

사면계측을 위한 미소파괴음 실내시험

장현익¹⁾, 유병옥²⁾, 천대성³⁾,
김낙영¹⁾, 김성환⁴⁾, 정경선⁵⁾

¹⁾ 한국도로공사 책임연구원

²⁾ 한국도로공사 수석연구원

³⁾ 한국지질자원연구원 선임연구원

⁴⁾ 한국도로공사 도로교통연구원장

⁵⁾ 한국도로공사 도로처장

1. 서론

암반 사면은 붕괴까지의 변형이 작고 종래부터 일반적으로 쓰이고 있는 변위계측에서는 그 전조 현상을 포착하기 어렵기 때문에 토사 사면에 비하여 붕괴의 사전예지가 어렵다고 말한다. 그러나 이와 같은 암반 사면에 있어서도 붕괴될 때에는 그 내부에 있어서 균열 등의 미소한 변형이 발생하며 서서히 축적되어 최종적으로 붕괴가 생기기 때문에 그와 같은 미소 변화를 검출할 수가 있다면 붕괴의 사전 전조현상(Sign of Failure)을 포착하는 것이 가능하다. 일반적으로 물체가 눈에 보일 정도로 파괴되는 경우에는 큰 파괴음이 들린다. 이것은 내부에 축적된 변형 에너지가 파괴에 따라 순식간에 개방되며 그 대부분이 큰 탄성파가 되어 외부에 방출되기 때문이다. 그러나 실제로는 최종적인 파괴에 이르기 이전에 있어서도, 물체의 내부에서도 미소한 레벨에서의 파괴가 진행되기 때문에 미소 파괴에 수반하여 변형 에너지가 개방되어 미약한 탄성파가 방출된다. 본 연구는 이 파괴음의 측정을 통해 사면의 붕괴를 사전에 예측하기 위한 기법을 개발하기 위한 연구이다. 본 논문에서는 암반사면의 계측에 미소파괴음(Acoustic Emission)을 이용하기 위한 기초자료로서 실내시험을 수행하여 미소파괴음에 대한 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 시멘트 그라우트재료를 이용하여 원통, 각기둥 시료를 제작하여 단축, 휨 시험을 수행하였다.

2. 실내시험에 의한 미소파괴음 측정

2.1 기본이론

최근의 미소파괴음 감지장치와 기록장치의 발달로 인해 취득된 신호의 파형뿐만 아니라 얻어진 파형을 각종

미소파괴음 변수들로 변환하여 보다 효과적으로 계측, 분석할 수 있게 되는데, 미소파괴음 변수로는 미소파괴음 횡수(AE count), 진폭(amplitude), 지속시간(duration), 오름시간(rise time), 에너지(AE energy) 등의 다섯 가지가 일반적으로 사용되며 그에 대한 정의는 다음과 같다.

- (1) 미소파괴음 횡수(AE count): 미소파괴음 신호가 검출한계를 넘어선 횡수로 일반적으로 큰 타격음들은 작은 타격음들에 비해 검출한계를 넘어서는 횡수가 많았으므로, 이러한 미소파괴음 계수는 신호의 강도(intensity)에 대한 평가기준이 된다.
- (2) 진폭(amplitude): 미소파괴음 신호에서의 최대진폭을 말하며, 이는 보통 미소파괴음을 생성하는 재료의 음원의 강도와 관련된다. 측정은 보통 로그 단위(decibels, dB)로 기록되어 큰 신호와 작은 신호 모두 정확한 측정을 할 수 있게 한다. 측정되는 진폭에 영향을 주는 수많은 인자들로 인해 진폭 분석은 동일한 증폭수준과 동일 형태의 센서를 사용하여 이루어져야 한다.
- (3) 지속시간(duration): 미소파괴음 신호가 제일 처음 검출한계를 지나 마지막으로 검출한계를 지날 때까지의 시간으로, 잡음 필터링 등에 유용하게 쓰인다.
- (4) 오름시간(rise time): 미소파괴음 신호가 검출한계를 초과한 후 최대진폭 값에 도달하는데 걸리는 시간으로, 음원과 센서 사이의 파 전파과정에 의해 제어되기 때문에 미소파괴음 신호를 전자기적 잡음으로부터 분리하기 위한 목적으로 많이 사용된다.
- (5) 미소파괴음 에너지(AE energy): 지속시간 동안의 미소파괴음 파형 포락선 밑의 면적에 해당하는 측정값으로, 지속시간과 진폭에 민감하고, 검출한계 설정값이나 주파수에는 덜 의존적이기 때문에 미소파괴음 계수보다 더 많이 사용된다.

Shiotani(2001)은 그림 1과 같이 시추공에 철근을 넣고 그라우트재로 채워 넣어 사면내의 불연속면이 파괴될 때 그라우트재가 파괴되면서 발생하는 미소파괴음을 철근을 통하여 전달받아 계측하는 시스템을 개발하여 사면에 적용하였다. 본 논문은 이 연구와 동일하게 계측을 수행하기 위하여 그라우트재로 시료를 제작하여 파괴될 때 발생하는 미소파괴음에 대한 기초연구를 하였다.

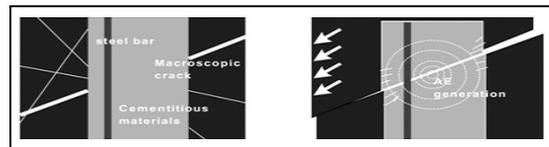


그림 1. Basic concept of acoustic emission measurement(Shiotani(2001))

2.2 시료준비

그라우트재를 이용한 시험을 위해 물과 시멘트를 부피비 1:1로 혼합하여 단축시험을 위한 원통시료(지름 100mm), 사각기둥시료(150×150×550mm), 원통시료(철근 설치, 지름 100mm, 길이 550mm) 시료를 각각 10개, 6개, 10개를 제작하였으며 그림 2와 같은 거푸집을 사용하였다.

2.3 시험장치

시험장치로 하중기는 MTS만능시험기를 이용하였고 미소파괴음 측정장치로는 PAC(Physical Acoustic Corporation)사의 MISTRAS를 이용하였다. 센서로는 광대역 센서를 이용하였으며 단축에는 6개, 휨시험에는 4개를 이용하여 측정하였다.

기술기사



그림 2. Experiment samples in curing

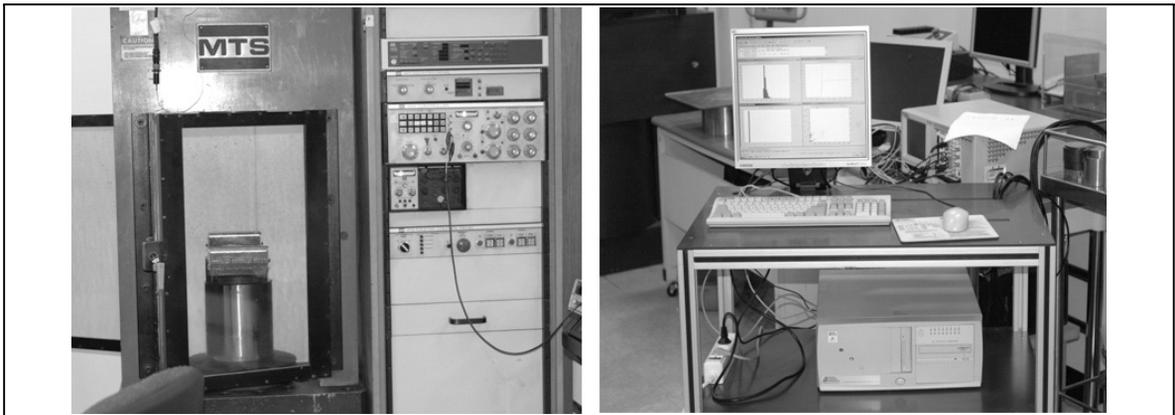


그림 3. Material testing machine and A,E measuring equipment

2.4 시험결과

2.4.1 탄성파속도(Seismic Wave Velocity)

단축시료를 이용하여 탄성파를 측정하였다. 5개의 시료는 14일 양생 후, 나머지 5개는 28일 양생 후 측정하였다. 표 1은 양생 기간을 달리하여 측정된 시료의 P파, S파 속도 측정치이다. 표에서 보는 것과 같이 14일 양생 시료 P파 평균은 3940m/sec, S파 평균은 2120m/sec, 28일 양생 시료 P파 평균은 4052m/sec, S파 평균은 2133m/sec로 측정되어 28일 양생 시료의 미소한 속도 증가 양상이 관찰되었다. 탄성파속도와 강도는 비례하며 28일 양생 후 부터는 강도의 증가가 없는 것으로 알려져 있기 때문에 이 이후의 속도 증가는 관찰되지 않을

것으로 판단된다.

2.4.2 단축시험(Uniaxial Test)

그림 5의 좌측은 지름 100mm 단축시료에 변형률 게이지와 광대역센서 6개를 부착한 사진이며 우측은 전처리 증폭기가 센서에 연결되어 미소파괴음 측정장치로 신호를 증폭시켜 보내주기 위해서 부착된 사진이다. 그림 6은 시료가 파괴된 후의 모습이며 각 센서별로 미소파괴음은 고르게 나왔으나 시료의 표면정밀도가 부족하여 주로 세로 방향의 인장파괴가 발생하였다. 그림 7은 시간이 증가함에 따라 미소파괴음 횟수와 하중의 변화를 단축시험시료에 대해서 표시한 것으로 두 시료 모두 하중이 증가하다가 세로 방향의 인장파괴로 인해 몇 번의 하

표 1. 오염 Seismic wave velocity according to curing days

Uniaxial Test	P-wave velocity(m/sec)	S-wave velocity(m/sec)	Curing
U1 추정 오염	3860	2050	14days curing
U2	4170	2260	14days curing
U3	3870	2050	14days curing
U4	3890	2180	14days curing
U5	3930	2070	14days curing
U6	4034	2090	28days curing
U7	4107	2208	28days curing
U8	3985	2098	28days curing
U9	4034	2145	28days curing
U10	4100	2125	28days curing

중 저하가 있었으며 이 하중저하가 발생하기 바로 전 미소파괴음이 증가하는 전조현상을 보였다. 이것이 계측에 응용할 수 있는 미소파괴음의 특징이며 이에 대하여 여러 가지 연구가 필요하다. 이 전조현상을 보인 시기에 파형이 가장 큰 진폭으로 발생되었으며 주파수 분석 결과 잡음의 신호는 125kHz부근인데 반해 파괴 시에는 200kHz이상의 주파수 영역이 주를 이루었다.

2.4.3 사각휨시험(Bending Test-Rectangle)

그림 8은 사각기둥 시료로 4점 굴곡시험장치를 이용한 휨시험을 하는 사진이며 사각기둥의 파괴는 중심 하부에서 발생하므로 센서를 그 부근에 설치하였다. 센서는 광대역센서로 좌우 각각 중심에서 3cm거리를 두어 부착하였다. 그림 9는 사각 휨시료의 미소파괴음 횡수, 하중을 동시에 표시한 그림으로 하중이 많이 진동하였으며 갑작스럽게 파괴되었으나 역시 전조현상을 볼 수 있었다.



그림 5. Uniaxial test sample and pre-amplifier

기술기사

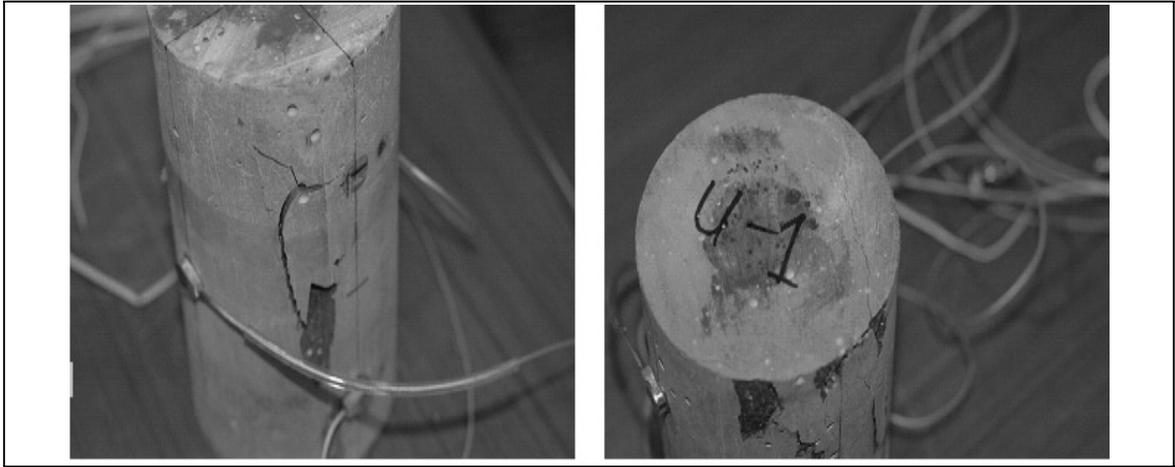


그림 6. Uniaxial test sample after failure

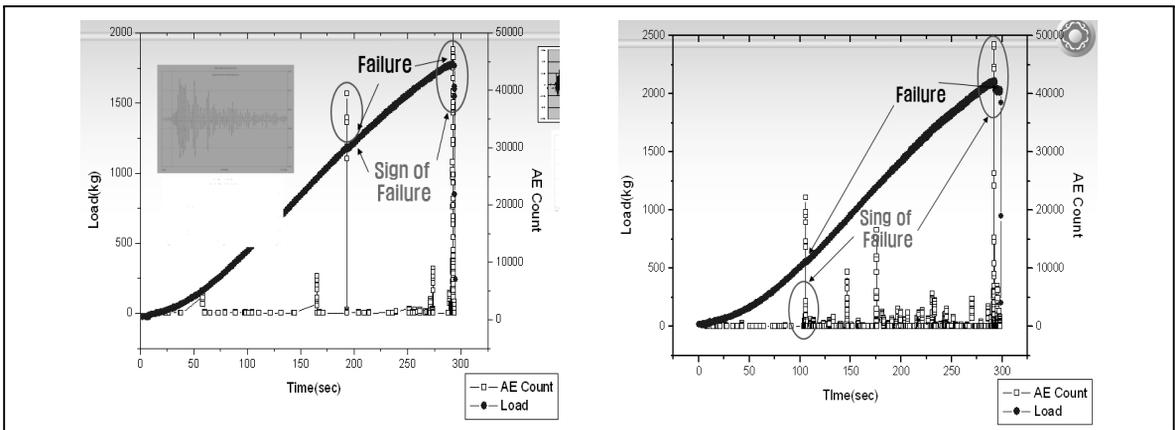


그림 7. AE counts and load of uniaxial test samples



그림 8. Bending test(rectangle) sample before and after failure

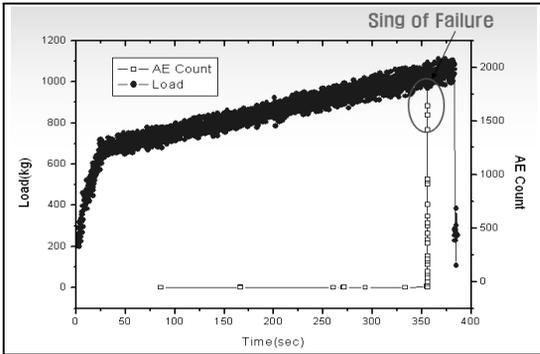


그림 9. AE counts and load of bending(rectangle) test sample

2.4.4 원통시험(Bending Test-Cylinder)

그림 10은 원통 시료로 4점 굴곡시험장치를 이용한 휨시험을 하는 사진이며 사각기둥 시료와 마찬가지로 센서를 하부 중심 부근에 설치하였다. 센서는 광대역센서로 중심에서 3cm거리를 두어 4개를 부착하였다. 그림 11은 사각휨시료의 미소파괴음 횟수, 하중을 동시에 표시한 그림으로 하중이 많이 진동하였으며 갑작스럽게 파괴되었으나 역시 전조현상을 볼 수 있었다.

3. 결론

미소파괴음을 사면 계측에 응용하기 위해서 그라우트재에 대한 단축, 사각휨, 원통휨 시료를 제작하여 미소파괴음 저장 양생기간에 따른 탄성파속도 증가 확인하였고 단축, 휨시험을 하여 인장파괴 주로 발생하였고 시료 파괴전 미소파괴음 횟수가 증가하는 전조현상 확인하였으며 초기 주파수 대역은 125kHz, 파괴시 주파수 대역은 200~250kHz으로 측정되었다. 파괴이전에 전조현상에서 측정되는 미소파괴음에서 가장 큰 에너지의 파형이 관찰되었다. 향후 그라우트재에 대한 진단시험 추가 실시할 예정이며 미소파괴음 해석 프로그램 제작, 파괴음 취득 장비 개발 등을 통하여 실제 사면 설치, 계측 전조현상 포착에 사용할 것이다.

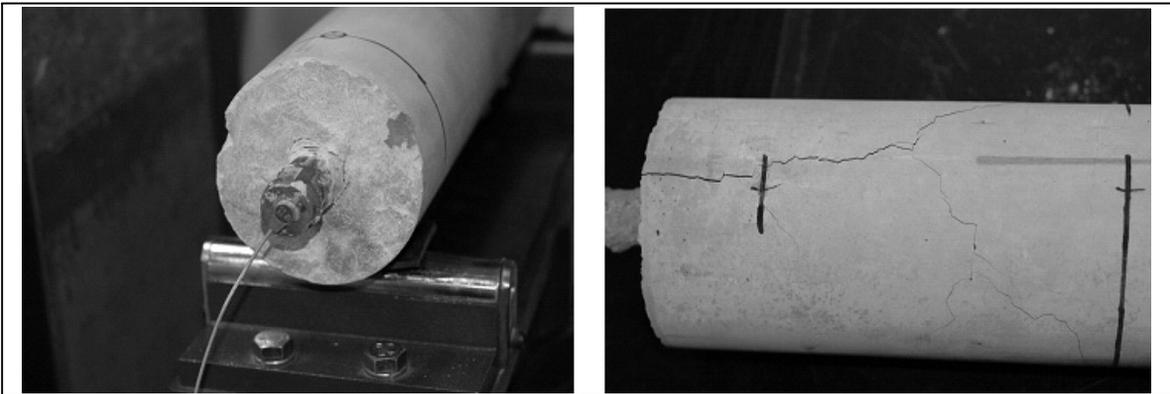


그림 10. Bending test(cylinder) sample before and after failure

기술기사

[참고문헌]

1. Tomoki Shiotani, et al., (2001), Detection and evaluation of AE waves due to rock deformation, Construction and Building Materials, Vol. 15, 235-246.
2. Tomoki Shiotani, (2006), Evaluation of long-term stability for rock slope by means of acoustic emission technique, NDT&E International, Vol. 39, 217-228.
3. 허종석 (2001) 삼축 압축 하에서 암석의 미소파괴음 측정과 변형 파괴 특성, 서울대학교 대학원.
4. 손봉기 (2005), 일정수직강성 조건에서의 암석 절리면 전단 거동에 관한 연구, 서울대학교 대학원.

www.seoyeong.co.kr
 꿈이있는 미래설계, 함께하는 서영

西永
 seoyeong
 ENGINEERING

135-240 서울특별시 강남구 개포동 14-4번지 8~11층 | TEL 02-6915-7000 | FAX 02-6915-7007