

방사성폐기물 처분장의 동적거동 모니터링을 위한 AE 적용과 Moment Tensor 기법을 활용한 파쇄위치 추적기술 현황

이경수, 김진섭, 권상기

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

zzangomar@hanmail.net

1. 서론

방사성폐기물 처분장은 지하 수백 m에 위치한 암반을 발파하여 건설하였기 때문에 발파로 인한 암반 손상대 및 지하수 발생과 방사성폐기물에서 발생하는 고열 등으로 암반이 가지고 있는 고유의 물성 및 체적에 변화가 발생하며 이로 인한 암반의 동적거동으로 방사성폐기물 처분장의 안정성에 대한 우려는 항시 제기되고 있다. 그러므로 방사성폐기물 처분장은 인간 생활권과 격리되어 건설되며 100년 이상의 모니터링이 실시되고 있다.

그러나 기존의 모니터링은 대상구조물의 위치, 규모, 기하학적 형태 등에 따라 많은 제약사항이 있으나 AE법의 경우 이러한 제약사항을 고려할 필요가 없으며 특히 구조물의 결합발생 예측 및 위치파악을 정량적으로 예측할 수 있는 장점이 있어 국내·외에서 널리 사용되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 AE법의 일종인 SiGMA에 대한 소개와 SiGMA를 이용한 향후 수행할 연구에 대한 소개를 할 것이다.

2. 본론

2. 1 AE(Acoustic Emission)법이란

AE는 Fig 1과 같이 물체가 파괴 또는 변형 될 때 발생하는 미소음을 뜻하며 AE법은 물체 내부 균열에 의하여 발생하는 탄성파와 탄성파를 거출하는 수단 및 해석 등을 의미한다.

AE법을 활용한 모니터링은 대상 물체의 위치, 기하학적 형태와 상관없이 실시간 모니터링이 가능하며 결합 또는 손상 발생 예측 및 파괴 발생 시 발생 위치를 정량적으로 수행할 수 있는 장점이 있다.

AE음원을 추적하기 위해서는 균열 발생시각과 위치표정 좌표가 필요하며 이 좌표를 통하여 균열 발생위치를 계산하며 국내·외에서 널리 사용되고 있는 음원위치를 구하는 방법으로는 격자법, 차분근사법, 분할근사법, 최소자승법 등이 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 앞에서 언급한 음원위치를 구하는 방법을 사용할 경우 균열 발생 시 균열 발생 위치를 예측할 수 있으나 콘크리트 또는 암석의 경우 내부에 존재하는 광물 입자의 조성 및 배열, 이방성, 불연속면, 공극 등으로 예측한 균열 발생 위치와 실제 발생 위치는 약간의 오차가 발생한다.

그리고 균열의 형태, 방향성 및 균열의 운동학적 특성에 대한 해석을 수행하기 어렵기 때문에 균열 발생 원인을 분석하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다.

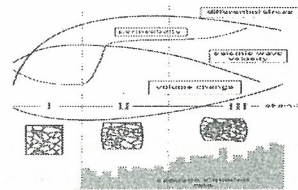


Fig. 1. Schematic illustrates volume change, AE rate, permeability, and seismic wave velocity

2. 2 SiGMA기법

Ohtsu가 제안한 SiGMA(Simplified Green's Functions for Moment Tensor Analysis)는 AE법의 일종으로 AE는 물체의 동적전위에 의한 탄성파이며 콘크리트는 균질하다고 가정하여 모멘트 텐서법을 그린함수에 적용하여 분석하는 AE법의 일종으로 3차원 시각화를 통한 결합의 위치, 형태, 방향성 등을 정량적 해석할 수 있는 장점이 있다.

Ohtsu는 우선 균열에 의하여 발생하는 AE파에 대한 변위를 식 1과 같이 나타내었다.

$$u_k(x, t) = G_{kp,q}(x, y, t) M_{pq} * S(t) \quad (1)$$

여기서, u_k 는 관측된 k번째 변위요소, $G_{kp,q}$ 는 spatial derivatives of Green's function이며, M_{pq} 는 Moment tensor이다. 선형역산식을 이용하여 M_{pq} 에 대하여 구할 수 있다.

그러나 $G_{k,q}$ 는 수치해석을 위해서는 필요하나 많은 양의 AE파를 처리하기에는 적합하지 않기 때문에, 이를 고려하여 컴퓨터 연산 처리가 가능한 SiGMA code를 제안하였다. 식 2와 그림 2는 균열이 발생한 y지점과 AE센서가 있는 x지점에서의 AE파의 움직임에 대한 관계를 나타낸 것이다.

$$A(X) = \text{Ref}(t, r) \frac{(4\pi Rv^3)}{DF} (r_1, r_2, r_3) \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서, R은 균열이 발생한 y지점과 AE센서가 있는 x지점과의 거리, $R=(r_1, r_2, r_3)$ 는 cosine의 방향, t는 AE sensor의 방향, $\text{Ref}(t, r)$ 은 반사계수, DF는 균열면적, ρ 는 밀도를 의미한다.

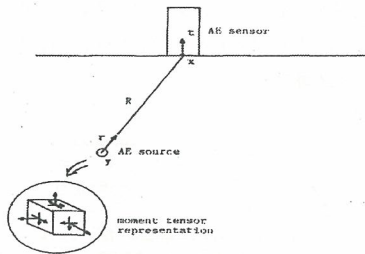


Fig. 2. relation between AE wave motion at x and the moment tensor representation of AE source at y

2. 3 SiGMA 적용사례

Fig 3~5는 Ohtsu가 철근콘크리트기둥에 휨실험을 수행할 때 발생한 AE파를 SiGMA를 활용하여 AE발생 위치 및 균열의 형태를 시각화 한 것으로 콘크리트기둥에 하중을 가함에 따라 균열의 위치가 시료 전체로 확산되며 균열의 형태 및 방향성 또한 변화하는 것을 확인하였다.

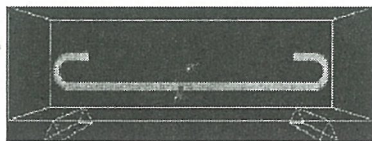


Fig. 3. Result of SiGMA - first stage

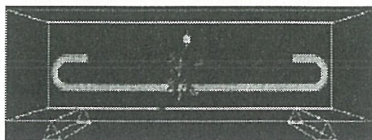


Fig. 4. Result of SiGMA - intermediate stage

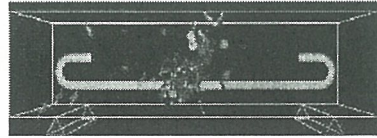


Fig. 5. Result of SiGMA - final stage

3. 결론 및 향후 연구계획

Ohtsu가 수행한 SiGMA를 활용한 철근콘크리트 휨실험 결과를 검토해 보면, SiGMA는 균열발생 위치와 균열의 형태, 방향성 및 균열의 운동학적 특성에 대한 분석이 가능한 장점이 있다.

그러므로 SiGMA를 현장압반에 적용하여 암반의 동적 거동에 대한 모니터링을 수행할 계획이다.

본 연구를 성공적으로 수행하기 위해서는 우선 암석 내부에 존재하는 불연속면, 공극 및 암석의 열응력 등에 의한 AE파의 감쇠, 분산과 SiGMA와의 mechanism 연구가 수행되어야 하며 이를 토대로 방사선에 의한 열응력을 받으며 발파에 의한 암반 손상대, 불연속면과 공극 등이 존재하는 현장암반에 대한 동적거동 특성 연구에 SiGMA를 활용할 계획이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] Christian U. Grosse, Masayasu Ohtsu(2008). Acoustic emission Testing : Basics for Research-Applications in Civil Engineering
 [2] Ohtsu M(1991). Simplified moment tensor analysis and unified decomposition of acoustic emission source : application to in situ hydrofracturing test. J Geophy Res 1991;96:211-6221