

미소파괴음을 이용한 절토사면계측

Rock Slope Monitoring using Acoustic Emission

장현익¹⁾, Hyun-Ick Jang, 김진광²⁾, JinKwang Kim, 김찬우³⁾, Chan woo Kim,
김경석⁴⁾, Kyung-Suk Kim, 천대성⁵⁾, Dae-Sung Cheon

- 1) 한국도로공사 울산포항건설사업단 책임연구원, Chief Researcher, Korea Expressway Corporation.
- 2) 한국도로공사 울산포항건설사업단 단장, Chief of Construction Office, Korea Expressway Corporation.
- 3) 한국도로공사 울산포항건설사업단 팀장, Team Leader, Korea Expressway Corporation.
- 4) 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원, Associate Researcher, Korea Expressway Corporation.
- 5) 한국지질자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Institute of Geoscienc & Mineral Resources.

SYNOPSIS : The stability forecasting of rock slope is more difficult than soil slope because catching the sign of failure in monitoring is not easy and deformation of the rock is small in failure process. But in the rock slope, there is small deformation like crack propagation in rock itself and it accumulates gradually in failure process. If it is possible to detect the small change in the rock slope, we can know the failure time exactly. Because the individual signal is gathered in the acoustic emission monitoring, it is possible to monitoring the slope if many sound signal is accumulated.

Detection test of acoustic emission was performed. Uniaxial, two types of bending test, and two plane shear test were done with various cement paste sample. Wave propagation velocity of uniaxial test sample was increased with curing time. Wave Analysis give us the result that there is a AE sign signal before the failure, the AE count is suddenly increased. And frequency level 125kHz before failure is changed to level 200-250kHz after failure. In two plane shear test we can catch the AE signal and can know the failure type from wave shape. Monitoring test site is tunnel slope in Hongcheon but special signal is not collected.

Key words : Acoustic Emission, Rock Slope, Uniaxial test, Bending test, Two plane shear

1. 서론

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 방출되는데 이것을 미소파괴음(Acoustic Emission)이라고 한다. 이 미소파괴음을 측정하면 사면의 파괴이전 미소한 파괴가 발생하는 것을 측정하여 사면의 파괴를 미리 예측하는 것이 가능할 것이다. 본 논문에서는 암반사면의 계측에 미소파괴음을 이용하기 위한 기초자료로서 실내실험을 수행하여 미소파괴음에 대한 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 시멘트 그라우트재료를 이용하여 원통, 각기둥 시료를 제작하여 단축, 휨, 이면전단 실험을 수행하였다. 현장적용성을 시험하기 위하여 서울-홍천 고속도로의 터널 갱구부에 미소파괴음 측정장비를 설치하여 계측을 수행하였다.

2. 본 론

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 횟수 (AE count), 진폭 (amplitude), 지속시간 (duration), 오름시간 (rise time), 에너지 (AE energy) 등의 다섯 가지가 일반적으로 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.

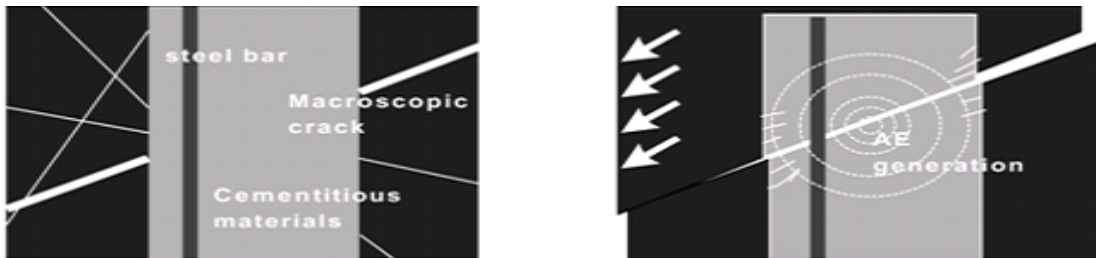


그림 1. 미소파괴음 측정의 기본 개념(Shiotani(2001))

2.2 실내실험

그라우트재를 이용한 시험을 위해 물과 시멘트를 부피비 1:1로 혼합하여 단축시험을 위한 원통시료 (지름 100mm), 사각기둥시료(150×150×550mm), 원통시료(철근설치, 지름 100mm, 길이 550mm) 시료를 각각 10개, 6개, 10개를 제작하였다. 이면전단시험을 위한 사각시료는 물시멘트비가 1:1인 것 10개, 미소파괴음 에너지를 크게 하기 위해 모래를 부피비로 물의 50%로 한 것을 5개, 25%로 한 것을 5개 제작하였다. 실험장치로 그림 2와 같이 하중기는 MTS만능시험기를 이용하였고 미소파괴음 측정장치로는 단축, 휨실험에서는 PAC(Physical Acoustic Corporation)사의 MISTRAS, 이면전단시험에서는 자체개발한 장비와 프로그램을 이용하였다. 센서로는 광대역 센서와 PAC사의 R6I-AST 압전센서를 이용하였으며 단축에는 6개, 휨실험에는 4개, 이면전단시험에서는 4개를 이용하여 측정하였다.



그림 2. 만능시험기와 미소파괴음 측정장치

2.2.1 단축실험(Uniaxial Test), 휨실험(Bending Test)

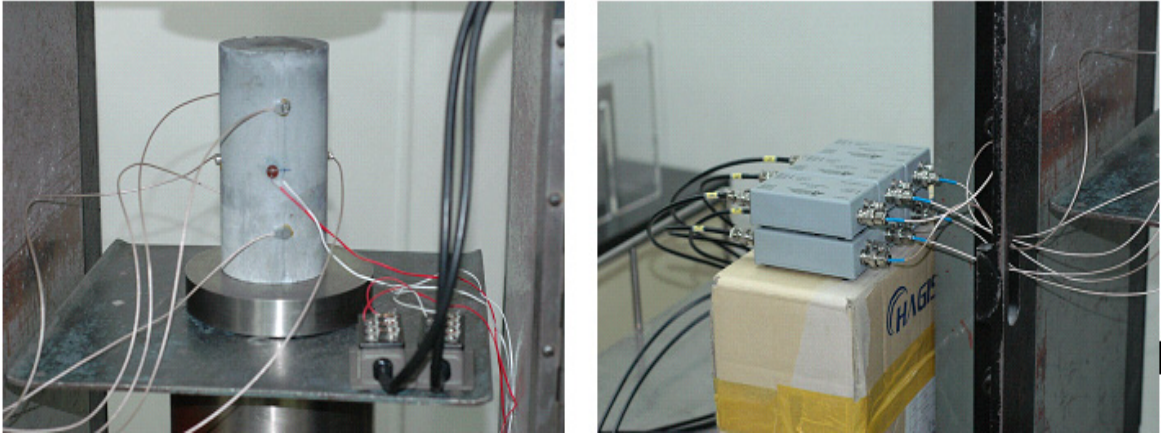


그림 3. 단축시료와 프리앰프

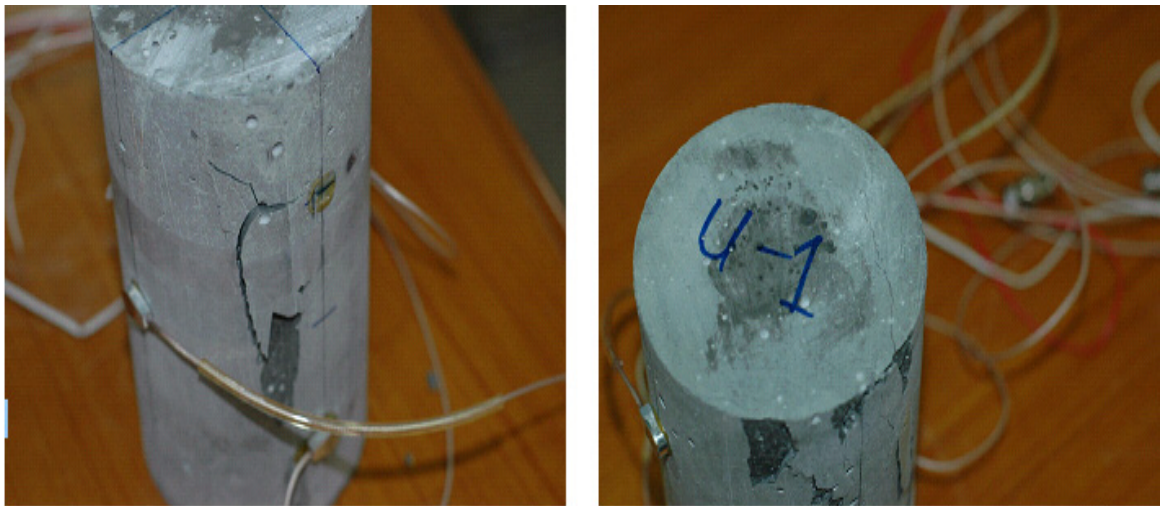


그림 4. 실험 전후의 단축시료

그림 3의 좌측은 지름 100mm 단축시료에 변형률 게이지와 광대역센서 6개를 부착한 사진이며 우측은 전처리증폭기가 센서에 연결되어 미소파괴음 측정장치로 신호를 증폭시켜 보내주기 위해서 부착된 사진이다. 그림 4는 시료가 파괴된 후의 모습이며 각 센서별로 미소파괴음은 고르게 나왔으나 시료의 표면정밀도가 부족하여 주로 세로 방향의 인장파괴가 발생하였다. 그림 5는 시간이 증가함에 따라 미소파괴음 횟수와 하중의 변화를 단축실험시료에 대해서 표시한 것으로 두 시료 모두 하중이 증가하다가 세로 방향의 인장파괴로 인해 몇 번의 하중 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.

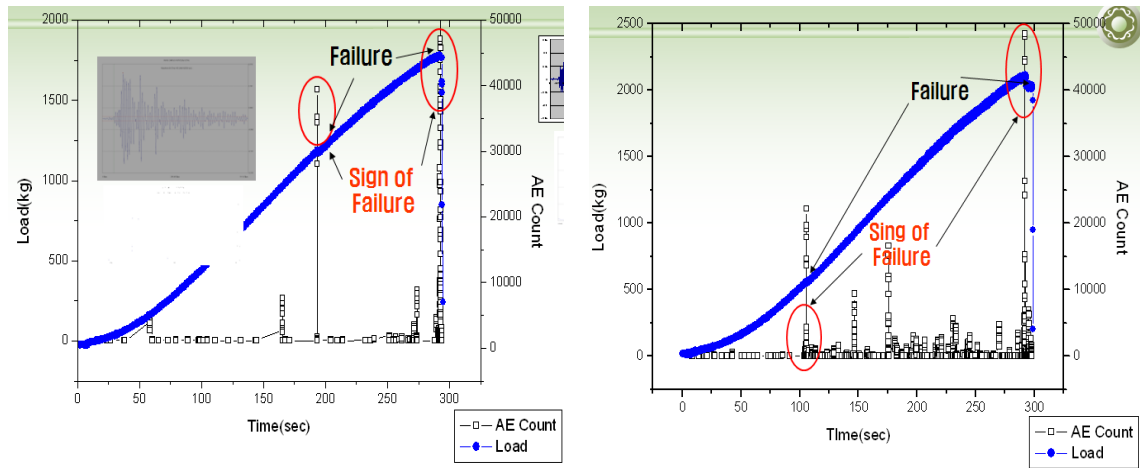


그림 5. 단축시험에서의 미소파괴음 횟수와 하중

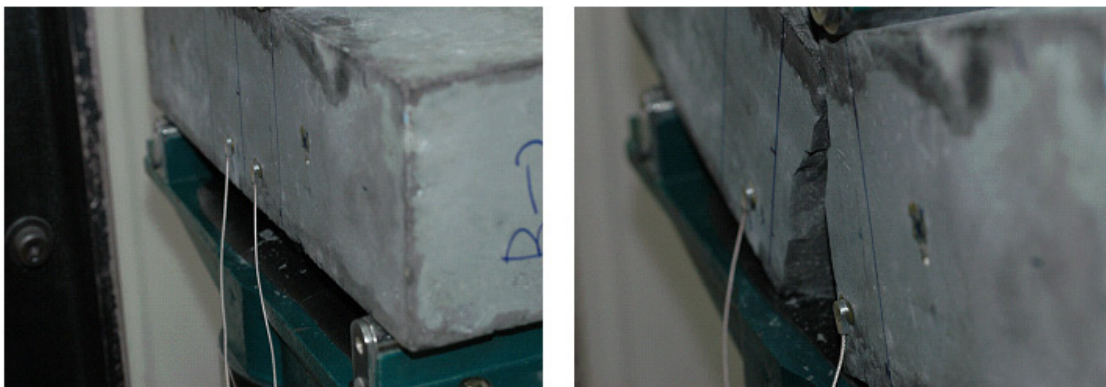


그림 6. 휨시험 전후의 시료사진

그림 6은 사각기둥 시료로 4점 굴곡시험장치를 이용한 휨시험을 하는 사진이며 사각기둥의 파괴는 중심 하부에서 발생하므로 센서를 그 부근에 설치하였다. 센서는 광대역센서로 좌우 각각 중심에서 3cm 거리를 두어 부착하였다. 그림 7은 사각휨시료의 미소파괴음 횟수, 하중을 동시에 표시한 그림으로 하중이 많이 진동하였으며 갑작스럽게 파괴되었으나 역시 전조현상을 볼 수 있었다.

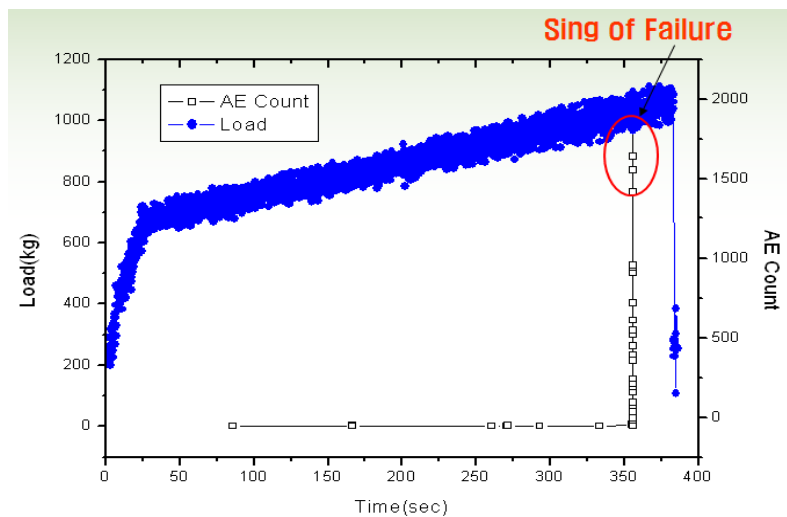


그림 7. 휨시험에서의 미소파괴음 횟수와 하중

2.2.2 이면전단실험(Two Plane Test)

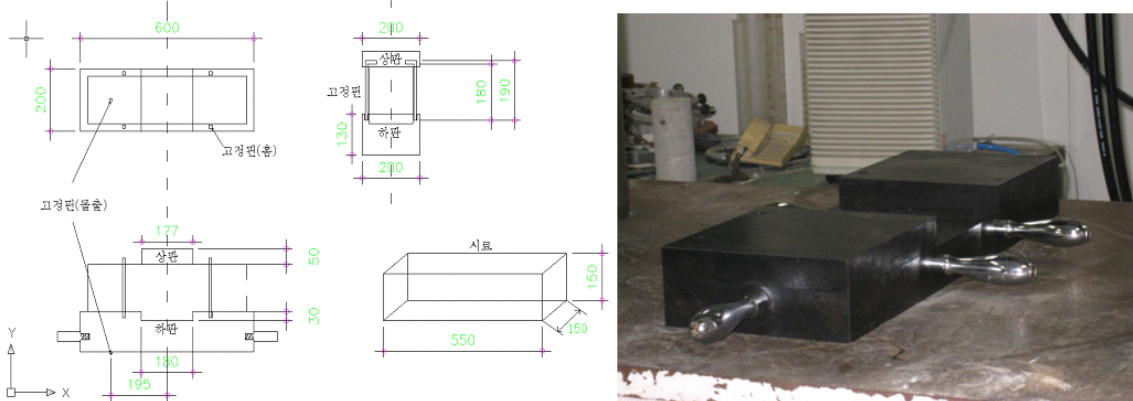


그림 8. 이면전단실험 장비

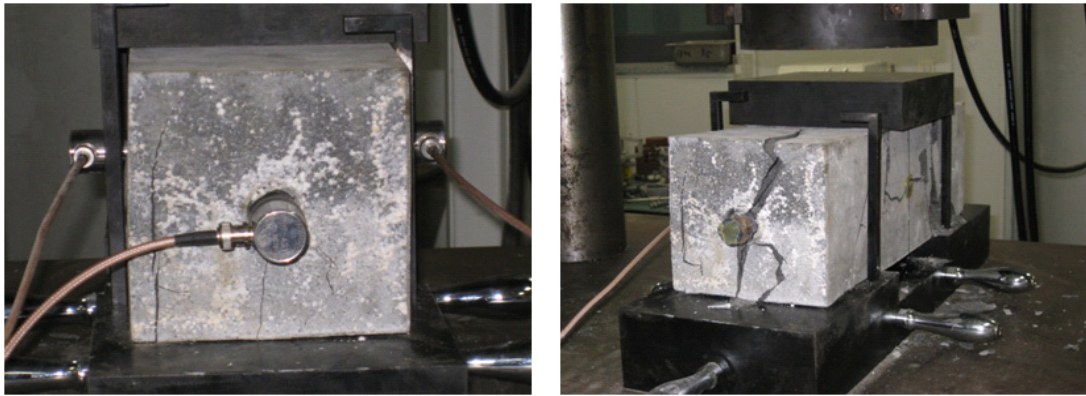


그림 9. 이면전단실험 전후의 시료사진

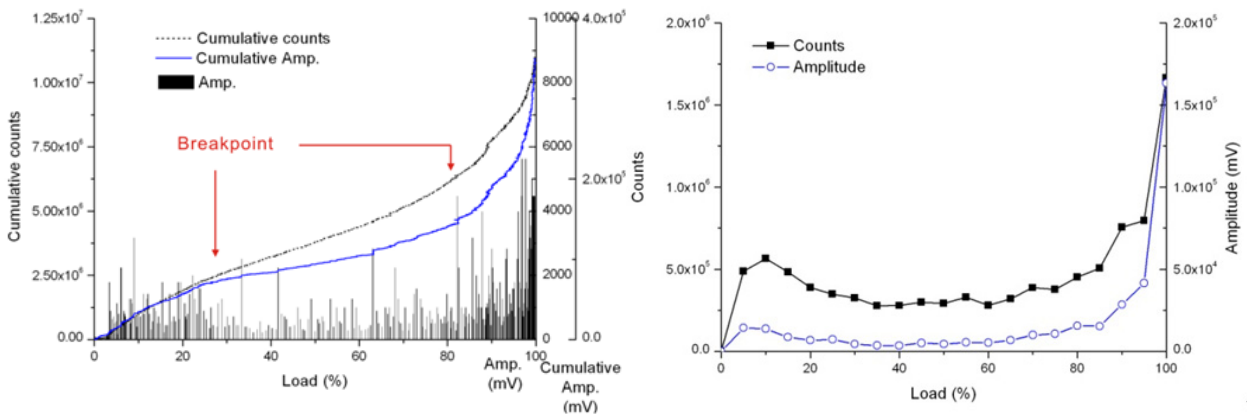


그림 10. 이면전단 시료의 하중-횟수 곡선

그림 8은 이면전단실험을 수행하기 위한 장비를 보여주는 그림으로 우측의 제작된 장치 위에 45cm의 사각시료를 놓고 상부에서 177mm상판으로 하중을 가하면 상판의 양끝부분에서 전단이 발생하는 원리를 이용한다. 그림 9는 실험 전의 센서 부착과 파괴후의 사진을 보여준다. 그림 10은 하중증가에 따른 미소파괴음 누적횟수의 증가를 보여주는 그림으로 파괴시점에서 미소파괴음의 누적횟수가 증가하는 것

을 볼 수 있다. 우측 그림은 전체 시료에 대해서 누적된 횡수를 보여주는 그림으로 전체적으로 파괴이전 급격히 증가하는것을 보여준다.

2.2.3 시험시공

미소파괴음의 현장적용을 위하여 시험시공을 계획하였다. 시험시공장소는 춘천-동홍천 4공구의 터널갱구부분으로 설치 당시 보강작업을 진행하고 있었으며 설치 이후 측정을 실시하고 있으나 특별한 신호를 보이지는 않고 있다.



그림 13. 현장적용을 위한 시험시공지

3. 결론

미소파괴음을 사면 계측에 응용하기 위해서 그라우트재에 대한 단축, 사각휨, 원통휨 시료를 제작하여 미소파괴음 저장 양생기간에 따른 탄성파속도 증가 확인하였고 단축, 휨실험을 하여 인장파괴 주로 발생하였고 시료 파괴전 미소파괴음 횡수가 증가하는 전조현상 확인하였으며 초기 주파수 대역은 125kHz, 파괴시 주파수 대역은 200-250kHz으로 측정되었다. 파괴이전에 전조현상에서 측정되는 미소파괴음에서 가장 큰 에너지의 파형이 관찰되었다. 이면전단시험을 실시하여 파괴직전의 미소파괴음 증가양상을 볼 수 있었으며 시험시공을 실시하여 현장적용성을 시험하였으나 현재까지 특별한 신호를 보이지는 않고 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 2005년 지역기술혁신사업(강원권역) 연구단인 낙석 및 산사태 방재연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Tomoki Shiotani, et al., (2001), Detection and evaluation of AE waves due to rock deformation, Construction and Building Materials, Vol. 15, 235-246.

Tomoki Shiotani, (2006), Evaluation of long-term stability for rock slope by means of acoustic emission technique, NDT&E International, Vol. 39, 217-228.

허중석 (2001) 삼축 압축 하에서 암석의 미소파괴음 측정과 변형 파괴 특성, 서울대학교 대학원.

손봉기 (2005), 일정수직강성 조건에서의 암석 절리면 전단 거동에 관한 연구, 서울대학교 대학원.