

## 멀티 패커를 이용한 순간충격시험에서 screen 길이가 수리전도도 예측에 미치는 영향

이항복, 지성훈, 고용권, 최종원  
한국원자력연구원, 대전광역시 대덕대로 1045 (덕진동 150-1)  
hblee@kaeri.re.kr

### 1. 서론

순간충격시험은 좁은 대수층 지역의 수리전도도를 측정하기 위한 효과적인 방법이다. 이 방법은 특히 양수량을 일정하게 유지하기 어려운 낮은 투수성을 가지는 암반 대수층에서 더욱 유용하게 사용될 수 있다. 복잡한 구조를 가지는 암반 대수층 내에서 수리전도도의 공간적 분포를 자세하게 파악하기 위해서 더블 패커를 이용한 멀티 레벨 순간충격시험이 많이 수행되고 있다. 이 때 패커 사이의 간격은 보통 대수층으로부터 지하수의 흐름이 이뤄지는 스크린 구간의 길이와 동일하게 평가된다. 그러나 특정한 멀티 패커 시스템의 경우에 패커 사이의 간격보다 실제 스크린의 길이가 상당히 짧은 상태를 보인다. 이 경우에 좁은 스크린을 통해 지하수가 빠르게 흐르면서 예기치 않은 비선형 흐름을 만들 수 있고 이것이 순간충격시험의 반응에 영향을 미치고 수리전도도를 예측하는데 불확실성을 증가시킬 수 있다. 이러한 영향은 물의 흐름속도가 빠를 때 극대화될 수 있기 때문에 투수성이 좋은 대수층에서 보다 분명히 나타날 수 있을 것으로 보인다.

본 논문에서는 짧은 스크린 구조가 멀티 패커 시스템을 통한 순간충격시험의 수리전도도 예측에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 관해 다루었다. 먼저 비선형 흐름에 대한 효과가 기존의 순간충격시험 해석 모델에 반영되어 수정 모델을 만들었다. 이를 실제 현장 시험 반응에 적용하여 그 타당성을 입증하고 기존의 선형 해석 모델을 이용하여 결과 값을 비교 분석하였다.

### 2. 본론

높은 투수성을 가지는 대수층에서 순간충격시험 반응을 해석하기 위한 기존 모델에 짧은 스크린 구간을 통과할 때 발생할 수 있는 비선형 흐름의 효과를 베르누이 방정식을 이용해 수정 모델을 유도하였다. 이를 verification하기 위해 실제

순간충격시험이 시행되었다. 연구지역은 경기변성암 복합체 내에 위치하며 주로 선캄브리아기의 편마암류와 중생대의 화강암으로 구성되어 있고 3-11m 정도의 층적층으로 덮여 있다. 암반은 전체적으로 크게 풍화되지 않은 상태이고, 몇몇 유동성 단열들이 불규칙하게 분포하고 있다. 연구지역에는 수리지질학적 특성을 파악하기 위해 Fig. 1과 같이 10개 이상의 시추공이 다양한 깊이와 크기로 설치되어 있다.

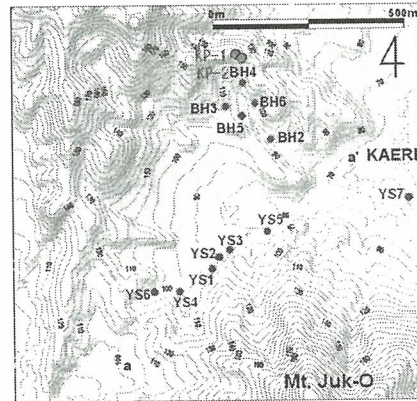


Fig. 1. Well field of the study area.

이 중 YS-4 시추공에서 시험이 시행되었는데 YS-4 시추공은 총 깊이가 350 m이고 공의 직경은 0.076 m이며 스크린과 케이싱의 직경은 각각 0.044, 0.026 m이다. 본 연구에서 사용된 멀티 패커 시스템은 패커와 측정부분, 케이싱, 펌핑 포트 구성 되어 있으며 interval을 자유롭게 변화시키면서 시험할 수 있다. (246 - 264 m)구간에서 순간충격시험이 실시되었고 이 구간의 수위는 지표보다 약 3.8 m정도 높은 자분정이었다. 따라서 지표 위에 투명 아크릴 관을 제작하여 시추공 상부와 수리적으로 단절 후 연결을 하여 순간적으로 수위가 회복하도록 하고 그 반응을 자동수위 측정기를 통해 관찰하였다. 자동수위 측정기의 위치는 최대한 안정수위에 가깝게 하였는데 둘 사이의 위치 차이가 심하게 되면 반응의 실제 값이

왜곡될 수도 있기 때문이다. 0.711, 1.089, 1.847, 2.988m의 다양한 수위변화를 주면서 측정 오차를 줄이기 위해 각 경우마다 몇 번의 실험을 반복 수행하였다.

Fig. 2는 네 가지 수위변화에 따른 순간충격시험의 반응을 나타낸 것이다. 가속 효과에 의한 극초반의 약한 불규칙성을 제외하고는 모든 경우가 진동하는 형태를 보였고, 이는 기존의 연구에 의하면 높은 투수성을 지니는 대수층에서 주로 발견되는 현상이다. 그러나 경향을 비슷하지만 각 경우에서 진동 폭의 차이를 보인다. 수위 변화가 작을수록 반응의 진동 폭은 더 큰 것을 관찰할 수 있다. 만약 비선형적인 과정이 관여되지 않았다면 normalized된 순간충격시험의 반응은 모든 수위 변화의 경우에서 일치해야만 한다. 그러므로 반응 그래프를 통해서 이 지역의 수리 반응은 비선형적인 현상에 의해 영향을 받고 있고 이는 데이터 분석에 영향을 미칠 수도 있음을 암시한다.

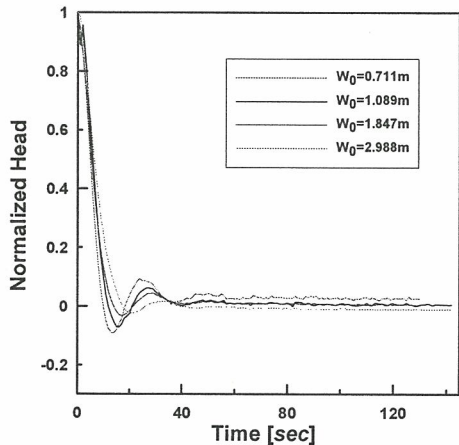


Fig. 2. Normalized head responses for the slug tests at 246-264m depth in YS-4 well with the initial displacements: 0.711, 1.089, 1.847, and 2.988m.

Fig. 3은 본 논문에서 유도된 수정 모델과 기존의 선형 해석 모델을 현장에서 얻은 순간충격시험 반응에 적용한 그래프이다. 두 경우 모두 대체적으로 반응과 잘 맞는 것을 볼 수 있고, 두 번째 진동 반응과는 약간의 차이를 보인다. 수정 모델을 통해서 추정된 시험 구간의 수리전도도는 약  $4.62 \times 10^{-6} \sim 6.01 \times 10^{-5}$  m/s 의 값을 보여준다. 기존의 선형 해석 모델을 통해서서는  $3.64 \times 10^{-6} \sim 4.03 \times 10^{-5}$  m/s 의 수리전도도값을 구하였다. 같은 수위 변화의 경우로 비교해 보았을 때, 수정 모델을 통해 얻은 수리전도도값이 최대 50% 정도 더 크게 나타

나는 것을 확인할 수 있었다. 짧은 스크린을 통해서 지하수가 빠르게 흐르게 되고 이에 따라 발생한 비선형흐름은 비선형적 수두 손실을 일으켜 이 같은 경우에 실제 수리전도도보다 더 낮게 나타날 수 있다. 따라서 이러한 효과가 고려된 수정 모델에서 추정된 보다 높은 값이 수리전도도가 실제 연구 지역의 수리전도도를 잘 반영한 것이라 할 수 있다.

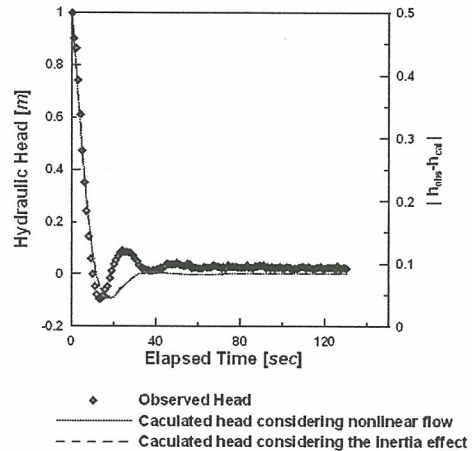


Fig. 3. Type curve matching of the slug test results with the initial displacement of 0.711m.

### 3. 결론

본 연구에서 멀티 패커 시스템을 통한 순간충격시험에서 패커 구간에 비해 스크린이 매우 짧은 경우에 수리전도도에 어떠한 영향일 미칠 것인가에 관해 수정 모델을 통해 고려하였다. 암반 대수층에서 다양한 순간충격시험이 시행되었고 그 결과를 이용해 효과 정도를 평가하였다. 수정 모델을 통해 얻은 수리전도도가 기존의 선형 해석 모델을 통해 얻은 값보다 전체적으로 큰 값을 보였는데 이는 짧은 스크린을 통한 비선형 흐름의 효과로 인한 수두 손실을 반영했기 때문으로 판단할 수 있다. 따라서 스크린 구간과 패커 구간이 일치하지 않는 시스템의 경우에는 이러한 비선형적 흐름에 의한 수두 손실의 영향을 고려하여야 할 것이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.