

도로절토사면 상시 계측시스템 설치 및 운용 계획



손 종 철 | 정회원 · 건설교통부 도로관리과 토목사무관

1. 상시 계측시스템 개요 및 필요성

1) 상시 계측시스템 정의

- 도로절토사면의 지반 변위를 현장에 설치된 계측기에 의해 실시간 자동으로 측정하여 이상징후 발생시 관련기관에 무선통신으로 즉시 통보함으로써 붕괴 발생전에 보강공사 시행 또는 도로차단 등의 조치를 취할 수 있어 도로절토사면 붕괴에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 최첨단 시스템임.

2) 상시 계측시스템 목적

- 최근 눈부신 성장을 이루는 첨단 컴퓨터 산업을 토목분야에 접목시켜 재해예방의 과학적 접근의 필요성 대두
- 과거 90년대 이전에 완공된 절토사면은 경제성 위주의 설계기준의 취약성과 시공단계의 사면하부 발파 시공 등에 의해 항구적인 안정성이 확보되지 않아 해빙기 및 집중강우시 반복적으로 붕괴 및 피해가 발생되고 있는 실정임
- 도로 절토사면 관리의 안정성 향상을 위하여 기존의 붕괴 발생 후 대책을 수립하는 방식에서 탈피하여 도로절토사면 관리시스템(CSMS: Cut Slope Management System)을 운영하여 사전에 위험절토사면을 대상으로 현장조사, 안정성해석, 대책수립 등 적극적인 재해

대책방안을 강구하여 시행하고 있으나

- 절토사면 현장 여건에 따라 완전한 항구 대책공법의 시공이 어려운 경우에 최소한의 대책을 적용하고 현장에 상시 자동계측에 의한 절토사면 붕괴를 사전에 인지하여 피해를 예방할 수 있는 재해예방 시스템 도입 필요

3) 필요성

- 절토사면의 조사, 설계, 시공, 유지관리 분야는 구성재료의 불균질성에 의해 불확실성이 잠재되어 있음. 따라서, 국내 지반 특성을 고려한 불확실성의 최소화가 절토사면 분야 기술개발의 선진화를 추구할 수 있음.
- 도로절토사면 유지관리를 통한 사전 재해 예방 차원에서 안정성을 평가하여 대책을 강구하고 있으나, 예외적으로 붕괴위험이 잔존하는 특성을 가지는 절토사면에 대하여 상시 계측을 수행하여 거동을 일상적으로 파악하여 사전붕괴인지에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 방안을 강구 필요
- 상시 계측시스템의 활용은 국내 IT 산업 강국의 이미지를 도로 분야에 접목시킴으로 첨단화된 재해대책 강구에 의한 대국민 재해예방 신뢰성 구축에 기여할 것임.

2. 전국 국도상 절토사면 분포현황

- 전국 국도 총 연장 약 12,477km에 약 12,650개소의 절토사면이 있으며 이중 4,450개소가 조치가 요망되는 절토사면으로 파악
- ※ 산출근거 : 2002년 18개 국도유지건설사무소 현황조사 자료에 의거

3. 절토사면 상시 계측시스템 세부추진 계획

가. 계측기 종류 및 개요

일반적으로 계측기는 터널 및 교량 등의 각종 구조물관리에 많이 활용되고 있는 실정이며 지반 분야에 주로 사용되고 있는 계측기로는 다음과 같은 종류가 있음.

(1) 신축계(Tension Wire Sensor)

- 개념 : 절토사면내 붕괴 징후는 대부분 그 전조현상을 동반하는 것으로 절토사면 상부 및 절토사면내 인장균열과 같은 표층이동을 유발하며 이를 감지기 위한 계측기
- 구성 : 센서부(sensing Part), 제어부(Controller), 데이터처리부(software), 기타 Accessery

표 1. 일반적인 계측기기 종류

구 분	계 측 항 목	계 측 기 기	비 고
지표변위측정	전체적인 표층부 변위	측량법(surveying), 측점이용 - 삼각측량 - 사진측량(photogrammetry) - 광학수준측량 - 전자거리 측정기(EDM) - GPS(Global Positioning System)이용 침하량 측정	
	표층부 균열 측정	균열측정기기(crack gauge) - 변위관 - 변위말뚝	
	표층부 기울기	경사계(tiltmeter)	○
	표층부 이동	신축계	○
지중변위측정	지중 수평변위	지중경사계(inclinometer) - 파이프 변위계	
	지중 수직변위	지중침하계(extensometer) - 보아홀 익스텐소미터 - 와이어 익스텐소미터	
기 타	공극수압 측정	공극수압계(piezometer) - 진동철판식(vibrating wire type) - 동압식(pneumatic type) - 개방식(open stand pipe type)	
	지하수위 측정	수위계(water level meter)	
	강우량 측정	우량계 - 간이우량계 - 자기우량계	○

※ 비교란의 "○"는 현재 건설교통부에서 관리하고 있는 일반국도에 설치 운용중인 계측기기

- 설치 방법 : 절토사면 양단에 설치하되 보강재 사용여부를 사전에 판단. 종방향과 횡방향을 동시에 고려한 격자형태의 설치가 적합

(2) 경사계(Tiltmeter)

- 개념 : 신축계와 같이 측정을 병행하는 것으로서 지반거동시 이동부분의 기울기 및 벡터방향의 변화를 인지하는 경우에 사용. 2축으로 거동 분석 가능, 특히, 대규모 붕괴 발생시 이동방향의 길이변화 감지가 불가능할 경우 기울기 변화를 파악하여 지반 거동 예측이 필요한 경우 사용

(3) 강우계(Rain Gauge)

- 개념 : 절토사면 붕괴는 강우와 직접적인 연관을 가지고 있으며 지반 거동을 예측하기 위하여 강우량을 자동으로 측정하여 지하수의 변동 및 영향을 평가할 수 있는 계측기

(4) 기타 계측장비

가) 위성위치확인시스템(Global Positioning System : GPS) 이용

- 개념 : GPS란 인공위성을 이용해서 선박이나 항공기, 자동차 등의 위치 추적이 가능한 시스템이며, '인공위성 자동위치측정 시스템'이라고 함. 이 시스템은 지상에서 간단한 장비만 가지고도 연속적으로 정확한 위치를 측정할 수 있고, 컴퓨터와 연결했을 때는 다양한 서비스가 가능하다는 장점을 가지며 최근 절토사면의 지반 변위 측정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.

나) 광섬유 센서를 이용한 계측시스템

- 광섬유 케이블을 이용한 단락감지용 센서 시스템
 - 개념 : 광범위한 지역에 활용되며 절토사면에 광섬유 케이블을 설치하고 지표면의 변이 발생시 이동에 따라

각 채널에서 단락 또는 감쇄 정보를 수집하여 경보 신호로 발송할 수 있는 시스템

- 구성 및 특징 : 절토사면 대규모 변위 발생에 따른 광섬유의 단락여부 또는 감쇄를 감지할 수 있으며 판독기는 저비용으로 제작 가능

다) FBG(Fiber Bragg Grating) 센서를 이용한 시스템

- 개념 : FBG센서를 이용 절토사면내 압반의 미세거동까지 정밀하게 측정(분해능:1 마이크로 스트레인)할 필요가 있을 경우 사용

- 구성 및 특징 : 한 line에 10~20개 정도의 센서를 직렬로 배열하여 시스템에 연결. 보통 3~4line이 접속가능하며, Optical Switch를 사용하면 시스템 하나로 200~300개의 센서를 측정할 수 있음.

- 실용사례 : 일본 福島縣과 山梨縣에 설치 운용 중에 있음

라) B-OTDR(Brillouin-OTDR)방식을 이용한 계측시스템

- 개념 : 유도 브릴루앙 산란(Stimulated Brillouin Scattering)의 이론을 활용하여 광섬유 내부의 광 산란과 도플러 효과를 이용 주파수를 측정하고 변위량과 발생위치를 파악할 수 있는 센서

- 구성 및 특징 : 측정거리가 긴 구간(80km 정도)에 사용가능하며 장거리에 걸쳐 수많은 지점을 동시에 측정이 가능. 정밀 계측보다는 사면의 거동 및 장시간에 걸쳐 변이가 발생하는 대상물에 적용

- 실용사례 : 일본 福島縣에 설치 운용 중에 있음

나. 상시 계측시스템 설치 위치 선정

- 설치 위치 선정 기준

- 절토사면 현장특성상 완전한 항구 대책공법의 적용이 어려운 경우 상시 계측시스템 적용 유지관리 시도

- ① 상부 자연 사면 경사(30° 이상)가 급하고 높이가 40m 이상인 대규모 절토사면 또는, 대책공법 적용에 한계성을 가지며 우회도로 개설이 불가한 위험한 절토사면
- ② 과도한 사업비 소요 및 문화재 보호구역 (또는 국립공원 내)으로 지정되어 보호공법만 시공한 절토사면
- ③ 전문가 의견에 따라 지형, 지질특성상 특별히 필요하다고 판단되는 경우

다. 추진현황 및 연차별 추진계획

(1) 추진현황

- 잦은 낙석 산사태에 대비하여 사전에 붕괴 징후를 감지 적극적으로 대처하기 위하여 추진
- 2002년 일반 국도변 4개소의 절토사면을 선정하여 시범 설치 운용
- 2003년에 16개소 설치하였으며, 매년 15개소 정도 실시 계획

(2) 향후 추진 계획

- 시범설치 현장의 결과 자료를 분석으로 국내 절토사면의 붕괴 유형 및 특성을 분석하여 전국적으로 위험 절토사면에 확대 실시할 예정임

라. 상시 계측시스템 운용

(1) 무선모뎀(CDMA) 및 인터넷(internet)을 이용한 시스템 운용

- CDMA를 이용하여 현장에서 국도유지 건설사무소, 한국건설기술연구소 간에 계측자료를 송부하고, Internet을 이용하여 상기 두 기관과 건교부 도로관리과 간에 공동 자료활용

(2) 상시 계측시스템 장비의 요건 및 적정성

- 절토사면의 불안정성을 조기에 발견, 즉각적인 상황파악 및 능동적인 대책 수립이 필요

- ① 상시 계측시스템은 절토사면 붕괴 사전 예측 가능해야 함
- ② 상시 계측시스템은 계측데이터의 과학적 처리 및 정량화를 통한 계측의 신뢰성이 필요함
- ③ 상시 계측시스템은 계측데이터의 측정 및 경보 기능이 자동적으로 실시간으로 이루어져야 함
- ④ 상시 계측시스템은 계측자료를 데이터 로거(data logger)로부터 전송 받음과 동시에 즉각적으로 상위 시스템인 서버(server)에 실시간 업데이트하여야 함

마. 상시 계측시스템 운용 체계

(1) 자료 측정 및 전송 체계

- 정의 : 현장에 설치된 계측기로부터 메인 센터에서 자동으로 측정하여 데이터를 무선전송 받을 수 있는 시스템임. 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 함으로 실시간 무선원격측정을 가능케 한 장치임
- 관리자의 컴퓨터까지 전달된 데이터는 저장과 동시에 해석 및 도화가 가능한 프로그램으로 자동 분석하여 이상 징후 발생시 경고음과 동시에 메신저처리를 통해 관리자의 휴대폰으로 메시지가 전달

(2) 실시간 분석 프로그램

- 사무실에서 현장으로 데이터 수신을 위

한 메시지를 송신하면, 현장 계측기 메인 제어기에 저장된 측정 데이터를 사무실로 전송함. 전송되어진 데이터는 프로그램에 의하여 관리자가 현장의 상황을 이해가능토록 측정위치 및 안전 유무 확인 후 도화·해석 및 경고음 발생 및 휴대폰 서비스를 가능하게 재현

- 메인 프로그램을 열면 수동/ 자동 기능 설정이 가능하며 수동은 측정시 관리자가 원하는 시간에 데이터를 확인할 수 있으며, 자동기능은 설정된 시간에 데이터를 저장하고 경고음 및 문자메시지를 발송하게 됨
- 위험수위(관리기준치)경고 기능은 경고음 및 경고문자 메시지를 보내는 기준을 의미하며, 현장특성을 고려한 임계 붕괴 변위량을 기준치로 설정 입력하면 됨

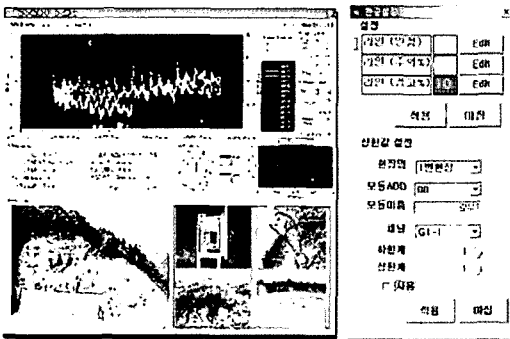


그림 1

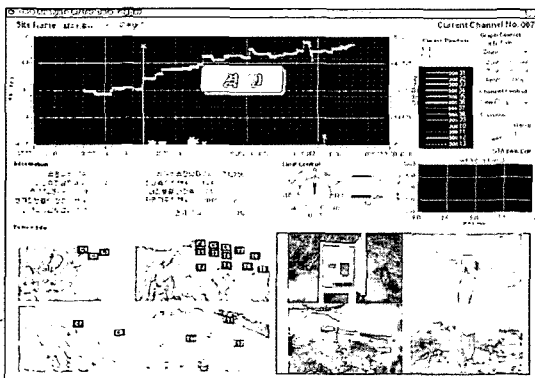


그림 2

- 수동/자동으로 측정된 데이터는 현장의 모뎀에 자동으로 저장되는 동시에 관리자의 컴퓨터로 전송되며, 전송된 데이터는 관리자의 컴퓨터에 자동 저장되며 동시에 분석 프로그램상에 뜨게 되며, 관리자가 설정한 관리기준치 도달시 경고 발생과 함께 관리자의 자리 이석시 휴대폰을 통하여 경보 메시지를 받을수 있음.

4. 상시 계측시스템 추진 계획 및 기대효과

가. 추진계획

- 절토사면 상시 계측시스템 구축계획은 국토유지건설사무소별로 계측자료를 관리할 수 있는 시스템을 구축할 뿐만 아니라 18개 국토유지건설사무소의 계측자료를 통합 구축할 수 있는 시스템으로 운용할 계획임.
- 수집된 국토유지건설사무소의 자료들은 자료 분석 시스템을 이용하여 처리됨. 자료 분석 시스템은 지반전문가와 기술력을 보유하고 있는 한국건설기술연구원 CSMS팀에서 주관하여 구축할 예정임.
- 년도별 상시 계측시스템 설치현장 수와 투자 계획은 표 2와 같으며 자료 분석 시스템은 2007년에 최종 구축 완료될 예정임.

나. 사전 경보 시스템 도입

(1) 목적

사전 경보 시스템이란 사면에 위험 징후가 관측되었을 경우 현장에서 즉시 도로이용자에게 알림으로써 안전사고를 미연에 방지함

(2) 정보 제공 방법 비교

- 가) 낙석, 산사태 위험지구에 대한 입간판 설치

표 2. 상시 계측시스템 설치 추진 계획

구 분	계 (추정)	기 시 행	추진 계획					비 고
			소계	03	04	05	06~09	
사업량	100	4	96	16	15	15	50	
사업비 (백만원)	7,080	280	6,800	1,100	1,100	1,100	3,500	

- 기존의 낙석, 산사태 위험지구를 선정하여 통과차량에 대한 주의의식 고취
- 설치, 운용이 수동으로 이루어져 효율성이 낮으나 운영비가 적게 소요

- 세부적인 방법에 대하여는 충분한 비교검토가 선행되어야 하나 한정된 예산 및 기존의 기술력을 고려할 경우 낙석 신호등 체계가 효율적이라 생각됨.

나) 낙석 신호등 설치

- 낙석 발생과 관련하여 적색, 황색의 2원색으로 신호체계를 설치하여 평상시에는 황색으로 점멸하게 하여 낙석, 산사태 위험지구를 사전에 알리게 하고, 낙석 발생시 도로통행 차단 및 운용이 불가능할 경우에는 적색 등이 점멸하여 통행을 제한하는 방안

다) 도로통행 차단기 설치

- 철도용 차단기와 같은 도로통행을 금지하는 차단기를 설치 운용
- 일본의 경우 차단기를 설치 후 패트롤카와 지반전문가가 48시간 동안 순찰 후 안전점검 여부를 확인한 후 통행을 재개하고 있음.

라) 도로 전광판 사용

- 도로 전광판에 낙석 발생여부 등의 상태를 사전에 문자로 알림.
- 기존의 고속도로 및 국도의 전광판 기술력을 최대한 활용할 수 있는 장점이 있음.

(3) 적용성 검토

- 설치기준 및 적용성에 따른 검토는 시범 설치 후 적정성의 여부를 판단하여 확대 실시할 예정임.

5. 시범 설치 지구 사례 연구

가. 대상 현장

사례연구 대상 절토사면은 국도 34호선에 있으며 행정구역상 경상북도 영덕군 지품면 황장리에 해당함. 절토사면은 총 연장 153m이며 높이 28m의 중규모에 해당됨. 구성암석은 사암과 세일로 이루어져 있으며 풍화등급으로는 보통풍화에서 완전풍화의 등급에 해당되며 완전풍화가 우세하게 나타나고 있음. 절토사면의 특징으로는 단층파쇄대 영향에 의한 대규모 붕괴가 발생하여 그라우팅 및 계단식옹벽의 공법이 적용된 상태임. 그림 3은 본 현장의 전경 사진임.

나. 붕괴 이력 및 조치 사항

본 절토사면은 2001년 4월 절토사면 상부에 인장균열이 발생하여 현장 조사 및 대책안이 제시되었음.

황장리 지구의 경우 포항 일대의 미고결 암층과 더불어 대규모 파쇄대(폭 5m) 내 분포하는 것으로 지반의 조건이 매우 열악한 상태를 나타냄. 이러한 지반상태가 열악한 지역의 절토

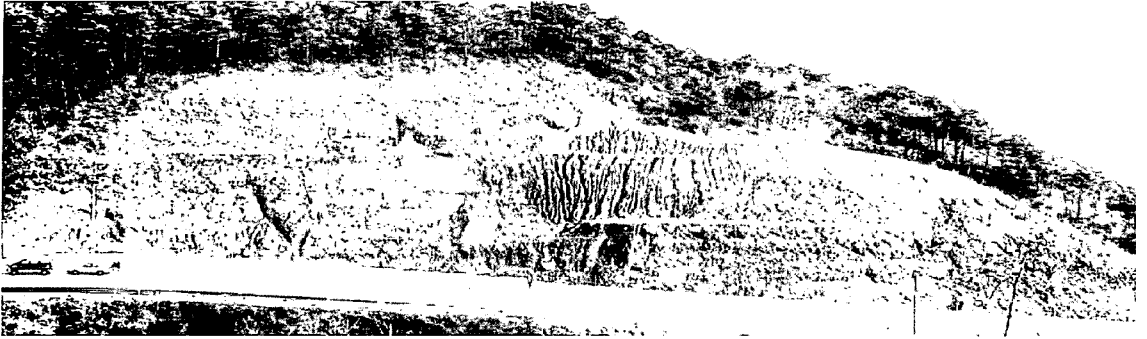


그림 3. 영덕군 지품면 황장지구 전경 사진

표 3

	제 1 안	제 2 안
대 책 안	1: 1.0 절취	그라우팅, 중력식 옹벽
장 점	균열부 포함한 경사 완화	저비용, 효율성 지반강도 증진에 의한 지지력 확보
단 점	고비용 인장균열 깊이 파악의 불확실성으로 절취단면 결정의 어려움	시공 품질 관리의 어려움
예상공사비	25억원	2억 5천만원
비 고		계측관리에 의한 공법 효율성 검토

사면에 대한 항구대책공법의 수립은 용이하지 않음. 대책안은 인장균열 부위를 포함한 경사 완화 방안과 비록 대규모 인장균열이 발생하였지만 원지반의 상태를 그라우팅 함으로써 인장균열채움과 지반강도정수를 증가시켜 붕괴에 대한 저항력 증대방안으로 압축시킬수 있음. 경사완화공법은 붕괴 절토사면에 대해 가장 일반적으로 적용되는 공법임. 본 현장과 같이 지반조건이 취약한 구간의 경우 절취만으로 완전한 대책공법으로 역할을 할 수 있을지는 의문이 되는 것이 사실임. 그라우팅 공법은 경사완화 공법에 비하여 시공비 90%절감, 자연훼손 최소화, 시공기간단축 등의 효과를 수반할 수 있음. 그러나 그라우팅 시공의 정밀 시공을 요하는 공법이고 시공품질 관리에 대한 검증의 어려움 등의 한계성을 가짐. 따라서

대책공법의 경제성, 시공성, 효율성 등을 고려하여 그라우팅 공법을 채택하고 시공의 품질 관리에 대하여 상시 계측시스템을 운용함으로써 붕괴 위험절토사면에 대한 항구대책을 수립할 수 있음.



그림 4. 상부 사면 인장균열 발생부

다. 상시 계측시스템 설치

본 절토사면은 신축계 및 강우계를 포함한 계측기를 다음과 같이 설치하여 운영 중에 있음. 계측결과는 포항공도유지건설사무소와 한국건설기술연구원 상황실에 유무선 통신으로 인하여 자료를 송수신하도록 설계 되어 있음 (그림 5).

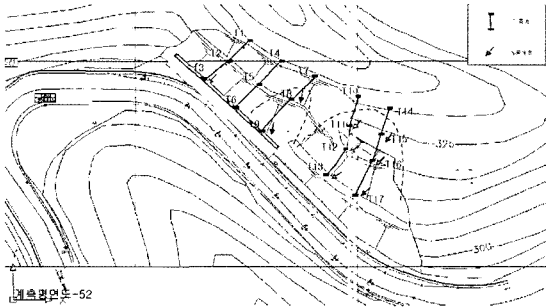


그림 5. 상시 계측기기 설치 평면도

상시 계측기기 설치 운영 계측결과는 그림 6 과 같음. 총 5개의 단면으로 구분하여 볼 수 있으나 대표 단면으로 1번 단면의 계측치를 게재하였음(그림 6).

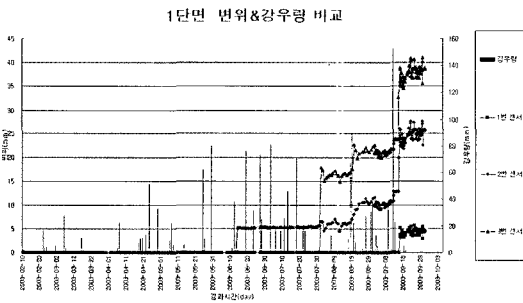


그림 6. 1단면 계측 결과 그래프

라. 유지 관리 운용

상시 계측시스템 운용은 해당 국도유지건설사무소에 설치된 시스템과 담당자의 휴대폰으로 이상 변위가 발생시 자동으로 연락이 취하여 지도로 운용되고 있음

마. 시범현장에 대한 의견과 향후 전망

본 절토사면은 일반 노선 담당자의 현장 시찰 중 붕괴 위험 요소가 발견되어 현장 조사에 따라 대책공법이 마련된 현장임. 초기 대책 제시안으로 절취에 의한 사면 안정화 공법을 적용할 경우 예상공비가 25억원 소요되는 것으로 제시되었음. 반면 과도한 예산을 절감하는 차원에서 최소의 대책공법을 제안하고 현 절토사면에 상시 계측시스템을 운용하여 지속적인 거동을 관찰한 결과 약간의 지반변위가 관찰되어 필요개소에 추가 옹벽설치 후 계속적인 상시계측을 시행중임.

본 절토사면은 현재 추가 거동의 위험성은 없는 것으로 계측결과 나타났으며 20억 이상의 절토사면 대책소요예산을 절감하는 효과를 가져 왔음. 향후 기 설치된 곳의 상시계측치에 대한 정밀 분석과 비교검토 등을 통하여 학술적인 연구를 계속하는 등 상시 계측시스템을 적극 활용하여 국가 예산 절감 및 사면 기술력 향상에 많은 기여를 할 것으로 전망됨.