Kaeri Underground Research Tunnel(KURT) 현장암반에서 발생한 AE파를 활용한 위치표정

이경수, 김진섭, 권상기
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
lks@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성폐기물처분장은 인간 생활권과 격리되어 건설되어야 하기 때문에 지하 수백 m에 위치한 암반을 발파하여 건설한다. 암반에 발파를 할 경우 발파에 의한 굴착손상대(EDZ)와 이에 따른 암반의 특성, 수리학적 흐름 등의 변화가 발생하므로 이에 따른 암반의 안정성해석과 실시간 모니터링은 필수이다. 현재 암반사면, 터널 등에는 여러 연구자들이 제안한 모니터링법이 적용되고 있으나 본 연구에 적용된 AE(Acoustic Emission)법은 다른 모니터링법과는 달리 실시간계측과 물체에 균열 발생 시 균열의 위치표정이 가능하기 때문에 최근 현장암반에 널리 사용되고 있다 그러나 본 연구구간과 같이 발파에 의한 EDZ가 형성된 구간에는 위치표정 결과의 정확성에 대한 의문이 제기된다. 그러므로 본 연구에서는 발파에 의하여 무수히 많은 불연속면이 존재하는 암반내부에 인위적인 타격을 실시하여 발생한 탄성파 중 P파의 초동 도달시간과 초동 진폭을 활용한 위치표정의 정확성에 대한 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 발파에 의한 KURT 암반의 물성변화

본 연구구인 KURT는 그림 1과 같이 지하 암반을 발파하여 건설하였기 때문에 발파에 의한 암반의 손상정도와 관련된 연구는 필수이다. 권상기 외[1]는 발파에 의한 본 연구구간 암석의 손상정도에 대한 연구를 수행한 결과 표 1과 같이 압축강도, 탄성파속도가 약 15~20% 감소한다고 보고하였다. Table 1의 결과를 건설표준품셈[2]에서 제안하는 Table 2에 적용하해보면 현장 암반은 발파에 의하여 생성된 불연속면 등의 영향으로 암반등급이 보통암에서 연암으로 악화되었다.

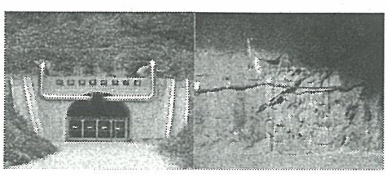

Fig. 1. Study Area(KURT)

Table 1. Changes in rock physical and mechanical properties due to blasting

	심도(m)	발파전	발파후
일축압축강도(MPa)	0~0.5	102.2	81.7
	0.5~1	103	88.8
탄성파속도(m/s)	0~0.5	4318	3719
	0.5~1	4480	3883

Table 2. Rock mass classification

암반 분류	암반탄성파 속도(km/s)	암석탄성파 속도(km/s)	암석압축강도 (MPa)
연암	1.2~1.9	2.7~3.7	70~100
보통암	1.8~2.9	3.7~4.7	100~130

2.2 현장암석에서의 위치표정결과

조원진 외[2]는 Fig. 2와 같이 KURT 현장암반에서 채취한 24.8cm*54.4cm*10.8cm크기의 암석시료에 위치표정을 수행하였다. 사용된 AE센서의 공진주파수영역대는 60kHz이며 60kHz 초음파 분석기를 이용하여 암석에서 탄성파를 발생시켰다. Ohtsu[3]는 물체에서 발생하는 탄성파는 AE파로 간주할 수 있으며 AE파 중 P파의 초동도달시간(P1)과 초동진폭(P2)을 고려하여 AE분석을 수행한다고 하였다. 실험결과 AE파 중 P파의 속도는 약 4.3km/sec로 표 1의 암석에서 발생한 탄성파속도와 유사하며 Ohtsu가 제안한 방법을 토대로 최소자승법을 이용한 위치표정을 수행한 결과 발생 위치 정확도는 최대 5mm의 오차를 보이며 오차의 원인은 AE센서 크기에 의한 오차와 시료가 반무한체이기 때문에 발생하는 경계조건에 의한 탄성파의 산란, 간섭 등이라고 판단된다.

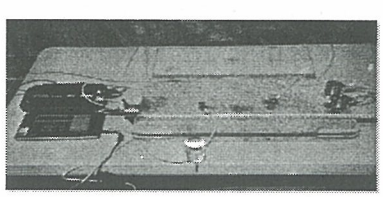

Fig. 2. Test specimen for Source localization

2.3 현장암반에서의 위치표정결과

본 연구구간인 KURT 현장암반에서 발생하는 AE파 중 P1과 P2를 이용한 위치표정을 수행하기 위하여 그림 3과 같이 7개의 AE센서를 waveguide를 이용하여 암반에 설치하였다. AE센서는 조원진 외[2]가 사용된 AE센서와 같은 60kHz AE공진센서를 사용하였으며 threshold값은 현장암반에서 발생하는 노이즈를 고려하여 0.12v로 하여 하였다. 암반내부에 AE파를 발생시키기 위해서 Impact hammer를 암반 내부 2m 깊이에 하양 20°의 각도로 설치하였다. 실험결과 Table 3과 같이 AE파의 P1(ch*10^{-6}sec)은 Impact hammer를 가격한 위치에서 가까운 AE센서일수록 빠르게 탐지하였으나 P2는 이와 관계가 없으며 발생한 AE파의 속도는 약 0.5km/sec이다.

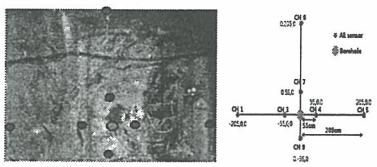

Fig. 3. AE sensor location at the study area(KURT)

Table 3. First arrival time and the amplitude of the first motion

	CH1	CH3	CH4	CH5	CH9	CH7	CH6
P1	621	217	117	264	236	33	397
P2(mV)	141	159	149	160	123	139	175

암석에서 발생하는 AE파 중 P파는 식 1과 같이 거리에 따른 감쇠가 발생하므로 Table 1과 현장암반에서 발생한 탄성파속도와 P파의 속도는 S파의 1.7배이며 표면파는 S파 속도의 0.9배정도이기 때문에 이를 고려해 보면 Table 3에 나타난 AE파는 표면파이며 발생한 표면파는 발파에 의하여 생성된 불연속면, 지하수 유입 등의 영향으로 속도가 매우 낮게 발생한 것으로 판단된다.

표 3의 결과를 이용하여 위치표정을 수행한 결과 실제 AE파는 암반 내부의 (-81cm, -182cm, -82cm) 위치에서 발생하였으나 암반표면인 좌표위치 (29cm, 15cm, 0)에서 발생하는 것으로 분석되었다.

$$A_d = A_0 R^{-n} \quad \text{(1)}$$

여기서, A_0는 단위 거리에서의 진폭, A_d는 감쇠의 발생이 없는 탄성파의 진폭, R은 AE발생원에서 AE센서까지 거리이다.

3. 결론

KURT 현장암반에 Impact hammer를 이용하여 AE파를 발생시켜 위치표정을 수행한 결과 AE센서에는 P파가 아닌 표면파가 탐지되었으며 발생한 표면파 또한 발파에 의하여 형성된 EDZ 등의 영향으로 매우 낮은 속도를 보이며 위치표정의 정확성에 대한 오차 또한 매우 큰 것으로 분석되었다. 실험 시 표면파가 AE센서에 가장 먼저 도달한 원인을 분석해 본 결과 Impact hammer가 암반을 타격할 때 암반에서 발생하는 AE파 외에 Impact hammer 자체에서 발생하는 충격파가 시추공 내부에 존재하는 Impact hammer를 따라 암반표면에 P파보다 먼저 도달하여 AE센서에 전달되었기 때문으로 판단된다.

그러므로 현장암반에서 발생한 AE파를 활용한 위치표정의 정확성 향상을 위해서는 AE파 중 P파를 제외한 S파, 표면파 등의 간섭을 최소화하여야하며 암반내부에 존재하는 불연속면 등에 의한 AE파의 속도감쇠특성에 대한 충분한 연구가 수행되어야한다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] Kwon,S., C.S.Lee., S.J.Cho, Jeon and W.J.Cho, "An investigation of the excavation damaged zone at theKAERI underground research tunnel", nnelling and Underground space Technology, Vol. 24, pp.1-13, 2009.

[2] 전인식, 건설표준품셈, 건설연구사, 2006.

[3] 조원진, 최종원, 박정화, 이재완, 권상기, 김진섭, 백민훈, 김건영, 박경우, 이병직, 김인중, 권성중, "고준위폐기물 장기관리 기술개발: 공학적방벽 성능 현장실증연구", 한국원자력연구원, 2010.

[4] Ohtsu, M. and Ono, K. "A Generalized Theory of Acoustic Emission and Green's Functions in a Half Space," Journal of AE, Vol. 3, No.1, 124-133, 1984.