

# 자연사면 거동 관측을 위한 계측사례

## Case Study of Field Measurement for Movement Observation of Natural Terrain

조 용 찬	한국지질자원연구원
김 경 수	한국지질자원연구원
채 병 곤	한국지질자원연구원
이 대 하	한국지질자원연구원
김 원 영	한국지질자원연구원

### 1. 서 언

우리나라는 여름철이면 집중호우로 인해서 많은 산사태가 발생하고 있다. 특히 경기도 지역에 많은 피해를 주고 있는데, 최근 10년의 피해 상황을 보면 매년 수십 명의 인명피해와 많은 재산피해를 보여주고 있다(박덕근, 1999). 이렇게 매년 발생하는 산사태를 대상으로 그 원인과 규모를 파악하고 발생 메커니즘을 연구하여 산사태가 발생할 가능성이 있는 곳을 예측하는 연구도 수행되고 있다(김원영 외, 2000)

최근에 수행되고 있는 산사태 연구의 방향은 집중강우에 의해 발생하는 산사태를 대상으로 현장조사를 바탕으로 하여 발생원인을 규명하고 이후에 발생할 가능성이 높은 지역을 예측하는 연구(김원영 외, 2000; Iiritano et al., 1998; Dai et al., 2001)와, 산사태가 발생한 현장을 대상으로 한 모니터링 및 모니터링 기법에 관한 연구(Angeli et. al, 2000; Corominas et al., 2000, Malet et al., 2002)등이 있다.

이 연구의 목적은 산사태발생의 위험성이 높은 사면을 대상으로 강우량, 간극수압 및 사면의 변위량을 지속적으로 모니터링 하여 사면활동에 대한 강우의 역할을 규명해 보고자 하는데 있다.

### 2. 산사태 모니터링 기법

최근 들어 과학기술의 발달로 각종 모니터링을 위한 계측장비들이 많이 개발되고 있다. 특히 인공위성을 측량점으로 이용하는 GPS(Global Positioning System)기술의 발전이 부각되고 있는데 이 GPS를 이용한 산사태 모니터링 기법의 경우, 장비를 이용하여 지표면상의 변위량을 직접 측정하는 방법이 이용되고 있다(Malet et al., 2002). 그러나 이 기술의 경우 그 정확도에 있어서 측정오차를 보정하는 기술이 더 뒷받침되어야 한다. 또 다른 모니터링 기법은 피조메터(Piezometer), 강우계(Rain gage), 그리고 변위계등을 이용해서 사면의 상태

를 모니터링 하는 것이다. 외국에서는 장력계(extensometer)를 이용하여 사면 변위를 모니터링하는 예가 다수 있다(Angeli et. al, 2000; Corominas et al., 2000). 이 방법은 시추공내에 강선(wire)을 삽입 고정하여 변위를 측정하거나 지표면 위에 움직이지 않게 말뚝을 설치하고 이들을 강선으로 연결하여 변위를 측정하는 방법이다.

### 3. 대상지역 및 계측장비

자연사면 거동을 관측하기 위하여 경기도 연천에 위치하고 있는 군부대 막사 뒷편 사면을 대상으로 선정하였다. 이 사면은 북향사면으로 사면 경사는 평균 20-30도 내외이며, 사면에 2개의 소단이 있으며, 사면 하단부에는 약 1m 높이의 옹벽이 설치되어있다. 막사는 사면에서 약 1-3m 정도의 거리를 두고 위치하고 있다(그림 1). 이 사면의 기반암은 적갈색을 띠는 응회암이며, 토층은 거의 붕적토로 구성되어 있다.

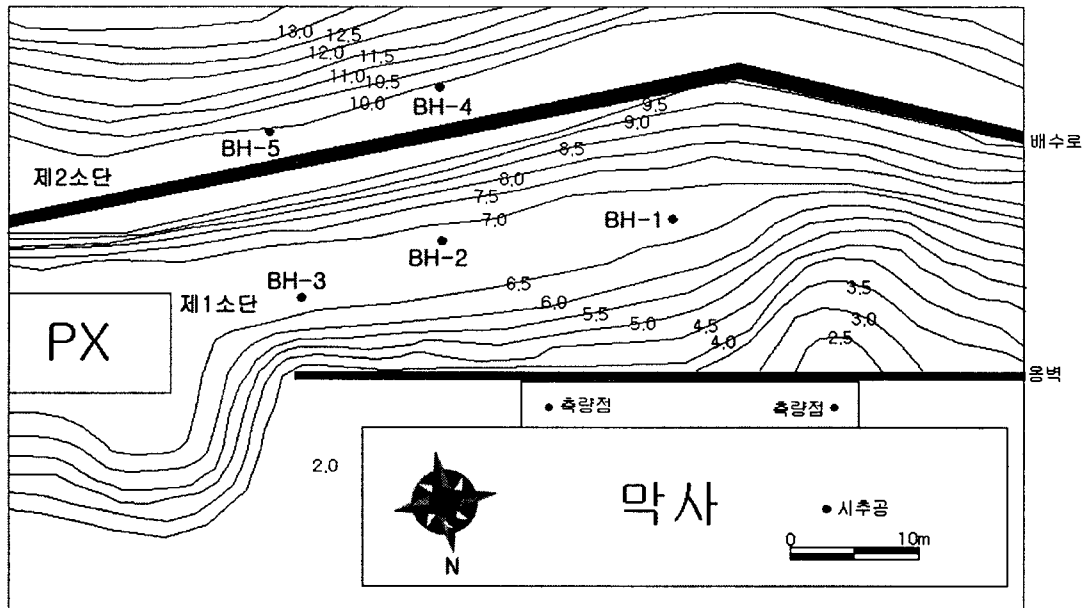


그림 1. 모니터링 대상 사면의 평면도.

이 사면을 대상으로 정확한 강우량을 측정하기 위하여 설치한 강우계는 0.01mm까지 측정할 수 있는 독일 OTT사의 PLUVIO 장비이며, 측정 시간 간격은 매 10분이다.

토층내의 간극수압을 측정하기 위하여 사면 제1단에 3개, 제2단에 2개의 공을 시추하였으며, 설치심도는 기반암 상위 약 1m정도 되는 위치로 하였다(그림 2). 여기에 사용된 간극수압 측정용 센서는 미국 RST Instruments 사의 진동형 타입(측정범위 25 PSI)이며, 측정시간 간격은 매 20분이다.

사면의 변위를 측정하기 위하여 사면 소단에 길이 1m정도의 쇠파이프를 지표 위에 10cm정

도만 남을 때까지 막아 넣었다. 변위 측정점은 제1단에 4개, 제2단에 5개, 최상단부에 1개 지점으로 설치하였으며, 기준점은 막사 지붕 위에 설치하였다. 변위측정을 위하여 1개월에 한번씩 현장에서 쇠줄자(steel tape measure)를 이용하였으나, 측정오차로 인하여 정확한 값을 얻을 수 없어서 후에 측량장비로 대체 하였다. 변위 측정에 사용된 측량기기는 미국 Topcon 사의 Total Station GTS-500 시리즈를 이용하였다. 이 장비는 반사식 광파측량기로서 측량점의 좌표와 거리, 고도까지 측정이 가능한 장비이다.

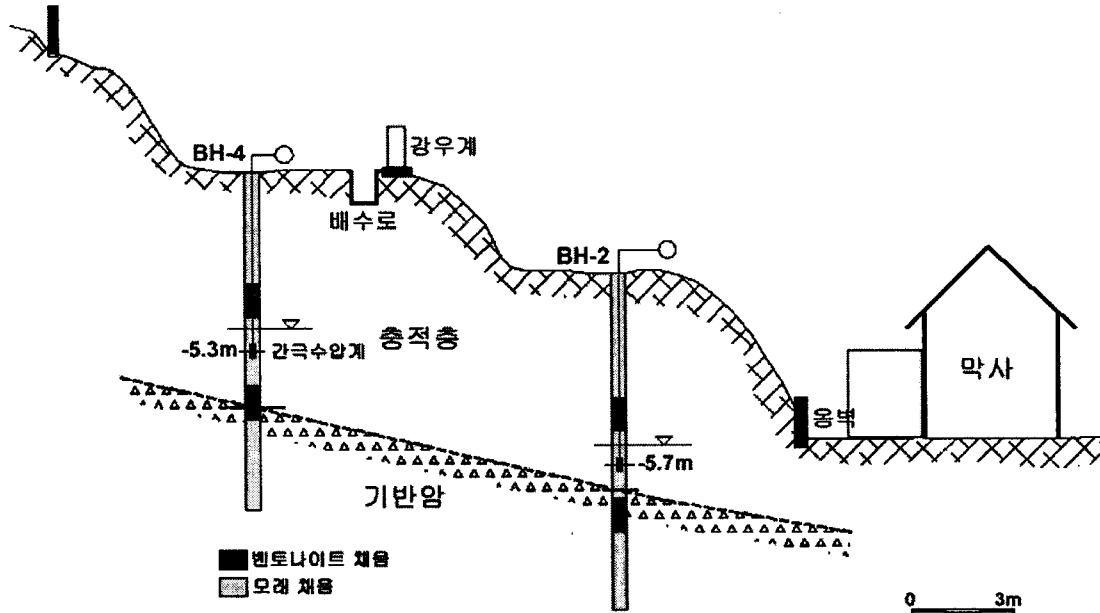


그림 2. 간극수압계 설치 모식도.

#### 4. 사면 계측 모니터링

2001년 2월에 각종 계측기 설치작업을 마치고, 모니터링을 시작하였다. 모니터링은 2002년 2월까지 약 1년에 걸쳐 수행되고 있으며, 향후 계속해서 실시할 예정으로 있다.

모니터링 사면에서 측정된 강우량과 간극수압의 관계는 그림 3에 나타내었다.

모니터링 지역의 강우는 1년간 약 1,100mm를 나타내고 있으며, 그 대부분이 6월 하순에서 8월 중순까지 관찰되었다. 2일간에 걸쳐 100mm이상의 강우량을 나타내는 날도 4번 정도 보여주고 있다.

간극수압의 경우 강우량과 비교해 보면 강우가 있는 이후부터 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 강우가 거의 없었던 6월 이전인 3월경에 상승한 이유는 사면 위에 쌓여있던 눈이 녹으면서 그 녹은 물이 지하로 침투하며 간극수압을 증가 시켰다. 6월 하순부터 강우에 의한 간극수압의 변화는 BH-1과 2에서는 급증하였는데(약 4 PSI) 반해, 비슷한 설치심도를 가지면서도 BH-3, 4, 5에서는 완만히 증가하고 있다. 후자의 경우는 부대에서 사고에

방차원으로 제2소단 전체에 비닐을 덮어 씌워서 원천적으로 지표를 통해서 강우가 침투하지 못하게 한데서 기원한다고 추정하는 바이다. 강우량과 간극수압과의 관계를 비교하여 보면, 6월 30일부터 2일간 140mm정도의 강우에서 약 4PSI까지 증가하는데 5일정도 소요되었다. 이후 강우에 따라 등락을 거듭하다가 거의 마지막으로 비가 내린 8월 15일(3일간 100mm정도) 이 후 2-3일 간 4PSI를 유지하다가 5-6일 후 1-2PSI이하로 감소하였다. 이러한 점은 측정지점의 심도가 지표 하 5m정도로 얕은 지역이기 때문에 강우에 의한 간극수압의 변화가 빠르게 반응하는 것으로 추정되며, 또한 사면 구성 물질의 배수 상태가 양호하기 때문인 것으로 추정된다. 그리고 6월 하순(2일간 140mm)과 7월 하순(4일간 370mm)에 많은 비가 내렸는데, 강우량의 차이는 두 배 이상에 달하지만 간극수압의 차이는 나타나지 않고 있다. 이것은 약 100여 mm 이상의 강우가 내렸을 때 이 사면이 완전히 포화되거나 배수의 용이함으로 인해서 추가적인 강우는 배수가 되어서 간극수압이 더 이상 증가하지 않는 것으로 추정된다.

사면 변위의 경우 초기에는 쇠줄자를 이용하였으나 오차범위가 크게 나타나서 후에 반사식 광과측량으로 대체 하였다. 측정값의 경우 측정시마다 수mm의 차이가 나타났지만, 모든 측정점에 대해 일정한 차이를 보여주고 있어서 측량기를 설치 할 때의 오차로 간주된다. 그리도 아직은 특이할만한 변위량은 보여주고 있지 않다.

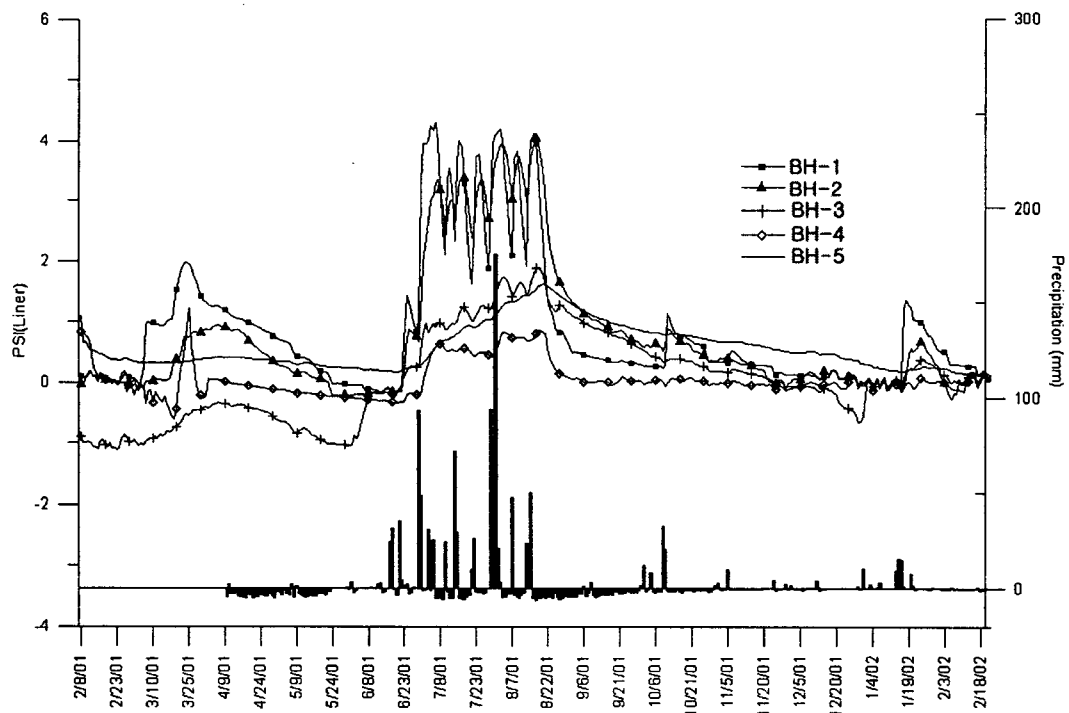


그림 3. 간극수압과 강우량과의 관계

## 5. 결론 및 토의

최근 들어 집중호우에 의해서 발생하는 산사태와 관련하여 강우가 지표하로 유입되어 어떤 역할을 하는지를 파악하기 위하여 산사태 발생 위험성이 보이는 사면을 대상으로 하여 강우량, 간극수압, 지표 변위를 모니터링하고 있다. 모니터링 대상지역에 지난 한해 내린 전체 강우량은 약 1,100mm 정도이며, 대부분 6월 하순에서 8월 중순에 집중되었다.

간극수압은 강우가 내린 이후 상승하여 약 4PSI까지 증가하였고, 강우량에 의해 증감을 거듭하고 있다. 간극수압이 4PSI 이상의 값을 나타내지 못하고 있는 것은 100여 mm 이상의 강우에 의해 이 사면이 완전 포화되거나, 배수가 원활히 이루어져 더 이상 증가하지 못하는 것으로 추정된다.

사면활동에 대한 강우의 역할을 정립하기 위해서는 계속 모니터링뿐만 아니라 이로서 얻어지는 자료와 사면 구성 물질의 물성치를 이용하여 수리 역학적 수치모델을 설정하여 수리 역학적으로 연동된 이론의 정립 및 그에 상응하는 모델 수립이 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 김원영, 채병곤, 김경수, 기원서, 조용찬, 최영섭, 기원서, 이사로, 이봉주, 2000, 산사태 예측 및 방지기술 연구, 과학기술부, KR-00-(T)-09
- 박덕근, 1999, 우리나라 사면붕괴의 현황과 대책, 제4회 방재행정세미나, 175-214
- Angeli, M.G., Pasuto, A., Silvano, S., 2000, A critical review of landslide monitoring experiences, *Engineering Geology*, 55, 133-147
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J.A., Angeli, M.G., Pasuto, A., Silvano, S., 2000, Measurement of landslide displacements using a wire extensometer, *Engineering Geology*, 55, 149-166
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001, Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong, *Environmental Geology*, 40, (3), 381-391
- Gili, J.A., Corominas, J., Rius, J., 2000, Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring, *Engineering Geology*, 55, 167-192
- Iiritano, G., Versace, P., Sirangelo, B., 1998, Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall, *Environmental Geology* 35, 2-3, 175-183
- Malet, J.-P., Maquaire, O., Calais, E., 2002, The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earth flow (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Geomorphology*, 43, 33-54