

# 절리성 블록 암반의 사면 불안정성 계측 기법 개발

이준용<sup>1)</sup>, 박형동<sup>1)</sup>, J. Zvelebil<sup>2)</sup>, J. Stemberk<sup>2)</sup>

## 1. 서론

절리에 의해 형성된 암반블록의 불안정성은 대체로 규모면에서는 다른 사면의 불안정성에 비해 크지 않지만, 도로 및 철로 사면의 불안정성이나 자연 암반사면에 형성된 문화재의 불안정성을 고려한다면, 절리성 암반블록의 거동에 대한 예측은 의미를 가지게 된다. 이러한 암반블록의 거동을 예측하기 위해서는 장기적인 계측 자료와 분석이 수반되어야 한다. 인공사면의 경우, 대개 사면이 불안정한 경우에 대해서는 거동의 계측보다는 사면의 보강측면에 관심을 기울이고, 상대적으로 안정한 상태가 되면 계측을 중단한다. 이러한 이유 때문에 인공사면에서 장기적인 계측 결과를 얻기에는 다소 무리가 따른다. 따라서 본 연구는 장기적인 계측이 가능한 자연사면으로 접근하되, 그 대상물을 관측의 가치가 충분한 문화재에 초점을 맞추어 보고자 한다.

## 2. 연구 대상지역

본 연구의 대상은 경주 남산지구의 삼릉계곡마애석가여래좌상과 그 주변 지역이다. 경주 남산지구는 세계문화유산으로 등록이 되어 있으며, 통일신라 하대로 추정되는 삼릉계곡마애석가여래좌상은 지방유형문화재로서 자연 암반의 벽면에 6m 높이로 양각된 여래좌상이다. 이 지역은 주로 중생대 백악기 말에서 신생대 제3기 초기에 관입된 불국사 화강암류로 이루어져 있으며, 불국사 화성활동과 수반된 단층운동이 있었던 지역이다. 남산의 곳곳에는 이러한 운동과 관련한 파쇄대를 관찰할 수 있다. 본 연구대상인 불상의 오른쪽으로 이 파쇄대가 발견되며, 주 연구대상이 불상은 화강암의 판상절리에 의해 형성된 넓은 판상의 암반 블록 위에 새겨졌다(사진 1).

## 3. 관측 결과 및 계측 지점 선정

사진 2는 삼릉계곡마애석가여래좌상의 옆부분의 사진이며, 여러 부분의 암반 블록으로 이루어져 있다. 특히 불상과 관련되어 있는 블록은 "C"로 표기했으며, C5 블록에 불상이 새겨져 있다. 사진 3에서 보는 바와 같이, 블록 C2와 C3는 아래쪽 방향으로 미끄러질 가능성을 내포하고 있으며, C2와 C3의 미끄러짐은 C4와 C5 블록의 전도를 유발할 가능성이 있다. 다시 말해서 "C"로 표현된 블록 전체가 buckling을 일으킬 가능성이 있다. b2와 b3과 같이 이미 buckling이 발생한 증거는 이러한 가능성을 뒷받침한다. 이를 토대로, 보다 근접한 관찰을 통해 10군데 정도의 계측 지점을 선정하였다.

## 4. 계측 방법 및 분석

사진 3은 본 연구에 사용될 계측장비의 사진이다. 본 장비는 계측시에 사용되는 rod, rod에 장착되는 다이얼게이지, 계측지점에 장착되는 pin, 그리고 표준 rod로 크게 구성되어 있다. rod에 달려 있는 probe와 pin에 패여 있는 폼을 이용하여 계측을 수행하게 된다. 이러한 방법으로 블록간의 틈의 길이를 측정하게 되는데, 대개 3개 이상의 pin을 설치해야만 수직이동과 수평이동을 동시에 계측할 수 있게 된다. 검은 색의 표준 rod는 표준길이를 제공함과 동시에 재료의 열팽창율을 고려하여 길이를 보정할

때 사용된다. 사면거동에 대한 기존의 계측 방법에 있어, 근래에 들어 GPS와 같은 최신 전자장비를 이용한 사례도 소개되고 있지만, 전자장비는 비용 측면 및 야외에서의 내구성이 약하다는 단점이 있는 반면 본 연구에 사용된 방법은 암반내에 고정시킨 지점을 파악하기 때문에 암반블록의 움직임 이외에는 영향을 거의 받지 않으며, 가격이 저렴하며, 기구가 간단하고, 내구성이 높아 장기간의 미세한 거동도 측정가능하다는 면에서 장점을 보이고 있다.

계측을 통해 얻어진 데이터는 계절적 변화와 같은 일시적인 변위와, 실제 암반블록의 움직임을 나타내는 변위를 함께 포함하고 있다. 따라서 이러한 데이터의 비선형성에서 유용한 결과를 도출해 내고, 이를 통해 암반블록의 거동상태 및 파괴시점의 예측의 과정을 수행한다. 또한 적절한 계측 주기의 선정도 중요한 사항이다. 그림 1은 체코 측에서 17년간 모니터링한 결과의 한 예로서, 이 경우의 계측 주기는 1주일이며 단순히동평균법을 이용한 회귀의 방법으로 거동상태를 밝혔다. 또한 최근에는 ARIMA와 같이 시계열을 고려한 분석도 수행되고 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구 방향

현재 암반블록 상태의 위험을 파악하기 위해서는 과거의 암반 블록의 거동에 대한 해석이 선결되어야 하며, 이러한 암반 블록의 거동을 장기적으로 계측함에 있어서 자연 암반 사면이 좋은 연구 대상으로 선정될 수 있다. 또한 대상 암반 블록에 대해서는 주요한 지점의 장기적인 계측이 이루어져야 한다. 얻어진 변위 자료들에 대해, 계절적 요인에 의한 변위와 같은 noise에 해당되는 부분 및 비선형성에 대한 해석은, 적절한 계측 주기에 대한 선정 및 과거의 분석사례와의 충분한 비교, 그리고 시계열 분석과 같은 분석기법의 적용 등을 필요로 한다. 다른 부분에 대한 추가적인 모니터링을 통해서 얻어진 데이터들의 체계적인 관리를 통해 보다 일반화된 암반의 거동 특성을 도출해 낼 수 있다.

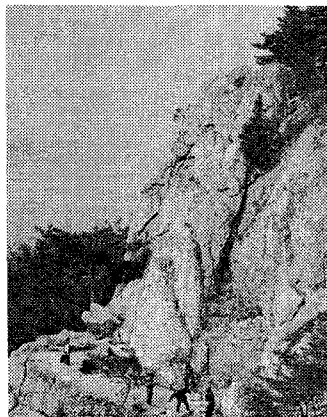


사진 1

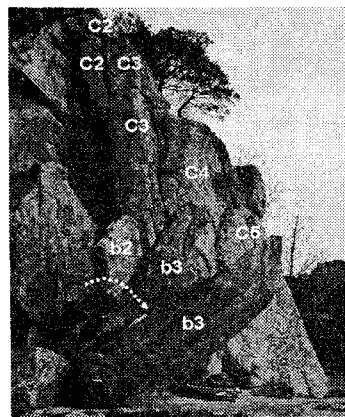


사진 2

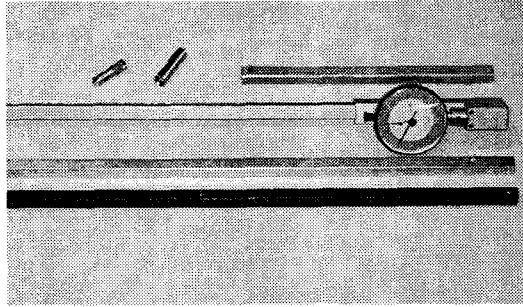


사진 3

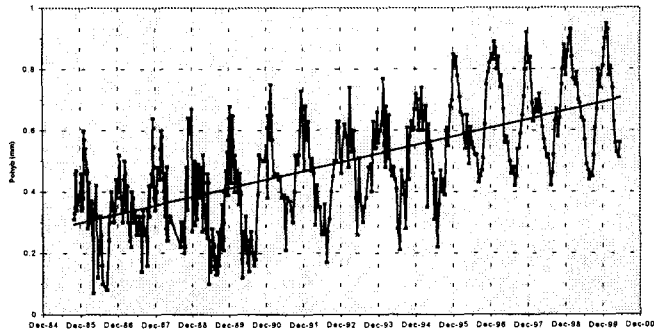


그림 1

주요어: 암반블록, 자연사면, 계측, 비선형성

- 1) 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정
- 2) Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague, Czech Republic