

확률론에 기초한 암반 균열 모형 구축 연구

신현준¹⁾, 이대하²⁾, 민경덕³⁾, 우남철⁴⁾, 채병곤⁵⁾, 김원영⁶⁾

1. 서론

암반균열의 특성은 특히 터널, 사면의 안정성 검토 등의 공학적 분야 및 지하수 및 석유개발 분야에서 유동해석과 관련하여 많은 관심의 대상이 되고 있다. 전통적인 균열 연구는 지질학적인 관점에서 암반균열의 크기, 간격, 거칠기, 방향성 등의 인자에 대한 분석을 통해 각 균열인자에 대한 통계적인 모델을 수립하는 것으로서 흔히 균열의 방향성, 간격, 밀도, 크기의 추정, 충전 여부의 결정, 유체흐름 또는 안정성에 중요한 역할을 하는 대규모 균열 또는 단층의 인지 등에 대한 것이 대부분을 차지하였다. 그러나 이러한 균열 연구는 상호 교차하는 균열에 의한 균열망(network)의 분석이 결여되었다.

따라서 최근의 균열양상(fracture pattern)의 정량화기법은 각각의 개별적인 균열특성 보다는 균열망의 정량화 및 모사에 초점을 두고 지질과 암석역학을 통합하여 예측 가능한 모델을 제시하는 데 중점을 두고 있으며, 현대의 균열현상(fracturing)의 분석은 단순한 각 균열의 특성이 아닌 균열망의 역학적, 수리적 거동의 상호관계에 중점을 두고 있다(La Pointe, 1993). 이에 따라 본 연구에서는 경기도 남양주시 별내면 광전리에 위치한 5개 시추공을 중심으로 야외조사 및 시추조사를 통해 조사된 균열특성을 바탕으로 수직 및 수평적인 균열분포특성을 규명하고 이를 토대로 균열망 모형을 수립함으로써 추후에 수행될 지하수리연구의 기본 모델을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구의 목적은 노두 및 시추공을 통해 조사된 암반균열 특성자료로부터 확률적인 이론에 기초한 암반의 균열모형을 구성하는 데 있다. 연구를 위해 대상지역에 시추된 5개의 시추공으로부터 얻어진 초음파조사점층 및 코아로깅 자료를 토대로 균열의 심도별 밀도, 방향성, 틈거리, 간격 등의 분포특성을 유도하여 심도구간별 균열분포양상을 특성화하였다. 또한 인근 노두에서 축선법을 이용한 균열조사를 통해 얻어진 균열의 방향성을 시추공 자료와 대비하고, 균열의 연장성 및 균열간 상호 교차양상을 파악하였다.

통계적 모델의 설정에서의 기본적인 가정은 각 모사영역내의 균열이 통계적으로 균질하고, 공간적인 위치에는 독립적(stationarity)이라는 가정에 기초하며, 또한 방향성과 투수량계수(transmissivity)와 같은 균열특성이 독립적으로 분포한다는 가정에 의한 것이다. 따라서 모델 수립에 있어서의 가장 중요한 점은 통계적으로 각 균열의 특성이 균질하다고 판단되는 구간 즉, 통계적인 구조구(structural domain)의 설정이라 할 수 있다.

이에 따라 연구지역에서 조사된 균열의 방향성, 간격, 밀도 등의 균열특성의 심도에 따른 변화양상을 분석하여 구간설정에 기초자료로 이용하며, 특히 5개의 각 시추공에서 조사된 균열 상호간의 연결가능성을 확률적으로 분석하여 구간설정에 적용하였다. 설정된 모사구간에서 분석된 각 균열인자의 특성을 이용하여 공간적인 균열 밀도를 유도하여 균열모형을 수립하였다.

3. 본 론

시추공을 통해 조사된 균열의 심도에 따른 방향성 분포, 균열밀도, 연결도 분석결과 등을 토대로 연구지역의 3개의 심도별 균열구간을 설정하였다. 상부구간은 주로 1조의 균열이 발달하고 있으며 중부구간은 2조의 균열군이 발달하고 있다. 마지막 하부구간은 중부구간의 2조의 균열군에 더하여 1조의 균열이 나타나고 있는 구간으로 특성화될 수 있다. 이에 따라 노두 및 시추공을 통해 조사, 분석된 방향성, 연장성, 교차양상 등의 균열인자를 이용한 분리균열망(DFN, Discrete Fracture Network) 모델이 각 모사구간에 대해 구축되었다.

균열분포의 수직적인 변화양상에 더하여 수평적인 변화 역시 예측되었으나 수직 규모(약 100m)에 비하여 시추공간의 간격(약 10m)으로 나타나는 수평적인 규모는 상대적으로 제한적이므로 정확한 변화양상이 얻어질 수 없었다. 그러나 균열 모형의 구성에 있어서 각 모사구간에서 발생하는 균열에 대해 적어도 시추공과 교차하는 균열에 대해서는 conditioning을 통한 균열의 위치 및 방향성의 수정을 실시하여 수평적인 변화양상을 재현하였다. 이와 같은 DFN 모델은 조사된 균열의 기하특성 및 모사 결과의 상호 비교검토에 의해 검증될 수 있다. 그러나 이와 같은 구간(또는 구조구)별 모델수립은 균열분포가 통계학적으로 임의의 균질성을 갖는 영역내로 제한되기 때문에 연구지역의 전 시추심도를 통한 균열양상의 재현에는 적절하지 않을 수도 있다는 단점을 갖는다. 이러한 점을 보완하기 위해 전 시추심도에서 초음파 주사검층을 통해 열린균열(open fracture)로 파악된 균열 및 연결도 분석을 통해 파악된 상호 연결가능성이 있는 균열을 중심으로 통계적 모델을 설정하였다. 전체 시추심도인 약 100m 구간 중 약 80m 구간에 대해 모사영역을 설정하였으며 5개 시추공이 위치하는 반경 약 15m, 높이 약 80m 구간에 대해서는 연결도 분석을 통해 파악된 균열을 중심으로 조사된 균열특성을 부여하여 세부적인 모사를 실시하였으며 이 원통형 영역 외부로는 균열크기에 대한 Truncation 기법을 적용하고 균열밀도의 수직적인 변화양상을 반영하여 개략적인 모사를 실시하였다.

4. 결 론

각 개별 균열의 기하와 공간적인 분포에 기초한 분리균열망 개념 모델은 균열의 모든 분포특성을 가능한 한 정확히 조사하여야 한다는 점과 지구조적, 역학적인 개념이 결여되었다는 단점을 갖는다. 그러나 이러한 문제점에도 불구하고 이와 같은 모델은 지하수의 유동과 관련하여 균열망을 통한 투수성의 주 방향에 대한 광역적인 지시자, 유체의 이동(transmission)을 가능케 하는 상호 연결된 균열군의 형성여부, 암체를 통한 지하수 흐름 및 용질이동의 추적에 유용하게 활용될 수 있으며, 터널 굴착, 지하공간 개발과 관련된 암반의 역학적인 거동의 예측에도 적용 가능하다.

주요어 : 균열, 분리균열망모형(Discrete Fracture Network Model), 초음파주사검층, 구조구

- 1) 연세대학교 지구시스템학과
- 2) 한국지질자원연구원
- 3) 연세대학교 지구시스템학과 교수
- 4) 연세대학교 지구시스템학과 교수
- 5) 한국지질자원연구원
- 6) 한국지질자원연구원