling, and J.J. Butler, Jr., Sensitivity analysis of slug tests. Part 1. The slugged well, Jour. Hydr., Vol.164, 53-67(1995a).
- McElwee, C.D., G.C. Bohling, and J.J. Butler, Jr., Sensitivity analysis of slug tests. Part 2. Observation wells. Jour. Hydr., Vol.164, 69-87(1995b).
- Nguyen, V. and G.F. Pinder, Direct calculation of aquifer parameters in slug test analysis, In Groundwater Hydraulics, J. Rosenshein and G. D. Bennett(eds.), American Geophysical Union Water Resour. Monogr. No.9, 222-239(1984).
- Papadopulos, I.S., J.D. Bredehoeft, and H.H. Cooper, Jr., On the analysis of "slug test" data. Water Resour. Res., Vol.9, 1087-1089(1973).

Table 1. Hydraulic parameters obtained by slug test analyses.

Area	Well Number	K(m/sec) by B.R	K(m/sec) by H	T(m <sup>2</sup> /sec) by C-B-P	K(m/sec) by C-B-P	S by C-B-P
Seomoon	KJ1	<b>1.90E-05</b>	<b>2.30E-05</b>	5.39E-04	6.74E-06	1.00E-01
	KJ2	1.85E-06	2.15E-06	4.22E-05	5.02E-07	1.00E-01
	KJ2-1 *	1.23E-06	2.46E-06	4.24E-05	5.05E-07	1.00E-01
	KJ2-1 **	1.44E-06	6.00E-06	1.81E-04	2.15E-06	1.00E-01
	KJ3	1.46E-06	1.67E-06	5.31E-05	5.36E-07	1.00E-01
Gidowon	KJ4	2.22E-06	2.65E-06	7.10E-05	1.15E-06	1.11E-02
	KJ14	1.04E-07	1.22E-07	8.75E-06	1.68E-07	1.70E-07
	KJ15	2.32E-06	2.83E-06	6.54E-05	9.76E-07	6.08E-02
	KJ16	2.05E-06	2.57E-06	7.71E-05	1.10E-06	9.54E-02
	KJ23 *	5.94E-06	7.17E-06	1.40E-04	1.56E-06	1.00E-10
	KJ23 **	1.58E-06	1.83E-06	3.93E-05	4.37E-07	1.00E-01
Dongmoon	KJ6 *	3.62E-06	4.11E-06	3.88E-04	2.96E-06	1.00E-01
	KJ6 **	8.23E-06	1.08E-05	8.68E-04	6.63E-06	1.00E-01
	KJ17	1.50E-06	1.78E-06	2.24E-04	3.39E-06	1.00E-10
	KJ18	1.09E-05	1.29E-05	<b>9.91E-04</b>	<b>1.55E-05</b>	5.26E-07
	KJ19 *	5.20E-07	6.26E-07	1.13E-04	1.24E-06	1.00E-10
	KJ19 **	5.09E-07	6.13E-07	8.80E-05	9.67E-07	3.21E-08
Nammoon	KJ7	2.17E-07	2.55E-07	2.99E-05	1.90E-07	2.48E-04
	KJ8	4.60E-06	4.99E-06	1.99E-04	1.17E-06	1.00E-01
	KJ12	5.23E-07	6.04E-07	1.78E-05	1.78E-07	9.00E-02
	KJ20	1.65E-07	2.01E-07	2.45E-05	4.15E-07	1.00E-10
	KJ21	<b>7.82E-08</b>	<b>9.23E-08</b>	<b>7.71E-06</b>	<b>1.24E-07</b>	1.57E-07
	KJ22	1.24E-06	1.41E-06	8.24E-05	1.14E-06	1.00E-01
Max.		<b>1.90E-05</b>	<b>2.30E-05</b>	<b>9.91E-04</b>	<b>1.55E-05</b>	1.00E-01
Min.		<b>7.82E-08</b>	<b>9.23E-08</b>	<b>7.71E-06</b>	<b>1.24E-07</b>	1.00E-10
Arithmetic mean		3.10E-06	3.95E-06	1.87E-04	2.16E-06	5.47E-02
Geometric mean		1.35E-06	1.73E-06	8.43E-05	9.91E-07	1.79E-04
Median		1.50E-06	2.15E-06	7.71E-05	1.10E-06	9.00E-02
* : injection. ** : withdrawal						



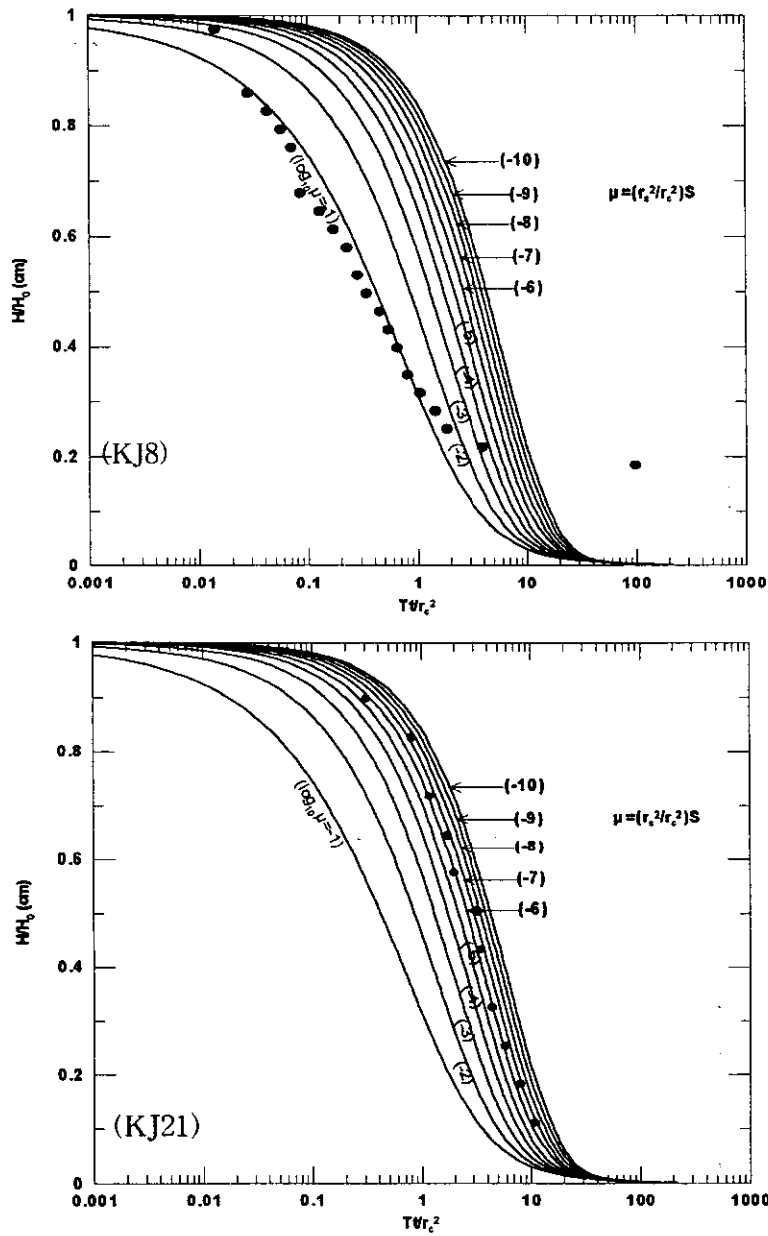


Fig. 1. Slug test analysis by the C-B-P method at KJ18 and KJ21.

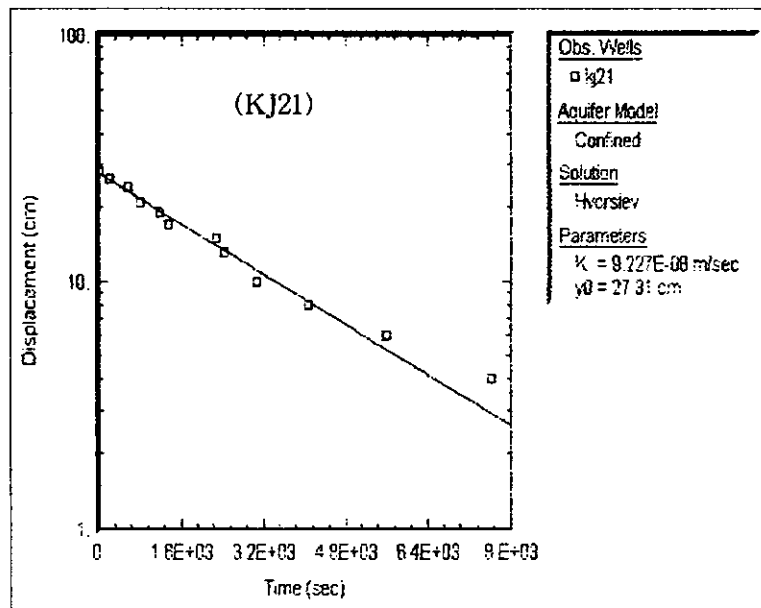
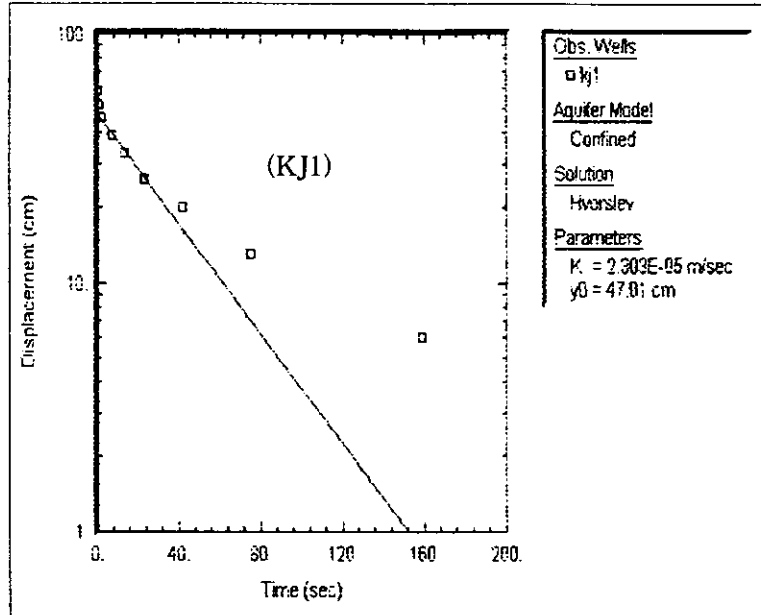


Fig. 2. Slug test analysis by the Hvorslev method at KJ1 and KJ21.

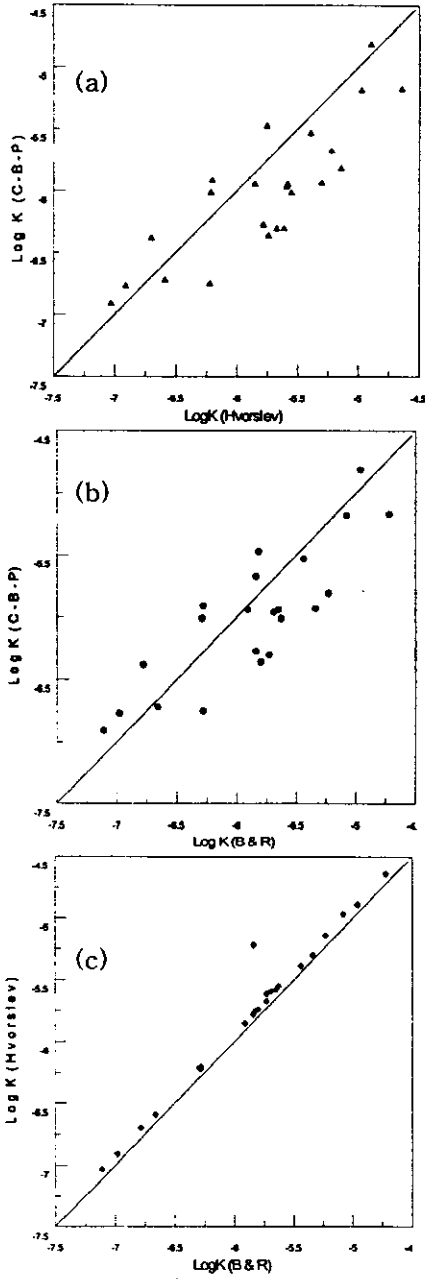


Fig. 3. Comparison of K values obtained by the C-B-P, the Hvorslev and the Bouwer & Rice methods.

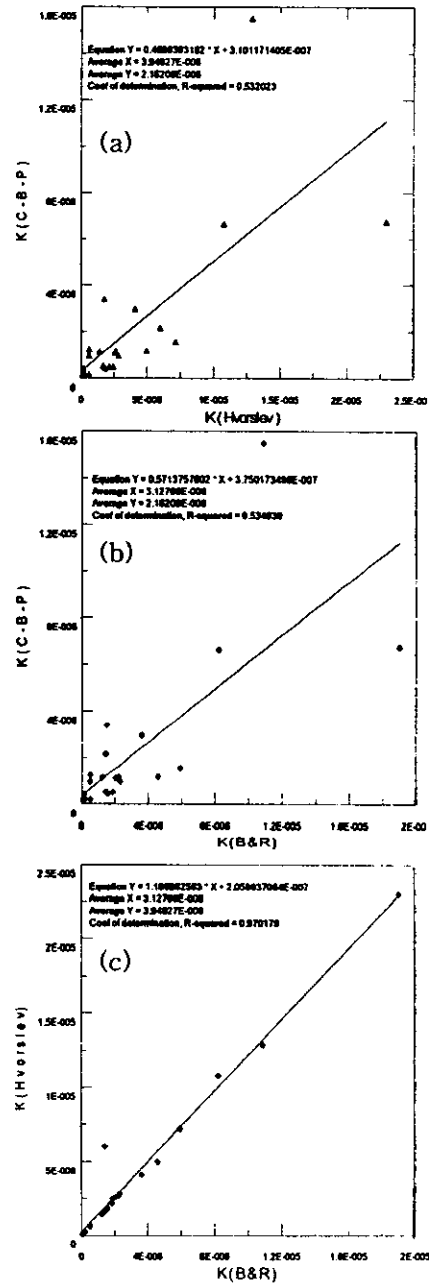


Fig. 4. Relation of hydraulic conductivity estimates among the C-B-P, the Hvorslev and the Bouwer & Rice methods.

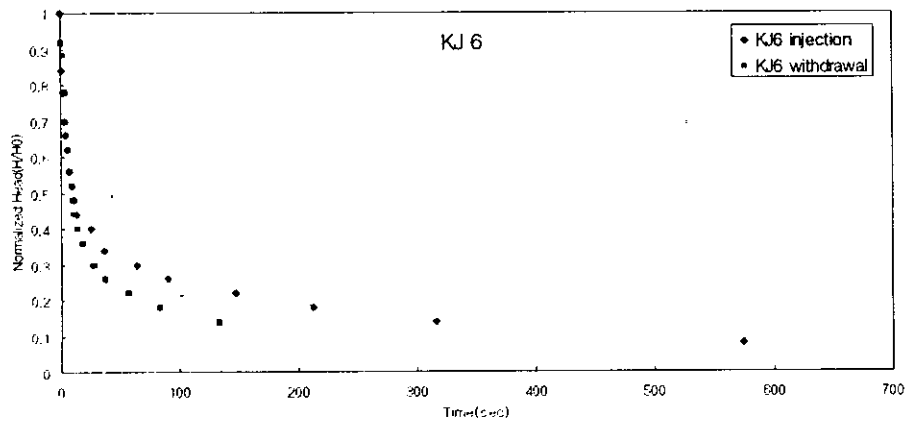
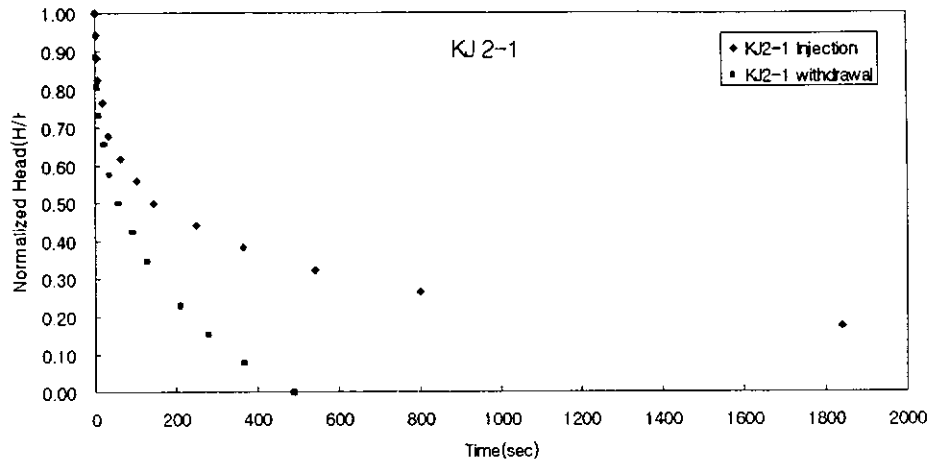


Fig. 5. Normalized head versus time for a series of coupled injection and withdrawal slug tests at the wells KJ2-1, KJ6, KJ19 and KJ23.

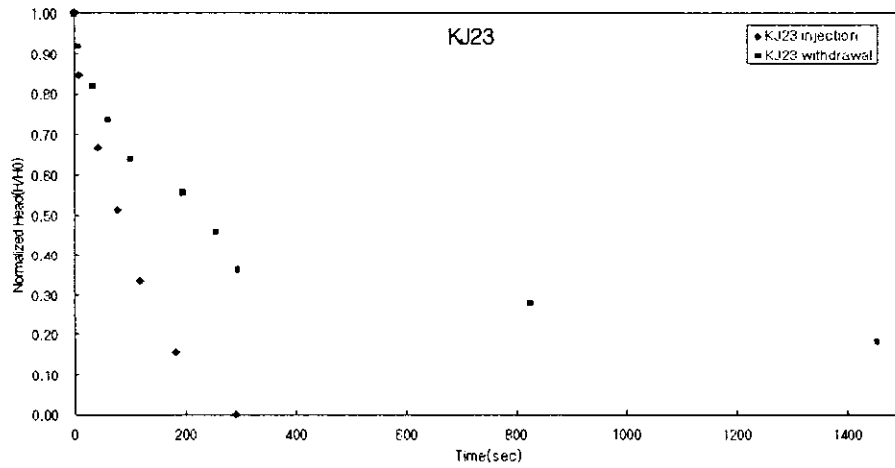
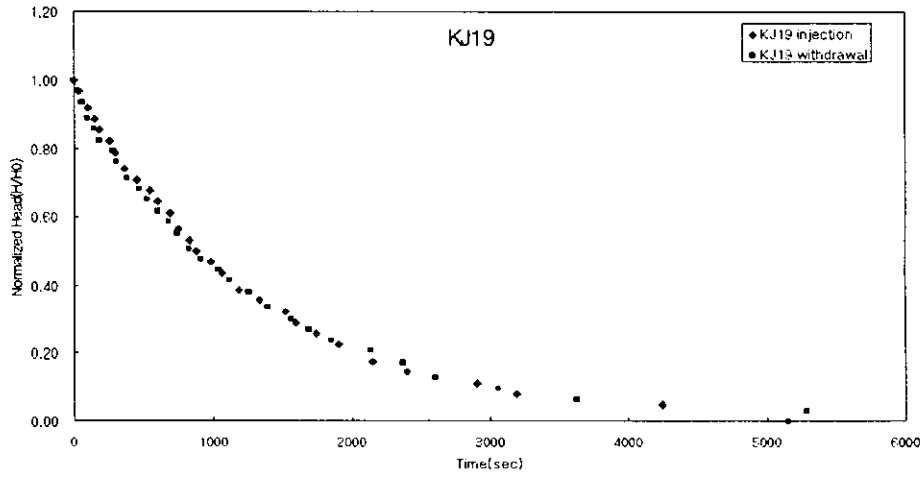


Fig. 5. Continued.