

## 단층변위 모델을 대상으로 한 3차원 수치해석의 적용성 평가

서용석, 장형수, 채병곤\*

충북대학교, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410

\*한국지질자원연구원, 대전시 유성구 가정동 30

[vsseo@cbu.ac.kr](mailto:vsseo@cbu.ac.kr)

### 1. 서론

최근 들어 환태평양 지진대에서는 기록적인 규모  
의 대지진들이 빈발하고 있다. 우리나라에도 그 규  
모는 상대적으로 작지만 꾸준히 지진이 발생하고 있  
다. 따라서 원자력발전소, 방사성폐기물 처분장 등  
원전 시설물을 비롯하여 도심지에 건설되고 있는 초  
고층 빌딩, 대규모 SOC 구조물 등의 안전성을 확인  
하기 위해서는 단층운동에 대한 연구와 더불어 단층  
변위 모델에 대한 수치해석이 필요하다.

활동성 단층운동에 수반되어 나타나는 응력장의  
변화를 분석하여 주 지진 이후 발생하는 여진의 분  
포를 예측하는 방법으로 쿨롱 응력 전파 분석법이  
많이 이용되고 있다(King et al., 1994). 이 방법은  
단층운동에 따른 광역적인 응력 및 변위분포를 비  
교적 간단하게 파악할 수 있다는 장점에도 불구하  
고, 구조물의 안전성을 평가하기에는 대상지반이나  
단층의 물리적·기하학적 특성 등의 적용에 한계  
가 있다.

본 연구에서는 단층변위 모델을 대상으로 지진  
규모에 따른 단층변위를 상정하여 3차원 수치해석  
을 실시함으로써, 단층 주변 지반에서의 응력 및  
변위 분포를 계산하고, 그 적용성을 평가하였다. 쿨  
롱 응력 전파 분석법의 결과와 비교·분석하여 응  
력분포패턴이 유사함을 확인하였고, 수치해석법이  
구조물의 안정성해석에 적용할 수 있을 정도로 다  
양한 지반특성 및 단층운동을 반영할 수 있음을 밝  
혔다.

### 2. 본론

#### 2.1 해석 프로그램

본 논문에서 사용된 두 종류의 프로그램은 다  
음과 같다. Coulomb 3.3은 USGS (United States  
Geological Survey)에서 단층이나 지진절면  
(earthquake nodal planes)의 coulomb-stress의  
변화를 알아보기 위해 1992년 Shinji Toda 등이  
개발한 프로그램이며 등방성의 완전탄성체의 모  
델을 기본으로 한다.

수치해석에 사용된 프로그램은 마이다스아이티  
(MIDAS Information Technology Co., Ltd.)에서  
2차원 및 3차원 형태의 지반 및 터널구조물의 해  
석을 목적으로 유한요소해석법(FEM)을 적용하여  
개발한 MIDAS GTS v.250이다.

#### 2.2 해석모델 및 결과

두 해석법의 결과를 비교하기 위하여 동일한  
규모의 모델과 물성을 적용하였다. 지반과 단층은  
모두 등방성(isotropic)인 연속체(continuum)로 가  
정하였다. 지반은 가로 2,000m, 세로 2,000m, 심도  
300m로 구성하였으며 단층의 경우 폭은 10m, 길  
이는 300m, 단층의 방향성은 경사방향/경사가  
270/90이 되도록 구성하였다. 단층의 이동감각 및  
크기는 좌수향으로 30cm의 변위량을 설정하였으  
며, 지반과 단층의 지반정수는 일반적인 보통암에  
해당 하는 값을 사용하였다(Table 1). 하지만 해  
석시 입력되는 지반정수에서 차이가 많다. 특히

Table 1. Input parameters of rock mass properties for analyses.

Analysis program	Coulomb 3.3 (Bed rock)	Coulomb 3.3 (Fault rock)	MIDAS GTS 250 (Bed rock)	MIDAS GTS 250 (Fault rock)
Young modulus (tonf/m <sup>2</sup> )	1,000,000	10,000	1,000,000	10,000
Poisson's ratio	0.25	0.30	0.25	0.30
Unit weight (tonf/m <sup>3</sup> )	Not applicable	Not applicable	2.50	1.80
Unit weight(Sat. tonf/m <sup>3</sup> )	Not applicable	Not applicable	2.50	2.00
Cohesion (tonf/m <sup>2</sup> )	Not applicable	Not applicable	2.0	8.50
Friction angle (°)	35	15	35	15
Tensile strength (tonf/m <sup>2</sup> )	Not applicable	Not applicable	300	100
Displacement (cm)	0.0	30.0	0.0	30.0

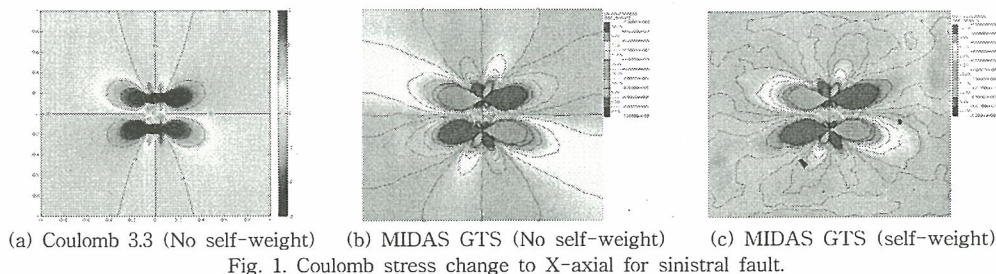


Fig. 1. Coulomb stress change to X-axial for sinistral fault.

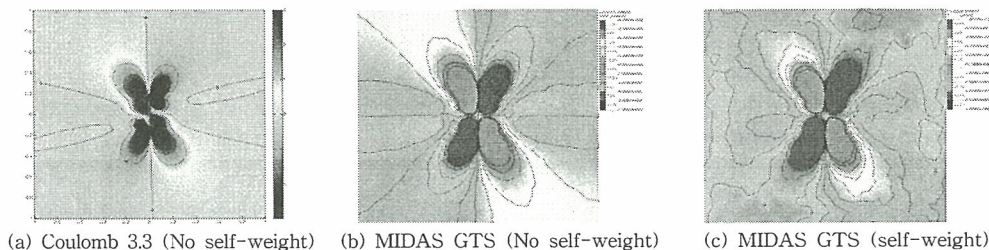


Fig. 2. Coulomb stress change to Y-axial for sinistral fault.

지질특성과 관련이 깊은 단위중량은 응력의 크기와 변위분포에 영향을 미치는 요소로서 지역적 차이가 있으므로 중요하다. 또한, 해석 결과를 비교하기 위하여 3차원 유한요소해석법의 결과에서 지형요소를 배제한 결과를 이용하였다.

산악으로 이루어진 우리나라에서는 지형에 따라서 토피가 변하므로 지형요소는 매우 중요하며, 수치해석법에서는 지형요소를 고려할 수 있으므로 특정지점에서의 정확한 변위분석이 가능하다. 또 다른 차이로는 자중(self-weight)의 고려유무이며 Coulomb 3.3에서는 중력방향의 자중을 적용할 수 없으나 수치해석법에서는 가능하다. 해석결과의 비교를 위해 MIDAS GTS v.250를 이용하여 자중을 고려한 해석과 고려하지 않은 해석을 실시하였다.

해석 결과 단층의 양 끝단에서부터 V자 형태로 응력이 분산되는 유사한 경향을 보이며 이는 기존 연구결과(King et al., 1994; 한승록 외, 2009)와도 부합된다. 전반적으로 X방향과 Y방향의 유효응력값이  $\pm 1.0\text{MPa}$ 로 유사한 경향을 보인다(Fig. 1, 2). 하지만 자중유무에 따른 차이를 확인할 수 있으며, 이는 지형을 고려할 경우 더욱 커질 것으로 판단된다. 또한 수치해석법에서는 지반을 세분하여 물성을 적용할 수 있으며, 단층면에서의 asperity를 반영하여 해석할 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 단층변위 모델을 대상으로

Coulomb 3.3과 MIDAS GTS v.250을 이용하여 수치해석을 수행하였다. 그 결과 두 프로그램에서 비슷한 경향의 응력 분포를 얻을 수 있었다.

MIDAS GTS v.250에서는 기존 분석법보다 다양하고 정교한 모델의 해석이 가능하여, 단층운동에 따른 구조물의 안정성평가에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 5. 참고문헌

- [1] 고민석, 장찬동, 이준복, 심택모, 오대산 지진 및 여진 분포에 대한 쿨롱 응력 모델 적용 연구, 지질학회지 제45권 제6호, pp. 742-744, 2009.
- [2] 한승록, 박준영, 김영석, 응력변화에 따른 양산-울산 단층계의 진화 모델링, 지질학회지 제45권 제4호, pp.361-377, 2009.
- [3] King, G.C.P, Stein, R.S. and Lin, J., Static stress changes and the triggering of earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, pp.936-938, 1994.