

Cam-Clay Model을 적용한 벤토나이트 물성 해석

김현아, 이민수, 이종열, 최희주
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동
 it-k2@hanmail.net

1. 서론

현재 개발중인 A-KRS의 공학적 방벽(EBS)이 단층작용을 받았을 경우 거동을 예측하기 위해, 일본 JAEA와의 상호공동연구의 일환으로 전단시험기(Fault Test Machine)를 활용하여 축소모델로 전단시험을 수행할 계획이다. 따라서 실제 전단시험을 수행한 결과와 전산모사를 통한 결과를 비교검토 함으로써 수치해석 결과의 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 거동이 복잡한 벤토나이트의 경우 Model에 따른 비교를 통해 좀 더 정확하게 거동을 모사하는 Model을 선택함으로써 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있다. 그러나 현재 국내실정에 맞는 경주벤토나이트에 대한 실험이 미미하게 이루어지고 있어 충분한 검토는 이루지지 못했다. 또한 실험방법 또한 검증되지 않은 상황에서 정확한 결과를 내기는 어려울 수 있다. 따라서 현재까지 진행되었던 국내실험결과를 바탕으로 Model에 따른 물리적 변수를 도출하고 간단한 해석을 통해 실험결과와 거동과 수치해석 결과를 비교해 보고자 하였다. 이미 재료에 대한 해석은 Drucker-Prager Model을 적용 중에 있으나, Cam-Clay Model에 대한 해석은 국내에서는 이루어진 적이 없다. 본 보고서에서는 Cam-Clay Model의 물리적 변수를 구하여 ABAQUS를 이용한 해석에 적용하는 방법에 대해서 기술하고자 한다.

2. 본론

2.1 Cam-Clay Model

Cam-Clay Model의 물리적 변수를 구하기 위해서는 최소한 두가지의 시험, 압밀시험과 삼축압축시험이 필요하다. 압밀시험은 참고문헌[1]의 압밀시험결과를 이용하였고, 삼축압축시험은 참고문헌[2]의 삼축압축시험 결과를 이용하였다. 그러나 압밀시험에 사용한 시편과 삼축압축시험에 사용한 시편의 밀도에 차이가 있어 이에 따른 신뢰

도가 떨어진다. 또한 시험조건은 배수압밀시험으로 공극압이 발생하지 않는 경우로 정의하였다.

2.1.1 압밀시험에 의한 변수

압밀시험에 사용된 벤토나이트는 건조밀도가 1.8 g/cm^3 , 초기간극비가 0.57이고, 초기화도가 98%이다.

Table 1. 경주벤토나이트의 압밀특성

Pressure (kN/m^2)	Settlement (mm)	Void ratio	Remarks
200	0.010	0.5658	Loading
400	0.046	0.5630	"
800	0.142	0.5555	"
1,600	0.475	0.5293	"
800	0.451	0.5313	Unloading
200	0.402	0.5351	"

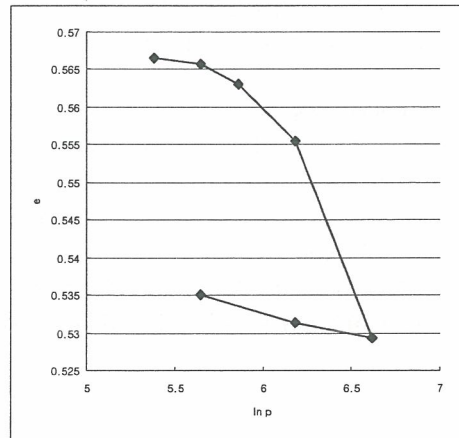


Fig. 1. 압축벤토나이트의 간극비와 압력사이의 관계

Cam-Clay모델의 항복면은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{1}{\beta^2} \left(\frac{p}{a} - 1 \right)^2 + \left(\frac{t}{M\alpha} \right)^2 - 1 = 0 \quad (1)$$

여기서, t 의 경우 $K=1$ 이고, $\sigma_2 = \sigma_3$ 일 경우 q 와 같게 된다. 여기서 M , β , a 가 정의 되어져야 하

며, a_0 를 정의하기 위해서는 초기항복면의 크기 a_0 를 정의하여야 한다. a_0 는 다음과 같이 정의된다.

$$a_0 = \frac{1}{2} \exp\left(\frac{e_1 - e_0 - x \ln p_0}{\lambda - x}\right) \quad (2)$$

평균압 p_0 , λ , x , 초기공극율 e_0 , e_1 등이 필요하게 된다. 평균압은 0.217 MPa, 초기공극율은 0.5666으로 초기조건으로 적용된다. 압밀시험 중 적용된 압력과 체적변화의 관계, 공극율을 측정하여 logarithmic bulk moduli λ , x 를 구할 수 있다. 그림 1과 같이 $\ln p - e$ 선도로부터 소성영역 λ 탄성영역 x 와 e_1 를 구할 수 있다. 여기서 e_1 은 기울기 λ 에 의한 공극율 축의 절편으로 생각하면 된다. 이것은 변형경화를 고려하기 위해서 Exponential form을 이용할 때 필요하다. 진흙이나 벤토나이트 등은 항복응력이 잘 나타나지 않아 유용하다.

삼축압축시험을 통해 M 과 β 를 정의할 수 있다. 삼축압축시험에 사용된 시편은 밀도 1.6 g/cm^3 , 함수율은 20%이다. 압밀시험에 사용된 시편과는 차이가 있다. M 은 $p-q$ 선도에서 파괴점들의 기울기로 구할 수 있으며, 그 값은 1.33이었다. β 는 높은 구속압에서의 삼축압축시험을 통해 구할 수 있으나 현재 실험결과가 없어 1.0으로 가정한다.

2.2 수치해석 결과

해석대상은 압밀시험에 사용된 시편으로 도출된 물리적 변수를 이용하여 ABAQUS를 이용하여 수행하였다. 시편의 크기는 직경 50mm, 높이 20mm인 원통형이다. 하중조건과 경계조건은 시험조건과 동일하도록 하였고, 1.6 MPa까지 압력을 가하여 해석결과를 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

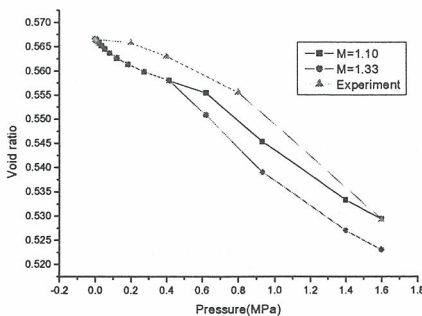


Fig. 2. 공극비 변화

현재 M 값을 1.33으로 하였을 경우 해석 중 경고 메시지가 나오며, 초기항복크기를 조정하여 해석이 진행된다. M 은 파괴면을 나타내는 값으로 초기항복면의 크기와 같이 초기 항복면을 결정하게 된다. 따라서 M 값을 조정하면 해석결과에 영향을 미치며, M 을 1.1로 하여 해석하였을 때 시험결과와 더 근접하게 되었다.

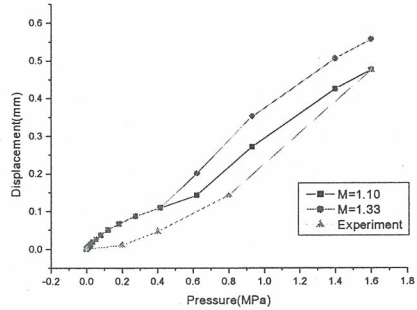


Fig. 3. 하중 방향 변위

참고로 M 을 SKB에서 사용하는 0.36으로 했을 때, 해석 중 초기항복크기를 조정하지 않았고 시험결과와는 차이를 보였다.

3. 결론

수치해석 결과가 입력변수에 따라 차이가 큰 것을 확인하였다. 특히 거동이 복잡한 경우는 입력변수를 얼마나 정확하게 도출하느냐에 따라 정확도가 달라질 수 있다. 그러므로 국내산 벤토나이트에 대한 정교한 물성 시험을 통한 정확한 입력변수의 확보가 요구되었다.

4. 참고문헌

- [1] 조원진 외 3인, “고준위폐기물처분장 완충재용 국산 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 물리화학적, 광물학적 및 역학적 특성” KAERI/TR-1388/99.
- [2] 정상섭, 김도현, “A-KRS 공학적방벽 설계 입력변수 측정 기술 개발” 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 지반공학연구실, 2009.2.
- [3] ABAQUS Manual