

FFRC 기법을 이용한 암석물성 평가 및 Acoustic Wave 전파특성 분석

김진섭, 김규원, 권상기, 조원진, 조계춘
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
 kverity@kaeri.re.kr

1. 서론

음향방출(Acoustic Emission)은 재료내부의 미시적인 변형이나 파괴에 의해 발생하는 탄성 응력과 (elastic stress wave)로 정의된다. 음향방출법은 초음파 신호를 재료 내부에 직접 입사시키고 결함 또는 재료 내의 불균일 조직 등에서 되돌아오는 수신파를 검출하는 능동적인 초음파 시험과는 다르게 재료 내부의 변형, 결함성장, 파괴 등에 의해 발생하는 탄성파를 수신하여 재료 내부의 동적거동을 파악하고 결함 특성 및 상태를 평가하는 수동적인 비파괴 검사방법이다. 방사성폐기물 처분장과 같이 구조물의 높은 안전성이 요구되는 시설의 경우 정확한 정적인 거동해석 기술과 더불어 장시간의 운영에 따른 성능저하 등을 동적으로 모니터링할 수 있는 기술의 확보가 중요하다. 최근에는 스웨덴의 SKB를 중심으로 고준위방사성 폐기물 처분공에 적용하여 발파 및 굴착에 의한 균열발생 양상과 수치해석 결과의 검증에 위해 적용한 바 있다. 본 연구에서는 원자력연구원 내 지하처분연구시설(KURT)을 대상으로 암반손상상태에서의 응력과 3D 위치표정 및 구조물 life prediction 산정을 위한 선행연구의 일환으로 탄성파의 전파특성을 통한 암석물성 평가와 도달 시간차를 이용한 비절리 암석 내에서의 AE 위치탐지를 수행하였다.

2. FFRC 기법을 이용한 암석물성 평가

암반 내에서의 음파 전파특성을 살펴보기 위하여 KURT 암석시료를 이용하여 FFRC(Free Free Resonance Column) 테스트를 수행하여 동탄성계수, 전단탄성계수, 음파의 V_p , V_s 그리고 damping ratio 를 각각 구하였다(그림. 1). 탄성파 속도 V_{rod} , V_p , V_s 와 탄성계수 E , M , G 사이의 관계는 다음과 같다.

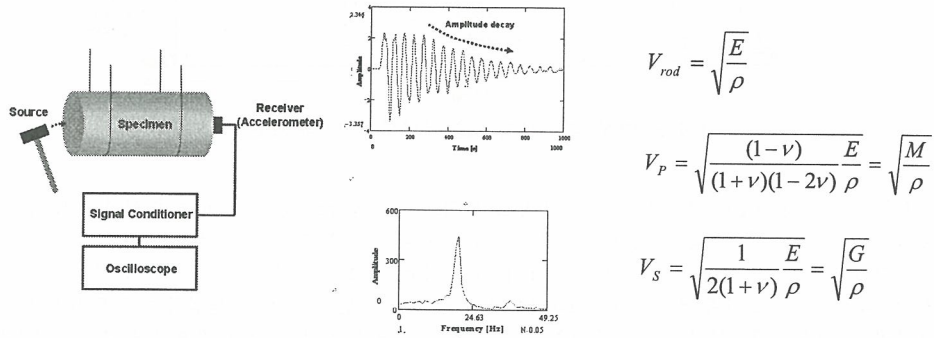


그림 1. FFRC 실험방법 및 대표적인 데이터 분석결과

Rod wave velocity로 부터 포아송 비를 고려하여 산정한 P-wave velocity가 3600~4800 m/s 사이의 결과를 얻었다. 이는 일반적인 화강암(density: 2,750kg/m³)에서의 P파 전파속도가 5500~6100 m/s임을 고려할 때 상대적으로 작은 값에 해당한다. 이는 KURT 암석의 단위중량이 평균 2650kg/m³으로 비교적 보다 작으며, 시료가 암반손상대 영역에서 채취한 암석이기 때문인 것으로 판단된다.

표 1. FFRC 시험을 통한 KURT 암석의 동적물성 측정

Rod wave velocity [V _{rod} ,m/s]	Elastic modulus [E,Gpa]	Density [ρ,kg/m ³]	P-wave velocity [V _p ,m/s]	Constrain tmodulus [M,Gpa]	Shear modulus [G,Gpa]	S-wave velocity [V _s ,m/s]	Damping ratio
4000	42.70	2669.0	4785	61.11	16.18	2462	0.008
4008	42.89	2670.2	4795	61.38	16.25	2467	0.015
3531	32.36	2595.5	4224	46.31	12.26	2173	0.018
3340	29.68	2660.6	3995	42.47	11.24	2056	0.010
3132	25.78	2628.4	3747	36.90	9.77	1928	0.014

3. AE 센서를 이용한 비절리 암석의 위치표정

여러 개의 AE 센서를 설치한 경우에는 각 센서의 AE 신호 도달 시간차에 의하여 균열발생 위치를 추정할 수 있으며, 수신된 AE 신호의 파형해석을 통하여 균열의 특성과 정도에 대한 정보를 파악함으로써 소성변형과 균열성장 등의 동적과정을 검출하는데 유용하다. AE DAQ 시스템을 통해 획득된 자료를 이용하여 각 센서위치에서의 도달 시간차를 측정하기 위해 그림. 3과 같은 프로그램을 작성하였다.

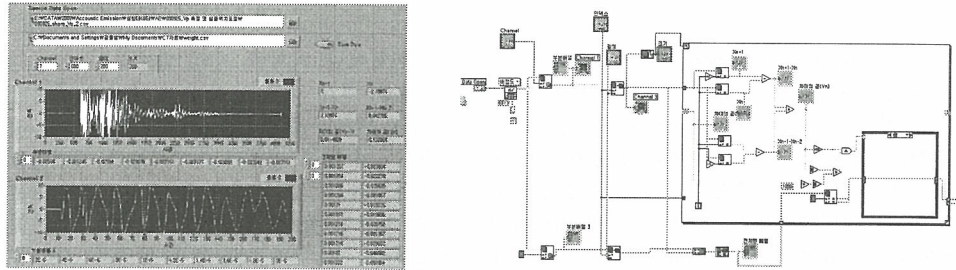


그림 2. 도달시간차 산정을 위한 AE 데이터 처리 소프트웨어(LabView 8.5)

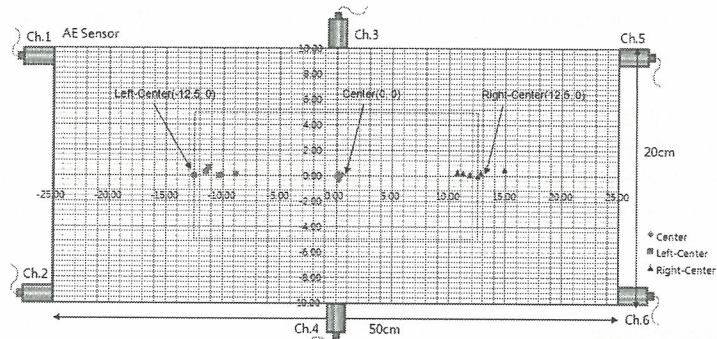


그림 3. 암석 내에서의 AE 설치위치 및 위치표정 결과

좌우 대칭인 중심점(0,0)에서의 위치 표정값 최대오차는 5mm이었으며 이는 중심에서 멀어질 수록 점차 증가하는 경향을 나타내었다(최대오차 28%). 특히 암석 시료의 가장자리 부근의 위치표정 시 오차는 더욱 증가하였으며, 이는 시료의 boundary condition에 따른 탄성파의 산란 그리고 탄성 반무한체가 아닌 얇은 판상구조로 인한 표면파(Rayleigh wave)의 간섭 등으로 도달 시간차를 산정하는데 오차가 발생한 것으로 판단된다. 향후 도달 시간차의 효율적인 산정을 위해 소프트웨어 개선이 필요하며 추가적인 lab 실험이 수행되어야 한다. 암석의 동적물성 자료는 관련 수치해석 모델에 이용될 데이터이며, 추후 절리 암반을 통한 탄성파의 전파특성 및 암반의 지하수 포화시 damping 그리고 thermal loading에 의한 응력과 전파 등에 대해 연구가 수행될 예정이다.

사 사

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.