

Televiwer에서 관찰되는 단열특성과 수리진도도와의 상관관계 분석

박경우, 배대석, 김경수, 고용권

한국원자력연구소

woosbest@kaeri.re.kr

ABSTRACT

The flow of groundwater in fractured medium is related to the geometric characteristics of the fracture system. And a fracture aperture and a fracture density are considered as important factor concerning the permeability. Data acquisition of the properties of fracture such as aperture and density is so difficult and has uncertainty. We also cannot know the fracture characteristics through the in-situ tests. We usually obtain the fracture information from a ultrasonic scan logging or borehole television indirectly. Using the deduced results, we can make the fracture system and simulate the groundwater flow and solute transport in the crystalline rock.

This study aimed to analyze the correlation between the properties of fracture and hydraulic conductivities obtained at the same interval. The properties of fracture are examined by acoustic televiwer and hydraulic conductivities are obtained by constant pressure injection test. The distributioin of fracture width and fracture frequency shows the log-normal probability plot. And, Results of correlation analysis explain that opened type fractures have proper relation with hydraulic conductivity. But, as though there are semi-opened type fractures or closed type fractures, those have the permeable structure.

Key words : fracture properties, hydraulic conductivity, televiwer logging, constant pressure injection test

1. 서 론

고준위방사성폐기물 처분장의 안전성 평가를 위한 수리지질환경 특성 규명은 지표 및 천부지하 환경 뿐만 아니라 심부환경이 포함된다. 실제로 고준위 방사성폐기물이 처분될 영역은 심부 지하 영역으로 초점이 맞춰지며, 심부지질환경의 특성 규명은 고준위방사성폐기물 처분의 주요 과제가 된다. 이에 한국원자력연구소에서는 우리나라의 대표적 결정질 암반인 쥐라기 화강암 중, 강원도 고성지역의 화강암과 대전 유성지역의 화강암을 선정하여 이에 대한 심부 시추조사 및 장기적 모니터링을 통한 방사성폐기물 처분관련 연구를 수행하고 있다. 이들 지역은 우리나라의 지형특성이 고려되어 영서형과 영동형으로 구분된 2개의 지역이며, 처분장의 요건으로 복잡한 지질환경을 보이지 않으면서 규모가 비교

적 큰 단일암종을 대상으로 선정되었다(한국원자력연구소, 2003). 이 중 유성지역은 행정구역상 대전시 유성구 한국원자력연구소내 부지가 중심이 되며, 본 논문에서는 대전 유성지역 화강암반의 단일 특성과 수리전도도와의 상관관계를 제시하였다.

2. 본 론

가. 연구지역 및 방법

고준위방사성폐기물 처분을 위한 심부지질환경 특성 연구의 일환으로 한국원자력연구소내 부지에 14개의 시추공을 굴착하였다(그림 1). 본 연구는 14개의 시추공 중 YS 관정군에서 수행한 현장 조사자료를 바탕으로 초음파 주사검층 결과 도출된 시추공의 단일특성 및 현장수리시험에서 획득한 수리전도도와의 상관관계에 대한 분석을 목적으로 한다. 결정질 암반에서 지하수의 흐름은 지하수의 유동로가 되는 단일 및 단일대를 통해 주로 발생하기 때문에, 구간별 단일의 폭과 단일빈도는 같은 구간에서 수행한 정압주입시험의 구간별 수리전도도와 상관성을 나타낸다고 예측된다. 따라서, 단일의 분포 특성과 수리전도도와의 상관관계 분석을 통해 시추공의 초음파주사검층 결과 분석되는 단일 특성을 이용하여 결정질 암반의 투수성 구간을 예측하는 한 방법으로 유용할 것으로 판단된다.

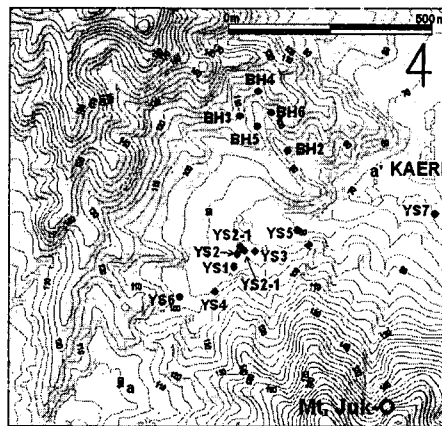


그림 1. 연구지역 및 시추공의 위치

나. 시추공 Televiewer 결과

연구지역의 시추공에서 실시한 초음파 주사검층 결과 주시 및 진폭이미지를 근거로 하여 관찰되는 단일들을 개구성 단일(Type 1), 반개구성 단일(Type 2), 폐쇄성 단일(Type 3)로 분류하여 구간별 단일의 폭을 단일 종류별로 확인하였다. 그 결과 깊이에 따라 불규칙한 양상을 보이며, 단일이 집중되는 구간을 중심으로 대수적으로 분포하고 있다. 또한, Type 1나 Type 2에 속하는 단일에 비해 Type 3에 속하는 단일의 폭의 크기가 크다는 것을 알 수 있다. 연구지역의 시추공에서 Televiewer를 통해 확인되는 단위 길이당 단일의 개수를 단일 빈도로 정의하여, 분포 양상 및 수리전도도와의 관계를 살펴보았다. 연구지역은 전체 시추공에서 단위 길이당 1.5~2개의 단일을 발견할 수 있을 정도로 파쇄가 발달한 결정질 암반이다. 시추공에서 확인된 단일을 이용하여 구간별 단일빈도를 도시해 본 결과 깊이에 따른 빈도의 증가나 감소의 규칙적인 양상은 보이지 않으며, 불규칙적인 분포형태를 나타낸다. 단일 빈도의 평균값은 1.695이고, 1.530의 표준편차를 보이며, 단일빈도의 누적분포는 대수정규분포를 나타내었다. 이는 단일 빈도가 큰 구간을 기준으로 집중적으로 단일이 분포하고 있음을 의미하여, 개개의 단일이 모여 단일대를 형성할 수 있음을 지시한다.

다. 현장수리시험

YS 관정군에서 일정구간별 정압주입시험을 실시하였다. 정압주입시험은 이중패커를 이용하여 구간별로 시행되었다(박경우 외, 2004). 연구지역에서 구간별 수리전도도는 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ m/sec로 화강암지역에서의 전형적인 수리전도도 값을 보였으며, 누적분포함수를 도시해 보았을 때, 정규분포나 지수분포보다는 대수정규분포를 따르는 것으로 분석되었다. 수리전도도의 평균값은 4.98×10^{-8} m/sec이고, 표준편차는 1.73×10^{-7} m/sec로 수리전도도 값에 비해 현저히 큰 값을 보여, 구간별 수리전도도 값의 편차가 크음을 알 수 있었다. 수리전도도의 중앙값은 3.92×10^{-10} m/sec (1st Quartile : 8.38×10^{-11} m/sec, 3st Quartile : 3.16×10^{-9} m/sec)로 평균값에 비해서 현저히 작은 값을 보였다.

라. 단열의 특성과 매질의 투수성에 대한 상관계수

단열 빈도와 단열폭의 크기에 대해 정압주입시험으로 구한 구간별 log K값과 비교한 상관성 분석을 실시하였다. 상관성 분석은 해당구간별 상관계수를 이용하였다(표 1). 전체 시추공에서 단열빈도는 log K 값과 0.563의 상관계수를 보여, 단열폭의 크기와 비교한 상관계수에 비해 높은 값을 나타내었다. 즉, 연구지역에서 수리전도도는 전체적으로 단열폭의 크기에 비해 단열빈도가 상관성이 높게 나타나는 것으로 분석된다.

표 1. 연구지역의 단열특성과 수리전도도와 상관계수

	All	YS-1	YS-2	YS-3	YS-4	YS-5	YS-6	YS-7
Frature Frequency	0.563	0.472	0.360	0.524	0.621	0.705	0.549	0.473
Log(Fracture width)	0.460	0.517	0.408	0.469	0.496	0.608	0.562	0.379
Fracture width	0.339	0.314	0.258	0.485	0.421	0.591	0.316	0.485

Televiewer 영상에서 단열을 세가지로 분류했을 때, 분류된 단열에 대한 구간별 단열폭의 크기와 구간별 수리전도도의 자연대수값과의 상관계수를 살펴보았다(표 2). YS-3, 4번 공을 제외한 전체 시추공에서 개구성 단열이 수리전도도와 가장 높은 상관관계를 보이며, 반개구성 단열은 YS-4 시추공에서, 폐쇄성 단열은 YS-3 시추공에서 높게 나타났다. 이는 투수성 단열이 개구성 단열에 주로 분포하고 있고, 반개구성 단열이나 폐쇄성 단열로 분류되는 단열은 개구성 단열에 비해 투수성 구조를 적게 가지고 있음을 의미한다. 그러나, 앞서도 설명했듯이 폐쇄성 단열폭의 크기가 개구성, 반개구성 단열폭에 비해 현저히 크기 때문에 단열군으로 형성될 경우 투수성 구조를 형성할 수 있는 가능성이 있으며, 개구성 단열 및 반개구성 단열에 속하는 단열군과 함께 존재할 경우, 매질의 투수성을 높이는 원인이 될 수 있다. 이는 YS-3번의 폐쇄성 단열과 수리전도도와 상관계수가 개구성단열 보다 더 큰 값을 보여주는 것으로 뒷받침된다. 결정질 암반에서 지하수 유동에 대한 해석을 할 때, 폐쇄성 혹은 반개구성 단열으로 보여지더라도 투수성 구조를 갖고 있으므로 이를 고려해야만 한다.

표 2. 연구지역의 단열과 수리전도도와의 상관계수

Fracture type	All	YS-1	YS-2	YS-3	YS-4	YS-5	YS-6	YS-7
Type 1	0.439	0.791	0.135	0.273	0.271	0.744	0.601	0.653
Type 2	0.121	0.249	0.111	0.014	0.516	0.421	-0.01 0	0.341
Type 3	0.032	-0.02 4	-0.07 0	0.359	0.395	0.425	-0.01 4	0.354

3. 결론

본 연구는 연구지역에서 심부지하수의 유동과 관련되는 단열폭의 크기 및 단열빈도에 대한 대표값을 확률밀도함수로 표현하고, 이들 인자가 단열 암반의 투수성에 미치는 영향을 분석하였다. 연구지역의 시추공에서 실시한 초음파 주사검층 결과 주시 및 진폭이미지를 근거로 하여 관찰되는 단열들을 개구성 단열, 반개구성 단열 그리고 폐쇄성 단열로 분류하였는데, 폐쇄성 단열에 속하는 단열의 폭의 크기가 개구성 단열과 반개구성 단열에 비해 각각 3.69배, 3.61배 큰 값을 보였다. 또한, 전체 시추공에서 단위 길이당 1.5개에서 2개의 단열을 발견할 수 있을 정도로 파쇄가 발달한 결정질 암반이다. 단열 빈도의 평균값은 1.695이고, 1.530의 표준편차를 보이며, 단열빈도의 누적분포는 대수정규분포를 나타내었다. 구간별 수리전도도는 $10^{-8} \sim 10^{-10}$ m/sec로 화강암지역에서의 전형적인 수리전도도 값을 보였으며, 누적분포함수를 도시해 보았을 때, 정규분포나 지수분포 보다는 대수정규분포를 따르는 것으로 분석되었다. Televiewer의 검층 결과와 비교해 볼 때, 주로 단열이 많이 분포하는 구간에서 수리전도도 값이 크게 나타났다.

구간별 단열폭 및 단열 빈도와 같은 구간에서 정압주입시험으로 구한 수리전도도 값은 대체적으로 단열폭의 크기와 수리전도도 값은 정비례하는 경향을 보여준다. 비록, 일부 시추공에서는 단열폭이나 단열빈도가 크게 나타나더라도 불투수성 매질로 간주되는 1.0×10^{-12} m/sec 이하의 수리전도도 값을 보이는 구간이 존재하지만, 단열폭과 단열빈도는 현장 조사 결과 매질의 투수성을 판단하는 일차적인 기준으로 적용될 수 있다고 판단된다.

4. 참고문헌

- 1) 박경우, 배대석, 김경수, 조성일, 2004, 대전유성지역 심부단열대의 연결성 확인, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회
- 2) 한국원자력연구소, 2003, 고준위폐기물처분기술개발, KAERI/RR-2333/2002, 과학기술부