

Acoustic Emission 기법을 이용한 KURT 화강암의 정량적 손상도 분석

김진섭, 이경수, 조원진, 최희주, 조계춘*

한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 989번길 111

*한국과학기술원, 대전 유성구 과학로 335

kverity@kaeri.re.kr

1. 서론

Acoustic Emission (AE) 기법은 전형적으로 공진형 주파수 특성을 지니는 센서를 사용하기 때문에 고속도계 센서와 지오폰 등과 주파수 응답 곡선에서 큰 차이를 보인다. 즉 균열발생 시 획득된 AE 신호를 이용하여 구조물의 정량적인 손상도를 추정하는 데는 한계가 있다. 따라서 기존의 AE 관련 연구에서는 균열발생 유무의 탐지나 혹은 균열발생의 위치추정 등에 관한 정량적인 평가연구가 주를 이뤘다.

본 연구에서 KURT 화강암을 대상으로 균열손상 기준을 제시하고자 하며, 이를 바탕으로 응력증가에 따른 KURT 화강암의 손상도 변화를 정량적으로 추정하고자 하였다. 이를 위하여 응력-변형률 관계식을 이용하여 accumulated inelastic volumetric strain을 암석의 손상도와 연관시켰으며, 추가적으로 AE energy를 활용하여 서로의 상관성을 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

KURT 화강암을 대상으로 하여 일축압축 강도 측정실험을 수행하였다. 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 계측하였다.

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 Stress-strain 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(Fig. 2).

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

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

균열 진전에 따른 암석의 손상도는 accumulated crack volumetric strain으로 정의하고 Fig. 2의 결과를 이용하여 Fig. 3과 같은 응력증가에 따른 정량적인 손상도를 도출하였다.

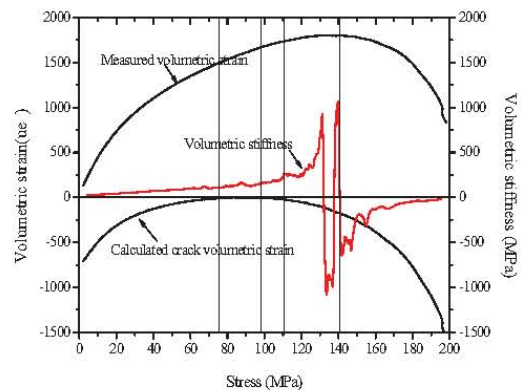


Fig. 2. Variation of crack volumetric strain with an increasing stress.

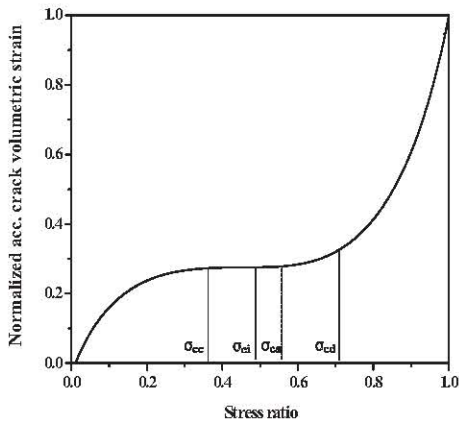


Fig. 3. Normalized cumulative crack volumetric strain.

KURT 화강암의 균열개시 응력은 $0.49\sigma_c$ 이었으며, 그 때의 손상도는 0.27이었다. 한편 균열손상 응력($0.71\sigma_c$)일 때의 정량적인 손상도는 0.33에 해당하였다.

3.2 AE energy

응력-변형률 데이터와 더불어 동시에 측정된 AE 데이터를 이용하여 AE 신호의 에너지를 계산하고 응력증가에 따른 누적 에너지를 아래의 Fig. 4에 나타내었다.

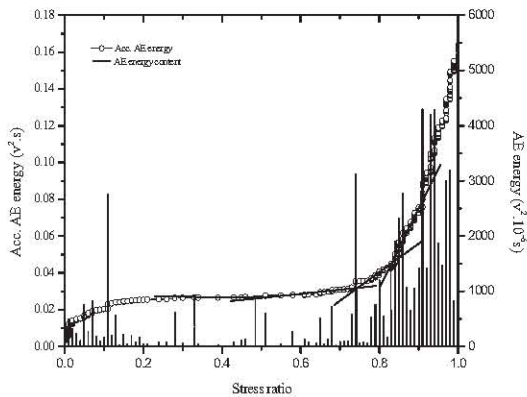


Fig. 4. Accumulated AE energy and AE energy content in accordance with stress.

AE energy 기법을 이용한 균열개시응력 및 균열손상응력은 $0.48\sigma_c$ 과 $0.82\sigma_c$ 으로 산정되었다. 암석의 손상도를 산정하기 위해서는 damage mechanics에 기초하여 탄성계수를 감소시키는 방법이 주로 이용된다($E=E_0(1-D)$). 따라서 상기에서 얻은 결과를 바탕으로 건전성(1-D) 변화를 구하여 아래의 Fig. 5에 각각 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 결과는 응력재하 초기 시료와

재하장치 사이의 end effect 등으로 인한 오차를 배제하지 않은 결과이다. 또한 암석의 손상도 증가는 이론적으로 균열 개시응력 이상에서 발생되므로, 두 기법 사이의 정량적 평가는 균열개시응력 이상에서만 고려해야 할 것이다. 즉 Fig. 5의 결과에서 균열개시 응력 이상에서의 손상도만을 고려하면 서로가 매우 유사한 결과를 도출함을 알 수 있다.

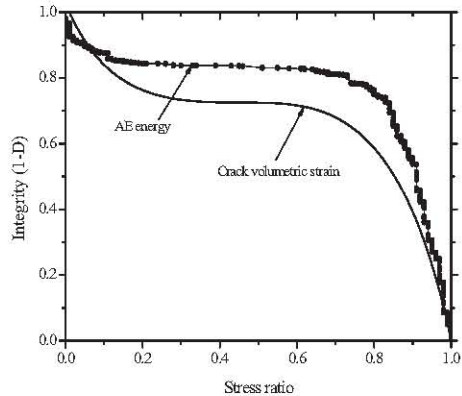


Fig. 5. Comparison of the integrity profile in rock specimen.

4. 결론

역학적인 stress-strain 측정 데이터를 통해 유도된 손상도와 물리적으로 계측된 acoustic emission wave를 통해 얻은 손상도의 변화는 매우 유사함을 알 수 있다. 따라서 현장암반에서의 AE 데이터를 계측하는 것으로도 그 구조물의 응력상태와 정량적인 손상정도를 간접적으로 추정할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

6. 참고문헌

Eberhardt E, Stead D, Stimpson B, Read RS (1998) Identifying crack initiation and propagation thresholds in brittle rock. Can Geotech J 35(2): 222-233.