

표 1. 황장지구 절토사면 현황자료

	도로폭(m)	길이(m)	높이(m)	방향	낙석(m ³)	이격거리(m)	소단	배수시설
측정값	13	153	28	N20W, 45SW	50	3~5	2	없음

인장균열부의 절토사면 안정화 대책공법으로 시점부에서 70m까지 계단식 옹벽 및 지지식 2단 앵커를 시공하여 절토사면의 안정화를 도모하고 있다. 상부부분에 발달하는 인장균열 및 암괴가 이완된 블록에 대하여는 그라우팅을 실시하여 이완된 암반의 균열부를 일체화하는 방안이 제시되었다. 중점부에는 반중력식 옹벽 및 전도방지용 앵커를 설치하여 암반의 거동을 억제하도록 설계되어 있다. 현지점에서 중점부의 대책방안은 미시공된 상태이다. 그림 2는 지반 거동이 발생한 시점인 2001년 7월 1차 조사 당시의 상황을 나타낸 사진이며 그림 3은 항구 대책공법안으로 적용된 계단식 옹벽의 시공후 측면사진이다.

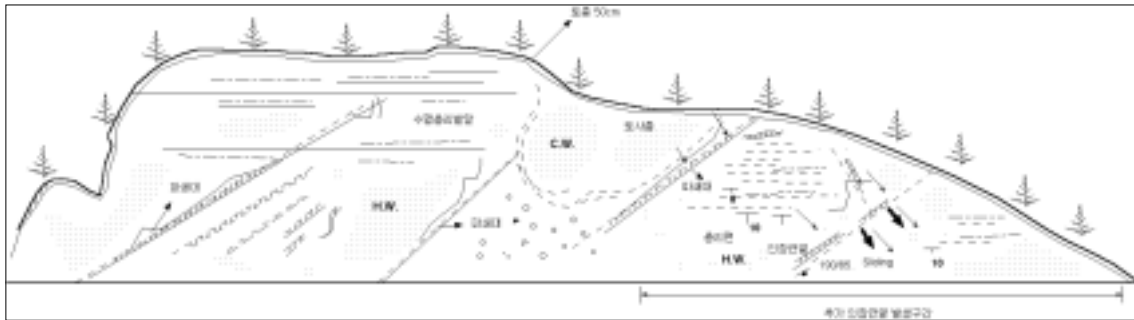


그림 1. 황장지구 현장 절토사면 현황도(face mapping)



그림 2. 절토사면내 인장균열 발달상황

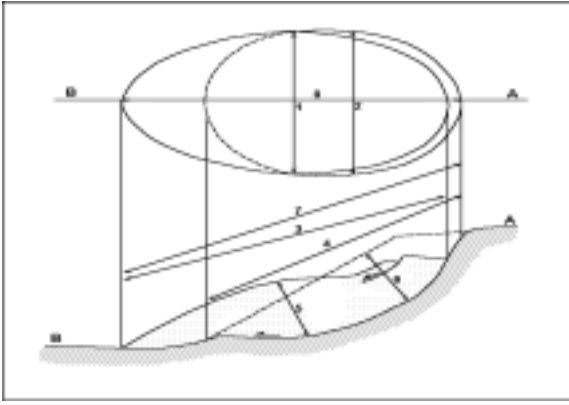


그림 3. 붕괴후 대책공법 시공사진

3. 붕괴 특성

3.1 붕괴 규모

사면 붕괴의 규모를 파악하기 위하여 IAEG(International Association of Engineering Geology, 1990)에서 제안한 모식도(그림 4)를 이용하여 규모를 분석하였다. 붕괴 규모에 대하여는 붕괴 양상을 타원체로 가정하고 다음 식 (1)에 의하여 붕괴 토체량 ($V_{\wedge slide}$)을 계산하였다. 지중 변형계측결과와 현장 조사 결과 붕괴 심도가 6.0m, 붕괴 폭이 35m로 붕괴규모는 3,077.2m³으로 분석되었다.



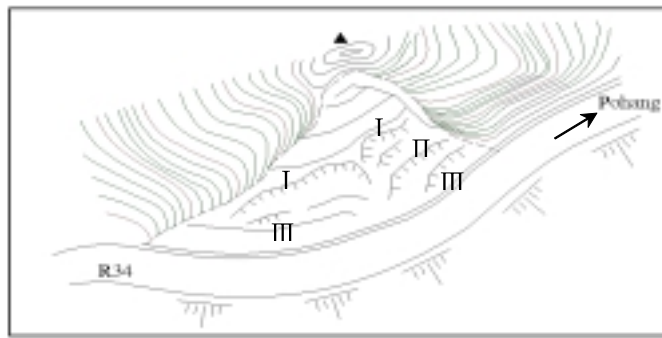
- *1. Width of displaced mass, W_d
- 2. Width of surface of rupture, W_r
- 3. Length of displaced mass, L_d
- 4. Length of surface of rupture, L_r
- 5. Depth of displaced mass, D_d
- 6. Depth of surface of rupture, D_r
- 7. Total length, L
- 8. Length of center line, L_{cl}

그림 4. 붕괴 규모 추정 모식도

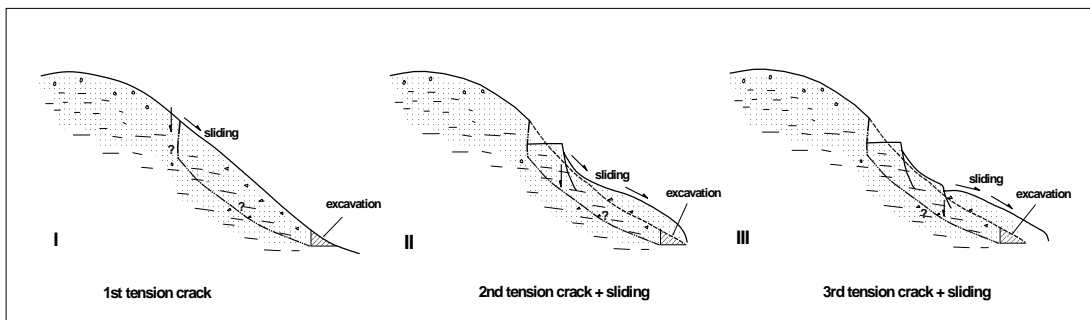
$$V_{\text{landslide}} = \frac{1}{6} \pi D_r \cdot W_r \cdot L_r \quad (1)$$

3.2 붕괴 메카니즘

본 절토사면의 붕괴는 전체 3번의 지반변이가 발생하였으며 부분적으로 1번의 인장균열이 발생한 것으로 추정한다. 해당 절토사면의 붕괴에 대한 메카니즘을 살펴보면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 그림 5(a)는 본 절토사면의 평면도를 나타낸 것이며, (b)는 붕괴 진행과정을 도시한 단면을 보여준다. 지반이동의 발생기구는 크게 퇴행형(retrogressive type)과 전진형(progressive type)으로 구분할 수 있다(신윤식, 1998). 본 현장의 경우, 초기 지반의 활동은 하부 지지력의 제거에 의하여 인장균열이 발생하였다. 이후 교란된 지반은 여름철 강우와 동반하여 전진형 사면 붕괴의 형태로 재활동(reactivation)한 것으로 해석된다.



(a) 붕괴 절토사면 평면도



(b) 단계별 붕괴 진행과정

그림 5. 붕괴 절토사면 평면도 및 진행과정 모식도

4. 상시 계측시스템 운용

4.1 계측기기 설치

본 현장에는 지반 변형의 거동을 살펴보기 위하여 신축계(tension wire sensor, T/W sensor)를 이용하였다. 신축계에 의한 방법은 붕괴 예상구간 2점간의 거리 변동을 계측하여 지표면의 변위에서 붕괴의 변동상태를 파악하는 것이다. 또한, 지표의 변동이 나타나기 쉬운 장소에 적당한 간격으로 2개의 말뚝을 견고하게 타설하였다. 한쪽 끝에 강선을 고정시키며 반대쪽은 도르래를 이용 강선을 긴장시킨 상태로 신축량이 측정되도록 설계되었다.

본 현장의 경우, 절토사면 내 인장균열의 거동 뿐만 아니라 계단식 옹벽의 거동도 추가로 측정하기 위하여 총 5개의 단면을 선정하였다. 각 단면마다 3개에서 4개의 계측센서를 설치하여 총 17개의 신축계 센서를 부착하였다. 계측센서 평면도는 그림 6, 7과 같다. 적용된 신축계 센서의 특징을 살펴보면 센서의 정밀도는 $\pm 0.1\text{mm}$, 가용온도는 $-80\sim 120^\circ\text{C}$, 재질은 스테인리스 스틸/특수 플라스틱으로 되어 있다.

4.2 상시 계측시스템 운용

개발된 시스템은 계측센서에서 측정된 자료가 네트워크나 전송시스템을 통하여 관리자에게 자동으로 전송되도록 설계되었다. 기존의 방식은 현장에서 측정자가 자료를 수집하여야 하며 자료 전송에 많은 문제점을 안고 있었다. 본 연구에서는 기본적으로 신축계에서 발생한 계측결과치에 대하여 무선전화기를 이용하여 쌍방향 통신을 통하여 계측이 가능하도록 하였다. 또한, 무선 원격이 가능한 시스템으로 구성되어 있으며 현장에 설치된 계측기로부터 원격지 센터에서 자동으로 측정하여 데이터를 무선전송 받을 수 있도록 하였다. 메인센터에서 일정시간 간격으로 제어기에 측정명령을 내리면 이 명령은 무선 데이터로 바뀌어 현장의 제어기로 전달되며 제어기는 전달받은 명령에 따라 Multiplexing 기능을 사용하여 원하는 센서의 값을 실시간으로 측정하고, 이 측정값을 무선 데이터로 센터에 전송 저장하게 하게 되어 있다.



그림 6. 절토사면 계측기 설치 전경사진

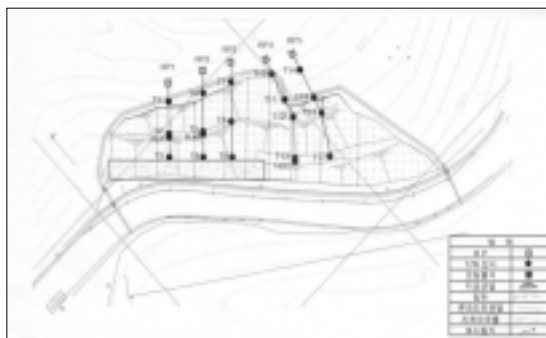


그림 7. 절토사면 계측기 설치 평면도

5. 계측 결과 분석

상기에서 진술한 시스템과 센서를 이용하여 수집된 자료를 분석하였다. 그림 8~12는 신축계 설치 5개 단면에 대한 계측결과를 나타낸 것이며, 그림 13은 단면별 평균치를 구하여 전체적인 경향을 분석한 것이다. 그림11에서 보듯이 최대 변이를 발생한 계측센서는 T-15로 누적변이량 400mm에 해당되며, 다음으로 T-11, T-16번 센서가 이동이 심한 것으로 나타났다. 또한, 그림 10의 T-8번 센서는 변이량이 52mm로 다소 적은량으로 나타났으며 점차 수렴되는 양상을 보이고 있다. 수집된 자료를 검토한 결과 절토사면의 하단부 계단식 옹벽이 설치된 구간은 지반의 거동을 인지하기 어려울 정도이나 하부의 대책 방안이 미설치된 구간은 절토사면이 점차 이동(sliding)하고 있는 양상으로 나타났다. 또한, 강우량과 이동량과도 매우 관계가 밀접하여 강우가 집중될 때 변위 발생이 두드러지게 나타나고 있는 것이 지시되고 있다.

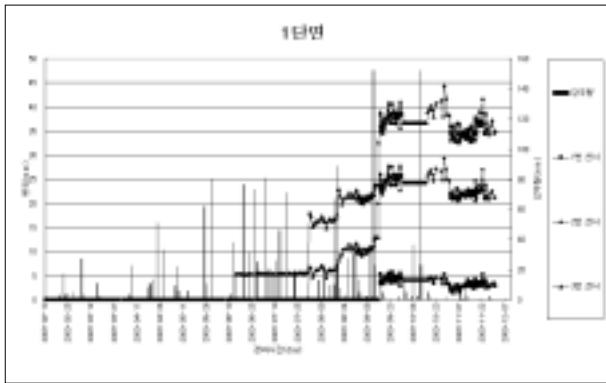


그림 9. 1단면 계측결과 분석 그래프

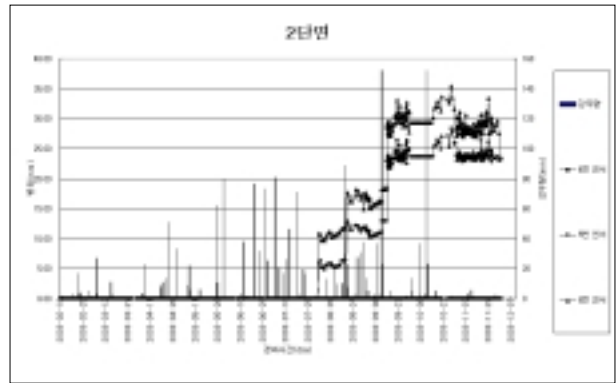


그림 10. 2단면 계측결과 분석 그래프

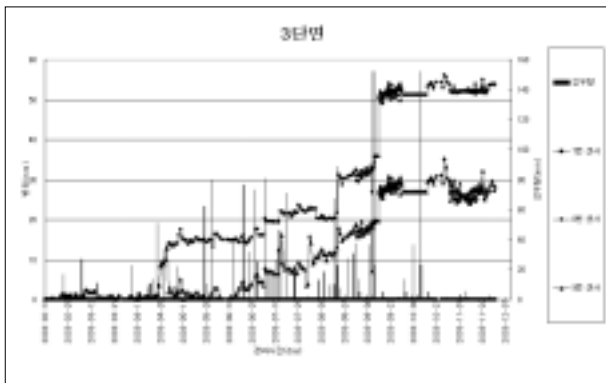


그림 11. 3단면 계측결과 분석 그래프

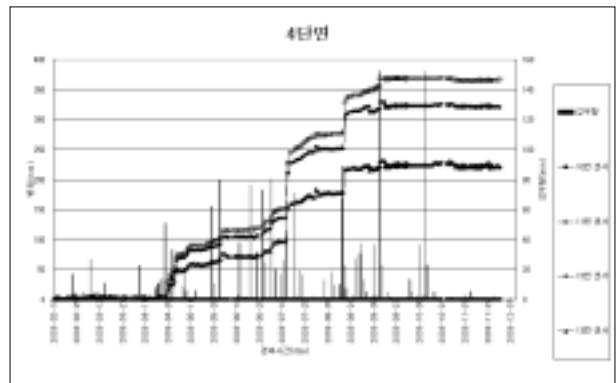


그림 12. 4단면 계측결과 분석 그래프

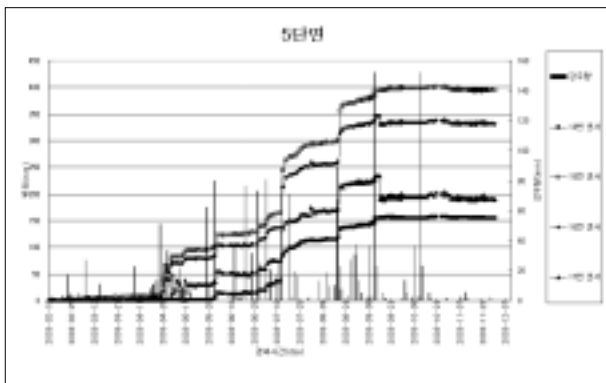


그림 13. 5단면 계측결과 분석 그래프

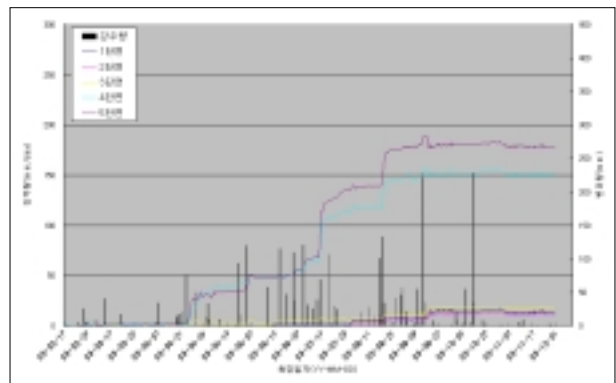


그림 14. 단면별 계측결과 평균값 분석 그래프

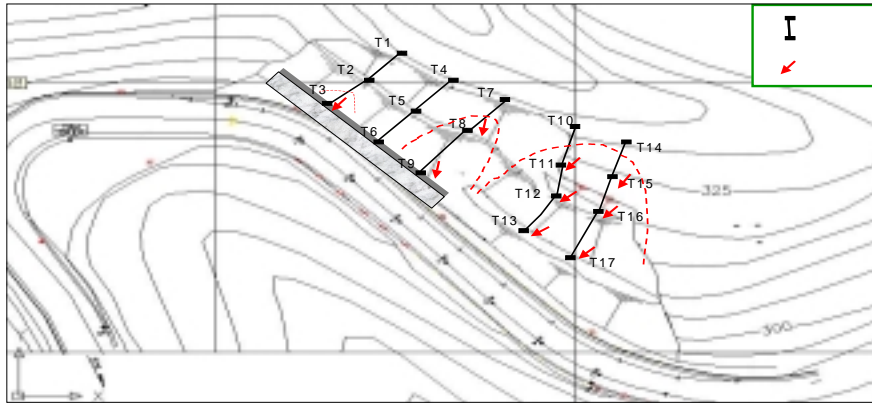


그림 14. 계측결과에 대한 변위 분석

수집된 자료를 이용하여 벡터량으로 환산하여 평면도에 도시하면 그림 14와 같다. 결과 붉은색 점선의 방향으로 지반이 거동하는 것으로 분석되었다. 향후 동결기를 맞아 동결 용해 작용의 영향으로 다소 간의 거동이 예상되고 있으나 현재 계측결과에서는 지반의 거동이 없는 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 방안

최근 절토사면 붕괴를 적극적으로 대비하기 위해 계측시스템을 개발하여 대책을 마련하는 연구가 시도되고 있는 상황이다. 본 연구는 상시계측시스템 기술을 개발하고 현재 시범지구로 지정 운용 중에 있는 울진군 지품면 황장지구를 선정하여 수집된 자료와 결과를 분석한 것이다. 본 절토사면 붕괴는 현장 조사자료와 계측결과 자료를 분석한 결과, 3,077m³의 토체가 이동을 하였으며, 총 3단계의 지반 거동이 인지되었으며 전진형 붕괴 형태를 나타낸다. 지반의 거동은 강우와 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 현재에는 안정화 단계에 있는 것으로 판단된다. 현장에 적용된 대책공법은 1단면에서 3단면까지는 계단식옹벽과 인장균열부에 대한 그라우팅공을 시공하여 절토사면을 안정화 하고 있으나 4단면과 5단면에는 L형 측구와 낙석방지울타리만 시공되어 있어 항구 대책공법의 조속한 보강이 필요할 것으로 본다. 지반의 거동을 파악하기 위하여 총 17개의 신축계를 설치하여 분석한 결과 단면별로 보면 대책공법이 시공된 1, 2, 3단면의 경우는 최대 변이 발생이 T-8지점이 52mm이다. 반면 대책공법이 마련되지 않은 4, 5단면의 경우는 최대 변이 발생이 T-15지점이 400mm에 달하고 있다. 향후 연구 방향은 현재의 계측결과와 동결기 외부 온도의 변화에 기인한 변이 발생 등의 변화에 대한 연구를 지속적으로 수행하여야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 구호분, 백용, 三木博史(2001), “광섬유 센서를 이용한 산사태 계측기법 개발”, 한국건설기술연구원.
2. 신윤식(1998), “최신 토픽스 지반활동공학-사면안정해석이론대책”, 원기술, pp. 55~77.
3. (주)GMG(2003), “국도 34호선 황장 2지구 낙석·산사태 위험지구 상시 계측시스템 설치 공사 계측 보고서”, 포항국도유지건설사무소, 건설교통부.
4. 한국건설기술연구원(2002), “도로절개면 안정성 해석 및 대책Ⅳ”, 건설교통부.
5. 한국건설기술연구원(2003), “2002 도로절토사면 유지관리 시스템 개발 및 운용”, 건설교통부.
6. A. Keith Turner, Robert L. Schuster(1996), “Landslides Investigation and Mitigation special report 247”
7. IAEG Commission on Landslides(1990), “Suggested Nomenclature for Landslides”, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, pp. 13~16.