

다중패커시스템을 활용한 결정질 암반의 수리 특성연구

Study on the hydraulic properties of crystalline rock using Multi-Packer system

이진용*, 김경수**, 박경우***, 유시원****, 한운우*****

Jin Yong LEE, Kyung Soo KIM, Kyung Woo PARK, Si Won RYU, Woon Woo HAN

요 지

다중패커시스템은 격리된 어느 특정 구간의 지하수를 채수할 수 있으며 그 구간의 온도, 압력 등의 자료를 연속적으로 관측할 수 있어 이를 통해 각 구간별 수리전도도를 구할 수 있다. 심도별 수직적 지하수두는 지상에서 연결 룯드를 통해 압력 측정 센서를 해당 심도까지 내려 룯드에서 설치된 압력 측정용 장비에서 관측할 수 있으며, 다중패커시스템을 이용한 수리시험으로는 양수시험, 순간충격시험, 간섭시험 등이 있는데, 본 논문에서는 순간충격시험을 이용한 결과를 제시하였다. 도출된 구간별 수리전도도를 다중패커시스템을 설치하기 전 나공에서 이중 패커를 이용한 정압주입시험의 결과와 비교하여 보았다.

다중패커시스템을 통해 획득된 심도별 지하수두는 정수두 (hydro-static)상태의 일정한 경향성이 없이, 각 심도에 존재하는 투수성 구조에 영향을 보이고 있음을 알 수 있었으며, 이는 다수의 관측공을 통해 수평 방향의 수리경사를 산출함에 있어 관측공의 심도에 대한 충분한 고려가 있어야 한다고 판단된다. 또한, 다중패커시스템을 이용한 수리시험 결과를 나공 상태에서 이중 패커를 이용한 정압주입시험 결과에 대해 심도별 도출되는 수리전도도가 국지적으로 분포하는 투수성 구조에 영향으로 인해 투수량계수 (transmissivity)로 환산한 유효 투수계수로 비교하여 결정질 암반의 수리 특성으로 제안하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 다중패커시스템, 결정질 암반, 지하수, 순간충격시험, 수리전도도, 투수량계수

* 대전대학교 토목공학과 석사과정-E-mail : jinyong@kaeri.re.kr
** 한국원자력연구원 고준위폐기물처분연구부 책임연구원. E-mail : kskim@kaeri.re.kr
*** 한국원자력연구원 고준위폐기물처분연구부 선임연구원-E-mail : woosbest@kaeri.re.kr
**** 벽산 엔지니어링(주)-E-mail : siwonryu@hanmail.net
***** 정회원대전대학교 토목공학과 · E-mail : wwghan.dju.ac.kr

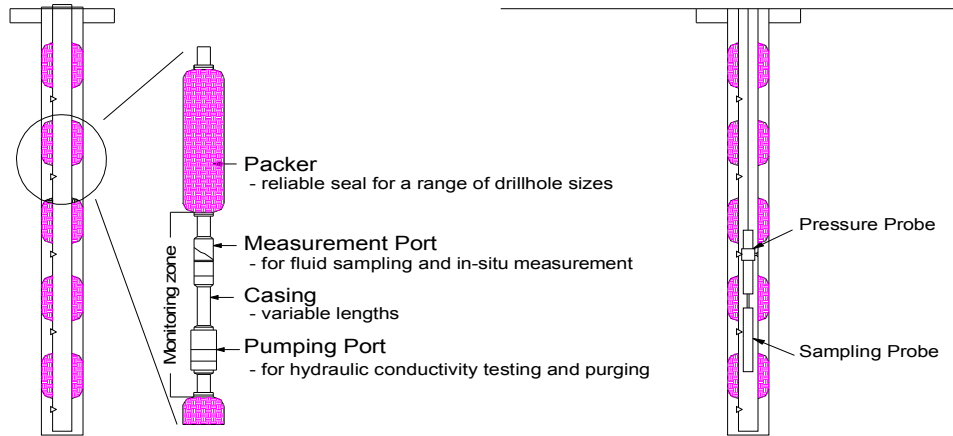
1. 서론

환경부에 따르면 2000년말 기준 우리나라의 폐기물 매립시설은 총 306개소로 총 매립지 면적 29,989,682 m^2 , 총 매립용량은 416,174,818 m^3 이다. 매립용량 기준으로 수도권매립지는 전체의 약 69%를 차지하는 대단위 매립지이며 이외에도 매립용량 500만 m^3 이상인 매립지 4개소를 포함하여 100만 m^3 이상인 매립지는 33개소가 현재 운영중에 있다. 전체적으로 121백만 m^3 가 매립되어 있으며 잔여 매립량은 295백만 m^3 이다(환경부). 이러한 생활 폐기물 처분장 및 유류비축기지, 식품저장소, 등 지하공간 이용산업의 확대가 점차 늘어가고 있다. 이에 따라 그동안 무관심했던 수자원에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 특히 오염정도가 많이 진행된 지표환경에 비해 강우에 의한 지하수 함양과 함양지로부터 배출지로부터 지하수 이동에 대한 관심이 증가하고 있다. 강우에 의한 함양 혹은 지하에서 지하수 이동은 상부 충적층을 구성하고 있는 토양의 수리전도도 및 토양층 하부 영역에 대한 수리 특성과 토양층 하부 영역에서 지하수가 대수층을 통해 이동할 수 있는 유동력을 제공하는 수리경사와 관련이 있다. 이러한 수리전도도 및 수리경사를 산출하기 위해 관측용 시추공을 통하여 지하수위 관측과 시추공을 이용한 현장 수리시험을 이용하게 된다. 여기서 대수층의 수리특성은 단일 패커나 이중 패커를 이용하여 하나의 시추공에서 현장 수리시험을 통해 도출이 가능하지만, 수직 방향의 수리경사는 다수의 다른 심도를 갖는 관측용 시추공이 있어야 깊이별 지하수두 값에 대한 정의가 가능하기 때문에 경제적으로 많은 비용이 소요되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 관심 영역을 심도에 따라 격리하여 본 연구원 내 결정질 암반의 지하수두 관측과 현장 수리시험을 수행할 수 있는 다중패커시스템을 설치하여 실험하였다. 각 구간은 단열의 빈도가 달라 구간별로 다른 값을 보이며 다중패커시스템 설치 전 일반 나공상태에서의 단일패커나 이중패커를 이용한 주입시험의 수리전도도값과 심부 시추공에 대한 지역의 특성, BHTV, 텔레뷰어, 코어로그를 통한 분석을 했으며 구간의 단열빈도와 특성에 따라 패커를 설치하였다. 본 논문에서는 이러한 단열빈도와 특성에 따라 설치된 다중패커시스템을 활용해 결정질 암반에서의 수리특성을 연구하고자 다중패커시스템 설치 전 수행했던 주입시험과 다중패커시스템을 설치후 순간충격시험을 수행하여 서로의 결과 값을 비교, 분석하였다.

2. 다중패커시스템(MP system)의 개요

다중패커시스템은 크게 패커부분과 계측부분으로 나눌 수 있다(그림 1). 패커부분은 패커, 측정포트(Measuring Port), 케이싱 및 양수포트(Pumping port)로 구성되며, 계측부분은 공내측정기와 시료채취기로 나눌 수 있다(그림 1). 패커의 재질은 수명이 50년 이상인 폴리우레탄이며, 각 패커는 설치심도에서 구간별로 수압을 이용해 개별적으로 내부압력을 조절함으로써 공벽에 밀착시킨다. 측정포트는 관측구간에서 공내측정기가 Multi Packer system 케이싱의 내부와 외부를 연결시켜주는 역할을 한다. 케이싱은 내경이 55mm인 PVC로 구성되며, 관측구간에 따라 연결길이를 자유로이 조절할 수 있다. Multi Packer system 설치완료 후, 공내측정 및 시료채취시 공내측정기가 심도를 확인할 수 있도록 자석고리 (Magnetic collar)를 설치하였다. 양수포트는 다량의 지하수위 상승 혹은 강하를 유도하여 양수시험, 순간충격시험, 간섭시험 등을 할 수 있고 지하수 시료채취 등 다양한 용도로 사용이 가능하다.

현재, 다중패커시스템으로 한국원자력연구원 내 폐기물 처분의 안정성을 고찰하기위해 설치된 결정질 암반 시추공에 대해 계절별 압력변화 및 온도를 계측하고 있고 각 구간별 시료를 채수해 화학분석 및 변화를 관찰하고 있다.



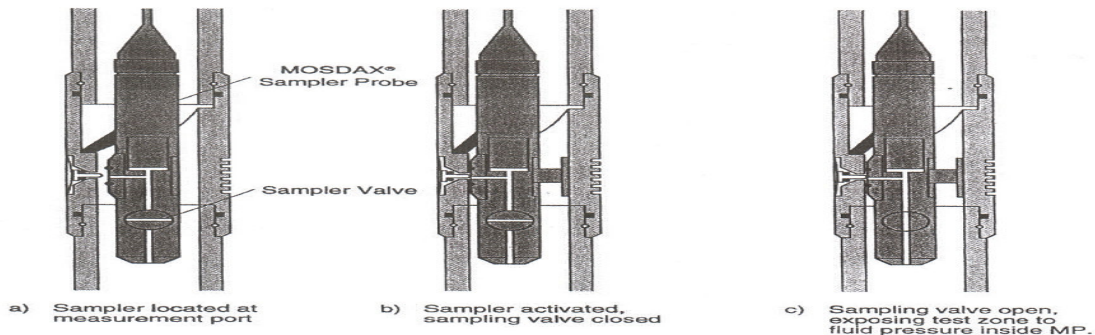
(그림 1) 다중패커시스템의 구조 (Westbay, Ltd., Canada)

3. 시험방법

수리시험은 굴진심도 500m의 시추공에 다중패커시스템을 설치하였다. 시스템 설치 전에 코어로깅, BHTV 및 주입시험을 통해 굴진심도 500m의 단열 빈도와 특성에 따라 구간을 나누었고, 각 구간의 방위, 기울기, 암질지수 및 수리전도도를 도출했다.

다중패커시스템을 활용한 결정질 암반의 저투수성 구간 수리특성은 소량의 유량계측만이 가능하고 마찬가지로 압력 변화 역시 둔감하므로 양수구를 이용하여 시험할 수 없다. 이런 구간의 시험은 동적인 시험이 요구되므로 본 논문에서는 저투수성 각 구간의 수두를 계측하기 위해 MOSDAX sampler prove (Westbay 제조사)를 이용하여 순간충격시험에 따른 결과값을 얻었다.

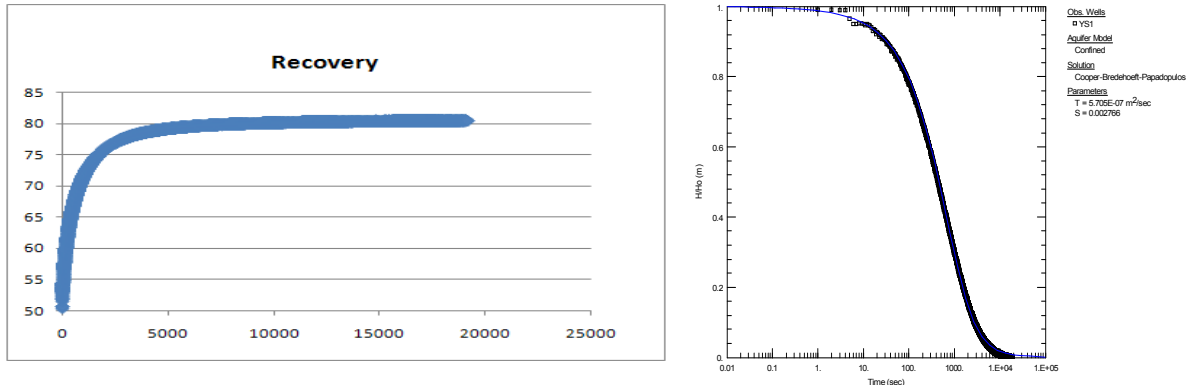
다중패커시스템을 이용한 순간충격시험(그림2)은 prove를 측정포트에 위치시키고 구간의 압력을 계측하며 구간의 압력이 완만하게 안정화가 됐을 때 prove를 이용한 지속적인 레코딩을 시작하고 prove 밸브를 개방하여 계측구간의 수두가 케이싱 내부의 수두에 노출되도록 한다. 일정 시간 동안 밸브를 개방상태로 유지시켜 계측구간의 수두를 낮추고 시간 경과 후 밸브를 폐쇄하여 압력의 시간 경과에 따른 회복 자료를 얻는다. 수리전도도 시험 데이터 분석은 가장 일반적으로 사용되는 방법중 각 계산법의 고유의 가정조건을 살펴보고, 수리시험 조건에 가장 적합한 계산법을 통해 해석 하였다.



(그림 2) prove의 압력측정

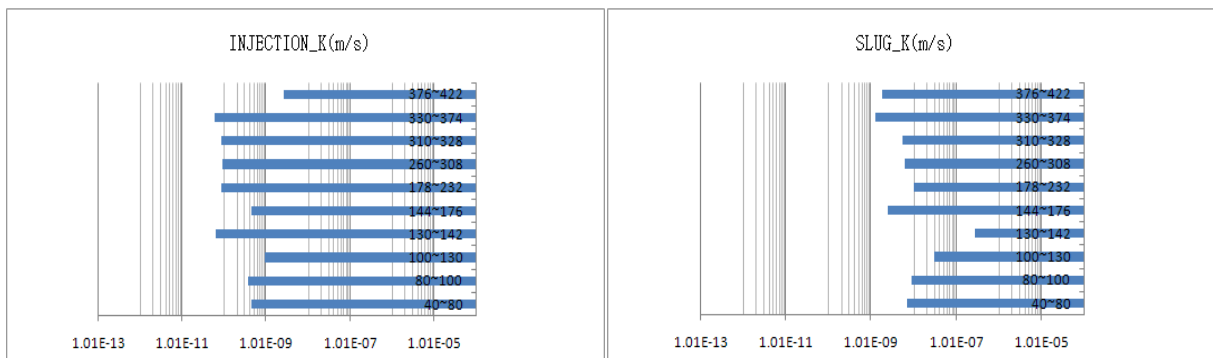
4. 시험결과

실험은 총 10개 구간을 하였으며 시간경과에 따른 압력회복 자료를 얻어 각 구간별 수리전도도 시험 데이터 분석은 각 계산법의 고유의 가정조건을 살펴보고, 수리시험 조건에 가장 적합한 Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos 계산법(Cooper et al., 1967)을 선택하여 결과를 도출했다(그림3).



(그림 3) 순간충격시험의 회복곡선 및 Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos의 해석결과 (Cooper et al.,1967)

각 구간의 순간충격시험을 수행하여 수리전도도의 값을 구한 결과를 다중패커시스템 설치 전 수행했던 주입시험의 결과값과 비교한 결과, 전 구간의 수리전도도 값은 주입시험보다 순간충격시험의 값이 비교적 크게 나왔다(그림 4). 주입시험에서는 각 구간별 수리전도도는 $1.0 \times E-09$ 에서 $1.0 \times E-11$ 의 값을 도출하고, 순간충격시험에서의 수리전도도는 $1.0 \times E-07$ 에서 $1.0 \times E-09$ 의 값을 도출해냈다. 다중패커시스템을 활용한 수리전도도를 연구한 결과 중 값이 가장 상이했던 130~142m 구간은 수리전도도 값이 크게 나온 결과로써 수리, 지질학적인 변동이 있던 것으로 판단된다. 주입시험과 순간충격시험의 수리전도도의 차이는 다중패커시스템을 설치하면서 지질적인 변동요인과, 계절적 요인, 환경적 요인, 실험방법에 의해 생긴 것으로, 값을 보정한 결과값이 필요할 것으로 판단된다.



(그림 4) 주입시험과 순간충격시험의 비교

5. 결론

다중패커시스템을 통해 획득된 심도별 지하수두는 정수두 (hydro-static)상태의 일정한 경향성이 없이, 각 심도에 존재하는 투수성 구조에 영향을 보이고 있음을 알 수 있었으며, 이는 다수의 관측공을 통해 수평 방향의 수리경사를 산출함에 있어 관측공의 심도에 대한 충분한 고려가 있어야 한다고 판단된다. 또한, 다중패커시스템을 이용한 수리시험 결과를 나공 상태에서 이중 패커를 이용한 정압주입시험 결과에 대해 심도별 도출되는 수리전도도가 국지적으로 분포하는 투수성 구조에 영향으로 인해 투수량계수 (transmissivity)로 환산한 유효 투수계수로 비교하여 결정질 암반의 수리 특성으로 제안하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

일반 수리시험은 대수층의 수리특성을 단일 패커나 이중 패커를 이용하여 하나의 시추공에서 현장 수리시험을 통해 도출이 가능하며, 수직 방향의 수리경사는 다수의 다른 심도를 갖는 관측용 시추공이 있어야 깊이별 지하수두 값에 대한 정의가 가능하기 때문에 경제적으로 많은 비용이 소요되는 단점이 있다. 이에 관심 영역을 심도에 따라 격리하여 장기간의 지하수두 자료에 대한 분석과 관심 영역의 수리시험 결과를 도출할 수 있는 다중패커시스템의 장점을 이용함으로써 경우에 의한 지하수 함양과 함양지로부터 배출지로부터의 지하수 이동에 대한 분야에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국원자력연구원 방사성 폐기물 기술개발부의 지원에 의해 수행되었으며 도움을 주신 많은 분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Cooper, H. H., Bredehoeft, J. D., and Papadopoulos, S. S.. 1967, Response of a finite-diameter well to an instantaneous change of water, Water Resources Research, Vol. 3, No.1, pp.263-269