Particle Flow Code 2D를 이용한 KAERI Underground Research Tunnel 및 가상의 연구시설에 대한 구조적 안정성 평가에 관한 연구

이창수, 전석원, 권상기*,
서울대학교, 서울특별시 관악구 대학동
*한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
cslee@snu.ac.kr

1. 서론

심지층 처분장은 고준위방사성폐기물을 생태계로부터 장기간 안전하게 격리시키기 위하여 대개 지하 500 m ~ 1000 m 깊이의 지하 심부에 건설된다. 발파에 의한 굴착으로 발생되는 암반손상대(Excavation Damaged Zone, EDZ)는 암반의 수리적, 역학적, 열적 특성을 변화시켜 처분장의 안정성에 영향을 미치기 때문에 방사성폐기물 처분장의 건설을 위한 설계과정에서 암반손상대의 영향을 평가, 분석하는 것은 매우 중요하다. 또한 고준위폐기물처분장과 같은 지하 암반구조물의 역학적 안정성은 주변 암반이 받고 있는 초기응력의 크기, 암반강도 그리고 단층이나 절리와 같이 암반 내에 존재하는 불연속면의 상태에 의해 좌우된다.

이에 본 연구에서는 암반손상대와 불연속면을 고려하여 한국원자력연구원 부지 내에 건설된 지하처분연구시설(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)에 대한 역학적인 안정성을 PFC2D를 이용하여 평가하였다.

2. 본론

2.1 지하연구시설(KURT)에서의 절리조사

지하연구시설(KURT)에서 절리면 측정이 이루어진 곳은 3개의 조사면으로 지하연구시설의 우측연구터널의 막장면과 좌, 우측 터널벽면에 해당한다. 조사 결과 실측 조사로 총 114개의 절리 자료를 얻었다. 조사된 총 실측 조사 정보를 통해 경사방향 235°, 경사 77° 를 갖는 절리군과 경사방향 284°, 경사 85° 를 갖는 절리군이 지배적으로 존재하고 있음을 확인하였다.

2.2 입력변수

본 연구에서는 윤정석(2007)이 제안한 미시변수와 거시물성간의 상관관계에 관한 식을 이용하여 암반의 물성을 결정하였다. 암반의 물성은 '지하처분연구시설(KURT)에서의 암석물성에 대한 특성 평가 보고서(2008)'를 참고하였다. 암반물성을 모사하기 위해 수치해석에서 사용된 미시변수는 아래의 표 1과 같다.

Table 1. Micro-parameters used in the simulation

Micro-parameter	Value
Ball radius (mm)	50
Max ball radius / min ball radius (-)	1.66
Ball density (kg/m^3)	2650
Ball-ball contact modulus (GPa)	54.0
Ball stiffness ratio (-)	2.7
Ball friction (-)	0.7
Contact-bond normal strength, mean (MPa)	66.0
Contact-bond normal strength, std (MPa)	25.0
Contact-bond shear strength, mean (MPa)	181.0
Contact-bond shear strength, std (MPa)	68.0

2.3 암반손상영역 물성

굴착으로 인해 발생하는 암반손상영역에서의 탄성계수와 일축압축강도는 암반물성의 약 50%의 값으로 가정하였고, 포아송 비의 경우 변화가 없는 것으로 가정하였다.

암반손상영역의 입자의 입력변수를 결정하기 위해 입자들의 물성값를 반복적으로 입력하여 모델을 구성하고 그 결과를 비교하는 시행착오(trial and error)의 방법을 사용하였다. 그 결과 굴착손상영역(EDZ)에서의 암석물성을 PFC로 재현하기 위해 굴착손상영역의 범위에 포함된 전체 볼입자의 30%에 해당하는 볼에서의 인장과 전단결합력(normal & shear bonding strength)을 기존값의 25%로 낮추고 변형계수(Ec, ball-to-ball contact modulus)를 기존값의 50% 수준으로 약화시켰다. 이를 통해 기계식굴착이나 발파로 인한 굴착으로 터널 주변암반에 발생되는 암반손상대(EDZ)를 모사하였다.

2.4 암반손모델 구성

수치해석은 평면변형률(plain-strain)을 가정하

였고, 모델의 크기는 가로, 세로 24m이고 터널단면의 형상은 마제형(inverted U-shape)으로 폭과 높이는 각각 6m이다(Fig. 1). 파란색으로 나타나 있는 부분은 해석 대상 암반에서의 절리군을 나타낸 것이고 터널주변(측벽, 천단부로부터 약 1 m와 바닥부로부터 약 1.5 m)의 영역은 굴착손상영역(EDZ)을 나타내고 있다. 지하연구시설(KURT)에 대해 실시한 절리조사의 자료로부터 24 m * 24 m * 24 m의 3차원 절리망 블록을 생성한 후(방상혁, 2008) PFC의 2차원 단면상에 오버랩하여 절리군이 삽입된 PFC모델을 생성하였고 각각의 절리영역에 포함된 입자들간의 접촉점을 찾아 결합력을 제거하였다.

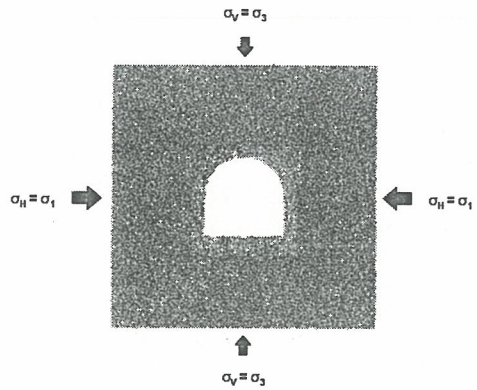

Fig. 1. Generated PFC 2D model

생성된 모델을 Fig. 2와 같이 각각 120 m, 500 m, 1000 m의 심도에 위치한다고 가정하여, 수직응력을 각각 3.1, 13.0, 26.0 MPa를 가하고 수평응력을 점차적으로 증가시켜가면서 터널주변에 균열이 발생하기 시작하는 시점에서의 응력수준과 완전한 터널파괴의 형상을 살펴보았다. 또한 본 수치해석에서는 굴착손상영역(EDZ)과 절리군의 존재 유무가 전체적인 터널의 파괴양상과 주변영역에서의 균열이 발생하는 시점에서의 응력수준에 어느 정도의 영향을 미치는지를 알아보았다.

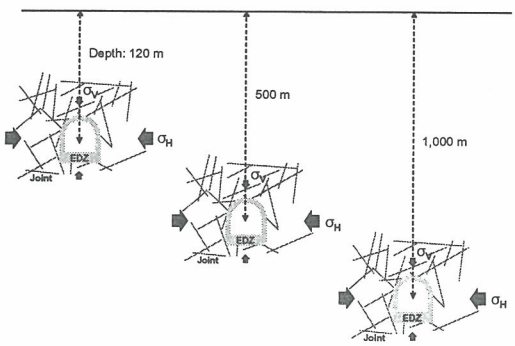

Fig. 2. KURT and imaginary research tunnels

3. 결론

PFC2D를 이용하여 지하연구시설(KURT)에 미치는 절리군의 영향을 검토한 결과, 지하연구시설 주변응력의 변화로 인해 야기되는 균열의 발생은 주로 절리면을 따라 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 심도가 깊어지면 깊어질수록 더욱 뚜렷이 나타났다. 그리고 심도에 상관없이 암반손상대(EDZ)의 존재로 인해 변위발생정도, 균열의 발생범위 그리고 균열의 발생빈도가 확연히 증가하였다. 또한 균열이 발생하기 시작하는 시점에서의 응력수준은 암반손상영역(EDZ)과 절리군의 영향으로 인해 더 낮아졌다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국원자력연구원의 위탁과제(20090062-294) "균열암반에서의 THM 거동 특성 연구"의 지원을 받아 수행하였습니다.

5. 참고문헌

[1] 방상혁, 2008, Effect of Hydrulic and Geometric Fracture Properties on REV for the Hydraulic Behavior of a Rock Mass in Three-Dimensional Discrete Fracture Network, 12th Japan Symposium on Rock Mechanics & 29th Western Japan Symposium on Rock Engineering.

[2] 윤정석, 2007, 입자결합 모델링에 의한 암석의 유도전단파괴에서의 수리-역학적 상호작용, 공학박사학위논문, 서울대학교 지구환경시스템공학부.

[3] S. Kwon., C. S. Lee., S. J. Cho., S. W. Jeon., W. J. Cho, 2009. An Investigation of excavation damaged zone at the KAERI underground research tunnel, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 24, pp. 1-13.