

고준위폐기물 처분시설의 동적거동 모니터링을 위한 현장암반 설치용 AE Waveguide에서의 신호전파 분석

김진섭, 이경수, 권상기, 최종원
한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045
kverity@kaeri.re.kr

1. 서론

지구물리 탐사기법 중의 하나인 AE(Acoustic Emission)은 심지층 처분장의 실시간 동적거동 모니터링 수단으로 최근에 높은 관심을 받고 있는 기술이다. AE 기법을 이용한 암석시료의 건전성 연구는 주로 실내실험을 위주로 수행되었으며, 현장암반을 대상으로 한 적용사례는 매우 드문 상황이다. AE 기술의 현장적용을 위해서는 암반 표면에 waveguide의 설치가 필요하며, 이를 통해 계측신호의 결과해석을 위해서는 waveguide에서의 신호왜곡 현상에 대해 정량적인 평가가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 AE sensor의 현장설치를 위해 사용되는 waveguide에서의 신호감쇄 및 시간지연 그리고 주파수 분석과 암석의 시스템 전달함수를 분석하였다.

2. 실험재료 및 장치

2.1 실험재료

암석시료에 대한 waveguide를 설치를 위해 화강암 시편(LxWxH: 248x544x105 mm)을 사용하였다. Waveguide의 설치패턴에 따른 신호변화를 분석하기 위해 waveguide를 암석시편에 3가지 방법으로 부착하였다. AE sensor를 grease를 사용하여 시료에 직접 부착한 방법(CH.2)을 기준 부착방법으로 선택하였으며, 나머지 둘은 waveguide를 암석시편에 드릴을 이용하여 삽입한 후 그 이음새를 그대로 둔 경우(CH.1)와 에폭시로 채운 경우(CH.3)이다.

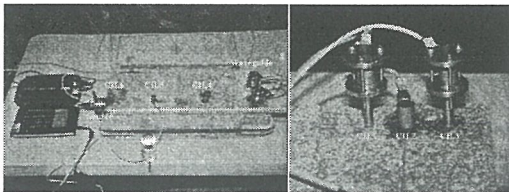


Fig. 1. Test apparatus and sensor mounting

AE waveguide(Φ9x100 mm)는 스테인리스(SUS 304) 재질의 단위중량 8t/m³을 가지며, AE sensor의 경우 60±20% (kHz)의 공진을 지닌 PZT 타입의 센서이다. 데이터 수집을 위한 sampling time은 2 μs이었고, 신호 발생기로는 52kHz의 초음파 펄서를 사용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 Waveguide의 신호감쇄 및 시간지연

각 AE sensor 위치별 신호의 first arrival time 및 시간지연을 측정하였다. CH.1~CH.3는 부착방법에 따른 효과를 그리고 CH.4~CH.6은 거리에 따른 신호감쇄 특성을 조사하기 위한 자료로 사용되었다. 각각의 신호감쇄 및 시간지연을 아래의 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1. Average first arrival time and first peak amplitude of AE signal

Description	CH.1	CH.2	CH.3	CH.4	CH.5	CH.6
Ave. arrival time (ms)	0.958	0.933	0.945	0.894	0.852	0.818
Ave. amplitude (volt)	0.613	0.757	0.518	1.389	6.182	1.644

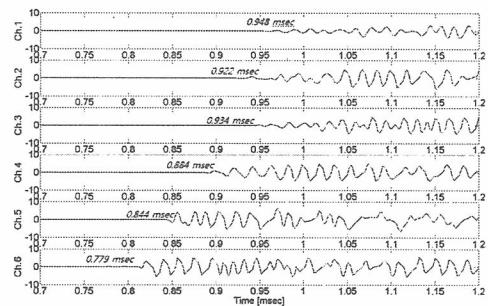


Fig. 2. Time variance of signal and first arrival time measurements

3.2 Normalization of amplitude decay

화강암 시편 거리에 따른 신호의 감쇄특성을 조사하기 위해 아래의 식(1)을 사용하여 정규화하였다(Fig. 3).

$$A(x) = A_0 \exp\left(-\frac{\pi f}{VQ} x\right) \quad (1)$$

실험데이터 분석을 통해 A_0 가 21.25, $\pi f/VQ$ 가 0.074, 그리고 Q 값이 512로 산정되었다. 일반적으로 Q 값이 클수록 감쇄량이 크며, 전형적인 금속에 대한 Q값이 1000 보다 크고, 콘크리트의 Q가 100 보다 작음을 고려할 때, 도출된 Q값은 이 사이에 해당함을 알 수 있다.

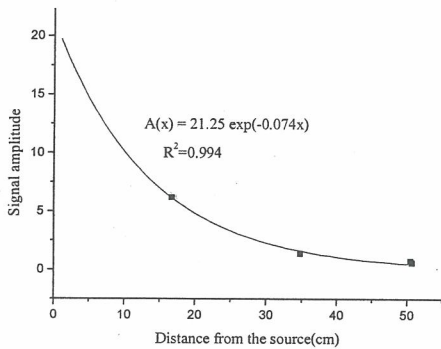


Fig. 3. Normalization of amplitude attenuation with a distance

3.3 Waveguide에서의 주파수 분석

Waveguide 통한 신호의 주파수 분석을 위해 Fourier transformation을 수행하였다. 또한 원신호에 대한 측정된 각 신호의 신호유사성을 아래의 식(2)를 이용하여 Mean Magnitude Squared Coherence를 구하였다(Fig.4). 암석 표면에 직접 부착한 sensor의 경우 원신호에 대해 92%의 유사성을 보인데 반해, epoxy로 채워진 waveguide의 경우 원신호에 비해 90%의 유사성을 나타내었다.

$$\hat{C}_{xy}(f) = \frac{1}{f_{\max} - f_{\min}} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} C_{xy}(f) df \quad (2)$$

또한 input 신호에 관계없이 media 자체의 주파수 신호를 측정하기 위해 system transfer function을 구하였다(식 (3)). 이를 통해 각각의 granite과 waveguide 그리고 filling material에 대한 예상되는 고유 주파수를 도출하였다.

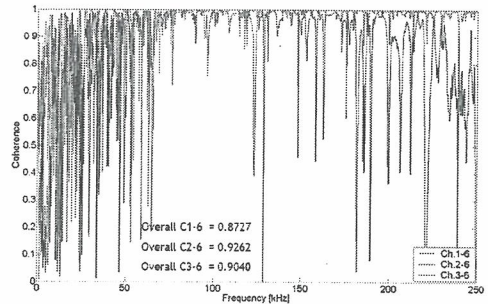


Fig. 4. Mean MSC(magnitude squared coherence) sum of signals

$$H_u = \frac{(Z_u \cdot \bar{X}_u)_{avr}}{(X_u \cdot \bar{X}_u)_{avr}} = \frac{(CC_u^{<x,z>})_{avr}}{(AC_u^{<x,x>})_{avr}} \quad (3)$$

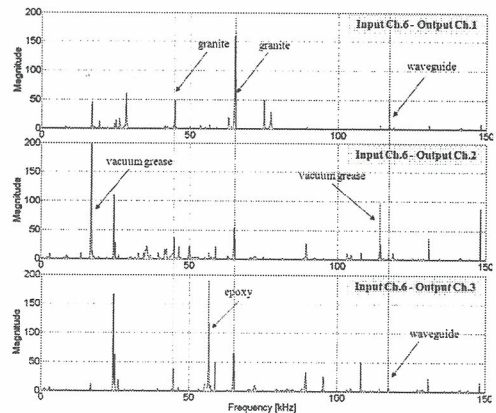


Fig. 5. System transfer function of a specimen

4. 결론

- CH.1과 CH.2 사이의 시간지연은 0.025msec이고, CH.3과 CH.2의 시간지연은 0.012msec이다.
- 최초도달 신호의 감쇄비는 CH.1/CH.2의 경우 0.81이고, CH.3/CH.2의 경우 0.68이다.
- 거리에 따른 신호의 감쇄량에 대해 정규화 식을 도출하였다.
- System transfer function을 통해 waveguide의 주파수 대역이 118kHz에서 확인되었다.

5. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.