

## 절리면의 Gouge에 의한 절리 암반의 동적 거동특성 파악

이준호, 김진섭\*, 조계춘

한국과학기술원, 대전광역시 유성구 과학로 335

\*한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

juno918@kaist.ac.kr, kverity@kaeri.re.kr, gvechun@kaist.ac.kr

### 1. 서론

방사성폐기물 처분장은 장기적인 기대수명과 높은 안전율을 요구하고 있기 때문에 고심도 암반 지역에 건설되고 있다(IAEA 2003). 이런 이유로 안정성 예측을 위한 암반의 변형 특성 파악은 매우 중요하다. 암반의 변형 특성은 공학적으로 가장 약한 부분인 절리들에 의해 결정되며, 변형률에 따른 전단탄성계수 값으로 암반의 변형 특성을 대표할 수 있다(Goodman 1989). 또한, 절리면 사이의 Gouge에 유무에 따라 전단파 특성이 달라짐에 착안하여(Cha 2006), 본 연구에서는 절리면 사이의 Gouge 유무 조건을 달리한 후, 절리 암반의 동적 거동특성을 모사할 수 있는 Rock Mass Dynamic Test (RMDT)장비를 이용하여 실내실험을 수행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험방법

##### 2.1.1 시료의 준비

한국원자력연구원 지하처분연구시설(이하KURT)의 현장암반(화강암) 시료를 준비하고 절리 조건에 따른 비교 실험을 실시하였다. 절리 상태에 따른 동적거동 특성을 알아보고자 평탄한 절리면( $K_c$ )과,  $K_c$  절리면 사이에 주문진 표준사를 Gouge로 채운 상태( $K_g$ )로 나누어 비교 실험하였다. 그리고 Brillouin 분산효과를 고려하기 위하여 암반 시료는 2.8 cm 높이의 암석 디스크를 11개를 쌓아, 총 높이 약 30 cm의 하나의 시편으로 사용하였다. 또한, 등가 전단 변형률의 계산 정확도를 높이기 위해 증공형 시편(외경: 51.5 mm, 내경: 17 mm)으로 제작하여 실험하였다.

##### 2.1.2 실험방법

본 연구에서는 현장유효응력 상태를 재현하기 위하여 심도(30 m, 60 m, 90 m)별로 각 유효응력

(776 kPa, 1552 kPa, 2328 kPa)을 계산하였다. 그리고 RMDT 장비(Kim 2008)를 이용해 시편에 축응력을 재하하여 실험하였다. 그리고 주파수 스위핑을 통하여 공진주파수 값을 얻고 이를 바탕으로 변형률에 따른 전단탄성계수, 유효응력, 감쇠비 등을 측정한다.

#### 2.2 실험결과 및 분석

실험 결과, 절리의 상태와 상관없이 전단 변형률이 증가함에 따라 전단탄성계수가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 0.0001% 이하의 미소 전단 변형률 범위에서는 변형률의 크기에 따라 전단탄성계수가 변하지 않는 선형적 구간이 확인되었다(Fig 1). 그리고 절리의 상태와 무관하게 유효응력이 증가함에 따라 전단탄성계수 값이 증가함을 관찰할 수 있었다. 또한, 동일한 유효응력에서, 절리면 사이에 주문진 표준사를 Gouge로 사용하여 실험한 경우( $K_g$ ), 그렇지 않은 시료( $K_c$ )의 전단탄성계수 값보다 감소함을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 절리 암반에서 유효응력과 절리면의 상태가 전단탄성계수 값에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

또한, 절리를 가진 화강암이 풍화작용으로 인하여, 절리면 사이에 주문진 표준사와 같은 모래 입자가 존재한다는 가정을 하였을 때, 실험결과를 이용하면 KURT 현장암반의 장기적인 동적 거동 특성을 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 추가실험을 통하여 KURT 현장암반의 장기적인 동적 거동 특성을 파악하여 이를 활용할 수 있음을 의미한다.

Fig 2와 Fig 3은 Gouge유무에 따른 변형률의 존적 감쇠비 곡선이다. 유효응력에 상관없이 변형률이 증가함에 따라 감쇠비가 증가함을 확인할 수 있었다. 그리고 유효응력이 증가할수록 동일한 변형률의 감쇠비가 감소함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 절리 암반에서 유효응력이 감쇠비에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. 또한 실험결과를 통해서 동일한 유효응력 상태에서

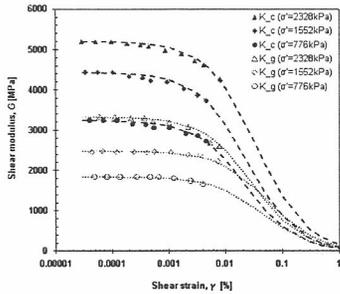


Fig. 1. Shear modulus degradation curve.

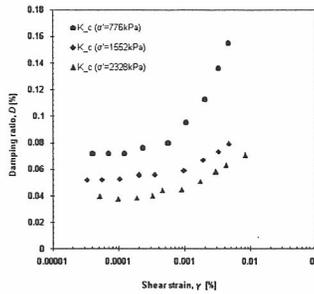


Fig. 2. Damping ratio curve(K\_c).

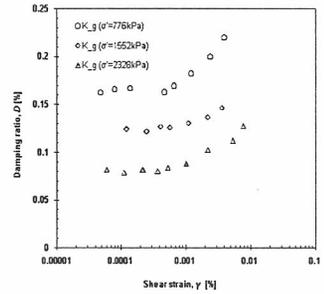


Fig. 3. Damping ratio curve(K\_g).

Gouge의 유무에 따라 변형률에 따른 감쇠비의 증가 정도가 다름을 확인할 수 있었다. 이는 절리면의 상태와 그로 인한 동적마찰특성이 변형률에 따른 감쇠비에 영향을 미침을 알 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 미소 및 중간 변형률(0.00001~0.01%)에서 절리 암반의 비선형 동적 거동특성을 모사할 수 있는 RMDT 장비를 이용하여 실내실험을 실시하였다. 이를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- 유효응력과 절리면의 상태가 절리 암반의 전단 탄성계수와 감쇠비에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.
- 유효응력이 작을수록 절리면의 상태가 감쇠비 증가율에 미치는 영향이 증가함을 확인할 수 있었다.

실험 결과를 이용하여 고심도 방사성폐기물 처분장 건설시, 좀 더 안전하고 경제적인 설계 및 시공을 할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한 본 연구의 실험 방법을 이용하면, 절리 암반의 장기적인 동적 거동 특성 파악도 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 U-City 석·박사과정 지원사업과 한국원자력연구원 원자력연구개발사업(과제코드 : 53324-11, 공학적방벽성능 실증기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Cha, M. S. (2006), "Characterization of elastic wave propagation in jointed rock and rock mass classification using shear waves", M.S. Dissertation, KAIST, Korea.
- [2] Goodman, R.E. (1989), Introduction to rock mechanics, 2nd edn. New York: John Wiley & Sons.
- [3] IAEA, (2003), Geological Disposal of Radioactive Waste: Draft Safety Requirements, IAEA safety standards series DS154, 2003.
- [4] Kim, D.S. (1991), "Deformational Characteristics of Soils at Small to Intermediate Strains From Cyclic Tests", Ph.D Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas.
- [5] Kim, J.W. (2008), "Development of RMDT Apparatus to Characterize Strain- dependent Elastic Wave Propagation in Jointed Rockmass", M.S. Dissertation, KAIST, Korea.