

AE 기법을 이용한 반복하중 조건에서의 KURT 화강암의 파괴특성 분석

김진섭, 이경수, 최희주, 조계춘*

한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 989번길 111

*한국과학기술원, 대전 유성구 과학로 335

kverity@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물 심지층 처분장과 같은 지하 대형 구조물의 건설은 암반 굴착과 발파, 터널지보재 시공 그리고 처분장 운영 및 폐쇄 등의 일련의 작업들로 인해 주변 현장암반은 다양한 응력경로를 겪게 된다. 이 같은 동적인 하중은 구조물의 안전뿐만 아니라 암반의 안정성 해석에 무시할 수 없는 중요한 인자 중의 하나이다. 더욱이 동적 하중 조건에서의 암반의 역학적 물성은 정적 하중에서의 암반의 물성과 상당한 차이를 보이는 것이 일반적인 현상이다. 즉 반복하중에 놓인 암반은 단순하중의 압축강도 보다 더 낮은 응력조건에서 특정한 징후 없이 조기에 파괴현상이 발생하는 것은 잘 알려진 사실이다.

따라서 본 연구에서는 원자력연구원 내 지하처분연구시설인 KURT 화강암을 대상으로 단조 증가 반복하중 조건에서 발생하는 파괴특성을 분석하고, 이에 따른 KURT 암석의 손상도를 추정하였다.

2. 실험재료 및 방법

KURT 화강암을 대상으로 하여 반복하중 조건 하에서 일축압축 강도 측정실험을 수행하였다. 하중은 0.1 MPa/sec의 하중속도로 재하하였으며, 0 MPa/sec- 30 MPa/sec-0 MPa/sec-60 MPa/sec-0 MPa/sec-90MPa/sec 등 파괴가 일어날 때까지 30 MPa/sec 씩 점차 하중을 증가시켰다.

사용재료의 물리적 특성을 아래의 Table 1에 나타내었다. 실험은 NX size 암석시료에 strain gage를 가로와 세로 방향으로 각각 설치한 후, 하중을 재하하면서 응력증가에 따른 변형률의 변화를 기록하였다. 이와 동시에, Fig. 1과 같이 설치된 데이터 수집장치와 AE 센서를 이용하여 AE 데이터를 측정하였다.

Table 1. Mechanical properties of rock samples.

Bulk density	Young's modulus	Poisson's ratio ν	Peak strength
2.67 g/cm ³	44.0 GPa	0.31	177.9 MPa

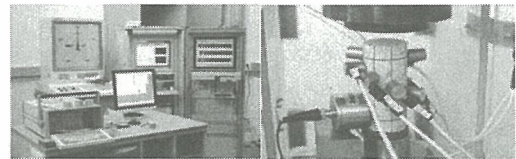


Fig. 1. Laboratory test set-up.

3. 실험결과 및 분석

3.1 응력-변형률 관계

응력-변형률의 관계를 이용하여 암석의 손상도를 추정하기 위하여 inelastic volumetric strain (crack volumetric strain)을 도입하였으며, 다음의 식 (1)과 (2)를 이용하여 계산하였다. 또한 이를 Acoustic Emission 결과와 비교하였다.

$$\epsilon_v^{ie} = \epsilon_v - \epsilon_v^e = \epsilon_v - (\epsilon_{axial}^e + 2\epsilon_{lateral}^e) \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_v^{ie} = \epsilon_v - \frac{1-2\nu}{E}(\sigma_{axial}) \dots\dots\dots (2)$$

반복하중 조건 하에서 측정된 응력-변형률의 관계를 다음의 Fig. 2에 나타내었다.

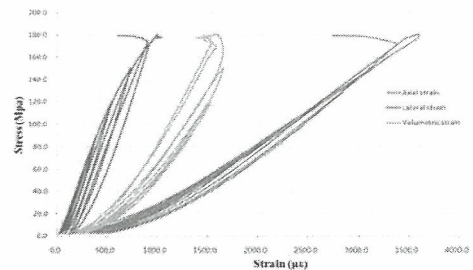


Fig. 2. Variation in measured axial, lateral and volumetric strain with an increasing stress.

다음의 Fig. 3에는 실험과정에 측정된 하중단계별 acoustic emission 데이터를 나타내었다. 본 연구에서 명확한 Kaiser effect는 발견할 수 없었으며, Felicity 현상이 발생하였다. KURT 화강암의 Load ratio는 약 0.78로 측정되었다.

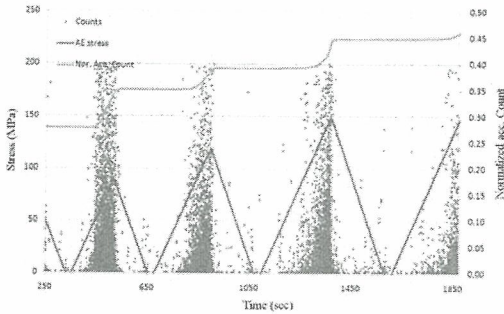


Fig. 3. Accumulated AE energy and AE count in accordance with stress.

3.2 KURT 화강암의 손상도 프로파일

측정된 AE 데이터를 바탕으로 AE 에너지를 산정하였으며, 최종 파괴 단계까지 발생한 총 에너지를 이용하여 각 하중단계별 정규화된 AE 에너지를 계산하였다. 이 정규화 비를 암석의 손상도라 정의하고 그 결과를 아래의 Fig. 4에 나타내었다.

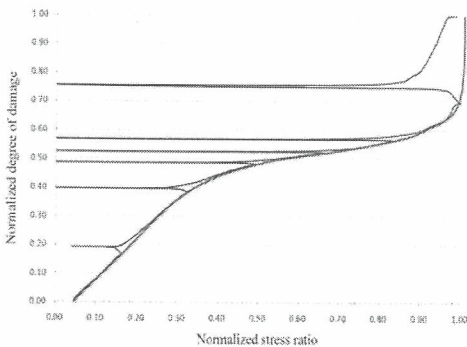


Fig. 4. Damage evolution profile in KURT rock specimen measured from AE data.

전체적으로 역 S자형 손상도 프로파일을 보이고 있다. 하지만 다른 시료에 비해 Fig. 4의 결과에서는 하중재하 초기에 상당량의 AE가 계측되었다. 즉 이로 인하여 재하초기에 급격한 손상이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 반복하중 일축압축 강도의 90% 이상에서 급격한 파괴가 일어나는 것으로 측정되었다.

하지만 이는 실제 KURT 암석의 손상도 진행

프로파일을 보이는 것이 아니고, 실험초기 하중 재하 장치와 시료 사이의 end effect로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 또한 Eberhart (1998)은 균열닫힘응력(crack closure stress threshold) 이하의 응력에서 발생한 AE 데이터는 실험결과 분석에서 제외하여야 한다고 규정하고 있다.

따라서 균열닫힘 응력(σ_{cc}/σ_c) 이하의 AE 데이터를 제외하고(KURT 화강암의 경우, 균열닫힘 응력은 0.32~0.36임) 실험결과를 분석한다면, 전형적인 역 S자형 손상도 프로파일을 구할 수 있을 것으로 판단되며, 급격한 파괴가 발생하는 균열손상응력도 약 0.8의 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

반복하중 조건에서 KURT 화강암은 뚜렷한 Kaiser effect 현상이 발견되지 않았으며, Load ratio는 약 0.78의 값을 보였다. 균열닫힘 응력 이하의 AE 데이터를 보정하면 전형적인 역 S자형 손상도 프로파일을 구할 수 있을 것이다.

본 실내실험을 이용하여 KURT 암석의 손상도 진행과 관련된 일반적인 패턴을 결정하고, 현장실험의 Goodman Jack 반복하중 실험을 통해 현장 암반의 손상도 진행 프로파일을 결정하기 위한 연구를 현재 진행 중에 있다.

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

6. 참고문헌

- [1] Eberhardt E., Stead D., Stimpson B., Read R.S. (1998), Identifying crack initiation and propagation thresholds in brittle rock. *Can Geotech J* 35(2):222-233.
- [2] Martin C.D. and Chandler N.A. (1994), The progressive fracture of Lac du Bonnet granite. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 31(6): 643-659.